

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ  
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΑΓΩΓΗΣ  
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΔΗΜΟΤΙΚΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ

Ευάγγελος Β. Τζίμας

«Διερεύνηση γνωστικών διεργασιών σε εκπαιδευτικά  
εικονικά περιβάλλοντα»

Διδακτορική διατριβή

---

ΙΩΑΝΝΙΝΑ 2010

Ευάγγελος Β. Τζίμας

«Διερεύνηση γνωστικών διεργασιών σε εκπαιδευτικά  
εικονικά περιβάλλοντα»

Διδακτορική διατριβή

που υποβλήθηκε στο Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης  
της Σχολής Επιστημών Αγωγής  
του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

Συμβουλευτική Επιτροπή

1. Γεώργιος Η. Δήμου, Καθηγητής, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης – Σχολή Επιστημών Αγωγής – Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, επιβλέπων
2. Αναστάσιος Μικρόπουλος, Καθηγητής, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης – Σχολή Επιστημών Αγωγής – Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων
3. Σπυρίδων Κονιτσιώτης, Επίκουρος Καθηγητής Νευρολογίας, Ιατρική Σχολή – Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

Εξεταστική Επιτροπή

4. Βασίλειος Κούτρας, Αναπληρωτής Καθηγητής, Παιδαγωγικό Νηπιαγωγών – Σχολή Επιστημών Αγωγής – Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων
5. Κωνσταντίνος Κώτσης, Αναπληρωτής Καθηγητής, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης – Σχολή Επιστημών Αγωγής – Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων
6. Παναγιώτης Πιντέλας, Καθηγητής, Τμήμα Μαθηματικών – Σχολή Θετικών Επιστημών – Πανεπιστήμιο Πατρών
7. Αθανάσιος Τζιμογιάννης, Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Κοινωνικής και Εκπαιδευτικής Πολιτικής – Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ  
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΔΗΜΟΤΙΚΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ

Ημερομηνία αίτησης του κ. Ευάγγελου Τζιμα: 173/16 – 10 – 2000

Ημερομηνία ορισμού Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής: 249/21 – 3 – 2001 και  
340/20 – 4 – 2005

Μέλη Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής:

Επιβλέπων:

Γεώργιος Η. Δήμου, Καθηγητής, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης  
Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

Μέλη

Αναστάσιος Μικρόπουλος,, Καθηγητής, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης  
Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

Σπυριδων Κονιτσιώτης, Επίκουρος Καθηγητής Νευρολογίας, Ιατρική  
Σχολή Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

Ημερομηνία ορισμού θέματος: 251/23 – 5 – 2001

Θέμα: «Διερεύνηση γνωστικών διεργασιών σε εκπαιδευτικά εικονικά περιβάλλοντα»

ΟΡΙΣΜΟΣ ΕΠΤΑΜΕΛΟΥΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ: 489/24 – 3 – 2010

Γεώργιος Δήμου	Καθηγητής, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης Πανεπιστημίου Ιωαννίνων
Αναστάσιος Μικρόπουλος	Καθηγητής, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης Πανεπιστημίου Ιωαννίνων
Σπυριδων Κονιτσιώτης	Επίκουρος Καθηγητής Νευρολογίας, Ιατρική Σχολή Πανεπιστημίου Ιωαννίνων
Βασίλειος Κούτρας	Αναπληρωτής Καθηγητής, Παιδαγωγικό Νηπιαγωγών Πανεπιστημίου Ιωαννίνων
Κωνσταντίνος Κώτσης	Αναπληρωτής Καθηγητής, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης Πανεπιστημίου Ιωαννίνων
Παναγιώτης Πιντέλας	Καθηγητής, Τμήμα Μαθηματικών – Σχολή Θετικών Επιστημών – Πανεπιστήμιο Πατρών
Τζιμογιάννης Αθανάσιος	Καθηγητής, Τμήμα Κοινωνικής και Εκπαιδευτικής Πολιτικής Πανεπιστημίου Πελοποννήσου

Έγκριση Διδακτορικής Διατριβής με βαθμό «ΑΡΙΣΤΑ» στις 3 – 6 – 2010

Ο ΠΡΟΕΔΡΟΣ



Αναστάσιος Μικρόπουλος



Η ΓΡΑΜΜΑΤΕΑΣ



Αγνή Μπακούλη

Η έγκριση της διδακτορικής διατριβής από το Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης της Σχολής Επιστημών Αγωγής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα

(ν. 5343/32, άρθρο 202, §2)

στη Τζένη

στη Χριστίνα

στο Βασίλη



## **Abstract**

Information and Communication Technologies (ICT) is an umbrella term that includes a wide range of tools available to educational technology, nowadays. Recent research has shown that computers are affecting the way students think, learn, and develop their meta-cognitive skills. Virtual Reality (VR) is providing a new dimension to computer applications and is considered as a modern tool available to support learning processes. Educational virtual environments have many applications in learning, even on a practical level.

The present thesis approaches the triptych: cerebral operations, virtual reality and education by the point of view of cognitive operations. The research approaches specific brain operations related to the interaction of individuals with virtual environments. Methodologically, it concerns a comparative study of virtual and real environments, focusing mainly on optical stimuli. Basic tool of the study are measurements related to the functioning of the human brain, the part of the body that receives stimuli from the environment and where perceptions, thoughts and ideas are produced. Measurements are being done through electroencephalography (EEG), a technique that records electrical cerebral activity in real time. Analysis is being supported by mathematical tools and is based on the behavior of the most important electrical brain rhythms (alpha, theta, beta, gamma and delta).

In order to derive conclusions, certain cognitive operations, than can be described or detected - even partially - by the EEG, are being used. Research has revealed similarities and differences in cerebral operations between the two environments, related to cognitive operations such as attention, selective attention, mental workload and working memory, as well as operations that accompany and/or produce the perception and counting of objects, the perception of movement, the presence of other individual, orientation and spatial navigation, optical awareness, optic-space operation in general, alertness and vigilance, discrimination of objects with complex or difficult criteria and effects on the emotional state.

Even though an attempt to derive generalized models of cerebral activity would be considered unachievable within the present research framework and notable differences between participants were observed in some activities, it is possible to observe general tendencies that reveal similarities and difference between real and virtual environments.

Some differences are justified by corresponding differences in the perception ways are activated the virtual reality devices and are more or less expected. However, most differences are not observed in the processing of primary optical information, but mainly in a secondary associative process, while the most important differences are observed at the appearance of other person.

## Περίληψη

Οι Τεχνολογίες της Πληροφορίας και των Επικοινωνιών (ΤΠΕ) αγκαλιάζουν ένα ευρύτατο φάσμα από τα εργαλεία που διαθέτει σήμερα η εκπαιδευτική τεχνολογία. Η σχετική επιστημονική έρευνα έχει δείξει ότι οι υπολογιστές επιδρούν στον τρόπο που οι σημερινοί μαθητές σκέφτονται, μαθαίνουν και αναπτύσσουν τις μεταγνωστικές τους δυνατότητες. Η εικονική πραγματικότητα παρέχει μια νέα διάσταση στις εφαρμογές της επιστήμης των υπολογιστών και θεωρείται ως ένα από τα πλέον σύγχρονα εργαλεία στη μαθησιακή διαδικασία. Τα εκπαιδευτικά εικονικά περιβάλλοντα βρίσκουν όλο και περισσότερες εφαρμογές στη μαθησιακή διαδικασία, ακόμη και σε πρακτικό επίπεδο.

Η παρούσα διατριβή κινείται στο τρίπτυχο εγκεφαλικές λειτουργίες, εικονική πραγματικότητα και εκπαίδευση με σημείο αναφοράς τις γνωστικές λειτουργίες. Η ερευνητική προσέγγιση θέτει επιμέρους θέματα εγκεφαλικών λειτουργιών που αφορούν στην αλληλεπίδραση ατόμων με εικονικά περιβάλλοντα και μεθοδολογικά αφορά σε συγκριτική μελέτη εικονικών και παρόμοιων πραγματικών περιβαλλόντων με κυρίαρχα τα οπτικά ερεθίσματα. Βασικό εργαλείο είναι οι μετρήσεις στον ανθρώπινο εγκέφαλο, το όργανο που δέχεται τα ερεθίσματα του περιβάλλοντος και στο οποίο παράγονται οι αντιλήψεις, σκέψεις και ιδέες. Από τεχνολογικής πλευράς για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται η τεχνική της ηλεκτροεγκεφαλογραφίας, η οποία με την κατάλληλη μαθηματική υποστήριξη μπορεί να καταγράψει την ηλεκτρική εγκεφαλική λειτουργία σε πραγματικό χρόνο. Η ανάλυση βασίζεται στη συμπεριφορά των σημαντικότερων εγκεφαλικών ρυθμών (άλφα, θήτα, βήτα, γάμα και δέλτα).

Για την εξαγωγή συμπερασμάτων χρησιμοποιούνται ορισμένες γνωστικές λειτουργίες των οποίων οι αντίστοιχες εγκεφαλικές λειτουργίες μπορούν να περιγραφούν ή ανιχνευθούν - έστω και μερικώς - με το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα. Η έρευνα ανέδειξε ομοιότητες και διαφορές στις εγκεφαλικές λειτουργίες ανάμεσα στα δύο περιβάλλοντα σε γνωστικές λειτουργίες όπως η προσοχή, η επιλεκτική προσοχή, ο νοητικός φόρτος και η λειτουργία της μνήμης εργασίας, καθώς και σε λειτουργίες που συνοδεύουν ή/και παράγουν την αντίληψη και καταμέτρηση αντικειμένων, την αντίληψη της κίνησης, τη παρουσία άλλου ατόμου, το προσανατολισμό, την οπτικο-χωρική λειτουργία γενικά, τις καταστάσεις ετοιμότητας και αναμονής, τη διάκριση αντικειμένων με πιο σύνθετα ή δύσκολα κριτήρια, τις επιδράσεις στη συναισθηματική κατάσταση.

Αν και μια απόπειρα γενίκευσης προτύπων εγκεφαλικής δραστηριότητας θεωρείται ανέφικτη στα πλαίσια της παρούσας έρευνας και παρόλο που σε ορισμένες διεργασίες παρατηρήθηκαν σημαντικές ασυμφωνίες ανάμεσα στους συμμετέχοντες, είναι δυνατό να προκύψουν παρατηρήσεις με γενικότερη εμβέλεια, που αφορούν περισσότερο σε τάσεις και όχι σε πρότυπα εγκεφαλικής λειτουργίας και αναδεικνύουν ομοιότητες και διαφορές ανάμεσα σε πραγματικά και εικονικά περιβάλλοντα.

Ορισμένες από τις διαφορές δικαιολογούνται από αντίστοιχες διαφορές στις αντιληπτικές οδούς που ενεργοποιούν οι συσκευές εικονικής πραγματικότητας και

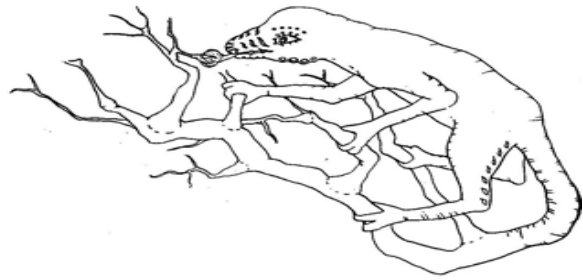


είναι ως ένα σημείο αναμενόμενες. Οι περισσότερες όμως διαφορές δεν παρατηρούνται στην επεξεργασία των πρωτογενών οπτικών δεδομένων, αλλά κυρίως σε μια δευτερογενή συνειρμική επεξεργασία, ενώ οι σημαντικότερες διαφορές παρατηρούνται κατά την εμφάνιση άλλου ανθρώπου.

**Λέξεις κλειδιά**

Ηλεκτροεγκεφαλογραφία, οπτικά ερεθίσματα, εγκεφαλικοί ρυθμοί, νευροεπιστήμες, γνωστικές λειτουργίες, εικονικά περιβάλλοντα.

## Εισαγωγικό σημείωμα



Το δέντρο της γνώσης (M. Maturana)

*Μόνο μέσω της τέχνης μπορούμε να βγούμε έξω από τον εαυτό μας. Χάρη σε αυτήν, αντί να βλέπουμε ένα κόσμο μόνο, το δικό μας, τον βλέπουμε να πολλαπλασιάζεται, και μάλιστα όσοι είναι οι πρωτότυποι καλλιτέχνες τόσοι είναι και οι κόσμοι που έχουμε στη διάθεσή μας.*

*Μαρσέλ Προύστ*

Κατά τη Βίβλο, όταν ο Αδάμ και η Εύα έφαγαν τον καρπό από το δέντρο της γνώσης του καλού και του κακού, διαφοροποίησαν την οπτική τους απέναντι στον περιβάλλοντα κόσμο χωρίς να μπορούν να επιστρέψουν στην προηγούμενη κατάσταση αθωότητας. Η συνειδητοποίηση της γύμνιας τους (η οποία προφανώς προϋπήρχε), τους οδήγησε σε ένα νέο κόσμο γνώσης και επιπλέον σε νέα υπαρξιακή κατάσταση.

Η γνώση στην ιστορική εξέλιξη του ανθρώπου αύξησε το βαθμό ελευθερίας του απέναντι στο βιολογικό του προσδιορισμό, ενώ ταυτόχρονα διαμόρφωσε πλήθος περιορισμών. Η γνώση της γνώσης προσθέτει έναν επιπλέον εξαναγκασμό: μας υποχρεώνει να τηρούμε στάση συνεχούς επαγρύπνησης/ αμφισβήτησης απέναντι στη συνήθεια του πειρασμού της βεβαιότητας.

Από την άλλη σε κάθε γνωστική εμπειρία το υποκείμενο της γνώσης εμπλέκεται με τρόπο προσωπικό που έχει τις ρίζες του στη βιολογική του δομή. Το όργανο το οποίο τρέφει βιολογικά το φαινόμενο της γνώσης είναι ο εγκέφαλος και το νευρικό σύστημα.

Αντίστροφα, οποιαδήποτε ενασχόληση με τη λειτουργία του ανθρώπινου εγκέφαλου φέρνει τον ερευνητή αντιμέτωπο με το πανάρχαιο και ακανθώδες αίνιγμα της γνώσης. Μπορούμε να σκεφτούμε τη σκέψη, να γνωρίσουμε τη γνώση, τελικά μπορεί ο νους (προϊόν της ζωής) να κατανοήσει τη ζωή και τη νόηση; Προκύπτουν έτσι μια σειρά από συναρπαστικά ερωτήματα, των οποίων η βασανιστική και πολύπλευρη επανάληψη από την αυγή της ανθρώπινης ιστορίας κινδυνεύει να τα καταστήσει κοινότοπα, που οδηγούν στη διατύπωση ότι «το πρόβλημα της γνώσης βρίσκεται μέσα στην καρδιά του προβλήματος της ζωής» (Maturana & Varela 1992).

Η έννοια της απροσδιοριστίας θεωρείται πλέον κοινή στις φυσικές επιστήμες. Το γεγονός της πολυπλοκότητας των έμβιων όντων περιέχει έναν εξ ορισμού βαθμό απροσδιοριστίας, σε σημείο που να είναι αδύνατη η πλήρης ντετερμινιστική περιγραφή των έμβιων οργανισμών, οι οποίοι επιπλέον αποτελούν προϊόντα μιας μη ντετερμινιστικής εξελικτικής διαδικασίας. Ο εγκέφαλος και οι λειτουργίες που επιτελεί αντιμετωπίστηκαν με μια πληθώρα θεωριών και υποθέσεων, που κυμαίνονται από τον ακραίο αναπαραστατισμό (αντικειμενισμό) ως τον εξίσου ακραίο σολιψισμό (υποκειμενικό ιδεαλισμό). Το νευρικό σύστημα είναι ένα παράθυρο που μας επιτρέπει να προσλαμβάνουμε παθητικά πιστές αναπαραστάσεις από τον έξω κόσμο ή αποτελεί ένα κλειστό σύστημα ως προς την οργάνωσή του που μάλλον παράγει με τη λειτουργία του έναν κόσμο, που εμείς θεωρούμε πιστή αντανάκλαση του εξωτερικού επειδή αγνοούμε του αντιληπτικούς μηχανισμούς;

Οι Επιστήμες της Αγωγής απευθύνονται από διαφορετική σκοπιά στο ίδιο βιολογικό όργανο. Είτε ο εγκέφαλος αντιμετωπίζεται ως «μαύρο κουτί» είτε όχι, είναι επόμενο έως αναπόφευκτο να υπάρξουν - παρά τον έντονο σκεπτικισμό, τις διαφοροποιήσεις και τις εκατέρωθεν αμφισβητήσεις - γέφυρες ανάμεσα στις νευροεπιστήμες, τη γνωσιακή επιστήμη και την εκπαίδευση. Εκτός από την αδυναμία μας να θεμελιώσουμε μια πλήρη και επαρκή θεωρία για τη λειτουργία του εγκεφάλου, σημαντικά εμπόδια που καθιστούν προβληματική οποιαδήποτε απόπειρα γενίκευσης, αποτελούν οι ίδιες οι μεθοδολογικές προσεγγίσεις που χρησιμοποιούν οι νευροεπιστήμονες, π.χ. επεμβατικές τεχνικές, εργαστηριακά περιβάλλοντα, έρευνες κυρίως σε ασθενείς και σε ζώα, ελλιπείς απεικονιστικές τεχνικές (Byrnes & Fox 1998, Posner et al. 2001).

Η παρούσα διατριβή, έχοντας υπόψη τα προαναφερθέντα, προσπαθεί ακροβατώντας στην κόψη το ξυραφιού να εξερευνήσει έναν καινούριο τεχνολογικό κόσμο (την εικονική πραγματικότητα) και τη σχέση του με την εκπαίδευση, μέσα από την αντικειμενική λειτουργία του βασικού βιολογικού οργάνου με το οποίο αντιλαμβανόμαστε τον κόσμο σε κάθε του έκφανση (πραγματικό, εικονικό, ονειρικό ή οποιοδήποτε άλλο μπορεί να θεωρηθεί ως κόσμος), τον ανθρώπινο εγκέφαλο.

## Ευχαριστίες

Η ολοκλήρωση της διδακτορικής διατριβής οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην αμέριστη βοήθεια και συμπαράσταση πολλών ανθρώπων, τους οποίους αισθάνομαι την ανάγκη, πέρα από τυπικότητες, να ευχαριστήσω θερμά.

Τον επιβλέποντα Καθηγητή στο Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων κ. Γεώργιο Δήμου για τη γόνιμη συνεργασία σε όλα τα στάδια εκπόνησης της διατριβής. Καθοριστική ήταν η συμμετοχή του στον εξοπλισμό του εργαστηρίου της Μονάδας Τεχνολογιών Αγωγής με το σύστημα ηλεκτροεγκεφαλογραφίας με το οποίο πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις της παρούσας διατριβής.

Τον κ. Αναστάσιο Μικρόπουλο Καθηγητή στο Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, μέλος της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής, για τη διαρκή και συστηματική καθοδήγησή του σε όλα τα θέματα που αφορούσαν στην επιστημονική και μεθοδολογική προσέγγιση της διατριβής. Η προσωπική του εμπλοκή στην εργασία και ο πολύτιμος χρόνος που διέθεσε συνεισέφεραν σημαντικά στην παρούσα διατριβή.

Τον κ. Σπυρίδωνα Κονιτσιώτη Επίκουρο Καθηγητή στην Ιατρική Σχολή του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, μέλος της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής, για την καθοριστική συμβολή του στην ανάλυση του νευροβιολογικού περιεχομένου της διατριβής.

Τους συναδέλφους Ιωάννη Βρέλλη και Νικηφόρο Παπαχρήστο για την πολύτιμη υποστήριξή τους σε τεχνολογικά θέματα και τις άπειρες ώρες συζητήσεων και ανταλλαγής απόψεων σε ζητήματα που εκτείνονταν από φιλοσοφικούς προβληματισμούς μέχρι τεχνικές δυσκολίες.

Τους συνεργάτες και φίλους από το Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων για την ηθική στήριξη που μου προσέφεραν.

Τις φοιτήτριες και τους φοιτητές του Παιδαγωγικού Τμήματος Ιωαννίνων που συμμετείχαν πρόθυμα στις εμπειρικές μελέτες.

Τέλος, οφείλω να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την υπομονή (την ανοχή θα έπρεπε να πω) και τη στήριξη που μου παρείχε όλα αυτά τα χρόνια.

## Περιεχόμενα

### Γενική δομή

Abstract .....	i
Περίληψη.....	ii
Εισαγωγικό σημείωμα .....	iv
Ευχαριστίες.....	vi
Περιεχόμενα .....	vii
Ευρετήριο πινάκων.....	xv
Ευρετήριο εικόνων και σχημάτων.....	xvii
1 Εισαγωγή.....	1
2 Εικονική πραγματικότητα και εκπαίδευση .....	7
3 Εγκέφαλος και γνωστικές λειτουργίες.....	43
4 Τεχνικές απεικόνισης της εγκεφαλικής δραστηριότητας .....	59
5 Το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα αναλυτικά .....	81
6 Γνωστικές διεργασίες και ηλεκτρική εγκεφαλική δραστηριότητα ....	129
7 Ηλεκτρική εγκεφαλική δραστηριότητα σε εικονικά περιβάλλοντα ..	211
8 Μεθοδολογία έρευνας.....	239
9 Αποτελέσματα.....	279
10 Συμπεράσματα .....	393
11 Βιβλιογραφία .....	415
12 Παραρτήματα.....	477

## Αναλυτικά περιεχόμενα

<b>1</b>	<b>Εισαγωγή</b> .....	<b>1</b>
1.1	Το αντικείμενο της έρευνας .....	2
1.2	Διάρθρωση της διατριβής .....	3
1.3	Η συμβολή της διατριβής.....	6
<b>2</b>	<b>Εικονική πραγματικότητα και εκπαίδευση</b> .....	<b>7</b>
2.1	Εισαγωγή.....	8
2.2	Ιστορική αναδρομή .....	8
2.3	Περιγραφές και ορισμοί.....	9
2.4	Χαρακτηριστικά των συστημάτων ΕΠ .....	15
2.4.1	Γραφικό περιβάλλον .....	18
2.4.2	Σχεδιασμός ΕΠ .....	18
2.4.3	Εμβύθιση.....	19
2.4.4	Παρουσία .....	20
2.4.5	Εμπλοκή.....	22
2.4.6	Αποτελεσματικότητα .....	22
2.5	Εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας .....	23
2.6	Τεχνολογικά χαρακτηριστικά .....	25
2.7	Μετρήσεις σε εικονικά περιβάλλοντα .....	32
2.7.1	Υποκειμενικές μετρήσεις.....	32
2.7.2	Αντικειμενικές μετρήσεις .....	33
2.8	Χαρακτηριστικά εικονικής πραγματικότητας για εκπαιδευτικές εφαρμογές .....	38
2.9	Σύνοψη.....	41
<b>3</b>	<b>Εγκέφαλος και γνωστικές λειτουργίες</b> .....	<b>43</b>
3.1	Εισαγωγή.....	44
3.2	Το νευρικό σύστημα .....	45
3.3	Ο εγκεφαλικός φλοιός.....	47

3.4	Νευρώνες και μετάδοση πληροφορίας .....	51
3.5	Εγκέφαλος και συμπεριφορά .....	55
3.6	Σύνοψη .....	56
<b>4</b>	<b>Τεχνικές απεικόνισης της εγκεφαλικής δραστηριότητας .....</b>	<b>59</b>
4.1	Εισαγωγή.....	60
4.2	Εγκεφαλικές βλάβες και ψυχοχειρουργικές επεμβάσεις .....	61
4.3	Ηλεκτρικός ερεθισμός του εγκεφάλου .....	61
4.4	Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (ΗΕΓ) .....	62
4.5	Προκλητά δυναμικά.....	64
4.6	Μαγνητοεγκεφαλογράφημα.....	66
4.7	Αξονική τομογραφία.....	68
4.8	Τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων .....	69
4.9	Απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού .....	71
4.10	Λειτουργική απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού.....	72
4.11	Διακρανιακή μαγνητική και ηλεκτρική διέγερση.....	74
4.12	Οπτική φασματοσκοπία .....	75
4.13	Βιοχημικές τεχνικές .....	76
4.14	Σύνοψη.....	76
<b>5</b>	<b>Το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα αναλυτικά .....</b>	<b>81</b>
5.1	Εισαγωγή.....	83
5.2	Η φυσιολογία του ηλεκτροεγκεφαλογραφικού σήματος.....	84
5.3	Γενική περιγραφή του ΗΕΓ .....	86
5.4	Τύποι ηλεκτροδίων και θέσεις τοποθέτησής τους.....	88
5.4.1	Ηλεκτρόδιο αναφοράς .....	92
5.4.2	Ηλεκτροεγκεφαλογραφικές θέσεις και περιοχές Brodmann .....	93
5.5	Χαρακτηριστικά ΗΕΓ σήματος .....	94
5.5.1	Κυματομορφές, ρυθμικότητα και κατανομή.....	94
5.5.2	Πλάτος .....	95
5.5.3	Ζώνες συχνοτήτων ή ρυθμοί.....	96
5.5.4	Φάση, συγχρονισμός και διατήρηση των κυματομορφών.....	96

5.6	Παράσιτα και θόρυβος στο ΗΕΓ .....	97
5.6.1	Οφθαλμικά παράσιτα .....	98
5.6.2	Μη οφθαλμικά παράσιτα .....	99
5.6.3	Θόρυβος και παρεμβολές.....	101
5.7	Ανάλυση του ΗΕΓ σήματος.....	103
5.7.1	Ανάλυση από εξειδικευμένο κλινικό ιατρό .....	103
5.7.2	Υπολογιστικές μέθοδοι ανάλυσης .....	104
5.7.3	Κατανομή πλάτους.....	106
5.7.4	Ανάλυση περιόδου .....	107
5.7.5	Συνδυασμός ανάλυσης μεσοδιαστήματος και πλάτους.....	107
5.7.6	Ανάλυση συσχέτισης .....	108
5.7.7	Ανάλυση φάσματος ισχύος.....	108
5.7.8	Χρονοσυχνοτική ανάλυση (ανάλυση χρόνου – συχνότητας) ....	112
5.7.9	Ανάλυση συνοχής και φάσης.....	114
5.7.10	Παραμετρικές μέθοδοι ανάλυσης .....	117
5.7.11	Μιμητική ανάλυση.....	118
5.7.12	Φιλτράρισμα ταιριάσματος.....	118
5.7.13	Ανάλυση στο χώρο .....	119
5.7.14	Γενική αναφορά στο φιλτράρισμα του ΗΕΓ σήματος.....	123
5.8	Το πρόβλημα αντιστροφής στο ΗΕΓ .....	124
5.9	Περιορισμοί και προβλήματα στο ΗΕΓ .....	125
5.10	ΗΕΓ και παιδική ηλικία .....	126
5.11	Σύνοψη.....	126
<b>6</b>	<b>Γνωστικές διεργασίες και ηλεκτρική εγκεφαλική δραστηριότητα</b> .....	<b>129</b>
6.1	Εισαγωγή.....	131
6.2	Οι ρυθμοί του ΗΕΓ .....	133
6.2.1	Γενική περιγραφή των ρυθμών του ΗΕΓ .....	133
6.2.2	Η δέλτα δραστηριότητα .....	137
6.2.3	Ο θήτα ρυθμός .....	139
6.2.4	Ο άλφα ρυθμός.....	145
6.2.5	Ο Ρολανδικός (κεντρικός) «μ» ρυθμός.....	151
6.2.6	Ο «ταυ» ρυθμός ή «τρίτος» ή «κροταφικός άλφα» .....	152
6.2.7	Ο κάπα ρυθμός.....	152



6.2.8	Ο βήτα ρυθμός .....	153
6.2.9	Ο γάμα ρυθμός.....	154
6.2.10	Άλλες κυματομορφές του ΗΕΓ .....	157
6.3	Ποσοτικοποίηση του ΗΕΓ και εγκεφαλικές λειτουργίες.....	159
6.3.1	Η ισχύς του ΗΕΓ .....	159
6.3.2	Ανάλυση συνάφειας εγκεφαλικών περιοχών.....	160
6.3.3	Ημισφαιρικές διαφορές.....	161
6.4	Τα σημαντικότερα ΗΕΓ φαινόμενα .....	162
6.4.1	Συνεχόμενο ΗΕΓ .....	163
6.4.2	Προκαλούμενες από γεγονότα ταλαντώσεις ή κύματα.....	165
6.4.3	Προκαλούμενος από ερεθίσματα «αποσυγχρονισμός» και «συγχρονισμός» του ΗΕΓ .....	168
6.5	ΗΕΓ και νοητικές λειτουργίες .....	176
6.5.1	Νοητικές λειτουργίες γενικά.....	176
6.5.2	Διέγερση και χαλάρωση.....	177
6.5.3	Λειτουργίες μνήμης .....	180
6.5.4	Επίγνωση του περιβάλλοντος .....	185
6.5.5	Αντίληψη χώρου .....	187
6.5.6	Επίλυση προβλημάτων .....	187
6.5.7	Η λειτουργία της προσοχής.....	190
6.5.8	Επαγρύπνηση, επιφυλακή.....	195
6.5.9	Το γνωστικό φορτίο και ο παράγοντας της δυσκολίας.....	196
6.6	ΗΕΓ και συναισθηματικές καταστάσεις .....	199
6.7	Διαφοροποιήσεις από το κανονικό ΗΕΓ .....	202
6.7.1	Εξατομικευμένος καθορισμός των ορίων συχνοτήτων των ρυθμών .....	202
6.7.2	Ηλικία .....	203
6.7.3	Άλλες διαφοροποιήσεις .....	204
6.8	Μαγνητικές και αιμοδυναμικές πληροφορίες.....	205
6.9	Προβλήματα και περιορισμοί .....	206
6.10	Σύνοψη.....	208
<b>7</b>	<b>Ηλεκτρική εγκεφαλική δραστηριότητα σε εικονικά περιβάλλοντα</b> .....	<b>211</b>
7.1	Εισαγωγή.....	212

7.2	HEΓ και διεπαφή ανθρώπου – υπολογιστή .....	214
7.3	Μετρήσεις εγκεφαλικής λειτουργίας σε εικονικά περιβάλλοντα .....	216
7.4	Προβλήματα στο HEΓ στα εικονικά περιβάλλοντα .....	220
7.4.1	Πηγές θορύβου.....	220
7.4.2	Άλλα προβλήματα.....	221
7.5	HEΓ και αίσθηση της παρουσίας.....	221
7.5.1	Ο ρόλος της προσοχής και της μνήμης εργασίας .....	223
7.5.2	Διάσπαση της προσοχής .....	225
7.6	Αντίληψη της κίνησης .....	225
7.6.1	Αντίληψη κινήσεων άλλου υποκειμένου.....	226
7.6.2	Ο ρόλος της κοινωνικής αλληλεπίδρασης.....	227
7.6.3	Η έννοια του πράκτορα και η επίδραση στη συνειδητοποίηση των κινήσεων .....	227
7.7	Χωρική αντίληψη.....	228
7.8	Οπτική εξερεύνηση του χώρου.....	231
7.9	Αντίληψη αντικειμένων δύο και τριών διαστάσεων.....	232
7.10	Προσοχή.....	232
7.11	Αίσθηση αφής.....	233
7.12	HEΓ μετρήσεις σε περιβάλλον εικονικής οδήγησης .....	233
7.13	Σύγκριση εγκεφαλικών λειτουργιών σε εικονικά και πραγματικά περιβάλλοντα .....	234
7.14	Νευρο-ανατροφοδότηση και εικονική πραγματικότητα.....	235
7.15	Παρατηρήσεις από έρευνες με βίντεο.....	235
7.16	HEΓ και πολυμέσα.....	236
7.17	Σύνοψη.....	237
<b>8</b>	<b>Μεθοδολογία έρευνας .....</b>	<b>239</b>
8.1	Εισαγωγή.....	240
8.2	Έλεγχος συστήματος.....	241
8.2.1	Στόχοι.....	241
8.2.2	Δείγμα .....	241
8.2.3	Διαδικασία .....	242
8.2.4	Πειραματικά μέσα και συσκευές .....	243
8.2.5	Ευρήματα .....	244
8.2.6	Συμπεράσματα .....	245

8.3	Λογισμικό επεξεργασίας ΗΕΓ .....	247
8.4	Εμπειρική μελέτη .....	247
8.4.1	Ερευνητικό ερώτημα .....	247
8.4.2	Δείγμα .....	248
8.4.3	Πειραματικά μέσα και συσκευές .....	248
8.4.4	Διαδικασία .....	254
8.4.5	Αναλυτική περιγραφή των διεργασιών του πειράματος .....	256
8.5	Καταγραφές ΗΕΓ .....	259
8.6	Παρατηρήσεις έρευνας .....	261
8.7	Μεθοδολογία επεξεργασίας των καταγραφών ΗΕΓ .....	263
8.7.1	Προεπεξεργασία των δεδομένων .....	263
8.7.2	Στατιστική ανάλυση .....	267
8.8	Σύνοψη .....	277
<b>9</b>	<b>Αποτελέσματα</b> .....	<b>279</b>
9.1	Εισαγωγή .....	280
9.2	Πρώτη επαφή με το περιβάλλον .....	281
9.3	Οπτική-χωρική διεργασία .....	293
9.4	Αναγνώριση και καταμέτρηση αντικειμένων .....	306
9.5	Καταμέτρηση αντικειμένων με υποκειμενική επιλογή .....	332
9.6	Οπτική-λεκτική διεργασία .....	344
9.7	Αντίληψη κινούμενου αντικειμένου .....	357
9.8	Διεργασία ετοιμότητας και αναμονής .....	368
9.9	Παρουσία άλλου υποκειμένου .....	379
<b>10</b>	<b>Συμπεράσματα</b> .....	<b>393</b>
10.1	Εισαγωγή .....	394
10.2	Πρώτη επαφή με το περιβάλλον .....	394
10.3	Οπτική-χωρική διεργασία .....	396
10.4	Αναγνώριση και καταμέτρηση αντικειμένων .....	397
10.5	Καταμέτρηση αντικειμένων με υποκειμενική επιλογή .....	400
10.6	Οπτική-λεκτική διεργασία .....	402

10.7	Αντίληψη κινούμενου αντικειμένου .....	403
10.8	Διεργασία ετοιμότητας και αναμονής.....	405
10.9	Παρουσία άλλου υποκειμένου .....	406
10.10	Γενικά συμπεράσματα .....	408
10.11	Περιορισμοί .....	412
10.12	Προτάσεις για παραπέρα έρευνα .....	412
<b>11</b>	<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>415</b>
<b>12</b>	<b>Παραρτήματα .....</b>	<b>477</b>
12.1	Ποσοτική ανάλυση ρυθμών .....	478
12.2	Φάσματα απόλυτης ισχύος εγκεφαλικών ρυθμών .....	487
12.2.1	Διεργασία πρώτης επαφής με τα περιβάλλοντα .....	487
12.2.1	Οπτική-χωρική διεργασία .....	506
12.2.2	Αναγνώριση και καταμέτρηση αντικειμένων .....	516
12.2.3	Καταμέτρηση αντικειμένων με υποκειμενική επιλογή.....	536
12.2.4	Οπτική-λεκτική διεργασία .....	546
12.2.5	Αντίληψη κινούμενου αντικειμένου .....	556
12.2.6	Διεργασία ετοιμότητας και αναμονής.....	566
12.2.7	Παρουσία άλλου υποκειμένου .....	576
12.3	Παρουσίαση λογισμικού επεξεργασίας ΗΕΓ.....	586
12.3.1	Το λογισμικό EEGprocessing .....	586
12.3.2	Επεξεργασία στο Ms Excel.....	622
12.3.3	Χάρτες ΗΕΓ σε περιβάλλον Matlab .....	623

## Ευρετήριο πινάκων

Πίνακας 2-1. Ορισμοί της ΕΠ.....	11
Πίνακας 2-4. Επισκόπηση των ψυχο-φυσιολογικών μετρήσεων που εφαρμόζονται στα Εικονικά Περιβάλλοντα.....	37
Πίνακας 4-1. Συνοπτική περιγραφή των χαρακτηριστικών του ηλεκτρικού ερεθισμού του εγκεφάλου .....	62
Πίνακας 4-2. Συνοπτική περιγραφή των χαρακτηριστικών του ΗΕΓ .....	63
Πίνακας 4-3. Συνοπτική περιγραφή των χαρακτηριστικών των προκλητών δυναμικών .....	65
Πίνακας 4-4. Συνοπτική περιγραφή των χαρακτηριστικών του μαγνητοεγκεφαλογραφήματος.....	67
Πίνακας 4-5. Συνοπτική περιγραφή των χαρακτηριστικών της αξονικής τομογραφίας .....	69
Πίνακας 4-6. Συνοπτική περιγραφή των χαρακτηριστικών της τομογραφίας εκπομπής ποζιτρονίων.....	70
Πίνακας 4-7. Συνοπτική περιγραφή των χαρακτηριστικών της fMRI .....	74
Πίνακας 4-8. Συνοπτική περιγραφή των βιοχημικών τεχνικών.....	76
Πίνακας 4-9. Ταξινόμηση των μεθόδων απεικόνισης της εγκεφαλικής λειτουργίας..	77
Πίνακας 5-1. Γενική ταξινόμηση μεθόδων ανάλυσης σήματος ΗΕΓ .....	106
Πίνακας 6-1. Συνοπτική περιγραφή των ρυθμών ΗΕΓ.....	135
Πίνακας 6-2. Διαφοροποιήσεις στις συχνότητες του άλφα ρυθμού .....	146
Πίνακας 6-3. Κατηγοριοποίηση των ΗΕΓ κυμάτων σε σχέση με τη συσχέτισή τους με ερεθίσματα .....	163
Πίνακας 6-4. Μη σχετιζόμενες με γεγονότα (τονικές) αλλαγές στο ΗΕΓ.....	165
Πίνακας 6-5. Σχετιζόμενες με γεγονότα (φασικές) αλλαγές στο ΗΕΓ .....	175
Πίνακας 8-1. Χάρτες με απόλυτες τιμές ισχύος κατανεμημένες για κάθε ρυθμό σε REAL και VR περιβάλλον.....	275
Πίνακας 8-2. Συγκριτικές τιμές απόλυτης ισχύος για το REAL και VR περιβάλλον.....	276
Πίνακας 9-1. Χάρτες με απόλυτες τιμές ισχύος κατανεμημένες για κάθε ρυθμό στο πραγματικό και το εικονικό περιβάλλον για την πρώτη επαφή με τα περιβάλλοντα .....	285
Πίνακας 9-2. Χάρτες με απόλυτες τιμές ισχύος κατανεμημένες για κάθε ρυθμό σε REAL και VR για την οπτικο-χωρική διεργασία .....	297
Πίνακας 9-3. Χάρτες με απόλυτες τιμές ισχύος κατανεμημένες για κάθε ρυθμό σε REAL και VR για τη διεργασία h.....	310
Πίνακας 9-4. Χάρτες με απόλυτες τιμές ισχύος κατανεμημένες για κάθε ρυθμό σε REAL και VR για τη διεργασία r.....	325

Πίνακας 9-5. Χάρτες με απόλυτες τιμές ισχύος κατανεμημένες για κάθε ρυθμό σε REAL και VR για τη διεργασία καταμέτρησης αντικειμένων με υποκειμενική επιλογή.....	336
Πίνακας 9-6. Χάρτες με απόλυτες τιμές ισχύος κατανεμημένες για κάθε ρυθμό σε REAL και VR για την οπτική – λεκτική διεργασία.....	348
Πίνακας 9-7. Χάρτες με απόλυτες τιμές ισχύος κατανεμημένες για κάθε ρυθμό σε REAL και VR για τη διεργασία αντίληψης κινούμενου αντικειμένου.....	361
Πίνακας 9-8. Χάρτες με απόλυτες τιμές ισχύος κατανεμημένες για κάθε ρυθμό σε REAL και VR για τη διεργασία ετοιμότητας και αναμονής.....	372
Πίνακας 9-9. Χάρτες με απόλυτες τιμές ισχύος κατανεμημένες για κάθε ρυθμό σε REAL και VR για τη διεργασία παρουσίας άλλου υποκειμένου.....	383
Πίνακας 12-1. Συγκριτικές τιμές απόλυτης ισχύος για το REAL και VR περιβάλλον (πρώτη επαφή με το περιβάλλον) .....	478
Πίνακας 12-2. Συγκριτικές τιμές απόλυτης ισχύος για το REAL και VR περιβάλλον (οπτική – χωρική διεργασία).....	479
Πίνακας 12-3. Συγκριτικές τιμές απόλυτης ισχύος για το REAL και VR περιβάλλον (καταμέτρηση αντικειμένων – διεργασία h) .....	480
Πίνακας 12-4. Συγκριτικές τιμές απόλυτης ισχύος για το REAL και VR περιβάλλον (καταμέτρηση αντικειμένων – διεργασία r) .....	481
Πίνακας 12-5. Συγκριτικές τιμές απόλυτης ισχύος για το REAL και VR περιβάλλον (διεργασία καταμέτρησης αντικειμένων με υποκειμενική επιλογή) .....	482
Πίνακας 12-6. Συγκριτικές τιμές απόλυτης ισχύος για το REAL και VR περιβάλλον (οπτική – λεκτική διεργασία).....	483
Πίνακας 12-7. Συγκριτικές τιμές απόλυτης ισχύος για το REAL και VR περιβάλλον (αντίληψη κινούμενου αντικειμένου) .....	484
Πίνακας 12-8. Συγκριτικές τιμές απόλυτης ισχύος για το REAL και VR περιβάλλον (διεργασία ετοιμότητας και αναμονής).....	485
Πίνακας 12-9. Συγκριτικές τιμές απόλυτης ισχύος για το REAL και VR περιβάλλον (παρουσία άλλου υποκειμένου) .....	486

## Ευρετήριο εικόνων και σχημάτων

Σχήμα 2-1. Ανωμαλίες στην αντίληψη του σώματος. ....	20
Σχήμα 2-2. Γάντι δεδομένων και εξωσκελετός. ....	27
Σχήμα 2-3. Διάφοροι τύποι Spaceball και spacemouse. ....	27
Σχήμα 2-4. HMD οθόνη με προσαρμοσμένη συσκευή παρακολούθησης των κινήσεων της κόρης στο δεξιό μάτι. ....	28
Σχήμα 2-5. Σχηματική παράσταση μια μηχανικής διάταξης που μπορεί να αναπαράγει ρεαλιστικές κινήσεις στο επίπεδο. ....	29
Σχήμα 2-6. Οθόνη ΕΠ προσαρμοσμένη στο κεφάλι του χρήστη (HMD). ....	30
Σχήμα 2-7. Στερεοσκοπικά γυαλιά ΕΠ. ....	30
Σχήμα 2-8. Παράδειγμα διάταξης boom. ....	31
Σχήμα 2-9. Σχηματική παράσταση μιας διάταξης cave. ....	31
Σχήμα 3-1. Σχηματική αναπαράσταση της δομής του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος. ....	45
Σχήμα 3-2. Ραχιαία όψη του εγκεφάλου. ....	48
Σχήμα 3-3. Έξω αριστερή όψη του εγκεφαλικού φλοιού. Διακρίνονται οι πρωτοταγείς αισθητικές περιοχές, η πρωτοταγής κινητική περιοχή και δύο μεγάλες συνειρμικές περιοχές. ....	48
Σχήμα 3-4. Σχηματική απεικόνιση της έξω (ορατής) επιφάνειας του εγκεφαλικού φλοιού του αριστερού ημισφαιρίου, η οποία δείχνει τις κύριες περιοχές του πρωτοταγούς κινητικού και αισθητικού φλοιού, τον κινητικό και τους αισθητικούς φλοιούς ανώτερης τάξης, καθώς και τους τρεις συνειρμικούς φλοιούς. Επιπλέον διακρίνονται δύο σημαντικές περιοχές για τη λειτουργία της γλώσσας, η περιοχή Broca και η περιοχή Wernicke. ....	50
Σχήμα 3-5. Σχηματική αναπαράσταση του αριστερού ημισφαιρίου (Brodmann). ....	50
Σχήμα 3-6. Σχηματική αναπαράσταση νευρώνα. ....	52
Σχήμα 3-7. Σχηματική αναπαράσταση των κυριότερων τύπων νευρικών κυττάρων. Μοντέλο νευρώνα ως προς την ηλεκτρική δραστηριότητα και τη μετάδοση σημάτων. ....	54
Σχήμα 4-1. Τυπική γραφική παράσταση του ΗΕΓ σήματος. ....	63
Σχήμα 4-2. Παραδείγματα των προκλητών δυναμικών (N1, N2, P2, P3) κατά τη φάση μη στόχου και ερεθίσματος στόχου. ....	65
Σχήμα 4-3. Τυπικές ΜΕΓ απεικονίσεις που δείχνουν οπτικές, ακουστικές και σωματοαισθητικές λειτουργίες. ....	66
Σχήμα 4-4. Προκλητά μαγνητικά πεδία κατά τη διάρκεια ακουστικών και οπτικών λειτουργιών. ....	67
Σχήμα 4-5. Μια τυπική εικόνα (τομή) αξονικής τομογραφίας του εγκεφάλου. ....	68
Σχήμα 4-6. Μια τυπική εικόνα PET. ....	69

Σχήμα 4-7. Μια τυπική εικόνα MRI.....	71
Σχήμα 4-8. Τυπικές εικόνες fMRI.....	72
Σχήμα 4-9. Τυπική διαδικασία ανάλυσης δεδομένων fMRI.....	73
Σχήμα 4-10. Και οι τρεις εικόνες αναφέρονται στη μελέτη κίνησης ενός δακτύλου του ίδιου υποκειμένου. Η (α) παριστάνει αιμοδυναμική αλλαγή σε σχέση με την ηρεμία, η (β) την ηλεκτρική δραστηριότητα 100 ms πριν την κίνηση και η (γ) τη μαγνητική δραστηριότητα.....	78
Σχήμα 5-1. Η πρώτη καταγραφή ΗΕΓ σε ανθρώπινο κρανίο από τον Hans Barger το 1928.....	83
Σχήμα 5-2. Μοντέλο της ηλεκτρικής δραστηριότητας ενός νευρώνα.....	84
Σχήμα 5-3. Ο εξοπλισμός της Μονάδας Τεχνολογιών Αγωγής.....	88
Σχήμα 5-4 Θέσεις ηλεκτροδίων στο κρανίο.....	90
Σχήμα 5-5. Θέσεις ηλεκτροδίων και υποκείμενες φλοιικές δομές ή εξωτερικά ανατομικά χαρακτηριστικά.....	91
Σχήμα 5-6. Θέσεις ηλεκτροδίων και γενικότερες περιχές του φλοιού.....	91
Σχήμα 5-7. Σχηματική τοποθέτηση των ηλεκτροεγκεφαλογραφικών θέσεων πάνω από περιοχές Brodmann.....	93
Σχήμα 5-8. Τυπικές ΗΕΓ κυματομορφές.....	94
Σχήμα 5-9. Μετωπιαία τομή του θόλου του κρανίου, στην οποία διακρίνονται οι βασικές στοιβάδες (τριχωτό της κεφαλής, οστό, μήνιγγες, φλέβες).....	95
Σχήμα 5-10. Παραδείγματα παρασίτων στο ΗΕΓ με διπολική καταγραφή: α) ανοιγοκλείσιμο ματιών, β) άνοιγμα ματιών, γ) σακαδικές κινήσεις ματιών, δ) συνεχόμενα μυϊκά παράσιτα, ε) παράσιτα καρδιακών παλμών, στ) ομιλία, ζ) μασητικές κινήσεις σιαγόνων.....	99
Σχήμα 5-11. Θέσεις ηλεκτροδίων για την αφαίρεση των οφθαλμικών παράσιτων.....	99
Σχήμα 5-12. Φασματική αναπαράσταση του ΗΕΓ και των σημαντικότερων ειδών θορύβου για την περιοχή συχνοτήτων 0 – 65 Hz.....	102
Σχήμα 5-13. Παράδειγμα ιστογράμματος στο ηλεκτρόδιο O1.....	103
Σχήμα 5-14. Παράδειγμα κατανομής πλάτους.....	107
Σχήμα 5-15. Παράθυρα Hamming, Hanning, Γκαουσιανό και Ορθογώνιο.....	110
Σχήμα 5-16. Παράδειγμα διαγράμματος ανάλυσης φάσματος ισχύος του ΗΕΓ.....	112
Σχήμα 5-17. Στο πάνω φασματογράφημα διακρίνεται καθαρά ο άλφα ρυθμός (10Hz), οποίος σταματά από το 4 <sup>ο</sup> μέχρι 10 <sup>ο</sup> δευτερόλεπτο. Στο κάτω γράφημα παριστάνεται το πρωτογενές ΗΕΓ ως χρονοσειρά του πλάτους (σε μV).....	113
Σχήμα 5-18. Φάσμα ισχύος στη χρονική του εξέλιξη. Στο πάνω διάγραμμα φαίνεται καθαρά η άλφα δραστηριότητα στα 10 Hz στα τέσσερα λεπτά που διαρκεί η μέτρηση. Στο κάτω διάγραμμα φαίνεται επίσης άλφα κατά την προετοιμασία και εκτέλεση δραστηριότητας (κίνηση των ποδιών).....	114
Σχήμα 5-19. Δυο διαφορετικές μορφές χαρτών συνοχής.....	115



Σχήμα 5-20. Παράδειγμα συγχρονισμού φάσης στα ηλεκτρόδια O2 και F7. ....	116
Σχήμα 5-21. Παράδειγμα TFG χάρτη (time-frequency-topography).....	121
Σχήμα 5-22. Παραδείγματα τοπογραφικών χαρτών. ....	122
Σχήμα 5-23. Χάρτες HEG που σχετίζονται με κίνηση των δακτύλων.....	122
Σχήμα 6-1. Παράδειγμα αποσπάσματος HEG στο ηλεκτρόδιο F3 από τη Μονάδα Τεχνο-λογιών Αγωγής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. ....	134
Σχήμα 6-2. Παραδείγματα (α) των κυματομορφών των κυριότερων ρυθμών του HEG και (β) της καταστολής του άλφα ρυθμού με το άνοιγμα των ματιών, όπως καταγράφηκαν από παλαιού τύπου ηλεκτροεγκεφαλογράφο με μηχανικές γραφίδες. ....	136
Σχήμα 6-3. Παράδειγμα δέλτα ρυθμού στο ηλεκτρόδιο Oz διάρκειας 1 sec.....	137
Σχήμα 6-4. Παράδειγμα θήτα ρυθμού στο ηλεκτρόδιο Oz διάρκειας 1 sec. ....	139
Σχήμα 6-5. Παράδειγμα άλφα ρυθμού στο ηλεκτρόδιο Oz διάρκειας 1 sec. ....	145
Σχήμα 6-6. Παράδειγμα «μ» ρυθμού. ....	151
Σχήμα 6-7. Παράδειγμα βήτα ρυθμού. ....	153
Σχήμα 6-8. Παράδειγμα γάμα ρυθμού. ....	154
Σχήμα 6-9. Παραδείγματα «λάμδα» και POSTS κυμάτων). ....	158
Σχήμα 6-10. Παράδειγμα «Κ συμπλέγματος». ....	159
Σχήμα 6-11. Παράδειγμα χάρτη συνάφειας. ....	161
Σχήμα 6-12. Παράδειγμα προβλεπτικής άλφα δραστηριότητας στο ηλεκτρόδιο F3. ....	166
Σχήμα 6-13. Παράδειγμα προβλεπτικού 10 Hz άλφα ρυθμού που εμφανίζεται σε συγχρονισμό φάσης με την έναρξη της γνωστικής διεργασίας. ....	166
Σχήμα 6-14. Παράδειγμα προκλητής δραστηριότητας καταγραμμένο με εσωτερικό ηλεκτρόδιο στον ιππόκαμπο γάτας. ....	167
Σχήμα 6-15. Σχηματική αναπαράσταση προκλητής και επαγόμενη δραστηριότητας. ....	168
Σχήμα 6-16. Παράδειγμα υπολογισμού ERD του «μ» ρυθμού και οι αντίστοιχοι ERD χάρτες. ....	170
Σχήμα 6-17. Εξατομικευμένος καθορισμός των ορίων για τις άλφα και θήτα περιοχές, συγκρίνοντας το φάσμα ισχύος σε περίοδο χαλάρωσης με περίοδο γνωστικής ενεργοποίησης. ....	203
Σχήμα 8-1. Κεντρική άποψη από το ίδιο σημείο παρατήρησης στα 4 εικονικά δωμάτια που χρησιμοποιήθηκαν στον έλεγχο του συστήματος. ....	242
Σχήμα 8-2. Εγκεφαλικοί χάρτες απόλυτης ισχύος για τις συχνοότητες 4 - 7.5Hz κατά την αλληλεπίδραση με το εικονικό δωμάτιο χωρίς υφές και με υφές. ....	244
Σχήμα 8-3. Η οθόνη σχεδίασης των αντικειμένων στο λογισμικό VRT. ....	249
Σχήμα 8-4. Η βασική οθόνη του λογισμικού VRT, στην οποία καθορίζονται οι ιδιότητες των εικονικών αντικειμένων, οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους αλλά και με το χρήστη και συνθέτεται ο τελικός εικονικός κόσμος. ....	250

Σχήμα 8-5. Η οθόνη του λογισμικού VRT για την παρουσίαση του ΕΠ στους χρήστες. Τα βελάκια στο κάτω μέρος της οθόνης χρησιμοποιούνται για την πλοήγηση του χρήστη στον ΕΚ.....	251
Σχήμα 8-6. Οι συσκευές ΕΠ που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα.....	251
Σχήμα 8-7. Το εικονικό δωμάτιο που χρησιμοποιήθηκε για το εικονικό περιβάλλον. ....	252
Σχήμα 8-8. Άποψη του πραγματικού περιβάλλοντος.....	253
Σχήμα 8-9. Τα συστήματα ψηφιακής ηλεκτροεγκεφαλογραφίας της Μονάδας Τεχνολογιών Αγωγής.....	254
Σχήμα 8-10. Υποκείμενο με όλον το σχετικό εξοπλισμό για το εικονικό περιβάλλον και το σύστημα ηλεκτροεγκεφαλογραφίας.....	255
Σχήμα 8-11. Στιγμιότυπο του ΕΠ στο οποίο φαίνεται το αυτοκίνητο καθώς κινείται μέσα στο εικονικό δωμάτιο.....	257
Σχήμα 8-12. Στιγμιότυπο από το ΕΠ στο οποίο φαίνεται ο εικονικός άνθρωπος καθώς προχωρά από τη μια άκρη του εικονικού δωματίου προς την άλλη.....	258
Σχήμα 8-13. Σχηματική αναπαράσταση των θέσεων τοποθέτησης των ηλεκτροδίων του ηλεκτροοφθαλμογραφήματος (EOG).....	259
Σχήμα 8-14. Σχηματική αναπαράσταση των ηλεκτροεγκεφαλογραφικών θέσεων σύμφωνα με το Διεθνές Σύστημα 10-20.....	260
Σχήμα 8-15. Η οθόνη του λογισμικού splitEEG στην οποία πραγματοποιήθηκε η επιλογή και δημιουργία των αρχικών ΗΕΓ αποσπασμάτων.....	264
Σχήμα 8-16. Το λογισμικό EEGTimeDomain στο οποίο έγινε επεξεργασία των ΗΕΓ αποσπασμάτων στο πεδίο του χρόνου. ....	265
Σχήμα 8-17. Το λογισμικό EOGcorrection στο οποίο έγινε η ανίχνευση και αφαίρεση των οφθαλμικών παρασίτων. ....	266
Σχήμα 8-18. Οι επιλογές της διαδικασίας preprocessing του λογισμικού BSanalyze της gtec.....	266
Σχήμα 8-19. Παράδειγμα του αρχείου eI.mat το οποίο περιέχει όλες τις καταγραφές για εικονικό και πραγματικό περιβάλλον. ....	267
Σχήμα 8-20. Η διαδικασία Spectrum του menu Analyze της gtec που χρησιμοποιήθηκε για τη σύγκριση των φασμάτων των 2 περιβαλλόντων (εικονικού και πραγματικού). ....	268
Σχήμα 8-21. Παράδειγμα των φασμάτων που παράγει η διαδικασία spectrum (λογισμικό BSanalyze της gtec).....	269
Σχήμα 8-22. Γραφική παράσταση του φάσματος 1 μέχρι 48 Hz για όλα τα ηλεκτρόδια και όλα τα υποκείμενα.....	270
Σχήμα 8-23. Παράδειγμα φασμάτων ενός ηλεκτροδίου. Το πάνω γράφημα αποτυπώνει τις διαφορές των δύο φασμάτων και οι οριζόντιες γραμμές τα όρια που καθορίζει το επίπεδο σημαντικότητας. ....	271

Σχήμα 8-24. Συγκριτική εναλλακτική παρουσίαση ασπρόμαυρων χαρτών της σχετικής ισχύος του πραγματικού και του εικονικού περιβάλλοντος. ....	273
Σχήμα 8-25. Χρωματική κλίμακα που ακολουθείται στους χάρτες. Τα «θερμά» χρώματα (καφέ, κόκκινο) αντιστοιχούν σε υψηλές τιμές ισχύος, ενώ τα «ψυχρά» (μπλε) στις χαμηλές. ....	274
Σχήμα 8-26. Χάρτες απόλυτης τιμής ισχύος για ένα περιβάλλον. ....	274
Σχήμα 9-1. Γραφική παράσταση του φάσματος όλων των υποκειμένων με συχνότητες 1 μέχρι 48 Hz για όλα τα ηλεκτρόδια (πρώτη επαφή με το περιβάλλον). ....	282
Σχήμα 9-2. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα REAL με δέλτα ρυθμό και χωρίς δέλτα (πρώτη επαφή με το περιβάλλον). ....	283
Σχήμα 9-3. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα VR (πρώτη επαφή με το περιβάλλον). ....	284
Σχήμα 9-4. Συγκριτική παρουσίαση της απόλυτης ισχύος του πραγματικού και του εικονικού περιβάλλοντος (πρώτη επαφή με το περιβάλλον). ....	287
Σχήμα 9-5. Χάρτης με απόλυτες τιμές ισχύος για τον άλφα ρυθμό στο πραγματικό περιβάλλον (πρώτη επαφή με το περιβάλλον). ....	290
Σχήμα 9-6. Γραφική παράσταση του φάσματος όλων των υποκειμένων με συχνότητες 1 μέχρι 48 Hz για όλα τα ηλεκτρόδια (οπτική-χωρική διεργασία). ....	294
Σχήμα 9-7. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα REAL (πραγματικό περιβάλλον) με δέλτα ρυθμό και χωρίς δέλτα (οπτική-χωρική διεργασία). ....	295
Σχήμα 9-8. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα VR (εικονικό περιβάλλον) με δέλτα ρυθμό και χωρίς δέλτα (οπτική-χωρική διεργασία). ....	296
Σχήμα 9-9. Συγκριτική παρουσίαση της απόλυτης ισχύος του πραγματικού και του εικονικού περιβάλλοντος (οπτική-χωρική διεργασία). ....	299
Σχήμα 9-10. Χάρτης με απόλυτες τιμές ισχύος για τον βήτα ρυθμό στο πραγματικό περιβάλλον (οπτική-χωρική διεργασία). ....	304
Σχήμα 9-11. Γραφική παράσταση του φάσματος όλων των υποκειμένων με συχνότητες 1 μέχρι 48 Hz για όλα τα ηλεκτρόδια (διεργασία h). ....	307
Σχήμα 9-12. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα REAL (πραγματικό περιβάλλον) με δέλτα ρυθμό και χωρίς δέλτα (διεργασία h). ....	308
Σχήμα 9-13. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα VR (εικονικό περιβάλλον) με δέλτα ρυθμό (άνω) και χωρίς δέλτα (κάτω) για τη διεργασία h. ....	309
Σχήμα 9-14. Συγκριτική παρουσίαση της απόλυτης ισχύος του πραγματικού και του εικονικού περιβάλλοντος (διεργασία h). ....	312
Σχήμα 9-15. Χρωματικός χάρτης απόλυτης ισχύος του άλφα-1 ρυθμού στο πραγματικό περιβάλλον (διεργασία h). ....	316
Σχήμα 9-16. Χρωματικός χάρτης απόλυτης ισχύος του βήτα ρυθμού στο πραγματικό περιβάλλον (διεργασία h). ....	317
Σχήμα 9-17. Χρωματικός χάρτης απόλυτης ισχύος του γάμα ρυθμού στο πραγματικό περιβάλλον (διεργασία h). ....	319

Σχήμα 9-18. Γραφική παράσταση του φάσματος 1 μέχρι 48 Hz για όλα τα ηλεκτρόδια (διεργασία r).....	322
Σχήμα 9-19. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα REAL με δέλτα ρυθμό και χωρίς δέλτα (διεργασία r).....	323
Σχήμα 9-20. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα VR με δέλτα ρυθμό και χωρίς δέλτα (διεργασία r).....	324
Σχήμα 9-21. Συγκριτική παρουσίαση της απόλυτης ισχύος του πραγματικού και του εικονικού περιβάλλοντος (διεργασία r). ....	327
Σχήμα 9-22. Γραφική παράσταση του φάσματος όλων των υποκειμένων με συχνότητες 1 μέχρι 48 Hz για όλα τα ηλεκτρόδια (διεργασία καταμέτρησης αντικειμένων με υποκειμενική επιλογή).....	333
Σχήμα 9-23. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα REAL (πραγματικό περιβάλλον) με δέλτα ρυθμό και χωρίς δέλτα (διεργασία καταμέτρησης αντικειμένων με υποκειμενική επιλογή). ....	334
Σχήμα 9-24. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα VR (εικονικό περιβάλλον) με δέλτα ρυθμό και χωρίς δέλτα (διεργασία καταμέτρησης αντικειμένων με υποκειμενική επιλογή). ....	335
Σχήμα 9-25. Συγκριτική παρουσίαση της απόλυτης ισχύος του πραγματικού και του εικονικού περιβάλλοντος (διεργασία καταμέτρησης αντικειμένων με υποκειμενική επιλογή). ....	338
Σχήμα 9-26. Χρωματικός χάρτης απόλυτης ισχύος του δέλτα ρυθμού στο εικονικό περιβάλλον (καταμέτρηση αντικειμένων με υποκειμενική επιλογή). ....	339
Σχήμα 9-27. Χρωματικός χάρτης απόλυτης ισχύος του άλφα-1 υπορυθμού στο πραγματικό περιβάλλον (διεργασία καταμέτρησης αντικειμένων με υποκειμενική επιλογή). ....	341
Σχήμα 9-28. Γραφική παράσταση του φάσματος όλων των υποκειμένων με συχνότητες 1 μέχρι 48 Hz για όλα τα ηλεκτρόδια (οπτική-λεκτική διεργ.) ....	345
Σχήμα 9-29. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα REAL (πραγματικό περιβάλλον) με δέλτα ρυθμό και χωρίς δέλτα (οπτική-λεκτική διεργασία). ....	346
Σχήμα 9-30. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα VR (εικονικό περιβάλλον) με δέλτα ρυθμό και χωρίς δέλτα (οπτική-λεκτική διεργασία). ....	347
Σχήμα 9-31. Συγκριτική παρουσίαση της απόλυτης ισχύος του πραγματικού και του εικονικού περιβάλλοντος (οπτική-λεκτική διεργασία). ....	350
Σχήμα 9-32. Χρωματικός χάρτης απόλυτης ισχύος του θήτα ρυθμού στο πραγματικό περιβάλλον (οπτική-λεκτική διεργασία). ....	352
Σχήμα 9-33. Χρωματικός χάρτης απόλυτης ισχύος του άλφα-1 ρυθμού στο πραγματικό περιβάλλον (οπτική-λεκτική διεργασία). ....	354
Σχήμα 9-34. Γραφική παράσταση του φάσματος όλων των υποκειμένων με συχνότητες 1 μέχρι 48 Hz για όλα τα ηλεκτρόδια (αντίληψη κινούμενου αντικειμένου). ....	358

Σχήμα 9-35. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα REAL (πραγματικό περιβάλλον) με δέλτα ρυθμό και χωρίς δέλτα (αντίληψη κινούμενου αντικειμένου).....	359
Σχήμα 9-36. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα VR (εικονικό περιβάλλον) με δέλτα ρυθμό και χωρίς δέλτα (αντίληψη κινούμενου αντικειμένου).....	360
Σχήμα 9-37. Συγκριτική παρουσίαση της απόλυτης ισχύος του πραγματικού και του εικονικού περιβάλλοντος (αντίληψη κινούμενου αντικειμένου).....	363
Σχήμα 9-38. Γραφική παράσταση του φάσματος όλων των υποκειμένων με συχνότητες 1 μέχρι 48 Hz για όλα τα ηλεκτρόδια (διεργασία ετοιμότητας και αναμονής).....	369
Σχήμα 9-39. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα REAL (πραγματικό περιβάλλον) με δέλτα ρυθμό και χωρίς δέλτα (διεργασία ετοιμότητας και αναμονής). ....	370
Σχήμα 9-40. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα VR (εικονικό περιβάλλον) με δέλτα ρυθμό και χωρίς δέλτα (διεργασία ετοιμότητας και αναμονής). ....	371
Σχήμα 9-41. Συγκριτική παρουσίαση της απόλυτης ισχύος του πραγματικού και του εικονικού περιβάλλοντος (διεργασία ετοιμότητας και αναμονής). ....	374
Σχήμα 9-42. Γραφική παράσταση του φάσματος όλων των υποκειμένων με συχνότητες 1 μέχρι 48 Hz για όλα τα ηλεκτρόδια (παρουσία άλλου υποκειμένου).....	380
Σχήμα 9-43. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα REAL (πραγματικό περιβάλλον) με δέλτα ρυθμό και χωρίς δέλτα (παρουσία άλλου υποκειμένου).....	381
Σχήμα 9-44. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα VR (εικονικό περιβάλλον) με δέλτα ρυθμό και χωρίς δέλτα (παρουσία άλλου υποκειμένου). ....	382
Σχήμα 9-45. Συγκριτική παρουσίαση της απόλυτης ισχύος του πραγματικού και του εικονικού περιβάλλοντος (παρουσία άλλου υποκειμένου).....	385
Σχήμα 9-46. Χάρτης με απόλυτες τιμές ισχύος για το δέλτα ρυθμό στο εικονικό περιβάλλον (παρουσία άλλου υποκειμένου).....	386
Σχήμα 9-47. Χάρτης με απόλυτες τιμές ισχύος για τον γάμα ρυθμό στο πραγματικό περιβάλλον (παρουσία άλλου υποκειμένου).....	390



---

# 1 Εισαγωγή

---

1.1	Το αντικείμενο της έρευνας .....	2
1.2	Διάρθρωση της διατριβής .....	3
1.3	Η συμβολή της διατριβής.....	6

## 1.1 Το αντικείμενο της έρευνας

Η παιδαγωγική επιστήμη διαθέτει και χρησιμοποιεί ένα πλήθος εργαλείων εκπαιδευτικής τεχνολογίας. Οι ΤΠΕ, οι Τεχνολογίες της Πληροφορίας και των Επικοινωνιών αγκαλιάζουν ένα ευρύτατο φάσμα από αυτά τα εργαλεία. Η σχετική επιστημονική έρευνα έχει δείξει ότι οι υπολογιστές επιδρούν στον τρόπο που οι σημερινοί μαθητές σκέφτονται, μαθαίνουν και αναπτύσσουν τις μεταγνωστικές τους δυνατότητες (Fletcher-Flinn & Suddendorf 1996).

Η εικονική πραγματικότητα αποτελεί έναν από τους πλέον σύγχρονους τομείς της πληροφορικής. Παρέχει μια νέα διάσταση στις εφαρμογές της επιστήμης των υπολογιστών και θεωρείται ως ένα από τα πλέον σύγχρονα εργαλεία στη μαθησιακή διαδικασία. Τα εκπαιδευτικά εικονικά περιβάλλοντα βρίσκουν όλο και περισσότερες εφαρμογές στη μαθησιακή πρακτική, όχι μόνο σε πειραματικό στάδιο, αλλά και σε επίπεδο πρακτικής εφαρμογής. Τα χαρακτηριστικά, οι νέες δυνατότητες, οι περιορισμοί και οι προδιαγραφές της αξιοποίησης των εκπαιδευτικών περιβαλλόντων στη μαθησιακή πράξη μπορούν και πρέπει να εξετάζονται κάτω από το φως πλήθους υποκειμενικών και αντικειμενικών μετρήσεων.

Ο Μικρόπουλος (2001) στην προσπάθειά του να αξιολογήσει τα εκπαιδευτικά εικονικά περιβάλλοντα έθεσε ερωτήματα που συσχετίζουν εγκεφαλικές λειτουργίες με βιώματα εικονικών περιβαλλόντων: Υπάρχουν διαφορές στα ηλεκτροεγκεφαλικά σήματα που καταγράφονται σε πραγματικά και εικονικά περιβάλλοντα; Πως εξειδικεύονται αυτές οι διαφορές στους εγκεφαλικούς ρυθμούς (άλφα, βήτα, θήτα και γάμα) του ανθρώπινου ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος; Υπάρχουν τέτοιου είδους διαφορές σχετικές με το φύλο, την ηλικία ή άλλες κατηγοριοποιήσεις;

Οι μετρήσεις στον ανθρώπινο εγκέφαλο, το όργανο που δέχεται τα ερεθίσματα του περιβάλλοντος και στο οποίο παράγονται οι αντιλήψεις, σκέψεις και ιδέες, φαίνονται να αποτελούν ιδανική προσέγγιση στο θέμα των αντικειμενικών μετρήσεων.

Βέβαια ο ανθρώπινος εγκέφαλος είναι ένα εξαιρετικά πολυσύνθετο όργανο, για του οποίου τη λειτουργία ελάχιστα γνωρίζουμε. Παρόλα αυτά αρκετοί ερευνητές υπογραμμίζουν τη σημασία μιας διεπιστημονικής προσέγγισης και ιδιαίτερα τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των νευροεπιστημών και της γνωστικής ψυχολογίας (Gale & Eysenck 1992). Στην παιδαγωγική επιστήμη αποτελεί πρόκληση η μελέτη της εγκεφαλικής δραστηριότητας κατά τις διαδικασίες μάθησης και διδασκαλίας και ιδιαίτερα στις εκπαιδευτικές τεχνολογίες, όπως τα ανοικτά, βασισμένα σε υπολογιστή, εκπαιδευτικά περιβάλλοντα (Μικρόπουλος 2003).

Η παρούσα διατριβή φιλοδοξεί καταρχήν να θέσει επιμέρους θέματα εγκεφαλικών λειτουργιών που αφορούν στην αλληλεπίδραση ατόμων με εικονικά περιβάλλοντα και σε δεύτερη φάση αποτολμά μια σύγκριση της ηλεκτρικής εγκεφαλικής λειτουργίας σε πραγματικά και εικονικά περιβάλλοντα και προσπαθεί να συσχετίσει τις ομοιότητες και διαφορές ανάμεσα στα δύο περιβάλλοντα με συγκεκριμένες γνωστικές λειτουργίες. Τέτοιες γνωστικές λειτουργίες μπορεί να είναι



για παράδειγμα η προσοχή και η επιλεκτική προσοχή, οι μνημονικές λειτουργίες, η αντίληψη της κίνησης, η παρουσία άλλου ατόμου, η αντίδραση σε ξαφνικό ερέθισμα, η αντίληψη και καταμέτρηση αντικειμένων, ο προσανατολισμός, η οπτικο-χωρική λειτουργία γενικά, οι επιδράσεις στη συναισθηματική κατάσταση. Οι έρευνες της νευροφυσιολογίας προς αυτή την κατεύθυνση έχουν αναδείξει σημαντικά αποτελέσματα (Ray & Cole 1985, Lehmann et al. 1993, Hillyard et al. 1996, Riding & Glass 1997).

## 1.2 Διάρθρωση της διατριβής

Η παρούσα διδακτορική διατριβή περιλαμβάνει, εκτός από την εισαγωγή (στην οποία, εκτός των άλλων, διατυπώνεται το ερευνητικό ερώτημα) και τα παραρτήματα, δέκα βασικά κεφάλαια. Στο σχήμα 1-1 παρουσιάζεται σε σχηματική μορφή η διάρθρωση των βασικών ενοτήτων.

Τα δύο πρώτα κεφάλαια αποτελούν το βασικό θεωρητικό πλαίσιο και ξεδιπλώνονται σε δύο άξονες: την εικονική πραγματικότητα και την ανθρώπινη εγκεφαλική λειτουργία.

Το Κεφάλαιο 2, *Εικονική πραγματικότητα και εκπαίδευση*, γίνεται μια αναλυτική περιγραφή του όρου της εικονικής πραγματικότητας, των τεχνολογιών της και των σημαντικότερων χαρακτηριστικών που τη διαφοροποιούν από τις υπόλοιπες πληροφορικές τεχνολογίες. Επιπλέον περιγράφονται τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα και οι λόγοι για τους οποίους μπορεί να αξιοποιηθεί και αξιοποιείται στην εκπαιδευτική διαδικασία. Ιδιαίτερα, αναφέρονται οι μεθοδολογίες και οι τεχνικές μετρήσεων που αφορούν σε χαρακτηριστικά των εικονικών περιβαλλόντων. Στο Κεφάλαιο 3, *Εγκέφαλος και γνωστικές λειτουργίες*, περιγράφονται συνοπτικά οι βασικότερες λειτουργίες του ανθρώπινου εγκεφάλου. Γίνεται προσπάθεια να καταγραφούν οι συσχετίσεις των διαφορετικών προτύπων εγκεφαλικής λειτουργίας με βασικές γνωστικές λειτουργίες.

Τα επόμενα τρία κεφάλαια εξειδικεύουν την εγκεφαλική λειτουργία στη μορφή που μπορούν να μας πληροφορήσουν οι διάφορες απεικονιστικές μέθοδοι, από τις οποίες αναλύεται το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα και συσχετίζουν την τελευταία με κάποιες γνωστικές λειτουργίες του εγκεφάλου.

Στο Κεφάλαιο 4, *Τεχνικές απεικόνισης της εγκεφαλικής δραστηριότητας*, περιγράφονται επαρκώς οι απεικονιστικές μέθοδοι (και συνοπτικά οι σημαντικότερες παραλλαγές τους), που προσπαθούν να αποδώσουν με εποπτικό συνήθως τρόπο μετρούμενα μεγέθη των εγκεφαλικών λειτουργιών και παραμέτρους που χαρακτηρίζουν καταστάσεις λειτουργίας του ανθρώπινου εγκεφάλου. Το Κεφάλαιο 5, *Το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα αναλυτικά*, ασχολείται αποκλειστικά με τη μέθοδο της ηλεκτροεγκεφαλογραφίας. Περιγράφονται αναλυτικά ο απαιτούμενος εξοπλισμός, οι χρησιμοποιούμενες τεχνικές και για κλινική αλλά κυρίως για εργαστηριακή χρήση, οι προτεινόμενες από τη βιβλιογραφία μαθηματικές μέθοδοι ανάλυσης, διόρθωσης και εξαγωγής συμπερασμάτων. Τέλος αναφέρονται τα προβλήματα και τα παράσιτα που

μπορεί να εμφανιστούν, τα πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα και τα όρια της μεθόδου, οι διαφοροποιήσεις σε ειδικές κατηγορίες ατόμων (π.χ. με βάση την ηλικία, το φύλο, κα.). Το Κεφάλαιο 6, *Γνωστικές διεργασίες και ηλεκτρική εγκεφαλική δραστηριότητα*, περιέχει τη βιβλιογραφική επισκόπηση στην οποία στηρίζεται η διατριβή για να περιγράψει ομοιότητες και διαφορές εγκεφαλικών λειτουργιών που λαμβάνουν χώρα κατά την αλληλεπίδραση του ανθρώπου με τα εικονικά περιβάλλοντα. Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται οι γνωστικές διεργασίες για τις οποίες το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα μπορεί με μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό εγκυρότητας (έστω και με αμφισβητήσεις σε μερικές περιπτώσεις) να συσχετίσει πρότυπα (ή απλές διαφοροποιήσεις) ηλεκτρικής εγκεφαλικής λειτουργίας.

Το Κεφάλαιο 7, *Ηλεκτρική εγκεφαλική δραστηριότητα σε εικονικά περιβάλλοντα*, αποτελεί επέκταση του προηγούμενου κεφαλαίου σε γνωστικές διεργασίες ή απλές παρατηρήσεις που προήλθαν από μετρήσεις σε εικονικά περιβάλλοντα.

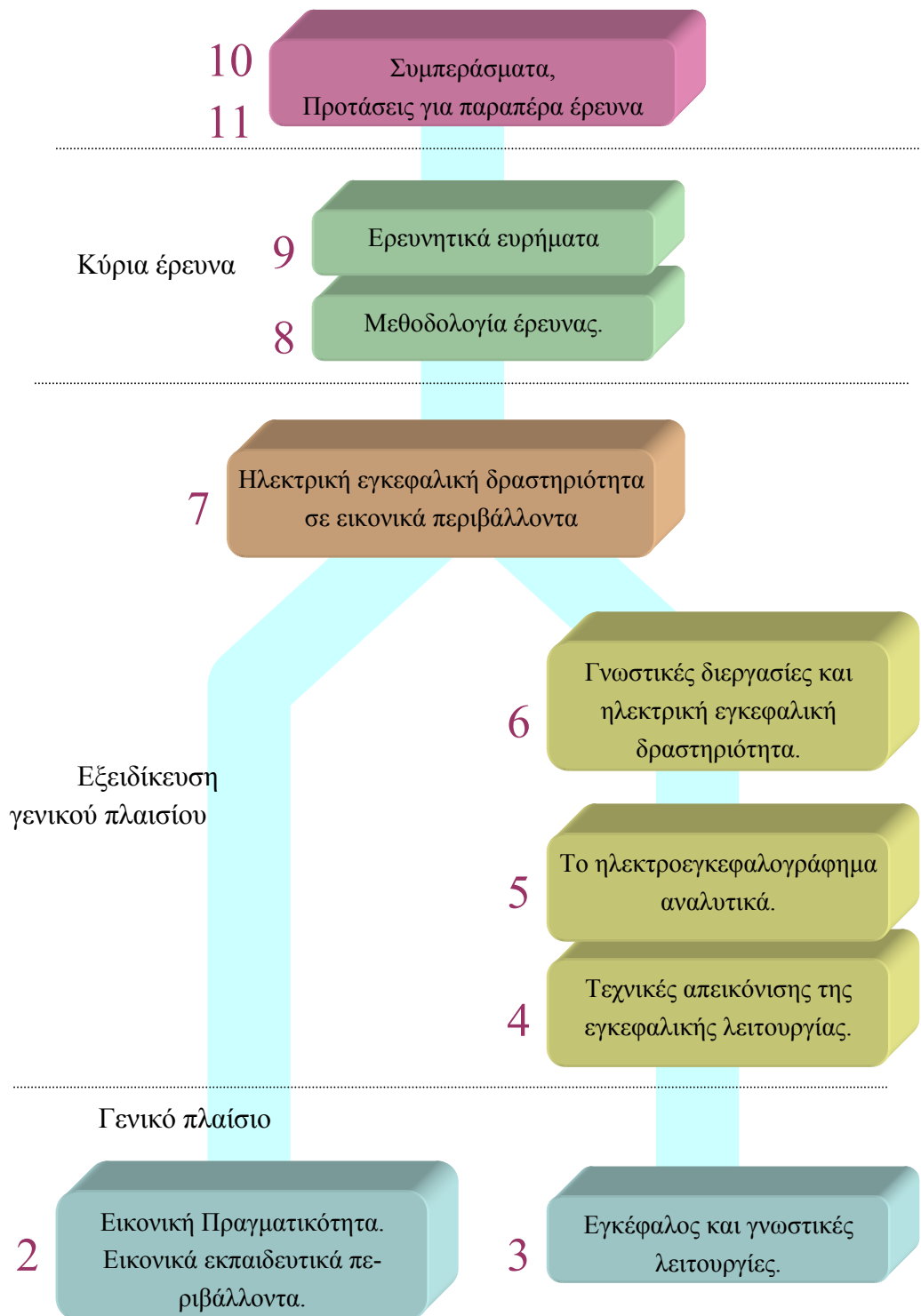
Από τα κεφάλαια 6 και 7 προέρχονται οι γνωστικές διεργασίες που αναμένουμε ή μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για την εξαγωγή συμπερασμάτων από τις ηλεκτροεγκεφαλικές μετρήσεις. Αυτές καθόρισαν σε μεγάλο βαθμό το σχεδιασμό της πειραματικής διαδικασίας που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 8.

Τα επόμενα δύο κεφάλαια συγκροτούν την κυρίως έρευνα. Στο Κεφάλαιο 8, *Μεθοδολογία έρευνας*, περιγράφεται αναλυτικά τα δύο περιβάλλοντα (το εικονικό και το πραγματικό) που χρησιμοποιήθηκαν στη διατριβή, οι επιμέρους πειραματικές διεργασίες, η υλικοτεχνική υποδομή και οι μέθοδοι επεξεργασίας που επιλέχθηκαν. Στο Κεφάλαιο 9, *Ερευνητικά ευρήματα*, παρουσιάζονται τα ευρήματα της εμπειρικής έρευνας. Η παρουσίαση και ο σχολιασμός των ευρημάτων έχει γίνει σε αντιστοιχία με τους ερευνητικούς άξονες. Σε κάθε περίπτωση αναφέρονται οι συνθήκες και ο τρόπος λήψης των δεδομένων, η στατιστική ανάλυση και ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων.

Στο Κεφάλαιο 10, *Συμπεράσματα*, γίνεται προσπάθεια να ενοποιηθούν οι παρατηρήσεις από τις επιμέρους πειραματικές διεργασίες και να διατυπωθούν γενικότερα συμπεράσματα.

Στο Κεφάλαιο 11, *Προτάσεις για παραπέρα έρευνα*, περιλαμβάνονται οι προβληματισμοί, οι παραδοχές και σημεία που παρέμειναν αδιευκρίνιστα από την παρούσα έρευνα. Επιπλέον προτείνονται θέματα και ερωτήματα που σχετίζονται θεματικά με το αντικείμενο της διατριβής και τα οποία μπορούν να αποτελέσουν ανοιχτά ερευνητικά πεδία.

Η διδακτορική διατριβή ολοκληρώνεται με τη βιβλιογραφία (Κεφάλαιο 12) και τα παραρτήματα (Κεφάλαιο 13). Πρώτο, ένας πίνακας με το γενικό τίτλο «*Γνωστικές διεργασίες και ηλεκτρική εγκεφαλική δραστηριότητα*» που περιέχει συνοπτικά τις σημαντικότερες βιβλιογραφικές αναφορές που αναλύονται στα κεφάλαια 6 και 7. Δεύτερο, τον πηγαίο κώδικα από το λογισμικό επεξεργασίας ηλεκτροεγκεφαλικού σήματος, το οποίο αναπτύχθηκε από τον ερευνητή σε περιβάλλον Visual Basic και Matlab.



Σχήμα 1-1. Σχηματική διάρθρωση της διατριβής.

### 1.3 Η συμβολή της διατριβής

Στις μετρήσεις σε εικονικά περιβάλλοντα κυριαρχούν οι λεγόμενες υποκειμενικές μέθοδοι που κατά κανόνα στηρίζονται στην αυτοαξιολόγηση των χρηστών των περιβαλλόντων αυτών χρησιμοποιώντας ερωτηματολόγια. Στον αντίποδα στέκονται οι αντικειμενικές\* μέθοδοι οι οποίες, αν και αποφεύγουν την υποκειμενικότητα, μερικές φορές αδυνατούν να αποδείξουν ότι καταμετρούν αυτό ακριβώς το μέγεθος που θέλουμε να παρατηρήσουμε, ενώ συνήθως αδυνατούν να διακρίνουν τις διαβαθμίσεις. Έρευνες από το χώρο των νευροεπιστημών έχουν δείξει ότι η απεικόνιση της εγκεφαλικής λειτουργίας μπορεί να συσχετιστεί με το συναίσθημα και τη γνωστική διαδικασία εν γένει (Ray & Cole 1985, Hillyard et al. 1996, Halgren & Marinkovic 1996). Οι μετρήσεις της εγκεφαλικής δραστηριότητας χρηστών εκπαιδευτικών εικονικών περιβαλλόντων φιλοδοξούν να καλύψουν αυτές τις αδυναμίες των μεθόδων μέτρησης, καταγράφοντας την εγκεφαλική δραστηριότητα, δηλαδή τις πρωτογενείς εκφάνσεις των μετρούμενων χαρακτηριστικών.

Βέβαια οι προηγούμενες διατυπώσεις είναι περισσότερο ευγενείς πόθοι παρά ρεαλιστικοί στόχοι με τις παρούσες γνώσεις μας για τον ανθρώπινο εγκέφαλο. Ωστόσο, η διατριβή επισκοπεί τις ελάχιστες προηγούμενες σχετικές έρευνες και προτείνει μια μεθοδολογία που συνίσταται στη «μέτρηση», όχι των ίδιων των χαρακτηριστικών των εικονικών περιβαλλόντων που μπορεί να είναι αρκετά σύνθετα, αλλά στον εντοπισμό και την αξιολόγηση επιμέρους γνωστικών χαρακτηριστικών που λαμβάνουν χώρα και σχετίζονται με τα μετρούμενα μεγέθη.

Ένας μελλοντικός (φιλόδοξος) στόχος θα ήταν να μετρηθούν και να εκτιμηθούν οι γνωστικές αλλαγές που λαμβάνουν χώρα κατά την αλληλεπίδραση ατόμων με εκπαιδευτικά εικονικά περιβάλλοντα με πιθανό απώτερο σκοπό την αντικειμενικότερη σχεδίαση και αξιολόγηση της χρήσης του αντίστοιχου εκπαιδευτικού λογισμικού.

---

\* Αντικειμενικές, όπως αναφέρονται στη διεθνή αλληλογραφία (Review presence)

---

## 2 Εικονική πραγματικότητα και εκπαίδευση

---

2.1	Εισαγωγή.....	8
2.2	Ιστορική αναδρομή .....	8
2.3	Περιγραφές και ορισμοί.....	9
2.4	Χαρακτηριστικά των συστημάτων ΕΠ.....	15
2.4.1	Γραφικό περιβάλλον .....	18
2.4.2	Σχεδιασμός ΕΠ .....	18
2.4.3	Εμβύθιση.....	19
2.4.4	Παρουσία .....	20
2.4.5	Εμπλοκή.....	22
2.4.6	Αποτελεσματικότητα .....	22
2.5	Εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας .....	23
2.6	Τεχνολογικά χαρακτηριστικά .....	25
2.7	Μετρήσεις σε εικονικά περιβάλλοντα .....	32
2.7.1	Υποκειμενικές μετρήσεις.....	32
2.7.2	Αντικειμενικές μετρήσεις .....	33
2.8	Χαρακτηριστικά εικονικής πραγματικότητας για εκπαιδευτικές εφαρμογές .....	38
2.9	Σύνοψη.....	41

## 2.1 Εισαγωγή

Ο όρος «εικονική πραγματικότητα» αποτελεί ελληνική απόδοση του όρου «virtual reality», ο οποίος χρησιμοποιείται από επιστήμονες, τεχνικούς, καλλιτέχνες και το ευρύ κοινό, για να προσδιορίσει μία μεγάλη κατηγορία υλοποιήσεων και εφαρμογών κατά κανόνα συστημάτων πληροφορικής, στα οποία οι χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες, ο ρόλος του χρήστη και γενικά η σχεδίαση της διεπαφής (interface) του χρήστη με το σύστημα παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση, τέτοια που σε μερικές περιπτώσεις τα αντίστοιχα συστήματα να φαίνονται εντελώς διαφορετικά.

Σε γενικές γραμμές η αντίληψη που έχει το ευρύ κοινό για τα συστήματα εικονικής πραγματικότητας είναι η εικόνα ενός ατόμου καλωδιωμένου με διάφορες συσκευές (κράνος, γυαλιά, γάντια, κλπ) ή ευρισκόμενου σε ένα κατάλληλα εξοπλισμένο δωμάτιο (θόλος ή cave) που ελέγχει το τι θα δει, θα ακούσει και θα νοιώσει χωρίς ιδιαίτερους περιορισμούς. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί και η μεταφορική χρήση του όρου για να υποδηλώσει ότι κάποια κατάσταση ανύπαρκτη ή πλαστή παρουσιάζεται ή βιώνεται από κάποιον ως πραγματική.

Στις ενότητες που ακολουθούν παρουσιάζεται μία σύντομη ιστορική αναδρομή και οι επικρατέστερες επιστημονικές προσεγγίσεις του όρου. Αντί του όρου «εικονική πραγματικότητα» θα χρησιμοποιείται στο εξής η σύντμηση ΕΠ.

## 2.2 Ιστορική αναδρομή

Η ΕΠ είναι μια σχετικά νέα τεχνολογία, αν και στηρίζεται σε τεχνολογίες που προϋπήρχαν και περιλαμβάνει και άλλες προϋπάρχουσες εφαρμογές κυρίως από τους χώρους της προσομοίωσης, της αλληλεπίδρασης ανθρώπου και τεχνολογικών επιτευγμάτων, της εμπύθισης και της τηλεπαρουσίας. Η πρώτη σχετική τεχνολογία χρησιμοποιούσε τον όρο «Τεχνητή Πραγματικότητα» (Artificial Reality), που εμφανίστηκε από τον Myron Kueger κατά τη δεκαετία του 70. Με τον όρο «εικονική πραγματικότητα» έγινε γνωστή στο ευρύτερο κοινό από τη δημοσιότητα και τις επιδείξεις που διοργάνωσε ο Jaron Lanier στις αρχές της δεκαετίας του '90 κυρίως για να επιδείξει τη λειτουργία του γαντιού δεδομένων.

Από την εποχή εκείνη μέχρι σήμερα η ιδέα της ΕΠ (με διάφορες ονομασίες) εμφανίζεται όχι μόνο σε εμπορικές εφαρμογές αλλά και σε πλήθος εκλαϊκευμένων δημοσιεύσεων σε έντυπα μέσα, στη λογοτεχνία, στον κινηματογράφο. Ειδικά στον τελευταίο περιγραφές τύπου ΕΠ χρησιμοποιούνται ευρέως κυρίως σε ταινίες επιστημονικής φαντασίας. Τέτοιο χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η περίπτωση του «Holodeck» από την τηλεοπτική σειρά «StarTrek: The Next Generation». Η ιδέα του Holodeck (ολογραφικό κατάστρωμα) στηρίζεται στην ύπαρξη ενός δωματίου όπου με προφορικές εντολές και με βάση της επιθυμίες του πληρώματος ενός διαστημοπλοίου, υλοποιούνται περιβάλλοντα εντελώς όμοια με τα αντίστοιχα αληθινά, με αυτόνομα πρόσωπα και δράση στην οποία εμπλέκονται οι «χρήστες»,

που ονομάζονται συμμετέχοντες (participants). Η εφαρμογή αυτή όπως αναφέρει ο Heim (1993:122) αποτελεί για πολλούς το ιδεατό μέσο διεπαφής ανθρώπου – υπολογιστή. Εκτός από την χαρακτηριστική περίπτωση του Holodeck, ενδιαφέρον παρουσιάζει η περίπτωση ενός δωματίου που περιγράφεται στο διήγημα «Veldt» του Ray Bradbury, που γράφτηκε το 1951 και περιλαμβάνεται στη συλλογή «The illustrated man». Οι τοίχοι και η οροφή ενός δωματίου τροποποιούνται συνεχώς ώστε να παράγουν ένα στερεοσκοπικό πολύ «ρεαλιστικό» περιβάλλον (Χαλκίδης 2006).

Οι τεχνολογίες που υπάρχουν στα συστήματα ΕΠ ακολουθούν ή επηρεάζουν και την εξέλιξη του όρου. Χαρακτηριστική είναι για παράδειγμα η εξέλιξη μιας βασικής τεχνολογίας που συνδέεται άμεσα με τα συστήματα ΕΠ, το κράνος ΕΠ ή Head Mounted Display (ένα κράνος εφοδιασμένο με οθόνες και ανιχνευτή κίνησης κεφαλιού), που είναι η πρώτη συσκευή που παρείχε στο χρήστη της (αυτόν που τη φορούσε) μια εμπειρία εμπύθισης. Η πρώτη δοκιμή και επίδειξη έγινε το 1965 από τους Evans και Sutherland, οι οποίοι παρουσίασαν το Head Mounted Stereo Display. Χρειάστηκαν περισσότερα από 20 χρόνια, ώστε η VPL Research να παρουσιάσει το πρώτο εμπορικό πλέον HMD, που έμεινε γνωστό με το όνομα Eye phone (1989).

Σήμερα οι τεχνολογίες ΕΠ, όπως και άλλες σύγχρονες τεχνολογίες μας, παρουσιάζουν την εξής ιδιορρυθμία: αν και ακόμη βρίσκονται στα ερευνητικά εργαστήρια, έχουν παράλληλα έναν αυξανόμενο αριθμό εμπορικών εφαρμογών, ενώ παράλληλα αποτελούν θέμα κοινωνικού διαλόγου (Μπουντουρίδης 1994). Προφανώς η συγκεκριμένη τεχνολογία (ή τεχνολογίες) δεν έχει πάρει την οριστική της μορφή, συνεχίζει να εξελίσσεται και μπορεί σύντομα να διαφοροποιηθεί. Για το λόγο αυτό δεν έχει επιτευχθεί ακόμη η απομυθοποίησή της και συχνά συνοδεύεται από μια δόση επιστημονικής φαντασίας και στην καλύτερη περίπτωση της αποδίδονται υπερβολικές δυνατότητες. Παράλληλα με τις δημοσιεύσεις που αφορούν στην τεχνολογία και τις εφαρμογές της ΕΠ, έχει αναπτυχθεί ένας διάλογος σχετικά με τις επιδράσεις της ΕΠ στην κοινωνία (Aukstakalnis & Blatner 1992:279-295, Burdea & Coiffet 1994:253-255, Schroeder 1996), προβληματισμοί σε θέματα ηθικής και δεοντολογίας (Pantelidis 1994, Osberg 1997) και γενικότεροι φιλοσοφικοί προβληματισμοί (Bricken 1990, Markle 1993, Levy 1995, Heim 1993, Lauria 1997, Bilia 1998).

### 2.3 Περιγραφές και ορισμοί

Στο Μείζων Ελληνικό Λεξικό (2007) ο όρος «εικονικός» (μετάφραση του αγγλικού Virtual) ορίζεται ως αυτός που γίνεται κατ' εικόνα, ο μη πραγματικός, παραστατικός, φαινομενικός, πλασματικός ή υποθετικός. Η απόδοση του όρου «virtual reality» στα Ελληνικά παρουσίασε μεγάλη ποικιλία λέξεων και εκφράσεων. Μια ενδεικτική συλλογή αποτελούν οι ακόλουθες εκφράσεις σε ΜΜΕ (εφημερίδες και τεχνικά περιοδικά): εξομοίωση πραγματικότητας, πιθανή πραγματικότητα, κατ' ουσίαν πραγματικότητα, πλασματική πραγματικότητα, αντικειμενική πραγματικότητα, τεχνητή πραγματικότητα, νοητή πραγματικότητα, ζωντανή εικονική,

ιδεατή πραγματικότητα, αληθοφανής πραγματικότητα, ουσιαστική πραγματικότητα, δυναμική πραγματικότητα, ειδωλική πραγματικότητα (Χαλκίδης 2006). Σήμερα η επικρατέστερη έκφραση είναι αυτή της «Εικονικής Πραγματικότητας». Αν και ο Bryson (1995) διακρίνει τις έννοιες Virtual Reality από Virtual Environment, συχνά οι όροι Virtual Reality, Virtual Worlds και Virtual Environment χρησιμοποιούνται ως συνώνυμα (Furness 1992). Στην παρούσα εργασία οι όροι Εικονική Πραγματικότητα, Εικονικό Περιβάλλον και Εικονικός Κόσμος θεωρούνται συνώνυμοι και αποδίδονται με τη σύντμηση ΕΠ.

Στα εγχειρίδια χρήσης του πακέτου λογισμικού VRT της εταιρείας Superscape, με το οποίο δημιουργήθηκε το εικονικό περιβάλλον της παρούσας εργασίας, δίνονται οι ακόλουθοι ορισμοί: «ΕΠ ή εικονικός κόσμος είναι ένα περιβάλλον που υπάρχει μόνο μέσα στον υπολογιστή, διαφοροποιείται από μια στατική εικόνα γιατί αλλάζει σε πραγματικό χρόνο, ο χρήστης μπορεί να εισέλθει σε αυτό και να αλληλεπιδράσει με τα αντικείμενά του, όπως και στον πραγματικό κόσμο» (Superscape 1994) και αργότερα «... ένα μέσο όπου ένας εικονικός κόσμος (συνθετικό τρισδιάστατο περιβάλλον) μπορεί να εξερευνηθεί ελεύθερα, να εξεταστεί και να γίνει μέσο πειραματισμού σε πραγματικό χρόνο» (Superscape 1995), ενώ το Φεβρουάριο του 1998 δε δίνεται πια ορισμός.

Στην εγκυκλοπαίδεια Britannica ως ΕΠ ορίζεται «η χρήση της μοντελοποίησης και της προσομοίωσης μέσω υπολογιστικών συστημάτων προκειμένου να δώσει στο χρήστη τη δυνατότητα να αλληλεπιδράσει με ένα τεχνητό τρισδιάστατο οπτικό περιβάλλον. Οι εφαρμογές της εικονικής πραγματικότητας εμβαπτίζουν το χρήστη σε ένα υπολογιστικό περιβάλλον το οποίο προσομοιώνει την πραγματικότητα μέσω της χρήσης αλληλεπιδραστικών (interactive) συσκευών, οι οποίες στέλνουν και λαμβάνουν πληροφορία».

Στον πίνακα 2-1 παρουσιάζονται οι σημαντικότεροι ορισμοί που έχουν χρησιμοποιηθεί για την ΕΠ από την επιστημονική κοινότητα. Μερικοί προσπαθούν να είναι συγκεκριμένοι, ενώ πολλοί εμφανίζουν γενικότητες και ασάφειες. Ο ορισμός που περιλαμβάνει τα περισσότερα στοιχεία και χαρακτηριστικά ενός συστήματος ΕΠ και προτείνεται από την παρούσα εργασία, δίνεται στην επόμενη παράγραφο.

Η εικονική πραγματικότητα είναι ένα πολυαισθητηριακό διαλογικό περιβάλλον βασισμένο σε υπολογιστή, όπου ο χρήστης συμμετέχει ενεργά σε ένα σχεδόν πραγματικό κόσμο. Η αίσθηση του πρώτου προσώπου, η ελευθερία στην πλοήγηση και η αλληλεπίδραση είναι ουσιαστικές για να χαρακτηριστεί ένα υπολογιστικό περιβάλλον ως εικονικό. Αν το εικονικό περιβάλλον έχει σκοπό να εκπαιδεύσει το χρήστη καλείται εικονικό μαθησιακό περιβάλλον. Τα εικονικά περιβάλλοντα έχουν εισάγει αρκετές συσκευές νέων τεχνολογιών, αλλά η βασική κατεύθυνση είναι να προσαρμόζονται αυτές οι τεχνολογίες στις ανθρώπινες ιδιομορφίες και όχι το αντίστροφο (Mikropoulos 2001). Ο χρήστης αποκτά εμπειρίες στο εικονικό περιβάλλον, αλληλεπιδρά με αυτό και το αλλάζει χρησιμοποιώντας κατάλληλες συσκευές και έχοντας επίγνωση των αλλαγών που πραγματοποιούνται (Peterson et al. 1998).



Πίνακας 2-1. Ορισμοί της ΕΠ	
Συγγραφέας	Σύντομη περιγραφή ορισμού
Rheingold (1990)	Η ΕΠ δημιουργεί την απάτη της εμπύθισης σε έναν τεχνητό κόσμο ή της παρουσίας σε ένα απομακρυσμένο μέρος του φυσικού κόσμου, το οποίο είναι μια τρισδιάστατη γραφική αναπαράσταση και ο άνθρωπος μπορεί να πλοηγηθεί μέσα σε αυτόν τον κόσμο και να τον μεταβάλλει.
Bricken (1990b)	Η ουσία της ΕΠ βρίσκεται στην αποκλειστική σχέση μεταξύ του συμμετέχοντα-χρήστη και του εικονικού περιβάλλοντος, όπου η άμεση εμπειρία της εμπύθισης σ' αυτό συνθέτει την επικοινωνία. Το κύριο χαρακτηριστικό είναι η πλήρης εμπύθιση των αισθητηρίων οργάνων του ανθρώπου σε μια ζωντανή και σφαιρική επικοινωνιακή εμπειρία.
Lanier (1991)	Η ΕΠ ορίζεται με βάση τη χρησιμοποιούμενη τεχνολογία και την αίσθηση μιας εναλλακτικής πραγματικότητας.
Aukstakalnis και Blatner (1992:7)	ΕΠ είναι ο τρόπος που χρησιμοποιούν οι χρήστες για να οπτικοποιήσουν, να χειριστούν και να αλληλεπιδράσουν με υπολογιστές και εξαιρετικά σύνθετα δεδομένα.
Pimentel και Teixeira (1993:5-6)	Η ΕΠ είναι ανακάλυψη, επέκταση δυνατοτήτων και μέσο για να υλοποιηθούν καταστάσεις και ιδέες που δεν ήταν δυνατόν να γίνουν με άλλο τρόπο πριν.
Pimentel και Teixeira (1993:xv)	Η ΕΠ δεν είναι απλώς μια τεχνολογία πληροφορικής που σε βάζει σε ένα τρισδιάστατο κόσμο. Είναι ο ίδιος ο τεχνητός κόσμος και ένα νέο είδος εμπειρίας.
Steuer (1992)	Η ΕΠ είναι ένα πραγματικό ή παρουσιαζόμενο περιβάλλον στο οποίο ο παρατηρητής έχει την εμπειρία της τηλεπαρουσίας, η οποία μπορεί να περιγραφεί σαν «την εμπειρία της παρουσίας σ' ένα περιβάλλον με τη συμβολή των τεχνολογιών που παρέχει το επικοινωνιακό μέσο» (Riva & Davide 2001)
Hamit (1993:433)	Η ΕΠ είναι μορφή διεπαφής ανθρώπου - υπολογιστή που βασίζεται σε αναπαράσταση χώρου και παρέχει την ψευδαίσθηση της παρουσίας.
Pantelidis (1993)	Η ΕΠ είναι τρισδιάστατη προσομοίωση υπολογιστή στην οποία ο χρήστης εμπυθίζεται πλήρως ώστε η τεχνητή πραγματικότητα να εμφανίζεται ως η φυσική πραγματικότητα
Ellis (1993)	Ένα ΕΠ αποτελείται από περιεχόμενα (αντικείμενα και πρόσωπα), γεωμετρικά και δυναμικά, με ένα εγωκεντρικό πεδίο αναφοράς, περιλαμβάνοντας την αντίληψη των αντικειμένων σε βάθος, δίνοντας μια αύξηση στα οπτικά, ακουστικά και άλλα αισθητήρια ερεθίσματα.

Πίνακας 2-1. Ορισμοί της ΕΠ	
Συγγραφέας	Σύντομη περιγραφή ορισμού
Gigante (1993)	Η ΕΠ είναι μια πολυαισθητήρια εμπειρία εμπύθισης. Χαρακτηρίζεται από την ψευδαίσθηση του συμμετέχοντα μέσα σ' ένα συνθετικό περιβάλλον αντί της εξωτερικής παρατήρησής του.
Eddings (1994:3)	Η ΕΠ βασίζεται στη χρήση υπολογιστή και ειδικού υλικού και λογισμικού, για τη δημιουργία μιας προσομοίωσης ενός εναλλακτικού κόσμου.
Burdea και Coiffet (1994:2-4)	Η ΕΠ είναι ένα υψηλής τεχνολογίας περιβάλλον διεπαφής το οποίο εμπλέκει προσομοίωση πραγματικού χρόνου και αλληλεπίδραση μέσω πολυαισθητηριακών καναλιών.
Loeffler και Anderson (1994)	Η ΕΠ προσδιορίζεται ως ένα τρισδιάστατο παρουσιαζόμενο από ηλεκτρονικό υπολογιστή περιβάλλον προσομοίωσης, το οποίο αποδίδεται σε πραγματικό χρόνο σύμφωνα με τη συμπεριφορά του χρήστη
Schroeder (1996:25)	Η ΕΠ είναι μια αναπαράσταση δημιουργημένη από υπολογιστή, που επιτρέπει αλλά και συχνά υποχρεώνει το χρήστη να έχει μια αίσθηση παρουσίας σε ένα περιβάλλον διαφορετικό από αυτό στο οποίο πραγματικά βρίσκεται και να αλληλεπιδρά με αυτό.
Heim (1993:160)	Η ΕΠ είναι ένα περιβάλλον που πείθει για τη συμμετοχή σε ένα άλλο χώρο, υποκαθιστώντας την είσοδο των αισθητηρίων με στοιχεία που προέρχονται από υπολογιστή.
Davies et al. (1996:3)	Η ΕΠ είναι αναπαράσταση ενός χώρου από υπολογιστή, στον οποίο ο χρήστης μπορεί να μετακινήσει την οπτική του γωνία ελεύθερα σε πραγματικό χρόνο.
Winn (1993), Pantelidis (1993a, 1997), Μικρόπουλος (2003), Mikropoulos & Natsis (2010)	Ως ΕΠ ορίζεται ο συνδυασμός ενός «μωσαϊκού τεχνολογιών» (ισχυρών υπολογιστών, δικτύων, interfaces, γραφικών, αισθητήρων και ενεργοποιητών), με στόχο την παρουσία και την αλληλεπίδραση του χρήστη σε πραγματικό χρόνο με τρισδιάστατα συνθετικά περιβάλλοντα που αναπαριστούν πραγματικές ή μη καταστάσεις.

Ένας εναλλακτικός και συμπληρωματικός τρόπος να προσεγγίσουμε την έννοια της ΕΠ είναι και οι απόπειρες ταξινόμησης των αντίστοιχων περιβαλλόντων που έχουν προταθεί από ερευνητές. Ο γενικότερος διαχωρισμός των εικονικών περιβαλλόντων προτείνεται από την Pantelidis (1993c) και διαχωρίζει τα ΕΠ σε αυτά που βασίζονται στο κείμενο (text-based VR) και σε αυτά που βασίζονται σε γραφικά υπολογιστών (graphics-based VR). Σήμερα το γραφικό περιβάλλον αποτελεί κανόνα στα συστήματα ΕΠ. Έτσι οι ταξινομήσεις που θα αναφερθούν εκτός από την πρώτη της Pantelidis αφορούν συστήματα ΕΠ τα οποία στηρίζονται σε γραφικά.

Πίνακας 2-2. Σημαντικότερες ταξινομήσεις που εφαρμόζονται στα ΕΠ		
Αναφορά	Κριτήρια	Κατηγορίες
Aukstakalnis και Blatner (1992:22-23)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• εμπλοκή του χρήστη</li> <li>• βαθμός αλληλεπίδρασης και ελέγχου</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• παθητικά (passive)</li> <li>• εξερευνητικά (exploratory)</li> <li>• αλληλεπιδραστικά (interactive)</li> </ul>
Pantelidis (1993c)	Χρήση γραφικών	<ul style="list-style-type: none"> <li>• βασισμένα σε κείμενο (text-based VR)</li> <li>• βασισμένα σε γραφικά υπολογιστών (graphics-based VR)</li> </ul>
Isdale (1993)	σχεδιαστική και τεχνολογική προσέγγιση	<ul style="list-style-type: none"> <li>• εφαρμογές τύπου «παράθυρο στον (εικονικό) κόσμο» (Window on World) που τις συσχετίζει άμεσα με επιτραπέζια συστήματα ΕΠ (desktopVR)</li> <li>• εφαρμογές Video Mapping</li> <li>• συστήματα εμπύθισης (Immersive Systems)</li> <li>• συστήματα τηλεπαρουσίας (Telepresence)</li> <li>• συστήματα μικτής (Mixed Reality), ή επαυξημένης (augmented) πραγματικότητας</li> <li>• FishTank VR</li> </ul>
Isdale (1993)	τεχνολογική προσέγγιση με έμφαση στον εξοπλισμό	<ul style="list-style-type: none"> <li>• εισαγωγική ΕΠ (entry VR)</li> <li>• βασική ΕΠ (basic VR)</li> <li>• προωθημένη ΕΠ (advanced VR)</li> <li>• ΕΠ εμπύθισης (immersion VR)</li> <li>• προσομοιωτές πτήσης και εξειδικευμένα συστήματα υψηλής τεχνολογίας</li> </ul>
Eddings (1994)	συσχέτιση πραγματικού και εικονικού περιβάλλοντος	<ul style="list-style-type: none"> <li>• επιτραπέζια ΕΠ (desktop VR) όπου τα δυο περιβάλλοντα, δρουν ανταγωνιστικά μεταξύ τους διεκδικώντας την προσοχή του χρήστη</li> <li>• συστήματα εμπύθισης (immersion systems) όπου λειτουργούν ανεξάρτητα από το πραγματικό περιβάλλον (συνήθως ο χρήστης αποκόπτεται από το πραγματικό περιβάλλον)</li> <li>• επαυξημένη πραγματικότητα (augmented reality) όπου τα δύο περιβάλλοντα λειτουργούν συμπληρωματικά μεταξύ τους</li> </ul>

Πίνακας 2-2. Σημαντικότερες ταξινομήσεις που εφαρμόζονται στα ΕΠ		
Αναφορά	Κριτήρια	Κατηγορίες
Kalawsky (1996:24-27), Bricken 1990b, Cronin 1997	βαθμός εμπύθισης (immersion)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• συστήματα χωρίς εμπύθιση (non-immersive VR)</li> <li>• συστήματα μερικής εμπύθισης (semi-immersive VR)</li> <li>• συστήματα εμπύθισης (immersive VR)</li> </ul>
Winn 1993, 1997, Μικρόπουλος 1998, Χαλκίδης κ.α. 1998	<ul style="list-style-type: none"> <li>• τεχνολογικό υλικό</li> <li>• τρόπος με τον οποίο ο χρήστης αντιλαμβάνεται το ΕΠ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• επιτραπέζια συστήματα</li> <li>• ημι-εμβυθιζόμενη ΕΠ</li> <li>• πλήρως εμβυθιζόμενη ΕΠ</li> <li>• επαυξημένη ή μικτή πραγματικότητα</li> </ul>

Στον πίνακα 2-2 αναφέρονται οι βασικότερες απόπειρες ταξινόμησης των ΕΠ. Η πιο σύγχρονη από αυτές (Winn 1993, 1997, Μικρόπουλος 1998, Χαλκίδης κ.α. 1998) περιγράφεται αναλυτικότερα στις επόμενες παραγράφους (Στρουμπούλης 2005).

- Τα επιτραπέζια συστήματα εικονικής πραγματικότητας (non-immersive, or desktop virtual reality) αποτελούνται από έναν προσωπικό υπολογιστή (συνήθως χωρίς εξειδικευμένο εξοπλισμό) και μία οθόνη η οποία λειτουργεί σαν ένα «παράθυρο» στον εικονικό κόσμο, ενώ ο χρήστης πλοηγείται μέσα σε αυτόν με τη βοήθεια απλών (πληκτρολόγιο, ποντίκι, joystick) ή εξειδικευμένων συσκευών (spaceball, spacemouse).
- Στα ημι-εμβυθιζόμενα εικονικά περιβάλλοντα (semi-immersive virtual environments) η προβολή του συνθετικού περιβάλλοντος γίνεται συνήθως σε μια μεγάλη καμπύλη οθόνη, παρέχοντας οπτικό πεδίο περίπου 130°. Αυτή η τεχνική παρέχει στους συμμετέχοντες μια ήπια μορφή εμπύθισης. Η αλληλεπίδραση με το εικονικό περιβάλλον είναι συνήθως περιορισμένη. Ένα πλεονέκτημα αυτών των συστημάτων είναι ότι παρέχουν υψηλή ποιότητα γραφικών και ταυτόχρονη συμμετοχή πολλών προσώπων.
- Τα πλήρως εμβυθιζόμενα εικονικά περιβάλλοντα (fully immersive virtual environments) δημιουργούν το μεγαλύτερο ενθουσιασμό. Τα συστήματα αυτά αποτελούνται συνήθως από αρκετές περιφερειακές συσκευές που παρέχουν στο χρήστη αισθητηριακά δεδομένα (κράνη εμπύθισης, συσκευές ήχου, συσκευές αντίληψης της κίνησης, απτικές συσκευές που μπορούν να παρέχουν στο χρήστη πλήρη ανάδραση για την αίσθηση του βάρους, της πίεσης, της αντίστασης, της θερμότητας κλπ.) και συσκευές που καταγράφουν τη δράση του χρήστη (π.χ. γάντια δεδομένων και άλλες συσκευές αλληλεπίδρασης προσαρμοσμένες στις ανάγκες της συγκεκριμένης χρήσης). Το εικονικό περιβάλλον ακολουθεί

την κίνηση του χρήστη, με αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας ισχυρής αίσθησης παρουσίας. Σε ένα πλήρες εμπυθιζόμενο περιβάλλον οι χρήστες είναι πλήρως απομονωμένοι από το φυσικό κόσμο.

- Η επαυξημένη ή μεικτή πραγματικότητα (augmented or mixed reality) είναι μια αναπτυσσόμενη περιοχή στην έρευνα της εικονικής πραγματικότητας. Το περιβάλλον που δημιουργείται προκύπτει από τη σύνθεση και το συνδυασμό της πραγματικής σκηνής που βλέπει ο χρήστης και μιας εικονικής σκηνής που παράγεται από τον υπολογιστή. Η επαυξημένη πραγματικότητα περισσότερο συμπληρώνει την πραγματικότητα παρά την αντικαθιστά με ένα εικονικό περιβάλλον. Το εικονικό περιβάλλον προβάλλεται πάνω στο πραγματικό, από το οποίο δεν αποκόπτεται ο χρήστης. Συσκευές που βοηθούν στην παραγωγή αυτού του σύνθετου περιβάλλοντος μπορεί να είναι ένα κράνος εμπύθισης και μια κάμερα όπου ο χρήστης παρατηρεί ταυτόχρονα τον πραγματικό και εικονικό κόσμο.

## 2.4 Χαρακτηριστικά των συστημάτων ΕΠ

Στις προηγούμενες ενότητες, εντοπίστηκαν αδυναμίες και ασάφειες στον ορισμό και την κατηγοριοποίηση της ΕΠ από την επιστημονική κοινότητα. Αυτό όμως που παρουσιάζει περισσότερο ενδιαφέρον από την παράθεση ενός αυστηρού ορισμού, είναι ο εντοπισμός και η καταγραφή των βασικών χαρακτηριστικών τα οποία προσδιορίζουν την ΕΠ και τη διαφοροποιούν από άλλα συστήματα εφαρμογών πληροφορικής. Ο πίνακας 2-3 παρουσιάζει τις έννοιες που χρησιμοποιήθηκαν από τους ερευνητές με άμεσο ή έμμεσο τρόπο ως περιγραφές των βασικών χαρακτηριστικών των ΕΠ (τροποποιημένος από Χαλκίδης 2006:27). Ο Χαλκίδης στο σχολιασμό των χαρακτηριστικών διαπιστώνει ότι δεν υπάρχει ταυτότητα απόψεων, δεν υπάρχει αυστηρή χρήση των όρων και σε πολλές περιπτώσεις εμφανίζονται εκφράσεις που επαναλαμβάνονται είτε αυτούσιες είτε χρησιμοποιούνται παραπλήσιες εκφράσεις. Η πιο συχνά εμφανιζόμενη έννοια είναι αυτή της αλληλεπίδρασης (συμμετοχή, δημιουργία, εμπλοκή, ικανότητα χειρισμού και αλλαγών, άμεσος χειρισμός) καθώς και αυτή της ελευθερίας – αυτονομίας. Αρκετοί ερευνητές εστιάζουν άμεσα ή έμμεσα (με τη χρήση των εκφράσεων εγκλεισμός, συνύπαρξη) στην αίσθηση της εμπύθισης. Επιπλέον εμφανίζονται οι χαρακτηριστικές λέξεις – κλειδιά «παρουσία», «φαντασία» και «παρουσία πρώτου προσώπου».

Πίνακας 2-3. Συνοπτική περιγραφή των χαρακτηριστικών των ΕΠ	
Αναφορά	Βασικά χαρακτηριστικά ΕΠ
James D. Foley, Interfaces for advanced computing, <i>Scientific American</i> , v.257, n.4, p.83-90, Oct. 1987	Εικόνα Συμπεριφορά Αλληλεπίδραση (υπό τον όρο Artificial Reality πριν ακόμη εμφανιστεί ο όρος ΕΠ)
William Bricken, Virtual Reality: Directions of Growth, HITL Technical report R- 90-1	Η αίσθηση ότι συνυπάρχεις, περιτριγυρίζεσαι (inclusion) από ένα περιβάλλον
Myron W. Krueger, Artificial Reality II, Addison Wesley, 1991	Συμμετοχή
K.Hattori, The world of virtual reality, Kogyochosakai Publ., Japan, 1991	Αυτονομία Παρουσία Αλληλεπίδραση
Zeltzer (1992)	Αυτονομία Παρουσία Αλληλεπίδραση
Steve Aukstakalnis, David Blatner, Silicon Mirage - the Art and Science of Virtual Reality, Peachpit Press, USA, 1992	Τρισδιάστατη αναπαράσταση Σύλληψη-ανίχνευση θέσης-κατεύθυνσης Αλληλεπιδραστικότητα
Ken Pimentel, Kevin Teixeira, Virtual Reality Through the New Looking Glass, McGraw Hill, 1992	Εξερεύνηση Εμπλοκή Εγκλεισμός Νέοι τρόποι όρασης Δημιουργία
K.Murakami και οι συνεργάτες του, A virtual creature world, Proc. of Imagina'92, p.II/39-II/45, Monte Carlo, Jan. 1992	Αλληλεπιδραστικότητα Αυτονομία Ρεαλιστική αντίδραση του συστήματος στις επιλογές του χρήστη
Jerry Isdale, What is Virtual Reality? A homebrew introduction and information resource list, electronic document, 1993	Άμεσος χειρισμός Αλληλεπίδραση σε σχεδόν πραγματικό χρόνο
Joe Psozka, Sharon Davison, VIRTU-L: Virtual Reality Terms, electronic document, 1993	Ψευδαίσθηση της εμπύθισης (στον ορισμό του CAVE)

Πίνακας 2-3. Συνοπτική περιγραφή των χαρακτηριστικών των ΕΠ	
Αναφορά	Βασικά χαρακτηριστικά ΕΠ
Joshua Eddings, How Virtual Reality Works, Ziff Davis Press, 1994	Εμβύθιση Παρουσία Αλληλεπίδραση
Grigore Burdea, Philippe Coiffet, Virtual Reality Technology, John Wiley & Sons, 1994	Εμβύθιση Αλληλεπίδραση Φαντασία (τα 3I, Immersion, Interactivity, Imagination)
Joe Gradecki, The VR Construction Kit, John Wiley & Sons, 1994	Οπτική γωνία πρώτου προσώπου Πλήρης ελευθερία Ικανότητα χειρισμού και αλλαγών σε πραγματικό χρόνο
S.B.Davis, J.Lansdown, A.Huxor, The Design of Virtual Environments, AGOCCG SIMA Report n.27, July 1996	Χωρικότητα (spatiality - χρήση του χώρου) Εικονικότητα (virtuality - αίσθηση ότι «είσαι εκεί») Αναπαράσταση (representation)
Μικρόπουλος (1998)	Πλήρης ελευθερία κίνησης και αλληλεπίδρασης σε πραγματικό χρόνο και πρώτου προσώπου οπτική γωνία του χρήστη
Μικροπούλος & Belou (2006)	Τρισδιάστατη χωρική αναπαράσταση Εμβύθιση Πολυαισθητήρια υποστήριξη της αλληλεπίδρασης Διαισθητική αλληλεπίδραση μέσω φυσικών χειρισμών σε πραγματικό χρόνο
Μικροπούλος & Belou (2006) επιπλέον χαρακτηριστικά για τα εκπαιδευτικά εικονικά περιβάλλοντα	Ελεύθερη πλοήγηση Οπτική γωνία πρώτου προσώπου Φυσική σημασιολογία Ελευθερία στην επιλογή μεγέθους Μετατροπή των πληροφοριών σε αισθητήριες αντιπροσωπεύσεις και δημιουργία δράσεων από αυτές (transduction) Πραγμάτωση-υλοποίηση των αναπαραστάσεων (reification) Αυτονομία Αίσθηση της παρουσίας

Στις ενότητες που ακολουθούν περιγράφονται αναλυτικότερα οι σημαντικότερες έννοιες που αναφέρονται ως χαρακτηριστικά των ΕΠ, δηλαδή το γραφικό περιβάλλον διεπαφής χρήστη-ΕΠ, ο τρόπος σχεδιασμού, η εμπύθιση, η παρουσία, η εμπλοκή του χρήστη και η αποτελεσματικότητα του ΕΠ.

#### 2.4.1 Γραφικό περιβάλλον

Όλα τα υπολογιστικά περιβάλλοντα σήμερα στοχεύουν σε διεπαφές ανθρώπου-υπολογιστή που προσανατολίζονται όλο και περισσότερο προς τα γραφικά περιβάλλοντα. Η ΕΠ προσφέρει ένα πλαίσιο μέσα στο οποίο παρουσιάζονται δεδομένα, πληροφορίες και αλληλεπιδράσεις σε πραγματικό χρόνο και πιθανό να αποτελέσει στο μέλλον την ιδανική διεπαφή μεταξύ του χρήστη και ενός συνθετικού παραγόμενου από Η/Υ περιβάλλοντος. Προς το παρόν όμως ο γρήγορος ρυθμός τεχνολογικής ανάπτυξης έχει παραμελήσει την κατανόηση και τη σημαντικότητα της αλληλεπίδρασης, και η έρευνα στρέφεται κυρίως προς την ανάπτυξη νέου υλικού και λογισμικού παρά στην αξιοποίηση της ΕΠ.

#### 2.4.2 Σχεδιασμός ΕΠ

Ο τρόπος σχεδιασμού ενός ΕΠ δεν αποτελεί ένα επιπλέον χαρακτηριστικό, αλλά είναι καθοριστικός σε μια σειρά άλλων χαρακτηριστικών και είναι συνήθως αρκετός για να διαφοροποιήσει ένα ΕΠ από άλλες υπολογιστικές εφαρμογές. Όπως φαίνεται και από τους ορισμούς που έχουν δοθεί για την εικονική πραγματικότητα, εκτός από τα τρισδιάστατα γραφικά υπονοείται και παίζει σημαντικό ρόλο ένα χωρικό μοντέλο (περιβάλλον, κόσμος), με βάση το οποίο αναπαριστάνεται ένα είδος πραγματικής ζωής, μια τεχνική δομή ή ένα μέρος το οποίο οι χρήστες εξερευνούν και δρουν (Στρουμπούλης 2005). Ένας χρήστης καταφέρνει και «κατοικεί μέσα» στο περιβάλλον, κατέχοντας μια συγκεκριμένη θέση σ' αυτό και έχοντας ένα περιορισμένο οπτικό πεδίο. Έχει τη δυνατότητα να ταξιδεύει μέσα σ' αυτό αλλά και να αλληλεπιδρά με το ίδιο το περιβάλλον και τα αντικείμενά του (Kaur 1998, Kaur et al. 1999). Η δημιουργία ενός εικονικού περιβάλλοντος πρωταρχικά εμπλέκει:

- το σχεδιασμό του περιβαλλοντικού μοντέλου. Ο σχεδιασμός αυτός περιλαμβάνει τη γεωμετρία του χώρου, το σχεδιασμό της αναπαράστασης του χρήστη μέσα στο εικονικό περιβάλλον μέσω της οποίας μπορεί να εκτελεί ενέργειες και να μετακινείται στο χώρο, εικονικούς ανθρώπους που έχουν την ευφυΐα να εκτελούν ενέργειες ανεξάρτητα από το χρήστη και μπορούν να τον βοηθούν στην πλοήγηση του και τέλος αντικείμενα ενσωματωμένα στο εικονικό περιβάλλον ή ανεξάρτητα. Ο Slater και η ερευνητική του ομάδα ισχυρίζονται ότι η πιο σημαντική δομή ενός ΕΠ είναι η αναπαράσταση του σώματος του χρήστη και το ακριβές ταίριασμα των κινήσεων του με αυτό (Slater & Usoh 1994).
- το σχεδιασμό της αλληλεπίδρασης του χρήστη. Περιλαμβάνει το σχεδιασμό του οπτικού πεδίου, της πλοήγησης και αλληλεπιδράσεις με



αντικείμενα όπως πιάσιμο, περιστροφή και επεξεργασία τους (Kaur 1998, Kaur et al. 1999).

Το πόσο σημαντικός είναι ο καθορισμός της αλληλεπίδρασης του χρήστη με το ΕΠ φαίνεται από το γεγονός ότι αν και η έρευνα σήμερα στρέφεται κυρίως στις τεχνικές εφαρμογής των μεθόδων αλληλεπίδρασης, δεν είναι ακόμα ευρέως γνωστό πώς ο χρήστης καταφέρνει και αλληλεπιδρά με τα εικονικά περιβάλλοντα (Kalawsky et al. 1999). Σε μια ιδανική αλληλεπίδραση με ένα εικονικό περιβάλλον, οι χρήστες θα αισθάνονταν παρόντες και άμεσα δεσμευμένοι με το περιβάλλον. Εντούτοις, οι χρήστες συχνά υποφέρουν από τα κοινά προβλήματα αλληλεπίδρασης, όπως ο αποπροσανατολισμός, προβλήματα αντίληψης, τεχνικά προβλήματα και προβλήματα μη φυσικής αλληλεπίδρασης (Στρουμπούλης 2005).

### 2.4.3 Εμβύθιση

Η αίσθηση της εμβύθισης είναι η πιο κοινή περιγραφή που χαρακτηρίζει τα ΕΠ (Robertson et al. 1997) και ένα από τα κριτήρια ταξινόμησής τους. Αυτό αποτελεί μια ένδειξη της σπουδαιότητας που αποδίδεται στο χαρακτηριστικό της εμβύθισης. Η εμβύθιση αναφέρεται στην απομόνωση του συμμετέχοντα από τον πραγματικό κόσμο με τρόπο ώστε όλα τα αισθητήρια ερεθίσματα που του παρέχονται να συγκλίνουν για να του παράσχουν την αίσθηση της ύπαρξης (φυσικής και νοητικής) στον εικονικό κόσμο (Cronin 1997). Το ισχυρό χαρακτηριστικό στην εμβύθιση είναι ότι ο χρήστης δεν αποσπάται από τα συμβάντα του φυσικού περιβάλλοντος και μπορεί να ασχοληθεί απερίσπαστος εστιάζοντας την προσοχή του με τα διαδραματιζόμενα στο εικονικό περιβάλλον (Pimentel & Teixeira 1993:12).

Στην πράξη, όμως, στα ΕΠ αυτή η αισθητηριακή απομόνωση από το φυσικό περιβάλλον αφορά συνήθως στην όραση και την ακοή του χρήστη και επιτυγχάνεται με ένα «οπτικό κράνος» ή «κράνος ΕΠ» ή «γυαλιά ΕΠ». Επιπλέον μπορεί να χρησιμοποιούνται αισθητήρες και διάφορες άλλες συσκευές αλληλεπίδρασης (όπως γάντια δεδομένων) με σκοπό να αποκλείουν το χρήστη από τον πραγματικό κόσμο και να του επιτρέψουν να εστιάσει αποκλειστικά τις αισθήσεις του πάνω στον εικονικό κόσμο. Ο στόχος αυτών των τεχνικών είναι η τηλεπαρουσία, η προαγωγή δηλαδή της αίσθησης του χρήστη ότι βρίσκεται σε ένα άλλο μέρος.

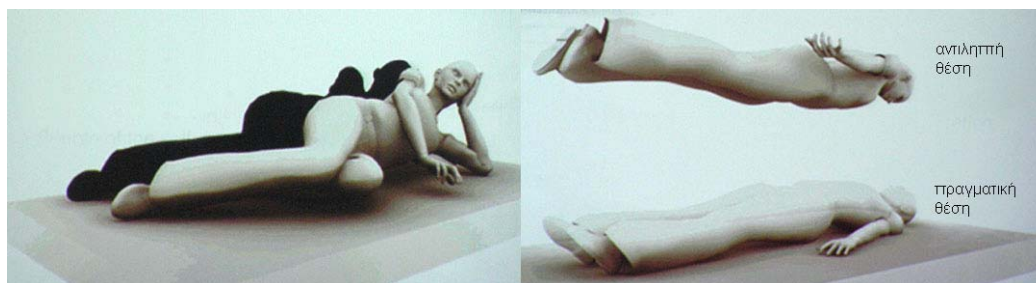
Ωστόσο η εμπειρία της εμβύθισης δεν εξαρτάται μόνο από τη χρησιμοποιούμενη τεχνολογία. Ένα χαρακτηριστικό επιχείρημα είναι ότι ποικίλλει από άνθρωπο σε άνθρωπο ακόμη και μέσα στο ίδιο σύστημα και αυτό υπογραμμίζει τον τρόπο που οι ατομικές διαφορές μπορούν να έχουν επιπτώσεις στην ποιότητα της υποκειμενικής εμπειρίας (Cronin 1997). Επίσης, η αίσθηση της κλειστοφοβίας από το χρησιμοποιούμενο εξοπλισμό είναι μερικές φορές αρκετή να καταστρέψει την εμβύθιση (Kalawsky 1996). Στην ερευνητική κοινότητα η έρευνα στα ζητήματα των ψυχολογικών και εργονομικών παραγόντων της εμβύθισης αρχίζει να αποκτά μεγάλο ενδιαφέρον. Ένας μεγάλος όγκος της βιβλιογραφίας δείχνει τις διαφορές για τον

τρόπο που μπορεί να προκληθεί και να βιωθεί η εμβύθιση (Slater et al. 1999a, 2000a, 2000b, Witmer & Singer 1998).

Αν και τα ΕΠ εμβύθισης φαίνονται πιο ισχυρά παρουσιάζουν ορισμένα μειονεκτήματα σε σχέση με τα συστήματα επιτραπέζιας ΕΠ τύπου «παράθυρο στον εικονικό κόσμο», που αφορούν κυρίως στην ανάλυση, στο κόστος, στην ταχύτητα απόκρισης (Kalawsky 1996, Negroponte 1995:128). Ένα επιπλέον πρόβλημα που συναντάται στα ΕΠ εμβύθισης είναι η λεγόμενη ασθένεια του κυβερνοχώρου (cyberspace sickness, simulation sickness) (Burdea & Coiffet 1994:251). Με τον όρο αυτό είναι γνωστά τα συμπτώματα δυσανεξίας, ναυτίας κλπ που εμφανίζονται σε μερικούς χρήστες μετά από την πάροδο κάποιου χρονικού διαστήματος στο περιβάλλον (Costello 1997).

#### 2.4.4 Παρουσία

Οι άνθρωποι είναι νοητικά παρόντες σ' ένα περιβάλλον στο οποίο είναι και φυσικά παρόντες. Η παρουσία είναι το στάδιο του να είσαι παρών στο χρόνο και στο χώρο σ' ένα συγκεκριμένο περιβάλλον. Μπορεί επίσης να περιγραφεί ως η αναγνώριση και γνώση του εαυτού να βρίσκεται μέσα σ' ένα περιβάλλον (Bricken & Coco 1995). Το λεξικό Oxford English Dictionary (2η Έκδοση) ερμηνεύει τη λέξη παρουσία ως «*το γεγονός ή την κατάσταση του να είσαι παρών, το να είσαι μπροστά ή στο ίδιο μέρος με ένα πρόσωπο ή πράγμα. Δηλαδή να είσαι εκεί*».



Σχήμα 2-1. Ανωμαλίες στην αντίληψη του σώματος. Στην αριστερή εικόνα εμφανίζεται ένα δεύτερο είδωλο του σώματος (σκιά) ενώ στη δεξιά περίπτωση εξωσωματικής εμπειρίας ο ασθενής αισθάνεται ότι παρατηρεί το σώμα του από ψηλά.

Η αίσθηση της παρουσίας γενικότερα αποτελεί ένα αρκετά σύνθετο αντικείμενο που αφορά αρκετούς διαφορετικούς τομείς, από τη φιλοσοφία και την ψυχολογία ως την επιστήμη των υπολογιστών και τα συνθετικά περιβάλλοντα της ΕΠ. Στο σχήμα 2-1 αναφέρονται δύο μόνο παραδείγματα παθογενών παρεκκλίσεων από την «αυτονόητη» κατά την κοινή λογική αίσθηση του σώματος στο πραγματικό περιβάλλον που βρίσκεται το υποκείμενο την τρέχουσα στιγμή. Το πώς πραγματοποιούνται η αντίληψη του σώματος (ή η εικόνα του εαυτού) και η αίσθηση της παρουσίας στον ανθρώπινο εγκέφαλο δεν είναι ακόμη γνωστό για τη νευροεπιστήμη και δεν αποτελεί στόχο της παρούσας διατριβής. Στη συγκεκριμένη

ενότητα γίνεται προσπάθεια να εντοπιστούν οι λόγοι και οι παράμετροι του συσχετισμού της αίσθησης της παρουσίας με τα εικονικά περιβάλλοντα.

Η δυνατότητα να δημιουργείται στο χρήστη η αίσθηση ότι βρίσκεται «μέσα» στο εικονικό περιβάλλον αποτελεί ένα σημαντικό χαρακτηριστικό ενός συστήματος ΕΠ. Αυτό συχνά αναφέρεται ως «βίωση μιας αίσθησης παρουσίας». Η αίσθηση αυτή επεκτείνεται πιο πέρα από την απλή εμπλοκή του χρήστη με το αναπαριστάμενο περιβάλλον, ενθαρρύνοντάς τον για ενεργό συμμετοχή σε διεργασίες (Kalawsky et al. 1999). Στα ΕΠ η παρουσία έχει οριστεί ως "μια κατάσταση της συνείδησης, η ψυχολογική κατάσταση να είσαι εκεί" (Hendrix & Barfield 1996a, Slater & Wilbur 1997). Η παρουσία θεωρείται ως ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας της ΕΠ και αποτελεί ξεχωριστό επιστημονικό πεδίο με ερευνητικό ενδιαφέρον για διάφορες ειδικότητες επιστημόνων από χώρους όπως οι θετικές επιστήμες, η ψυχολογία, η φιλοσοφία, η ιατρική, οι νευροεπιστήμες και οι κοινωνικές επιστήμες.

Η αίσθηση της παρουσίας συχνά συνδέεται άμεσα με την εμπύθιση και τα όριά τους συγχέονται από αρκετούς ερευνητές (Heim 1993:154-155). Τα κύρια συστατικά της αίσθησης της παρουσίας σύμφωνα με τον Sheridan (1992) είναι η επέκταση της αισθητηριακής πληροφόρησης, η ικανότητα του χρήστη να αλλάζει το σημείο θέασης κατά βούληση και η ικανότητα να επεμβαίνει και να αλλάζει τη χωρική συσχέτιση των αντικειμένων. Ο Slater (2003) υποστηρίζει ότι η αίσθηση της παρουσίας είναι μια απάντηση. Είναι μια ανθρώπινη αντίδραση στην εμπύθιση που προκαλεί η τεχνολογία της εικονικής πραγματικότητας. Γι' αυτό το λόγο οι άνθρωποι διαφέρουν στον τρόπο που αισθάνονται την εμπειρία της παρουσίας και τα χαρακτηριστικά του μέσου είναι προφανώς σημαντικά στον προσδιορισμό του βαθμού της παρουσίας.

Οι Witmer και Singer (1998) αναφέρουν την παρουσία ως την υποκειμενική εμπειρία του να είσαι σε ένα μέρος ή περιβάλλον, ακόμα και αν «φυσικά» βρίσκεσαι σε ένα άλλο. Αναφέρουν ότι η εμπλοκή και η εμπύθιση είναι απαραίτητα στοιχεία για να υπάρξει η εμπειρία της παρουσίας. Η εμπύθιση δεν αναφέρεται στην ύπαρξη του εξοπλισμού αλλά στη δημιουργούμενη ψυχολογική κατάσταση. Η αίσθηση της παρουσίας σχετίζεται περισσότερο με την ελευθερία πλοήγησης και τη δυνατότητα επηρεασμού του περιβάλλοντος και λιγότερο με την εμπύθιση η οποία μπορεί να προσφέρει αλλά δεν αποτελεί το βασικό παράγοντα.

Η παρουσία είναι μια προσωπική κατάσταση και διαφοροποιείται χρονικά. Δεν είναι μια ιδιότητα της τεχνολογίας, αν και η τεχνολογία είναι πιθανό να συμβάλει σε μια αίσθηση παρουσίας. Για παράδειγμα, μια προβαλλόμενη στερεοσκοπική τρισδιάστατη αναπαράσταση προκαλεί συνήθως μεγαλύτερη αίσθηση παρουσίας από μια απλή τηλεόραση. Η αίσθηση της παρουσίας διαφέρει σε σημαντικό βαθμό από άνθρωπο σε άνθρωπο. Ο Slater υποστηρίζει ότι έχει νόημα μόνο όταν μιλάμε για το βαθμό της παρουσίας σ' ένα περιβάλλον σχετικά με κάποιο άλλο (Slater et al. 1994a). Αυτό γίνεται επειδή ένα συνειδητό άτομο που λαμβάνει αισθητήρια ερεθίσματα από ένα και μόνο περιβάλλον είναι εξ' ορισμού παρόν στο ίδιο το περιβάλλον. Όταν ανταγωνιστικά ερεθίσματα προσλαμβάνονται ταυτόχρονα από πολλαπλά

περιβάλλοντα, τότε προκύπτει το ζήτημα ποιο περιβάλλον και για ποιο λόγο ενδεχομένως υπερτερεί (Slater et al. 1998).

#### 2.4.5 Εμπλοκή

Η έννοια της «εμπλοκής του χρήστη» στο εικονικό περιβάλλον είναι παρόμοια με την «αίσθηση συμμετοχής» που χρησιμοποιείται επίσης αρκετά. Η Bricken (1990) αναφέρει χαρακτηριστικά ότι σε ένα εικονικό περιβάλλον ο χρήστης μετατρέπεται σε συμμετόχο. Και οι δύο όροι αναφέρονται στην παροχή στο χρήστη δυνατοτήτων πλήρους ελευθερίας πλοήγησης και στις δυνατότητες αλληλεπίδρασης με τα στοιχεία (αντικείμενα) του εικονικού περιβάλλοντος.

Η ελευθερία πλοήγησης είναι από τα βασικά χαρακτηριστικά ενός εικονικού περιβάλλοντος. Ως πλήρη ελευθερία πλοήγησης, ορίζεται η δυνατότητα η οποία παρέχεται στο χρήστη ενός εικονικού περιβάλλοντος, να μετατοπισθεί (όποτε θέλει) προς κάθε δυνατή κατεύθυνση στον τρισδιάστατο χώρο (τρεις βαθμοί ελευθερίας στη μετατόπιση) και να στρέψει την οπτική του γωνία με όποια κλίση και σε όποια γωνία επιθυμεί (τρεις βαθμοί ελευθερίας στις περιστροφές). Αυτό αναφέρεται ως παροχή προς το χρήστη έξι βαθμών ελευθερίας στην πλοήγηση (Χαλκίδης 2006).

Η αλληλεπίδραση έχει μεγαλύτερη σημασία στο να γίνει πιστευτό ένα εικονικό περιβάλλον και είναι πολύ σημαντικότερη από τη φωτορεαλιστική απόδοσή του (Hand 1994). Η εμπλοκή δηλαδή του χρήστη, είναι πιο σημαντική από το βαθμό αληθοφάνειας. Η ΕΠ είναι δυναμικά το πιο αλληλεπιδραστικό μέσο όπως έχει επισημανθεί από αρκετούς ερευνητές όπως οι Kristoff και Sartran (1995:37).

#### 2.4.6 Αποτελεσματικότητα

Με τον όρο αποτελεσματικότητα εννοούμε την απόδοση των χρηστών σε ένα σύνολο εργασιών που πραγματοποιούν στο ΕΠ. Η δυνατότητα ενός ατόμου να ολοκληρώσει αποτελεσματικά ένα σύνολο εργασιών στο εικονικό περιβάλλον έχει μεγαλύτερη σημασία στα εκπαιδευτικά ΕΠ γιατί επηρεάζει την απόδοση του χρήστη (Burdea & Coiffet 1994).

Προκειμένου να καθοριστεί η αποτελεσματικότητα ενός εικονικού περιβάλλοντος, απαιτούνται μεθοδολογίες αξιολόγησης της επίδοσης των χρηστών στους εικονικούς κόσμους. Όπως σημειώνει ο Stanney και οι συνεργάτες του (1998), οι παράγοντες που συμβάλλουν στο να αποδίδουν οι άνθρωποι αποτελεσματικά στα εικονικά περιβάλλοντα περιλαμβάνουν:

- την πολυπλοκότητα της πλοήγησης στο εικονικό περιβάλλον: αν οι συμμετέχοντες δεν μπορούν να πλοηγηθούν αποτελεσματικά σε ένα ΕΠ, τότε η ικανότητά τους να εκτελέσουν τις απαιτούμενες εργασίες θα είναι αρκετά περιορισμένη. Ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη τυποποιημένων τεχνικών πλοήγησης που βοηθούν τα άτομα στη διατήρηση του χωρικού προσανατολισμού μέσα στα εικονικά περιβάλλοντα μπορεί να

αποδειχθεί ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα στο σχεδιασμό ενός εικονικού περιβάλλοντος (Darken & Sibert 1996).

- το βαθμό παρουσίας που παρέχεται από τον εικονικό κόσμο: Ο βαθμός παρουσίας που βιώνεται από ένα άτομο μπορεί να επηρεάσει την απόδοση (Zeltzer 1992). Η παρουσία είναι ένας παράγοντας της «ζωντανίας» (vividness) μιας εμπειρίας και του επιπέδου αλληλεπίδρασης (Sheridan 1992, Steuer 1992). Συνήθως θεωρείται ότι η εκτέλεση μιας εργασίας σ' ένα σύστημα εικονικής πραγματικότητας που παρέχει έναν υψηλό βαθμό παρουσίας είναι πιθανό να ολοκληρωθεί καλύτερα από μια άλλη με μικρότερο βαθμό.

## 2.5 Εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας

Οι τεχνολογίες της ΕΠ χρησιμοποιούνται ως εναλλακτικές αναπαραστάσεις του πραγματικού κόσμου σε ένα ευρύ φάσμα εμπορικών και επιστημονικών εφαρμογών που ολοένα διευρύνεται (Brooks 1999). Στις επόμενες παραγράφους γίνεται προσπάθεια να ομαδοποιηθούν αυτές οι εφαρμογές, χωρίς να προτείνεται κατ' ανάγκη κάποια μέθοδος ταξινόμησης.

Οι εφαρμογές ΕΠ συναντώνται:

Σε συστήματα προσομοίωσης πτήσης τα οποία είναι από τις παλαιότερες εφαρμογές. Σήμερα συνδυάζονται και με προσομοιώσεις καιρικών φαινομένων και αποτελούν εργαλεία εκπαίδευσης πιλότων αλλά και συνεργατικά ψυχαγωγικά παιχνίδια.

Σε επιδείξεις από την πλευρά των κατασκευαστικών εταιρειών και των ερευνητικών ομάδων, με σημαντικότερο πεδίο τις κατασκευές κτιρίων (αρχιτεκτονική προεπισκόπηση ή αξιολόγηση αρχιτεκτονικού σχεδιασμού) και την προώθηση προϊόντων. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα εικονικά ταξίδια με ξεναγό πριν την κράτηση και οι εικονικοί εκθεσιακοί χώροι.

Στη Φυσική και τη Χημεία (π.χ. τρισδιάστατη απεικόνιση χημικών ενώσεων και αντιδράσεων, μοριακή μοντελοποίηση).

Στην Ιατρική, όπου η εικονική πραγματικότητα έχει κάνει θαύματα κυρίως σε εκπαιδευτικές εφαρμογές, αλλά και στη διάγνωση και στην εξέλιξη των ιατρικών εργαλείων με αποτέλεσμα πολλές κακώσεις ή ασθένειες να αντιμετωπίζονται άμεσα και αποτελεσματικά. Οι σημαντικότερες εφαρμογές εντοπίζονται στην εγχείριση ανοικτής καρδιάς, στους ενδοσκοπισμούς και στη ραδιοχειρουργική. Σε συνδυασμό με την τηλεϊατρική είναι δυνατή η ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ ιατρών που βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση μεταξύ τους.

Στην αποκατάσταση κινητικών, αντιληπτικών και γνωστικών προβλημάτων σε νευρολογικές παθήσεις και στην κλινική ψυχολογία (Wiederhold & Wiederhold 1998), στη θεραπεία του πόνου (Hoffman et al. 2003b, 2001, 2000a, 2000b), για να μετριαστούν συμπτώματα σε παθολογικές καταστάσεις άγχους (Rothbaum et al.

2001, Difede & Hoffman 2002) και φοβίες, όπως αραχνοφοβία (Hoffman et al. 2003a, Garcia-Palacios et al. 2002) και ακροφοβία ή υψοφοβία (Rothbaum et al. 1995). Τα εικονικά περιβάλλοντα χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο για να αξιολογήσουν και να διαχειριστούν ψυχοσωματικές και γνωστικές-συμπεριφοριστικές διαταραχές (Rose et al. 1996, Wiederhold & Wiederhold 1998, Riva 1998, Rizzo et al. 1999).

Στην Αρχαιολογία, όπου η ΕΠ και η επαυξημένη (augmented) πραγματικότητα δίνει τη δυνατότητα αναπαράστασης ολόκληρων μνημείων και πόλεων του παρελθόντος. Τα τελευταία χρόνια είναι όλο και πιο συχνές οι εφαρμογές ΕΠ σε μουσεία και εκθεσιακούς χώρους.

Στον επαγγελματικό αθλητισμό κυρίως στη φάση των προπονήσεων και της αποκατάστασης τραυματισμών.

Σε εφαρμογές που σχετίζονται άμεσα ή έμμεσα με την τέχνη.

Σε εφαρμογές στη βιομηχανία της διασκέδασης είτε ως ηλεκτρονικά παιχνίδια είτε σε θεματικά πάρκα.

Στην υλοποίηση πειραματικών συνθηκών ακόμη και στις λεγόμενες κοινωνικές επιστήμες. Η μελέτη της ανθρώπινης αντίληψης και συμπεριφοράς ιστορικά στηρίχθηκε πειραματικά (στην προσπάθειά της να μειώσει την πολυπλοκότητα και τις επιδράσεις του περιβάλλοντος και της δραστηριότητας) στην εξέταση απλών στόχων που εκτελούνται σε περιορισμένο εργαστηριακό περιβάλλον (όπως για παράδειγμα απλές φωτεινές πηγές σε μαύρο φόντο) και έχει εξελιχθεί στην εξέταση σύνθετων, πραγματικών συμπεριφορών. Τα εικονικά περιβάλλοντα αντιπροσωπεύουν το επόμενο εξελικτικό βήμα σε τέτοιου είδους μελέτες, τα οποία με τον πλήρη έλεγχο των πειραματικών συνθηκών, την επαρκή παρακολούθηση των οπτικών, ακουστικών, κιναισθητικών και απτικών παρατηρήσεων και την επαναληψιμότητα των ερεθισμάτων προσφέρουν ένα αξιόπιστο και έγκυρο εργαλείο για την αξιολόγηση των μοντέλων της ανθρώπινης συμπεριφοράς (Pelz et al. 1999). Ένα ερέθισμα μπορεί να γίνει κύριο χαρακτηριστικό γνώρισμα ενός εικονικού περιβάλλοντος, και μπορεί να προγραμματιστεί έτσι ώστε τα συγκεκριμένα γνωστικά γεγονότα να εμφανίζονται μέσα στα συγκεκριμένα πλαίσια και σε ένα χρονικό διάστημα που είναι παρόμοιο, αν όχι ίδιο, με αυτό της κανονικής σκόπιμης συμπεριφοράς. Κατ' αυτό τον τρόπο, τα γεγονότα ρέουν σε ένα χρονικό διάστημα που επιτρέπει τη σημαντική κατάκτηση των ψυχοσωματικών σημμάτων (Rugnetti et al. 2001).

Τέλος, η εικονική πραγματικότητα εισάγεται σταδιακά στη βιομηχανία (αξιολόγηση βιομηχανικού σχεδιασμού), σε στρατιωτικές εφαρμογές (εκτός από τους προσομοιωτές πτήσης, χρησιμοποιούνται προσομοιώσεις σχεδόν όλων των πολεμικών διαδικασιών που έχουν να κάνουν με το χειρισμό κάποιου οχήματος, σκάφους, υποβρυχίου ή οπλικού συστήματος), στην προτυποποίηση (virtual prototyping), στην εξομοίωση συναρμολογημένων ακολουθιών και εργασιών συντήρησης κλπ. Επιπλέον οι τεχνολογίες ΕΠ χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση των ατόμων με ειδικές ανάγκες.

Οι εφαρμογές των ΕΠ στην εκπαίδευση περιγράφονται εκτενέστερα σε επόμενη ενότητα.

Η επιστημονική κοινότητα υιοθετεί διαφορετικές κατατάξεις στις εφαρμογές ΕΠ. Οι Aukstakalnis και Baltner εμφανίζουν τέσσερις βασικές χρήσεις (μοντελοποίηση, επικοινωνία, έλεγχος, τέχνη και διασκέδαση) (1992:16-20) και επτά κατηγορίες εφαρμογών (1992:183-258) (αρχιτεκτονική και σχεδίαση, διασκέδαση, υγεία και ιατρική, εκπαίδευση, επιστήμες, έλεγχος πληροφορίας, τηλεπαρουσία). Η Pantelidis (1993) αναφέρεται σε οκτώ κατηγορίες: αρχιτεκτονική, εκπαίδευση και κατάρτιση, διασκέδαση, βιομηχανία, ιατρική, σχεδιασμός, φυσικής κατάστασης και ρομποτική. Από αυτούς διαβλέπει μελλοντική ανάπτυξη στους τομείς της εκπαίδευσης, της διασκέδασης και της ρομποτικής. Ο Eddings (1994) ταξινομεί τις εφαρμογές σε επαγγελματικές (ιατρικές, μηχανικών και αρχιτεκτονικές, στρατιωτικές, επιστημονικής οπτικοποίησης, οικονομικές), ψυχαγωγικές (παιχνίδια, διασκέδαση, τέχνη), μελλοντικής κατεύθυνσης (εκπαίδευση, άτομα με αναπηρίες, τεχνητή νοημοσύνη και ανάπτυξη νέου υλικού). Ο Larijani (1994) οργανώνει τις εφαρμογές ως εξής: ιατρικές, αρχιτεκτονικές, διασκέδαση, εκπαίδευση, σπίτι και γραφείο, κατασκευές, επιστήμη και μηχανική, στρατιωτικές. Οι Burdea και Coiffet (1994) εμφανίζουν τους τομείς: ιατρικής και αποκατάστασης, διασκέδαση - τέχνη - εκπαίδευση, στρατιωτικές και αεροδιαστημικές, επιχειρηματικές, ρομποτική και παραγωγή.

## 2.6 Τεχνολογικά χαρακτηριστικά

Τα εικονικά περιβάλλοντα περιλαμβάνουν ένα ευρύτατο σύνολο τεχνολογιών, που όταν συνδυάζονται, παρέχουν μια διεπαφή που μπορεί να θεωρηθεί ως μια «εναλλακτική εμπειρία» (Held & Durland 1992). Το βασικό χαρακτηριστικό τους γνώρισμα είναι ότι οι χρήστες μπορούν να θεωρηθούν ότι βιώνουν μια εναλλακτική εμπειρία που διατηρείται παράλληλα με την πραγματική. Εξαιτίας αυτής της εξ' ορισμού ιδιότητάς τους οι τεχνολογίες αυτές είναι προσανατολισμένες στις ανθρώπινες παραμέτρους, συνεχώς διευρύνονται και ο ρόλος τους για τα ΕΠ είναι τόσο σημαντικός που σε μεγάλο βαθμό προσδιορίζουν την εικόνα και την εξέλιξη των ΕΠ.

Ένα σύγχρονο τυπικό σύστημα ΕΠ απαιτεί τεχνολογικές προσεγγίσεις που καλύπτουν τομείς που αναφέρονται σε τεχνολογικές απαιτήσεις υλικού και λογισμικού, όπως:

- γραφικά που ενημερώνονται σε πραγματικό χρόνο, ρεαλιστικοί στερεοφωνικοί ήχοι και απτικά ερεθίσματα
- ρεαλιστικό χειρισμό των συγκρούσεων που συμβαίνουν ανάμεσα στα αντικείμενα του εικονικού κόσμου όταν αυτά πραγματοποιούν κινήσεις, ιδιαίτερα στους εικονικούς χαρακτήρες (avatars)
- αντιστοιχία της συμπεριφοράς του ΕΠ με τους νόμους της φυσικής που ισχύουν στον πραγματικό κόσμο

- έλεγχος των κινήσεων της κεφαλής του χρήστη με σκοπό τον εντοπισμό της οπτικής στόχευσής του
- έλεγχος των κινήσεων άλλων μελών του σώματος του χρήστη
- τεχνολογικές λύσεις που αφορούν στη δικτύωση του ΕΠ με άλλα αντίστοιχα ΕΠ.

Τα ΕΠ αποτελούν εφαρμογές πληροφορικών συστημάτων με το επιπλέον βασικό χαρακτηριστικό ότι τοποθετούν τον άνθρωπο-χρήστη στο κέντρο και οργανώνουν το όλο σύστημα γύρω από τις αισθήσεις του. Ως πληροφορικά συστήματα έχουν τρεις συνιστώσες (Murakami et al. 1992):

- την είσοδο της δράσης του ανθρώπου-χρήστη στο σύστημα,
- την έξοδο του συστήματος προς τον άνθρωπο (αντίδραση, ανάδραση) και
- ένα μοντέλο (λειτουργίας) του κόσμου που υλοποιούν.

Οι δύο πρώτες συνιστώσες αναφέρονται κυρίως στο χρησιμοποιούμενο υλικό και στις περιφερειακές συσκευές. Οι περιφερειακές συσκευές που σχετίζονται με την ΕΠ, είναι πολλές και διαφορετικές μεταξύ τους και παρουσιάζουν μεγάλη εξειδίκευση ανάλογα με τις γενικότερες ανάγκες τις οποίες καλείται να ικανοποιήσει το κάθε ΕΠ (Aukstakalnis & Blatner 1992, Kalawsky 1993, Burdea & Coiffet 1994, Foxley 1987, Brown & Slater 1991, Biocca 1992, Delaney 1993, Mogal 1994, Gradecki 1994, Sturman & Zeltzer 1994, Δίπλας 1994, VR News 1995, Davies 2001). Ανάλογα με την περίπτωση, αυτές οι συσκευές συνήθως επηρεάζονται ή επιδρούν στη θέση του χρήστη στο ΕΠ, στη θέση και τη μετακίνηση του κεφαλιού του χρήστη με ιδιαίτερη έμφαση στην εστίαση των ματιών, στη θέση του χεριού και σε μερικές περιπτώσεις και άλλων μελών του σώματος.

Μια πρώτη ταξινόμηση των σχετικών με την ΕΠ συσκευών σχετίζεται με τη ροή της πληροφορίας μεταξύ χρήστη και ΕΠ: συσκευές εισόδου των εντολών του χρήστη στο ΕΠ και συσκευές εξόδου από το ΕΠ που απευθύνονται στα αισθητήρια όργανα του χρήστη. Επιπλέον μπορούμε να τις ομαδοποιήσουμε σε κατηγορίες ανάλογα με την αρχή λειτουργίας και τη χρήση για την οποία προορίζονται.

### **Συσκευές εισόδου**

Με αυτές τις συσκευές το ΕΠ πληροφορείται κάποιες φυσικές παραμέτρους του χρήστη (με σημαντικότερες τη θέση του σώματος, του κεφαλιού, της κόρης των ματιών, του χεριού ή και άλλων μελών του σώματος) και τις εντολές/δράσεις του χρήστη. Λέγονται και συσκευές αλληλεπίδρασης γιατί με αυτές οι χρήστες αλληλεπιδρούν με το ΕΠ για να πλοηγηθούν σε αυτό, να ακουμπήσουν ή να μετακινήσουν (χειριστούν) εικονικά αντικείμενα, να πατήσουν ένα κουμπί, κ.ά. Τυπικές τέτοιες συσκευές είναι το πληκτρολόγιο, το ποντίκι και το χειριστήριο. Άλλες πιο εξειδικευμένες συσκευές εισόδου είναι:





Σχήμα 2-2. Γάντι δεδομένων (αριστερά) και εξωσκελετός (δεξιά).

Τα γάντια δεδομένων (dataglove) και συσκευή εξωσκελετού (σχήμα 2-2), με δυνατότητα παρακολούθησης της θέσης και της κίνησης του χεριού και των δακτύλων του χρήστη και σε κάποιες περιπτώσεις με μηχανισμούς ανάδρασης δύναμης και πίεσης (force feedback).

Συσκευές πλοήγησης (σχήμα 2-3) με δυνατότητες πλοήγησης (σε δισδιάστατο ή τρισδιάστατο χώρο) με έξι βαθμούς ελευθερίας (π.χ. spaceball, spacemouse).

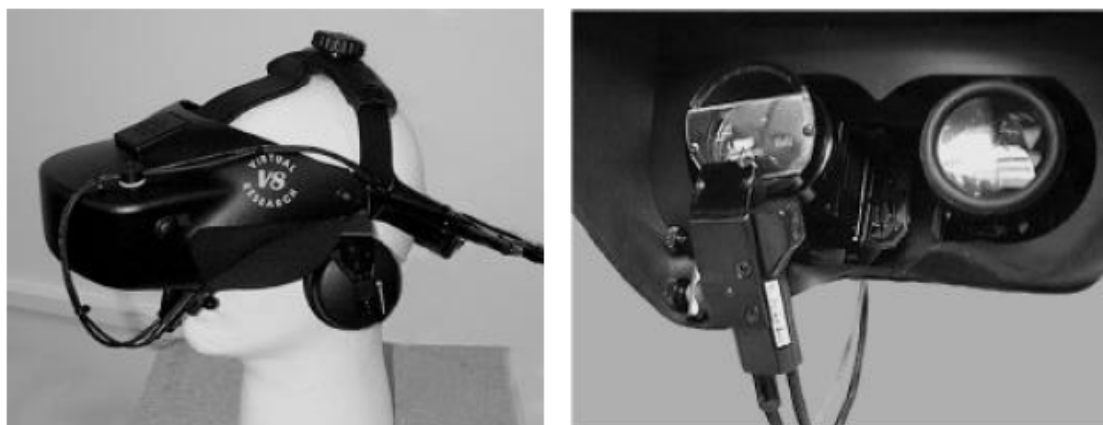


Σχήμα 2-3. Διάφοροι τύποι Spaceball (άνω) και spacemouse (κάτω).

Συστήματα παρακολούθησης των κινήσεων του κεφαλιού. Όλα τα συστήματα ΕΠ που χρησιμοποιούν οθόνες προσαρμοσμένες στο κεφάλι του χρήστη ή γυαλιά ΕΠ, είναι σημαντικό να ενσωματώνουν μηχανισμούς που παρακολουθούν την κίνηση, τον προσανατολισμό και την περιστροφή του κεφαλιού (head-tracking sensors) ώστε να τροποποιούν κατάλληλα την οπτική σκηνή που εμφανίζεται στην οθόνη ή με άλλα λόγια να αλλάζουν το σημείο παρατήρησης (viewpoint) του χρήστη στο ΕΠ. Ένα ιδανικό σύστημα θα έπρεπε να έχει άπειρη ανάλυση, χωρίς λάθη και με μηδενική καθυστέρηση.

Ειδικά η τελευταία παράμετρος της καθυστέρησης στην κατάλληλη αναπροσαρμογή της εικόνας αντίστοιχα με τις κινήσεις της κεφαλής (η οποία είναι υπαρκτή σε όλα τα συστήματα ΕΠ) και μπορεί να προκαλέσει σημαντική ενόχληση στο χρήστη του ΕΠ ή ακόμη και ναυτία, είναι αρκετά δύσκολο να βελτιστοποιηθεί, αφού οι απαιτούμενοι υπολογισμοί για τον ανασχεδιασμό της οθόνης πρέπει να πραγματοποιηθούν μετά την ανάλυση και τον ακριβή υπολογισμό της κάθε κίνησης του κεφαλιού. Μια πρόσθετη βελτιστοποίηση μπορεί στις περισσότερες περιπτώσεις να προκύψει από τη χρήση αλγορίθμων πρόβλεψης στους απαιτούμενους υπολογισμούς (Pelz et al. 1999).

Συστήματα παρακολούθησης των κινήσεων της κόρης του ματιού (eyetrackers). Τα περισσότερα συστήματα ΕΠ τροποποιούν τις εικόνες του περιβάλλοντος που προβάλλονται στην οθόνη ή τα γυαλιά σύμφωνα με τις μετακινήσεις του κεφαλιού του χρήστη. Ωστόσο, στο φυσικό κόσμο αρκεί μια μετακίνηση της κόρης των ματιών για να αλλάξει το οπτικό πεδίο του παρατηρητή. Εκτός όμως από την προφανή αύξηση της ρεαλιστικότητας, τα συστήματα αυτά μπορούν να προσφέρουν και στις φυσιολογικές μετρήσεις που μπορεί να σχετίζονται με την προσοχή, την έκπληξη, την κούραση και άλλες ψυχοφυσιολογικές παραμέτρους του χρήστη. Συνήθως τα συστήματα παρακολούθησης των κινήσεων της κόρης του ματιού προσαρμόζονται ή συνδυάζονται με άλλες συσκευές όπως τα γυαλιά ή τα κράνη ΕΠ (σχήμα 2-4).



Σχήμα 2-4. HMD οθόνη με προσαρμοσμένη συσκευή παρακολούθησης των κινήσεων της κόρης στο δεξιό μάτι.

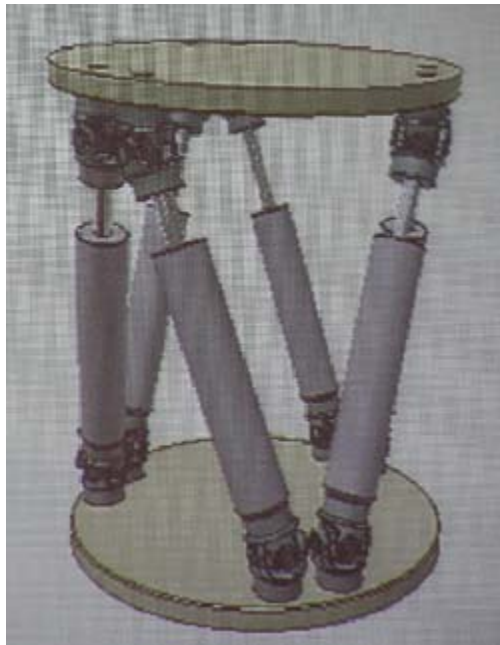
### Συσκευές εξόδου

Με αυτές τις συσκευές το ΕΠ εφοδιάζει με πληροφορίες τα αισθητήρια του χρήστη. Οι αισθήσεις που κυριαρχούν είναι η όραση (οθόνη ή γυαλιά ΕΠ) και η ακοή (όπου χρησιμοποιούνται πλήθος τρισδιάστατων ηχητικών εφέ).

Ενώ προσαρμοσμένες στο κεφάλι οθόνες ΕΠ μπορούν να παρέχουν ένα πλούσιο οπτικό περιβάλλον και να συμβάλουν σε ισχυρή αίσθηση εμπύθισης, η αλληλεπίδραση με στοιχεία αυτού του περιβάλλοντος απαιτεί πρόσθετες τεχνολογίες, οι οποίες κυρίως αφορούν σε συσκευές παροχής απτικής ανατροφοδότησης (Pelz et al. 1999). Αυτές οι συσκευές προσομοιάζουν το απτικό ερέθισμα με ηλεκτρικό συνήθως τρόπο και μπορεί να προσαρμόζονται με κατάλληλα γάντια στα χέρια ή σε οποιαδήποτε άλλο σημείο του δέρματος. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν επίσης και οι συσκευές πίεσης ή θερμοκρασίας (στις οποίες το ερέθισμα βιώνεται όπως στον πραγματικό κόσμο χωρίς ηλεκτρική προσομοίωση).

Επιπλέον υπάρχουν συστήματα γευστικών και οσφρητικών ερεθισμάτων (Hoffman et al. 1998) και πλήθος άλλων περιφερειακών συσκευών ανάλογα με τις απαιτήσεις της κάθε πειραματικής διαδικασίας.

Τέλος, σε κάθε εφαρμογή μπορεί να χρησιμοποιούνται διάφορες εξειδικευμένες συσκευές που απευθύνονται στην αίσθηση ισορροπίας του χρήστη και μπορούν να εμπλουτίσουν το εικονικό περιβάλλον με ποικίλες ρεαλιστικές κινήσεις με σκοπό την ενίσχυση της εμπύθισης. Στο σχήμα 2-5 φαίνεται μια τυπική μηχανική διάταξη ικανή να τροφοδοτήσει το δάπεδο του χρήστη με όλες τις πιθανές κινήσεις που μπορεί να συμβούν στην πραγματικότητα.



Σχήμα 2-5. Σχηματική παράσταση μια μηχανικής διάταξης που μπορεί να αναπαράγει ρεαλιστικές κινήσεις στο άνω επίπεδο, το οποίο μπορεί να είναι το δάπεδο του χρήστη.

## Οπτικά κράνη ή γυαλιά ΕΠ



Σχήμα 2-6. Οθόνη ΕΠ προσαρμοσμένη στο κεφάλι του χρήστη (HMD) (Pelz et al. 1999).

Τα οπτικά κράνη ΕΠ (VR head-mounted displays - HMD) αναφέρονται εδώ ως χωριστή κατηγορία συσκευών ΕΠ γιατί με τεχνολογίες οπτικής απεικόνισης (στερεοσκοπικής ή όχι), τρισδιάστατου ήχου και παρακολούθησης της θέσης και της κίνησης (position tracking) της κεφαλής του χρήστη ενσωματώνουν πολλές από τις συσκευές ΕΠ που προαναφέρθηκαν και δίνουν για το ευρύ κοινό το στίγμα των τεχνολογιών ΕΠ (σχήμα 2-6). Τα γυαλιά ΕΠ (LCD shutter glasses) παρέχουν δυνατότητα στερεοσκοπικής συνήθως όρασης στην οθόνη του υπολογιστή ή σε μία προβαλλόμενη εικόνα, χωρίς όμως τις επιπλέον δυνατότητες του κράνους ΕΠ (σχήμα 2-7).



Σχήμα 2-7. Στερεοσκοπικά γυαλιά ΕΠ.

Εναλλακτικές τεχνολογικές λύσεις του κράνους ΕΠ αποτελούν το Boom και το CAVE.

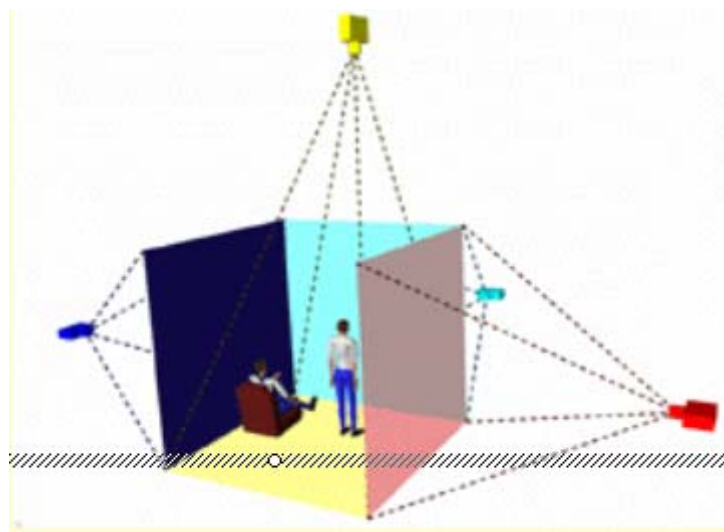
Το Boom (Binocular Omni – Orientation Monitor ή πανκατευθυντική διοπτρική οθόνη) είναι μια συσκευή με στερεοσκοπικές οθόνες και ένα οπτικό σύστημα που είναι τοποθετημένα μέσα σε κουτί συνδεδεμένο με ένα κινούμενο βραχίονα. Ο χρήστης βλέπει το εικονικό περιβάλλον μέσα από δυο τρύπες που βρίσκονται στο κουτί και μπορεί να οδηγήσει το κουτί ουσιαστικά σε οποία θέση επιθυμεί, ανάλογα βέβαια και με τη λειτουργικότητα της συσκευής. Ο εντοπισμός της θέσεως του

κεφαλιού γίνεται με τη βοήθεια κατάλληλων αισθητήρων που βρίσκονται σε διάφορα καίρια σημεία στο χέρι που κρατάει το κουτί. Ένα παράδειγμα διάταξης Boom φαίνεται στο σχήμα 2-8.

Το Cave (Cave Automatic Virtual Environment ή Σύστημα Αυτόματου Εικονικού Περιβάλλοντος Σπηλαίου) έχει αναπτυχθεί και δημιουργηθεί από το Πανεπιστήμιο του Ιλลินόις στο Σικάγο και παρέχει την παραίσθηση της εμπύθισης με το να προβάλλει εικόνες στον τοίχο και στο πάτωμα ενός κύβου που έχει διατάξεις δωματίου. Πολλά άτομα με τη χρησιμοποίηση ελαφρών στερεοσκοπικών γυαλιών μπορούν να συμμετέχουν και να περπατήσουν ελεύθερα μέσα Cave. Στο σχήμα 2-9 παρουσιάζεται μια τυπική σχηματική αναπαράσταση του συστήματος Cave.



Σχήμα 2-8. Παράδειγμα διάταξης boom.



Σχήμα 2-9. Σχηματική παράσταση μιας διάταξης cave. Εικονίζονται οι κάμερες που προβάλλουν σε κάθε πλευρά και τα υποκείμενα-χρήστες στο εσωτερικό.

Η τρίτη συνιστώσα (δηλαδή το μοντέλο του κόσμου) έχει ως βασική διάσταση το λογισμικό. Το απαιτούμενο λογισμικό ή ομάδα λογισμικών πρέπει να καλύπτει το σχεδιασμό και την κατασκευή:

- τμημάτων και αντικειμένων του ΕΠ (τρισετάσεων μοντέλων, υφών, ήχων και λοιπών ερεθισμάτων)
- σχεδίαση εικονικών περιβαλλόντων με ομαδοποίηση και σύνθεση των ξεχωριστών αντικειμένων, καθορισμό των ιδιοτήτων και της συμπεριφοράς των διαφορετικών τμημάτων, κλπ.
- χειρισμό του ΕΠ από τον τελικό χρήστη (δυνατότητες πλοήγησης και δράσεις του χρήστη, ανάδραση του ΕΠ).

## 2.7 Μετρήσεις σε εικονικά περιβάλλοντα

Οι μετρήσεις και οι προσπάθειες εκτίμησης της εμπειρίας που βιώνει ο χρήστης των ΕΠ αφορούν σε μετρήσεις των επιμέρους χαρακτηριστικών των ΕΠ. Οι περισσότερες έρευνες ασχολούνται με μετρήσεις της αίσθησης της παρουσίας, για την οποία αν και δεν έχει διαμορφωθεί ακόμη γενικά αποδεκτή θεωρία, εν τούτοις προτείνονται ποικίλοι τρόποι μέτρησής της. Οι μέθοδοι που θα αναφερθούν στη συνέχεια εξειδικεύονται στη μέτρηση της παρουσίας, αλλά είναι ενδεικτικές του τρόπου που προσεγγίζεται το θέμα των μετρήσεων στα ΕΠ.

Ο Meehan (2001) υποστηρίζει ότι μια εμπειριστατωμένη μέτρηση της παρουσίας θα πρέπει να είναι:

- (α) *έγκυρη και σχετική (valid, relevant)*: να μετρά την παρουσία και να έχει άμεση σχέση με την παρουσία και τα χαρακτηριστικά της
- (β) *αξιόπιστη (reliable)*: να έχει αποδεδειγμένη επαναληψιμότητα
- (γ) *ευαίσθητη (sensitive)*: να μπορεί να διακρίνει επίπεδα και διαβαθμίσεις
- (δ) *μη ενοχλητική (non-intrusive)*
- (ε) *αντικειμενική (objective)*: να είναι ελεύθερη από τις προκαταλήψεις των υποκειμένων και του ερευνητή.

Γενικά στις μετρήσεις στα ΕΠ εμφανίζονται δύο προσεγγίσεις: η υποκειμενική και η αντικειμενική.

### 2.7.1 Υποκειμενικές μετρήσεις

Οι υποκειμενικές μετρήσεις βασίζονται στις αυτό-αξιολογήσεις των χρηστών (Slater et al. 1994b, Prothero & Hoffman 1995, Hendrix & Barfield 1996a, 1996b, Welch et al. 1996, Witmer & Singer 1998). Αυτό τυπικά γίνεται με τη συμπλήρωση ενός ερωτηματολογίου, μετά (ή και πριν) την εμπειρία σε ένα ΕΠ, καθώς και από απαντήσεις που μπορούν να καταγραφούν κατά τη διάρκεια του πειράματος (Freeman et al. 1999, IJsselsteijn et al. 1998) ή ακόμα και προφορικά καθώς παρατηρούνται

αλλαγές μεταξύ της αντίληψης του να βρίσκεται κάποιος μέσα σ' ένα τεχνικά παραγόμενο περιβάλλον και του φυσικού (πραγματικού) περιβάλλοντος (Slater & Steed 2000). Για τη μέτρηση της παρουσίας οι μέθοδοι αυτοί διακρίνονται σε ενδοσκοπικές ή μετρήσεις αυτοπαρατήρησης, που αξιολογούν το βαθμό αίσθησης της παρουσία στο ΕΠ μέσω των αντιλήψεων των συμμετεχόντων, π.χ. το ερωτηματολόγιο SUS (Slater-Usoh-Steed, Slater et al. 1994a) και αιτιοκρατικές μετρήσεις που προσπαθούν να μετρήσουν την παρουσία μέσα από τις αιτίες που την προκαλούν, π.χ. το ερωτηματολόγιο των Witmer και Singer (1998).

Οι υποκειμενικές μέθοδοι, αν και χρησιμοποιούνται ευρέως σήμερα, αντιμετωπίζονται με σκεπτικισμό από αρκετούς ερευνητές. Ο Freeman θεωρεί ότι οι χρήστες ενός ΕΠ είναι σχεδόν απίθανο να αναφέρουν ότι αισθάνονται παρόντες μέσα σ' αυτό, όταν είναι ενήμεροι ότι βρίσκονται στον πραγματικό κόσμο, αλλά πιθανόν αναφέρονται σε μια αίσθηση ότι «βρίσκονται εκεί» που προσεγγίζει το τι θα αισθάνονταν εάν ήταν πραγματικά εκεί (Freeman et al. 1999). Η ανάγκη επομένως να απεικονιστεί συνειδητά το ποσοστό της παρουσίας που βιώνεται προκειμένου να δοθεί μια αξιόπιστη εκτίμηση, οδηγεί στη χρήση των αντικειμενικών μετρήσεων ώστε να επιβεβαιωθούν οι υποκειμενικές μετρήσεις.

### 2.7.2 Αντικειμενικές μετρήσεις

Οι αντικειμενικές μετρήσεις σχετίζονται με εσωτερικές, φυσιολογικές μετρήσεις των χρηστών ή με εξωτερικές παρατηρήσεις της συμπεριφοράς των χρηστών σε ανταποκρίσεις του ΕΠ (Wilson et al. 1997, Cohn et al. 1996). Οι φυσιολογικές μετρήσεις θεωρούνται τυπικά αντικειμενικές από τη φύση τους, όχι ως προς τη σωστή μέτρηση του μετρούμενου μεγέθους, αλλά ως προς αυτό που οι ίδιες οι μετρήσεις καταγράφουν (Στρουμπούλης 2005). Επιπλέον, παράγονται αυθόρμητα, χωρίς συνειδητή συζήτηση και, το σημαντικότερο, ταυτόχρονα με την εμπειρία του χρήστη στο ΕΠ. Το γεγονός αυτό μικραίνει την πιθανότητα οι συμμετέχοντες να χρησιμοποιήσουν την κριτική τους σκέψη για να περιγράψουν μια ανάμνηση του πειράματος, όπως κατά κανόνα συμβαίνει στις υποκειμενικές μεθόδους.

Σε μία προσπάθεια να αναπτυχθούν αντικειμενικές επιβεβαιωτικές μετρήσεις της παρουσίας, προτάθηκε η προσέγγιση του συμπεριφοριστικού ρεαλισμού (behavioral realism). Η προσέγγιση αυτή βασίζεται στην προϋπόθεση ότι εφόσον μια προσομοίωση προσεγγίζει το περιβάλλον που αναπαριστά, οι αντιδράσεις ενός παρατηρητή στα ερεθίσματα της προσομοίωσης θα τείνουν να προσεγγίσουν εκείνες που θα προέκυπταν από το ίδιο το περιβάλλον (Held & Durland 1992). Δηλαδή, επειδή γενικά οι άνθρωποι έχουν συχνά εμπειρίες φυσιολογικών ή συμπεριφοριστικών απαντήσεων σε ερεθίσματα στον πραγματικό κόσμο, φαίνεται λογικό το ίδιο ερέθισμα να μπορεί επίσης να παράγει τις ίδιες απαντήσεις σ' ένα εικονικό περιβάλλον (Στρουμπούλης 2005). Βασισμένες σε αυτήν την αρχή, έχουν διατυπωθεί μια ποικιλία από αντικειμενικές μετρήσεις, που μπορούν να ταξινομηθούν στις ακόλουθες τέσσερις κατηγορίες (Sheridan 1992, Held & Durland 1992, Slater & Wilbur 1997):

(α) Αντανακλαστικές απαντήσεις

Αρχικά προτάθηκαν από τους Held και Durlach (Sheridan 1996) μετρήσεις συμπεριφοράς, όπως οι αντανακλαστικές απαντήσεις (reflexive responses) και αργότερα προσδιορίστηκαν από τον Loomis (1992). Ο Wilson και η ερευνητική του ομάδα (1997) χρησιμοποίησαν επίσης τις αντιδράσεις σε ένα απροσδόκητο γεγονός. Παραδείγματα τέτοιων απαντήσεων μπορεί να είναι τα εξής: σκύψιμο προς αποφυγή κάποιου αντικειμένου (π.χ. μια μπάλα που έρχεται προς το πρόσωπο του υποκειμένου), απότομο τράβηγμα από φόβο ή πόνο, κινήσεις για το πιάσιμο ενός εικονικού αντικειμένου, χαιρετισμός άλλων εικονικών ανθρώπων, απαντήσεις προσανατολισμού, θέση του κεφαλιού, αποφυγή εικονικών κινδύνων. Τέτοιου είδους συμπεριφοριστικές μετρήσεις είναι περισσότερο χρήσιμες όταν είναι καλά προσαρμοσμένες στις εμπειρίες που οι συμμετέχοντες αναμένεται να έχουν στο εικονικό περιβάλλον.

(β) Αλλαγές στη συμπεριφορά

Εκτός από τις αντανακλαστικές απαντήσεις χρησιμοποιούνται ποικίλες μέθοδοι βασισμένες στη συμπεριφορά του χρήστη, όπως ο χρόνος αντίδρασης, ο ρυθμός επιτυχιών και γενικά η παρατήρηση στις αλλαγές της στάσης των συμμετεχόντων κατά τη διάρκεια της εμπειρίας τους στο εικονικό περιβάλλον. Πώς δηλαδή η συμπεριφορά των υποκειμένων αλλάζει σε μια αλλαγή των απτικών, ακουστικών ή οπτικών ερεθισμάτων του περιβάλλοντος. Ο Freeman και η ερευνητική του ομάδα (2000) βρήκαν μια αξιοσημείωτη διαφορά στις στάσεις των συμμετεχόντων παρακολουθώντας στερεοφωνικές και μη-στερεοφωνικές παρουσιάσεις.

(γ) Απαντήσεις κοινωνικού περιεχομένου (social condition responses)

Στις κοινωνικές τους επαφές οι άνθρωποι αλληλεπιδρούν μεταξύ τους μέσω ενός πλούσιου ρεπερτορίου κοινωνικών συμπεριφορών, λεκτικών ή μη, οι περισσότερες από τις οποίες εμφανίζονται ασυνείδητα. Οι παρατηρήσιμες κοινωνικές συμπεριφορές περιλαμβάνουν εκφράσεις προσώπου (χαμόγελα), χειρονομίες (χαιρετισμοί), μετακινήσεις του σώματος, φωνητικές και λεκτικές εκφράσεις (τόνος της φωνής), αναγνωρίζοντας άμεσα το άτομο με το οποίο επικοινωνούμε (Sheridan 1996). Ο Cassell και η ερευνητική του ομάδα (Cassell & Vilhjálmsson 1999) υποστηρίζουν ότι η ένταξη εικονικών ανθρώπων μέσα στο εικονικό περιβάλλον, δίνοντάς τους κατάλληλες συμπεριφορές, μπορεί να βοηθήσει στο ρεαλισμό της αλληλεπίδρασης και στην αύξηση της συμμετοχής των χρηστών.

(δ) Φυσιολογικές μετρήσεις



Αν και υπάρχει μια κοινή πεποίθηση ότι η τεχνολογία της εικονικής πραγματικότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εναλλακτική αναπαράσταση του πραγματικού κόσμου, δεν υπάρχουν επαρκείς ενδείξεις για αντιστοιχίες νευρωνικής λειτουργίας κατά την αντίληψη και την επεξεργασία εικονικών και πραγματικών ερεθισμάτων (Perani et al 2001). Ωστόσο, τέτοιου είδους αντιστοιχίες υπονούνται στις νευροεπιστήμες, όταν για παράδειγμα εφαρμογές ΕΠ χρησιμοποιούνται για να ερευνηθούν λειτουργίες χωρικές (Aguirre et al. 1996), οπτικο-κινητικές (Decety et al. 1994, Ghahramani & Wolpert 1997) ή συναισθηματικές (Nakamura et al. 1999). Μερικοί ερευνητές όπως οι Barfield και Weghorst (1993), προτείνουν τη χρήση αρκετών φυσιολογικών μετρήσεων στα ΕΠ, δηλαδή μετρήσεις των πιθανών φυσιολογικών και νευροφυσιολογικών αλλαγών που πραγματοποιούνται τη στιγμή που τα υποκείμενα αλληλεπιδρούν με το ΕΠ.

Τέτοιες μέθοδοι είναι:

- το ηλεκτρομυογραφήματα (electromyogram - EMG)
- το ηλεκτροκαρδιογραφήματα (electrocardiogram – ECG)
- το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (electroencephalogram - EEG)
- το ηλεκτροοφθαλμογράφημα και γενικά οφθαλμικές κινήσεις (electro-oculogram, EOG)
- ο ρυθμός αναπνοής (respiratory patterns)
- η ηλεκτρική δραστηριότητα του δέρματος (electrodermal activity), όπως η γαλβανική αντίσταση δέρματος (galvanic skin response - GSR)
- η πίεση του αίματος (blood pressure)
- η θερμοκρασία σώματος ή δέρματος
- η εφίδρωση

Το ηλεκτροοφθαλμογράφημα καταγράφει τις κινήσεις των ματιών. Η οπτική ανάλυση παρουσιάζει μια μεγάλη και ταχύτατη συνήθως ποικιλία οφθαλμικών κινήσεων σαρώνοντας το οπτικό πεδίο από την κεντρική μέχρι την περιφερειακή όραση. Οι οφθαλμικές κινήσεις πραγματοποιούνται ακόμη και όταν η εκτελούμενη δραστηριότητα δεν απαιτεί μεγάλη χωρική ανάλυση. Αυτές οι κινήσεις είναι σημαντικές γιατί παρέχουν έναν αντικειμενικό δείκτη του τρόπου που το άτομο στρέφει την (οπτική) προσοχή του εκτελώντας μια σύνθετη πραγματική δραστηριότητα. Επιπλέον αποκαλύπτονται οι στρατηγικές που το άτομο χρησιμοποιεί κατά την επίλυση ενός προβλήματος, ακόμα και αυτές που δε γίνονται συνειδητά αντιληπτές. Οι οφθαλμικές κινήσεις μπορούν να προσδιοριστούν με ηλεκτροοφθαλμικά ηλεκτρόδια (μέσω των οποίων καταγράφονται οι διαφορές ηλεκτρικού δυναμικού που προκαλούνται από αυτές τις μυϊκές κινήσεις) για τις πιο αργές κινήσεις σε συνδυασμό πιθανώς με ειδικά προσαρμοσμένα κάμερα που παρακολουθεί τις κινήσεις της κόρης του ματιού για τις ταχύτερες κινήσεις (Pelz et al. 1999).

Το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (HEΓ – EEG), το οποίο επιλέχθηκε ως μέθοδος μέτρησης στην παρούσα διατριβή, είναι μια πολλά υποσχόμενη μέθοδος που προτείνεται για μετρήσεις σε ΕΠ (π.χ. Prothero et al. 1995, Strickland & Chartier 1997, Schlögl et al. 2002, Mikropoulos et al. 2004) και διαφέρει από όλες τις άλλες τεχνικές. Το δελεαστικό και πολλά υποσχόμενο μέρος της τεχνικής είναι ότι «μετράται» η λειτουργία του εγκεφάλου, του οργάνου που παράγει όλες τις αντιλήψεις και τις αντιδράσεις των υποκειμένων, ενώ οι άλλες μέθοδοι μετρούν τη δραστηριότητα άλλων οργάνων του σώματος των οποίων οι αντιδράσεις είναι δευτερογενείς σε σχέση με τις εγκεφαλικές. Το μεγάλο ερωτηματικό είναι ότι οι περισσότερες λειτουργίες του εγκεφάλου παραμένουν σε μεγάλο βαθμό ανεξερεύνητες και έτσι είναι δύσκολη η πλήρης ερμηνεία των μετρούμενων μεγεθών. Στην ίδια κατηγορία με το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα ανήκουν και άλλες τεχνικές μέτρησης της εγκεφαλικής δραστηριότητας (όπως η λειτουργική απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού – fMRI), για τις οποίες γίνεται εκτενέστερη αναφορά στο κεφάλαιο 4.

Αρκετοί ερευνητές χρησιμοποιούν συνδυασμό φυσιολογικών μετρήσεων. Για παράδειγμα οι Picard και Healy (2001) χρησιμοποίησαν γαλβανική αντίσταση δέρματος και EMG, οι Vyzas (Vyzas & Picard 1998, 1999) και Healey (Healey & Picard 1998) ηλεκτρική δραστηριότητα του δέρματος, αιμοστατική πίεση, ρυθμό αναπνοής και EMG, ο Meehan (Meehan et al. 2002) μετρήσεις αγωγιμότητας του δέρματος, ηλεκτροκαρδιογραφήματα και μετρήσεις της αναπνοής, οι Eberhart και Kizakevich (1993) θερμοκρασία σώματος και δέρματος, γαλβανική αντίσταση δέρματος και καρδιακούς παλμούς, οι Jorgensen και Ogden (1997) καρδιακούς παλμούς, θερμοκρασία δέρματος και ποσοστό εφίδρωσης.

Οι φυσιολογικές μετρήσεις αντιμετωπίζονται με δυσπιστία από μερικούς ερευνητές, όχι μόνο εξαιτίας εγγενών προβλημάτων όπως ο θόρυβος που καταγράφεται ταυτόχρονα και τα παράσιτα, αλλά και εξαιτίας της ίδιας της φύσης τους και της φύσης των μετρούμενων μεγεθών. Οι περισσότερες ενστάσεις αφορούν στη μέτρηση της αίσθησης της παρουσίας, η οποία έτσι κι αλλιώς είναι το πιο υποκειμενικό από τα γνωρίσματα των ΕΠ και το πιο δύσκολο να μετρηθεί. Ο Prothero και η ερευνητική του ομάδα (1995) υποστηρίζουν ότι δεν υπάρχουν συγκεκριμένα στοιχεία που να δείχνουν ότι οι φυσιολογικές μετρήσεις συνδέονται άμεσα με την αίσθηση της παρουσίας. Παρόμοιες αντιρρήσεις εκθέτουν και άλλοι ερευνητές (Lombard & Ditton 2000, Sheridan 1992). Η χρήση φυσιολογικών μετρήσεων σε πραγματικά περιβάλλοντα προσθέτει προφανείς δυσκολίες ως προς την επεμβατικότητα και την ενόχληση των υποκειμένων. Στα εικονικά όμως περιβάλλοντα, που τα υποκείμενα βρίσκονται έτσι κι αλλιώς εξαρτημένα από κάποιο τεχνολογικό εξοπλισμό, η ενόχληση μπορεί να μειωθεί σε μεγάλο βαθμό και επιπλέον τα ερεθίσματα, οι αντιδράσεις των υποκειμένων και γενικά η πειραματική διαδικασία στο σύνολό της μπορεί να ελεγχθεί με ακρίβεια (Pugnetti et al. 2001).

Μερικά τυπικά εργαλεία μετρήσεων της παρουσίας καταγράφονται στην ιστοσελίδα του Presence Research (<http://www.presence-research.org/tools.html>). Εκτός από ερωτηματολόγια περιλαμβάνει ανιχνευτές κίνησης κεφαλής και οφθαλμών

και πλήθος άλλων φυσιολογικών και νευροφυσιολογικών συστημάτων (Schlögl et al. 2002).

Πίνακας 2-4. Επισκόπηση των ψυχο-φυσιολογικών μετρήσεων που εφαρμόζονται στα ΕΠ						
	Ευαι- σθησία	Διαγνω- στικότητα	Ευκολία χρήσης	Εφικτό- τητα	κόστος	Ενόχλη- ση
<b>Ανοιγοκλείσιμο ματιών</b>						
ρυθμός	υψηλή	μέτρια	υψηλή	καλή	μέτριο	χαμηλή
πλάτος	υψηλή	χαμηλή	υψηλή	καλή	μέτριο	χαμηλή
<b>Αναπνευστικός ρυθμός</b>						
ρυθμός	υψηλή	μέτρια	υψηλή	καλή	μέτριο	χαμηλή/ μέτρια
ένταση	υψηλή	χαμηλή	υψηλή	καλή	μέτριο	χαμηλή/ μέτρια
<b>Καρδιακός ρυθμός</b>						
Περίοδος	υψηλή	υψηλή	υψηλή	πολύ καλή	χαμηλό	χαμηλή/ μέτρια
μεταβλητότητα	υψηλή	μέτρια	επαρκής	επαρκής	μέτριο	χαμηλή/ μέτρια
<b>HEG</b>			μέτρια	πολύ καλή	μέτριο	μέτρια
Δέλτα	μέτρια	μέτρια				
Θήτα	υψηλή	υψηλή				
Άλφα	υψηλή	υψηλή				
Βήτα	μέτρια	μέτρια				
<b>Προκλητά δυναμικά</b>						
N100	υψηλή	υψηλή				
P300	υψηλή	υψηλή				
<b>PET</b>	υψηλή	;	χαμηλή	χαμηλή	υψηλό	υψηλή
<b>fMRI</b>	υψηλή	;	χαμηλή	χαμηλή	υψηλό	υψηλή
<p>Η ευαισθησία αντιπροσωπεύει το κατά πόσο η μέτρηση διαφοροποιεί μια μέση κατάσταση ηρεμίας από το γνωστικό φόρτο.</p> <p>Η διαγνωστικότητα αναφέρεται στην ικανότητα να ανιχνευτούν διαφορετικά επίπεδα δραστηριότητας.</p>						

Στον πίνακα 2-4 (Scerbo et al. 2001) παρουσιάζεται μια επισκόπηση ορισμένων φυσιολογικών μετρήσεων που εφαρμόζονται στα ΕΠ. Παρ' όλες τις αναπόφευκτες αδυναμίες σε όλα τα είδη μετρήσεων στα εικονικά περιβάλλοντα, η ιδανική λύση θα ήταν ένας συνδυασμός υποκειμενικών και αντικειμενικών μετρήσεων.

## **2.8 Χαρακτηριστικά εικονικής πραγματικότητας για εκπαιδευτικές εφαρμογές**

Όταν η εικονική πραγματικότητα εφαρμόζεται στην εκπαιδευτική θεωρία και πράξη, πρέπει να μελετηθούν ξεχωριστά ο τεχνολογικός (τρόπος επικοινωνίας ανθρώπου - μηχανής) και ο εννοιολογικός (conceptual) προσανατολισμός (Μικρόπουλος 1995). Ως προς το τεχνολογικό πλαίσιο, η ΕΠ ως διασύνδεση ανθρώπου - μηχανής στην επικοινωνία συνήθως μιμείται τη «φυσιολογική» συμπεριφορά, δηλαδή τον τρόπο που ο άνθρωπος αποκτά εμπειρίες στον πραγματικό κόσμο. Κλασικές στο χώρο των υπολογιστών τεχνολογίες διεπαφής όπως ο προγραμματισμός, το πληκτρολόγιο και το ποντίκι αντικαθίστανται ως ένα βαθμό όλο και περισσότερο από πιο οικείες λειτουργίες όπως οι χειρονομίες, η κίνηση και η ομιλία. Κατά την εννοιολογική θεώρηση η σχεδίαση και ανάπτυξη ενός συστήματος εικονικής πραγματικότητας για εκπαιδευτικές εφαρμογές εστιάζεται στις γνωστικές, πνευματικές, κοινωνικές και συναισθηματικές διεργασίες του μαθητή.

Η σύγχρονη ψυχολογία και οι επιστήμες που ασχολούνται με την αλληλεπίδραση ανθρώπου - υπολογιστή τονίζουν τη σημασία της εμπειρίας στη διαδικασία της απόκτησης γνώσης και υποστηρίζουν ότι, ανεξάρτητα από τις διαφωνίες για το αν οι υπολογιστές λειτουργούν ως γνωστικά εργαλεία, οι υπολογιστές μπορούν να εμπλουτίσουν τις εμπειρίες και να λειτουργήσουν ως ενισχυτές της αντίληψης του χρήστη (Waterworth 1995). Από την οπτική αυτή η ΕΠ έχει πολλά να προσφέρει στην εκπαίδευση. Επιτρέπει αλληλεπιδράσεις μέσα από πολλαπλά κανάλια αισθήσεων, προσφέροντας έτσι πολλές και διαφορετικές εμπειρίες. Επιπλέον η αλληλεπίδραση συμβαίνει σε πραγματικό χρόνο, συχνά μιμείται τους τρόπους που έχουμε μάθει να αλληλεπιδρούμε με το φυσικό κόσμο (Byrne 1993) και είναι πολύ κοντά στην άμεση εμπειρία καθώς δίνεται η δυνατότητα ελεύθερης περιήγησης και εξερεύνησης χώρων (Rose 1995).

Θεωρώντας τους εικονικούς κόσμους από παιδαγωγική προσέγγιση, η εποικοδομητική μάθηση φαίνεται να είναι η καλύτερη θεωρία για τη δημιουργία της μάθησης σε εικονικά περιβάλλοντα (Winn 1993). Η γνώση κατασκευάζεται από τον ίδιο το μαθητή και δε μεταφέρεται μόνο μέσα από τη διδασκαλία και τη μελέτη εγχειριδίων. Το σημαντικό για τη δημιουργία της γνώσης, είναι να παρέχονται στο μαθητή περιβάλλοντα εργασίας φυσικά ή τεχνητά σε περιπτώσεις που τα πρώτα δεν είναι διαθέσιμα. Η ΕΠ (όπως και άλλες τεχνολογίες) μπορεί να παρέχει σε κάθε μαθητή ένα περιβάλλον όπου αυτός και ο εκπαιδευτικός δημιουργούν.

Τα εικονικά περιβάλλοντα επιτρέπουν στο χρήστη τριών ειδών εμπειρίες για την κατασκευή της γνώσης που δεν είναι διαθέσιμες στο φυσικό κόσμο, και έχουν

πολλές δυνατότητες για την εκπαιδευτική διαδικασία και ειδικότερα τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών. Αυτές είναι το μέγεθος, η μετατροπή και η αναπαράσταση αφηρημένων εννοιών με κάποια συγκεκριμένη «υλική» υπόσταση (Μικρόπουλος 1997, Mikropoulos & Belou 2006). Στόχος του εργαλείου της ΕΠ στην περίπτωση αυτή είναι η κατανόηση εννοιών, φυσικών φαινομένων, αντιμετώπιση καταστάσεων και επίλυση προβλημάτων.

Η ΕΠ βοηθά τη διαδικασία της μάθησης ουσιαστικά κατά το αρχικό της στάδιο, της επιλογής και πρόσληψης ερεθισμάτων, καθώς και στον ενεργό ρόλο του μαθητή στην εκπαιδευτική διαδικασία (Μικρόπουλος 1997). Με δεδομένη την παρατήρηση ότι κάθε άνθρωπος βιώνει φαινόμενα και καταστάσεις μέσα από διαφορετικές αισθητικές οδούς (με ακραία εκδοχή το φαινόμενο της συναισθησίας), η εικονική πραγματικότητα προσφέρεται ως διδακτικό μέσο αφού εμπλέκει και χρησιμοποιεί όλες τις αισθήσεις και την κιναισθησία, παρέχοντας ένα τρισδιάστατο μεταβαλλόμενο περιβάλλον που μιμείται αλλά και ξεπερνά την πραγματικότητα. Έτσι ο χρήστης-μαθητής εντοπίζει τις πληροφορίες, τις προσλαμβάνει μέσω ήχου, εικόνας, κίνησης, αφής, ή και συμβολισμών και διαμορφώνει το περιβάλλον εργασίας του. Ο μαθητής έχει δυνατότητα επιλογής της ή των αισθήσεων που θα εκμεταλλευθεί για την πρόσληψη συγκεκριμένων πληροφοριών. Ο υπολογιστής δρα όχι μόνο ως γνωστικό εργαλείο, αλλά και ως ενισχυτής εμπειριών.

Η προσφορά της ΕΠ στην εκπαίδευση αποκτά άλλη διάσταση σε προσομοιώσεις χώρων που δεν είναι προσιτοί με άλλους τρόπους, όπως μελέτη πραγματικών αντικειμένων και χώρων στους οποίους δεν υπάρχει προσπέλαση από τους μαθητές ή είναι αδύνατο να κατανοηθούν διαφορετικά εξαιτίας του μεγέθους, της θέσης ή των ιδιοτήτων τους, μεταφορά σε ιστορικά περιβάλλοντα που δεν υπάρχουν πλέον, αλληλεπίδραση με πραγματικούς ανθρώπους σε μακρινές φυσικές θέσεις ή φανταστικούς τόπους, μελέτη αφηρημένων αναπαραστάσεων ή διαφοροποίηση των γνωστών ιδιοτήτων των αντικειμένων και της επικοινωνίας με τα άλλα όντα του περιβάλλοντος (Stuart & Tomas 1991). Τα ΕΠ γενικά ενδείκνυνται σε καταστάσεις όπου έτσι κι αλλιώς οι μαθητές δεν μπορούν να έχουν άμεση εμπειρία και περιγράφονται ως «άδειες τεχνολογίες» (empty technologies), ανοικτά περιβάλλοντα όπου μαθητές και εκπαιδευτικοί μπορούν να κατασκευάσουν ότι επιθυμούν. Τα ανοικτά περιβάλλοντα έρχονται σε αντίθεση με τις «κλειστές τεχνολογίες» (full technologies) που έχουν συγκεκριμένο περιεχόμενο, όπως η διδασκαλία βασισμένη σε υπολογιστή (computer based instruction), τα πακέτα εξάσκησης (drill and practice) και οι εφαρμογές υπερμέσων και πολυμέσων (Μικρόπουλος κ.α. 1999).

Επιπλέον η ΕΠ μπορεί να ενθαρρύνει την κοινωνικοποίηση και τη συνεργασία μεταξύ των μαθητών με τη συμμετοχή πολλών χρηστών στο ίδιο εικονικό περιβάλλον (Winn 1993), ενώ παράλληλα ο χρήστης μπορεί να έχει ισχυρή συναισθηματική επίδραση, γεγονός που αποτελεί και ένα σημείο προσοχής από τον εκπαιδευτικό και το σχεδιαστή του συστήματος.

Οι δυνατότητες που παρέχουν τα εικονικά περιβάλλοντα και δίνουν άλλη διάσταση στον τομέα της μάθησης συνοψίζονται ως εξής (Μικρόπουλος 2003):

- αίσθηση της παρουσίας στο εικονικό περιβάλλον με πλήρη ελευθερία κινήσεων στον τρισδιάστατο χώρο με έξι βαθμούς ελευθερίας,
- δυνατότητα στο χρήστη να αλλάξει το φυσικό του μέγεθος, ώστε να περιηγείται και να αλληλεπιδρά στο μικρόκοσμο και στο μακρόκοσμο,
- δυνατότητα αντίληψης μη αισθητών σημάτων, πέρα από τις δυνατότητες των ανθρώπινων αισθητήριων οργάνων,
- δυνατότητες μετασχηματισμού αφηρημένων εννοιών σε αντιληπτικές αναπαραστάσεις,
- αλληλεπίδραση στο ΕΠ, όπου ο μαθητής χειρίζεται εικονικά αντικείμενα με φυσιολογικούς ή χειρισμούς που προσεγγίζουν την πραγματικότητα,
- ενεργή συμμετοχή χρηστών που βρίσκονται σε διαφορετικούς φυσικούς τόπους και συνενυθίζονται εικονικά σε έναν κοινό εικονικό χώρο, με επακόλουθο αύξηση της κοινωνικής παρουσίας.

Τα εκπαιδευτικά ΕΠ δεν είναι απαραίτητα περιβάλλοντα με εμπύθιση. Πολλές φορές προτείνονται επιτραπέζια συστήματα (Μικροπουλος et al. 1994, Κατσίκης κ.ά. 1997, Δήμου κ.ά. 1995) όχι μόνο για λόγους χαμηλότερου κόστους, υψηλότερης χωρικής ανάλυσης, παρενεργειών από την ασθένεια του κυβερνοχώρου και πιθανής αρνητικής στάσης σε νέες τεχνολογίες που απαιτούν εξοικείωση, αλλά και για σημαντικότερους λόγους όπως η συμμετοχή και η επικοινωνία του χρήστη με το φυσικό περιβάλλον και το γεγονός ότι η εκπαιδευτική διαδικασία περιλαμβάνει την επικοινωνία του μαθητή με τον εκπαιδευτικό και άλλους μαθητές στον πραγματικό κόσμο.

Οι εφαρμογές της ΕΠ στην εκπαίδευση συνεχώς διευρύνονται. Τα τελευταία χρόνια εμφανίζεται μια στροφή προς πιο πολύπλοκα εκπαιδευτικά περιβάλλοντα (Winn 2002), ενώ ταυτόχρονα σε άλλες περιπτώσεις παρατηρείται μια στροφή από τα ακριβά συστήματα (CAVE-HMD) προς τα επιτραπέζια. Παράλληλα εμφανίζονται εφαρμογές που χρησιμοποιούν το διαδίκτυο (π.χ. Slater et al. 1999). Η επαυξημένη έναντι της κλασικής ΕΠ, έχει θεωρηθεί πιο ελπιδοφόρα από τον Δερτούζο (2001:91-92) και εμφανίζονται πλέον τέτοιες εφαρμογές. Παράλληλα προτείνονται χαμηλού κόστους λύσεις με εύχρηστο τρόπο δημιουργίας εικονικών περιβαλλόντων ακόμη και από μη ειδικούς (Ainge 2000, Vinciguerra 2004).

Προτάσεις για τη σχεδίαση, ανάπτυξη και αξιολόγηση εκπαιδευτικών εικονικών περιβαλλόντων προτείνουν η Crosier (2002) και η Sutcliffe (2003), ενώ διαρκής είναι η συμβολή στον προβληματισμό για την εκπαιδευτική αξιοποίηση των εικονικών περιβαλλόντων (Cronin 1998, Macpherson & Keppell 1998, Winn & Jackson 1999, McLellan 2004/2000, Passing & Sarbat 2000, 2001, Mantovani 2003, Moreno 2002, Μικρόπουλος 2004, 2006, 2009, Mikropouloss et al. 2004, Mikropouloss & Bellou

2006). Η εστίαση παραμένει στα βασικά χαρακτηριστικά που παρέχουν τα εικονικά περιβάλλοντα ως «άδειες» τεχνολογίες και ανοιχτού τύπου (open ended) εκπαιδευτικά περιβάλλοντα.

## 2.9 Σύνοψη

Η εικονική πραγματικότητα αποτελεί έναν από τους πλέον σύγχρονους τομείς της πληροφορικής. Παρέχει μια νέα διάσταση στις εφαρμογές της επιστήμης των υπολογιστών και θεωρείται ως ένα από τα πλέον σύγχρονα εργαλεία στη μαθησιακή διαδικασία. Η επιστημονική έρευνα στον τομέα της εκπαιδευτικής τεχνολογίας στρέφεται διεθνώς και προς αυτήν την κατεύθυνση, με έμφαση στις προδιαγραφές συστημάτων εικονικής πραγματικότητας για την εισαγωγή τους στην εκπαιδευτική διαδικασία, σε νέα θεωρητικά μοντέλα, πρακτικές και μελέτες περίπτωσης σε διάφορα γνωστικά αντικείμενα και βαθμίδες της εκπαίδευσης. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των τεχνολογιών της ΕΠ που αφορούν κυρίως στην αλληλεπίδραση του μαθητή με τον υπολογιστή, είναι αυτά που σηματοδοτούν το αυξανόμενο ενδιαφέρον των εκπαιδευτικών για τις εφαρμογές ΕΠ (Στρουμπούλης 2005).

Σύμφωνα με τον Ellis (1995) ο άνθρωπος έχει από τη φύση του την ικανότητα να διατηρεί παράλληλα αρκετές αντιλήψεις της πραγματικότητας, κάνοντας έτσι δυνατή την είσοδό του σε μια εικονική χωρική αναπαράσταση ενώ ακόμα βρίσκεται σ' ένα συγκεκριμένο φυσικό χώρο. Η ιδιότητα αυτή ονομάζεται "virtualization" και είναι αυτή που μας επιτρέπει να είμαστε ταυτόχρονα φυσικά και εικονικά μέσα σε μια αναπαράσταση. Αυτή είναι και η βάση των εικονικών περιβαλλόντων που ως τεχνολογία επιτρέπει μια ολοκλήρωση του ανθρώπου και του υπολογιστή σε έναν τρόπο που είναι φυσικότερος από άλλες μορφές διεπαφών των υπολογιστών (Usoh et al. 1999).





---

# 3 Εγκέφαλος και γνωστικές λειτουργίες

---

3.1	Εισαγωγή.....	44
3.2	Το νευρικό σύστημα .....	45
3.3	Ο εγκεφαλικός φλοιός.....	47
3.4	Νευρώνες και μετάδοση πληροφορίας .....	51
3.5	Εγκέφαλος και συμπεριφορά .....	55
3.6	Σύνοψη.....	56

### 3.1 Εισαγωγή

Η κατανόηση της βιολογικής βάσης της συνείδησης και των διαφόρων νοητικών διεργασιών (αντίληψη, μνήμη, συναίσθημα, μάθηση, κ.α.) αποτελούν πιθανώς την έσχατη πρόκληση της επιστήμης. Κεντρική αρχή είναι ότι αυτό που συνήθως ονομάζουμε νόηση είναι μια σειρά λειτουργιών που εκτελούνται από τον εγκέφαλο. Αυτό ισχύει για το σύνολο της ανθρώπινης συμπεριφοράς συμπεριλαμβανομένων της ομιλίας, της σκέψης, της αισθητικής απόλαυσης και όχι μόνο για σχετικά απλούστερες αντιληπτικές ή κινητικές συμπεριφορές.

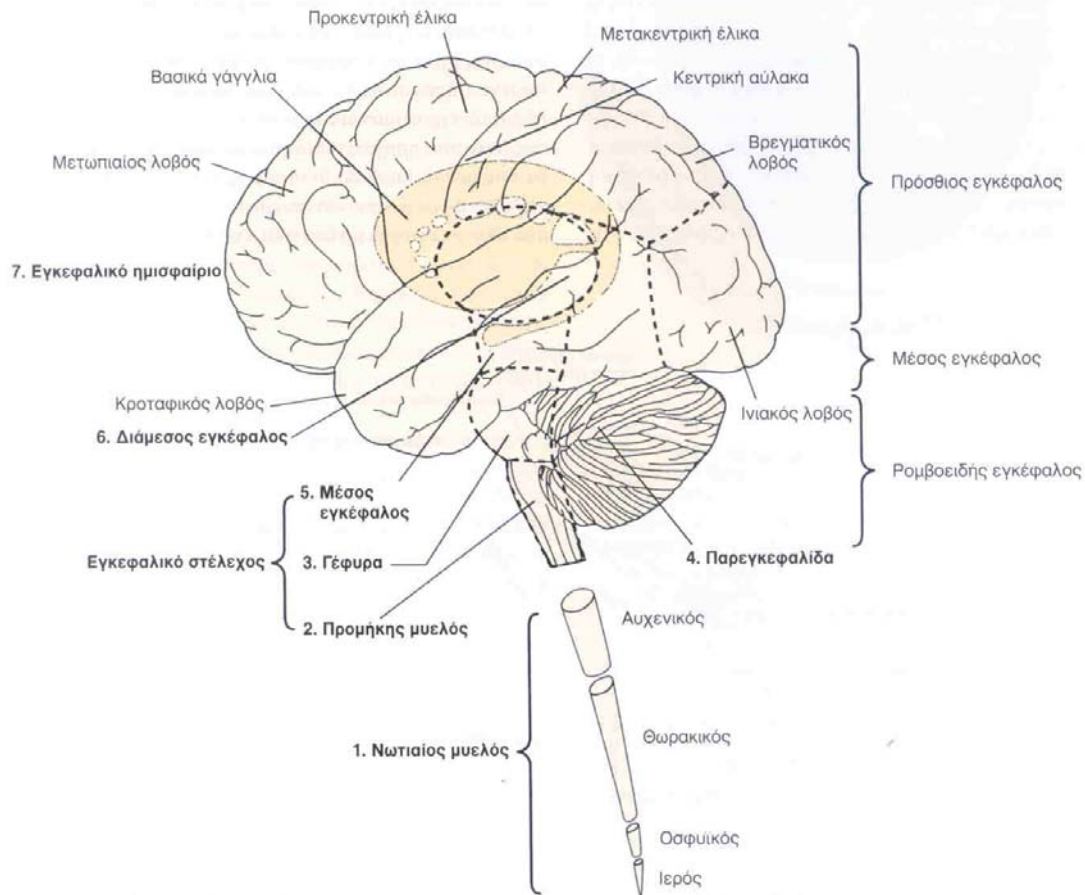
Ο Beaumont (1982) υποστήριξε ότι «η ψυχολογία χωρίς καμιά αναφορά στη φυσιολογία δε μπορεί να θεωρείται ολοκληρωμένη. Η λειτουργία του εγκεφάλου σχετίζεται με την ανθρώπινη συμπεριφορά, και η κατανόηση αυτής της συσχέτισης μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά στην κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι ψυχολογικοί παράγοντες κατευθύνουν τη συμπεριφορά». Η γνωστική λειτουργία εν γένει και οι διεργασίες της μάθησης αποτελούν ερευνητικά πεδία αυξανόμενου ενδιαφέροντος όχι μόνο για παιδαγωγούς και ψυχολόγους αλλά και για νευροεπιστήμονες. Η ανάπτυξη μιας θεωρίας για τη μάθηση συνδέεται πλέον με τις εγκεφαλικές λειτουργίες και τη βιολογική βάση της μάθησης (Μικρόπουλος 2003, Leamson & Betz 1999, Schaverien & Cosgrove 1999, 2000, Rice et al. 1996).

Ανατομικά, η βασική βιολογική μονάδα που θεωρείται υπεύθυνη για τις εγκεφαλικές λειτουργίες είναι το νευρικό κύτταρο ή νευρώνας. Μια σύντομη αναφορά στην ηλεκτρική και χημική λειτουργία των εκατομμυρίων νευρικών κυττάρων που υπάρχουν στον εγκέφαλο συνοψίζεται στην ενότητα 5.2 όπου περιγράφεται η βιολογική βάση του ηλεκτροεγκεφαλογραφικού σήματος. Λειτουργικά, από τα τέλη του 18<sup>ου</sup> αιώνα (που ο εγκέφαλος αναγνωρίζεται ως όργανο του νου και της σκέψης και το νευρικό σύστημα αρχίζει να μελετάται επιστημονικά) μέχρι σήμερα, το θεμελιακό ερώτημα που διαμόρφωσε τις διάφορες θεωρίες διατυπώνεται ως εξής: οι νοητικές διεργασίες εντοπίζονται σε συγκεκριμένες περιοχές του εγκεφάλου ή αποτελούν μια συνολικά εκδηλούμενη ιδιότητα ολόκληρου του εγκεφάλου; Οι απαντήσεις στην ερώτηση αυτή διαμόρφωσαν δύο αντίθετες θεωρίες: από τη μια πλευρά τη λειτουργική εξειδίκευση των εγκεφαλικών περιοχών (με ακραία της έκφανση τη θεωρία της φρενολογίας του 19<sup>ου</sup> αιώνα) και από την άλλη την υποστήριξη της ολιστικής εγκεφαλικής λειτουργίας.

Σήμερα, είναι γνωστό ότι το κεντρικό νευρικό σύστημα αποτελείται από επτά κύρια μέρη και το κάθε ένα από αυτά έχει συγκεκριμένες λειτουργίες. Ο εντοπισμός αυτός δεν είναι σε καμία περίπτωση απόλυτος και διαμορφώνεται από μια άλλη οργανωτική αρχή του νευρικού συστήματος, την *παράλληλη επεξεργασία* (σύμφωνα με την οποία οι εγκεφαλικές λειτουργίες διεκπεραιώνονται σε περισσότερες της μίας νευρικές οδούς, έτσι ώστε αν η κύρια οδός υποστεί βλάβη, συχνά άλλες μπορεί εν μέρει να αντισταθμίσουν την απώλεια), όπως επίσης και από την *πλαστικότητα* του εγκεφάλου. Παρά τη μεγάλη πρόοδο που σημειώθηκε τις τελευταίες δεκαετίες και τις πληροφορίες που έφερε στο φως η σύγκλιση της γνωσιοεπιστήμης και των επιστημών

του εγκεφάλου, υπάρχει ακόμη μεγάλη δυσκολία να αποδειχθεί ποια στοιχεία μιας νοητικής λειτουργίας (ακόμη και σχετικά απλής) αντιπροσωπεύονται από μια συγκεκριμένη νευρική οδό ή εγκεφαλική περιοχή, όπως επίσης δεν είναι ξεκάθαρο το πώς κάθε νοητική λειτουργία διαιρείται και δομείται σε επιμέρους απλούστερες λειτουργίες (Kandel et al. 2003).

### 3.2 Το νευρικό σύστημα



Σχήμα 3-1. Σχηματική αναπαράσταση της δομής του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος (Kandel et al. 2003:11).

Το νευρικό σύστημα διαχωρίζεται ανατομικά σε δύο υποσυστήματα: το *κεντρικό νευρικό σύστημα* (αποτελούμενο από τον εγκέφαλο και το νωτιαίο μυελό) και το *περιφερικό νευρικό σύστημα* (αποτελούμενο από τα γάγγλια και τα περιφερικά νεύρα που βρίσκονται έξω από τον εγκέφαλο και το νωτιαίο μυελό). Το περιφερικό νευρικό σύστημα περιέχει αισθητικούς νευρώνες από το δέρμα, τους μυς και τις αρθρώσεις που συλλέγουν πληροφορίες για τη θέση των μυών και των άκρων και το εξωτερικό περιβάλλον του σώματος. Επίσης περιέχει και ένα *αυτόνομο κινητικό υποσύστημα* που ελέγχει τα σπλάχνα, τους λείους μύες του σώματος και τους εξωκρινείς αδένες (συμπαθητικό, παρασυμπαθητικό και εντερικό νευρικό σύστημα).

Το κεντρικό νευρικό σύστημα (το οποίο στη συνέχεια θα αναφέρεται ως Κ.Ν.Σ.) περιέχει γενικά το νωτιαίο μυελό και τον εγκέφαλο και επειδή η διατριβή ασχολείται με τη λειτουργία του εγκεφαλικού φλοιού θα αναλυθεί εκτενέστερα στις επόμενες παραγράφους.

Το κεντρικό νευρικό σύστημα του ενήλικα παρουσιάζεται στο σχήμα 3-1 και αποτελείται ανατομικά από επτά κύρια μέρη.

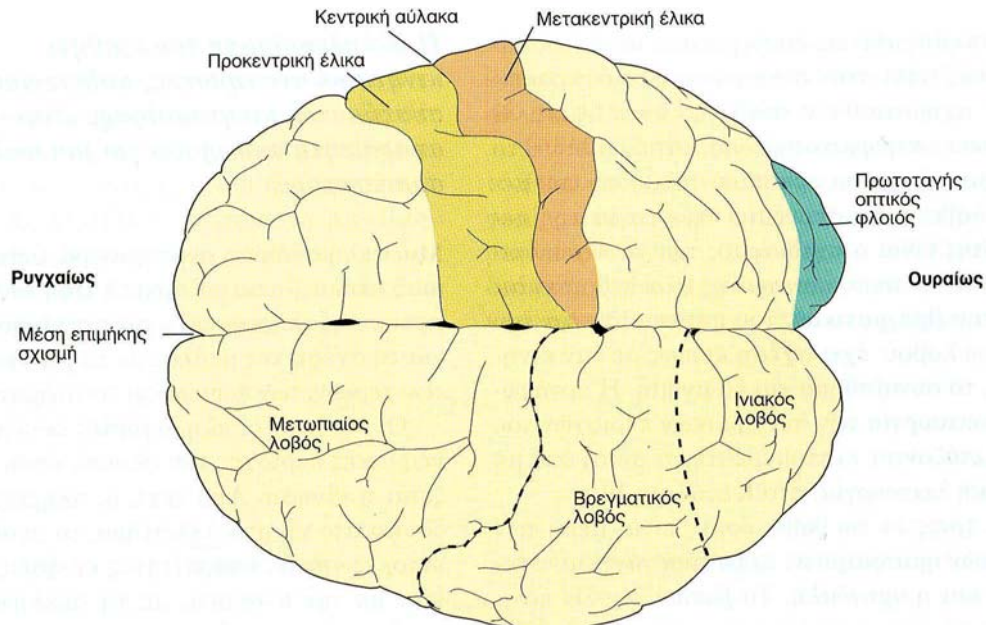
- *Ο νωτιαίος μυελός.* Αποτελεί το κατώτερο τμήμα του Κ.Ν.Σ., δέχεται και επεξεργάζεται αισθητικές πληροφορίες από το δέρμα, τους μύες των άκρων και του κορμού, τις αρθρώσεις και τα εσωτερικά όργανα, περιέχει τους κινητικούς νευρώνες που ελέγχουν τις ακούσιες και τις αντανακλαστικές κινήσεις και ελέγχει πολλές σπλαχνικές λειτουργίες.
- *Ο προμήκης μυελός.* Ρυθμίζει ζωτικές αυτόνομες λειτουργίες, όπως η πέψη, η αναπνοή και ο καρδιακός ρυθμός.
- *Η γέφυρα.* Περιέχει μεγάλο αριθμό νευρώνων που μεταδίδουν πληροφορίες από τα εγκεφαλικά ημισφαίρια στην παρεγκεφαλίδα.
- *Η παρεγκεφαλίδα.* Παίζει σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της στάσης του σώματος και γενικά στην εκμάθηση κινητικών δεξιοτήτων.
- Τα προηγούμενα τρία μέρη του Κ.Ν.Σ. (προμήκης μυελός, γέφυρα και παρεγκεφαλίδα) σχηματίζουν το *εγκεφαλικό στέλεχος*, το οποίο δέχεται αισθητικές πληροφορίες από το δέρμα και τις αρθρώσεις, ελέγχει τους μύες της κεφαλής και του τραχήλου, σχετίζεται με ειδικά αισθητικά συστήματα (όπως της ακοής, της γεύσης και της ισορροπίας) και επιπλέον περιέχει το *δικτυωτό σχηματισμό*, ένα δίκτυο νευρώνων που σχετίζεται με την εγρήγορση και την προσοχή.
- *Ο μέσος εγκέφαλος.* Ελέγχει πολλές αισθητικές και κινητικές λειτουργίες, συμπεριλαμβανομένων των οφθαλμικών κινήσεων και του συντονισμού των ακουστικών και οπτικών αντανακλαστικών, ενώ συμμετέχει στον κινητικό έλεγχο των σκελετικών μυών.
- *Ο διάμεσος εγκέφαλος.* Περιέχει δύο βασικές δομές, το *θάλαμο* που επεξεργάζεται όλες σχεδόν τις πληροφορίες που μεταδίδονται στα εγκεφαλικά ημισφαίρια από το υπόλοιπο Κ.Ν.Σ. και πιθανόν ρυθμίζει τα επίπεδα συνείδησης και τις συναισθηματικές πλευρές της αισθητικότητας, και τον *υποθάλαμο* που ρυθμίζει αυτόνομες, ενδοκρινικές και σπλαχνικές λειτουργίες.
- Τα *εγκεφαλικά ημισφαίρια.* Αποτελούν τη μεγαλύτερη περιοχή του εγκεφάλου και εξωτερικά εμφανίζουν την έντονα πτυχωτή επιφάνεια του φλοιού των εγκεφαλικών ημισφαιρίων. Αποτελούνται από το *φλοιό*, την υποκείμενη *λευκή ουσία*, τα *βασικά γάγγλια*, τον *ιπποκάμπιο σχηματισμό* και την *αμυγδαλή*. Τα εγκεφαλικά ημισφαίρια χωρίζονται με μία βαθιά σχισμή (από εμπρός μέχρι πίσω) σε αριστερό και δεξιό ημισφαίριο τα οποία, ενώ στο μεγαλύτερο μέρος τους το ένα αποτελεί

είδωλο του άλλου, εκτελούν γενικά διαφορετικές λειτουργίες. Η μεγαλύτερη δομή των εγκεφαλικών ημισφαιρίων, ο εγκεφαλικός φλοιός διαδραματίζει κεντρικό ρόλο σε όλες τις λεγόμενες ανώτερες εγκεφαλικές λειτουργίες όπως η μνήμη, η προσοχή, η αντίληψη, η σκέψη, η γλώσσα και η συνείδηση και περιγράφεται αναλυτικότερα στην επόμενη ενότητα. Τα βασικά γάγγλια συμμετέχουν στη ρύθμιση της κίνησης και στη γνωστική λειτουργία γενικά. Ο ιππόκαμπος και η αμυγδαλή είναι μέρη του στεφανιαίου συστήματος. Ο ιππόκαμπος παίζει σημαντικό ρόλο στη μνήμη, ενώ η αμυγδαλή συντονίζει τις δράσεις του αυτόνομου και του ενδοκρινικού συστήματος και συμμετέχει στη δημιουργία των συναισθημάτων.

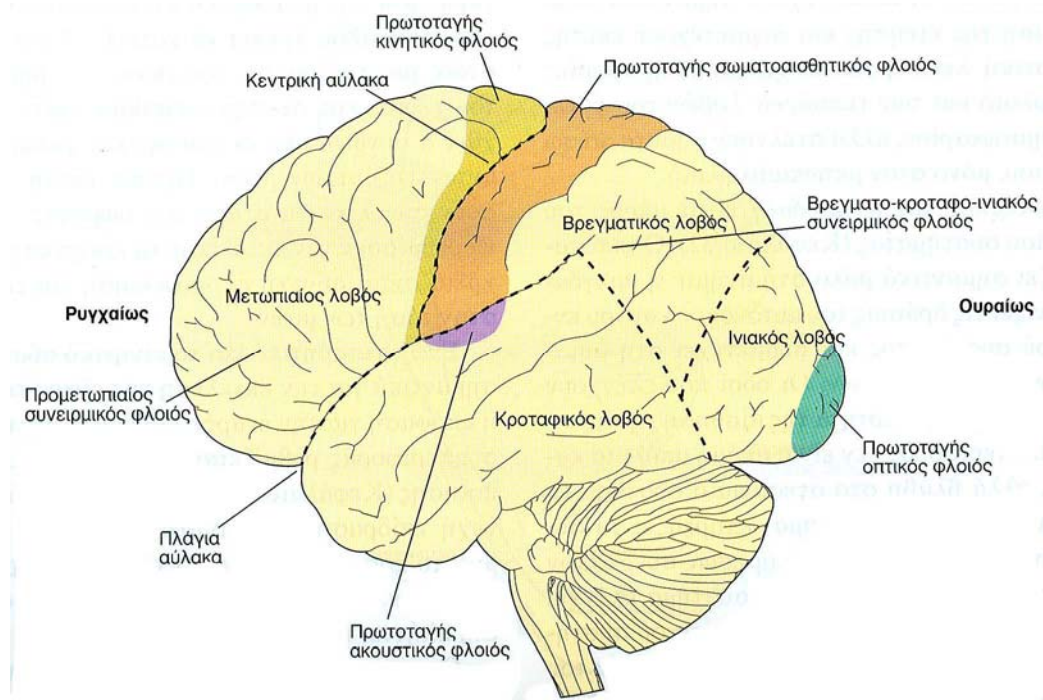
### 3.3 Ο εγκεφαλικός φλοιός

Ο εγκεφαλικός φλοιός είναι η πτυχωτή επιφάνεια (με μέσο πάχος περίπου 2-4 mm) των εγκεφαλικών ημισφαιρίων. Σε διατηρημένους εγκεφάλους, το εξωτερικό περίβλημα έχει γκρι χρώμα, γι' αυτό και ονομάζεται φαιά ουσία. Η φαιά ουσία αποτελείται κυρίως από τα σώματα των νευρώνων και τις μη-μυελινωμένες ίνες τους ενώ η λευκή ουσία που βρίσκεται κάτω από τη φαιά σχηματίζεται κυρίως από τους μυελινωμένους νευράξονες που διασύνδεουν διαφορετικές περιοχές του Κ.Ν.Σ. Η ιδιόμορφη πτύχωση δικαιολογείται εξελικτικά επειδή ο όγκος του φλοιού αυξήθηκε ταχύτερα από τα οστά του κρανίου. Οι ανυψωμένες περιοχές ονομάζονται *έλικες* και χωρίζονται μεταξύ τους από τις *αύλακες*. Οι μεγαλύτερες αύλακες είναι σταθερές ανατομικά σε όλα τα άτομα και χρησιμοποιούνται για τη διαίρεση του φλοιού σε 4 λοβούς: *μετωπιαίος*, *βρεγματικός*, *κροταφικός* και *ινιακός*. Ο βρεγματικός, ο κροταφικός και ο ινιακός λοβός, που βρίσκονται στο πίσω μέρος του εγκεφάλου οργανώνουν την αισθητηριακή πληροφορία σε ένα συνεπές σωματο-κεντρικό σχέδιο του περιβάλλοντος. Ο μετωπιαίος λοβός θεωρείται ότι χρησιμοποιείται για τη δημιουργία στόχων και το σχεδιασμό της συμπεριφοράς καθώς και για την αφηρημένη σκέψη. Υπάρχουν δύο επιπλέον περιοχές, η *νήσος* (ή νήσος του REIL) και ο *στεφανιαίος λοβός*, οι οποίες δε φαίνονται στην επιφάνεια του φλοιού, επομένως δεν μπορούν να μελετηθούν με το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα και γι' αυτό δεν περιγράφονται εκτενέστερα στην παρούσα έρευνα.

Στο σχήμα 3-2 εικονίζεται μια ραχιαία όψη του εγκεφαλικού φλοιού ενώ στο σχήμα 3-3 μια έξω αριστερή όψη. Στα σχήματα αυτά διακρίνονται οι εγκεφαλικοί λοβοί, οι κινητικές και αισθητικές περιοχές καθώς και οι συνειρμικές περιοχές. Στο σχήμα 3-4 διακρίνονται επιπλέον δύο σημαντικές περιοχές για τη λειτουργία της γλώσσας, η περιοχή Broca και η περιοχή Wernicke.



Σχήμα 3-2. Ραχιαία όψη του εγκεφάλου, όπου διακρίνονται καθαρά τα δύο ημισφαίρια που χωρίζονται από τη μέση σχισμή. Διακρίνεται επίσης η κεντρική αύλακα που διαχωρίζει το μετωπιαίο από το βρεγματικό λοβό. Ο κροταφικός λοβός δε φαίνεται σε αυτή την όψη (Kandel et al. 2003:89).



Σχήμα 3-3. Έξω αριστερή όψη του εγκεφαλικού φλοιού. Διακρίνονται οι πρωτοταγείς αισθητικές περιοχές, η πρωτοταγής κινητική περιοχή και δύο μεγάλες συνειρμικές περιοχές. Η πρωτοταγής ακουστική περιοχή βρίσκεται πίσω από την πλάγια αύλακα και ελάχιστα διακρίνεται (Kandel et al. 2003:89).

Πολλές περιοχές του φλοιού σχετίζονται κυρίως με επεξεργασία των αισθητικών δεδομένων ή κινητικών εντολών. Αυτές χαρακτηρίζονται ως *πρωτοταγείς*, *δευτεροταγείς* ή *τριτοταγείς* (αισθητικές ή κινητικές) περιοχές, ανάλογα με το επίπεδο επεξεργασίας των πληροφοριών που διεκπεραιώνουν. Οι πρωτοταγείς αισθητικές περιοχές δέχονται πληροφορίες από τα περιφερικά αισθητήρια όργανα χωρίς να προηγηθεί ιδιαίτερη επεξεργασία. Στις περιοχές των πρωτοταγών αισθητηριακών φλοιών υπάρχει τοπογραφική αντιπροσώπευση που αντιστοιχεί στην αντικειμενική τοπογραφία των ερεθισμάτων. Για παράδειγμα ο πρωτοταγής οπτικός φλοιός περιέχει μια τοπογραφικά αντίστοιχη αντιπροσώπευση του αντίπλευρου οπτικού πεδίου (ρετινοτροπία), ο πρωτοταγής ακουστικός φλοιός περιέχει ένα τονοτροπικό «χάρτη» των διαφόρων συχνοτήτων, και ο πρωτοταγής σωματοαισθητικός φλοιός περιέχει ένα χάρτη που αντιπροσωπεύει τα διάφορα όργανα του σώματος, γνωστός ως ανθρωπάριο. Γενικά, στο φλοιό η πληροφορία κατανέμεται έτσι ώστε η πληροφορία που λαμβάνεται για τη μία πλευρά του σώματος να αντιπροσωπεύεται στο αντίπλευρο ημισφαίριο. Για παράδειγμα ο δεξιός πρωτοταγής οπτικός φλοιός αντιπροσωπεύει το αριστερό ημιπεδίο της όρασης.

Οι πρωτοταγείς κινητικές περιοχές βρίσκονται και στα δύο ημισφαίρια, στην πρόσθια όχθη της κεντρικής αύλακας και ελέγχουν τις ηθελημένες κινήσεις των αντίπλευρων μελών του σώματος. Άλλες κινητικές περιοχές είναι η συμπληρωματική κινητική περιοχή, ο προκινητικός φλοιός, αλλά και ο οπίσθιος βρεγματικός φλοιός και ο ραχιαίο-πλευρικός προκινητικός φλοιός

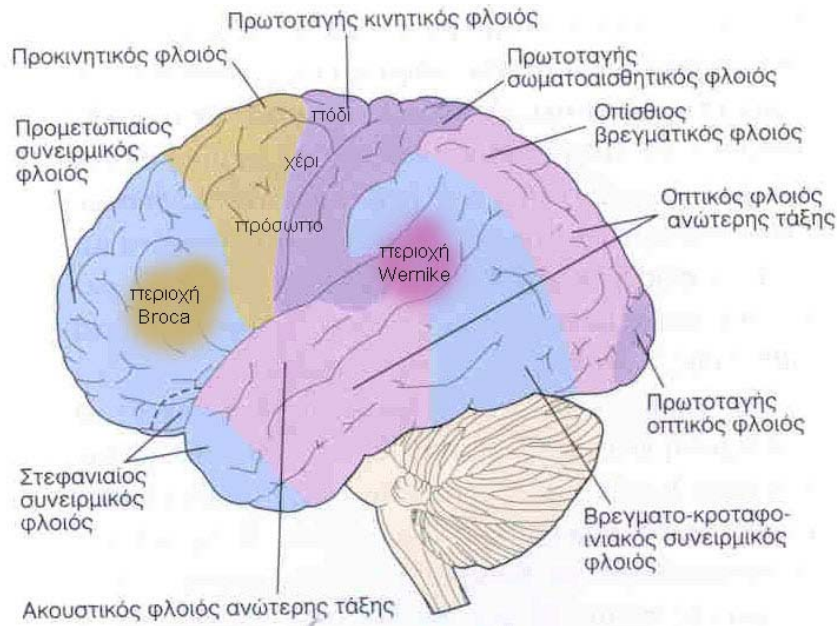
Οι πρωτοταγείς περιοχές περιβάλλονται από περιοχές ανώτερης τάξης που επεξεργάζονται τις σύνθετες πλευρές κάθε αίσθησης ή κινητικής εντολής (Kandel et al. 2003:87).

Οι πρωτοταγείς, δευτεροταγείς και τριτοταγείς περιοχές περιβάλλονται από τρεις αρκετά μεγάλες *συνειρμικές περιοχές*, οι οποίες ολοκληρώνουν τις πληροφορίες για σκόπιμη δράση, αντίληψη, κίνηση και κινητοποίηση.

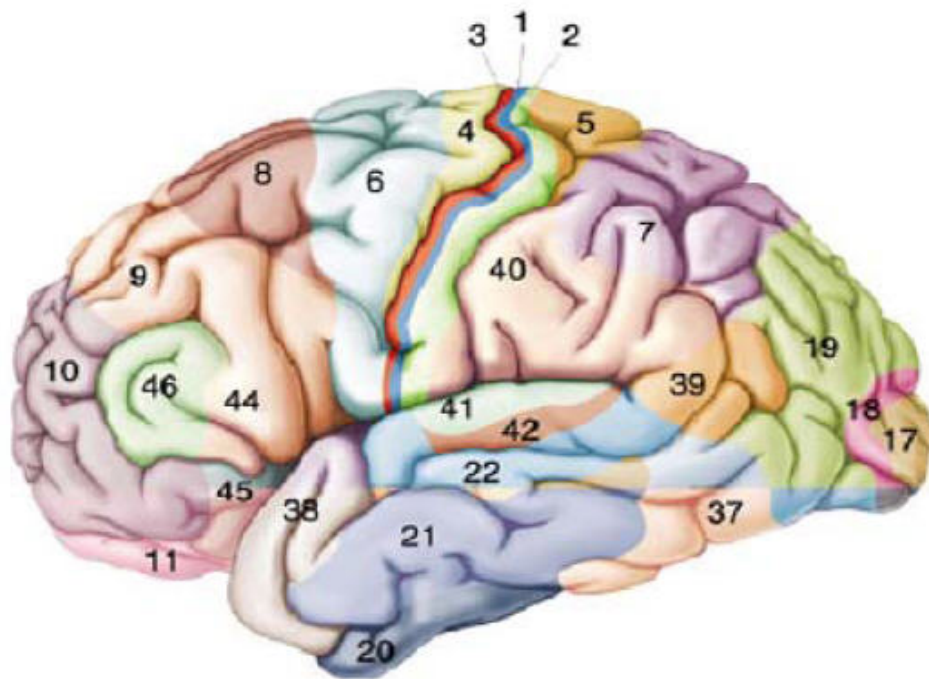
Ο *βρεγματο-κροταφο-ινιακός συνειρμικός φλοιός* καταλαμβάνει τις περιοχές ένωσης των αντίστοιχων τριών λοβών. Πληροφορίες από διαφορετικές αισθήσεις συνδυάζονται σε αυτή την περιοχή για να σχηματιστούν σύνθετες αντιλήψεις.

Ο *προμετωπιαίος συνειρμικός φλοιός* καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος του πρόσθιου τμήματος του μετωπιαίου λοβού. Μια βασική λειτουργία του είναι ο σχεδιασμός των εκούσιων κινήσεων.

Ο *στεφανιαίος συνειρμικός φλοιός* βρίσκεται σε μέρη του βρεγματικού, του μετωπιαίου και του κροταφικού λοβού και σχετίζεται κυρίως με την κινητοποίηση, το συναίσθημα και τη μνήμη.



Σχήμα 3-4. Σχηματική απεικόνιση της έξω (ορατής) επιφάνειας του εγκεφαλικού φλοιού του αριστερού ημισφαιρίου, η οποία δείχνει τις κύριες περιοχές του πρωτοταγούς κινητικού και αισθητικού φλοιού, τον κινητικό και τους αισθητικούς φλοιούς ανώτερης τάξης, καθώς και τους τρεις συνειρμικούς φλοιούς. Επιπλέον διακρίνονται δύο σημαντικές περιοχές για τη λειτουργία της γλώσσας, η περιοχή Broca και η περιοχή Wernicke. Τα σχήματα αποτελούν απλοποιημένη εκδοχή της κατά Brodmann αναπαράστασης (τροποποιημένο από Kandel et al. 2003).



Σχήμα 3-5. Σχηματική αναπαράσταση του αριστερού ημισφαιρίου, βασισμένη στο έργο του Korbinian Brodmann (Timperi 2002).

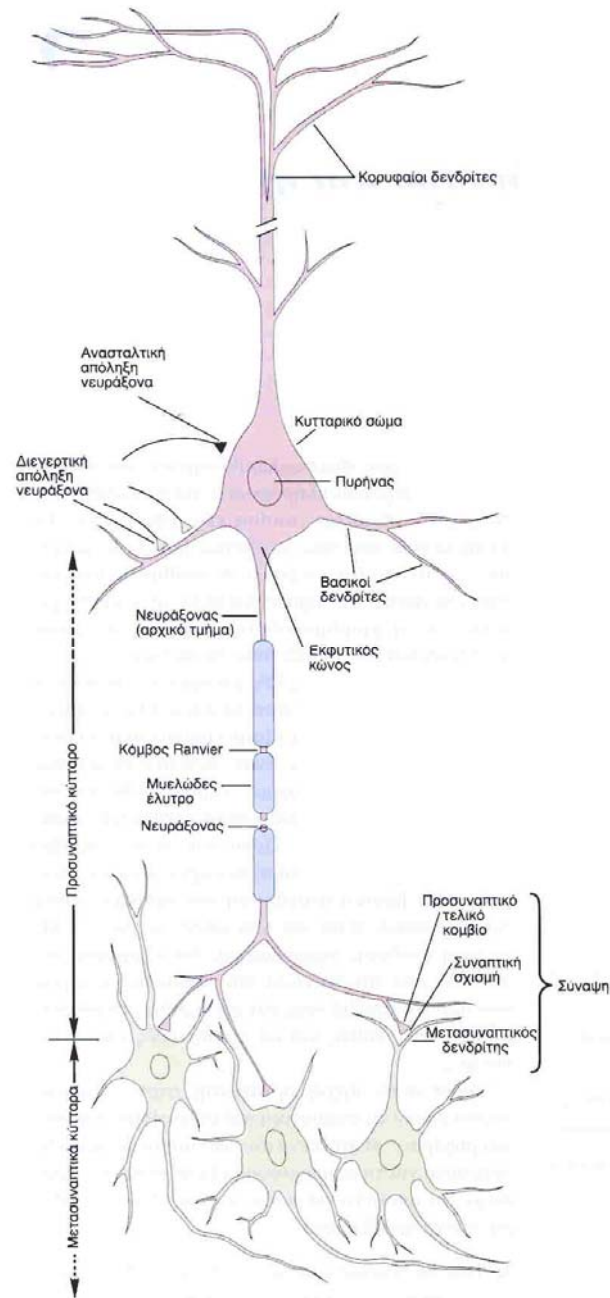


Στο σχήμα 3-4 παρουσιάζονται οι αισθητικοί, κινητικοί και συνειρμικοί φλοιοί στο αριστερό ημισφαίριο. Επίσης φαίνονται οι κύριες περιοχές του φλοιού των εγκεφαλικών ημισφαιρίων που σχετίζονται με τη γλώσσα. Η περιοχή Wernicke επεξεργάζεται τις ακουστικές πληροφορίες για τη γλώσσα και είναι σημαντική για την κατανόηση του λόγου. Βρίσκεται κοντά στον πρωτοταγή ακουστικό φλοιό και στη γωνιώδη έλικα, η οποία συνδυάζει ακουστικές πληροφορίες με πληροφορίες από άλλες αισθήσεις. Η περιοχή Broca ελέγχει την παραγωγή του λόγου. Βρίσκεται κοντά στην κινητική περιοχή και ελέγχει τις κινήσεις του στόματος και της γλώσσας για την παραγωγή των λέξεων. Η περιοχή Wernicke επικοινωνεί με την περιοχή Broca με μια δεσμίδα ινών, την τοξοειδή δεσμίδα. (Kandel et al. 2003)

Στο σχήμα 3-5 παριστάνονται οι υποδιαιρέσεις του εγκεφαλικού φλοιού κατά Brodmann, ο οποίος, στις αρχές του 20ού αιώνα, διαίρεσε το φλοιό των εγκεφαλικών ημισφαιρίων σε 52 χωριστές περιοχές, με βάση τη μορφολογία των νευρικών κυττάρων και τη χαρακτηριστική διάταξη των κυτταρικών στοιβάδων. Αρκετές από τις περιοχές που αρίθμησε ο Brodmann διαπιστώθηκε ότι ελέγχουν συγκεκριμένες εγκεφαλικές λειτουργίες. Για παράδειγμα, τρεις ανεξάρτητες περιοχές (πεδία Brodmann 3,1 και 2) συναποτελούν τον πρωτοταγή σωματοαισθητικό φλοιό, ο οποίος σχετίζεται με την αντίληψη της σωματικής αισθητικότητας. Το πεδίο 4 είναι ο κινητικός φλοιός, ο οποίος είναι υπεύθυνος για τα νευρικά σήματα που προκαλούν εκούσιες κινήσεις. Το πεδίο 17 είναι ο πρωτοταγής οπτικός φλοιός, ο οποίος δέχεται σήματα από τους οφθαλμούς και τα μεταδίδει σε άλλες περιοχές για περαιτέρω επεξεργασία. Τα πεδία 41 και 42 αντιστοιχούν στον πρωτοταγή ακουστικό φλοιό (Kandel et al. 2003).

### 3.4 Νευρώνες και μετάδοση πληροφορίας

Στο νευρικό σύστημα υπάρχουν δύο κατηγορίες κυττάρων: τα νευρικά κύτταρα ή νευρώνες και τα νευρογλοιακά κύτταρα (ή νευρογλοία). Τα νευρογλοιακά κύτταρα αποτελούν την πλειοψηφία στο Κ.Ν.Σ. (10 – 50 φορές περισσότερα από τους νευρώνες), έχουν αρκετούς ζωτικούς ρόλους, αλλά θεωρούμε (μέχρι στιγμής) ότι δεν είναι απαραίτητα για την επεξεργασία των πληροφοριών. Αντίθετα τα νευρικά κύτταρα ή νευρώνες είναι η βασική δομική μονάδα του νευρικού συστήματος που αποτελεί λέξη κλειδί για την κατανόηση της λειτουργίας του εγκεφάλου και της παραγωγής των σκέψεων. Τα νευρικά κύτταρα ευθύνονται για την αισθητηριακή λειτουργία και τη συμπεριφορά σε όλα τα ζώα, συμπεριλαμβανομένου του ανθρώπου, και όσο αφορά στη δομή τους είναι αρκετά απλά.



Σχήμα 3-6. Σχηματική αναπαράσταση νευρώνα. Εικονίζονται τα βασικά μέρη του νευρικού κυττάρου (κυτταρικό σώμα, δενδρίτες, νευράξονας) καθώς και οι συνάψεις με άλλα (μετασυναπτικά) κύτταρα (Kandel et al. 2003).

Οι περισσότεροι νευρώνες έχουν αρκετά κοινά χαρακτηριστικά, τα οποία αποτελούνται από το κυτταρικό σώμα που περιέχει τον πυρήνα και δύο είδη κυτταρικών αποφυάδων τους δενδρίτες και το νευράξονα. Οι δενδρίτες αποτελούν το κύριο μέρος της επιφάνειας αποδοχής του νευρώνα και μαζί με το κυτταρικό σώμα δέχονται τα συναπτικά σήματα από τα προσυναπτικά κύτταρα. Ο νευράξονας είναι πολύ λεπτός και μπορεί να έχει μεγάλο μήκος (μερικοί έχουν μήκος μεγαλύτερο από 1 μέτρο). Αποτελεί το στοιχείο διαβίβασης πληροφοριών από τον ένα νευρώνα στον άλλο. Αυτή η διαβίβαση πραγματοποιείται με χημικό ή ηλεκτρικό τρόπο από κλάδους

του νευράξονα του προσυναπτικού κυττάρου που «συνδέονται» με τους δενδρίτες ή το κυτταρικό σώμα του επόμενου (μετασυναπτικού) κυττάρου. Τα σημεία που «συνδέουν» τον προσυναπτικό νευρώνα με τους μετασυναπτικούς νευρώνες ονομάζονται συνάψεις και αποτελούνται από ιδιαίτερες δομές του νευράξονα, τα προσυναπτικά τελικά κομβία. Σημαντικό ρόλο στην ηλεκτρική συμπεριφορά των νευρώνων παίζει το μυελώδες έλυτρο που περιβάλλει και μονώνει πολλούς νευράξονες (κυρίως στους κινητικούς και αισθητικούς νευρώνες) και που διακόπτεται σε κανονικά διαστήματα από τους κόμβους Ranvier. Στο σχήμα 3-6 εικονίζονται σε σχηματική αναπαράσταση η δομή και τα βασικά μέρη ενός τυπικού νευρικού κυττάρου, ενώ στο σχήμα 3-7 παριστάνονται οι κυριότεροι τύποι νευρικών κυττάρων.

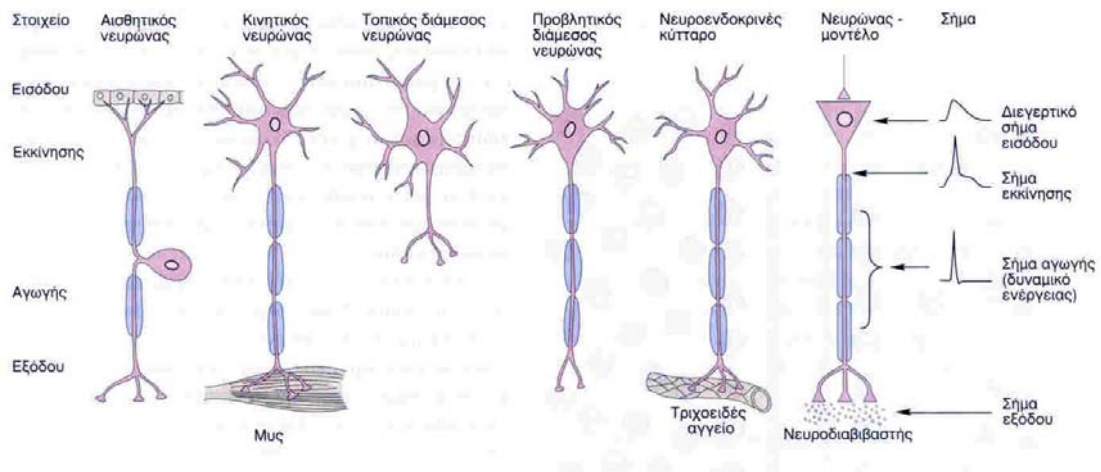
Η σύνθετη συμπεριφορά την οποία εμφανίζει ο ανθρώπινος εγκέφαλος οφείλεται στο μεγάλο αριθμό των νευρικών κυττάρων (περίπου 100 δισεκατομμύρια) καθώς και στον ακόμα μεγαλύτερο αριθμό συνδέσεων επικοινωνίας μεταξύ τους (Kandel et al. 2003). Κάθε νευρώνας μπορεί να διαθέτει 1000 συνδέσεις, ενώ μπορεί να δέχεται πληροφορία από περισσότερους από 1000 άλλους νευρώνες (Σαββάκη 1997). Όλες οι λειτουργίες του εγκεφάλου που έχουν σχέση με μετάδοση σημάτων πραγματοποιούνται από συνδεδεμένα δίκτυα νευρώνων.

Τα νευρικά κύτταρα όταν βρίσκονται σε κατάσταση ηρεμίας είναι ηλεκτρικά πολωμένα, δηλαδή υπάρχει ηλεκτρική διαφορά δυναμικού μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού της κυτταρικής μεμβράνης κατά μέσο όρο ίση με 65 mV και κυμαίνεται συνήθως από -90 mV μέχρι -50 mV. Η ύπαρξη του αρνητικού πρόσημου είναι αυθαίρετη και προκύπτει από τη θεώρηση μηδενικού δυναμικού στο εξωτερικό της κυτταρικής μεμβράνης. Η διαφορά δυναμικού οφείλεται σε θετικά ιόντα νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) που πλεονάζουν στον εξωκυττάριο χώρο και αρνητικά ιόντα χλωρίου ( $\text{Cl}^-$ ) στο εσωτερικό του κυττάρου, καθώς και σε ιόντα καλίου ( $\text{K}^+$ ) ή και άλλων οργανικών ανιόντων σε συνδυασμό με την επιλεκτική διαπερατότητα της κυτταρικής μεμβράνης στα ιόντα K και Na.

Αυτή η διαφορά δυναμικού, που ονομάζεται *δυναμικό ηρεμίας*, μπορεί να διαταραχθεί με ταχύτατο τρόπο εξαιτίας της λειτουργίας των *διαύλων ιόντων*, ένα είδος ενσωματωμένων πρωτεϊνών που διαπερνούν την κυτταρική μεμβράνη και απαντώνται σε όλα τα κύτταρα του σώματος. Οι διάυλοι αυτοί έχουν τη χαρακτηριστική ιδιότητα να άγουν συγκεκριμένα ιόντα, όπως επίσης και την ικανότητα να ανοίγουν και να κλείνουν ανταποκρινόμενοι σε ηλεκτρικά, μηχανικά ή χημικά σήματα. Οι σημαντικότεροι διάυλοι που ενδιαφέρουν για την περιγραφή της ηλεκτρικής συμπεριφοράς των νευρικών κυττάρων είναι οι διάυλοι  $\text{K}^+$  και  $\text{Na}^+$  (Kandel et al. 2003). Σε κανονικές συνθήκες μία μεμβρανική πρωτεΐνη που ονομάζεται «αντλία  $\text{K}^+/\text{Na}^+$ » διατηρεί χαμηλή τη συγκέντρωση του  $\text{Na}^+$  στο εσωτερικό του κυττάρου (10 φορές χαμηλότερη από τον εξωκυττάριο χώρο) και υψηλή τη συγκέντρωση του  $\text{K}^+$  (20 φορές υψηλότερη από τον εξωκυττάριο χώρο).

Με τον όρο «αντλία» θεωρούμε γενικά τις διαμεμβρανικές πρωτεΐνες των κυτταρικών μεμβρανών που αλλάζουν δομή ή προσανατολισμό ή και τα δύο για να μεταφέρουν κάποια (ορισμένη) χημική ένωση. Ανάλογα με τις συνθήκες

ενεργοποιείται για πολύ σύντομα χρονικά διαστήματα ένας μηχανισμός της αντλίας  $K^+ / Na^+$ , ο οποίος επιτρέπει τη μετακίνηση ιόντων διαμέσου της κυτταρικής μεμβράνης με αποτέλεσμα να αλλάζει η ηλεκτρική ισορροπία του κυττάρου σε σχέση με το περιβάλλον του. Αυτά τα δυναμικά του νευρικού κυττάρου αθροίζονται μέχρι να φθάσουν (βάσει της αρχής «όλο ή τίποτα») το κατώφλι (ουδό) δημιουργίας του δυναμικού ενέργειας, οπότε ο νευρώνας εκπολώνεται. Αυτό το δυναμικό ενέργειας εφαρμόζεται κατά μήκος του νευράξονα μέχρι το συναπτικό επίπεδο (το σημείο δηλαδή που ο νευράξονας συναντά τους επόμενους νευρώνες). Στη συνέχεια η μεταβίβαση της πληροφορίας από τον ένα νευρώνα στον άλλο μέσω του συναπτικού χάσματος πραγματοποιείται είτε στις περισσότερες περιπτώσεις με χημικό τρόπο με την απελευθέρωση νευροδιαβιβαστών, δηλαδή χημικών ουσιών που προκαλούν στο κύτταρο-υποδοχέα ηλεκτρική διέγερση ή αναστολή, είτε με ηλεκτρικό τρόπο.



Σχήμα 3-7. Σχηματική αναπαράσταση των κυριότερων τύπων νευρικών κυττάρων. Στα δεξιά παριστάνεται ένα μοντέλο νευρώνα ως προς την ηλεκτρική δραστηριότητα και τη μετάδοση σημάτων (Kandel et al. 2003:35).

Στη γενική περίπτωση που ενεργοποιείται ένα δίκτυο νευρώνων (το οποίο πιθανόν αντιστοιχεί τελικά σε κάποια συμπεριφορά) δημιουργούνται σταδιακά σε κάθε νευρώνα που συμμετέχει τέσσερις τύποι σημάτων σε διαφορετικά σημεία του κυττάρου: το σήμα εισόδου, το σήμα εκκίνησης, το σήμα αγωγής και το σήμα εξόδου. Στο σχήμα 3-7 (στη δεξιά εικόνα) παριστάνεται ένα μοντέλο της ηλεκτρικής δραστηριότητας του νευρώνα. Το σήμα εκκίνησης προκύπτει όταν το δυναμικό ηρεμίας του νευρώνα μεταβάλλεται σημαντικά (συνήθως λόγω της επίδρασης ενός άλλου νευρώνα). Αυτή η μεταβολή προκαλεί την έναρξη του δυναμικού ενέργειας, το οποίο μεταδίδεται (άγεται) κατά μήκος του νευράξονα του νευρώνα και αποτελεί το σήμα αγωγής του νευρώνα. Το δυναμικό ενέργειας αναγεννάται κατά μήκος του νευράξονα στους κόμβους Ranvier και έτσι διατηρεί το εύρος του μέχρι την περιοχή απόληξης του νευράξονα όπου προκύπτει το σήμα εξόδου το οποίο είναι συνήθως χημικό και συνίσταται στην απελευθέρωση ενός χημικού διαβιβαστή στη συναπτική σχισμή. Η ποσότητα του διαβιβαστή που απελευθερώνεται είναι διαβαθμισμένη

(όπως και το σήμα εισόδου) και εξαρτάται από το ρυθμό και τη συχνότητα των δυναμικών ενέργειας που φτάνουν στο σημείο αυτό. Στη συνέχεια, ο διαβιβαστής διαχέεται δια μέσου της συναπτικής σχισμής στα μόρια του υποδοχέα στην κυτταρική μεμβράνη του επόμενου μετασυναπτικού κυττάρου και προκαλούν το ηλεκτρικό σήμα εισόδου στο μετασυναπτικό κύτταρο. Ας σημειωθεί ότι αυτό το συναπτικό δυναμικό μπορεί να είναι διεγερτικό ή ανασταλτικό, ανάλογα με το είδος των υποδοχέων στο μετασυναπτικό κύτταρο.

### 3.5 Εγκέφαλος και συμπεριφορά

Στις προηγούμενες ενότητες παρουσιάστηκε το νευρικό κύτταρο που αποτελεί τη βασική πληροφοριακή μονάδα του εγκεφάλου. Η λειτουργική πολυπλοκότητα του ανθρώπινου εγκεφάλου οφείλεται στο μεγάλο αριθμό νευρικών κυττάρων που διαθέτει και στον πολύ μεγάλο αριθμό συνάψεων μεταξύ αυτών των κυττάρων, με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα τεράστιο πλέγμα από δίκτυα νευρώνων που επικοινωνούν και αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Παρόλο που σε μεγάλο βαθμό είναι άγνωστος ακόμη ο τρόπος που τέτοιου είδους μικρά ή μεγάλα δίκτυα προκαλούν, διαμορφώνουν ή αναστέλλουν κάποια συμπεριφορά, σήμερα θεωρείται ότι ακόμη και σύνθετες γνωστικές λειτουργίες εντοπίζονται σε συγκεκριμένες περιοχές του εγκεφάλου. Η λέξη εντοπίζονται χρησιμοποιείται εδώ με ευρεία έννοια και σημαίνει ότι ορισμένες εγκεφαλικές περιοχές σχετίζονται περισσότερο με μια συγκεκριμένη γνωστική λειτουργία παρά με άλλες. Συνήθως οι περισσότερες λειτουργίες απαιτούν συνδυασμένη ενεργοποίηση νευρωνικών δικτύων από διαφορετικές εγκεφαλικές περιοχές. Ο συνδυασμός πληροφοριών από τη δράση του νευρικού κυττάρου (κυτταρική βιολογία), από τη λειτουργία του εγκεφάλου (νευροεπιστήμη, απεικονιστικές μέθοδοι), από τις γνωσιοεπιστήμες (γνωστική ψυχολογία, συμπεριφορική νευρολογία) και από την επιστήμη των υπολογιστών, δημιούργησε μια σύνθετη προσέγγιση, τη γνωστική νευροεπιστήμη, που ασχολείται με την κατανόηση των νευρικών μηχανισμών που αντιστοιχούν σε κάθε συμπεριφορά. Η μάθηση θεωρείται σήμερα ότι συντελείται μέσω συντονισμένων λειτουργιών του κεντρικού, αισθητηριακού και ψυχοκινητικού συστήματος και των οργανικών αλλαγών των εγκεφαλικών κυττάρων (Δήμου 2008b).

Ο πιο αποδεκτός λειτουργικός διαχωρισμός αφορά στα δύο εγκεφαλικά ημισφαίρια, τα οποία και από ανατομικής άποψης δεν είναι ακριβώς συμμετρικά. Ειδικότερα, το αριστερό ημισφαίριο φαίνεται να εμπλέκεται κυρίως στις λεκτικές και άλλες αναλυτικές λειτουργίες ενώ το δεξιό στις χωρικές και ολιστικές (Allanson 2000, Galin & Ornstein 1975). Το αριστερό ημισφαίριο είναι η εγκεφαλική περιοχή που κυρίως εμπλέκεται στη γλωσσική επικοινωνία και στην αναλυτική σκέψη, δηλαδή συστηματική και λογική ερμηνεία των πληροφοριών, συμβολική αναπαράσταση και παραγωγή εννοιών (μαθηματικά, γλώσσα, αφαίρεση και συλλογισμός). Εδώ, η μνήμη αποθηκεύεται κυρίως με γλωσσικά σχήματα. Το δεξιό ημισφαίριο είναι η περιοχή που σχετίζεται με τη χωρική αντίληψη, λειτουργεί

περισσότερο ολιστικά και επεξεργάζεται την πολυαισθητηριακή εισαγωγή για να παρέχει ολικές εικόνες του περιβάλλοντος (π.χ. οι ολιστικές λειτουργίες όπως ο χορός και η γυμναστική συντονίζονται από το δεξιό ημισφαίριο). Εδώ η μνήμη αποθηκεύεται κυρίως στις ακουστικές, οπτικές και χωρικές μορφές (Timperi 2002). Ωστόσο, εκτός από τις επιφυλάξεις διαφόρων ερευνητών ως προς την εξειδίκευση των δύο ημισφαιρίων (π.χ. Martin 2003), είναι γνωστό ότι ο ανθρώπινος εγκέφαλος διαθέτει εκτεταμένες διημισφαιρικές συνδέσεις και η αλληλεπίδραση των δύο ημισφαιρίων είναι τέτοια που δεν είναι δυνατό να διαχωρίσουμε σαφώς τις εξειδικευμένες λειτουργίες τους. Επιπλέον, βασικές διεργασίες, όπως η αισθητική ανάλυση, η μνήμη, η μάθηση και οι υπολογισμοί μπορούν να εκτελεστούν και από τα δύο ημισφαίρια.

Μια άλλη κοινή διαφοροποίηση αφορά στους πρωτοταγείς αισθητικούς και κινητικούς φλοιούς και στους αντίστοιχους συνειρμικούς. Γνωστή είναι για παράδειγμα η εσωτερική αντιπροσώπευση του σώματος στο σωματοαισθητικό φλοιό. Οι τρεις συνειρμικές περιοχές λειτουργούν εξειδικευμένα, ενώ ταυτόχρονα μετέχουν σε περισσότερες από μία γνωστικές λειτουργίες. Ο προμετωπιαίος συνειρμικός φλοιός παρεμβαίνει σε κινητικές στρατηγικές, σταθμίζει τις συνέπειες από μελλοντικές δράσεις και σχεδιάζει τις κινητικές αποκρίσεις. Ο βρεγματο-κροταφο-νιακός συνειρμικός φλοιός απαρτίζεται από βρεγματικές, κροταφικές και ινιακές συνειρμικές περιοχές (σχήμα 3-4). Οι βρεγματικές συνειρμικές περιοχές σχετίζονται με ανώτερες αισθητικές λειτουργίες, με την εικόνα του σώματος, την αντίληψη σχέσεων στο χώρο και τη γλώσσα. Ο στεφανιαίος συνειρμικός φλοιός περιλαμβάνει περιοχές από διαφορετικούς λοβούς αλλά κυρίως από τον κροταφικό. Οι κροταφικές συνειρμικές περιοχές παρεμβαίνουν στη μνήμη και τη συναισθηματική συμπεριφορά.

Γενικά, πολλές σύνθετες γνωστικές λειτουργίες θεωρείται σήμερα ότι εντοπίζονται σε κάποιες εγκεφαλικές περιοχές. Η παρούσα διατριβή εστιάζεται περισσότερο σε εκείνες που σχετίζονται κυρίως με εξωτερικές περιοχές του φλοιού που είναι δυνατό να προκαλέσουν μετρήσιμες διαφοροποιήσεις στο ηλεκτροεγκεφαλογράφημα. Ορισμένες από αυτές παρουσιάζονται εκτενέστερα στο κεφάλαιο 1.

### **3.6 Σύνοψη**

Στις προηγούμενες ενότητες περιγράφηκε σε πολύ γενικές γραμμές η λειτουργία του Κ.Ν.Σ. και η μορφολογία του εγκεφάλου στον άνθρωπο. Η βασική μονάδα πληροφορίας, τα νευρικά κύτταρα, οργανώνονται σε διάφορες ομάδες – δίκτυα με ποικίλες αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους. Ο μετασχηματισμός των νευρικών σημάτων σε αυτά τα δίκτυα έτσι ώστε να υλοποιούνται κάθε χρονική στιγμή οι λειτουργίες της αντίληψης και της συμπεριφοράς είναι στο μεγαλύτερο μέρος τους άγνωστες.

Ωστόσο, σήμερα είναι πλέον γνωστό ότι ακόμη και σύνθετες γνωστικές λειτουργίες είναι εντοπισμένες. Βέβαια, κανένα τμήμα του νευρικού συστήματος δε

λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο μόνο του, όπως λειτουργεί σε συνεργασία με τα άλλα τμήματα. Θεωρείται επομένως απίθανο οποιαδήποτε γνωστική λειτουργία να γίνει κατανοητή με την επικέντρωση σε μία μόνο εγκεφαλική περιοχή, χωρίς να λαμβάνονται υπ' όψιν οι σχέσεις με τις άλλες περιοχές.

Ανεξάρτητα, όμως, από την κωδικοποίηση και ερμηνεία των εγκεφαλικών δικτύων, η λειτουργική φυσιολογία του εγκεφάλου είναι δυνατό να περιγραφεί με αρκετή λεπτομέρεια χρησιμοποιώντας σύγχρονες τεχνικές. Στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι σημαντικότερες από τις τεχνικές απεικόνισης της εγκεφαλικής λειτουργίας.





---

# 4 Τεχνικές απεικόνισης της εγκεφαλικής δραστηριότητας

---

4.1	Εισαγωγή.....	60
4.2	Εγκεφαλικές βλάβες και ψυχοχειρουργικές επεμβάσεις .....	61
4.3	Ηλεκτρικός ερεθισμός του εγκεφάλου .....	61
4.4	Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (ΗΕΓ) .....	62
4.5	Προκλητά δυναμικά.....	64
4.6	Μαγνητοεγκεφαλογράφημα.....	66
4.7	Αξονική τομογραφία.....	68
4.8	Τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων .....	69
4.9	Απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού .....	71
4.10	Λειτουργική απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού.....	72
4.11	Διακρανιακή μαγνητική και ηλεκτρική διέγερση.....	74
4.12	Οπτική φασματοσκοπία .....	75
4.13	Βιοχημικές τεχνικές .....	76
4.14	Σύνοψη.....	76

## 4.1 Εισαγωγή

Αφότου αναγνωρίστηκε ο ζωτικός ρόλος του ανθρώπινου εγκεφάλου στη λειτουργία της ζωής γενικότερα και της νόησης ειδικότερα, εμφανίστηκε και η ανάγκη της μέτρησης ή καταγραφής της εγκεφαλικής λειτουργίας. Εκτός από τις προφανείς ανάγκες στις περιπτώσεις κλινικών βλαβών ή ανωμαλιών, εξίσου σημαντικές είναι και οι μετρήσεις του υγιούς εγκεφάλου. Τομείς ενδιαφέροντος είναι ο εντοπισμός λειτουργιών (κρίσιμες και συμμετέχουσες περιοχές), ο έλεγχος και συγχρονισμός των λειτουργιών (για παράδειγμα οι συνειδητά ελεγχόμενες και οι «αυτόματες» λειτουργίες, ο συντακτικός ή σημασιολογικός έλεγχος, η άμεση επεξεργασία πληροφοριών και η προσωρινή μνήμη), η χωροχρονική συνεργασία περιοχών στο συνολικό δίκτυο των νευρώνων, ο προσδιορισμός της φυσιολογικής ή μη περιγραφής των επιμέρους λειτουργιών.

Μια πληθώρα επιστημονικών κλάδων συμβάλλουν σήμερα με διάφορες μεθόδους στη διερεύνηση της λειτουργίας του ανθρώπινου εγκεφάλου σε πολλά επίπεδα, από το κυτταρικό και βιοχημικό ως την ηλεκτρική ή μαγνητική δραστηριότητα του εγκεφάλου.

Υπάρχουν πολλές μέθοδοι που προσπαθούν να συσχετίσουν την κατάσταση του εγκεφάλου με τη συμπεριφορά. Μια μεγάλη κατηγορία τέτοιων μεθόδων που προέρχονται από το χώρο της νευροψυχολογίας είναι οι δοκιμασίες γνωστικών ικανοτήτων. Με τις δοκιμασίες αυτές διερευνώνται γνωστικές λειτουργίες, όπως η λεκτική ικανότητα, η οπτική επίγνωση του χώρου (οπτικοχωρικές ικανότητες), η μνήμη, κ.λπ. Οι μέθοδοι αυτοί είναι υποκειμενικές, μη επεμβατικές και δεν απαιτούν την ύπαρξη εξωτερικών συσκευών ή οργάνων μέτρησης, αλλά δεν καταγράφουν την πρωτογενή λειτουργία του εγκεφάλου. Οι μέθοδοι που ακολουθούν στα επόμενα κεφάλαια προσπαθούν να καλύψουν αυτήν ακριβώς την ανάγκη αντικειμενικής παρατήρησης και μέτρησης της λειτουργίας του ανθρώπινου εγκεφάλου.

Η ερμηνεία των απεικονιστικών δεδομένων της εγκεφαλικής λειτουργίας στηρίζεται σε ένα σύνολο προτύπων ή μοντέλων. Μερικά από αυτά είναι αρκετά κατηγορηματικά (όπως, για παράδειγμα, τα γραμμικά μοντέλα της στατιστικής ανάλυσης), ενώ άλλα είναι ασαφή (όπως είναι συνήθως ο εγκεφαλικός εντοπισμός γνωστικών λειτουργιών). Αυτά τα μοντέλα ενσωματώνουν τις υπάρχουσες θεωρίες και υποθέσεις καθώς και προηγούμενες παρατηρήσεις και μπορεί να είναι βιοφυσικά, ανατομικά, μαθηματικά, στατιστικά και συνήθως επαρκώς καθορισμένα (Friston 1997). Τα μοντέλα βελτιώνονται, αλληλοσυμπληρώνονται, αμφισβητούνται ή αλλάζουν ριζικά παρακολουθώντας την εξέλιξη των γνώσεών μας για την εγκεφαλική λειτουργία. Η αξία όμως των πρωτογενών δεδομένων διατηρεί τη σημασία της και είναι αυτή που τελικά επιβεβαιώνει ή καταργεί στην πράξη θεωρητικές υποθέσεις και πρότυπα εγκεφαλικής λειτουργίας.

## 4.2 Εγκεφαλικές βλάβες και ψυχοχειρουργικές επεμβάσεις

Η εγκεφαλικές βλάβες αν και δεν αποτελούν μέθοδο διερεύνησης ή απεικόνισης με την αυστηρή έννοια των προαναφερθέντων όρων, παρέχουν εντούτοις πολύτιμες πληροφορίες για την περιγραφή των σχέσεων εγκεφάλου και συμπεριφοράς. Άλλωστε αυτές οι καταγραφές, που συχνά αποτελούν μελέτες περιπτώσεων (μεμονωμένων ή γενικότερων), είναι οι πρώτες που ανέδειξαν σαφείς ενδείξεις για τη συσχέτιση τμημάτων του εγκεφάλου ή περιοχών του εγκεφαλικού φλοιού με τις γνωστικές ικανότητες και συμπεριφορές, καταγράφοντας την απώλεια κάποιων λειτουργιών ή την απελευθέρωσή τους ως αποτέλεσμα της συγκεκριμένης βλάβης.

Ιστορικά είναι οι παλαιότερες μέθοδοι στην προσπάθεια να εντοπισθούν οι εγκεφαλικές λειτουργίες. Με τη χρήση τους έχουν διαμορφωθεί σχετικά ακριβείς εγκεφαλικοί χάρτες πριν γίνουν γνωστές οι σύγχρονες τεχνικές και τεχνολογίες εγκεφαλικής απεικόνισης. Έχουν καταγραφεί χαρακτηριστικές περιπτώσεις ατόμων, αλλά οι μαζικότερες περιπτώσεις καταγράφηκαν μετά τις αρχές του εικοστού αιώνα, όταν στις πολεμικές αναμετρήσεις μικρότερου διαμετρήματος σφαίρες προκαλούσαν τοπικές βλάβες αφήνοντας τις υπόλοιπες περιοχές ανεπηρέαστες. Στα μέσα του 20<sup>ου</sup> αιώνα εμπλουτίστηκαν με τα δεδομένα της μεθόδου που ακολουθεί στην επόμενη ενότητα, του ηλεκτρικού ερεθισμού περιοχών του εγκεφάλου και έδωσαν περιγραφές με μεγάλη ακρίβεια. Η χρήση τους συνεχίζεται ακόμη και σήμερα σε συνδυασμό με τις σύγχρονες μεθόδους (Savoy 2001).

Παράγοντες που συμβάλουν στην εγκυρότητα και γενίκευση των ευρημάτων είναι η πλήρη περιγραφή των γνωστικών λειτουργιών του υποκειμένου πριν τη βλάβη, η οποία περιγράφεται με το δείκτη προ-νοσηρότητας (premorbid index) και η ακριβής περιγραφή και προσδιορισμός (εντοπισμός) της βλάβης.

Μειονεκτήματα των μεθόδων διερεύνησης εγκεφαλικών λειτουργιών μελετώντας υποκείμενα με κρανιακά τραύματα, αποτελούν το μικρό δείγμα, οι ατομικές διαφορές και η ύπαρξη παραπλανητικών παραγόντων που είναι συχνόι σε αυτές τις περιπτώσεις, όπως η χρήση φαρμάκων ή άλλων ουσιών. Τα κύρια όμως μειονεκτήματα είναι η επεμβατικότητα (που απαγορεύει πρακτικά την πειραματική εφαρμογή στον άνθρωπο) καθώς και το γεγονός ότι όλα τα δεδομένα προέρχονται από ασθενή κι όχι από υγιή άτομα.

## 4.3 Ηλεκτρικός ερεθισμός του εγκεφάλου

Όταν αυτή η μέθοδος εισήχθη από τον Wilder Penfield και τους συνεργάτες του αποτέλεσε επανάσταση στη γνώση για τον εντοπισμό των εγκεφαλικών λειτουργιών (Penfield & Jasper 1954). Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, που χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα κατά τη διάρκεια νευροχειρουργικών επεμβάσεων, ερεθίζονται ηλεκτρικά σημεία του εγκεφάλου με χειρουργικό τρόπο και μελετώνται οι αντιδράσεις του υποκειμένου. Με αντίστοιχη διαδικασία μπορεί να μετρηθεί και ηλεκτρική δραστηριότητα μεμονωμένων νευρώνων ή ομάδων νευρώνων

με μεγάλη ακρίβεια, μεγαλύτερη από οποιαδήποτε άλλη μέθοδο. Το βασικό της μειονέκτημα είναι ότι χρησιμοποιείται μόνο σε ασθενείς κατά τη διάρκεια χειρουργικών επεμβάσεων.

Ο πίνακας 4-1 συνοψίζει τα κυριότερα χαρακτηριστικά του ηλεκτρικού ερεθισμού του εγκεφάλου σε σχέση και με τις άλλες μεθόδους που παρουσιάζονται στο παρόν κεφάλαιο.

Πίνακας 4-1. Συνοπτική περιγραφή των χαρακτηριστικών του ηλεκτρικού ερεθισμού του εγκεφάλου	
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<p>Πολύ καλή χωρική και χρονική ανάλυση (καλύτερη από οποιαδήποτε άλλη μέθοδο)</p> <p>Δυνατότητα διαχωρισμού καταστάσεων διέγερσης και εκφόρτισης</p> <p>Καλή μέθοδος για τον εντοπισμό λειτουργιών κατώτερου επιπέδου</p>	<p>Επεμβατική</p> <p>Δεν μπορεί να παράσχει πληροφορίες για ανώτερες νοητικές λειτουργίες</p> <p>Χρησιμοποιείται κυρίως σε ασθενείς</p> <p>Δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε υγιή άτομα</p>

#### 4.4 Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (ΗΕΓ)

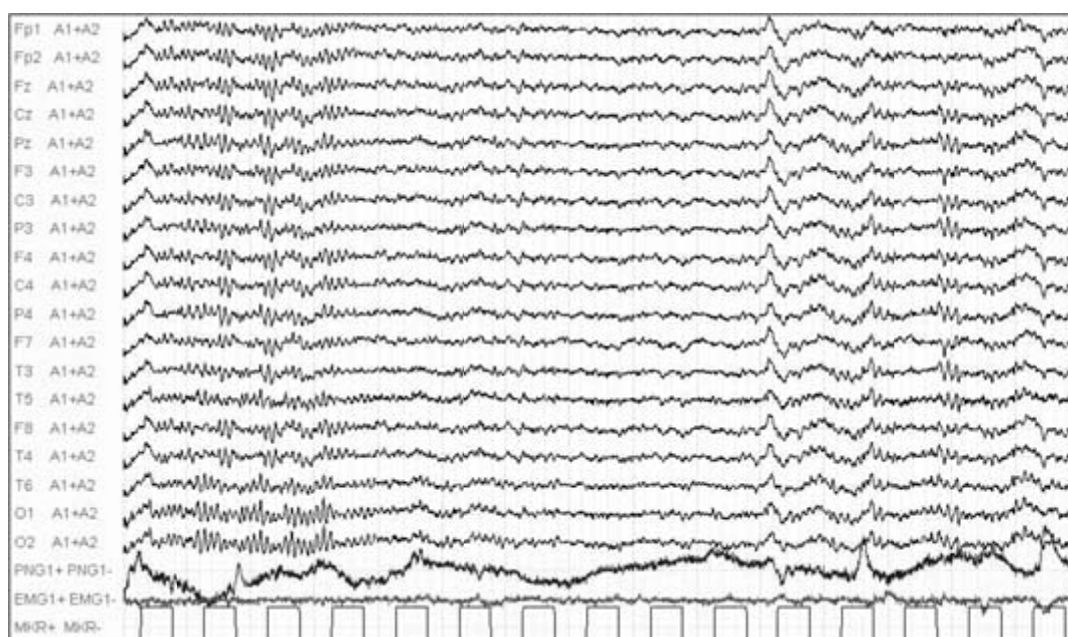
Το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (ΗΕΓ ή electroencephalography ή EEG) αποτελεί την παλιότερη ίσως μέθοδο εγκεφαλικής απεικόνισης. Η πρώτη αναφορά χρονολογείται το 1875 από τον Richard Cayton αλλά η ηλεκτρική δραστηριότητα ανθρώπινου εγκεφάλου καταγράφηκε το 1929 από τον Γερμανό ιατρό Hans Berger.

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή τοποθετούνται ηλεκτρόδια στην περιοχή του κρανίου και καταγράφονται μικρές (της τάξεως του  $\mu\text{Volt}$ ) ηλεκτρικές διαφορές δυναμικού των ηλεκτροδίων με βάση κάποιο άλλο ηλεκτρόδιο που θεωρείται σημείο αναφοράς. Οι διαφορές δυναμικού αλλάζουν συνεχώς με το χρόνο και μπορούν να λαμβάνουν θετικές ή αρνητικές τιμές, σε σχέση πάντα με το ηλεκτρόδιο αναφοράς.

Στο σχήμα 4-1 παρουσιάζεται μια τυπική γραφική αναπαράσταση του ΗΕΓ σήματος με 22 κανάλια. Τα 19 προκύπτουν από μετρήσεις των 19 κύριων ηλεκτροδίων, 2 από μετρήσεις των οφθαλμικών κινήσεων και το τελευταίο μετρά τη χρονική εξέλιξη (σε παλμούς / δευτερόλεπτο).

Το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα είναι η μοναδική από τις μεθόδους που παρουσιάζονται στην παρούσα ενότητα που μπορεί να υπερβεί τις τεχνητές συνθήκες του εργαστηρίου ή νοσοκομείου και να παρέχει καταγραφή όταν το υποκείμενο βρίσκεται και δρα στο φυσικό του περιβάλλον. Στην κατεύθυνση αυτή ανήκει η μέθοδος της τηλεμετρικής λήψης, όπου το υποκείμενο συνδέεται καλωδιακά ή ασύρματα με τη συσκευή καταγραφής, η οποία μπορεί να είναι απομακρυσμένη μέχρι κάποια όρια. Η μέθοδος όμως που επιτρέπει στο υποκείμενο να βρίσκεται πραγματικά εκτός εργαστηρίου χωρίς περιορισμούς (αρκεί βέβαια να μην προκαλεί στη συσκευή

καταγραφής παράσιτα ή προβλήματα) είναι η πολύωρη (24ωρη συνήθως) καταγραφή. Χρησιμοποιείται φορητή συσκευή που εύκολα προσαρμόζεται στο σώμα του υποκειμένου και επικολλώμενα ηλεκτρόδια που παραμένουν σταθερά στο κρανίο. Και οι δύο μέθοδοι απομακρυσμένης καταγραφής μπορεί να συνδυάζονται και με βιντεοσκόπηση του υποκειμένου, ώστε να συσχετίζονται οι καταγραφόμενες ΗΕΓ μετρήσεις με συμπεριφοριστικές παρατηρήσεις του υποκειμένου (Παπαγεωργίου 1992:353). Το μεγάλο πρόβλημα των μεθόδων απομακρυσμένης ΗΕΓ καταγραφής είναι ο έλεγχος και η αξιολόγηση των παρασίτων, τα οποία στην καταγραφή εκτός του χώρου του εργαστηρίου πολλαπλασιάζονται. Έτσι η χρήση τέτοιων μεθόδων είναι ακόμη περιορισμένη.



Σχήμα 4-1. Τυπική γραφική παράσταση του ΗΕΓ σήματος

Πίνακας 4-2. Συνοπτική περιγραφή των χαρακτηριστικών του ΗΕΓ	
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Μη επεμβατικό	Ευαίσθητο σε κινήσεις και παράσιτα
Άριστη χρονική ανάλυση	Μειωμένη δυνατότητα χωρικού εντοπισμού
Σχετικά εύκολο και φθηνό	Καταγράφεται η ηλεκτρική δραστηριότητα εκατομμυρίων ομάδων νευρώνων
Καταγραφή σε πραγματικό χρόνο της εξέλιξης της νευρωνικής λειτουργίας	Καθυστέρηση στην εφαρμογή των ηλεκτροδίων
Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την καταγραφή της αντίδρασης του εγκεφάλου σε ποικίλα ερεθίσματα	
Εφαρμόζεται σε υγιείς και ασθενείς	

Πρέπει να τονιστεί πως το ΗΕΓ θεωρείται μη επεμβατική τεχνική, αφού δε χορηγείται στον οργανισμό κάποια ουσία ούτε υποβάλλεται το υποκείμενο σε ηλεκτρικό ή μαγνητικό πεδίο ή σε κάποιας μορφής ακτινοβολία.

Στον πίνακα 4-2 παρουσιάζονται συνοπτικά τα βασικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του ΗΕΓ σε σχέση με άλλες μεθόδους απεικόνισης της εγκεφαλικής λειτουργίας.

Το ΗΕΓ είναι η μέθοδος που επιλέχθηκε για την παρούσα εργασία και ακολουθεί αναλυτική περιγραφή του στο κεφάλαιο 1.

#### **4.5 Προκλητά δυναμικά**

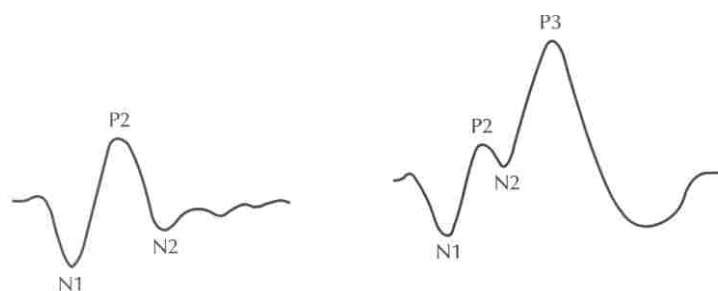
Προκλητά δυναμικά (event related potentials - ERP) ή βιοματικά δυναμικά (Κουτσούρης 2003) ονομάζουμε τις διαφορές δυναμικού που μετρώνται στη δερματική επιφάνεια του κρανίου, οι οποίες προκαλούνται ως προετοιμασία ή ως απόκριση σε συγκεκριμένα γεγονότα, που συμβαίνουν στον εξωτερικό φυσικό κόσμο ή λαμβάνουν χώρα ως ψυχολογική διαδικασία. Η μέθοδος των προκλητών δυναμικών είναι μια ηλεκτροφυσιολογική τεχνική όπως και το συνεχές ΗΕΓ και οι διαδικασίες μέτρησης είναι ακριβώς ίδιες με το ΗΕΓ. Η διαφορά με το ΗΕΓ είναι ότι εδώ ενδιαφέρει η στιγμιαία μεταβολή της ηλεκτρικής δραστηριότητας του εγκεφάλου κατά την αντίδρασή του σε συγκεκριμένο αισθητηριακό ή γνωστικό ερέθισμα κι όχι η αυτόματη ηλεκτρική εγκεφαλική δραστηριότητα ή οποία θεωρείται «θόρυβος», έχει μεγαλύτερες τιμές από τα προκλητά δυναμικά και πρέπει να αφαιρεθεί.

Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο το ερέθισμα και η μέτρηση επαναλαμβάνονται πολλές φορές με πανομοιότυπο τρόπο και το τελικό αποτέλεσμα προκύπτει από το μέσο όρο όλων των μετρήσεων. Με τον τρόπο αυτό η αυτόματη δραστηριότητα που γενικά δεν παρουσιάζει σύμπτωση φάσης και συχνότητας (σε αντίθεση με τα προκλητά δυναμικά) υποβαθμίζεται σε μεγάλο βαθμό εξαιτίας της μεσοποίησης ενώ αυξάνεται κατά πολύ η αναλογία σήματος προς θόρυβο και αναδεικνύονται τα προκλητά δυναμικά ως μεγάλες και αργές διαταραχές της ηλεκτρικής δραστηριότητας του εγκεφάλου οι οποίες προκύπτουν ως απόκριση στο ερέθισμα.

Στο σχήμα 4-2 φαίνονται οι κυματομορφές ορισμένων κατηγοριών προκλητών δυναμικών, όπως προκύπτουν μετά τη μεσοποίηση πολλών δοκιμών (trials).

Τα προκλητά δυναμικά χαρακτηρίζονται και ονομάζονται από τρεις παραμέτρους, την πολικότητα, το λανθάνοντα χρόνο (δηλαδή τη χρονική καθυστέρηση του δυναμικού σε σχέση με το εξωτερικό ερέθισμα που το προκάλεσε) και το πλάτος τους.

Τα προκλητά δυναμικά διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες, τα εξωγενή (stimulus related potentials – SRP) και τα ενδογενή ή γνωστικά ή εξαρτώμενα από το γεγονός (event related potential – ERP).



Σχήμα 4-2. Παραδείγματα των προκλητών δυναμικών (N1, N2, P2, P3) κατά τη φάση μη στόχου (αριστερά) και ερεθίσματος στόχου (δεξιά).

Τα εξωγενή προκλητά δυναμικά (οπτικά, ακουστικά και σωματοαισθητικά) προκύπτουν ως απόκριση σε αισθητηριακό ερέθισμα, όπως τα N100 και P200 τα οποία θεωρείται ότι αντιπροσωπεύουν την επεξεργασία των ερεθισμάτων, την αρχική αντίδραση του εγκεφάλου στα αισθητηριακά ερεθίσματα.

Παράδειγμα «γνωσιακού» ή συναρτημένου με γεγονός προκλητού δυναμικού είναι το P300 (P3a, P3b) το οποίο αντικατοπτρίζει περισσότερο ενδογενή συστατικά της επεξεργασίας, όπως επεξεργασία της πληροφορίας (αναγνώριση, κωδικοποίηση, σύγκριση στη μνήμη και επιλογή στόχου), λήψη αποφάσεων, γνωστική επεξεργασία ή αντίδραση στην αβεβαιότητα των ερεθισμάτων, όπως για παράδειγμα όταν απρόσμενα, σπάνια ή ασυνήθιστα ερεθίσματα παρεμβάλλονται σε μια σειρά συχνών ή αναμενόμενων ερεθισμάτων (Donchin & Coles 1988, Τριανταφύλλου 1994, Polich & Kok 1995). Στην ίδια κατηγορία των «γνωσιακών» προκλητών δυναμικών εντάσσεται και το N400, το οποίο προκαλείται όταν λέξεις και φράσεις που δεν είναι εννοιολογικά σωστές παρουσιάζονται στο άτομο λέξη προς λέξη (Kutas & Hillyard 1980). Το σχήμα 4-2 παρουσιάζει παραδείγματα «γνωσιακών» προκλητών δυναμικών, ενώ ο πίνακας 4-3 συνοψίζει τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά των προκλητών δυναμικών.

Τα προκλητά δυναμικά χρησιμοποιούνται για μελέτη γνωστικών διαδικασιών όπως μνήμης, γλώσσας και προσοχής καθώς και για αξιολόγηση της γνωστικής εξασθένησης που εμφανίζεται σε ορισμένες νευροψυχιατρικές διαταραχές.

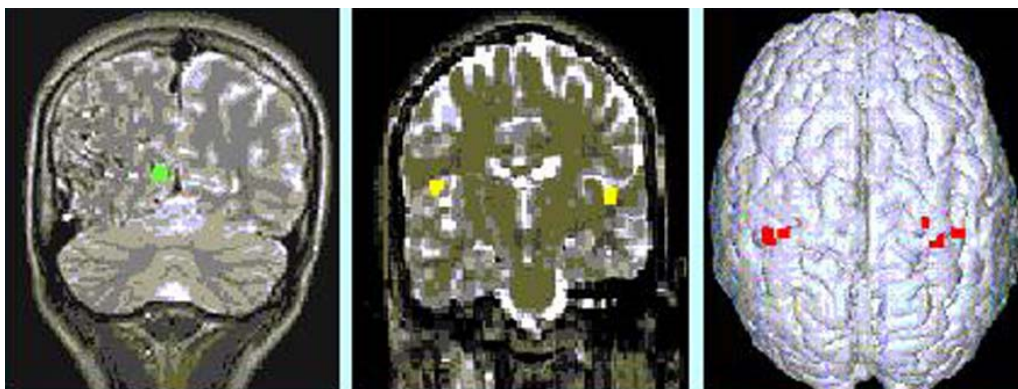
Πίνακας 4-3. Συνοπτική περιγραφή των χαρακτηριστικών των προκλητών δυναμικών	
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Ιδιαίτερα χρήσιμα για μελέτη αισθητηριακών λειτουργιών Πιθανή μέτρηση γνωστικής λειτουργίας και γνωστικής εξασθένησης Μη επεμβατική μέθοδος Υψηλή χρονική ανάλυση (1 msec) Σχετικά εύκολη τεχνική	Οι νευρωνικοί μηχανισμοί που τα δημιουργούν δεν είναι επαρκώς γνωστοί Απαιτούνται πολλές επαναλήψεις

#### 4.6 Μαγνητοεγκεφαλογράφημα

Η μέθοδος της μαγνητοεγκεφαλογραφίας (ΜΕΓ ή Magnetoencephalography ή MEG ή απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού ή Magnetic Source Imaging ή MSI) εκμεταλλεύεται τα μαγνητικά πεδία που δημιουργούνται από την ηλεκτρική δραστηριότητα των νευρώνων, τα οποία μετρώνται από μια συσκευή μετάδοσης κβαντικής παρεμβολής (με χρήση πολλών αισθητήρων SQUID - Superconducting Quantum Interference Device). Η ΜΕΓ ανιχνεύει τα μαγνητικά πεδία, όπως αυτά μετρώνται στην επιφάνεια του κρανίου, από ένα μεγάλο αριθμό νευρώνων (στήλες νευρώνων), αφού μεμονωμένοι νευρώνες δημιουργούν πολύ αδύναμα μαγνητικά πεδία. Μπορεί να προσδιορίσει με ακρίβεια πηγές δραστηριότητας του εγκεφάλου (δηλαδή τις θέσεις των στηλών αυτών στον εγκεφαλικό φλοιό) και στη συνέχεια να αποτυπώσει τις πηγές αυτές σε μια τρισδιάστατη αναπαράσταση. Οι δυνατότητες και οι αδυναμίες της μεθόδου καθώς και συγκρίσεις με το ΗΕΓ έχουν δημοσιευτεί από πολλούς ερευνητές (π.χ. Cohen & Cuffin 1991, Leahy et al. 1998, Williamson & Kaufman 1987). Γενικά παρά τη διαφορετική τεχνολογία στην οποία βασίζεται, θεωρείται παρόμοια μέθοδος με το ΗΕΓ αφού οι διαφορές τους είναι λιγότερες από τις ομοιότητες (Gevins et al. 1999, Gevins 2002).

Τα σήματα ΜΕΓ είναι χρονοσειρές τιμών μαγνητικής ροής. Η έντασή τους είναι αρκετά μικρή (τυπικές τιμές μεταξύ  $10^{-14}$  και  $10^{-13}$  Telsa) και επομένως είναι ευαίσθητα σε μαγνητικό θόρυβο. Αν και τα σήματα ΜΕΓ είναι παρόμοια με τα ΗΕΓ, έχουν το βασικό πλεονέκτημα ότι, επειδή δεν εξασθενούν καθώς περνούν από τους εγκεφαλικούς ιστούς και το κρανίο, δίνουν ακριβέστερα δεδομένα για την προέλευσή και την τοπική τους εξάπλωση (Ray & Oathes 2003).

Στο σχήμα 4-3 εικονίζεται μια τυπική αναπαράσταση εγκεφαλικής κατάστασης με χρήση της μεθόδου της μαγνητοεγκεφαλογραφίας.



Οπτικές

Ακουστικές

Σωματοαισθητικές

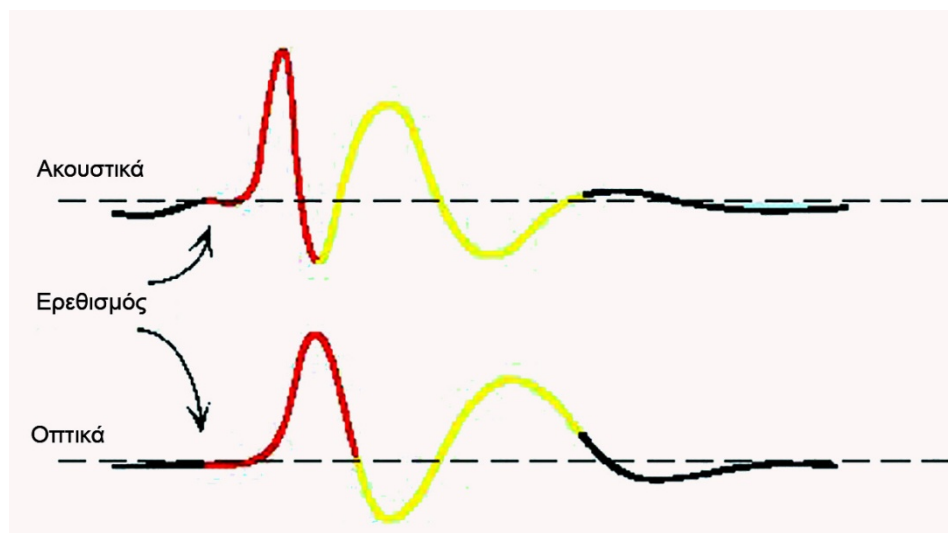
Σχήμα 4-3. Τυπικές ΜΕΓ απεικονίσεις που δείχνουν οπτικές, ακουστικές και σωματοαισθητικές λειτουργίες (<http://www.uth.tmc.edu/clinicalneuro/index.htm>).

Με παρόμοιο τρόπο που από το ΗΕΓ προκύπτουν τα προκλητά δυναμικά, από τη ΜΕΓ προκύπτουν τα προκλητά μαγνητικά πεδία (event related fields ή ERF ή



ΠΜΠ). Παράδειγμα τέτοιων προκλητών μαγνητικών πεδίων εικονίζεται στο σχήμα 4-4, όπου φαίνονται τα πρώιμα και όψιμα κύματα που παράγονται.

Σε μια τυπική ΜΕΓ μέτρηση, πρέπει να τοποθετηθεί το κεφάλι του υποκειμένου ανάμεσα σε ένα μεγάλο αριθμό αισθητήρων οι οποίοι δεν απαιτείται να έχουν φυσική επαφή με το κρανίο. Χρησιμοποιεί υγρό ήλιο και χρειάζεται κρύο περιβάλλον (Ray & Oathes 2003).



Σχήμα 4-4. Προκλητά μαγνητικά πεδία κατά τη διάρκεια ακουστικών και οπτικών λειτουργιών (<http://www.uth.tmc.edu/clinicalneuro/index.htm>).

Στον πίνακα 4-4 αναφέρονται συνοπτικά τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά της μεθόδου της μαγνητοεγκεφαλογραφίας σε σχέση με τις άλλες μεθόδους που παρουσιάζονται στο παρόν κεφάλαιο.

Πίνακας 4-4. Συνοπτική περιγραφή των χαρακτηριστικών του μαγνητοεγκεφαλογραφήματος	
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Μη επεμβατική (δεν απαιτούνται ούτε ηλεκτρόδια)	Μικρή χωρική ανάλυση (όπως η ERP)
Εξίσου καλή χρονική ανάλυση με το ΗΕΓ	Ακριβή (φθηνότερη όμως από fMRI και PET)
Τα σήματα δεν αλλοιώνονται λόγω αγωγιμότητας μεταξύ κρανίου και αισθητήρα	Απαιτεί μαγνητικά θωρακισμένο δωμάτιο
Πιο ακριβής από το ΗΕΓ στον εντοπισμό πηγών δραστηριότητας	Δεν επιτρέπονται κινήσεις του υποκειμένου κατά τη διάρκεια της καταγραφής
	Ευαίσθητη σε οφθαλμικά παράσιτα (όπως και η ERP)
	Απαιτούνται πολλές επαναλήψεις (όπως και η ERP)

#### 4.7 Αξονική τομογραφία

Η αξονική τομογραφία είναι γνωστή και ως ακτινογραφία μέσω υπολογιστή (X-ray CT ή X-ray computerized tomography ή απλά CT). Δεδομένου του διαφορετικού βαθμού απορρόφησης των ακτίνων X από διαφορετικά όργανα ή ιστούς, καταγράφεται η ποσότητα της ακτινοβολίας που δεν απορροφάται από τον εγκέφαλο όταν διαπερνάται από ακτίνες X από διάφορες θέσεις και γωνίες. Προκύπτει έτσι μια τρισδιάστατη απεικόνιση του εγκεφάλου. Παρά την απεικόνιση ανατομικών λεπτομερειών, η αξονική τομογραφία επιτρέπει τη διερεύνηση της δομής αλλά όχι της λειτουργίας του εγκεφάλου.

Το σχήμα 4-5 παρουσιάζει ένα παράδειγμα εικόνας προερχόμενης από τη μέθοδο της αξονικής τομογραφίας. Η πλήρης CT εξέταση περιλαμβάνει πολλές τέτοιες εικόνες ή τομές καθώς αλλάζουν η μετατόπιση και η γωνία λήψης κατά ένα μικρό βήμα (σχετικό με την επιθυμητή διακριτική ικανότητα). Με χρήση κατάλληλου λογισμικού είναι δυνατό όλες οι τομές να συνθέσουν μια τρισδιάστατη απεικόνιση.

Στον πίνακα 4-5 συνοψίζονται τα χαρακτηριστικά της μεθόδου σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους που παρουσιάζονται στο παρόν κεφάλαιο.

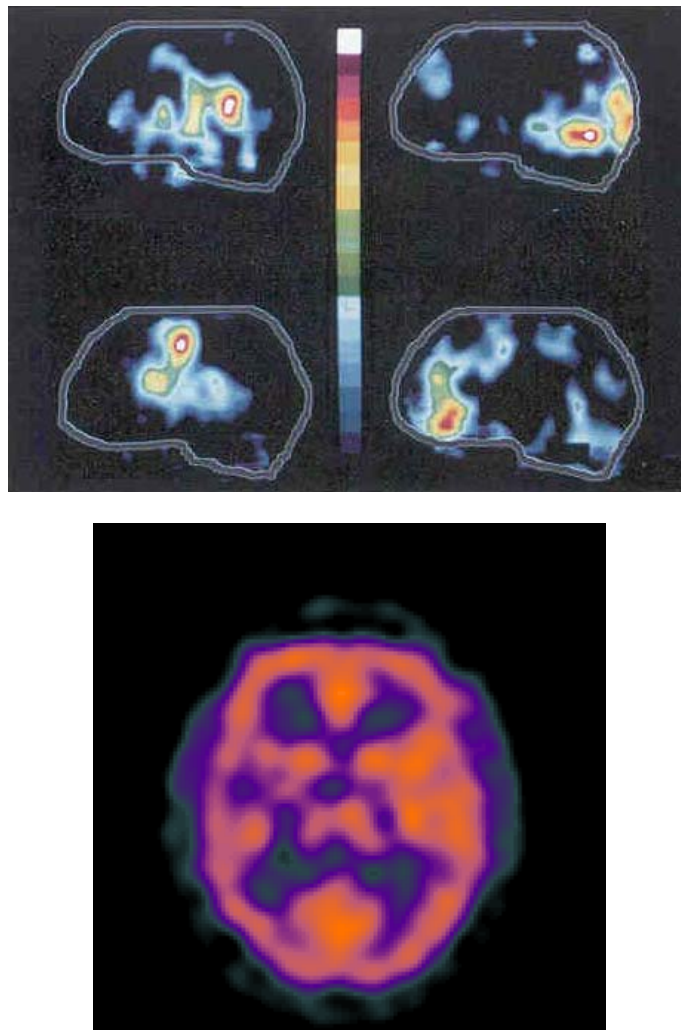


Σχήμα 4-5. Μια τυπική εικόνα (τομή) αξονικής τομογραφίας του εγκεφάλου.

Παραλλαγή της μεθόδου είναι η τεχνική της ιστοραδιογραφίας, που εφαρμόζεται μόνο σε ζώα. Η μέθοδος αυτή μετράει την κατανομή της ραδιενέργειας ενός οργάνου μετά από ραδιενεργή ένεση. Απαιτεί, όμως τη θανάτωση του πειραματόζωου, οπότε έχει περιορισμένες εφαρμογές.

Πίνακας 4-5. Συνοπτική περιγραφή των χαρακτηριστικών της αξονικής τομογραφίας	
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Παρέχει δομική εικόνα του εγκεφάλου in vivo Σχετικά μη επεμβατική	Κακή χωρική ανάλυση Αποτυπώνει τη δομή, αλλά όχι τη συνεχή δραστηριότητα Είναι ακριβή και απαιτεί άριστα εκπαιδευμένο προσωπικό

#### 4.8 Τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων



Σχήμα 4-6. Μια τυπική εικόνα PET.

Η Τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων (PET – positron emission tomography) καθώς και η παραλλαγή της υπολογιστική τομογραφία εκπομπής μοναδικού φωτονίου (Single Photon Emission Computed Tomography ή SPECT), είναι μία από τις πλέον σύγχρονες (μέσα δεκαετίας '80) μεθόδους απεικόνισης του εγκεφάλου.

Χρησιμοποιεί μετρήσεις τριών παραγόντων: της αιματικής ροής, της κατανάλωσης οξυγόνου και του μεταβολισμού της γλυκόζης. Στο υποκείμενο χορηγείται κάποια ραδιενεργός ουσία (ραδιενεργή γλυκόζη ή ραδιενεργό νερό) και στη συνέχεια μετράται η εκπομπή ποζιτρονίων ή ακτίνων γ από τους ζωντανούς ιστούς. Από τη μέτρηση αυτή μπορεί να μετρηθεί η συγκέντρωση της ουσίας στην αντίστοιχη περιοχή. Το τελικό αποτέλεσμα είναι μια τρισδιάστατη αναπαράσταση χρωματικά κωδικοποιημένη που ανταποκρίνεται σε αυξημένη μεταβολική δραστηριότητα ή αιματική ροή των αντίστοιχων εγκεφαλικών περιοχών (Friston 1997, Haarmann 2004, Ray & Oathes 2003).

Η μέθοδος PET δίνει αρκετά καλές εικόνες της δομής, αλλά όσο αφορά στη λειτουργία του εγκεφάλου αυτό που αποτυπώνεται είναι μια περίπου αθροιστική επίδραση των εγκεφαλικών δραστηριοτήτων που μεσολαβούν σε χρονικό διάστημα λεπτών (Neubauer et al. 2002). Όπως φαίνεται και στον πίνακα 4-6 η εξέταση PET δεν προτείνεται για τη μελέτη γνωστικών λειτουργιών γιατί απαιτεί η εγκεφαλική λειτουργία ή η κατάσταση που μελετάται να παραμείνει σχετικά σταθερή για μεγάλο χρονικό διάστημα (της τάξης του ενός λεπτού ή και περισσότερο ανάλογα με το χρόνο διάσπασης του ραδιενεργού υλικού) και βέβαια γιατί είναι σχετικά επεμβατική και ως εκ τούτου περιορισμένου αριθμού επαναλήψεων στο ίδιο υποκείμενο (Savoy 2001).

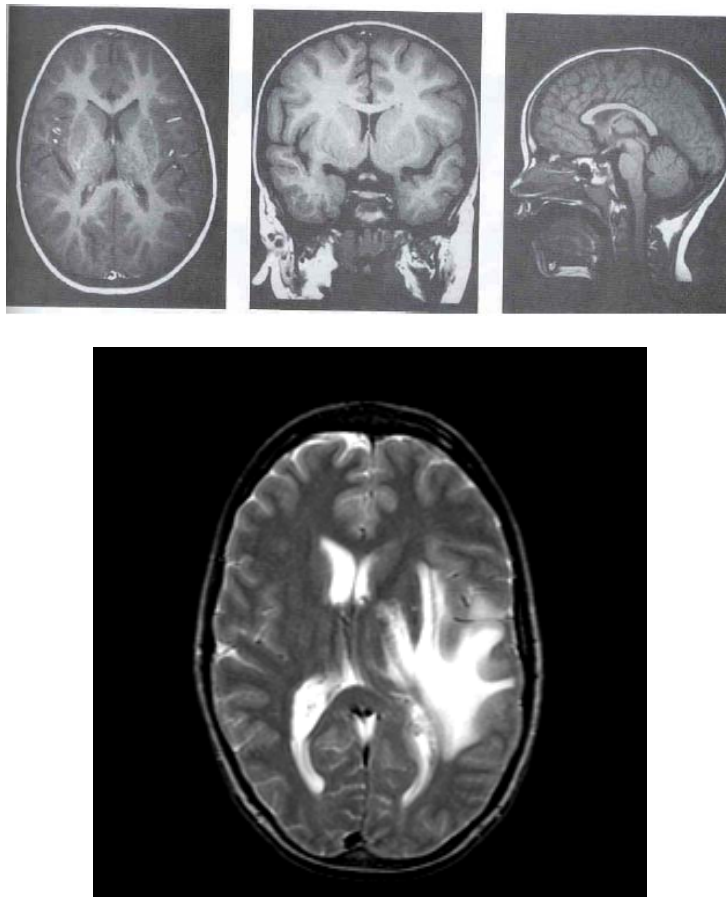
Παραδείγματα τομών του εγκεφάλου προερχόμενων από PET εικονίζονται στο σχήμα 4-6.

Πίνακας 4-6. Συνοπτική περιγραφή των χαρακτηριστικών της τομογραφίας εκπομπής ποζιτρονίων	
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε υγιείς και ασθενείς	Σχετικά επεμβατική (χορηγείται ραδιενεργό ενέσιμο ή εισπνεόμενο υλικό)
Υψηλή χωρική ανάλυση (μέχρι 3 mm)	Μικρή χρονική ανάλυση (1 min ή 30sec)
Μέτρηση νευρωνικής δραστηριότητας in vivo	Απαιτεί ακριβή τεχνολογία
Καταγραφή μετρήσεων κατά την εκτέλεση δραστηριοτήτων	Οι συνθήκες μέτρησης περιορίζουν τα πιθανά ερεθίσματα
	Περιορισμένη διάρκεια μέτρησης λόγω του μικρού χρόνου διάσπασης του ραδιενεργού υλικού
	Οι καταστάσεις του εγκεφάλου που εξετάζονται πρέπει να διατηρηθούν για μεγάλο χρονικό διάστημα, όσο ο χρόνος διάσπασης του ραδιενεργού υλικού
	Περιορισμένος αριθμός εξετάσεων στο ίδιο υποκείμενο ανά έτος, εξαιτίας της χορήγησης ραδιενεργού υλικού

#### 4.9 Απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού

Η απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού (magnetic resonance imaging ή MRI) είναι μια σχετικά νέα μέθοδος (άρχισε να εφαρμόζεται στη δεκαετία του '80), η οποία, όπως και η CT, μπορεί να παράγει απεικονίσεις της δομής του εγκεφάλου. Αντίθετα όμως από την CT, δε χρησιμοποιεί ακτίνες X.

Με την τεχνική MRI το κεφάλι του υποκειμένου υποβάλλεται σε ισχυρό μαγνητικό πεδίο, ενώ το υποκείμενο (όλο το σώμα) βρίσκεται περιορισμένο σε μία κλειστή σωληνοειδή συσκευή (σαρωτής). Οι διαταραχές της κατάστασης των πρωτονίων στα άτομα των ιστών ανιχνεύονται και τελικά παράγονται πολύ καλής ποιότητας δομικές εικόνες.



Σχήμα 4-7. Μια τυπική εικόνα MRI.

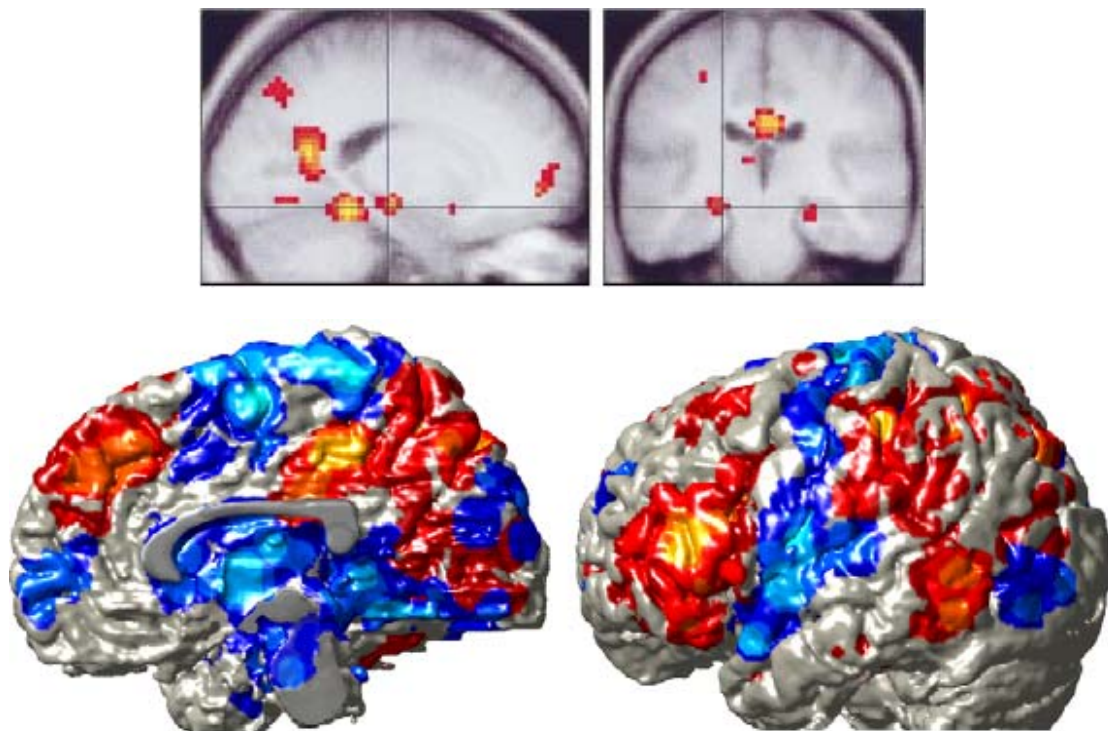
Οι απεικονίσεις MRI έχουν πολύ καλύτερη ανάλυση από εκείνες της CT και μπορούν να ληφθούν από οποιαδήποτε γωνία. Η MRI αποτελεί γενικά ένα πολύ καλό και ευρέως χρησιμοποιούμενο εργαλείο αποτύπωσης της δομής των μαλακών ιστών του σώματος χωρίς τη χρήση ιονίζουσων ακτινοβολιών (όπως η CT), αλλά δεν μπορεί να απεικονίσει φαινόμενα που έχουν χρονική εξέλιξη.

Η MRI είναι μη επεμβατική τεχνική και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο ίδιο υποκείμενο πολλές φορές.

Στο σχήμα 4-7 παρουσιάζονται παραδείγματα MRI τομών του εγκεφάλου. Η ποιότητα των εικόνων αυτών είναι καλύτερη σε σχέση με την αξονική τομογραφία και την τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων.

#### 4.10 Λειτουργική απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού

Η λειτουργική απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού (functional magnetic resonance imaging ή fMRI) αποτελεί βελτιωμένη τεχνική της MRI μεθόδου, κατά την οποία μπορεί να ανιχνευθεί τελικά η αλλαγή στη ροή της αιμοσφαιρίνης με βάση την αρχή ότι η συγκέντρωση του οξυγόνου στο αίμα επηρεάζει τις μαγνητικές ιδιότητες της αιμοσφαιρίνης, οι οποίες μπορούν να μετρηθούν. Οι ενεργοί νευρώνες έχουν ανάγκη αυξημένης αιμάτωσης, η οποία ανιχνεύεται από την fMRI. Οι αιμοδυναμικές αυτές αλλαγές που καταγράφονται από τη μέθοδο επιτρέπουν στην fMRI μια αρκετά καλή χρονική ανάλυση, έτσι που να χρησιμοποιείται για τη μελέτη της ενεργοποίησης του εγκεφάλου σε διάφορες λειτουργίες. Επιπλέον αποδίδει πολύ καλής ποιότητας αποτυπώσεις της δομής του εγκεφάλου, όπως η MRI.

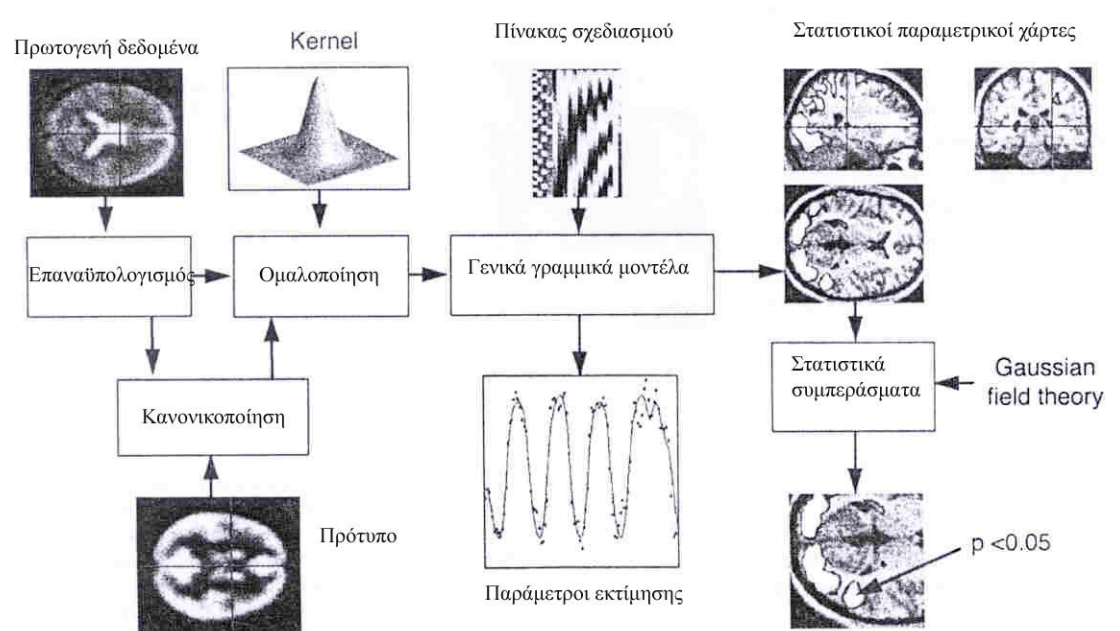


Σχήμα 4-8. Τυπικές εικόνες fMRI. (Pine et al. 2002 οι πάνω εικόνες και Foucher et al. 2004 η κάτω).

Στο σχήμα 4-8 παρουσιάζονται παραδείγματα fMRI εικόνων. Στις δύο επάνω τομές διακρίνονται με άλλο χρωματισμό οι περιοχές στις οποίες υπήρξε

αιμοδυναμική διαφοροποίηση μετά από κάποιο ερέθισμα. Στην κάτω εικόνα έχουμε μια τρισδιάστατη απεικόνιση.

Τα πρωτογενή δεδομένα που συλλέγονται με την fMRI μέθοδο υφίστανται πρώτα μια διαδικασία επαναυπολογισμού ώστε να διορθωθούν ατέλειες που οφείλονται σε πιθανές μετακινήσεις, συγκρίνονται με ανατομικά πρότυπα, ομαλοποιούνται και τέλος, αξιολογούνται στατιστικά (συνήθως με κριτήριο  $t$  ή  $F$ ) για να διαμορφώσουν τους τελικούς στατιστικούς παραμετρικούς χάρτες (SPM, statistical parametric maps). Επειδή στις περισσότερες περιπτώσεις δεν είναι δυνατό να προβλεφθεί με ακρίβεια μια ανατομική περιοχή, συνήθως τα αποτελέσματα επεξεργάζονται εκ νέου με βάση την κανονική κατανομή πριν προκύψουν τα τελικά στατιστικά συμπεράσματα. Το σχήμα 4-9 παρουσιάζει συνοπτικά αυτή τη διαδικασία (Friston 1997).



Σχήμα 4-9. Τυπική διαδικασία ανάλυσης δεδομένων fMRI. Ο πίνακας σχεδιασμού περιλαμβάνει όλες τις επιδράσεις και τα παράσιτα που από την πειραματική διαδικασία υπεισέρχονται στις μετρήσεις (Friston 1997).

Παρά τα πλεονεκτήματά της η τεχνική εμφανίζει σοβαρά μειονεκτήματα που προκύπτουν από τη μη άνετη στάση και την αγχογόνο γενικότερα διαδικασία μέτρησης, αφού το υποκείμενο είναι αναγκασμένο να βρίσκεται ξαπλωμένο με το κεφάλι του μέσα σε μια μεγάλη, θορυβώδη μηχανή. Ο θόρυβος αποτελεί σημαντικό μειονέκτημα που μάλιστα γίνεται εντονότερος όσο αυξάνει το μαγνητικό πεδίο (για να επιτευχθεί καλύτερη ποιότητα στις απεικονίσεις). Εκτός από το θόρυβο, υπαρκτές είναι οι παρενέργειες από την πιθανή αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας του σώματος ή τη δημιουργία ηλεκτρικών ρευμάτων ερεθισμού όπως στη μέθοδο της διακρανιακής μαγνητικής διέγερσης (ενότητα 4.11). Πρόβλημα στην εφαρμογή της μεθόδου αποτελεί και η ευαισθησία της σε παράσιτα εξαιτίας κινήσεων της κεφαλής και ομιλίας. Επίσης, αν και μπορεί να παρέχει καλύτερης ποιότητας εικόνες από την

PET, υστερεί στις παραδοχές ή διαφορετικές ερμηνείες που απαιτεί όταν υπάρχουν ιστοί διαφορετικής πυκνότητας ή περιεκτικότητας σε αέρα ή κοιλότητες (Ray & Oathes 2003, Savoy 2001).

Η fMRI είναι η πλέον σύγχρονη μέθοδος με ταχύτατη εξέλιξη όσο αφορά στην τεχνολογία της και επομένως τα αριθμητικά χαρακτηριστικά που παρουσιάζονται στον πίνακα 4-7 έχουν περιορισμένη χρονική εμβέλεια.

Στη μελέτη σύντομων γνωστικών λειτουργιών χρησιμοποιείται η προκλητή fMRI (event-related fMRI) στην οποία τα αποτελέσματα από πολλαπλές επαναλήψεις του πειράματος μεσοποιούνται ώστε να αυξηθεί η αξιοπιστία των παρατηρήσεων (D'Epósito et al. 1999).

Πίνακας 4-7. Συνοπτική περιγραφή των χαρακτηριστικών της fMRI	
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Μετρά άμεσες μεταβολές της εγκεφαλικής λειτουργίας	Κακή χρονική ανάλυση (4 εικόνες/sec) σε σχέση με ΗΕΓ, καλύτερη από PET
Δομική και λειτουργική απεικόνιση	Περιορισμός υποκειμένου
Μη επεμβατική και μη τοξική	Κουραστική για το υποκείμενο λόγω υψηλού θορύβου και αισθήματος κλειστοφοβίας
Πολύ καλή χωρική ανάλυση (1-2 mm)	Ευαίσθητη σε κινήσεις και λάθη επανάληψης μέτρησης
Κανένας διαπιστωμένος βιολογικός κίνδυνος	Πιθανά προβλήματα ερμηνείας
Φθηνότερη από PET	

#### 4.11 Διακρανιακή μαγνητική και ηλεκτρική διέγερση

Η μέθοδος της διακρανιακής μαγνητικής διέγερσης (Transcranial Magnetic Stimulation ή TMS) στηρίζεται στην αρχή του Faraday για την ηλεκτρομαγνητική επαγωγή και επιτυγχάνει, χωρίς χειρουργική επέμβαση και χωρίς πρόκληση βλάβης ή γενικά διαφοροποίησης του εγκεφαλικού ιστού, να επιδρά στη φυσιολογική εγκεφαλική λειτουργία ενεργοποιώντας ή αναστέλλοντας τη δραστηριότητα επιλεγμένων εγκεφαλικών περιοχών για μικρά χρονικά διαστήματα. Η διαδικασία χρησιμοποιεί κράνος στο οποίο εφαρμόζονται ηλεκτρικοί παλμοί, που παράγουν μεταβαλλόμενα μαγνητικά πεδία περίπου 2 Telsa για χρονικά διαστήματα της τάξης λίγων εκατοντάδων msec, τα οποία προκαλούν δευτερεύοντα επαγωγικά ρεύματα σε επιλεγμένα τμήμα του φλοιού και συνεπώς ηλεκτρικές εκφορτίσεις των νευρικών κυττάρων των περιοχών αυτών. Οι αντιδράσεις που προκύπτουν ως αποτέλεσμα αυτής της εγκεφαλικής ενεργοποίησης μπορεί να παραμένουν για μερικά λεπτά ή ακόμη και μερικές ώρες.

Η μέθοδος έχει χρησιμοποιηθεί στη γνωστική νευροεπιστήμη σε ποικιλία μελετών, αλλά και στην κλινική εφαρμογή για μελέτες τύπου «εικονικού τραύματος» (Pascual-Leone et al. 2000).



Παραλλαγή της μεθόδου αποτελεί η επαναληπτική TMS (repetitive TMS ή rTMS), κατά την οποία χρησιμοποιούνται συχνότητες 0.3 μέχρι 20 Hz. Αργές συχνότητες (μικρότερες του 1 Hz) τείνουν να αναστέλλουν, ενώ υψηλές συχνότητες τείνουν να ενεργοποιούν τις αντίστοιχες περιοχές του φλοιού. Ο συνδυασμός rTMS με τις υπόλοιπες μεθόδους απεικόνισης της εγκεφαλικής λειτουργίας δίνει χρήσιμα συμπεράσματα όχι μόνο για την τοπολογική ενεργοποίηση του εγκεφάλου κατά την αντίδραση σε κάποια διεργασία, αλλά και για τον τρόπο που οι αντίστοιχες περιοχές συνεργάζονται, «συγχρονίζονται» ή «αποσυγχρονίζονται», δραστηριοποιούνται ή επιλεκτικά αναστέλλονται (Ray & Oathes 2003).

Η μέθοδος εμφανίζει αρκετά πλεονεκτήματα. Είναι σχετικά μη επεμβατική, δε χρησιμοποιεί εισαγόμενα στο κρανίο ηλεκτρόδια, διερευνά τις περιοχές που είναι κρίσιμες για μια λειτουργία (ενώ οι άλλες μέθοδοι δείχνουν ποιες περιοχές συμμετέχουν στην εξεταζόμενη λειτουργία), έχει εφαρμογές και σε ασθενείς και σε υγιείς εξεταζόμενους. Στα μειονεκτήματά της συγκαταλέγονται το ότι μπορεί να έχει ως παρενέργεια ήπιο πονοκέφαλο και συσπάσεις των μυών του κρανίου ή του προσώπου, θόρυβο όσο διαρκεί ο ερεθισμός και το γεγονός ότι το βάθος της επίδρασης στον εγκεφαλικό φλοιό περιορίζεται στα 2 cm κάτω από την επιφάνεια του κρανίου και η γρήγορη εξασθένιση της έντασης του μαγνητικού πεδίου που χρησιμοποιείται για τον ερεθισμό (Haarmann 2004).

Λίγο διαφορετική είναι η μέθοδος της διακρανιακής ηλεκτρικής διέγερσης (transcranial electrical stimulation – TES), η οποία πραγματοποιεί τα ερεθίσματα εφαρμόζοντας ηλεκτρικά ρεύματα πάνω στο κρανίο. Συνήθως προκαλεί πόνο στο υποκείμενο και χρησιμοποιείται σπανιότερα από την TMS (Brocke et al. 2005).

#### **4.12 Οπτική φασματοσκοπία**

Η μέθοδοι της οπτικής φασματοσκοπίας (optical spectroscopy) και το αιμοεγκεφαλογράφημα (Hemoencephalography) είναι αρκετά νέες και συνίσταται στην οπτική παρατήρηση της επιφάνειας του φλοιού του εγκεφάλου. Τεχνικά βασίζονται στη διαφορά του χρωματικού φάσματος που ανακλάται από την αιμοσφαιρίνη σε σχέση με την οξυαιμοσφαιρίνη, διαφορά που μπορεί να ανιχνευθεί στο ορατό ή κοντά στο υπέρυθρο φως.

Η μέθοδος της οπτικής φασματοσκοπίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί μη επεμβατικά στον άνθρωπο, με εκπομπή υπέρυθρου φωτός το οποίο μπορεί εν μέρει να διαπεράσει το δέρμα και το κρανίο (Villringer & Chance 1997, Chen et al. 2000). Τα αποτελέσματα είναι φτωχά προς το παρόν.

Αντίθετα, η οπτική φασματοσκοπία έχει πολύ καλά αποτελέσματα στην επεμβατική εκδοχή της. Έχει πολύ καλή χρονική ανάλυση (σχεδόν ισάξια με το ΗΕΓ και το ΜΕΓ) και άριστη χωρική διακριτικότητα. Το μεγάλο μειονέκτημα είναι ότι δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον άνθρωπο εκτός κατά τη διάρκεια εγχειρήσεων στον εγκέφαλο. Η χρήση της σε πειραματόζωα, καθώς και η εξέλιξη της μη επεμβατικής

εκδοχής της, υπόσχονται μια επιτυχημένη εφαρμογή της οπτικής φασματοσκοπίας στο μέλλον.

#### 4.13 Βιοχημικές τεχνικές

Οι βιοχημικές τεχνικές προκύπτουν από τη μελέτη της αντίδρασης του εγκεφάλου στη χορήγηση διάφορων φαρμάκων ή αναισθητικών ουσιών. Οι ουσίες αυτές τροποποιούν τη δράση των νευροδιαβιβαστών.

Παράδειγμα τέτοιας μεθόδου αποτελεί η δοκιμασία WADA στην οποία αναισθητοποιείται ένα τμήμα του εγκεφάλου και μελετώνται η αλλαγές στη συμπεριφορά. Ο πίνακας 4-8 παρουσιάζει μια σύνοψη των χαρακτηριστικών των βιοχημικών τεχνικών.

Πίνακας 4-8. Συνοπτική περιγραφή των βιοχημικών τεχνικών	
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Καλή μέθοδος για τον εντοπισμό ορισμένων λειτουργιών (π.χ. γλωσσική λειτουργία)	Επεμβατική Χρησιμοποιείται μόνο σε ασθενείς Δεν παρέχει πληροφορίες σε ατομικό και μοριακό επίπεδο

#### 4.14 Σύνοψη

Στις ενότητες του κεφαλαίου 1 έγινε μια σύντομη αναφορά στις κυριότερες μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν και χρησιμοποιούνται σήμερα για την απεικόνιση γενικά της εγκεφαλικής λειτουργίας. Κάποιες από αυτές είναι περισσότερο ιατρικά ή φαρμακολογικά προσανατολισμένες, ενώ άλλες είναι περισσότερο αποτέλεσμα κάποιας τεχνολογίας. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται εκμεταλλεύονται ηλεκτρικά και ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα ή την αιμοδυναμική λειτουργία του εγκεφάλου. Με βάση τη μορφή της απεικόνισης και συνεπώς το είδος της αντίστοιχης χρήσης, μπορούμε να ταξινομήσουμε τις μεθόδους αναπαράστασης της εγκεφαλικής λειτουργίας σε απεικονίσεις της δομής ή απεικονίσεις λειτουργιών. Ο πίνακας 4-9 που ακολουθεί παρουσιάζει συγκεντρωτικά αυτή την κατηγοριοποίηση (Haarmann 2004).

Πολλές πληροφορίες για την εγκεφαλική λειτουργία βασίζονται στη μελέτη περιπτώσεων εγκεφαλικών βλαβών ή χειρουργικών επεμβάσεων. Η προσέγγιση όμως αυτή περιορίζεται πολύ από το μικρό αριθμό παρόμοιων περιπτώσεων, αδυναμία λεπτομερειακού εντοπισμού των βλαβών καθώς και ελλιπή περιγραφή των αποτελεσμάτων.

Οι περισσότερες τεχνικές απαιτούν σημαντική εκπαίδευση και εμπειρία από εξειδικευμένο προσωπικό, ενώ η ερμηνεία των αποτελεσμάτων τους είναι άρρηκτα

συνυφασμένη με τη συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία και τους περιορισμούς της κάθε μεθόδου.

Οι μετρήσεις ηλεκτρικής εγκεφαλικής δραστηριότητας περιλαμβάνουν το ΗΕΓ, τα προκλητά δυναμικά και το ΜΕΓ. Οι μετρήσεις τοπικής εγκεφαλικής αιματικής ροής περιλαμβάνουν την PET και την fMRI.

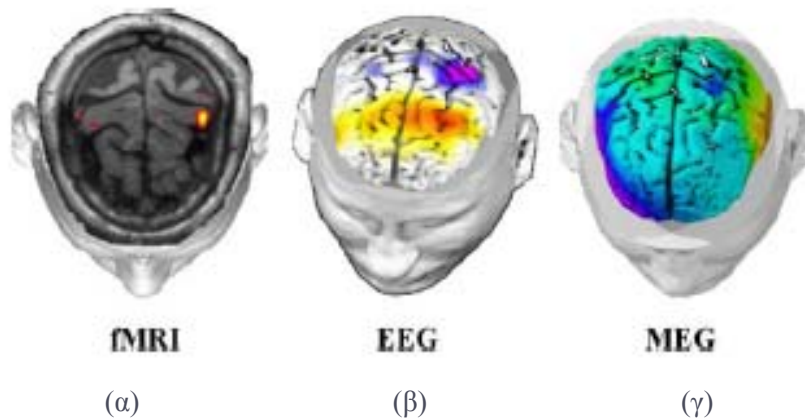
Το ΗΕΓ και τα προκλητά δυναμικά παρέχουν μεγάλη χρονική ανάλυση αλλά υστερούν στον ακριβή εντοπισμό των περιοχών. Αντίθετα τα PET και fMRI έχουν καλύτερη χωρική απόδοση αλλά υστερούν σε σχέση με τη γρήγορη εξέλιξη των εγκεφαλικών δραστηριοτήτων.

Πίνακας 4-9. Ταξινόμηση των μεθόδων απεικόνισης της εγκεφαλικής λειτουργίας
Απεικόνιση δομής – Αξονική τομογραφία (CT) – MRI
Απεικόνιση λειτουργίας - PET - fMRI - Οπτική φασματοσκοπία
Ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι – Ηλεκτρικός ερεθισμός του εγκεφάλου – Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (EEG) – Προκλητά δυναμικά (ERP) – Μαγνητοεγκεφαλογράφημα (MEG) – Διακρανιακή μαγνητική ή ηλεκτρική ενεργοποίηση (TMS και TES)
Αιμοδυναμικές μέθοδοι - PET - MRI και fMRI - Οπτική φασματοσκοπία

Η εξέλιξη στον τομέα των μεθόδων απεικόνισης της εγκεφαλικής λειτουργίας είναι ραγδαία. Αυτό σημαίνει ότι οι παλιότερες μέθοδοι βελτιώνονται, αλλά και ότι εμφανίζονται νέοι συνδυασμοί τους ή εντελώς νέες μέθοδοι. Ο οργανισμός για τη χαρτογράφηση του ανθρώπινου εγκεφάλου (Organization for Human Brain Mapping – OHBM) συγκεντρώνει περισσότερα από 900 άρθρα κάθε έτος τα τελευταία χρόνια. Η πλέον σύγχρονη τάση έγκειται στην εφαρμογή πολλαπλών μεθοδολογιών απεικόνισης.

Η χρήση μοντέλων πολλαπλής ολοκλήρωσης, που συμπεριλαμβάνουν πολλές μεθόδους (multimodal integration), δεν είναι μια κυριολεκτικά νέα μέθοδος, αλλά εισάγει μια διαφορετική αντιμετώπιση και προσπάθεια να συντεθεί καλύτερα το ψηφιδωτό της απεικόνισης της εγκεφαλικής δραστηριότητας συνδυάζοντας τις μετρήσεις από πολλές μεθόδους απεικόνισης. Το νέο έγκειται στην προσπάθεια να

συνδυαστούν μέθοδοι που παρουσιάζουν υψηλή χωρική διακριτικότητα (σε κλίμακα mm) με μεθόδους υψηλής χρονικής διακριτικότητας (σε κλίμακα msec). Παράδειγμα τέτοιου συνδυασμού είναι το υψηλής ανάλυσης ΗΕΓ που καταγράφει ηλεκτρικά δυναμικά από 64 ή 128 ηλεκτρόδια, ενώ στηρίζεται σε MRI στερεοσκοπικές απεικονίσεις των εγκεφαλικών ιστών και προϋποθέτει την ύπαρξη ενός μοντέλου για την ηλεκτρική εγκεφαλική λειτουργία μερικών χιλιάδων ηλεκτρικών δίπολων (μέθοδος HREEG/MEG). Στο σχήμα 4-10 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα τέτοιου συνδυασμού που χρησιμοποιεί και την fMRI τεχνική (Babiloni et al. 2004, Dale & Sereno 1993).



Σχήμα 4-10. Και οι τρεις εικόνες αναφέρονται στη μελέτη κίνησης ενός δακτύλου του ίδιου υποκειμένου. Η (α) παριστάνει αιμοδυναμική αλλαγή σε σχέση με την ηρεμία, η (β) την ηλεκτρική δραστηριότητα 100 ms πριν την κίνηση και η (γ) τη μαγνητική δραστηριότητα.

Το παρόν κεφαλαίο δεν ασχολήθηκε με τις στατιστικές παραδοχές της κάθε τεχνικής ούτε με τη σύνδεση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τις παρατηρήσεις τους με τις υπάρχουσες θεωρίες και μοντέλα εγκεφαλικής λειτουργίας. Από την άλλη, η τοπική ενεργοποίηση της εγκεφαλικής λειτουργίας που μελετάται με τις μεθόδους αυτές, εμφανίζει εγγενείς αδυναμίες στην προσπάθεια περιγραφής των εγκεφαλικών λειτουργιών. Η πλαστικότητα του εγκεφάλου, για παράδειγμα, είναι τέτοια που, όπως χαρακτηριστικά διατυπώθηκε από τον Meehl (1967 όπως αναφέρεται από τον Savoy 2001:30), δεν επιτρέπει στο ερώτημα «εμφανίζει μία περιοχή A του φλοιού αλλαγή στη δραστηριότητά της (αύξηση ή μείωση) ως απόκριση στις απαιτήσεις μίας εργασίας X, όταν συγκρίνεται με την απόκριση σε άλλη εργασία Y» καθοριστική απάντηση της μορφής «ναι, για κάθε A, X και Y».

Εξαιτίας διαφορών από υποκείμενο σε υποκείμενο αλλά και πιθανώς εξαιτίας διαφορών κατά τη διαδικασία της μέτρησης, οι μέθοδοι απεικόνισης δίνουν ελαφρώς διαφορετικό αποτέλεσμα για το ίδιο ερέθισμα όσο ο αριθμός του δείγματος μεγαλώνει, γιατί εμφανίζονται περισσότερες συμμετέχουσες περιοχές και ο υπολογισμός των μέσων όρων στις μετρήσεις ευνοεί τις περιοχές που εμφανίζονται δραστηριοποιημένες στα περισσότερα υποκείμενα σε αντίθεση με τις διαφοροποιήσεις οι οποίες υποβαθμίζονται. Τα ερωτήματα που προκύπτουν εδώ,

αφορούν στο αν το αποτέλεσμα αναπαριστά το σύνολο του εγκεφαλικού πρότυπου που αντιστοιχεί στη συγκεκριμένη δραστηριότητα ή στο κυρίως τμήμα του ή σε ένα ευρύτερο τμήμα, καθώς και στην αξία που θα έχει αυτό το στατιστικώς μεσοποιημένο αποτέλεσμα σε ένα μελλοντικό υποκείμενο που δεν ανήκει στο αρχικό δείγμα.

Στην κατεύθυνση της σύγκλισης, διασταύρωσης και συγκέντρωσης των αποτελεσμάτων διαφόρων εργαστηρίων, έχουν γίνει προσπάθειες να οργανωθούν σε ενιαίες και κατά το δυνατόν τυποποιημένες βάσεις δεδομένων. Αποτέλεσμα αυτών των προσπαθειών είναι το «BrainMap» (<http://ric.uthscsa.edu/project/brainmap.html>) και το «National Functional MRI Center» (<http://www.fmridc.org>), τα οποία αναφέρονται κυρίως σε δεδομένα fMRI, όπως επίσης και προσπάθειες για βάσεις ΗΕΓ δεδομένων (π.χ. η Αυστραλιανή βάση δεδομένων των Hunter και Smith με περισσότερα από 18500 ΗΕΓ όλων των ηλικιών, η Brain Resource International Database που εκτός από ΗΕΓ και προκλητά δυναμικά συνδυάζει δεδομένα από fMRI, ψυχομετρικά τεστ και φυσιολογικές μετρήσεις όπως καρδιακού παλμού, ρυθμού αναπνοής και αγωγιμότητας δέρματος). Επιπλέον τα τελευταία χρόνια εμφανίζονται βάσεις ΗΕΓ δεδομένων σε περιβάλλον λογισμικού Matlab το οποίο τείνει να αποτελέσει ένα κοινό και πολύ ισχυρό εργαλείο μαθηματικής επεξεργασίας των ΗΕΓ δεδομένων. Η κύρια δυσκολία σε όλα αυτά τα εγχειρήματα είναι η αδυναμία να περιγραφούν πλήρως όλες οι παράμετροι που επηρεάζουν μια διαδικασία απεικόνισης της εγκεφαλικής λειτουργίας (συνθήκες καταγραφής, ερεθίσματα, κατάσταση του υποκειμένου, βαθμονόμηση συσκευών, κ.λπ.).

Όσο αφορά στη μη κλινική χρήση των αποτελεσμάτων των μεθόδων απεικόνισης, μία ανάλυση που περιορίζεται μόνο σε περιγραφές του τύπου «σε αυτή την περιοχή έχουμε ενεργοποίηση, στην άλλη όχι», αν και διατηρεί την αξία της, φαίνεται να ανήκει στο παρελθόν. Περισσότερο χρήσιμη φαίνεται να είναι μια πολυμεταβλητή ανάλυση που εξετάζει συνδυασμούς πολλών ερεθισμάτων με συμπεριφοριστικές αντιδράσεις και απεικονίσεις της ενεργοποίησης εγκεφαλικών περιοχών και των πιθανών αλληλεπιδράσεων ανάμεσά τους, όπως αυτές προκύπτουν από την ανάλυση συνδιακύμανσης (McIntosh 1999, Cabeza & Nyberg 1997, 2000).

Ο προσανατολισμός κάθε απεικονιστικής τεχνικής στην ηλεκτρική (ή μαγνητική) λειτουργία του εγκεφάλου ή στη χημική και αιμοδυναμική λειτουργία του αντανάκλα τη διαφορετική προσέγγιση των αντίστοιχων θεωριών. Σήμερα, βέβαια, «ο εγκέφαλος ως ηλεκτρικό ή χημικό σύστημα δεν είναι το μείζον θέμα» (Mel 2000: 1183). Ισχύει η παραδοχή ότι και οι δύο θεωρίες είναι σωστές και η συζήτηση γίνεται στην κατεύθυνση μιας ολοκληρωμένης (που επεξηγεί μία σημαντική ποσότητα δεδομένων) και επαληθεύσιμης θεωρίας (Savoy 2001:34).

Όσο αφορά στην αξία των απεικονιστικών μεθόδων στο μέλλον, οι προσπάθειες είναι στην κατεύθυνση του συνδυασμού της υψηλής χρονικής ανάλυσης των μεθόδων μέτρησης των ηλεκτρικών εγκεφαλικών σημάτων (ΗΕΓ και ΜΕΓ) με μεθόδους απεικόνισης της δομής και λειτουργικής ενεργοποίησης εγκεφαλικών περιοχών (κυρίως fMRI) (Savoy 2001), οι οποίες αν και δεν μετρούν τη νευρωνική

δραστηριότητα αυτή καθαυτή προσφέρουν πολύ καλή ανατομικά απεικόνισή της (Gevins et al. 1999).

---

# **5** Το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα αναλυτικά

---

5.1	Εισαγωγή.....	83
5.2	Η φυσιολογία του ηλεκτροεγκεφαλογραφικού σήματος.....	84
5.3	Γενική περιγραφή του ΗΕΓ .....	86
5.4	Τύποι ηλεκτροδίων και θέσεις τοποθέτησής τους.....	88
5.4.1	Ηλεκτρόδιο αναφοράς .....	92
5.4.2	Ηλεκτροεγκεφαλογραφικές θέσεις και περιοχές Brodmann .....	93
5.5	Χαρακτηριστικά ΗΕΓ σήματος .....	94
5.5.1	Κυματομορφές, ρυθμικότητα και κατανομή.....	94
5.5.2	Πλάτος .....	95
5.5.3	Ζώνες συχνοτήτων ή ρυθμοί.....	96
5.5.4	Φάση, συγχρονισμός και διατήρηση των κυματομορφών.....	96
5.6	Παράσιτα και θόρυβος στο ΗΕΓ .....	97
5.6.1	Οφθαλμικά παράσιτα .....	98
5.6.2	Μη οφθαλμικά παράσιτα .....	99
5.6.3	Θόρυβος και παρεμβολές.....	101
5.7	Ανάλυση του ΗΕΓ σήματος.....	103
5.7.1	Ανάλυση από εξειδικευμένο κλινικό ιατρό .....	103
5.7.2	Υπολογιστικές μέθοδοι ανάλυσης .....	104
5.7.3	Κατανομή πλάτους.....	106
5.7.4	Ανάλυση περιόδου .....	107
5.7.5	Συνδυασμός ανάλυσης μεσοδιαστήματος και πλάτους.....	107
5.7.6	Ανάλυση συσχέτισης .....	108
5.7.7	Ανάλυση φάσματος ισχύος.....	108
5.7.8	Χρονοσυχνοτική ανάλυση (ανάλυση χρόνου – συχνότητας) ....	112
5.7.9	Ανάλυση συνοχής και φάσης.....	114
5.7.10	Παραμετρικές μέθοδοι ανάλυσης .....	117
5.7.11	Μιμητική ανάλυση.....	118
5.7.12	Φιλτράρισμα ταιριάσματος.....	118
5.7.13	Ανάλυση στο χώρο .....	119
5.7.14	Γενική αναφορά στο φιλτράρισμα του ΗΕΓ σήματος.....	123
5.8	Το πρόβλημα αντιστροφής στο ΗΕΓ .....	124
5.9	Περιορισμοί και προβλήματα στο ΗΕΓ .....	125
5.10	ΗΕΓ και παιδική ηλικία .....	126
5.11	Σύνοψη.....	126



## 5.1 Εισαγωγή

Η ηλεκτροεγκεφαλογραφία είναι η παλαιότερη τεχνική απεικόνισης της εγκεφαλικής λειτουργίας που χρησιμοποιεί κάποιο όργανο μέτρησης. Το αποτέλεσμα της μέτρησης είναι το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα που συνήθως παρουσιάζεται στο χαρτί ή στην οθόνη με τη μορφή γραφικών παραστάσεων της εγκεφαλικής δραστηριότητας επιλεγμένων σημείων του κρανίου (τα οποία ονομάζονται ηλεκτροεγκεφαλικές θέσεις ή θέσεις/σημεία καταγραφής) ως συνάρτηση του χρόνου.

Από την εποχή που ο Θαλής ο Μιλήσιος παρατήρησε τον 6<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ. φαινόμενα στατικού ηλεκτρισμού, πέρασαν αρκετοί αιώνες (προς το τέλος του 18<sup>ου</sup> αιώνα) μέχρι αρχίσουν να ερευνώνται οι σχέσεις του ηλεκτρισμού με τα έμβια όντα. Το 1790 ο Aldini προσπάθησε να επαναφέρει στη ζωή νεκρούς με ηλεκτρικό σοκ. Η προσπάθεια να ανιχνευτούν ηλεκτρικά φαινόμενα σε ζωικούς ιστούς άρχισε το 1789 στην Ιταλία, όταν ο Luigi Galvani καθηγητής του Πανεπιστημίου της Bologna που ανακάλυψε τον «ζωικό ηλεκτρισμό» δημοσίευσε την ιδέα ότι τα «νεύρα» περιέχουν μία εγγενή μορφή ηλεκτρισμού. Το 1848 ο Du Bois-Raymont ανακάλυψε ότι η δραστηριότητα των περιφερειακών νεύρων και των μυών συνοδεύεται από μετρήσιμες μεταβολές του ηλεκτρικού δυναμικού.

Η ιστορία της ηλεκτροεγκεφαλογραφίας ως τεχνικής ανάγεται στο τέλος του 19<sup>ου</sup> αιώνα. Το 1875 ο Άγγλος ιατρός Richard Caton (1842 – 1926) δημοσιοποίησε τις έρευνές του για την εγκεφαλική ηλεκτρική δραστηριότητα πιθήκων και κουνελιών χρησιμοποιώντας ως όργανο μέτρησης ένα γαλβανόμετρο. Το 1875 ο Danilevsky δημοσιεύει την «Έρευνα στη φυσιολογία του εγκεφάλου» που επεκτείνει την εργασία του Caton. Το 1890 ο Beck παρατήρησε ρυθμική ηλεκτρική δραστηριότητα στον εγκέφαλο κουνελιών και σκύλων προκαλούμενη από φωτεινά ερεθίσματα. Το 1914 ο Cybulski προκάλεσε επιληπτική κρίση σε σκύλο μετά από ηλεκτρικό ερεθισμό του εγκεφάλου. Στα επόμενα χρόνια αρκετοί ερευνητές σε Ανατολική και Δυτική Ευρώπη ασχολήθηκαν με την παρατήρηση ηλεκτρικών φαινομένων στο νευρικό σύστημα των ζώων (Niedermeyer 1999d, Brazier 1961, Swartz & Goldensohn 1998).



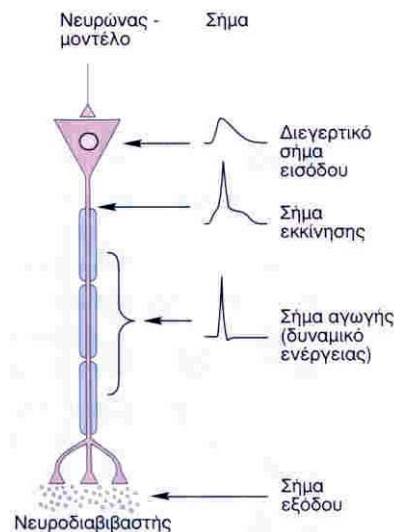
Σχήμα 5-1. Η πρώτη καταγραφή ΗΕΓ σε ανθρώπινο κρανίο από τον Hans Berger το 1928.

Οι πρώτες καταγραφές σε ανθρώπινο κρανίο (σχήμα 5-1) έγιναν από τον Γερμανό ιατρό Hans Berger (1873 – 1941), ο οποίος βασίστηκε στην έρευνα του Caton. Το 1929 ο Berger δημοσίευσε τα πρώτα ηλεκτροεγκεφαλογραφήματα σε ανθρώπους, υπολογίζοντας και τη συχνότητα του σήματος στους 10 κύκλους ανά δευτερόλεπτο, τα οποία σήματα ονόμασε «άλφα κύματα» από το πρώτο γράμμα του Ελληνικού αλφάβητου. Το ενδιαφέρον του Berger ήταν κύρια κλινικό, γι' αυτό και πραγματοποίησε χιλιάδες εγκεφαλογραφήματα στα οποία παρατήρησε αλλαγές στο

εγκεφαλογράφημα σχετιζόμενες με τον ύπνο, με τη γενική αναισθησία, με κρανιακές κακώσεις και με επιληψία ενώ απέτυχε να εντοπίσει διαφορές σε πολλές άλλες ασθένειες (όπως σχιζοφρένεια, μελαγχολία, κ.λπ.). Οι ανακαλύψεις του Berger αγνοήθηκαν για κάποια χρόνια από την επιστημονική κοινότητα γιατί θεωρήθηκαν θόρυβος ή αρμονικές του καρδιακού παλμού ή επιδερμικά ρεύματα.

## 5.2 Η φυσιολογία του ηλεκτροεγκεφαλογραφικού σήματος

Η έννοια του σήματος είναι γενική και έχει διάφορες σημασίες. Σύμφωνα με τον ορισμό στο λεξικό Webster (1988) ως σήμα θεωρείται μια ανιχνεύσιμη φυσική ποσότητα ή παλμός με την οποία μπορούν να μεταδοθούν μηνύματα ή πληροφορίες. Στο ηλεκτροεγκεφαλογραφικό σήμα το φυσικό μέγεθος είναι η ηλεκτρική διαφορά δυναμικού, η οποία παρουσιάζει εξέλιξη σχετικά με μία άλλη (ανεξάρτητη) μεταβλητή, το χρόνο. Το ηλεκτροεγκεφαλογραφικό σήμα, που στο εξής θα ονομάζεται για συντομία σήμα ΗΕΓ, αποτελεί μία ειδική κατηγορία βιοηλεκτρικού σήματος, δηλαδή ηλεκτρικού σήματος που παράγεται από ζωντανούς κυτταρικούς σχηματισμούς και συγκεκριμένα από κύτταρα του νευρικού συστήματος.



Σχήμα 5-2. Μοντέλο της ηλεκτρικής δραστηριότητας ενός νευρώνα. Στα δεξιά εικονίζονται τα ηλεκτρικά σήματα με τα οποία μεταδίδεται η πληροφορία. Το τελικό σήμα εξόδου είναι συνήθως χημικό και συνίσταται στην έκλυση μορίων νευροδιαβιβαστών στο επόμενο (μετασυναπτικό) κύτταρο (Kandel et al. 2003:35).

Το νευρικό κύτταρο ή νευρώνας είναι η βασική δομική μονάδα του νευρικού συστήματος και αποτελεί λέξη κλειδί για την κατανόηση της λειτουργίας του εγκεφάλου και της παραγωγής των σκέψεων. Τα νευρικά κύτταρα ευθύνονται για την αισθητηριακή λειτουργία και τη συμπεριφορά σε όλα τα ζώα, συμπεριλαμβανομένου του ανθρώπου. Η δομή και η ηλεκτρική συμπεριφορά των νευρικών κυττάρων έχουν αναλυθεί εκτενέστερα στη ενότητα 3.4. Η σύνθετη συμπεριφορά την οποία εμφανίζει

ο ανθρώπινος εγκέφαλος οφείλεται στο μεγάλο αριθμό των νευρικών κυττάρων (περίπου 100 δισεκατομμύρια) καθώς και στον ακόμα μεγαλύτερο αριθμό συνδέσεων επικοινωνίας μεταξύ τους (Kandel et al. 2003). Κάθε νευρώνας μπορεί να διαθέτει 1000 συνδέσεις, ενώ μπορεί να δέχεται πληροφορία από περισσότερους από 1000 άλλους νευρώνες (Σαββάκη 1997).

Οι περισσότεροι νευρώνες έχουν αρκετά κοινά χαρακτηριστικά, τα οποία αποτελούνται από το κυτταρικό σώμα που περιέχει τον πυρήνα και δύο είδη κυτταρικών αποφυάδων τους δενδρίτες και το νευράξονα. Οι δενδρίτες αποτελούν το κύριο μέρος της επιφάνειας αποδοχής του νευρώνα και μαζί με το κυτταρικό σώμα δέχονται τα συναπτικά σήματα από τα προσυναπτικά κύτταρα. Ο νευράξονας αποτελεί το στοιχείο διαβίβασης πληροφοριών από τον ένα νευρώνα στον άλλο. Αυτή η διαβίβαση πραγματοποιείται με χημικό ή ηλεκτρικό τρόπο από κλάδους του νευράξονα του προσυναπτικού κυττάρου που «συνδέονται» με τους δενδρίτες ή το κυτταρικό σώμα του επόμενου (μετασυναπτικού) κυττάρου. Τα σημεία που «συνδέουν» τον προσυναπτικό νευρώνα με τους μετασυναπτικούς νευρώνες ονομάζονται συνάψεις.

Στο σχήμα 5-2 εικονίζεται ένα μοντέλο νευρικού κυττάρου ως προς την ηλεκτρική συμπεριφορά του. Στα δεξιά του σχήματος διακρίνονται τα ηλεκτρικά δυναμικά που αναπτύσσονται στο κύτταρο. Το σήμα εισόδου είναι αυτό που διεγείρει το νευρώνα και προκαλεί την έναρξη του δυναμικού ενέργειας, το οποίο μεταδίδεται (άγεται) κατά μήκος του νευράξονα του νευρώνα και αποτελεί το σήμα αγωγής του νευρώνα. Το δυναμικό ενέργειας αναγεννάται κατά μήκος του νευράξονα στους κόμβους Ranvier και έτσι διατηρεί το εύρος του μέχρι την περιοχή απόληξης του νευράξονα στο συναπτικό επίπεδο (το σημείο δηλαδή που ο νευράξονας συναντά τους επόμενους νευρώνες). Στη συνέχεια η μεταβίβαση της πληροφορίας από τον ένα νευρώνα στον άλλο μέσω του συναπτικού χάσματος πραγματοποιείται είτε στις περισσότερες περιπτώσεις με χημικό τρόπο με την απελευθέρωση νευροδιαβιβαστών, δηλαδή χημικών ουσιών που προκαλούν στο κύτταρο-υποδοχέα ηλεκτρική διέγερση ή αναστολή, είτε με ηλεκτρικό τρόπο. Με τον τρόπο αυτό προκαλείται στο μετασυναπτικό κύτταρο το ηλεκτρικό σήμα εισόδου.

Αυτά τα συναπτικά δυναμικά ή ακριβέστερα τα συνεχώς μεταβαλλόμενα πρότυπα σύγχρονης και ασύγχρονης ηλεκτρικής λειτουργίας των διαφόρων νευρωνικών ομάδων (von Stein & Sarnthein 2000, Elul 1972) αποτελούν την πιθανότερη «πηγή» των ηλεκτροεγκεφαλικών σημάτων και θεωρείται ότι παράγονται από τα πυραμιδικά, τα αστεροειδή και τα ατρακτοειδή κύτταρα του εγκεφαλικού φλοιού. Σύμφωνα με τους Da Silva και Van Rotterdam (1999) τα δυναμικά που καταγράφονται με το ΗΕΓ πιθανότατα παράγονται κυρίως από τα πυραμιδικά κύτταρα και προέρχονται μάλλον από μετασυναπτικά δυναμικά παρά από δυναμικά ενεργείας. Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι οι διαφορές δυναμικού που καταγράφονται από το ΗΕΓ δεν προέρχονται από ένα μόνο νευρώνα αλλά από ολόκληρες ομάδες και εξαρτώνται τόσο από το εύρος των δυναμικών όσο και από τη σχετική διάταξη των επιμέρους κυττάρων της ομάδας (Haarmann 2004).

### 5.3 Γενική περιγραφή του ΗΕΓ

Στο ΗΕΓ μετρώνται οι διαφορές δυναμικού που προέρχονται από την ηλεκτρική δραστηριότητα των μετασυναπτικών δενδριτών ομάδων εκατομμυρίων νευρώνων του εγκεφαλικού φλοιού. Η συλλογή και καταγραφή στη συνέχεια των δυναμικών αυτών πραγματοποιείται με κατάλληλα τοποθετημένα ηλεκτρόδια κυρίως στην επιφάνεια του κρανίου. Στα πειραματόζωα μπορεί να χρησιμοποιηθούν μικροηλεκτρόδια εσωτερικά στο κρανίο με αποτέλεσμα πολύ καλύτερη εντοπιστική δυνατότητα. Αυτή η μέθοδος συχνά αναφέρεται ως Ηλεκτροφλοιογράφημα (Electrocorticogram-ECOG).

Οι μετρούμενες διαφορές δυναμικού από τις αντίστοιχες θέσεις του κρανίου, καθώς εξελίσσονται ταυτόχρονα στο χρόνο, απαρτίζουν το ηλεκτροεγκεφαλικό σήμα ή σήμα ΗΕΓ. Επειδή τα σήματα αυτά προέρχονται από τον εγκέφαλο και παρουσιάζουν διακύμανση στο χρόνο, συχνά ονομάζονται «εγκεφαλικά κύματα», αν και δεν αποτελούν ταλαντώσεις με την έννοια που χρησιμοποιείται ο όρος στην κυματική. Η παραγωγή αυτών των σημάτων είναι συνεχόμενη, αρχίζει πριν τη γέννηση και διακόπτεται οριστικά μόνο με το θάνατο (προσωρινή αναστολή είναι δυνατό να επηρεαστεί από παράγοντες όπως η υποθερμία και φάρμακα κατασταλτικά του ΚΝΣ). Ονομάζεται και συνεχόμενο ή αυθόρμητο ΗΕΓ (ongoing EEG) για να διαφοροποιείται από τα προκαλούμενα από γεγονότα εγκεφαλικά κύματα (event related oscillations και evoked potentials).

Το πλάτος των ΗΕΓ σημάτων εξαρτάται από την ένταση της ηλεκτρικής πηγής (δηλαδή των παραγόμενων από τα νευρικά κύτταρα δυναμικών), από την απόσταση του ηλεκτροδίου καταγραφής από την πηγή, τον προσανατολισμό του δυναμικού της πηγής (τη γωνία που εμφανίζει το φλοιϊκό ηλεκτρικό δίπολο σε σχέση με το καταγραφικό ηλεκτρόδιο) και την ηλεκτρική αντίσταση και χωρητικότητα των δομών που μεσολαβούν ανάμεσα στην πηγή και τα ηλεκτρόδια (Fisch 2003). Οι τυπικές τιμές του πλάτους του ΗΕΓ κυμαίνονται από 10  $\mu\text{V}$  μέχρι 100  $\mu\text{V}$ .

Γενικά τα δυναμικά που καταγράφονται με ηλεκτρόδια που εφάπτονται στο κρανίο έχουν χαμηλές τιμές και μετρούν την ηλεκτρική εγκεφαλική δραστηριότητα με παραμορφωτικό τρόπο. Συγκεκριμένα οι υψηλότερες συχνότητες, που περιέχονται στο σήμα ΗΕΓ, υποβιβάζονται σε σχέση με τις χαμηλότερες. Οι πολύ γρήγορες και σύντομες διαφορές δυναμικού δύσκολα ανιχνεύονται ή περιορίζονται τοπικά ακριβώς πάνω από την περιοχή από την οποία προήλθαν, ενώ τα πιο αργά (χαμηλής συχνότητας) δυναμικά εμφανίζονται με ενισχυμένο πλάτος και σε ευρύτερες περιοχές του κρανίου. Συνήθως τα δυναμικά που καταγράφονται προέρχονται από κοντινές στο ηλεκτρόδιο περιοχές. Για να προκύψει μια αξιόπιστη μέτρηση απαιτούνται τουλάχιστο  $6\text{cm}^2$  του φλοιού σε συγχρονισμένη δραστηριότητα. (Fisch 2003:14-15) ή σύμφωνα με άλλους ερευνητές  $10\text{cm}^2$  (von Stein & Sarnthein 2000, Nunez 1995a).

Τα ασθενή δυναμικά που προκύπτουν από την ΗΕΓ καταγραφή στη συνέχεια ενισχύονται. Η ενίσχυση είναι ένας πολύ σημαντικός τομέας στην καταγραφή ΗΕΓ

σημάτων, αφού τα σήματα αυτά είναι πολύ ασθενικά σε σχέση με το θόρυβο που τα συνοδεύει, ο οποίος οφείλεται σε άλλα βιοηλεκτρικά σήματα και σε «τεχνικές» παρεμβολές.

Ανάλογα με τις απαιτήσεις της επεξεργασίας τα σήματα φιλτράρονται. Υπάρχουν αρκετές κατάλληλες τεχνικές φιλτραρίσματος ανάλογα με αυτό που ερευνάται κάθε φορά ή την κατάσταση του σήματος ή τη μορφή του θορύβου. Ενδεικτικά αναφέρονται φίλτρα αποκοπής ή διέλευσης ζώνης συχνοτήτων, υψηλών ή χαμηλών συχνοτήτων, τεχνικές εξομάλυνσης, τεχνικές «μεσοποίησης», μετασχηματισμός Fourier, όπως επίσης και η αποκοπή του θορύβου των 50Hz για τις χώρες της Ευρώπης ή 60Hz αλλού (notch filter), που οφείλεται στο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο του ηλεκτρικού δικτύου των πόλεων και παρεμβαίνει σε όλες τις διατάξεις μέτρησης βιοηλεκτρικών σημάτων.

Σήμερα τα συστήματα ΗΕΓ είναι πλέον ψηφιακά. Τα ΗΕΓ σήματα αρχικά ψηφιοποιούνται και η υπόλοιπη διαδικασία πραγματοποιείται σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Αυτό σημαίνει ότι το σήμα ΗΕΓ δεν είναι πλέον συνεχές ως προς το χρόνο, αφού προκύπτει από δειγματοληψία σε διακριτές χρονικές στιγμές, ούτε αναλογικό, αφού δεν καταγράφονται όλες οι τιμές του πλάτους αλλά οι πλησιέστερες διακριτές στάθμες πλάτους. Ο αριθμός των δυνατών διαφορετικών τιμών πλάτους του ψηφιοποιημένου σήματος αποτελεί την ανάλυση (resolution) του σήματος. Τυπικές τιμές του είναι  $2^8$  ή  $2^{16}$  διακριτές τιμές.

Η συχνότητα δειγματοληψίας προκύπτει θεωρητικά από τις συχνότητες που περιέχονται στο ΗΕΓ σήμα (όπως περιγράφονται στην ενότητα 5.5.3) και το θεώρημα του Shannon ή τον πρώτο νόμο του Nyquist, ο οποίος ορίζει ότι «η συχνότητα δειγματοληψίας δεν πρέπει να είναι μικρότερη από το διπλάσιο της μέγιστης συχνότητας που περιέχεται στο σήμα». Με την εφαρμογή του νόμου του Nyquist αποφεύγεται το φαινόμενο της φασματικής επικάλυψης ή αναδίπλωσης συχνοτήτων (spectral overlap ή aliasing) το οποίο παραμορφώνει το σήμα ΗΕΓ. Στην πράξη χρησιμοποιούνται αρκετά μεγαλύτερες συχνότητες δειγματοληψίας (συνήθως 256 Hz ή 512 Hz ενώ χρησιμοποιούνται και συχνότητες μέχρι 2048 Hz). Για παράδειγμα, στην κοινά χρησιμοποιούμενη συχνότητα δειγματοληψίας 256 Hz οι μετρήσεις λαμβάνονται κάθε 3.9 msec και επομένως οι ταχύτερες μεταβολές δεν μπορούν να καταγραφούν. Αυτό όμως δε θεωρείται σοβαρό μειονέκτημα των ψηφιακών συστημάτων ηλεκτροεγκεφαλογραφίας σε σχέση με τα αναλογικά συστήματα, γιατί αφενός η συχνότητα δειγματοληψίας στα ψηφιακά συστήματα μπορεί να αυξηθεί και αφετέρου ένα σύστημα αναλογικού καταγραφέα δεν μπορεί να καταγράψει τις μικρές χρονικές διαφορές (της τάξεως μερικών msec) που υπάρχουν μεταξύ διαφορετικών ηλεκτροδίων-καναλιών.

Ένα τυπικό σύστημα ψηφιακού ΗΕΓ συνήθως περιλαμβάνει:

- Ηλεκτρόδια και πιθανά μια κάσκα εφαρμογής
- Μια συσκευή συνδέσεων με θέσεις υποδοχής ηλεκτροδίων
- Ένα πολυκαναλικό σύστημα για λήψη, ψηφιοποίηση, φιλτράρισμα και ενίσχυση του σήματος

- Ηλεκτρονικό υπολογιστή
- Εκτυπωτή
- Επιπλέον μπορεί να συνδέονται διάφορες περιφερειακές συσκευές (π.χ. βιντεοκάμερα, συσκευές διέγερσης, κ.λπ.).



Σχήμα 5-3. Ο εξοπλισμός της Μονάδας Τεχνολογιών Αγωγής. Στα αριστερά εικονίζεται το σύστημα ηλεκτροεγκεφαλογραφίας (System 98 της Micromed) και δεξιά το σύστημα εικονικής πραγματικότητας.

Στο σχήμα 5-3 εικονίζεται το σύστημα ηλεκτροεγκεφαλογραφίας του εργαστηρίου της Μονάδας Τεχνολογιών Αγωγής με το οποίο πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις της παρούσας διατριβής. Όπως φαίνεται και στην εικόνα, ουσιαστικά αποτελείται από έναν επιτραπέζιο ηλεκτρονικό υπολογιστή με κατάλληλες περιφερειακές συσκευές, τη συσκευή υποδοχής ηλεκτροδίων (headbox) και τα ηλεκτρόδια με τα καλώδιά τους.

#### 5.4 Τύποι ηλεκτροδίων και θέσεις τοποθέτησής τους

Τα ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούνται σήμερα για την καταγραφή ΗΕΓ σημάτων είναι μεταλλικά, συνήθως σε σχήμα δίσκου ή κυπέλλου, διαμέτρου 3-10mm, με ή χωρίς οπή στο κέντρο και προσαρμόζονται πάνω στο κρανίο ή στις μετρούμενες περιοχές (ηλεκτροεγκεφαλογραφικές περιοχές) με αγωγή ή και κολλώδη κρέμα. Οι περιοχές αυτές καθαρίζονται πριν την εφαρμογή των

ηλεκτροδίων και απομακρύνονται νεκρές στοιβάδες δέρματος, λιπώδης ιστός, ιδρώτας ή άλλες πρόσθετες ουσίες που μπορεί να τροποποιήσουν την ηλεκτρική αγωγιμότητα της περιοχής. Ηλεκτρόδια σε μορφή βελόνας που εφαρμόζονται υποδόρια χρησιμοποιούνται σπάνια. Ρινοφαρυγγικά και σφηνοειδή ηλεκτρόδια χρησιμοποιούνται επίσης σπάνια και μόνο σε εξειδικευμένα εργαστήρια. Συχνά σε εξετάσεις ρουτίνας χρησιμοποιούνται προσκεφαλοειδή ηλεκτρόδια (αποτελούνται από μια μικρή ράβδο αργύρου που στην άκρη της προστίθεται ένα μαξιλαράκι εμποτισμένο με χλωριούχο νάτριο ή αγωγή κρέμα), τα οποία στερεώνονται με μάντες ή ελαστικά δίκτυα στις θέσεις τους (Fisch 2003:19).

Μονωμένα καλώδια συνδέουν το κάθε ηλεκτρόδιο με τη συσκευή καταγραφής. Το υλικό κατασκευής των καλωδίων και κυρίως των ηλεκτροδίων πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να παρουσιάζει μικρή ηλεκτρική αντίσταση και να μην αντιδρά με τους ηλεκτρολύτες που χρησιμοποιούν οι αγωγιμες κρέμες. Κατάλληλα υλικά είναι ο χρυσός ή λευκόχρυσος, ο άργυρος ή χλωριούχος άργυρος και ο κασσίτερος.

Η ηλεκτρική αντίσταση του τελικού κυκλώματος αφού εφαρμοστούν τα ηλεκτρόδια ελέγχεται πριν και στο τέλος της καταγραφής για κάθε ηλεκτρόδιο χωριστά. Οι αποδεκτές τιμές κυμαίνονται μεταξύ 100 Ω στην ιδανική περίπτωση, αλλά συνήθως μικρότερες από 5 KΩ ή 20 KΩ ανάλογα με τις απαιτήσεις της κάθε συσκευής καταγραφής. Πολύ μικρές τιμές θεωρούνται ύποπτες και μπορεί να οφείλονται σε διάχυση της κρέμας ανάμεσα σε γειτονικά ηλεκτρόδια ή σε βραχυκύκλωμα προκαλούμενο από ιδρώτα ή από αλατόνερο που χρησιμοποιείται κάποιες φορές ως ηλεκτρολύτης. Διαστρεβλωμένη καταγραφή μπορεί επίσης να προκύψει από μεγάλες διακυμάνσεις στις αντιστάσεις μεταξύ των ηλεκτροδίων.

Ακόμη και όταν οι συνθήκες καταγραφής φαίνονται ικανοποιητικές, μπορεί να υπάρξει παραποίηση των αποτελεσμάτων εξαιτίας φαινομένων πόλωσης μεταξύ του ηλεκτροδίου και των ιστών που εφάπτονται σε αυτό. Το φαινόμενο αυτό περιορίζεται από την ποιότητα του υλικού των ηλεκτροδίων, από τη σχετικά μεγάλη επιφάνεια επαφής και από τη μεγάλη αντίσταση εισόδου των ενισχυτών.

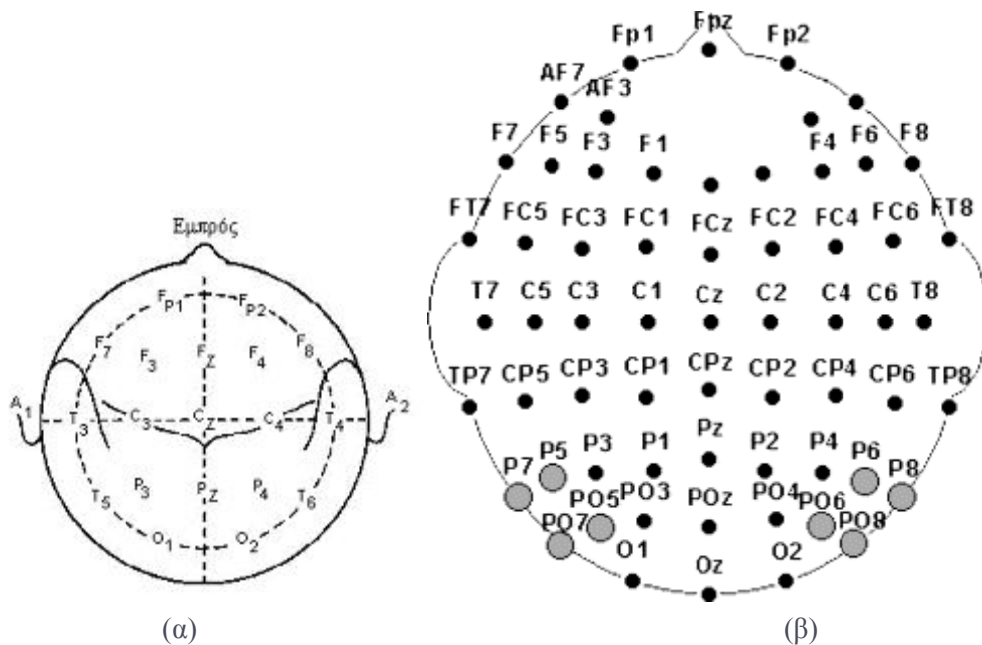
Μια ιδιαίτερη κατηγορία ηλεκτροδίων είναι τα ενδοκρανιακά ηλεκτρόδια τα οποία τοποθετούνται εσωτερικά του κρανίου. Όπως είναι φανερό αυτού του είδους το ΗΕΓ είναι μια επεμβατική μέθοδος που μπορεί να εφαρμοστεί στον άνθρωπο μόνο σε παθολογικές καταστάσεις (στην Αμερική για παράδειγμα περίπου 1500 επιληπτικοί ασθενείς χρησιμοποιούν την τεχνική αυτή πριν την επέμβαση λοβοτομής (resection), Kahana 2006) και παρουσιάζει πολύ ισχυρότερα ηλεκτρικά δυναμικά αφού μηδενίζονται οι αντιστάσεις των οστών και του δέρματος, ενώ μειώνονται κατά πολύ μερικές κατηγορίες παρασίτων. Ο αριθμός των ηλεκτροδίων είναι σαφώς μικρότερος από το επιφανειακό ΗΕΓ, αλλά η χωρική ανάλυση μπορεί να είναι πολύ ακριβέστερη αφού τα ηλεκτρόδια τοποθετούνται με ακρίβεια στις περιοχές ενδιαφέροντος και μπορεί να μετρηθεί με τον τρόπο αυτό ακόμη και η ηλεκτρική δραστηριότητα μεμονωμένου νευρώνα.

Ηλεκτρόδια δεν τοποθετούνται μόνο στις περιοχές του κρανίου που ενδιαφέρουν στο πείραμα, αλλά και σε άλλες περιοχές του σώματος του υποκειμένου

στις οποίες παράγονται ηλεκτρικά δυναμικά που επηρεάζουν τα ΗΕΓ σήματα, ώστε να είναι δυνατή η ανίχνευση ή διόρθωση των επιδράσεων αυτών των δυναμικών (παράσιτων). Τέτοιες περιοχές είναι οι περιοχές γύρω από τα μάτια, ο θώρακας, περιοχές του προσώπου και γενικά περιοχές του σώματος στις οποίες περιμένουμε μυϊκή δραστηριότητα κατά τη συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία.

Επιπλέον χρειάζεται ένα ηλεκτρόδιο γείωσης για τη μείωση του θορύβου που παράγεται από τη διαδικασία μέτρησης, το οποίο τοποθετείται στο μέσο του μετώπου ή σε έναν από τους μαστοειδείς ανάλογα με τη μέθοδο καταγραφής και το ηλεκτρόδιο ή τα ηλεκτρόδια αναφοράς, σε σχέση με τα οποία θα μετρηθούν οι διαφορές δυναμικού.

Ο αριθμός των απαιτούμενων ηλεκτροδίων καθώς και οι θέσεις τους καθορίζονται από το διεθνές πρότυπο 10-20 (Jasper 1958) που χρησιμοποιεί τουλάχιστο 19 ή 21 ηλεκτρόδια. Έχουν όμως προταθεί και μέθοδοι με 32, 64, 75 (American EEG Society 1994) ή και 128 ηλεκτρόδια. Ο ελάχιστος αριθμός καταγραφικών ηλεκτροδίων δεν πρέπει να είναι μικρότερος από 16, ενώ καταγραφές με περισσότερα από 128 ηλεκτρόδια δεν προσφέρουν περισσότερη πληροφορία (Lehman 1989).



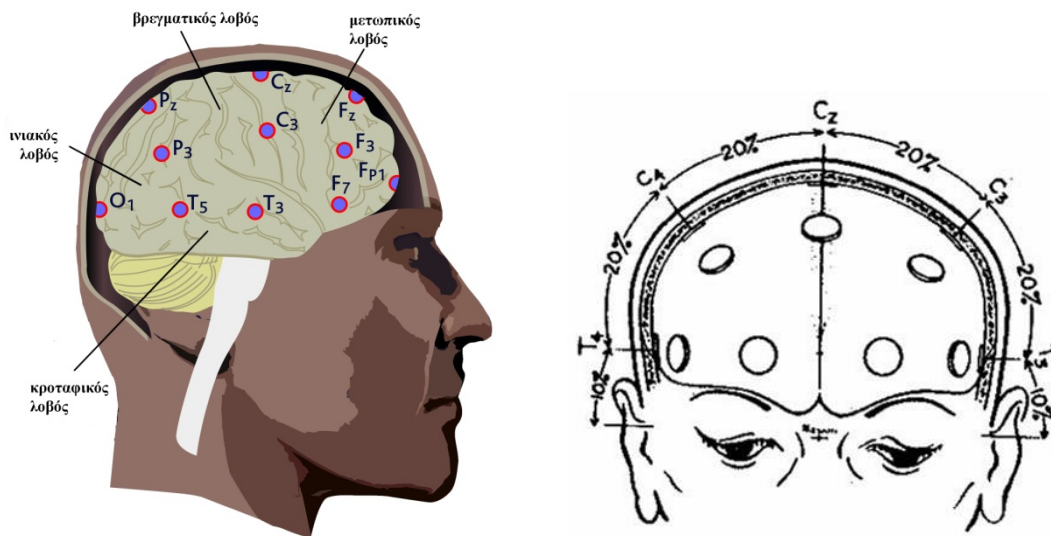
Σχήμα 5-4 Θέσεις ηλεκτροδίων στο κρανίο. Στην εικόνα (α) φαίνονται οι θέσεις 19 ηλεκτροδίων, ενώ στην (β) 64 ηλεκτροδίων.

Οι ηλεκτροεγκεφαλογραφικές θέσεις καθορίζονται συμμετρικά στο κρανίο με βάση ποσοστιαίες αποστάσεις από ανατομικά σημεία όπως το ινίο, το ριζορίνιο και οι μαστοειδείς αποφύσεις. Οι θέσεις των ηλεκτροδίων παίρνουν το όνομά τους από την εγκεφαλική περιοχή με χρησιμοποίηση των ακόλουθων συντομογραφιών F: μετωπιαία ή μετωπική (frontal), T: κροταφική (temporal), C: κεντρική (central), P: βρεγματική (parietal), O: ινιακή (occipital) και από έναν αριθμό (περιττός για τις αριστερές περιοχές και άρτιος για τις δεξιές) ή το γράμμα z για περιοχές στο κέντρο

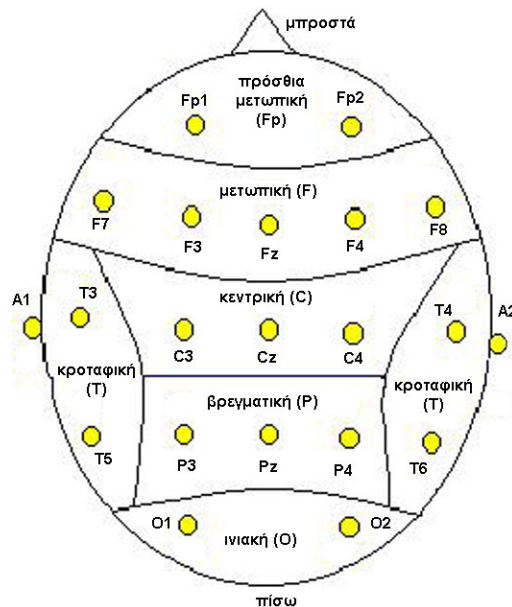


του κρανίου (Jasper 1958, Ray & Oathes 2003). Αν και ο τρόπος προσδιορισμού που μόλις αναφέρθηκε έχει σχετικά εύκολη πρακτική εφαρμογή, ο μαθηματικός προσδιορισμός των ηλεκτοεγκεφαλογραφικών θέσεων με καρτεσιανές, σφαιρικές ή πολικές συντεταγμένες σε κοινά αποδεκτό μοντέλο κρανίου παρουσιάζει μικρές διαφορές από ερευνητή σε ερευνητή. Η παρατήρηση αυτή έχει νόημα σε τριδιάστατους κυρίως χάρτες ΗΕΓ (Böcker et al. 1994).

Το σχήμα 5-4 δείχνει θέσεις ηλεκτροδίων με 19 και 64 ηλεκτρόδια. Στο σχήμα 5-4(α) φαίνεται επίσης και ο γεωμετρικός τρόπος καθορισμού αυτών των θέσεων καθώς και τα ηλεκτρόδια αναφοράς A1 και A2 στα αυτιά.



Σχήμα 5-5. Θέσεις ηλεκτροδίων και υποκείμενες φλοιικές δομές (αριστερά) ή εξωτερικά ανατομικά χαρακτηριστικά (δεξιά).



Σχήμα 5-6. Θέσεις ηλεκτροδίων και γενικότερες περιοχές του φλοιού. Οι θέσεις A1 και A2 χρησιμοποιούνται συνήθως ως ηλεκτρόδια αναφοράς.

Στο σχήμα 5-5 αριστερά παρουσιάζονται οι θέσεις των ηλεκτροδίων του δεξιού ημισφαιρίου σε κατά προσέγγιση σχέση με τις αντίστοιχες δομές του εγκεφαλικού φλοιού και δεξιά παρουσιάζονται οι θέσεις των ηλεκτροδίων του πρόσθιου τμήματος του κρανίου σε σχέση με εξωτερικά ανατομικά γνωρίσματα, ενώ στο σχήμα 5-6 παρουσιάζονται κατά προσέγγιση οι θέσεις των ηλεκτροδίων σε σχέση με τις περιοχές του φλοιού. Οι θέσεις A1 και A2 βρίσκονται στους λοβούς των αυτιών ή στους μαστοειδείς και χρησιμοποιούνται συνήθως ως ηλεκτρόδια αναφοράς.

#### 5.4.1 Ηλεκτρόδιο αναφοράς

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, το ΗΕΓ καταγράφει διαφορές δυναμικού και επομένως χρειάζεται δυο σημεία-ηλεκτρόδια για κάθε μέτρηση. Στην ιδεατή περίπτωση θα επιλεγόταν ως ηλεκτρόδιο αναφοράς ένα σημείο του ανθρώπινου σώματος με μηδενική ή σταθερή ηλεκτρική δραστηριότητα και με χαμηλή ηλεκτρική αντίσταση για να έχουμε αξιόπιστες μετρήσεις. Επειδή τέτοιο σημείο πρακτικά δεν υπάρχει, έχουν προταθεί και χρησιμοποιούνται διάφορες εναλλακτικές λύσεις (Fisch 2003:78, Τριανταφύλλου 1994:26-30).

- Αναφορά στην κορυφή του κρανίου (Cz).

- Αναφορά με δύο ηλεκτρόδια στους λοβούς των αυτιών ή στους μαστοειδείς, τα οποία συνήθως αναφέρονται ως A1 και A2 (σχήμα 5-6). Είναι η προτεινόμενη μέθοδος για μονοπολικές καταγραφές, επειδή οι λοβοί των αυτιών είναι σχετικά ουδέτεροι ηλεκτρικά. Υπάρχει όμως η πιθανότητα στα σημεία αυτά να εμφανιστούν εκφορτίσεις από τις κροταφικές περιοχές.

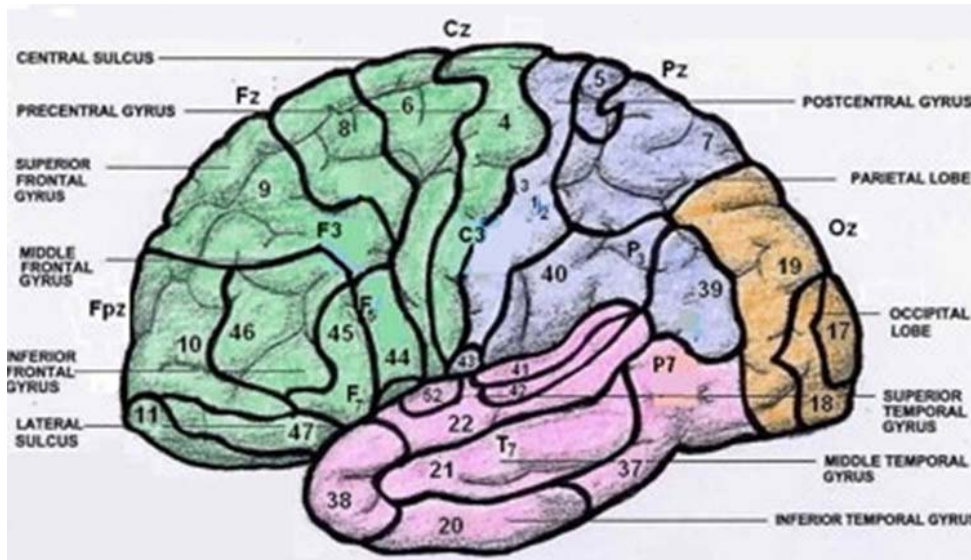
- Αναφορά στη μύτη. Θεωρείται καλή για μονοπολικές καταγραφές, αλλά υπάρχει κίνδυνος να επηρεαστεί από δυναμικά της καρδιάς.

- Αναφορά κοινού μέσου όρου (common average reference). Χρησιμοποιείται ως αναφορά κατά την καταγραφή οποιαδήποτε μέθοδος όπως οι προαναφερθείσες και στη συνέχεια επαναπροσδιορίζεται το ηλεκτρόδιο αναφοράς ως ο αλγεβρικός μέσος όρος που προκύπτει από όλα τα ηλεκτρόδια μαζί. Αυτή η μέθοδος έχει το πλεονέκτημα ότι είναι ανεξάρτητη του δυναμικού του ηλεκτροδίου αναφοράς, ακόμη κι αν αυτό είναι «ενεργό» ηλεκτρόδιο.

- Αναφορά τοπικού μέσου όρου (Hjorth reference ή Laplacian derivation). Είναι μια μέθοδος επαναπροσδιορισμού των δυναμικών των ηλεκτροδίων όπως και η προηγούμενη, αλλά ο τρόπος υπολογισμού της νέας τιμής είναι πιο πολύπλοκος (απαιτεί μετασχηματισμό Laplace) και εφαρμόζεται τοπικά (στα γειτονικά ηλεκτρόδια). Αυτή η μέθοδος αποδίδει πολύ καλούς χάρτες ΗΕΓ, αλλά έχει ως βασική της υπόθεση τη μη ρεαλιστική παραδοχή ότι το κρανίο παρουσιάζει το ίδιο πάχος και την ίδια αγωγιμότητα παντού (Gevins et al. 1999). Για την αντιμετώπιση των παραδοχών αυτών έχουν προταθεί μαθηματικές κυρίως μέθοδοι, όπως η μέθοδος της ομαλοποίησης πεπερασμένων σημείων (finite element deblurring).

#### 5.4.2 Ηλεκτροεγκεφαλογραφικές θέσεις και περιοχές Brodmann

Η τοποθέτηση των ηλεκτροδίων πάνω στο ανθρώπινο κρανίο όπως περιγράφηκε στην ενότητα 5.4 μπορεί να πραγματοποιηθεί με αρκετή ακρίβεια, αν και οι ανατομικές διαφορές από άτομο σε άτομο, το μέγεθος και η εφαρμογή των ηλεκτροδίων, η ποιότητα των αγώγιμων κρεμών σε συνδυασμό με την εφίδρωση του υποκειμένου, οι πιθανές μετακινήσεις των ηλεκτροδίων κατά την πορεία της διαδικασίας, ιδιαίτερα αν αυτή διαρκεί αρκετά και, τέλος, η εμπειρία του ηλεκτροεγκεφαλογραφιστή είναι παράγοντες που μπορεί να μειώσουν αυτή την ακρίβεια. Εκείνο όμως που ενδιαφέρει περισσότερο είναι η αντιστοίχιση των ηλεκτροεγκεφαλογραφικών θέσεων με περιοχές του εγκεφαλικού φλοιού κάτω από τα κρανιακά οστά. Μια τέτοια απόπειρα αποτελεί η προσπάθεια του ADD Center από το Biofeedback Institute του Τορόντο να συσχετίζει κατά προσέγγιση τα ηλεκτρόδια του ΗΕΓ με τις υποκείμενες κατά Brodmann εγκεφαλικές δομές.



Σχήμα 5-7. Σχηματική τοποθέτηση των ηλεκτροεγκεφαλογραφικών θέσεων πάνω από περιοχές Brodmann (Thompson et al. 2007).

Εκτός από τους παράγοντες που αναφέρθηκαν στην αρχή της ενότητας, επιπλέον προβλήματα στην προσέγγιση αυτή αποτελούν το μικρό μέγεθος ορισμένων περιοχών Brodmann, η ασάφεια των ορίων και βέβαια η αμφιλεγόμενη αξία της συσχέτισης των περιοχών Brodmann με γνωστικές λειτουργίες (Lloyd 2007). Ωστόσο, η απεικόνιση που παρουσιάζει το σχήμα 5-7 είναι σημαντική, γιατί συσχετίζει τις θέσεις των ηλεκτροδίων όχι μόνο με ανατομικές περιοχές των κρανιακών οστών όπως ορίζει το σύστημα 10-20, αλλά και με ανατομικές περιοχές του υποκείμενου εγκεφαλικού φλοιού.

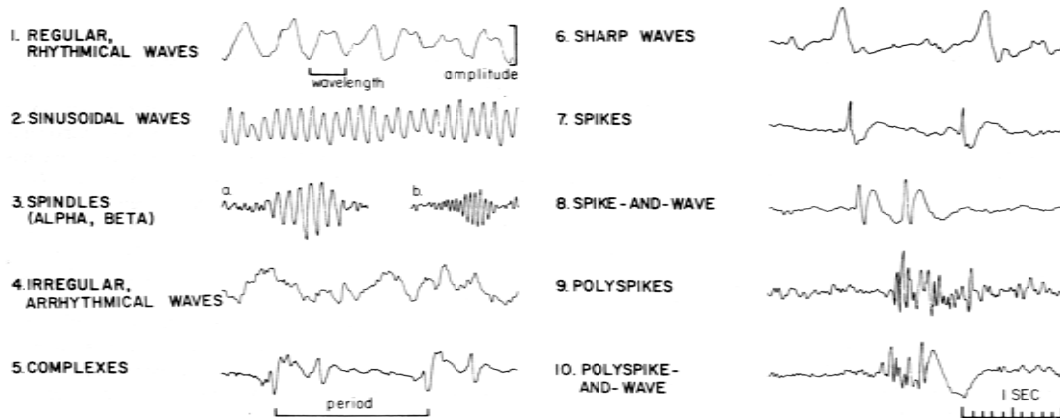
## 5.5 Χαρακτηριστικά ΗΕΓ σήματος

Τα ΗΕΓ σήματα είναι, όπως έχει ήδη αναφερθεί, συνεχόμενες χρονοσειρές τιμών ηλεκτρικής τάσης και δεν είναι στη γενική τους μορφή ομοιόμορφα. Μπορούμε να τα διακρίνουμε με βάση τα ακόλουθα χαρακτηριστικά.

### 5.5.1 Κυματομορφές, ρυθμικότητα και κατανομή

Οι καταγραφές που προκύπτουν από έναν ηλεκτροεγκεφαλογράφο έχουν τη μορφή κυμάτων με μεγάλη ποικιλία μορφών. Οι κυματομορφές μπορεί να είναι επαναλαμβανόμενες ημιτονοειδούς τύπου οπότε ονομάζονται «κανονικά κύματα», να είναι μη κανονικές δηλαδή χωρίς καμία ρυθμικότητα ή να είναι μικτές. Μπορεί να εμφανίζονται ομάδες ρυθμικών κυμάτων (spindles) που βαθμιαία αυξάνουν σε πλάτος και μετά μειώνονται. Μπορεί να εμφανίζονται κορυφές μεγαλύτερου πλάτους από το υπόλοιπο ΗΕΓ οπότε ονομάζονται «οξεία κύματα» (sharp waves). Αν τα οξεία κύματα έχουν πολύ μικρή διάρκεια (20-70 msec) ονομάζονται αιχμές ή κορυφές (spikes) και στη γραφική παράσταση του πλάτους ξεχωρίζουν σαν απότομες (μεγάλης κλίσης) κορυφές. Μπορεί επίσης να έχουμε συνδυασμούς ή επαναλήψεις από τις προηγούμενες μορφές ή παροξυσμικές εκφορτίσεις που ξεσπούν ξαφνικά, ξεχωρίζουν από το προηγούμενο σήμα με μεγάλα πλάτη και εξαφανίζονται επίσης ξαφνικά.

Παραδείγματα των σημαντικότερων (κανονικών και μη) ΗΕΓ κυματομορφών παρουσιάζονται στο σχήμα 5-8.



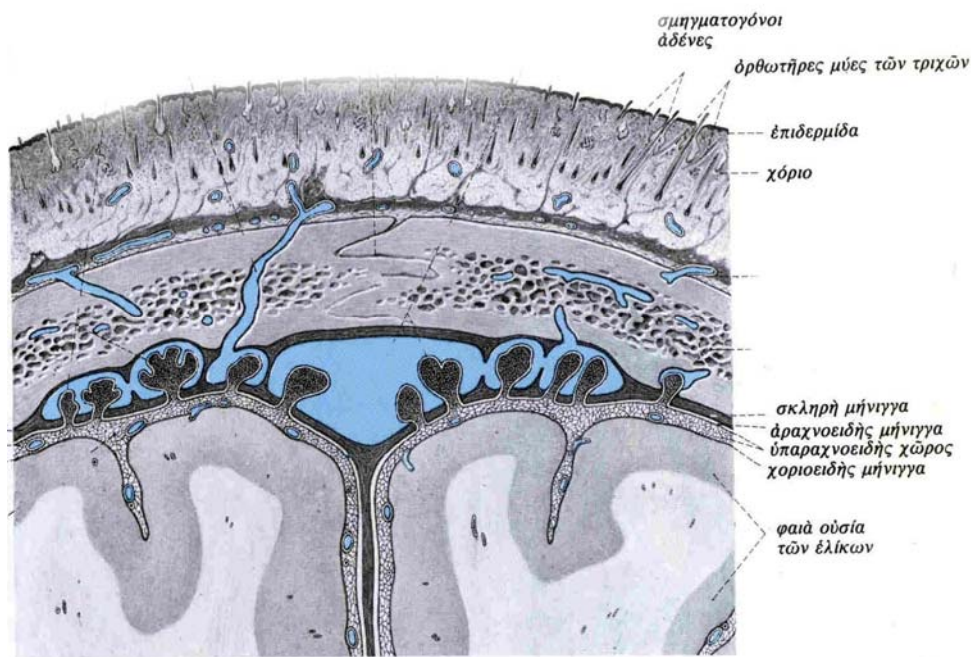
Σχήμα 5-8. Τυπικές ΗΕΓ κυματομορφές (Fisch 2003:146).

Με τον όρο κατανομή των ΗΕΓ σημάτων εννοούμε τις κρανιακές περιοχές στις οποίες εμφανίζεται μια κυματομορφή την ίδια χρονική στιγμή. Έτσι έχουμε γενικευμένη ή διάχυτη κατανομή, πλευρική αν εμφανίζεται ή κυριαρχεί στο ένα ημισφαίριο και τέλος τοπική ή εστιασμένη κατανομή όταν περιορίζεται σε ένα ή λίγα ηλεκτρόδια μιας περιοχής του κρανίου.

### 5.5.2 Πλάτος

Το πλάτος των ΗΕΓ σημάτων είναι της τάξης των  $\mu\text{V}$  με τυπικές τιμές από 10  $\mu\text{V}$  μέχρι 100  $\mu\text{V}$  και στους ενήλικες συνήθως μεταξύ 10  $\mu\text{V}$  και 50  $\mu\text{V}$  (Basar 1998, Niedermeyer 1999). Ένας συμβατικός κλινικός διαχωρισμός διακρίνει τα ΗΕΓ κύματα σε μικρού πλάτους (μικρότερο από 20  $\mu\text{V}$ ), μεσαίου (20 – 50  $\mu\text{V}$ ) και μεγάλου (μεγαλύτερο από 50  $\mu\text{V}$ ). Βέβαια το πλάτος στο κλινικό ΗΕΓ είναι ένα σχετικό μέγεθος γιατί εξαρτάται από το χρησιμοποιούμενο συνδυασμό ηλεκτροδίων ή montage. Στο κλινικό ΗΕΓ, για παράδειγμα, δεν αναπαρίστανται οι τιμές των ηλεκτροδίων σε σχέση με το κοινό ηλεκτρόδιο αναφοράς αλλά σε σχέση με τις τιμές άλλων ηλεκτροδίων που καθορίζονται από διεθνώς τυποποιημένους συνδυασμούς. Αυτοί οι διπολικοί πλέον συνδυασμοί ηλεκτροδίων ονομάζονται montage.

Όπως είναι αναμενόμενο το πλάτος επηρεάζεται και από την ποιότητα των επαφών και της ηλεκτρικής αντίστασης μεταξύ των ηλεκτροδίων και του δέρματος του κρανίου. Ενώ οι μετρούμενες από τα ενδοκρανιακά ηλεκτρόδια τιμές του πλάτους κυμαίνονται από 500 μέχρι 1500  $\mu\text{V}$ , δραματική μείωση του πλάτους τους υφίστανται τα δυναμικά καθώς διέρχονται (όπως φαίνεται και στο σχήμα 5-9) διαμέσου του στρώματος των μηνίγγων, του οστού, των φλεβών και του τριχωτού της κεφαλής (Niedermeyer 1999, Cooper et al. 1965).



Σχήμα 5-9. Μετωπιαία τομή του θόλου του κρανίου, στην οποία διακρίνονται οι βασικές στοιβάδες (τριχωτό της κεφαλής, οστό, μηνιγγες, φλέβες) (Sobotta 1983).

### 5.5.3 Ζώνες συχνοτήτων ή ρυθμοί

Για λόγους μελέτης αλλά και εξαιτίας της διαφορετικής προέλευσης, χρησιμότητας και λειτουργίας τους είναι δυνατό να απομονωθούν μέσω κατάλληλων μεθόδων επεξεργασίας σήματος, κάποιες ζώνες συχνοτήτων που έχουν ιδιαίτερη σημασία. Έτσι το φάσμα ΗΕΓ διακρίνεται σε υποπεριοχές συχνοτήτων ή ρυθμούς, από τις οποίες οι σημαντικότερες είναι οι ακόλουθες:

Ο «**δέλτα ρυθμός**» ή «δ» ή «delta» είναι υψηλού δυναμικού με συχνότητες κάτω από 4 Hz.

Ο «**θήτα ρυθμός**» ή «θ» ή «theta» έχει συχνότητα 4-7.5 Hz ή 4-8 Hz.

Ο «**άλφα ρυθμός**» ή «α» ή «alpha» έχει συχνότητα 7.5-12.5 Hz ή 8-13 Hz και εμφανίζεται συνήθως πάνω από τα πίσω τμήματα της κεφαλής. Διακρίνεται σε «κατώτερος-1 άλφα» (lower-1 α), «κατώτερος-2 άλφα» και «ανώτερος άλφα» (Klimesh 1999) ή απλώς σε «κατώτερο άλφα» και «ανώτερο άλφα».

Ο «**βήτα ρυθμός**» ή «β» ή «beta» είναι χαμηλού δυναμικού με συχνότητα πάνω από 13 Hz (βήτα-1: 13-15.5 Hz, βήτα-2: 16-19.5 Hz, βήτα-3: 20-31.5 Hz).

Ο «**γάμμα ρυθμός**» ή «γ» ή «gamma» είναι χαμηλού δυναμικού με συχνότητα 30 – 70 Hz (ή 30 – 100 Hz) αλλά κύρια γύρω στα 40 Hz.

Ας σημειωθεί ότι τα όρια των προαναφερθέντων ρυθμών δεν είναι αποδεκτά από όλους τους ερευνητές. Υπάρχουν μικρές διαφορές από εργαστήριο σε εργαστήριο της τάξης 0.5 Hz. Επίσης οι τιμές που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο ισχύουν για ενήλικα άτομα πριν τη γεροντική ηλικία. Στη βρεφική ηλικία οι αποκλίσεις από τα όρια είναι μεγάλες. Αποκλίσεις υπάρχουν στην εφηβεία και στη γεροντική ηλικία. Μερικοί ερευνητές χρησιμοποιούν μαθηματικούς υπολογισμούς για τον προσδιορισμό των ορίων των συχνοτήτων σε σχέση με την ηλικία, αλλά δεν έχουν ευρεία αποδοχή.

Αυτές οι διαφορές όπως επίσης και η άποψη ότι τα όρια των ΗΕΓ ρυθμών είναι διαφορετικά από άτομο σε άτομο καθώς και άλλοι λιγότερο σημαντικοί ρυθμοί όπως ο «μ», ο «τ», ο «λ», κ.ά. συζητούνται αργότερα στην ενότητα 6.2.

### 5.5.4 Φάση, συγχρονισμός και διατήρηση των κυματομορφών

#### Φάση κυματομορφών

Το χαρακτηριστικό της φάσης αναφέρεται στο χρονισμό και την πολικότητα των σημάτων από διαφορετικά ηλεκτρόδια (κανάλια). Όταν κορυφές και κοιλίες σε διαφορετικά κανάλια συμβαίνουν ταυτόχρονα, τότε τα αντίστοιχα σήματα είναι «σε φάση».

#### Συγχρονισμός κυματομορφών

Όταν δύο γεγονότα (ίδια μορφής διαταραχές του σήματος ΗΕΓ ή ίδια πρότυπα) εμφανίζονται την ίδια χρονική στιγμή σε διαφορετικά κανάλια

(διαφορετικά ηλεκτρόδια), τότε έχουμε «ταυτόχρονα» ή «συγχρονισμένα» γεγονότα (simultaneous ή synchronous). Με τον ίδιο όρο, «συγχρονισμό», εννοείται συνήθως και η ακριβής σύμπτωση φάσης κυματομορφών που εμφανίζονται ταυτόχρονα στα δυο ημισφαίρια.

Κυματομορφές που εμφανίζονται χωρίς σταθερή χρονική συσχέτιση ονομάζονται «ασύγχρονες» (asynchronous). Αυτό υπονοεί πως αν και οι κυματομορφές εμφανίζονται σε διαφορετικές περιοχές την ίδια χρονική στιγμή, δεν έχουν σύμπτωση φάσης ή δεν έχουν ίδια συχνότητα.

Αν οι κυματομορφές εμφανίζονται σε μια εγκεφαλική περιοχή τη μια χρονική στιγμή και σε άλλες περιοχές μια άλλη χρονική στιγμή, τότε ονομάζονται «ανεξάρτητες» (independent).

### **Διάρκεια κυματομορφών**

Ένα άλλο χρήσιμο μέγεθος είναι το πόσο συχνά και για πόσο χρόνο εμφανίζεται μια κυματομορφή σε κάποιο χρονικό διάστημα (persistence). Για παράδειγμα ένας βήτα δείκτης 30% σημαίνει πως βήτα ρυθμός παρατηρήθηκε στο 30% του χρονικού διαστήματος καταγραφής. Το μέγεθος αυτό συνήθως συνδυάζεται και με το αντίστοιχο πλάτος κύματος της κυματομορφής.

## **5.6 Παράσιτα και θόρυβος στο ΗΕΓ**

Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα στην ΗΕΓ καταγραφή είναι η αναγνώριση και απομάκρυνση των παρασίτων (artifacts). Ως παράσιτα εννοούνται όλα τα ηλεκτρικά δυναμικά που καταγράφονται από ηλεκτρόδια τοποθετημένα στο κρανίο, αλλά προέρχονται από άλλες πηγές.

Τα παράσιτα διακρίνονται σε:

- φυσιολογικά ή βιολογικά, τα οποία προκύπτουν από ποικίλες σωματικές δραστηριότητες και οφείλονται σε:
  - κινήσεις, σώματος, κεφαλιού ή ακόμη και κρανίου (αρτηριακοί παλμοί, μύες του κρανίου)
  - βιοηλεκτρικά δυναμικά, κυρίως από συσπάσεις διαφόρων μυών (π.χ. κινήσεις ματιών-βλεφάρων, δραστηριότητα γλώσσας και γενικά μυϊκή δραστηριότητα)
  - αλλαγές στην επιφανειακή αντίσταση του δέρματος
- μη φυσιολογικά ή τεχνητά που οφείλονται σε:
  - εξωτερικές ηλεκτρικές παρεμβολές από άλλες συσκευές
  - κινήσεις άλλων ατόμων κοντά στο χώρο καταγραφής
  - κακή ρύθμιση ή λειτουργία της ίδιας της συσκευής καταγραφής (π.χ. κακή χρήση ηλεκτροδίων, κινήσεις των ηλεκτροδίων, πόλωση των

ηλεκτροδίων, χαμηλή συχνότητα δειγματοληψίας, κακή μόνωση καλωδίων).

### 5.6.1 Οφθαλμικά παράσιτα

Τα πιο συχνά και ισχυρά παράσιτα είναι αυτά που προέρχονται από τις κινήσεις και το ανοιγοκλείσιμο (βλεφαρισμό) των ματιών. Επειδή το μάτι είναι ηλεκτρικά πολωμένο με διαφορά δυναμικού περίπου 100mV μεταξύ αμφιβληστροειδή και κερατοειδή, κάθε κίνησή του παράγει ηλεκτρικές διαταραχές στην ίδια περιοχή συχνοτήτων (κυρίως στην περιοχή του δέλτα ρυθμού 1 - 4 Hz) με το ΗΕΓ σήμα και με μεγαλύτερο πλάτος. Τα παράσιτα αυτά διαδίδονται στην επιφάνεια του κρανίου και επηρεάζουν περισσότερο τις καταγραφές στις πρόσθιες κρανιακές και λιγότερο στις ινιακές περιοχές. Συγκεκριμένα ο βλεφαρισμός επηρεάζει κυρίως τα ηλεκτρόδια Fp1 και Fp2, οι οριζόντιες κινήσεις τα Fp1, Fp2, F7, F8 και οι κατακόρυφες κινήσεις τα Fp1, Fp2, F7, F8, F3, Fz, F4. Η καταγραφή των οφθαλμικών κινήσεων αναφέρεται συχνά ως ηλεκτροοφθαλμογράφημα (electrooculogram ή EOG).

Στο σχήμα 5-10 οι εικόνες (α), (β) και (γ) είναι παραδείγματα οφθαλμικών παρασίτων. Και στις τρεις περιπτώσεις τα παράσιτα είναι εντονότερα στις μετωπιαίες θέσεις και ασθενέστερα στις οπίσθιες περιοχές.

Χρησιμοποιούνται δύο τρόποι αντιμετώπισης του προβλήματος που προκύπτει από την υποβάθμιση του ΗΕΓ σήματος εξαιτίας των οφθαλμικών παρασίτων:

- η απομάκρυνση των παρασίτων (artifact rejection) και
- η εκτίμηση/διόρθωσή τους (artifact correction).

Και στις δύο περιπτώσεις απαιτούνται επιπλέον ηλεκτρόδια τοποθετημένα περιμετρικά των ματιών για να καταγράφεται η πρωτογενής ηλεκτρική δραστηριότητα των κινήσεών τους. Στη συνέχεια ανιχνεύονται οι διαταραχές με οπτικό ή αυτόματο τρόπο και το αντίστοιχο ΗΕΓ απόσπασμα (epoch) απομακρύνεται (αχρηστεύεται) ή διορθώνεται ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο (EOG rejection ή EOG correction).

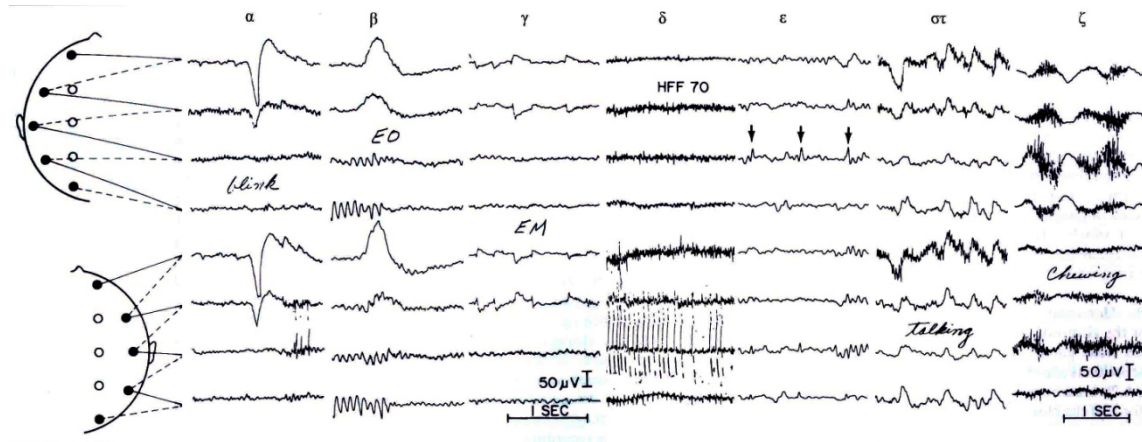
Το σχήμα 5-11 δείχνει γραφικά τις θέσεις γύρω από τα μάτια στις οποίες τοποθετούνται τα επιπλέον ηλεκτρόδια. Έχουν προταθεί όμως και συστήματα με περισσότερα ηλεκτρόδια (Technical Committee for Medical Informatics 1997).

Όσο αφορά στις ζώνες συχνοτήτων, εκείνες που επηρεάζονται περισσότερο (σε ευρύτερη κρανιακή περιοχή) από τα οφθαλμικά παράσιτα είναι οι δέλτα και θήτα. Οι συχνότητες άλφα και βήτα επηρεάζονται μόνο στις πρόσθιες και μετωποπλευρικές περιοχές (Hagemann & Naumann 2001).

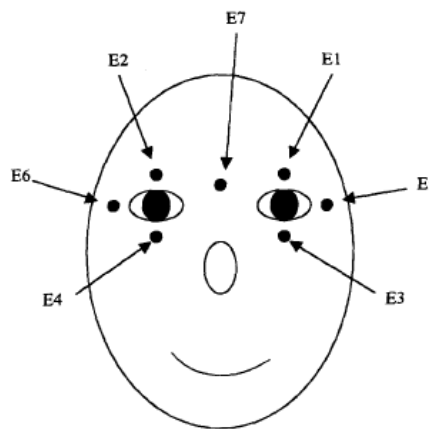
Γενικά οι μέθοδοι απομάκρυνσης των αποσπασμάτων ΗΕΓ που εμφανίζουν παράσιτα είναι πιο αξιόπιστες, αλλά έτσι χάνονται πολλά χρήσιμα αποσπάσματα (ανάλογα με τις συνθήκες του πειράματος, τα οφθαλμικά παράσιτα μπορεί να είναι πάρα πολλά). Οι μέθοδοι διόρθωσης δεν έχουν το ίδιο μειονέκτημα, αλλά κάνουν κάποιες επιπλέον παραδοχές σχετικά με το μοντέλο διάδοσης των παρασίτων



διαμέσου του κρανίου και απαιτούν πολύ καλή βαθμονόμηση για κάθε υποκείμενο πριν τη μέτρηση (Croft & Barry 2000a, 2000b, 1998, Hellyar et al. 1995, Picton et al. 2000).



Σχήμα 5-10. Παραδείγματα παρασίτων στο ΗΕΓ με διπολική καταγραφή: α) ανοιγοκλείσιμο ματιών, β) άνοιγμα ματιών, γ) σακαδικές κινήσεις ματιών, δ) συνεχόμενα μυϊκά παράσιτα, ε) παράσιτα καρδιακών παλμών, στ) ομιλία, ζ) μασητικές κινήσεις σιαγόνων (τροποποιημένο από Fisch 2003:109-110).



Σχήμα 5-11. Θέσεις ηλεκτροδίων που υιοθετήθηκαν στο Συμπόσιο Tilburg για την αφαίρεση των οφθαλμικών παρασίτων (Croft & Barry 2000b).

### 5.6.2 Μη οφθαλμικά παράσιτα

Τα μη οφθαλμικά παράσιτα αναφέρονται ως χωριστή κατηγορία γιατί δεν είναι τόσο κοινά όσο τα οφθαλμικά και έχουν διαφορετικό τρόπο αντιμετώπισης ανάλογα με την πρωτογενή πηγή τους και τις συνθήκες του πειράματος.

Τα μυϊκά παράσιτα είναι μικρής διάρκειας σήματα που μπορεί να μοιάζουν με κορυφές (spikes) ή με «γρήγορα κύματα» και συχνότερα εμφανίζονται στις

μπροστινές και κροταφικές περιοχές. Συνήθως έχουν συχνότητες 40 – 60 Hz, αλλά μπορεί να επηρεάσουν και άλλες περιοχές συχνοτήτων (για παράδειγμα ο τρόμος κεφαλής εμφανίζει παράσιτα στην περιοχή 1 – 7.5 Hz). Παράδειγμα μυϊκών παρασίτων φαίνονται στο σχήμα 5-10(δ).

Κινήσεις της κεφαλής, του σώματος γενικότερα ή των καλωδίων των ηλεκτροδίων μπορούν να προκαλέσουν παράσιτα τα οποία αναγνωρίζονται εύκολα αν συνδυαστούν με προσεκτική παρατήρηση των κινήσεων του υποκειμένου κατά τη διάρκεια της ΗΕΓ καταγραφής.

Για να μετρηθούν τα μυϊκά παράσιτα γενικά χρησιμοποιείται ένα ηλεκτρόδιο στο κέντρο του μυός. Για παράσιτα προερχόμενα από κινήσεις, τρέμολο και σπασμωδικές κινήσεις τα ηλεκτρόδια τοποθετούνται στο κινούμενο μέλος.

Για μέτρηση της δραστηριότητας του καρδιακού μυός μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι κλασικές θέσεις του ηλεκτροκαρδιογραφήματος ή εναλλακτικά συνδυασμός ηλεκτροδίων στο λαιμό και στο στήθος. Επίσης η επιλογή ως αναφορά των θέσεις A1, A2 (στα δύο αυτιά) μειώνει την εμφάνιση αυτού του παράσιτου. Παράδειγμα καρδιακού παράσιτου εικονίζεται στο σχήμα 5-10 (ε).

Παράσιτα αρτηριακών παλμών μπορεί να εμφανιστούν στις μπροστινές ή κροταφικές περιοχές του κρανίου και οφείλονται στα αγγεία που πιθανόν βρίσκονται κάτω από το αντίστοιχο ηλεκτρόδιο.

Τα δυναμικά δέρματος είναι παράσιτα λόγω εφίδρωσης («αργά κύματα» με διάρκεια 2 περίπου sec) και συμπαθητικές δερματικές αντιδράσεις (Sympathetic Skin Response) ή γαλβανικά ή ψυχογαλβανικά επιδερμικά δυναμικά (επίσης «αργά κύματα» 1-2 Hz εμφανιζόμενα σε φάσεις). Στην κατηγορία αυτή ανήκουν και παράσιτα που οφείλονται σε ατέλειες και αιματώματα του δέρματος ή τραυματισμούς του κρανίου.

Οι κινήσεις της γλώσσας μπορούν να παράγουν διακοπτόμενα ή συνεχόμενα «αργά κύματα» ευρείας εξάπλωσης (κυρίως στο κέντρο του κρανίου). Επίσης οι κινήσεις του ουρανίσκου προκαλούν παράσιτα με συχνότητα 60-120 Hz, τα οποία μερικές φορές μπορεί να εμφανιστούν και ως ρυθμικά «οξεία κύματα» στις θέσεις Cz και Pz. Όπως είναι επόμενο τα παράσιτα αυτά συνοδεύουν οποιαδήποτε κίνηση ενεργοποιεί τα αντίστοιχα όργανα του σώματος (ομιλία, κατάποση, μάσημα, αναρρόφηση, βήχας, λόξυγκας κ.λπ.). Οι κινήσεις αυτές δεν είναι δύσκολο να ανιχνευθούν οπτικά εκτός από κάποιες ανεπαίσθητες κινήσεις της γλώσσας με το στόμα κλειστό. Παράσιτα τέτοιας προέλευσης φαίνονται στο σχήμα 5-10 (στ) και (ζ).

Τα παράσιτα που οφείλονται στην αναπνοή δεν αξιολογούνται συνήθως αλλά αν το απαιτούν οι συνθήκες μέτρησης μπορούν να τοποθετηθούν επιπλέον ηλεκτρόδια στα μέρη του σώματος τα οποία κινούνται κατά την εισπνοή και εκπνοή. Στη μορφή τους μπορεί να είναι αργά και ρυθμικά ή αργά και οξεία και συνήθως εμφανίζονται στα ηλεκτρόδια των οποίων η αγωγιμότητα επηρεάζεται από τις αναπνευστικές κινήσεις.

Παράσιτα μπορεί να προκληθούν ακόμη και από οδοντικά σφραγίσματα όταν συνδυάζονται διαφορετικά μεταλλικά υλικά κυρίως αν συνοδεύονται με κινήσεις.

Ένα άλλο κοινό παράσιτο είναι αυτό που οφείλεται στην κακή εφαρμογή του ηλεκτροδίου στο κρανίο (δηλαδή υπάρχει πολύ μεγάλη ή μεταβαλλόμενη ηλεκτρική αντίσταση). Έχει συνήθως τη μορφή απλών ή πολλαπλών απότομων κάθετων διακυμάνσεων σε ένα μόνο ηλεκτρόδιο και εμφανίζεται λόγω των μεθόδων παρεμβολής στους τοπογραφικούς χάρτες σαν ομόκεντροι κύκλοι γύρω από το ηλεκτρόδιο (holes).

Παράσιτα επίσης προκύπτουν και από την τεχνική δειγματοληψίας που ακολουθείται στη μετατροπή του αναλογικού ΗΕΓ σε ψηφιακό σήμα. Όταν η συχνότητα δειγματοληψίας είναι μικρή μπορεί να έχουμε παράσιτο φασματικής επικάλυψης (spectral overlap ή aliasing).

Το πιο κοινό από τα τεχνικά παράσιτα είναι αυτό που οφείλεται στην ηλεκτρική καλωδίωση και στο εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα των 50 Hz για την Ευρώπη (ή 60 Hz σε άλλες χώρες). Όλα σχεδόν τα ψηφιακά συστήματα ηλεκτροεγκεφαλογραφίας διαθέτουν έτοιμα φίλτρα για απομάκρυνση αυτού του παράσιτου. Ωστόσο, μερικοί ερευνητές (π.χ. Fitzgibbon et al. 2004) προτιμούν να μην υπολογίζουν στα αποτελέσματά τους τις φασματικές μετρήσεις στη συχνότητα  $50 \text{ Hz} \pm 1$  και στην αρμονική της  $100 \text{ Hz} \pm 1$ .

Γενικά η ταυτόχρονη λειτουργία άλλων ηλεκτρικών συσκευών και ιδιαίτερα όσων χρησιμοποιούν ακτινοβολίες υψηλών συχνοτήτων (όπως τηλεόραση, ραδιόφωνο, κ.ά.) πρέπει να αποφεύγεται. Η συχνότητα σάρωσης των οθονών CRT των Η/Υ που συχνά χρησιμοποιούνται ως πηγή οπτικών ερεθισμάτων μπορεί να προκαλέσει μικρά παράσιτα αν βρίσκεται πολύ κοντά στα ηλεκτρόδια. Επίσης καλό είναι να αποφεύγονται κατά το δυνατό οι μετακινήσεις άλλων ατόμων κοντά στο σύστημα καταγραφής, γιατί μπορεί να προκαλέσουν παράσιτα ηλεκτροστατικής προέλευσης.

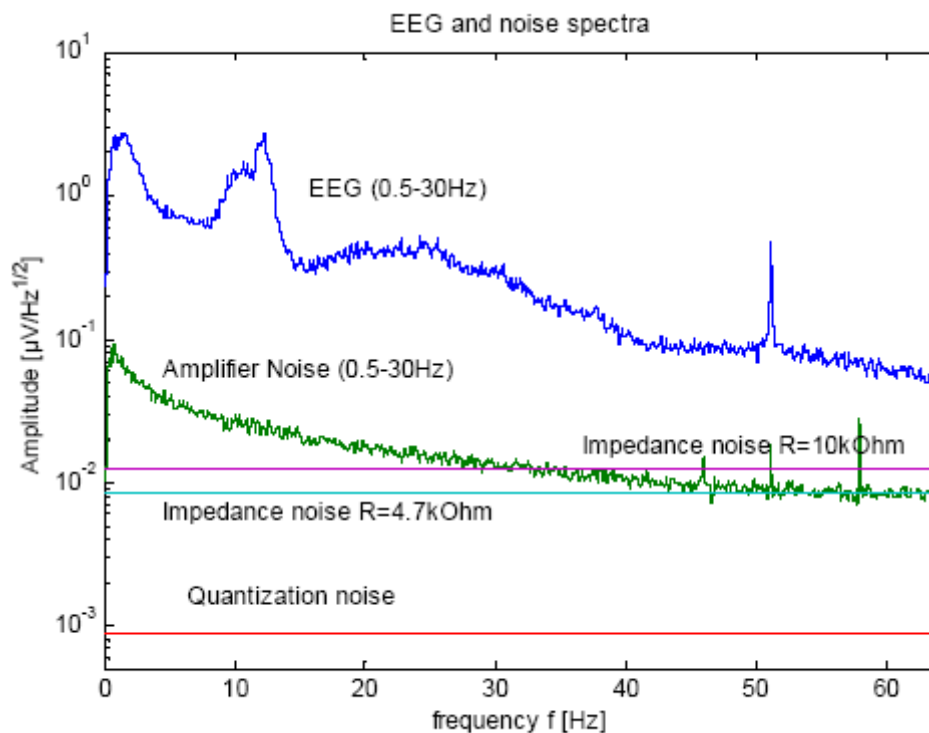
Η πρώτη ενέργεια στην αντιμετώπιση του φαινομένου των παρασίτων είναι η ανίχνευσή τους. Στη συνέχεια ακολουθεί η τροποποίηση των συνθηκών του πειράματος (επανατοποθέτηση ηλεκτροδίου, σκούπισμα ή στέγνωμα της περιοχής, χαλάρωση ή αλλαγή στάσης του υποκειμένου, σύσταση για αποφυγή κινήσεων) και τέλος η απομάκρυνση όλου του χρονικού διαστήματος στο οποίο εμφανίστηκε το παράσιτο ή η διόρθωση της παρεμβολής όπου αυτό είναι δυνατό. Για τα μυϊκά παράσιτα αρκετοί ερευνητές χρησιμοποιούν φίλτρα που αποκόπτουν τις ψηλές συχνότητες (π.χ. πάνω από 25 Hz) και συνήθως τα κανάλια που παρουσιάζουν μυϊκά παράσιτα για σημαντικό χρονικό διάστημα (π.χ. πάνω από το 50%) απορρίπτονται πλήρως. Ο van de Velde (van de Velde et al. 1998) στην επισκόπησή του θέτει αρκετά κριτήρια για την ανίχνευση των μυϊκών παρασίτων.

### 5.6.3 Θόρυβος και παρεμβολές

Εκτός από τα παράσιτα που μπορούν να ανιχνευθούν και επομένως να αντιμετωπιστούν με κάποιο τρόπο, στο ΗΕΓ εμφανίζονται και άλλα ηλεκτρικά δυναμικά μεγάλης διάρκειας με τη μορφή θορύβου που δεν μπορεί εύκολα να

ανιχνευθεί. Αυτός ο θόρυβος παραμορφώνει εν μέρει το ΗΕΓ σήμα και προέρχεται από διάφορες πηγές, όπως τη συσκευή ενίσχυσης, τη δειγματοληψία και την κβαντοποίηση του αρχικού αναλογικού σήματος, τις καλωδιώσεις, την ηλεκτρική αντίσταση των ηλεκτροδίων με το δέρμα του κρανίου και τη λειτουργία άλλων συσκευών (ακόμα και των λαμπτήρων φωτισμού). Στο σχήμα 5-12 παρουσιάζεται σε γραφική παράσταση μια συγκριτική εκτίμηση του ΗΕΓ σήματος σε σχέση με τις σημαντικότερες κατηγορίες θορύβου. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα η αναλογία σήματος προς θόρυβο διατηρεί ικανοποιητικές τιμές για μια μεγάλη περιοχή συχνοτήτων από 0 Hz μέχρι 35 Hz, αλλά ο θόρυβος παραμένει μια αξιοσημείωτη συνιστώσα στο τελικό σήμα (Schlögl et al. 2002).

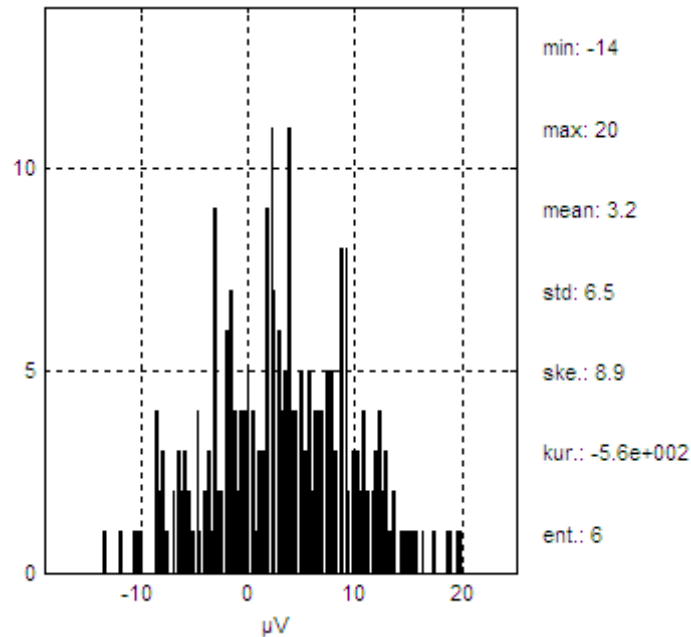
Οι πιο συχνές πηγές θορύβου στα ερευνητικά εργαστήρια είναι οι οθόνες των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Οι Bayliss και Ballard (1998) σε έρευνα του προκλητού δυναμικού P300 παρατήρησαν μεγαλύτερο ποσοστό θορύβου προερχόμενου από κοντινή στο υποκείμενο CRT οθόνη (με συχνότητα ανανέωσης 70 Hz) σε σχέση με ένα κράνος εικονικής πραγματικότητας (το οποίο ενσωμάτωνε επιπλέον ανιχνευτή για την κίνηση των ματιών). Αντίθετα οι οθόνες των φορητών υπολογιστών παρουσιάζουν το ίδιο (μικρό) ποσοστό θορύβου με το κράνος ΕΠ.



Σχήμα 5-12. Φασματική αναπαράσταση του ΗΕΓ και των σημαντικότερων ειδών θορύβου για την περιοχή συχνοτήτων 0 – 65 Hz. Η συχνότητα δειγματοληψίας είναι 128 Hz (Schlögl et al. 2002).

Ένας τρόπος για να μειωθεί ο ηλεκτρονικός θόρυβος είναι να μειωθεί η ευαισθησία του ενισχυτή εισόδου. Αυτό όμως προκαλεί μια ανεπιθύμητη μείωση του λόγου σήματος προς θόρυβο (signal-to-noise ratio, SNR).

Παράμετροι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο της ποιότητας των δεδομένων είναι οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές των δειγμάτων, η διασπορά, η λοξότητα (skewness), η κύρτωση (kurtosis), η εντροπία και τα διαγράμματα ιστογράμματος (histogram plots). Το ιστόγραμμα δείχνει πόσα δείγματα παρουσιάζουν μια συγκεκριμένη τιμή διαφοράς δυναμικού. Μεγάλος αριθμός δειγμάτων με τις μέγιστες ή τις ελάχιστες τιμές προκαλείται συνήθως από παράσιτα οφειλόμενα στην ευαισθησία του ενισχυτή (Schlögl et al. 1999, Nikias 1993).



Σχήμα 5-13. Παράδειγμα ιστογράμματος στο ηλεκτρόδιο O1 (από τις καταγραφές του εργαστηρίου μας, επεξεργασμένο με το λογισμικό της gtec).

Στο σχήμα 5-13 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα ανάλυσης ιστογράμματος όπως προκύπτει από δείγματα του εργαστηρίου μας επεξεργασμένα από το λογισμικό qBSanalyze της gtec. Η λοξότητα και η κύρτωση παρουσιάζουν την απόκλιση από την κανονική κατανομή. Η εντροπία παρουσιάζει την ποσότητα της πληροφορίας των εγκεφαλικών διαδικασιών που μπορούν να παρατηρηθούν από το σήμα EEG.

## 5.7 Ανάλυση του ΗΕΓ σήματος

### 5.7.1 Ανάλυση από εξειδικευμένο κλινικό ιατρό

Πριν αναφερθούμε στις μεθόδους ανάλυσης με χρήση μαθηματικών εργαλείων, πρέπει να σημειώσουμε ότι η εμπειρική ανάλυση από κλινικό ιατρό χρησιμοποιείται ευρέως σε κλινικές εφαρμογές ρουτίνας. Σε αυτήν την περίπτωση η ανάλυση του ΗΕΓ σήματος πραγματοποιείται οπτικά από εξειδικευμένο προσωπικό. Το ΗΕΓ

συνήθως είναι αποτυπωμένο σε ειδικό διαβαθμισμένο ως προς το χρόνο και το πλάτος χαρτί, ώστε να είναι δυνατή η παρατήρηση με ακρίβεια του πλάτους και της ρυθμικότητας. Αν και αυτή η μέθοδος είναι χρονοβόρα, ευαίσθητη σε λάθη παρατήρησης, στερείται ακρίβειας και εξαρτάται από την εμπειρία και την εκπαίδευση του ιατρού, μπορεί να είναι αποτελεσματικότερη από υπολογιστικές μεθόδους στην αναγνώριση των παρασίτων ή των ανωμαλιών του κλινικού ΗΕΓ.

Ωστόσο, οι πληροφορίες που «κρύβονται» στις κυματομορφές του ΗΕΓ σήματος είναι τόσο πολλές που είναι αδύνατο να εκτιμηθούν με τη μέθοδο της οπτικής παρατήρησης. Οι μέθοδοι υπολογιστικής ανάλυσης που αναφέρονται στις επόμενες ενότητες ή αλλιώς η «ποσοτικοποίηση» του ΗΕΓ είναι σήμερα κανόνας στα ερευνητικά εργαστήρια που μελετάται η ηλεκτρική δραστηριότητα του εγκεφάλου, αλλά και ισχυρό εργαλείο στην κλινική διάγνωση.

### 5.7.2 Υπολογιστικές μέθοδοι ανάλυσης

Το σήμα ΗΕΓ είναι ένα σύνθετο σήμα το οποίο μεταβάλλεται στο χρόνο και το χώρο και του οποίου οι στατιστικές ιδιότητες εξαρτώνται από την κατάσταση του υποκειμένου αλλά και από παράγοντες του εξωτερικού περιβάλλοντος.

Η μεταβολή στο χώρο καθορίζεται από τον αριθμό των τοποθετούμενων στο κρανίο ηλεκτροδίων και την επιλογή του συνδυασμού των ηλεκτροδίων (montage).

Η μεταβολή στο χρόνο, αν και παρουσιάζει συνεχόμενη εξέλιξη, υποδιαιρείται συνήθως για λόγους ανάλυσης σε μικρότερα χρονικά διαστήματα που ονομάζονται αποσπάσματα ΗΕΓ (epochs) και των οποίων το μέγεθος καθορίζεται κυρίως εμπειρικά και γενικά εξαρτάται από τις απαιτήσεις και τα χαρακτηριστικά του πειράματος. Συγκεκριμένα, το μέγεθός του αποσπάσματος ΗΕΓ (epoch) εξαρτάται από την επιθυμητή περιοχή συχνοτήτων την οποία θέλουμε να ελέγξουμε (πολύ μικρά αποσπάσματα δεν μπορούν να αναδείξουν χαμηλές συχνότητες) και την ποσότητα ή συχνότητα των παράσιτων στο αρχικό σήμα (τα μεγάλα αποσπάσματα είναι πιθανότερο να εμφανίζουν παράσιτα). Ένας επιπλέον περιοριστικός παράγοντας είναι το είδος της ανάλυσης. Επειδή τα βιολογικά σήματα γενικά είναι μη στάσιμα κύματα (οι στατιστικές τους ιδιότητες δε διατηρούνται σταθερές), για να μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε γραμμικές μεθόδους ανάλυσης, κάνουμε την παραδοχή ότι για μικρά χρονικά διαστήματα συμπεριφέρονται ως στάσιμα. Ένα συχνά χρησιμοποιούμενο μέγεθος αποσπάσματος ΗΕΓ είναι 2 sec ή γενικότερα μικρότερο από 10 sec. Υπάρχουν ωστόσο ερευνητές που προτείνουν αρκετά μεγαλύτερα μεγέθη σε συνδυασμό πάντα και από τον ερευνητικό στόχο, ιδιαίτερα όταν το ΗΕΓ προορίζεται για κλινική χρήση (π.χ. Maltez et al. 2004, Salinsky et al. 1991).

Το σήμα ΗΕΓ για μεγάλα χρονικά διαστήματα θεωρείται από μαθηματική άποψη ως τυχαία ή στοχαστική διαδικασία. Στη σύγχρονη μαθηματική θεώρηση έχει προταθεί ότι το ΗΕΓ περιγράφεται από μη γραμμικές διαφορικές εξισώσεις και γίνεται προσπάθεια να εφαρμοστούν οι μέθοδοι της θεωρίας του χάους. Το σήμα ΗΕΓ θεωρείται πολυδιάστατο τόσο που σε πολλές περιπτώσεις είναι πρακτικά αδύνατο να

διακρίνουμε αν παράγεται από στοχαστικές ή μη γραμμικές ντετερμινιστικές διαδικασίες πολλών διαστάσεων.

Οι μέθοδοι ανάλυσης του σήματος ΗΕΓ χωρίζονται επιγραμματικά σε τρεις γενικές κατηγορίες. Οι γενικές κατηγορίες αναφέρονται στη συνέχεια, ενώ οι μέθοδοι ανάλυσης περιγράφονται αναλυτικότερα στις επόμενες ενότητες.

- Ανάλυση στο πεδίο του χρόνου.

Στην ανάλυση αυτή εμφανίζεται το ύψος ή πλάτος του σήματος (συνήθως σε  $\mu\text{V}$ ) ως συνάρτηση του χρόνου (συνήθως σε msec). Στα προκλητά δυναμικά ενδιαφέρει και ο λανθάνοντας χρόνος, δηλαδή η χρονική καθυστέρηση της εμφάνισης του δυναμικού σε σχέση με το ερέθισμα.

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει όλες τις μεθόδους ανάλυσης που επεξεργάζονται τα πλάτη και τα χρονικά διαστήματα ανάμεσα σε ΗΕΓ συμβάντα. Μια κοινή μέθοδος αναπαράστασης είναι οι στιγμιαίοι χάρτες πλάτους.

- Ανάλυση στο πεδίο των συχνοτήτων ή φασματική ανάλυση.

Η φασματική ανάλυση συνίσταται στην ανάδειξη των κυρίαρχων συχνοτήτων που υπάρχουν σε ένα κύμα. Έτσι το σήμα ΗΕΓ από συνάρτηση ως προς το χρόνο μετατρέπεται σε συνάρτηση ως προς τη συχνότητα.

Στο ΗΕΓ χρησιμοποιείται φασματική ανάλυση πλάτους (σε  $\mu\text{V}/\text{Hz}$ ) ή συνηθέστερα φασματική ανάλυση ισχύος (σε  $\mu\text{V}^2/\text{Hz}$ ). Η φασματική ανάλυση ισχύος είναι μια συνάρτηση των συχνοτήτων και δίνει την κατανομή του τετραγώνου του πλάτους των διαφορετικών συχνοτήτων που υπάρχουν στο αρχικό ΗΕΓ σήμα. Η φασματική ανάλυση πλάτους δίνει την τετραγωνική ρίζα της ισχύος των συχνοτήτων. Όπως είναι επόμενο, στη φασματική ανάλυση ισχύος υπερεκτιμώνται και αναδεικνύονται καλύτερα οι επικρατούσες συχνότητες σε σχέση με τη φασματική ανάλυση πλάτους, αφού οι τιμές της πρώτης αποτελούν το τετράγωνο των τιμών της δεύτερης. Η εύρεση των συχνοτήτων που απαρτίζουν το ΗΕΓ σήμα γίνεται συνήθως με το διακριτό μετασχηματισμό Fourier (Coley & Turkey 1965), του οποίου ο υπολογισμός γίνεται με τον αλγόριθμο του γρήγορου μετασχηματισμού Fourier (Fast Fourier Transform ή FFT).

- Ανάλυση στο χώρο.

Σε αυτή τη μορφή ανάλυσης ενδιαφέρει πρώτιστα η τοπολογική αποτύπωση του μετρούμενου μεγέθους (πλάτος, συχνότητα, συνάφεια, κ.λπ.) στον τρισδιάστατο χώρο που αναπαριστά τον ανθρώπινο εγκέφαλο. Όταν τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε κάποιο εποπτικό μέσο, ονομάζεται και χαρτογράφηση του ΗΕΓ.

Μια απόπειρα ταξινόμηση των μεθόδων ανάλυσης του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος συνοψίζεται στον πίνακα 5-1.

Πίνακας 5-1. Γενική ταξινόμηση μεθόδων ανάλυσης σήματος ΗΕΓ
<p>Μη παραμετρικές μέθοδοι</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Κατανομή πλάτους</li> <li>- Ανάλυση περιόδου</li> <li>- Συνδυασμός ανάλυσης μεσοδιαστήματος και πλάτους</li> <li>- Ανάλυση συσχέτισης</li> <li>- Ανάλυση φάσματος ισχύος</li> <li>- Ανάλυση συνάφειας και φάσης</li> <li>- Δισδιάστατο φάσμα ισχύος</li> </ul>
<p>Παραμετρικές μέθοδοι</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Αυτοπαλινδρόμηση και μοντέλα ARMA</li> <li>- Αντίστροφο αυτοπαλινδρούμενο φίλτρο</li> <li>- Χρονικά μεταβαλλόμενα σήματα, φίλτρο Kalman</li> <li>- Τμηματική ανάλυση</li> </ul>
Μιμητική ανάλυση
Φιλτράρισμα ταιριάσματος
Χρονοσυχνοτική (time - frequency) ανάλυση
<p>Ανάλυση στο χώρο</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Μέθοδοι απεικόνισης και εποπτικής προβολής</li> <li>- Ανάλυση των σημάτων ως συνάρτηση του τρισδιάστατου χώρου</li> <li>- Εντοπισμό των ΗΕΓ φαινομένων στο εσωτερικό του κρανίου</li> </ul>

Στον πίνακα 5-1 υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες, οι παραμετρικές και οι μη παραμετρικές μέθοδοι.

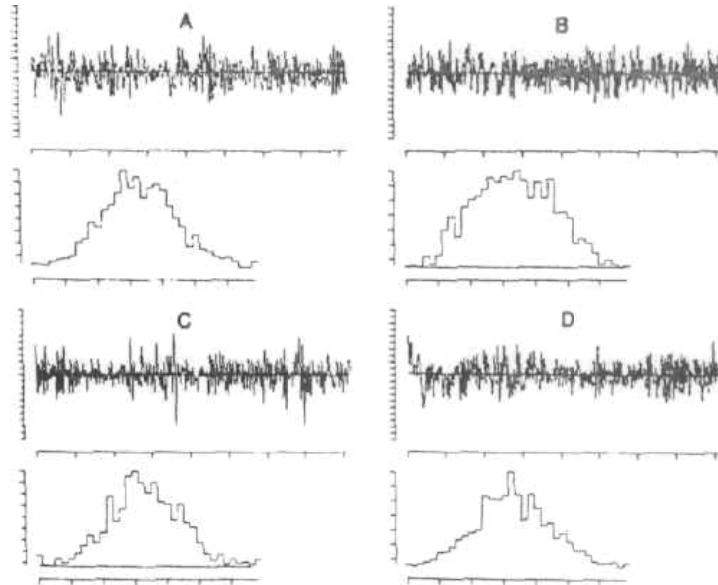
Η πρώτη κατηγορία, των μη παραμετρικών μεθόδων, αντιμετωπίζει το ΗΕΓ ως τυχαίο σήμα (τυχαία ή στοχαστική διαδικασία) και χρησιμοποιεί την κατανομή πιθανότητας, τη συνάρτηση αυτοσυσχέτισης και το φάσμα ισχύος για την εξαγωγή συμπερασμάτων σε επιμέρους αποσπάσματα του συνεχούς ΗΕΓ που θεωρούνται μερικώς στάσιμα. Η δεύτερη κατηγορία των παραμετρικών μεθόδων υποθέτει πως το ΗΕΓ σήμα παράγεται σύμφωνα με ένα συγκεκριμένο μοντέλο. Οι υπόλοιπες μέθοδοι αποτελούν στην πλειοψηφία τους ανάμιξη των προηγούμενων παραμετρικών και μη παραμετρικών μεθόδων.

### 5.7.3 Κατανομή πλάτους

Η ανάλυση με χρήση της κατανομή του πλάτους (amplitude distribution) φαίνεται στο παράδειγμα που παρουσιάζεται στο σχήμα 5-14. Εικονίζονται τέσσερα



αποσπάσματα ΗΕΓ με τις αντίστοιχες κατανομές πλάτους. Το κύριο ερώτημα που προκύπτει είναι το αν αυτές οι κατανομές είναι κανονικές (στο παράδειγμα μοιάζουν να είναι).



Σχήμα 5-14. Παράδειγμα κατανομής πλάτους. Εικονίζονται 4 αποσπάσματα ΗΕΓ με τις αντίστοιχες κατανομές πλάτους. Ο οριζόντιος άξονας είναι σε  $\mu\text{V}$  ενώ ο κατακόρυφος δίνει το πλήθος της κάθε τάξης πλάτους που μετρήθηκε στο αντίστοιχο απόσπασμα.

Έχουν προταθεί διάφοροι συνδυασμοί διάρκειας αποσπάσματος ΗΕΓ (epoch) και συχνότητας δειγματοληψίας, αλλά γενικά δεν είναι δυνατό να ικανοποιηθούν οι δύο αναγκαίες συνθήκες για την εφαρμογή των σχετικών στατιστικών μέτρων (π.χ. Kolmogorov-Smirnov test,  $\chi^2$  test), δηλαδή να είναι τα σήματα στάσιμα και στατιστικώς ανεξάρτητα. Η πρώτη παραδοχή μπορεί να προσεγγισθεί με μικρής διάρκειας αποσπάσματα. Τα ΗΕΓ σήματα όμως γενικά δεν είναι στατιστικώς ανεξάρτητα, κυρίως όταν διενεργούνται νοητικές λειτουργίες και όταν έχουμε παράσιτα ή παροξυσμικές φάσεις.

#### 5.7.4 Ανάλυση περιόδου

Η μέθοδος ανάλυσης περιόδου (ή μεσοδιαστήματος, interval ή period analysis) παρουσιάζει το πλεονέκτημα των εύκολων υπολογισμών γι αυτό και έχει εφαρμογή σε online επεξεργασία μεγάλων σε διάρκεια ΗΕΓ. Έχει όμως το σοβαρό μειονέκτημα ότι υπερεκτιμά τις υψηλές συχνότητες και υποτιμά τις χαμηλές.

#### 5.7.5 Συνδυασμός ανάλυσης μεσοδιαστήματος και πλάτους

Η μέθοδος ανάλυσης συνδυασμού μεσοδιαστήματος και πλάτους (interval – amplitude analysis) είναι μια μέθοδος που αποσυνθέτει το ΗΕΓ σε κυματομορφές κατά χρονικά μεσοδιαστήματα και κατά πλάτος. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται επίσης

ακολουθιακή (sequential) ανάλυση και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συνήθως με ένα διάγραμμα διασπορών (Amplitude-interval scatter plot).

### 5.7.6 Ανάλυση συσχέτισης

Η ανάλυση συσχέτισης (correlation analysis) αποτελεί στην ανάλυση του ΗΕΓ σήματος πρόδρομο της φασματικής ανάλυσης κατά Fourier. Βασικά της μειονεκτήματα είναι η πολυπλοκότητα των υπολογισμών και η δυσκολία να εξάγουμε συμπεράσματα για τα συστατικά του ΗΕΓ σήματος όταν αυτό περιέχει περισσότερες από μία συχνότητες (ρυθμούς). Η μέθοδος αυτή αν και έχει αντικατασταθεί από το φάσμα ισχύος, βρίσκει εφαρμογή και στις σύγχρονες παραμετρικές μεθόδους, σε όσες χρειάζεται η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης.

Στη χαρτογράφηση του ΗΕΓ (ανάλυση στο χώρο) χρησιμοποιείται επίσης η συνάρτηση ετεροσυσχέτισης (cross-correlation συνάρτηση), η οποία παίρνει τιμές από 0 μέχρι 1 και αποδίδει το βαθμό της χρονικής σύμπτωσης ανάμεσα σε δύο ΗΕΓ σήματα από διαφορετικές εγκεφαλικές περιοχές (Τριανταφύλλου 1994).

### 5.7.7 Ανάλυση φάσματος ισχύος

Η μέθοδος ανάλυσης φάσματος ισχύος (power spectra analysis) βασίζεται κυρίως στο θεώρημα Fourier, σύμφωνα με το οποίο κάθε σήμα μπορεί να αναλυθεί σε ένα άθροισμα απλών ημιτονοειδών σημάτων με συγκεκριμένες συχνότητες και πλάτη. Αυτό σημαίνει ότι ένα σήμα μπορεί να απεικονιστεί είτε στο πεδίο του χρόνου (γνωρίζοντας την τιμή του σήματος κάθε χρονική στιγμή), είτε στο πεδίο των συχνοτήτων (γνωρίζοντας το πλάτος του ημιτονοειδούς σήματος κάθε συχνότητας). Τα πλάτη που αντιστοιχούν σε κάθε συχνότητα του σήματος στο πεδίο των συχνοτήτων υπολογίζονται αφού το σήμα υποστεί ένα μετασχηματισμό, που λέγεται Μετασχηματισμός Fourier (Fourier Transform, FT).

Αν συμβολίσουμε το αρχικό σήμα με τη συνάρτηση  $x(t)$ , ο μετασχηματισμός Fourier συμβολίζεται  $X(F)$  και προκύπτει από τη σχέση:

$$X(F) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j2\pi Ft} dt$$

όπου

$t$  είναι ο χρόνος και  $F$  η συχνότητα.

Στην περίπτωση των σημάτων διάκριτου χρόνου χρησιμοποιείται ο Διάκριτος Μετασχηματισμός Fourier (Discrete Fourier Transform, DFT):

$$Fx(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-j\frac{2\pi}{N}kn}$$

όπου

$x(n)$  είναι το αρχικό σήμα στο πεδίο του χρόνου,

$n=0 \dots N-1$  είναι οι χρονικές στιγμές,

$F_x(k)$  είναι το μετασχηματισμένο σήμα στο πεδίο των συχνοτήτων που λέγονται συντελεστές σειράς Fourier και

$k=0 \dots N-1$  είναι οι δείκτες των συχνοτήτων από τις οποίες αποτελείται το  $F_x(k)$ .

Η συνάρτηση φασματικής πυκνότητας ισχύος (power spectral density ή PSD) προκύπτει ως το τετράγωνο του μετασχηματισμού Fourier:

$$P(k) = |F_x(k)|^2$$

Εκείνο που ενδιαφέρει είναι σε ποιες συχνότητες παρουσιάζονται κορυφές (Peak frequency) στο φάσμα ισχύος (συνάρτηση PSD) (Choppin 2000).

Ο μετασχηματισμός Fourier είναι ένα εύκολα υλοποιήσιμο στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές μαθηματικό εργαλείο που δίνει μια καλή εικόνα του σήματος στην περιοχή της συχνότητας, αλλά δε λέει τίποτε για την περιοχή του χρόνου. Στην περίπτωση των στατικών σημάτων (που δεν μεταβάλλουν τη συχνοτική τους συμπεριφορά με το χρόνο) μας ενδιαφέρει απλώς να ξέρουμε ποιες συχνότητες περιέχονται στο σήμα (πώς οικοδομείται το σήμα από τις συχνοτικές του συνιστώσες) και ο μετασχηματισμός Fourier είναι μια καλή μέθοδος για το σκοπό αυτό. Επιπλέον με αντίστροφη διαδικασία μπορούμε από την περιοχή της συχνότητας να επιστρέψουμε στην περιοχή του χρόνου και να αναπαράγουμε το αρχικό σήμα.

Υπάρχουν όμως σήματα τα οποία χαρακτηρίζονται ως μη στατικά, όπου οι διάφορες συχνότητες δεν εμφανίζονται στο σήμα ταυτόχρονα αλλά με κάποια χρονική ακολουθία και επομένως μας ενδιαφέρει να έχουμε μια ταυτόχρονη εικόνα χρόνου και συχνότητας. Μια λύση προσφέρει ο Βραχύς Μετασχηματισμός Fourier (Short Fourier Transform). Στην περίπτωση αυτή, το σήμα χωρίζεται σε διαδοχικά τμήματα στα οποία οι συχνότητες του σήματος θεωρούνται αμετάβλητες και το κάθε τμήμα μετασχηματίζεται κατά Fourier. Το αποτέλεσμα μετράται σε  $\mu V^2/Hz$ . Ο τεμαχισμός του σήματος γίνεται με τη μέθοδο των παραθύρων. Τα παράθυρα που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι:

*Ορθογωνικό ή ομοιόμορφο παράθυρο, με συνάρτηση*

$$w(t) = \begin{cases} 1 & -t_1 \leq t \leq t_1 \\ 0 & \text{αλλου} \end{cases}$$

Παράθυρο *Hamming* και *Hanning*, με συναρτήσεις

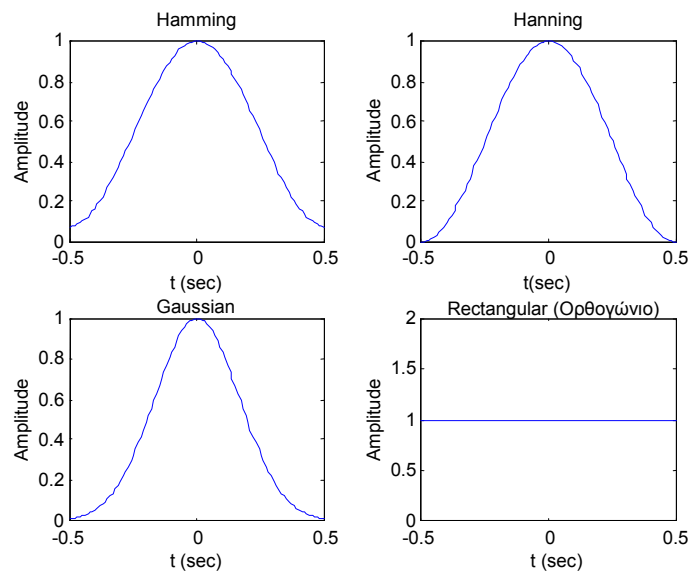
$$w(t) = \left\{ a + (1-a) \cos(2\pi t/t_1) \right\}, -t_1 \leq t \leq t_1$$

Για  $\alpha=0.54$  έχουμε το παράθυρο *Hamming*, ενώ για  $\alpha=0.50$  έχουμε το παράθυρο *Hanning*.

Γκαουσιανό παράθυρο, με συνάρτηση

$$w(t) = Ae^{-at^2} (A, a > 0)$$

Στο σχήμα 5-15 παρουσιάζεται η γραφική παράσταση των τεσσάρων τύπων συναρτήσεων παραθύρου.



Σχήμα 5-15. Παράθυρα *Hamming*, *Hanning*, Γκαουσιανό και Ορθογώνιο για  $t=1\text{sec}$  και μοναδιαίο πλάτος.

Όταν το αρχικό σήμα είναι διακριτό (όπως σε όλα τα σύγχρονα ψηφιακά συστήματα ΗΕΓ), τότε χρησιμοποιείται ο διακριτός μετασχηματισμός Fourier και ο αντίστοιχος βραχύς μετασχηματισμός Fourier (STFT) με την ψηφιακή μορφή των παραπάνω συναρτήσεων παραθύρου. Ο βραχύς μετασχηματισμός Fourier (STFT) διακριτού σήματος υπολογίζεται με βάση την έκφραση

$$X[n, k] = \sum_{m=0}^{L-1} x[n+m]w[m]e^{-j\frac{2\pi}{N}mk}$$

όπου

$n=0 \dots N-1$  είναι οι χρονικές στιγμές,

$x[n]$ ,  $w[n]$  είναι η ακολουθίες του σήματος και του παραθύρου αντίστοιχα,

$k$  είναι οι δείκτες των συχνοτήτων,

$L$  είναι το μήκος του παραθύρου.

Ένα μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι το γεγονός ότι η παραθυροποίηση ενός σήματος είναι μια διαδικασία πολλαπλασιασμού του σήματος στην περιοχή του χρόνου με τη συνάρτηση του παραθύρου και επομένως στο πεδίο της συχνότητας (στο φάσμα του παραθυροποιημένου σήματος) θα εμφανίζονται και οι συχνότητες του παραθύρου. Άλλο σημαντικό μειονέκτημα του STFT είναι ότι χρησιμοποιεί σταθερό μήκος παραθύρου στο οποίο θεωρεί ότι το σήμα παρουσιάζει σταθερή συχνοτική συμπεριφορά και κατά συνέπεια έχει την ίδια αναλυτικότητα παντού. Αυτά τα μειονεκτήματα προσπαθούν να αντιμετωπίσουν οι μέθοδοι που αναφέρονται στη συνέχεια. Παρά τα μειονεκτήματά του όμως ο μετασχηματισμός Fourier στο αναλογικό ΗΕΓ, ο γρήγορος διακριτός μετασχηματισμός Fourier (Fast discrete Fourier Transform ή FFT) στο ψηφιακό ΗΕΓ και ο βραχύς μετασχηματισμός Fourier με τη χρήση των παραθύρων αποτελούν σήμερα τις βασικές μεθόδους περιγραφής του φάσματος συχνοτήτων του ηλεκτροεγκεφαλικού σήματος.

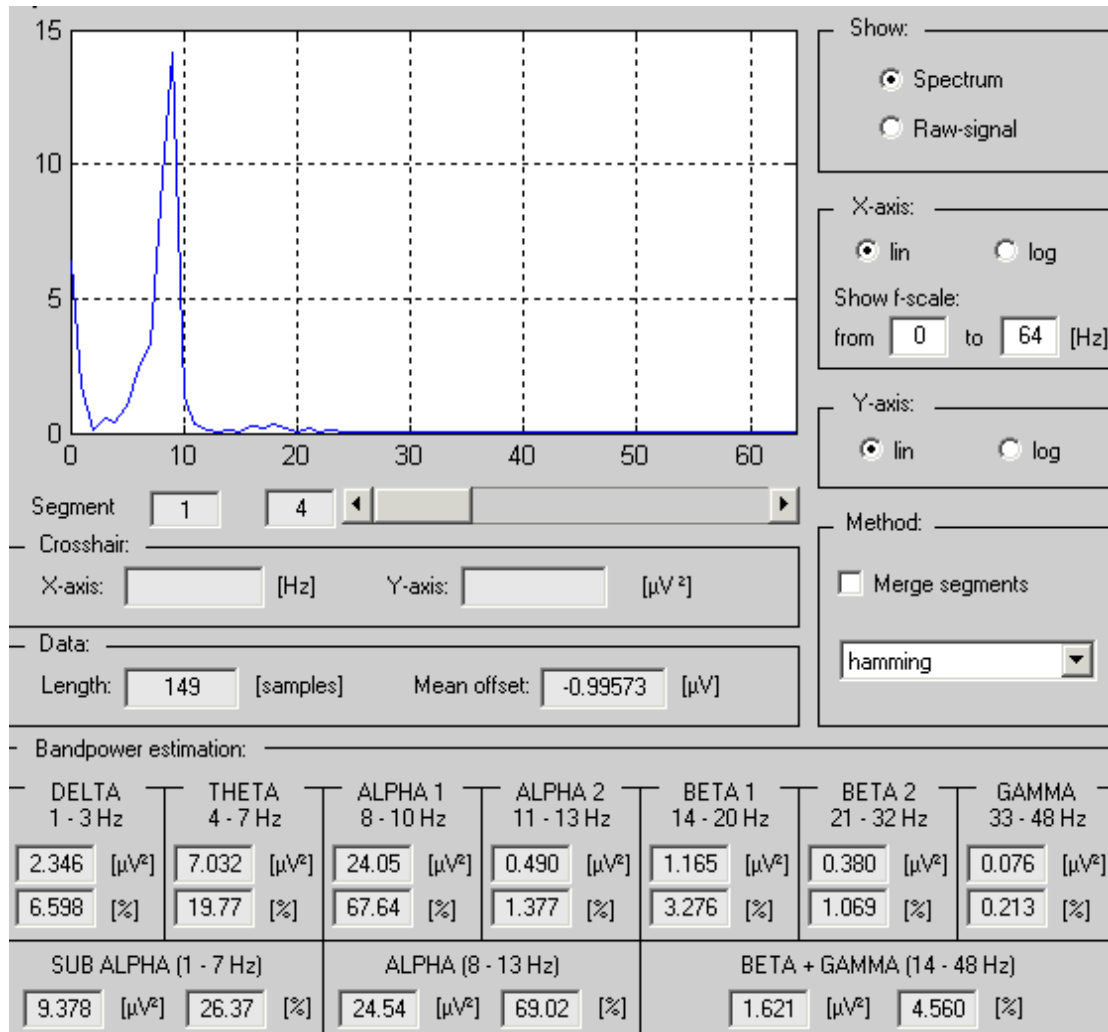
Το μέγεθος του αποσπάσματος ΗΕΓ (epoch) που θα αναλυθεί επιλέγεται με βάση δύο παραμέτρους. Πρέπει να είναι αρκετά μικρό ώστε να ισχύει η υπόθεση για τη στασιμότητα του σήματος και αρκετά μεγάλο για να έχουμε το επιθυμητό επίπεδο ανάλυσης (τη διαφορά από τη μια στάθμη συχνοτήτων στην επόμενη). Σύμφωνα με το δεύτερο περιορισμό, το μέγιστο βήμα  $\Delta f$  υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\Delta f = 1 / T, \text{ όπου } T \text{ είναι το μέγεθος του αποσπάσματος ΗΕΓ σε sec.}$$

Από στατιστικής άποψης η εκτίμηση ενός σημείου συχνότητας σε ένα απόσπασμα ΗΕΓ (EEG epoch) έχει κατανομή  $\chi^2$  με 2 βαθμούς ελευθερίας. Οι βαθμοί ελευθερίας πρέπει να αυξηθούν και η διασπορά της εκτίμησης να μειωθεί. Αυτό πραγματοποιείται συνήθως με μεσοποίηση πολλών αποσπασμάτων ή με τεχνικές παράθυρου συχνότητας και ομαλοποίηση των επιμέρους συχνοτήτων. Έχουν προταθεί τουλάχιστον 60 βαθμοί ελευθερίας (Vos 1975), δηλαδή απαιτούνται τουλάχιστον 30 ΗΕΓ αποσπάσματα.

Στο σχήμα 5-16 παρουσιάζεται ένα διάγραμμα του φάσματος ισχύος στην περιοχή συχνοτήτων 0 - 65 Hz. Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε είναι ο FFT διακριτού σήματος με παράθυρο hamming. Στο κάτω τμήμα της εικόνας εμφανίζεται η ποσοστιαία κατανομή της ισχύος στους ρυθμούς δέλτα, θήτα, «άλφα1», «άλφα2», «βήτα1», «βήτα2», γάμα, καθώς και στις ευρύτερες περιοχές «υπό-άλφα», άλφα και «βήτα + γάμα». Διακρίνεται καθαρά μια κορυφή στα 9Hz περίπου, που αντιστοιχεί σε εμφάνιση άλφα ρυθμού στο συγκεκριμένο ΗΕΓ απόσπασμα.

Η γραφική αναπαράσταση της φασματικής ανάλυσης έχει ιδιαίτερη σημασία γιατί διαφοροποιείται από τις απαιτήσεις της συγκεκριμένης ερευνητικής προσέγγισης. Συνήθως χρησιμοποιείται το διάγραμμα φάσματος ισχύος, στο οποίο ο κατακόρυφος άξονας μετράται σε  $\mu V^2$ . Μια εναλλακτική προσέγγιση είναι με χρήση λογαριθμικής κλίμακας. Σε άλλη τεχνική χρησιμοποιείται η τετραγωνική ρίζα της πυκνότητας του φάσματος, οπότε έχουμε κατακόρυφο άξονα σε  $\mu V$  (φάσμα πλάτους). Ο οριζόντιος άξονας είναι σε Hz σε γραμμική κλίμακα ή σε λογαριθμική κλίμακα, αν θέλουμε να δώσουμε έμφαση στις χαμηλές συχνότητες.



Σχήμα 5-16. Παράδειγμα διαγράμματος ανάλυσης φάσματος ισχύος του ΗΕΓ από το λογισμικό gBSanalyze της gtec.

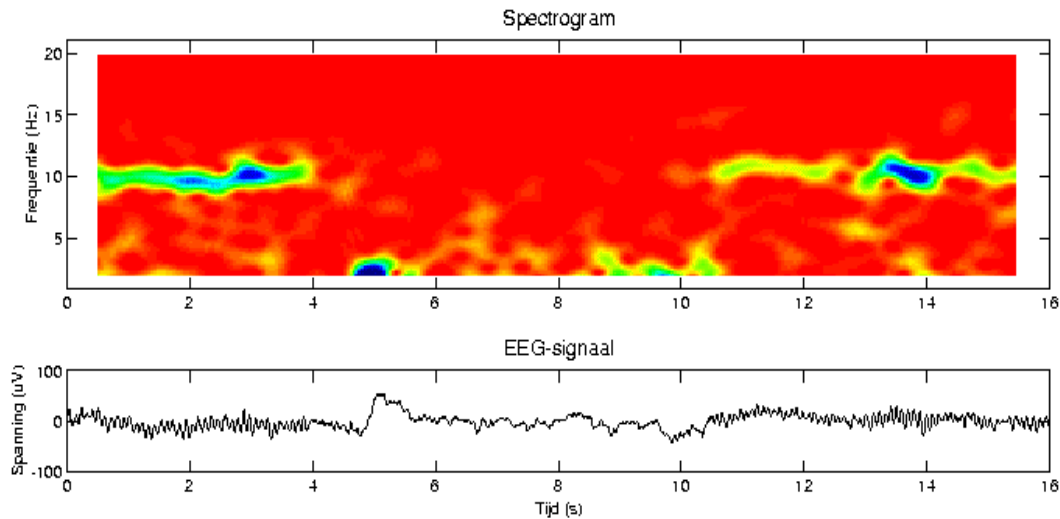
Η ισχύς διακρίνεται επίσης σε απόλυση και σχετική. Η απόλυτη ισχύς του ΗΕΓ θεωρείται ότι αντανακλά όχι μόνο τα πλάτη των νευρικών σημάτων αλλά και πλήθος άλλων παραμέτρων όπως η μορφολογία και η ηλεκτρική αγωγιμότητα του κρανίου. Με τη σχετική ισχύ γίνεται προσπάθεια να αποσβεστούν οι μη εγκεφαλικές επιδράσεις, χρησιμοποιώντας ως μέτρηση ισχύος το πηλίκο ισχύος σε κάποια ζώνη συχνοτήτων δια της συνολικής ισχύος (Abarbanel 1999).

### 5.7.8 Χρονοσυχνοτική ανάλυση (ανάλυση χρόνου – συχνότητας)

Η χρονοσυχνοτική ανάλυση ή ανάλυση χρόνου και συχνότητας (time-frequency analysis) είναι μια τεχνική ανάλυσης σήματος που δημιουργεί εποπτική απεικόνιση της κατανομής των συχνοτήτων που περιέχονται στο σήμα καθώς αυτό εξελίσσεται χρονικά. Μια ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος είναι το φασματογράφημα (spectrogram), το οποίο εμφανίζει το φάσμα ισχύος σε ένα παράθυρο το οποίο μετακινείται στο χρόνο (MEDISIP 2003). Άλλη μέθοδος γραφικής απεικόνισης είναι

με χρήση του συμπιεσμένου πίνακα του φάσματος (Bickford 1973). Στο σχήμα 5-17 φαίνεται ένα τέτοιο διάγραμμα (επάνω διάγραμμα).

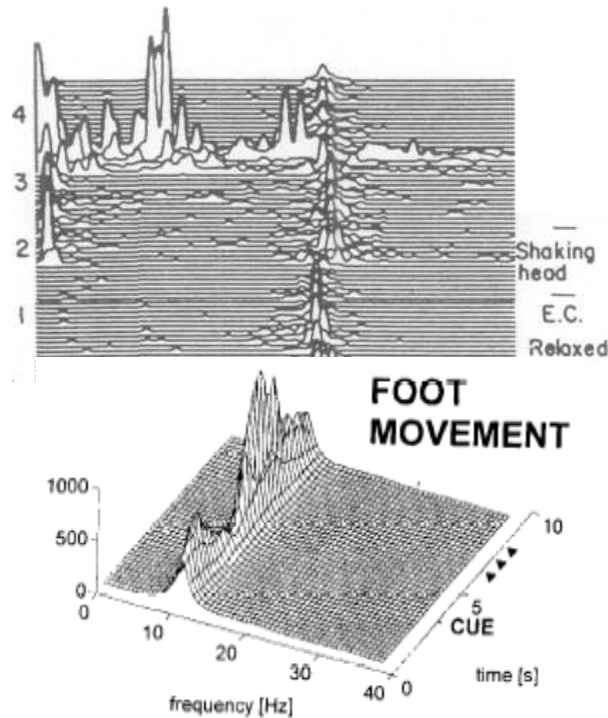
Με αυτή την ανάλυση προσπαθούμε να ξεπεράσουμε το βασικό εμπόδιο στην ανάλυση όλων γενικά των βιοηλεκτρικών σημάτων που είναι η παραδοχή της στασιμότητας αυτών των σημάτων μόνο σε μικρά αποσπάσματα τους. Η μέθοδος ανάλυσης χρόνου και συχνότητας προσπαθεί να συνδυάσει τις χωριστές μεθόδους ανάλυσης χρόνου και συχνότητας με ένα βέλτιστο τρόπο.



Σχήμα 5-17. Στο πάνω φασματογράφημα διακρίνεται καθαρά ο άλφα ρυθμός (10Hz), οποίος σταματά από το 4<sup>ο</sup> μέχρι 10<sup>ο</sup> δευτερόλεπτο. Στο κάτω γράφημα παριστάνεται το πρωτογενές ΗΕΓ ως χρονοσειρά του πλάτους (σε μV).

Συνήθως αυτές οι μέθοδοι χρησιμοποιούν την ανάλυση κυματοπακέτων (wavelet analysis). Ένα κυματοπακέτο έχει τυπικά την κυματομορφή μιας απλής ταλάντωσης. Το βασικό σημείο είναι να αναλυθεί το σήμα ΗΕΓ σε ένα πεπερασμένο σύνολο κυματοπακέτων. Τα κυματοπακέτα παράγονται από μια συνάρτηση βάσης, η οποία επιλέγεται από μια ευρεία συλλογή τέτοιων συναρτήσεων, ώστε να αποφεύγεται ο περιορισμός της θεώρησης του ΗΕΓ σήματος ως στάσιμου. Για να επιτευχθεί ανάλυση χρόνου και συχνότητας χρησιμοποιείται ένα παράθυρο (κατάλληλη συνάρτηση) στο πεδίο του χρόνου και άλλο παράθυρο για το πεδίο των συχνοτήτων.

Η εμφάνιση του φάσματος ισχύος καθώς η καταγραφή ΗΕΓ εξελίσσεται στο χρόνο είναι ιδιαίτερα σημαντική για εκείνες τις μελέτες που ασχολούνται με απόκριση του υποκειμένου σε ερεθίσματα και ενδιαφέρει η αλλαγή του φάσματος στο χρονικό διάστημα πριν, κατά τη διάρκεια του ερεθίσματος και μετά το ερέθισμα. Παράδειγμα τέτοιας αναπαράστασης είναι τα διαγράμματα στο σχήμα 5-18 που χρησιμοποιούν τρισδιάστατο γράφημα (το κάτω διάγραμμα είναι πιο ξεκάθαρο) με άξονες τις συχνότητες σε Hz, το χρόνο σε msec και τη φασματική ισχύ σε  $\mu V^2$ .



Σχήμα 5-18. Και στα δύο διαγράμματα εικονίζεται το φάσμα ισχύος στη χρονική του εξέλιξη. Στο πάνω διάγραμμα φαίνεται καθαρά η άλφα δραστηριότητα στα 10 Hz στα τέσσερα λεπτά που διαρκεί η μέτρηση (Lopes da Silva 1993). Στο κάτω διάγραμμα φαίνεται επίσης άλφα κατά την προετοιμασία και εκτέλεση δραστηριότητας (κίνηση των ποδιών) (Pfurtscheller et al. 1996a).

Η στατιστική αξιολόγηση κατά τη φασματική ανάλυση εστιάζεται:

- στον υπολογισμό των κύριων συχνοτήτων που υπάρχουν στο σήμα HEG
- στη χρονική τους εξέλιξη
- στη σύγκριση των φασμάτων ισχύος δύο διαφορετικών αποσπασμάτων HEG από το ίδιο ή διαφορετικό ηλεκτρόδιο. Αν και το φάσμα ισχύος είναι ήδη μια εκτίμηση της φασματικής ανάλυσης του HEG αποσπάσματος και επομένως έχει μια διακύμανση, υπάρχουν διάφορες μέθοδοι που υλοποιούν τη σύγκριση δυο φασμάτων μαθηματικά (Dumermuth et al. 1975, Gasser 1977, Gasser 1979).

### 5.7.9 Ανάλυση συνοχής και φάσης

Η ανάλυση συνοχής και φάσης (cross-spectral analysis) είναι μια σημαντική μέθοδος στη φασματική ανάλυση του HEG, γιατί επιτρέπει τη σύγκριση διαφορετικών HEG σημάτων.

Μαθηματικά η συνάρτηση συνοχής  $w_{12}(\omega)$  ή  $Coh_{12}(\omega)$  δύο σημάτων  $X_1(t)$  και  $X_2(t)$  υπολογίζεται από την έκφραση:



$$w_{12}(\omega) = \frac{|h_{12}(\omega)|}{\{h_{11}(\omega)h_{22}(\omega)\}^{1/2}}$$

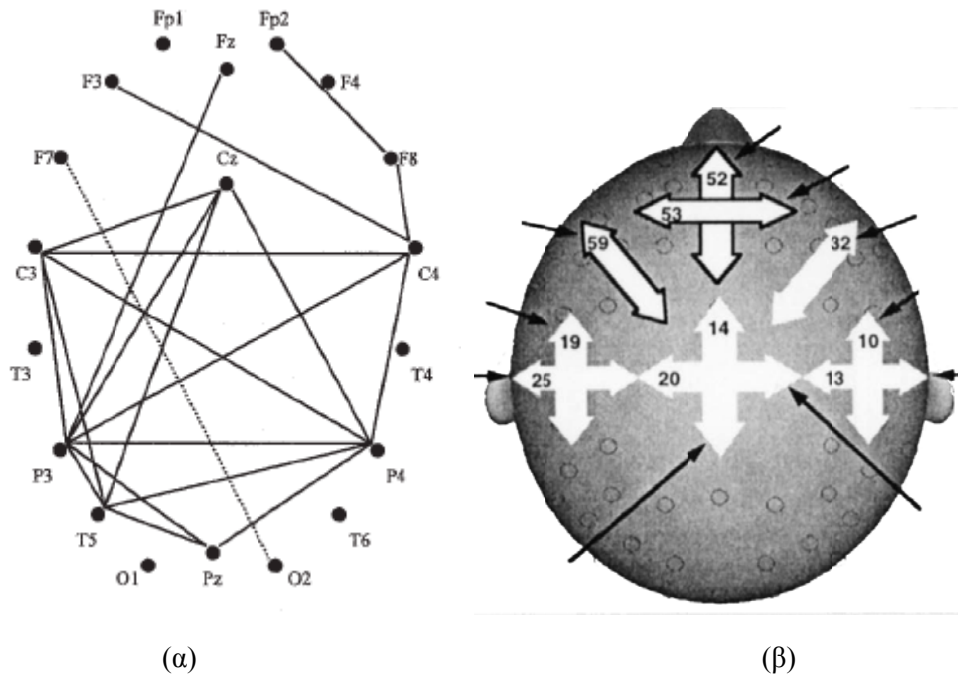
όπου

$h_{12}(\omega)$  είναι ο μετασχηματισμός Fourier της συνάρτησης συνδιακύμανσης  $R_{12}(\tau)$  των σημάτων  $X_1(t)$  και  $X_2(t)$

και  $h_{11}(\omega)$  και  $h_{22}(\omega)$  τα αντίστοιχα φάσματα πυκνότητας ισχύος των σημάτων  $X_1(t)$  και  $X_2(t)$ .

$$h_{12}(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i\omega\tau} R_{12}(\tau) d\tau$$

Η συνάρτηση συνοχής (coherence) αποδίδει το μέτρο της σύμπτωσης σε συχνότητα ανάμεσα σε δύο σήματα ΗΕΓ από διαφορετικά καταγραφικά ηλεκτρόδια. Οι τιμές της κυμαίνονται από 0 (άσχετα μεταξύ τους σήματα) μέχρι 1 (ταυτόσημες κυματομορφές) (Τριανταφύλλου 1994). Στην πράξη η συνοχή αποτελεί το ένα από τα δύο μέτρα (το άλλο είναι η διαφορά φάσης των κυματομορφών) του συγχρονισμού ανάμεσα στα δύο σήματα.



Σχήμα 5-19. Δυο διαφορετικές μορφές χαρτών συνοχής. Στο (α) διάγραμμα (Gerlic & Jaušovec 2001) τα διαφορετικού τύπου ευθύγραμμα τμήματα μεταξύ των ηλεκτροδίων αντιστοιχούν σε διαφορετικές συσχετίσεις, ενώ στο (β) το ρόλο αυτό αναλαμβάνουν τα λευκά (ή έγχρωμα) βέλη με τα διάφορα περιγράμματα (Nunez et al. 1999).

Άλλη παρόμοια τεχνική είναι η συνοχή μεταξύ ημισφαιρίων (interhemispheric coherence), που βασίζεται στον υπολογισμό της συνοχής μεταξύ ομόλογων

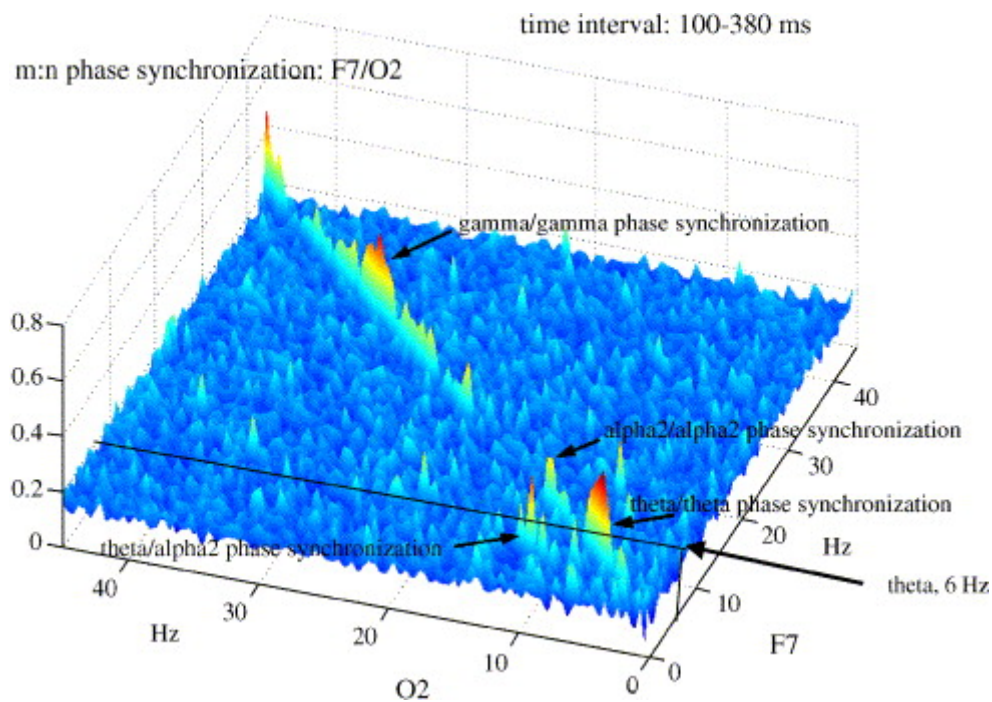
(συμμετρικών) θέσεων ανάμεσα στα δύο εγκεφαλικά ημισφαίρια (Τριανταφύλλου 1994).

Με την ανάλυση συνοχής (coherence analysis):

- Είναι πιθανό να διαφοροποιήσουμε συχνότητες που βρίσκονται κοντά η μία στην άλλη (όπως άλφα και «μ» συχνότητα) με καλύτερο τρόπο από το φάσμα ισχύος.

- Είναι δυνατό να εντοπίσουμε συγχρονισμό συχνοτήτων από συμμετρικές στα δύο ημισφαίρια ή γενικότερα διαφορετικές εγκεφαλικές περιοχές και να έχουμε με αυτό τον τρόπο τοπολογικές συσχετίσεις των εγκεφαλικών ρυθμών.

Μια ενδιαφέρουσα εφαρμογή της ανάλυσης συνοχής είναι οι τοπογραφικοί χάρτες συνοχής, όπως αυτοί που παρουσιάζονται στο σχήμα 5-19. Αν χρησιμοποιούνται 19 ηλεκτρόδια όπως στο σχήμα 5-19 (α), απαιτούνται 171 έλεγχοι συνοχής για όλα τα πιθανά ζεύγη. Στους χάρτες αυτούς εμφανίζονται συνήθως με διαφορετικού τύπου συνδετικές γραμμές οι συσχετίσεις με τουλάχιστο 5% στα t-test (Tremblay et al. 1994).



Σχήμα 5-20. Παράδειγμα συγχρονισμού φάσης ανάμεσα στα ηλεκτρόδια O2 και F7. Στατιστικά σημαντική σχέση φαίνεται μόνο στις περιοχές θήτα, άνω άλφα και γάμα (Schack et al. 2005).

Αντίστοιχη με τη συνοχή είναι η συνάρτηση φάσης που δείχνει τη χρονική συσχέτιση ανάμεσα σε δύο σήματα ΗΕΓ. Παράδειγμα γραφικής απεικόνισης της μεθόδου φαίνεται στο σχήμα 5-20. Ως φάση αναφέρεται εδώ η μαθηματική έννοια που εκφράζει το ποσοστό της περιόδου ενός ημιτονοειδούς συστατικού ενός σήματος, όπως προκύπτει από την ανάλυση Fourier. Χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση φάσης προκύπτουν διαφορές φάσης μεταξύ δύο σημάτων ΗΕΓ. Όταν, για παράδειγμα,

κάποιες συχνότητες δύο συμμετρικών σημάτων έχουν αντίστροφη πολικότητα (αντίθεση φάσης), η συνάρτηση φάσης έχει τιμή  $180^\circ$ . Αν υποθέσουμε ότι αυτές οι συχνότητες μεταδίδονται από τη μια περιοχή στην άλλη, μπορούμε να υπολογίσουμε τη χρονική καθυστέρηση της μετάδοσης.

Για να υπολογιστεί, όμως, με ακρίβεια αυτή η καθυστέρηση πρέπει να υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ φάσης και συχνότητας. Επιπλέον, στην πράξη η ερμηνεία της διαφοράς φάσης θέλει μεγάλη προσοχή, γιατί οι μετρήσιμες στην επιφάνεια του κρανίου (δηλαδή από απόσταση) διαφορές δυναμικού αναπαριστούν με έναν εξαιρετικά πολύπλοκο τρόπο τις εσωτερικές βιοφυσιολογικές δραστηριότητες του εγκεφαλικού φλοιού.

Η μέθοδος αυτή είναι πιο αξιόπιστη στη μελέτη κρίσεων ή παραληρημάτων, αλλά έχει χρησιμοποιηθεί με μερικές παραλλαγές (χρησιμοποιώντας και τις διαφορές με τρίτο ΗΕΓ σήμα) και σε μη παραληρηματικές περιπτώσεις κυρίως στις χαμηλές συχνότητες.

#### 5.7.10 Παραμετρικές μέθοδοι ανάλυσης

Οι παραμετρικές μέθοδοι αναπτύχθηκαν για να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα και οι περιορισμοί της κλασικής φασματικής ανάλυσης, όπως η μη στασιμότητα, η δυσκολία της σωστής διάκρισης δυο σημάτων με πολύ κοντινές συχνότητες και άλλες (Timperi 2002).

Στις μεθόδους αυτές τα σήματα ΗΕΓ περιγράφονται με ένα μαθηματικό μοντέλο, το οποίο χαρακτηρίζεται από ένα σύνολο παραμέτρων. Το πρόβλημα είναι ότι οι συντελεστές που εμφανίζονται στις εξισώσεις του μοντέλου πρέπει να εκτιμηθούν αλλά και να υπολογιστεί ο ελάχιστος απαιτούμενος αριθμός τους ώστε να είναι υλοποιήσιμο το μοντέλο στην πράξη.

Με τέτοιες μεθόδους είναι δυνατό όχι μόνο να υπολογιστούν οι συχνότητες του φάσματος, αλλά και να ανιχνευθούν παροδικά μη στάσιμα διαστήματα ή να καταταμηθεί το ΗΕΓ σήμα σε μερικούς στάσιμα τμήματα.

Οι περιορισμοί των παραμετρικών μεθόδων προκύπτουν από την ίδια την επιλογή του αρχικού μοντέλου. Υπάρχει πάντα ο κίνδυνος μια λανθασμένη υπόθεση να οδηγήσει σε ολοκληρωτική αποτυχία της μεθόδου. Μειονέκτημα επίσης μπορεί να θεωρηθεί και ο αυξημένος φόρτος μαθηματικών υπολογισμών, που επιμηκύνει σημαντικά το χρόνο απόκρισης σε σχέση με μεθόδους FFT. Από την άλλη, όταν οι συνθήκες είναι κρίσιμες (όπως για παράδειγμα όταν είναι πολύ χαμηλός ο λόγος σήμα προς θόρυβο), οι κλασικές μέθοδοι αποδεικνύονται εξίσου ικανοποιητικές με τις παραμετρικές (Timperi 2002).

#### Αυτοπαλινδρόμηση και μοντέλα ARMA

Τα μοντέλα αυτοπαλινδρόμησης (AR - autoregressive) είναι μερική περίπτωση του ARMA μοντέλου (AutoRegressive Moving Average ή αυτοπαλινδρούμενο κινητού μέσου) και στις περισσότερες περιπτώσεις είναι αρκετό για να περιγράψει το

σήμα ΗΕΓ. Για τον υπολογισμό των τιμών των συντελεστών καθώς και του φάσματος ισχύος έχουν αναπτυχθεί γρήγοροι αλγόριθμοι (Zetterberg 1977), που ονομάζονται και παραμετρική ανάλυση φάσματος (spectral parameter analysis ή SPA).

### **Αντίστροφο αυτοπαλινδρούμενο φίλτρο (Inverse autoregressive filtering)**

Λειτουργεί ως ένα αντίστροφο μοντέλο AR χρησιμοποιώντας αντίστροφο αυτοπαλινδρούμενο φίλτρο για τα τμήματα του ΗΕΓ σήματος που θεωρούνται στάσιμα.

### **Χρονικά μεταβαλλόμενα σήματα και φίλτρα Kalman**

Χρησιμοποιείται ο αναδρομικός αλγόριθμος εκτίμησης Kalman, ο οποίος εκτιμά τις τιμές των συντελεστών του μοντέλου συνυπολογίζοντας τις προηγούμενες εκτιμήσεις. Η δυσκολία στην υλοποίηση του φίλτρου Kalman έγκειται στην επιλογή για κάθε εφαρμογή της δομής του μοντέλου και των αρχικών συνθηκών.

### **Τμηματική ανάλυση**

Ο κύριος στόχος της τμηματικής ανάλυσης (segmentation analysis) είναι να ξεχωρίσει από ένα σήμα ΗΕΓ εκείνα τα τμήματα που μπορεί να θεωρηθεί ότι παρουσιάζουν αμετάβλητα στατιστικά χαρακτηριστικά (Praetorius et al. 1977), οπότε το σήμα ΗΕΓ μπορεί να θεωρηθεί ως μερικά στάσιμα.

#### **5.7.11 Μιμητική ανάλυση**

Η μιμητική ανάλυση (mimetic analysis) βασίζεται στην πρόταση ότι η αυτόματη ανάλυση του ΗΕΓ πρέπει να καθρεφτίζει την (οπτική) ανάλυση που εφαρμόζεται από εξειδικευμένο ιατρό στην καθημερινή πρακτική του. Γι' αυτό ονομάζεται μιμητική (Remond & Renault 1972).

Στην πράξη η μιμητική ανάλυση χρησιμοποιεί εργαλεία κοινά και στις άλλες μεθόδους, ιδιαίτερα τις μη παραμετρικές όπως η ανάλυση φάσματος. Η κύρια διαφορά της είναι ότι συνδυάζει την εξαγωγή χαρακτηριστικών από το ΗΕΓ με την τμηματοποίηση του ΗΕΓ σήματος.

#### **5.7.12 Φιλτράρισμα ταιριάσματος**

Οι αλγόριθμοι ταιριάσματος (matched filtering και template matching) είναι μια μορφή αλγόριθμων αναγνώρισης προτύπων, στους οποίους ένα κύριο πρότυπο όπως για παράδειγμα το σήμα ΗΕΓ ερευνάται (με χρήση συνάρτησης ετεροσυσχέτισης) για να εξακριβωθεί κατά πόσο ταιριάζει με δοσμένο πρότυπο. Το αποτέλεσμα είναι ένας εκτιμητής με τιμές από 0 μέχρι 1 που αναπαριστούν το κατά πόσο το δοσμένο πρότυπο ταιριάζει με το κύριο σήμα.

### 5.7.13 Ανάλυση στο χώρο

Η χωρική ανάλυση του ΗΕΓ έγκειται στην αποτύπωση της εγκεφαλικής ηλεκτρικής δραστηριότητας στην επιφάνεια του κρανίου ή με άλλα λόγια στην απόδοση μιας τιμής διαφοράς δυναμικού σε κάθε σημείο του κρανίου. Ο βασικός προβληματισμός, που ονομάζεται «πρόβλημα αντιστροφής» (inverse problem) και παρουσιάζεται αναλυτικότερα στο κεφάλαιο 5.8, αντικατοπτρίζει τη δυσκολία να εκτιμήσουμε τις τιμές των ηλεκτρικών δυναμικών του ΗΕΓ στα σημεία δημιουργίας τους μέσα στο κρανίο, ενώ χρησιμοποιούμε μετρήσεις από πεπερασμένο αριθμό ηλεκτροδίων τοποθετημένων στο εξωτερικό του κρανίου και η διάδοση αυτών των δυναμικών γίνεται μέσα από ένα μέσο που δεν παρουσιάζει καμία ομοιομορφία ως προς αυτή τη διάδοση.

Το ζητούμενο στην ανάλυση του ΗΕΓ στο χώρο μπορεί να συνοψισθεί στις ακόλουθες προσεγγίσεις:

- στην απεικόνιση του ΗΕΓ στο χώρο (με 2 ή 3 διαστάσεις) με γραφικό – εποπτικό τρόπο,
- στην ανάλυση των σημάτων ως συνάρτηση του τρισδιάστατου χώρου και
- στον εντοπισμό των ΗΕΓ φαινομένων στο εσωτερικό του κρανίου.

Ένα κοινό πρόβλημα σε όλες τις μεθόδους ανάλυσης του ΗΕΓ στο χώρο είναι ο καθορισμός της απόστασης μεταξύ των ηλεκτροδίων, ώστε να έχουμε μια εικόνα του συνολικού ΗΕΓ από όλο το κρανίο με το βέλτιστο δυνατό τρόπο. Το πρόβλημα είναι ανάλογο με αυτό της δειγματοληψίας μιας χρονοσειράς όπως το σήμα ΗΕΓ, αλλά δεν είναι εύκολο να λυθεί εμπειρικά. Μπορεί όμως να λυθεί θεωρητικά από τα μοντέλα διάδοσης ηλεκτρικών ρευμάτων στον εγκέφαλο και στους περιβάλλοντες ιστούς (volume conduction models – Hosek et al. 1978, Kavanagh et al. 1978). Από τα μοντέλα αυτά προκύπτει ότι για το διεθνές σύστημα τοποθέτησης ηλεκτροδίων 10-20 μια απόσταση περίπου 4.9 cm περιορίζει το ποσοστό λάθους στο 6%, ενώ απόσταση 3.2 cm το μειώνει σε 1% (Holman 1979).

### Χαρτογράφηση του ΗΕΓ

Με τον όρο χαρτογράφηση εννοούμε τη γραφική αναπαράσταση των πολυκάναλων σημάτων ΗΕΓ (από πολλά ηλεκτρόδια) σε ένα εποπτικό μέσο, όπως οθόνη, χαρτί, φωτογραφικό φιλμ, κ.λπ. Η γραφική αυτή αναπαράσταση συνήθως ονομάζεται χάρτης ΗΕΓ.

Ανάλογα με την τεχνολογία της κάθε εποχής (η χαρτογράφηση έχει ήδη ιστορία 50 και πλέον ετών) έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορα μέσα για το σκοπό αυτό. Εκτός από αυτά που ήδη αναφέρθηκαν, έχουν χρησιμοποιηθεί περίπλοκα συστήματα με παλμογράφους και καθοδικούς σωλήνες. Με την πρόοδο όμως των ηλεκτρονικών υπολογιστών η επεξεργασία είναι σήμερα ψηφιακή και το τελικό γράφημα είτε παρουσιάζεται στη οθόνη του υπολογιστή είτε τυπώνεται σε εκτυπωτή.

Η μορφή του τοπογραφικού χάρτη είναι μια κυκλική, ωοειδής ή σφαιρική αναπαράσταση του κρανίου ή του φλοιού που πάνω της εμφανίζεται με κάποιο αριθμητικό ή γραφικό τρόπο το μετρούμενο μέγεθος. Σύμφωνα με τη μεθοδολογία που ακολουθείται ευρέως, το γράφημα βασίζεται σε ένα πίνακα δύο (ή τριών για τρισδιάστατες αναπαραστάσεις) διαστάσεων, του οποίου οι συντεταγμένες αντιστοιχούν σε σημεία του κρανίου και οι τιμές αντιστοιχούν στις τιμές του χαρακτηριστικού του ΗΕΓ σήματος που μελετάται. Το τελικό γράφημα εμφανίζει αυτές τις τιμές σαν αριθμούς ή σαν ισοϋψείς καμπύλες ή σαν χρωματισμένες περιοχές πάνω σε μια εποπτική αναπαράσταση του κρανίου. Η χρωματική αναπαράσταση είναι πιο εποπτική από τις άλλες. Χρησιμοποιεί χρωματική κλίμακα με διαβαθμίσεις στις οποίες συνήθως τα «θερμά» χρώματα (κόκκινο) αντιστοιχούν σε υψηλότερες και τα «ψυχρά» (κυανό) σε χαμηλότερες τιμές του μετρούμενου μεγέθους.

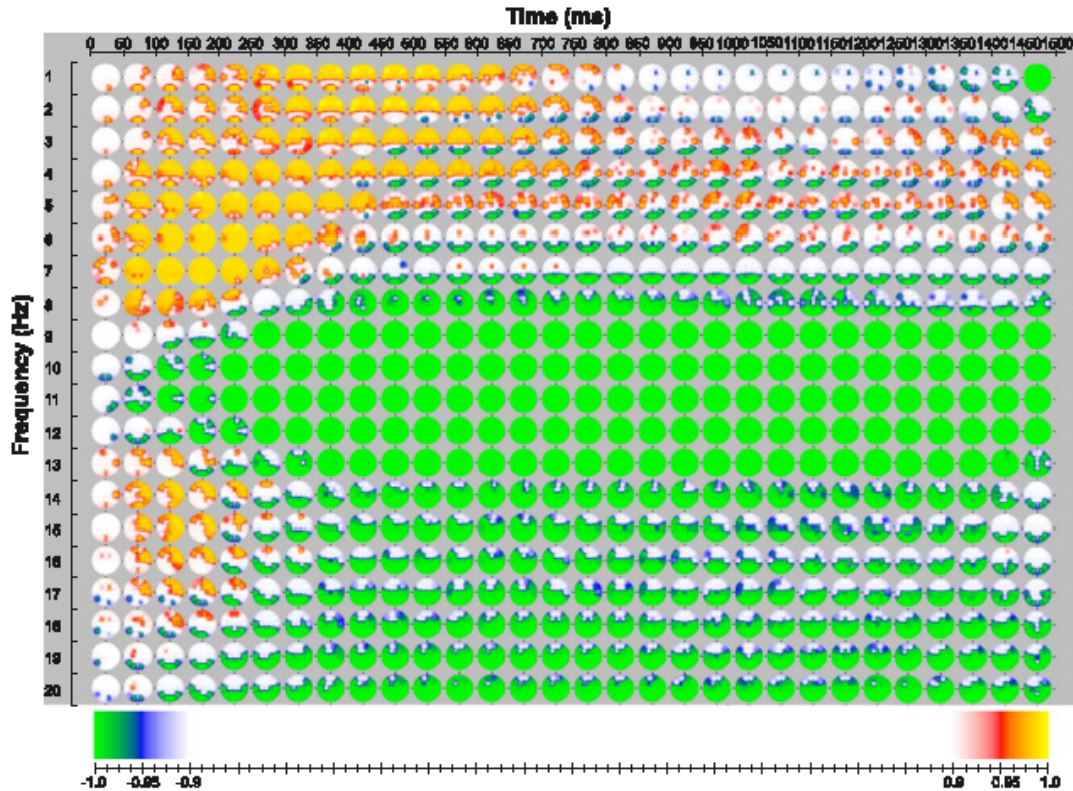
Συνήθως οι χάρτες ΗΕΓ με χρωματική κλίμακα, ανάλογα με την επιθυμητή ανάλυση της αναπαράστασης, περιέχουν πολλές τιμές (γενικά χιλιάδες), ενώ οι πραγματικές μετρήσεις είναι μερικές δεκάδες, όσες και τα ηλεκτρόδια που χρησιμοποιήθηκαν. Οι υπόλοιπες τιμές υπολογίζονται με μαθηματικό τρόπο με κάποια μέθοδο παρεμβολής (γραμμική ή μη), με βάση την απόσταση από τα γειτονικά συνήθως ηλεκτρόδια ή με κάποια μέθοδο στατιστικής εκτίμησης στηριζόμενη στα μοντέλα διάδοσης ηλεκτρικών ρευμάτων στο κρανίο. Γενικά υπάρχει πάντα ο κίνδυνος, ο οποίος μειώνεται όσο αυξάνεται ο αριθμός των καταγραφικών ηλεκτροδίων,

α) οι διακυμάνσεις του σήματος ΗΕΓ κοντά σε ένα καταγραφικό ηλεκτρόδιο να εμφανίζονται στο χάρτη τοπολογικά ευρύτερες από την πραγματική τους έκταση λόγω των τεχνικών παρεμβολής, ενώ

β) περιορισμένες αλλαγές μακριά από τα ηλεκτρόδια να αγνοούνται εντελώς.

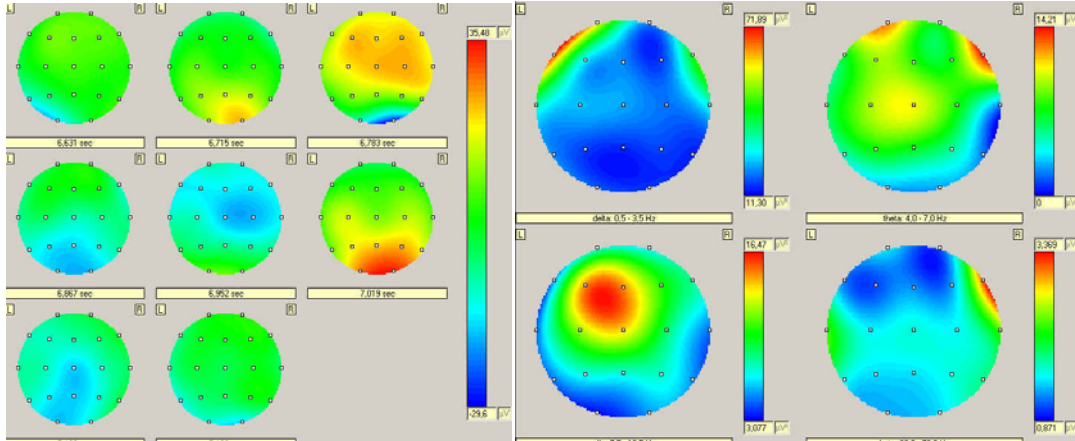
Δεν είναι, βέβαια, απαραίτητο σε όλους τους χάρτες ΗΕΓ να υπολογίζονται μαθηματικά οι επιπλέον τιμές. Ανάλογα με τις απαιτήσεις της κάθε μελέτης, μπορεί να εικονίζονται μόνο οι θέσεις των ηλεκτροδίων, όπως στους χάρτες τιμών. Επίσης στη χαρτογράφηση με 128 ηλεκτρόδια, η ανάγκη χρησιμοποίησης μαθηματικών τεχνικών για τον υπολογισμό των επιπλέον θέσεων του χάρτη είναι σαφώς περιορισμένη. Πάντως έχει διατυπωθεί η άποψη ότι στους χάρτες χαρτογραφείται τελικά η στατιστική και όχι η ηλεκτρική δραστηριότητα του εγκεφάλου (Chiappa 1985).

Το σχήμα 5-21 και το σχήμα 5-22 παρουσιάζουν παραδείγματα τοπογραφικών χαρτών χρόνου-συχνοτήτων, πλάτους και συχνοτήτων.

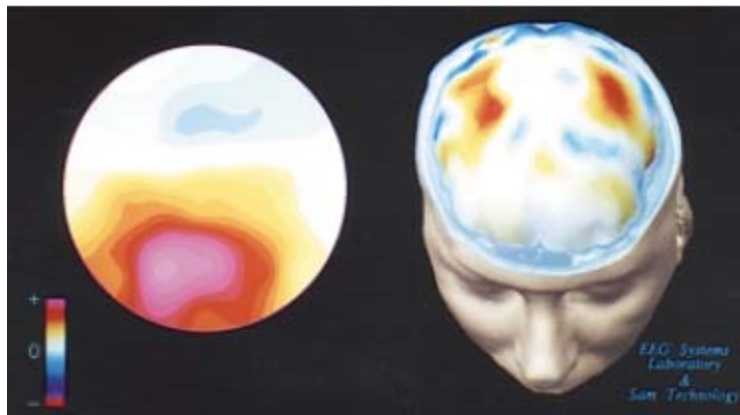


Σχήμα 5-21. Παράδειγμα TFT χάρτη (time-frequency-topography). Στο κάτω μέρος του γραφήματος διακρίνεται η χρωματική κλίμακα προσαρμοσμένη στις ανάγκες της συγκεκριμένης αναπαράστασης (Marroquin et al. 2004:5).

Το σημαντικότερο ίσως πρόβλημα στους χάρτες δύο διαστάσεων είναι η προβολή από το κρανίο στην επιφάνια του μέσου παρουσίασης. Είναι αναμενόμενο κάθε δισδιάστατη μεταφορά να περιέχει κάποιο ποσό παραμόρφωσης. Λύση στο πρόβλημα αυτό έδωσαν οι τρισδιάστατοι χάρτες. Επιπλέον χρησιμοποιούνται και μοντέλα οπτικοποίησης σε πραγματικό χρόνο (Samardzic 1996). Τα συστήματα αυτά έχουν αυξημένες απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ ώστε να επιτευχθεί ένας «φυσικός» ρυθμός αλλαγής των εικόνων, οι οποίες είναι υψηλής ανάλυσης και επιπλέον χρησιμοποιούν τεχνικές τρισδιάστατων γραφικών για την αναπαράσταση μιας ρεαλιστικής εικόνας του κρανίου (σύνθεση απλούστερων σχημάτων, συνήθως τριγώνων) (Samardzic 2000). Στο σχήμα 5-23 φαίνεται ένα παράδειγμα της φτωχής χωρικής πληροφορίας ενός κλασικού HEG χάρτη 18 ηλεκτροδίων σε σχέση με τρισδιάστατο χάρτη HEG 122 ηλεκτροδίων που προβάλλει τις HEG μετρήσεις πάνω σε ανατομικό πρότυπο του εγκεφάλου που προέρχεται από MRI του ίδιου υποκειμένου (Gevins et al. 1999).



Σχήμα 5-22. Παραδείγματα τοπογραφικών χαρτών. Αριστερά εικονίζεται ένας χάρτης πλάτους σε χρονικά διαστήματα 84 msec, ενώ δεξιά ένας χάρτης συχνοτήτων για τους ρυθμούς δ, θ, α και β (Μονάδα Τεχνολογιών Αγωγής Πανεπιστημίου Ιωαννίνων).



Σχήμα 5-23. Χάρτες ΗΕΓ που σχετίζονται με κίνηση των δακτύλων. Αριστερά ένας απλός χάρτης με 18 ηλεκτρόδια (η μύτη αντιστοιχεί στο πάνω σημείο). Δεξιά χρησιμοποιήθηκαν 122 ηλεκτρόδια και ανατομική απεικόνιση του εγκεφάλου από MRI του υποκειμένου. Είναι εμφανής η έλλειψη χωρικής πληροφορίας στον αριστερό χάρτη (Gevins et al. 1999).

Το φυσικό μέγεθος που αναπαρίσταται με ένα χάρτη μπορεί να είναι οποιοδήποτε χαρακτηριστικό του ΗΕΓ. Έτσι έχουμε:

- χάρτες πλάτους ή στιγμιαίας διαμόρφωσης δυναμικού (σε  $\mu\text{V} / \text{sec}$ )
- χάρτες ισχύος, οι οποίοι αναπαριστούν τη φασματική ανάλυση ισχύος (σε  $\mu\text{V}^2 / \text{Hz}$ )
- FFT χάρτες πλάτους, οι οποίοι αναπαριστούν τη φασματική ανάλυση πλάτους (τετραγωνική ρίζα της ισχύος ανά συχνότητα, σε  $\mu\text{V} / \text{Hz}$ )
- χάρτες συνοχής και χάρτες φάσης, οι οποίοι παρουσιάζουν τη σχέση μεταξύ σημάτων από διαφορετικά ηλεκτρόδια (σχήμα 5-19)
- χάρτες στατιστικής σημαντικότητας (Duffy 1981), στους οποίους συγκρίνονται οι τιμές που μετρήθηκαν με τις αντίστοιχες μέσες τιμές της ομάδας ελέγχου (σε τυπικές αποκλίσεις).



Το κύριο ζητούμενο σε ένα χάρτη ΗΕΓ συχνοτήτων ή φάσματος είναι η ανάδειξη διαφοροποιήσεων περιοχών, όπως «θερμών» περιοχών (δηλαδή περιοχών αυξημένης ισχύος σήματος) ή ασυμμετρίας της κατανομής της ισχύος για ορισμένες ζώνες συχνοτήτων, η συσχέτιση με καταστάσεις και ερεθίσματα και πιθανώς η σύγκριση με τα αντίστοιχα ΗΕΓ δεδομένα από ομάδες ελέγχου.

Η βασική χρήση των χαρτών είναι η κλινική εφαρμογή τους ως διαγνωστική μέθοδος σε κάθε πάθηση που επηρεάζει την εγκεφαλική λειτουργία. Μια δεύτερη εφαρμογή αποτελεί η έρευνα της αντίδρασης του εγκεφαλικού φλοιού σε εξωτερικά ερεθίσματα. Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιείται στην έρευνα των νοητικών και γνωστικών διεργασιών.

Στην ΗΕΓ ανάλυση δεν υπάρχουν γενικά αποδεκτές (αν και έχουν προταθεί αρκετές τα τελευταία χρόνια) βάσεις δεδομένων που να ακολουθούν ένα τυποποιημένο πρωτόκολλο όπως σε άλλες μεθόδους απεικόνισης. Μια αξιολογητέα βάση με το όνομα BEAM (Brain electrical activity mapping) αναπτύχθηκε από τον F. H. Duffy για κλινικές εφαρμογές.

### **Τοπολογική ανάλυση του ΗΕΓ**

Κατά την ανάλυση του ΗΕΓ στο χώρο δεν μας ενδιαφέρει τόσο η μορφή της αναπαράστασης, αλλά κυρίως η εξαγωγή ποσοτικών συμπερασμάτων σχετικά με την κατανομή των ΗΕΓ σημάτων στο χώρο (της επιφάνειας του κρανίου). Ερωτήσεις που πρέπει να απαντηθούν είναι για παράδειγμα το γιατί και κατά πόσο ρυθμικά τμήματα (πρότυπα) ΗΕΓ εμφανίζονται ταυτόχρονα (συντονισμένα) ή μη σε συμμετρικά σημεία στα δύο εγκεφαλικά ημισφαίρια, η τοπολογική εμφάνιση και εξέλιξη επιληπτικών κρίσεων, κ.λπ.

Οι μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται είναι η ανάλυση ετεροσυσχέτισης, η ανάλυση συνοχής και φάσης (cross-spectral analysis) και η πολυμεταβλητή στατιστική ανάλυση.

Ιδιαίτερη αξία παρουσιάζει αυτή η ανάλυση για τη μελέτη της γνωστικής δραστηριότητας, γιατί μπορεί να αναδείξει το βαθμό της λειτουργικής αλληλεξάρτησης των εγκεφαλικών περιοχών.

#### **5.7.14 Γενική αναφορά στο φιλτράρισμα του ΗΕΓ σήματος**

Όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα 5.5.3, σπάνια ενδιαφέρει όλο το εύρος συχνοτήτων που υπάρχουν στο σήμα ΗΕΓ. Ανάλογα με τις απαιτήσεις της κάθε έρευνας, το ενδιαφέρον εστιάζεται σε μερικές μόνο από αυτές και οι υπόλοιπες αγνοούνται. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται φίλτρα τα οποία περιορίζουν το φάσμα συχνοτήτων του σήματος ΗΕΓ.

Υπάρχουν αναλογικά και ψηφιακά φίλτρα ή ακόμη και συνδυασμός τους, όπως για παράδειγμα η αφαίρεση του θορύβου των 50 ή 60 Hz να υλοποιείται με αναλογικό φίλτρο πριν την ψηφιοποίηση και τα υπόλοιπα φίλτρα να υλοποιούνται

ψηφιακά. Σήμερα, όλη σχεδόν η διαδικασία του φιλτραρίσματος υλοποιείται από ψηφιακά φίλτρα, τα οποία δεν είναι τίποτε άλλο από προγραμματιστικοί αλγόριθμοι που μετατρέπουν το αρχικό σήμα σε ένα νέο. Ένα προφανές πλεονέκτημα των ψηφιακών φίλτρων είναι ότι δεν επηρεάζεται το αρχικό σήμα, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ξανά στο μέλλον με άλλους συνδυασμούς φίλτρων και μεθόδων ανάλυσης.

Τα φίλτρα γενικά διακρίνονται σε φίλτρα διέλευσης υψηλών ή χαμηλών συχνοτήτων και φίλτρα διέλευσης ή αποκοπής ζώνης συχνοτήτων. Η εφαρμογή τους γίνεται σε συνεργασία με την εκάστοτε μέθοδο ανάλυσης. Μπορεί όμως, να εφαρμόζονται και πρωτογενώς από τη συσκευή καταγραφής ή ως αρχική επεξεργασία (προεργασία των δεδομένων) πριν την ποσοτική ανάλυση.

### 5.8 Το πρόβλημα αντιστροφής στο ΗΕΓ

Ο απώτερος σκοπός του ΗΕΓ ως μέθοδος μέτρησης της ηλεκτρικής εγκεφαλικής δραστηριότητας είναι να βρει τις πηγές των ηλεκτρικών δυναμικών μέσα στο κρανίο και να τις συσχετίσει με ομάδες νευρώνων που παράγουν αυτά τα δυναμικά στο εσωτερικό του εγκεφάλου. Το πρόβλημα, που ονομάζεται πρόβλημα αντιστροφής (inverse problem), είναι ότι τα καταγραφόμενα στη συσκευή ΗΕΓ δυναμικά προκύπτουν από μετρήσεις περιορισμένου αριθμού σημείων (ηλεκτροδίων) που βρίσκονται στην εξωτερική επιφάνεια του δέρματος του κρανίου, σε απόσταση από τα σημεία δημιουργίας αυτών των δυναμικών (Lopes da Silva 1993, 1999).

Η λύση αυτού του προβλήματος περιλαμβάνει δύο στάδια.

Έστω ότι οι μετρούμενες τιμές του ΗΕΓ σήματος αναπαρίστανται σε μία συνάρτηση  $h(n)$ , όπου το  $n$  είναι διακριτή μεταβλητή με τιμές 1, 2, ... μέχρι 19 ή 21 ή 64 ή 128 κ.λπ. ανάλογα με τον αριθμό των χρησιμοποιούμενων για την ΗΕΓ καταγραφή ηλεκτροδίων.

Το πρώτο βήμα συνίσταται στην εκτίμηση των τιμών μιας συνάρτησης τριών μεταβλητών  $g(z,y,z)$  η οποία αναπαριστά τις τιμές του ηλεκτρικού δυναμικού στην επιφάνεια του κρανίου. Για να έχει τιμή η συνάρτηση  $g$  για κάθε τιμή των  $x$ ,  $y$  και  $z$  (μέσα στις χωρικές διαστάσεις του κρανίου), μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι μέθοδοι παρεμβολής που έχουν ήδη αναφερθεί στην ενότητα 5.7.13 για τη χαρτογράφηση του ΗΕΓ.

Το δεύτερο βήμα είναι να υπολογίσουμε τη συνάρτηση  $f(x,y,z)$  που αναπαριστά τις τιμές των ηλεκτρικών δυναμικών του ΗΕΓ, όπως αυτές παράγονται στο εσωτερικό του κρανίου.

Και στα δύο βήματα είναι απαραίτητο να υποθέσουμε την ύπαρξη ενός μαθηματικού μοντέλου που περιγράφει τις τιμές της συνάρτησης  $f$ . Έχει προταθεί το μοντέλο του  $f$  ως τμήμα ενός ηλεκτρικού δίπολου (Schneider 1974, 1972) ή ως τμήμα ενός επιπέδου με ηλεκτρικά δίπολα (Klee & Rall 1977). Επιπλέον απαιτείται ένα μοντέλο που να περιγράφει τα χαρακτηριστικά της μετάδοσης των ηλεκτρικών

δυναμικών διαμέσου των εγκεφαλικών ιστών. Τα περισσότερα μοντέλα υποθέτουν την ύπαρξη τεσσάρων ομόκεντρων κύκλων οι οποίοι αναπαριστούν τον εγκέφαλο, το εγκεφαλονωτιαίο υγρό, το οστό του κρανίου και το δέρμα του κρανίου.

Βέβαια για μία ικανοποιητική προσέγγιση στις λύσεις με τα προηγούμενα μοντέλα απαιτείται αντίστοιχος αριθμός καταγραφικών σημείων στο κρανίο. Γενικά απόσταση μεταξύ των καταγραφικών σημείων το πολύ 2.5 cm, που αντιστοιχούν σε περίπου 128 ηλεκτρόδια, είναι αρκετά ικανοποιητική (Gevins et al. 1994).

Η λύσεις του προβλήματος αντιστροφής για το σήμα ΗΕΓ με τον τρόπο που περιγράφηκε είναι αρκετά περιορισμένες σε ισχύ εκτός από τις περιπτώσεις που το σήμα ΗΕΓ είναι σχετικά ομαλό ή είναι γνωστή επιπλέον πληροφορία σχετικά με τις αναμενόμενες τοποθεσίες κάποιων προελεύσεων (όταν για παράδειγμα αναμένονται δύο συμμετρικές πηγές προέλευσης στα δύο ημισφαίρια). Στο βαθμό όμως που τα μαθηματικά μοντέλα εμπλουτίζονται με νέα δεδομένα από τη φυσιολογία του εγκεφάλου, μπορούν να γίνουν ισχυρά εργαλεία μέτρησης και περιγραφής της ηλεκτρικής εγκεφαλικής δραστηριότητας. Σε κάθε περίπτωση βέβαια μερικές βασικές υποθέσεις θεωρούνται επισφαλείς, όπως για παράδειγμα η παραδοχή ότι τα δυναμικά του ΗΕΓ παράγονται μόνο από το φλοιό ή ότι ο αριθμός των ενεργών περιοχών του φλοιού είναι γνωστός (Gevins et al. 1999). Μια σύγχρονη ελπιδοφόρα αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών συνίσταται στο συνδυασμό των ΗΕΓ καταγραφών με άλλες τρισδιάστατες λειτουργικές νευροαπεικονιστικές μεθόδους (fMRI ή PET) που παρέχουν ένα πολύ ρεαλιστικό ανατομικό μοντέλο (George et al. 1995, Heinze et al. 1994, Mangun et al. 1998, Sereno 1998, Simpson et al. 1995).

## 5.9 Περιορισμοί και προβλήματα στο ΗΕΓ

Το σημαντικότερο ίσως πρόβλημα στις μετρήσεις της εγκεφαλικής λειτουργίας με ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους είναι η μεταβλητότητα που παρουσιάζουν. Μια μεταβλητότητα με δύο όψεις.

Τα ΗΕΓ δεδομένα είναι σε υπολογίσιμο βαθμό εξατομικευμένα. Εμφανίζουν μια διαφοροποίηση από άτομο σε άτομο που σε μερικές περιπτώσεις δεν έχει γνωστή αιτιολόγηση. Γι' αυτό και οι μέσες τιμές των μεγεθών που υπολογίζονται στις έρευνες δεν ανταποκρίνονται πλήρως στις τιμές που εμφανίζονται στο γενικότερο πληθυσμό (Krause 2006).

Διαφοροποιήσεις επίσης παρατηρούνται μεταξύ διαφορετικών μετρήσεων στο ίδιο υποκείμενο, χωρίς σε πολλές περιπτώσεις να υπάρχει προφανής αιτία. Αυτή η μεταβλητότητα χάνεται με τη χρήση των κλασικών τεχνικών μεσοποίησης. Πιθανόν αυτή η διαφοροποίηση να αντανάκλα τη μεταβλητότητα στις καταστάσεις του εγκεφάλου. Γι' αυτό και αναλύσεις απομονωμένων περιπτώσεων έχουν πάντα τη δική τους αξία στις ΗΕΓ μελέτες (Krause 2006).

Επιπλέον, στη βιβλιογραφία είναι μεγάλη η μεταβλητότητα στις παραμέτρους μελετών που χρησιμοποιούν ΗΕΓ μετρήσεις. Παραδείγματα τέτοιων

διαφοροποιήσεων είναι ο αριθμός και η θέση των ηλεκτροδίων, το είδος καταγραφής (μονοπολική ή διπολική) καθώς και η επιλογή του ηλεκτρόδιου αναφοράς, η μεγάλη ποικιλία μεθόδων επεξεργασίας σήματος και εξαγωγής χαρακτηριστικών, η διάκριση ακόμη και στην ισχύ του ΗΕΓ σε απόλυτη και σχετική, οι διαφοροποιήσεις στον καθορισμό των ορίων των ρυθμών (Scerbo et al. 2001).

### **5.10 ΗΕΓ και παιδική ηλικία**

Η παιδική ηλεκτροεγκεφαλογραφία παρουσιάζει πολλά προβλήματα, τα οποία μάλιστα αυξάνουν όσο η ηλικία μειώνεται. Η πρώτη αιτία των προβλημάτων αυτών είναι τεχνική και συνίσταται στα αυξημένα παράσιτα. Κι αυτό γιατί ένα παιδί σε εγρήγορση σπάνια είναι ήρεμο και συνεργάσιμο σε μια ΗΕΓ καταγραφή, ιδιαίτερα αν το υποκείμενο είναι αρκετά μικρό σε ηλικία.

Η σημαντικότερη όμως δυσκολία έγκειται στην ερμηνεία των ΗΕΓ καταγραφών. Οι διαφορές από ηλικία σε ηλικία αλλά και από άτομο σε άτομο της ίδιας ηλικίας είναι πολλές και οφείλονται στο διαφορετικό βαθμό ωρίμανσης. Για παράδειγμα το νεογέννητο ηλικίας λίγων ημερών κυριαρχείται από χαμηλού δυναμικού ανώμαλους και ασύγχρονους δέλτα και θήτα ρυθμούς. Στους επόμενους μήνες αυξάνει το πλάτος και η ρυθμικότητα των ρυθμών. Στον 18<sup>ο</sup> μήνα περίπου εμφανίζεται ο άλφα ρυθμός, αλλά μέχρι το 5<sup>ο</sup> έτος της ηλικίας η ποσότητά του είναι μικρότερη από εκείνη των θήτα και δέλτα. Μεταξύ 5<sup>ου</sup> και 7<sup>ου</sup> έτους ο άλφα ρυθμός κατανέμεται σε περίπου ίση ποσότητα με το θήτα, ενώ βαθμιαία προστίθενται ταχύτεροι ρυθμοί (βήτα και γάμα). Σιγά-σιγά και προς την εφηβεία ο άλφα ρυθμός εδραιώνεται και παρουσιάζει τη γνωστή στους ενήλικες συμπεριφορά στα ερεθίσματα, ώσπου τελικά γίνεται ο κυρίαρχος ρυθμός του (ενήλικου) ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος (Παπαγεωργίου 1992:360, Klimesch 1999:178, Fisch 2003:155).

Ωστόσο η μεταβλητότητα του βαθμού ωρίμανσης του ΗΕΓ είναι πολύ μεγάλη και πολλά παιδιά με φυσιολογική ψυχοσωματική ανάπτυξη μπορεί να παρουσιάζουν μεγάλες αποκλίσεις. Γι' αυτό η γενίκευση και εξαγωγή συμπερασμάτων σε δείγμα από παιδιά πρέπει να είναι πολύ προσεκτική, ακόμη και αν τα υποκείμενα είναι της ίδιας ηλικίας.

Οι αλλαγές που εμφανίζονται στη συχνότητα του ΗΕΓ καθώς και οι αλλαγές στην κατανομή της ισχύος στους διάφορους ρυθμούς (δηλαδή στο φάσμα ισχύος) σε σχέση με την ηλικία αναπτύσσονται εκτενέστερα στο κεφάλαιο 6.7.2.

### **5.11 Σύνοψη**

Το ΗΕΓ είναι ένα μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό σήμα που προέρχεται από την ηλεκτρική δραστηριότητα των εγκεφαλικών νευρώνων, ανιχνεύεται από την περιοχή

του κρανίου με ειδικό σύστημα καταγραφής και ανήκει στη γενικότερη κατηγορία των βιολογικών σημάτων.

Η καταγραφή και εξαγωγή πληροφοριών από το ΗΕΓ περιλαμβάνει συνοπτικά τέσσερα στάδια.

- Η καταγραφή των σημάτων. Το στάδιο αυτό περιλαμβάνει την επιλογή κατάλληλων φυσικών παραμέτρων (αριθμό ηλεκτροδίων, συχνότητα δειγματοληψίας, συντελεστή ενίσχυσης, κ.λπ.) και την εφαρμογή ενός γενικότερου πρωτοκόλλου για την αποφυγή παρασίτων και την καταγραφή αξιόπιστων μετρήσεων.
- Η προεργασία ή προεπεξεργασία των σημάτων που καταγράφηκαν. Το αποτέλεσμα που προκύπτει από αυτή τη φάση είναι το ΗΕΓ φιλτραρισμένο πιθανά στις συχνοτικές ζώνες ενδιαφέροντος και η κατά το δυνατό αφαίρεση ή εντοπισμός των παρασίτων. Επιπλέον είναι δυνατό να τροποποιηθούν κάποιες παράμετροι που καθορίστηκαν στο στάδιο της καταγραφής, όπως η συχνότητα δειγματοληψίας ή το ηλεκτρόδιο αναφοράς.
- Η κυρίως ανάλυση του ΗΕΓ. Μπορεί να είναι οπτική ή μαθηματική ή συνδυασμός τους. Η οπτική εφαρμόζεται πάνω σε εκτύπωση συνήθως της ΗΕΓ καταγραφής με τη μορφή γραφικής παράστασης του πλάτους ως συνάρτηση του χρόνου. Η μαθηματική ανάλυση που ονομάζεται και ποσοτικοποίηση του ΗΕΓ συνίσταται στην εφαρμογή στατιστικών κυρίως μεθόδων για τον υπολογισμό στατιστικών δεικτών ή την αναγνώριση προτύπων ηλεκτρικής εγκεφαλικής λειτουργίας. Τα σημεία ενδιαφέροντος εστιάζονται σε κάποιες περιοχές συχνοτήτων (ΗΕΓ ρυθμοί) σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα (σε σχέση τις περισσότερες φορές με ένα σύνολο ερεθισμάτων) και σε συγκεκριμένες εγκεφαλικές περιοχές (ηλεκτροεγκεφαλικές θέσεις). Σημαντικό βήμα στην ανάλυση του ΗΕΓ είναι η επιλογή κατάλληλων αποσπασμάτων ΗΕΓ και εξελιγμένων μεθόδων ώστε να αποφεύγεται η μη στασιμότητα εν γένει των ΗΕΓ σημάτων. Συχνά τα αποτελέσματα παρουσιάζονται εποπτικά με τη μορφή χαρτών.
- Τελικό στάδιο είναι η εξαγωγή συμπερασμάτων, στο οποίο αποτυπώνονται και ποιοτικά χαρακτηριστικά της ΗΕΓ δραστηριότητας, χρήσιμα για σύνδεση των μετρήσεων με θεωρίες εγκεφαλικής λειτουργίας και έλεγχο ερευνητικών υποθέσεων.

Η ηλεκτροεγκεφαλογραφία παρουσιάζει βεβαίως και εγγενή προβλήματα (το σημαντικότερο των οποίων θεωρείται η δυσκολία σύνδεσης των μετρούμενων ηλεκτρικών δυναμικών με τις πηγές δημιουργίας τους μέσα στον εγκέφαλο) και φυσιολογικούς περιορισμούς προερχόμενους από τη σε μεγάλο βαθμό εξατομικευμένη μορφή της εγκεφαλικής λειτουργίας λόγω διαφορών ηλικιακών,

νευρολογικών, πιθανών ασθενειών, συγκεκριμένης κατάστασης του οργανισμού, κ.λπ.

Ωστόσο, από την ανάλυση που προηγήθηκε στην παρούσα ενότητα αλλά και την παρουσίαση άλλων τεχνικών απεικόνισης των εγκεφαλικών λειτουργιών του προηγούμενου κεφαλαίου, προκύπτουν δύο σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των άλλων απεικονιστικών μεθόδων.

Πρώτο, ότι το ΗΕΓ θεωρείται μη επεμβατική τεχνική, αφού δε χορηγείται στον οργανισμό κάποια ουσία ούτε υποβάλλεται το υποκείμενο σε ηλεκτρικό ή μαγνητικό πεδίο ή σε κάποιας μορφής ακτινοβολία.

Δεύτερο, η χρονική διακριτική ικανότητα του ΗΕΓ είναι εφάμιλλη με την ταχύτητα εξέλιξης των εγκεφαλικών λειτουργιών. Ειδικά στη μελέτη γνωστικών δραστηριοτήτων έχει μεγάλη σημασία η ανίχνευση γρήγορων αλλαγών στην εγκεφαλική δραστηριότητα, γι' αυτό και μέθοδοι όπως το ΗΕΓ με υψηλή χρονική ανάλυση είναι πολύτιμες (Lopes da Silva 1993).

Επιπλέον, αξιοσημείωτο πλεονέκτημα είναι το σχετικά χαμηλό κόστος του βασικού εξοπλισμού και το πολύ μικρό κόστος λειτουργίας.

Αυτοί οι λόγοι καθιστούν το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα παρά τις αδυναμίες του μια πολλά υποσχόμενη, σύγχρονη μέθοδο αποτύπωσης της ηλεκτρικής εγκεφαλικής δραστηριότητας, που συνοδεύεται από ένα πλήθος βοηθητικών (μαθηματικών) εργαλείων που την καθιστούν ικανή να αποδώσει μια σχετικά πλήρη εικόνα των προτύπων λειτουργίας του εγκεφάλου και των ταχύτατων αλλαγών της κατάστασής του. Το ΗΕΓ δεν είναι πλέον τόσο δημοφιλές στην κλινική διαγνωστική πράξη, όσο στη μελέτη των εγκεφαλικών λειτουργιών σε άλλους (μη ιατρικούς) επιστημονικούς τομείς. Στην περίπτωση για παράδειγμα της μηχανικής και της επιστήμης των υπολογιστών ο Walter J. Freeman χαρακτηρίζει το ΗΕΓ ως την πιο εύφορη πηγή ιδεών, ικανή να προκαλέσει και να ξεπεράσει τους περιορισμούς που έχει θέσει η σύγχρονη μηχανική (Freeman 2001).

---

# 6 Γνωστικές διεργασίες και ηλεκτρική εγκεφαλική δραστηριότητα

---

6.1	Εισαγωγή.....	131
6.2	Οι ρυθμοί του ΗΕΓ .....	133
6.2.1	Γενική περιγραφή των ρυθμών του ΗΕΓ.....	133
6.2.2	Η δέλτα δραστηριότητα .....	137
6.2.3	Ο θήτα ρυθμός .....	139
6.2.4	Ο άλφα ρυθμός.....	145
6.2.5	Ο Ρολανδικός (κεντρικός) «μ» ρυθμός.....	151
6.2.6	Ο «ταυ» ρυθμός ή «τρίτος» ή «κροταφικός άλφα» .....	152
6.2.7	Ο κάπα ρυθμός.....	152
6.2.8	Ο βήτα ρυθμός .....	153
6.2.9	Ο γάμα ρυθμός.....	154
6.2.10	Άλλες κυματομορφές του ΗΕΓ .....	157

6.3	Ποσοτικοποίηση του ΗΕΓ και εγκεφαλικές λειτουργίες.....	159
6.3.1	Η ισχύς του ΗΕΓ .....	159
6.3.2	Ανάλυση συνάφειας εγκεφαλικών περιοχών.....	160
6.3.3	Ημισφαιρικές διαφορές.....	161
6.4	Τα σημαντικότερα ΗΕΓ φαινόμενα .....	162
6.4.1	Συνεχόμενο ΗΕΓ .....	163
6.4.2	Προκαλούμενες από γεγονότα ταλαντώσεις ή κύματα.....	165
6.4.3	Προκαλούμενος από ερεθίσματα «αποσυγχρονισμός» και «συγχρονισμός» του ΗΕΓ .....	168
6.5	ΗΕΓ και νοητικές λειτουργίες .....	176
6.5.1	Νοητικές λειτουργίες γενικά.....	176
6.5.2	Διέγερση και χαλάρωση.....	177
6.5.3	Λειτουργίες μνήμης .....	180
6.5.4	Επίγνωση του περιβάλλοντος .....	185
6.5.5	Αντίληψη χώρου .....	187
6.5.6	Επίλυση προβλημάτων .....	187
6.5.7	Η λειτουργία της προσοχής.....	190
6.5.8	Επαγρύπνηση, επιφυλακή.....	195
6.5.9	Το γνωστικό φορτίο και ο παράγοντας της δυσκολίας.....	196
6.6	ΗΕΓ και συναισθηματικές καταστάσεις.....	199
6.7	Διαφοροποιήσεις από το κανονικό ΗΕΓ.....	202
6.7.1	Εξατομικευμένος καθορισμός των ορίων συχνοτήτων των ρυθμών .....	202
6.7.2	Ηλικία .....	203
6.7.3	Άλλες διαφοροποιήσεις .....	204
6.8	Μαγνητικές και αιμοδυναμικές πληροφορίες.....	205
6.9	Προβλήματα και περιορισμοί .....	206
6.10	Σύνοψη.....	208



## 6.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται παρατηρήσεις που σχετίζονται κυρίως με την ηλεκτρική δραστηριότητα του υγιούς εγκεφάλου (χωρίς παθολογικά ή τραυματικά ευρήματα), όπως προκύπτουν από τις αντίστοιχες μεθόδους απεικόνισης. Οι βασικές πηγές πληροφόρησης θα αναζητηθούν κύρια από το χώρο του συνεχόμενου ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος και σε μικρότερο βαθμό από το χώρο των προκλητών δυναμικών. Η περιγραφή όμως αυτή οφείλει να εμπλουτιστεί και με στοιχεία μαγνητικής και αιμοδυναμικής εγκεφαλικής λειτουργίας που προέρχονται από μη ηλεκτρικές απεικονιστικές μεθόδους.

Τα πρότυπα των εγκεφαλικών λειτουργιών τα οποία με οποιοδήποτε τρόπο προκύπτουν από την παρατήρηση αισθητηριακών, κινητικών και γνωστικών δραστηριοτήτων, συνήθως ερμηνεύονται ή γίνεται προσπάθεια να ερμηνευθούν με αναφορά στη «λειτουργική ειδίκευση» (functional specialization) ή τη «λειτουργική ολοκλήρωση» (functional integration) εξειδικευμένων εγκεφαλικών περιοχών (Friston 1997).

Η «λειτουργική ειδίκευση» έγκειται στην εξαγωγή στερεότυπων προτύπων νευρωνικής δραστηριότητας ως απόκριση σε συγκεκριμένα χαρακτηριστικά ερεθισμάτων, γνωστικών δραστηριοτήτων ή κινητικών συμπεριφορών σε εξειδικευμένες εγκεφαλικές περιοχές (παράδειγμα αποτελεί η επιτυχημένη εφαρμογή της στην οπτική νευροεπιστήμη). Η «λειτουργική ολοκλήρωση» αναφέρεται στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ εξειδικευμένων νευρωνικών πληθυσμών και στο πως αυτές εξαρτώνται από το κιναισθητικό ή γνωστικό πλαίσιο. Οι δυο μέθοδοι δρουν συμπληρωματικά και όχι ανταγωνιστικά. Από την πλευρά της νευρο-απεικόνισης, η λειτουργική ειδίκευση αναζητεί την ταυτοποίηση τοπικά προσδιορισμένων επιδράσεων που μπορούν να αποδοθούν σε μεταβαλλόμενα ερεθίσματα ή πειραματικές συνθήκες. Η λειτουργική ολοκλήρωση ασχολείται συνήθως με την εξέταση των συσχετισμών μεταξύ της δραστηριότητας διαφορετικών εγκεφαλικών περιοχών, ή με την προσπάθεια να εξηγηθεί η δραστηριότητα σε μια περιοχή σε σχέση με τη δραστηριότητα σε άλλες περιοχές. Υπάρχει μια θεμελιώδης διαφορά μεταξύ της ύπαρξης λειτουργικής συνδετικότητας (σε σχέση και με μοντέλα νευρωνικών αλληλεπιδράσεων) εγκεφαλικών περιοχών και της απλής παρατήρησης συσχετιζόμενων δραστηριοτήτων: οι συσχετίσεις μπορεί να προέρχονται από πολλές πηγές που να μην αντανακλούν απαραίτητα πραγματικές αλληλεπιδράσεις (όπως για παράδειγμα, στην περίπτωση που ένα ερέθισμα προκαλεί μεταβατική ενεργοποίηση σε διαφορετικούς νευρωνικούς σχηματισμούς που δε συνδέονται ή όταν δυο φλοιώδεις περιοχές εμφανίζουν δραστηριότητα που οφείλεται σε κοινή υποφλοιώδη πηγή (Friston 1997).

Παραδοσιακά η περιγραφή των λειτουργιών του εγκεφάλου και του κεντρικού νευρικού συστήματος ανήκει στο χώρο της νευροφυσιολογίας. Σήμερα όμως πλήθος άλλων τομέων (όπως κλινική νευροψυχολογία, βιολογία του εγκεφάλου, ψυχοπαθολογία, ψυχολογία, γνωστική ψυχολογία, γνωσιοεπιστήμη, νευρολογία, νευροεπιστήμη, τεχνητή νοημοσύνη, ακόμη και επιστημονικοί κλάδοι όπως η

επικοινωνία, οι επιχειρησιακές σπουδές κ.λπ.) ασχολούνται ή στηρίζονται σε ευρήματα και θεωρίες που προέρχονται από προσπάθειες να ερευνηθούν οι λεγόμενες «ανώτερες» εγκεφαλικές λειτουργίες, δηλαδή η παραγωγή, η φυσιολογία και η λειτουργία της σκέψης ως εγκεφαλικής λειτουργίας.

Η γνωστική νευροεπιστήμη δέχεται ότι οι γνωστικές διεργασίες υλοποιούνται βάση μιας ταχύτατης συνεργασίας τεράστιων σε πλήθος, ευρέως κατανεμημένων (περισσότερο ή λιγότερο), αλληλεπιδρώντων κυτταρικών σχηματισμών του εγκεφάλου. Υπάρχουν βέβαια αρκετά παράδοξα ακόμη σε αυτήν την προσπάθεια σύνδεσης των γνωστικών λειτουργιών με τη βιολογική τους βάση. Για παράδειγμα ενώ η ανατομία του ανθρώπινου εγκεφάλου είναι πολύ καλά γνωστή, οι μηχανισμοί που οργανώνουν την επεξεργασία της πληροφορίας είναι σε μεγάλο βαθμό άγνωστοι. Επιπλέον, εξακολουθεί να υπάρχει ένας μεθοδολογικός δυϊσμός ανάμεσα στους ερευνητές που εστιάζουν περισσότερο στον εντοπισμό λειτουργιών και σε άλλους που εστιάζουν περισσότερο στη χρονική πλευρά των ίδιων φαινομένων. Η παρούσα ερευνητική εργασία δέχεται ως θεωρητικό πλαίσιο ότι η ηλεκτρομαγνητική δραστηριότητα του εγκεφάλου, όπως αυτή αναλύεται σε μια άπειρη περιοχή συχνοτήτων (η οποία βέβαια στην πράξη περιορίζεται στους ρυθμούς του ΗΕΓ που έχουν ερευνηθεί μέχρι σήμερα), όπως αυτή μετράται ή/και παράγεται σε ένα τεράστιο πλήθος εγκεφαλικών περιοχών και, τέλος, όπως εξελίσσεται χρονικά (με διακριτική ικανότητα μέτρησης σε msec ή ίσως και μικρότερη), είναι πιθανώς ικανή να παρέχει το κατάλληλο χωροχρονικό πλαίσιο με βάση το οποίο ο εγκέφαλος οργανώνει, αποθηκεύει και γενικά επεξεργάζεται όλες τις πληροφορίες, από τις «απλούστερες» αισθητηριακές λειτουργίες μέχρι τις «υψηλότερες» λειτουργίες της ανθρώπινης σκέψης (Krause 2006:4, Basar et al. 2001a, Jensen & Lisman 1996, Klimesch 1999).

Η μελέτη της δομής και της φυσιολογίας των γνωστικών διεργασιών απαιτεί συνδυασμό δεδομένων και παρατηρήσεων αιματικής ροής ή οξυγόνωσης, χημικών διεργασιών και ηλεκτρομαγνητικής δραστηριότητας ολόκληρου του εγκεφάλου. Εντούτοις, η μέθοδος του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος, που ακολουθείται στην παρούσα έρευνα, και του τρόπου που αυτό αντανακλά την ανθρώπινη συμπεριφορά και τις νοητικές δραστηριότητες, έχει τη δική της αξία ως πηγή πληροφοριών και επαλήθευση θεωριών και συνιστά πειραματική μέθοδο ικανή να ανταποκριθεί στην ταχύτατη επεξεργασία των πληροφοριών που επιτελεί ο εγκέφαλος (Niedermeyer 1999). Οι βασικοί άξονες γύρω από τους οποίους εξελίσσεται η ηλεκτρική εγκεφαλική δραστηριότητα καθορίζονται από δύο συνιστώσες, το χώρο (περιοχές του φλοιού) και το χρόνο (μετρούμενο σε χιλιοστά του δευτερολέπτου). Αυτός ακριβώς ο διπλός κώδικας συνδυαζόμενος με ηλεκτρικές ταλαντώσεις σε διάφορες ζώνες συχνοτήτων θεωρείται σήμερα ένας πολλά υποσχόμενος μηχανισμός για την ερμηνεία των γνωστικών λειτουργιών ως δίκτυο επικοινωνίας επιμέρους εγκεφαλικών δομών (Krause 2002, 2006).

Ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα της ηλεκτροεγκεφαλογραφίας (και της μαγνητοεγκεφαλογραφίας) ως μεθόδου απεικόνισης της εγκεφαλικής λειτουργίας είναι η άριστη (σε σχέση με τις άλλες μεθόδους) χρονική της ευαισθησία με ακρίβεια χιλιοστών του δευτερολέπτου, της ίδιας τάξης μεγέθους δηλαδή στην οποία

πραγματοποιούνται οι ηλεκτρομαγνητικές αλλαγές της εγκεφαλικής λειτουργίας. Ο χρόνος και η χρονική επεξεργασία των πληροφοριών είναι αναμφισβήτητα μια από τις πιο σημαντικές ιδιότητες της ανθρώπινης σκέψης.

Οι στόχοι της παρούσας έρευνας περιορίζονται στη μελέτη αντιληπτικών κυρίως λειτουργιών που λαμβάνουν χώρα κατά τη γνωστική εν γένει επεξεργασία όταν τα υποκείμενα αλληλεπιδρούν με εικονικά περιβάλλοντα και οι οποίες προέρχονται κυρίως από την ηλεκτρική δραστηριότητα του εγκεφαλικού φλοιού. Για το σκοπό αυτό θα αναφερθούμε σε όσο το δυνατό λιγότερα ανατομικά ή φυσιολογικά δεδομένα του ανθρώπινου εγκεφάλου, εκτός από τις περιπτώσεις που αυτό κρίνεται αναγκαίο για την πληρέστερη ανάλυση και ερμηνεία αποτελεσμάτων, ειδικά ως προς τη χωρική τους συνιστώσα.

Μια κοινή έννοια που αναφέρεται ευρέως στα επόμενα κεφάλαια είναι η κατάσταση χαλάρωσης ή ηρεμίας. Παρά την εγγενή αδυναμία ορισμού του, είναι ο ευρύτερα χρησιμοποιημένος πειραματικός όρος στις λειτουργικές νευρο-απεικονιστικές έρευνες. Χρησιμεύει συνήθως για να καθορίζει μια «βασική γραμμή» εγκεφαλικής δραστηριότητας και οι αποκλίσεις από αυτή τη γραμμή ερμηνεύονται ως λειτουργική «ενεργοποίηση» ή «απενεργοποίηση» που προκύπτουν ως απόκριση σε κάποια πειραματική διεργασία (Laufs et al. 2003). Απόπειρες προσδιορισμού της κατάστασης χαλάρωσης και ηρεμίας αναφέρονται στην ενότητα 6.5.2.

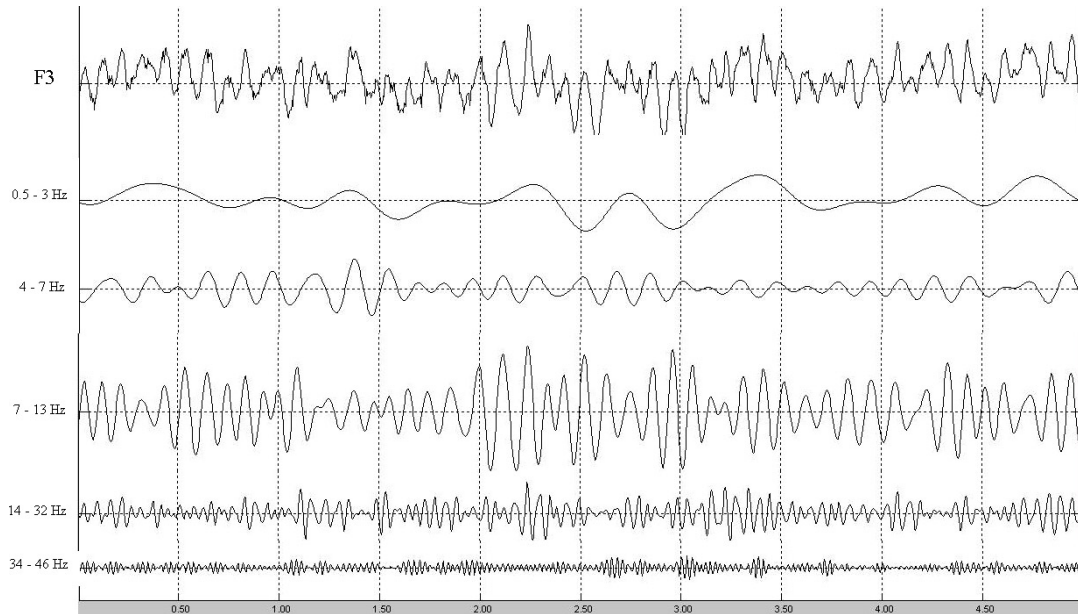
## **6.2 Οι ρυθμοί του ΗΕΓ**

Τα ηλεκτρικά σήματα του εγκεφάλου τροποποιούνται όταν συμβαίνουν αισθητηριακά και κινητικά γεγονότα, όταν εμφανίζονται απαιτήσεις για προσοχή καθώς επίσης και κατά τη διάρκεια συναισθηματικών ή γνωστικών διεργασιών. Το ενδιαφέρον στη μελέτη των εγκεφαλικών λειτουργιών από ηλεκτρικής (και ηλεκτρομαγνητικής) άποψης εστιάζεται στους ρυθμούς (συχνότητες) του εγκεφάλου και στις αλλαγές που υφίστανται κατά την ενασχόληση με εργασίες που απαιτούν νοητική προσπάθεια. Στις επόμενες ενότητες θα αναφερθούμε με λεπτομέρεια στους ρυθμούς του ΗΕΓ και κυρίως στους σημαντικότερους (με τα μέχρι στιγμής ερευνητικά δεδομένα) ρυθμούς, δηλαδή στους άλφα, θήτα και λιγότερο τους βήτα και γάμα ρυθμούς.

### **6.2.1 Γενική περιγραφή των ρυθμών του ΗΕΓ**

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην ενότητα 5.5 το συνεχές ΗΕΓ δεν αποτελεί μία απλή ανάμιξη συχνοτήτων, αλλά η ρυθμικότητά του εμφανίζεται με μια ποικιλία κυμάτων με διαφορετικές συχνότητες και πλάτη. Τα κύματα αυτά ονομάζονται και «ρυθμοί» και διακρίνονται γενικά σε αργά (με συχνότητα μικρότερη από 7 Hz), μεσαία (8 – 13 Hz), γρήγορα (14 – 30 Hz) και πολύ γρήγορα κύματα (με συχνότητα μεγαλύτερη από 30 Hz) (Niedermeyer 1999).

Η περιοχή συχνοτήτων του ανθρώπινου ΗΕΓ δεν έχει σαφή όρια. Υπάρχουν πολύ χαμηλές και πολύ υψηλές συχνότητες, οι οποίες συνήθως δεν ενδιαφέρουν την κλινική ανάλυση ούτε την ψυχοφυσιολογία. Πρακτικά οι συχνότητες που εξετάζονται κυμαίνονται από 0.1 έως 100 Hz ή συνηθέστερα 0.3 έως 70 Hz.



Σχήμα 6-1. Παράδειγμα αποσπάσματος ΗΕΓ στο ηλεκτρόδιο F3 από τη Μονάδα Τεχνολογιών Αγωγής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. Στο πάνω διάγραμμα εικονίζεται το συνολικό σήμα, ενώ στα κάτω φαίνονται οι κυριότεροι ρυθμοί, όπως προκύπτουν από αντίστοιχα ζωνοπερατά φίλτραρίσματα του αρχικού σήματος. Στον οριζόντιο άξονα αντιστοιχίζεται ο χρόνος σε δευτερόλεπτα και στον κατακόρυφο η διαφορά δυναμικού σε  $\mu\text{V}$ .

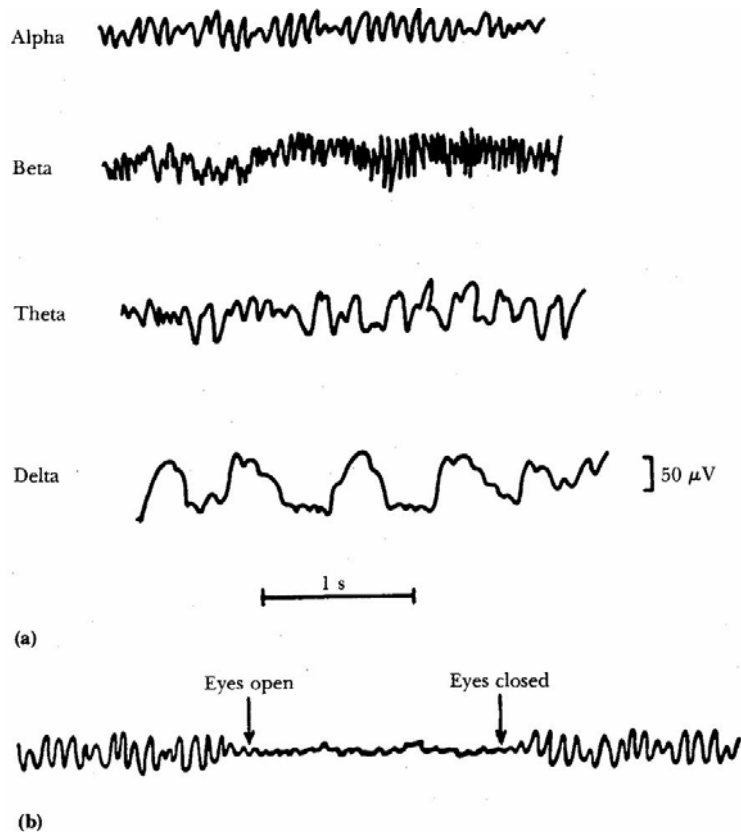
Οι ρυθμοί ονομάζονται με γράμματα από το Ελληνικό αλφάβητο, χωρίς να υπάρχει κάποια σειρά. Μέχρι σήμερα έχουν χρησιμοποιηθεί δώδεκα γράμματα για το σκοπό αυτό. Στον πίνακα 6-1 παρουσιάζονται οι συνηθέστεροι ρυθμοί με τα επικρατέστερα όρια των συχνοτήτων τους. Ωστόσο υπάρχουν μικροδιαφορές στα όρια αυτά από ερευνητή σε ερευνητή, όπως και διαφορές που επηρεάζονται από φυσιολογικές διαφοροποιήσεις από άτομο σε άτομο ή ακόμη από περιβαλλοντικές επιδράσεις στο ίδιο άτομο. Οι διαφοροποιήσεις αυτές θα συζητηθούν αργότερα στην ενότητα 6.7.

Στο σχήμα 6-1 και στο σχήμα 6-2 εικονίζονται παραδείγματα των κυριότερων ρυθμών του ΗΕΓ ως χρονοσειρές διαφορών δυναμικού.

Σημειώνεται ότι οι ρυθμοί του ΗΕΓ διαφέρουν και ως προς τις εγκεφαλικές περιοχές. Μια πληρέστερη περιγραφή τους θα καθόριζε ξεχωριστά τους ρυθμούς για κάθε καταγραφική θέση (ηλεκτρόδιο). Κάτι τέτοιο δεν έχει εφαρμοστεί ακόμη για πρακτικούς λόγους (Klimesch 1999).

Αν και στον πίνακα 6-1 εμφανίζονται αρκετοί ρυθμοί, οι περισσότεροι ερευνητές όπως και η παρούσα μελέτη βασίζεται στη βασική διάκριση των ρυθμών σε δέλτα, θήτα, άλφα, βήτα και γάμα.

Πίνακας 6-1. Συνοπτική περιγραφή των ρυθμών ΗΕΓ	
«δέλτα», «delta»	0.1 (ή 1.5) – 3.5 (ή 4) Hz. Υψηλού δυναμικού. Εισήχθηκε από τον Walter το 1936. Γενικά συναντάται σπάνια κατά τη φάση της εγρήγορσης.
«θήτα», «theta»	4 – 7.5 Hz. Εισήχθηκε από τον Walter. Ονομάστηκε έτσι γιατί θεωρήθηκε ότι προέρχεται από το θάλαμο.
«άλφα», «alpha»	7.5 – 12.5 Hz ή 8 - 13 Hz Ονομάστηκε από τον Berger το 1929. Εμφανίζεται κυρίως στις οπίσθιες και περισσότερο στις ινιακές περιοχές.
«βήτα», «beta»	13- 30 Hz. Χαμηλού δυναμικού. Ονομάστηκε από τον Berger το 1929. Αρχικά περιλάμβανε όλες τις συχνότητες πάνω από τα 13 Hz. Εμφανίζεται κυρίως στις πρόσθιες και κεντρικές περιοχές. Σε συνδυασμό με τον «άλφα» είναι ο συνηθέστερος ρυθμός κατά τη φάση της εγρήγορσης.
«γάμμα», «gamma»	Πάνω από 30 Hz ή κοντά στα 40 Hz. Χαμηλού δυναμικού. Πρωτοχρησιμοποιήθηκε από τους Jasper και Andrews το 1938, αλλά στη συνέχεια εγκαταλείφθηκε για να επανέλθει στη δεκαετία του 1990.
«φι», «phi», «phi complex»	Περίπου 10 Hz σε κεντρικές-βρεγματικές περιοχές. Σχετίζεται με κοινωνική συμπεριφορά.
«κάπα συμπλέγματα», «kappa-complex»	Υψηλού δυναμικού κύματα στην περιοχή της δέλτα δραστηριότητας.
«κάπα», «kappa»	Ίδιες με τις άλφα συχνότητες. (Μετωπο)κροταφική εξάπλωση.
«σίγμα», «sigma»	12.5 – 15 Hz, εμφανίζεται κυρίως στον ύπνο (Klimesch 1999, Nakamura et al. 2003).
«ρω», «rho»	Γρήγορα κύματα με μεγαλύτερη συχνότητα από το γάμμα ρυθμό (περίπου 55-118 Hz).
«μυ», «mu», «κεντρικός άλφα»	Ίδιες με τις άλφα συχνότητες. Εμφανίζεται στις κεντρικές περιοχές.
«λάμδα», «lambda» κύματα	Οξείες αλλαγές που συμβαίνουν στην ινιακή περιοχή κατά τη διάρκεια οπτικής εξερεύνησης
«third», «ταυ», «tau», «κροταφικός άλφα»	Έχει συχνότητες στην άλφα και άνω θήτα περιοχή, κατά προσέγγιση 8-10 Hz (Krause 2006). Εμφανίζεται στις κροταφικές περιοχές. Δεν καταγράφεται στο κανονικό ΗΕΓ (βλ. και Klimesch 1999:174)



Σχήμα 6-2. Παραδείγματα (a) των κυματομορφών των κυριότερων ρυθμών του ΗΕΓ και (b) της καταστολής του άλφα ρυθμού με το άνοιγμα των ματιών, όπως καταγράφηκαν από παλαιού τύπου ηλεκτροεγκεφαλογράφο με μηχανικές γραφίδες.

Όπως θα φανεί και στα επόμενα κεφάλαια η έννοια του κύματος που χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει τους ρυθμούς του ΗΕΓ δεν ταυτίζεται με την κλασική έννοια της κυματικής, αλλά έχει διευρυνθεί ώστε να συμπεριλαμβάνει ακόμη και μη ρυθμικά πρότυπα ΗΕΓ σήματος ή σύντομες διαταραχές στις οποίες δεν μπορούμε να αποδώσουμε τιμές στα μεγέθη της συχνότητας ή της περιόδου και που συνήθως δε χαρακτηρίζονται ως ρυθμοί αλλά απλά ως «κύματα».

Υπάρχουν, όμως, στοιχεία στο ΗΕΓ που εμφανίζουν ξεκάθαρες κυματοειδείς ταλαντώσεις, κάτι που πρακτικά φαίνεται ως «κορυφή» στη φασματική ανάλυση συχνοτήτων. Τέτοια στοιχεία είναι ο άλφα ρυθμός (που έχει ημιτονοειδή κυματομορφή), ο «μ» και ο «ταυ» ρυθμός (Klimesch 1999) και σε μικρότερο βαθμό οι θήτα, βήτα και γάμα.

Το χαρακτηριστικό της συχνότητας δεν αρκεί πάντα για να αναγνωριστεί ένας ΗΕΓ ρυθμός. Σημαντικό ρόλο μπορεί να διαδραματίσουν η μορφή, το πλάτος, η τοπολογία, η κατανομή στο κρανίο και η συμμετρία. Έτσι ο όρος «κύματα ΗΕΓ» χρησιμοποιείται συχνά αντί του όρου ρυθμοί του ΗΕΓ. Σε μερικές περιπτώσεις, όπως τα Κ-συμπλέγματα, τα V κύματα, τα λ κύματα, ο μ ρυθμός, τα POSTS (positive occipital sharp transients of sleep), τα ατρακτοειδή κύματα (spindles), τα κύματα αιχμής (spikes), τα οξεία κύματα (sharp waves) και τα κεντρικά δέλτα κύματα

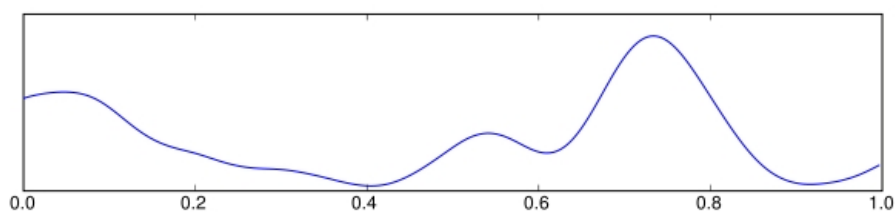
(certain delta waves), το σχήμα και η μορφολογία παίζουν σημαντικότερο ρόλο από τη συχνότητα στην ταυτοποίηση ενός ΗΕΓ κύματος ή ρυθμού.

Για τον τρόπο, το μηχανισμό και την τοπογραφία παραγωγής των ρυθμών έχουν προταθεί διάφορες υποθέσεις, κάποιες από τις οποίες έχουν πειραματική επαλήθευση, αλλά στον τομέα αυτό τίποτε δεν είναι ακόμη οριστικά ξεκάθαρο. Ωστόσο ο θήτα ρυθμός φαίνεται να προέρχεται από τη νευρωνική δραστηριότητα του ιππόκαμπου, ο άλφα από νευρικά δίκτυα μεταξύ φλοιωδών συστημάτων (cortico-cortical) και θαλαμο-φλοιωδών συστημάτων (thalamus-cortical), ο βήτα κυρίως από τον κινητικό φλοιό, ενώ ο γάμα διαθέτει ένα πολυπλοκότερο και ευρύτερο δίκτυο δημιουργίας.

Η «νέα γενιά» των ερευνητών των εγκεφαλικών ρυθμών, που άρχισε στη δεκαετία του '90 με τις εργασίες των Basar και Bullock, έχει αμφισβητήσει έντονα τη μέχρι τότε γενικά αυθόρμητη λειτουργία των εγκεφαλικών ρυθμών. Η έμφαση από αυτούς τους ερευνητές δίνεται κύρια στην προκαλούμενη από ερεθίσματα (εξωτερικά ή εσωτερικά) λειτουργία των ρυθμών, σε σημείο που η διάκριση ανάμεσα στους ρυθμούς ΗΕΓ και τα προκλητά δυναμικά να θεωρείται ελάχιστη. Αυτή η άποψη αποτελεί κατά κάποιο τρόπο μια «επιστροφή» σε παλιότερες αντιλήψεις που προσπαθούσαν να ερμηνεύσουν κάθε νοητική λειτουργία με τις παρατηρούμενες μεταβολές στο ΗΕΓ (Niedermeyer 1999:166, Basar & Bullock 1992).

Αναφέρεται συχνά στις ΗΕΓ μελέτες η έννοια της λειτουργίας στο υπόβαθρο σε αντιδιαστολή με λειτουργίες στο προσκήνιο. Δεν υπάρχει κάποιος σαφής ορισμός και οι έννοιες αυτές χρησιμοποιούνται αυθαίρετα. Μόνο οι συνθήκες της πειραματικής διαδικασίας ή καλύτερα ο τρόπος που τίθεται η ερευνητική υπόθεση καθορίζει ποιες λειτουργίες θεωρούνται κάθε φορά υπόβαθρο και ποιες προσκήνιο (Niedermeyer 1999:166).

### 6.2.2 Η δέλτα δραστηριότητα



Σχήμα 6-3. Παράδειγμα δέλτα ρυθμού στο ηλεκτρόδιο Oz διάρκειας 1 sec.

Ο κατακόρυφος άξονας είναι σε  $\mu\text{V}$  και ο οριζόντιος σε sec.

Η δέλτα δραστηριότητα αποτελείται από τα πιο αργά κύματα ΗΕΓ με περιοχές συχνοτήτων 0.1 (ή 1.5) – 3.5 Hz ή 0.5 – 4 Hz και τα μεγαλύτερα πλάτη από όλους τους άλλους ρυθμούς, 20 – 200  $\mu\text{V}$ . Είναι η κυρίαρχη εγκεφαλική δραστηριότητα στη μεγαλύτερη διάρκεια του ύπνου και σε καταστάσεις αναισθησίας, ενώ όταν παρατηρείται κατά την εγρήγορση συνήθως υποδηλώνει παθολογικές καταστάσεις (Schabus 2001). Το σχήμα 6-3 αποτυπώνει, αν και δεν παρουσιάζει ξεκάθαρη

κυματοειδή μορφή, ένα τυπικό παράδειγμα δέλτα ρυθμού με συχνότητα περίπου 3 Hz.

Σε νεότερες όμως έρευνες με προκλητά δυναμικά, η δέλτα δραστηριότητα εμφανίζεται σε φυσιολογικά άτομα κατά τη φάση της εγρήγορσης και συσχετίζεται με ανίχνευση σήματος και λήψη αποφάσεων (όταν για παράδειγμα ένα ακουστικό ερέθισμα είναι κοντά στο όριο ακουστότητας). Σε οπτικά ερεθίσματα είναι εντονότερη στις πλευρικές περιοχές, ενώ σε ακουστικά στις κεντρικές και μετωπιαίες περιοχές (Basar et al. 1999:167). Ο Onton (Onton et al. 2005) αναφέρει αύξηση στη μετωπιαία περιοχή της μέσης γραμμής στη συχνότητα των 3 Hz κατά τη διεξαγωγή μνημονικών διεργασιών (η οποία δεν ήταν αναμενόμενη αφού κυρίως ο θήτα ρυθμός εμπλέκεται σε αυτή την περίπτωση) και συσχέτισε αυτή την αύξηση όχι τόσο με τη λειτουργία της μνήμης, αλλά με μια πιθανή γενική εστίαση στη μετωπιαία περιοχή της μέσης γραμμής του φλοιού ως απόκριση (αντίδραση) στα αισθητήρια ερεθίσματα που παρέχουν τις ενδεχομένως σημαντικές πληροφορίες. Γενικά, παρά το μικρό αριθμό ερευνών σε σχέση με άλλους ρυθμούς του ΗΕΓ, έχει παρατηρηθεί αύξηση του δέλτα ρυθμού σε διάφορες νοητικές διεργασίες (Dolce & Waldeier 1974, Tucker et al. 1985, Kakizaki 1985, Etevenon 1986, Valentino et al. 1993, Femandez et al. 1995). Ο δέλτα ρυθμός εμφανίζεται επίσης σε ποικίλες καταστάσεις διαλογισμού και στη σκόπιμη και συνειδητή εστίαση της προσοχής στην απουσία αισθητήριων ερεθισμάτων (Findji et al. 1981).

Ωστόσο, οι περισσότεροι ερευνητές φαίνεται να συμφωνούν με τις παρατηρήσεις του Giannitrapani (1971) που σε έρευνα με διαφορετικού τύπου νοητικές διεργασίες σημείωσε αύξηση της δέλτα δραστηριότητας όχι στις διεργασίες που απαιτούσαν επεξεργασία εξωτερικών ερεθισμάτων, αλλά μόνο στις διεργασίες που απαιτούσαν εστίαση της προσοχής σε εσωτερικές διαδικασίες.

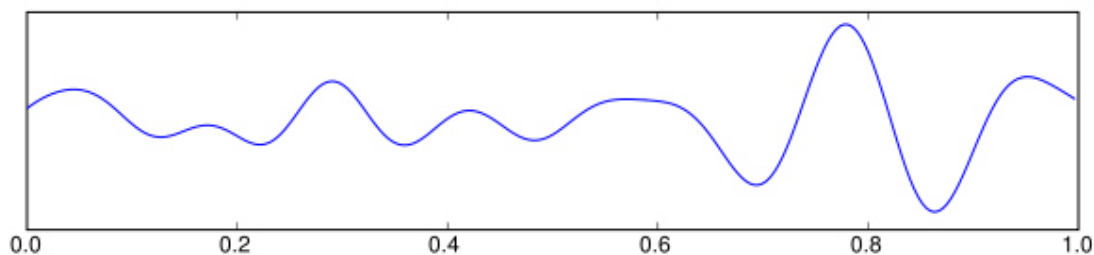
Τα αργά κύματα και κυρίως ο δέλτα ρυθμός (πέρα από την επιφύλαξη ότι είναι ευπαθής σε οφθαλμικά παράσιτα) έχουν συσχετιστεί με λειτουργίες παρεμπόδισης και καταστολής. Ο Vogel (Vogel et al. 1968), προκειμένου να εξηγηθεί η προφανής αντίφαση μεταξύ της αύξησης των δέλτα κυμάτων κατά τη διάρκεια κάποιων νοητικών στόχων και του γεγονότος ότι αυτή η δραστηριότητα είναι το κύριο χαρακτηριστικό του ύπνου, προτείνει δύο τύπους παρεμπόδισης που συσχετίζονται με το δέλτα ρυθμό: 1) Μια γενική αδρανοποίηση με συνέπεια μία χαλαρωμένη, λιγότερο ενεργή κατάσταση όπως κατά τη διάρκεια του ύπνου και 2) μια εκλεκτική καταστολή της ακατάλληλης ή άσχετης νευρωνικής δραστηριότητας κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης μιας συγκεκριμένης γνωστικής διεργασίας. Σε παρόμοια συμπεράσματα καταλήγουν και νεότεροι ερευνητές χρησιμοποιώντας ακριβέστερες τεχνικές φασματικής ανάλυσης. Ο Harmony (Harmony et al. 1996) επίσης υποστηρίζει ότι αύξηση της δέλτα δραστηριότητας (στην ίδια κατηγορία συμπεριλαμβάνουν και τον κατώτερο θήτα ρυθμό) συμβαίνει στις διεργασίες που απαιτούν εστίαση της προσοχής σε εσωτερικές διαδικασίες, ενώ η προσοχή σε εξωτερικά ερεθίσματα μειώνει τη δέλτα δραστηριότητα. Συγκεκριμένα αύξηση στην περιοχή συχνοτήτων μεταξύ 1.56 και 5.46 Hz παρατηρήθηκε κατά την εκτέλεση νοητικών διεργασιών



χωρίς εξωτερικά ερεθίσματα και αύξηση μεταξύ 1.56 και 3.90 Hz συσχετίστηκε με τη δυσκολία της διεργασίας.

### 6.2.3 Ο θήτα ρυθμός

#### Ορισμός – Ιστορία – Μορφολογία



Σχήμα 6-4. Παράδειγμα θήτα ρυθμού στο ηλεκτρόδιο Oz διάρκειας 1 sec.  
Ο κατακόρυφος άξονας είναι σε  $\mu\text{V}$  και ο οριζόντιος σε sec.

Ο ρυθμός θήτα θεωρούνταν μέρος του δέλτα μέχρι το 1944 που οι Walter και Dovey τον ανέδειξαν ως διαφορετικό ρυθμό (Walter & Dovey 1944). Η ονομασία θήτα επιλέχθηκε για να χαρακτηρίσει την προτεινόμενη προέλευσή του από το θάλαμο. Ο μηχανισμός παραγωγής του είναι το πιθανότερο διαφορετικός από το μηχανισμό του άλφα ρυθμού (Rugg & Dickens 1982). Σύμφωνα με τον επίσημο ορισμό ως θήτα ορίζεται ο ρυθμός με συχνότητα 4 μέχρι σχεδόν τα 8 Hz (IFSECN 1974). Μερικοί ερευνητές χρησιμοποιούν ελαφρώς διαφορετικές συχνότητες, όπως 5-7 Hz, 4-6 Hz, κ.λπ. Ο Schacter δεν εντόπισε αξιοσημείωτες διαφορές στη συσχέτιση του θήτα ρυθμού και ψυχολογικών φαινομένων που να επηρεάζονται από τα όρια του ρυθμού ή από το είδος της καταγραφής (μονοπολική – διπολική) (Schacter 1977). Ορισμένοι ερευνητές διακρίνουν δύο υπορυθμούς, τον «θήτα 1» (3.5–5.5 Hz) και «θήτα 2» (5.5–7.5 Hz) (Cochin et al. 2001).

Αν και ο θήτα δεν έχει ξεκάθαρη κυματοειδή μορφή, η δραστηριότητά του τον κατατάσσει στα κυματοειδή (oscillatory) συστατικά του ΗΕΓ (Klimesch 1999). Με ειδική ανάλυση μπορεί να εμφανιστεί κορυφή στο φάσμα ισχύος του (Gevins et al. 1997). Η δυσκολία να εμφανιστεί ξεκάθαρος θήτα ρυθμός δηλαδή εμφανής κορυφή στο φάσμα ισχύος είχε δημιουργήσει στο παρελθόν αρκετά ερωτηματικά για την ύπαρξη του ρυθμού στον άνθρωπο. Νεότερες έρευνες με τη χρήση ΗΕΓ με ενδοκρανιακά ηλεκτρόδια (που καταγράφουν ισχυρότερα σήματα και επομένως αυξάνουν την αναλογία σήματος προς θόρυβο) ανέδειξαν την ύπαρξη του θήτα ρυθμού στον ανθρώπινο φλοιό (Kahana et al. 2001). Ο θήτα ρυθμός παρουσιάζει μεγαλύτερο εύρος και κανονικότερη κυματοειδή κυματομορφή στις μετωπικές και κεντρικές περιοχές, ηλεκτρόδια Fz, Cz και Pz (Basar et al. 2001b).

Ο θήτα ρυθμός παίζει σημαντικό ρόλο στα βρέφη και στην παιδική ηλικία όπως επίσης και στις καταστάσεις της υπνηλίας και του ύπνου. Ωστόσο, ο Takahashi και οι συνεργάτες του (Takahashi et al 1997) υποστήριξαν ότι άτομα που παρουσιάζουν

θήτα ρυθμό συχνότητας 6 – 7 Hz σε κατάσταση ήπιας υπνηλίας, εμφανίζουν τον ίδιο τύπο δραστηριότητας σε νοητικές εργασίες.

Στην περίπτωση των σχετικών με γεγονότα διαφοροποιήσεων (βλέπε ενότητα 6.4.2) του ρυθμού οι θήτα αλλαγές συνήθως υπερκαλύπτονται από τον άλφα ρυθμό (Basar et al. 2001b).

Στο σχήμα 6-4 παριστάνεται παράδειγμα του θήτα ρυθμού στο ηλεκτρόδιο Oz. Αν και δεν παρουσιάζει ξεκάθαρη κυματοειδή μορφή, μπορούμε να αναγνωρίσουμε ρυθμική δραστηριότητα συχνότητας 6 – 7 Hz.

### **Αισθητηριακές λειτουργίες - Προσανατολισμός**

Ο Gale και οι συνεργάτες του σε μια σειρά ερευνών ασχολήθηκαν με τη συσχέτιση του θήτα ρυθμού και τις αντιληπτικές λειτουργίες. Σε εργασίες με οπτικά ερεθίσματα (παθητική προβολή διαφανειών) παρατήρησαν μείωση του άλφα ρυθμού με την αύξηση της πολυπλοκότητας και παράλληλα γραμμική αύξηση του θήτα ρυθμού (Gale et al. 1971a, 1971b, 1975). Η πολυπλοκότητα στην περίπτωση αυτή καθορίζονταν κύρια από τον αριθμό των εικόνων που προβάλλονται.

Οι Haslum και Gale (1973) σε έρευνα με παρουσίαση ακολουθιών ψηφίων παρατήρησαν ότι η αύξηση του θήτα ρυθμού και ταυτόχρονη μείωση του άλφα σε σχέση με κατάσταση χαλάρωσης μετά από κάθε ερέθισμα ήταν εντονότερη στα ακουστικά ερεθίσματα, το οποίο επιβεβαίωσε προηγούμενη έρευνά τους (Gale et al. 1972) και ανύπαρκτη στον οπτικό τρόπο αναπαράστασης.

Αντίθετα ο Beatty (Beatty et al. 1974), που χρησιμοποίησε σε οπτικά ερεθίσματα υποκείμενα που είχαν εξασκηθεί με μεθόδους βιοανάδρασης να καταστέλλουν ή να αυξάνουν τη θήτα δραστηριότητα, παρατήρησαν ότι τα υποκείμενα που είχαν εκπαιδευτεί να λειτουργούν με αυξημένο θήτα παρουσίασαν σημαντικά περισσότερα λάθη σε σχέση με υποκείμενα χωρίς καμία εκπαίδευση, ενώ το αντίθετο παρατηρήθηκε με τα υποκείμενα που είχαν εκπαιδευτεί να λειτουργούν με μειωμένο θήτα. Αυτές οι παρατηρήσεις συμφωνούν με μελέτες σε κατάσταση ύπνωσης ή στέρησης ύπνου όπου η αυξημένη θήτα δραστηριότητα συσχετίζεται με μειωμένη επαγρύπνηση (alertness), η οποία με τη σειρά της οδηγεί σε αδυναμία επιτυχούς επεξεργασίας των εξωτερικών ερεθισμάτων. Για παράδειγμα σε μελέτη της επαγρύπνησης σε υποκείμενα που έχουν υποστεί στέρηση ύπνου δε βρέθηκε καμία διαφορά στον άλφα ρυθμό, ενώ όλα τα υποκείμενα παρουσίασαν μείωση στο θήτα ρυθμό στις λάθος απαντήσεις (3 sec πριν τη λάθος απάντηση και 3 sec μετά) (Daniel 1967). Ωστόσο, αυτές οι παρατηρήσεις δε συμβαδίζουν με έρευνες που αναφέρθηκαν νωρίτερα στις οποίες αυξημένη θήτα δραστηριότητα συσχετίζεται με λειτουργίες επιλογής, εστίασης και αύξησης της προσπάθειας επεξεργασίας.

Ένα κρίσιμο ζήτημα που διαφοροποιεί τα συγκριτικά αποτελέσματα των ερευνών που αναφέρθηκαν είναι οι σημαντικές διαφορές τόσο στα χαρακτηριστικά του θήτα ρυθμού της κάθε έρευνας (πλάτος, συχνότητα, μορφή) όσο και στην τοπογραφική εξάπλωση στον εγκεφαλικό φλοιό. Για παράδειγμα, όσο αφορά στις μελέτες ύπνωσης και στέρησης ύπνου η θήτα δραστηριότητα είναι επαρκώς

καθορισμένη (χαμηλό πλάτος, ακανόνιστη κυματομορφή, με διάχυτη χωρική εξάπλωση και μετατρέπεται σε άλφα με κάποιο ερεθισμό των αισθήσεων). Στις μελέτες όμως αντιληπτικών λειτουργιών και επίλυσης προβλημάτων υπάρχουν αρκετές διαφορές από έρευνα σε έρευνα κυρίως ως προς την περιοχή του φλοιού που μελετάται κάθε φορά η οποία περιορίζεται συνήθως στις πρόσθιες – κεντρικές περιοχές (Schacter 1977).

Ανεξάρτητα από το είδος της αισθητήριας εισαγωγής, σύνθετα αισθητηριακά ερεθίσματα προκαλούν μεγάλη αύξηση στο μετωπιαίο θήτα (όπως προκύπτει από μελέτες προκλητών δυναμικών), το οποίο γενικά συμφωνεί με την κυρίαρχη άποψη πως σύνθετα γεγονότα απαιτούν μετωπιαία επεξεργασία (Basar et al. 1999).

Η λειτουργία του προσανατολισμού συνδυαζόμενη με μια συντονισμένη απόκριση που δείχνει επαγρύπνηση, διέγερση ή ετοιμότητα, συσχετίζεται με τις ταλαντώσεις θήτα κατά τη διάρκεια καταστάσεων εξερεύνησης και έρευνας (Basar et al. 1999).

Σημαντική αύξηση της ισχύος του θήτα ρυθμού έχει παρατηρηθεί στις μετωπιαίες περιοχές στο τέλος (σε σχέση με την αρχή) χωρικών και λεκτικών διεργασιών που είχαν παρουσιαστεί στα υποκείμενα οπτικά (Gevins et al. 1997). Αυτό σε συνδυασμό με την παρατήρηση ότι αύξηση στο θήτα στη μετωπιαία περιοχή της μέσης γραμμής σε νυσταγμένα υποκείμενα που προσπαθούν να παραμείνουν σε εγρήγορση (vigilant) (Caldwell et al. 2003), πιθανώς υποδηλώνει ότι ο θήτα ρυθμός δε συνδέεται αυστηρά με την ποσότητα της πληροφορίας που πρέπει να υποστεί επεξεργασία, αλλά με το βαθμό της νοητικής προσπάθειας που απαιτείται για να αντεπεξέλθει το υποκείμενο στις ανάγκες της διεργασίας (Onton et al. 2005).

Αντίστοιχη αύξηση της θήτα ισχύος (σε μικρότερο όμως βαθμό) έχει καταγραφεί και σε εργασίες απτικής αναγνώρισης αντικειμένων, αλλά μόνο στο τέλος του πειράματος και καθόλου στην αρχή του. Επειδή θεωρείται ότι η γνωστική επεξεργασία της απτικής αναγνώρισης αντικειμένου είναι μια τμηματική διαδικασία που περιλαμβάνει τη μνήμη εργασίας, αυξημένη πολυπλοκότητα της διεργασίας συνεπάγεται επιβάρυνση του φορτίου της μνήμης εργασίας (όσο πραγματοποιείται η εξέταση και όχι στην αρχή της), πράγμα που συνοδεύεται με αύξηση της θήτα ισχύος (Grunwald et al. 2001).

### **Επίλυση προβλημάτων**

Από πολύ νωρίς έγινε προσπάθεια να συσχετιστεί η θήτα δραστηριότητα με την επίλυση προβλημάτων (Arellano & Schwab 1950). Από τότε αρκετές έρευνες γνωστικών λειτουργιών εστίασαν την προσοχή τους στο θήτα ρυθμό, κυρίως όμως στη μετωπιαία περιοχή της μέσης γραμμής και ελάχιστα στις πίσω περιοχές που μπορεί επίσης να εμφανιστεί θήτα, κυρίως στα παιδιά και λιγότερο στους ενήλικες (π.χ. Brazier & Casby 1952, Ishihara & Yoshii 1972, Mizuki et al. 1980 1983, Mizuki 1982 1987, Lang et al. 1987). Οι Ishihara και Yoshii (1972) συνδέουν το μετωπιαίο θήτα γενικά με νοητικές διεργασίες που απαιτούν προσοχή, κάτι το οποίο εν μέρει επαληθεύεται σε μεταγενέστερη ΜΕΓ έρευνα που προσδιορίζει την έσω

προμετωπιαία περιοχή (Ishii et al. 1999). Ο Mizuki και οι συνεργάτες του παρατήρησαν θήτα 5 – 5.5 Hz που εμφανιζόταν σε απλές εργασίες νοερής αριθμητικής (1980) και συνέδεσαν το θήτα ρυθμό με το βαθμό δυσκολίας της εκτελούμενης δραστηριότητας αφού ο θήτα εμφανίζονταν συχνότερα στα δυσκολότερα σημεία του πειράματός τους ή όταν συνέβαιναν τα περισσότερα λάθη των υποκειμένων (1982). Και άλλοι ερευνητές παρατήρησαν αύξηση της μετωπιαίας θήτα δραστηριότητας με την αύξηση της δυσκολίας της διεργασίας (Kahana et al. 1999, Lazarev 1998). Ο Lang (Lang et al. 1987) παρατήρησαν αυξημένο μετωπιαίο θήτα κατά τη διάρκεια της εκμάθησης σε οπτικο-κινητικές εργασίες. Επίσης ο θήτα ρυθμός συνδέεται με το βαθμό της επίδοσης (για παράδειγμα υποκείμενα με υψηλότερη επίδοση στην αναγνωστική ικανότητα είχαν μεγαλύτερη αύξηση στο θήτα σε σχέση με υποκείμενα χαμηλότερης επίδοσης). Ο Schacter (Schacter 1977) δηλώνει ότι η αύξηση του θήτα ρυθμού (στις μετωπιαίες κυρίως περιοχές, ενώ όταν ο θήτα εμφανίζεται διάχυτος συνήθως συνδέεται με υπναγωγικές καταστάσεις ή με στέρηση ύπνου), τυπικά συνδέεται με αύξηση του νοητικού φόρτου, όπως αυτός περιγράφεται από τη δυσκολία της διεργασίας και την πολυπλοκότητα των ερεθισμάτων. Η μείωση του θήτα κατά την επίλυση προβλημάτων έχει επίσης συνδεθεί με τις ανακριβείς απαντήσεις των υποκειμένων (Daniel 1967). Γενικά οι περισσότερες έρευνες αναφέρουν αύξηση στην ισχύ του θήτα ρυθμού κατά τη διάρκεια γνωστικών διεργασιών (Kahana et al. 2001, Bland 1986, Kamondi et al. 1998, Burgess & Gruzelier 2000, Gevins et al. 1997a, Krause et al. 2000). Ο Miller (1991) ερμηνεύει όλα αυτά τα δεδομένα με την εκτίμηση ότι ο μετωπιαίος θήτα ρυθμός συνδέεται με τη θήτα δραστηριότητα στον ιππόκαμπο.

### **Συνοχή εγκεφαλικών περιοχών**

Η ανάλυση συνοχής έχει δείξει μεγάλης έκτασης σημαντική συνοχή στην περιοχή του θήτα ρυθμού ανάμεσα σε προμετωπιαίες (prefrontal) και οπίσθιες (posterior) περιοχές κατά τη διεξαγωγή λεκτικών και οπτικο-χωρικών διεργασιών (Sarthein et al. 1998).

Νεότερες έρευνες υποδεικνύουν το θήτα συγχρονισμό σε απομακρυσμένες εγκεφαλικές περιοχές ως χαρακτηριστικό διαδικασιών τύπου «από πάνω προς τα κάτω» (που χρησιμοποιούν υψηλότερου επιπέδου προσδοκίες και στρατηγικές για να συντονίσουν χαμηλότερου επιπέδου λειτουργίες αντίληψης και κωδικοποίησης), ενώ ο γάμα συγχρονισμός μεταξύ πιο κοντινών περιοχών αντανακλά διαδικασίες τύπου «από κάτω προς τα πάνω» (όταν αντιληπτικές είσοδοι τροφοδοτούν υψηλότερης τάξης νοητικές λειτουργίες) (von Stein & Sarthein 2000, Kahana et al. 2001).

### **Συναισθηματικές καταστάσεις**

Ήδη από πολύ νωρίς έγινε προσπάθεια να συσχετιστούν οι χαμηλές (< 8 Hz) συχνότητες του ΗΕΓ με συναισθηματικά φαινόμενα (Hoagland et al. 1938a, 1938b). Οι πρώτες όμως αξιόπιστες μελέτες του θήτα ρυθμού και των συναισθημάτων ξεκινούν με τον Walter, ο οποίος παρατήρησε ότι υγιείς ενήλικες που σε κατάσταση χαλάρωσης εμφανίζουν αυξημένο θήτα ρυθμό μπορούν να χαρακτηριστούν

ψυχολογικά ως «ανώριμα» ή «αθώα» άτομα (Walter & Walter 1949) και επιπλέον συσχέτισε τη θήτα δραστηριότητα αυτών των υποκειμένων με το «συναισθηματικό άγχος» του πειράματος. Αργότερα, ο ίδιος ερευνητής παρατήρησε ότι μια ξαφνική διακοπή ευχάριστων συναισθημάτων προκαλούσε ένα παροδικό ξέσπασμα θήτα κυμάτων στα 6 Hz, με αρκετές όμως διαφορές από άτομο σε άτομο. Διατύπωσε μάλιστα την άποψη ότι ο θήτα ρυθμός εμπλέκεται στην ανίχνευση συναισθημάτων ευχαρίστησης και επομένως η αύξηση του θήτα ρυθμού καθώς το αίσθημα ευχαρίστησης εξασθενίζει, μπορεί να αντανακλά την προσπάθεια αναζήτησης νέας ευχαρίστησης (Walter 1953).

Η κυριότερη ένσταση στις παρατηρήσεις του Walter αλλά και μιας σειράς ερευνών που βασίστηκαν στην προαναφερθείσα υπόθεση για το ρόλο των θήτα κυμάτων και του συναισθήματος ευχαρίστησης έγκειται σε διάφορες μεθοδολογικές αδυναμίες τους (Schacter 1977), ενώ άλλοι (π.χ. Mundy-Castle 1951 και 1957) συμπεριλαμβάνουν στο δείγμα τους μεγάλο εύρος ηλικιών με αποτέλεσμα να αλλοιώνονται οι μετρήσεις του θήτα ρυθμού, οποίος σύμφωνα με τον Pond (1963) είναι ισχυρότερος στα παιδιά και στους έφηβους από ότι στους ενήλικες. Όσο αφορά στην παιδική ηλικία και άλλοι ερευνητές έχουν εστιάσει την προσοχή τους στη συσχέτιση του θήτα ρυθμού και συναισθηματικών καταστάσεων όπως απογοήτευση, διάψευση ελπίδας, ευχαρίστηση (Maulsby 1971). Οι παρατηρήσεις όμως αυτές δεν μπορεί να επεκταθούν στους ενήλικες.

Οι Dixon και Lear (1964) σε μελέτη ινιακού ΗΕΓ παρατήρησαν τη μεγαλύτερη αυξομείωση της θήτα δραστηριότητας ως απόκριση σε συναισθηματικά φορτισμένες λέξεις σε σχέση με άλλες ουδέτερες. Οι Nowak και Marczyński (Nowak & Marczyński 1981) με τη χρήση καταστάσεων άγχους εντόπισαν θήτα δραστηριότητα (5 – 6 Hz) σε μερικά υποκείμενα στις ινιακές περιοχές.

### **Η λειτουργία της προσοχής**

Αρκετές έρευνες παρουσιάζουν συσχέτιση του θήτα ρυθμού με διαδικασίες της προσοχής (Schacter 1977). Η λειτουργία της προσοχής εξετάζεται διεξοδικότερα στην ενότητα 6.5.7. Επίσης ο προκαλούμενος από συμβάντα συγχρονισμός ή αποσυγχρονισμός του θήτα ρυθμού λειτουργεί αντίστροφα με τον άλφα συγχρονισμό (βλέπε ενότητα 6.4.3) και συσχετίζεται με γνωστικές λειτουργίες γενικά και κυρίως με την επιλεκτική προσοχή (Basar et al. 1999).

### **Φόρτος εργασίας**

Η Fournier και οι συνεργάτες της (1999) παρατήρησαν αύξηση του φάσματος ισχύος του θήτα ρυθμού καθώς αυξάνει ο φόρτος εργασίας. Η αύξηση παρατηρήθηκε σε κεντρικές, βρεγματικές και ινιακές περιοχές κατά τις σύνθετες διεργασίες σε σχέση με απλές. Οι Dolce και Waldeier (1974) παρατήρησαν αύξηση στη βρεγματικο-ινιακή (parieto-occipital) θήτα δραστηριότητα σε μία διεργασία ανάγνωσης σε σχέση με διεργασίες με νοερούς υπολογισμούς. Οι Rugg και Dickens (1982) παρατήρησαν αύξηση στο βρεγματικό θήτα σε μία δυσκολότερη οπτικο-χωρική διεργασία σε σχέση

με μία ευκολότερη λεκτική. Ο Mecklinger (Mecklinger et al. 1992) παρατήρησε αύξηση στο μετωπιαίο και κεντρικό θήτα κατά τη διάρκεια αναζήτησης ενός σημασιολογικού μνημονικού στόχου καθώς οι μνημονικές απαιτήσεις αυξήθηκαν. Άλλοι ερευνητές (Gundel & Wilson 1992, Gevins et al. 1988) παρατήρησαν αύξηση στη μετωπιαία θήτα δραστηριότητα με την αύξηση του μνημονικού φόρτου.

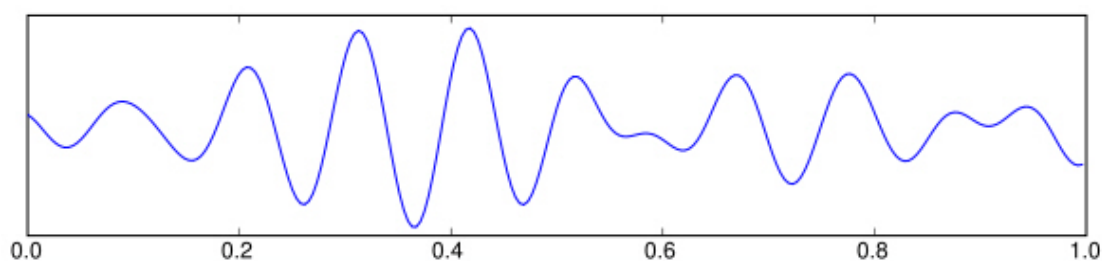
### **Σύνοψη του θήτα ρυθμού**

Οι σχετικές με γεγονότα αλλαγές στο θήτα ρυθμό παρατηρούνται μετά από μη ξεκάθαρα ερεθίσματα, ενώ δε συμβαίνει το ίδιο στον άλφα ρυθμό. Κατά συνέπεια ο συνειρμικός χαρακτήρας για το σχετικό με γεγονότα θήτα ρυθμό είναι εντονότερος απ' ό,τι για τις σχετικές με γεγονότα αλλαγές στις υψηλότερες συχνότητες (Basar et al. 2001b).

Πιθανώς, όπως φαίνεται από τη βιβλιογραφική επισκόπηση, ο θήτα ρυθμός είναι ο περισσότερο μελετημένος όσο αφορά στη συσχέτισή του με γνωστικές λειτουργίες. Σύμφωνα με τον Lopes da Silva (et al. 1990, 1992) ο θήτα ρυθμός ή η ρυθμική αργή δραστηριότητα (Rhythmic Slow Activity) όπως τον ονομάζει, μπορεί να θεωρηθεί ως χαρακτηριστικό γνώρισμα σε όλες τις μεταιχμιακές δομές (limbic structures) αν και είναι περισσότερο κυρίαρχος στον ιπποκάμιο σχηματισμό. Επίσης προτείνει ότι ο θήτα ρυθμός μπορεί να εξυπηρετεί λειτουργίες κατά την είσοδο των πληροφοριών στον ιπποκάμιο καθώς και λειτουργίες επικοινωνίας του ιπποκάμπιου σχηματισμού με τις δομές με τις οποίες συνεργάζεται. Ο Miller (1991) έχει αναπτύξει μια θεωρία για το ρόλο του θήτα ρυθμού στην ολοκλήρωση και ενοποίηση (integrative) των εγκεφαλικών λειτουργιών. Ο Basar επεκτείνει τη θεωρία αυτή μιλώντας για ένα «επιλεκτικά κατανεμημένο θήτα σύστημα ολοκλήρωσης» στον εγκέφαλο. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχουν διάφορες δομές στον εγκέφαλο, οι οποίες είναι σε θέση να παράγουν τη δραστηριότητα θήτα είτε αυθόρμητα είτε από ένα αισθητήριο ή γνωστικό γεγονός, εξωτερικό ή εσωτερικό. Η αιτιοκρατία μπορεί να είναι τέτοια που το περιστατικό της ταλάντωσης συσχετίζεται άμεσα με τον όρο υποκίνησης, οπότε σε αυτή την περίπτωση μιλάμε για τις προκλητές ταλαντώσεις (evoked oscillations). Μπορεί επίσης να είναι τέτοια που το περιστατικό δεν ακολουθεί άμεσα την υποκίνηση και σε αυτή την περίπτωση μιλάμε για τις επαγόμενες ταλαντώσεις (induced oscillations). Οι σχετικές με το γεγονός ταλαντώσεις θήτα συσχετίζονται ιδιαίτερα με τους μηχανισμούς της συνειρμικής μάθησης και της προσοχής καθώς επίσης και της ανάκτησης (Basar 1999, Basar et al. 2001). Αν και οι ταλαντώσεις θήτα δεν είναι οι μόνες που περιλαμβάνονται σε αυτές τις γνωστικές διαδικασίες, είναι ιδιαίτερα σημαντικές, ιδιαίτερα αν επαληθευτεί η θεωρία του Miller.

### 6.2.4 Ο άλφα ρυθμός

#### Ορισμός



Σχήμα 6-5. Παράδειγμα άλφα ρυθμού στο ηλεκτρόδιο Oz διάρκειας 1 sec.

Ο κατακόρυφος άξονας είναι σε  $\mu\text{V}$  και ο οριζόντιος σε sec.

Σύμφωνα με το International Federation of Societies for Electroencephalography and Clinical Neurophysiology (IFSECN 1974) έχει προταθεί ο εξής ορισμός για το ρυθμό άλφα: «Ρυθμός με συχνότητα 8 – 13 Hz, που παρατηρείται κατά την εγρήγορση στις οπίσθιες περιοχές της κεφαλής και γενικά εμφανίζει υψηλότερα πλάτη στις ινιακές περιοχές. Το πλάτος του δεν είναι σταθερό, αλλά είναι συνήθως μικρότερο από 50  $\mu\text{V}$  στους ενήλικες. Παρατηρείται καλύτερα με κλειστά μάτια και κάτω από συνθήκες φυσικής χαλάρωσης και νοητικής ηρεμίας. Μειώνεται με την ενεργοποίηση της προσοχής (κυρίως οπτικής) και της νοητικής προσπάθειας» (IFSECN 1974).

Περισσότερο λεπτομερειακός όσο αφορά στις συχνότητες του ρυθμού είναι ο πίνακας που παραθέτει ο Klimesch στην ανασκόπησή του (Klimesch 1999). Τα σημαντικότερα αποσπάσματα από αυτό τον πίνακα συνοψίζονται στον πίνακα 6-2. Ο Klimesch κυρίως αλλά και άλλοι ερευνητές χρησιμοποιούν μια εξατομικευμένη μέθοδο προσδιορισμού των ορίων του άλφα ρυθμού υπολογίζοντας την τιμή του IAF (Individual Alpha Frequency, βλέπε ενότητα 6.7) για να καθοριστούν οι άλφα υπορυθμοί καθώς και οι προτεινόμενες συσχετίσεις με γνωστικές λειτουργίες (Schabus 2001, Klimesch 1996a).

Η τοπολογική κατανομή του ρυθμού επηρεάζει τη συχνότητά του. Η άλφα συχνότητα είναι μεγαλύτερη στις οπίσθιες περιοχές και μικρότερη στις πρόσθιες (Niedermeyer 1999, Schabus 2001).

Ιστορικά ο άλφα είναι ο πρώτος ρυθμός που καταγράφηκε από ανθρώπινο κρανίο και ο εκτενέστερα μελετημένος. Για πολλά χρόνια θεωρήθηκε από τους ερευνητές ως μέτρο της αδράνειας του εγκεφάλου, εκτός ίσως από τη δεκαετία του '60 που μελετήθηκε η συμμετοχή του σε καταστάσεις διαλογισμού, ύπνωσης, «ανώτερης» εγκεφαλικής λειτουργίας, βιοανάδρασης. Με τις εργασίες του Basar τη δεκαετία του '90 αναβίωσε το ενδιαφέρον για τη λειτουργικότητα του άλφα ρυθμού στον ανθρώπινο εγκέφαλο, τον οποίο ο Mulholland ονόμασε «εργαζόμενο άλφα» (Mulholland 1995). Ο άλφα μελετήθηκε ως αυθόρμητος (spontaneous), επαγόμενος (induced), προκλητός (evoked) και προβλεπτικός (emitted) (Galambos 1992), όπως αναλύεται στη συνέχεια στην ενότητα 6.4 στη μελέτη των ΗΕΓ φαινομένων.

Στο σχήμα 6-5 παριστάνεται παράδειγμα του άλφα ρυθμού στο ηλεκτρόδιο Oz.  
Η συχνότητα του κύματος είναι περίπου 10 Hz.

Πίνακας 6-2. Διαφοροποιήσεις στις συχνότητες του άλφα ρυθμού

Ερευνητής	Συχνότητες	Υποπεριοχές	Είδος καταγραφής	Δείγμα	Ηλικίες
Alloway et al.	8–12	–	M	10	29–62
Anokhin & Vogel	8–13	–	M	101	20–45
Besthorn et al.	–	7.5–9.5; 9.5–12.5	M	92	59–78
Boiten et al.	8–13	–	M	8	22–29
Brenner et al.	–	8.0–9.9, 10–12.9		119	51–89
Breslau et al.	8.2–12.9	–	M	33	18–78
Chiaramonti et al.	8–11.5	–	M	55	51–81
Coben et al.	8–13	–	B	127	64–83
Duffy et al.	8–11.75	–	M	63	30–80
Gevins et al.	8–13	–	M	55	–
Hartikainen et al.	7.6–13.9	–	B	52	33–78
Jaušovec	7.5–13	–	M	60	18–19
John et al.	7.5–12.5	–	B	648	1–21
Kaufman et al.	8–12	–	MEΓ	3	–
Kononen & Partanen	7.6–13.9	–	B	54	23–80
Krause et al.	–	8–10, 10–12	M	10	23–41
Marciani et al.	8–12.5	–	C	60	19–89
Pfurtscheller	–	Ζώνες 1 ή 2 Hz	M, B		
Salenius et al.	7–14 Hz	–	MEΓ	13	20–49
Schmid et al.	7.4–12.5	–	B	536	5–11
Somsen et al.	7.5–12.5	–	M	142	5–12
Sterman et al.	–	5–15 σε ζώνες των 2 Hz	M	26	25–39
Szelies et al.	8–13	–	M	58	53–78
Torres et al.	–	–	M	182	48–88
Torsvall & Akerstedt	8–11.9	–	B	11	27–58
Wada et al.	7.5–12.5	–	M	264	3–26
Williamson et al	8–13	–	MEΓ		

Είδος καταγραφής. M: μονοπολική, B: διπολική, C: αναφορά κοινού μέσου όρου, MEΓ: μαγνητοεγκεφαλογράφημα.  
Συνοπτική εκδοχή από ανασκόπηση του Klimesch (1999).

### Χαρακτηριστικά

Το πλάτος του άλφα ρυθμού ποικίλει από άτομο σε άτομο αλλά και σε διαφορετικές χρονικές στιγμές στο ίδιο άτομο. Γενικά το πλάτος κυμαίνεται από 20



μέχρι 60  $\mu\text{V}$  στο 66% των υποκειμένων, μικρότερο από 20  $\mu\text{V}$  στο 28% και μεγαλύτερο από 60  $\mu\text{V}$  στο 6% (Simonova et al. 1967, Simon 1977).

Ο άλφα ρυθμός συνήθως χαρακτηρίζεται από ημιτονοειδή κυματομορφή. Σε μερικά όμως υποκείμενα, ειδικά στην εφηβεία, εμφανίζεται με πιο οξείες κυματομορφές παρόμοιες με τον « $\mu$ » ρυθμό.

Εκδηλώνεται πιο καθαρά στο πίσω μισό της κεφαλής και συγκεκριμένα στις ινιακές, βρεγματικές και πίσω κροταφικές περιοχές. Είναι όμως πιθανό να παρατηρηθεί (κυρίως όταν χρησιμοποιούνται ως αναφορά οι μαστοειδείς) και στις μετωπιαίες περιοχές (F3, F4) ή ακόμη και στις πρόσθιες μετωπιαίες περιοχές (Fp1, Fp2), αν και στις τελευταίες εμφανίζεται ως παράσιτο από το τρεμοπαίζιμο των (ανοικτών ή κλειστών) βλεφάρων (Niedermeyer 1999). Η συχνότητα του άλφα ρυθμού στις οπίσθιες περιοχές είναι υψηλότερη από ότι στις πρόσθιες (Klimesch 1999).

Από τη στιγμή της ανακάλυψής του στον ανθρώπινο εγκέφαλο μέχρι σήμερα πολλές (και αντικρουόμενες) θεωρίες προτάθηκαν για να ερμηνεύσουν τον τρόπο δημιουργίας, την προέλευση και τη διάδοση του άλφα ρυθμού. Γενικά πιστεύεται ότι φλοιϊκά (cortico-cortical) και θαλαμο-φλοιϊκά (thalamo-cortical) συστήματα ευθύνονται για την παραγωγή του ρυθμού (Steriade et al. 1990, Schabus 2001), αλλά ακόμη καμία νευροφυσιολογική ή ψυχοφυσιολογική θεωρία δεν έχει ευρεία αποδοχή.

### **Υπορυθμοί άλφα**

Η περιοχή συχνοτήτων που παραδοσιακά αποδίδονταν στον άλφα ρυθμό έχει χωριστεί σε υποπεριοχές (που στο εξής θα ονομάζουμε υπορυθμούς άλφα), από αρκετούς ερευνητές τα τελευταία χρόνια, με βάση τη διαφορετική συμπεριφορά αυτών των υποπεριοχών σε διάφορες γνωστικές λειτουργίες. Ο Lopes da Silva για παράδειγμα χρησιμοποιώντας μεθόδους παραγοντικής ανάλυσης, διέκρινε τουλάχιστον δύο υπορυθμούς, τον «κατώτερο άλφα» και «ανώτερο άλφα» (Lopes da Silva 1993). Στον πίνακα 6-2 φαίνονται μερικές διακρίσεις του άλφα σε υπορυθμούς από διάφορους ερευνητές.

Ο Klimesch χρησιμοποιώντας φυσιολογικά κριτήρια (τα οποία περιγράφονται αναλυτικότερα στην ενότητα 6.7) διέκρινε τρεις άλφα υπορυθμούς: τον «κατώτερο-1 άλφα», τον «κατώτερο-2 άλφα» και τον «ανώτερο άλφα» ή αλλιώς «άλφα-1», «άλφα-2» και «άλφα-3». Για ένα τυπικό ενήλικο υποκείμενο τα όρια των υπορυθμών αυτών μπορεί να είναι: «κατώτερο-1 άλφα» (7,5 – 9 Hz), «κατώτερο-2 άλφα» (9 – 11 Hz) και «ανώτερο άλφα» (11 – 12.5 Hz) (Klimesch 1999) ή σε μια πιο εκτεταμένη εκδοχή 6.4–8.4 Hz, 8.4–10.4 Hz και 10.4–12.4 Hz αντίστοιχα (Klimesch et al. 1998). Τα προαναφερθέντα όρια των συχνοτήτων κατά Klimesch αλλάζουν από άτομο σε άτομο. Σε προγενέστερη δημοσίευσή τους οι Klimesch, Pfurtscheller και Schimke (1992) προτείνουν δύο άλφα υπορυθμούς, τον «κατώτερο άλφα» με συχνότητες 8 – 10 Hz και τον «ανώτερο άλφα» (11 – 13 Hz). Ο Tanaka και οι συνεργάτες του προτείνουν μια επεκταμένη περιοχή για τον άλφα ρυθμό, διακρίνοντας τις

υποπεριοχές «άλφα-1» (7.6-9.4 Hz), «άλφα-2» (9.6-11.4 Hz) και «άλφα-3» (11.6-13.4 Hz) (Tanaka et al. 1997).

Αρκετοί ερευνητές προτείνουν την ύπαρξη ενός μεγάλου πλήθους διαφορετικών άλφα ρυθμών (Basar & Bullock 1992, Williamson et al. 1996, Williamson et al. 1997).

### **Αλληλεπίδραση**

Ο οπίσθιος άλφα ρυθμός καταστέλλεται (blocked) προσωρινά από το άνοιγμα των ματιών, από άλλα «ανώτερα» ερεθίσματα και από τη νοητική δραστηριότητα. Η καταστολή του άλφα είναι εντονότερη στο άνοιγμα των ματιών σε σχέση με άλλα ερεθίσματα (ακουστικά, απτικά, άλλα σωματοαισθητικά ή νοητική δραστηριότητα).

Αυτή η καταστολή μπορεί να είναι πλήρες μπλοκάρισμα του ρυθμού ή μικρή μείωση του πλάτους. Η καταστολή του άλφα είναι εντονότερη σε μερικά υποκείμενα, ενώ σε άλλα κρατάει λιγότερο από 1 sec (Gibbs 1950). Κατά την καταστολή ο άλφα ρυθμός αντικαθίσταται από χαμηλότερου δυναμικού κύματα συνήθως υψηλότερης συχνότητας. Ωστόσο, ο Pugnetti και οι συνεργάτες του (Pugnetti et al. 2001) αναφέρουν παροδικές αυξήσεις του άλφα ρυθμού (κατά τη διάρκεια της καταστολής του ρυθμού) σε υποκείμενα που εκτελούν οπτικές δραστηριότητες. Αυτές οι παροδικές αλλαγές ερμηνεύθηκαν ως σύντομες καταστάσεις χαλάρωσης από την εξωτερική οπτική επεξεργασία.

Η πιο γνωστή περίπτωση καταστολής του άλφα ρυθμού είναι η καταστολή που παρατηρείται στις ινιακές περιοχές ως εγκεφαλική αντίδραση σε οπτικά ερεθίσματα και έχει μελετηθεί από πολλούς ερευνητές από την εποχή του Berger. Στην επισκόπηση του Pfurtscheller αναφέρεται επίσης άλφα καταστολή στις αισθητηριακές και κινητικές περιοχές κατά τη διάρκεια κινητικών και σωματοαισθητηριακών εργασιών (Pfurtscheller et al. 1996a).

Ωστόσο, σε μερικές μελέτες δεν επαληθεύτηκαν οι προηγούμενες παρατηρήσεις. Οι Cole και Ray ερευνώντας διαφορές σε εργασίες που απαιτούν «είσοδο» αισθητηριακών πληροφοριών και εξωτερικά κατευθυνόμενη προσοχή σε σχέση με εργασίες που απαιτούν εσωτερικά κατευθυνόμενη προσοχή (νοερή αριθμητική, νοερή απεικόνιση και μνημονικές ασκήσεις), παρατήρησαν στη δεύτερη περίπτωση αύξηση της ισχύος στην άλφα περιοχή κύρια στις πλευρικές περιοχές, φαινόμενο το οποίο ονομάστηκε άλφα παραδοξότητα (Cole & Ray 1985, Cooper et al. 2003). Η λειτουργία της φαντασίας συνδυάζεται γενικά με αύξηση της άλφα ισχύος (Klinger et al. 1973), ενώ ο Schupp και οι συνεργάτες του αναφέρουν μείωση της άλφα ισχύος σε αντιληπτικές εργασίες (Schupp et al. 1994).

Όσο αφορά στα αριθμητικά προβλήματα, η καταστολή του άλφα είναι εντονότερη όσο οι αριθμητικές πράξεις γίνονται δυσκολότερες. Ωστόσο είναι δυνατό και απλές αριθμητικές πράξεις να επιτύχουν καταστολή του άλφα, όταν το υποκείμενο επιδεικνύει αυξημένη ενεργοποίηση προσπαθώντας να ευχαριστήσει τον εξεταστή.

Υπάρχουν πολλές έρευνες που συσχετίζουν τη φασματική ισχύ του άλφα ρυθμού με τη νοητική προσπάθεια γενικά, με αντιστρόφως ανάλογο τρόπο (π.χ. Glass 1964, Butler & Glass 1976, Donchin et al. 1977, Gutierrez & Corsi-Cabrera 1988, Nunez 1995b, Pfurtscheller et al. 1996a, Burgess & Gruzelier 1997, Klimesch et al. 1996c, 1997a, 1997b, Klimesch 1997, 1999). Ο Wilson και οι συνεργάτες του μάλιστα προτείνουν δύο άλφα μηχανισμούς (Wilson et al. 1999). Έναν που συνδέεται με τη συμμετοχή του υποκειμένου στην εκτελούμενη δραστηριότητα και έναν που συσχετίζεται με τις απαιτήσεις γνωστικού φόρτου (Jaušovec & Jaušovec 2000).

Ο Pfurtscheller (1990) αντιμετώπισε την καταστολή του άλφα ως «σχετικό με γεγονότα αποσυγχρονισμό» (event-related EEG desynchronization ή ERD). Με τη χρήση τεχνικών μεσοποίησης, σύγκρινε αυτόν τον αποσυγχρονισμό με τα προκλητά δυναμικά.

Γενικά ο άλφα ρυθμός συνδέεται με καταστάσεις χαλάρωσης (Ray 1990, Ray & Cole 1985), ενώ η καταστολή του ρυθμού υποδηλώνει αισθητήριο ερεθισμό ή νοητική δραστηριότητα (Gremades et al. 2004, Shaw 1996). Πιο εξειδικευμένα οι άλφα υπορυθμοί έχουν πλέον διαχωριστεί και ως προς τη λειτουργικότητά τους και τη σύνδεσή τους με νοητικές λειτουργίες. Ο «ανώτερος άλφα» υπορυθμός (11 – 13 Hz) συνδέεται με την κωδικοποίηση του ερεθίσματος, ενώ ο «κατώτερος άλφα» υπορυθμός (8 – 10 Hz) συνδέεται με τη γνωστική επεξεργασία και τους μηχανισμούς της νοητικής προσπάθειας (Gremades et al. 2004, Klimesch et al. 1992). Ο Jaušovec χρησιμοποιώντας λίγο διαφορετική διατύπωση συσχετίζει τον ανώτερο άλφα ρυθμό με σημασιολογικές λειτουργίες της μνήμης, ενώ τον κατώτερο άλφα κυρίως με την προσοχή (Jaušovec & Jaušovec 2000).

Ο Klimesch και οι συνεργάτες του προτείνουν έναν ευρύτερο ρόλο στην άλφα δραστηριότητα, εμπλέκοντάς τη σε πολλές γνωστικές διεργασίες συμπεριλαμβανόμενων των λειτουργιών της προσοχής και της μνήμης, όπου η δραστηριότητά τους προκαλεί αποσυγχρονισμό του άλφα ρυθμού (Klimesch 1999). Επιπλέον προτείνουν ότι ο άλφα συγχρονισμός μπορεί να αποτελέσει ένα δείκτη για διαδικασίες αναστολής που σκοπό έχουν να αυξήσουν τη σχέση σήματος προς «θόρυβο». Όσο αυξάνουν οι απαιτήσεις της εργασίας στα αντίστοιχα δίκτυα, αυξάνει και η ανάγκη αναστολής και ταυτόχρονα έχουμε άλφα συγχρονισμό (Klimesch et al. 1999).

Σύμφωνα με τις προηγούμενες έρευνες προτείνεται ότι η άλφα δραστηριότητα δεν είναι ένας απλός δείκτης της αδράνειας του φλοιού, αλλά μέτρο μιας ενεργής διαδικασίας απαραίτητης για εσωτερικά κατευθυνόμενες νοητικές λειτουργίες. Ο Cooper και οι συνεργάτες του παρατήρησαν αυξημένα άλφα πλάτη σε εργασίες εσωτερικής προσοχής σε σχέση με εργασίες εξωτερικής προσοχής κατά τη διάρκεια οπτικών, ακουστικών και απτικών εξετάσεων. Επίσης παρατήρησαν αύξηση του πλάτους όσο αυξάνονταν οι απαιτήσεις των εξετάσεων στις εργασίες εισόδου αισθητήριας πληροφορίας αλλά και στις εργασίες εσωτερικά κατευθυνόμενης προσοχής (Cooper et al. 2003).

Αφού ο οπίσθιος άλφα ρυθμός είναι χαρακτηριστικό της κατάστασης χαλάρωσης, είναι λογικό να υποθέσουμε ότι η συναισθηματική ένταση τον

καταστέλλει. Αυτή η υπόθεση έχει σχεδόν αποδειχθεί στις περιπτώσεις ασθενών και ψυχωτικών ή κατατονικών ατόμων (π.χ. Scherzer 1966).

### **Ατομικές διαφορές**

Από την εποχή που ο Berger δημοσιοποίησε την έρευνά του για τον άλφα ρυθμό, έχουν παρατηρηθεί διαφορές από άτομο σε άτομο όσο αφορά στο πλάτος και τη συχνότητα του ρυθμού. Ήδη από το 1936 (Davis & Davis 1936) έγιναν προσπάθειες να κατηγοριοποιηθούν αυτές οι διαφορές σε διαφορετικά πρότυπα άλφα ρυθμού και συνδέθηκαν με γενετικές προδιαθέσεις ή ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της προσωπικότητας του κάθε υποκειμένου (κυκλοθυμικότητα, παθητική ή ενεργητική στάση ζωής, εσωστρέφεια ή εξωστρέφεια, χαρακτηριστικά ανησυχίας ή άγχους, ευφυΐα), συσχετίσεις που έχουν σχεδόν όλες αμφισβητηθεί. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι νεότερες μελέτες (που βασίζονται κυρίως στην ανάλυση του φάσματος ισχύος των συχνοτήτων του ΗΕΓ) σχετικά με τη σύνδεση του άλφα ρυθμού με την ευφυΐα (Gasser et al. 1983, Jaušovec 1997b) και την επίδοση μνήμης (Klimesch 1996).

Ο άλφα ρυθμός παρουσιάζει πολλές αλλαγές στο ίδιο άτομο, οι οποίες οφείλονται πιθανόν στην επίδραση ενός μεγάλου αριθμού φυσιολογικών και ψυχοφυσιολογικών μεταβλητών. Επίσης έχουν αναφερθεί αλλαγές κερκადίου τύπου, αλλά οι σχετικές έρευνες δεν έχουν καταλήξει σε οριστικό συμπέρασμα. Η αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος επιταχύνει τον άλφα ρυθμό.

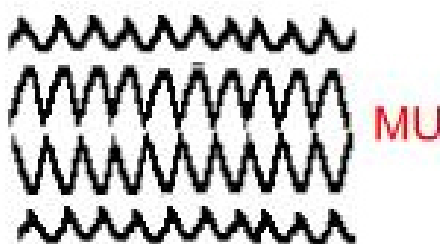
### **Καταστολή και βιοανάδραση**

Εκτεταμένη έρευνα έχει γίνει στις μεθόδους καταστολής του άλφα ρυθμού. Στην ανασκόπηση του Knott (1976) έχουν συμπεριληφθεί πολλές από τις προγενέστερες έρευνες. Γενικά ένα επαναλαμβανόμενο ακουστικό σήμα που συνδυάζεται με οπτικό ερέθισμα είναι αρκετό για την άλφα καταστολή.

Στη δεκαετία του '60 κύρια αλλά και του '70 ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάστηκε στις διαφορές που παρουσιάζει ο άλφα ρυθμός (και λιγότερο ο θήτα) σε πρακτικές διαλογισμού ή υπερβατικού διαλογισμού (γιόγκι, βουδιστές Zen, κ.λπ.), σε καταστάσεις ύπνωσης, αλλά και στις μεθόδους βιοανάδρασης με την εκπαίδευση υποκειμένων ώστε να τροποποιούν τα χαρακτηριστικά του ρυθμού. Η εκπαίδευση με τεχνικές βιοανάδρασης του άλφα ρυθμού κυρίως (και λιγότερο των θήτα και γάμα ρυθμών) θεωρήθηκε ότι μπορεί να μειώσει τον απαιτούμενο χρόνο ύπνου, να αυξήσει τη γνωστική απόδοση, να αυξήσει τα όρια πόνου, να βελτιώσει τη λειτουργία της μνήμης, να μειώσει το χρόνο αντίδρασης, κ.λπ. Στην επισκόπηση του Petruzzello (Petruzzello et al. 1991) αναφέρονται πλήθος τέτοιων ερευνών, αν και οι συγγραφείς αμφισβητούν τις περισσότερες για μεθοδολογικά προβλήματα. Ωστόσο, η βιοανάδραση χρησιμοποιήθηκε σε πρακτικές εφαρμογές, όπως για να βελτιώσει την απόδοση αθλητών, σε ψυχιατρικά προβλήματα (π.χ. ασθενείς με διάσπαση προσοχής, με υπερκινητικότητα, κ.ά) και τελευταία στα συστήματα προσαρμοστικού αυτοματισμού (adaptive automation).

### 6.2.5 Ο Ρολανδικός (κεντρικός) «μ» ρυθμός

Ο «μ» ρυθμός μοιάζει στο πλάτος και τη συχνότητα με τον άλφα ρυθμό, αλλά τα τοπολογικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά του είναι αρκετά διαφορετικά. Συνήθως εμφανίζεται σε μικρά διαστήματα και παρουσιάζει οξεία μορφή στις αρνητικές τιμές και ομαλοποιημένη στις θετικές. Από την εποχή της ανακάλυψής του το 1938 έχει γνωρίσει πολλά ονόματα, όπως «κεντρικός άλφα», «ρολανδικός άλφα», «τύπου άλφα δραστηριότητα», «wicket ρυθμός», «arcade ρυθμός», «comb ρυθμός», «σωματοαισθητικός άλφα». Στο σχήμα 6-6 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα του μ ρυθμού.



Σχήμα 6-6. Παράδειγμα «μ» ρυθμού.

Η μέση συχνότητά του είναι περίπου 10 Hz με διακύμανση από 9 Hz μέχρι 11 Hz. Σύμφωνα με τον Storm van Leeuwen (Storm van Leeuwen et al. 1978) οι συχνότητές του είναι ελαφρώς υψηλότερες από αυτές του άλφα ρυθμού.

Ο «μ» ρυθμός τυπικά παράγει αρμονικές συχνότητες με φασματικές κορυφές στα 10 Hz, 20 Hz και μερικές φορές 30 Hz (Szurhaj et al. 2003). Με τις σύγχρονες μεθόδους είναι δυνατό να διαχωριστεί ο «μ» των 10 Hz από τη συχνότητα των 20 Hz (η οποία φαίνεται να είναι αρμονική της πρώτης). Δε συμβαίνει όμως το ίδιο με τον «μ» και τη ρολανδική βήτα δραστηριότητα σύμφωνα με τον Pfurtscheller (1981). Ομοίως, υπάρχει καθαρός διαχωρισμός μεταξύ «μ» και οπίσθιου άλφα ρυθμού (Van Huffelen et al. 1984).

Η εξάπλωσή του είναι περιορισμένη και αποκαλύπτεται ύστερα από ειδικές μεθόδους. Η χωρική του κατανομή είναι κυρίως οι καταγραφικές θέσεις C3 και C4 με απόγειο μερικές φορές στο σημείο Cz. Ο «μ» ρυθμός ήταν αρκετά δύσκολο να παρατηρηθεί με οπτικές μεθόδους, αν και στο διεθνές σύστημα 10-20 τα ηλεκτρόδια C3 και C4 έχουν τοποθετηθεί πάνω στην έλικα πριν την πρόσθια κεντρική αύλακα του εγκεφάλου σε θέσεις ικανές να καταγράψουν το ρυθμό. Με τη χρήση φασματικής ανάλυσης ανιχνεύεται πλέον ο ρυθμός σε όλα σχεδόν τα άτομα (Schoppenhorst et al. 1980). Ο ρυθμός εμφανίζεται συνήθως αμφίπλευρος. Μελέτες ανάλυσης συνάφειας έχουν δείξει έλλειψη συνάφειας στις συμμετρικές περιοχές των δύο ημισφαιρίων.

Αντίθετα από τον άλφα, ο «μ» ρυθμός δεν επηρεάζεται από το άνοιγμα των ματιών.

Ο «μ» ρυθμός γενικά σχετίζεται με την κίνηση. Είναι στενά συνδεδεμένος με τις λειτουργίες του κινητικού φλοιού, ενώ επίσης εξαπλώνεται και στον παρακείμενο σωματοαισθητικό φλοιό. Ιδιαίτερα αποκαλυπτικές για τον «μ» ρυθμό είναι οι εργασίες του Pfurtscheller για τον προκαλούμενο από γεγονότα αποσυγχρονισμό (Pfurtscheller 1981,1990,1992, 1999). Η χρησιμότητά του είναι σημαντική όχι μόνο για τις λειτουργίες του κινητικού φλοιού, αλλά και για μια ποικιλία άλλων «ανώτερων» λειτουργιών του φλοιού που σχετίζονται με γνωστικές δραστηριότητες. Τα τελευταία χρόνια ο «μ» ρυθμός αξιοποιείται στα συστήματα διεπαφής ανθρώπου και ηλεκτρονικού υπολογιστή (Pfurtscheller et al. 1996b, Vaughn et al. 1996, McFarland et al. 1993, Wolpaw et al. 1991).

Ο «μ» ρυθμός καταστέλλεται με τις κινήσεις, είτε αυτές είναι ενεργητικές, παθητικές ή ανακλαστικές. Η καταστολή είναι αμφίπλευρη αλλά εμφανίζεται εντονότερα στη Ρολανδική περιοχή αντίθετα από την πλευρά της κίνησης. Η καταστολή του «μ» συνδέεται περισσότερο με την πρόθεση για την κίνηση που θα εκτελεστεί στη συνέχεια (Chatrjian 1964, 1976a) και γι' αυτό παρατηρείται ακόμη και κατά το σχεδιασμό και την εκτέλεση φανταστικών κινήσεων (Penny et al. 1998).

Ο Roldan και οι συνεργάτες του παρατήρησαν ένα παρόμοιο με τον «μ» ρυθμό κατά τη διάρκεια ασκήσεων hatha γιόγκα, ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως «χ» ρυθμός και θεωρήθηκε ως ειδικού τύπου ρολανδικά κύματα 11 – 17 Hz και θήτα συχνότητας (Roldan et al. 1981).

Ο Kuhlman (1978) έδωσε περισσότερη έμφαση στο αισθητηριακό στοιχείο και θεώρησε τον «μ» ρυθμό ως την «αδράνεια» του αισθητηριακού φλοιού, σε αναλογία με τον άλφα ρυθμό ως «αδράνεια» του οπτικού φλοιού και των γειτονικών περιοχών. Όμως, υπάρχουν και αντίθετες απόψεις με τη βασική θεώρηση του «μ» ρυθμού ως ρυθμού της ακινησίας (Koshino & Niedermeyer 1975).

Υπάρχουν τρεις θεωρίες για τη νευροφυσιολογική βάση του «μ» ρυθμού. Η υπόθεση για «νευρωνική υπερδραστηριότητα» στη ρολανδική περιοχή, η υπόθεση για «κινητική αδράνεια» που ερμηνεύει την καταστολή του «μ» με την κινητική δραστηριότητα και η υπόθεση για σωματοαισθητηριακή αδράνεια του φλοιού.

#### **6.2.6 Ο «ταυ» ρυθμός ή «τρίτος» ή «κροταφικός άλφα»**

Ο ρυθμός αυτός εξαπλώνεται τοπογραφικά στις κροταφικές περιοχές και έχει συχνότητες στην περιοχή των άλφα και των υψηλότερων θήτα συχνοτήτων. Κανονικά δεν ανιχνεύεται στο σύνηθες (με εξωτερικά ηλεκτρόδια) ΗΕΓ. Αν και έχει συνδεθεί με ακουστικές λειτουργίες («ακουστικός άλφα»), οι λειτουργίες του ρυθμού παραμένουν ακόμα αδιευκρίνιστες (Niedermeyer 1990a, 1990b, 1991, 1997)

#### **6.2.7 Ο κάπα ρυθμός**

Ο κάπα ρυθμός (kappa) έχει παρατηρηθεί στις μετωποκροταφικές περιοχές με συχνότητες ίδιες με αυτές του άλφα ρυθμού δηλαδή 8 – 12 Hz (Kennedy et al. 1948)

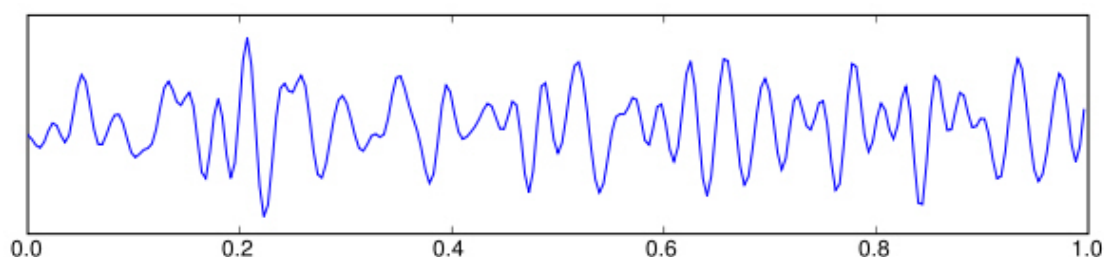
με κορυφή στα 9 Hz (Charman et al. 1962). Εμφανίζεται κύρια στις δύο κροταφικές περιοχές. Μερικοί ερευνητές υποστηρίζουν ότι δεν είναι αυθεντικός εγκεφαλικός ρυθμός, αλλά ότι παράγεται από μια κατηγορία οφθαλμικών παρασίτων (Chatrian 1976b, Harlan et al. 1958), ενώ άλλοι υποστηρίζουν ότι παρατηρείται κατά την επίλυση προβλημάτων ακόμη και όταν τα παράσιτα από τις κινήσεις των ματιών αφαιρεθούν προσεκτικά (Armington & Charman 1959).

### 6.2.8 Ο βήτα ρυθμός

Ο βήτα ρυθμός αρχικά χαρακτήριζε όλες τις συχνότητες πάνω από τα 13 Hz. Ακόμα και σήμερα το πάνω όριο δεν είναι σταθερό και εξαρτάται από το υπό μελέτη θέμα της κάθε έρευνας, αν και συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 50 και 100 Hz. Μετά τη δεκαετία του '90 που επανέφερε στην επικαιρότητα το γάμα ρυθμό, το άνω όριο συχνοτήτων του βήτα ρυθμού συνήθως δεν ξεπερνάει τα 30 Hz ή 35 Hz, αλλά μπορεί να φτάσει και μέχρι τα 48 Hz όπου αρχίζει ο γάμα ρυθμός. Νεότεροι ερευνητές διαχωρίζουν υποπεριοχές του ρυθμού, όπως βήτα 1: 13–18 Hz, βήτα 2: 18–25 Hz και βήτα 3: 25–35 Hz (Martineau & Cochin 2003). Το πλάτος του σπάνια ξεπερνά τα 30  $\mu$ V.

Τοπολογικά εμφανίζεται κυρίως στις πρόσθιες και στις κεντρικές περιοχές. Ο Niedermeyer συνοψίζει την τοπολογία του βήτα ρυθμού ως εξής (1993): Στις πρόσθιες περιοχές είναι αρκετά κοινός, μπορεί να είναι πολύ γρήγορος και δε συσχετίζεται με το φυσιολογικό ρυθμό. Στις κεντρικές περιοχές συνήθως συνδέεται με το ρολανδικό «μ» ρυθμό και καταστέλλεται από κινητική δραστηριότητα ή από απτικά ερεθίσματα. Στις πίσω περιοχές συχνά είναι μια γρήγορη έκδοση του άλφα και λειτουργεί σαν άλφα ρυθμός. Ενώ ο διάχυτος βήτα δεν έχει κάποια συσχέτιση με το φυσιολογικό ρυθμό.

Στο σχήμα 6-7 παριστάνεται παράδειγμα του βήτα ρυθμού στο ηλεκτρόδιο Oz. Η συχνότητα του κύματος είναι περίπου 30 Hz.

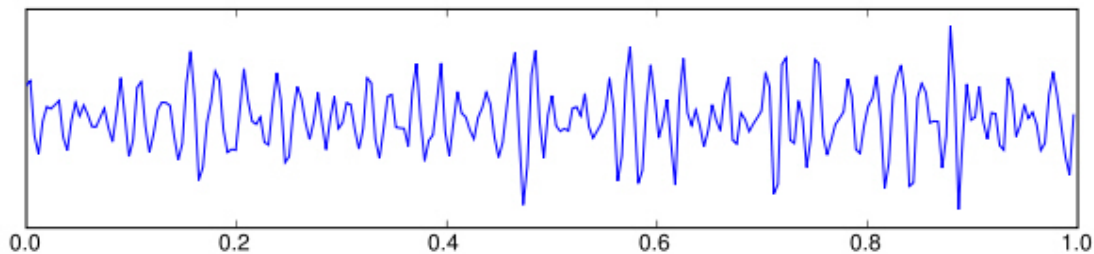


Σχήμα 6-7. Παράδειγμα βήτα ρυθμού. Ο κατακόρυφος άξονας είναι η διαφορά δυναμικού σε  $\mu$ V και ο οριζόντιος είναι ο χρόνος σε sec.

Οι Macaulay και Edmonds μέτρησαν την πρόσθια βήτα δραστηριότητα σε χαλάρωση και σε εργασίες μάθησης θεμάτων ιστορίας, ανάκλησής τους και δημιουργίας νοητικών εικόνων από αυτές και επιβεβαίωσαν προηγούμενες παρατηρήσεις που συσχετίζουν την πρόσθια βήτα δραστηριότητα με τη νοητική

εργασία αλλά και με το άγχος ή τη νευρική δραστηριότητα (Macaulay & Edmonds 2004). Γενικότερα αύξηση του βήτα ρυθμού στις πρόσθιες περιοχές (Fp1, Fp2) συνδέεται με τη νοητική εργασία (Kirov et al. 1996, Oken & Salinsky 1992, Markand 1990, Ray & Cole 1985). Ταυτόχρονα, αύξηση του βήτα ρυθμού στις πρόσθιες περιοχές (Fp1, Fp2) έχει συσχετιστεί με αύξηση του άγχους ή μείωση του βαθμού χαλάρωσης (π.χ., Jacobs et al. 1996, Field et al. 1996, Oken & Salinsky 1992, Markand 1990, Mundy-Castle 1951, Petruzzello & Landers 1994). Από ότι φαίνεται δεν είναι εύκολο να διαχωριστεί η ανεξάρτητη μεταβλητή που επηρεάζει την πρόσθια βήτα δραστηριότητα, γιατί δεν μπορεί να θεωρηθεί ανεξάρτητη η νοητική δραστηριότητα που λαμβάνει χώρα σε καταστάσεις μάθησης, για παράδειγμα, από τις ψυχολογικές συνιστώσες που δημιουργούνται και συνυπάρχουν ταυτόχρονα.

### 6.2.9 Ο γάμα ρυθμός



Σχήμα 6-8. Παράδειγμα γάμα ρυθμού. Ο κατακόρυφος άξονας είναι η διαφορά δυναμικού σε  $\mu\text{V}$  και ο οριζόντιος είναι ο χρόνος σε sec.

Ο γάμα ρυθμός περιλαμβάνει την ηλεκτρική δραστηριότητα στην περιοχή συχνοτήτων γύρω από τα 40 Hz και παρατηρείται τόσο στον ανθρώπινο εγκέφαλο όσο και σε μια ποικιλία άλλων ειδών. Το πλάτος του ρυθμού είναι αρκετά μικρότερο από το πλάτος των άλφα και θήτα ρυθμών, γι' αυτό και συχνά ο γάμα ρυθμός υπερκαλύπτεται από αυτούς (Basar-Eroglu et al. 1996). Στο σχήμα 6-8 παριστάνεται παράδειγμα του γάμα ρυθμού στο ηλεκτρόδιο Oz. Η συχνότητα του κύματος είναι περίπου 48 Hz.

Ιστορικά η μελέτη του γάμα ρυθμού ξεκινά με τον Adrian (1942), ο οποίος παρατήρησε ημιτονοειδούς τύπου ταλαντώσεις στην περιοχή συχνοτήτων 30 – 60 Hz που συσχετίζονται με οσφρητικά ερεθίσματα. Στα χρόνια που ακολουθούν μέχρι το 1980 οι ταλαντώσεις στην περιοχή γύρω στα 40 Hz δεν προκαλούν το ενδιαφέρον των ερευνητών. Την εποχή αυτή ξεχωρίζουν οι εργασίες του Freeman (Freeman & Scarda 1985, Freeman 1979, Freeman 1975) που μελέτησε κυρίως οσφρητικά ερεθίσματα σε ζώα, και του Basar (Basar et al. 1976, 1975, 1973, 1972), που εισάγει τον όρο «γάμα απόκριση» στον ιππόκαμπο της γάτας, αλλά και την ανάδειξη του ρυθμού σε γενικευμένη απόκριση του εγκεφάλου σε πλήθος ερεθισμάτων.

Στα επόμενα χρόνια ο γάμα ρυθμός γνωρίζει αυξανόμενο ενδιαφέρον στον ανθρώπινο εγκέφαλο και συσχετίζεται με αισθητηριακές και γνωστικές λειτουργίες. Οι τελευταίες ανακαλύψεις σχετικά με το ρυθμό προέρχονται από τη μελέτη του σε



κυτταρικό επίπεδο (Gray & Singer 1987). Σύγχρονες επίσης έρευνες συσχετίζουν το γάμα ρυθμό με την αύξηση της αιμοδυναμικής δραστηριότητας (Kahana 2006).

Ο Niedermeyer υποστηρίζει ότι δεν είναι ένας αυθόρμητος ρυθμός, αλλά σχετίζεται με προκαλούμενο από γεγονότα (event-related) συγχρονισμό μικρής προϋπάρχουσας κινητικής δραστηριότητας (Niedermeyer 1999). Ωστόσο, σύμφωνα και με την κατηγοριοποίηση του Galambos (Galambos 1992), ο ρυθμός μπορεί να παρατηρηθεί ως αυθόρμητη ηλεκτρική δραστηριότητα (χωρίς να συνδέεται δηλαδή άμεσα με κάποιο ερέθισμα) ή ως απόκριση σε ερεθίσματα με τη μορφή προβλεπτικών-emitted, προκλητών-evoked (με σύμπτωση φάσης) ή επαγόμενων-induced (χωρίς σύμπτωση φάσης) ταλαντώσεων με διάφορες τιμές χρόνων διάρκειας και καθυστέρησης. Οι προαναφερθείσες κατηγορίες περιγράφονται αναλυτικότερα με το γενικότερο όρο HEG φαινόμενα στην ενότητα 6.4.2. Ο Basar και οι συνεργάτες του συσχετίζουν το γάμα ρυθμό με διαφορετικές λειτουργίες και συμπεριφοριστικές αντιδράσεις, οι οποίες παρατηρούνται σε όλες τις εγκεφαλικές περιοχές ως απόκριση σε πολλά αισθητηριακά και γνωστικά ερεθίσματα και υποστηρίζουν την άποψη ότι οι αλλαγές στο γάμα ρυθμό αναπαριστούν ένα καθολικό κώδικα επικοινωνίας στο κεντρικό νευρικό σύστημα (Basar et al. 1999, Basar-Eroglu et al. 1996).

Όσο αφορά στη δημιουργία του ρυθμού, δεν είναι δυνατό να προσδιοριστεί στον ανθρώπινο εγκέφαλο κάποια μοναδική εγκεφαλική δομή. Αντίθετα φαίνεται να υπάρχει ένα διάχυτο δίκτυο παραγωγής του ρυθμού σε όλο τον εγκέφαλο (Basar-Eroglu et al. 1996).

### **Συσχετίσεις του γάμα ρυθμού με αντιληπτικές και γνωστικές διαδικασίες**

Ο γάμα ρυθμός (ή νευρωνικές εκφορτίσεις τύπου γάμα, όπως επίσης απαντάται μερικές φορές στη βιβλιογραφία) έχει ταυτοποιηθεί σε ένα ευρύ φάσμα ζωικών ειδών και έχει προσδιοριστεί η εμπλοκή του σε αρκετές οπτικές, ακουστικές, σωματοαισθητηριακές, οσφρητικές, κινητικές και μνημονικές λειτουργίες (Engel & Singer 2001).

Ο Pfurtscheller θεωρεί ότι προκαλούμενος από γεγονότα (event-related) αποσυγχρονισμός στην περιοχή συχνοτήτων 38 – 40 Hz δείχνει το ακριβές σημείο για κινήσεις του αριστερού και δεξιού δείκτη, του δεξιού δάχτυλου του ποδιού και κινήσεις γλώσσας (Pfurtscheller et al. 1994) και συσχετίζει το ρυθμό με την εξέταση κινήσεων, π.χ. προκαλούμενο από γεγονότα αποσυγχρονισμό σε 10 Hz και συγχρονισμό στα 40 Hz σε αριστερή κεντρική περιοχή (C3) ταυτόχρονα με την έναρξη της κίνησης (Pfurtscheller & Neuper 1992).

Οπτικά ερεθίσματα προκαλούν τοπικές αλλαγές του γάμα ρυθμού (Lutzenberger et al. 1995). Η Tallon και οι συνεργάτες της (1995) διερεύνησαν το ρόλο του γάμα ρυθμού στη σύνδεση οπτικών χαρακτηριστικών στατικών αντικειμένων. Ο Kojima και οι συνεργάτες του (1993) κατά τη διεξαγωγή ψυχοφυσικών πειραμάτων μελέτησαν το γάμα συγχρονισμό σχετικά με τις χωρικές και χρονικές ιδιότητες ψευδαισθητικών σχημάτων. Οι Desmedt και Tomberg (1994) ερμηνεύουν τον επιλεκτικό συγχρονισμό του γάμα ρυθμού μεταξύ προμετωπιαίων (prefrontal) και

βρεγματικών περιοχών του ανθρώπινου εγκεφάλου ως ένδειξη μίας προσωρινής μεταβατικής σύνδεσης γνωστικών χαρακτηριστικών. Ο Rodriguez (Rodriguez et al. 1999) κατέγραψαν αύξηση της γάμα ισχύος όταν τα υποκείμενα αναγνώριζαν πρόσωπα σε ασπρόμαυρες διαφορούμενες εικόνες σε σχέση με την παρουσίαση των ίδιων εικόνων με τέτοιο τρόπο ώστε να μη σχηματίζονται πρόσωπα.

Ο Simos και οι συνεργάτες του (2002) συνδέουν την αύξηση της πολυπλοκότητας μιας διεργασίας με αύξηση της γάμα ισχύος.

Ο Müller και οι συνεργάτες του (2000) υποστηρίζουν ότι ο επαγόμενος γάμα ρυθμός συνδέεται στενά με την επεξεργασία οπτικών πληροφοριών και αντιληπτικούς μηχανισμούς προσοχής. Σε έρευνα της χωρικής επιλεκτικής προσοχής (στη βρεγματο-νιακή μόνο περιοχή) οι ερευνητές παρατήρησαν ότι όταν τα υποκείμενα έστρεφαν την προσοχή τους σε ένα ορισμένο ερέθισμα, η φασματική ισχύς του γάμα ρυθμού αυξήθηκε σε σύγκριση με τα υποκείμενα που αγνόησαν το ίδιο ερέθισμα, ενώ ο άλφα ρυθμός δεν επηρεάστηκε. Η παρατήρηση αυτή συμφωνεί κατά τους ερευνητές και με μελέτες PET και fMRI, που καταγράφουν αύξηση της αιματικής ροής στις περιοχές του οπτικού φλοιού που αντιστοιχούν σε ερεθίσματα που τραβούν την προσοχή των υποκειμένων (Corbetta et al. 1995, Beauchamp et al. 1997). Επίσης, παρατηρήθηκε μετατόπιση στην αύξηση της φασματική ισχύος στο ετερόπλευρο ημισφαίριο σε σχέση με το οπτικό πεδίο στο οποίο τα υποκείμενα έστρεφαν την προσοχή τους. Σε διεργασία με διαφορούμενες εικόνες καταγράφηκε αύξηση της γάμα δραστηριότητας στις οπίσθιες περιοχές όταν τα υποκείμενα αναγνώριζαν τα αντικείμενα. Οι ερευνητές επίσης παρατήρησαν τροποποίηση του γάμα ρυθμού όταν τα υποκείμενα ερχόταν αντιμέτωπα με συναισθηματικά φορτισμένες εικόνες.

Οι συσχετίσεις του ρυθμού με τη λειτουργία της προσοχής αναλύονται στην ενότητα 6.5.7.

Δεδομένου ότι οι ταλαντώσεις στα 40 Hz φαίνονται να διαδραματίζουν ένα βασικό ρόλο στην ανθρώπινη αντίληψη, είναι εύλογο να υποτεθεί ένας νευροανατομικός λόγος για τη σταθερή εμφάνιση αυτής της απόκρισης του εγκεφάλου σε πολλούς και διαφορετικούς λειτουργικούς ρόλους. Ένας πιθανός λόγος για προτίμηση σε μια συχνότητα είναι ένα φαινόμενο αντήχησης στον εγκέφαλο, δηλαδή, ο εγκέφαλος αποκρίνεται εντονότερα σε εκείνη τη συχνότητα απ' ό,τι σε άλλες (Herzmann 2001). Ένα τέτοιο φαινόμενο αντήχησης είναι γνωστό ότι υπάρχει για τις συχνότητες στο άλφα φάσμα συχνοτήτων (περίπου 8–12 Hz), το οποίο επίσης έχει συνδεθεί με ποικίλες αντιληπτικές και γνωστικές λειτουργίες που κυμαίνονται από την αρχική αισθητήρια κωδικοποίηση (Schürmann et al. 1997) ως τις αντιπροσωπεύσεις μνήμης (Klimesch 1997). Μια επισκόπηση δίνεται από τον Basar και τους συνεργάτες του οι οποίοι γενικά αναγνωρίζουν συμμετοχή του γάμα ρυθμού σε όλες τις αντιληπτικές και γνωστικές λειτουργίες, από την αναγνώριση ενός απλού σήματος μέχρι την επεξεργασία διαφορούμενων εικόνων (Basar et al. 1997).

Η Basar-Eroglu δε διστάζει να δηλώσει ότι, με μια γενικευμένη θεώρηση του εγκεφάλου ως κατανεμημένου συστήματος παράλληλης επεξεργασίας, σε ένα ευρύ πλαίσιο μετρήσεων σε διάφορα είδη, εγκεφαλικές δομές και πειραματικές συνθήκες,

ο ρυθμός γάμα έχει σημαντική, καθολική δράση στη λειτουργία εγκεφάλου, η οποία διανέμεται σε πολλά υποσυστήματα του εγκεφάλου. Θεωρεί μάλιστα ότι αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό κώδικα επικοινωνίας, τμήμα μιας πιο σύνθετης γλώσσας μέσω της οποίας ανταλλάσσουν πληροφορίες οι εγκεφαλικές δομές, όπως και οι ρυθμοί άλφα, θήτα και βήτα (Basar-Eroglu et al. 1996). Οι Engel και Singer (2001) επίσης θεωρούν το γάμα ρυθμό στον άνθρωπο και στα ζώα ως μέσο και μέτρο σύνδεσης και κατανομής των πληροφοριών μεταξύ κατανεμημένων νευρωνικών υποδικτύων σε πλήθος εγκεφαλικών διαδικασιών, όπως ακουστικές (Joliot et al. 1994), σωματοαισθητικές (Sauve et al. 1998) και αισθητικοκινητικές λειτουργίες (Aoki et al. 1999), σε όλες τις αισθήσεις γενικά (Keil et al. 1999), στη λειτουργία της στερεοσκοπίας (Revonsuo et al. 1997), στη λειτουργία της μνήμης εργασίας (Tallon-Baudry et al. 1998).

Οι Engel και Singer (2001) πραγματοποίησαν συγκριτική έρευνα συνεχόμενου ΗΕΓ σε ανθρώπους και ζώα κατά τη διεξαγωγή οκτώ διεργασιών (οπτική στόχευση, ανάγνωση κειμένου, αριθμητική αφαίρεση, ακρόαση μουσικής, απομνημόνευση λέξεων, ανάκληση, αναμονή οπτικού ερεθίσματος) σε σχέση με διάστημα ελέγχου (χαλάρωση με τα μάτια ανοιχτά). Παρατήρησαν αύξηση της γάμα ισχύος σε όλες τις διεργασίες (εκτός της οπτικής στόχευσης) σε περιοχές αντίστοιχες με την κάθε διεργασία. Παρόμοια αύξηση αλλά μικρότερη σε τιμή, με παρόμοια τοπογραφική εξάπλωση παρατήρησαν και για το βήτα ρυθμό (κυρίως στις συχνότητες κοντά στο γάμα ρυθμό). Αύξηση γενικά παρουσίασε και ο θήτα ρυθμός (εκτός της οπτικής στόχευσης) κυρίως στις αμφίπλευρες μετωπιαίες περιοχές της μέσης γραμμής, ενώ γενικευμένες αυξήσεις παρατηρήθηκαν στη διεργασία της αφαίρεσης και σε μερικές διεργασίες στις ινιακές περιοχές.

Η δραστηριότητα γάμα (30–80 Hz) συνδέεται με τύπου από επάνω προς τα κάτω διεργασίες προσοχής και με την αντίληψη των αντικειμένων (Tiitinen et al., 1993, Keil et al. 1999, Rodriguez et al. 1999, Debener et al. 2003, Gruber & Muller 2005), αλλά και με το μνημονικό φόρτο σε διεργασίες της μνήμης εργασίας (Howard et al. 2003).

Έρευνες από το χώρο του μαγνητοεγκεφαλογραφήματος δείχνουν επίσης ότι ο συγχρονισμός στη δραστηριότητα των 40 Hz εμφανίζεται με υψηλό βαθμό χωρικής και χρονικής οργάνωσης (Llinas & Ribary 1992).

Υπάρχει όμως και μια μειοψηφία ερευνητών που θεωρεί γενικά τη γάμα δραστηριότητα ως παράσιτο της φασματικής ανάλυσης ή αρμονική συχνότητα του άλφα ρυθμού (Jürgens et al. 1995, Jürgens & Rösler 1995).

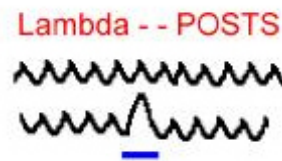
### 6.2.10 Άλλες κυματομορφές του ΗΕΓ

Στη συνέχεια ακολουθεί μια σύντομη αναφορά σε κάποιες λιγότερο σημαντικές (για τις γνωστικές εγκεφαλικές λειτουργίες) εγκεφαλικές κυματομορφές, οι οποίες δε χαρακτηρίζονται συνήθως ως ρυθμοί αλλά ως ΗΕΓ κύματα. Αυτές είναι τα Κ συμπλέγματα, τα V κύματα, τα λ κύματα, τα POSTS κύματα, τα ατρακτοειδή κύματα

(spindles), τα κύματα αιχμής (spike waves), τα οξεία κύματα και διάφορες άλλες κυματομορφές που σχετίζονται με την κατάσταση του ύπνου ή με παθολογικές καταστάσεις. Ενδεικτικά παραδείγματα των κυματομορφών αυτών παρουσιάζονται στο σχήμα 5-8.

### Τα «λάμδα κύματα»

Σύμφωνα με την IFSECN τα λ κύματα είναι οξείες αλλαγές που συμβαίνουν στην ινιακή περιοχή των υποκειμένων κατά τη διάρκεια οπτικής εξερεύνησης. Έχουν κυρίως θετικές τιμές και είναι σύγχρονα με σακαδικές κινήσεις των ματιών. Το πλάτος τους ποικίλει, αλλά γενικά παραμένει σε τιμές μικρότερες από 50  $\mu\text{V}$  (IFSECN 1974).



Σχήμα 6-9. Παραδείγματα «λάμδα» και POSTS κυμάτων.

Η κυματομορφή των λ κυμάτων είναι διφασική ή τριφασική, όπου η πιο σημαντική φάση είναι η θετική. Το σχήμα τους, όπως φαίνεται και στο σχήμα 6-9, είναι τριγωνικό ή πριονωτό και το πλάτος τους συνήθως κάτω από 20  $\mu\text{V}$  (μπορεί όμως να φτάνει και τα 50  $\mu\text{V}$  σε μερικά άτομα). Η συνολική τους διάρκεια είναι μικρή (200 - 300 msec) και επαναλαμβάνονται κάθε 200 με 500 msec (Marton et al. 1982).

Τοπογραφικά τα λ κύματα παρατηρούνται κυρίως στις ινιακές περιοχές, αλλά συχνά εξαπλώνονται στις πλευρικές και στις πίσω κροταφικές περιοχές. Τα λ κύματα εμφανίζονται αυστηρά συγχρονισμένα αμφίπλευρα (Evans 1953).

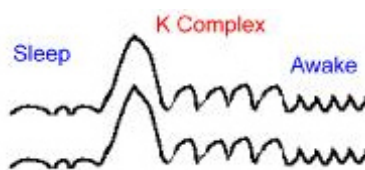
Εμφανίζονται κυρίως στα φωτεινά εργαστήρια και ποτέ στο σκοτάδι.

Εμφανίζονται κατά τη διάρκεια του διαβάσματος και μερικές φορές όταν το υποκείμενο παρακολουθεί τηλεόραση.

Ψυχολογικοί παράγοντες φαίνεται να τα επηρεάζουν. Νευρικότητα τα μειώνει ενώ η παρουσίαση καινούριων φωτογραφιών τα αυξάνει (Green 1954).

Ο οπίσθιος άλφα ρυθμός (με τα μάτια κλειστά) φαίνεται να λειτουργεί ανεξάρτητα από τα λ κύματα (με τα μάτια ανοιχτά).

Τα λ κύματα όσο αφορά στην παραγωγή τους συνδέονται λειτουργικά με το οπτικό σύστημα και συγκεκριμένα με τις σακαδικές κινήσεις των ματιών, με απαντήσεις σε οπτικά ερεθίσματα, με μηχανισμούς αφύπνισης ή με δυναμικά προκαλούμενα από τους μύες των ματιών (Chatrian 1967c, Billings 1989).

**K συμπλέγματα**

Σχήμα 6-10. Παράδειγμα «K συμπλέγματος».

Οι «K συμπλέγματα» (K complex) κυματομορφές (σχήμα 6-10) είναι υψηλού δυναμικού κύματα στην περιοχή της δέλτα δραστηριότητας με αιχμηρή συνήθως κορυφή. Μπορούν να εμφανιστούν οπουδήποτε στον εγκέφαλο και συνήθως σε συμμετρικές θέσεις. Εμφανίζονται κάθε φορά που το υποκείμενο ξυπνά από τον ύπνο. Όταν το υποκείμενο ξυπνά από δυνατό θόρυβο μπορεί να παρατηρηθούν επαναλαμβανόμενα K-συμπλέγματα.

**Κυματομορφές που εμφανίζονται κατά τη διάρκεια του ύπνου ή σε παθολογικές καταστάσεις**

Υπάρχουν αρκετές ακόμη ΗΕΓ κυματομορφές που εμφανίζονται κατά τη διάρκεια του ύπνου ή σε επιληπτικές και παθολογικές καταστάσεις όπως τα «V κύματα», τα POSTS κύματα (Positive occipital sharp transients of sleep), τα «ατρακτοειδή κύματα» (spindles), τα BETS (Benign epileptic transients of sleep), τα κύματα αιχμής (spike waves) και άλλα οξεία κύματα.

**Καταγραφές με χαμηλό πλάτος**

Σύμφωνα με τον ορισμό του Chatrian και των συνεργατών του «ως καταγραφές χαμηλού πλάτους χαρακτηρίζονται οι ΗΕΓ καταγραφές που δεν ξεπερνούν τα 20  $\mu$ V σε όλες τις εγκεφαλικές περιοχές. Αυτό το φαινόμενο παρατηρείται περισσότερο στους βήτα και θήτα ρυθμούς και λιγότερο στο δέλτα ρυθμό και μπορεί να συνδυάζεται με παρουσία ή απουσία άλφα ρυθμού στις οπίσθιες περιοχές» (IFSECN 1974).

Το χαμηλό πλάτος των σημάτων ΗΕΓ είναι γενικά δύσκολο να ερμηνευθεί ως μια πραγματική κατάσταση του ΗΕΓ ή ως αποτέλεσμα των συνθηκών καταγραφής (είδος αναφοράς, αποστάσεις ηλεκτροδίων και συνδυασμοί ηλεκτροδίων - μοντάζ).

**6.3 Ποσοτικοποίηση του ΗΕΓ και εγκεφαλικές λειτουργίες****6.3.1 Η ισχύς του ΗΕΓ**

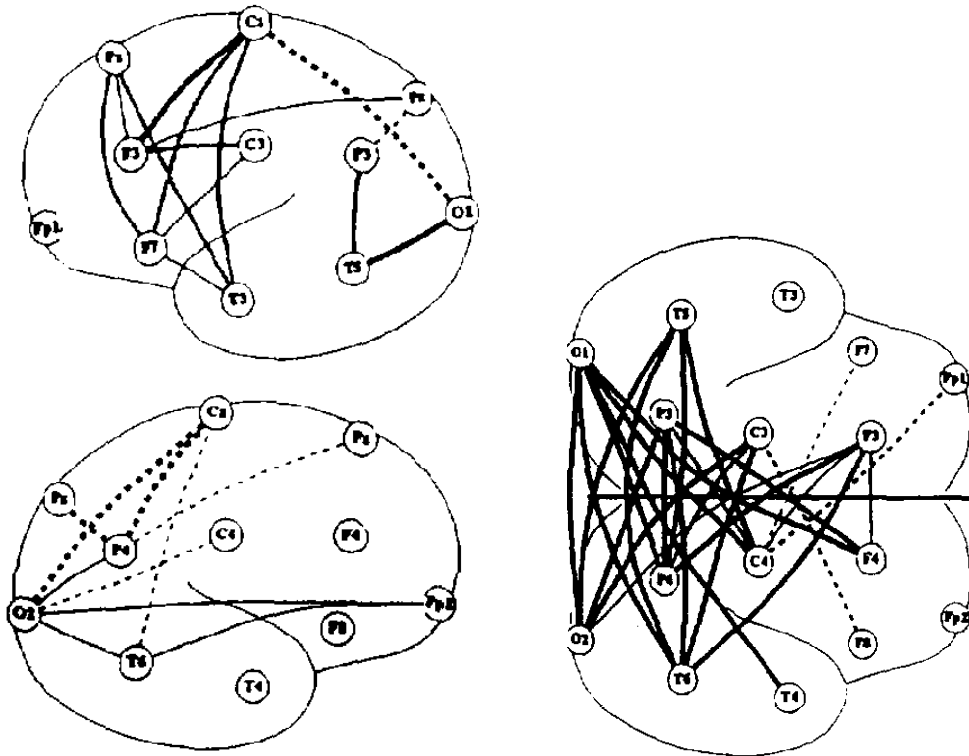
Από φυσιολογική σκοπιά η ισχύς του ΗΕΓ αντανακλά, αν ελέγξουμε παράγοντες που αφορούν στη φυσιολογία των εμπλεκόμενων ιστών και στις συνθήκες της πειραματικής διαδικασίας, τον αριθμό των νευρώνων που

εκφορτίζονται σύγχρονα (ταυτόχρονα). Οπότε είναι λογικό να υποθέσουμε ότι όσο μεγαλύτερη είναι η ισχύς, τόσο περισσότεροι νευρώνες συμμετέχουν στο φαινόμενο που λαμβάνει χώρα εκείνη τη στιγμή ή ότι ο φλοιός με αυξημένη ισχύ ΗΕΓ έχει διαφορετική φυσιολογία από ένα άλλο τμήμα του φλοιού με χαμηλότερη τιμή ισχύος (πιθανά διαφορετικό αριθμό νευρώνων).

Ορισμένοι ερευνητές συσχετίζουν την ισχύ του σήματος ΗΕΓ με την εξυπνάδα, με την επίδοση μνήμης και με άλλες νοητικές διαφοροποιήσεις από άτομο σε άτομο. Οι έρευνες δείχνουν ότι άτομα με καλή μνήμη έχουν μεγαλύτερη ισχύ στην περιοχή των «ανώτερων άλφα» κυμάτων σε σχέση με άτομα με κακή μνήμη. Αυτό ισχύει και στην κατάσταση ηρεμίας. Ο Klimesch υποστηρίζει ότι η ισχύς του ΗΕΓ σχετίζεται με μνημονική επίδοση και νοητική ικανότητα, αλλά «με ένα σύνθετο και συνήθως μη γραμμικό τρόπο» (Klimesch 1999). Παρόμοια ευρήματα ισχύουν και σε άτομα με υψηλό δείκτη ευφυΐας. Ο Jaušovec υποστηρίζει ότι άτομα με υψηλό δείκτη ευφυΐας έχουν περισσότερη συνολική ισχύ στη περιοχή του «ανώτερου άλφα» υπορυθμού από άλλα άτομα (2000a).

### 6.3.2 Ανάλυση συνάφειας εγκεφαλικών περιοχών

Η ανάλυση της συνάφειας μεταξύ των σημάτων δυο διαφορετικών ηλεκτροεγκεφαλογραφικών θέσεων και συνεπώς μεταξύ των υποκείμενων εγκεφαλικών περιοχών μας παρέχει ένα επιπλέον (από τη φασματική ισχύ του ΗΕΓ) μέτρο για τον τρόπο που λειτουργεί ο εγκέφαλος. Οι επιπλέον πληροφορίες αφορούν στη συνεργασία, συγχρονισμό ή απομόνωση εγκεφαλικών περιοχών ως προς τους ρυθμούς του ΗΕΓ κατά την εκτέλεση κάποιας δραστηριότητας (Petsche et al. 1986, Sheppard & Boyer 1990). Με δεδομένες τις πολύμορφες πτυχώσεις του εγκεφαλικού φλοιού και κυρίως την άγνοιά μας για το ρόλο εσωτερικών δομών στην παραγωγή και διάδοση των ρυθμών του ΗΕΓ, ο Petsche (1996) και οι συνεργάτες του προτείνουν την ανάλυση συμφωνίας ή συνοχής (coherence analysis) ως την καταλληλότερη μέθοδο για την έρευνα των γνωστικών λειτουργιών. Τα πρότυπα συνάφειας που παρατηρούνται σε νοητικές δραστηριότητες είναι αυστηρά εξειδικευμένα με τη συγκεκριμένη δραστηριότητα. Αυτό έχει αποδειχθεί για δραστηριότητες όπως η ακρόαση ομιλίας (Von Stein 1994), η ακρόαση μουσικής (Petsche et al. 1993), η επεξεργασία οπτικών εικόνων (Petsche 1996), η αφηρημένη σκέψη (Petsche 1995), ακόμη και η δημιουργικότητα και η φαντασία (Petsche 1996, 1997).



Σχήμα 6-11. Παράδειγμα χάρτη συνάφειας. Για τις παχιές γραμμές:  $p \leq 0.01$ , λεπτές:  $p \leq 0.05$ , συνεχόμενες γραμμές: αύξηση, διακοπτόμενες: μείωση. (Petsche 1996).

Η ανάλυση της συμφωνίας (coherence analysis) μεταξύ διαφορετικών ηλεκτροδίων (επομένως μεταξύ διαφορετικών εγκεφαλικών θέσεων) αποτελεί ένα επιπλέον ποσοτικό μέτρο, το οποίο παρέχει πληροφορίες για τη συνεργασία διαφορετικών εγκεφαλικών περιοχών. Ως συνοχή ορίζεται η κανονικοποιημένη ετεροσυσχέτιση η οποία θεωρείται ότι αντανακλά τη λειτουργική συσχέτιση των εγκεφαλικών περιοχών (Gerlic & Jaušovec 2001, Petsche et al. 1986, Sheppard & Boyer 1990). Σύμφωνα με τον Petsche (1996) αύξηση της συμφωνίας μπορεί να ερμηνευτεί ως αυξημένη συνεργασία των αντίστοιχων περιοχών, ενώ μείωση της συνοχής υποδεικνύει ότι οι αντίστοιχες περιοχές λειτουργούν απομονωμένα. Οι αλλαγές της συμφωνίας (είτε αύξηση είτε μείωση) γύρω σε ένα ηλεκτρόδιο μπορεί να αποτελέσουν δείκτη της λειτουργικής σπουδαιότητας αυτής της περιοχής για το συγκεκριμένη δραστηριότητα ή ερέθισμα.

Οι στατιστικά επεξεργασμένες μετρήσεις παρουσιάζονται συνήθως με τη μορφή γραφήματος, όπως αυτό που εικονίζεται στο σχήμα 6-11, στο οποίο οι διαφορετικές συσχετίσεις μεταξύ ενδο-ημισφαιρικών και δια-ημισφαιρικών περιοχών αποτυπώνονται με διαφορετικές συνδετικές γραμμές.

### 6.3.3 Ημισφαιρικές διαφορές

Οι διαφοροποιήσεις των εγκεφαλικών λειτουργιών στα δύο ημισφαίρια έχουν σε αρκετό βαθμό μελετηθεί και προσδιοριστεί. Στο σημείο αυτό είναι αρκετό να

αναφερθεί η γενική διαφοροποίηση ότι το αριστερό ημισφαίριο εμπλέκεται στην επεξεργασία του λεκτικού/αναλυτικού υλικού (π.χ., νοερή αριθμητική, επεξεργασία λέξεων) ενώ το δεξί ημισφαίριο στην επεξεργασία του οπτικο-χωρικού/συνθετικού υλικού (π.χ., ταίριασμα γεωμετρικών σχημάτων, οπτικοποίηση εργασιών) (Gremades et al. 2004).

Οι διαφοροποιήσεις αυτές ασφαλώς αποτυπώνονται και στις συχνότητες του ΗΕΓ. Για παράδειγμα σε μελέτη οπτικο-χωρικών διεργασιών σε βιντεοπαιχνίδια ο Rebert και οι συνεργάτες του (Rebert et al. 1984) παρατήρησαν μεγαλύτερη καταστολή του άλφα ρυθμού στο δεξί ημισφαίριο σε σχέση με το αριστερό, την οποία ερμήνευσαν ως αυξημένη ενεργοποίηση του δεξιού ημισφαιρίου. Σε άλλη μελέτη με βιντεοπαιχνίδια σε δύο κατηγορίες εξετάσεων (μία με οπτικο-χωρική διεργασία με τρισδιάστατο παιχνίδι tetris και η άλλη με λεκτική διεργασία με αντίστοιχο βιντεοπαιχνίδι σύνθεσης λέξεων από δοσμένα γράμματα) ο Gremades (Gremades et al. 2004) ασχολήθηκε αναλυτικότερα με τις μεταβολές στους υπορυθμούς της άλφα περιοχής. Το παράδοξο ήταν ότι παρατηρήθηκε μεγαλύτερη άλφα δραστηριότητα («κάτω» και «άνω άλφα») στο αριστερό ημισφαίριο πράγμα που σημαίνει αυξημένη ενεργοποίηση του δεξιού ημισφαιρίου, όχι μόνο στην οπτικο-χωρική διεργασία (που ήταν αναμενόμενο), αλλά και στο λεκτική διεργασία (το οποίο πιθανό να οφείλεται στην πειραματική διαδικασία που εμφάνιζε τα γράμματα διάσπαρτα στην οθόνη με αποτέλεσμα να ενεργοποιούνται και οπτικο-χωρικές λειτουργίες). Ένα δεύτερο εύρημα αφορούσε στην περιοχή του «άνω άλφα» ρυθμού, ο οποίος εμφανίστηκε εντονότερος στις κροταφικές περιοχές του αριστερού ημισφαιρίου σε σχέση με τις μετωπιαίες και ινιακές περιοχές. Αυτή η παρατήρηση συμφωνεί και με προηγούμενες έρευνες (Rebert et al. 1984), όπου αφενός ο «άνω άλφα» ρυθμός θεωρείται ως δείκτης της επιλεκτικής κωδικοποίησης των ερεθισμάτων και αφετέρου ο κροταφικός λοβός συνδέεται περισσότερο με ακουστικά ερεθίσματα και τις αντιληπτικές πτυχές της γλώσσας όπως η κατανόηση και το συντακτικό, και όχι με την οπτικο-χωρική επεξεργασία.

#### **6.4 Τα σημαντικότερα ΗΕΓ φαινόμενα**

Τα εγκεφαλικά κύματα ή ταλαντώσεις (brain oscillations) που παρατηρούνται στο ΗΕΓ μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση τη συσχέτισή τους με κάποιο ερέθισμα. Οι κατηγορίες που προκύπτουν αναφέρονται επίσης και ως είδη ή πρότυπα εγκεφαλικής λειτουργίας ή ΗΕΓ φαινόμενα, αν και ο τελευταίος όρος μπορεί να επεκταθεί και να συμπεριλάβει κάθε είδους ηλεκτρική εγκεφαλική δραστηριότητα είτε αυτή μπορεί να χαρακτηριστεί σαν «ταλάντωση» είτε όχι.

Στον πίνακα 6-3 παρουσιάζονται αυτές οι κατηγορίες, όπως έχουν προταθεί κυρίως από τον Basar και τους συνεργάτες του (π.χ. Herrmann 2001, Basar et al. 1997, Basar-Eroglou et al. 1996) αλλά και από άλλους, όπως ο Galambos και οι



συνεργάτες του για το γάμα ρυθμό (Galambos et al. 1992) και διαμορφωθεί μέχρι σήμερα.

Πίνακας 6-3. Κατηγοριοποίηση των ΗΕΓ κυμάτων σε σχέση με τη συσχέτισή τους με ερεθίσματα	
Αυθόρμητη ή συνεχόμενη ή δραστηριότητα υπόβαθρου	Προκαλούμενες από γεγονότα ταλαντώσεις - προβλεπτικές ή εκπεμπόμενες (emitted) - προκλητές (evoked) - επαγόμενες (induced)

Τα σημαντικότερα είδη ΗΕΓ φαινομένων βέβαια, αναφέρονται κυρίως στον άλφα ρυθμό, ο οποίος είναι και ο περισσότερο δημοφιλής στους ερευνητές και για τον οποίο μάλιστα ειπώθηκε ότι «όποιος κατανοήσει τον άλφα ρυθμό, θα κατανοήσει πιθανότατα και τα υπόλοιπα ΗΕΓ φαινόμενα» (Storm van Leeuwen 1979 όπως αναφέρεται στον Schabus 2001:29). Τα τελευταία όμως χρόνια η έρευνα έχει επεκταθεί και σε άλλους βασικούς ρυθμούς του ΗΕΓ, όπως στους βήτα, γάμα και θήτα.

#### 6.4.1 Συνεχόμενο ΗΕΓ

Το συνεχόμενο ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (ongoing ή spontaneous EEG) δε συνδέεται με κάποιο ερέθισμα, γι αυτό και ονομάζεται επίσης «αυθόρμητη» ή «δραστηριότητα υπόβαθρου» (Herrmann 2001). Ο τελευταίος όρος, όμως, δεν μπορεί να αποδοθεί με σαφήνεια, αφού σχετίζεται με το τι ερευνάται κάθε φορά (το οποίο θεωρείται σημείο προσοχής, ενώ συνήθως κάθε άλλη δραστηριότητα θεωρείται υπόβαθρο), γι αυτό και δε θα τον χρησιμοποιήσουμε στην παρούσα εργασία. Για την άλφα δραστηριότητα, για παράδειγμα, συνεχόμενο ΗΕΓ θεωρούνται τα «κύματα» με συχνότητα περίπου 10 Hz που καταγράφονται κυρίως στις οπίσθιες κρανιακές περιοχές σε συνθήκες χαλάρωσης με τα μάτια κλειστά. Παλαιότερα αυτή η άλφα συνεχόμενη δραστηριότητα θεωρούνταν ως «θόρυβος».

Η συνεχόμενη αυθόρμητη ηλεκτρική δραστηριότητα είναι παρούσα σε όλο το νευρικό σύστημα (ακόμη και στο έμβρυο), αλλά η λειτουργία της παραμένει αινιγματική. Μέθοδοι με οπτική φασματοσκοπία σε αναισθητοποιημένα ζώα αποκαλύπτουν επίσης αυθόρμητα πρότυπα νευρωνικής δραστηριότητας με γρήγορες αλλαγές που μοιάζουν με εκείνες που προκαλούνται από εξωτερικά ερεθίσματα (Kenet et al. 2003). Επίσης, αιμοδυναμικές μελέτες σε ανθρώπους έχουν παρουσιάσει αυξημένο μεταβολισμό του εγκεφάλου σε κατάσταση χαλάρωσης (Gusnard & Raichle 2001). Μέχρι σήμερα, οι λειτουργικοί ρόλοι αυτής της αυθόρμητης δραστηριότητας στον ενήλικο εγκέφαλο παραμένουν σχεδόν αδιευκρίνιστοι (Dehaene & Changeux 2005).

Το συνεχόμενο ΗΕΓ ενδιαφέρει κύρια τις κλινικές μελέτες (όπως σε καταστάσεις ύπνου, στέρησης ύπνου, υπέρπνοιας, κ.α.) και λιγότερο τις έρευνες γνωστικών λειτουργιών. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια η αυθόρμητη ηλεκτρική εγκεφαλική δραστηριότητα θεωρείται από νεότερους ερευνητές εξίσου σημαντική με τη σχετική με γεγονότα δραστηριότητα για την κατανόηση της λειτουργίας του εγκεφάλου (Arieli et al. 1996, Tsodyks et al. 1999, Leopold et al. 2003, Laufs et al. 2003).

### ***«Τονικές» αλλαγές και διαφοροποιήσεις στους άλφα και θήτα ρυθμούς του ΗΕΓ***

Η συνεχόμενη δραστηριότητα ωστόσο, παρουσιάζει αλλαγές και διακυμάνσεις. Ο όρος που χαρακτηρίζει αυτές τις αλλαγές είναι «τονικές», σε αντίθεση με τον όρο «φασικές» ή «προκαλούμενες από γεγονότα» αλλαγές, οι οποίες είναι λιγότερο ή περισσότερο εκούσιες και συμβαίνουν με γρήγορο ρυθμό. Αντίθετα οι «τονικές» αλλαγές δεν είναι ηθελημένες και παρουσιάζουν πολύ βραδύτερο ρυθμό. Επίσης δεν προκύπτουν σαν αντίδραση σε γεγονότα, αλλά εξαρτώνται από γενικότερους φυσιολογικούς (ζωικούς) κύκλους, όπως κικκάδιους ρυθμούς, καταστάσεις κούρασης, νευρολογικές βλάβες, κ.ά.

Πολλές πειραματικές έρευνες δείχνουν ότι ο άλφα ρυθμός αποτελεί γενικά ένα δείκτη για την ταχύτητα της γνωστικής επεξεργασίας και την επίδοση μνήμης. Ο Surwillo (1971) υποστηρίζει ότι η συχνότητα του άλφα ρυθμού είναι συσχετισμένη με την ταχύτητα επεξεργασίας της πληροφορίας μετρώντας τη με το χρόνο αντίδρασης. Υποκείμενα με υψηλή συχνότητα του άλφα ρυθμού παρουσιάζουν χαμηλό χρόνο αντίδρασης (Klimesch et al. 1996c).

Παρόμοια συμπεράσματα παρουσιάζει ο Klimesch και οι συνεργάτες του, όταν σημειώνουν πως τα άτομα με καλή επίδοση μνήμης έχουν περίπου 1 Hz υψηλότερη συχνότητα άλφα σε σχέση με άτομα χαμηλής επίδοσης (Klimesch 1996a, Klimesch 1997, Klimesch et al. 1990a, Klimesch et al. 1990b, Klimesch et al. 1993a, Klimesch et al. 1993b). Επειδή τα άτομα με καλή επίδοση μνήμης έχουν ταχύτερη ανάκτηση της αποθηκευμένης πληροφορίας, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι υψηλότερη άλφα συχνότητα συνοδεύεται με γρηγορότερη επεξεργασία των πληροφοριών και πιθανώς υψηλότερο δείκτη νοημοσύνης. Η παρατήρηση αυτή φαίνεται να συμφωνεί και με το γεγονός της αύξησης της νοητικής ικανότητας από την παιδική ηλικία μέχρι την ενηλικίωση και της μείωσης στα γηρατειά (Willerman et al. 1991).

Ο πίνακας 6-4 ανακεφαλαιώνει τις συσχετίσεις των μη σχετιζόμενων με γεγονότα (τονικές) αλλαγές στο ΗΕΓ σε σχέση με γνωστικές λειτουργίες ή καταστάσεις (Klimesch 1999).

Πίνακας 6-4. Μη σχετιζόμενες με γεγονότα (τονικές) αλλαγές στο ΗΕΓ	
Η συχνότητα του άλφα ρυθμού σχετίζεται θετικά με νοητική απόδοση.	Μεγάλη ισχύς στην άλφα (κυρίως στην «ανώτερη άλφα») περιοχή και μικρή στη θήτα προσιώνίζουν καλή νοητική απόδοση.
Μεγάλη ισχύς στην «κατώτερη άλφα» περιοχή μπορεί να σημαίνει την προσπάθεια του υποκειμένου να αυξήσει την προσοχή και την επαγρύπνησή του, συνεπώς να αυξήσει τη νοητική απόδοση.	
Συνήθως μικρή ισχύς στη θήτα περιοχή συνοδεύεται από υψηλή τιμή θήτα συγχρονισμού, ενώ μεγάλη τιμή στην άλφα περιοχή συνοδεύεται υψηλή τιμή άλφα αποσυγχρονισμού (Schabus 2001).	

#### 6.4.2 Προκαλούμενες από γεγονότα ταλαντώσεις ή κύματα

Η αρχή πάνω στην οποία στηρίζονται αυτού του είδους τα εγκεφαλικά κύματα περιγράφεται από τον Gray ως εξής. Αν ένα ηλεκτρόδιο συμβεί να βρίσκεται πάνω από μια εγκεφαλική δομή που αντιδρά σε κάποιο ερέθισμα, τότε θα καταγράψει μια ρυθμική διακύμανση της ηλεκτρικής τάσης που διαρκεί συνήθως όσο το ερέθισμα (Basar 1998). Αυτές ακριβώς τις ηλεκτρικές ταλαντώσεις τις ονομάζουμε προκαλούμενα από γεγονότα ταλαντώσεις (Event-related oscillations) και τις διακρίνουμε σε προβλεπτικά (emitted), προκλητά (evoked) και επαγόμενα (induced) κύματα και ρυθμούς.

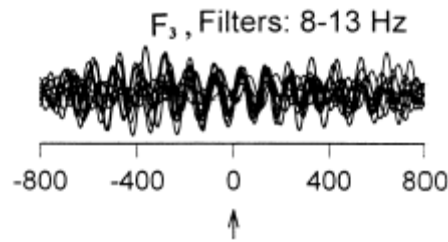
#### Εκπεμπόμενη ή προβλεπτική (emitted) δραστηριότητα

Η προβλεπτική άλφα δραστηριότητα συνδέεται με μια μελλοντική χρονική στιγμή. Αυτό συμβαίνει όταν καλά εκπαιδευμένα υποκείμενα εμφανίζουν αλλαγές στον άλφα ρυθμό λίγο πριν την εμφάνιση ενός αναμενόμενου ερεθίσματος (Basar et al. 1992, Basar et al. 1997, Schürmann et al. 1997). Γενικά τα προβλεπτικά άλφα κύματα σχετίζονται με ερέθισμα (αναμονή ή πρόβλεψη) και εμφανίζονται πάντα με παρόμοια φάση.

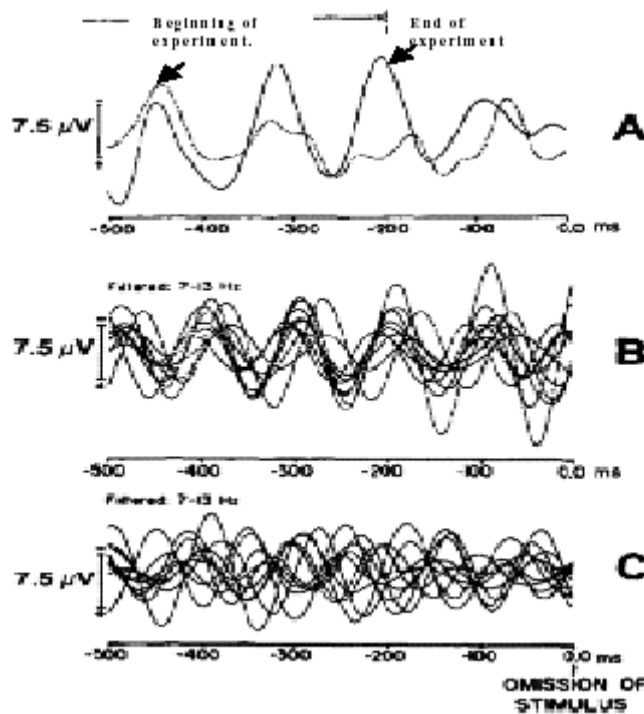
Αν επαναλάβουμε το πείραμα πολλές φορές, παρατηρούμε ότι οι ΗΕΓ κυματομορφές είναι συγχρονισμένες κατά φάση, πράγμα που σημαίνει ότι αν πάρουμε τις μέσες τιμές, θα έχουμε μεγαλύτερα πλάτη για το χρονικό διάστημα που διαρκεί το συγκεκριμένο φαινόμενο (Schabus 2001).

Στο σχήμα 6-12 εικονίζονται 10 δοκιμές (επαναλήψεις του πειράματος) σε υπέρθεση. Η σύμπτωση φάσης των 10 κυματομορφών διακρίνεται λίγο πριν τη χρονική στιγμή 0, κατά την οποία εφαρμόζεται το (ακουστικό) ερέθισμα. Το βέλος δείχνει τη χρονική στιγμή του ερεθίσματος. Το σχήμα 6-13 είναι πιο αναλυτικό. Στην εικόνα Α φαίνονται τα χρονικά ορόσημα του ερεθίσματος. Η εικόνα Β παρουσιάζει τις κυματομορφές όλων των επαναλήψεων (όπου είναι εμφανής ο συγχρονισμός), ενώ

η εικόνα C παρουσιάζει τις ίδιες κυματομορφές απουσία ερεθίσματος (όπου δεν εμφανίζεται κανένας συγχρονισμός).



Σχήμα 6-12. Παράδειγμα προβλεπτικής άλφα δραστηριότητας στο ηλεκτρόδιο F3.



Σχήμα 6-13. Παράδειγμα προβλεπτικού 10 Hz άλφα ρυθμού που εμφανίζεται σε συγχρονισμό φάσης με την έναρξη της γνωστικής διεργασίας (Schabus 2001).

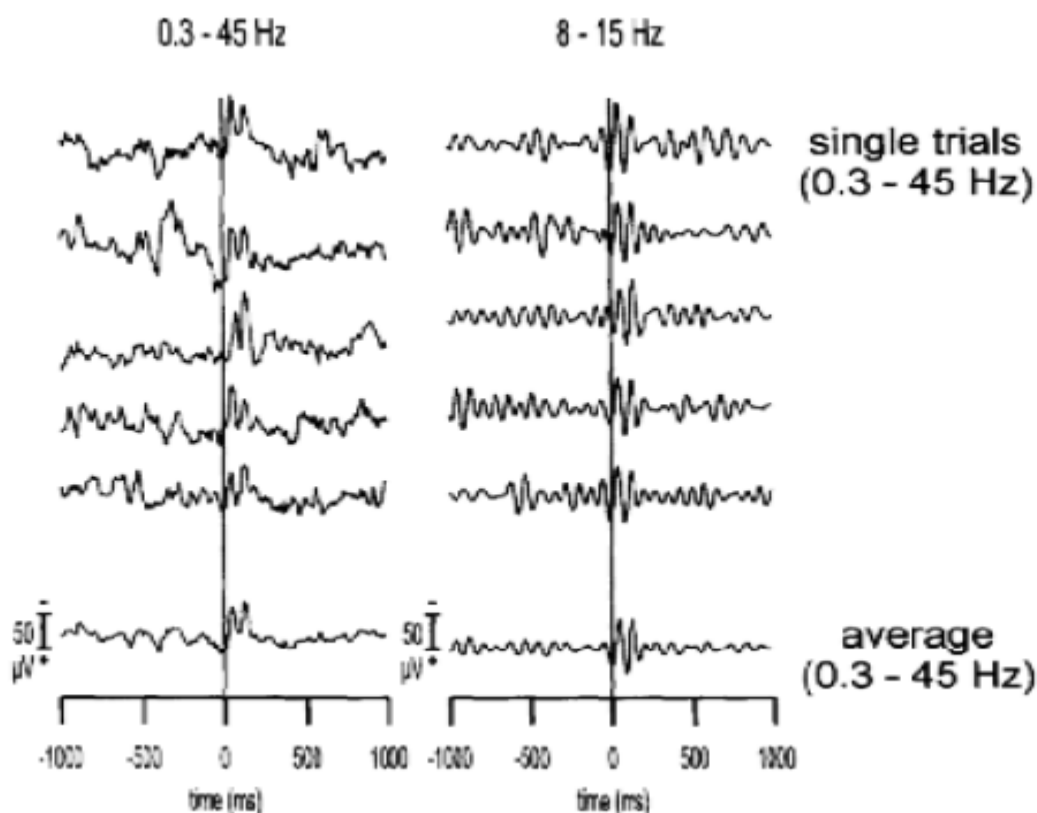
Για τη μελέτη αυτών των ΗΕΓ κυμάτων εφαρμόζεται κυρίως ανάλυση φάσης (phase order κύματα).

### Προκλητή (evoked) δραστηριότητα

Προκλητή ονομάζουμε την ΗΕΓ δραστηριότητα η οποία παρατηρείται για ένα μικρό χρονικό διάστημα (π.χ. 300 msec) μετά από την έκθεση του υποκειμένου σε ένα ερέθισμα. Στην περίπτωση του άλφα ρυθμού, προκλητό άλφα έχουμε κυρίως σε σχέση με αισθητηριακά ερεθίσματα. Η προκλητή δραστηριότητα εμφανίζεται με συγκεκριμένη διαφορά φάσης μετά το ερέθισμα, οπότε με επαναλήψεις του

πειράματος και μεσοποίηση των καταγραφών αναδεικνύεται εύκολα σε σχέση με τη δραστηριότητα του υπόβαθρου.

Στο σχήμα 6-14 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα τέτοιου ΗΕΓ φαινομένου στη δραστηριότητα του ιππόκαμπου σε γάτες, που διαρκεί περίπου 200 msec μετά το οπτικό ερέθισμα.



Σχήμα 6-14. Παράδειγμα προκλητής δραστηριότητας καταγραμμένο με εσωτερικό ηλεκτρόδιο στον ιππόκαμπο γάτας. Οι πρώτες 5 κυματομορφές αναφέρονται σε διαφορετικές δοκιμές (στο ίδιο ερέθισμα), ενώ η τελευταία προκύπτει από τους μέσους όρους και των 5 δοκιμών (Basar et al. 1997).

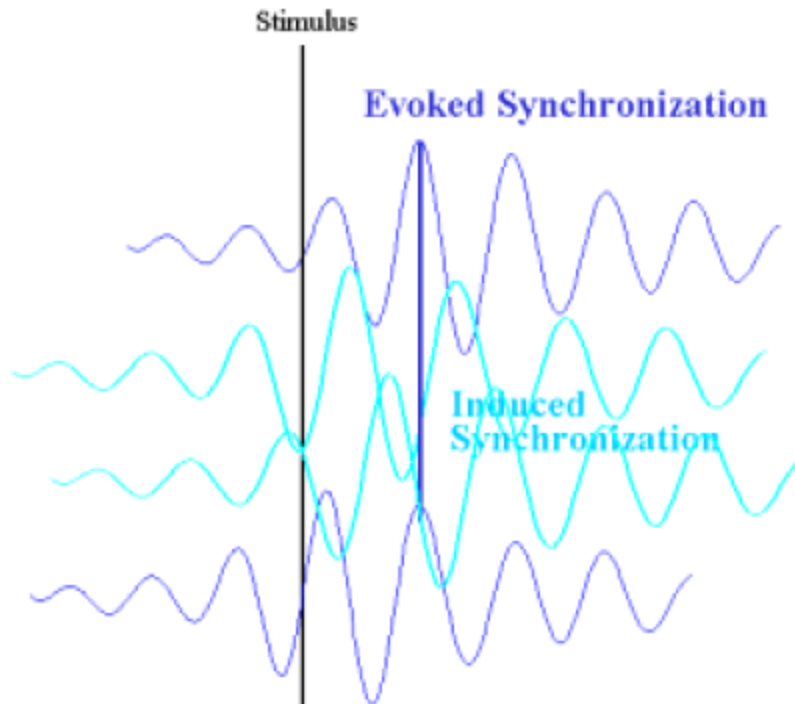
### Επαγόμενη (induced) δραστηριότητα

Η επαγόμενη δραστηριότητα προκύπτει ως απόκριση του εγκεφάλου τόσο σε εξωτερικά αισθητηριακά ερεθίσματα όσο και σε εσωτερικές γνωστικές διεργασίες. Η κύρια διαφορά σε σχέση με την προκλητή δραστηριότητα, όπως φαίνεται και στο σχήμα 6-15, είναι ότι η διαταραχή δε συμβαίνει «σε φάση» με το ερέθισμα αλλά με μικρή καθυστέρηση (Schabus 2001, Klimesch 1999, Klimesch et al. 1998).

Όπως είναι επόμενο, η επαγόμενη δραστηριότητα δεν μπορεί να παρατηρηθεί όταν χρησιμοποιούμε τεχνικές μεσοποίησης (με χρήση πολλών δοκιμών), γιατί η τυχαία διαφορά φάσης κάθε δοκιμής σε σχέση με το ερέθισμα θα προκαλέσει

σημαντική υποβάθμιση της δραστηριότητας κατά τον υπολογισμό των μέσων τιμών (Herrmann 2001).

Στο σχήμα 6-15 παριστάνονται ταυτόχρονα προκλητές και επαγόμενες κυματομορφές που ακολουθούν το ερέθισμα. Διακρίνεται καθαρά η σύμπτωση φάσης των προκλητών κυμάτων (πάνω και κάτω γραφική παράσταση), κάτι που δε συμβαίνει στα επαγόμενα (μεσαίες παραστάσεις).



Σχήμα 6-15. Σχηματική αναπαράσταση προκλητής και επαγόμενης δραστηριότητας. Παρατηρούμε ότι στον προκλητό συγχρονισμό (η πάνω και η κάτω κυματομορφή) έχουμε και μεγαλύτερες σε πλάτος αλλά και συγχρονισμένες (σε φάση) κυματομορφές.

Το φυσικό μέγεθος που συνήθως χρησιμοποιείται για μετρήσεις σε αυτό το ΗΕΓ φαινόμενο είναι η ισχύς του φάσματος συχνοτήτων (IBP – induced band power).

#### 6.4.3 Προκαλούμενος από ερεθίσματα «αποσυγχρονισμός» και «συγχρονισμός» του ΗΕΓ

##### Γενική περιγραφή

Ερεθίσματα ή γεγονότα από το εξωτερικό περιβάλλον (όπως οπτικά ή ακουστικά), αλλά και από το εσωτερικό του οργανισμού (όπως μια εθελούσια κίνηση), μπορούν να προκαλέσουν τριών ειδών αντιδράσεις στο ΗΕΓ. Η μία είναι τα προκλητά δυναμικά (ERP) που έχουν περιγραφεί στην ενότητα 4.5. Η δεύτερη είναι οι προκλητές και επαγόμενες ΗΕΓ ταλαντώσεις (evoked & induced oscillations) που αναφέρθηκαν στην ενότητα 6.4.2. Η τρίτη είναι η καταστολή ή ενίσχυση συχνοτήτων (ρυθμών) του ΗΕΓ που ονομάζεται προκαλούμενος από ερεθίσματα

αποσυγχρονισμός ή αντίστοιχα συγχρονισμός του ΗΕΓ (Event Related Desynchronization ή ERD και Event Related Synchronization ή ERS).

Οι Pfurtscheller και Arabin (1977) καθόρισαν ένα πρότυπο καταστολής του άλφα ρυθμού δίνοντάς του το όνομα προκαλούμενος από ερεθίσματα αποσυγχρονισμός (ERD) και ορίζοντά τον ως την επί τοις εκατό ποσοστιαία μείωση της ισχύος στο φάσμα συχνοτήτων κατά τη διάρκεια ενός χρονικού διαστήματος εργασίας σε σχέση με διάστημα χαλάρωσης (Schabus 2001). Με παρόμοιο τρόπο υπολογίζεται ο ERD για οποιαδήποτε περιοχή συχνοτήτων.

Ο αποσυγχρονισμός σε κάποιο ηλεκτρόδιο θεωρείται ότι αντανακλά ενεργοποίηση μερικών  $cm^2$  του υποκείμενου φλοιού. Αντίστροφα, ο συγχρονισμός (στην περιοχή των 10 Hz) συσχετίζεται με μια κατάσταση χαλάρωσης ή αδράνειας (με την έννοια της μη εισόδου και μη επεξεργασίας αισθητηριακών πληροφοριών (Pfurtscheller et al. 1996a).

Το αντίθετο φαινόμενο του ERD είναι ο ERS (Event Related Synchronization), κατά το οποίο θεωρείται ότι μεγάλος αριθμός νευρώνων λειτουργεί «συγχρονισμένα». Τα μεγάλα πλάτη των άλφα ή «μ» κυμάτων χρειάζονται τέτοιου είδους συγχρονισμό στους νευρώνες που βρίσκονται κάτω από αρκετά τετραγωνικά εκατοστά της επιφάνειας του φλοιού (Lopes da Silva 1991). Σε αυτήν την περίπτωση που μεγάλος αριθμός νευρικών κυττάρων λειτουργεί συγχρονισμένα, είναι πιθανότερο να συμβαίνουν ανασταλτικές λειτουργίες των νευρώνων παρά ενεργητική επεξεργασία πληροφοριών. Αν και οι νευρώνες με κατασταλτική δράση ανέρχονται μόνο στο 15% του συνόλου των νευρικών κυττάρων του φλοιού, η λειτουργία τους είναι αρκετά σημαντική. Ο Klimesch προτείνει ότι ο άλφα ERS κατά τη διάρκεια καταστάσεων νοητικής «αδράνειας» μπορεί να μπλοκάρει λειτουργίες μνημονικής αναζήτησης σε άσχετα μονοπάτια (Klimesch 1996c).

Για συντομία στην ενότητα 6.4.3 θα χρησιμοποιούνται οι όροι ERS και ERD για τις έννοιες του προκαλούμενου από ερεθίσματα/γεγονότα συγχρονισμού και αποσυγχρονισμού αντίστοιχα.

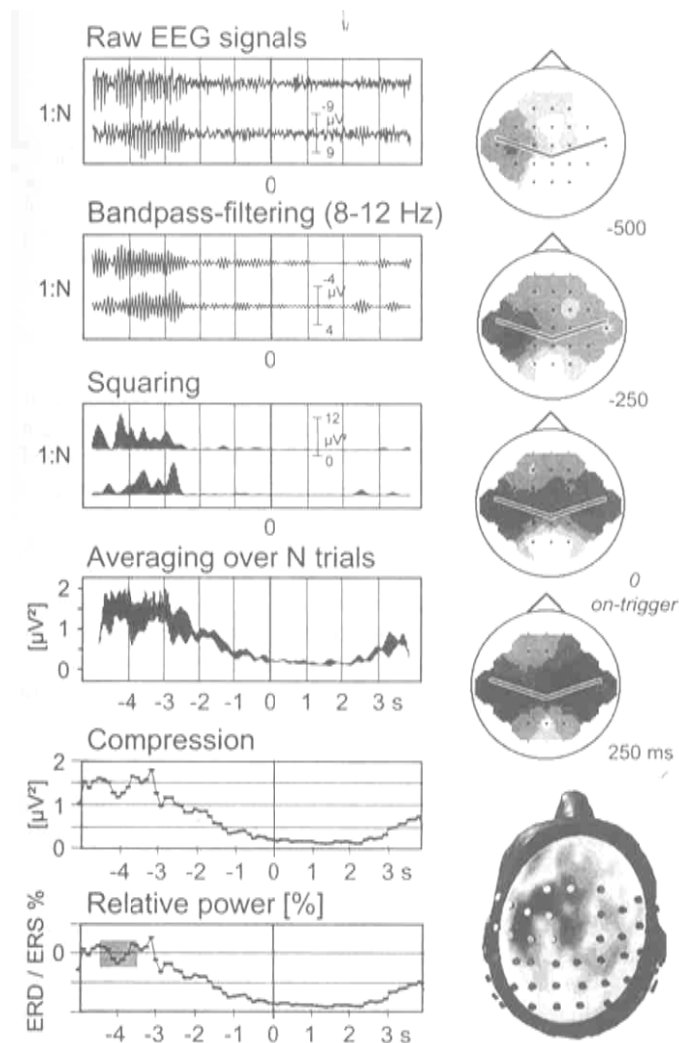
### **Μέθοδοι υπολογισμού**

Η μεθοδολογία που ακολουθείται για τον υπολογισμό των ERD και ERS μοιάζει με αυτή των προκλητών δυναμικών. Τα προκλητά δυναμικά (ενότητα 4.5) είναι μία εγκεφαλική αντίδραση που εμφανίζεται με συγκεκριμένη διαφορά φάσης (phase-locked), στην οποία παίζει καθοριστικό ρόλο σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή η φάση της διαταραχής. Για τον υπολογισμό τους επαναλαμβάνεται πολλές φορές το πείραμα και τελικά υπολογίζεται η μέση τιμή του πλάτους σε κάθε μέτρηση, οπότε το υπόλοιπο ΗΕΓ υποβιβάζεται (αφού δεν είναι δυνατό οι ρυθμοί να έχουν την ίδια φάση), ενώ αναδεικνύονται τα προκλητά δυναμικά που έχουν την ίδια φάση σε κάθε επανάληψη.

Αντίθετα τα ERD και ERS είναι συνήθως μια αντίδραση χωρίς συγχρονισμό φάσης (αν και σύμφωνα με την Krause (2002) μπορεί να είναι και με συγχρονισμό

φάσης). Η ποσοτικοποίηση του ERD/ERS στο χρόνο απαιτεί μερικές επαναλήψεις του ερεθίσματος και ΗΕΓ καταγραφές μερικά δευτερόλεπτα πριν και μετά το ερέθισμα. Η ανάλυση που ακολουθεί εστιάζεται σε μία καθορισμένη περιοχή συχνοτήτων (ρυθμό ΗΕΓ ή κάποια περιοχή που ενδιαφέρει). Τα βήματα που χρησιμοποιούνται είναι τα εξής:

- Ζωνοπερατό φίλτρο σε κάθε επανάληψη ώστε να παραμείνει μόνο η επιθυμητή περιοχή συχνοτήτων.
- Υπολογισμός του τετραγώνου του πλάτους σε κάθε επανάληψη.
- Υπολογισμός μέσων τιμών σε όλες τις επαναλήψεις.
- Υπολογισμός μέσων τιμών σε ένα μικρό αριθμό συνεχόμενων δειγμάτων ισχύος ώστε να έχουμε μείωση της διακύμανσης.



Σχήμα 6-16. Παράδειγμα υπολογισμού ERD του «μ» ρυθμού και οι αντίστοιχοι ERD χάρτες. Από N αρχικά ΗΕΓ σήματα προκύπτει μία γραφική παράσταση της φασματικής ισχύος του ERD (Pfurtscheller 1999).

Η αριθμητικές τιμές της ισχύος μετατρέπονται σε επί τοις εκατό ποσοστιαίες τιμές, θεωρώντας την ισχύ σε ένα διάστημα αναφοράς ως 100%. Από σύμβαση, η



μείωση της ισχύος αντιστοιχεί σε αποσυγχρονισμό (ERD) και η αύξηση σε συγχρονισμό (ERS).

Η χρονική και τοπογραφική εξέλιξη του φαινομένου μπορεί να αποδοθεί με χάρτες (ERD χάρτες) που υπολογίζονται ανά χρονικά μεσοδιαστήματα (για παράδειγμα κάθε 125 ms, οπότε έχουμε 8 χάρτες ανά δευτερόλεπτο). Στο σχήμα 6-16 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα ERD του «μ» ρυθμού και οι αντίστοιχοι ERD χάρτες.

Μια εναλλακτική μέθοδος βασίζεται στον υπολογισμό της διασποράς μεσοδιαστημάτων (intertribal). Τα βήματα σε αυτή τη μέθοδο είναι τα ακόλουθα.

- Ζωνοπερατό φίλτρο σε κάθε επανάληψη ώστε να παραμείνει μόνο η επιθυμητή περιοχή συχνοτήτων.
- Υπολογισμός μέσων τιμών του πλάτους για όλες τις επαναλήψεις.
- Αφαίρεση των μέσων τιμών από τις αρχικές τιμές και υπολογισμός των τετραγώνων των διαφορών.
- Υπολογισμός μέσων τιμών των τετραγώνων που προέκυψαν για όλες τις επαναλήψεις.
- Υπολογισμός μέσων τιμών σε ένα μικρό αριθμό συνεχόμενων δειγμάτων ισχύος.

Οι δύο μέθοδοι δίνουν συνήθως παρόμοια αποτελέσματα σε φασικές (phase-locked) και μη φασικές δραστηριότητες. Έχουν αναφερθεί, όμως, και διαφορές στη θήτα περιοχή συχνοτήτων (Klimesch 1996b).

### **Επιλογή περιοχών συχνοτήτων**

Για να καθορίσουμε την περιοχή συχνοτήτων στην οποία συμβαίνει ERD/ERS, συγκρίνουμε τα φάσματα ισχύος ανάμεσα σε δύο χρονικά διαστήματα του 1 sec συνήθως, ώστε να αναδειχθούν οι συχνότητες που εμφανίζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές. Το πρώτο διάστημα θεωρείται διάστημα αναφοράς (για παράδειγμα μπορεί να είναι ένα διάστημα χαλάρωσης), ενώ το δεύτερο είναι διάστημα ενδιαφέροντος (πριν ή μετά το ερέθισμα).

### **Συσχέτιση με γνωστικές λειτουργίες**

Γενικά η καταστολή του ινιακού άλφα ρυθμού σε οπτικά ερεθίσματα όπως και η καταστολή του κεντρικού «μ» σε σωματο-αισθητηριακά ερεθίσματα και κινήσεις αποτελούν πλέον κλασικά παραδείγματα εξασθένισης του πλάτους της ταλάντωσης του ρυθμού. Αντίστοιχα, η αύξηση της ισχύος του άλφα ρυθμού μπορεί να συσχετιστεί με απενεργοποίηση των υποκείμενων περιοχών του φλοιού (Pfurtscheller et al. 1996c).

Ο άλφα ρυθμός εμφανίζει προκαλούμενο από ερεθίσματα αποσυγχρονισμό (Event Related Desynchronization ή ERD) σε σχετικά ευρεία τοπολογία σε

αισθητηριακές και μνημονικές λειτουργίες καθώς και στη λήψη αποφάσεων. Επιπλέον, αύξηση της πολυπλοκότητας ή της προσοχής έχει σαν αποτέλεσμα αύξηση του ERD (Pfurtscheller 1999). Ο αποσυγχρονισμός γενικότερα του άλφα ρυθμού σχετίζεται με τη δυσκολία της εργασίας. Όσο πιο απαιτητική είναι η εργασία και όσο περισσότερη η προσήλωση του υποκειμένου, τόσο περισσότερος είναι ο βαθμός του άλφα αποσυγχρονισμού (Klimesch 1999).

Η τοπική ενδυνάμωση ή συγχρονισμός του άλφα και του κατώτερου βήτα ρυθμού συνδυάζεται με κατάσταση αδράνειας (idling state), δηλαδή μειωμένη φλοιϊκή δραστηριότητα (nil-work). Επίσης έχει αναφερθεί άλφα συγχρονισμός κατά την αναμονή πριν την εμφάνιση ερεθίσματος. Η βασική παραδοχή στην υπόθεση της αδράνειας είναι ότι πάντα υπάρχουν εγκεφαλικές περιοχές που εμφανίζουν συγχρονισμό και άλλες που εμφανίζουν αποσυγχρονισμό την ίδια χρονική στιγμή με ένα ερέθισμα, ή με άλλα λόγια περιοχές του φλοιού που «δεν εργάζονται» και άλλες που «εργάζονται» (Pfurtscheller et al. 1996c).

Γενικά ο άλφα ERD είναι μεγαλύτερος στις ινιακές περιοχές σε οπτικο-χωρικές διεργασίες (Pfurtscheller & Aranibar 1977), στις κροταφικές σε πειράματα με ακουστική διάκριση στόχων (Kaufman et al. 1991) και στις κεντρικές-βρεγματικές περιοχές όταν το υποκείμενο πραγματοποιεί κινήσεις (Pfurtscheller & Aranibar 1979).

Ο παραδοσιακός άλφα ρυθμός δε συμπεριφέρεται με ενιαίο τρόπο όσο αφορά στο συσχετισμό του με γνωστικές λειτουργίες. Έτσι είναι απαραίτητος ο διαχωρισμός του σε «άλφα υπορυθμούς». Οι επόμενες παρατηρήσεις βασίζονται κύρια στον κατά Klimesch καθορισμό των ορίων συχνοτήτων για τους ρυθμούς άλφα και θήτα, όπου χρησιμοποιείται μια εκτεταμένη άλφα περιοχή η οποία διακρίνεται σε «κατώτερη άλφα» (περίπου 6 – 10 Hz) και «ανώτερη άλφα» (περίπου 10 – 12 Hz). Η «κατώτερη άλφα» περιοχή χωρίζεται πάλι σε «κατώτερη-1 άλφα» (περίπου 6 – 8 Hz) και «κατώτερη-2 άλφα» (περίπου 8 – 10 Hz), ενώ ο θήτα ρυθμός περιορίζεται στην περιοχή 3.5 – 6 Hz (Klimesch 1999). Αρκετοί άλλοι ερευνητές χρησιμοποιούν το διαχωρισμό αυτό των άλφα υπορυθμών με μικρές παραλλαγές στα όρια συχνοτήτων (π.χ. Cremades 2004).

Η καταστολή της «κατώτερης άλφα» περιοχής συχνοτήτων προκύπτει ως αντίδραση σε μια ποικιλία παραγόντων απουσία ερεθίσματος ή απουσία εργασίας που καλύπτουν γενικά την έννοια της προσοχής. Τοπογραφικά εξαπλώνεται σε ολόκληρο το κρανίο και πιθανώς αντανακλά γενικές απαιτήσεις για εργασία και ενεργοποίηση της προσοχής. Ομοίως ERD του κατώτερου άλφα ή «άλφα 1» ERD (περίπου 8-10 Hz) εμφανίζεται σχεδόν σε κάθε είδους εργασία. Σχετίζεται με την επαγρύπνηση (alertness) και τη διάθεση περιορισμένων πηγών επεξεργασίας (Fournier et al. 1999).

Αντίθετα, η καταστολή γενικά της «ανώτερης άλφα» περιοχής είναι τοπογραφικά περιορισμένη (συνήθως στο αριστερό ημισφαίριο) και φαίνεται να συμβαίνει κατά την επεξεργασία αισθητηριακής – σημασιολογικής πληροφορίας (Klimesch et al. 1992, 1994, 1996c, 1997b, 1997c, 1997a). Ο ERD της «ανώτερης

άλφα» περιοχής ή «άλφα 2» ERD (περίπου 10-12 Hz) εμφανίζεται κατά την επεξεργασία αισθητηριακής-σημασιολογικής πληροφορίας (Klimesch et al. 1993a, 1994, 1996c, 1997c). Σχετίζεται δηλαδή άμεσα με κάποιο ερέθισμα και με διαδικασίες αισθητηριακής – κινητικής επεξεργασίας και πιθανώς με σημασιολογική κωδικοποίηση (Pfurtscheller 1988, Klimesch et al. 1992, 1996, Krause et al. 1994). Στην περίπτωση της οπτικής πληροφορίας εμφανίζεται στις πλευρικο-νιακές περιοχές. Σε επεξεργασία ακουστικής πληροφορίας και/ή κατά την κωδικοποίηση ενός μηνύματος επικοινωνίας (όπως για παράδειγμα οι φωνητικές εντολές του ερευνητή προς το υποκείμενο) εμφανίζεται «άλφα 2» ERD στις δεξιές μετωποκροταφικές και κεντρικές περιοχές και περιστασιακά στον αριστερό κροταφικό λοβό (Fournier et al. 1999).

Ο βαθμός του αποσυγχρονισμού είναι στενά συνδεδεμένος με τη λειτουργία της σημασιολογικής μνήμης. Ο Klimesch παρατήρησε ότι ο κατώτερος άλφα ERD είναι σημαντικά μεγαλύτερος σε άτομα με καλή επίδοση μνήμης κατά τη διάρκεια εργασιών που απαιτούσαν σημασιολογική κωδικοποίηση λέξεων. Η εξήγηση που έδωσε ήταν ότι κατά την κωδικοποίηση απαιτείται υψηλότερο επίπεδο προσοχής και ενεργοποίησης (Klimesch 1996c, Sterman et al. 1996).

ERD και στις δύο άλφα υποπεριοχές παρατηρείται και κατά τη διενέργεια ακουστικών μνημονικών εργασιών στις κεντρικές βρεγματικές περιοχές (Krause et al. 1996). Αυτός ο ERD μπορεί να συνδεθεί με διαδικασίες μνημονικής σάρωσης (memory scanning).

Ο θήτα ρυθμός γενικά στα ζώα έχει προέλευση τον ιππόκαμπο και συνδέεται με τη λειτουργία της μνήμης επεισοδίων. Στον άνθρωπο η αύξηση της ισχύος του θήτα ρυθμού συνδέεται με μια μεγάλη ποικιλία διαφορετικών δραστηριοτήτων (Schacter 1977). Οι Klimesch και Doppelmayr απομόνωσαν κάποιους παράγοντες, όπως απαιτήσεις προσοχής, δυσκολία ή νοητικό φόρτο της εργασίας, και συμπέραναν ότι ο συγχρονισμός του θήτα ρυθμού συσχετίζεται με την κωδικοποίηση νέων πληροφοριών στη μνήμη επεισοδίων (Klimesch et al. 1996b, 1997a). Ο θήτα συγχρονισμός στον οποίο αναφερόμαστε εδώ αφορά σε μια περιορισμένη περιοχή συχνοτήτων κοντά στη συχνότητα που ο ρυθμός εμφανίζει τη μέγιστη τιμή στο φάσμα ισχύος και όχι σε μια διευρυμένη περιοχή συχνοτήτων του θήτα ρυθμού που εμφανίζεται στον ύπνο και μάλλον σχετίζεται με την αντίστροφη λειτουργία όπου η δυνατότητα για κωδικοποίηση νέας πληροφορίας μειώνεται ή σχεδόν εξαφανίζεται (Klimesch 1999).

Όταν ο προκαλούμενος από ερεθίσματα θήτα συγχρονισμός (Event Related Synchronization ή ERS) είναι περιορισμένος τοπολογικά στις μετωπιαίες περιοχές σχετίζεται με την επεισοδιακή μνήμη (Klimesch et al. 1994) και με τη σωστή κωδικοποίηση ή ανάκτηση λέξεων (Klimesch et al. 1997a). Η Fournier θεωρεί την αύξηση του θήτα ERS σε μερικές βρεγματικές, κεντρικές και δεξιές μετωπιαίες περιοχές κατά τη διάρκεια μιας διεργασίας επικοινωνίας ως εμπλεκόμενο σε γνωστικές διεργασίες που σχετίζονται με την ερμηνεία του ακουστικού μηνύματος.

Γενικότερα στη βιβλιογραφία η αύξηση των απαιτήσεων σε νοητικές και συμπεριφοριστικές διεργασίες συνδέεται με αύξηση της θήτα δραστηριότητας (Fournier et al. 1999).

Οι ρυθμοί άλφα και θήτα συμπεριφέρονται με αντίθετο συνήθως τρόπο. Όταν αυξάνουν οι απαιτήσεις κάποιας εργασίας, τότε ο θήτα ρυθμός συγχρονίζεται, ενώ ο άλφα αποσυγχρονίζεται. Αυτή η παρατήρηση ισχύει όχι μόνο για τον ERD (Pfurtscheller 1992), αλλά και πλήθος άλλων μελετών (Gevins et al. 1997, Marciani et al. 1994, Ramos et al. 1993, Lopes da Silva 1992, Gundel & Wilson 1992, Rugg & Dickens 1982, Gevins et al. 1979, Schacter 1977). Αντίστοιχα, όσο αφορά στην ισχύ του ΗΕΓ σήματος κατά τη διάρκεια ενός χρονικού διαστήματος χαλάρωσης σε σχέση με μία κατάσταση εγρήγορσης (test condition), είναι αυξημένη η ισχύς του άλφα ρυθμού και μειωμένη η ισχύς του θήτα ρυθμού. Η καταστολή του άλφα ρυθμού με το άνοιγμα των ματιών αποτελεί ένα κλασικό πλέον παράδειγμα, που έχει παρατηρηθεί από την εποχή ακόμη του Berger. Σήμερα το κλείσιμο των ματιών, όπως και οι άλλες μορφές οπτικού ερεθισμού που χρησιμοποιούνται συνήθως για τη μελέτη της άλφα δραστηριότητας, θεωρείται απλά μία ειδική κατηγορία αλλαγής στις αισθητηριακές και σημασιολογικές απαιτήσεις, οι οποίες προκαλούν αλλαγές στον άλφα ρυθμό συνολικά, όπως επίσης και στους άλφα υπορυθμούς.

Ο Doppelmayr και οι συνεργάτες του συνδέουν το μέγεθος του άλφα ERD και θήτα ERS με την απόλυτη τιμή του φάσματος ισχύος κατά την περίοδο χαλάρωσης. Έτσι, υψηλή τιμή άλφα ισχύος σχετίζεται με μεγάλο μέγεθος άλφα αποσυγχρονισμού και αντίστοιχα χαμηλή τιμή θήτα ισχύος σχετίζεται με μεγάλο μέγεθος θήτα συγχρονισμού (Doppelmayr et al. 1998b).

Τα φαινόμενα συγχρονισμού και αποσυγχρονισμού των άλφα και θήτα ρυθμών είναι τα περισσότερο μελετημένα προς το παρόν και μάλιστα υποστηρίζεται ότι ο άλφα ERD και ο θήτα ERS μπορούν να αποτελέσουν ένα πρότυπο εγκεφαλικής λειτουργίας στο χώρο και στο χρόνο (π.χ. Pfurtscheller 1991, Klimesch et al. 1990c, Pfurtscheller et al. 1988).

Εκτός από τις περιοχές συχνοτήτων άλφα και κατώτερη βήτα, φαινόμενα επαγόμενων ταλαντώσεων (induced oscillations) συμβαίνουν και στη γάμα περιοχή (38 - 40 Hz). Τέτοια φαινόμενα έχουν αναφερθεί κατά τη διάρκεια οπτικών ερεθισμάτων (Gray et al. 1989) και κινήσεων (Pfurtscheller et al. 1993), τα οποία πιθανώς σχετίζονται με σύνδεση αισθητηριακής πληροφορίας και αισθητικοκινητικής ολοκλήρωσης. Οι κυματικές αλλαγές στις άλφα και κατώτερη βήτα ζώνες συχνοτήτων είναι σχετικά αργές και ταιριάζουν σε υψηλότερου επιπέδου επεξεργασία, ενώ η γάμα ζώνη φαίνεται κατάλληλη για γρήγορο συγχρονισμό μεταξύ απομακρυσμένων χωρικά εγκεφαλικών περιοχών (Singer 1993).

Σε αντίθεση με τον άλφα, ο γάμα ρυθμός αντανακλά μια κατάσταση ενεργητικής επεξεργασίας πληροφοριών. Φαίνεται μάλιστα ότι προϋπόθεση για την εμφάνιση του γάμα ρυθμού είναι ο αποσυγχρονισμός του άλφα. Διαφορετική είναι

επίσης η τοπογραφική εξάπλωση των δύο ρυθμών. Ο γάμα ρυθμός εμφανίζει φαινόμενα συγχρονισμού σε πολλές εγκεφαλικές περιοχές, ακόμη και σε διαφορετικά ημισφαίρια. Οι Andrew και Pfurtscheller (1996) χρησιμοποίησαν τη σχετιζόμενη με γεγονότα συνάφεια (Event-Related Coherence - ERCoh) ως μέτρο για τη σύγκριση φασικής αύξησης μεταξύ εγκεφαλικών περιοχών.

Ο πίνακας 6-5 παρουσιάζει συνοπτικά τις συσχετίσεις των ERD και ERS των ρυθμών άλφα και θήτα με γνωστικές λειτουργίες.

Πίνακας 6-5. Σχετιζόμενες με γεγονότα (φασικές) αλλαγές στο ΗΕΓ	
Αποσυγχρονισμός «κατώτερης άλφα» περιοχής αντανάκλα λειτουργίες προσοχής.	Αποσυγχρονισμός «ανώτερης άλφα» περιοχής αναπτύσσεται κατά την επεξεργασία αισθητηριακής-σημασιολογικής πληροφορίας.
Μεγάλη αύξηση ισχύς (συγχρονισμός) στη θήτα περιοχή και αντίστοιχα μεγάλος αποσυγχρονισμός στην άλφα σημαίνει καλή νοητική απόδοση και κυρίως καλή επίδοση μνήμης.	
Συγχρονισμός στη θήτα περιοχή συνδέεται με τη λειτουργία της μνήμης επεισοδίων και με κωδικοποίηση νέας πληροφορίας.	
Γενικότερα, όταν αυξάνουν οι απαιτήσεις της εκτελούμενης εργασίας, παρατηρείται αύξηση της ισχύος στη θήτα περιοχή και μείωση στην άλφα. (Schabus 2001)	

Μια γενικότερη παρατήρηση που παρουσιάζει ενδιαφέρον είναι ότι ο ERD επηρεάζεται από την εξοικείωση του υποκειμένου με τις πειραματικές διαδικασίες. Όταν οι κινήσεις για παράδειγμα έχουν πλέον «μαθευτεί» και γίνουν πιο αυτόματες τότε ο ERD μειώνεται (Zhuang et al. 1997).

Από την άποψη της νευρωνικής λειτουργίας στο εσωτερικό του εγκεφάλου το φαινόμενο του άλφα συγχρονισμού (που σχετίζεται με καταστάσεις μειωμένης επεξεργασίας της πληροφορίας) πιθανώς οφείλεται στο ότι μεγάλος πληθυσμός νευρώνων λειτουργεί ηλεκτρικά με την ίδια συχνότητα και φάση. Αντίθετα ο άλφα αποσυγχρονισμός σημαίνει ότι διαφορετικά νευρωνικά δίκτυα λειτουργούν ηλεκτρικά σε διαφορετικές συχνότητες και φάσεις, πράγμα που πιθανώς ανταποκρίνεται σε ένα πολυπλοκότερο πρότυπο εγκεφαλικής λειτουργίας που αναμένουμε κατά τη γνωστική διαδικασία. Επομένως σε κυτταρικό επίπεδο ο άλφα αποσυγχρονισμός συνοδεύεται από επιμέρους άλφα συγχρονισμό σε μικρότερα δίκτυα νευρώνων που ονομάζεται τύπου-2 συγχρονισμός, ενώ ο προαναφερθείς μακροσκοπικός συγχρονισμός ονομάζεται τύπου-1. Με αυτούς τους όρους ο τύπου-1 άλφα συγχρονισμός σχετίζεται με νοητική αδράνεια, ενώ ο τύπου-2 με γνωστική δραστηριότητα (Klimesch 1999, 1996a). Το αντίστροφο, βέβαια, συμβαίνει για το θήτα συγχρονισμό.

Η έρευνα των φασικών αλλαγών του συνεχόμενου ΗΕΓ, δηλαδή του προκαλούμενου από γεγονότα αποσυγχρονισμού ή συγχρονισμού, μπορεί να δώσει νέες δυνατότητες στην έρευνα καθώς μπορεί να εκτιμήσει μικρές αλλαγές στην ηλεκτρική εγκεφαλική λειτουργία που προκύπτουν ως αντίδραση στις στιγμιαίες

γνωστικές απαιτήσεις των εκτελούμενων διεργασιών. Οι φασικές αλλαγές στο ΗΕΓ σε σχέση με αισθητηριακά και γνωστικά ερεθίσματα στους άλφα και θήτα κυρίως ρυθμούς έχουν αναλυθεί μετά τις πρώτες δημοσιεύσεις του Basar από αρκετούς άλλους ερευνητές μεταξύ των οποίων καθοριστικό ρόλο έπαιξαν οι Pfurtscheller, Klimesch και οι συνεργάτες τους. Ανοιχτό πεδίο έρευνας παραμένει η αξιοποίηση φασικών αλλαγών και στους άλλους ρυθμούς καθώς και σε εικονικά περιβάλλοντα.

## 6.5 ΗΕΓ και νοητικές λειτουργίες

### 6.5.1 Νοητικές λειτουργίες γενικά

Οι γνωστικές ή νοητικές λειτουργίες θεωρείται γενικά ότι ανάγονται ή τουλάχιστο περιγράφονται από αλληλεπιδράσεις μεταξύ λειτουργικών περιοχών του εγκεφάλου, αν και τα εργαστηριακά ευρήματα είναι προς το παρόν ανεπαρκή. Κάτω από αυτό το πρίσμα, γνωστικές λειτουργίες όπως η προσοχή και η συνειδητότητα αναλύονται σε δυναμικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ κατανεμημένων εγκεφαλικών δικτύων (Tallon-Baudry 2004). Ακόμη και οι απλούστερες γνωστικές διεργασίες απαιτούν το λειτουργικό συντονισμό ενός μεγάλου αριθμού ευρέως κατανεμημένων εξειδικευμένων συστημάτων του εγκεφάλου. Μια απλή απόκριση σε ένα αισθητήριο ερέθισμα, για παράδειγμα, περιλαμβάνει το συντονισμό των αισθήσεων, τη σύνδεση με άλλες περιοχές που καταχωρούν και αναλύουν σημασιολογικά το ερέθισμα, τα κινητικά υποσυστήματα που προετοιμάζονται και τελικά εκτελούν την κατάλληλη απόκριση και διάφορα άλλα κατανεμημένα νευρωνικά δίκτυα. Αυτά τα κατανεμημένα δίκτυα χρησιμεύουν για να διαθέσουν και να κατευθύνουν την προσοχή στο ερέθισμα, για να συσχετίσουν το ερέθισμα με εσωτερικές αντιπροσωπεύσεις του εαυτού και του περιβάλλοντος, για να αποφασίσουν ποια δράση πρέπει να πραγματοποιηθεί, για να αρχίσει ή να εμποδιστεί η συμπεριφορική απόκριση, και για να ενημερωθούν οι εσωτερικές αντιπροσωπεύσεις με την ανατροφοδότηση για το αποτέλεσμα της δράσης (Gevins et al. 1999).

Η προσπάθεια να συσχετιστούν οι φυσιολογικές μετρήσεις του ΗΕΓ με ψυχολογικές μεταβλητές (όπως η συνειδητότητα, ο νοητικός φόρτος, η λειτουργία της μνήμης, η προσοχή, η επαγρύπνηση και άλλες) εγκυμονεί επιπλέον από τους κινδύνους της καταγραφής και αξιοποίησης των εγκεφαλικών κυμάτων, τη δυσκολία ανίχνευσης και ταυτοποίησης των νοητικών λειτουργιών που συμμετέχουν κατά τη διεξαγωγή μιας διεργασίας. Έτσι σε πολλές από τις έρευνες που αναφέρονται στην παρούσα ενότητα οι ερευνητές συχνά τονίζουν αυτή τη δυσκολία της ερμηνείας των αποτελεσμάτων.

Οι περισσότερες μελέτες αναφέρονται και πάλι στον άλφα ρυθμό (7.5–13 Hz), του οποίου η ισχύς συνδέεται γενικότερα με τη νοητική προσπάθεια με αντιστρόφως ανάλογη σχέση. Η μείωση του πλάτους του ρυθμού («alpha blocking» ή «alpha

desynchronization») συνδέεται με πλήθος γνωστικών διεργασιών, όπως οι νοεροί αριθμητικοί υπολογισμοί, διεργασίες που προέρχονται από τεστ νοημοσύνης και προβλήματα δημιουργικότητας (creative problems) (Gerlic & Jaušovec 2001, Martindale 1999, Gutierrez & Corsi-Cabrera 1998, Nunez 1995, Martindale et al. 1984, Butler & Glass 1976, Donchin et al. 1977, Glass 1964).

Παρά την εκτίμηση του Detterman (1994) ότι η ευφυΐα είναι ένα εξαιρετικά σύνθετο σύστημα από ανεξάρτητα μέρη και επομένως είναι μάλλον απίθανο να βρεθεί ένα ενιαίο βιολογικό μέτρο, αρκετές έρευνες υποστηρίζουν ότι υπάρχει αντιστρόφως ανάλογη σχέση ανάμεσα στην ενεργοποίηση του εγκεφάλου και τα αποτελέσματα σε τεστ νοημοσύνης. Ο Haier (Haier et al. 1988, 1992b) σε μια σειρά μελετών με τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων (PET) παρατήρησε χαμηλότερα ποσοστά στο μεταβολισμό γενικά του εγκεφάλου σε υποκείμενα με υψηλότερο δείκτη IQ σε σχέση με υποκείμενα με χαμηλότερο IQ κατά την επίλυση προβλημάτων. Αυτή η παρατήρηση στηρίζει την υπόθεση ότι άτομα με υψηλότερο δείκτη IQ δε χρειάζονται μεγάλη νοητική προσπάθεια κατά την επίλυση προβλημάτων. Την ίδια υπόθεση στηρίζουν και έρευνες από το χώρο της ηλεκτροεγκεφαλογραφίας (Neubauer 2000, Jaušovec 1996, 1997β, 1998, Vitouch et al. 1997, Neubauer et al. 1995, Krause 1992), στις οποίες η μεγαλύτερη ισχύς που εμφανίζεται στην περιοχή του άλφα ρυθμού (μερικοί ερευνητές περιορίζουν τις διαφορές κυρίως στον ανώτερο άλφα, 10 - 12 Hz) στα υποκείμενα με υψηλό IQ, ερμηνεύεται ως μειωμένη νοητική δραστηριότητα (Gerlic & Jaušovec 2001, Jaušovec 2000a, 2000b). Επίσης ΗΕΓ έρευνες με τη μέθοδο της συνοχής έδειξαν ότι τα ευφυέστερα παιδιά παρουσίασαν μειωμένη συνοχή διαφορετικών εγκεφαλικών περιοχών, ή με άλλα λόγια περιορισμένη συνεργασία απομακρυσμένων περιοχών (Gasser et al. 1987, Thatcher 1983). Αυτά τα ευρήματα ερμηνεύτηκαν με τον όρο της νευρωνικής αποδοτικότητας (neural efficiency) σύμφωνα με τον οποίο τα πιο ευφυή άτομα χαρακτηρίζονται από μια αποδοτικότερη χρήση του εγκεφάλου τους και οι εγκέφαλοί τους καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια, πιθανώς επειδή χρησιμοποιούν μόνο μια περιορισμένη ομάδα νευρωνικών κυκλωμάτων ή/και λιγότερων νευρώνων (Haier et al. 1992a:134). Αντίθετα ο Jaušovec (2000a) παρατήρησε στα ευφυή υποκείμενα, κατά τη επίλυση καλά καθορισμένων και μη προβλημάτων με διάφορους βαθμούς πολυπλοκότητας, αυξημένη συνεργασία περιοχών κυρίως στο δεξιό ημισφαίριο. Περισσότερες διαφορές παρατηρήθηκαν σε υποκείμενα με διαφορετική συναισθηματική νοημοσύνη στους ρυθμούς θήτα (4.4 – 6.4 Hz), «κατώτερο 2» άλφα (8.4 – 10.4 Hz) και ανώτερο άλφα (10.4 – 12.4 Hz) (Jaušovec et al. 2001). Σημείο κλειδί στις προαναφερθείσες έρευνες είναι πιθανόν το γεγονός ότι οι διαφορές δεν αφορούν μόνο στην ισχύ της ενεργοποίησης αλλά και στις διαφορετικές εγκεφαλικές περιοχές που εμπλέκονται (Jaušovec & Jaušovec 20001).

### 6.5.2 Διέγερση και χαλάρωση

Το «να μη κάνεις και να μη σκέφτεσαι τίποτα» είναι σίγουρα μια πολύ δύσκολη εντολή σε οποιαδήποτε πειραματική διεργασία, η οποία αποφεύγεται σε μελέτες γιατί

πυροδοτεί επιπλέον γνωστικές λειτουργίες παρά επιτυγχάνει χαλάρωση του εγκεφάλου (Laufs et al. 2003). Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για να επιτευχθεί πειραματικά μια κατάσταση χαλάρωσης περιλαμβάνουν κυρίως παράγοντες που πρέπει να αποφευχθούν παρά να επιτευχθούν. Καταστάσεις χαλάρωσης και ηρεμίας χρησιμοποιούνται ευρέως σε όλες τις νευροαπεικονιστικές μεθόδους (και στο ΗΕΓ), τόσο ως αυτόνομες διεργασίες, όσο και ως σημείο αναφοράς και σύγκρισης με καταστάσεις εγρήγορσης και νοητικής δραστηριότητας. Συνήθως χρησιμοποιούνται για να καθορστεί μια «βασική γραμμή» εγκεφαλικής δραστηριότητας και αυτό που ερευνάται περιορίζεται στις αποκλίσεις από αυτή τη γραμμή, που προκύπτουν ως απόκριση σε κάποια πειραματική διεργασία. Οι ακριβείς νοητικές διαδικασίες κατά τη διάρκεια της χαλάρωσης παραμένουν ουσιαστικά ανεξέλεγκτες, και αυτό είναι ο κύριος αντίλογος στη χρησιμότητα αυτού του όρου ως «βασική γραμμή» ή κατάσταση ελέγχου. Αρκετές γνωστικές διαδικασίες μπορεί να ενεργοποιούνται σε επιφανιακή κατάσταση χαλάρωσης, π.χ. τυχαία επεισοδιακή μνήμη (Shulman et al. 1997), φανταστικές σκηνές (Fletcher et al. 1995), εννοιολογική επεξεργασία (Binder et al. 1999), σκέψη ανεξάρτητη από ερεθίσματα (McGuire et al. 1996a), συναισθηματική ένταση, κ.ά.

Η κατάσταση χαλάρωσης προϋποθέτει άνετη στάση σε ένα μη προκλητικό για τις αισθήσεις περιβάλλον και αναφέρεται σε μυϊκή χαλάρωση και κατά το δυνατό νοητική αδράνεια (με την έννοια της αποφυγής έντονων σκέψεων ή γενικότερα σκέψεων που μπορούν να προσελκύσουν την προσοχή του υποκειμένου). Συχνά αυτό κατορθώνεται με κλειστά μάτια, ενώ το υποκείμενο συγκεντρώνεται στο ρυθμό της αναπνοής του. Γενικά η κατάσταση χαλάρωσης, αν και δεν είναι εύκολο να προσδιοριστεί με ακρίβεια, έχει ξεκάθαρες αντικειμενικές φυσιολογικές επιδράσεις στο ΗΕΓ, στο μεταβολισμό, στον καρδιακό παλμό, στην πίεση του αίματος, στο ρυθμό της αναπνοής και στη γαλβανική αντίσταση του δέρματος. Ο Herbert Benson, στηριζόμενος στην εργασία του Ελβετού Νομπελίστα Walter R. Hess, ορίζει την «απόκριση χαλάρωσης» (relaxation response) ως μια φυσιολογική αντίδραση αντίθετη με την αντίδραση άγχους (stress response) και περιγράφει αναλυτικά τόσο τη φυσιολογία της όσο και τρόπους επίτευξής της (Benson 1975, Stefano et al. 2001). Τα τελευταία χρόνια αρκετοί ερευνητές, σε αντίθεση με τη θεώρηση της χαλάρωσης ως στατικής βασικής γραμμής, τη χαρακτηρίζουν ως πραγματικά δυναμική και διαφορετική λειτουργικά από τις άλλες καταστάσεις που υποκρύπτει πιθανώς ένα πλούσιο και ευδιάκριτο υποσύνολο του συνόλου των νευρικών (και γνωστικών) διαδικασιών (Laufs et al. 2003).

Μια κλασική πλέον φυσιολογική συνιστώσα, όπως φαίνεται από την πλειοψηφία των αναφορών (π.χ. Adrian & Matthews 1934), που θεωρείται ένδειξη κατάστασης χαλάρωσης είναι η αυξημένη ισχύς του άλφα ρυθμού του ΗΕΓ. Άλλοι ερευνητές συσχετίζουν τη μείωση του μετωπιαίου βήτα ρυθμού με τη χαλάρωση (π.χ., Jacobs et al. 1996).

Με τον όρο διέγερση (arousal) χαρακτηρίζεται μια κατάσταση δραστηριοποίησης του αυτόνομου νευρικού συστήματος, κατά την οποία το σώμα



ετοιμάζεται να δράσει αυξάνοντας τους χτύπους της καρδιάς, την κυκλοφορία του αίματος, κ.λπ. (Hayes 1996:11-12).

Αν και μερικοί ερευνητές θεώρησαν τον άλφα ρυθμό (8 - 12 Hz) ως δείκτη της διέγερσης ( π.χ. Danos et al. 2001), ωστόσο η περιοχή συχνοτήτων 5 μέχρι 9.5 Hz φαίνεται να είναι τα πιο ευαίσθητη. Η δραστηριότητα στις συχνότητες αυτές αυξάνει με το πρώτο στάδιο του ύπνου (Niedermeyer 1999b), αυξάνει επίσης μετά από στέρηση ύπνου (Aeschbach et al. 2001), είναι ανάλογη με την προσωπική εκτίμηση των υποκειμένων για το βαθμό της διέγερσης ή της υπνηλίας (Lafrance & Dumont 2000, Strijkstra et al. 2003), συσχετίζεται με τις χειρότερες επιδόσεις (Daniel 1967, Makeig & Jung 1996) και η εξασθένησή τους συνοδεύεται με μείωση της επαγρύπνησης (Horvath et al. 1976, Makeig & Inlow 1993). Γενικά υπάρχει η άποψη ότι η αύξηση της διέγερσης συνοδεύεται από αποσυγχρονισμό της φασματικής ισχύος του ΗΕΓ στις χαμηλές συχνότητες, το πλάτος του οποίου εξαρτάται από τα φυσικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα και την καινοτομία του ερεθίσματος. Οι Sturm και Willmes (2001) περιόρισαν τις παρατηρήσεις αυτές στην περίπτωση της διέγερσης που υποκινείται από εξωγενή ερεθίσματα και πρότειναν τη διαφοροποίηση της ενδογενούς από την εξωγενή διέγερση.

Ο Laufs (Laufs et al. 2003) υποστηρίζει ότι η παρουσία της άλφα δραστηριότητας δεν μπορεί από μόνη της να αποτελέσει ένδειξη για αδρανοποίηση όλου του φλοιού, παρά μόνο των σχετιζόμενων με την προσοχή συστημάτων. Ως επιχείρημα αναφέρει το ότι η ύπαρξη του άλφα ρυθμού δε συνοδεύεται από σταθερή συμπεριφορά του βήτα-2 ρυθμού (17 – 23 Hz) ο οποίος μπορεί να υπάρχει αλλά μπορεί και όχι.

Ένα επιπλέον σημείο κριτικής σε πολλές έρευνες είναι το γεγονός ότι συνήθως υπολογίζονται επίπεδα διέγερσης που ανταποκρίνονται σε μέσες τιμές στο σύνολο του χρονικού διαστήματος που εξετάζεται, ενώ στην πραγματικότητα η διέγερση μπορεί να εμφανίζει σημαντικές σύντομες διακυμάνσεις. Ο Foucher και οι συνεργάτες του (Foucher et al. 2004) προτείνουν ότι ο συνδυασμός ΗΕΓ και fMRI παρέχει μετρήσεις ικανές να ανταποκριθούν σε αυτήν ακριβώς τις διπλή ανάγκη για ταχύτατες διακυμάνσεις αλλά και μέσες τιμές σε μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα. Οι ερευνητές έθεσαν το ερώτημα αν η διέγερση επιδρά μόνο στις συγκεκριμένες εγκεφαλικές περιοχές που σχετίζονται με την προσοχή (με από πάνω προς τα κάτω ή από κάτω προς τα πάνω διαδικασίες) ή κάπου αλλού. Ωστόσο, οι παρατηρήσεις τους περιορίζονται από την εξειδίκευση της έρευνας κυρίως σε ινιακές και κεντρικές βρεγματικές περιοχές (O1, O2, Pz).

Σε παράλληλες έρευνες ΗΕΓ και fMRI παρατηρήθηκε μείωση της άλφα ισχύος στις πρόσθιες και βρεγματικές περιοχές του φλοιού με ταυτόχρονη αύξηση της αιμοδυναμικής δραστηριότητας (Laufs et al. 2003, Corbetta & Shulman 2002).

Με τη διέγερση συνδέεται και η προσπάθεια (effort) με την έννοια ότι ο βαθμός της διέγερσης χρησιμοποιείται ως μέτρο του γνωστικού φόρτου (mental workload) (Papadelis et al. 2002).

### 6.5.3 Λειτουργίες μνήμης

Η μνήμη είναι μια πολύ σημαντική νοητική λειτουργία που εμπλέκεται σε πολλές γνωστικές διαδικασίες, μεταξύ των οποίων και η μάθηση. Οι προσπάθειες σύνδεσης μνημονικών λειτουργιών με τη νευρολογία του εγκεφάλου ακολουθεί τις θεωρίες για τα μοντέλα μνήμης με συχνά αλληλοαντικρουόμενες απόψεις. Ωστόσο, φαίνεται ότι η μνήμη δεν είναι ενιαία λειτουργία, αλλά ότι υπάρχουν στάδια και διαφορετικοί τύποι μνημονικών διεργασιών οι οποίοι πιθανότατα ενεργοποιούν διαφορετικά νευρωνικά κυκλώματα. Οι αναμνήσεις φαίνεται ότι είναι τόσο εντοπισμένες όσο και κατανεμημένες. Συγκεκριμένες πλευρές κάποιου γεγονότος αποθηκεύονται σε κάποιες εγκεφαλικές περιοχές, αλλά στη βίωση του γεγονότος εμπλέκονται πολλά εγκεφαλικά συστήματα (Βοσνιάδου 2001). Σημαντικές δομές του εγκεφάλου για τις μνημονικές λειτουργίες είναι ο ιππόκαμπος και ο θάλαμος, οι οποίες όμως δεν εξασφαλίζουν μόνιμη αποθήκευση των μνημών, η οποία φαίνεται να γίνεται σε περιοχές του φλοιού. Η αποθήκευση της έκδηλης μνήμης (προϋποθέτει συνειδητή αντίληψη) χρειάζεται το σύστημα του κροταφικού λοβού. Στην άδηλη μνήμη (περιλαμβάνει μορφές αντιληπτικής και κινητικής μάθησης που δεν προϋποθέτουν συνειδητή αντίληψη) συμμετέχει η παρεγκεφαλίδα, η αμυγδαλή και τα εξειδικευμένα αισθητικά ή κινητικά συστήματα ανάλογα με το είδος του ερεθίσματος (Kandel et al. 2003).

Στην ενότητα αυτή επιχειρείται, ανεξάρτητα από τα προτεινόμενα μοντέλα οργάνωσης των πληροφοριών, μια αναφορά στις συσχετίσεις του ΗΕΓ με μνημονικές λειτουργίες. Οι περισσότερες από αυτές αναφέρονται στο μοντέλο της μνήμης εργασίας (working memory) των Baddeley και Hitch (Baddeley & Hitch 1974, Baddeley 2000) και σε έννοιες δανεισμένες από το μοντέλο των Atkinson και Shiffrin (Atkinson & Shiffrin 1977, Tulving 1972) όπως βραχύχρονη - μακρόχρονη μνήμη και σημασιολογική - επεισοδιακή - διαδικαστική μνήμη. Ο Klimesch για παράδειγμα, ο οποίος δημοσιεύει συνεχώς ΗΕΓ έρευνες για μνημονικές λειτουργίες, ακολουθεί το μοντέλο της μνήμης εργασίας με δύο κύρια μνημονικά συστήματα: το σύστημα της μνήμης εργασίας και το σύστημα μνήμης μακράς διάρκειας. Η κωδικοποίηση στη μνήμη εργασίας περιλαμβάνει δύο διαφορετικές έννοιες, μία που αναφέρεται στην επεισοδιακή και μία δεύτερη στην αισθητηριακή-σημασιολογική πληροφορία. Η γνωστική απόδοση είναι στενά συσχετισμένη με την απόδοση και στα δύο αυτά μνημονικά συστήματα (Klimesch 1999). Η κωδικοποίηση της αισθητηριακής πληροφορίας στοχεύει πάντα να προσδώσει μία σημασία στην πληροφορία, που είναι αποθηκευμένη στη σημασιολογική μακρόχρονη μνήμη. Με τον τρόπο αυτό υπάρχει μια στενή σχέση μεταξύ αισθητηριακής και σημασιολογικής κωδικοποίησης (Klimesch et al. 1994).

Η μνημονική κωδικοποίηση και η ανάκτηση είναι δυο διαφορετικές λειτουργίες στον ανθρώπινο εγκέφαλο που συσχετίζονται και με διαφορετικά πρότυπα ηλεκτρικής εγκεφαλικής δραστηριότητας. Από τα μέχρι τώρα πειραματικά ευρήματα φαίνεται ότι δραστηριότητες με παρόμοιες μνημονικές απαιτήσεις αλλά διαφορετική αναπαράσταση των ερεθισμάτων (οπτική ή ακουστική) προκαλούν διαφορετικές

αλλαγές στον άλφα ρυθμό, οι οποίες είναι τουλάχιστον μερικώς εξαρτώμενες από τη μορφή του ερεθίσματος. Η λειτουργία της μνήμης εργασίας φαίνεται να συσχετίζεται με τη θήτα δραστηριότητα, ενώ οι σημασιολογικές μνημονικές δραστηριότητες συνδέονται με την περιοχή του ανώτερου άλφα υπορυθμού (Krause 2006).

Περισσότερες πληροφορίες για τη λειτουργία των μνημονικών συστημάτων λαμβάνουμε από το σχετικό με γεγονότα συγχρονισμό (ERS) / αποσυγχρονισμό (ERD) των ρυθμών του ΗΕΓ. Κατά τη μνημονική επεξεργασία ακουστικών ερεθισμάτων παρατηρείται άλφα και θήτα συγχρονισμός στη φάση της κωδικοποίησης, ενώ εμφανίζεται άλφα αποσυγχρονισμός και ισχυρότερος θήτα συγχρονισμός κατά τη φάση της ανάκτησης (Krause 2002). Ο Klimesch και οι συνεργάτες του υποστηρίζουν ότι η κωδικοποίηση και η ανάκτηση των επεισοδιακών πληροφοριών συνοδεύονται από αύξηση στην ισχύ του θήτα ρυθμού, η οποία είναι μεγαλύτερη για τα υποκείμενα με την καλύτερη μνημονική επίδοση. Οι σχετικές με γεγονότα αυξήσεις της θήτα ισχύος είναι γενικά μεγαλύτερες κατά την ανάκτηση απ' ό,τι κατά τη διάρκεια της κωδικοποίησης (Klimesch et al. 1997a, Klimesch et al. 1994). Αύξηση στη θήτα ισχύ κατά τη διάρκεια της ανάκτησης από τη μνήμη έχει παρατηρηθεί επίσης κατά την αναγνώριση λέξεων και προσώπων (Burgess & Gruzelier 2000).

Ο φόρτος μνήμης, ένα μέγεθος που σχετίζεται με τη λειτουργία της μνήμης, γενικά έχει συσχετιστεί με το μετωπιαίο θήτα ρυθμό (όπως και το γνωστικό φορτίο), συνήθως γύρω στη περιοχή της μέσης γραμμής (midline) (π.χ. Lang et al. 1988, Gundel & Wilson 1992, Mecklinger et al. 1992). Ο Wilson και οι συνεργάτες του (1999) ερευνώντας συσχετίσεις ΗΕΓ μετρήσεων με διαφορετικά επίπεδα μνημονικού φόρτου παρατήρησαν αύξηση του θήτα ρυθμού ανάλογη με την αύξηση του μνημονικού φόρτου μόνο στις σταθμισμένες πειραματικές συνθήκες (και όχι στις τυχαίες). Έτσι οι ερευνητές αμφισβήτησαν τον ισχυρισμό του Klimesch (1999) ότι η αύξηση του θήτα ρυθμού είναι μια απλή συνάρτηση του μνημονικού φόρτου και επιπλέον επεσήμαναν το παράδοξο του θήτα ρυθμού να αυξάνει με υπναγωγικές καταστάσεις αλλά και με αυξημένες απαιτήσεις μνήμης. Αντίθετα ο άλφα ρυθμός μειώθηκε με την αύξηση του μνημονικού φόρτου μόνο στο αριστερό ημισφαίριο (στις θέσεις P3, Pz, T3, T5 και C3) ανεξάρτητα από τις πειραματικές συνθήκες. Επίσης, η ισχύς του «βήτα2» υπορυθμού (16.2 Hz – 24.9 Hz) αυξήθηκε για τα μικρότερα σύνολα μνημονικών στόχων, ενώ μειώθηκε για τα μεγαλύτερα.

Ο Gevins και οι συνεργάτες του (1998) κατά τη διάρκεια λεκτικών και χωρικών διεργασιών παρατήρησαν αύξηση του θήτα ρυθμού στη μετωπιαία περιοχή της μέσης γραμμής ανάλογη με την αύξηση του μνημονικού φόρτου, ενώ ο άλφα ρυθμός παρουσίασε ανάλογη μείωση. Ο βήτα ρυθμός ήταν υψηλότερος στις κροταφικές περιοχές, αλλά μειώθηκε ως συνάρτηση του μνημονικού φόρτου μόνο στο ηλεκτρόδιο Cz. Ο Gevins αντίθετα με τον Klimesch (1999), που υποστηρίζει ότι μείωση στην ανώτερη άλφα περιοχή και μείωση στη θήτα συσχετίζονται με αύξηση του μνημονικού φόρτου, δέχεται ότι το ΗΕΓ είναι ευαίσθητο σε μεταβολές του βαθμού δυσκολίας σε μια ευρεία ποικιλία δραστηριοτήτων. Η Onton και οι συνεργάτες της (2005) επίσης συμφωνούν ότι ο θήτα ρυθμός στη μετωπιαία περιοχή

της μέσης γραμμής αυξάνει με το μνημονικό φόρτο και συνδέουν την παρατήρησή τους με προηγούμενες έρευνες που συσχετίζουν την αύξηση του θήτα ρυθμού στη μετωπιαία περιοχή της μέσης γραμμής με την αύξηση γενικά του γνωστικού φόρτου (Aftanas & Golosheikine 2001, Burgess & Gruzelier 1997, Gevins et al. 1997a, Ishii et al. 1999, Jensen & Tesche 2002, Kahana et al. 1999, Laukka et al. 1995, Lazarev 1998, Mizuki et al. 1982, Pardo et al. 1990, Sasaki et al. 1996, Smith et al. 1999).

Στο σημείο αυτό πρέπει να επισημανθεί η σχεδόν βέβαιη παρατήρηση ότι ο τύπος της διεργασίας και η μορφή των ερεθισμάτων φαίνεται να έχουν σημαντική επίδραση στην ισχύ των άλφα και θήτα ρυθμών (Wilson et al. 1999, Krause et al. 1996, Ray & Cole 1985, Pfurtscheller & Aranibar 1977), όπως επίσης και στις τοπογραφικές διαφοροποιήσεις του άλφα ρυθμού. Ο θήτα ρυθμός, όμως, φαίνεται να είναι λιγότερο εξαρτώμενος (αλλά όχι ανεξάρτητος) από τον άλφα σε αυτές τις μεταβολές.

Μερικοί νεότεροι ερευνητές υποστηρίζουν ότι η χρήση πολύ στενών ορίων συχνοτήτων των ρυθμών του ΗΕΓ (μικρότερων από 1 Hz) μπορεί να αυξήσει πολύ τη δυνατότητά μας να ανιχνεύσουμε διαφορές στο γνωστικό φόρτο σε σχέση με τη χρήση των παραδοσιακών ορίων (John & Easton 1995).

### **Μνήμη εργασίας και βραχύχρονη μνήμη**

Σύμφωνα με το μοντέλο του Baddeley το σύστημα της μνήμης εργασίας μοιάζει με τη βραχύχρονη μνήμη ως προς την περιορισμένη χωρητικότητα. Δε συσχετίζεται όμως τόσο στην κωδικοποίηση των αναμνήσεων και στην ανάκληση, αλλά ως ένας χώρος εργασίας όπου πολλές γνωστικές διαδικασίες λαμβάνουν χώρα και ο χώρος όπου υπάρχουν τα περιεχόμενα της συνειδητοποίησης (Baddeley 1986). Υπό αυτή την έννοια η μελέτη της μνήμης εργασίας αποκτά ιδιαίτερη αξία για τη διερεύνηση εγκεφαλικών λειτουργιών σε εικονικά περιβάλλοντα, καθώς μπορεί να δώσει χρήσιμες πληροφορίες για την αίσθηση της παρουσίας και τη λειτουργία της προσοχής. Η Hayes (1998:242) θεωρεί ότι η μνήμη εργασίας σχετίζεται στενά με την προσοχή και ορισμένοι ερευνητές τη θεωρούν το ίδιο πράγμα.

Όσο αφορά στη λειτουργική ανατομία της μνήμης, υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις ότι, εκτός από τον υπόκαμπο, οι περιοχές των έσω κροταφικών λοβών καθώς και οι προμετωπιαίες περιοχές του φλοιού υποστηρίζουν πολλές από τις λειτουργίες της μνήμης εργασίας (Klimesch 1999, Squire et al. 1993, Squire 1992, Markowitsch & M. Pritzel 1985). Άλλοι ερευνητές υποστηρίζουν ότι η περιοχή του φλοιού η οποία κυρίως σχετίζεται με τη μνήμη εργασίας είναι ο μετωπιαίος φλοιός (Onton et al. 2005, Dunbar & Sussman 1995). Οι Cabeza και Nyberg (2000) εμπλέκουν μετωποβρεγματικά δίκτυα. Οι Müller και Knight (2006) εξετάζοντας περιπτώσεις ασθενών με εγκεφαλικά τραύματα, αμφισβητούν το ρυθμιστικό ρόλο του προμετωπιαίου φλοιού στη λειτουργία της μνήμης εργασίας, ενώ επιβεβαιώνουν τη συμμετοχή του στον έλεγχο της προσοχής των αισθητήριων πληροφοριών, στην ολοκλήρωση πληροφοριών από διαφορετικές περιοχές και την επιλογή των

ερεθισμάτων. Οι ερευνητές προτείνουν ότι οι διαδικασίες που υποστηρίζουν τη μνήμη εργασίας κατανέμονται κατά μήκος του κάτω και του ραχιαίου πλάγιου (ventral and dorsal lateral) προμετωπιαίου φλοιού.

Γενικά, η θεώρηση της μνήμης εργασίας ως ενιαία εγκεφαλική δομή θεωρείται αρκετά απλοϊκή (Bastiaansen et al. 2002). Μερικοί ερευνητές προτείνουν μια εξειδικευμένη για κάθε διεργασία διάκριση μεταξύ της συντήρησης και του ενεργητικού χειρισμού των πληροφοριών στη μνήμη εργασίας, που υποστηρίζονται από τις κάτω και τις ραχιαίες προμετωπιαίες φλοιώδεις περιοχές, αντίστοιχα (Owen et al. 1999). Άλλοι υποστηρίζουν την ύπαρξη διαφορετικών νευροανατομικών περιοχών που εξειδικεύονται σε διαφορετικού τύπου πληροφορίες (π.χ. χωρικές, λεκτικές, σχετικές με χειρισμό αντικειμένων) της μνήμης εργασίας (Goldman-Rakic 1998). Στην περίπτωση που ισχύουν οι εξειδικεύσεις αυτές, τότε οι υπάρχουσες έρευνες της μνήμης εργασίας περιορίζουν την ισχύ τους μόνο στον τύπο των ερεθισμάτων που χρησιμοποιήσαν.

Η Krause και οι συνεργάτες της (2000) με διεργασίες οπτικής αναγνώρισης γραμμάτων υποστήριξαν ότι μια αύξηση στην ισχύ του θήτα ρυθμού δε συσχετίζεται μόνο με κωδικοποίηση στη μνήμη μακράς διάρκειας ή με ανάκτηση επεισοδιακών πληροφοριών (όπως παρατήρησε ο Klimesch), αλλά και με διαδικασίες της μνήμης εργασίας. Επίσης η κατώτερη άλφα ζώνη (κατά προσέγγιση μεταξύ 6 και 10 Hz) φάνηκε να παρουσιάζει αμέση αντίδραση σε διαδικασίες της μνήμης εργασίας. Ο Gevins και οι συνεργάτες του επίσης αναφέρουν αύξηση της θήτα ισχύος σε διεργασίες που εμπλέκουν χωρική μνήμη εργασίας (Gevins et al. 1997a, McEvoy et al. 2001).

Ορισμένοι ερευνητές προτείνουν ότι η λειτουργία της μνήμης εργασίας πιθανόν πραγματοποιείται με αλλαγές του γάμα ρυθμού, ιδιαίτερα όταν απαιτείται πολύ γρήγορη προσπέλαση (Jensen & Lisman 1998) ή όταν η επεξεργασία είναι προσανατολισμένη σε κάποιο ερέθισμα-στόχο (Elliott & Müller 2000). Ο Conci και οι συνεργάτες του υποστηρίζουν τη δραστηριοποίηση μιας οπτικής βραχύχρονης μνήμης η οποία παρουσιάζει γάμα δραστηριότητα για περισσότερα από 300 msec μετά το οπτικό ερέθισμα και εμπλέκει προμετωπιαία και ινιακά νευρικά κυκλώματα που επικοινωνούν μεταξύ τους (Conci et al. 2004).

### **Μνήμη μακράς διάρκειας**

Η μνήμη μακράς διάρκειας φαίνεται να είναι διασκορπισμένη σε διάφορες εγκεφαλικές περιοχές. Εκτός από το βασικό ρόλο του ιππόκαμπου και του μεταιχμιακού συστήματος, υπάρχουν διαφορετικά υποσυστήματα μνήμης για τις επιμέρους αισθητήριες πηγές όπως για παράδειγμα η οπτική και η ακουστική μνήμη.

Ο Sarnthein (Sarnthein et al. 1998) σημείωσε το σημαντικό ρόλο της συνοχής του θήτα ρυθμού ανάμεσα σε οπίσθιες περιοχές (που σχετίζονται περισσότερο με τη μνήμη μακράς διάρκειας) και πρόσθιες περιοχές (που σχετίζονται με τη μνήμη εργασίας). Ο Sauseng και οι συνεργάτες του (Sauseng et al. 2002) υποστηρίζουν ότι

υπάρχει ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας ανάμεσα στη μνήμη εργασίας και τη μακρόχρονη μνήμη, στηριζόμενο σε σήματα κωδικοποιημένα κυρίως στους άλφα και θήτα ρυθμούς. Οι ερευνητές ερμηνεύουν τη «μετακίνηση» της θήτα δραστηριότητας από πρόσθιες προς οπίσθιες εγκεφαλικές περιοχές ως μεταφορά πληροφοριών από τη μνήμη εργασίας στη μακρόχρονη μνήμη, ενώ το αντίστροφο φαινόμενο συνδέεται με την ανάκληση των πληροφοριών. Ταυτόχρονα ο άλφα ρυθμός (κυρίως ο ανώτερος άλφα) λειτουργεί με αντίστροφη φορά, ενώ ο χρόνος αλλαγής κατεύθυνσης σχετίζεται αρνητικά με την επίδοση μνήμης. Η συμμετοχή του δέλτα ρυθμού, ο οποίος σχετίζεται με την εμφάνιση του θήτα (Basar 1999) θεωρήθηκε μικρότερης σημασίας.

Σε διεργασίες που ερευνούσαν τη μακρόχρονη μνήμη επεισοδίων (longer-term episodic memory) αυξήθηκαν τόσο η ισχύς όσο και ο βαθμός του συγχρονισμού του θήτα ρυθμού στις επιτυχείς μνημονικές κωδικοποιήσεις (Klimesch et al. 1996b, Weiss & Rappelsberger 2000, Sederberg et al. 2003). Το ίδιο παρατηρήθηκε και κατά την αναγνώριση στοιχείων που είχαν μελετηθεί νωρίτερα από τα υποκείμενα (Klimesch et al. 2006). Αυτή η παρατήρηση θεωρείται συνηθέστερη για τον αριστερό βρεγματικό φλοιό (Kahana 2006).

### **Μνήμη επεισοδίων**

Η ικανότητα του εγκεφάλου να θυμάται γεγονότα με τα οποία έρχεται αντιμέτωπος είναι θεμελιακή για την καθημερινή του ζωή. Η αντίστοιχη λειτουργία ονομάζεται επεισοδιακή μνήμη και εξαρτάται κυρίως από τους έσω κροταφικούς λοβούς (Tulving 1983, Scoville & Milner 1957, Aggleton & Brown 1999, Vargha-Khadem et al. 1997, O'Keefe & Nadel 1978). Επιπλέον φλοιώδεις περιοχές που συνδέονται με την επεισοδιακή κωδικοποίηση μνήμης, όπως προκύπτει από διαφορετικές τεχνικές απεικόνισης της εγκεφαλικής λειτουργίας, είναι οι προμετωπιαίες και οι παρεγκεφαλιδικές. Η ΗΕΓ καταγραφή από το έσω κροταφικό φλοιό και από την παρεγκεφαλίδα δεν είναι εύκολα πραγματοποιήσιμη (Cabeza & Nyberg 2000).

Ένα γεγονός ή συμβάν ορίζεται ως μια χρονικά εντοπισμένη αλλαγή της κατάστασης του περιβάλλοντος, η οποία υποπίπτει στην αντίληψη του εγκεφάλου, αν και τελικά η μνήμη του γεγονότος περιλαμβάνει περισσότερα από αυτά που δηλώνει αυτός ο ορισμός. Μπορούμε να διακρίνουμε τριών τύπων πληροφορίες που απομνημονεύονται για ένα γεγονός. Αυτές που αντανακλούν το γεγονός αυτό καθεαυτό, αυτές που αφορούν στις εξωτερικές συνθήκες (πού, πότε, ποιοι εμπλέκονται, κ.λπ.) και τέλος, σε αυτές που ανταποκρίνονται στην εσωτερική κατάσταση του οργανισμού (π.χ. συναισθηματική κατάσταση) την ώρα του γεγονότος. Οι περισσότερες μελέτες προσανατολίζονται στις δύο πρώτες περιπτώσεις.

Οι Burgess και Maguire (Burgess et al. 2001) μελέτησαν την επεισοδιακή μνήμη σε εικονικά περιβάλλοντα χρησιμοποιώντας fMRI. Το πείραμά τους περιλάμβανε μνημονικές διεργασίες σχετικά με την αναγνώριση αντικειμένων, εκτίμηση για το μέγεθός τους και σύνδεσή τους με τόπο και πρόσωπα. Παρατήρησαν

ότι εκτός από την αναμενόμενη ενεργοποίηση του έσω κροταφικού, υπήρξε ενεργοποίηση και του προμετωπικού φλοιού που αποδόθηκε στην ομοιότητα και τυποποίηση της πειραματικής διαδικασίας.

Σε μερικές περιπτώσεις πιστεύεται ότι η μνήμη του περιεχομένου και του πλαισίου ενός γεγονότος μπορεί να διαχωριστούν, πιθανόν λόγω ενός γενικού αισθήματος οικειότητας και γνώσης του πλαισίου. Ο υπόκαμπος θεωρείται, χωρίς να είναι όμως από όλους αποδεκτό, ότι εμπλέκεται στην ανάκληση γεγονότων συνυφασμένων με το πλαίσιο τους, ενώ δεν εμπλέκεται στην ανάκληση ανεξάρτητων από το πλαίσιο συμβάντων, όπως η απλή αναγνώριση αντικειμένων (O'Keefe & Nadel 1978, Zhu et al. 1996, Murray & Mishkin 1998, Baxendale et al. 1997, Vargha-Khadem et al. 1997, Wan et al. 1999, Aggleton & Brown 1999). Πιθανόν αυτό να ερμηνεύεται ως διάκριση μεταξύ της αναγνώρισης και της ανάκλησης.

#### 6.5.4 Επίγνωση του περιβάλλοντος

Οι περισσότερες έρευνες στη συσχέτιση του ΗΕΓ με την επίγνωση ή τη συνειδητοποίηση (awareness) του περιβάλλοντος, προέρχονται από τη μελέτη υπναγωγικών καταστάσεων (hypnagogic states), όπου τα υποκείμενα είναι νυσταγμένα και έχουν μειωμένη συνειδητοποίηση του περιβάλλοντος. Ο Schacter (1977) για παράδειγμα παρατήρησε ότι η θήτα δραστηριότητα στην περίπτωση αυτή χαρακτηρίζεται από χαμηλού δυναμικού ακανόνιστες κυματομορφές (επικαλύπτεται από ταχύτερα αποσπάσματα του βήτα ρυθμού) και διάχυτη εξάπλωση στο κρανίο. Ο Schacter υποστηρίζει ότι η δραστηριότητα θήτα που παρατηρείται κατά τη διάρκεια της υπναγωγικής περιόδου είναι ενδεικτική ενός χαμηλού επιπέδου επαγρύπνησης που συνοδεύεται από εξασθενημένη δυνατότητα του υποκειμένου να επεξεργαστεί και να αποκριθεί στις πληροφορίες του περιβάλλοντος. Σε πλήθος μελετών που έχουν ασχοληθεί με τη στέρηση ύπνου, ο θήτα ρυθμός αναδεικνύεται σε κυρίαρχη δραστηριότητα και συνδέεται περισσότερο με τις λάθος απαντήσεις των υποκειμένων στο πείραμα. Ο Vidulich και οι συνεργάτες του (Vidulich et al. 1994) στην προσπάθειά τους να συσχετίσουν διαφορετικές φυσιολογικές μετρήσεις με μεταβολές στη νοητική προσπάθεια και στη περιστασιακή συνειδητοποίηση (situational awareness) σε διεργασίες εξομοίωσης νυχτερινής πτήσης παρατήρησαν αύξηση στην ισχύ του θήτα ρυθμού και ταυτόχρονη μείωση στον άλφα ρυθμό, η οποία αντανακλά αυξημένες γνωστικές απαιτήσεις ώστε να διατηρηθεί η περιστασιακή συνειδητοποίηση. Ωστόσο, οι ερευνητές διατύπωσαν την αδυναμία τους να διαχωρίσουν τη συσχέτιση των ΕΗΓ μεγεθών με τη νοητική προσπάθεια (φόρτο εργασίας) και την περιστασιακή συνειδητοποίηση. Ανεξάρτητα, πάντως, από τη δυσκολία του Vidulich να συσχετίσει το ΗΕΓ με μία ψυχολογική παράμετρο ή κατάσταση, σχεδόν όλες οι έρευνες που αναφέρονται στην επισκόπηση του Schacter (1977) συμφωνούν ότι μεγάλα χρονικά διαστήματα χωρίς ύπνο προκαλούν μείωση της επαγρύπνησης (vigilance) και ταυτόχρονα αύξηση της θήτα και μείωση της άλφα δραστηριότητας, τόσο σε εργαστηριακές μελέτες (π.χ. Lorenzo et al. 1995, Hasan et al. 1993), όσο και σε μελέτες κάτω από πραγματικές συνθήκες, όπως σε οδηγούς

τρένων, φορτηγών και πιλότους αεροπλάνων (Gundel et al. 1995, Miller 1995, Cabon et al. 1993).

Τα τελευταία χρόνια γίνονται απόπειρες να ανιχνευτούν όροι συνειδητοποίησης με χρήση αντικειμενικών μετρήσεων και υπολογιστικών μοντέλων. Ο ρόλος της αυθόρμητης εγκεφαλικής δραστηριότητας και του συνεχόμενου ΗΕΓ θεωρείται από μερικούς ερευνητές σημαντικός για τις προτεινόμενες θεωρίες αρχιτεκτονικής των θαλαμο-φλοιωδών περιοχών, στις οποίες η από επάνω προς τα κάτω δραστηριότητα που παράγεται στις ιεραρχικά υψηλότερες φλοιώδεις περιοχές διαδραματίζει ένα βασικό ρόλο στην πρόσβαση στη συνείδηση (Dehaene et al. 1998, Dehaene & Naccache 2001, Dehaene et al. 2003, Dehaene & Changeux 2004). Οι Dehaene και Changeux (2005) με εξομοιώσεις νευρωνικών δικτύων μελέτησαν το ρόλο της αυθόρμητης δραστηριότητας σε περιπτώσεις μπλοκαρίσματος της συνείδησης, όπως στο ψυχοφυσικό φαινόμενο της «τύφλωσης απροσεξίας» (inattentional blindness) όπου υγιή άτομα που συμμετέχουν έντονα σε νοητική δραστηριότητα αποτυγχάνουν να αντιληφθούν εμφανή αλλά άσχετα αισθητήρια ερεθίσματα. Οι ερευνητές υποστηρίζουν ότι υψηλότερη αυθόρμητη δραστηριότητα είναι πιθανό να φέρνει τους νευρώνες πιο κοντά σε ένα κατώτατο όριο ενεργοποίησης, διευκολύνοντας κατά συνέπεια την ανίχνευση των αδύνατων ερεθισμάτων, ενώ η πολύ υψηλή αυθόρμητη δραστηριότητα έχει ένα ρόλο φραγμού που αποτρέπει την πρόσβαση σε άλλα εξωτερικά ερεθίσματα. Υπό αυτό το πρίσμα προσωρινές περιόδους συγχρονισμένων ταλαντώσεων γάμα με αυξανόμενο εύρος στο συνεχόμενο ΗΕΓ θεωρήθηκε από τους ερευνητές ότι οδηγούν σε διευκόλυνση της αισθητήριας επεξεργασίας και επομένως αντιστοιχούν σε κατάσταση αυξημένης επαγρύπνησης.

### **Οπτική επίγνωση**

Στα εικονικά περιβάλλοντα και γενικότερα στα περιβάλλοντα που υποστηρίζονται από ηλεκτρονικούς υπολογιστές η οπτική αισθητήρια οδός είναι συνήθως η πιο σημαντική και καθοριστική είσοδος πληροφοριών. Η οπτική επίγνωση (optical awareness) είναι μια πολύπλοκη αντιληπτική διαδικασία που λαμβάνει χώρα κατά την επεξεργασία των οπτικών δεδομένων και περιλαμβάνει την οργάνωση και σύνδεση πλήθους τοπογραφικών χαρτών που αναπαριστούν διαφορετικές πλευρές της οπτικής σκηνής. Οι Crick και Koch (1990a, 1990b) διατύπωσαν την υπόθεση ότι φαινόμενα συγχρονισμού του γάμα ρυθμού στον οπτικό κυρίως φλοιό παίζουν καθοριστικό ρόλο στην οπτική επίγνωση. Αρκετοί ερευνητές ασχολήθηκαν με την οπτική επίγνωση και την ηλεκτρική εγκεφαλική δραστηριότητα χρησιμοποιώντας ενδοκρανιακά ηλεκτρόδια σε θηλαστικά. Οι Sowards και Sowards (1999) αναγνωρίζουν εξίσου καθοριστικό ρόλο στο γάμα και στον άλφα ρυθμό, με το γάμα ρυθμό να συσχετίζεται περισσότερο με κινούμενα χαρακτηριστικά της εικόνας (ή κινήσεις των ματιών) και τον άλφα ρυθμό να συσχετίζεται περισσότερο με στατικά χαρακτηριστικά. Υπό αυτό το πρίσμα προσπαθούν να ερμηνεύσουν τον άλφα συγχρονισμό με κλειστά μάτια, αφού σε αυτή τη περίπτωση έχουμε παρουσίαση ενός ενιαίου σκοτεινού οπτικού αντικειμένου που καταλαμβάνει ολόκληρο το οπτικό



πεδίο, με αποτέλεσμα μια μεγάλης κλίμακας συγχρονισμένη άλφα δραστηριότητα στον οπτικό φλοιό (στατικό αντικείμενο), ενώ με το άνοιγμα των ματιών μια σύνθετη οπτική σκηνή παρουσιάζεται και επομένως οι νευρώνες στις διάφορες φλοιώδεις οπτικές περιοχές που ταλαντεύονταν συγχρονισμένα διαχωρίζονται σε ανεξάρτητες ομάδες που αντιπροσωπεύουν διαφορετικό τμήμα της οπτικής σκηνής με τελικό αποτέλεσμα τον αποσυγχρονισμό του άλφα ρυθμού.

Οι Kamitani και Tong (2005) σε μελέτη στις πρωτοταγείς οπτικές περιοχές με τεχνική fMRI κατάφεραν να αποσπάσουν λεπτομερείς πληροφορίες για τον προσανατολισμό ακμών αντικειμένων και σε ορισμένες περιπτώσεις μπόρεσαν να προβλέψουν την υποκειμενική αντίληψη των υποκειμένων.

### 6.5.5 Αντίληψη χώρου

Πλήθος ερευνών έχει πραγματοποιηθεί σε πειραματόζωα σχετικά με την ηλεκτροεγκεφαλική δραστηριότητα και την πλοήγηση στο χώρο. Οι περισσότερες έρευνες τη συσχετίζουν με τη θήτα δραστηριότητα (4 - 12 Hz) στον ιππόκαμπο των τρωκτικών και άλλων ζώων (Winson 1978, O'Keefe et al. 1993, Skaggs 1996, Gavrilov et al. 1995). Τα τελευταία χρόνια αντίστοιχες έρευνες σε ανθρώπινους εγκεφάλους δείχνουν ότι ο θήτα ρυθμός συσχετίζεται και στον άνθρωπο με κωδικοποίηση και ανάκτηση χωρικών πληροφοριών όπως στα τρωκτικά. Ωστόσο, νεότερες έρευνες επισημαίνουν πως ο θήτα ρυθμός συσχετίζεται με τη γνωστική επεξεργασία που περιλαμβάνεται στην κωδικοποίηση και την ανάκτηση των λεκτικών ερεθισμάτων. Κατά συνέπεια, πριν συνδέσουμε το θήτα ρυθμό με τη χωρική επεξεργασία πρέπει να εξασφαλίσουμε ότι τα λεκτικά ερεθίσματα-οδηγίες που συνήθως χρησιμοποιούνται σε έρευνες με λαβυρίνθους δε θα έχουν επίδραση στις παρατηρήσεις (Kahana 2006).

Αρκετές από τις σύγχρονες έρευνες που εξετάζουν τη χωρική αντίληψη και την ικανότητα του προσανατολισμού στον άνθρωπο σε συνδυασμό με εγκεφαλικές λειτουργίες χρησιμοποιούν εικονικά περιβάλλοντα, γιατί όλες οι απεικονιστικές μέθοδοι καταγραφής των εγκεφαλικών δραστηριοτήτων παρουσιάζουν προβλήματα (πολλές φορές ανυπέρβλητα) κατά τη μετακίνηση των υποκειμένων. Τα συμπεράσματα αυτών των ερευνών συζητούνται στην ενότητα 7.7.

### 6.5.6 Επίλυση προβλημάτων

Αρκετοί ερευνητές έχουν ασχοληθεί με την ανάλυση των ρυθμών του HEG κατά την επίλυση προβλημάτων (Ford 1954, Mundy-Castle 1951, Arellano & Schwab 1950, Kennedy et al. 1949a, 1949b, 1948 και πολλές άλλες). Ωστόσο οι παλαιότερες έρευνες δε χρησιμοποιούν υπολογιστές και παρουσιάζουν αδύνατα σημεία στο διαχωρισμό των ρυθμών.

Ο Legewie και οι συνεργάτες του (1969) χρησιμοποίησαν ηλεκτρονικό υπολογιστή στην έρευνα ποικίλων δραστηριοτήτων, όπως σχεδίαση γραμμών,

γράψιμο δύσκολων χωρίς νόημα λέξεων, νοερή αριθμητική και διάφορες οπτικές και ακουστικές διεργασίες. Το κύριο εύρημά τους ήταν ότι αξιοσημείωτες διαφοροποιήσεις της εγκεφαλικής λειτουργίας παρατηρήθηκαν μόνο στο θήτα ρυθμό και η αύξηση των θήτα κυμάτων κατά τη νοητική δραστηριότητα είναι εμφανέστερη στη μετωπιαία-κεντρική περιοχή παρά στην κροταφο-νιακή περιοχή.

Ο Brown (1971:455) συνδέει τη θήτα δραστηριότητα με μια σειρά καταστάσεων που συνδέονται με την επίλυση προβλημάτων, όπως την απομνημόνευση προβλημάτων, το σχεδιασμό μελλοντικών κινήσεων, την επίλυση μηχανικών και οικονομικών προβλημάτων, την αβεβαιότητα στη λήψη αποφάσεων, την αφηρημάδα.

Οι Ishihara και Yoshii (1972) παρατήρησαν αύξηση στις περιοχές Fz-Cz μόνο στη θήτα δραστηριότητα. Επιπλέον, η δραστηριότητα που απαιτούσε από τα υποκείμενα τη μικρότερη γνωστική προσπάθεια, παρουσίασε σημαντική μείωση του θήτα ρυθμού στα ηλεκτρόδια Fz-Cz. Σε επόμενη έρευνά τους οι ερευνητές συσχέτισαν την εμφάνιση μέσου μετωπιαίου (μεσομετωπικού) θήτα με το βαθμό της συγκέντρωσης (Ishihara & Yoshii 1973:705).

Οι Dolce και Waldeier (1974) συνέκριναν διεργασίες όπως άνοιγμα ματιών, νοερή αριθμητική και ανάγνωση με καταστάσεις χαλάρωσης με κλειστά μάτια. Η φασματική ανάλυση ΗΕΓ βρεγματο-νιακών και βρεγματικών περιοχών στα υποκείμενα με τον υψηλότερο άλφα ρυθμό σε κλειστά μάτια έδειξε μείωση του άλφα ρυθμού σε όλες τις διεργασίες. Ο βήτα ρυθμός αυξήθηκε με το άνοιγμα των ματιών και την ανάγνωση, όχι όμως και με τη νοερή αριθμητική. Ο δέλτα ρυθμός επίσης αυξήθηκε σε όλες τις διεργασίες, ενώ ο θήτα ρυθμός αυξήθηκε με το άνοιγμα των ματιών μόνο στο αριστερό ημισφαίριο και παρουσίασε στατιστικά σημαντική αύξηση και στις δύο γνωστικές διεργασίες.

Σε αρκετές έρευνες παρατηρήθηκε κάπα ρυθμός κατά την επίλυση προβλημάτων παράλληλα με την εμφάνιση θήτα ή σε μερικά υποκείμενα κυριαρχούσε ο ένας ρυθμός και σε άλλα ο άλλος, με το θήτα να εμφανίζεται συχνότερα (Chapman et al. 1962, Ishihara & Yoshii 1972). Ο Schacter (1977:455) σχολιάζοντας τις σχετικές έρευνες πριν το 1977 διατυπώνει την υπόθεση ότι ο θήτα και ο «κάπα» ρυθμός που εμφανίζονται κατά την επίλυση προβλημάτων μπορεί να αποτελούν διαφορετικούς δείκτες μιας κοινής ελλοχεύουσας διαδικασίας.

Σε όλες τις προαναφερθείσες έρευνες ελλοχεύει ο κίνδυνος της διάκρισης των πραγματικών ρυθμών από τα οφθαλμικά παράσιτα τόσο στην πρόσθια θήτα δραστηριότητα (αφού η μετωπική περιοχή είναι ευαίσθητη σε τέτοια παράσιτα) όσο και στον «κάπα» ρυθμό που μοιάζει με το παράσιτο του ανοιγοκλεισίματος των οφθαλμών (Harlan et al. 1958). Οι περισσότεροι όμως ερευνητές αμφισβητούν την παραπάνω άποψη τουλάχιστον για την επίλυση προβλημάτων (Armington & Chapman 1959, Schacter 1977:58).

Ένα άλλο ερώτημα που προκύπτει στις προαναφερθείσες έρευνες είναι η δυσκολία συσχέτισης της ενίσχυσης του θήτα ρυθμού με γνωστικές διαδικασίες που συνοδεύουν την επίλυση προβλημάτων και όχι με την πιθανή αύξηση της

επαγρύπνησης του υποκειμένου πριν το ερέθισμα ή με εξειδικευμένες λειτουργίες εξαρτώμενες από τη συγκεκριμένη διεργασία. Για να μειώσουν την επίδραση της αυξημένης επαγρύπνησης πριν το ερέθισμα ή την ικανότητα πρόβλεψης των υποκειμένων οι Legewie (Legewie et al. 1969) και Inshihara (Inshihara & Yoshii 1972) χρησιμοποίησαν τυχαία σειρά και χρονική κατανομή των ερεθισμάτων. Επιπλέον οι ίδιοι ερευνητές σημειώνουν ότι δεν παρατήρησαν αντίστοιχες αλλαγές στις άλφα και βήτα συχνότητες που να αντανακλούν την προετοιμασία των υποκειμένων για τις διεργασίες του πειράματος. Ωστόσο, ο Schacter (1977) προτείνει ότι η αύξηση του θήτα ρυθμού κατά την επίλυση προβλημάτων πρέπει να αποδοθεί σε ένα συνδυασμό από επιλεκτικές, εστιασμένες λειτουργίες και εντατική διανοητική προσπάθεια.

Οι γνωστικές λειτουργίες κατά την επίλυση προβλημάτων έχουν μελετηθεί και με άλλες φυσιολογικές μετρήσεις, με σημαντικότερη την ταυτόχρονη παρακολούθηση των καρδιακών παλμών. Σε αυτήν την περίπτωση ο ρυθμός των καρδιακών παλμών αυξάνει συνεχόμενα κατά την επίλυση καλά καθορισμένων προβλημάτων, ενώ στα προβλήματα διορατικότητας εμφανίζεται μια ξαφνική αύξηση όταν τα υποκείμενα φτάνουν στη λύση (Jaušovec & Bakracevic 1995). Σε ΗΕΓ έρευνα στον άλφα ρυθμό συνολικά, ο Jaušovec παρατήρησε μειωμένη φασματική ισχύ, την οποία συνδύασε με αυξημένη νοητική δραστηριότητα, κατά την επίλυση ασαφώς εκπεφρασμένων προβλημάτων (Jaušovec 1997a).

Ο ίδιος ερευνητής σε μεταγενέστερη έρευνά του χρησιμοποιεί την ανάλυση φάσης του ΗΕΓ μαζί με τη φασματική ισχύ του σήματος στις περιοχές συχνοτήτων του κατώτερου άλφα υπορυθμού (7.9 – 10 Hz) και του ανώτερου άλφα (10.1 – 12.9 Hz), για τη μελέτη της επίλυσης προβλημάτων διαφορετικού τύπου και διαφορετικής δυσκολίας. Στα καλά καθορισμένα προβλήματα οι διαφορές ως προς το βαθμό πολυπλοκότητας των προβλημάτων στο φάσμα ισχύος και στις μετρήσεις συνοχής ήταν μικρές. Στα προβλήματα που απαιτούσαν δημιουργική σκέψη οι διαφορές στο φάσμα ισχύος συσχετίστηκαν κυρίως με τον τύπο αναπαράστασης των προβλημάτων (οπτικό ή λεκτικό), ενώ η συνάφεια συσχετίστηκε με το βαθμό δημιουργικότητας που απαιτούνταν. Η μελέτη της συνάφειας στην περίπτωση αυτή ανέδειξε ενδο- και δια-ημισφαιρική συνεργασία μεταξύ απομακρυσμένων κυρίως περιοχών στα λεκτικά παρουσιαζόμενα δημιουργικά προβλήματα. Ο Jaušovec υποστηρίζει ότι η δημιουργική σκέψη απαιτεί μεταφορά και επεξεργασία πληροφορίας μεταξύ διαφόρων εγκεφαλικών περιοχών, η οποία παρέχεται με μεγάλη συμμετοχή και απομακρυσμένων φλοιϊκών (cortico-cortical) συστημάτων, κάτι που δικαιολογεί τις αλλαγές συνάφειας σε αυτές τις περιοχές (Jaušovec & Jaušovec 2000).

Μια επιπλέον παράμετρος που εμφανίζεται στην επίλυση προβλημάτων είναι η κριτική ικανότητα, η οποία αν και είναι σύνθετη λειτουργία, έχει μελετηθεί σε απλές εφαρμογές. Η Fournier και οι συνεργάτες της παρατήρησαν «άλφα-1» (8-10 Hz) ERD κατά τη διάρκεια διεργασιών κρίσεως (π.χ. δραστηριότητα με σωστή-λάθος απάντηση) ανεξάρτητα με το αν απαιτούνταν απάντηση ή όχι. Επίσης παρατηρήθηκε και «άλφα-2» (10-12 Hz) ERD, αλλά μόνο όταν το υποκείμενο έπρεπε να δώσει μια απάντηση (Fournier et al. 1999).

### 6.5.7 Η λειτουργία της προσοχής

Η προσοχή είναι έννοια εξαιρετικά πολυδιάστατη και πολυσήμαντη (Ντάβου 2000). Μπορεί να σημαίνει επαγρύπνηση, εγρήγορση, συγκέντρωση, σκόπιμη παρακολούθηση, επιλεκτική συλλογή στοιχείων ή απλώς ενδιαφέρον και όλες αυτές τις δραστηριότητες μεμονωμένες ή σε συνδυασμούς. Στην παρούσα ενότητα με τον όρο προσοχή (attention) εννοούμε γενικά την εστίαση της αντίληψης σε ένα περιορισμένο πεδίο ερεθισμάτων (από ένα τεράστιο πλήθος εισερχόμενων πληροφοριών), έτσι ώστε το άτομο να είναι έτοιμο να αντιδράσει στις αλλαγές αυτών των ερεθισμάτων (Δήμου 2008a). Όσο διατηρείται η προσοχή παρατηρούνται διάφορες ενέργειες του υποκειμένου: συμπεριφοριστικές (όπως προσπάθεια για οπτική επαφή, ακινησία, κ.ά) και φυσιολογικές (αλλαγές στο πρότυπο της μυϊκής δραστηριότητας, στην πίεση του αίματος, στον καρδιακό ρυθμό, στο ΗΕΓ) (Hayes 1996:11-15). Γενικά θεωρείται ότι η ικανότητα της συγκέντρωσης σε μια τρέχουσα δραστηριότητα ή της επίτευξης νοητικής εστίασης, που παραμένει σε ένα μεταβαλλόμενο και με ανταγωνιστικά ερεθίσματα περιβάλλον, είναι κρίσιμη όχι μόνο για την ανθρώπινη ύπαρξη αλλά και για τα έμβια όντα γενικότερα (Schabus 2001).

Η προσοχή και η σύνδεση (binding) είναι δύο απαραίτητες συνιστώσες της αντίληψης. Η σύνδεση είναι απαραίτητη για να συνδέσει τα διαφορετικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα ενός αντικειμένου που αντιπροσωπεύονται σε κατανομημένα σημεία στον εγκέφαλο. Πιστεύεται ότι η σύνδεση λειτουργεί σε ένα αρκετά πρόωρο στάδιο της αντιληπτικής διαδικασίας. Πάντως, αν και δεν είναι ακόμη ξεκάθαρο πως αλληλεπιδρούν η προσοχή και η σύνδεση, οι ερευνητικές προσπάθειες απομόνωσης και συσχέτισης της προσοχής με την εγκεφαλική δραστηριότητα έχουν την αξία τους αλλά με επιφυλάξεις για την αξία της ερμηνείας τους (Herrmann & Mecklinger 2001).

Η επιφύλαξη, που αναφέρθηκε στην αρχή του κεφαλαίου 6.5 σχετικά με τη σύνδεση των εγκεφαλικών κυμάτων όπως καταγράφονται από το ΗΕΓ με ψυχολογικές λειτουργίες και με νοητικές λειτουργίες γενικά, ισχύει κυρίως για την προσοχή ως νοητική διαδικασία. Η προσοχή, που σκοπό της έχει να προσαρμόσει στιγμιαία τον εγκέφαλο σε εξωτερικές ή εσωτερικές απαιτήσεις, είναι εξαιρετικά σύνθετη και καθόλου ομοιόμορφη λειτουργία (Petsche 1996). Είναι πολύ δύσκολο να διαχωριστεί η προσοχή από άλλες ψυχολογικές μεταβλητές κατά την εξέλιξη ενός πειράματος. Για παράδειγμα σε μια 60λεπτη έρευνα (ακουστικής) επαγρύπνησης του Paus (Paus et al. 1997) αναφέρθηκε προοδευτική αύξηση στο θήτα ρυθμό. Οι ερευνητές υποστήριζαν, στηριζόμενοι στο ΗΕΓ και την εγκεφαλική ροή αίματος, ότι το δεξιό ημισφαίριο και ειδικά ο μετωπικός και ο βρεγματικός φλοιός, είναι σημαντικοί στις διαδικασίες προσοχής και επομένως οι αυξήσεις στο θήτα ρυθμό θα μπορούσαν να ερμηνευθούν ως οφειλόμενες στην αυξανόμενη υπνηλία. Εντούτοις, είναι εύλογο ότι, καθώς η διεργασία εξελίσσονταν, το γνωστικό φορτίο από την άποψη της διατήρησης της προσοχής αυξήθηκε και αυτό ήταν που η αύξηση στο θήτα ρυθμό απεικόνισε (Scerbo 2001).

Σύμφωνα με τη θεωρία του Neisser (1976) για την αντίληψη, η προσοχή υποστηρίζεται από δύο διαφορετικά συστήματα επεξεργασίας, που πραγματοποιούνται σε από επάνω προς τα κάτω αλλά και από κάτω προς τα επάνω νευρικά δίκτυα. Και τα δύο είδη επηρεάζουν την επεξεργασία των πληροφοριών σε διάφορες εγκεφαλικές περιοχές, μεταξύ των οποίων και εκείνες που σχετίζονται με την επεξεργασία του αντίστοιχου τύπου πληροφοριών, για παράδειγμα στην περίπτωση των οπτικών ερεθισμάτων είναι κυρίως οι κάτω κροταφικές περιοχές (Corbetta & Shulman 2002). Το πρώτο είναι ένα ενδογενές σύστημα που επιτρέπει στον εγκέφαλο να εστιάσει την προσοχή του εθελοντικά σε συγκεκριμένα γεγονότα. Είναι μια ελεγχόμενη διαδικασία που στηρίζεται σε ένα δίκτυο που περιλαμβάνει το ραχιαίο-πλευρικό προμετωπιαίο φλοιό, συγκεκριμένα την ανώτερη μετωπική αύλακα για τα χωρικά στοιχεία και την κατώτερη μετωπική αύλακα για τα αντικείμενα (Pardo et al. 1991), και το βρεγματικό φλοιό (αύλακα του βρεγματικού λοβού). Το δεύτερο είναι ένα εξωγενές σύστημα εστίασης που επιτρέπει στις εισερχόμενες πληροφορίες να αποσπάσουν την προσοχή ειδικά όταν είναι βιολογικά νέες και ενδιαφέρουσες. Είναι μια αυτόματη διαδικασία που εντοπίζεται κυρίως στην κάτω μετωπική έλικα και την κροταφο-βρεγματική συμβολή κυρίως στο δεξιό ημισφαίριο (Downar et al. 2000). Το ποιο από αυτά τα δίκτυα ενεργοποιείται πρώτο και πως εξελίσσονται οι αλληλεπιδράσεις τους εξαρτάται από τα ερεθίσματα και τις εκάστοτε συνθήκες. Υπάρχουν, όμως, ερευνητές που υποστηρίζουν ότι ο ενδογενής και εξωγενής προσανατολισμός της προσοχής στηρίζεται κατά ένα μεγάλο μέρος στην ίδια νευρική αρχιτεκτονική (Corbetta et al. 1993, Kim et al. 1999, Nobre et al. 1997, Rosen et al. 1999, Peelen et al. 2004). Έρευνες fMRI και PET υποδεικνύουν για τις λειτουργίες της προσοχής προμετωπιαίες και βρεγματικές περιοχές κυρίως και λιγότερο τις κάτω κροταφικές και ινιακές (Korsten et al. 2006).

Ο παράγοντας της προσοχής αποτελεί μια ψυχολογική μεταβλητή που έχει συσχετιστεί σε αρκετές έρευνες με το θήτα εγκεφαλικό ρυθμό. Ο Schacter (1977) στην ανασκόπηση των προηγούμενων ερευνών που ασχολήθηκαν με τη συσχέτιση του θήτα ρυθμού με ψυχολογικές καταστάσεις ακολούθησε τη διάκριση της προσοχής από τον Posner (1975) σε επαγρύπνηση (alertness), επιλεκτική προσοχή (selective attention) και συνειδητή προσπάθεια (conscious effort). Η επαγρύπνηση αναφέρεται σε διαδικασίες πριν το ερέθισμα που έχουν επιπτώσεις στη δεκτικότητα του οργανισμού σε μια ευρεία κατηγορία ερεθισμάτων. Η επιλεκτική προσοχή αναφέρεται στην επεξεργασία μιας πηγής πληροφοριών και όχι κάποιας άλλης. Η τρίτη πτυχή της προσοχής αναφέρεται σε μια εντατικοποίηση της προσπάθειας επεξεργασίας των πληροφοριών. Αν και αυτή η παρουσίαση είναι κάπως υπεραπλουστευμένη, τούτη η διάκριση παρέχει ένα χρήσιμο πλαίσιο για τη μελέτη της δραστηριότητας θήτα και τη λειτουργία της προσοχής. Οι περισσότερες έρευνες που αναφέρονται στην επισκόπηση του Schacter συνδέουν την αύξηση του θήτα ρυθμού, κυρίως στις μετωπιαίες περιοχές, με αύξηση της προσοχής, του νοητικού φόρτου ή του μνημονικού φόρτου.

Ο Barcelo (Barcelo et al. 1995) εξέτασε την απόλυτη τιμή της ΗΕΓ ισχύος σε διεργασίες οπτικού προσανατολισμού (visual orienting) με ποικιλία αριθμού και πολυπλοκότητας ερεθισμάτων. Αλλαγές στο ΗΕΓ παρατηρήθηκαν σε όλες τις ζώνες συχνοτήτων, αλλά ιδιαίτερα αξιοσημείωτη ήταν μια οξεία αύξηση του ινιακού θήτα κατά τα πρώτα τρία δευτερόλεπτα της παρουσίασης των ερεθισμάτων. Η πολυπλοκότητα δεν είχε σημαντικές διαφοροποιήσεις, ενώ ο αριθμός των ερεθισμάτων προκάλεσε μείωση της άλφα και βήτα ισχύος αλλά όχι της θήτα. Οι ερευνητές συσχέτισαν τον ινιακό και όχι το μετωπιαίο θήτα με την προσοχή. Δεδομένου ότι η οπτική διεργασία ήταν απλή και δεν εμπειρείχε γνωστική επεξεργασία υψηλού φόρτου εργασίας, είναι αναμενόμενη η επίδραση στο ινιακό και όχι στο μετωπικό θήτα (Scerbo 2001).

Οι περισσότερες μελέτες αναφέρονται στην επαγρύπνηση και τη βραχυπρόθεσμη προσοχή. Συνήθως μακρά διαστήματα επαγρύπνησης οδηγούν σε υπναγωγική κατάσταση η οποία χαρακτηρίζεται από υπνηλία, μειωμένη προσοχή και τονική αύξηση του θήτα ρυθμού (Kramer 1991). Άλλες έρευνες εξετάζουν τη σχέση της μνήμης και του νοητικού φόρτου και των φασικών αλλαγών σε άλφα και θήτα (Scerbo 2001).

Ο Klimesh (1999) με τη διάκριση του παραδοσιακού άλφα ρυθμού σε υπορυθμούς και τον εξατομικευμένο προσδιορισμό των ορίων συχνοτήτων των ρυθμών, υποστηρίζει ότι ενώ η ανώτερη άλφα ζώνη ανταποκρίνεται επιλεκτικά στις σημασιολογικές απαιτήσεις της μακροπρόθεσμης μνήμης, οι δύο κατώτερες άλφα ζώνες (περίπου 6 - 10 Hz) απεικονίζουν τους διαφορετικούς τύπους απαιτήσεων προσοχής και τοπογραφικά εξαπλώνονται σε ολόκληρο το φλοιό.

Ο Dujardin (Dujardin et al. 1999) σε έρευνα με λεκτικά ερεθίσματα και μεθοδολογία σχετικού με γεγονότα αποσυγχρονισμού (ERD/ERS) παρατήρησε επιλεκτική μείωση της άλφα δραστηριότητας σε περιοχές σχετιζόμενες με τη λεκτική επεξεργασία. Στην περίπτωση της οπτικής-χωρικής προσοχής, φαίνεται πιθανό ότι η μείωση θα γενικευτεί σε όλο το κρανίο, εμπλέκοντας διαφορετικά φλοιώδη δίκτυα πρόσθιων και οπίσθιων περιοχών (Posner & Petersen 1990).

Ο Marrufo και οι συνεργάτες του (2001) χρησιμοποιώντας για τη μελέτη της οπτικής προσοχής τη μέθοδο της φασματικής χρονικής εξέλιξης (temporal spectral evolution - TSE, μεθοδολογία παρόμοια με τα προκλητά δυναμικά), παρατήρησαν αρχικά μείωση της άλφα δραστηριότητας μεταξύ 375 και 500 ms κατανεμημένη σε όλο το κρανίο, ακολουθούμενη από αύξηση της βήτα δραστηριότητας μεταξύ 500 και 625 ms στις πρόσθιες περιοχές που τελικά επεκτάθηκε σε όλο το κρανίο (625–875 ms). Οι ερευνητές υπέθεσαν ότι η βήτα αύξηση αντικατοπτρίζει μια μετα-επεξεργασία των ερεθισμάτων στις μετωπικές περιοχές.

Ο Gross και οι συνεργάτες του βρήκαν ότι ο συγχρονισμός των ταλαντώσεων στη βήτα περιοχή (περίπου 15 Hz) ανάμεσα σε πλευρικές, μετωπιαίες και ινιακές περιοχές είναι εντονότερος κατά τη διάρκεια εργασιών που απαιτούν προσοχή σε

οπτικό ερέθισμα και μάλιστα όσο μεγαλύτερος ήταν ο συγχρονισμός τόσο καλύτερες ήταν οι επιδόσεις. Ως συγχρονισμός εδώ ορίζεται η σύμπτωση φάσης μεταξύ των επαναλήψεων της διεργασίας (trials) (2004).

Οι αυξήσεις στο γάμα ρυθμό, ειδικά στις βρεγματικές περιοχές, συσχετίζονται με αλλαγές στην προσοχή (Gruber et al. 1999, Shibata et al. 1999). Ενίσχυση του γάμα συγχρονισμού (30 - 100 Hz) και απαιτήσεων προσοχής αναφέρεται και από την Tallon-Baudry σε μαϊμούδες και σε ανθρώπους (2004). Η Basar-Eroglou (Basar-Eroglou et al. 1996) αναφέρει αρκετές έρευνες για συσχετισμό του γάμα ρυθμού με καταστάσεις προσοχής και κινήτρων του υποκειμένου. Το πλάτος του γάμα ρυθμού αυξάνει καθώς το υποκείμενο γίνεται περισσότερο προσεκτικό (Bouyer et al. 1987). Παρόμοια συμπεράσματα αλλά για επιλεκτική προσοχή και ακουστικά κυρίως ερεθίσματα αναφέρουν και οι Tiitinen (Tiitinen et al. 1993) και Basar (Basar et al. 1996).

Επίσης διαφορετικά πρότυπα ισχύος σχετιζόμενης με γεγονότα γάμα δραστηριότητας έχουν παρατηρηθεί σε υποκείμενα με γρήγορες και αργές αντιδράσεις (Jokeit & Makeig 1994). Οι Llinas και Ribary (1992) αναφέρουν μειωμένη γάμα δραστηριότητα κατά τη φάση του δέλτα ύπνου, ενώ αυξημένη παρουσιάζεται κατά την εγρήγορση ή τη REM φάση του ύπνου. Ο Pulvermiiller (Pulvermiiller et al. 1994) αναφέρει ισχυρές διαφοροποιήσεις στη γάμα απόκριση σε λέξεις συγκρινόμενη με ψευδολέξεις και ο Goertz (Goertz et al. 1994) υποδεικνύει ότι η δραστηριότητα στα 40 Hz συσχετίζεται με την αξιολόγηση ερεθισμάτων στην αισθητικοκινητική επεξεργασία κατά τη διάρκεια εργασιών οπτικής διάκρισης.

Μια προσπάθεια δυναμικής μέτρησης της προσοχής με φυσιολογικές μετρήσεις στις οποίες συμπεριλαμβάνει και το ΗΕΓ είναι τα συστήματα διεπαφής που επηρεάζονται από την προσοχή του χρήστη (Attentive User Interface, AUI) και κυρίως αυτά που χρησιμοποιούν συνδυασμό φυσιολογικών μετρήσεων (Physiologically Attentive User Interface, PAUI). Τα συστήματα αυτά εξετάζουν κυρίως τις κινήσεις των ματιών (Bolt 1985, Duchowski 2003, Shell et al. 2003), αλλά επίσης τους καρδιακούς παλμούς και το ΗΕΓ (Chen & Vertegaal 2004) και με δυναμικά στατιστικά μοντέλα κατατάσσουν την κατάσταση της προσοχής του υποκειμένου σε 4 στάδια: σε χαλάρωση (rest), ενεργητική (moving), σκεπτόμενη (thinking) και απασχολημένη (busy). Το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που παράγεται από τους καρδιακούς παλμούς είναι περίπου 5000 φορές ισχυρότερο από το εγκεφαλικό, διαδίδεται σε όλα τα όργανα, παρουσιάζει λιγότερα παράσιτα από το ΗΕΓ, επηρεάζεται από το συμπαθητικό και το παρασυμπαθητικό νευρικό σύστημα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης για ορισμένες ψυχολογικές και συναισθηματικές καταστάσεις. Το ΗΕΓ στα συστήματα AUI δρα μάλλον συμπληρωματικά στο ΗΚΓ αφού χρησιμοποιούνται ελάχιστα ηλεκτρόδια που ανιχνεύουν κυρίως την κινητική δραστηριότητα (συνήθως χρησιμοποιείται ο «μ» ρυθμός). Ο συνδυασμός ΗΚΓ και ΗΕΓ παρέχει πληροφορίες για την ενεργητική ή παθητική συμμετοχή του συμμετέχοντα και υπό αυτή την έννοια οι ερευνητές όρισαν τις διαβαθμίσεις της προσοχής (Vertegaal et al. 2006).

Τέλος πρέπει να αναφερθεί ότι τοπολογικά η λειτουργία της προσοχής παρουσιάζει πιθανότατα σημαντικές διαφοροποιήσεις ανάλογα με το είδος της αισθητήριας εισαγωγής που κυριαρχεί εκείνη τη στιγμή. Για παράδειγμα οι Nobre et al. (1997) συσχετίζουν την πίσω βρεγματική περιοχή του αριστερού ημισφαιρίου με προσοχή προσανατολισμένη σε κινήσεις και με χωρικό προσανατολισμό. Την ίδια περιοχή, ως σημειωθεί, οι Milner και Goodale (1996) τη συσχετίζουν με τον οπτικο-χωρικό έλεγχο του προγραμματισμού σε συνειδητές κινήσεις του υποκειμένου με κάποιο σκοπό.

### **Επιλεκτική προσοχή**

Σύμφωνα με τη διάκριση της προσοχής από τον Posner (1975), ως επιλεκτική προσοχή εννοούμε τη στροφή της προσοχής (την επεξεργασία) σε μια πηγή πληροφοριών και όχι σε κάποια άλλη. Οι ψυχολογικές θεωρίες διαφωνούν στο αν η επιλεκτική προσοχή δρα στα πρώτα ή στα τελευταία επίπεδα επεξεργασίας. Ο Hillyard προτείνει τη μελέτη της ηλεκτρικής δραστηριότητας του εγκεφάλου και συγκεκριμένα των προκλητών δυναμικών (ERP) ως αντικειμενική προσέγγιση αυτών των διαφωνιών (Hillyard et al. 1995).

Η προσοχή και η σχέση της με διάφορες γνωστικές διαδικασίες έχει μελετηθεί αρκετά στην εφαρμοσμένη ψυχολογία. Ένας μεγάλος αριθμός των ερευνητών εφαρμόζει το πρότυπο Baddeley της μνήμης εργασίας, η οποία έχει πολλές ομοιότητες αλλά και διαφορές με τη βραχυπρόθεσμη μνήμη (Baddeley 1986). Η σχέση μεταξύ της επιλεκτικής προσοχής και της μνήμης εργασίας δεν είναι σαφής, αν και θεωρείται ότι ο χώρος της μνήμης εργασίας διατίθεται σε νέα ερεθίσματα βασισμένα εν μέρει στις διαδικασίες που εκτελούνται αυτήν την περίοδο στη μνήμη εργασίας. Αυτό που είναι όμως σαφές είναι ότι οι πόροι της μνήμης εργασίας που διαθέτονται σε ένα νέο ερέθισμα είναι ανάλογοι με το βαθμό της προσοχής που εστιάζεται σε εκείνο το ερέθισμα, και η μνήμη εργασίας είναι έτσι μια χρήσιμη ένδειξη για το πόση προσοχή έχει διατεθεί σε μία διεργασία (Jonides 1996).

Ο Basar επισημαίνει ότι σημαντική αύξηση του θήτα ρυθμού στις μετωπικές και βρεγματικές περιοχές συσχετίζεται με διαδικασίες επιλεκτικής προσοχής (Basar et al. 2001b). Η Grent-'t-Jong (Grent-'t-Jong et al. 2006) σε έρευνα επιλεκτικής οπτικής-χωρικής προσοχής των χρωμάτων με προκλητά δυναμικά (ERP) σημειώνει μεγάλη μεταβλητότητα μεταξύ των υποκειμένων στις αλλαγές του θήτα ρυθμού, μεταβλητότητα που επεκτείνεται και στην τοπολογική συνιστώσα των παρατηρούμενων δυναμικών (ινιακή σε μερικά υποκείμενα, μετωπιαία-κεντρική σε άλλα).

Ο Gruber και οι συνεργάτες του σε ΗΕΓ έρευνά τους για την οπτική επιλεκτική προσοχή παρατήρησαν διαφοροποίηση στο γάμα ρυθμό (35 – 51 Hz). Η ισχύς του γάμα ρυθμού αυξήθηκε όταν τα υποκείμενα πρόσεξαν ένα κινούμενο οπτικό ερέθισμα σε σχέση με αυτά που το αγνόησαν. Η μετατόπιση της οπτικής χωρικής προσοχής στο αριστερό ή στο δεξιό οπτικό πεδίο συνοδεύτηκε από μια μετατόπιση της γάμα δραστηριότητας προς το ετερόπλευρο ημισφαίριο σε βρεγματο-ινιακές



κυρίως περιοχές. Εκτός από την αναμενόμενη συμμετοχή βρεγματο-ινιακών περιοχών, παρατηρήθηκε μικρή αύξηση της γάμα ισχύος στις μετωπιαίες περιοχές που αποδόθηκε στη λειτουργία της επιλεκτικής προσοχής (Gruber et al. 1999).

### **Προσοχή και επίγνωση**

Σύμφωνα με τον Lindsley η ουσία της προσοχής και της επίγνωσης φαίνεται «να είναι κρυμμένη σε μετατοπιζόμενες διαδικασίες και καταστάσεις του κεντρικού νευρικού συστήματος, μερικές από τις οποίες είναι ανιχνεύσιμες από μεταβολές στα ηλεκτρικά δυναμικά του εγκεφάλου που μετρώνται έμμεσα σε όλο το κρανίο ή άμεσα σε εντοπισμένες περιοχές» (Lindsley 1960). Η προσοχή μας ωθεί γενικά σε μια συστηματική εξέταση ή απλά εστίαση σε διάφορα αντικείμενα και εξαρτάται τόσο από τους μόνιμους ή στιγμιαίους στόχους και ενδιαφέροντα, όσο και από τα ερεθίσματα (Schabus 2001).

Η προσοχή είναι διαφορετική έννοια από την επίγνωση αν και συνδέονται στενά. Η προσοχή συχνότερα θεωρείται ως προϋπόθεση για την επίγνωση (μόνο για αντικείμενα που έχουν ενεργοποιήσει την προσοχή μας είναι δυνατό να έχουμε επίγνωση). Μια διαφορά έγκειται στην περιορισμένης χωρητικότητας διαδικασία που απαιτείται για την ταυτοποίηση του πρώτου στόχου σε ένα πείραμα προσοχής. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται προσοχή και δεν ταυτίζεται με την επίγνωση του στόχου (Tallon-Baudry 2004).

#### **6.5.8 Επαγρύπνηση, επιφυλακή**

Η επαγρύπνηση (vigilance) είναι παρόμοια έννοια με τη συντηρούμενη προσοχή (sustained attention) και περιγράφεται από το για πόσο χρόνο μπορεί ένα άτομο να επικεντρώσει την προσοχή του σε ένα ερέθισμα (ή οθόνη) πριν αρχίσει να κάνει λάθη (Hayes 1996:35). Η επιφυλακή (alertness) συνήθως χαρακτηρίζει μια κατάσταση αναμονής και αυξημένης επαγρύπνησης που προηγείται κάποιου ερεθίσματος και έχει επιπτώσεις στη δεκτικότητα του οργανισμού σε μια ευρεία κατηγορία ερεθισμάτων (Posner 1975). Από τον ορισμό της επαγρύπνησης είναι αναμενόμενο να υπάρχει συσχέτιση της προσοχής με την επαγρύπνηση. Επιπλέον οι διακυμάνσεις της επίδοσης σε διεργασίες επαγρύπνησης, τουλάχιστον μερικώς, προκαλούνται από την αλληλεπίδραση μεταξύ της προσοχής και της διέγερσης (Parasuraman et al. 1998).

Οι περισσότερες μελέτες εξετάζουν την επαγρύπνηση σε υποκείμενα που έχουν υποστεί στέρηση ύπνου. Ο Daniel (1967) έδειχνε στα υποκείμενά του τριάδες περιττών αριθμών και απαιτούσε να πατήσουν ένα κουμπί σε κάποιες από αυτές και σύγκρινε το ΗΕΓ ανάμεσα σε επιτυχείς και ανεπιτυχείς απαντήσεις. Καμία διαφορά δε βρέθηκε στον άλφα ρυθμό, ενώ όλα τα υποκείμενα παρουσίασαν μείωση στο θήτα ρυθμό στις λάθος απαντήσεις (3 sec πριν τη λάθος απάντηση και 3 sec μετά). Γενικά, από τις πρώτες ήδη ΗΕΓ έρευνες, θεωρείται ότι η μείωση του θήτα ρυθμού

συνοδευόμενη με αύξηση του άλφα αντιστοιχεί σε κατάσταση μειωμένης επαγρύπνησης. Ομοίως, ο Oswald (1962) υποστήριξε ότι η εμφάνιση χαμηλού πλάτους δραστηριότητας θήτα κατά την υπναγωγική περίοδο δηλώνει πτώση της επαγρύπνησης, κατά τη διάρκεια της οποίας η αλληλεπίδραση με το περιβάλλον είναι εμφανώς εξασθενημένη.

Σημαντική για τη λειτουργία της επαγρύπνησης θεωρείται η αυθόρμητη εγκεφαλική λειτουργία (επομένως και το συνεχόμενο ΗΕΓ) που προκύπτει σε θαλαμο-φλοιϊκά δίκτυα (Llinas et al. 1998). Η μεταστροφή των αργών ρυθμών σε σύντομες εμφανίσεις γάμα ταλαντώσεων στο συνεχόμενο ΗΕΓ προτείνεται ως ένδειξη αλλαγής της κατάστασης επαγρύπνησης (Steriade et al. 1993).

Ο έλεγχος της επαγρύπνησης και της επιφυλακής σε μεγάλα διαστήματα χρόνου έχει ιδιαίτερη χρησιμότητα σε χειριστές που εκτελούν μονότονες αλλά απαιτητικές σε προσοχή διεργασίες (ελεγκτές εναέριας κυκλοφορίας, οδηγοί φορτηγών, κ.ά.). Πολλοί ερευνητές ανέπτυξαν συστήματα νευρωνικών δικτύων για την ανίχνευση και τον έλεγχο της επαγρύπνησης που βασίζονται στο ΗΕΓ (Belenky et al. 1994, Gulati et al. 1995, Koska et al. 1996, Makeig et al. 1996, Jouny 1997, Jung et al. 1997, Kohlmorgen et al. 1997, Roberts et al. 2000).

### **6.5.9 Το γνωστικό φορτίο και ο παράγοντας της δυσκολίας**

Το γνωστικό φορτίο (mental workload ή cognitive load) χρησιμοποιείται για να περιγράψει την περιορισμένη ικανότητα που έχει κάθε άτομο να επεξεργάζεται πληροφορίες κατά την επίλυση προβλημάτων (κυρίως). Η θεωρία γνωστικών φορτίων (Sweller 1988) συνδέει την έννοια του γνωστικού φορτίου με τη χωρητικότητα της μνήμης εργασίας και τη δημιουργία σχημάτων. Στις περισσότερες μελέτες που αναφέρονται στο γνωστικό φορτίο δε χρησιμοποιείται ένας κοινός ορισμός της έννοιας, αλλά συνήθως προσαρμόζεται στο αντικείμενο της κάθε έρευνας.

Άξονας της ηλεκτροεγκεφαλικής προσέγγισης του γνωστικού φορτίου είναι: 1) οι ΗΕΓ μετρήσεις μπορούν να αποτελέσουν δείκτη της διέγερσης και της προσοχής, 2) οι διαφοροποιήσεις στη διέγερση και την προσοχή προκαλούν διαφορές στο ΗΕΓ και 3) διαφοροποιήσεις στις παραμέτρους της πειραματικής διεργασίας που προϋποθέτουν γνωστικό φόρτο μπορούν να αποτυπωθούν στο ΗΕΓ (Scerbo et al. 2001). Οι παλαιότερες έρευνες (οι περισσότερες τις δεκαετίες του '60 και '70) δεν κατάφεραν να δώσουν επαρκείς αποδείξεις των παραπάνω υποθέσεων. Για παράδειγμα, ενώ διαφορετικά επίπεδα διέγερσης μπορούν να αντιστοιχούν σε διαφορετικούς βαθμούς της συνολικής επαγρύπνησης (vigilance), μείωση της διέγερσης μπορεί να μη προκαλέσει μείωση της επαγρύπνησης. Από την άλλη πλευρά, μπορεί να συμβεί μείωση της επαγρύπνησης αν και τα επίπεδα διέγερσης παραμένουν σταθερά (Parasuraman 1983, Gale 1977).

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η έρευνα του γνωστικού φορτίου των πιλότων κατά τη διάρκεια πραγματικών ή εικονικών πτήσεων. Ακόμη και ένα απλό σχέδιο πτήσης περιλαμβάνει πολύπλοκες απαιτήσεις από τον πιλότο που αναγκάζεται να

χρησιμοποιεί συνεχώς πληθώρα γνωστικών διαδικασιών οι οποίες δεν μπορούν να εκτιμηθούν με ένα μόνο μετρούμενο μέγεθος (Wilson 2001b). Εκτός από τις υποκειμενικές μεθόδους, χρησιμοποιούνται και φυσιολογικές μετρήσεις. Ο Wilson διαπίστωσε απόκλιση των υποκειμενικών μεθόδων από τις φυσιολογικές μετρήσεις και υπογράμμισε την ανεπάρκεια των υποκειμενικών μεθόδων. Η αύξηση του γνωστικού φορτίου σε σχέση με την προ της πτήσης περίοδο συσχετίστηκε με μείωση του άλφα ρυθμού στις δεξιές κυρίως βρεγματικές περιοχές (ηλεκτρόδια P4, P8, PO4, PO3), αύξηση του δέλτα ρυθμού στις κεντρικές και βρεγματικές περιοχές (C3, Cz, C4, P4), μικρή μείωση του βήτα ρυθμού σε μερικά ηλεκτρόδια και ελάχιστη αύξηση του θήτα ρυθμού σε διάσπαρτες ηλεκτροεγκεφαλογραφικές θέσεις, ενώ σε προγενέστερη έρευνα του ίδιου εργαστηρίου με πιλότους (Hankins & Wilson 1998) η αύξηση του θήτα ρυθμού ήταν σημαντική.

Για τη μέτρηση του γνωστικού φορτίου γενικότερα χρησιμοποιούνται παρόμοιες μέθοδοι με αυτές που χρησιμοποιούνται στις πτήσεις αεροσκαφών, εμπλουτισμένες με συμπληρωματικές μετρήσεις εξειδικευμένες στις πειραματικές συνθήκες, που συνήθως καταγράφουν τα παράσιτα και τις μυϊκές κινήσεις οι οποίες επηρεάζουν τις περισσότερες φυσιολογικές μετρήσεις (Hankins & Wilson 1998, Wilson 2001, Wilson 2002, Wilson & Eggemeier 1991). Ως φυσιολογικές μετρήσεις χρησιμοποιούνται:

- οι καρδιακοί παλμοί που είναι το πιο συνηθισμένο μέτρο. Οι καρδιακοί παλμοί αυξάνουν με την αύξηση του γνωστικού φορτίου (Roscoe 1992).
- η μεταβλητότητα των καρδιακών παλμών, αν και δε θεωρείται εξίσου καλή με το προηγούμενο μέγεθος.
- το ανοιγοκλείσιμο των ματιών, το οποίο τείνει να αυξάνει με την αύξηση των οπτικών απαιτήσεων (Hankins & Wilson 1998, Wilson et al. 1994).
- η ηλεκτρική δραστηριότητα του δέρματος, η οποία περισσότερο χρησιμοποιείται στο εργαστήριο και ελάχιστα σε πραγματικές πτήσεις (Boucsein 1993).
- η ηλεκτρική εγκεφαλική δραστηριότητα (Caldwell & Lewis 1995, Hankins & Wilson 1998, Serman & Mann 1996, Wilson 1993).
- Το ηλεκτρομυογράφημα (EMG) ή άλλες μετρήσεις για τον προσδιορισμό των κινήσεων που συνήθως δημιουργούν παράσιτα.

Οι συμπεριφοριστικές μετρήσεις (όπως όλες οι υποκειμενικές μέθοδοι) δεν είναι πάντα αξιόπιστες (Yeh & Wickens 1988), ενώ οι ψυχο-φυσιολογικές (όπως για παράδειγμα οι χτύποι της καρδιάς, το ανοιγοκλείσιμο των ματιών και ο ρυθμός της αναπνοής), παρέχουν μεν μια αντικειμενικότερη εικόνα, αδυνατούν όμως να περιγράψουν την τοπογραφική και χρονική εγκεφαλική δραστηριότητα (Fournier et al. 1999). Έτσι το ενδιαφέρον για το ΗΕΓ είναι έντονο στον τομέα αυτό.

Ένα σχετικό ΗΕΓ μέγεθος μπορεί να θεωρηθεί ο θήτα ρυθμός, αφού παρατηρείται αύξηση της ισχύος του ρυθμού σε εργασίες με υψηλές νοητικές

απαιτήσεις. Έτσι αναμένεται θήτα συγχρονισμός (ERS) σε καταστάσεις αυξημένου γνωστικού φορτίου. Για παράδειγμα ο Laukka (Laukka et al. 1995) παρατήρησε αύξηση στο μετωπιαίο θήτα ρυθμό με την αύξηση της δυσκολίας κατά τη διάρκεια εξομοίωσης οδήγησης. Ο βρεγματικός θήτα ήταν αυξημένος σε μία δυσκολότερη οπτικο-χωρική διεργασία σε σχέση με μία ευκολότερη λεκτική (Rugg & Dickens 1982), ο αριστερός μετωπιαίος θήτα εμφανίστηκε ισχυρότερος όσο αυξάνονταν οι απαιτήσεις μνήμης (Gundel & Wilson 1992).

Η δυσκολία στην εκτέλεση διεργασιών είναι ένας παράγοντας που τροποποιεί την εγκεφαλική λειτουργία και τους ρυθμούς του ΗΕΓ. Είναι δύσκολο να συνεκτιμηθούν όλες οι έρευνες στον τομέα αυτό (π.χ. van Winsum et al. 1984, Boiten et al. 1992, Dujardin et al. 1995) γιατί υπάρχει μεγάλη διακύμανση στην αντιληπτική οδό και στο είδος της εξέτασης, αλλά το γενικό συμπέρασμα είναι ότι η αύξηση της δυσκολίας προκαλεί αύξηση του άλφα ERD στο πλάτος και στη διάρκεια (Fournier et al. 1999).

Η Fournier και οι συνεργάτες της (1999) σε σύνθετες διεργασίες προσπάθησαν να μετρήσουν το γνωστικό φορτίο και την επίδραση της εκπαίδευσης των υποκειμένων, με φυσιολογικές, συμπεριφοριστικές και υποκειμενικές μετρήσεις καθώς και με μετρήσεις ΗΕΓ στις ζώνες συχνοτήτων «άλφα 1» (8-10 Hz), «άλφα 2» (10-12 Hz) και θήτα (3-7 Hz). Οι μετρήσεις των άλφα ERD και θήτα ERS σε απλές διεργασίες αποδείχθηκαν ικανοποιητικές ενώ σε σύνθετες διεργασίες απέτυχαν να αποδώσουν τις διαφοροποιήσεις στο φόρτο εργασίας. Μια πιθανή αιτία οφείλεται στη γενική καταστολή της άλφα δραστηριότητας που παρατηρήθηκε στο πείραμα, η οποία καλύπτει τον αναμενόμενο άλφα ERD. Αντίστοιχα ο Dujardin και οι συνεργάτες του (1995) παρατήρησαν ότι σε μια διεργασία αρκετά δύσκολη μπορεί να μη φανεί άλφα ERD όταν οι πειραματικές συνθήκες γίνουν ακόμα πιο δύσκολες. Οι μετρήσεις, όμως, της ισχύος του «άλφα 2» ρυθμού σημείωσαν μείωση στις πιο απαιτητικές από τις σύνθετες διεργασίες στις κεντρικο-βρεγματικές περιοχές (πιθανόν εξαιτίας των περισσότερων κινήσεων του αριστερού χεριού), το οποίο συμφωνεί με το γενικότερα αναφερόμενο στη βιβλιογραφία ότι παρατηρείται μείωση της άλφα δραστηριότητας όσο αυξάνεται η δυσκολία σε μία εργασία (π.χ. Earle & Pikus 1982).

Ο προκαλούμενος από γεγονότα αποσυγχρονισμός (ERD) του ανώτερου άλφα υπορυθμού προτείνεται ως δείκτης του φόρτου εργασίας με το επιπλέον πλεονέκτημα ότι μπορεί να υπολογιστεί σε πραγματικό χρόνο (π.χ. Dujardin et al. 1993, Pfurtscheller 1992, Pfurtscheller & Klimesch 1991).

Η πλειοψηφία των ερευνητών ασχολείται κυρίως με τη συσχέτιση του γνωστικού φορτίου μιας διεργασίας με τους άλφα και θήτα ρυθμούς. Ελάχιστες είναι οι προσπάθειες σύνδεσης του βήτα ρυθμού, ο οποίος εμφανίζεται να αφορά περισσότερο στις διαφορετικές πτυχές της γνωστικής επεξεργασίας. Οι Ray και Cole (1985) διαπίστωσαν ότι οι βήτα και άλφα ρυθμοί ανταποκρίνονται διαφορετικά στον τύπο της διεργασίας καθώς επίσης και στον τρόπο της αντίδρασης του υποκειμένου (π.χ. διεργασίες που απαιτούν αποδοχή ή απόρριψη, χωρικές ή λεκτικές διεργασίες). Επίσης ο Fernandez και οι συνεργάτες του (1995), όπως και ο Brookings (1996)

διαπιστώνουν ότι οι αλλαγές στη βήτα δραστηριότητα επηρεάζονται από τη μορφή των πειραματικών διεργασιών, αλλά δε φαίνεται να αντανακλούν αξιόπιστα διαφοροποιήσεις στο γνωστικό φόρτο. Επίσης οι αλλαγές στο γάμα ρυθμό δε φαίνεται να επηρεάζονται από το φόρτο εργασίας, αν και συμμετέχουν σε αρκετές αισθητήριες και γνωστικές λειτουργίες (Basar et al. 2000).

Ο Scerbo και οι συνεργάτες του (Scerbo et al. 2001) υποστηρίζουν ότι οι θήτα και άλφα ρυθμοί θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες του γνωστικού φορτίου, της προσοχής και πιθανόν της απόδοσης του υποκειμένου. Η αύξηση του θήτα στις μετωπικές περιοχές της μέσης γραμμής θεωρείται ως σχετικά συνεπής δείκτης του φόρτου εργασίας και της προσπάθειας για προσοχή. Αντιθέτως, η μείωση του άλφα ρυθμού συσχετίζεται με αύξηση του γνωστικού φορτίου και της προσοχής. Σε αντίθεση με το θήτα, οι τοπογραφικές αλλαγές στον άλφα φαίνεται να αφορούν το είδος των πληροφοριών που το άτομο πρέπει να επεξεργαστεί. Ο ανώτερος άλφα υπορυθμός (π.χ. 10-12 Hz) φαίνεται να σχετίζεται με τις διαφοροποιήσεις του φόρτου εργασίας με μεγαλύτερη συνέπεια από τον κατώτερο άλφα. Η δέλτα δραστηριότητα, όπως και η θήτα, φαίνεται να σχετίζεται αντιστρόφως ανάλογα με το φόρτο εργασίας. Ωστόσο, οι ερευνητές αντιμετωπίζουν με μεγάλη επιφυλακτικότητα το δέλτα ρυθμό γιατί είναι ιδιαίτερα ευαίσθητος στα οφθαλμικά παράσιτα.

## 6.6 ΗΕΓ και συναισθηματικές καταστάσεις

Οι γνωστότερες φυσιολογικές μέθοδοι ανίχνευσης και μέτρησης συναισθηματικών καταστάσεων είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα του δέρματος (GSR - γαλβανική αντίσταση δέρματος) και η πίεση του αίματος (BVP). Από την εποχή των Kimsey (Kimsey et al. 1974) και Gray (1978) που έδειξαν ότι οι συναισθηματικές αλλαγές προκαλούν μετρήσιμες αλλαγές στο ΗΕΓ πολλοί ερευνητές προσπάθησαν να συσχετίσουν συναισθηματικές καταστάσεις, συμπεριφορά και ΗΕΓ. Εκτός από τη μελέτη των κλασικών ρυθμών (όπως των δέλτα και βήτα), η έρευνα των συναισθημάτων συμπεριλαμβάνει και στενότερες ζώνες συχνότητας (Marosi et al. 2002, 2001). Βέβαια, ο χειρισμός των συναισθημάτων σε πειραματικές διαδικασίες παρουσιάζει πολλά προβλήματα και το γεγονός ότι το υποκείμενο συνδέεται με ηλεκτρόδια και άλλες συσκευές στις φυσιολογικές μεθόδους είναι ένας σημαντικός επιπλέον παράγοντας που πρέπει να συνεκτιμηθεί (Bamidis et al. 2004).

Γενικά, από την άποψη της νευροανατομίας, ο προμετωπιαίος φλοιός προτείνεται ως ένα σημαντικό μέρος ενός ευρέως κατανεμημένου συναισθηματικού δικτύου (Damasio 1995, Davidson 1992a, Davidson et al. 1990). Ο προμετωπιαίος φλοιός θεωρείται ως «συναισθηματική λειτουργική μνήμη» και για τις θετικές και για τις αρνητικές συγκινήσεις (Choppin 2000).

Οι περισσότερες έρευνες στις ΗΕΓ μελέτες των συναισθημάτων χρησιμοποιούν μεθοδολογικά τη φασματική ισχύ και την ανάλυση της ασυμμετρίας μεταξύ αριστερού και δεξιού ημισφαιρίου. Συχνά αναφέρονται στον άλφα ρυθμό, κυρίως στις μετωπιαίες περιοχές (π.χ. Davidson 1992a, Davidson 1992b, Davidson & Irwin 1999,

Wheeler et al. 1993). Μερικοί ερευνητές αμφισβητούν την επάρκεια της άλφα ημισφαιρικής ασυμμετρία για τη διάκριση μεταξύ των συναισθηματικών καταστάσεων. Ο Maremmani και οι συνεργάτες του (1992) τόνισαν την επίδραση της προσωπικότητας σε αυτή την ασυμμετρία. Οι Crawford και οι συνεργάτες του (1996) παρατήρησαν αλλαγές μόνο στον κατώτερο άλφα ρυθμό που εντοπίστηκαν στο βρεγματικό περισσότερο παρά στο μετωπιαίο λοβό. Η ανάλυση συνοχής χρησιμοποιείται από ελάχιστους ερευνητές με αντικρουόμενα συχνά αποτελέσματα (Hinrichs & Machleidt 1992, Musha et al. 1997).

Σε όλες σχεδόν τις έρευνες το πρώτο ζητούμενο είναι να διαχωριστούν τα HEG αποσπάσματα που αντιστοιχούν σε συναισθηματικά φορτισμένη κατάσταση από τα ουδέτερα αποσπάσματα και σε δεύτερη φάση να διαχωριστούν θετικά και αρνητικά (ευχάριστα και δυσάρεστα) συναισθήματα ή ακόμη και να ανιχνευθούν συγκεκριμένα συναισθήματα, όπως χαρά, θλίψη, θυμός, οργή, έξαψη, γαλήνη, έκπληξη, άγχος, ανησυχία και άλλα.

### **Συναισθηματική φόρτιση – ουδέτερη συναισθηματικά κατάσταση**

Αρκετές έρευνες συνδέουν τη μορφή του HEG (κυρίως στις πρόσθιες περιοχές) με τη συναισθηματική κατάσταση του υποκειμένου. Οι Macaulay και Edmonds (2004) αναφέρουν συσχέτισμό (μείωση) της μετωπιαίας βήτα δραστηριότητας και του αισθήματος ανησυχίας, κατά τη διάρκεια περιόδων ανάπαυσης (όταν δεν εκτελείται καμία προφανής γνωστική διεργασία), ενώ δε βρέθηκε κανένας συσχέτισμός κατά τη διάρκεια πραγματοποίησης γνωστικών διεργασιών.

Ο Müller (Müller et al. 2000) διαπίστωσε ότι η επεξεργασία συναισθηματικά φορτισμένων εικόνων επιφέρει αλλαγές στο γάμα ρυθμό του HEG (30-50 Hz) ανάλογες με την ένταση του ερεθίσματος. Οι αλλαγές (αύξηση της ισχύος) ήταν εντονότερες γύρω στα 40 Hz και τοπογραφικά παρατηρήθηκαν σε πρόσθιες και οπίσθιες περιοχές του κροταφικού λοβού στα ηλεκτρόδια F3/F4, C3/C4 και P3/P4 για τις συναισθηματικά φορτισμένες εικόνες. Ενώ στις ουδέτερες συναισθηματικά εικόνες το κέντρο της γάμα δραστηριότητας παρατηρήθηκε σε βρεγματο-ινιακά ηλεκτρόδια, που υποδεικνύουν δραστηριότητα σχετική με την οπτική επεξεργασία πληροφοριών. Γενικά η παρουσία του συναισθήματος συνοδεύτηκε με σημαντική αύξηση της ισχύος του γάμα ρυθμού (περίπου 40 Hz) με σημαντικότερη ενεργοποίηση του δεξιού ημισφαιρίου, όπως ήταν αναμενόμενο. Ωστόσο ο ερευνητής αναφέρει ότι η αύξηση για τις ευχάριστες εικόνες ήταν υψηλότερη στο δεξιό ημισφαίριο, ενώ για τις δυσάρεστες στο αριστερό.

Ο Choprin (2000) συνοψίζοντας προηγούμενες έρευνες αναφέρει ότι η επίδραση του συναισθήματος στο EEG αφορά σε αύξηση στη βήτα σε σχέση με την άλφα δραστηριότητα στο μετωπικό λοβό, και αύξηση στη βήτα δραστηριότητα στο βρεγματικό λοβό. Αρκετές άλλες μελέτες υποστηρίζουν μια γενική αύξηση στη βήτα δραστηριότητα (ανεξάρτητα από ημισφαίριο) σε θετικά και αρνητικά συναισθήματα (Crawford et al. 1996, Lopes da Silva 1991 & 2000, Davidson 1992, Dawson 1994,

Pascalis 1998, Davidson & Irwin 1999, Jacobs et al. 1996, Mundy-Castle 1951, Oken & Salinsky 1992).

Η αυξημένη ενεργοποίηση του μετωπικού λοβού στις υψηλές συναισθηματικές καταστάσεις διέγερσης υποδεικνύεται και από μείωση της άλφα ισχύος (Choppin 2000).

Βέβαια ο βήτα ρυθμός εμπλέκεται σε αρκετές γνωστικές διεργασίες, όπως στη διέγερση και την προσοχή (Lopes da Silva 1991 & 2000). Έτσι η αύξηση του βήτα ρυθμού (25-30 Hz) που παρατηρείται στο βρεγματικό λοβό κατά τη συναισθηματική φόρτιση μπορεί να αποδοθεί και σε δευτερογενείς διαδικασίες διέγερσης και προσοχής.

Ο Choppin (2000) σημειώνει επίσης μια αυξανόμενη βήτα συνοχή μεταξύ αριστερών και δεξιών βρεγματο-ινιακών λοβών, την οποία, σε συνδυασμό με την παρατήρηση του Lang για το συσχετισμό του ινιακού φλοιού με τη συναισθηματική διέγερση, ερμηνεύει με τη συμπληρωματική λειτουργία του ινιακού και του βρεγματικού φλοιού (Lang et al. 1998).

### **Χαρά, λύπη**

Όσο αφορά στο συναίσθημα της χαράς παρατηρήθηκε μια σημαντικά υψηλότερη συνοχή F7 και F8 στον κεντρικό άλφα ρυθμό, σε σχέση με τη θλίψη. Αυτή η παρατήρηση επιβεβαιώνει τα συμπεράσματα των Hinrichs και Machleidt (1992), τα οποία υπογραμμίζουν μείωση της άλφα συνοχής κατά τη διάρκεια της θλίψης και αύξηση κατά τη διάρκεια της χαράς. Αυτή η επίδραση παρατηρήθηκε σχεδόν αποκλειστικά μεταξύ F7 και F8, πιθανώς επειδή είναι τα πιο κοντινά ηλεκτρόδια στο επιχείλιο σύστημα.

Στο βήτα ρυθμό και το συναίσθημα της χαράς, παρατηρήθηκε στα περισσότερα υποκείμενα αυξημένη συνοχή μεταξύ των βρεγματικών ηλεκτροδίων (στις συχνότητες 27.5-30 Hz) που συνοδεύθηκε από αύξηση της ισχύος της ίδιας ζώνης συχνοτήτων στο δεξιό βρεγματικό φλοιό. Οι Schellberg (Schellberg et al. 1992) και Stenberg (1992) παρατήρησαν υψηλότερη κροταφική βήτα δραστηριότητα στο δεξιό ημισφαίριο στα θετικά σε σχέση με τα αρνητικά συναισθήματα.

Αλλαγές της ισχύος άλλων ρυθμών μεταξύ χαράς και θλίψης παρουσίασαν μεγάλη μεταβλητότητα μεταξύ των υποκειμένων, το οποίο πιθανόν να σημαίνει ότι η ανάλυση της ισχύος μόνο δεν είναι επαρκής για να διακρίνει θετικά και αρνητικά συναισθήματα.

### **Άγχος, ανησυχία, απογοήτευση**

Υπάρχουν πολλές μέθοδοι εκτίμησης της κατάστασης άγχους (anxiety), οι οποίες προέρχονται από την ψυχολογία (ερωτηματολόγια), τη φυσιολογία (καταγραφή φυσιολογικών μεγεθών όπως καρδιακοί παλμοί, αντίσταση δέρματος, θερμοκρασία δέρματος και ΗΕΓ) ή καθαρά συμπεριφοριστικές μέθοδοι (που προκύπτουν από παρατηρήσεις του υποκειμένου, όπως κινήσεις και ανοιγοκλείσιμο ματιών, κινήσεις του σώματος, εκφράσεις του προσώπου, κ.ά).

Αρκετοί ερευνητές (π.χ. Field et al. 1996, Petruzzello & Landers 1994) συσχετίζουν το ΗΕΓ (στη μετωπιαία κυρίως περιοχή) με την ανησυχία ως συναισθηματική κατάσταση.

Η απογοήτευση ή η διάψευση ελπίδων, αν και δεν είναι βασικό συναίσθημα όπως ο θυμός, η χαρά και η λύπη, έχει μελετηθεί περισσότερο ως σύνθετο αρνητικό συναίσθημα (Bamidis et al. 2004).

## **6.7 Διαφοροποιήσεις από το κανονικό ΗΕΓ**

### **6.7.1 Εξατομικευμένος καθορισμός των ορίων συχνοτήτων των ρυθμών**

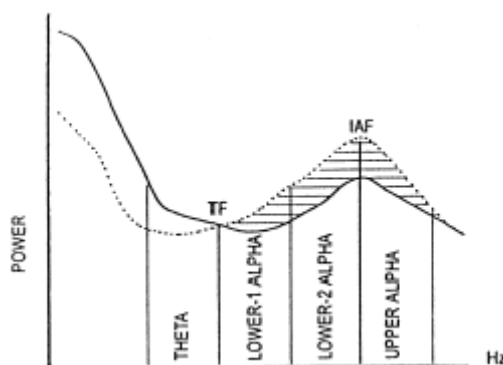
Έχει προταθεί η άποψη ότι τα προαναφερθέντα όρια στις ζώνες συχνοτήτων άλφα και θήτα δεν είναι σταθερά, αλλά αλλάζουν από άτομο σε άτομο ανάλογα με την ηλικία, τις νευρολογικές παθήσεις, την ικανότητα της μνήμης, το μέγεθος του εγκεφάλου και τις απαιτήσεις της εξέτασης (Klimesch 1999). Ο Klimesch και οι συνεργάτες του έχουν διαμορφώσει ένα τρόπο εξατομικευμένου υπολογισμού, που στηρίζεται στον αποσυγχρονισμό των άλφα κυμάτων και συγχρονισμό των θήτα (ή αντίστροφα) για κάποιες πειραματικές διαδικασίες όπου ο εγκέφαλος ενεργοποιείται (ή χαλαρώνει).

Στο σχήμα 6-17 φαίνεται ένα παράδειγμα αυτού του υπολογισμού των ορίων των ρυθμών. Ο όρος IAF (individual alpha frequency) χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη μέγιστη τιμή του φάσματος ισχύος στην περιοχή συχνοτήτων του άλφα ρυθμού (7.5 με 12.5 Hz) και στα δύο φάσματα ισχύος (χαλάρωσης και εγρήγορσης), ενώ TF (transition frequency) είναι το σημείο που τέμνονται οι γραφικές παραστάσεις των δύο φασμάτων και σηματοδοτεί τη μετάπτωση από την άλφα συχνότητα στη θήτα. Τα μεγέθη TF και IAF διαφέρουν από άτομο σε άτομο και βάση αυτών υπολογίζονται τα εξατομικευμένα όρια συχνοτήτων για το θήτα και άλφα ρυθμό καθώς και για τους υπορυθμούς του άλφα, οι οποίοι εκτείνονται περίπου 3.5-4 Hz κάτω από το IAF και περίπου 1-1.5 Hz πάνω. Οι διαφορές του TF από άτομο σε άτομο είναι αρκετά μεγάλες (κυμαίνονται από 4 μέχρι 7 Hz) και ο εξατομικευμένος καθορισμός των ορίων του θήτα ρυθμού αποκτά κρίσιμη σημασία, αφού χωρίς αυτόν υπάρχει μεγάλη πιθανότητα ο θήτα συγχρονισμός να υπερκαλύπτεται από τον άλφα αποσυγχρονισμό (κυρίως στις συχνότητες κοντά στο TF) (Klimesch 1999, Doppelmayr 1998a).

Ο Klimesch χρησιμοποιεί το ακόλουθο φυσιολογικό κριτήριο για να καθορίσει τα όρια του άλφα και θήτα ρυθμού: αν η ισχύς του ΗΕΓ αποσυγχρονίζεται οπουδήποτε κοντά στα 7 Hz, τότε αυτή η συχνότητα αντιστοιχεί σε άλφα ρυθμό, ακόμη και αν βρίσκεται στα όρια του κλασικού θήτα ρυθμού.



Ο προαναφερόμενος τρόπος υπολογισμού των ορίων των άλφα και θήτα ρυθμών δε δίνει σαφή κριτήρια για τον υπολογισμό του κάτω ορίου του θήτα και του άνω ορίου του άλφα ρυθμού. Ο Klimesch προτείνει γενικότερα στενά όρια για τους ρυθμούς, ώστε να αναδεικνύονται οι αλλαγές ισχύος, που σε άλλη περίπτωση υπάρχει ο κίνδυνος της επικάλυψης. Συγκεκριμένα για το κάτω όριο του θήτα ρυθμού προτείνει 2 Hz κάτω από το TF, ενώ για το άνω όριο του άλφα ρυθμού 1.5 Hz περίπου πάνω από το IAF.



Σχήμα 6-17. Εξατομικευμένος καθορισμός των ορίων για τις άλφα και θήτα περιοχές, συγκρίνοντας το φάσμα ισχύος σε περίοδο χαλάρωσης (διακεκομμένη γραμμή) με περίοδο γνωστικής ενεργοποίησης (συνεχόμενη γραμμή) (Klimesch 1999).

### 6.7.2 Ηλικία

Ο άλφα ρυθμός πρωτοεμφανίζεται στην ηλικία των 4 μηνών με μέση συχνότητα περίπου 4 Hz, η οποία αυξάνεται στα 6 Hz στους 12 μήνες, στα 8 Hz στα τρία έτη, φτάνει τα 10 Hz στο δέκατο έτος και παραμένει στις ίδιες περίπου τιμές για όλη τη διάρκεια της ενηλικίωσης, για να παρουσιάσει μικρή κάμψη στα γηρατειά (αν και υγιείς και εύρωστοι υπερήλικες είναι δυνατό να μη παρουσιάσουν αξιοσημείωτη μείωση). Οι τιμές που μόλις αναφέρθηκαν έχουν ενδεικτική μάλλον αξία, αλλά όλοι οι ερευνητές συμφωνούν για τη μορφή των αλλαγών που επιφέρει η ηλικία στον άλφα ρυθμό (Hughes 1987, Niedermeyer 1999c, Somsen et al. 1997).

Μερικοί ερευνητές χρησιμοποιούν μαθηματικές εκφράσεις για τον υπολογισμό των ορίων των συχνοτήτων σε σχέση με την ηλικία, αλλά δεν έχουν ευρεία αποδοχή. Παρόλο που η μεταβολή του άλφα ρυθμού δεν έχει γενικά γραμμική σχέση με την ηλικία, ο Körguner παρουσίασε μία γραμμική σχέση που συνδέει την κορυφή συχνοτήτων του άλφα ρυθμού με την ηλικία και έχει ισχύ για όλη την περίοδο της ενηλικίωσης (Körguner et al. 1984):

$$\text{κορυφή συχνοτήτων του άλφα ρυθμού} = 11.95 - (0.053 * \text{ηλικία})$$

Υπάρχουν, όμως, και διαφορετικές μελέτες που υποστηρίζουν ότι η μείωση που παρατηρείται στις μεγαλύτερες ηλικίες δεν οφείλεται τόσο στην ηλικία αυτή καθαυτή, αλλά σε νευρολογικές παθήσεις που εμφανίζονται παράλληλα (Hubbard et al. 1976, Torres et al. 1983) ή σε μορφωτικές διαφορές (Harmony et al. 1990).

Εκτός από αλλαγές στη συχνότητα, υπάρχουν αλλαγές και στο φάσμα ισχύος του ΗΕΓ. Ο αναπτυγμένος εγκέφαλος ενός ενήλικα (περίπου μετά την ηλικία των 16 ετών) χαρακτηρίζεται από αύξηση στην απόλυτη ισχύ στην «ανώτερη άλφα» περιοχή, συνοδευόμενη από μείωση στις θήτα και δέλτα περιοχές σε σχέση με ένα λιγότερο ανεπτυγμένο εγκέφαλο ενός παιδιού (Klimesch 1999).

Έρευνες με προκλητά δυναμικά επίσης υπογραμμίζουν τη διαφοροποίηση των εγκεφαλικών ρυθμών με την ηλικία. Η McEvoy για παράδειγμα (McEvoy et al. 2001), εξετάζοντας τα προκλητά δυναμικά P300 και P200 σε διεργασίες χωρικής μνήμης εργασίας με τρία διαφορετικά ηλικιακά δείγματα (με μέσους όρους 21, 47 και 69 έτη) διαπίστωσε εκτός από διαφορές πλάτους και χρόνου (π.χ. οι νεότεροι είχαν μικρότερο χρόνο απόκρισης) και διαφορές στο φάσμα του ΗΕΓ. Τα νεότερα υποκείμενα παρουσίασαν αύξηση στο μετωπικό θήτα ρυθμό της μέσης γραμμής με την αυξανόμενη δυσκολία, ενώ οι μεγαλύτερες ηλικίες όχι, ενώ τοπολογικά τα γηραιότερα άτομα φαίνεται να χρησιμοποιούν στρατηγικές που μετωπικές περιοχές σε αντίθεση με τα νεότερα άτομα εμπλέκουν περισσότερο βρεγματικές περιοχές (που συσχετίζονται με τη χωρική επεξεργασία).

### 6.7.3 Άλλες διαφοροποιήσεις

Παρόμοια ευρήματα με την επίδραση της ηλικίας στους ρυθμούς του ΗΕΓ προκύπτουν και από άλλες έρευνες που υποστηρίζουν ότι παιδιά με ελλιπή εκπαίδευση (Harmony et al. 1990), με δυσκολίες ανάγνωσης και γραφής (Harmony et al. 1995), με σοβαρά προβλήματα στην ορθογραφία (Byring et al. 1991) ή με άλλου τύπου νευρολογικές ανωμαλίες (Schmid et al. 1997) εμφανίζουν σημαντικά περισσότερη δέλτα και θήτα ισχύ και λιγότερη άλφα.

Επίσης οι περισσότερες έρευνες στη νοητική υστέρηση και την παράνοια δείχνουν γενικά αύξηση ισχύος στη θήτα περιοχή, μείωση στην άλφα περιοχή, εξασθένηση του άλφα αποσυγχρονισμού και μετακίνηση της άλφα δραστηριότητας από τις οπίσθιες σε πιο πρόσθιες περιοχές (Klimesch 1999:178).

Βέβαια, αν επαναυπολογίσουμε τα όρια των ρυθμών σύμφωνα την αρχή του εξατομικευμένου καθορισμού των ρυθμών του ΗΕΓ, οι διαφορές σε ισχύ των προαναφερθέντων ευρημάτων είναι δυνατό να αμφισβητηθούν. Παρά τις διαφωνίες όμως, η βασική τάση των αλλαγών που επιφέρει η ηλικία και οι προαναφερθείσες αποκλίσεις από τη «φυσιολογική» κατάσταση είναι αυτή που περιγράφηκε νωρίτερα.

Πολλές μελέτες ασχολήθηκαν με τις αλλαγές που επιφέρει στο ΗΕΓ ο έμμηνος κύκλος. Οι αλλαγές δεν είναι ιδιαίτερα σημαντικές, επηρεάζουν όμως τους θήτα, άλφα και βήτα ρυθμούς στη συχνότητα και το πλάτος τους (Harding & Thompson 1976).

Τα δύο φύλα εμφανίζουν μικρές διαφορές στο ΗΕΓ (Gundel 1984). Ωστόσο μερικοί ερευνητές αναγνωρίζουν διαφορές μεταξύ των φύλων σε διάφορες γνωστικές λειτουργίες, ειδικά στην επεξεργασία των μορφών και τη γλώσσα (π.χ. Halpern et al. 1992). ΗΕΓ έρευνες με ανάλυση συνοχής έδειξαν διαφορετικά πρότυπα δια- και ενδο- ημισφαιρικών συσχετισμών μεταξύ ανδρών και γυναικών (Corsi-Cabrera et al. 1997, Rescher & Rappelsberger 1999). Ο Skrandies διαπίστωσε μεγαλύτερη συνολική ισχύ στις γυναίκες σε διεργασίες αναγραμματισμών και νοερής αριθμητικής, ενώ κατά τη διάρκεια της οπτικής επεξεργασίας των πληροφοριών υπήρξαν τοπογραφικές διαφορές σχετιζόμενες με τον τύπο και τη δυσκολία της διεργασίας (Skrandies et al. 1999). Ο Robinson (1998) υποστήριξε ότι οι διαφορές των δύο φύλων στην προσωπικότητα και τη νοημοσύνη μπορεί να οφείλονται σε διαφορές στην εγκεφαλική διέγερση. Επιπλέον οι αναφορές σε ΗΕΓ διαφοροποιήσεις ανάμεσα στα δύο φύλα στηρίζονται σε ανατομικές διαφορές, όπως διαφορές στο μέγεθος του εγκεφάλου (Noroulos 2000) και στον αριθμό ή την πυκνότητα των νευρώνων του φλοιού (Rabinowicz et al. 1999). Ωστόσο στις περισσότερες έρευνες οι διαφορές μεταξύ των φύλων δεν αξιολογούνται. Αν και ανατομικές διαφορές φαίνεται να υπάρχουν, η λειτουργική έννοια αυτών των διαφορών προς το παρόν δεν είναι γνωστή.

Εκτός από τις διαφοροποιήσεις που αναφέρθηκαν πολλές χημικές και φαρμακολογικές ουσίες μπορούν να επηρεάσουν το ΗΕΓ. Στην παράγραφο αυτή αναφέρονται μόνο αυτές που πιθανό να συναντηθούν στα υποκείμενα της έρευνας, όπως η χρήση ηρεμιστικών φαρμάκων που προκαλεί αλλαγές παρόμοιες με την ηλικία και τις νευρολογικές ανωμαλίες (Feshchenko et al. 1997) και η χρήση αντισυλληπτικών χαπιών που φαίνεται να μην επηρεάζουν το ΗΕΓ, αν και οι έρευνες παρουσιάζουν αντικρουόμενα συμπεράσματα. Η καφεΐνη θεωρείται από παλαιότερες έρευνες ότι αυξάνει τη διέγερση και τροποποιεί το ΗΕΓ προς μεγαλύτερες συχνότητες και με χαμηλότερο εύρος (Gibbs & Maltby 1943). Συνήθως παρατηρείται μείωση της ισχύος των ρυθμών θήτα και κατώτερο άλφα (6-9 Hz) στη δραστηριότητα του υπόβαθρου (Bruce et al. 1986, Etevenon et al. 1989, Newman et al. 1992, Saletu et al. 1987, Kenemans and Lorist 1995). Ο Gevins δεν παρατήρησε διαφορές σε κατάσταση χαλάρωσης, ενώ σημειώθηκε μείωση της άλφα ισχύος κατά την επεξεργασία κάποιας διεργασίας (Gevins et al. 2002). Ο Jones παρατήρησε αύξηση της θήτα ισχύος (Jones et al. 2000). Οι Lorist και Tops (2003) αν και παραδέχονται την επίδραση της καφεΐνης στο ΗΕΓ, υποστηρίζουν ότι είναι αδύνατο να ανιχνευθούν διαφοροποιήσεις σε επιμέρους γνωστικές διαδικασίες.

## **6.8 Μαγνητικές και αιμοδυναμικές πληροφορίες**

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 1 οι σύγχρονες απεικονιστικές τεχνικές της εγκεφαλικής λειτουργίας (π.χ. fMRI, PET), στηρίζονται κυρίως σε πληροφορίες αιμάτωσης και οξυγόνωσης των εγκεφαλικών δομών. Το πώς αυτές οι πληροφορίες

μπορούν να συσχετιστούν ή αντιστοιχηθούν με ηλεκτρικές (HEΓ) και μαγνητικές (MEΓ) πληροφορίες αποτελεί ακόμη ανοικτό ερευνητικό πεδίο. Το μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο συνδυασμός fMRI και HEΓ.

Η βασική υπόθεση των αιμοδυναμικών τεχνικών είναι ότι η μεγαλύτερη ροή αίματος (ή οξυγόνωση) σε ορισμένες περιοχές του εγκεφάλου σε σχέση με άλλες υποδεικνύει ενεργοποίηση αυτών των περιοχών. Ενώ η κατανάλωση οξυγόνου και η ροή του αίματος παρουσιάζουν μια ομοιογένεια σε κατάσταση χαλάρωσης (Raichle et al. 2001).

Σε παράλληλη έρευνα HEΓ και fMRI παρατηρήθηκε μείωση της άλφα ισχύος στις πρόσθιες και βρεγματικές περιοχές του φλοιού με ταυτόχρονη αύξηση της αιμοδυναμικής δραστηριότητας (Laufs et al. 2003, Corbetta & Shulman 2002). Αυτή η παρατήρηση συμφωνεί με παλιότερη υπόθεση του Mulholland που διαφοροποιεί την έννοια «εργαζόμενος φλοιός» (ως ποιο κοντινό στην έννοια «ενεργοποίηση του φλοιού» στις αιμοδυναμικές και μεταβολικές μελέτες) με την έννοια «μη εργαζόμενος φλοιός», η οποία είναι συνώνυμη με την «αδράνεια» που χαρακτηρίζει εγκεφαλικές περιοχές που εμφανίζουν τοπικό συγχρονισμό στους ρυθμούς άλφα και κάτω βήτα (Pfurtscheller et al. 1996a, Mulholland 1995).

Οι περισσότεροι, όμως, ερευνητές δε θεωρούν ότι η σύνδεση μεταξύ του φάσματος συχνοτήτων του HEΓ και των αιμοδυναμικών και μεταβολικών δεικτών είναι άμεση (Laufs et al. 2003). Ένας σημαντικός λόγος για την επιφυλακτικότητα αυτή είναι και η ελλιπής γνώση μας για την προέλευση και δημιουργία των ρυθμών του HEΓ. Οι Laufs et al. υποστηρίζουν ότι η γνωστική λειτουργία είναι μια μεταβλητή που επηρεάζει και το HEΓ και την fMRI και ότι η προσοχή για παράδειγμα ή η λειτουργία του υπόβαθρου (που χρησιμοποιείται συνήθως ως βασική γραμμή αναφοράς) ερμηνεύονται με διαφορετικό τρόπο από το HEΓ και την fMRI αντίστοιχο με τη φυσιολογία που στηρίζει την κάθε μέθοδο.

## 6.9 Προβλήματα και περιορισμοί

Οι περιορισμοί που εμφανίζονται στη χρήση του HEΓ για τη μελέτη γνωστικών λειτουργιών και τα πιθανά προβλήματα προκύπτουν αφενός από την ίδια τη μορφή των HEΓ καταγραφών και αφετέρου από την προσπάθεια σύνδεσης των χαρακτηριστικών του HEΓ με εγκεφαλικές λειτουργίες και αλλαγές στη συμπεριφορά.

Έτσι, η μεγάλη μεταβλητότητα στις παραμέτρους των ερευνών που χρησιμοποιούν HEΓ μετρήσεις έχει ως αποτέλεσμα αρκετές διαφοροποιήσεις στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Παραδείγματα τέτοιων διαφοροποιήσεων είναι ο αριθμός και η θέση των ηλεκτροδίων, το είδος καταγραφής (μονοπολική ή διπολική) καθώς και η επιλογή του ηλεκτρόδιου αναφοράς, η μεγάλη ποικιλία μεθόδων επεξεργασίας σήματος και εξαγωγής χαρακτηριστικών, η διάκριση ακόμη και στην

ισχύ του ΗΕΓ σε απόλυτη και σχετική, οι διαφοροποιήσεις στον καθορισμό των ορίων των ρυθμών (Scerbo et al. 2001). Εκτός από τον καθορισμό των ορίων των ρυθμών, στη μελέτη των γνωστικών λειτουργιών προτείνεται από ορισμένους ερευνητές κατακερματισμός των κλασικών ρυθμών σε υπορυθμούς, χρησιμοποίηση στενότερων ζωνών συχνοτήτων ανάλογα με τη λειτουργία που ερευνάται κάθε φορά, ή ακόμη εξατομικευμένος καθορισμός των συχνοτήτων των ρυθμών (π.χ. Klimesch 1999). Ένας επιπλέον παράγοντας ασάφειας και ασυνέπειας των αποτελεσμάτων είναι ο διαφορετικός τύπος των ερεθισμάτων και των πειραματικών διεργασιών (π.χ. οπτικός ή ακουστικός τρόπος αναπαράστασης που χρησιμοποιείται στο πείραμα).

Πιθανός περιορισμός στις ΗΕΓ μετρήσεις είναι και η αδυναμία να μελετηθούν μη κυματικά χαρακτηριστικά σε συνδυασμό με την αδυναμία να υπάρξουν διαφορετικές μετρήσεις σε πολύ κοντινές περιοχές (Konig et al. 1995, Newsome et al. 1990).

Επιπλέον οι διαφωνίες για το ποια ΗΕΓ χαρακτηριστικά μπορούν να συνθέσουν διέγερση ή προσοχή (Scerbo et al. 1998) προκαλούν ασάφεια. Τυπικά οι αλλαγές στο ΗΕΓ στους θήτα, άλφα και βήτα ρυθμούς συνδέονται με μείωση της διέγερσης. Δυστυχώς, δεν υπάρχει μια καθολική συμφωνία όχι μόνο για τα όρια των περιοχών συχνοτήτων των ρυθμών, αλλά ούτε για το ποια χαρακτηριστικά του ΗΕΓ σε αυτές τις ζώνες αντιστοιχούν σε διαφορετικά επίπεδα επαγρύπνησης. Η ασυμφωνία αυτή οφείλεται εν μέρει στην υπόθεση ότι η διέγερση είναι ένα μονοδιάστατο μέγεθος που μεταβάλλεται από την κατάσταση του ύπνου ως τα υψηλότερα επίπεδα της επαγρύπνησης. Αν όμως υπάρχουν στην πραγματικότητα ποιοτικά διαφορετικές καταστάσεις διέγερσης που αντιστοιχούν σε διαφορετικά πρότυπα ΗΕΓ, τότε η προσπάθεια να προσδιοριστεί μια απλή σχέση μεταξύ διέγερσης, προσοχής, γνωστικού φόρτου και απόδοσης μπορεί να αποδειχθεί αρκετά δύσκολη (Scerbo et al. 2001, Streitberg et al. 1987).

Ο Scerbo και οι συνεργάτες του θέτουν την καλή ή κακή επίδοση ως μία επιπλέον παράμετρο που επηρεάζει τη σχέση ΗΕΓ και συμπεριφοράς (Scerbo et al. 2001). Καθώς οι απαιτήσεις μιας διεργασίας αυξάνονται, η προσπάθεια του υποκειμένου να διατηρήσει την ίδια επίδοση μπορεί να απαιτήσει πύο υψηλά επίπεδα φυσιολογικής ενεργοποίησης και ενισχυμένη προσοχή (Hockey 1997). Όσο η επίδοση παραμένει περίπου σταθερή, οι αλλαγές στις φυσιολογικές μετρήσεις δεν μπορούν να συσχετιστούν άμεσα με το φόρτο εργασίας. Κατά συνέπεια, ενώ το ΗΕΓ μπορεί να παρέχει ένα αντικειμενικό μέτρο του νοητικού φόρτου εργασίας, χρειάζεται μεγάλη προσοχή για να διασταυρωθούν αυτές οι πληροφορίες με παρατηρήσεις της συμπεριφοράς.

Επιπλέον από τις προαναφερθέντες επιφυλάξεις, υπάρχει δυσπιστία για την εφαρμογή των παρατηρήσεων του ΗΕΓ (αλλά και γενικότερα των παρατηρήσεων από τη μελέτη του εγκεφάλου) στην εκπαιδευτική διαδικασία (Bauer 1997).

Σημαντικός παράγοντας για την αξιοπιστία της ερμηνείας των αποτελεσμάτων είναι η μεταβλητότητα από υποκείμενο σε υποκείμενο, η οποία μπορεί να είναι μεγάλη σε σημείο που να εμφανίζονται τελείως διαφορετικά πρότυπα ΗΕΓ

δραστηριότητας στις ίδιες διεργασίες (Fitzgibbon et al. 2004). Μια τέτοια μεταβλητότητα μπορεί εν μέρει να εξηγηθεί με τις διαφορετικές στρατηγικές που αναπτύσσουν διαφορετικά υποκείμενα για να διεκπεραιώσουν την ίδια διεργασία.

Το κρίσιμο σημείο παραμένει πάντα η ερμηνεία των παρατηρήσεων. Για παράδειγμα στις σχετικές έρευνες τα προικισμένα υποκείμενα εμφανίζουν αυξημένη άλφα δραστηριότητα, η οποία συνήθως ερμηνεύεται ως λιγότερη νοητική προσπάθεια που απαιτείται για τη διεξαγωγή των διεργασιών του πειράματος. Ωστόσο, η ευφυΐα δεν αποτελεί συνάρτηση του πόσο σκληρά δουλεύει ο εγκέφαλος, αλλά περισσότερο του πόσο αποδοτικά δουλεύει (Gerlic & Jaušovec 1999). Οι O'Boyle et al. (1995) για παράδειγμα παρατήρησαν ότι στα προικισμένα υποκείμενα ενεργοποιήθηκαν περισσότερο οι μετωπιαίες περιοχές, ενώ στα υποκείμενα με συνηθισμένη επίδοση οι κροταφικές.

## 6.10 Σύνοψη

Από την ανάλυση που προηγήθηκε στο κεφάλαιο 1 και το πλήθος των πειραματικών δεδομένων που τη στηρίζουν, συνάγεται ότι οι ρυθμοί του ΗΕΓ και κυρίως οι αλλαγές τους στο χώρο και το χρόνο μπορούν να συσχετιστούν με απλές αλλά και πιο σύνθετες εγκεφαλικές λειτουργίες. Αυτές οι αλλαγές στη συχνότητα του ΗΕΓ ή ρυθμοί, αλλά και ένα πλήθος άλλων παραμέτρων που τις συνοδεύουν (αλλαγή πλάτους, ταυτόχρονη ή με καθυστέρηση εκδήλωση φαινομένων, διαφορά φάσης ταλαντώσεων, διάρκεια αλλαγών, τοπογραφική εξάπλωση στο ένα ή τα δυο ημισφαίρια) στοιχειοθετούν την ύπαρξη και λειτουργία ενός πολυσύνθετου κώδικα. Οι προσεγγίσεις που προσπαθούσαν να συνδέσουν έναν εγκεφαλικό ρυθμό με συγκεκριμένες γνωστικές διαδικασίες θεωρούνται σήμερα παρωχημένες. Στη θέση τους εμφανίστηκε ένας εγκέφαλος με πολύ μεγάλη ποικιλία ηλεκτρικών δυναμικών που δημιουργούνται τοπικά και εμφανίζονται σε διαφορετικές εγκεφαλικές περιοχές ενώ παράλληλα διαμορφώνονται από διαφορετικές γνωστικές διαδικασίες (Kahana 2006). Στο ερώτημα του Stryker «είναι η γιαγιά μια ταλάντωση;» (Stryker 1989) ο Basar προτείνει ως απάντηση την υπόθεση ότι σύνθετα ερεθίσματα (όπως η εικόνα της γιαγιάς) προκαλούν πολλαπλές αλλαγές σε όλους τους ρυθμούς του ΗΕΓ σε επιλεκτικά κατανεμημένα δίκτυα και σχηματισμούς νευρώνων (Basar et al. 1999).

Όσο αφορά στη συσχέτιση των ρυθμών με γνωστικές λειτουργίες, αναφέρεται επιγραμματικά η σύνδεση της μνήμης εργασίας με τη θήτα δραστηριότητα, ο ρόλος των τριών άλφα υπορυθμών (η «άλφα-1» περιοχή συχνοτήτων για τις γνωστικές διαδικασίες που χαρακτηρίζονται ως κατάσταση ετοιμότητας ή επαγρύπνησης, η «άλφα-2» με απαιτήσεις προσοχής και η «ανώτερη άλφα» με σημασιολογικές μνημονικές διαδικασίες), ο βήτα ρυθμός που συγχρονίζεται κατά τη διάρκεια κινητικών εργασιών και αποσυγχρονίζεται αμέσως μετά την κίνηση, ενώ παρατηρείται και σε σχέση με κινήσεις άλλων ή με φανταστικές κινήσεις. Τέλος οι ψηλότερες περιοχές συχνοτήτων συσχετίζονται με ταχύτερες διεργασίες επεξεργασίας

αισθητηριακών κυρίως πληροφοριών. Θεωρητικά οι ρυθμοί με χαμηλές συχνότητες δεν είναι ίσως κατάλληλοι για να παίζουν το ρόλο σημάτων που καταγράφουν γνωστικές διαδικασίες που πραγματοποιούνται με μεγάλη ταχύτητα, σε αντίθεση με τους πιο γρήγορους ρυθμούς (με συχνότητα μεγαλύτερη από 20 Hz). Πράγματι οι άλφα και θήτα ρυθμοί φαίνεται να εμπλέκονται σε λειτουργίες μακροχρόνιας επεξεργασίας και ανάκτησης της πληροφορίας, ενώ οι ταχύτεροι ρυθμοί πιθανά να συμμετέχουν στο συντονισμό και επικοινωνία πολλαπλών εγκεφαλικών δομών που υλοποιούν πολυπλοκότερες γνωστικές λειτουργίες ή λειτουργίες που πρέπει να παρουσιάζουν άμεση απόκριση (Krause et al. 2000, Krause 2006).

Εκτός από τη συνεχόμενη παραγωγή ρυθμών, η οποία ονομάζεται αυθόρμητη ή συνεχόμενη δραστηριότητα, πλήθος εξωτερικών γεγονότων και εσωτερικών συμβάντων συνοδεύονται από «προκαλούμενες από γεγονότα αλλαγές» στους ρυθμούς του ΗΕΓ, που μπορεί να εμφανίζονται περίπου ταυτόχρονα με το γεγονός και με σύμπτωση ή όχι φάσης σε κάθε επανάληψη του ερεθίσματος. Δύο τέτοιες αλλαγές των ρυθμών του ΗΕΓ είναι ο «προκαλούμενος από γεγονότα συγχρονισμός», ο οποίος προσδιορίζεται με αύξηση της φασματικής ισχύος του αντίστοιχου ρυθμού και μπορεί να είναι προκλητός (συγχρονισμός στο χρόνο και στη φάση της κυματομορφής) ή επαγόμενος (συγχρονισμός στο χρόνο αλλά όχι στη φάση) και ο «προκαλούμενος από γεγονότα αποσυγχρονισμός», ο οποίος εμφανίζεται ως μείωση της φασματικής ισχύος και καταστολή του ρυθμού.





---

# 7

## Ηλεκτρική εγκεφαλική δραστηριότητα σε εικονικά περιβάλλοντα

---

7.1	Εισαγωγή.....	212
7.2	HEΓ και διεπαφή ανθρώπου – υπολογιστή .....	214
7.3	Μετρήσεις εγκεφαλικής λειτουργίας σε εικονικά περιβάλλοντα .....	216
7.4	Προβλήματα στο HEΓ στα εικονικά περιβάλλοντα .....	220
7.4.1	Πηγές θορύβου.....	220
7.4.2	Άλλα προβλήματα.....	221
7.5	HEΓ και αίσθηση της παρουσίας.....	221
7.5.1	Ο ρόλος της προσοχής και της μνήμης εργασίας .....	223
7.5.2	Διάσπαση της προσοχής .....	225
7.6	Αντίληψη της κίνησης .....	225
7.6.1	Αντίληψη κινήσεων άλλου υποκειμένου .....	226
7.6.2	Ο ρόλος της κοινωνικής αλληλεπίδρασης.....	227
7.6.3	Η έννοια του πράκτορα και η επίδραση στη συνειδητοποίηση των κινήσεων .....	227
7.7	Χωρική αντίληψη.....	228
7.8	Οπτική εξερεύνηση του χώρου.....	231
7.9	Αντίληψη αντικειμένων δύο και τριών διαστάσεων.....	232
7.10	Προσοχή.....	232
7.11	Αίσθηση αφής.....	233
7.12	HEΓ μετρήσεις σε περιβάλλον εικονικής οδήγησης .....	233
7.13	Σύγκριση εγκεφαλικών λειτουργιών σε εικονικά και πραγματικά περιβάλλοντα .....	234
7.14	Νευρο-ανατροφοδότηση και εικονική πραγματικότητα.....	235
7.15	Παρατηρήσεις από έρευνες με βίντεο.....	235
7.16	HEΓ και πολυμέσα.....	236
7.17	Σύνοψη.....	237

## 7.1 Εισαγωγή

Οι μεγάλες δυνατότητες της τεχνολογίας σήμερα επιτρέπουν στα εικονικά περιβάλλοντα να μοιάζουν όλο και περισσότερο με την πραγματικότητα, αλλά παραδόξως αυτές οι δυνατότητες ενέχουν τον κίνδυνο τα ΕΠ να εμφανίζουν αυξημένη πιθανότητα μιας πειστικής υπερφόρτωσης του ατόμου με αισθητηριακά δεδομένα, νοητικό φόρτο, ύφεση της κριτικής ικανότητας και συναισθήματα δυσαρέσκειας, έτσι ώστε να οδηγηθεί το υποκείμενο σε άρνηση και αποσύνδεση από το περιβάλλον. Τα πρώτα εικονικά περιβάλλοντα συχνά κατέφευγαν σε ένα υπερβολικό φόρτο του αισθητηριακού και κινητικού συστήματος του ατόμου για να επιτύχουν ένα υψηλότερο βαθμό εμπύθισης (Pugnetti et al. 1996).

Οι Cartwright και Zanni περιγράφουν μια εύστοχη αλληγορία του ατόμου που βιώνει ένα εικονικό περιβάλλον με κάποιο ταξιδιώτη σε άγνωστο τόπο με άγνωστο προορισμό (1996). Πράγματι, όσο πιο ξένος είναι ο προορισμός, τόσο πιο απαιτητική είναι η προσαρμογή (και η διαβίωση) ως προς τη νοητική, συναισθηματική, φυσιολογική, πολιτισμική και κοινωνική της συνιστώσα. Επιπλέον, όσο πιο ξένο στο άτομο είναι το «άλλο» περιβάλλον, τόσο πιο αγχώδης και κουραστική (και πιο ενδιαφέρουσα ίσως) θα είναι η εμπειρία. Μια πληθώρα ή ένας άστοχος συνδυασμός αισθητηριακών δεδομένων (ήχων, εικόνων, υφών, οσμών και γεύσεων) μπορεί να οδηγήσει το άτομο σε τάση επιστροφής στο προηγούμενο περιβάλλον στην καλύτερη περίπτωση και πιθανόν σε πλήρη αποπροσανατολισμό και αποσύνδεση με το νέο περιβάλλον. Είναι λογικό να υποθέσουμε ότι παρόμοια αισθήματα θα βιώσει το άτομο και σε ένα εικονικό αντίστοιχο κόσμο.

Οι προηγούμενες παρατηρήσεις είναι σχεδόν προφανείς στην περίπτωση που το εικονικό περιβάλλον είναι εντελώς νέο ή ενσωματώνει νέες, «αφύσικες» πιθανόν δυνατότητες αλληλεπίδρασης του υποκειμένου με το περιβάλλον. Ακόμη, όμως, και όταν το εικονικό περιβάλλον δεν είναι ξένο στο άτομο και προσπαθεί να μιμηθεί τον πραγματικό κόσμο ως προς την επιτρεπόμενη γκάμα αλληλεπιδράσεων, ο εγκέφαλος του υποκειμένου έρχεται αντιμέτωπος με περισσότερο ή λιγότερο νέες, τεχνικά παραγόμενες μορφές αισθητηριακών αναπαραστάσεων.

Οι Cartwright και Zanni χρησιμοποιούν τη συσκευή του γυροσκοπίου (με την έννοια ενός μηχανισμού που αντιστέκεται στην αλλαγή της κατάστασής του και μετά από μερικούς κλυδωνισμούς επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση ή θέση) για να υποθέσουν την ύπαρξη τριών τουλάχιστον παρόμοιων μηχανισμών στον ανθρώπινο εγκέφαλο. Ένα γυροσκόπιο αντίληψης της πραγματικότητας, ένα ηθικό και ένα πνευματικό γυροσκόπιο. Το πρώτο από αυτά που μας ενδιαφέρει στην εμπειρία ΕΠ, λειτουργεί πάνω στα δεδομένα των αισθήσεων. Όταν οι πληροφορίες από ένα αισθητηριακό σύστημα κρίνονται ως αντικανονικές, τότε παρεμβαίνουν οι άλλες αισθήσεις με σκοπό να διορθώσουν το πρόβλημα. Η διαστρέβλωση πάρα πολλών αισθητήριων εισόδων με έναν ασυντόνιστο τρόπο μπορεί να οδηγήσει τη συνείδηση σε κρίσιμες καταστάσεις, όπως πιθανόν συμβαίνει στην ασθένεια του κυβερνοχώρου (Cartwright & Zanni 1996).

Οι ίδιοι ερευνητές υποθέτουν επίσης ότι όταν ένα άτομο βρίσκεται στον κυβερνοχώρο, ένα νέο νοητικό γυροσκόπιο αναλαμβάνει την ισορροπία της αντιληπτικής διαδικασίας στο νέο περιβάλλον, ενώ το παλιό γυροσκόπιο παραμένει σε λειτουργία στο «υπόβαθρο», αγκυρώνοντας το άτομο με τον πραγματικό κόσμο και διατηρώντας το υποσυνείδητο σε επαφή με τη φυσική παρουσία του ατόμου στον πραγματικό κόσμο. Δεχόμενοι την πλαστικότητα και τη δυνατότητα προσαρμογής του ανθρώπινου εγκεφάλου, οι ερευνητές προτείνουν ότι παρόμοιοι μηχανισμοί γυροσκοπίου δημιουργούνται στον εγκέφαλο όποτε χρειάζεται. Συνεπώς, όσο ο άνθρωπος εξοικειώνεται με εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας, θα δημιουργούνται αυτόματα αντίστοιχοι μηχανισμοί που θα εξασφαλίζουν την ισορροπία και θα επιτρέπουν την ασφαλή μετάβαση από το ένα περιβάλλον στο άλλο.

Σε αυτό το σημείο τίθενται τα ακόλουθα ερωτήματα. Ποιες είναι οι ομοιότητες και ποιες οι διαφορές που πραγματοποιείται η αισθητηριακή και γνωστική επεξεργασία στα δυο περιβάλλοντα; Είναι δυνατό να προσδιοριστεί η νευρική βάση της κατάστασης που βιώνεται σε ένα εικονικό περιβάλλον; Είναι δυνατό να εκτιμηθεί με νευρολογικούς όρους ο βαθμός της εμπλοκής, της εμπύθισης και της αίσθησης της παρουσίας του ατόμου στο εικονικό περιβάλλον; Μπορούμε συνεπώς να αξιολογήσουμε αντικειμενικά με χρήση τεχνικών απεικόνισης της εγκεφαλικής δραστηριότητας αυτές τις παραμέτρους κατά την αλληλεπίδραση ενός ατόμου με ένα εικονικό περιβάλλον;

Το μόνο σίγουρο σχετικά με τα προηγούμενα ερωτήματα είναι, πέρα από την προφανή σημασία τους για την εικονική πραγματικότητα και τη γνωσιοεπιστημη γενικότερα, ότι δεν μπορούν να υπάρξουν αξιόπιστες και πλήρεις απαντήσεις με τα σημερινά δεδομένα. Μια προσπάθεια προσέγγισης αυτών των θεμάτων θα γίνει στο κεφάλαιο αυτό, προσανατολισμένη κυρίως στην ηλεκτρική δραστηριότητα του ανθρώπινου εγκεφάλου και στη συσχέτισή της με ιδιότητες και παραμέτρους που εμπλέκονται στην αίσθηση και αλληλεπίδραση του ανθρώπου με εικονικά περιβάλλοντα.

Η πρώτη προσέγγιση ασχολείται με την κατ' αίσθηση αντίληψη και το αισθητηριακό σύστημα του ανθρώπου, αφού σε αυτό ουσιαστικά απευθύνεται ένα περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας. Το θέμα, όμως, δεν είναι τόσο απλό, γιατί παράγοντες διάφορων προηγούμενων εμπειριών και γενικότερα πολιτισμού τροποποιούν την επεξεργασία των αισθητηριακών πληροφοριών. Είναι για παράδειγμα γνωστό ότι, όταν οι αδελφοί Lumière παρουσίασαν την πρώτη κινηματογραφική προβολή με ένα κινούμενο τραίνο, οι θεατές έντρομοι εγκατέλειψαν την αίθουσα, φοβούμενοι ότι το τραίνο θα έπεφτε πάνω τους. Κάτι τέτοιο δε θα συνέβαινε σήμερα, αν και οι ποιότητα των σημερινών προβολών είναι κατά πολύ καλύτερη (πιστότερη στην πραγματικότητα, χωρίς παράσιτα, συνοδεύεται με ήχο, κ.λπ.) από αυτή της πρώτης κινηματογραφικής προβολής του περασμένου αιώνα. Ένα ερώτημα που προκύπτει από την προηγούμενη παρατήρηση είναι αν υπάρχει τρόπος (και αντίστοιχοι εγκεφαλικοί μηχανισμοί) με τους οποίους μπορεί να εκπαιδευτεί ο σύγχρονος άνθρωπος ώστε να αυξήσει ή να μειώσει το βαθμό της

ενσωμάτωσής του σε ένα εικονικό περιβάλλον. Παρόλα αυτά, όμως, η αισθητήρια εισαγωγή παραμένει ένας τομέας που πρέπει να μελετηθεί.

Ως δεύτερη προσέγγιση θεωρείται κυρίως η παράμετρος της υποκίνησης και διατήρησης της προσοχής, αλλά και πλήθος άλλων ψυχολογικών παραμέτρων που συνοδεύουν τη γνωστική επεξεργασία που λαμβάνει χώρα κατά την αλληλεπίδραση των ατόμων με περιβάλλοντα εικονικής πραγματικότητας. Από όλο το φάσμα των λειτουργιών που ανήκουν στην περιοχή της ανθρώπινης σκέψης, η παρούσα έρευνα εστιάζεται σε αυτές που αφορούν σε:

- οπτική επεξεργασία πληροφοριών
- σταθερή και κινούμενη εικόνα
- λειτουργία της μνήμης, βραχύχρονης και μακρόχρονης
- αντίληψη του χώρου
- αίσθηση και ικανότητα προσανατολισμού
- αντίδραση σε ξαφνικό συμβάν
- συναισθηματική εμπλοκή
- αντίληψη κινούμενου αντικειμένου
- απλούς υπολογισμούς
- αντίληψη άλλης ανθρώπινης παρουσίας
- επαγρύπνηση και ετοιμότητα

## **7.2 ΗΕΓ και διεπαφή ανθρώπου – υπολογιστή**

Στα συστήματα επικοινωνίας ανθρώπου – μηχανής οι ανθρώπινες δυνατότητες και περιορισμοί παίζουν τον καθοριστικό ρόλο (Wickens 1992). Στην περίπτωση του υπολογιστή αυτού του είδους η αλληλεπίδραση ονομάζεται διεπαφή ανθρώπου – υπολογιστή και καθορίζει ως ένα βαθμό τη δυσκολία ή ευκολία σε οποιοδήποτε εξειδικευμένη εργασία σε αυτά τα συστήματα.

Το ΗΕΓ φαίνεται ότι είναι ένα αποδοτικό μέσο για τη διερεύνηση μιας ποικιλίας γνωστικών λειτουργιών που λαμβάνουν χώρα κατά την επικοινωνία ανθρώπου - μηχανής (Kerin & Aunnon 1990, Wilson & Fisher 1995). Εκτός από το γνωστικό σύστημα το ΗΕΓ μπορεί να χρησιμοποιηθεί με μεγαλύτερη επιτυχία και στα άλλα δύο υποσυστήματα που το μοντέλο του ανθρώπινου επεξεργαστή των Card, Moran και Newell (1983) προτείνει ως απλοποιημένη περιγραφή των ανθρώπινων λειτουργιών που εμπλέκονται στην αλληλεπίδραση του ανθρώπου με τον υπολογιστή: το αισθητηριακό – αντιληπτικό σύστημα, που ελέγχεται με ηλεκτρόδια στις περιοχές του οπτικού και ακουστικού φλοιού κυρίως (περισσότερο με χρήση προκλητών δυναμικών Spehlmann 1985), και το κινητικό σύστημα, που μπορεί να εκφραστεί με την αυξημένη ετοιμότητα και την πρόθεση για κίνηση τα οποία ανιχνεύονται από το ΗΕΓ. Ο Hiraiwa προτείνει την αυτόματη αναγνώριση των προαναφερθέντων

παραγόντων με μαθηματικό τρόπο με χρήση νευρωνικών δικτύων (Hiraiwa et al. 1990).

Το ποντίκι και το πληκτρολόγιο αποτελούν δύο κλασικές συσκευές για την πρωτογενή είσοδο δεδομένων από το χρήστη σε ένα υπολογιστικό σύστημα. Οι Cremades et al. (2004) κατά τη διάρκεια οπτικο-χωρικής διεργασίας κατέγραψαν αυξημένη ισχύ του «κατώτερου άλφα» ρυθμού στον κροταφικό λοβό όταν τα υποκείμενα χρησιμοποιούσαν το ποντίκι σε σχέση με το πληκτρολόγιο, το οποίο σημαίνει ότι η χρήση του ποντικιού απαιτεί μικρότερη γνωστική φόρτιση.

Επίσης κλασική συσκευή στα εικονικά περιβάλλοντα είναι το κράνος ή τα γυαλιά ΕΠ. Μέχρι τώρα δεν υπάρχουν έρευνες για τις ομοιότητες και διαφορές στη χρησιμοποίηση κράνους ΕΠ ή οθόνης υπολογιστή ή προβολής σε μεγάλη επιφάνεια για το ίδιο πάντα περιβάλλον. Οι Strickland και Chartier (1997) σε συγκριτική μελέτη εικονικών και πραγματικών περιβαλλόντων δεν παρατήρησαν ΗΕΓ διαφορές που να αποδίδονται στη χρήση του κράνους ΕΠ, εκτός από παράσιτα επηρεαζόμενα από το βάρος του κράνους στην περιοχή του «βήτα2» ρυθμού (18 -20 Hz).

### **Παρατηρήσεις από τις τεχνολογίες διεπαφής εγκεφάλου - υπολογιστή**

Η διεπαφή εγκεφάλου – υπολογιστή όπως επίσης οι τεχνολογίες που αναπτύχθηκαν για να βοηθήσουν κυρίως άτομα με ειδικές ανάγκες (υποστηρικτικές τεχνολογίες, assistive technologies) και οι τεχνολογίες που επιτρέπουν στους χρήστες να ελέγχουν συστήματα ανθρώπου-μηχανής χωρίς να χρησιμοποιούν τα χέρια τους (brain-body actuated control technologies) χρησιμοποιούν ένα συνδυασμό φυσιολογικών μετρήσεων με δεσπόζουσα σημασία τις ΗΕΓ καταγραφές, για να εξάγουν πληροφορίες για την πρόθεση δράσης του υποκειμένου και να τη μεταφράσουν σε εντολές προς κάποια υπολογιστική συνήθως μηχανή (Pugnetti et al. 2001). Τα εικονικά περιβάλλοντα μπορούν να παίξουν βοηθητικό ρόλο στη σχετική έρευνα (στη φάση ανάπτυξης και δοκιμών) καθώς οι μετρήσεις των βιολογικών σημάτων είναι ευκολότερες και μπορούν να τροποποιούν άμεσα το εικονικό περιβάλλον ώστε να υπάρχει μια ρεαλιστική αλληλεπίδραση.

Ένα περιβάλλον διεπαφής εγκεφάλου – υπολογιστή χρησιμοποιεί μετρήσεις από ΗΕΓ, ηλεκτροκαρδιογράφημα και ηλεκτροοφθαλμογράφημα. Οι μετρήσεις αυτές μετασχηματίζονται σε κατάλληλα σήματα ελέγχου με αποδέκτη εξωτερικές συσκευές που συνήθως ενσωματώνουν ηλεκτρονικό υπολογιστή. Οι χρήστες μπορούν μετά από εκπαίδευση να αλληλεπιδρούν με εικονικά περιβάλλοντα, να παίζουν παιχνίδια ή να επικοινωνούν χωρίς τη χρήση κινήσεων ή ομιλίας (Berg et al. 1998). Ιδιαίτερα ενδιαφέρουσες είναι οι εφαρμογές αυτής της τεχνολογίας σε άτομα με αναπηρίες ή νευρολογικές παθήσεις.

Όσο αφορά στο ηλεκτροεγκεφαλογράφημα, στα συστήματα διεπαφής ανθρώπου και ηλεκτρονικού υπολογιστή χρησιμοποιούνται και προκλητά δυναμικά και συνεχόμενο ΗΕΓ. Τα προκλητά δυναμικά είναι ευκολότερα ανιχνεύσιμα αλλά απαιτούν συχνά επιπλέον (τεχνητά) ερεθίσματα, ενώ το συνεχόμενο ΗΕΓ παρά τη δυσκολία ερμηνείας που εμφανίζει, είναι πιο φυσικό, πιο συμβατό με άλλες συσκευές

και πρακτικότερο σε άτομα με αναπηρίες (Penny & Roberts 1999). Ένα τέτοιο συστατικό του συνεχόμενου ΗΕΓ είναι ο μ ρυθμός, ο οποίος αποσυγχρονίζεται (μειώνεται η φασματική ισχύς του) κατά το σχεδιασμό και την εκτέλεση πραγματικών και φανταστικών κινήσεων (Penny et al. 1998, Pfurtscheller & Berghold 1989, Elder et al. 1986).

Αρκετοί ερευνητές για παράδειγμα έχουν χρησιμοποιήσει το μ ρυθμό με λίγα ηλεκτρόδια γύρω από τη θέση C3 (π.χ. δύο ηλεκτρόδια, ένα μπροστά και ένα πίσω από το C3) και κάποιο χρονικό διάστημα εξάσκησης των υποκειμένων (μερικών εβδομάδων) για τον έλεγχο ενός δρομέα πάνω στην οθόνη υπολογιστή με αρκετά καλά ποσοστά επιτυχίας (Pfurtscheller et al. 1996b, Vaughn et al. 1996, McFarland et al. 1993, Wolpaw et al. 1991). Ο βήτα ρυθμός έχει επίσης χρησιμοποιηθεί, αφού συσχετίζεται με φανταστικές κινήσεις (McFarland et al. 1997). Έχουν γίνει απόπειρες για τον έλεγχο πιο σύνθετων γνωστικών διεργασιών, όπως νοερή αριθμητική, περιστροφή γεωμετρικών σχημάτων, νοερή σύνθεση λέξεων, κ.ά (Keirn & Aunon 1990).

### **7.3 Μετρήσεις εγκεφαλικής λειτουργίας σε εικονικά περιβάλλοντα**

#### **Παρατηρήσεις από fMRI έρευνες**

Αν και ο τίτλος του κεφαλαίου παραπέμπει μόνο σε μετρήσεις της ηλεκτρικής δραστηριότητας του εγκεφάλου, κρίνεται σκόπιμο σε ορισμένες ενότητες να παραθέσουμε ευρήματα από αιμοδυναμικές μετρήσεις προερχόμενες από συσκευές fMRI. Η προσέγγιση είναι βέβαια διαφορετική και συνίσταται στην ανάδειξη των εγκεφαλικών περιοχών (όλου του εγκεφάλου και όχι μόνο του φλοιού) που ενεργοποιούνται ή όχι και σε ποιο βαθμό κατά την εκτέλεση δραστηριοτήτων σε εικονικά περιβάλλοντα.

Η προσπάθεια μέτρησης της εγκεφαλικής δραστηριότητας παρουσιάζει σε αυτήν την περίπτωση πρόσθετα προβλήματα εξαιτίας της χρήσης περιφερειακών συσκευών που συνήθως χρησιμοποιούνται στα εικονικά περιβάλλοντα. Οι συσκευές αυτές πρέπει να λειτουργούν κάτω από ισχυρά μαγνητικά πεδία χωρίς σημαντικές ηλεκτρομαγνητικές αλληλεπιδράσεις με την fMRI συσκευή και το υποκείμενο να βρίσκεται ξαπλωμένο στο εσωτερικό ενός μαγνήτη με ελάχιστες επιτρεπόμενες κινήσεις της κεφαλής (Mraz et al. 2003).

Το μεγαλύτερο πρόβλημα εμφανίζεται στο κράνος ΕΠ και στα συστήματα ήχου. Ωστόσο, υπάρχουν ερευνητές όπως ο Hoffman και οι συνεργάτες του που προσπαθούν με μη μεταλλικά υλικά να χρησιμοποιήσουν στερεοσκοπικές οθόνες και άλλες περιφερειακές συσκευές απαραίτητες για την εμπύθιση σε περιβάλλοντα ΕΠ, ενώ τα υποκείμενα παραμένουν περιορισμένα στη fMRI συσκευή (Hoffman et al. 2003b, 2003c).

### **Παρατηρήσεις από ERP έρευνες**

Οι Bayliss και Ballard (2000a, 2000b, 1998b) σε περιβάλλον εικονικής οδήγησης χρησιμοποίησαν με επιτυχία τα προκλητά δυναμικά για το χειρισμό των φρένων του εικονικού οχήματος στα φανάρια κυκλοφορίας. Το P3 για το πράσινο και κόκκινο φανάρι και το γνωσιακό προκλητό δυναμικό (CNV- contingent negative variation) για το σήμα επιβράδυνσης (κίτρινο φανάρι).

Επίσης προκλητά δυναμικά (P300, MMN, N200) με ακουστικά ερεθίσματα έχουν χρησιμοποιηθεί για να συγκρίνουν πραγματικά και εικονικά περιβάλλοντα κατά τη διεξαγωγή νοητικών λειτουργιών ως προς την ενεργοποίηση της προσοχής και της άμεσης μνήμης όπως επίσης και με την αντίληψη της διαφοράς από το προηγούμενο με το επόμενο ερέθισμα (Mager et al. 2000).

### **Το ΗΕΓ στα εικονικά περιβάλλοντα**

Όπως και στον πραγματικό κόσμο, έτσι και στα εικονικά περιβάλλοντα, η βασική υπόθεση είναι να αντιστοιχισθούν διάφορα ΗΕΓ μεγέθη με ψυχολογικές μεταβλητές όπως η διέγερση, η προσοχή, το γνωστικό φορτίο, κ.ά. Παρά τις επιφυλάξεις των ερευνητών στην προηγούμενη υπόθεση, επειδή αυτές οι μεταβλητές είναι πολυδιάστατες και τυπικά δεν είναι εύκολο να τυποποιηθούν και επειδή στις ΗΕΓ καταγραφές συμμετέχουν πολλές παράμετροι που πρέπει να συνυπολογιστούν (Scerbo et al. 1998), οι εγκεφαλικοί ρυθμοί του αυθόρμητου ΗΕΓ και κυρίως ο άλφα ρυθμός χρησιμοποιήθηκαν ευρέως για να μελετηθεί η σχέση εγκεφάλου και συμπεριφοράς σε ΕΠ. Συνήθως η πιο κοινή παράμετρος σε αυτές τις έρευνες είναι το επίπεδο της επαγρύπνησης των υποκειμένων και το φυσικό ηλεκτροεγκεφαλογραφικό μέγεθος που εξετάζεται είναι το φάσμα ισχύος.

Οι Vidulich et al. (1994) στην προσπάθειά τους να συσχετίσουν διαφορετικές φυσιολογικές μετρήσεις με μεταβολές στη νοητική προσπάθεια (workload) και στη περιστασιακή συνειδητοποίηση (situational awareness) σε διεργασίες εξομοίωσης νυχτερινής πτήσης παρατήρησαν αύξηση στην ισχύ του θήτα ρυθμού και ταυτόχρονη μείωση στον άλφα ρυθμό, η οποία αντανάκλα αυξημένες γνωστικές απαιτήσεις ώστε να διατηρηθεί η περιστασιακή συνειδητοποίηση. Ωστόσο, οι ερευνητές διατύπωσαν την αδυναμία τους να διαχωρίσουν τη συσχέτιση των ΗΕΓ μεγεθών με τη νοητική προσπάθεια (φόρτο εργασίας) και την περιστασιακή συνειδητοποίηση. Περισσότερες έρευνες στη συσχέτιση του ΗΕΓ με τη συνειδητοποίηση (awareness) του περιβάλλοντος γενικότερα και όχι μόνο σε εικονικά περιβάλλοντα, προέρχονται από τη μελέτη υπναγωγικών καταστάσεων (hypnagogic states), όπου τα υποκείμενα είναι νυσταγμένα και έχουν μειωμένη συνειδητοποίηση του περιβάλλοντος. Σε πλήθος μελετών που έχουν ασχοληθεί με τη στέρηση ύπνου, ο θήτα ρυθμός αναδεικνύεται σε κυρίαρχη δραστηριότητα. Ο Schacter (1977) για παράδειγμα παρατήρησε ότι η θήτα δραστηριότητα στην περίπτωση αυτή χαρακτηρίζεται από χαμηλού δυναμικού ακανόνιστες κυματομορφές (επικαλύπτεται από ταχύτερα αποσπάσματα του βήτα ρυθμού) και διάχυτη εξάπλωση στο κρανίο και υποστηρίζει ότι αυτή η συμπεριφορά είναι ενδεικτική ενός χαμηλού επιπέδου επαγρύπνησης που συνοδεύεται από

εξασθετισμένη δυνατότητα του ατόμου να επεξεργαστεί και να αποκριθεί στις πληροφορίες του περιβάλλοντος.

Ο Ramsey (Cobb et al. 1999), που χρησιμοποίησε φορητό σύστημα καταγραφής με μόνο 4 ηλεκτρόδια σε 4 υποκείμενα με ελευθερία κινήσεων, δεν παρατήρησε διαφορές στο εικονικό και το πραγματικό περιβάλλον. Αντίθετα οι Pugnetti et al. (1996) κατέγραψαν αυξημένη άλφα ισχύ στα υποκείμενα που είχαν τα λιγότερα λάθη (και επομένως το μικρότερο χρόνο παραμονής σε ΕΠ εμπύθισης) κατά την εργασία σε εικονικά δωμάτια. Η ίδια ομάδα σε νεότερη δημοσίευσή της (Pugnetti et al. 2000) παρατήρησε σταδιακή αύξηση της άλφα ισχύος σε μερικά υποκείμενα καθώς αύξαιναν οι σωστές επιλογές σε νοητικές εργασίες σε ΕΠ χωρίς εμπύθιση. Οι παρατηρήσεις ερμηνεύθηκαν ως ένδειξη της χρησιμότητας του αυθόρμητου ΗΕΓ στην παρακολούθηση της προσαρμογής ή εκμάθησης του εγκεφάλου σε εργασία στο νέο περιβάλλον.

Οι Strickland και Chartier (1997), που ερεύνησαν διαδικασίες επεξεργασίας εικόνας σε πραγματικά και σε εικονικά περιβάλλοντα εμπύθισης, κατέγραψαν μειωμένη άλφα δραστηριότητα την οποία συσχέτισαν σε αυξημένες απαιτήσεις γνωστικής επεξεργασίας στο νέο, πρωτότυπο περιβάλλον και αυξημένη θήτα και «βήτα 1» (13 Hz – 20 Hz) δραστηριότητα που ερμηνεύθηκαν ως λιγότερο διανοητικού (intellectual) και περισσότερο συμβολικού τύπου επεξεργασία, απαραίτητης για την κατανόηση των τυποποιημένων (τύπου κινούμενων σκίτσων) εικόνων του κράνους ΕΠ.

Οι Mager et al. (2000) παράλληλα με προκλητά δυναμικά μελέτησαν συμπληρωματικά και την αυθόρμητη ΗΕΓ δραστηριότητα σε νοητικές διεργασίες (μία από τις οποίες περιλάμβανε μια εφαρμογή των πύργων του Ανόι) σε εικονικά περιβάλλοντα εμπύθισης. Οι ερευνητές κατέγραψαν μείωση της ισχύος του άλφα ρυθμού και αύξηση του θήτα στο εικονικό περιβάλλον σε σχέση με τα άλλα περιβάλλοντα.

Οι Pugnetti et al. (2001) αναφέρουν ότι σε ΗΕΓ μετρήσεις σε εικονικό περιβάλλον ταξινόμησης καρτών παρατηρήθηκε άλφα συγχρονισμός στις βρεγματικές (και σε πιο πρόσθιες σε μερικά υποκείμενα) περιοχές τα τέσσερα δευτερόλεπτα που ακολούθησαν ένα εικονικό συμβάν (άνοιγμα πόρτας εξόδου) σε σχέση με τα προηγούμενα τέσσερα δευτερόλεπτα, ενώ δεν παρατηρήθηκε αντίστοιχο φαινόμενο όταν το ίδιο συμβάν δε συνδέθηκε με συγκεκριμένη γνωστική απαίτηση.

Η ΕΠ χρησιμοποιείται πλέον και στην ψυχολογία και τη θεραπευτική. Το ΗΕΓ σε συνεργασία με άλλες φυσιολογικές μεθόδους (όπως η γαλβανική αντίσταση του δέρματος) μπορεί να καταδείξει ατομικές διαφορές και ίσως να προβλέψει τη θεραπευτική έκβαση σε κλινικές ψυχολογικές καταστάσεις όπως οι φοβίες. Οι Wiederhold και Wiederhold (2000) πειραματίστηκαν με φοβικούς ασθενείς σε περιβάλλον εμπύθισης με εξομίωση εικονικής πτήσης και παρατήρησαν μείωση στις περιοχές συχνοτήτων 8-12 Hz, 13-15 Hz και 16-21 Hz στα υποκείμενα που ανέφεραν αυξημένη διέγερση. Παράλληλα μια αύξηση στο θήτα ρυθμό (4 – 7 Hz) στα υποκείμενα με μειωμένη διέγερση ερμηνεύθηκε ως αυξημένη γνωστική δέσμευση. Ο



Cole (1995) σε κλινική έρευνα χρησιμοποίησε πραγματικά και εικονικά δελφίνια σε ΕΠ εμπύθισης για διαχείριση του άγχους και πραγματοποίησε ΗΕΓ μετρήσεις πριν και μετά το εικονικό περιβάλλον. Διαπίστωσε σε μερικά υποκείμενα μείωση στις αιχμές του φάσματος και αύξηση της δια-ημισφαιρικής συνοχής όταν τα υποκείμενα αλληλεπιδρούσαν με πραγματικά δελφίνια, πράγμα που ερμηνεύθηκε ως αυξημένη χαλάρωση στο πραγματικό περιβάλλον.

### **Χρησιμότητα της γνώσης των εγκεφαλικών λειτουργιών στα εικονικά περιβάλλοντα**

Η καταγραφή και παρακολούθηση των εγκεφαλικών λειτουργιών σε συνδυασμό πιθανώς με άλλες βιοηλεκτρικές μετρήσεις μπορεί να αποδειχθεί πολύ χρήσιμη κατά την ανάπτυξη, την υλοποίηση και την αξιολόγηση εικονικών περιβαλλόντων. Μερικοί από τους λόγους συνοψίζονται παρακάτω (Pugnetti et al. 2001):

- Ανάπτυξη αποτελεσματικότερων ΕΠ, όπως για παράδειγμα καλύτερο συντονισμό της έντασης, της συχνότητας και του συγχρονισμού ενός συνδυασμού ερεθισμάτων.
- Ανάπτυξη ασφαλέστερων ΕΠ, ιδιαίτερα όταν το ΕΠ προορίζεται για κλινική χρήση.
- Μελέτη συγκεκριμένων γνωστικών λειτουργιών, όπως μάθηση, μνήμη, αντιδράσεις, χειρισμός λαθών, λήψη αποφάσεων, κ.ά.
- Καλύτερη κατανόηση της αλληλεπίδρασης ανθρώπου - υπολογιστή και σύγκριση με αλληλεπιδράσεις στον πραγματικό κόσμο.
- Δυναμικός έλεγχος των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων των ΕΠ, όπως στα συστήματα διεπαφής εγκεφάλου – υπολογιστή (Brain Computer Interface - BCI).
- Μελέτη των επιδράσεων ποικίλων παραμέτρων του συστήματος στις φυσιολογικές αντιδράσεις των υποκειμένων.
- Αντιμετώπιση σημαντικών ηθικών ζητημάτων που συνήθως προκύπτουν από την ευρέως διαδεδομένη εφαρμογή προϊόντων ΕΠ στην ψυχαγωγία, όπως στην επιθετική συμπεριφορά ή τα αρνητικά συναισθήματα (Calvert & Tan 1994, Stanney et al. 1998).

## 7.4 Προβλήματα στο ΗΕΓ στα εικονικά περιβάλλοντα

### 7.4.1 Πηγές θορύβου

Επειδή το ΗΕΓ είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο στον ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στη σχεδίαση του περιβάλλοντος εικονικής πραγματικότητας, καθώς απαιτείται η χρησιμοποίηση αρκετών ηλεκτρομαγνητικών περιφερειακών συσκευών οι οποίες μπορεί να έχουν αξιοσημείωτη επίδραση στα βιοηλεκτρικά σήματα. Οι Eberhart και Kizakevich (1993) που πρώτοι πραγματοποίησαν έρευνες με ΗΕΓ ενώ τα υποκείμενα εκτελούσαν γνωστικές διεργασίες σε δισδιάστατα και τρισδιάστατα συνθετικά περιβάλλοντα, διαπίστωσαν σημαντικό ποσοστό ηλεκτρομαγνητικού θορύβου προερχόμενη από πλήθος περιφερειακών συσκευών (οθόνη υπολογιστή, καλώδια, διακόπτες, ρευματολήπτες, μαγνητικός ανιχνευτής κίνησης, κ.ά), ο οποίος σε μερικές περιπτώσεις δεν ήταν δυνατό να αφαιρεθεί.

Αργότερα ο Pugnetti και οι συνεργάτες του (Pugnetti & Mendozzi 1994, Pugnetti et al. 1995, Pugnetti et al. 1996) πραγματοποίησαν αξιόπιστες μετρήσεις σε πολυγραφική συσκευή (ΗΕΓ, ΗΚΓ, ΗΟΓ και ΗΜΓ) ενώ τα υποκείμενα είχαν απόσταση τουλάχιστον δύο μέτρα από το σύστημα ΕΠ. Οι Strickland και Chartier (1997) με τυπική συσκευή ΗΕΓ και κράνος ΕΠ δεν αντιμετώπισαν σοβαρό πρόβλημα παρασίτων εκτός από παράσιτα επηρεαζόμενα από το βάρος του κράνους στην περιοχή του «βήτα2» ρυθμού (18 -20 Hz).

Η σημαντικότερη πηγή θορύβου είναι οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές που βρίσκονται κοντά στο υποκείμενο και κυρίως οι CRT οθόνες (στην πίσω πλευρά τους) των οποίων οι συχνότητες ανανέωσης βρίσκονται στην περιοχή των συχνοτήτων του ΗΕΓ. Τα κράνη εικονικής πραγματικότητας όταν το κεφάλι του υποκειμένου παραμένει ακίνητο, οι φορητοί υπολογιστές και οι TFT οθόνες υπολογιστών δεν παρουσιάζουν σημαντική επιβάρυνση στο θόρυβο. Σε κάθε περίπτωση η υψηλή συχνότητα δειγματοληψίας (π.χ. 1000 Hz) μπορεί να περιορίσει το θόρυβο (Bayliss & Ballard 1998).

Προβλήματα μπορεί να υπάρξουν όταν το υποκείμενο πραγματοποιεί κινήσεις και φορά κράνος ΕΠ, ανιχνευτή της κίνησης του κεφαλιού ή των ματιών και άλλες ηλεκτρικές συσκευές προσαρμοσμένες στο κράνος ή στο κεφάλι του. Ωστόσο τα προβλήματα αυτά αντιμετωπίζονται εύκολα και δεν προκαλούν σημαντική παραμόρφωση στο ΗΕΓ σε σχέση και με άλλους παράγοντες όπως το βάρος του κράνους ΕΠ, τη χαμηλή ποιότητα των γραφικών ή το περιορισμένο οπτικό εύρος, οι οποίοι συμβάλουν στη δυσφορία του υποκειμένου και στην υποβάθμιση της εικονικής εμπειρίας (Strickland & Chartier 1997).

Για να αποφύγουν όσο το δυνατό περισσότερο την επίδραση θορύβου από τον εξοπλισμό ΕΠ ορισμένοι ερευνητές χρησιμοποιούν προβολική συσκευή σε μεγάλη οθόνη (Nelson et al. 1997, Pugnetti et al. 2000, Meehan et al. 2000), ενώ άλλοι

πραγματοποιούν την ΗΕΓ καταγραφή πριν και μετά την έκθεση των υποκειμένων στο εικονικό περιβάλλον (Cole 1995, Cobb et al. 1999). Βέβαια η τελευταία προσέγγιση έχει αρκετά περιορισμένη εφαρμογή στη μελέτη των ψυχοφυσιολογικών επιδράσεων των ΕΠ.

#### 7.4.2 Άλλα προβλήματα

Εκτός από τα ηλεκτρικά παράσιτα που μπορεί να προκαλέσουν οι περιφερειακές συσκευές ΕΠ στο ΗΕΓ, η ύπαρξη των ηλεκτροδίων (αν είναι επικολλωμένα) ή της κάσκας με τα ηλεκτρόδια και των ιμάντων στήριξης της μπορούν να προκαλέσουν μείωση της ελευθερίας κινήσεων, ενόχληση και αίσθημα δυσφορίας στα υποκείμενα με αποτέλεσμα μειωμένη αίσθηση παρουσίας. Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται στην εφαρμογή του κράνους ΕΠ πάνω από τα ηλεκτρόδια ώστε να αποφεύγεται η πίεση ή το γλίστρημα μεταξύ τους (Pugnetti et al. 2000, Meehan et al. 2000). Μια προσπάθεια για τυποποίηση στη χρήση πολλών περιφερειακών συσκευών στα ΕΠ έγινε από την Allanson και τους συνεργάτες της (1999).

Εκτός από τεχνικούς παράγοντες που μπορεί να προκαλέσουν παράσιτα στο ΗΕΓ υπάρχουν και υποκειμενικοί λόγοι για αναξιόπιστες καταγραφές. Ο Pugnetti (Pugnetti et al. 2001) υποστηρίζει ότι υγιή υποκείμενα σε ποσοστό 20% με 40% δεν παρουσιάζουν αποδεκτή ΗΕΓ καταγραφή σε ΕΠ. Μερικά υποκείμενα δεν μπορούν να χαλαρώσουν με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν για παράδειγμα συνεχόμενο ανοιγοκλείσιμο των ματιών, ενώ άλλοι έχουν αποκλίνουσες κυματομορφές (για παράδειγμα δεν εμφανίζουν άλφα ρυθμό ή έχουν πολύ μικρά πλάτη). Οι Strickland και Chartier (1997) αναφέρουν ότι το 80% περίπου των δεδομένων αφαιρέθηκε εξαιτίας τέτοιου είδους παρασίτων. Οι Nicholas et al. (2000) αναφέρουν τρεις γενικές στρατηγικές που αναπτύσσονται από τα υποκείμενα σε αυτές τις περιπτώσεις και που προκαλούν συνήθως διαστρέβλωση του ΗΕΓ: (i) κινήσεις ματιών γύρω γύρω, προβλήματα στην όραση, κλείσιμο των ματιών ή αλλαγή του σημείου εστίασης στην οθόνη, (ii) αλλαγές στη θέση του σώματος, και (iii) ατομικές στρατηγικές χαλάρωσης ή συγκέντρωσης. Επιπλέον επιβαρυντικοί παράγοντες είναι η προσπάθεια των υποκειμένων να μειώσουν την ασθένεια του κυβερνοχώρου και ορισμένες φαρμακευτικές ουσίες που πιθανά καταναλώνουν κάποια υποκείμενα, όπως τα νευρολογικά φάρμακα, τα υπνωτικά, ακόμη και ορισμένα αντι-ϊσταμινικά χάπια.

Για τους παραπάνω λόγους μερικοί ερευνητές προτείνουν ένα τυπικό κλινικό ΗΕΓ πριν από την κανονική καταγραφή στο ΕΠ, ώστε να απορριφθούν από την αρχή τα υποκείμενα με ιδιαίτερα αποκλίνουσα μορφή και αυτά που παρουσιάζουν πολλά παράσιτα (Pugnetti et al. 2001).

### 7.5 ΗΕΓ και αίσθηση της παρουσίας

Το ΗΕΓ και η αίσθηση της παρουσίας του υποκειμένου σε ένα ΕΠ είναι ένα νέο πεδίο έρευνας που παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον λόγω της σπουδαιότητας της

παρουσίας ως επιθυμητό χαρακτηριστικό γνώρισμα των ΕΠ. Αν και είναι ακόμη πρόωρο να περιμένουμε από το ΗΕΓ αξιόπιστες μετρήσεις της παρουσίας, μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε για την ανάλυση διάφορων νευροφυσιολογικών φαινομένων που σχετίζονται ή εμπλέκονται στην αίσθηση της παρουσίας, όπως για παράδειγμα το πότε συμβαίνει διάσπαση της παρουσίας. Επιπλέον το ΗΕΓ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο των περιφερειακών συσκευών (Brain Computer Interface, BCI) που χρησιμοποιούνται στα ΕΠ (Schlögl et al. 2002).

Ένα σημαντικό στοιχείο της οπτικής αναπαράστασης στα ΕΠ είναι η στερεοσκοπική αναπαράσταση των αντικειμένων, ο φωτορεαλισμός και η σκίαση. Οι Moore και Engel (2001) σε έρευνα με χρήση fMRI παρατήρησαν αύξηση της εγκεφαλικής δραστηριότητας στις πλευρικές και κοιλιακές περιοχές του ινιακού λοβού (γνωστή ως έξω ινιακό σύμπλεγμα ή LOC) όταν τα υποκείμενα είχαν την αίσθηση του όγκου σε αντικείμενα (με υφές και σκίαση ενίοτε) που παρουσιάζονταν στην οθόνη. Το φαινόμενο εμφανίστηκε με την ίδια μορφή όταν τα υποκείμενα αναγνώριζαν διαφορετικά αντικείμενα. Οι ερευνητές επιβεβαίωσαν προηγούμενη έρευνα των Knill et al. (1996) που υποστήριζαν ότι η αντίληψη του όγκου των αντικειμένων περιλαμβάνει και από κάτω προς τα πάνω (βασίζόμενες στην εικόνα) και από πάνω προς τα κάτω (βασίζόμενες στην πρότερη εμπειρία) διαδικασίες. Τα συμπεράσματα των Moore και Engel αν και δεν αναφέρονται οπωσδήποτε σε εικονική πραγματικότητα, εντούτοις σχετίζονται με το ρεαλισμό και την αναπαράσταση των αντικειμένων στα ΕΠ σε σχέση με εγκεφαλικές λειτουργίες.

Οι Bischof και Boulanger (2003) πρότειναν τη δραστηριότητα θήτα ως μέτρο για την αξιολόγηση εικονικών περιβαλλόντων με τη μέτρηση της ευκολίας της πλοήγησης σε εικονικούς λαβύρινθους. Παράγοντες που σχετίζονται με την ενεργητική αναζήτηση, την αντίληψη της μετακίνησης και την πλαστικότητα του περιβάλλοντος επηρεάζουν την αίσθηση της παρουσίας στα εικονικά περιβάλλοντα.

Οι Farrer et al. (2003) μελέτησαν με PET μετρήσεις και ένα εικονικό χέρι την αίσθηση της αντιπροσώπευσης ή συνείδησης των κινήσεων, η οποία εμπλέκεται στην αίσθηση της παρουσίας, αφού θεωρείται η βάση για να αποφασίσει το υποκείμενο αν είναι αυτό ή κάποιος άλλος αυτός που προκαλεί τις κινήσεις. Τα αποτελέσματά τους έδειξαν ότι όσο λιγότερο έλεγχο των μετακινήσεων του εικονικού χεριού είχαν τα υποκείμενα, τόσο υψηλότερο ήταν το επίπεδο ενεργοποίησης στο κάτω μέρος του δεξιού βρεγματικού λοβού.

Οι Maguire et al. (1998) μέτρησαν την εγκεφαλική αιματική ροή με τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων (PET) σε υποκείμενα που αλληλεπιδρούσαν με δύο εικονικά περιβάλλοντα. Στο πρώτο περιβάλλον που υπήρχαν αντικείμενα με διάφορες υφές παρατήρησαν αυξημένη ενεργοποίηση στη δεξιά παραϊπποκάμπια έλικα. Στο δεύτερο περιβάλλον που αποτελούνταν από ένα άδειο κοινότοπο δωμάτιο ενεργοποιήθηκε ένα δίκτυο αμφοτερόπλευρων ινιακών, έσω βρεγματικών και ινιακο-κροταφικών περιοχών παρόμοιο με το περιβάλλον με τα αντικείμενα, αλλά δεν ενεργοποιήθηκε η έσω κροταφική περιοχή. Οι ερευνητές θεώρησαν αυτή την περιοχή σημαντική για την κωδικοποίηση της θέσης των αντικειμένων. Αν αναγνωρίσουμε (από υποκειμενικές

μεθόδους) το σημαντικό ρόλο των ρεαλιστικών αντικειμένων στα εικονικά περιβάλλοντα, τότε οι παρατηρήσεις της Maguire μπορεί να συμβάλουν στην απεικόνιση της αίσθησης της παρουσίας στα ΕΠ.

Οι Mikropoulos, Tzimas και Dimou (2004) χρησιμοποίησαν ΗΕΓ μετρήσεις σε εικονικό δωμάτιο με και χωρίς αντικείμενα, με και χωρίς υφές. Η ισχύς του άλφα ρυθμού παρουσίασε σταδιακά μείωση στις βρεγματικές (P3, P4, Pz) και ινιακές (O1, O2) περιοχές, καθώς τα υποκείμενα παρατηρούσαν το ίδιο εικονικό δωμάτιο, άδειο, άδειο με υφές, με απλά αντικείμενα, με αντικείμενα με υφές. Το πιο εμπλουτισμένο περιβάλλον είχε τη μικρότερη άλφα ισχύ. Η γάμα ισχύς εμφανίστηκε αυξημένη στα περιβάλλοντα που είχαν υφές. Τα αποτελέσματα αυτά ερμηνεύθηκαν ως μεγαλύτερη προσοχή και οπτική συνειδητοποίηση (visual awareness) στα περισσότερο εμπλουτισμένα εικονικά περιβάλλοντα.

Υπάρχουν βέβαια ερευνητικές απόπειρες να ανιχνευθούν οι αλλαγές που επιφέρει στο ΗΕΓ μια διαφοροποίηση της αίσθησης της παρουσίας σε μη εικονικά περιβάλλοντα. Ο Benham και οι συνεργάτες του (1997:36), έβαζαν τα υποκείμενά τους να ακούσουν ιστορίες με ζωνηρές σκηνές από δεινόσαυρους επιτιθέμενους σε ανθρώπους και να πιάσουν ένα κουμπί όταν νιώθουν να συμμετέχουν στην ιστορία. Παρατήρησαν αύξηση στην περιοχή συχνοτήτων 4-8 Hz όταν τα υποκείμενα ένιωθαν πως συμμετείχαν στην ιστορία και απέδωσαν αυτή την αύξηση του θήτα ρυθμού σε διαδικασίες οπτικοποίησης της ιστορίας. Ωστόσο, με δεδομένο το ρόλο του θήτα ρυθμού ιδιαίτερα στις μετωπιαίες περιοχές στην αύξηση του γνωστικού φόρτου ή της προσοχής, είναι εξίσου πιθανό να αποδοθεί αυτή η αύξηση σε αύξηση της προσοχής εκείνη τη στιγμή (Scerbo et al. 2001). Οι Pope και Bogart (1992) αφού αναγνώρισαν την ανάγκη βελτιωμένων οπτικοακουστικών μεθόδων σε συνδυασμό με έγκυρες μεθόδους αξιολόγησης της συμπεριφοράς, προτείνουν μια τέτοια μέθοδο ως ένα μη επεμβατικό τρόπο αντιμετώπισης ποικίλων τύπων επικίνδυνων καταστάσεων του συνειδητού.

### 7.5.1 Ο ρόλος της προσοχής και της μνήμης εργασίας

Η προσοχή (attention) είναι μια σημαντική μεταβλητή στην αίσθηση της παρουσίας. Ο Bionca αναγνώρισε τη σημασία της θέτοντας το «reality problem» στη θεωρία της παρουσίας (2002), το οποίο συνοπτικά θέτει το ερώτημα πως είναι δυνατό ένα πρόσωπο να βρίσκεται φυσικά σε ένα περιβάλλον και να μην έχει εμπειρία/αίσθηση της παρουσίας του εκεί. Ο Nunez (2004) εκτιμά ότι αυτό το πρόβλημα έχει επιπτώσεις στις περισσότερες τρέχουσες θεωρίες της παρουσίας - εν μέρει επειδή είναι αρχική τους υπόθεση ότι τα εικονικά περιβάλλοντα είναι προσεγγίσεις στην πραγματικότητα και εν μέρει επειδή δεν εξετάζουν ρητά το ρόλο που η προσοχή διαδραματίζει στις γνωστικές διαδικασίες που προκαλούν την παρουσία. Ο Nunez προτείνει επιπλέον την άποψη του Baddeley για τη μνήμη εργασίας (1986) ως σημείο κλειδί για την κατανόηση των γνωστικών διαδικασιών που σχετίζονται με την παρουσία.

Σύμφωνα με το μοντέλο του Baddeley το σύστημα της μνήμης εργασίας μοιάζει με τη βραχύχρονη μνήμη ως προς την περιορισμένη χωρητικότητα. Δε εμπλέκεται όμως τόσο στην κωδικοποίηση των αναμνήσεων και στην ανάκληση, αλλά λειτουργεί ως ένας χώρος εργασίας όπου πολλές γνωστικές διαδικασίες λαμβάνουν χώρα και ο χώρος όπου υπάρχουν τα περιεχόμενα της επίγνωσης (Baddeley 1986). Η μνήμη εργασίας σχετίζεται γενικά με την προσοχή. Η σχέση μεταξύ της επιλεκτικής προσοχής και της μνήμης εργασίας δεν είναι σαφής, αν και θεωρείται ότι ο χώρος της μνήμης εργασίας διατίθεται σε νέα ερεθίσματα βασισμένα εν μέρει στις διαδικασίες που εκτελούνται αυτήν την περίοδο στη μνήμη εργασίας. Αυτό που είναι όμως σαφές είναι ότι η ποσότητα πόρων της μνήμης εργασίας που διαθέτουμε σε ένα νέο ερέθισμα είναι ανάλογη με το ποσό προσοχής που εστιάζεται σε εκείνο το ερέθισμα, και επομένως η μνήμη εργασίας είναι μια χρήσιμη ένδειξη για το πόση προσοχή έχει διατεθεί σε μία διεργασία (Jonides 1996).

Το μέγεθος της μνήμης εργασίας που απαιτείται για την επεξεργασία ενός συνόλου πληροφοριών δεν εξαρτάται τόσο από το μέγεθος της πληροφορίας όσο από τις συσχετίσεις μεταξύ των πληροφοριών. Για παράδειγμα, ένα περιβάλλον υψηλής εμπύθισης όπου τα αντιληπτικά ερεθίσματα περιγράφονται με συσχετιζόμενες μεταβλητές, δε θα απαιτήσει μεγάλη χωρητικότητα μνήμης εργασίας, αφού η πληροφορία θα οργανωθεί σε ενότητες. Αντίθετα ένα περιβάλλον με ασυσχέτιστες πληροφορίες, όπως για παράδειγμα συμβαίνει σε ένα εικονικό περιβάλλον με έντονα ερεθίσματα από τον εξωτερικό κόσμο, τα ερεθίσματα δεν είναι δυνατό να συσχετιστούν εύκολα, με αποτέλεσμα να απαιτείται περισσότερη μνήμη εργασίας και να μειώνεται η αίσθηση της παρουσίας. Το μοντέλο αυτό της μνήμης εργασίας έχει χρησιμοποιηθεί για την ερμηνεία άλλων φαινομένων παρόμοιων με την αίσθηση της παρουσίας, όπως η κατανόηση ενός κειμένου (Carpenter & Just 1989) και η πλοήγηση στο χώρο (Garden et al. 2002). Αυτή η άποψη αντιμετωπίζει την προσοχή όχι τόσο ως ένα φίλτρο που επιλέγει τα εξωτερικά ερεθίσματα, αλλά κυρίως ως διάθεση περισσότερων ή λιγότερων γνωστικών πόρων (με τη μορφή της μνήμης εργασίας) που δεσμεύονται για την επεξεργασία των ερεθισμάτων του περιβάλλοντος. Έτσι αντί να εξετάζεται η αίσθηση της παρουσίας υπό το πρίσμα της προσοχής που είναι στραμμένη περισσότερο στο εικονικό από ότι στο πραγματικό περιβάλλον ή της μη ύπαρξης περισπασμών από το πραγματικό περιβάλλον (Slater & Steed 2000), μπορεί να περιγραφεί με το ποσό των περιορισμένων πόρων της μνήμης εργασίας που διαθέτουμε για την επεξεργασία του εικονικού περιβάλλοντος (Nunez 2004). Ωστόσο, υπάρχει πλήθος άλλων παραγόντων που επηρεάζουν τους πόρους της μνήμης εργασίας που θα διατεθεί στην επεξεργασία των πληροφοριών ενός περιβάλλοντος (εικονικού ή πραγματικού), ώστε μια αυξημένη διάθεση χώρου της μνήμης εργασίας δε συνεπάγεται οπωσδήποτε αυξημένη αίσθηση της παρουσίας (Barfield & Weghorst 1993).

Ιδιαίτερο βάρος στην ερμηνεία της παρουσίας σε σχέση με τη μνήμη εργασίας έχει ο τρόπος κωδικοποίησης της πληροφορίας από τα διαφορετικά μέσα, αφού τα εικονικά περιβάλλοντα χρησιμοποιούν ποικιλία μέσων. Προτείνεται το μοντέλο επεξεργασίας της πληροφορίας σε δύο στάδια. Πρώτα αποκωδικοποιούνται τα

αντιληπτικά δεδομένα από τα διάφορα μέσα (με χρήση αντίστοιχων αποκωδικοποιητών) και μετά αυτές οι αναπαραστάσεις συνδυάζονται και λαμβάνονται οι αποφάσεις για το εικονικό περιβάλλον. Η μνήμη εργασίας είναι παρούσα και στις δύο φάσεις επεξεργασίας.

### 7.5.2 Διάσπαση της προσοχής

Ένας από τους προβληματισμούς από τη χρήση των πολυμέσων κυρίως αλλά και των ΕΠ στην εκπαίδευση είναι οι πολλαπλές αναπαραστάσεις που χαρακτηρίζουν συνήθως αυτές τις εφαρμογές, οι οποίες μπορεί να αποδειχθούν απαιτητικές ιδιαίτερα για τον αρχάριο και το αποτέλεσμα μπορεί να είναι αρνητικό για τη μάθηση (Ainsworth et al. 1998, Reimann 1999, Rogers 1999). Σύμφωνα με τη θεωρία του γνωστικού φόρτου (cognitive load theory) (Chandler & Sweller 1991, 1992, Sweller & Chandler 1994) οι πολλαπλές αναπαραστάσεις θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε υπερβολική αύξηση του γνωστικού φόρτου στη μνήμη εργασίας με αποτέλεσμα διάσπαση της προσοχής και παρεμπόδιση της μαθησιακής διαδικασίας (Gerlic & Jaušovec 2001). Δεν υπάρχουν όμως ΗΕΓ έρευνες που να επιβεβαιώνουν ή να οριοθετούν τους προβληματισμούς αυτούς.

## 7.6 Αντίληψη της κίνησης

Η κίνηση είναι κοινό φαινόμενο στον πραγματικό κόσμο συνεπώς ο ρόλος της στα εικονικά περιβάλλοντα μπορεί να είναι καθοριστικός για την εμπειρία του συμμετέχοντα. Η συζήτηση γύρω από την ικανότητα διάκρισης του ανθρώπινου εγκεφάλου μεταξύ πραγματικής και φαινομενικής κίνησης άρχισε τη δεκαετία του '60. Αρκετές μελέτες έδειξαν ότι διαφορετικοί τύποι κίνησης επεξεργάζονται σε διαφορετικές εγκεφαλικές περιοχές και με διαφορετικό τρόπο (Fredman & Hardy 1989, Kolers 1964, Peterhans & Hydt 1991). Το ΗΕΓ και τα προκλητά δυναμικά (κυρίως το P300) χρησιμοποιήθηκαν και για το σκοπό αυτό, κυρίως στους άλφα και θήτα ρυθμούς οι οποίοι εμπλέκονται στην οπτική αντίληψη και συνδέονται με την προσοχή και το βαθμό δυσκολίας της δραστηριότητας (Rebert et al. 1984, Brazier & Casby 1952, Barlow 1993, Osaka 1984, Mundy-Castle 1951, 1957). Η πρόσθια περιοχή του εγκεφάλου φαίνεται να συσχετίζεται τόσο με την οπτική επεξεργασία όσο και με τη χωρική συνιστώσα της μνήμης εργασίας (Jonides et al. 1993, McCarthy et al. 1994, Owen et al. 1990).

Η πίσω βρεγματική περιοχή του αριστερού ημισφαιρίου συσχετίζεται με προσοχή προσανατολισμένη σε κινήσεις και με χωρικό προσανατολισμό (Nobre et al. 1997). Επιπλέον, νευρικές δραστηριότητες σχετικές με την προσοχή των κινήσεων και την πρόθεση κίνησης (σε ανθρώπους και μαϊμούδες) κωδικοποιούνται επίσης στον πίσω βρεγματικό φλοιό, ο οποίος μπορεί έτσι να αναπαριστά μια επικοινωνία μεταξύ αισθητήριων και κινητικών περιοχών (Andersen et al. 1997). Αναμενόμενη θεωρείται μια γενικότερη δραστηριότητα στο δεξιό ημισφαίριο όπως δείχνουν

αρκετές ψυχοφυσιολογικές μελέτες που τη συσχετίζουν με οπτικοχωρικές λειτουργίες πριν την κίνηση (Chua et al. 1992, Decety 1996).

Σε συγκρίσεις πραγματικών και εικονικών περιβαλλόντων καταγράφηκε αυξημένη κροταφική δραστηριότητα και στα δύο περιβάλλοντα που συσχετίστηκε με την αντίληψη και τη γνωστική αναπαράσταση των κινήσεων (Decety et al. 1997). Παρόμοια δραστηριότητα δεν παρατηρήθηκε σε δισδιάστατες αναπαραστάσεις σε οθόνη, κάτι που συμφωνεί με την υπόθεση για την κωδικοποίηση των τρισδιάστατων σχημάτων στον κάτω κροταφικό φλοιό (inferior temporal cortex) στον άνθρωπο και τα πρωτεύοντα (Janssen et al. 2000a, 2000b).

Οι Cartwright και Zanni (1996) μελέτησαν τις αλλαγές απόλυτης ισχύος στους άλφα και θήτα ρυθμούς στις ινιακές, βρεγματικές και μετωπιαίες περιοχές κατά την παρατήρηση πραγματικής κίνησης λευκής κηλίδας σε μαύρο υπόβαθρο και φαινομενικής (φώτα που αναβοσβήνουν διαδοχικά με τέτοια ταχύτητα ώστε να δίνεται η ψευδαίσθηση της κίνησης) σε πραγματικό και εικονικό περιβάλλον. Οι διαφορές που εντόπισαν ήταν περισσότερες στις μετωπιαίες περιοχές και στον άλφα ρυθμό και λιγότερο καθαρές στο θήτα. Έτσι προτείνεται η υπόθεση ότι η διαφοροποίηση δε συνίσταται στην πρωτογενή επεξεργασία της οπτικής πληροφορίας αλλά σε ένα υψηλότερο επίπεδο γνωστικής επεξεργασίας εκτός του οπτικού φλοιού. Βέβαια η συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία δεν έχει και μεγάλη σχέση με τη σημερινή έννοια του όρου εικονική πραγματικότητα (Μικρόπουλος 2001).

### 7.6.1 Αντίληψη κινήσεων άλλου υποκειμένου

Αρκετοί ερευνητές υποστηρίζουν την άποψη ότι η αναγνώριση των κινήσεων ενός ατόμου του ίδιου είδους είναι μια αναπτυγμένη ικανότητα του ανθρώπου και των πρωτευόντων γενικότερα (Premack & Woodruff 1978). Ένας άνθρωπος μπορεί εύκολα να διακρίνει ακόμη και απλές κινήσεις αν προέρχονται από βιολογικές ή μηχανικές πηγές (Dittrich 1993). Πιθανώς αυτό να οφείλεται στον καθοριστικό ρόλο της μίμησης που αρχίζει με τη γέννηση και συνεχίζεται σε όλη τη διάρκεια της ζωής (Meltzoff & Moore 1977). Σε έρευνες με τη μέθοδο της τομογραφίας εκπομπής ποζιτρονίων (PET) οι εγκεφαλικές περιοχές που ενεργοποιούνται κατά την παρατήρηση κινήσεων χεριού άλλου ατόμου επικαλύπτονται από τις περιοχές που ενεργοποιούνται κατά το σχεδιασμό και την εκτέλεση μιας κίνησης από το ίδιο το υποκείμενο (Grafton et al. 1996, Rizzolatti et al. 1996).

Οι Perani et al. (2001) με τεχνικές PET σε υποκείμενα που παρατηρούσαν κινήσεις πραγματικού χεριού, εικονικού χεριού με πιστή αναπαράσταση και εικονικού γεωμετρικού ρομποτικού χεριού, κατέγραψαν ομοιότητες αλλά και σημαντικές διαφορές της εγκεφαλικής λειτουργίας. Οι εγκεφαλικές περιοχές που ενεργοποιήθηκαν με παρόμοιο τρόπο στο εικονικό και το ρομποτικό χέρι περιορίστηκαν στο συνειρμικό οπτικό φλοιό και κυρίως στο αριστερό ημισφαίριο, ενώ οι διαφορές ήταν μικρές κυρίως στο δεξιό ημισφαίριο. Άρα ο βαθμός του ρεαλισμού δε φάνηκε να επηρεάζει σημαντικά την απαιτούμενη εγκεφαλική



δραστηριότητα. Οι διαφορές όμως στο εικονικό και το πραγματικό περιβάλλον ήταν σημαντικές. Οι ερευνητές συμφωνούν με προηγούμενες έρευνες από το χώρο της παιδικής ψυχολογίας που υποστηρίζουν ότι τα παιδιά μπορούν να παρακολουθήσουν και να κατανοήσουν καλύτερα κινήσεις που εκτελούνται από άλλα άτομα παρά από μη βιολογικές συσκευές (Legerstee 1991, Meltzoff 1995).

### **7.6.2 Ο ρόλος της κοινωνικής αλληλεπίδρασης**

Μια σημαντική παράμετρος στην αντίληψη άλλων υποκειμένων είναι και η αντίληψη των προθέσεων ή των συναισθημάτων των άλλων και γενικά ότι εμπλέκεται στην ενεργοποίηση της κοινωνικής συμπεριφοράς και αλληλεπίδρασης με τους άλλους. Ο Schilbach πραγματοποίησε fMRI μετρήσεις ενώ τα υποκείμενα αντιμετώπιζαν παθητικά εικονικούς χαρακτήρες. Οι διαφορές όταν οι εικονικοί άνθρωποι έστρεφαν το βλέμα τους στα υποκείμενα ή σε κάποιον άλλο ήταν κυρίως στον πρόσθιο έσω προμετωπιαίο φλοιό. Η αντίληψη εκφράσεων του προσώπου που αντιστοιχούσαν σε κοινωνική αποδοχή ή προσέγγιση (π.χ. χαιρετισμός) συνοδεύτηκε με αύξηση της νευρωνικής δραστηριότητας στον κάτω έσω προμετωπιαίο φλοιό, ενώ οι αυταρχικοί ή εχθρικοί μορφασμοί του προσώπου ενεργοποίησαν τη έσω κροταφική έλικα (Schilbach et al. 2005).

### **7.6.3 Η έννοια του πράκτορα και η επίδραση στη συνειδητοποίηση των κινήσεων**

Υπάρχουν καταστάσεις που η κοινή εντύπωση ότι προκαλούμε και ελέγχουμε τις κινήσεις μας μπορεί να μην είναι τόσο ξεκάθαρη, όπως συμβαίνει μερικές φορές σε αλληλεπιδραστικά ηλεκτρονικά παιχνίδια όπου συμμετέχουν και άλλοι παίχτες και η κίνηση ή η πρόθεση για κίνηση δεν είναι σίγουρο αν είναι δική μας ή του συμπαίκτη μας (Wegner & Wheatley 1999). Στα αλληλεπιδραστικά εικονικά περιβάλλοντα η ικανότητα του ατόμου να αποδίδει την προέλευση μιας κίνησης ή δράσης στον κατάλληλο πράκτορα είναι κρίσιμη για την κατανόηση της συνείδησης και της αυτοσυνείδησης σχετικά με την κίνηση. Ο Gallagher (2000) θεωρεί ότι το αίσθημα ότι το υποκείμενο συμμετέχει περιστασιακά σε μια δράση-κίνηση αποτελεί σημαντικό κομμάτι της συνειδητοποίησης του εαυτού. Σε αρκετές PET και fMRI έρευνες η απόδοση μιας κίνησης σε άλλο υποκείμενο-πράκτορα έχει συσχετιστεί με αυξημένη εγκεφαλική δραστηριότητα στο κάτω δεξιό βρεγματικό λοβό (McGuire et al. 1996b, Spence et al. 1997, Ruby & Decety 2001, Farrer & Frith 2002). Η ενεργοποίηση της νήσου του Reil που σχετίζεται με την αντίληψη του εαυτού, δεν αναπτύσσεται εκτενέστερα στο σημείο αυτό, γιατί η μέθοδος της ηλεκτροεγκεφαλογραφίας δεν παρέχει αντιπροσωπευτικές μετρήσεις της εγκεφαλικής δραστηριότητας εσωτερικών εγκεφαλικών δομών. Οι Farrer et al. (2003) παραδέχονται μια διαβάθμιση σε αυτήν την αίσθηση της αντιπροσώπευσης ή συνείδησης των κινήσεων, η οποία προκύπτει από μία συνεχή διαδικασία ελέγχου

διαφορετικών σημάτων που προέρχονται από αισθητήριες (οπτικές, κιναισθητικές) και κινητικές εγκεφαλικές περιοχές. Αυτό το αίσθημα του ελέγχου της κίνησης (που προκύπτει από τη συμφωνία πρόθεσης και τελικού αποτελέσματος) θεωρείται η βάση για να αποφασίσει το υποκείμενο αν είναι το ίδιο ή κάποιος άλλος αυτός που προκαλεί τις κινήσεις.

Πράγματι, πληροφορίες από κλινικές παρατηρήσεις με ασθενείς με τραύματα του δεξιού κυρίως κάτω βρεγματικού φλοιού αναφέρουν μια αίσθηση ξένου σώματος για το αντίστοιχο άκρο ή σαν να ανήκουν σε κάποιον άλλο (Critchley 1953, Nightingale 1982, Leiguarda 1993, Bundick & Spinella 2000, Daprati et al. 2000). Ωστόσο, ο Farrer και οι συνεργάτες του (2003) σημειώνουν ότι μείωση της αίσθησης του ελέγχου της κίνησης συσχετίστηκε με αύξηση της δραστηριότητας στο δεξιό κάτω βρεγματικό φλοιό. Η αυξημένη ενεργοποίηση στον προκινητικό (premotor) φλοιό αποδόθηκε στην αυξημένη οπτικο-χωρική προσοχή στις μετακινήσεις του εικονικού χεριού στην οθόνη.

## 7.7 Χωρική αντίληψη

Η αντίληψη του χώρου στον πραγματικό κόσμο προϋποθέτει αρκετούς τύπους αισθητήριας πληροφορίας ώστε να γνωρίζει το υποκείμενο που βρίσκεται τώρα αλλά και σε συνδυασμό με τη χρονική εξέλιξη των γεγονότων. Τέτοιες πληροφορίες αντλούνται από την όραση, την ακοή, την αφή, το αιθουσαίο σύστημα και την ιδιοδεκτική αίσθηση.

Βασικό ρόλο στα μοντέλα που προσπαθούν να περιγράψουν τον τρόπο που δημιουργείται μια νοητική αναπαράσταση του χώρου παίζουν τα ορόσημα που επισημαίνει το υποκείμενο, οι διαδρομές και η εμπειρία που αποκτάται με την εξερεύνηση του χώρου (Seigel & White 1975, Thorndyke & Hayes-Roth 1982). Από όλες αυτές τις πληροφορίες η ανθρώπινη αντίληψη συνθέτει μια ενιαία συνεπή εντύπωση (Welch & Warren 1986). Όταν οι πληροφορίες του περιβάλλοντος περιορίζονται σε μία ή δύο μόνο αισθητήριες πηγές, οι αναπαραστάσεις του περιβάλλοντος μπορεί να είναι παραπλανητικές ή ανακριβείς και να αυξάνουν πολύ την πολυπλοκότητα μιας κατά τα άλλα απλής και κοινής διεργασίας (Sherrick & Cholewiak 1986). Σύμφωνα με αυτήν την άποψη είναι χρήσιμες ακόμη και πληροφορίες που μπορεί να φαίνονται περιττές (Durlach & Mavor 1995). Εντούτοις, η πλειοψηφία των ερευνητών που ασχολήθηκαν με την πλοήγηση σε εικονικά περιβάλλοντα χρησιμοποιούν περιορισμένη αισθητήρια αλληλεπίδραση (π.χ. Bliss et al 1997, Regian et al. 1992, Ruddle et al. 1996, Satalich 1995, Plauka & Wilson 1994, Witmer et al. 1996).

Οι περισσότερες έρευνες στην αντίληψη του χώρου περιλαμβάνουν δραστηριότητες εκμάθησης, απομνημόνευσης, επιλογής μιας ή πολλών εναλλακτικών διαδρομών και πλοήγησης σε εικονικά περιβάλλοντα όπως μια υποθετική πόλη ή ένας λαβύρινθος. Όλες οι τεχνικές απεικόνισης της εγκεφαλικής λειτουργίας παρουσιάζουν προβλήματα όταν το υποκείμενο κινείται ή απομακρύνεται από το

εργαστηριακό περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται η συσκευή καταγραφής και σε πολλές από αυτές τις τεχνικές είναι εντελώς αδύνατη τέτοιου είδους μετακίνηση. Έτσι, δεν είναι εύκολο να πραγματοποιηθούν συγκριτικές έρευνες ανάμεσα σε πραγματικά και εικονικά περιβάλλοντα.

Η πλοήγηση σε ένα εικονικό κόσμο, εκτός από τις ιδιαιτερότητες και τους περιορισμούς που επιβάλλονται από τη χρήση χειριστήριων συσκευών, αντιστοιχεί πιθανότατα και σε διαφορετικές γνωστικές λειτουργίες. Κεντρικό σημείο στην εικονική πλοήγηση είναι η ικανότητα του ανθρώπου να αντιληφθεί αντικείμενα στον τρισδιάστατο χώρο από μια εγωκεντρική προοπτική, να ερμηνεύει τη θέση του σε σχέση με άλλα αντικείμενα του χώρου και να χρησιμοποιεί αυτές τις ερμηνείες σε συνδυασμό με άλλες συμφραζόμενες πληροφορίες, πρότερες εμπειρίες και προσωπικά κίνητρα με σκοπό να μετακινηθεί σε μια γνωστή τοποθεσία ή γενικότερα μια τοποθεσία - στόχο. Αυτές οι ικανότητες είναι πιθανόν κοινές και σε άλλα πρωτεύοντα, όπως δείχνουν για παράδειγμα έρευνες σε πίθηκους κατά την πλοήγησή τους σε εικονικό λαβύρινθο (Sato et al. 2003).

Παράλληλα ο άνθρωπος χρησιμοποιεί και αλλοκεντρικές αναπαραστάσεις οι οποίες είναι περισσότερο προσανατολισμένες στον εξωτερικό κόσμο ανεξάρτητα από τη θέση του ίδιου του υποκειμένου (Spiers et al. 2001). Αυτή η ικανότητα της αλλοκεντρικής αναπαράστασης του περιβάλλοντος χώρου είναι περισσότερο ανεπτυγμένη στους ενήλικες από ότι στα παιδιά. Οι Pine et al. (2002) ερεύνησαν αυτή την ικανότητα σε συνδυασμό με τη λειτουργία της χωρικής μνήμης σε εφήβους και ενήλικες κατά την πλοήγησή τους σε εικονικό λαβύρινθο με fMRI μετρήσεις. Η καθοδηγούμενη από τη μνήμη πλοήγηση ενεργοποίησε αρκετές περιοχές συμπεριλαμβανομένων των δεξιών μετωπιαίων και δεξιών πρόσθιων έσω κροταφικών περιοχών, ενώ οι έφηβοι παρουσίασαν ενεργοποίηση και στον κροταφοβρεγματικό συνειρμικό φλοιό και στην παρεγκεφαλίδα κυρίως στο αριστερό ημισφαίριο. Γενικότερα η έρευνα της ανθρώπινης πλοήγησης έχει επικεντρωθεί στο ρόλο των υποκάμπιων και παραϊπποκάμπιων περιοχών. Συγκεκριμένα ο δεξιός ιππόκαμπος περιέχει πιθανά έναν εσωτερικοποιημένο χάρτη της διαδρομής με τις αλλοκεντρικές συντεταγμένες (Maguire et al. 1999).

Ο Mraz και οι συνεργάτες του χρησιμοποίησαν την fMRI ως τεχνική μέτρησης της εγκεφαλικής λειτουργίας κατά την πλοήγηση υποκειμένων σε μια εικονική πόλη. Εκτός από την ενεργοποίηση στις παραϊπποκάμπιες περιοχές παρατηρήθηκε μείωση στην προμετωπιαία ενεργοποίηση, η οποία ερμηνεύθηκε ως μειωμένος εκτελεστικός έλεγχος και λιγότερο απαιτητική κωδικοποίηση μιας όλο και περισσότερο εξοικειωμένης διαδρομής όπως επίσης και σε πιθανή μετατόπιση από τη μετωπιαία βραχυπρόθεσμη χωρική μνήμη σε περισσότερο παγιωμένες μνημονικές δομές του παραϊπποκάμπιου φλοιού (Mraz et al. 2003).

Οι Kahana et al. (1999) παρατήρησαν σε επιληπτικούς ασθενείς, καθώς πλοηγούνταν σε εικονικό λαβύρινθο (σε οθόνη υπολογιστή), θήτα κύματα υψηλού πλάτους σε αρκετές φλοιώδεις περιοχές (συμπεριλαμβανομένων των μετωπιαίων και

κροταφικών). Οι ερευνητές σημείωσαν επιπλέον ότι τα θήτα κύματα ήταν συχνότερα στις δοκιμές ανάκλησης από ότι ήταν στις δοκιμές εκμάθησης.

Σε άλλο πείραμα εικονικού λαβύρινθου οι Nishiyama και Yamaguchi (2001) εντόπισαν δύο περιοχές με υψηλή θήτα δραστηριότητα. Μία στη μετωπιαία περιοχή που πιθανά συνδέεται με τη χωρική μνήμη εργασίας (spatial working memory) και μία άλλη στην κροταφοβρεγματική περιοχή. Οι ερευνητές προτείνουν την ύπαρξη συνδέσεων μεταξύ του υπόκαμπου, του προμετωπιαίου φλοιού και του βρεγματικού φλοιού.

Οι De Araujo et al. (2001) με χρήση μαγνητοεγκεφαλογραφίας παρατήρησαν σημαντική αύξηση της θήτα δραστηριότητας στις βρεγματικές περιοχές κατά την πλοήγηση σε εικονικό λαβύρινθο, ενώ δε συνέβη το ίδιο όταν τα υποκείμενα εκτελούσαν νοητικούς υπολογισμούς ή όταν παθητικά παρακολουθούσαν την πλοήγηση. Ομοίως οι Carlan et al. (2003) παρατήρησαν αυξημένη δραστηριότητα θήτα σε πολλές περιοχές του φλοιού όταν τα υποκείμενα κινούνταν (σε σχέση με περιόδους ακινησίας). Επιπλέον σε έρευνα με ενδοκρανιακά ηλεκτρόδια (iEEG) οι Ekstrom et al. (2005) παρατήρησαν αύξηση του θήτα ρυθμού στον υπόκαμπο και το νεοφλοιό όταν τα υποκείμενα κινούνταν σε εικονική πόλη.

Επιπλέον οι τρεις προαναφερόμενες έρευνες συνδέουν τη συχνότητα αλλά και το πλάτος του θήτα ρυθμού με το βαθμό δυσκολίας της πλοήγησης. Οι Bischof και Boulanger (2003) σημειώνουν ότι θήτα κύματα εμφανίζονται όταν ένας νέος διάδρομος παρουσιάζεται (π.χ. μετά από μία διασταύρωση) ή όταν το υποκείμενο αντιλαμβάνεται ότι έχει κάνει λάθος (π.χ. αδιέξοδος διάδρομος) και προτείνουν τη θήτα δραστηριότητα ως ένα πρόσθετο δείκτη για την αξιολόγηση των εικονικών περιβαλλόντων, μαζί με άλλους συμπεριφοριστικούς δείκτες (όπως τον αριθμό λαθών, το χρόνο εκμάθησης, κ.α.).

Άλλοι ερευνητές παρουσιάζονται επιφυλακτικοί στο ρόλο του θήτα ρυθμού στους εικονικούς λαβύρινθους. Επειδή στους περισσότερους λαβυρίνθους τα υποκείμενα μαθαίνουν να κινούνται ακολουθώντας λεκτικές οδηγίες για στροφές αριστερά και δεξιά (Kirschen et al. 2000), είναι δύσκολο να έχουμε ισχυρά συμπεράσματα για το ρόλο του θήτα ρυθμού στη χωρική επεξεργασία. Ο Kahana (2006) για να ξεπεράσει το πρόβλημα αυτό έβαλε τους συμμετέχοντες να πραγματοποιούν μεταφορές επιβατών με εικονικό ταξί από σημείο σε σημείο μιας εικονικής πόλης όπου η γνώση των διαδρομών αυξάνονταν προοδευτικά με την πλοήγηση στον εικονικό κόσμο. Ο Carlan και οι συνεργάτες του (2001) παρατήρησαν ότι η γάμα δραστηριότητα και όχι η θήτα, αυξήθηκε με την αύξηση της δυσκολίας των επιλογών (εναλλακτικών διαδρομών). Υποστήριξαν ότι η επίδραση του μήκους του λαβύρινθου στο θήτα ρυθμό δεν απεικονίζει την αυξανόμενη δυσκολία της κωδικοποίησης ή της ανάκτησης στα σημεία που τα υποκείμενα πρέπει να επιλέξουν (στις διασταυρώσεις), αλλά πιθανόν απεικονίζει μια γενική-ολιστική διαφορά μεταξύ των μεγάλων και μικρών λαβυρίνθων.

Ένα πρόβλημα στις έρευνες με εικονικούς λαβύρινθους είναι οι περιορισμοί που συνήθως επιβάλλονται στη μετακίνηση των υποκειμένων, στον τρόπο που

αλλάζουν τα σημεία παρατήρησης στις στροφές, όπως επίσης και σε επιπλέον μηνύματα, πινακίδες, σήματα, χάρτες και άλλες πληροφορίες που εμφανίζονται στην οθόνη και διαφοροποιούν την εικονική με την πραγματική πλοήγηση. Βέβαια, τέτοιου είδους μειονεκτήματα ελαχιστοποιούνται με την πρόοδο της τεχνολογίας των ΕΠ (π.χ. Bischof & Boulanger 2003).

## 7.8 Οπτική εξερεύνηση του χώρου

Η οπτική εξερεύνηση του περιβάλλοντος χώρου, γνωστού ή άγνωστου, έχει ίσως ερευνηθεί σε πραγματικά και εικονικά περιβάλλοντα περισσότερο από άλλους τομείς. Η συντριπτική πλειοψηφία των πειραμάτων εξετάζει τη συμπεριφορά των υποκειμένων (ανθρώπων και ζώων) ή/και την εγκεφαλική τους λειτουργία σε περιβάλλοντα λαβυρίνθων.

Ο Gron και οι συνεργάτες του (2000) χρησιμοποίησαν τρισδιάστατο εικονικό λαβύρινθο και μελέτησαν διαφορές εγκεφαλικής λειτουργίας μεταξύ των δύο φύλων κατά την προσπάθεια των υποκειμένων να εξέλθουν από το λαβύρινθο χρησιμοποιώντας εξέταση fMRI. Παρατήρησαν ενεργοποίηση στις έσω ινιακές έλικες, στις πλευρικές και έσω βρεγματικές περιοχές, στην περιοχή του πίσω προσαγωγίου και την παραϊπποκάμπια έλικα (parahippocampal gyri) καθώς επίσης και του δεξιού ιππόκαμπου. Οι διαφορές των φύλων εστιάζονται σε ενεργοποίηση του αριστερού ιππόκαμπου στα αρσενικά υποκείμενα, ενώ στα θηλυκά ενεργοποιήθηκε ο δεξιός βρεγματικός και δεξιός προμετωπιαίος φλοιός.

Αρκετές νευρωνικές δομές σχετίζονται με οπτικο-χωρικές γνωστικές διεργασίες. Μελέτες σε ζώα αλλά και σε ανθρώπους με κρανιακές κακώσεις υποδεικνύουν τη σπουδαιότητα του δεξιού έσω κροταφικού λοβού, συμπεριλαμβανομένου του ιππόκαμπου και του ιπποκάμπειου σχηματισμού για την αναπαράσταση του χώρου (Gron et al. 2000, Abrahams et al. 1999, Maguire et al. 1998, Bohbot et al. 1998). Όλα τα σχετικά ευρήματα έχουν ενοποιηθεί στην υπόθεση ενός γνωστικού χάρτη, προτείνοντας την ύπαρξη μίας αλλοκεντρικής (προσανατολισμένης στον έξω κόσμο) αναπαράστασης του περιβάλλοντος, η οποία κυρίως εντοπίζεται στον ιππόκαμπο.

Αντίθετα, στις εγωκεντρικές (προσανατολισμένες στο εσωτερικό του οργανισμού) χωρικές γνωστικές λειτουργίες εμπλέκεται κύρια ο πίσω βρεγματικός φλοιός. Επιπρόσθετα, οι ισχυρές νευρωνικές συνδέσεις αυτής της περιοχής με τον ιπποκάμπειο σχηματισμό καθώς επίσης και με παραιπποκάμπειες περιοχές υποδεικνύουν τις λειτουργικές αλληλεπιδράσεις αυτών των δομών για χωρικές γνωστικές λειτουργίες, όπως ο προσανατολισμός, η πλοήγηση και η οπτικοχωρική μνημονική λειτουργία. Επιπλέον οι δεξιές προμετωπιαίες περιοχές (περιοχές Brodmann 9 και 46) επίσης ενεργοποιούνται κατά την οπτικοχωρική λειτουργία της μνήμης εργασίας.

Από τις μέχρι τώρα fMRI μελέτες προκύπτει το συμπέρασμα ότι ενεργοποίηση των παραϊπποκάμπειων περιοχών (parahippocampus), της έσω βρεγματικής περιοχής

και του πίσω προσαγωγίου (cingulated) παρατηρείται κατά τη φάση της κωδικοποίησης σε ένα λαβύρινθο, ενώ δεν παρατηρείται διαφορά μεταξύ κωδικοποίησης και ανάκτησης. Όταν χρησιμοποιούνται συγκεκριμένα αντικείμενα ως ορόσημα για την πλοήγηση, παρατηρείται σημαντική δραστηριότητα της δεξιάς παραϊπποκάμπειας έλικας, αλλά καμία δραστηριότητα στον ιππόκαμπο. Χρησιμοποιώντας ένα περιβάλλον εξομοίωσης με υπολογιστή, η επιτυχής ανάκτηση των προηγούμενων καλά μαθημένων διαδρομών με συγκεκριμένους προκαθορισμένους στόχους ενεργοποιεί τη δεξιά ιπποκάμπια περιοχή.

Ο Gron (Gron et al. 2000) συμφωνεί με την άποψη ότι ο ιππόκαμπος εμπλέκεται στη λειτουργία της χωρικής επεξεργασίας κατά την πλοήγηση, ενώ η παραϊπποκάμπια περιοχή εμπλέκεται στην επεξεργασία συγκεκριμένων τοποθεσιών και διαδρομών, και απεικονίζει πιθανώς την κωδικοποίηση των νέων τοποθεσιών και των τοπογραφικών δικτύων. Ενεργοποίηση του μέσου βρεγματικού προσφηνοειδές λόβιου παρατηρείται συνήθως στις μελέτες της επεισοδιακής μνήμης για λεκτικά ή οπτικά ερεθίσματα. Εδώ υποθέτουμε ότι η ενεργοποίηση των έσω βρεγματικών περιοχών απεικονίζει τη λειτουργία της μνήμης εργασίας, καθώς εγγράφονται στοιχεία για να αποτελέσουν ένα εσωτερικό πρωτόκολλο της πλοήγησης.

## **7.9 Αντίληψη αντικειμένων δύο και τριών διαστάσεων**

Η αναγνώριση ενός αντικειμένου είναι σύνθετη διαδικασία στην οποία συνδυάζονται αισθητηριακές, μνημονικές και συναισθηματικές πληροφορίες. Έρευνες σε πειραματόζωα και ανθρώπους υποδεικνύουν ότι η επεξεργασία διαφορετικών χαρακτηριστικών πραγματοποιείται σε διαφορετικές ανατομικά περιοχές (Orbal et al. 1996). Οι έρευνες υπογραμμίζουν την ύπαρξη και το σύνθετο ρόλο της γάμα δραστηριότητας (κυρίως της επαγόμενης–induced και λιγότερο της προκλητής-evoked) σε αυτές τις διαδικασίες. Οι Tallon-Baudry και Bertrand (1999) υποστηρίζουν ότι η επαγόμενη γάμα δραστηριότητα αυξάνεται όταν συνδυάζονται τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του παρατηρούμενου αντικειμένου και εμφανίζεται με διαφορετική καθυστέρηση, εκτός από τις ινιακές και σε κροταφικές και μετωπικές περιοχές που συσχετίζονται με τη βραχύχρονη μνήμη.

Η παρατήρηση στερεοσκοπικών εικόνων (στερεογράμματα με κουκίδες) είχε ως αποτέλεσμα αύξηση του ινιακού γάμα ρυθμού στις τρισδιάστατες αναπαραστάσεις σε σχέση με τις δισδιάστατες, ενώ καμία διαφορά δεν παρατηρήθηκε στις άλφα ή βήτα ζώνες (Revonsuo et al. 1997).

## **7.10 Προσοχή**

Γενικά υπάρχει η αίσθηση ότι η διατήρηση της προσοχής είναι πιο εύκολη στα εικονικά περιβάλλοντα, γιατί σε αυτά είναι δυνατό να ελεγχθούν διάφοροι παράγοντες που στον πραγματικό κόσμο αποσπούν την προσοχή του ατόμου. Σε

συγκριτική έρευνα σε διεργασίες μάθησης σε εικονικά και πραγματικά περιβάλλοντα ο Μικρόπουλος (2003) διαπίστωσε αυξημένη προσοχή στο εικονικό περιβάλλον. Τόσο οι παρατηρήσεις των κινήσεων των ματιών, όσο και οι ΗΕΓ καταγραφές των άλφα και βήτα ρυθμών συνηγορούν σε αυτή την άποψη.

### **7.11 Αίσθηση αφής**

Ο Μπράζ και οι συνεργάτες του (2003) πειραματίστηκαν με την αίσθηση της αφής στο ένα χέρι σε πραγματικό και εικονικό περιβάλλον χρησιμοποιώντας fMRI εξέταση. Όταν τα υποκείμενα στο πραγματικό περιβάλλον δεν έβλεπαν το χέρι τους υπήρχε αναμενόμενη ενεργοποίηση του πρωτοταγούς αντίπλευρου αισθητικοκινητικού φλοιού, ενώ όταν έβλεπαν το χέρι αυξήθηκε η ενεργοποίηση σε περιοχές που συνδέονται με τον κινητικό έλεγχο συμπεριλαμβανομένης της συμπληρωματικής κινητικής περιοχής (SMA) και βρεγματικές περιοχές (Brodmann περιοχή 5). Το εικονικό περιβάλλον με χρήση ειδικού γαντιού για την ψευδαίσθηση της αφής αύξησε την ενεργοποίηση των προαναφερθέντων εγκεφαλικών περιοχών και επιπλέον επέκτεινε την ενεργοποίηση στις ινιακές περιοχές και στις ομόπλευρες με το χέρι που συμμετείχε στο πείραμα βρεγματικές περιοχές.

Αυτές οι παρατηρήσεις και ειδικά η ενεργοποίηση ομόπλευρων και όχι αντίπλευρων (όπως ήταν αναμενόμενο) εγκεφαλικών περιοχών υποδεικνύει διαφορετικά πρότυπα εγκεφαλικής λειτουργίας στην πραγματική και την εικονική αίσθηση της αφής και ερμηνεύτηκε από τους ερευνητές ως ένδειξη μη αναγνώρισης από τον εγκέφαλο του γαντιού αφής ως οικείου μέλους του σώματος.

### **7.12 ΗΕΓ μετρήσεις σε περιβάλλον εικονικής οδήγησης**

Η οδηγική ικανότητα, η δυνατότητα του υποκειμένου να ελέγχει και να κατευθύνει ένα μηχανοκίνητο όχημα, απαιτεί το συγχρονισμό αρκετών γνωστικών δεξιοτήτων, όπως το σχεδιασμό, τον κινητικό έλεγχο, οπτικο-χωρικές ικανότητες και συμμετοχή μνημονικών λειτουργιών. Όλες αυτές οι λειτουργίες πρέπει να ενεργοποιούνται κάτω από τον κεντρικό ρόλο της προσοχής (Shinar 1993). Η προσοχή είναι αρκετά δύσκολο να μελετηθεί σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης και για το σκοπό αυτό συνήθως χρησιμοποιούνται εξομοιωτές (είτε με ακριβό εξοπλισμό και ειδικά μοντέλα-οχήματα είτε σε φθηνότερα εικονικά περιβάλλοντα με ηλεκτρονικό υπολογιστή). Συνήθως εξετάζονται οι άλφα και βήτα ρυθμοί του ΗΕΓ. Ο αποσυγχρονισμός του άλφα ρυθμού συσχετίζεται με αυξημένη προσοχή ενώ η βήτα δραστηριότητα φαίνεται να παρουσιάζει αντίστροφη συμπεριφορά από την άλφα και αυξάνει όταν αυξάνουν οι απαιτήσεις της εργασίας (Papanikolaou et al. 1986). Επιπλέον, οι Ray και Cole (1985) υποστηρίζουν ότι ο άλφα ρυθμός αντανακλά αλλαγές σε εξωτερικά γεγονότα (όπως οι αισθητηριακές πληροφορίες), ενώ ο βήτα ρυθμός αντανακλά εσωτερικά γεγονότα (όπως η νοητική διαχείριση μιας κατάστασης).

Ο Miller (1995) σε μια εκτενή έρευνα με 10.000 ώρες οδήγησης σε 80 οδηγούς προσπάθησε να εφαρμόσει ΗΕΓ καταγραφές μαζί με άλλους παράγοντες, ενώ ο Schier (2000) μελέτησε σε εικονικό περιβάλλον ταυτόχρονα παράγοντες φυσιολογικούς (ΗΕΓ), συμπεριφοριστικούς και οδηγικούς (ταχύτητα οχήματος, χρόνοι αντίδρασης, κ.ά.). Οι μεγαλύτερες διαφορές παρατηρήθηκαν στη δεξιά μετωπιαία περιοχή (ηλεκτρόδιο F4), το οποίο θεωρήθηκε αναμενόμενο από το ρόλο του μετωπιαίων λοβών στην προσοχή (Mesulam 1986) και το ρόλο του δεξιού ημισφαιρίου (Deutsch et al. 1987).

Πρόσθετες πληροφορίες σε περιβάλλοντα εικονικής οδήγησης προκύπτουν από μετρήσεις της θήτα δραστηριότητας. Ο Laukka και οι συνεργάτες του (1995) πραγματοποιώντας ΗΕΓ μετρήσεις σε περιβάλλον βιντεο-παιχνιδιού όπου τα υποκείμενα έπρεπε να βρουν το σωστό δρόμο, παρατήρησαν (μη αναμενόμενη) θήτα αύξηση στις σωστές επιλογές και επίσης κατά την εκμάθηση του περιβάλλοντος.

### **7.13 Σύγκριση εγκεφαλικών λειτουργιών σε εικονικά και πραγματικά περιβάλλοντα**

Μια σύγκριση εγκεφαλικών λειτουργιών σε εικονικό και παρόμοιο πραγματικό περιβάλλον επιχειρήθηκε από τον Μικρόπουλο (2001). Ως μέθοδος απεικόνισης χρησιμοποιήθηκε το ΗΕΓ στο μετωπιαίο φλοιό μόνο, αφού θεωρήθηκε ως βασική περιοχή για την οπτική επεξεργασία και τη χωρική μνήμη εργασίας. Η διεργασία αφορούσε σε μικρή πλοήγηση με μετακίνηση των υποκειμένων, παρόμοια στον εικονικό και τον πραγματικό κόσμο. Ο άλφα ρυθμός (8 – 13 Hz) παρουσίασε αυξημένη ισχύ στο πραγματικό περιβάλλον μόνο στους άντρες, ενώ πολλές γυναίκες είχαν αυξημένη άλφα ισχύ στο εικονικό περιβάλλον αλλά χωρίς στατιστική σημαντικότητα. Ο κατώτερος βήτα υπορυθμός (13 – 20 Hz) εμφανίστηκε με αρκετά χαμηλότερη ισχύ στο εικονικό περιβάλλον, το οποίο ερμηνεύθηκε ως αυξημένες απαιτήσεις προσοχής και γνωστικής υποκίνησης στο περιβάλλον αυτό. Ο θήτα ρυθμός (4 – 8 Hz) εμφάνισε επίσης σημαντική μείωση στο εικονικό περιβάλλον για όλα τα υποκείμενα. Ο γάμα ρυθμός (γύρω από τα 40 Hz) που συσχετίζεται με οπτικά ερεθίσματα και κινητικές διεργασίες, δεν εμφάνισε στατιστικά σημαντικές διαφορές και θεωρήθηκε ως ένδειξη ότι τα υποκείμενα αισθάνθηκαν παρόμοια την κίνησή τους στα δύο περιβάλλοντα.

Επιπλέον καταγράφηκαν οι κινήσεις των ματιών των υποκειμένων (κυρίως το ανοιγοκλείσιμο). Στο εικονικό περιβάλλον υπήρξε στατιστικώς σημαντική μείωση του φαινομένου, πράγμα που ερμηνεύθηκε ως αυξημένη προσοχή. Οι γυναίκες παρουσίασαν αυξημένη οφθαλμική δραστηριότητα στο εικονικό περιβάλλον, πιθανώς επειδή είχαν λιγότερη εξοικείωση από τους άρρενες στη χρήση των συσκευών της εικονικής πραγματικότητας (πράγματι προσπαθούσαν να κάνουν παρόμοιες κινήσεις με τον πραγματικό κόσμο αντί να χρησιμοποιήσουν το joystick).



#### **7.14 Νευρο-ανατροφοδότηση και εικονική πραγματικότητα**

Με τον όρο νευρο-ανατροφοδότηση (neurofeedback ή NFB) χαρακτηρίζεται η λειτουργία κατά την οποία ένα άτομο τροποποιεί συνειδητά νευροφυσιολογικά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της εγκεφαλικής του λειτουργίας (πλάτος, συχνότητα ή συνοχή) χρησιμοποιώντας κάποιες πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά αυτά. Τα υποκείμενα συνήθως αφήνονται ελεύθερα να διαμορφώσουν τη δική τους στρατηγική για να πετύχουν τον έλεγχο των ΗΕΓ ρυθμών (Allanson & Mariani 1999). Αν και ο φυσιολογικός μηχανισμός αυτής της λειτουργίας δεν είναι γνωστός, είναι μια πραγματική ικανότητα στον άνθρωπο και σε μερικά ζώα (Thatcher 2000:38-39). Η χρήση της νευροανατροφοδότησης προορίζεται κύρια για κλινικές θεραπευτικές εφαρμογές και υπάρχουν ήδη αρκετές δημοσιεύσεις αν και η έρευνα στο θέμα αυτό βρίσκεται ακόμη στα σπάργανα. Αρκετοί ερευνητές αναγνωρίζουν το σημαντικό ρόλο της εικονικής πραγματικότητας στα συστήματα νευροανατροφοδότησης (Budzynsky 1995, Caudell 1997, Pugnetti et al. 1997, Othmer & Kaiser 2000, Wiederhold & Wiederhold 2000). Η ΕΠ μπορεί να αυξήσει την παροχή κινήτρων, την κατανόηση, τη συμμετοχή και την υπομονετικότητα των ασθενών με αποτέλεσμα καλύτερα αποτελέσματα.

#### **7.15 Παρατηρήσεις από έρευνες με βίντεο**

Οι συσκευές βίντεο δεν ανήκουν στις τεχνολογίες της εικονικής πραγματικότητας. Ωστόσο, επειδή υποκαθιστούν τα οπτικά ερεθίσματα με οθόνη ή επιφάνεια προβολής, οι παρατηρήσεις της εγκεφαλικής λειτουργίας ατόμων που χρησιμοποιούν τέτοιες συσκευές μπορούν να φανούν χρήσιμες και στη μελέτη των εικονικών περιβαλλόντων.

Η αντίληψη για τις απαραίτητες κινήσεις για τη σύλληψη ενός αντικειμένου, όπως προκύπτει από fMRI και PET μελέτες, ενεργοποιεί τον κροταφικό και βρεγματικό εγκεφαλικό φλοιό του αριστερού ημισφαιρίου (Bonda et al. 1996). Η παρατήρηση κινούμενου σώματος ενεργοποιεί τις υποφλοιώδεις δομές και τους κάτω κροταφικούς τομείς του δεξιού ημισφαιρίου που εξειδικεύονται στην αναγνώριση της έκφρασης της συγκίνησης.

Σε ΗΕΓ μελέτες του Cochin και των συνεργατών του καταγράφηκε ενεργοποίηση του κινητικού φλοιού κυρίως του αριστερού ημισφαιρίου και του μ ρυθμού κατά την παρατήρηση βιολογικών κινήσεων (1998), ενώ παρόμοιο πρότυπο ΗΕΓ ενεργοποίησης (κυρίως στο ηλεκτρόδιο C3) παρατηρήθηκε και κατά την εκτέλεση κινήσεων (1999). Σε παιδιά παρατηρήθηκε μείωση της ισχύος των «θήτα 1» (3.5–5.5 Hz) και «θήτα 2» (5.5–7.5 Hz) ρυθμών στις μετωποκροταφικές και κεντρικές περιοχές του αριστερού ημισφαιρίου κατά την παρατήρηση βιολογικών κινήσεων σε σχέση με την οπτική αντίληψη απλών εικόνων ή μη ανθρώπινων κινήσεων (Cochin et al. 2001).

Σύμφωνα με τους Martineau και Cochin (2003) υπάρχει σαφής ενεργοποίηση στο δεξιό ημισφαίριο κατά την οπτικοποίηση των κινήσεων. Η ενεργοποίηση πραγματοποιείται στον πίσω μετωπιαίο φλοιό κατά την παρατήρηση ζώου και στη μετωποκροταφική περιοχή κατά την παρατήρηση πραγματικής ανθρώπινης κίνησης, ενώ με την παρατήρηση εικονικής ανθρώπινης κίνησης η ενεργοποίηση εμπλέκει πιο οπίσθιες περιοχές (βρεγματικός φλοιός). Αυτή η παρατήρηση συμφωνεί και με άλλες έρευνες που ισχυρίζονται ότι το δεξιό ημισφαίριο και κυρίως το κάτω βρεγματικό λόβιο (*inferior parietal lobule*) και ο σωματοαισθητηριακός φλοιός είναι πιθανό να εμπλέκονται όταν συμβαίνει σύγχυση ανάμεσα στις κινήσεις του υποκειμένου και στις κινήσεις των άλλων (Chaminade & Decety 2002, Ruby & Decety 2001, Farrer et al. 2003). Αυτή η περιοχή του φλοιού πιστεύεται ότι εμπλέκεται στην αίσθηση της αντιπροσώπευσης, το αίσθημα του να συμμετέχει κάποιος αυθόρμητα στη δράση.

Όσο αφορά στη αντίληψη πραγματικών και εικονικών κινήσεων, παρατηρείται συμμετοχή κεντρικο-βρεγματικών περιοχών του αριστερού ημισφαιρίου στον «θήτα-2» ρυθμό και στους δύο τύπους κινήσεων, ενώ δεν παρατηρείται παρόμοια ενεργοποίηση κατά την αντίληψη κινήσεων ζώων. Ευρήματα της λειτουργικής νευροανατομίας υποδεικνύουν την ύπαρξη συσχέτισης ανάμεσα στην οπτική αντίληψη ανθρώπινων κινήσεων και την εμπειρία πως κάθε υποκείμενο έχει τη δική του ιδιαίτερη κινητικότητα (Stevens et al. 2000).

## **7.16 ΗΕΓ και πολυμέσα**

Τα πολυμέσα (ο συνδυασμός κειμένου, ήχου, εικόνας και βίντεο) έχουν ποικίλες χρήσεις στην καθημερινή ζωή και στην εκπαιδευτική διαδικασία, αλλά η συζήτηση για τη χρησιμότητά τους στην εκπαίδευση συνεχίζεται. Για τους van Someren και Reimann (1995) και van Someren et al. (1998) για παράδειγμα, το κύριο πρόβλημα με τη χρήση των πολυμέσων στην εκπαίδευση είναι η άγνοιά μας για τις γνωστικές διαδικασίες με τις οποίες επιτυγχάνεται η επεξεργασία των πολλαπλών αναπαραστάσεων από τις πολυμεσικές εφαρμογές.

Η ανάγκη επομένως για τη χρήση αντικειμενικών μεθόδων μέτρησης είναι υπαρκτή και επίκαιρη. Ωστόσο, αν και αρκετές έρευνες ασχολήθηκαν με τη χρήση των πολυμέσων στην εκπαίδευση, λίγοι ερευνητές χρησιμοποίησαν ΗΕΓ μετρήσεις σε πολυμεσικά περιβάλλοντα και ακόμη λιγότεροι σε εκπαιδευτικά πολυμεσικά περιβάλλοντα. Οι Gerlic και Jaušovec (1999) χρησιμοποίησαν τις μετρήσεις της άλφα (7.5-13 Hz) ισχύος του ΗΕΓ (η οποία γενικά θεωρείται αντιστρόφως ανάλογη της νοητικής προσπάθειας) για να συγκρίνουν μαθησιακά περιβάλλοντα με κείμενο, «εικόνα» (κείμενο, εικόνα και ήχο) και «βίντεο» (κείμενο, ήχο και βίντεο). Στη διεργασία με κείμενο η άλφα ισχύς ήταν υψηλότερη (λιγότερη νοητική προσπάθεια) στις ινιακές και κροταφικές περιοχές, και μικρότερη (περισσότερη νοητική προσπάθεια) στις μετωπιαίες περιοχές σε σχέση με τις άλλες δύο διεργασίες. Τα αποτελέσματα αυτά είναι ως ένα σημείο αναμενόμενα σε σχέση με την εξειδίκευση των κροταφικών και ινιακών περιοχών με την επεξεργασία των ακουστικών και

οπτικών πληροφοριών αντίστοιχα, ενώ ο προμετωπιαίος φλοιός εμπλέκεται στον έλεγχο των σκέψεων και των ενεργειών του ατόμου (Petrides et al. 1993, Andreasen et al. 1992) και ο μετωπιαίος φλοιός συσχετίζεται με τη λειτουργία της μνήμης εργασίας (Dunbar & Sussman 1995). Οι ερευνητές θεώρησαν όμως ότι οι πολυμεσικές αναπαραστάσεις ενεργοποιούν περισσότερο στρατηγικές οπτικοποίησης όπως τεχνικές νοερής απεικόνισης. Επίσης στην ίδια έρευνα τα περισσότερα προικισμένα υποκείμενα εμφάνισαν λιγότερη νοητική προσπάθεια σε όλες τις διεργασίες και κυρίως στις πολυμεσικές διεργασίες. Η διαπίστωση αυτή επιβεβαίωσε προηγούμενες έρευνες για το νοητικό φόρτο και την ευφυΐα (Jaušovec 1996, 1997b, Neubauer et al. 1995, Haier et al. 1992b, 1988, Krause 1992).

Σε μεταγενέστερη έρευνά τους με διάκριση του άλφα ρυθμού σε υπορυθμούς, οι Gerlic και Jaušovec (2001) παρατήρησαν διαφορές στην ισχύ του άλφα ρυθμού κατά τη διάρκεια διδασκαλίας με παραδοσιακό τρόπο (κείμενο σε χαρτί) και με χρήση πολυμέσων. Τα υποκείμενα παρουσίασαν μειωμένη ισχύ στον «κατώτερο άλφα» ρυθμό ( $\alpha_1 = 7.9 - 10$  Hz) και σε μικρότερο βαθμό στον «άνωτερο άλφα» ( $\alpha_2 = 10.1 - 12.9$  Hz), που ερμηνεύτηκε από τους ερευνητές ως αυξημένη νοητική δραστηριότητα, στο πολυμεσικό μαθησιακό περιβάλλον σε σχέση με το παραδοσιακό περιβάλλον με κείμενο. Αυτή η παρατήρηση έρχεται σε αντίθεση με την άποψη ότι η χρήση υπολογιστών (και πολυμεσικών εφαρμογών) στην εκπαίδευση μειώνει το νοητικό φόρτο των σπουδαστών. Οι διαφορές εντοπίστηκαν κυρίως στις κεντρικές (C3, C4, Cz), βρεγματικές (P3, P4, Pz), ινιακές (O1, O2), και κροταφικές (T4, T5, T6) περιοχές. Οι διαφορές στις ινιακές και κροταφικές περιοχές μπορούν να ερμηνευθούν από την αυξημένη παροχή οπτικού και ακουστικού υλικού στην πολυμεσική αναπαράσταση, ενώ οι διαφορές στις κεντρικές και βρεγματικές περιοχές μπορούν εν μέρει να δικαιολογηθούν από τη λειτουργία των συνειρμικών οπτικών και ακουστικών φλοιών (Roland et al. 1980, Ungerlaider & Haxby 1994).

Στο ίδιο πείραμα οι χάρτες συνοχής έδειξαν ότι στο πολυμεσικό περιβάλλον αρκετές εγκεφαλικές περιοχές λειτούργησαν διαχωρισμένες στον κατώτερο άλφα ρυθμό, ενώ το κείμενο προκάλεσε μεγαλύτερες τιμές συνοχής και επομένως μεγαλύτερη συνεργασία ενδο-ημισφαιρικών και δια-ημισφαιρικών περιοχών. Παρόμοιες ήταν οι παρατηρήσεις και στην περιοχή του ανώτερου άλφα ρυθμού. Η μειωμένη συνεργασία των εγκεφαλικών περιοχών κατά την πολυμεσική διδασκαλία μπορεί να οφείλεται στη συμμετοχή υποφλοιωδών περιοχών ή στη συνεργασία πολύ κοντινών περιοχών (κοντινότερων από την απόσταση γειτονικών ηλεκτροδίων).

## 7.17 Σύνοψη

Οι πρώτες μετρήσεις φυσιολογικών παραμέτρων σε υποκείμενα που αλληλεπιδρούσαν με εικονικά περιβάλλοντα προέρχονται από το χώρο της ψυχολογίας. Τα ΕΠ προτάθηκαν ως πιθανή λύση στη δυσκολία σύμπτωσης αποτελεσμάτων σε πειράματα μέσα στο εργαστήριο και σε αντίστοιχα πειράματα υπό πραγματικές συνθήκες. Τα ΕΠ θεωρήθηκαν ότι μπορεί να προσφέρουν στην

επιστημονική κοινότητα πειραματικά εργαστήρια με αξιόπιστες αναπαραστάσεις του πραγματικού κόσμου, ενώ ταυτόχρονα επιτρέπουν πολύ καλό έλεγχο όλων των μεταβλητών. Τα φυσιολογικά μεγέθη που κυρίως χρησιμοποιούνται περιλαμβάνουν τον καρδιακό παλμό και μετρήσεις της επιδερμικής αγωγιμότητας.

Ωστόσο, τέτοιου είδους υποθέσεις παραμένουν κατά βάση αστήρικτες, μέχρι να ερευνηθεί σε βάθος η συμφωνία των φυσιολογικών μετρήσεων σε ΕΠ και στον πραγματικό κόσμο. Επειδή οι μετρήσεις σε ΕΠ είναι διαφορετικές από τις μετρήσεις σε παραδοσιακές μορφές εξέτασης ερεθίσματος και αντίστοιχης απόκρισης υποκειμένου και σε αλληλεπιδράσεις στον πραγματικό κόσμο, είναι πιθανό ότι η προσαρμογή και οι γνωστικές και συμπεριφοριστικές απαντήσεις στα ερεθίσματα του εικονικού κόσμου θα είναι διαφορετικές από αυτές των παραδοσιακών τεχνικών (Pugnetti et al. 2001). Αρκετές φυσιολογικές μετρήσεις πράγματι επιβεβαιώνουν την άποψη αυτή (Strickland & Chartier 1997, Wiederhold & Wiederhold 2000, Pugnetti et al. 2000). Επομένως το θέμα αυτό παραμένει ανοιχτό και επηρεάζεται τόσο από την εξέλιξη των ΕΠ όσο και από τη βελτίωση των τεχνικών μέτρησης των φυσιολογικών μεγεθών.

Στα εικονικά περιβάλλοντα αποτελεί ακόμη ανοικτό ερευνητικό θέμα το ποια μεγέθη είναι κατάλληλα για αντικειμενικού τύπου (φυσιολογικές) μετρήσεις. Η αξιολόγηση του φόρτου εργασίας θα είναι πιθανώς ο πρώτος υλοποιήσιμος στόχος στον οποίο το ΗΕΓ θα παίζει βασικό ρόλο (Pugnetti et al. 2001). Η γαλβανική αντίσταση του δέρματος (GSR) προς το παρόν έχει προταθεί ως κατάλληλο μέτρο για την αίσθηση της παρουσίας (Meehan et al. 2000, Wiederhold & Wiederhold 2000). Γενικά οι μέθοδοι μέτρησης των φυσιολογικών μεγεθών που χρησιμοποιούνται στα ΕΠ αφορούν στη θερμοκρασία του σώματος, σε επιδερμική αγωγιμότητα ή γαλβανική αντίσταση δέρματος, στις μεταβολές του καρδιακού παλμού ή της αιμοστατικής πίεσης ή του ρυθμού της αναπνοής (π.χ. Meehan et al. 2000, Wiederhold et al. 1998:394, Eberhart & Kizakevich 1993, Jorgensen & Ogden 1997, Vyzas & Picard 1998, 1999, Healey & Picard 1998).

Το ΗΕΓ πιθανόν θα είναι η κυρίαρχη τεχνική μέτρησης σε μια περιοχή με μεγάλο ενδιαφέρον (ιδιαίτερα για τη σχεδίαση και ανάπτυξη των ΕΠ), στη σύγκριση των ΕΠ και των αντίστοιχων πραγματικών συνθηκών. Η πλέον αξιόπιστη μέθοδος πιθανότατα θα συνδυάζει το ΗΕΓ με τις άλλες φυσιολογικές μετρήσεις. Ένας τέτοιος επιτυχημένος συνδυασμός προτείνεται από τους Calvert και Tan (1994) για την εξακρίβωση των κοινωνικών επιδράσεων ψυχοαγωγικών (μερικές φορές βίαιων) εικονικών περιβαλλόντων ως προς τις ψυχοσωματικές επιδράσεις ιδιαίτερα σε ευαίσθητα άτομα.

---

# 8 Μεθοδολογία έρευνας

---

8.1	Εισαγωγή.....	240
8.2	Έλεγχος συστήματος.....	241
8.2.1	Στόχοι.....	241
8.2.2	Δείγμα .....	241
8.2.3	Διαδικασία .....	242
8.2.4	Πειραματικά μέσα και συσκευές .....	243
8.2.5	Ευρήματα .....	244
8.2.6	Συμπεράσματα .....	245
8.3	Λογισμικό επεξεργασίας ΗΕΓ .....	247
8.4	Εμπειρική μελέτη.....	247
8.4.1	Ερευνητικό ερώτημα.....	247
8.4.2	Δείγμα .....	248
8.4.3	Πειραματικά μέσα και συσκευές .....	248
8.4.4	Διαδικασία .....	254
8.4.5	Αναλυτική περιγραφή των διεργασιών του πειράματος.....	256
8.5	Καταγραφές ΗΕΓ .....	259
8.6	Παρατηρήσεις έρευνας .....	261
8.7	Μεθοδολογία επεξεργασίας των καταγραφών ΗΕΓ .....	263
8.7.1	Προεπεξεργασία των δεδομένων .....	263
8.7.2	Στατιστική ανάλυση.....	267
8.8	Σύνοψη.....	277

## 8.1 Εισαγωγή

Βασικός σκοπός της διδακτορικής διατριβής είναι η συγκριτική διερεύνηση των γνωστικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα σε εκπαιδευτικά εικονικά και πραγματικά περιβάλλοντα. Η διατριβή εξειδικεύεται στη μελέτη συγκεκριμένων γνωστικών παραμέτρων που συνοδεύουν τη νοητική κατάσταση ατόμων που αλληλεπιδρούν τόσο με εικονικά όσο και με πραγματικά εκπαιδευτικά περιβάλλοντα, όπως:

- οπτικο-χωρικές και οπτικο-λεκτικές λειτουργίες
- προσοχή και επιλεκτική προσοχή
- ο ρόλος της μνήμης εργασίας και γενικότερα οι μνημονικές λειτουργίες
- οπτική διερεύνηση του χώρου και εύρεση/εντοπισμός αντικειμένων
- αναγνώριση και καταμέτρηση αντικειμένων
- αντίληψη κινούμενου αντικειμένου
- καταστάσεις ετοιμότητας και αναμονής
- παρουσία άλλου (ανθρώπινου) υποκειμένου.

Μεθοδολογικά η έρευνα των επιμέρους στόχων στοιχειοθετείται στις μετρήσεις της ηλεκτρικής εγκεφαλικής δραστηριότητας σε εικονικά και πραγματικά εκπαιδευτικά περιβάλλοντα.

Η μεθοδολογική προσέγγιση αναπτύσσεται σε δύο άξονες: α) στην επιλογή της κατάλληλης απεικονιστικής μεθόδου για τη διερεύνηση της εγκεφαλικής λειτουργίας και β) στην επιλογή των κατάλληλων πειραματικών διεργασιών που θα αναδείξουν ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά των εκπαιδευτικών εικονικών περιβαλλόντων σε σχέση με αντίστοιχα πραγματικά περιβάλλοντα.

Ως προς την κατάλληλη απεικονιστική μέθοδο η επιλογή ήταν σχετικά εύκολη. Το ΗΕΓ είναι μια απευθείας μέτρηση ηλεκτρικής εγκεφαλικής δραστηριότητας, είναι μη επεμβατική διαδικασία (δεν χρειάζεται να χορηγηθεί στους συμμετέχοντες κάποια χημική ουσία, δεν εκτίθενται σε κάποια μορφή ακτινοβολίας, δεν απαιτείται να είναι ξαπλωμένοι, ακίνητοι, μέσα σε αυστηρά εργαστηριακό περιβάλλον με την έντονη παρουσία συσκευών ή/και δυνατών θορύβων), έχει πολύ υψηλή χρονική ανάλυση (ίδιας τάξης με αυτή που πραγματοποιούνται οι ηλεκτρικές νευρωνικές δραστηριότητες του εγκεφάλου και επομένως μπορεί να καταγράψει την εξέλιξη ακόμη και των ταχύτερων γνωστικών διαδικασιών), μπορεί να εφαρμοστεί σχεδόν σε κάθε περιβάλλον (μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμη και φορητό σύστημα ώστε οι συμμετέχοντες να δραστηριοποιούνται στο φυσικό τους περιβάλλον).

Μειονεκτήματα του ΗΕΓ θεωρούνται κυρίως η χαμηλή χωρική ανάλυση (η οποία περιορίζεται ακόμη περισσότερο από την αδυναμία του να διακρίνει ηλεκτρικά δυναμικά σε εγκεφαλικές δομές εσωτερικά του φλοιού) και επίσης η χαμηλή σχέση

σήματος προς θόρυβο, ο σχετικά μεγάλος αριθμός παρασίτων και η μεγάλη μεταβλητότητα των παρατηρήσεων από υποκείμενο σε υποκείμενο αλλά και από δοκιμή σε δοκιμή σε ορισμένες περιπτώσεις (Schlögl et al. 2002).

Ο δεύτερος άξονας που αναφέρεται στην επιλογή των κατάλληλων πειραματικών διεργασιών εξερίχθηκε σε «μαύρο κουτί», αφού οι σχετικές αναφορές στη διεθνή βιβλιογραφία ήταν ελάχιστες. Χρησιμοποιήθηκε μια σειρά από διεργασίες με σκοπό να καταγραφούν οι ομοιότητες και διαφορές σε εικονικά και πραγματικά περιβάλλοντα, που αφορούσαν πρώτα στη γενική αίσθηση ή εντύπωση που προκύπτει από την εμπειρία στα δύο περιβάλλοντα και σε ορισμένες παραμέτρους που συνοδεύουν ενδεχομένως την εμπειρία αυτή. Τέτοιοι ψυχολογικοί όροι επιλέχθηκαν με βάση κυρίως τη συσχέτισή τους στη βιβλιογραφία με το ΗΕΓ και σε μικρότερο βαθμό με τη συμμετοχή τους σε όρους σχετικούς με τα εικονικά περιβάλλοντα όπως η αλληλεπιδραστικότητα, η εμπύθιση και η παρουσία.

## 8.2 Έλεγχος συστήματος

Πριν σχεδιαστεί η κύρια έρευνα πραγματοποιήθηκε έλεγχος του συστήματος για να ελεγχθεί η αξιοπιστία της ΗΕΓ καταγραφής. Αυτή η έρευνα αξιοποιήθηκε ως πιλοτική μελέτη με επιπλέον στόχο να συγκεκριμενοποιηθούν τα χαρακτηριστικά του εικονικού περιβάλλοντος της κύριας έρευνας.

### 8.2.1 Στόχοι

Ο έλεγχος του συστήματος είχε τρεις στόχους.

1) Να επαληθευτεί η αξιόπιστη ΗΕΓ καταγραφή και η σχετική μαθηματική επεξεργασία των δεδομένων και να δοκιμαστεί το σύστημα ηλεκτροεγκεφαλογραφίας σε συνδυασμό με την ταυτόχρονη λειτουργία στον ίδιο χώρο του συστήματος εικονικής πραγματικότητας και τα πιθανά παράσιτα που το τελευταίο θα δημιουργήσει.

2) Να αξιολογηθούν οι πειραματικές συνθήκες ως προς το βαθμό δυσανασχέτησης των υποκειμένων. Μια τεχνική λεπτομέρεια που εξετάστηκε στο πλαίσιο αυτό ήταν η χρήση ελαστικής κάσκας ή επικολλώμενων ηλεκτροδίων κατά τη διαδικασία της ΗΕΓ καταγραφής.

3) Να ερευνηθεί η ΗΕΓ συμπεριφορά των υποκειμένων σε συστήματα ΕΠ, ως προς τη ρεαλιστικότητα των αναπαριστώμενων αντικειμένων. Για το σκοπό αυτό παρουσιάστηκαν στους συμμετέχοντες τέσσερα παρόμοια ΕΠ στα οποία άλλαζαν οι υφές των αντικειμένων και ως ένα σημείο η αίσθηση του βάθους.

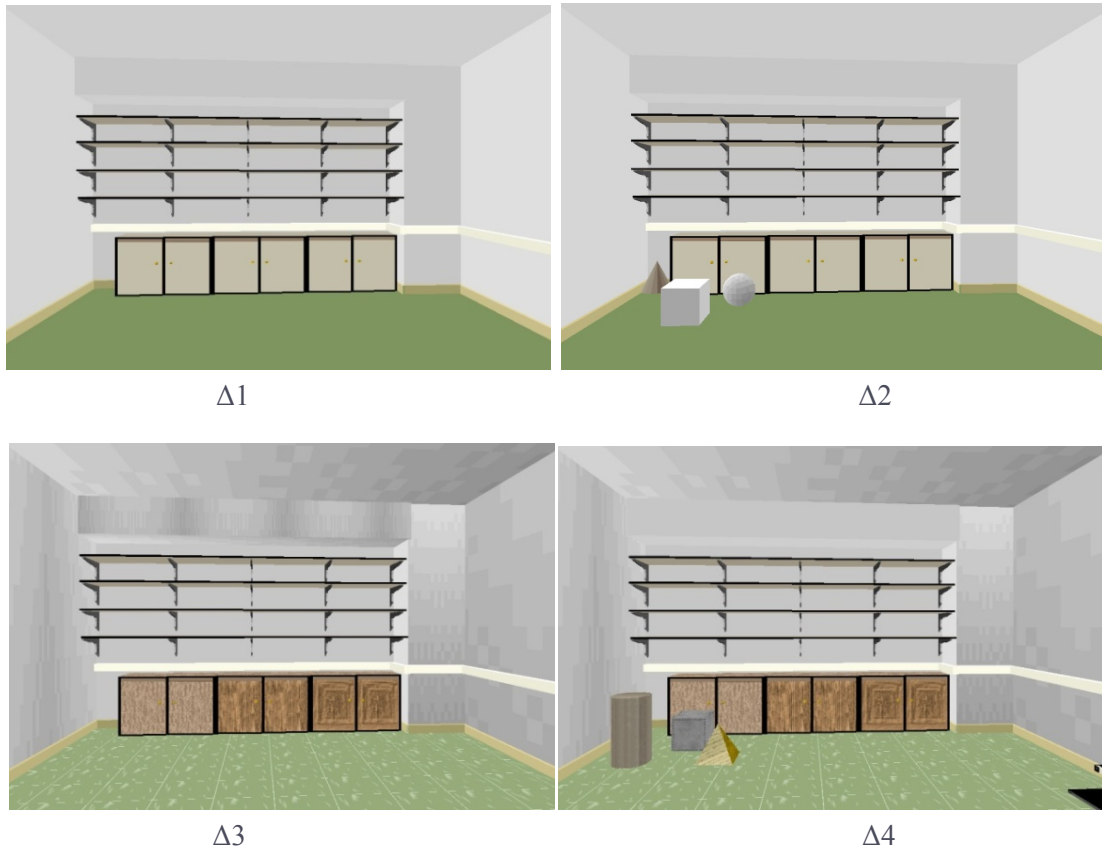
### 8.2.2 Δείγμα

Το δείγμα αποτέλεσαν επτά υποκείμενα (4 άντρες και 3 γυναίκες), προπτυχιακοί και μεταπτυχιακοί φοιτητές του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. Όλοι οι

συμμετέχοντες ήταν πάνω από 18 ετών με μέσο όρο ηλικίας τα 25 έτη, ώστε ο άλφα ρυθμός να έχει σταθεροποιηθεί.

### 8.2.3 Διαδικασία

Για τη μελέτη των στόχων (1) και (2) χρησιμοποιήθηκαν απλές διεργασίες: άνοιγμα – κλείσιμο ματιών και μετάβαση από κατάσταση χαλάρωσης σε κατάσταση εγρήγορσης (νοερή αριθμητική).



Σχήμα 8-1. Κεντρική άποψη από το ίδιο σημείο παρατήρησης στα 4 εικονικά δωμάτια που χρησιμοποιήθηκαν στον έλεγχο του συστήματος. Πάνω αριστερά παριστάνεται το δωμάτιο χωρίς υφές σε τοίχους και δάπεδο. Πάνω δεξιά το ίδιο δωμάτιο με τρία στερεά αντικείμενα χωρίς υφές. Κάτω αριστερά το δωμάτιο με υφές και κάτω δεξιά δωμάτιο και αντικείμενα διαθέτουν υφές.

Για το στόχο (3) κατασκευάστηκαν 4 εικονικά περιβάλλοντα που αναπαρίσταναν ένα πραγματικό δωμάτιο με διαφορετικά αντικείμενα και υφές. Στο σχήμα 8-1 παρουσιάζονται ενδεικτικές όψεις των περιβαλλόντων από το ίδιο περίπου σημείο παρατήρησης.

Δ1: άδειο εικονικό δωμάτιο χωρίς υφές σε τοίχους και δάπεδο.

Δ2: το ίδιο δωμάτιο με Δ1 με τρία στερεά αντικείμενα χωρίς υφές.

Δ3: άδειο δωμάτιο με υφές σε τοίχους, δάπεδο και ράφια τοίχων.

Δ4: το ίδιο δωμάτιο με Δ3 με τρία στερεά αντικείμενα με υφές.



Ερευνήθηκε: α) η αλληλεπίδραση των χρηστών με το εικονικό δωμάτιο με αντικείμενα και υφές, σε σύγκριση με την αλληλεπίδρασή τους με άδειο εικονικό δωμάτιο χωρίς υφές (περιβάλλοντα Δ4 και Δ1) και β) η αλληλεπίδρασή τους με άδειο εικονικό δωμάτιο με υφές, σε σύγκριση με την αλληλεπίδρασή τους με άδειο εικονικό δωμάτιο χωρίς υφές (περιβάλλοντα Δ3 και Δ1). Σε κάθε υποκείμενο παρουσιάστηκαν διαδοχικά τα τέσσερα εικονικά δωμάτια, ενώ η καταγραφή του εγκεφαλογραφήματος ήταν διαρκής. Μεταξύ των διαφορετικών εκδοχών των εικονικών περιβαλλόντων παρεμβάλλονταν διάστημα κατά το οποίο ο χρήστης είχε τα μάτια του κλειστά και ηρεμούσε. Οι συμμετέχοντες καθόταν σε καρέκλα και οι απαιτούμενες κινήσεις τους για την εξερεύνηση του εικονικού κόσμου ήταν ελάχιστες, εκτός από τις κινήσεις της κεφαλής.

Τα αποσπάσματα ΗΕΓ που παρουσίασαν παράσιτα απορρίφθηκαν. Για κάθε κατάσταση (μάτια ανοικτά, μάτια κλειστά, νοερή αριθμητική, Δ1, Δ2, Δ3, Δ4) υπολογίστηκε το φάσμα ισχύος με τον αλγόριθμο του γρήγορου μετασχηματισμού Fourier (FFT) στα εναπομείναντα αποσπάσματα, για τις περιοχές συχνοτήτων θήτα (4.5 – 7.5 Hz), άλφα (7.5 – 12.5 Hz) και γάμα (30 – 70 Hz).

#### 8.2.4 Πειραματικά μέσα και συσκευές

Η καταγραφή του ΗΕΓ πραγματοποιήθηκε με 19 ενεργά ηλεκτρόδια στις θέσεις FP1, FP2, F7, F3, Fz, F4, F8, T3, C3, Cz, C4, T4, T5, P3, Pz, P4, T6, O1 και O2, που εφαρμόστηκαν στο κρανίο των υποκειμένων σύμφωνα με το διεθνές σύστημα 10/20. Ένα επιπλέον ηλεκτρόδιο στο μέτωπο χρησιμοποιήθηκε για γείωση, ενώ για αναφορά χρησιμοποιήθηκαν δύο ηλεκτρόδια προσαρμοσμένα στους λοβούς των αυτιών (A1 και A2, μονοπολικό μοντάζ). Στο σχήμα 8-14 παριστάνονται σχηματικά οι θέσεις των ηλεκτροδίων. Όλες οι αντιστάσεις των ηλεκτροδίων ήταν κάτω από 20 ΚΩ. Οι κατακόρυφες κινήσεις των ματιών καταγράφηκαν διπολικά με δύο ηλεκτρόδια (ένα πάνω από το δεξιό μάτι και ένα κάτω από το αριστερό), ενώ οι οριζόντιες κινήσεις καταγράφηκαν από δυο ηλεκτρόδια στις εξωτερικές πλευρές και από τα δύο μάτια. Σχηματική αναπαράσταση των ηλεκτροδίων αναφοράς παρουσιάζεται στο σχήμα 8-13.

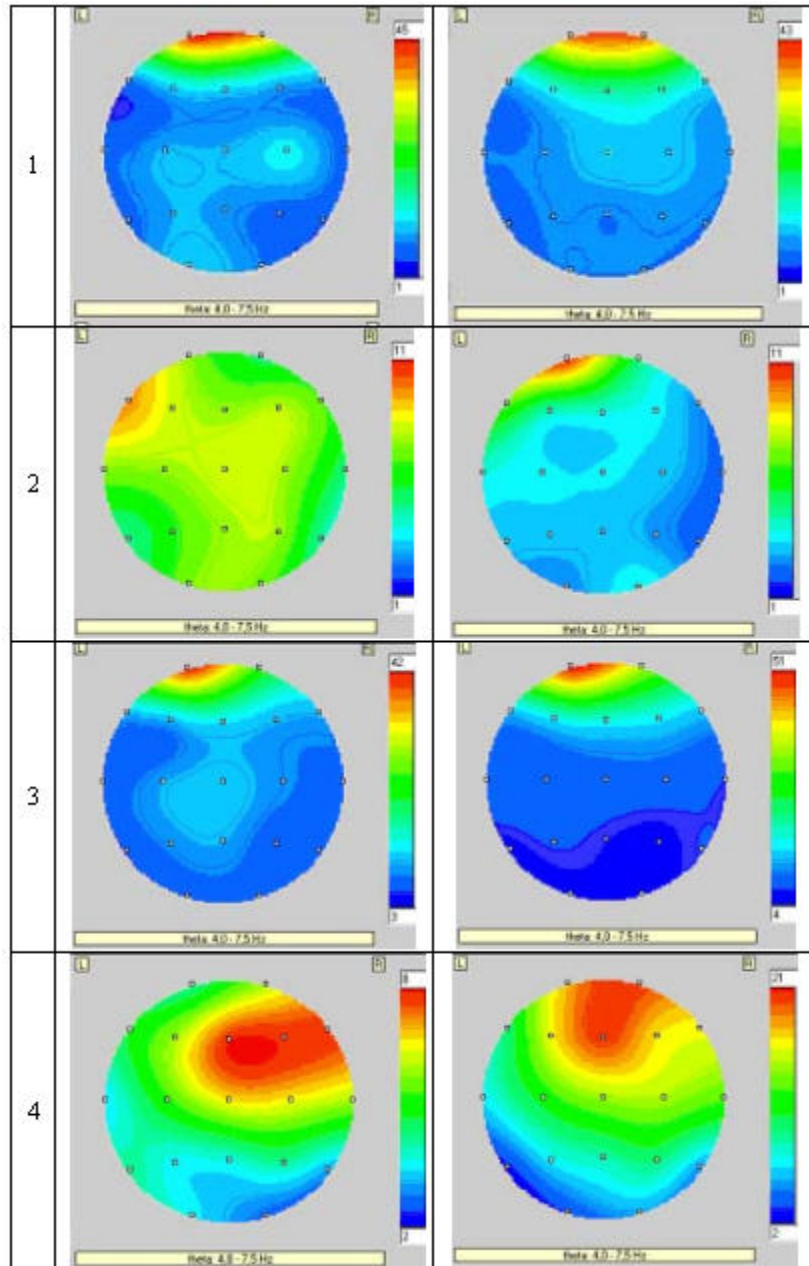
Για την καταγραφή χρησιμοποιήθηκε το ψηφιακό σύστημα System98 της Micromed με την κεφαλή SAM25 (σχήμα 8-9, αριστερή εικόνα). Τα σήματα ψηφιοποιήθηκαν με συχνότητα δειγματοληψίας 256 Hz και αποθηκεύθηκαν σε προσωπικό υπολογιστή όπου έγινε η επεξεργασία. Η περιοχή συχνοτήτων που καταγράφηκε είχε εύρος 3.5 – 70 Hz. Η αφαίρεση των οφθαλμικών παράσιτων έγινε με βάση τις καταγραφές από τα τέσσερα ηλεκτρόδια των ματιών.

Τα ερεθίσματα (εικονικά περιβάλλοντα) αναπτύχθηκαν με το λογισμικό ανάπτυξης Superscape VRT, υλοποιήθηκαν σε προσωπικό υπολογιστή Pentium IV 1.6 GHz και προβλήθηκαν σε έγχρωμο στερεοσκοπικά γυαλιά (Sony PLM-S700E) με ανάλυση 800x600 και βάθος χρώματος 32 bit. Ένας ανιχνευτής κίνησης τοποθετήθηκε στο πίσω μέρος της κεφαλής του χρήστη ώστε να μετακινεί το οπτικό πεδίο αντίστοιχα με τις κινήσεις της κεφαλής χωρίς όμως να παρεμποδίζει τις επαφές των

ηλεκτροδίων του ηλεκτροεγκεφαλογράφου. Στο σχήμα 8-6 παρουσιάζονται οι συσκευές ΕΠ που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα.

Το λογισμικό επεξεργασίας των ψηφιακών σημάτων ΗΕΓ ήταν το System98 της Micromed, και κάποιες υπορουτίνες που αναπτύχθηκαν σε vbasic. Η ποσοτική ανάλυση και τα γραφήματα έγιναν στο Ms Excel.

### 8.2.5 Ευρήματα



Σχήμα 8-2. Εγκεφαλικοί χάρτες απόλυτης ισχύος για την περιοχή συχνοτήτων 4 – 7.5Hz. Αριστερά κατά την αλληλεπίδραση με το εικονικό δωμάτιο χωρίς υφές, δεξιά κατά την αλληλεπίδραση με το εικονικό δωμάτιο με υφές.

Το λογισμικό system98 της Micromed δεν περιλάμβανε δυνατότητες στατιστικής ανάλυσης των αποτελεσμάτων. Οι στόχοι (1) και (2) δεν χρειάστηκαν στατιστική ανάλυση (αφού τα αποτελέσματα ήταν αναμενόμενα και εμφανή σε όλους τους συμμετέχοντες). Στο στόχο (3) η ανάλυση έγινε χωριστά για κάθε συμμετέχοντα. Στο σχήμα 8-2 παρουσιάζονται οι χάρτες απόλυτης τιμής ισχύος για τέσσερις συμμετέχοντες για την περιοχή συχνοτήτων του ρυθμού θήτα.

Τα πειραματικά δεδομένα έδειξαν ενεργοποίηση και των δύο εγκεφαλικών ημισφαιρίων στο βρεγματικό και ινιακό λοβό. Η ενεργοποίηση ήταν αυξημένη στην περίπτωση του εικονικού περιβάλλοντος που περιείχε στερεά αντικείμενα και υφές σε όλα τα εικονικά αντικείμενα. Αυτά τα αποτελέσματα συμφωνούν με αντίστοιχα των Maguire et al. (1998) και δείχνουν ότι η ύπαρξη τρισδιάστατων αντικειμένων σε ένα εικονικό περιβάλλον ενεργοποιεί περιοχές του εγκεφάλου που σχετίζονται με την κωδικοποίηση της θέσης αντικειμένων. Επίσης, τα αποτελέσματα συμφωνούν και με τα αντίστοιχα της Moore (2001) η οποία κατέγραψε αυξημένη εγκεφαλική δραστηριότητα στον ινιακό λοβό κατά την εμφάνιση τρισδιάστατων αντικειμένων σε εικονικά περιβάλλοντα. Τα αποτελέσματά μας δείχνουν ότι η αλληλεπίδραση χρηστών με εικονικά περιβάλλοντα που περιέχουν τρισδιάστατα αντικείμενα προσφέρεται από την ανάλογη σε δισδιάστατα, όπου τα αντικείμενα δε γίνονται άμεσα αντιληπτά ως ξεχωριστές οντότητες (Maguire et al. 1998).

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης συχνοτήτων κατά Fourier των ηλεκτροεγκεφαλογραφημάτων έδειξαν συγκριτική αύξηση του σήματος στην περιοχή συχνοτήτων 4 – 7.5 Hz στο μετωπιαίο και κροταφικό λοβό. Η αύξηση αυτή των κυμάτων θήτα κατά την αλληλεπίδραση των χρηστών με το εικονικό περιβάλλον που περιείχε υφές στα αντικείμενά του, δηλώνει ενεργοποίηση του εγκεφάλου κατά την αλληλεπίδραση με περιβάλλον πλουσιότερο σε πληροφορία. Η ύπαρξη των υφών στα εικονικά αντικείμενα κάνει το περιβάλλον ρεαλιστικότερο και ενεργοποιεί περιοχές του εγκεφάλου που ενεργοποιούνται κατ' αυτόν τον τρόπο και σε ένα πραγματικό. Τα αποτελέσματα συμφωνούν με αντίστοιχα των Bischof και Boulanger (2003) σε εικονικά περιβάλλοντα.

### 8.2.6 Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα παρουσιάζονται εξειδικευμένα για κάθε ένα από τους τρεις στόχους.

#### 1<sup>ος</sup> στόχος

*Να επαληθευτεί η αξιόπιστη ΗΕΓ καταγραφή και η σχετική μαθηματική επεξεργασία των δεδομένων και να δοκιμαστεί το σύστημα ηλεκτροεγκεφαλογραφίας σε συνδυασμό με την ταυτόχρονη λειτουργία στον ίδιο χώρο του συστήματος εικονικής πραγματικότητας και τα πιθανά παράσιτα που το τελευταίο θα δημιουργήσει.*

Οι μετρήσεις της πιλοτικής μελέτης ήταν σύμφωνες με κλασικές πλέον συμπεριφορές του άλφα ρυθμού ως προς την καταστολή του με το άνοιγμα των ματιών ή τη μετάπτωση από κατάσταση χαλάρωσης σε κατάσταση εγρήγορσης.

Η λειτουργία άλλων ηλεκτρονικών συσκευών (ηλεκτρονικός υπολογιστής, γυαλιά ΕΠ και ανιχνευτής κίνησης της κεφαλής) δε φάνηκε να επηρεάζει τις ΗΕΓ καταγραφές. Σημείο προσοχής είναι η απόσταση των καλωδίων των ηλεκτροδίων από ηλεκτρικές συσκευές και άλλες καλωδιώσεις. Αποστάσεις μεγαλύτερες από 40 εκατοστά δεν επηρέασαν το ΗΕΓ. Επίσης οι κινήσεις άλλου ατόμου πολύ κοντά (σε απόσταση μικρότερη από 20 εκατοστά) στα καλώδια των ηλεκτροδίων δημιούργησε παράσιτα.

Τα παράσιτα ήταν κυρίως οφθαλμικά, με σημαντικότερο το ανοιγοκλείσιμο των ματιών.

Κατά τη στατιστική ανάλυση φάνηκαν οι περιορισμένες δυνατότητες του συνοδευτικού λογισμικού System98 της Micromed.

### 2<sup>ος</sup> στόχος

*Να αξιολογηθούν οι πειραματικές συνθήκες ως προς το βαθμό δυσανασχέτησης των υποκειμένων. Μια τεχνική λεπτομέρεια που εξετάστηκε στο πλαίσιο αυτό ήταν η χρήση ελαστικής κάσκας ή επικολλώμενων ηλεκτροδίων κατά τη διαδικασία της ΗΕΓ καταγραφής.*

Η χρήση ελαστικής κάσκας ή επικολλώμενων ηλεκτροδίων δεν φάνηκε να έχει αξιοσημείωτες διαφοροποιήσεις ως προς τις ΗΕΓ καταγραφές. Όσο αφορά στην υποκειμενική αίσθηση των υποκειμένων, η χρήση επικολλώμενων ηλεκτροδίων επέτρεπε μεγαλύτερη αίσθηση ελευθερίας, απαιτούσε όμως σημαντικά μεγαλύτερο χρόνο προετοιμασίας (10 -15 λεπτά τουλάχιστον).

### 3<sup>ος</sup> στόχος

*Να ερευνηθεί η ΗΕΓ συμπεριφορά των υποκειμένων σε συστήματα ΕΠ, ως προς τη ρεαλιστικότητα των αναπαριστώμενων αντικειμένων.*

Οι μετρήσεις στα εικονικά περιβάλλοντα δηλώνουν μετάβαση από μία κατάσταση νοητικής ηρεμίας σε κατάσταση εγρήγορσης που προκύπτει από οπτικό ερέθισμα με περισσότερη πληροφορία, όπως συμβαίνει και στον πραγματικό κόσμο καθώς το περιβάλλον γίνεται πιο πλούσιο σε αντικείμενα - υφές. Φαίνεται ότι η ρεαλιστικότητα των αναπαριστώμενων αντικειμένων αυξάνει την κατάσταση εγρήγορσης των υποκειμένων. Πιθανώς οι εγκεφαλικές λειτουργίες που προκαλούνται από την αλληλεπίδραση του ατόμου με αντικείμενα του πραγματικού κόσμου να μοιάζουν περισσότερο με τα τρισδιάστατα εικονικά αντικείμενα με υφές σε σχέση με τα δισδιάστατα ή με τα αντικείμενα χωρίς υφές. Για να διερευνηθεί αυτή η υπόθεση χρειάζεται σύγκριση των εικονικών περιβαλλόντων με παρόμοια πραγματικά.

### 8.3 Λογισμικό επεξεργασίας ΗΕΓ

Το συνοδευτικό λογισμικό System98 της Micromed χρησιμοποιήθηκε για την αρχική ενίσχυση και καταγραφή των δεδομένων. Παρά τις περιορισμένες δυνατότητές του ως προς την επεξεργασία των ΗΕΓ σημάτων, χρησιμοποιήθηκε επίσης για τον έλεγχο των αντιστάσεων, για τον οπτικό έλεγχο των παρασίτων συνολικά και την απόρριψη ολόκληρων των ΗΕΓ κάποιων υποκειμένων που παρουσίαζαν εμφανή παράσιτα ή μεγάλες διαφορές σε μεμονωμένα ηλεκτρόδια.

Για βασικές λειτουργίες όπως η εξαγωγή των φασμάτων Fourier και η στατιστική ανάλυσή τους χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ασύγχρονης (off-line) επεξεργασίας g.BSanalyze της εταιρίας g.tec (Gratz - Αυστρία).

Όλες οι άλλες λειτουργίες (αποκοπή των αποσπασμάτων, αφαίρεση παρασίτων, ποσοτικοί υπολογισμοί απόλυτης και σχετικής ισχύος των φασμάτων, συνολικοί πίνακες ανά ρυθμό, χάρτες ισχύος συχνοτήτων κ.ά) πραγματοποιήθηκαν στο λογισμικό EEGprocessing που αναπτύχθηκε από τον ερευνητή σε περιβάλλον Visual Basic και Matlab.

Επιπλέον χρησιμοποιήθηκε λογισμικό επεξεργασίας ήχου για τον ακριβή χρονικό προσδιορισμό της απομαγνητοφώνησης των διεργασιών και το MS Excel για την επεξεργασία των πινάκων.

### 8.4 Εμπειρική μελέτη

#### 8.4.1 Ερευνητικό ερώτημα

Το ερευνητικό ερώτημα διατυπώνεται ως εξής: υπάρχουν διαφορές ή ομοιότητες στις εγκεφαλικές λειτουργίες που λαμβάνουν χώρα κατά την περιήγηση, αλληλεπίδραση και τη γνωστική δραστηριότητα εν γένει σε εικονικά εκπαιδευτικά περιβάλλοντα και σε αντίστοιχα περιβάλλοντα του πραγματικού κόσμου;

Για τη διερεύνηση αυτής της διαφοροποίησης επιλέχθηκαν ορισμένοι αντιληπτικοί, ψυχολογικοί και άλλοι παράγοντες που εμπλέκονται στην εμπειρία ενός ατόμου στα εικονικά περιβάλλοντα και για τους οποίους το ΗΕΓ μπορεί να δώσει πληροφορίες σχετικά με την αλλαγές της κατάστασής τους. Οι παράγοντες αυτοί καταγράφονται ως εξής:

- Αναγνώριση, καταμέτρηση αντικειμένων και οπτική επίγνωση
- Αντίληψη κινούμενου αντικειμένου
- Συνειδητοποίηση του περιβάλλοντος, αντίληψη του χώρου, οπτική εξερεύνηση του χώρου
- Διέγερση και επαγρύπνηση, ετοιμότητα του υποκειμένου σε επερχόμενο ερέθισμα

- Μνημονικές λειτουργίες γενικά, μνήμη εργασίας και κυρίως χωρική μνήμη εργασίας
- Προσοχή, επιλεκτική προσοχή και διάσπαση προσοχής
- Αντίληψη κινήσεων άλλου υποκειμένου και ο ρόλος της κοινωνικής αλληλεπίδρασης
- Ο ρόλος του γνωστικού φόρτου εργασίας και ο παράγοντας της δυσκολίας.

#### 8.4.2 Δείγμα

Οι συμμετέχοντες ήταν 36 ενήλικες άνδρες και γυναίκες, φοιτητές του Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. Όλοι ήταν πάνω από 18 ετών, ώστε ο άλφα ρυθμός να έχει σταθεροποιηθεί. Όλοι οι συμμετέχοντες είχαν φυσιολογική όραση και όπου αυτό δεν ήταν δυνατό επιτράπηκε να χρησιμοποιηθούν γυαλιά ή φακοί επαφής. Η προηγούμενη εξοικείωση με τη χρήση του ηλεκτρονικού υπολογιστή και εικονικών περιβαλλόντων εξετάστηκε, αλλά δεν χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα ως ανεξάρτητη μεταβλητή. Σύμφωνα με δήλωσή τους οι συμμετέχοντες δεν έκαναν χρήση οποιασδήποτε φαρμακευτικής αγωγής κατά την περίοδο πριν την πειραματική διαδικασία.

Τα υποκείμενα ενημερώθηκαν πλήρως για τις συνθήκες και το σκοπό του πειράματος και έδωσαν τη συγκατάθεσή τους για τη συμμετοχή τους σε αυτήν. Η παρούσα έρευνα συμμορφώθηκε πλήρως με τον Κώδικα Δεοντολογίας Ερευνών της Επιτροπής Ερευνών του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων.

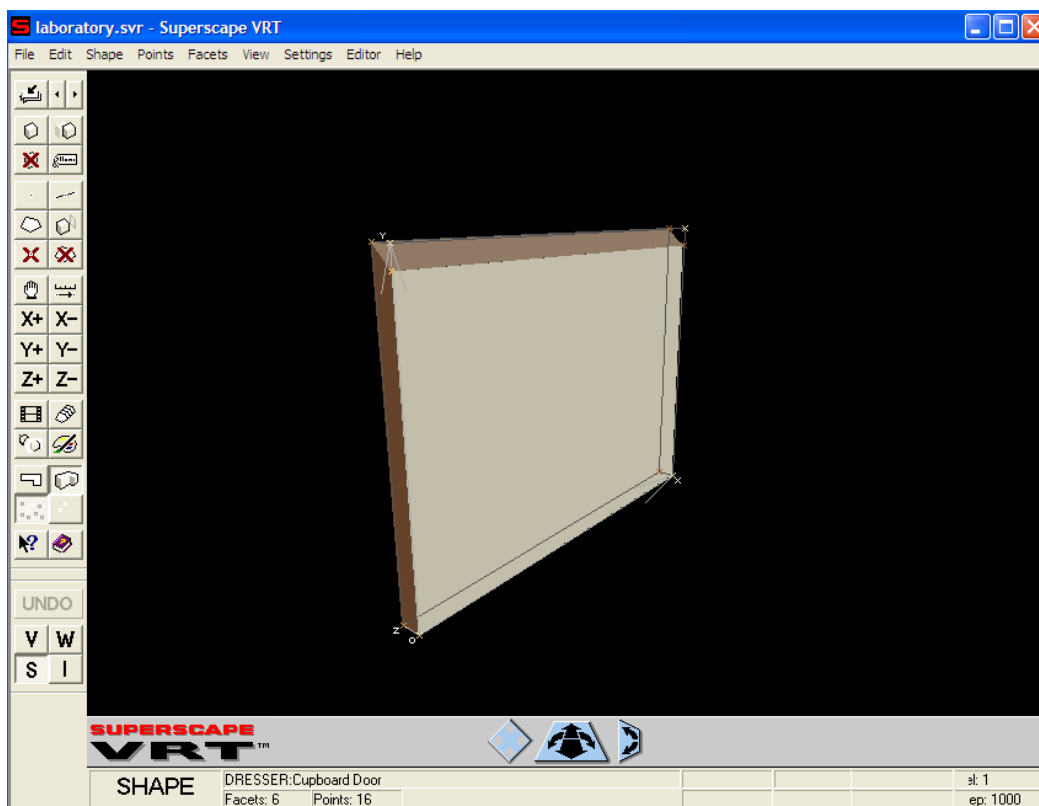
Από τα 36 άτομα που υποβλήθηκαν στην πειραματική διαδικασία απορρίφθηκαν οι αριστερόχειρες και οι συμμετέχοντες των οποίων το ΗΕΓ παρουσίαζε σημαντικά και σε μεγάλη έκταση παράσιτα ή μεγάλες διαφορές σε ορισμένα ηλεκτρόδια. Τελικά επιλέχθηκαν 20 υποκείμενα (10 γυναίκες και 10 άνδρες, με μέσο όρο ηλικίας τα 26 έτη) με εν γένει έγκυρα ΗΕΓ, τα οποία αποτέλεσαν το τελικό δείγμα. Ωστόσο σε κάθε μια από τις επιμέρους διεργασίες παρέμειναν μόνο τα ΗΕΓ που δεν εμφάνιζαν παράσιτα και στα δύο περιβάλλοντα. Έτσι κάθε διεργασία έχει συνήθως διαφορετικό δείγμα που κυμαίνεται από 5 μέχρι 15 υποκείμενα.

#### 8.4.3 Πειραματικά μέσα και συσκευές

Η πειραματική διαδικασία υλοποιείται σε δύο παρόμοια αλλά εντελώς διαφορετικά στη φύση τους περιβάλλοντα, ένα εικονικό και ένα πραγματικό. Οι χρησιμοποιούμενες συσκευές αποτελούνται από τις απαιτούμενες για το εικονικό περιβάλλον συσκευές και το σύστημα ηλεκτροεγκεφαλογραφίας.

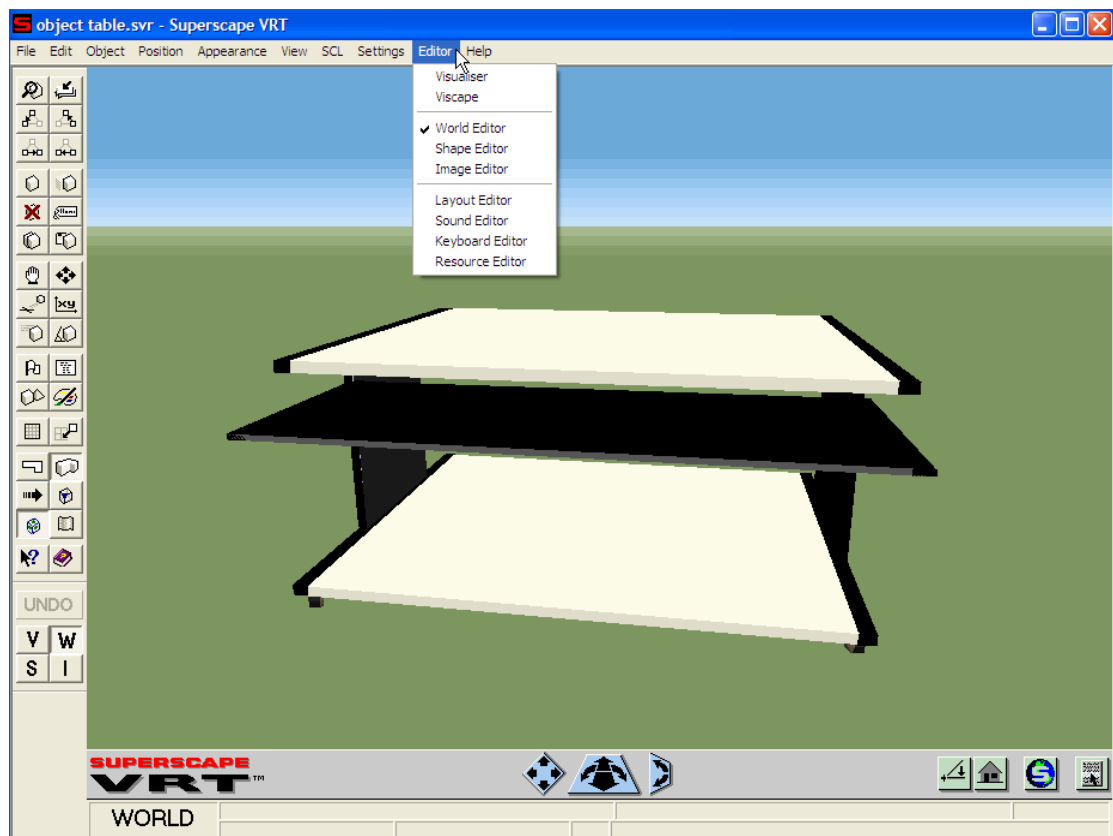
## Εικονικό περιβάλλον

Το εικονικό περιβάλλον (ΕΠ) είναι μια ρεαλιστική αναπαράσταση του εργαστηρίου της Μονάδας Τεχνολογιών Αγωγής (το οποίο αποτελεί και το πραγματικό περιβάλλον) με μικρές διαφορές. Η υλοποίηση του εικονικού περιβάλλοντος πραγματοποιήθηκε σε προσωπικό υπολογιστή Pentium IV 1.6 GHz με το λογισμικό ανάπτυξης εικονικών περιβαλλόντων Superscape VRT. Το λογισμικό αυτό επιτρέπει το σχεδιασμό οποιωνδήποτε εικονικών στερεών αντικειμένων, αρκεί τα αντικείμενα αυτά να σχηματίζονται από επίπεδες επιφάνειες (στην πράξη επίπεδα πολύγωνα). Ακόμη και οι καμπύλες ή κυρτές επιφάνειες των αντικειμένων, σχεδιάζονται με χρήση πολλών μικρότερων πολυγώνων. Όσο περισσότερα είναι αυτά τα πολύγωνα, τόσο μεγαλύτερη γίνεται η ρεαλιστικότητα των αντικειμένων και ταυτόχρονα αυξάνει ο απαιτούμενος χρόνος υπολογισμών στον Η/Υ όταν παρουσιάζεται το τελικό ΕΠ, όταν τα εικονικά αντικείμενα κινούνται ή αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και με τους χρήστες. Αν μια εικονική μπάλα ποδοσφαίρου, για παράδειγμα, σχηματίζεται από μεγάλο αριθμό τριγώνων, θα εμφανίζει το σχήμα μιας τέλει σφαίρας, αλλά η κίνησή της πιθανώς θα καθυστερεί όπως και κάθε άλλη αλληλεπίδρασή της με τους χρήστες του ΕΠ. Στο σχήμα 8-3 παρουσιάζεται η οθόνη σχεδίασης αντικειμένων στο λογισμικό VRT. Τα σημεία που οριοθετούν τα επιμέρους πολύγωνα καθορίζονται με γεωμετρικό τρόπο και οι δύο πλευρές κάθε πολυγώνου έχουν διαφορετικές ιδιότητες.



Σχήμα 8-3. Η οθόνη σχεδίασης των αντικειμένων στο λογισμικό VRT. Εικονίζεται ένα από τα πορτάκια της ντουλάπας. Ο σχεδιασμός γίνεται με χρήση γεωμετρικών σημείων στο χώρο, τα οποία συνθέτουν τα επίπεδα που τελικά δημιουργούν τα στερεά αντικείμενα του ΕΠ.

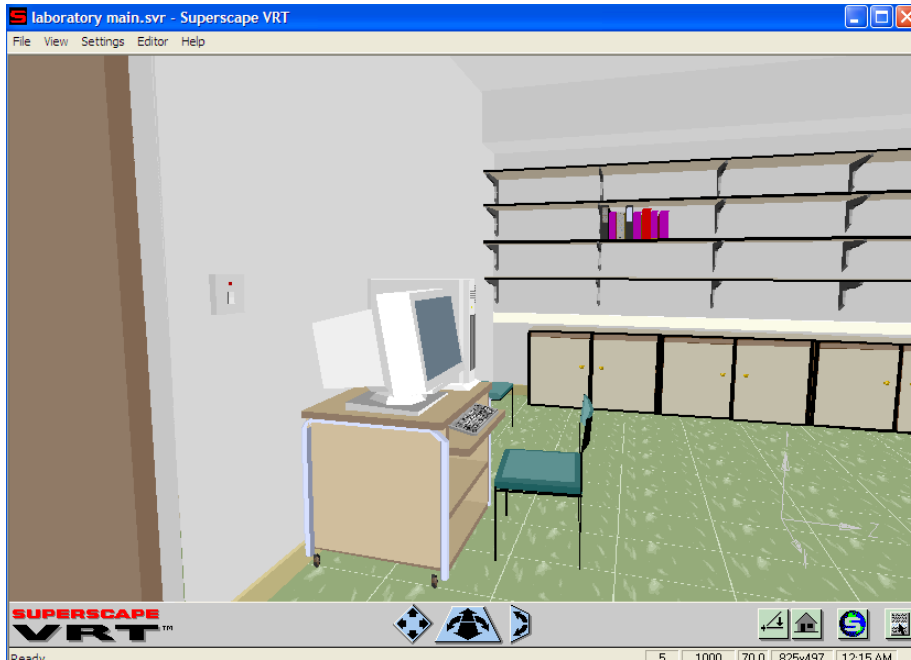
Αφού τα εικονικά αντικείμενα σχεδιαστούν, μπορούν να αποκτήσουν πλήθος ιδιοτήτων που τους προσδίδουν ρεαλιστικότερη αναπαράσταση και συμπεριφορά. Τέτοιες ιδιότητες είναι οι χρωματισμοί, οι υφές, το βάρος, οι ήχοι, η αντίδραση στο φως, η κίνηση, η αλληλεπίδραση με άλλα αντικείμενα ή με τους χρήστες, κα. Επιπλέον το περιβάλλον εμπλουτίζεται με φωτισμό και σκίαση, ηχητικά εφέ και κανόνες ή συνθήκες λειτουργίας (για παράδειγμα, συνήθως δεν επιτρέπουμε να περνάει κανείς μέσα από μια κλειστή πόρτα, αλλά πρέπει πρώτα να την ανοίξει). Το σχήμα 8-4 παρουσιάζει την οθόνη του λογισμικού VRT στην οποία καθορίζονται αυτές οι ιδιότητες και οι συμπεριφορές των αντικειμένων και του εικονικού κόσμου γενικότερα.



Σχήμα 8-4. Η βασική οθόνη του λογισμικού VRT, στην οποία καθορίζονται οι ιδιότητες των εικονικών αντικειμένων, οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους αλλά και με το χρήστη και συνθέεται ο τελικός εικονικός κόσμος. Εδώ διακρίνεται μια όψη από τη σχεδίαση του τραπεζιού H/Y που υπήρχε στο εικονικό δωμάτιο.

Η τελική μορφή του ΕΠ την οποία βλέπει και αλληλεπιδρά ο χρήστης φαίνεται στην οθόνη visualizer του λογισμικού. Στο σχήμα 8-5 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα αυτής της οθόνης από τη σχεδίαση του ΕΠ του πειράματος. Η αλληλεπίδραση του χρήστη πραγματοποιείται συνήθως με το πληκτρολόγιο και το ποντίκι, ενώ τα μενού επιλογών και οι γραμμές εργαλείων μπορούν να εξαφανιστούν από την οθόνη ώστε ο κόσμος να μοιάζει περισσότερο πραγματικός.





Σχήμα 8-5. Η οθόνη του λογισμικού VRT για την παρουσίαση του ΕΠ στους χρήστες. Τα βελάκια στο κάτω μέρος της οθόνης χρησιμοποιούνται για την πλοήγηση του χρήστη στον ΕΚ. Οι γραμμές τίτλου, εργαλείων, κατάστασης καθώς και τα βέλη πλοήγησης μπορεί να εξαφανιστούν ώστε η εικόνα του ΕΠ να γεμίζει όλη την οθόνη.

Οι βασικές συσκευές εικονικής πραγματικότητας παρουσιάζονται στο σχήμα 8-6 και ήταν τα έγχρωμα στερεοσκοπικά γυαλιά (Sony PLM-S700E) με ανάλυση 800x600 και βάθος χρώματος 32 bit και ένας ανιχνευτής κίνησης (tracker) ο οποίος προσαρμόστηκε στο πίσω μέρος της κεφαλής έτσι ώστε να ανιχνεύει όλες τις κινήσεις της κεφαλής των υποκειμένων (στροφή δεξιά/αριστερά και κίνηση κεφαλής πάνω/κάτω) και να ενημερώνει αντίστοιχα το ΕΠ (στην πραγματικότητα άλλαξε η γωνία παρατήρησης έτσι ώστε ο χρήστης του ΕΠ να βιώνει αντίστοιχη αίσθηση με την πραγματικότητα).



Σχήμα 8-6. Οι συσκευές ΕΠ που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα. Αριστερά τα έγχρωμα στερεοσκοπικά γυαλιά (Sony PLM-S700E) και δεξιά ο ανιχνευτής κίνησης κεφαλής.



Σχήμα 8-7. Το εικονικό δωμάτιο που χρησιμοποιήθηκε για το εικονικό περιβάλλον.

Τα αντικείμενα, ο φωτισμός, η σκίαση και οι υφές ήταν ρεαλιστικά χωρίς, όμως, να δοθεί ιδιαίτερο βάρος σε αυτό τον τομέα. Περισσότερο ενδιέφερε η άμεση και ρεαλιστική ανταπόκριση του περιβάλλοντος στις κινήσεις της κεφαλής των υποκειμένων. Ειδικά ο φωτισμός του ΕΠ προέρχονταν από δύο φωτεινές πηγές στην οροφή του δωματίου που έμοιαζαν με τις δύο λάμπες του πραγματικού δωματίου. Το σχήμα 8-7 παρουσιάζει μια όψη του εικονικού περιβάλλοντος από κεντρικό σημείο πίσω από το χώρο που κάθονταν οι συμμετέχοντες. Η άποψη των υποκειμένων ήταν δηλαδή πιο περιορισμένη από το σχήμα 8-7 και για να εξερευνήσουν πλήρως το χώρο έπρεπε να πραγματοποιήσουν μικρές κινήσεις της κεφαλής.

### **Πραγματικό περιβάλλον**

Το πραγματικό περιβάλλον ήταν ο χώρος του εργαστηρίου της Μονάδας Τεχνολογιών Αγωγής ειδικά προσαρμοσμένου ώστε να παρέχει τα επιθυμητά ερεθίσματα. Το παράθυρο ήταν κλειστό με αδιαφανή κουρτίνα που άφηνε ελάχιστο φως να μπαίνει στο χώρο. Ο φωτισμός του δωματίου ήταν τεχνητός με λαμπτήρες πυρακτώσεως. Το σχήμα 8-8 παρουσιάζει μια εικόνα του πραγματικού κόσμου του εργαστηρίου της Μονάδας Τεχνολογιών Αγωγής στην οποία πραγματοποιήθηκε η εμπειρική μελέτη.



Σχήμα 8-8. Άποψη του πραγματικού περιβάλλοντος.

### Σύστημα Ηλεκτροεγκεφαλογραφίας

Για τις καταγραφές των ΗΕΓ χρησιμοποιήθηκε το σύστημα καταγραφής της Μονάδας Τεχνολογιών Αγωγής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. Πρόκειται για το ψηφιακό System98 της Micromed με κεφαλή τοποθέτησης ηλεκτροδίων την SAM25. Τα σήματα ψηφιοποιήθηκαν με συχνότητα δειγματοληψίας 256Hz. Τόσο η κάρτα συλλογής δεδομένων όσο και το λογισμικό ανάλυσης ήταν εγκατεστημένα σε προσωπικό υπολογιστή με επεξεργαστή Intel Pentium® IV στα 1.6 GHz και μνήμη RAM 512MB. Στο σχήμα 8-9 εικονίζονται τα συστήματα ψηφιακής ηλεκτροεγκεφαλογραφίας της Μονάδας Τεχνολογιών Αγωγής που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνα.

Η επεξεργασία των ψηφιακών καταγραφών έγινε με τα λογισμικά που περιγράφηκαν στην ενότητα 8.3.



Σχήμα 8-9. Τα συστήματα ψηφιακής ηλεκτροεγκεφαλογραφίας της Μονάδας Τεχνολογιών Αγωγής. Αριστερά το σύστημα για κλινική κυρίως χρήση της Micromed και αριστερά το σύστημα για εργαστηριακούς σκοπούς της gtec στο οποίο έγινε ένα μέρος από την επεξεργασία των δεδομένων. Στο κέντρο το σύστημα εικονικής πραγματικότητας.

#### 8.4.4 Διαδικασία

Η πειραματική διαδικασία συνοψίζεται στην καταγραφή του συνεχόμενου ΗΕΓ με την παράλληλη συνεχόμενη νοητική δραστηριότητα χωρίς επαναλήψεις της ίδιας διεργασίας και μεσοποίησης των αποτελεσμάτων.

Το πείραμα διακρίνεται σε δύο ανεξάρτητα στάδια τα οποία πραγματοποιήθηκαν το ένα μετά το άλλο την ίδια μέρα, με τη μεσολάβηση ικανού χρονικού διαστήματος ώστε το υποκείμενο να ξεκουραστεί. Από τους συμμετέχοντες ζητήθηκε να παραμείνουν καθισμένα σε μια καρέκλα, να παρατηρούν αυτά που συνέβαιναν και να απαντούν σε ερωτήσεις. Όλες οι κινήσεις της κεφαλής και του υπόλοιπου σώματος (χωρίς να σηκωθούν από την καρέκλα) ήταν επιτρεπτές. Έγινε όμως σύσταση να αποφύγουν τις περιττές κινήσεις, ιδιαίτερα τις απότομες και γενικά αυτές που μπορούσαν να προκαλέσουν έντονα παράσιτα στην ΗΕΓ καταγραφή. Επιπλέον έγιναν συστάσεις για αποφυγή ομιλίας και κινήσεων άλλων μυών της κεφαλής χωρίς λόγο (π.χ. μουρμουρητά, επιφωνήματα, σφίξιμο μυών του προσώπου, τρίξιμο δοντιών, γκριμάτσες, κ.λπ). Για αποφυγή φαινομένων κούρασης επιτράπηκε στους συμμετέχοντες να διακόπτουν για λίγο το πείραμα αν χρειαστεί. Πριν από την ΗΕΓ καταγραφή δόθηκε στους συμμετέχοντες χρόνος μερικών λεπτών να προσαρμοστούν στις συγκεκριμένες συνθήκες (κυρίως στην αίσθηση των ηλεκτροδίων) και να δοκιμάσουν τις επιτρεπτές κινήσεις, να χαλαρώσουν και να μειώσουν κατά το δυνατό τις κινήσεις των ματιών.

Από τους συμμετέχοντες ζητήθηκε να αποφύγουν την έντονη άσκηση, την κατανάλωση καφέ, ναρκωτικών ουσιών και άλλης φαρμακευτικής αγωγής, όπως και το κάπνισμα 24 ώρες πριν το πείραμα. Επίσης τους είχαν δοθεί συστάσεις να έχουν

πλύνει πρόσφατα το τριχωτό της κεφαλής και να μη χρησιμοποιήσουν οποιοδήποτε καλλυντικό ή κρέμα μαλλιών που μπορεί να δημιουργούσε αυξημένες αντιστάσεις ή προβλήματα στις επαφές των ηλεκτροδίων.

Οι ίδιες ακριβώς συνθήκες ισχύουν και για τα δύο περιβάλλοντα με τη διαφορά ότι στο εικονικό οι συμμετέχοντες φορούσαν τα γυαλιά ΕΠ ενώ το δωμάτιο ήταν σχεδόν σκοτεινό.

Στη συνέχεια έγινε η καταγραφή των ΗΕΓ σε δύο στάδια.

Πρώτα οι συμμετέχοντες φόρεσαν τα γυαλιά εικονικής πραγματικότητας και περιηγήθηκαν σε ένα εικονικό περιβάλλον επίδειξης, άσχετο με το περιβάλλον της έρευνας, για να εξοικειωθούν με την περιήγηση στα εικονικά περιβάλλοντα. Τέλος έκλεισαν τα μάτια τους και κλήθηκαν να χαλαρώσουν για 2 λεπτά. Όταν άνοιξαν πάλι τα μάτια, στα γυαλιά προβάλλονταν ήδη το εικονικό στερεοσκοπικό περιβάλλον. Μετά την ολοκλήρωση της πρώτης φάσης οι συμμετέχοντες έκλεισαν πάλι τα μάτια τους, τα γυαλιά ΕΠ αφαιρέθηκαν και μετά από ένα χρονικό διάστημα λίγων λεπτών ξεκούρασης οι συμμετέχοντες άνοιξαν τα μάτια και αμέσως ακολούθησε η δεύτερη φάση στο πραγματικό δωμάτιο αυτή τη φορά.



Σχήμα 8-10. Υποκείμενο με όλον το σχετικό εξοπλισμό για το εικονικό περιβάλλον και το σύστημα ηλεκτροεγκεφαλογραφίας.

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε την ίδια περίπου ώρα της ημέρας στα περισσότερα υποκείμενα και διήρκεσε περίπου 11 μήνες (από τον Απρίλιο 2004 μέχρι το Μάρτιο 2005).

Οι συμπεριφορικές αντιδράσεις των υποκειμένων καθώς και παρατηρήσεις κατά τη διάρκεια του πειράματος καταγράφηκαν σε χαρτί από τον ερευνητή, ώστε να είναι ευκολότερη η ανίχνευση ορισμένων παρασίτων και μη προβλέψιμων

επιδράσεων του περιβάλλοντος. Η όλη διαδικασία ηχογραφήθηκε, ώστε να είναι δυνατός αργότερα ο ακριβής χρονικός προσδιορισμός των συμβάντων της διεργασίας.

Στο σχήμα 8-10 παρουσιάζεται ένα υποκείμενο με τοποθετημένα τα ηλεκτρόδια κατά την καταγραφή ΗΕΓ στο εικονικό περιβάλλον. Διακρίνονται τα γυαλιά εικονικής πραγματικότητας και στο πίσω μέρος της κεφαλής ο ανιχνευτής κίνησης.

#### **8.4.5 Αναλυτική περιγραφή των διεργασιών του πειράματος**

Οι διεργασίες του πειράματος συνίστανται κυρίως σε ερωτήσεις του ερευνητή που ωθούν το υποκείμενο να παρατηρήσει το περιβάλλον, να εστιάσει την προσοχή του σε κάποιο σημείο του περιβάλλοντος και τελικά να δώσει μια απάντηση. Στο χρονικό διάστημα από το τέλος της εκφώνησης της ερώτησης μέχρι την αρχή της απάντησης του υποκειμένου θεωρείται ότι πραγματοποιείται στον εγκέφαλο του υποκειμένου η γνωστική διαδικασία με την οποία ασχολείται η συγκεκριμένη διεργασία.

Μερικές διεργασίες δεν προκαλούνται από τις ερωτήσεις του πειραματιστή, αλλά προκύπτουν όταν το υποκείμενο απλά ανοίγει τα μάτια του και βρίσκεται στο εικονικό ή το πραγματικό περιβάλλον στα οποία διαδραματίζεται κάποια δράση.

Οι διεργασίες στο πραγματικό και το εικονικό περιβάλλον παρουσιάστηκαν με διαφορετική σειρά (και μικροδιαφορές σε μερικές περιπτώσεις) με σκοπό να μειωθεί η επίδραση της μνήμης στις αντιδράσεις των συμμετεχόντων. Όπου υπάρχουν τέτοιες διαφορές σημειώνονται με την προσθήκη των λέξεων VR ή REAL στην κωδικοποίηση της διεργασίας.

Οι διεργασίες του πειράματος μπορούν να αναλυθούν στις ακόλουθες κατηγορίες:

##### ***Πρώτη επαφή με το περιβάλλον***

Το υποκείμενο ανοίγει τα μάτια του και βρίσκεται αντιμέτωπο με το εικονικό ή το πραγματικό δωμάτιο. Μπορεί να πραγματοποιεί απλές κινήσεις της κεφαλής καθώς παρατηρεί το νέο για αυτόν χώρο. Εικόνες των δύο περιβαλλόντων παρουσιάζονται στο σχήμα 8-7 και στο σχήμα 8-8.

##### ***Οπτική-χωρική διεργασία***

Η διεργασία αυτή σχετίζεται με εντοπισμό αντικειμένων-στόχων στο οπτικό πεδίο του υποκειμένου, είτε με την ονομασία του ίδιου του στόχου είτε με προσδιορισμό της θέσης του.

Εικονικό περιβάλλον: Που είναι ο φωνόγραφος-γραμμόφωνο;

Πραγματικό περιβάλλον: Που είναι το καλοριφέρ;

### ***Αναγνώριση και καταμέτρηση αντικειμένων***

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται 2 διεργασίες με διαφορετικό βαθμό δυσκολίας, οι h και r. Και στις δύο διεργασίες ζητείται από τους συμμετέχοντες να απαριθμήσουν νοερά κάποια αντικείμενα που επαναλαμβάνονται.

Στην απλούστερη διεργασία h η ερώτηση είναι: «Πόσες φέτες έχει το καλοριφέρ;»

Στη διεργασία r οι ερωτήσεις παρουσιάζουν μικρές διαφορές ανάμεσα στα δύο περιβάλλοντα για αποφυγή των απαντήσεων από μνήμης:

r.VR) Πόσα παραλληλόγραμμα σχηματίζονται από τις πλευρές των ντουλαπιών;

r.REAL) Πόσα παραλληλόγραμμα σχηματίζονται από τα ράφια και τα στηρίγματά τους;

### ***Αναγνώριση και καταμέτρηση αντικειμένων και κριτική επιλογή***

Αυτή η διεργασία εκτός από αναγνώριση και καταμέτρηση αντικειμένων περιλαμβάνει και λειτουργίες κρίσης βάση των οποίων γίνεται η επιλογή των αντικειμένων - στόχων.

Πόσα αντικείμενα νέων τεχνολογιών κρίνεις ότι υπάρχουν στο δωμάτιο;

### ***Αντίληψη κινούμενου αντικειμένου***

Στη διεργασία αυτή παρουσιάζεται στους συμμετέχοντες ένα κινούμενο μικρό όχημα που εμφανίζεται στο οπτικό τους πεδίο με κατεύθυνση από αριστερά προς τα δεξιά (σχήμα 8-11). Δεν υπάρχει καμία ερώτηση ή άλλους είδους παρεμβολή από τον εξεταστή.



Σχήμα 8-11. Στιγμιότυπο του ΕΠ στο οποίο φαίνεται το αυτοκίνητο καθώς κινείται μέσα στο εικονικό δωμάτιο.

### ***Οπτική- λεκτική διεργασία***

Στη διεργασία αυτή παρουσιάζεται στους συμμετέχοντες ένα περιβάλλον με τέσσερα αιωρούμενα γράμματα στο κέντρο περίπου του οπτικού τους πεδίου. Δεν υπάρχει καμία ερώτηση ή άλλους είδους παρεμβολή από τον εξεταστή.

### ***Διεργασία ετοιμότητας και αναμονής***

Στη διεργασία αυτή οι συμμετέχοντες καλούνται να παρατηρήσουν δυο λαμπάκια που ανάβουν και σβήνουν (ένα αριστερά και ένα δεξιά) και στο τέλος όταν τους ζητηθεί να απαντήσουν πόσες φορές άναψε το κάθε ένα από αυτά.

### ***Παρουσία άλλου υποκειμένου***

Στη διεργασία αυτή έχουμε την εμφάνιση ενός εικονικού / πραγματικού ανθρώπου στο προσκήνιο (με απλή κίνηση βηματισμού από τη δεξιά άκρη του δωματίου προς την αριστερή). Δεν υπάρχει καμία ερώτηση ή άλλους είδους παρεμβολή από τον εξεταστή.



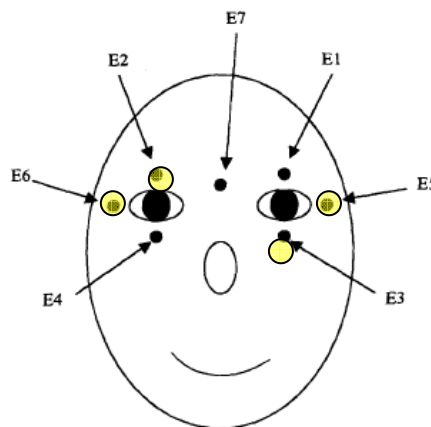
Σχήμα 8-12. Στιγμιότυπο από το ΕΠ στο οποίο φαίνεται ο εικονικός άνθρωπος καθώς προχωρά από τη μια άκρη του εικονικού δωματίου προς την άλλη.



## 8.5 Καταγραφές ΗΕΓ

Για την ηλεκτροεγκεφαλογραφική καταγραφή χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 26 επίχρυσα, επικολλώμενα, κυπελλοειδή ηλεκτρόδια, με καλώδιο μήκους 300 cm. Τα 19 αποτελούσαν ενεργά ηλεκτρόδια (αφορούσαν εγκεφαλικές περιοχές ενδιαφέροντος) και τα υπόλοιπα ήταν βοηθητικά. Τα 19 ενεργά ηλεκτρόδια τοποθετήθηκαν στην κρανιακή περιοχή στις ηλεκτροεγκεφαλογραφικές θέσεις Fp1, Fp2, F7, F3, Fz, F4, F8, T3, C3, Cz, C4, T4, T5, P3, Pz, P4, T6, O1 και O2 σύμφωνα με το Διεθνές Σύστημα 10-20 (International 10-20 System). Το σχήμα 8-14 εικονίζει τις 19 ενεργές τοποθεσίες και τις 2 τοποθεσίες αναφοράς.

Τα βοηθητικά ηλεκτρόδια ήταν: ένα ηλεκτρόδιο γείωσης στο κέντρο της μετωπιαίας περιοχής, δύο ηλεκτρόδια αναφοράς προσαρμοσμένα στους λοβούς των αυτιών (θέσεις A1 και A2) και τέσσερα επιπλέον κυπελλοειδή χρυσά επικολλώμενα ηλεκτρόδια, δύο για το κάθετο ηλεκτροοφθαλμογράφημα και δύο για το οριζόντιο, για την ταυτόχρονη καταγραφή των οφθαλμικών κινήσεων με σκοπό να διευκολύνουν την ανίχνευση των οφθαλμικών παρασίτων. Το σχήμα 8-13 παρουσιάζει τα σημεία τοποθέτησης των ηλεκτροδίων στην περιοχή των οφθαλμών. Χρησιμοποιήθηκαν οι θέσεις E2 και E3 (1.5 cm περίπου πάνω από το δεξιό μάτι και κάτω από το αριστερό) για την καταγραφή των κατακόρυφων κινήσεων και οι θέσεις E5 και E6 (1.5 cm περίπου δεξιά από το δεξιό μάτι και αριστερά από το αριστερό) για τις οριζόντιες κινήσεις. Το δέρμα κάτω από τα οφθαλμικά ηλεκτρόδια καθαρίστηκε με οινόπνευμα και τρίφτηκε ελαφρώς πριν την εφαρμογή των ηλεκτροδίων. Τα κατωπερατά και ανωπερατά φίλτρα για το ηλεκτροοφθαλμογράφημα ήταν 0.5 Hz και 100 Hz αντίστοιχα και οι αντιστάσεις μικρότερες από 20 ΚΩ.



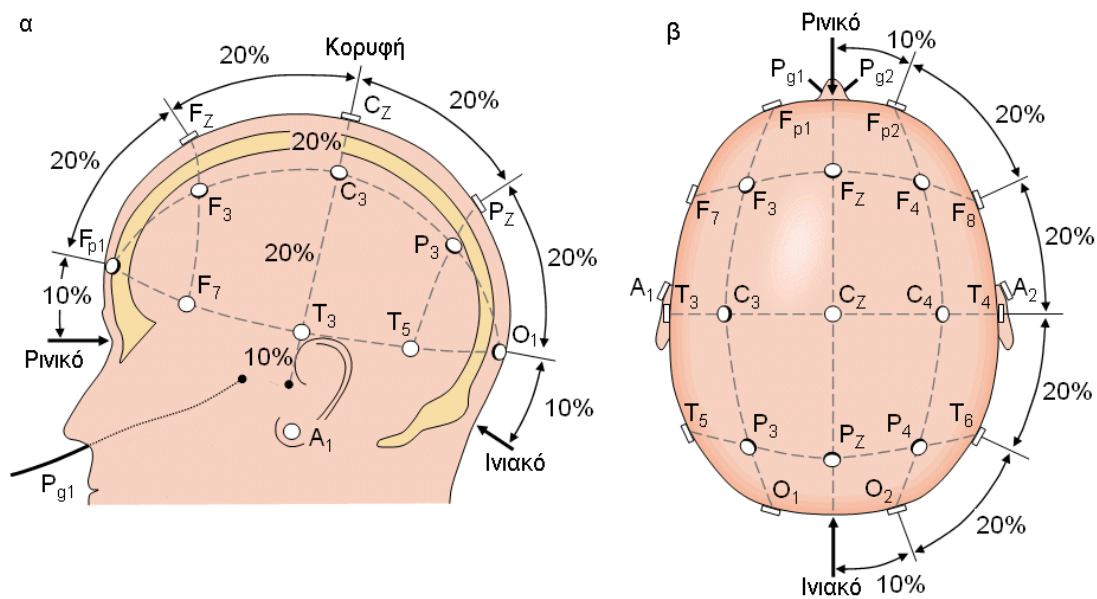
Σχήμα 8-13. Σχηματική αναπαράσταση των θέσεων τοποθέτησης των ηλεκτροδίων του ηλεκτροοφθαλμογραφήματος (EOG). Στην παρούσα έρευνα χρησιμοποιήθηκαν οι θέσεις E2, E3, E5 και E6.

Οι καταγραφές ήταν όλες μονοπολικές (εκτός από τα 4 ηλεκτρόδια του ηλεκτροοφθαλμογραφήματος που ήταν διπολικές), με κοινό σημείο αναφοράς τη

μέση τιμή  $V_A$  των δυναμικών στις θέσεις A1 και A2 (στους λοβούς των αυτιών). Στην ιδανική περίπτωση που οι θέσεις A1 και A2 έχουν ίσες αντιστάσεις, το δυναμικό αναφοράς  $V_A$  υπολογίζεται από την έκφραση:  $V_A = 1/2(V_{A1} + V_{A2})$ , όπου  $V_{A1}$  και  $V_{A2}$  τα δυναμικά των σημείων A1 και A2 αντίστοιχα. Όταν οι αντιστάσεις διαφέρουν η έκφραση τροποποιείται ως εξής:

$$V'_A = \frac{R_2 V_{A1} + R_1 V_{A2}}{R_1 + R_2},$$

όπου  $V'_A$  το νέο δυναμικό αναφοράς,  $R_1$  και  $R_2$  οι αντιστάσεις στις θέσεις A1 και A2 αντίστοιχα (Choppin 2000).



Σχήμα 8-14. Σχηματική αναπαράσταση των ηλεκτροεγκεφαλογραφικών θέσεων σύμφωνα με το Διεθνές Σύστημα 10-20 (Παπαχρήστος 2006, τροποποιημένο από Malmivuo & Plonsey 1995).

Τα δεδομένα ψηφιοποιήθηκαν με συχνότητα δειγματοληψίας 256 Hz και ενίσχυση 100  $\mu\text{V}/\text{cm}$ . Από τη συσκευή καταγραφής χρησιμοποιήθηκε φίλτρο αποκοπής υψηλών συχνοτήτων (Low band pass) 70 Hz και φίλτρο αποκοπής χαμηλών συχνοτήτων (High band pass) 0.5 Hz. Αν και η συσκευή καταγραφής αποθήκευσε και τα πρωτογενή δεδομένα (χωρίς κανένα φίλτρο), τελικά από όλο το εύρος συχνοτήτων χρησιμοποιήθηκε η περιοχή 0 – 48 Hz, η οποία περιλαμβάνει όλους σχεδόν τους γνωστούς εγκεφαλικούς ρυθμούς στους οποίους η παρούσα έρευνα εστίασε το ενδιαφέρον της (1 – 3 Hz για το δέλτα ρυθμό, 4 – 7 Hz για το θήτα, 8 – 13 Hz για τους άλφα ρυθμούς, 14 – 32 Hz για το βήτα και 33 – 48 Hz για το γάμα). Για την αποφυγή του παράσιτου του ηλεκτρικού ρεύματος τροφοδοσίας των συσκευών χρησιμοποιήθηκε φίλτρο αποκοπής (notch) 50 Hz.

Για την εξασφάλιση καλών επαφών των ηλεκτροδίων τα σημεία επαφής καθαρίστηκαν με αιθυλική αλκοόλη (οινόπνευμα) και χρησιμοποιήθηκε η λειαντική κρέμα Elefix του οίκου Nihon Kohden και για αύξηση της αγωγιμότητας σε μερικές περιπτώσεις η κρέμα Nuprep Gel της Weaver. Για τη συγκράτηση των ηλεκτροδίων χρησιμοποιήθηκε η κρέμα Ten20 conductive EEG paste της Weaver. Όλες οι αντιστάσεις των ηλεκτροδίων μετρήθηκαν πριν και μετά τις καταγραφές από την ίδια τη συσκευή καταγραφής (Micromed) και ήταν μικρότερες από 20 KOhm.

## 8.6 Παρατηρήσεις έρευνας

Οι παρατηρήσεις στην ενότητα αυτή πραγματοποιήθηκαν από τον ερευνητή κατά τη διεξαγωγή του πειράματος και συμπληρώθηκαν είτε τη στιγμή της παρατήρησης είτε αμέσως μετά. Οι παρατηρήσεις αυτές αφορούσαν σε:

- Αντιδράσεις σε ενέργειες του περιβάλλοντος
- Παρατηρήσεις σε λεκτικές εκφράσεις των χρηστών
- Παρατηρήσεις στους μηχανισμούς ελέγχου του περιβάλλοντος
- Παρατηρήσεις εκφράσεων και κινήσεων του φυσικού σώματος των χρηστών.

Στη συνέχεια παρατίθεται το σχετικό φύλλο παρατηρήσεων με προτυπωμένες θέσεις και ελεύθερο κείμενο.

**ΦΥΛΟ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΕΕΓ**

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ:

**ΠΡΟΣΩΠΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ**

Όνοματεπώνυμο:

Φύλο ..... :

Ηλικία ..... :

Δεξιόχειρας/Αριστερόχειρας – δυσλεξία:

**ΠΡΟΠΑΡΑΣΚΕΥΗ – ΣΥΝΗΘΕΙΕΣ**

Προηγούμενες εμπειρίες ΗΕΓ :

Κατάσταση υγείας γενικά :

Υψοφοβία :

Νευρολογικές παθήσεις :

Διαταραχές όρασης – χρήση γυαλιών :

Συνήθειες ύπνου γενικά :

Ύπνος το προηγούμενο βράδυ :

Φάρμακα – θεραπείες :

Εγκυμοσύνη – Εμμηνόρροια :

Ουσίες γενικά & παρούσα ημέρα (καφές, τσιγάρο, αλκοόλ, άλλες):

**ΕΝΤΥΠΩΣΕΙΣ**

Γενική διάθεση πριν:

.....  
.....  
.....

Γενική διάθεση – εντυπώσεις – βαθμός ενόχλησης μετά:

.....  
.....  
.....

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΕΙΚΟΝΙΚΟΥ ΚΟΣΜΟΥ	Σειρά καταγραφής:
Διάρκεια εξέτασης ⇒ Προετοιμασία:..... Κυρίως εξέταση:..... Τύπος ηλεκτροδίων:	
ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΚΟΣΜΟΥ	Σειρά καταγραφής:
Διάρκεια εξέτασης ⇒ Προετοιμασία:..... Κυρίως εξέταση:..... Τύπος ηλεκτροδίων:	

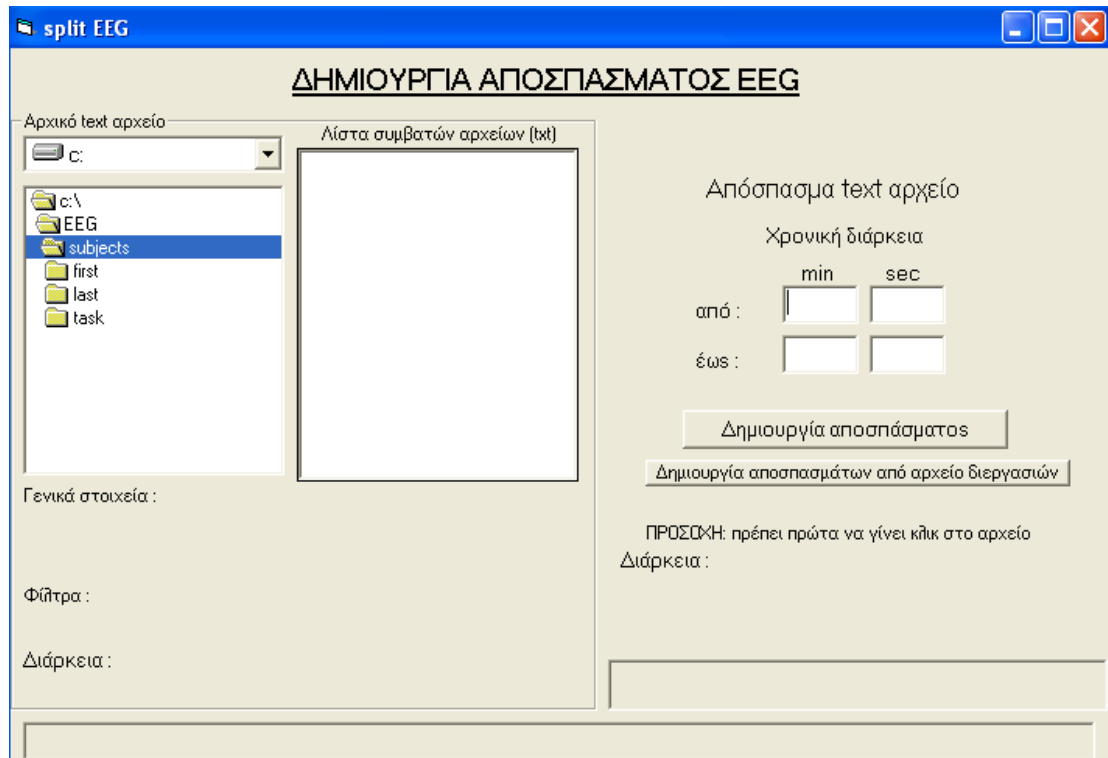
## 8.7 Μεθοδολογία επεξεργασίας των καταγραφών ΗΕΓ

### 8.7.1 Προεπεξεργασία των δεδομένων

Από την πειραματική διαδικασία προέκυψαν δύο αρχεία ΗΕΓ καταγραφών σε μορφή ascii και Micromed και δύο αρχεία ήχου που περιείχαν τις αντίστοιχες ηχογραφήσεις για κάθε περιβάλλον. Η επεξεργασία των δεδομένων στη συνέχεια έγινε στο λογισμικό που αναπτύχθηκε στο εργαστήριο από τον ερευνητή, στο λογισμικό gBSanalyze της gtec και στην πλατφόρμα λογισμικού matlab.

Η προεργασία των δεδομένων περιλαμβάνει στην ουσία τέσσερα στάδια.

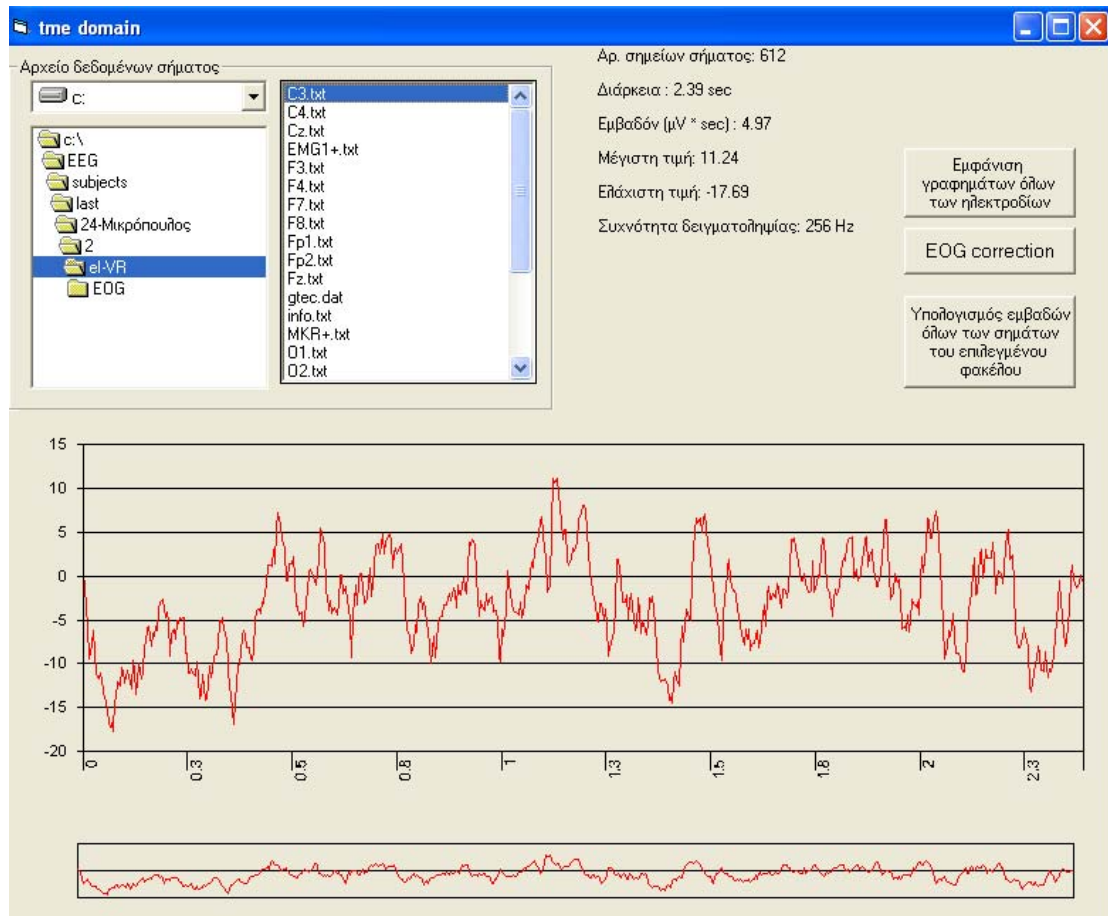
Αρχικά έγινε απομαγνητοφώνηση των αντίστοιχων ηχογραφήσεων των διεργασιών. Το ενδιαφέρον εστιάζονταν κυρίως στα χρονικά διαστήματα που μεσολαβούσαν από τη στιγμή που ο πειραματιστής τελείωνε την εκφώνηση της ερώτησης μέχρι την έναρξη της απάντησης του υποκειμένου. Στις διεργασίες που δεν περιγράφονται ως ερώτηση και απάντηση χρησιμοποιήθηκαν χαρακτηριστικοί ήχοι που λειτουργούσαν ως χρονικά ορόσημα.



Σχήμα 8-15. Η οθόνη του λογισμικού splitEEG στην οποία πραγματοποιήθηκε η επιλογή και δημιουργία των αρχικών ΗΕΓ αποσπασμάτων.

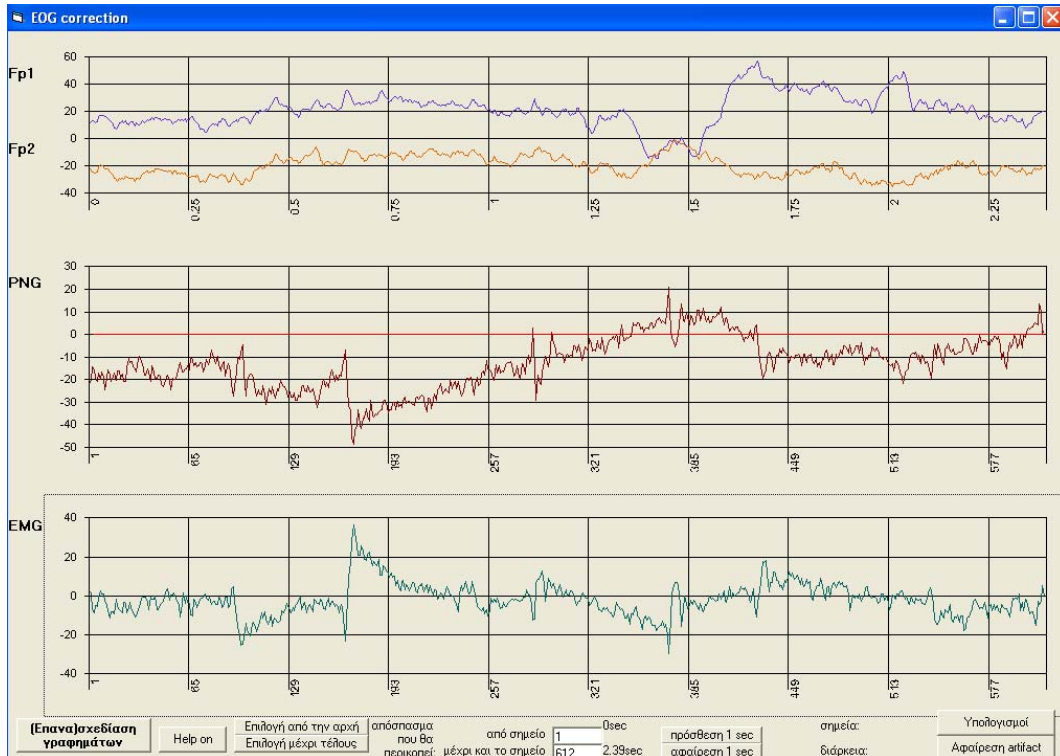
Στη συνέχεια με βάση τα προηγούμενα χρονικά διαστήματα και το λογισμικό splitEEG που αναπτύχθηκε στο εργαστήριο για το σκοπό αυτό, προέκυψαν 2 ΗΕΓ αποσπάσματα για κάθε διεργασία (ένα για το εικονικό περιβάλλον και ένα για το πραγματικό). Στο σχήμα 8-15 φαίνεται η αρχική οθόνη του λογισμικού splitEEG στο οποίο πραγματοποιήθηκε η επιλογή και δημιουργία των αρχικών ΗΕΓ αποσπασμάτων.

Από τα αποσπάσματα αυτά με το λογισμικό EEGtimeDomain, που επίσης αναπτύχθηκε στο εργαστήριο από τον ερευνητή, επιλέχθηκαν τα τελικά ΗΕΓ αποσπάσματα χρονικής διάρκειας ενός δευτερολέπτου το καθένα. Βασικό κριτήριο επιλογής ήταν η μη εμφάνιση παρασίτων, η οποία πραγματοποιήθηκε με τα βοηθήματα του λογισμικού και οπτική επισκόπηση της γραφικής παράστασης των αποσπασμάτων. Αποσπάσματα με υψηλές τιμές πλάτους, μυϊκά παράσιτα και οφθαλμικά παράσιτα απορρίφθηκαν από περαιτέρω επεξεργασία. Ειδικά για τα οφθαλμικά παράσιτα χρησιμοποιήθηκαν τα 4 επιπλέον ηλεκτρόδια που κατέγραφαν τις κινήσεις των ματιών. Επίσης απορρίφθηκαν τα ΗΕΓ αποσπάσματα με μήκος μικρότερο του 1sec. Η βασική οθόνη του λογισμικού EEGtimeDomain φαίνεται στο σχήμα 8-16, ενώ στο σχήμα 8-17 φαίνεται το λογισμικό EOGcorrection στο οποίο έγινε η ανίχνευση και αφαίρεση των οφθαλμικών παρασίτων.



Σχήμα 8-16. Το λογισμικό EEGTimeDomain στο οποίο έγινε επεξεργασία των ΗΕΓ αποσπασμάτων στο πεδίο του χρόνου.

Στο τρίτο στάδιο πραγματοποιήθηκαν μικροδιορθώσεις με το λογισμικό gBSanalyze της gtec (DC-correction, Remove Drift) για ομαλοποίηση και αφαίρεση των συνεχών συνιστωσών. Οι σχετικές επιλογές του menu preprocessing του λογισμικού φαίνονται στο σχήμα 8-18.



Σχήμα 8-17. Το λογισμικό EOGcorrection στο οποίο έγινε η ανίχνευση και αφαίρεση των οφθαλμικών παρασίτων. Η κυματομορφή PNG καταγράφει τις κατακόρυφες κινήσεις των ματιών, ενώ η κυματομορφή EMG τις οριζόντιες. Οι ονομασίες PNG και EMG δόθηκαν αυτόματα από το λογισμικό ΗΕΓ καταγραφής System 98 της Micromed.

- Pre-Processing
  - Source Derivation
  - DC Correction
  - Rectify and Smooth
  - Remove Drift
  - Detrend
  - Down- and Upsampling
  - Spatial Filter
  - Filter

Σχήμα 8-18. Οι επιλογές της διαδικασίας preprocessing του λογισμικού BSanalyze της gtec.

Τέλος, τα ΗΕΓ αποσπάσματα που παρέμειναν οργανώθηκαν με το λογισμικό της gtec σε ισάριθμα με τις διεργασίες matlab (.mat) αρχεία. Το κάθε αρχείο περιείχε 19 κανάλια με τις ΗΕΓ καταγραφές των αντίστοιχων ενεργών ηλεκτροδίων και τόσα τμήματα (trial) όσα τα έγκυρα υποκείμενα που τελικά συμμετείχαν στη διεργασία. Το κάθε τμήμα είχε μήκος 2 sec και περιείχε 2 ΗΕΓ αποσπάσματα: το 1<sup>ο</sup> sec αντιστοιχούσε σε καταγραφή από το εικονικό περιβάλλον και το 2<sup>ο</sup> sec από το πραγματικό περιβάλλον. Παράδειγμα τέτοιου αρχείου φαίνεται στο σχήμα 8-19, όπου το αρχείο eI.mat περιέχει όλες τις καταγραφές για εικονικό και πραγματικό



περιβάλλον για όλα τα υποκείμενα που τελικά παρέμειναν στη διεργασία eI (πρώτη επαφή με τα δύο περιβάλλοντα).



Σχήμα 8-19. Παράδειγμα του αρχείου eI.mat το οποίο περιέχει όλες τις καταγραφές για εικονικό και πραγματικό περιβάλλον για τα 6 υποκείμενα που τελικά παρέμειναν στη διεργασία eI.

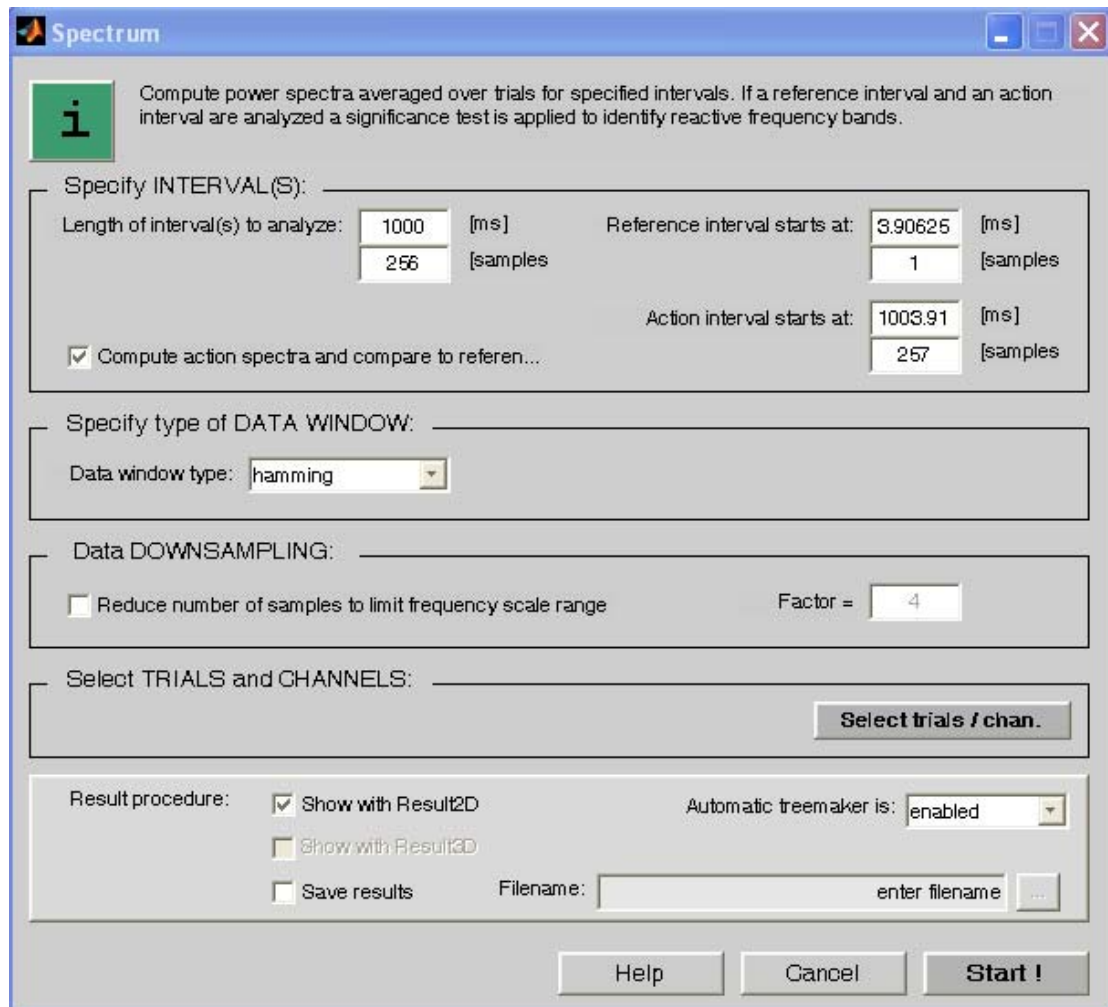
### 8.7.2 Στατιστική ανάλυση

Όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα 8.5 από το σύνολο των συχνοτήτων που κατέγραψε η συσκευή ΗΕΓ καταγραφής, αξιολογήθηκαν μόνο οι συχνότητες 1 – 48 Hz, περιοχή που καλύπτει όλους τους σημαντικούς ρυθμούς του ΗΕΓ. Οι ρυθμοί και τα όριά τους που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία επιλέχθηκαν ως εξής: ρυθμός δέλτα (1 – 3 Hz), θήτα (4 – 7 Hz), άλφα-1 ή κατώτερος άλφα (8 – 10 Hz), άλφα-2 ή ανώτερος άλφα (11 - 13 Hz), συνολικός άλφα (8 - 13 Hz), βήτα (14 – 32 Hz), γάμα (33 - 48 Hz).

Σε όλες τις μετρήσεις ισχύος χρησιμοποιήθηκε η απόλυτη ισχύς. Σε ορισμένες μελέτες χρησιμοποιείται κυρίως στους χάρτες η σχετική ισχύς, με την οποία γίνεται προσπάθεια να αποσβεστούν οι μη εγκεφαλικές επιδράσεις χρησιμοποιώντας ως μέτρηση ισχύος το πηλίκο της ισχύος σε κάποια ζώνη συχνοτήτων δια τη συνολική ισχύ (Abarbanel 1999). Οι χάρτες αυτοί διαφέρουν από τους χάρτες απόλυτης ισχύος, γιατί υπολογίζουν τη χρωματική απόδοση ενός σημείου βάση και της συνολικής ισχύος όλων των ρυθμών σε αυτό το σημείο. Στην παρούσα έρευνα χρησιμοποιήθηκε η απόλυτη ισχύς, γιατί αυτή αναφέρεται στην πλειοψηφία των βιβλιογραφικών αναφορών.

Για τη παραγωγή των φασματικών κατανομών του εικονικού και του πραγματικού περιβάλλοντος και τη στατιστική σύγκρισή τους χρησιμοποιήθηκε η διαδικασία spectrum του λογισμικού gBSanalyze της gtec (σχήμα 8-20). Η διαδικασία

spectrum υπολογίζει τη Φασματική Κατανομή Ισχύος για ένα απόσπασμα ΗΕΓ με μεσοποιημένες τιμές για όλα τα τμήματα (trials) που συμπεριλαμβάνονται στο απόσπασμα (πρέπει όλα τα τμήματα να είναι συνενωμένα το ένα δίπλα στο άλλο σε ένα αρχείο). Η ίδια διαδικασία μπορεί να υπολογίσει φασματικές κατανομές ισχύος για 2 ΗΕΓ αποσπάσματα με μεσοποιημένες τιμές για όλα τα τμήματα (trials) που συμπεριλαμβάνονται (τα οποία παρουσιάζει σε κοινό γράφημα), καθώς επίσης και τη σύγκριση των δυο φασμάτων. Η σύγκριση γίνεται με επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 95% (Graimann & Pfurtscheller 2006, Pfurtscheller 1999, Vos 1975). Στην περίπτωση αυτή πρέπει κάθε τμήμα (trial) να περιλαμβάνει 2 ίσου μήκους ΗΕΓ αποσπάσματα, όπου το ένα θεωρείται ως διάστημα αναφοράς (reference interval) και το άλλο ως διάστημα δράσης (action interval).



Σχήμα 8-20. Η διαδικασία Spectrum του menu Analyze της gtec που χρησιμοποιήθηκε για τη σύγκριση των φασμάτων των 2 περιβαλλόντων (εικονικού και πραγματικού).

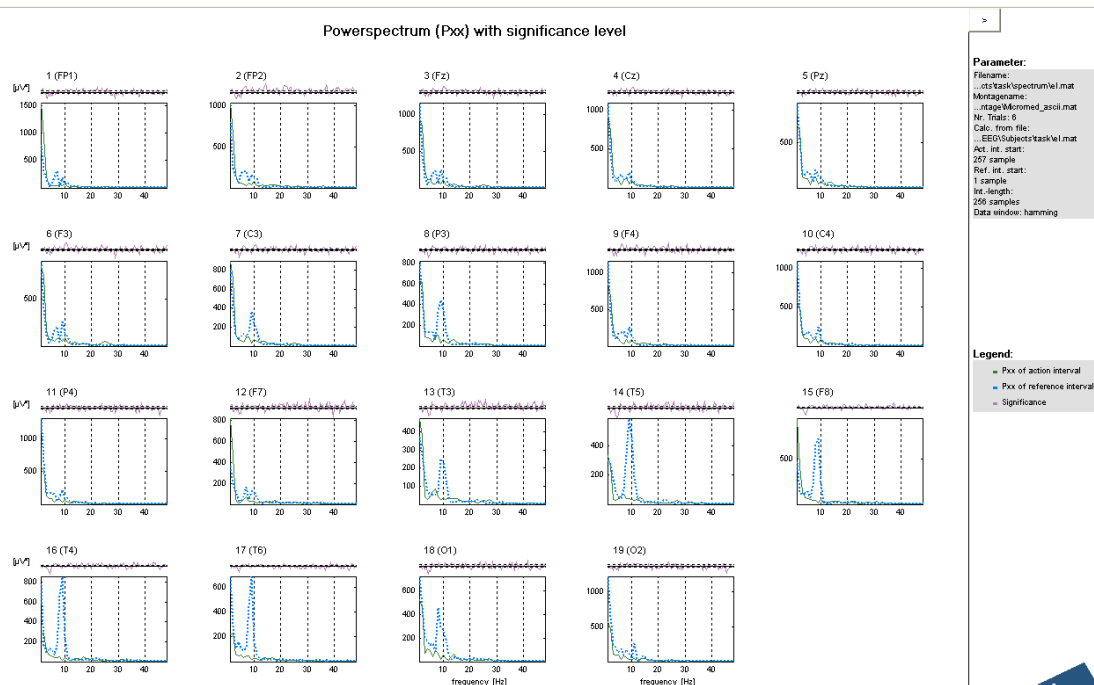
Στη συγκεκριμένη περίπτωση το μήκος των διαστημάτων ορίστηκε 1000 msec ή 256 δείγματα, όπου το διάστημα αναφοράς άρχιζε από το 1<sup>ο</sup> δείγμα (δηλαδή αντιστοιχεί στο εικονικό περιβάλλον, το οποίο στα γραφήματα και τους χάρτες θα συμβολίζεται ως VR) και το διάστημα δράσης άρχιζε από το 257<sup>ο</sup> δείγμα (πραγματικό περιβάλλον, το οποίο στα γραφήματα και τους χάρτες θα συμβολίζεται ως REAL). Η

μέθοδος υπολογισμού του φάσματος συχνοτήτων είναι ο Βραχύς Μετασχηματισμός Fourier (Short Fourier Transform) διακριτού σήματος με παράθυρο Hamming. Στην περίπτωση αυτή, το σήμα χωρίζεται σε διαδοχικά τμήματα στα οποία οι συχνότητες του σήματος θεωρούνται αμετάβλητες και το κάθε τμήμα μετασχηματίζεται κατά Fourier. Το αποτέλεσμα μετράται σε  $\mu\text{V}^2/\text{Hz}$ . Το παράθυρο που Hamming χρησιμοποιείται για τον τεμαχισμό του σήματος παράγεται από τη συνάρτηση `hamming(n)` του Matlab, η οποία δημιουργεί ένα συμμετρικό δiάνυσμα  $n$  σημείων (όπου  $n$  θετικός ακέραιος), με βάση τον τύπο:

$$w[k + 1] = 0.54 - 0.46 \cos\left(2\pi \frac{k}{n - 1}\right), \quad k = 0, \dots, n - 1$$

Η αναλυτική περιγραφή της μεθόδου καθώς και οι σχετικές παραδοχές και περιορισμοί αναφέρονται στην ενότητα 5.7.7.

Η διαδικασία `spectrum` παράγει τις γραφικές παραστάσεις των φασμάτων, παράδειγμα των οποίων παρουσιάζεται στο σχήμα 8-21. Διακρίνονται 19 γραφικές παραστάσεις φασμάτων (μία για κάθε ηλεκτρόδιο). Με μπλε διακεκομμένη γραμμή παριστάνονται τα φάσματα του διαστήματος αναφοράς (εικονικού περιβάλλοντος – VR) και με πράσινη γραμμή τα φάσματα του διαστήματος δράσης (πραγματικού περιβάλλοντος – REAL). Πάνω από κάθε γράφημα φαίνεται η γραφική παράσταση των διαφορών των δύο φασμάτων και οι ευθείες με τα πάνω και κάτω όρια που αντιστοιχούν στο επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας.

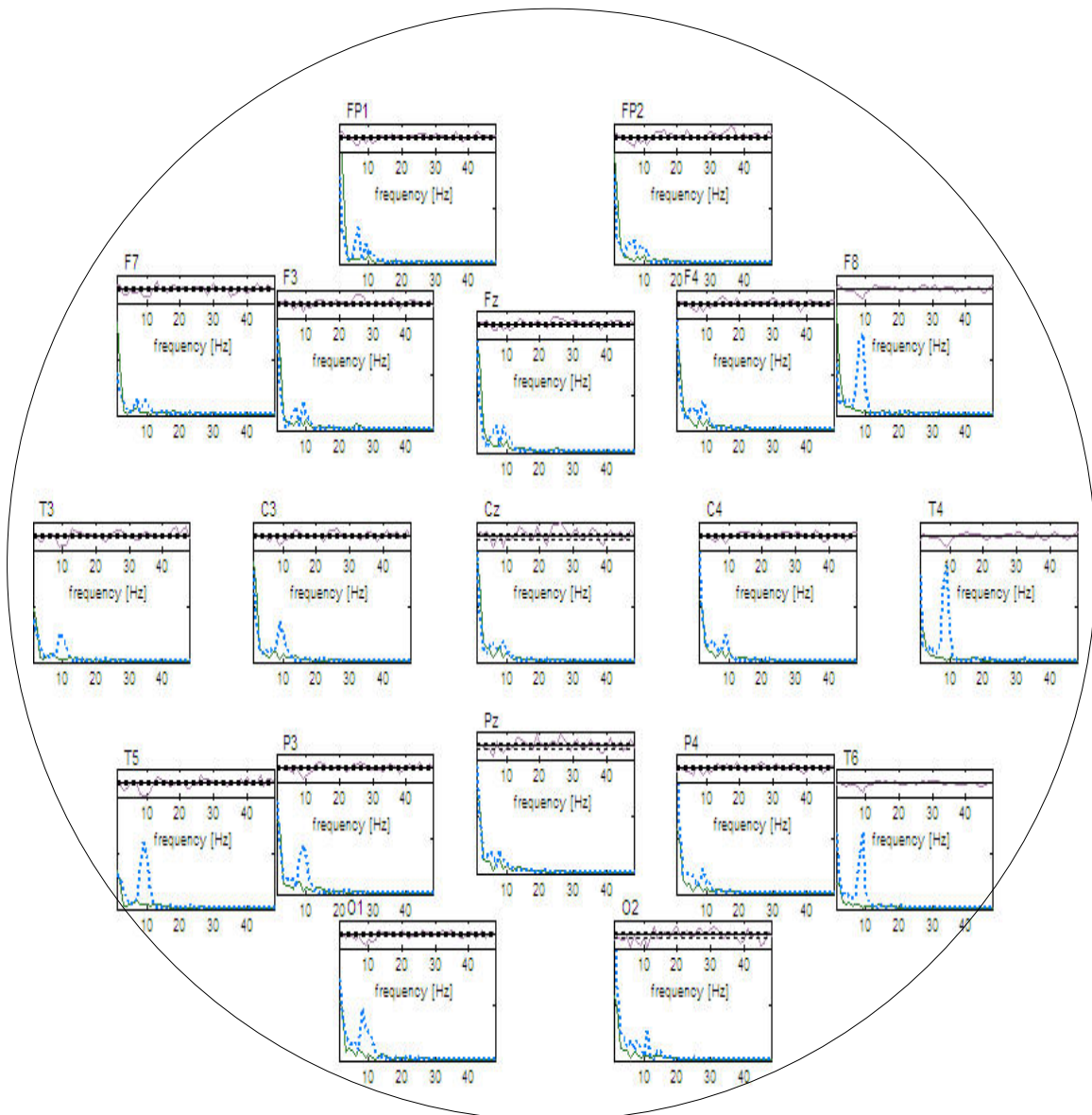


Σχήμα 8-21. Παράδειγμα των φασμάτων που παράγει η διαδικασία `spectrum` (λογισμικό BSanalyze της gtec).

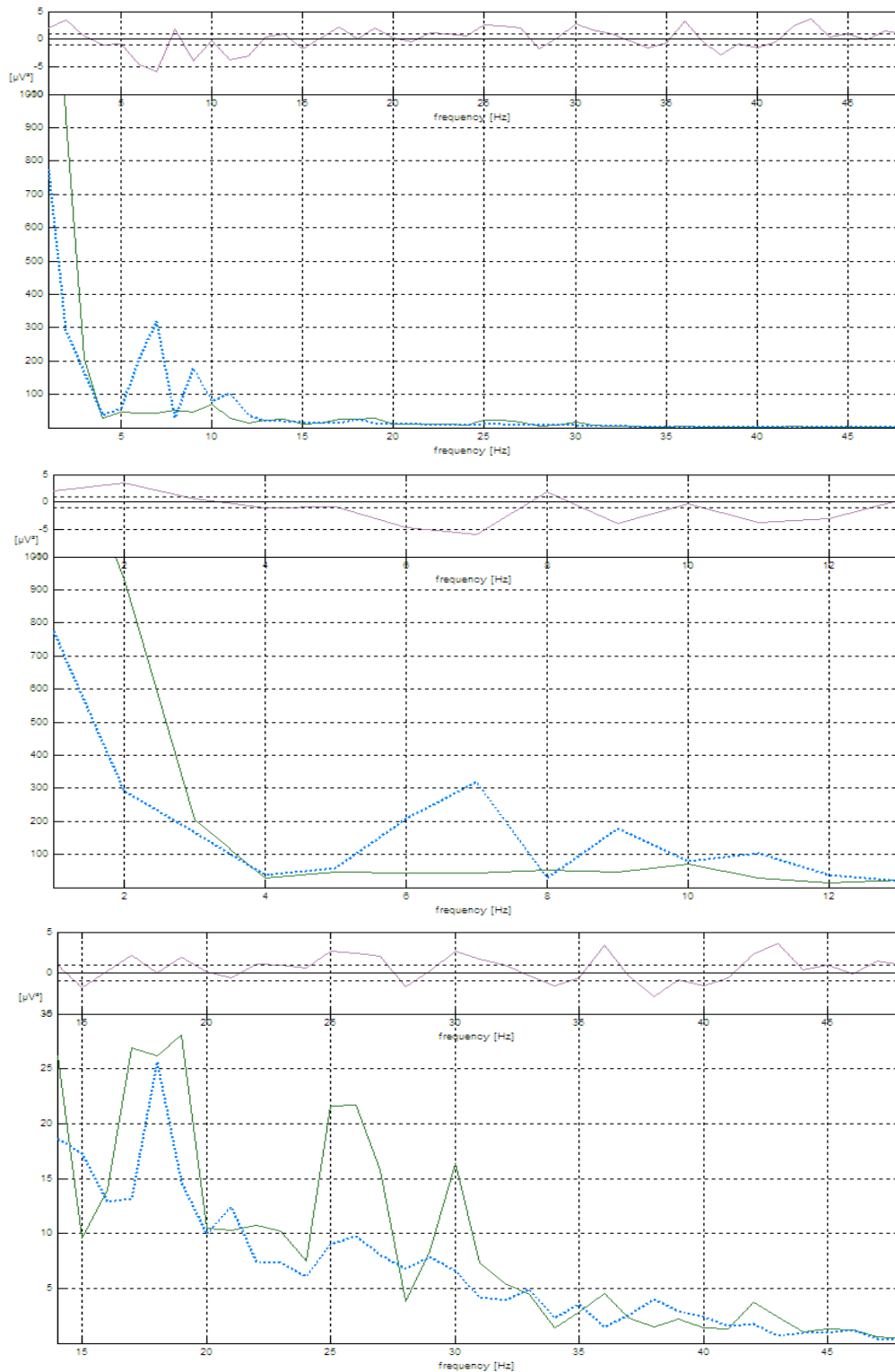
Τα αποτελέσματα της φασματικής ανάλυσης αποθηκεύονται σε matlab αρχεία και σε αρχεία κειμένου για περαιτέρω επεξεργασία για ποσοτική ανάλυση και

σχεδίαση εγκεφαλικών χαρτών. Συνολικά δημιουργούνται για κάθε διεργασία ένα mat αρχείο και ένα αρχείο gsp (τύπος αρχείου κειμένου).

Στην ενότητα με τα αποτελέσματα παρουσιάζονται γραφήματα με συγκριτική παράθεση των φασμάτων απόλυτης ισχύος. Αρχικά (σχήμα 8-22) παρουσιάζονται και τα 19 ηλεκτρόδια σε κοινό γράφημα, τοποθετημένα σε έλλειψη που απεικονίζει το κρανίο (όπου στο πάνω τμήμα αντιστοιχεί το μέτωπο και στο κάτω η ινιακή περιοχή). Ο κατακόρυφος άξονας σε όλα τα γραφήματα αντιστοιχεί σε  $\mu V^2$  και είναι διαφορετικός κάθε γραφική παράσταση, προσαρμοσμένος στη μέγιστη τιμή. Η συγκεκριμένη μορφή απεικόνισης αν και παρέχει μια εποπτεία σε όλο το κρανίο, αδυνατεί λόγω μεγέθους να αποδώσει λεπτομέρειες.



Σχήμα 8-22. Γραφική παράσταση του φάσματος 1 μέχρι 48 Hz για όλα τα ηλεκτρόδια και όλα τα υποκείμενα. Η μπλε διακεκομμένη γραμμή αντιστοιχεί στο εικονικό περιβάλλον και η πράσινη στο πραγματικό.



Σχήμα 8-23. Παράδειγμα φασμάτων ενός ηλεκτροδίου. Με μπλε διακεκομμένη γραμμή παριστάνεται το φάσμα του εικονικού περιβάλλοντος (αναφορά) και με πράσινη το φάσμα του πραγματικού (δράση). Το πάνω γράφημα αποτυπώνει τις διαφορές των δύο φασμάτων και οι οριζόντιες γραμμές τα όρια που καθορίζει το επίπεδο σημαντικότητας.

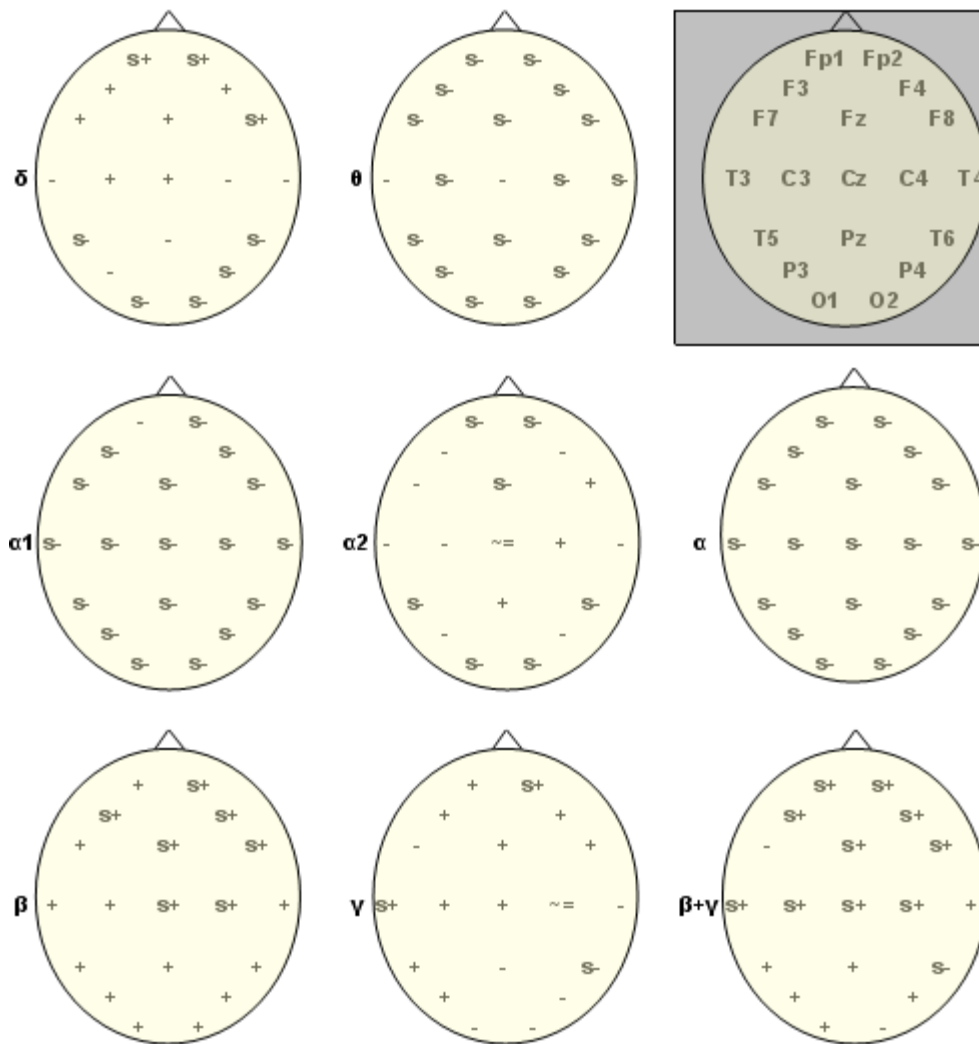
Ακολουθώς (σχήμα 8-23) παρουσιάζονται τρία γραφήματα για κάθε ηλεκτροεγκεφαλογραφική θέση με αναλυτικά φάσματα απόλυτης ισχύος. Στο πρώτο

παρουσιάζονται οι συχνότητες 1 – 48 Hz, όπου όμως εξαιτίας της ψηλότερης ισχύος των χαμηλών συχνοτήτων υποβαθμίζονται οι μέσες και υψηλές συχνότητες που με δυσκολία διακρίνονται στο γράφημα. Έτσι παρουσιάζονται δύο ακόμη αναλυτικότερα γραφήματα (με τροποποιημένες κλίμακες των  $x$  και  $y$  αξόνων) για τις χαμηλότερες συχνότητες 1 – 13 Hz (ρυθμοί  $\delta$ ,  $\theta$ ,  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha$ ) και τις υψηλότερες συχνότητες 14 – 48 Hz (ρυθμοί  $\beta$  και  $\gamma$ ). Συνολικά παρουσιάζονται  $19 \times 3 = 57$  γραφήματα για κάθε διεργασία. Κάθε γράφημα περιέχει επίσης τρεις γραφικές παραστάσεις: δύο (με τους ίδιους άξονες και βαθμονόμηση) για τα φάσματα του εικονικού (μπλε διακεκομμένη γραμμή) και του πραγματικού (πράσινη συνεχόμενη γραμμή) περιβάλλοντος και ένα τρίτο που παρουσιάζει τις διαφορές των άλλων δύο με στατιστική σημαντικότητα.

Αυτά τα διαγράμματα δεν παρέχουν πληροφορίες για ολόκληρο ρυθμό, αλλά για κάθε συχνότητα χωριστά (ελάχιστο βήμα συχνοτήτων 1 Hz). Αυτό αποτελεί μειονέκτημα όταν ενδιαφέρει η συμπεριφορά ενός ρυθμού συνολικά. Αν όμως το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στη συμπεριφορά συγκεκριμένων συχνοτήτων, τότε τα γραφήματα αυτά είναι σημαντικά. Στην παρούσα διατριβή όλη η ανάλυση βασίζεται στη συμπεριφορά ρυθμών και όχι μεμονωμένων συχνοτήτων του ΗΕΓ. Ωστόσο, τα γραφήματα μεμονωμένων συχνοτήτων κρίνονται σημαντικά και παραθέτονται στο παράρτημα 12.2.

Στη συνέχεια (σχήμα 8-24), παρουσιάζεται συγκριτικό γράφημα (που παράγεται από το MsExcel), χωρίς χρωματική κλίμακα, όπου οι διαφορές (REAL – VR) των αντίστοιχων τιμών απόλυτης ισχύος των δύο περιβαλλόντων εικονίζονται με τα σύμβολα:

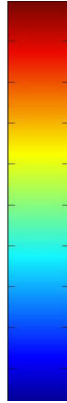
- s+ και s- για στατιστικά σημαντικές διαφορές,
- + και – για μη στατιστικά σημαντικές διαφορές και
- ≈ για αμελητέες διαφορές.



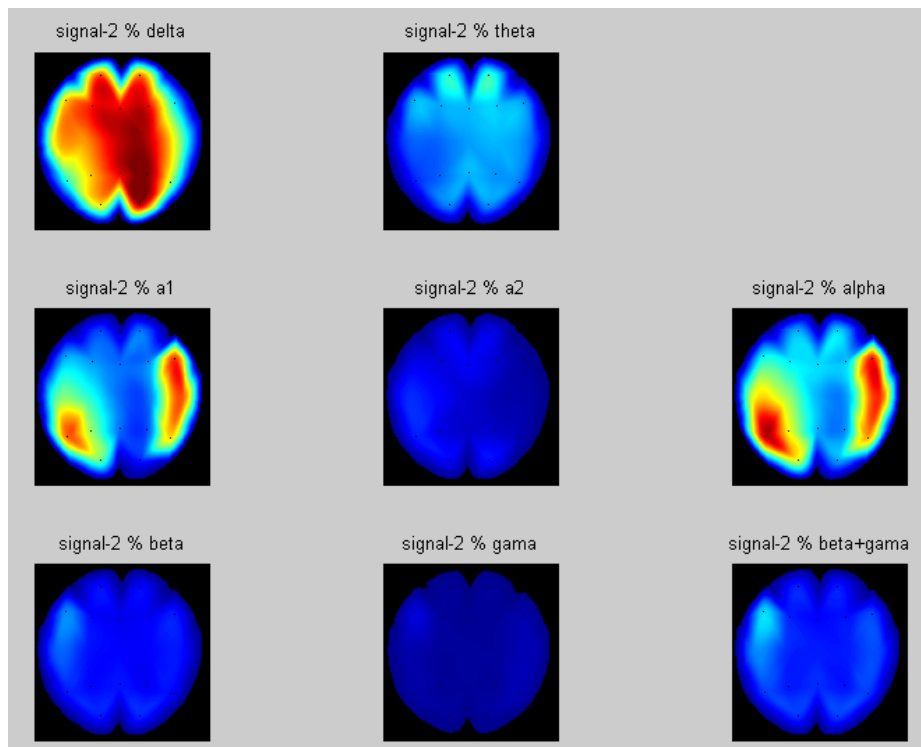
Σχήμα 8-24. Συγκριτική εναλλακτική παρουσίαση ασπρόμαυρων χαρτών της σχετικής ισχύος του πραγματικού και του εικονικού περιβάλλοντος (αφαίρεση τιμών REAL – VR).

Το συγκριτικό γράφημα, που παρουσιάζεται στο σχήμα 8-24, παρέχει μια ικανοποιητική εποπτεία των ποσοτικών δεδομένων, που μπορεί εύκολα να αποδώσει τις διαφορές της εγκεφαλικής λειτουργίας των δύο περιβαλλόντων. Από αυτό το γράφημα εξάγονται τα πρώτα συμπεράσματα.

Ακολουθούν οι φασματικοί χάρτες απόλυτης ισχύος. Σε όλους του χάρτες χρησιμοποιείται παρόμοια χρωματική κλίμακα. Τα «θερμά» χρώματα (καφέ, κόκκινο) αντιστοιχούν σε υψηλές τιμές ισχύος, ενώ τα «ψυχρά» (μπλε) στις χαμηλές.



Σχήμα 8-25. Χρωματική κλίμακα που ακολουθείται στους χάρτες. Τα «θερμά» χρώματα (καφέ, κόκκινο) αντιστοιχούν σε υψηλές τιμές ισχύος, ενώ τα «ψυχρά» (μπλε) στις χαμηλές.

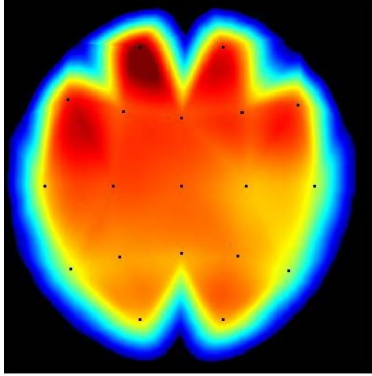
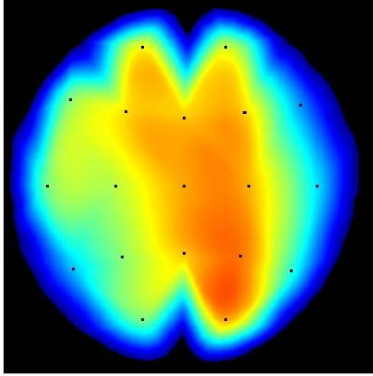
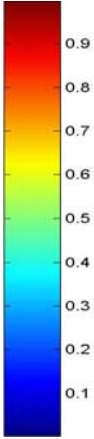
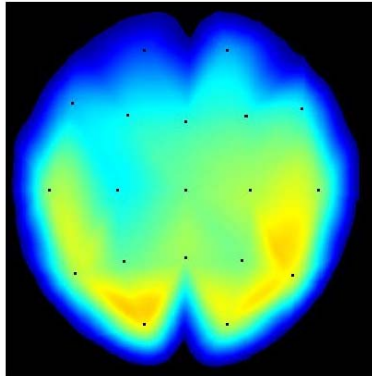
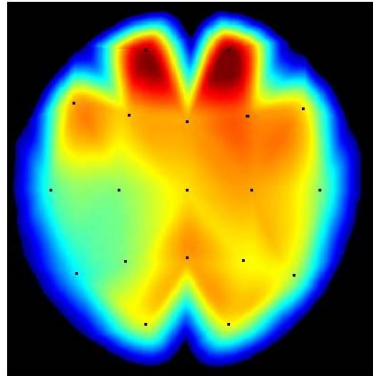
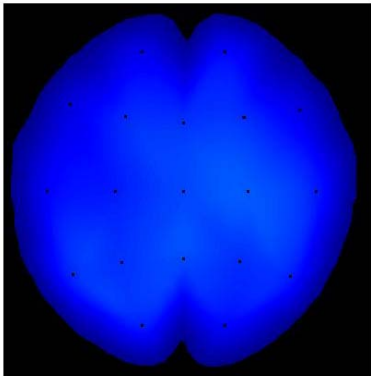
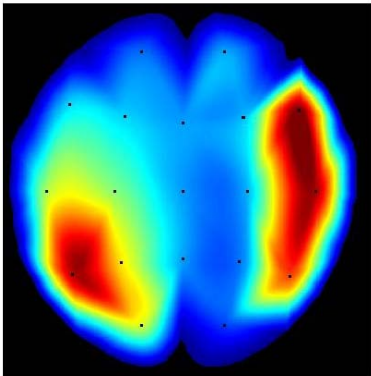


Σχήμα 8-26. Χάρτες απόλυτης τιμής ισχύος για ένα περιβάλλον.

Αρχικά παρουσιάζονται δύο συνοπτικοί, ανεξάρτητοι χάρτες (ένας για κάθε περιβάλλον) στους οποίους φαίνονται οι επικρατούντες ρυθμοί και η τοπολογική τους εξάπλωση. Οι χάρτες αυτοί αναδεικνύουν τους επικρατούντες ρυθμούς και υποβαθμίζουν τους υπόλοιπους. Παράδειγμα τέτοιου χάρτη φαίνεται στο σχήμα 8-26. Σε αυτούς τους χάρτες δεν μπορεί να γίνει σύγκριση των δύο περιβαλλόντων (παρά μόνο στο ποιο είναι οι κυρίαρχοι ρυθμοί) γιατί οι δύο χάρτες έχουν διαφορετικές κλίμακες. Οι χάρτες αυτοί δημιουργούνται από τη ρουτίνα EEGmapAbs2 που αναπτύχθηκε από τον ερευνητή στην πλατφόρμα λογισμικού Matlab. Επειδή ο δέλτα ρυθμός έχει μεγάλο πλάτος και εμφανίζει συνήθως κατά πολύ υψηλότερη φασματική



ισχύ με αποτέλεσμα να αποδυναμώνονται χρωματικά οι άλλοι ρυθμοί, παρουσιάζεται σε αρκετές διεργασίες δύο χάρτες παρόμοιοι με τους προηγούμενους αλλά χωρίς το δέλτα ρυθμό. Αυτοί οι χάρτες παράγονται από τη ρουτίνα EEGmapAbs2\_noDelta.

Πίνακας 8-1. Χάρτες με <b>απόλυτες</b> τιμές ισχύος <b>κατανεμημένες</b> για κάθε ρυθμό σε <b>REAL</b> και <b>VR περιβάλλον</b> .	
REAL (πραγματικό περιβάλλον)	VR (εικονικό περιβάλλον)
<p>signal-1 % delta</p>  <p>δέλτα</p>	<p>signal-2 % delta</p>  
<p>signal-1 % theta</p>  <p>θήτα</p>	<p>signal-2 % theta</p> 
<p>signal-1 % a1</p>  <p>άλφα-1</p>	<p>signal-2 % a1</p> 
<p>Ομοίως, ακολουθούν οι υπόλοιποι ρυθμοί: άλφα-2, βήτα, γάμα και όπου χρειάζεται συνολικός άλφα και συνολικός βήτα (<math>\beta + \gamma</math>)</p>	

Για να αναδειχθεί η τοπολογική κατανομή όλων των ρυθμών συγκριτικά στο πραγματικό και το εικονικό περιβάλλον, ακολουθεί πίνακας με 8 ζευγάρια χαρτών, 6 ζευγάρια για τους ρυθμούς δέλτα, θήτα, άλφα-1, άλφα-2, βήτα, γάμα και 2 επιπλέον για το συνολικό άλφα (υπορυθμοί  $\alpha_1 + \alpha_2$ ) και το συνολικό βήτα (ρυθμοί  $\beta + \gamma$ ). Το κάθε ζευγάρι έχει υπολογιστεί σε κοινή κλίμακα, ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση των δύο περιβαλλόντων για το συγκεκριμένο ρυθμό. Δεν είναι όμως δυνατή η σύγκριση διαφορετικών ρυθμών. Παράδειγμα τέτοιου πίνακα παρουσιάζεται στον πίνακα 5-1. Οι χάρτες αυτοί δημιουργούνται από τη ρουτίνα EEGmapAbsD2 που αναπτύχθηκε από τον ερευνητή σε περιβάλλον Matlab.

Πίνακας 8-2. Συγκριτικές τιμές απόλυτης ισχύος για το REAL και VR περιβάλλον

ηλεκτρ.	δέλτα		θήτα		κάτω $\alpha$ ( $\alpha_1$ )		άνω $\alpha$ ( $\alpha_2$ )		βήτα		γάμα		βήτα + γάμα		άλφα	
	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR
	Fp1	1255	403	287	268	79	140	88	92	395	262	50	69	444	331	168
Fp2	1128	393	216	340	106	150	79	111	531	327	74	84	605	410	185	261
Fz	977	629	430	526	132	213	132	138	560	294	33	53	594	347	264	352
Cz	1260	788	469	457	116	148	133	102	434	273	41	58	475	330	249	250
Pz	1054	671	390	305	129	130	96	111	292	299	27	62	319	361	225	242
F3	991	451	399	401	92	162	113	100	430	329	37	64	467	393	205	262
C3	1195	570	448	372	86	105	122	86	357	301	37	71	394	372	208	192
P3	1077	572	419	297	105	86	103	121	254	319	36	81	290	400	207	208
F4	918	657	395	399	127	186	86	103	515	318	29	58	544	376	213	289
C4	1053	875	363	341	130	184	57	111	464	295	33	60	497	356	187	295
P4	820	776	331	291	162	200	53	187	352	308	29	59	382	367	216	387
F7	774	433	233	180	49	61	81	68	352	361	56	139	408	499	129	129
T3	652	273	198	233	59	64	88	132	277	398	62	103	339	501	147	196
T5	1552	276	531	183	60	76	86	112	265	410	53	138	317	548	146	188
F8	765	512	186	195	93	121	55	94	503	418	80	132	583	550	148	215
T4	948	396	278	166	162	190	97	132	496	371	73	104	568	475	259	322
T6	701	493	255	137	131	231	102	176	313	328	32	94	346	422	233	407
O1	851	649	330	207	121	75	86	137	277	340	36	123	313	463	207	213
O2	634	771	301	192	211	196	104	193	250	310	23	63	273	373	315	390

Όπου από την προηγούμενη κοινή κλίμακα υποβαθμίζεται σημαντικά το ένα από τα δύο περιβάλλοντα (όπως στο τρίτο γράφημα του πίνακα 5-1 για τον άλφα-1 υπορυθμό) και ενδιαφέρει να φανεί η τοπολογία του υποβαθμισμένου περιβάλλοντος,

χρησιμοποιείται ανεξάρτητος χάρτης απόλυτης ισχύος για το συγκεκριμένο περιβάλλον και το συγκεκριμένο ρυθμό. Οι χάρτες αυτοί δημιουργούνται από τη ρουτίνα EEGmapAbsD που αναπτύχθηκε από τον ερευνητή σε περιβάλλον Matlab.

Μετά τους χάρτες ακολουθούν τα ποσοτικά δεδομένα που αντιστοιχούν σε απόλυτες τιμές ισχύος τα οποία παρουσιάζονται με τη μορφή πινάκων με τις αντίστοιχες τιμές. Παράδειγμα τέτοιου πίνακα είναι ο πίνακας 8-2.

## 8.8 Σύνοψη

Η πειραματική διαδικασία στηρίχθηκε στη φασματική ανάλυση των γνωστών ρυθμών του ΗΕΓ γνωστικών λειτουργιών κατά τη διεξαγωγή απλών διεργασιών, συνολικά και όχι με έμφαση στη χρονική τους εξέλιξη. Η ποσοτικοποίηση των παρατηρήσεων ήταν σχετικά σύνθετη και ανεπτυγμένη σε πλάτος. Τα δεδομένα παρουσιάζονται με πληθώρα διαφορετικών μορφών (γραφήματα, χάρτες και πίνακες τιμών απόλυτης ισχύος), από τις οποίες αξιοποιούνται όσες ταιριάζουν σε κάθε περίπτωση. Επιπλέον δεδομένα από ερωτηματολόγια των υποκειμένων και παρατηρήσεις συμπεριφοράς παρέχουν σύνδεση μεταξύ αντικειμενικών και υποκειμενικών μετρήσεων.



---

# 9 Αποτελέσματα

---

9.1	Εισαγωγή.....	280
9.2	Πρώτη επαφή με το περιβάλλον .....	281
9.3	Οπτική-χωρική διεργασία .....	293
9.4	Αναγνώριση και καταμέτρηση αντικειμένων .....	306
9.5	Καταμέτρηση αντικειμένων με υποκειμενική επιλογή.....	332
9.6	Οπτική-λεκτική διεργασία .....	344
9.7	Αντίληψη κινούμενου αντικειμένου .....	357
9.8	Διεργασία ετοιμότητας και αναμονής.....	368
9.9	Παρουσία άλλου υποκειμένου .....	379

## 9.1 Εισαγωγή

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ανά διεργασία. Αρχικά περιγράφεται με συντομία η διεργασία και ο αριθμός του δείγματος που χρησιμοποιήθηκε. Αναφέρονται χωριστά οι συμμετέχοντες από κάθε φύλο, αλλά οι μέσοι όροι και η στατιστική ανάλυση εφαρμόστηκαν πάνω σε όλα τα υποκείμενα χωρίς να ληφθεί υπόψη η διαφορά φύλου. Σε κάθε διεργασία της εμπειρικής μελέτης παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της φασματικής ανάλυσης του ΗΕΓ, χρωματικοί χάρτες απόλυτης ισχύος, συγκριτικοί χρωματικοί χάρτες ανά ρυθμό και συγκριτικοί χάρτες ανά ρυθμό που δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στο πραγματικό και το εικονικό περιβάλλον. Πίνακες με τα ποσοτικά δεδομένα απόλυτης ισχύος παραθέτονται ως παράρτημα στην ενότητα 12.1.

Στις διεργασίες στις οποίες η πειραματική διαδικασία απαιτούσε απάντηση των συμμετεχόντων σε προφορική ερώτηση του εξεταστή, έγινε προσπάθεια<sup>†</sup> να αγνοηθεί η προετοιμασία για τη λεκτική απάντηση επιλέγοντας χρονικό διάστημα 1 sec αμέσως μετά την ερώτηση και πριν την απάντηση των υποκειμένων.

### **Φασματικές κατανομές ισχύος**

Στη φασματική ανάλυση χρησιμοποιούνται δύο φάσματα (ένα για κάθε περιβάλλον) με μεσοποιημένες τιμές απόλυτης ισχύος για όλους τους συμμετέχοντες, καθώς επίσης και τη σύγκριση των δυο φασμάτων. Η σύγκριση γίνεται με επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 95% (Graumann & Pfurtscheller 2006, Pfurtscheller 1999, Vos 1975).

Σε σχηματική τοπολογία με μορφή κρανίου παρουσιάζονται σε κοινό γράφημα οι γραφικές παραστάσεις του φάσματος ισχύος για όλα τα ηλεκτρόδια και για τα δύο περιβάλλοντα. Η περιοχή συχνοτήτων που ενδιαφέρει είναι αυτή που περιέχει τους βασικούς ρυθμούς του ΗΕΓ (1 - 48 Hz). Ο κατακόρυφος άξονας σε όλα τα γραφήματα αντιστοιχεί σε  $\mu V^2$  και είναι διαφορετικός κάθε γραφική παράσταση, προσαρμοσμένος στη μέγιστη τιμή ισχύος σε κάθε ηλεκτρόδιο. Επειδή λόγω μεγέθους τα γραφήματα αυτά είναι δυσανάγνωστα, παρουσιάζονται αναλυτικά και με μεγέθυνση στο παράρτημα 12.2.

Αυτά τα διαγράμματα δεν παρέχουν πληροφορίες για ολόκληρο ρυθμό, αλλά για κάθε συχνότητα χωριστά (ελάχιστο βήμα συχνοτήτων 1 Hz). Αυτό αποτελεί μειονέκτημα όταν ενδιαφέρει η συμπεριφορά ενός ρυθμού συνολικά. Αν όμως, το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στη συμπεριφορά συγκεκριμένων συχνοτήτων, τότε τα

---

<sup>†</sup> Η ασάφεια που προκύπτει από τη συγκεκριμένη διατύπωση υπονοεί τη δυσκολία να ελεγχθεί πλήρως η στρατηγική και η διαδικασία που το κάθε υποκείμενο ακολουθεί πριν εκφέρει την απάντησή του.

γραφήματα αυτά είναι σημαντικά. Στην παρούσα διατριβή όλη η ανάλυση βασίζεται στη συμπεριφορά ρυθμών και όχι μεμονωμένων συχνοτήτων του ΗΕΓ. Ωστόσο τα γραφήματα μεμονωμένων συχνοτήτων κρίνονται σημαντικά και παραθέτονται στο παράρτημα 12.2.

### **Χάρτες**

Αρχικά παρουσιάζονται φασματικοί χάρτες απόλυτης ισχύος με χρωματική διαβάθμιση. Η χρωματική κλίμακα σε όλους τους χάρτες αναπαριστά τις υψηλότερες τιμές ισχύος (σε  $\mu V^2$ ) με θερμά χρώματα και τις χαμηλότερες τιμές με ψυχρά χρώματα. Παράδειγμα τέτοιας χρωματικής κλίμακας φαίνονται στο σχήμα 8-25. Στα δύο πρώτα σχήματα παρουσιάζονται δύο συνοπτικοί ανεξάρτητοι χάρτες για το πραγματικό και το εικονικό περιβάλλον αντίστοιχα, στους οποίους φαίνονται οι επικρατούντες ρυθμοί και η τοπολογική τους εξάπλωση. Οι χάρτες αυτοί αναδεικνύουν τους επικρατούντες ρυθμούς και υποβαθμίζουν τους υπόλοιπους.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται συγκρίσεις των δύο περιβαλλόντων με τη μορφή πίνακα με τους χάρτες απόλυτης ισχύος. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ομαδοποιημένα ανά ρυθμό με ταυτόχρονη συγκριτική παράθεση των δύο περιβαλλόντων.

Ακολουθεί ένα επιπλέον συγκριτικό γράφημα χωρίς χρωματική κλίμακα που παρουσιάζει σχηματικά τις στατιστικά σημαντικές διαφορές ανά ηλεκτρόδιο. Οι διαφορές (REAL – VR) των αντίστοιχων τιμών απόλυτης ισχύος των δύο περιβαλλόντων εικονίζονται με τα σύμβολα:

- s+ και s- για στατιστικά σημαντικές διαφορές,
- + και – για μη στατιστικά σημαντικές διαφορές και
- ≈ για αμελητέες διαφορές.

Οι διαφορές υπολογίζονται πάντα αφαιρώντας τις τιμές απόλυτης ισχύος του εικονικού περιβάλλοντος από τις αντίστοιχες τιμές του πραγματικού. Πάνω δεξιά σε αυτά τα γραφήματα παρατίθεται (σε γκρι πλαίσιο) σχήμα με τις θέσεις των ηλεκτροδίων στο κρανίο για διευκόλυνση της ανάλυσης των χαρτών.

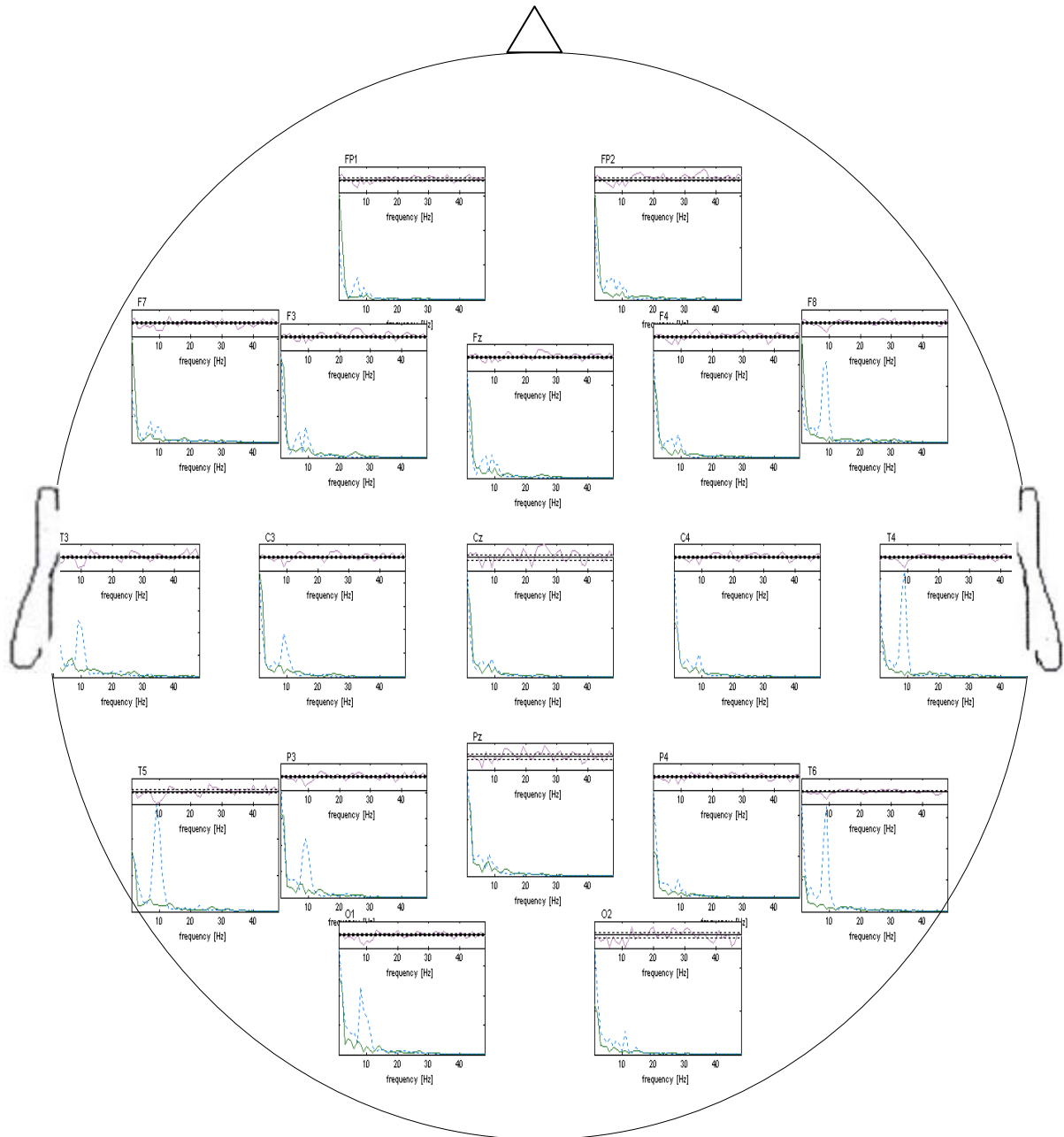
Τελικά, τα αποτελέσματα συνοψίζονται και καταγράφονται περιγραφικά ανά ρυθμό του ΗΕΓ.

## **9.2 Πρώτη επαφή με το περιβάλλον**

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνεται η αρχική διεργασία στην οποία οι συμμετέχοντες ανοίγουν τα μάτια και αντικρίζουν πρώτη φορά το περιβάλλον (εικονικό και πραγματικό). Δεν υπάρχει καμία ερώτηση ή άλλους είδους παρεμβολή από τον εξεταστή. Το χρονικό διάστημα που αναλύεται είναι το πρώτο δευτερόλεπτο από τη στιγμή που οι συμμετέχοντες ανοίγουν τα μάτια τους και αντικρίζουν το

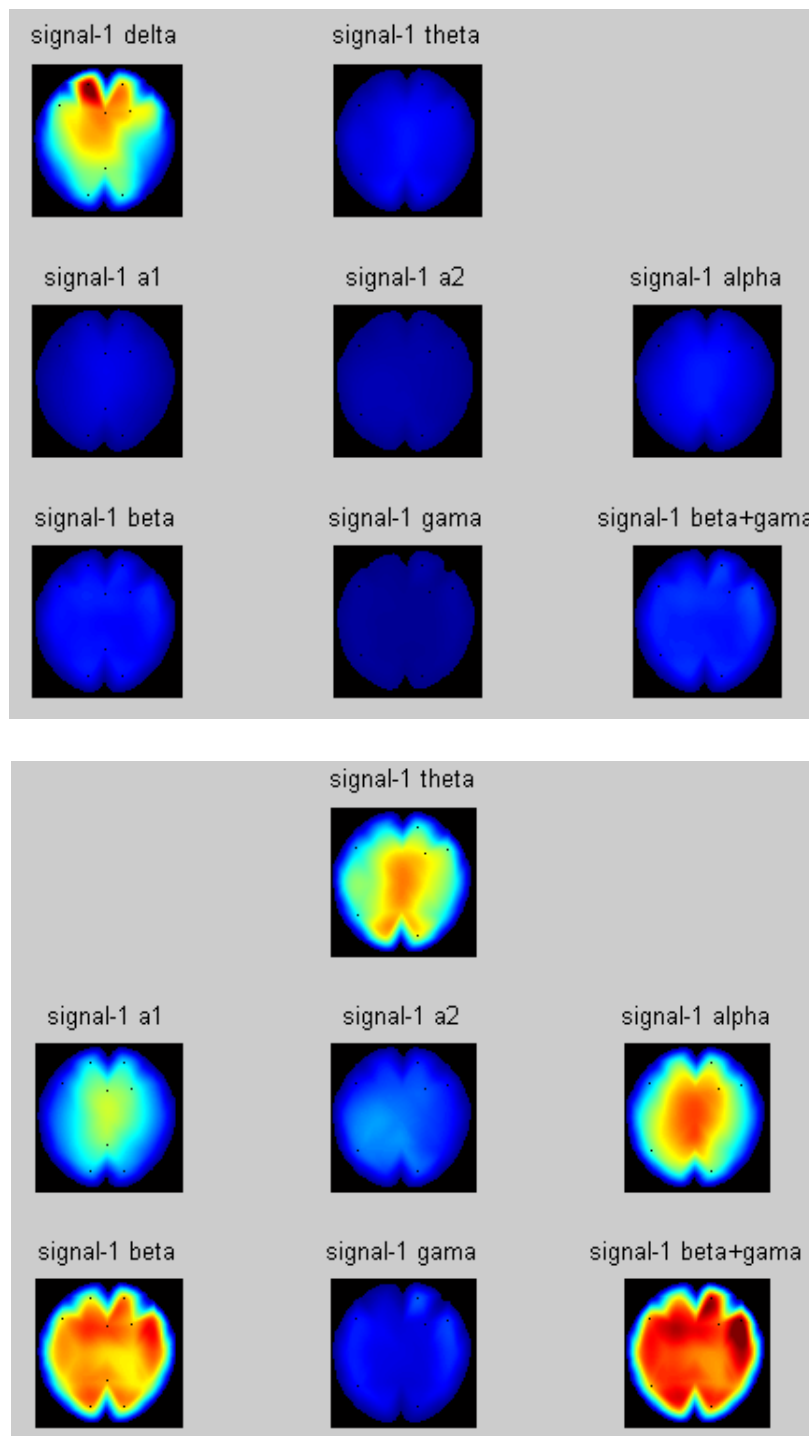
περιβάλλον. Αριθμός δείγματος μετά την απομάκρυνση των καταγραφών με παράσιτα: 6 υποκειμένα (4 άντρες, 2 γυναίκες).

Στο σχήμα 9-1 εμφανίζονται οι γραφικές παραστάσεις του φάσματος ισχύος για όλα τα ηλεκτρόδια και για τα δύο περιβάλλοντα. Στο σχήμα 9-2 και στο σχήμα 9-3 παρουσιάζονται δύο συνοπτικοί ανεξάρτητοι χρωματικοί χάρτες για το πραγματικό και το εικονικό περιβάλλον αντίστοιχα, στους οποίους φαίνονται οι επικρατούντες ρυθμοί και η τοπολογική τους εξάπλωση.

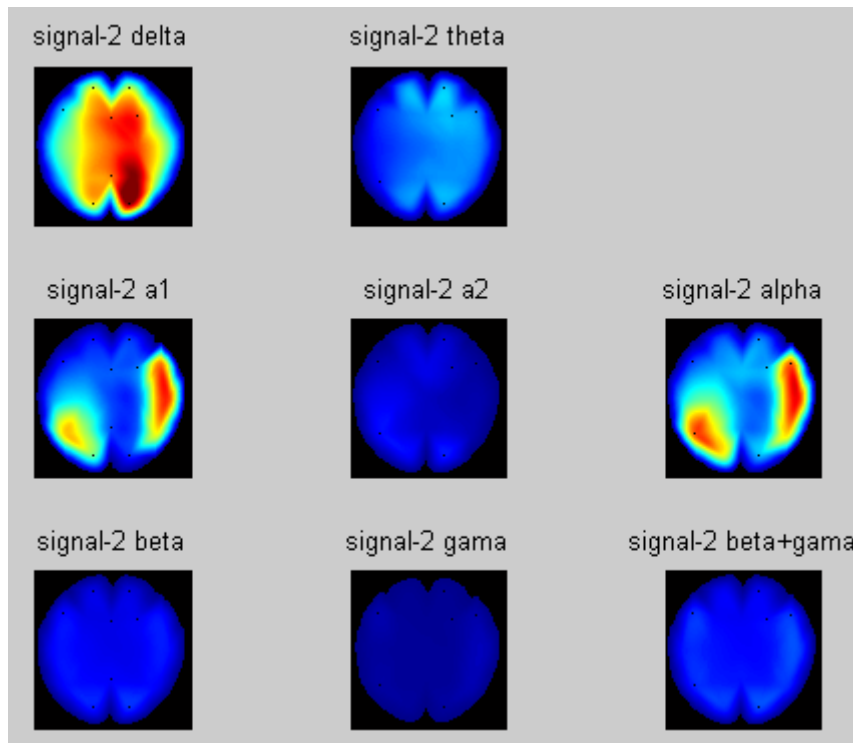


Σχήμα 9-1. Γραφική παράσταση του φάσματος όλων των υποκειμένων με συχνότητες 1 μέχρι 48 Hz για όλα τα ηλεκτρόδια. Η μπλε διακεκομμένη γραμμή αντιστοιχεί στο εικονικό περιβάλλον και η πράσινη στο πραγματικό.





Σχήμα 9-2. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα REAL (πραγματικό περιβάλλον) με δέλτα ρυθμό (άνω) και χωρίς δέλτα (κάτω).

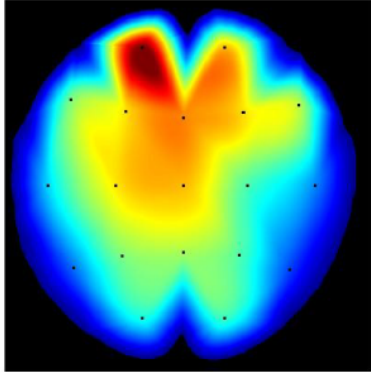
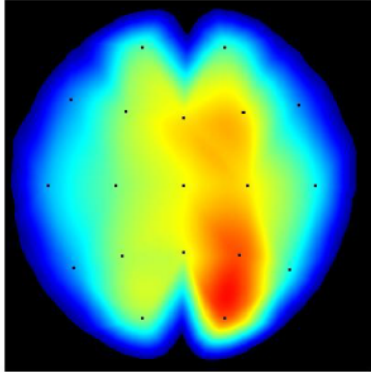
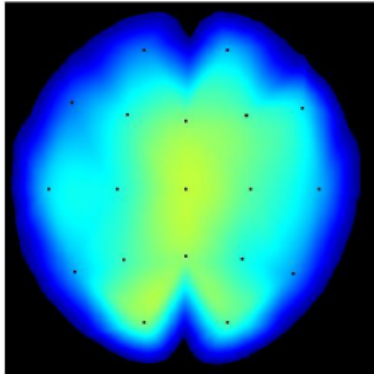
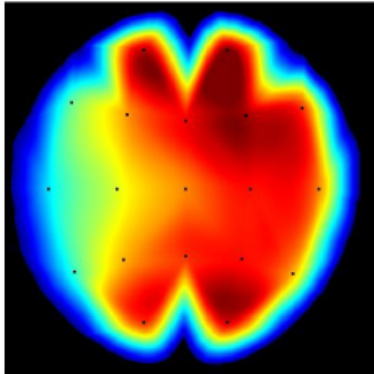
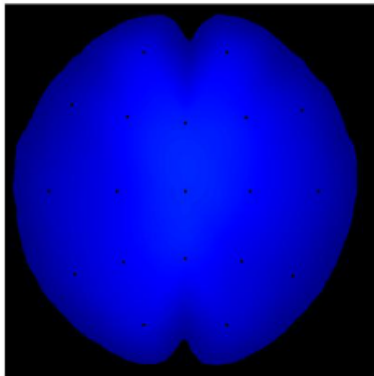
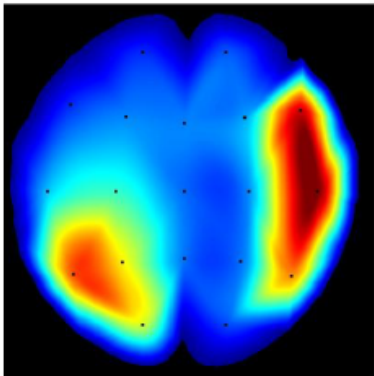


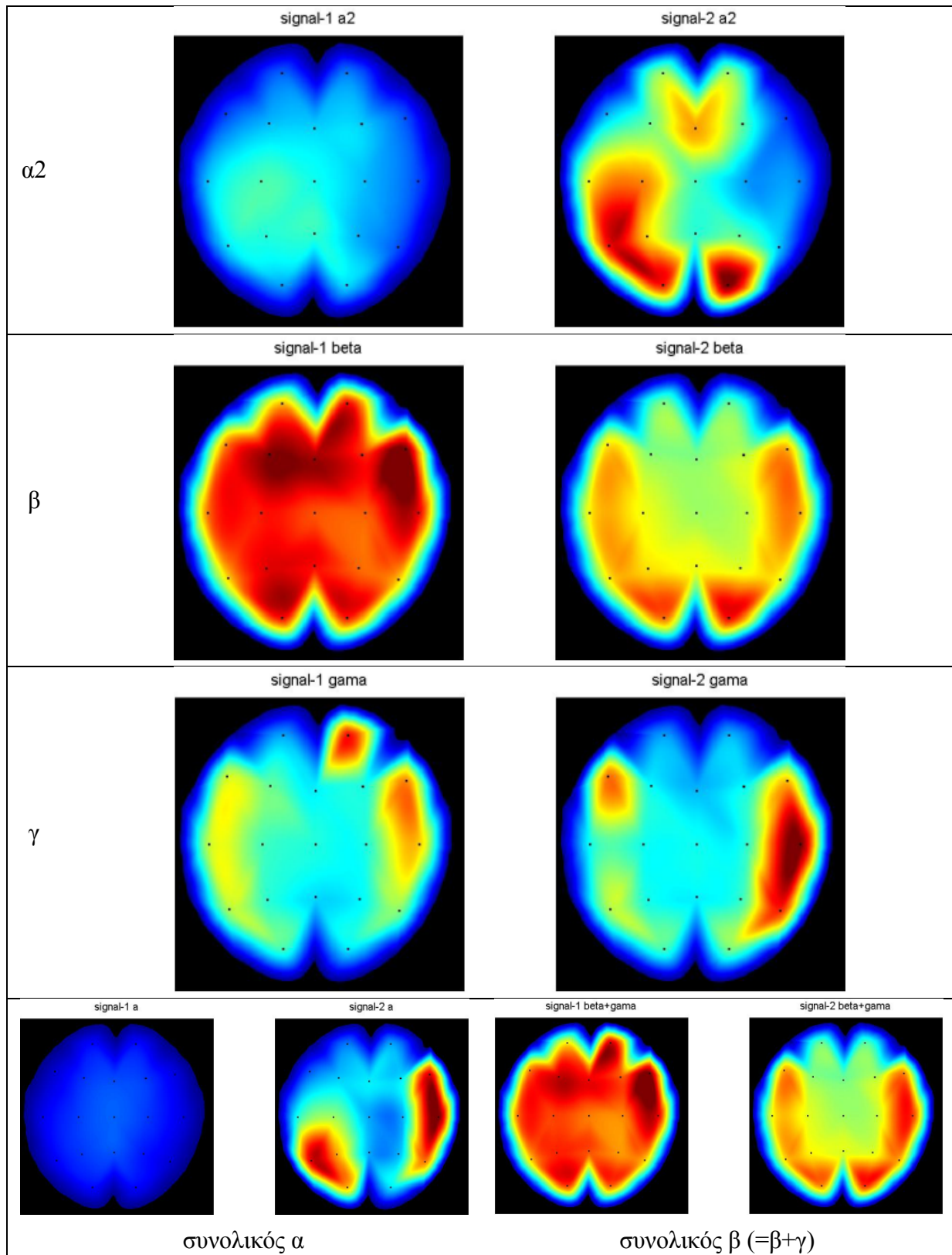
Σχήμα 9-3. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα VR (εικονικό περιβάλλον).

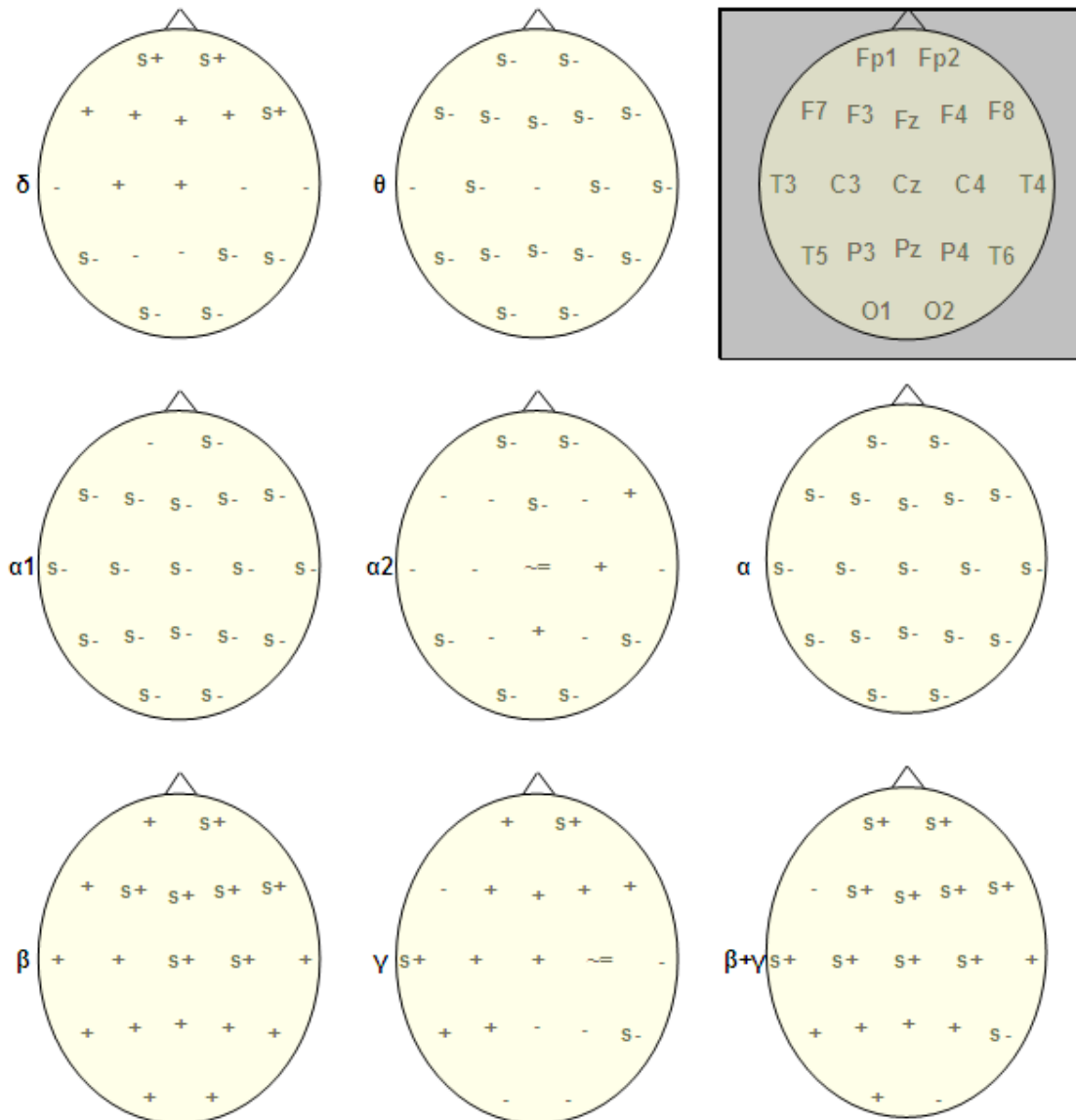
Στο πραγματικό περιβάλλον φαίνεται να κυριαρχεί ο δέλτα ρυθμός στις μετωπικές περιοχές (κυρίως αριστερά, ηλεκτρόδιο Fp1) και λιγότερο στις κεντρικές. Επειδή ο δέλτα ρυθμός υποβαθμίζει χρωματικά τους υπόλοιπους, παρατίθεται επιπλέον χάρτης χωρίς αυτόν το ρυθμό. Έτσι, εμφανίζεται διάχυτος βήτα ρυθμός και μικρότερη θήτα δραστηριότητα σε κεντρικές και ινιακές περιοχές. Επίσης διακρίνεται ασθενής κεντρική άλφα-1 δραστηριότητα.

Στο εικονικό περιβάλλον ο δέλτα μετατοπίζεται προς το δεξί ημισφαίριο και εξαπλώνεται και στην βρεγματική και ινιακή περιοχή, ενώ παράλληλα εμφανίζεται και ισχυρή άλφα-1 δραστηριότητα, κυρίως στη δεξιά κροταφική περιοχή.

Συγκρίσεις των δύο περιβαλλόντων βασισμένοι στους χάρτες απόλυτης ισχύος παρουσιάζονται στον πίνακα 9-1 με χρωματική κλίμακα και στο σχήμα 9-4 χωρίς χρωματική κλίμακα αλλά με σύμβολα που υποδηλώνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται πρώτα ομαδοποιημένα ανά ρυθμό και μετά σε συνδυασμούς ρυθμών.

Πίνακας 9-1. Χάρτες με απόλυτες τιμές ισχύος κατανεμημένες για κάθε ρυθμό στο πραγματικό και το εικονικό περιβάλλον για την πρώτη επαφή με τα περιβάλλοντα	
REAL (πραγματικό περιβάλλον)	VR (εικονικό περιβάλλον)
<p><math>\delta</math></p> <p>signal-1 delta</p> 	<p>signal-2 delta</p> 
<p><math>\theta</math></p> <p>signal-1 theta</p> 	<p>signal-2 theta</p> 
<p><math>\alpha 1</math></p> <p>signal-1 a1</p> 	<p>signal-2 a1</p> 





Σχήμα 9-4. Συγκριτική παρουσίαση της απόλυτης ισχύος του πραγματικού και του εικονικού περιβάλλοντος (αφαίρεση τιμών REAL – VR). Τα σύμβολα s+ και s- σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, τα + και - μη στατιστικά σημαντικές διαφορές και το σύμβολο ~= αμελητέες διαφορές. Στο άνω δεξιό γκρι πλαίσιο εικονίζονται σχηματικά οι θέσεις των ηλεκτροδίων (σύστημα 10-20).

#### Δέλτα ρυθμός

Η δέλτα δραστηριότητα εμφανίζει σαφώς διαφορετικά πρότυπα στα δύο περιβάλλοντα. Στο REAL περιβάλλον εμφανίζεται στις μετωπικές περιοχές και κυρίως στο αριστερό ημισφαίριο, ενώ στο VR περιβάλλον η δραστηριότητα μετατοπίζεται στις ινιακές και βρεγματικές περιοχές κυρίως στο δεξιό ημισφαίριο. Ο μετωπικός δέλτα ρυθμός είναι υψηλότερος με στατιστική σημαντικότητα στο πραγματικό περιβάλλον, ενώ ο ινιακός είναι υψηλότερος στο εικονικό περιβάλλον.

Η εμφάνιση του ρυθμού δεν μπορεί να σχετιστεί στη διεργασία αυτή με καταστάσεις χαλάρωσης και ύπνου αφού κάτι τέτοιο αποκλείστηκε από την πειραματική διαδικασία και την παρατήρηση της συμπεριφοράς των υποκειμένων.

Η δέλτα δραστηριότητα φαίνεται να σχετίζεται αντιστρόφως με το φόρτο εργασίας και έτσι η δεξιά ινιακή αύξηση στο εικονικό περιβάλλον μπορεί να σηματοδοτεί μειωμένο φόρτο στο περιβάλλον αυτό σε αυτή τη δραστηριότητα που αναμένουμε να ενεργοποιήσει κυρίως οπτικοχωρικές λειτουργίες. Ωστόσο, οι ερευνητές αντιμετωπίζουν με μεγάλη επιφυλακτικότητα το δέλτα ρυθμό (κυρίως στις μετωπικές περιοχές) γιατί είναι ιδιαίτερα ευαίσθητος στα οφθαλμικά παράσιτα (Scerbo et al. 2001).

#### *Θήτα ρυθμός*

Ο θήτα ρυθμός εμφανίζεται με μεγάλες διαφορές στα δύο περιβάλλοντα. Στο VR περιβάλλον ο θήτα ρυθμός είναι αυξημένος (με στατιστική σημαντικότητα) σε όλες σχεδόν τις ηλεκτροεγκεφαλικές θέσεις, εκτός από το κεντρικό ηλεκτρόδιο (Cz) και το αριστερό κροταφικό (T3).

Η αύξηση της ισχύος του θήτα ρυθμού συνδέεται με μια μεγάλη ποικιλία διαφορετικών δραστηριοτήτων (Schacter 1977).

Καταρχήν η σημαντικότερη αύξηση του θ στο εικονικό περιβάλλον εμφανίζεται στο δεξιό ημισφαίριο. Αυτό πιθανόν να σημαίνει αυξημένη προσοχή στο εικονικό περιβάλλον (Mizuki et al. 1980, 1982, Kahana et al. 1999, Lazarev 1998), αφού το δεξιό ημισφαίριο και ειδικά ο μετωπικός και ο βρεγματικός φλοιός διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στις διαδικασίες προσοχής (Paus et al. 1997).

Η δεξιά ενεργοποίηση στο εικονικό περιβάλλον και επιπλέον το γεγονός ότι ο θήτα ρυθμός εμφανίζεται ταυτόχρονα στις μετωπικές και ινιακές περιοχές σηματοδοτούν την αυξημένη επεξεργασία οπτικο-χωρικών πληροφοριών (Sarthein et al. 1998). Φαίνεται ότι η διαφοροποίηση δεν συνίσταται στην πρωτογενή επεξεργασία της οπτικής πληροφορίας αλλά σε ένα υψηλότερο επίπεδο γνωστικής επεξεργασίας εκτός του οπτικού φλοιού. Ίσως για την κατανόηση της οπτικής πληροφορίας που προήλθε από τις κινούμενες εικόνες του κράνους ΕΠ να απαιτήθηκε ένας περισσότερο συμβολικός τύπος επεξεργασίας (Strickland και Chartier 1997).

Όσο αφορά στο μετωπιαίο θήτα θεωρείται ότι, ανεξάρτητα από το είδος της αισθητήριας εισαγωγής, σύνθετα αισθητηριακά ερεθίσματα προκαλούν μεγάλη αύξηση, το οποίο γενικά συμφωνεί με την κυρίαρχη άποψη πως σύνθετα γεγονότα απαιτούν μετωπιαία επεξεργασία (Basar et al. 1999). Κάτι τέτοιο θα ήταν αναμενόμενο αν η αισθητήρια εισαγωγή στο εικονικό περιβάλλον ήταν πιο σύνθετη από το πραγματικό, το οποίο όμως δεν ισχύει. Πιθανότερη φαίνεται η άποψη των Onton et al. (2005) ότι ο θήτα ρυθμός δεν συνδέεται αυστηρά με την ποσότητα της πληροφορίας που πρέπει να υποστεί επεξεργασία, αλλά με το βαθμό της επεξεργασίας που απαιτείται για να αντεπεξέλθει το υποκείμενο στις ανάγκες της διεργασίας. Πιθανώς το εικονικό περιβάλλον απαιτήσε αυξημένη επεξεργασία των

οπτικών πληροφοριών σε συνειρμικό επίπεδο και κατά την προσπάθεια αναγνώρισης των αντικειμένων εξαιτίας μειωμένου ρεαλισμού.

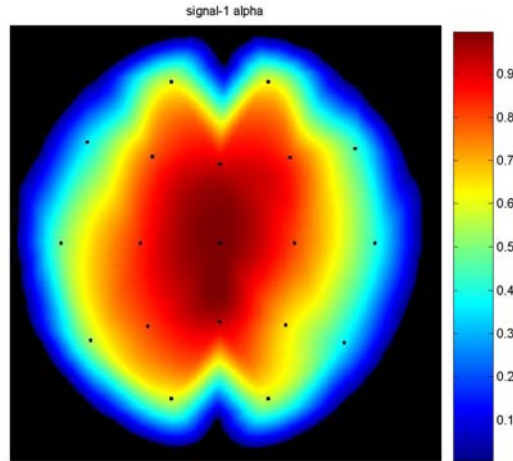
Η λειτουργία του προσανατολισμού συνδυαζόμενη με μια συντονισμένη απάντηση που δείχνει επαγρύπνηση, διέγερση ή ετοιμότητα, συσχετίζεται με τις ταλαντώσεις θήτα κατά τη διάρκεια καταστάσεων εξερεύνησης και έρευνας (Basar et al. 1999) και πιθανά η πρώτη επαφή με το εικονικό περιβάλλον να ενεργοποίησε διαδικασίες προσανατολισμού, που στο πραγματικό δεν ήταν απαραίτητες αφού το περιβάλλον ήταν το ίδιο το εργαστήριο στο οποίο το υποκείμενο είχε ήδη εξοικειωθεί κατά τη φάση της προετοιμασίας (προσαρμογή ηλεκτροδίων που διήρκεσε μέχρι και 20 λεπτά). Με δεδομένη την απουσία κάθε είδους λεκτικής πληροφορίας (που επίσης αυξάνει τον θήτα ρυθμό) η προηγούμενη ερμηνεία γίνεται πολύ πιθανή (Barcelo et al. 1995, Kahana 2006, Scerbo 2001).

Οι Araujo et al. (2001) παρατήρησαν επίσης σημαντική αύξηση της θήτα δραστηριότητας στις βρεγματικές περιοχές κατά την πλοήγηση σε εικονικό λαβύρινθο. Ωστόσο, εδώ το υποκείμενο δεν πραγματοποιεί κάποιου είδους πλοήγηση εκτός από μικρές κινήσεις του κεφαλιού που αλλάζουν το οπτικό πεδίο ενός ενιαίου χώρου. Επίσης, η συσχέτιση της αύξησης του θήτα με την αύξηση του γνωστικού ή του μνημονικού φόρτου (Fournier et al. 1999, Dolce & Waldeier 1974, Rugg & Dickens 1982, Mecklinger et al. 1992, Gundel & Wilson 1992, Gevins et al. 1988, Lang et al. 1988, Gundel & Wilson 1992, Mecklinger et al. 1992, Wilson et al. 1999, Onton et al. 2005) δεν δικαιολογείται στην παρούσα περίπτωση αφού η διεργασία δεν είναι ιδιαίτερα δύσκολη.

Τέλος, η εμφάνιση ισχυρού θήτα στις ινιακές περιοχές δεν μπορεί να ερμηνευθεί ως αύξηση του άγχους στο εικονικό περιβάλλον, αφού κάτι τέτοιο δεν επαληθεύτηκε από τις παρατηρήσεις και τις περιγραφές των υποκειμένων (Basar et al. 1999).

#### *Άλφα ρυθμός*

Ο άλφα ρυθμός εμφανίζεται γενικότερα αυξημένος με στατιστική σημαντικότητα σε όλες τις ηλεκτροεγκεφαλικές θέσεις στο εικονικό περιβάλλον, αλλά με εντελώς διαφορετικά πρότυπα στους άλφα-1 και άλφα-2 υπορυθμούς. Αυτή η σημαντική διαφορά έχει ως αποτέλεσμα να υποβαθμίζεται ο χρωματικός χάρτης του άλφα ρυθμού στο πραγματικό περιβάλλον (Πίνακας 9-1) και να μη διακρίνεται καθόλου η τοπολογία του ρυθμού. Στο σχήμα 9-5 παρουσιάζεται ο χάρτης του άλφα ρυθμού στο πραγματικό περιβάλλον με δική του χρωματική κλίμακα, ώστε να διακρίνεται καθαρά η τοπολογία του.



Σχήμα 9-5. Χάρτης με απόλυτες τιμές ισχύος για τον άλφα ρυθμό στο πραγματικό περιβάλλον.

Στο πραγματικό περιβάλλον ο άλφα ρυθμός εμφανίζεται κυρίως κεντρικά και είναι μειωμένος στην ινιακή περιοχή. Παρόμοια μείωση αλλά με εντελώς διαφορετική κατά τα άλλα εμφάνιση υπάρχει και στο εικονικό περιβάλλον. Αυτό συνεπάγεται επεξεργασία κυρίως οπτικών πληροφοριών, το οποίο ήταν αναμενόμενο για αυτή τη διεργασία (Gremades et al. 2004).

Η ύπαρξη αυξημένου άλφα ρυθμού στο εικονικό περιβάλλον γενικά συνεπάγεται μια πιο χαλαρωμένη κατάσταση των υποκειμένων στο περιβάλλον αυτό ή την επεξεργασία λιγότερων αισθητηριακών πληροφοριών από το οπτικό σύστημα (αφού η διαφοροποίηση στα δύο περιβάλλοντα αφορούσε μόνο στην οπτική αισθητήρια πηγή). Σε κάθε περίπτωση αύξηση του άλφα συνδέεται με μείωση της νοητικής προσπάθειας γενικά (π.χ. Glass 1964, Butler & Glass 1976, Donchin et al. 1977, Gutierrez & Corsi-Cabrera 1988, Nunez 1995, Pfurtscheller 1996, Burgess & Gruzelier 1997, Klimesch et al. 1996, 1997a, 1997b, Klimesch 1997, 1999), ενώ η μείωση γενικότερα του άλφα ρυθμού σχετίζεται με τη δυσκολία της εργασίας. Όσο πιο απαιτητική είναι η εργασία και όσο περισσότερη η προσήλωση του υποκειμένου, τόσο περισσότερος είναι ο βαθμός του άλφα αποσυγχρονισμού (Pfurtscheller 1993, Klimesch 1999). Έτσι σύμφωνα με την επικρατούσα άποψη στο εικονικό περιβάλλον απαιτήθηκε γενικά μειωμένη νοητική προσπάθεια.

Στην ινιακή περιοχή η αύξηση του άλφα ρυθμού παρατηρήθηκε κυρίως στο αριστερό ημισφαίριο και όχι στο δεξί. Συμπεραίνουμε, επομένως, περισσότερη ενεργοποίηση του δεξιού ημισφαιρίου επειδή εμπλέκεται περισσότερο από το αριστερό σε οπτικο-χωρικές διεργασίες (Rebert et al. 1984).

Βέβαια, η παρουσία της άλφα δραστηριότητας δεν μπορεί μόνη της να αποτελέσει ένδειξη για αδρανοποίηση όλου του φλοιού, παρά μόνο των σχετιζόμενων με την προσοχή συστημάτων (Laufs et al. 2003). Από την άλλη, έχει παρατηρηθεί αύξηση του άλφα ρυθμού κατά την αναμονή πριν την εμφάνιση ερεθίσματος. Πιθανόν οι συμμετέχοντες στο εικονικό περιβάλλον περίμεναν κάτι να συμβεί



(Pfurtcheller et al. 1996c). Μια άλλη παράμετρος είναι η ενεργοποίηση της φαντασίας στο εικονικό περιβάλλον, πιθανόν για να συμπληρώσει το μειωμένο όγκο αισθητήριων δεδομένων του κράνους εικονικής πραγματικότητας (Klinger et al. 1973).

Η υπόθεση της «άλφα παραδοξότητας» (Cole & Ray 1985, Cooper et al. 2003) δεν μπορεί να ισχύει αφού δεν απαιτείται από τους συμμετέχοντες εσωτερικά κατευθυνόμενη προσοχή.

Ο άλφα-1 υπορυθμός είναι σχεδόν σε όλο το κρανίο υψηλότερος με στατιστική σημαντικότητα στο εικονικό περιβάλλον. Οι υψηλότερες τιμές του παρατηρούνται στη δεξιά κροταφική περιοχή και την αριστερή ινιακο-βρεγματική. Γενικά, η μείωση του άλφα-1 τοπογραφικά εξαπλώνεται σε ολόκληρο το κρανίο και πιθανώς αντανακλά γενικές απαιτήσεις για εργασία, ενεργοποίηση της προσοχής και νοητική προσπάθεια (Gremades et al. 2004, Klimesch et al. 1992, Fournier et al. 1999, Klimesch 1999). Υπάρχει βέβαια η άποψη ότι μεγάλη ισχύς του άλφα-1 μπορεί να σημαίνει την προσπάθεια του υποκειμένου να αυξήσει την προσοχή και την επαγρύπνησή του, συνεπώς να αυξήσει τη νοητική απόδοση.

Ο άλφα-2 υπορυθμός είναι υψηλότερος με στατιστική σημαντικότητα στο εικονικό περιβάλλον στις μετωπικές και ινιακές περιοχές. Σύμφωνα με τον Klimesch (1999) ο άλφα-2 θεωρείται ως δείκτης της επιλεκτικής κωδικοποίησης των ερεθισμάτων και ανταποκρίνεται επιλεκτικά στις σημασιολογικές απαιτήσεις της μακροπρόθεσμης μνήμης. Η διαφοροποίηση στον άλφα-2 είναι εντονότερη στην ινιακή περιοχή, πράγμα που σηματοδοτεί διαφορετική εγκεφαλική λειτουργία σε οπτικο-χωρικές δραστηριότητες (Gremades et al. 2004, Rebert et al. 1984). Έτσι, η μείωση του άλφα-2 στις ινιακές περιοχές συνεπάγεται περισσότερη αισθητηριακή επεξεργασία και πιθανώς σημασιολογική κωδικοποίηση πρωτογενούς οπτικής πληροφορίας.

#### *Βήτα ρυθμός*

Ο βήτα ρυθμός εμφανίζεται γενικά μειωμένος στο εικονικό περιβάλλον. Αυτό έρχεται σε συμφωνία με την αυξημένη παρουσία του άλφα. Ο αποσυγχρονισμός του άλφα ρυθμού στο πραγματικό περιβάλλον συσχετίζεται με αυξημένη προσοχή, ενώ η βήτα δραστηριότητα φαίνεται να παρουσιάζει αντίστροφη συμπεριφορά από την άλφα και αυξάνει όταν αυξάνουν οι απαιτήσεις της εργασίας (Papanikolaou et al. 1986). Στο εικονικό περιβάλλον φαίνεται ότι οι συμμετέχοντες ήταν σε μικρότερη διέγερση (Macaulay & Edmonds 2004).

Η στατιστικά σημαντική αύξηση του βήτα ρυθμού στο πραγματικό περιβάλλον εντοπίζεται κυρίως στις μετωπικές και κεντρικές περιοχές. Γενικά η αύξηση του βήτα ρυθμού στις πρόσθιες περιοχές (Fp1, Fp2) στο πραγματικό περιβάλλον συνδέεται με τη νοητική εργασία (Kirov et al. 1996, Oken & Salinsky 1992, Markand 1990, Ray & Cole 1985). Επίσης, αύξηση του βήτα ρυθμού στις πρόσθιες περιοχές (Fp1, Fp2) έχει συσχετιστεί με αύξηση του άγχους ή μείωση του βαθμού χαλάρωσης κάτι που ενισχύει την λιγότερο χαλαρή κατάσταση των υποκειμένων στο πραγματικό

περιβάλλον που υποδεικνύει η μορφή των άλλων ρυθμών (π.χ., Jacobs et al. 1996, Field et al. 1996, Oken & Salinsky 1992, Markand 1990, Mundy-Castle 1951, Petruzzello & Landers 1994).

#### *Γάμα ρυθμός*

Ο γάμα ρυθμός είναι ισχυρότερος στο πραγματικό περιβάλλον στη δεξιά μετωπική περιοχή (Fp2) και την αριστερή κροταφική (T3), ενώ παρουσιάζει μικρότερη αύξηση στις μετωπικές, κεντρικές και αριστερή βρεγματική περιοχή. Στο εικονικό περιβάλλον εμφανίζει σημαντική αύξηση στη δεξιά κροταφική περιοχή και μικρότερη αύξηση στις ινιακές περιοχές.

Σε αντίθεση με τον άλφα, ο γάμα ρυθμός αντανακλά μια κατάσταση ενεργητικής επεξεργασίας πληροφοριών. Οι μετρήσεις μας συμφωνούν με τη συμπεριφορά του γάμα ERD/ERS, όπου προϋπόθεση για την εμφάνιση του γάμα ρυθμού είναι ο αποσυγχρονισμός του άλφα. Υπό το πρίσμα αυτό η συμμετοχή βρεγματο-ινιακών περιοχών ήταν αναμενόμενη, αφού σύμφωνα με τον Müller (Müller et al. 2000) γάμα ρυθμός σε βρεγματο-ινιακά ηλεκτρόδια υποδεικνύει δραστηριότητα σχετική με την οπτική επεξεργασία πληροφοριών. Η μειωμένη ισχύς του γάμα ρυθμού στο εικονικό περιβάλλον συμφωνεί με τη συμπεριφορά του άλφα ρυθμού και την ερμηνεία για μειωμένη συμμετοχή του οπτικού φλοιού στο περιβάλλον αυτό (λιγότερες οπτικές απαιτήσεις, μεγαλύτερη χαλάρωση). Η μικρή αύξηση του γάμα ρυθμού σε ινιακές περιοχές στο εικονικό κόσμο πιθανό να συνδέεται με αδυναμία των στεροσκοπικών γυαλιών να αποδώσουν πιστά τις τρεις διαστάσεις του πραγματικού κόσμου (Revonsuo et al. 1997).

Η αύξηση του γάμα ρυθμού, ειδικά στις βρεγματικές περιοχές, συσχετίζεται με αλλαγές στην προσοχή (Gruber et al. 1999, Shibata et al. 1999, Tallon-Baudry 2004, Basar-Eroglou et al. 1996, Bouyer et al. 1987, Tiitinen et al. 1993, Basar et al. 1996), ενώ η μικρή αύξηση της γάμα ισχύος στις μετωπιαίες περιοχές μπορεί να αποδοθεί στη λειτουργία της επιλεκτικής προσοχής (Gruber et al. 2006).

### 9.3 Οπτική-χωρική διεργασία

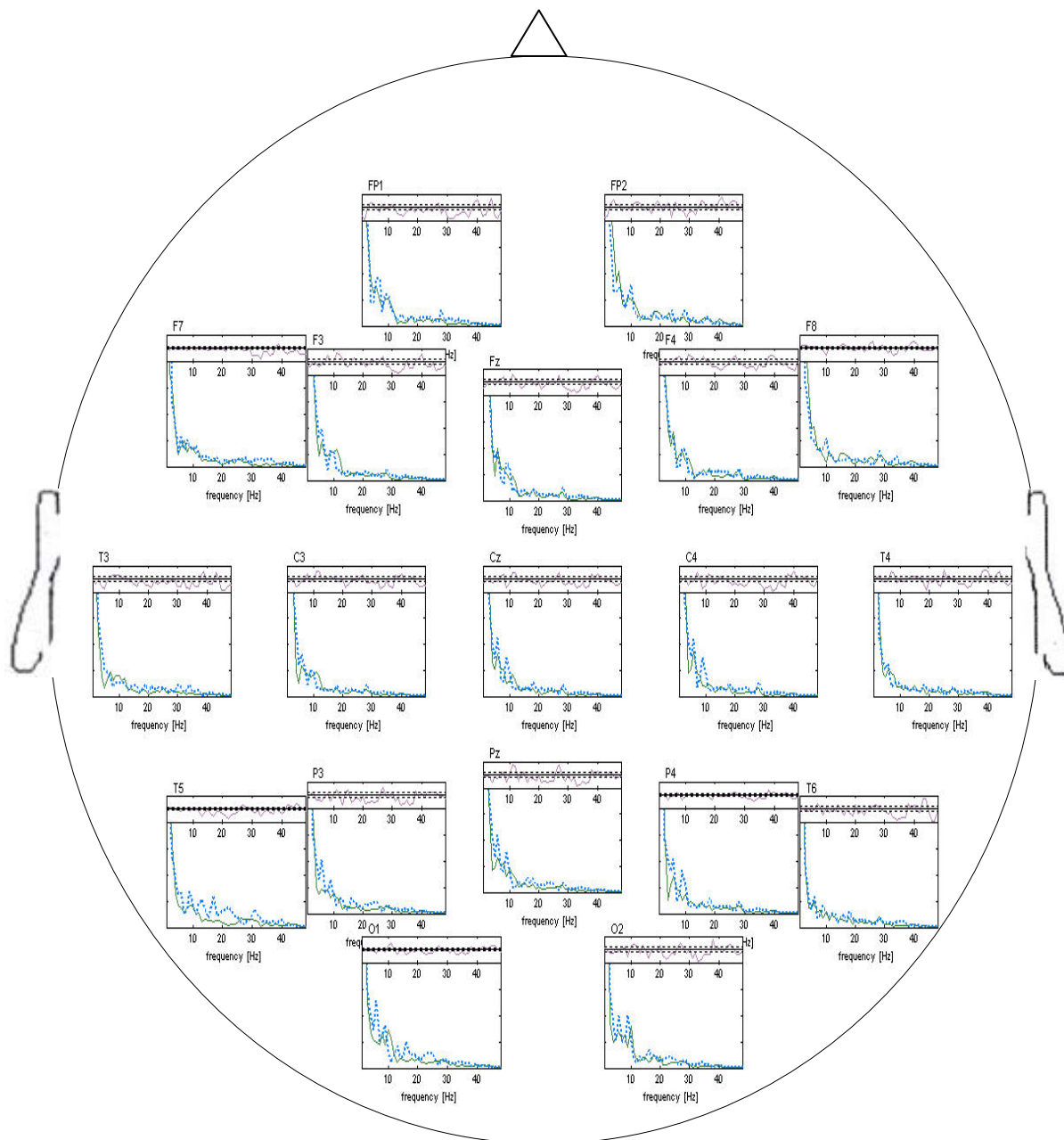
Στη διεργασία αυτή ζητείται από τους συμμετέχοντες απλώς να εντοπίσουν ένα αντικείμενο που βρίσκεται στο οπτικό τους πεδίο. Στο εικονικό περιβάλλον η ερώτηση είναι «που είναι ο φωνόγραφος - γραμμόφωνο», ενώ στο πραγματικό «που είναι το καλοριφέρ». Αριθμός δείγματος μετά την απομάκρυνση των καταγραφών με παράσιτα: 7 συμμετέχοντες (4 άντρες, 3 γυναίκες).

Στο σχήμα 9-6 εμφανίζονται οι γραφικές παραστάσεις του φάσματος ισχύος για όλα τα ηλεκτρόδια και για τα δύο περιβάλλοντα. Στο σχήμα 9-7 και στο σχήμα 9-8 παρουσιάζονται δύο συνοπτικοί ανεξάρτητοι χάρτες για το πραγματικό και το εικονικό περιβάλλον αντίστοιχα, στους οποίους φαίνονται οι επικρατούντες ρυθμοί και η τοπολογική τους εξάπλωση.

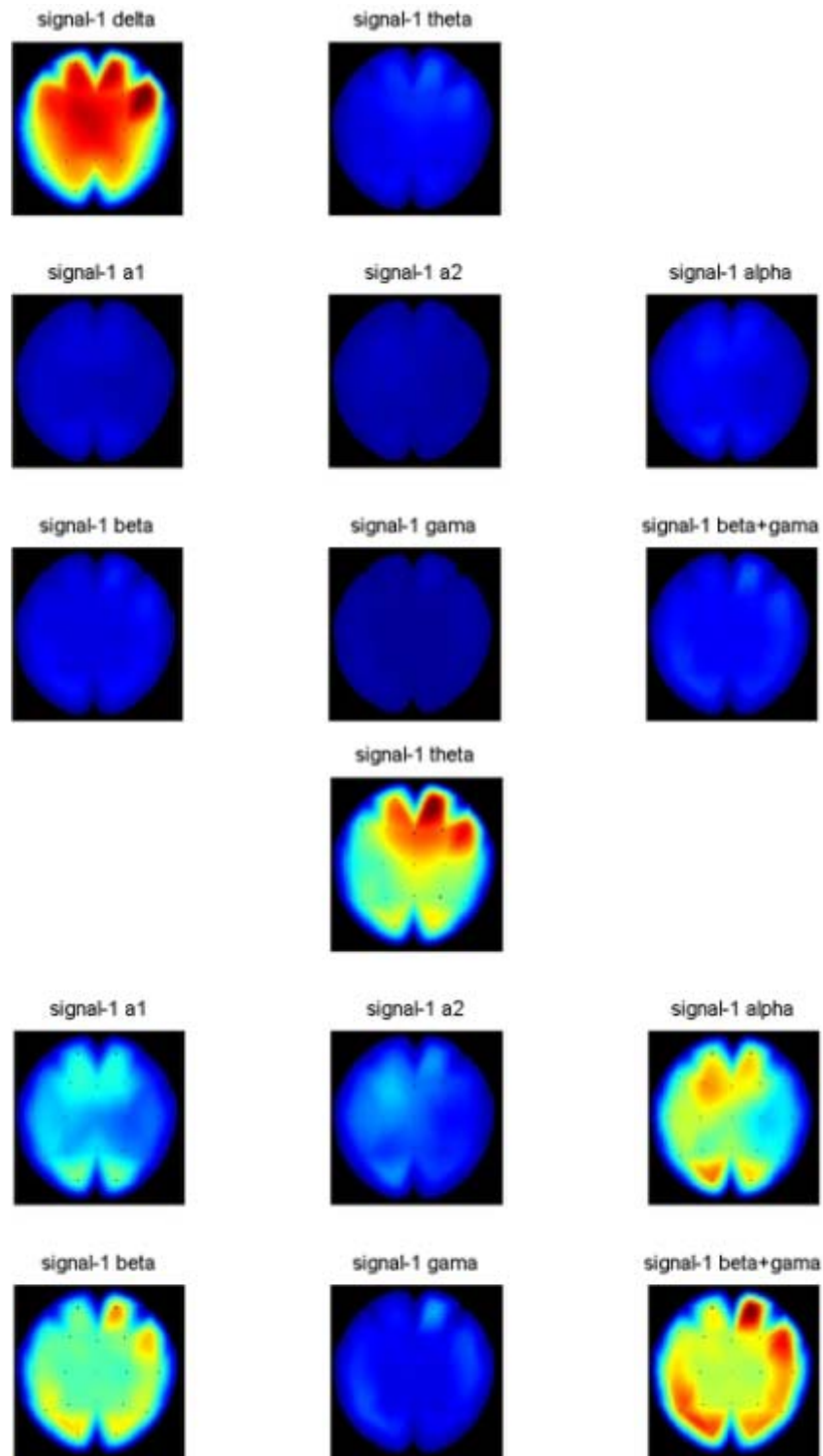
Στο εικονικό περιβάλλον ο δέλτα περιορίζεται στις μετωπικές περιοχές, ενώ ο βήτα ρυθμός εμφανίζεται επίσης διάχυτος με έμφαση στην αριστερή κροταφικο-ινιακή περιοχή.

Στο πραγματικό περιβάλλον φαίνεται να κυριαρχεί ο δέλτα ρυθμός με διάχυτη τοπολογία, κυρίως στις μετωπικές περιοχές, δεξιά μετωποκροταφική και λιγότερο στην κεντρική περιοχή. Επειδή ο δέλτα ρυθμός υποβαθμίζει χρωματικά τους υπόλοιπους, παρατίθεται επιπλέον χάρτης χωρίς αυτόν το ρυθμό. Έτσι, εμφανίζεται διάχυτος βήτα ρυθμός, ισχυρή θήτα δραστηριότητα σε μετωπικές περιοχές και ασθενής ινιακή άλφα-1 δραστηριότητα.

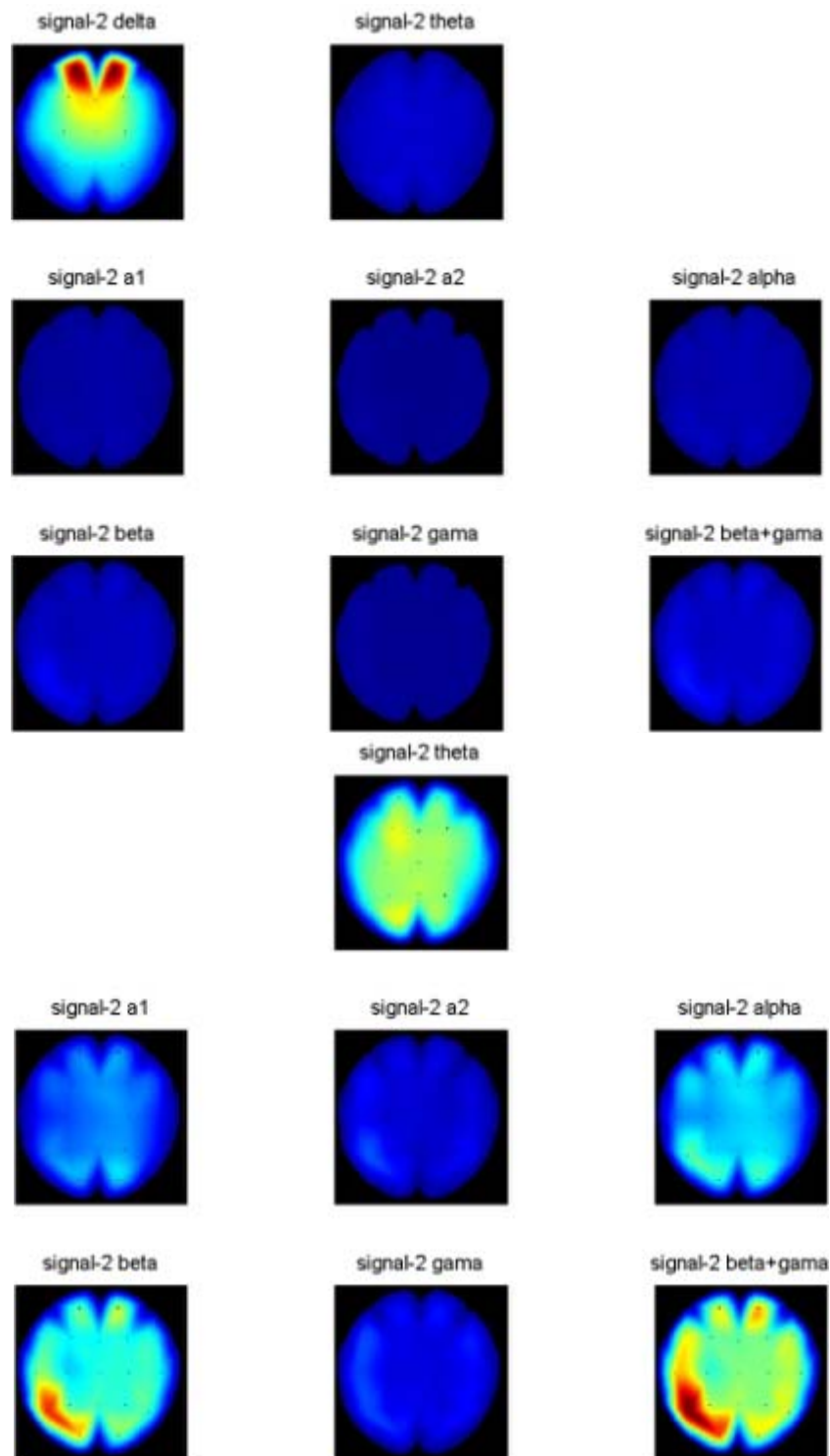
Συγκρίσεις των δύο περιβαλλόντων βασισμένοι στους χάρτες απόλυτης ισχύος παρουσιάζονται στον πίνακα 9-2 με χρωματική κλίμακα και στο σχήμα 9-9 χωρίς χρωματική κλίμακα αλλά με σύμβολα που υποδηλώνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται πρώτα ομαδοποιημένα ανά ρυθμό και μετά σε συνδυασμούς ρυθμών.



Σχήμα 9-6. Γραφική παράσταση του φάσματος όλων των υποκειμένων με συχνότητες 1 μέχρι 48 Hz για όλα τα ηλεκτρόδια. Η μπλε διακεκομμένη γραμμή αντιστοιχεί στο εικονικό περιβάλλον και η πράσινη στο πραγματικό.

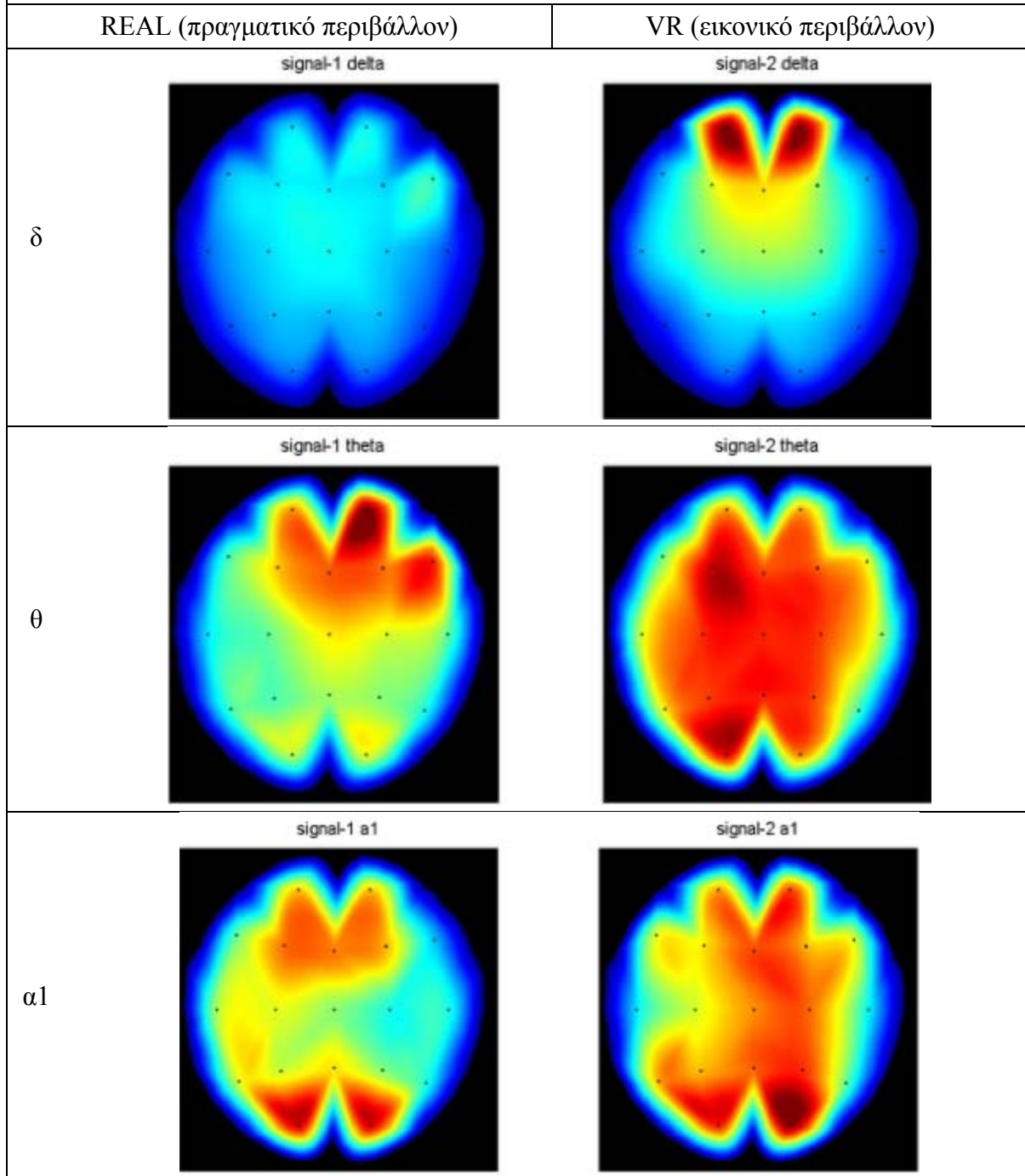


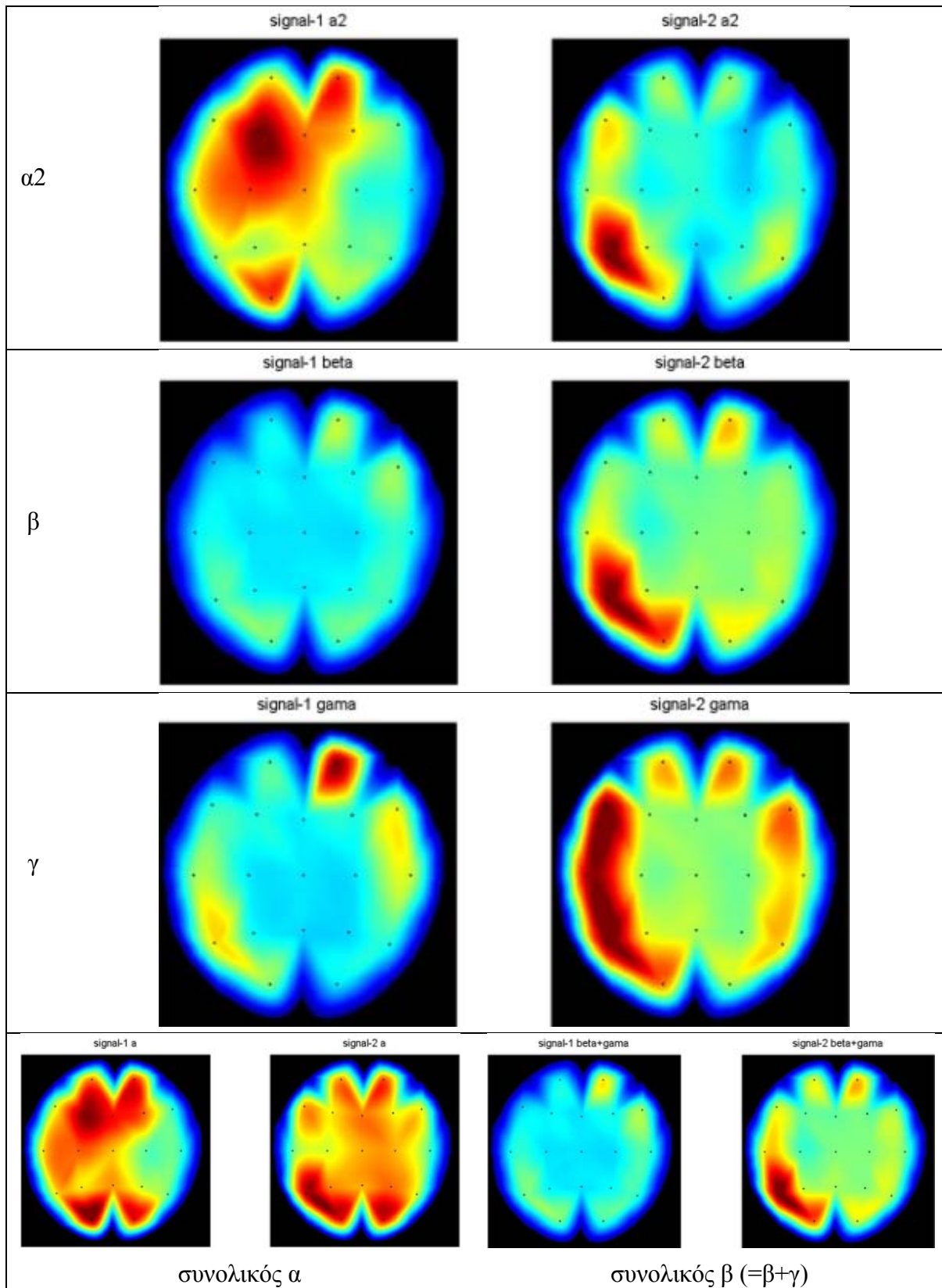
Σχήμα 9-7. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα REAL (πραγματικό περιβάλλον) με δέλτα ρυθμό (άνω) και χωρίς δέλτα (κάτω).



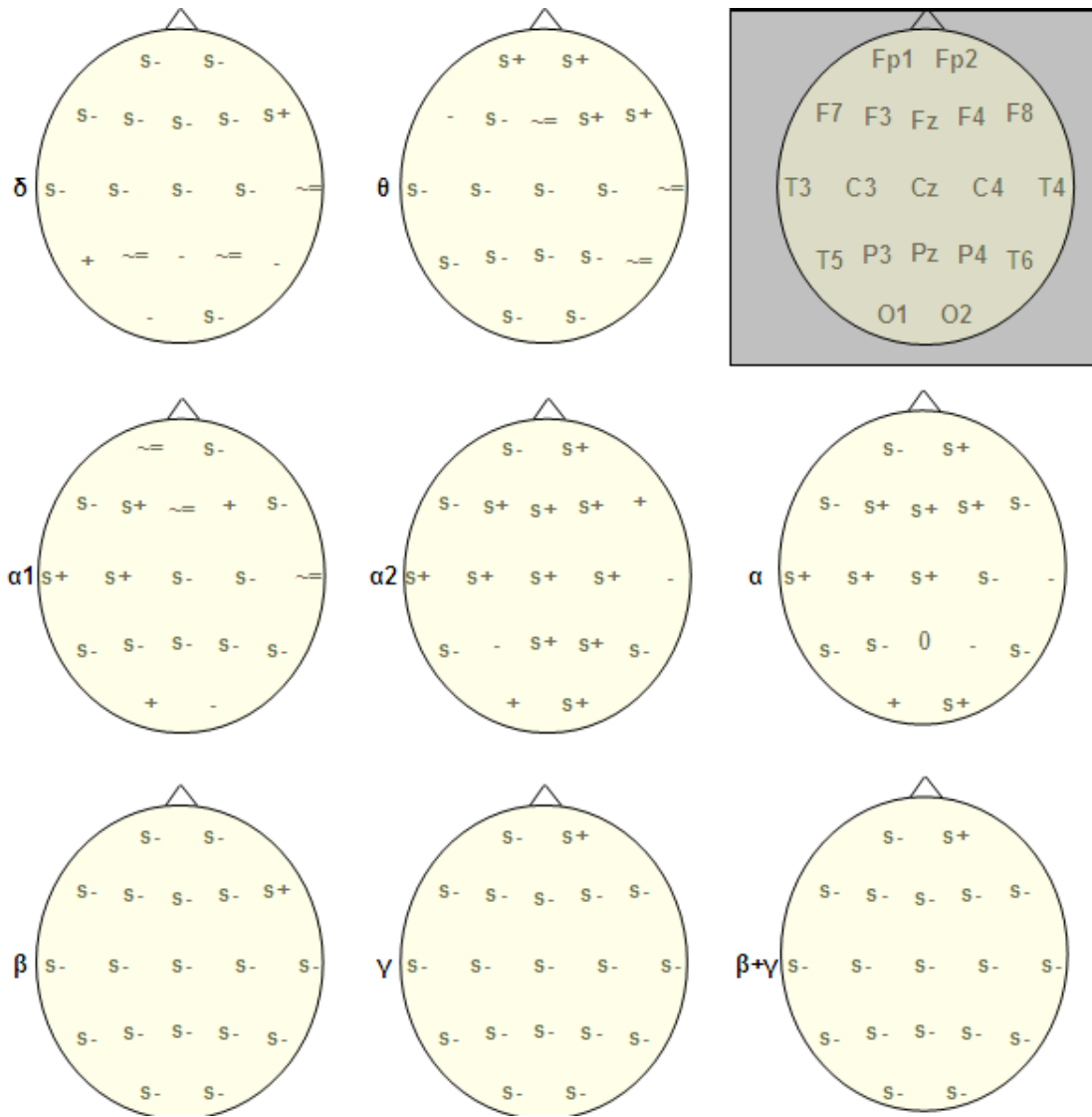
Σχήμα 9-8. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα VR (εικονικό περιβάλλον) με δέλτα ρυθμό (άνω) και χωρίς δέλτα (κάτω).

Πίνακας 9-2. Χάρτες με απόλυτες τιμές ισχύος κατανεμημένες για κάθε ρυθμό σε REAL και VR για την οπτικο-χωρική διεργασία.









Σχήμα 9-9. Συγκριτική παρουσίαση της απόλυτης ισχύος του πραγματικού και του εικονικού περιβάλλοντος (αφαίρεση τιμών REAL – VR). Τα σύμβολα s+ και s- σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, τα + και - μη στατιστικά σημαντικές διαφορές και το σύμβολο ~ = αμελητέες διαφορές. Στο άνω δεξιό γκρι πλαίσιο εικονίζονται σχηματικά οι θέσεις των ηλεκτροδίων (σύστημα 10-20).

Η διεργασία g περιέχει κυρίως οπτική εξερεύνηση του περιβάλλοντος χώρου και εύρεση-εντοπισμό ενός αντικειμένου στόχου, χωρίς κίνηση των υποκειμένων εκτός από μικρές κινήσεις του κεφαλιού απαραίτητων για την εξερεύνηση του χώρου. Αναμένουμε ενεργοποίηση κυρίως οπτικοχωρικών λειτουργιών και αναγνώριση αντικειμένου.

### *Δέλτα ρυθμός*

Η δέλτα δραστηριότητα εμφανίζει πολύ διαφορετικά πρότυπα στα δύο περιβάλλοντα. Στο REAL περιβάλλον εμφανίζεται διάχυτη σε όλο το κρανίο, ενώ στο VR περιβάλλον εντοπίζεται κυρίως στις μετωπικές περιοχές (σχήμα 9-7 και σχήμα 9-8). Από το σχήμα 9-9 φαίνεται ότι γενικά ο δέλτα ρυθμός είναι υψηλότερος στο εικονικό περιβάλλον (με στατιστική σημαντικότητα στις πρόσθιες και κεντρικές περιοχές), εκτός από το δεξιό μετωπο-κροταφικό ηλεκτρόδιο (F8).

Η δέλτα δραστηριότητα φαίνεται να σχετίζεται αντιστρόφως ανάλογα με το φόρτο εργασίας και έτσι οι αυξημένες τιμές ισχύος του ρυθμού στο εικονικό περιβάλλον μπορεί να σχετίζονται με μειωμένο φόρτο στο περιβάλλον αυτό. Επειδή όμως, ο ρυθμός εμφανίζεται κυρίως στις μετωπικές περιοχές, αντιμετωπίζεται με μεγάλη επιφυλακτικότητα γιατί είναι ιδιαίτερα ευαίσθητος στα οφθαλμικά παράσιτα (Scerbo et al. 2001).

### *Θήτα ρυθμός*

Στο πραγματικό περιβάλλον ο θήτα ρυθμός εμφανίζεται στις μετωπικές περιοχές (κυρίως δεξιά), στη δεξιά μετωπο-κροταφική περιοχή και σε μικρότερη ισχύ στις ινιακές. Στο εικονικό περιβάλλον παρουσιάζεται (όπως και στην πρώτη επαφή με το περιβάλλον) διάχυτος με μικρή έμφαση προς τα αριστερά. Γενικά, το εικονικό περιβάλλον εμφανίζει ισχυρότερο θήτα ρυθμό εκτός από τις πρόσθιες περιοχές. Και τα δύο περιβάλλοντα παρουσιάζουν θήτα ενεργοποίηση στις μετωπικές περιοχές, αν και οι απαιτήσεις της διεργασίας δεν είναι δύσκολες, αλλά απαιτούν ένταση της προσοχής. Στο πραγματικό περιβάλλον η μετωπική θήτα δραστηριότητα είναι μεγαλύτερη και μετατοπισμένη προς τα δεξιά (πράγμα αναμενόμενο, αφού οι χωρικές λειτουργίες εδράζονται κυρίως στο δεξιό ημισφαίριο), ενώ στο εικονικό προς τα αριστερά.

Η στατιστικώς σημαντική υπεροχή του ρυθμού στις πρόσθιες περιοχές του πραγματικού περιβάλλοντος σε σχέση με το εικονικό, μπορεί να συσχετιστεί με αρκετές γνωστικές λειτουργίες. Οι περισσότερες έρευνες συνδέουν την αύξηση του θήτα ρυθμού στις μετωπιαίες περιοχές με αύξηση της προσοχής, της επιλεκτικής προσοχής, του νοητικού φόρτου ή του μνημονικού φόρτου (π.χ. Schacter 1977, Ishihara & Yoshii 1972, Basar et al. 1999, Scerbo 2001, Aftanas & Golosheikine 2001, Burgess & Gruzelier 1997, Gevins et al. 1997, Ishii et al. 1999, Jensen & Tesche 2002, Kahana et al. 1999, Laukka et al. 1995, Lazarev 1998, Mizuki et al. 1982, Pardo et al. 1990, Sasaki et al. 1996, Smith et al. 1999). Η δυσκολία της διεργασίας όπως και η πολυπλοκότητα των ερεθισμάτων είναι παράγοντες που συντελούν στην αύξηση του νοητικού φόρτου και συσχετίζονται με αυξημένο μετωπιαίο θήτα ρυθμό (Mizuki et al. 1980, 1982, Kahana et al. 1999, Lazarev 1998). Είναι επομένως λογικό να υποθέσουμε ότι το πραγματικό περιβάλλον απαίτησε μεγαλύτερη ενεργοποίηση της προσοχής και της επιλεκτικής προσοχής. Είναι όμως πολύ δύσκολο να διαχωριστεί η προσοχή από τις άλλες ψυχολογικές μεταβλητές κατά την εξέλιξη της διεργασίας. Είναι επίσης πιθανό ο νοητικός φόρτος να ήταν

αυξημένος εξαιτίας των περισσότερων και πολυπλοκότερων οπτικών ερεθισμάτων των πραγματικών αντικειμένων.

Παράλληλα, εμφανίζεται στο πραγματικό περιβάλλον θήτα ρυθμός στις ινιακές περιοχές (σε μικρότερο βαθμό από τις μετωπικές). Αν η διεργασία ήταν πιο απλή, αυτό θα ήταν αναμενόμενο για τον πρωτοταγή οπτικό φλοιό (Barcelo et al. 1995). Ο Sarthein και οι συνεργάτες του (1998) παρατήρησαν σημαντική θήτα συνοχή ανάμεσα σε προμετωπιαίες και οπίσθιες περιοχές κατά τη διεξαγωγή οπτικο-χωρικών διεργασιών.

Στο εικονικό περιβάλλον ο θήτα ρυθμός παρουσιάζει μια σχεδόν διάχυτη εξάπλωση στο κρανίο, η οποία εμφανίζεται σε υπναγωγικές καταστάσεις ή σε στέρηση ύπνου και σύμφωνα με τον Schacter (1977) είναι ενδεικτική ενός χαμηλού επιπέδου επαγρύπνησης που συνοδεύεται από εξασθετισμένη δυνατότητα του υποκειμένου να επεξεργαστεί και να αποκριθεί στις πληροφορίες του περιβάλλοντος. Σε ορισμένες μελέτες η αύξηση του θήτα ρυθμού μπορεί να συσχετιστεί με μειωμένη επαγρύπνηση (Beatty et al. 1974). Με δεδομένη όμως, την εξέλιξη της συγκεκριμένης πειραματικής διαδικασίας και το ότι όλοι οι συμμετέχοντες απαντήσανε σωστά, αυτή η παρατήρηση δεν ευσταθεί. Αντιθέτως, η γενική αύξηση του θήτα μπορεί να ερμηνευθεί και ως αυξημένη επαγρύπνηση (Daniel 1967) που εμφάνισαν οι συμμετέχοντες στο εικονικό περιβάλλον, επειδή ήταν νέο ή επειδή είχαν αυξημένο ενδιαφέρον και προσδοκίες από τη συγκεκριμένη τεχνολογία. Πιθανώς, η διεργασία έθεσε τους συμμετέχοντες σε κατάσταση εξερεύνησης και έρευνας η οποία ενεργοποίησε διαδικασίες προσανατολισμού που χρησιμοποιήθηκαν για τον εντοπισμό του αντικειμένου-στόχου, οι οποίες αν συνδυαστούν με απαιτήσεις επαγρύπνησης, διέγερσης ή ετοιμότητας δικαιολογούν την εμφάνιση του θήτα ρυθμού (Basar et al. 1999). Ίσως, για την κατανόηση των κινούμενων εικόνων που προβάλλονταν στις οθόνες του κράνους ΕΠ να απαιτήθηκε (όπως και στην αρχική οπτικο-χωρική διεργασία) ένας περισσότερο συμβολικός τύπος επεξεργασίας (Strickland & Chartier 1997).

Επιπλέον, το αντικείμενο-στόχος στο εικονικό περιβάλλον (γραμμόφωνο/φωνόγραφος) αφορούσε μία όχι τόσο συνηθισμένη οικιακή συσκευή όπως το σώμα του καλοριφέρ του πραγματικού περιβάλλοντος. Η διεργασία επομένως ήταν πιο σύνθετη και πιθανώς ενεργοποίησε διαδικασίες μνήμης, αναγνώρισης αντικειμένων και γενικά συνειρμικής επεξεργασίας που δικαιολογεί αύξηση του νοητικού φόρτου και του θήτα ρυθμού σε κεντρικές, βρεγματικές και ινιακές περιοχές (Fournier et al. 1999, Klimesch et al. 2006, Basar et al. 2001, Nishiyama & Yamaguchi 2001) και στον αριστερό βρεγματικό φλοιό (Kahana 2006). Επιπλέον, η μη εξοικείωση με το αντικείμενο-στόχος πιθανώς δυσκόλεψε τους συμμετέχοντες να το εντοπίσουν και αυτό δημιούργησε συναισθήματα άγχους που προκάλεσαν την αύξηση του ινιακού θήτα ρυθμού (Basar et al. 1999).

Ανακεφαλαιώνοντας, δεν είναι εύκολο να εξάγουμε συμπεράσματα μόνο από τη συμπεριφορά του θήτα ρυθμού. Σύμφωνα με την άποψη των Onton et al. (2005) ότι ο θήτα ρυθμός δεν συνδέεται αυστηρά με την ποσότητα της πληροφορίας που

πρέπει να υποστεί επεξεργασία, αλλά με το βαθμό της επεξεργασίας που απαιτείται για να αντεπεξέλθει το υποκείμενο στις ανάγκες της διεργασίας, φαίνεται ότι το πραγματικό περιβάλλον απαιτήσε μεγαλύτερη ενεργοποίηση οπτικοχωρικών λειτουργιών και διαδικασιών προσοχής, ενώ το εικονικό περιβάλλον πιθανόν παρουσίασε δυσκολία στην αναγνώριση του αντικειμένου (γραμμόφωνο/φωνόγραφος) και απαιτήσε αυξημένη επεξεργασία των οπτικών πληροφοριών κατά την προσπάθεια αναγνώρισης.

#### *Άλφα ρυθμός*

Ο άλφα ρυθμός παρουσιάζει σχεδόν διάχυτη εξάπλωση και στα δύο περιβάλλοντα. Στο πραγματικό παρατηρείται μια σαφή άλφα ενεργοποίηση προς το αριστερό ημισφαίριο, ενώ στο εικονικό ο άλφα ρυθμός εξαπλώνεται σε όλο το κρανίο. Σύμφωνα με τις περισσότερες μελέτες που συσχετίζουν τη φασματική ισχύ του άλφα ρυθμού με τη νοητική προσπάθεια γενικά, με αντιστρόφως ανάλογο τρόπο (π.χ. Glass 1964, Butler & Glass 1976, Donchin et al. 1977, Gutierrez & Corsi-Cabrera 1988, Nunez 1995, Pfurtscheller 1996, Burgess & Gruzelier 1997, Klimesch et al. 1996, 1997a, 1997b, Klimesch 1997, 1999), φαίνεται ότι το πραγματικό περιβάλλον απαιτήσε μεγαλύτερη νοητική προσπάθεια γενικά ως προς τις οπτικο-χωρικές λειτουργίες του δεξιού ημισφαιρίου.

Αν συγκρίνουμε τους άλφα υπορυθμούς, τότε προκύπτουν σημαντικές επιπλέον διαφορές.

Ο άλφα-1 στο πραγματικό περιβάλλον εντοπίζεται στις ινιακές περιοχές, στις μετωπικές και λιγότερο στην αριστερή κροταφική περιοχή. Στο εικονικό περιβάλλον η τοπολογία του είναι σχεδόν διάχυτη με περισσότερη έμφαση στο δεξιό ημισφαίριο και κυρίως στη δεξιά ινιακή περιοχή. Οι περισσότερες μελέτες συσχετίζουν τις μεταβολές του άλφα-1 ρυθμού με τη γνωστική επεξεργασία γενικά και τους μηχανισμούς της νοητικής προσπάθειας και κυρίως με την προσοχή, ανεξάρτητα από το είδος του ερεθίσματος ή της εργασίας (Gremades et al. 2004, Klimesch et al. 1992, Gerlic & Jaušovec 2001, Jaušovec & Jaušovec 2000, Fournier et al. 1999). Η διάχυτη εξάπλωση του υπορυθμού στο εικονικό περιβάλλον μπορεί να ερμηνευτεί ως μειωμένη νοητική προσπάθεια γενικά με περιορισμένες ανάγκες για ένταση της προσοχής. Αντίθετα στο πραγματικό περιβάλλον παρατηρείται μείωση του άλφα-1 ρυθμού στο δεξιό ημισφαίριο (όχι όμως και στις ινιακές περιοχές του πρωτοταγούς οπτικού φλοιού), το οποίο συσχετίζεται με αύξηση της οπτικο-χωρικής προσοχής σε ότι αφορά στην επεξεργασία μιας ανώτερης συνειρμικής οπτικής πληροφορίας (Roland et al. 1980, Ungerlaider & Haxby 1994). Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές είναι πολλές και επιβεβαιώνουν την προαναφερθείσα υπόθεση, με το εικονικό περιβάλλον να εμφανίζει αυξημένη ισχύ του άλφα-1 ρυθμού στις περισσότερες εγκεφαλικές περιοχές εκτός από τις αριστερές κεντρικο-κροταφικές (T3, F3, C3) που υπερέχει το πραγματικό.

Ο άλφα-1 υπορυθμός εμφανίζει αύξηση στις ινιακές περιοχές και στα δύο περιβάλλοντα, χωρίς στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Αυτό πιθανώς

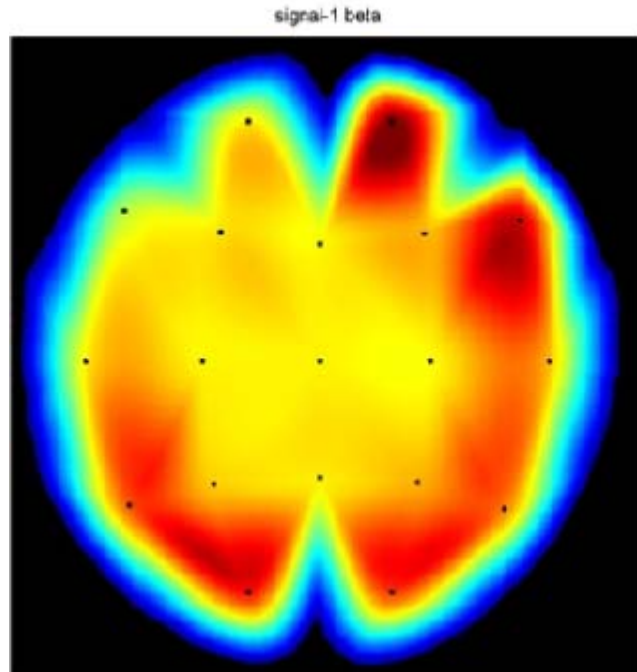
σημαίνει ότι οι συμμετέχοντες δεν κατέβαλαν ιδιαίτερη προσπάθεια για να αυξήσουν την προσοχή και την επαγρύπνησή τους ως προς την οπτική παρατήρηση.

Ο άλφα-2 υπορυθμός παρατηρείται (καταστέλλεται) κατά την επεξεργασία αισθητηριακής-σημασιολογικής πληροφορίας και συσχετίζεται με την κωδικοποίηση κάποιου ερεθίσματος και σημασιολογικές λειτουργίες της μακροπρόθεσμης μνήμης (Gremades et al. 2004, Klimesch et al. 1992, Gerlic & Jaušovec 2001, Jaušovec & Jaušovec 2000, Fournier et al. 1999, Robert et al. 1984). Ο άλφα-2 και στα δύο περιβάλλοντα εμφανίζεται κυρίως αριστερά. Στο εικονικό περιβάλλον εντοπίζεται κυρίως στην αριστερή κροταφο-βρεγματική περιοχή (T5, P3), ενώ στο πραγματικό περιβάλλον επεκτείνεται σε αριστερές ινιακές, κροταφικές, κεντρικές και δεξιά μετωπική περιοχές. Η δεξιά καταστολή του υπορυθμού και στα δύο περιβάλλοντα σηματοδοτεί επεξεργασία οπτικο-χωρικών ερεθισμάτων. Στο εικονικό περιβάλλον η καταστολή είναι μεγαλύτερη. Πιθανώς για την κατανόηση των εικόνων και αντικειμένων του εικονικού περιβάλλοντος ενεργοποιήθηκαν σημασιολογικές λειτουργίες της μνήμης περισσότερο από ότι απαιτήσαν τα σαφώς ρεαλιστικότερα πραγματικά αντικείμενα.

Η καταστολή του άλφα-2 υπορυθμού περιλαμβάνει το δεξιό ινιακό ηλεκτρόδιο O2, που συσχετίζεται με επεξεργασία πρωτογενούς οπτικής πληροφορίας, κάτι αναμενόμενο και για τα δύο περιβάλλοντα. Αξιοσημείωτη είναι η διαφορά στις πρόσθιες περιοχές, όπου ο προμετωπιαίος φλοιός εμπλέκεται στον έλεγχο των σκέψεων και των ενεργειών του ατόμου (Petrides et al. 1993, Andreasen et al. 1992) και ο μετωπιαίος φλοιός συσχετίζεται με τη λειτουργία της μνήμης εργασίας (Dunbar & Sussman 1995). Το εικονικό περιβάλλον εμφανίζει μεγαλύτερη καταστολή του άλφα-2 ρυθμού, επομένως αυξημένη ενεργοποίηση και στις δύο αυτές περιοχές σε σχέση με το πραγματικό. Η πιθανή αυξημένη ενεργοποίηση της μνήμης εργασίας στο εικονικό περιβάλλον ίσως οφείλεται στα σχηματοποιημένα αντικείμενα του εικονικού κόσμου και την αδυναμία των υποκειμένων να εντοπίσουν γρήγορα το αντικείμενο-στόχο.

#### *Βήτα ρυθμός*

Ο βήτα ρυθμός εμφανίζεται στο εικονικό περιβάλλον γενικά ισχυρότερος από το πραγματικό σε όλες σχεδόν τις ηλεκτροεγκεφαλικές θέσεις (εκτός από το δεξιό μετωπο-κροταφικό ηλεκτρόδιο F8). Ο ρυθμός παρουσιάζει στο εικονικό περιβάλλον αυξημένη ισχύ στην αριστερή πίσω (ινιακή και κροταφογρεγματική) περιοχή και σε μικρότερο βαθμό στη δεξιά προμετωπική και δεξιά ινιακή περιοχή.



Σχήμα 9-10. Χάρτης με απόλυτες τιμές ισχύος για τον βήτα ρυθμό στο πραγματικό περιβάλλον (οπτική-χωρική διεργασία).

Επειδή η συγκριτική παράθεση του ρυθμού στα δύο περιβάλλοντα υποβαθμίζει αρκετά το ασθενέστερο σήμα, το σχήμα 9-10 αποτυπώνει το πραγματικό περιβάλλον ανεξάρτητα από το εικονικό. Παρατηρούμε ότι ο βήτα ρυθμός εμφανίζεται στο πραγματικό περιβάλλον περιφερειακά του κρανίου με έμφαση στη δεξιά πρόσθια περιοχή, ενώ στο εικονικό ο ρυθμός είναι ισχυρότερος στην αριστερή κροταφο-νιακή περιοχή. Η ταυτόχρονη εμφάνιση του ρυθμού σε πλευρικές, μετωπικές και ινιακές περιοχές συσχετίζεται με αυξημένη προσοχή σε οπτικό ερέθισμα (Gross 2004). Η υπεροχή του δεξιού ημισφαιρίου πιθανώς οφείλεται στο χωρικό προσανατολισμό της διεργασίας g.

Και στα δύο περιβάλλοντα παρουσιάζεται βήτα ρυθμός στην δεξιά μετωπική περιοχή, η οποία μπορεί να ερμηνευθεί ως νοητική εργασία γενικά ή ως μείωση της χαλάρωσης και αύξηση της εγρήγορσης και της προσοχής σε χωρικές λειτουργίες (Macaulay & Edmonds 2004, Kirov et al. 1996, Oken & Salinsky 1992, Markand 1990, Ray & Cole 1985, Jacobs et al. 1996, Field et al. 1996, Oken & Salinsky 1992, Markand 1990, Mundy-Castle 1951, Petruzzello & Landers 1994).

Η υψηλότερες τιμές του ρυθμού στο εικονικό περιβάλλον με στατιστική σημαντικότητα (σε όλα σχεδόν τα ηλεκτρόδια) ισοδυναμούν με μεγαλύτερη βήτα ενεργοποίηση σε όλο το κρανίο, που γενικά συσχετίζεται με μεγαλύτερο γνωστικό φόρτο ή/και συναισθήματα άγχους στο εικονικό περιβάλλον.

Βέβαια υπάρχει η επιφύλαξη από ορισμένους ερευνητές ότι οι αλλαγές στη βήτα δραστηριότητα επηρεάζονται από τη μορφή των πειραματικών διεργασιών, χωρίς να αντανακλούν αξιόπιστα διαφοροποιήσεις στο γνωστικό φόρτο (Fernandez et al. 1995, Brookings et al. 1996).

*Γάμα ρυθμός*

Ο γάμα ρυθμός εμφανίζεται (όπως και ο βήτα) γενικά μειωμένος με στατιστική σημαντικότητα στο πραγματικό περιβάλλον σε όλες τις ηλεκτροεγκεφαλογραφικές θέσεις εκτός από το δεξιό μετωπικό ηλεκτρόδιο (Fp2). Οι αυξημένες τιμές του ρυθμού στο εικονικό περιβάλλον μπορούν να αποδοθούν σε αύξηση της πολυπλοκότητας (Simos et al. 2002), σε επεξεργασία οπτικών πληροφοριών και ενεργοποίηση της χωρικής επιλεκτικής προσοχής (Müller et al. 2000), σε ενεργοποίηση της οπτικής επίγνωσης (Crick & Koch 1990a, 1990b), σε αύξηση της προσοχής (Gruber et al. 1999, Shibata et al. 1999) ή της οπτικής επιλεκτικής προσοχής (Gruber et al. 2006) που χρειάζεται για την διεκπεραίωση της συγκεκριμένης διεργασίας.

Οι σημαντικότερες όμως διαφορές αναδεικνύονται αν δούμε την τοπολογία του ρυθμού σε κάθε περιβάλλον χωριστά.

Στο πραγματικό περιβάλλον ο γάμα ρυθμός εντοπίζεται κυρίως στη δεξιά προμετωπική περιοχή και σε μικρότερο βαθμό στη δεξιά μετωποκροταφική και την αριστερή βρεγματοκροταφική. Η έμφαση που καταγράφεται στην δεξιά προμετωπική περιοχή, πιθανώς σχετίζεται με ενεργοποίηση της χωρικής επιλεκτικής προσοχής (Gruber et al. 2006).

Στο εικονικό περιβάλλον ο ρυθμός εμφανίζεται περιμετρικά στο κρανίο με σαφή έμφαση στις αριστερές περιοχές. Η έμφαση στον αριστερό ινιακό λοβό συσχετίζεται με επεξεργασία οπτικών πληροφοριών και η βρεγματο-ινιακή ενεργοποίηση του ρυθμού με αντιληπτικούς μηχανισμούς προσοχής (Müller et al. 2000) και με την οπτική επιλεκτική προσοχή (Gruber et al. 2006). Η παρατήρηση αυτή συμφωνεί και με έρευνες PET και fMRI, που καταγράφουν αύξηση της αιματικής ροής στις περιοχές του οπτικού φλοιού που αντιστοιχούν σε ερεθίσματα που τραβούν την προσοχή των υποκειμένων (Corbetta et al. 1995, Beauchamp et al. 1997). Η ταυτόχρονη εμφάνιση του ρυθμού σε προμετωπιαίες και ινιακές περιοχές πιθανώς να οφείλεται σε δραστηριοποίηση της οπτικής βραχύχρονης μνήμης (Conci et al. 2004).

## 9.4 Αναγνώριση και καταμέτρηση αντικειμένων

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται 2 διεργασίες με διαφορετικό βαθμό δυσκολίας, οι h και γ. Και στις δύο διεργασίες ζητείται από τους συμμετέχοντες να απαριθμήσουν νοερά κάποια αντικείμενα που επαναλαμβάνονται.

Στην απλούστερη διεργασία h αυτά τα αντικείμενα είναι οι φέτες του καλοριφέρ.

Στη διεργασία γ πρόκειται για τις ακμές των ορθογώνιων ντουλαπιών και των ραφιών της βιβλιοθήκης του εργαστηρίου. Η δεύτερη διεργασία θεωρείται δυσκολότερη γιατί:

- τα αντικείμενα είναι περισσότερα από τα προηγούμενα,
- πρέπει να καταμετρηθούν οριζόντιες και κάθετες πλευρές
- μπορούν να καταμετρηθούν ακμές που σχηματίζονται και από συνδυασμούς ντουλαπιών και ραφιών.

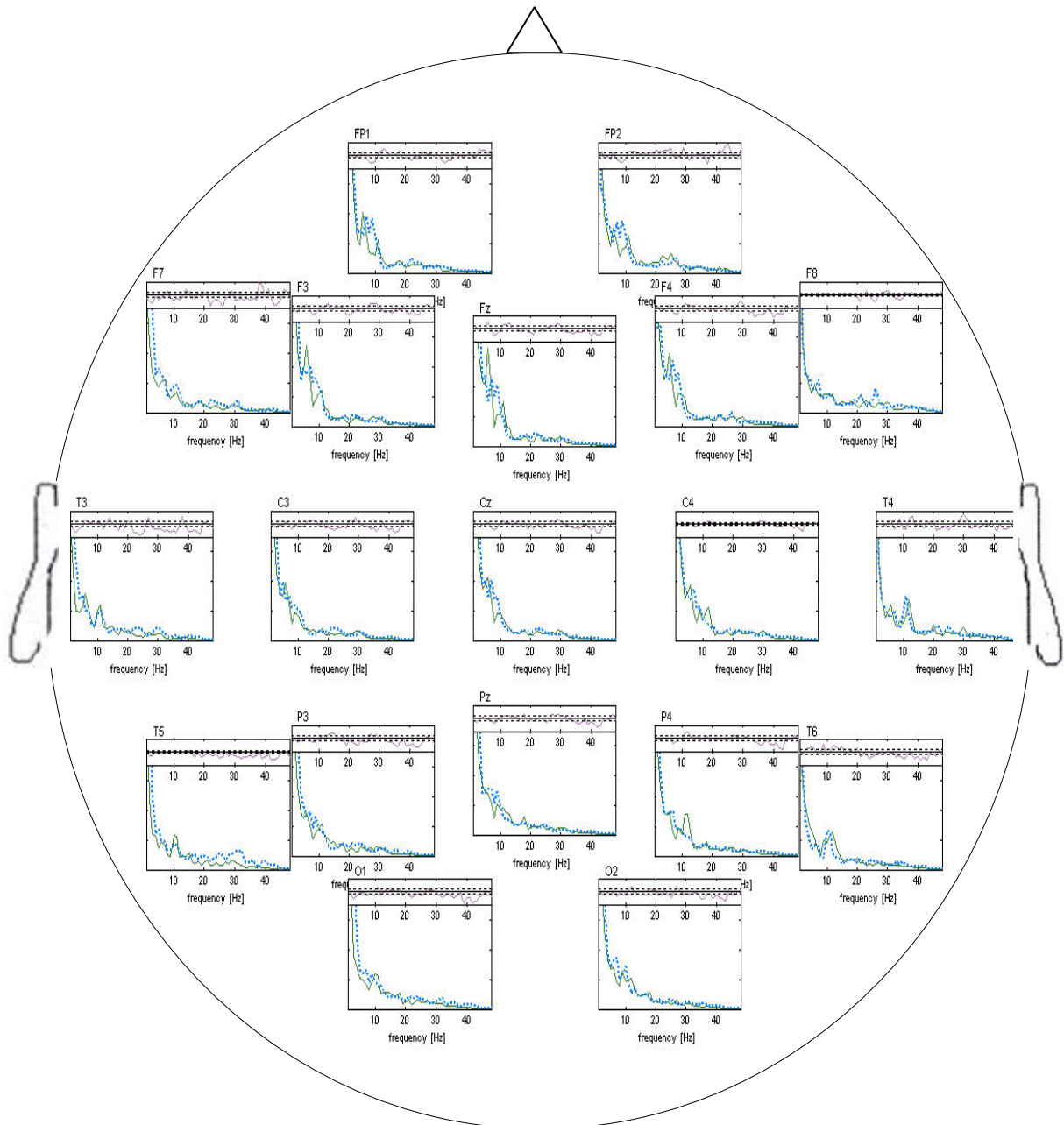
### Διεργασία h

Ερώτηση: «Πόσες φέτες έχει το καλοριφέρ»;

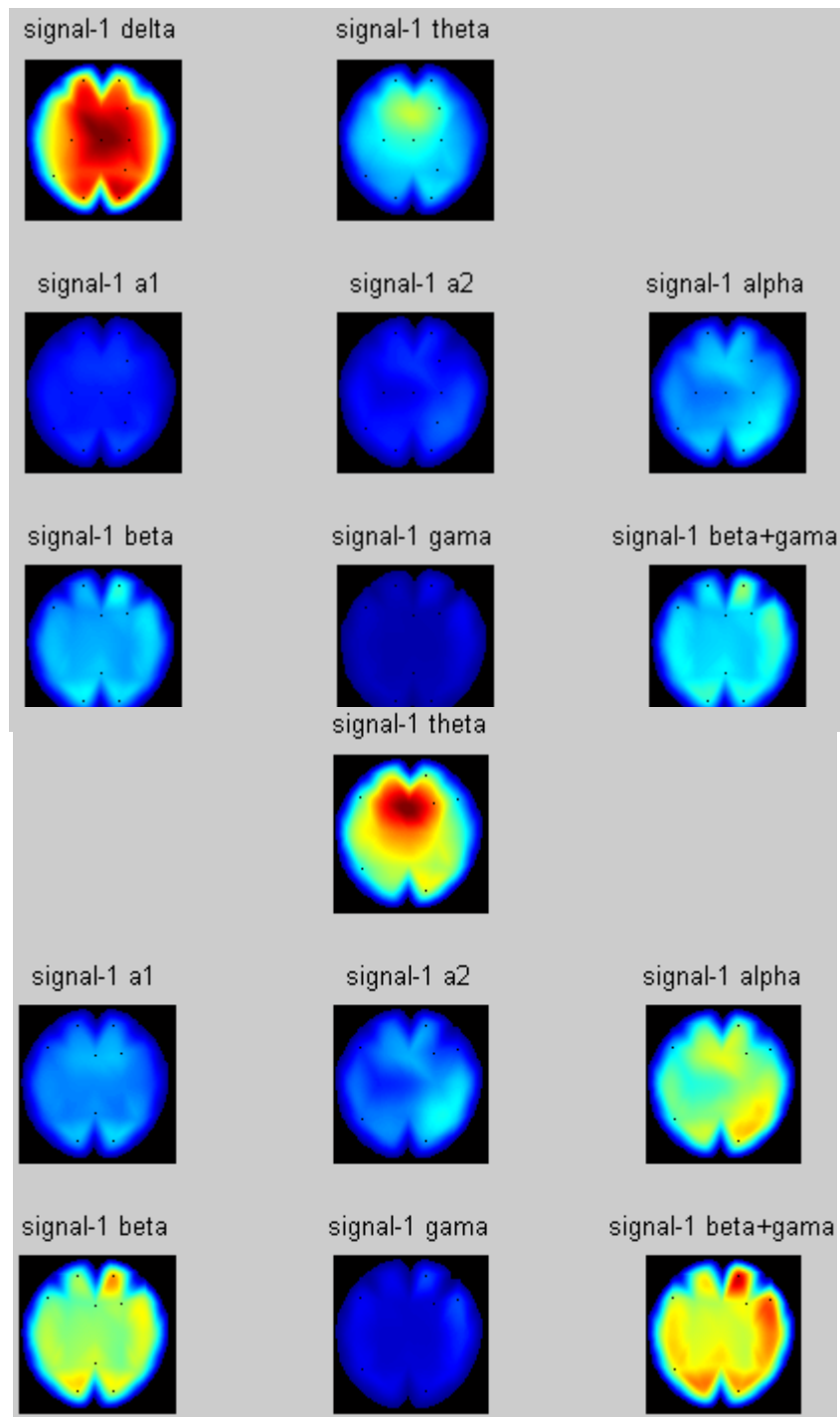
Αριθμός δείγματος μετά την απομάκρυνση των καταγραφών με παράσιτα: 14 υποκείμενα (8 άντρες, 6 γυναίκες).

Στο σχήμα 9-11 εμφανίζονται οι γραφικές παραστάσεις του φάσματος ισχύος για όλα τα ηλεκτρόδια και για τα δύο περιβάλλοντα. Στο σχήμα 9-12 και στο σχήμα 9-13 παρουσιάζονται δύο συνοπτικοί ανεξάρτητοι χρωματικοί χάρτες για το πραγματικό και το εικονικό περιβάλλον αντίστοιχα, στους οποίους φαίνονται οι επικρατούντες ρυθμοί και η τοπολογική τους εξάπλωση. Οι χάρτες αυτοί αναδεικνύουν τους επικρατούντες ρυθμούς και υποβαθμίζουν τους υπόλοιπους. Συγκρίσεις των δύο περιβαλλόντων βασισμένοι στους χάρτες απόλυτης ισχύος παρουσιάζονται στον πίνακα 9-3 με χρωματική κλίμακα και στο σχήμα 9-14 χωρίς χρωματική κλίμακα αλλά με σύμβολα που υποδηλώνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται πρώτα ομαδοποιημένα ανά ρυθμό και μετά σε συνδυασμούς ρυθμών.

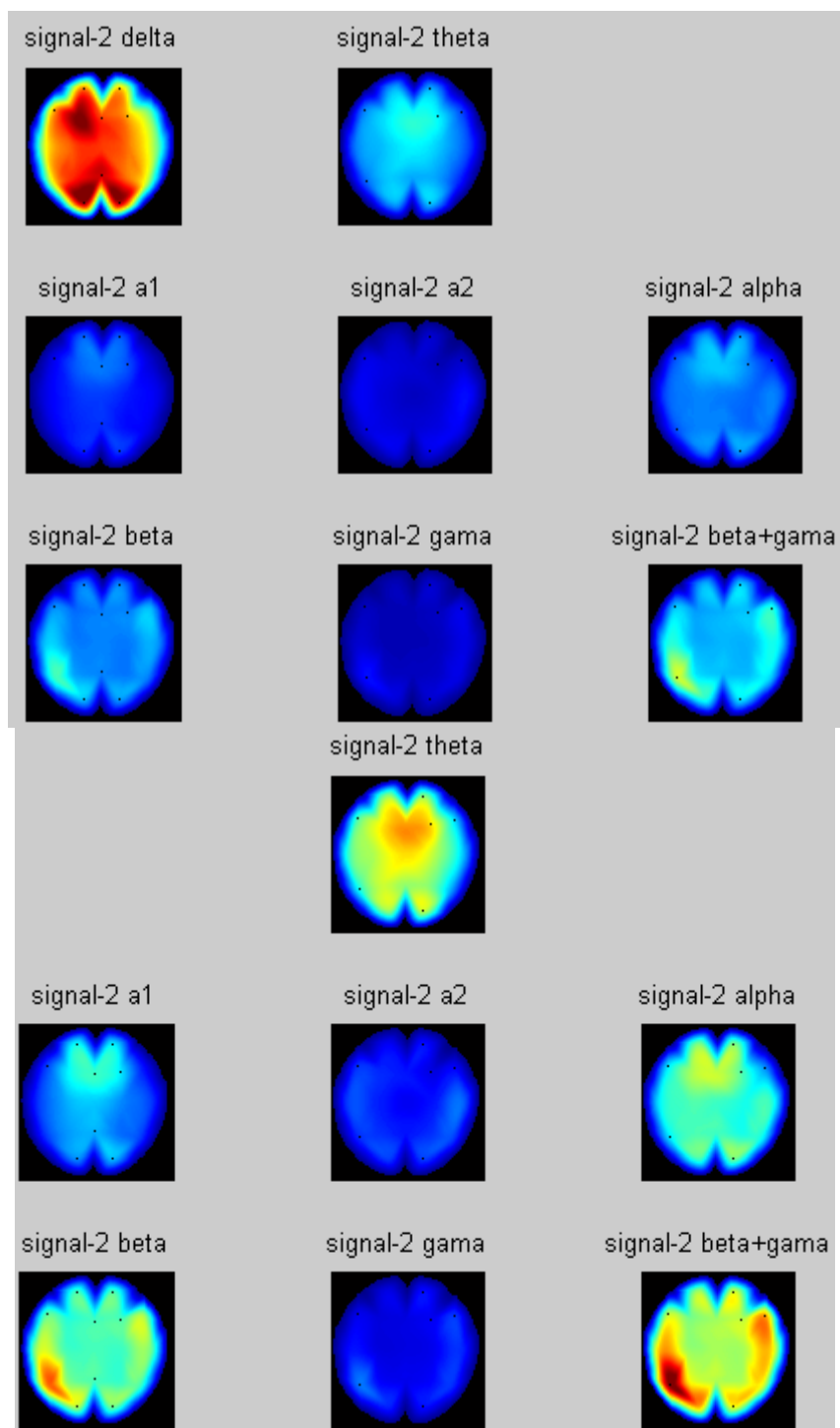




Σχήμα 9-11. Γραφική παράσταση του φάσματος όλων των υποκειμένων με συχνότητες 1 μέχρι 48 Hz για όλα τα ηλεκτρόδια. Η μπλε διακεκομμένη γραμμή αντιστοιχεί στο εικονικό περιβάλλον και η πράσινη στο πραγματικό.

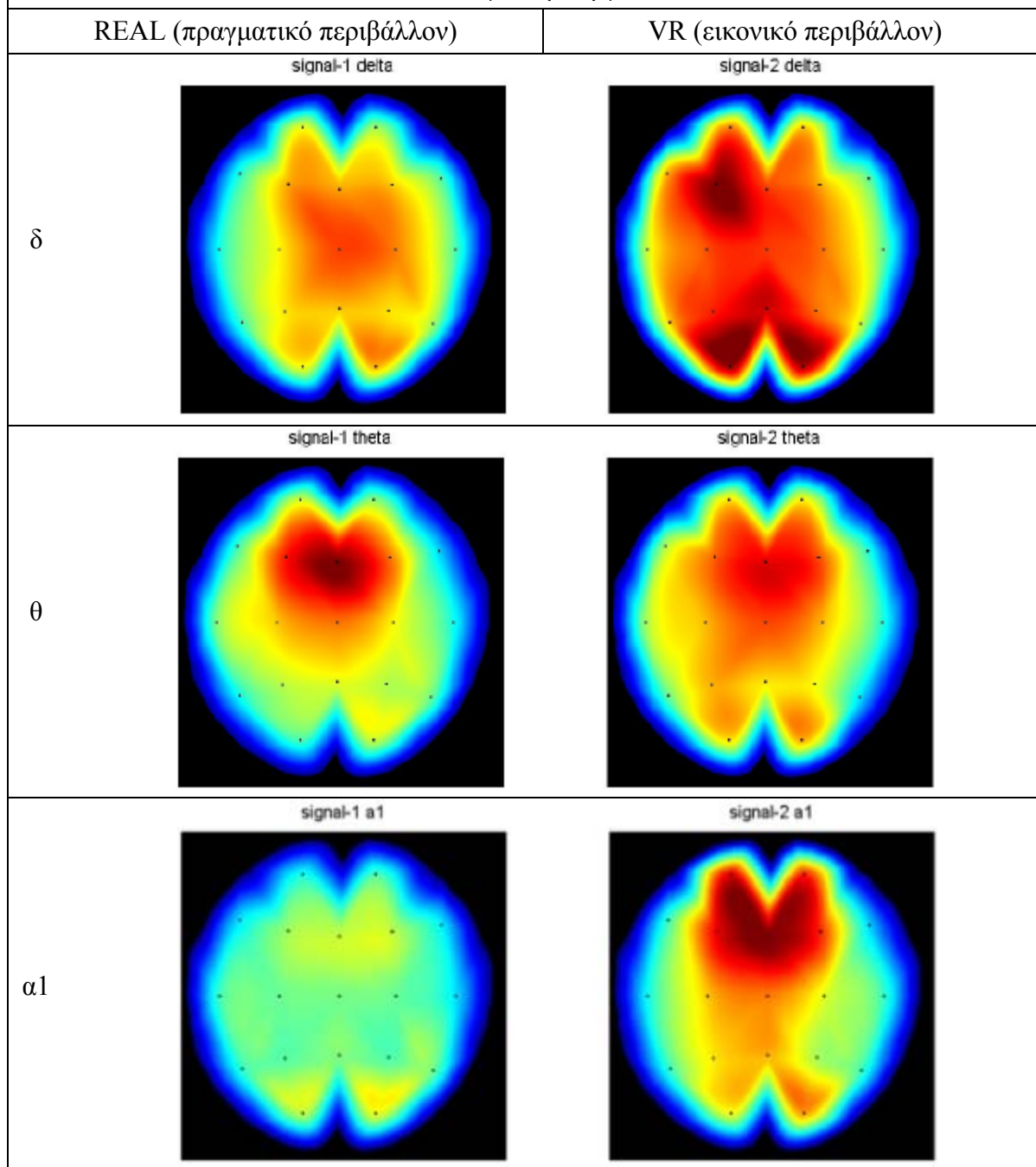


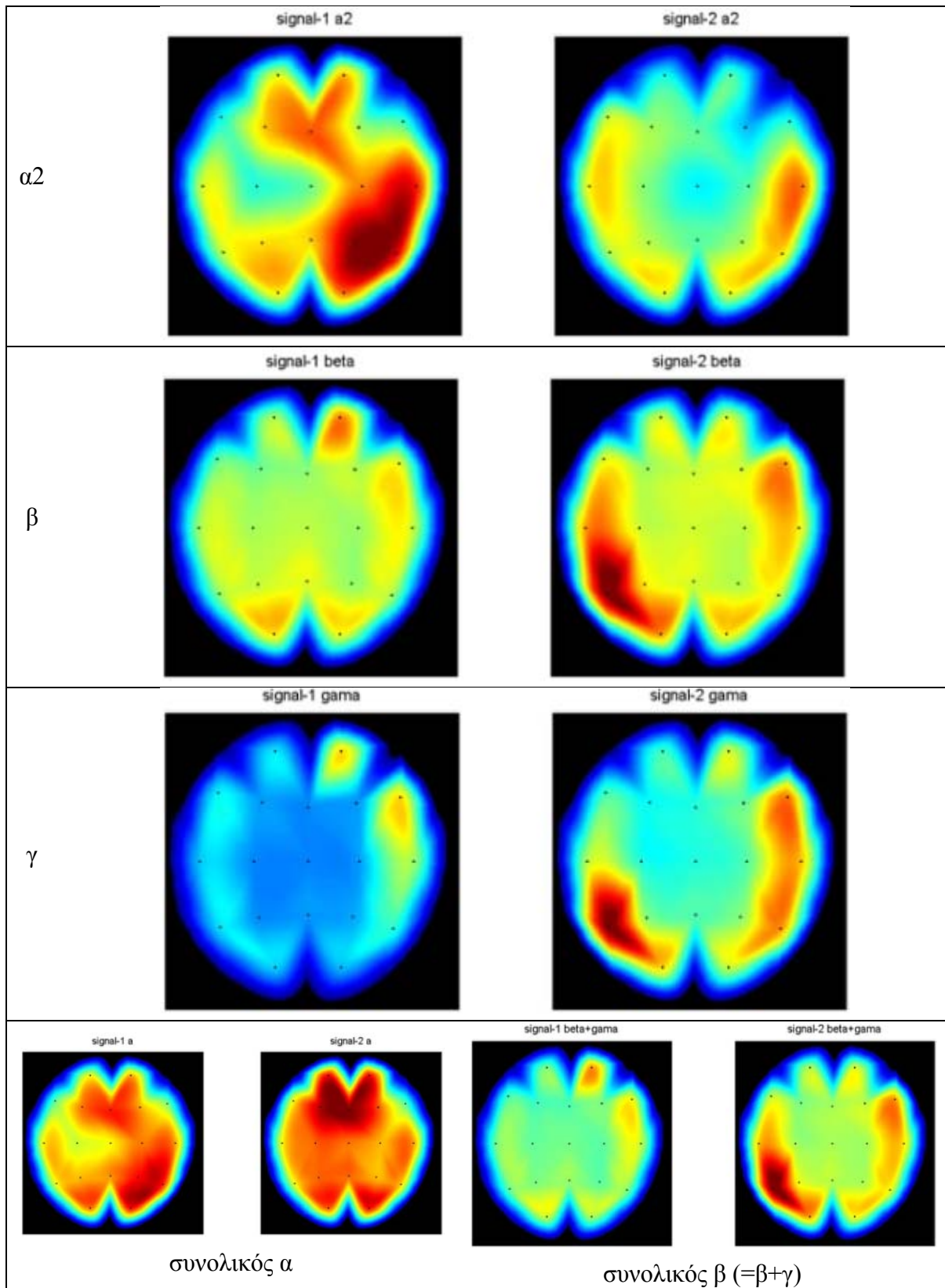
Σχήμα 9-12. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα REAL (πραγματικό περιβάλλον) με δέλτα ρυθμό (άνω) και χωρίς δέλτα (κάτω) για τη διεργασία h.

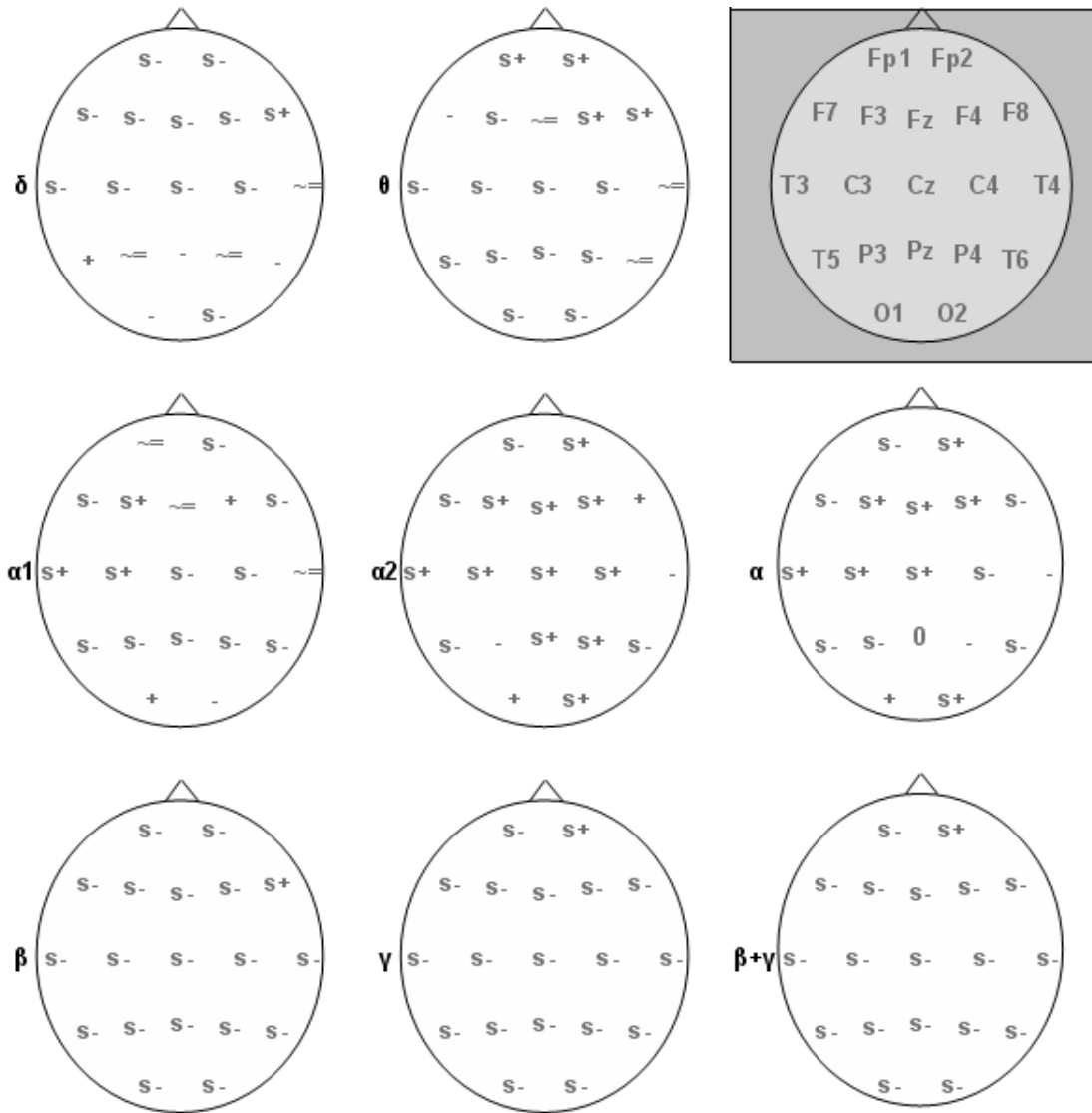


Σχήμα 9-13. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα VR (εικονικό περιβάλλον) με δέλτα ρυθμό (άνω) και χωρίς δέλτα (κάτω) για τη διεργασία h.

Πίνακας 9-3. Χάρτες με απόλυτες τιμές ισχύος κατανεμημένες για κάθε ρυθμό σε REAL και VR για τη διεργασία h







Σχήμα 9-14. Συγκριτική παρουσίαση της απόλυτης ισχύος του πραγματικού και του εικονικού περιβάλλοντος (αφαίρεση τιμών REAL – VR) για τη διεργασία h. Τα σύμβολα s+ και s- σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, τα + και - μη στατιστικά σημαντικές διαφορές και το σύμβολο ≈ αμελητέες διαφορές. Στο άνω δεξιό γκρι πλαίσιο εικονίζονται σχηματικά οι θέσεις των ηλεκτροδίων (σύστημα 10-20).

Η διεργασία h περιέχει αρχικά οπτική εξερεύνηση του περιβάλλοντος χώρου, εύρεση-εντοπισμό ενός αντικειμένου στόχου (καλοριφέρ) χωρίς κίνηση των υποκειμένων εκτός από μικρές κινήσεις του κεφαλιού απαραίτητων για την εξερεύνηση του χώρου και καταμέτρηση αντικειμένων (φέτες του καλοριφέρ). Αναμένουμε ενεργοποίηση οπτικοχωρικών λειτουργιών, αναγνώριση-εντοπισμό αντικειμένου και διαδικασίες αρίθμησης-καταμέτρησης.

Στο πραγματικό περιβάλλον (εκτός από το δέλτα ρυθμό που παρουσιάζεται διάχυτος) εμφανίζεται σημαντική θήτα δραστηριότητα σε κεντρικές και μετωπικές περιοχές και σε μικρότερο βαθμό βήτα ρυθμός που εξαπλώνεται σε όλο το κρανίο. Οι

άλφα υπορυθμοί εμφανίζονται ασθενέστεροι. Στο εικονικό περιβάλλον η δέλτα δραστηριότητα παρουσιάζει μέγιστη ισχύ στις ινιακές περιοχές, ο βήτα ρυθμός μετατοπίζεται προς το αριστερό ημισφαίριο κυρίως και εξαπλώνεται και στην βρεγματική και ινιακή περιοχή, ο άλφα-1 υπορυθμός αυξάνει και μετατοπίζεται πρόσθια, ενώ ο θήτα ρυθμός παραμένει ισχυρός κεντρικά αλλά με μικρότερη ένταση.

#### *Δέλτα ρυθμός*

Η δέλτα δραστηριότητα εμφανίζεται γενικά υψηλότερη στο εικονικό περιβάλλον. Στατιστικά σημαντικές διαφορές καταγράφονται κυρίως στις πρόσθιες εγκεφαλικές περιοχές. Η τοπολογία του ρυθμού εμφανίζεται σχεδόν διάχυτη και στα δύο περιβάλλοντα.

Με δεδομένη την επιφύλαξη των περισσότερων ερευνητών για το δέλτα ρυθμό (κυρίως στις μετωπικές περιοχές), γιατί είναι ιδιαίτερα ευαίσθητος στα οφθαλμικά παράσιτα (Scerbo et al. 2001), οι παρατηρήσεις για τον ρυθμό συνοψίζονται ως εξής. Η μείωση που παρατηρήθηκε στο αριστερό ημισφαίριο μπορεί να σχετίζεται με αύξηση της προσοχής σε εξωτερικά γεγονότα στο πραγματικό περιβάλλον, όπου οι φέτες του καλοριφέρ δεν ήταν τόσο ευδιάκριτες όπως στο εικονικό. Επιπλέον η δέλτα δραστηριότητα φαίνεται να σχετίζεται αντιστρόφως ανάλογα με το φόρτο εργασίας και έτσι η περίπου όμοια ενεργοποίηση του δεξιού ημισφαιρίου μπορεί να σηματοδοτεί παρόμοιο φόρτο στις οπτικοχωρικές λειτουργίες που πραγματοποιούνται και στα δύο περιβάλλοντα καθώς τα άτομα προσπαθούν να εντοπίσουν το καλοριφέρ, ενώ η αριστερή αύξηση στο εικονικό περιβάλλον πιθανόν σχετίζεται με μειωμένο φόρτο στο περιβάλλον αυτό κατά την αριθμητική δραστηριότητα.

#### *Θήτα ρυθμός*

Ο θήτα ρυθμός εμφανίζει αρκετές διαφορές (με στατιστική σημαντικότητα) ανάμεσα στα δύο περιβάλλοντα, αλλά και στη χωρική του εξάπλωση. Όπως και στη διεργασία eI στο εικονικό περιβάλλον ο θήτα ρυθμός είναι γενικά αυξημένος στις περισσότερες ηλεκτροεγκεφαλικές θέσεις, εκτός από τα πτομετωπιαία (Fp1 και Fp2) και τα δεξιά μετωπο-κεντρικο-κροταφικά ηλεκτρόδια (F4 και F8).

Στο πραγματικό περιβάλλον ο θήτα ρυθμός εμφανίζεται κυρίως σε κεντρικές και μετωπικές περιοχές της μέσης γραμμής. Οι περισσότερες μελέτες για τον θήτα ρυθμό συσχετίζουν αυτές τις περιοχές με προσπάθεια για αύξηση της εγρήγορσης (Caldwell et al. 2003), αύξηση του βαθμού συγκέντρωσης και του νοητικού φόρτου (π.χ. Ishihara & Yoshii 1972, 1973, Schacter 1977, Lang et al. 1988, Gundel & Wilson 1992, Mecklinger et al. 1992, Aftanas & Golocheikine 2001, Burgess & Gruzelier 1997, Gevins et al. 1997, Ishii et al. 1999, Jensen & Tesche 2002, Kahana et al. 1999, Laukka et al. 1995, Lazarev 1998, Mizuki et al. 1982, Pardo et al. 1990, Sasaki et al. 1996, Smith et al. 1999), αύξηση του μνημονικού φόρτου (Wilson et al. 1999, Onton et al. 2005) και ενεργοποίηση της μνήμης εργασίας (Krause 2006). Η τοπολογία που εμφανίζει ο θήτα ρυθμός στο πραγματικό περιβάλλον είναι τυπική της κατάστασης εγρήγορσης, παρουσιάζεται σε πολλές μελέτες του ρυθμού και συσχετίζεται με αρκετές γνωστικές λειτουργίες.

Το πραγματικό περιβάλλον εμφανίζει υψηλότερες τιμές ισχύος του θήτα ρυθμού σε σχέση με το εικονικό στην μετωπιαία περιοχή. Η μετωπιαία εμφάνιση του ρυθμού συσχετίζεται με επεξεργασία σύνθετων αισθητηριακών ερεθισμάτων (ανεξάρτητα από το είδος της αισθητήριας εισαγωγής) και τον οπτικό προσανατολισμό (Basar et al. 1999), τη χωρική μνήμη εργασίας (Nishiyama & Yamaguchi 2001), το νοητικό φόρτο (Schacter 1977) και την πολυπλοκότητα ή δυσκολία της διεργασίας (Mizuki et al. 1980, 1982, Kahana et al. 1999, Lazarev 1998, Laukka et al. 1995). Αυτό μπορεί πιθανώς να αποδοθεί στο πλουσιότερο σε οπτικά αισθητηριακά ερεθίσματα (σε αριθμό, στερεοσκοπία και φωτορεαλισμό) πραγματικό περιβάλλον.

Στο εικονικό περιβάλλον εκτός από μετωπικές και κεντρικές περιοχές εμφανίζεται αυξημένος θήτα ρυθμός σε ινιακές και σε μικρότερο βαθμό σε βρεγματικές περιοχές με ελαφρά υπεροχή στα αριστερά. Η έστω και μικρή υπεροχή του αριστερού ημισφαιρίου πιθανώς να σχετίζεται με τη νοερή αριθμητική που απαιτούσε η διεργασία (Dolce & Waldeier 1974). Η συμμετοχή επιπλέον των βρεγματικών περιοχών μπορεί να σημαίνει επιλεκτική προσοχή (Basar et al. 1999, 2001) και αυξημένο φόρτο εργασίας στο περιβάλλον αυτό (Fournier et al. 1999, Scerbo 2001). Η εμφάνιση του ρυθμού στις ινιακές περιοχές θα μπορούσε να αποδοθεί σε αυξημένη επεξεργασία πρωτογενών οπτικών δεδομένων, κάτι που δεν δικαιολογείται από την απλούστερη αναπαράσταση των εικονικών αντικειμένων σε σχέση με τα πραγματικά. Ωστόσο σύμφωνα με τον Onton και τους συνεργάτες του (2005) ο θήτα ρυθμός δεν συνδέεται αυστηρά με την ποσότητα της πληροφορίας που πρέπει να υποστεί επεξεργασία, αλλά με το βαθμό της νοητικής προσπάθειας που απαιτείται για να αντεπεξέλθει το υποκείμενο στις ανάγκες της διεργασίας. Πιθανώς η σχετικά σχηματοποιημένη μορφή των εικονικών αντικειμένων να απαίτησε επεξεργασία των οπτικών πληροφοριών σε οπτικές αλλά και συνειρμικές εγκεφαλικές περιοχές (υψηλότερες τιμές με στατιστική σημαντικότητα κυρίως στον αριστερό βρεγματικό φλοιό) και επιπλέον αυξημένη συμμετοχή της μακρόχρονης μνήμης (Sarnthein et al. 1998, Sauseng et al. 2002). Η γενικευμένη εμφάνιση του ρυθμού μπορεί να ερμηνευθεί και ως αυξημένη επαγρύπνηση (Daniel 1967) που εμφάνισαν οι συμμετέχοντες στο εικονικό περιβάλλον, επειδή ήταν νέο ή επειδή είχαν αυξημένο ενδιαφέρον και προσδοκίες από τη συγκεκριμένη τεχνολογία.

#### *Άλφα ρυθμός*

Ο άλφα ρυθμός εμφανίζεται σχεδόν διάχυτος σε όλο το κρανίο και στα δύο περιβάλλοντα, που μπορεί να ερμηνευθεί ως μια κατάσταση με μειωμένες γνωστικές απαιτήσεις (π.χ. Glass 1964, Butler & Glass 1976, Donchin et al. 1977, Gutierrez & Corsi-Cabrera 1988, Nunez 1995, Pfurtscheller 1996, Burgess & Gruzelier 1997, Klimesch et al. 1996, 1997a, 1997b, Klimesch 1997, 1999). Αυτό είναι ως ένα σημείο αναμενόμενο αφού η οπτική σκηνή δεν έχει αλλάξει και η διεργασία δεν είναι ιδιαίτερα δύσκολη. Βέβαια η παρουσία της άλφα δραστηριότητας δεν μπορεί μόνη της να αποτελέσει ένδειξη για αδρανοποίηση όλου του φλοιού, παρά μόνο των σχετιζόμενων με την προσοχή συστημάτων (Laufs et al. 2003).



Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα δύο περιβάλλοντα είναι αρκετές.

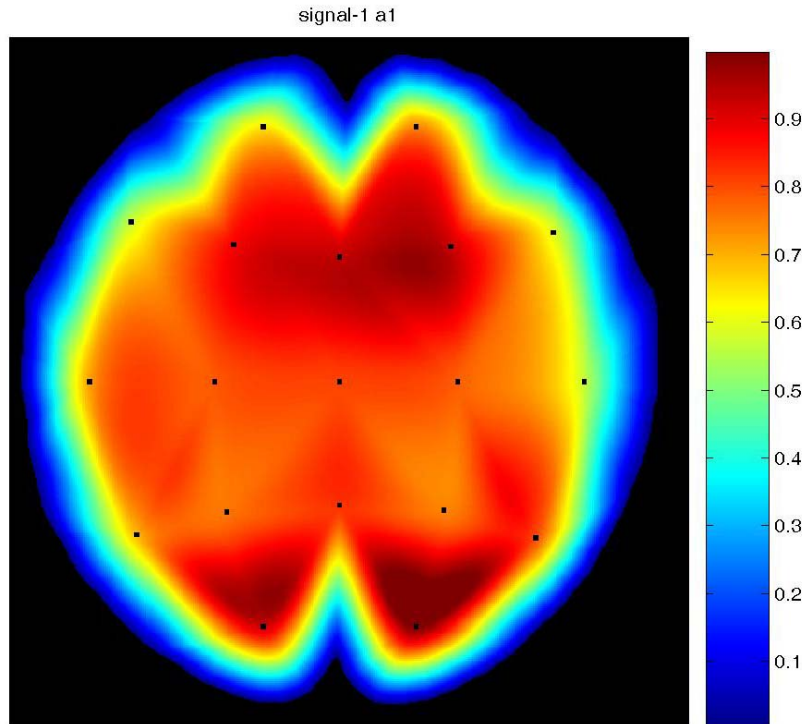
Καταρχήν το εικονικό περιβάλλον παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές ισχύος στις ινιακές περιοχές, κάτι που συνδυαζόμενο και με τη συμπεριφορά του θήτα ρυθμού στις ινιακές περιοχές (υψηλότερες τιμές θήτα ισχύος στο εικονικό περιβάλλον) μπορεί να ερμηνευθεί ως αυξημένη επεξεργασία πρωτογενούς οπτικής πληροφορίας (Gevins et al. 1999, Marciani et al. 1994, Ramos et al. 1993, Lopes da Silva 1992, Gundel et al. 1995, Rugg & Dickens 1982, Gevins et al. 1979, Schacter 1977).

Αντίθετα οι συνειρμικές οπτικές περιοχές παρουσιάζουν μειωμένες τιμές του άλφα ρυθμού στο πραγματικό περιβάλλον, κάτι που συσχετίζεται με αυξημένη ενεργοποίηση στο περιβάλλον αυτό, σε αντίθεση με τη συμπεριφορά του θήτα ρυθμού. Από την άλλη, οι μειωμένες τιμές άλφα ισχύος σε βρεγματο-ινιακές και βρεγματικές περιοχές του πραγματικού περιβάλλοντος πιθανώς συσχετίζονται με τις απαιτήσεις για καταμέτρηση και αρίθμηση που απαιτεί η διεργασία (Dolce & Waldeier 1974, Jaušovec 1997). Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί η επιφύλαξη της «άλφα παραδοξότητας» που καταγράφεται από ορισμένους ερευνητές (Cole & Ray 1985, Cooper et al. 2003), που παρατήρησαν αύξηση και όχι μείωση του άλφα ρυθμού στις πλευρικές περιοχές σε διεργασίες νοερών υπολογισμών, οι οποίοι όμως απαιτούν ενεργοποίηση της εσωτερικά κατευθυνόμενης προσοχής που δεν είναι απαραίτητη στην παρούσα διεργασία.

Στο δεξιό ημισφαίριο γενικά υπερέχει η ισχύς του άλφα ρυθμού στο εικονικό περιβάλλον, κάτι που σημαίνει αυξημένη ενεργοποίηση αυτών των περιοχών στο πραγματικό περιβάλλον. Αυτή η παρατήρηση συμφωνεί με τις παρατηρήσεις από τις άλλες διεργασίες της παρούσας έρευνας, στις οποίες γενικά φαίνεται ότι το πραγματικό περιβάλλον ενεργοποιεί περισσότερο οπτικο-χωρικές λειτουργίες του δεξιού ημισφαιρίου (Rebert et al. 1984).

Οι διαφορές ανάμεσα στα δύο περιβάλλοντα στο συνολικό άλφα ρυθμό γίνονται ακόμη περισσότερες στους άλφα-1 και άλφα-2 υπορυθμούς.

Ο άλφα-1 υπορυθμός είναι γενικά μειωμένος στο πραγματικό περιβάλλον και στους συγκριτικούς χάρτες του πίνακα 9-3 υποβαθμίζεται από το εικονικό περιβάλλον. Στο σχήμα 9-15 αναδεικνύεται η τοπολογική εξάπλωση του ρυθμού στο πραγματικό περιβάλλον. Ο ρυθμός εξαπλώνεται τοπογραφικά σε όλο το κρανίο. Αυτή η κατανομή του ρυθμού συνδέεται με τη γνωστική επεξεργασία και τους μηχανισμούς της νοητικής προσπάθειας (Gremades et al. 2004, Klimesch et al. 1992) και κυρίως (όταν εξαπλώνονται σε ολόκληρο το φλοιό όπως εδώ) με τους διαφορετικούς τύπους απαιτήσεων προσοχής (Jaušovec & Jaušovec 2000, Klimesch 1999). Φαίνεται ότι το πραγματικό περιβάλλον γενικά δεν απαιτεί ιδιαίτερη ενεργοποίηση της προσοχής. Οι αυξημένες τιμές που εμφανίζονται στις ινιακές περιοχές παρατηρούνται και στα δύο περιβάλλοντα χωρίς σημαντικές διαφορές και πρέπει να ερμηνευτούν ως μειωμένες απαιτήσεις οπτικής προσοχής, τουλάχιστο στην επεξεργασία των πρωτογενών πληροφοριών.



Σχήμα 9-15. Χρωματικός χάρτης απόλυτης ισχύος του άλφα-1 ρυθμού στο πραγματικό περιβάλλον. Η χρωματική κλίμακα στα δεξιά αντιστοιχεί στη μικρότερη μέχρι τη μεγαλύτερη τιμή φασματικής ισχύος και μεταβάλλεται από 0 μέχρι 1.

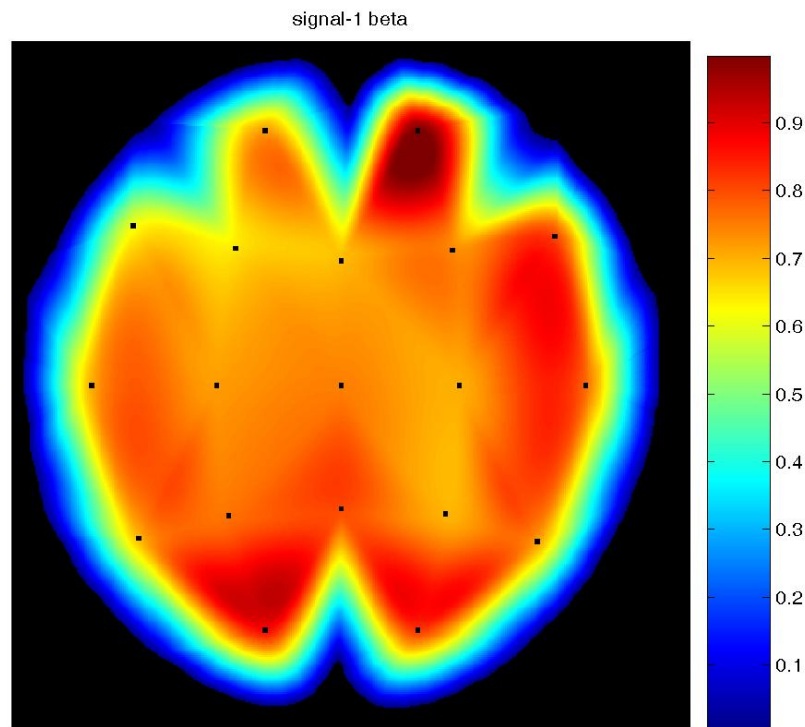
Στο εικονικό περιβάλλον ο άλφα-1 ρυθμός είναι περισσότερο εντοπισμένος και εμφανίζεται κυρίως μετωπο-κεντρικά και ινιακά. Η μείωση στις κροταφο-βρεγματικές περιοχές κυρίως δεξιά, αντιστοιχεί σε αυξημένη ενεργοποίηση των περιοχών αυτών και πιθανώς συσχετίζεται με συνειρμικές οπτικο-χωρικές λειτουργίες. Σε σχέση με το πραγματικό περιβάλλον ο άλφα-1 ρυθμός είναι χαμηλότερος μόνο στη δεξιά κροταφική-κεντρική περιοχή (ηλεκτρόδια T3, C3, F3). Η συμπεριφορά αυτή παρατηρείται μόνο αριστερά, άρα δεν μπορεί να συσχετιστεί με επεξεργασία ακουστικής πληροφορίας, η οποία έτσι και αλλιώς απουσιάζει από τη διεργασία. Οι περιοχές αυτές εμπλέκουν ως ένα σημείο τμήματα των περιοχών Broca και Wernicke (που σχετίζονται με πλευρές της γλώσσας), στις οποίες δεν αναμένεται διαφοροποίηση ανάμεσα στα δύο περιβάλλοντα.

Στις βρεγματικές και κεντρικές περιοχές το πραγματικό περιβάλλον παρουσιάζει μικρότερες τιμές από το εικονικό κυρίως προς τα δεξιά. Αυτό συσχετίζεται με μεγαλύτερη ενεργοποίηση των συνειρμικών φλοιών και επεξεργασία οπτικο-χωρικών δεδομένων. Φαίνεται πώς αν και τα δύο περιβάλλοντα δεν απαιτήσαν ιδιαίτερη εστίαση της προσοχής στα πρωτογενή οπτικά δεδομένα, εντούτοις η οπτικο-χωρική ενεργοποίηση της προσοχής σε ένα υψηλότερο συνειρμικό επίπεδο ήταν εντονότερη στο πραγματικό περιβάλλον.

Διαφορετική παρουσιάζεται η συμπεριφορά του άλφα-2 υπορυθμού. Ο άλφα-2 συνδέεται με την κωδικοποίηση των ερεθισμάτων (Gremades et al. 2004, Klimesch et al. 1992) και ανταποκρίνεται επιλεκτικά στις σημασιολογικές απαιτήσεις της

μακροπρόθεσμης μνήμης (Jaušovec & Jaušovec 2000, Klimesh 1999). Το εικονικό περιβάλλον εμφανίζει μειωμένη ισχύ στις δεξιές πλευρικο-ινιακές περιοχές, κάτι που ερμηνεύεται ως αυξημένη επεξεργασία οπτικής και χωρικής πληροφορίας (Gremades et al. 2004, Klimesch et al. 1992). Οι επίσης μειωμένες τιμές ισχύος σε δεξιές κεντρικές και μετωπικές περιοχές πιθανώς σχετίζονται με ενεργοποίηση σημασιολογικών μνημονικών λειτουργιών που απαιτήθηκαν για την αποκωδικοποίηση των σχηματικών αντικειμένων του εικονικού περιβάλλοντος.

### *Βήτα ρυθμός*



Σχήμα 9-16. Χρωματικός χάρτης απόλυτης ισχύος του βήτα ρυθμού στο πραγματικό περιβάλλον. Η χρωματική κλίμακα στα δεξιά αντιστοιχεί στη μικρότερη μέχρι τη μεγαλύτερη τιμή φασματικής ισχύος και μεταβάλλεται από 0 μέχρι 1.

Ο βήτα ρυθμός εμφανίζεται γενικά μειωμένος στο πραγματικό περιβάλλον σε όλο το κρανίο εκτός από το δεξιό μετωπο-κροταφικό ηλεκτρόδιο F8. Επειδή στους συγκριτικούς χάρτες του πίνακα 9-3 υποβαθμίζεται η τοπογραφική εξάπλωση του ρυθμού από τις ισχυρότερες τιμές του εικονικού περιβάλλοντος, το σχήμα 9-16 αναπαριστά χρωματικά την τοπολογία του ρυθμού μόνο στο πραγματικό περιβάλλον. Η σχεδόν διάχυτη εξάπλωση του ρυθμού στο πραγματικό περιβάλλον αποτελεί τυπική εμφάνιση μείωσης της χαλάρωσης και ενεργοποίηση αρκετών γνωστικών λειτουργιών, συμπεριλαμβανομένων της διέγερσης και της προσοχής (F.L. da Silva 1991, 2000), αλλά και συναισθηματικής φόρτισης γενικά (Crawford et al. 1996, F.L. da Silva 1991, 2000, Davidson 1992, Dawson 1994, Pascalis 1998, Davidson & Irwin 1999, Jacobs et al. 1996, Mundy-Castle 1951, Oken & Salinsky 1992). Η έμφαση που παρουσιάζει ο ρυθμός στη δεξιά προμετωπική περιοχή πιθανώς συνδέεται με

χωρικές λειτουργίες (Kirov et al. 1996, Oken & Salinsky 1992, Markand 1990, Ray & Cole 1985).

Στο εικονικό περιβάλλον, αν και η ισχύς του ρυθμού είναι σχεδόν παντού υψηλότερη με στατιστική σημαντικότητα από το πραγματικό, εμφανίζεται αρκετά διαφορετική τοπολογία. Ο ρυθμός κατανέμεται περισσότερο περιφερειακά με έμφαση στην αριστερή ινιακο-βρεγματο-κροταφική περιοχή και σε μικρότερο βαθμό στη δεξιά μετωπο-κροταφική και τη δεξιά ινιακή. Αυτή η κατανομή γενικά δε συσχετίζεται με γνωστικό φόρτο. Φαίνεται ότι το εικονικό περιβάλλον δεν παρουσίασε ιδιαίτερες γνωστικές απαιτήσεις. Η σημαντική έμφαση στο αριστερό ημισφαίριο πιθανώς σημαίνει ότι η αριθμητική διαδικασία απαιτήσε περισσότερη ενεργοποίηση από την οπτικο-χωρική (Engel & Singer 2001). Επιπλέον οι υψηλότερες τιμές στις ινιακές σε σχέση με τις μετωπικές περιοχές πιθανώς υπονοεί επεξεργασία πρωτογενούς οπτικής πληροφορίας.

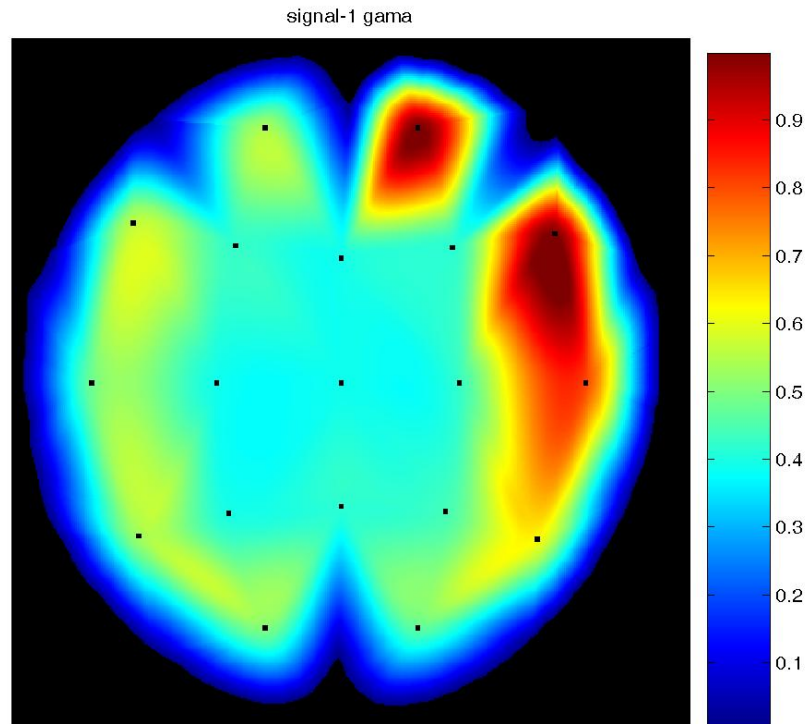
Αν εξεταστούν συγκριτικά τα δύο περιβάλλοντα, οι στατιστικά υψηλότερες τιμές του βήτα ρυθμού στο εικονικό περιβάλλον σηματοδοτούν αυξημένη γνωστική φόρτιση σε πολλές γνωστικές λειτουργίες, όπως η προσοχή, η διέγερση, μνημονικές λειτουργίες, αύξηση του άγχους ή μείωση του βαθμού χαλάρωσης, κ.ά. Στη συγκεκριμένη όμως περίπτωση αυτά τα συμπεράσματα δεν συμφωνούν με την τοπολογία του ρυθμού στο εικονικό περιβάλλον.

#### *Γάμα ρυθμός*

Ο γάμα ρυθμός εμφανίζεται μειωμένος στο πραγματικό σε σχέση με το εικονικό περιβάλλον σε όλο το κρανίο εκτός από το δεξιό προμετωπιαίο ηλεκτρόδιο Fp2. Στις περισσότερες μελέτες ο γάμα ρυθμός θεωρείται ότι αντανακλά μια κατάσταση ενεργητικής επεξεργασίας πληροφοριών (Singer 1993). Οι υψηλότερες τιμές με στατιστική σημαντικότητα του ρυθμού στο εικονικό περιβάλλον θα μπορούσαν να ερμηνευτούν ως αυξημένη προσοχή, επεξεργασία αισθητηριακών δεδομένων, οπτική επίγνωση και αρκετές άλλες γνωστικές λειτουργίες. Αυτή όμως η γενικευμένη διαφοροποίηση δεν αναδεικνύει τις διαφορές ανάμεσα στα δύο περιβάλλοντα. Έτσι, αναλύεται το κάθε περιβάλλον χωριστά με βάση την τοπολογία του ρυθμού.

Επειδή στους συγκριτικούς χάρτες του πίνακα 9-3 υποβαθμίζεται η τοπογραφική εξάπλωση του ρυθμού από τις ισχυρότερες τιμές του εικονικού περιβάλλοντος, το σχήμα 9-17 αναπαριστά χρωματικά την τοπολογία του ρυθμού μόνο στο πραγματικό περιβάλλον. Γενικά και στα δύο περιβάλλοντα ο ρυθμός εξαπλώνεται περιφερειακά, ενώ απουσιάζει από τις κεντρικές περιοχές. Στο περιβάλλον αυτό ο ρυθμός παρουσιάζεται ενισχυμένος στο δεξιό ημισφαίριο σε προμετωπιαία (Fp2) και μετωπο-κροταφική περιοχή (F8 που αντιστοιχεί στις περιοχές Brodmann 38, 44, 45, 47 και 46). Η δεξιά προμετωπιαία και μετωπική ενεργοποίηση συσχετίζεται τόσο με την οπτική επεξεργασία όσο και με την οπτικοχωρική λειτουργία της μνήμης εργασίας (Gron et al. 2000, Dunbar & Sussman 1995, Jonides et al. 1993, McCarthy et al. 1994, Owen et al. 1990) και επιπλέον με την επιλεκτική προσοχή (Gruber et al. 2006) και τη προσπάθεια διατήρησης της προσοχής.

Παρόμοια ενεργοποίηση στις περιοχές αυτές εμφανίζεται και στα δύο περιβάλλοντα, πράγμα αναμενόμενο από τις απαιτήσεις της διεργασίας h.



Σχήμα 9-17. Χρωματικός χάρτης απόλυτης ισχύος του γάμα ρυθμού στο πραγματικό περιβάλλον. Η χρωματική κλίμακα στα δεξιά αντιστοιχεί στη μικρότερη μέχρι τη μεγαλύτερη τιμή φασματικής ισχύος και μεταβάλλεται από 0 μέχρι 1.

Επίσης, και τα δύο περιβάλλοντα εμφανίζουν έμφαση του ρυθμού στο δεξιό κροταφικό ηλεκτρόδιο T4 το οποίο τοποθετείται πάνω από τη δεξιά κροταφική έλικα. Με δεδομένη την απουσία ακουστικών ερεθισμάτων της διεργασίας h, αυτή η ενεργοποίηση πιθανώς να συνδέεται με λειτουργίες υπολογισμού ή επεξεργασίας της απόστασης του παρατηρούμενου αντικειμένου.

Διαφορετική είναι η παρουσία του ρυθμού στις ινιακές περιοχές. Στο εικονικό περιβάλλον εμφανίζεται γάμα ρυθμός, ενώ απουσιάζει από το πραγματικό. Η προμετωπιαία και ινιακή εμφάνιση του ρυθμού στο εικονικό περιβάλλον συσχετίζεται με την οπτική βραχύχρονη μνήμη (Conci et al. 2004) και το μνημονικό φόρτο στη μνήμη εργασίας (Howard et al. 2003).

Οι σημαντικές διαφορές στο εικονικό περιβάλλον εντοπίζονται στην ενεργοποίηση των ινιακών και των πίσω βρεγματικών περιοχών, ιδιαίτερα στο αριστερό ημισφαίριο. Οι αυξήσεις στο γάμα ρυθμό, ειδικά στις βρεγματικές περιοχές, συσχετίζονται με αλλαγές στην προσοχή (Gruber et al. 1999, Shibata et al. 1999, Tallon-Baudry 2004, Basar-Eroglou et al. 1996, Bouyer et al. 1987, Tiitinen et al. 1993, Basar et al. 1996). Επιπλέον, το ηλεκτρόδιο T5 τοποθετείται περίπου πάνω στην ατρακτοειδή έλικα (ή έξω κροταφοϊνιακή), η οποία σχετίζεται και με την αναγνώριση των αριθμών. Ωστόσο, στην διεργασία h δεν παρουσιάζονται στα

υποκείμενα αριθμοί και δεν έχουμε λόγο για να υποθέσουμε ότι στο εικονικό περιβάλλον γίνεται οπτικοποίηση των αριθμών όσο οι συμμετέχοντες καταμετρούν. Πιθανότερη φαίνεται η ερμηνεία της αυξημένης συμμετοχής βρεγματο-ινιακών περιοχών στο εικονικό περιβάλλον, ως αυξημένη δραστηριότητα σχετική με την οπτική επεξεργασία πληροφοριών (Müller et al. 2000) και διαφοροποίηση της προσοχής. Αυτή η αύξηση της προσοχής στο εικονικό περιβάλλον πιθανώς δικαιολογεί την αριστερή ενεργοποίηση, αφού το παρατηρούμενο αντικείμενο βρισκόταν στα δεξιά και έχει καταγραφεί σε μελέτες του γάμα ρυθμού μετατόπιση στην αύξηση της φασματική ισχύος στο ετερόπλευρο ημισφαίριο σε σχέση με το οπτικό πεδίο στο οποίο οι συμμετέχοντες έστρεφαν την προσοχή τους (Gruber et al. 2006, Müller et al. 2000).

Η μειωμένη ισχύς του γάμα ρυθμού στο πραγματικό περιβάλλον συμφωνεί ως ένα σημείο με τη συμπεριφορά του άλφα-1 ρυθμού και την ερμηνεία για μειωμένη συμμετοχή του οπτικού φλοιού στο περιβάλλον αυτό (λιγότερες οπτικές απαιτήσεις, μεγαλύτερη χαλάρωση). Υπάρχει βέβαια η πιθανότητα η αύξηση του γάμα ρυθμού σε ινιακές περιοχές στο εικονικό κόσμο να συνδέεται με αδυναμία των στεροσκοπικών γυαλιών να αποδώσουν πιστά τις τρεις διαστάσεις του πραγματικού κόσμου (Revonsuo et al. 1997).

## Διεργασία r

Ερώτηση στο εικονικό περιβάλλον: «Πόσα παραλληλόγραμμα σχηματίζονται από τις πλευρές των ντουλαπιών»;

Ερώτηση στο πραγματικό περιβάλλον: «Πόσα παραλληλόγραμμα σχηματίζονται από τα ράφια και τα κατακόρυφα στηρίγματά τους»;

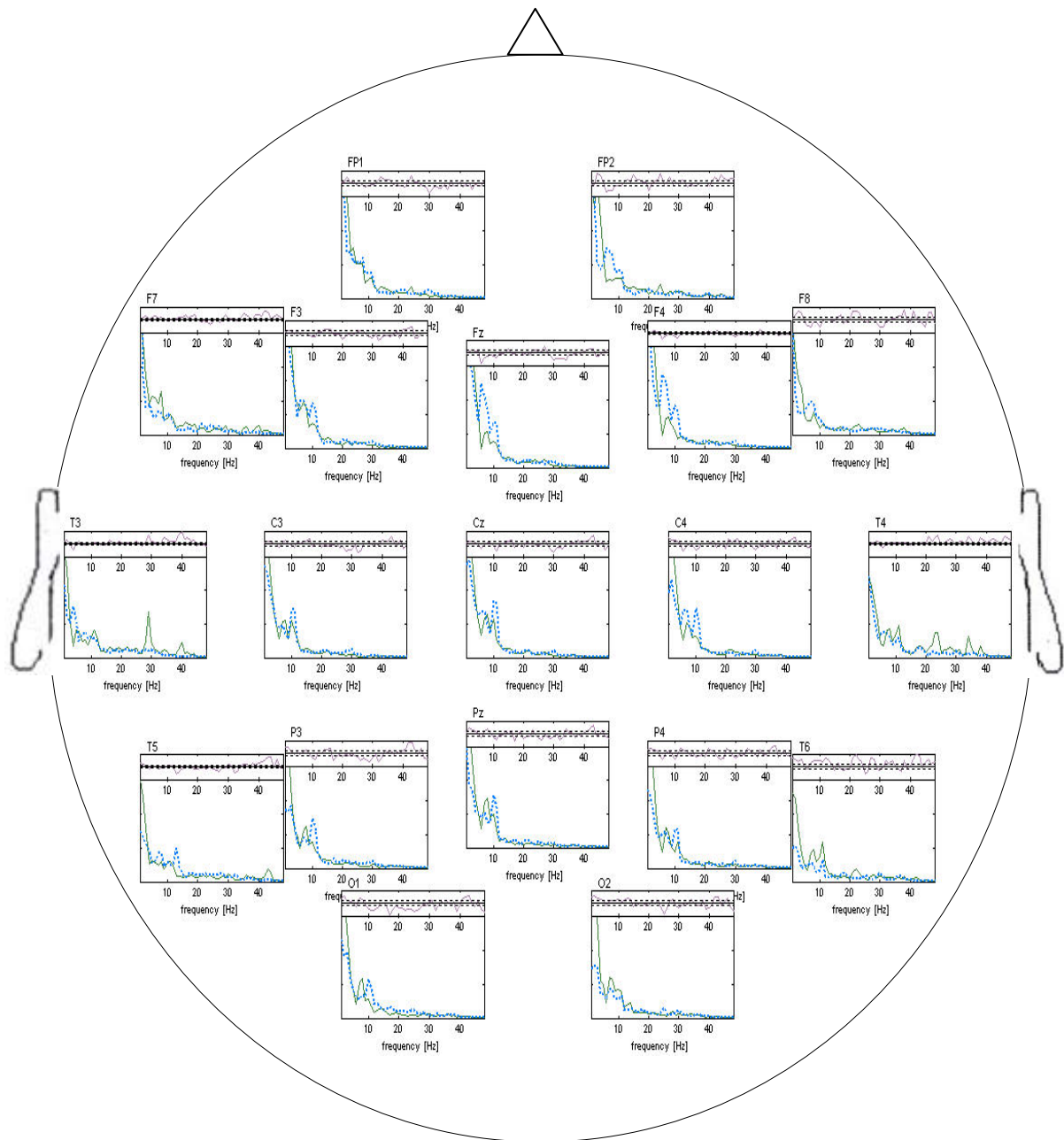
Οι ερωτήσεις στα δύο περιβάλλοντα παρουσιάζουν μικρή διαφοροποίηση για να αποφευχθεί η εξοικείωση των συμμετεχόντων με το περιβάλλον.

Αριθμός δείγματος μετά την απομάκρυνση των καταγραφών με παράσιτα: 10 υποκείμενα (6 άντρες, 4 γυναίκες).

Στο σχήμα 9-18 εμφανίζονται οι γραφικές παραστάσεις του φάσματος ισχύος για όλα τα ηλεκτρόδια και για τα δύο περιβάλλοντα. Στο σχήμα 9-19 και στο σχήμα 9-20 παρουσιάζονται δύο συνοπτικοί ανεξάρτητοι χρωματικοί χάρτες για το πραγματικό και το εικονικό περιβάλλον αντίστοιχα, στους οποίους φαίνονται οι επικρατούντες ρυθμοί και η τοπολογική τους εξάπλωση.

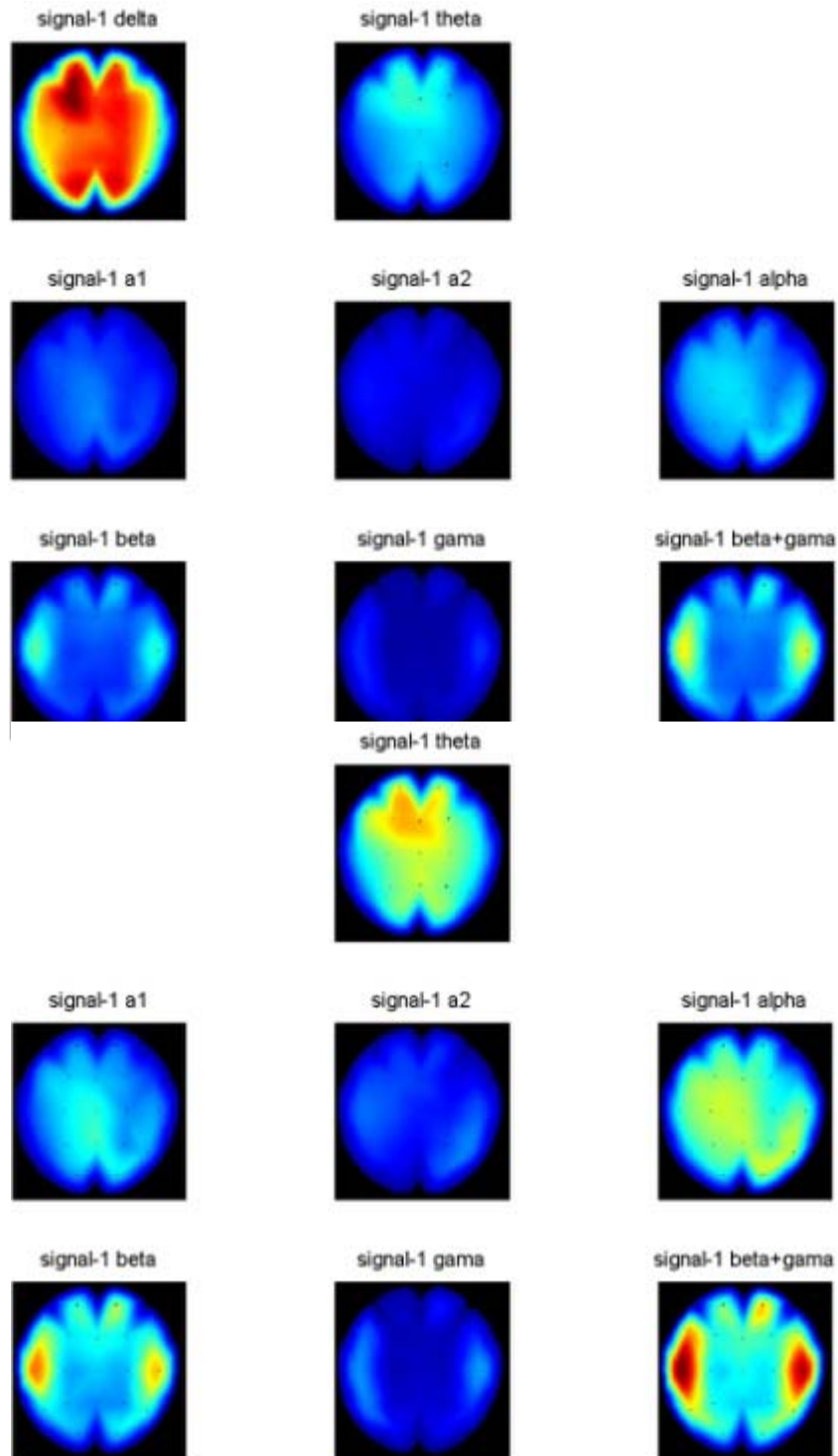
Στο πραγματικό περιβάλλον (εκτός από το δέλτα ρυθμό που παρουσιάζεται διάχυτος με μέγιστη ισχύ στην αριστερή μετωπική περιοχή) εμφανίζεται σημαντική θήτα δραστηριότητα σε κεντρικές και μετωπικές περιοχές, βήτα ρυθμός κυρίως στις κροταφικές και δεξιά μετωπική περιοχές και σε μικρότερο βαθμό άλφα-1 ρυθμός κεντρικά και πίσω. Στο εικονικό περιβάλλον η δέλτα δραστηριότητα μετατοπίζεται και περιορίζεται στις μετωπικές και κεντρικές περιοχές, ο θήτα ρυθμός ενισχύεται σημαντικά στις προσθιοκεντρικές περιοχές, ο βήτα ρυθμός περιορίζεται στην αριστερή κροταφική περιοχή και ο άλφα-1 υπορυθμός αυξάνει κυρίως κεντρικά.

Συγκρίσεις των δύο περιβαλλόντων βασισμένοι στους χάρτες απόλυτης ισχύος παρουσιάζονται στον πίνακα 9-4 με χρωματική κλίμακα και στο σχήμα 9-21 χωρίς χρωματική κλίμακα αλλά με σύμβολα που υποδηλώνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές.

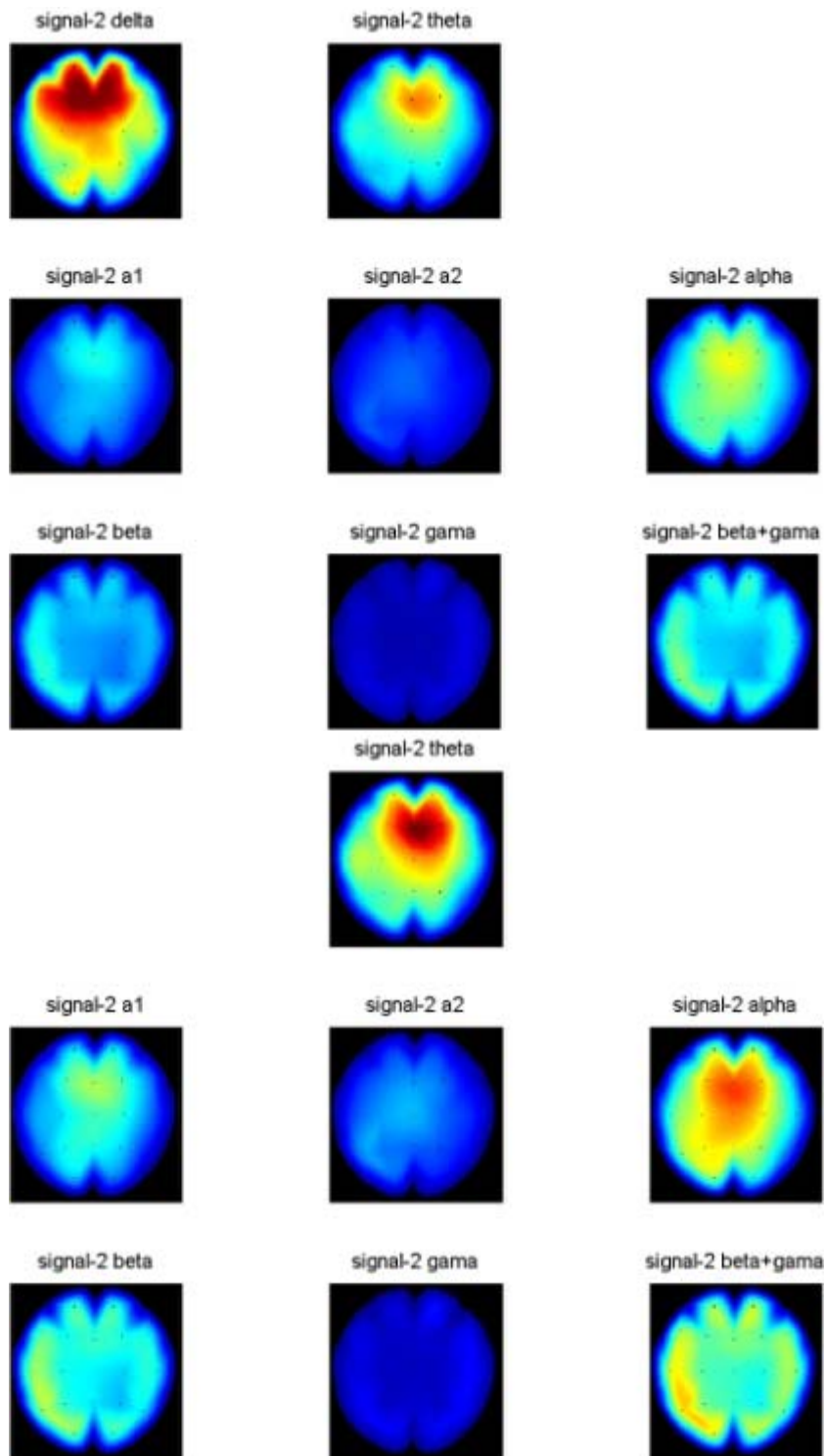


Σχήμα 9-18. Γραφική παράσταση του φάσματος 1 μέχρι 48 Hz για όλα τα ηλεκτρόδια. Η μπλε διακεκομμένη γραμμή αντιστοιχεί στο εικονικό περιβάλλον και η πράσινη στο πραγματικό.

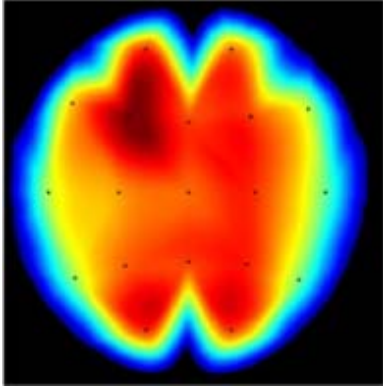
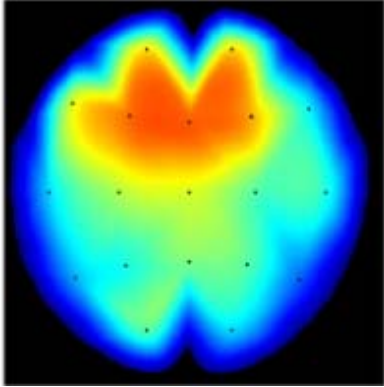
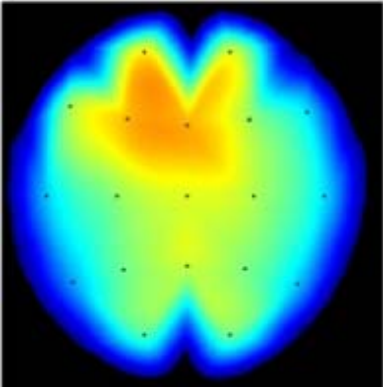
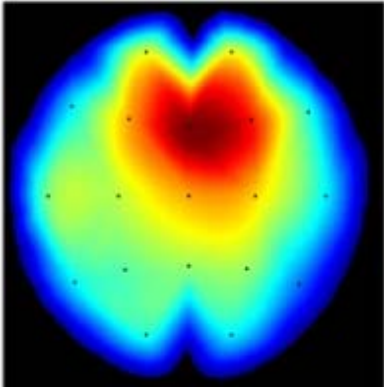
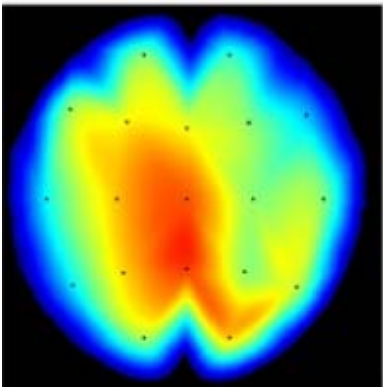
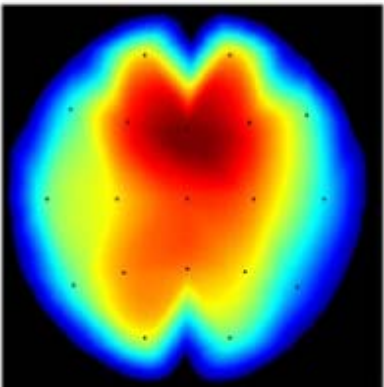


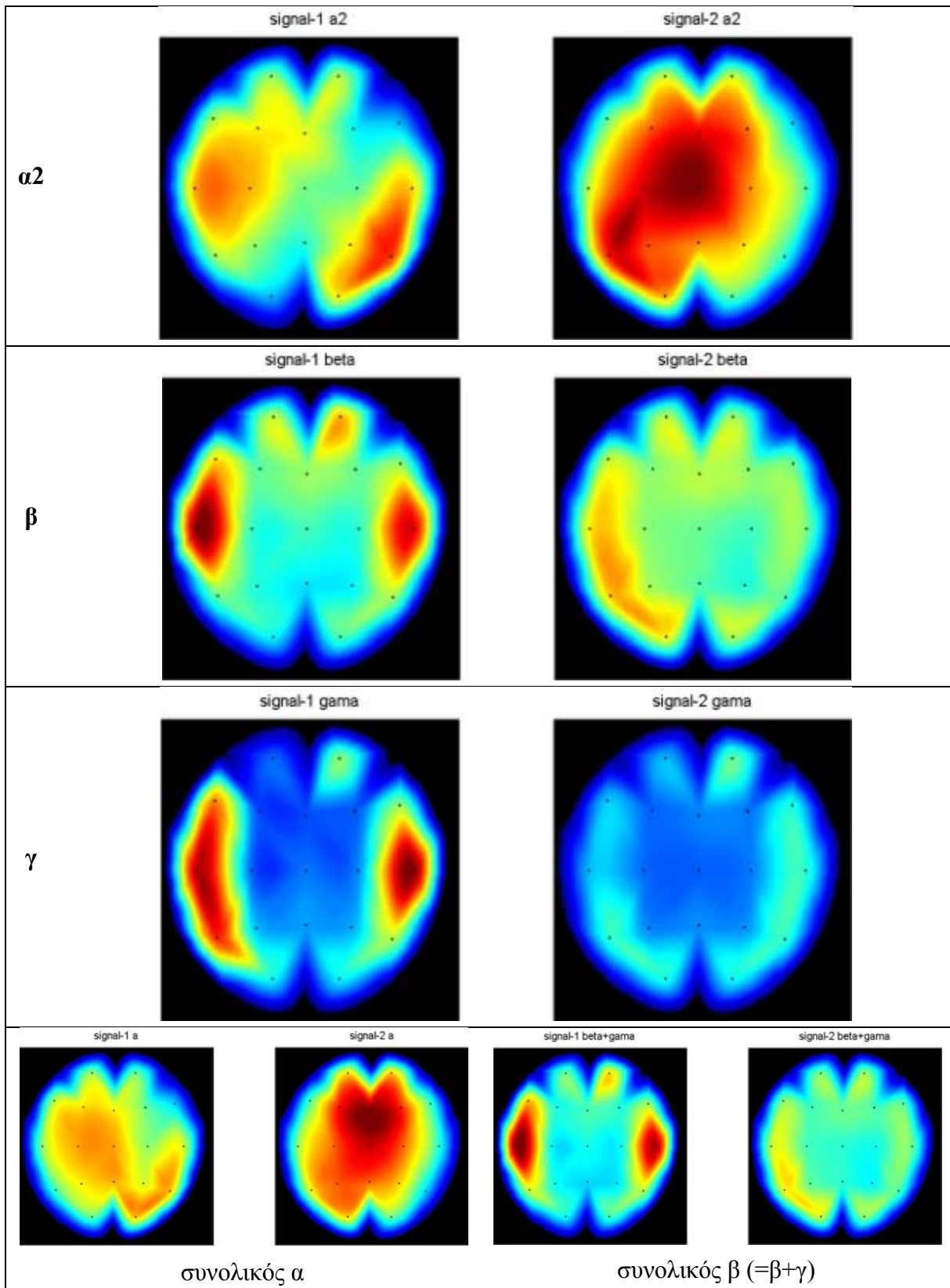


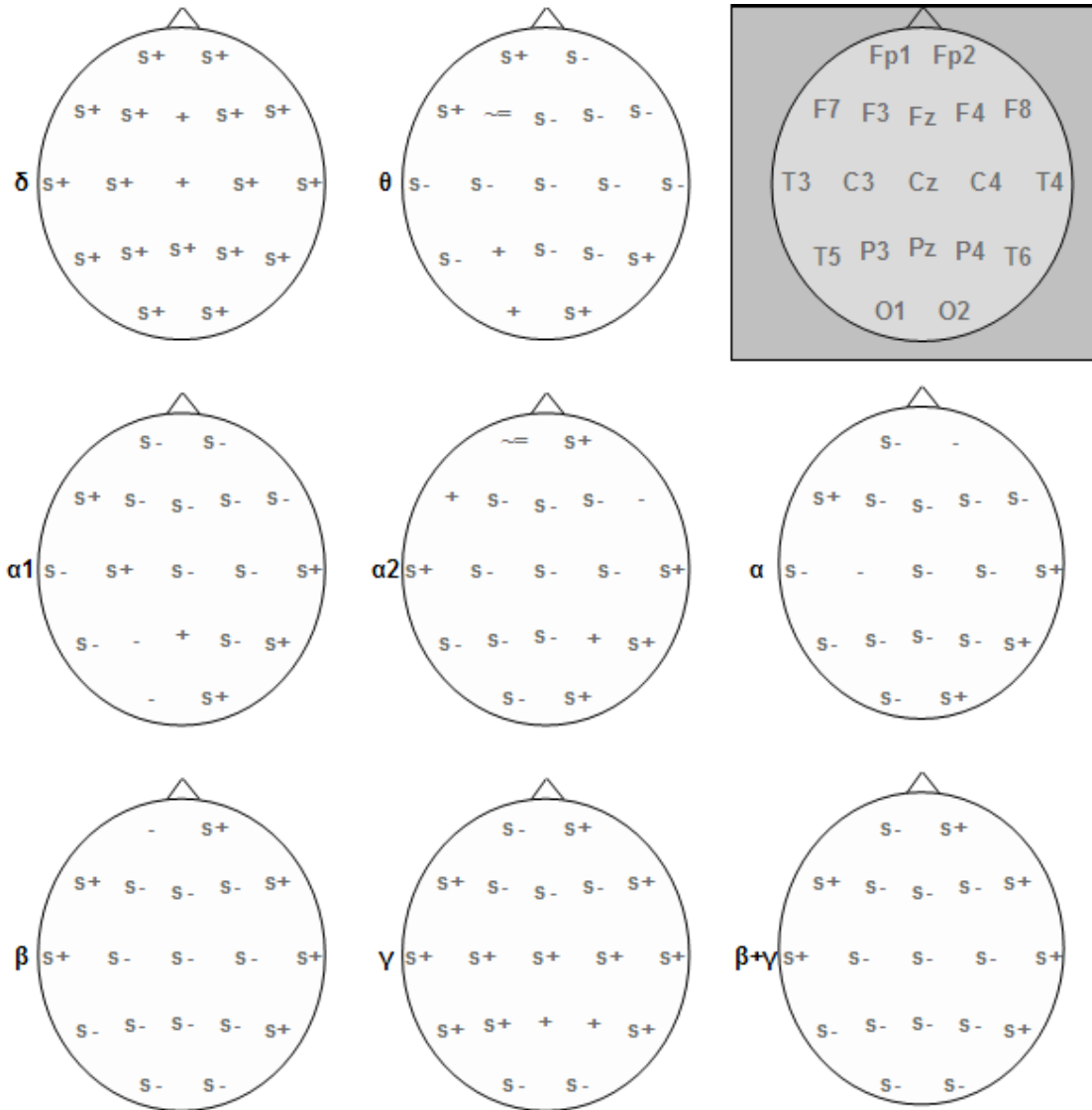
Σχήμα 9-19. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα REAL (πραγματικό περιβάλλον) με δέλτα ρυθμό (άνω) και χωρίς δέλτα (κάτω) για τη διεργασία  $\gamma$ .



Σχήμα 9-20. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα VR (εικονικό περιβάλλον) με δέλτα ρυθμό (άνω) και χωρίς δέλτα (κάτω) για τη διεργασία r.

Πίνακας 9-4. Χάρτες με απόλυτες τιμές ισχύος κατανεμημένες για κάθε ρυθμό σε REAL και VR για τη διεργασία r	
REAL (πραγματικό περιβάλλον)	VR (εικονικό περιβάλλον)
<p><math>\delta</math></p> <p>signal-1 delta</p> 	<p>signal-2 delta</p> 
<p><math>\theta</math></p> <p>signal-1 theta</p> 	<p>signal-2 theta</p> 
<p><math>\alpha 1</math></p> <p>signal-1 a1</p> 	<p>signal-2 a1</p> 





Σχήμα 9-21. Συγκριτική παρουσίαση της απόλυτης ισχύος του πραγματικού και του εικονικού περιβάλλοντος (αφαίρεση τιμών REAL – VR). Τα σύμβολα s+ και s- σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, τα + και - μη στατιστικά σημαντικές διαφορές και το σύμβολο ~ αμελητέες διαφορές. Στο άνω δεξιό γκρι πλαίσιο εικονίζονται σχηματικά οι θέσεις των ηλεκτροδίων (σύστημα 10-20).

Η διεργασία  $r$  περιέχει όπως και η  $h$  αρχικά οπτική εξερεύνηση του περιβάλλοντος χώρου, εύρεση-εντοπισμό ενός αντικειμένου στόχου (ντουλάπια στο πραγματικό περιβάλλον, ράφια στο εικονικό) χωρίς κίνηση των υποκειμένων εκτός από μικρές κινήσεις του κεφαλιού απαραίτητων για την εξερεύνηση του χώρου και καταμέτρηση αντικειμένων. Η διαφορά και δυσκολία σε σχέση με την προηγούμενη διεργασία ( $h$ ) συνίσταται στην αφαιρετική σκέψη που απαιτείται για να σχηματιστούν από τα αντικείμενα-στόχοι νοητά ορθογώνια παραλληλόγραμμα σχήματα. Αναμένουμε ενεργοποίηση οπτικοχωρικών λειτουργιών, αναγνώριση-εντοπισμό αντικειμένου, ενεργοποίηση αφαιρετικής-γεωμετρικής σκέψης και διαδικασίες αρίθμησης-καταμέτρησης.

### *Δέλτα ρυθμός*

Η δέλτα εμφανίζεται υψηλότερη στο πραγματικό περιβάλλον σε όλες τις εγκεφαλικές περιοχές. Η τοπολογία του ρυθμού εμφανίζεται σχεδόν διάχυτη στο πραγματικό περιβάλλον, ενώ στο εικονικό περιορίζεται στις πρόσθιες περιοχές.

Αν δεχθούμε την αντιστρόφως ανάλογη συσχέτιση της δέλτα δραστηριότητας με το φόρτο εργασίας και παρά τις επιφυλάξεις του Scerbo για την αξιοπιστία γενικά των μετρήσεων του δέλτα ρυθμού και ειδικά στις μετωπικές περιοχές στις οποίες εμφανίζεται στην παρούσα διεργασία δέλτα δραστηριότητα κοινή και στα δύο περιβάλλοντα (Scerbo et al. 2001), μπορούμε να ερμηνεύσουμε την διάχυτη παρουσία του ρυθμού στο πραγματικό περιβάλλον ως μειωμένο νοητικό φόρτο στο περιβάλλον αυτό.

### *Θήτα ρυθμός*

Ο θήτα ρυθμός παρά τις διαφορές (με στατιστική σημαντικότητα) στην απόλυτη φασματική ισχύ ανάμεσα στα δύο περιβάλλοντα, εμφανίζει παρόμοια τοπολογία. Ο ρυθμός εντοπίζεται στις πρόσθιες περιοχές με μικρή μετατόπιση προς τα δεξιά στο εικονικό περιβάλλον και προς τα αριστερά στο πραγματικό. Η τοπολογία αυτή είναι τυπική της κατάστασης εγρήγορσης, παρουσιάζεται σε πολλές μελέτες του ρυθμού και συσχετίζεται με αρκετές γνωστικές λειτουργίες. Οι περισσότερες μελέτες για τον θήτα ρυθμό συσχετίζουν αυτές τις περιοχές με προσπάθεια για αύξηση της εγρήγορσης (Caldwell et al. 2003), αύξηση του βαθμού συγκέντρωσης και του νοητικού φόρτου (π.χ. Ishihara & Yoshii 1972, 1973, Schacter 1977, Lang et al. 1988, Gundel & Wilson 1992, Mecklinger et al. 1992, Aftanas & Golocheikine 2001, Burgess & Gruzelier 1997, Gevins et al. 1997, Ishii et al. 1999, Jensen & Tesche 2002, Kahana et al. 1999, Laukka et al. 1995, Lazarev 1998, Mizuki et al. 1982, Pardo et al. 1990, Sasaki et al. 1996, Smith et al. 1999), αύξηση του μνημονικού φόρτου (Wilson et al. 1999, Onton et al. 2005) και ενεργοποίηση γενικά της μνήμης εργασίας (Krause 2006) και ειδικά της χωρικής μνήμης εργασίας (Nishiyama & Yamaguchi 2001). Επιπλέον ο μετωπιαίος θήτα ρυθμός εμφανίζεται σε απλές εργασίες νοερής αριθμητικής και μάλιστα συσχετίζεται και με το βαθμό δυσκολίας της εκτελούμενης δραστηριότητας (Mizuki et al. 1980, 1982, Kahana et al. 1999, Lazarev 1998, Schacter 1977, Laukka et al. 1995).

Επίσης μεγάλη αύξηση στο μετωπιαίο θήτα προκαλούν σύνθετα αισθητηριακά ερεθίσματα (Basar et al. 1999), το οποίο γενικά συμφωνεί με την κυρίαρχη άποψη πως σύνθετα γεγονότα απαιτούν μετωπιαία επεξεργασία. Οι χαμηλές τιμές όμως φασματικής ισχύος του ρυθμού στις ινιακές και βρεγματικές περιοχές και στα δύο περιβάλλοντα υποδηλώνουν μειωμένη επεξεργασία οπτικής πληροφορίας.

### *Άλφα ρυθμός*

Ο άλφα ρυθμός εμφανίζεται γενικά διαφορετικός ανάμεσα στα δύο περιβάλλοντα και ως προς την τοπολογία και στις τιμές απόλυτης φασματικής ισχύος. Στο πραγματικό περιβάλλον παρουσιάζει σχεδόν διάχυτη εξάπλωση που μπορεί να ερμηνευθεί ως μια κατάσταση με μειωμένες γνωστικές απαιτήσεις (π.χ. Glass 1964,

Butler & Glass 1976, Donchin et al. 1977, Gutierrez & Corsi-Cabrera 1988, Nunez 1995, Pfurtscheller 1996, Burgess & Gruzelier 1997, Klimesch et al. 1996, 1997a, 1997b, Klimesch 1997, 1999). Βέβαια η παρουσία της άλφα δραστηριότητας δεν μπορεί μόνη της να αποτελέσει ένδειξη για αδρανοποίηση όλου του φλοιού, παρά μόνο των σχετιζόμενων με την προσοχή συστημάτων (Laufs et al. 2003). Η μελέτη των άλφα υπορυθμών φαίνεται να ενισχύει αυτή την ερμηνεία.

Ο άλφα-1 ρυθμός είναι γενικά διάχυτος και ισχυρότερος στο εικονικό περιβάλλον. Αυτή η κατανομή του ρυθμού συνδέεται με τη γνωστική επεξεργασία και τους μηχανισμούς της νοητικής προσπάθειας (Gremades et al. 2004, Klimesch et al. 1992) και κυρίως (όταν εξαπλώνονται σε ολόκληρο το φλοιό όπως εδώ) με τους διαφορετικούς τύπους απαιτήσεων προσοχής (Jaušovec & Jaušovec 2000, Klimesch 1999). Φαίνεται ότι το εικονικό περιβάλλον γενικά δεν απαιτεί ιδιαίτερη ενεργοποίηση της προσοχής. Ωστόσο, στις ινιακές και κροταφο-βρεγματικές περιοχές του δεξιού ημισφαιρίου το εικονικό περιβάλλον εμφανίζει σημαντικά υψηλότερες τιμές φασματικής ισχύος, κάτι που υπονοεί για το εικονικό περιβάλλον αυξημένη επεξεργασία πρωτογενών οπτικών πληροφοριών και ενεργοποίηση χωρικών διαδικασιών. Παρόμοια αύξηση παρουσιάζει το πραγματικό περιβάλλον στα αριστερά ηλεκτρόδια F7 και C3, τα οποία βρίσκονται πάνω από την περιοχή Broca η οποία ελέγχει την παραγωγή του λόγου και στην οποία δεν περιμένουμε ιδιαίτερη ενεργοποίηση εξαιτίας της μορφής της διεργασίας. Υπάρχει όμως η πιθανότητα οι συμμετέχοντες να χρησιμοποίησαν τον λόγο ως βοηθητική στρατηγική στην προσπάθειά τους να αριθμήσουν και απομνημονεύσουν τα νούμερα.

Παρόμοια ως ένα σημείο παρουσιάζεται η συμπεριφορά του άλφα-2 υπορυθμού. Ο άλφα-2 συνδέεται με την κωδικοποίηση των ερεθισμάτων (Gremades et al. 2004, Klimesch et al. 1992) και ανταποκρίνεται επιλεκτικά στις σημασιολογικές απαιτήσεις της μακροπρόθεσμης μνήμης (Jaušovec & Jaušovec 2000, Klimesch 1999). Το πραγματικό περιβάλλον εμφανίζει αυξημένη ισχύ στις δεξιές πλευρικο-ινιακές περιοχές, κάτι που ερμηνεύεται ως αυξημένη επεξεργασία οπτικής και χωρικής πληροφορίας στο εικονικό περιβάλλον (Gremades et al. 2004, Klimesch et al. 1992).

#### *Βήτα ρυθμός*

Η τοπολογία του βήτα ρυθμού παρουσιάζει μικρή ομοιότητα ανάμεσα στα δύο περιβάλλοντα. Ο ρυθμός εμφανίζεται κυρίως περιφερικά και όχι στο κέντρο. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές της φασματικής ισχύος είναι πολλές και απλώνονται σε όλο το κρανίο. Στο δεξιό ημισφαίριο γενικά υπερισχύει το εικονικό περιβάλλον, κάτι που συνδέεται με αυξημένες χωρικές λειτουργίες στο περιβάλλον αυτό (Kirov et al. 1996, Oken & Salinsky 1992, Markand 1990, Ray & Cole 1985).

Στο εικονικό περιβάλλον ο ρυθμός κατανέμεται περισσότερο περιφερειακά με έμφαση στην αριστερή ινιακο-βρεγματο-κροταφική περιοχή. Αυτή η κατανομή γενικά δε συσχετίζεται με γνωστικό φόρτο. Φαίνεται ότι το εικονικό περιβάλλον δεν παρουσίασε ιδιαίτερες γνωστικές απαιτήσεις. Η σημαντική έμφαση στο αριστερό ημισφαίριο πιθανώς σημαίνει ότι η αριθμητική διαδικασία απαιτεί περισσότερη ενεργοποίηση από την οπτικο-χωρική (Engel & Singer 2001). Η εμπλοκή γλωσσικών

περιοχών του αριστερού ημισφαιρίου είναι πιθανή και στα δύο περιβάλλοντα, συμφωνεί με τη συμπεριφορά της άλφα δραστηριότητας και πιθανώς υπονοεί τη χρήση του λόγου κατά τη διάρκεια της διεργασίας.

#### *Γάμα ρυθμός*

Ο γάμα ρυθμός αναπτύσσεται κυρίως περιφερικά (όπως και ο βήτα), ενώ απουσιάζει από τις κεντρικές περιοχές και στα δύο περιβάλλοντα.

Η δεξιά προμετωπιαία και μετωπική ενεργοποίηση συσχετίζεται τόσο με την οπτική επεξεργασία όσο και με την οπτικοχωρική λειτουργία της μνήμης εργασίας (Gron et al. 2000, Dunbar & Sussman 1995, Jonides et al. 1993, McCarthy et al. 1994, Owen et al. 1990) και επιπλέον με την επιλεκτική προσοχή (Gruber et al. 2006) και τη προσπάθεια διατήρησης της προσοχής. Παρόμοια ενεργοποίηση στις περιοχές αυτές εμφανίζεται και στα δύο περιβάλλοντα, πράγμα αναμενόμενο από τις απαιτήσεις της διεργασίας, αλλά στο πραγματικό περιβάλλον εμφανίζονται αρκετά υψηλότερες τιμές φασματικής ισχύος.

Επίσης, και τα δύο περιβάλλοντα εμφανίζουν έμφαση του ρυθμού στο δεξιό κροταφικό ηλεκτρόδιο T4 το οποίο τοποθετείται πάνω από τη δεξιά κροταφική έλικα. Με δεδομένη την απουσία ακουστικών ερεθισμάτων της διεργασίας, αυτή η ενεργοποίηση πιθανώς να συνδέεται με λειτουργίες υπολογισμού ή επεξεργασίας της απόστασης του παρατηρούμενου αντικειμένου. Εδώ υπερισχύει πάλι το πραγματικό περιβάλλον.

Η παρουσία του ρυθμού στις ινιακές περιοχές είναι σχετικά μικρή, κάτι που συσχετίζεται με μειωμένη συμμετοχή του οπτικού φλοιού. Στο εικονικό όμως περιβάλλον είναι ισχυρότερη (με στατιστική σημαντικότητα) από το πραγματικό. Το ίδιο συμβαίνει και στις μετωπιαίες και προμετωπιαίες περιοχές (με εξαίρεση το ηλεκτρόδιο Fr2). Αυτή η προμετωπιαία και ινιακή αύξηση του ρυθμού στο εικονικό περιβάλλον συσχετίζεται με την οπτική βραχύχρονη μνήμη (Conci et al. 2004) και το μνημονικό φόρτο στη μνήμη εργασίας (Howard et al. 2003). Επιπλέον, η μειωμένη ισχύς του ινιακού γάμα ρυθμού στο πραγματικό περιβάλλον συμφωνεί ως ένα σημείο με τη συμπεριφορά του άλφα ρυθμού και την ερμηνεία για μειωμένη συμμετοχή του οπτικού φλοιού στο περιβάλλον αυτό (λιγότερες οπτικές απαιτήσεις, μεγαλύτερη χαλάρωση). Υπάρχει βέβαια η πιθανότητα η αύξηση του γάμα ρυθμού σε ινιακές περιοχές στο εικονικό κόσμο να συνδέεται με αδυναμία των στεροσκοπικών γυαλιών να αποδώσουν πιστά τις τρεις διαστάσεις του πραγματικού κόσμου (Revnosuo et al. 1997).

Στο πραγματικό περιβάλλον όμως παρατηρούνται σημαντικές διαφορές στις κροταφικές και βρεγματικές περιοχές του αριστερού ημισφαιρίου. Οι αυξήσεις στο γάμα ρυθμό, ειδικά στις βρεγματικές περιοχές, συσχετίζονται με αλλαγές στην προσοχή (Gruber et al. 1999, Shibata et al. 1999, Tallon-Baudry 2004, Basar-Eroglou et al. 1996, Bouyer et al. 1987, Tiitinen et al. 1993, Basar et al. 1996). Φαίνεται ότι στο περιβάλλον αυτό η προσοχή δεν στρέφεται τόσο στην επεξεργασία των πρωτογενών οπτικών πληροφοριών, αλλά σε άλλες λειτουργίες του αριστερού



ημισφαιρίου. Η συμμετοχή της ατρακτοειδούς έλικας, η οποία σχετίζεται και με την αναγνώριση των αριθμών, ίσως σημαίνει ότι στο πραγματικό περιβάλλον πραγματοποιήθηκαν λειτουργίες που μοιάζουν με οπτικοποίηση των αριθμών όσο οι συμμετέχοντες καταμετρούσαν.

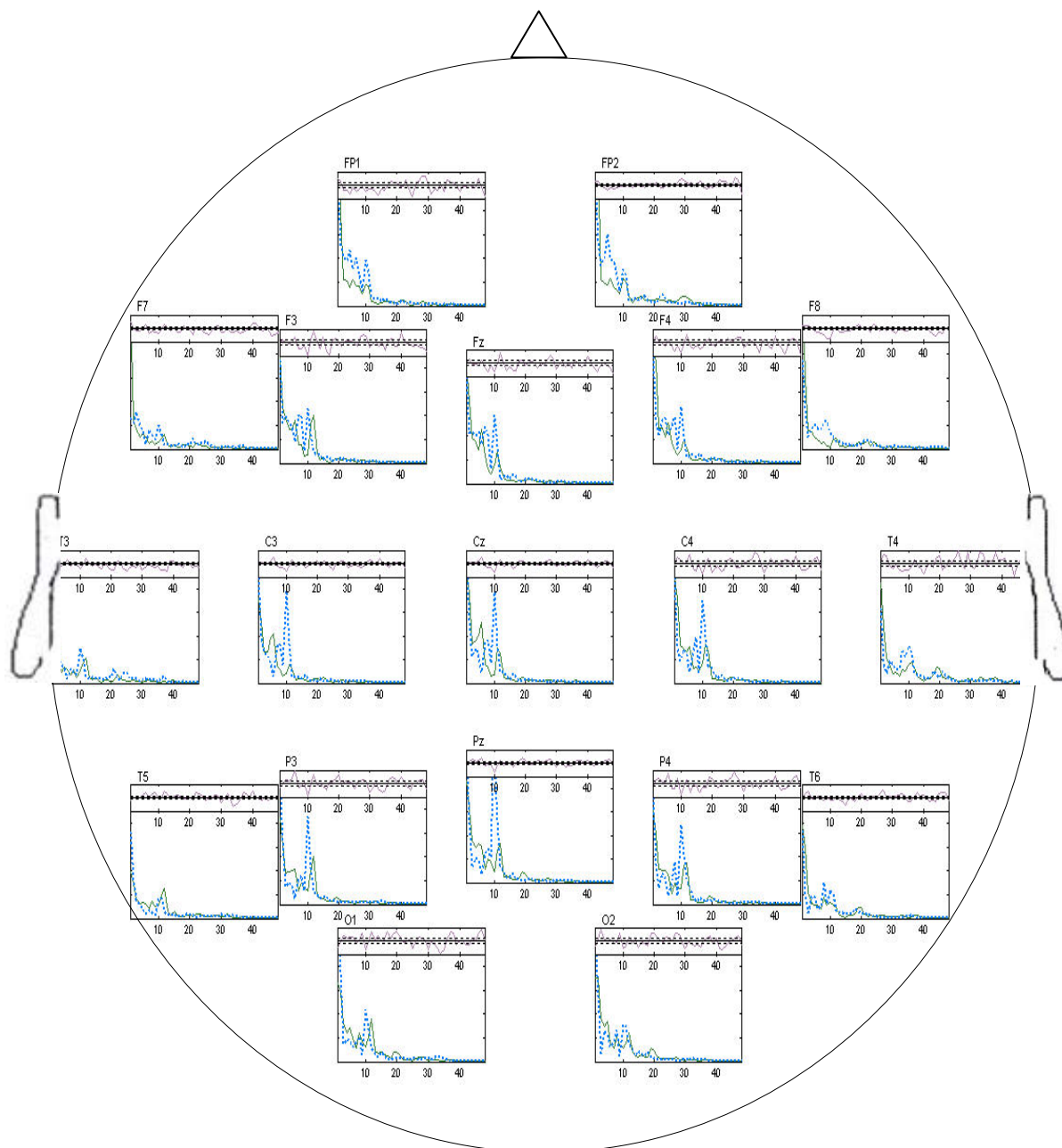
## 9.5 Καταμέτρηση αντικειμένων με υποκειμενική επιλογή

Αυτή η διεργασία εκτός από αναγνώριση και καταμέτρηση αντικειμένων περιλαμβάνει και λειτουργίες κρίσεως βάση των οποίων γίνεται η επιλογή των αντικειμένων - στόχων. Οι συμμετέχοντες καλούνται να παρατηρήσουν το χώρο μπρος στο οπτικό τους πεδίο και με ελάχιστες κινήσεις και νοερή απαρίθμηση να απαντήσουν πόσα κατά την κρίση τους αντικείμενα νέων τεχνολογιών υπήρχαν στο δωμάτιο.

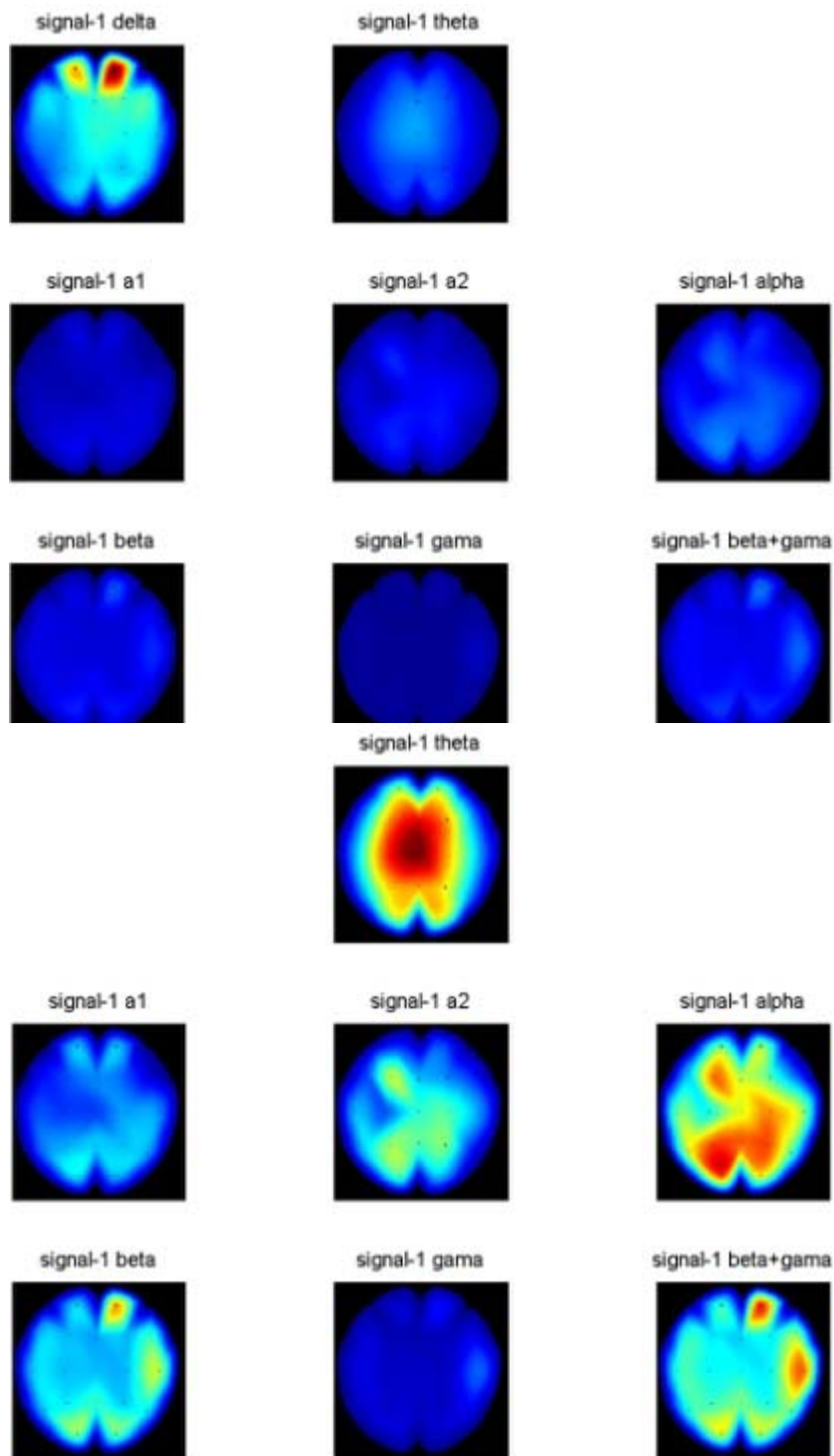
Αριθμός δείγματος μετά την απομάκρυνση των καταγραφών με παράσιτα: 6 υποκείμενα (3 άντρες, 3 γυναίκες).

Στο σχήμα 9-22 εμφανίζονται οι γραφικές παραστάσεις του φάσματος ισχύος για όλα τα ηλεκτρόδια και για τα δύο περιβάλλοντα. Στο σχήμα 9-23 και στο σχήμα 9-24 παρουσιάζονται δύο συνοπτικοί ανεξάρτητοι χρωματικοί χάρτες για το πραγματικό και το εικονικό περιβάλλον αντίστοιχα, στους οποίους φαίνονται οι επικρατούντες ρυθμοί και η τοπολογική τους εξάπλωση.

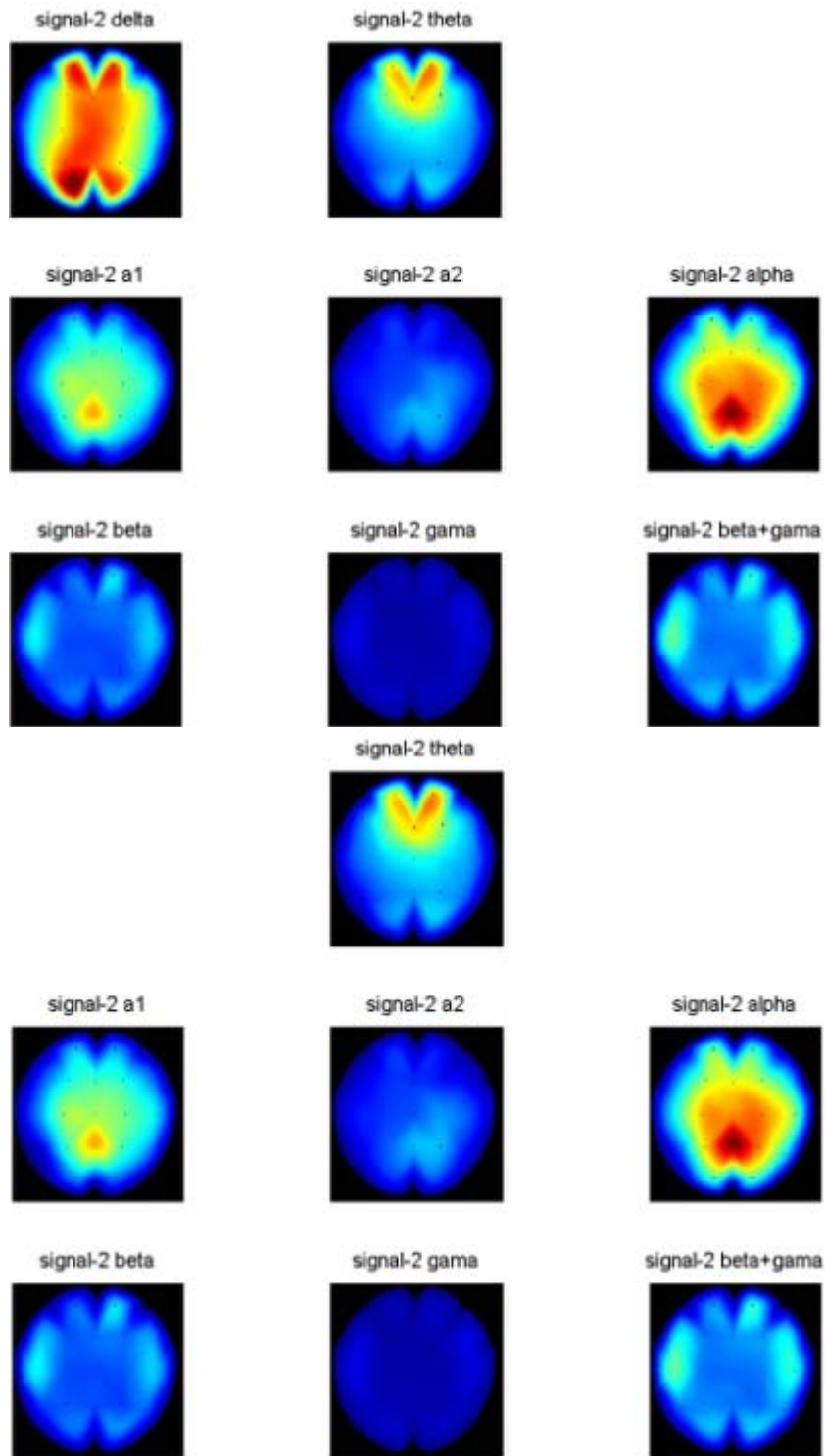
Συγκρίσεις των δύο περιβαλλόντων βασισμένοι στους χάρτες απόλυτης ισχύος παρουσιάζονται στον πίνακα 9-5 με χρωματική κλίμακα και στο σχήμα 9-25 χωρίς χρωματική κλίμακα αλλά με σύμβολα που υποδηλώνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές.



Σχήμα 9-22. Γραφική παράσταση του φάσματος όλων των υποκειμένων με συχνότητες 1 μέχρι 48 Hz για όλα τα ηλεκτρόδια. Η μπλε διακεκομμένη γραμμή αντιστοιχεί στο εικονικό περιβάλλον και η πράσινη στο πραγματικό.

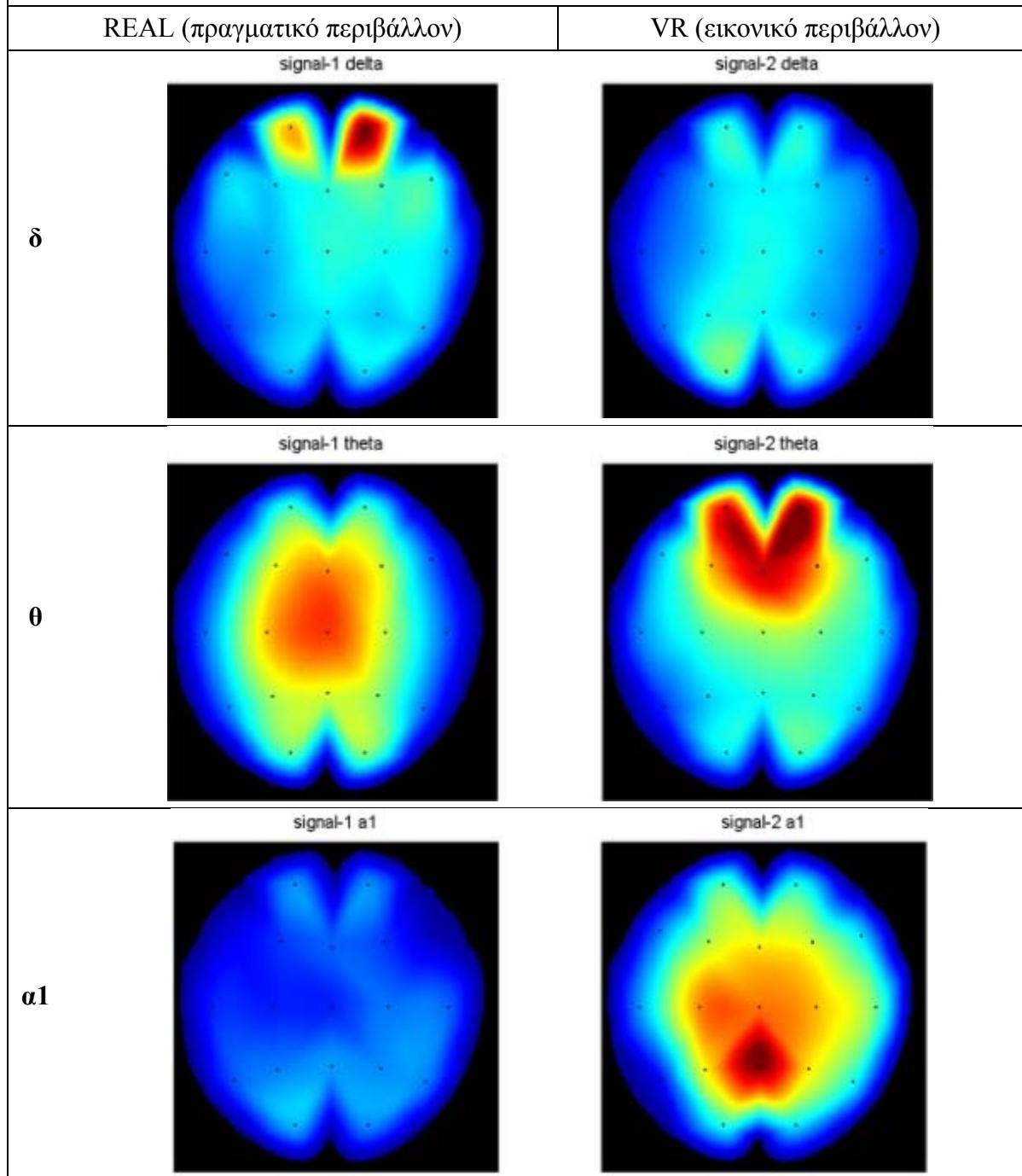


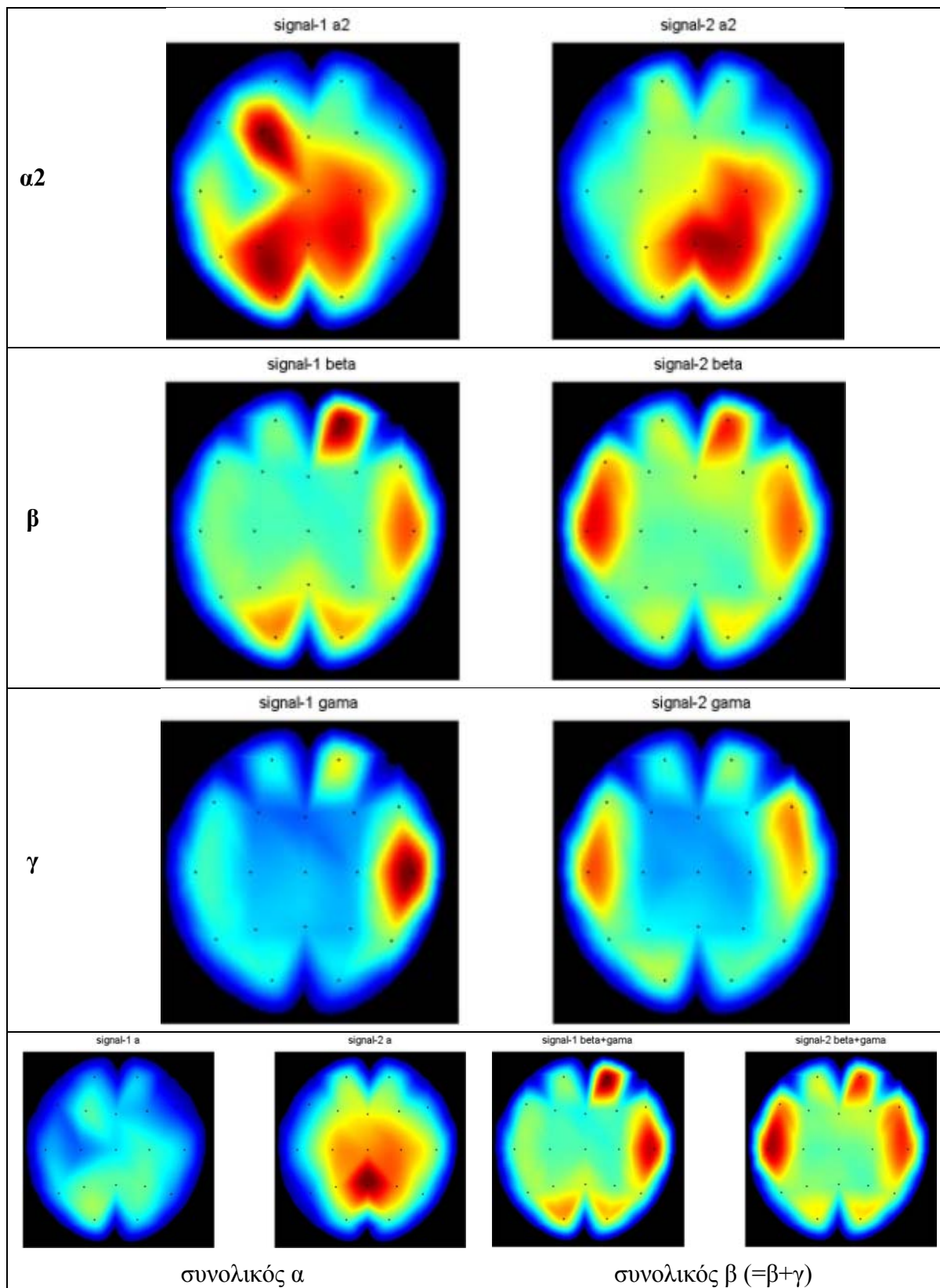
Σχήμα 9-23. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα REAL (πραγματικό περιβάλλον) με δέλτα ρυθμό (άνω) και χωρίς δέλτα (κάτω) για τη διεργασία t.

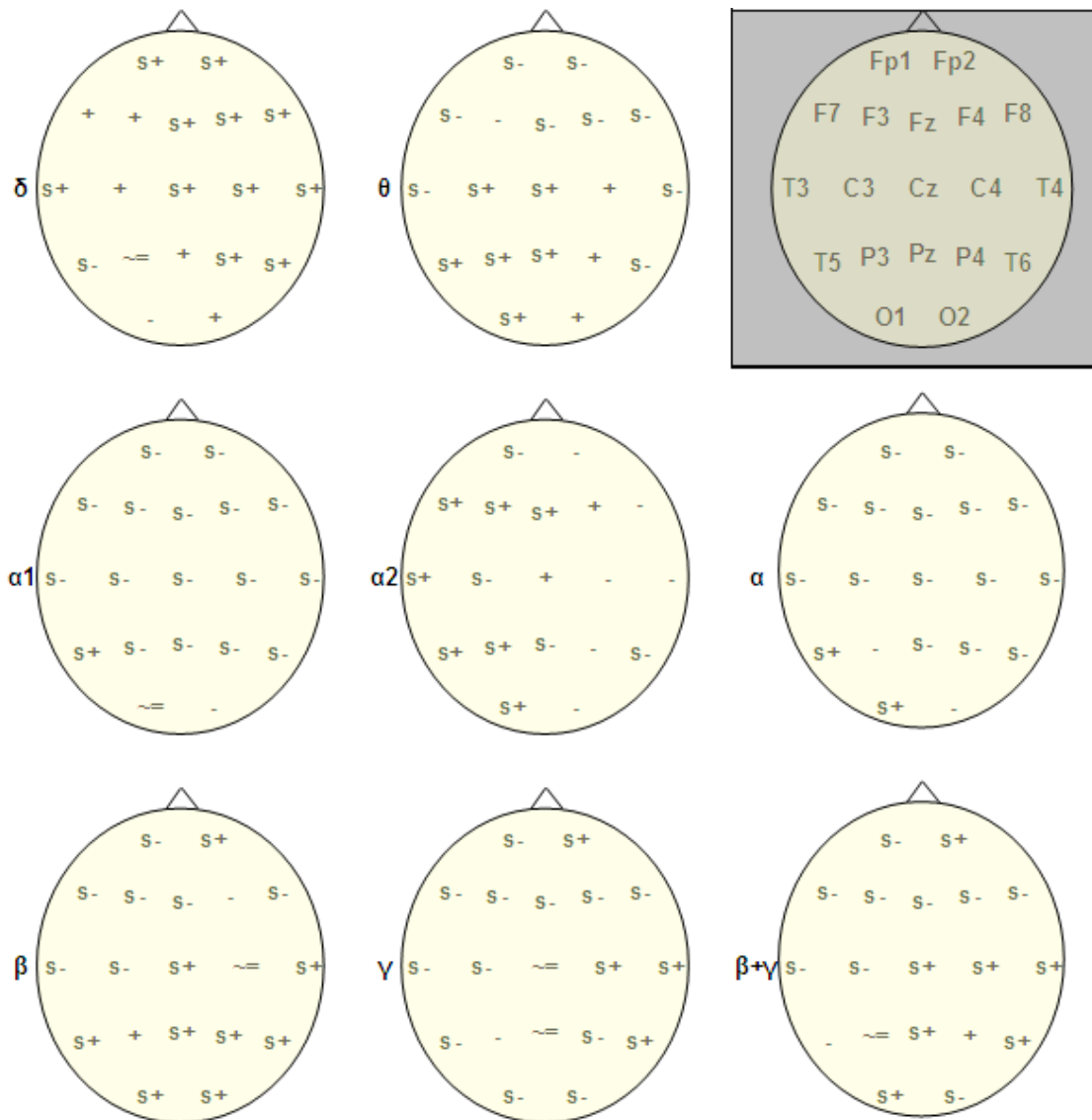


Σχήμα 9-24. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα VR (εικονικό περιβάλλον) με δέλτα ρυθμό (άνω) και χωρίς δέλτα (κάτω) για τη διεργασία t.

Πίνακας 9-5. Χάρτες με απόλυτες τιμές ισχύος κατανεμημένες για κάθε ρυθμό σε REAL και VR για τη διεργασία καταμέτρησης αντικειμένων με υποκειμενική επιλογή







Σχήμα 9-25. Συγκριτική παρουσίαση της απόλυτης ισχύος του πραγματικού και του εικονικού περιβάλλοντος (αφαίρεση τιμών REAL – VR). Τα σύμβολα s+ και s- σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, τα + και – μη στατιστικά σημαντικές διαφορές και το σύμβολο ≈ αμελητέες διαφορές. Στο άνω δεξιό γκρι πλαίσιο εικονίζονται σχηματικά οι θέσεις των ηλεκτροδίων (σύστημα 10-20).

Η διεργασία περιέχει πρωταρχικά απαιτήσεις οπτικής εξερεύνησης του περιβάλλοντος χώρου. Οι συμμετέχοντες απλά παρατηρούν τον χώρο του εργαστηρίου που βρίσκεται μπροστά στο οπτικό τους πεδίο, έτσι ώστε οι κινήσεις της κεφαλής να είναι επιτρεπόμενες αλλά ελάχιστες. Περιμένουμε ενεργοποίηση οπτικοχωρικών λειτουργιών με την έννοια της εξερεύνησης του περιβάλλοντος χώρου, αλλά περισσότερο προσοχή, αναγνώριση και καταμέτρηση αντικειμένων και επιπλέον λειτουργίες κρίσεως με βάση τις οποίες γίνεται η επιλογή των αντικειμένων - στόχων.



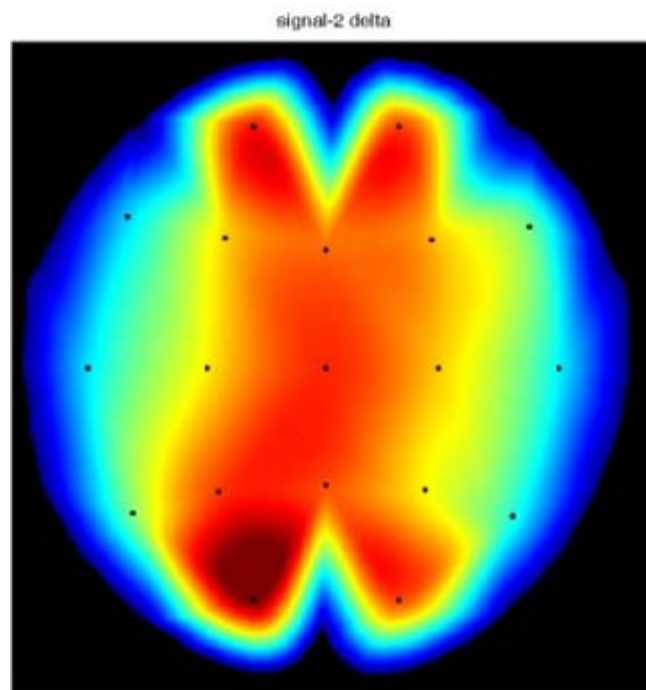
Έγινε προσπάθεια να αγνοηθεί η προετοιμασία της λεκτικής απάντησης επιλέγοντας χρονικό διάστημα 1 sec αμέσως μετά την ερώτηση του εξεταστή και πριν οι συμμετέχοντες απαντήσουν.

Στο πραγματικό περιβάλλον η δέλτα δραστηριότητα περιορίζεται στις μετωπικές περιοχές (κυρίως δεξιά), ο θήτα ρυθμός είναι ισχυρός κεντρικά, ο  $\alpha 2$  εμφανίζει ένταση στις ινιακές και την αριστερή πρόσθια περιοχές, ο βήτα ρυθμός εμφανίζεται στις ινιακές, στις δεξιές κροταφικές και δεξιά μετωπική περιοχές. Επίσης διακρίνεται ασθενής ινιακή, μετωπική και δεξιά βρεγματική άλφα-1 δραστηριότητα.

Στο εικονικό περιβάλλον ο δέλτα ρυθμός ενισχύεται και στις κεντρικές και ινιακές περιοχές, ο θήτα μετατοπίζεται και ενισχύεται στις πρόσθιες μετωπικές περιοχές, ο  $\alpha 2$  και ο βήτα υποβαθμίζονται, ενώ εμφανίζεται άλφα-1 υπορυθμός στην βρεγματο-ινιακή περιοχή.

#### *Δέλτα ρυθμός*

Η δέλτα δραστηριότητα όπως φαίνεται στον πίνακα 9-5 (δ) και στο σχήμα 9-26 εμφανίζεται αρκετά διαφορετική ανάμεσα στα δύο περιβάλλοντα. Στο πραγματικό περιβάλλον ο ρυθμός είναι ισχυρότερος στα περισσότερα ηλεκτρόδια και εντοπισμένος στις προμετωπιαίες περιοχές, κυρίως δεξιά. Σύμφωνα με τον ισχυρισμό του Scerbo και των συνεργατών του (2001) ότι ο δέλτα ρυθμός σχετίζεται αντιστρόφως ανάλογα με το φόρτο εργασίας, φαίνεται ότι το πραγματικό περιβάλλον είχε λιγότερες νοητικές απαιτήσεις από το εικονικό.



Σχήμα 9-26. Χρωματικός χάρτης απόλυτης ισχύος του δέλτα ρυθμού στο εικονικό περιβάλλον.

Το σχήμα 9-26 παρουσιάζει την τοπολογική εξάπλωση του δέλτα ρυθμού στο εικονικό περιβάλλον, χωρίς κοινή χρωματική κλίμακα με το πραγματικό περιβάλλον

για να μην υποβαθμίζονται οι χρωματικές διαβαθμίσεις όπως στον πίνακα 9-5 (δ). Έτσι αναδεικνύεται η εξάπλωση του ρυθμού σε μετωπικές και κεντρικές περιοχές της μέσης γραμμής, καθώς και σε ινιακές και αριστερές ινιακο-βρεγματικές.

Σε έρευνες με προκλητά δυναμικά, η δέλτα δραστηριότητα που εμφανίζεται σε φυσιολογικά άτομα κατά τη φάση της εγρήγορσης, συσχετίζεται με ανίχνευση σήματος και λήψη αποφάσεων (Basar et al. 1999). Έτσι η μετωπιαία δραστηριότητα που παρατηρείται και στα δύο περιβάλλοντα πιθανώς υπονοεί αυξημένες απαιτήσεις της μνήμης εργασίας και προσπάθεια για κατηγοριοποίηση των οπτικών ερεθισμάτων (αντικείμενο νέας τεχνολογίας ή όχι). Στην ίδια υπόθεση συνηγορεί και η άποψη του Onton και των συνεργατών του (2005), που συσχετίζουν την αύξηση στην μετωπιαία περιοχή της μέσης γραμμής στη συχνότητα των 3 Hz με μια πιθανή γενική απάντηση εστίασης στην μετωπιαία περιοχή της μέσης γραμμής του φλοιού στα αισθητήρια ερεθίσματα που παρέχουν τις ενδεχομένως σημαντικές πληροφορίες.

#### *Θήτα ρυθμός*

Ο ρυθμός εμφανίζεται εντοπισμένος και στα δύο περιβάλλοντα, αλλά σε διαφορετικές εγκεφαλικές περιοχές: κεντρικές για το πραγματικό περιβάλλον και προμετωπιαίες για το εικονικό. Η συμμετοχή οπίσθιων και ινιακών περιοχών είναι περιορισμένη. Φαίνεται ότι και στα δύο περιβάλλοντα οι εγκεφαλικές λειτουργίες που κυριάρχησαν δεν αφορούσαν στην επεξεργασία οπτικών αισθητηριακών πληροφοριών.

Η μετωπιαία και μετωπική της μέσης γραμμής ενεργοποίηση που παρατηρείται στο εικονικό περιβάλλον συσχετίζεται γενικά με επεξεργασία σύνθετων αισθητηριακών ερεθισμάτων (Basar et al. 1999), με αύξηση του νοητικού και μνημονικού φόρτου (Schacter 1977, Lang et al. 1988, Gundel & Wilson 1992, Mecklinger et al. 1992, Wilson et al. 1999, Onton et al. 2005, Mecklinger et al. 1992), με αύξηση της δυσκολίας (Mizuki et al. 1980, Kahana et al. 1999, Lazarev 1998, Schacter 1977, Laukka et al. 1995), με ένταση της προσοχής (Ishihara & Yoshii 1972), με νοερή αριθμητική (Mizuki et al. 1980, 1982), με προσπάθεια για αύξηση της εγρήγορσης (Caldwell et al. 2003) και αύξηση του βαθμού συγκέντρωσης (Ishihara & Yoshii 1973). Αν συνυπολογίσουμε τις υψηλότερες τιμές φασματικής ισχύος που παρατηρούνται σε αυτές τις εγκεφαλικές περιοχές στο εικονικό περιβάλλον (σχήμα 9-25 θ), μπορούμε να υποθέσουμε ότι στο περιβάλλον αυτό υπήρξε αυξημένη ενεργοποίηση των εγκεφαλικών λειτουργιών που προαναφέρθηκαν.

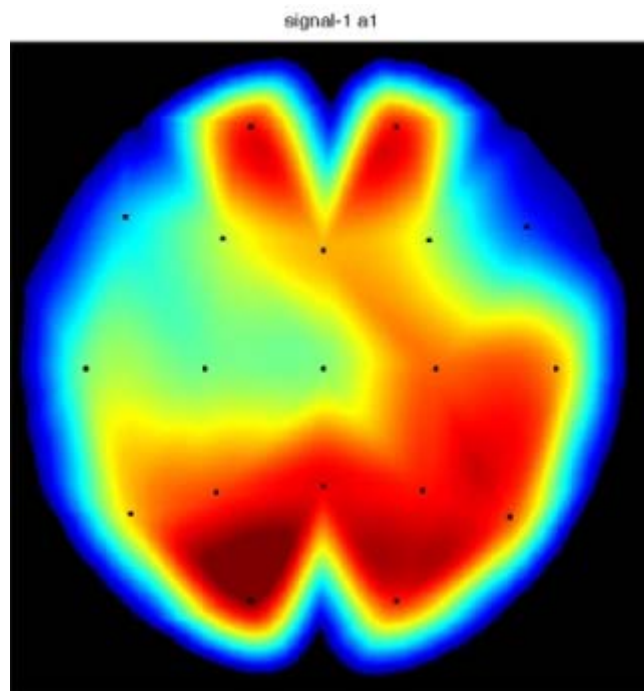
Το πραγματικό περιβάλλον εμφανίζει υψηλότερες τιμές σε αριστερές ινιακο-βρεγματικές περιοχές. Φαίνεται ότι απαιτήθηκε μεγαλύτερη επεξεργασία πρωτογενών και συνειρμικών οπτικών πληροφοριών.

#### *Άλφα ρυθμός*

Ο άλφα ρυθμός είναι υψηλότερος στο εικονικό περιβάλλον σχεδόν σε όλα τα ηλεκτρόδια. Αυτό σύμφωνα με πολλές έρευνες που συσχετίζουν τη φασματική ισχύ του άλφα ρυθμού με τη νοητική προσπάθεια γενικά, με αντιστρόφως ανάλογο τρόπο (π.χ. Glass 1964, Butler & Glass 1976, Donchin et al. 1977, Gutierrez & Corsi-

Cabrera 1988, Nunez 1995, Pfurtscheller 1996, Burgess & Gruzelier 1997, Klimesch et al. 1996, 1997a, 1997b, Klimesch 1997, 1999) ερμηνεύεται ως μεγαλύτερη γενικά νοητική προσπάθεια στο πραγματικό περιβάλλον.

Στο ίδιο συμπέρασμα οδηγούν και οι παρατηρήσεις του άλφα-1 υπορυθμού, ο οποίος είναι υψηλότερος στο εικονικό περιβάλλον σχεδόν σε ολόκληρο το κρανίο. Βέβαια υπάρχει και η πιθανότητα αυτή η μεγάλη φασματική ισχύς που παρατηρείται στο εικονικό περιβάλλον να υπονοεί την προσπάθεια των συμμετεχόντων να αυξήσουν την προσοχή και την επαγρύπνησή τους ώστε να αυξήσουν τη νοητική τους απόδοση.



Σχήμα 9-27. Χρωματικός χάρτης απόλυτης ισχύος του άλφα-1 υπορυθμού στο πραγματικό περιβάλλον.

Η τοπολογία του άλφα-1 ρυθμού εικονίζεται στον πίνακα 9-5 και στο σχήμα 9-10. Παρατηρούμε ότι στο εικονικό περιβάλλον ο ρυθμός εντοπίζεται σε κεντρικο-βρεγματικές περιοχές, ενώ στο πραγματικό εξαπλώνεται και σε ινιακές, προμετωπικές και δεξιές κροταφικές περιοχές. Γενικά και στα δύο περιβάλλοντα ο άλφα-1 ρυθμός καταγράφει χαμηλές τιμές φασματικής ισχύος σε προμετωπικές και μετωπικές περιοχές, πράγμα που συσχετίζεται με αυξημένη νοητική δραστηριότητα και απαιτήσεις προσοχής στον προμετωπιαίο φλοιό που εμπλέκεται στον έλεγχο των σκέψεων και των ενεργειών του ατόμου (Petrides et al. 1993, Andreasen et al. 1992) και στον μετωπιαίο που συσχετίζεται με τη λειτουργία της μνήμης εργασίας (Dunbar & Sussman 1995). Φαίνεται δηλαδή ότι η προσοχή των υποκειμένων στράφηκε περισσότερο σε αυτές τις εγκεφαλικές περιοχές και όχι στην επεξεργασία πρωτογενών και συνειρμικών οπτικών δεδομένων, με το πραγματικό περιβάλλον να δείχνει πιο ενεργητικό από το εικονικό σε αυτές τις επεξεργασίες.

Ο άλφα-2 ρυθμός εμφανίζεται και στα δύο περιβάλλοντα σε οπίσθιες περιοχές, ενώ σχεδόν απουσιάζει από τις πρόσθιες και κεντρικές. Η παρατήρηση αυτή συμφωνεί με τη συμπεριφορά του άλφα-1 ρυθμού για αυξημένη ενεργοποίηση του προμετωπιαίου και του μετωπιαίου φλοιού και εκτός από τη λειτουργία της προσοχής πιθανώς εμπλέκει σημασιολογικές λειτουργίες της μακροπρόθεσμης μνήμης (Klimesh 1999, Jaušovec & Jaušovec 2000).

Συγκριτικά με το εικονικό περιβάλλον, το πραγματικό παρουσιάζει υψηλότερη άλφα-2 ισχύ στο αριστερό ημισφαίριο (εκτός από το προμετωπιαίο ηλεκτρόδιο Fp1 και το κεντρικό C3), που ισοδυναμεί με μειωμένη νοητική προσπάθεια σε λειτουργίες του αριστερού ημισφαιρίου. Φαίνεται ότι το πραγματικό περιβάλλον ήταν λιγότερο ενεργητικό από το εικονικό σε απαιτήσεις επιλογής και καταμέτρησης των αντικειμένων που πληρούσαν τα κριτήρια της διεργασίας.

#### *Βήτα ρυθμός*

Η τοπολογία του βήτα ρυθμού έχει αρκετές ομοιότητες ανάμεσα στα δύο περιβάλλοντα. Απουσιάζει από τις κεντρικές περιοχές και παρουσιάζει έμφαση σε δεξιά προμετωπική, δεξιά κροταφική και ινιακές περιοχές, ενώ διαφέρει στην αριστερή κροταφική περιοχή. Η προμετωπιαία εμφάνιση του ρυθμού συσχετίζεται γενικά με αυξημένη νοητική δραστηριότητα (Macaulay & Edmonds 2004, Kirov Warsawskaaya, & Voynov 1996, Oken & Salinsky 1992, Markand 1990, Ray & Cole 1985) και επειδή εντοπίζεται στο δεξιό ημισφαίριο πιθανώς εμπλέκονται περισσότερο χωρικές λειτουργίες, με πιθανή αύξηση του άγχους και μείωση του βαθμού χαλάρωσης (Jacobs et al. 1996, Field et al. 1996, Oken & Salinsky 1992, Markand 1990, Mundy-Castle 1951, Petruzzello & Landers 1994), ενώ η ινιακή δραστηριότητα υπονοεί την επεξεργασία οπτικών πληροφοριών.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η εμφάνιση του ρυθμού στις κροταφικές περιοχές, η οποία με δεδομένη την απουσία ακουστικών ερεθισμάτων δεν είναι εύκολο να ερμηνευθεί. Στο εικονικό περιβάλλον επεκτείνεται κροταφο-μετωπικές περιοχές και των δύο ημισφαιρίων, ενώ στο πραγματικό περιορίζεται μόνο στη δεξιά κροταφική περιοχή.

#### *Γάμα ρυθμός*

Ο γάμα ρυθμός, όπως και ο βήτα, απουσιάζει από τις κεντρικές περιοχές του φλοιού και αναπτύσσεται περιφερειακά. Και εδώ εμπλέκονται κυρίως κροταφικές περιοχές και σε μικρότερο βαθμό η δεξιά προμετωπιαία και οι ινιακές. Η αυξημένη ύπαρξη του ρυθμού στις κροταφικές περιοχές (όπως και στο βήτα ρυθμό) δεν είναι εύκολο να ερμηνευθεί στην παρούσα διεργασία που απουσίαζαν τα ακουστικά ερεθίσματα. Η ασθενής παρουσία του ρυθμού στη δεξιά προμετωπιαία περιοχή μπορεί να υπονοεί την επιλεκτική προσοχή με χωρικές απαιτήσεις (Gruber et al. 2006) και σε συνδυασμό με την κροταφική έμφαση πιθανώς υπονοεί τη λειτουργία της βραχύχρονης μνήμης (Tallon-Baudry & Bertrand 1999).

Οι διαφορές στη φασματική ισχύ του ρυθμού είναι αρκετές, αλλά δεν είναι εύκολο σύμφωνα με την υπάρχουσα βιβλιογραφία να συσχετιστούν με γνωστικές

διαδικασίες. Το πραγματικό περιβάλλον παρουσιάζει υψηλότερη φασματική ισχύ στην δεξιά προμετωπική και στις δεξιές κροταφο-βρεγματικές περιοχές, ενώ σε όλες σχεδόν τις υπόλοιπες περιοχές του φλοιού υπερέχει το εικονικό. Η ταυτόχρονη εμφάνιση του ρυθμού σε προμετωπικές και ινιακές περιοχές στο εικονικό περιβάλλον είναι δυνατό να συσχετιστεί με τη λειτουργία της οπτικής βραχύχρονης μνήμης (Conci et al. 2004), ενώ η δεξιά κροταφική υπεροχή του πραγματικού περιβάλλοντος θα μπορούσε να υπονοεί συναισθηματικές λειτουργίες (Müller et al. 2000) που μπορούν να δικαιολογηθούν από μια κατάσταση αυξημένου άγχους.

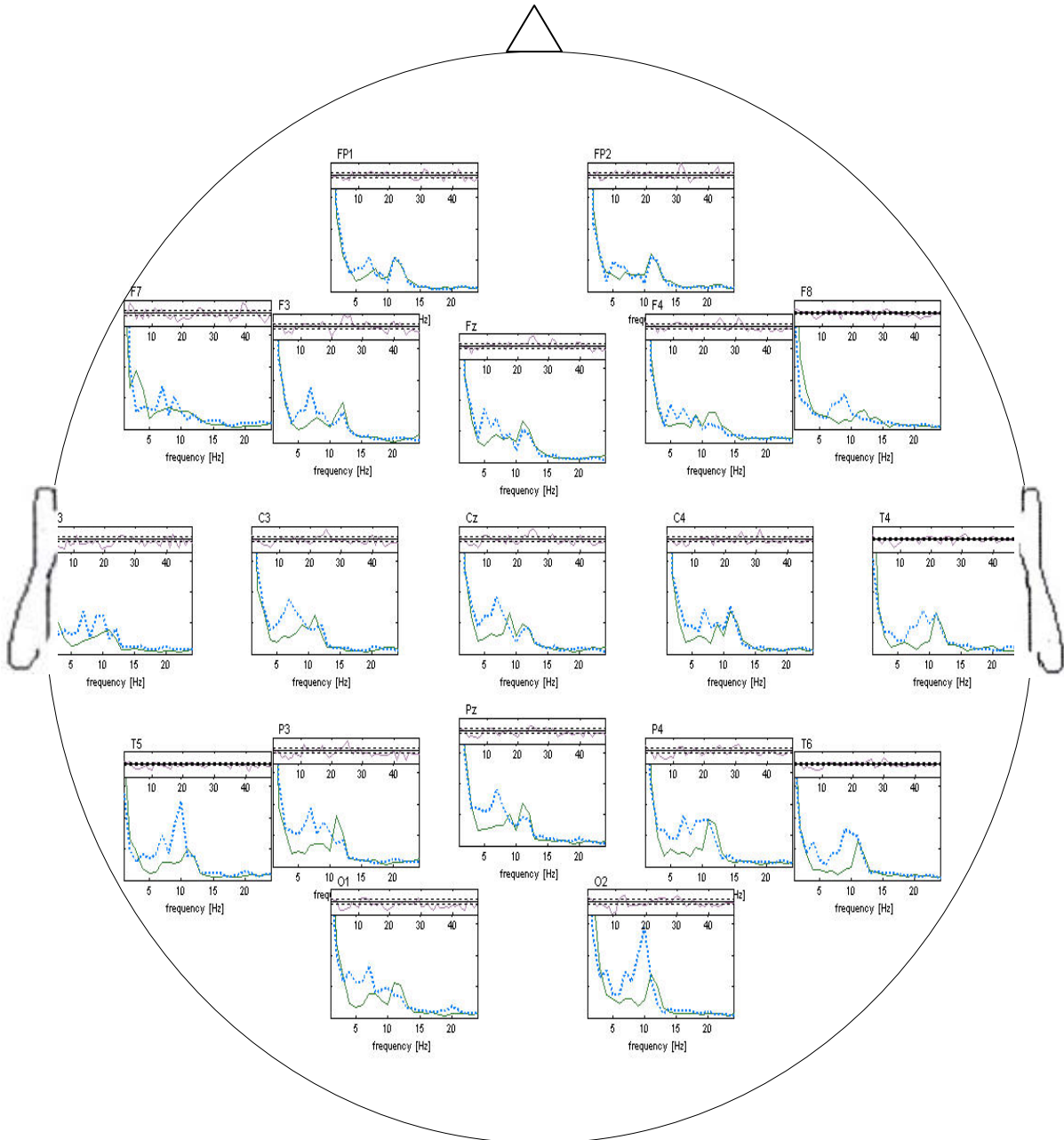
## 9.6 Οπτική-Λεκτική διεργασία

Στη διεργασία αυτή παρουσιάζεται στους συμμετέχοντες ένα περιβάλλον με τέσσερα αιωρούμενα γράμματα στο κέντρο περίπου του οπτικού τους πεδίου. Δεν υπάρχει καμία ερώτηση ή άλλους είδους παρεμβολή από τον εξεταστή. Το χρονικό διάστημα που αναλύεται είναι το πρώτο δευτερόλεπτο από τη στιγμή που οι συμμετέχοντες ανοίγουν τα μάτια τους και αντικρίζουν το περιβάλλον.

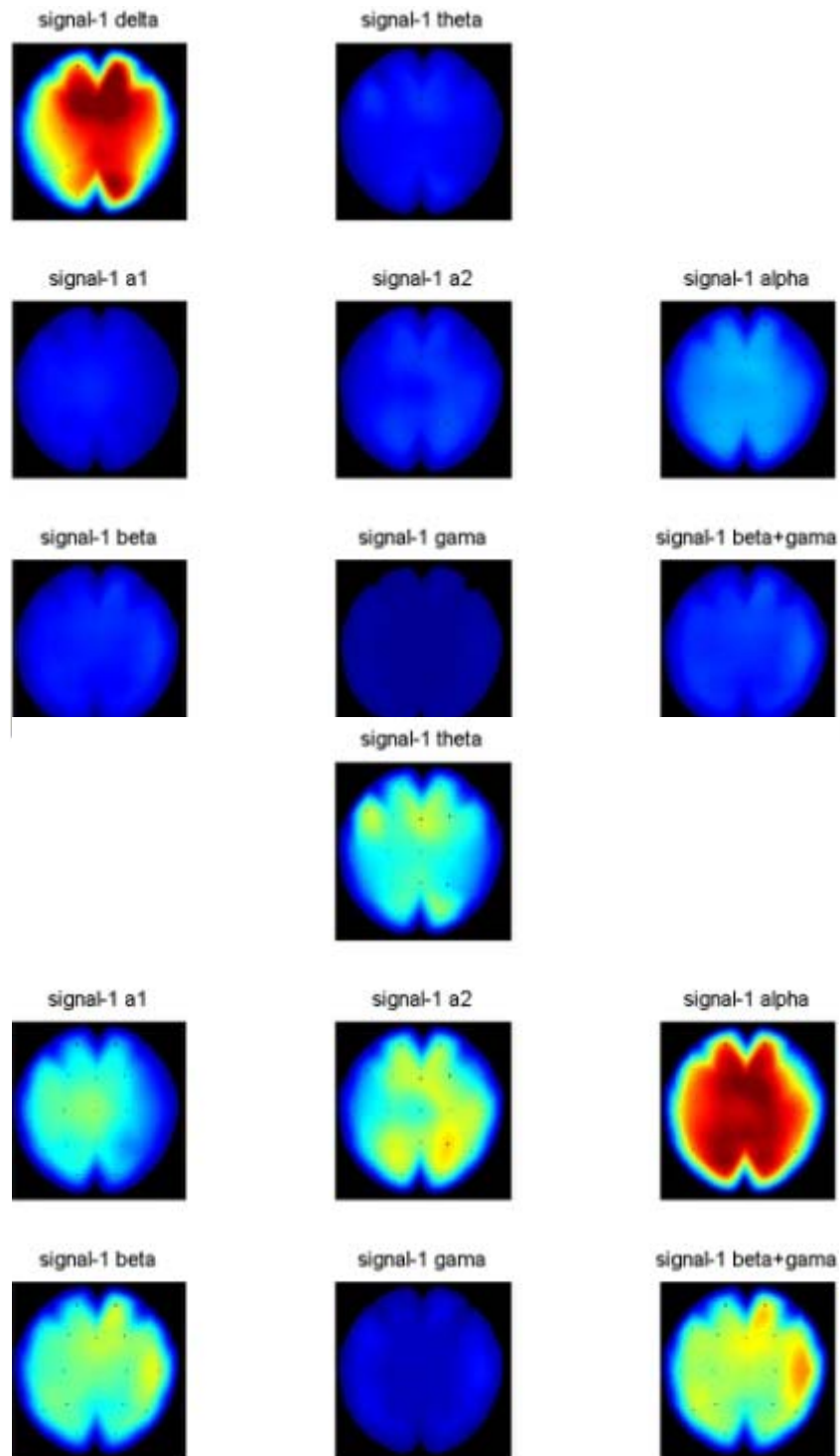
Αριθμός δείγματος μετά την απομάκρυνση των καταγραφών με παράσιτα: 12 υποκείμενα (6 άντρες, 6 γυναίκες).

Στο σχήμα 9-28 εμφανίζονται οι γραφικές παραστάσεις του φάσματος ισχύος για όλα τα ηλεκτρόδια και για τα δύο περιβάλλοντα. Στο σχήμα 9-29 και στο σχήμα 9-30 παρουσιάζονται δύο συνοπτικοί ανεξάρτητοι χρωματικοί χάρτες για το πραγματικό και το εικονικό περιβάλλον αντίστοιχα, στους οποίους φαίνονται οι επικρατούντες ρυθμοί και η τοπολογική τους εξάπλωση.

Συγκρίσεις των δύο περιβαλλόντων βασιζόμενοι στους χάρτες απόλυτης ισχύος παρουσιάζονται στον πίνακα 9-6 με χρωματική κλίμακα και στο σχήμα 9-31 χωρίς χρωματική κλίμακα αλλά με σύμβολα που υποδηλώνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές.

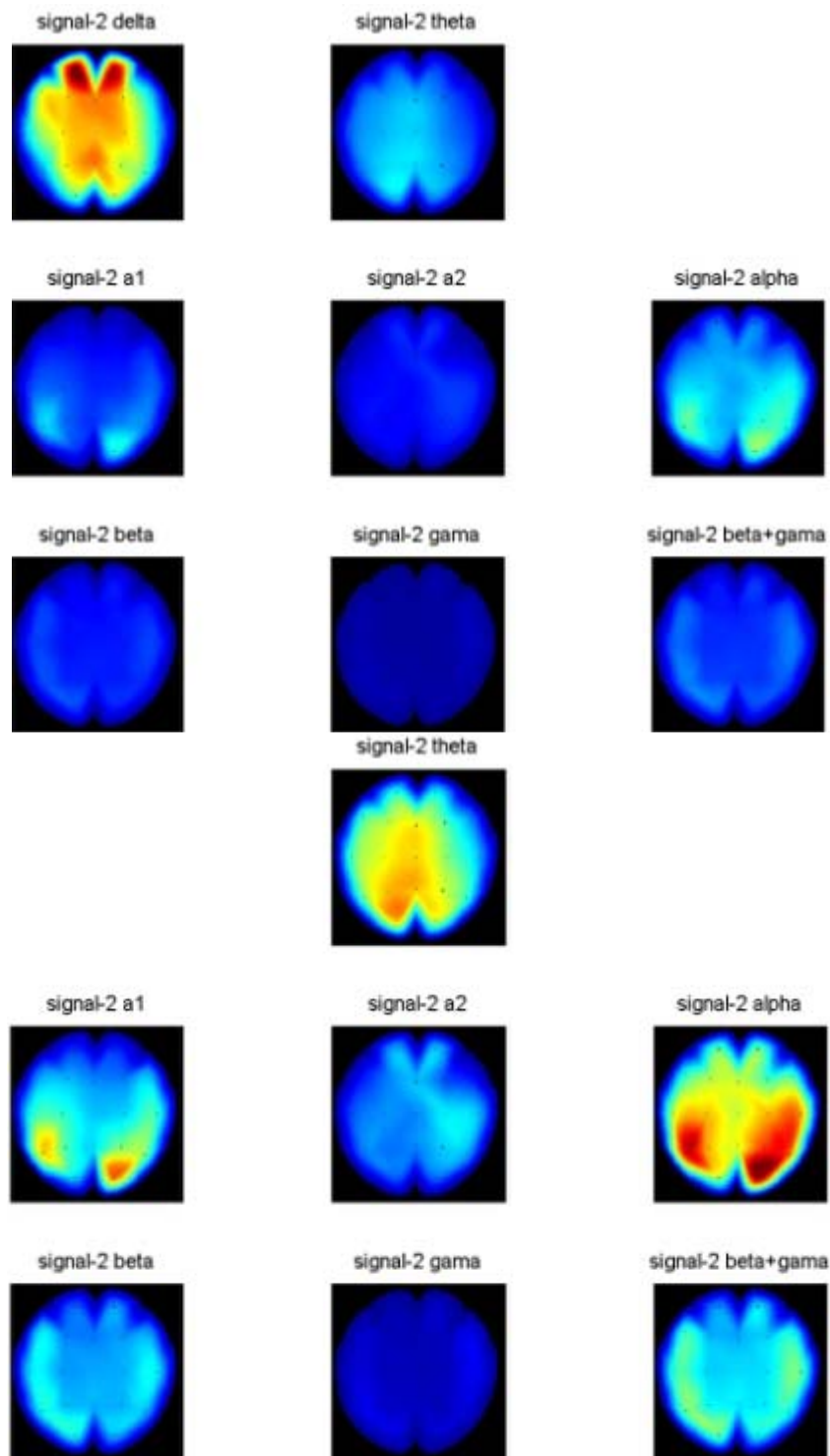


Σχήμα 9-28. Γραφική παράσταση του φάσματος όλων των υποκειμένων με συχνότητες 1 μέχρι 48 Hz για όλα τα ηλεκτρόδια. Η μπλε διακεκομμένη γραμμή αντιστοιχεί στο εικονικό περιβάλλον και η πράσινη στο πραγματικό.



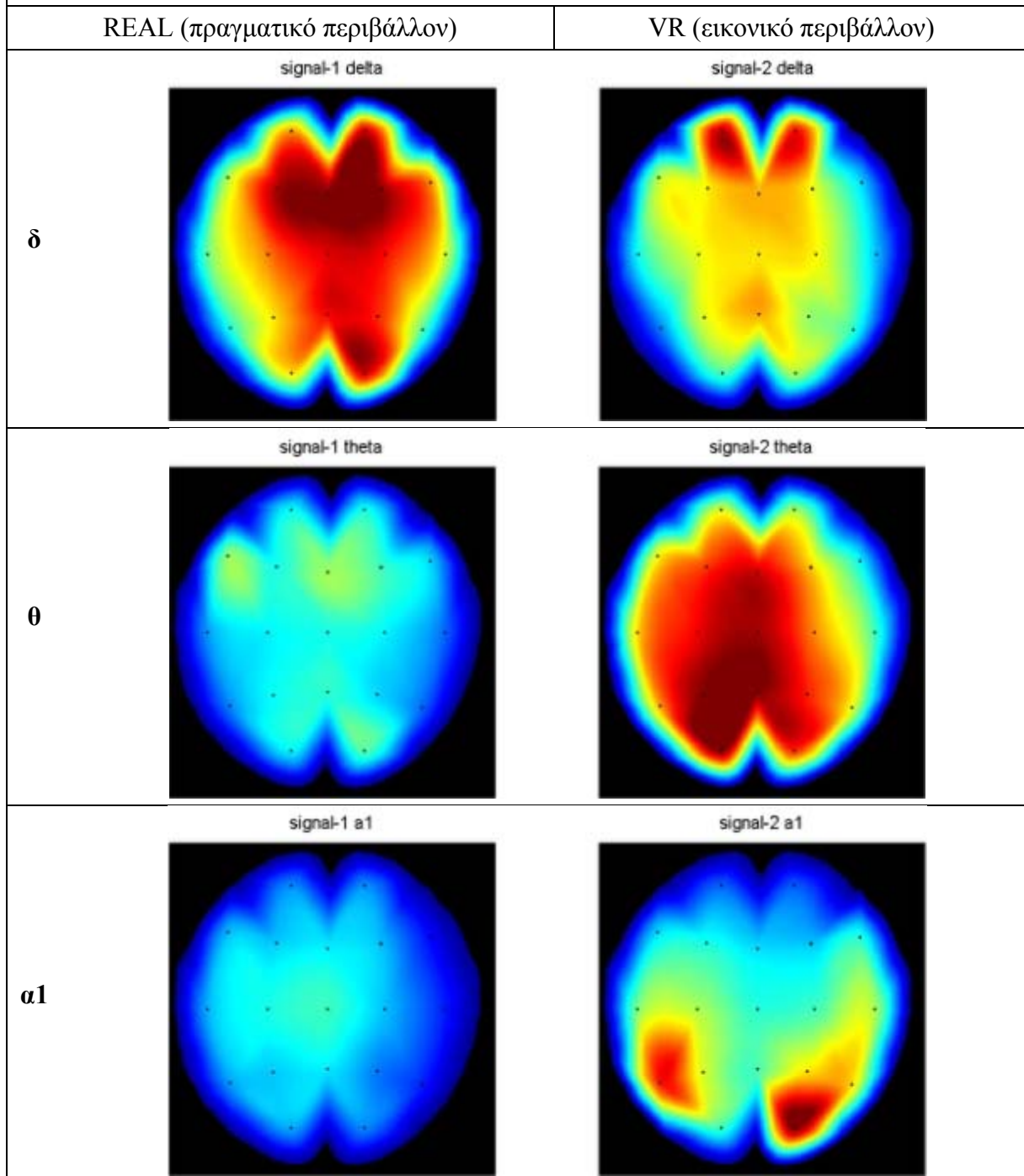
Σχήμα 9-29. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα REAL (πραγματικό περιβάλλον) με δέλτα ρυθμό (άνω) και χωρίς δέλτα (κάτω).

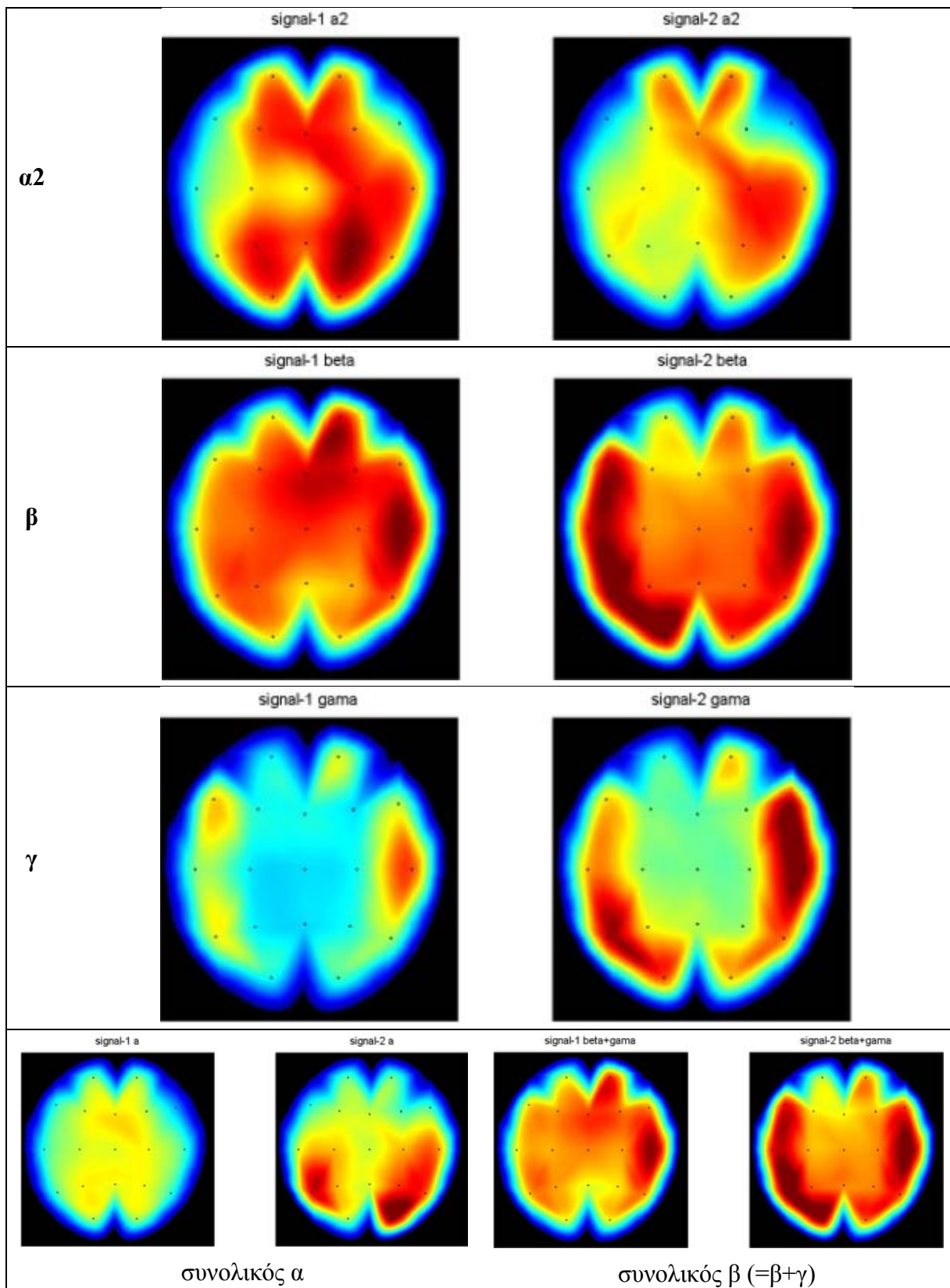


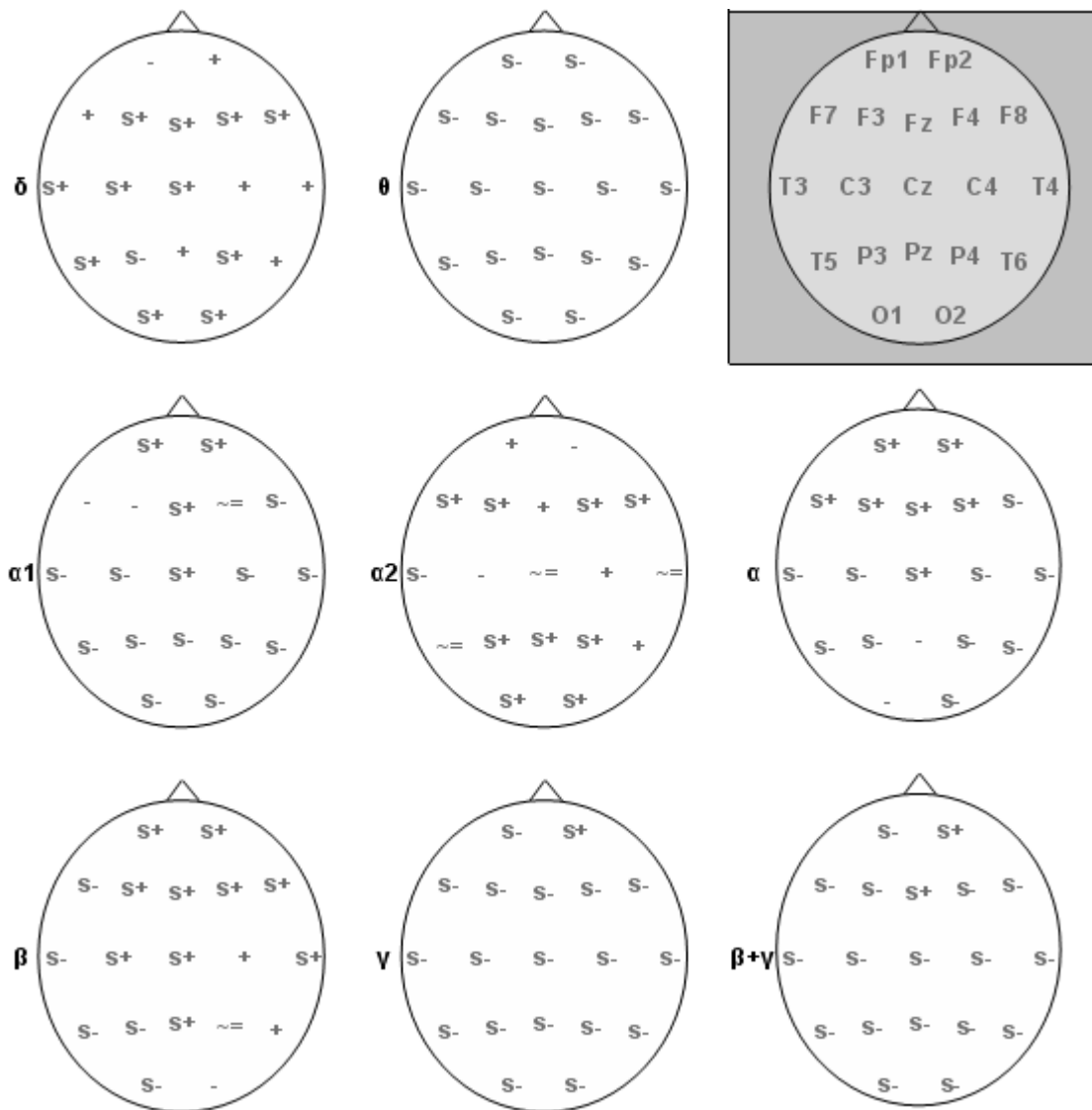


Σχήμα 9-30. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα VR (εικονικό περιβάλλον) με δέλτα ρυθμό (άνω) και χωρίς δέλτα (κάτω).

Πίνακας 9-6. Χάρτες με απόλυτες τιμές ισχύος κατανεμημένες για κάθε ρυθμό σε REAL και VR για την οπτική – λεκτική διεργασία







Σχήμα 9-31. Συγκριτική παρουσίαση της απόλυτης ισχύος του πραγματικού και του εικονικού περιβάλλοντος (αφαίρεση τιμών REAL – VR). Τα σύμβολα s+ και s- σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, τα + και – μη στατιστικά σημαντικές διαφορές και το σύμβολο ~ = αμελητέες διαφορές. Στο άνω δεξιό γκρι πλαίσιο εικονίζονται σχηματικά οι θέσεις των ηλεκτροδίων (σύστημα 10-20).

Η διεργασία pI δεν περιέχει ιδιαίτερες απαιτήσεις σε οπτική εξερεύνηση του περιβάλλοντος χώρου. Τα υποκείμενα απλώς παρατηρούν μερικά γράμματα που βρίσκονται μπροστά τους. Τα γράμματα δεν είναι γραμμένα σε κάποια επιφάνεια αλλά κρέμονται από διαφανείς κλωστές σε διαφορετικά ύψη και παρουσιάζονται με ανεπαίσθητη κίνηση/στροφή που τονίζει την τρισδιάστατη εμφάνισή τους. Αναμένουμε ενεργοποίηση οπτικο-χωρικών λειτουργιών, διαδικασίες αναγνώρισης αντικειμένων, ενεργοποίηση λεκτικών λειτουργιών και πιθανώς αντίληψη κίνησης.

Στο πραγματικό περιβάλλον η δέλτα δραστηριότητα παρουσιάζεται έντονη στις μετωπικές και ινιακές περιοχές (κυρίως δεξιά), ο θήτα ρυθμός είναι διάχυτος, ο άλφα-1 εμφανίζεται στο αριστερό ημισφαίριο κυρίως κεντρικά, ο α2 εμφανίζει ένταση στις ινιακές, μετωπικές και τη δεξιά κροταφική περιοχές, ο βήτα ρυθμός εμφανίζεται διάχυτος κυρίως στη δεξιά κροταφική και δεξιά μετωπική περιοχή, ενώ ο γάμα ρυθμός είναι σημαντικά ασθενέστερος από τους υπόλοιπους.

Στο εικονικό περιβάλλον ο δέλτα ρυθμός περιορίζεται στις πρόσθιες και κεντρικές περιοχές, ο θήτα μετατοπίζεται στις ινιακές περιοχές, ο άλφα-1 ενισχύεται στην αριστερή κροταφική και τη δεξιά ινιακή περιοχή, ενώ οι α2 και βήτα ρυθμοί υποβαθμίζονται.

#### *Δέλτα ρυθμός*

Η δέλτα δραστηριότητα εμφανίζεται πολύ διαφορετική στα δύο περιβάλλοντα. Στο πραγματικό είναι σχεδόν διάχυτη σε όλο το κρανίο με μικρή έμφαση στο δεξιό ημισφαίριο και μέγιστες τιμές στις μετωπο-κεντρικές και δεξιές ινιακές περιοχές. Στο εικονικό είναι σημαντικά ασθενέστερη σε όλες σχεδόν τις ηλεκτροεγκεφαλογραφικές θέσεις, ενώ περιορίζεται τοπογραφικά στις μετωπικές περιοχές. Αν θεωρήσουμε ότι σχετίζεται αντιστρόφως ανάλογα με το φόρτο εργασίας (Scerbo et al. 2001), τότε το πραγματικό περιβάλλον δεν προξένησε αξιοσημείωτη δραστηριότητα στα υποκείμενα, ενώ το εικονικό περιβάλλον φαίνεται να απαιτήσε ή να ενεργοποίησε αυξημένο νοητικό φόρτο.

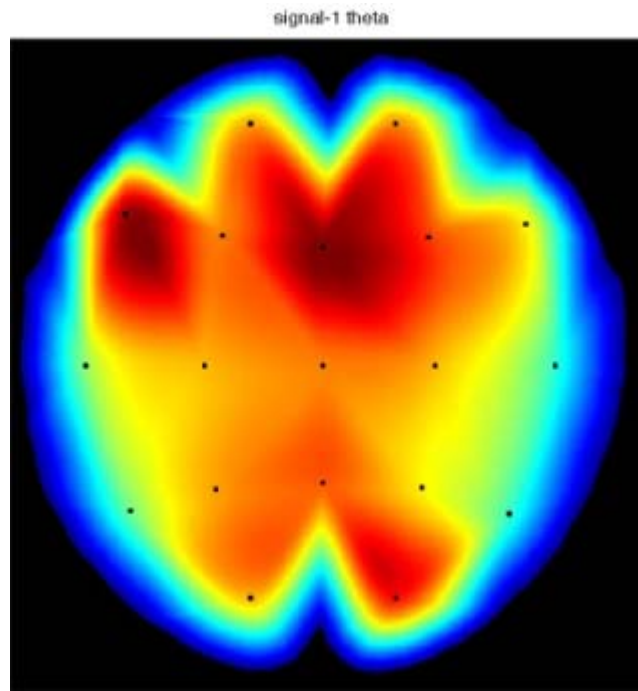
#### *Θήτα ρυθμός*

Ο θήτα ρυθμός εμφανίζει επίσης μεγάλες διαφορές ανάμεσα στα δύο περιβάλλοντα. Το εικονικό περιβάλλον έχει υψηλότερες τιμές με στατιστική σημαντικότητα σε όλες τις ηλεκτροεγκεφαλογραφικές θέσεις (σχήμα 9-31). Αυτή η διαφοροποίηση συνδέεται με μια μεγάλη ποικιλία διαφορετικών δραστηριοτήτων (Schacter 1977) και υποδηλώνει μια γενικώς αυξημένη ενεργοποίηση του εγκεφαλικού φλοιού στο εικονικό περιβάλλον.

Περισσότερες πληροφορίες στην περίπτωση αυτή μας δίνει η τοπολογική εξάπλωση του ρυθμού στα δύο περιβάλλοντα. Επειδή στον πίνακα 9-6 υποβιβάζεται ο κατά πολύ ασθενέστερος ρυθμός του πραγματικού περιβάλλοντος, το σχήμα 9-32 παρουσιάζει την τοπολογία του θήτα ρυθμού στο πραγματικό περιβάλλον ανεξάρτητα από το εικονικό. Με αυτό τον τρόπο αναδεικνύεται στο πραγματικό περιβάλλον η σαφής ενεργοποίηση της περιοχής Broca (ηλεκτρόδιο F7 που αντιστοιχεί στις αριστερές περιοχές Brodmann 44 και 45), η οποία ελέγχει την παραγωγή του λόγου και σχετίζεται με την ομιλία και τις απαραίτητες κινητικές δεξιότητες.

Επίσης παρατηρείται μια μετωποκεντρική ενεργοποίηση που συσχετίζεται γενικά με επεξεργασία σύνθετων αισθητηριακών ερεθισμάτων (Basar et al. 1999), με αύξηση του νοητικού και μνημονικού φόρτου (Schacter 1977, Lang et al. 1988, Gundel & Wilson 1992, Mecklinger et al. 1992, Wilson et al. 1999, Onton et al. 2005, Mecklinger et al. 1992), με αύξηση της δυσκολίας (Mizuki et al. 1980, Kahana et al. 1999, Lazarev 1998, Schacter 1977, Laukka et al. 1995) και πιο ειδικά με χωρικές και

λεκτικές πληροφορίες που παρουσιάζονται οπτικά (Gevins et al. 1997). Επιπλέον, η δεξιά ινιακή εμφάνιση του ρυθμού παραπέμπει σε ενεργοποίηση οπτικο-χωρικών λειτουργιών στο πραγματικό περιβάλλον.



Σχήμα 9-32. Χρωματικός χάρτης απόλυτης ισχύος του θήτα ρυθμού στο πραγματικό περιβάλλον.

Στο εικονικό περιβάλλον ο θήτα ρυθμός εμφανίζει εντελώς διαφορετική τοπολογία. Εκτός από τη σχεδόν διάχυτη εξάπλωση (κυρίως στο αριστερό ημισφαίριο), παρουσιάζει μέγιστη δραστηριότητα στις αριστερές ινιακές και βρεγματικές περιοχές. Στις περιοχές αυτές συμπεριλαμβάνεται (αν και δεν ήταν αναμενόμενο) και η περιοχή Wernicke, η οποία επεξεργάζεται τις ακουστικές πληροφορίες για τη γλώσσα και είναι σημαντική για την κατανόηση του λόγου (το εικονικό περιβάλλον εμφανίζει σε σύγκριση με το πραγματικό υψηλότερες τιμές θήτα ισχύος και στην άλλη γλωσσική περιοχή, την περιοχή Broca). Επίσης αυξημένη εμφανίζεται η ισχύς του ρυθμού στο ηλεκτρόδιο P3 που βρίσκεται πάνω από την γωνιώδη έλικα (angular gyrus), περιοχή που συσχετίζεται με την λεκτική βραχυπρόθεσμη μνήμη. Παρόμοια εμφάνιση του θήτα ρυθμού σε βρεγματο-ινιακές περιοχές έχει παρατηρηθεί σε διεργασίες με ανάγνωση ή νοερή ανάγνωση (Dolce & Waldeier 1974). Η αυξημένη παρουσία του ρυθμού στις ινιακές περιοχές μπορεί να συσχετιστεί με αυξημένη επεξεργασία πρωτογενούς οπτικού υλικού, ενώ η βρεγματική ενεργοποίηση υποδηλώνει ενεργοποίηση του συνειρμικού οπτικού φλοιού και πιθανώς ένταση της επιλεκτικής προσοχής (Basar et al. 2001).

Η σχετικά ασθενέστερη συμμετοχή του δεξιού ημισφαιρίου πιθανώς δείχνει ότι οι συμμετέχοντες δεν επιστράτευαν ιδιαίτερες λειτουργίες εξερεύνησης του εικονικού χώρου, αλλά εστίασαν την προσοχή τους στα νέα αντικείμενα (γράμματα), τα οποία ξαφνικά εμφανίστηκαν στο οπτικό τους πεδίο. Αντίθετα, στο πραγματικό

περιβάλλον οι συμμετέχοντες είχαν κλειστά τα μάτια όταν παρουσιάστηκαν τα γράμματα και όταν τα άνοιξαν χρειάστηκε ορισμένη προσπάθεια μέχρι να εντοπιστούν τα νέα αντικείμενα.

#### *Άλφα ρυθμός*

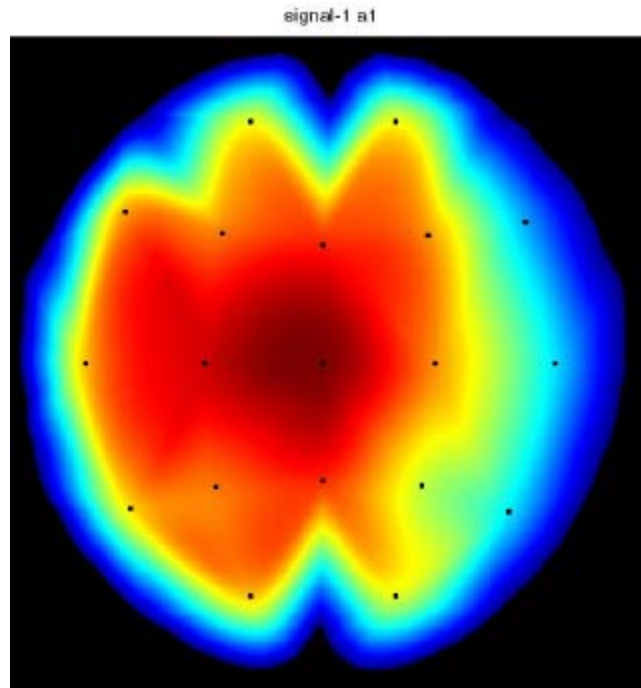
Ο άλφα ρυθμός παρουσιάζει εντελώς διαφορετική μορφή μεταξύ των δύο περιβαλλόντων. Στο πραγματικό εμφανίζει σχεδόν διάχυτη τοπολογία, ενώ στο εικονικό εντοπίζεται στις κεντρικές και οπίσθιες περιοχές. Οι τιμές της απόλυτης φασματικής ισχύος εμφανίζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στα περισσότερα ηλεκτρόδια, με το πραγματικό περιβάλλον να υπερέχει στις πρόσθιες περιοχές και των δύο ημισφαιρίων, ενώ το εικονικό υπερτερεί στις κροταφικές και οπίσθιες περιοχές.

Οι άλφα υπορυθμοί παρουσιάζουν επίσης σημαντικές διαφορές. Ο άλφα-1 ρυθμός παρουσιάζεται σημαντικά ασθενέστερος στις οπίσθιες περιοχές στο πραγματικό περιβάλλον, πράγμα που ερμηνεύεται ως μεγαλύτερη ενεργοποίηση αυτών των περιοχών σε αυτό το περιβάλλον, που υπονοεί αυξημένη επεξεργασία πρωτογενών και δευτερογενών οπτικών περιοχών και μεγαλύτερη ένταση της οπτικής προσοχής στο πραγματικό περιβάλλον. Αν δεχθούμε την αντίστροφη σχέση της ισχύος του άλφα-1 ρυθμού με την προσοχή (Jaušovec & Jaušovec 2000), μπορούμε να συμπεράνουμε ότι το πραγματικό περιβάλλον ενεργοποιεί περισσότερο συνιστώσες της προσοχής που δραστηριοποιούνται στις ινιακές και βρεγματικές περιοχές, ενώ στο εικονικό περιβάλλον η προσοχή στρέφεται σε κυκλώματα του προμετωπιαίου φλοιού και του μετωπικού της μέσης γραμμής, τα οποία πιθανώς εμπλέκουν λειτουργίες της μνήμης εργασίας ή άλλων «ανώτερων» λειτουργιών και όχι οπτικών όπως στο πραγματικό περιβάλλον.

Η τοπολογία του άλφα-1 ρυθμού στο πραγματικό περιβάλλον δεν διακρίνεται στον πίνακα 9-6 γι' αυτό παρατίθεται το σχήμα σχήμα 9-33. Εκεί φαίνεται μια γενικευμένη εμφάνιση του ρυθμού σε όλο το κρανίο που συχνά συμβαίνει με τον άλφα-1 ρυθμό (Klimesh 1999) και μια σαφή υπεροχή του αριστερού ημισφαιρίου πράγμα που σημαίνει αυξημένη ενεργοποίηση του δεξιού ημισφαιρίου. Αυτή η συμπεριφορά του άλφα-1 ρυθμού στο πραγματικό περιβάλλον συμφωνεί με μια μελέτη του Gremades και των συνεργατών του (2004) σε μία λεκτική διεργασία με αντίστοιχο βιντεοπαιχνίδι σύνθεσης λέξεων από δοσμένα γράμματα. Αυτό πιθανώς οφείλεται στην πειραματική διαδικασία που, όπως και στην παρούσα έρευνα, εμφάνιζε τα γράμματα διάσπαρτα στην οθόνη με αποτέλεσμα να ενεργοποιούνται και οπτικο-χωρικές λειτουργίες, τουλάχιστον ως προς την ενεργοποίηση της οπτικής προσοχής. Ωστόσο, στο εικονικό περιβάλλον δεν επαληθεύεται αυτή η παρατήρηση, καθώς η άλφα-1 δραστηριότητα εμφανίζεται ελαφρώς ισχυρότερη στο δεξιό ημισφαίριο και είναι εντοπισμένη στις οπίσθιες μόνο περιοχές.

Ο άλφα-2 ρυθμός παρουσιάζει ορισμένες ομοιότητες στα δύο περιβάλλοντα ως προς την τοπολογία του, καθώς εμφανίζεται σε μετωπικές και δεξιές περιοχές. Στο πραγματικό, όμως, περιβάλλον επεκτείνεται και σε αριστερές περιοχές (δηλαδή εξαπλώνεται σε όλο σχεδόν το κρανίο), το οποίο υπονοεί μειωμένη γενικά νοητική

δραστηριότητα στο πραγματικό περιβάλλον (Neubauer 2000, Jaušovec 1996, 1997, 1998, Vitouch et al. 1997, Neubauer et al. 1995, Krause 1992, Gerlic & Jaušovec 2001, Jaušovec 2000a, 2000b). Στο ίδιο συμπέρασμα συνειγορούν και οι υψηλότερες τιμές φασματικής ισχύος του ρυθμού στο πραγματικό περιβάλλον στις περισσότερες ηλεκτροεγκεφαλογραφικές θέσεις.



Σχήμα 9-33. Χρωματικός χάρτης απόλυτης ισχύος του άλφα-1 ρυθμού στο πραγματικό περιβάλλον.

Πάντως η τοπολογία του άλφα-2 ρυθμού και στα δύο περιβάλλοντα παρουσιάζει μείωση στις αριστερές κροταφικές περιοχές (περισσότερο στο εικονικό περιβάλλον) οι οποίες συσχετίζονται με ακουστικά ερεθίσματα αλλά και αντιληπτικές πτυχές της γλώσσας (Gremades et al. 2004). Αυτή η παρατήρηση συμφωνεί με μία μελέτη του Dujardin που κατέγραψε επιλεκτική μείωση της άλφα δραστηριότητας σε περιοχές σχετιζόμενες με τη λεκτική επεξεργασία (Dujardin et al. 1999).

#### *Βήτα ρυθμός*

Ο βήτα ρυθμός εμφανίζεται γενικά διάχυτος και στα δύο περιβάλλοντα, πράγμα το οποίο υποδηλώνει μια γενική δραστηριότητα πολλών εγκεφαλικών περιοχών, αλλά παρουσιάζει διαφορετική τοπολογία στις μέγιστες τιμές. Εκτός από τη δεξιά κροταφική περιοχή που είναι ισχυρή και στα δύο περιβάλλοντα, εμφανίζονται υψηλότερες τιμές φασματικής ισχύος στη δεξιά προμετωπική περιοχή στο πραγματικό περιβάλλον ενώ στο εικονικό στις αριστερές κροταφικές και αριστερή ινιακή περιοχές. Η έμφαση του βήτα ρυθμού στη δεξιά κροταφική περιοχή και στα δύο περιβάλλοντα συσχετίζεται κυρίως με τη λειτουργία του ακουστικού φλοιού αλλά και με θετικά συναισθήματα (Schellberg et al. 1992, Stenberg 1992). Και οι δύο όμως, ερμηνείες δεν ευσταθούν στην παρούσα κατάσταση.



Η έμφαση του ρυθμού στη δεξιά προμετωπική περιοχή στο πραγματικό περιβάλλον μπορεί να συσχετιστεί γενικά με αυξημένη νοητική δραστηριότητα (Macaulay & Edmonds 2004, Kirov Warsawska, & Voynov 1996, Oken & Salinsky 1992, Markand 1990, Ray & Cole 1985) και επειδή εντοπίζεται στο δεξιό ημισφαίριο πιθανώς εμπλέκονται περισσότερο χωρικές λειτουργίες. Επιπλέον, το πραγματικό περιβάλλον εμφανίζει στατιστικά υψηλότερες τιμές φασματικής ισχύος στα περισσότερα ηλεκτρόδια του δεξιού ημισφαιρίου. Έτσι, είναι λογικό να υποθέσουμε ότι στο πραγματικό περιβάλλον εμπλέκονται περισσότερο χωρικές λειτουργίες σε σχέση με το εικονικό.

Στο εικονικό περιβάλλον κυριαρχεί το αριστερό ημισφαίριο ως προς την τοπολογία του ρυθμού αλλά και σε σύγκριση με το πραγματικό. Η υπεροχή αυτή (με στατιστική σημαντικότητα) παρατηρείται σε όλες τις αριστερές περιοχές εκτός από την προμετωπιαία. Στην αριστερή κροταφική περιοχή η ενεργοποίηση δεν ήταν αναμενόμενη, ενώ η συμμετοχή ινιακών και ινιακο-κροταφικών περιοχή εμπλέκει τον πρωτοταγή και το συνειρμικό οπτικό φλοιό και πιθανώς ένταση της προσοχής σε αντίστοιχες λειτουργίες (da Silva 1991 & 2000). Επιπλέον, στις περιοχές αυτές συμπεριλαμβάνονται οι περιοχές Broca και Wernicke που εξειδικεύονται σε διάφορες γλωσσικές λειτουργίες.

#### *Γάμα ρυθμός*

Ο γάμα ρυθμός εμφανίζεται ισχυρότερος (με στατιστική σημαντικότητα) στο εικονικό περιβάλλον σε όλες τις ηλεκτροεγκεφαλογραφικές περιοχές εκτός από το δεξιό προμετωπιαίο ηλεκτρόδιο Fp2. Αυτή η συμπεριφορά του ρυθμού γενικά σηματοδοτεί τη συμμετοχή ευρύτερων νερωνικών κυκλωμάτων ή πολυπλοκότερης επικοινωνίας μεταξύ των γνωστικών λειτουργιών που δραστηριοποιούνταν χωρίς όμως να μπορούμε να διατυπώσουμε ασφαλείς υποθέσεις για τις ίδιες τις γνωστικές λειτουργίες. Πιθανές ωστόσο τέτοιες λειτουργίες μπορεί να είναι η προσοχή (Gruber et al. 1999, Shibata et al. 1999, Tallon-Baudry 2004, Llinas & Ribary 1992), η επαγρύπνηση (Steriade et al. 1993) και η πολυπλοκότητα (Simos et al. 2002) της εικονικής διεργασίας.

Η τοπολογία όμως του ρυθμού στα δύο περιβάλλοντα δεν παρουσιάζει πολλές διαφορές, ενώ παρατηρούνται και ορισμένες ομοιότητες με την τοπολογία του βήτα ρυθμού. Και εδώ καταγράφεται έμφαση στη δεξιά κροταφική περιοχή, όπως και στο βήτα ρυθμό και στα δύο περιβάλλοντα. Επίσης, κοινή είναι και η μικρή αύξηση της φασματικής ισχύος του ρυθμού στη δεξιά προμετωπιαία περιοχή, που ίσως συσχετίζεται με λειτουργίες επιλεκτικής προσοχής (Gruber et al. 2006). Στο αριστερό ημισφαίριο παρατηρείται σχεδόν παρόμοια (αλλά σε μικρότερο βαθμό στο πραγματικό περιβάλλον) ενεργοποίηση λεκτικών περιοχών (περιοχές Wernicke και Broca).

Διαφορετική εμφανίζεται η συμμετοχή οπίσθιων ινιακών και βρεγματικών περιοχών που στο πραγματικό περιβάλλον είναι σχεδόν ανύπαρκτη. Φαίνεται ότι στο εικονικό περιβάλλον, εκτός από την αυξημένη επεξεργασία οπτικών πληροφοριών,

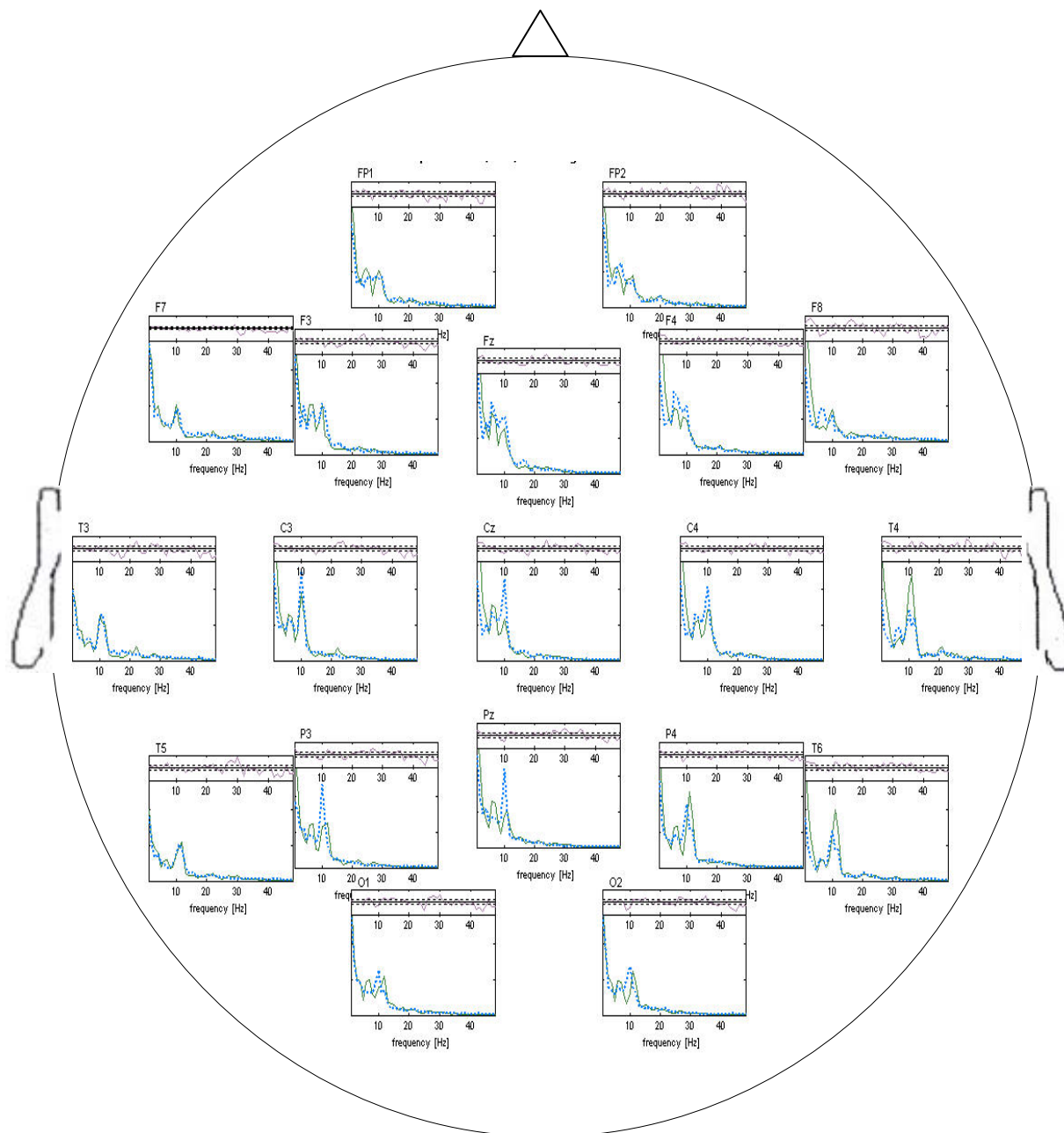
ήταν εντονότερη η επιστράτευση της οπτικής (Gruber et al. 2006) και της χωρικής επιλεκτικής προσοχής (Müller et al. 2000).

## 9.7 Αντίληψη κινούμενου αντικειμένου

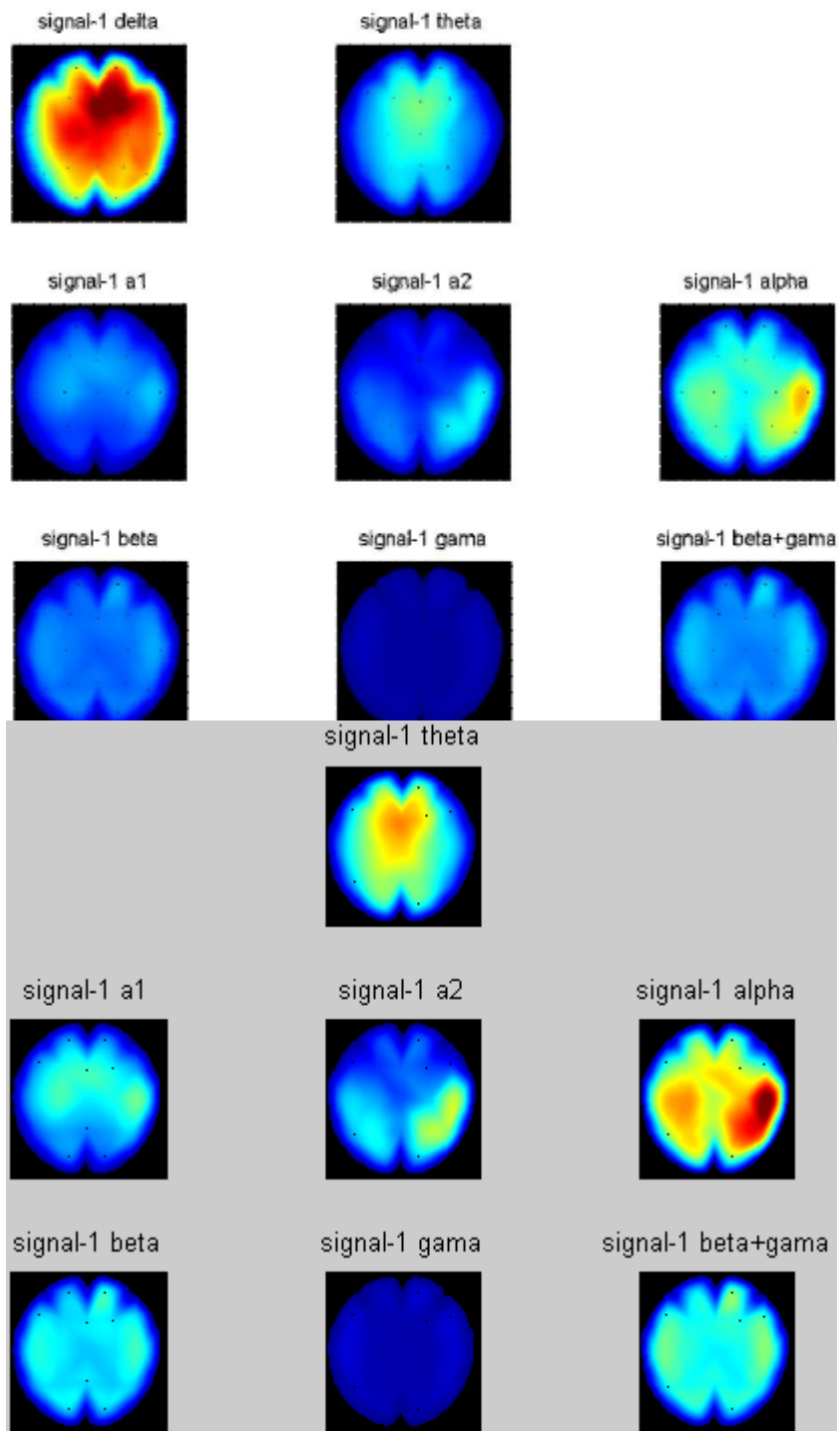
Στη διεργασία αυτή παρουσιάζεται στους συμμετέχοντες ένα κινούμενο μικρό όχημα που εμφανίζεται στο οπτικό τους πεδίο με κατεύθυνση από αριστερά προς τα δεξιά. Δεν υπάρχει καμία ερώτηση ή άλλους είδους παρεμβολή από τον εξεταστή. Το χρονικό διάστημα που αναλύεται είναι το πρώτο δευτερόλεπτο από τη στιγμή που εμφανίζεται το όχημα.

Αριθμός δείγματος μετά την απομάκρυνση των καταγραφών με παράσιτα: 12+3 υποκείμενα (7 άντρες, 5 γυναίκες).

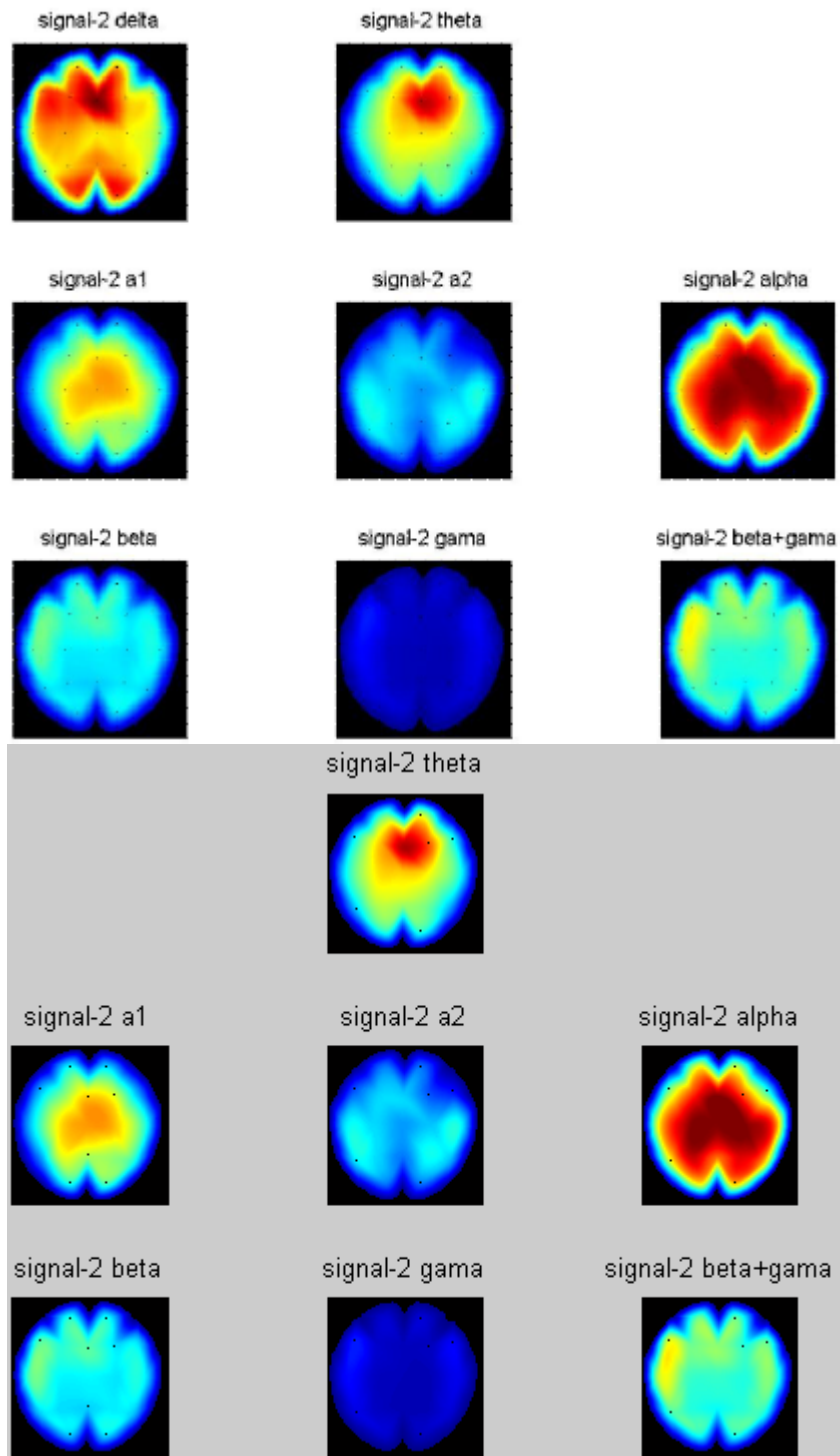
Στο σχήμα 9-34 εμφανίζονται οι γραφικές παραστάσεις του φάσματος ισχύος για όλα τα ηλεκτρόδια και για τα δύο περιβάλλοντα. Στο σχήμα 9-35 και στο σχήμα 9-36 παρουσιάζονται δύο συνοπτικοί ανεξάρτητοι χρωματικοί χάρτες για το πραγματικό και το εικονικό περιβάλλον αντίστοιχα, στους οποίους φαίνονται οι επικρατούντες ρυθμοί και η τοπολογική τους εξάπλωση. Συγκρίσεις των δύο περιβαλλόντων βασισμένοι στους χάρτες απόλυτης ισχύος παρουσιάζονται στον πίνακα 9-7 με χρωματική κλίμακα και στο σχήμα 9-37 χωρίς χρωματική κλίμακα αλλά με σύμβολα που υποδηλώνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές.



Σχήμα 9-34. Γραφική παράσταση του φάσματος όλων των υποκειμένων με συχνότητες 1 μέχρι 48 Hz για όλα τα ηλεκτρόδια. Η μπλε διακεκομμένη γραμμή αντιστοιχεί στο εικονικό περιβάλλον και η πράσινη στο πραγματικό.

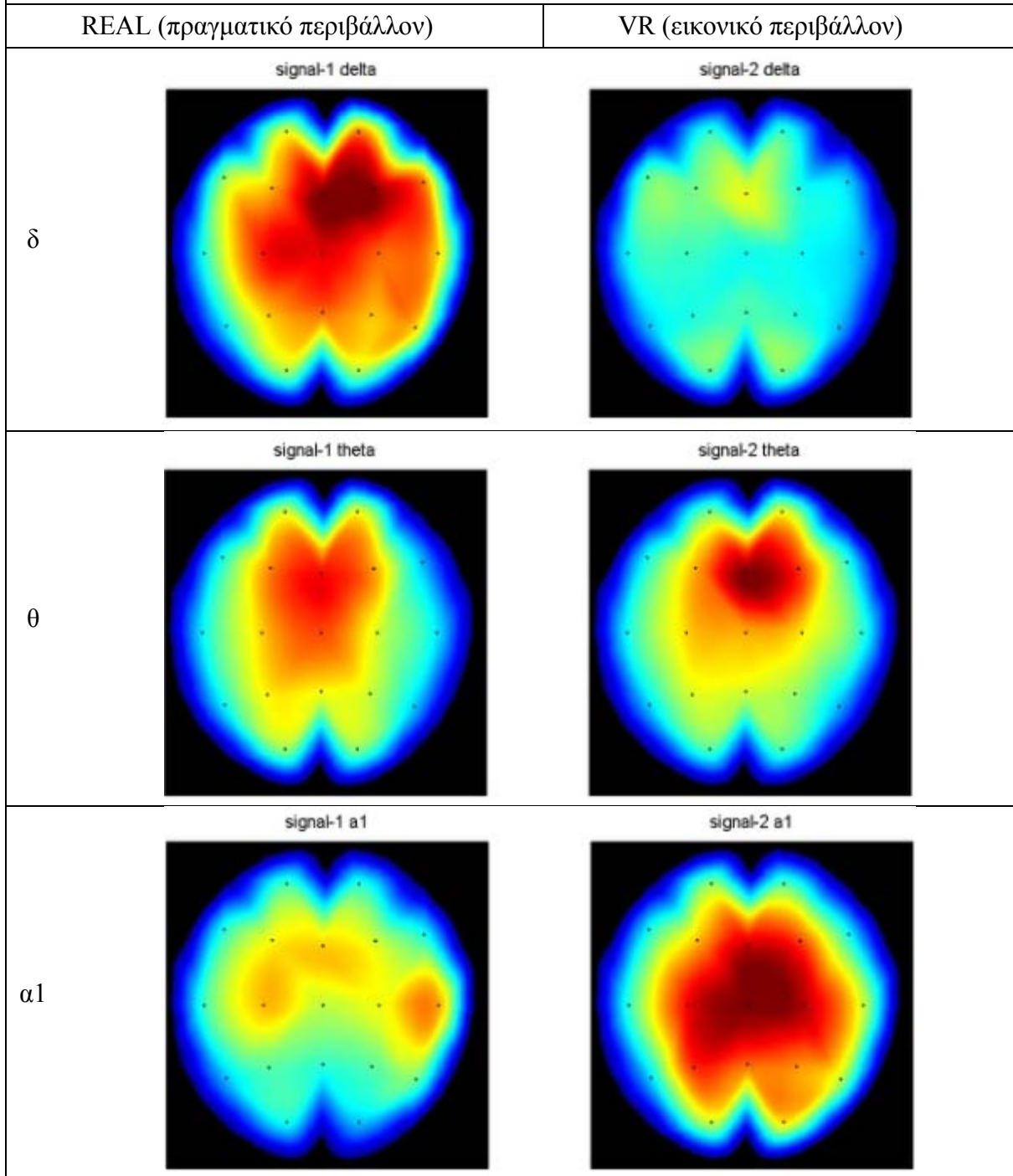


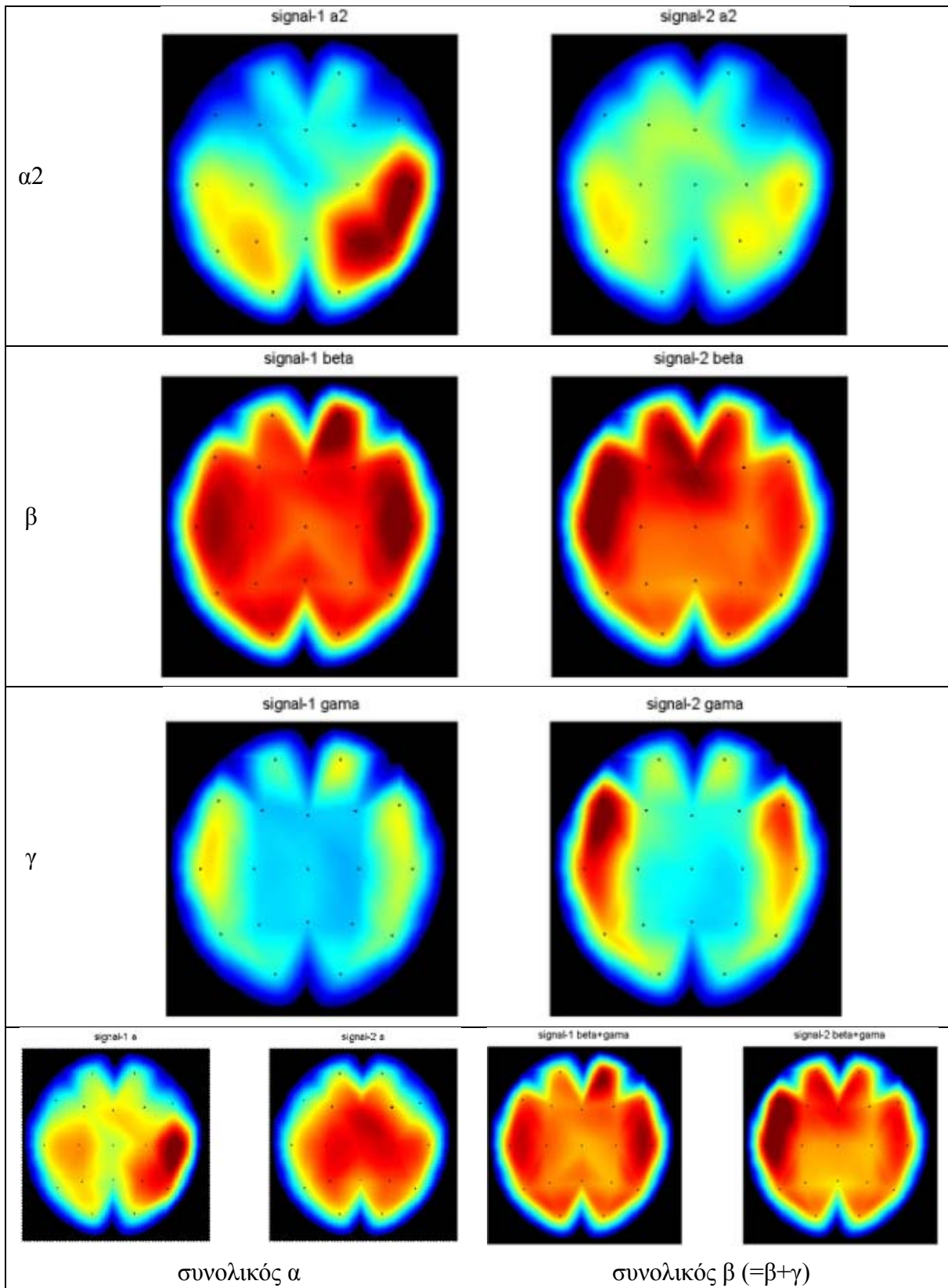
Σχήμα 9-35. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα REAL (πραγματικό περιβάλλον) με δέλτα ρυθμό (άνω) και χωρίς δέλτα (κάτω).



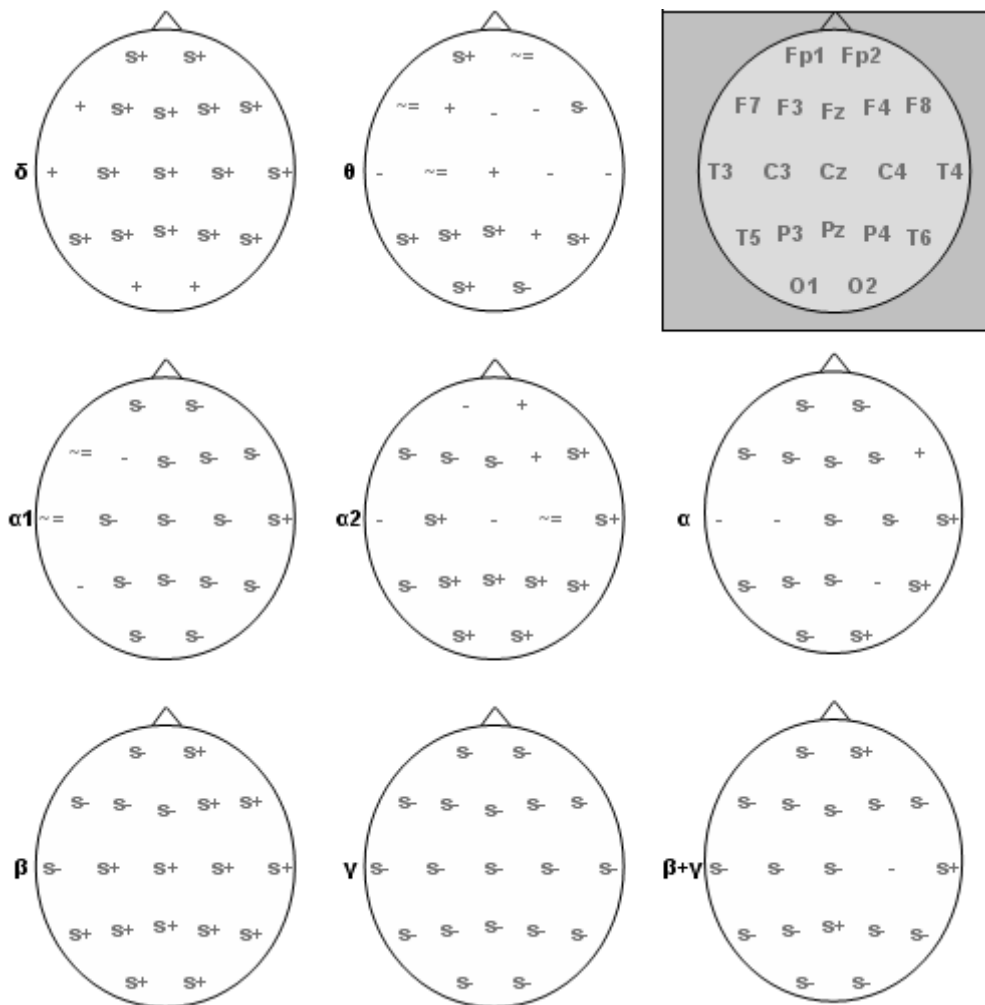
Σχήμα 9-36. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα VR (εικονικό περιβάλλον) με δέλτα ρυθμό (άνω) και χωρίς δέλτα (κάτω).

Πίνακας 9-7. Χάρτες με απόλυτες τιμές ισχύος κατανομημένες για κάθε ρυθμό σε REAL και VR για τη διεργασία αντίληψης κινούμενου αντικειμένου.









Σχήμα 9-37. Συγκριτική παρουσίαση της απόλυτης ισχύος του πραγματικού και του εικονικού περιβάλλοντος (αφαίρεση τιμών REAL – VR). Τα σύμβολα s+ και s- σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, τα + και - μη στατιστικά σημαντικές διαφορές και το σύμβολο ~ αμελητέες διαφορές. Στο άνω δεξιό γκρι πλαίσιο εικονίζονται σχηματικά οι θέσεις των ηλεκτροδίων (σύστημα 10-20).

Η διεργασία οΙ δεν περιέχει ιδιαίτερες απαιτήσεις σε οπτική εξερεύνηση του περιβάλλοντος χώρου. Τα υποκείμενα απλώς παρατηρούν ένα κινούμενο όχημα που εμφανίζεται στο οπτικό τους πεδίο κάτω στο πάτωμα και κινείται από αριστερά προς τα δεξιά. Αναμένουμε ενεργοποίηση οπτικο-χωρικών λειτουργιών, διαδικασίες αναγνώρισης-εντοπισμού αντικειμένου και αντίληψη κίνησης. Έγινε προσπάθεια να αγνοηθεί προετοιμασία της λεκτικής απάντησης επιλέγοντας χρονικό διάστημα 1 sec αμέσως μετά την ερώτηση του εξεταστή και πριν οι συμμετέχοντες απαντήσουν.

Στο πραγματικό περιβάλλον ο δέλτα ρυθμός εμφανίζεται διάχυτος με μέγιστη ισχύ στη δεξιά μετωπική περιοχή, ο θήτα στις προσθιοκεντρικές περιοχές, ο άλφα-1 υπορυθμός είναι διάχυτος εκτός από τις ινιακές περιοχές, ο άλφα-2 στην ινιακή και

κροταφοβρεγματική περιοχή κυρίως στο δεξιό ημισφαίριο, ο βήτα παρουσιάζεται διάχυτος, ενώ ο γάμα είναι πολύ ασθενικός και υποβαθμίζεται εντελώς από τους άλλους ρυθμούς.

Στο εικονικό περιβάλλον ο δέλτα ρυθμός μετατοπίζεται ελαφρώς προς τα αριστερά ενώ αποδυναμώνεται στο κέντρο, ο θήτα παραμένει στην ίδια περιοχή αλλά με σημαντικά υψηλότερη ισχύ, ο άλφα-1 εμφανίζεται ισχυρός κεντρικά, ο άλφα-2 αποδυναμώνεται ελαφρώς αλλά επεκτείνεται και σε άλλες περιοχές, ο βήτα παραμένει διάχυτος και μετατοπίζεται ελαφρώς προς τα αριστερά και ο γάμα παραμένει ασθενής.

#### *Δέλτα ρυθμός*

Η δέλτα δραστηριότητα εμφανίζεται πολύ διαφορετική στα δύο περιβάλλοντα. Στο πραγματικό είναι διάχυτη σε όλο το κρανίο με μικρή έμφαση στο δεξιό ημισφαίριο και μέγιστες τιμές στις κεντρικές και δεξιές μετωπικές περιοχές. Στο εικονικό είναι σημαντικά ασθενέστερη σε όλες τις ηλεκτροεγκεφαλογραφικές θέσεις, ενώ περιορίζεται τοπογραφικά στις ινιακές, κεντρικές μετωπικές και αριστερή μετωπο-κροταφική περιοχές. Αν θεωρήσουμε ότι σχετίζεται αντιστρόφως ανάλογα με το φόρτο εργασίας (Scerbo et al. 2001), τότε το πραγματικό περιβάλλον δεν προξένησε αξιοσημείωτη δραστηριότητα στα υποκείμενα, ούτε κατά την επεξεργασία των οπτικών πληροφοριών, ούτε των προκινητικών ή κινητικών περιοχών. Αντιθέτως, το εικονικό περιβάλλον φαίνεται να απαίτησε ή να ενεργοποίησε αυξημένο νοητικό φόρτο και ίσως λειτουργίες προσοχής.

#### *Θήτα ρυθμός*

Ο θήτα ρυθμός εμφανίζει αρκετές ομοιότητες στα δύο περιβάλλοντα και τοπολογικά εξαπλώνεται σε κεντρικές περιοχές γύρω από τη μέση γραμμή. Αυτή η συμπεριφορά του ρυθμού συσχετίζεται με πολλές γνωστικές λειτουργίες. Η μετωπιαία ενεργοποίηση της μέσης γραμμής συσχετίζεται με προσπάθεια για αύξηση της εγρήγορσης (Caldwell et al. 2003), με τον νοητικό και μνημονικό φόρτο και αύξηση του βαθμού συγκέντρωσης (Schacter 1977, Lang et al. 1988, Gundel & Wilson 1992, Mecklinger et al. 1992, Wilson et al. 1999, Onton et al. 2005, Aftanas & Golocheikine 2001, Burgess & Gruzelier 1997, Gevins et al. 1997, Ishii et al. 1999, Jensen & Tesche 2002, Kahana et al. 1999, Laukka et al. 1995, Lazarev 1998, Mizuki et al. 1982, Pardo et al. 1990, Sasaki et al. 1996, Smith et al. 1999, Ishihara και Yoshii 1972 & 1973).

Επίσης, παρόμοια εμφανίζεται η εξάπλωση του ρυθμού στις κεντρικές-βρεγματικές περιοχές (ηλεκτρόδια C3, Cz, C4), που τοποθετούνται πάνω από κινητικές και προκινητικές περιοχές. Φαίνεται ότι η παρατήρηση ενός κινούμενου αντικειμένου ενεργοποίησε κινητικές περιοχές ή την πρόθεση για κίνηση στα υποκείμενα (αν και δεν κινήθηκαν τα ίδια).

Οι διαφορές ανάμεσα στα δύο περιβάλλοντα εντοπίζονται κυρίως στις πίσω βρεγματικές, ινιακές και κροταφοβρεγματικές περιοχές, όπου παρουσιάζεται σαφής υπεροχή στο πραγματικό περιβάλλον, αν και η ισχύς του ρυθμού παραμένει χαμηλή

και στα δύο περιβάλλοντα. Πιθανώς αυτό συσχετίζεται με αυξημένη προσοχή προσανατολισμένη σε κινήσεις (Nobre et al. (1997, Paus et al. 1997) ή με αυξημένο νοητικό φόρτο (Fournier et al. 1999, Scerbo 2001) στο πραγματικό περιβάλλον. Γενικά, νευρικές δραστηριότητες σχετικές με την προσοχή των κινήσεων και την πρόθεση κίνησης (σε ανθρώπους και μαϊμούδες) κωδικοποιούνται στον πίσω βρεγματικό φλοιό, ο οποίος μπορεί έτσι να αναπαριστά μια επικοινωνία μεταξύ αισθητήριων και κινητικών περιοχών (Andersen et al. 1997).

#### *Άλφα ρυθμός*

Ο άλφα ρυθμός παρουσιάζεται ισχυρότερος με στατιστική σημαντικότητα στο εικονικό περιβάλλον (εκτός από τη δεξιά οπίσθια περιοχή) και διάχυτη εξάπλωση σε όλο το κρανίο. Αυτή η εμφάνιση υπονοεί γενικά μια κατάσταση χαλάρωσης χωρίς ιδιαίτερη εγρήγορση στο εικονικό περιβάλλον.

Το πραγματικό περιβάλλον φαίνεται ότι ενεργοποίησε γενικά περισσότερες εγκεφαλικές περιοχές και πιθανώς περισσότερες νοητικές λειτουργίες. Οι υψηλότερες όμως τιμές ισχύος του άλφα ρυθμού στις πίσω δεξιές περιοχές, υπονοούν μια ύφεση των οπτικο-χωρικών λειτουργιών (Rebert et al. 1984).

Ο άλφα-1 ρυθμός εμφανίζεται σημαντικά ισχυρότερος στο εικονικό περιβάλλον σε όλες σχεδόν τις ηλεκτροεγκεφαλογραφικές θέσεις. Η διάχυτη εξάπλωσή του υποδηλώνει μικρή ενεργοποίηση λειτουργιών προσοχής (Jaušovec & Jaušovec 2000, Fournier et al. 1999), κάτι που δεν είναι αναμενόμενο για το εικονικό περιβάλλον το οποίο παρουσιάστηκε πρώτο στους συμμετέχοντες και θα ήταν αναμενόμενο το κινούμενο όχημα να ενεργοποιήσει την προσοχή τους. Αντίθετα στο πραγματικό περιβάλλον ο άλφα-1 εμφανίζεται εντοπισμένος και ασθενέστερος με στατιστική σημαντικότητα σε κεντρικές, ινιακές και μετωπικές περιοχές. Φαίνεται ότι η εμφάνιση του πραγματικού οχήματος ενεργοποίησε γενικά την προσοχή των συμμετεχόντων. Ίσως σε αυτό να επηρέασε και η απουσία ήχου κατά την κίνηση στο εικονικό περιβάλλον. Επιπλέον, νευρικές δραστηριότητες σχετικές με την προσοχή των κινήσεων και την πρόθεση κίνησης (σε ανθρώπους και μαϊμούδες) κωδικοποιούνται επίσης στον πίσω βρεγματικό φλοιό, ο οποίος μπορεί έτσι να αναπαριστά μια επικοινωνία μεταξύ αισθητήριων και κινητικών περιοχών (Andersen et al. 1997). Αυτή η παρατήρηση επαληθεύτηκε σε μεγάλο βαθμό μόνο στο πραγματικό περιβάλλον.

Τοπολογικά η λειτουργία της προσοχής παρουσιάζει πιθανότατα σημαντικές διαφοροποιήσεις ανάλογα με το είδος της αισθητήριας εισαγωγής που κυριαρχεί εκείνη τη στιγμή. Σύμφωνα με τον Nobre που συσχετίζει την πίσω βρεγματική περιοχή του αριστερού ημισφαιρίου με προσοχή προσανατολισμένη σε κινήσεις και χωρικό προσανατολισμό (Nobre et al. 1997), η συμπεριφορά του άλφα-1 ρυθμού στην περιοχή αυτή υποδηλώνει σαφώς μεγαλύτερη ενεργοποίηση της προσοχής στο πραγματικό περιβάλλον.

Ο άλφα-2 ρυθμός παρουσιάζεται και στα δύο περιβάλλοντα εντοπισμένος σε ινιακές και πλευρικές-βρεγματικές περιοχές. Οι υψηλότερες τιμές που καταγράφονται

στο πραγματικό περιβάλλον στις περιοχές αυτές πιθανώς υποδηλώνουν μεγαλύτερη επεξεργασία αισθητηριακής – σημασιολογικής (κυρίως οπτικής στην παρούσα περίπτωση) πληροφορίας (Fournier et al. 1999, Klimesch et al. 1993, 1994, 1996a, 1997a). Η σημαντική επίσης υπεροχή του πραγματικού περιβάλλοντος στο δεξιό ημισφαίριο μπορεί να συσχετιστεί με μεγαλύτερη συμμετοχή χωρικών λειτουργιών στο εικονικό περιβάλλον.

#### *Βήτα ρυθμός*

Ο βήτα ρυθμός παρουσιάζεται και στα δύο περιβάλλοντα με διάχυτη εξάπλωση σε όλο το κρανίο. Η εικόνα που παρουσιάζεται στους χρωματικούς χάρτες (σχήμα 9-35, σχήμα 9-36, πίνακας 9-7) είναι παρόμοια στο πραγματικό και το εικονικό περιβάλλον. Αυτή η γενική συμπεριφορά συσχετίζεται με μείωση του βαθμού χαλάρωσης (Jacobs et al. 1996, Field et al. 1996, Oken & Salinsky 1992, Markand 1990, Mundy-Castle 1951, Petruzzello & Landers 1994), αύξηση της νοητικής εργασίας (Kirov Warsawsкая, & Voynov 1996, Oken & Salinsky 1992, Markand 1990, Ray & Cole 1985), ένταση της προσοχής σε οπτικά ερεθίσματα (Gross 2004) ή συναισθηματική φόρτιση (Choppin 2000, Crawford et al. 1996, F.L. da Silva 1991 2000, Davidson 1992, Dawson 1994, Pascalis 1998, Davidson & Irwin 1999, Jacobs et al. 1996, Mundy-Castle 1951, Oken & Salinsky 1992). Στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι λογικό να υποθέσουμε ότι η εμφάνιση του κινούμενου οχήματος στο οπτικό πεδίο των υποκειμένων προκάλεσε μια κατάσταση εγρήγορσης και ενεργοποίησε λειτουργίες οπτικής προσοχής.

Εκτός όμως από τη γενική εμφάνιση, υπάρχουν αρκετές στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα δύο περιβάλλοντα. Στο πραγματικό περιβάλλον ο βήτα ρυθμός είναι ισχυρότερος σε όλο το δεξιό ημισφαίριο καθώς και στις οπίσθιες περιοχές του αριστερού ημισφαιρίου, ενώ στις υπόλοιπες περιοχές (κροταφική, κεντρική και μετωπική του αριστερού ημισφαιρίου) υπερτερεί το εικονικό περιβάλλον. Η υπεροχή του πραγματικού περιβάλλοντος στις ινιακές και στις παρακείμενες βρεγματικές περιοχές θα πρέπει να αποδοθεί σε αυξημένη επεξεργασία οπτικών πληροφοριών με ταυτόχρονη συμμετοχή του συνειρμικού οπτικού φλοιού στο περιβάλλον αυτό. Αυτή η παρατήρηση σε συνδυασμό με την ισχυρότερη συμμετοχή του δεξιού ημισφαιρίου, ενισχύει την άποψη για μεγαλύτερη ενεργοποίηση οπτικών-χωρικών λειτουργιών με πιθανή αύξηση της οπτικοχωρικής προσοχής στο πραγματικό περιβάλλον (Chua et al. 1992, Decety 1996). Επιπλέον, οι δεξιές προμετωπιαίες περιοχές (περιοχές Brodmann 9 και 46) που επίσης ενεργοποιούνται κατά την οπτικοχωρική λειτουργία της μνήμης εργασίας (Gron et al. 2000), υποστηρίζουν την υπόθεση ότι στο πραγματικό περιβάλλον εμφανίστηκαν μεγαλύτερες οπτικοχωρικές απαιτήσεις.

Γενικά, εκτός από τη διάχυτη εξάπλωση του ρυθμού σε όλο το κρανίο παρατηρείται εντονότερη βήτα δραστηριότητα σε προμετωπικές και κροταφομετωπικές περιοχές, αλλά σε διαφορετικά ημισφαίρια σε κάθε περιβάλλον: δεξιά στο πραγματικό και αριστερά στο εικονικό.

*Γάμα ρυθμός*

Ο γάμα ρυθμός παρουσιάζεται ισχυρότερος με στατιστική σημαντικότητα σε όλες τις ηλεκτροεγκεφαλογραφικές θέσεις στο εικονικό περιβάλλον. Ως εκ τούτου, το ενδιαφέρον εστιάζεται περισσότερο στην τοπολογία του ρυθμού σε κάθε περιβάλλον παρά στις διαφορές μεταξύ των περιβαλλόντων σε κάθε εγκεφαλική περιοχή.

Ο ρυθμός παρουσιάζει περίπου παρόμοια εξάπλωση και στα δύο περιβάλλοντα (Πίνακας 9-7). Εμφανίζεται κυρίως περιφερικά, ενώ απουσιάζει από τις κεντρικές περιοχές. Αυτή η παρατήρηση είναι σημαντική γιατί υποδηλώνει παρόμοιο πρότυπο ενεργοποίησης του γάμα ρυθμού στα δύο περιβάλλοντα, το οποίο στο εικονικό περιβάλλον εμφανίζεται σαφώς ισχυρότερο.

Η αύξηση των γάμα και βήτα ρυθμών στην αριστερή κροταφική περιοχή συμφωνεί με fMRI και PET μελέτες στις οποίες η αντίληψη για τις απαραίτητες κινήσεις για τη σύλληψη ενός αντικειμένου ενεργοποιεί τον κροταφικό και βρεγματικό εγκεφαλικό φλοιό του αριστερού ημισφαιρίου (Bonda et al. 1996). Η τάση αυτή είναι σημαντικά ισχυρότερη στο εικονικό περιβάλλον, αν και δεν παρατηρήθηκε συμπεριφορά των υποκειμένων που να υποδηλώνει πρόθεση για κίνηση προς το κινούμενο αντικείμενο. Η συσχέτιση της κροταφικής δραστηριότητας με ακουστικές λειτουργίες δεν ευσταθεί αφού ειδικά στο εικονικό περιβάλλον δεν υπήρχε καθόλου ήχος.

Επιπλέον, η αυξημένη κροταφική δραστηριότητα του γάμα ρυθμού (και σε μικρότερο βαθμό του βήτα) και στα δύο περιβάλλοντα συμφωνεί με παρατηρήσεις από σύγκριση πραγματικών, εικονικών και δισδιάστατων περιβαλλόντων, όπου η εγκεφαλική δραστηριότητα στις κάτω κροταφικές (inferior temporal) περιοχές παρατηρήθηκε και στο πραγματικό και στο εικονικό περιβάλλον (όχι όμως στις δισδιάστατες αναπαραστάσεις) και συσχετίστηκε με τη γνωστική αναπαράσταση των κινήσεων (Decety et al. 1997) και την αντίληψη των τρισδιάστατων σχημάτων των αντικειμένων (Janssen et al. 2000a, 2000b).

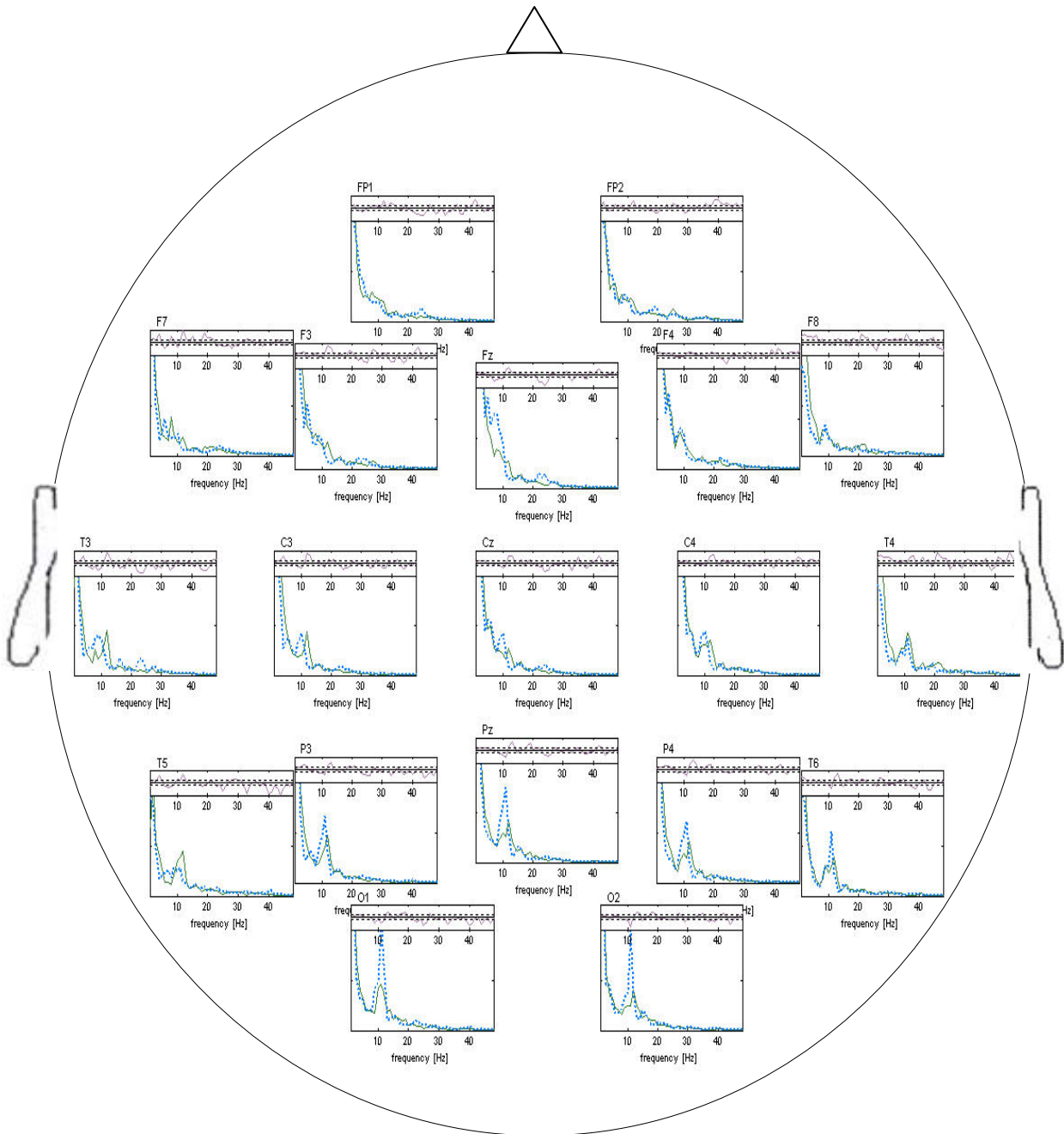
## 9.8 Διεργασία ετοιμότητας και αναμονής

Στη διεργασία αυτή οι συμμετέχοντες καλούνται να παρατηρήσουν δυο λαμπάκια που ανάβουν και σβήνουν (ένα αριστερά και ένα δεξιά) και στο τέλος όταν τους ζητηθεί να απαντήσουν πόσες φορές άναψε το κάθε ένα από αυτά.

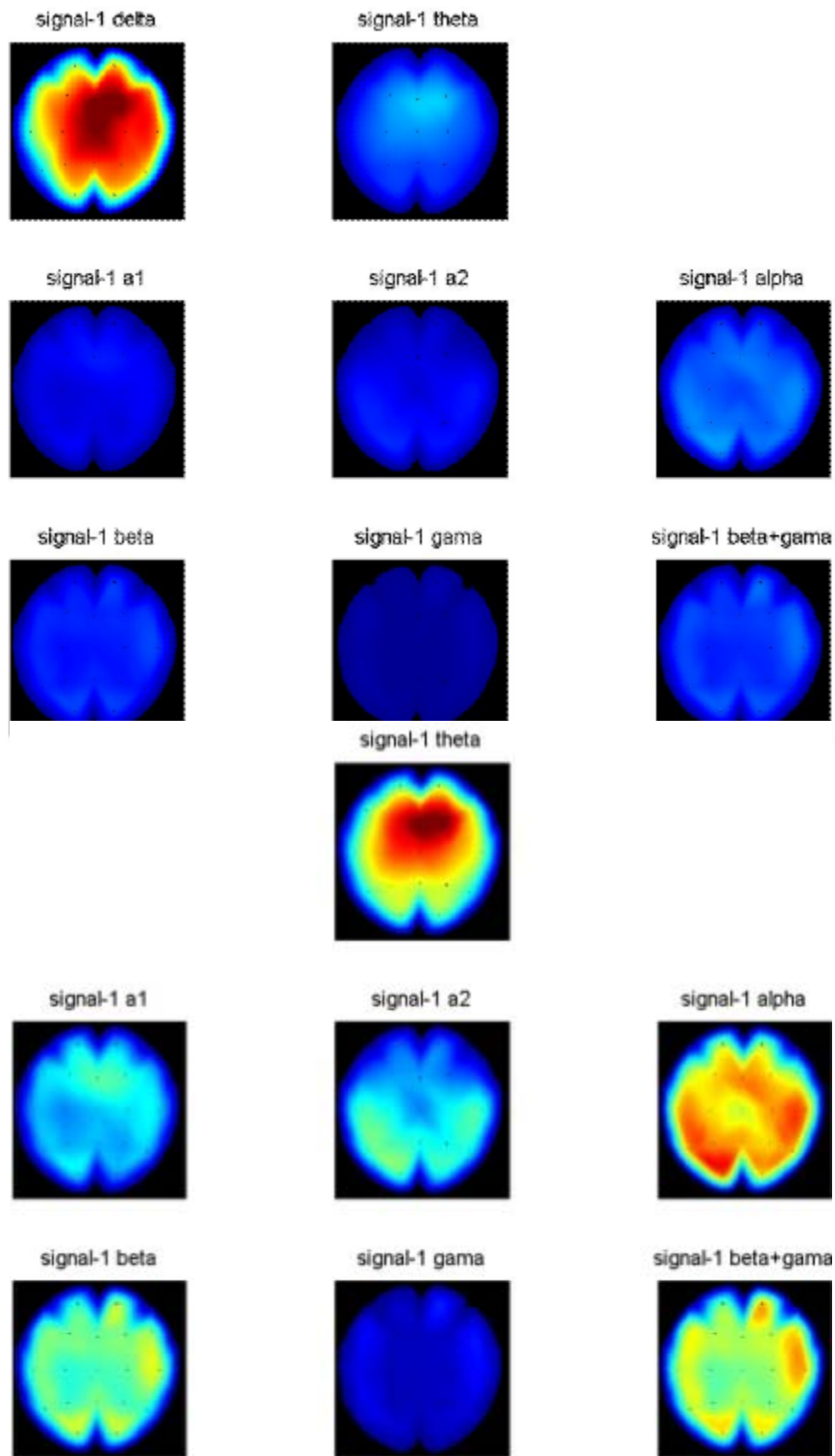
Αριθμός δείγματος μετά την απομάκρυνση των καταγραφών με παράσιτα: 14 υποκείμενα (9 άντρες, 5 γυναίκες).

Στο σχήμα 9-38 εμφανίζονται οι γραφικές παραστάσεις του φάσματος ισχύος για όλα τα ηλεκτρόδια και για τα δύο περιβάλλοντα. Στο σχήμα 9-39 και στο σχήμα 9-40 παρουσιάζονται δύο συνοπτικοί ανεξάρτητοι χρωματικοί χάρτες για το πραγματικό και το εικονικό περιβάλλον αντίστοιχα, στους οποίους φαίνονται οι επικρατούντες ρυθμοί και η τοπολογική τους εξάπλωση.

Συγκρίσεις των δύο περιβαλλόντων βασισμένοι στους χάρτες απόλυτης ισχύος παρουσιάζονται στον πίνακα 9-8 με χρωματική κλίμακα και στο σχήμα 9-41 χωρίς χρωματική κλίμακα αλλά με σύμβολα που υποδηλώνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές.

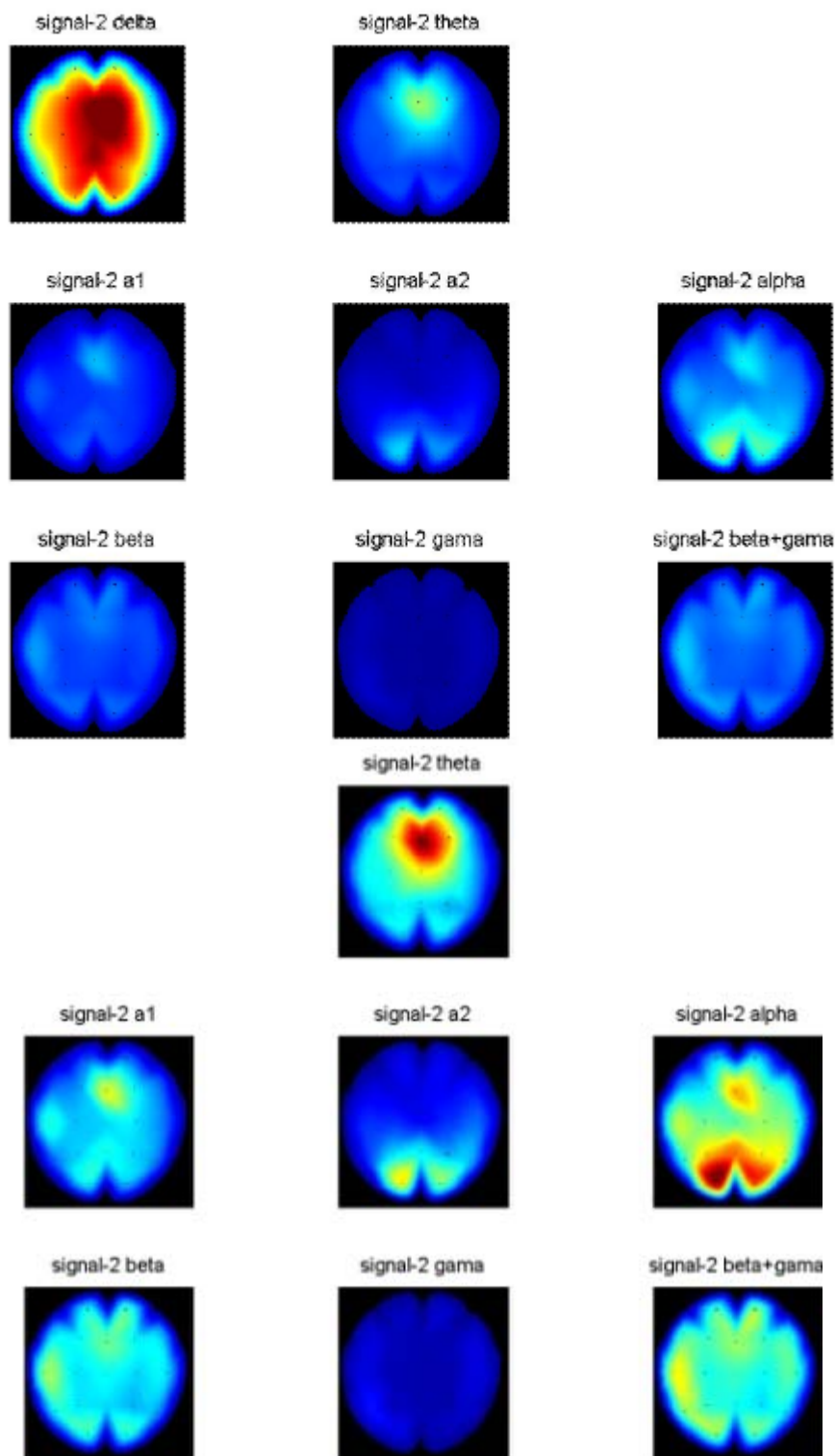


Σχήμα 9-38. Γραφική παράσταση του φάσματος όλων των υποκειμένων με συχνότητες 1 μέχρι 48 Hz για όλα τα ηλεκτρόδια. Η μπλε διακεκομμένη γραμμή αντιστοιχεί στο εικονικό περιβάλλον και η πράσινη στο πραγματικό.



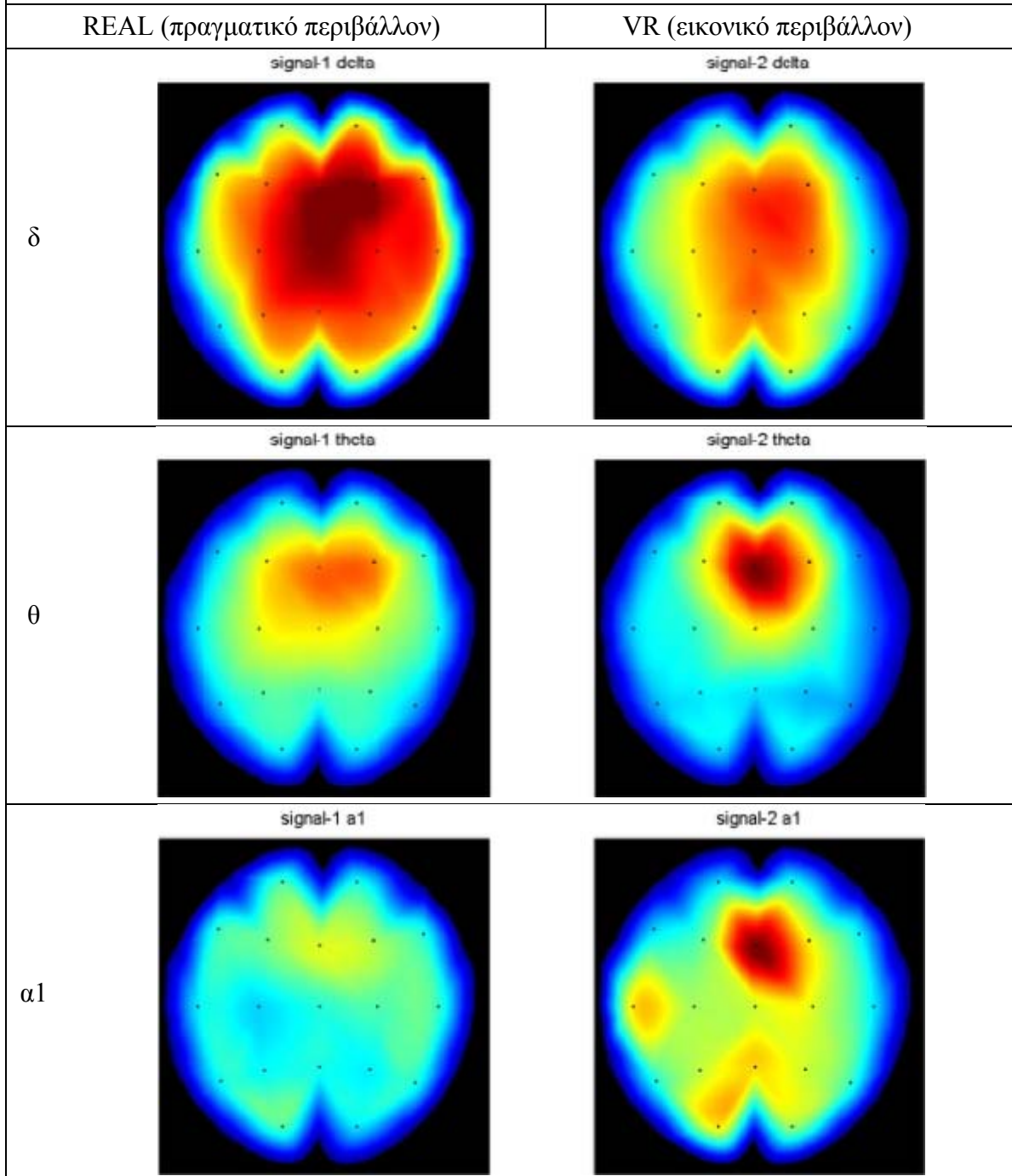
Σχήμα 9-39. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα REAL (πραγματικό περιβάλλον) με δέλτα ρυθμό (άνω) και χωρίς δέλτα (κάτω).

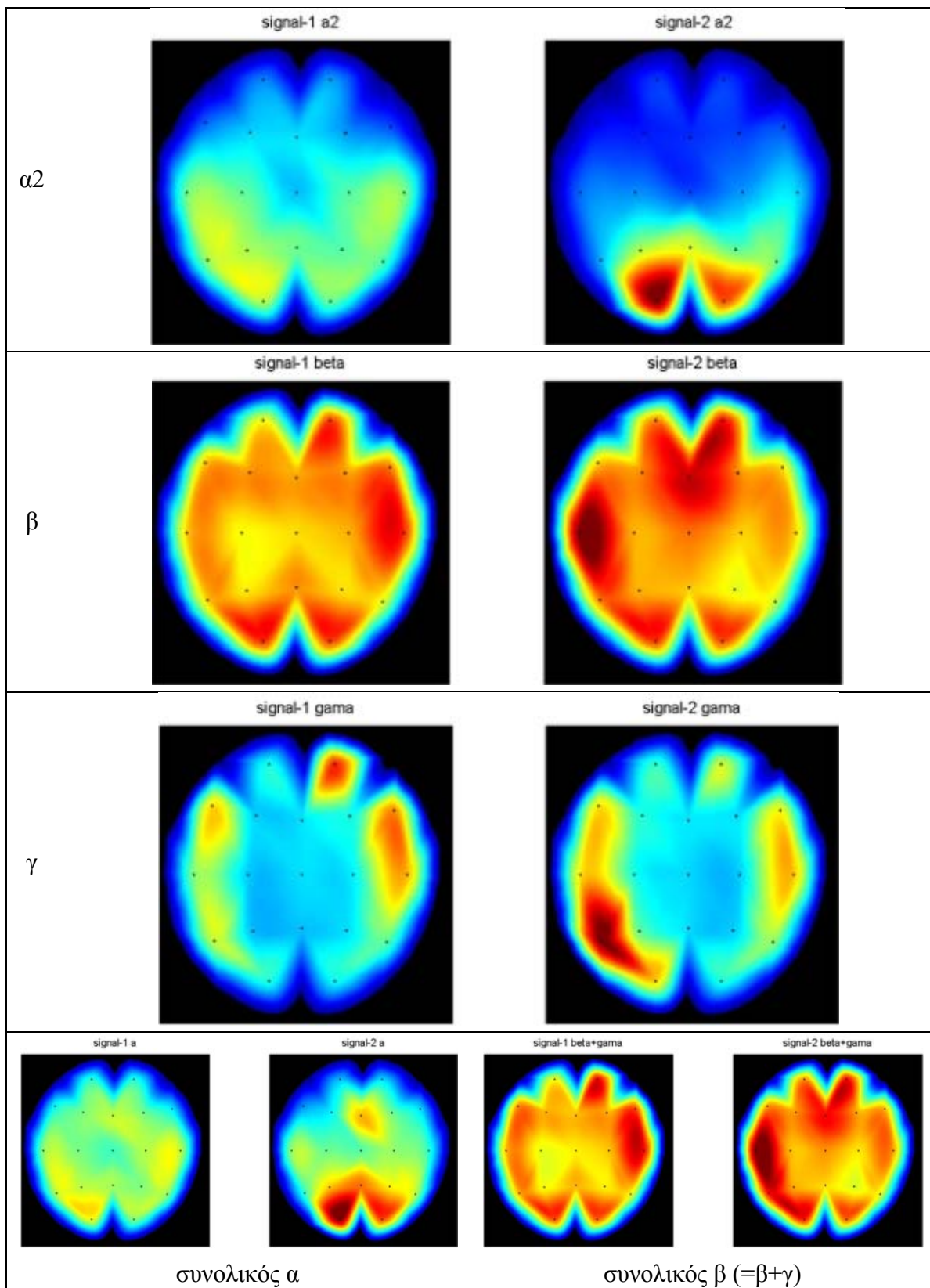


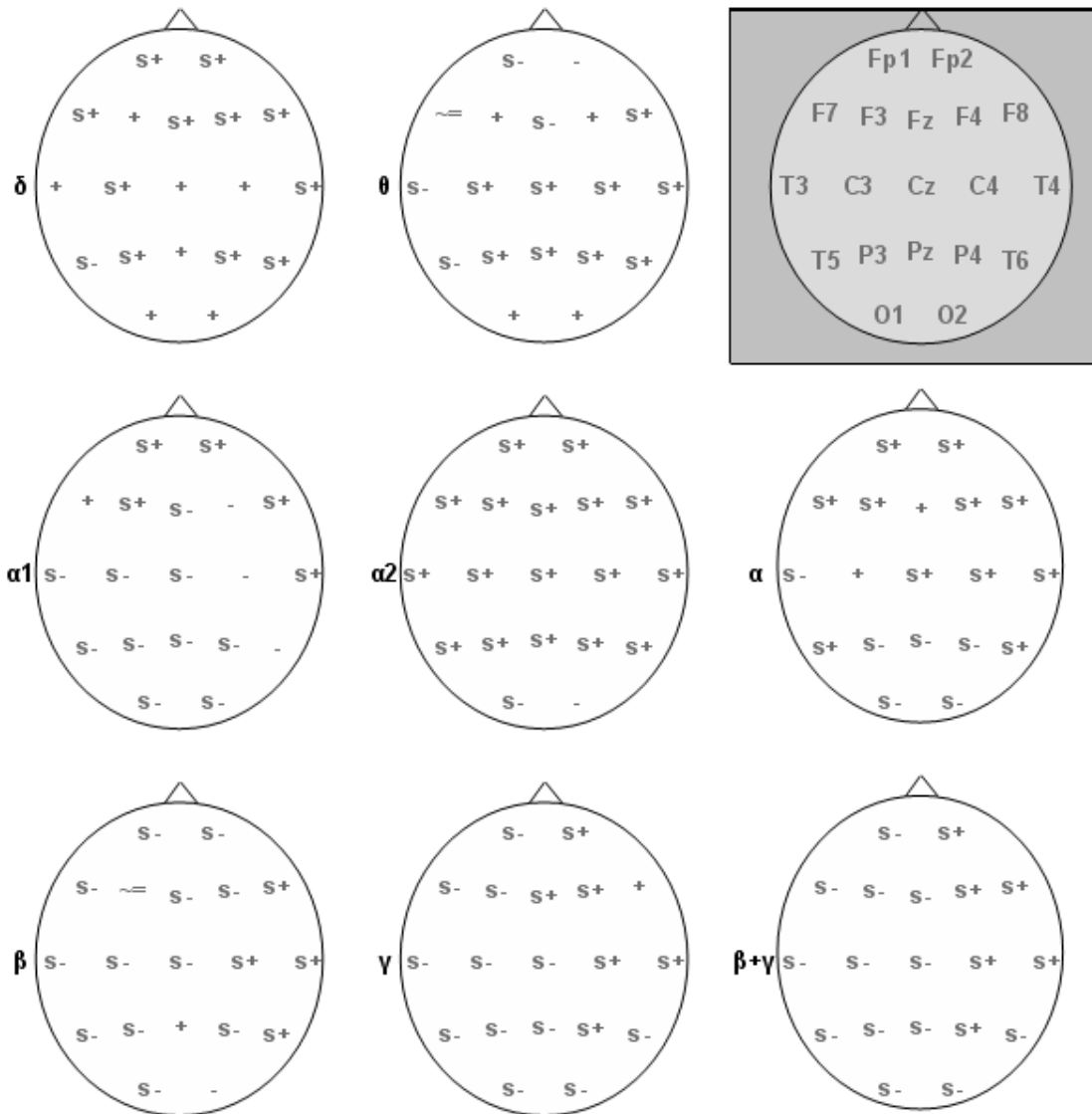


Σχήμα 9-40. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα VR (εικονικό περιβάλλον) με δέλτα ρυθμό (άνω) και χωρίς δέλτα (κάτω).

Πίνακας 9-8. Χάρτες με απόλυτες τιμές ισχύος κατανομημένες για κάθε ρυθμό σε REAL και VR για τη διεργασία ετοιμότητας και αναμονής.







Σχήμα 9-41. Συγκριτική παρουσίαση της απόλυτης ισχύος του πραγματικού και του εικονικού περιβάλλοντος (αφαίρεση τιμών REAL – VR). Τα σύμβολα s+ και s- σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, τα + και – μη στατιστικά σημαντικές διαφορές και το σύμβολο ~ αμελητέες διαφορές. Στο άνω δεξιό γκρι πλαίσιο εικονίζονται σχηματικά οι θέσεις των ηλεκτροδίων (σύστημα 10-20).

Η διεργασία ετοιμότητας και αναμονής δεν περιέχει ιδιαίτερες απαιτήσεις σε οπτική εξερεύνηση του περιβάλλοντος χώρου. Τα υποκείμενα απλώς παρατηρούν δύο λαμπάκια τα οποία περιμένουν να αναβοσβήνουν σε τυχαία χρονικά διαστήματα. Τα λαμπάκια βρίσκονται σε σταθερές θέσεις και οι συμμετέχοντες έχουν προετοιμαστεί για τη διεργασία με μερικές δοκιμαστικές εφαρμογές. Έτσι δεν περιμένουμε ενεργοποίηση οπτικο-χωρικών λειτουργιών με την έννοια της εξερεύνησης του περιβάλλοντος χώρου, αλλά περισσότερο διαδικασίες αναμονής-ετοιμότητας-προσοχής, καταμέτρησης συμβάντων, μνήμης και πιθανώς αντίληψη φωτεινού οπτικού ερεθίσματος.

Στο πραγματικό περιβάλλον ο δέλτα ρυθμός εμφανίζεται διάχυτος με υψηλότερες τιμές ισχύος κεντρικά και ελαφρώς δεξιά, ο θήτα παρουσιάζει αρκετά υψηλές τιμές κεντρικά, ο άλφα εμφανίζεται διάχυτος, με τον άλφα-1 στις πρόσθιες και τον άλφα-2 στις ινιακές και κροταφικές περιοχές και ο βήτα ρυθμός εμφανίζεται επίσης διάχυτος με έμφαση σε ινιακές, δεξιά μετωπική και δεξιές κροταφικές περιοχές.

Στο εικονικό περιβάλλον ο δέλτα και ο θήτα δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές από το πραγματικό περιβάλλον, ο άλφα-1 ενισχύεται προσθιο-κεντρικά, ο άλφα-2 περιορίζεται στις ινιακές περιοχές κυρίως αριστερά, ενώ ο βήτα παραμένει διάχυτος με μικρή έμφαση στο αριστερό ημισφαίριο. Ο γάμα εμφανίζεται και στα δύο περιβάλλοντα ασθενέστερος από τους άλλους ρυθμούς.

#### *Δέλτα ρυθμός*

Η δέλτα δραστηριότητα εντοπίζεται κεντρικά με σχεδόν διάχυτη εξάπλωση και στα δύο περιβάλλοντα. Στο εικονικό, όμως, περιβάλλον παρουσιάζει σημαντικά ασθενέστερη φασματική ισχύ σε όλα τα ηλεκτροεγκεφαλογραφικά ηλεκτρόδια. Θεωρώντας ότι σχετίζεται αντιστρόφως ανάλογα με το φόρτο εργασίας (Scerbo et al. 2001), φαίνεται ότι το εικονικό περιβάλλον απαίτησε ή ενεργοποίησε αυξημένο νοητικό φόρτο.

#### *Θήτα ρυθμός*

Ο θήτα ρυθμός παρά τις σημαντικές διαφορές φασματικής ισχύος εμφανίζει παρόμοια τοπολογία και στα δύο περιβάλλοντα. Εντοπίζεται στην μετωπική περιοχή της μέσης γραμμής χωρίς να εξαπλώνεται στο υπόλοιπο κρανίο. Αυτή η τοπολογία είναι τυπική της κατάστασης εγρήγορσης, παρουσιάζεται σε πολλές μελέτες του θήτα ρυθμού και συσχετίζεται γενικά με τη νοητική προσπάθεια (Onton et al. 2005), με αύξηση του βαθμού συγκέντρωσης (Ishihara & Yoshii 1973), με αύξηση του νοητικού και μνημονικού φόρτου (Schacter 1977, Lang et al. 1988, Gundel & Wilson 1992, Mecklinger et al. 1992, Wilson et al. 1999, Onton et al. 2005, Aftanas & Golocheikine 2001, Burgess & Gruzelier 1997, Gevins et al. 1997, Ishii et al. 1999, Jensen & Tesche 2002, Kahana et al. 1999, Laukka et al. 1995, Lazarev 1998, Mizuki et al. 1982, Pardo et al. 1990, Sasaki et al. 1996, Smith et al. 1999). Ο Caldwell και οι συνεργάτες του (2003) παρατήρησαν αύξηση στο θήτα ρυθμό στη μετωπιαία περιοχή της μέσης γραμμής σε νυσταγμένα υποκείμενα που προσπαθούν να παραμείνουν σε εγρήγορση. Η μέγιστη ενεργοποίηση του ρυθμού παρατηρείται στο ηλεκτρόδιο Fz, το οποίο τοποθετείται πάνω από τον ραχιαίο-πλάγιο προμετωπιαίο φλοιό (dorsolateral prefrontal cortex) μεταξύ των περιοχών Brodmann 8 και 9 οι οποίες γενικά σχετίζονται με οφθαλμικές κινήσεις αλλά και με τη μνήμη εργασίας, λειτουργίες που απαιτούνται για την αντίληψη και καταμέτρηση των φωτεινών ερεθισμάτων της παρούσας διεργασίας.

Επίσης η μετωπιαία εμφάνιση του ρυθμού συσχετίζεται με απλές εργασίες νοερής αριθμητικής (Mizuki et al. 1980), όπως η απαίτηση της τρέχουσας διεργασίας για απαρίθμηση των συμβάντων.

Η απουσία του ρυθμού από τις ινιακές περιοχές υποδηλώνει ελάχιστες απαιτήσεις στην επεξεργασία των πρωτογενών οπτικών πληροφοριών. Φαίνεται ότι μια σταθερή φωτεινή πηγή που αναβοσβήνει και δεν απαιτεί σημαντικές αντιληπτικές λειτουργίες (έχει προηγηθεί βέβαια ένα χρονικό διάστημα εξοικείωσης).

Βέβαια, μια συγκριτική παράθεση των τιμών της φασματικής ισχύος δείχνει σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα δύο περιβάλλοντα. Η αριστερή υπεροχή του εικονικού περιβάλλοντος θα μπορούσε να ερμηνευθεί ως αυξημένες γνωστικές απαιτήσεις κατά την καταμέτρηση των εμφανίσεων της φωτεινής ένδειξης στο εικονικό περιβάλλον (Dolce & Waldeier 1974). Ο Mizuki και οι συνεργάτες του (1980) παρατήρησαν επίσης θήτα ρυθμό σε απλές εργασίες νοερής αριθμητικής και συνέδεσαν το θήτα ρυθμό με το βαθμό δυσκολίας της εκτελούμενης δραστηριότητας. Φαίνεται ότι η καταμέτρηση των εμφανίσεων της φωτεινής ένδειξης στο εικονικό περιβάλλον εμφάνισε αυξημένες γνωστικές απαιτήσεις σε σχέση με το πραγματικό.

Επιπλέον, ανεξάρτητα από το είδος της αισθητήριας εισαγωγής, σύνθετα αισθητηριακά ερεθίσματα προκαλούν μεγάλη αύξηση στο μετωπιαίο θήτα (Basar et al. 1999). Πιθανώς, το αναμμένο εικονικό λαμπάκι δεν ήταν τόσο ευδιάκριτο όσο το πραγματικό και απαιτήθηκε αυξημένη επεξεργασία οπτικών πληροφοριών. Στα συμπεράσματα αυτά συνηγορούν και οι παρατηρήσεις του Schacter (1977) που συσχετίζει το μετωπιαίο θήτα με αύξηση του νοητικού φόρτου, όπως αυτός περιγράφεται από την δυσκολία της διεργασίας και την πολυπλοκότητα των ερεθισμάτων. Γενικά, αυτή η διαφορά στο μετωπικό θήτα ανάμεσα στα δύο περιβάλλοντα μπορεί να συσχετιστεί με αυξημένη δυσκολία (Mizuki et al. 1980, Kahana et al. 1999, Lazarev 1998, Schacter 1977, Laukka et al. 1995) και ένταση της προσοχής (Ishihara & Yoshii 1972) στην εκτελούμενη διεργασία του εικονικού περιβάλλοντος, ενώ η διαφορά στην αριστερή μετωπική περιοχή συσχετίζεται και με αύξηση του μνημονικού φόρτου (Gundel & Wilson 1992, Gevins et al. 1988).

#### *Άλφα ρυθμός*

Ο άλφα ρυθμός εμφανίζεται αρκετά διαφορετικός ανάμεσα στα δύο περιβάλλοντα και στην τοπολογία του αλλά και στις τιμές απόλυτης φασματικής ισχύος. Ωστόσο, η ανάλυση του ρυθμού σε υπορυθμούς αναδεικνύει και ορισμένες ομοιότητες.

Ο άλφα-1 ρυθμός παρουσιάζεται στο εικονικό περιβάλλον περισσότερο εξαπλωμένος και σε ινιακές και στην αριστερή κροταφική περιοχή. Και στα δύο περιβάλλοντα όμως, εμφανίζει έμφαση στο μετωπικό κεντρικό ηλεκτρόδιο Fz. Αυτό μπορεί να συσχετίζεται με την προσπάθεια των υποκειμένων να αυξήσουν την προσοχή και την επαγρύπνησή τους, συνεπώς να αυξήσουν τη νοητική τους απόδοση (Klimesch 1999).

Όσο αφορά στις διαφορές ισχύος των δύο περιβαλλόντων, το πραγματικό εμφανίζει υψηλότερες τιμές σε πρόσθιες και δεξιές περιοχές, ενώ το εικονικό σε κεντρικές, ινιακές και αριστερές περιοχές. Βασιζόμενοι στην γενικά αντίστροφη συσχέτιση της φασματικής ισχύος του άλφα ρυθμού με την ενεργοποίηση των

υποκείμενων εγκεφαλικών περιοχών και στον ισχυρισμό του Klimesh (1999) ότι ο άλφα-2 ρυθμός απεικονίζει διαφορετικούς τύπους απαιτήσεων προσοχής, μπορούμε να υποθέσουμε ότι το πραγματικό περιβάλλον εστίασε την προσοχή σε πρωτογενή οπτικά δεδομένα, ενώ το εικονικό έστρεψε την προσοχή σε γνωστικές λειτουργίες του προμετωπιαίου φλοιού ή σε κάποια μεταγνωστική επεξεργασία των πρωτογενών οπτικών πληροφοριών. Η δεξιά ενίσχυση του ρυθμού στο πραγματικό περιβάλλον μπορεί να συσχετίζεται με ενδείξεις αυξημένης χωρικής επεξεργασίας στο εικονικό περιβάλλον που προκύπτουν από τη συμπεριφορά του θήτα ρυθμού.

Ο άλφα-2 υπορυθμός είναι και στα δύο περιβάλλοντα εντοπισμένος σε οπίσθιες περιοχές, ινιακές στο εικονικό και πλευρικο-ινιακές στο πραγματικό περιβάλλον. Αυτό είναι αναμενόμενο για τον άλφα-2 υπορυθμό (Klimesch et al. 1992, 1994, 1996, 1997a, 1997b, 1997c) και σχετίζεται με επεξεργασία οπτικής πληροφορίας (Fournier et al. 1999). Οι υψηλότερες τιμές της φασματικής ισχύος του υπορυθμού σε όλα σχεδόν τα ηλεκτρόδια (εκτός από το αριστερό ινιακό) στο πραγματικό περιβάλλον, πιθανώς υπονοούν μια γενικά αυξημένη νοητική δραστηριότητα στο εικονικό περιβάλλον (Gerlic & Jaušovec 2001, Jaušovec 2000a, 2000b).

#### *Βήτα ρυθμός*

Ο βήτα ρυθμός εμφανίζεται και στα δύο περιβάλλοντα εξαπλωμένος σε πολλές εγκεφαλικές περιοχές.

Καταρχήν, η ινιακή εμφάνιση του ρυθμού και στα δύο περιβάλλοντα υποδηλώνει επεξεργασία οπτικών πληροφοριών. Οι υψηλότερες τιμές φασματικής ισχύος στα ινιακά ηλεκτρόδια στο εικονικό περιβάλλον ερμηνεύονται με τις παρατηρήσεις για αυξημένη επεξεργασία πρωτογενών οπτικών πληροφοριών στο περιβάλλον αυτό που προκύπτουν και από τους άλλους ρυθμούς.

Η εμφάνιση του βήτα ρυθμού στις προμετωπικές περιοχές (Fp1, Fp2) γενικά συνδέεται με τη νοητική εργασία (Kirov Warsawska, & Voynov 1996, Oken & Salinsky 1992, Markand 1990, Ray & Cole 1985) και με αύξηση του άγχους ή μείωση του βαθμού χαλάρωσης (π.χ., Jacobs et al. 1996, Field et al. 1996, Oken & Salinsky 1992, Markand 1990, Mundy-Castle 1951, Petruzzello & Landers 1994). Από την άποψη αυτή φαίνεται ότι το εικονικό περιβάλλον απαίτησε αυξημένη νοητική δραστηριότητα και μείωσε το βαθμό χαλάρωσης των υποκειμένων περισσότερο από το πραγματικό. Πιθανώς η κατάσταση ετοιμότητας στο εικονικό περιβάλλον ήταν εντονότερη και αυτό ενεργοποίησε εκτός από την προσοχή και άλλες γνωστικές λειτουργίες.

Η μετωπική εμφάνιση του ρυθμού υποδηλώνει ενεργοποίηση του μετωπιαίου φλοιού, ο οποίος συσχετίζεται με τη λειτουργία της μνήμης εργασίας (Dunbar & Sussman 1995). Εδώ φαίνεται να υπερτερεί το εικονικό περιβάλλον εκτός από το δεξιό μετωποκροταφικό ηλεκτρόδιο F8. Πιθανώς το εικονικό περιβάλλον εξαιτίας της μη καθαρής αναπαράστασης του φωτεινού σήματος, απαίτησε αυξημένη λειτουργία της μνήμης εργασίας για την αναγνώριση και καταμέτρηση των οπτικών ερεθισμάτων.

Γενικά, στο πραγματικό περιβάλλον ο ρυθμός εμφανίζεται αυξημένος περισσότερο στο δεξιό ημισφαίριο. Η δεξιά εγκεφαλική ενεργοποίηση σχετίζεται με οπτικο-χωρικές διεργασίες (Gron et al. 2000, Abrahams et al. 1999, Maguire et al. 1998, Bohbot et al. 1998), έτσι το πραγματικό περιβάλλον φαίνεται ότι ενεργοποίησε περισσότερες οπτικο-χωρικές λειτουργίες. Ωστόσο, η εντονότερη παρουσία του ρυθμού στο ηλεκτρόδιο F4 που τοποθετείται περίπου πάνω από τις δεξιές Brodmann περιοχές 9 και 46, υποδηλώνουν αυξημένη οπτικο-χωρική λειτουργία της μνήμης εργασίας στο εικονικό περιβάλλον (Gron et al. 2000).

Στο εικονικό η παρουσία του ρυθμού είναι εντονότερη στο αριστερό ημισφαίριο και κυρίως στο αριστερό κροταφικό ηλεκτρόδιο T3, το οποίο εκτός από τη συσχέτισή του με ακουστικές και γλωσσικές εγκεφαλικές περιοχές (που δεν αναμένουμε να ενεργοποιηθούν στην παρούσα διεργασία), τοποθετείται κοντά στη Brodmann περιοχή 20, που εμπλέκεται σε υψηλού επιπέδου επεξεργασία οπτικών πληροφοριών (Lloyd 2007). Πιθανώς το εικονικό περιβάλλον απαιτήσε αυξημένη μετα-επεξεργασία οπτικών πληροφοριών, εκτός από την αυξημένη επεξεργασία των πρωτογενών οπτικών δεδομένων.

#### *Γάμα ρυθμός*

Όπως φαίνεται από τους χρωματικούς χάρτες του πίνακα 9-8 (γ), η τοπολογία του γάμα ρυθμού είναι, παρά τις σημαντικές διαφορές στις τιμές της φασματικής ισχύος, περίπου όμοια στα δύο περιβάλλοντα. Η αριστερή βρεγματο-ινιακή εμφάνιση και στα δύο περιβάλλοντα συσχετίζεται με οπτική (Gruber et al. 2006) και χωρική επιλεκτική προσοχή (Müller et al. 2000), η προμετωπιαία με την οπτική μνήμη εργασίας (Howard et al. 2003, Conci et al. 2004), ενώ η δεξιά κροταφική T4 και η δεξιά κροταφο-βρεγματική F8 είναι δύσκολο να ερμηνευθούν, εκτός ίσως από τον χωρικό προσανατολισμό της διεργασίας.

Διαφορετική εμφανίζεται η συμμετοχή οπίσθιων ινιακών και βρεγματικών περιοχών που στο πραγματικό περιβάλλον είναι σχεδόν ανύπαρκτη. Φαίνεται ότι στο εικονικό περιβάλλον, εκτός από την αυξημένη επεξεργασία οπτικών πληροφοριών, ήταν εντονότερη η επιστράτευση της οπτικής (Gruber et al. 2006) και της χωρικής επιλεκτικής προσοχής (Müller et al. 2000).

Εξετάζοντας τις τιμές της φασματικής ισχύος φαίνεται ότι το πραγματικό περιβάλλον ενεργοποίησε περισσότερες χωρικές λειτουργίες του δεξιού ημισφαιρίου, ενώ το εικονικό ενεργοποίησε περισσότερες λειτουργίες επεξεργασίας οπτικών πληροφοριών (οπτικός φλοιός) και οπτική και χωρική επιλεκτική προσοχή (βρεγματο-ινιακές περιοχές).



## 9.9 Παρουσία άλλου υποκειμένου

Στη διεργασία αυτή έχουμε την εμφάνιση ενός εικονικού / πραγματικού ανθρώπου στο προσκήνιο (με απλή κίνηση βηματισμού από τη δεξιά άκρη του δωματίου προς την αριστερή). Δεν υπάρχει καμία ερώτηση ή άλλους είδους παρεμβολή από τον εξεταστή. Το χρονικό διάστημα που αναλύεται είναι το πρώτο δευτερόλεπτο από τη στιγμή που ο εικονικός/πραγματικός άνθρωπος εμφανίζεται στο οπτικό πεδίο.

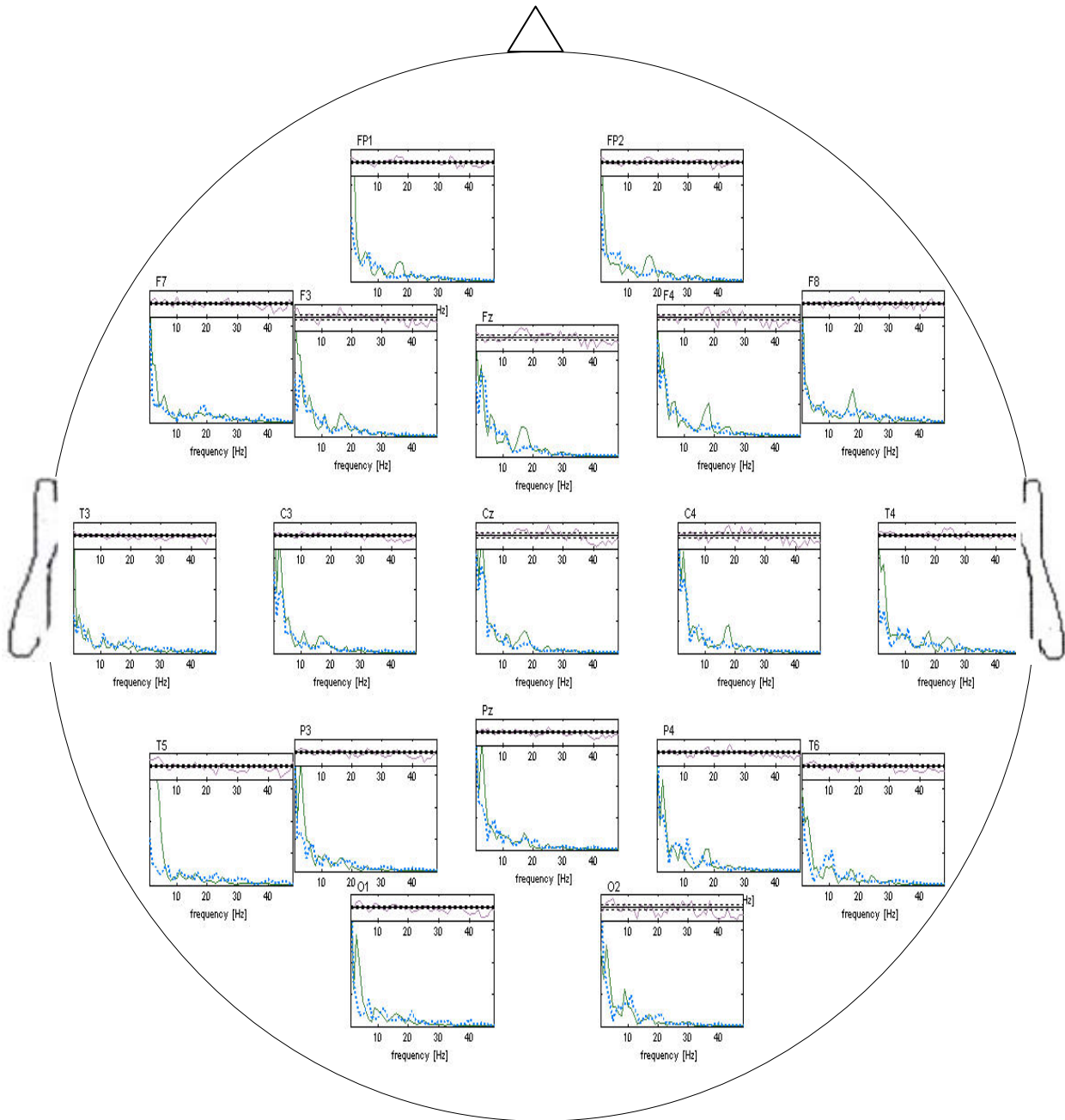
Αριθμός δείγματος μετά την απομάκρυνση των καταγραφών με παράσιτα: 6 υποκείμενα (2 άντρες, 4 γυναίκες).

Στο σχήμα 9-42 εμφανίζονται οι γραφικές παραστάσεις του φάσματος ισχύος για όλα τα ηλεκτρόδια και για τα δύο περιβάλλοντα. Στο σχήμα 9-43 και στο σχήμα 9-44 παρουσιάζονται δύο συνοπτικοί ανεξάρτητοι χρωματικοί χάρτες για το πραγματικό και το εικονικό περιβάλλον αντίστοιχα, στους οποίους φαίνονται οι επικρατούντες ρυθμοί και η τοπολογική τους εξάπλωση.

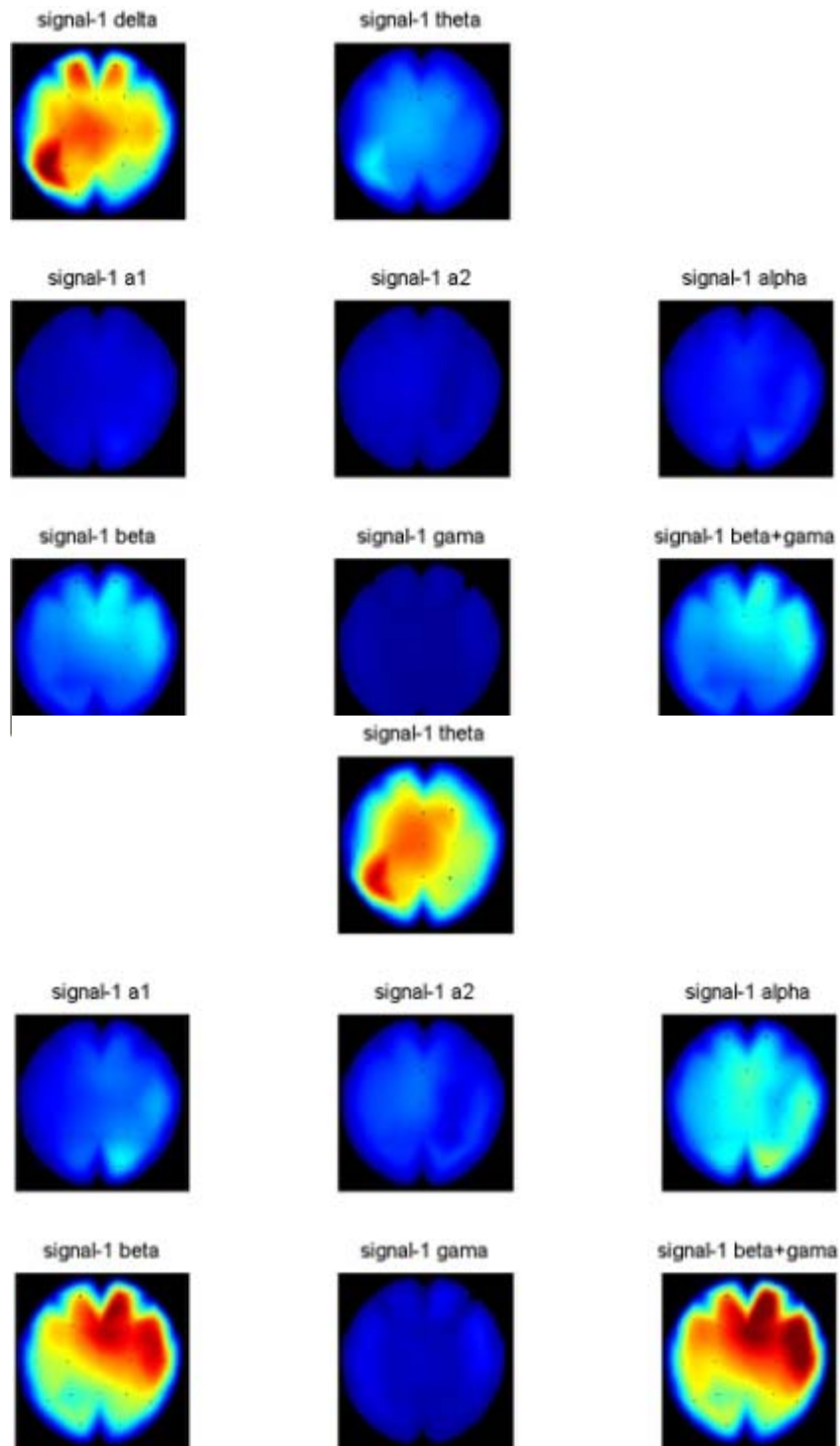
Συγκρίσεις των δύο περιβαλλόντων βασισμένοι στους χάρτες απόλυτης ισχύος παρουσιάζονται στον πίνακα 9-9 με χρωματική κλίμακα και στο σχήμα 9-45 χωρίς χρωματική κλίμακα αλλά με σύμβολα που υποδηλώνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Στο εικονικό περιβάλλον ο δέλτα ρυθμός μετατοπίζεται στις κεντρικές, ινιακές και στις δεξιές κροταφο-βρεγματικές περιοχές, ο θήτα ρυθμός ενισχύεται και περιορίζεται στις προσθιο-κεντρικές περιοχές, ο άλφα παραμένει στο δεξιό ημισφαίριο σε βρεγματικές και κεντρικές περιοχές και ο βήτα εμφανίζεται διάχυτος με έμφαση στις κροταφικές περιοχές. Ο γάμα ρυθμός είναι ασθενέστερος και εντοπίζεται κυρίως στις αριστερές κροταφικές περιοχές.

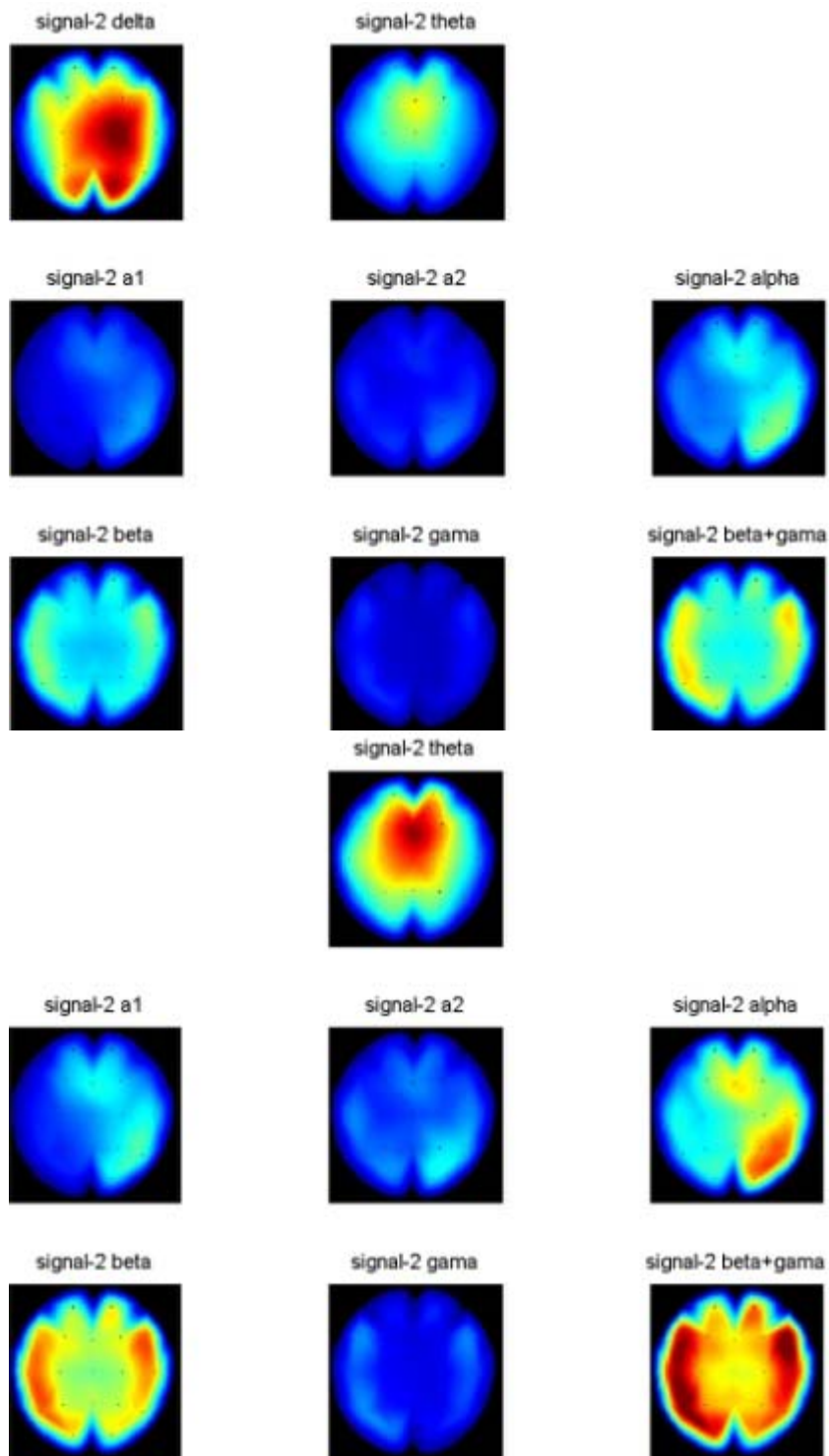
Στο πραγματικό περιβάλλον οι δέλτα και θήτα ρυθμοί εμφανίζονται γενικά διάχυτοι με υψηλότερες τιμές ισχύος στην αριστερή κροταφο-βρεγματική περιοχή, ο άλφα ρυθμός εμφανίζεται κυρίως δεξιά, με ασθενή άλφα-1 στην ινιακή και κροταφική περιοχή, ενώ ο βήτα είναι ισχυρός στις μετωπικές, κεντρικές και δεξιές κροταφικές περιοχές.



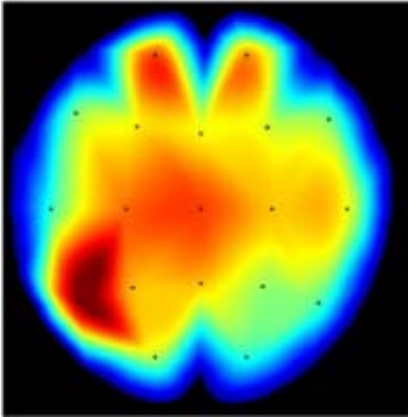
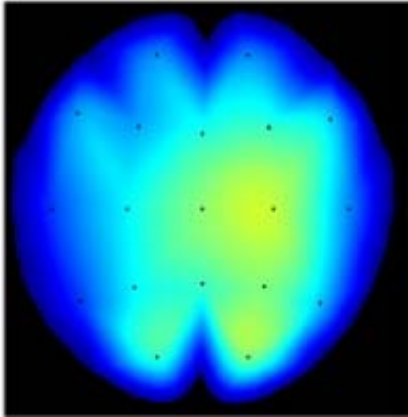
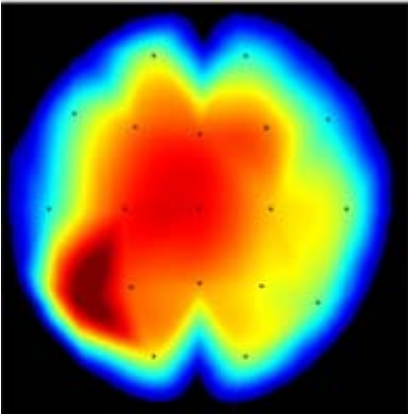
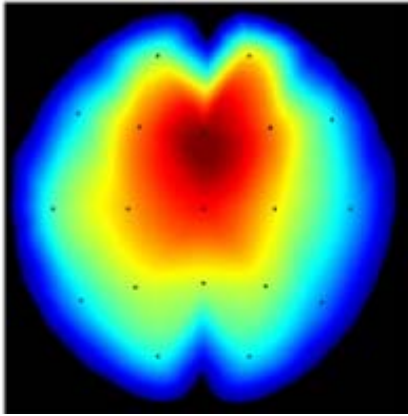
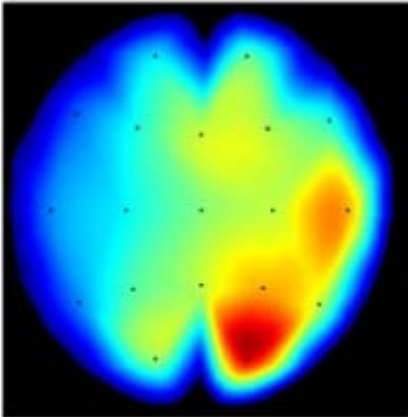
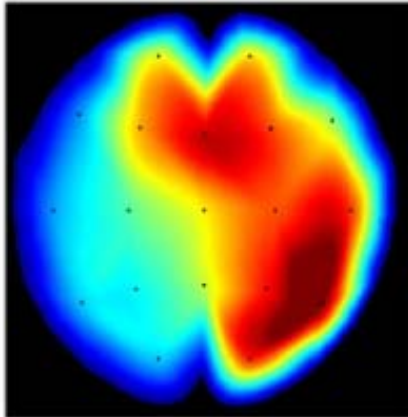
Σχήμα 9-42. Γραφική παράσταση του φάσματος όλων των υποκειμένων με συχνότητες 1 μέχρι 48 Hz για όλα τα ηλεκτρόδια. Η μπλε διακεκομμένη γραμμή αντιστοιχεί στο εικονικό περιβάλλον και η πράσινη στο πραγματικό.

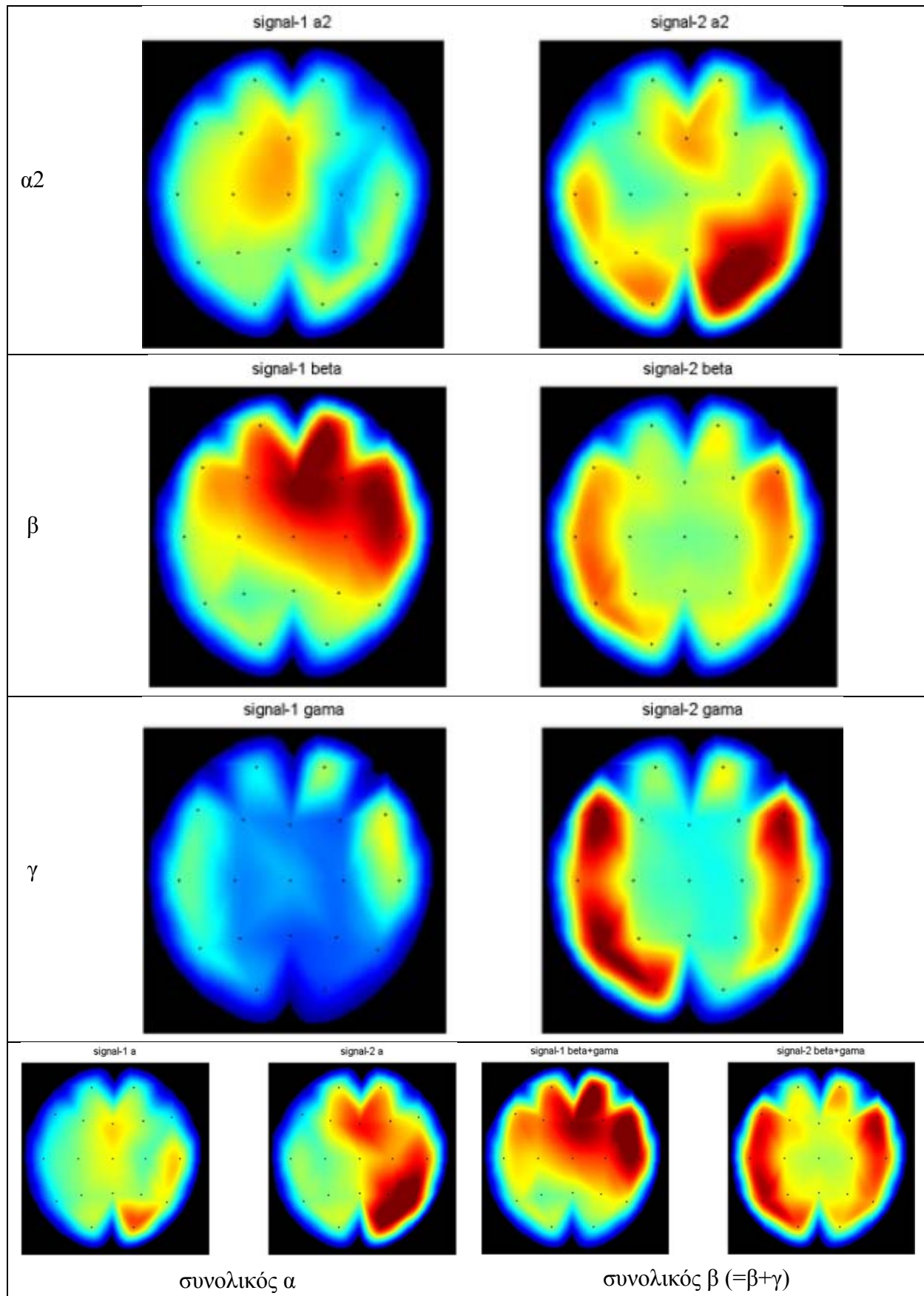


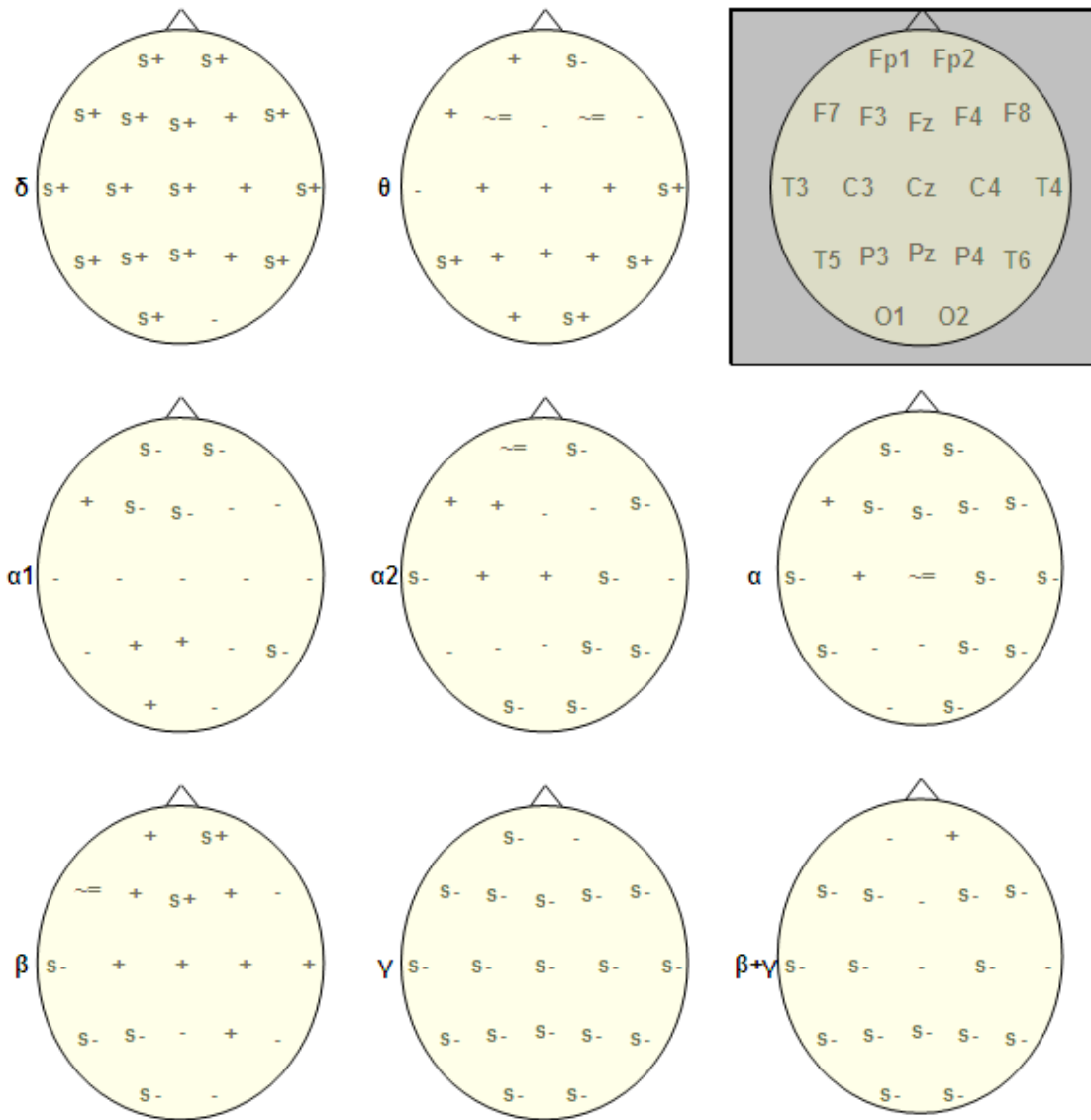
Σχήμα 9-43. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα REAL (πραγματικό περιβάλλον) με δέλτα ρυθμό (άνω) και χωρίς δέλτα (κάτω).



Σχήμα 9-44. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα VR (εικονικό περιβάλλον) με δέλτα ρυθμό (άνω) και χωρίς δέλτα (κάτω).

Πίνακας 9-9. Χάρτες με απόλυτες τιμές ισχύος κατανεμημένες για κάθε ρυθμό σε REAL και VR για τη διεργασία παρουσίας άλλου υποκειμένου.	
REAL (πραγματικό περιβάλλον)	VR (εικονικό περιβάλλον)
<p><math>\delta</math></p> <p>signal-1 delta</p> 	<p>signal-2 delta</p> 
<p><math>\theta</math></p> <p>signal-1 theta</p> 	<p>signal-2 theta</p> 
<p><math>\alpha 1</math></p> <p>signal-1 a1</p> 	<p>signal-2 a1</p> 



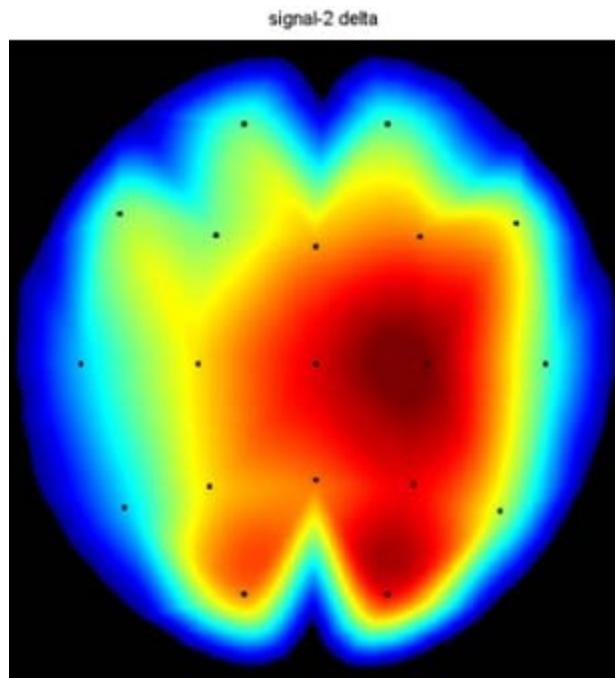


Σχήμα 9-45. Συγκριτική παρουσίαση της απόλυτης ισχύος του πραγματικού και του εικονικού περιβάλλοντος (αφαίρεση τιμών REAL – VR). Τα σύμβολα s+ και s- σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, τα + και – μη στατιστικά σημαντικές διαφορές και το σύμβολο ≈ αμελητέες διαφορές. Στο άνω δεξιό γκρι πλαίσιο εικονίζονται σχηματικά οι θέσεις των ηλεκτροδίων (σύστημα 10-20).

Στη διεργασία αυτή αναμένουμε ενεργοποίηση οπτικοχωρικών λειτουργιών, διαδικασίες αναγνώρισης αντικειμένου, αντίληψη της κίνησης και πιθανώς άλλες αντιδράσεις εξειδικευμένες στην λειτουργία κοινωνικών συνιστωσών που ενεργοποιούνται με την παρουσία έμβιου οργανισμού του ίδιου είδους. Αρκετοί ερευνητές υποστηρίζουν την άποψη ότι η αναγνώριση των κινήσεων ενός ατόμου του ίδιου είδους είναι μια αναπτυγμένη ικανότητα του ανθρώπου και των πρωτευόντων γενικότερα (Premack & Woodruff 1978). Έτσι, η παρούσα διεργασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί γενικότερα στη μελέτη της κοινωνικής παρουσίας (social presence) στα εικονικά περιβάλλοντα.

*Δέλτα ρυθμός*

Η δέλτα δραστηριότητα εμφανίζει πολύ διαφορετικά πρότυπα στα δύο περιβάλλοντα. Στο πραγματικό περιβάλλον εμφανίζεται διάχυτη σε όλο το κρανίο με έμφαση στην αριστερή κροταφο-βρεγματική περιοχή και σε μικρότερο βαθμό στην κεντρική και τις πρόσθιο-μετωπικές, ενώ στο εικονικό περιβάλλον εντοπίζεται κυρίως στις δεξιές κεντρικές, βρεγματικές και ινιακές περιοχές. Το σχήμα 9-46 παρουσιάζει τον χάρτη ισχύος του εικονικού περιβάλλοντος χωρίς συγκριτική παράθεση με το κατά πολύ ισχυρότερο σήμα του πραγματικού περιβάλλοντος, ώστε να αναδειχθεί η τοπολογία του ρυθμού στο ασθενέστερο σήμα. Γενικά, ο δέλτα ρυθμός είναι υψηλότερος στο πραγματικό περιβάλλον, εκτός από το δεξιό ινιακό ηλεκτρόδιο.



Σχήμα 9-46. Χάρτης με απόλυτες τιμές ισχύος για το δέλτα ρυθμό στο εικονικό περιβάλλον.

Η εμφάνιση του ρυθμού δεν μπορεί να σχετιστεί στη διεργασία αυτή με καταστάσεις χαλάρωσης και ύπνου αφού κάτι τέτοιο αποκλείστηκε από την πειραματική διαδικασία και την παρατήρηση της συμπεριφοράς των υποκειμένων.

Στο πραγματικό περιβάλλον η μέγιστη ενεργοποίηση παρατηρείται στο ηλεκτρόδιο T5, το οποίο τοποθετείται πάνω από τις περιοχές Brodmann 37 και 39, κοντά στην ατρακτοειδή έλικα (fusiform gyrus) και γενικότερα στην έξω κροταφοϊνιακή περιοχή (fusiform face area – FFA) που πιθανώς συσχετίζεται με την αναγνώριση προσώπων. Αν δεχθούμε την υπόθεση (με αρκετές επιφυλάξεις) ότι η δέλτα δραστηριότητα σχετίζεται αντιστρόφως με το φόρτο εργασίας (Scerbo et al. 2001), τότε η αριστερή βρεγματο-ινιακή (ηλεκτρόδιο T5) αύξηση στο πραγματικό περιβάλλον μπορεί να σηματοδοτεί μειωμένο φόρτο στην αναγνώριση του πραγματικού ανθρώπου (εξεταστής), κάτι που δεν συνέβη στο εικονικό περιβάλλον με το άγνωστο πρόσωπο του avatar.



*Θήτα ρυθμός*

Στο πραγματικό περιβάλλον ο θήτα ρυθμός παρουσιάζει έμφαση στην αριστερή κροταφο-βρεγματική και σε μικρότερο βαθμό στην κεντρική περιοχή, ενώ στο εικονικό περιβάλλον περιορίζεται στην κεντρική μετωπική περιοχή (Fz). Στο πραγματικό περιβάλλον η μέγιστη ενεργοποίηση παρατηρείται στο ηλεκτρόδιο T5, το οποίο τοποθετείται πάνω από τις περιοχές Brodmann 37 και 39, κοντά στην έξω κροταφοϊνιακή περιοχή (fusiform face area – FFA) που γενικά συσχετίζεται με την αναγνώριση προσώπων. Στο εικονικό περιβάλλον η μέγιστη ενεργοποίηση παρατηρείται στο ηλεκτρόδιο Fz, το οποίο τοποθετείται πάνω από τον ραχιαίο-πλάγιο προμετωπιαίο φλοιό (dorsolateral prefrontal cortex) μεταξύ των περιοχών Brodmann 8 και 9 οι οποίες γενικά σχετίζονται με οφθαλμικές κινήσεις αλλά και με τη μνήμη εργασίας.

Γενικά, στο πραγματικό περιβάλλον παρατηρούμε υψηλότερες τιμές θήτα ισχύος κυρίως στο πίσω τμήμα του φλοιού. Αυτή η αύξηση μπορεί να ερμηνευθεί και ως αυξημένη επαγρύπνηση (Daniel 1967) που εμφάνισαν οι συμμετέχοντες στο πραγματικό περιβάλλον, επειδή ίσως η κίνηση του εξεταστή μπροστά στο οπτικό τους πεδίο ενεργοποίησε αίσθημα αναμονής για νέα, διαφορετικού τύπου ερώτηση / διεργασία. Επειδή η πίσω βρεγματική περιοχή του αριστερού ημισφαιρίου συσχετίζεται με προσοχή προσανατολισμένη σε κινήσεις και με χωρικό προσανατολισμό (Nobre et al. 1997), φαίνεται ότι η παρουσία και η κίνηση του πραγματικού ανθρώπου αύξησε την προσοχή των υποκειμένων.

Στο εικονικό περιβάλλον ο θήτα ρυθμός εμφανίζεται ισχυρότερος μόνο στη δεξιά προμετωπική περιοχή (ηλεκτρόδιο Fp1). Αυτό πιθανό να σημαίνει αυξημένη προσοχή στο εικονικό περιβάλλον (Mizuki et al. 1980, 1982, Kahana et al. 1999, Lazarev 1998) ως προς την οπτικο-χωρική συνιστώσα της διεργασίας, αφού το δεξιό ημισφαίριο και ειδικά ο μετωπικός φλοιός είναι σημαντικός στις διαδικασίες προσοχής (Paus et al. 1997). Επίσης μικρή αύξηση (αλλά χωρίς στατιστική σημαντικότητα) παρατηρείται στις μετωπικές περιοχές της μέσης γραμμής, η οποία θεωρείται ως σχετικά συνεπής δείκτης του φόρτου εργασίας και της προσπάθειας για προσοχή.

Επιπλέον, αύξηση του θήτα ρυθμού (στις μετωπιαίες κυρίως περιοχές), τυπικά συνδέεται με αύξηση της προσοχής (Schacter 1977), του νοητικού φόρτου, όπως αυτός περιγράφεται από τη δυσκολία της διεργασίας και την πολυπλοκότητα των ερεθισμάτων (Schacter 1977, Fournier et al. 1999) και με αύξηση του μνημονικού φόρτου. (Mecklinger et al. 1992, Gundel & Wilson 1992, Gevins et al. 1988, Wilson et al. 1999, Onton et al. 2005). Φαίνεται ότι η παρουσία και η κίνηση του εικονικού ανθρώπου απαιτήσαν αύξηση του νοητικού και μνημονικού φόρτου, πιθανόν αυξημένη προσπάθεια ανάκλησης από τη μνήμη παρόμοιας εικονικής φιγούρας, χωρίς όμως να συνοδεύεται από ενεργοποίηση λειτουργιών αναγνώρισης του προσώπου.

Η συμμετοχή κεντρικο-βρεγματικών περιοχών του αριστερού ημισφαιρίου στον θήτα ρυθμό στο πραγματικό περιβάλλον συμφωνεί με τις παρατηρήσεις του Stevens ο

οποίος σημειώνει παρόμοια ενεργοποίηση κατά την αντίληψη κινήσεων άλλων ατόμων (όχι όμως ζώων). Ωστόσο, ο Stevens δεν παρατήρησε διαφορές στις κινήσεις εικονικών ανθρώπων, ίσως γιατί εξέταζε μόνο την περιοχή του «θήτα-2» (5.5 – 7.5 Hz) ρυθμού (Stevens et al. 2000).

#### *Άλφα ρυθμός*

Ο άλφα ρυθμός παρουσιάζεται γενικά αυξημένος στο εικονικό περιβάλλον στα περισσότερα ηλεκτρόδια με σαφή έμφαση στο δεξιό ημισφαίριο. Σύμφωνα με την άποψη ότι η φασματική ισχύ του άλφα ρυθμού σχετίζεται με τη νοητική προσπάθεια γενικά με αντιστρόφως ανάλογο τρόπο (8) (π.χ. Glass 1964, Butler & Glass 1976, Donchin et al. 1977, Gutierrez & Corsi-Cabrera 1988, Nunez 1995, Pfurtscheller 1996, Burgess & Gruzelier 1997, Klimesch et al. 1996, 1997a, 1997b, Klimesch 1997, 1999), μπορεί να υποστηριχθεί η άποψη ότι το εικονικό περιβάλλον γενικά απαίτησε μικρότερη νοητική προσπάθεια από το πραγματικό.

Οι άλφα υπορυθμοί εμφανίζουν αρκετές διαφορές στα δύο περιβάλλοντα.

Ο άλφα-1 ρυθμός και στα δύο περιβάλλοντα παρουσιάζει εμφανή αύξηση στο δεξιό ημισφαίριο. Στο πραγματικό περιβάλλον εντοπίζεται κυρίως στη δεξιά ινιακή και λιγότερο στη δεξιά κροταφική περιοχή. Στο εικονικό περιβάλλον η τοπολογία του είναι σχεδόν διάχυτη σε όλο το δεξιό ημισφαίριο και στην αριστερή προμετωπική περιοχή. Ωστόσο, οι στατιστικά σημαντικές διαφορές δεν είναι πολλές και περιορίζονται στη μετωπική περιοχή (Fp1, Fp2, Fz, F3) και στη δεξιά βρεγματο-ινιακή (T6).

Αν υποθέσουμε ότι ο άλφα-1 (κατώτερος άλφα) υπορυθμός (8 – 10 Hz) συνδέεται με την γνωστική επεξεργασία και τους μηχανισμούς της νοητικής προσπάθειας (Gremades et al. 2004, Klimesch et al. 1992), τότε και στα δύο περιβάλλοντα παρατηρούμε μειωμένη νοητική προσπάθεια ως προς τις οπτικοχωρικές λειτουργίες του δεξιού ημισφαιρίου. Επιπλέον, επειδή στο δεξιό ημισφαίριο γενικά το εικονικό περιβάλλον παρουσιάζει μεγαλύτερη άλφα-1 δραστηριότητα από το πραγματικό, άρα πιθανόν οι οπτικο-χωρικές λειτουργίες που απαίτησε η δραστηριότητα ήταν εντονότερες στο πραγματικό περιβάλλον.

Η αυξημένη ισχύς του άλφα-1 ρυθμού στη δεξιά ινιακή περιοχή και στα δύο περιβάλλοντα χωρίς αξιοσημείωτες διαφορές μεταξύ τους, πιθανόν να υπονοεί μικρή δραστηριότητα σε επεξεργασία οπτικής πληροφορίας.

Αντίθετα, η υψηλότερη άλφα-1 ενεργοποίηση σε όλη τη μετωπική περιοχή και ειδικά στην προμετωπική στο εικονικό περιβάλλον σε σχέση με το πραγματικό, πιθανό να σχετίζεται με μειωμένη κατάσταση προσοχής (Jaušovec & Jaušovec 2000) στο εικονικό περιβάλλον, κάτι που δε συμφωνεί με τις παρατηρήσεις του θήτα ρυθμού.

Επιπλέον, οι μικρές διαφοροποιήσεις στις ινιακές περιοχές και οι παράλληλες σημαντικές διαφορές στις μετωπικές περιοχές συμφωνούν με παρατηρήσεις των Cartwright και Zanni (1996) που σε έρευνα της αντίληψης κινήσεων σε εικονικό και πραγματικό περιβάλλον παρατήρησαν σημαντικές διαφορές στο μετωπιαίο άλφα

ρυθμό και υποστήριξαν ότι η διαφοροποίηση δεν συνίσταται στην πρωτογενή επεξεργασία της οπτικής πληροφορίας αλλά σε ένα υψηλότερο επίπεδο γνωστικής επεξεργασίας εκτός του οπτικού φλοιού.

Ο άλφα-2 στο πραγματικό περιβάλλον εμφανίζεται κυρίως σε αριστερές κεντρικές, μετωπικές και δεξιές κροταφο-βρεγματικές περιοχές. Στο εικονικό περιβάλλον παρουσιάζεται γενικά αυξημένος σε σχέση με το πραγματικό και παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ισχύ στη δεξιά βρεγματο-ινιακή περιοχή (O2, P4, T6).

Η διαφοροποίηση στον άλφα-2 είναι εντονότερη στη δεξιά μετωπική και δεξιά ινιακή περιοχή, πράγμα που σηματοδοτεί διαφορετική εγκεφαλική λειτουργία σε οπτικο-χωρικές δραστηριότητες. Στο πραγματικό περιβάλλον ο άλφα-2 εμφανίζεται εντονότερος στο αριστερό ημισφαίριο ενώ στο εικονικό κυρίως στο δεξιό, πράγμα που με δεδομένη τη θεώρηση του άλφα-2 ρυθμού ως δείκτης της επιλεκτικής κωδικοποίησης των ερεθισμάτων (Robert et al. 1984), πιθανόν σημαίνει ότι στο εικονικό περιβάλλον ο avatar θεωρήθηκε ως αλληλουχία κινούμενων εικόνων, ενώ ο πραγματικός άνθρωπος ενεργοποίησε και άλλες λειτουργίες (μη οπτικο-χωρικές) του αριστερού ημισφαιρίου.

#### *Βήτα ρυθμός*

Ο βήτα ρυθμός εμφανίζεται στο πραγματικό περιβάλλον σημαντικά ισχυρότερος από το εικονικό στις κεντρικές και μετωπικές ηλεκτροεγκεφαλικές θέσεις με έμφαση προς το δεξιό ημισφαίριο, ενώ το εικονικό περιβάλλον υπερτερεί στην αριστερή κροταφο-βρεγματο-ινιακή περιοχή.

Γενικότερα, αύξηση του βήτα ρυθμού στις πρόσθιες περιοχές (Fp1, Fp2) συνδέεται με τη νοητική εργασία (Kiroy Warsawska, & Voynov 1996, Oken & Salinsky 1992, Markand 1990, Ray & Cole 1985), οπότε πρέπει να υποθέσουμε ότι το πραγματικό περιβάλλον απαιτήσε γενικά αυξημένη νοητική δραστηριότητα. Ταυτόχρονα, αύξηση του βήτα ρυθμού στις πρόσθιες περιοχές (Fp1, Fp2) έχει συσχετιστεί με αύξηση του άγχους ή μείωση του βαθμού χαλάρωσης (π.χ., Jacobs et al. 1996, Field et al. 1996, Oken & Salinsky 1992, Markand 1990, Mundy-Castle 1951, Petruzzello & Landers 1994), οπότε πιθανόν στο πραγματικό περιβάλλον η εμφάνιση του ίδιου του εξεταστή στο οπτικό πεδίο του συμμετέχοντα (που στις άλλες διεργασίες έκανε τις ερωτήσεις του καθισμένος πίσω από το υποκείμενο) να ενίσχυσε το άγχος ή να μείωσε το βαθμό χαλάρωσης. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να λάβουμε υπόψη τη άποψη ορισμένων ερευνητών ότι δεν είναι εύκολο να διαχωριστεί η ανεξάρτητη μεταβλητή που επηρεάζει την πρόσθια βήτα δραστηριότητα, γιατί δεν μπορεί να θεωρηθεί ανεξάρτητη η νοητική δραστηριότητα που λαμβάνει χώρα σε καταστάσεις μάθησης, για παράδειγμα, από τις ψυχολογικές συνιστώσες που δημιουργούνται και συνυπάρχουν ταυτόχρονα (Macaulay & Edmonds 2004).

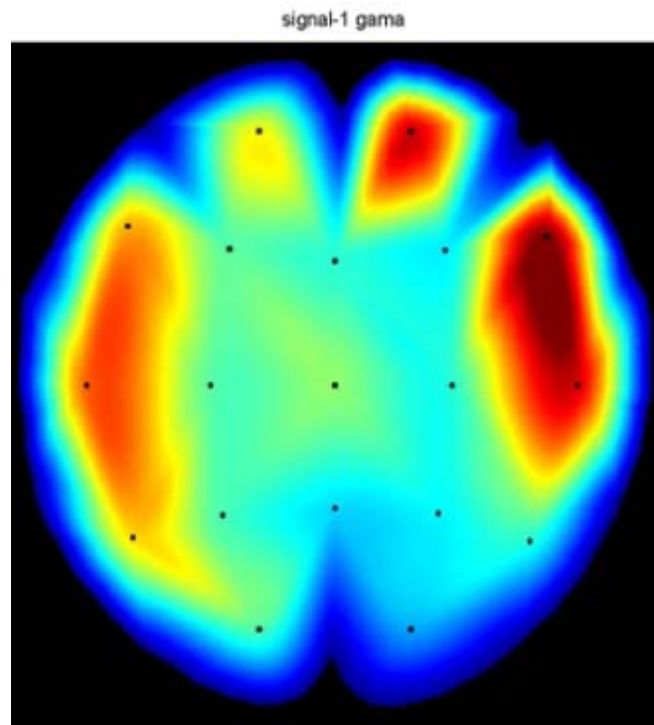
Εκτός από τις διαφορές στις απόλυτες τιμές φασματικής ισχύος, διαφέρει σημαντικά η τοπολογική εξάπλωση του ρυθμού στα δύο περιβάλλοντα. Σύμφωνα με τον Choprin (2000), που συνοψίζοντας προηγούμενες έρευνες αναφέρει την επίδραση του συναισθήματος στον βήτα ρυθμό σε μετωπικές και βρεγματικές

περιοχές, η έμφαση στο πραγματικό περιβάλλον στις μετωπικές περιοχές, ενώ στο εικονικό στις βρεγματικές πιθανόν σχετίζεται με διαφορετικά συναισθήματα που προκάλεσε η εμφάνιση του άλλου υποκειμένου στα δύο περιβάλλοντα (έστω και αν δεν είναι δυνατό να αναγνωριστούν τα διαφορετικά συναισθήματα).

Βέβαια ο βήτα ρυθμός εμπλέκεται σε αρκετές γνωστικές διεργασίες, όπως στη διέγερση και την προσοχή (F.L. da Silva 1991 2000). Έτσι η αύξηση του βήτα ρυθμού (25-30 Hz) που παρατηρείται στο βρεγματικό λοβό κατά τη συναισθηματική φόρτιση μπορεί να αποδοθεί και σε δευτερογενείς διαδικασίες διέγερσης και προσοχής. Φαίνεται δηλαδή ότι το πραγματικό περιβάλλον ενεργοποίησε τη διέγερση και την προσοχή των υποκειμένων περισσότερο από το εικονικό.

Τέλος, ας σημειωθεί η συσχέτιση του βήτα ρυθμού με το μνημονικό φόρτο στο ηλεκτρόδιο Cz (Gevins et al. 1998). Πιθανώς στο εικονικό περιβάλλον οι συμμετέχοντες προσπάθησαν να θυμηθούν κάτι σχετικό με το avatar.

#### *Γάμα ρυθμός*



Σχήμα 9-47. Χάρτης με απόλυτες τιμές ισχύος για τον γάμα ρυθμό στο πραγματικό περιβάλλον.

Στο εικονικό περιβάλλον ο γάμα ρυθμός εμφανίζεται ισχυρότερος από το πραγματικό σε όλες τις ηλεκτροεγκεφαλογραφικές θέσεις. Επειδή η συγκριτική παράθεση του ρυθμού στα δύο περιβάλλοντα υποβαθμίζει αρκετά το ασθενέστερο σήμα, στο σχήμα 9-47 αποτυπώνει το πραγματικό περιβάλλον ανεξάρτητα από το εικονικό. Αν παραβλέψουμε τις διαφορές στη φασματική ισχύ, η τοπολογία του ρυθμού παρουσιάζει αρκετές ομοιότητες στα δύο περιβάλλοντα (εκτός από την

αριστερή ινιακή περιοχή). Γενικά και στα δύο περιβάλλοντα ο γάμα ρυθμός εμφανίζεται κυρίως περιμετρικά, ενώ απουσιάζει από τις κεντρικές περιοχές.

Η γενική αύξηση του ρυθμού στο εικονικό περιβάλλον πιθανώς σημαίνει ότι το περιβάλλον αυτό θεωρήθηκε περισσότερο πολύπλοκο αντιληπτικά από το πραγματικό (Simos et al. 2002) και απαίτησε αυξημένη επεξεργασία οπτικών πληροφοριών και αντιληπτικούς μηχανισμούς προσοχής (Müller et al. 2000).

Οι Dehaene και Changeux (2005) υποστηρίζουν ότι υψηλότερη αυθόρμητη δραστηριότητα είναι πιθανό να διευκολύνει την ανίχνευση των αδύνατων ερεθισμάτων, ενώ η πολύ υψηλή αυθόρμητη δραστηριότητα έχει έναν ρόλο φραγμού που αποτρέπει την πρόσβαση σε άλλα εξωτερικά ερεθίσματα. Υπό αυτό το πρίσμα η αυξημένη γάμα δραστηριότητα του εικονικού περιβάλλοντος μπορεί να θεωρηθεί ότι οδηγεί σε διευκόλυνση της αισθητήριας επεξεργασίας και επομένως σε κατάσταση αυξημένης επαγρύπνησης. Πιθανόν, το συνθετικό περιβάλλον συνδέεται με ανάγκη για επεξεργασία όλων των οπτικών ερεθισμάτων ακόμη και των πιο αδύνατων διαφοροποιήσεων στη σχεδίαση του avatar και ίσως υπονοεί αυξημένη προσπάθεια αναγνώρισης.

Η δραστηριότητα γάμα (30–80 Hz) συνδέεται με από επάνω προς τα κάτω επεξεργασίες προσοχής και την αντίληψη των αντικειμένου (Tiitinen et al., 1993, Keil et al. 1999, Rodriguez et al. 1999, Debener et al. 2003, Gruber and Muller 2005). Σε συνδυασμό με την προηγούμενη παράγραφο, η αριστερή βρεγματο-ινιακή αύξηση στο εικονικό περιβάλλον πιθανώς σχετίζεται με ενεργοποίηση από επάνω προς τα κάτω λειτουργιών προσοχής για την αναγνώριση του άγνωστου προσώπου του εικονικού ανθρώπου. Η αριστερή βρεγματο-ινιακή αύξηση στο εικονικό περιβάλλον μπορεί να σημαίνει όχι ότι οι συμμετέχοντες αναγνώρισαν τον εικονικό άνθρωπο, αλλά ότι απλώς οι εικόνες που παρουσιάζονταν στο κράνος ΕΠ δεν ήταν χωρίς νόημα και αναγνωρίστηκαν ως ανθρώπινη φιγούρα (Rodriguez et al. 1999).

Όσο αφορά στις συναισθηματικές πτυχές της διεργασίας και τα δύο περιβάλλοντα δεν φαίνεται να προκάλεσαν συναισθηματική φόρτιση. Ωστόσο, η αυξημένη γάμα δραστηριότητα του εικονικού περιβάλλοντος στα βρεγματο-ινιακά ηλεκτρόδια, που υποδεικνύουν δραστηριότητα σχετική με την οπτική επεξεργασία πληροφοριών, πιθανόν υποδεικνύουν δραστηριότητα ουδέτερη συναισθηματικά και κυρίως σχετική με την οπτική επεξεργασία των πληροφοριών (Müller et al. 2000).



---

# 10 Συμπεράσματα

---

10.1	Εισαγωγή.....	394
10.2	Πρώτη επαφή με το περιβάλλον .....	394
10.3	Οπτική-χωρική διεργασία .....	396
10.4	Αναγνώριση και καταμέτρηση αντικειμένων .....	397
10.5	Καταμέτρηση αντικειμένων με υποκειμενική επιλογή.....	400
10.6	Οπτική-λεκτική διεργασία .....	402
10.7	Αντίληψη κινούμενου αντικειμένου .....	403
10.8	Διεργασία ετοιμότητας και αναμονής.....	405
10.9	Παρουσία άλλου υποκειμένου .....	406
10.10	Γενικά συμπεράσματα .....	408
10.11	Περιορισμοί .....	412
10.12	Προτάσεις για παραπέρα έρευνα .....	412

## 10.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της εμπειρικής μελέτης, πρώτα αναλυτικά ανά διεργασία και στο τέλος γίνεται προσπάθεια να ενοποιηθούν για όλες τις διεργασίες και να εξαχθούν γενικευμένες κατά το δυνατό παρατηρήσεις, τάσεις ή πρότυπα εγκεφαλικής συμπεριφοράς, που να αναδεικνύουν τις διαφορετικές ή παρόμοιες γνωστικές απαιτήσεις των δύο περιβαλλόντων. Αμφιλεγόμενα σημεία, παράγοντες που μπορεί να τροποποιήσουν τις μετρήσεις ή την ερμηνεία των αποτελεσμάτων, καθώς και άλλοι λόγοι που μας ανάγκασαν να τροποποιήσουμε την πειραματική διαδικασία ώστε να είναι αποτελεσματική η εφαρμογή των υπαρχόντων τεχνολογικών και στατιστικών μεθόδων περιγράφονται στην ενότητα 10.11 όπου συνοψίζονται οι περιορισμοί της ερευνητικής διαδικασίας.

## 10.2 Πρώτη επαφή με το περιβάλλον

Μια γενική παρατήρηση είναι το γεγονός ότι τόσο ο θήτα όσο και εν γένει ο άλφα ρυθμός παρουσιάζονται αυξημένοι στο εικονικό περιβάλλον. Αυτό γενικά έρχεται σε αντίθεση με τη μέχρι τώρα γνώση μας για την αντίστροφη συμπεριφορά αυτών των ρυθμών του ΗΕΓ (Gevins et al. 1997, Marciani et al. 1994, Ramos et al. 1993, Lopes da Silva 1992, Gundel et al. 1992, Rugg & Dickens 1982, Gevins et al. 1979, Schacter 1977, Gale et al. 1971, 1975, Doppelmayr et al. 1998, Pfurtscheller 1991, Klimesch et al. 1990, Pfurtscheller et al. 1988, Schabus 2001). Εξαίρεση αποτελεί ο Klimesch (1999) που υποστηρίζει ότι μείωση στην ανώτερη άλφα και θήτα περιοχή συσχετίζονται με αύξηση του μνημονικού φόρτου. Είναι όμως δύσκολο στη συγκεκριμένη διεργασία να υποστηριχθεί αύξηση του μνημονικού φόρτου στο πραγματικό περιβάλλον. Οι παρατηρήσεις αυτές για τον άλφα ρυθμό συμφωνούν με τον Ruggnetti και τους συνεργάτες του (1996) που κατέγραψαν επίσης αυξημένη άλφα ισχύ σε υποκείμενα κατά την εργασία σε εικονικά δωμάτια, ενώ διαφωνούν εν μέρει με τον Mager και τους συνεργάτες του (2000) που κατέγραψαν μείωση της ισχύος του άλφα ρυθμού και αύξηση του θήτα στο εικονικό περιβάλλον σε σχέση με τα άλλα περιβάλλοντα.

Η αύξηση του θήτα ρυθμού και μείωση του βήτα στο εικονικό περιβάλλον συμφωνεί με τις παρατηρήσεις των Barcelo et al. (1995) σε διεργασίες οπτικού προσανατολισμού. Οι ερευνητές συσχέτισαν τον ινιακό και όχι το μετωπιαίο θήτα με την προσοχή. Δεδομένου ότι η οπτική διεργασία ήταν απλή και δεν εμπεριείχε γνωστική επεξεργασία υψηλού φόρτου εργασίας, είναι αναμενόμενη η επίδραση στο ινιακό και όχι στο μετωπικό θήτα (Scerbo 2001).

Οι παρατηρήσεις της συμπεριφοράς των άλφα και θήτα ρυθμών δεν είναι εύκολο να συνδυαστούν. Η τοπολογία του θήτα ρυθμού μπορεί να συσχετιστεί με



αυξημένη προσοχή στο εικονικό περιβάλλον και αυξημένη επεξεργασία οπτικο-χωρικών πληροφοριών, όχι τόσο όσο αφορά στην πρωτογενή επεξεργασία της οπτικής πληροφορίας, αλλά σε ένα υψηλότερο επίπεδο γνωστικής επεξεργασίας εκτός του οπτικού φλοιού. Ίσως για την κατανόηση της οπτικής πληροφορίας που προήλθε από τις κινούμενες εικόνες του κράνους ΕΠ να απαιτήθηκε ένας περισσότερο συμβολικός τύπος επεξεργασίας. Υπάρχει όμως και το ενδεχόμενο το εικονικό περιβάλλον να απαιτήσει αυξημένη επεξεργασία των οπτικών πληροφοριών σε συνειρμικό επίπεδο κατά την προσπάθεια αναγνώρισης των εικονικών αντικειμένων εξαιτίας πιθανώς μειωμένου ρεαλισμού, όπως επίσης η πρώτη επαφή με το νέο και άγνωστο εικονικό περιβάλλον να ενεργοποίησε διαδικασίες προσανατολισμού, που στο πραγματικό δεν ήταν απαραίτητες.

Η γενική αύξηση του θήτα μπορεί να ερμηνευθεί και ως αυξημένη επαγρύπνηση (Daniel 1967) που εμφάνισαν οι συμμετέχοντες στο εικονικό περιβάλλον, επειδή ήταν νέο ή επειδή είχαν αυξημένο ενδιαφέρον και προσδοκίες από τη συγκεκριμένη τεχνολογία. Υπάρχει όμως και η ένσταση από ορισμένους ερευνητές, ότι η αύξηση του θήτα ρυθμού μπορεί να συσχετιστεί με μειωμένη και όχι αυξημένη επαγρύπνηση (Beatty et al. 1974).

Αντίθετα οι παρατηρήσεις του άλφα ρυθμού υποδηλώνουν μια πιο χαλαρωμένη κατάσταση των υποκειμένων στο εικονικό περιβάλλον ή την επεξεργασία λιγότερων αισθητηριακών πληροφοριών από το οπτικό σύστημα. Επίσης στο εικονικό περιβάλλον φαίνεται να απαιτήθηκε γενικά μειωμένη νοητική προσπάθεια. Από την άλλη το πραγματικό περιβάλλον εμφανίζει γενικές απαιτήσεις για εργασία, ενεργοποίηση της προσοχής και αυξημένη νοητική προσπάθεια. Η μείωση του άλφα-2 ρυθμού στις ινιακές περιοχές συνεπάγεται περισσότερη αισθητηριακή επεξεργασία και πιθανώς σημασιολογική κωδικοποίηση πρωτογενούς οπτικής πληροφορίας.

Αν προσπαθήσουμε να συνοψίσουμε τα προηγούμενα συμπεράσματα, παρατηρούμε μια καταρχήν επεξεργασία κυρίως οπτικών και χωρικών πληροφοριών και στα δύο περιβάλλοντα, το οποίο ήταν αναμενόμενο για αυτή τη διεργασία. Επίσης και τα δύο περιβάλλοντα ενεργοποίησαν διαδικασίες προσοχής, αλλά, όπως υποστηρίζεται στη συνέχεια, σε διαφορετικά επίπεδα. Ωστόσο, οι σημαντικές διαφορές στην τοπολογία των επιμέρους ρυθμών του ΗΕΓ αλλά και στις τιμές απόλυτης φασματικής ισχύος υποδηλώνουν διαφορετικά πρότυπα εγκεφαλικών λειτουργιών ανάμεσα στα δύο περιβάλλοντα, που ερμηνεύονται ως διαφορετικές στρατηγικές ενεργοποίησης των επιμέρους γνωστικών λειτουργιών.

Στο πραγματικό περιβάλλον φαίνεται ότι καταγράφηκε μια γενικά μεγαλύτερη εγκεφαλική ενεργοποίηση, με αυξημένες απαιτήσεις για νοητική εργασία, αυξημένο νοητικό και μνημονικό φόρτο και αυξημένη επεξεργασία και σημασιολογική κωδικοποίηση πρωτογενών οπτικών πληροφοριών. Πιθανώς το πραγματικό περιβάλλον εκλήφθηκε ως πλουσιότερο, από την άποψη των οπτικών ερεθισμάτων. Επιπλέον φαίνεται ότι υπήρχε μεγαλύτερη διέγερση και επαγρύπνηση των συμμετεχόντων, το οποίο δεν ήταν αναμενόμενο, εκτός αν υποθέσουμε ότι, επειδή ήταν η πρώτη διεργασία σε ένα ήδη γνωστό χώρο, εμφανίστηκε τα πρώτα

δευτερόλεπτα (στα οποία τελικά πραγματοποιήθηκε η μέτρηση) μια αναμονή για ένα υποθετικό συμβάν. Ενώ στο εικονικό περιβάλλον η εμφάνιση και μόνο του περιβάλλοντος ήταν ήδη καινούριο συμβάν που δεν απαιτήσε επιπλέον επαγρύπνηση.

Στο εικονικό περιβάλλον οι συμμετέχοντες εμφάνισαν μια κατάσταση χαλάρωσης με μειωμένη επεξεργασία εξωτερικών αισθητήριων δεδομένων και πιθανώς μικρότερη γενικά νοητική προσπάθεια. Ωστόσο, η οπτικοχωρική επεξεργασία είναι εντονότερη σε ένα δευτερογενές συνειρμικό επίπεδο. Μια πιθανή αιτία είναι ότι για την κατανόηση της οπτικής πληροφορίας που προήλθε από τις κινούμενες εικόνες του κράνους ΕΠ να απαιτήθηκε ένας περισσότερο συμβολικός τύπος επεξεργασίας. Επίσης η μειωμένη ρεαλιστικότητα των εικονικών αντικειμένων πιθανώς ενεργοποίησε περισσότερο τη λειτουργία της φαντασίας για να συμπληρώσει το μειωμένο όγκο αισθητήριων δεδομένων. Υπάρχει βέβαια και το ενδεχόμενο η πρώτη επαφή με το άγνωστο και καινούριο εικονικό περιβάλλον να ενεργοποίησε εκτός των άλλων και λειτουργίες προσανατολισμού, κάτι που δεν χρειάστηκε στο πραγματικό αφού οι συμμετέχοντες είχαν ως ένα σημείο εξοικειωθεί με το περιβάλλον αυτό κατά τη διαδικασία της προετοιμασίας.

### 10.3 Οπτική-χωρική διεργασία

Συνοψίζοντας τη συμπεριφορά και των πέντε ρυθμών του ΗΕΓ (δέλτα, θήτα, άλφα, βήτα και γάμα) παρατηρούμε ότι καταρχήν και στα δύο περιβάλλοντα εμφανίζεται επεξεργασία οπτικών ερεθισμάτων με μείωση της χαλάρωσης και αύξηση της εγρήγορσης και της προσοχής σε χωρικές λειτουργίες. Η ενεργοποίηση κυρίως οπτικο-χωρικών λειτουργιών ήταν αναμενόμενη για αυτή τη διεργασία. Ωστόσο και στα δύο περιβάλλοντα δεν απαιτήθηκε ιδιαίτερη προσπάθεια για να αυξήσουν οι συμμετέχοντες την προσοχή και την επαγρύπνησή τους ως προς την οπτική παρατήρηση.

Ανάμεσα στα δύο περιβάλλοντα εμφανίζονται σημαντικές διαφορές.

Το πραγματικό περιβάλλον φαίνεται να απαιτήσε μεγαλύτερη νοητική προσπάθεια γενικά ως προς τις οπτικο-χωρικές λειτουργίες του δεξιού ημισφαιρίου. Είναι πιθανό τα αντικείμενα του πραγματικού περιβάλλοντος να θεωρήθηκαν πολυπλοκότερα ως προς το πλήθος και τη μορφή των οπτικών ερεθισμάτων που προσέφεραν και επομένως αυξήθηκε ο νοητικός φόρτος και απαιτήθηκε μεγαλύτερη ενεργοποίηση της προσοχής και της επιλεκτικής προσοχής.

Το εικονικό περιβάλλον δεν παρουσιάζει τόσο ξεκάθαρη ηλεκτροεγκεφαλογραφική συμπεριφορά όσο το πραγματικό. Οι συσχετίσεις της κατανομής των εγκεφαλικών ρυθμών με γνωστικές λειτουργίες παρουσιάζουν αποκλίσεις. Συνολικά φαίνεται ότι είχε μικρότερες απαιτήσεις στην επεξεργασία πρωτογενών οπτικών πληροφοριών. Γι' αυτό εμφανίζονται περιορισμένες ανάγκες

για ένταση της οπτικής προσοχής. Αυτό είναι ως ένα σημείο αναμενόμενο γιατί τα εικονικά αντικείμενα είναι σαφώς λιγότερο ρεαλιστικά από τα πραγματικά. Η σχηματοποιημένη αναπαράσταση των εικονικών αντικειμένων πιθανώς ενεργοποίησε σημασιολογικές λειτουργίες της μνήμης και απαίτησε διαδικασίες αναγνώρισης αντικειμένων και γενικά ανώτερης συνειρμικής επεξεργασίας.

Επιπλέον το αντικείμενο-στόχος του εικονικού περιβάλλοντος δεν ήταν τόσο συνηθισμένο όσο το αντίστοιχο αντικείμενο στο πραγματικό περιβάλλον. Έτσι το εικονικό περιβάλλον πιθανόν παρουσίασε δυσκολία στην αναγνώριση του αντικειμένου (γραμμόφωνο/ φωνόγραφος) και απαίτησε αυξημένη επεξεργασία των οπτικών πληροφοριών κατά την προσπάθεια αναγνώρισης. Μια παράλληλη στατιστική ανάλυση των χρόνων απόκρισης των υποκειμένων στα δύο περιβάλλοντα θα ήταν ιδιαίτερα χρήσιμη στο σημείο αυτό. Η αδυναμία των υποκειμένων να εντοπίσουν σύντομα το αντικείμενο-στόχο μπορεί να ενεργοποίησε περισσότερο τη μνήμη εργασίας και την οπτική βραχύχρονη μνήμη. Υπάρχει η πιθανότητα αυτή η δυσκολία να δημιουργήσει συναισθήματα άγχους σε ορισμένα υποκείμενα και αυτό να αποτυπώθηκε στους ρυθμούς του ΗΕΓ (κυρίως στο θήτα) ως μεγαλύτερος γνωστικός φόρτος.

#### 10.4 Αναγνώριση και καταμέτρηση αντικειμένων

##### Διεργασία h

Η διεργασία h εμφανίζει μια κατάσταση ηλεκτρικής εγκεφαλικής δραστηριότητας με μειωμένες γνωστικές απαιτήσεις, τουλάχιστον στην επεξεργασία των πρωτογενών οπτικών πληροφοριών (ρυθμοί δέλτα, άλφα και γάμα). Φαίνεται πώς και τα δύο περιβάλλοντα δεν απαιτήσαν ιδιαίτερη εστίαση της προσοχής στα πρωτογενή οπτικά δεδομένα. Σε γενικές γραμμές εμφανίζεται παρόμοιος φόρτος στις οπτικοχωρικές λειτουργίες που πραγματοποιούνται και στα δύο περιβάλλοντα καθώς τα άτομα προσπαθούν να εντοπίσουν το καλοριφέρ. Αυτό είναι ως ένα σημείο αναμενόμενο αφού η οπτική σκηνή δεν έχει αλλάξει (από τις προηγούμενες διεργασίες του πειράματος) και η διεργασία δεν είναι ιδιαίτερα δύσκολη.

Παρά τις χαμηλές απαιτήσεις οι διαφορές ανάμεσα στα δύο περιβάλλοντα είναι αρκετές, αν και οι επιχειρούμενες ερμηνείες της συμπεριφοράς των ρυθμών του ΗΕΓ δεν συμφωνούν πάντα μεταξύ τους. Οι δέλτα και θήτα ρυθμοί υπονοούν μια τυπική κατάσταση εγρήγορσης στο πραγματικό περιβάλλον που συσχετίζεται με αρκετές γνωστικές λειτουργίες, επεξεργασία σύνθετων αισθητηριακών ερεθισμάτων και αύξηση της προσοχής σε εξωτερικά γεγονότα. Αυτό μπορεί πιθανώς να αποδοθεί στο πλουσιότερο σε οπτικά αισθητηριακά ερεθίσματα (σε αριθμό, στερεοσκοπία και

φωτορεαλισμό) πραγματικό περιβάλλον ή στο γεγονός ότι οι φέτες του καλοριφέρ δεν ήταν τόσο ευδιάκριτες όπως στο εικονικό περιβάλλον.

Ωστόσο, οι παρατηρήσεις από τους υπόλοιπους ρυθμούς (άλφα συνολικό και υπορυθμούς, βήτα και γάμα) εμφανίζουν αυξημένη ενεργοποίηση στο εικονικό περιβάλλον. Η αυξημένη ενεργοποίηση αφορά και στην επεξεργασία πρωτογενών οπτικών δεδομένων, κάτι που δεν δικαιολογείται από την απλούστερη αναπαράσταση των εικονικών αντικειμένων σε σχέση με τα πραγματικά. Μια πιθανή ερμηνεία μπορεί να είναι η σχετικά σχηματοποιημένη μορφή των εικονικών αντικειμένων που απαιτήσε επεξεργασία των οπτικών πληροφοριών σε οπτικές αλλά και συνειρμικές εγκεφαλικές περιοχές και επιπλέον αυξημένη συμμετοχή της μακρόχρονης μνήμης αφού ενεργοποιήθηκαν σημασιολογικές μνημονικές λειτουργίες απαραίτητες για την αποκωδικοποίηση των αντικειμένων του εικονικού περιβάλλοντος ή η αδυναμία των στεροσκοπικών γυαλιών να αποδώσουν πιστά τις τρεις διαστάσεις του πραγματικού κόσμου.

Συνολικά το εικονικό περιβάλλον εμφανίζει αυξημένη επεξεργασία οπτικής και χωρικής πληροφορίας, της μνήμης εργασίας, της προσοχής και της επιλεκτικής προσοχής (εντούτοις η οπτικο-χωρική ενεργοποίηση της προσοχής σε ένα υψηλότερο συνειρμικό επίπεδο πιθανώς ήταν εντονότερη στο πραγματικό περιβάλλον). Επιπλέον, στο εικονικό περιβάλλον φαίνεται να υπάρχει αυξημένη επαγρύπνηση (πιθανώς επειδή ήταν νέο ή επειδή είχαν αυξημένο ενδιαφέρον και προσδοκίες από τη συγκεκριμένη τεχνολογία) και ίσως αυτή ενεργοποίησε και διατήρησε την προσοχή των υποκειμένων.

## **Διεργασία r**

Καταρχήν, η τοπολογία των ρυθμών δεν παρουσιάζει μεγάλες διαφορές (οι ρυθμοί θήτα, γάμα και λιγότερο ο βήτα εμφανίζουν παρόμοια τοπολογία). Έτσι παρά τις διαφορές στις απόλυτες τιμές φασματικής ισχύος ανά ηλεκτρόδιο, μπορούμε να υποθέσουμε ορισμένες ομοιότητες στις εγκεφαλικές λειτουργίες ανάμεσα στα δύο περιβάλλοντα.

Γενικά φαίνεται μια τυπική κατάσταση εγρήγορσης, που μπορεί να αφορά σε νοητικές λειτουργίες που σχετίζονται με αύξηση του νοητικού και μνημονικού φόρτου, με επεξεργασία σύνθετων αισθητηριακών ερεθισμάτων, με προσπάθεια για αύξηση της εγρήγορσης και αύξηση του βαθμού συγκέντρωσης σε συνδυασμό με την επιλεκτική προσοχή και την προσπάθεια διατήρησης της προσοχής και πιθανώς με αύξηση της δυσκολίας και με νοερή αριθμητική. Επιπλέον φαίνεται να χρησιμοποιείται η οπτικοχωρική λειτουργία της μνήμης εργασίας.

Από την άλλη, η συμμετοχή του οπτικού φλοιού είναι περιορισμένη. Φαίνεται ότι οι εγκεφαλικές λειτουργίες που κυριάρχησαν δεν αφορούσαν στην επεξεργασία οπτικών αισθητηριακών πληροφοριών.

Άλλο ένα κοινό χαρακτηριστικό στα δύο περιβάλλοντα είναι η πιθανή εμπλοκή γλωσσικών περιοχών του αριστερού ημισφαιρίου. Φαίνεται ότι οι συμμετέχοντες ενεργοποίησαν γλωσσικές στρατηγικές στην προσπάθειά τους να αριθμήσουν και απομνημονεύσουν τα νούμερα. Αυτό παρατηρείται περισσότερο στο πραγματικό περιβάλλον, στο οποίο εμφανίζονται επίσης ενδείξεις χρησιμοποίησης λειτουργιών που μοιάζουν με οπτικοποίηση των αριθμών όσο οι συμμετέχοντες καταμετρούσαν.

Όσο αφορά στη σύγκριση των δύο περιβαλλόντων, το πραγματικό περιβάλλον παρουσιάζει γενικά λιγότερες γνωστικές απαιτήσεις από το εικονικό, εκτός από μια μεγαλύτερη ενεργοποίηση της προσοχής. Φαίνεται ότι στο πραγματικό περιβάλλον η προσοχή δεν στρέφεται τόσο στην επεξεργασία των πρωτογενών οπτικών πληροφοριών, αλλά σε άλλες λειτουργίες του αριστερού ημισφαιρίου.

Το εικονικό παρουσίασε αυξημένη επεξεργασία πρωτογενών οπτικών πληροφοριών και ενεργοποίηση χωρικών διαδικασιών. Η συμμετοχή του δεξιού ημισφαιρίου είναι εντονότερη, κάτι που συνδέεται με αυξημένες χωρικές λειτουργίες στο περιβάλλον αυτό. Η οπτικο-χωρική όμως ενεργοποίηση του εικονικού περιβάλλοντος δεν είναι εύκολο να ερμηνευθεί, γιατί υπάρχει πάντα η πιθανότητα να συνδέεται με αδυναμία των στεροσκοπικών γυαλιών να αποδώσουν πιστά τις τρεις διαστάσεις του πραγματικού κόσμου. Ωστόσο οι βήτα και γάμα ρυθμοί υποδηλώνουν σημαντική ενεργοποίηση περιοχών και του αριστερού ημισφαιρίου. Πιθανώς η αριθμητική διαδικασία απαιτήσε περισσότερη ενεργοποίηση από την οπτικο-χωρική.

Όσο αφορά στο μνημονικό φόρτο η παρατηρούμενη κατάσταση δεν είναι ξεκάθαρη. Ενώ στο εικονικό περιβάλλον παρατηρούνται λειτουργίες που συσχετίζεται με την οπτική βραχύχρονη μνήμη και το μνημονικό φόρτο στη μνήμη εργασίας, στο πραγματικό υπάρχει εντονότερη πιθανή οπτικοχωρική λειτουργία της μνήμης εργασίας, που σε συνδυασμό με την επιλεκτική προσοχή και τις λειτουργίες υπολογισμού ή επεξεργασίας της απόστασης του παρατηρούμενου αντικειμένου μπορούν να ερμηνευτούν ως αυξημένη προσπάθεια των υποκειμένων να διακρίνουν τα νοητά παραλληλόγραμμα από συνδυασμούς των πραγματικών αντικειμένων (ράφια).

### **Σύγκριση διεργασιών h και r**

Ως γενική παρατήρηση διαπιστώνεται ότι η πολυπλοκότερη διεργασία r απαιτήσε μεγαλύτερη εγρήγορηση από την ευκολότερη-απλούστερη h. Ωστόσο, οι διαφορές ανάμεσα στο πραγματικό και το εικονικό περιβάλλον που ήταν σημαντικές στην απλούστερη διεργασία, δείχνουν να αμβλύνονται στη δυσκολότερη. Αυτή η παρατήρηση έχει μεγάλο ενδιαφέρον και αν αποδειχθεί και σε άλλες περιπτώσεις θα μπορούσε να σημαίνει ότι σε διεργασίες που δεσμεύουν πολλές και σύνθετες γνωστικές απαιτήσεις, μειώνονται οι διαφορές πραγματικού και εικονικού περιβάλλοντος.

Και στις δύο διεργασίες οι εγκεφαλικές λειτουργίες που κυριάρχησαν δεν αφορούσαν στην επεξεργασία πρωτογενών οπτικών αισθητηριακών πληροφοριών. Η συμμετοχή του οπτικού φλοιού ήταν μικρή. Αυτό ισχύει κυρίως για την πολυπλοκότερη διεργασία *g*, αλλά παρατηρείται και στη διεργασία *h*.

Άλλο ένα κοινό σημείο στις δύο διεργασίες είναι η μεγαλύτερη συμμετοχή οπτικοχωρικών λειτουργιών στο εικονικό περιβάλλον σε σχέση με το πραγματικό. Αυτή η παρατήρηση έρχεται σε αντίφαση με το σαφώς πλουσιότερο σε αισθητηριακά (οπτικά) δεδομένα πραγματικό περιβάλλον. Φαίνεται όμως ότι η εξοικείωση με τον πραγματικό κόσμο δεν δίνει ιδιαίτερη σημασία σε μη σημαντικές λεπτομέρειες ή ότι οι περισσότερο σχηματοποιημένες εικόνες του εικονικού κόσμου ενεργοποιούν οπτικοχωρικές λειτουργίες που συμπληρώνουν τον μειωμένο ρεαλισμό.

Οι περισσότερες διαφορές ανάμεσα στις δύο διεργασίες αφορούν στο πραγματικό περιβάλλον, στο οποίο παρατηρείται εντονότερη ενεργοποίηση της προσοχής στην πιο δύσκολη διεργασία. Φαίνεται ότι στο πραγματικό περιβάλλον η προσοχή δεν στρέφεται τόσο στην επεξεργασία των πρωτογενών οπτικών πληροφοριών, αλλά σε άλλες λειτουργίες του αριστερού ημισφαιρίου. Στο πραγματικό περιβάλλον της διεργασίας *g* υπάρχει εντονότερη οπτικοχωρική λειτουργία της μνήμης εργασίας, αυξημένη επιλεκτική προσοχή και πιθανώς λειτουργίες υπολογισμού και επεξεργασίας της απόστασης των παρατηρούμενων αντικειμένων. Αυτό μπορεί να προκύπτει από τις απαιτήσεις της διεργασίας *g* και την αυξημένη προσπάθεια των υποκειμένων να διακρίνουν τα νοητά παραλληλόγραμμα από συνδυασμούς των πραγματικών αντικειμένων. Ίσως αυτό να δικαιολογεί την πιθανή οπτικοποίηση αριθμών όσο οι συμμετέχοντες καταμετρούσαν στο περιβάλλον αυτό.

Σημαντική διαφορά είναι η πιθανή εμπλοκή γλωσσικών περιοχών του αριστερού ημισφαιρίου που παρατηρείται και στα δύο περιβάλλοντα της δυσκολότερης διεργασίας *g*. Φαίνεται ότι οι συμμετέχοντες ενεργοποίησαν γλωσσικές στρατηγικές στην προσπάθειά τους να αριθμήσουν και απομνημονεύσουν τα νούμερα. Αυτό παρατηρείται περισσότερο στο πραγματικό περιβάλλον που φαίνεται να είχε μεγαλύτερη δυσκολία, αλλά παρατηρείται επίσης και στο εικονικό περιβάλλον.

## **10.5 Καταμέτρηση αντικειμένων με υποκειμενική επιλογή**

Η συμπεριφορά των ρυθμών του ΗΕΓ αναδεικνύει αρκετές ομοιότητες αλλά και σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα δύο περιβάλλοντα. Οι ομοιότητες παρατηρούνται κυρίως στην τοπολογική εξάπλωση ορισμένων ρυθμών, ενώ οι διαφορές αφορούν στη φασματική ισχύ και δεν είναι εύκολο σύμφωνα με την υπάρχουσα βιβλιογραφία να συσχετιστούν με γνωστικές διαδικασίες.

Καταρχήν, αν και η παρούσα διεργασία αξιοποιεί μόνο οπτικά δεδομένα, παρατηρείται και στα δύο περιβάλλοντα μικρής έντασης ινιακή δραστηριότητα σε σχέση με άλλες περιοχές του φλοιού, πράγμα που υπονοεί ότι οι εγκεφαλικές λειτουργίες που κυριάρχησαν, δεν αφορούσαν στην επεξεργασία οπτικών αισθητηριακών πληροφοριών. Αντίθετα παρατηρείται δραστηριότητα στην μετωπιαία περιοχή της μέσης γραμμής του φλοιού η οποία πιθανώς εστιάζει τις εγκεφαλικές λειτουργίες στα αισθητήρια ερεθίσματα που παρέχουν τις ενδεχομένως σημαντικές πληροφορίες. Η αυξημένη νοητική δραστηριότητα στον προμετωπιαίο φλοιό, που εμπλέκεται στον έλεγχο των σκέψεων και των ενεργειών του ατόμου, συσχετίζεται με απαιτήσεις προσοχής, ενώ στον μετωπιαίο συσχετίζεται με τη λειτουργία της μνήμης εργασίας και εμπλέκει σημασιολογικές λειτουργίες της μακροπρόθεσμης μνήμης. Φαίνεται ότι και στα δύο περιβάλλοντα η προσπάθεια για κατηγοριοποίηση των οπτικών ερεθισμάτων (αντικείμενο νέας τεχνολογίας ή όχι) έστρεψε την προσοχή των συμμετεχόντων σε αυτές τις εγκεφαλικές περιοχές και όχι στην επεξεργασία πρωτογενών και συνειρμικών οπτικών δεδομένων, ενώ ταυτόχρονα μείωσε το βαθμό χαλάρωσης και πιθανώς αύξησε το άγχος τους. Επιπλέον η δραστηριοποίηση της δεξιάς προμετωπιαίας περιοχή μπορεί να υπονοεί την επιλεκτική προσοχή με χωρικές απαιτήσεις και γενικότερα η έμφαση στο δεξιό ημισφαίριο πιθανώς εμπλέκει χωρικές λειτουργίες και σε συνδυασμό με την κροταφική έμφαση πιθανώς υπονοεί λειτουργία της βραχύχρονης μνήμης.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η εμφάνιση του βήτα ρυθμού στις κροταφικές περιοχές, η οποία με δεδομένη την απουσία ακουστικών ερεθισμάτων δεν είναι εύκολο να ερμηνευθεί. Στο εικονικό περιβάλλον επεκτείνεται σε κροταφο-μετωπικές περιοχές και των δύο ημισφαιρίων, ενώ στο πραγματικό περιορίζεται μόνο στη δεξιά κροταφική περιοχή. Ο γάμα ρυθμός, όπως και ο βήτα, απουσιάζει από τις κεντρικές περιοχές του φλοιού και αναπτύσσεται περιφερειακά. Και εδώ εμπλέκονται κυρίως κροταφικές περιοχές και σε μικρότερο βαθμό η δεξιά προμετωπιαία και οι ινιακές. Η αυξημένη ύπαρξη του ρυθμού στις κροταφικές περιοχές (όπως και στο βήτα ρυθμό) δεν είναι εύκολο να ερμηνευθεί στην παρούσα διεργασία που απουσίαζαν τα ακουστικά ερεθίσματα.

Όσο αφορά στις διαφορές μεταξύ των περιβαλλόντων, φαίνεται ότι το πραγματικό περιβάλλον είχε γενικά λιγότερες νοητικές απαιτήσεις από το εικονικό, χωρίς όμως να συμφωνούν όλοι οι ρυθμοί σε αυτό. Πιθανώς μάλιστα να απαιτήθηκε μεγαλύτερη επεξεργασία πρωτογενών και συνειρμικών οπτικών πληροφοριών στο πραγματικό περιβάλλον και επιπλέον οι συναισθηματικές λειτουργίες που υπονοούνται στο πραγματικό περιβάλλον μπορούν να δικαιολογηθούν από μια κατάσταση αυξημένου άγχους.

Στο εικονικό περιβάλλον, αντίθετα, παρατηρούνται ενδείξεις για αυξημένη επεξεργασία σύνθετων αισθητηριακών ερεθισμάτων, αύξηση του νοητικού και μνημονικού φόρτου, αύξηση της δυσκολίας, ένταση της προσοχής, λειτουργίες νοερής αριθμητικής, προσπάθεια για αύξηση της εγρήγορσης, αύξηση του βαθμού συγκέντρωσης και αυξημένη λειτουργία της οπτικής βραχύχρονης μνήμης. Πιθανώς το πραγματικό περιβάλλον ήταν λιγότερο ενεργητικό από το εικονικό σε απαιτήσεις

επιλογής και καταμέτρησης των αντικειμένων που πληρούσαν τα κριτήρια της διεργασίας.

## 10.6 Οπτική-λεκτική διεργασία

Η ηλεκτροεγκεφαλική δραστηριότητα ανάμεσα στα δύο περιβάλλοντα, αν και γενικά παρουσιάζεται διαφορετική, έχει ορισμένα κοινά σημεία κυρίως στα τοπολογικά πρότυπα που χαρακτηρίζουν τον άλφα-2 και τους ταχύτερους ρυθμούς βήτα και γάμα. Για παράδειγμα και στα δύο περιβάλλοντα καταγράφεται μια γενικευμένη δραστηριότητα πολλών εγκεφαλικών περιοχών. Παραδόξως, αυτές οι περιοχές υποδηλώνουν ενεργοποίηση και του δεξιού κροταφικού λοβού, η οποία δεν μπορεί να ερμηνευτεί με βάση την απουσία ιδιαίτερων ακουστικών ερεθισμάτων.

Επίσης αξιοσημείωτη (παρά τις διαφορές ανάμεσα στα δύο περιβάλλοντα) είναι η ενεργοποίηση περιοχών του αριστερού ημισφαιρίου οι οποίες συσχετίζονται με ακουστικά ερεθίσματα αλλά και αντιληπτικές πτυχές της γλώσσας. Παρατηρείται μικρή αλλά σαφή ενεργοποίηση της αριστερής μετωποκροταφικής περιοχής που αντιστοιχεί στην περιοχή Broca (ηλεκτρόδιο F7 που αντιστοιχεί στις αριστερές περιοχές Brodmann 44 και 45), η οποία ελέγχει την παραγωγή του λόγου και σχετίζεται με την ομιλία και τις απαραίτητες κινητικές δεξιότητες. Σε μεγαλύτερο βαθμό και κυρίως στο εικονικό περιβάλλον παρατηρείται συμμετοχή της αριστερής βρεγματικής περιοχής που αντιστοιχεί στην περιοχή Wernicke, η οποία επεξεργάζεται τις ακουστικές πληροφορίες για τη γλώσσα και είναι σημαντική για την κατανόηση του λόγου, ενώ σε μικρότερο βαθμό ενεργοποιείται η περιοχή που βρίσκεται πάνω από τηνγωνιώδη έλικα, η οποία συσχετίζεται με την λεκτική βραχυπρόθεσμη μνήμη. Ωστόσο, σήμερα πιστεύεται ότι, όταν οι λέξεις (πολύ περισσότερο τα σκόρπια γράμματα) διαβάζονται χωρίς να ακούγονται ή να προφέρονται, η περιοχή Wernicke δεν ενεργοποιείται (Καφετζόπουλος 1995).

Η ενεργοποίηση κροταφικών, βρεγματικών και ινιακών περιοχών που εμπλέκονται στην αναγνώριση του γραπτού λόγου έχει καταγραφεί σε πολλές μελέτες (π.χ. Cabeza & Nyberg 2000). Μελέτες με προκλητά δυναμικά έχουν δείξει ότι πρώτα τα δυναμικά εμφανίζονται στις ινιακές περιοχές και αμέσως μετά σε κροταφο-ινιακές περιοχές (Vitacco et al. 2002). Η ενεργοποίηση περιοχών του φλοιού που εμπλέκονται στη γλωσσική λειτουργία δεν ήταν αναμενόμενη στην παρούσα διεργασία που απλώς εμφανίζει τρισδιάστατα γράμματα στο οπτικό πεδίο των υποκειμένων. Φαίνεται ότι παράλληλα με τις αντιληπτικές διαδικασίες των πρωτοεμφανιζόμενων αντικειμένων-γραμμάτων ενεργοποιήθηκαν και γλωσσικές λειτουργίες καθώς οι συμμετέχοντες προσπάθησαν ίσως να σχηματίσουν λέξεις, αν και κάτι τέτοιο δεν του ζητήθηκε. Στο σημείο αυτό υπάρχει και μια διαφορά: στο πραγματικό περιβάλλον ενεργοποιήθηκε περισσότερο η περιοχή Broca σαν οι συμμετέχοντες να προσπάθησαν να εκφέρουν λέξεις, ενώ στο εικονικό



ενεργοποιήθηκε περισσότερο η περιοχή Wernicke σαν οι συμμετέχοντες να άκουσαν λεκτικά ερεθίσματα.

Γενικά, το εικονικό περιβάλλον χαρακτηρίζεται από τη συμμετοχή ευρύτερων νερωνικών κυκλωμάτων ή πολυπλοκότερου δικτύου επικοινωνίας μεταξύ των γνωστικών λειτουργιών που δραστηριοποιήθηκαν, κάτι που δικαιολογεί την αυξημένη ενεργοποίηση του εγκεφαλικού φλοιού και την απαίτηση ή ενεργοποίηση αυξημένου νοητικού φόρτου.

Παρά όμως τη γενικά μειωμένη νοητική δραστηριότητα το πραγματικό περιβάλλον παρουσιάζει μεγαλύτερη ενεργοποίηση οπτικο-χωρικών λειτουργιών από το εικονικό. Αυτό πιθανώς οφείλεται στην πειραματική διαδικασία που εμφάνιζε τα γράμματα διάσπαρτα με αποτέλεσμα να ενεργοποιούνται και οπτικο-χωρικές λειτουργίες. Η σχετικά ασθενέστερη συμμετοχή του δεξιού ημισφαιρίου στο εικονικό περιβάλλον πιθανώς δείχνει ότι οι συμμετέχοντες δεν επιστράτευσαν ιδιαίτερες λειτουργίες εξερεύνησης του εικονικού χώρου, αλλά εστίασαν την προσοχή τους στα νέα αντικείμενα (γράμματα), τα οποία ξαφνικά εμφανίστηκαν στο οπτικό τους πεδίο. Αντίθετα, στο πραγματικό περιβάλλον οι συμμετέχοντες είχαν κλειστά τα μάτια όταν παρουσιάστηκαν τα γράμματα και όταν τα άνοιξαν χρειάστηκε ορισμένη προσπάθεια μέχρι να εντοπιστούν τα νέα αντικείμενα, κάτι που δικαιολογεί τον χωρικό νοητικό φόρτο και την ενεργοποίηση της οπτικοχωρικής προσοχής.

Στο πραγματικό περιβάλλον παρατηρήθηκε αυξημένη δραστηριότητα πρωτογενών και δευτερογενών οπτικών περιοχών και μεγαλύτερη ένταση της οπτικής προσοχής. Φαίνεται ότι το πραγματικό περιβάλλον ενεργοποιεί περισσότερο συνιστώσες της προσοχής που δραστηριοποιούνται στις ινιακές και βρεγματικές περιοχές, ενώ στο εικονικό η προσοχή στρέφεται σε κυκλώματα του προμετωπιαίου φλοιού και του μετωπικού της μέσης γραμμής, τα οποία πιθανώς εμπλέκουν λειτουργίες της μνήμης εργασίας ή άλλων «ανώτερων» λειτουργιών και όχι οπτικών όπως στο πραγματικό περιβάλλον.

Αντίθετα, η αυξημένη παρουσία των βήτα και γάμα ρυθμών στις ινιακές περιοχές στο εικονικό περιβάλλον μπορεί να συσχετιστεί με αυξημένη επεξεργασία πρωτογενούς οπτικού υλικού, και ταυτόχρονα η βρεγματική ενεργοποίηση υποδηλώνει ενεργοποίηση του συνειρμικού οπτικού φλοιού, ένταση της προσοχής σε αντίστοιχες λειτουργίες και πιθανώς ένταση της επιλεκτικής προσοχής. Βέβαια, η δεξιά προμετωπιαία ενεργοποίηση του γάμα ρυθμού πιθανώς υποδηλώνει ότι λειτουργίες επιλεκτικής προσοχής επιστρατεύθηκαν με σχεδόν παρόμοιο τρόπο και στα δύο περιβάλλοντα.

## 10.7 Αντίληψη κινούμενου αντικειμένου

Η συμπεριφορά των περισσότερων ρυθμών (θήτα, βήτα και γάμα) εμφανίζει αρκετές ομοιότητες ως προς την τοπολογική τους εξάπλωση μεταξύ των δύο περιβαλλόντων. Αυτή η γενική συμπεριφορά συσχετίζεται με μείωση του βαθμού χαλάρωσης, με προσπάθεια για αύξηση της εγρήγορσης, με τον νοητικό και μνημονικό φόρτο και αύξηση του βαθμού συγκέντρωσης, αύξηση της νοητικής εργασίας και ένταση της προσοχής σε οπτικά ερεθίσματα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι λογικό να υποθέσουμε ότι η εμφάνιση του κινούμενου οχήματος στο οπτικό πεδίο των υποκειμένων προκάλεσε μια κατάσταση εγρήγορσης και ενεργοποίησε λειτουργίες οπτικής προσοχής.

Φαίνεται ότι η παρατήρηση ενός κινούμενου αντικειμένου ενεργοποίησε και στα δύο περιβάλλοντα κινητικές περιοχές ή την πρόθεση για κίνηση στους συμμετέχοντες (αν και δεν κινήθηκαν οι ίδιοι). Επιπλέον, η τοπολογία κυρίως του γάμα ρυθμού υποδηλώνει δραστηριότητα σχετική με τη γνωστική αναπαράσταση των κινήσεων και την αντίληψη των τρισδιάστατων σχημάτων των αντικειμένων.

Εκτός από τις ομοιότητες καταγράφηκαν διαφορές κυρίως στους άλφα και δέλτα ρυθμούς (σε τοπολογία και φασματική ισχύ), ενώ στους υπόλοιπους ρυθμούς οι διαφορές αφορούν όχι τόσο στα πρότυπα εξάπλωσης αλλά κυρίως στις απόλυτες τιμές φασματικής ισχύος.

Οι περισσότερες παρατηρήσεις φαίνεται να συμφωνούν ότι το πραγματικό περιβάλλον ενεργοποίησε γενικά περισσότερες εγκεφαλικές περιοχές και πιθανώς περισσότερες νοητικές λειτουργίες. Αυτή η υπεροχή του πραγματικού περιβάλλοντος υπονοεί αυξημένη επεξεργασία οπτικών πληροφοριών με ταυτόχρονη συμμετοχή του συνειρμικού οπτικού φλοιού στο περιβάλλον αυτό και μπορεί να υποδηλώνει μεγαλύτερη επεξεργασία αισθητηριακής – σημασιολογικής (κυρίως οπτικής στην παρούσα περίπτωση) πληροφορίας και μεγαλύτερες οπτικο-χωρικές απαιτήσεις κατά την οπτικοχωρική λειτουργία της μνήμης εργασίας.

Η συμπεριφορά του άλφα-1 ρυθμού υποδηλώνει σαφώς μεγαλύτερη ενεργοποίηση της προσοχής στο πραγματικό περιβάλλον. Φαίνεται (και από τους άλλους ρυθμούς) ότι η εμφάνιση του πραγματικού οχήματος ενεργοποίησε γενικά την προσοχή των υποκειμένων. Ίσως σε αυτό να επηρέασε και η απουσία ήχου κατά την κίνηση στο εικονικό περιβάλλον, ενώ στο πραγματικό η κίνηση του οχήματος συνοδευόταν με ήχο που πιθανώς αύξησε τη ρεαλιστικότητα της κίνησης ή ενεργοποίησε το ενδιαφέρον για κάτι καινούριο. Η μικρότερη ενεργοποίηση των λειτουργιών προσοχής δεν ήταν αναμενόμενη για το εικονικό περιβάλλον, το οποίο παρουσιάστηκε πρώτο στους συμμετέχοντες και είναι λογικό το κινούμενο όχημα να ενεργοποιούσε την προσοχή τους.

Η συμπεριφορά των άλφα-1 και βήτα ρυθμών υποδηλώνει μια σαφή ενεργοποίηση του δεξιού ημισφαιρίου στο πραγματικό περιβάλλον. Σύμφωνα με τους Martineau και Cochin (2003) η ενεργοποίηση στο δεξιό ημισφαίριο παρατηρείται κατά την οπτικοποίηση των κινήσεων. Αυτή η παρατήρηση συμφωνεί και με άλλες έρευνες που ισχυρίζονται ότι το δεξιό ημισφαίριο και κυρίως το κάτω βρεγματικό λόβιο (inferior parietal lobule) και ο σωματοαισθητηριακός φλοιός είναι πιθανό να

εμπλέκονται όταν συμβαίνει σύγχυση ανάμεσα στις κινήσεις του υποκειμένου και στις κινήσεις των άλλων (Chaminade & Decety 2002, Ruby & Decety 2001, Farrer et al. 2003). Πιθανώς η κίνηση στο πραγματικό περιβάλλον προκάλεσε περισσότερο από το εικονικό την αίσθηση των υποκειμένων ότι συμμετέχουν στη δράση. Από την άλλη, αν η αυξημένη δραστηριότητα των βήτα και γάμα ρυθμών στην αριστερή κροταφική περιοχή, που παρατηρείται κυρίως στο εικονικό περιβάλλον, συσχετίζεται με προσπάθεια ή πρόθεση για τη σύλληψη του αντικειμένου, αν και δεν παρατηρήθηκε συμπεριφορά των υποκειμένων που να υποδηλώνει πρόθεση για κίνηση προς το κινούμενο αντικείμενο (Bonda et al. 1996), τότε θα πρέπει να υποθέσουμε μεγαλύτερη εμπλοκή/συμμετοχή των υποκειμένων στο εικονικό περιβάλλον.

Ωστόσο, δεν υπάρχει συμφωνία όλων των ρυθμών. Στο δέλτα ρυθμό το εικονικό περιβάλλον φαίνεται να απαίτησε ή να ενεργοποίησε αυξημένο νοητικό φόρτο και ίσως λειτουργίες προσοχής. Επίσης, οι υψηλότερες τιμές ισχύος του άλφα ρυθμού στις πίσω δεξιές περιοχές, υπονοούν μια ύφεση των οπτικο-χωρικών λειτουργιών στο πραγματικό περιβάλλον. Η σημαντικότερη ασυμφωνία αφορά στο γάμα ρυθμό που, αν και παρουσιάζει παρόμοια πρότυπα εξάπλωσης στα δύο περιβάλλοντα, εμφανίζει υψηλότερες τιμές φασματικής ισχύος σε όλα τα ηλεκτρόδια στο εικονικό περιβάλλον. Αυτό υποδηλώνει μεγαλύτερη εγκεφαλική δραστηριότητα στο περιβάλλον αυτό που μπορεί να συσχετιστεί με την αντίληψη της κίνησης και των τρισδιάστατων σχημάτων των αντικειμένων. Μια εναλλακτική εκτίμηση που προκύπτει είναι ότι πιθανώς στο εικονικό περιβάλλον ενεργοποιήθηκαν περισσότερο οπτικο-χωρικές λειτουργίες, ενώ στο πραγματικό η εγκεφαλική λειτουργία ασχολήθηκε περισσότερο με την κίνηση του αντικειμένου.

## 10.8 Διεργασία ετοιμότητας και αναμονής

Και σε αυτή τη διεργασία παρατηρούμε αρκετές ομοιότητες ανάμεσα στα δύο περιβάλλοντα, όχι τόσο στις τιμές της φασματικής ισχύος ανά ηλεκτρόδιο, αλλά περισσότερο στις τοπολογίες των ρυθμών, οι οποίες υποδηλώνουν μια τυπική κατάσταση εγρήγορσης. Η επεξεργασία πρωτογενών οπτικών πληροφοριών είναι εμφανής και στα δύο περιβάλλοντα, άλλα όχι κυρίαρχη λειτουργία. Φαίνεται ότι ήταν ελάχιστες οι απαιτήσεις για την επεξεργασία των πρωτογενών οπτικών πληροφοριών, ενώ παρατηρείται προσπάθεια των υποκειμένων να αυξήσουν την προσοχή και την επαγρύπνησή τους. Επιπλέον και στα δύο περιβάλλοντα ενεργοποιούνται λειτουργίες οπτικής και χωρικής επιλεκτικής προσοχής, καθώς και η οπτική μνήμη εργασίας, λειτουργίες που απαιτούνται για την αντίληψη και καταμέτρηση των φωτεινών ερεθισμάτων της παρούσας διεργασίας.

Οι διαφορές που προκύπτουν από τη στατιστική επεξεργασία των τιμών φασματικής ισχύος των ρυθμών του ΗΕΓ οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το εικονικό

περιβάλλον φαίνεται να απαιτήσει ή να ενεργοποίησε γενικά αυξημένο νοητικό φόρτο. Η συμπεριφορά του άλφα και εν μέρει του βήτα ρυθμού υπονοεί ότι το πραγματικό περιβάλλον εστίασε την προσοχή σε πρωτογενή οπτικά δεδομένα και ενεργοποίησε περισσότερες οπτικο-χωρικές λειτουργίες, συμπέρασμα όμως που δεν επαληθεύεται από τους θήτα και γάμα ρυθμούς, ενώ και ο άλφα-2 υπορυθμός συσχετίζεται με ενδείξεις αυξημένης χωρικής επεξεργασίας στο εικονικό περιβάλλον και ο βήτα με αυξημένη οπτικο-χωρική λειτουργία της μνήμης εργασίας επίσης στο εικονικό περιβάλλον. Πιθανώς το εικονικό περιβάλλον έστρεψε την προσοχή σε γνωστικές λειτουργίες του προμετωπιαίου φλοιού ή σε κάποια μεταγνωστική επεξεργασία των πρωτογενών οπτικών πληροφοριών, αλλά και σε επεξεργασία των πρωτογενών οπτικών δεδομένων.

Το εικονικό περιβάλλον απαιτήσει αυξημένη νοητική δραστηριότητα και μείωσε το βαθμό χαλάρωσης των υποκειμένων περισσότερο από το πραγματικό. Πιθανώς η κατάσταση ετοιμότητας στο εικονικό περιβάλλον ήταν εντονότερη και αυτό ενεργοποίησε αρκετές γνωστικές λειτουργίες, συμπεριλαμβανομένης της οπτικής και της χωρικής επιλεκτικής προσοχής.

Επιπλέον στο εικονικό περιβάλλον παρατηρείται αυξημένη οπτικο-χωρική λειτουργία της μνήμης εργασίας. Πιθανώς στο περιβάλλον αυτό, εξαιτίας της μη καθαρής αναπαράστασης του φωτεινού σήματος που δεν μπορεί να γίνει τόσο ευδιάκριτη όσο μια πραγματική φωτεινή πηγή, απαιτήσε επεξεργασία περισσότερων οπτικών πληροφοριών με ταυτόχρονη αύξηση της οπτικής και της χωρικής επιλεκτικής προσοχής και τέλος αυξημένη λειτουργία της μνήμης εργασίας για την αναγνώριση και καταμέτρηση των οπτικών ερεθισμάτων.

## 10.9 Παρουσία άλλου υποκειμένου

Η συμπεριφορά των βήτα, γάμα και λιγότερο του άλφα-1 ρυθμών υποδεικνύει σύμφωνα με τους Martineau και Cochin (2003) ότι υπάρχει ενεργοποίηση στη μετωποκροταφική περιοχή κατά την παρατήρηση πραγματικής ανθρώπινης κίνησης, ενώ με την παρατήρηση εικονικής ανθρώπινης κίνησης η ενεργοποίηση εμπλέκει πιο οπίσθιες περιοχές (βρεγματικός φλοιός). Αν και ο θήτα ρυθμός εμφάνισε μάλλον αντίθετη μορφή, συνολικά η αντίληψη του πραγματικού και του εικονικού ανθρώπου φαίνεται να απαιτούν διαφορετική εγκεφαλική λειτουργία.

Η διεργασία φαίνεται ότι ενεργοποίησε λειτουργίες αναγνώρισης προσώπου και στα δύο περιβάλλοντα αλλά με διαφορετικό βαθμό και διαφορετικά χαρακτηριστικά. Σε μερικούς ρυθμούς (δέλτα) παρουσιάζεται μειωμένος νοητικός φόρτος στην αναγνώριση του πραγματικού ανθρώπου που ήταν ο ίδιος ο εξεταστής με τον οποίο οι συμμετέχοντες είχαν ήδη κάποια εξοικείωση, κάτι που δεν συνέβη στο εικονικό περιβάλλον με το άγνωστο πρόσωπο του avatar. Η γενική ηλεκτρική εγκεφαλική

συμπεριφορά όμως όλων των ρυθμών (και κυρίως του θήτα) υποδηλώνει ότι στο πραγματικό περιβάλλον σημειώθηκε ενεργοποίηση που μπορεί να συσχετιστεί με την αντίληψη των κινήσεων άλλων ατόμων ή την αναγνώριση προσώπων (Stevens et al. 2000).

Στο εικονικό περιβάλλον παρατηρήθηκε επίσης αύξηση του νοητικού και μνημονικού φόρτου, που πιθανόν υπονοεί αυξημένη προσπάθεια ανάκλησης από τη μνήμη παρόμοιας εικονικής φιγούρας, χωρίς όμως να συνοδεύεται από ενεργοποίηση λειτουργιών αναγνώρισης του προσώπου. Αυτή η παρατήρηση σε συνδυασμό με διαφορετική εγκεφαλική λειτουργία σε οπτικο-χωρικές δραστηριότητες, την πιθανή ενεργοποίηση της μνήμης εργασίας και της μνήμης γενικότερα στο εικονικό περιβάλλον και τη συμπεριφορά του γάμα ρυθμού που συνδέεται με ανάγκη για επεξεργασία όλων των οπτικών ερεθισμάτων ακόμη και των πιο αδύνατων διαφοροποιήσεων (στη σχεδίαση του avatar), πιθανόν σημαίνει ότι στο εικονικό περιβάλλον ο avatar θεωρήθηκε ως αλληλουχία κινούμενων εικόνων ή ότι οι συμμετέχοντες αναγνώρισαν (έδωσαν νόημα) στις εικόνες που παρουσιάζονταν στο κράνος εικονικής πραγματικότητας ως ανθρώπινη φιγούρα, ενώ ο πραγματικός άνθρωπος ενεργοποίησε και άλλες λειτουργίες (μη οπτικο-χωρικές) του αριστερού ημισφαιρίου.

Συνολικά και στα δύο περιβάλλοντα παρατηρούμε μειωμένη νοητική προσπάθεια ως προς τις οπτικοχωρικές λειτουργίες του δεξιού ημισφαιρίου και μικρή δραστηριότητα σε επεξεργασία οπτικής πληροφορίας. Οι διαφορές στα δύο περιβάλλοντα δεν είναι σημαντικές και οι παρατηρήσεις στο θέμα αυτό συμφωνούν με τους Cartwright και Zanni (1996) που υποστηρίζουν ότι η διαφοροποίηση δεν συνίσταται στην πρωτογενή επεξεργασία της οπτικής πληροφορίας αλλά σε ένα υψηλότερο επίπεδο γνωστικής επεξεργασίας εκτός του οπτικού φλοιού.

Ωστόσο, διαφορές υπήρξαν ανάμεσα στα δύο περιβάλλοντα ως προς τις οπτικο-χωρικές λειτουργίες οι οποίες ήταν μάλλον αυξημένες στο πραγματικό περιβάλλον, αν και στο εικονικό περιβάλλον εμφανίστηκε επίσης αυξημένη προσοχή ως προς την οπτικο-χωρική συνιστώσα της διεργασίας. Συνολικά όμως το εικονικό περιβάλλον απαίτησε μικρότερη νοητική προσπάθεια από το πραγματικό και πιθανόν μειωμένη κατάσταση προσοχής.

Αντίθετα στο πραγματικό περιβάλλον οι συμμετέχοντες εμφάνισαν αυξημένη επαγρύπνηση ίσως επειδή η κίνηση του εξεταστή μπροστά στο οπτικό τους πεδίο ενεργοποίησε αίσθημα αναμονής για νέα, διαφορετικού τύπου ερώτηση / διεργασία. Φαίνεται επίσης ότι στο πραγματικό περιβάλλον η εμφάνιση του ίδιου του εξεταστή στο οπτικό πεδίο του υποκειμένου (που στις άλλες διεργασίες έκανε τις ερωτήσεις του καθισμένος πίσω από το υποκείμενο) ενίσχυσε το άγχος ή μείωσε το βαθμό χαλάρωσης και ίσως αυτό ενεργοποίησε τη διέγερση και την προσοχή των υποκειμένων περισσότερο από το εικονικό. Ανεξάρτητα πάντως από τις πιθανές αιτίες, φαίνεται ότι η παρουσία και η κίνηση του πραγματικού ανθρώπου αύξησε την προσοχή προσανατολισμένη σε κινήσεις και ίσως ενεργοποίησε λειτουργίες χωρικού προσανατολισμού.

Ιδιαίτερη συναισθηματική φόρτιση δεν φαίνεται να προκάλεσε κανένα από τα δύο περιβάλλοντα. Τα όποια συναισθήματα προκλήθηκαν, έστω και αν δεν είναι δυνατό να αναγνωριστούν ή να διαχωριστούν, ήταν διαφορετικά στο κάθε περιβάλλον, με το εικονικό περιβάλλον να εμφανίζει δραστηριότητα πιθανόν ουδέτερη συναισθηματικά και κυρίως σχετική με την οπτική επεξεργασία των πληροφοριών. Βέβαια η μελέτη της ύπαρξης και του ρόλου των συναισθημάτων δεν ήταν στους στόχους της παρούσας έρευνας. Επειδή σε αυτές τις περιπτώσεις ενεργοποιούνται εσωτερικές εγκεφαλικές δομές (Schilbach et al. 2005) για τις οποίες η μέθοδος της ηλεκτροεγκεφαλογραφίας δεν παρέχει αντιπροσωπευτικές μετρήσεις, έγινε προσπάθεια η ανθρώπινη παρουσία να μη συνοδεύεται από εκφράσεις του προσώπου, ομιλία, χαιρετισμούς ούτε από στροφή του βλέμματος απευθείας πάνω στο υποκείμενο. Οι έστω πενιχρές δυνατότητες του ΗΕΓ στην ανίχνευση των συναισθημάτων αναφέρονται στη διεργασία αυτή γιατί η αντίληψη των προθέσεων ή των συναισθημάτων των άλλων και γενικά ότι εμπλέκεται στην ενεργοποίηση της κοινωνικής συμπεριφοράς και αλληλεπίδρασης με τους άλλους, είναι μια πολύ σημαντική παράμετρος στην αντίληψη των άλλων ανθρώπινων υποκειμένων.

Συνολικά, παρά τις επιμέρους ομοιότητες, οι διαφορές στο εικονικό και το πραγματικό περιβάλλον είναι σημαντικές. Οι παρατηρήσεις αυτές συμφωνούν με τους Perani et al. (2001) που με τεχνικές μετρήσεων PET μελέτησαν την εγκεφαλική δραστηριότητα σχετικά με την παρατήρηση εικονικών και πραγματικών κινήσεων ανθρώπινου χεριού και με προηγούμενες έρευνες από το χώρο της παιδικής ψυχολογίας που υποστηρίζουν ότι τα παιδιά μπορούν να παρακολουθήσουν και να κατανοήσουν καλύτερα κινήσεις που εκτελούνται από άλλα άτομα παρά από μη βιολογικές συσκευές (Legerstee 1991, Meltzoff 1995).

## 10.10 Γενικά συμπεράσματα

Μια απόπειρα γενίκευσης προτύπων εγκεφαλικής δραστηριότητας θεωρείται ανέφικτη όχι μόνο εξαιτίας του μικρού αριθμού δείγματος της παρούσας έρευνας, αλλά κυρίως εξαιτίας της ανεξερεύνητης ακόμη εγκεφαλικής φυσιολογίας των γνωστικών λειτουργιών. Ένας επιπλέον περιοριστικός παράγοντας που προκύπτει από την ανάλυση των συμπερασμάτων, είναι η ασυμφωνία που παρατηρείται σε ορισμένες διεργασίες μεταξύ των επιμέρους εγκεφαλικών ρυθμών ως προς τις πιθανές συσχετίσεις με γνωστικές λειτουργίες, σε σημείο να υπάρχουν ακόμη και αλληλοσυγκρουόμενες ερμηνείες σε ορισμένες περιπτώσεις. Ωστόσο, συνοψίζοντας τα συμπεράσματα που περιγράφονται στις προηγούμενες ενότητες του κεφαλαίου, είναι δυνατό να προκύψουν παρατηρήσεις με γενικότερη εμβέλεια, που αφορούν περισσότερο τάσεις και όχι πρότυπα εγκεφαλικής λειτουργίας και αναδεικνύουν ομοιότητες και διαφορές ανάμεσα σε πραγματικά και εικονικά περιβάλλοντα.

Καταρχήν, οι εγκεφαλικές λειτουργίες φαίνεται να είναι γενικά διαφορετικές σε όλες τις διεργασίες. Οι ομοιότητες είναι επίσης σημαντικές και ποικίλουν από διεργασία σε διεργασία. Οι ομοιότητες δεν φαίνονται τόσο από τις απόλυτες τιμές φασματικής ισχύος, αλλά από τις τοπολογίες των ρυθμών στο κάθε περιβάλλον. Έτσι στην πιο δύσκολη από τις διεργασίες καταμέτρησης, την οπτική εμφάνιση γραμμμάτων (οπτικο-λεκτική) και τη διεργασία ετοιμότητας και αναμονής τα δύο περιβάλλοντα εμφανίζουν παρόμοιες τοπολογίες. Στη διεργασία που εμπλέκεται η υποκειμενική κρίση των συμμετεχόντων καθώς και κατά την αντίληψη κινούμενου αντικείμενου οι τοπολογίες έχουν ορισμένες διαφορές, ενώ πολύ διαφορετικές τοπολογίες ανάμεσα στα δύο περιβάλλοντα έχουμε κατά την εμφάνιση άλλου ανθρώπου.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται ομαδοποιημένες οι ομοιότητες και οι διαφορές ανάμεσα στα δύο περιβάλλοντα.

### **Ομοιότητες**

Σε όλες τις διεργασίες και στα δύο περιβάλλοντα εμφανίζεται σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό επεξεργασία οπτικών ερεθισμάτων με μείωση της χαλάρωσης και αύξηση της εγρήγορσης και της προσοχής σε χωρικές λειτουργίες. Αυτή η γενική παρατήρηση δεν πρέπει να εκληφθεί ως υποβάθμιση άλλου είδους εγκεφαλικών λειτουργιών που επίσης παρατηρήθηκαν σε ορισμένες διεργασίες και μάλιστα φαίνεται να υποσκέλισαν τις οπτικοχωρικές, αλλά κυρίως ως υπογράμμιση της οπτικο-χωρικής συνιστώσας, κάτι που ήταν αναμενόμενο από τις συγκεκριμένες πειραματικές συνθήκες, όπου απουσίαζαν κατά το δυνατό άλλα αισθητήρια ερεθίσματα εκτός των οπτικών.

Ωστόσο και στα δύο περιβάλλοντα δεν απαιτήθηκε ιδιαίτερη προσπάθεια για να αυξήσουν οι συμμετέχοντες την προσοχή και την επαγρύπνησή τους ως προς την οπτική παρατήρηση. Φαίνεται πώς στις περισσότερες διεργασίες και τα δύο περιβάλλοντα δεν απαιτήσαν ιδιαίτερη εστίαση της προσοχής στα πρωτογενή οπτικά δεδομένα. Εξάιρεση αποτελούν η πρώτη επαφή με το περιβάλλον και η αντίληψη κινούμενου αντικείμενου στις οποίες φαίνεται ότι η επεξεργασία πρωτογενών οπτικών πληροφοριών έπαιξε σημαντικό ρόλο.

### **Διαφορές**

Ορισμένες διαφορές είναι δυνατό να οφείλονται σε μικροδιαφορές αντικειμένων ανάμεσα στα δύο περιβάλλοντα. Για παράδειγμα η αναζήτηση του γραμμόφωνου στο εικονικό περιβάλλον της οπτικο-χωρικής διεργασίας, πιθανώς αύξησε τη δυσκολία στην αναγνώριση του αντικείμενου και απαίτησε αυξημένη επεξεργασία των οπτικών πληροφοριών κατά την προσπάθεια αναγνώρισης. Επίσης, η ύπαρξη ήχου στο κινούμενο πραγματικό όχημα είναι παράγοντας που αυξάνει την

πολυπλοκότητα των αισθητήριων δεδομένων και επηρεάζει το νοητικό φόρτο στη διεργασία αντίληψης της κίνησης. Οι περισσότερες διαφορές όμως πιθανώς προκύπτουν από τα διαφορετικού τύπου αισθητηριακά δεδομένα (οπτικά).

Μια σημαντική παρατήρηση είναι το γεγονός ότι, όσο αυξάνει η δυσκολία ή η πολυπλοκότητα της εκτελούμενης διεργασίας, αμβλύνονται οι διαφορές ανάμεσα στα δύο περιβάλλοντα. Αυτό φαίνεται κυρίως στις διεργασίες καταμέτρησης, αλλά και στην οπτικο-χωρική διεργασία που ενεργοποιεί την υποκειμενική κρίση των συμμετεχόντων και στην οποία οι διαφορές δεν είναι μεγάλες. Το πραγματικό περιβάλλον φαίνεται λιγότερο απαιτητικό σε επιλογή και καταμέτρηση αντικειμένων, ενώ το εικονικό, αν και έχει ασθενέστερη επεξεργασία πρωτογενών οπτικών πληροφοριών, παρουσιάζει μεγαλύτερη δυσκολία και αυξημένη συγκέντρωση. Γενικά φαίνεται ότι, όπου με τα αντικείμενα του περιβάλλοντος χώρου απαιτείται κάποια επεξεργασία, το πραγματικό περιβάλλον ξοδεύει περισσότερη προσπάθεια από το εικονικό κατά την επεξεργασία της οπτικής πληροφορίας, αλλά λιγότερη στη συνέχεια μέχρι να ολοκληρωθεί η ζητούμενη επεξεργασία. Πιθανώς:

- τα πραγματικά αντικείμενα αν και δίνουν πολύ περισσότερα αισθητηριακά ερεθίσματα, είναι λιγότερο απαιτητικά στην περαιτέρω επεξεργασία λόγω πρότερης οικειότητας
- τα εικονικά αντικείμενα αν και πιο απλά, είναι δυνατό να δυσκολεύουν στη φάση αναγνώρισης, κατηγοριοποίησης και κατάταξης και επομένως στην μετέπειτα επεξεργασία τους.

Στις διεργασίες που απαιτούν συνολική επόπτευση του χώρου, το πραγματικό περιβάλλον εμφανίζεται απαιτητικότερο σε αισθητηριακή επεξεργασία και σημασιολογική κωδικοποίηση πρωτογενών οπτικών πληροφοριών, κάτι αναμενόμενο αφού αντικειμενικά το πραγματικό περιβάλλον διαθέτει περισσότερα αισθητηριακά ερεθίσματα από το εικονικό. Αυτή η παρατήρηση είναι εντονότερη στην πρώτη επαφή με το περιβάλλον και στην οπτικο-χωρική διεργασία. Εκεί φαίνεται ότι το πραγματικό περιβάλλον απαιτήσε μεγαλύτερη νοητική προσπάθεια γενικά ως προς τις οπτικο-χωρικές λειτουργίες του δεξιού ημισφαιρίου. Είναι λογικό να υποθέσουμε ότι τα αντικείμενα του πραγματικού περιβάλλοντος θεωρήθηκαν πολυπλοκότερα ως προς το πλήθος και τη μορφή των οπτικών ερεθισμάτων που προσέφεραν και επομένως αυξήθηκε ο νοητικός φόρτος και απαιτήθηκε μεγαλύτερη ενεργοποίηση της προσοχής και της επιλεκτικής προσοχής. Το ίδιο παρατηρείται και στην οπτικο-λεκτική διεργασία, όπου στο πραγματικό περιβάλλον παρατηρήθηκε αυξημένη δραστηριότητα πρωτογενών και δευτερογενών οπτικών περιοχών και μεγαλύτερη ένταση της οπτικής προσοχής. Φαίνεται ότι το πραγματικό περιβάλλον ενεργοποιεί περισσότερο συνιστώσες της προσοχής που δραστηριοποιούνται στις ινιακές και βρεγματικές περιοχές, ενώ στο εικονικό η προσοχή στρέφεται σε κυκλώματα του προμετωπιαίου φλοιού και του μετωπικού της μέσης γραμμής, τα οποία πιθανώς εμπλέκουν λειτουργίες της μνήμης εργασίας ή άλλων «ανώτερων» λειτουργιών και όχι οπτικών (όπως στο πραγματικό περιβάλλον).



Ενώ, σε διεργασίες που χρειάζεται να συγκεντρώνεται η προσοχή σε επιμέρους αντικείμενα παρατηρείται μεγαλύτερη συμμετοχή οπτικοχωρικών λειτουργιών στο εικονικό περιβάλλον σε σχέση με το πραγματικό που αφορά και στην επεξεργασία πρωτογενών οπτικών δεδομένων. Αυτή η παρατήρηση έρχεται σε αντίφαση με το σαφώς πλουσιότερο σε αισθητηριακά (οπτικά) δεδομένα πραγματικό περιβάλλον και την απλούστερη αναπαράσταση των εικονικών αντικειμένων. Φαίνεται όμως ότι:

- η εξοικείωση με τον πραγματικό κόσμο δεν δίνει ιδιαίτερη σημασία σε μη σημαντικές λεπτομέρειες
- οι περισσότερο σχηματοποιημένες εικόνες του εικονικού κόσμου ενεργοποιούν τις οπτικοχωρικές λειτουργίες που συμπληρώνουν τον μειωμένο ρεαλισμό
- η αδυναμία των στεροσκοπικών γυαλιών να αποδώσουν πιστά τις τρεις διαστάσεις του πραγματικού κόσμου δημιουργεί ασάφειες και δυσκολίες στον υπολογισμό της ακριβούς θέσης των αντικειμένων στον εικονικό κόσμο
- η σχηματοποιημένη αναπαράσταση των εικονικών αντικειμένων απαιτεί επεξεργασία των οπτικών πληροφοριών σε οπτικές αλλά και συνειρμικές εγκεφαλικές περιοχές και επιπλέον αυξημένη συμμετοχή της μακρόχρονης μνήμης αφού ενεργοποιούνται σημασιολογικές μνημονικές λειτουργίες απαραίτητες για την αποκωδικοποίηση των αντικειμένων του εικονικού περιβάλλοντος
- η αδυναμία των υποκειμένων, που προκύπτει από τις προηγούμενες αιτίες, να εντοπίσουν σύντομα το αντικείμενο-στόχο απαιτεί αυξημένη ενεργοποίηση της μνήμης εργασίας και της οπτικής βραχύχρονης μνήμης. Υπάρχει η πιθανότητα αυτή η δυσκολία να δημιουργήσει συναισθήματα άγχους σε ορισμένα υποκείμενα και αυτό να αποτυπώθηκε στους ρυθμούς του ΗΕΓ (κυρίως στο θήτα) ως μεγαλύτερος γνωστικός φόρτος.

Σημαντική παρατήρηση επίσης είναι το ότι, όταν συμβαίνει κάποιο γεγονός στο εικονικό περιβάλλον, υποβαθμίζονται οι λειτουργίες εξερεύνησης του περιβάλλοντος χώρου και η προσοχή εστιάζεται αμέσως στο νέο συμβάν (πχ. οπτική-λεκτική διεργασία). Γενικά το εικονικό περιβάλλον μάλλον αυξάνει το βαθμό συγκέντρωσης όταν η διεργασία είναι πιο απαιτητική. Γι' αυτό πιθανώς η ετοιμότητα για αντίδραση είναι εντονότερη στο περιβάλλον αυτό. Επιπλέον, στο εικονικό περιβάλλον φαίνεται να υπάρχει αυξημένη επαγρύπνηση (πιθανώς επειδή ήταν νέο ή επειδή οι συμμετέχοντες είχαν αυξημένο ενδιαφέρον και προσδοκίες από τη συγκεκριμένη τεχνολογία ή επειδή παρουσιάστηκε πρώτο) και ίσως αυτή ενεργοποίησε και διατήρησε την προσοχή των συμμετεχόντων.

Οι διεργασίες που αφορούν στην αντίληψη κινούμενου αντικειμένου και στην εμφάνιση άλλου ατόμου διαφέρουν από τις υπόλοιπες. Η αντίληψη της κίνησης είχε αρκετές ομοιότητες ανάμεσα στα δύο περιβάλλοντα. Κοινή ήταν η αίσθηση των

υποκειμένων ότι συμμετέχουν στη δράση αλλά με διαφορετικό τρόπο. Πιθανώς στο εικονικό περιβάλλον ενεργοποιήθηκαν περισσότερο οπτικο-χωρικές λειτουργίες, ενώ στο πραγματικό η εγκεφαλική λειτουργία ασχολήθηκε περισσότερο με την κίνηση του αντικειμένου. Η παρουσία, όμως, άλλου ανθρώπινου υποκειμένου είχε μεγάλες διαφορές. Στο εικονικό περιβάλλον δεν ενεργοποιεί τις εγκεφαλικές λειτουργίες όσο στο πραγματικό. Ο εικονικός άνθρωπος εμφανίζεται ουδέτερος συναισθηματικά και ενεργοποιεί λιγότερο την προσοχή. Απαιτεί όμως περισσότερο μνημονικό φόρτο, ίσως εξαιτίας της προσπάθειας αναγνώρισης.

### **10.11 Περιορισμοί**

Ένας περιορισμός της παρούσας έρευνας είναι το σχετικά μικρό μέγεθος του δείγματος, με αποτέλεσμα να αποδυναμώνεται η ισχύς των στατιστικών μεθόδων. Ωστόσο, όλες οι προηγούμενες έρευνες που σχετίζονται με το θέμα σπάνια έχουν μεγαλύτερο δείγμα.

Οι δραστηριότητες και στα δύο πειράματα δεν αντισταθμίστηκαν για τη σειρά με την οποία παρουσιάστηκαν στους συμμετέχοντες. Παράγοντες όπως η κούραση, η εξοικείωση ή η εκμάθηση αποφεύγονται ως ένα σημείο, χρησιμοποιώντας μικροδιαφορές ανάμεσα στα περιβάλλοντα και στα αντικείμενά τους.

Επίσης η μεταβλητότητα από υποκείμενο σε υποκείμενο είναι ένας παράγοντας σημαντικός στη γενίκευση των αποτελεσμάτων. Ένας τρόπος ελέγχου είναι η υπέρθεση γραφημάτων όλων των υποκειμένων για κάθε διεργασία και για κάθε ηλεκτρόδιο. Ο έλεγχος αυτός δεν αξιοποιήθηκε στην παρούσα έρευνα, γιατί το μικρό μέγεθος του δείγματος δεν επιτρέπει γενικεύσεις σε όλο τον πληθυσμό.

### **10.12 Προτάσεις για παραπέρα έρευνα**

Η παρούσα έρευνα ασχολήθηκε με συγκρίσεις εγκεφαλικών λειτουργιών σε μια ευρεία κατηγορία ψυχολογικών παραγόντων και αντιδράσεων. Μια περαιτέρω ανάλυση σε βάθος για κάθε παράγοντα (ή κατάσταση ή αντίδραση) ξεχωριστά θα ήταν το επόμενο βήμα. Η έρευνα αυτή θα μπορούσε να εστιάσει σε:

- διαφορές φύλων,
- μικρότερες ηλικίες,
- συνδυασμούς με παρατηρήσεις συμπεριφοράς, χρόνου απόκρισης και άλλων αντικειμενικών μεγεθών,

- συνδυασμούς με μετρήσεις από άλλες φυσιολογικές μετρήσεις (καρδιακούς παλμούς, αγωγιμότητα δέρματος, ρυθμό αναπνοής, κινήσεις ή ανοιγοκλείσιμο των ματιών, κ.α.),
- διερεύνηση κάθε διεργασίας με κλιμάκωσης του βαθμού δυσκολίας,
- διερεύνηση διεργασιών με άμεσα μαθησιακά αποτελέσματα,
- πληροφορίες που προκύπτουν από τη σύγκριση (π.χ. συνάφεια) της εγκεφαλικής λειτουργίας διαφορετικών περιοχών ή συμμετρικών περιοχών των δύο ημισφαιρίων,
- επίδραση ερεθισμάτων των άλλων αισθητηρίων οργάνων.

Όσο αφορά στο τεχνικό τμήμα, ενδιαφέρον έχει η προσέγγιση των ζητημάτων που ερευνά η διατριβή αλλά και αυτών που προαναφέρθηκαν χρησιμοποιώντας:

- διαφορετική μαθηματική επεξεργασία. Μια πολλά υποσχόμενη μέθοδος ανάλυσης είναι η ανάλυση χρόνου-συχνότητας (Time-Frequency Representation, TFR), με την οποία μπορεί να εκτιμηθεί η προκαλούμενη από ερεθίσματα δραστηριότητα στη χρονική της εξέλιξη σε πολλές περιοχές συχνοτήτων. Αυτό μπορεί να παρουσιάσει την πολυπλοκότητα της εγκεφαλικής ηλεκτρικής δραστηριότητας σε σύνδεση με τη γνωστική λειτουργία (Krause 2006). Επιπλέον μπορεί να ξεπεράσει το πρόβλημα της μη στασιμότητας των ΗΕΓ σημάτων και να αναδείξει τις ατομικές διαφοροποιήσεις σε αντίθεση ή παράθεση με τεχνικές υπολογισμού μέσω όρων (Krause 2002).
- στατιστική αφαίρεση παρασίτων με αυτόματη ανίχνευση και διόρθωση, ώστε να μη χάνονται πολλά δείγματα,
- εικονικά περιβάλλοντα με μεγαλύτερη ρεαλιστικότητα.

Βέβαια, υπάρχουν πολλοί άλλοι φιλόδοξοι στόχοι (π.χ. Μικρόπουλος 2003), οι οποίοι αποτελούν γενικότερους στόχους των νευροεπιστημών, όπως:

- συσχέτιση συγκεκριμένων εγκεφαλικών δραστηριοτήτων με συγκεκριμένους γνωστικούς στόχους,
- συσχέτιση εξειδικευμένων δραστηριοτήτων του εγκεφάλου με συγκεκριμένες καταστάσεις μάθησης,
- μελέτη της εγκεφαλικής δραστηριότητας στις διαφορετικές γνωστικές μορφές,
- μελέτη της εγκεφαλικής δραστηριότητας στο πλαίσιο των συνθετικών έναντι των πραγματικών περιβαλλόντων,
- μελέτη της εγκεφαλικής δραστηριότητας στο πλαίσιο των μαθησιακών περιβαλλόντων με υπολογιστή,
- κατανόηση του τρόπου που τα μαθησιακά περιβάλλοντα με υπολογιστή επηρεάζουν την μάθηση,

- χρησιμοποίηση των απεικονιστικών εργαλείων της εγκεφαλικής λειτουργίας (όπως το ΗΕΓ) στην αξιολόγηση του εκπαιδευτικού λογισμικού,
- καθορισμό αντικειμενικών οδηγιών για τη σχεδίαση κατάλληλων βασισμένων σε υπολογιστή εκπαιδευτικών και συγκεκριμένα εικονικών περιβαλλόντων που οδηγούν σε συγκεκριμένα μαθησιακά αποτελέσματα,
- κατανόηση γενικότερα του τρόπου που μαθαίνουμε.

---

# 11 Βιβλιογραφία

---

Abarbanel, A. (1999). The neural underpinnings of neurofeedback training. In J. R. Evans, and A. Abarbanel (Eds.), *Introduction to quantitative EEG and neurofeedback (311-340)*. San Diego: Academic Press.

Abrahams, S., Morris, R. G., Polkey, C. E., Jarosz, J. M., Cox, T. C., Graves, M., & Pickering, A. (1999). Hippocampal involvement in spatial and working memory: A structural MRI analysis of patients with unilateral mesial temporal lobe sclerosis. *Brain Cogn.*, *41*, 39-65.

Adrian, E. D. (1942). Olfactory reactions in the brain of the hedgehog. *I. Physiol.*, *100*, 459-473.

Adrian, E. D., & Matthews, B. H. C. (1934). The Berger rhythm: Potential changes from the occipital lobes in man. *Brain* *57*, 356.

Aeschbach, D., Postolache, T. T., Sher, L., Matthews, J. R., Jackson, M. A., & Wehr, T. A. (2001). Evidence from the waking electroencephalogram that short sleepers live under higher homeostatic sleep pressure than long sleepers. *Neuroscience* *102*, 493-502.

Aftanas, L. I., & Golocheikine, S. A. (2001). Human anterior and frontal midline theta and lower alpha reflect emotionally positive state and internalized attention: high-resolution EEG investigation of meditation. *Neurosci. Lett.* *310*, 57-60.

Aggleton, J. P., & Brown, M. W. (1999). Episodic memory, amnesia, and the hippocampal-anterior thalamic axis. *Behav. Brain Sci.* *22*, 425-490.

Aguirre, G. K., Detre, J. A., Alsup, D. C., & D'Esposito, M. (1996). The parahippocampus subserves topographical learning in man. *Cereb. Cortex* *6*, 823-829.

Ainge D. (2000). Introducing Primary Students to VR with Do 3D. *VR in the Schools*, *4*(3).

Ainsworth, S., Bibby, P. A., & Wood, D. (1998). Analysing the costs and benefits of multi-representational learning environments. In M. van Someren, E. Boshuizen, T. de Jong, & P. Reiman (Eds.), *Multiple representations for problem solving and learning (103-208)*. London: Elsevier.

Allanson, J., Rodden, I., & Mariani, J. (1999). A toolkit for exploring electrophysiological human-computer interaction. *Proc. Human Computer Interaction (Interact'99)*, 231-237.

Allanson, J., & Mariani, J. (1999). Mind Over Virtual Matter: Using Virtual Environments for Neurofeedback Training. *IEEE Virtual Reality Conference*.

Allanson, J. (2000). Upporting the Development of Electrophysiologically Interactive Computer Systems. PhD thesis, Lancaster University.

Andreasen, N. C., O'Leary, D. S., Arndt, S., Cizadlo, T., Hurtig, R., Rezai, K., Watkins, G. L., Boles Ponto, L. L., & Hichwa, R. D. (1992). Short-term and long-term verbal memory: a positron emission tomography study. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *11*, 5111-5115.

Andersen, R.A., Snyder, L.H., Bradley, D.C., & Xing, J. (1997). Multimodal representation of space in the posterior parietal cortex and its use in planning movements. *Annu. Rev. Neurosci.* 20, 303-330.

Andrew, C., & Pfurtscheller, G. (1996). Dependence of coherence measurements on EEG derivation type. *Medical & biological engineering & computing.* 34(3), 232-8.

Aoki, F., Fetz, E. E., Shupe, L., Lettich, E., & Ojemann, G. A. (1999). Increased gamma-range activity in human sensorimotor cortex during performance of visuomotor tasks. *Clin Neurophysiol* 110, 524-37.

Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1977). Human memory: a proposed system and its control processes. In G.H. Bower (ed.), *Human Memory: Basic Processes*. New York: Academic Press.

De Araujo, D. B., Baffa, O., & Wakai, R. T. (2001). Theta and alpha oscillations: Dependency on navigation tasks. In J. Nenonen, R.J. Ilmoniemi & T. Katila (eds.), *Biomag 2000. Proceedings of the 12th International Conference on Biomagnetism, (343-346)*. Helsinki University of Technology, Espoo, Finland, biomag2000.hut.fi/proceedings.html.

Arellano, A. P., & Schwab, R. S. (1950). Scalp and basal recording during mental activity. *International Congress of psychiatry*. Paris.

Arieli, A., Sterkin, A., Grinvald, A., & Aertsen, A. (1996). Dynamics of Ongoing Activity: Explanation of the Large Variability in Evoked Cortical Responses. *Science* 273, 1868-1871.

Armington, J. C., & Chapman, R. M. (1959). Temporal potentials and eye movements. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 11, 346-348.

Aukstakalnis, S., & Blatner, D. (1992). *Silicon Mirage - The art and science of virtual reality*. Peachpit press.

Babiloni, F., Mattia, D., Babiloni, C., Astolfi, L., Salinarie, S., Basilisco, A., Rossini, P. M., Marciani, M. G., & Cincotti, F. (2004). Multimodal integration of EEG, MEG and fMRI data for the solution of the neuroimage puzzle. *Magnetic Resonance Imaging*, 22, 1471-1476.

Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*, Clarendon Press.

Baddeley, A. D. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends Cogn. Sci.*, 4, 417-423.

Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working memory. *Psychology of Learning and Motivation*, 8, 49-90.

Bamidis, P. D., Papadelis, C., Kourtidou-Papadeli, C., Pappas, C., & Vivas, A. (2004). Affective computing in the era of contemporary neurophysiology and health informatics. *Interacting with Computers*, 16(4), 715-721, doi:10.1016/j.intcom.2004.06.009.

Barfield, W., & Weghorst, S. (1993). The sense of presence within virtual environments: A conceptual framework. In G. Salvendy & M. Smith (Eds.), *Human-computer interaction: Software and hardware interfaces*, 699-704, Amsterdam: Elsevier.

Barcelo, F., Gale, A., & Hall, M. (1995). Multichannel EEG power reflects information processing and attentional demands during visual orienting. *Journal of Psychophysiology*, 9, 32-44.

Barlow, J. S. (1993). *The electroencephalogram, its patterns and origins*. MIT Press, A Bradford Book.

Basar, E. (1998). Brain Function and Oscillations. I. Brain Oscillations. Principles and Approaches. Springer, Berlin Heidelberg.

Basar, E. (1999). Brain Function and Oscillations. II. Integrative Brain Function. *Neurophysiology and Cognitive Processes, II*, Springer, Berlin Heidelberg.

Basar, E., & Gzesmi, C. (1972). The hippocampal EEG activity and a systems analytical interpretation of averaged evoked potentials of the brain. *Kybernetik*, 12, 45-54.

Basar, E., & Ungan, P. (1973). A component analysis and principles derived for the understanding of evoked potentials of the brain. Studies in the hippocampus. *Kybernetik*, 12, 133-140.

Basar, E., Gijnder, A., Gzesmi, C., & Ungan, P. (1975). Dynamics of brain rhythmic and evoked potentials II. Studies in the auditory pathway, reticular formation, and hippocampus during waking stage. *Biol. Cybernet.*, 20, 145-160.

Basar, E., Gander, A., & Ungan, P. (1976). Important relation between EEG and brain evoked potentials. II. A system analysis of electrical signals from the human brain. *Biol. Cybernet.*, 25, 41-48.

Basar, E., & Bullock, T.H. (1992). *Induced Rhythms in the Brain*. Birkhauser, Boston.

Basar, E., Basar-Eroglu, C., Parnefjord, R., Rahn, E., & Schuermann, M. (1992). Evoked potentials: ensembles of brain induced rhythmicities in the alpha, theta and gamma ranges. In E. Basar and T.H. Bullock (Eds.), *Induced Rhythms in the Brain*. Boston: Birkhäuser.

Basar, E., Schürmann, M., Basar-Eroglu, C., Karakas, S. (1997). Alpha oscillations in brain functioning: an integrative theory. *Int J Psychophysiol* 26,5-29.

Basar, E., Basar-Eroglu, C., Karakas, S., & Schuermann, M. (1999). Are cognitive processes manifested in event-related gamma, alpha, theta and delta oscillations in the EEG? *Neuroscience Letters* 259, 165-168.

Basar, E., Basar-Eroglu, C., Karakas, S., & Schuermann, M. (2000). Brain oscillations in perception and memory. *International Journal of Psychophysiology*, 35, 95-124.



Basar, E., Schurmann, M., & Sakowitz, O. (2001). The selectively distributed theta system: functions. *International Journal of Psychophysiology*, 39, 197-212.

Basar, E., Basar-Eroglu, C., Karakas, S., & Schurmann, M. (2001a). Gamma, alpha, delta, and theta oscillations govern cognitive processes. *International Journal of Psychophysiology*, 39(4), 241-8.

Basar-Eroglu, C., Struber, Schurmann, M., Stadler, M., & Basar, E. (1996). Gamma-band responses in the brain a short review of psychophysiological correlates and functional significance. *International Journal of Psychophysiology* 24, 101-112.

Bastiaansen, M. C. M., Posthumus, D., Grootjans, P. F. C., & de Geus, E. J. C. (2002). Event-related alpha and theta responses in a visuo-spatial working memory task. *Clinical Neurophysiology* 113(12), 1882-1893.

Baxendale, S. A., Van Paesschen, W., Thompson, P. J., Duncan, J. S., Shorvon, S. D., & Connelly, A. (1997). The relation between quantitative MRI measures of hippocampal structure and the intracarotid amobarbital test. *Epilepsia* 38, 998-1007.

Bayliss, J. D., & Ballard, D. H (1998). The Effects of Eye Tracking in a VR Helmet on EEG Recording. *TR 685, May 1998*, University of Rochester National Resource Laboratory for the Study of Brain and Behavior.

Bayliss, J. D., & Ballard, D. H (1998b). Single Trial P300 Recognition in a Virtual Environment, in Computational Intelligence: Methods & Applications Proceedings. *Soft Computing in Biomedicine*.

Bayliss, J. D., & Ballard, D. H (2000a). Recognizing Evoked Potentials in a Virtual Environment. In: S.A. Solla, T.K. Leen & K.R. Miller, (eds.), *Advances in Neural Information Processing Systems*, (vol. 12, 3-9). MIT Press, <http://citeseer.ist.psu.edu/bayliss00recognizing.html>.

Bayliss, J. D., & Ballard, D. H (2000b). Single trial P3 epoch recognition in a virtual environment. *Neurocomputing*, 32-33, 637-642.

Beatty, J., Greenberg, A., Diebler, W. P., & O'Hanlon, J. F. (1974). Operant control of occipital theta rhythm affects performance in a radar monitoring task. *Science*, 183, 871-873.

Beauchamp, M. S., Cox, R. W., & DeYoe, E. A. (1997). Graded effects of spatial and featural attention on human area MT and associated motion processing areas. *J. Neurophysiol.*, 78, 516-520.

Belenky, G., Sing, H. C., Thomas, M. L., Shaham, Y., Balwinski, S., Redmond, D. P., Balkin, T. (1994). Discrimination of rested from sleep-deprived EEG in awake normal humans by artificial neural network. *Proc IEEE Int Conf Neural Networks, IEEE Piscataway*, 3521-3524.

Benham, G., Rasey, H. W., Lubar, J. F., Frederick, J. A., & Zoffuto, A. C. (1997). EEG power-spectral and coherence differences between attentional states during a complex auditory task. *Journal of Neurotherapy*, 2, 1-9.

Benson, H. (1975). *The relaxation response*. New York: William Morrow & Co.

Berg, C., Junker, A., Rothman, A., & Leininger, R. (1998). The CyberLink interface: Development of a hands free continuous/discrete multichannel computer interface. *Small Business Innovation Research Program. Phase II Final Report*. Yellow Springs, OH: Brain Actuated Technology, Inc.

Bickford, R. G., Brimm, J., Berger, L., & Aung, M. (1973). Application of compressed spectral array in clinical EEG. In P. Kellaway & I. Petersen (Eds.), *Automation of Clinical Electroencephalography*, 55-64, New York: Raven.

Bilia, A. (1998). VR and creative imagination: Philosophical aspects. *VR in the Schools*, 3(2).

Billings, R. J. (1989). The origin of the occipital lambda wave in man. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 72, 95-113.

Binder, J. R., Frost, J. A., Hammeke, T. A., Bellgowan, P. S., Rao, S. M., & Cox, R. W. (1999). Conceptual processing during the conscious resting state. A functional MRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11, 80-95.

Biocca, F. (1992). Virtual Reality Technology: A Tutorial. *J. of Communication*, 42(4), 23-72.

Biocca, F. (2002). Presence working group research targets. Presentation at the "Presence Info Day" of the European Commission, January 2002.

Bischof, W. F., & Boulanger, P. (2003). Spatial Navigation in Virtual Reality Environments: An EEG Analysis. *Cyberpsychology & Behavior*, 6(5), 487-495.

Bland, B. H. (1986). The physiology and pharmacology of hippocampal formation theta rhythms. *Prog Neurobiol* 26, 1-54.

Bliss, J. P., Tidwell, P. D., & Guest, M. A. (1997). The effectiveness of virtual reality for administering spatial navigation training to firefighters. *Presence*, 6, 73-86.

Böcker, K. B. E., van Avermaete, J. A. G., & van den Berg-Lenssen, M. M. C. (1994). The International 10-20 System Revisited: Cartesian and Spherical Coordinates, *Brain Topography*, 6(3).

Bohbot, V. D., Kalina, M., Stepankova, K., Spackova, N., Petrides, M., & Nadel, L. (1998). Spatial memory deficits in patients with lesions to the right hippocampus and to the right parahippocampal cortex. *Neuropsychologia*, 36, 1217-1238.

Boiten, F., Sergeant, J., Geuze, R. (1992). Event-related desynchronization: the effects of energetic and computational demands. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.*, 82, 302-309.

Bolt, R. A. (1985). Conversing with computers. *Technology Review*, 88(2).

Bonda, E., Petrides, M., Ostry, D., & Evans, A. (1996). Specific involvement of human parietal systems and the amygdale in the perception of biological motion. *J. Neurosci.*, 16, 3737-3744.

Boucsein, W. (1993). *Electrodermal activity*. New York: Plenum.

Bouyer, J. J., Montarom, M. F., Vahnee, J. M., Albert, M. P., & Rougeul, A. (1987). Anatomical localization of cortical beta rhythms in cat. *Neuroscience*, 22, 863-869.

Brazier, M. A. B. (1961). *A History of the Electrical Activity of the Brain. The first half-century*. London: Pitman Medical Publishing

Brazier, M. A. B., & Casby, J. U. (1952). Crosscorrelation and autocorrelation studies of electroencephalographic potentials. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 4, 201-211.

Brocke, J., Irlbacher, K., Hauptmann, B., Voss, M., & Brandt, S. A. (2005). Transcranial magnetic and electrical stimulation compared: does TES activate intracortical neuronal circuits? *Clin Neurophysiol*, 116(12), 2748-2756.

Brown, B. B. (1971). Awareness of EEG-subjective activity relationships detected within a closed feedback system. *Psychophysiology*, 7, 451-464.

Bricken, W. (1992/1990). Virtual Reality: Directions of Growth. *Proc. of Imagina'92*, p.I/27-I/40, Monte Carlo 1992, also available as HITL Technical report R-90-1.

Bricken, W. (1990b). Learning in Virtual Reality, *Technical report No. HITL-M-90-5*, University of Washington.

Bricken, W., & Coco, G. (1995). VEOS: The Virtual Environment Operating Shell. In W. Barfield & T. A. Furness III (ed.) *Virtual Environments and Advanced Interface Design (102-145)*, New York, Oxford University Press.

Brooks, J. F. P. (1999). What's real about virtual reality? *IEEE Comp. Graph.* 19, 16-27.

Brookings, J. B., Wilson, G. F., & Swain, C. R. (1996). Psychophysiological responses to changes in workload during simulated air traffic control. *Biological Psychology*, 42, 361-377.

Brown, M. A., & Slater, M. (1991). A review of interaction technologies as applied to VR. *Proc. of the Conf. Computer Graphics: Computer Animation, Virtual Reality, Visualization*, (309-328), Blenheim Online, London.

Bruce, M., Scott, N., Lader, M., & Marks, V. (1986). The psychopharmacological and electrophysiological effects of single doses of caffeine in healthy human subjects. *British Journal of Clinical Pharmacology*, 22, 81-87.

Bruer, J. T. (1997). Education and the brain. A bridge to far. *Educational Researcher*, 26, 4-16.

Bryson, S. (1995). Approaches to the successful design and implementation of VR applications. In R. A. Earnshaw, J. A. Vince & H. Jones (ed.), *Virtual Reality Applications (3-15)*. Academic Press.

Burdea, G., Coiffet, Ph. (1994). *Virtual Reality Technology*. John Wiley & Sons.

- Budzynsky, T. H. (1995). VR biofeedback: A brief concept paper. *Biofeedback*, 23(3), 12-13.
- Bundick, T. Jr., & Spinella, M. (2000). Subjective experience, involuntary movement, and posterior alien hand syndrome. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry* 68, 83-85.
- Burgess, N., Maguire E. A., Spiers H. J., & O'Keefe J. (2001). A Temporoparietal and Prefrontal Network for Retrieving the Spatial Context of Lifelike Events, *NeuroImage*, 14, 439-453, doi:10.1006/nimg.2001.0806.
- Burgess, A. P., Gruzelier, J. H. (1997). Localization of word and face recognition memory using topographical EEG. *Psychophysiology*, 34, 7-16.
- Burgess, A. P., Gruzelier, J. H. (2000). Short duration power changes in the EEG during recognition memory for words and faces. *Psychophysiology* 37, 596-606.
- Butler, S. R., Glass, A. (1976). EEG correlates of cerebral dominance. In A. H. Reisen, & R. F. Thompson, (Eds.), *Advances in Psychology*, 3, 219-384, John Wiley, New York.
- Byring, R. F., Salmi, T. K., Sainio, K. O., Orn, H. P. (1991). EEG in children with spelling disabilities. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 79, 247-255.
- Byrne, C. (1993). *Virtual Reality and Education*, HITL Report No. R-93-6.
- Byrnes, J. P., & Fox, N. A. (1998). The educational relevance of research in cognitive neuroscience. *Educational Psychology Review*, 10(3), 297-342.
- Cabeza, R., & Nyberg, L. (1997). Imaging Cognition: An Empirical review of PET studies with normal subjects. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9, 1-26.
- Cabeza, R., & Nyberg, L. (2000). Imaging cognition II: an empirical review of 275 PET and fMRI studies. *J. Cognit. Neurosci.*, 12, 1-47.
- Cabon, P., Coblenz, A., Mollard, R., & Fouillot, J. P. (1993). Human vigilance in railway and long-haul flight operation. *Ergonomics*, 36, 1019-1033.
- Caldwell, J. A., & Lewis, J. A. (1995). The feasibility of collecting in-flight EEG data from helicopter pilots. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 66, 883-889.
- Caldwell, J. A., Prazinko, B., & Caldwell, J. L. (2003). Body posture affects electroencephalographic activity and psychomotor vigilance task performance in sleep-deprived subjects. *Clin. Neurophysiol.*, 114, 23- 31.
- Calvert., S., & Tan, C. (1994). Impact of virtual reality on young adult's physiological arousal and aggressive thoughts: Interaction versus observation. *Journal of Applied and Developmental Psychology*, 15, 125-139.
- Caplan, J. B., Madsen, J. R., Raghavachari, S., & Kahana, M. J. (2001). Distinct patterns of brain oscillations underlie two basic parameters of human maze learning. *J. Neurophysiol.*, 86, 368 -380.

Caplan, J. B., Madsen, J. R., Schulze-Bonhage, A., Aschenbrenner-Scheibe, R., Newman, E. L., & Kahana, M. J. (2003). Human theta oscillations related to sensorimotor integration and spatial learning. *J. Neurosci.*, *23*, 4726-4736.

Card, S. K., Moran, T. P., & Newell, A. (1983). *The psychology of human-computer interaction*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Carpenter, P. A., & Just, M. A. (1989). The role of working memory in language comprehension. In D. Klahr & K. Kotovsky (Eds) *Complex Information Processing: The Impact of Herbert A. Simon*. (31-68), Lawrence Erlbaum Associates.

Cartwright, G. F., & Zanni, C. A. (1996). Human brains in virtual worlds. Eighth General Assembly of the World Future Society, Washington, DC, (July 16, 1996).

Cassell, J., & Vilhjálmsón, H. (1999). Fully Embodied Conversational Avatars: Making Communicative Behaviors Autonomous, *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, *2*(1), 45-64, Kluwer Academic Publishers.

Caudell, T. (1997, March). *Virtual reality and psychophysiology*. Paper presented at the 28th AAPB Meeting, San Diego, CA.

Chaminade, T., & Decety, J. (2002). Leader or follower? Involvement of the inferior parietal lobule in agency. *Neuroreport*, *13*, 1975-1978.

Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, *8*, 293-332.

Chandler, P., & Sweller, J. (1992). The split-attention effect as a factor in the design of instruction. *British Journal of Educational Psychology*, *62*, 233-246.

Chapman, R. M., Armington, J. C., & Bragdon, H. R. (1962). A quantitative survey of kappa and alpha EEG activity. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *14*, 858-868.

Chatrian, G. E. (1964). Characteristics of unusual EEG patterns: Incidence, significance. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, *17*, 471-472.

Chatrian, G. E. (1976a). The mu rhythms. In A. Remond (ed.), *Handbook of Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, (6A, 46-69). Amsterdam: Elsevier.

Chatrian, G. E. (1976b). The kappa rhythm. In A. Remond (ed.), *Handbook of Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, (6A, 104-114). Amsterdam: Elsevier.

Chatrian, G. E. (1976c). The lambda waves. In A. Remond (ed.), *Handbook of Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, (6A, 123-149). Amsterdam: Elsevier.

Chen, K., Perelman L. T., Zhang Q. G., Dasari R. R., & Feld M. S. (2000). Optical computed tomography in a turbid medium using early arriving photons. *Journal of Biomedical Optics*, *5*, 144-154.

Chen, D., & Vertegaal, R. (2004). Using mental load for managing interruptions in physiologically attentive user interfaces. In *Proceedings of CHI 2004 (1513-1516)*. Vienna: ACM Press.

Chiappa, K. H. (1985). Progress in topographic mapping of neuropsychological data: Comments, In F. H. Duffy (Ed.), *Topographic Mapping of Brain Electrical Activity*. Butterworth Publishers, Boston, MA.

Choppin, A. (2000). EEG-Based Human Interface for Disabled Individuals: Emotion Expression with Neural Networks. Master Thesis, under the Supervision of Professor Dr. Yukio Kosugi, Department of Information Processing Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, TOKYO INSTITUTE OF TECHNOLOGY.

Chua, R., Carson, R. G., Goodman, D., & Elliott, D. (1992). Asymmetries in the spatial localization of transformed targets. *Brain Cognit.*, 20, 227-235.

Cobb, S., Nichols, S., Ramsey, A., & Wilson, J. R. (1999). Virtual reality induced symptoms and effects (VRISE). *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 8(2), 169-186.

Cochin, S., Barthelemy, C., Lejeune, B., Roux, S., & Martineau, J. (1998). Perception of motion and qEEG activity in human adults. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 107, 287-295.

Cochin, S., Barthelemy, C., Roux, S., & Martineau, J. (1999). Observation and execution of movement: similarities demonstrated by quantified electroencephalography. *Eur. J. Neurosci.*, 11, 1839-1842.

Cochin, S., Barthelemy, C., Roux, S., & Martineau, J. (2001). Electroencephalographic activity during perception of motion in childhood. *Eur. J. Neurosci.*, 13, 1791-1796.

Cohen, D., & Cuffin, B. N. (1991). EEG versus MEG localization accuracy: theory and experiment. *Brain Topogr.*, 4, 95-103.

Cohn, V., DiZio, P., & Lackner, J. (1996). Reaching movements during illusory self-rotation show compensation for expected Coriolis forces. *Society for Neuroscience Abstracts*, 22(1), 654.

Cole, H. W., & Ray, W. J. (1985). EEG correlates of emotional tasks related to attentional demands. *Int. J. Psychophysiol.*, 3(1), 33-41.

Cole, D. M. (1995). Emergent technologies from humandolphin interaction research. In K. Morgan, R. M. Satava, H. B. Sieburg, R. Mattheus, & J. P. Christensen (Eds.), *Interactive technology and the new paradigm for healthcare (72-78)*. Amsterdam, Oxford, Washington D. C.: IOS Press and Ohmsha.

Cooley, J. W., & Turkey, J. W. (1965). An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series. *Math. Comput.*, 19, 297-301.

Cooper, R., Winter, A. L., Crow, J. J., & Walter, W. G. (1965). Comparison of subcortical, cortical and scalp activity using indwelling electrodes in man. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 18, 217-228.

Cooper, N. R., Croft, R. J., Dominey, S. J. J., Burgess, A. P., & Gruzelier, J. H. (2003). Paradox lost? Exploring the role of alpha oscillations during externally vs. internally directed attention and the implications for idling and inhibition hypotheses. *Int J PsychoPhysio*, 47, 65-74.

Corbetta, M., Miezin, F. M., Shulman, G. L., & Petersen, S. E. (1993). A PET study of visuospatial attention. *J. Neurosci.*, 13, 1202-1226.

Corbetta, M., Shulman, G. L., Miezin, F. M., & Petersen, S. E. (1995). Superior parietal cortex activation during spatial attention shifts and visual feature conjunction. *Science*, 270, 802-805.

Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nat. Rev., Neurosci.*, 3, 201-215.

Corsi-Cabrera, M., Arce, C., Ramos, J., & Guevara, M. A. (1997). Effect of spatial ability and sex on inter- and intrahemispheric correlation of EEG activity. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 102, 5-11.

Costello, P. J. (1997). Health and safety issues associated with VR - A review of current literature. *AGOCG technical report*, n. 37, July 1997.

Crawford, H. J., Clarke, S. W., & Kitner-Triolo, M. (1996). Self-generated happy and sad emotions in low and highly hypnotizable persons during waking and hypnosis : laterality and regional EEG activity differences. *International Journal of Psychophysiology*, 24, 239-266.

Cremades, J. G., Barreto, A., Sanchez, D., & Adjouadi, M. (2004). Human-computer interfaces with regional lower and upper alpha frequencies as on-line indexes of mental activity. *Computers in Human Behavior*, 20, 569-579.

Crick, F., & Koch, C. (1990a). Towards a neurobiological theory of consciousness. *Semin. Neurosci.*, 2, 263-275.

Crick, F., & Koch, C. (1990b). Some reflections on visual awareness. *Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol.* 55, 953-963.

Critchley, M. (1953). *The Parietal Lobes*. Hafner Press, New York.

Croft, R. J., & Barry, R. J. (1998). EOG correction: a new perspective, *Electroencephalography and clinical Neurophysiology* 107, 387-394.

Croft, R. J., & Barry, R. J. (2000a). EOG correction: comparing different calibration methods, and determining the number of epochs required in a calibration average. *Clinical Neurophysiology* 111, 440-443.

Croft, R. J., & Barry, R. J. (2000b). Removal of ocular artifact from the EEG: a review. *Neurophysiol. Clin.* 30, 5-19.

Cronin, P. (1998). *Report on the applications of virtual reality technology to education*. Technical report, Univ. of Edinburgh.

Cronin, P. (1997). *Report on the Applications of Virtual Reality Technology to Education*, Technical report, University of Edinburgh, Electronic Document: <http://www.cogsci.ed.ac.uk/~paulus/Work/Vranded/vr.htm>

Crosier, J. K., Cobb, S., & Wilson J. R. (2002). Key lessons for the design and integration of virtual environments in secondary science, *Computers & Education*, 38, 77-94.

Dale, A. M, Sereno, M. (1993). Improved localization of cortical activity by combining EEG and MEG with MRI cortical surface reconstruction: a linear approach. *J Cogn Neurosci*, 5, 162 - 76.

Damasio, A. R. (1995). On some functions of the human prefrontal cortex. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 769, 241-251.

Daniel, R. S. (1967). Alpha and theta EEG in vigilance. *Perceptual and Motor Skills*, 25, 697-703.

Danos, P., Guich, S., Abel, L., & Buchsbaum, M.S. (2001). EEG alpha rhythm and glucose metabolic rate in the thalamus in schizophrenia. *Neuropsychobiology*, 43, 265- 272.

Daprati, E., Sirigu, A., Pradat-Diehl, P., Franck, N., & Jeannerod, M. (2000). Recognition of self-produced movement in case of severe neglect. *Neurocase*, 6, 477-486.

Darken, R. P., & Sibert, J. L. (1996). Navigating large virtual spaces, *International Journal of Human Computer Interaction*, 8(1), 49-71, [http://www.seas.gwu.edu/~sibert/darken/publications/Navigating\\_IJHCI95/navigating.html](http://www.seas.gwu.edu/~sibert/darken/publications/Navigating_IJHCI95/navigating.html)

Davies, R. C. (2001). Virtual Reality hardware and software: complex usable devices? In G. Riva & F. Davide (eds.), *Communications Through Virtual Technology: Identity Community and Technology in the Internet Age*. IOS Press, Amsterdam.

Davidson, R. J. (1992a). Anterior cerebral asymmetry and the nature of emotion. *Brain and Cognition*, 20, 125-151.

Davidson, R. J. (1992b). Emotion and affective style: hemispheric substrates. *Psychological Science*, 3(1), 39-43.

Davidson, R. J., Ekman, P., Saron, C. D., Senulis, J. A., & Friesen, W. V. (1990). Approach-withdrawal and cerebral asymmetry: emotional expression and brain physiology. *Int. J. Pers. Soc. Psychol.*, 58, 330-341.

Davidson, R. J., & Irwin, W. (1999). The functional neuroanatomy of emotion and affective style. *Trends in Cognitive Sciences*, 3(1), 11-21.

Davis, H., & Davis, P.A. (1936). Active potentials of the brain in normal persons and in normal states of cerebral activity. *Arch. Neurol. Psychiat. (Chicago)*. 36, 1214-1224.

Davis, S. B., Lansdown, J., & Huxor, A. (1996). *The Design of Virtual Environments*, AGOCC-SIMA Report n.27.

Dawson, G. (1994). Frontal electroencephalographic correlates of individual differences in emotion expression in infants: a brain systems perspective on emotion. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 59(2-3), 135-51.



Debener, S., Herrmann, C. S., Kranczioch, C., Gembris, D., & Engel, A. K. (2003). Topdown attentional processing enhances auditory evoked gamma band activity. *NeuroReport*, *14*, 683- 686.

Decety, J. (1996). Do imagined and executed actions share the same neural substrate? *Brain Res. Cognit. Brain Res.*, *3*, 87-93.

Decety, J., Gre`zes, J., Costes, N., Perani, D., Jeannerod, M., Procyk, E., Grassi, F., & Fazio, F. (1997). Brain activity during observation of actions. Influence of action content and subject's strategy. *Brain*, *120*, 1763-1777.

Decety, J., Perani, D., Jeannerod, M., Bettinardi, V., Tadary, B., Woods, R. P., Mazziotta, J. C., & Fazio, F. (1994). Mapping motor representations with positron emission tomography. *Nature*, *371*, 600-602.

Dehaene, S., Kerszberg, M., & Changeux, J. P. (1998). A neuronal model of a global workspace in effortful cognitive tasks. *Proc Natl Acad Sci USA* *95*, 14529-14534.

Dehaene, S., & Naccache, L. (2001). Towards a cognitive neuroscience of consciousness: Basic evidence and a workspace framework. *Cognition*, *79*, 1-37.

Dehaene, S., Sergent, C., & Changeux, J.P. (2003). A neuronal network model linking subjective reports and objective physiological data during conscious perception. *Proc Natl Acad Sci USA* *100*, 8520-8525.

Dehaene, S., & Changeux, J. P. (2004). Neural mechanisms for access to consciousness. In M. Gazzaniga, (ed.), *The cognitive neurosciences, 3rd edition, (1145-1157)*. New York: Norton.

Dehaene, S., & Changeux, J. P. (2005). Ongoing Spontaneous Activity Controls Access to Consciousness: A Neuronal Model for Inattentive Blindness. *PLoS Biology*, *3*(5), e141.

Delaney, B. (1993). A survey of Head Mounted Displays, *Virtual Reality Special Report*, Fall, 21-24.

Desmedt, J. E., & Tomberg, C. (1994). Transient phaselocking of 40 Hz electrical oscillations in prefrontal and parietal human cortex reflects the process of conscious somatic perception. *Neurosci. Lett.*, *168*, 126-129.

Detterman, D. K. (1994). Intelligence and the brain. In P. A. Vernon (Ed.), *The neuropsychology of individual differences (35-57)*. London: Academic Press.

Deutsch, G., Papanicolaou, A. C., Bourbon, W. T., & Eisenberg, H. M. (1987). Cerebral blood flow evidence of right frontal activation in attention demanding tasks. *Int. J. Neurosci.*, *36*, 23-28.

Difede, J., & Hoffman, H.G. (2002). Virtual reality exposure therapy for World Trade Center Post Traumatic Stress Disorder: a case report. *CyberPsychology & Behavior*, *5*(6), 529-536.

Dittrich, W. H. (1993). Action categories and the perception of biological motion. *Perception*, *22*, 15-22.

Dixon, N. F., & Lear, T. E. (1964). Incidence of theta rhythm prior to awareness of a visual stimulus. *Nature*, *203*, 167-170.

Dolce, G., & Waldeier, H. (1974). Spectral and multivariate analysis of EEG changes during mental activity in man. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.*, *36*, 577-584.

Doppelmayr, M., Klimesch, W., Pachinger, T., & Ripper, B. (1998a). Individual differences in brain dynamics: important implications for the calculation of event-related band power measures, *Biological Cybernetics*, *79*(1), 49-57.

Doppelmayr, M., Klimesch, W., Pachinger, T., & Ripper, B. (1998b). The functional significance of absolute power with respect to event-related desynchronization, *Brain Topogr.* *11*(2), 133-140.

Donchin, E., Kutas, M., & McCarthy, G. (1977). Electrocortical indices of hemispheric specialization. In Harnad, S., Doty, R.W., Goldstein, L., Jaynes, J., Krauthamer, G. (Eds.), *Lateralization in the Nervous System*, (339-384). Academic Press, New York.

Donchin, E., & Coles, M. (1988). Is the P300 component a manifestation of context updating? *Behavioral and Brain Sciences*, *11*, 357-427.

Downar, J., Crawley, A. P., Mikulis, D. J., & Davis, K. D. (2000). A multimodal cortical network for the detection of changes in the sensory environment. *Nat. Neurosci.*, *3*, 277-283.

Duchowski, A.T. (2003). *Eye Tracking Methodology: Theory & Practice*. Springer Verlag, London, UK.

Duffy, F. H. (1986). Topographic mapping of brain electrical activity. Stoneham, MA, Butterworths.

Dujardin, K., Derambure, P., Defebvre, L., Bourriez, J. L, et al. (1993). Evaluation of event-related desynchronization (ERD) during a recognition task: Effect of attention. *Electroencephalography & Clinical Neurophysiology*, *86*, 353-356.

Dujardin, K., Bourriez, J. L., Guieu, J. D. (1995). Event-related desynchronization (ERD) patterns during memory processes: effects of aging and task difficulty. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.*, *96*, 196-1182.

Dumermuth, G., Gasser, T., & Lange, B. (1975). Aspects of EEG analysis in the frequency domain. In G. Dolce & H. Kiinkel, (Eds.), *Computerized EEG Analysis*, (429-457). Stuttgart: Fischer.

Dunbar, K., & Sussman, D. (1995). Toward a Cognitive account of frontal lobe function: Simulating frontal lobe deficits in normal subjects. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *769*, 289-304.

Durlach, N. I., & Mavor, A. S. (1995). *Virtual reality: scientific and technological challenges*. Washington, D. C.: National Academy Press.

Earle, J. B. B., & Pikus, A. (1982). The effect of sex and task difficulty on EEG alpha activity in association with arithmetic. *Biol. Psychol.*, *15*, 1-14.

Eberhart, R. C., & Kizakevich, P. N. (1993). Determining physiological effects of using VR equipment. *Proc. First Annual Conference, Virtual Reality and Persons with Disabilities*, 47-49.

Eddings, J. (1994). *How Virtual Reality Works*. Ziff Davis Press.

Ekstrom, A., Caplan, J., Ho, E., Shattuck, K., Fried, I., & Kahana, M. (2005). Human hippocampal theta activity during virtual navigation. *Hippocampus*, 15, 881-889.

Elder, S. T., Lashley, J. K., Kedouri, N., Regenbogen, D., Martyn, S., Roundtree, G., & Grenier, C. (1986). Can subjects be trained to communicate through the use of EEG biofeedback? *Clinical Biofeedback and Health*, 9, 42-47.

Elliott, M. A., & Müller, H. J. (2000). Evidence for a 40 Hz oscillatory short-term visual memory revealed by human reaction-time measurements. *Journal of Experimental Psychology Learning, Memory and Cognition*, 26(3), 703-718.

Ellis, S. R. (1995). Origins and Elements of Virtual Environments. In W. Barfield, & T. A. Furness III (eds.), *Virtual Environments and Advanced Interface Design*, (14-57). New York, Oxford University Press.

Ellis, S. R. (1993). In Kalawsky, R. S. (Ed.), *The Science of Virtual Reality and Virtual Environments*, (80-85). Addison-Wesley.

Elul, R. (1972). The genesis of the EEG. *Int. Rev. Neurobiol.*, 15, 227-272.

Engel, A. K., & Singer, W. (2001). Temporal binding and the neural correlates of sensory awareness. *Trends Cognit Sci*, 5, 16-25.

D'Esposito, M., Zarahn, E., & Aguirre, G. K. (1999). Event-related functional MRI: implications for cognitive psychology. *Psychological Bulletin*, 125, 155-164.

Étévenon, P. (1986). Applications and perspectives of EEG cartography. In F. H., Duffy, (Ed.), *Topography Mapping of the Brain*, Butterworth, Stoneham, (113-141).

Étévenon, P., Peron-Magnan, P., Guillou, S., Toussaint, M., Gueguen, B., Deniker, P., Loo, H., & Zarifian, E. (1989). A pharmacological model of local cerebral activation. EEG cartography of caffeine effects in normals. In N. C. Andreasen, (Ed.), *Brain imaging: Applications in psychiatry* (171-180). Washington: American Psychiatric Press.

Evans, C. C. (1953). Spontaneous excitation of the visual cortex and association areas-lambda waves. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 5, 69-74.

Farrer, C., & Frith, C.D. (2002). Experiencing oneself vs another person as being the cause of an action: the neural correlates of the experience of agency. *Neuroimage*, 15(3), 596-603.

Farrer, C., Franck, N., Georgieff, N., Frith, C. D., Decety, J., & Jeannerod, M. (2003). Modulating the experience of agency: a positron emission tomography study. *NeuroImage*, 18, 324-333.

Fernández, T., Harmony, T., Rodríguez, M., Bernal, J., Silva, J., Reyes, A., & Marosi, E. (1995). EEG activation patterns during the performance of tasks involving different components of mental calculation. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, *94*, 175-182.

Feshchenko, V. A., Veselis, R. A., Reinsel, R. A. (1997). Comparison of the EEG effects of midazolam, thiopental, and propofol: the role of underlying oscillatory systems, *Neuropsychobiology*, *35*, 211-220.

Field, T., Ironson, G., Scafidi, F., Nawrocki, T., Goncalves, A., Burman, I., Picken, J., Fox, N., Schanberg, S., & Kuhn, C. (1996). Massage therapy reduces anxiety and enhances EEG pattern of alertness and math computations. *International Journal of Neuroscience*, *86*, 197-205.

Findji, F., Catani, P., & Liard, C. (1981). Topographical distribution of delta rhythms during sleep: Evolution with age. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *51*(6), 659-665.

Fisch, B. J. (2003). *Fisch and Spehlmann's EEG primer: basic principles of digital and analog EEG*, (ed. 3). Elsevier, Amsterdam.

Fitzgibbon, S. P., Pope, K. J., Mackenzie, L., Clark, C. R., & Willoughby, J. O. (2004). Cognitive tasks augment gamma EEG power. *Clin. Neurophysiol.*, *115*, 1802-1809.

Fletcher-Flinn, C. M., & Suddendorf, T. (1996). Do Computers Affect the mind? *Journal of Educational Computing Research*, *15*(2), 97-112.

Ford, A. (1954). Bioelectric potentials and mental effort: II. Frontal lobe effects. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, *47*, 28-30.

Foucher, J. R., Otzenberger, H., & Gounot, D. (2004). Where arousal meets attention: a simultaneous fMRI and EEG recording study. *Neuroimage*, *22*, 688-697.

Fournier, L. R., Wilson, G. F., & Swain, C. R. (1999). Electrophysiological, behavioral, and subjective indexes of workload when performing multiple tasks: manipulations of task difficulty and training. *International Journal of Psychophysiology*, *31*, 129-145.

Foxley, J. D. (1987). Interfaces for advanced computing, *Scientific American*, *257*(4), 83-90.

Fredman, A., & Hardy, C. A. (1989). Seeing Versus imaging movement in depth. *Canadian Journal of Psychology*, *44* (3), 371-383.

Freeman, J., Avons, S. E., Pearson, D. E., & IJsselsteijn, W. A. (1999). Effects of sensory information and prior experience on direct subjective ratings of presence, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, *8*(1), 1-13.

Freeman, J., Avons, S., Pearson, D., & IJsselsteijn, W. A. (2000). Using Behavioral Realism to Estimate Presence: A Study of the Utility of Postural Responses to Motion Stimuli, *Presence*, *9*(2), 149-164.

Freeman, W. J. (1975). *Mass Action in the Nervous System*. Academic Press, New York.

Freeman, W. J. (1979). Nonlinear dynamics of paleocortex manifested in the olfactory EEG. *Biol. Cybernet.*, 35, 21-37.

Freeman, W. J., & Skarda, C. A. (1985). Spatial EEG-patterns, non-linear dynamics and perception: the neo-Sherringtonian view. *Brain Res. Rev.*, 10, 147-175.

Freeman, W. J. (2001). Making Sense of Brain Waves: The Most Baffling Frontier in Neuroscience. Lecture: "International Conference on Biocomputing" at the University of Florida, Gainesville FL (25-27 February 2001).

Friston, K. J.(1997). Imaging cognitive anatomy. *Trends in cognitive sciences*, 1, 21-27.

Furness, T. A. III (1992). Interview by C.Miller, *Online*, Nov. 1992.

Galambos, R. (1992). A comparison of certain gamma band (40-Hz) brain rhythms in cat and man. In E. Bagar & T. H. Bullock (Eds.), *Induced Rhythms in the Brain*, (201-216). Birkhauser, Boston.

Gale, A., & Eysenck, M. W. (1992). *Handbook of Individual Differences: biological perspectives*. Chichester, John Wiley and Sons.

Gale, A., Christie, B., & Penfold, V. (1971a). Stimulus complexity and the occipital EEG. *British Journal of Psychology*, 62, 527-531.

Gale, A., Coles, M., & Boyd, E. (1971b). Variations in visual input and the occipital EEG: II. *Psychonomic Science*, 23, 99-100.

Gale, A., Haslum, M., & Lucas, B. (1972). Arousal value of the stimulus and EEG abundance in an auditory vigilance task. *British Journal of Psychology*, 63,515 - 522.

Galin, D., & Ornstein, R. F. (1975). Human Behavior and Brain Function. Chapter *Hemispheric Specialization and the Duality of Consciousness*, (3-23). Thomas Books.

Gale, A., Spratt, G., Christie, B., & Smallbone, A. (1975). Stimulus complexity, EEG abundance gradients and detection efficiency in a visual recognition task. *British Journal of Psychology*, 66,289-298.

Gale, A. (1977). Some EEG correlates of sustained attention. In R. R. Mackie (Ed.), *Vigilance: Theory, Operational Performance, and Physiological Correlates*, (263-283). New York: Plenum.

Gallagher, S. (2000). Philosophical conceptions of the self: implications for cognitive science. *Trends Cognitive Sci.* 4(1), 14-21.

Garcia-Palacios, A., Hoffman, H. G., Carlin, C., et al. (2002). Virtual reality in the treatment of spider phobia: a controlled study. *Behaviour Research and Therapy*, 40, 983-993.

Garden, S., Cornoldi, C., & Logie, R. H. (2002). Visuo-spatial working memory in navigation. *Applied Cognitive Psychology*, 16, 35-50.

Gasser, T. (1977) General characteristics of the EEG as a signal. In A. Remond, (Eds.), *EEG Informatics. A Didactic Review of Methods and Applications of EEG Data Processing*, (37-52). Amsterdam: Elsevier.

Gasser, T. (1979). Statistical handling of EEG data. *Pharmakopsychiatrie*, 12, 210-219.

Gasser, T., Von Lucadou-Muller, I., Verieger, R., & Bacher, P. (1983). Correlating EEG and IQ: A new look at an old problem using computerized EEG parameters. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 55, 493-504.

Gasser, T., Jennen-Steinmetz, C., & Verleger, R. (1987). EEG coherence at rest and during a visual task in two groups of children. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 67, 151-158.

Gavrilov, V. V., Wiener, S. I., & Berthoz, A. (1995). Enhanced hippocampal theta EEG during whole body rotation in awake restrained rats. *Neuroscience Letters*, 197, 239-241.

Ghahramani, Z., & Wolpert, D. M. (1997b). Modular decomposition in visuomotor learning. *Nature*, 386, 392-395.

George, J. S., Aine, C. J., Mosher, J. C., Schmidt, D. M., Ranken, D. M., Schlitt, H. A., Wood, C. C., Lewine, J. D., Sanders, J. A., & Belliveau, J. W. (1995). Mapping function in the human brain with magnetoencephalography, anatomical magnetic resonance imaging, and functional magnetic resonance imaging. *J. Clin. Neurophysiol.*, 12, 406-431.

Gerlic, I., & Jaušovec, N. (1999). Multimedia: Differences in cognitive processes observed with EEG. *Educational Technology Research & Development*, 47, 5-14.

Gerlic, I., & Jaušovec, N. (2001). Differences in EEG power and coherence measures related to the type of presentation: text versus multimedia, *J. Educational computing research*, 25(2), 177-195.

Gevins, A. (2002). Electrophysiological Imaging of Brain Function. *Brain Mapping: The Methods (Second Edition)*, 175-188.

Gevins, A. S., Zeitlin, G. M., Doyle, J. C., Yingling, C. D., Schaffer, R. E., Callaway, E., & Yeager, C. L. (1979). Electroencephalogram correlates of higher cortical functions. *Science*, 203(4381), 665-8.

Gevins, A., Smith, M.E., Leong, H., et al. (1988). Monitoring working memory load during computer-based tasks with EEG pattern recognition methods. *Human Factors*, 40, 79-91.

Gevins, A., Le, J., Martin, N. K., Brickett, P., Desmond, J., & Reutter, B. (1994). High-resolution EEG: 124-channel recording, spatial deblurring and MRI integration methods, *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 90, 337-358.

Gevins, A., Smith, M. E., McEvoy, L., & Yu, D. (1997a). High-resolution EEG mapping of cortical activation related to working memory: effects of task difficulty, type of processing, and practice. *Cereb Cortex.*, 7(4), 374-385.

Gevins, A. S., Smith, M. E., Leong, H., McEvoy, L., Whitfield, S., Du, R., & Rush, G. (1998). Monitoring working memory load during computer-based tasks with EEG pattern recognition methods. *Human Factors*, 40, 79-91.

Gevins, A., Smith, M. E., McEvoy, L. K., Leong, H., & Le, J. (1999). Electroencephalographic imaging of higher brain function. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.*, 354(1387), 1125-1133.

Gevins, A., Smith, M. E., & McEvoy, L. K. (2002). Tracking the cognitive pharmacodynamics of psychoactive substances with combinations of behavioural and neurophysiological measures. *Neuropsychopharmacology*, 26, 27-39.

Giannitrapani, D. (1971). Scanning mechanisms and the EEG. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 30, 139-146.

Gibbs, F. A., & Maltby, G. L. (1943). Effect on the electrical activity of the cortex of certain depressant and stimulant drugs—barbiturates, morphine, caffeine, benzedrine and adrenalin. *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*, 78, 1-10.

Gibbs, F. A., & Gibbs, E. L. (1950). *Atlas of Electroencephalography, vol. 1*. Cambridge, MA: Addison-Wesley.

Gigante, M. A. (1993). Virtual reality: Enabling technologies, In Earnshaw, R. A., Gigante, M. A., & Jones, H. (Eds.), *Virtual reality systems*, London: Academic Press, 15-25.

Glass, A. (1964). Mental arithmetic and blocking of the occipital alpha rhythm. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 16, 595-603.

Goertz, R., Jokeit, H., & Kiichler, E. (1994). Event related dynamics of 40 Hz electroencephalogram during visual discrimination task. *Int. J. Neurosci.*, 79, 267-273.

Goldman-Rakic, P. S. (1998). The prefrontal landscape: implications of functional architecture for understanding human mentation and central executive. In Roberts, C. A., Robbins, T. W., & Weiskrantz, L. (eds.), *The prefrontal cortex: executive and cognitive functions*, (87-102). New York, NY: Oxford University Press.

Gray, J. (1978). The neuropsychology of anxiety. *Br. J. Psychol.*, 69(4), 417-434.

Gray., C. M., & Singer, W. (1987). Stimulus specific neuronal oscillations in the cat visual cortex: a cortical function unit. *Sot. Neurosci.*, 404, 3.

Gray, C. M., Konig, P., Engel, A., & Singer., W. (1989). Oscillatory responses in cat visual cortex exhibit inter-columnar synchronization which reflects global stimulus properties, *Nature*, 138, 334-337.

Gruber, T., MuÈller, M. M., Keil, A., & Elbert, T. (1999). Selective visual-spatial attention alters induced gamma band responses in the human EEG. *Clinical Neurophysiology*, 110, 2074-2085.

Gruber, T., & Matthias, M. (2005). Oscillatory brain activity dissociates between associative stimulus content in a repetition priming task in the human EEG. *Cereb Cortex*, *15*, 109 -116.

Gundel, A. (1984). The influence of body temperature on the waking EEG. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, *57*, 33P (abstract).

Gusnard, D. A., & Raichle, M. E. (2001). Searching for a baseline: Functional imaging and the resting human brain. *Nat. Rev. Neurosci.*, *2*, 685-694.

Gutierrez, S., & Corsi-Cabrera, M. (1988). EEG activity during performance of cognitive tasks demanding verbal and/or spatial processing. *Int. J. Neurosci.*, *62*, 149-155.

Gradecki, J. (1994). Current glove technology, *PCVR*, *16*, 5-9.

Grafton, S. T., Arbib, M. A., Fadiga, L., & Rizzolatti, G. (1996). Localization of grasp representations in humans by positron emission tomography. 2. Observation compared with imagination. *Exp. Brain Res.*, *112*, 103-111.

Green, J. (1954). Lambda waves in the EEG and their relation to some visual tasks. *Proc. EPTA*, *5*, No.3.

Grent-'t-Jong, T., Böckera, K. B. E., & Kenemans, J. L. (2006). Electro cortical correlates of control of selective attention to spatial frequency. *Brain Research*, *1105*, 46-60.

Gron, G., Wunderlich, A. P., Spitzer, M., Tomczak, R., & Riepe, M. W. (2000). Brain activation during human navigation: Genderdifferent neural networks as substrate of performance. *Nat. Neurosci.*, *3*, 404-408.

Gross, J. et al. (2004). Modulation of long-range neural synchrony reflects temporal limitations of visual attention in humans. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* *101*, 13050-13055.

Gruber, T., Mueller, M.M., Keil, A., & Elbert, T. (1999). Selective visual-spatial attention alters induced gamma band responses in the human. *Electroencephalography & Clinical Neurophysiology*, *110*, 2074-2085.

Grunwald, M., Weiss, T., Krause, W., Beyer, L., Rost, R., Gutberlet, I., & Gertz, H. J. (2001). Theta power in the EEG of humans during ongoing processing in a haptic object recognition task. *Cognitive Brain Research*, *11*, 33-37.

Gulati, A., Jacobs, D., Silan, M. N., & Pope, A. T. (1995). Classification and prediction of electroencephalographic data with hybrid neural networks to analyze human-automation related-effects. Proc 7th Int Conf Artif Intel & Expert Sys Appl November, 1995, 449-454.

Gundel, A., Drescher, J., Maas, H., Samel, A., & Vejvoda, M. (1995). Sleepiness of civil airline pilots during two consecutive night flights of extended duration. *Biological Psychology*, *40*, 131-141.

Gundel, A., & Wilson, G. F. (1992). Topographical changes in the ongoing EEG related to the difficulty of mental tasks. *Brain Topogr.*, *5*, 17-25.



---

Haarmann, H. J. (2004). *Cognitive Neuroscience Methods*. HESP 602/422/NACS: Neurological Bases of Human Communication- Basic neurology as it pertains to anatomical and physiological substrates of speech and language, University of Maryland.

Hagemann, D., & Naumann, E. (2001). The effects of ocular artifacts on broadband power in the EEG. *Clinical Neurophysiology*, *112*, 215-231.

Haier, R. J., Neuchterlein, K. H., Hazlett, E., Wu, J. C., Paek, J., Browning, H. L., & Buchsbaum, M. S. (1988). Cortical glucose metabolic rate correlates of abstract reasoning and attention studied with positron emission tomography. *Intelligence*, *12*, 199-217.

Haier, R. J., Siegel, B. V., MacLachlan, A., Soderling, E., Lottenberg, S., & Buchsbaum, M. S. (1992a). Regional glucose metabolic changes after learning a complex visuospatial/motor task: a positron emission tomographic study. *Brain Research*, *570*, 134-143.

Haier, R. J., Siegel, B., Tang, C. Abel, L., & Buchsbaum, M. S. (1992b). Intelligence and changes in regional cerebral glucose metabolic rate following learning. *Intelligence*, *16*, 415-426.

Halgren, E., & Marinkovic, K. (1996). Neurophysiological Networks Integrating Human Emotions. In M. S. Gazzaniga (ed.) *The Cognitive Neurosciences*, (1137-1151). THE MIT PRESS, Cambridge, MA.

Halpern, D. (1992). *Sex differences in cognitive abilities*. (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Hamit, F. (1993). *Virtual Reality and the Exploration of Cyberspace*. SAMS Publishing, USA.

Hand, C. (1994). From dreams to reality, *Proc. of 1<sup>st</sup> UK VR SIG conf.*, p.27-35, Nottingham.

Harding, G. F. A., & Thompson, C. R. S. (1976). EEG rhythms and the internal milieu. In A. Remond, (Ed.), *Handbook of Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, (176-194), vol. 6A. Amsterdam: Elsevier.

Harian, W. L., White, P. T., & Bickford, R. G. (1958). Electrical activity produced by eye flutter simulating frontal electroencephalographic rhythms. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *10*, 164-169.

Hankins, T. C., & Wilson, G. F. (1998). A comparison of heart rate, eye activity, EEG and subjective measures of pilot mental workload during flight. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, *69*, 360-367.

Harmony, T., Hinojosa, G., Marosi, E., Becker, J., Rodriguez, M., Reyes, A., & Rocha, C. (1990). Correlation between EEG spectral parameters and an educational evaluation. *Int. J. Neurosci.*, *54*, 147-155.

Harmony, T., Marosi, E., Becker, J., Rodriguez, M., Reyes, A., Fernandez, T., Silva, J., & Bernal, J. (1995). Longitudinal quantitative EEG study of children with

different performances on a reading-writing test. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 95, 426-433.

Harmony, T., Fernandez, T., Silva, J., Bernal, J., Diaz-Comas, L., Reyes, A., Marosi, E., Rodriguez, M., & Rodriguez, M. (1996). EEG delta activity: An indicator of attention to internal processing during performance of mental tasks. *International Journal of Psychophysiology*, 24, 161-171.

Hasan, J., Hirvonen, K., Varri, A., Hakkinen, V., & Loula, P. (1993). Validation of computer analysed polygraphic patterns during drowsiness and sleep onset. *Electroencephalography & Clinical Neurophysiology*, 87, 117-127.

Haslum, M. N., & Gale, A. (1973). Inter-modal and intra-subject consistency in EEG correlates of vigilance. *Biological Psychology*, 1, 139-150.

Hayes, N. (1996). *Εισαγωγή στις Γνωστικές Λειτουργίες, Β' έκδοση*, εκδόσεις "ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΓΡΑΜΜΑΤΑ", Αθήνα.

Hayes, N. (1998). *Εισαγωγή στη Ψυχολογία, Α' Τόμος, Β' έκδοση*, εκδόσεις "ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΓΡΑΜΜΑΤΑ", Αθήνα.

Healey, J., & Picard, R. (1998). Digital processing of affective signals. I.C.A.S.S.P.

Heim, M. (1993). *The Metaphysics of Virtual Reality*, Oxford University Press.

Heinze, H. J., Mangun, G. R., Burchert, W., Hinrichs, H., Scholz, M., Munte, T. E., Gos, A., Scherg, M., Johannes, S., & Hundeshagen, H. (1994). Combined spatial and temporal imaging of brain activity during visual selective attention in humans. *Nature*, 372, 543-546.

Held, R. M., & Durlach, N. I. (1992). Telepresence, *Presence*, 1(1), 109-112.

Hellyar, M. T., Ifeachor, E. C., Mapps, D. J., Allen, E. M., & Hudson, N. R. (1995). Expert system approach to electroencephalogram signal processing. *Knowledge-Based Systems*, 8(4), 164-173(10).

Hendrix, C., & Barfield, W. (1996a). Presence within virtual environments as a function of visual display parameters, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 5(3), 274-289

Hendrix, C., & Barfield, W. (1996b). The Sense of Presence within Auditory Environments, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 5(3), 290- 301, MIT Press.

Herrmann, C. S. (2001). Human EEG responses to 1-100 Hz flicker: resonance phenomena in visual cortex and their potential correlation to cognitive phenomena, *Exp Brain Res*, 137, 346-353, DOI 10.1007/s002210100682.

Herrmann, C. S., & Mecklinger, A. (2001). Gamma activity in human EEG is related to high-speed memory comparisons during object selective attention. *Visual Cognition*, 8, 593-608.

Hillyard, S. A., Mangun, G. R., Woldorf, M. G., & Luck S. J. (1996). Neural Systems Mediating Selective Attention. In M. S. Gazzaniga (eds.), *The Cognitive Neurosciences*, (665-681). THE MIT PRESS, Cambridge, MA.

Hinrichs, H., & Machleidt, W. (1992). Basic emotions reflected in EEG-coherences. *International Journal of Psychophysiology*, 13, 225-232.

Hiraiwa, A., Shimohara, K., & Tokunaga, Y. (1990). EEG topography recognition by neural networks. *IEEE Eng. Med. & Biol. Mag.*, 9(3), 39-42.

Hoagland, H., Cameron, D. E., & Rubin, M. A. (1938a). Emotion in man as tested by the delta index of the electroencephalogram. I. *Journal of General Psychology*, 19, 227-245.

Hoagland, H., Cameron, D. E., Rubin, M. A., & Tegelburg, J. J. (1938b). Emotion in man as tested by the delta index of the electroencephalogram: II. Simultaneous records from the cortex and from a region near the hypothalamus. *Journal of General Psychology*, 19, 247-261.

Hockey, G. R. J. (1997). Compensatory control in the regulation of human performance under stress and high workload: a cognitive-energetical framework. *Biological Psychology*, 45, 73-93.

Hoffman, H. G., Doctor, J. N., Patterson, D. R., et al. (2000a). Use of virtual reality for adjunctive treatment of adolescent burn pain during wound care: A case report. *Pain*, 85, 305-309.

Hoffman, H. G., Patterson, D. R., & Carrougher, G. J. (2000b). Use of virtual reality for adjunctive treatment of adult burn pain during physical therapy: a controlled study. *Clinical Journal of Pain*, 16, 244-250.

Hoffman, H. G., Garcia-Palacios, A., Carlin, C., et al. (2003a). Interfaces that heal: coupling real and virtual objects to cure spider phobia. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 16, 283-300.

Hoffman, H. G., Hollander, A., Schroder, K., et al. (1998). Physically touching and tasting virtual objects enhances the realism of virtual experiences. *Virtual Reality: Research, Development and Application*, 3, 226-234.

Hoffman, H. G., Patterson, D. R., Carrougher, G. J., et al. (2001). The effectiveness of virtual reality based pain control with multiple treatments. *Clinical Journal of Pain*, 17, 229-235.

Hoffman, H. G., Richards, T., Coda, B., Richards, A., & Sharar, S. R. (2003b). The illusion of presence in immersive virtual reality during an fMRI brain scan. *CyberPsychology and Behavior*, 6, 127-132.

Hoffman, H. G., Richards, T., Magula, J., et al. (2003c). A magnet-friendly virtual reality fiberoptic image delivery system. *CyberPsychology & Behavior*, 6, 645-648.

Holman., H. (1979). Relations between depth and surface EEG. *Thesis Dept. of Electrical Engineering. Report No. 200*, Twente University of Technology, Enschede, Netherlands.

Horvath, M., Frantik, E., Kopriva, K., & Meissner, J. (1976). EEG theta activity increase coinciding with performance decrement in a monotonous task. *Act. Nerv. Super. (Praha)*, 18, 207-210.

Hosek, R. S., Sances, A., Jodat, R. W., & Larson, S. J. (1978). The contributions of intracerebral currents to the EEG and evoked potentials. *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 25, 405-413.

Howard, M. W., Rizzuto, D. S., Caplan, J. B., Madsen, J. R., Lisman, J., Aschenbrenner-Scheibe, R., Schulze-Bonhage, A., & Kahana, M. J. (2003). Gamma oscillations correlate with working memory load in humans. *Cereb Cortex*, 13, 1369 - 1374.

Hubbard, O., Sunde, D., & Goldensohn, E. S. (1976). The EEG in centenarians, Electroencephalogr. *Clin. Neurophysiol.*, 40, 407-417.

Hughes, J. R. (1987). Normal limits of the EEG. In R. M. Halliday, S.r. Butler, & R. Paul, (Eds.), *A Textbook of Clinical Neurophysiology*, (105-154). Wiley, New York.

Hillyard, S. A., Mangun, G. R., & Woldorff, M. G. (1995). Neural systems mediating selective attention. In M. S. Gazzaniga (ed.), *Cognitive neurosciences*, (665-681). Cambridge, MA: MIT.

IFSECN (1974). A glossary of terms commonly used by clinical electroencephalographers. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 37, 538-548.

Ijsselsteijn, W. A., & Ridder, H. (1998). Measuring Temporal Variations in Presence. *BT Presence Workshop BT Labs*, Retrieved May 15, 2007 from <http://www.tue.nl/ipo/people/ijsselsteijn/btpaper.html>.

Isdale, J. (1993). *What is Virtual Reality? A homebrew introduction and information resource list*, ftp site, ftp.u.washington.edu, retrieved January 15, 2007 from public/virtual-worlds/papers as whatisvr.txt.

Ishihara, T., & Yoshii, N. (1973). Theta rhythm in the mid-frontal region during mental work. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 35, 701.

Ishihara, T., & Yoshii, N. (1972). Multivariate analytic study of EEG and mental activity in juvenile delinquents. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 33, 71-80.

Ishii, R., Shinosaki, K., Ukai, S., Inouye, T., Ishihara, T., Yoshimine, T., Hirabuki, N., Asada, H., Kihara, T., Robinson, S. E., & Takeda, M. (1999). Medial prefrontal cortex generates frontal midline theta rhythm. *NeuroReport*, 10, 675-679.

Jacobs, G. D., Benson, H., & Friedman, R. (1996). Topographic EEG mapping of the relaxation response. *Biofeedback and Self-Regulation*, 21(2), 121-129.

Janssen, P., Vogels, R., & Orban, G. A. (2000a). Selectivity for 3D shape that reveals distinct areas within macaque inferior temporal cortex. *Science*, 288, 2054-2056.

Janssen, P., Vogels, R., & Orban, G. A. (2000b). Three-dimensional shape coding in inferior temporal cortex. *Neuron*, *27*, 385-397.

Jasper, H. J. (1958). The Ten Twenty Electrode System of the International Federation in Electroencephalography and Clinical Neurophysiology. *Clin. Neurophysiol.*, *10*, 371-375.

Jaušovec, N. (1996). Differences in EEG alpha activity related to giftedness. *Intelligence*, *3*, 159-173.

Jaušovec, N. (1997a). Differences in EEG activity during the solution of closed and open problems. *Creativity Res. J.*, *4*, 317-324.

Jaušovec, N. (1997b). Differences in EEG alpha activity between gifted and non-identified individuals: insights into problem solving. *Gifted Child Q.*, *1*, 26-32.

Jaušovec, N. (1998). Are gifted individuals less chaotic thinkers? *Personality and Individual Differences*, *25*, 253-267.

Jaušovec, N., & Bakracevic, K. (1995). What can heart-rate tell us about the creative process? *Creativity Res. J.*, *8*, 11-24.

Jaušovec, N. (2000a). Differences in Cognitive Processes Between Gifted, Intelligent, Creative, and Average Individuals While Solving Complex Problems: An EEG Study. *Intelligence* *28*(3), 213-237.

Jaušovec, N., & Jaušovec, K. (2000b). Differences in event-related and induced brain oscillations in the theta and alpha frequency bands related to human intelligence. *Neuroscience Letters*, *293*, 191-194.

Jaušovec, N., & Jaušovec, K. (2000). EEG activity during the performance of complex mental problems. *International Journal of Psychophysiology*, *36*, 73-88.

Jaušovec, N., Jaušovec, K., & Gerlic, I. (2001). Differences in event-related and induced EEG patterns in the theta and alpha frequency bands related to human emotional intelligence. *Neuroscience Letters*, *311*, 93-96.

Jaušovec, N., & Jaušovec, K. (2001). Differences in EEG current density related to intelligence. *Cognitive Brain Research*, *12*, 55-60.

Jensen, O., & Lisman, J. E. (1996). Novel lists of 7 +/- 2 known items can be reliably stored in an oscillatory short-term memory network: interaction with long-term memory. *Learn Mem*, *3*, 257-63.

Jensen, O., & Lisman, J. (1998). An oscillatory short-term memory buffer model can account for data on the Sternberg task. *Journal of Neuroscience*, *18*(24), 10688-10699.

Jensen, O., & Tesche, C. D. (2002). Frontal theta activity in humans increases with memory load in a working memory task. *Eur. J. Neurosci.*, *15*, 1395- 1399.

Jonides, J., Smith, E. E., Koeppe, R. A., Awh, E., Minoshima, S., & Mintun, M. A. (1993). Spatial working memory in humans as revealed by PET. *Nature*, *363*, 623-625.

John, E. R., & Easton, P. (1995). Quantitative electrophysiological studies of mental tasks. *Biological Psychology*, *40*, 101-113.

Jokeit, H., & Makeig, S. (1994). Different event related patterns of gamma-band power in brain waves of fast and slow-reacting subjects. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, *91*, 6339-6343.

Joliot, M., Ribary, U., & Llinas, R. (1994). Human oscillatory brain activity near 40 Hz coexists with cognitive temporal binding. *Proc Natl Acad Sci USA* *91*, 11748-51.

Jones, H. E., Herning, R. I., Cadet, J. L., & Griffiths, R. R. (2000). Caffeine withdrawal increases cerebral blood flow velocity and alters quantitative electroencephalography (EEG) activity. *Psychopharmacology*, *147*, 371-377.

Jonides, J., Reuter, L. P., Smith, E. E., Awh, E., Barnes, L. L., Drain, M., Glass, J., Lauber, E. J., Patalano, A. L., & Schumacher, E. H. (1996). Verbal and spatial working memory in humans. In D.L. Medin (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory*, *35*, 43-88, Academic Press.

Jorgensen, C., & Ogden, F. (1997). Locomotion in a virtual environment: performance measures and physiological responses. *Proc. of the Human Factors and Ergonomics Society, 41st Annual Meeting*.

Jouny, C. (1997). Electrophysiologie des états de vigilance chez l'homme, France: PhD Thesis, University of Strasbourg, 201.

Jung, T. P., Makeig, S., Stensmo, M., & Sejnowski, T. (1997). Estimating alternance from EEG power spectrum. *IEEE Trans Biomed Eng* 1997, *44*(1), 60-69.

Jürgens, E., & Rösler, F. (1995). How do alpha oscillations influence gamma activity. *Psychology*, *6*(09).

Jürgens, E., Rösler, F., Henninghausen, E., & Heil, M. (1995). Stimulus-induced gamma oscillations: harmonics of alpha activity? *NeuroReport*, *6*, 813-816.

Jürgens, E., Riisler, F., Henninghausen, E., & Heil, M. (1995). Stimulus-induced gamma oscillations: harmonics of alpha activity? *NeuroReport*, *6*, 813-816.

Keil, A., Muller, M. M., Ray, W. J., Gruber, T., & Elbert, T. (1999). Human gamma band activity and perception of a gestalt. *J Neurosci.*, *19*, 7152-61.

Kahana, M. J., Sekuler, R., Caplan, J. B., Kirschen, M., & Madsen, J. R. (1999). Human theta oscillations exhibit task dependence during virtual maze navigation. *Nature*, *399*, 781-784.

Kahana, M. J., Seelig, D., & Madsen, J. R. (2001). Theta returns. *Curr Opin Neurobiol*, *11*, 739 -744.

Kahana, M. J. (2006). The Cognitive Correlates of Human Brain Oscillations. *The Journal of Neuroscience*, *26*(6), 1669 -1672.

Kakizaki, T. (1985). Evaluation of mental task strain based on occipital beta activity and subjective rating of task difficulty. *Eur. J. Appl. Physiol.*, *54*, 466-470.

---

Kalawsky, R. (1996). Exploiting VR Techniques in Education and Training: *Technological Issues, AGOCG SIMA Report, 26*, July 1996.

Kalawsky, R. S. (1993). The science of virtual reality and virtual environments. A technical, scientific and engineering reference on virtual environments. Addison Wesley Publ.

Kalawsky, R. S., Bee, S. T., & Nee, S. P. (1999). Human Factors Evaluation Techniques to Aid Understanding of Virtual Interfaces, *BT Technology Journal, Third review version*, 18 December 1998.

Kamitani, Y., & Tong, F. (2005). Decoding the visual and subjective contents of the human brain, *Nature Neuroscience, 8*(5), 679-685.

Kamondi, A., Acsady, L., Wang, X., & Buzsáki, G. (1998). Theta oscillations in somata and dendrites of hippocampal pyramidal cells *in vivo*: activity-dependent phase-precession of action potentials. *Hippocampus, 8*, 244-261.

Kandel, E. R., Schwartz, J. H., & Jessell, T. M. (2003). *Νευροεπιστήμη και συμπεριφορά, (3η έκδοση)*. Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο.

Kaufman, L., Curtis, S., Wang, J. Z., & Williamson, S. J. (1991). Changes in cortical activity when subjects scan memory for tones. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol., 82*, 266-284.

Kaur, K., Maiden, N., & Sutcliffe, A. (1999). Interacting with virtual environments: an evaluation of a model of interaction. *Interacting with computer* (11), 403-426, Elsevier.

Kaur, K. (1998). Designing Virtual environments for Usability, *Submitted for Examination of Doctor of Philosophy*, Center for Human-Computer Interface Design, City University London.

Kavanagh, R. N., Darcey, T. M., Lehmann, D., & Fender, D. H. (1978). Evaluation of methods for threedimensional localization of electrical sources in the human brain. *IEEE Trans. Biomedical Engineering, 25*, 421-429.

Keirn, Z. A., & Aunon, J. I. (1990). A new mode of communication between man and his surroundings. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 37*(12), 1209-1214.

Kenemans, J. L., & Lorist, M. M. (1995). Caffeine and selective visual processing. *Pharmacology, Biochemistry and Behaviour, 52*, 461-472.

Kenet, T., Bibitchkov, D., Tsodyks, M., Grinvald, A., & Arieli, A. (2003). Spontaneously emerging cortical representations of visual attributes. *Nature, 425*, 954-956.

Kennedy, J. L., Gottsdanker, R. M., Armington, J. C., & Gray, F. E. (1948). A new electroencephalogram associated with thinking. *Science, 108*, 527-529.

Kennedy, J. L., Gottsdanker, R. M., Armington, J. C., & Gray, F. E. (1949a). Some bioelectric characteristics of the kappa rhythm. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 1*, 255.

Kennedy, J. L., Gottsdanker, R. M., Armington, J. C., & Gray, F. E. (1949b). The kappa rhythm and problem-solving behavior. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1, 516.

Kerin, Z., & Aunnon, J. (1990). Man-machine communications through brain processing. *IEEE Engineering in Medicine and Biology*, 90, 55-57.

Kim, Y. H., Gitelman, D. R., Nobre, A. C., Parrish, T. B., LaBar, K. S., Mesulam, M. M. (1999). The large-scale neural network for spatial attention displays multifunctional overlap but different asymmetry. *NeuroImage*, 9, 269- 277.

Kimsey, R., Dyer, R., & Petri, H. (1974). Relationship between hippocampal EEG, novelty, and frustration in the rat. *Behav. Biol.*, 11(4), 561-568.

Kiroy, V. N., Warsawskaya, L. V., & Voynov, V. B. (1996). EEG after prolonged mental activity. *International Journal of Neuroscience*, 85, 31-43.

Kirschen, M. P., Kahana, M. J., Sekuler, R., & Burack, B. (2000). Optic flow helps humans learn to navigate through synthetic environments. *Perception*, 29, 801-818.

Klee, M., & Rail, W. (1977). Computed potentials of cortically arranged, populations of neurons. *J. Neurophysiol.*, 40, 647-666.

Klimesch, W., (1996a). Memory processes, brain oscillations and EEG synchronization. *Int. J. Psychophysiol.*, 24, 61-100.

Klimesch, W. (1997). EEG-alpha rhythms and memory processes. *Int. J. Psychophysiol.*, 26, 319-340.

Klimesch, W. (1999). EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Research Reviews*, 29, 169-195.

Klimesch, W., Schimke, H., & Pfurtscheller, G. (1990a). The topography of alpha frequency and memory performance. *J. Psychophysiol.*, 4, 191-192.

Klimesch, W., Schimke, H., Ladurner, G., & Pfurtscheller, G. (1990b). Alpha frequency and memory performance. *J. Psychophysiol.*, 4, 381-390.

Klimesch, W., Pfurtscheller, G., Mohl, W., & Schimke, H. (1990c). Event related desynchronization, ERD-mapping and hemispheric differences for words and numbers. *J. Psychophysiol.*, 8, 297-308.

Klimesch, W., Pfurtscheller, G., & Schimke, H. (1992). Pre- and post-stimulus processes in category judgement tasks as measured by event-related desynchronization (ERD). *Journal of Psychophysiology*, 6, 185-204.

Klimesch, W., Schimke, H., & Pfurtscheller, G. (1993a). Alpha frequency, cognitive load, and memory performance. *Brain Topogr.*, 5, 241-251.

Klimesch, W., Pfurtscheller, G., & Schimke, H. (1993b). ERD—attentional and cognitive processes in the upper and lower alpha band, Electroencephalogr. *Clin. Neurophysiol.*, 87, 133.



Klimesch, W., Schimke, H., & Schwaiger, J. (1994). Episodic and semantic memory: an analysis in the EEG theta and alpha band. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.*, *91*, 428-441.

Klimesch, W., Doppelmayr, M., Russeger, H., & Pachinger, T. (1996b). Theta band power in the human scalp EEG and the encoding of new information. *NeuroReport*, *7*, 1235-1240.

Klimesch, W., Schimke, H., Doppelmayr, M., Ripper, B., Schwaiger, J., & Pfurtscheller, G. (1996c). Event-related desynchronization (ERD) and the Dm-effect: Does alpha desynchronization during encoding predict later recall performance. *Int. J. Psychophysiol.*, *24*, 47-60.

Klimesch, W., Doppelmayr, M., Schimke, H., & Ripper, B. (1997a). Theta synchronization and alpha desynchronization in a memory task. *Psychophysiology*, *34*, 169-176.

Klimesch, W., Doppelmayr, M., Pachinger, Th., & Ripper, B. (1997b). Brain oscillations and human memory: EEG correlates in the upper alpha and theta band. *Neurosci. Lett.*, *238*, 9-12.

Klimesch, W., Doppelmayr, M., Pachinger, T., & Russeger, H. (1997c). Event-related desynchronization in the alpha band and the processing of semantic information, *Cogn. Brain Res.*, *6*, 83-94.

Klimesch, W., Doppelmayr, M., Russeger, H., Pachinger, T., & Schwaiger, J. (1998). Induced alpha band power changes in the human EEG and attention. *Neuroscience Letters*, *244*, 73-76.

Klimesch, W., Doppelmayr, M., Schwaiger, J., Auinger, P., & Winkler, Th. (1999). 'Paradoxical' alpha synchronization in a memory task. *Cognitive Brain Research*, *7*, 493-501.

Klimesch, W., Hanslmayr, S., Sauseng, P., Gruber, W., Brozinsky, C. J., Kroll, N. E. A., Yonelinas, A. P., & Doppelmayr, M. (2006). Oscillatory EEG correlates of episodic trace decay. *Cereb Cortex*, *16*, 280 -290.

Klinger, E., Gregoire, K. C., & Barta, S. G. (1973). Physiological correlates of mental activity: eye movements, alpha, and heart rate during imagining, suppression, concentration, search, and choice. *Psychophysiology*, *10*, 471-477.

Knill, D. C., Kersten, D., & Mamassian, P. (1996). Implications of a Bayesian formulation of visual information for processing for psychophysics. In D.C. Knill & W. Richards (eds.), *Perception as Bayesian Inference*, (239-286). New York: Cambridge University Press.

Knott, J. R. (1976). The alpha rhythm. In A. Remond (Ed.), *Handbook of Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *6A*, 7-29. Amsterdam: Elsevier.

Kohlmorgen, J., Mulier, K. R., Rittweger, J., & Paweizik, K. (1997). Analysis of wake/ sleep EEG with competing experts. In W. Gerstner, A. Germond, M. Hasler

& I.D. Nicoud (eds.), *Proc Int Conf Art Neural, LNCS 1327, 1077-1082*. Berlin Springer.

Kojo, I., Liinasuo, M., & Rovamo, J. (1993). Spatial and temporal properties of illusory figures. *Vision Res.*, 33, 897-901.

Kolers, P. A. (1964). Some Illusions of movement. *Scientific America*, 211(4), 98-106.

Konig, P., Engel, A. K., & Singer, W. (1995). Relation between oscillatory activity and long-range synchronization in cat visual cortex. *Proc Natl Acad Sci USA* 92, 290-4.

Köpruner, V., Pfurtscheller, G., & Auer, L. M. (1984). Quantitative EEG in normals and in patients with cerebral ischemia, In G. Pfurtscheller, E.J. Jonkman, & F.H. Lopes da Silva (Eds.), *Brain Ischemia: Quantitative EEG and Imaging Techniques, Progress in Brain Research*, 62, (29-50). Elsevier Science Publishers.

Korsten, N., Fragopanagos, N., Hartley, M., Taylor, N., & Taylor, J. G. (2006). Attention as a Controller. *Neural Networks*, 19(9), 1408-1421.

Koshino, Y., & Niedermeyer, E. (1975). Enhancement of rolandic mu rhythm by pattern vision. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 38, 535-538.

Koska, M., Rosipal, R., Kong, A., & Trejo, L. I. (1996). Estimation of human signal detection performance from event-related potentials using feed-forward neural network model. Selected papers of *2nd European IEEE Workshop CMP'96*, Boston: Birkhauser, p. 10.

Kramer, A. F. (1991). Physiological metrics of mental workload: A review of recent progress. In D. Damos (Ed.), *Multiple task performance (279-328)*. London: Taylor and Francis.

Krause, W. (1992). Zur Messung geistiger Leistungen: Eine alte Idee und ein neuer Ansatz. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie*, 1, 114-128.

Krause, C. M. (2002). Brain electric oscillations and cognitive processes. In K. Hugdahl, (Ed.), *Experimental Methods in Neuropsychology*, (111-130). Kluwer Academic Publishers, New York.

Krause, C. M. (2006). Brain Oscillations and Cognitive Processes. *Project description*. Retrieved April 10, 2008, from <http://www.helsinki.fi/~ckrause/bocp/description.htm>.

Krause, C. M., Lang, H. A., Laine, M., Helle, S. I., Kuusisto, M. J., & Porn, B. (1994). Event-related desynchronization evoked by auditory stimuli. *Brain Topogr.*, 7, 107-112.

Krause, C. M., Lang, H. A., Laine, M., Kuusisto, M. J., & Porn, B. (1996). Event-related EEG desynchronization and synchronization during an auditory task. *Electroencephalography & Clinical Neurophysiology*, 98, 319-326.

Krause, C. M., Sillanmäki, L., Koivisto, M., Saarela, C., Häggqvist, A., Laine, M., & Hämäläinen, H. (2000). The effects of memory load on event-related EEG desynchronization and synchronization. *Clin Neurophysiol*, *111*, 2071-2078.

Kristof, R., & Satran, A. (1995). *Interactivity by design: Creating & communicating with New Media*. Adobe Press.

Kuhlman, W. N. (1978). Functional topography of the human mu rhythm. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, *44*, 83-93.

Kutas, M., & Hillyard, S. A. (1980). Reading senseless sentences: brain potentials reflects semantic incongruity. *Science*, *270*, 203-5.

Lafrance, C., & Dumont, M. (2000). Diurnal variations in the waking EEG: comparisons with sleep latencies and subjective alertness. *J. Sleep Res.*, *9*, 243-248.

Lang, M., Lang, W., Diekmann, V., & Kornhuber, H. H. (1987). The frontal theta rhythm indicating motor and cognitive learning. In Johnson, R., Rohrbaugh, J.W. & Parasuraman, R. (Eds.), *Current Trends in Event-related Potential Research*, 322-327, (*EEG Suppl.* 40). Elsevier Science Publishers, Amsterdam.

Lang, W., Lang, M., Kornhuber, V., Diekmann, V., & Kornhuber, H. H. (1988). Even-related EEG-spectra in a concept formation task. *Human Neurobiology*, *6*, 295-301.

Lang, P. J., Bradley, M. M., Fitzsimmons, J. R., Cuthbert, B. N., Scott, J. D., Moulder, B., & Nangia, V. (1998). Emotion arousal and activation of the visual cortex: an fMRI analysis. *Psychophysiology*, *35*, 199-210.

Lanier, J. (1991). Interview, *OMNI*, *13*(4), 44-46 & 113-117.

Larijani L. C. (1994). *The Virtual Reality Prime*. McGraw Hill, New York.

Laufs, H., Krakow, K., Sterzer, P., Eger, E., Beyerle, A., Salek-Haddadi, A., & Kleinschmidt, A. (2003). Electroencephalographic signatures of attentional and cognitive default modes in spontaneous brain activity fluctuations at rest. *Proc Natl Acad Sci USA* *100*(19), 11053-11058.

Laukka, A. J., Jarvilehto, T., Alexandrov, Y. I., Lindqvist, J. (1995). Frontal midline theta related to learning in a simulated driving task. *Biol. Psychol.*, *40*, 313-320.

Lauria, R. (1997). VR: An empirical-metaphysical testbed. *J. of Computer Mediated Communication* *3*(2), available as electronic document at <http://jcmc.huji.ac.il/vol3/issue2/lauria.html>.

Lazarev, V.V. (1998). On the intercorrelation of some frequency and amplitude parameters of the human EEG and its functional significance. Communication: I. Multidimensional neurodynamic organization of functional states of the brain during intellectual, perceptive and motor activity in normal subjects. *Int. J. Psychophysiol.*, *28*, 77- 98.

Leamson, R. N., & Betz, M. K. (1999). Technology and the Biological Basis of Learning. *Educational Technology & Society*, *2*(4), 1-5.

Leahy, R. M., Mosher, J. C., Spencer, M. E., Huang, M. X., & Lewine, J. D. (1998). A study of dipole localization accuracy for MEG and EEG using a human skull phantom. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, *107*, 159-173.

Legerstee, M. (1991). The role of person and object in eliciting early imitation. *J. Exp. Child Psychol.*, *51*, 423-433.

Legewie, H., Simonova, O., & Creutzfeldt, O. D. (1969). EEG changes during performance of various tasks under open- and closed-eyed conditions. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *27*, 470-479.

Lehmann, D. (1989). From mapping to the analysis and interpretation of EEG/EP maps. In K. Mauer (Ed.), *Topographic brain mapping of EEG and EP*. Springer-Verlag, Berlin.

Lehmann, D., Henggeler, B., Koukkou, M., & Michel, C. M. (1993). Source localization of brain electric field frequency bands during conscious, spontaneous, visual imagery and abstract thought. *Cognitive Brain Research*, *1*, 203-210.

Leiguarda, R., Starkstein, S., Nogue's, M., Berthier, M., & Arbelaz, R. (1993). Paroxysmal alien hand syndrome. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry*, *56*, 788-792.

Leopold, D. A., Murayama, Y., & Logothetis, N. K. (2003). Very Slow Activity Fluctuations in Monkey Visual Cortex: Implications for Functional Brain Imaging. *Cereb. Cortex*, *13*, 422-433.

Levy, P. (1999/1995). *Δυνητική πραγματικότητα, η φιλοσοφία του πολιτισμού και του κυβερνοχώρου*, μετ. Μ.Καραχάλιος, εκδ. Κριτική, Αθήνα 1999, (στοιχεία πρώτης δημοσίευσης: *Qu'est-ce que virtuel?*, editions La Decouverte, Paris 1995).

Lindsley, D. B. (1960). Attention, consciousness, sleep and wakefulness. In J. Field, H.W. Magoun & V.E. Hall (Eds.), *Handbook of Physiology*, (1553-1593). American Physiological Society, Washington, DC.

Llinas, R. R., & Ribary, U. (1992). Rostrocaudal scan in the human brain a global characteristic of the 40 Hz response during sensory input. In E. Bagar & T.H. Bullock (Eds.), *Induced Rhythms in the Brain*, (147-153). Birkhäuser, Boston.

Llinas, R., Ribary, U., Contreras, D., & Pedroarena, C. (1998). The neuronal basis for consciousness. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, *353*, 1841-1849.

Lloyd, D. (2007). What do Brodmann areas do? Or: Scanning the Neurocracy. *Program in Neuroscience, Trinity College*. Hartford, CT 06106, Personal Communication.

Loeffler, C. E., & Anderson, T. (1994). *The Virtual Reality Casebook*. New York: Van Nostrand Reinhold.

Lombard, M., & Ditton, T. (2000). Measuring presence: A literature-based approach to the development of a standardized paper-and-pencil instrument. *Paper presented at the 3<sup>rd</sup> International Workshop on Presence*, Delft, The Netherlands.

Loomis, J. M. (1992). Presence and Distal Attribution: Phenomenology, determinants, and assessment. *SPIE 1666 Human Vision, Visual Processing and Digital Display III*, 590- 594.

Lopes da Silva, F. (1991). Neural mechanisms underlying brain waves: from neural membranes to networks [review]. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 79, 81-93.

Lopes da Silva, F. H. (1992). The rhythmic slow activity (theta) of the limbic cortex: an oscillation in search of a function. In E. Basar & T.H. Bullock (Eds.), *Induced Rhythms in the Brain (269-283)*. Birkhauser, Boston.

Lopes da Silva, F. H. (1993). EEG Analysis: Theory and Practice. In E. Niedermeyer & F.H. Lopes da Silva (Eds.), *Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields, (1135-1163)*. Williams and Wilkins, Baltimore.

Lopes da Silva, F. H. (1999). EEG analysis: Theory and practice. In E. Niedermeyer & F.H. Lopes da Silva (Eds.), *Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields, (4<sup>th</sup> ed., 1135-11163)*. MD: Williams & Wilkins, Baltimore.

Lopes da Silva, F. H. (2000). Book review, *Clinical Neurophysiology*, 111(7), 1333-1335.

Lopes da Silva, F. H., Witter, M. P., Boeijinga, P. H., & Lohman, A. H. (1990). Anatomic organization and physiology of the limbic cortex. *Physiol. Rev.*, 70, 453-511.

Lopes da Silva, F. H., & Van Rotterdam, A. (1999). Biophysical Aspects of EEG and Magnetoencephalogram Generation. In E. Niedermeyer & F.H. Lopes da Silva (Eds.), *Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields, (4<sup>th</sup> ed., 149-173)*. MD: Williams & Wilkins, Baltimore.

Lorenzo, I., Ramos, C. A., Guevara, M. A., & Corsi-Cabrera, M. (1995). Effect of total sleep deprivation on reaction time and waking EEG activity in man. *Sleep*, 18, 346-354.

Lorist, M. M., & Tops, M. (2003). Caffeine, fatigue, and cognition. *Brain and Cognition*, 53, 82-94

Lutzenberger, W., Pulvermüller, F., Elbert, T., & Birbaumer, N. (1995). Visual stimulation alters local 40 Hz responses in humans: an EEG study. *Neurosci. Lett.*, 183, 1-4.

Macaulay, M., & Edmonds, E. (2004). Does frontal EEG beta have application in anxiety monitoring during computer-based learning? *J. Educational Computing Research*, 30(3) 229-241.

Macpherson, C., & Keppell, M. (1998). Virtual reality: What is the state of play in education? *Australian Journal of Educational Technology*, 14(1), 60-74.

Mager, R., Bullinger, A. H., Roessler, A., Mueller-Spahn, F., & Stoermer, R. (2000). Monitoring brain activity during use of stereoscopic virtual environments. *CyberPsychology and Behavior*, 3(3), 407-415.

Maguire, E. A., Burgess, N., Donnett, J. G., O'Keefe, J., & Frith, C. D. (1998). Knowing where things are parahippocampal involvement in encoding object locations in virtual large-scale space. *J. Cogn. Neurosci.*, 10, 61-76.

Maguire, E. A., Burgess, N., & O'Keefe, J. (1999). Human spatial navigation: cognitive maps, sexual dimorphism, and neural substrates. *Current Opinion in Neurobiology*, 9, 171-177.

Makeig, S., & Inlow, M. (1993). Lapses in alertness: coherence of fluctuations in performance and EEG spectrum. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 86, 23-35.

Makeig, S., & Jung, T. P. (1996). Tonic, phasic, and transient EEG correlates of auditory awareness in drowsiness. *Brain Res. Cogn. Brain Res.*, 4, 15- 25.

Makeig, S., Jung, T. P., & Sejnowski, T. (1996). Using feed forward neural networks to monitor alertness from changes in EEG correlation and coherence. In D. Touretsky, M. Moser & M. Hasselmo (eds.), *Advances in neural information processing systems*, (8, 931-937). Cambridge, MA: MIT Press.

Maltez, J., Hyllienmark, L., Nikulin, V. V., & Brismar, T. (2004). Time course and variability of power in different frequency bands of EEG during resting conditions. *Neurophysiol Clin.*, 34(5), 195-202.

Malmivuo, J., & Plonsey, R. (1995). *Bioelectromagnetism*. New York: Oxford University Press. Διαθέσιμο (15 Σεπτεμβρίου 2005) στο <http://butler.cc.tut.fi/~malmivuo/bem/bembook/00/ti.htm>

Mangun, G. R., Buonocore, M. H., Girelli, M., & Jha, A. P. (1998). ERP and fMRI measures of visual spatial selective attention. *Hum. Brain Mapp.*, 6, 383-389.

Mantovani, F. (2003). VR Learning: Potential and Challenges for the Use of 3D Environments in Education and Training. In G. Riva & C. Galimberti (Eds.), *Towards CyberPsychology: Mind, Cognitions and Society in the Internet Age*, (207-225). Amsterdam, IOS Press.

Maremmani, I., Bonanni, E., Pieraccini, F., Santerini, G. C., Murri, L., & Castrogiovanni, P. (1992). Emotivity, personality, and task-dependent EEG asymmetry. *Physiology and Behavior*, 51, 1111-1115.

Markand, O. N. (1990). Alpha rhythms. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 7(2), 163-189.

Marciani, M. G., Maschio, M., Spanedda, F., Caltagirone, C., Gigli, G. L., Bernardi, G. (1994). Quantitative EEG evaluation in normal elderly subjects during mental processes: age-related changes. *Int. J. Neurosci.*, 76, 131-140.

Markle, G. S. (1993). VR a selection of essays. In *The VR CD-ROM Revision 1*, Network Cybernetics Corporation, Irving, Texas, 1995, in /vrtext/vrphil.zip as vr.txt.

- Markowitsch, H. J., & Pritzel, M. (1985). The neuropathology of amnesia. *Progr. Neurobiol.*, *25*, 189-288.
- Marosi, E., Rodriguez, H., Yanez, G., Bernal, J., Rodriguez, M., Fernandez, T., Silva, J., Reyes, A., & Guerrero, V. (2001). Broad-band spectral measurements of EEG during emotional tasks. *Int. J. Neurosci.*, *108*(3-4), 251-279.
- Marosi, E., Bazan, O., Yanez, G., Bernal, J., Fernandez, T., Rodriguez, M., Silva, J., & Reyes, A. (2002). Narrowband spectral measurements of EEG during emotional tasks. *Int. J. Neurosci.*, *112*(7), 871-891.
- Marroquin, J. L., Harmony, T., Rodriguez, V., & Valdes, P. (2004). Exploratory EEG data analysis for psychophysiological experiments. *Neuroimage.*, *21*(3), 991-9.
- Martin, G. N. (2003). *Νευροψυχολογία: Εγκέφαλος & Συμπεριφορά (181-185)*. Εκδ. ΕΛΛΗΝ, μεταφρ. Λ. Μεσσήνης & Γ. Αντωνιάδης, Αθήνα, (αρχικός τίτλος *Human Neuropsychology*, Prentice Hall, 1999).
- Martineau, J., & Cochin, S. (2003). Visual perception in children: human, animal and virtual movement activates different cortical areas. *International Journal of Psychophysiology*, *51*, 37-44.
- Martindale, C. (1999). Biological bases of creativity. In R. J. Sternberg (Ed.), *Handbook of creativity (137-152)*. New York: Cambridge University Press.
- Martindale, C., Hines, D., Mitchell, L., & Covello, E. (1984). EEG alpha asymmetry and creativity. *Personality and Individual Differences*, *5*, 77-86.
- Marton, M., Szirtes, J., Donauer, N., & Deak, F. (1982). Averaged lambda potentials in man and monkey. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, *53*, 14P-15P (abstract).
- Marrufo, M. V., Vaquero, E., Cardoso, M. J., & Gómez, C. M. (2001). Temporal evolution of  $\alpha$  and  $\beta$  bands during visual spatial attention. *Cognitive Brain Research*, *12*(2), 315-320.
- Maulsby, R. L. (1971). An illustration of emotionally evoked theta rhythm in infancy: Hedonic hypersynchrony. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, *31*, 157-165.
- McCarthy, G., Blamire, A., Puce, A., Nobre, A. C., Bloch, G., Hyder, F., Goldman-Rakic, P. G., & Schulman, R. G. (1994). Functional magnetic resonance imaging of the human prefrontal cortex activation during a spatial working task. *Neurobiology*, *91*, 8690-8694.
- McEvoy, L. K., Pellouchoud, E., Smith, M. E., & Gevins, A. (2001). Neurophysiological signals of working memory in aging. *Cogn Brain Res*, *11*, 363-376.
- McGuire, P. K., Paulesu, E., Frackowiak, R. S., & Frith, C. D. (1996a). Brain activity during stimulus independent thought. *NeuroReport*, *7*, 2095-2099.
- McGuire, P. K., Silbersweig, D. A., & Frith, C. D. (1996b). Functional neuroanatomy of verbal self-monitoring. *Brain*, *119*, 907-917.

McFarland, D. J., Neat, G. W., Read, R. F., & Wolpaw, J. R. (1993) An EEG-based method for graded cursor control. *Psychobiology*, 21(1), 77-81.

McFarland, D. J., McCane, L., Miner, L. A., Vaughan, T. M., & Wolpaw, J. R. (1997). EEG Mu and Beta Rhythm Topographies with Movement Imagery and Actual Movement. In *Society for Neuroscience Abstracts*, 1277.

McIntosh, A. R. (1999). Mapping Cognition to the Brain Through Neural Interactions. *Memory*, 7 (5/6), 523-548.

McLellan, H. (2004). Virtual Realities. In D. H. Jonassen (ed.), *Handbook of Research for Educational Communications and Technology*, (chapter 17, 461-498). Lawrence Erlbaum Associates, (πρώτη μορφή το 2000 ως ch.15 in D. H. Jonassen (ed.) *Handbook of Research for Educational Communications and Technology - electronic edition*).

Mecklinger, A., Kramer, A. F., & Strayer, D. I. (1992). Event related potentials and EEG components in a semantic memory search task. *Psychophysiology*, 29, 104-119.

MEDICIP (2003). Time-Frequency Analysis of EEG Signals. Medical Imaging and Signal Processing research group, retrieved July 2003 at <http://www.elis.rug.ac.be/ELISgroups/mbv/sigproc/>.

Meehl, P. E. (1967). Theory-testing in psychology and physics: a methodological paradox. *Philosophy of Science*, 34(2), 103-115.

Mel, B. W. (2000). In the brain, the model is the goal. *Nature Neuroscience*, 3, Supplement, 1183.

Meehan, M. (2001). Physiological Reaction as an Objective Measure of Presence in Virtual Environments. PhD Thesis supported by NIH grant P41RR02170, Chapel Hill: University of North Carolina.

Meehan, M., Insko, B., Whitton, M., & Brooks, F. P. (2002). Physiological Measures of Presence in Stressful Virtual Environments, *ACM Transactions on Graphics*, Proceedings of ACM SIGGRAPH 2002, 21(3), pp. 645-653.

Meltzoff, A. N. (1995). What infant memory tells us about infantile amnesia: Long-term recall and deferred imitation. *J. Exp. Child Psychol.*, 59, 497-515.

Meltzoff, A. N., & Moore, M. K. (1977). Imitation of facial and manual gestures by human neonates. *Science*, 198, 74-78.

Mesulam, M. (1986). Frontal cortex and behavior. *Ann. Neurol.* 19(4), 320-325.

Mikropoulos, T. (2001). Brain Activity on Navigation in Virtual Environments. *Journal of Educational Computing Research*, 24(1), 1-12.

Mikropoulos, T. A. (2003). Brain research in science education research. In D. Psillos, P. Kariotoglou, V. Tselves, E. Hatzikraniotis, G. Fassoulopoulos & M. Kallery (eds.), *Science Education Research in the Knowledge - Based Society*, (353-360). Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.



Mikropoulos, T., Kossivaki, Ph., Katsikis, A., & Savranides, Ch. (1994). Computers in Preschool Education: An Interactive Environment. *Journal of Computing in Childhood Education*, 5, 339 – 351.

Mikropoulos, T. A., Tzimas, E., & Dimou, G. El. (2004). Objective Presence Measures through Electric Brain Activity, In M. A. Raya & B. R. Solaz (eds.), *Proceedings of the 7 th Annual International Workshop on Presence*, (259-265). Valencia.

Mikropoulos, T. A., & Strouboulis, V. (2004). Factors that Influence Presence in Educational Virtual Environments. *Cyberpsychology & Behavior*, 7(5), 582-591.

Mikropoulos, T. A. (2006). Presence: A unique characteristic in educational virtual environments. *Virtual Reality, special issue 'Using Virtual Reality in Education'*, 10(3-4), 197-206.

Mikropoulou T. A., & Bellou J. (2006). The Unique Features of Educational Virtual Environments. In P. Isaias, M. McPherson & F. Banister (eds.), *Proceedings e-society 2006, IADIS - International Association for Development of the Information Society, v.1*, 122-128.

Mikropoulos, T. A., & Natsis, A. (2010 submitted). Educational Virtual Environments: A Ten Year Review of Empirical Research (1999 – 2009).

Miller, R. (1991). Cortico-Hippocampal Interplay and the Representation of Contexts in the Brain. Springer, Berlin-Heidelberg-New York.

Miller, J. C. (1995). Batch processing of 10000 h of truck driver EEG data. *Biological Psychology*, 40, 209-222.

Milner, A. D., & Goodale, M. A. (1996). *The Visual Brain in Action*. Oxford Univ. Press, London.

Mizuki, Y. (1982). Frontal midline theta activity during performance of mental tasks. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 54, 25p (abstract).

Mizuki, Y. (1987). Frontal lobe: Mental functions and EEG. *Am. J. EEG Technol.*, 27, 91-101.

Mizuki, Y., Takii, O., Tanaka, T., Tanaka, M., & Inanaga, K. (1982). Periodic appearance of frontal midline theta activity during performance of a sensory-motor task. *Folia Psychiatrica et Neurologica Japonica*, 36, 375-381.

Mizuki, Y., Takij, O., Nishijima, H., & Inanaga, K. (1983). The relationship between the appearance of frontal midline theta activity (Fm theta) and memory function. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 56, 56p.

Mizuki, Y., Tanaka, O., Isozaki, H., Nishijima, H., & Inanaga, K. (1980). Periodic appearance of theta rhythm in the frontal midline during performance of a mental task. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 54, 25P.

Mogal, Y. (1994). VR Technologies full immersion. *IRIS Universe*, 25, 28-33.

Moore, C., & Engel, S. A. (2001). Neural Response to Perception of Volume in the Lateral Occipital Complex. *Neuron*, 29, 277-286.

Moreno, R. (2002). Pedagogical Agents in Virtual Reality Environments: Do Multimedia Principles Still Apply, *ED-MEDIA 2002 Proceedings*, Denver Colorado, ERIC ED 477 069.

Mraz R., Hong, J., Quintin, G., Staines, W. R., McIlroy, W. E., Zakzanis, K. K., & Graham, S. J. (2003). A Platform for Combining Virtual Reality Experiments with Functional Magnetic Resonance Imaging. *Cyberpsychology & behavior*, 6, 4.

Mulholland, T. B. (1995). Human EEG, behavioural stillness and biofeedback. *Int. J. Psychophysiol.*, 19, 263-279.

Müller, M. M., Gruber, T., & Keil, A. (2000). Modulation of induced gamma band activity in the human EEG by attention and visual information processing. *Int. J. Psychophysiol.*, 38, 283-299.

Müller, N. G., & Knight, R. T. (2006). The functional neuroanatomy of working memory: Contributions of human brain lesion studies. *Neuroscience*, 139(1), 51-58.

Mundy-Castle, A. C. (1951). Theta and beta in the electroencephalogram of normal adults. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 3, 477-486.

Mundy-Castle, A. C. (1957). The electroencephalogram and mental activity. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 9, 643-655.

Murakami, K., Hayashi, K., Hirota, K., Fujita, T., Matsumoto, C., Taguchi, H., & Nishiyama, S. (1992). A virtual creature world. *Proc. of Imagina '92*, p.II/39-II/45, Monte Carlo.

Murray, E. A., & Mishkin, M. (1998). Object recognition and location memory in monkeys with excitotoxic lesions of the amygdala and hippocampus. *J. Neurosci.*, 18, 6568-6582.

Musha, T., Terasaki, Y., Haque, H. A., & Ivanitsky, G. A. (1997). Feature extraction from EEGs associated with emotions. *Artificial Life Robotics*, 1, 15-19.

Nakamura, K., Kawashima, R., Ito, K., Sugiura, M., Kato, T., Nakamura, A., Hatano, K., Nagumo, S., Kubota, K., Fukuda, H., & Kojima, S. (1999). Activation of the right inferior frontal cortex during assessment of facial emotion. *J. Neurophysiol.*, 82, 1610-1614.

Nakamura, M., Uchida, S., Maehara, T., Kawai, K., Hirai, N., Nakabayashi, T., Arakaki, H., Okubo, Y., Nishikawa, T., & Shimizu, H. (2003). Sleep spindles in human prefrontal cortex: an electrocorticographic study. *Neurosci. Res.*, 45, 419- 427.

Negroponte, N. (1995). *Ψηφιακός κόσμος*. Μετ. Α. Κάτσικας, εκδ. Καστανιώτη, Αθήνα 1995, (στοιχεία πρώτης δημοσίευσης, Being digital, 1995).

Neiser, U. (1976). *Cognition and Reality: Principles and Implications of Cognitive Psychology*. San Francisco: W.H. Freeman.

Nelson, W. T., Hettinger, L. I., Cunningham, J. A., Roe, M. M., Haas, M. W., & Dennis, L. B. (1997). Navigating through virtual flight environments using brain-body actuated control. *Proc. IEEE 1997 Virtual Reality International Symposium*, 30 -37.

Neubauer, V., Freudenthaler, H. H., & Pfurtscheller, G. (1995). Intelligence and spatiotemporal patterns of event-related desynchronization. *Intelligence*, 3, 249-266.

Neubauer, A. C., Fink, A., & Schrausser, D. G. (2002). Intelligence and neural efficiency: The influence of task content and sex on the brain-IQ relationship. *Intelligence*, 30, 515-536.

Neubauer, A. C. (2000). Physiological approaches to human intelligence: a review. *Psychologische Beitrage*, 42, 161-173.

Newman, F., Stein, M. B., Trettau, J. R., Coppola, R., & Uhde, T. W. (1992). Quantitative electroencephalographic effects of caffeine in panic disorders. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, 45, 105-113.

Newsome, W. T., Britten, K. H., Salzman, C.D., & Movshon, J. A. (1990). Neuronal mechanisms of motion perception. *Cold Spring Harb Symp Quant Biol* 55, 697-705.

Nichols, S., Ramsey, A. D., Cobb, S., Neale, H., D'Cruz, M., & Wilson, J. R. (2000). *Incidence of Virtual Reality Induced Symptoms and Effects (VRISE) in desktop and projection screen display systems*. (Contract Research Report 274/200) Nottingham, UK: HSE Books.

Niedermeyer, E. (1990a). An independent alpha-like rhythm in the temporal region. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 75, S103 (abstract).

Niedermeyer, E. (1990b). Alpha-like rhythmical activity of the temporal lobe. *Clin. Electroencephalogr.*, 21, 210-224.

Niedermeyer, E. (1991). The "third rhythm": Further observations. *Clin. Electroencephalogr.* 22, 83-96.

Niedermeyer, E. (1997). Alpha rhythms as physiological and abnormal phenomena. *Internal. J. Psychophysiol.*, 26, 31-49.

Niedermeyer, E. (1999a). The normal EEG of the waking adult. In E. Niedermeyer & F. Lopes da Silva (Eds.), *Electroencephalography: Basic principles, clinical applications, and related fields*, (4th ed., 149-173). Baltimore: Williams and Wilkins.

Niedermeyer, E. (1999b). Sleep and EEG. In E. Niedermeyer & F. Lopes da Silva (Eds.), *Electroencephalography, Basic Principles, Clinical Applications and Related Fields*, (174-188). Williams and Wilkins, Baltimore.

Niedermeyer, E. (1999c). Maturation of the EEG: development of waking and sleep patterns. In E. Niedermeyer & F. Lopes da Silva (Eds.), *Electroencephalography, Basic Principles, Clinical Applications and Related Fields*, (167-191). Williams and Wilkins, Baltimore.

Niedermeyer, E. (1999d). Historical aspects. In E. Niedermeyer & F. Lopes da Silva (Eds.), *Electroencephalography: Basic principles, clinical applications, and related fields*, (4th ed., 1-14). Baltimore: Williams and Wilkins.

Nightingale, S. (1982). Somatoparaphrenia: a case report. *Cortex*, 18, 463-467.

Nikias, C. L., & Petropulu, A. P. (1993). *Higher-order spectra analysis: a Nonlinear Signal Processing Framework.*, PTR Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ.

Nishiyama, N., & Yamaguchi, Y. (2001). Human EEG theta in the spatial recognition task. *Presented at the 5th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics*, Orlando, Florida.

Nobre, A. C., Sebestyen, G. N., Gitelman, D. R., Mesulam, M. M., Frackowiak, R. S., & Frith, C. D. (1997). Functional localization of the system for visuospatial attention using positron emission tomography. *Brain*, *120*, 515-533.

Sato, N., Sakata, H., Tanaka, Y., & Taira, M. (2004). Navigation in virtual environment by the macaque monkey. *Behavioural Brain Research*, *153*, 287-291.

Nopoulos, P., Flaum, M., O'Leary, D., & Andreasen, N. C. (2000). Sexual dimorphism in the human brain evaluation of tissue volume, tissue composition and surface anatomy using magnetic resonance imaging. *Psychiatry Research: Neuroimaging Section*, *98*, 1-13.

Nowak, S. M., & Marczyński, T. J. (1981). Trait anxiety is reflected in EEG alpha response to stress. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, *52*, 175-191.

Nunez, P. L. (1995a). *Neocortical Dynamics and EEG Rhythms*. New York: Oxford University Press.

Nunez, P. L. (1995b). Quantitative states of neocortex. In P.L. Nunez (Ed.), *Neocortical Dynamics and Human EEG Rhythms*, (3-67). Oxford University Press, New York.

Nunez, D. (2004). Working memory and presence: Reconsidering the role of attention in presence. *Proceedings of the 7th International Workshop on Presence (PRESENCE 2004)*, 44-47, Valencia, Spain.

Nunez, P. L., Silberstein, R. B., Shi, Z., Carpenter, M. R., Srinivasan, R., Tucker, D. M., Doran, S. M., Cadusch, P. J., & Wijesinghe, R. S. (1999). EEG coherency II: experimental comparisons of multiple measures. *Clin Neurophysiol.*, *110*(3), 469-486.

O'Boyle, M. W., Benbow, C. P., & Alexander, J. E. (1995). Sex differences, hemispheric laterality, and associated brain activity in the intellectually gifted. *Developmental Neuropsychology*, *4*, 415-443.

O'Keefe, J., & Nadel, L. (1978). *The Hippocampus as a Cognitive Map*. Oxford Univ. Press.

O'Keefe, J., & Recce, M. (1993). Phase relationship between hippocampal place units and the EEG theta rhythm. *Hippocampus*, *3*, 317-330.

Oken, B. S., & Salinsky, M. (1992). Alertness and attention: Basic science and electrophysiologic correlates. *Journal of Clinical Neurophysiology*, *9*(4), 480-494.

Onton, J., Delorme, A., & Makeig, S. (2005). Frontal midline EEG dynamics during working memory. *Neuroimage*, *15*, 27(2), 341-56.

Orban, G. A., Dupont, P., Vogels, R., De Bruyn, B., Bormans, G., & Mortelmans, L. (1996). Task dependency of visual processing in the human visual system. *Behav. Brain Res.*, 76, 215-223.

Osaka, M. (1984). Peak alpha frequency of EEG during a mental task: task difficulty and hemispheric differences. *Psychophysiology*, 21(1), 101-105.

Osberg, K. (1997). *But what's behind door number 4? Ethics And VR: A discussion*, HITL, Technical Report, R-97-16, Univ. of Washington, 1997, available as electronic document at <http://www.hitl.washington.edu/publications/r-97-16>.

Oswald, I. (1962). *Sleeping and Waking*. Elsevier Publishing Co.: New York.

Othmer, S., & Kaiser, D. (2000). Implementation of virtual reality in EEG biofeedback. *CyberPsychology and Behavior*, 3(3), 415-421.

Owen, A. M., Downes, J. J., Sahakian, B. J., Polkey, C. E., & Robbins, T. W. (1990). Planning and spatial working memory following frontal lobe lesions in man. *Neuropsychologia*, 28(10), 1021-1034.

Owen, A. M., Herrod, N. J., Menon, D. K., Clark, J. C., Downey, S.P.M.J., Carpenter, T. A., Minhas, P. S., Turkheimer, F. E., Williams, E. J., & Robbins, T. W. (1999). Redefining the functional organization of working memory processes within human lateral prefrontal cortex. *Eur J Neurosci*, 11, 567-574.

Pantelidis, V. (1993a). Virtual Reality in the classroom. *Educational Technology*, April 1993, 23-27.

Pantelidis, V. (1993b). Suggestions on when to use and when not to use virtual reality in education. *Technical report*, Univ. of East Carolina.

Pantelidis, V. (1993c). *Virtual Reality - 10 questions and answers*. East Carolina Univ. Report, (1<sup>st</sup> edition 1993, 2<sup>nd</sup> edition 1995).

Pantelidis, V. (1994). *VR and ethics: Question to be asked*. East Carolina Univ. Report.

Pantelidis, V. (1997). Keynote Speech, In M. Bevan (ed.), *Proceedings of the International Conference on Virtual Reality in Education & Training*, (7-12). Loughborough.

Papadelis, C., Kourtidou-Papadeli, C., Vlachogiannis, E., Skepastianos, P., Bamidis, P., Maglaveras, N., & Pappas, K. (2002). Effects of mental workload and caffeine on catecholamines and blood pressure compared to performance variations. *Brain Cogn.* 51(1), 143-154.

Papanicalaou, A. C., Loring, D. W., Deutsch, G., & Eisenberg, H. M. (1986). Task-related EEG asymmetries: a comparison of alpha blocking and beta enhancement. *Int. J. Neurosci.*, 30, 81-85.

Parasuraman, R. (1983). Vigilance, arousal, and the brain. In A. Gale & J. Edwards (Eds.), *Physiological correlates of human behavior (139-143)*. New York: Academic Press.

Parasuraman, R., Warm, J. S., & See, R. E. (1998). Brain systems of vigilance. In R. Parasuraman (Ed.), *The Attentive Brain*, (221-256). MIT Press, Cambridge, MA.

Pardo, J. V., Pardo, P. J., Janer, K. W., & Raichle, M. E. (1990). The anterior cingulate cortex mediates processing selection in the Stroop attentional conflict paradigm. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, *87*, 256-259.

Pardo, J. V., Fox, P. T., & Raichle, M. E. (1991). Localization of a human system for sustained attention by positron emission tomography. *Nature*, *349*, 61-64.

De Pascalis, V., Ray, W. J., Tranquillo, I., & D'Amico, D. (1998). EEG activity and heart rate during recall of emotional events in hypnosis: relationships with hypnotizability and suggestibility. *International Journal of Psychophysiology*, *29*, 255-275.

Pascual-Leone, A., Walsh, V., & Rothwell, J. (2000). Transcranial magnetic stimulation in cognitive neuroscience - virtual lesion, chronometry, and functional connectivity. *Curr. Opin. Neurobiol.*, *10*, 232-37.

Passing, D., & Sharbat, A. (2000). The why and how VR in schools: A preferred future pedagogic mission by a group of worldwide experts in VR and Education, {*International Journal of VR 2000*}, <http://www.passing.com/pic/VRinSchool.htm>

Passing, D., & Sharbat, A. (2001). Proposed international education mission for virtual reality in schools, *Themes in education*, *2*(2-3), 211-223.

Paus, T., Zatorre, R. J., Hofle, N., Caramanos, Z., Gotman, J., Petrides, M., & Evans, A. C. (1997). Time-related changes in neural systems underlying attention and arousal during the performance of an auditory vigilance task. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *9*, 392-408.

Peelen, M. V., Heselenfeld, D. J., & Theeuwes, J. (2004). Endogenous and exogenous attention shifts are mediated by the same large-scale neural network. *NeuroImage*, *22*, 822-830.

Pelz, J. B., Hayhoe, M. M., Ballard, D. H., Shrivastava, A., Bayliss, J. D., & von der Heyde, M. (1999). Development of a virtual laboratory for the study of complex human behavior. *Proceedings of the SPIE (3639B)*, 416-426. *The Engineering Reality of Virtual Reality*, San Jose, CA: SPIE 1999.

Penfield, W., & Jasper, H. (1954). *Epilepsy and the functional anatomy of the human brain*. Boston: Little, Brown & Company, xv, pp. 896.

Penny, W. D., Roberts, S. J., & Stokes, M. J. (1998). Imagined Hand Movements Identified From The EEG Mu-Rhythm. *Technical report*, Imperial College, University of London. Available via <http://www.ee.ic.ac.uk>.

Penny, W. D., & Roberts, S. J. (1999). Experiments with an EEG-based computer interface. *Technical report*, Imperial College, University of London. Available via <http://www.ee.ic.ac.uk>.

Perani, D., Fazio, F., Borghese, N. A., Tettamanti, M., Ferrari, S., Decety, J., & Gilardi, M. C. (2001). Different brain correlates for watching real and virtual hand actions, *Neuroimage*, *14*, 749-758, doi:10.1006/nimg.2001.0872.

Peterhans, E., & Heydt, Von Der, R. (1991). Subjective contours bridging the gap between psychophysics & physiology. *Trends in Neuroscience*, *14*(3), 112-119.

Peterson, B., Wells, M., Furness III, Th. A., & Hunt, E. (1998). The Effects of the Interface on Navigation in Virtual Environments. Paper presented at the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting. Available via <http://www.hitl.washington.edu/publications/r-98-5/>.

Petrides, M., Alivisatos, B., Meyer, E., & Evans, A. C. (1993). Functional activation of the human frontal cortex during the performance of verbal working memory tasks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *90*, 878-882.

Petruzzello, S. J., Landers, D. M., & Salazar, W. (1991). Biofeedback and sport/exercise performance: Applications and limitations. *Behavior Therapy*, *22*, 379-392.

Petruzzello, S. J., & Landers, D. M. (1994). State anxiety reduction and exercise: Does hemispheric activation reflect such changes? *Medical Science Sports Exercise*, *26*(8), 1028-1035.

Petsche, H. (1995). Die flirrende Welt der Aufmerksamkeit: Zur Neurophysiologie kognitiver Prozesse. *Zeitschr. EEGEMG verwand. Gebite* *26*, 1-18.

Petsche, H. (1996). Approaches to verbal, visual and musical creativity by EEG coherence analysis. *International Journal of Psychophysiology*, *24*, 145-159.

Petsche, H. (1997). EEG coherence and mental Activity. In F. Angeleri, S. Butler, S. Giaquinto, & J. Majakowski (Eds.), *Analysis of the Electrical Activity of the Brain*, (141-168). John Wiley, Chichester.

Petsche, H., Pockberger, H., & Rappelsberger, P. (1986). EEG topography and mental performance. In F.H. Duffy (Ed.), *Topographic mapping of brain electrical activity*, (63-98). Stoneham, MA, Butterworths.

Petsche, H., Richter, P., Stein, A., Etlinger, S. C., & Filz, O. (1993). EEG coherence and musical thinking. *Music Percept.*, *11*, 117-152.

Pfurtscheller, G. (1981). Central beta rhythms and sensorimotor activities in man. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, *51*, 253-264.

Pfurtscheller, G. (1990). Event-related EEG desynchronization. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, *75*, S117.

Pfurtscheller, G. (1992). Event-related synchronization ERS: an electrophysiological correlate of cortical areas at rest. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, *83*, 62-69.

Pfurtscheller, G. (1993). EEG Event-related desynchronization (ERD) and Event-related synchronization (ERS). In E. Niedermeyer & F.H. Lopes da Silva

(Eds.), *Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields*, (pp. 958). Williams and Wilkins, Baltimore.

Pfurtscheller, G. (1999). EEG Event-related desynchronization (ERD) and Event-related synchronization (ERS). In E. Niedermeyer & F.H. Lopes da Silva (Eds.), *Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields*, (pp. 958-967). Williams and Wilkins, Baltimore.

Pfurtscheller, G., & Aranibar, A. (1977). Event-related cortical desynchronization detected by power measurements of scalp EEG. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.*, 42, 817-826.

Pfurtscheller, G., & Aranibar, A. (1979). Evaluation of event-related desynchronization (ERD) preceding and following voluntary self-paced movement. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.*, 46, 138-146.

Pfurtscheller, G., Steffan, J., & Maresch, H. (1988). ERD mapping and functional topography: temporal and spatial aspects. In G. Pfurtscheller, & F.H. Lopez da Silva (Eds.), *Functional Brain Imaging*, (117-130). Hans Huber, Toronto.

Pfurtscheller, G., & Berghold, A. (1989). Patterns of cortical activation during planning of voluntary movement. *Electroencephalography and clinical neurophysiology* 1989;72(3), 250-8.

Pfurtscheller, G., & Klimesch, W. (1991). Event-related desynchronization during motor behavior and visual information processing. In Brunia, C.H.M., Mulder, G. & Verbaten, M.N. (Eds.), *Event-Related Brain Res*, (58-65). Elsevier, Amsterdam.

Pfurtscheller, G., & Neuper, C. (1992). Simultaneous EEG 10 Hz desynchronization and 40 Hz synchronization during finger movements. *NeuroReport* 3, 1057- 1060.

Pfurtscheller G, Neuper C, Kalcher J. (1993). 40-Hz oscillations during motor behavior in man. *Neurosci Lett.* 1993 Dec 24;164(1-2), 179-182.

Pfurtscheller, G., Flotzinger, D., & Neuper, C. (1994). Differentiation between finger, toe and tongue movement in man based on 40 Hz EEG. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 90, 456-460.

Pfurtscheller, G., Stancak, A., & Neuper, C. (1996a). Event-related synchronization (ERS) in the alpha band - an electrophysiological correlate of cortical idling: a review. *Int. J. Psychophysiol.*, 24, 39-46.

Pfurtscheller, G., Flotzinger, D., Pregonzer, M., Wolpaw, J., & Mc-Farland, D. (1996b). EEG-based Brain Computer Interface (BCI). *Medical Progress through Technology*, 21, 111-121.

Pfurtscheller, G., Stancák Jr., A., & Neuper, C. (1996c). Postmovement beta synchronization. A correlate of an idling motor area?. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 98, 281-293.

Picard, R., & Healy, J. (2001). "Toward Machine Emotional Intelligence: Analysis of Affective Physiological State." *IEEE Trans. On Pattern Analysis and Machine Intell.*, Oct. 2001.



Picton, T. W., van Roona, P., Armilioa, M. L., & Berg, P. (2000). The correction of ocular artifacts: a topographic perspective. *Clinical Neurophysiology* 111, 53-65.

Pimentel, K., & Teixeira, K. (1993). *Virtual Reality Through the New Looking Glass*, McGraw Hill.

Pine, D. S., Grun J., Maguire E. A., Burgess N., Zarahn E., Koda V., Fyer A., Szeszko P. R., & Bilder R. M. (2002). Neurodevelopmental Aspects of Spatial Navigation: A Virtual Reality fMRI Study. *NeuroImage*, 15, 396-406, doi:10.1006/nimg.2001.0988.

Polich, J., Kok, A. (1995). Cognitive and biological determinants of P300: an integrative review. *Biol Psychol*, 41, 103-46.

Pond, D. A. (1963). The development of normal rhythms. In Hill, J.D.N. & Parr, G. (Eds.), *Electroencephalography*. MacDonald: London, 207-231.

Pope, A. T., & Bogart, E. H. (1992). Identification of hazardous awareness states in monitoring environments. *SAE 1992 Transactions: Journal of Aerospace*, 101, 449-456.

Posner, M. I. (1975). Psychobiology of attention. In Gazzaniga, M. & Blakemore, C. (Eds.), *Handbook of Psychobiology*. Academic Press: New York, 441-480.

Posner, M. I., & Petersen, S. E. (1990). The attention system of the human brain. *Annu. Rev. Neurosci.*, 13, 25-42.

Posner, M., et al. (2001). The developing human brain. *Developmental Science*, 4(3), 253-387.

Praetorius, H. M., Bodenstein, G., & Creutzfeldt, O. (1977). Adaptive segmentation of EEG records: A new approach to automatic EEG analysis. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 42, 84-94.

Premack, D., & Woodruff, G. (1978). Chimpanzee problem-solving: A test for comprehension. *Science* 202, 532-535.

Prothero, J., & Hoffman, H. (1995). Widening the field-of-view increases the sense of presence within immersive virtual environments. *Human Interface Technology Laboratory Tech. Rep. R-95-4*, Seattle: University of Washington.

Prothero, J. D., Parker, D. E., Furness III, T. A., & Wells, M. J. (1995). Foreground/background manipulations affect presence, *Paper presented at HFES '95*, Available: <http://www.hitl.washington.edu/publications/p-95-3>.

Pugnetti, L., & Mendozzi, L. (1994). Monitoraggio psicologico e modelli per il recupero dei deficit cognitivi. *Proc. of Virtual Reality in Education, Training and Disability*. Bologna, Societa Italiana di Realta Virtuale (SIRV), 41-56 (English abstract).

Pugnetti, L., Mendozzi, L., Motta, A., Cattaneo, A. M., Barbieri, E., Brancotti, A., & Cazzullo, C. L. (1995). Immersive virtual reality to assist retraining of acquired

cognitive deficits: First results with a dedicated system. In R. M. Satava, K. Morgan, S. H. Sieburg, R. Mattheus, & J. P. Christensen (Eds.), *Interactive Technology and the New Paradigm for Healthcare*, (289 -297). Amsterdam, Oxford, Washington, D. C.: IOS Press and Ohmsha.

Pugnetti, L., Mendozzi, L., Barbieri, E., Rose, F. D., & Attree, E. A. (1996). Nervous system correlates of virtual reality experience. In P. M. Sharkey (Ed.), *Proc. of the 1st European Conference on Disability, Virtual Reality and Associated Technologies*, (239 -246). Reading, UK: The University of Reading.

Pugnetti, L., Mendozzi, L., & Barbieri, E. (1997). *Virtual reality and biofeedback: An introduction*. Paper presented at XXVII Congress of European Association for Behavioral and Cognitive Therapies (EABCT'97), Venice, Italy.

Pugnetti, L., Meehan, M., Mendozzi, L., Riva, F., Barbieri, E., & Carmagnani, E. (2000). More on central nervous system correlates of virtual reality testing. In P. M. Sharkey, A. Cesarani, L. Pugnetti & S. Rizzo (Eds.), *Proc. of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Disability, Virtual Reality and Associated Technologies*, (311-318). Reading, UK: The University of Reading.

Pugnetti, L., Meehan, M., & Mendozzi, L. (2001). Psychophysiological correlates of virtual reality: A review. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 10, 384-400.

Pulvermiller, F., Preiss, H., Eulitz, C., Pantev, C., Lutzenberger, W., Elbert, T., & Birbaumer, N. (1994). Brain rhythms. Cell assemblies and cognition: Evidence from the processing of words and pseudowords. *Psychology*, 5(48), 1-30.

Rabinowicz, T., Dean, D. E., McDonald-Comber Petetot, J., & De Courten-Myers, G. M. (1999). Gender differences in the human cerebral cortex: more neurons in males; more processes in females. *Journal of Child Neurology*, 14, 98-107.

Raichle, M. E., MacLeod, A. M., Snyder, A. Z., Powers, W. J., Gusnard, D. A., & Shulman, G. L. (2001). A default mode of brain function, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 98, 676-682.

Ramos J., Corsi-Cabrera M., Guevara M. A., & Arce C. (1993). EEG activity during cognitive performance in women. *Int. J. Neurosci.*, 69, 185-195.

Ray, W. J. (1990). The electrocortical system. In J. T. Calliopo & L.G. Tassinary (Eds.), *Principles of psychophysiology: physical, social and inferential elements*, (385-412). New York: Cambridge University Press.

Ray, W. J. R., & Cole, H. W. (1985). EEG alpha activity reflects attentional demands, and beta activity reflects emotional and cognitive processes. *Science*, 228, 750-752.

Ray, W. J. R., & Oathes, O. (2003). Brain imaging techniques. *The International Journal of Clinical and Experimental Hypnosis*, 51(2), 97-104.

Rebert, C. S., Low, D. W., & Larsen, F. (1984). Differential hemispheric activation during complex visuomotor performance: alpha trends and theta. *Biological Psychology*, 19, 159-168.

- Regian, J. W., Shebilske, W. L., & Monk, J. M. (1992). Virtual reality: A instructional medium for visual-spatial tasks. *Journal of Communications*, 42(4), 136-149.
- Reimann, P. (1999). The role of external representations in distributed problem solving. *Learning and Instruction*, 9, 411-418.
- Rogers, Y. (1999). What is different about interactive graphical representations? *Learning and Instruction*, 9, 419-425.
- Rescher, B., & Rappelsberger, P. (1999). Gender dependent EEG—changes during a mental rotation task. *International Journal of Psychophysiology*, 33, 209-222.
- Revonsuo, A., Wilenius-Emet, M., Kuusela, J., & Lehto, M. (1997). The neural generation of a unified illusion in human vision. *NeuroReport*, 8, 3867-70.
- Remond, A., & Renault, B. (1972). La theorie des objets electroencephalographiques. *Rev. Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 2, 241-256.
- Rheingold, H. (1991). *Virtual Reality*, Summit Books, Simon&Schuster, New York, 1991, (αναφέρεται στο Μπουντουριδής 1994).
- Rice, S., Rice, K., & Lovel, L. (1996). Enriched Environments, Cortical Plasticity, and Implications for the Systematic Design of Instruction. *Educational Technology*, March/April, 41-46.
- Riding, R. J., & Glass, A. (1997). Cognitive Style and Individual Differences in EEG Alpha during Information Processing. *Educational Psychology*, 17(1/2), 219-232.
- Riva, G. (1998). Modifications of body-image induced by virtual reality. *Perceptual and Motor Skills*, 86(1), 163-170.
- Riva, G., & Davide, F. (2001). Virtual reality environments as communication tool: a socio-cognitive analysis, *Communications Through Virtual Technology: Identity Community and Technology in the Internet Age*, IOS Press: Amsterdam.
- Rizzo, A., Buckwalter, J. G., Neumann, U., Chua, C., van Rooyen, A., Larson, P., Kratz, K., Kesselman, C., Thiebaut, M., & Humphrey, L. (1999). Virtual environments for targeting cognitive processes: An overview of projects at the University of Southern California Integrated Media Systems Center. *CyberPsychology and Behavior*, 2(2), 89 -100.
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Matelli, M., Bettinardi, V., Paulesu, E., Perani, D., & Fazio, F. (1996). Localization of grasp representations in humans by PET. 1. Observation versus execution. *Exp. Brain Res.*, 111, 246-252.
- Roberts, S., Rezek, I., Everson, R., Stone, H., Wilson, S., & Alford, C. (2000). Automated assessment of vigilance using committees of radial basis function analysers. *IEE Proc Sci Technol Meas* 2000;147(6), 333-338.
- Robertson, G., Czerwinski, M., & Dantzich, M. (1997). Immersion in Desktop Virtual Reality. Microsoft Research.

Robinson, D. L. (1998). Sex differences in brain activity, personality and intelligence: a test of arousability theory. *Personality and Individual Differences*, 25, 1113-1152.

Rodriguez, E., George, N., Lachaux, J. P., Martinerie, J., Renault, B., & Varela, F. J. (1999). Perception's shadow: long-distance synchronization of human brain activity. *Nature*, 397, 430-433.

Roland, P. E. B., Larsen, N. A., Lassen, B., & Skinhoj, E. (1980). Supplementary motor area and other cortical areas in organization of voluntary movements in man. *Journal of Neurophysiology*, 43, 539-560.

Roldan, E., Lepicovska, V., Dostalek, C., & Hrudova, L. (1981). Mu-like EEG rhythm generation in the course of Hatha-yogi exercises. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 52, 13P (abstract).

Rose, H. (1995). Assessing learning in VR: Towards developing a paradigm Virtual Reality Roving Vehicles (VRRV), HITL, report No TR-95-1, Univ of Washington.

Rose, F. D., Attree, E. A., & Johnson D. A. (1996). Virtual reality: An assistive technology in neurological rehabilitation. *Current Opinion in Neurology*, 9(6), 461-467.

Rosen, A. C., Rao, S. M., Caffarra, P., Scaglioni, A., Bobholz, J. A., Woodley, S. J., Hammeke, T. A., Cunningham, J. M., Prieto, T. E., & Binder, J. R. (1999). Neural basis of endogenous and exogenous spatial orienting: a functional MRI study. *J. Cogn. Neurosci.*, 11, 135- 152.

Roscoe, A. H. (1992). Assessing pilot workload: Why measure heart rate, HRV and respiration? *Biological Psychology*, 34, 259-288.

Rothbaum, B. O., Hodges, L. F., Kooper, R., et al. (1995). Effectiveness of virtual reality graded exposure in the treatment of acrophobia. *American Journal of Psychiatry*, 152, 626-628.

Rothbaum, B. O., Hodges, L. F., Ready, D., et al. (2001). Virtual reality exposure therapy for Vietnam veterans with posttraumatic stress disorder. *Journal of Clinical Psychiatry*, 62, 617-622.

Ruby, P., & Decety, J. (2001). Effect of subjective perspective taking during simulation of action: a PET investigation of agency. *Natl. Neurosci.*, 4, 546-550.

Ruddle, R. A., Randall, S. J., Payne, S. J., & Jones, D. M. (1996). Navigation and spatial knowledge acquisition in large-scale virtual buildings: An experimental comparison of immersive and desk-top displays. In Massimo Bergamasco (Ed.), *Proceedings of the 2nd FIVE International Conference*, (19-20 December 1996), 125-134.

Rugg, M. D., & Dickens, A. M. J. (1982). Dissociation of alpha and theta activity as a function of verbal and visuospatial tasks. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.*, 53, 201-207.

Saletu, B., Anderer, P., Kinsperger, K., & Gr€unberger, J. (1987). Topographic brain mapping of EEG in neuropsychopharmacology. Part II: Clinical applications (Pharmacological EEG Imaging). *Methods and Findings in Experimental and Clinical Pharmacology*, 9, 385-408.

Salinsky, M. C., Oken, B. S., & Morehead, L. (1991). Test-retest reliability in EEG frequency analysis. *Electroencephalography Clin Neurophysiol*, 79, 382-92.

Samardzic, A. (1996). The Visualisation of Brain Electrical Activity. Master Thesis, School of Electrical Engineering, University of Belgrade. Also <http://www.eb.uah.edu/~jovanov/projects/tempo/tempo.htm>.

Samardzic, A. B., Jovanov, E. S., & Starcevic, D. B. (2000). Real-time Visualization of Brain Electrical Activity. *Real-Time Imaging*, 6, 69-76, doi:10.1006/rtim.1998.0160, available online at <http://www.idealibrary.com> on IDEAL.

Sarnthein, J., Petsche, H., Rappelsberger, P., Shaw, G. L., & Von Stein, A. (1998). Synchronization between prefrontal and posterior association cortex during human working memory. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 95, 7092-7096.

Sasaki, K., Tsujimoto, T., Nishikawa, S., Nishitani, N., & Ishihara, T. (1996). Frontal mental theta wave recorded simultaneously with magnetoencephalography and electroencephalography. *Neurosci. Res.*, 26, 79- 81.

Satalich, G. A. (1995). Navigation and wayfinding in VR: Finding the proper tools and cues to enhance navigational awareness. Master thesis, University of Washington, Seattle, Washington.

Sauseng, P., Klimesch, W., Gruber, W., Doppelmayr, M., Stadler, W., & Schabus, M. (2002). The interplay between theta and alpha oscillations in the human electroencephalogram reflects the transfer of information between memory systems. *Neuroscience Letters*, 324, 121-124.

Sauve, K., Wang, G., Rolli, M., Jagow, R., Kronberg, E., Ribary, U., & Llinas, R. (1998). Human gamma-brain activity covaries with cognitive temporal binding of somatosensory stimuli in sighted and blind subjects. *Soc Neurosci Abstr* 444.419 24, 1128.

Savoy, R. L. (2001). History and future directions of human brain mapping and functional neuroimaging. *Acta Psychologica*, 107(1-3), 9-42.

Scerbo, M., Freeman, F., Mikulka, P., Parasuraman, R., Di Nocero, F., Prinzel, L. (2001). "The Efficacy of Psychophysiological Measures for Implementing Adaptive Technology". NASA Technical Report TP-2001-211018.

Scerbo, M.W., Freeman, F.G., Mikulka, P.J., Parasuraman, R., Schoenfeld, V., Eischeid, T., Krahl, K., & Stark, J. (1998). Hazardous states of awareness: functional characteristics and measurement. Final Report, NASA Master Contract NAS1-19858, Task Assignment No. 113.

Schabus, M. (2001). Cognitive Electrophysiology and Attention: Early evoked EEG components, attention and brain oscillations. Diplomarbeit, University of Salzburg.

Schack, B., Klimesch, W., & Sauseng, P. (2005). Phase synchronization between theta and upper alpha oscillations in a working memory task. *International Journal of Psychophysiology*, 57(2), 105-114.

Schacter, D. L. (1977). EEG theta and psychological phenomena: a review and analysis. *Biological Psychology*, 5, 47-82.

Schaverien, L., & Cosgrove, M. (2000). A Biological basis for generative learning in technology-and-science Part II: Implications for technology-and-science education. *International Journal of Science Education*, 22(1), 13-35.

Schaverien, L., & Cosgrove, M. (1999). A Biological basis for generative learning in technology-and-science Part I: A theory of learning. *International Journal of Science Education*, 21(12), 1223-1235.

Schellberg, D., Besthorn, C., Klos, T., & Gasser, T. (1990). EEG power and coherence while male adults watch emotional video films. *International Journal of Psychophysiology*, 9, 279-291.

Scherzer, E. (1966). Das flache EEG als bioelektrischer Ausdruck der Erwartungsspannung (psychogene Alphareduktion). *Psychiatr. Neurol. (Basel)*, 152, 207-212.

Schier, M. A. (2000). Changes in EEG alpha power during simulated driving: a demonstration, *International Journal of Psychophysiology*, 37, 155-162.

Schilbach, L., Wohlschlaeger, A. M., Kraemer, N. C., Newen, A., Jon Shah, N., Fink, G. R., & Vogeley, K. (2005). Being with virtual others: neural correlates of social interaction. *Neuropsychologia*, 44, 718-730, doi:10.1016/j.neuropsychologia.2005.07.017.

Shinar, D. (1993). Traffic safety and individual differences in drivers' attention and information processing capacity. Behavioral factors that determine accident rates symposium, Santa Monica, California. *Alcohol Drugs Driving* 9 (3-4), 219-237.

Schlögl, A., Slater, M., & Pfurtscheller, G. (2002). Presence research and EEG. Fifth Annual International Workshop, PRESENCE 2002, Sponsored by ISPR, the International Society for Presence Research, Universidade Fernando Pessoa, Porto, Portugal.

Schlögl, A., Kemp, B., Penzel, T., Kunz, D., Himanen, S. L., Värrilä, A., Dorffner, G., & Pfurtscheller, G. (1999). Quality Control of polysomnographic Sleep Data by Histogram and Entropy Analysis. *Clin. Neurophysiol.*, 110(12), 2165 - 2170.

Schmid, R. G., Tirsch, W. S., & Reitmeir, P. (1997). Correlation of developmental neurological findings with spectral analytical EEG evaluations in pre-school age children. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 103, 516-527.

---

Schneider, M. (1972). A multistage process for computing virtual dipolar sources of EEG discharges from surface information. *IEEE Trans Biomed. Eng.*, *19*, 1-12.

Schneider, M. (1974). Effect of inhomogeneities on surface signals coming from a cerebral dipole source. *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, *21*, 52-54.

Schoppenhorst, M., Brauer, F., Freund, G., & Kubicki, S. (1980). The significance of coherence estimates in determining cerebral alpha and mu activities. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, *48*, 25-33.

Schroeder, R. (1996). *Possible Worlds - the Social Dynamics of Virtual Reality Technology*. Westview Press.

Schürmann, M., Basar-Eroglu, C., & Basar, E. (1997). A possible role of evoked alpha in primary sensory processing: common properties of cat intracranial recordings and human EEG. *International journal of psychophysiology*, *26*, 149-170.

Schupp, H. T., Lutzenberger, W., Birbaumer, N., Miltner, W., & Braun, C. (1994). Neurophysiological differences between perception and imagery. *Brain Res. Cogn. Brain Res.*, *2*, 77-86.

Scoville, W. B., & Milner, B. (1957). Loss of recent memory after bilateral hippocampal lesions. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry*, *20*, 11-21.

Sederberg, P. B., Kahana, M. J., Howard, M. W., Donner, E. J., & Madsen, J. R. (2003). Theta and gamma oscillations during encoding predict subsequent recall. *J Neurosci*, *23*, 10809 -10814.

Siegel, A. W., & White, S. H. (1975). The development of spatial representations of large scale environments. In H. Reese (Ed.), *Advances in Child Development and Behavior*, (*10*, 10-55). New York: Academic Press.

Sereno, M. I. (1998). Brain mapping in animals and humans. *Curr. Opin. Neurobiol.*, *8*, 188-194.

Sewardsa, T. V., & Sowards, M. A. (1999). Alpha-band oscillations in visual cortex: part of the neural correlate of visual awareness? *International Journal of Psychophysiology*, *32*, 35-45.

Shaw, J. C. (1996). Intention as a component of the alpha-rhythm response to mental activity. *International Journal of Psychophysiology*, *24*, 7-23.

Shell, J., Vertegaal, R., & Skaburskis, A. (2003). "EyePliances: Attention-Seeking Devices that Respond to Visual Attention." *Ext. Abstracts CHI'03*.

Sheppard, W. D., & Boyer, R. W. (1990). Parietal EEG coherences a predictor of semantic priming effects. *Brain Lang.*, *39*, 57-68.

Sheridan, T. B. (1992). Musing on telepresence and virtual presence, *Presence*, *1*(1), 120-125, αναφέρεται στο (Kalawsky 1993).

Sheridan, T. B. (1996). Further musings on the psychophysics of presence, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, *5*(2), 241-246.

Sherrick, C. E., & Cholewiak, R. W. (1986). Overview, Section 3: Basic sensory processes II. In K. Boff, L. Kaufman, & J. Thomas (Eds.), *Handbook of perception and performance: Vol. 1. Sensory Processes and Perception, (III-3 - III-7)*. New York: Wiley.

Shibata, T., Shimoyama, I., Ito, T., Abla, D. Iwasa, H., Koseki, K., Yamanouchi, N., Sato, T., & Nakajima, Y. (1999). Attention changes the peak latency of the visual gamma-band oscillation of the EEG. *Neuroreport: An International Journal for the Rapid Communication of Research in Neuroscience*, 10, 1167-1170.

Shulman, G. L., Fiez, J. A., Corbetta, M., Buckner, R. L., Miezin, F. M., Raichle, M. E., & Petersen, S. E. (1997). *J. Cogn. Neurosci.*, 9, 648-663.

Simon, O. (1977). *Das Elektroenzephalogramm*. Munich: Urban & Schwarzenberg.

Simonova, O., Roth, B., & Stein, J. (1967). EEG studies of healthy population-normal rhythms of resting recording. *Act. Univ. Carol. Med. (Praha)*. 13, 543-551.

Simos, P. G., Papanikolaou, E., Sakkalis, E., Micheloyannis, S. (2002). Modulation of gamma-band spectral power by cognitive task complexity. *Brain Topogr.*, 14, 191-6.

Simpson, G. V, Pflieger, M. E., Foxe, J. J., Ahlfors, S. P., Vaughan, J., Hrabe, J., Ilmoniemi, R. J., & Lantos, G. (1995). Dynamic neuroimaging of brain function. *J. Clin. Neurophysiol.*, 12, 432-449.

Singer, W. (1993). Synchronization of cortical activity and its putative role in information processing and learning. *Annu. Rev. Physiol.*, 55, 349-374.

Skaggs, W. E., McNaughton, B. L., Wilson, M. A., & Barnes, C. A. (1996). Theta phase precision in hippocampal neuronal populations and the compression of temporal sequences. *Hippocampus*, 6, 149-172.

Skrandies, W., Reik, P., & Kunze, Ch. (1999). Topography of evoked brain activity during mental arithmetic and language tasks: sex differences. *Neuropsychologia*, 37, 421-430.

Slater, M., & Usoh, M. (1994). Body center interaction in immersive virtual environments, *DRAFT, Department of Computer Science and London Parallel Applications Center, Queen Mary and Westfield College, University of London, UK*.

Slater, M. (1999). Measuring presence: A response to the Witmer and Singer presence questionnaire. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 8, 560-565.

Slater, M. (2003). A note on Presence Terminology. *Presence-Connect*, 3(3).

Slater, M., & Steed, A. (2000). A Virtual Presence Counter. *Presence*, 9(5), 413-34.

Slater, M., & Wilbur, S. (1997). A Framework for Immersive Virtual Environments (FIVE): Speculations on the Role of Presence in Virtual Environments, *Presence*, 6(6), 603-616.



Slater, M., Howell, J., Steed, A., Pertaub, D-P., Garau, M., & Springel, S. (2000a). Acting in Virtual Reality. ACM Collaborative Virtual Environments, CVE'2000.

Slater, M., Sadagic, A., Usoh, M., & Schroeder, R. (2000b). Small-Group Behaviour in a Virtual and Real Environment: A Comparative Study, in *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 9(1), MIT Press, USA.

Slater, M., Steed, A., McCarthy, J., & Maringelli, F. (1998). The Influence of Body Movement on Subjective Presence in Virtual Environments”, *Human Factors*, 40(3), 469-77.

Slater, M., Usoh, M., & Steed, A. (1994a). Depth of presence in immersive virtual environments”, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 3(2), 130-144.

Slater, M., Usoh, M., & Steed, A. (1994b). Steps and ladders in virtual reality, *ACM Proceedings of VRST '94 - Virtual Reality Software and Technology*, Singapore: World Scientific Publishing Company.

Smith, M. E., McEvoy, L. K., & Gevins, A. (1999). Neurophysiological indices of strategy development and skill acquisition. *Brain Res. Cogn. Brain Res.*, 7, 389-404.

Sobotta, J. (1983). *Ατλας Ανατομικής του Ανθρώπου*. Τόμος 1<sup>ος</sup>, εκδόσεις Γ. Παρισιάνος, Αθήνα, μετάφραση από την 18<sup>η</sup> έκδοση Sobotta Atlas der Anatomie des Menschen, Urban @ Schwarzenberg Munchen 1982.

Somsen, R. J. M., Van-Klooster, B. J., Van-der-Molen, M. W., & Van-Leeuwen, H. M. (1997). Growth spurts in brain maturation during middle childhood as indexed by EEG power spectra. *Biol. Psychol.*, 44, 187-209.

Spehlmann, R. (1985). Evoked potential primer: visual, auditory, and somatosensory evoked potentials in clinical diagnosis. New York: Butterworth-Heinemann.

Spence, S. A., Brooks, D. J., Hirsch, S. R., Liddle, P. F., Meehan, J., & Grasby, P. M. (1997). A PET study of voluntary movement in schizophrenic patients experiencing passivity phenomena (delusions of alien control). *Brain*, 120, 1997-2011.

Spiers, H. J., Burgess, N., Hartley, T., Vargha-Kahdem, F., & O'Keefe, J. (2001). Bilateral hippocampal pathology impairs tographical and episodic memory but not pattern matching. *Hippocampus*, 11, 715-725.

Squire, L. R. (1992). Memory and the hippocampus: a synthesis from findings with rats, monkeys, and humans. *Psychol. Rev.*, 99, 195-231.

Squire, L. R., Knowlton, B., & Musen, G. (1993). The structure and organization of memory. *Ann. Rev. Psychol.*, 44, 453-495.

Stanney, K. M., Ronald, R. M., & Robert, S. K. (1998). Human Factors Issues in Virtual Environments: A Review of the Literature, *Presence*, 7(4), August 1998, 327-351.

Stefano, G. B., Fricchione, G. L., Slingsby, B. T., & Benson, H. (2001). The placebo effect and relaxation response: neural processes and their coupling to constitutive nitric oxide. *Brain Research Reviews*, 35, 1-19.

Stenberg, G., (1992). Personality and the EEG: arousal and emotional arousability. *Personal and Individual Differences*, 13, 1097-1113.

Steriade, M., Jonas, E. G., & Llinas, R. R. (1990). *Thalamic oscillations and signaling*. New York: Wiley-Interscience.

Steriade, M., McCormick, D. A., & Sejnowski, T. J. (1993). Thalamocortical oscillations in the sleeping and aroused brain. *Science*, 262, 679-685.

Sterman, M. B., Howe, R. D., & MacDonald, L. R. (1970). Facilitation of spindle-burst sleep by conditioning of electroencephalographic activity while awake. *Science*, 167, 1146-1148.

Sterman, M. B., & Mann, C. A. (1996). Concepts and applications of EEG analysis in aviation performance evaluation. *Biological Psychology*, 40, 115-130.

Steuer, J. (1992). Defining Virtual Reality: Dimensions Determining Telepresence. *Journal of Communication*, 42(4), pp.73-93.

Stevens, J. A., Fonlupt, P., Shiffrar, M., & Decety, J. (2000). New aspects of motion perception: selective neural encoding of apparent human movements. *Neuroreport*, 11, 109-115.

Storm van Leeuwen, W., Wieneke, G., Spoelstra, P., & Versteeg, W. (1978). Lack of bilateral coherence of mu-rhythm. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 44, 140-146.

Streitberg, B., Röhmel, J., Herrmann, W. M., & Kubicki, S. (1987). COMSTAT Rule for vigilance classification based on spontaneous EEG activity. *Neuropsychobiology*, 17, 105-117.

Strickland, D., & Chartier, D. (1997). EEG measurements in a virtual reality headset. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(5), 581-589.

Strijkstra, A. M., Beersma, D. G., Drayer, B., Halbesma, N., Daan, S. (2003). Subjective sleepiness correlates negatively with global alpha (8-12 Hz) and positively with central frontal theta (4 - 8 Hz) frequencies in the human resting awake electroencephalogram. *Neurosci. Lett.*, 340, 17-20.

Stryker, M. P. (1989). Is grandmother an oscillation?, *Nature*, 338, 297-298.

Stuart, R., & Thomas, J. C. (1991). The implication of education in cyberspace. *Multimedia review, Summer 1991*, 17-27.

Sturm, W., & Willmes, K. (2001). On the functional neuroanatomy of intrinsic and phasic alertness. *NeuroImage*, 14, S76-S84.

Sturman, D., & Zeltzer, D. (1994). A survey of glove-based input. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 4(1), 30-39.

Superscape (1994). *VRT (v.3.50/v.3.60)-User Manual*, Feb./Oct. 1994.

Superscape (1995). *VRT (v.4.00)-Getting started*, Oct. 1995.

Surwillo W. (1971). Human reaction time and period of the EEG in relation to development. *Psychophysiology*, 8, 468-482.

Sutcliffe, Al. (2003). Multimedia and Virtual Reality. Designing Multisensory User Interfaces, Lawrence Erlbaum Associates Inc.

Swartz, B. E., & Goldenshon, E. S. (1998). Timeline of the history of EEG and associated fields. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.*, 106, 173-176.

Sweller, J. (1988). "Cognitive load during problem solving: Effects on learning". *Cognitive Science*, 12(1), 257-285.

Sweller, J., & Chandler, P. (1994). Why is some material difficult to learn? *Cognition and Instruction*, 12, 185-233.

Szurhaj, W., Derambure, P., Labyt, E., Cassim, F., Bourriez, J. L., Isnard, J., Guieu, J. D., & Mauguiere, F. (2003). Basic mechanisms of central rhythms reactivity to preparation and execution of a voluntary movement: a stereoelectroencephalographic study. *Clin. Neurophysiol.*, 114, 107- 119.

Takahashi, N., Shinomiya, S., Mori, D., & Tachibana, S. (1997). Frontal midline theta rhythm in young healthy adults. *Clin. Electroencephalogr.*, 28, 49-54.

Tallon, C., Bertrand, O., Bouchet, P., & Pernier, J. (1995). Gamma-range activity evoked by coherent visual stimuli in humans. *Eur. J. Neurosci.*, 7, 1285-1291.

Tallon-Baudry, C., Bertrand, O., Peronnet, F., & Pernier, J. (1998). Induced gamma-band activity during the delay of a visual short-term memory task in humans. *J. Neurosci.*, 18, 4244-54.

Tallon-Baudry, C., & Bertrand, O. (1999). Oscillatory gamma activity in humans and its role in object representation. *Trends Cogn. Sci.*, 3, 151-162.

Tallon-Baudry, C. (2004). Attention and awareness in synchrony. *Trends in Cognitive Science*, 8, 523-525.

Tanaka, H., Hayashi, M., & Hori, T. (1997). Topographical characteristics and principal component structure of the hypnagogic EEG. *Sleep*, 20, 523-534.

Technical Committee for Medical Informatics, TC251 (1997). Vital Signs Information Representation, Annex A (Normative). The Medical Data Information Base (MDIB), Nomenclature, Data Dictionary and Codes, Part 6, Version 1.78, CEN/TC 251/PT5-021/N97-63, European Committee for Standardization, Brussels.

Thatcher, R. W. (2000). EEG operant conditioning (biofeedback) and traumatic brain injury. *Clinical Electroencephalography*, 31(1), 38-44.

Thatcher, R. W., McAlaster, R., Lester, M. L., Horst, R. L., & Cantor, D. S. (1983). Hemispheric EEG asymmetries related to cognitive functioning in children. In E. Perecman (Ed.), *Cognitive processing in the right hemisphere (125-146)*. New York: Academic Press.

Thompson, M., Thompson, J., & Wenqing, W. (2007). Brodmann Areas (BA), 10-20 Sites, Primary Functions, ADD Centre, Biofeedback Institute of Toronto, American Applied NeuroScience Institute.

Thorndyke, P. W., & Hayes-Roth, B. (1982). Differences in spatial knowledge acquired from maps and navigation. *Cognitive Psychology*, 14, 560-589.

Tiitinen, H., Sinkkonen, J., Reinikainen, K., Alko, K., Lavikainen, J., & Nilltnen, R. (1993). Selective attention enhances the auditory 40-Hz transient response in humans. *Nature*, 364, 59-60.

Timperi, A. (2002). Enhancing performance of EEG-based brain-computer interfaces by estimating cortical sources related to movement imagination. PhD thesis, FACOLTÀ DI INGEGNERIA, CCL Ingegneria Elettronica, Dipartimento di Informatica e Sistemistica.

Tlauka, M., & Wilson, P. N. (1994). The effect of landmarks on route-learning in a computer-simulated environment. *Journal of Experimental Psychology*, 14, 305-313.

Torres, F., Faoro, A., Lowenson, R., & Johnson, E. (1983). The electroencephalogram of elderly subjects revisited. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 56, 391-398.

Tremblay, M., Lacroix, D., Chaput, Y., Fraile, V., Lamer, R., & Albert, J. M. (1994). Brain activation with a maze test: An EEG coherence analysis study in healthy subjects. *NeuroReport*, 5, 2449-2453.

Tsodyks, M., Kenet, T., Grinvald, A., & Arieli, A. (1999). *Science*, 286, 1943-1946.

Tucker, D. M., Dawson, S. L., Roth, D. L., & Penland, J. G. (1985). Regional changes in EEG power and coherence during cognition: intensive study of two individuals. *Behav. Neurosci.*, 99, 564-577.

Tulving, E. (1972). Episodic and semantic memory. In E. Tulving & W. Donaldson (eds.), *Organisation of Memory*. New York: Academic Press.

Tulving, E. (1983). *Elements of Episodic Memory*. Clarendon Press, Oxford.

University of Helsinki, Department of Psychology. Brain Oscillations and Cognitive Processes. Research plan 1.1. 2004 - 31.12.2006

Ungerleider, L. G., & Haxby, J. V. (1994). "What" and "where" in the human brain. *Current Opinion in Neurobiology*, 4, 15-165.

Usoh, M., Slater, M., & Alberto, C. (1999). Presence: Experiments in the Psychology of Virtual Environments. In A. Schorr, U. Six. & J. Groebel (Eds.), *Lehrbuch der Medienpsychologie, Inhalte, Ergebnisse, Anwendungen*. Weinheim: Psychologie Verlags Union.

Valentino, D. A., Arruda, J. E., & Gold, S. M. (1993). Comparison of QEEG and response accuracy in good vs poorer performers during a vigilance task. *Int. J. Psychophysiol.*, 15, 123-134.

Van Huffelen, A., Poortvliet, D & Van der Wulp, C. (1984). Quantitative electroencephalography in cerebral ischemia. Detection of abnormalities in "normal"

---

EEGs. In G. Pfurtscheller, J. Jonkman, & F.H. Lopes da Silva (Eds.), *Brain Ischemia: Quantitative EEG and Imaging Techniques*, (3-28). Amsterdam: Elsevier.

Van Someren, M., & Reimann, P. (1995). Multi-objective learning with multiple representations. In P. Reimann & H. Spada (Eds.), *Learning in humans and machines: Towards an interdisciplinary learning science* (25-82). London: Elsevier.

Van Someren, M., Boshuizen, E., de Jong, T., & Reimann, P. (1998). *Multiple representations for problem solving and learning*. London: Elsevier.

Van de Velde, M., van Erp, G., & Cluitmans, P. J. M. (1998). Detection of muscle artefact in the normal human awake EEG. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *107*, 149-158.

Van Winsum, W., Sergeant, J. A., & Geuze, R. H. (1984). The functional significance of event related desynchronization of alpha rhythm in attentional and activating tasks. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.*, *58*, 519-524.

Vargha-Khadem, F., Gadian, D. G., Watkins, K. E., Connelly, A., Van Paesschen, W., & Mishkin, M. (1997). Differential effects of early hippocampal pathology on episodic and semantic memory. *Science*, *277*, 376-380.

Vaughn, T. M., Wolpaw, J. R., & Donchin, E. (1996). EEG-Based Communication: Prospects and Problems, *IEEE Trans. on Rehabilitation Engineering*, *4*(4), 425-430.

Vertegaal, R., Shell, J. S., Cheng, D., & Mamuji, A. (2006). Designing for augmented attention: Towards a framework for attentive user interfaces. *Computers in Human Behavior*, *22*, 771-789.

Vidulich, M. A., Stratton, M., Crabtree, M. & Wilson, G. (1994). Performance-based and physiological measures of situational awareness. *Aviation, Space & Environmental Medicine*, *65*, A7-A12.

Villringer, A., & Chance, B. (1997). Non-invasive optical spectroscopy and imaging of human brain function. *Trends in Neuroecience*, *20*(10), 435-442.

Vinciguerra, D. C. (2004). Introducing Students to VR Using Internet Space Builder, *VR in the Schools*, *5*(1).

Vitouch, O., Bauer, H., Gittler, G., Leodolter, M., & Leodolter, U. (1997). Cortical activity of good and poor spatial test performers during spatial and verbal processing studied with slow potential topography. *International Journal of Psychophysiology*, *27*, 183-199.

Vogel, W., Broverman, D. M., & Klaiber, E. L. (1968). EEG and mental abilities. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, *24*, 166-175.

von Stein, A., Sarnthein, J. (2000). Different frequencies for different scales of cortical integration: from local gamma to long range alpha/theta synchronization. *Int J Psychophysiol*, *38*(3), 301-313.

Vos, J. E. (1975). Representation in the frequency domain of nonstationary EEGs. In G. Dolce & H. Kiinkel (Eds.), *CEAN-Computerized EEG Analysis*, ( 41-50). Stuttgart: Fischer.

Vyzas, E., & Picard, R. W. (1998). Affective pattern classification. In A.A.A.I. *Fall Symposium Series, Emotional and Intelligent: The Tangled Knot of Cognition*.

Vyzas, E., & Picard, R. W. (1999). Offline and online recognition of emotion expression from physiological data. *MIT Media Lab*.

VR News (1995). Headmounted displays, *VR News*, 4(4), p.20-29, May 1995.

Walter, W. G., & Dovey, F. J. (1944). Electroencephalography in cases of sub-cortical tumor. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 7,57-65.

Walter, V. J., & Walter, W. G. (1949). The central effects of rhythmic sensory stimulation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1, 57-86.

Walter, W. G. (1953). *The Living Brain*. W.W. Norton: New York.

Wan, H., Aggleton, J. P., & Brown, M. W. (1999). Different contributions of the hippocampus and perirhinal cortex to recognition memory. *J. Neurosci.*, 19, 1142-1148.

Waterworth, J. A. (1995). HCI design as sensory ergonomics: Creating synaesthetic media, *Proc. of IRIS-18: Information Systems Research Seminar in Scandinavia*. B. Dalhom et.al (eds.), Gothenburg Studies in Informatics, Report 7.

Webster's Ninth New Collegiate Dictionary, (1988). Springfield, MA: Merriam-Webster.

Wegner, D. M., & Wheatley, T. (1999). Apparent mental causation: sources of the experience of will. *Am. Psychol.*, 54(7), 480-492.

Weiss, S., & Rappelsberger, P. (2000). Long-range EEG synchronization during word encoding correlates with successful memory performance. *Cogn. Brain Res.*, 9, 299-312.

Welch, R. B., & Warren, D. H. (1986). Intersensory interactions. In K. Boff, L. Kaufman, & J. Thomas (Eds.), *Handbook of perception and performance, vol 1. Sensory Processes and Perception*, (pp. 25-1 - 25-36). New York: Wiley.

Welch, R., Blackmon, T., Liu, A., Mellers, B., & Stark, L. (1996). The effects of pictorial realism, delay of visual feedback, and observer interactivity on the subjective sense of presence. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 5(3), 263-273.

Wickens, C. D. (1992). *Engineering psychology and human performance*. New York: Harper-Collins.

Wiederhold, B. K., & Wiederhold, M. D. (2000). Lessons learned from 600 virtual reality sessions. *CyberPsychology and Behavior*, 3(3), 393-400.

Wiederhold, B. K., & Wiederhold, M. D. (1998). A review of virtual reality as a psychotherapeutic tool. *CyberPsychol. Behav.*, 1, 45-52.

Williamson, S. J., & Kaufman, L. (1987). Analysis of neuromagnetic signals. In A. S. Gevins & A. Remond (eds.), *Handbook of electroencephalography and clinical neurophysiology*, (vol. 1, 405-448). Amsterdam: Elsevier.

Willerman, L., Schultz, R., Rutledge, J. N., & Bigler, E. D. (1991). In vivo brain size and intelligence. *Intelligence*, 15, 223-228.

Williamson, S. J., Kaufman, L., Curtis, S., Lu, Z. L., Michel, C. M., & Wang, J. Z. (1996). Neural substrates of working memories are revealed magnetically by the local suppression of alpha rhythm, In I. Hashimoto, Y.C. Okada & S. Ogawa (Eds.), *Visualization of Information Processing in the Human Brain Recent Advances in MEG and Functional MRI, EEG suppl. 47*, (163-180). Elsevier, Amsterdam.

Williamson, S. J., Kaufman, L., Lu, Z. L., Wang, J. Z. & Karon, D. (1997). Study of human occipital alpha rhythm: the alphon hypothesis and alpha suppression, *Int. J. Psychophysiol.*, 26, 63-76.

Wilson, G. F. (1993). Air-to-ground training missions: A psychophysiological workload analysis. *Ergonomics*, 36, 1071-1087.

Wilson, G. F. (2001). In-flight psychophysiological monitoring. In F. Fahrenberg & M. Myrtek (Eds.), *Progress in ambulatory monitoring (435-454)*. Seattle, WA: Hogrefe & Huber.

Wilson, G. F. (2001b). An Analysis of Mental Workload in Pilots During Flight Using Multiple Psychophysiological Measures. *The international journal of aviation psychology*, 12(1), 3-18.

Wilson, G. F. (2002). Psychophysiological test methods and procedures. In S. G. Charlton & T. G. O'Brien (Eds.), *Handbook of human factors testing and evaluation (2nd ed., 127-156)*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

Wilson, G. F., & Eggemeier, F. T. (1991). Physiological measures of workload in multi-task environments. In D. Damos (Ed.), *Multiple-task performance (329-360)*. London: Taylor & Francis.

Wilson, G. F., Fullenkamp, P., & Davis, I. (1994). Evoked potential, cardiac, blink, and respiration measures of pilot workload in air-to-ground missions. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 65, 100-105.

Wilson, G. F., & Fisher, F. (1995). Cognitive task classification based on topographic EEG data. *Biological Psychology*, 40, 239-250.

Wilson, J., Nichols, S., & Haldane, C. (1997). Presence and side effects: Complementary or contradictory? In M. Smith, G. Salvendy & R. Koubek (Eds.), *Design of computing systems: Social and ergonomic considerations (889-892)*, Amsterdam: Elsevier.

Wilson, G. F., Swain, C. R., & Ullsperger, P. (1999). EEG power changes during a multiple level memory retention task. *International Journal of Psychophysiology*, 32, 107-118.

Winn, W., & Jackson, R. (1999). Fourteen propositions about educational use of virtual reality. *Educational Technology, July-August 1999*, 5-13.

Winn, W. (1993). *A conceptual basis for educational applications in virtual reality*, HITL Technical Report TR-93-9, Univ. of Washington, available at <http://www.hitl.washington.edu/publications>

Winn, W. (2002). Current trends in educational technology research: The study of learning environments. *Educational Psychology Review*, 14(3), 331-351.

Winn, W. (1997). The impact of three dimensional immersive Virtual Environments on modern Pedagogy, available at <http://www.hitl.washington.edu/publications>.

Winson, J. (1978). Loss of hippocampal theta rhythms results in spatial memory deficits in the rat. *Science*, 201, 160-163.

Witmer, B. G., Bailey, J. H., Knerr, B. W., & Parsons, K. C. (1996). Virtual spaces and real world places: Transfer of route knowledge. *International Journal of Human-Computer Studies*, 45(4), 413-428.

Witmer, B. G., & Singer, M. J. (1998). Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. *Presence*, 7(3), 225-240.

Wheeler, R. E., Davidson, R. J., & Tomarken, A. J. (1993). Frontal brain asymmetry and emotional reactivity: a biological substrate of affective style. *Psychophysiology*, 30, 82-89.

Wolpaw, J. R., McFarland, D. J., Neat, D. J., & Fomeris, C. A. (1991). An EEG-based Brain-Computer Interface for Cursor Control. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 78, 252-259.

Yeh, Y. Y., & Wickens, C. D. (1988). Dissociation of performance and subjective measures of workload. *Human Factors*, 30, 111-120.

Zeltzer, D. (1992). Autonomy, Interaction and Presence, *Presence*, 1(1), 127-132.

Zetterberg, L. H. (1977). Means and methods for processing of physiological signals with emphasis on EEG analysis. In J.H. Lawrence et al. (Eds.), *Advances in Biology and Medical Physics*, (vol. 16, pp. 41-91). New York: Academic Press.

Zhu, X. O., McCabe, B. J., Aggleton, J. P., & Brown, M. W. (1996). Mapping visual recognition memory through expression of the immediate early gene c-fos. *Neuroreport*, 7, 1871-1875.

Zhuang, P., Toro, C., Grafman, J., Manganotti, P., Leocani, L., & Hallett, M. (1997). Event-related desynchronization (ERD) in the alpha frequency during development of implicit and explicit learning. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.*, 102, 374-381.



- Βοσνιαδου, Σ. (2001). *Εισαγωγή στη Ψυχολογία, Τόμος Α*. Εκδόσεις Gutenberg, Αθήνα.
- Δερτούζος, Μ. (2001). *Η ανολοκλήρωτη επανάσταση. Οι ανθρωποκεντρικοί υπολογιστές και τι μπορούν να κάνουν για εμάς*. Μετ. Χρ. Καψάλης, εκδ. Λιβάνη, Αθήνα.
- Δήμου, Γ. (2008a). *Εκπαιδευτική Ψυχολογία: Ι. Θεωρίες Μάθησης*. Gutenberg, Αθήνα.
- Δήμου, Γ. (2008b). *Εκπαιδευτική Ψυχολογία: ΙΙ. Μαθησιακές δυσκολίες (Το παιδαγωγικό ατύχημα)*. Gutenberg, Αθήνα.
- Δήμου, Γ., Κατσίκης, Α., & Μικρόπουλος, Α. (1995). Ερευνητική Προσέγγιση της Χρήσης Αλληλεπιδραστικών Περιβαλλόντων στη Διδασκαλία της Γεωγραφίας. *Πρακτικά 2ου Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτική των Μαθηματικών & Πληροφορική στην Εκπαίδευση*, 557-566, Λευκωσία.
- Δίπλας, Κ. (1994). *Μια προσέγγιση του χώρου της virtual reality*. Εργαστήριο Ανάπτυξης Εκπαιδευτικού Λογισμικού, Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Κατσίκης, Α., Μικρόπουλος, Τ. Α., & Χαλκίδης, Α. (1997). Εικονική Πραγματικότητα στην Περιβαλλοντική Εκπαίδευση. Το project LAKE - Πρώτα αποτελέσματα, *Πρακτικά 3ου Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτική των Μαθηματικών & Πληροφορική στην Εκπαίδευση*, 568 - 581, Πάτρα.
- Μεϊζων Ελληνικό Λεξικό (2007). Επιμέλεια: Μαρία Μανδαλά, εκδόσεις Τεγόπουλος-Φυτράκης, Αθήνα.
- Μικρόπουλος, Τ. Α. (1995). Virtual reality: Γνωστικό εργαλείο ή ενισχυτής εμπειριών; *Πρακτικά διημερίδας Παρόν και μέλλον στο εκπαιδευτικό λογισμικό. Μέθοδοι, εργαλεία, πακέτα*, 34-36, Πάτρα.
- Μικρόπουλος, Τ. Α. (1998). Η εικονική πραγματικότητα στην υποστήριξη της διδασκαλίας της φυσικής. *Επιθεώρηση Φυσικής, Η(26)*, 23-28.
- Μικρόπουλος, Τ. Α. (2000). *Εκπαιδευτικό Λογισμικό. Θέματα σχεδίασης και αξιολόγησης λογισμικού υπερμέσων*. Εκδ. ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ, Αθήνα.
- Μικρόπουλος, Τ. Α. (2002α). Περιβάλλοντα Εικονικής Πραγματικότητας, ως βάση για ανάπτυξη εκπαιδευτικών περιβαλλόντων. Οι ΤΠΕ στην Εκπαίδευση, *Τόμος Α, 3<sup>ο</sup> Συνέδριο ΕΤΠΕ*, 26-29/9/2002, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Ρόδος.
- Μικρόπουλος, Τ. Α. (2002β). Προσομοιώσεις και οπτικοποιήσεις στην οικοδόμηση εννοιών στις Φυσικές Επιστήμες. *3<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο: Η διδακτική των Φυσικών Επιστημών και εφαρμογή Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση*, Ρέθυμνο.
- Μικρόπουλος, Τ. Α. (2003). Οι Τεχνολογίες Πληροφορίες και Επικοινωνιών στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών: κριτική θεώρηση και προτάσεις. *Πρακτικά 8<sup>ο</sup> κοινού συνεδρίου Ένωσης Ελλήνων Φυσικών, Τόμος Α'*, 22-28.
- Μικρόπουλος, Τ. Α. (2004). Εικονική πραγματικότητα και εκπαίδευση, στο Κεκές (2004), *Νέες Τεχνολογίες στην Εκπαίδευση*, 283-296.

Μικρόπουλος, Τ. Α. (2006). *Ο υπολογιστής ως γνωστικό εργαλείο*. Εκδ. Ελληνικά Γράμματα, Αθήνα.

Μικρόπουλος, Τ. Α. (2009). Ζητήματα ένταξης των ΤΠΕ στην εκπαιδευτική διαδικασία. *X-RAY@εκπαίδευση*, 1, 5-8.

Μικρόπουλος, Τ. Α., Δήμου, Γ., & Γκουζίνης, Χ. (1997). Ενίσχυση εμπειριών μέσω Εικονικής Πραγματικότητας, Ένα παράδειγμα από το χώρο των επιστημών. *3<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο με Διεθνή Συμμετοχή Διδακτική των Μαθηματικών & Πληροφορική στην Εκπαίδευση*, 551 - 558, Πάτρα.

Μικρόπουλος, Τ., Κατσίκης, Α., Εμβαλωτής, Α., Νικολού, Ε., Χαλκίδης, Α., Πιντέλας, Π., & Καμέας, Α. (1999). ΕΙΚΩΝ: Εικονική πραγματικότητα στη διαθεματική προσέγγιση μαθημάτων δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, Παιδαγωγική προσέγγιση. *4ο Πανελλήνιο Συνέδριο με Διεθνή Συμμετοχή Διδακτική των Μαθηματικών & Πληροφορική στην Εκπαίδευση*, Ρέθυμνο.

Μπουντουρίδης, Μ. (1994). Στα ίχνη του κυβερνοχώρου: VR, internet και λεωφόροι των πληροφοριών. *Διεθνές εαρινό σχολείο στα Ψηφιακά επικοινωνιακά μέσα - From computer graphics to VR*, Αθήνα 1994.

Παπαγεωργίου, Κ. Θ. (1992). *Νευρολογία Α' τόμος*. Εκδ. Παρισιάνου, Αθήνα.

Παπαχρήστος, Ν. (2006). Εγκεφαλική δραστηριότητα κατά την παρατήρηση γεωμετρικών σχημάτων. Master Thesis, επιβλέπων Τ.Α. Μικρόπουλος, Π.Τ.Δ.Ε. Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.

Σαββάκη, Ε. (1997). «Οι παράλληλοι εαυτοί μας». Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.

Στρουμπούλης, Β. (2005). Η αντίληψη του χώρου για ολοκλήρωση εκπαιδευτικών εφαρμογών. Η αίσθηση της παρουσίας σε εικονικά περιβάλλοντα. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.

Τριανταφύλλου, Ν. Ι. (1994). *Χαρτογράφηση ΗΕΓ και προκλητών δυναμικών*. Ιατρικές εκδόσεις Π.Χ. Πασχαλίδη, Αθήνα.

Ντάβου, Μ. (2000). *Οι Διεργασίες της Σκέψης στην Εποχή της Πληροφορίας*. Αθήνα: Εκδόσεις Παπαζήση, σελ. 110-132.

Χαλκίδης, Α., Σαριδάκη, Α., & Τσάκαλης, Π. (1998). Εφαρμογές νέων Τεχνολογιών στα πλαίσια της Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης. *1<sup>η</sup> Πανηπειρωτική Ημερίδα: Πληροφορική στην Εκπαίδευση*, Ιωάννινα.

Χαλκίδης, Α. (2006). Η αντίληψη του χώρου για ολοκλήρωση εκπαιδευτικών εφαρμογών. Η αίσθηση της παρουσίας σε εικονικά περιβάλλοντα. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.

---

# 12 Παραρτήματα

---

12.1	Ποσοτική ανάλυση ρυθμών .....	478
12.2	Φάσματα απόλυτης ισχύος εγκεφαλικών ρυθμών .....	487
12.2.1	Διεργασία πρώτης επαφής με τα περιβάλλοντα .....	487
12.2.1	Οπτική-χωρική διεργασία .....	506
12.2.2	Αναγνώριση και καταμέτρηση αντικειμένων .....	516
12.2.3	Καταμέτρηση αντικειμένων με υποκειμενική επιλογή.....	536
12.2.4	Οπτική-λεκτική διεργασία .....	546
12.2.5	Αντίληψη κινούμενου αντικειμένου .....	556
12.2.6	Διεργασία ετοιμότητας και αναμονής.....	566
12.2.7	Παρουσία άλλου υποκειμένου .....	576
12.3	Παρουσίαση λογισμικού επεξεργασίας ΗΕΓ.....	586
12.3.1	Το λογισμικό EEGprocessing .....	586
12.3.2	Επεξεργασία στο Ms Excel.....	622
12.3.3	Χάρτες ΗΕΓ σε περιβάλλον Matlab .....	623

## 12.1 Ποσοτική ανάλυση ρυθμών

Οι πίνακες με τα ποσοτικά δεδομένα παράγονται από το λογισμικό EEGprocessing και διαμορφώνονται τελικά από το MsExcel. Εκτός από την εξεγωγή ποσοτικών συμπερασμάτων, χρησιμοποιούνται και για τη δημιουργία χαρτών με τις στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των φασμάτων των δύο σημάτων ΗΕΓ (εικονικού και πραγματικού περιβάλλοντος).

### Πρώτη επαφή με το περιβάλλον

Πίνακας 12-1. Συγκριτικές τιμές απόλυτης ισχύος για το REAL και VR περιβάλλον (πρώτη επαφή με το περιβάλλον)																	
ηλεκτρ.	δέλτα		θήτα		κάτω α (α1)		άνω α (α2)		βήτα		γάμμα		βήτα + γάμμα		άλφα		
	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	
Fp1	2697	1232	159	623	168	284	66	161	281	202	33	33	314	235	234	445	
Fp2	1860	1175	203	663	169	365	75	160	356	191	101	35	456	226	243	525	
Fz	2001	1733	334	585	264	444	101	218	396	206	43	36	438	242	365	661	
Cz	1857	1656	373	492	282	401	119	133	325	217	47	45	373	262	401	534	
Pz	1448	1617	345	550	245	416	129	127	356	250	40	43	395	292	374	543	
F3	1755	1419	268	479	219	448	94	147	404	207	56	44	460	251	314	595	
C3	1730	1323	264	394	200	751	136	226	349	250	52	46	400	296	336	977	
P3	1339	1432	288	460	199	1124	124	202	367	266	49	46	416	312	323	1326	
F4	1759	1747	301	640	227	502	100	141	345	227	47	44	391	271	327	643	
C4	1211	1740	307	571	228	468	94	86	320	231	47	49	367	280	322	553	
P4	1217	2137	269	573	173	414	91	143	315	244	43	50	358	294	264	557	
F7	1324	691	148	310	84	287	56	90	304	263	67	88	371	351	141	377	
T3	897	799	224	230	98	555	96	188	310	257	66	45	376	302	194	742	
T5	632	749	191	282	111	1403	107	267	272	263	64	64	335	327	218	1670	
F8	1503	699	234	549	113	1622	62	55	409	287	86	80	495	367	175	1677	
T4	681	1029	198	490	106	1772	58	78	361	289	78	117	439	406	165	1851	
T6	504	1074	180	463	86	1293	61	98	277	248	59	98	335	346	147	1391	
O1	1062	1383	329	548	150	1019	86	258	354	313	51	51	405	364	236	1278	
O2	1158	2127	300	602	126	335	102	306	344	354	41	57	386	411	228	641	

## Οπτική-χωρική διεργασία

Πίνακας 12-2. Συγκριτικές τιμές απόλυτης ισχύος για το REAL και VR περιβάλλον (οπτική – χωρική διεργασία)																	
ηλεκτρ.	δέλτα		θήτα		κάτω α (α1)		άνω α (α2)		βήτα		γάμμα		βήτα + γάμμα		άλλα		
	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	
Fp1	1501	4388	275	271	136	143	73	62	175	280	49	76	224	356	209	205	
Fp2	1622	4336	384	267	137	162	99	62	275	334	110	84	385	418	236	224	
Fz	1578	2840	302	312	152	162	93	50	172	231	41	56	213	287	245	212	
Cz	1686	2392	246	322	103	148	88	50	174	247	40	59	214	306	191	198	
Pz	1386	1623	205	327	130	158	72	40	176	263	38	62	214	325	202	198	
F3	1569	2583	259	357	154	130	121	50	179	224	45	60	224	284	275	180	
C3	1513	2048	181	321	120	118	100	47	173	210	40	59	214	269	220	165	
P3	1366	1466	172	313	116	140	64	70	184	275	42	68	227	344	180	209	
F4	1465	2347	292	300	140	141	79	36	190	233	45	55	235	288	218	177	
C4	1440	2100	226	312	80	156	51	40	172	252	40	55	211	307	131	196	
P4	1376	1511	196	309	102	168	58	49	192	253	38	56	230	309	160	217	
F7	1323	1287	169	186	95	121	67	76	151	236	45	111	197	348	162	197	
T3	960	1282	133	226	109	70	75	63	174	289	58	105	232	394	185	133	
T5	893	699	169	246	120	142	61	121	217	500	72	112	289	612	181	263	
F8	1845	1215	324	234	64	120	56	50	252	228	68	85	320	313	119	170	
T4	840	961	179	202	79	74	40	49	188	224	64	67	252	291	119	123	
T6	785	863	151	163	80	95	54	68	206	254	44	73	250	327	134	163	
O1	1057	1044	213	343	184	173	98	74	238	400	56	84	293	484	282	247	
O2	1029	1080	231	284	184	202	62	50	225	294	39	60	264	354	245	252	

Καταμέτρηση αντικειμένων – διεργασία h

Πίνακας 12-3. Συγκριτικές τιμές απόλυτης ισχύος για το REAL και VR περιβάλλον (καταμέτρηση αντικειμένων – διεργασία h)																	
ηλεκτρ.	δέλτα		θήτα		κάτω α (α1)		άνω α (α2)		βήτα		γάμμα		βήτα + γάμμα		άλφα		
	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	
Fp1	246	304	108	120	38	88	41	27	94	101	19	23	113	124	79	114	
Fp2	215	275	95	117	44	83	48	31	131	103	35	31	166	134	92	114	
Fz	291	335	186	167	56	98	55	32	90	101	14	22	104	123	110	131	
Cz	331	334	141	150	48	74	34	25	98	102	14	22	112	124	82	99	
Pz	277	375	112	121	49	69	46	32	105	103	15	24	120	127	95	100	
F3	288	408	159	144	52	87	47	37	85	93	15	20	100	113	99	124	
C3	257	325	126	129	47	67	28	35	94	101	14	22	108	123	75	102	
P3	263	345	103	130	45	63	45	38	100	113	14	27	114	140	90	101	
F4	275	289	141	148	55	82	37	22	97	102	15	25	112	128	93	104	
C4	305	309	117	129	47	59	52	32	92	99	15	25	107	123	98	91	
P4	266	313	102	116	44	53	69	37	91	97	16	27	107	124	114	90	
F7	166	286	80	102	34	42	26	39	80	104	20	23	100	128	60	81	
T3	160	233	93	98	43	38	40	43	92	125	17	30	109	155	83	81	
T5	178	274	73	89	41	42	39	38	91	176	19	54	109	229	81	80	
F8	185	192	62	77	36	32	30	28	106	126	35	40	141	166	65	60	
T4	182	194	72	76	34	42	59	52	101	110	28	36	129	147	93	93	
T6	218	234	90	66	47	43	63	45	94	101	22	39	116	140	110	87	
O1	252	397	83	121	55	60	44	42	114	128	18	35	131	163	98	102	
O2	285	387	106	131	60	71	53	42	107	112	16	31	124	143	113	113	

Καταμέτρηση αντικειμένων – διεργασία *r*

Πίνακας 12-4. Συγκριτικές τιμές απόλυτης ισχύος για το REAL και VR περιβάλλον (καταμέτρηση αντικειμένων – διεργασία <i>r</i> )																	
ηλεκτρ.	δέλτα		θήτα		κάτω α (α1)		άνω α (α2)		βήτα		γάμμα		βήτα + γάμμα		άλλα		
	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	
Fp1	549	425	244	226	101	134	60	66	166	164	24	33	190	197	161	200	
Fp2	500	434	226	236	85	141	63	66	206	158	55	51	261	209	148	207	
Fz	540	518	271	387	126	206	70	104	155	163	21	28	176	191	197	310	
Cz	511	389	230	274	162	169	57	117	130	142	26	24	156	166	219	286	
Pz	538	325	219	203	167	153	48	86	104	136	30	29	135	164	215	240	
F3	661	507	268	275	129	174	73	92	138	150	21	24	159	174	202	266	
C3	475	362	199	216	140	134	81	107	126	152	25	25	151	177	221	240	
P3	515	262	186	178	136	148	60	93	121	160	34	28	155	188	196	242	
F4	540	465	207	331	105	172	44	88	140	152	23	26	163	178	150	260	
C4	548	301	211	256	106	154	55	85	125	130	28	27	153	157	161	239	
P4	560	303	192	202	108	130	73	76	109	121	32	29	141	150	181	206	
F7	446	392	204	137	108	84	62	54	192	165	81	35	273	200	170	137	
T3	365	221	123	193	76	96	81	64	297	188	102	33	399	222	158	161	
T5	354	195	109	143	74	92	63	100	141	201	91	46	233	246	137	192	
F8	372	244	134	157	64	96	36	39	153	142	57	43	209	185	100	135	
T4	311	264	132	139	102	73	77	53	265	146	109	45	374	191	179	125	
T6	329	143	123	91	115	55	95	47	158	133	60	45	218	179	210	103	
O1	555	303	173	155	111	123	36	82	110	187	41	43	151	229	147	205	
O2	540	225	185	140	138	96	73	55	133	162	40	42	174	204	211	151	

Καταμέτρηση αντικειμένων με υποκειμενική επιλογή

Πίνακας 12-5. Συγκριτικές τιμές απόλυτης ισχύος για το REAL και VR περιβάλλον																	
ηλεκτρ.	δέλτα		θήτα		κάτω α (α1)		άνω α (α2)		βήτα		γάμα		βήτα + γάμα		άλφα		
	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	
Fp1	1780	1034	373	775	228	385	119	201	240	274	60	63	300	337	347	586	
Fp2	2563	985	377	887	228	337	154	175	514	426	96	79	610	504	382	513	
Fz	1048	935	656	822	184	555	234	209	208	284	34	42	242	326	418	764	
Cz	1050	1016	727	480	134	657	300	252	228	241	49	48	277	288	434	909	
Pz	921	974	526	356	235	865	329	378	301	240	50	54	350	294	564	1242	
F3	863	805	540	615	149	473	401	201	222	250	36	41	258	291	550	674	
C3	751	777	601	390	129	640	155	212	227	250	47	49	275	299	284	852	
P3	739	995	484	294	214	538	376	253	265	253	52	60	317	313	590	791	
F4	1153	846	511	639	150	496	188	171	225	278	42	56	267	334	338	667	
C4	990	818	498	435	205	595	324	333	228	263	50	47	278	310	529	928	
P4	829	767	455	366	227	554	356	374	236	228	49	52	285	280	582	927	
F7	822	401	194	278	84	205	123	98	221	346	57	85	278	431	207	302	
T3	583	420	206	227	130	233	214	153	227	442	63	123	291	565	343	386	
T5	427	609	232	147	177	119	248	128	236	212	57	69	292	281	425	247	
F8	1064	587	187	355	47	298	98	110	290	327	67	110	356	437	146	409	
T4	773	446	187	289	188	411	184	205	396	384	156	101	552	485	372	615	
T6	795	492	207	272	211	336	115	161	262	263	77	67	340	330	326	496	
O1	790	1216	417	323	264	347	330	226	364	278	58	82	422	360	594	572	
O2	883	977	450	387	225	310	237	272	342	310	51	68	393	378	461	582	



## Οπτική- λεκτική διεργασία

Πίνακας 12-6. Συγκριτικές τιμές απόλυτης ισχύος για το REAL και VR περιβάλλον (οπτική – λεκτική διεργασία)																	
ηλεκτρ.	δέλτα		θήτα		κάτω α (α1)		άνω α (α2)		βήτα		γάμμα		βήτα + γάμμα		άλλα		
	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	
Fp1	607	791	101	157	78	66	117	116	93	85	16	18	108	103	195	181	
Fp2	768	732	104	143	79	64	122	125	134	106	25	28	159	134	202	189	
Fz	844	590	143	247	109	103	145	122	138	98	17	19	154	117	254	225	
Cz	761	546	107	260	130	125	105	102	126	114	15	21	140	134	235	227	
Pz	742	593	112	269	108	136	133	101	99	117	14	23	114	140	240	236	
F3	804	537	107	221	98	120	133	99	119	99	17	21	136	119	231	219	
C3	633	511	99	239	119	165	106	103	117	110	15	22	132	132	225	268	
P3	546	501	102	270	98	177	148	93	119	122	15	27	135	149	246	270	
F4	827	519	117	182	94	96	124	80	130	106	15	22	145	128	218	176	
C4	732	528	99	200	95	132	144	141	118	117	17	22	135	139	239	273	
P4	707	441	90	228	74	196	167	129	104	117	17	22	121	140	241	324	
F7	458	463	138	166	92	103	67	50	93	136	28	28	121	164	159	153	
T3	399	321	73	176	89	150	69	77	93	134	21	30	114	164	158	227	
T5	340	216	69	193	84	257	98	94	106	148	26	40	132	188	182	351	
F8	616	279	90	100	38	122	73	50	113	112	23	42	137	153	111	172	
T4	487	261	59	118	45	163	123	118	141	140	34	42	175	182	168	281	
T6	388	350	61	164	46	197	116	113	116	121	22	33	138	153	162	311	
O1	548	378	99	269	88	131	128	86	97	150	16	34	113	184	216	217	
O2	768	457	123	225	77	303	137	91	98	119	19	29	117	148	213	393	

Αντίληψη κινούμενου αντικειμένου

Πίνακας 12-7. Συγκριτικές τιμές απόλυτης ισχύος για το REAL και VR περιβάλλον (αντίληψη κινούμενου αντικειμένου)																	
ηλεκτρ.	δέλτα		θήτα		κάτω α (α1)		άνω α (α2)		βήτα		γάμα		βήτα + γάμα		άλλα		
	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	
Fp1	326	225	178	149	102	120	71	77	111	132	21	25	131	158	173	197	
Fp2	413	233	187	187	95	107	81	74	152	126	29	26	181	153	176	181	
Fz	554	332	268	309	158	218	81	108	130	150	15	19	145	168	238	326	
Cz	496	215	247	217	132	236	73	90	117	121	16	18	133	139	205	325	
Pz	425	246	193	179	99	183	99	81	128	109	16	16	144	126	198	263	
F3	387	270	229	216	147	161	60	107	122	134	15	23	137	157	207	268	
C3	474	238	206	204	161	208	109	110	135	121	17	21	152	142	270	318	
P3	373	221	195	180	108	195	140	111	125	112	17	21	141	133	248	306	
F4	544	224	220	255	136	190	70	67	130	115	15	19	145	135	206	257	
C4	431	210	181	198	144	223	114	104	128	114	15	18	143	132	258	327	
P4	378	227	175	161	108	173	196	125	118	117	15	17	133	134	304	298	
F7	284	257	121	117	95	89	45	63	118	144	26	48	144	192	140	153	
T3	220	205	112	117	101	98	113	114	132	148	29	40	161	188	213	212	
T5	202	174	117	103	74	81	112	116	117	110	21	31	138	141	186	197	
F8	418	186	94	128	92	91	54	42	129	114	27	38	156	152	146	133	
T4	365	158	108	128	166	134	202	125	147	120	26	33	173	152	369	260	
T6	367	169	99	93	113	131	182	100	118	105	23	27	142	131	294	232	
O1	299	262	162	140	91	136	116	82	125	108	18	25	143	132	206	218	
O2	306	273	157	138	75	153	122	81	121	116	17	20	138	136	197	234	

Διεργασία ετοιμότητας και αναμονής

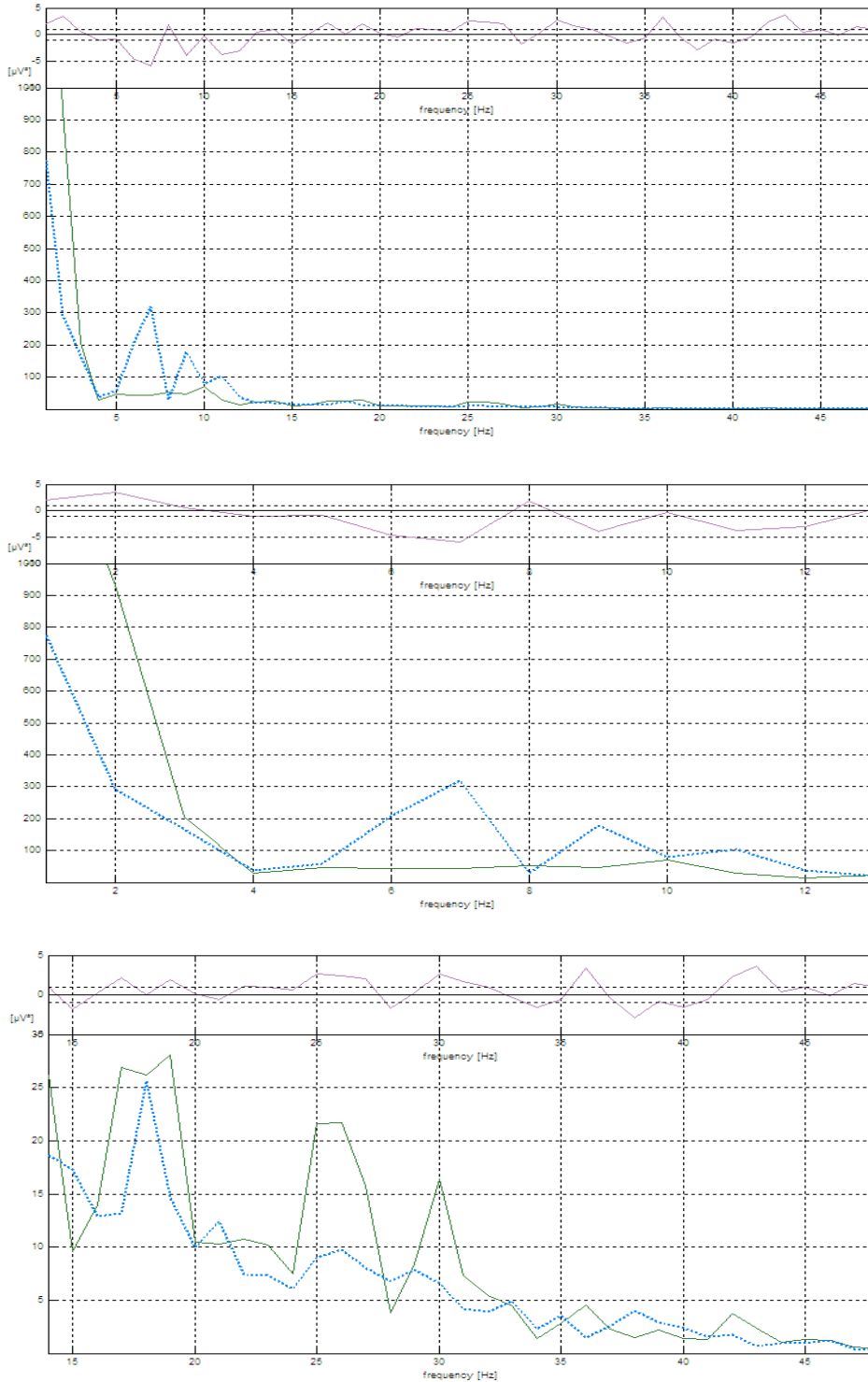
Πίνακας 12-8. Συγκριτικές τιμές απόλυτης ισχύος για το REAL και VR περιβάλλον (διεργασία ετοιμότητας και αναμονής)																	
ηλεκτρ.	δέλτα		θήτα		κάτω α (α1)		άνω α (α2)		βήτα		γάμμα		βήτα + γάμμα		άλλα		
	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	
Fp1	364	295	104	137	76	58	47	33	92	111	16	17	107	128	123	91	
Fp2	475	325	121	135	67	67	52	33	121	130	33	23	155	153	119	100	
Fz	700	569	227	296	103	175	65	31	107	140	14	14	121	154	168	206	
Cz	708	557	190	186	71	102	59	37	99	115	14	14	112	128	130	138	
Pz	579	531	133	105	69	116	90	110	110	102	13	14	122	115	159	226	
F3	546	454	186	178	86	84	62	27	110	112	13	16	123	128	148	111	
C3	572	452	177	125	59	94	88	49	93	105	13	16	106	121	147	143	
P3	540	433	136	108	66	98	101	103	96	105	12	19	109	124	167	201	
F4	688	528	218	201	94	109	52	34	109	112	16	14	124	126	145	144	
C4	611	536	170	149	79	104	85	51	105	101	15	13	120	114	164	155	
P4	572	436	133	93	64	101	86	87	98	91	14	13	112	104	149	188	
F7	395	290	94	93	73	57	41	22	102	100	26	26	128	126	113	78	
T3	323	294	100	96	62	113	90	42	100	150	20	26	120	176	152	155	
T5	238	240	95	87	67	71	98	56	101	113	23	40	123	153	165	126	
F8	522	221	127	71	70	65	36	36	112	97	29	25	142	122	106	101	
T4	525	226	115	65	74	62	93	62	125	98	28	27	153	125	167	124	
T6	448	261	88	76	69	74	83	90	90	85	18	21	108	106	152	164	
O1	403	403	112	101	79	112	103	186	124	123	16	27	140	149	182	298	
O2	421	400	108	106	61	92	88	148	122	120	15	16	137	136	150	239	

Παρουσία άλλου υποκειμένου

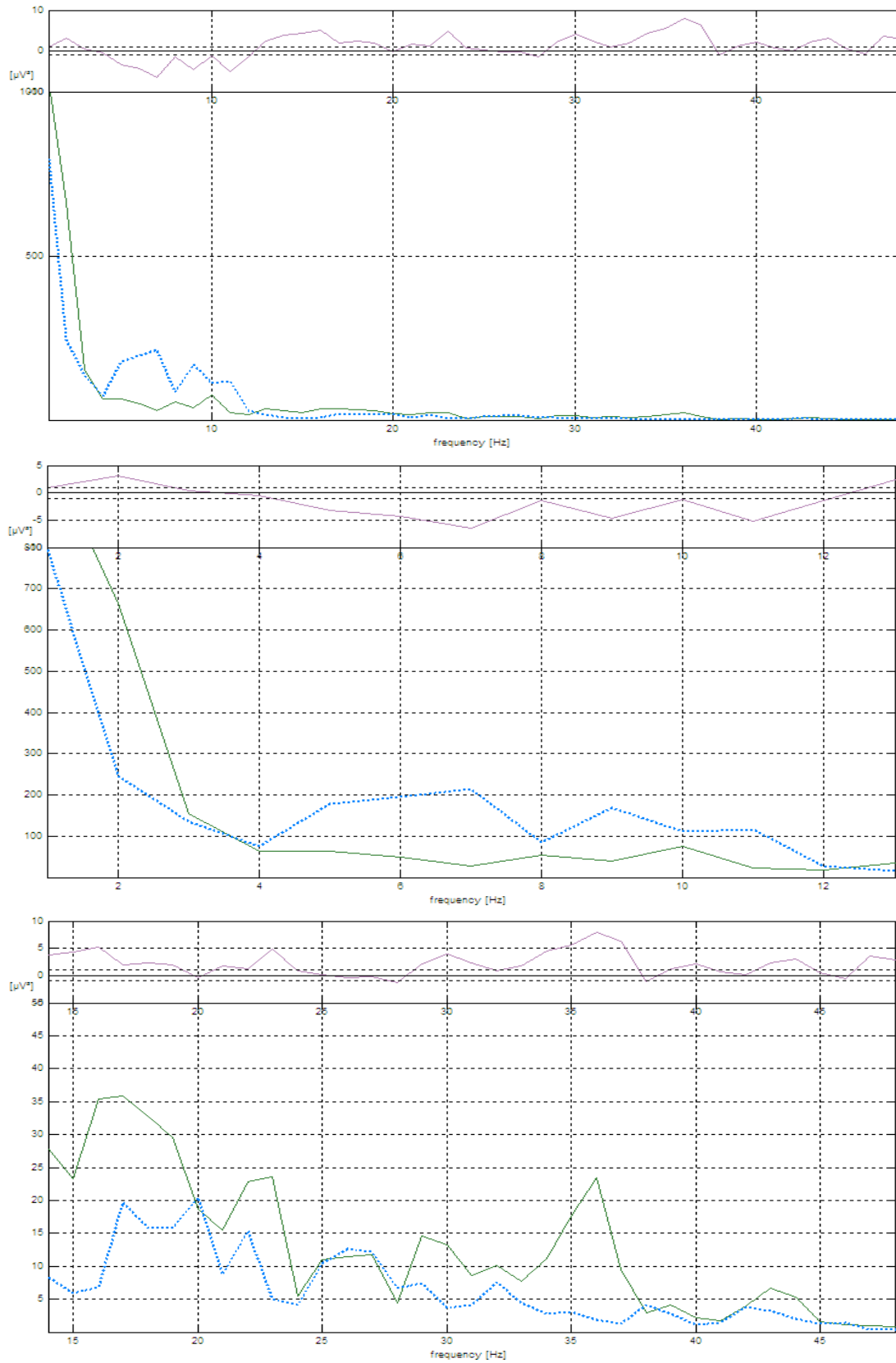
Πίνακας 12-9. Συγκριτικές τιμές απόλυτης ισχύος για το REAL και VR περιβάλλον (παρουσία άλλου υποκειμένου)																	
ηλεκτρ.	δέλτα		θήτα		κάτω α (α1)		άνω α (α2)		βήτα		γάμα		βήτα + γάμα		άλφα		
	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	REAL	VR	
Fp1	1255	403	287	268	79	140	88	92	395	262	50	69	444	331	168	232	
Fp2	1128	393	216	340	106	150	79	111	531	327	74	84	605	410	185	261	
Fz	977	629	430	526	132	213	132	138	560	294	33	53	594	347	264	352	
Cz	1260	788	469	457	116	148	133	102	434	273	41	58	475	330	249	250	
Pz	1054	671	390	305	129	130	96	111	292	299	27	62	319	361	225	242	
F3	991	451	399	401	92	162	113	100	430	329	37	64	467	393	205	262	
C3	1195	570	448	372	86	105	122	86	357	301	37	71	394	372	208	192	
P3	1077	572	419	297	105	86	103	121	254	319	36	81	290	400	207	208	
F4	918	657	395	399	127	186	86	103	515	318	29	58	544	376	213	289	
C4	1053	875	363	341	130	184	57	111	464	295	33	60	497	356	187	295	
P4	820	776	331	291	162	200	53	187	352	308	29	59	382	367	216	387	
F7	774	433	233	180	49	61	81	68	352	361	56	139	408	499	129	129	
T3	652	273	198	233	59	64	88	132	277	398	62	103	339	501	147	196	
T5	1552	276	531	183	60	76	86	112	265	410	53	138	317	548	146	188	
F8	765	512	186	195	93	121	55	94	503	418	80	132	583	550	148	215	
T4	948	396	278	166	162	190	97	132	496	371	73	104	568	475	259	322	
T6	701	493	255	137	131	231	102	176	313	328	32	94	346	422	233	407	
O1	851	649	330	207	121	75	86	137	277	340	36	123	313	463	207	213	
O2	634	771	301	192	211	196	104	193	250	310	23	63	273	373	315	390	

## 12.2 Φάσματα απόλυτης ισχύος εγκεφαλικών ρυθμών

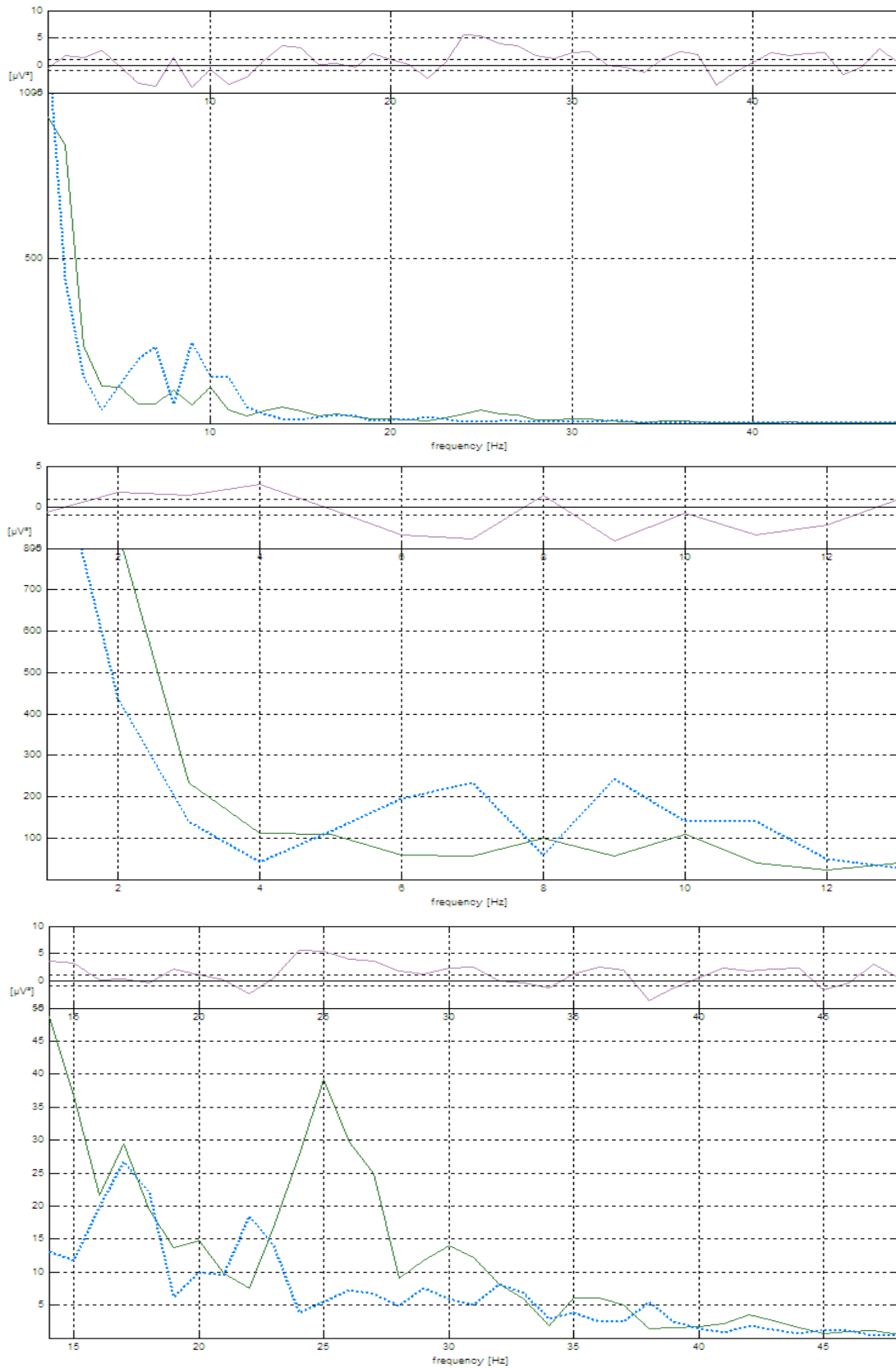
### 12.2.1 Διεργασία πρώτης επαφής με τα περιβάλλοντα



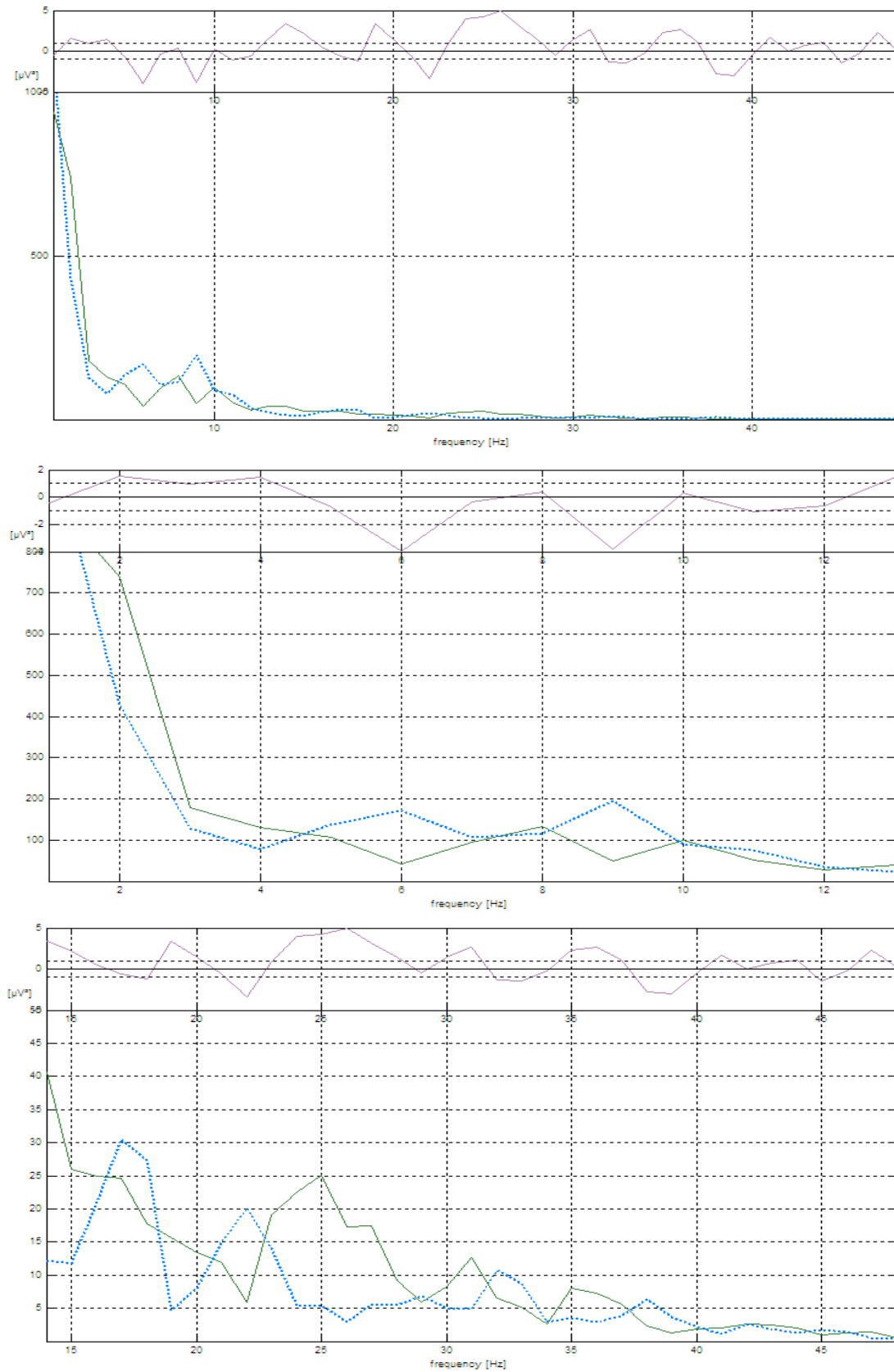
Σχήμα 12-1. Φάσματα ισχύος εικονικού (μπλε διακεκομμένη γραμμή), πραγματικού (πράσινη) περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fp1 (αριστερή μετωπιαία περιοχή).



Σχήμα 12-2. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fp2 (δεξιά μετωπιαία περιοχή).

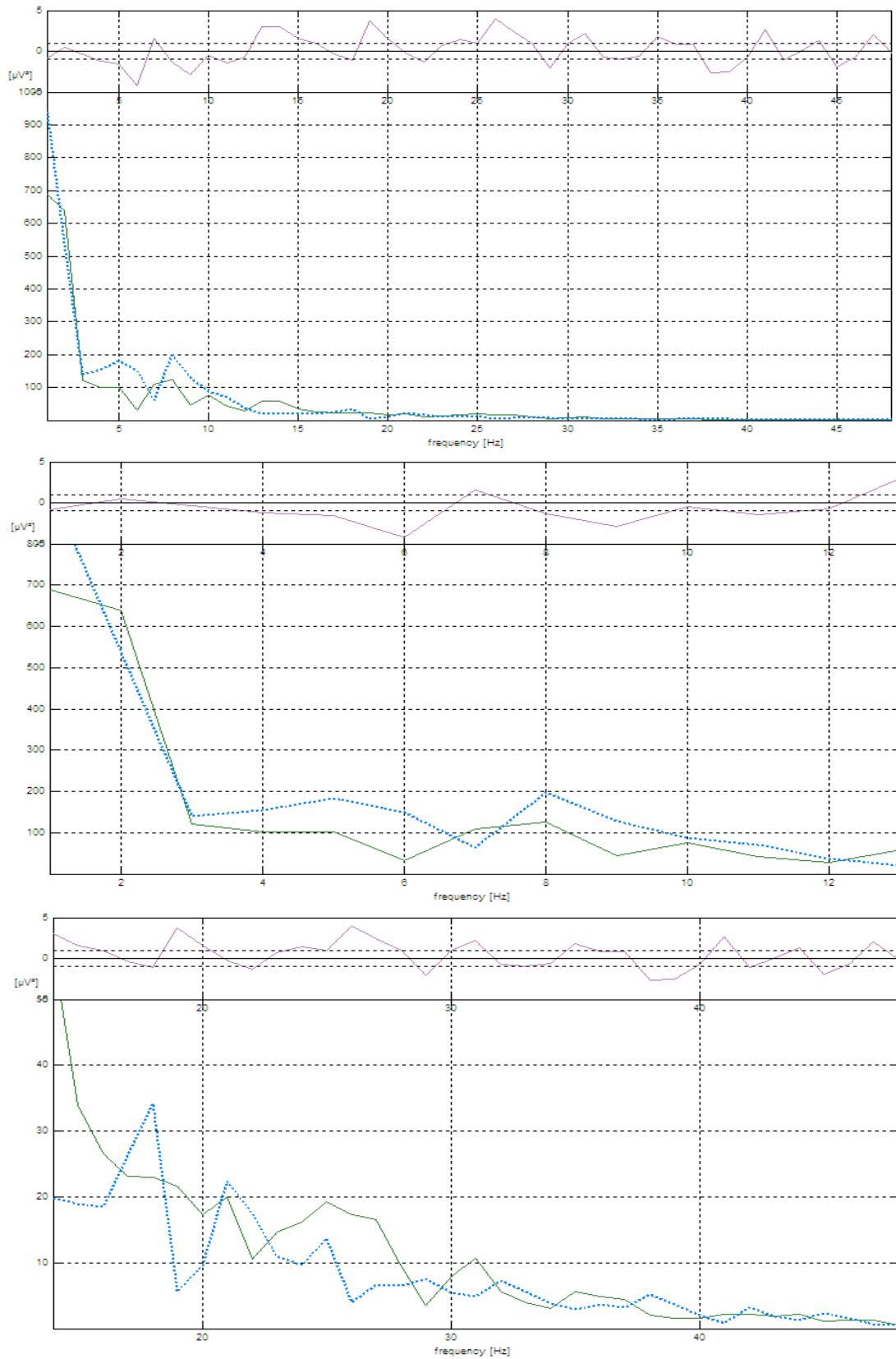


Σχήμα 12-3. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fz (μετωπιαία κεντρική περιοχή).

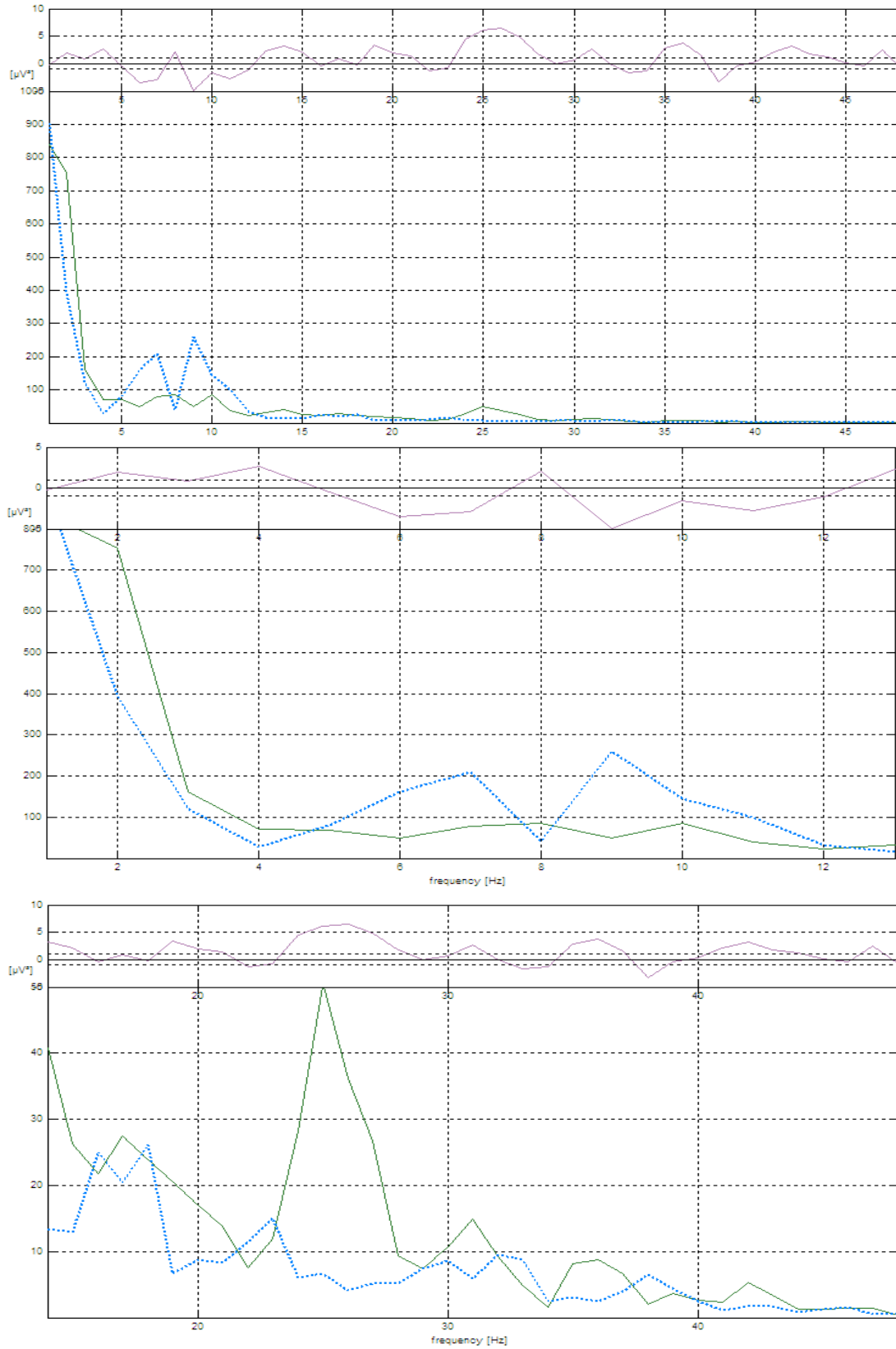


Σχήμα 12-4. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Cz (κεντρική βρεγματική περιοχή).

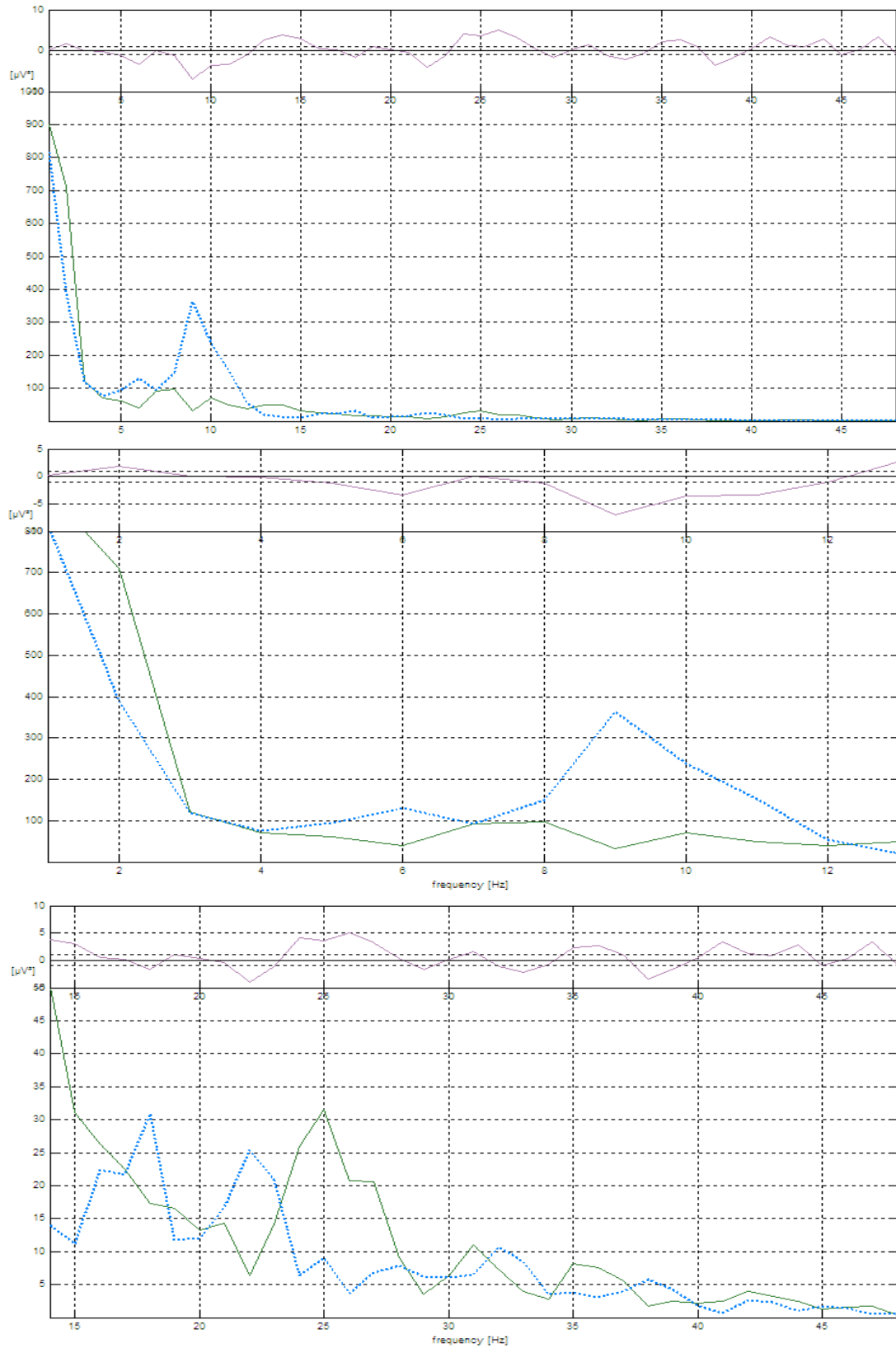




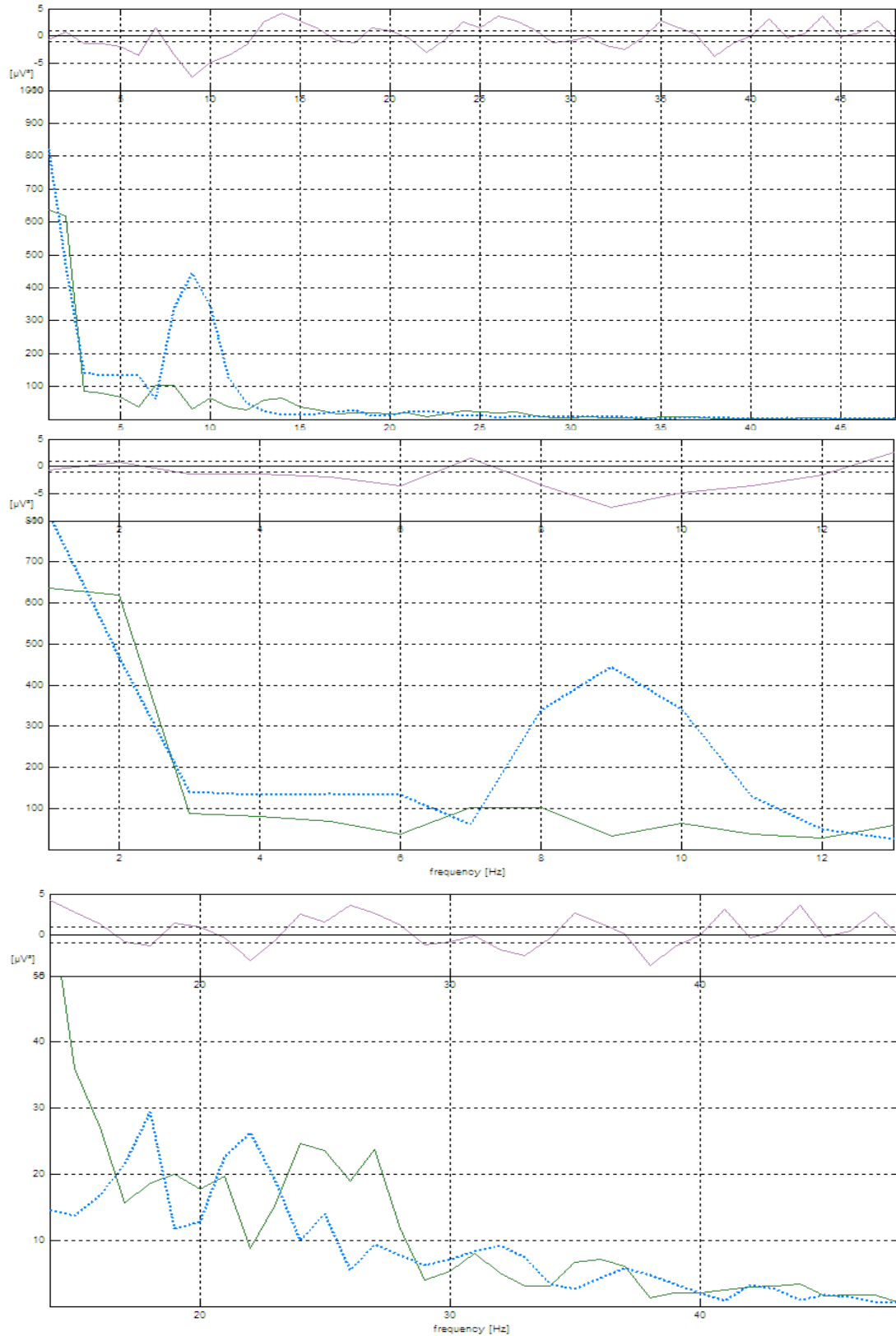
Σχήμα 12-5. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Pz (κεντρική βρεγματική-ινιακή περιοχή)



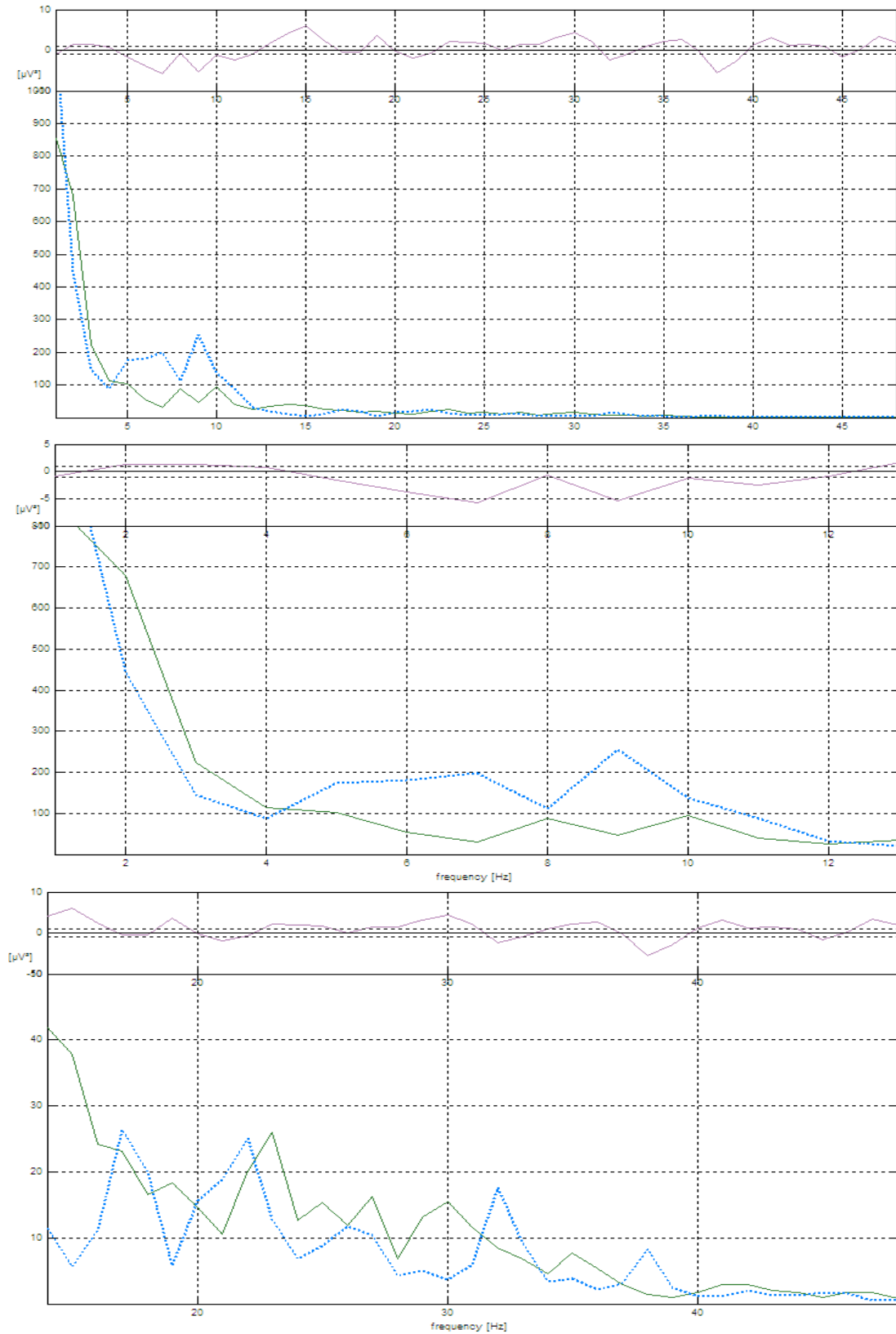
Σχήμα 12-6. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F3



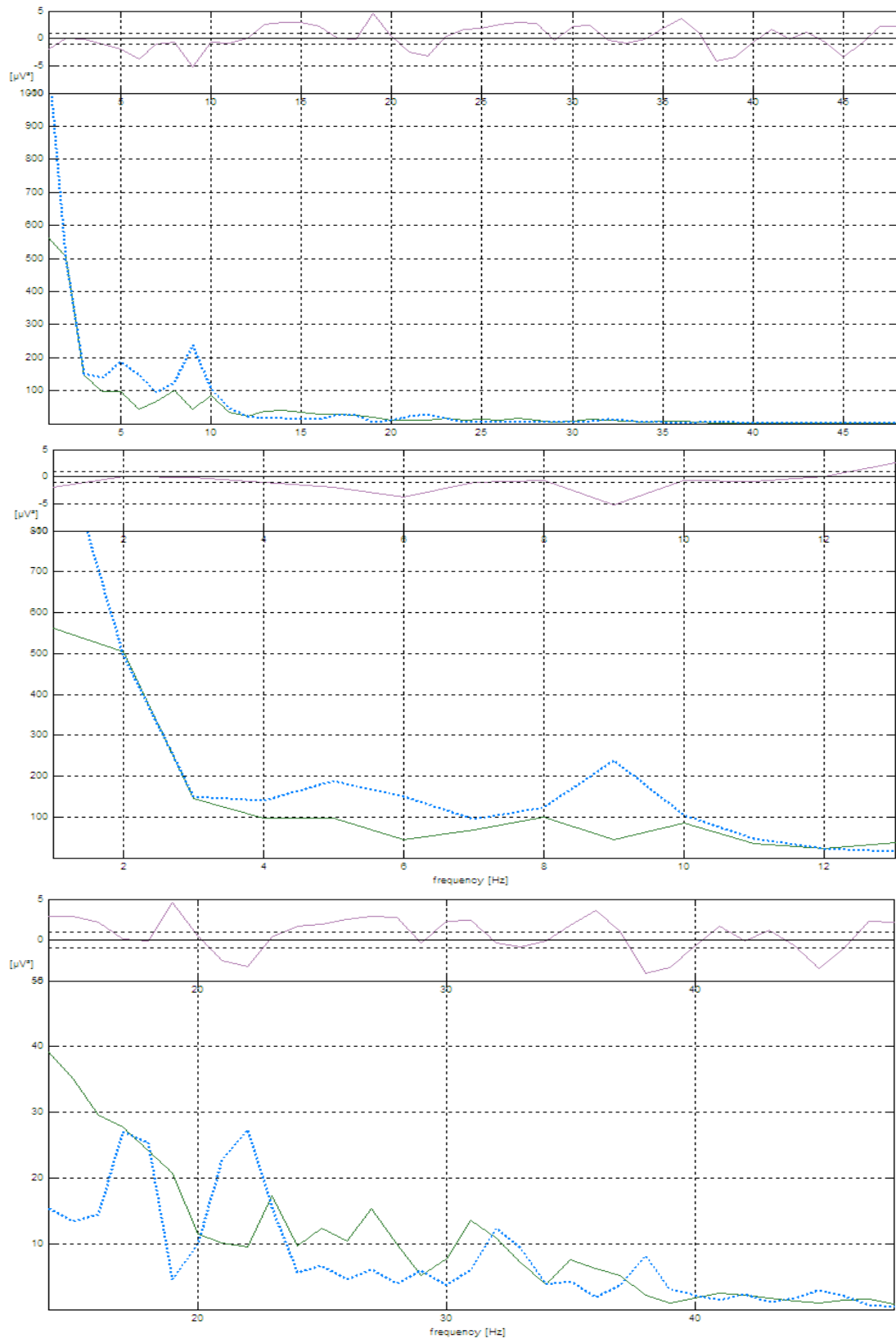
Σχήμα 12-7. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο C3



Σχήμα 12-8. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο P3



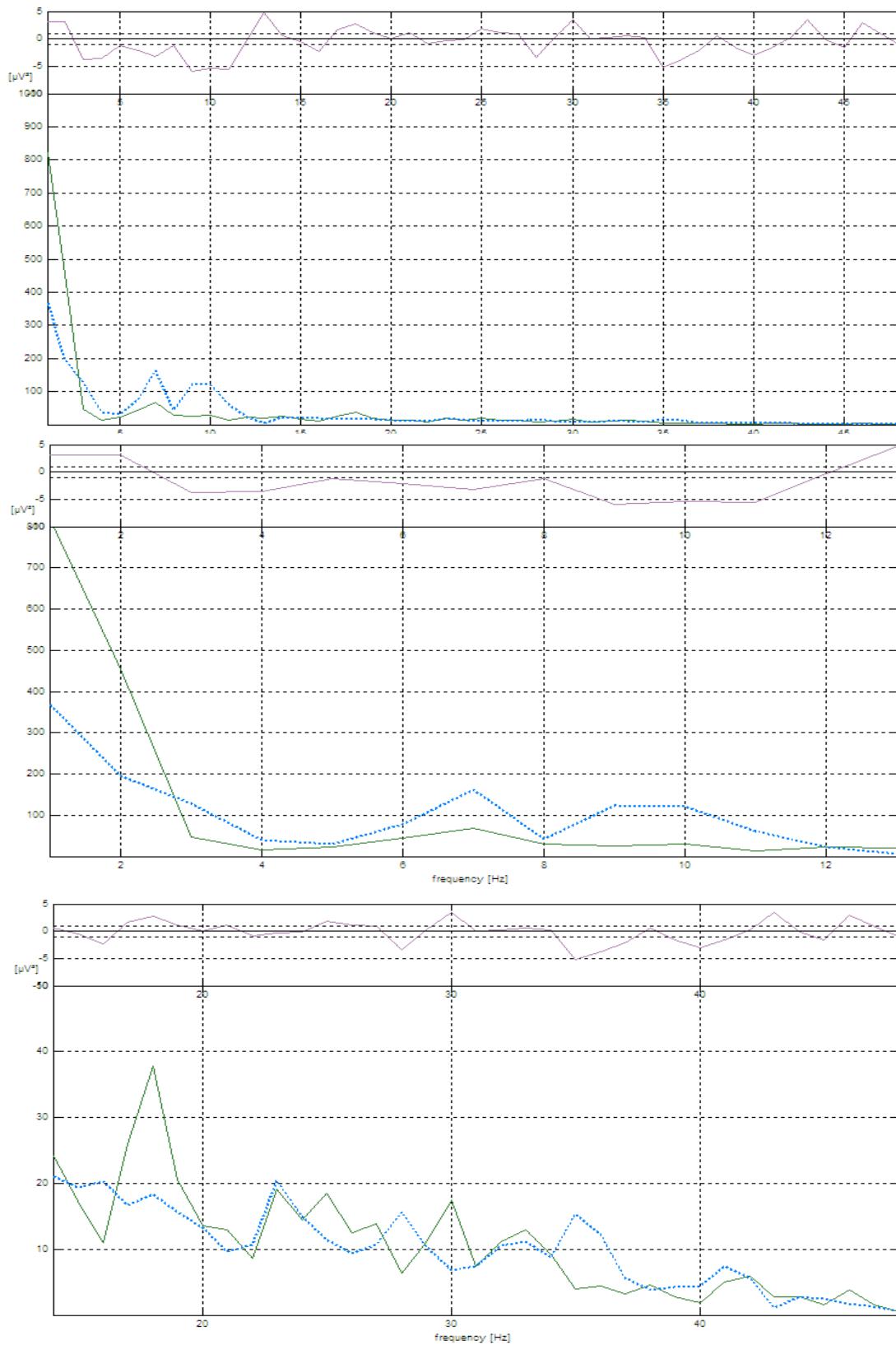
Σχήμα 12-9. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F4



Σχήμα 12-10. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο C4

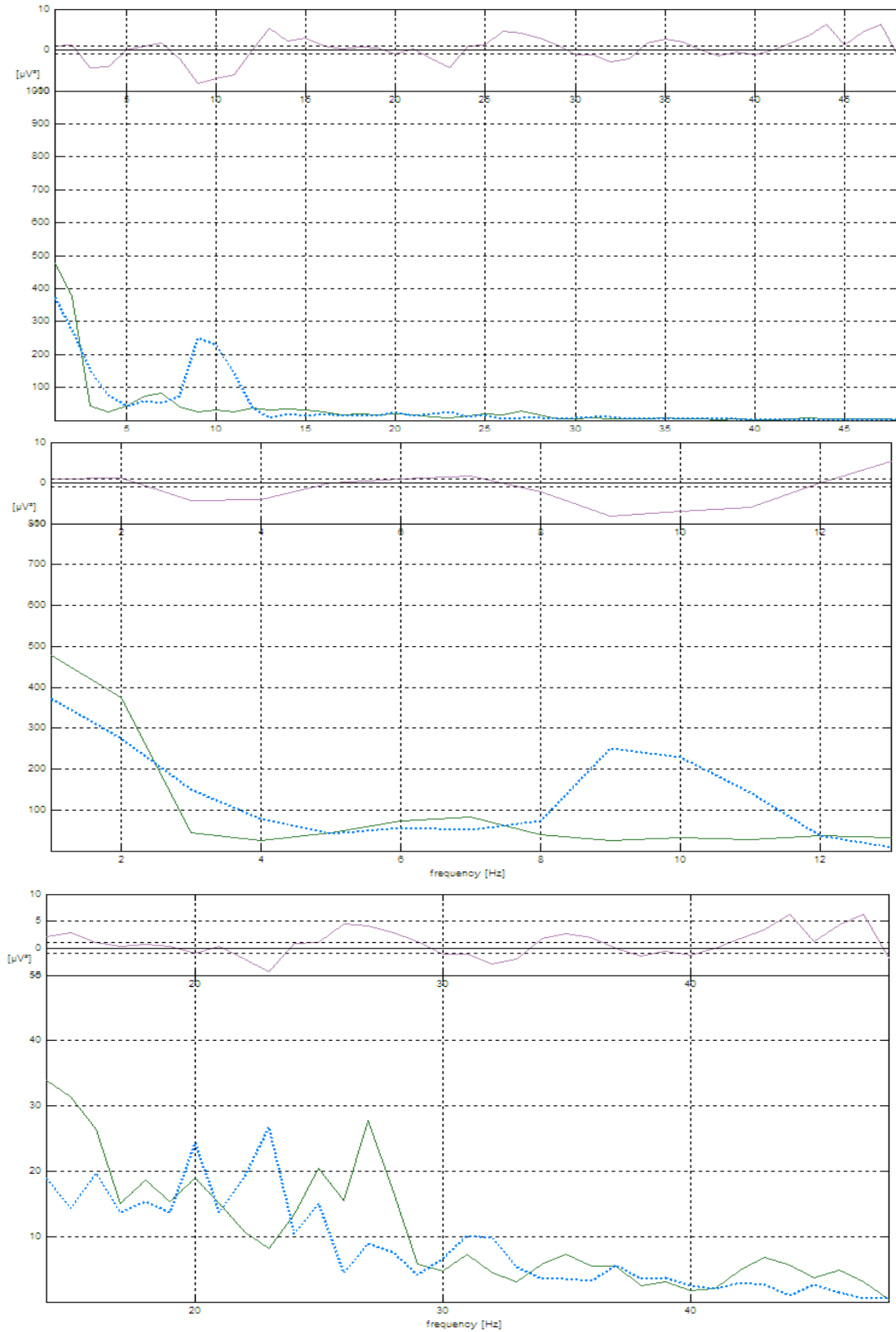


Σχήμα 12-11. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο P4

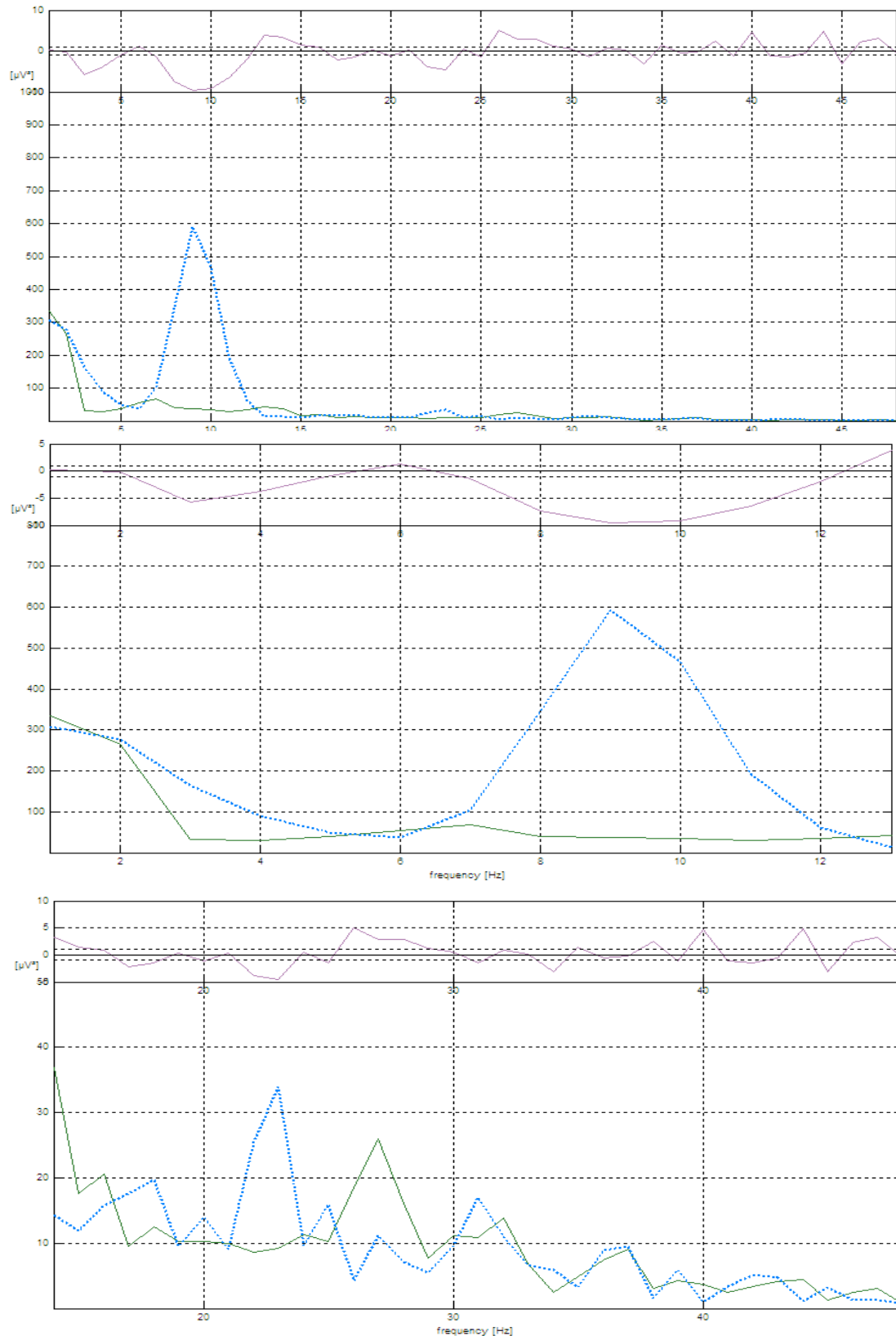


Σχήμα 12-12. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F7

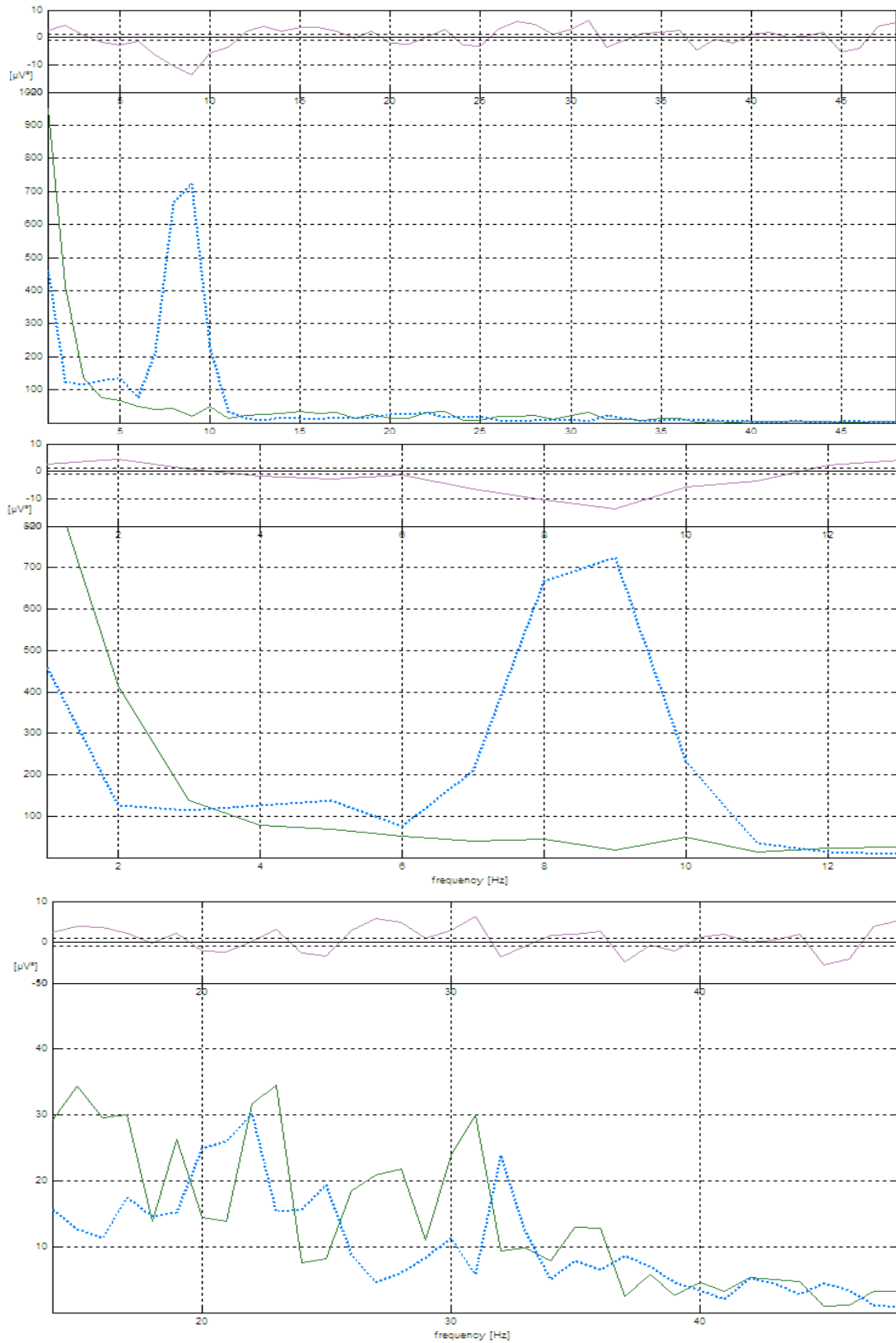




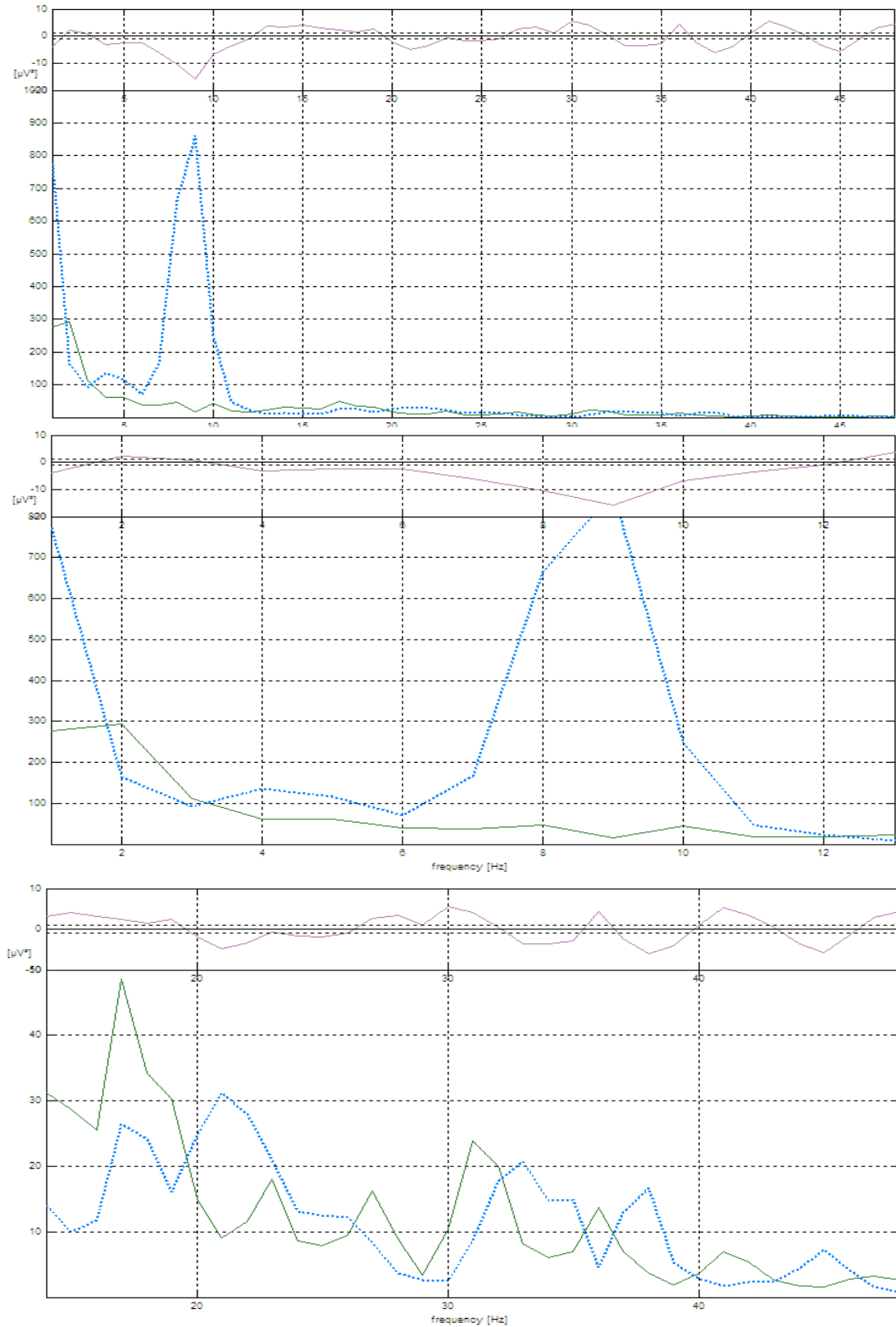
Σχήμα 12-13. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T3



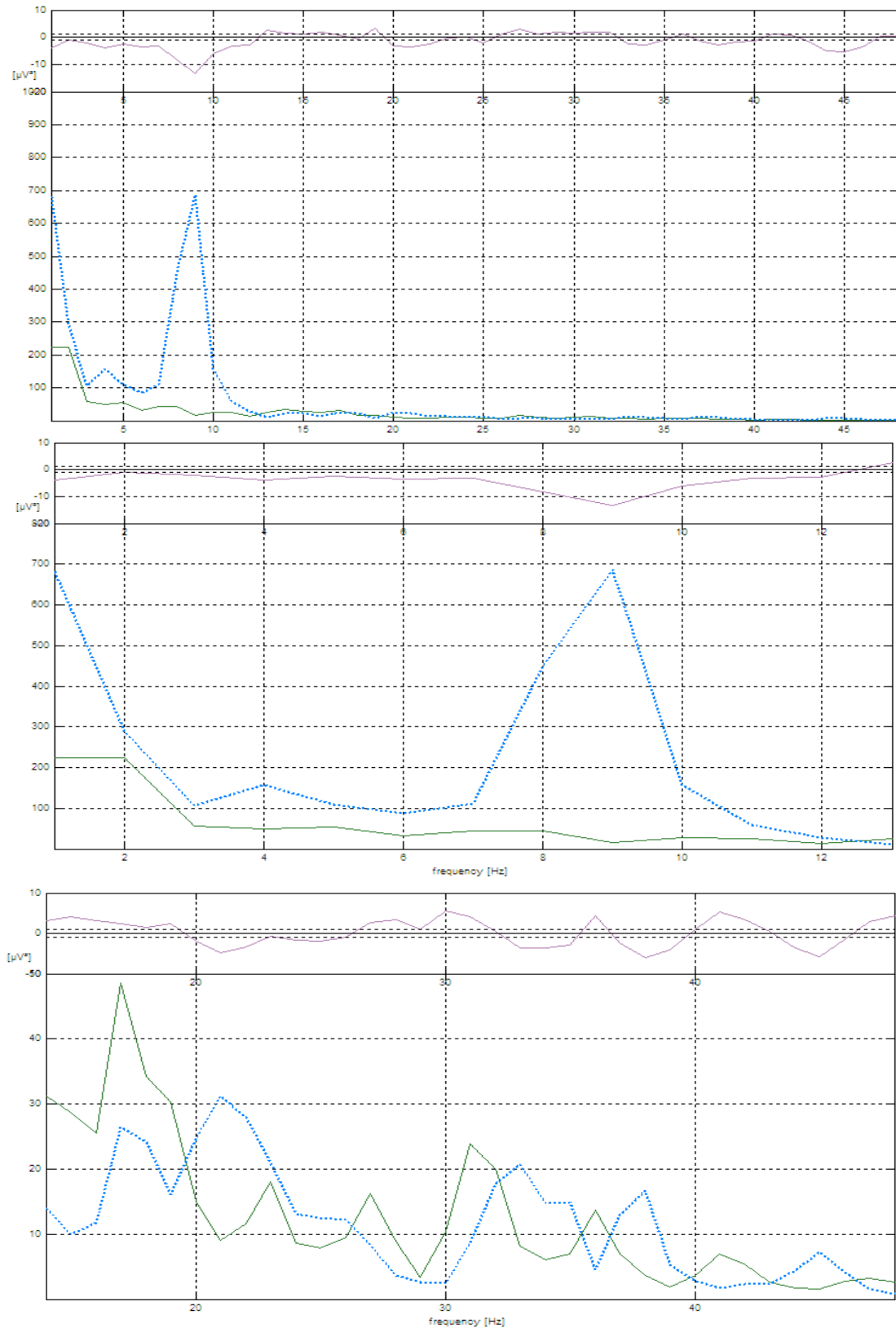
Σχήμα 12-14. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T5



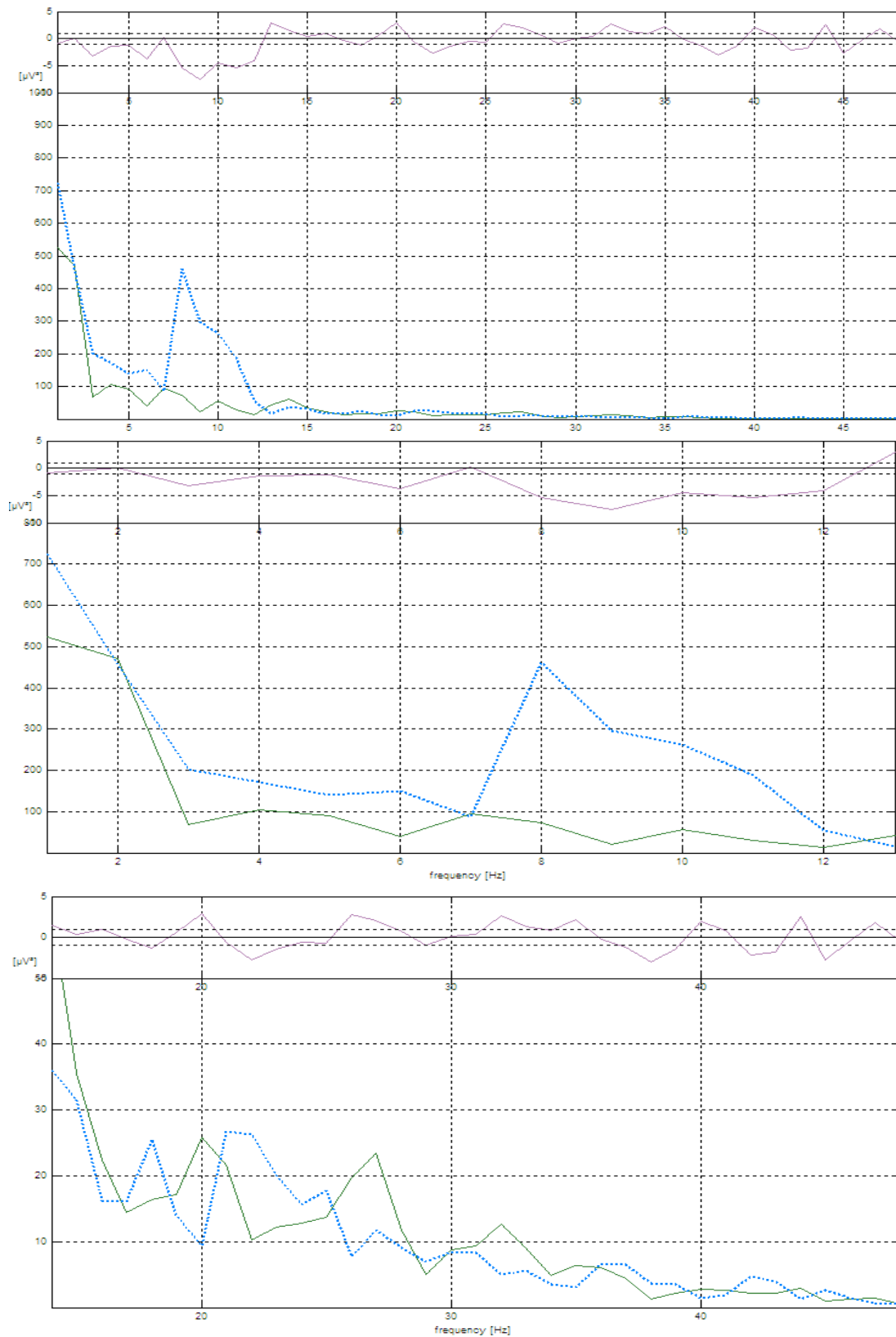
Σχήμα 12-15. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F8



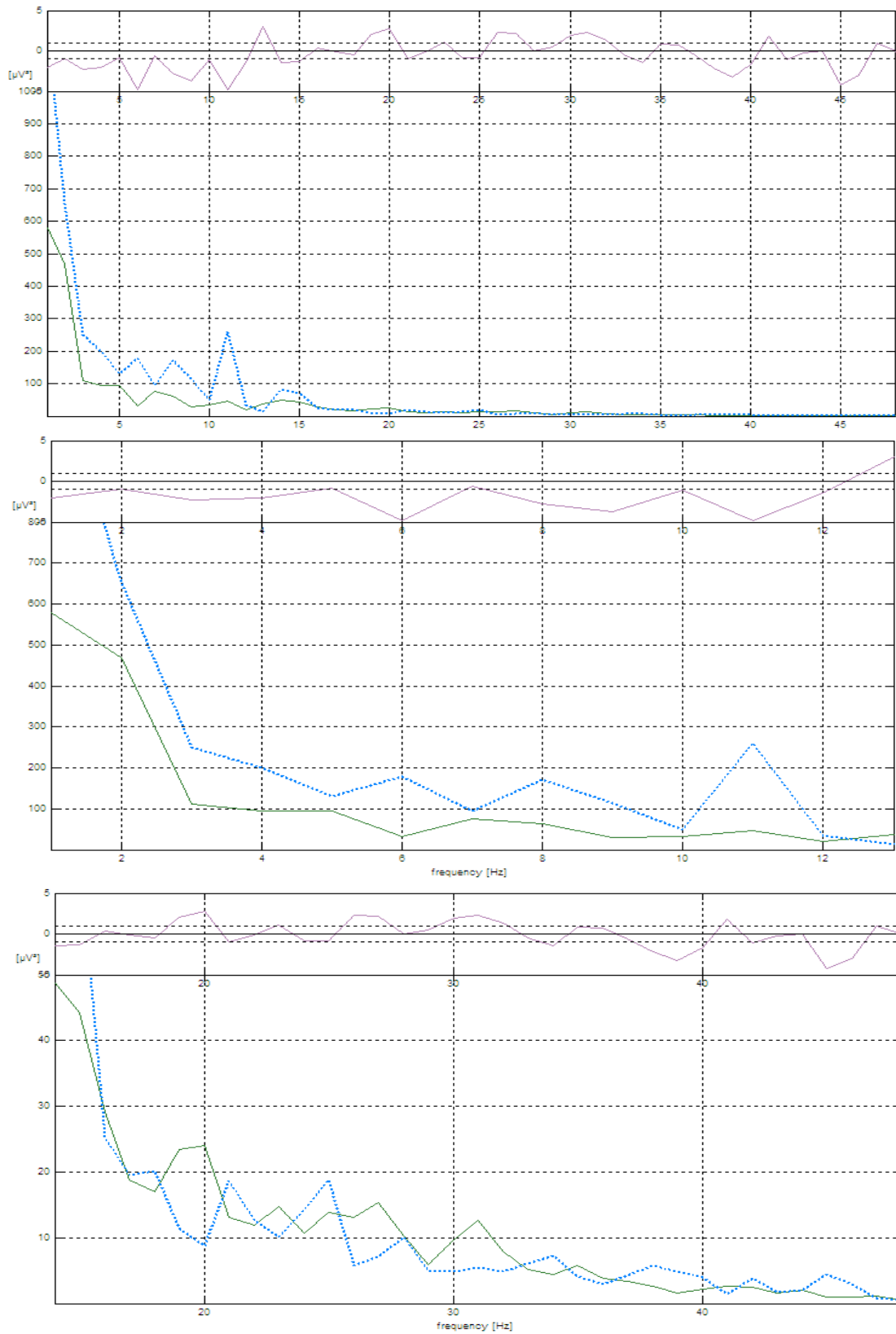
Σχήμα 12-16. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T4



Σχήμα 12-17. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T6

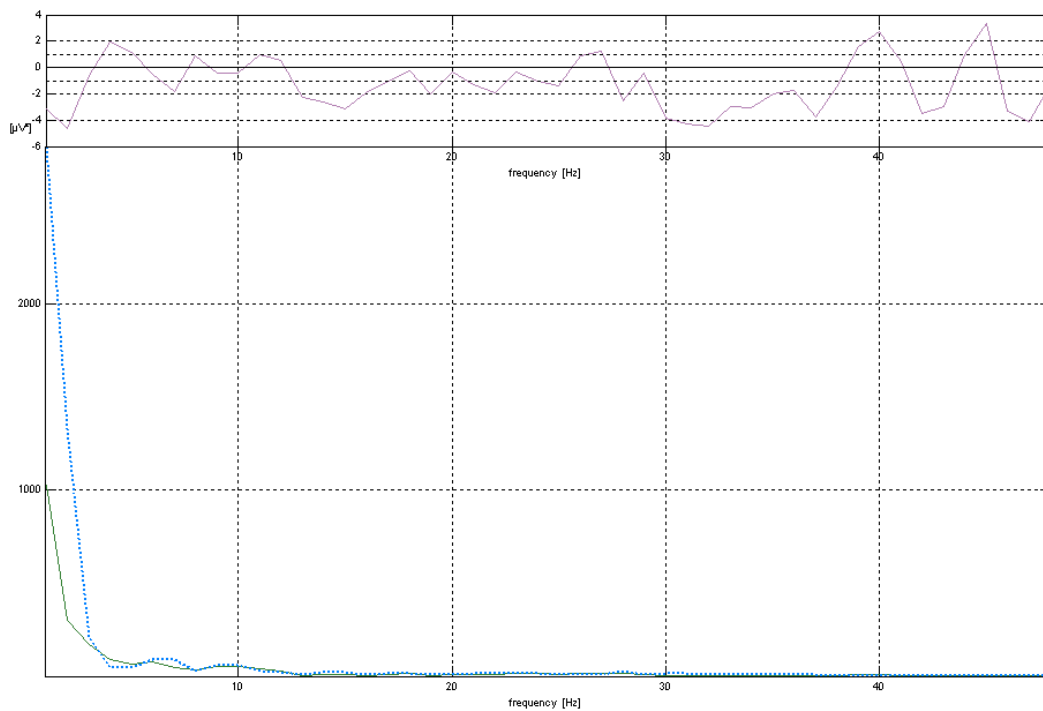


Σχήμα 12-18. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο O1

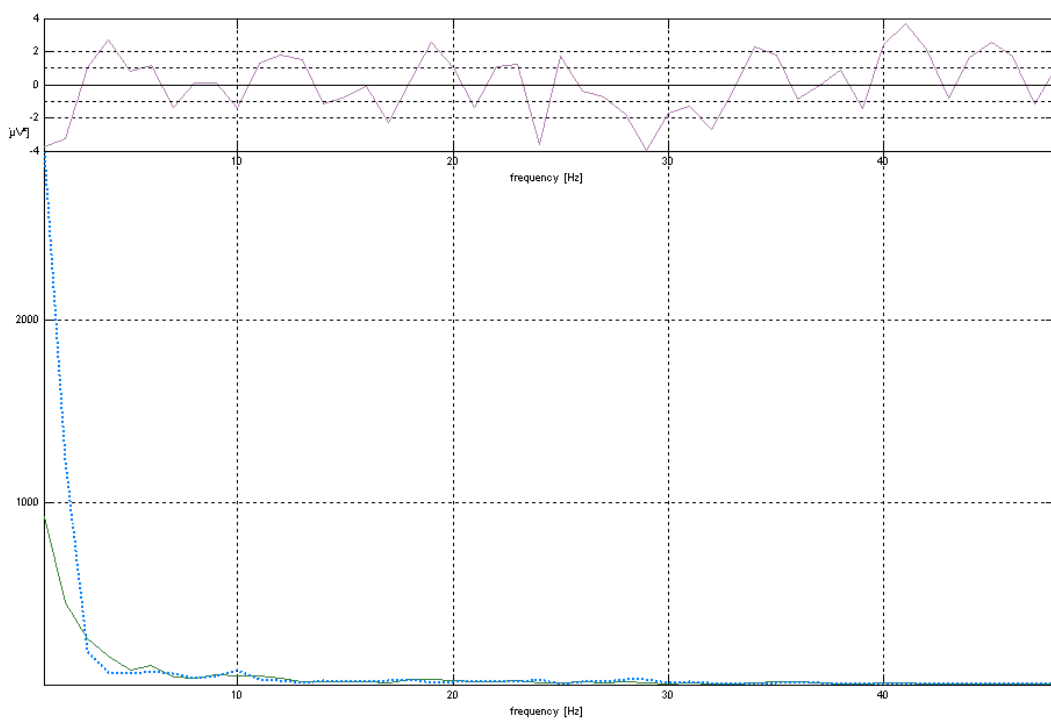


Σχήμα 12-19. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο O<sub>2</sub>

### 12.2.1 Οπτική-χωρική διεργασία

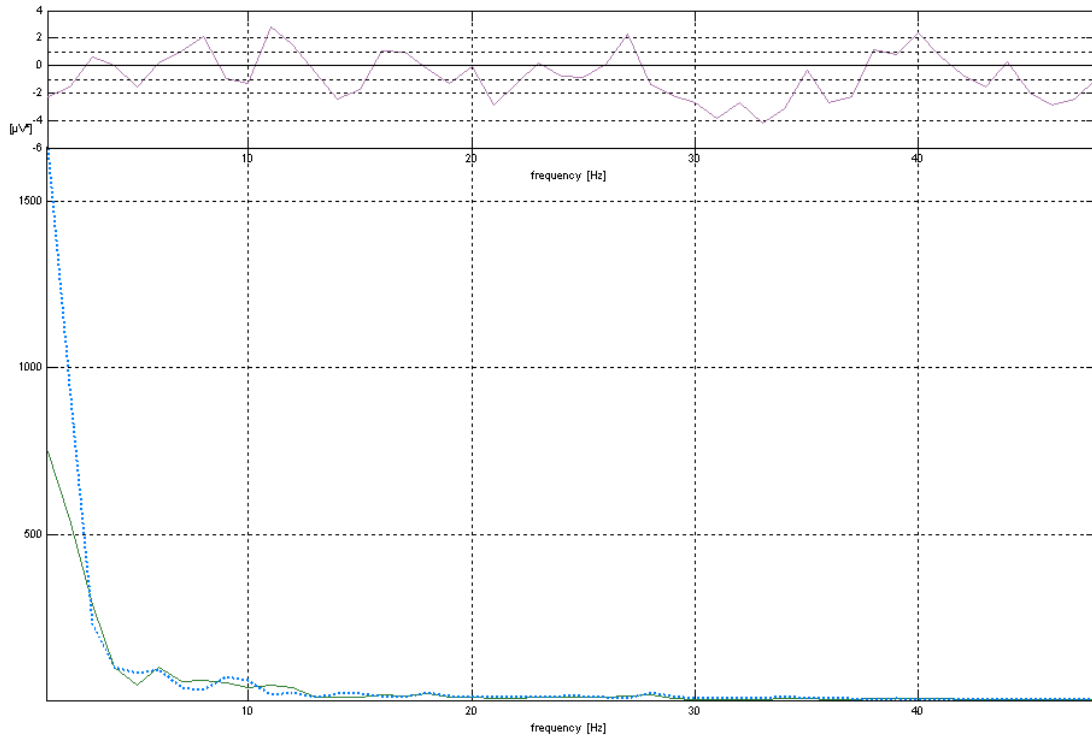


Σχήμα 12-20. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fr1

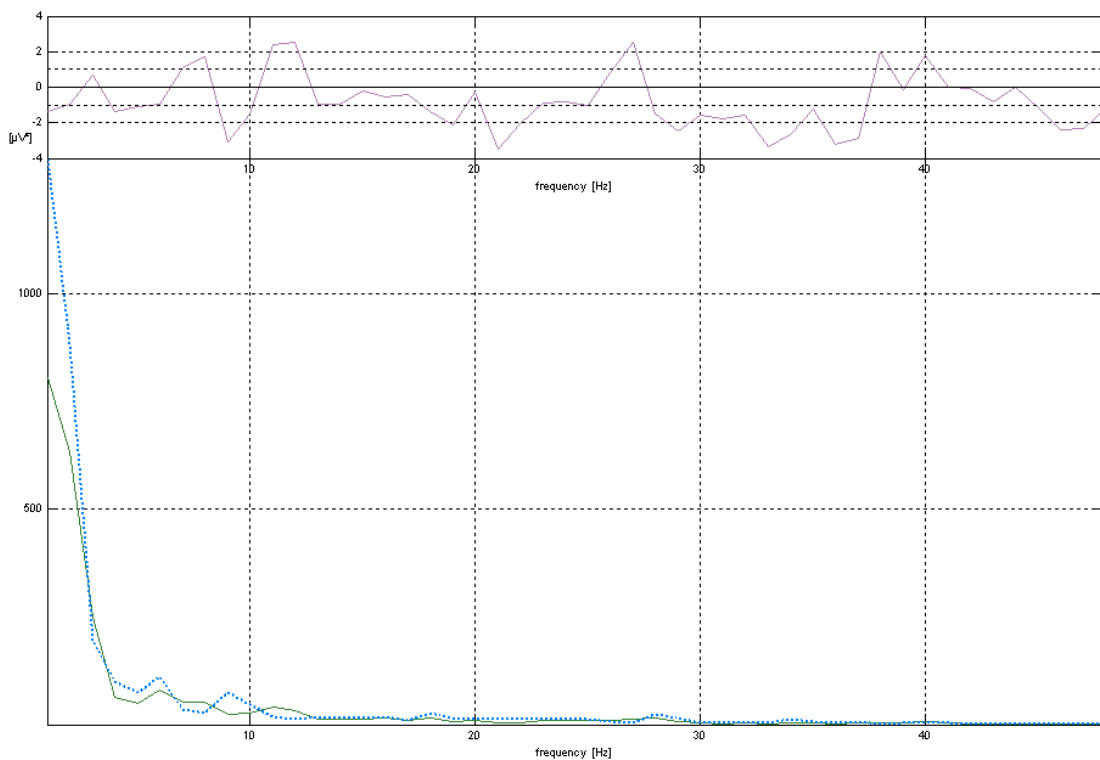


Σχήμα 12-21. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fr2

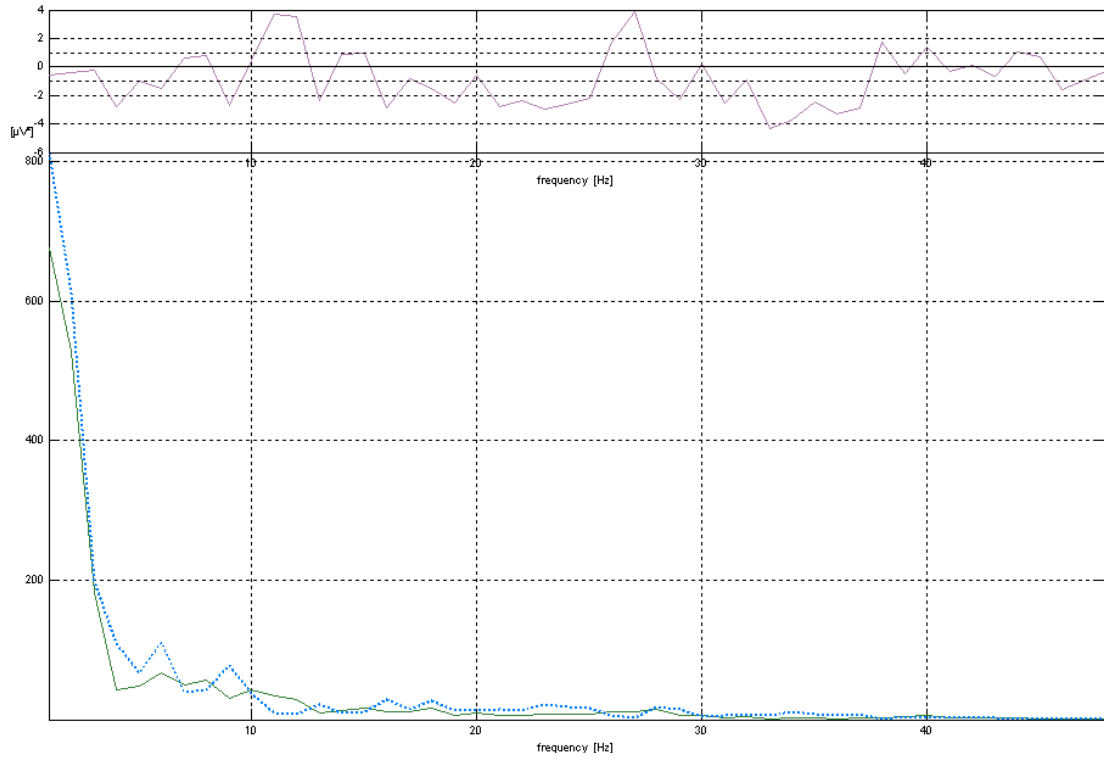




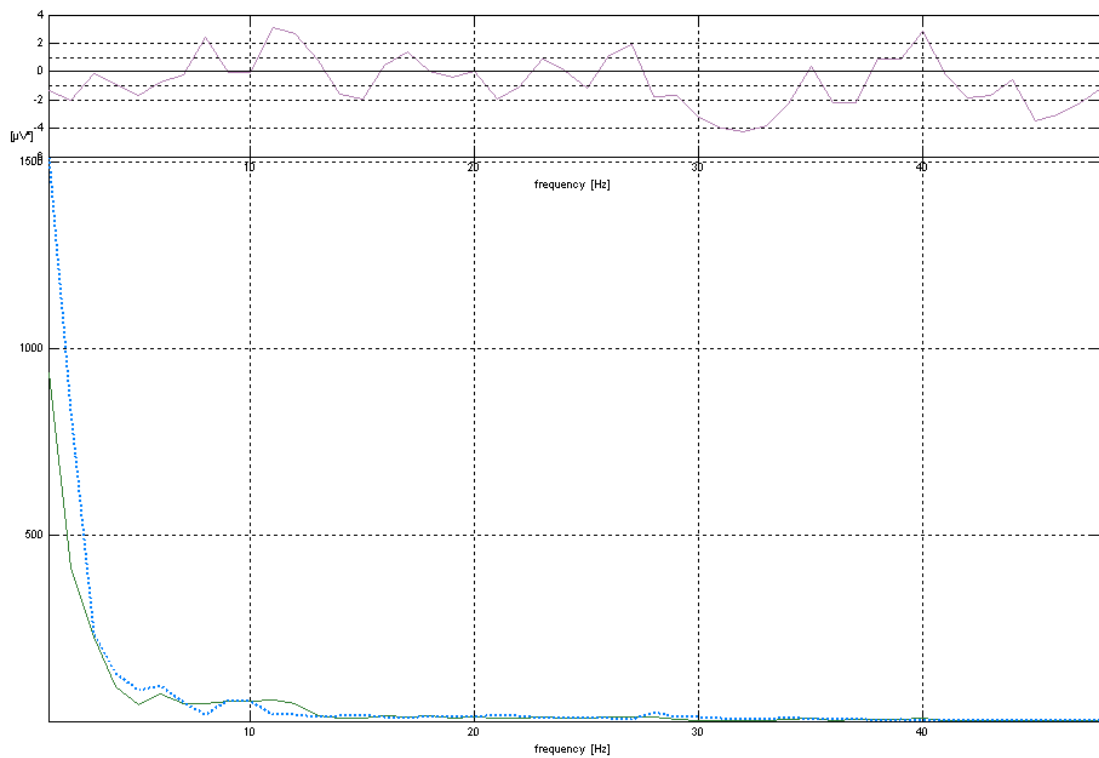
Σχήμα 12-22. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fz



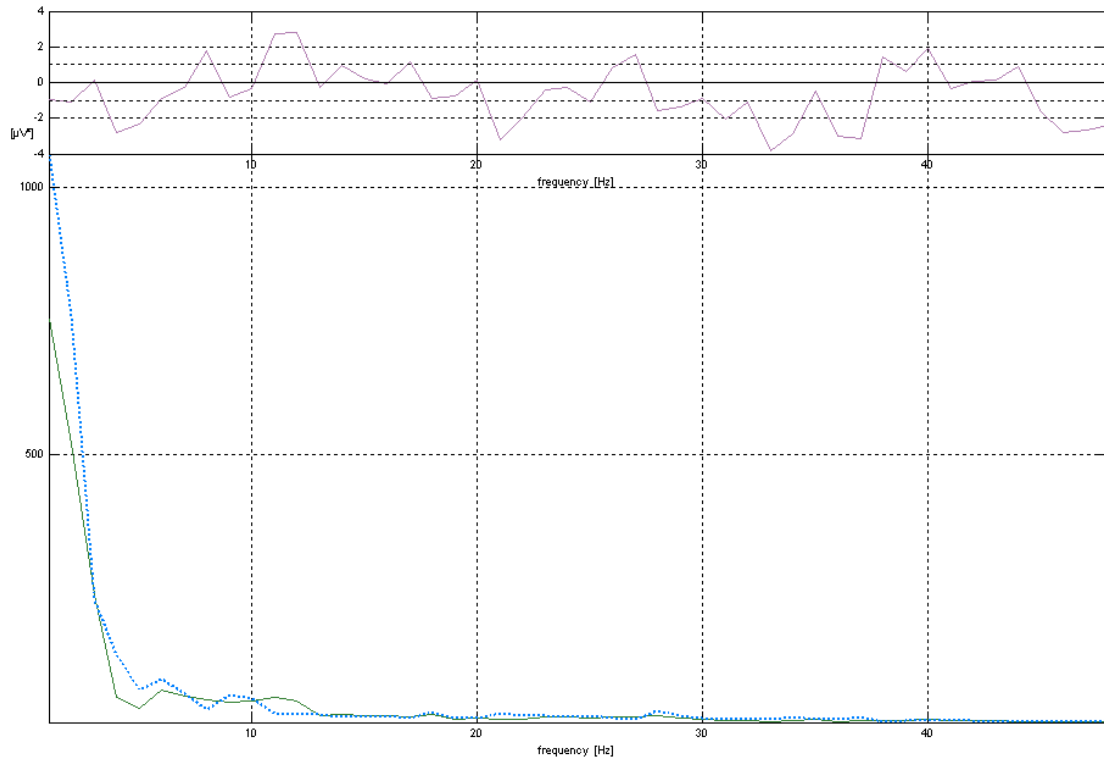
Σχήμα 12-23. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Cz



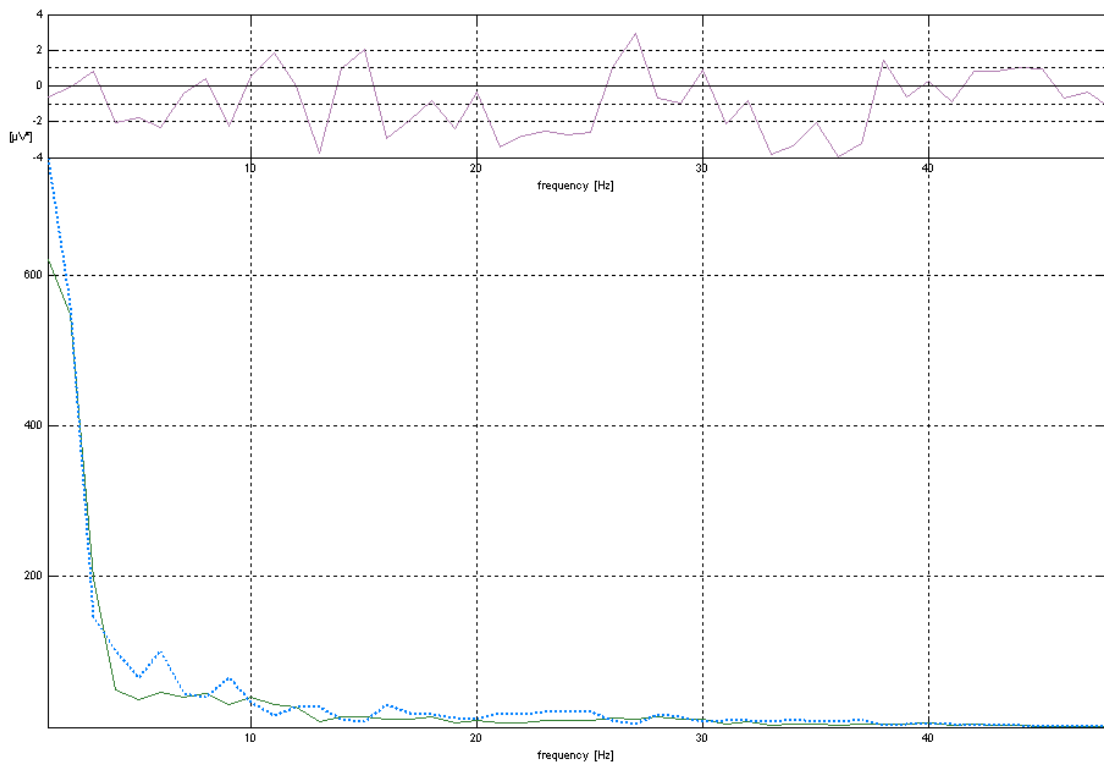
Σχήμα 12-24. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Pz



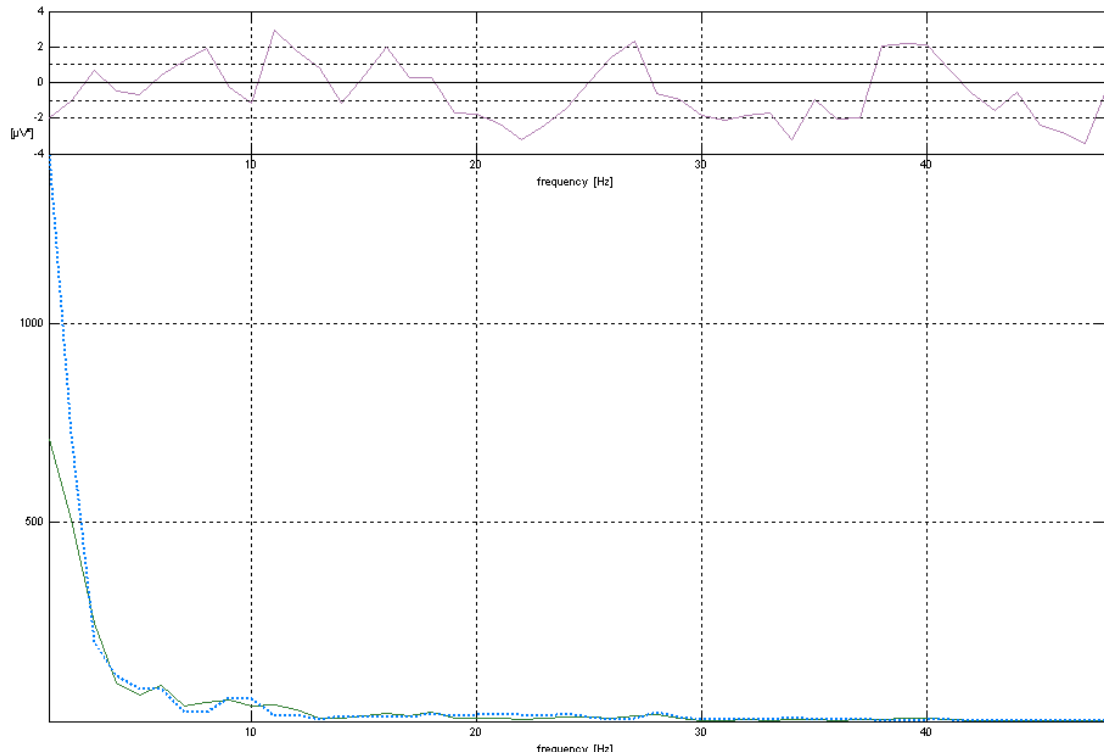
Σχήμα 12-25. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F3



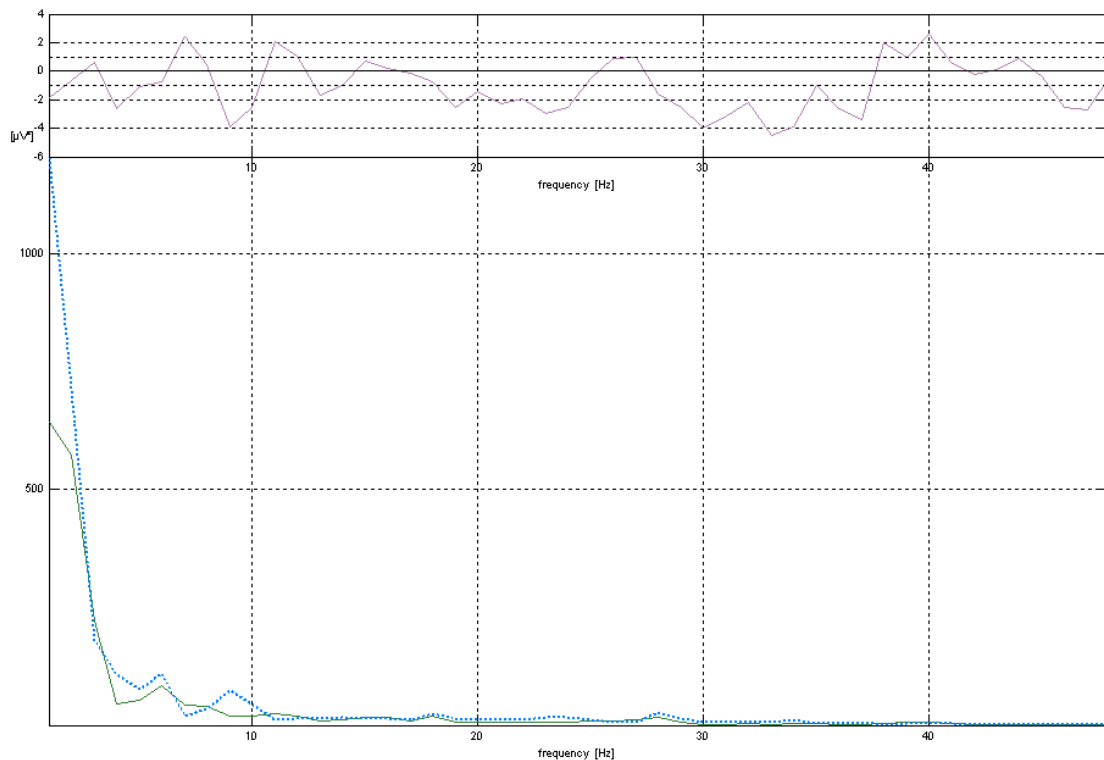
Σχήμα 12-26. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο C3



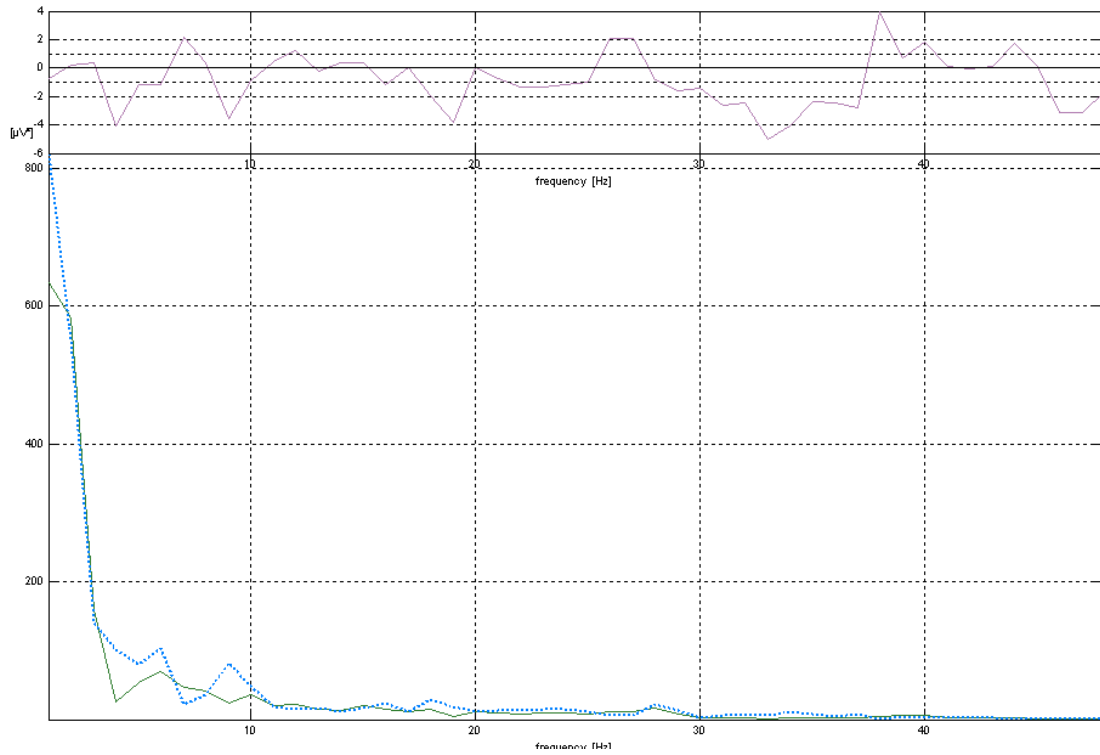
Σχήμα 12-27. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο P3



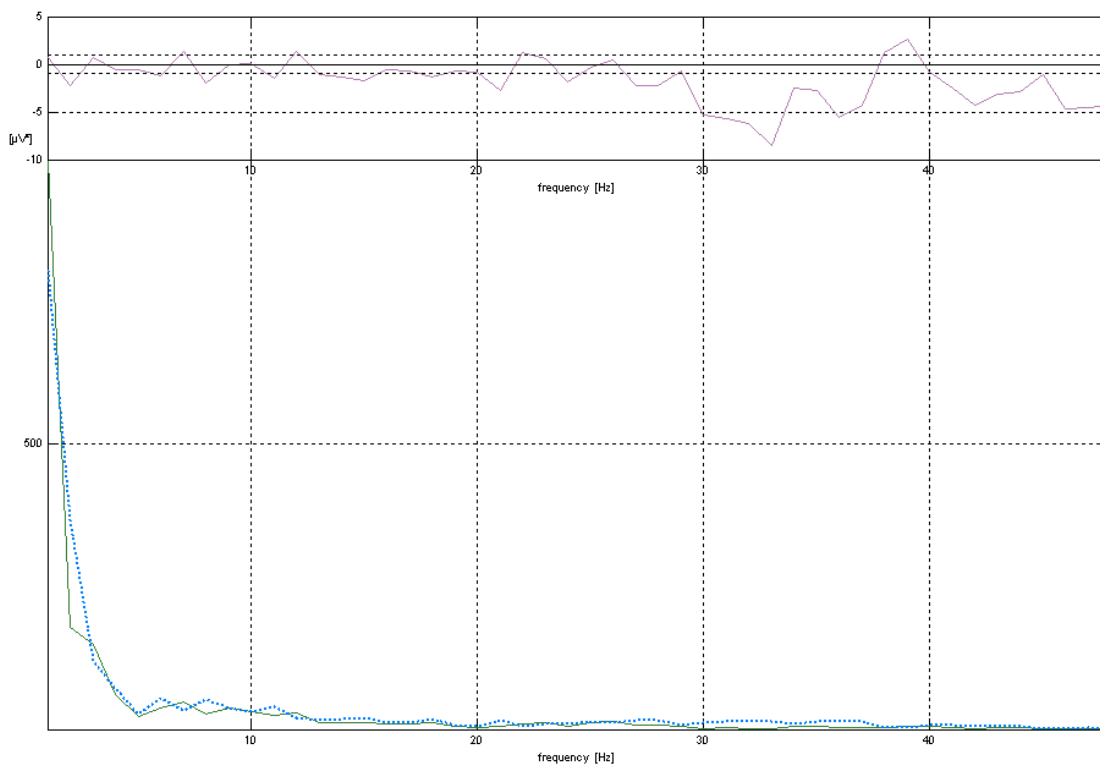
Σχήμα 12-28. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F4



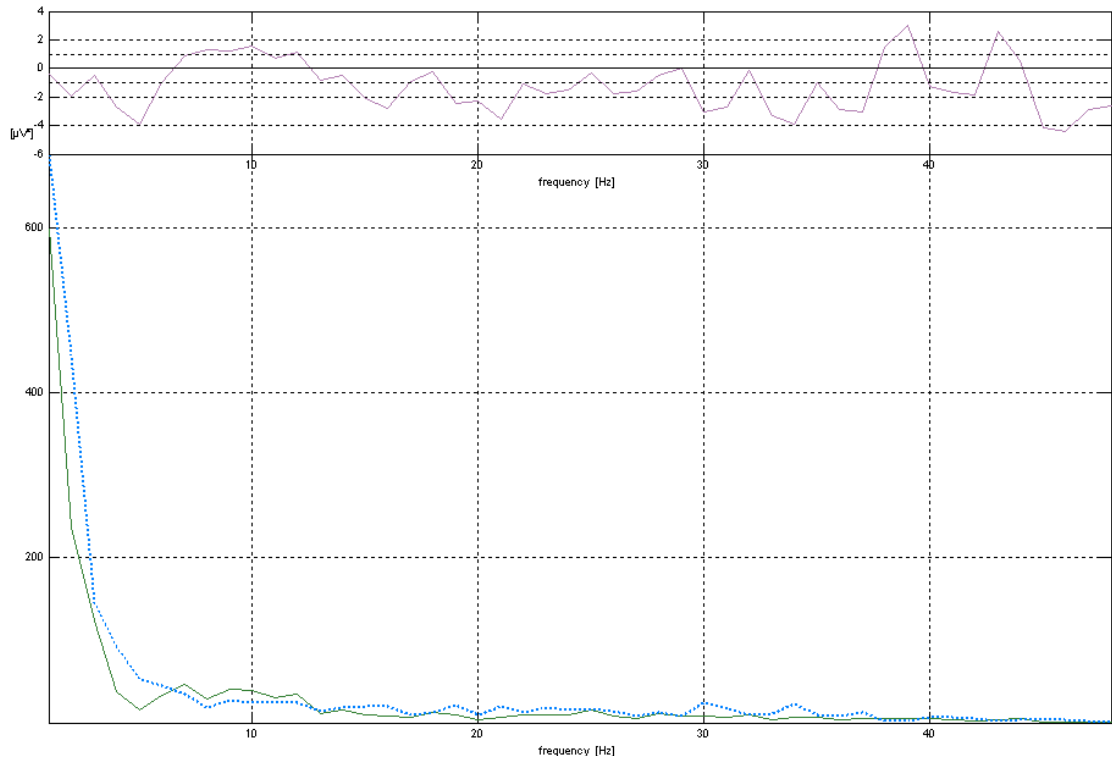
Σχήμα 12-29. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο C4



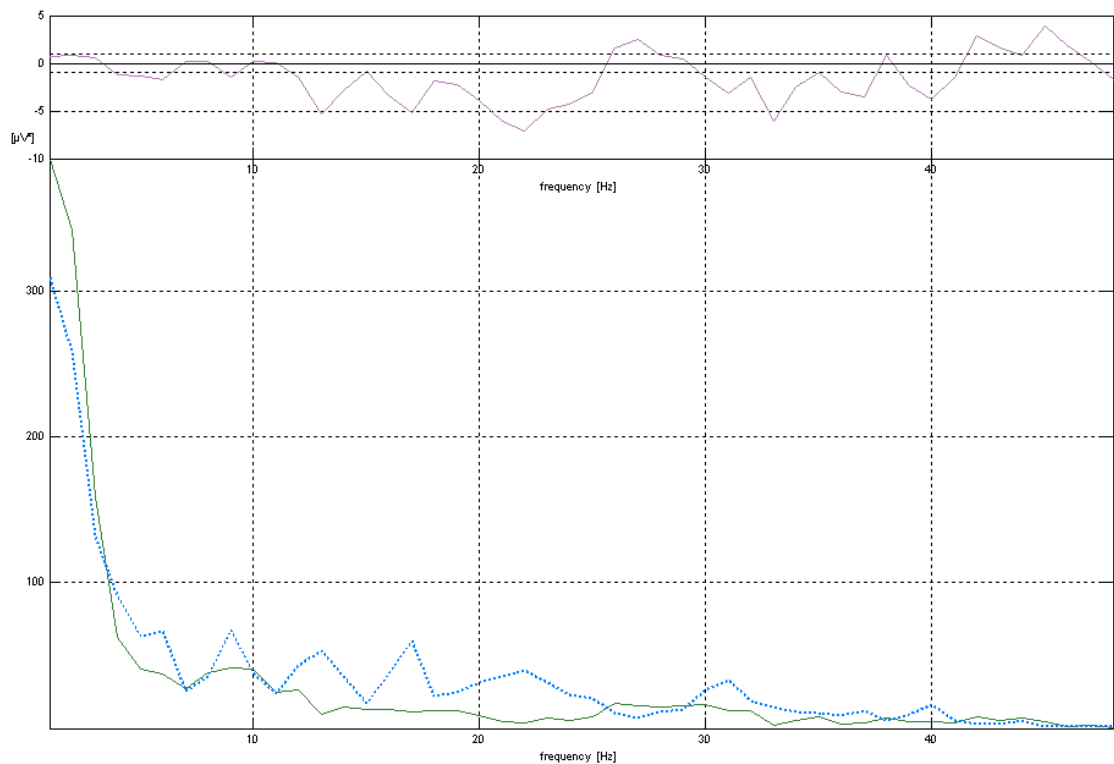
Σχήμα 12-30. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο P4



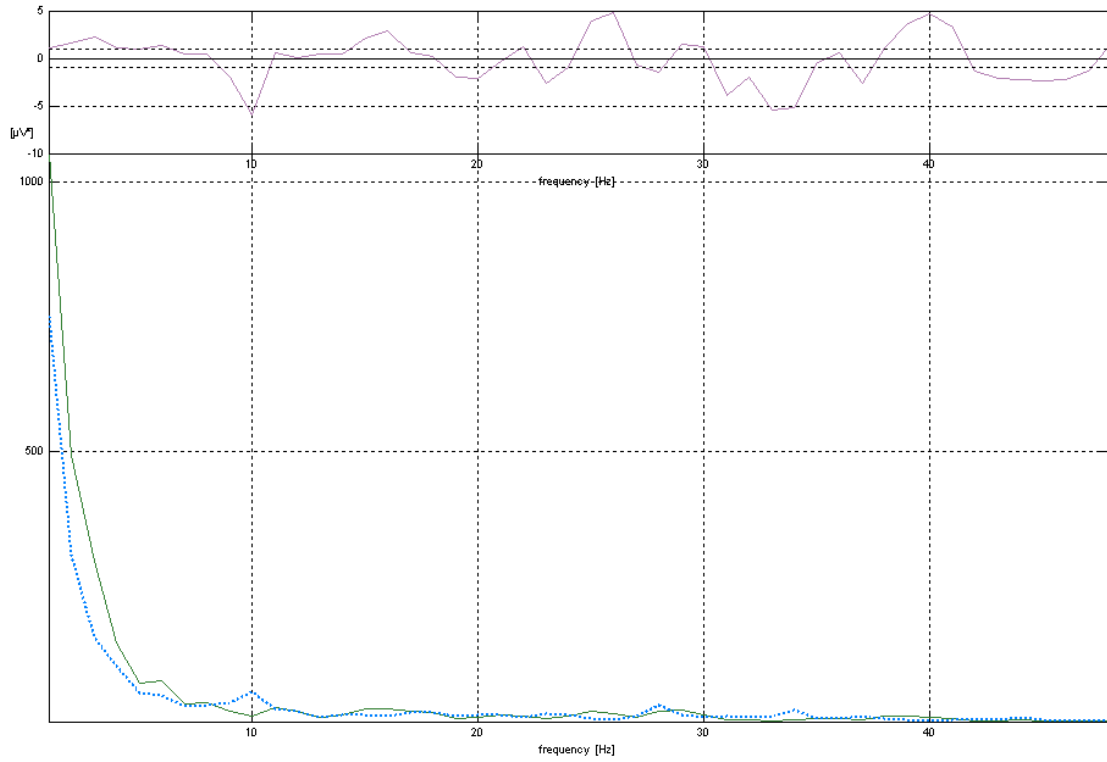
Σχήμα 12-31. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F7



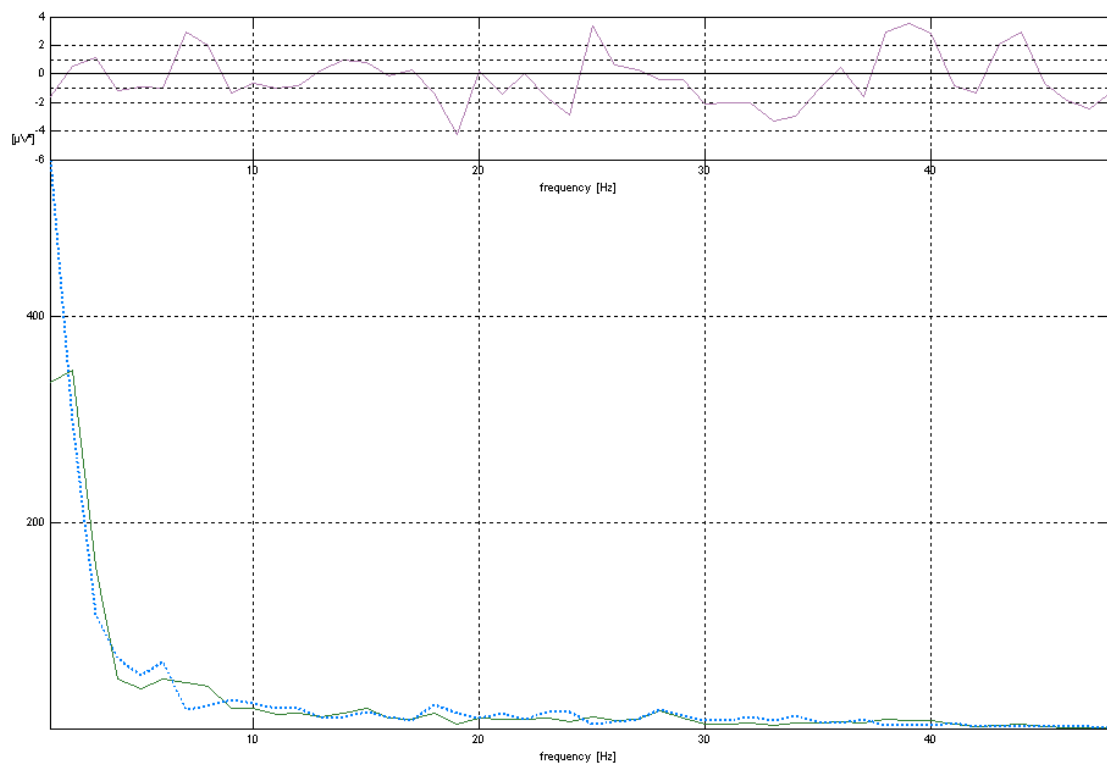
Σχήμα 12-32. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T3



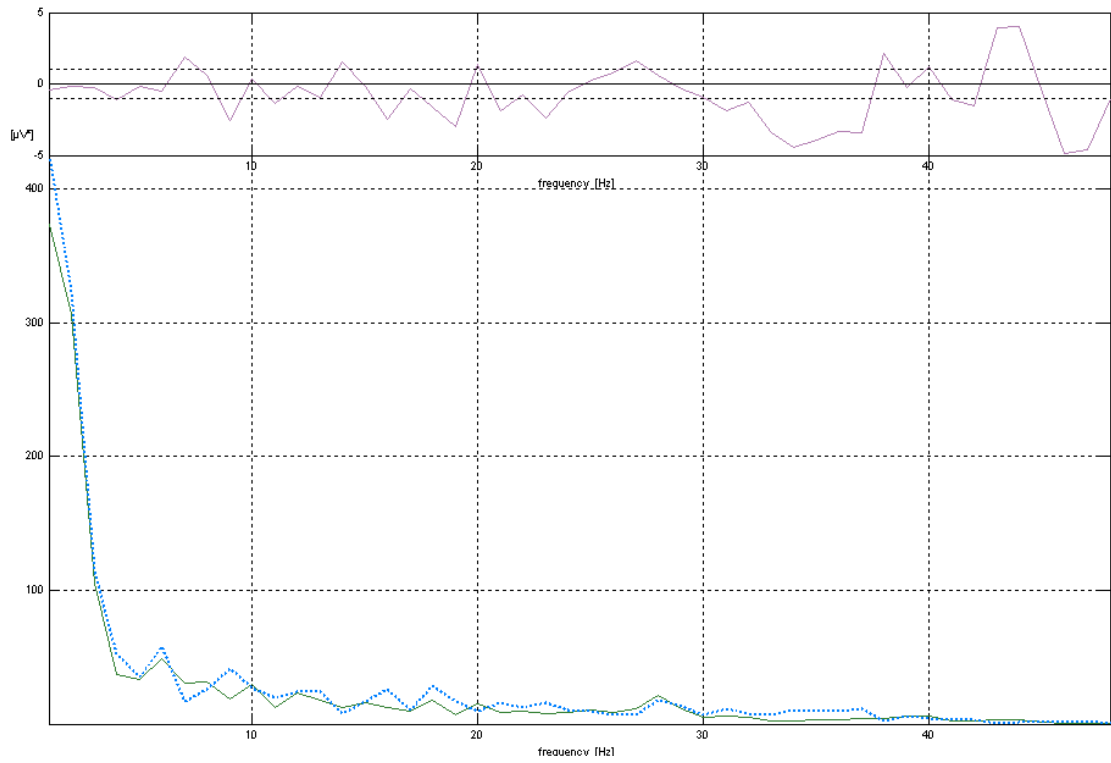
Σχήμα 12-33. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T5



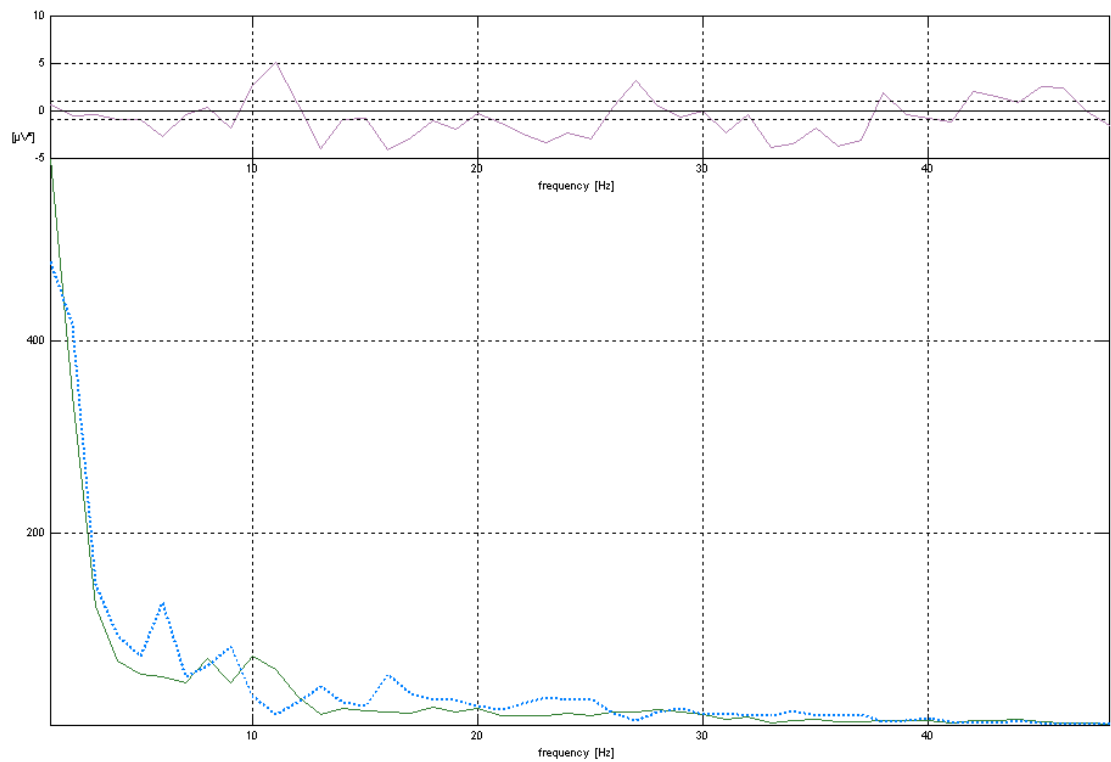
Σχήμα 12-34. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F8



Σχήμα 12-35. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T4

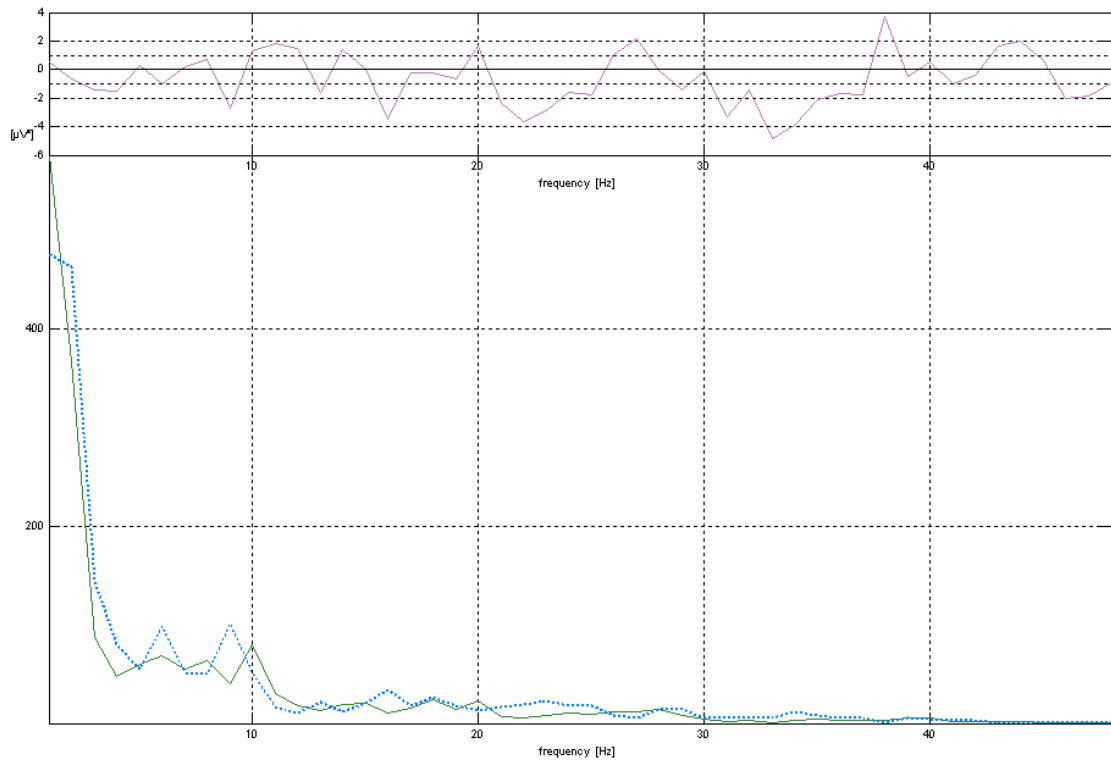


Σχήμα 12-36. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T6



Σχήμα 12-37. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο O1

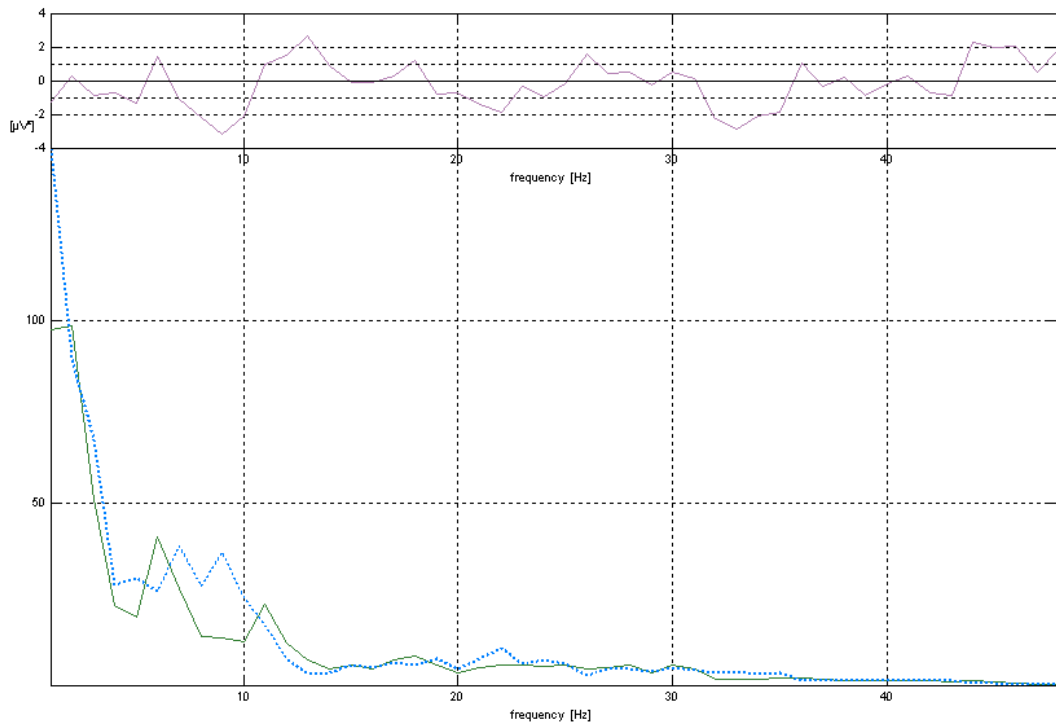




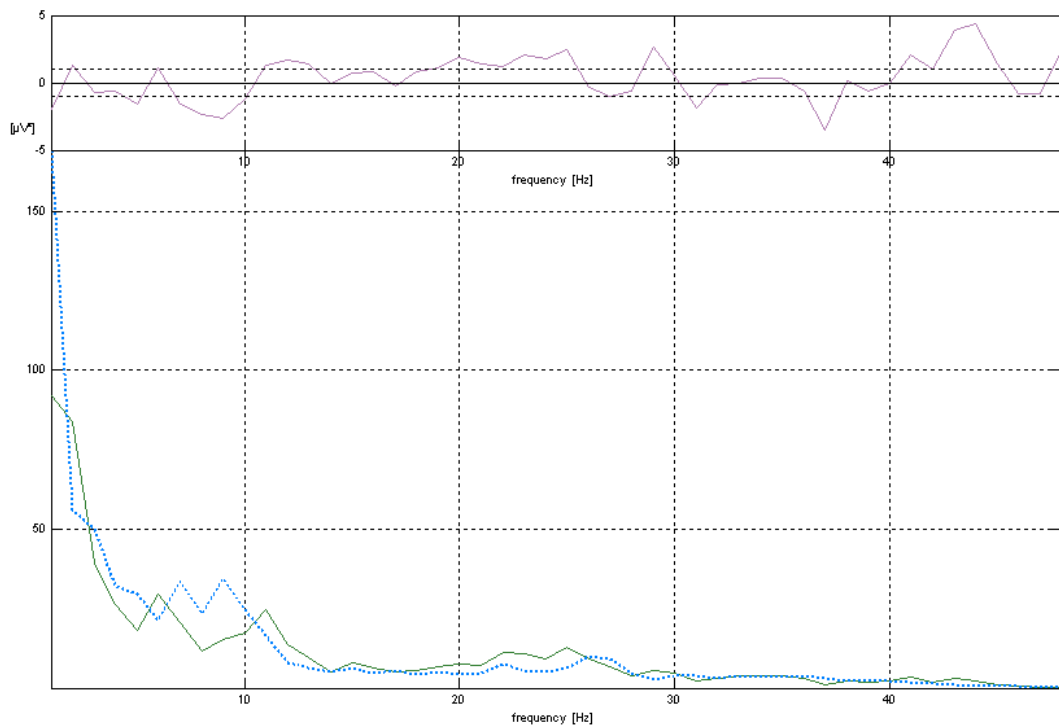
Σχήμα 12-38. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο O2

### 12.2.2 Αναγνώριση και καταμέτρηση αντικειμένων

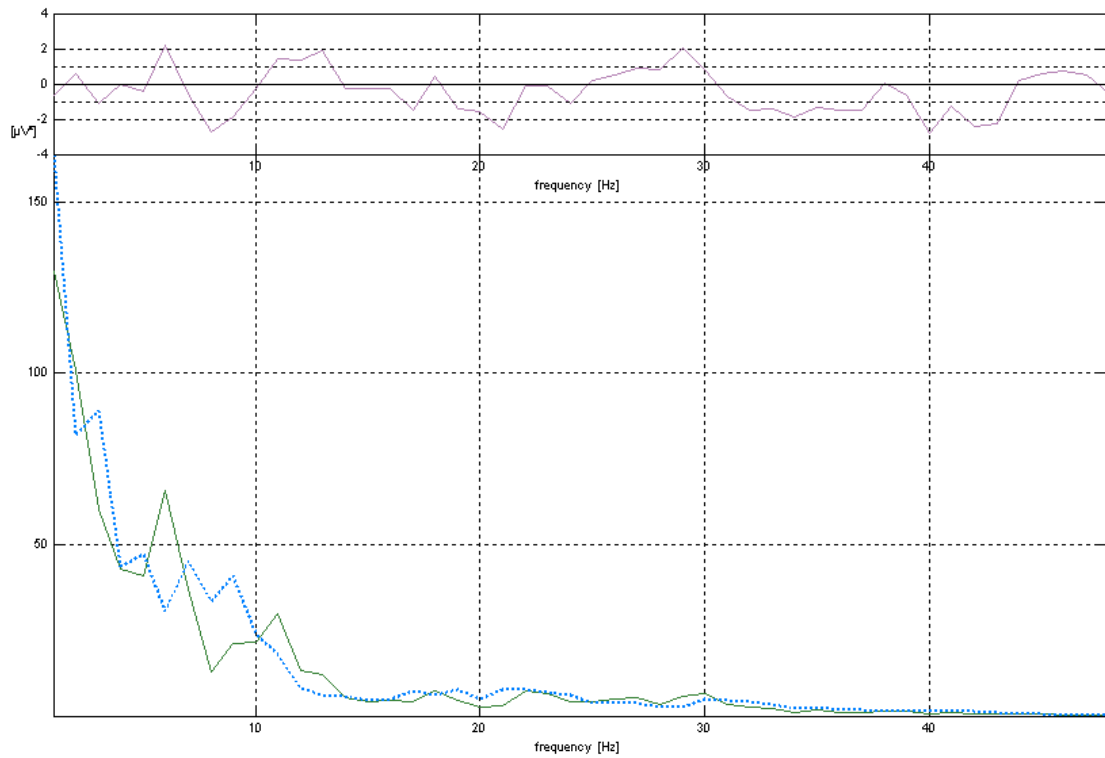
#### Διεργασία h



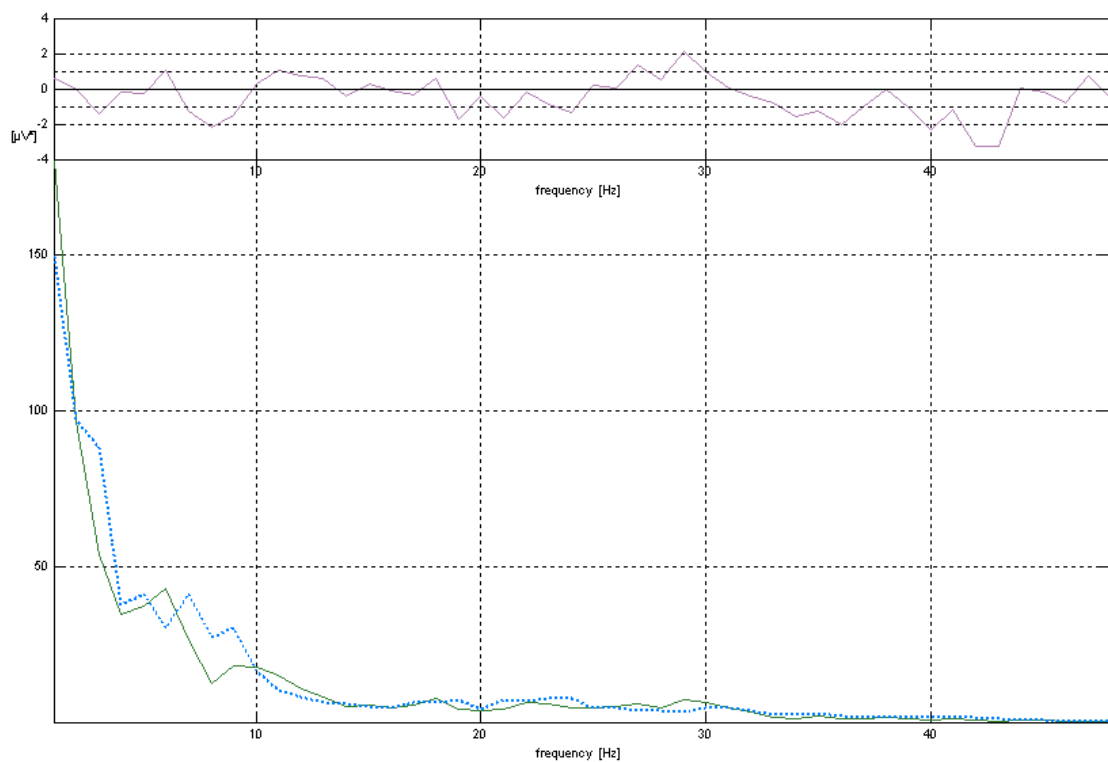
Σχήμα 12-39. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fp1



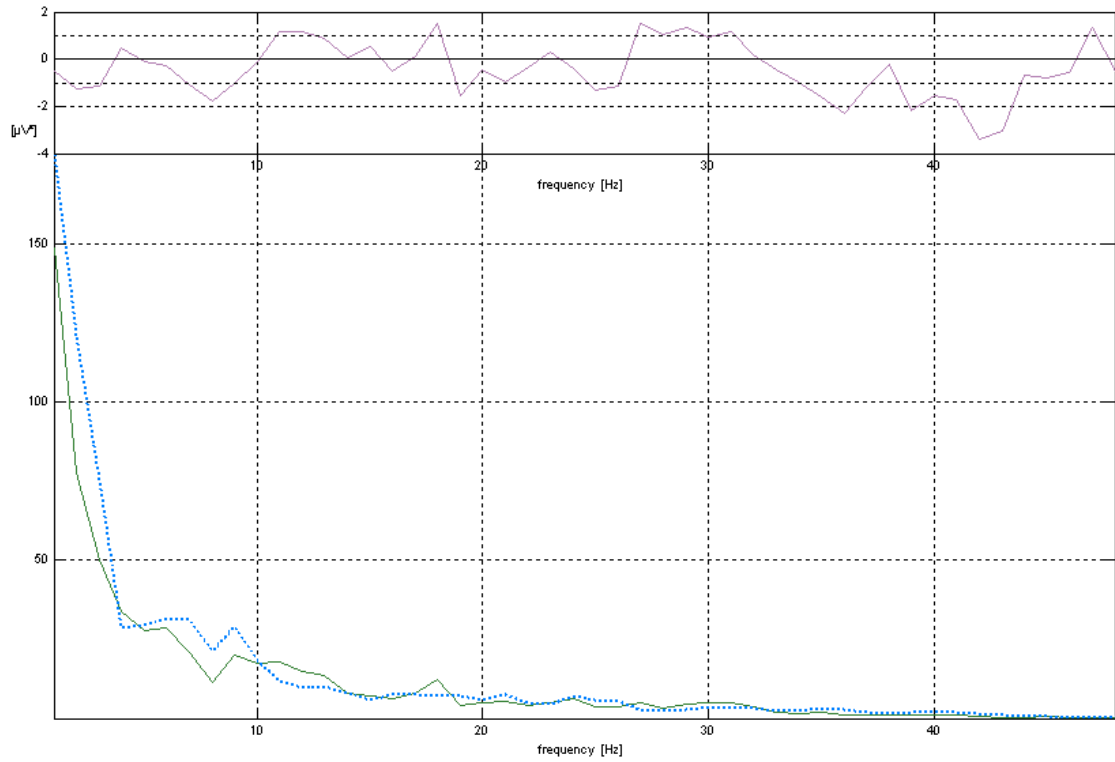
Σχήμα 12-40. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fp2



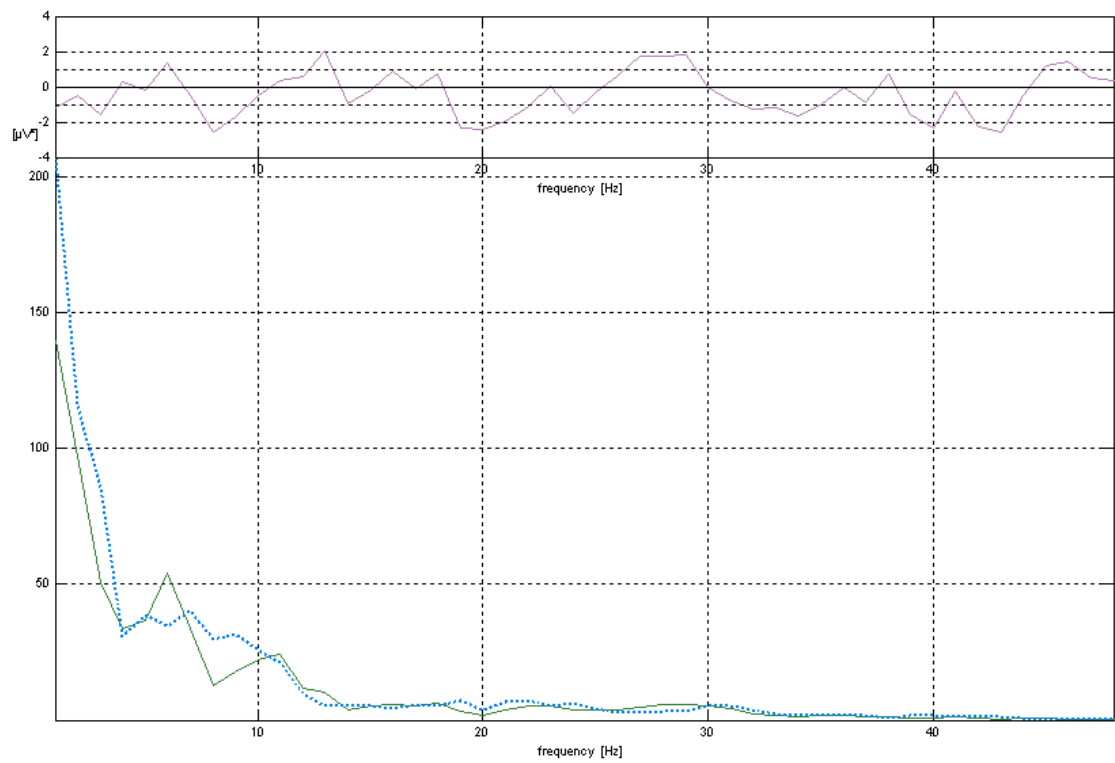
Σχήμα 12-41. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fz



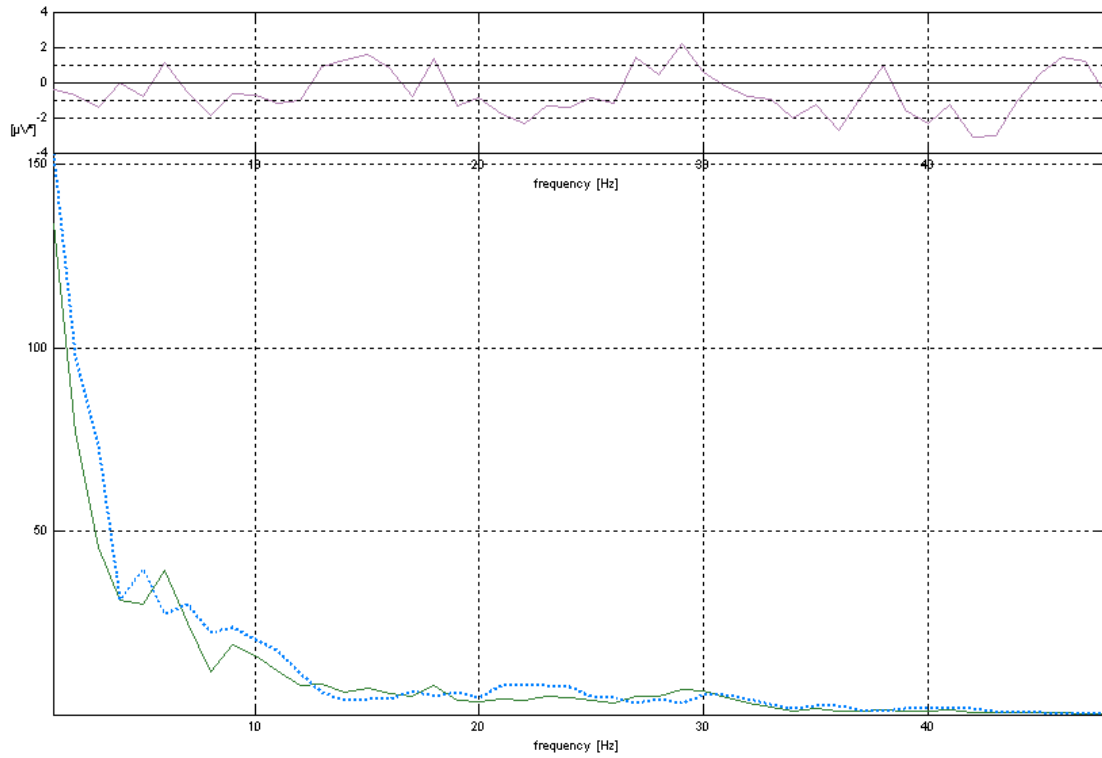
Σχήμα 12-42. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Cz



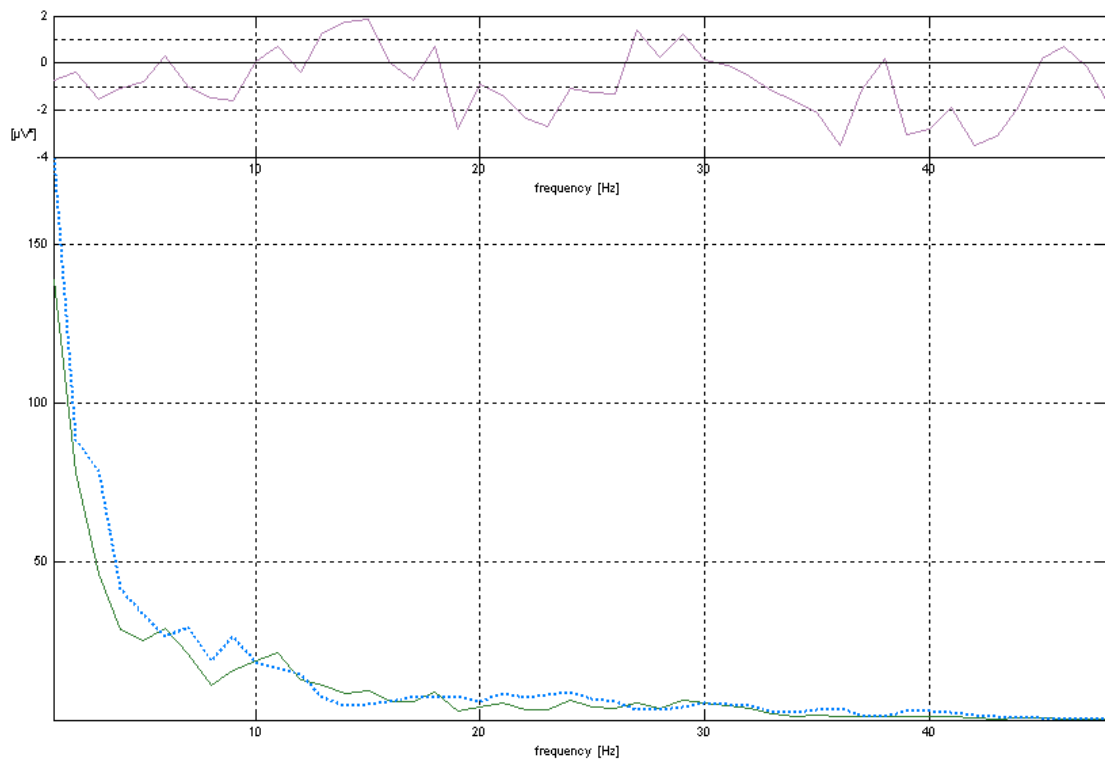
Σχήμα 12-43. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Pz



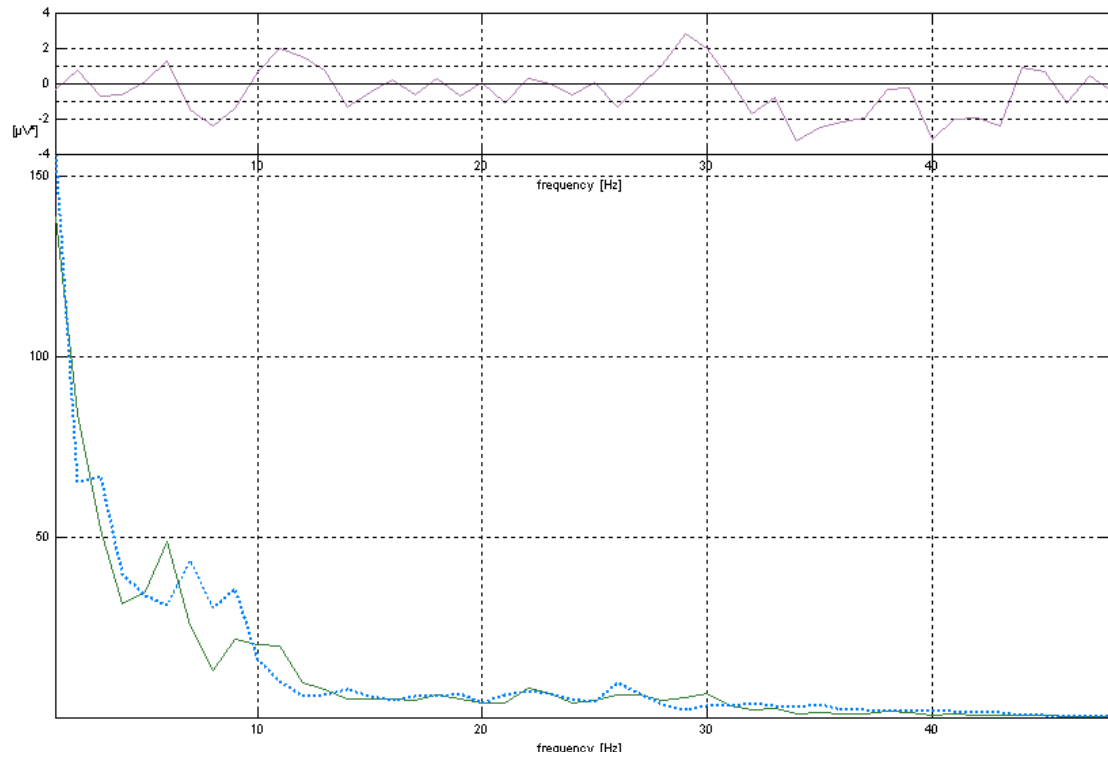
Σχήμα 12-44. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F3



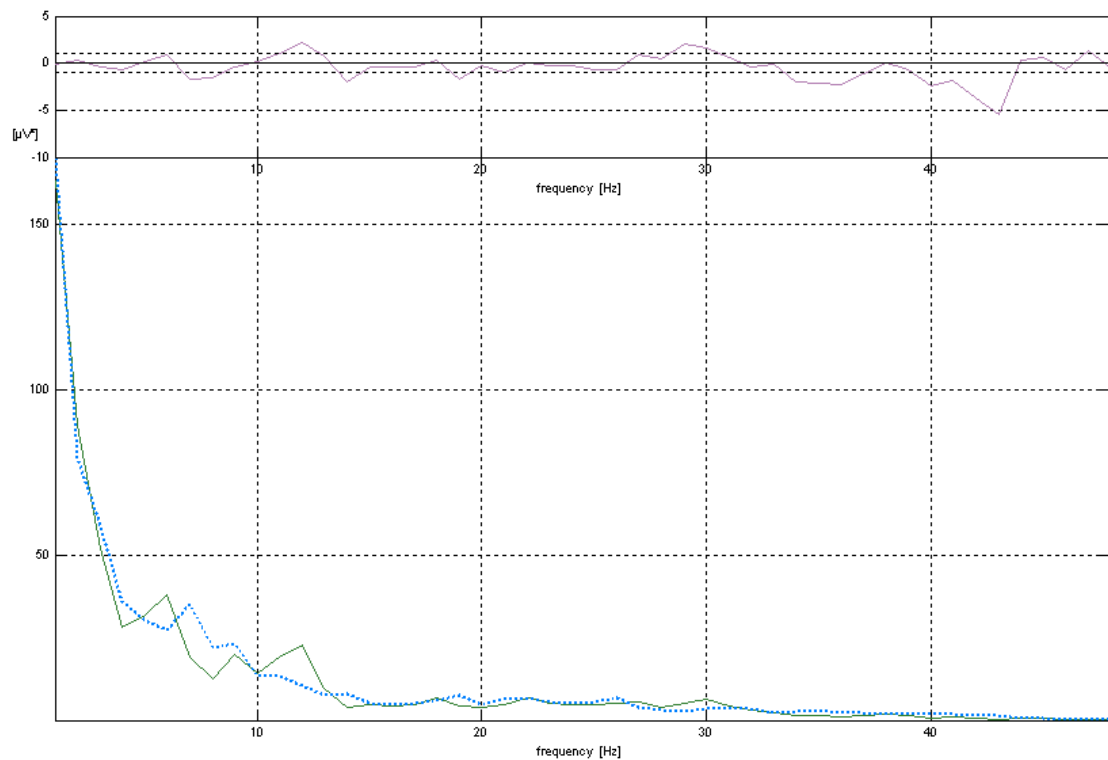
Σχήμα 12-45. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο C3



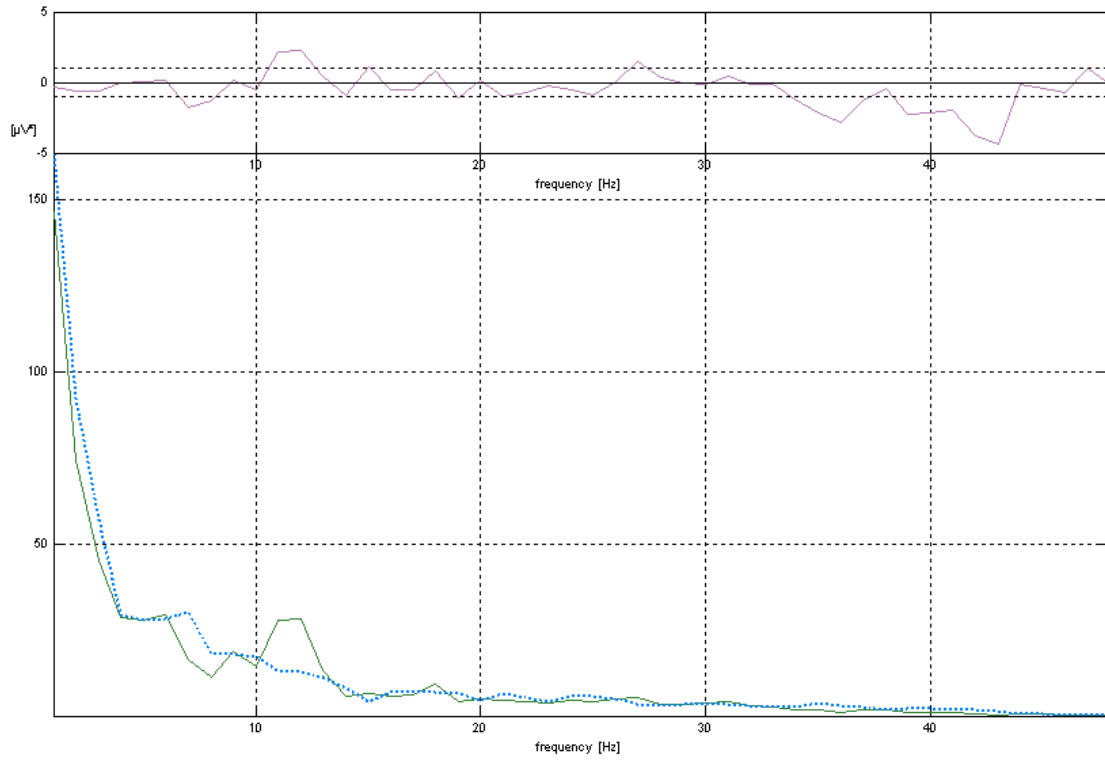
Σχήμα 12-46. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο P3



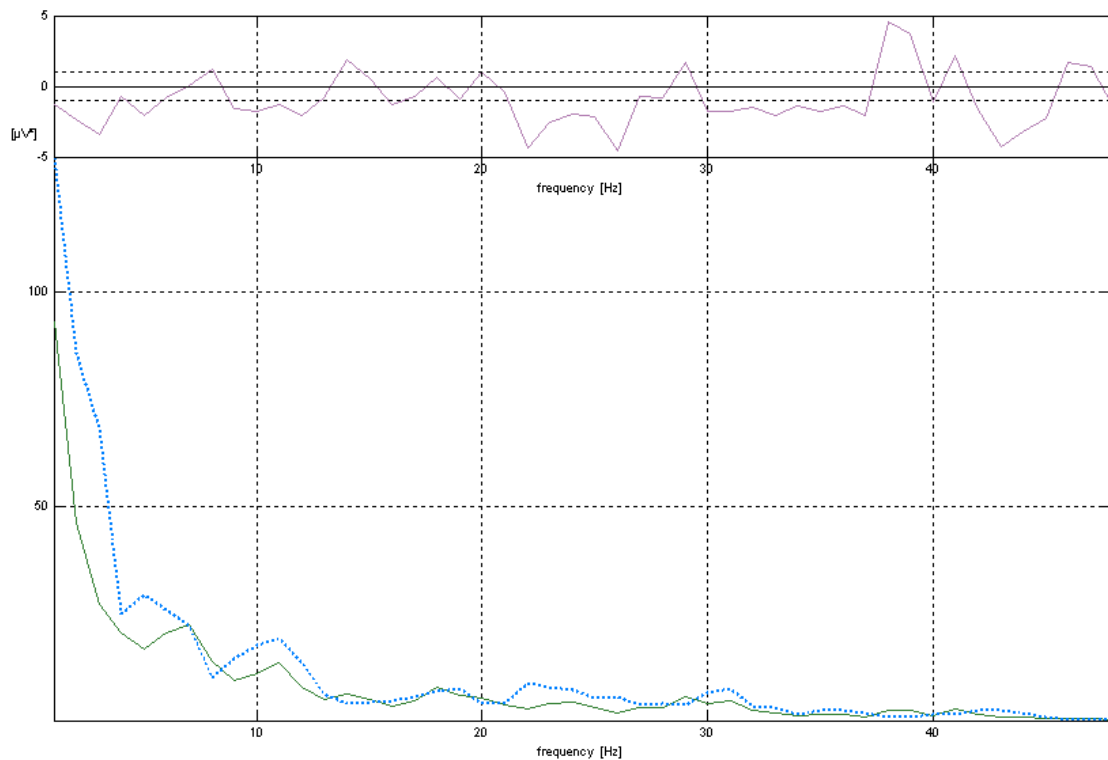
Σχήμα 12-47. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F4



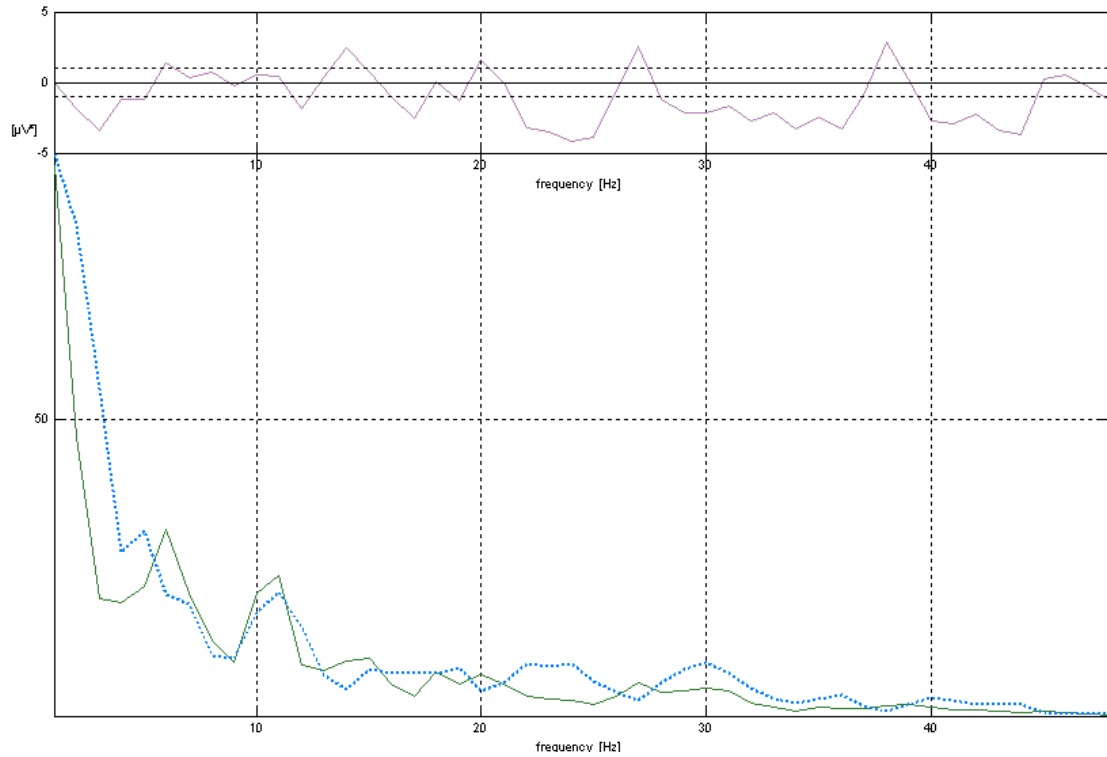
Σχήμα 12-48. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο C4



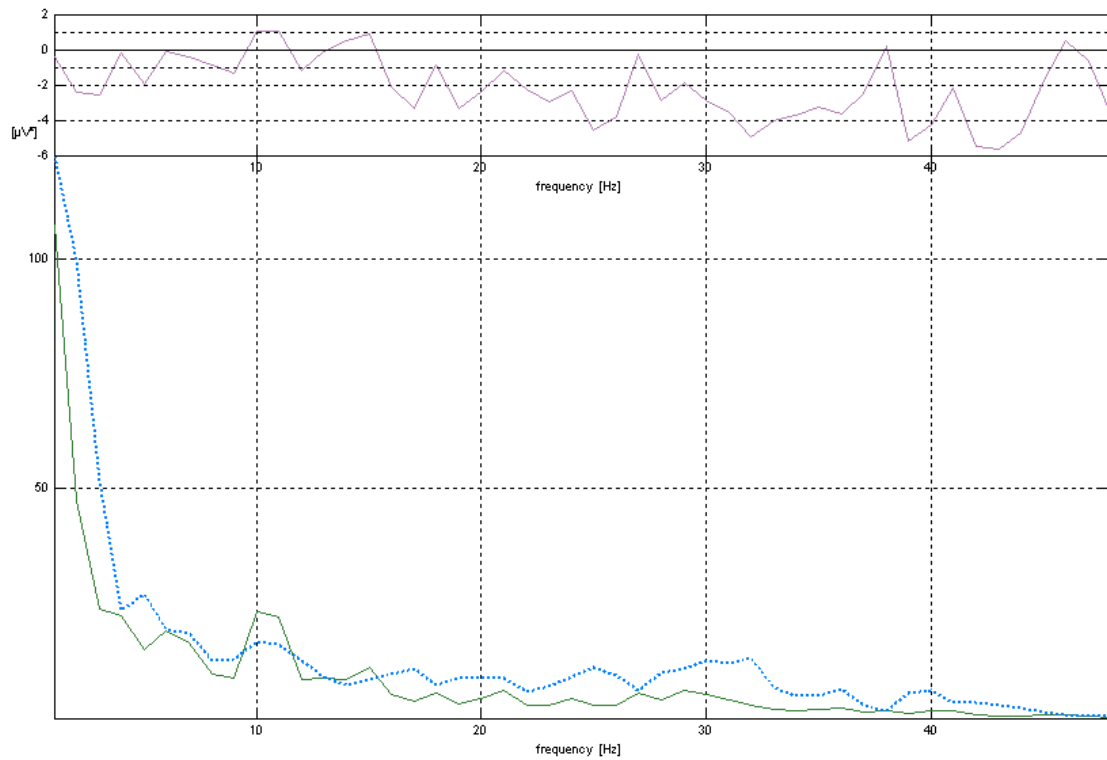
Σχήμα 12-49. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο P4



Σχήμα 12-50. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F7

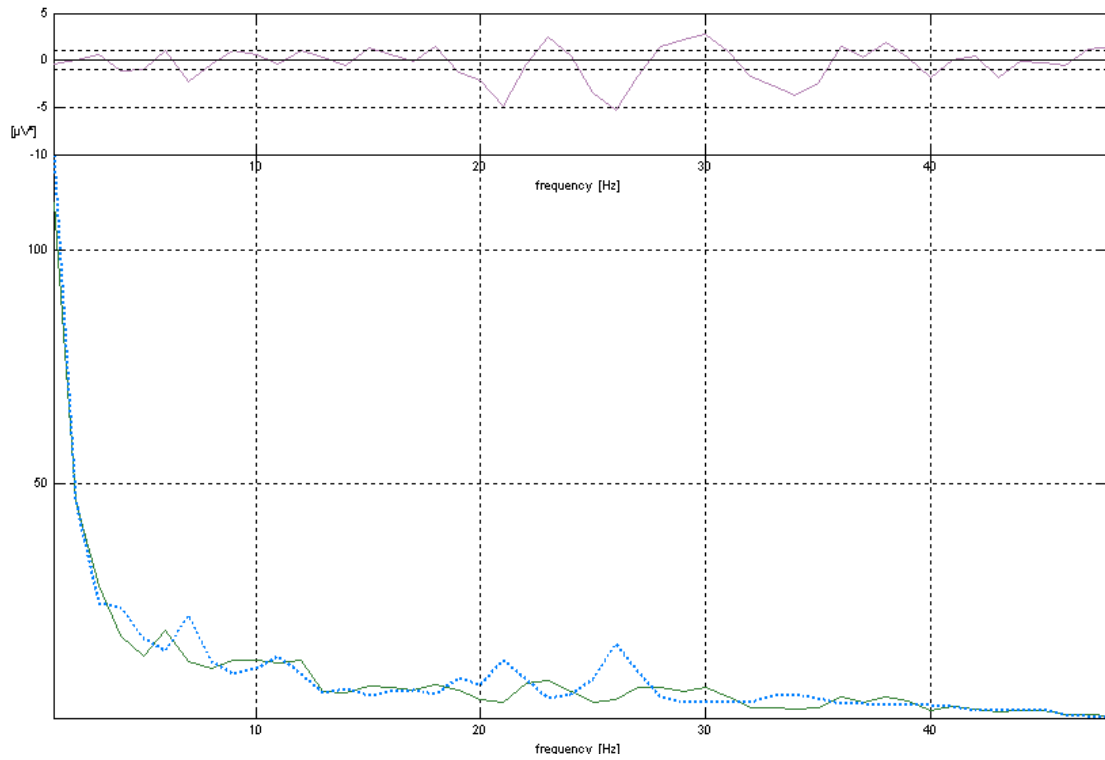


Σχήμα 12-51. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T3

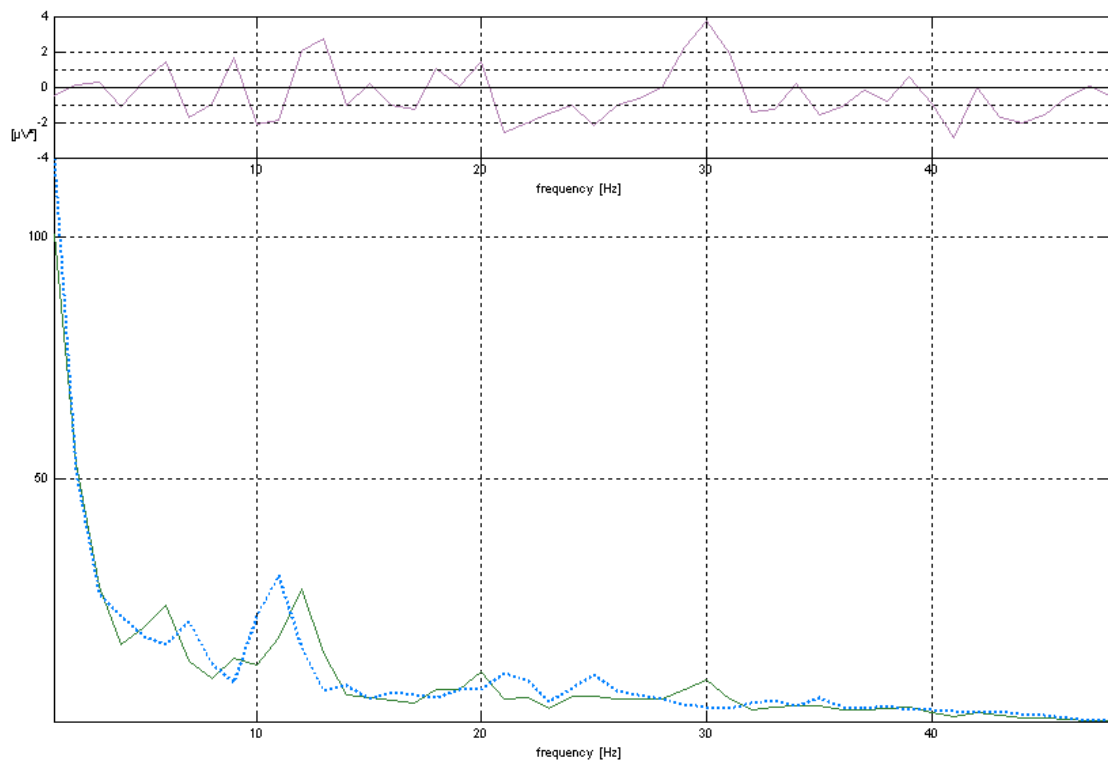


Σχήμα 12-52. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T5

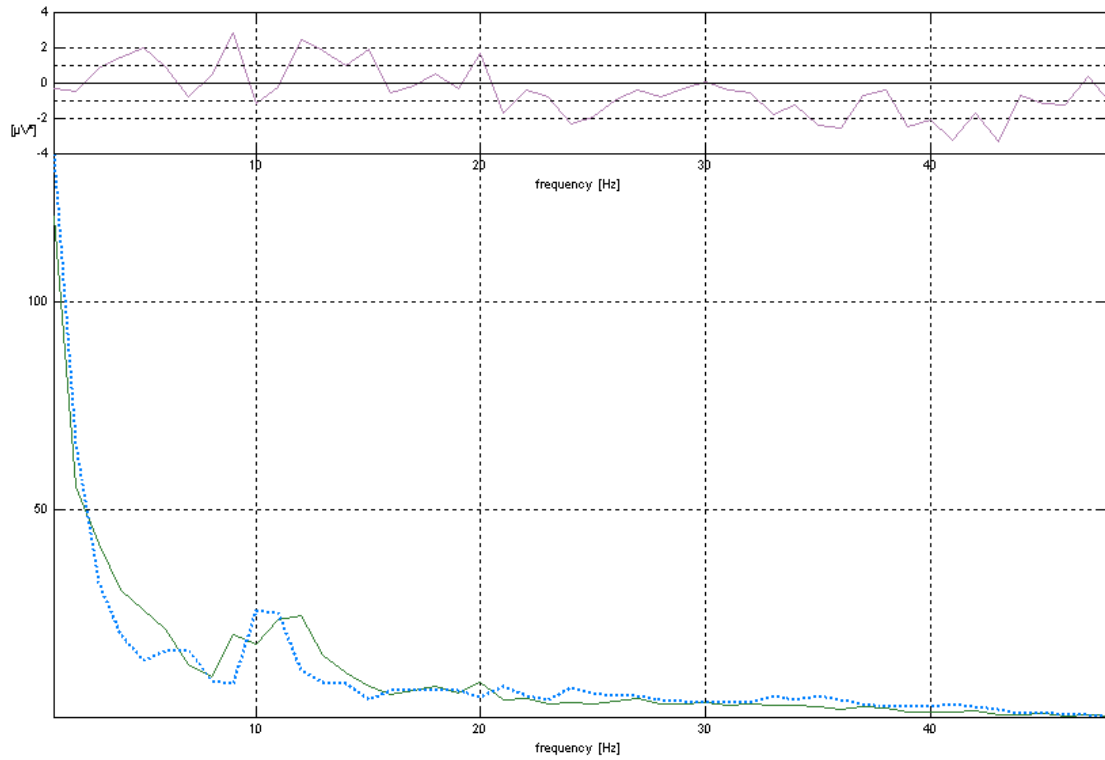




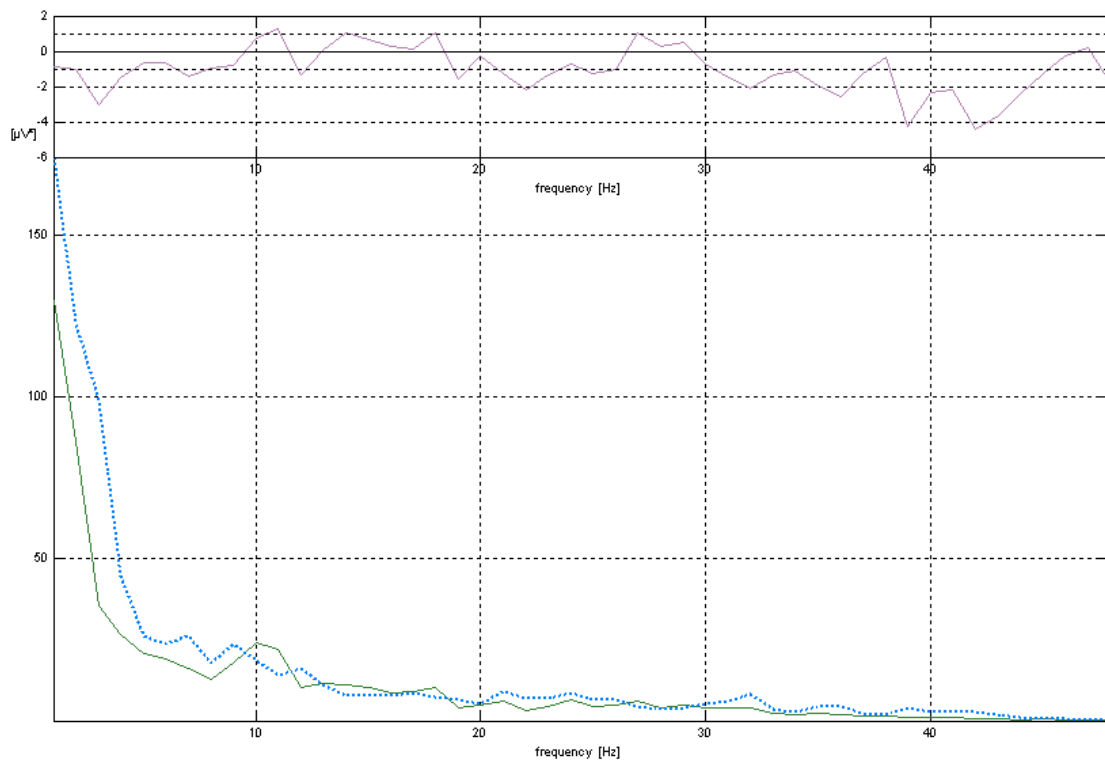
Σχήμα 12-53. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F8



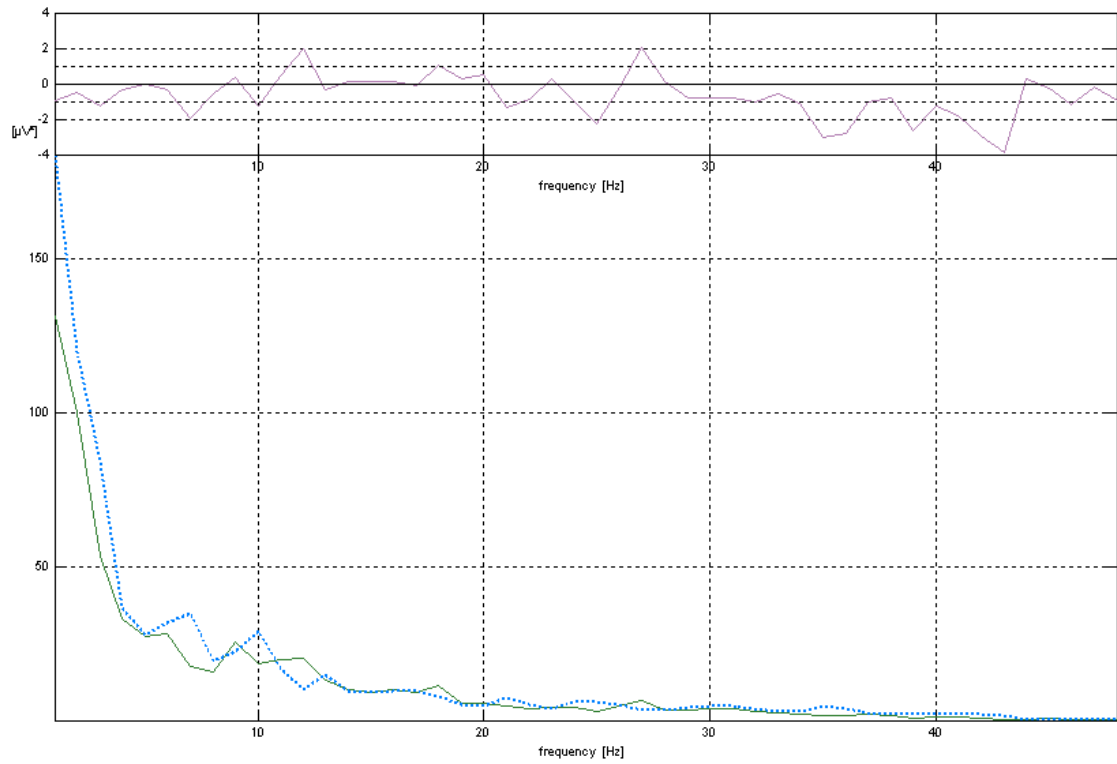
Σχήμα 12-54. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T4



Σχήμα 12-55. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T6

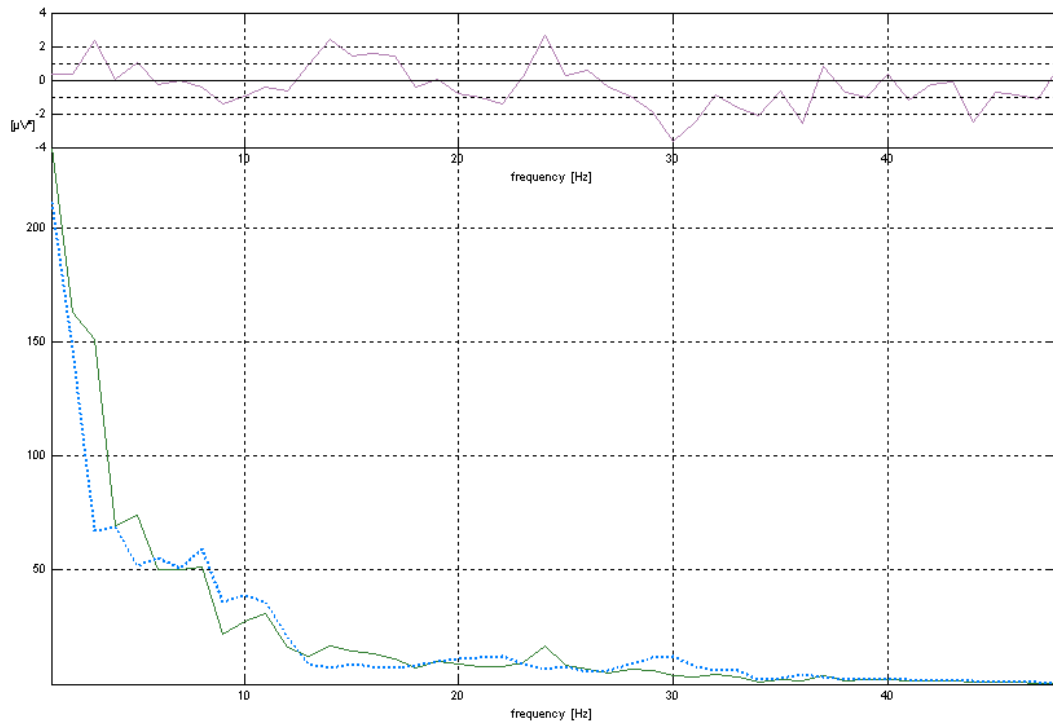


Σχήμα 12-56. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο O1

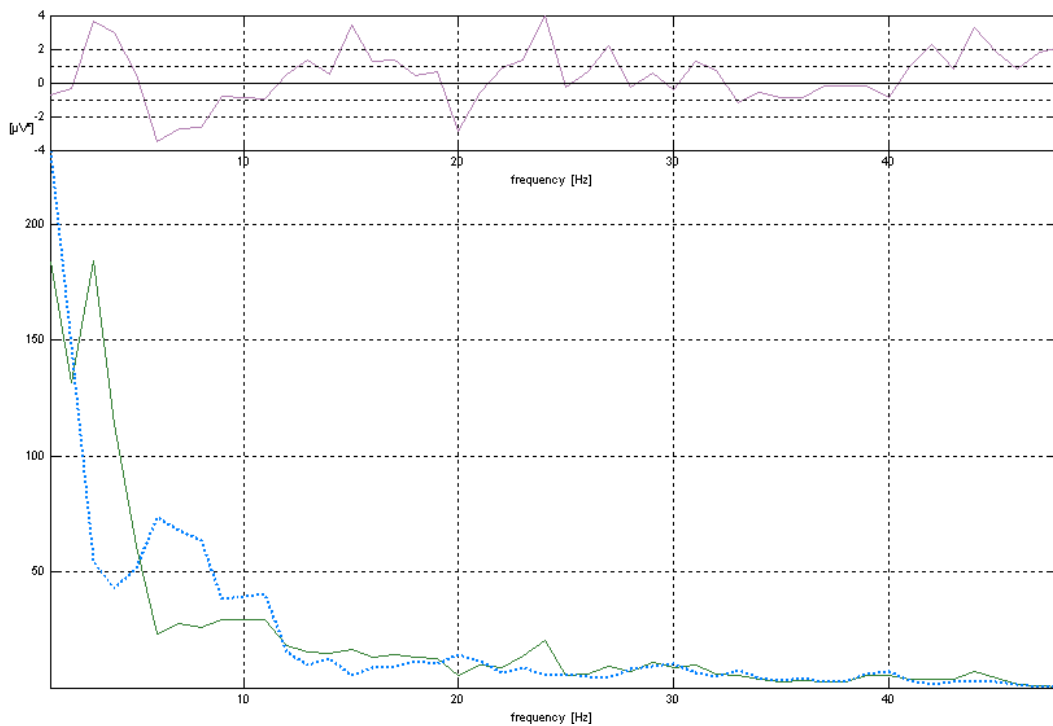


Σχήμα 12-57. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο O2

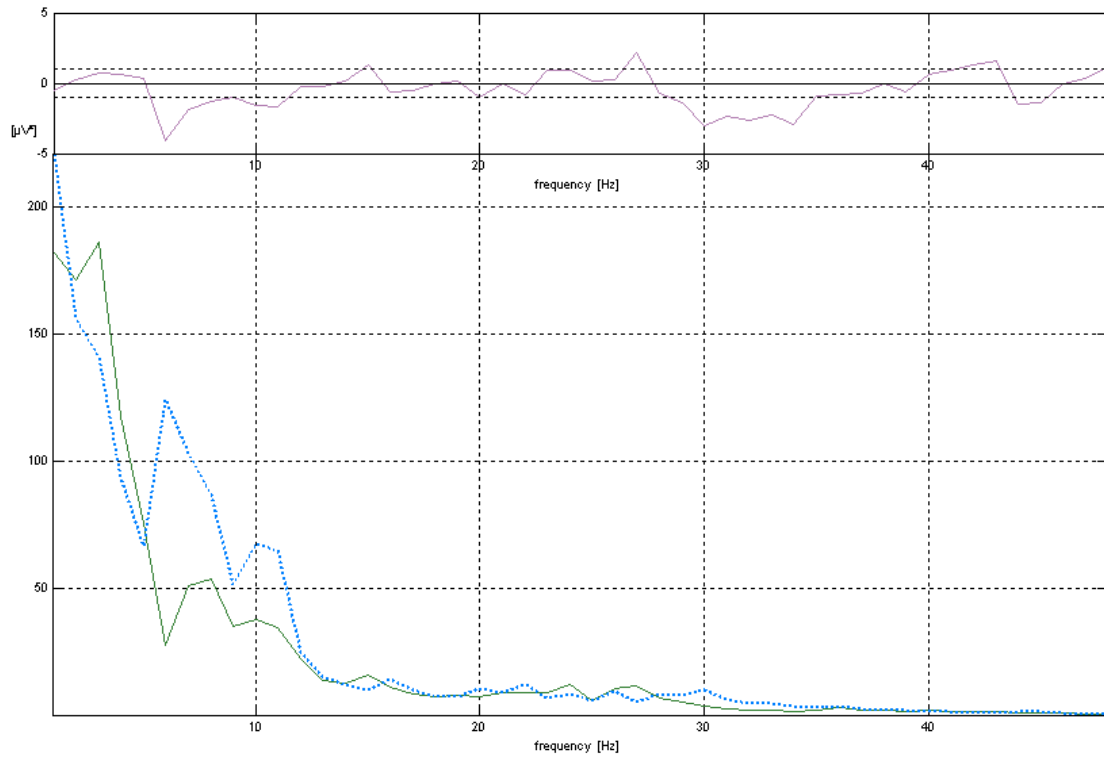
Διεργασία r



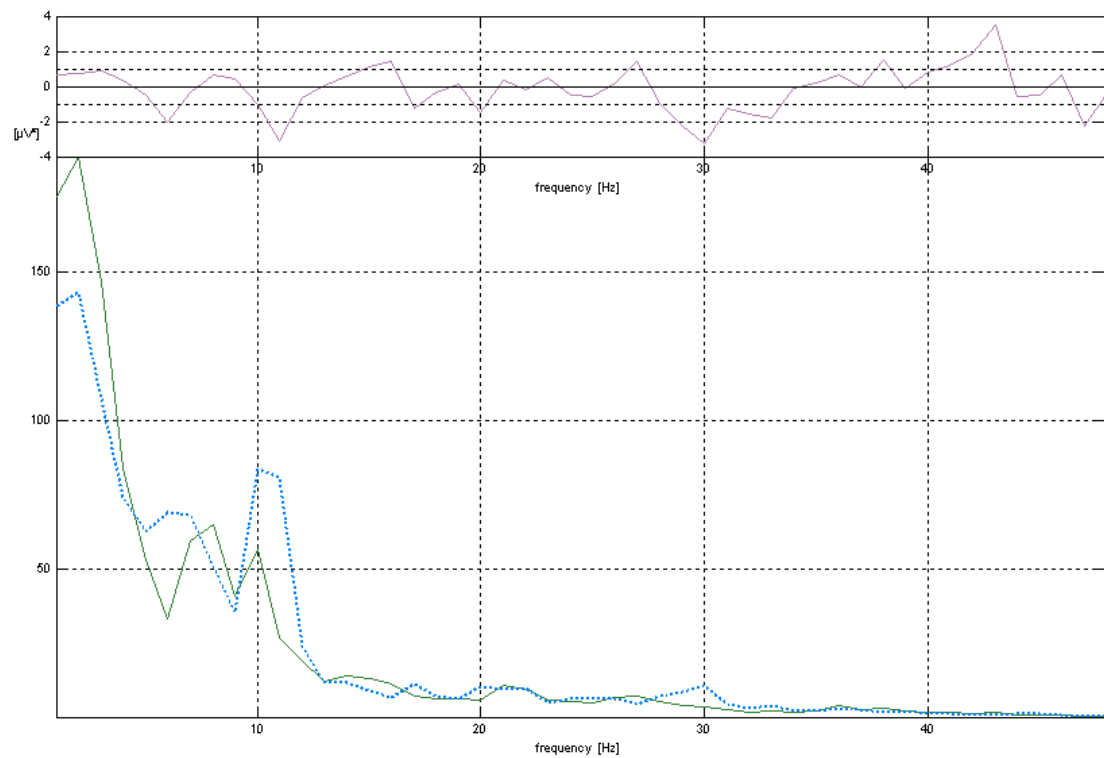
Σχήμα 12-58. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fr1



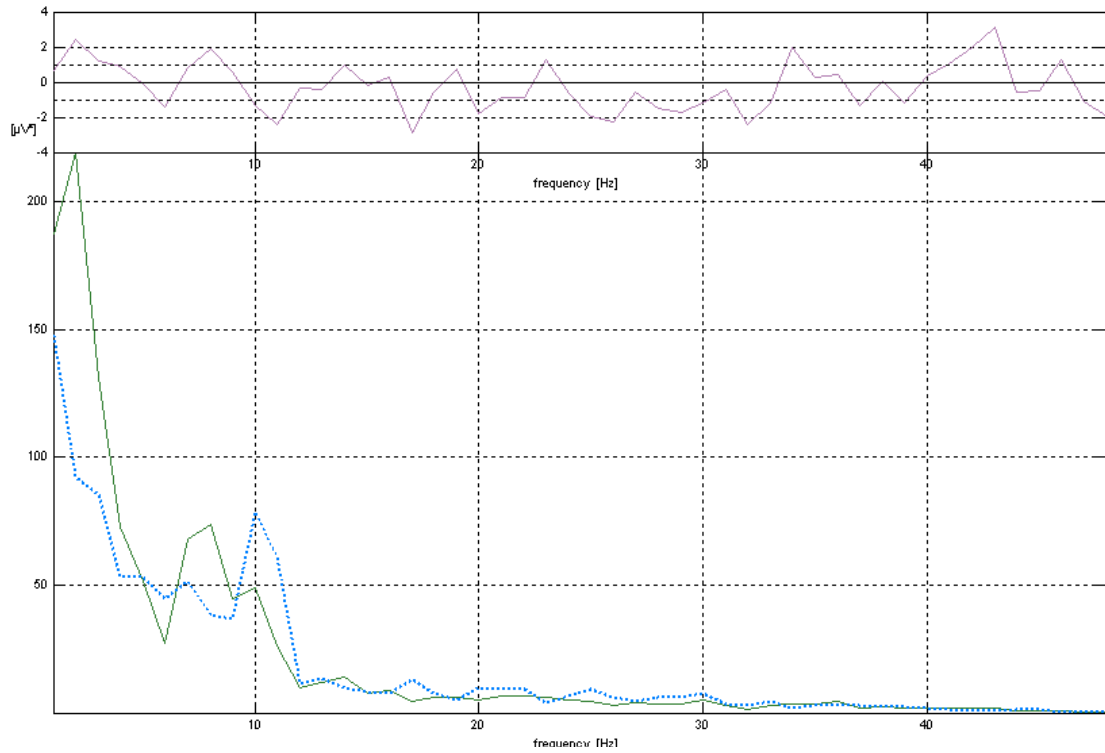
Σχήμα 12-59. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fr2



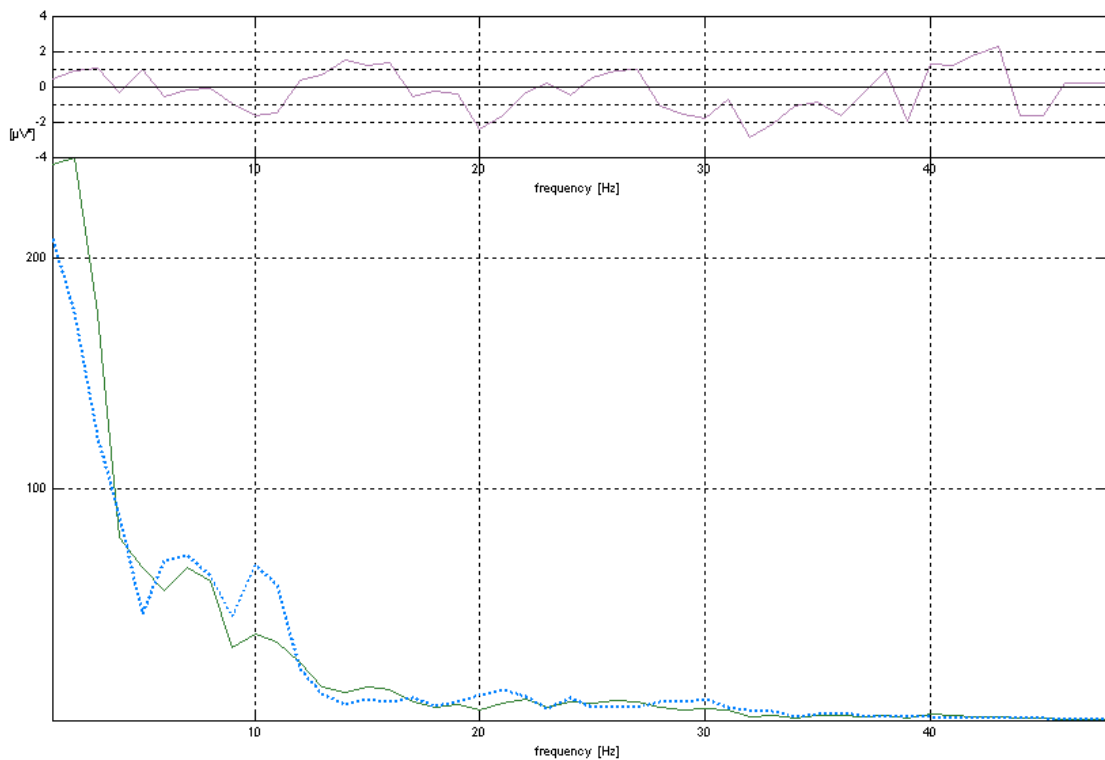
Σχήμα 12-60. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fz



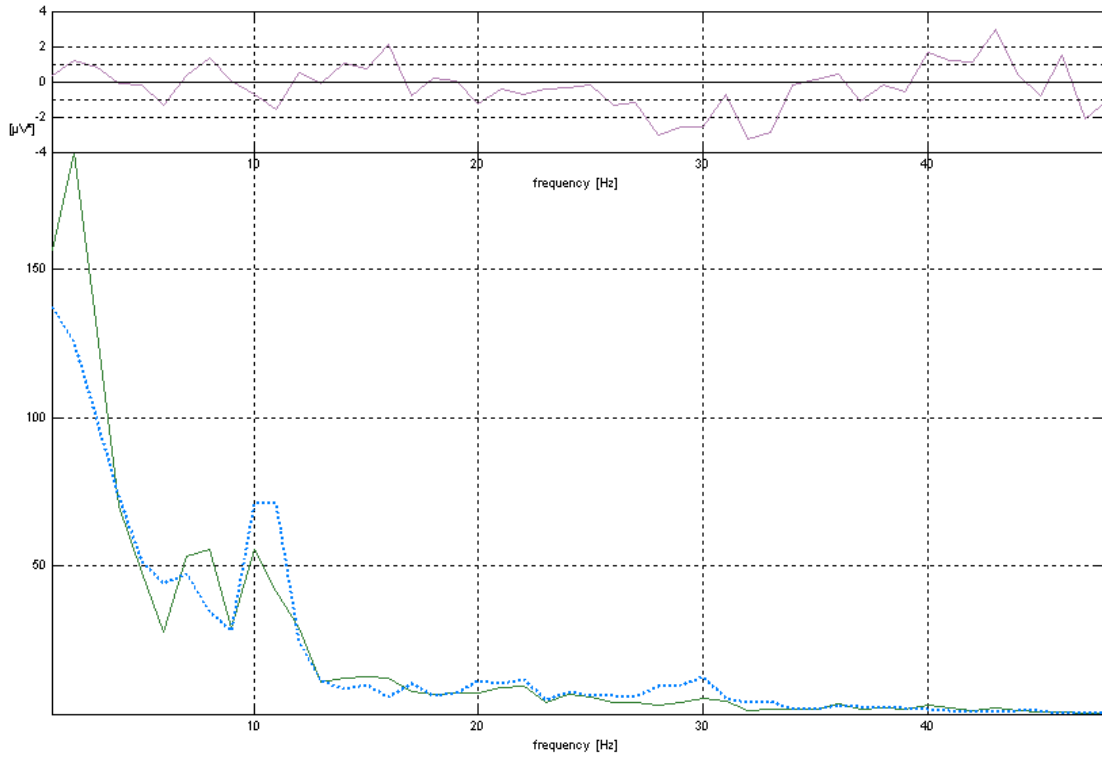
Σχήμα 12-61. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Cz



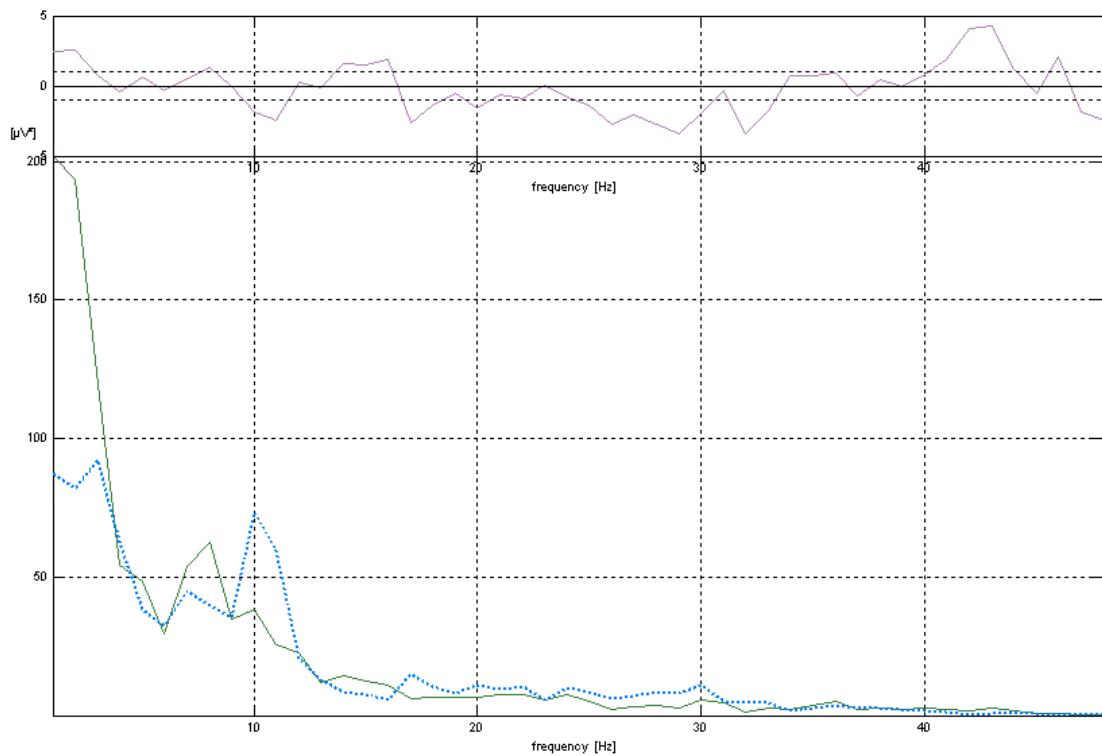
Σχήμα 12-62. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Pz



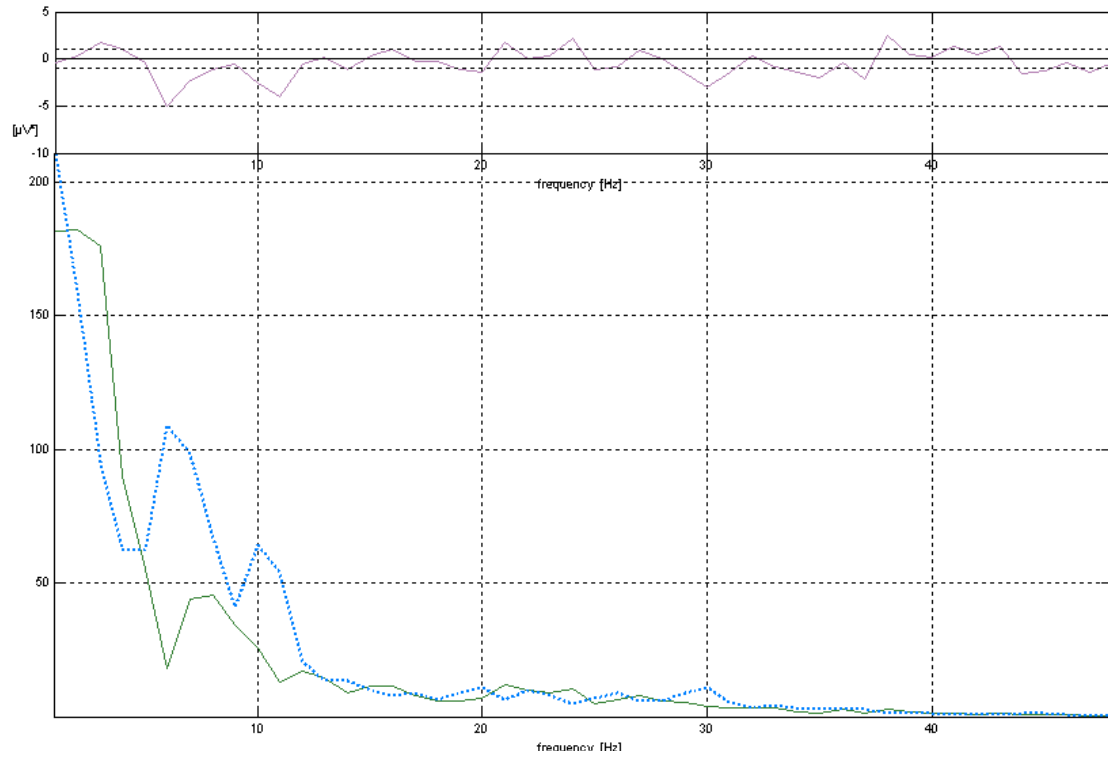
Σχήμα 12-63. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F3



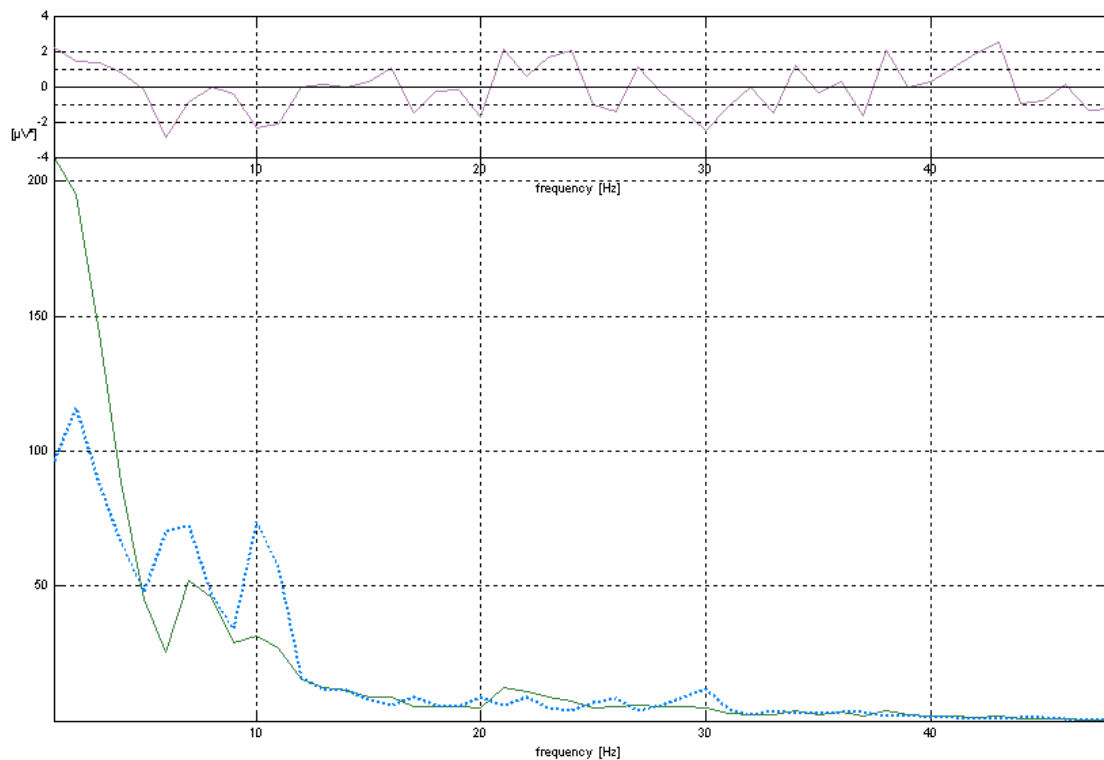
Σχήμα 12-64. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο C3



Σχήμα 12-65. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο P3

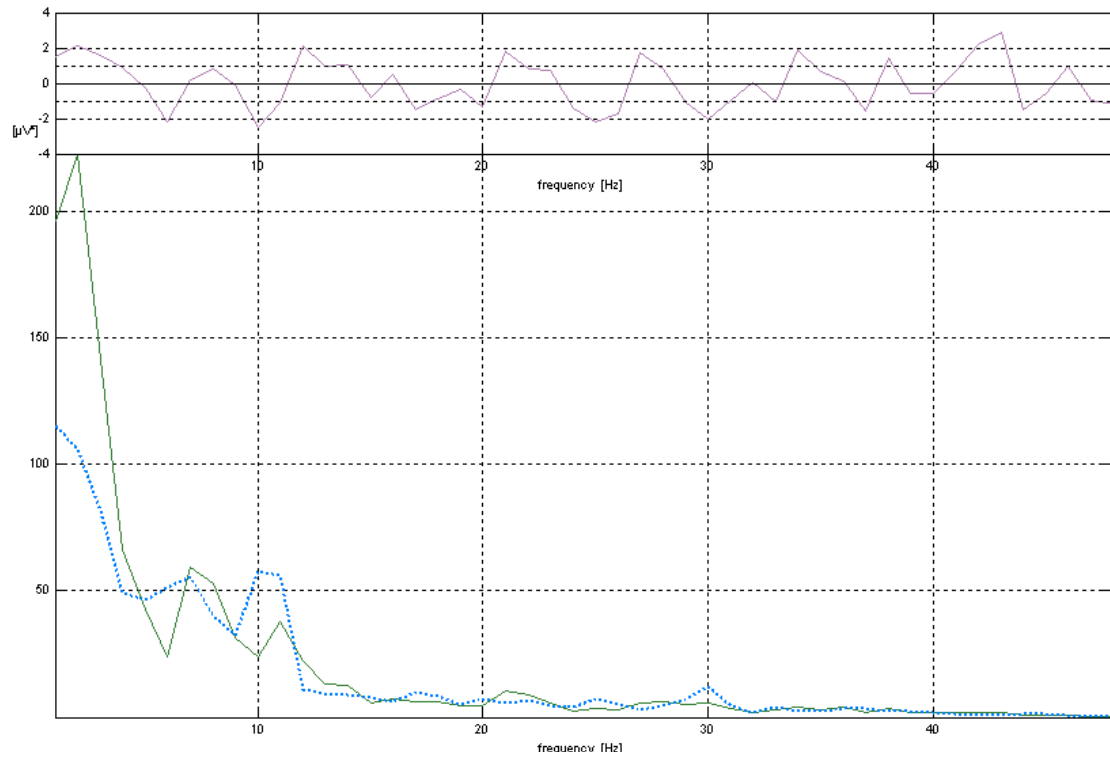


Σχήμα 12-66. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F4

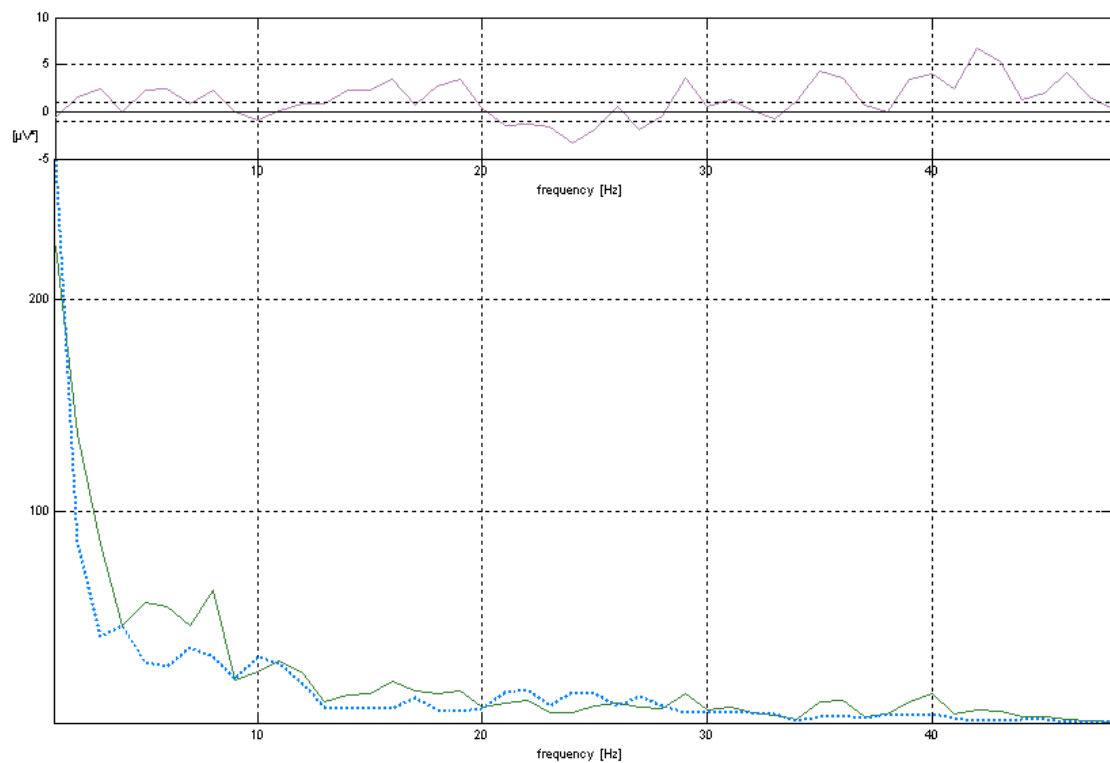


Σχήμα 12-67. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο C4

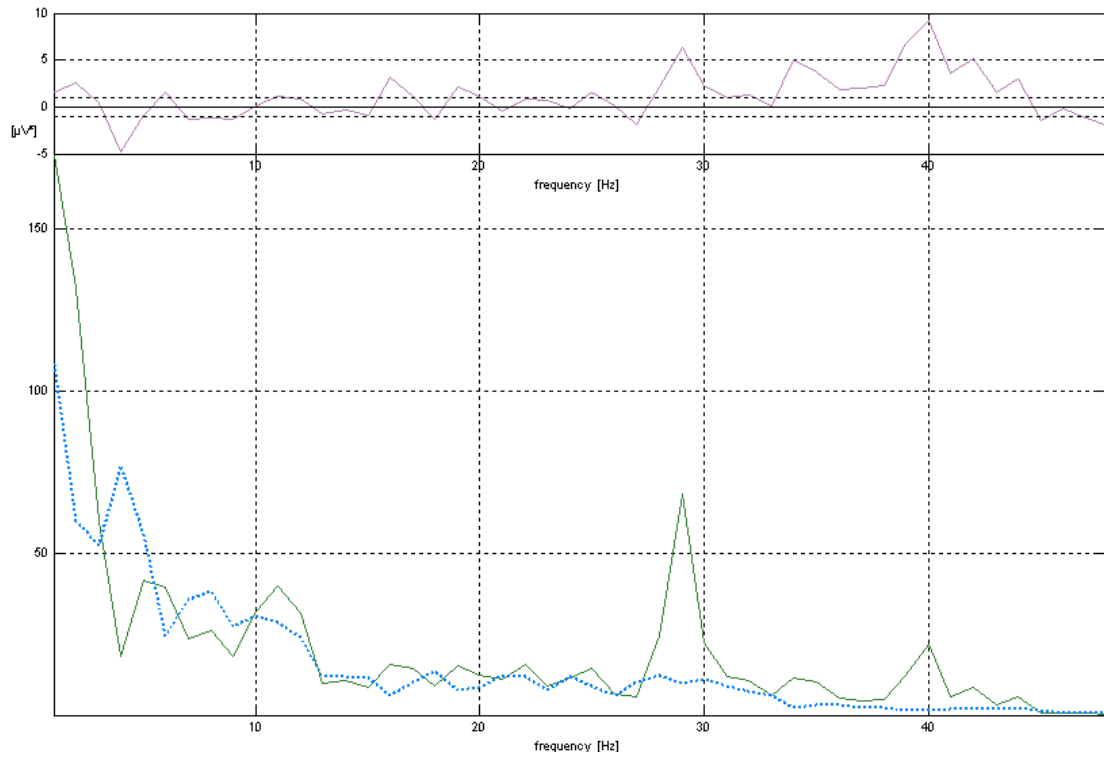




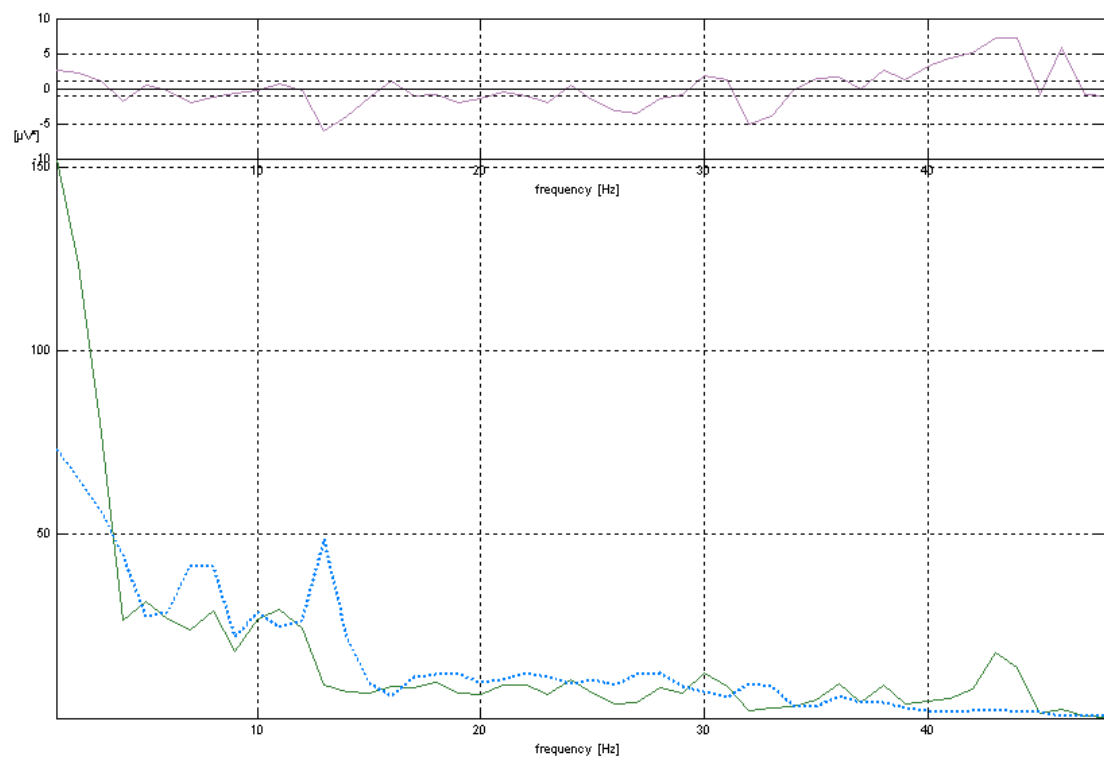
Σχήμα 12-68. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο P4



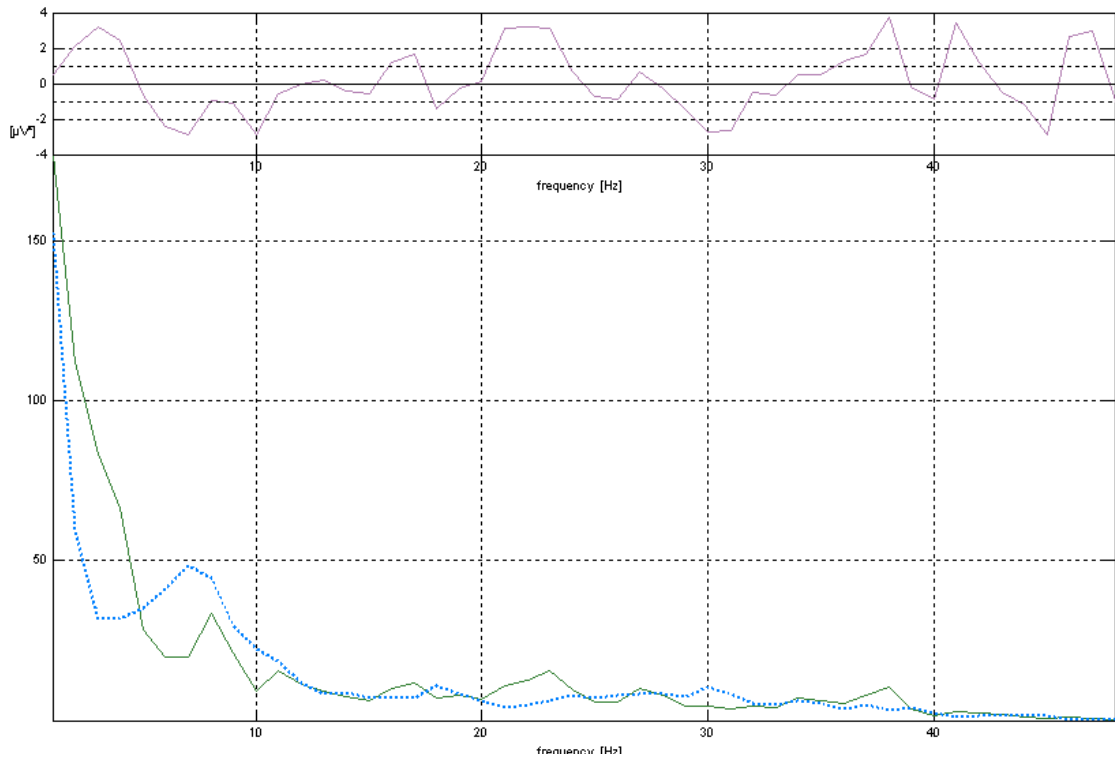
Σχήμα 12-69. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F7



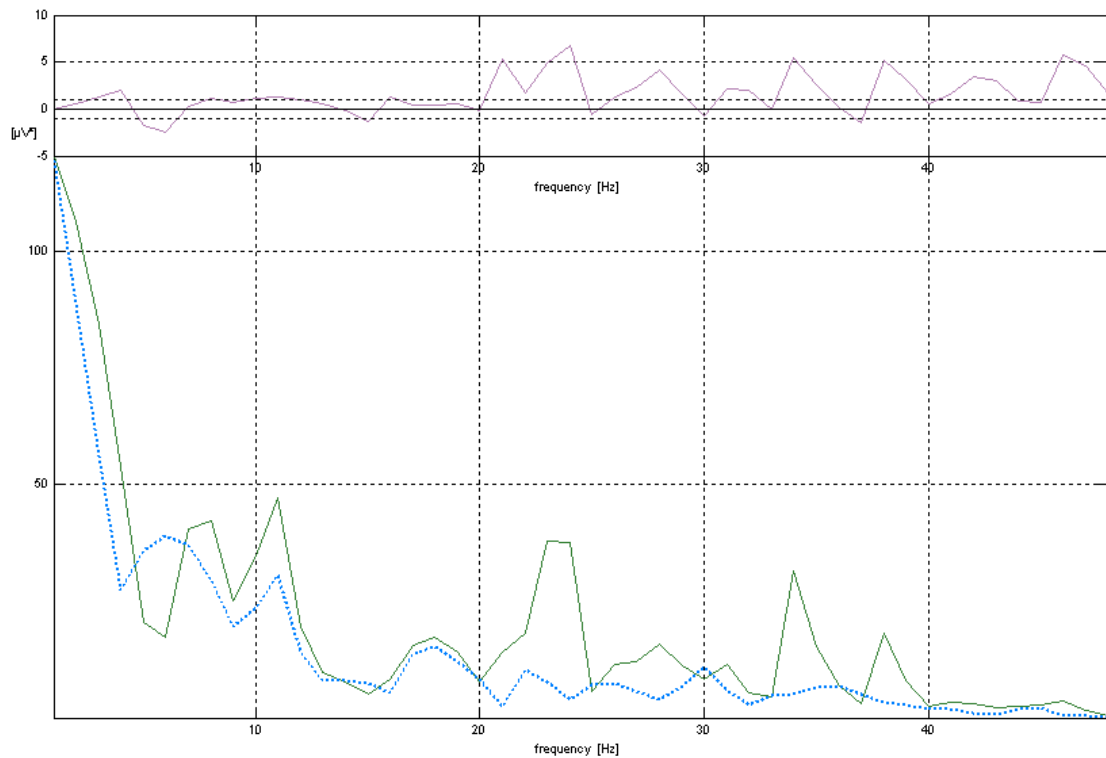
Σχήμα 12-70. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T3



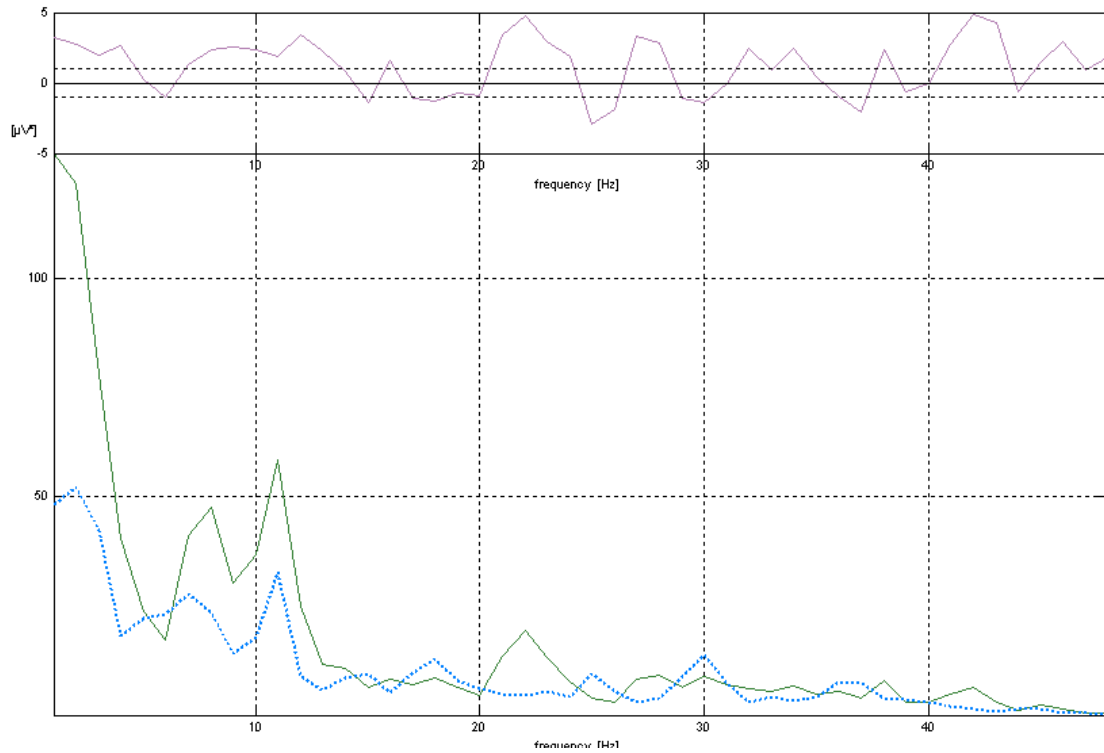
Σχήμα 12-71. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T5



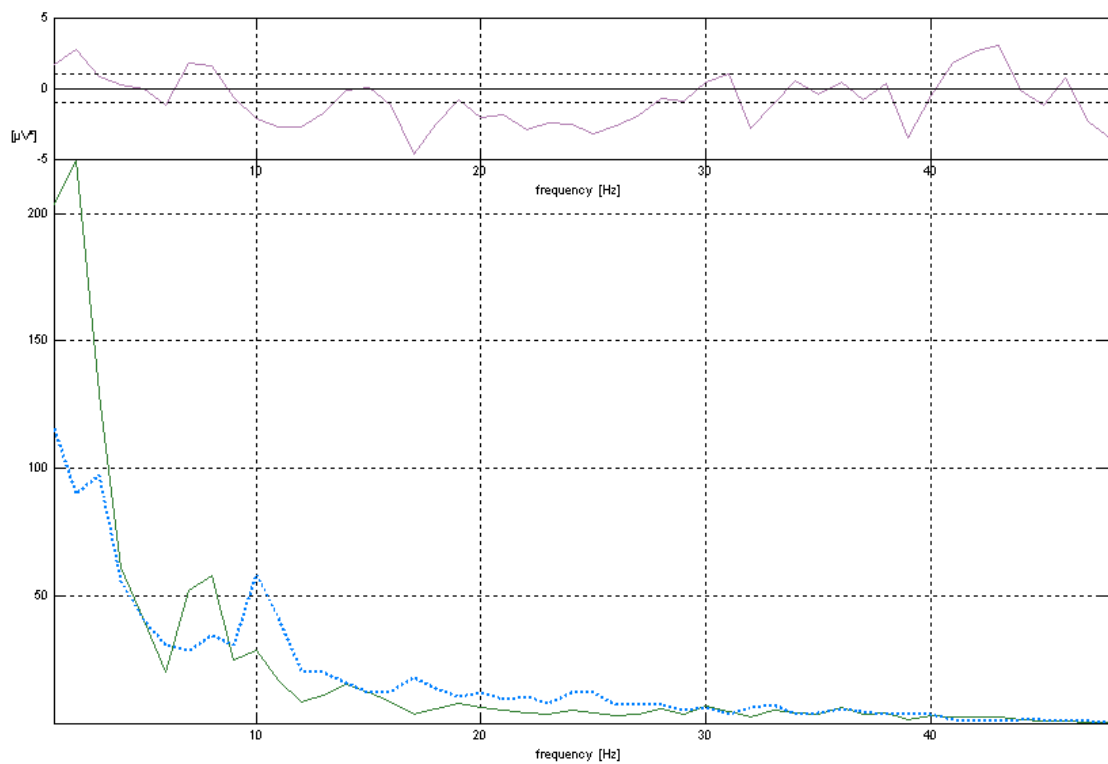
Σχήμα 12-72. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F8



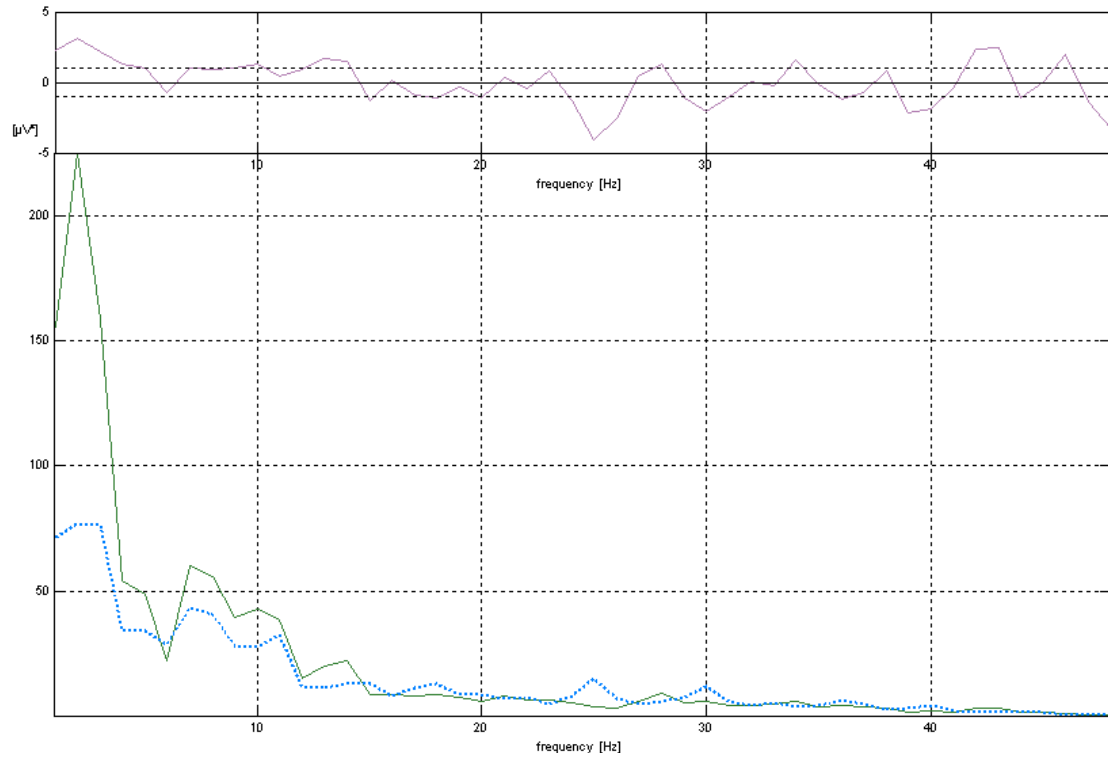
Σχήμα 12-73. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T4



Σχήμα 12-74. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T6

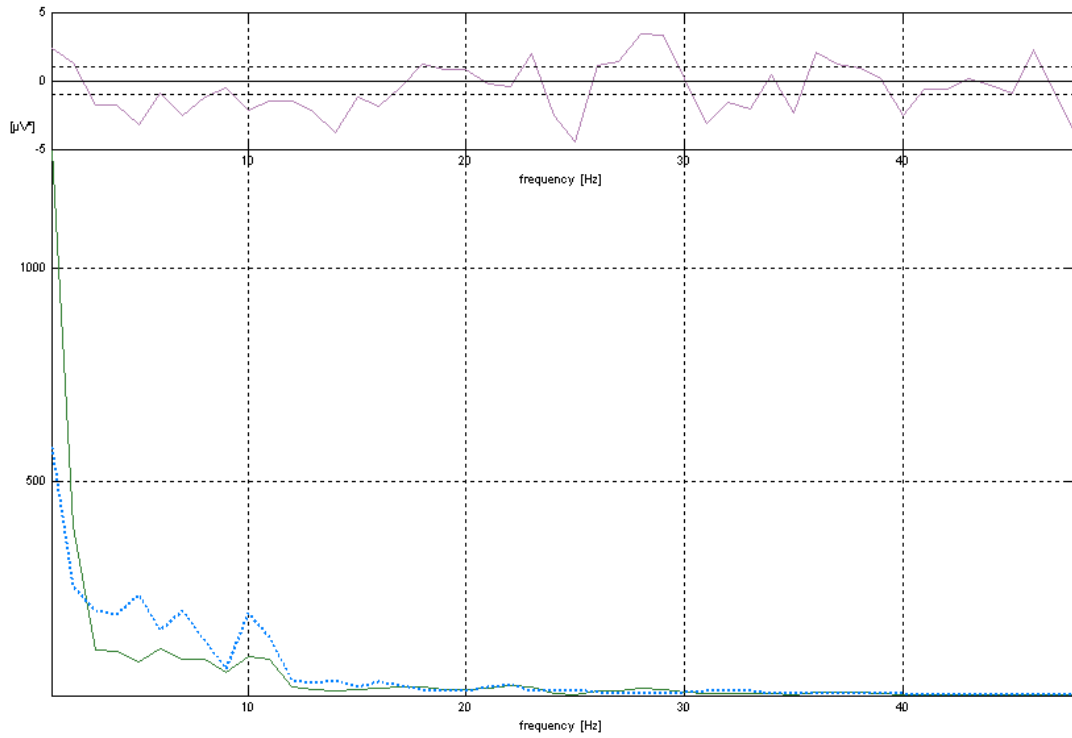


Σχήμα 12-75. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο O1

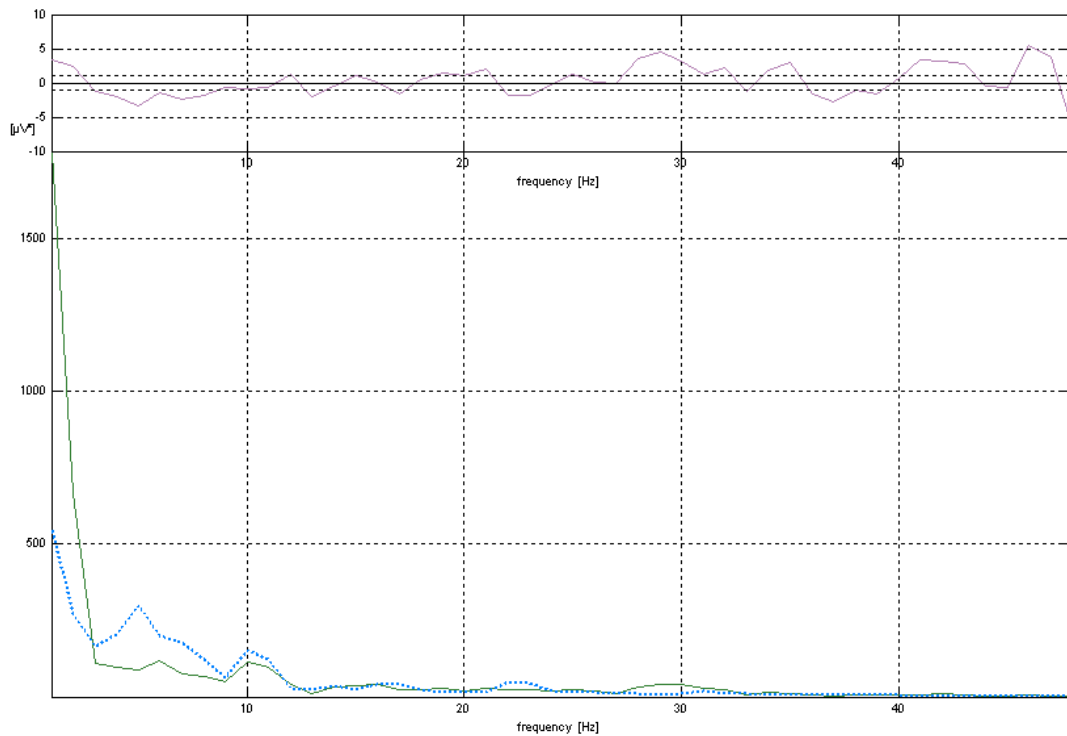


Σχήμα 12-76. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο O2

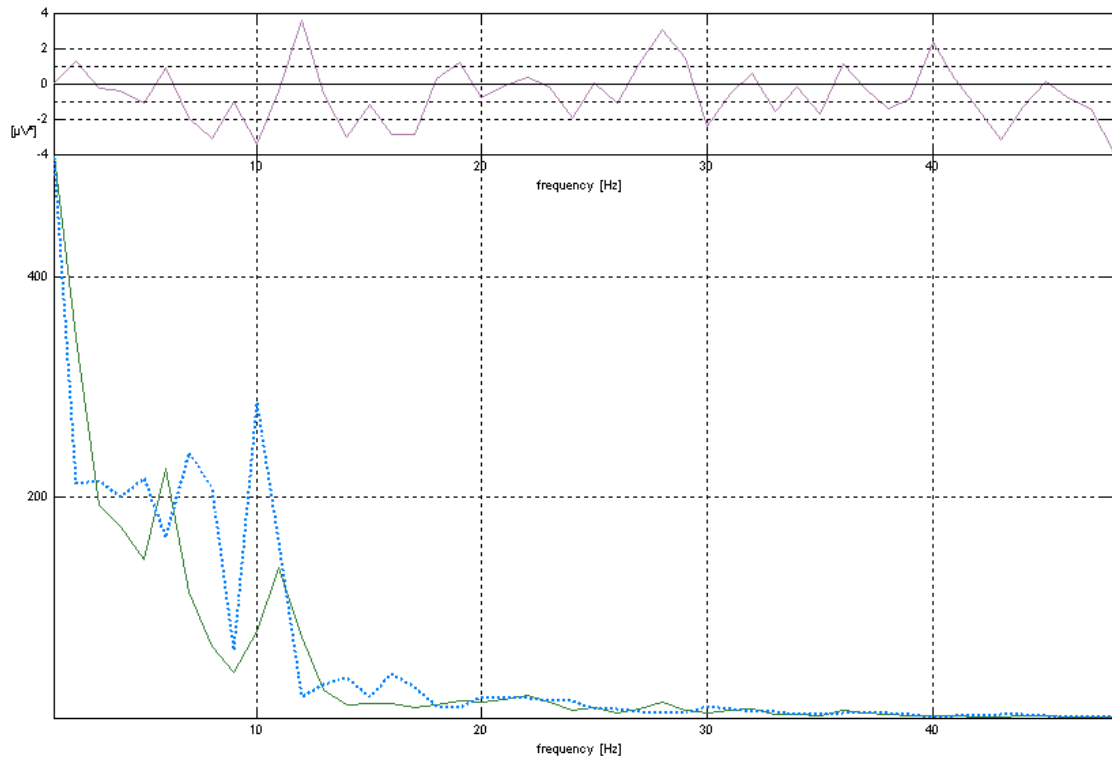
### 12.2.3 Καταμέτρηση αντικειμένων με υποκειμενική επιλογή



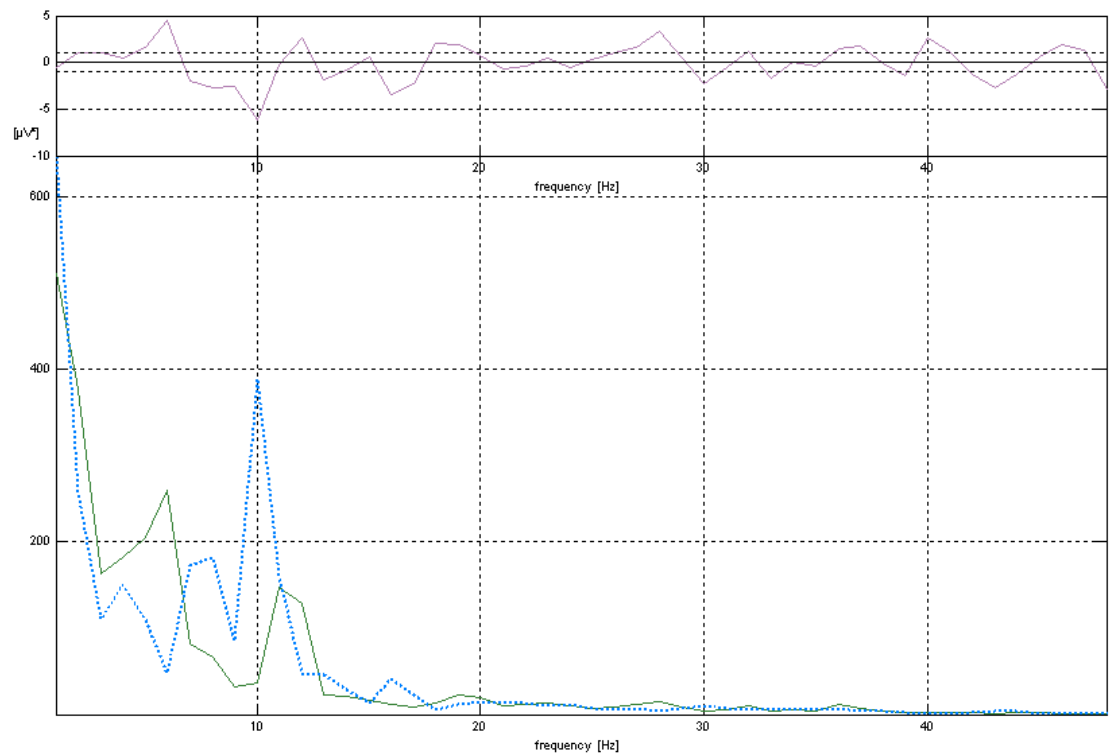
Σχήμα 12-77. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fp1



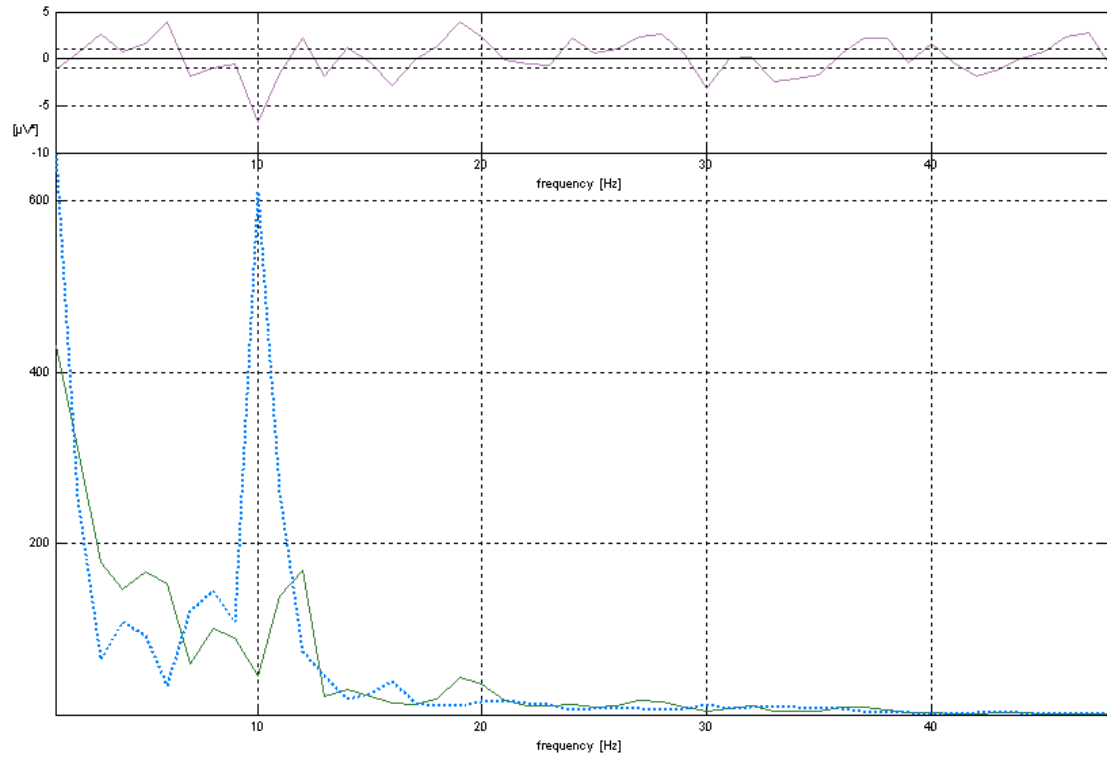
Σχήμα 12-78. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fp2



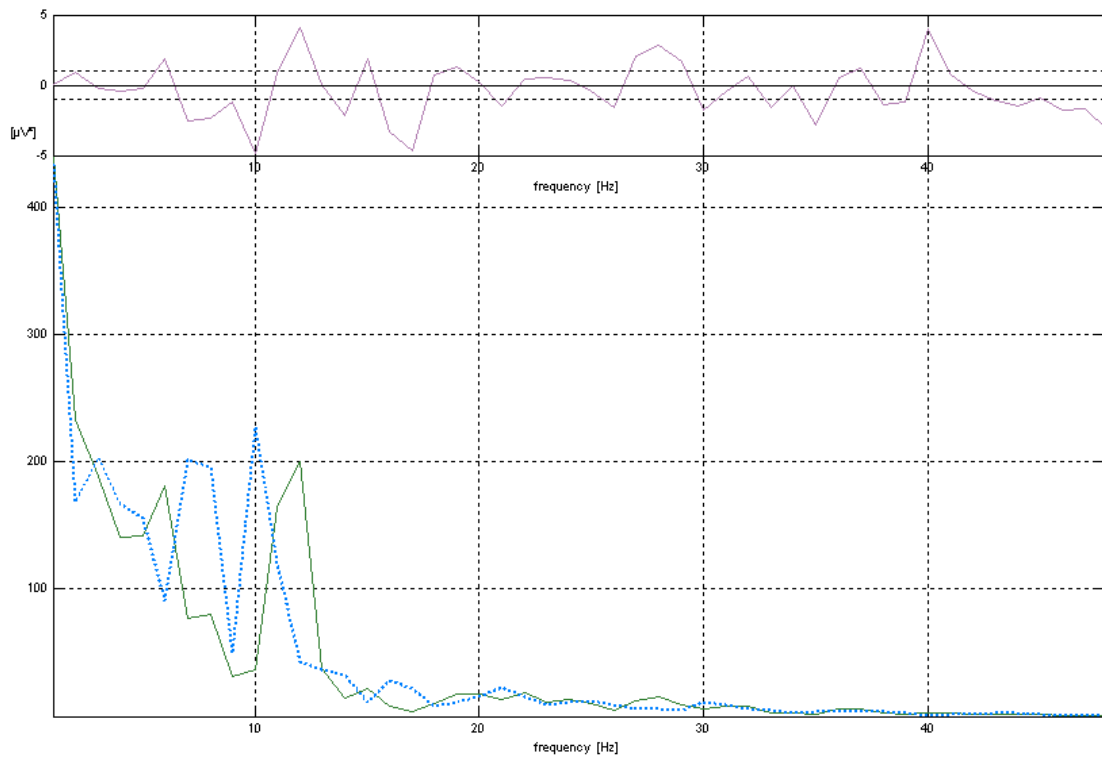
Σχήμα 12-79. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fz



Σχήμα 12-80. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Cz

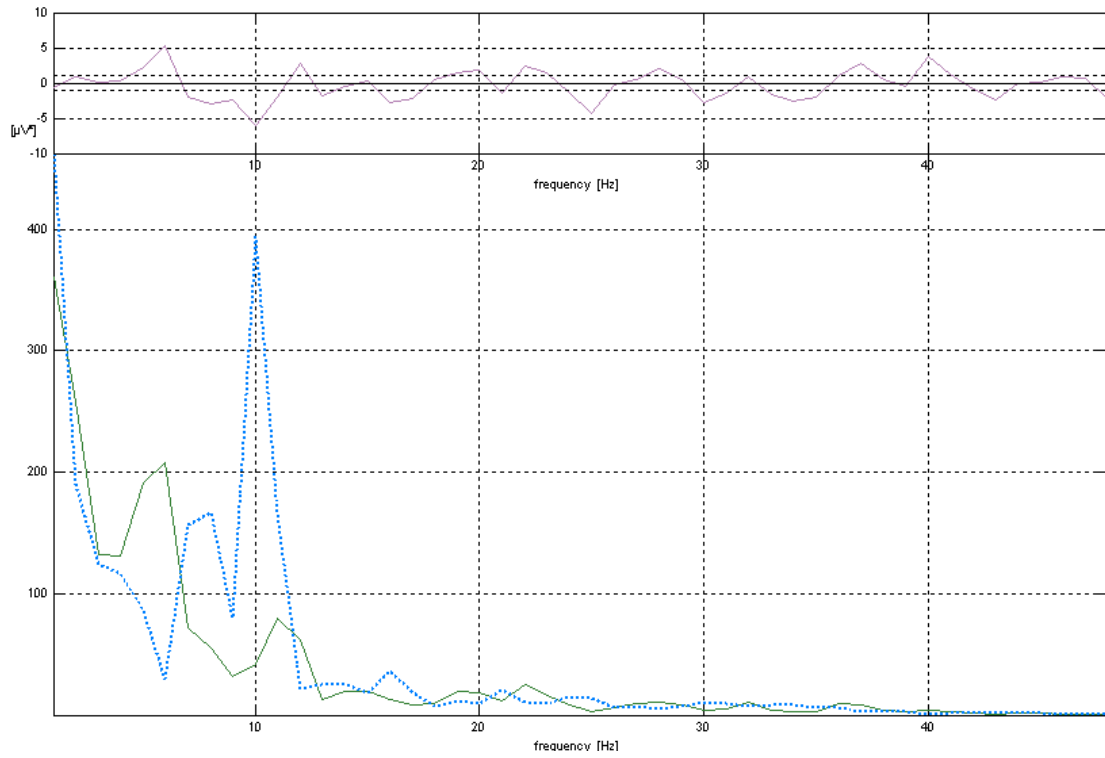


Σχήμα 12-81. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Pz

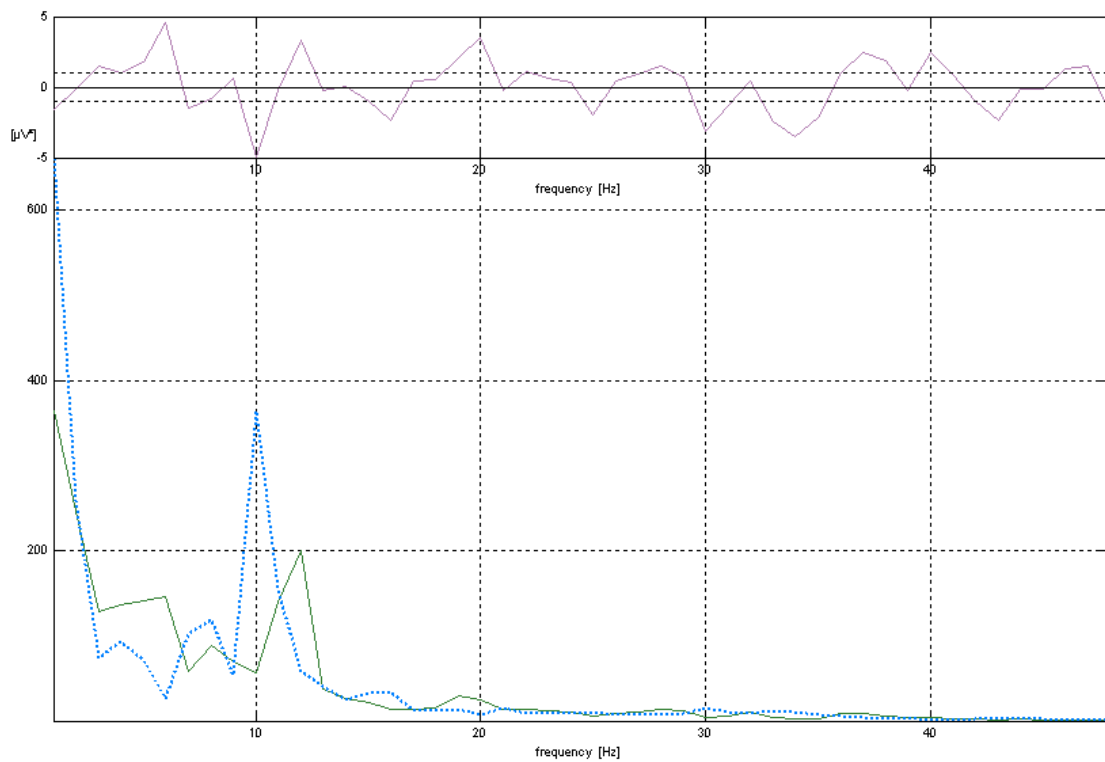


Σχήμα 12-82. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F3

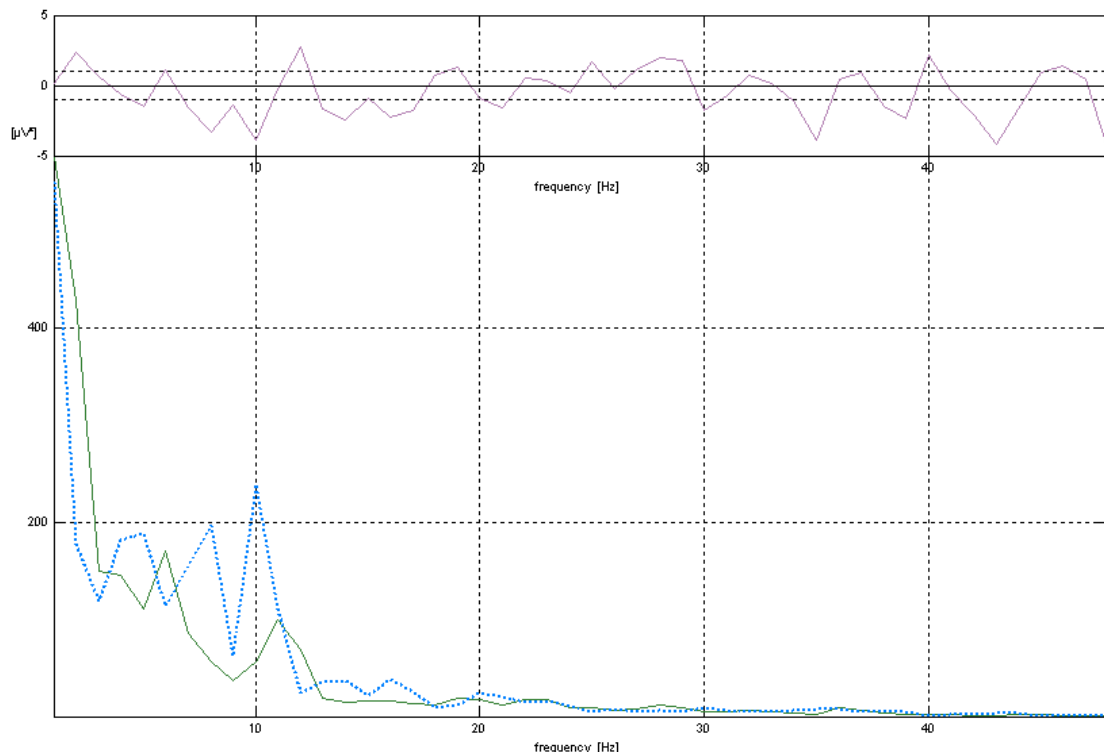




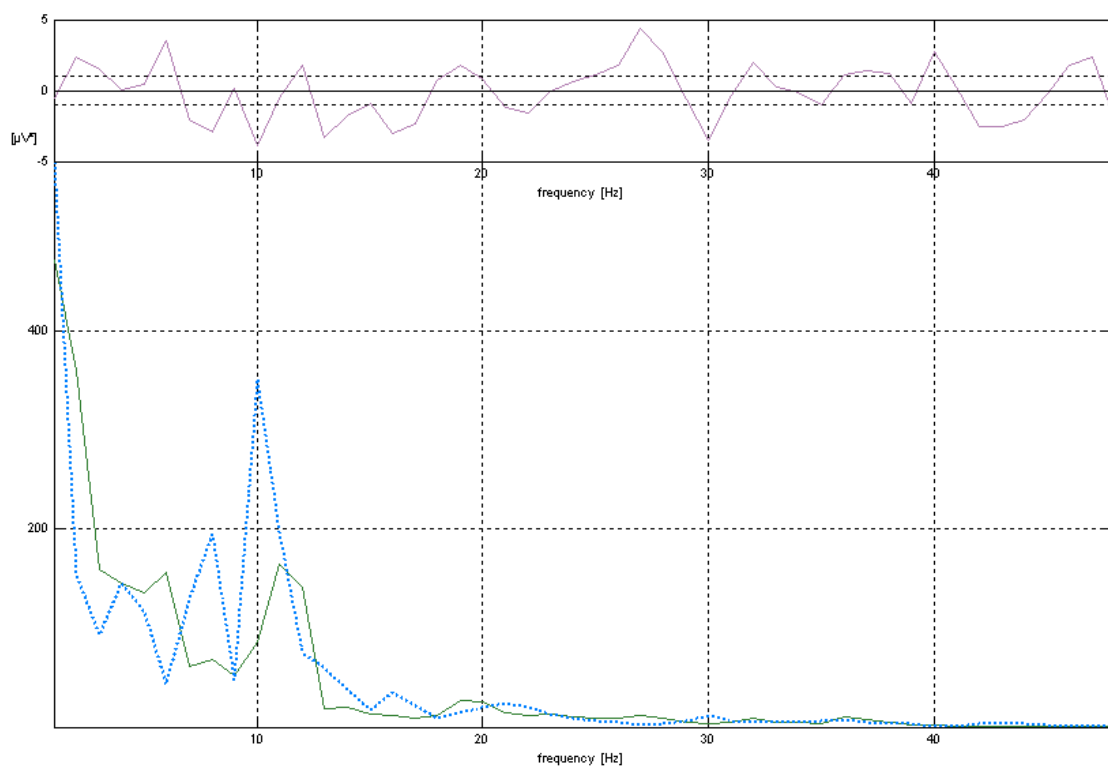
Σχήμα 12-83. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο C3



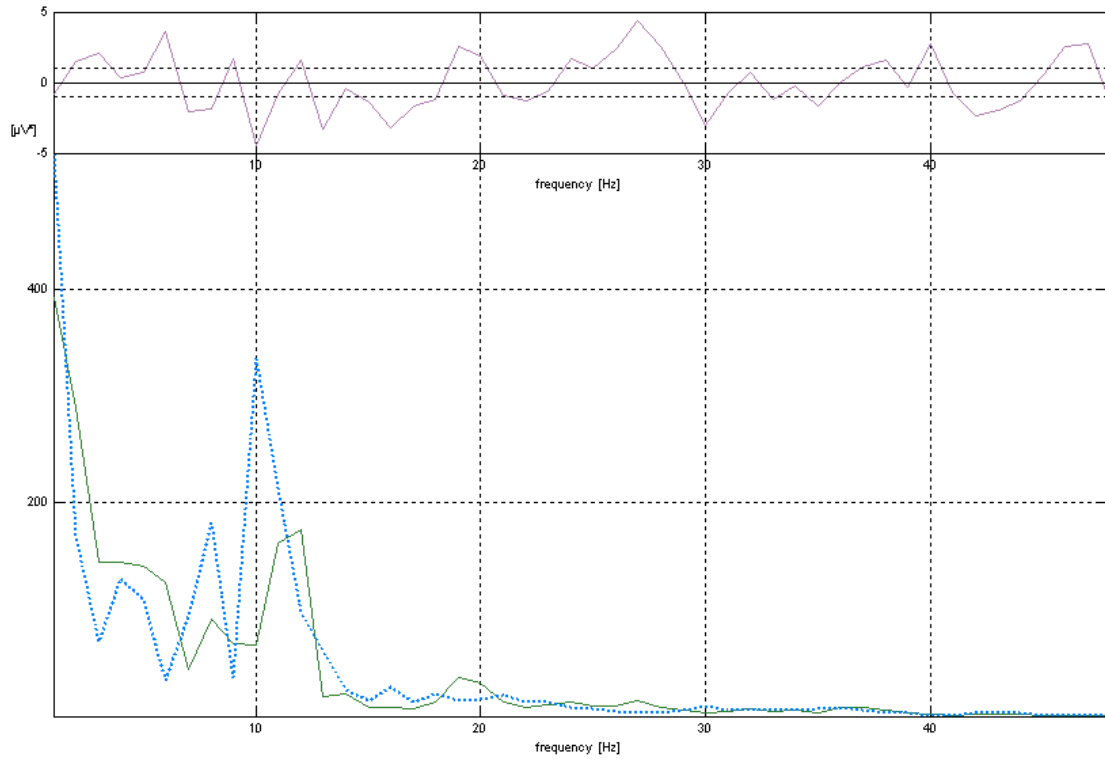
Σχήμα 12-84. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο P3



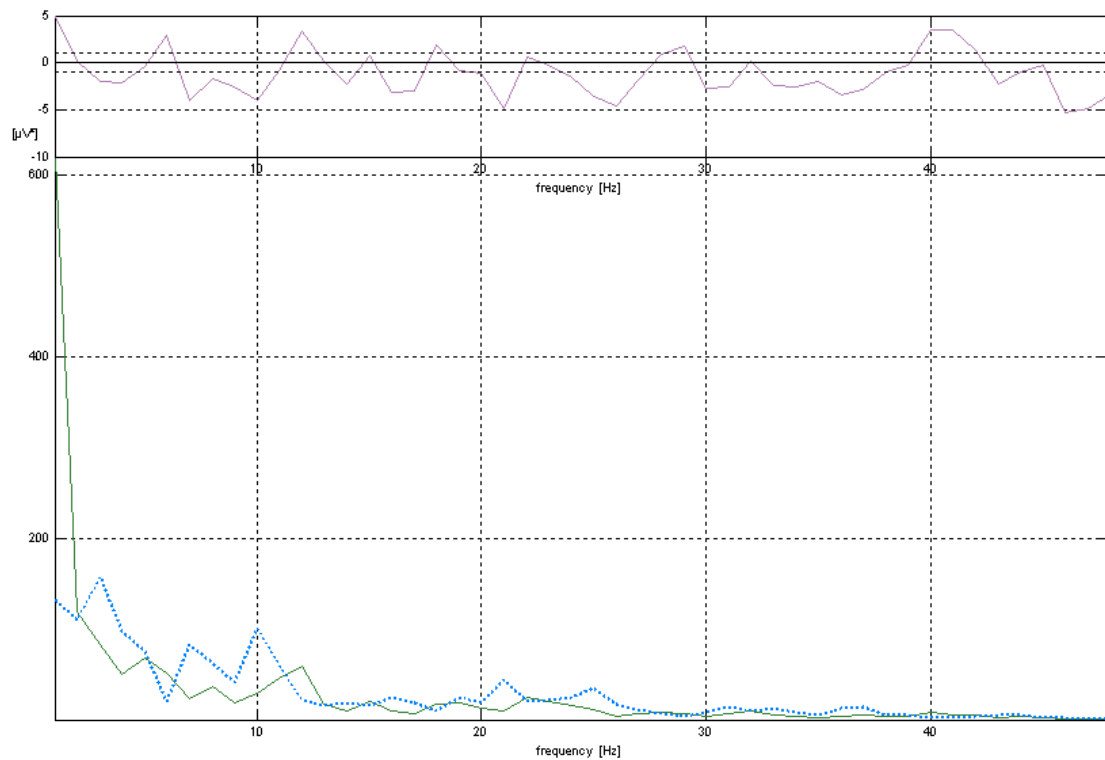
Σχήμα 12-85. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F4



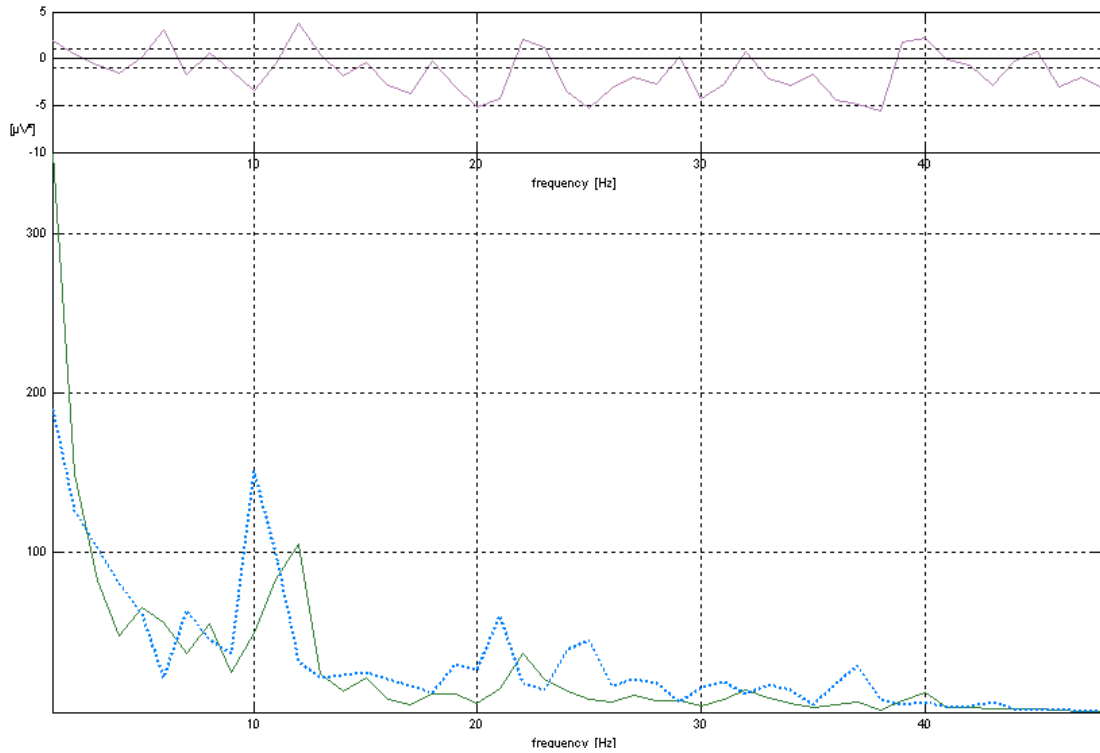
Σχήμα 12-86. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο C4



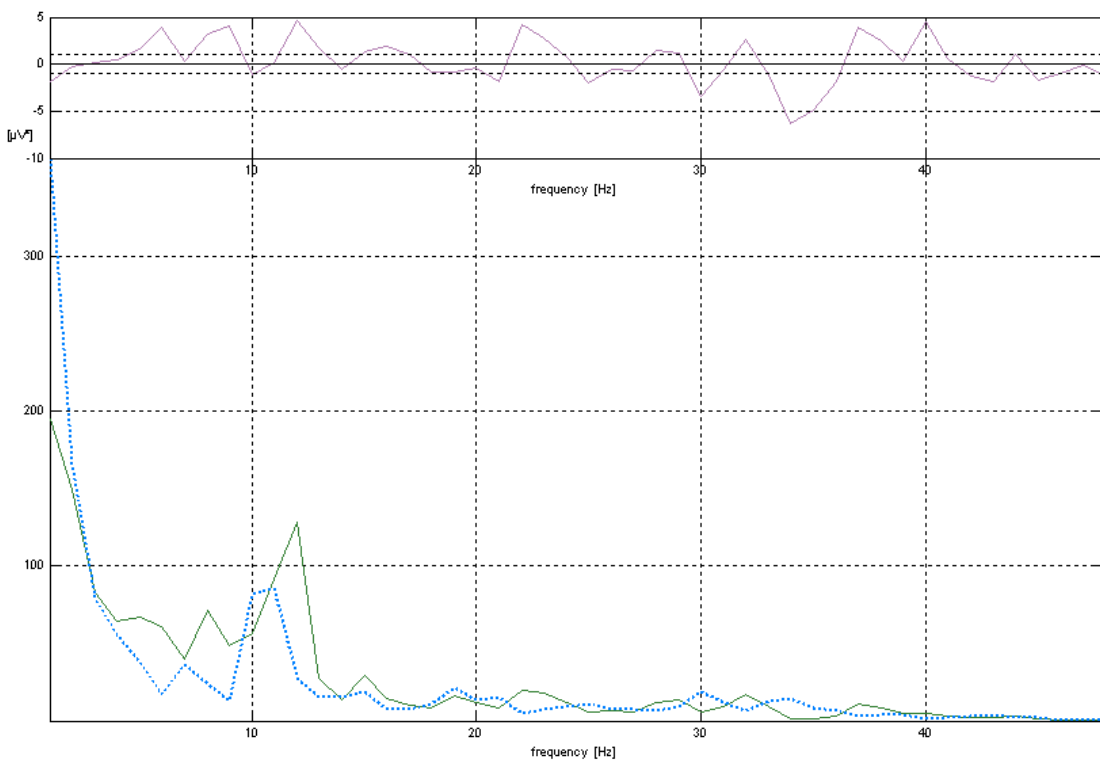
Σχήμα 12-87. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο P4



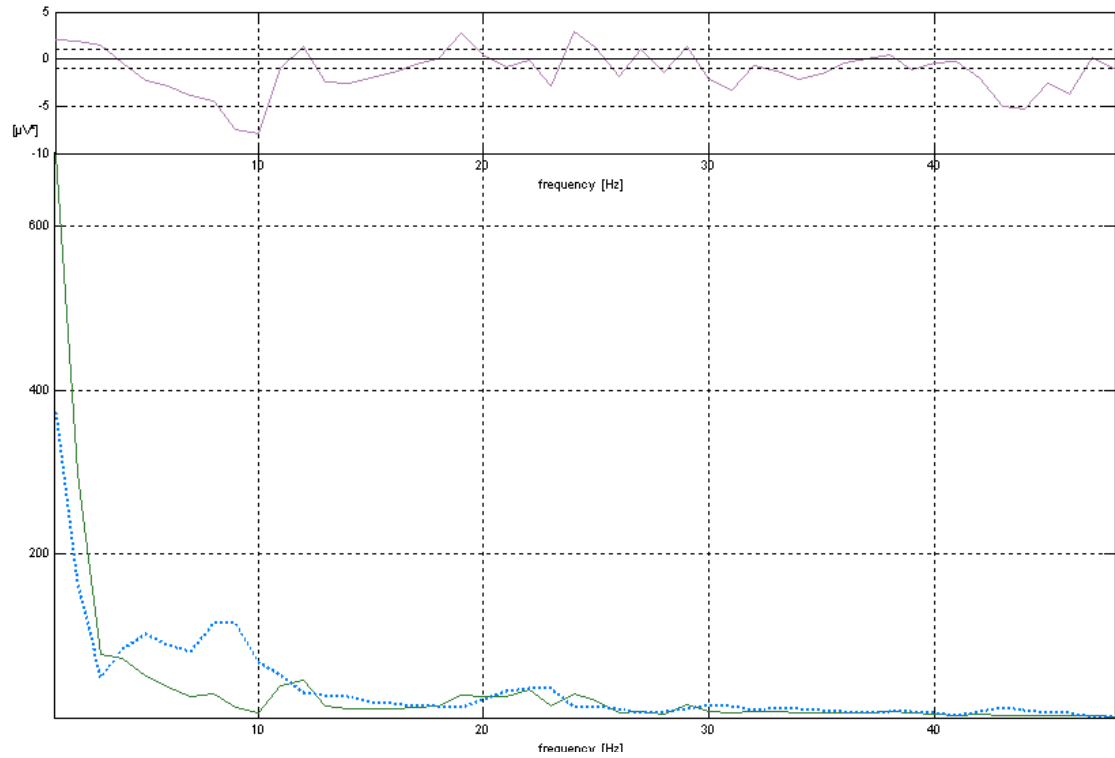
Σχήμα 12-88. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F7



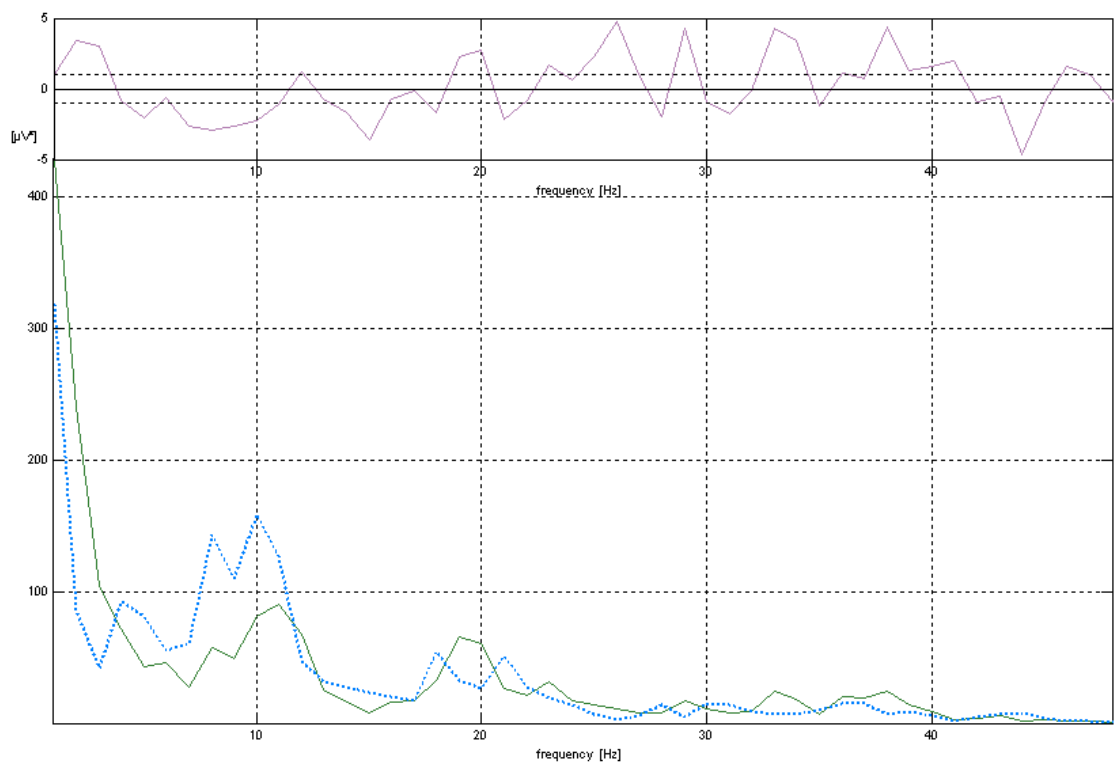
Σχήμα 12-89. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T3



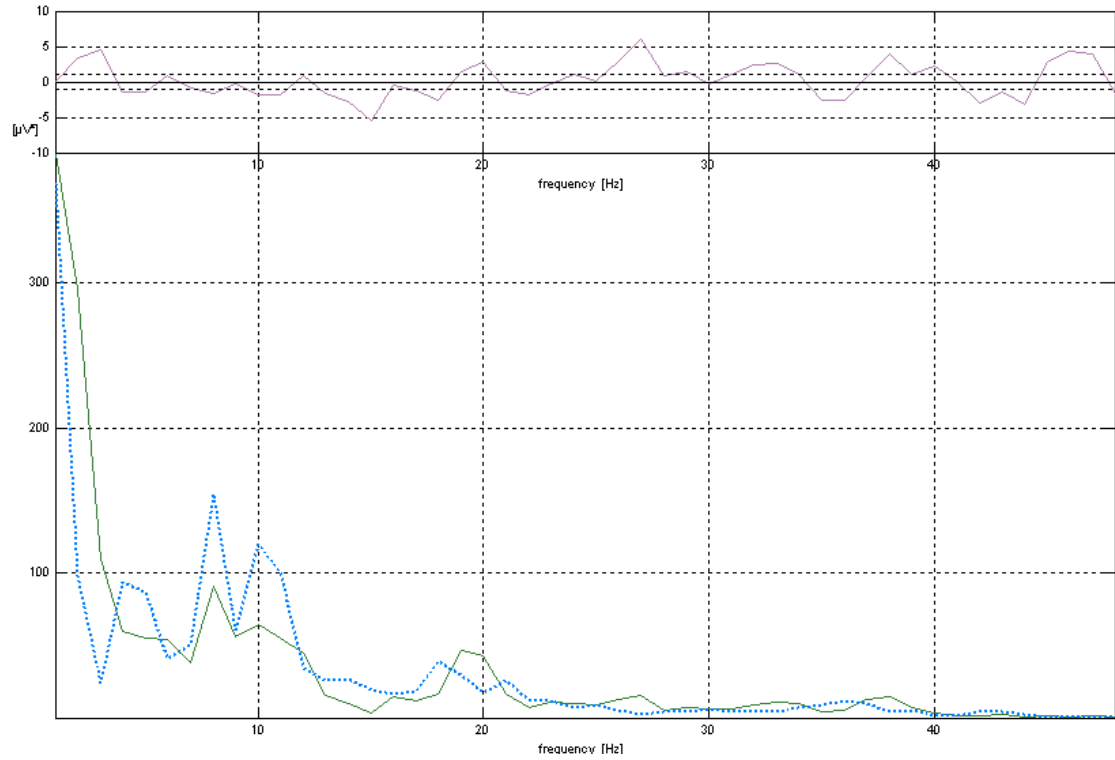
Σχήμα 12-90. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T5



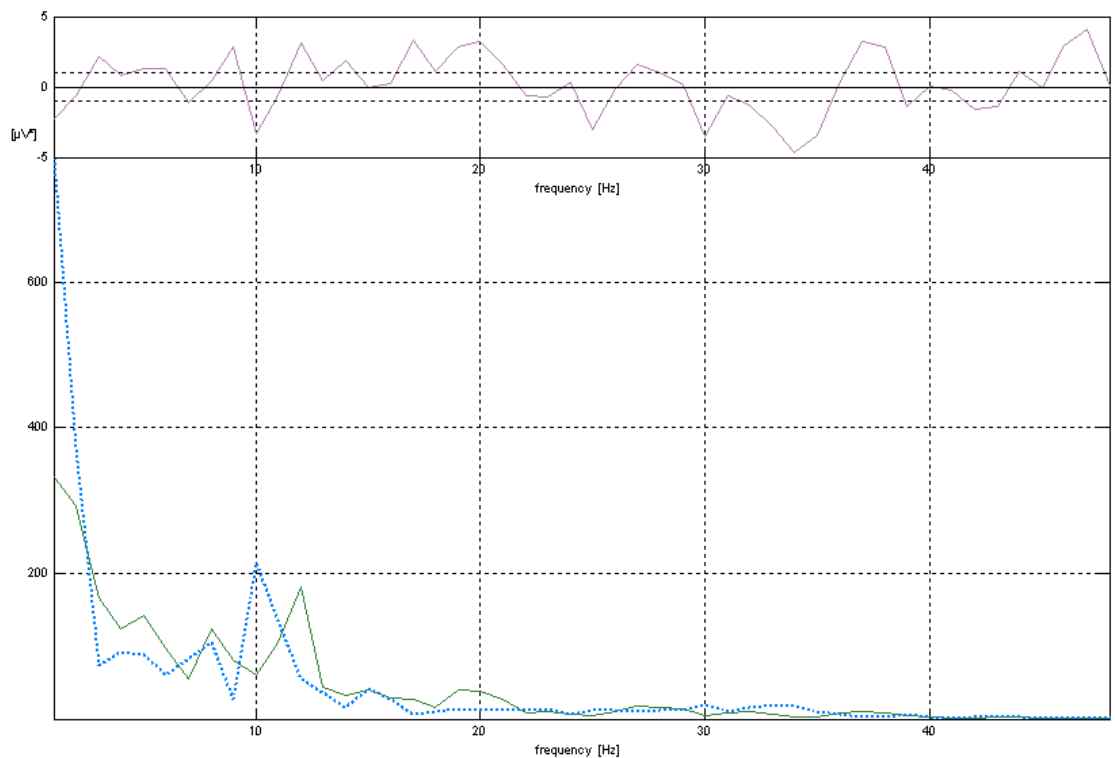
Σχήμα 12-91. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F8



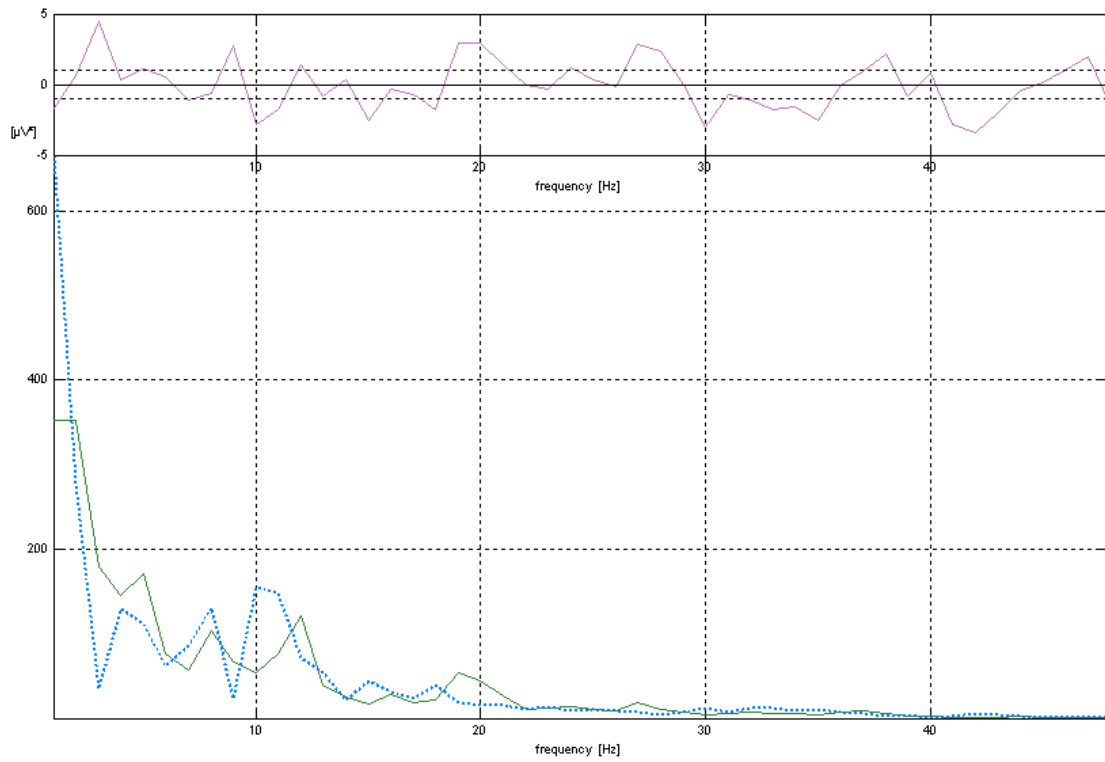
Σχήμα 12-92. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T4



Σχήμα 12-93. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T6

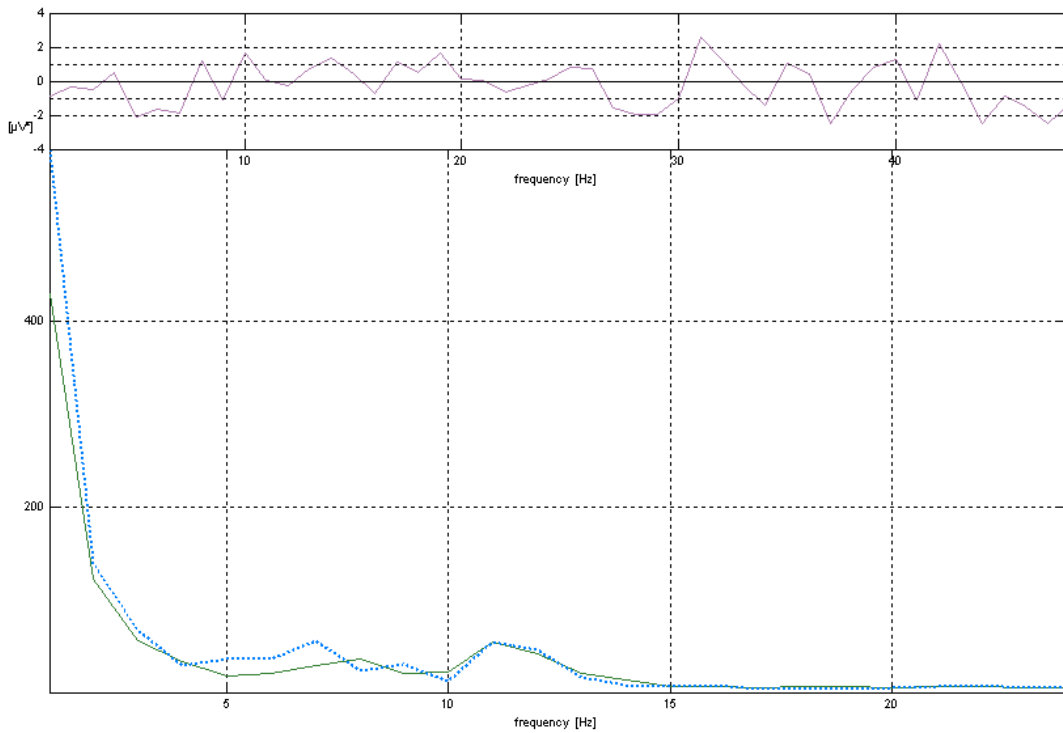


Σχήμα 12-94. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο O1

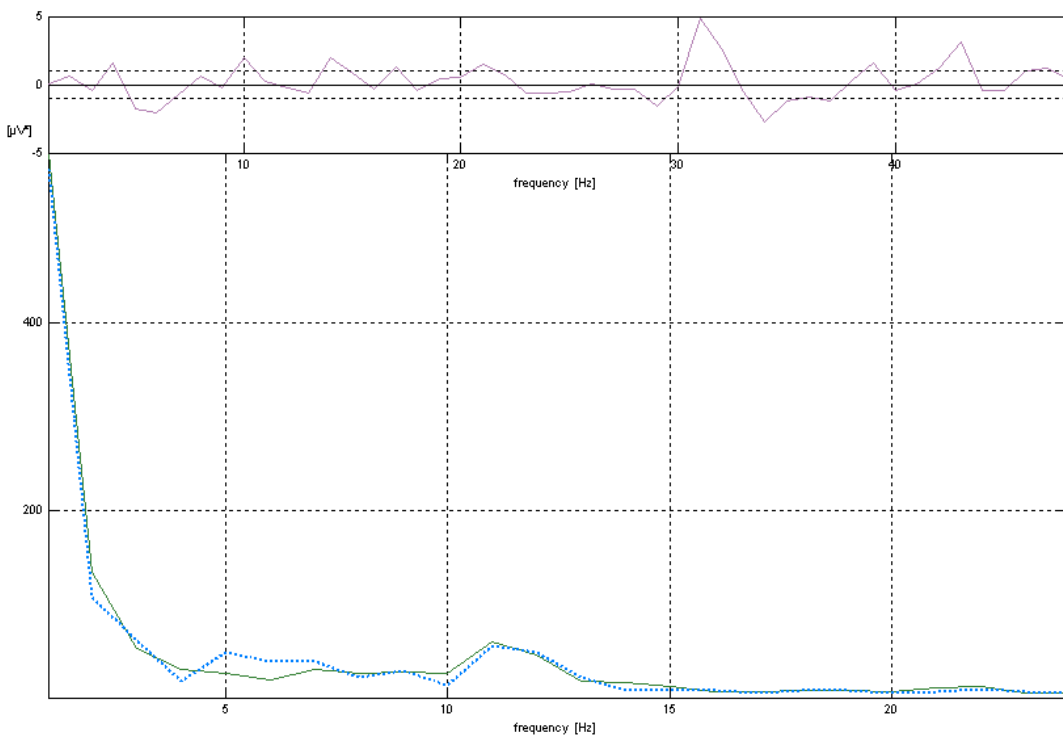


Σχήμα 12-95. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο O2

### 12.2.4 Οπτική-λεκτική διεργασία

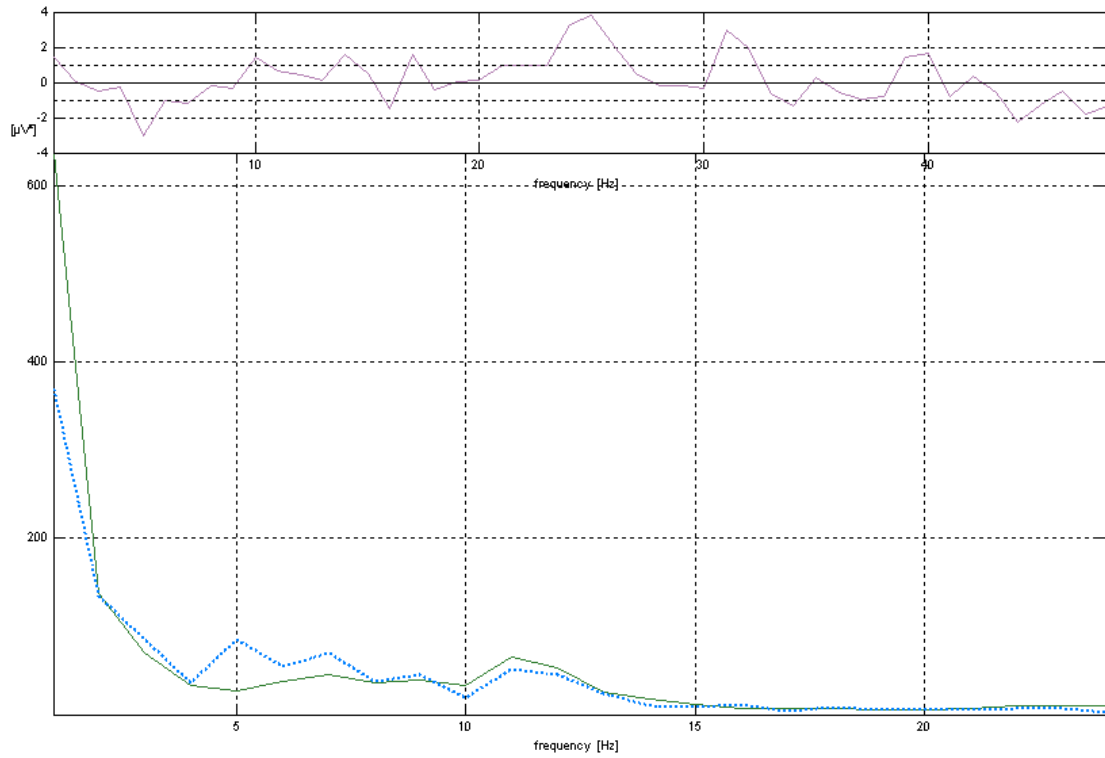


Σχήμα 12-96. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fr1

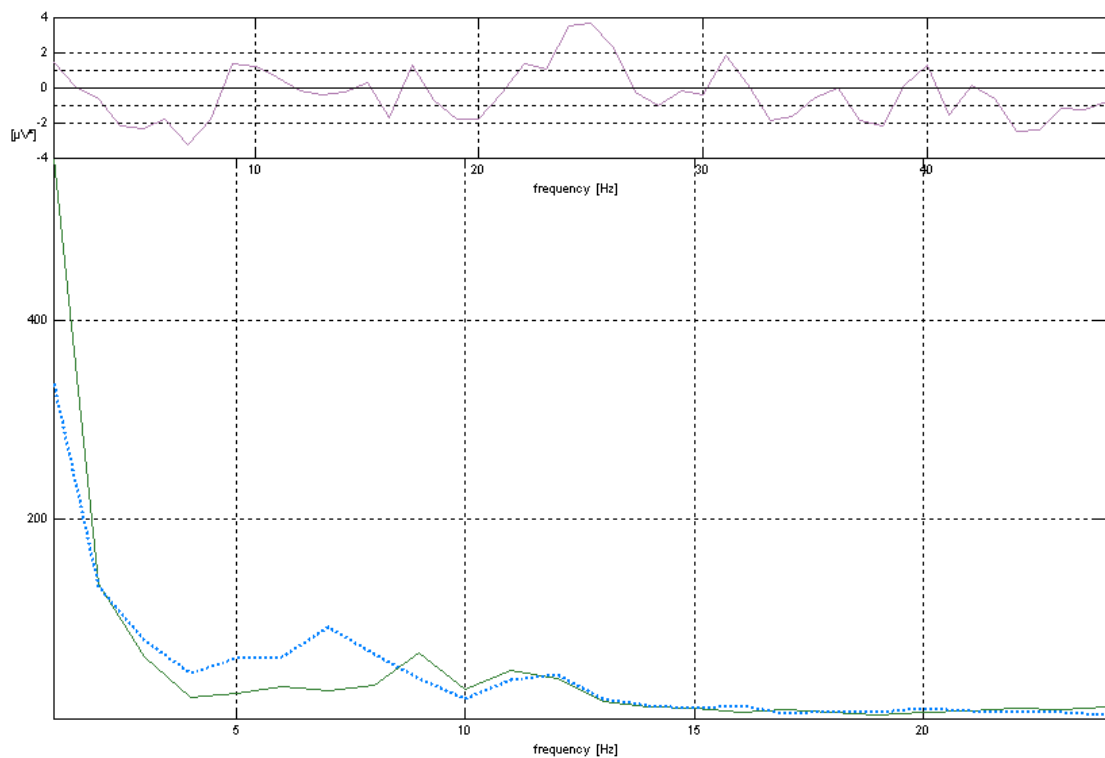


Σχήμα 12-97. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fr2

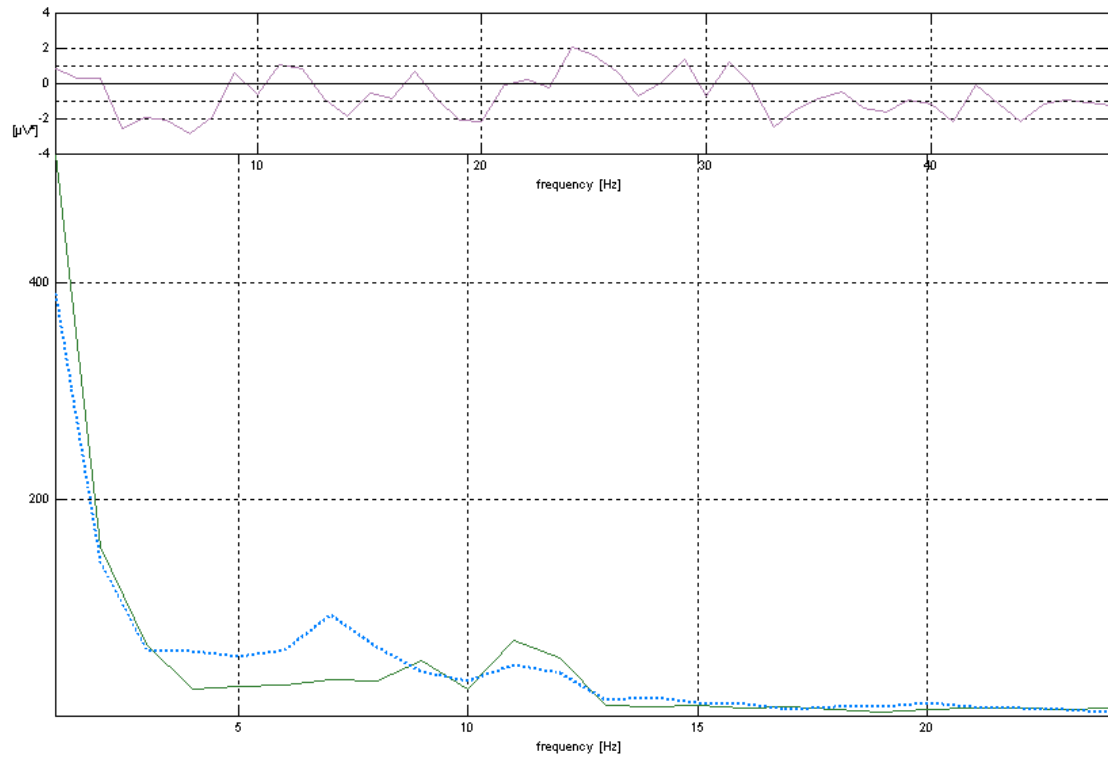




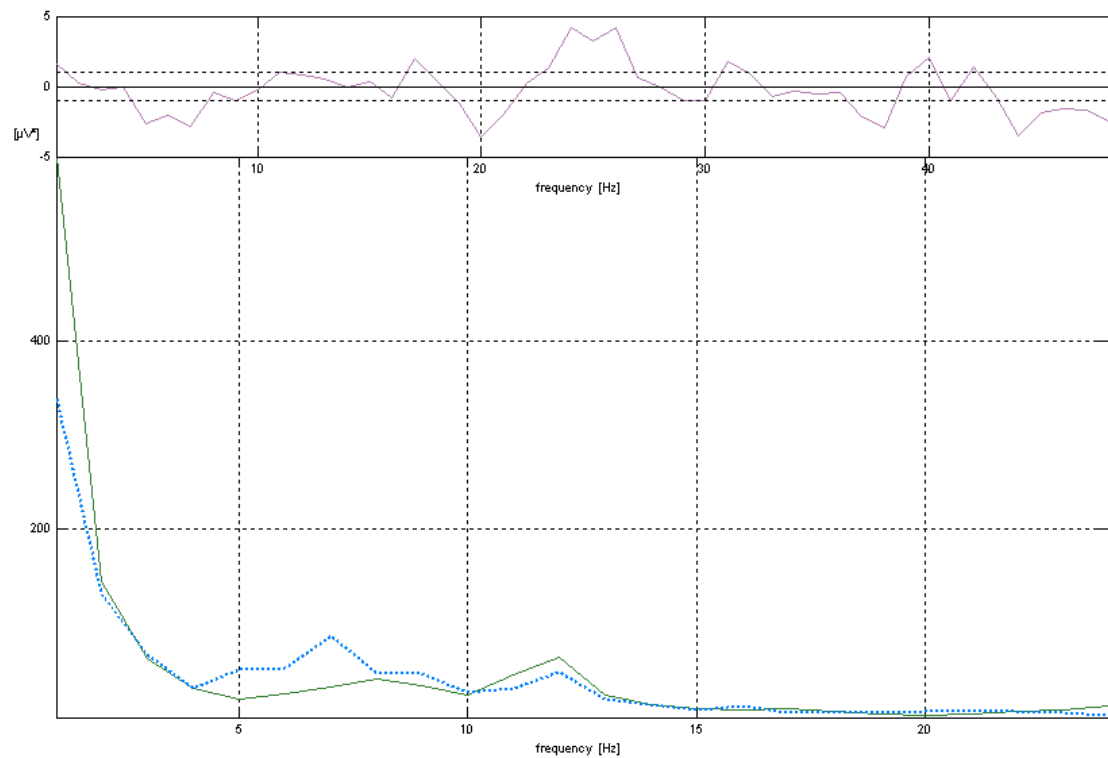
Σχήμα 12-98. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fz



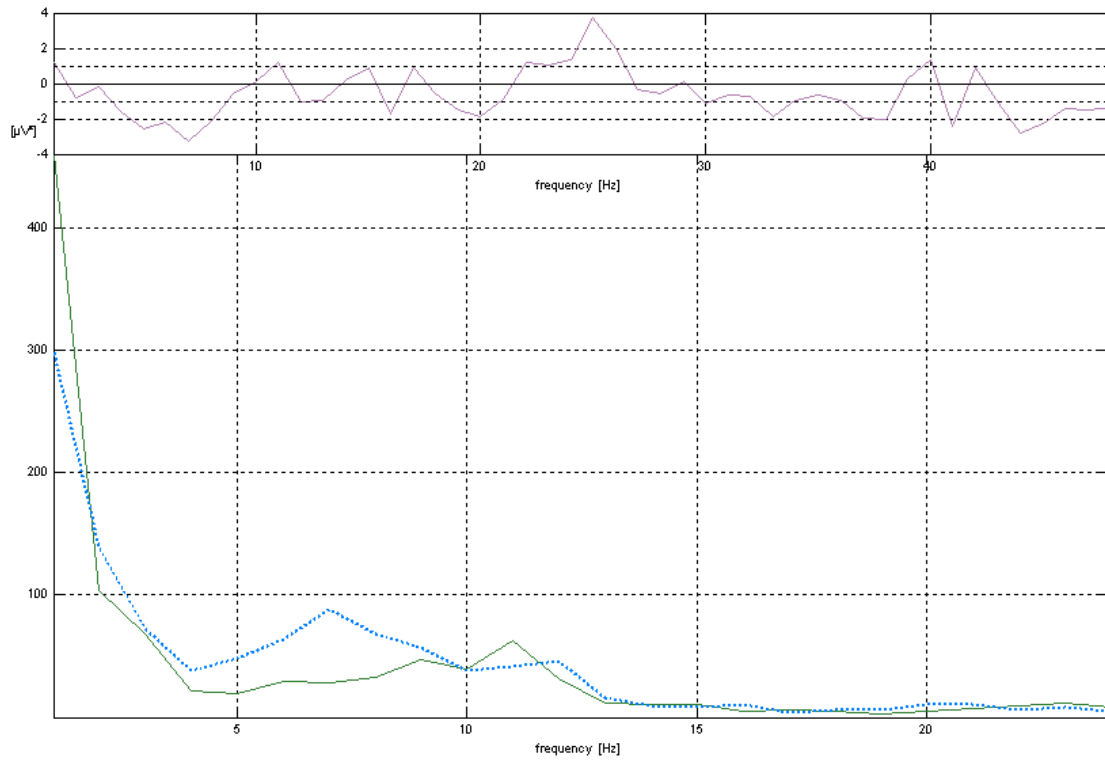
Σχήμα 12-99. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Cz



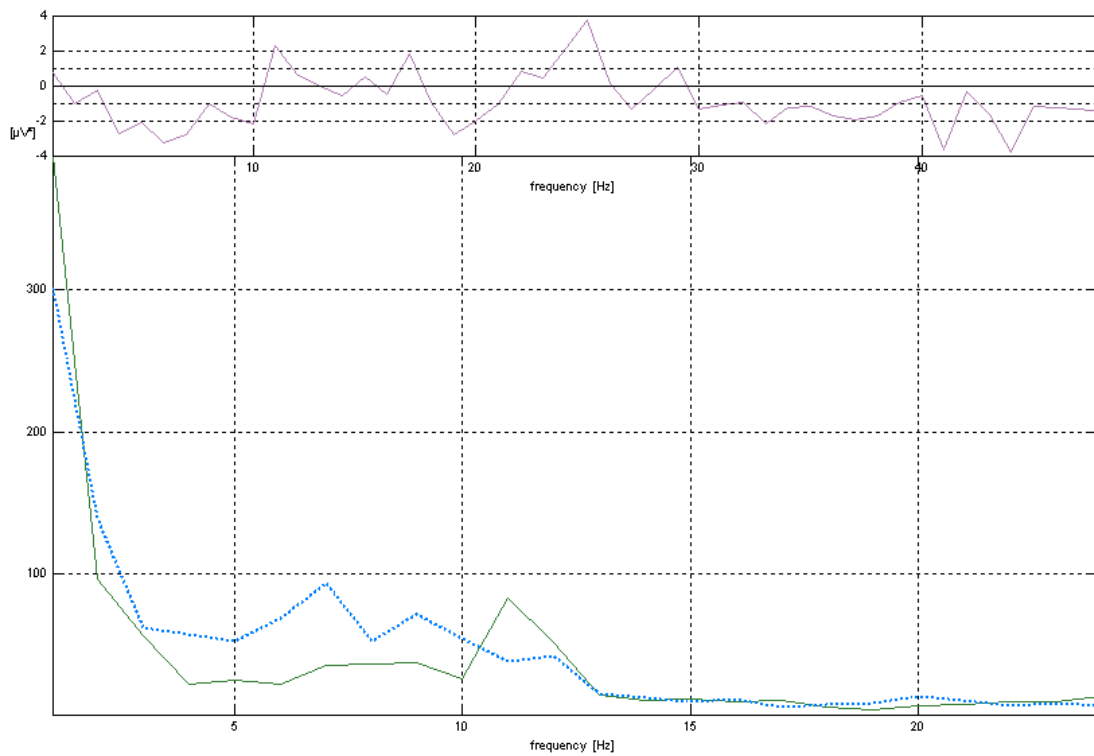
Σχήμα 12-100. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Pz



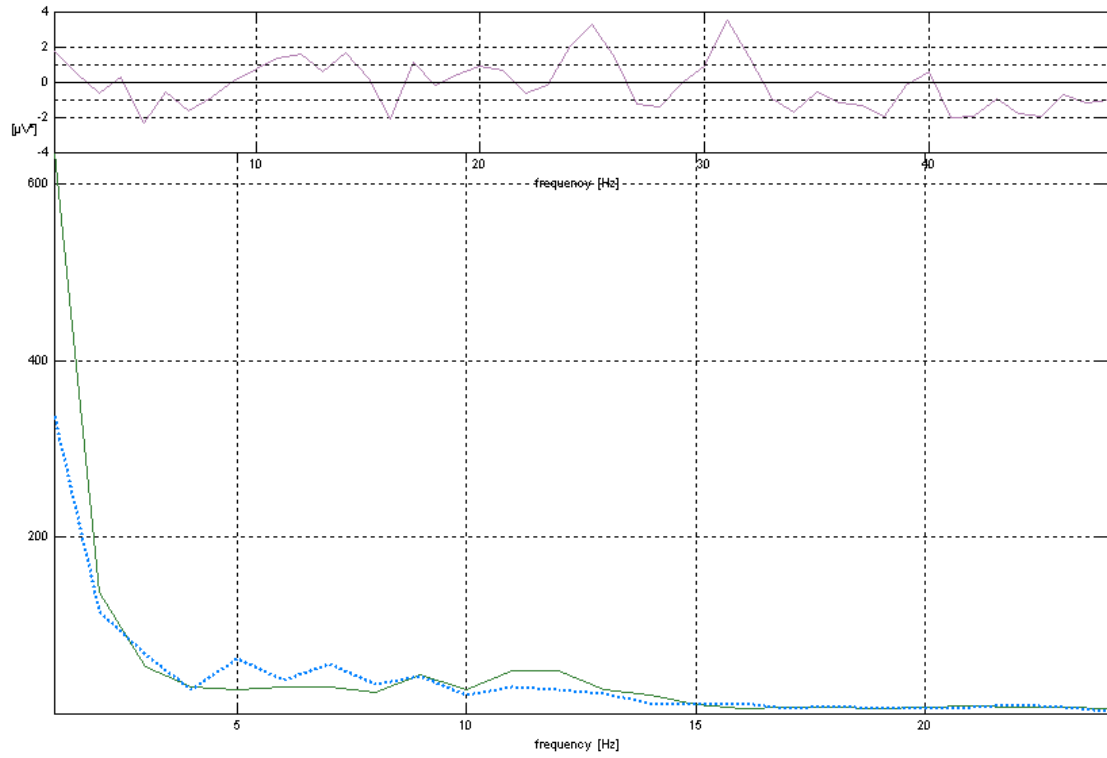
Σχήμα 12-101. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F3



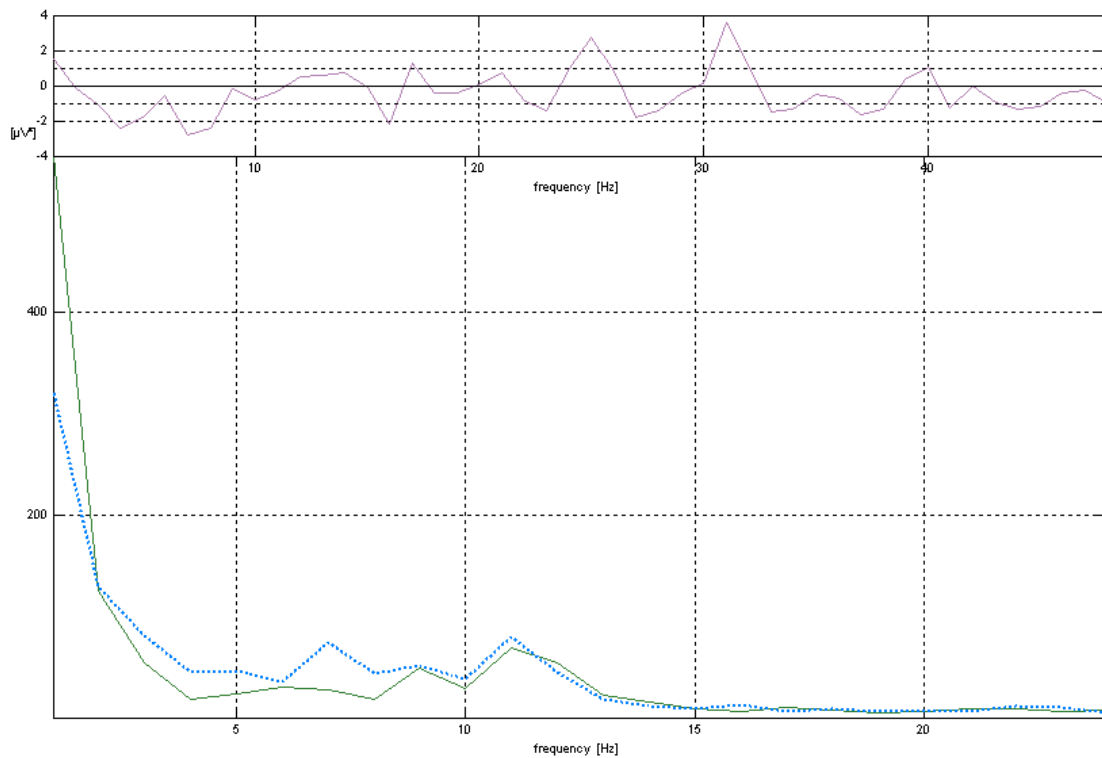
Σχήμα 12-102. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο C3



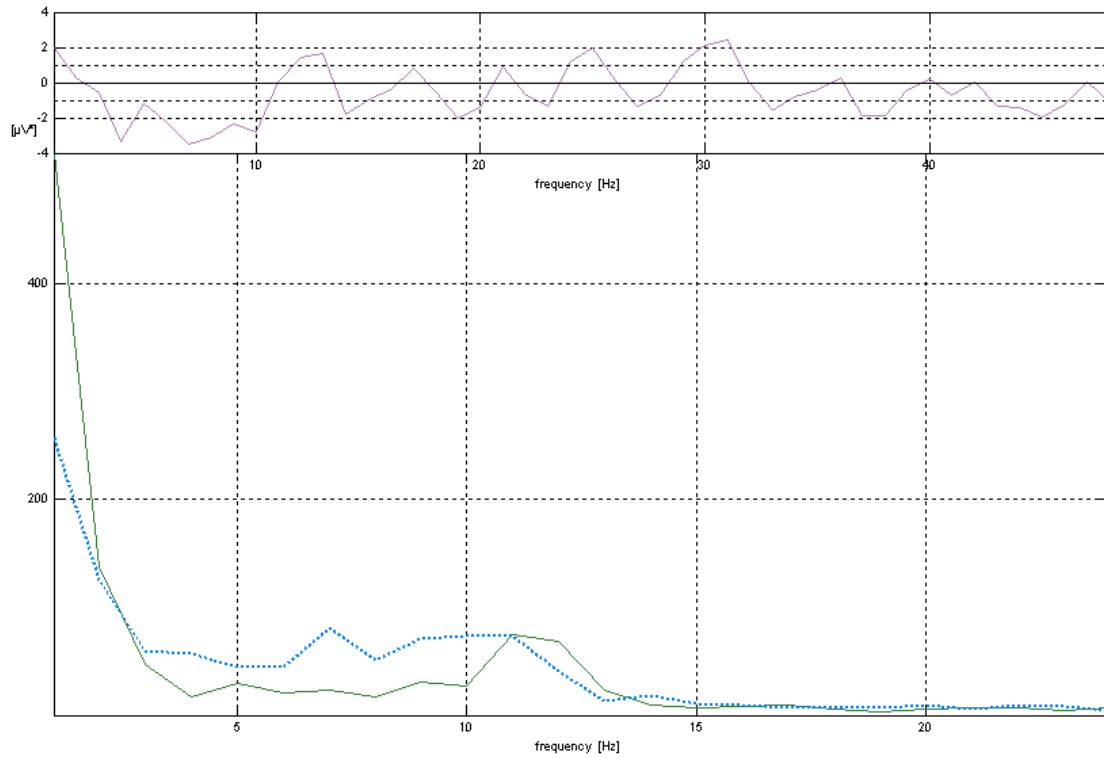
Σχήμα 12-103. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο P3



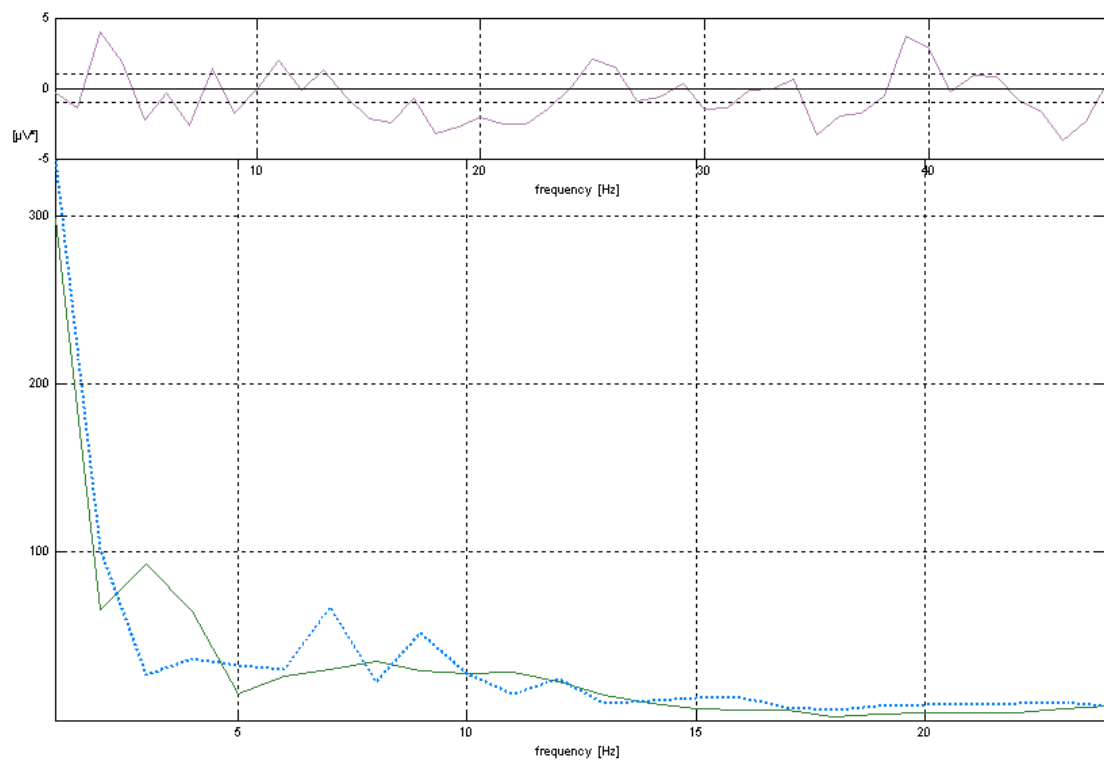
Σχήμα 12-104. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F4



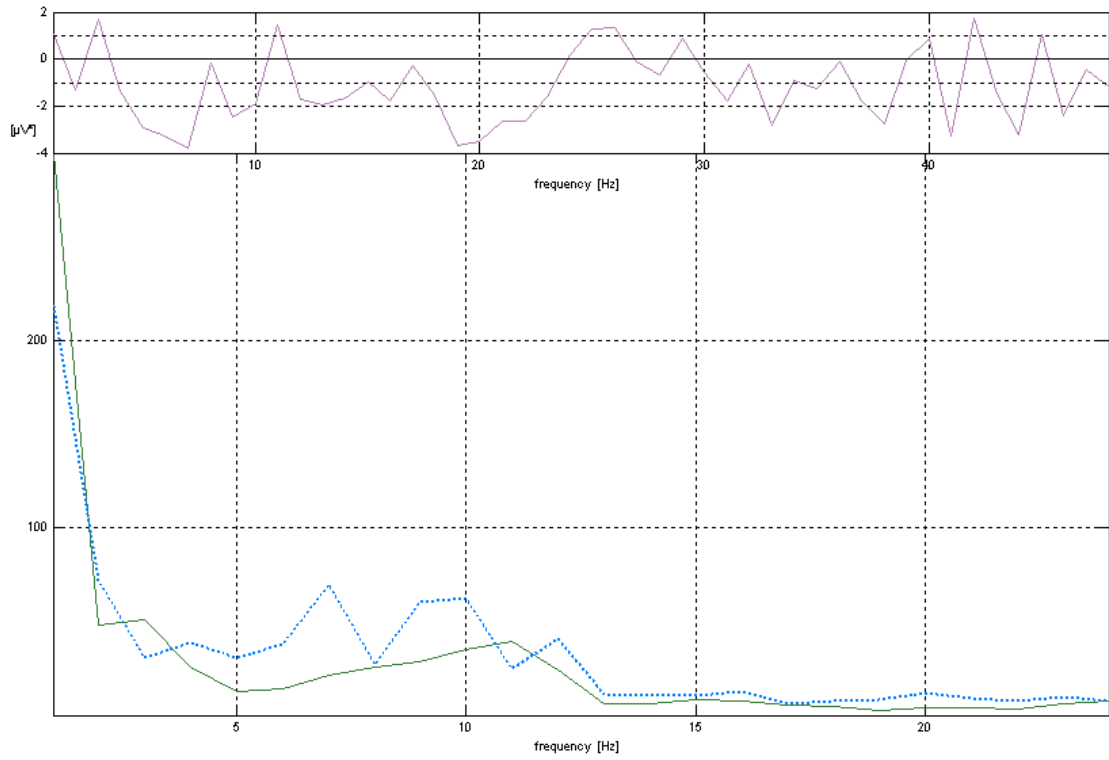
Σχήμα 12-105. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο C4



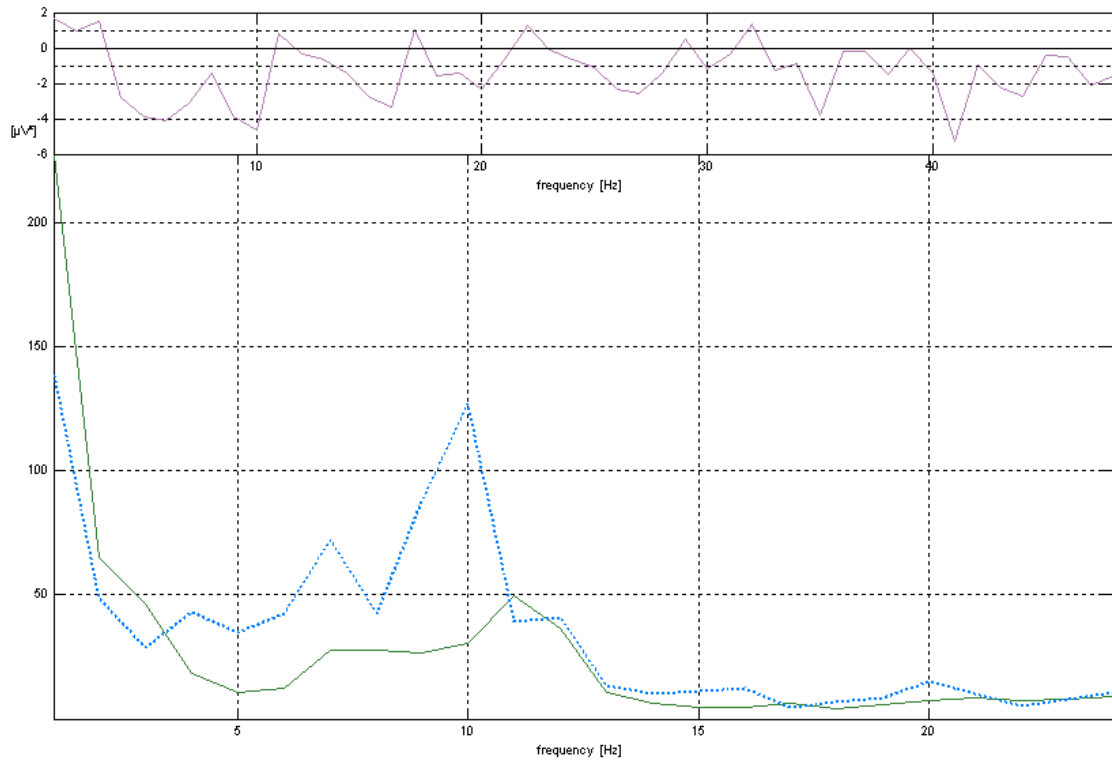
Σχήμα 12-106. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο P4



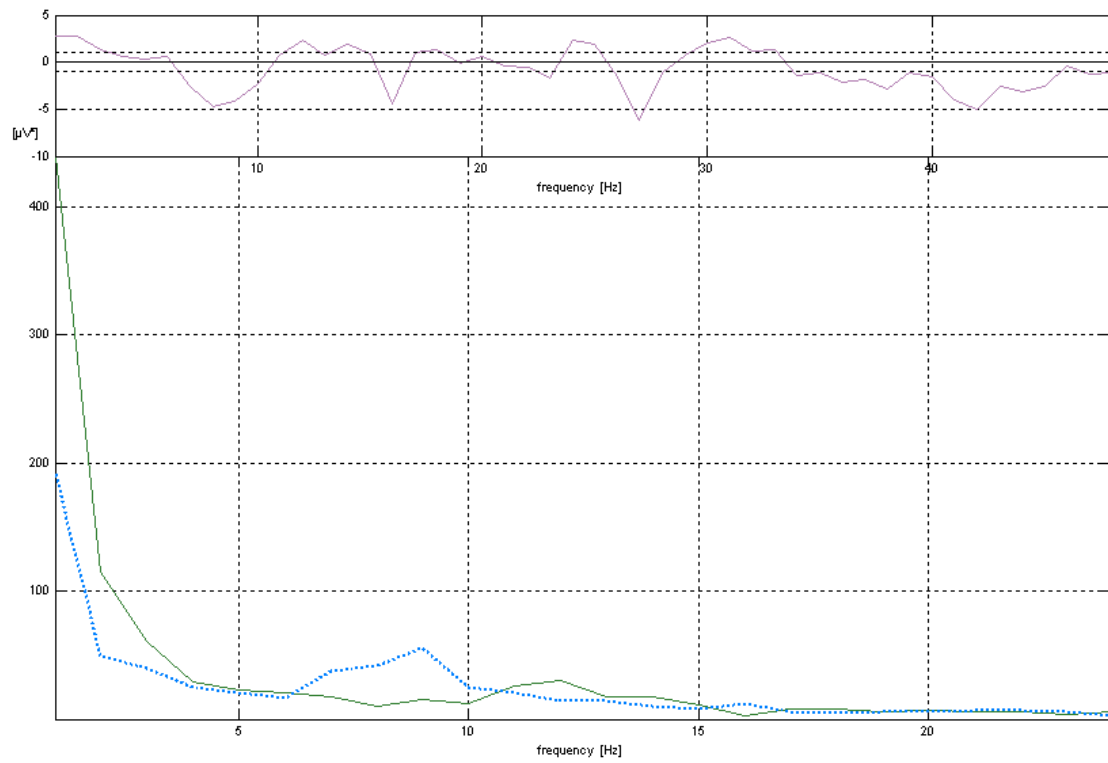
Σχήμα 12-107. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F7



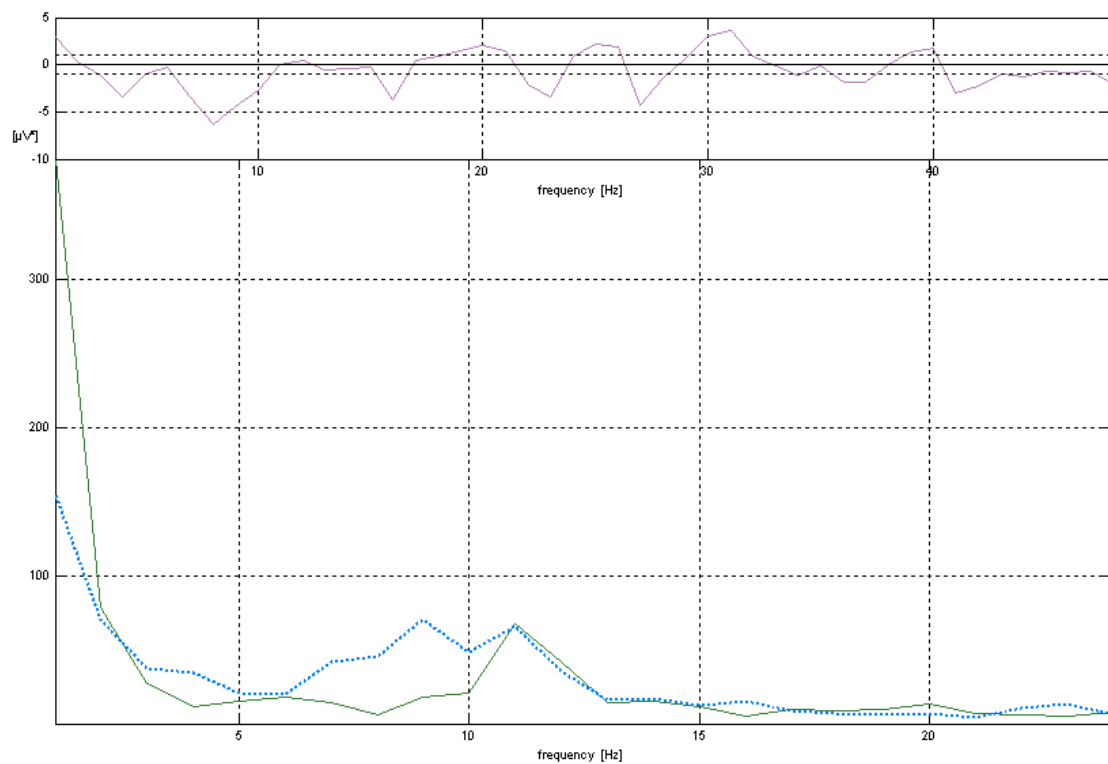
Σχήμα 12-108. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T3



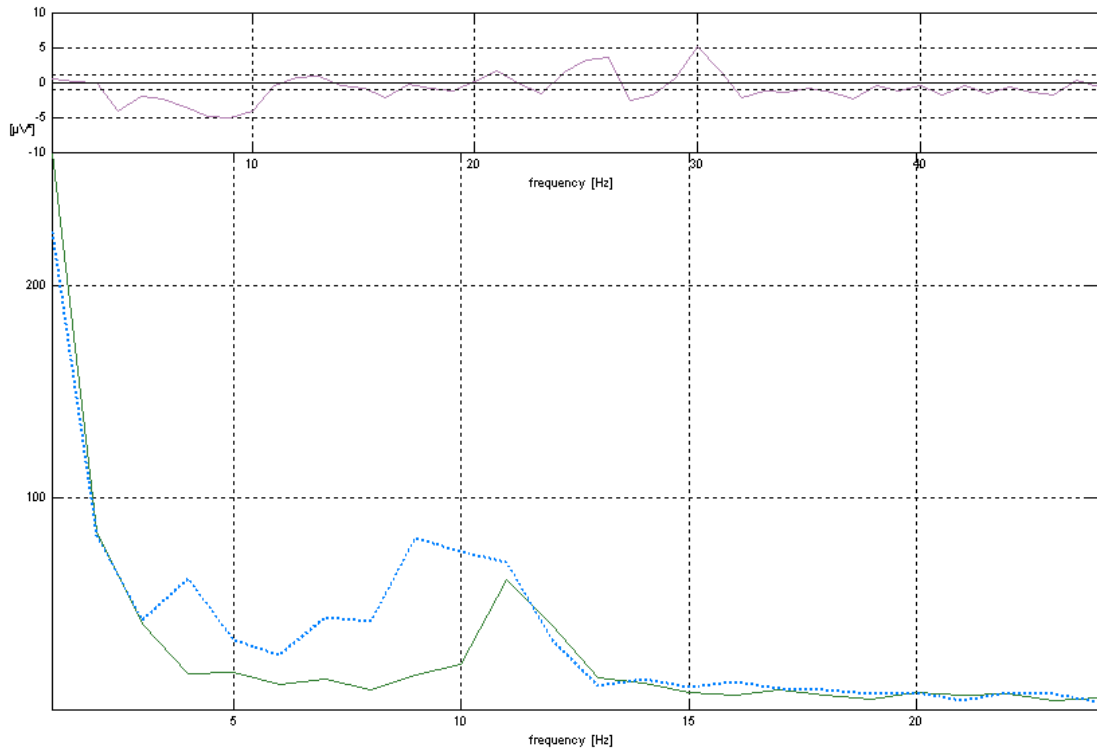
Σχήμα 12-109. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T5



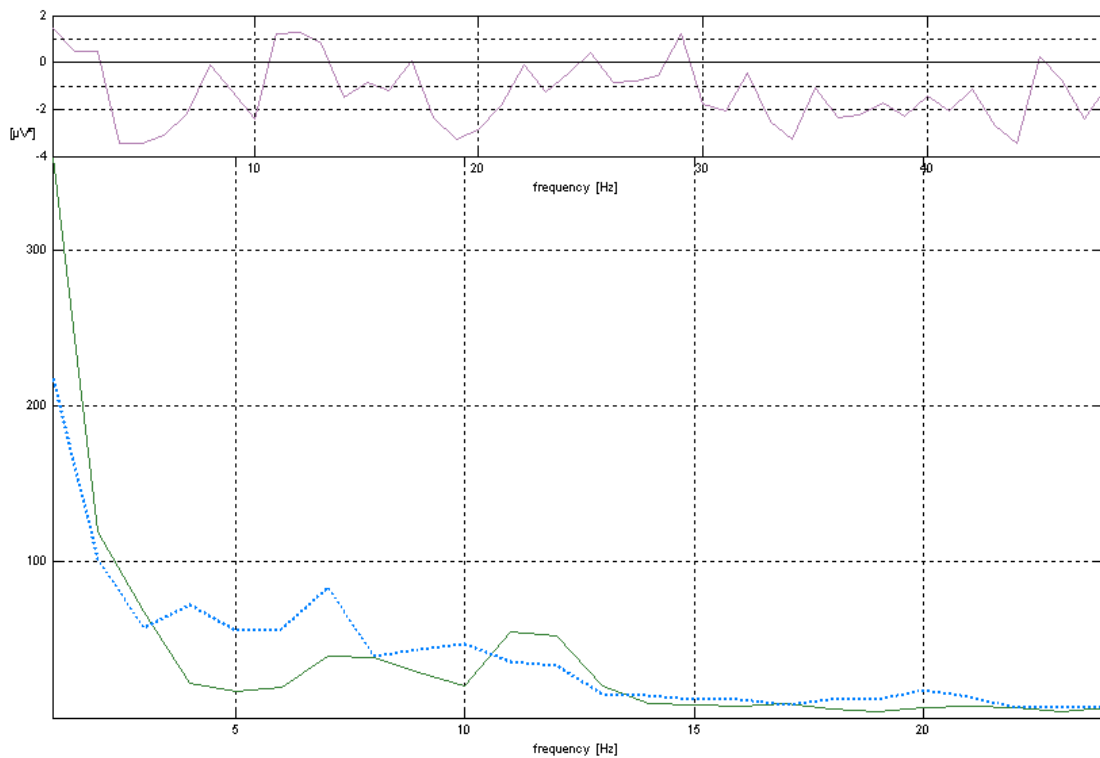
Σχήμα 12-110. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F8



Σχήμα 12-111. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T4

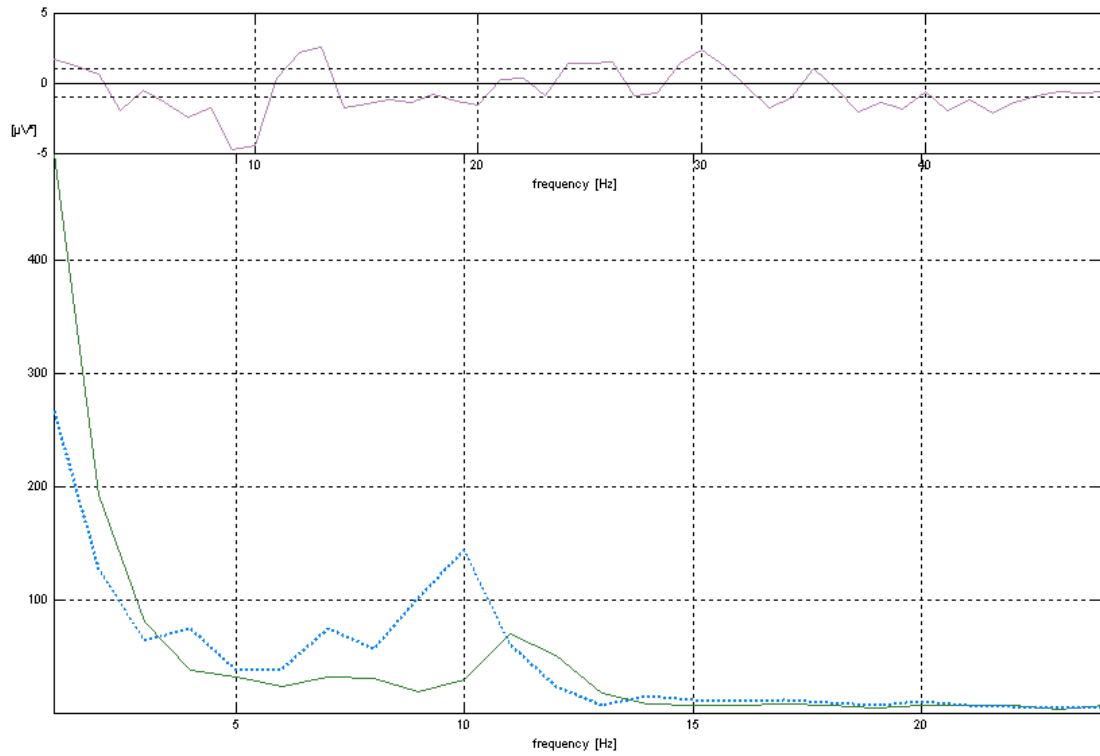


Σχήμα 12-112. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T6



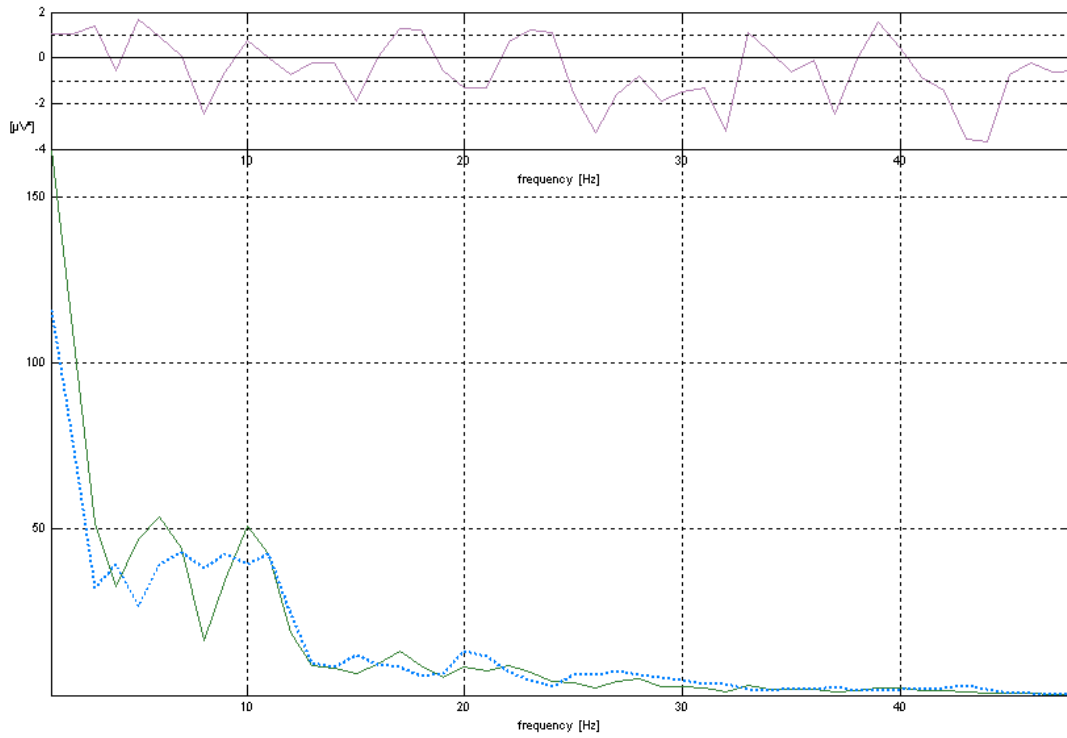
Σχήμα 12-113. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο O1



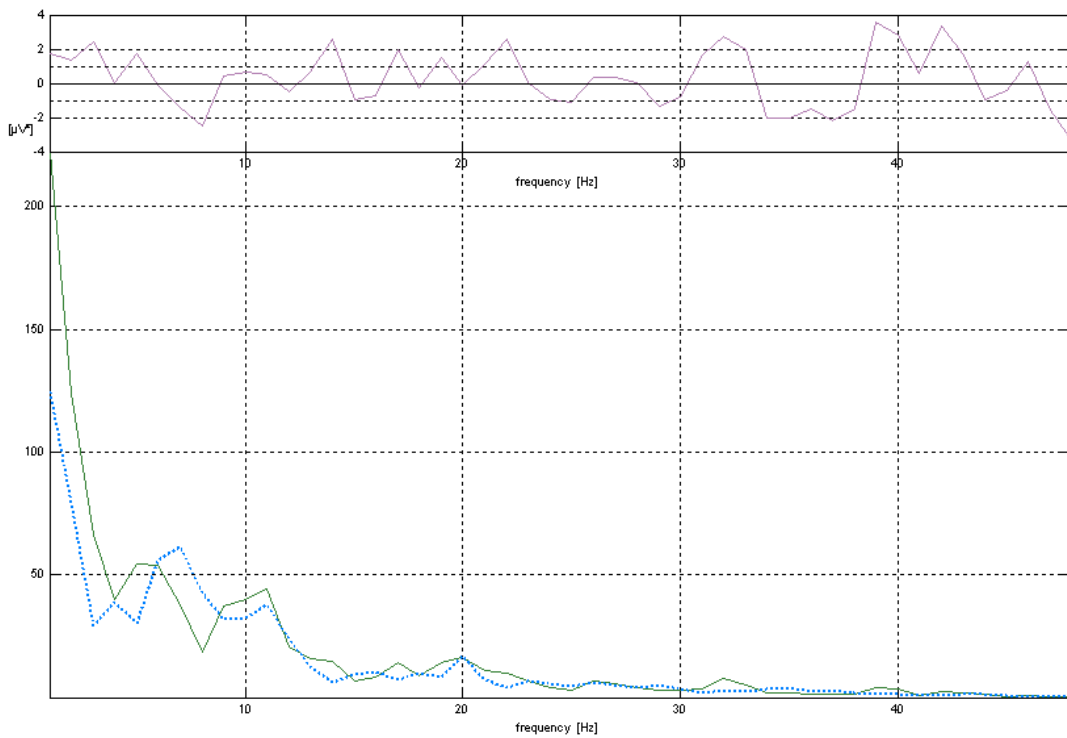


Σχήμα 12-114. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο O2

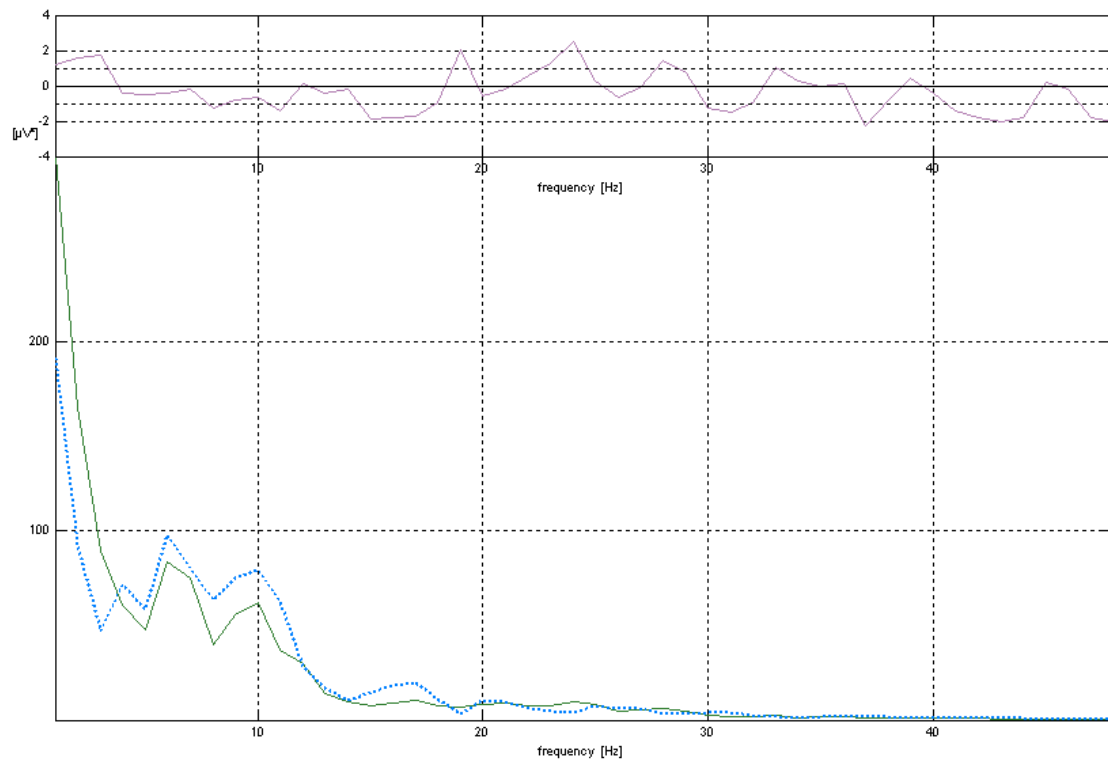
### 12.2.5 Αντίληψη κινούμενου αντικειμένου



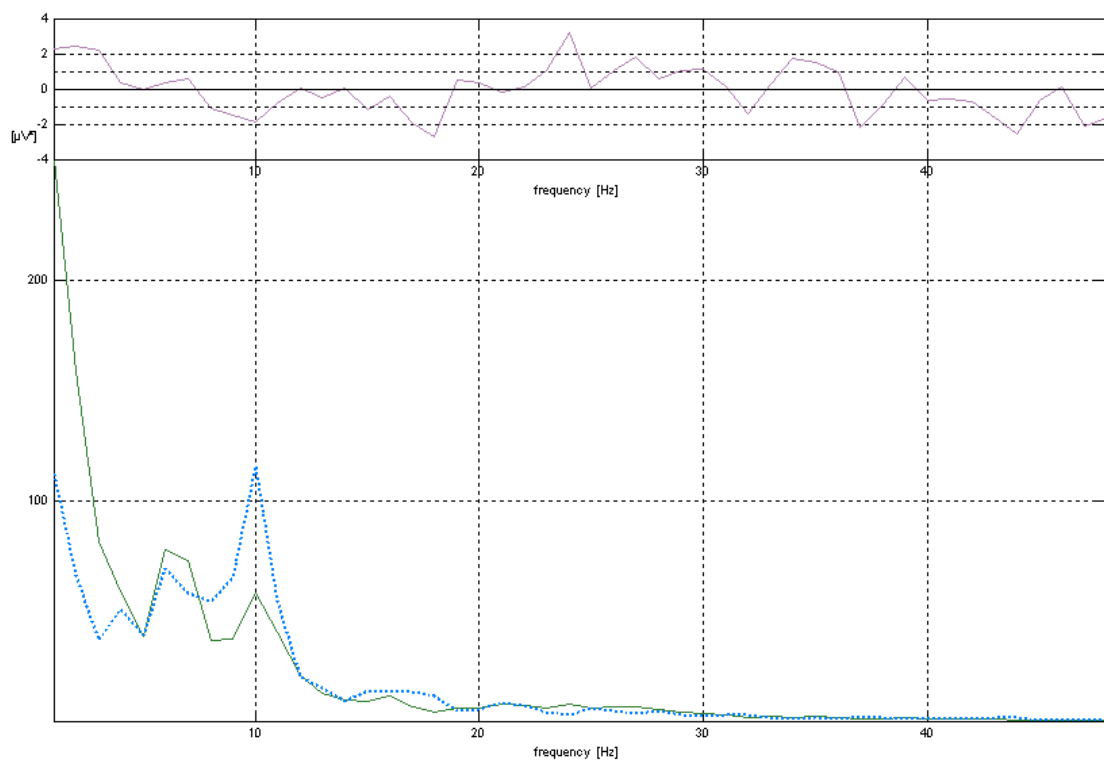
Σχήμα 12-115. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fp1



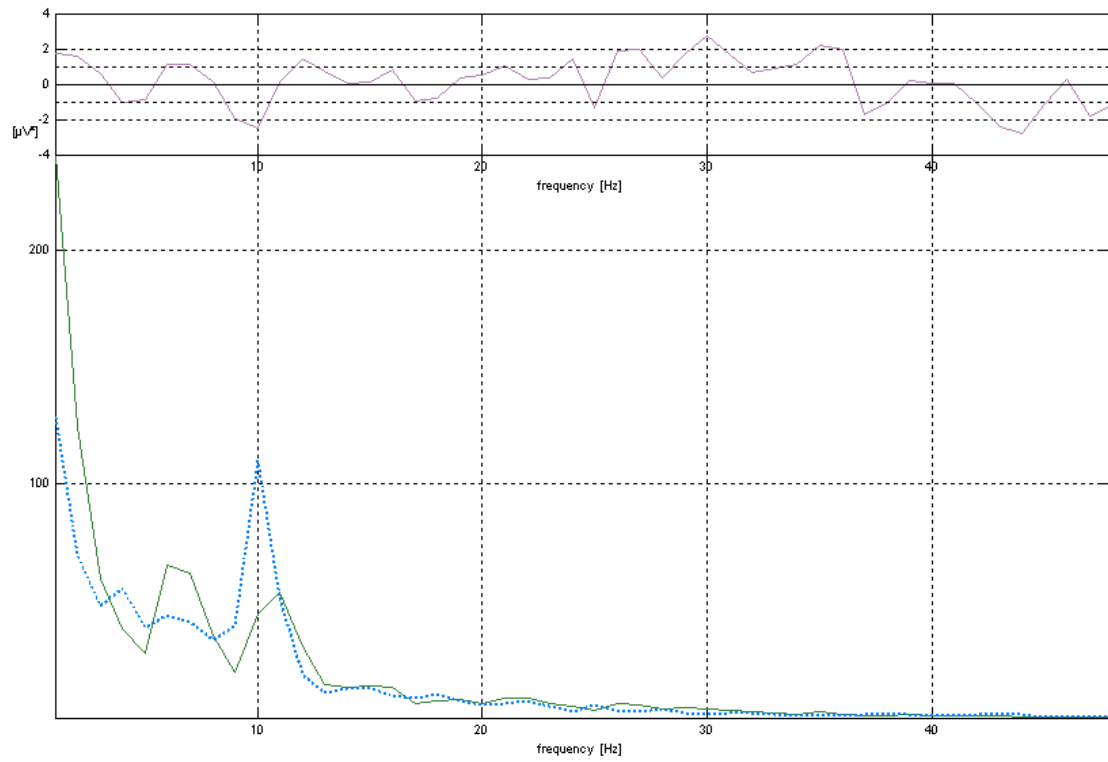
Σχήμα 12-116. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fp2



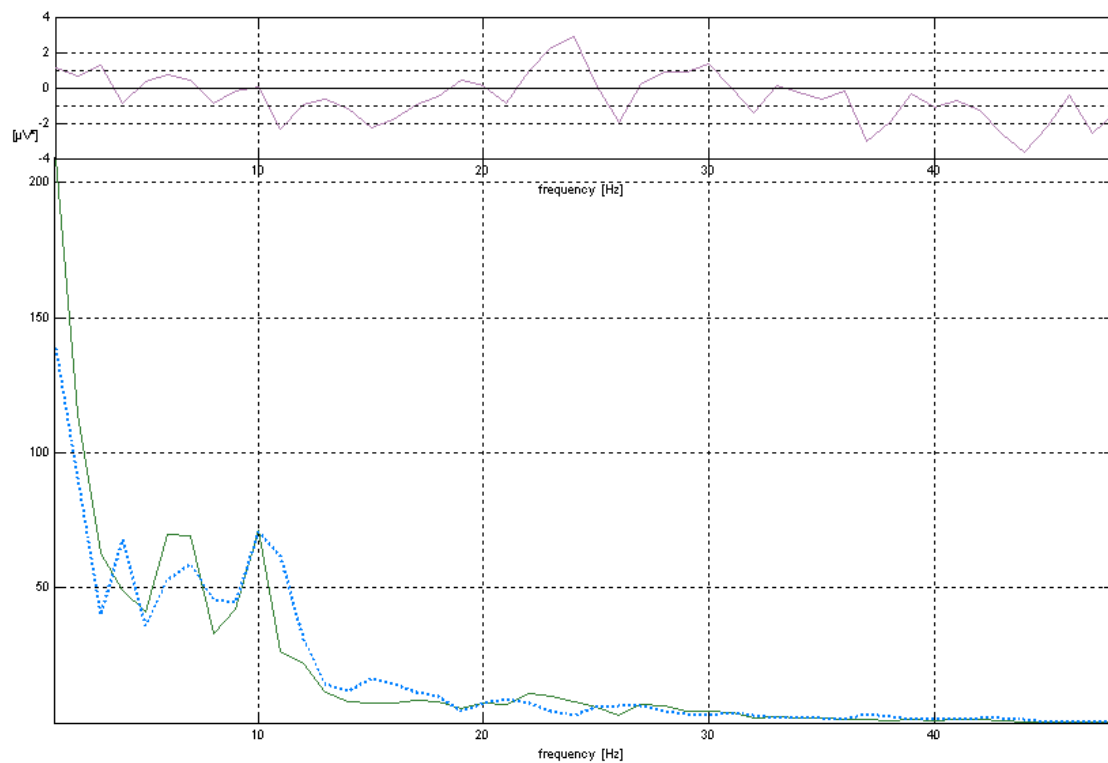
Σχήμα 12-117. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fz



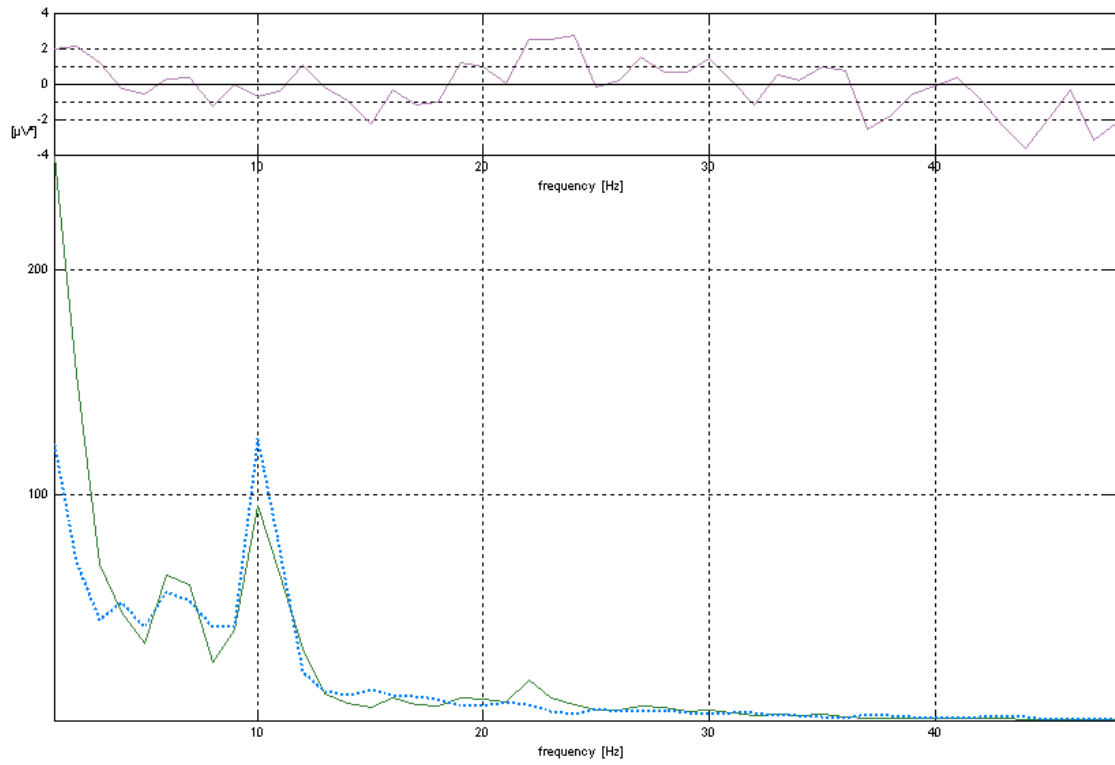
Σχήμα 12-118. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Cz



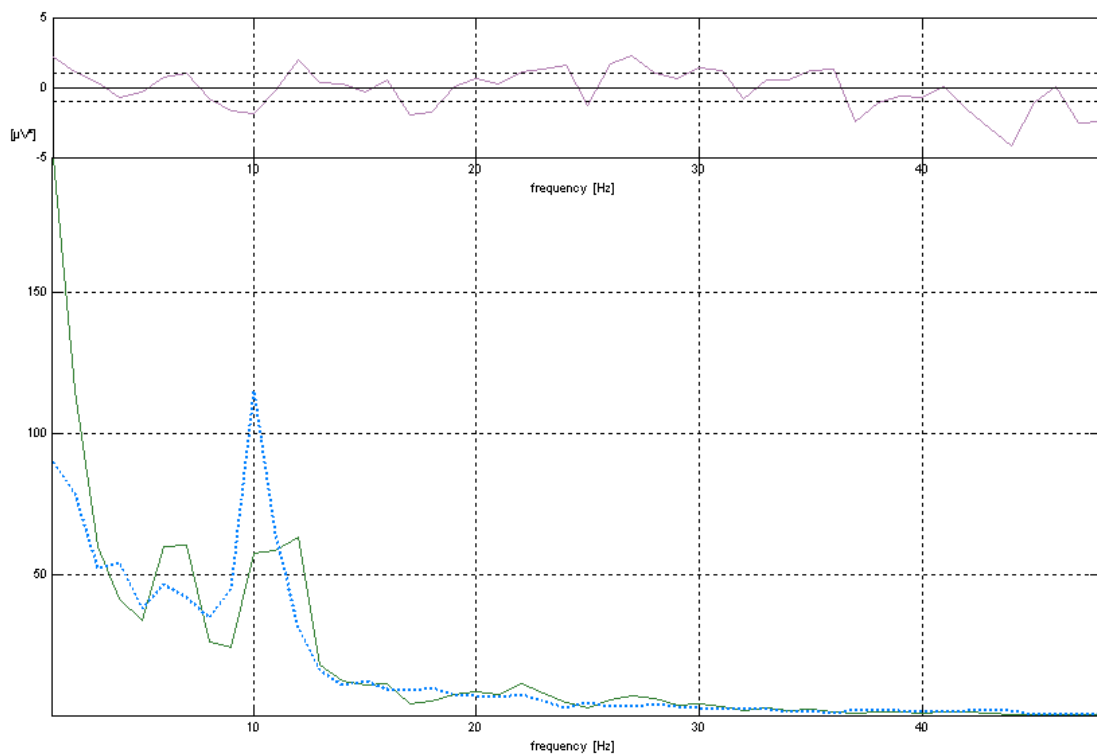
Σχήμα 12-119. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Pz



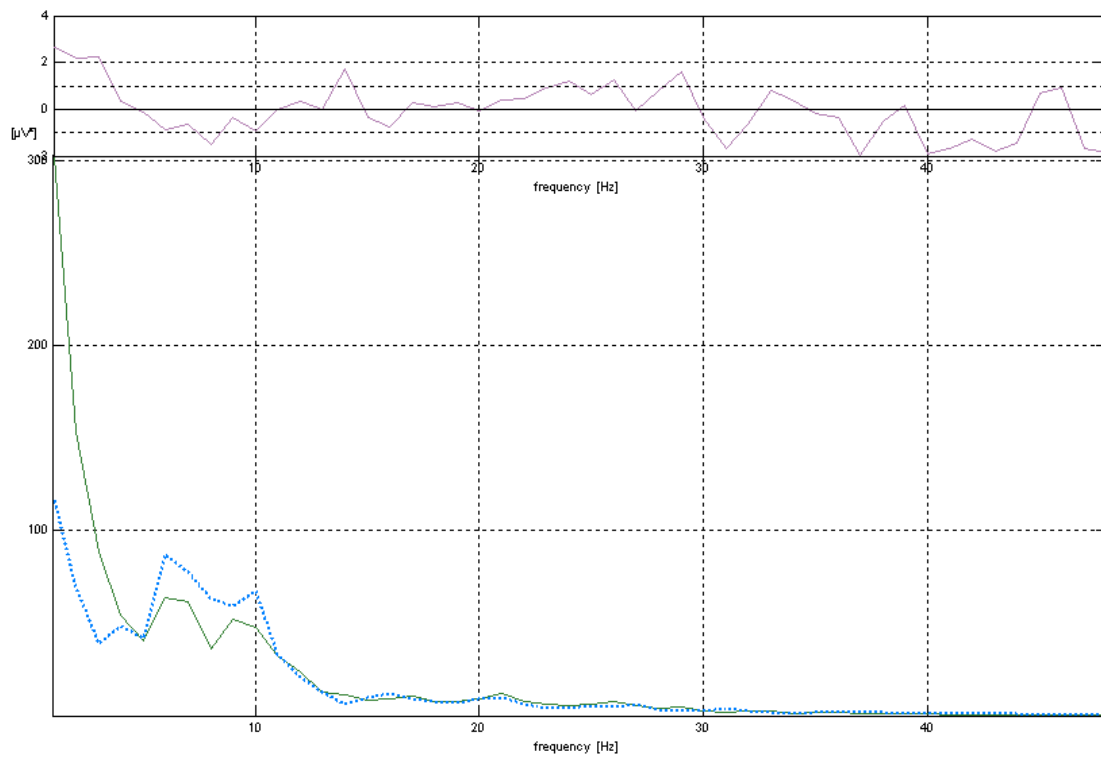
Σχήμα 12-120. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο P3



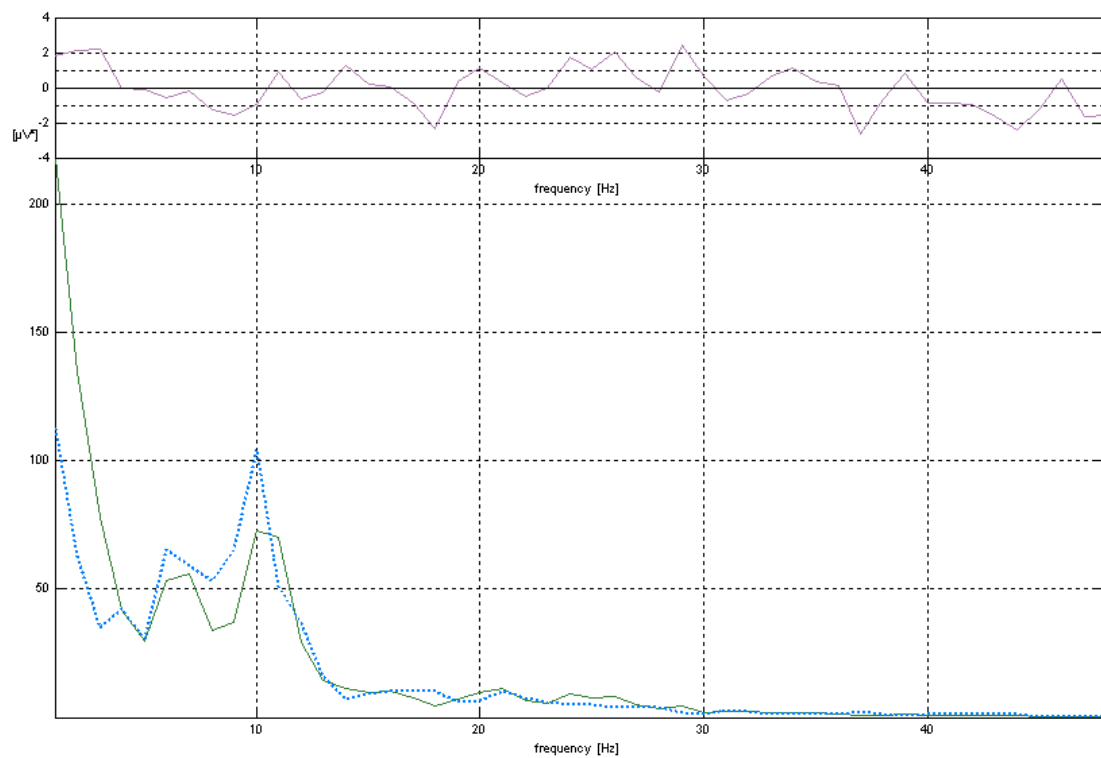
Σχήμα 12-121. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο C3



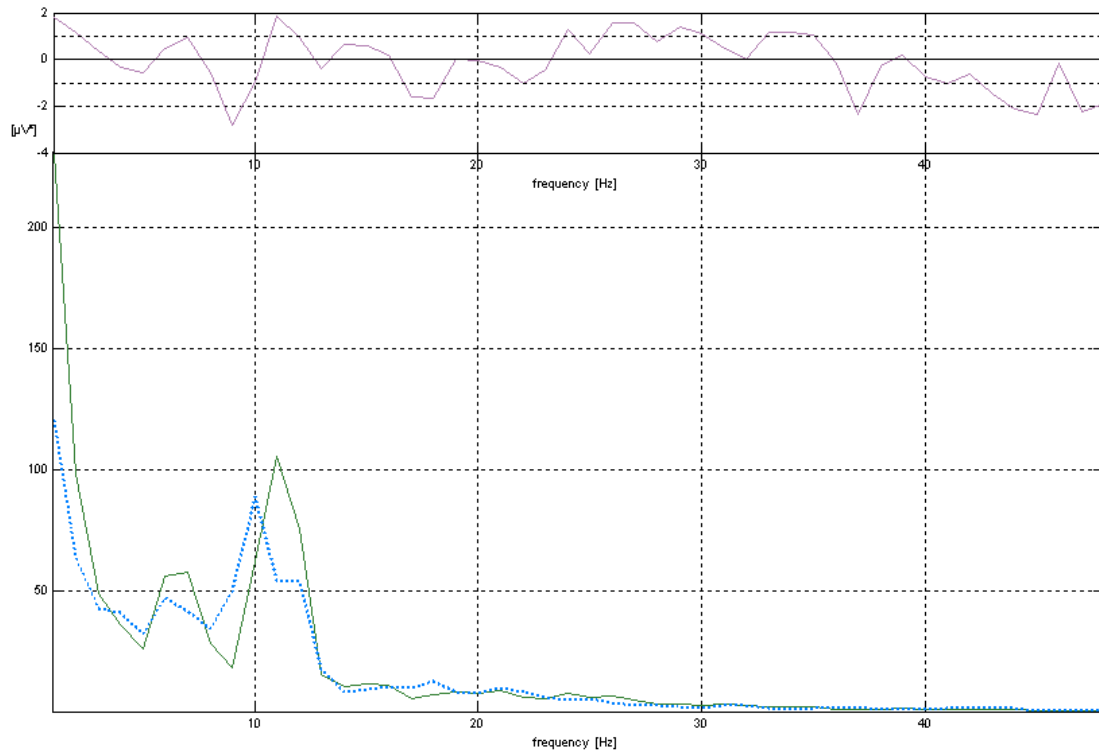
Σχήμα 12-122. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο P3



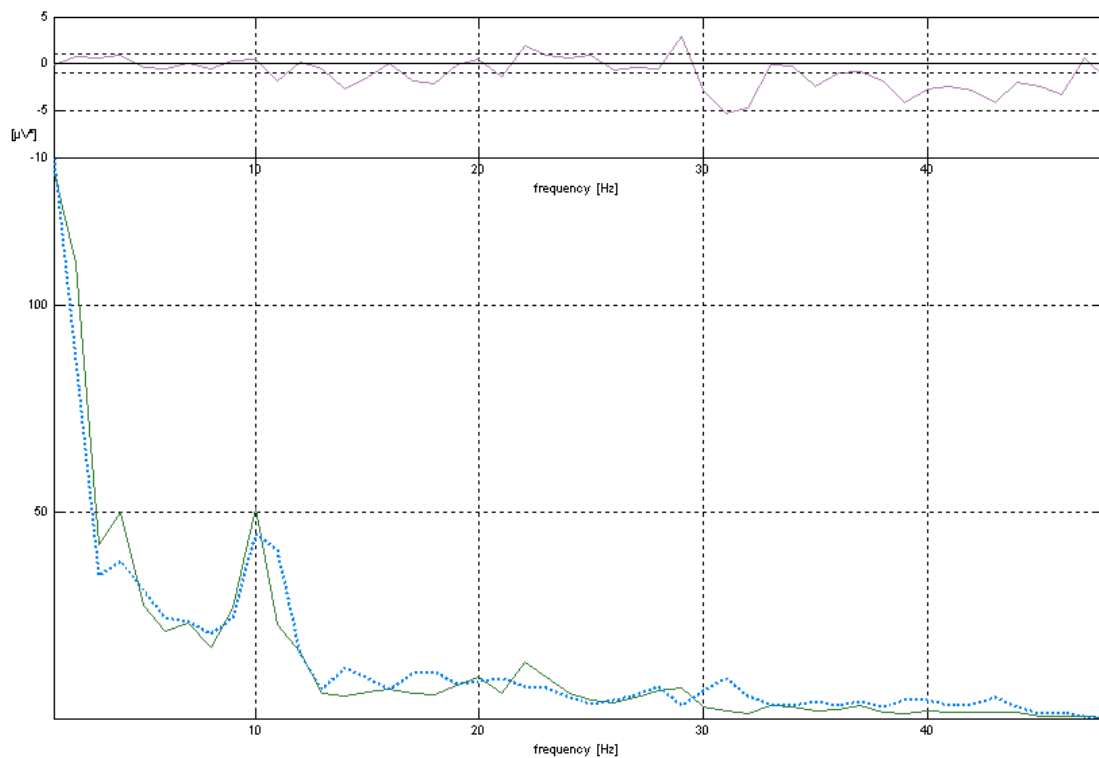
Σχήμα 12-123. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F4



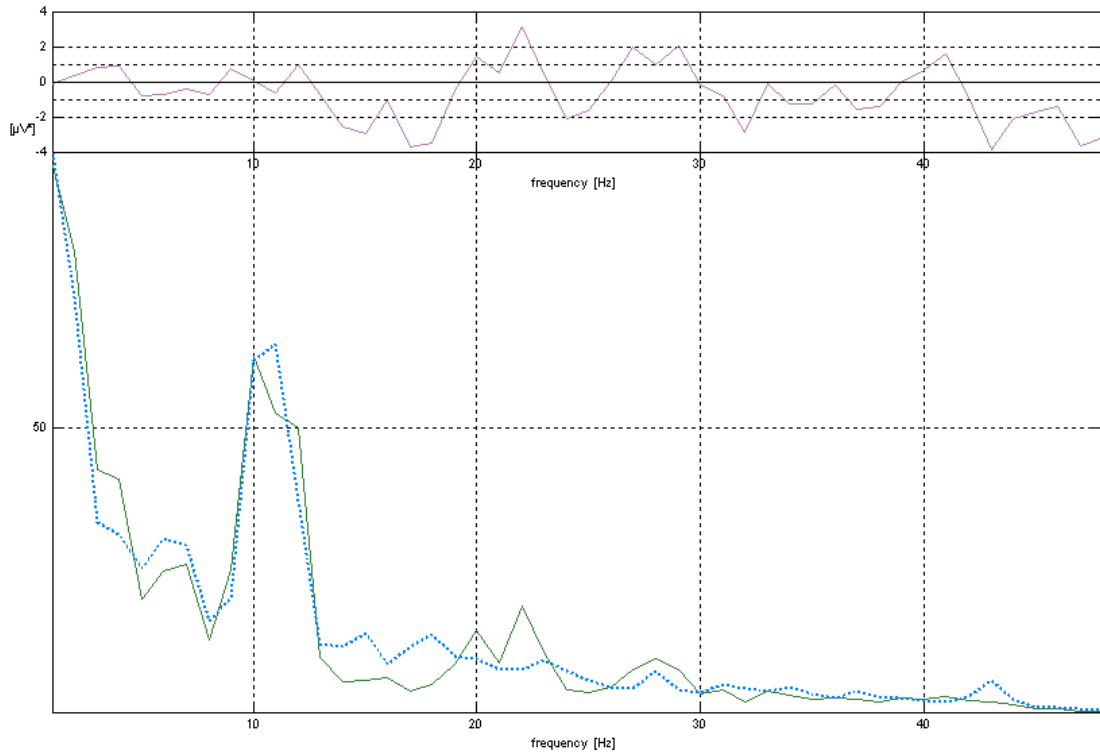
Σχήμα 12-124. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο C4



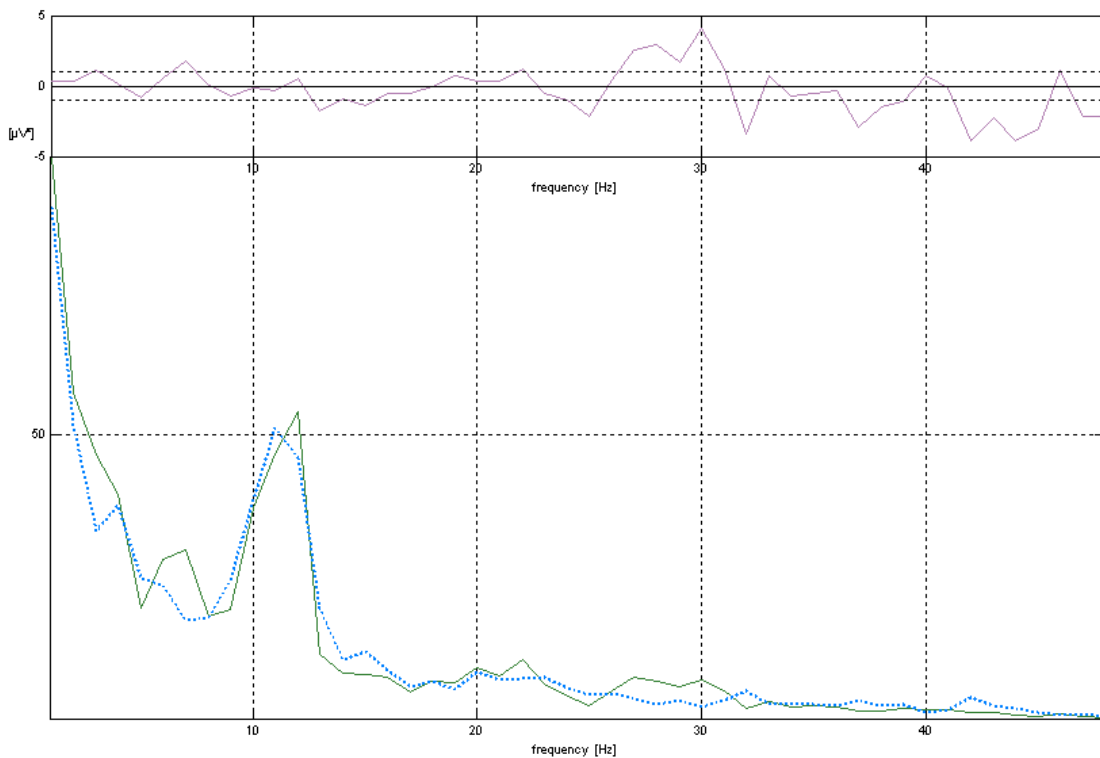
Σχήμα 12-125. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο P4



Σχήμα 12-126. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F7

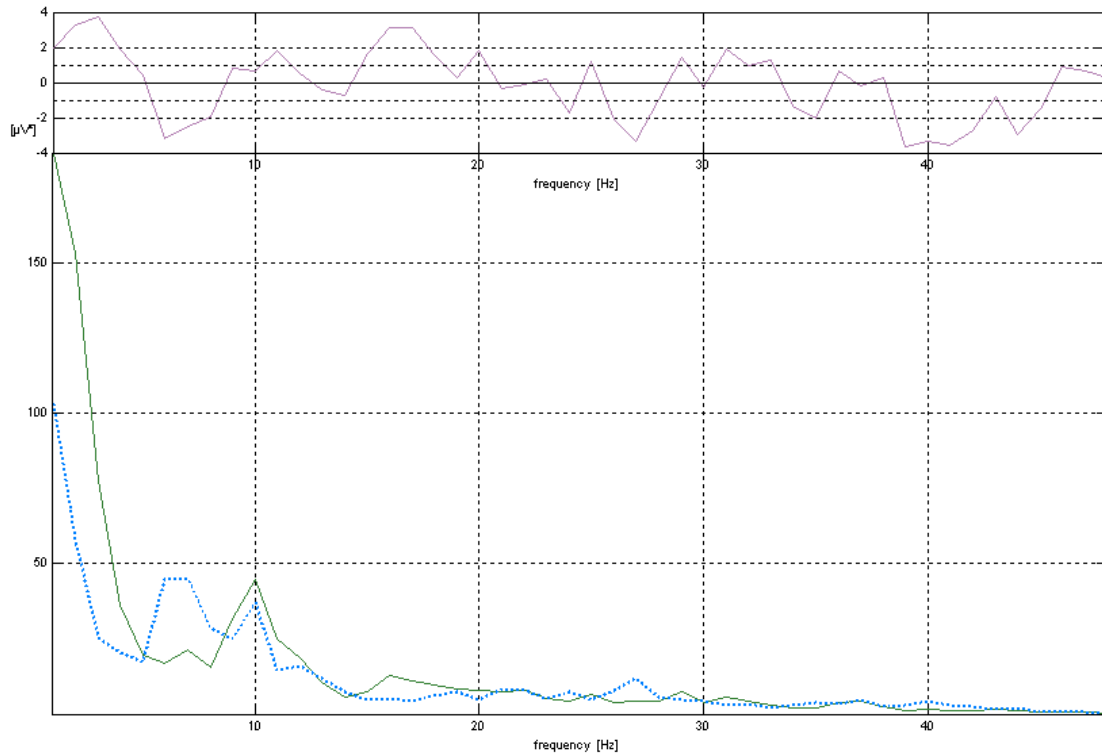


Σχήμα 12-127. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T3

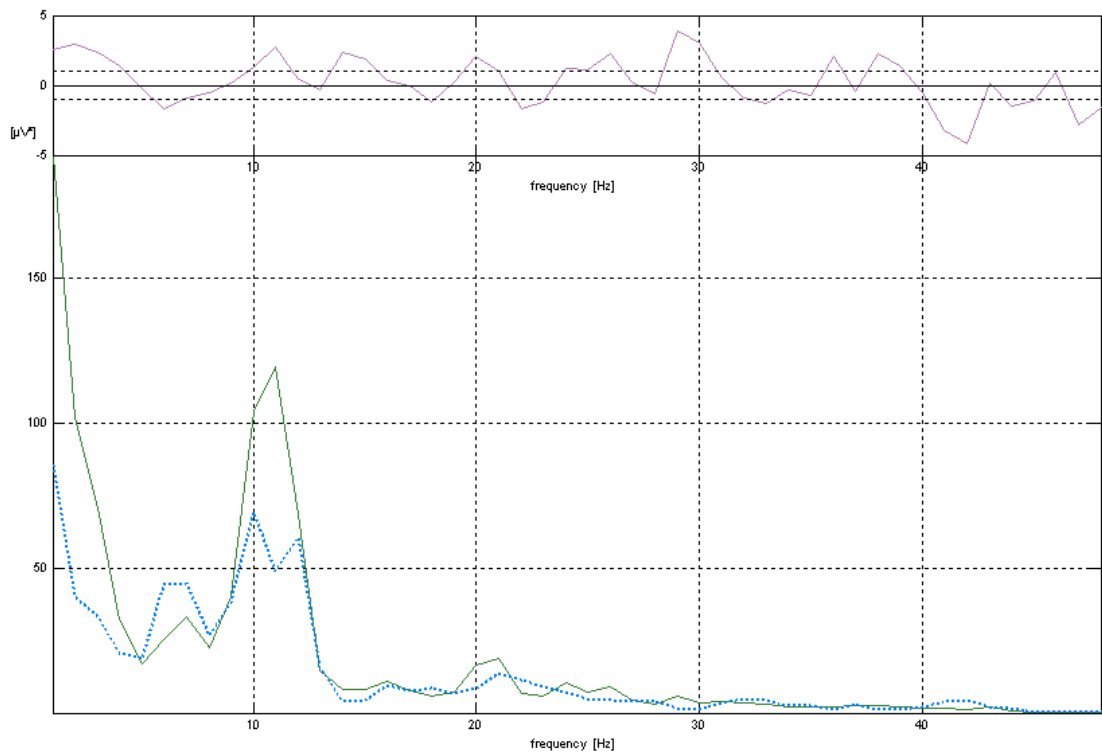


Σχήμα 12-128. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T5

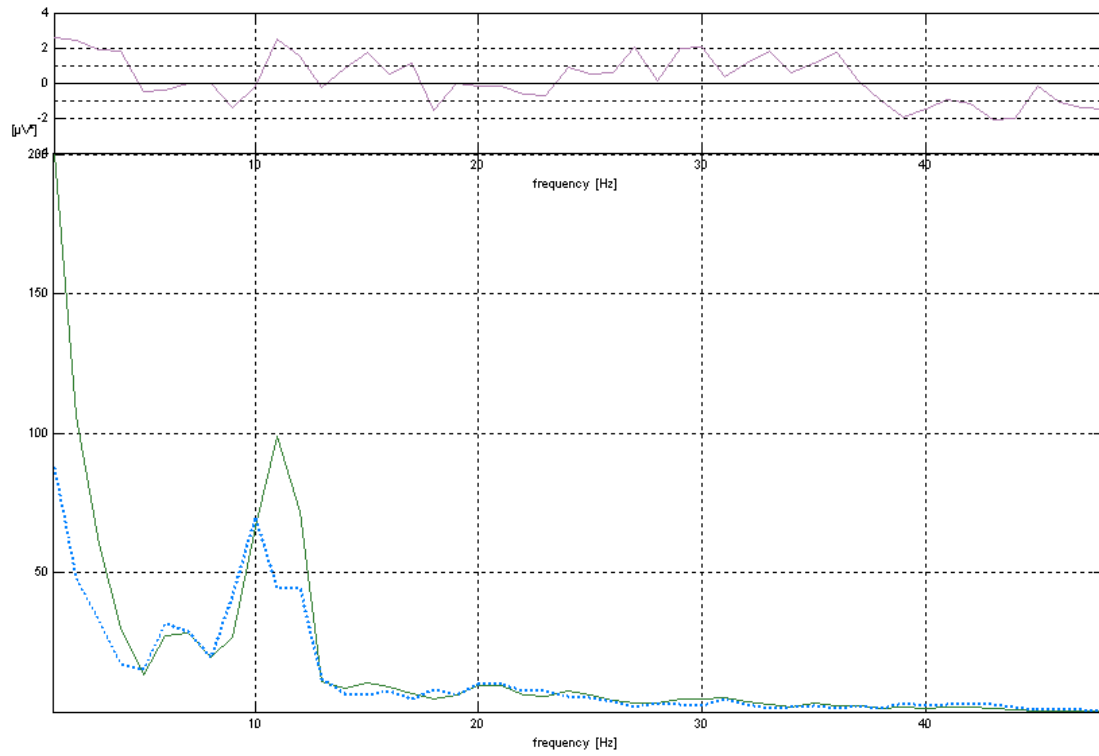




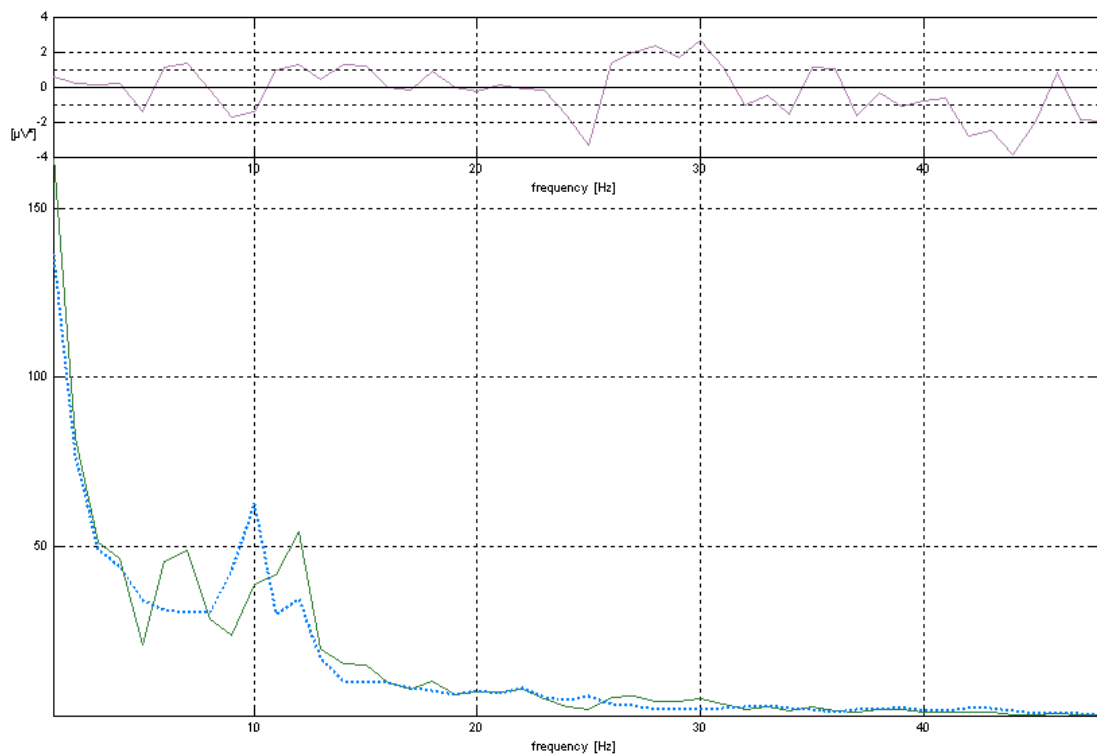
Σχήμα 12-129. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F8



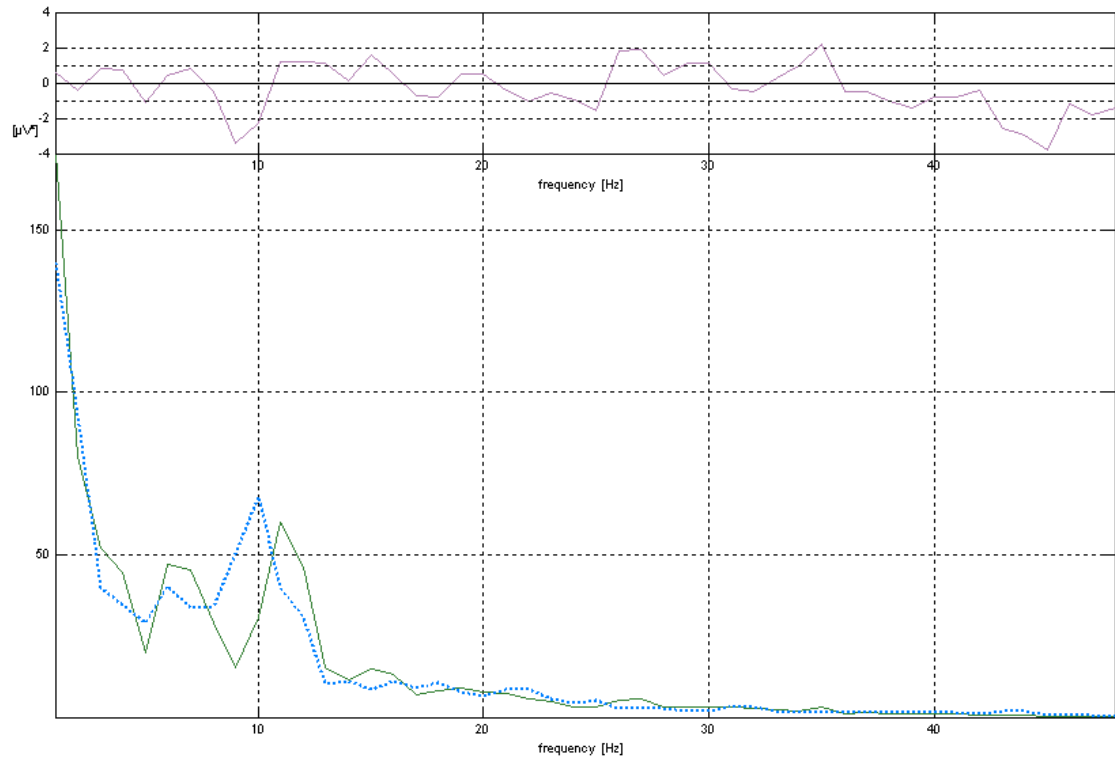
Σχήμα 12-130. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T4



Σχήμα 12-131. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T6

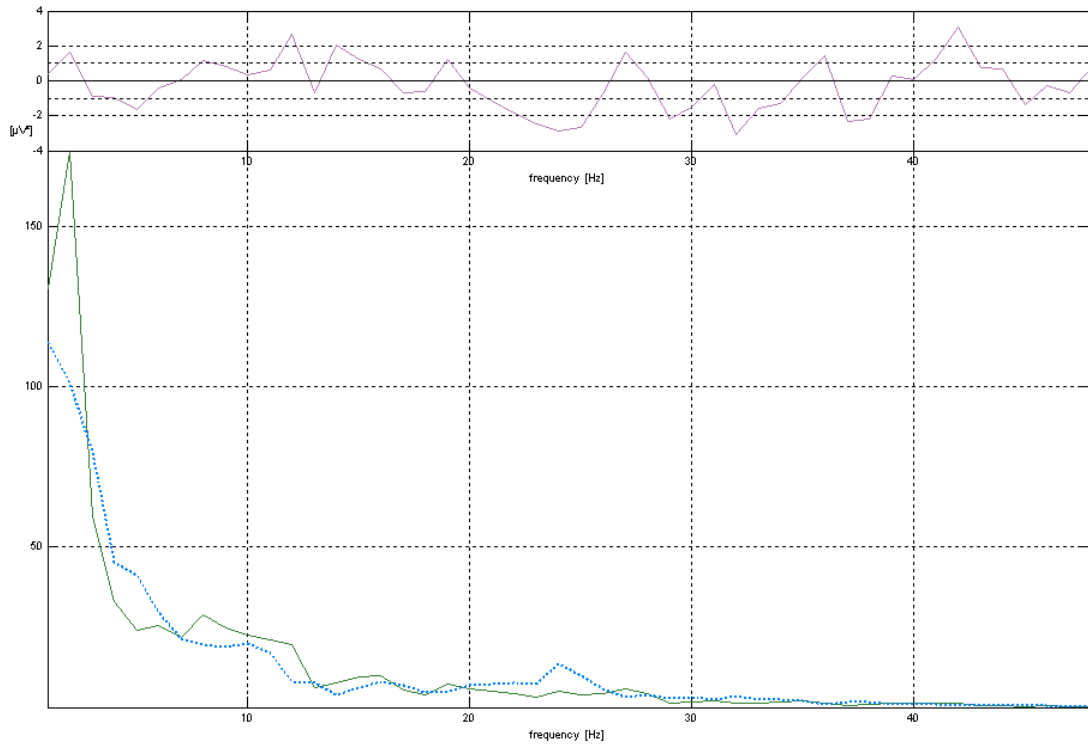


Σχήμα 12-132. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο O1

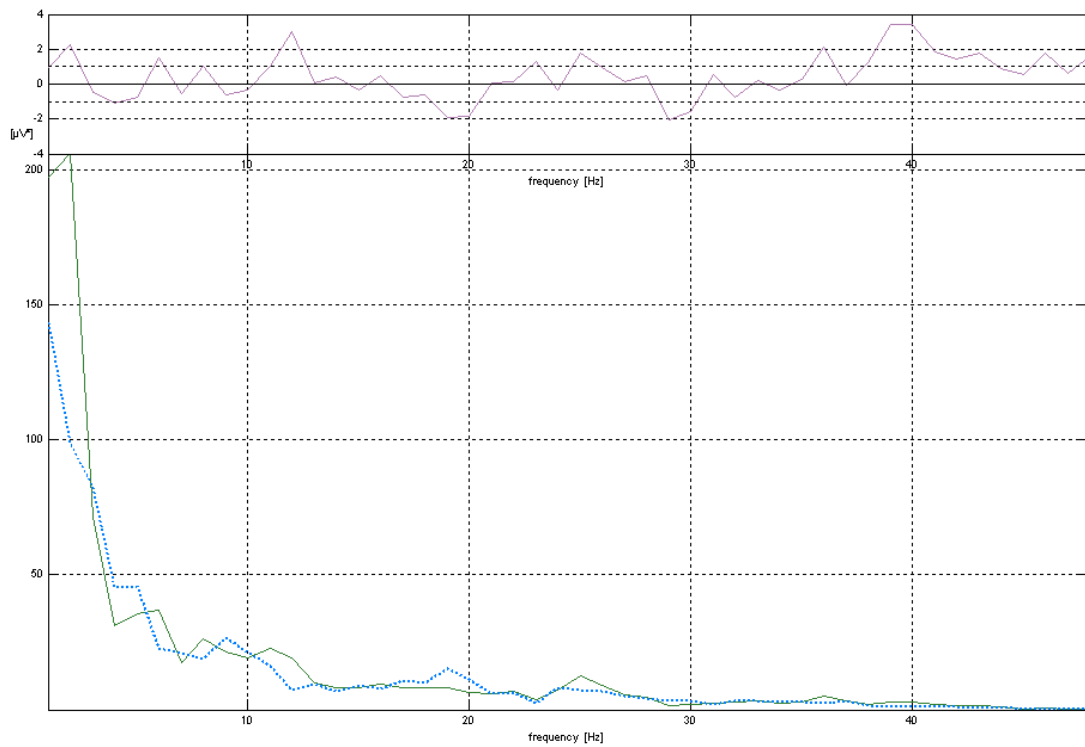


Σχήμα 12-133. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο O<sub>2</sub>

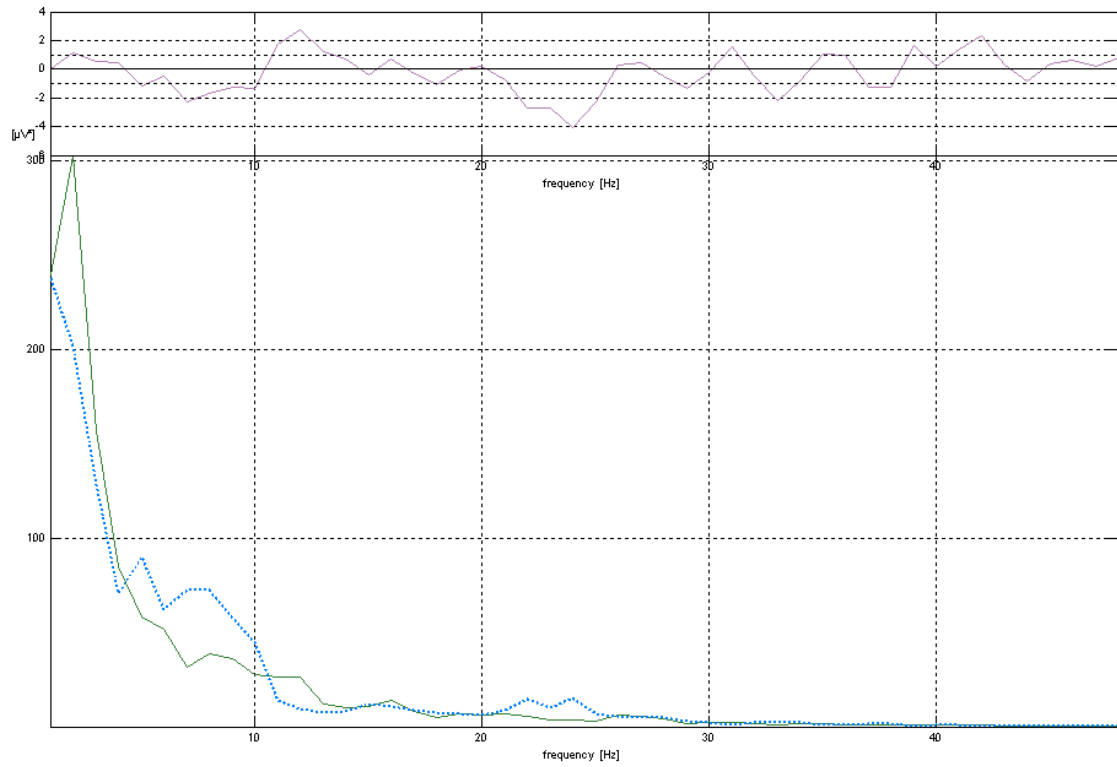
### 12.2.6 Διεργασία ετοιμότητας και αναμονής



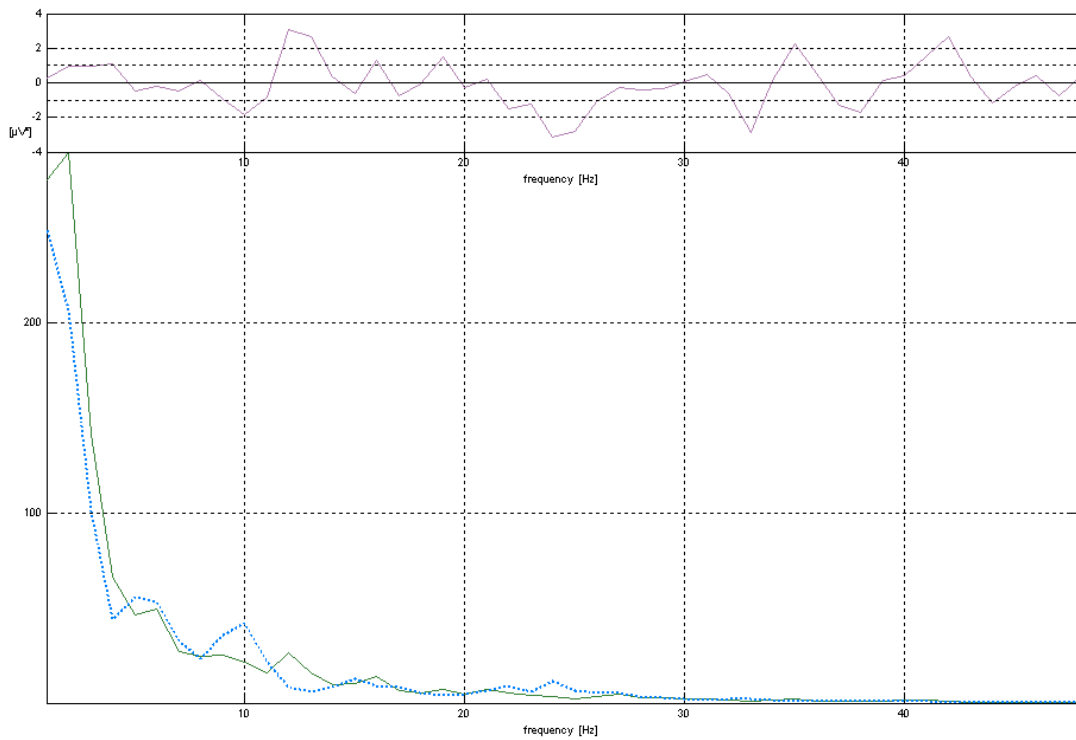
Σχήμα 12-134. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fp1



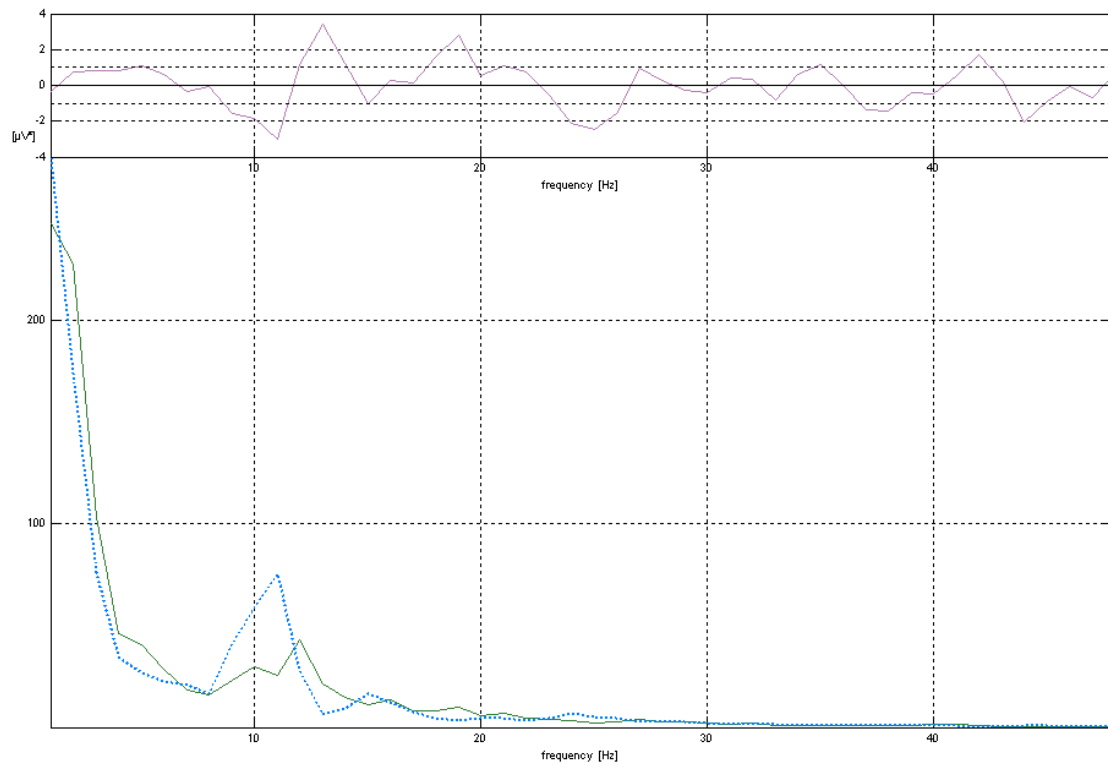
Σχήμα 12-135. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fp2



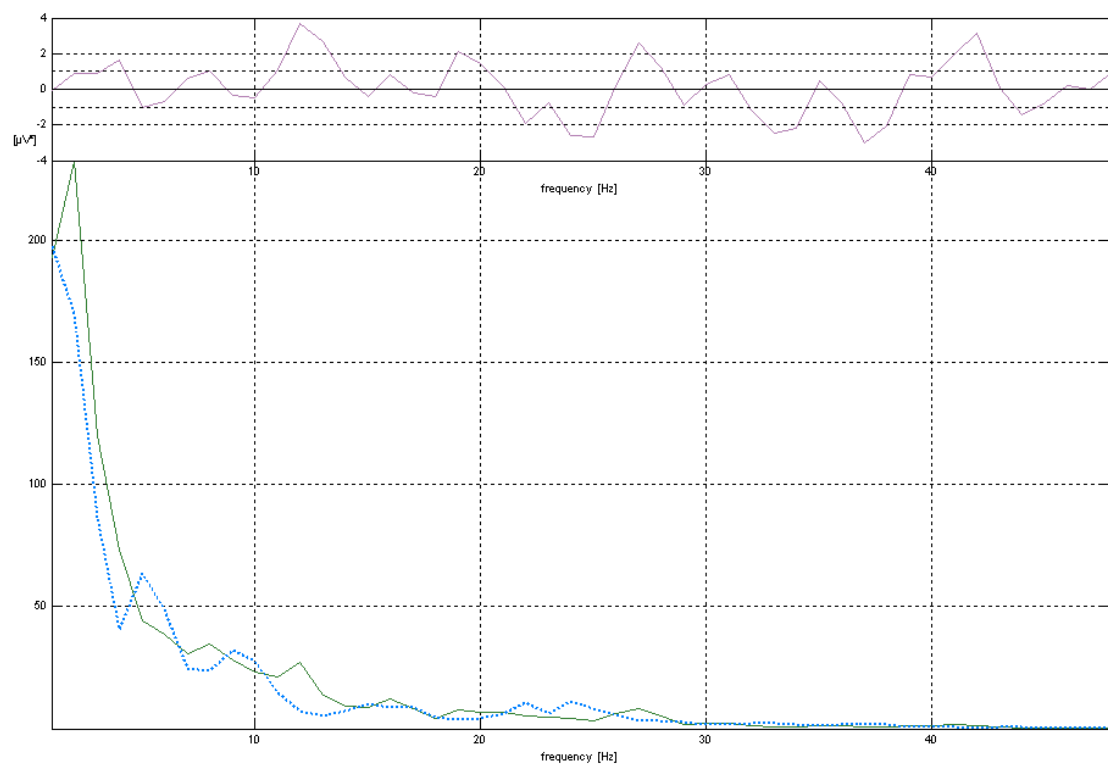
Σχήμα 12-136. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fz



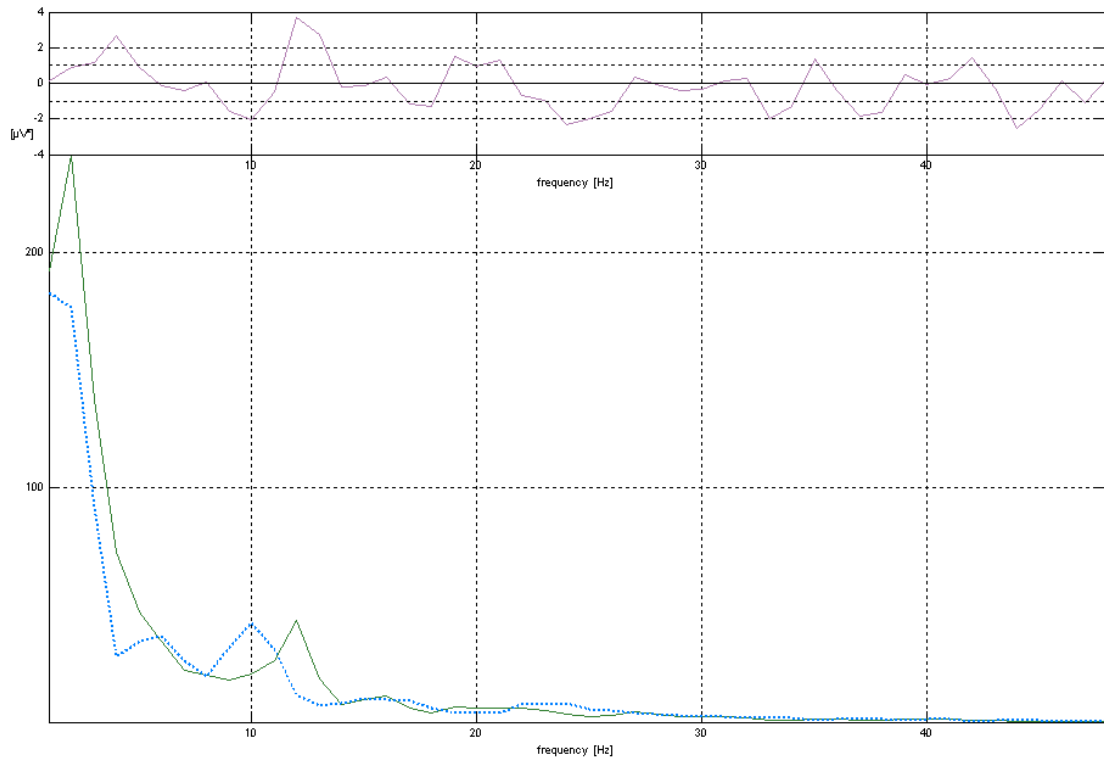
Σχήμα 12-137. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Cz



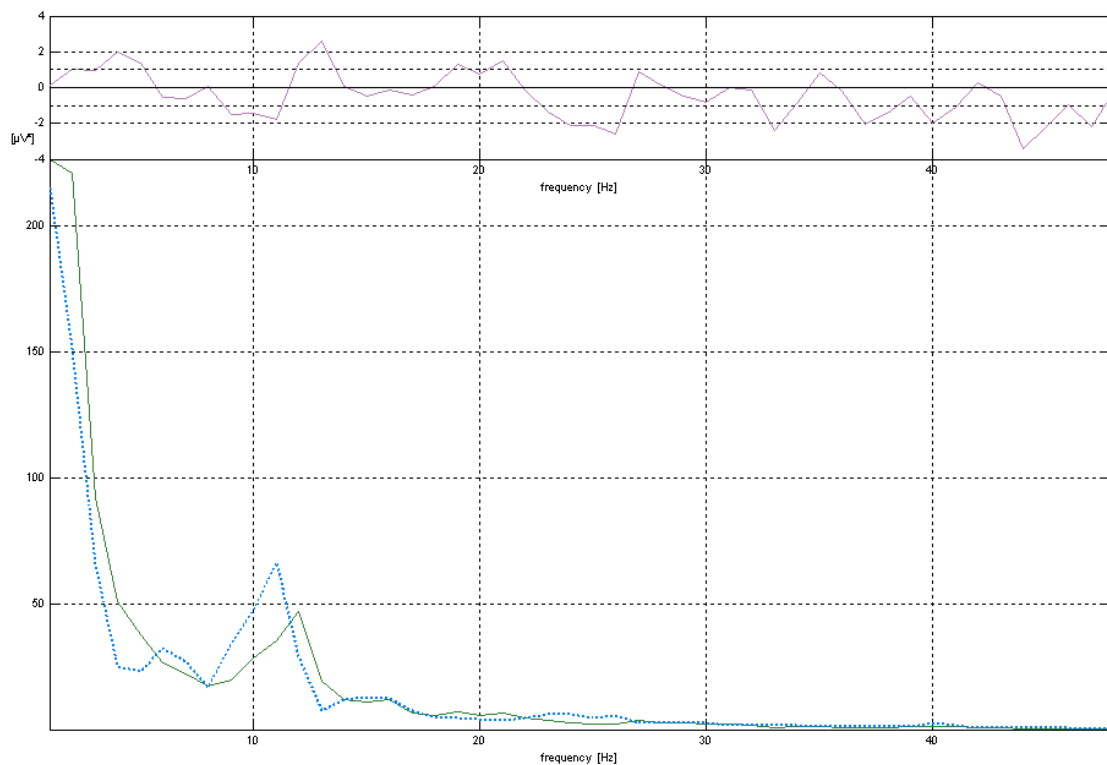
Σχήμα 12-138. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Pz



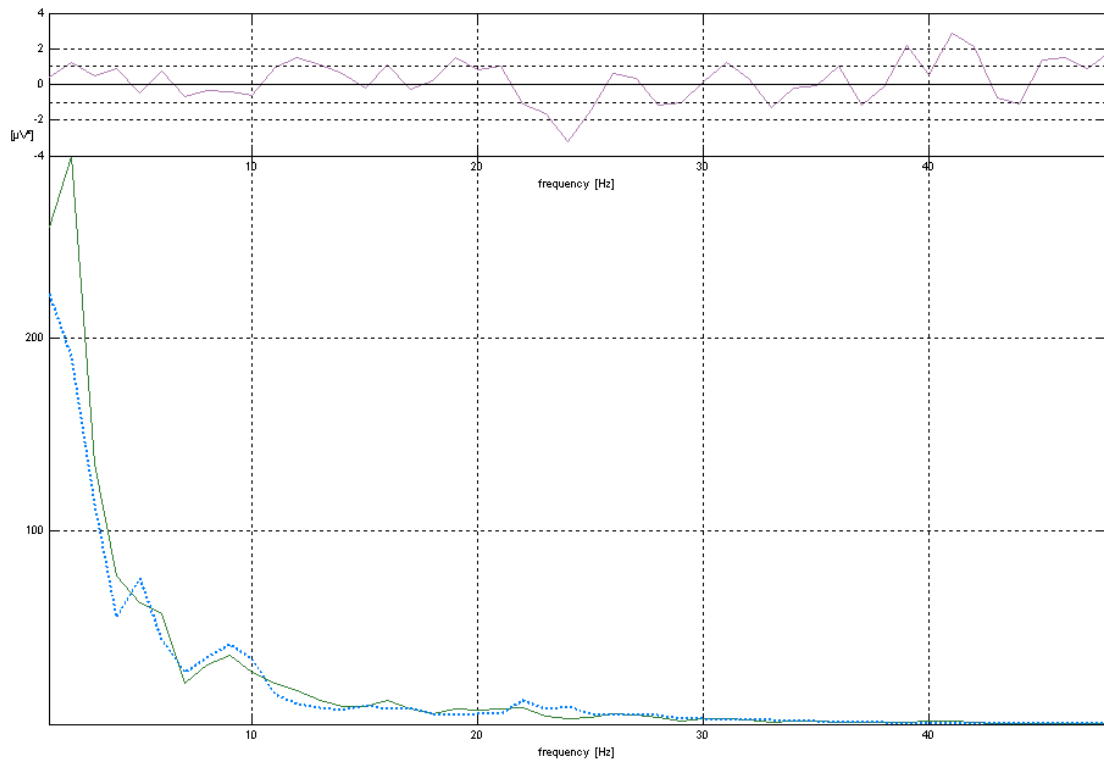
Σχήμα 12-139. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F3



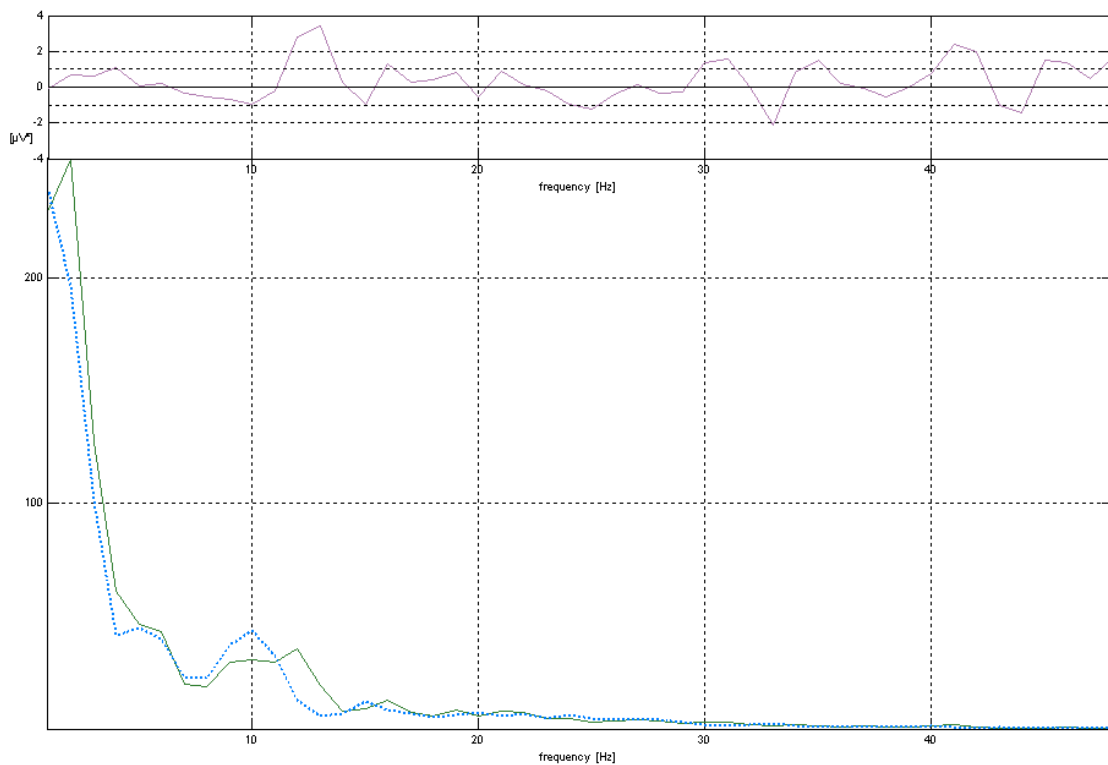
Σχήμα 12-140. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο C3



Σχήμα 12-141. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο P3

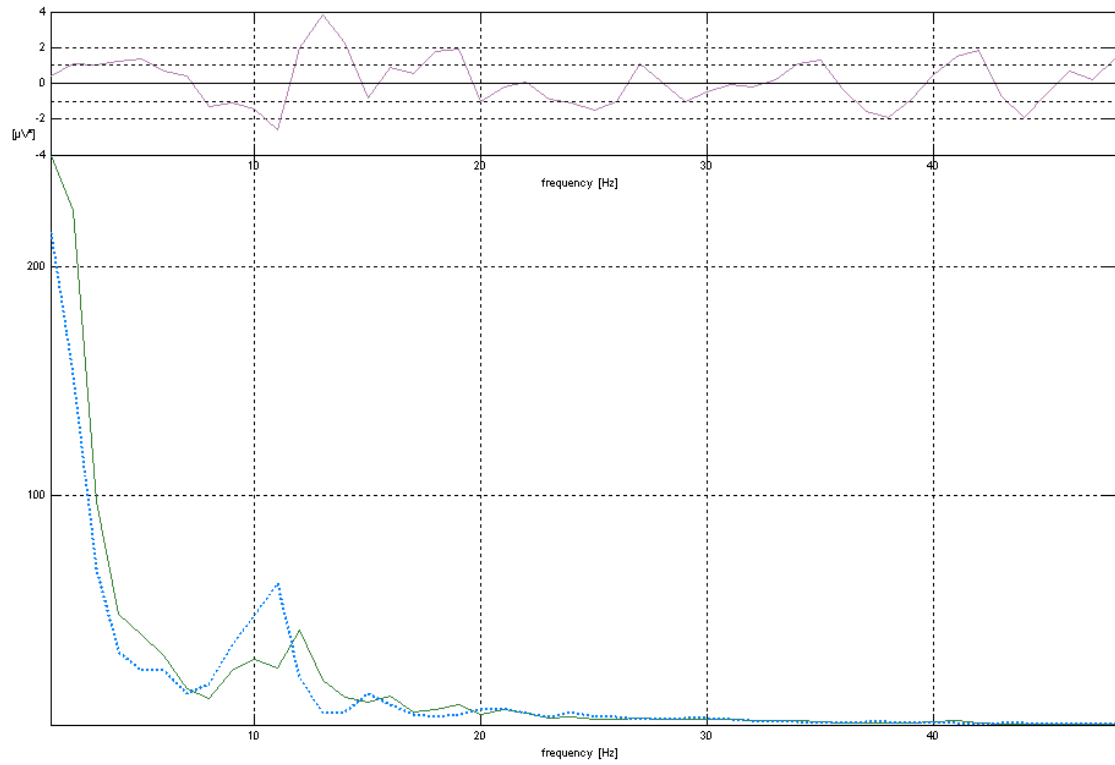


Σχήμα 12-142. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F4

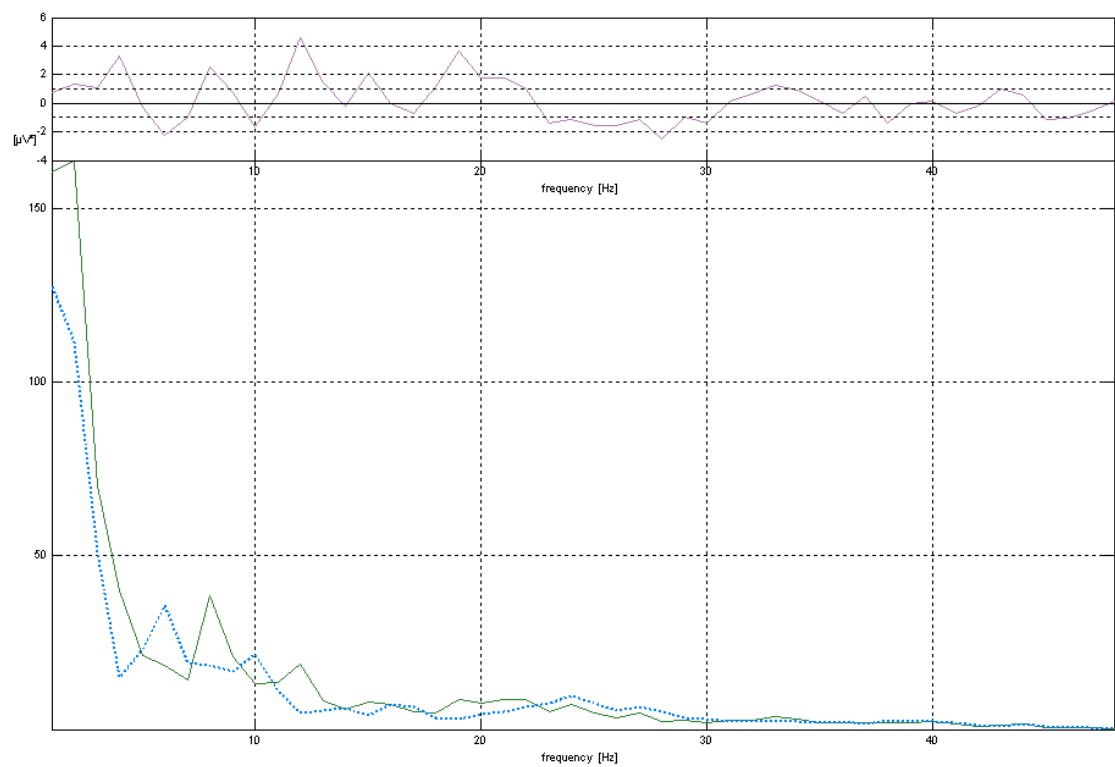


Σχήμα 12-143. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο C4

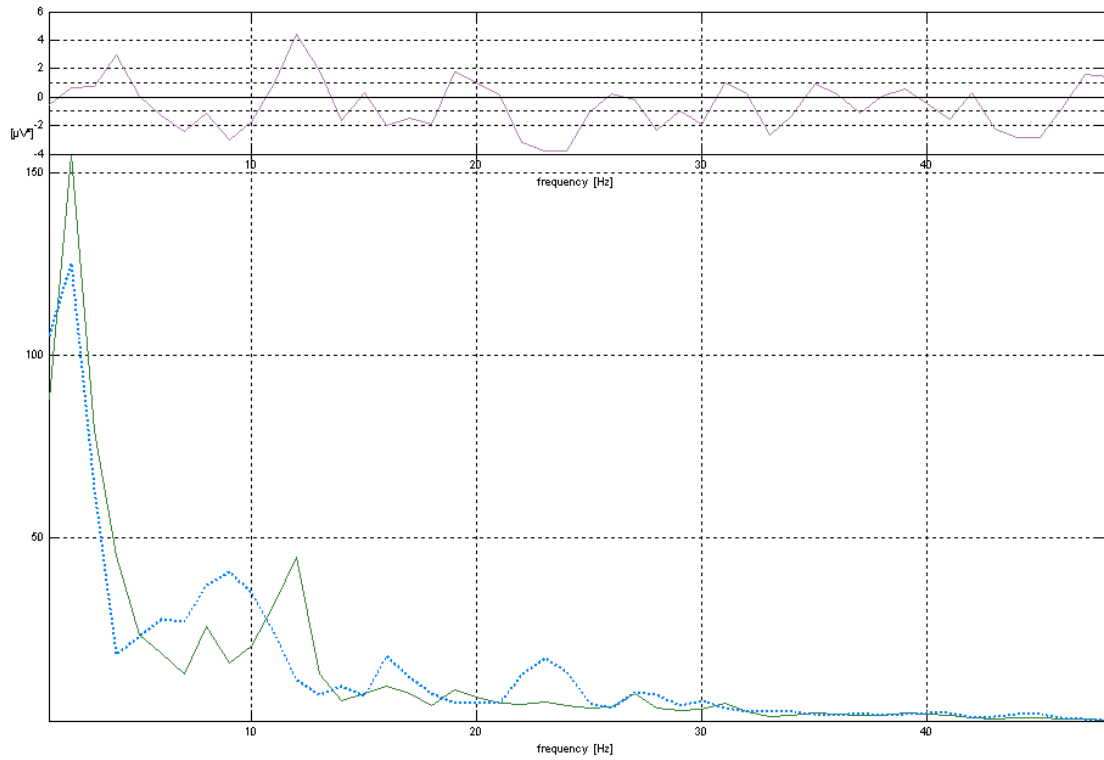




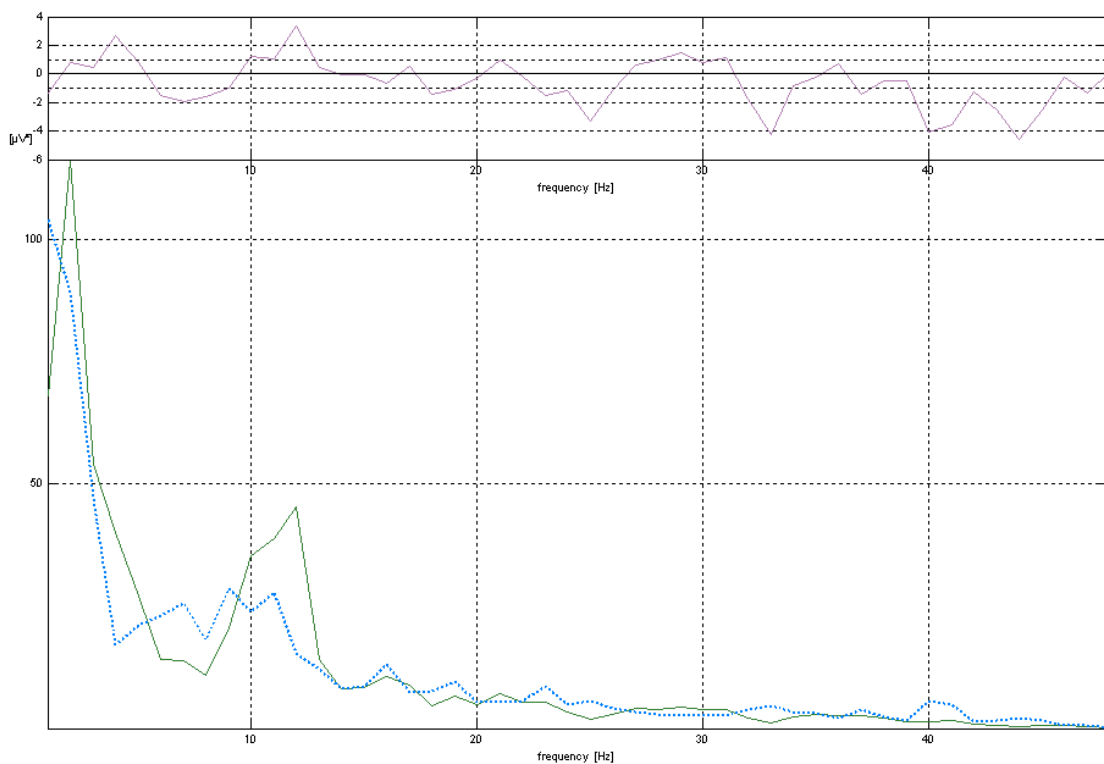
Σχήμα 12-144. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο P4



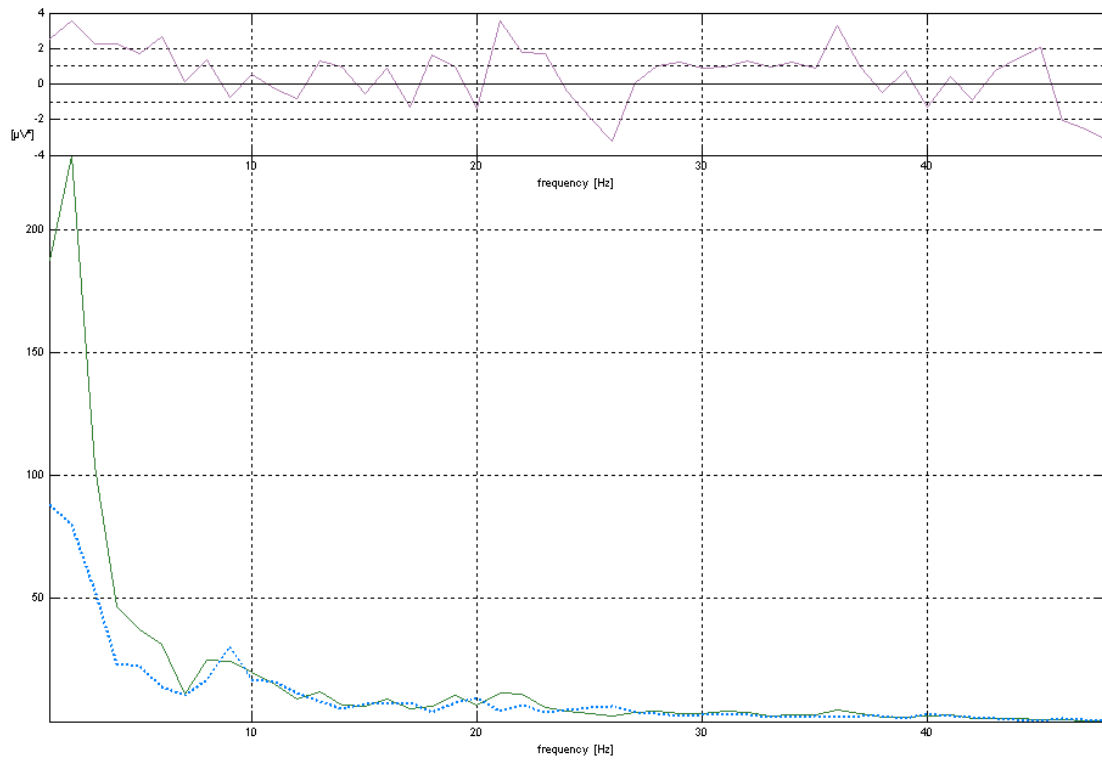
Σχήμα 12-145. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F7



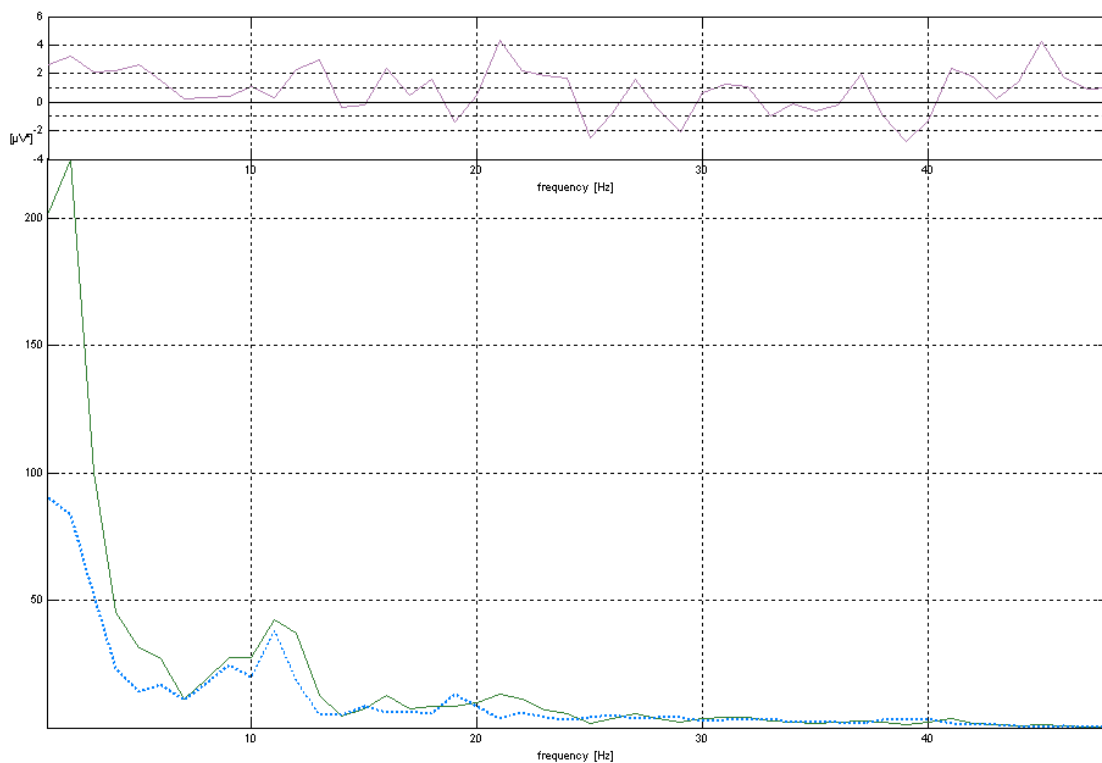
Σχήμα 12-146. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T3



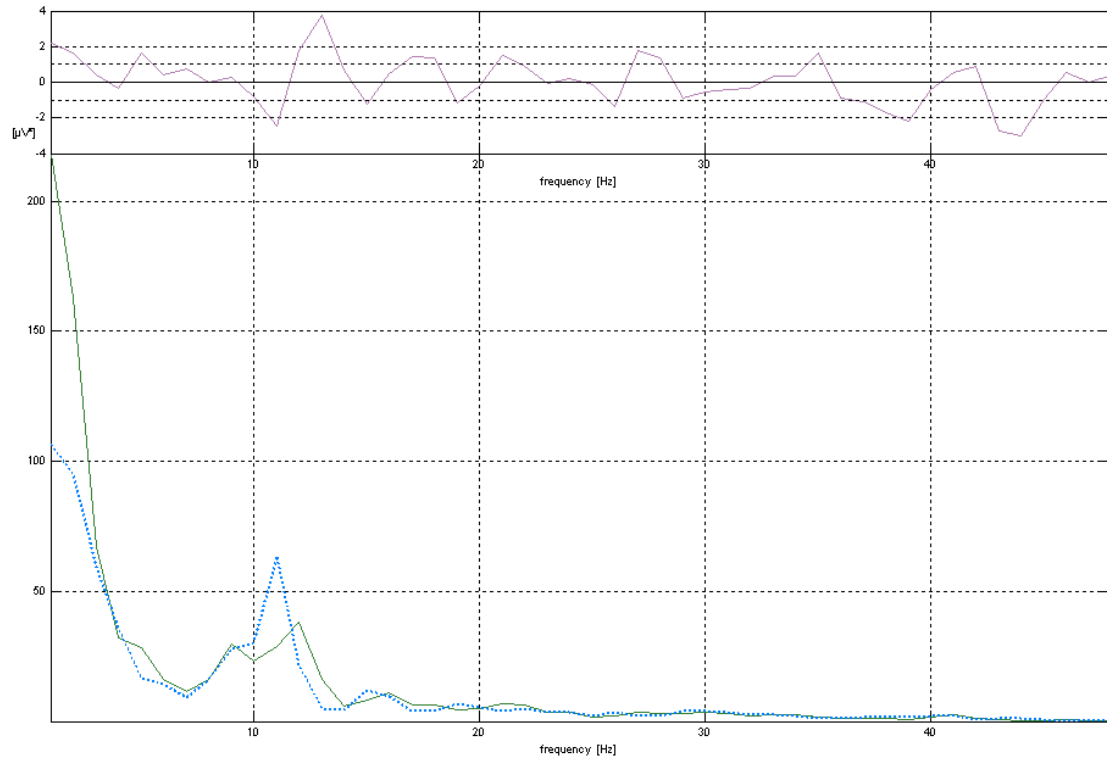
Σχήμα 12-147. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T5



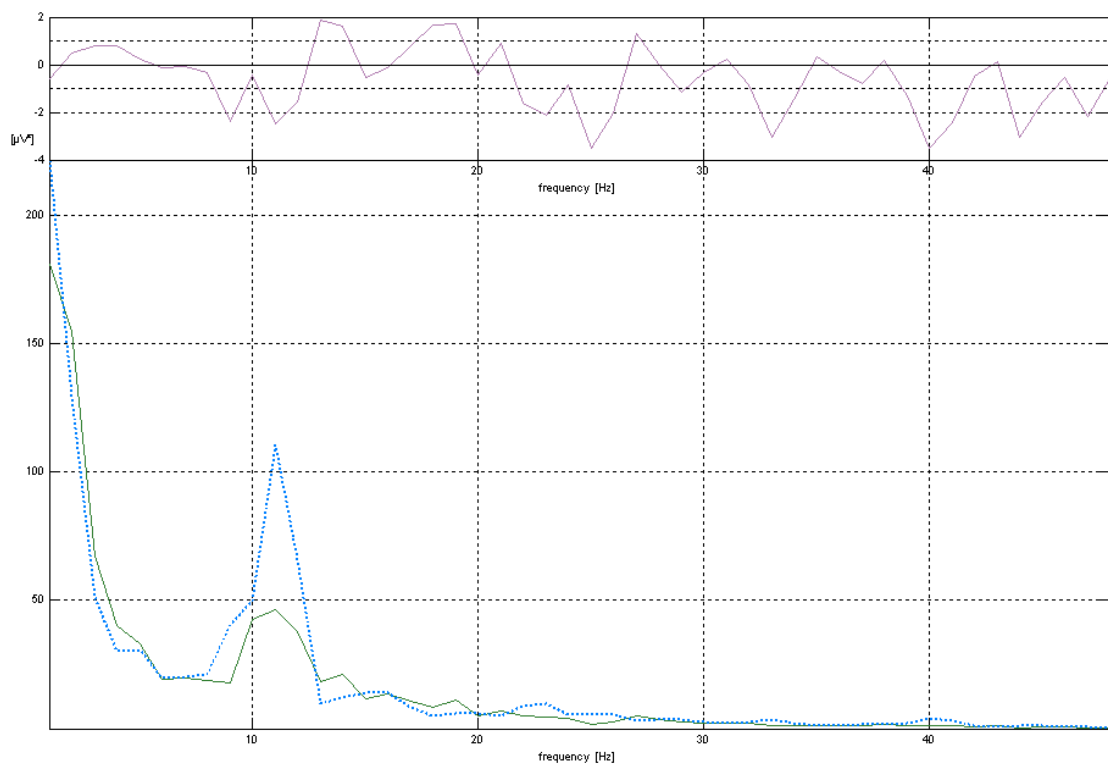
Σχήμα 12-148. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F8



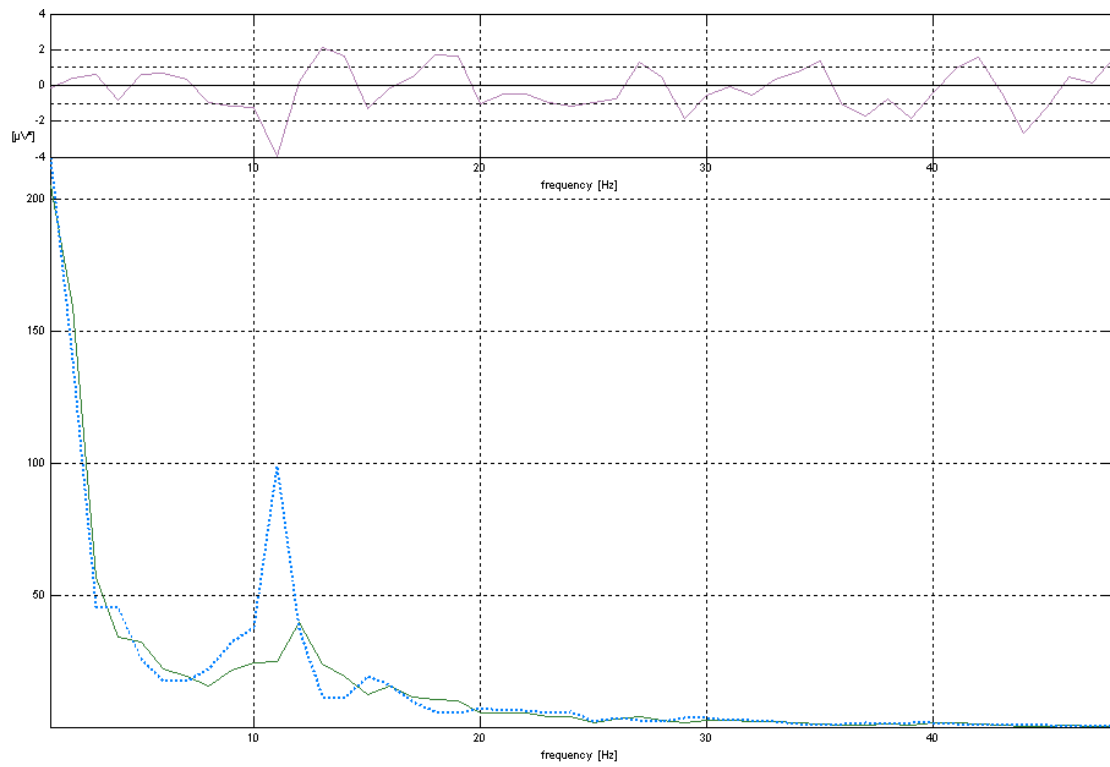
Σχήμα 12-149. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T4



Σχήμα 12-150. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T6

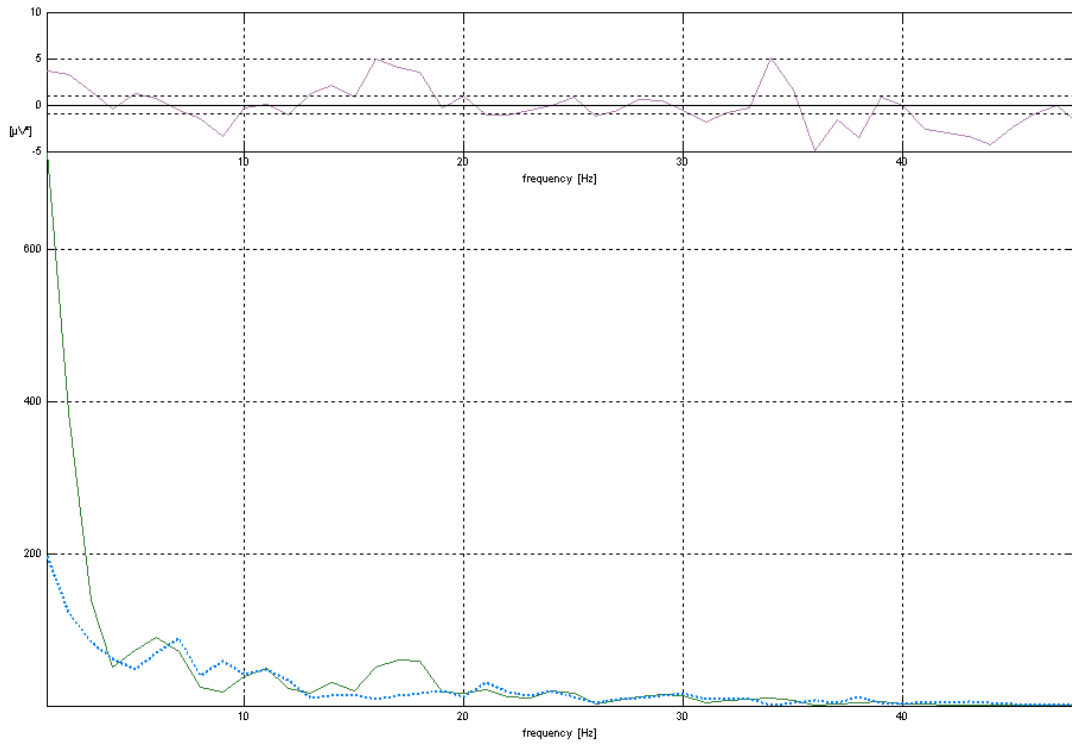


Σχήμα 12-151. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο O1

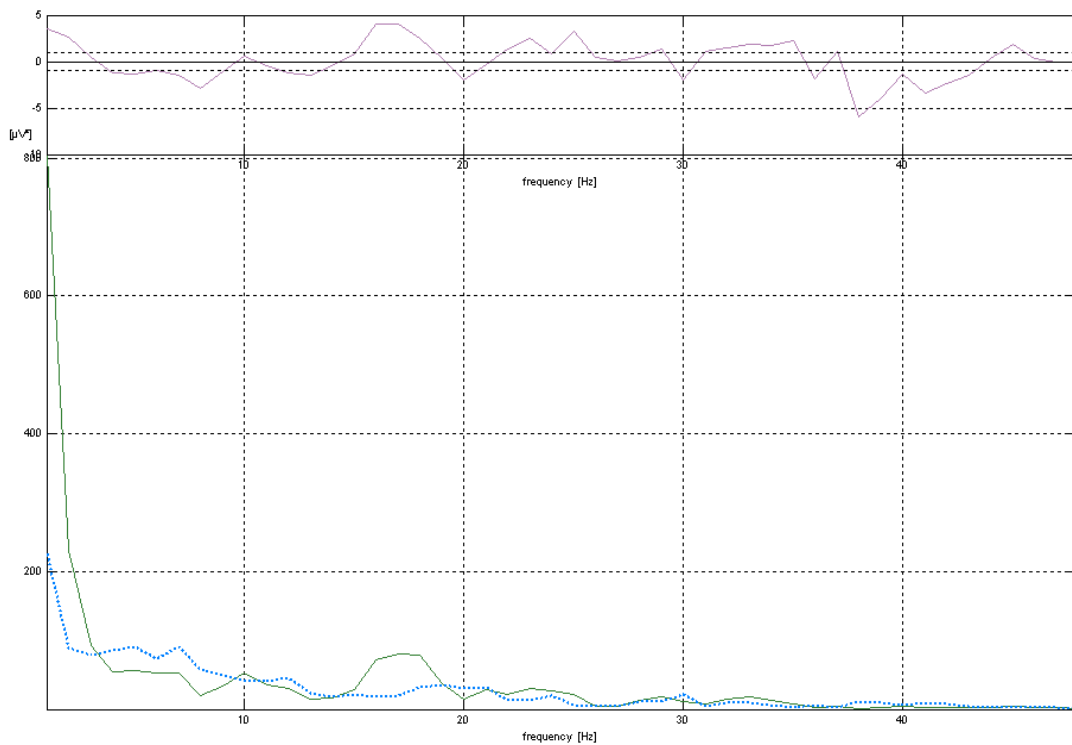


Σχήμα 12-152. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο O2

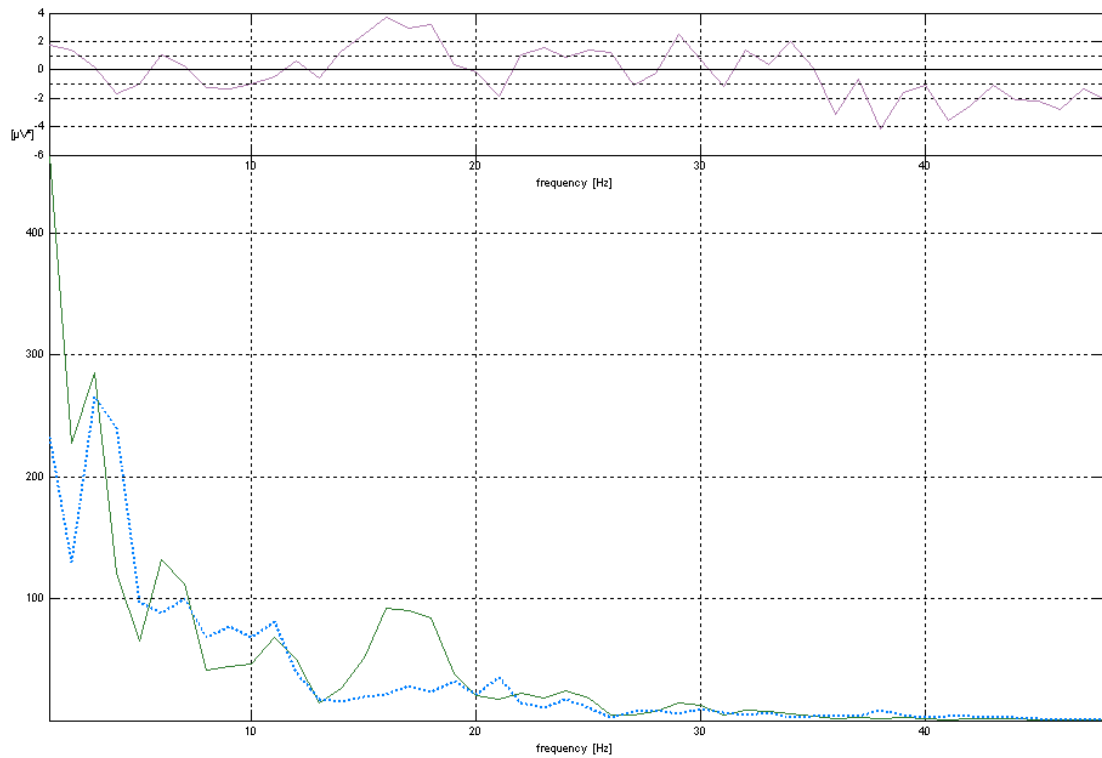
12.2.7 Παρουσία άλλου υποκειμένου



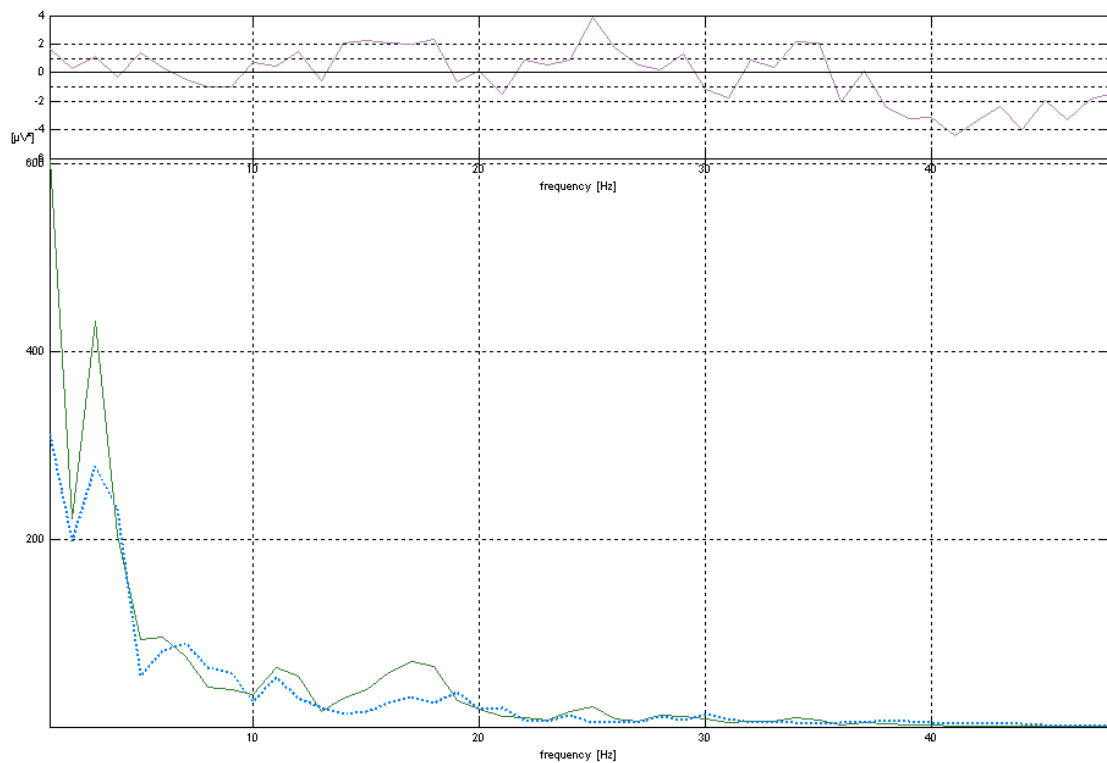
Σχήμα 12-153. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fr1



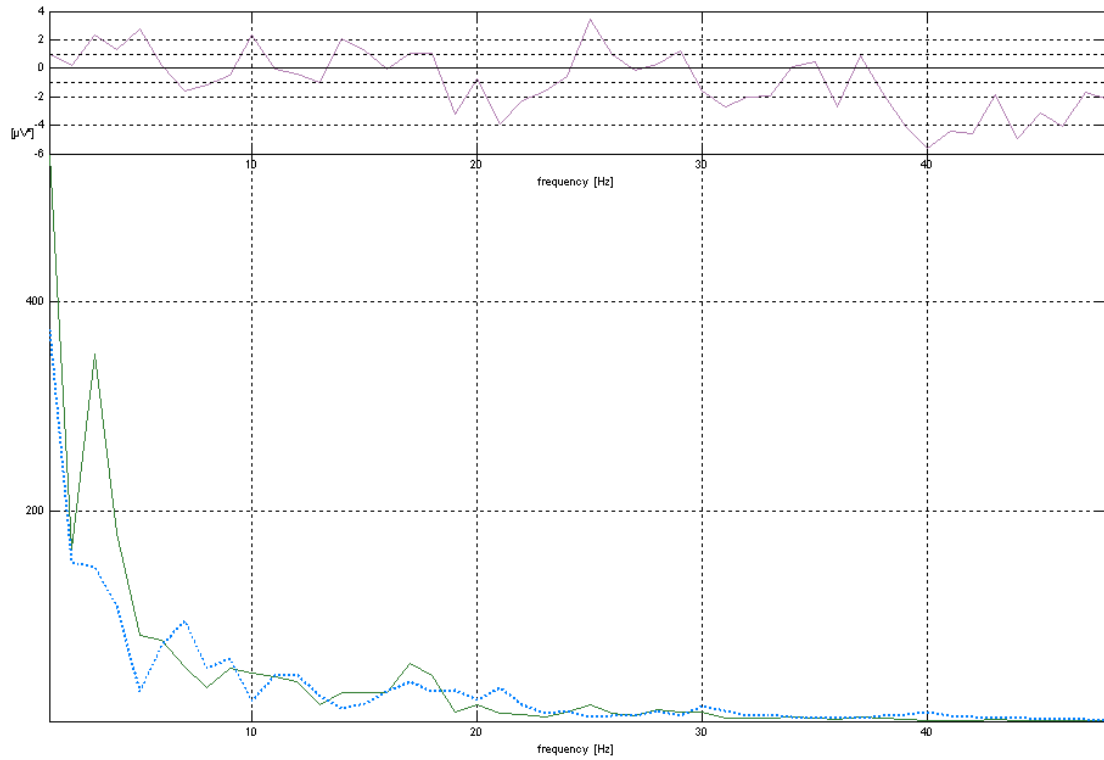
Σχήμα 12-154. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fr2



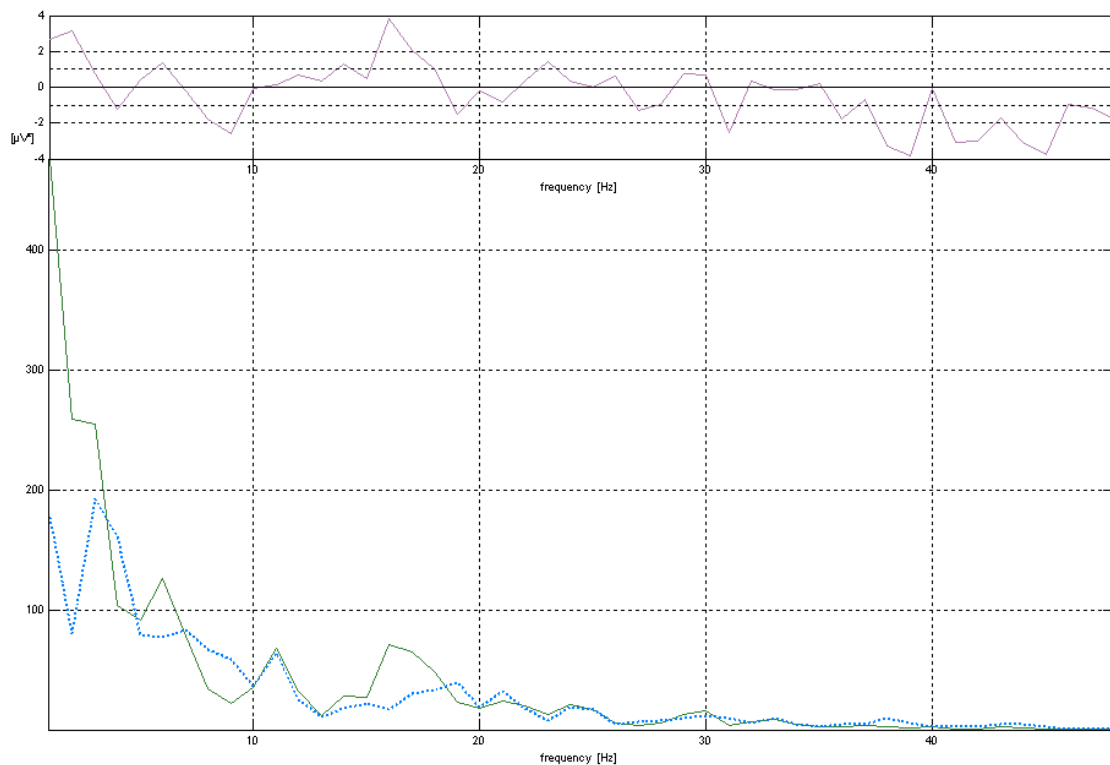
Σχήμα 12-155. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fz



Σχήμα 12-156. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Cz

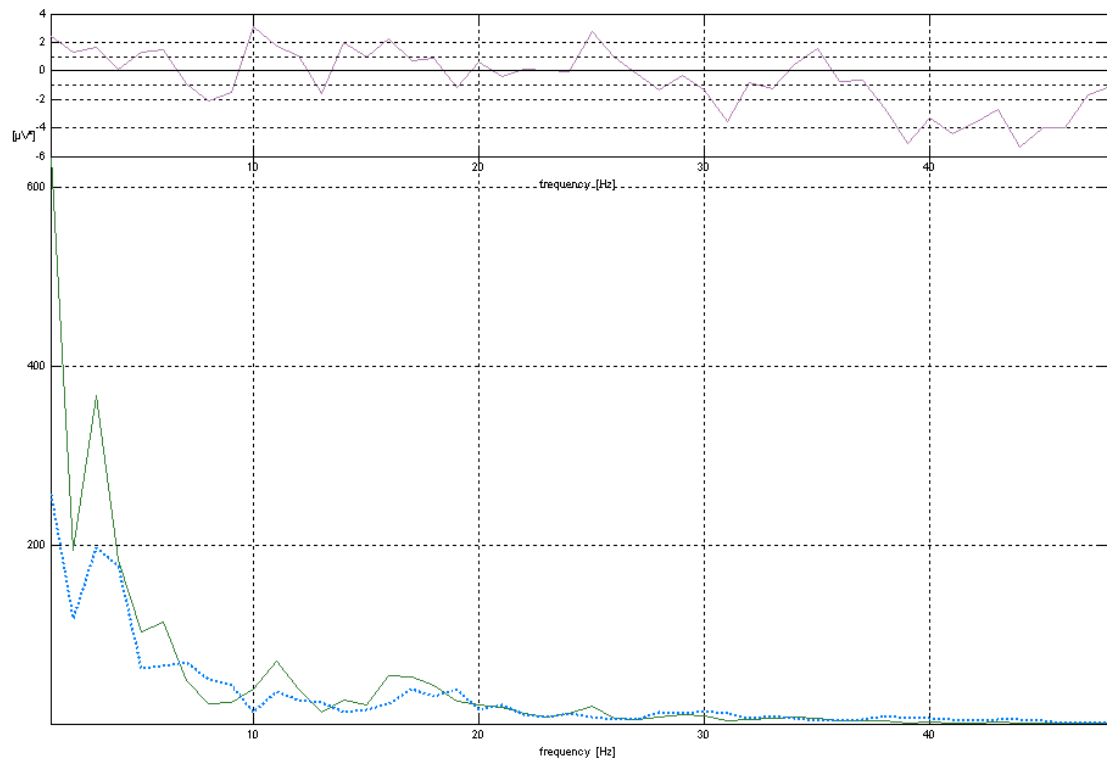


Σχήμα 12-157. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Pz

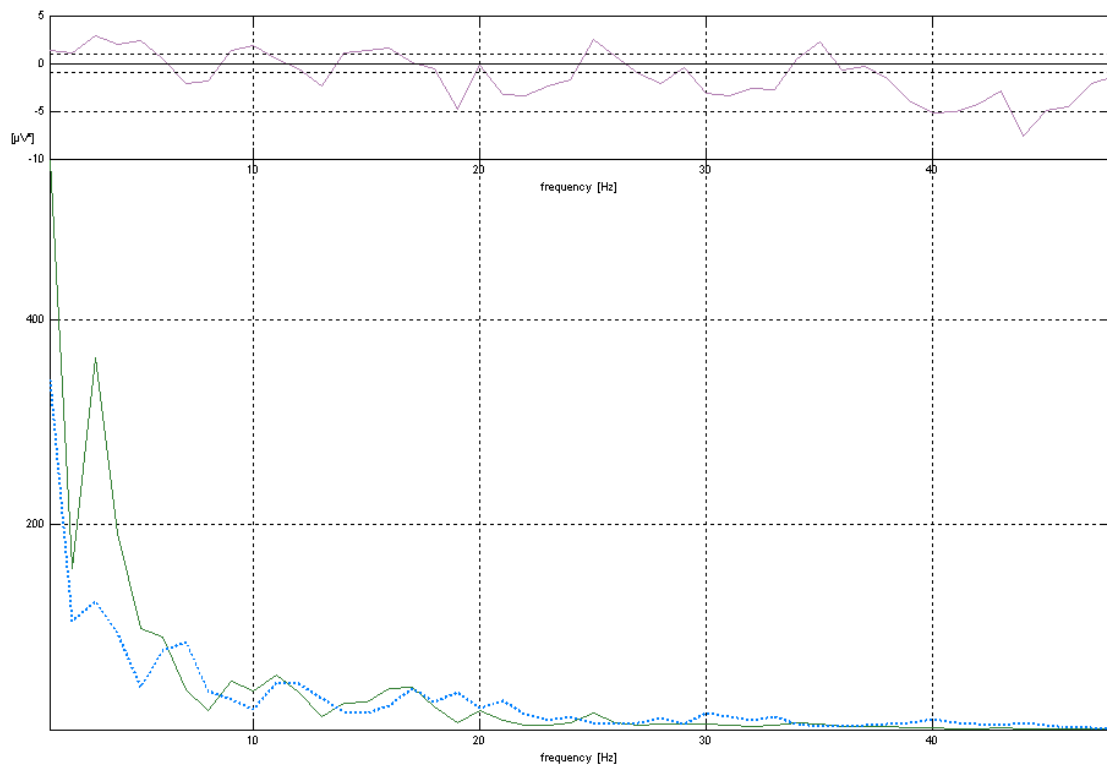


Σχήμα 12-158. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F3

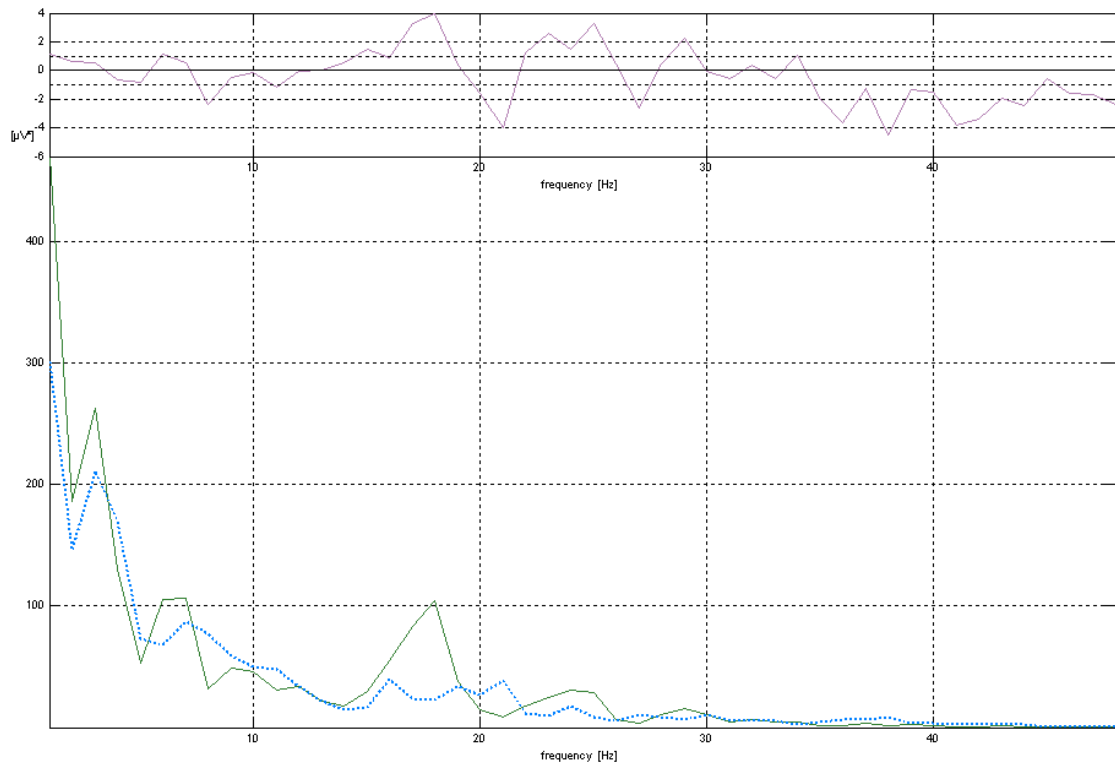




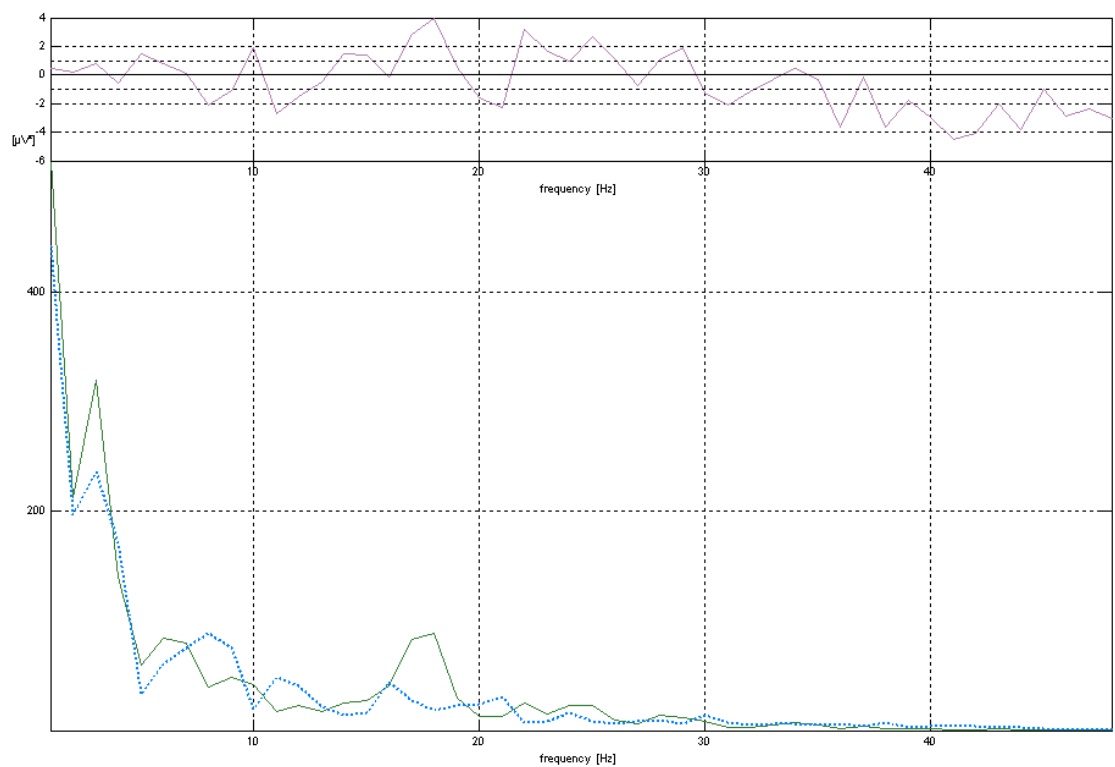
Σχήμα 12-159. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο C3



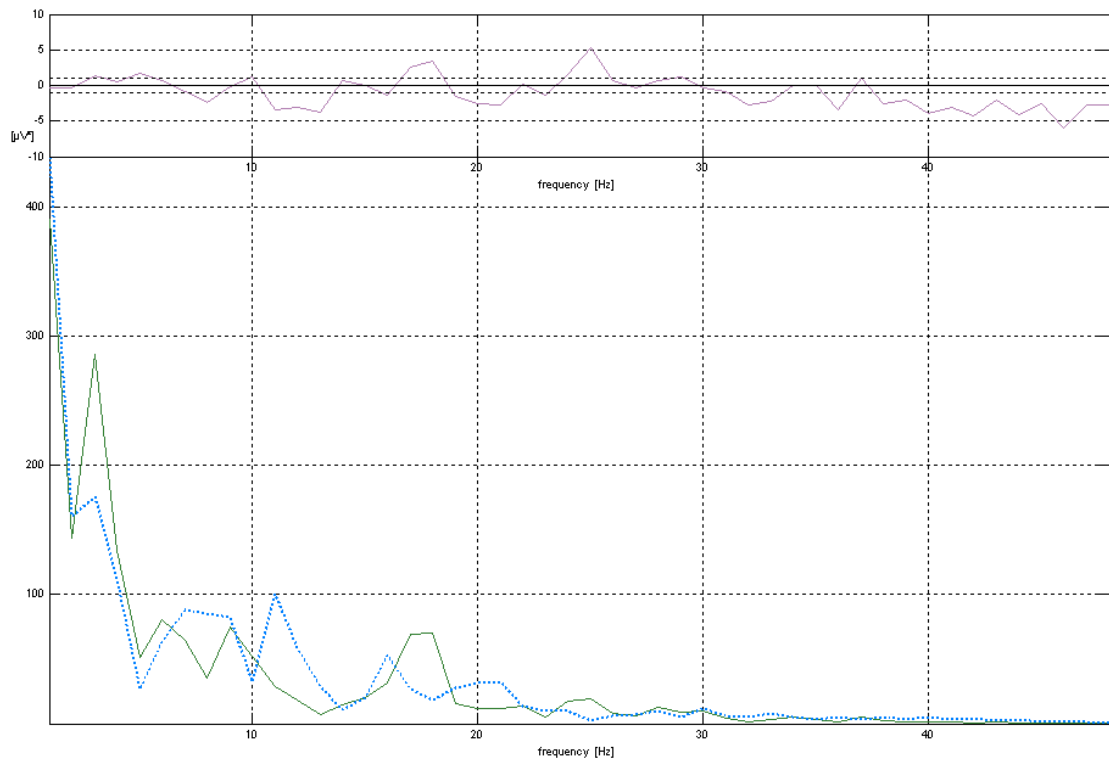
Σχήμα 12-160. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο P3



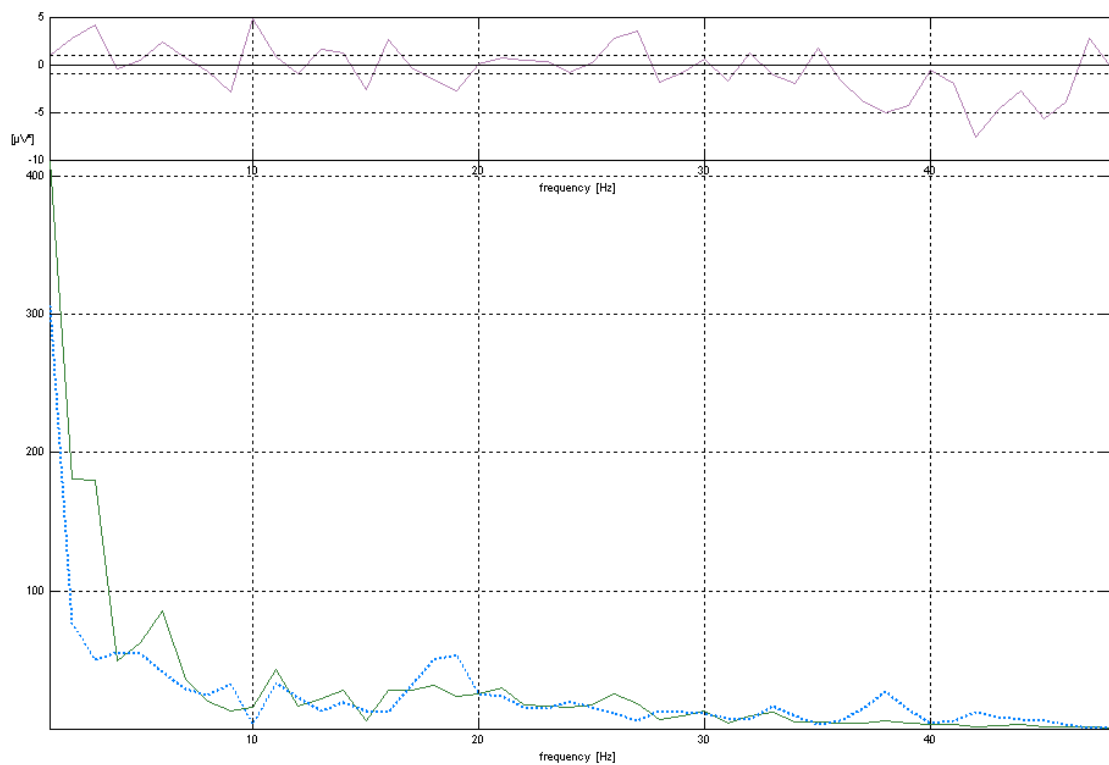
Σχήμα 12-161. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F4



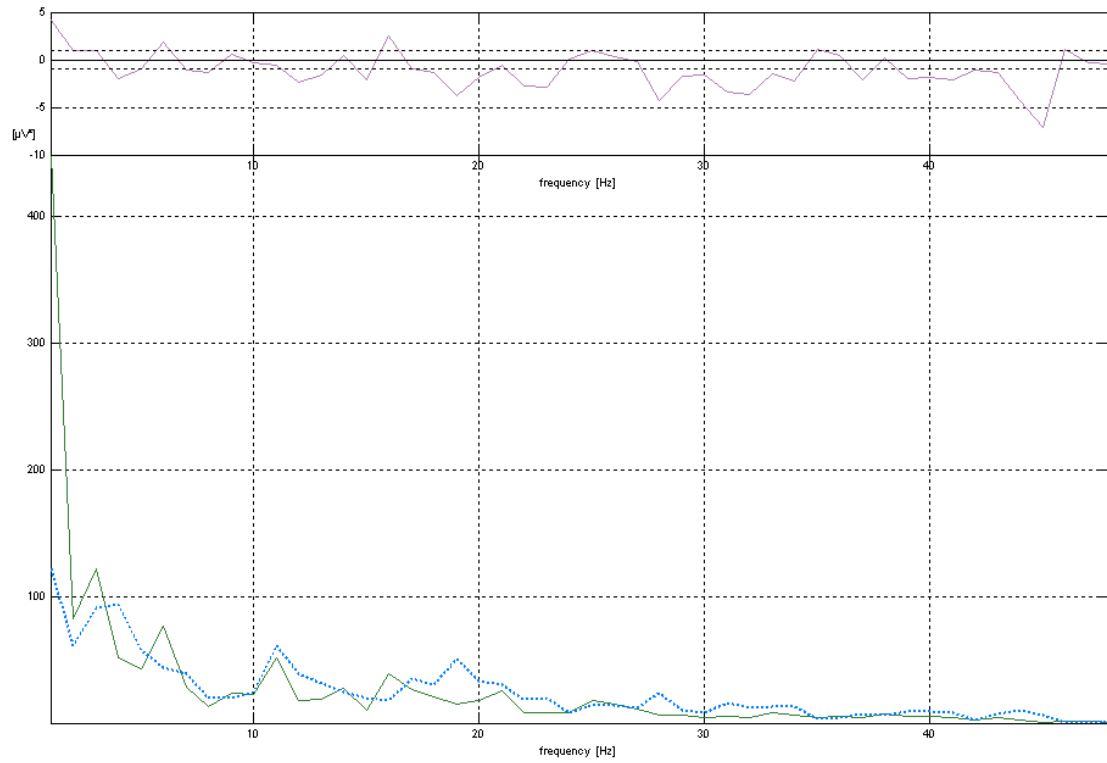
Σχήμα 12-162. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο C4



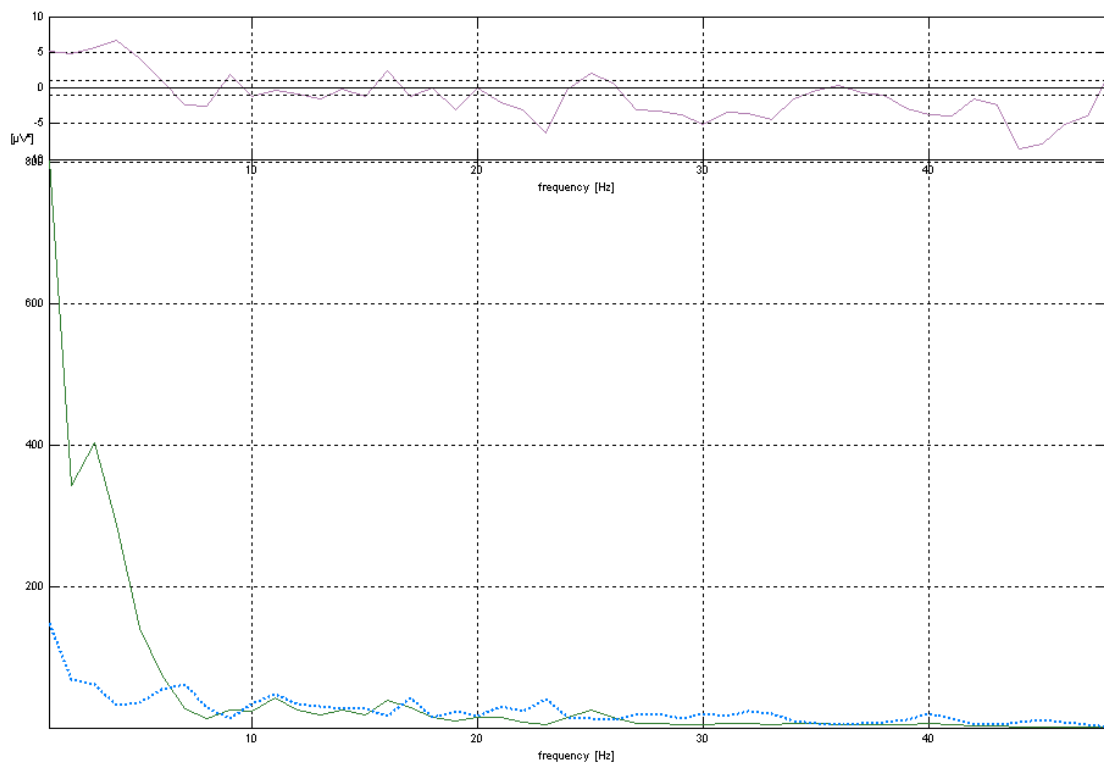
Σχήμα 12-163. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο P4



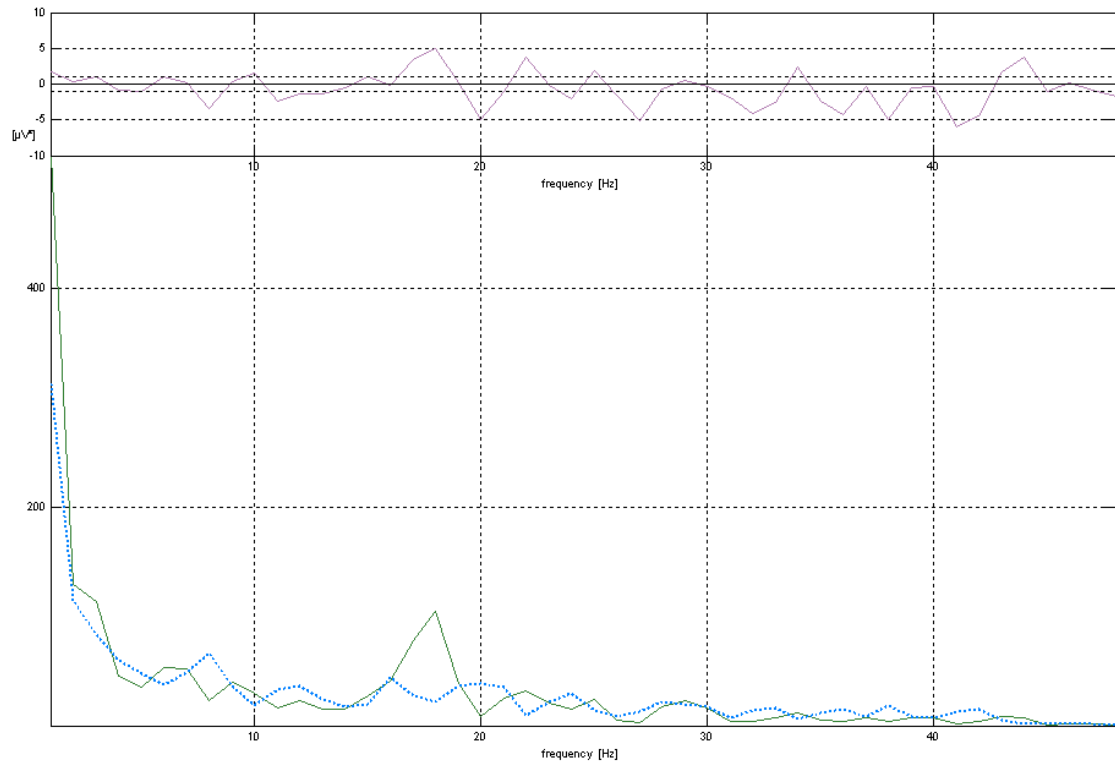
Σχήμα 12-164. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F7



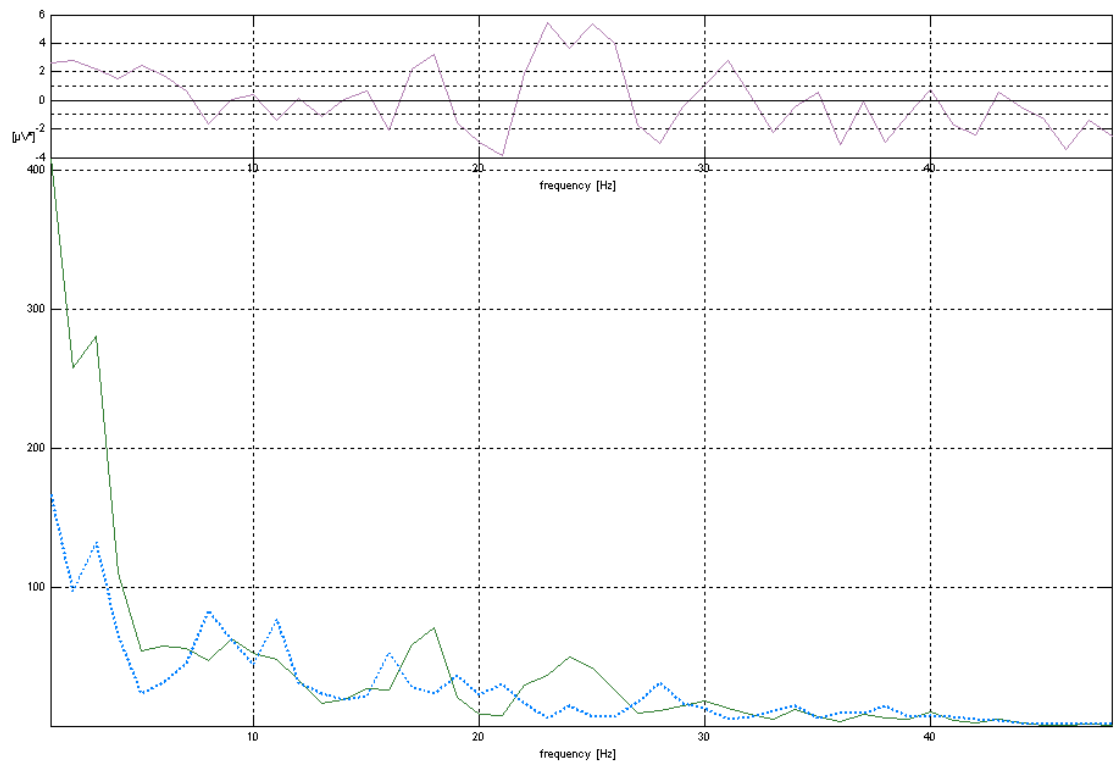
Σχήμα 12-165. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T3



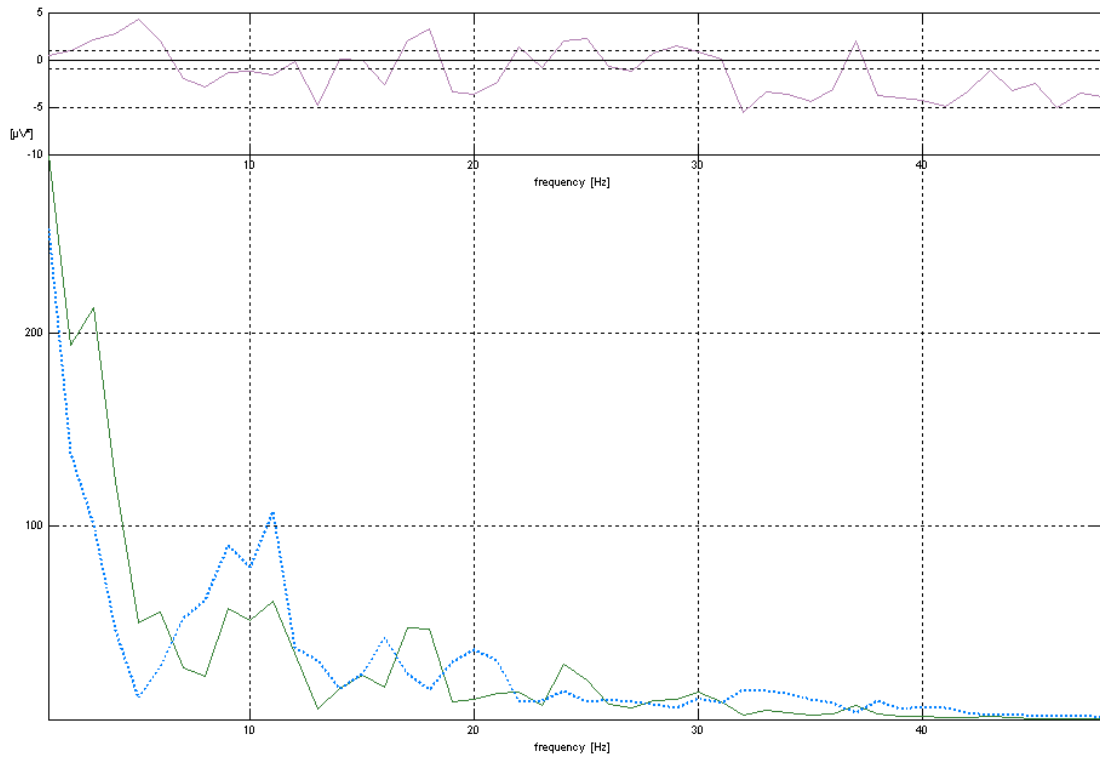
Σχήμα 12-166. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T5



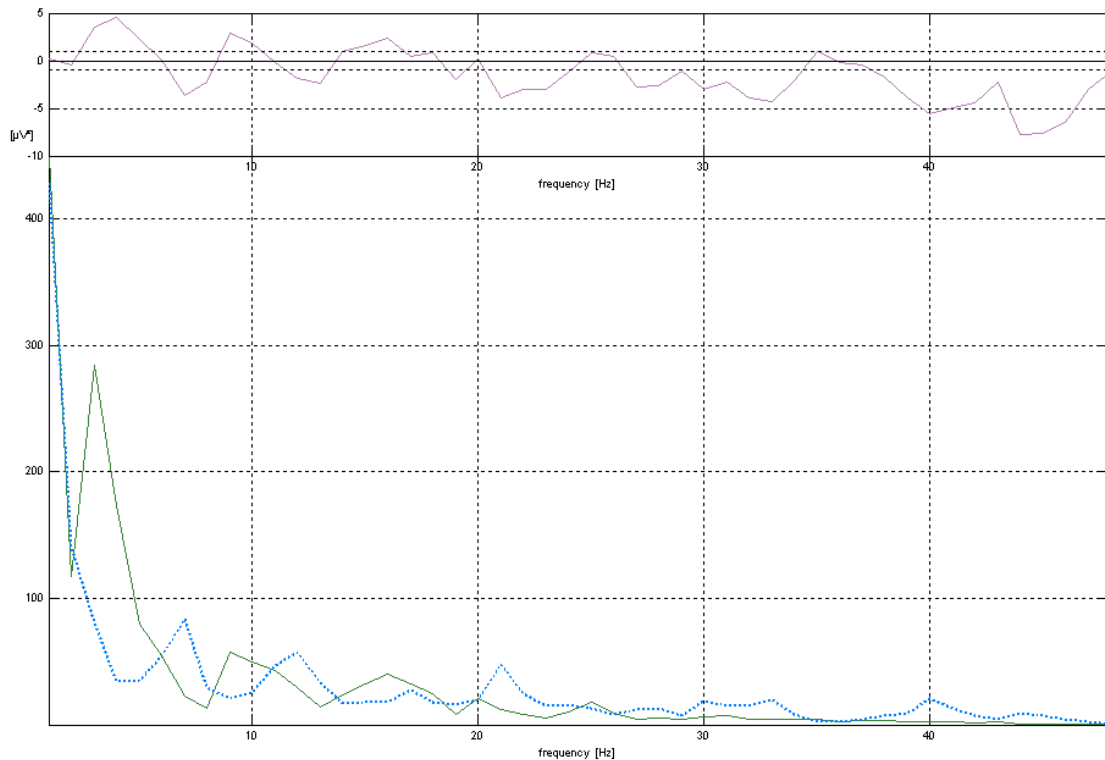
Σχήμα 12-167. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F8



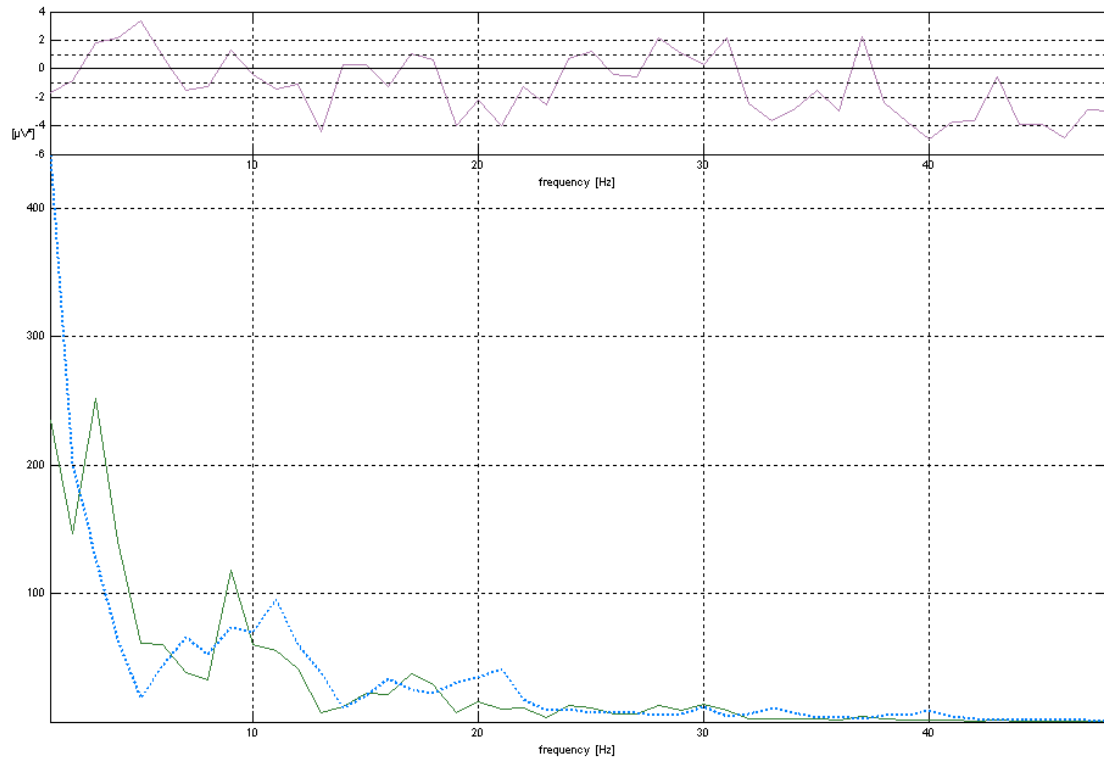
Σχήμα 12-168. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T4



Σχήμα 12-169. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T6



Σχήμα 12-170. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο O1



Σχήμα 12-171. Φάσματα ισχύος εικονικού, πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο O2

## **12.3 Παρουσίαση λογισμικού επεξεργασίας ΗΕΓ**

Για την επεξεργασία των καταγραφών ΗΕΓ αναπτύχθηκαν από τον ερευνητή στο εργαστήριο διάφορες ρουτίνες σε προγραμματιστικό περιβάλλον visual basic και στην πλατφόρμα λογισμικού Matlab. Οι ρουτίνες visual basic ενοποιήθηκαν στο γενικότερο λογισμικό EEGprocessing ενώ οι ρουτίνες Matlab ενσωματώθηκαν στην εργαλειοθήκη του Matlab.

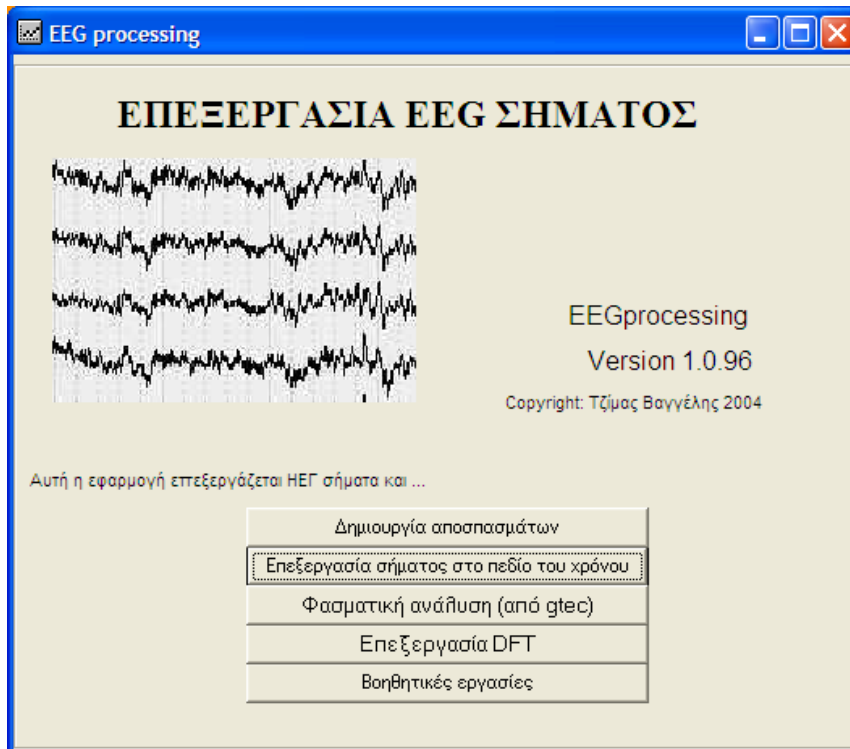
### **12.3.1 Το λογισμικό EEGprocessing**

Το λογισμικό EEGprocessing αναπτύχθηκε από τον υποψήφιο σε περιβάλλον visual basic για την ποσοτική επεξεργασία των ηλεκτροεγκεφαλογραφημάτων και χρησιμοποιήθηκε σε συνδυασμό με το λογισμικό BSanalyze της gtec.

Στο λογισμικό αυτό περιλαμβάνονται λειτουργίες προεπεξεργασίας και φασματικής ανάλυσης των καταγραφών ΗΕΓ, καθώς και λειτουργίες υπολογισμού του μετασχηματισμού Fourier των σημάτων. Στο σχήμα 12-172 φαίνεται η αρχική οθόνη του λογισμικού.

#### **Αρχική οθόνη της εφαρμογής**





Σχήμα 12-172. Η αρχική οθόνη του λογισμικού EEGprocessing.

Όνομα φόρμας: frmMain

Κώδικας vbasic:

Option Explicit

```
Private Sub CmdFTgtec_Click()
    frmFTgtec.Show
End Sub
```

```
Private Sub cmdGeneral_Click()
    MkAllDFTresults.Show
End Sub
```

```
Private Sub cmdSplit_Click()
    frmSplit.Show
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()
    lblVersion.Caption = "Version " & App.Major & "." & App.Minor & "." &
    App.Revision
    lblProductName.Caption = App.Title
    DataDir = "c:\EEG\subjects"
End Sub
```

```
Private Sub Frame1_Click()
```

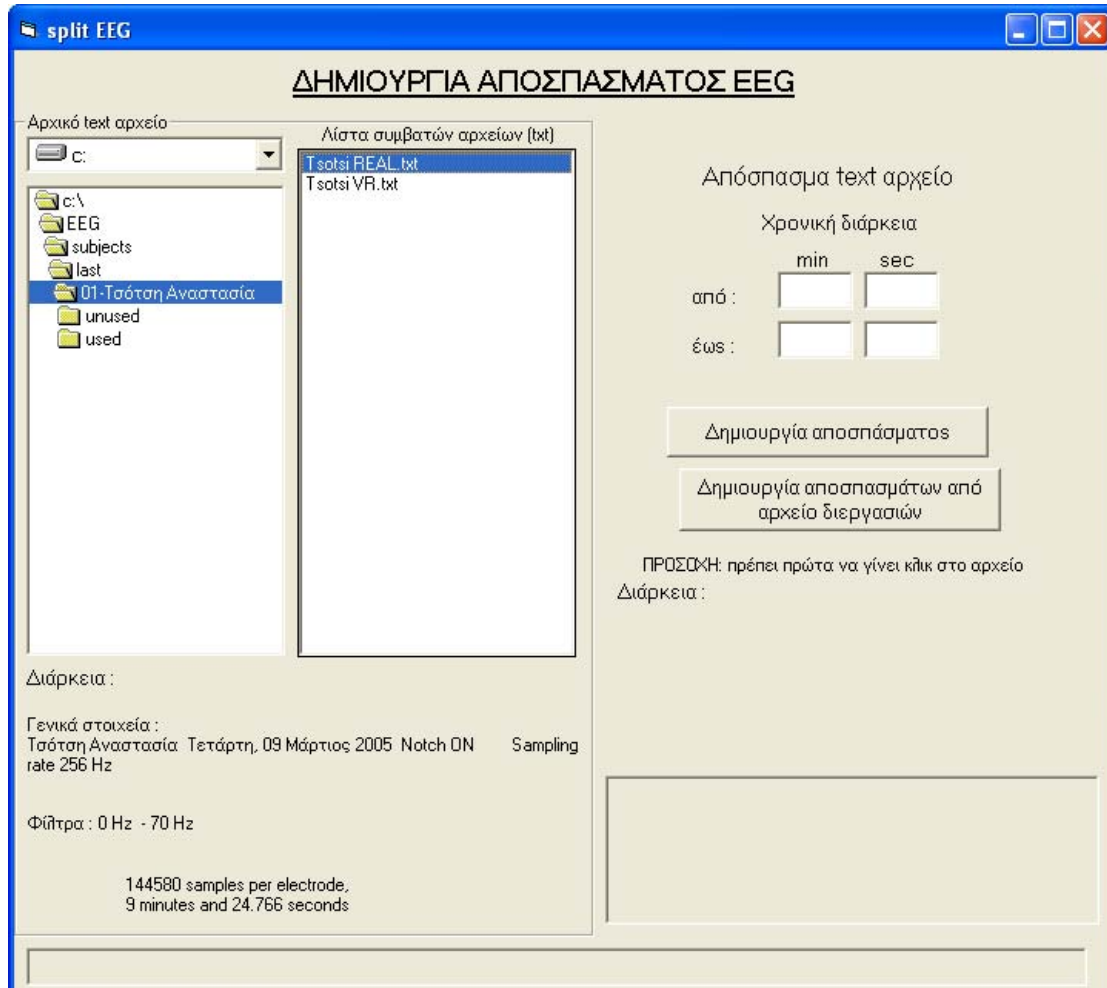
```
Unload Me  
End Sub
```

```
Private Sub CmdFT_Click()  
    frmFT.Show  
End Sub
```

```
Private Sub cmdTimeProcessing_Click()  
    frmTimeProcessing.Show  
End Sub
```

### **Δημιουργία αποσπασμάτων ΗΕΓ**

Στο σχήμα 8-15 φαίνεται η οθόνη του λογισμικού splitEEG στο οποίο πραγματοποιήθηκε η επιλογή και δημιουργία των αρχικών ΗΕΓ αποσπασμάτων. Ο χρήστης ορίζει τα χρονικά όρια των αποσπασμάτων (τα όρια αυτά μπορεί να είναι αποθηκευμένα ομαδικά σε αρχείο, οπότε η διαδικασία πραγματοποιείται για όλη την ομάδα) και τα αποτελέσματα αποθηκεύονται σε χωριστά αρχεία και φακέλους. Επιπλέον εμφανίζονται διάφορες γενικές πληροφορίες του σήματος, όπως χρονική διάρκεια, συχνότητα δειγματοληψίας, αριθμός δειγμάτων στο απόσπασμα, φίλτρα που έχουν εφαρμοστεί, κ.α.



Σχήμα 12-173. Η οθόνη του λογισμικού splitEEG στην οποία πραγματοποιήθηκε η επιλογή και δημιουργία των αρχικών ΗΕΓ αποσπασμάτων.

Όνομα φόρμας: frmSplit

Κώδικας vbasic:

```
Dim SelectedFile As Boolean 'checks if a data file is selected
```

```
Dim frequency As Integer, OutputDir As String
```

```
Private Sub CmdApply_Click() 'Crop all electrodes data
```

```
Dim NoOfRec, TotalMin As Long, TotalSec As Double, tmp As String
```

```
Dim first, last As Long
```

```
If Not SelectedFile Then 'It checks if a data file has been selected
```

```
MsgBox "Δεν έχει επιλεγεί αρχείο δεδομένων", vbOKOnly, "ΠΡΟΣΟΧΗ"
```

```
Exit Sub
```

```
End If
```

```
SelectedFile = False
```

```
OutputDir = "output"
```

```
Screen.MousePointer = vbHourglass
```

```
OpenFiles (OutputDir)
```

```

first = Int((Val(FromMin.Text) * 60 + Val(FromSec.Text)) * frequency)
last = Int((Val(ToMin.Text) * 60 + Val(ToSec.Text)) * frequency)
If last < first Then
  MsgBox "wrong time": Exit Sub
End If
NoOfRec = 0
While NoOfRec < first 'ignores all records before first time
  ProgressBar1.Value = NoOfRec * 100 / last
  Line Input #1, InLine$
  If InLine$ <> "" Then NoOfRec = NoOfRec + 1
Wend
While NoOfRec < last
  ProgressBar1.Value = NoOfRec * 100 / last
  Line Input #1, InLine$
  If InLine$ <> "" Then
    NoOfRec = NoOfRec + 1
    tmp = Mid(InLine$, 1, 8)
    CurrChar = 9
    For j = 1 To NoOfElectrodes
      If ReadWhileBlank(InLine$) <> "EndOfLine" Then 'ignore spaces
        tmp = ""
        Do While Mid$(InLine$, CurrChar, 1) <> " " And CurrChar <= Len(InLine$)
          tmp = tmp & Mid$(InLine$, CurrChar, 1)
          CurrChar = CurrChar + 1
        Loop
        Call WriteOutput(j, tmp)
        Print #30, tmp; " "; 'ενημέρωση gtecTmp.txt αρχείου στην ίδια γραμμή
      End If
    Next j
    Write #30, 'αλλαγή γραμής στο αρχείο gtecTmp.txt
  End If
Wend
Write #30, 'αλλαγή γραμής στο αρχείο gtecTmp.txt
For i = 1 To NoOfElectrodes 'εγγραφή των ηλεκτροδίων στο τέλος του gtecTmp.txt
  Print #30, HeadElectrodes(i); " ";
Next i
Close #30 'close gtec file
NoOfRec = last - first
TotalSec = NoOfRec / frequency
TotalMin = Int(TotalSec / 60)
TotalSec = TotalSec - TotalMin * 60
SelectDuration.Caption = NoOfRec & " samples," & Chr$(13) & TotalMin & "
  minutes and " & TotalSec & " seconds"
'Ενημέρωση αρχείου info.txt
Open OutputDir & "\info.txt" For Output As #25
Print #25, NoOfElectrodes & " electrodes"
Print #25, NoOfRec & " samples"
Print #25, FromMin.Text & ":" & FromSec.Text & " - " & ToMin.Text & ":" &
  ToSec.Text _

```

```

    & " ==> Διάρκεια= " & TotalMin & ":" & TotalSec & " = " & NoOfRec /
    frequency & " sec"
Print #25, frequency & " sampling frequency"
For i = 1 To NoOfElectrodes: Print #25, HeadElectrodes(i): Next i
Close #25
'Ενημέρωση αρχείου gtec.dat συμβατό με gtec ASCII format
Open OutputDir & "\gtec.dat" For Output As #25
Print #25, Trim(Str(NoOfElectrodes)): Print #25, Trim(Str(NoOfRec))
Print #25, "1": Print #25, "1": Print #25, Trim(Str(frequency))
Open OutputDir & "\gtecTmp.txt" For Input As #26
While Not EOF(26)
    Line Input #26, line26$
    Print #25, line26$
Wend
Close #25: Close #26: Kill (OutputDir & "\gtecTmp.txt")

For i = 1 To NoOfElectrodes + 1
    Close i
Next i
Screen.MousePointer = vbDefault: ProgressBar1.Value = 0
msgLine = "Η διαδικασία ολοκληρώθηκε. Τα αποτελέσματα είναι στο φάκελο
    output"
'MsgBox "Η διαδικασία ολοκληρώθηκε. Τα αποτελέσματα είναι στο φάκελο " &
    OutputDir, , "ΕΝΗΜΕΡΩΤΙΚΟ ΜΗΝΥΜΑ"
End Sub

Sub WriteOutput(choise, Data As String)
    Select Case choise
        Case 1: Print #2, Data
        Case 2: Print #3, Data
        Case 3: Print #4, Data
        Case 4: Print #5, Data
        Case 5: Print #6, Data
        Case 6: Print #7, Data
        Case 7: Print #8, Data
        Case 8: Print #9, Data
        Case 9: Print #10, Data
        Case 10: Print #11, Data
        Case 11: Print #12, Data
        Case 12: Print #13, Data
        Case 13: Print #14, Data
        Case 14: Print #15, Data
        Case 15: Print #16, Data
        Case 16: Print #17, Data
        Case 17: Print #18, Data
        Case 18: Print #19, Data
        Case 19: Print #20, Data
        Case 20: Print #21, Data
        Case 21: Print #22, Data
        Case 22: Print #23, Data
    
```

```
Case 23: Print #24, Data
Case 24: Print #25, Data
Case 25: Print #26, Data
Case 26: Print #27, Data
Case 27: Print #28, Data
Case 28: Print #29, Data
Case 29: Print #30, Data
End Select
End Sub

Private Sub cmdApplyFromFile_Click() 'Crops multiple EEG epochs from the task
file task-VR(or -REAL).dat
Dim NoOfRec, CurrentRec, TotalMin As Long, TotalSec As Double, tmp As String
Dim first, last As Long
Dim taskName As String, Min1, Min2, Sec1, Sec2 As Single, EnvironmentType As
String
MsgBox "Τα όρια και τα ονόματα των task διαβάζονται από τα αρχεία task-VR.dat
ή task-REAL.dat." & Chr(13) & "Οι χρόνοι πρέπει να είναι ταξινομημένοι και το
αρχείο να βρίσκεται στο φάκελο των ΗΕΓ", vbOKOnly, "ΠΙΠΟΣΟΧΗ"
If Not SelectedFile Then 'It checks if a data file has been selected
MsgBox "Δεν έχει επιλεγεί αρχείο δεδομένων", vbOKOnly, "ΠΙΠΟΣΟΧΗ"
msgLine.Caption = "Η διαδικασία δεν ολοκληρώθηκε."
Exit Sub
End If
SelectedFile = False: CurrentRec = 0
msgLine.Caption = "Τα αποτελέσματα είναι στους φακέλους:"

If Left(Right(File1.FileName, 8), 4) = "REAL" Or Left(Right(File1.FileName, 8), 4)
= "real" Then 'εύρεση τύπου σήματος (VR ή REAL)
EnvironmentType = "-REAL"
Else
EnvironmentType = "-VR"
End If

Open "task" & EnvironmentType & ".dat" For Input As #40 'read task information
from file
While Not EOF(40)
Input #40, Min1, Sec1, Min2, Sec2, taskName
Screen.MousePointer = vbHourglass
OutputDir = taskName & EnvironmentType
OpenFiles (OutputDir) 'create output with electrode txt files
first = Int((Min1 * 60 + Sec1) * frequency)
last = Int((Min2 * 60 + Sec2) * frequency)
If last < first Then
MsgBox "wrong time": Exit Sub
End If

While CurrentRec < first 'ignores all records before first time
ProgressBar1.Value = CurrentRec * 100 / last
Line Input #1, InLine$
```

```

If InLine$ <> "" Then CurrentRec = CurrentRec + 1
Wend

While CurrentRec < last
ProgressBar1.Value = CurrentRec * 100 / last
Line Input #1, InLine$
If InLine$ <> "" Then
CurrentRec = CurrentRec + 1
tmp = Mid(InLine$, 1, 8)
CurrChar = 9
For j = 1 To NoOfElectrodes
If ReadWhileBlank(InLine$) <> "EndOfLine" Then 'ignore spaces
tmp = ""
Do While Mid$(InLine$, CurrChar, 1) <> " " And CurrChar <= Len(InLine$)
tmp = tmp & Mid$(InLine$, CurrChar, 1)
CurrChar = CurrChar + 1
Loop
Call WriteOutput(j, tmp)
Print #30, tmp; " "; 'ενημέρωση gtecTmp.txt αρχείου στην ίδια γραμμή
End If
Next j
Write #30, 'αλλαγή γραμής στο αρχείο gtecTmp.txt
End If
Wend

Write #30, 'αλλαγή γραμής στο αρχείο gtecTmp.txt
For i = 1 To NoOfElectrodes 'εγγραφή των ηλεκτροδίων στο τέλος του gtecTmp.txt
Print #30, HeadElectrodes(i); " ";
Next i
Close #30 'close gtec file
NoOfRec = last - first
TotalSec = NoOfRec / frequency
TotalMin = Int(TotalSec / 60)
TotalSec = TotalSec - TotalMin * 60
SelectDuration.Caption = NoOfRec & " samples," & Chr$(13) & TotalMin & "
minutes and " & TotalSec & " seconds"

'Ενημέρωση αρχείου info.txt
Open OutputDir & "\info.txt" For Output As #25
Print #25, NoOfElectrodes & " electrodes"
Print #25, NoOfRec & " samples"
Print #25, Min1 & ":" & Sec1 & " - " & Min2 & ":" & Sec2
& " ==> Διάρκεια=" & TotalMin & ":" & TotalSec & " = " & NoOfRec /
frequency & " sec"
Print #25, frequency & " sampling frequency"
For i = 1 To NoOfElectrodes: Print #25, HeadElectrodes(i): Next i
Close #25

'Ενημέρωση αρχείου gtec.dat συμβατό με gtec ASCII format
Open OutputDir & "\gtec.dat" For Output As #25

```

```
Print #25, Trim(Str(NoOfElectrodes)): Print #25, Trim(Str(NoOfRec))
Print #25, "1": Print #25, "1": Print #25, Trim(Str(frequency))
Open OutputDir & "\gtecTmp.txt" For Input As #26
While Not EOF(26)
    Line Input #26, line26$
    Print #25, line26$
Wend
Close #25: Close #26: Kill (OutputDir & "\gtecTmp.txt")

For i = 2 To NoOfElectrodes + 1
    Close i
Next i
Screen.MousePointer = vbDefault: ProgressBar1.Value = 0

msgLine.Caption = msgLine.Caption & " " & OutputDir: Me.Refresh
'MsgBox "Η διαδικασία ολοκληρώθηκε. Τα αποτελέσματα είναι στο φάκελο " &
    OutputDir, , "ΕΝΗΜΕΡΩΤΙΚΟ ΜΗΝΥΜΑ"

Wend
Close #1, #40
End Sub

Private Sub Dir1_change()
    ChDir Dir1.Path: File1.Path = Dir1.Path
    Call InitDisplay
End Sub

Private Sub Drive1_Change()
    ChDrive Dir1.Path
    Dir1.Path = Drive1.Drive
    Dir1.Refresh
End Sub

Private Sub File1_Click()
    Dim FirstBytes As Integer, highPassFilter, lowPassFilter As Single
    Dim TotalEstimatedSec, TotalEstimatedMin As Long
    Call InitDisplay
    ChDir Dir1.Path
    Close
    Open Dir1.Path & "\" & File1.FileName For Input As #1
    TotalFileSize = FileLen(Dir1.Path & "\" & File1.FileName)
'read 1st data line
    Line Input #1, InLine$
    frequency = Val(Right(InLine$, 3))
    lblFirstLine.Caption = "Γενικά στοιχεία : " & Chr$(13) & InLine$ & " Hz"
    FirstBytes = Len(InLine$) + 8
    Line Input #1, InLine$ 'read blank line
'read 3rd data line with highpass frequency
    Line Input #1, InLine$
    highPassFilter = Val(Mid(InLine$, 1, 22))
```



```

lblFilters.Caption = "Φίλτρα : " & highPassFilter & " Hz - "
DataEstimatedFileLines = Round((TotalFileSize - FirstBytes) / (Len(InLine$)+2)-5)
TotalEstimatedSec = DataEstimatedFileLines / 256
TotalEstimatedMin = Int(TotalEstimatedSec / 60)
TotalEstimatedSec = Round(TotalEstimatedSec - TotalEstimatedMin * 60, 3)
TotalDuration.Caption = DataEstimatedFileLines & " samples per electrode," & _
Chr$(13) & TotalEstimatedMin & " minutes and " & TotalEstimatedSec & "
seconds"

```

```

'read 4th data line with lowpass frequency
Line Input #1, InLine$
lowPassFilter = Val(Mid(InLine$, 1, 22))
lblFilters.Caption = lblFilters.Caption & lowPassFilter & " Hz "
'Ignore next 2 lines
Line Input #1, InLine$: Line Input #1, InLine$
Line Input #1, HeadLine 'read heading of electrodes

```

```

CurrChar = 1: NoOfElectrodes = 0
While CurrChar <= Len(HeadLine)
  If ReadWhileBlank(HeadLine) <> "EndOfLine" Then
    NoOfElectrodes = NoOfElectrodes + 1
    HeadElectrodes(NoOfElectrodes) = ReadOneFromString(HeadLine)
  End If
Wend

```

```

Line Input #1, InLine$ 'read referense
SelectedFile = True
End Sub

```

```

Function ReadWhileBlank(LineString As String) As String
Do While Mid$(LineString, CurrChar, 1) = " "
  If CurrChar = Len(LineString) Then
    ReadWhileBlank = "EndOfLine"
    Exit Do
  End If
  CurrChar = CurrChar + 1
Loop
End Function

```

```

Function ReadOneFromString(LineString As String) As String 'reads one lement from
string LineString
Dim tmp As String
tmp = ""
Do While Mid$(LineString, CurrChar, 1) <> " " And CurrChar <= Len(LineString)
  tmp = tmp & Mid$(LineString, CurrChar, 1)
  CurrChar = CurrChar + 1
Loop
ReadOneFromString = tmp
End Function

```

```
Private Sub Form_Load()
'ChDrive App.Path 'Μεταφορά στον φάκελο της εφαρμογής
ChDrive "c:": Dir1.Path = DataDir: ChDir Dir1.Path
Close
SelectedFile = False
Me.Left = (Screen.Width - Me.Width) / 2
Me.Top = (Screen.Height - Me.Height) / 2
End Sub

Private Sub OpenFiles0() 'open output files
Set fs = CreateObject("Scripting.FileSystemObject")
If fs.folderexists("output") Then
MsgBox "Το αρχείο output.txt υπάρχει ήδη. Αν συνεχίσετε θα διαγραφεί",
vbOKOnly, "ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΣΗ"
fs.deletefolder ("output")
End If
Mkdir "output"
For i = 1 To NoOfElectrodes
Open "output\" & HeadElectrodes(i) & ".txt" For Output As i + 1
Next i
Open "output\gtecTmp.txt" For Output As 30
End Sub

Private Sub OpenFiles(dirName As String) 'open output files
Set fs = CreateObject("Scripting.FileSystemObject")
If fs.folderexists(dirName) Then
MsgBox "Ο φάκελος " & dirName & " υπάρχει ήδη. Αν συνεχίσετε θα διαγραφεί",
vbOKOnly, "ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΣΗ"
fs.deletefolder (dirName)
End If
Mkdir dirName
For i = 1 To NoOfElectrodes
Open dirName & "\" & HeadElectrodes(i) & ".txt" For Output As i + 1
Next i
Open dirName & "\gtecTmp.txt" For Output As 30
End Sub

Sub ApplyToAllEEG() 'performed in all EEG data
Dim NoOfRec, TotalMin As Long, TotalSec As Double, tmp As String
OpenFiles (OutputDir)
NoOfRec = 0
While Not EOF(1)
Line Input #1, InLine$
If InLine$ <> "" Then
NoOfRec = NoOfRec + 1
tmp = Mid(InLine$, 1, 8)
CurrChar = 9
For j = 1 To NoOfElectrodes
If ReadWhileBlank(InLine$) <> "EndOfLine" Then 'ignore spaces
tmp = ""

```

```

Do While Mid$(InLine$, CurrChar, 1) <> " " And CurrChar <= Len(InLine$)
    tmp = tmp & Mid$(InLine$, CurrChar, 1)
    CurrChar = CurrChar + 1
Loop
Call WriteOutput(j, tmp)
End If
Next j
'MsgBox Inline$
End If
Wend
TotalSec = NoOfRec / frequency
TotalMin = Int(TotalSec / 60)
TotalSec = TotalSec - TotalMin * 60
TotalDuration.Caption = NoOfRec & " samples," & Chr$(13) & TotalMin & "
    minutes and " & TotalSec & " seconds"
Close
End Sub

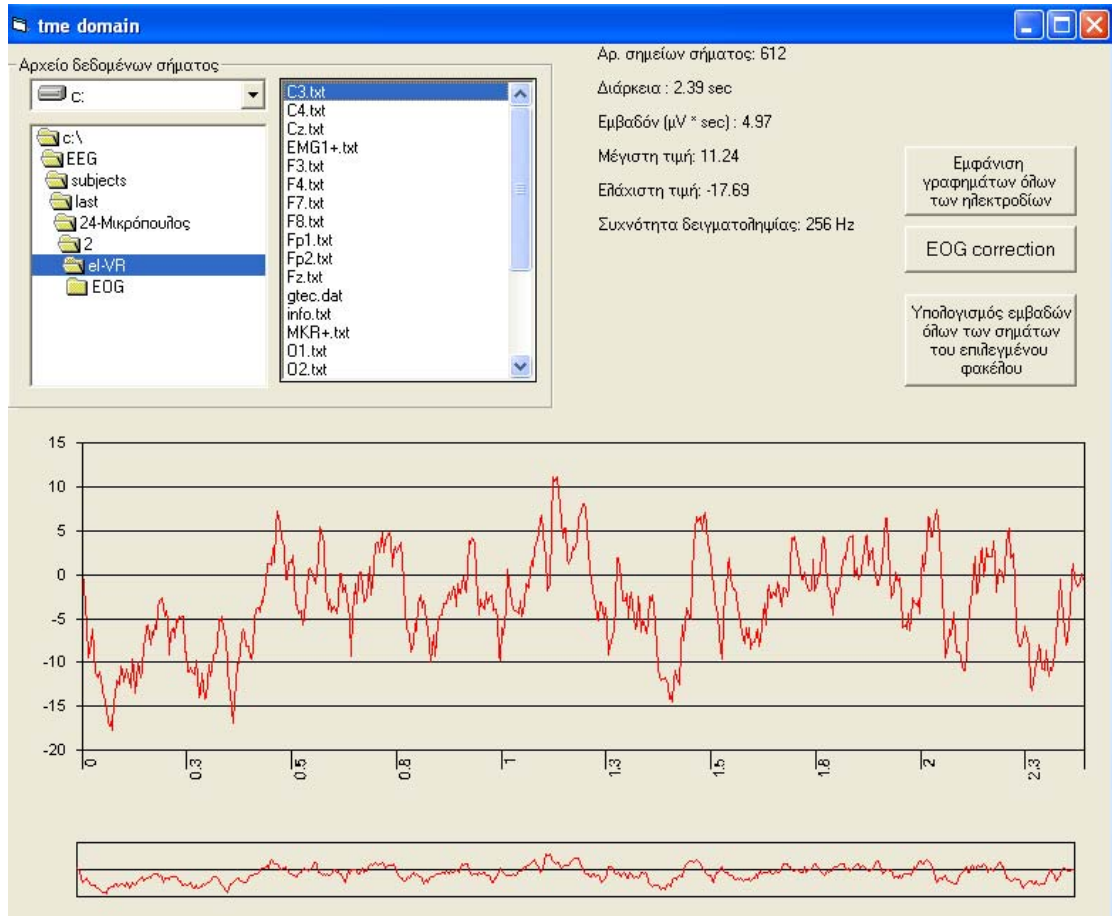
Private Sub InitDisplay()
    FromMin = "": FromSec = "": ToMin = "": ToSec = "": msgLine = ""
    SelectDuration.Caption = ""
End Sub

```

### **Επεξεργασία ΗΕΓ στο πεδίο του χρόνου**

Το λογισμικό EEGtimeDomain επεξεργάζεται τα αποσπάσματα ΗΕΓ στο πεδίο του χρόνου (όχι των συχνοτήτων). Η ρουτίνα αυτή εκτελεί εκτός από την εμφάνιση απλών πληροφοριών (μέγιστη & ελάχιστη τιμή, δειγματοληψία, διάρκεια, αριθμός δειγμάτων, κ.ά.) τρεις λειτουργίες:

- α) εμφάνιση γραφικών παραστάσεων των αποσπασμάτων ΗΕΓ συναρτήσει του χρόνου,
- β) επιλογή αποσπασμάτων χωρίς παράσιτα και
- γ) υπολογισμών στατιστικών μεγεθών που αφορούν τα πλάτη των καταγραφών (δεν χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διατριβή).



Σχήμα 12-174. Το λογισμικό EEGTimeDomain στο οποίο έγινε επεξεργασία των ΗΕΓ αποσπασμάτων στο πεδίο του χρόνου.

Όνομα φόρμας: frmTimeProcessing

Κώδικας vbasic:

```
Dim d1, d2, d3 As String
```

```
Private Sub cmdDirBack_Click()
```

```
    d1 = d3: Dir1.Path = d2
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmdDirRefresh_Click()
```

```
    Dir1.Refresh
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmdEall_Click()
```

```
    Dim NoOfPoints As Long, InData(1 To 10000) As Single, sE As Single
```

```
    Screen.MousePointer = vbHourglass
```

```
    Set fs = CreateObject("Scripting.FileSystemObject")
```

```
    Close All: Open Dir1.Path & "\alle.txt" For Output As #1
```

```
    'For j = 1 To File1.ListCount 'for each file in directory
```

```

Call ReadInfoFile
For j = 1 To NoOfElectrodes
  'For only existed electrode files
  If fs.fileExists(DataDir & "\" & HeadElectrodes(j) & ".txt") Then
    Open DataDir & "\" & HeadElectrodes(j) & ".txt" For Input As #2
    Print #1, HeadElectrodes(j),
    NoOfPoints = 0
    While Not EOF(2)
      NoOfPoints = NoOfPoints + 1
      Input #2, InData(NoOfPoints)
    Wend
    sE = 0
    For i = 2 To NoOfPoints
      If Sgn(InData(i - 1)) <> 0 Or Sgn(InData(i)) <> 0 Then 'one of them <> 0
        If Sgn(InData(i - 1)) + Sgn(InData(i)) = 0 Then 'different sign
          sE = sE + (InData(i - 1) ^ 2 + InData(i) ^ 2) / ((Abs(InData(i - 1)) +
Abs(InData(i))) * 2)
        Else 'the same sign or zero
          sE = sE + (Abs(InData(i - 1)) + Abs(InData(i))) / 2
        End If
      End If
    Next i
    sE = Round(sE / NoOfPoints, 2) 'normalization results
    Print #1, sE
    Close #2
  End If
Next j
MsgBox "Τα (κανονικοποιημένα) αποτελέσματα καταχωρήθηκαν στο αρχείο " &
Chr(13) & Dir1.Path & "alle.txt", , "ΕΝΗΜΕΡΩΤΙΚΟ ΜΗΝΥΜΑ"
Close: Screen.MousePointer = vbDefault
End Sub

Private Sub cmdEOG_Click()
  frmEOG.Show
End Sub

Private Sub cmpPlotAll_Click()
  'MsgBox "Τα διορθωμένα δεδομένα πρέπει να βρίσκονται στον υποφάκελο EOG
του επιλεγμένου φακέλου", vbOKOnly, "ΠΙΡΟΣΟΧΗ"
  frmPlot.Show
  frmPlot.lblPath.Caption = Dir1.Path
End Sub

Private Sub Dir1_change()
  ChDir Dir1.Path: File1.Path = Dir1.Path: DataDir = Dir1.Path
  d3 = d2: d2 = d1: d1 = Dir1.Path
  Dir1.Refresh
End Sub

Private Sub Drive1_Change()

```

```
ChDrive Dir1.Path: Dir1.Path = Drive1.Drive: Dir1.Refresh
End Sub
```

```
Private Sub File1_Click()
```

```
Dim NoOfPoints As Long, InData(1 To 10000) As Single, tmpStr As String
```

```
Dim sE, sMax, sMin, Duration As Single
```

```
Close: ChDir Dir1.Path: Screen.MousePointer = vbHourglass
```

```
Call ReadInfoFile
```

```
Open Dir1.Path & "\" & File1.FileName For Input As #1
```

```
NoOfPoints = 0
```

```
While Not EOF(1)
```

```
NoOfPoints = NoOfPoints + 1
```

```
Input #1, InData(NoOfPoints)
```

```
Wend
```

```
Close #1
```

```
If NoOfPoints <> NoOfSamples Then MsgBox "error number of samples in info.txt  
file"
```

```
lblFrequency.Caption = "Συχνότητα δειγματοληψίας: " & frequency & " Hz"
```

```
lblNoOfPoints.Caption = "Αρ. σημείων σήματος: " & NoOfPoints
```

```
sE = 0: sMax = InData(1): sMin = InData(1)
```

```
For i = 2 To NoOfPoints
```

```
If Not (InData(i - 1) = 0 And InData(i) = 0) Then 'αν και τα δύο είναι 0, παραμένει  
ως έχει
```

```
If Sgn(InData(i - 1)) + Sgn(InData(i)) = 0 Then 'different sign
```

```
sE = sE + (InData(i - 1) ^ 2 + InData(i) ^ 2) / ((Abs(InData(i - 1)) +  
Abs(InData(i))) * 2)
```

```
Else 'the same sign or zero
```

```
sE = sE + (Abs(InData(i - 1)) + Abs(InData(i))) / 2
```

```
End If
```

```
End If
```

```
If sMin > InData(i) Then sMin = InData(i)
```

```
If sMax < InData(i) Then sMax = InData(i)
```

```
Next i
```

```
lblAreaPerSec.Caption = "Εμβαδόν (μV * sec) : " & Round(sE / NoOfPoints, 2)
```

```
lblDuration.Caption = "Διάρκεια : " & Round(NoOfPoints / frequency, 2) & " sec"
```

```
lblMin.Caption = "Ελάχιστη τιμή: " & sMin
```

```
lblMax.Caption = "Μέγιστη τιμή: " & sMax
```

```
Γραφικές παραστάσεις
```

```
MSChart1.chartType = VtChChartType2dLine
```

```
MSChart1.ColumnCount = 1
```

```
MSChart1.RowCount = NoOfPoints
```

```
MSChart1.Column = 1
```

```
For i = 1 To NoOfPoints
```

```
MSChart1.Row = i
```

```
MSChart1.RowLabel = Round(i / frequency, 1) 'shows time in sec
```

```
MSChart1.Data = InData(i)
```

```
Next i
```

```
Screen.MousePointer = vbDefault
```

End Sub

Private Sub Form\_Load()

Me.Left = (Screen.Width - Me.Width) / 2

Me.Top = (Screen.Height - Me.Height) / 2

Dir1.Path = DataDir: ChDir Dir1.Path

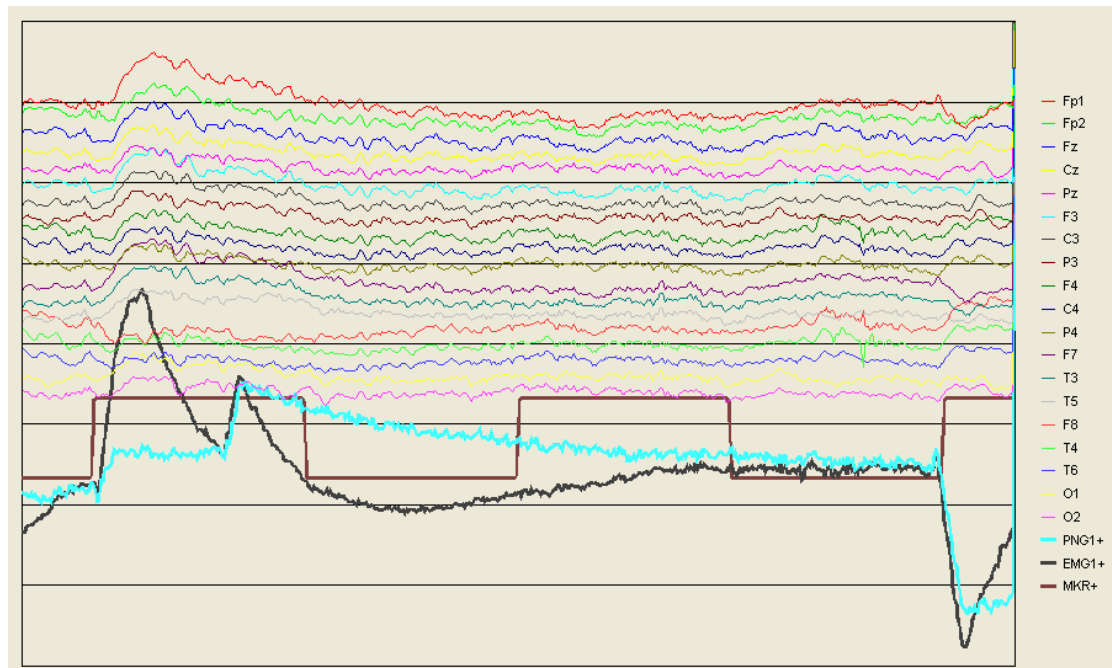
End Sub

Private Sub MSChart1\_PointActivated(Series As Integer, DataPoint As Integer, \_  
MouseFlags As Integer, Cancel As Integer)

lblF.Caption = "Σημείο: " & DataPoint

End Sub

Μια πρόχειρη γραφική παράσταση των σημάτων ΗΕΓ όλων των ηλεκτροδίων εμφανίζεται από τη φόρμα frmPlot (σχήμα 12-175). Για πιο λεπτομερείς αναπαραστάσεις χρησιμοποιήθηκε αντίστοιχο εργαλείο της gtec ή της micromed.



Σχήμα 12-175. Εμφάνιση των γραφημάτων όλων των ηλεκτροδίων σε κοινή κλίμακα όπως παρουσιάζονται στη φόρμα frmPlot. Ο οριζόντιος άξονας αναπαριστά το χρόνο σε msec και ο κατακόρυφος τη διαφορά δυναμικού σε  $\mu\text{Volt}$ .

Όνομα φόρμας: frmPlot

Κώδικας vbasic:

Private Sub Form\_Activate()

On Error GoTo cmdPlot\_error

Dim InData As Single 'NoOfSamples As Long,

```
Set fs = CreateObject("Scripting.FileSystemObject")
'Close: Open lblPath.Caption & "\info.txt" For Input As #1
'Input #1, NoOfSamples: Close #1
'Call InitElectrodes
Call ReadInfoFile

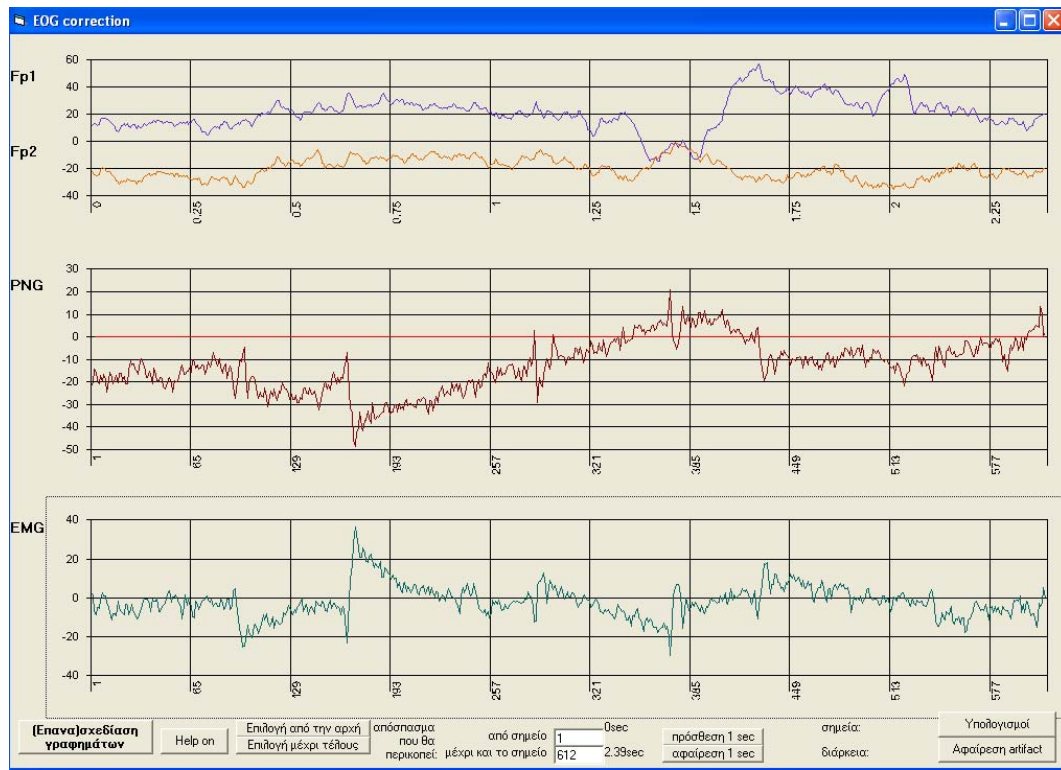
With MSChart1
.chartType = VtChChartType2dLine
.RowCount = NoOfSamples + 1
.ColumnCount = NoOfElectrodes
i = 0
For ii = 1 To NoOfElectrodes 'Εφαρμόζεται μόνο σε όσα αρχεία υπάρχουν
If fs.fileExists(lblPath.Caption & "\" & HeadElectrodes(ii) & ".txt") Then
i = i + 1
'.Plot.Weighting
.Column = ii: .ColumnLabel = HeadElectrodes(ii)
Open lblPath.Caption & "\" & HeadElectrodes(ii) & ".txt" For Input As #1
Row = 1
While Not EOF(1)
.Row = Row ' : .RowLabel = Row
Input #1, InData: .Data = InData - (ii - 1) * 20
If HeadElectrodes(ii) = "PNG1+" Or HeadElectrodes(ii) = "EMG1+" Then
.Data = .Data - 50
Row = Row + 1
Wend
Close
End If
Next ii
End With
Screen.MousePointer = vbDefault
Exit Sub
cmdPlot_error:
MsgBox "Λάθος επιλογή διαδρομής": Close: Screen.MousePointer = vbDefault:
Exit Sub
End Sub

Private Sub Form_Load()
Screen.MousePointer = vbHourglass
End Sub
```

Βασικό κριτήριο επιλογής ήταν η μη εμφάνιση παρασίτων, η οποία πραγματοποιήθηκε με τα βοηθήματα του λογισμικού και οπτική επισκόπηση της γραφικής παράστασης των αποσπασμάτων. Αποσπάσματα με υψηλές τιμές πλάτους, μυϊκά παράσιτα και οφθαλμικά παράσιτα απορρίφθηκαν από περαιτέρω επεξεργασία. Ειδικά για τα οφθαλμικά παράσιτα χρησιμοποιήθηκαν τα 4 επιπλέον ηλεκτρόδια που κατέγραφαν τις κινήσεις των ματιών. Η βασική οθόνη του λογισμικού EEGtimeDomain φαίνεται στο σχήμα 8-16, ενώ στο σχήμα 8-17 φαίνεται το



λογισμικό EOGcorrection στο οποίο έγινε η ανίχνευση και αφαίρεση των οφθαλμικών παρασίτων.



Σχήμα 12-176. Το λογισμικό EOGcorrection στο οποίο έγινε η ανίχνευση και αφαίρεση των οφθαλμικών παρασίτων. Η κυματομορφή PNG καταγράφει τις κατακόρυφες κινήσεις των ματιών, ενώ η κυματομορφή EMG τις οριζόντιες. Οι ονομασίες PNG και EMG δόθηκαν αυτόματα από το λογισμικό HEG καταγραφής System 98 της Micromed.

Όνομα φόρμας: frmEOG

Κώδικας vbasic:

Dim HelpStatus As Boolean

Private Sub cmdAdd1sec\_Click()

If PointFirst <> "" Then PointLast = Val(PointFirst) + frequency - 2  
End Sub

Private Sub cmdCompute\_Click()

Dim points As Integer

If PointFirst <> "" And PointLast <> "" Then

points = Val(PointLast) - Val(PointFirst) + 1

lblPointsEpoch.Caption = "σημεία: " & points

lblTimeEpoch.Caption = "διάρκεια: " & Round(Val(points) / frequency, 2) & "sec"

End If

End Sub

Private Sub cmdHelp\_Click()

lblHelp.Caption = "Διαδρομή: " & DataDir & Chr(13) & "ΕΠΙΛΟΓΗ  
ΟΦΘΑΛΜΙΚΩΝ ΠΑΡΑΣΙΤΩΝ: "

lblHelp.Caption = lblHelp.Caption & Chr(13) & "Με το mouse επιλέγουμε πάνω  
στο γράφημα την αρχή και με <shift>+mouse το τέλος του παράσιτου"

lblHelp.Caption = lblHelp.Caption & Chr(13) & "Το button <Επιλογή από την  
αρχή> επιλέγει σαν αρχικό το πρώτο σημείο"

lblHelp.Caption = lblHelp.Caption & Chr(13) & "Το button <Επιλογή μέχρι τέλους>  
επιλέγει σαν τελικό το τελευταίο σημείο"

If HelpStatus Then

MSChartEMG.Visible = False: lblHelp.Visible = True: HelpStatus = False  
cmdHelp.Caption = "Help off"

Else

MSChartEMG.Visible = True: lblHelp.Visible = False: HelpStatus = True  
cmdHelp.Caption = "Help on"

End If

End Sub

Private Sub cmdPlot\_Click()

On Error GoTo cmdPlot\_error

Dim InData As Single NoOfSamples As Long,

Screen.MousePointer = vbHourglass: Close

Open DataDir & "\EMG1+.txt" For Input As #1

With MSChartEMG

.chartType = VtChChartType2dLine

.ColumnCount = 2

.RowCount = NoOfSamples + 1

.Column = 1

Row = 1

While Not EOF(1)

.Row = Row

.RowLabel = Row

Input #1, InData

.Data = InData

'MsgBox Row & " " & InData

Row = Row + 1

Wend

'MsgBox Row

' Use the chart as the backdrop of the legend.

'.ShowLegend = True

'.SelectPart VtChPartTypePlot, index1, index2, index3, index4

'.EditCopy

'.SelectPart VtChPartTypeLegend, index1, index2, index3, index4

'.EditPaste

End With

Close #1: Open DataDir & "\PNG1+.txt" For Input As #1

```

With MSChartPNG
.chartType = VtChChartType2dLine
.ColumnCount = 2
.RowCount = NoOfSamples + 1
Row = 1
While Not EOF(1)
.Row = Row
.RowLabel = Row
Input #1, InData
.Column = 1: .Data = InData 'Plot main data
.Column = 2 'Plot artifacts
If InData > 50 Then .Data = 50
If InData < -50 Then .Data = -50
If Abs(InData) <= 50 Then .Data = 0
.Plot.SeriesCollection.Item(1).Pen.VtColor.Set 0, 0, 255
Row = Row + 1
Wend
End With
Close #1: Open DataDir & "\Fp1.txt" For Input As #1

Open DataDir & "\Fp2.txt" For Input As #2
With MSChart1
.chartType = VtChChartType2dLine
.ColumnCount = 2
.RowCount = NoOfSamples + 1
Row = 0
While Not EOF(1)
Row = Row + 1
.Row = Row
.RowLabel = Round(Row / frequency, 2)
Input #1, InData: .Column = 1: .Data = InData - 20 'Plot Fp1
Input #2, InData: .Column = 2: .Data = InData + 20 'Plot Fp2
Wend
End With
Close: Screen.MousePointer = vbDefault
Exit Sub
cmdPlot_error:
MsgBox Err.Description: Close: Exit Sub
End Sub

Private Sub cmdRemoveArtifacts_Click()
'διαβάζει όλα τα δεδομένα κάθε αρχείου ηλεκτροδίου του φακέλου output
'στον πίνακα OneData, αφαιρεί το παράσιτο και γράφει αποτέλεσμα στον φάκελο
EOG
Dim AllData(76800) As Single 'for 5 min maximum
Dim FinalPoints As Long, OneData As Single, fs As Object, tmp As String
Screen.MousePointer = vbHourglass
'InitElectrodes
Call ReadInfoFile 'read information from info.txt file
'δημιουργία φακέλου EOG

```

```
Set fs = CreateObject("Scripting.FileSystemObject")
If Not fs.folderexists("EOG") Then
  Mkdir "EOG" ' : MsgBox "Ο υποφάκελος EOG δημιουργήθηκε επιτυχώς"
End If

For ii = 1 To NoOfElectrodes
  FinalPoints = 0
  'Εφαρμόζεται μόνο σε όσα αρχεία υπάρχουν
  If fs.fileExists(DataDir & "\" & HeadElectrodes(ii) & ".txt") Then
    Open DataDir & "\" & HeadElectrodes(ii) & ".txt" For Input As #1
    Open DataDir & "\EOG\" & HeadElectrodes(ii) & ".txt" For Output As #2
    i = 0
    While Not EOF(1) And i <= Val(PointLast.Text)
      i = i + 1
      Input #1, OneData
      If i >= Val(PointFirst.Text) Then
        FinalPoints = FinalPoints + 1
        Write #2, OneData
      End If
    Wend
    Close
  End If
Next ii

'Ενημέρωση αρχείου gtec.dat συμβατό με gtec ASCII format
Open DataDir & "\EOG\gtec.dat" For Output As #1
Print #1, Trim(Str(NoOfElectrodes))
Print #1, Trim(Str(FinalPoints))
Print #1, "1": Print #1, "1": Print #1, Trim(Str(frequency))
For i = 1 To NoOfElectrodes 'open input files in EOG directory
  Open DataDir & "\EOG\" & HeadElectrodes(i) & ".txt" For Input As i + 1
Next i
For j = 1 To FinalPoints
  For i = 1 To NoOfElectrodes
    InputDataFiles (i)
  Next i
  Print #1,
Next j
Print #1,
For i = 1 To NoOfElectrodes: Print #1, HeadElectrodes(i); " ";: Next i
Close

MsgBox "έμειναν " & FinalPoints & " σημεία", , "ΕΝΗΜΕΡΩΤΙΚΟ ΜΗΝΥΜΑ",
  "Επιτυχής αποκοπή"

Open DataDir & "\EOG\info.txt" For Output As #1
Print #1, NoOfElectrodes & " electrodes"
Print #1, FinalPoints & " samples"
Print #1, " Διάρκεια=" & FinalPoints / frequency & " sec"
Print #1, frequency & " sampling frequency"
```

```
For i = 1 To NoOfElectrodes: Print #1, HeadElectrodes(i): Next i  
Close #1
```

```
Screen.MousePointer = vbDefault  
End Sub
```

```
Private Sub InputDataFiles(fileNo As Integer)
```

```
Dim tmp As String
```

```
Select Case fileNo
```

```
Case 1: Line Input #2, tmp: Print #1, tmp; " ";  
Case 2: Line Input #3, tmp: Print #1, tmp; " ";  
Case 3: Line Input #4, tmp: Print #1, tmp; " ";  
Case 4: Line Input #5, tmp: Print #1, tmp; " ";  
Case 5: Line Input #6, tmp: Print #1, tmp; " ";  
Case 6: Line Input #7, tmp: Print #1, tmp; " ";  
Case 7: Line Input #8, tmp: Print #1, tmp; " ";  
Case 8: Line Input #9, tmp: Print #1, tmp; " ";  
Case 9: Line Input #10, tmp: Print #1, tmp; " ";  
Case 10: Line Input #11, tmp: Print #1, tmp; " ";  
Case 11: Line Input #12, tmp: Print #1, tmp; " ";  
Case 12: Line Input #13, tmp: Print #1, tmp; " ";  
Case 13: Line Input #14, tmp: Print #1, tmp; " ";  
Case 14: Line Input #15, tmp: Print #1, tmp; " ";  
Case 15: Line Input #16, tmp: Print #1, tmp; " ";  
Case 16: Line Input #17, tmp: Print #1, tmp; " ";  
Case 17: Line Input #18, tmp: Print #1, tmp; " ";  
Case 18: Line Input #19, tmp: Print #1, tmp; " ";  
Case 19: Line Input #20, tmp: Print #1, tmp; " ";  
Case 20: Line Input #21, tmp: Print #1, tmp; " ";  
Case 21: Line Input #22, tmp: Print #1, tmp; " ";  
Case 22: Line Input #23, tmp: Print #1, tmp; " ";  
Case 23: Line Input #24, tmp: Print #1, tmp; " ";  
Case 24: Line Input #25, tmp: Print #1, tmp; " ";  
Case 25: Line Input #26, tmp: Print #1, tmp; " ";  
Case 26: Line Input #27, tmp: Print #1, tmp; " ";  
Case 27: Line Input #28, tmp: Print #1, tmp; " ";  
Case 28: Line Input #29, tmp: Print #1, tmp; " ";  
Case 29: Line Input #30, tmp: Print #1, tmp; " ";
```

```
End Select
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmdSubtract1sec_Click()
```

```
If PointLast <> "" Then PointFirst = Val(PointLast) - frequency + 2
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Form_Activate()
```

```
Call cmdPlot_Click: HelpStatus = True
```

```
PointFirst = 1: PointLast = NoOfSamples
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()  
    Me.Left = (Screen.Width - Me.Width) / 2: Me.Top = (Screen.Height - Me.Height) /  
    2  
    Call ReadInfoFile 'read information from info.txt file  
End Sub
```

```
Private Sub MSChartPNG_PointActivated(Series As Integer, DataPoint As Integer, _  
    MouseFlags As Integer, Cancel As Integer)  
    'Με διπλό κλικ σε σημείο εμφανίζει την αντίστοιχη συχνότητα  
    If MouseFlags = 1 Then 'δεν έχει πατηθεί κάποιο άλλο πλήκτρο μαζί με το ποντίκι  
        PointFirst.Text = DataPoint  
    Else 'έχει πατηθεί πλήκτρο πχ για shift => MouseFlags=5  
        PointLast.Text = DataPoint  
    End If  
End Sub
```

```
Private Sub MSChartEMG_PointActivated(Series As Integer, DataPoint As Integer, _  
    MouseFlags As Integer, Cancel As Integer)  
    'Με διπλό κλικ σε σημείο εμφανίζει την αντίστοιχη συχνότητα  
    If MouseFlags = 1 Then 'δεν έχει πατηθεί κάποιο άλλο πλήκτρο μαζί με το ποντίκι  
        PointFirst.Text = DataPoint  
    Else 'έχει πατηθεί πλήκτρο πχ για shift => MouseFlags=5  
        PointLast.Text = DataPoint  
    End If  
End Sub
```

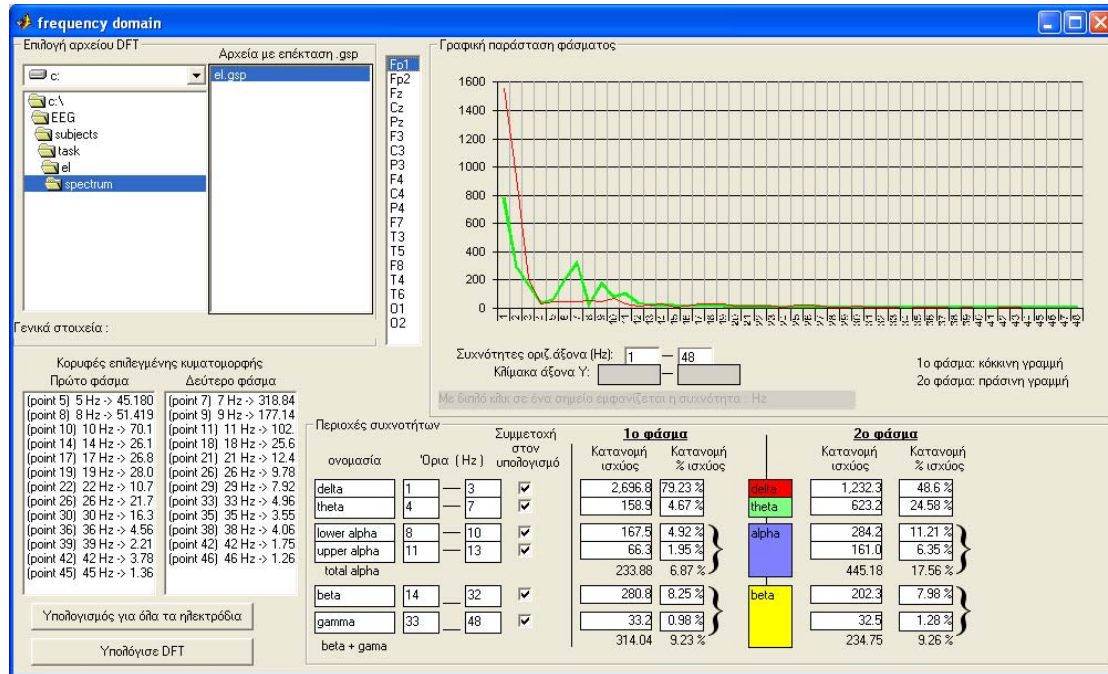
```
Private Sub cmdFirst_click()  
    PointFirst.Text = 1  
End Sub  
Private Sub cmdLast_click()  
    PointLast.Text = NoOfSamples  
End Sub
```

```
Private Sub PointFirst_Change()  
    lblPointFirst.Caption = Round(Val(PointFirst) / frequency, 2) & "sec"  
End Sub  
Private Sub PointLast_Change()  
    lblPointLast.Caption = Round(Val(PointLast) / frequency, 2) & "sec"  
End Sub
```

### **Επεξεργασία φάσματος του σήματος ΗΕΓ**

Η φασματική ανάλυση από το λογισμικό είχε ως κύριο σκοπό την εξαγωγή ποσοτικών δεδομένων ανά ρυθμό του ΗΕΓ (δέλτα, θήτα, άφα-1, άφα-2, βήτα και γάμα), που αποθηκεύονται σε αρχεία κειμένου (absolute.txt, s1DFT.txt, s2DFT.txt, s1DFT.txt, s2DFT.txt). Τα δεδομένα αυτά αξιοποιούνται στη συνέχεια από το excel για τη δημιουργία πινάκων και χαρτών με τις στατιστικά σημαντικές διαφορές και από το Matlab για τη δημιουργία των χρωματικών χαρτών.

Επιπλέον παράγονται διάφορες συμπληρωματικές πληροφορίες (πχ. γραφικές αναπαράστασεις των φασμάτων κάθε ηλεκτροδίου, ακριβείς τιμές συχνοτήτων στις οποίες εμφανίζονται οι κορυφές κάθε φάσματος). Τα όρια των ρυθμών καθώς και το ποιοι ρυθμοί τελικά θα συμμετέχουν στην ποσοστιαία κατανομή, μπορούν να ρυθμιστούν από το χρήστη.



Σχήμα 12-177. Επεξεργασία του φάσματος συχνοτήτων του ΗΕΓ και ποσοτικοί υπολογισμοί των βασικών ρυθμών

Όνομα φόρμας: frmFTgtec

Κώδικας vbasic:

'Αυτή η έκδοση δουλεύει μόνο για gtec export από Spectrum για σύγκριση 2 φασμάτων

' δηλ. 127 τιμές για συχνότητες 1-127 Hz

' ονόματα ηλεκτροδίων συγκεκριμένα με συγκεκριμένη σειρά

' δειγματοληψία αρχικού σήματος 256 Hz

Const NoOfBands = 6

'Dim NoOfSamples As Long, DFTpoints As Long

Dim spectrum1(1 To 127, 1 To 19) As Single, spectrum2(1 To 127, 1 To 19) As Single, spectrumDiff(1 To 127, 1 To 19) As Single

'fResults(,1):s1, fResults(,2):s2, fResults(,4):αριθμός συχνοτήτων κάθε μπάντας

'fResults(,3):s1-s2, fResults(,5):s1-s2 αλλά μόνο αριθμό κορυφών

Dim fResults(), fResults100() As Single, fResultsDiff() As String 'για τον υπολογισμό συνολικού φάσματος ανά ρυθμό

```
Private Sub cmdApplyAll_Click()  
Dim dig As Integer 'Number of digits in results (it is useful only for result files, not  
for calculations  
MsgBox "Για να υπολογιστούν όλοι οι ρυθμοί πρέπει να έχετε επιλέξει κατάλληλα  
άνω και κάτω όρια", vbOKOnly, "ΠΡΟΣΟΧΗ"  
Screen.MousePointer = vbHourglass: Close  
Open "s1DFTresults.txt" For Output As #1: Open "s1DFTresults%.txt" For Output  
As #2  
Open "s2DFTresults.txt" For Output As #3: Open "s2DFTresults%.txt" For Output  
As #4  
Open "s1DFT.txt" For Output As #5: Open "s2DFT.txt" For Output As #6 'as  
previous without text and ,  
Open "s1DFT%.txt" For Output As #7: Open "s2DFT%.txt" For Output As #8 'as  
previous without text and ,  
Open "s1s2DFT.txt" For Output As #9: Open "s1s2SYMBOLS.txt" For Output As  
#10 'with difference s1-s2
```

'Εμφάνιση και με σύνολα δ-θ-α-β

```
Print #1, "electrode", "delta", "theta", "lower a", "upper a", "beta", "gamma",  
"beta+gama", "alpha"  
Print #2, "electrode", "delta", "theta", "lower a", "upper a", "beta", "gamma",  
"beta+gama", "alpha"  
Print #3, "electrode", "delta", "theta", "lower a", "upper a", "beta", "gamma",  
"beta+gama", "alpha"  
Print #4, "electrode", "delta", "theta", "lower a", "upper a", "beta", "gamma",  
"beta+gama", "alpha"  
'Print #1, "spectrum 1": Print #2, "spectrum 1" '1st spectrum  
Print #9, "electrode", "delta", "theta", "lower a", "upper a", "beta", "gamma",  
"beta+gama", "alpha"  
Print #10, "electrode", "delta", "theta", "lower a", "upper a", "beta", "gamma",  
"beta+gama", "alpha"
```

dig = txtResultDecDigits.Text

```
For el = 1 To NoOfElectrodes  
Call fDistribution(NoOfBands, el)  
Print #1, HeadElectrodes(el); Print #2, HeadElectrodes(el); Print #3,  
HeadElectrodes(el); Print #4, HeadElectrodes(el); Print #9, HeadElectrodes(el);  
Print #10, HeadElectrodes(el),  
For i = 1 To NoOfBands  
Print #1, Format(Round(fResults(i, 1), dig), "##,##0.0" & String(dig - 1, "#")),  
Print #2, fResults100(i, 1) & " %",  
Print #3, Format(Round(fResults(i, 2), dig), "##,##0.0" & String(dig - 1, "#")),  
Print #4, fResults100(i, 2) & " %",  
Print #5, Format(Round(fResults(i, 1), dig), "#.0" & String(dig - 1, "#")),  
Print #6, Format(Round(fResults(i, 2), dig), "#.0" & String(dig - 1, "#")),  
Print #7, fResults100(i, 1), 's1 relative power  
Print #8, fResults100(i, 2), 's2 relative power  
Print #9, Format(Round(fResults(i, 3), dig), "##,##0.0" & String(dig - 1, "#")),  
'differences of absolute power
```



```

Print #10, fResultsDiff(i), 'differencies symbols of absolute power
Next i
Print #1, Round(fResults(5, 1) + fResults(6, 1), 1), Round(fResults(4, 1) +
fResults(3, 1), 1)
Print #2, Round(fResults100(5, 1) + fResults100(5, 1), 2), Round(fResults100(4, 1)
+ fResults100(3, 1), 2)
Print #3, Round(fResults(5, 2) + fResults(6, 2), 1), Round(fResults(4, 2) +
fResults(3, 2), 1)
Print #4, Round(fResults100(5, 2) + fResults100(6, 2), 2), Round(fResults100(4, 2)
+ fResults100(3, 2), 2)
Print #5, Round(fResults(5, 1) + fResults(6, 1), 1), Round(fResults(4, 1) +
fResults(3, 1), 1)
Print #6, Round(fResults(5, 2) + fResults(6, 2), 1), Round(fResults(4, 2) +
fResults(3, 2), 1)
Print #7, Round(fResults100(5, 1) + fResults100(6, 1), 2), Round(fResults100(4, 1)
+ fResults100(3, 1), 2)
Print #8, Round(fResults100(5, 2) + fResults100(6, 2), 2), Round(fResults100(4, 2)
+ fResults100(3, 2), 2)
Print #9, Round(fResults(5, 3) + fResults(6, 3), 1), Round(fResults(4, 3) +
fResults(3, 3), 1)
Print #10, fResultsDiff(7), fResultsDiff(8) 'για β+γ και συνολικό α
'Print #1,: Print #2,: Print #3,: Print #4,
Next el

```

```

'For i = 1 To File1.ListCount 'for each DFT file in directory
Close #1, #2, #3, #4, #5, #6, #7, #8, #9, #10: Screen.MousePointer = vbDefault

```

```

'Ενοποίηση όλων των αρχείων σε ένα
Open "absolute.txt" For Output As #11 'absolute values: S1, S2 & differences
Open "s1DFTresults.txt" For Input As #1: Open "s2DFTresults.txt" For Input As #2
Open "s1s2DFT.txt" For Input As #3: Open "s1s2SYMBOLS.txt" For Input As #4
Print #11, "s1"
While Not EOF(1)
Line Input #1, readTMP: Print #11, readTMP
Wend
Print #11, "s2"
While Not EOF(2)
Line Input #2, readTMP: Print #11, readTMP
Wend
Print #11, "diff"
While Not EOF(3)
Line Input #3, readTMP: Print #11, readTMP
Wend
Print #11, "diff symbols"
While Not EOF(4)
Line Input #4, readTMP: Print #11, readTMP
Wend
Close #1, #2, #3, #4, #11
MsgBox "Τα αποτελέσματα αποθηκεύτηκαν στα αρχεία: absolute.txt" '& Chr(13) &
"s1DFT.txt και s2DFT.txt, s1DFT%.txt και s2DFT%.txt, s1DFTresults.txt,

```

```

s1DFTresults%.txt, s2DFTresults.txt, s2DFTresults%.txt και absolute.txt",
vbInformation, "ΕΝΗΜΕΡΩΤΙΚΟ ΜΗΝΥΜΑ"
Kill "s1DFTresults.txt": Kill "s1DFTresults%.txt": Kill "s2DFTresults.txt": Kill
"s2DFTresults%.txt"
Kill "s1s2DFT.txt": Kill "s1s2SYMBOLS.txt"
End Sub

Private Sub fDistribution(NoOfBands, electrode) 'As Single()
Dim f As Long, findex As Integer
ReDim fResults(1 To NoOfBands + 2, 1 To 5), fResultsDiff(1 To NoOfBands + 2),
fResults100(NoOfBands, 1 To 2)
'the results are stored into global array fResults()
For findex = 1 To NoOfBands 'initialize results
fResults(findex, 1) = 0: fResults(findex, 2) = 0: fResults(findex, 3) = 0:
fResults(findex, 4) = 0: fResults(findex, 5) = 0
fResults100(findex, 1) = 0: fResults100(findex, 2) = 0
Next findex

For f = Val(txtMinF.Text) To Val(txtMaxF.Text)
For findex = 1 To NoOfBands 'pointer to corresponding band
If f >= Val(BandLow(findex - 1).Text) And f <= Val(BandHigh(findex - 1).Text)
Then
fResults(findex, 1) = fResults(findex, 1) + spectrum1(f, electrode)
fResults(findex, 2) = fResults(findex, 2) + spectrum2(f, electrode)
fResults(findex, 3) = fResults(findex, 3) + spectrumDiff(f, electrode)
fResults(findex, 4) = fResults(findex, 4) + 1
If spectrumDiff(f, electrode) >= 1 Then fResults(findex, 5) = fResults(findex, 5) + 1
If spectrumDiff(f, electrode) <= -1 Then fResults(findex, 5) = fResults(findex, 5) - 1
End If
Next findex
Next f

'normalize differencies
For findex = 1 To NoOfBands
fResults(findex, 3) = fResults(findex, 3) / fResults(findex, 4)
Next findex
'calculate differencies for beta+gama
fResults(NoOfBands + 1, 3) = (fResults(5, 3) + fResults(6, 3))
fResults(NoOfBands + 1, 5) = (fResults(5, 5) + fResults(6, 5))
'calculate differencies for total alpha
fResults(NoOfBands + 2, 3) = (fResults(3, 3) + fResults(4, 3))
fResults(NoOfBands + 2, 5) = (fResults(3, 5) + fResults(4, 5))

'compute % frequency distribution per selected band
TotalE1 = 0: TotalE2 = 0
For i = 1 To NoOfBands 'compute sum of selected frequencies
If BandOk(i - 1).Value Then
TotalE1 = TotalE1 + fResults(i, 1)
TotalE2 = TotalE2 + fResults(i, 2)
End If

```

```

Next i
For i = 1 To NoOfBands 'compute %
  If BandOk(i - 1).Value Then
    fResults100(i, 1) = Round(fResults(i, 1) / TotalE1 * 100, 2)
    fResults100(i, 2) = Round(fResults(i, 2) / TotalE2 * 100, 2)
  Else
    fResults100(i, 1) = 0: fResults100(i, 2) = 0
  End If
Next i

'compute differences with symbols (+s, +, =, -, -s)
For i = 1 To NoOfBands + 2
  Select Case fResults(i, 5)
    Case Is >= 1
      fResultsDiff(i) = "s+"
    Case Is <= -1
      fResultsDiff(i) = "s-"
    Case 0
      Select Case fResults(i, 3)
        Case -0.1 To 0.1
          fResultsDiff(i) = "~="
        Case Is <= -0.1 '-1 To -0.1
          fResultsDiff(i) = "-"
        Case Is >= 0.1 '0.1 To 1
          fResultsDiff(i) = "+"
        Case Else
          MsgBox "warning 1: Πρόβλημα στον υπολογισμό των συμβόλων των
διαφορών."
          End Select
        Case Else
          MsgBox "warning 2: Διαφορά κορυφών μη ακέραια =" & fResults(i, 5)
          End Select
      End Select
    End Select
  Next i

End Sub

Private Sub CmdComputeDFT_Click()
  Dim i As Long, dataArray() As Single 'for 10min maximum
  ReDim dataArray(153600) As Single
  MsgBox "Αυτή η επιλογή δεν είναι διαθέσιμη αυτή τη στιγμή", vbInformation,
  "ΕΝΗΜΕΡΩΤΙΚΟ ΜΗΝΥΜΑ"
End Sub

Private Sub Dir1_change()
  ChDir Dir1.Path
  File1.Path = Dir1.Path
End Sub

Private Sub Drive1_Change()
  ChDrive Dir1.Path

```

```

Dir1.Path = Drive1.Drive
Dir1.Refresh
End Sub

Private Sub File1_Click()
Dim InData As Single, InDataTxt, numberTxt As String
ChDir Dir1.Path: Close
NoOfElectrodes = Val(frmFTgtec.txtNoOfElectrodes.Text)

'READ DATA -----
Open File1.FileName For Binary As #2
'Reads 1st spectrum
Line Input #2, InDataTxt 'reads the first 4 lines
Line Input #2, InDataTxt 'reads 1st spectrum and next 4 lines
i = 1: j = 1
For ii = 1 To Len(InDataTxt)
If i <= 127 Then
If Asc(Mid(InDataTxt, ii, 1)) = 10 Then
i = i + 1 'αλλαγή γραμμής
j = 1
End If

If Mid(InDataTxt, ii, 1) = " " And j <= 19 Then
spectrum1(i, j) = Val(numberTxt)
j = j + 1 'αλλαγή στήλης
numberTxt = ""
End If

If Mid(InDataTxt, ii, 1) <> " " And Asc(Mid(InDataTxt, ii, 1)) <> 10 Then
numberTxt = numberTxt & Mid(InDataTxt, ii, 1)
End If
End If
Next ii

'-----
Line Input #2, InDataTxt 'reads difference spectrum and next 4 lines
i = 1: j = 1
For ii = 1 To Len(InDataTxt)
If i <= 127 Then
If Asc(Mid(InDataTxt, ii, 1)) = 10 Then
i = i + 1 'αλλαγή γραμμής
j = 1
End If

If Mid(InDataTxt, ii, 1) = " " And j <= 19 Then
spectrumDiff(i, j) = Val(numberTxt)
j = j + 1 'αλλαγή στήλης
numberTxt = ""
End If

```

```

If Mid(InDataTxt, ii, 1) <> " " And Asc(Mid(InDataTxt, ii, 1)) <> 10 Then
    numberTxt = numberTxt & Mid(InDataTxt, ii, 1)
End If
End If
Next ii

```

```

'-----
Line Input #2, InDataTxt 'reads 2nd spectrum and next
i = 1: j = 1

```

```

For ii = 1 To Len(InDataTxt)
If i <= 127 Then
If Asc(Mid(InDataTxt, ii, 1)) = 10 Then
    i = i + 1 'αλλαγή γραμμής
    j = 1
End If

```

```

If Mid(InDataTxt, ii, 1) = " " And j <= 19 Then
    spectrum2(i, j) = Val(numberTxt)
    j = j + 1 'αλλαγή στήλης
    numberTxt = ""
End If

```

```

If Mid(InDataTxt, ii, 1) <> " " And Asc(Mid(InDataTxt, ii, 1)) <> 10 Then
    numberTxt = numberTxt & Mid(InDataTxt, ii, 1)
End If
End If
Next ii

```

```

'Display electrode names
listElectrodes.Clear
For i = 1 To NoOfElectrodes
    listElectrodes.AddItem HeadElectrodes(i)
Next i

```

End Sub

```

Private Sub Form_Load()
    Drive1.Drive = "c:": Dir1.Path = "c:\EEG\subjects"
    Call InitElectrodes 'read standard information
End Sub

```

```

Private Sub listElectrodes_Click()
    Dim Row, ChartRow, ElectrodeColumn As Integer
    Dim Y1, Y2, Y3 As Single 'για υπολογισμό των κορυφών
    ReDim fResults(1 To NoOfBands, 1 To 2) 'global array for calculations
    ReDim fResults100(1 To NoOfBands, 1 To 2)
    Screen.MousePointer = vbHourglass: MSChart1.Visible = True
    ElectrodeColumn = listElectrodes.ListIndex + 1
    'Draw selected electrode spectrum (2 spectrum in one chart)
    listPeaks.Clear: listPeaks2.Clear

```

With MSChart1

```
'Plot.Axis(VtChAxisIdX, 1).Labels(1).TextLayout.Orientation =
VtOrientationHorizontal
.Plot.Axis(VtChAxisIdX, 1).Labels(1).VtFont.Size = 7
.Plot.Axis(VtChAxisIdX, 1).CategoryScale.DivisionsPerLabel = 1
.Plot.Axis(VtChAxisIdX, 1).CategoryScale.DivisionsPerTick = 1
.chartType = VtChChartType2dLine
.ColumnCount = 2
.RowCount = Val(txtMaxF.Text) - Val(txtMinF.Text) + 1
.Column = 1
'.RowLabelCount = 4
Y1 = 999999: Y2 = Y1 '
For ChartRow = 1 To .RowCount
    Row = ChartRow + Val(txtMinF.Text) - 1
    .Row = ChartRow
    .RowLabel =
        Int(Row / .Plot.Axis(VtChAxisIdX, 1).CategoryScale.DivisionsPerLabel)
    .Data = spectrum1(Row, ElectrodeColumn)
    Y3 = .Data
    If Y1 < Y2 And Y2 > Y3 Then 'there is a peak
        listPeaks.AddItem "(point " & Row - 1 & ") " & (Row - 1) & " Hz -> " & Y2
    End If
    Y1 = Y2: Y2 = Y3
Next ChartRow

.Column = 2
'.RowLabelCount = 4
Y1 = 999999: Y2 = Y1 '
For ChartRow = 1 To .RowCount
    Row = ChartRow + Val(txtMinF.Text) - 1
    .Row = ChartRow
    .RowLabel = Int(Row / .Plot.Axis(VtChAxisIdX, 1).CategoryScale.Divisions
PerLabel)
    .Data = spectrum2(Row, ElectrodeColumn)
    Y3 = .Data
    If Y1 < Y2 And Y2 > Y3 Then 'there is a peak
        listPeaks2.AddItem "(point " & Row - 1 & ") " & (Row - 1) & " Hz -> " & Y2
    End If
    Y1 = Y2: Y2 = Y3
Next ChartRow
End With
Close #2

Call fDistribution(NoOfBands, ElectrodeColumn) 'compute frequency distribution
per band
For i = 1 To NoOfBands          'absolute values
    lblAbsolute(i - 1).Caption = Format(Round(fResults(i, 1), 1), "##,##0.0")
    lblAbsolute2(i - 1).Caption = Format(Round(fResults(i, 2), 1), "##,##0.0")
Next i
For i = 1 To NoOfBands          '% values
```

```

lbl100(i - 1).Caption = fResults100(i, 1) & " %"
lbl100_2(i - 1).Caption = fResults100(i, 2) & " %"
Next i

```

```

'Εμφάνιση συνολικών ρυθμών α και β
lblS1AlphaAbsolute.Caption = Round(fResults(3, 1) + fResults(4, 1), 2)
lblS1Alpha.Caption = Round(fResults100(3, 1) + fResults100(4, 1), 2) & " %"
lblS1BetaGamaAbsolute.Caption = Round(fResults(5, 1) + fResults(6, 1), 2)
lblS1BetaGama.Caption = Round(fResults100(5, 1) + fResults100(6, 1), 2) & " %"
'Εμφάνιση % συνολικών ρυθμών α και β
lblS2AlphaAbsolute.Caption = Round(fResults(3, 2) + fResults(4, 2), 2)
lblS2Alpha.Caption = Round(fResults100(3, 2) + fResults100(4, 2), 2) & " %"
lblS2BetaGamaAbsolute.Caption = Round(fResults(5, 2) + fResults(6, 2), 2)
lblS2BetaGama.Caption = Round(fResults100(5, 2) + fResults100(6, 2), 2) & " %"

```

```

Screen.MousePointer = vbDefault
End Sub

```

```

Private Sub MSChart1_PointActivated(Series As Integer, DataPoint As Integer, _
    MouseFlags As Integer, Cancel As Integer)
    'Με διπλό κλικ σε σημείο εμφανίζει την αντίστοιχη συχνότητα
    txtF.Text = Val(txtMinF.Text) + DataPoint - 1 & " Hz"
    'MSChart1.Column = Series : MSChart1.Row = DataPoint
    'MSChart1.data = InputBox("Change the data point:", , .data)
End Sub

```

### Κώδικας λειτουργικής μονάδας

Ο επόμενος κώδικας είναι κοινός για όλες τις φόρμες. Περιέχει δηλώσεις σταθερών και μεταβλητών καθώς και κοινά υποπρογράμματα ή συναρτήσεις.

```

Type MicromedRecord
    Title As String * 32
    Lab As String * 32
    Patient As String * 64
    Date1 As Byte
    Date2 As Byte
    Date3 As Byte
    Time1 As Byte
    Time2 As Byte
    Time3 As Byte
    A_unit As Integer
    FileType As Integer
    Data_Start_Offset As Long
    Num_Chan As Integer
    Multiplexer As Integer
    Rate_Min As Integer

```

Bytes As Integer  
Compression As Integer  
Montages As Integer  
Dvideo\_begin As Long  
Reserved\_1 As String \* 17  
Header\_Type As Byte  
CodeArea\_N As String \* 8  
CodeArea\_S As Long  
CodeArea\_L As Long  
ElectrodeArea\_N As String \* 8  
ElectrodeArea\_S As Long  
ElectrodeArea\_L As Long  
NoteArea\_N As String \* 8  
NoteArea\_S As Long  
NoteArea\_L As Long  
FlagArea\_N As String \* 8  
FlagArea\_S As Long  
FlagArea\_L As Long  
SegmentArea\_N As String \* 8  
SegmentArea\_S As Long  
SegmentArea\_L As Long  
bI\_N As String \* 8  
bI\_S As Long  
bI\_L As Long  
eI\_N As String \* 8  
eI\_S As Long  
eI\_L As Long  
MontageArea\_N As String \* 8  
MontageArea\_S As Long  
MontageArea\_L As Long  
CompresionArea\_N As String \* 8  
CompresionArea\_S As Long  
CompresionArea\_L As Long  
AverageArea\_N As String \* 8  
AverageArea\_S As Long  
AverageArea\_L As Long  
HistoryArea\_N As String \* 8  
HistoryArea\_S As Long  
HistoryArea\_L As Long  
Reserved2 As String \* 16  
EventA\_N As String \* 8  
EventA\_S As Long  
EventA\_L As Long  
EventB\_N As String \* 8  
EventB\_S As Long  
EventB\_L As Long  
Reserved3 As String \* 240  
End Type  
  
Type Micromed\_New\_Electrode



```

type As Integer
PosInput As String * 6
NegInput As String * 6
LogicMin As Integer
LogicMax As Integer
LogicGround As Integer
PhysicMin As Long
PhysicMax As Long
Unit As Integer
Pre_HiPass_Limit As Integer
Pre_HiPass_Type As Integer
Pre_LowPass_Limit As Integer
Pre_LowPass_Type As Integer
Rate As Integer
Position As Integer
Reserved As String * 22
Description As String * 64
End Type

Public HeadElectrodes(1 To 30) As String 'HeadLine As String
Public NoOfElectrodes, frequency As Integer, NoOfSamples As Long
Public HeadLine As String, CurrChar As Integer
Public DataDir As String 'directory with EEG data
Public TotalFileSize, DataEstimatedFileLines As Long

Sub ReadInfoFile() 'read information from info.txt
    Dim i As Integer
    Open DataDir & "\info.txt" For Input As #31
    Input #31, NoOfElectrodes: Line Input #31, tmpStr 'no of electrodes
    Input #31, NoOfSamples: Line Input #31, tmpStr 'no of samples
    Line Input #31, tmpStr 'duration
    Input #31, frequency: Line Input #31, tmpStr 'sampling frequency
    For i = 1 To NoOfElectrodes
        Input #31, HeadElectrodes(i)
    Next i
    Close #31
End Sub

Sub InitElectrodes() 'προς το παρόν χρησιμοποιείται μόνο στη φόρμα frmFTgtec
    HeadElectrodes(1) = "Fp1": HeadElectrodes(2) = "Fp2"
    HeadElectrodes(3) = "Fz": HeadElectrodes(4) = "Cz": HeadElectrodes(5) = "Pz"
    HeadElectrodes(6) = "F3": HeadElectrodes(7) = "C3": HeadElectrodes(8) = "P3"
    HeadElectrodes(9) = "F4": HeadElectrodes(10) = "C4": HeadElectrodes(11) = "P4"
    HeadElectrodes(12) = "F7": HeadElectrodes(13) = "T3": HeadElectrodes(14) = "T5"
    HeadElectrodes(15) = "F8": HeadElectrodes(16) = "T4": HeadElectrodes(17) = "T6"
    HeadElectrodes(18) = "O1": HeadElectrodes(19) = "O2"
    'HeadElectrodes(20) = "PNG1+": HeadElectrodes(21) = "EMG1+"
    NoOfElectrodes = 19
End Sub

```

```

Sub dft(aIn() As Single, nt As Long, OutputFile As String)
'nt: size of input signal,    nwmax: size of DFT
Dim pi As Double
ReDim a(-nt To nt) As Single
ReDim t(-nt To nt), xr(-nt To nt), yr(-nt To nt), zr(-nt To nt), xi(-nt To nt), yi(-nt To
nt), zi(-nt To nt), b(-nt To nt) As Single
Open OutputFile For Output As #1
nwmax = 1024
pi = 4 * Atn(1) ' pi=3.14....

For i = 0 To nt
a(i) = aIn(i)
t(i) = i 't(i)=i/256
If (i <> 0) Then
t(-i) = -t(i)
a(-i) = aIn(i)
End If
Next i

deltat = t(2) - t(1)

fid = 5 * 4 * pi / 100 = 2 * pi * 256 * 30

fidm = fid / Int(nwmax)
For iw = 0 To nwmax
For it = -nt To nt
w = Int(iw) * fidm
coswt = Cos(w * t(it))
sinwt = Sin(w * t(it))
xr(it) = a(it) * coswt
xi(it) = -a(it) * sinwt
'integrate
sumxr = 0#
sumxi = 0#
For ic = -nt + 1 To it
sumxr = sumxr + (xr(ic) + xr(ic - 1)) / 2# * deltat
sumxi = sumxi + (xi(ic) + xi(ic - 1)) / 2# * deltat
Next ic

b(it) = (sumxr ^ 2 + sumxi ^ 2) ^ 0.5 'sqrt()
Next it

'linear fit of b(t) : find slope and quality of the fit
st = 0
sax = 0
stax = 0
st2 = 0
For il = -nt To nt
st = st + t(il)
st2 = st2 + t(il) * t(il)

```

```

    sax = sax + b(il)
    stax = stax + t(il) * b(il)
Next il
sunt = 2 * nt + 1
stm = st / Int(sunt) 'or fix()???'
saxm = sax / Int(sunt)
sx2x = 0#
sy2x = 0#
sxyx = 0#
For i = -nt To nt
    sx2x = sx2x + (t(i) - stm) * (t(i) - stm)
    sy2x = sy2x + (b(i) - saxm) * (b(i) - saxm)
    sxyx = sxyx + (t(i) - stm) * (b(i) - saxm)
Next i
valrx = (sxyx * sxyx / sy2x / sx2x) ^ 0.5
slopex = (Int(nt) * stax - st * sax) / (Int(nt) * st2 - st * st)
Print #1, slopex
'write(6,120)int(iw)*.05,slopex,valrx
Next iw
End Sub

```

### Αρχεία δεδομένων

Από την πειραματική διαδικασία προέκυψαν δύο αρχεία ΗΕΓ καταγραφών σε μορφή ascii και Micromed και δύο αρχεία ήχου που περιείχαν τις αντίστοιχες ηχογραφήσεις για κάθε περιβάλλον. Η επεξεργασία των αρχείων αυτών από το λογισμικό EEGprocessing δημιουργεί, μετά την προεπεξεργασία κάθε σήματος και την αφαίρεση των παρασίτων, ξεχωριστά αρχεία για κάθε διεργασία για κάθε συμμετέχοντα.

Αυτά τα αρχεία χρησιμοποιούνται από το λογισμικό BSanalyze της gtec για να παράγει τα φάσματα για το κάθε περιβάλλον, που αποθηκεύονται σε αντίστοιχο αρχείου κειμένου με την επέκταση gsp για κάθε διεργασία.

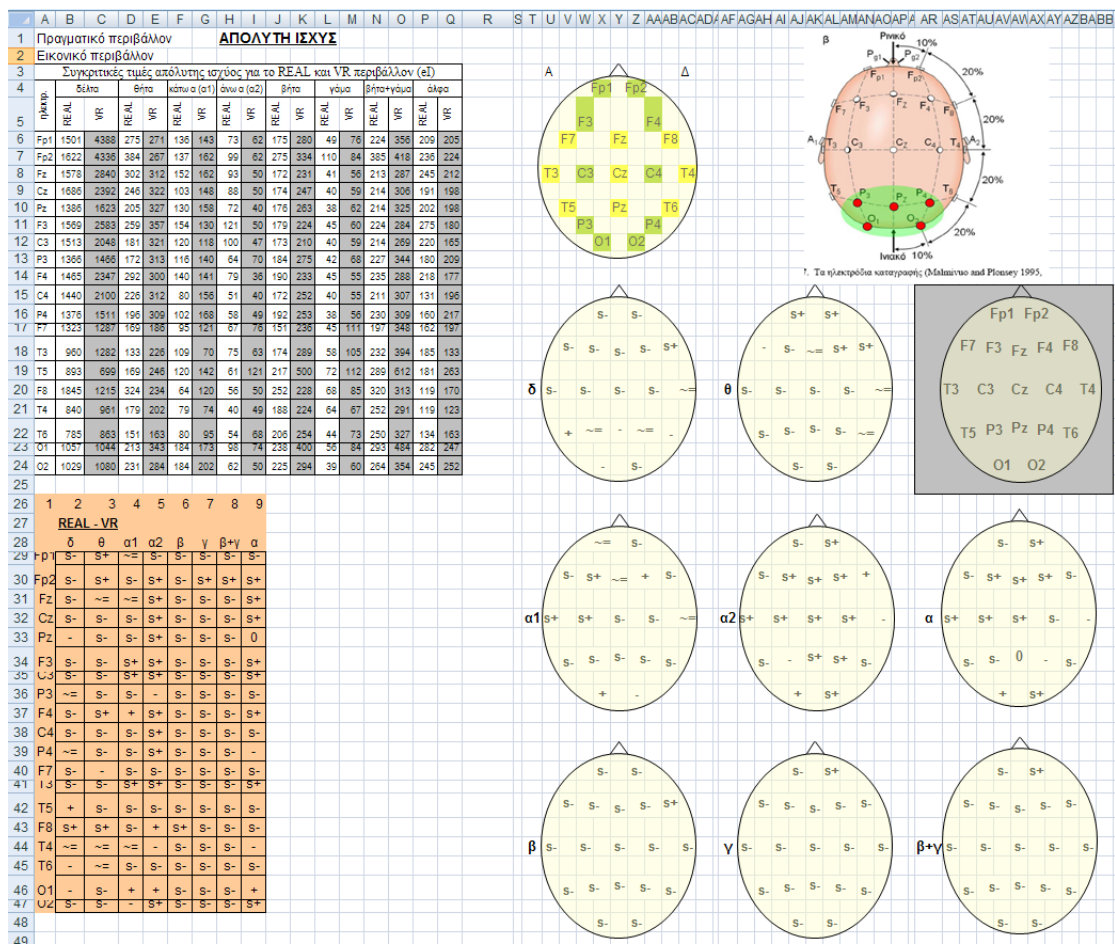
Το gsp αρχείο για κάθε διεργασία χρησιμοποιείται από το λογισμικό EEGprocessing κατά τη φασματική ανάλυση, από την οποία προκύπτουν τα αρχεία absolute.txt, s1DFT.txt, s2DFT.txt, s1DFT.txt, s2DFT.txt με τα αποσοτικά δεδομένα των ρυθμών του ΗΕΓ για κάθε διεργασία.

Τέλος, τα αρχεία αυτά χρησιμοποιούνται από το Matlab για την παραγωγή των χρωματικών χαρτών, οι οποίοι αποθηκεύονται σε αντίστοιχα αρχεία εικόνων (jpg).

12.3.2 Επεξεργασία στο Ms Excel

Το excel χρησιμοποιείται αρχικά για τον ακριβή υπολογισμό των χρονικών στιγμών έναρξης, λήξης και διάρκειας κάθε διεργασίας, όπως προκύπτουν μετά την απομαγνητοφώνηση της κάθε καταγραφής.

Η κύρια όμως χρήση του, αποσκοπεί στη μορφοποίηση των πινάκων ποσοτικών δεδομένων και στη δημιουργία χαρτών με τις στατιστικά σημαντικές διαφορές των φασμάτων ΗΕΓ για τα δύο περιβάλλοντα (εικονικό και πραγματικό). Παράδειγμα ενός φύλλου εργασίας του excel στο οποίο εικονίζονται ο πίνακας και ο αντίστοιχος χάρτης διαφορών για μία διεργασία φαίνεται στο σχήμα 12-178.



Σχήμα 12-178. Απόσπασμα από ένα φύλλο του Ms Excel στο οποίο υπολογίζονται οι χάρτες με τις στατιστικά σημαντικές διαφορές των δύο περιβαλλόντων

### 12.3.3 Χάρτες ΗΕΓ σε περιβάλλον Matlab

Στην εξαγωγή ποιοτικών χαρακτηριστικών χρησιμοποιήθηκαν και χρωματικοί χάρτες ΗΕΓ απόλυτης φασματικής ισχύος. Αυτοί οι χάρτες δημιουργήθηκαν με τις επόμενες συναρτήσεις που ενσωματώνονται στο περιβάλλον Matlab και χρησιμοποιούν τα αρχεία δεδομένων που δημιουργήθηκαν από το λογισμικό EEGprocessing.

#### Function EEGmapAbs2()

Παράγει δύο αρχεία εικόνας, τα οποία περιέχουν 8 χάρτες το καθένα για τους ρυθμούς του ΗΕΓ (δέλτα, θήτα, άλφα 1, άλφα 2, συνολικό άλφα, βήτα, γάμα, βήτα + γάμα). Τα δεδομένα διαβάζονται από τα αρχεία s1DFT.txt και s2DFT.txt που περιέχουν απόλυτες τιμές φασματικής ισχύος για τα δυο σήματα που παρουσιάζονται στους χάρτες. Οι χάρτες είναι κανονικοποιημένοι ως προς τον μέσο όρο όλων των ρυθμών και των δύο σημάτων. Έτσι τονίζονται συγκριτικά οι κυρίαρχοι ρυθμοί κάθε σήματος.

```
clear all; clc;
% ch: channel coordinates
x = [52 52 127 199 270 120 199 274 121 199 273 107 199 287 113
     199 289 340 340];
y = [147 235 191 191 191 130 119 126 255 259 251 71 47 74 314
     332 304 147 235];
ch = [x y];

disp('*** 1st signal is calculated ...***')
s1F=load('s1DFT.txt'); s1max=max(max(s1F)); %reads first signal
figure; title('signal 1');
[z1,map1]=eegplotA2(s1F(:,1),ch,s1max,1,[],[]);
    subplot(3,3,1),imshow(z1);title('signal-1 delta');
[z2,map2]=eegplotA2(s1F(:,2),ch,s1max,1,[],[]);subplot(3,3,2),imshow(z2);title('signa
l-1 theta');
[z3,map3]=eegplotA2(s1F(:,3),ch,s1max,1,[],[]);subplot(3,3,4),imshow(z3);title('signa
l-1 a1');
[z4,map4]=eegplotA2(s1F(:,4),ch,s1max,1,[],[]);subplot(3,3,5),imshow(z4);title('signa
l-1 a2');
[z5,map5]=eegplotA2(s1F(:,5),ch,s1max,1,[],[]);subplot(3,3,7),imshow(z5);title('signa
l-1 beta');
[z6,map6]=eegplotA2(s1F(:,6),ch,s1max,1,[],[]);subplot(3,3,8),imshow(z6);title('signa
l-1 gama');
[z7,map7]=eegplotA2(s1F(:,7),ch,s1max,1,[],[]);subplot(3,3,9),imshow(z7);title('signa
l-1 beta+gama');
[z8,map8]=eegplotA2(s1F(:,8),ch,s1max,1,[],[]);subplot(3,3,6),imshow(z8);title('signa
l-1 alpha');
colormap(map1); saveas(gcf,'As1.jpg');
```

```
clear z1 z2 z3 z4 z5 z6 z7 z8 map1 map2 map3 map4 map5 map6 map7 map8;

disp('*** 2nd signal is calculated ...***')
s2F=load('s2DFT.txt'); s2max=max(max(s2F)); %reads second signal
figure; title('signal 2');
[z1,map1]=eegplotA2(s2F(:,1),ch,s2max,1,[],[]);
    subplot(3,3,1),imshow(z1);title('signal-2 delta');
[z2,map2]=eegplotA2(s2F(:,2),ch,s2max,1,[],[]);subplot(3,3,2),imshow(z2);title('signa
l-2 theta');
[z3,map3]=eegplotA2(s2F(:,3),ch,s2max,1,[],[]);subplot(3,3,4),imshow(z3);title('signa
l-2 a1');
[z4,map4]=eegplotA2(s2F(:,4),ch,s2max,1,[],[]);subplot(3,3,5),imshow(z4);title('signa
l-2 a2');
[z5,map5]=eegplotA2(s2F(:,5),ch,s2max,1,[],[]);subplot(3,3,7),imshow(z5);title('signa
l-2 beta');
[z6,map6]=eegplotA2(s2F(:,6),ch,s2max,1,[],[]);subplot(3,3,8),imshow(z6);title('signa
l-2 gama');
[z7,map7]=eegplotA2(s2F(:,7),ch,s2max,1,[],[]);subplot(3,3,9),imshow(z7);title('signa
l-2 beta+gama');
[z8,map8]=eegplotA2(s2F(:,8),ch,s2max,1,[],[]);subplot(3,3,6),imshow(z8);title('signa
l-2 alpha');
colormap(map1); saveas(gcf,'As2.jpg');
```

### Function EEGmapAbsD2()

Παράγει 8 αρχεία εικόνας, ένα για κάθε ρυθμό του ΗΕΓ (δέλτα, θήτα, άλφα 1, άλφα 2, συνολικό άλφα, βήτα, γάμα, βήτα + γάμα). Σε κάθε αρχείο παρουσιάζονται δύο χάρτες, κανονικοποιημένοι ως προς τον κοινό τους μέσο όρο, αριστερά για το 1<sup>ο</sup> σήμα και δεξιά για το 2<sup>ο</sup>. Τα δεδομένα διαβάζονται από τα αρχεία s1DFT.txt και s2DFT.txt τα οποία περιέχουν απόλυτες τιμές φασματικής ισχύος για τα δυο σήματα που παρουσιάζονται στους χάρτες.

Με αυτούς τους χάρτες γίνεται ουσιαστικά η σύγκριση κάθε ρυθμού στα δύο περιβάλλοντα (σήμα 1 για το πραγματικό και σήμα 2 για το εικονικό περιβάλλον). Αν εντούτοις το ένα περιβάλλον είναι αρκετά ασθενέστερο από το άλλο σε κάποιο ρυθμό, τότε η επόμενη υπορουτίνα (EEGmapAbsD( )) για να αναδείξει την κατανομή του ρυθμού στο ασθενέστερο περιβάλλον.

```
clear all; clc;
% ch: channel coordinates
x = [52 52 127 199 270 120 199 274 121 199 273 107 199 287 113
    199 289 340 340]';
y = [147 235 191 191 191 130 119 126 255 259 251 71 47 74 314
    332 304 147 235]';
ch = [x y];
disp('*** Computing distributed paired absolute power maps ...***')
```

```

s1F=load('s1DFT.txt'); s2F=load('s2DFT.txt');

smax=max(max(s1F(:,1)),max(s2F(:,1)));
[z1,map1]=eegplotA2(s1F(:,1),ch,smax,1,[],[]);
    subplot(1,2,1),imshow(z1);title('signal-1 delta');colormap(map1);
[z2,map2]=eegplotA2(s2F(:,1),ch,smax,1,[],[]);
    subplot(1,2,2),imshow(z2);title('signal-2 delta');colormap(map2);
saveas(gcf,'D-δ.jpg'); clear z1 z2 map1 map2;
% Ειδικά για το δ ρυθμό παράγονται ξεχωριστές εικόνες για να υπάρχουν και
colorbar
% eegplotA(s1F(:,1),ch,[],1,[],[]);title('signal-1 delta'); saveas(gcf,'Ds1-δ.jpg');
% eegplotA(s2F(:,1),ch,[],1,[],[]);title('signal-2 delta'); saveas(gcf,'Ds2-δ.jpg');

smax=max(max(s1F(:,2)),max(s2F(:,2)));
[z1,map1]=eegplotA2(s1F(:,2),ch,smax,1,[],[]);
    subplot(1,2,1),imshow(z1);title('signal-1 theta');colormap(map1);
[z2,map2]=eegplotA2(s2F(:,2),ch,smax,1,[],[]);
    subplot(1,2,2),imshow(z2);title('signal-2 theta');colormap(map2);
saveas(gcf,'D-θ.jpg'); clear z1 z2 map1 map2;

smax=max(max(s1F(:,3)),max(s2F(:,3)));
[z1,map1]=eegplotA2(s1F(:,3),ch,smax,1,[],[]);
    subplot(1,2,1),imshow(z1);title('signal-1 α1');colormap(map1);
[z2,map2]=eegplotA2(s2F(:,3),ch,smax,1,[],[]);
    subplot(1,2,2),imshow(z2);title('signal-2 α1');colormap(map2);
saveas(gcf,'D-α1.jpg'); clear z1 z2 map1 map2;

smax=max(max(s1F(:,4)),max(s2F(:,4)));
[z1,map1]=eegplotA2(s1F(:,4),ch,smax,1,[],[]);
    subplot(1,2,1),imshow(z1);title('signal-1 α2');colormap(map1);
[z2,map2]=eegplotA2(s2F(:,4),ch,smax,1,[],[]);
    subplot(1,2,2),imshow(z2);title('signal-2 α2');colormap(map2);
saveas(gcf,'D-α2.jpg'); clear z1 z2 map1 map2;

smax=max(max(s1F(:,5)),max(s2F(:,5)));
[z1,map1]=eegplotA2(s1F(:,5),ch,smax,1,[],[]);
    subplot(1,2,1),imshow(z1);title('signal-1 beta');colormap(map1);
[z2,map2]=eegplotA2(s2F(:,5),ch,smax,1,[],[]);
    subplot(1,2,2),imshow(z2);title('signal-2 beta');colormap(map2);
saveas(gcf,'D-β.jpg'); clear z1 z2 map1 map2;

smax=max(max(s1F(:,6)),max(s2F(:,6)));
[z1,map1]=eegplotA2(s1F(:,6),ch,smax,1,[],[]);
    subplot(1,2,1),imshow(z1);title('signal-1 gama');colormap(map1);
[z2,map2]=eegplotA2(s2F(:,6),ch,smax,1,[],[]);
    subplot(1,2,2),imshow(z2);title('signal-2 gama');colormap(map2);
saveas(gcf,'D-γ.jpg'); clear z1 z2 map1 map2;

smax=max(max(s1F(:,7)),max(s2F(:,7)));

```

```
[z1,map1]=eegplotA2(s1F(:,7),ch,smax,1,[],[]);
    subplot(1,2,1),imshow(z1);title('signal-1 beta+gama');colormap(map1);
[z2,map2]=eegplotA2(s2F(:,7),ch,smax,1,[],[]);
    subplot(1,2,2),imshow(z2);title('signal-2 beta+gama');colormap(map2);
saveas(gcf,'D-β+γ.jpg'); clear z1 z2 map1 map2;

smax=max(max(s1F(:,8)),max(s2F(:,8)));
[z1,map1]=eegplotA2(s1F(:,8),ch,smax,1,[],[]);
    subplot(1,2,1),imshow(z1);title('signal-1 α');colormap(map1);
[z2,map2]=eegplotA2(s2F(:,8),ch,smax,1,[],[]);
    subplot(1,2,2),imshow(z2);title('signal-2 α');colormap(map2);
saveas(gcf,'D-α.jpg'); clear z1 z2 map1 map2;
```

### Function EEGmapAbsD()

Παράγει 16 αρχεία εικόνας, ένα για κάθε ρυθμό του ΗΕΓ (δέλτα, θήτα, άλφα 1, άλφα 2, συνολικό άλφα, βήτα, γάμα, βήτα + γάμα) για τα δύο σήματα (πραγματικό και εικονικό περιβάλλον). Σε κάθε αρχείο παρουσιάζεται ένας χάρτης χωρίς καμία συσχέτιση ή κανονικοποίηση με τους άλλους (κάθε χάρτης έχει δική του ανεξάρτητη βαθμονόμηση). Τα δεδομένα διαβάζονται από τα αρχεία s1DFT.txt και s2DFT.txt τα οποία περιέχουν απόλυτες τιμές φασματικής ισχύος για τα δυο σήματα που παρουσιάζονται στους χάρτες.

Με αυτούς τους χάρτες αναδुकνύεται πλήρως η κατανομή κάθε ρυθμού κάθε περιβάλλοντος, ανεξάρτητα από τους άλλους ρυθμούς ή το άλλο περιβάλλον.

```
clear all; clc;
% ch: channel coordinates
x = [52 52 127 199 270 120 199 274 121 199 273 107 199 287 113
    199 289 340 340]';
y = [147 235 191 191 191 130 119 126 255 259 251 71 47 74 314
    332 304 147 235]';
ch = [x y];
disp('*** Wait...***')
%reads first signal
s1F=load('s1DFT.txt');
eegplotA(s1F(:,1),ch,[],1,[],[]);title('signal-1 delta'); saveas(gcf,'Ds1-δ.jpg');
eegplotA(s1F(:,2),ch,[],1,[],[]);title('signal-1 theta'); saveas(gcf,'Ds1-θ.jpg');
eegplotA(s1F(:,3),ch,[],1,[],[]);title('signal-1 α1'); saveas(gcf,'Ds1-α1.jpg');
eegplotA(s1F(:,4),ch,[],1,[],[]);title('signal-1 α2'); saveas(gcf,'Ds1-α2.jpg');
eegplotA(s1F(:,5),ch,[],1,[],[]);title('signal-1 beta'); saveas(gcf,'Ds1-β.jpg');
eegplotA(s1F(:,6),ch,[],1,[],[]);title('signal-1 gama'); saveas(gcf,'Ds1-γ.jpg');
eegplotA(s1F(:,7),ch,[],1,[],[]);title('signal-1 beta+gama'); saveas(gcf,'Ds1-β+γ.jpg');
eegplotA(s1F(:,8),ch,[],1,[],[]);title('signal-1 alpha'); saveas(gcf,'Ds1-α.jpg');

%reads second signal
s2F=load('s2DFT.txt');
```



```
eegplotA(s2F(:,1),ch,[],1,[],[]);title('signal-2 delta'); saveas(gcf,'Ds2-δ.jpg');
eegplotA(s2F(:,2),ch,[],1,[],[]);title('signal-2 theta'); saveas(gcf,'Ds2-θ.jpg');
eegplotA(s2F(:,3),ch,[],1,[],[]);title('signal-2 a1'); saveas(gcf,'Ds2-α1.jpg');
eegplotA(s2F(:,4),ch,[],1,[],[]);title('signal-2 a2'); saveas(gcf,'Ds2-α2.jpg');
eegplotA(s2F(:,5),ch,[],1,[],[]);title('signal-2 beta'); saveas(gcf,'Ds2-β.jpg');
eegplotA(s2F(:,6),ch,[],1,[],[]);title('signal-2 gama'); saveas(gcf,'Ds2-γ.jpg');
eegplotA(s2F(:,7),ch,[],1,[],[]);title('signal-2 beta+gama'); saveas(gcf,'Ds2-β+γ.jpg');
eegplotA(s2F(:,8),ch,[],1,[],[]);title('signal-2 alpha'); saveas(gcf,'Ds2-α.jpg');
```

### Function eegplotA()

Αυτή η υπορουτίνα χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του χάρτη ΗΕΓ ενός σήματος, το οποίο περνιέται ως παράμετρος εισόδου (σε μορφή πίνακα).

```
function [z,map]=eegplotA(mag,ch,unorm,ch_disp,method,color_res)
% [z,map]=eegplot(mag,ch,unorm,ch_disp,method,color_res)
%
% Plots Topographic map from scattered data points on a head.
% Outputs
% z -Interpolated Indexed image (397x392 matrix)
% map -Colormap for z (slightly modified version of the 'jet' map)
%
% Inputs
% mag - Scattered original data values. Should be a row vector (n x 1). The first
% value corresponds to the first channel selected, and the last value to the last
% channel selected.
%
% ch -Channel coordinates from the image. To select channels interactively, set
% ch=[] ; You can use the GINPUT function to get the cordيناتes of the channel from
%the 'brain2.jpg' image and use it in ch ie (3 channels):
% brain=imread('brain2.jpg');
% imshow(brain)
% [y x]=ginput(3);
% ch=[x y];
%
% unorm -Optional. If left empty, will normalize the data for better display.
% If it has a value, will normalize the data in this value.
%
% ch_disp -Optional.Displays the channels that you have selected (black).
%
% method -Type of interpolation to be used in GRIDADATA to interpolate the
% pixel values. Options for interpolation methods are:
%
% 'linear' Triangle-based linear interpolation
% 'cubic' Triangle-based cubic interpolation (default)
% 'nearest' Nearest neighbor interpolation
% 'v4' MATLAB 4 griddata method (very slow- not recommended)
%
% color_res - Set the color resolution in the colorbar. Maximum resolution is 256
```

```

% (also default if left empty).
%
% ***Example 1
% load example_data
% load eegplotdat
% mag=exp(0.009.*[1:67]);
% eegplot(mag,ch,[],[],[],[]);
% figure;imshow(brain);
%
% ***Example 2 - Interactive
% close all
% mag=rand(5,1);
% eegplot(mag,[],[],1,'nearest',[]);

load eegplotdat

if isempty(ch),
    disp('***Select Channel Values From Image-- Hit Return When Done***')
    figure;imshow(brain);
    nch=length(mag);
    str=['Select ',num2str(nch),' Electrodes from the 10/20 Electrode ',...
        'Position System (Maurer, 1999)'];
    title(str);
    [chy, chx]=ginput;
    close
    if(length(chx)~=length(mag))
        error('Number of channels selected does not match size of data input!!');
        return
    end
else
    chx=ch(:,1);
    chy=ch(:,2);
    if(length(chx)~=length(mag))
        error('Number of channels selected does not match size of data input!!');
        return
    end
end
%disp('*** Wait...***')
chx=floor(chx);
chy=floor(chy);

if isempty(color_res),
    N=256;
elseif(color_res >255),
    N=256;
    disp('***Colorbar Resolution set to 255 values***');
else
    N=color_res;
end

```

---

```

I=zeros(397,392);

%Normalize Data
if isempty(unorm) %normalize data in the max value
    if (min(mag(:)) < 0),
        mag = (mag - min(mag(:)) );
    end
    mag= mag./(max(mag(:)));
else
    mag= mag./unorm; %normalize data in the given value unorm
end
mag=[mag ; zeros(1089,1)];

%Set Image values equal to input values
for i=1:length(chx),
    I(chx(i),chy(i))=mag(i);
end

cx=chx;cy=chy;
chx=[chx ; mx];
chy=[chy ; my];

x=[1:392];
y=[1:397];
[xx,yy] = meshgrid(x,y);

if isempty(method),
    z = griddata(chy,chx,mag,xx,yy,'cubic');
else
    z = griddata(chy,chx,mag,xx,yy,method);
end

%Save memory
clear chy chx mag xx yy x y brain str nch

%Adjust colorbar to include black background
ma=max(z(:));
mi=min(z(:));
step=(ma-mi)/(N-2);
black= mi + (-1)*step;
z(isnan(z))=black;

%Set Electrode sites equal to black
if (~isempty(ch_disp)),
    for i=1:length(cx),
        z(cx(i),cy(i))=black;    z(cx(i)+1,cy(i))=black;
        z(cx(i)-1,cy(i))=black;    z(cx(i)-1,cy(i)-1)=black;
        z(cx(i),cy(i)-1)=black;    z(cx(i)+1,cy(i)-1)=black;
        z(cx(i)-1,cy(i)+1)=black;    z(cx(i),cy(i)+1)=black;
    end
end

```

---

```

        z(cx(i)+1,cy(i)+1)=black;
    end
end

```

```

%Display
figure;imshow(z);
map=colormap(jet(N));
map(1,:)= [0 0 0];
colormap(map)
colorbar

```

### Function eegplotA2()

Αυτή η υπορουτίνα χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του χάρτη ΗΕΓ ενός σήματος όπως και η υπορουτίνα eegplotA() με τη βασική διαφορά ότι κανονικοποιεί όλες τις τιμές χρησιμοποιώντας την παράμετρο εισόδου unorm. Χρησιμοποιείται στις υπορουτίνες που παρουσιάζουν συγκριτικά δύο ή περισσότερους χάρτες μαζί.

```

function [z,map]=eegplotA(mag,ch,unorm,ch_disp,method,color_res)
load eegplotdat

```

```

if(isempty(ch)),
    disp('***Select Channel Values From Image-- Hit Return When Done***')
    figure;imshow(brain);
    nch=length(mag);
    str=['Select ',num2str(nch),' Electrodes from the 10/20 Electrode ',...
        'Position System (Maurer, 1999)'];
    title(str);
    [chy,ctx]=ginput;
    close
    if(length(ctx)~=length(mag))
        error('Number of channels selected does not match size of data input!!');
        return
    end
else
    ctx=ch(:,1);
    chy=ch(:,2);
    if(length(ctx)~=length(mag))
        error('Number of channels selected does not match size of data input!!');
        return
    end
end
end

```

```

ctx=floor(ctx);
chy=floor(chy);

```

```

if(isempty(color_res)),
    N=256;

```

```

elseif(color_res >255),
    N=256;
    disp('***Colorbar Resolution set to 255 values***');
else
    N=color_res;
end

I=zeros(397,392);

%Normalize Data
if(isempty(unorm)) %normalize data in the max value
    if (min(mag(:)) <0),
        mag = (mag - min(mag(:)) );
    end
    mag= mag./(max(mag(:)));
else
    mag= mag./unorm; %normalize data in the given value unorm
end
mag=[mag ; zeros(1089,1)];

%Set Image values equal to input values
for i=1:length(chx),
    I(chx(i),chy(i))=mag(i);
end

cx=chx;cy=chy;
chx=[chx ; mx];
chy=[chy ; my];

x=[1:392];
y=[1:397];
[xx,yy] = meshgrid(x,y);

if(isempty(method)),
    z = griddata(chy,chx,mag,xx,yy,'cubic');
else
    z = griddata(chy,chx,mag,xx,yy,method);
end

clear chy chx mag xx yy x y brain str nch %Save memory

%Adjust colorbar to include black background
ma=max(z(:));
mi=min(z(:));
step=(ma-mi)/(N-2);
black= mi + (-1)*step;
z(isnan(z))=black;

%Set Electrode sites equal to black
if(~isempty(ch_disp)),

```

```
for i=1:length(cx),
    z(cx(i),cy(i))=black;      z(cx(i)+1,cy(i))=black;
    z(cx(i)-1,cy(i))=black;   z(cx(i)-1,cy(i)-1)=black;
    z(cx(i),cy(i)-1)=black;   z(cx(i)+1,cy(i)-1)=black;
    z(cx(i)-1,cy(i)+1)=black; z(cx(i),cy(i)+1)=black;
    z(cx(i)+1,cy(i)+1)=black;
end
end

map=colormap(jet(N));
map(1,:)=[0 0 0];
```