



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ**

**ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ**

**ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΝΕΥΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ & ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΩΝ**

**ΝΕΥΡΟΛΟΓΙΚΗ ΚΛΙΝΙΚΗ**

**ΑΚΟΥΣΤΙΚΑ ΠΡΟΚΛΗΤΑ ΔΥΝΑΜΙΚΑ ΚΑΙ  
ΜΑΘΗΣΙΑΚΕΣ ΔΥΣΚΟΛΙΕΣ**

**ΚΟΥΝΗ ΣΟΦΙΑ**

**ΛΟΓΟΘΕΡΑΠΕΥΤΡΙΑ**

**ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

**ΙΩΑΝΝΙΝΑ 2015**





**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ**

**ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ**

**ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΝΕΥΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ & ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΩΝ**

**ΝΕΥΡΟΛΟΓΙΚΗ ΚΛΙΝΙΚΗ**

**ΑΚΟΥΣΤΙΚΑ ΠΡΟΚΛΗΤΑ ΔΥΝΑΜΙΚΑ ΚΑΙ  
ΜΑΘΗΣΙΑΚΕΣ ΔΥΣΚΟΛΙΕΣ**

**ΚΟΥΝΗ ΣΟΦΙΑ**

**ΛΟΓΟΘΕΡΑΠΕΥΤΡΙΑ**

**ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

**ΙΩΑΝΝΙΝΑ 2015**



« Η έγκριση της διδακτορικής διατριβής από το Τμήμα Ιατρικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα Ν.5343/32, άρθρο 202, παράγραφος 2 (νομική κατοχύρωση του Ιατρικού Τμήματος) ».



Ημερομηνία αίτησης της κ. Κούνη Σοφίας: 26-1-2010

Ημερομηνία ορισμού Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής: 683<sup>α</sup>/11-5-2010

**Μέλη Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής:**

Επιβλέπων

Γιαννόπουλος Σωτήριος Επίκουρος Καθηγητής Νευρολογίας του Τμήματος Ιατρικής της Σχολής Επιστημών Υγείας του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

Μέλη

Κουτσογιάννης Κωνσταντίνος Επίκουρος Καθηγητής Ιατρικής Φυσικής Ηλεκτροφυσιολογίας του Τμήματος Φυσιοθεραπείας του ΤΕΙ Πατρών

Ζιάβρα Ναυσικά Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Ακουστικής –Νευροατολογίας του Τμήματος Λογοθεραπείας του ΤΕΙ Ηπείρου

**Ημερομηνία ορισμού θέματος:** 31-5-2010

«Ακουστικά προκλητά δυναμικά και μαθησιακές δυσκολίες».

**ΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΕΠΤΑΜΕΛΟΥΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ** 769<sup>α</sup>/7-10-2014

<b>Γουδέβενος Ιωάννης</b>	Καθηγητής Καρδιολογίας του Τμήματος Ιατρικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων
<b>Ζιάβρα Ναυσικά</b>	Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Νευροατολογίας –Ακουστικής του Τμήματος Λογοθεραπείας του ΤΕΙ Ηπείρου
<b>Καστανιουδάκης Ιωάννης</b>	Αναπληρωτής Καθηγητής Ωτορινολαρυγγολογίας του Τμήματος Ιατρικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων
<b>Γιαννόπουλος Σωτήριος</b>	Αναπληρωτής Καθηγητής Νευρολογίας του Τμήματος Ιατρικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων
<b>Κοραντζόπουλος Παναγιώτης</b>	Επίκουρος Καθηγητής Καρδιολογίας του Τμήματος Ιατρικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων
<b>Κοσμίδου Μαρία</b>	Επίκουρη Καθηγήτρια Παθολογίας του Τμήματος Ιατρικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων
<b>Κουτσογιάννης Κωνσταντίνος</b>	Επίκουρος Καθηγητής Ιατρικής Φυσικής Ηλεκτροφυσιολογίας του Τμήματος Φυσιοθεραπείας του ΤΕΙ Πατρών

Έγκριση Διδακτορικής Διατριβής με βαθμό «ΑΡΙΣΤΑ» στις 2-3-2015

**ΠΡΟΕΔΡΟΣ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ**

**Μηνάς Πασχόπουλος**

Καθηγητής Μαιευτικής-Γυναικολογίας

**Η Γραμματέας του Τμήματος**



**ΜΑΡΙΑ ΚΑΠΙΤΟΠΟΥΛΟΥ**





## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Με την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους εκείνους που συνέβαλαν στην πραγματοποίησή της.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την τριμελή επιτροπή για τη βοήθεια που μου παρείχε κατά τη διάρκεια εκπόνησης αυτής της εργασίας.

Ευχαριστώ πάρα πολύ τους καθηγητές κ. Σ. Γιαννόπουλο και κα Ν. Ζιάβρα που μου έδωσαν την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα.

Ευχαριστώ τον επίκουρο καθηγητή κ. Κ. Κουτσογιάννη για τη βοήθεια που μου παρείχε σε όλα τα στάδια διεξαγωγής και ιδιαίτερα στην εκτέλεση του τεχνικού μέρους αυτής της έρευνας.

Τέλος δεν θα πρέπει να παραλείψω να αναφέρω τους γονείς μου και το σύζυγό μου για την υποστήριξη και τη βοήθειά τους όλο αυτό το χρονικό διάστημα.



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα μελέτη έγινε ως μια προσπάθεια εξακρίβωσης της καθυστέρησης των λανθανόντων χρόνων των ακουστικών προκλητών δυναμικών στους νευρώνες του εγκεφαλικού στελέχους, σε νεαρούς ενήλικες με μαθησιακές δυσκολίες. Επειδή τα άτομα με μαθησιακές δυσκολίες έχουν μια αδυναμία στην διάκριση ταχέως παρουσιαζόμενων ακουστικών ερεθισμάτων, στην συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά παγκοσμίως ειδικό λεκτικό ερέθισμα που αντιπροσωπεύει ομιλούμενη λέξη τόσο στην Ελληνική όσο και πολλές άλλες εθνικές γλώσσες και έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων ανάμεσα σε μια ομάδα φυσιολογικών νεαρών ενηλίκων και νεαρών ενηλίκων με μαθησιακές δυσκολίες.



## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	9
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	11
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	15
ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	19
ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	21
1. ΑΚΟΥΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	23
Α. ΑΝΑΤΟΜΙΑ	23
ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΝΕΥΡΙΚΗ ΟΔΟΣ	30
Β. ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ	33
ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΑΥΤΙΟΥ	33
ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ ΟΔΟΥ	35
2. ΠΡΟΚΛΗΤΑ ΔΥΝΑΜΙΚΑ	37
ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	37
ΑΚΟΥΣΤΙΚΑ ΠΡΟΚΛΗΤΑ ΔΥΝΑΜΙΚΑ	41
3. ΜΑΘΗΣΙΑΚΕΣ ΔΥΣΚΟΛΙΕΣ- ΔΥΣΛΕΞΙΑ	47
ΔΥΣΛΕΞΙΑ	48
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΔΥΣΛΕΞΙΑΣ	49
ΤΥΠΟΙ ΔΥΣΛΕΞΙΑΣ	50
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΥΣΛΕΞΙΑΣ	53
ΑΙΤΙΟΛΟΓΙΑ ΔΥΣΛΕΞΙΑΣ	56
ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	63

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	65
Α.ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	65
ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΠΡΟΚΛΗΤΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ	65
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΣΤΗΝ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΠΡΟΚΛΗΤΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ	73
ΤΡΟΠΟΙ ΑΠΟΦΥΓΗΣ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΑΠΟ ΤΕΧΝΙΚΟΥΣ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	77
Β.ΥΛΙΚΟ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ	80
ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	80
ΕΡΕΘΙΣΜΑ	81
ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	87
Γ.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	93
Δ.ΣΥΖΗΤΗΣΗ	97
Ε.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	102
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	103
SUMMARY	107
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	109

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι μαθησιακές δυσκολίες είναι μια ομάδα διαταραχών που σχετίζονται με την κατανόηση ή την χρήση της γλώσσας, προφορικής ή γραπτής και οι οποίες μπορεί να εκδηλωθούν με μια μειωμένη ικανότητα στην ανάγνωση, στη γραφή, στην ομιλία και στους μαθηματικούς υπολογισμούς. Παρά τις δεκαετίες εντατικής έρευνας, οι βιολογικές βάσεις των μαθησιακών δυσκολιών, που επηρεάζουν περίπου το 15% των παιδιών σχολικού περιβάλλοντος<sup>1</sup>, δεν είναι πλήρως κατανοητές. Ως εκ τούτου, η αντικειμενική και έγκαιρη διάγνωση των μαθησιακών δυσκολιών, που είναι επιθυμητή από θεραπευτική και εκπαιδευτική άποψη, παραμένει ένα περίπλοκο θέμα<sup>2</sup>. Η δυσλεξία είναι μια κατάσταση που χαρακτηρίζεται από απρόσμενη δυσκολία στην εκμάθηση της ανάγνωσης, μειωμένη ικανότητα διάκρισης γρήγορα παρουσιαζόμενων ακουστικών ερεθισμάτων και ήπια ελλείμματα στην αντίληψη του λόγου, παρά τη φυσιολογική νοημοσύνη του ατόμου<sup>3-5</sup>.

Οι πρώτες ανακαλύψεις στα προκλητά δυναμικά έγιναν από τον Άγγλο φυσιολόγο Richard Barton, που το 1875 παρουσίασε προκλητές αυτόνομες ηλεκτρικές δραστηριότητες στον εγκέφαλο κουνελιού. Η ιστορία όμως των προκλητών δυναμικών ξεκινά από τον Hallowell Davis, τον πατέρα αυτού του πεδίου, ο οποίος το 1932 κατέγραψε ηλεκτρικά δυναμικά στο ανθρώπινο κρανίο σαν απόκριση σε απλούς ήχους. Γενικά υπήρχε πολύ μικρή εξέλιξη στην ανάπτυξη της καταγραφής των προκλητών δυναμικών μέχρι την υλοποίηση της ηλεκτρονικής άθροισης και εξαγωγής του μέσου όρου πολλών καταγραφών από τον Dawson το 1954. Το σύστημα αυτό ήταν πια

δυνατό να φέρει στην επιφάνεια, αφού καταγράψει τα προκλητά δυναμικά μέσα από την πολύ μεγαλύτερη και τυχαία ηλεκτρική εγκεφαλική δραστηριότητα, αθροίζοντας αποκρίσεις πολλών επαναλαμβανόμενων διεγέρσεων σε κάποιο σημείο του κεντρικού νευρικού συστήματος. Ο ηλεκτρονικός αυτός αθροιστής συμμετέχει από τότε σε πάρα πολλές εφαρμογές όπου απαιτούνται αθροιζόμενα προκλητά δυναμικά. Το 1960 ο Geisler<sup>6</sup> περιέγραψε για πρώτη φορά τα Ακουστικά Προκλητά Δυναμικά (ΑΠΔ) από ήχους που περιείχαν ευρύ φάσμα συχνοτήτων (click). Οι Jewett & Williston<sup>7</sup> προσδιόρισαν τους πυρήνες των ακουστικών προκλητών δυναμικών εγκεφαλικού στελέχους (ABR) τό 1970-1971. Οι πρώτες χρήσεις στην ακοομετρία που έγιναν από τους Hecox & Galambos<sup>8</sup> το 1974 αλλά και η διαφορική διάγνωση των ακουστικών νευρινωμάτων από τους Selters & Bracmann<sup>9</sup> έδωσαν νέα ώθηση στις εφαρμογές των ακουστικών προκλητών δυναμικών μετά το 1980 τόσο στην νευρολογία και στην νηπιακή ακοομετρία. Από τότε τα ακουστικά προκλητά δυναμικά έχουν εκτιμηθεί ιδιαίτερα όσον αφορά την ακοολογική και νευρολογική τους αξία. Σήμερα αποτελούν απαραίτητο κομμάτι του κλινικού εξοπλισμού. Η αξία τους, ιδιαίτερα στην εύρεση της οδού ακοής και στον εντοπισμό των οπισθοκοχλιακών βλαβών είναι μοναδική.

Τα ακουστικά προκλητά δυναμικά εγκεφαλικού στελέχους παρέχουν μια ευαίσθητη μη επεμβατική νευροφυσιολογική μέθοδο για την αξιολόγηση της ικανότητας ενός ατόμου να επεξεργάζεται το λόγο, η οποία λόγω ακουστικών, γλωσσικών ή / και γνωστικών παραγόντων δεν μπορεί να εκτιμηθεί με αξιοπιστία χρησιμοποιώντας τα τυπικά διαθέσιμα μέτρα<sup>10</sup>.



Μελέτες έχουν επίσης δείξει ότι τα ακουστικά προκλητά δυναμικά εγκεφαλικού στελέχους μπορεί να είναι ένα ισχυρό εργαλείο στην μελέτη της γνωστικής ανάπτυξης και τις διαταραχές της που σχετίζονται με την ωρίμανση του εγκεφάλου και την παιδική ηλικία<sup>11</sup>.

Τα ακουστικά προκλητά δυναμικά εγκεφαλικού στελέχους καταγράφουν τα ηλεκτρικά γεγονότα που συμβαίνουν κατά μήκος της ακουστικής μοίρας του εγκεφαλικού στελέχους μετά από ένα παροδικό ακουστικό ερέθισμα. Στα ακουστικά προκλητά δυναμικά εγκεφαλικού στελέχους οι κορυφές των κυμάτων I έως V είναι πιο πιθανό να δημιουργούνται από το κοχλιακό νεύρο, τον κοχλιακό πυρήνα, την άνω ελαία, τον πλευρικό λημνίσκο και τα κάτω διδύμια, αντιστοίχως<sup>12</sup>. Για τις μετρήσεις χρησιμοποιούνται ηλεκτρόδια τοποθετημένα στο κρανίο τα οποία εντοπίζουν ηλεκτρικά δυναμικά που παράγονται από την ταυτόχρονη δραστηριότητα πληθυσμών νευρώνων μέσα στο εγκεφαλικό στέλεχος. Έτσι, με την ανάλυση των ακουστικών προκλητών δυναμικών εγκεφαλικού στελέχους, είναι δυνατόν να εντοπιστούν αλλοιώσεις σε συγκεκριμένα τμήματα της ακουστικής οδού.

Επειδή αυτές οι νευρωνικές αποκρίσεις μπορούν να καταγραφούν αντικειμενικά και παθητικά χωρίς την συνεργασία του ατόμου, προσφέρουν ένα εξαιρετικό μέσο για την αξιολόγηση της ακουστικής λειτουργίας σε ένα κλινικό περιβάλλον. Για αυτό το λόγο, τα ακουστικά προκλητά δυναμικά έχουν ένα ευρύ αριθμό κλινικών και ερευνητικών εφαρμογών. Έχουν χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο του ακουστικού νευρινώματος<sup>13</sup>, για την αξιολόγηση αιθουσαίων μυογενών προκλητών δυναμικών<sup>14</sup>, για έλεγχο νεογνικής απώλειας ακοής<sup>15</sup> και έλεγχο για τη σκλήρυνση κατά πλάκας<sup>16</sup>. Παθολογικά ακουστικά προκλητά δυναμικά

εγκεφαλικού στελέχους έχουν επίσης βρεθεί, στην ισχαιμική καρδιοπάθεια <sup>17</sup>, σε περιπτώσεις κατάχρησης φαρμάκων <sup>18</sup>, στο διαβήτη <sup>19,20</sup>, σε τραύμα <sup>21</sup>, στην υπερλιπιδαιμία <sup>22</sup>, στο συστηματικό ερυθματώδη λύκο <sup>23</sup>, στη σχιζοφρένεια <sup>24</sup> και στη δυσλεξία <sup>25</sup>.

Τα μη λεκτικά ακουστικά ερεθίσματα που χρησιμοποιούνται πιο συχνά στα ακουστικά προκλητά δυναμικά εγκεφαλικού στελέχους (όπως είναι τα "κλικ" ή οι "τόνοι"), μπορεί να προκαλέσουν μια συγχρονική απάντηση από έναν μεγάλο αριθμό νευρώνων, έχουν ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων και η απόκρισή τους παρέχει πληροφορίες για τους πυρήνες του εγκεφαλικού στελέχους κατά μήκος της ανερχόμενης ακουστικής οδού<sup>26</sup>. Οι αποκρίσεις του εγκεφαλικού στελέχους σε τέτοια απλά ερεθίσματα έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στην κλινική πράξη για την αξιολόγηση της ακεραιότητας της ακουστικής οδού <sup>27, 28</sup>.

Ωστόσο, τα μη λεκτικά ερεθίσματα δεν παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την πραγματική επεξεργασία των ήχων της ομιλίας. Για το λόγο αυτό, έχουν χρησιμοποιηθεί πειραματικά ακουστικά προκλητά δυναμικά εγκεφαλικού στελέχους που προκαλούνται από πιο πολύπλοκα ερεθίσματα ή πολύπλοκες ακουστικές αποκρίσεις του εγκεφάλου, όπως είναι η ομιλία και μουσική <sup>28-31</sup>. Μη φυσιολογικές ηλεκτροφυσιολογικές αποκρίσεις με λεκτικά ερεθίσματα στο επίπεδο του εγκεφαλικού στελέχους, έχουν συσχετιστεί με ένα ευρύ φάσμα διαγνωσθέντων μαθησιακών προβλημάτων <sup>32,33</sup>. Επομένως, η μελέτη της κωδικοποίησης ενός λεκτικού ήχου στο εγκεφαλικό στέλεχος είναι υψίστης σημασίας και μία πλήρης περιγραφή του τρόπου με τον οποίο το ακουστικό σύστημα αποκρίνεται στην ομιλία μπορεί να επιτευχθεί μόνο με τη χρήση λεκτικού ερεθίσματος

## ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Στην παρούσα ερευνητική εργασία επιχειρήθηκε για πρώτη φορά παγκοσμίως η ανάλυση ακουστικών προκλητών δυναμικών εγκεφαλικού στελέχους με γρήγορο και υψηλής συχνότητας δισύλλαβο επαναλαμβανόμενο λεκτικό ερέθισμα-λέξη “μπα-μπα” (“baba”). Η δισύλλαβη αυτή λέξη εμπεριέχει συχνότητες συναφείς με το μονοσύλλαβο “ντα” (“da”) που έχει χρησιμοποιηθεί, μέχρι τώρα, από άλλους ερευνητές ως και ακουστικά στοιχεία παρόμοια με το “ντα”. Επιπλέον η λέξη “μπαμπά” με την γνωστή της έννοια χρησιμοποιείται εκτός από την Ελληνική γλώσσα και σε άλλες εθνικές γλώσσες όπως Αραβική, Σλαβική, Κινέζικη, Τουρκική και σε γλώσσες χωρών που εκτείνονται από την δυτική Αφρική και ανατολική Μεσόγειο μέχρι την Άπω Ανατολή και που αποτελούν τον περισσότερο πληθυσμό της Γης. Μέχρι τώρα η ανάλυση ακουστικών προκλητών δυναμικών εγκεφαλικού στελέχους έχει γίνει με το μονοσύλλαβο λεκτικό ερέθισμα “da” σε γλώσσες όπως Αγγλική, Γαλλική, Ισπανική, Καταλανική και Περσική. Όμως, για τους αυτόχθονες αυτούς πληθυσμούς που μιλούν διαφορετική γλώσσα το μονοσύλλαβο Αγγλικό ερέθισμα “da” μπορεί να έχει διαφορές στην αποκωδικοποίηση από το εγκεφαλικό στέλεχος. Για τον λόγο λοιπόν αυτό το δισύλλαβο επαναλαμβανόμενο λεκτικό ερέθισμα-λέξη “μπα-μπα” (“baba”) που χρησιμοποιείται από τον μεγαλύτερο πληθυσμό του κόσμου θεωρείται ότι θα έχει την ίδια αποκωδικοποίηση από το εγκεφαλικό στέλεχος και τα αποτελέσματα των σχετικών μετρήσεων θα είναι πιο έγκυρα αλλά και πιο αντιπροσωπευτικά.

Στην παρούσα έρευνα πραγματοποιείται χρήση και ανάλυση ακουστικών προκλητών δυναμικών εγκεφαλικού στελέχους με γρήγορο και υψηλής

συχνότητας λεκτικό ερέθισμα (baba) και η σύγκριση τους με ακουστικά προκλητά δυναμικά εγκεφαλικού στελέχους που παράγονται με το κλασικό ηχητικό ερέθισμα ευρέος φάσματος συχνοτήτων (κλικ), σε νεαρούς ενήλικες με δυσλεξία.

Χρησιμοποιώντας ένα τέτοιο μοντέλο, οι ερευνητές θα μπορούν να διαγνώσουν διαταραχές που αφορούν τη δυσλεξία και να αρχίσουν τη θεραπευτική παρέμβαση και αποκατάσταση όσο πιο γρήγορα γίνεται.

# **ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**



## 1. ΑΚΟΥΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Για να μελετήσει κανείς τα ακουστικά προκλητά δυναμικά του εγκεφαλικού στελέχους είναι απαραίτητη η λεπτομερής γνώση του ανατομικού υποστρώματος του ακουστικού συστήματος.

### A. ΑΝΑΤΟΜΙΑ

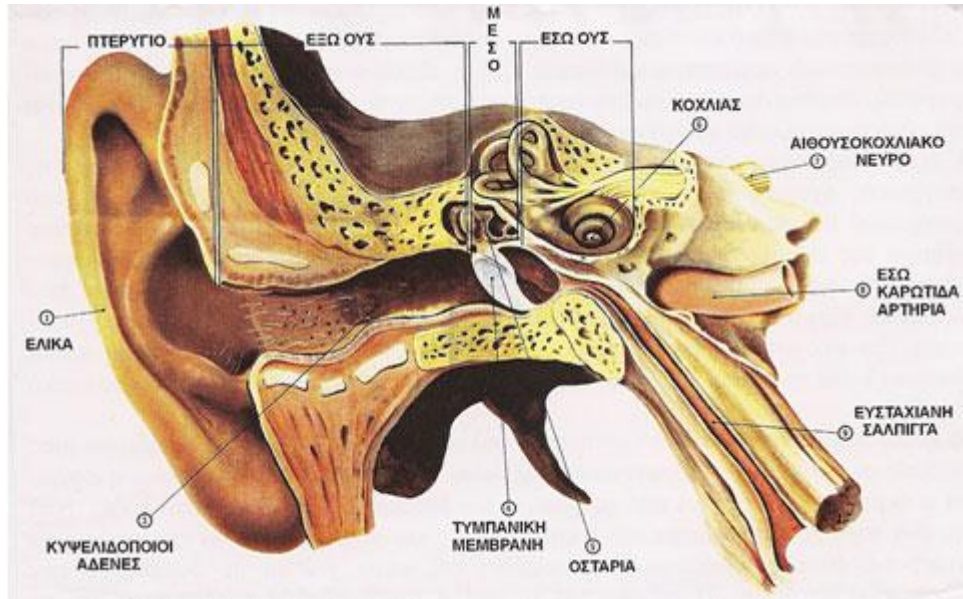
Το όργανο της ακοής, δηλαδή το αυτί, περικλείεται στο κροταφικό οστό. Διαιρείται σε τρία μέρη: το *εξωτερικό αυτί*, το *μέσο* και το *εσωτερικό αυτί* (*λαβύρινθος*). Ο λαβύρινθος περιέχει τα όργανα ακοής και ισορροπίας.

#### ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΑΥΤΙ

Το εξωτερικό αυτί αποτελείται από το *περύγιο* και τον *έξω ακουστικό πόρο*. Το *περύγιο* έχει χαρακτηριστικό σχήμα και χρησιμεύει για τη συλλογή των ηχητικών κυμάτων. Αποτελείται από λεπτό πέταλο ελαστικού χόνδρου και καλύπτεται από δέρμα. Έχει ετερόχθονες και αυτόχθονες μυς που νευρώνονται από το προσωπικό νεύρο (Εικόνα 1).

Ο *έξω ακουστικός πόρος* είναι ελικοειδής σωλήνας, ο οποίος εκτείνεται από το περύγιο ως τον τυμπανικό υμένα και έχει μήκος 2,5 έως 3 εκατοστά. Χρησιμεύει για την μεταβίβαση ηχητικών κυμάτων από το περύγιο προς τον τυμπανικό υμένα. Εσωτερικά επενδύεται από δέρμα. Εξωτερικά φέρει τρίχες, σμηγματογόνους αδένες και κυψελιδοποιούς αδένες. Οι τελευταίοι αυτοί αδένες είναι τροποποιημένοι ιδρωτοποιοί αδένες, οι οποίοι εκκρίνουν ένα υποκίτρινο έκκριμα. Οι τρίχες και το

έκκριμα των κυψελιδοποιών αδένων αποτελούν φράγμα που παρεμποδίζει την είσοδο ξένων σωμάτων. Η αισθητική νεύρωση του δέρματος που επενδύει τον έξω ακουστικό πόρο προέρχεται από το ωτοκροταφικό νεύρο και από τον ωτικό κλάδο του πνευμονογαστρικού νεύρου.



**Εικόνα 1:** Ανατομία του αυτιού

## ΜΕΣΟ ΑΥΤΙ

Το μέσο αυτί είναι μια αεροφόρος κοιλότητα. Αποτελείται από το *κοίλο του τυμπάνου*, τις *μαστοειδείς κυψέλες* και την *ευσταχιανή ή ακουστική σάλπιγγα*.

Το *κοίλο του τυμπάνου* περιλαμβάνει τον *τυμπανικό υμένα* και τα *ακουστικά οστάρια* (*σφύρα, άκμων, αναβολέας*). Ο *τυμπανικός υμένας* είναι ένας λεπτός, ινώδης υμένας, ο οποίος χωρίζει το έξω από το μέσο αυτί. Είναι κυκλικός και έχει διάμετρο περίπου ένα εκατοστό.



Με τον τυμπανικό υμένα, το κοίλο του τυμπάνου υποδιαιρείται σε δύο μοίρες: η μοίρα που αντιστοιχεί στον τυμπανικό υμένα είναι το *ιδίως κοίλο του τυμπάνου* και η περιοχή που βρίσκεται πάνω από το επίπεδο του τυμπανικού υμένα λέγεται *επιτυμπάνιος χώρος*.

Το βαθύτερο σημείο του τυμπανικού υμένα λέγεται *ομφαλός* και παράγεται από την κορυφή της λαβής της σφύρας. Όταν ο τυμπανικός υμένας φωτίζεται με το ωτοσκόπιο παράγεται ένας κώνος φωτός που ακτινοβολεί από τον ομφαλό προς τα κάτω και εμπρός.

Ο τυμπανικός υμένας είναι εξαιρετικά ευαίσθητος στον πόνο. Η έξω επιφάνεια του νευρώνεται από το ωτοκροταφικό νεύρο και από τον ωτικό κλάδο του πνευμονογαστρικού νεύρου.

Το έσω τοίχωμα σχηματίζεται από το έξω τοίχωμα του έσω ωτός. Το μεγαλύτερο μέρος του τοιχώματος αυτού παρουσιάζει μια υποστρόγγυλη προεξοχή, η οποία ονομάζεται *ακρωτήριο* και αντιστοιχεί στην πρώτη έλικα του κοχλίου. Προς τα πάνω και πίσω από το ακρωτήριο βρίσκεται η *ωοειδής θυρίδα* (ή *αιθουσαία θυρίδα*), στην οποία εφαρμόζεται η βάση του αναβολέα. Κάτω από το οπίσθιο πέρας του ακρωτηρίου βρίσκεται η *στρογγύλη θυρίδα* (ή *κοχλιακή* ή *τυμπανική θυρίδα*).

Τα ακουστικά οστάρια είναι η *σφύρα*, ο *άκμων* και ο *αναβολέας*. Η σφύρα είναι το μεγαλύτερο οστάριο και εμφανίζει κεφαλή, αυχένα και λαβή. Η κεφαλή της σφύρας είναι υποστρόγγυλη και βρίσκεται μέσα στον επιτυμπάνιο χώρο. Συντάσσεται προς τα πίσω με τον άκμονα. Ο αυχένας της σφύρας είναι η περισφιγμένη μοίρα κάτω από την κεφαλή. Η λαβή της σφύρας προσφύεται στερεά στην έσω επιφάνεια του τυμπανικού υμένα. Ο άκμονας εμφανίζει ένα σώμα και δύο σκέλη (μακρό σκέλος και βραχύ σκέλος). Το μακρό σκέλος φέρεται προς τα κάτω και παράλληλα

προς τη λαβή της σφύρας. Το βραχύ σκέλος έρχεται σε επαφή με την είσοδο του μαστοειδούς άνδρου. Ο αναβολέας εμφανίζει κεφαλή, αυχένα, δύο σκέλη. Η κεφαλή συντάσσεται με το μακρό σκέλος του άκμονα. Στον αυχένα καταφύεται ο μυς του αναβολέα.

Οι μυς των ακουστικών οσταρίων είναι δύο: ο τείνων το τύμπανο μυς ή μυς της σφύρας και ο μυς του αναβολέα. Ο *τείνων το τύμπανο μυς* εκφύεται από το χόνδρο της ακουστικής (ευσταχιανής σάλπιγγας) και καταφύεται στη ρίζα της λαβής της σφύρας. Νευρώνεται από τον τρίτο κλάδο του τριδύμου (κάτω γναθικό νεύρο). Ο *μυς του αναβολέα* εκφύεται από τα εσωτερικά τοιχώματα της κοίλης πυραμοειδούς προεξοχής και καταφύεται στην οπίσθια επιφάνεια του αυχένα του αναβολέα. Νευρώνεται από το προσωπικό νεύρο.

Οι *μαστοειδείς κυψέλες* είναι μικρές αεροφόρες κοιλότητες, οι οποίες βρίσκονται στην μαστοειδή απόφυση του κροταφικού οστού. Επικοινωνούν με το κοίλο του τυμπάνου μέσω του *μαστοειδούς άνδρου*. Ο αριθμός και το μέγεθος των κυψελών εμφανίζουν μεγάλη ποικιλία και διαφέρουν μεταξύ των διαφόρων ατόμων. Η ανάπτυξη τους φτάνει το μέγιστο κατά την ήβη.

Η *ευσταχιανή σάλπιγγα* φέρει σε επικοινωνία το μέσο αυτί (συγκεκριμένα το κοίλο του τυμπάνου) με το ρινοφάρυγγα. Εμφανίζει δύο μοίρες: τη χόνδρινη και την οστέινη και είναι στενότερη στο μέσο. Καταλήγει στο ρινοφάρυγγα περνώντας πάνω από το άνω χείλος του άνω σφιγκτήρα μυός του φάρυγγα. Χρησιμεύει για την εξισορρόπηση των πιέσεων του κοίλου του τυμπάνου και του ρινοφάρυγγα.

## ΕΣΩ ΑΥΤΙ (ΛΑΒΥΡΙΝΘΟΣ)

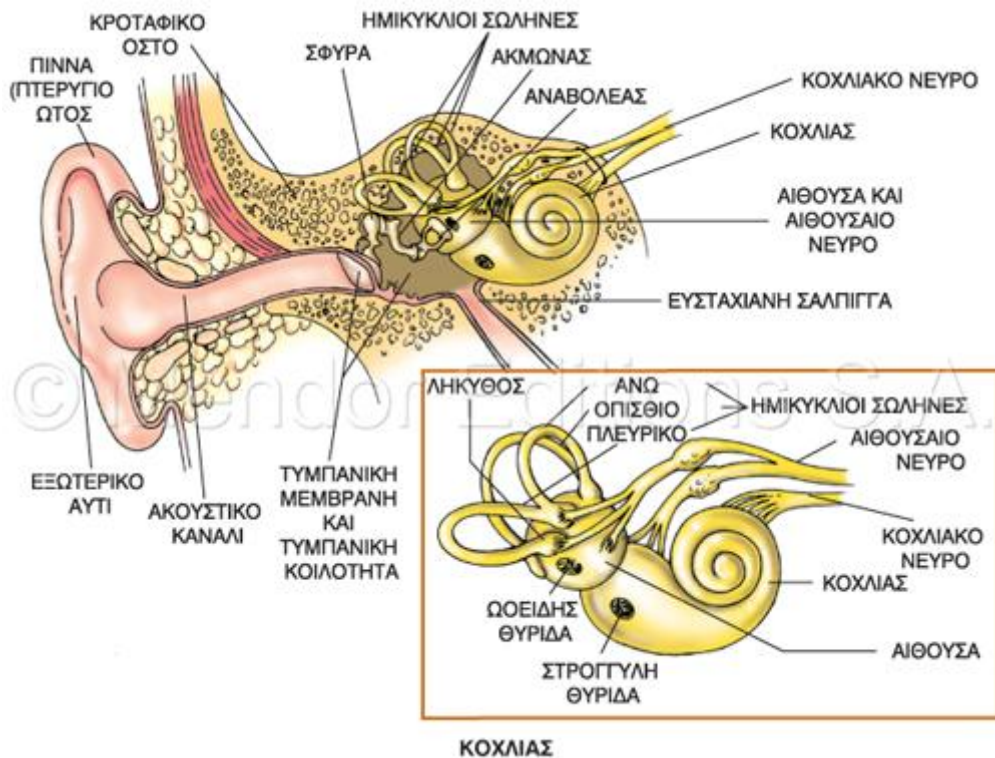
Το έσω αυτί βρίσκεται μέσα στη λιθοειδή μοίρα του κροταφικού οστού. Αποτελείται από τον *οστέινο λαβύρινθο* που περιλαμβάνει μια σειρά κοιλοτήτων και από τον *υμενώδη λαβύρινθο*, ο οποίος συνίσταται από τον υμενώδη λαβύρινθο, ο οποίος συνίσταται από υμενώδη κυστίδια και σωλήνες που βρίσκονται μέσα στον οστέινο λαβύρινθο.

Ο *οστέινος λαβύρινθος* αποτελείται από τρεις μοίρες: την αίθουσα, τους ημικύκλιους σωλήνες και τον κοχλία. Οι τρεις αυτές μοίρες αποτελούν κοιλοότητες που περιέχουν διαυγές υγρό που λέγεται *έξω λέμφο* ή *περίλεμφο*. Μέσα στην έξω λέμφο αιωρείται ο υμενώδης λαβύρινθος. Η αίθουσα βρίσκεται πίσω από τον κοχλία και μπροστά και μπροστά από τους ημικύκλιους σωλήνες. Στο έξω τοίχωμα της υπάρχει η *ωοειδής θυρίδα*, η οποία φράσσεται από τη βάση του αναβολέα και η *στρογγύλη θυρίδα*. Μέσα στην αίθουσα περιέχονται το *σφαιρικό κυστίδιο* και το *ελλειπτικό κυστίδιο* του υμενώδους λαβυρίνθου.

Οι *οστέινοι ημικύκλιοι σωλήνες* είναι τρεις: ο άνω, ο οπίσθιος και ο έξω. Κάθε ημικύκλιος σωλήνας εμφανίζει κατά το ένα πέρασ του ανεύρυσμα που λέγεται *λήκυθος*. Μέσα στους οστέινους ημικύκλιους σωλήνες βρίσκονται οι *υμενώδεις ημικύκλιοι σωλήνες*.

Ο κοχλίας έχει σχήμα κωνικό. Αποτελείται από ένα κεντρικό άξονα, την *άτρακτο*, γύρω από την οποία ένας οστέινος σωλήνας κάνει δύομισι περιελίξεις. Η ακτίνα μιας έλικας είναι μικρότερη από την ακτίνα της προηγούμενης της έλικας. Η πρώτη (βασική) έλικα είναι αυτή από την οποία παράγεται το ακρωτήριο, που υπάρχει στο έσω τοίχωμα του κοίλου του τυμπάνου. Ο αυλός των ελίκων χωρίζεται σε δύο ημιμόρια, από τα οποία το άνω λέγεται *αιθουσαία κλίμακα* και το κάτω *τυμπανική κλίμακα*.

Η αιθουσαία κλίμακα επικοινωνεί με το μέσο αυτί με την ωοειδή θυρίδα.  
 Η τυμπανική κλίμακα επικοινωνεί με το μέσο αυτί με την ωοειδή θυρίδα.  
 Η τυμπανική κλίμακα επικοινωνεί με το μέσο αυτί με την στρογγύλη θυρίδα (Εικόνα 2).



**Εικόνα 2.** Σχηματική παράσταση των δομικών στοιχείων του αυτιού και κυρίως του έσω αυτιού

Ο υμενώδης λαβύρινθος βρίσκεται μέσα στον οστέινο λαβύρινθο. Περιέχει την έσω λέμφο και περιβάλλεται από την έξω λέμφο. Αποτελείται από το σφαιρικό και ελλειπτικό κυστίδιο, που βρίσκονται μέσα στην οστέινη αίθουσα, από τους τρεις ημικύκλιους σωλήνες, που βρίσκονται μέσα στους οστέινους ημικύκλιους σωλήνες και από τον

κοχλιακό πόρο, που βρίσκεται μέσα στον οστέινο κοχλία. Όλα αυτά τα μέρη επικοινωνούν μεταξύ τους.

Ο κοχλιακός πόρος ή υμενώδης κοχλίας αποτελείται από δύο μεμβράνες: την βασική μεμβράνη προς την πλευρά της τυμπανικής κλίμακας και την μεμβράνη του Reissner προς την πλευρά της αιθουσαίας κλίμακας. Κατά μήκος της βασικής μεμβράνης εκτείνεται το όργανο του Corti που περιέχει τους αισθητικούς υποδοχείς της ακοής.

Το όργανο του Corti αποτελείται από τα νευροαισθητήρια ή τριχωτά κύτταρα, που παράγουν νευρικές ώσεις όταν διεγείρονται από ηχητικές δονήσεις και από τα στηρικτικά κύτταρα. Τα τριχωτά κύτταρα είναι διατεταγμένα, σε δύο σειρές και χωρίζονται από τα *στυλοειδή κύτταρα* του Corti. Η πρώτη σειρά αποτελείται από ένα στοίχο των έσω κυττάρων, περίπου 3500 και τρεις στοίχους των εξωτερικών τριχωτών κυττάρων, περίπου 20000. Οι βάσεις και οι πλάγιες απολήξεις των τριχωτών κυττάρων καλύπτονται από ένα πλέγμα απολήξεων του κοχλιακού νεύρου. Οι νευρικές ίνες πορεύονται προς το *ελικοειδές γάγγλιο του Corti* και από εκεί σχηματίζονται οι νευράξονες του κοχλιακού νεύρου που πορεύεται προς το κεντρικό νευρικό σύστημα.

## **ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΝΕΥΡΙΚΗ ΟΔΟΣ**

### **α. Ακουστικό νεύρο**

Το κοχλιακό νεύρο αποτελείται από 3000 περίπου νευρικές ίνες και πορεύεται σπειροειδώς στον έσω ακουστικό πόρο μέχρι την είσοδο του στο στέλεχος του εγκεφάλου. Το ακουστικό νεύρο μετά την έξοδο του από τον οστέινο έσω ακουστικό πόρο, διέρχεται την γεφυροπαρεγκεφαλιδική γωνία. Το κοχλιακό νεύρο εισδύει στο στέλεχος του εγκεφάλου με κατιόντες κλάδους προς τον ραχιαίο κοχλιακό πυρήνα και τους ανιόντες προς τον κοιλιακό κοχλιακό πυρήνα.

### **β. Κοχλιακοί πυρήνες**

Οι νευρώνες των κυττάρων του κοιλιακού κοχλιακού πυρήνα σχηματίζουν το τραπεζοειδές σώμα. Η πλειονότητα των ινών που απαρτίζουν το τραπεζοειδές σώμα χιάζονται. Μετά το χιασμό τους, οι ίνες που απαρτίζουν το τραπεζοειδές σώμα ή καταλήγουν στην άνω ελαία ή παρακάμπτοντας την ελαία φτάνουν στο οπίσθιο διδύμιο μέσω του έξω λημνίσκου. Κατά την πορεία τους δίνουν παράπλευρους κλάδους στην άνω ελαία και στον πυρήνα του έξω λημνίσκου.

### **γ. Σύμπλεγμα άνω ελαίας**

Αποτελείται από μια σειρά πυρήνων, που βρίσκονται μέσα στο τραπεζοειδές σώμα και βρίσκονται σε στενή εξάρτηση μεταξύ τους.

Είναι χαρακτηριστική η τονοτροπική οργάνωσή τους και οι συνδέσεις με την 5<sup>η</sup> και 6<sup>η</sup> εγκεφαλική συζυγία. Οι κυριότεροι πυρήνες είναι:

**Η πλάγια άνω ελαία:** Έχει περίπου στον άνθρωπο 4000 πολύπολα κύτταρα των οποίων οι δενδρίτες καταλήγουν στον πλάγιο λημνίσκο κάθε πλευράς.

**Η έσω άνω ελαία:** Συνδέεται και με τους δύο οπισθοκοιλιακούς κοχλιακούς πυρήνες και με τον πλάγιο λημνίσκο και των δύο πλευρών. Είναι ιδιαίτερα προσανατολισμένη προς χαμηλές συχνότητες και σχεδόν όλες μεταφέρονται ομόπλευρα.

**Ο πυρήνας του τραπεζοειδούς σώματος:** Τα κύτταρα αυτού του πυρήνα λαμβάνουν ίνες από τον ετεροπλάγιο κοχλιακό πυρήνα. Φαίνεται ότι οι νευρώνες του και οι διάμεσοι νευρώνες αναστολής της χιαζόμενης οδού, η οποία συνδέει τον κοχλιακό πυρήνα με την άνω πλάγια ελαία.

#### **δ. Πυρήνες των έξω λημνίσκων**

Αν και λίγα είναι γνωστά για τον ρόλο των πυρήνων αυτών, είναι γεγονός ότι αποτελούν έναν ενδιάμεσο σταθμό των νευρικών ινών της ακουστικής οδού.

#### **ε. Κάτω διδύμια και το έσω γονατώδες σώμα**

Οι περισσότερες από τις ίνες του έξω λημνίσκου καταλήγουν στο κάτω διδύμιο. Ο βραχίονας του κάτω διδύμιου συνδέει το κάτω διδύμιο με το έσω γονατώδες σώμα. Οι ίνες του έσω γονατώδους σώματος αποτελούν την ακουστική μοίρα που καταλήγει στον ακουστικό φλοιό.

Ο ακουστικός φλοιός αποτελεί το κέντρο υποδοχής των κωδικοποιημένων ακουστικών ερεθισμάτων. Βρίσκεται στην άνω κροταφική έλικα και αποτελείται από τον αρχέγονο ακουστικό φλοιό, την περιοχή A-I και τον δευτεροταγή ή συνειρμικό φλοιό, περιοχή A-II (κατά Brodmann περιοχές 41, 42 και 22, 52 αντίστοιχα).

Περίληπτικά η ακουστική οδός αποτελείται από τρεις νευρώνες:

**Ο πρώτος αισθητικός νευρώνας** (κοχλιο-προμηκικός) αποτελείται από δίπολα νευρικά κύτταρα των οποίων οι δενδριτικές αποφυάδες προέρχονται από το όργανο του Corti και των οποίων οι νευράξονες οδεύουν προς τους κοχλιακούς πυρήνες.

**Ο δεύτερος αισθητικός νευρώνας** (προμηκο-θαλαμικός) αποτελείται από νευρικά κύτταρα που συνάπτονται στο ύψος της άνω ελαίας του οπίσθιου τετραδύμου και διασταυρώνονται στο ύψος της γέφυρας προς τα έσω γονατώδη σώματα.

**Ο τρίτος αισθητικός νευρώνας** (θαλαμο-φλοιώδης) του οποίου οι ακουστικές προβολές ενώνουν το έσω γονατώδες σώμα με τις στιβάδες του ακουστικού φλοιού του κροταφικού λοβού.



## **B. ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ**

### **ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΑΥΤΙΟΥ**

#### **ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΑΥΤΙ**

Το σύστημα του εξωτερικού αυτιού έχει στόχο να κατευθύνει τον ήχο μέσα από τον ακουστικό πόρο προς την τυμπανική μεμβράνη.

#### **ΜΕΣΟ ΑΥΤΙ**

Οι ηχητικές δονήσεις προσπίπτουν στην τυμπανική μεμβράνη και την κάνουν να πάλλεται. Εφόσον η σφύρα είναι συνδεδεμένη μαζί της πάλλεται και αυτή. Αυτόματα όλη η αλυσίδα των οσταρίων αρχίζει να κινείται. Οι δονήσεις μεταφέρονται από την μακρά απόφυση της σφύρας στον άκμονα και τελικά στον αναβολέα, η βάση του οποίου μεταφέρει την ηχητική ενέργεια στο σύστημα υγρών του εσωτερικού αυτιού.

Η κυριότερη λειτουργία του μέσου αυτιού είναι η μεταβίβαση του ήχου από ένα μέσο μικρής αντίστασης για τα ηχητικά κύματα (αέρας) σε ένα μέσο μεγάλης αντίστασης (υγρό) με όσο το δυνατόν μικρότερη απώλεια ενέργειας. Αυτό επιτυγχάνεται με τη μεταβίβαση του ήχου από μια περιοχή μεγαλύτερου εμβαδού (τυμπανική μεμβράνη) σε μια περιοχή μικρότερου εμβαδού (ωοειδής θυρίδα) μέσω των ακουστικών οσταρίων.

Το μέσο αυτί προστατεύει την ευαίσθητη δομή του κοχλίου από υψηλής έντασης ήχους. Τέτοιοι δυνατοί ήχοι προκαλούν ένα αντανakλαστικό συστολής του τείνοντος του μυός του τυμπάνου και του μυός του

αναβολέα. Ο μυς του τείνοντος του μυός του τυμπάνου έλκει τη λαβή της σφύρας προς τα μέσα ενώ ο μυς του αναβολέα έλκει τον αναβολέα προς τα έξω. Οι δύο αυτές ανταγωνιστικές δυνάμεις μπορούν να μειώσουν την ένταση του ήχου κατά 30-40 dB που αντιστοιχεί στη διαφορά ανάμεσα στον ψίθυρο και τον ήχο της δυνατής φωνής.

Το μαστοειδές άνδρο και οι μαστοειδείς κυψέλες ενεργούν σαν παρακαταθήκη αέρα ώστε να αμβλύνονται οι απότομες μεταβολές της πίεσης. Η ευσταχιανή σάλπιγγα εξισορροπεί την πίεση στο μέσο αυτί με την ατμοσφαιρική πίεση αφού το μέσο αυτί είναι μια κοιλότητα με αέρα.

## **ΕΣΩ ΑΥΤΙ**

Οι δονήσεις της βάσης του αναβολέα επιφέρουν μεταβολές της πίεσης της περιλέμφου μέσω της αιθουσαίας κλίμακας στον κοχλιακό πόρο (υμενώδης κοχλίας) και παραμορφώνουν τη βασική μεμβράνη. Κάθε συχνότητα προκαλεί διαφορετικό τύπο δόνησης της βασικής μεμβράνης και αυτός είναι ο τρόπος με το οποίο γίνεται ο διαχωρισμός των συχνοτήτων του ήχου από το αυτί. Χαμηλές συχνότητες (χαμηλό μήκος κύματος) ενεργοποιούν τη βασική μεμβράνη κοντά στην κορυφή του κοχλίου ενώ οι υψηλές συχνότητες ενεργοποιούν τη βασική μεμβράνη κοντά στη βάση του κοχλίου και οι ενδιάμεσοι ήχοι τις ενδιάμεσες θέσεις.

Αυτό που συμβαίνει στον κοχλία είναι η ανάλυση των συχνοτήτων του σύνθετου ήχου και ο μετασχηματισμός των μηχανικών δονήσεων σε νευρικά ερεθίσματα, που θα μεταβιβαστούν στο στέλεχος του εγκεφάλου μέσω των ινών του κοχλιακού νεύρου. Η ανάλυση του ήχου γίνεται επειδή ο κοχλίας έχει τέτοια κατασκευή ώστε τα διάφορα τμήματα του

δονούνται αντιδρώντας σε διαφορετικές συχνότητες. Ο μετασχηματισμός επιτυγχάνεται επειδή τα τριχωτά κύτταρα του οργάνου του Corti είναι ικανά να μεταβάλλουν ελάχιστες ποσότητες μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτροχημική ενέργεια που διεγείρει τις απολήξεις των νευρικών ινών.

Οι ηχητικές δονήσεις αφού θέσουν σε κίνηση τη βασική μεμβράνη μεταδίδονται στο όργανο του Corti που βρίσκεται πάνω σε αυτήν και συγκεκριμένα στα τριχωτά κύτταρα που κινούνται πάνω-κάτω. Από τα τριχωτά κύτταρα του οργάνου του Corti προεξέχουν μικροσκοπικές τρίχες ή κροσσοί. Η κάμψη των κροσσών οδηγεί σε διέγερση των τριχωτών κυττάρων και σε ηλεκτρική ανταπόκριση (μηχανο-ηλεκτρική μετατροπή).

Με την κάμψη των κροσσών δημιουργείται μεταβολή της ιοντικής αγωγιμότητας των τριχωτών κυττάρων, που οδηγεί σε τοπικά ρεύματα ιόντων και με αυτόν τον τρόπο στην ανάπτυξη δυναμικού υποδοχέα, το οποίο με τη σειρά του προκαλεί απελευθέρωση διαβιβαστή που διεγείρει τις ίνες του ακουστικού νεύρου.

## **ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ ΟΔΟΥ**

Η δόνηση των κατασκευών του κοχλιακού πόρου, σαν αποτέλεσμα του ηχητικού κύματος, επιφέρει μεταβολές στην ηλεκτρική κατάσταση των τριχωτών κυττάρων. Έτσι προκαλούνται μεταβολές στην αντίσταση του θετικού ενδολεμφικού δυναμικού ηρεμίας που είναι +80mV και του αρνητικού ενδοκυττάρου δυναμικού του οργάνου του Corti που είναι -70mV. Οι μεταβολές δυναμικού (δυναμικό όλων των διεγερμένων τριχωτών κυττάρων) έχουν αποτέλεσμα την εμφάνιση ηλεκτρικού

σήματος που αναπαριστά την ηχητική δόνηση και ονομάζεται «μικροφωνικό δυναμικό». Ταυτόχρονα με το δυναμικό αυτό, εμφανίζεται και το «αθροιστικό δυναμικό», που το σήμα και το εύρος του εξαρτάται από την ένταση και τη συχνότητα του ήχου.

Τα ενδοκυττάρια ηλεκτρικά φαινόμενα οδηγούν στην απελευθέρωση νευροδιαβιβαστή από τα συναπτικά κυστίδια. Η εκπόλωση των τελικών νευρικών απολήξεων θα οδηγήσει στην παραγωγή ενός μετασυναπτικού δυναμικού και τελικά του δυναμικού ενεργείας που θα μεταδοθεί στην εμύελη ίνα των νευρικών ινών. Η κατ'αυτόν τον τρόπο παραγόμενη βιοηλεκτρική ενέργεια θα κωδικοποιηθεί και θα μεταφερθεί σαν πληροφορία στους κοχλιακούς πυρήνες με ταχύτητα 20-30 m/sec μέσω των ινών του κοχλιακού νεύρου. Η κάθε ίνα παρουσιάζει μια ιδιαίτερη ευαισθησία σε μια δεδομένη συχνότητα. Αυτό σημαίνει ότι κάθε νευρικό κύτταρο και κάθε ίνα είναι υπεύθυνα για τη συλλογή πληροφοριών, για ένα καθορισμένο φάσμα συχνοτήτων.

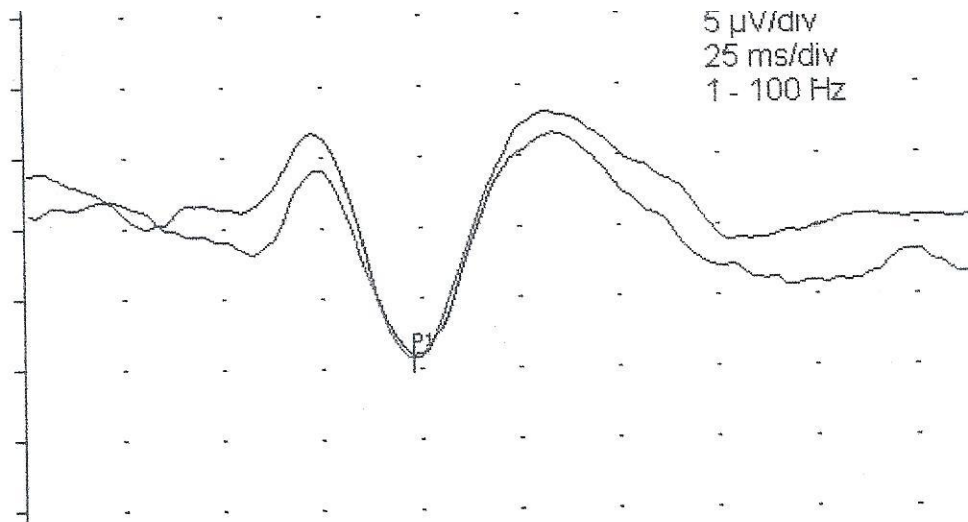
Πρέπει να τονιστεί ότι ο αριθμός των ινών αυξάνει από την περιφέρεια προς το κέντρο με τελικό αποτέλεσμα οι ίνες που φτάνουν στον εγκεφαλικό φλοιό να είναι πολλαπλάσιες. Το ακουστικό νεύρο έχει 30000 ίνες, οι οποίες στη τελική τους σύνδεση στην ακουστική ακτινοβολία ανέρχονται σε 250000. Οι περισσότερες χιάζονται ομόπλευρα στον ακουστικό φλοιό. Έτσι ο ήχος που συλλαμβάνεται από το δεξιό αυτί φτάνει στον ακουστικό φλοιό και αντίστοιχα ο δεξιός ακουστικός φλοιός δέχεται ερεθίσματα από το αριστερό αυτί.

## **2. ΠΡΟΚΛΗΤΑ ΔΥΝΑΜΙΚΑ**

### **ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ**

Σαν ηλεκτρικό προκλητό δυναμικό περιγράφεται η ηλεκτρική μεταβολή που καταγράφεται μακροσκοπικά λόγω δραστηριότητας μέσα σε περιφερικό ή κεντρικό τμήμα νευρικής οδού, εξαιτίας κάποιας συγκεκριμένης εξωτερικής διέγερσης (Εικόνα 3). Ο όρος αυτός έχει καθιερωθεί να χαρακτηρίζει μια ομάδα διαγνωστικών μεθόδων, οι οποίες στηρίζονται στη καταγραφή, μελέτη και κλινική εκτίμηση ηλεκτρικών σημάτων που καταγράφονται σε διάφορα σημεία του σώματος όπως είναι συχνά η επιφάνεια της κεφαλής, τα οποία προέρχονται από κάποια διέγερση σε κάποιο σημείο του νευρικού συστήματος.

Με βάση τις γνώσεις φυσιολογίας των νευρώνων, η επίδραση αισθητικού ερεθίσματος σε οποιοδήποτε σημείο του νευρικού συστήματος ή σε οποιοδήποτε περιφερικό όργανο σωματοαισθητικής, ακουστικής ή οπτικής οδού, δημιουργεί σε συγκεκριμένες περιοχές του κεντρικού νευρικού συστήματος ηλεκτρική μεταβολή που συνδέεται χρονικά με το ερέθισμα. Η καταγραφή αυτής της απόκρισης είναι δυνατή με κατάλληλες μεθόδους ενώ συνήθως αποτελείται από ένα σύμπλεγμα «κυμάτων», τα οποία δημιουργούνται και αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες περιοχές του νευροανατομικού υποστρώματος. Η υποχρεωτική αυτή απάντηση, σταθερού λανθάνοντος χρόνου για το ερέθισμα, ονομάζεται προκλητό δυναμικό.



**Εικόνα 3:** Χαρακτηριστικό δείγμα καταγραφής προκλητών δυναμικών (οπτικά)

Το προκλητό δυναμικό έχει πολύ μικρό πλάτος δυναμικού (μερικά  $\mu\text{V}$ ) και για αυτό δεν μπορεί να διακριθεί με τις συνηθισμένες μεθόδους καταγραφής της ηλεκτροεγκεφαλογραφίας και της ηλεκτροκαρδιογραφίας. Με κατάλληλη όμως διάταξη μπορεί να αθροιστεί ορισμένος αριθμός δειγμάτων που συνδέονται χρονικά με το ερέθισμα και να υπολογιστεί ο μέσος όρος ηλεκτρονικά. Έτσι αλληλοεξουδετερώνονται τα άλλα ηλεκτρικά κύματα που είναι ανεπιθύμητα και έχουν μεγαλύτερο πλάτος δυναμικού επιτρέποντας την αποκάλυψη του ζητούμενου σήματος. Όλα τα παραπάνω είναι δυνατόν να πραγματοποιηθούν με κατάλληλη μέθοδο καταγραφής, κατάλληλη διέγερση με βάση συγκεκριμένες παραμέτρους, ενίσχυση, ψηφιακή επεξεργασία σε κατάλληλο υπολογιστή, εμφάνιση και καταγραφή που διενεργούνται από μια και μόνο συσκευή.

Πιο αναλυτικά, με κατάλληλους διεγέρτες χορηγούμε στο αισθητήριο όργανο και την οδό που θέλουμε να εξετάσουμε ηλεκτρικό παλμό ή ήχο

ή φωτεινό ερέθισμα αναλόγως. Τα δυναμικά που δημιουργούνται μεταφέρονται μέσω ειδικών ηλεκτροδίων, τοποθετημένων σε συγκεκριμένα σημεία πάνω στο κρανίο σε ηλεκτρονικό ενισχυτή. Από εκεί αφού φιλτραριστούν από «παράσιτα» διαφόρων συχνοτήτων, μετατρέπονται σε ψηφιακό σήμα και τελικά επεξεργάζονται στατιστικά ώστε με την μέθοδο της άθροισης και εξαγωγής του μέσου όρου των καταγραφών, να γίνει η τελική καταγραφή του σήματος. Αυτό αποτελείται από μια σειρά κορυφών και κοιλάδων δυναμικού, όπως παρατηρείται στην οθόνη του υπολογιστή και την καταγραφή.

Η βασικότερη και σταθερότερη παράμετρος των προκλητών δυναμικών είναι ο λανθάνων χρόνος εμφάνισης της συγκεκριμένης κορυφής από την χορήγηση του ερεθίσματος και μετριέται σε χιλιοστά του δευτερολέπτου (ms). Η δεύτερη από τις δύο παραμέτρους που χρησιμοποιούνται είναι το ύψος του δυναμικού ( ή κύματος ) και μετριέται σε  $\mu\text{V}$ .

Συνοπτικά τα προκλητά δυναμικά είναι μια μη επεμβατική και ιδιαίτερα σύντομη διαδικασία με την οποία μπορεί να μελετηθεί η νευρική δραστηριότητα αντικειμενικά. Είναι χρήσιμα στην περιγραφή φυσιολογικών νευρικών λειτουργιών, την αποκάλυψη παθολογικών λειτουργιών, τον εντοπισμό παθολογικής κατάστασης μέσα στην αγωγή οδό. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ακόμη και για ψυχοφυσικές πληροφορίες ανώτερων κέντρων επεξεργασίας μέσα στον εγκέφαλο, να δώσουν απαντήσεις με βάση την στατιστική επεξεργασία των παραμέτρων τους και να αποκαλύψουν τον τύπο της παθολογίας που προκαλεί κάποια απόκλιση.

Τα χαρακτηριστικά τους είναι:

α. Το χαμηλό πλάτος δυναμικού (0.1-20  $\mu\text{V}$ )

β. Ο μικρός λανθάνων χρόνος μετά την διέγερση ( μέχρι και 100 ms)

γ. Η πραγματική «εξαφάνισή» τους μέσα σε ηλεκτρικό θόρυβο, ο οποίος προέρχεται από πηγές εξωτερικές του σώματος (εξωγενής θόρυβος) ή και εσωτερικές διαφορετικές από το εξεταζόμενο σύστημα (ενδογενής θόρυβος).

Μια φυσιολογική καταγραφή προκλητών δυναμικών μας πληροφορεί:

α. Ότι ένα ερέθισμα μετατράπηκε κατάλληλα και μεταβιβάστηκε στον εγκέφαλο.

β. Η νευρική δραστηριότητα που παράγεται από την μεταβίβαση ενός ερεθίσματος έφτασε σε συγκεκριμένα σημεία-σταθμούς σε συγκεκριμένους χρόνους.

γ. Η ταχύτητα διάδοσης ήταν φυσιολογική.

Αντίθετα μια μη φυσιολογική καταγραφή προκλητών δυναμικών μπορεί να μας πληροφορήσει για:

α. Πιθανά προβλήματα στην διέγερση και την καταγραφή.

β. Βλάβες που προκαλούν μη φυσιολογική μετάδοση του ερεθίσματος κατά μήκος μια νευρικής οδού.



## ΑΚΟΥΣΤΙΚΑ ΠΡΟΚΛΗΤΑ ΔΥΝΑΜΙΚΑ

### Ταξινόμηση των ακουστικών προκλητών δυναμικών

Ένας ήχος είναι δυνατόν να παράγει ένα μεγάλο αριθμό βιοηλεκτρικών αποκρίσεων, μερικά από τα οποία μπορεί να είναι καταγράψιμα από ηλεκτρόδια πχ μέσα στο αυτί, πάνω στο δέρμα τα κεφαλής κτλ. Αυτός ο τύπος της καταγραφής αποτελεί το συνολικό, στιγμιαίο αποτέλεσμα ηλεκτρικής δραστηριότητας, σε πολλά κύτταρα, η οποία είναι «ολική» ή «σύνθετη» ανάλογα με την καταγραφή του μικροηλεκτροδίου από ένα ή από σύνολο κυττάρων. Το κλειδί για την εμφάνιση ολικών δυναμικών στα σημεία καταγραφής μακριά από τις πηγές τους είναι ο συγχρονισμός και η πρόσθεση αρκετά μεγάλου αριθμού ηλεκτρικών αποκρίσεων.

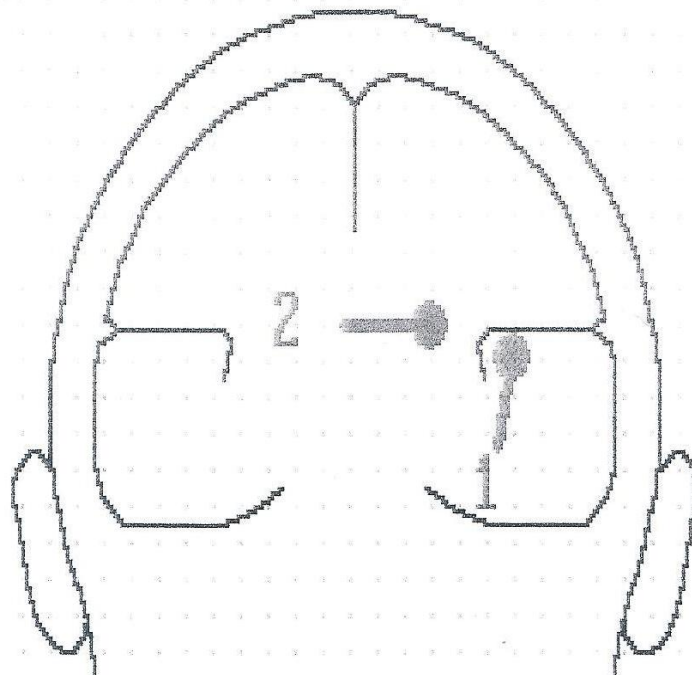
Ολικά δυναμικά ακουστικών προκλητών δυναμικών εμφανίζονται σε πολλά σημεία της ακουστικής οδού από τον κοχλία μέχρι τον φλοιό. Υπάρχει τόσο μεγάλος αριθμός τέτοιων δυναμικών που είναι απαραίτητη η ταξινόμηση τους. Σημαντικές ιδιότητες που μπορεί να χρησιμοποιηθούν για το σκοπό αυτό είναι η φυσιολογική πηγή, η σχέση με το ερέθισμα, ο λανθάνων χρόνος και η ανατομική πηγή.

### I. Φυσιολογική πηγή

Τα νευρογενή προκλητά δυναμικά προέρχονται από νευρώνες και τα μυογενή από νεύρα μυών. Τα μυογενή δυναμικά εμφανίζονται σαν αντίδραση σε δυνατούς ήχους και εντοπίζονται πάνω σε ενεργούς μύς όπως ο μετωπιαίος, ο κροταφικός και οι οπισθωνωτιαίοι. Ποικίλουν όμως

μεταξύ των ασθενών, των θέσεων των ηλεκτροδίων, τον μυϊκό τόνο και τη θέση του κεφαλιού (Εικόνα 4).

Τα νευρογενή ακουστικά προκλητά δυναμικά ταξινομούνται ανάλογα με τη θέση παραγωγής τους στα τριχωτά κύτταρα ή σε υψηλότερα τμήματα της ακουστικής οδού. Δυο αξιοσημείωτοι τύποι νευρογενών δυναμικών που έχουν να κάνουν με τα τριχωτά κύτταρα είναι τα δυναμικά ενέργειας (action potentials) και τα μετασυναπτικά δυναμικά ή δενδριτικά (postsynaptic potentials). Τα πρώτα είναι μεγάλα ταχέως διαδιδόμενα φαινόμενα του τύπου «όλου ή ουδέν», τα οποία εντοπίζονται στα κατώτερα τμήματα της οδού, ενώ τα δεύτερα είναι μικρά τοπικά προσδιορισμένα και βαθμιδωτά που έχουν σχέση με την αγωγή των συνάψεων και είναι η βασική πηγή δυναμικών στα υψηλότερα τμήματα της οδού.



**Εικόνα 4:** Χαρακτηριστικό δείγμα εντοπισμού πηγών παραγωγής προκλητών δυναμικών (ακουστικά)

## **II. Σχέση με το ερεθίσμα (Διέγερση-Stimulation)**

Η επίδραση του ερεθίσματος στην τελική μορφή του δυναμικού ανάλογα με την ένταση και την συχνότητα χαρακτηρίζουν το δυναμικό ως «εξωγενές». Αντίθετα όταν τα χαρακτηριστικά της απόκρισης έχουν σχέση με την προσοχή, την ψυχολογία κτλ, χαρακτηρίζεται σαν «ενδογενές».

Τα εξωγενή δυναμικά πχ τα ακουστικά προκλητά δυναμικά εγκεφαλικού στελέχους είναι τα πιο ενδιαφέροντα στην ακοολογία και την ωτονευρολογία. Εξαρτώνται από την διάρκεια και τα χαρακτηριστικά του ερεθίσματος όπως ο χρόνος έναρξης και λήξης. Όταν χρησιμοποιούνται διαδοχικά ερεθίσματα με χρονική διαφορά ώστε οι αποκρίσεις να μην καλύπτονται έχουμε τα «διακριτά» ακουστικά προκλητά δυναμικά που είναι τα ευρέως κλινικά χρησιμοποιούμενα. Στην περίπτωση που οι αποκρίσεις αλληλοεπικαλύπτονται τα δυναμικά ονομάζονται «στατικά» ακουστικά προκλητά δυναμικά .

## **III. Λανθάνων χρόνος (latency)**

Ο λανθάνων χρόνος είναι η χρονική απόσταση μεταξύ ενός χαρακτηριστικού σημείου καταγραφής πχ μιας κορυφής και ενός σημείου αναφοράς που είναι συνήθως η έναρξη του ερεθίσματος. Πιο απλά, είναι ο χρόνος που μεσολαβεί από την έναρξη της διέγερσης μέχρι την εμφάνιση κάποιου σήματος στην απόκριση.

Με βάση τον λανθάνοντα χρόνο διακρίνονται σε ταχέα προκλητά δυναμικά, μέσα και βραδέα προκλητά δυναμικά. Ο χρόνος συνήθως εξαρτάται από πολλά στοιχεία του ερεθίσματος, τις συνθήκες

καταγραφής και τον εξεταζόμενο. Για παράδειγμα, σε χαμηλής έντασης και χαμηλής συχνότητας ερέθισμα σε νεογέννητα μπορούμε να δούμε τμήμα των ταχέων προκλητών δυναμικών σε χρόνους μέσω προκλητών δυναμικών.

#### **IV. Ανατομική πηγή**

Για τη πλειοψηφία των ακουστικών προκλητών δυναμικών η πλήρης ανατομική περιοχή παραγωγής τους είναι ακόμη αβέβαιη. Παρόλα αυτά υπάρχουν ικανές ενδείξεις για την περιοχή παραγωγής τους ώστε να έχουμε αυτήν σαν αναφορά (πχ κοχλιακά δυναμικά, ακουστικά προκλητά δυναμικά εγκεφαλικού στελέχους, αποκρίσεις φλοιού). Οι πιο πολλές από τις ονομασίες αυτές δεν είναι και οι ιδεώδεις όπως για παράδειγμα τα ακουστικά προκλητά δυναμικά εγκεφαλικού στελέχους περιλαμβάνουν και συνιστώσες που δεν προέρχονται από το στέλεχος όπως είναι το κύμα I. Τα πράγματα γίνονται πιο πολύπλοκα από το γεγονός ότι ένα μόνο προκλητό δυναμικό μπορεί να έχει διαφορετικές από μία πηγές που ενεργοποιούνται ταυτόχρονα.

#### **V. Συμβολισμός**

Για κάθε κατηγορία ακουστικών προκλητών δυναμικών σε κάθε περιοχή χρόνων στην τελική καταγραφή ένα σύνολο κορυφών και πτώσεων τάσης. Τα σύμβολα που ήδη χρησιμοποιούνται έχουν σχέση συνήθως με την σειρά εμφάνισης των κυμάτων (I, II, III κτλ). Φυσικά παίζουν ρόλο το ερέθισμα, η καταγραφή, η λεπτή υφή της κυματομορφής και ο

ασθενής. Η χρήση επίσης των συμβόλων Π και Ν που δηλώνουν την πολικότητα είναι συχνή.

### **Ακουστικά προκλητά δυναμικά με διέγερση συλλαβών**

Τα ακουστικά προκλητά δυναμικά εγκεφαλικού στελέχους συνήθως προκαλούνται χρησιμοποιώντας απλά ερεθίσματα όπως είναι τα κλικ και οι τόνοι. Αν και τα κλικ και οι τόνοι έπαιξαν σημαντικό ρόλο στον καθορισμό αυτών των βασικών προτύπων απόκρισης, είναι φτωχές προσεγγίσεις των συμπεριφορικών ήχων που συναντάμε έξω από το εργαστήριο (για παράδειγμα της ομιλίας και της μουσικής και των ήχων του περιβάλλοντος). Για αυτό η ακουστική νευροεπιστήμη άρχισε σταδιακά να χρησιμοποιεί ήχους που είναι πιο πολύπλοκοι.

Μια πληθώρα πολύπλοκων ερεθισμάτων έχουν χρησιμοποιηθεί για να εξετάσουν πως τα χρονικά και φασματικά χαρακτηριστικά των ήχων διατηρούνται στα ακουστικά προκλητά δυναμικά εγκεφαλικού στελέχους. Το λεκτικό ερέθισμα που έχει μελετηθεί πιο εκτεταμένα είναι το σύμφωνο-φωνήεν «ντα» (/da/) <sup>34,35,36</sup>. Το συγκεκριμένο ερέθισμα έχει διερευνηθεί κάτω από διαφορετικές συνθήκες καταγραφής: διέγερση από το ένα αυτί <sup>34,36</sup>, διέγερση από τα δύο αυτιά <sup>37</sup> και με την παρουσία θορύβου <sup>34,35,38</sup>. Επιπλέον, έχει μελετηθεί πριν και μετά από ακουστική εκπαίδευση <sup>29,38</sup> και σε έναν αριθμό διαφορετικών πληθυσμών όπως είναι οι μουσικοί <sup>39</sup> και τα παιδιά με δυσλεξία <sup>32</sup> και διαταραχές του φάσματος του αυτισμού <sup>40</sup>.



### 3. ΜΑΘΗΣΙΑΚΕΣ ΔΥΣΚΟΛΙΕΣ-ΔΥΣΛΕΞΙΑ

Ο όρος μαθησιακές δυσκολίες είναι σχετικά πρόσφατος. Πρωτοπαρουσιάστηκε το 1963 από τον Samuel Kirk<sup>41</sup> και χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει διαταραχές σε μία ή περισσότερες από τις βασικές ψυχολογικές διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα κατά την κατανόηση ή την χρησιμοποίηση της προφορικής ή της γραπτής γλώσσας (όπως είναι η μνήμη, η ακουστική και οπτική αντίληψη, η σκέψη κτλ). Ως αποτέλεσμα αυτών των διαταραχών τα άτομα μπορεί να συναντούν δυσκολίες στην μάθηση του προφορικού λόγου, στην ακουστική κατανόηση, στην ανάγνωση ( αναγνώριση λέξεων και της σημασίας τους), στην γραφή ή στον μαθηματικό λογισμό. Οι μαθησιακές δυσκολίες περιλαμβάνουν περιπτώσεις όπως είναι η δυσλεξία, η δυσγραφία, η δυσαριθμησία.

Οι καταστάσεις αυτές δεν οφείλονται σε εμφανείς αισθητηριακές βλάβες (όπως βλάβες στην όραση ή στην ακοή), σε νοητική στέρηση, δύσκολες οικονομικές συνθήκες ή περιβαλλοντικούς και κοινωνικούς περιορισμούς. Τα άτομα με μαθησιακές δυσκολίες παρουσιάζουν σοβαρό χάσμα ανάμεσα σε αυτό που φαίνεται ότι μπορούν να πετύχουν και σε αυτό που τελικά επιτυγχάνουν. Με άλλα λόγια ενώ φαίνεται ότι έχουν την δυνατότητα να αριστεύσουν στο σχολείο, η απόδοσή τους είναι αναπάντεχα και ανεξήγητα χαμηλή<sup>42</sup>.

Τα άτομα με μαθησιακές δυσκολίες διαθέτουν διαφορετικούς τρόπους αντίληψης και επεξεργασίας των πληροφοριών, που σημαίνει ότι για να μάθουν και να προοδεύσουν, χρειάζονται διαφορετικό τρόπο διδασκαλίας. Για αυτό άλλωστε και ο όρος «μαθησιακές δυσκολίες»

τελευταία αντικαθίσταται με τον όρο «μαθησιακές διαφορές», που περιγράφει πιο σωστά τον τρόπο μάθησης αυτών των ατόμων<sup>43</sup>.

## ΔΥΣΛΕΞΙΑ

Το σύνδρομο της δυσλεξίας υπήρξε και εξακολουθεί να είναι αντικείμενο προβληματισμού, σύγχυσης και αμφισβητήσεων μεταξύ των μελετητών του, που ξεκίνησαν από τον ορισμό του όρου και συνεχίστηκαν σε επίπεδο αιτιολογίας και διάγνωσης. Πρέπει να τονιστεί ότι έχουν υπάρξει διαφορές απόψεων μεταξύ ερευνητών από διαφορετικούς επιστημονικούς κλάδους, όπως αυτοί της ιατρικής, της ψυχολογίας και της παιδαγωγικής, όπου κάθε επιστήμη έχει την δική της προοπτική προσέγγισης του προβλήματος όπως και τη δική της συναφή ορολογία.

Ετυμολογικά ο όρος «δυσλεξία» είναι σύνθετος από το μόριο *δυσ-*, που υποδηλώνει δυσκολία και τη λέξη *λόγος*, που στα αρχαία ελληνικά σημαίνει «η λέξη» και επομένως ο όρος αυτός αναφέρεται απλά σε «δυσκολία με λέξεις»<sup>44</sup>. Μερικοί μεταφραστές ορίζουν ακόμη ότι ο όρος «λέξη» σημαίνει «ομιλία» (*speech*). Όμως αυτή η χρήση δε φαίνεται να απαντάται συχνά στην σύγχρονη επιστημονική βιβλιογραφία.

Σε ότι αφορά το εννοιολογικό περιεχόμενο του όρου «δυσλεξία» υπάρχουν πολλές διαφωνίες ανάμεσα στους ειδικούς των διαφόρων επιστημονικών κλάδων. Έχουν διατυπωθεί πολλοί ορισμοί με επικρατέστερο αυτόν της Παγκόσμιας Εταιρίας της Νευρολογίας, ο οποίος ορίζει την δυσλεξία ως:

*Μια διαταραχή που εκδηλώνεται με δυσκολία στην εκμάθηση της ανάγνωσης ανεξάρτητα από την συμβατική διδασκαλία, την επαρκή*



*νοημοσύνη και την προσφερόμενη κοινωνικό-πολιτισμική ευκαιρία. Εξαρτάται από θεμελιώδεις γνωστικές δυσκολίες, οι οποίες συχνά έχουν ιδιοσυστασιακή προέλευση.*

## **ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΤΗΣ ΔΥΣΛΕΞΙΑΣ**

Η δυσλεξία ως διαταραχή εκμάθησης του γραπτού λόγου είναι περισσότερο συχνή στα αγόρια από ότι στα κορίτσια (αναλογία 4:1).

Οι λόγοι είναι άγνωστοι. Είναι πιθανό να υπάρχουν βιολογικές διαφορές ανάμεσα στα δύο φύλα ή οι διαφορές να είναι αποτέλεσμα της πίεσης που ασκούν και του άγχους που προκαλούν για επιτυχία οι κοινωνικές δομές πιο έντονα στα αγόρια από ότι στα κορίτσια. Μία περισσότερη εξήγηση της αριθμητικής περιοχής των αγοριών έναντι των κοριτσιών στην δυσλεξία, συναρτάται με το παρατηρούμενο προφίλ των δύο φύλων σε συνάρτηση με το επίπεδο ωρίμανσης και ανάπτυξης τους. Έχει παρατηρηθεί ότι στα αγόρια, σε σύγκριση με τα κορίτσια, δείχνουν να έχουν συχνότερη επιβράδυνση στην ανάπτυξη της ομιλίας. Τα κορίτσια από την άλλη μεριά, συγκρινόμενα με τα αγόρια, διακρίνονται για την πρόωμη ωρίμανση τους, πράγμα που τα επιβοηθεί να επιτυγχάνουν με ταχύτερους ρυθμούς στην πρόσκτηση της αναγνωστικής τους δεξιότητας<sup>45</sup>.

Η δυσλεξία ταλαιπωρεί το 4%-8% του ελληνικού πληθυσμού. Υπολογίζεται ότι στην Ελλάδα και στο σύνολο του μαθητικού πληθυσμού το 3%-5% των μαθητών έχουν κάποια μορφή δυσλεξίας. Αυτό σημαίνει ότι σε κάθε σχολείο με 250 μαθητές υπάρχουν τουλάχιστον 10 μαθητές με πρόβλημα δυσλεξίας<sup>46</sup>.

Τέλος, κατά πόσο η δυσλεξία σχετίζεται με την σειρά του δυσλεκτικού παιδιού ανάμεσα στα αδέρφια του, είναι ένα θέμα που δεν έχει διευκρινιστεί. Για παράδειγμα μερικοί μελετητές<sup>47</sup> υποστηρίζουν ότι τα υστερότοκα παιδιά έχουν διπλάσια πιθανότητα να παρουσιάσουν συμπτώματα δυσλεξίας, ενώ άλλοι<sup>48</sup> δεν βρήκαν σημαντική διαφορά σε αυτό.

## **ΤΥΠΟΙ ΔΥΣΛΕΞΙΑΣ**

Η δυσλεξία ως πρόβλημα επεξεργασίας του γραπτού λόγου διακρίνεται σε δύο κατηγορίες: την «αναπτυξιακή» (developmental) και την επίκτητη (acquired) δυσλεξία.

Η επίκτητη δυσλεξία αφορά άτομα, τα οποία έχουν μάθει να διαβάζουν και να γράφουν κανονικά αλλά αργότερα σε κάποια στιγμή της ζωής τους έχασαν αυτή την ικανότητα. Αυτό οφείλεται σε κάποια διαταραχή συνδεόμενη με καθοριστική βλάβη στον εγκέφαλο.

Η άλλη μορφή δυσλεξίας, η αναπτυξιακή, που θα μας απασχολήσει περισσότερο, αναφέρεται σε άτομα σχολικής ηλικίας που έρχονται για πρώτη φορά σε επαφή με την πρόσκτηση γλωσσικών δεξιοτήτων. Ο όρος «αναπτυξιακή» σημαίνει απλά ότι το άτομο δεν αποκτά εύκολα τις γλωσσικές δεξιότητες. Σημαίνει επίσης ότι το σύνδρομο της δυσλεξίας είναι μια διαταραχή γλωσσικού χαρακτήρα που παρατηρείται στην περίοδο ανάπτυξης του ατόμου.

Από διάφορους μελετητές του θέματος έχουν χρησιμοποιηθεί διαφορετικοί όροι για τους τύπους της αναπτυξιακής δυσλεξίας. Συνήθως τα δυσλεκτικά άτομα, με βάση τα ελλείμματα τους σε μια ή

περισσότερους κλάδους αισθητηριακής επικοινωνίας κατατάσσονται σε μία από τις παρακάτω κατηγορίες: την «οπτική δυσλεξία» και την «ακουστική δυσλεξία».

### **Οπτική δυσλεξία**

Το πρόβλημα των ατόμων με οπτική δυσλεξία εκδηλώνεται ως δυσκολία στην μάθηση διαμέσου της οπτικής λειτουργίας. Χαρακτηρίζεται από προβλήματα στην οπτική αντίληψη, την οπτική διάκριση και την οπτική μνήμη. Με άλλα λόγια η οπτική δυσλεξία χαρακτηρίζεται από ένα βασικό έλλειμμα ικανότητας του ατόμου να μετουσιώνει με ακρίβεια γραπτά σύμβολα σε αντίστοιχο λεκτικό περιεχόμενο. Η διαταραχή αυτή δεν έχει να κάνει με την όραση αυτή καθαυτή του ατόμου. Δηλαδή άτομα με σοβαρή οπτική διαταραχή δεν μπορεί να θεωρηθούν ότι έχουν δυσλεξία εξαιτίας της απώλειας της όραση τους. Άλλωστε έχει διαπιστωθεί ότι τα άτομα με οπτική δυσλεξία, εξεταζόμενα σε τεστ της οπτικής τους ικανότητας, λειτουργούν σε κανονικά επίπεδα.

Τα συναφή προβλήματα της διαταραχής αυτής, εντοπίζονται σε θέματα όπως διάκριση μεγέθους και μορφής, ανάγνωση με κατεύθυνση από τα αριστερά προς τα δεξιά, αναγνώριση συμπλεγμάτων ως σύνθεση γραμμμάτων κτλ. Το πρόβλημα που συνυφάνεται με την οπτική δυσλεξία εστιάζεται στο έλλειμμα ικανότητας του ατόμου για οπτική αναπαράσταση γραπτών συμβόλων που αποσκοπεί στην ευχερή κατανόηση της γλώσσας<sup>49</sup>.

Τα περισσότερα άτομα με δυσλεξία βλέπουν ορισμένα γράμματα ή και τμήματα λέξεων αντίστροφα ή και τα «επάνω κάτω» (upside down). Η

προσπάθεια τους επομένως, για ανάγνωση ολόκληρων λέξεων που συνθέτουν μια πρόταση, συνιστά μια περίπλοκη υπόθεση. Εξαιτίας αυτής της συγκεχυμένης οπτικής αντίληψης, τα άτομα με δυσλεξία εργάζονται με αργό ρυθμό. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι αν για την ανάγνωση μιας πρότασης τριών σειρών ο κανονικός αναγνώστης χρειάζεται περίπου τρία λεπτά της ώρας, το άτομο με δυσλεξία θα χρειαστεί τουλάχιστον 15 λεπτά<sup>50</sup>.

### **Ακουστική δυσλεξία**

Η ακουστική δυσλεξία δε σχετίζεται με προβλήματα ακοής. Τα άτομα με δυσλεξία αυτού του τύπου έχουν κανονική ακοή, όπως αυτή μπορεί να αξιολογηθεί με την χρήση ακοολογικών τεστ.

Τα άτομα με ακουστική δυσλεξία δεν μπορούν να αναγνωρίσουν μικρές διαφορές μεταξύ ήχων που αντιστοιχούν σε φωνήεντα ή σύμφωνα. Έτσι δεν μπορούν κατά ακολουθία να συνδέσουν τους ήχους με τα γραπτά τους σύμβολα. Επομένως, παρουσιάζουν χαμηλές επιδόσεις στην ορθογραφημένη γραφή και στην σύνθεση γραπτών και ακουστικών στοιχείων.

Οι δυσκολίες αυτών των ατόμων μπορούν να αποκαλυφτούν αν τους ζητηθεί να γράψουν καθ'υπαγόρευση ένα κείμενο. Τα άτομα αυτά δεν είναι σίγουρα ότι ακούνε σωστά λέξεις ή φράσεις ενός κειμένου, για αυτό και συχνά αισθάνονται την ανάγκη για επανάληψη της υπαγόρευσής τους προκειμένου να διευκολυνθούν στην γραφή του. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι ένα άτομο με ακουστική δυσλεξία στην καλύτερη περίπτωση

χρειάζεται 3-5 λεπτά της ώρας για να γράψει καθ'υπαγόρευση μια απλή πρόταση.

Τα άτομα με ακουστική δυσλεξία λέξεων παρουσιάζουν επίσης μια δυσκολία στην ονομασία λέξεων που ομοιοκαταληκτούν, στην ερμηνεία διακριτικών σημείων καθώς και στη σωστή προφορά των λέξεων. Για παράδειγμα, επειδή δεν μπορούν να κατανοήσουν τις διαφορές σε παρόμοιους ήχους φωνηέντων, δεν μπορούν να διακρίνουν τη διαφορά που υπάρχει μεταξύ δύο λέξεων, όπως στην αγγλική γλώσσα “big” και “beg” ή στην ελληνική γλώσσα «πένα» και «χτένα». Τα άτομα με ακουστική δυσλεξία έχουν την τάση να παραμορφώνουν ή να διαστρεβλώνουν την προφορά των οικείων λέξεων.

Πρέπει να τονιστεί πως αμιγείς περιπτώσεις καθενός από αυτούς τους τύπους δυσλεξίας είναι σχεδόν αδύνατο να υπάρξουν. Το συνηθέστερο είναι ότι σε μια περίπτωση δυσλεκτικού ατόμου ίσως συνυπάρχουν και οι δύο τύποι. Έχοντας υπόψη αυτά οι Ingram <sup>51</sup> και Boder <sup>52</sup> διέκριναν και μια τρίτη κατηγορία δυσλεξίας, η οποία χαρακτηρίζεται από δυσκολίες στην λειτουργία και των δύο καναλιών επεξεργασίας του γραπτού λόγου: την κατηγορία αυτή την ονόμασαν «μεικτή δυσλεξία». Η αναγνώριση της έχει υποστηριχθεί και από άλλες ερευνητική μελέτες <sup>53-55</sup>.

## **ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΥΣΛΕΞΙΑΣ**

Τα συμπτώματα είναι πολλά και ποικίλουν ανάλογα με την σοβαρότητα της διαταραχής, την ηλικία και την ιδιαιτερότητα του κάθε ατόμου. Αναφέρονται γενικά τα εξής:

### **α) Γενικά χαρακτηριστικά συμπεριφοράς**

1. Δυσκολία στην διάκριση δεξιού-αριστερού.
2. Σύγχυση ως προς το κυρίαρχο χέρι, μάτι, πόδι.
3. Ενδεχόμενη κινητική αδεξιότητα ή υπερκινητικότητα.
4. Διαταραχές προσοχής-συγκέντρωσης.
5. Σύγχυση στην αντίληψη της έννοιας του χρόνου.
6. Σύγχυση στην αντίληψη της έννοιας του χώρου.
7. Δυσκολία στην αντίληψη και επεξεργασία οπτικών και ακουστικών ερεθισμάτων.

### **β) Ανάγνωση**

1. Παραλήψεις ή αλλαγές σε γράμματα, λέξεις ή προτάσεις.
2. Αργός ρυθμός ανάγνωσης.
3. Λαθεμένη ανάγνωση λέξεων.
4. Παραλείψεις στα σημεία στίξεως και στις συνδετικές λέξεις.
5. «Καθρεπτική» ανάγνωση (πχ η λέξη «αν» διαβάζεται «να»).
6. Ενδεχόμενη αντικατάσταση μιας λέξης από μια άλλη με παρόμοια σημασία (πχ «άσπρο» αντί για «λευκό»).
7. Χάσιμο της σειράς της ανάγνωσης.
8. Αδυναμία κατανόησης του περιεχομένου.

### γ) Γραφή

1. Παράλειψη γραμμάτων (πχ «τραπζι» αντί «τραπέζι»).
2. Επανάληψη γραμμάτων (πχ «σππίτι»).
3. Αντικατάσταση γραμμάτων σε λέξεις που συγχέονται και μοιάζουν φωνολογικά (πχ «γάλα» αντί για «γάτα», «Θάσος» αντί για «δάσος»).
4. Αντιστροφή γραμμάτων (πχ «αγβό» αντί «αβγό»).
5. Ορθογραφικά λάθη.
6. Λανθασμένος επιτονισμός
7. Χρήση κεφαλαίων γραμμάτων ανάμεσα στα μικρά (πχ «άνεΜος»).
8. Ατελή ευθυγράμμιση των λέξεων πάνω στο χαρτί, κακή χρήση των γραμμών και των περιθωρίων.
9. Αργό γράψιμο.

Εκτός από τις παραπάνω κατηγορίες δυσκολιών που χαρακτηρίζουν τα δυσλεκτικά άτομα, πολύ συχνά παρατηρούνται δυσκολίες των ατόμων αυτών στη σωστή γραφή καθ'υπαγόρευση αριθμών (πχ «9» αντί «6»). Μερικές φορές δυσκολεύονται στην εκτέλεση αριθμητικών πράξεων. Θα πρέπει όμως να διευκρινιστεί πως οι αριθμητικές δυσκολίες δεν είναι γενικές, καθότι μερικά άτομα παρουσιάζουν αξιοζήλευτες επιδόσεις στην αριθμητική.

## ΑΙΤΙΟΛΟΓΙΑ ΔΥΣΛΕΞΙΑΣ

Σε ότι αφορά τα αίτια της αποτυχίας του δυσλεκτικού ατόμου να αποκτήσει ευχέρεια στην απόκτηση των βασικών δεξιοτήτων ανάγνωσης και ορθογραφημένη γραφής, πρέπει να σημειωθεί ότι κατά καιρούς έχουν διατυπωθεί διάφορες συνήθως αντικρουόμενες θεωρητικές θέσεις εκ μέρους μελετητών του προβλήματος και έχουν προκύψει αντίστοιχες ερευνητικές μαρτυρίες. Οι κυριότερες θεωρίες που έχουν αναπτυχθεί συνοψίζονται στα παρακάτω:

### Νευροβιολογική βάση δυσλεξίας

Οι ιατροί (κυρίως οι οφθαλμίατροι) ήταν εκείνοι που πρόσφεραν τις πρώτες δημοσιευμένες έρευνες για την δυσλεξία. Αρχικά η δυσλεξία είχε περιγραφεί ως «λεξική τύφλωση» και είχε θεωρηθεί ως μια οπτική δυσλειτουργία. Ο νευροπαθολογος Orton <sup>56</sup> την περιέγραψε σαν μια αποτυχία αναπαράστασης και αντιπροσώπευσης του γραπτού συμβόλου στους δύο ινιακούς λοβούς. Παρόλο που ανωμαλίες στις οπίσθιες εγκεφαλικές περιοχές, ειδικά στην περιοχή της γωνιώδους έλικας του αριστερού ημισφαιρίου, είναι κοινώς αναφερόμενες στις σημερινές μεθόδους απεικόνισης του εγκεφάλου, η παθοφυσιολογία είναι περισσότερο περίπλοκη. Ανατομικές μελέτες δείχνουν ότι στον εγκέφαλο ενός δυσλεκτικού ατόμου είναι διάχυτες οι ανωμαλίες σε αριστερές και δεξιές εγκεφαλικές ημισφαιρικές περιοχές <sup>57,58</sup> και ότι τα σχήματα της ανώμαλης δραστηριότητας που παρατηρούνται στην δυσλεξία είναι κοινά ανάμεσα στις διάφορες πολιτισμικές κοινωνίες <sup>59</sup>. Αυτό δηλώνει ότι η βασική παθοφυσιολογία της δυσλεξίας είναι παγκόσμια παρά τις



κάποιες ποικιλίες που υπάρχουν στην φωνολογική δομή των διαφόρων γλωσσών<sup>60</sup>.

Οι μελέτες αυτοψίες στους εγκεφάλους των δυσλεκτικών ατόμων έχουν δείξει ανωμαλίες στα ποσοστά της λευκής ουσίας σε όλο το αριστερό ημισφαίριο (η λευκή ουσία ήταν περισσότερη από ότι στο δεξιό) και διαταραχές στη νευρωνική μετανάστευση γύρω από την σχισμή του Silvius<sup>61, 62</sup>.

Επίσης έχει βρεθεί ότι υπάρχει αμφοτερόπλευρη συμμετρία στην ανάπτυξη και δομή του κροταφικού πεδίου. Το κροταφικό πεδίο βρίσκεται και στα δύο ημισφαίρια αλλά στο αριστερό ημισφαίριο η περιοχή αυτή ελέγχει τις γλωσσικές λειτουργίες. Στους περισσότερους ανθρώπους το κροταφικό πεδίο παρουσιάζει ασυμμετρία: στο αριστερό ημισφαίριο η περιοχή που καταλαμβάνει είναι πιο μεγάλη από ότι στο δεξιό<sup>57,63</sup>. Στον εγκέφαλο των δυσλεκτικών ατόμων διαπιστώθηκαν συσσωρεύσεις νευρώνων σε περιοχές του αριστερού εγκεφαλικού ημισφαιρίου όπου εντοπίζονται οι γλωσσικές διεργασίες και η μνήμη<sup>61, 62</sup>.

### **Έλλειμμα εγκεφαλική κυριαρχίας**

Το χαρακτηριστικό αυτό αφορά το έλλειμμα εξειδίκευσης του αριστερού ημισφαιρίου του εγκεφάλου στην γλωσσική λειτουργία του ατόμου. Ασφαλώς ένα τέτοιο έλλειμμα δεν σημαίνει πλήρη απουσία εγκεφαλική κυριαρχίας. Αντίθετα, εκείνο που πιστεύεται είναι πως στα δυσλεκτικά άτομα παρατηρείται μια λιγότερο σαφής κυριαρχία αυτής της μορφής που σχετίζεται με την γλωσσική τους συμπεριφορά. Το πρόβλημα του

ελλείμματος της εγκεφαλική κυριαρχίας εγγράφεται στην ευρύτερη περιοχή των ημισφαιρικών διαφορών και υπογραμμίζει το ρόλο της συμμετρίας του εγκεφάλου στις εξελικτικές δυσκολίες του ατόμου, με ιδιαίτερη έμφαση στην χρήση και κατανόηση της γλώσσας.

Ένας από τους πρώτους ερευνητές που πρότεινε την σύνδεση μεταξύ της προτιμώμενης πλευράς του σώματος και των αναγνωστικών δυσκολιών ήταν ο Samuel T. Orton <sup>56</sup>. Ο Orton εργάστηκε στις πρώτες δεκαετίες του 20<sup>ου</sup> αιώνα με παιδιά που παρουσίαζαν δυσκολίες στην ανάγνωση και γραφή. Ο ίδιος σημείωσε επίσης ότι τα άτομα αυτά συχνά αντίστρεφαν τη σειρά των γραμμάτων στην ανάγνωση όπως στην αγγλική γλώσσα η λέξη “saw” αντιστρεφόμενη διαβάζεται “was” ή στην ελληνική γλώσσα το μόριο «αν» διαβάζεται όπως ο τελικός σύνδεσμος «να». Πράγμα που και στις δυο περιπτώσεις αλλοιώνει απολύτως την σημασία τους.

Επίσης ο Orton παρατήρησε ότι τα άτομα που έκαναν παρόμοιες αντιστροφές στην ανάγνωση και γραφή έτειναν να έχουν ασταθείς προτιμήσεις για το ένα χέρι και ερμήνευσε το εύρημα αυτό ως μια ένδειξη ελλιπούς εγκεφαλική κυριαρχίας. Αυτή η παρατηρούμενη συσχέτιση της αναγνωστικής δυσκολίας και της ελλιπούς εγκεφαλική κυριαρχίας οδήγησε τον Orton να υποθέσει ότι οι δύο αυτές παράμετροι παρουσιάζουν μια συνάφεια μεταξύ τους. Βασιζόμενος στις ενδιαφέρουσες αυτές επισημάνσεις του, διαμόρφωσε μια συναφή θεωρία, η οποία έχει ασκήσει την μεγαλύτερη επιρροή από οποιαδήποτε άλλη που έχει εμφανιστεί στην διεθνή βιβλιογραφία.

Ο Orton στη θεωρία που ανέπτυξε υποστήριξε ότι η ελλιπής κυριαρχία του αριστερού ημισφαιρίου, όπου βρίσκεται το κέντρο ελέγχου των γλωσσικών λειτουργιών, αποτελεί την αιτία των προβλημάτων που

αντιμετωπίζουν τα άτομα με δυσλεξία στην επεξεργασία της γλώσσας. Σύμφωνα με την ίδια θεωρία, ενώ το αριστερό ημισφαίριο πρέπει να ελέγχει και να αντιδρά σε γλωσσικά ερεθίσματα που παρουσιάζονται οπτικά ή ακουστικά, η παρεμβολή του δεξιού ημισφαιρίου δημιουργεί γλωσσική σύγχυση.

Η Witelson<sup>64</sup> πολύ αργότερα πρότεινε μια σχεδόν αμιγή νευροβιολογική προσέγγιση της γλώσσας του ατόμου. Υποστήριξε ότι το δεξιό ημισφαίριο του δυσλεκτικού ατόμου είναι κατά κάποιο τρόπο ανεπαρκές, δηλαδή δεν παρατηρείται η απαιτούμενη εξειδίκευση του σε θέματα μη γλωσσικά. Για τον λόγο αυτό, το αριστερό ημισφαίριο αναλαμβάνει να αναπληρώσει αυτό τον ρόλο που δεν του ανήκει, με αποτέλεσμα το ίδιο να καθίσταται γλωσσικά ανεπαρκές, δηλαδή να παρουσιάζει έλλειμμα σε μια περιοχή που έχει άλλωστε την ίδια ευθύνη. Η παρείσφρηση του αριστερού ημισφαιρίου στον ρόλο του δεξιού, σημαίνει πως η εκτέλεση των εργασιών του τελευταίου αναλαμβάνεται και από τα δύο ημισφαίρια και επομένως πρόκειται για μια τάση των δυσλεκτικών ατόμων να παρουσιάζουν μικτή κυριαρχία των ημισφαιρίων του εγκεφάλου.

### **Κληρονομικότητα**

Η πιθανότητα ότι η δυσλεξία «κληρονομείται» διατυπώθηκε στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα όταν μετά από συστηματικές παρατηρήσεις περιπτώσεων ατόμων με δυσλεξία, φάνηκε ότι κληρονομικοί παράγοντες επενεργούσαν τουλάχιστον σε μερικές περιπτώσεις<sup>65</sup>.

Έρευνες με μονοζυγωτικούς διδύμους καθώς και με ολόκληρες οικογένειες έδειξαν ότι η δυσλεξία είναι κληρονομική. Τα πιο ενισχυτικά

ερευνητικά αποτελέσματα της γενετικής θεωρίας ήταν εκείνα των DeFries & Becker<sup>65,66</sup>. Οι DeFries & Becker σε μια εκτεταμένη έρευνα 250 οικογενειών επεσήμαναν σοβαρές ενδείξεις ότι οι μαθησιακές δυσκολίες και ειδικότερα συμπτώματα δυσλεξίας, έχουν την τάση να αποτελούν κληρονομικές διαταραχές και μάλιστα προσβάλλουν τέσσερις φορές περισσότερο τα αγόρια παρά τα κορίτσια. Ο Pennington<sup>67</sup> μάλιστα απομόνωσε τρία χρωμοσώματα που είναι πιθανόν να δημιουργούν δυσλεξία, τα χρωμοσώματα 6, 15 και 16.

### **Ελλείμματα οπτικής αντίληψης**

Μία τέταρτη θεωρία υποστηρίζει ότι οι δυσκολίες των ατόμων με δυσλεξία στο χειρισμό της γλώσσας οφείλονται στον αργό ρυθμό επεξεργασίας των οπτικών μηνυμάτων και απομνημόνευσης της οπτικής εικόνας των λέξεων. Πιο συγκεκριμένα, όταν το μάτι μας συναντήσει κάποια οπτικά ερεθίσματα (γράμματα ή λέξεις), πληροφορίες για το σχήμα και την μορφή τους μεταφέρονται στα ανάλογα τμήματα του εγκεφάλου, που ελέγχουν την επεξεργασία οπτικών πληροφοριών. Μέσω της μεγαλοκυτταρικής οδού (magnocells pathway) οι οπτικές αυτές πληροφορίες φτάνουν στον εγκέφαλο, ο οποίος επιτρέπει στους αναγνώστες να αναγνωρίσουν τις λέξεις με σαφήνεια και ταχύτητα. Η Livingstone<sup>68</sup> εξέτασε την πιθανότητα ανωμαλίες οπτικών πληροφοριών και ανακάλυψε ότι τα άτομα με δυσλεξία, παρότι δεν παρουσιάζουν τίποτα το παθολογικό στην όραση ή στο οπτικό νεύρο, επεξεργάζονται αυτές τις πληροφορίες με πιο αργό ρυθμό από ότι η πλειοψηφία των ανθρώπων.

## **Οφθαλμοκίνηση**

Ορισμένοι μελετητές του συνδρόμου της δυσλεξίας διερεύνησαν την δυνατότητα ύπαρξης ελλείμματος στα συστήματα έλεγχου των κινήσεων των οφθαλμών του δυσλεκτικού ατόμου. Πρέπει να σημειωθεί ότι σύμφωνα με μαρτυρίες ενός αιώνα και περισσότερο, η οφθαλμοκίνηση αποτελεί ένα δείκτη της αναγνωστικής ικανότητας του ατόμου <sup>69-72</sup>.

Έχει βρεθεί ότι τα άτομα με δυσλεξία έχουν δυσκολίες στην τήρηση της ακολουθητικής σειράς των γραπτών συμβόλων και στην μετάβασή τους από το τέλος μιας γραμμής του κειμένου στην αρχή της αμέσως επόμενης, δηλαδή ακολουθώντας την κατεύθυνση από τα δεξιά προς τα αριστερά <sup>71,73,74</sup>.

Οι «ανώμαλες» κινήσεις των οφθαλμών των δυσλεκτικών ατόμων κατά την ανάγνωση συμπυκνώνονται στα εξής βασικά σημεία: συνήθως χάνουν την οπτική τους θέση στο κείμενο, παλινδρομούν σε προηγούμενα τμήματα του υπό ανάγνωση κειμένου, ενώ μερικές φορές παραλείπουν ολόκληρες γραμμές του κειμένου.

Στο πρόβλημα όμως του ρόλου των οφθαλμικών κινήσεων στη δυσλεξία δεν έχει δοθεί ακόμα μια οριστική απάντηση και είναι πιθανόν οι ελαττωματικές οφθαλμικές κινήσεις να είναι το αποτέλεσμα και όχι το αίτιο της αναγνωστικής δυσκολίας <sup>62,75,76</sup>.

## **Ελλείμματα ακουστικής αντίληψης**

Οι ερευνητικές μαρτυρίες που αναφέρονται στα ελλείμματα του δυσλεκτικού ατόμου στην ακουστική αντίληψη είναι πολύ περιορισμένες σε σύγκριση με αντίστοιχες στην οπτική αντίληψη. Αυτό πιθανόν να

οφείλεται στην κυρίαρχη υπόθεση των μελετητών ότι η ανάγνωση είναι κατά κύριο λόγο οπτική διαδικασία. Έχει αποδειχτεί ότι η δεξιότητα της ορθογραφημένης γραφής δεν είναι απλά μια οπτική λειτουργία αλλά εμπλέκεται σε αυτή και η ικανότητα της ακουστικής διάκρισης. Με άλλα λόγια τα άτομα που έχουν χαμηλές επιδόσεις στην γραφή αναμένεται να παρουσιάζουν επίσης χαμηλές επιδόσεις στην ικανότητα της ακουστικής διάκρισης<sup>77,78</sup>.

Έτσι το άτομο δεν μπορεί να διακρίνει αν ορισμένες λέξεις, ιδιαίτερα εκείνες με παραπλήσια ακουστική ομοιότητα, είναι ίδιες ή διαφορετικές, επειδή δεν είναι σε θέση να αντιληφθεί με ακρίβεια τα επιμέρους στοιχεία που συνθέτουν μια λέξη.

Νεότερες επίσης έρευνες αναφέρουν ότι επεξεργάζονται σε αργότερο ρυθμό και τα ακουστικά ερεθίσματα<sup>79,80</sup>.

# **ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**





## ΜΕΘΟΛΟΓΙΑ

### Α. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

#### ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΤΩΝ ΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΠΡΟΚΛΗΤΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ

##### 1) ΔΙΕΓΕΡΣΗ

Σαν διέγερση χρησιμοποιούνται συνήθως παροδικά σήματα ευρέως φάσματος συχνοτήτων όπως τα κλικ (click), που δίνονται με ακουστικά από το ένα αυτί του εξεταζομένου.

Η χρονική διάρκεια και το φάσμα συχνοτήτων είναι δύο εναλλακτικοί τρόποι παρουσίασης της διέγερσης ενώ μεταξύ τους υπάρχει μετατρεψιμότητα. Πιο ειδικά, συντομότερο ερέθισμα έχει μεγαλύτερο εύρος συχνοτήτων και αντίστροφα.

Το κλικ (click) παράγεται δίνοντας ένα ηλεκτρονικό τετραγωνικό παλμό με μια τυπική διάρκεια 0,1 ms. Το αποτέλεσμα του κλικ έχει την πιο μικρή διάρκεια αλλά και το μεγαλύτερο εύρος συχνοτήτων. Τα φιλτραρισμένα κλικ παράγονται με διαμόρφωση του παλμού μέσα από ψηφιακά φίλτρα, όπου γίνονται σύντομοι τόνοι (tone pip και tone burst) με μορφές ημιτονοειδούς σήματος. Η διάκρισή τους περιορίζεται κυρίως στη διάρκεια τους. Οι ήχοι αυτοί έχουν στενότερο φάσμα συχνοτήτων από τα κλικ, που ελέγχεται από τον χρόνο της ανόδου και της πτώσης των διεγέρσεων.

Η επιλογή του ήχου διέγερσης εξαρτάται από το είδος της εξέτασης. Για να διαπιστώσουμε την γενική λειτουργία του κοχλιακού νεύρου και του στελέχους πρέπει να καταγραφούν τα καθαρότερα δυνατά ακουστικά προκλητά δυναμικά. Επειδή η εμφάνιση του ολικού προκλητού δυναμικού εξαρτάται από τον νευρικό συγχρονισμό, η πιο πιθανή επιλογή είναι το ηχητικό ερέθισμα ευρείας ζώνης συχνοτήτων (click).

Το κλικ είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο ερέθισμα στα προκλητά δυναμικά. Έχει όμως και περιορισμούς, για παράδειγμα, όταν ο στόχος είναι να εξεταστεί η ευαισθησία της ακοής σε διάφορες συχνότητες, απαιτούνται ήχοι στενότερου φάσματος.

#### **α) Ένταση**

Οι μονάδες της έντασης είναι αυτές της ακοομετρίας δηλαδή τα dB, σε σχέση με το επίπεδο της ακοής (HL) για μεγάλης διάρκειας τόνους, ενώ για διέγερση σύντομης διάρκειας χρησιμοποιείται ως ένταση αναφοράς ο ουδός του μέσου όρου για μια ομάδα ατόμων με φυσιολογική ακοή (dB HL).

Γενικά, όταν η ένταση της διέγερσης, αυξάνει για τα ακουστικά προκλητά δυναμικά, το πλάτος δυναμικού αυξάνει ενώ ο λανθάνων χρόνος μειώνεται. Όπως έχει αναφερθεί ο λανθάνων χρόνος είναι ο χρόνος που μεσολαβεί από την έναρξη της διέγερσης μέχρι την εμφάνιση κάποιου κύματος στην απόκριση. Το πλάτος δυναμικού έχει άμεση σχέση με τον αριθμό των ενεργών νευρικών ινών του υποστρώματος και τον συγχρονισμό τους. Μετρείται από την κορυφή μέχρι κάποια βασική

γραμμή μηδενικού δυναμικού (baseline) ή και από την κορυφή μέχρι την επόμενη κοιλάδα του δυναμικού.

Η ένταση κάτω από την οποία είναι αδύνατη η καταγραφή ακουστικών προκλητών δυναμικών αποτελεί τον ουδό τους. Το πλάτος αυξάνει σταθερά με την ένταση μα στις μεγάλες εντάσεις φτάνει σε μια οριακή τιμή ή αντιστρέφεται.

## **β) Συχνότητα**

Για τα περιφερικά ακουστικά προκλητά δυναμικά όπως τα κοχλιακά και αυτά του στελέχους του εγκεφάλου, η αύξηση της συχνότητας μειώνει τον λανθάνοντα χρόνο. Οι επιδράσεις στο πλάτος είναι πιο ασαφείς μιας και υπάρχει κάποια τάση προς μεγαλύτερα πλάτη σε υψηλότερες συχνότητες. Μια αιτία για αυτό είναι ο νευρικός συγχρονισμός καθώς υψηλότερες συχνότητες επιφέρουν καλύτερο συγχρονισμό. Επίσης, στις υψηλότερες συχνότητες η βάση του κοχλία είναι η αρχή της δημιουργίας των ακουστικών προκλητών δυναμικών όπου η διέγερση συμβαίνει πιο νωρίς από αυτή της κορυφής του.

Τα περιφερικά ακουστικά προκλητά δυναμικά παράγονται με σύντομες διεγέρσεις σύνθετου φάσματος (clicks). Είναι σημαντική η κατανόηση και προσεκτική μελέτη των λεπτομερειών της διαδικασίας διέγερσης του κοχλία και των νεύρων και πιο ειδικά της κατανομής της ενέργειας στις διάφορες συχνότητες και πως αυτή αλλάζει με την αλλαγή της κεντρικής συχνότητας και έντασης.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η έλλειψη προσοχής στις παραμέτρους διέγερσης μπορεί να οδηγήσει σε λάθος μελέτες. Για παράδειγμα υπήρχε

η υπόθεση ότι διέγερση χαμηλής συχνότητας παράγει ελάχιστα ή και καθόλου ακουστικά προκλητά δυναμικά εγκεφαλικού στελέχους, ενώ τελικά αποδείχτηκε πως παράγουν μόνο που έχουν ευρύτερο και αργότερο σχήμα απόκρισης από αυτό των υψηλών συχνοτήτων και των κλικ.

### **γ) Άλλες παράμετροι της διέγερσης**

Πρέπει να τονιστεί ότι τα ακουστικά προκλητά δυναμικά είναι «δυναμικά έναρξης» μιας και τα κύρια χαρακτηριστικά τους προσδιορίζονται κυρίως σε γεγονότα που συμβαίνουν σε πολύ μικρό χρόνο μετά την εμφάνιση διέγερσης. Όσο μεγαλύτερος είναι ο λανθάνων χρόνος, τόσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος προσδιορισμού της απόκρισης. Έτσι τα κοχλιακά ακουστικά προκλητά δυναμικά και αυτά του στελέχους εξαρτώνται από γεγονότα που συμβαίνουν μερικά msec μετά την διέγερση, ενώ τα φλοιικά ακουστικά προκλητά δυναμικά οφείλονται σε γεγονότα που συμβαίνουν μετά από 25 msec τουλάχιστον. Η μορφή της ανόδου της διέγερσης προσδιορίζει τα χαρακτηριστικά της απόκρισης. Έτσι μικρός χρόνος ανόδου προσδιορίζει μικρό λανθάνοντα χρόνο αλλά και μεγάλο πλάτος. Οι αλλαγές αυτές έχουν μελετηθεί ιδιαίτερα στα κοχλιακά και στελεχιαία ακουστικά προκλητά δυναμικά. Φυσικά τα αποτελέσματα αλλάζουν ανάλογα με την ένταση και τη συχνότητα. Ο μηχανισμός δεν είναι πλήρως κατανοητός.

### **δ) Πολικότητα (Phase)**

Για ήχο ευρέως φάσματος συχνοτήτων έχει σημειωθεί ότι η πολικότητα επιδρά στα κοχλιακά και στελεχιαία ακουστικά προκλητά δυναμικά ενώ

δεν επηρεάζει τα φλοιικά. Το διάφραγμα του μεγαφώνου ανάλογα με τον ηλεκτρικό παλμό που δέχεται μπορεί να παράγει πύκνωμα ή αραιώμα στον αέρα του έξω ακουστικού πόρου. Σε φυσιολογικές συνθήκες ακοής τα αραιώματα μειώνουν τον λανθάνοντα χρόνο των δυναμικών του κοχλία. Η βασική υπόθεση εξήγησης έχει σχέση με την διέγερση που προκαλείται από την ενεργοποίηση της βασικής μεμβράνης που προκαλείται από τα αραιώματα. Για τα κλικ «αραιώματος» (condensation) η έναρξη των ακουστικών προκλητών δυναμικών καθυστερεί μέχρι την πρώτη φάση ενεργοποίησης της βασικής μεμβράνης. Αν και η τοποθέτηση αυτή δεν είναι πλήρως αποδεκτή, σε πολλές περιπτώσεις κοχλιακών βλαβών η μηχανική και ηλεκτροφυσιολογική κατάσταση του κοχλία μπορεί να έχει απρόσμενα αποτελέσματα στην καταγραφόμενη κυματομορφή. Η πολικότητα της διέγερσης απαιτεί προσοχή κυρίως όταν χρησιμοποιείται για τη μείωση του τεχνικού θορύβου (artifact) στην τελική καταγραφή του μέσου όρου.

### **ε) Αμφοτερόπλευρη διέγερση**

Τα περισσότερα ακουστικά προκλητά δυναμικά καταγράφονται με μονόπλευρη διέγερση αλλά υπάρχουν και ορισμένα φαινόμενα που αφορούν τα στελεχειαία ακουστικά προκλητά δυναμικά που εμφανίζονται με διέγερση αμφοτερόπλευρη. Τα δυναμικά αυτά είναι το άθροισμα των αντίστοιχων μονόπλευρων και μας δίνουν πληροφορίες για διαφορετικές νευρικές πηγές ή για κοινές πηγές των οδών αγωγής κάτι που είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τα υψηλότερα τμήματα της ακουστικής οδού.

## II) ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ

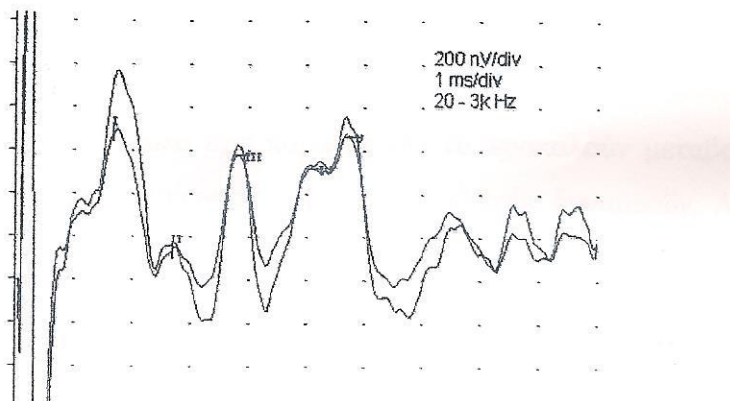
Το πρωτόκολλο καταγραφής που κάθε φορά χρησιμοποιείται είναι καθοριστικός παράγοντας για τη μορφή και την ευκρίνεια των ακουστικών προκλητών δυναμικών (Εικόνα 6).

### α) Ηλεκτρόδια καταγραφής

Ηλεκτρόδια τύπου βελόνας χρησιμοποιούνται μόνο στην ηλεκτροκοχλιογραφία για την καταγραφή των εκεί δυναμικών όπου διατυμπανικά το ηλεκτρόδιο τοποθετείται κοντά στην στρογγύλη θυρίδα. Για τα περισσότερα ακουστικά προκλητά δυναμικά χρησιμοποιούνται μικροί δίσκοι από Ag και επίχρισμα AgCL. Αυτό γίνεται για την αποφυγή θορύβων από τις πολώσεις. Η αγώγιμη πάστα ή η αλοιφή μεταξύ του ηλεκτροδίου και του δέρματος καθώς και η μηχανική επικόλληση μετά από ένα καλό καθάρισμα και τρίψιμο είναι απαραίτητα. Η ηλεκτρική αντίσταση μεταξύ δέρματος και ηλεκτροδίου πρέπει να είναι μικρότερη των 5 Kilo Ohm για να είναι δυνατή η καταγραφή δυναμικών.

Για να μεγιστοποιηθεί το καταγραφόμενο ακουστικό προκλητό δυναμικό, το ένα ηλεκτρόδιο τοποθετείται στην περιοχή του μέγιστου δυναμικού και το άλλο στην περιοχή του ελαχίστου. Τα δυναμικά του στελέχους και του φλοιού έχουν ευρέως τοπογραφηθεί με αποτέλεσμα η περιοχή του μέγιστου δυναμικού να βρίσκεται στην κορυφή της κεφαλής. Έτσι ενώ το ένα ηλεκτρόδιο τοποθετείται στην κορυφή της κεφαλής, το άλλο τοποθετείται στον λοβό του πτερυγίου του αυτιού ή πιο συχνά στον

μαστοειδή. Και άλλες θέσεις είναι δυνατές αλλά οι παραπάνω χρησιμοποιούνται στην κλινική ρουτίνα.



**Εικόνα 6:** Χαρακτηριστικό δείγμα αυτόματου εντοπισμού κυμάτων (I, II, III, IV, V) προκλητών δυναμικών (ακουστικά)

## β) Φίλτρα συχνοτήτων

Το φιλτράρισμα χρησιμοποιείται για την αύξηση του σήματος των ακουστικών προκλητών δυναμικών αλλά και για την βελτίωση του λόγου σήματος-θορύβου προκειμένου να καθοριστεί η τελική κυματομορφή.

Γενικά, είναι επιθυμητό από όλες τις συχνότητες του εισερχόμενου σήματος να συμπίεζονται αυτές που περιέχουν την περισσότερη ενέργεια θορύβου και να περνούν αμετάβλητες αυτές που περιέχουν την ενέργεια των ακουστικών προκλητών δυναμικών.

Αυτά τα φίλτρα, τα υψιπερατά επιτρέπουν το πέρασμα των υψηλών συχνοτήτων και εμποδίζουν ταυτόχρονα την ενέργεια των χαμηλών. Για τα βαθυπερατά φίλτρα συμβαίνει το αντίστροφο. Πιο σύνθετα φίλτρα που μπορούν να επιτρέπουν το πέρασμα ορισμένης δέσμης συχνοτήτων

είναι δυνατόν να επιτευχθούν με συνδυασμό των δύο παραπάνω κατηγοριών.

Τα πιο πολλά φίλτρα είναι ηλεκτρονικά «κουτιά» που ενεργούν πάνω σε σήματα εισόδου που συνεχώς μεταβάλλονται μέσω υπολογισμών πάνω σε βιοηλεκτρικά δεδομένα καταγραμμένα και αποθηκευμένα σαν ομάδες ψηφίων στη μνήμη ενός υπολογιστή, κάτι που αποτελεί το ψηφιακό φιλτράρισμα. Τα ψηφιακά φίλτρα είναι πιο ευέλικτα και ισχυρά από τα αναλογικά και όλο και περισσότερο χρησιμοποιούνται στις νέες συσκευές καταγραφής και μελέτης προκλητών δυναμικών γενικά.



## **ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΣΤΗΝ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΠΡΟΚΛΗΤΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ**

### **α) Ιδιότητες θορύβου και κατάσταση του εξεταζομένου**

Ο βιοηλεκτρικός θόρυβος μπορεί να επιδράσει στην δυνατότητα μέτρησης, στον χρόνο εξέτασης, στην ακρίβεια του οδού ακοής και στον προσδιορισμό των παραμέτρων. Στην ηλεκτροκοχλιογραφία η γενική αναισθησία που χρησιμοποιείται και το πολύ καλό σημείο καταγραφής μειώνει δραστικά το επίπεδο του θορύβου. Για τα ακουστικά προκλητά δυναμικά που καταγράφονται στην κορυφή της κεφαλής, το κύριο πρόβλημα είναι η ηλεκτρομυική δραστηριότητα της οποίας η ενέργεια είναι μεταξύ των 50 και 250 Hz, κάτι που μπορεί να επικαλύψει το φάσμα καταγραφής των τα ακουστικών προκλητών δυναμικών των πρώτων ms. Το πρόβλημα αυτό για να αντιμετωπιστεί απαιτεί και την συνεργασία του εξεταζομένου. Συχνά καταφεύγει κανείς και στην γενική αναισθησία αφού και στον φυσιολογικό ύπνο ο θόρυβος τέτοιου είδους παραμένει. Ο ύπνος και η αναισθησία δεν επηρεάζουν τα στελεχιαία κυρίως ακουστικά προκλητά δυναμικά.

Η προσοχή επιδρά ευεργετικά στα φλοιικά ακουστικά προκλητά δυναμικά αλλά όχι στα στελεχιαία αυξάνοντας τα πλάτη των δυναμικών. Αυτό συμβαίνει γιατί τα δυναμικά αυτά δεν είναι πλήρως εξωγενή μα εξαρτώνται κατά πολύ από την κατάσταση του εξεταζομένου.

## β) Ηλικία

Η ηλικία αλλά και το φύλο έχει παρατηρηθεί να προκαλούν μεταβολές μόνο στις παραμέτρους των στελεχιαίων ακουστικών προκλητών δυναμικών. Αυτό συμβαίνει γιατί:

- 1) παράγονται αρκετά ψηλά στη νευρική οδό για να εκφράσουν νευρολογικές διαφορές
- 2) είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα σε λεπτές μεταβολές όγκου και εξέλιξης αξιοσημείωτων νευρικών γεγονότων.

Η επίδραση της ηλικίας μπορεί να χωριστεί σε αποτελέσματα ωρίμανσης σε μικρά παιδιά και εκφύλισης σε ηλικιωμένους. Εκτεταμένα δεδομένα τέτοιων αλλοιώσεων συμβαίνουν μέχρι την ηλικία των δύο ετών με επίδραση στη μορφολογία, στο πλάτος και στον χρόνο. Οι αποκρίσεις του στελέχους είναι πιο αργές στα μικρά παιδιά από ότι στα νεογέννητα. Σε εξεταζόμενους μεγάλης ηλικίας υπάρχει μια αύξηση του λανθάνοντα χρόνου λόγω των εκφυλίσεων που συμβαίνουν, αλλά πρέπει να δίνεται προσοχή ακόμη και στην επίδραση της συχνής βαρηκοΐας στις ηλικίες αυτές.

## γ) Φύλο

Οι επιδράσεις του φύλου αναφέρονται συχνά στα κύματα III και V αλλά όμως και στις διακυματικές διαφορές. Οι αιτίες δεν είναι σαφείς μα οι ερμηνείες που δίνονται έχουν σχέση με νευρολογικές διαφορές όπως το μήκος των οδών, την διάμετρο των νεύρων, τον αριθμό και την οργάνωση τους. Οι διαφορές αυτές συχνά είναι μικρές αλλά πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στην ωτονευρολογική χρήση των ακουστικών

προκλητών δυναμικών για την αποφυγή σφαλμάτων. Τα στοιχεία για τα φλοιικά ακουστικά προκλητά δυναμικά είναι ελλιπή στον τομέα αυτό χωρίς φυσικά να σημαίνει ότι και σε αυτή την περίπτωση δεν μπορεί να υπάρχουν διαφορές.

#### **δ) Θερμοκρασία**

Τα αργά κύματα επηρεάζονται από τις υψηλές θερμοκρασίες ενώ οι χαμηλές θερμοκρασίες προκαλούν παράταση στους λανθάνοντες χρόνους. Μεγάλη σημασία έχει το γεγονός αυτό στα νεογέννητα, σε ασθενείς με κώμα ή με τοξική επίδραση και κατά τη διάρκεια νευροχειρουργικής παρακολούθησης. Στην κλινική ρουτίνα προβλήματα αποκλίσεων λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας είναι μάλλον σπάνια.

#### **ε) Μορφομετρικές διαφορές**

Έχει εκτιμηθεί όπως και σε όλα τα προκλητά δυναμικά ότι οι ανθρωπομετρικές διαφορές, δηλαδή οι ανατομικές διαφορές πχ το ύψος, το μέγεθος της κεφαλής κτλ, μεταξύ των εξεταζομένων επιφέρουν διασπορά στις παραμέτρους των ακουστικών προκλητών δυναμικών. Το μέγεθος-κλειδί είναι η ακτίνα της κεφαλής, η οποία είναι ανάλογη με τις εσωτερικές διαφορές στα μήκη των νευρικών οδών. Αρχικά στις διαφορές αυτές αποδόθηκαν και οι παραπάνω επιδράσεις του φύλου. Έρευνες με τη βοήθεια ακτινοδιαγνωστικών μεθόδων έχουν αναδείξει την ακτίνα της κεφαλής ανάλογη του μήκους του στελέχους και γενικά της οδού, να επιδρά στη μετατόπιση των λανθανόντων χρόνων προς

μεγαλύτερες τιμές, αφού είχαν αποκλειστεί κατάλληλες διαφορές λόγω φύλου.

#### **στ) Ακοολογικές και νευρολογικές ανωμαλίες**

Όλα τα ακουστικά προκλητά δυναμικά επηρεάζονται από ανωμαλίες της ακοής, κάτι που αποτελεί και την βάση της χρήσης τους για αντίστοιχους σκοπούς. Πριν γίνει κάθε καταγραφή πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι όταν ο κλινικός στόχος είναι η ακοομετρία, νευρολογικοί παράγοντες μπορούν να δράσουν σαν πηγές σύγχυσης και διασποράς. Αντίστροφα, όταν ο στόχος είναι ο νευρολογικός έλεγχος, απώλειες ακοής μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα ερμηνείας και εκτίμησης των παραμέτρων.

## **ΤΡΟΠΟΙ ΑΠΟΦΥΓΗΣ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΑΠΟ ΤΕΧΝΙΚΟΥΣ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ**

### **α) Πρωτόκολλο**

Το αυστηρό πρωτόκολλο είναι η πιο ουσιαστική δυνατότητα περιορισμού των τεχνικών παραγόντων διασποράς. Πιο ειδικά, ορίζεται από την αρχή της διαδικασίας καταγραφής ακουστικών προκλητών δυναμικών η θέση των ηλεκτροδίων, το είδος της διέγερσης, οι παράμετροι διέγερσης, οι παράμετροι καταγραφής, ο αριθμός των καταγραφών, η κατάσταση του εξεταζομένου, ένα όσο το δυνατόν πιο χαμηλό όριο στην αντίσταση των ηλεκτροδίων με το δέρμα αλλά και η μέθοδος αναγνώρισης της μορφολογίας και εκτίμησης των παραμέτρων.

### **β) Ομάδες φυσιολογικών τιμών**

Οι βιολογικοί παράγοντες έτσι όπως παρουσιάστηκαν μπορούν να περιοριστούν με την σωστή ομαδοποίηση του φυσιολογικού δείγματος. Είναι απαραίτητο οι συγκρίσεις κάθε καταγραφής να γίνονται σε σχέση με την μέση τιμή των παραμέτρων ενός φυσιολογικού δείγματος, το οποίο έχει οργανωθεί από την έναρξη των καταγραφών.

Πιο ειδικά, επιλέγονται άτομα με κανένα ακουστικό ή νευρολογικό πρόβλημα και εξετάζονται με ακουστικά προκλητά δυναμικά (Εικόνα 7). Οι τιμές των παραμέτρων που καταγράφονται ορίζουν τη μέση φυσιολογική τιμή αλλά και την τυπική απόκλιση. Τιμές που θα αποκλίνουν από την φυσιολογική τιμή πέρα από δύο τυπικές αποκλίσεις θεωρούνται παθολογικές.

Επειδή οι συστηματικές αποκλίσεις που οφείλονται σε βιολογικά χαρακτηριστικά του εξεταζομένου δεν είναι δυνατόν να συμπεριληφθούν στην εκτίμηση αυτή, είναι ανάγκη να δημιουργούνται κάθε φορά φυσιολογικά δείγματα καθορισμένων ομάδων ανάλογα με την ηλικία και το φύλο. Με τον τρόπο αυτό οι παράμετροι κάποιου εξεταζομένου θα συγκρίνονται με τιμές φυσιολογικού δείγματος που θα αποτελείται από άτομα ίδιας ηλικίας και φύλου.

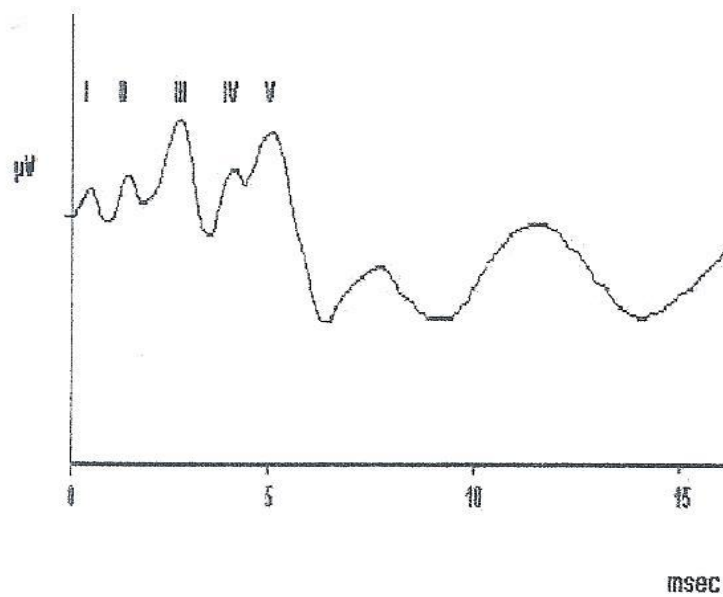
Η θερμοκρασία είναι πολύ εύκολο να ελεγχθεί με την επιδίωξη συγκεκριμένων συνθηκών στο χώρο εξέτασης αλλά και στον κλινικό έλεγχο του εξεταζομένου, ο οποίος πρέπει να διενεργείται κάθε φορά πριν γίνει η καταγραφή των ακουστικών προκλητών δυναμικών. Έτσι είναι δυνατόν να αποφύγει κανείς τα προβλήματα που μπορεί να δημιουργήσει η ηλικία, το φύλο, η θερμοκρασία και τα τυχόν νευρολογικά ή ακοολογικά προβλήματα του εξεταζόμενου.

### **γ) Στατιστική επεξεργασία**

Η παραπέρα βελτίωση της ευαισθησίας της μεθόδου μπορεί να γίνει με την στατιστική επεξεργασία των τιμών στο φυσιολογικό δείγμα λαμβάνοντας υπόψη και τις ανθρωπομετρικές διαφορές. Έρευνες που έχουν γίνει μέχρι σήμερα προσπαθούν να συσχετίσουν τις τιμές των παραμέτρων με το μέγεθος του κρανίου ή το μήκος του εγκεφάλου. Όταν καταγράφονται ακουστικά προκλητά δυναμικά από άτομα με μεγάλο κεφάλι οι λανθάνοντες χρόνοι παρουσιάζονται φυσιολογικά παρατεταμένοι και τα πλάτη των κορυφών συμπιεσμένα. Η ερμηνεία που δίνεται βασίζεται στο μεγαλύτερο μήκος της ακουστικής νευρικής οδού

στα άτομα αυτά αλλά και στην μεγαλύτερη απόσταση των πηγών των δυναμικών από τα ηλεκτρόδια καταγραφής στην επιφάνεια του κεφαλιού.

Οι παραπάνω τακτικές που παρουσιάστηκαν μπορούν να περιορίσουν σε μεγάλο βαθμό την τυπική απόκλιση των φυσιολογικών τιμών των παραμέτρων και να αυξήσουν δραματικά την ευαισθησία της μεθόδου.



**Εικόνα 7:** Χαρακτηριστική καταγραφή ακουστικών προκλητών δυναμικών με διέγερση ευρέος φάσματος συχνοτήτων (click)

## **Β.ΥΛΙΚΟ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ**

### **ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ**

Στην παρούσα φάση επιλέχθηκε η υπό μελέτη ομάδα (με άτομα νεαρής ηλικίας και όχι παιδιά γιατί δεν αποτελεί στόχο της παρούσας διατριβής η ανάλυση της νευρικής ωρίμανσης ή της παρέμβασης στην αντιμετώπιση των μαθησιακών δυσκολιών αλλά η ανάδειξη της πιθανής διαγνωστικής μεθοδολογίας) με βάση επιστημονικά αποδεκτές κλινικές μεθοδολογίες. Έτσι κατηγοριοποιήθηκαν οι εξεταζόμενοι σε δύο ομάδες, ενώ δημιουργήθηκε και ομάδα φυσιολογικών ατόμων με ίδια δημογραφικά χαρακτηριστικά. Μελετήθηκαν είκοσι νεαροί Έλληνες ενήλικες επίσημα διαγνωσμένοι με δυσλεξία από κρατικούς φορείς (οι οκτώ από αυτούς ήταν άνδρες και οι δώδεκα ήταν γυναίκες μεταξύ δεκαοκτώ και εικοσιτριών ετών, με μέσο όρο ηλικίας τα είκοσι χρόνια). Την ομάδα ελέγχου αποτελούσαν είκοσι Έλληνες νεαροί φυσιολογικοί ενήλικες που ταίριαζαν σε ηλικία, φύλο, εκπαίδευση και νοητικό επίπεδο. Και στις δύο ομάδες έγινε μια λεπτομερής ακουολογική εξέταση. Τα ακουολογικά τεστ περιελάμβαναν τεστ οδού αντίληψης ομιλίας, τεστ διάκρισης ήχων ομιλίας, ακουομετρία καθαρών τόνων και τυμπανομετρία. Και στις δύο ομάδες οι ακουομετρικές εξετάσεις δεν έδειξαν να υπάρχει κάποιο πρόβλημα. Τα άτομα και των δύο ομάδων ήταν Έλληνες ομιλητές χωρίς κανένα ιστορικό εγκεφαλικής βλάβης, ψυχιατρικής διαταραχής και προβλημάτων όρασης.



## **Εκτίμηση μαθησιακής δυσκολίας**

Οι είκοσι νεαροί ενήλικες με δυσλεξία μετά από εκτεταμένη εξέταση χωρίστηκαν σε δύο υποομάδες: την πρώτη υποομάδα την αποτελούσαν δέκα άτομα με δυσλεξία και την δεύτερη υποομάδα την αποτελούσαν δέκα άτομα που είχαν «άλλες μαθησιακές δυσκολίες» (ΑΜΔ) και διακρίνονταν ως άτομα με «ελαφριά» δυσλεξία σύμφωνα με τα τεστ δυσλεξίας.

## **ΕΡΕΘΙΣΜΑ**

### **Επιλογή του λεκτικού ερεθίσματος και τα χαρακτηριστικά του**

Η επιλογή του ερεθίσματος εξαρτάται κυρίως από τον πληθυσμό που μελετάται και τα ειδικά ερευνητικά ερωτήματα που έχουμε θέσει. Κατά τη διάρκεια της πειραματικής φάσης έχουν επιλεγεί και χρησιμοποιηθεί χαρακτηριστικά για να καθοριστεί η αξιόπιστη καταγραφή των λεκτικών ακουστικών προκλητών δυναμικών εγκεφαλικού στελέχους. Η περιγραφή τους παρουσιάζεται στον Πίνακα 1 οποίος ακολουθεί οδηγίες μιας εκτεταμένης σειράς από μελέτες από ομάδα επιστημόνων και ειδικότερα της Nina Kraus και των συνεργατών της, με εξαιρετικά μεγάλη εμπειρία στα λεκτικά ακουστικά προκλητά δυναμικά εγκεφαλικού στελέχους 28,29,30,31,32,33

Στα πειράματα η διάρκεια του ερεθίσματος ήταν 170 ms . Λόγω του μεγάλου αριθμού των επαναλήψεων του ερεθίσματος που απαιτείται για να ληφθεί μια ισχυρή απόκριση-καταγραφή υπάρχει μια προφανής σχέση μεταξύ της διάρκειας ερεθίσματος και τη διάρκεια της καταγραφής. Επειδή κάθε ζεύγος σύμφωνου-φωνήεντος έχει μια μοναδική κυρίαρχη

συχνότητα, η σταθερή αίσθηση του φωνήεντος μπορεί να αφαιρεθεί με μικρό αντίκτυπο στην αντίληψη του ήχου. Η διάρκεια του ερεθίσματος επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την διάρκεια της εξέτασης, επειδή οι χαμηλότερες συχνότητες παρουσιάζουν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα από ότι οι υψηλότερες συχνότητες ( π.χ. , ένα ερέθισμα 20 ms δεν μπορεί να έχει ουσιαστική εκπροσώπηση συχνότητας κάτω των 50 Hz ). Δίνεται ο ήχος ταυτόχρονα (διέγερση αριστερού και δεξιού αυτιού) και το ερέθισμα με κατάλληλη πόλωση και ρυθμό διέγερσης. Ο πίνακας 2 δείχνει τις παραμέτρους του ερεθίσματος που χρησιμοποιήθηκαν.

**Πίνακας 1:** Προτεινόμενα χαρακτηριστικά ερεθίσματος σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία

<b>Παράμετροι</b>	<b>Ρυθμίσεις</b>	<b>Αιτιολογία / Επιδιωκόμενο αποτέλεσμα</b>
<b>Τύπος ερεθίσματος</b>	<i>ομιλία (“ba-ba”)</i>	<i>εξετάζεται ο τρόπος με τον οποίο οι ήχοι που έχουν σχέση με την συμπεριφορά μετατρέπονται σε νευρωνικό κώδικα</i>
<b>Παροδικό περιεχόμενο συχνοτήτων</b>	<i>Έντονη έναρξη μεγάλου πλάτους</i>	<i>μεγιστοποίηση παροδικών αποκρίσεων</i>
<b>Σταθερό περιεχόμενο συχνοτήτων</b>	<i><math>F_0 &lt; 500 \text{ Hz}</math></i>	<i>μεγιστοποίηση σταθερών αποκρίσεων</i>
<b>Δημιουργία ερεθίσματος</b>	<i>Συνθετικό (μη φυσικό)</i>	<i>ερεθίσματα που δημιουργήθηκαν ψηφιακά με το σύστημα Praat</i>
<b>Διάρκεια ερεθίσματος</b>	<i>Ελάχιστη: 50 ms</i>	<i>ελαχιστοποιεί το χρόνο καταγραφής</i>
	<i>Μέγιστη: 200 ms</i>	<i>μεγιστοποιεί τη φυσικότητα</i>

**Πίνακας 2:** Τρόπος χορήγησης του ερεθίσματος με βάση τη διεθνή βιβλιογραφία

<b>Παράμετροι</b>	<b>Ρυθμίσεις</b>	<b>Αιτιολογία / Επιδιωκόμενο αποτέλεσμα</b>
<b>Ένταση ήχου</b>	<i>Πάνω από το όριο: 80 dB SPL</i>	<i>αυτόματος μετρητής επιπέδου ήχου</i>
<b>Αμφοτερόπλευρη διεγερση</b>	<i>για καλύτερη απόκριση</i>	<i>πιο ρεαλιστική από τη μονόπλευρη</i>
<b>Μετατροπέας</b>	<i>Μαγνητικώς θωρακισμένα ακουστικά</i>	<i>Εξαίρεση τεχνικού σφάλματος του ερεθίσματος</i>
<b>Ρυθμός και μεσοδιάστημα μεταξύ των ερεθισμάτων (ISI)</b>	<i>αναλογία: εξαρτάται από το ερέθισμα</i>	<i>Βλέπε πίνακα 3 για θέματα που σχετίζονται με την καταγραφή τα οποία επηρεάζουν ρυθμό και το μεσοδιάστημα μεταξύ των ερεθισμάτων αποφάσεις</i>
	<i>ISI: <math>\geq 30\%</math> της διάρκειας του ερεθίσματος</i>	

## Σταθερά και παροδικά χαρακτηριστικά του ερεθίσματος

Στην περίπτωση των συλλαβών ομιλίας, τα παροδικά χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν την έναρξη του ήχου, και τη μετατόπιση του ήχου. Εντός των κατηγοριών των ήχων του λόγου, τα σύμφωνα (π.χ., /d/, /b/, /k/) έχουν εξ ορισμού πιο έντονη ενεργοποίηση του ακουστικού συστήματος από ότι ενάρξεις ερεθίσματος με ένρινα σύμφωνα (π.χ., /m/ και /n/ αντίστοιχα) έτσι ώστε να προκαλέσουν την ισχυρότερη δυνατή επιστράτευση κατά την έναρξη του ερεθίσματος. Με σκοπό την απόκτηση αποκρίσεων ισχυρής παρατεταμένης διάρκειας, το ερέθισμα στα ακουστικά προκλητά δυναμικά εγκεφαλικού στελέχους πρέπει να έχει χαμηλή θεμελιώδη-κεντρική συχνότητα ( $F_0$ ) στην περιοχή των 80-300 Hz. Ενώ η ομιλία μπορεί να περιέχει φασματικές πληροφορίες έως 10 kHz, οι φασματικές πληροφορίες που είναι απαραίτητες για τη διάκριση διαφόρων συμφώνων και φωνηέντων είναι σε μεγάλο βαθμό κάτω από 3000 Hz.

### Γιατί χρησιμοποιούμε τη λέξη " baba "

Πρώτον, η λέξη « baba » αντιστοιχεί στην Αγγλική γλώσσα στη λέξη " μπαμπάς ", αποτελείται από δύο επαναλαμβανόμενους ήχους «μπα» και χρησιμοποιείται σε πολλές άλλες γλώσσες. Έτσι, χρησιμοποιούνται λεκτικά ηχητικά ερεθίσματα που αποτελούνται από ευρεία ζώνη συλλαβών "μπα-μπα" με γρήγορη άνοδο, διάρκεια μεταξύ των συλλαβών και χρόνο πτώσης της διέγερσης επιτρέποντας την αντικατάσταση του ήδη παγιωμένου "da" σε παρόμοιες μελέτες με αγγλόφωνα υποκείμενα<sup>30</sup>.

Δεύτερον, ο ήχος αποτελείται από ένα παροδικό τμήμα που κατά μία έννοια, μοιάζει πολύ με ένα κλικ ακολουθείται από ένα τόνο - δύο

ηχητικά σήματα των οποίων η απάντηση σε επίπεδο στελέχους του εγκεφάλου έχουν μελετηθεί.

Τρίτον, η χρήση των συμφώνων θέτει μεγάλες αντιληπτικές προκλήσεις για κλινικά ενδιαφέροντες πληθυσμούς, όπως άτομα με προβλήματα στη μάθηση και με προβλήματα στην γραφή. Όλες τα ερεθίσματα δημιουργήθηκαν σε ένα εργαλείο σύνθεσης ψηφιακής φωνής<sup>81</sup>. Οι ακουστικές ιδιότητες των ήχων που παράγονται θα πρέπει να ελέγχονται με αναλυτή ήχου πριν προχωρήσει κανείς με το πείραμα σε τέτοιες ερευνητικές περιοχές. Για να επιβεβαιώσουμε ότι το ερέθισμα τηρεί τις επιθυμητές προδιαγραφές, ο συνθετικός ήχος αναλύεται με το γνωστό λογισμικό Praat<sup>81</sup>.

Τέταρτον, γιατί αποτελεί κοινή βάση της λέξης «μπαμπά» σε πολλές χώρες και ειδικά της Μεσογείου.

Οι τελικές καταγραφές τελικά αναλύθηκαν και οι κορυφές ονομάστηκαν με τον ίδιο τρόπο όπως εκείνες των καθιερωμένων λεκτικών προκλητών δυναμικών εγκεφαλικού στελέχους με παρόμοια λεκτικά ερεθίσματα όπως το «da».

## ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ

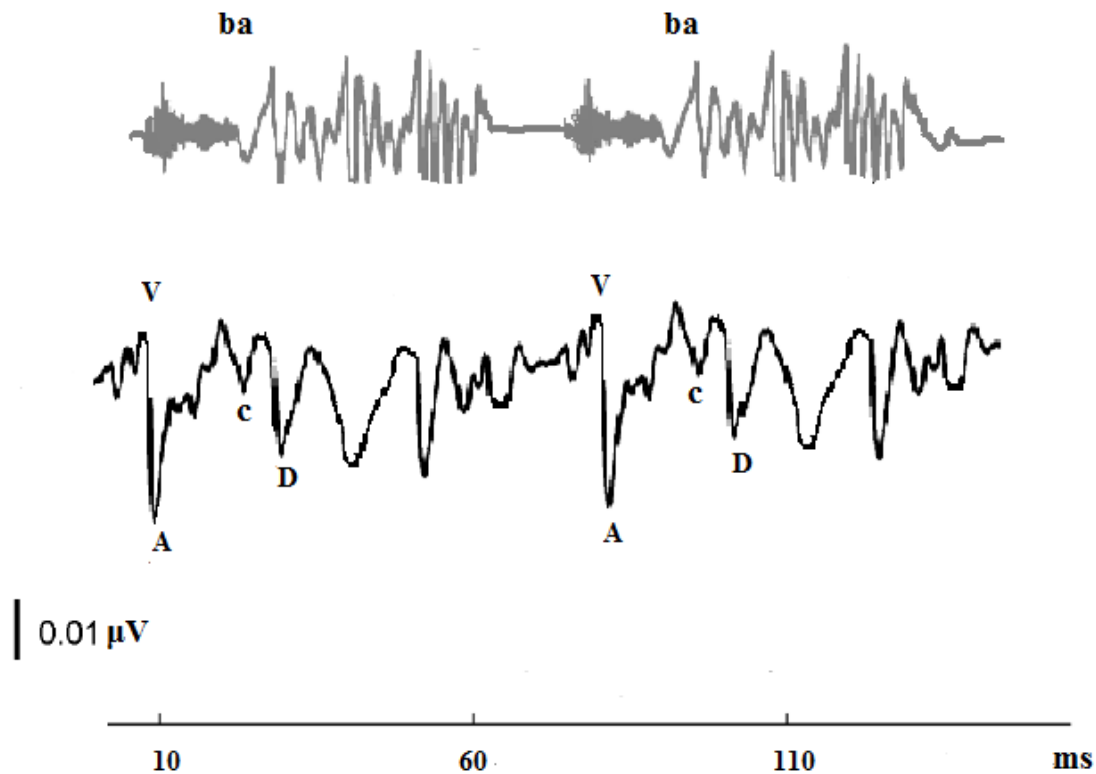
Κατά την καταγραφή των ακουστικών προκλητών δυναμικών εγκεφαλικού στελέχους, όλα τα άτομα ήταν σε ύπτια θέση σε μία ήσυχη αίθουσα. Όλες οι μετρήσεις έγιναν χρησιμοποιώντας ακουστικά ερεθίσματα ευρέως φάσματος συχνοτήτων (click), με ένταση 80 dBnHL, επαναληπτικότητα 11.29 cycle/sec και φίλτρα συχνότητας 100-3000 Hz. Ηλεκτρόδια τύπου μικρών ασημένιων δίσκων τοποθετήθηκαν ως εξής: το ενεργό ηλεκτρόδιο τοποθετήθηκε στο εξεταζόμενο αυτί, το ηλεκτρόδιο αναφοράς στους μαστοειδείς του αντίθετου αυτιού και το ηλεκτρόδιο γείωσης στο μέτωπο. Οι παράμετροι που μετρήθηκαν ήταν οι λανθάνοντες χρόνοι για τα κύματα I-III, III-V και I-V και οι διακυματικές διαφορές των λανθανόντων χρόνων των κυμάτων I-III, III-V και I-V <sup>18</sup>.

Ένα σύστημα μέσω του οποίου το ερέθισμα-ήχος υπήρχε ψηφιακά σε ηλεκτρονικό υπολογιστή και στη συνέχεια μεταφερόταν στο μηχανήμα των ακουστικών προκλητών δυναμικών, ήταν υπεύθυνο για τον έλεγχο, τον χρόνο διεξαγωγής, ακολουθίας και έντασης ερεθίσματος και χειριζόταν το σύστημα άθροισης και εύρεσης του μέσου όρου των προκλητών δυναμικών. Η αντίσταση των ηλεκτροδίων ήταν μικρότερη από 5 kilo Ohms. Ένα πρόγραμμα MATLAB αναγνώριζε και σημείωνε την έναρξη, πτώση και κορύφωση των λανθανόντων χρόνων και ένας έμπειρος παρατηρητής χειριζόταν τα τυχόν προβλήματα. Οι αποκρίσεις των ακουστικών προκλητών δυναμικών εγκεφαλικού στελέχους καταγράφηκαν σύμφωνα με τη μέθοδο που περιεγράφηκε πιο πάνω σε συνάρτηση με τη διέγερση ερεθίσματος ευρέως φάσματος συχνοτήτων και με τυχαία εναλλασσόμενη πολικότητα της συλλαβής «μπα». Οι

αποκρίσεις ήταν φιλτραρισμένες από 100 έως 2000 Hz. Σαρώσεις με επίπεδα ήχου που ήταν παραπάνω από + 30  $\mu\text{V}$  απορρίφθηκαν από το μέσο όρο. Τρεις επαναλήψεις από 1000 σαρώσεις η καθεμία καταγράφηκαν ως απάντηση στο κλικ όπως επίσης και για κάθε πολικότητα της συλλαβής «μπα».

Τα ερεθίσματα κλικ παρουσιάστηκαν σε 80 dB SPL , με μεσοδιάστημα μεταξύ των ερεθισμάτων των 32 ms, το καταγραφόμενο παράθυρο ήταν 20 ms, το οποίο περιελάμβανε μία ανερέθιστη περίοδο των 10 ms. Τα λεκτικά ερεθίσματα «μπα» χορηγήθηκαν στα 80 dB SPL, με ένα μεσοδιάστημα μεταξύ των ερεθισμάτων των 51 ms. Το παράθυρο καταγραφής ήταν 60 ms και περιελάμβανε μία ανερέθιστη περίοδο των 10 ms. Οι λανθάνοντες χρόνοι των κλικ προκλητών κυμάτων I-V και οι αρνητικές κορυφές του ακολουθούμενου ερεθίσματος «μπα»-«μπα» σημειωμένες ως κύματα A και C συγκρίθηκαν με τις καθιερωμένες φυσιολογικές αξίες (Σχήμα 1).





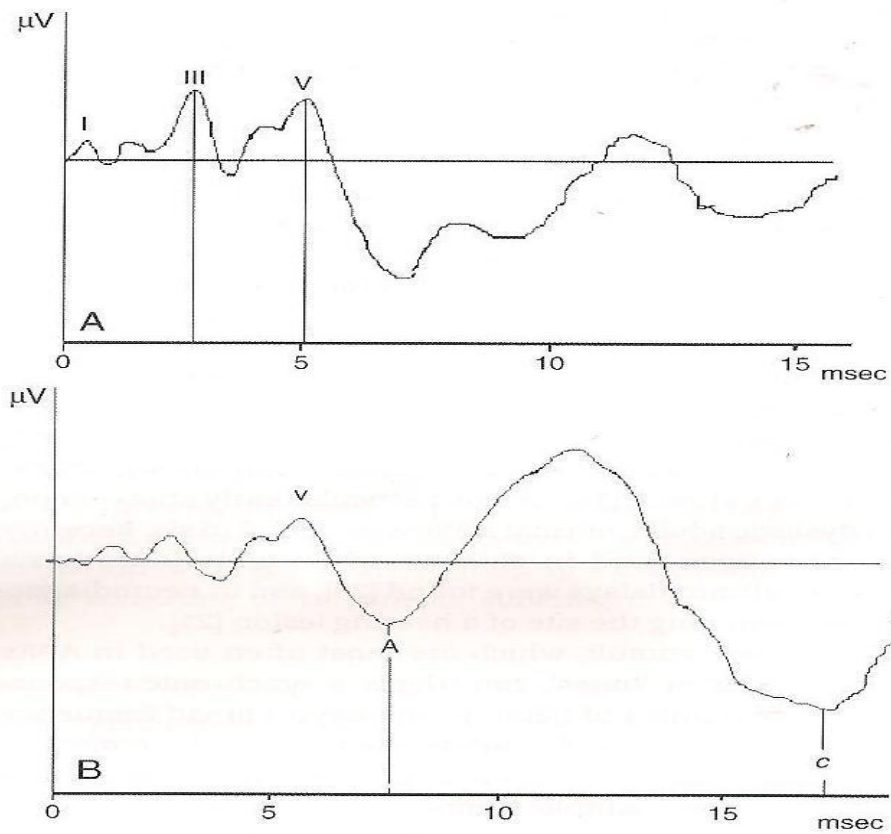
**Σχήμα 1:** Αναπαράσταση ακουστικών προκλητών δυναμικών με το ερέθισμα «μπα» σε 160 msec και ο χρόνος απόκρισης τους συμπεριλαμβανομένων των κορυφών III, V, A, C, D, που συνδέονται με σημαντικά ακουστικά ορόσημα του ερεθίσματος και με νευρωνικό χρόνο μετάδοσης μεταξύ κοχλίου και εγκεφαλικού στελέχους. Τα μικροβόλτ αναφέρονται στην απόκριση.

Η αρνητική κορυφή A είναι η έναρξη της απόκρισης στο ερέθισμα και η κορυφή C είναι το αρχικό κομμάτι της συχνότητας που ακολουθεί την έναρξη της απόκρισης (Σχήμα 2). Η αρνητική κορυφή ως αποτέλεσμα των προκλητών κυμάτων A και C του ερεθίσματος «μπα», σημειώθηκε και συγκρίθηκε με τις καθιερωμένες αξίες. Χρησιμοποιήθηκαν οι λανθάνοντες χρόνοι των κυμάτων A και C καθώς και οι διακυματικές διαφορές των λανθανόντων χρόνων των κυμάτων A και C και έγινε σύγκριση τους μεταξύ των ατόμων με δυσλεξία και της ομάδα ελέγχου. Σύμφωνα με αυτή τη βάση δημιουργήθηκε μια πολυπαραμετρική ανάλυση των παθολογικών εξεταζόμενων περιπτώσεων. Οι πιθανές σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο μεθόδων και στις δύο ομάδες

αξιολογήθηκαν χρησιμοποιώντας το Students's t-test για μη συζευγμένα δείγματα. Οι συνθήκες καταγραφής συνοψίζονται στον Πίνακα 3 .

<b>Πίνακας 3:</b>		Παράμετροι καταγραφής των ακουστικών προκλητών δυναμικών εγκεφαλικού στελέχους
<b>Παράμετροι</b>	<b>Ρυθμίσεις</b>	<b>Αιτιολογία</b>
Ηλεκτρόδια	<u>Ενεργό Κανάλι:</u> Cz, <u>Αναφοράς:</u> λοβός (οί) του αυτιού, γείωση: μέτωπο)	<i>Καταγραφή ακουστικών προκλητών δυναμικών εγκεφαλικού στελέχους από το κεφάλι</i>
Ρυθμός δειγματοληψίας	20000 Hz	<i>Καλύτερη χρονική ακρίβεια με τα υψηλότερα ποσοστά δειγματοληψίας</i>
Φιλτράρισμα	<i>χαμηλής αποκοπής πέρασμα:</i> 2000-3000 Hz <i>υψηλής αποκοπής:</i> 30-100 Hz	<i>παροδικές κορυφές εξαρτάται από τα φασματικά χαρακτηριστικά του ερεθίσματος</i>
Μέσος όρος σήματος	Έως 2000 σαρώσεις	<i>Για τον προσδιορισμό αντιγραφής της απόκρισης</i>
Παράθυρο άθροισης-εύρεσης μέσου όρου	Ξεκινάει 10 msec πριν από την έναρξη του ερεθίσματος	<i>ένα επαρκές δείγμα της βάσης χρειάζεται για να καθορίσει εάν μια συγκεκριμένη κορυφή απόκρισης είναι πάνω από το επίπεδο του θορύβου για τη λειτουργία ανάλυσης</i>

	<p>Επέκταση 50 msec μετά από την έναρξη του ερεθίσματος</p>	<p>του παραθύρου: Το προ-ερεθίσματος χρονικό παράθυρο θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο ή ίσο με τη διάρκεια του παραθύρου ανάλυσης</p> <p>η νευρωνική δραστηριότητα επιστρέφει στο βασικό επίπεδο αλλά η επόμενη καταγραφή περιλαμβάνει δραστηριότητα απαγωγών σημάτων</p>
<p>Ελαχιστοποίηση τεχνικών σφαλμάτων</p>	<p>παθητικό πρωτόκολλο συλλογής</p> <p>ηλεκτρομαγνητικά θωρακισμένα ενθέματα ακουστικών</p>	<p>για μυογενή τεχνικά σφάλματα</p> <p>για τεχνικά σφάλματα ερεθίσματος</p>



**Σχήμα 2:** Ακουστικά προκλητά δυναμικά A) με ερέθισμα κλικ B) με το λεκτικό ερέθισμα «μπα-μπα»

## **Γ. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

### **Α. Ακουστικά προκλητά δυναμικά εγκεφαλικού στελέχους με ερεθίσματα κλικ**

Οι απόλυτες κορυφές των λανθανόντων χρόνων των κυμάτων I, III και V ως απόκριση των ερεθισμάτων κλικ, όπως επίσης οι διακυματικές διαφορές των λανθανόντων χρόνων των κυμάτων I-III, III-V και I-V στα δυσλεκτικά άτομα, παρόλο που βρέθηκαν αυξημένες σε σύγκριση με αυτές των φυσιολογικών ατόμων δεν ήταν σε επίπεδο σημαντικής διαφοράς. Ο πίνακας 4 δείχνει τους μέσους όρους και τις αποκλίσεις των λανθανόντων χρόνων και τις διακυματικές διαφορές των λανθανόντων χρόνων σε δέκα δυσλεκτικά άτομα και σε δέκα άτομα με «άλλες μαθησιακές δυσκολίες» (ΑΜΔ) κατά τη σύγκριση τους με τους είκοσι φυσιολογικούς ενήλικες.

### **Β. Ακουστικά προκλητά δυναμικά εγκεφαλικού στελέχους με λεκτικά ερεθίσματα «μπα-μπα»**

Οι απόλυτες κορυφές των λανθανόντων χρόνων του κύματος C ( $p=0,0004$ ) και οι διακυματικές διαφορές των λανθανόντων χρόνων των κυμάτων A και C ( $p= 0,045$ ) βρέθηκαν αυξημένες στην ομάδα των δυσλεκτικών ατόμων σε σύγκριση με την ομάδα των φυσιολογικών ατόμων ( $p < 0,05$ ). Όμως στην ομάδα των ατόμων με «άλλες μαθησιακές δυσκολίες» (ΑΜΔ) δεν βρέθηκαν σημαντικές καθυστερήσεις στις κορυφές των λανθανόντων χρόνων των κυμάτων A και C ( $p$ -value ελαφρώς πάνω από το 0.05 επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας) και

στις διακυματικές διαφορές των λανθανόντων χρόνων των κυμάτων A και C σε σύγκριση με την φυσιολογική ομάδα. Ο πίνακας 5 δείχνει τους μέσους όρους και τις αποκλίσεις των λανθανόντων χρόνων και τις διακυματικές διαφορές των λανθανόντων χρόνων των ακουστικών προκλητών δυναμικών με το λεκτικό ερέθισμα σε δέκα δυσλεκτικά άτομα και σε δέκα άτομα με «άλλες μαθησιακές δυσκολίες» (ΑΜΔ) κατά τη σύγκριση τους με τους είκοσι φυσιολογικούς ενήλικες.

**Πίνακας 4** Λανθάνοντες χρόνοι και διακυματικές διαφορές λανθανόντων χρόνων με ερέθισμα ευρέως φάσματος συχνοτήτων κλικ

	Λανθάνοντες χρόνοι (ms)			Διακυματικές διαφορές (ms)		
	L <sub>I</sub>	L <sub>III</sub>	L <sub>V</sub>	L <sub>I-III</sub>	L <sub>III-V</sub>	L <sub>I-V</sub>
<b>Φυσιολογικά</b>						
<b>Άτομα</b>						
Μέση Τιμή	1.64	3.72	5.59	2.08	1.87	3.94
Τυπική						
Απόκλιση	0.01	0.13	0.12	0.13	0.11	0.12
<b>ΑΜΔ</b>						
Μέση Τιμή	1.65	3.68	5.58	2.03	1.90	3.93
Τυπική						
Απόκλιση	0.06	0.11	0.10	0.11	0.15	0.12
p	0.85	0.39	0.91	0.35	0.52	0.85
<b>Άτομα με</b>						
<b>Δυσλεξία</b>						
Μέση Τιμή	1.65	3.76	5.53	2.11	1.87	3.98
Τυπική						
Απόκλιση	0.04	0.10	0.08	0.07	0.13	0.09
<b>P</b>	<b>0.33</b>	<b>0.20</b>	<b>0.15</b>	<b>0.22</b>	<b>0.46</b>	<b>0.18</b>

**Πίνακας 5** Λανθάνοντες χρόνοι και διακυματικές διαφορές λανθανόντων χρόνων με το λεκτικό ερέθισμα «μπα-μπα»

	Λανθάνοντες χρόνοι (ms)		Διακυματικές διαφορές (ms)
	<b>A</b>	<b>C</b>	<b>A-C</b>
<b>Φυσιολογικά</b>			
<b>Άτομα</b>			
Μέση Τιμή	7.48	17.54	10.06
Τυπική			
Απόκλιση	0.11	0.15	0.20
<b>ΑΜΔ</b>			
Μέση Τιμή	7.55	17.69	10.14
Τυπική			
Απόκλιση	0.23	0.19	0.39
P	0.44	0.055	0.55
<b>Άτομα με</b>			
<b>Δυσλεξία</b>			
Μέση Τιμή	7.59	17.85	10.27
Τυπική			
Απόκλιση	0.20	0.20	0.33
<b>P</b>	<b>0.08</b>	<b>0.0004</b>	<b>0.045</b>



## Δ. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Αυτή η μελέτη δείχνει ότι οι νεαροί ενήλικες με δυσλεξία παρουσιάζουν ανωμαλίες στην ακουστική αναπαράσταση των ερεθισμάτων «κλικ» και των λεκτικών ήχων σε επίπεδο τόσο χαμηλό όπως αυτό του εγκεφαλικού στελέχους. Παρόλο που όλα τα άτομα με δυσλεξία που μελετήθηκαν έδειξαν καθυστέρηση στις απόλυτες κορυφές των λανθανόντων χρόνων και των διακυματικών διαφορών των λανθανόντων χρόνων που προκλήθηκαν από το κλασικό ερέθισμα «κλικ», αυτές οι καθυστερήσεις δεν ήταν σε επίπεδο σημαντικής διαφοράς. Ωστόσο, όλα τα άτομα με δυσλεξία είχαν σημαντικά αυξημένες καθυστερήσεις στις αρνητικές κορυφές όταν εξετάστηκαν με το διαδοχικό λεκτικό ερέθισμα «μπα-μπα». Στην υποομάδα των δυσλεκτικών ατόμων που χαρακτηρίστηκαν ότι έχουν «ελαφριά δυσλεξία» το διαδοχικό λεκτικό ερέθισμα προκάλεσε καθυστερημένους λανθάνοντες χρόνους αλλά όχι σε σημαντικό επίπεδο. Σε αυτή τη μελέτη δεν αξιολογήθηκαν τα πλάτη των κυματομορφών εξαιτίας της υψηλής μεταβλητότητας τους.

Αυτά τα ευρήματα αποκαλύπτουν ότι η έναρξη συγχρονισμού των νευρώνων του εγκεφαλικού στελέχους διαφέρει ανάμεσα στους φυσιολογικούς νεαρούς ενήλικες και σε αυτούς που έχουν δυσλεξία. Επιπλέον, δυσλεκτικά άτομα με καθυστερημένες αποκρίσεις έναρξης στα λεκτικά ερεθίσματα έχουν επίσης καθυστερήσεις στις αποκρίσεις του εγκεφαλικού στελέχους που ακολουθούν τη συχνότητα.

Χρησιμοποιήθηκαν λεκτικά ερεθίσματα επειδή η επεξεργασία τους είναι πιο συχνή στη φυσιολογική επικοινωνία από αυτή των μη λεκτικών ερεθισμάτων και είναι λογικό να υποθέσουμε ότι η επεξεργασία της

λεκτικής πληροφορίας εκτελείται πιο εύκολα από την επεξεργασία των καθαρών τόνων. Ένα μη λεκτικό ερέθισμα όπως ένα κλικ ή τόνος δεν παρέχει πληροφορίες σχετικά με την πραγματική επεξεργασία των ήχων της ομιλίας<sup>31</sup>. Η μελέτη της κωδικοποίησης του ήχου ομιλίας σε επίπεδο εγκεφαλικού στελέχους είναι απαραίτητη δεδομένου ότι η ομιλία είναι ένα σύνθετο σήμα που διαφέρει σε πολλές ακουστικές παραμέτρους με την πάροδο του χρόνου. Μια πλήρης περιγραφή του τρόπου με τον οποίο το ακουστικό σύστημα ανταποκρίνεται στην ομιλία μπορεί να επιτευχθεί μόνο με την χρήση λεκτικού ερεθίσματος. Μέχρι στιγμής, έχουν χρησιμοποιηθεί μονοσύλλαβα λεκτικά ερεθίσματα όπως «μα»<sup>25</sup> και «ντα»<sup>29-32,82</sup>, αλλά δεν υπάρχουν μελέτες, οι οποίες να έχουν χρησιμοποιήσει το διαδοχικό δισύλλαβο λεκτικό ερέθισμα «μπα-μπα».

Διαφορετικές γλώσσες λειτουργούν σε διαφορετικά επίπεδα μονάδων ήχου, συμπεριλαμβανομένων των μικρών μονάδων, όπως το επίπεδο φωνήματος και των μεγάλων μονάδων, όπως ενάρξεις, ή ολόκληρες λέξεις. Οι σχετικά απλές συνδέσεις γράμματος-ήχου στην Ελληνική γλώσσα είναι πιθανό να διευκολύνουν την ανάπτυξη της ευαισθησίας στις λεξιλογικές μονάδες. Το ίδιο ισχύει και για άλλες γλώσσες, όπως η φινλανδική γλώσσα<sup>83</sup>. Έχει αποδειχθεί πρόσφατα, ότι με την χρήση των ακουστικών προκλητών δυναμικών εγκεφαλικού στελέχους, η άτυπη ακουστική / λεκτική επεξεργασία συμβαίνει κατά τη γέννηση, στους έξι μήνες και αργότερα πριν το σχολείο και κατά τη σχολική ηλικία και αυτό σχετίζεται με τις μετέπειτα προ-αναγνωστικές γνωστικές δεξιότητες και το αποτέλεσμα της ικανότητας ανάγνωσης και γραφής<sup>84</sup>.

Αναπτυξιακή δυσλεξία είναι μια νευρολογική διαταραχή που εκδηλώνεται ως η μη ικανότητα απόκτησης ικανοποιητικής δεξιότητας ανάγνωσης και γραφής ενώ υπάρχει φυσιολογική νοημοσύνη,

εκπαίδευση και έντονη προσπάθεια αποκατάστασης και πιστεύεται ότι επηρεάζει το 5% με 10% των παιδιών<sup>85</sup>. Μέχρι στιγμής, η ακριβής προέλευση αυτής της διαταραχής παραμένει σε μεγάλο βαθμό άγνωστη. Έχει προταθεί ότι τα προβλήματα ανάγνωσης και γραφής στη δυσλεξία προκαλούνται από ένα έλλειμμα στην ανάπτυξη και τη χρήση των φωνολογικών αναπαραστάσεων που είναι η αφηρημένη αναπαράσταση των ήχων<sup>86</sup>. Πριν από την ανάγνωση, οι φωνολογικές αναπαραστάσεις είναι κυρίως σε επίπεδο συλλαβής και οι σαφείς αναπαραστάσεις του φωνήματος αναπτύσσονται μόνο όταν αναπτύσσεται η συνειδητοποίηση της εκμάθησης της ανάγνωσης αυτού του φωνήματος<sup>87</sup>. Η τελευταία εξαρτάται κυρίως από τις ακουστικές ικανότητες αντίληψης<sup>88</sup>. Σε αυτό το πλαίσιο, έχει προταθεί ότι στη δυσλεξία, το θεμελιώδες έλλειμμα στα προβλήματα ανάγνωσης και γραφής υποδηλώνει μια χαμηλού επιπέδου ακουστική χρονική επεξεργασία<sup>89</sup>. Σε μια πρόσφατη έκθεση<sup>90</sup>, βρέθηκαν στοιχεία που αποδεικνύουν ότι υπάρχει μια σχέση μεταξύ φωνημικού ρυθμού και συγχρονισμού σήματος διέγερσης, αντίληψης της ομιλίας, φωνολογικών δεξιοτήτων και ικανοτήτων ανάγνωσης και ορθογραφίας. Έχει επισημανθεί ότι περαιτέρω έρευνα θα είναι απαραίτητη σε άτομα με δυσλεξία, για να εξηγηθεί αυτή η αιτιατή σχέση. Τα συγκεκριμένα ευρήματά αντιπροσωπεύουν ένα πρόβλημα που σχετίζεται με τη διάδοση του ήχου στη δυσλεξία, επειδή τα άτομα που μελετήθηκαν στη συγκεκριμένη εργασία είχαν ήδη λάβει κάποιου είδους εκπαίδευση λόγω της ηλικίας τους. Βεβαίως, υπάρχουν μελέτες που προτείνουν μια καθαρή τροποποίηση του σήματος εισόδου εξαιτίας μιας ελαττωματικής φωνολογικής ενημερότητας<sup>91</sup>.

Είναι φανερό ότι η έναρξη του συγχρονισμού των νευρώνων του εγκεφαλικού στελέχους διαφέρει μεταξύ των φυσιολογικών ατόμων και

ορισμένων νεαρών ενηλίκων με δυσλεξία<sup>25</sup>. Τα ακουστικά προκλητά δυναμικά εγκεφαλικού στελέχους μπορούν να ληφθούν ακόμα και κατά τη γέννηση και έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί, σε συνδυασμό με ωτοακουστικές εκπομπές για τον έλεγχο της ακοής σε νεογέννητα<sup>92, 93</sup>. Ως εκ τούτου, αυτή η μέθοδος μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό παιδιών που είναι σε κίνδυνο για μαθησιακές δυσκολίες που οφείλονται σε προβλήματα ακουστικής φύσεως και για δυσλεξία πριν φτάσουν σε σχολική ηλικία. Έτσι η παρέμβαση και η αποκατάσταση θα μπορούσαν να ξεκινήσουν σε μια πρώιμη ηλικία. Επιπλέον, η μελέτη της επεξεργασίας των ήχων της ομιλίας στο εγκεφαλικό στέλεχος μπορεί να παρέχει γνώσεις σχετικά με τις κεντρικές ακουστικές διαδικασίες που εμπλέκονται σε άτομα με φυσιολογική ακοή και επίσης σε άλλους κλινικούς πληθυσμούς, καθώς ενσωματώνουν τμήματα της κεντρικής επεξεργασίας και απαγωγής αναγνώρισης επεξεργασίας των ακουστικών σημάτων. Η γνώση της επεξεργασίας των ήχων της ομιλίας από το εγκεφαλικό στέλεχος μπορεί να εφαρμοστεί στην κατανόηση των επιπτώσεων της περιφερικής απώλειας ακοής στην επεξεργασία των ήχων της ομιλίας, σε παιδιά με προβλήματα ακουστικής επεξεργασίας, σε κοχλιακά εμφυτεύματα, σε βοηθήματα ακοής, στην πλαστικότητα του ακουστικού συστήματος, στην πρεσβυακοΐα ή στην ακουστική νευροπάθεια. Βεβαίως, χρειάζονται προσεκτικές φυσιολογικές τιμές προκειμένου η πρώιμη αναγνώριση και διάγνωση να είναι αξιόπιστη.

Πρέπει να τονιστεί ότι περαιτέρω μελέτες με μια μεγαλύτερη ομάδα ατόμων που να συμπεριλαμβάνει τόσο υποφλοιώδεις όσο και φλοιώδεις αποκρίσεις με μια σειρά δισύλλαβων και πολυσύλλαβων λεκτικών ερεθισμάτων, καθώς και ολόκληρων φράσεων, είναι απαραίτητες για τη διάγνωση ανωμαλιών που επηρεάζουν την ακουστική οδό, προκειμένου

να εντοπιστούν άτομα με πρώιμα προβλήματα αντίληψης και φλοιϊκής αναπαράστασης και να εφαρμοστούν τα κατάλληλα θεραπευτικά μέτρα και οι κατάλληλοι μέθοδοι αποκατάστασης.

## **E. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Τα ευρήματα αυτής της μελέτης δείχνουν ότι υπάρχουν ενδείξεις για διαταραχές στο επίπεδο του εγκεφαλικού στελέχους δηλαδή διαφορές μεταξύ της έναρξης του συγχρονισμού των νευρώνων του εγκεφαλικού στελέχους ανάμεσα σε φυσιολογικούς νεαρούς ενήλικες και νεαρούς ενήλικες με δυσλεξία.

Επειδή τα ακουστικά προκλητά δυναμικά στελέχους ωριμάζουν νωρίς, η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην αναγνώριση παιδιών που βρίσκονται σε κίνδυνο για μαθησιακά προβλήματα που οφείλονται σε ακουστικές διαταραχές και δυσλεκτικών ατόμων, πριν φτάσουν σε πρώιμη σχολική ηλικία. Επομένως η παρέμβαση και η αποκατάσταση μπορούν να αρχίσουν σε μια πιο πρώιμη ηλικία.

Χρειάζεται περαιτέρω έρευνα που να περιλαμβάνει υποφλοιώδεις και φλοιϊκές αποκρίσεις με δισύλλαβα και πολυσύλλαβα λεκτικά ερεθίσματα καθώς και ολόκληρες φράσεις προκειμένου να αναγνωριστούν άτομα με πρώιμα ελλείμματα αντιληπτικής και φλοιϊκής αναπαράστασης και για την εφαρμογή κατάλληλων θεραπευτικών μέτρων.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός: Τα ηχητικά σήματα μεταδίδονται μέσω του εξωτερικού και μεσαίου αυτιού μηχανικά στον κοχλία όπου μετατρέπονται σε ηλεκτρικό παλμό για περαιτέρω μετάδοση μέσω του ακουστικού νεύρου. Το ακουστικό νεύρο κωδικοποιεί τους ακουστικούς ήχους που μεταφέρονται στο ακουστικό εγκεφαλικό στέλεχος. Πολλαπλοί πυρήνες του εγκεφαλικού στελέχους, ο κοχλίας, ο μεσεγκέφαλος, ο θάλαμος και ο φλοιός αποτελούν το κεντρικό ακουστικό σύστημα. Στην κλινική πράξη χρησιμοποιούνται ευρέως, οι αποκρίσεις των ακουστικών προκλητών δυναμικών εγκεφαλικού στελέχους σε απλά ερεθίσματα, όπως είναι τα κλικ ή οι τόνοι. Πρόσφατα, πολύπλοκα ερεθίσματα ή πολύπλοκες αποκρίσεις από το ακουστικό εγκεφαλικό στέλεχος, όπως είναι τα μονοσύλλαβα λεκτικά ερεθίσματα και η μουσική, χρησιμοποιούνται σαν εργαλείο για να μελετήσουν τον τρόπο με τον οποίο το εγκεφαλικό στέλεχος επεξεργάζεται τους ήχους της ομιλίας. Στην συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκε το κλασικό ερέθισμα «κλικ» και για πρώτη φορά, το τεχνητό εξακολουθητικό σύνθετο ερέθισμα «μπα» που αντιστοιχεί στην ελληνική λέξη «μπαμπά».

Μέθοδος και ασθενείς: Στην έρευνα έλαβαν μέρος είκοσι νεαροί ενήλικες διαγνωσμένοι με δυσλεξία (δέκα άτομα) ή ελαφριά δυσλεξία (δέκα άτομα) και είκοσι φυσιολογικοί νεαροί ενήλικες ίδιας ηλικίας, νοητικού επιπέδου και εκπαίδευσης. Οι μετρήσεις περιλάμβαναν τους απόλυτους λανθάνοντες χρόνους των κυμάτων I έως V ως απόκριση στο ακουστικό ερέθισμα «κλικ» και τις αρνητικές κορυφές των λανθανόντων χρόνων των κυμάτων A και C όπως επίσης και τις δια-κυματικές διαφορές των

λανθανόντων χρόνων των κυμάτων Α και C που δημιουργήθηκαν ως απόκριση στο λεκτικό ερέθισμα «μπα-μπα».

Αποτελέσματα: Οι απόλυτες κορυφές των λανθανόντων χρόνων των κυμάτων I, III και V ως απόκριση στα ερεθίσματα κλικ όπως επίσης και οι διακυματικοί λανθάνοντες χρόνοι των κυμάτων I-III, III-V και I-V στα άτομα με δυσλεξία αν και ήταν αυξημένοι σε σύγκριση με τους φυσιολογικούς ενήλικες, ( $p < 0.05$ ) δεν ήταν σε επίπεδο σημαντικής διαφοράς. Παρ' όλα αυτά, οι απόλυτες κορυφές των λανθανόντων χρόνων του αρνητικού κύματος C και οι διακυματικοί λανθάνοντες χρόνοι των κυμάτων Α και C που προκλήθηκαν από τα λεκτικά ερεθίσματα παρουσίασαν αύξηση στα άτομα με δυσλεξία σε σύγκριση με την ομάδα ελέγχου ( $p = 0.0004$  και  $p = 0.045$  αντίστοιχα). Στην υποομάδα την οποία αποτελούσαν δέκα ασθενείς που είχαν «άλλες μαθησιακές δυσκολίες» και που χαρακτηρίζονταν με «ελαφριά δυσλεξία» σύμφωνα με τα τεστ δυσλεξίας, δεν υπήρχαν σημαντικές καθυστερήσεις στις κορυφές των λανθανόντων χρόνων των κυμάτων Α και C και στις διακυματικές κορυφές των λανθανόντων χρόνων των κυμάτων Α και C σε σύγκριση με την ομάδα ελέγχου.

Συμπεράσματα: Η ηλεκτρική ακουστική αναπαράσταση/κύματα των προκλητών δυναμικών μετά από διέγερση ενός λεκτικού ήχου και, ειδικότερα της δισύλλαβης λέξης «μπαμπά»/ba-ba, βρέθηκε να είναι ανώμαλη, σε επίπεδο τόσο χαμηλό όσο το ακουστικό εγκεφαλικό στέλεχος. Επειδή τα ακουστικά προκλητά δυναμικά εγκεφαλικού στελέχους ωριμάζουν νωρίς, αυτό μπορεί να βοηθήσει στην αναγνώριση ατόμων με ακουστικά βασιζόμενα μαθησιακά προβλήματα και στην εφαρμογή έγκαιρης παρέμβασης, αποκατάστασης και θεραπείας. Είναι απαραίτητο να γίνουν και άλλες μελέτες με περισσότερα άτομα και με



άλλες περιπτώσεις όπως η πλαστικότητα του ακουστικού συστήματος, τα κοχλιακά εμφυτεύματα, τα βοηθήματα ακοής, η πρεσβυακοΐα, η ακουστική νευροπάθεια κτλ έως ότου αυτό το είδος των δοκιμών είναι έτοιμο για κλινική εφαρμογή.



## SUMMARY

Purpose and background: Acoustic signals are transmitted through the external and middle ear mechanically to the cochlea where they are transduced into electrical impulse for further transmission via the auditory nerve. The auditory nerve encodes the acoustic sounds that are conveyed to the auditory brainstem. Multiple brainstem nuclei, the cochlea, the midbrain, the thalamus, and the cortex constitute the central auditory system. In clinical practice, auditory brainstem responses (ABRs) to simple stimuli such as click or tones are widely used. Recently, complex stimuli or complex auditory brain responses (cABRs), such as monosyllabic speech stimuli and music, are being used as a tool to study the brainstem processing of speech sounds. We have used the classic ‘click’ as well as, for the first time, the artificial successive complex stimuli ‘ba’, which constitutes the Greek word ‘baba’ corresponding to the English ‘daddy’.

Patients and methods: Twenty young adults institutionally diagnosed as dyslexic (10 subjects) or light dyslexic (10 subjects) comprised the diseased group. Twenty sex-, age-, education-, hearing sensitivity-, and IQ-matched normal subjects comprised the control group. Measurements included the absolute latencies of waves I through V, the interpeak latencies elicited by the classical acoustic click, the negative peak latencies of A and C waves, as well as the interpeak latencies of A-C elicited by the verbal stimulus ‘baba’ created on a digital speech synthesizer

Results: The absolute peak latencies of waves I, III, and V in response to monaural rarefaction clicks as well as the interpeak latencies I-III, III-V, and I-V in the dyslexic subjects, although increased in comparison with normal subjects, did not reach the level of a significant difference ( $p < 0.05$ ). However, the absolute peak latencies of the negative wave C and the interpeak latencies of A-C elicited by verbal stimuli were found to be increased in the dyslexic group in comparison with the control group ( $p = 0.0004$  and  $p = 0.045$ , respectively). In the subgroup consisting of 10 patients suffering from 'other learning disabilities' and who were characterized as with 'light' dyslexia according to dyslexia tests, no significant delays were found in peak latencies A and C and interpeak latencies A-C in comparison with the control group.

Conclusions: Acoustic representation of a speech sound and, in particular, the disyllabic word 'baba' was found to be abnormal, as low as the auditory brainstem. Because ABRs mature in early life, this can help to identify subjects with acoustically based learning problems and apply early intervention, rehabilitation, and treatment. Further studies and more experience with more patients and pathological conditions such as plasticity of the auditory system, cochlear implants, hearing aids, presbycusis, or acoustic neuropathy are necessary until this type of testing is ready for clinical application.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Μήτσιου, Γλ. *Επιδημιολογική Έρευνα Πρόβλεψης Μαθησιακών Δυσκολιών. Πρακτικά του 1<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου Παιδαγωγικής Εταιρείας, 1999, 339-344.*
2. Song JH, Banai K, Russo N, et al. *On the relationship between speech - and nonspeech evoked auditory brainstem responses. Audiol Neurootol. 2006; 11(4): 233-41.*
3. Tallal P. *Auditory temporal perception, phonics and reading abilities in children. Brain Lang 1980; 9: 182-198.*
4. McAnally KI, Stein JF. *Auditory temporal coding in dyslexia. Proc R Soc Lond 1996; 263: 961-965.*
5. Ferrer E, Shaywitz BA, Holahan JM, et al. *Uncoupling of reading and IQ over time: empirical evidence for a definition of dyslexia. Psychol Sci 2010; 21: 93-101.*
6. Geisler CD. *Average responses to clicks in man recorded by scalp electrodes. 1960. Technical report No 380, Cambridge, MA: MIT Research Laboratory of Electronics.*
7. Jewett DL, Williston, JS. *Auditory-evoked for fields averaged from the scalp of humans. Brain 1971; 94: 68-696.*
8. Hecox K, Galambos R. *Brainstem auditory evoked responses in human infants and adults. Arch Otolaryngol 1974; 99:30-33.*
9. Brackmann DE, Selters WA. *Electric response audiometry: clinical applications. Otolaryngol Clin North Am 1978; 11 (1): 7-18.*
10. Martin BA, Tremblay KL, Korczak P. *Speech Evoked Potentials: From the laboratory to the Clinic. Ear Hear 2008; 29: 285-313.*

11. Conti G, Mercuri E. Auditory processing in infancy: do early abnormalities predict disorders of language and cognitive development? *Dev Med Child Neurol* 2011; 53: 1085-1090.
12. Scherg M, Von Cramon D. A new interpretation of the generators of BAEP waves I-V results of a spatiotemporal dipole model. *Electroencephalogr Clin Neuro Physiol* 1985; 62: 290-299.
13. Cheng G, Smith R, Tan AK. Cost comparison of auditory brainstem response versus magnetic resonance imaging screening of acoustic neuroma. *J Otolaryngol* 2003; 32: 394-399.
14. Al-Abdulhadi K, Zeitouni AG, Al-Sebeih K, et al. Evaluation of vestibular evoked myogenic potentials. *J Otolaryngol* 2002; 31: 93-96.
15. Dort JC, Tobolski C, Brown D. Screening strategies for neonatal hearing loss: which test is best? *J Otolaryngol* 2000; 9: 206-210.
16. Rappaport JM, Gulliver JM, Phillips DP, et al. Auditory temporal resolution in multiple sclerosis. *J Otolaryngol* 1994; 23: 307-324.
17. Karamitsos DG, Kounis NG, Zavras GM, et al. Brainstem auditory evoked potentials in patients with ischemic heart disease. *Laryngoscope* 1996; 106: 54-57.
18. Nikiforidis G, Tsambaos D, Karamitsos D, et al. Effects of oral isotretinoin on human auditory brainstem response. *Dermatology* 1994; 189: 62 -64.
19. Buller N, Shvili Y, Laurian N, et al. Delayed brainstem auditory evoked responses in diabetic patients. *J Laryngol Otol* 1988;102: 857-860.
20. Gupta S, Baweja P, Mittal S, et al. Brainstem auditory evoked potential abnormalities in type 2 diabetes mellitus. *North Am J Med Sci* 2013; 5:60-5.

21. Podoshin L, Ben-David Y, Fradis M, et al. Brainstem auditory evoked potential with increased stimulus rate in minor head trauma. *J Laryngol Otol* 1990; 104: 191-194.
22. Ben-David Y, Pratt H, Landman L, et al. A comparison of auditory brain stem evoked potentials in hyperlipidemics and normolipemic subjects. *Laryngoscope* 1986; 96: 186-189.
23. Fradis M, Podoshin L, Ben-David J, et al. Brainstem auditory evoked potentials with increased stimulus rate in patients suffering from systemic lupus erythematosus. *Laryngoscope* 1989; 99: 325-329.
24. Källstrand J, Nehlstedt SF, Sköld ML, et al. Lateral asymmetry and reduced forward masking effect in early brainstem auditory evoked responses in schizophrenia. *Psychiatry Res.* 2012;196: 188-193
25. Kouni SN, Papadeas ES, Varakis IN, et al. Auditory brainstem responses in dyslexia: comparison between acoustic click and verbal stimulus events. *JOtolaryngol* 2006; 5: 305-309.
26. Møller A. Neural mechanisms of BAEP. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1999 Suppl; 49:27–35.
27. Starr A, Don M. Brain Potentials Evoked by Acoustic Stimuli. In T W Picton (Ed). *Handbook of Electroencephalography and Clinical Neurophysiology (Revised Volume 3). Human Event-Related Potentials (pp, 97–157).* 1988, Amsterdam:Elsevier.
28. Johnson K, Nicol T, Kraus N. Brain stem response to speech: a biological marker of auditory processing. *Ear Hear* 2005; 26: 424–434.
29. Song J, Skoe E, Wong PCM, et al. Plasticity in the adult human auditory brainstem following short term linguistic training. *J Cognitive Neurosci* 2008; 20: 1892–1902.
30. Skoe E, Kraus N Auditory brainstem response to complex sounds: a tutorial. *Ear Hear* 2010; 31: 302–324.

31. Sinha SK, Basavaraj V. Speech evoked auditory brainstem responses: a new tool to study brainstem encoding of speech sounds. *Indian J Otolaryngol Head Neck Surg* 2010; 62: 395-399.
32. King C, Warriar C, Hayes E, et al. Deficits in auditory brainstem pathway encoding of speech sounds in children with learning problems. *Neurosc Letters* 2002; 319: 111-115.
33. Wible B, Nicol T, Kraus N. Atypical brainstem representation of onset and formant structure of speech sounds in children with language-based learning problems. *Biol Psychol.* 2004 November; 67(3): 299–317.
34. Cunningham J, Nicol T, Zecker SG, et al. Neurobiologic responses to speech in noise in children with learning problems: Deficits and strategies for improvement. *Clin Neurophysiol.* 2001;112:758–767.
35. Russo N, Nicol T, Musacchia G, et al. Brainstem responses to speech syllables. *Clin Neurophysiol.* 2004;115:2021–2030.
36. Banai K, Hornickel J, Skoe E, et al. Reading and subcortical auditory function. *Cereb Cortex.* 2009;19:2699–2707.
37. Hornickel J, Skoe E, Kraus N. Subcortical laterality of speech encoding. *Audiol Neurootol.* 2009a;14:198–207.
38. Russo NM, Nicol TG, Zecker SG, et al. Auditory training improves neural timing in the human brainstem. *Behav Brain Res.* 2005;156:95–103.
39. Parbery-Clark A, Skoe E, Kraus N. Musical experience limits the degradative effects of background noise on the neural processing of sound. *J Neurosci.* 2009 Nov 11;29(45):14100-7.
40. Russo N, Larson C, Kraus N. Audio-vocal system regulation in children with autism spectrum disorders. *Exp Brain Res.* 2008a;188:111–124.



41. Kirk SA. *Behavioral diagnosis and remediation of learning disabilities. Proceedings of the conference on the exploration into the problems of the perceptually handicapped child.* 1963. Evaston, IL: Fund for the perceptually Handicapped child.
42. International Dyslexia Association. 2001. *Perspectives* 27(3), 5-24.
43. Αθανασιάδη Ε. *Η δυσλεξία και πως αντιμετωπίζεται.* 2001. Αθήνα. Εκδόσεις Καστανιώτη.
44. Cruickshank WM. *Dyslexia: Its Neuropsychology and Treatment.* 1986. Chichester: John Wiley, xiii-xvi.
45. Buffery AW, Gray JA. *Sex differences in the development of spatial and linguistic skills.* 1972. London: Churchill Livingstone.
46. Κασσέρης Χ. *Η δυσλεξία.* 2002. Εκδόσεις Σαββάλας.
47. Critchley M, Critchley E. *Dyslexia defined.* 1978. Heinemann Medical Books.
48. Hallgern B. *Specific dyslexia (congenital word blindness). A clinical and genetical study.* 1950. Doctoral Dissertation. Stockholm: University of Stockholm.
49. Thomson M. *Dyslexia: A teaching handbook.* 1991. Whurr, London.
50. Jordan DR. *Dyslexia in the classroom.* 1972. Columbus, Ohio: Charles E. Merrill Publicing Company.
51. Ingram TTS. *The dyslexic child.* 1964. *Word Blind Bulletin*, 1, No 4.
52. Boder E. *Developmental dyslexia: a diagnostic approach based on three atypical reading-spelling patterns.* 1973. *Dev Med Child Neurol* 1973 Oct; 15 (5): 663-87.
53. Naidoo S. *Specific dyslexia.* 1972. London: Pitman.
54. Doehring DG, Hoshko IM. *Classification of reading problems by Q-Techniques of factor analysis.* *Cortex.* 1977 Sep; 13 (3): 281-94.

55. Thomson M. *Developmental dyslexia: Its nature, assessment and remediation*. 1984. London: Edward Arnold.
56. Orton ST. *Reading, writing and speech problems in children*. 1937. New York: W.W. Norton.
57. Galaburda A. *Ordinary and extraordinary brain development: Anatomical variations in developmental dyslexia*. 1989. *Ann dyslexia*. 1989 Jan; 39(1):65-80.
58. Eden GF, Zeffiro TA. *Neural system affected in developmental dyslexia revealed by functional neuroimaging*. 1998. *Neuron*. 1998 Aug; 21 (2): 279-82.
59. Paulesu E. *Dyslexia: cultural universality and biological unity*. *Science*. 2001 Mar 16; 291(5511): 2165-7.
60. Grigorenko E. *Developmental dyslexia: an update on genes, brains and environments*. *J Child Psychol Psychiatry*. 2001 Jan; 42(1): 91-125.
61. Galaburda A, Kemper TL. *Cryoarchitectonic abnormalities in developmental dyslexia: A case study*. *Ann Neurol*. 1979 Aug; 6(2): 94-100.
62. Καραπέτσας Α. *Η δυσλεξία στο παιδί*. 1997. Εκδόσεις Ελληνικά Γράμματα.
63. Duane D. *Neurobiological correlates of learning disorder*. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry*. 1989 May; 28(3): 314-8.
64. Witelson SF. *Neurobiological aspects of language in children*. *Child Dev*. 1987 Jun; 58(3): 653-88.
65. Benton A. *Some conclusions about dyslexia. An appraisal of current knowledge*. 1978. New York: Oxford University Press, 453-76.
66. DeFries J, Becker S. *Genetic aspects of reading disability: A family study*. 1982. In R.N. Malatesha & P.G.Aaron , *Reading disorders: Varieties and treatments*, 255-279, New York.

67. Pennington BF. 1991. *Dyslexia and other developmental language disorders*. In *Diagnosing learning disorders: A neuropsychological framework* (pp. 45-81). New York: Guilford Press.
68. Livingstone MS. *Parallel processing of form, color, motion and depth: Anatomy, physiology, art, illusion and dyslexia*. 1992. *Annals of dyslexia*. Baltimore: The Orton Dyslexia Society.
69. Huey EB. *The Psychology and Pedagogy of Reading*. 1908. New York: Macmillan.
70. Tinker MA. *Recent studies of eye movements in reading*. *Psychol Bull*. 1958 Jul; 55(4): 215-31.
71. Rutter M, Yule W. *The concept of specific reading retardation*. *J Child Psychol Psychiatry*. 1975 Jul; 16(3): 181-97.
72. Pavlidis GT. *Eye movements in dyslexia: Their diagnostic significance*. *J Learn Disabil*. 1985 Jan; 18(1): 42-50.
73. Zangwill OL, Blakemore C. *Dyslexia: reversal of eye- movements during reading*. *Nuropsychologia*. 1972 Sep; 10(3): 371-3.
74. Pirozzolo FJ. *The neuropsychology of developmental reading disorders*. New York: Praeger.
75. Eskenazi B, Diamond SP. *Visual exploration of non-verbal material by dyslexic children*. *Cortex*. 1983 Sep; 19(3): 353-70.
76. Πόρποδας Κ. 1997. *Δυσλεξία: Γνωστική Θεώρηση*. Ανακοίνωση στο 6<sup>ο</sup> Πανελλήνιο συνέδριο Ψυχολογικής Έρευνας, 29 Μαΐου-1 Ιουνίου 1997, Αθήνα.
77. Clark MM. *Reading difficulties in school*. 1970. Harmondsworth: Penguin.
78. McNinch G, Richmond M. *Auditory perceptual tasks as predictors of first grade reading success*. *Percept Mot Skills*. 1972 Aug; 35(1): 7-13.

79. Renvall H, Hari P. Auditory cortical responses to speech-like stimuli in dyslexic adults. *J Cogn Neurosci*. 2002 Jul 1; 14(5): 757-68.
80. Gaab N, Gabrieli JD, Deutsch, et al. Neural correlated of rapid auditory processing J are disrupted in children with developmental dyslexia and ameliorated with training. *Cogn Neurosc*. 2002 Jul 1;14(5):757-68.
81. Boersma P. Praat, a system for doing phonetics by computer. *Glott Int* 2002;5:341–5.
82. Kraus N, Nicol T. Brainstem origins for cortical ‘what’ and ‘where’ pathways in the auditory system. *Trends Neurosci* 2005;28:176–81.
83. Seymour PHK, Aro M, Erskine JM. Foundation literacy acquisition in European orthographies. *Br J Psychol* 2003;94: 143–74.
84. Leppänen PH, Hämäläinen JA, Guttorm TK, et al. Infant brain responses associated with reading-related skills before school and at school age. *Neurophysiol Clin* 2012;42:35–41.
85. Vellutino FR, Fletcher JM, Snowlin MJ, et al. Specific reading disability (dyslexia): what have we learned in the past four decades? *J Child Psychol Psychiatry* 2004;45:2–40.
86. Ramus F, Szenkovits G. What phonological deficit? *Q J Exp Psychol* 2008;61:129–41.
87. Ziegler JC, Goswami U. Reading acquisition, developmental dyslexia, and skilled reading across languages: a psycholinguistic grain size theory. *Psychol Bull* 2005;131:3–29.
88. McBride-Chang C. Models of speech perception and phonological processing in reading. *Child Dev* 1996;67: 1836–56.
89. Farmer ME, Klein RM. The evidence for a temporal processing deficit linked to dyslexia: a review. *Psychon Bull Rev* 1995;2: 460–93.

90. Poelmans H, Luts H, Vandermosten M, et al. Auditory steady state cortical responses indicate deviant phonemicrate processing in adults with dyslexia. *Ear Hear* 2012;33: 134–43.
91. Krishnan A, Gandour JT, Bidelman GM, et al. Experience- dependent neural representation of dynamic pitch in the brainstem. *Neuroreport* 2009;20:408–13.
92. Hall III JW, Smith SD, Popelka GR. Newborn hearing screening with combined otoacoustic emissions and auditory brainstem responses. *J Am Acad Audiol* 2004;15:414–25.
93. Johnson JL, White KR, Widen JE, et al. A multicenter evaluation of how many infants with permanent hearing loss pass a two-stage otoacoustic emissions/automated auditory brainstem response newborn hearing screening protocol. *Pediatrics* 2005;116:663–72.