

JAPAN.

THE JAPANESE
THE JAPANESE
THE JAPANESE
THE JAPANESE
THE JAPANESE

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ



026000260066





Λο. 457.....3004.

216

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΙΑΤΡΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΟΜΕΑΣ ΝΕΥΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ
ΩΤΟΡΙΝΟΛΑΡΥΓΓΟΛΟΓΙΚΗ ΚΛΙΝΙΚΗ
Διευθυντής: Καθηγητής Αντώνιος Σκεύας

Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΩΤΟΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ
ΤΥΠΟΥ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ
ΣΤΗ ΔΙΑΓΝΩΣΗ ΤΩΝ ΚΟΧΛΙΑΚΟΥ ΤΥΠΟΥ ΒΑΡΗΚΟΪΩΝ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ
ΝΑΥΣΙΚΑΣ Β. ΖΙΑΒΡΑ
ΧΕΙΡΟΥΡΓΟΥ ΩΤΟΡΙΝΟΛΑΡΥΓΓΟΛΟΓΟΥ

ΙΩΑΝΝΙΝΑ 2001





10/2002

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΑΡΔΙΤΣΗΣ

ΠΡΟΧΕΙΡΙΑΣΤΕΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ
ΑΝΑΡΤΗΤΕΣ
10/2002



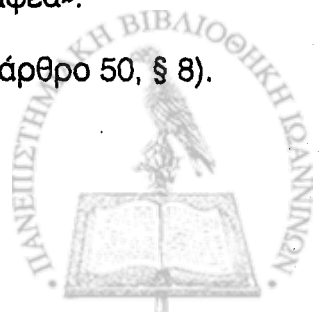
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΑΡΔΙΤΣΗΣ

10/2002



«Η έγκριση της διδακτορικής διατριβής από την Ιατρική Σχολή του Πανεπιστημίου
Ιωαννίνων δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα».

N. 5343/1932, άρθρο 202, § 2. και N. 1268/82, άρθρο 50, § 8).



ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Επιβλέπων

Αντώνιος Σκεύας

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΩΤΟΡΙΝΟΛΑΡΥΓΓΟΛΟΓΙΑΣ

ΙΑΤΡΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Μέλη

Δημήτριος Ασημακόπουλος

ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΩΤΟΡΙΝΟΛΑΡΥΓΓΟΛΟΓΙΑΣ

ΙΑΤΡΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Γεώργιος Εξαρχάκος

ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΙΑΤΡΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ



ΕΠΤΑΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Αντώνιος Σκεύας

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΩΤΟΡΙΝΟΛΑΡΥΓΓΟΛΟΓΙΑΣ

ΙΑΤΡΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Δημήτριος Ασημακόπουλος

ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΩΤΟΡΙΝΟΛΑΡΥΓΓΟΛΟΓΙΑΣ

ΙΑΤΡΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Γεώργιος Εξαρχάκος

ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΩΤΟΡΙΝΟΛΑΡΥΓΓΟΛΟΓΙΑΣ

ΙΑΤΡΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Κωνσταντίνος Ψύλλας

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΟΦΘΑΛΜΟΛΟΓΙΑΣ

ΙΑΤΡΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Αντιγόνη Σιαμοπούλου

ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ ΠΑΙΔΙΑΤΡΙΚΗΣ

ΙΑΤΡΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Αθανάσιος Κυρίτσης

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΝΕΥΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΙΑΤΡΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Κωνσταντίνος Πολυζώιδης

ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΝΕΥΡΟΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗΣ

ΙΑΤΡΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ



Στους γονείς μου,
ως ελάχιστο δείγμα ευγνωμοσύνης

Στο σύζυγό μου

Στην κόρη μου Πολυνίκη

Στο Δάσκαλό μου,
για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

I. Πρόλογος, Εισαγωγή, Σκοπός.....	1
II. Γενικό μέρος. Κεφάλαιο 1. Ιστορική αναδρομή ωτοακουστικών εκπομπών (αυτομάτων-παροδικών-προϊόντων παραμόρφωσης).....	5
Κεφάλαιο 2. Ανατομία του έσω ωτός.....	11
Κεφάλαιο 3. Νεότερες απόψεις σχετικά με τη φυσιολογία του κοχλία.....	19
Κεφάλαιο 4. Η φύση των ωτοακουστικών εκπομπών.....	29
III. Ειδικό μέρος. Πρώτη ενότητα.....	39
Υλικό.....	39
Μέθοδος.....	40
Αποτελέσματα.....	42
Δεύτερη ενότητα.....	48
1. Ομάδα εξετασθέντων με φυσιολογική ακοή. Υλικό και μέθοδος.....	48
Αποτελέσματα.....	49
2. Ομάδα εξετασθέντων με κοχλιακού τύπου βαρηκοΐες. Υλικό και μέθοδος.....	56
Αποτελέσματα.....	58
Συζήτηση.....	71
Συμπεράσματα.....	79
Περίληψη.....	81
Abstract.....	85
Βιβλιογραφία.....	87



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΣΚΟΠΟΣ

Η μεθοδολογία και οι τεχνικές που εφαρμόζονται για τον έλεγχο της ακοής έχουν μεταβληθεί ριζικά τα τελευταία χρόνια. Η πρόοδος της τεχνολογίας σε συνδυασμό με την καλύτερη κατανόηση του τρόπου λειτουργίας του οργάνου της ακοής οδήγησαν στην επινόηση νέων συσκευών και μεθόδων για την έγκαιρη και αξιόπιστη ανίχνευσή της. Βέβαια η ακουομετρία καθαρών τόνων, η ακουομετρία ακουστικής αντίστασης (τυμπανομετρία και ακουστικά αντανакλαστικά) και η ομιλητική ακουομετρία εξακολουθούν να παραμένουν λίαν σημαντικές και αναντικατάστατες δοκιμασίες διερεύνησης της ακοής.

Όμως σήμερα η Κλινική Ακουολογία περιλαμβάνει και άλλες δοκιμασίες ηλεκτρικές και συμπεριφοράς, όπως η ηλεκτροκοχλιογραφία που μπορεί να συμβάλλει στη διάγνωση της νόσου του Meniere. Τα προκλητά ακουστικά δυναμικά του εγκεφαλικού στελέχους (ΠΑΔΕΣ) μας προσφέρουν επίσης τη δυνατότητα, με μεγάλη αξιοπιστία και σχετικά μικρό κόστος, ανάδειξης των οπισθοκοχλιακών βλαβών (π.χ. ακουστικών νευρινωμάτων), αλλά και προσδιορισμού του ουδού ακουστικότητας σε νεογνά και βρέφη. Παράλληλα με τα ΠΑΔΕΣ αναπτύχθηκαν νέοι μέθοδοι ομιλητικής ακουομετρίας και ακουομετρίας συμπεριφοράς για τον έλεγχο των παθήσεων της κεντρικής ακουστικής οδού (πέραν του ελικοειδούς γαγγλίου και μέχρι τον ακουστικό φλοιό). Τον έλεγχο των κεντρικού τύπου βαρηκοϊών ολοκλήρωσε η ανακάλυψη και εφαρμογή προκλητών ακουστικών δυναμικών του εγκεφαλικού φλοιού.

- Οι ωτοακουστικές εκπομπές τύπου προϊόντων παραμόρφωσης (*Distortion product otoacoustic emissions - DPOAE*), με τις οποίες θα ασχοληθούμε, αποτελούν το τελευταίο βήμα εξέλιξης της ακουολογίας. Τόσο αυτές όσο και οι παροδικές, που ανακαλύφθηκαν πρώτες, χαρακτηρίζονται από τη μοναδική τους ευαισθησία και εξειδίκευση στον προσδιορισμό των κοχλιακών βλαβών. Το μεγάλο πλεονέκτημα των DPOAE συνίσταται στο ότι αποτελούν δοκιμασία που μπορεί να εφαρμοσθεί από τις πρώτες μέρες της ζωής με λίγες σχετικά προϋποθέσεις, λίαν σύντομο εξεταστικό χρόνο και μικρό κόστος.

Η παρούσα μελέτη αποτελείται από δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος "Γενικό μέρος", γίνεται αρχικά ιστορική αναφορά της εξέλιξης της φυσιολογίας του κοχλία και των DPOAE και στη συνέχεια περιγράφονται η ανατομία και φυσιολογία του έσω ωτός, καθώς επίσης η φύση, ο μηχανισμός παραγωγής και οι συσκευές καταγραφής των DPOAE.

Το δεύτερο μέρος "Ειδικό μέρος", αποτελείται από δύο επί μέρους ενότητες.

Η πρώτη ενότητα αναφέρεται σε μετρήσεις ατόμων με φυσιολογική ακοή. Στην ενότητα αυτή γίνεται προσπάθεια συσχέτισης της έντασης των DPOAE με την ηλικία, την πλευρά και το φύλο. Σκοπός ο προσδιορισμός των φυσιολογικών τιμών έντασης των DPOAE σε Ελληνικό πληθυσμό.

Η δεύτερη ενότητα αναφέρεται σε μετρήσεις ασθενών με νευροαισθητήριο βαρηκοϊά διαφόρου αιτιολογίας και βαθμού. Στις μετρήσεις της δεύτερης ενότητας



συμπεριλαμβάνεται ομάδα ενηλίκων με φυσιολογική ακοή. Χρησιμοποιούνται επίσης δύο μέθοδοι χορήγησης των πρωτευόντων τόνων. Η κλασική μέθοδος (ένα ζεύγος συχνοτήτων) και η μέθοδος της ταυτόχρονης χορήγησης πολλαπλών ζευγών συχνοτήτων (συνδυασμός 4 και 3 ζευγών συχνοτήτων). Σκοπός η συσχέτιση των ουδών ακουσικότητας του τονικού ακουογράμματος με την ένταση των DPOAE του Dr-gram, και η διερεύνηση της δυνατότητας αξιόπιστης συντόμευσης του χρόνου διεξαγωγής της εξέτασης, όταν χρησιμοποιείται η ταυτόχρονη χορήγηση πολλαπλών ζευγών συχνοτήτων. Θα πρέπει να τονισθεί ότι η τελευταία αυτή παράμετρος είναι πολύ σημαντική, διότι η μείωση του εξεταστικού χρόνου σε λίγα μόνο δευτερόλεπτα αποτελεί ουσιαστικό βήμα για τον έλεγχο της ακοής στα νεογνά και βρέφη (αποφεύγεται η καταστολή ή ο ύπνος με φάρμακα).

Συνολικά υποβλήθηκαν σε ακοολογικό έλεγχο 270 ώτα (184 με φυσιολογική ακοή και 86 με νευροαισθητήριο βαρηκοΐα). Το σύνολο των εξετασθέντων ανήλθε στους 147 (92 με φυσιολογική ακοή και 55 με νευροαισθητήριο βαρηκοΐα).

Η όλη μελέτη έγινε στα εργαστήρια ακουολογίας και ηλεκτροφυσιολογίας της Ωτορινολαρυγγολογικής Κλινικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων και περιελάμβανε ασθενείς και συνοδούς της Κλινικής μας αλλά και άλλων τμημάτων του Νοσοκομείου και των Εξωτερικών Ιατρείων, υπό την άμεση επίβλεψη του Καθ. Α. Σκεύα.

Στον Καθ. Α. Σκεύα, που με τις γνώσεις του, ιδιαίτερα στις νεότερες ακουολογικές εξεταστικές μεθόδους και τη συνεχή επίβλεψή του, βοήθησε ουσιαστικά στη διεξαγωγή αυτής της μελέτης, εκφράζω βαθιά ευγνωμοσύνη. Χωρίς τη φροντίδα, στοργή και ενθάρρυνση που προσέφερε η ακούραστη παρουσία του, θα ήταν αδύνατο να πραγματοποιηθεί αυτή η μελέτη.

Στην ολοκλήρωση της προσπάθειάς μου αυτής συνέβαλαν και οι Δ. Ασημακόπουλος Αν Καθ. και Γ. Εξαρχάκος Επικ. Καθ. Ωτορινολαρυγγολογίας, τους οποίους θερμά ευχαριστώ.



ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Ιστορική αναδρομή ωτοακουστικών εκπομπών (αυτόματων - παροδικών - προϊόντων παραμόρφωσης).

Οι πρώτες αναφορές σχετικά με τον τρόπο λειτουργίας του κοχλίου και του πως αυτός επεξεργάζεται και αναλύει τα ηχητικά κύματα, έγιναν στα μέσα του 19ου αιώνα.

Ο Helmholtz το 1857 κατόρθωσε να αναλύσει ακουστικά σύνθετους ήχους, χρησιμοποιώντας σειρά μικροφώνων και διατύπωσε την άποψη ότι το αυτί λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο (θεωρία της αντήχησης ή μικροφωνική θεωρία του Helmholtz - place theory of hearing).

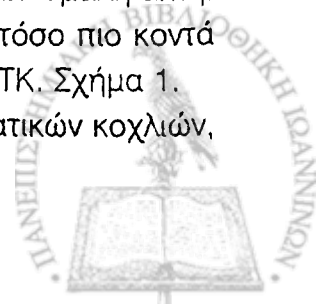
Η θεωρία αυτή υποστηρίζει ότι η μικροσκοπική δομή του κοχλίου αποτελείται από λεπτότατες ίνες, που η κάθε μία αντιστοιχεί σε ορισμένη συχνότητα. Έτσι όταν ένα ηχητικό κύμα φτάνει στον κοχλία προκαλεί παλμικές δονήσεις σε μια ορισμένη ίνα της βασικής μεμβράνης, που ανταποκρίνεται στη συχνότητα του κύματος αυτού. Το ηχητικό ερέθισμα αναλύεται στον κοχλία και σ' αυτό συνηγορεί ο αριθμός των ινών (30.000), το μήκος τους, καθώς και η τάση της βασικής μεμβράνης. Στη συνέχεια κάθε νευρική ίνα μεταφέρει τη διέγερση σε ειδικό τμήμα του εγκεφαλικού φλοιού. Ο Helmholtz ήταν ο πρώτος που περιέγραψε ότι οι υψηλές συχνότητες εντοπίζονται στη βάση του κοχλίου και οι χαμηλές στην κορυφή του.

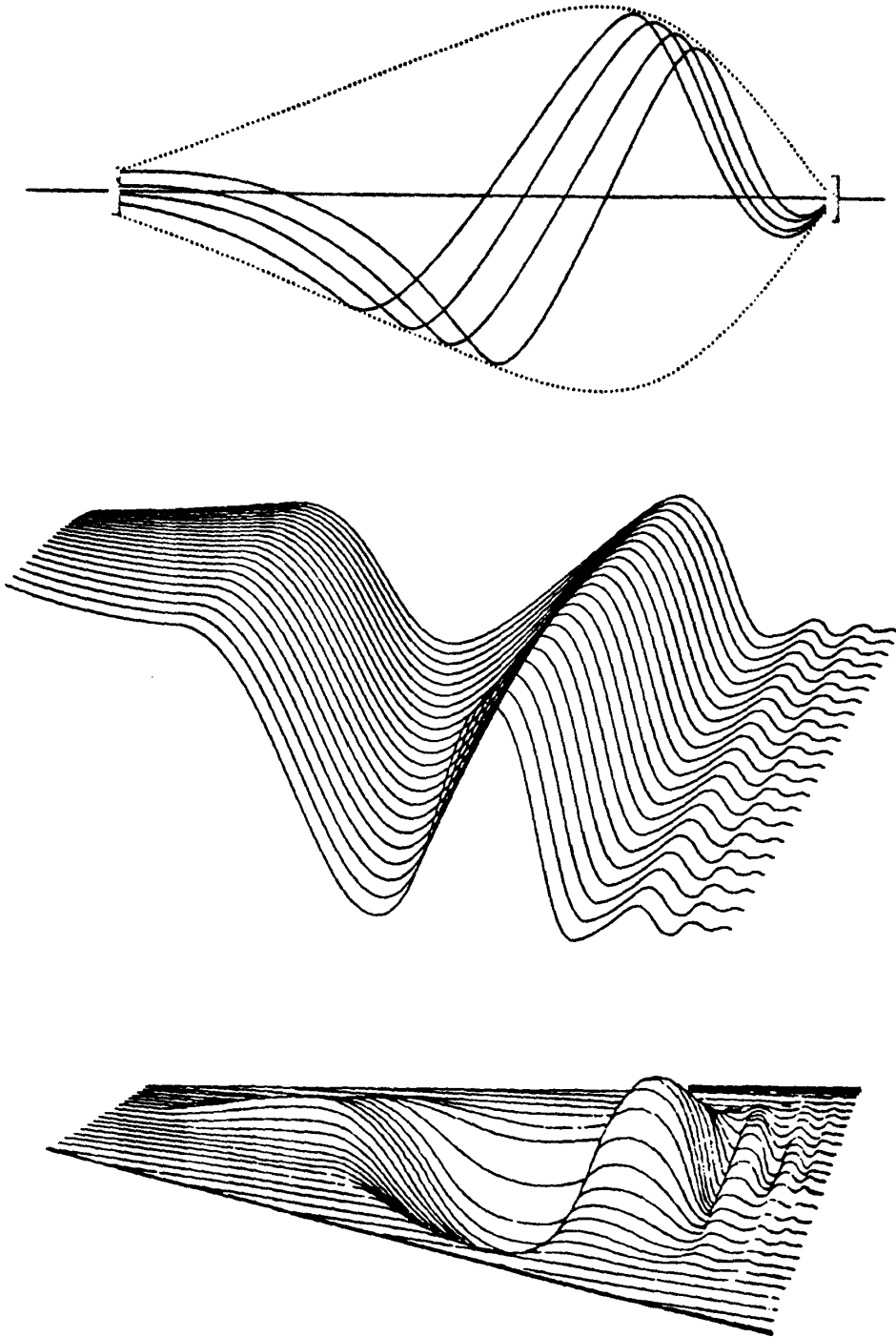
Το 1886 ο Rutherford διατύπωσε την τηλεφωνική θεωρία της ακοής (ή θεωρία της συχνότητας), σύμφωνα με την οποία από οποιονδήποτε ήχο η βασική μεμβράνη πάλλεται ως σύνολο, όπως η μεμβράνη του μικροφώνου, διεγείροντας όλα τα τριχωτά κύτταρα του οργάνου του Corti. Στη συνέχεια το ακουστικό ερέθισμα μεταφέρεται σαν ενιαίο στον εγκέφαλο, όπου γίνεται η ανάλυσή του. Γρήγορα όμως έγινε αντιληπτό ότι ο μηχανισμός της ακοής δε βασίζεται σε ηλεκτρικό ανάλογο του ήχου γιατί, αντίθετα με το σύρμα του χαλκού, οι ίνες του ακουστικού νεύρου αδυνατούν να μεταβιβάσουν τόσο γρήγορα εναλλασσόμενο σήμα όπως είναι το τηλεφωνικό.

Το 1930 οι Wever και Bray ανακάλυψαν τα κοχλιακά μικροφωνικά σήματα (signals) υποστηρίζοντας με αυτόν τον τρόπο, μερικά τη θεωρία του τηλεφώνου ή της συχνότητας του Rutherford.

Από το 1928 έως το 1949 ο μηχανικός τηλεφώνων Von Békésy⁽¹⁻³⁾ εφαρμόζοντας ιδιοφυείς μικροσκοπικές τεχνικές σε πτωματικά αυτιά οδηγήθηκε στη διατύπωση της θεωρίας του "ταξιδεύοντος - κινούμενου κύματος - traveling wave". Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή υπό την επίδραση ήχου εμφανίζεται στη βασική μεμβράνη του κοχλιακού πόρου ένα σχετικά αργό (1m/s) "ταξιδεύον - κινούμενο κύμα" (TK) από τη βάση προς την κορυφή του κοχλίου. Το κύμα αυτό επιλεκτικά (Békésy 1960) μεταβιβάζει τις διάφορες συχνότητες της ηχητικής ενέργειας σε διαφορετικά σημεία του οργάνου του Corti. Το πλάτος του TK αυξάνει μέχρι μια μέγιστη τιμή και μετά αποσβένεται ταχέως με τρόπο όμοιο με τα κύματα της θάλασσας που φτάνουν σε μια ομαλή ακτή. Όσο υψηλότερη είναι η συχνότητα του τόνου που προκαλεί το κύμα τόσο πιο κοντά στην ωοειδή θυρίδα είναι η θέση όπου μεγιστοποιείται το πλάτος του TK. Σχήμα 1.

Η θεωρία του Békésy, επειδή βασίζονταν σε πειράματα επί πτωματικών κοχλίων,





Σχήμα 1.

Το ταξιδεύον κύμα κατά Von Békésy (1948).

Σχηματική παράσταση ταξιδεύοντος κύματος μετά από χορήγηση καθαρού τόνου συχνότητας 200 Hz. Για λόγους επίδειξης ο κοχλίας έχει αναπτυχθεί ώστε να φαίνεται σαν επίπεδος σωλήνας. Η βάση του αντιστοιχεί στο αριστερό μέρος του σχήματος. Οι διακεκομμένες γραμμές αναπαριστούν τον θύλακα μετατόπισης εντός των ορίων του οποίου περιορίζονται όλες οι δονήσεις της βασικής μεμβράνης ενός δεδομένου ηχητικού ερεθίσματος. Ο θύλακας αυξάνει σε μέγεθος προοδευτικά φθάνοντας το μέγιστο και στη συνέχεια ελαττώνεται απότομα και αποσβένεται. Οι κυματομορφές περιγράφουν το ταξίδι των κυμάτων από τη βάση έως την κορυφή του κοχλίου.

Το γεγονός ότι τα πλάγια όρια της βασικής μεμβράνης είναι σταθερά, έχει σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση κοίλανσης στο κέντρο της βασικής μεμβράνης (Tonndorf 1960).



δεν έλαβε υπόψη την κατασταλτική δράση που έχουν οι ανατομικοί σχηματισμοί και τα υγρά του κοχλιακού πόρου επί του ΤΚ.

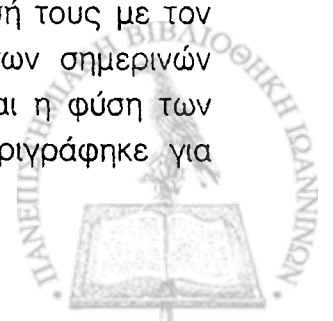
Έτσι στο αυτί μεγάλο ποσό ενέργειας χάνεται λόγω του ιξώδους και των τριβών, των υγρών και των ανατομικών δομών του κοχλία με αποτέλεσμα σοβαρή μείωση του εύρους του ΤΚ. Η μείωση του εύρους του ΤΚ έχει σαν κύρια συνέπεια τη σοβαρή ελάττωση της δυνατότητας ανάλυσης των συχνοτήτων, αλλά και άλλων σημαντικών λειτουργιών του κοχλία.

Ενώ οι περισσότεροι ακουολόγοι και φυσιολόγοι της ακοής από το 1940 έως το 1980 αποδέχονταν τη θεωρία του Von Bekesy^(1,3) που διατυπώθηκε από πειράματα σε πτωματικούς κοχλίες, ένας βιοφυσικός ο Tomas Gold ήταν αντίθετος με τη θεωρία αυτή. Ο Gold (1948)^(4,5) υποστήριζε ότι στα εν ζωή ότα (όχι στα πτωματικά) υπάρχει ένας μηχανισμός που μειώνει την απώλεια ενέργειας που χάνεται λόγω του ιξώδους και των τριβών, των υγρών και των ανατομικών δομών του κοχλία, γιατί ένας τόσο ευαίσθητος και επιλεκτικός ανιχνευτής όπως είναι το αυτί δεν μπορεί να χάνει, χωρίς να αναπληρώνει, την ενέργεια που συλλέγει. Και αυτό γιατί η απώλεια ενέργειας θα αλλοίωνε λειτουργίες όπως η δυνατότητα της ανάλυσης των συχνοτήτων και η ευαισθησία που είναι φαινόμενα σημαντικά για την ακοή.

Ο Gold διατύπωσε την άποψη ότι η φύση δεν μπορεί να είναι τόσο ανόητη ώστε να αγνοήσει τη δυνατότητα της θετικής ανάδρασης (positive feedback). Η φύση δηλαδή πρέπει να έχει επινοήσει τρόπο ενίσχυσης της απάντησης του κοχλία. Εάν λοιπόν το αυτί θα μπορούσε να λαμβάνει ηλεκτροχημική ενέργεια από το ενδοκοχλιακό δυναμικό και να τη μετατρέπει σε μηχανικές δονήσεις, την ίδια ακριβώς στιγμή που οι ηχητικές δονήσεις από το περιβάλλον εισέρχονται στο αυτί, η απώλεια ενέργειας θα μπορούσε να αντισταθμισθεί πλήρως.

Εν κατακλείδι ο Gold είχε προβλέψει την κινητικότητα που παρατηρείται στο όργανο του Corti, τέσσερις δεκαετίες πριν την πιστοποίησή της από μελέτες της λειτουργικότητας των έξω τριχωτών κυττάρων. Ένα άλλο εκπληκτικό συμπέρασμα του Gold ήταν ότι τα "απορρυθμισμένα" αυτιά θα πρέπει να αναμένεται να εκπέμπουν συνεχείς τόνους. Η θετική ανάδραση ή αυτοενίσχυση της ενέργειας, όπως τη χαρακτήρισε ο Gold, είναι ένα είδος ενίσχυσης που έξω από ορισμένα όρια οδηγεί στη δημιουργία αυτορυθμιζόμενων ταλαντώσεων της βασικής μεμβράνης.

Σήμερα η γένεση τέτοιων τονικών ήχων από το αυτί ονομάζεται "αυτόματες ωτοακουστικές εκπομπές - spontaneous otoacoustic emissions - SOAE's" και συσχετίζεται με υπερδραστηριότητα παρά με νόσο. Ο Gold δεν μπόρεσε τότε να καταγράψει τις SOAE's γιατί τις αναζητούσε σε άτομα που έπασχαν από ισχυρές τονικές εμβοές, σύμπτωμα με το οποίο πολύ σπάνια συνυπάρχουν οι αυτόματες εκπομπές. Ο Gold δε σκέφθηκε την πιθανότητα ηχητικής εκπομπής ως φυσιολογικό παραπροϊόν της ακοής, γιατί αυτό θα ήταν αντίθετο με τη θεωρία του ΤΚ. Έτσι δεν προέβλεψε τις προκλητές ωτοακουστικές εκπομπές και τη συσχέτισή τους με τον προσδιορισμό της φυσιολογικής ακοής, που αποτελεί τη βάση των σημερινών κλινικών εφαρμογών των ωτοακουστικών εκπομπών. Η ύπαρξη και η φύση των προκλητών ωτοακουστικών εκπομπών του ανθρώπινου αυτιού περιγράφηκε για





Εικ. 1
Ο D. Kemp στο Λονδίνο το 1995 με την πρώτη
συσσκευή ωτοακουστικών εκπομπών.

πρώτη φορά από τον D. Kemp το 1978⁽⁶⁻¹²⁾. Εικ. 1.

Ο όρος ωτοακουστική εκπομπή προέρχεται από την επιστήμη των υλικών όπου είναι γνωστό ότι η ενέργεια που εγκλωβίζεται στις εσωτερικές γραμμές αντοχής ενός μετάλλου μπορεί να απελευθερωθεί είτε αυτόματα είτε μετά από φυσική διέγερση (π.χ. περίπτωση οξυγονοκόλλησης).

Οι πρώτες ωτοακουστικές εκπομπές καταγράφηκαν με μικρόφωνο τοποθετημένο στον έξω ακουστικό πόρο το 1977 στο Λονδίνο και ήταν στατικά κύματα, αυτόματες και προϊόντα παραμόρφωσης.

Το 1978 όπως και παλαιότερα το 1948, ήταν δύσκολο για τους ακουολόγους να κατανοήσουν το νέο μοντέλο λειτουργίας του κοχλίου, παρά την ύπαρξη πειραματικής επαλήθευσης υπό τη μορφή των παροδικά προκλητών ωτοακουστικών εκπομπών. Ο κοχλίας

είχε θεωρηθεί από την πλειονότητα των ερευνητών σαν ένα μηχανικά παθητικό και γραμμικό σύστημα ταξινόμησης των προσλαμβανόμενων από το μέσο ους δονήσεων και κατανομής αυτών στα αισθητικά τριχωτά κύτταρα. Η κινητικότητα των τριχωτών κυττάρων ήταν άγνωστη. Δεν υπήρχε δυνατότητα εξήγησης της παρατηρούμενης υψηλής ικανότητας ανάλυσης των συχνοτήτων που διαθέτει το όργανο της ακοής.

Το Φθινόπωρο του 1979 στο Ινστιτούτο Λαρυγγολογίας και Ωτολογίας του Λονδίνου έλαβε χώρα το πρώτο διεθνές επιστημονικό συνέδριο με θέμα "Ενεργείς και μη γραμμικές μηχανικές λειτουργίες του κοχλίου" σε σχέση με τις ωτοακουστικές εκπομπές. Στο συνέδριο αυτό ο Ake Flock⁽¹³⁾ ανακοίνωσε τις πρώτες ισχυρές ενδείξεις δυνατότητας σύσπασης των έξω τριχωτών κυττάρων και ο Kim ενδείξεις για τη μηχανική μη-γραμμικότητα και αμφίδρομη επίδραση μεταξύ των τριχωτών κυττάρων και της μηχανικής του κοχλίου. Οι ενδείξεις αυτές επιβεβαιώθηκαν πειραματικά σε ινδικά χοιρίδια από τους Le Page και Johnstone το 1980⁽¹⁴⁾. Τέλος ο J. Zwislocki (1980)⁽¹⁵⁾ απέδειξε την αξία που έχει η κατανόηση της μικρομηχανικής του οργάνου του Corti και ο ρόλος του καλυπτήριου υμένα.

Το 1983 ανακοινώθηκε από τον Brownell WE⁽¹⁶⁻¹⁹⁾ η ανακάλυψη της κινητικότητας των έξω τριχωτών κυττάρων.

Το 1988 κυκλοφόρησε στο εμπόριο η πρώτη συσκευή καταγραφής ωτοακουστικών εκπομπών με την ονομασία ILO 88. Από το 1994 και μετά με σχετική



καθυστέρηση άρχισε η ευρεία κυκλοφορία εμπορικών συσκευών καταγραφής ωτοακουστικών εκπομπών τύπου προϊόντων παραμόρφωσης (DPOAE). Έκτοτε οι ωτοακουστικές εκπομπές (παροδικές και προϊόντα παραμόρφωσης) αποτελούν λόγω της μεγάλης τους αξιοπιστίας θεμελιώδη δοκιμασία της ανίχνευσης της ακοής και της διαγνωστικής ακουομετρίας.



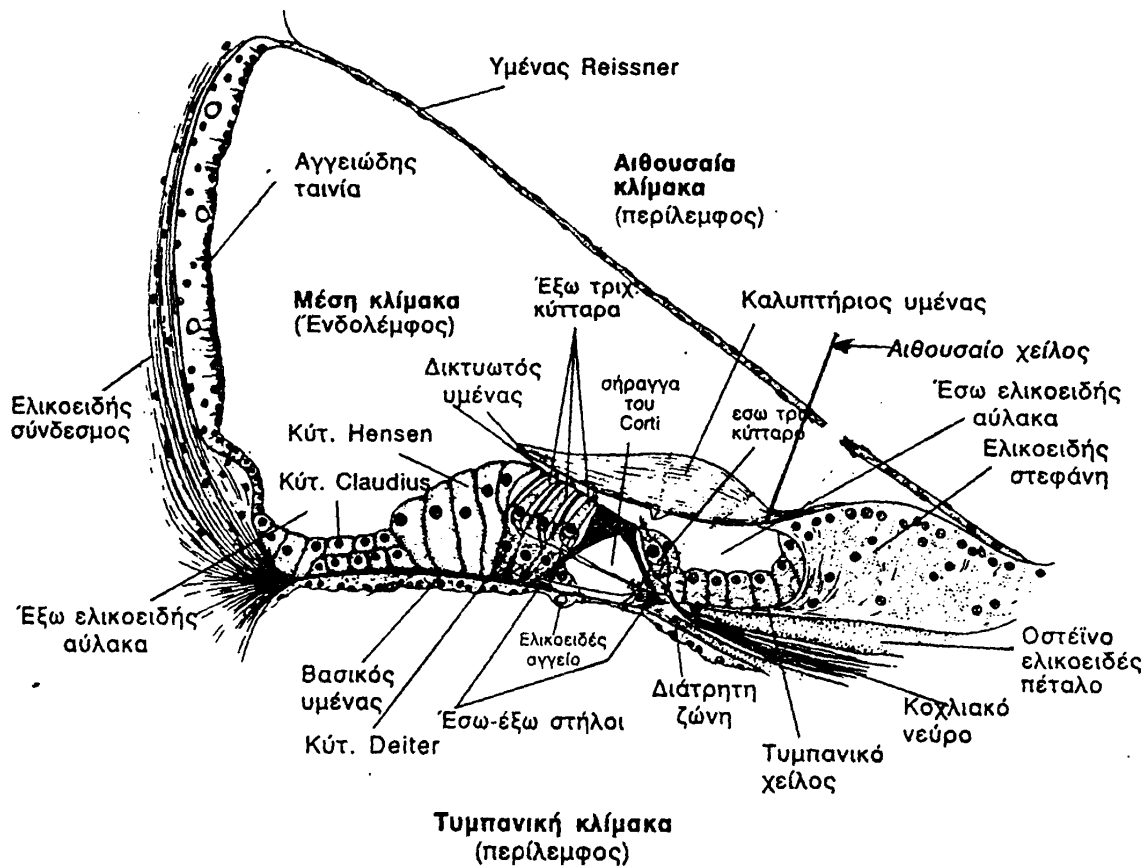
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Ανατομία του έσω ωτός.

Ο Κοχλιακός πόρος και το όργανο του Corti.

Ο κοχλιακός πόρος εκτείνεται από τη βάση μέχρι την κορυφή του οστέινου κοχλία και εμφανίζει 3 τοιχώματα, το άνω ή αιθουσαίο (υμένας του Reissner), το έξω και το κάτω ή τυμπανικό που είναι και το σπουδαιότερο. Σχήμα 2.

Το κάτω ή τυμπανικό τοίχωμα του κοχλιακού πόρου εκτείνεται από το σημείο



Σχήμα 2.

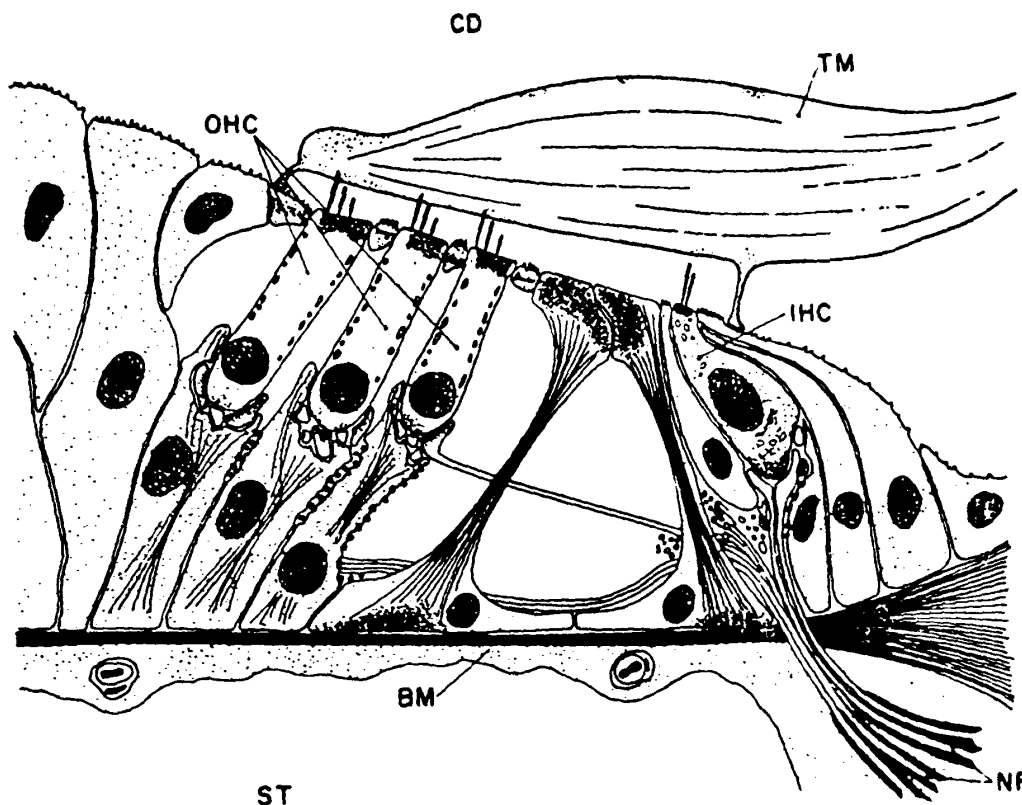
Ο κοχλιακός πόρος και το όργανο του Corti.

πρόσφυσης του υμένα του Reissner στην ελικοειδή στεφάνη μέχρι το κάτω χείλος της έξω ελικοειδούς αύλακας. Εμφανίζει δύο μοίρες, την έσω που έχει σαν υπόθεμα το οστέινο ελικοειδές πέταλο και την ελικοειδή στεφάνη και την έξω ή υμενώδες ελικοειδές πέταλο. Η έσω μοίρα εμφανίζει στην άνω επιφάνειά της εγκάρσιες και επιμήκειες αύλακες κάθετες μεταξύ τους που σχηματίζουν έτσι μικρά επάρματα με οδοντωτή όψη τους ακουστικούς οδόντες. Η έξω μοίρα εκτείνεται από το τυμπανικό χείλος της ελικοειδούς στεφάνης μέχρι το κάτω χείλος της έξω ελικοειδούς αύλακας και υποβαστάζει το όργανο του Corti. Αποτελείται από τρία στρώματα τα οποία εκ των άνω προς τα κάτω είναι τα εξής:

1. Το τυμπανικό επάλειμμα που αποτελείται από κυτταροβριθή συνδετικό ιστό.
2. Το βασικό υμένα που χωρίζει τον κοχλιακό πόρο από την τυμπανική κλίμακα και έχει μεγάλη σημασία για τη λειτουργία του ακουστικού οργάνου. Ουσιαστικά είναι



το κύριο συστατικό του υμενώδους ελικοειδούς πετάλου. Αποτελείται από λεπτές κολλαγόνες ίνες πάχους 1-2 μ και μήκους 104-504 μ που το μήκος τους αυξάνει βαθμιαία από τη βάση προς την κορυφή του κοχλίου. Ο αριθμός των ινών αυτών που λέγονται και ακουστικές χορδές ανέρχεται σε 24.000, φέρονται μεταξύ τους παράλληλα και συνάπτονται με θεμέλια ουσία. Εκτείνονται από το τυμπανικό χείλος της ελικοειδούς στεφάνης μέχρι τον ελικοειδή σύνδεσμο. Οι χορδές του βασικού υμένα δονούνται από τα ακουστικά ερεθίσματα και συνδονούν τα υπερκείμενα τριχωτά κύτταρα του οργάνου του Corti. Οι αποφυάδες των τριχωτών κυττάρων προστρίβονται έτσι από τον καλυπτήριο υμένα εν είδη δοξαριού βιολιού και προκαλούν τη διέγερση αφενός μεν των τριχωτών κυττάρων αφετέρου δε των ινών του κοχλιακού νεύρου οι οποίες καταλήγουν σ' αυτά. Το εύρος του βασικού υμένα αυξάνει από τη βάση του κοχλίου προς την κορυφή, ενώ αντίθετα του οστέινου



Σχήμα 3.

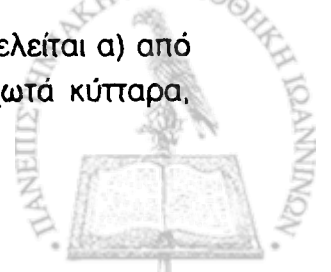
Εγκάρσια τομή κοχλιακού πόρου (Ryan & Dallos 1996).

OHC: έξω τριχωτά κύτταρα, IHC: έσω τριχωτά κύτταρα, BM: βασική μεμβράνη, NF: νευρικές ίνες, CD: κοχλιακός πόρος, TM: καλυπτήριος υμένας.

ελικοειδούς πετάλου μειώνεται από τη βάση του κοχλίου προς την κορυφή.

3. Το αιθουσαίο επάλειμμα βρίσκεται πάνω από το βασικό υμένα, είναι πολύ λεπτό και αποτελείται από μια ομοιογενή θεμέλιο ουσία με λίγα διάσπαρτα συνδετικά κύτταρα. Πάνω σ' αυτό επικάθεται κυρίως το όργανο του Corti.

4. Το όργανο του Corti είναι το κύριο όργανο της ακοής και αποτελείται α) από πολυειδή επιθηλιακά ερειστικά κύτταρα, β) από τα ακουστικά ή τριχωτά κύτταρα,



γύρω από τα οποία απολήγουν οι ίνες του κοχλιακού νεύρου, γ) από το δικτυωτό υμένα και δ) από τον καλυπτήριο υμένα. Σχήμα 3.

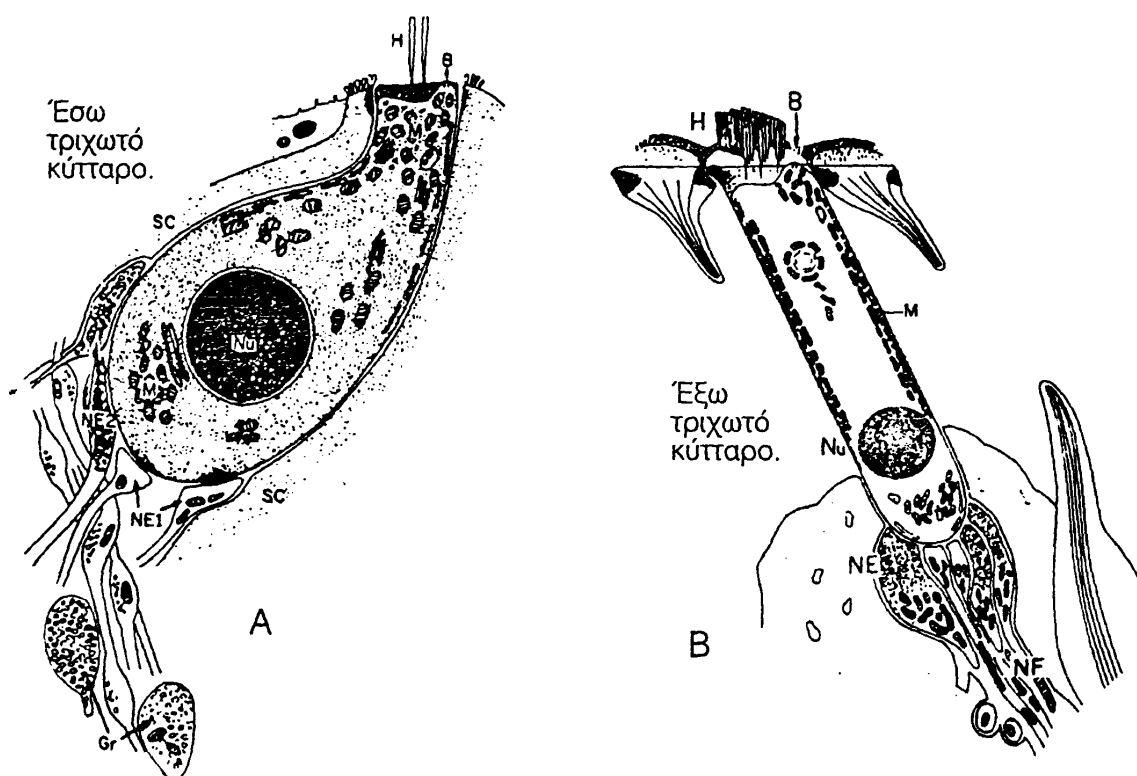
Το όργανο του Corti δεν έχει αγγεία τρέφεται δε από την έσω λέμφο και την κορτιλέμφο οι οποίες το περιβρέχουν.

A. Τα ερειστικά κύτταρα.

Τα ερειστικά ή στηρικτικά κύτταρα διακρίνονται ανάλογα με το μορφολογικό τους σχήμα στα στηλοειδή, τα φαλαγγοειδή, τα αφοριστικά, τα κύτταρα του Hensen και τα κύτταρα του Claudius. Τα ερειστικά κύτταρα τοπογραφικά ανατομικά είναι διατεταγμένα από τα έσω προς τα έξω ως εξής: 1) αφοριστικά, 2) έσω φαλαγγοειδή, 3) έσω στηλοειδή, 4) έξω στηλοειδή, 5) έξω φαλαγγοειδή του Deiters, 6) κύτταρα του Hensen, 7) κύτταρα του Claudius⁽²⁰⁾.

B. Ακουστικά ή τριχωτά κύτταρα.

Τα ακουστικά ή τριχωτά κύτταρα είναι νευροεπιθηλιακά και βρίσκονται μεταξύ των ερειστικών κυττάρων, διακρίνονται δε στα έξω και έσω τριχωτά κύτταρα. Σχήμα 4.



Σχήμα 4.

Διαφορές μεταξύ έσω (A) και έξω (B) τριχωτών κυττάρων.

B: βασικό σωματίο, H: στερεοσίλια, M: μιτοχόνδρια, NE1: κεντρομόλες απολήξεις (κοχλιακό νεύρο), NE2: φυγόκεντρες απολήξεις (ελαιοκοχλιακό δεμάτιο), Nu: πυρήνας, SC: στηρικτικά κύτταρα, NF: νευρικές ίνες κοχλιακού νεύρου, Gr: κοκκία.

Τα έσω τριχωτά κύτταρα είναι διατεταγμένα σε μία μόνο σειρά επί τα εντός των έσω στηλοειδών κυττάρων και μάλιστα μεταξύ των έσω φαλαγγοειδών και των αφοριστικών κυττάρων, έχουν σχήμα απιοειδές ή βραχύλαιμης φιάλης, μοιάζουν με τα τριχωτά κύτταρα τύπου I του αιθουσαίου οργάνου και ανέρχονται σε 3.500 περίπου⁽²⁰⁾.

Τα έξω τριχωτά κύτταρα έχουν κυλινδρικό σχήμα, είναι διατεταγμένα σε 3-5



σειρές επί τα εκτός των έξω στηλοειδών κυττάρων ανάμεσα στις αποφυάδες των κυττάρων του Deiters και ανέρχονται σε 13.000 έως 20.000. Τα κύτταρα αυτά μόνο στη βάση τους έρχονται σε επαφή με τα στηρικτικά κύτταρα, με αποτέλεσμα το μεγαλύτερο μέρος της μάζας τους να μπορεί να κινείται ελεύθερα μέσα στη λέμφο.

Μορφολογικά τα έξω τριχωτά κύτταρα μοιάζουν με τα τριχωτά κύτταρα τύπου II του αιθουσαίου οργάνου γιατί στη βάση τους απολήγουν περισσότερες νευρικές ίνες με πολυκοκκιώδεις και σπάνια με ολιγοκοκκιώδεις νευρικές απολήξεις. Αμέσως κάτω από την κυτταρική μεμβράνη τα έξω τριχωτά κύτταρα φέρουν ένα στρώμα από μεμβρανώδεις σχηματισμούς που ονομάζονται υποεπιφανειακές δεξαμενές. Οι δεξαμενές αυτές επενδύονται από πλήθος μιτοχονδρίων, πράγμα που υποδηλώνει ότι έχουν σχέση με την παραγωγή ενέργειας.

Γύρω από τη βάση των τριχωτών κυττάρων απολήγουν απαγωγές ίνες του ελικοειδούς γαγγλίου του κοχλιακού νεύρου και μάλιστα κατά τον Sroendlin 95% των ινών αυτών απολήγει στα έσω τριχωτά κύτταρα τα οποία ως γνωστόν είναι πολύ λιγότερα και μόνο το 5% στα έξω τριχωτά κύτταρα τα οποία είναι πολύ περισσότερα τουλάχιστον τριπλάσια. Από την ελεύθερη επιφάνεια των τριχωτών κυττάρων αναδύονται 41-150 λεπτές και ακίνητες αποφυάδες, τα στερεοσίλια ή ακουστικές τρίχες, των οποίων ο αριθμός και η διάταξη διαφέρουν στα έσω και τα έξω τριχωτά κύτταρα. Έτσι οι ακουστικές τρίχες στα έσω τριχωτά κύτταρα είναι λιγότερες 50-60 και επιμηκέστερες και σχηματίζουν 2, 3 ή 4 σειρές ευθείες ή ελαφρά κεκαμμένες. Αντίθετα στα έξω τριχωτά κύτταρα είναι περισσότερες 100-150 και βραχύτερες και σχηματίζουν πολλές παράλληλες σειρές σε σχήμα V με το κυρτό μέρος προς τα έξω, όπως αυτά φαίνονται χαρακτηριστικά στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Οι ακουστικές τρίχες των περιφερικών σειρών τόσο των έσω όσο και των έξω τριχωτών κυττάρων είναι μακρύτερες ενώ των κεντρικών είναι βραχύτερες. Κατά τη διάρκεια της εμβρυϊκής ζωής και πολλές φορές λίγο μετά τη γέννηση, έχουν σχεδόν όλα τα τριχωτά κύτταρα και ένα κινოსίλιο το οποίο μετά υποστρέφεται και εξαφανίζεται. Οι ακουστικές τρίχες κάθε κυττάρου συνδέονται πλευρικά μεταξύ τους με λεπτά ινίδια που ονομάζονται πλάγιοι σύνδεσμοι. Οι κορυφές των ακουστικών τριχών του κάθε κυττάρου συνδέονται μεταξύ τους με ένα ινίδιο μακρύτερο των πλαγίων συνδέσμων που λέγεται κορυφαίος σύνδεσμος⁽²¹⁾. Είναι πιθανόν ότι η κορυφή της υψηλότερης ακουστικής τρίχας σχετίζεται με τους διαύλους ιόντων της κυτταρικής μεμβράνης των τριχωτών κυττάρων.

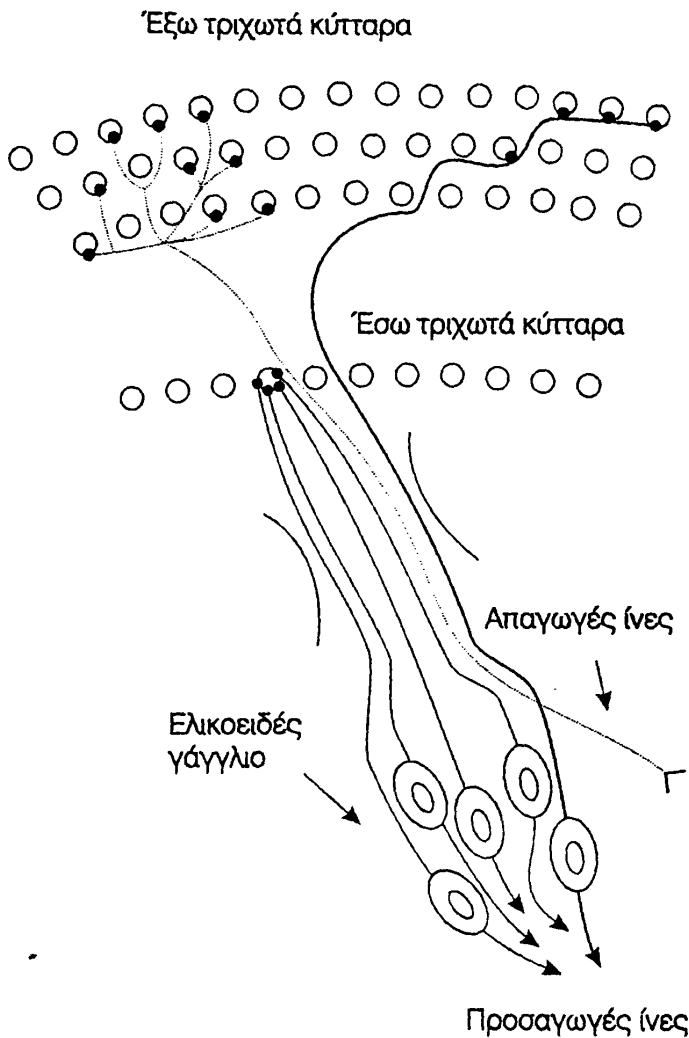
Γ. Ο δικτυωτός υμένας.

Ο δικτυωτός υμένας αποτελεί την άνω επιφάνεια του οργάνου του Corti και σχηματίζεται από την ελεύθερη επιφάνεια των ερειστικών και τριχωτών κυττάρων του, παρουσιάζει δε μικρές ωσειδείς ή τρίγωνες οπές οι οποίες επιτρέπουν την έξοδο των ακουστικών τριχών.

Δ. Ο καλυπτήριος υμένας.

Ο καλυπτήριος υμένας του οργάνου του Corti αποτελείται από θεμέλιο πηκτωματώδη ουσία και ινίδια, είναι εύκαμπτος και αρχίζει από το αιθουσαίο χείλος της ελικοειδούς στεφάνης, φέρεται εγκάρσια προς τα έξω και απολήγει ελεύθερος καλύπτοντας εκ





Σχήμα 5.
Κατανομή των ινών του κοχλιακού νεύρου στα έξω και έσω τριχωτά κύτταρα.

αγγεία, τα οποία σχηματίζουν σπειράματα. Απ' αυτά τα αγγειώδη σπειράματα παράγεται και ανανεώνεται η έσω λέμφος με τη δράση των επιθηλιακών κυττάρων. Ένα άλλο χαρακτηριστικό των κυττάρων της αγγειώδους ταινίας είναι ο μεγάλος αριθμός μιτοχονδρίων, ριβοσωματίων και συσκευών Golgi, που περιέχονται στο κυτταρόπλασμά τους, ενδεικτικό της συμμετοχής της αγγειώδους ταινίας σε ενεργειακούς μηχανισμούς μεταφοράς ουσιών. Η αγγειώδης ταινία είναι ιστός με χαρακτήρες υψηλής μεταβολικής δράσης. Είναι γνωστό ότι η ιοντική σύσταση, και άρα το δυναμικό της ενδολέμφου σχετίζεται άμεσα με την ακεραιότητα της δομής και λειτουργίας της αγγειώδους ταινίας.

Ελικοειδές γάγγλιο και νεύρωση του κοχλία.

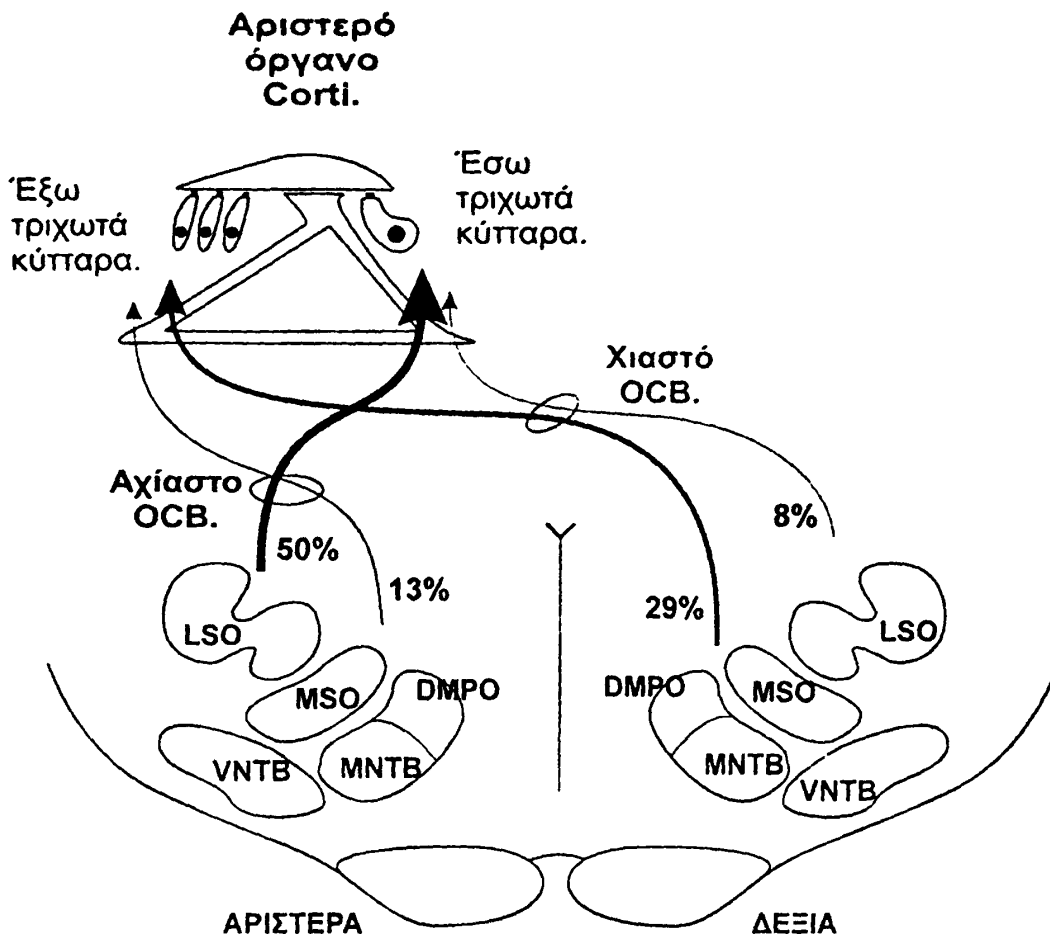
Γύρω από τα τριχωτά κύτταρα απολήγουν οι περιφερικές αποφυάδες των κυττάρων του ελικοειδούς γαγγλίου. Διέρχονται μέσα από τα σωληνάκια του οστέινου ελικοειδούς πετάλου, αναδύονται από τα τρήματα της διάτρητης ζώνης και εισδύουν

των άνω την έσω ελικοειδή αύλακα και το όργανο του Corti. Έρχεται σε απλή επαφή με τις μακρύτερες ακουστικές τρίχες των έξω αλλά όχι των έσω τριχωτών κυττάρων, που βρίσκονται κάτω απ' αυτόν, διευκολύνοντας έτσι τη μετάδοση της κίνησης της βασικής μεμβράνης στις ακουστικές τρίχες των έξω τριχωτών κυττάρων⁽²²⁾. Η έσω μοίρα του καλυπτήριου υμένα είναι λεπτότατη, ενώ η έξω είναι παχιά και εμφανίζει στην κάτω επιφάνειά της, απέναντι από τα έσω τριχωτά κύτταρα, σπλιπή ελικοειδή ταινία, την ταινία του Hensen.

Αγγειώδης ταινία.

Βρίσκεται στο έξω τοίχωμα του κοχλιακού πόρου. Αποτελείται από πολύστιβο επιθήλιο, χωρίς βασικό υμένα, του οποίου πολλά κύτταρα εκπέμπουν αποφυάδες μέσα στο συνδετικό υπόστρωμα και από άφθονα τριχοειδή

κατά δεσμίδες στο όργανο του Corti, αφού προηγουμένως αποβάλλουν το μυελώδες έλυτρο και το νευρείλημά τους. Το 95% περίπου των ινών αυτών απολήγει στα έσω τριχωτά κύτταρα. Κάθε νευρική ίνα νευρώνει ένα κύτταρο και σε καθένα κύτταρο αντιστοιχούν περί τις 20 ίνες. Οι ίνες αυτές είναι μεγάλες, πολυάριθμες, εμμέλες και καταλήγουν στους κοχλιακούς πυρήνες στο στέλεχος του εγκεφάλου⁽²³⁾. Το υπόλοιπο 5% των ινών περνά μέσα από τη σήραγγα του Corti, φθάνει στην περιοχή



Σχήμα 6.

Ελαιοκοχλιακό δεμάτιο: προέλευση και κατανομή των ινών του ελαιοκοχλιακού δεματίου.

DMPO: έσω ραχιαίος προελαϊκός πυρήνας, IHC: έσω τριχωτό κύτταρο, LSO: πλάγιος πυρήνας άνω ελαίας, MNTB: έσω πυρήνας τραπεζοειδούς σώματος, MSO: μέσος πυρήνας άνω ελαίας, OCB: ελαιοκοχλιακό δεμάτιο, OHC: έξω τριχωτά κύτταρα, VNTB: κοιλιακός πυρήνας τραπεζοειδούς σώματος.

Η χιαστή οδός αναπαριστά τους νευρώνες του μικρού ελαιοκοχλιακού δεματίου.

των έξω τριχωτών κυττάρων, όπου οι ίνες κάμπτονται προς τα κάτω (προς τη βάση του κοχλία) και κάθε μια απολήγει σε 20-50 έξω τριχωτά κύτταρα. Κάθε έξω τριχωτό κύτταρο δέχεται τις απολήξεις περίπου 20 νευρικών ινών. Αυτές οι ίνες είναι λεπτές, αμύελες και απολήγουν στην περιφέρεια των κοχλιακών πυρήνων⁽²³⁾. Σχήμα 5.

Έτσι η νευρώση των έσω και έξω τριχωτών κυττάρων έχει διαφορετική μορφή και το μεγαλύτερο μέρος των πληροφοριών μεταφέρεται στο κεντρικό νευρικό σύστημα από τα έσω τριχωτά κύτταρα. Η νευρική σύναψη και στους δύο τύπους των τριχωτών κυττάρων γίνεται στη βάση τους. Τα τριχωτά κύτταρα διαθέτουν νευροδιαβιβαστικές ουσίες που μεταφέρουν χημικά το ερέθισμα στις νευρικές απολήξεις της



κεντρομόλου ακουστικής οδού. Στα τριχωτά κύτταρα του οργάνου του Corti απολήγουν επίσης και φυγόκεντρες νευρικές ίνες, που πορεύονται μαζί με την κλασική κεντρομόλο ακουστική οδό και συνδέουν τον ακουστικό φλοιό με το όργανο του Corti. Οι ίνες αυτές εκπορεύονται από νευρώνες που βρίσκονται στη γέφυρα (άνω ελαϊκός πυρήνας), στην πλειοψηφία τους ετερόπλευρα από το αυτί που νευρώνουν και αποτελούν το ελαιοκοχλιακό δεμάτιο ή φυγόκεντρο ακουστική οδό⁽²⁴⁾. Το δεμάτιο αυτό διαιρείται στην έσω και έξω ελαιοκοχλιακή δεσμίδα. Η έξω ελαιοκοχλιακή δεσμίδα ξεκινά από τους πυρήνες της έξω άνω Ελαίας, οι ίνες της είναι αμύελες και καταλήγουν αχίαστες στα έσω τριχωτά κύτταρα του ομόπλευρου κοχλία. Εκεί συνάπτονται με τις απολήξεις της κεντρομόλου ακουστικής οδού. Η έσω ελαιοκοχλιακή δεσμίδα ξεκινά από τους πυρήνες της άνω έσω Ελαίας. Οι ίνες της είναι εμμύελες και στο μεγαλύτερο μέρος τους χιάζονται στο έδαφος της 4ης κοιλίας. Οι ίνες αυτής της δεσμίδας καταλήγουν στα έξω τριχωτά κύτταρα του ομόπλευρου και ετερόπλευρου κοχλία, με τα οποία συνάπτονται απευθείας^(25,26). Σχήμα 6.

Οι απολήξεις της φυγόκεντρης νευρικής οδού στα έξω τριχωτά κύτταρα απαντώνται κυρίως στη μέση και βασική έλικα του κοχλία, ενώ στα έσω τριχωτά κύτταρα σε όλη την έκταση του κοχλιακού πόρου. Οι χιαστές ίνες χρησιμοποιούν χολινεργικό νευροδιαβιβαστή στη σύναψη ενώ οι αχίαστες όχι.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

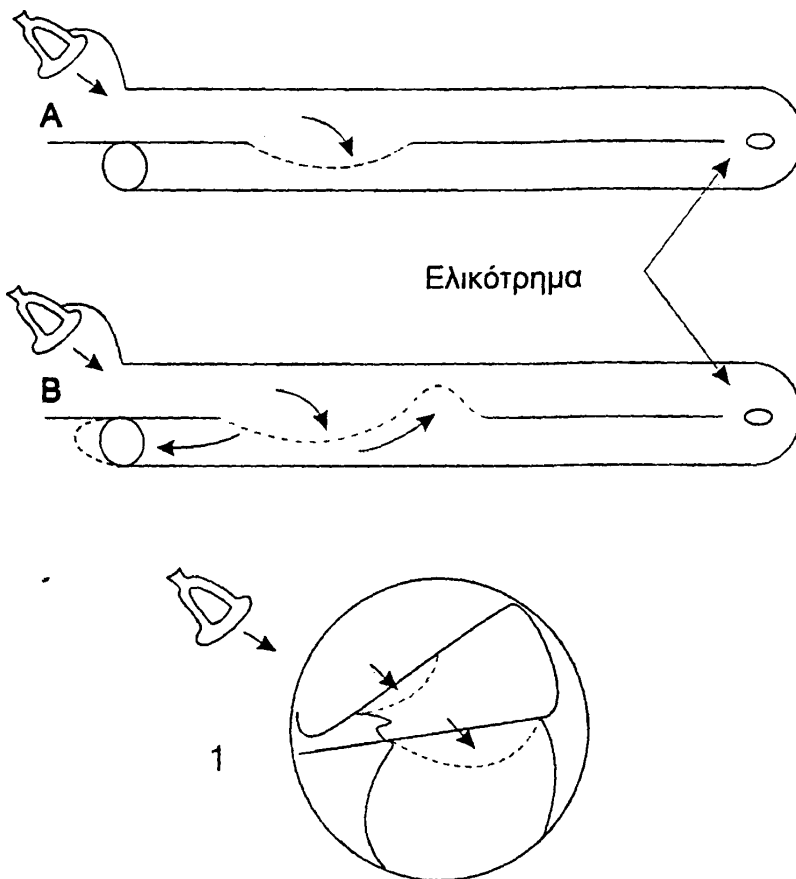
Νεότερες απόψεις σχετικά με τη φυσιολογία του κοχλίου.

Δύο εντυπωσιακές ανακαλύψεις οδήγησαν στον επαναπροσδιορισμό της φυσιολογίας του κοχλίου. Η πρώτη ήταν η ανακάλυψη από τον D. Kemp⁽⁶⁻¹²⁾ των ωτοακουστικών εκπομπών και η δεύτερη η ανακάλυψη της κινητικότητας των έξω τριχωτών κυττάρων από τον Brownell⁽¹⁶⁻¹⁹⁾.

Μηχανική του Κοχλίου.

1. Ταξιδεύον κύμα.

Ο κοχλίας είναι ένα σύνθετο υδροδυναμικό σύστημα που ενεργοποιείται από την κίνηση της βάσης του αναβολέα. Όταν ο αναβολέας εισέλθει στην αίθουσα πιέζει την



έξω λέμφο που υπάρχει σ' αυτή και αυτή με τη σειρά της πιέζει την έξω λέμφο του αιθουσαίου πόρου με την οποία συνέχεια άμεσα. Η αύξηση της πίεσης μέσα στον αιθουσαίο πόρο προκαλεί μετατόπιση του κοχλιακού πόρου ο οποίος υποχωρεί λόγω της ελαστικότητάς του μέσα στον τυμπανικό πόρο. Επειδή τα υγρά είναι ασυμπίεστα η κίνηση αυτή του κοχλιακού πόρου συνεπάγεται αύξηση της πίεσης μέσα στον τυμπανικό πόρο, η οποία αντιρροπείται, αφενός μεν με την υ-

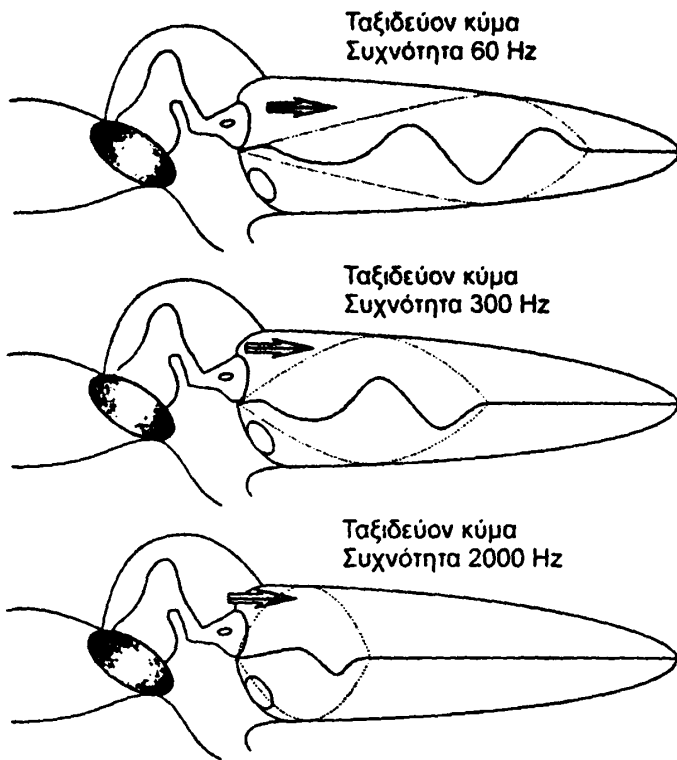
Σχήμα 7.

Μετατόπιση της βασικής μεμβράνης του κοχλιακού πόρου (A, B) κατά τη διάδοση του ταξιδεύοντος κύματος. Η ίδια μετατόπιση σε εγκάρσια τομή του κοχλίου (1).

ποχώρηση του δευτερεύοντα τυμπανικού υμένα της στρογγύλης θυρίδας προς την κοιλότητα του μέσου ωτός, αφετέρου δε με την αντίθετη μετατόπιση του γειτονικού τμήματος προς το τμήμα του κοχλιακού πόρου που υποχώρησε μέσα στον αιθουσαίο πόρο. Στον υμένα του Reissner μετατοπίζεται περισσότερο η περιοχή που πρόσκειται στο ελικοειδές πέταλο, ενώ στο βασικό υμένα η περιοχή που βρίσκεται κοντά στην αγγειώδη ταινία. Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται ένα κύμα που ταξιδεύει (ταξιδεύον κύμα - traveling wave) και χρειάζεται περίπου 25 μ s για να διανύσει την απόσταση από τη βάση μέχρι την κορυφή του κοχλίου. Σχήμα 7.

Η θέση της βασικής μεμβράνης στην οποία το κύμα λαμβάνει το μεγαλύτερο





Σχήμα 8.
Καμπύλες αντήχησης (θύλακοι) ταξιδεύοντος κύματος για
τρεις διαφορετικές συχνότητες.

πλάτος εξαρτάται από τη συχνότητα του ήχου. Σε πολύ χαμηλές συχνότητες, π.χ. 30 Hz, δονείται ολόκληρη η βασική μεμβράνη με την ίδια φάση σε παρόμοια συχνότητα. Οι υψηλής συχνότητας ήχοι εντοπίζονται κοντά στη βάση και οι χαμηλής συχνότητας κοντά στην κορυφή του κοχλίου⁽¹⁾. Έτσι κανένα ηχητικό κύμα εκτός από εκείνα που οφείλονται σε ήχους πολύ χαμηλών συχνοτήτων δε διανύουν όλο το μήκος του κοχλιακού τμήματος. Σχήμα 8.

Η μετάδοση του TK γίνεται από τη βάση προς την κορυφή του κοχλίου εξαιτίας των διαφορών των φυσικών χαρακτηριστήρων (δομών) της βασικής μεμβράνης και όχι

επειδή η ωοειδής θυρίδα ερεθίζει πρώτα τη βάση του κοχλίου⁽¹⁻³⁾.

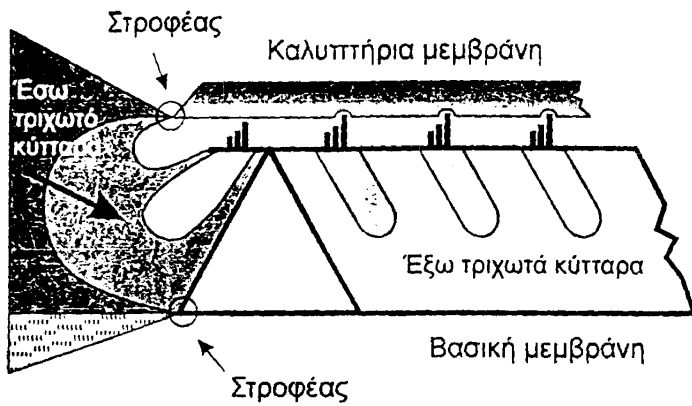
2. Αλληλεπίδραση μεταξύ του οργάνου του Corti και της καλυπτήριας μεμβράνης.

Όταν μια περιοχή του κοχλιακού τμήματος τίθεται σε κίνηση από το TK, προκαλείται παρεκτόπιση των στερεοσιλίων των τριχωτών κυττάρων του κοχλίου από τη θέση ηρεμίας^(21,28). Η παρεκτόπιση αυτή στα έξω τριχωτά κύτταρα γίνεται με τον παρακάτω τρόπο: οι άξονες γύρω από τους οποίους στρέφονται η βασική και η καλυπτήρια μεμβράνη, όταν το κοχλιακό τμήμα παρεκτοπισθεί είναι διαφορετικοί. Επίσης το ελεύθερο χείλος της καλυπτήριας μεμβράνης δεν εφάπτεται στερεά στο όργανο του Corti. Το αποτέλεσμα αυτής της διάταξης φαίνεται στο σχήμα 9.

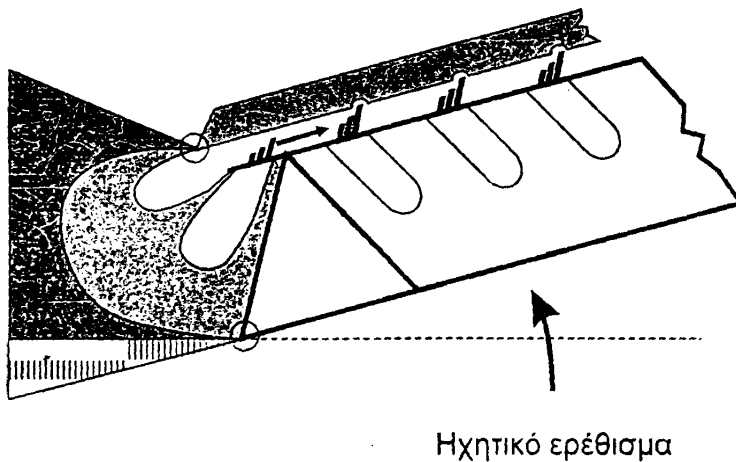
Η παρεκτόπιση του κοχλιακού τμήματος κατά τον κάθετο άξονα συμπαρασύρει την καλυπτήρια μεμβράνη πάνω στην επιφάνεια του οργάνου του Corti αναπτύσσοντας έτσι ακτινωτή εφαπτόμενη δύναμη στις υψηλότερες τρίχες των έξω ακουστικών κυττάρων που είναι βυθισμένες σ' αυτήν^(22,29). Επειδή τα στερεοσίλια συνδέονται μεταξύ τους με πλάγιους δεσμούς⁽²¹⁾ με την εφαρμογή αυτής της εφαπτόμενης δύναμης στις υψηλότερες τρίχες συμπαρασύρονται και οι χαμηλότερες και έτσι κάμπτονται όλες μαζί. Τα έσω τριχωτά κύτταρα που όπως φαίνεται δεν εφάπτονται στην καλυπτήρια μεμβράνη διεγείρονται από τη ροή της ενδολέμφου μεταξύ των δύο μεμβρανών και μεταξύ των σειρών των στερεοσιλίων τους. Η ενδολέμφος τίθεται σε κίνηση από τις κινήσεις μεταξύ της καλυπτήριας μεμβράνης και του οργάνου του Corti^(29,30).



Κατάσταση ηρεμίας



Κατάσταση διέγερσης



Σχήμα 9.

Πρότυπο συνεργικής λειτουργίας της καλυπτήριας μεμβράνης και του οργάνου του Corti.

ότι με την κίνηση της βασικής μεμβράνης παράγονται προϊόντα παραμόρφωσης που δεν μπορούν να ερμηνευθούν με τη θεωρία του ΤΚ^(32,33). Τα ευρήματα αυτά ενισχύουν την άποψη ότι στον κοχλία υπάρχει κάποιος μηχανισμός που παράγει ενέργεια και επηρεάζει την κίνηση του κοχλιακού τμήματος.

4. Το ηλεκτρικό περιβάλλον του κοχλία.

Η μετατόπιση (κάμψη) των στερεοσιλίων προκαλεί σειρά αντιδράσεων στα τριχωτά κύτταρα με αποτέλεσμα την απελευθέρωση νευροδιαβιβαστών από την προσυναπτική περιοχή των κυττάρων κοντά στη βάση τους. Σχήμα 10.

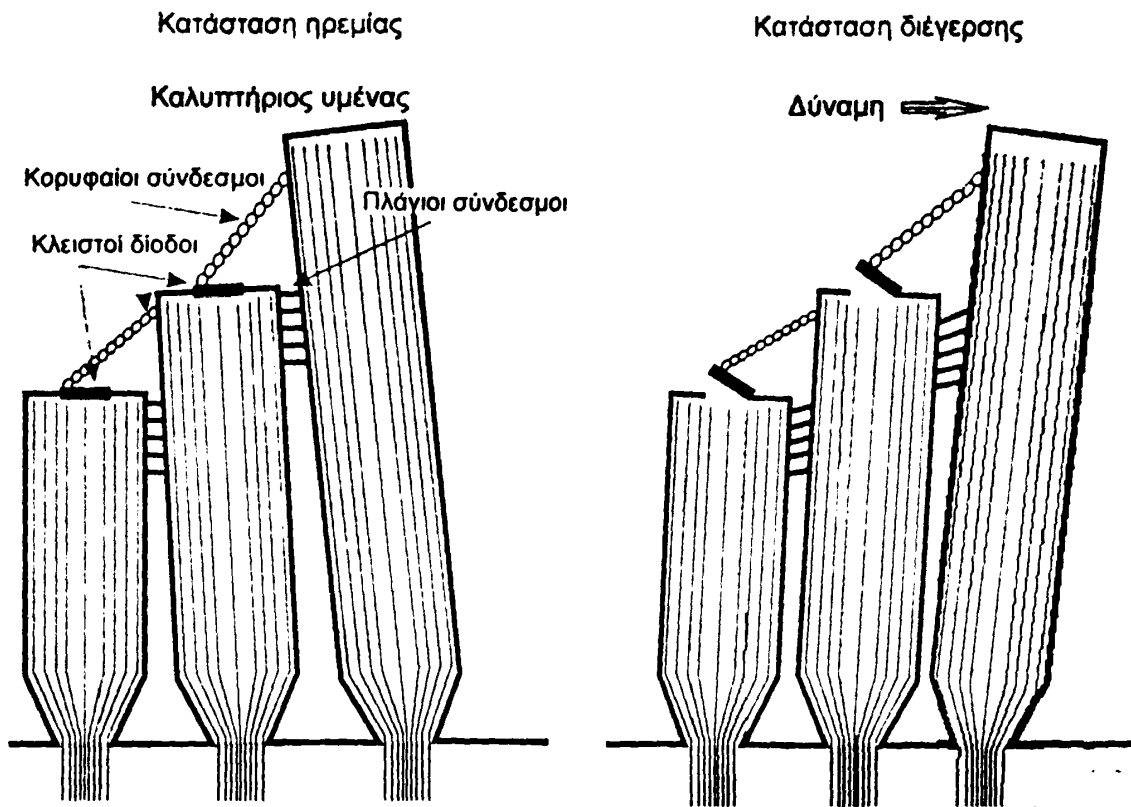
Πρόκειται για διαδικασία μετατροπής της μηχανικής ενέργειας σε χημική (transduction). Στη συνέχεια ο νευροδιαβιβαστής προκαλεί νευρικές ώσεις στις κεντρομόλες ίνες του κοχλιακού νεύρου. Οι μεταβολές που γίνονται στο τοίχωμα της κυτταρικής μεμβράνης και τον ενδοκυττάριο χώρο των τριχωτών κυττάρων από τη στιγμή της μετατόπισης των στερεοσιλίων έως τη στιγμή της απελευθέρωσης των νευροδιαβιβαστών δεν είναι απόλυτα γνωστές, πιστεύεται όμως ότι λαμβάνουν χώρα

3. Η μη γραμμικότητα του κοχλία.

Η θεωρία του ΤΚ και οι συνδέσεις μεταξύ των στερεοσιλίων των έξω τριχωτών κυττάρων αποτελούν ένα αποδεκτό πρότυπο για το μηχανισμό ενεργοποίησης των τριχωτών κυττάρων που δεν εξηγεί πλήρως τη μηχανική του κοχλία. Δεν μπορεί να εξηγήσει την αντίληψη συνθετων τόνων ή τόνων που μπορεί να γίνονται ακουστοί όταν χορηγούνται δύο τόνοι ταυτόχρονα ακόμα και αν δεν περιέχονται στο ακουστικό ερέθισμα. Η ακουστική αντίληψη τέτοιων τόνων σε ερεθίσματα χαμηλής έντασης υποδηλώνει την ύπαρξη μη γραμμικών ιδιοτήτων του κοχλία που θα μπορούσαν να εξηγηθούν από ένα ενεργό μηχανισμό παραγωγής ενέργειας⁽³¹⁾.

Πρόσφατες μελέτες της μηχανικής του κοχλία έδειξαν





Σχήμα 10.

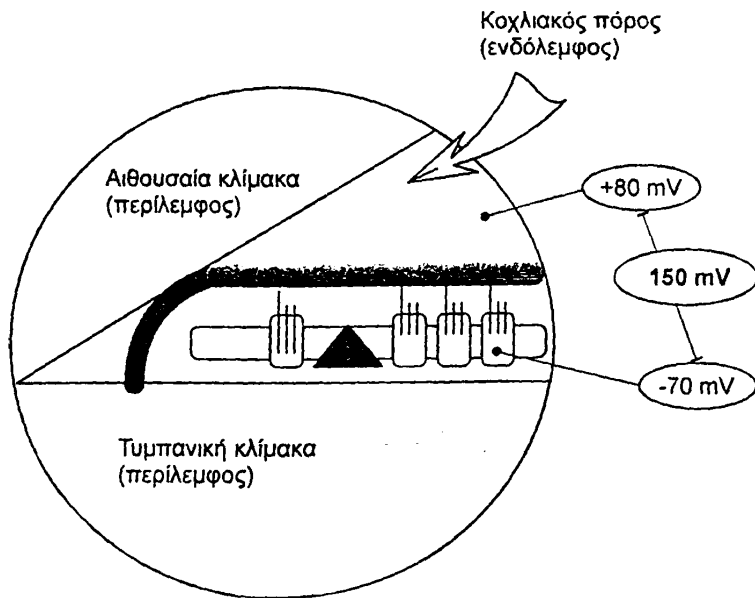
Προτεινόμενο πρότυπο της μηχανικής διέγερσης των τριχωτών κυττάρων. Η μετακίνηση των τριχών προς την κατάλληλη κατεύθυνση δημιουργεί τάση στους κορυφαίους συνδέσμους που συνδέουν τις όμορες τρίχες. Έτσι ανοίγουν δίαυλοι που επιτρέπουν ιόντα να εισέλθουν στο κύτταρο, αλλάζοντας το ηλεκτρικό δυναμικό του. Η μεταβολή του δυναμικού έχει ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση νευροδιαβιβαστών στη συναπτική σχισμή. Μετακίνηση προς την αντίθετη κατεύθυνση επιφέρει απόφραξη των διαύλων.

τόσο μηχανικές όσο και ηλεκτρικές διαδικασίες. Για την κατανόηση της φύσης του μηχανισμού μετατροπής της μηχανικής ενέργειας σε χημική είναι απαραίτητη η γνώση του ηλεκτρικού περιβάλλοντος του κοχλίου.

5. Ενδοκοχλιακά και ενδοκυττάρια δυναμικά ηρεμίας.

Εάν τοποθετηθεί ένα ηλεκτρόδιο στην ενδόλεμφο του κοχλιακού πόρου, καταγράφεται ένα σταθερό θετικό δυναμικό σε σχέση με το υπόλοιπο σώμα⁽³⁴⁾ ύψους περίπου 80 mV που ονομάζεται ενδοκοχλιακό δυναμικό. Το δυναμικό αυτό υφίσταται λόγω της λειτουργίας αντλιών και διαύλων ιόντων στην περιοχή της αγγειώδους ταινίας^(35,36). Οι αντλίες αυτές και οι δίαυλοι ιόντων είναι επίσης υπεύθυνες για την υψηλή περιεκτικότητα σε ιόντα K^+ και χαμηλή σε ιόντα Na^+ της ενδολέμφου, σύσταση που δεν απαντάται σε κανένα άλλο εξωκυττάριο υγρό του σώματος.

Εάν αντίθετα τοποθετηθεί ένα μικροηλεκτρόδιο στο όργανο του Corti καταγράφονται αρνητικά δυναμικά ηρεμίας από το εσωτερικό μεμονωμένων κυττάρων τόσο των στηρικτικών όσο και των τριχωτών. Τα έξω τριχωτά κύτταρα εμφανίζουν δυναμικό ηρεμίας της τάξης περίπου των -70 mV⁽³⁷⁾, ενώ τα στηρικτικά της τάξης περίπου των -40 mV⁽³⁸⁾. Αυτό σημαίνει ότι μεταξύ του εσωτερικού των έξω τριχωτών κυττάρων και πάνω από την άνω επιφάνεια της ενδολέμφου υπάρχει



Σχήμα 11.
Ενδοκοχλιακά και ενδοκυττάρια δυναμικά ηρεμίας.

εσωτερικό των τριχωτών κυττάρων προς το χαμηλής περιεκτικότητας σε K^+ υγρό που πληρεί τους χώρους μέσα στο όργανο του Corti, μέσω επιλεκτικών για τα ιόντα καλίου διαύλων που εντοπίζονται στις μεμβράνες των κυττάρων.

6. Κοχλιακό μικροφωνικό και αθροιστικό δυναμικό.

Η ισορροπία των ηλεκτρικών δυναμικών ηρεμίας διαταράσσεται όταν ο κοχλίας ερεθιστεί. Τοποθετώντας ένα ηλεκτρόδιο στην τυμπανική κλίμακα και ένα στην αιθουσαία, καταγράφονται στον κοχλιακό πόρο δύο κυρίως απαντήσεις στην ηχητική διέγερση: το κοχλιακό μικροφωνικό και το αθροιστικό δυναμικό. Τόσο το ένα όσο και το άλλο όταν καταγράφονται σε συγκεκριμένη θέση του κοχλίου, διαφοροποιούνται σε σχέση με τη συχνότητα του ηχητικού ερεθίσματος. Και τα δύο αυτά δυναμικά αποκτούν τη μέγιστη τιμή τους σε μια συγκεκριμένη "βέλτιστη συχνότητα" που αντιστοιχεί στη μέγιστη μετατόπιση του θυλάκου του TK σ' εκείνο το σημείο του κοχλίου. Κάτω από αυτή τη βέλτιστη συχνότητα τα δυναμικά εξασθενούν σταδιακά ενώ, αντίθετα πάνω απ' αυτήν το εύρος τους ελαττώνεται ραγδαία.

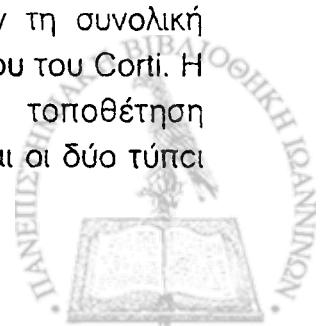
Το κοχλιακό μικροφωνικό και το αθροιστικό δυναμικό παράγονται κυρίως από τα έξω τριχωτά κύτταρα. Αν αυτά τα κύτταρα καταστραφούν ενώ τα έσω τριχωτά παραμένουν άθικτα, το εύρος του κοχλιακού μικροφωνικού ελαττώνεται κατά 40 dB SPL περίπου⁽³⁹⁾. Επίσης οι χαρακτήρες του κοχλιακού μικροφωνικού αλλοιώνονται με τρόπο που επιβεβαιώνει την άποψη ότι τα έσω τριχωτά κύτταρα ερεθίζονται από τη ροή της ενδολέμφου και όχι από τη μετατόπιση του κοχλιακού τμήματος⁽³⁰⁾.

7. Ενδοκυττάρια δυναμικά των τριχωτών κυττάρων.

Το κοχλιακό μικροφωνικό και το αθροιστικό δυναμικό αντανakλούν τη συνολική δραστηριότητα μεγάλου αριθμού αισθητηριακών κυττάρων του οργάνου του Corti. Η καταγραφή των απαντήσεων μεμονωμένων κυττάρων με την τοποθέτηση μικροηλεκτροδίων στο εσωτερικό των κυττάρων^(37,38,40) δείχνει ότι και οι δύο τύποι

διαφορά δυναμικού της τάξης των 120 έως 150 mV, που αποτελεί μια πάρα πολύ μεγάλη τιμή (ακραία) για βιολογικό σύστημα. Σχήμα 11.

Η διαφορά αυτή του δυναμικού φαίνεται ότι προκαλεί συνεχή ροή θετικών ιόντων καλίου από την ενδόλεμφο προς το εσωτερικό των τριχωτών κυττάρων μέσω διαύλων ιόντων που εντοπίζονται στην άνω επιφάνειά τους. Τα ιόντα αυτά ακολούθως μετακινούνται από το



των τριχωτών κυττάρων απαντούν σε ηχητικό ερέθισμα με αυξομείωση του ενδοκυττάριου δυναμικού που προσομοιάζει μ' εκείνη του κοχλιακού μικροφωνικού και με μεγάλη μείωση του αρνητικού δυναμικού ηρεμίας παρόμοια με εκείνη του αθροιστικού δυναμικού. Όμως, τα ενδοκυττάρια δυναμικά, έτσι όπως καταγράφονται από μεμονωμένα κύτταρα, είναι διαφορετικά από το κοχλιακό μικροφωνικό και το αθροιστικό δυναμικό, διότι τα δύο τελευταία αντανakλούν το συνδυασμό της ηλεκτρικής δραστηριότητας όλων των κυττάρων. Η προκλητή μεταβολή στο ενδοκυττάριο δυναμικό γίνεται για περιορισμένο φάσμα συχνοτήτων και παίρνει τη μέγιστη τιμή της σε συχνότητα που αντιστοιχεί μ' εκείνη που προκαλεί τη μέγιστη παραμόρφωση της βασικής μεμβράνης στο συγκεκριμένο σημείο του κοχλιακού πόρου. Είναι φανερό επομένως ότι το κάθε τριχωτό κύτταρο, έσω και έξω, είναι συντονισμένο με ακρίβεια σε μια συγκεκριμένη συχνότητα^(37,38).

Μικρομηχανική και δραστική λειτουργία του κοχλία.

1. Διάυλοι μετατροπής ενέργειας των τριχωτών κυττάρων.

Η αρχική διεργασία που λαμβάνει χώρα για τη μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε χημική στο τριχωτό κύτταρο, είναι η κάμψη της δέσμης των στερεοσιλίων. Η κάμψη αυτή συνεπάγεται τη διάνοιξη με μηχανικό τρόπο των διαύλων που απαντώνται στην άνω επιφάνεια του τριχωτού κυττάρου, στην κορυφή των κροσσών⁽⁴¹⁾. Η διάνοιξη των διαύλων αυξάνει την εισροή ιόντων K^+ από την ενδόλεμφο προς το τριχωτό κύτταρο. Ο ακριβής μηχανισμός με τον οποίο γίνεται η διάνοιξη των διαύλων δεν είναι επί του παρόντος γνωστός. Κατά την πλέον επικρατούσα θεωρία⁽²¹⁾ αυτό επιτυγχάνεται με την τάση, που εφαρμόζεται στους κορυφαίους συνδέσμους των κροσσών. Σχήμα 10.

Η εισροή των ιόντων K^+ έχει σαν αποτέλεσμα τη μεταβολή του ενδοκυττάριου δυναμικού, γεγονός που μπορεί να καταγραφεί είτε άμεσα με την εισαγωγή ενός ενδοκυττάριου ηλεκτροδίου είτε έμμεσα ως κοχλιακό μικροφωνικό και αθροιστικό δυναμικό. Τα εξωκυττάρια ηλεκτρικά δυναμικά δε φαίνεται να διαδραματίζουν κάποιο ρόλο στη διαδικασία της μετατροπής της μηχανικής ενέργειας σε χημική. Αντίθετα, τα ενδοκυττάρια δυναμικά φαίνεται να είναι εκείνα που προκαλούν την απελευθέρωση χημικών διαβιβαστών από την προσυναπτική ζώνη που απαντάται στο κατώτερο τμήμα του κυττάρου. Ο νευροδιαβιβαστής που απελευθερώνεται στη συναπτική σχισμή διεγείρει στη συνέχεια τις κεντρομόλες τελικές νευρικές απολήξεις του κοχλιακού νεύρου.

2. Ο κοχλιακός ενισχυτής.

Οι αρχικές παρατηρήσεις της κίνησης της βασικής μεμβράνης που έγιναν από τον Von Bekesy σε πτωματικούς κοχλίες απέδειξαν ότι η βασική μεμβράνη δεν εμφανίζει τον ακριβή συντονισμό που παρατηρήθηκε στις απαντήσεις των τριχωτών κυττάρων και των κοχλιακών νευρικών ιών. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με την παρουσία μη-γραμμικότητας στην κίνηση της βασικής μεμβράνης, οδήγησε στο συμπέρασμα ότι μεταξύ της μεμβράνης και των κοχλιακών νευρικών ιών υπάρχει ένας "κοχλιακός ενισχυτής", ένας δηλαδή ενεργειακός μηχανισμός που έχει σαν σκοπό τη βελτίωση της ακρίβειας του συντονισμού της βασικής μεμβράνης⁽⁴²⁾.

Πρόσφατες παρατηρήσεις της κινητικότητας της βασικής μεμβράνης που έγιναν



σε έμβιους κοχλίες^(32,33), έδειξαν ότι η βασική μεμβράνη έχει την ίδια ακρίβεια συντονισμού με τα τριχωτά κύτταρα και τις κοχλιακές νευρικές ίνες. Επομένως ο κοχλιακός ενισχυτής θα πρέπει να εντοπίζεται στο σύμπλεγμα της βασικής μεμβράνης. Στοιχεία από πολλές πηγές υποδεικνύουν ότι αυτή η ενεργός διαδικασία επιτελείται στα έξω τριχωτά κύτταρα. Το γεγονός ότι ο μηχανισμός αυτός παρατηρείται μόνο σε έμβια κατάσταση σημαίνει ότι για τη λειτουργία του απαιτείται ενέργεια.

Το 95% περίπου των προσαγωγών νευρικών ιών του κοχλιακού νεύρου συνάπτεται με τα έσω τριχωτά κύτταρα, ενώ τα εξωκυττάρια κοχλιακά μικροφωνικά και αθροιστικά δυναμικά παράγονται κυρίως από τα έξω τριχωτά κύτταρα. Η δραστηριότητα αυτή των έξω τριχωτών κυττάρων είναι δυσανάλογη με το μικρό ποσοστό νεύρωσής τους (5%) από τις προσαγωγές νευρικές ίνες του κοχλιακού νεύρου, γεγονός που σημαίνει ότι αυτά έχουν κάποιο διαφορετικό ρόλο. Επιπλέον η επιλεκτική καταστροφή των έξω τριχωτών κυττάρων με τη χρήση αμινογλυκοσιδών ή θορύβου έχει σαν αποτέλεσμα την ελάττωση του ουδού διέγερσης του κοχλία κατά 40 dB περίπου⁽⁴³⁾ και συνοδή δραματική απώλεια του συντονισμού των νευρικών ιών του κοχλιακού νεύρου⁽⁴⁴⁾.

3. Ταχεία ηλεκτροκινητικότητα των έξω τριχωτών κυττάρων.

Τα έξω τριχωτά κύτταρα έχουν την ιδιότητα να συσπώνται όταν ερεθίζονται με ηλεκτρικό ρεύμα. Η αποπόλωσή τους έχει σαν συνέπεια τη βράχυνση ενώ η υπερπόλωση την επιμήκυνσή τους⁽¹⁶⁾. Η ηλεκτροκινητικότητα αυτή των έξω τριχωτών κυττάρων είναι εξαιρετικά ταχεία και πιστεύεται ότι είναι συνέπεια των μεταβολών του ηλεκτρικού δυναμικού που συμβαίνει κατά μήκος της κυτταρικής μεμβράνης⁽⁴⁵⁾. Η ηλεκτροκινητικότητα των έξω τριχωτών κυττάρων φαίνεται να παράγεται από αριθμό πρωτεϊνικών μορίων "κινητήρων" κατά μήκος του κυττάρου⁽⁴⁶⁾. Η διατήρηση της ηλεκτροκινητικότητας των έξω τριχωτών κυττάρων μετά από καταστροφή των ενδοκυτταρικών τους πρωτεϊνών με πρωτεολυτικά ένζυμα, υποδεικνύει ότι τα μόρια κινητήρες βρίσκονται ενσωματωμένα στην κυτταρική μεμβράνη των έξω τριχωτών κυττάρων⁽⁴⁷⁾. Οι μεταβολές του ηλεκτρικού δυναμικού που συμβαίνουν κατά μήκος της κυτταρικής μεμβράνης έχουν ως αποτέλεσμα το μετασχηματισμό της δομής των πρωτεϊνικών μορίων κινητήρων της κυτταρικής μεμβράνης των έξω τριχωτών κυττάρων προκαλώντας βράχυνση ή επιμήκυνση ανάλογα.

4. Βραδεία ηλεκτροκινητικότητα των έξω τριχωτών κυττάρων.

Ο ερεθισμός των έξω τριχωτών κυττάρων μπορεί να προκαλέσει και μια άλλη μορφή ηλεκτροκινητικότητας, που χαρακτηρίζεται από σταδιακή διαφοροποίηση του μήκους του κυττάρου. Η διαφοροποίηση αυτή δεν είναι ταχεία αλλά επιτελείται μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα⁽⁴⁸⁾. Η βραδεία αυτή κινητικότητα δεν προκαλείται από τον ίδιο μηχανισμό που προκαλεί την ταχεία αλλά για την εμφάνισή της φαίνεται ότι παίζει ρόλο η αλληλεπίδραση ακτίνης και μυοσίνης⁽⁴⁹⁾, οσμωτικές αλλαγές που συμβαίνουν μέσα στο τριχωτό κύτταρο ή αλλαγές μέσα στις υποεπιφανειακές δεξαμενές⁽⁵⁰⁾.

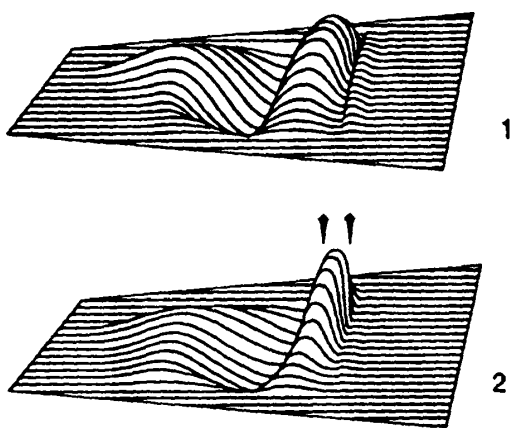
5. Ο ρόλος της κινητικότητας των έξω τριχωτών κυττάρων.

Η ανακάλυψη των δραστικών απαντήσεων των έξω τριχωτών κυττάρων έφερε



επανάσταση στην κατανόηση: α) της μηχανικής του κοχλίου και β) της διαδικασίας μετατροπής της ηχητικής ενέργειας σε νευρική ώση.

Τα ηλεκτρικά δυναμικά των έξω τριχωτών κυττάρων φαίνεται ότι είναι υπεύθυνα όχι μόνο για την απελευθέρωση νευροδιαβιβαστή, όπως συμβαίνει στα έσω τριχωτά κύτταρα, αλλά και για τη ρύθμιση των μεταβολών των κινητικών πρωτεϊνών τους^(51,52). Ο τρόπος αλληλεπίδρασης των μηχανικών απαντήσεων στη διέγερση των μεμονωμένων έξω τριχωτών κυττάρων και της κίνησης του κοχλιακού τμήματος δεν είναι ακόμα πλήρως εξακριβωμένος. Όμως τα έξω τριχωτά κύτταρα είναι έτσι ανατομικά τοποθετημένα στο όργανο του Corti ώστε να συνδέονται μεταξύ τους. Έτσι από τη συγχρονισμένη κίνηση πολλών κυττάρων προκύπτει αθροιστικό μηχανικό αποτέλεσμα. Η κίνηση της καλυπτήριας μεμβράνης δύναται να επηρεασθεί από την κίνηση των υψηλότερων τριχών, οι οποίες είναι εμβυθισμένες σ' αυτή. Μετρήσεις των δυνάμεων που αναπτύσσονται από μεμονωμένα έξω τριχωτά κύτταρα, έδειξαν ότι η



Σχήμα 12.

Το πλάτος της μέγιστης δόνησης του ταξιδεύοντος κύματος (1), μεταβάλλεται από τη συσταλτικότητα των έξω τριχωτών κυττάρων (2).

συγχρονισμένη ενεργοποίηση μεγάλου αριθμού έξω τριχωτών κυττάρων είναι σε θέση να τροποποιήσει τη μηχανική αντίδραση-απάντηση του κοχλιακού τμήματος (δηλαδή το TK)⁽⁵³⁾. Σχήμα 12.

Η τροποποίηση αυτή εκτός των άλλων έχει σαν αποτέλεσμα τη μεγιστοποίηση της κίνησης της βασικής μεμβράνης σ' ένα περιορισμένο φάσμα συχνοτήτων. Φαίνεται επομένως ότι ο "κοχλιακός ενισχυτής" είναι τα έξω τριχωτά κύτταρα, η θεωρία δε αυτή ενισχύεται από την παρατηρούμενη πτώση του ουδού διέγερσης του οργάνου του Corti μετά από καταστροφή των έξω

τριχωτών κυττάρων^(39,44,54). Οι Mammano και Ashmore⁽⁵⁵⁾ σε πρόσφατες μελέτες (1993) απέδειξαν ότι ο ηλεκτρικός ερεθισμός μεγάλου αριθμού έξω τριχωτών κυττάρων μπορεί να προκαλέσει αξιοσημείωτη κίνηση της βασικής μεμβράνης. Η κίνηση αυτή παίζει πρωτεύοντα ρόλο στην παραγωγή των ωτοακουστικών εκπομπών.

6. Αλληλεπίδραση μεταξύ έσω και έξω τριχωτών κυττάρων.

Εάν δεχθούμε την άποψη ότι τα έξω τριχωτά κύτταρα είναι ο "κοχλιακός ενισχυτής" τότε παραμένει το ερώτημα με ποιο τρόπο αυτά αλληλεπιδρούν με τα έσω τριχωτά κύτταρα, ώστε να ενισχύουν τις απαντήσεις των τελευταίων μια και είναι τοποθετημένα σε απόσταση μεταξύ τους και έχουν διαφορετική νεύρωση από τα έσω τριχωτά κύτταρα. Οι πιθανοί τρόποι αλληλεπίδρασης είναι δύο, ο ηλεκτρικός και ο μηχανικός.

Η πρώτη θεωρία, (που είναι παλαιότερη), υποστηρίζει ότι τα υψηλά εξωκυττάρια



δυναμικά που αναπτύσσουν τα έξω τριχωτά κύτταρα επιδρούν στα έσω τριχωτά κύτταρα επηρεάζοντας τη λειτουργία τους^(54,56).

Στη συνέχεια όμως αποδείχθηκε ότι οι ιδιότητες της κυτταρικής μεμβράνης των έσω τριχωτών κυττάρων δεν επιτρέπουν μια τέτοια εξήγηση^(37,38) και ότι τα εξωκυτάρια δυναμικά των έξω τριχωτών κυττάρων δεν είναι δυνατό να επηρεάζουν τα έσω τριχωτά κύτταρα⁽⁵⁷⁾. Έτσι σήμερα πιστεύεται ότι τα έξω τριχωτά κύτταρα επηρεάζουν τα έσω με μηχανικό τρόπο. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω των κινητικών ιδιοτήτων τους, οι οποίες επηρεάζουν την κίνηση της βασικής και της καλυπτήριας μεμβράνης, αυξάνοντας έτσι τη διεγερσιμότητα των έσω τριχωτών κυττάρων. Ο ακριβής μηχανισμός αυτής της ενίσχυσης δεν είναι γνωστός. Πιθανολογείται όμως ότι η επίδραση είναι ειδική ανά συχνότητα.

Νευρωνικές απαντήσεις.

1. Συνάψεις των τριχωτών κυττάρων.

Το τελικό στάδιο της μετατροπής της ηχητικής ενέργειας σε χημική είναι η απελευθέρωση χημικών διαβιβαστών (νευροδιαβιβαστών) από τον πυθμένα των τριχωτών κυττάρων οι οποίοι ερεθίζουν τις απολήξεις των κεντρομόλων νευρικών ινών του κοχλιακού νεύρου. Οι ουσίες αυτές βρίσκονται εντός κυστιδίων στη βάση των τριχωτών κυττάρων. Δεν είναι γνωστό το είδος του νευροδιαβιβαστή που απελευθερώνεται από τα έσω τριχωτά κύτταρα, υπάρχουν όμως ενδείξεις ότι πρόκειται για γλουταμινικό οξύ, ουσία η οποία δρά ως διεγερτικός νευροδιαβιβαστής και σε άλλα αισθητήρια συστήματα. Μεγάλη συγκέντρωση υποδοχέων γλουταμινικού έχει βρεθεί επίσης στις απολήξεις των νευρώνων του ελικοειδούς γαγγλίου που συνάπτονται με τα έσω τριχωτά κύτταρα⁽⁵⁸⁾.

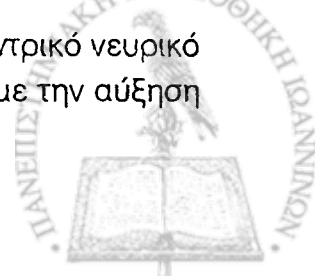
Ο νευροδιαβιβαστής που απελευθερώνεται από τα έξω τριχωτά κύτταρα, σε αντίθεση με τα έσω, είναι γνωστός και είναι η ακετυλοχολίνη.

2. Απαντήσεις μεμονωμένων κοχλιακών κεντρομόλων και φυγόκεντρων νευρώνων.

Το τελικό αποτέλεσμα της διαδικασίας μετατροπής της ηχητικής ενέργειας σε νευρική ώση (η νευρική ώση) μεταδίδεται στο εγκεφαλικό στέλεχος μέσω των ινών του κοχλιακού νεύρου.

Κάθε νευρική ίνα απαντά σε ερεθίσματα περιορισμένου φάσματος συχνοτήτων, στο οποίο περιλαμβάνεται η βέλτιστη συχνότητα όπου η ίνα διαθέτει τη μέγιστη ευαισθησία. Η βέλτιστη συχνότητα για μια νευρική ίνα καθορίζεται από το σημείο του κοχλία από το οποίο προέρχεται. Οι νευρικές ίνες δηλαδή που αντιδρούν καλύτερα στα ερεθίσματα υψηλών συχνοτήτων προέρχονται από τη βάση του κοχλία, ενώ αντίθετα, εκείνες που αντιδρούν καλύτερα στα ερεθίσματα χαμηλών συχνοτήτων, προέρχονται από την κορυφή του. Ο τοπογραφικός αυτός διαχωρισμός των ινών που παρατηρείται στο επίπεδο του κοχλία διατηρείται στο κοχλιακό νεύρο καθώς και στα κέντρα της ακοής στον εγκέφαλο. Οι νευρικές ίνες που μεταφέρουν τις υψηλές συχνοτήτες βρίσκονται στην περιφέρεια του κοχλιακού νεύρου, ενώ οι νευρικές ίνες των χαμηλών συχνοτήτων προς το εσωτερικό του νεύρου⁽⁵⁹⁾.

Η ένταση του ακουστικού ερεθίσματος γίνεται αντιληπτή από το κεντρικό νευρικό σύστημα με την αύξηση του ρυθμού διέγερσης των νευρικών ινών και με την αύξηση



του αριθμού των ινών που διεγείρονται⁽⁵⁹⁾. Αν και είναι γνωστό ότι στο κοχλιακό νεύρο υπάρχουν δύο κατηγορίες κεντρομόλων νευρικών ινών, προς το παρόν δεν έχει καταστεί δυνατό να καταγραφούν νευρικές απαντήσεις από τις νευρικές ίνες του ελικοειδούς γαγγλίου που σχετίζονται με τα έξω τριχωτά κύτταρα⁽⁶⁰⁾. Αυτό μπορεί να αποδοθεί είτε σε τεχνικές δυσκολίες είτε στην πιθανότητα να μην αντιδρούν αυτές οι νευρικές ίνες σε ηχητικά ερεθίσματα. Ίσως τα έξω τριχωτά κύτταρα να λειτουργούν αποκλειστικά ως μετατροπείς των μικρομηχανικών ιδιοτήτων του κοχλία και όχι ως υποδεκτικά κύτταρα και ως εκ τούτου η κεντρομόλος νεύρωσή τους να είναι υπολειμματική. Τέλος υπάρχει και η θεωρία που υποστηρίζει ότι η κεντρομόλος νεύρωσή τους μπορεί να μεταφέρει πληροφορίες που σχετίζονται με τη μηχανική κατάσταση του κοχλιακού πόρου και όχι με τα ηχητικά ερεθίσματα⁽⁶¹⁾.

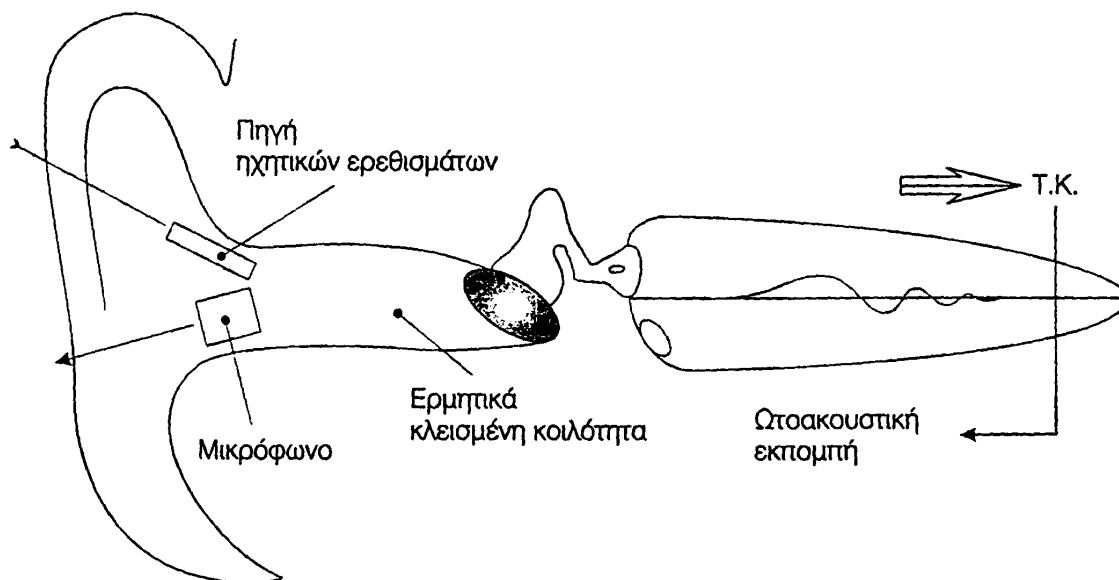


ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Η Φύση των ωτοακουστικών εκπομπών.

Οι ωτοακουστικές εκπομπές (ΟΑΕ) είναι ηχητικά προϊόντα που ανιχνεύονται στον έξω ακουστικό πόρο ως αποτέλεσμα της φυσιολογικής λειτουργίας του κοχλίου⁽⁸⁻¹⁰⁾.

Υπάρχουν πολλές επιστημονικές εργασίες που αποδεικνύουν ότι η ύπαρξη των ΟΑΕ συνδέεται άμεσα με τη διαδικασία της ακοής. Οι ΟΑΕ παράγονται μόνο όταν το



Σχήμα 13.

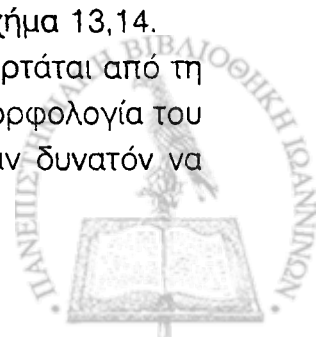
Μηχανισμός παραγωγής ωτοακουστικών εκπομπών.

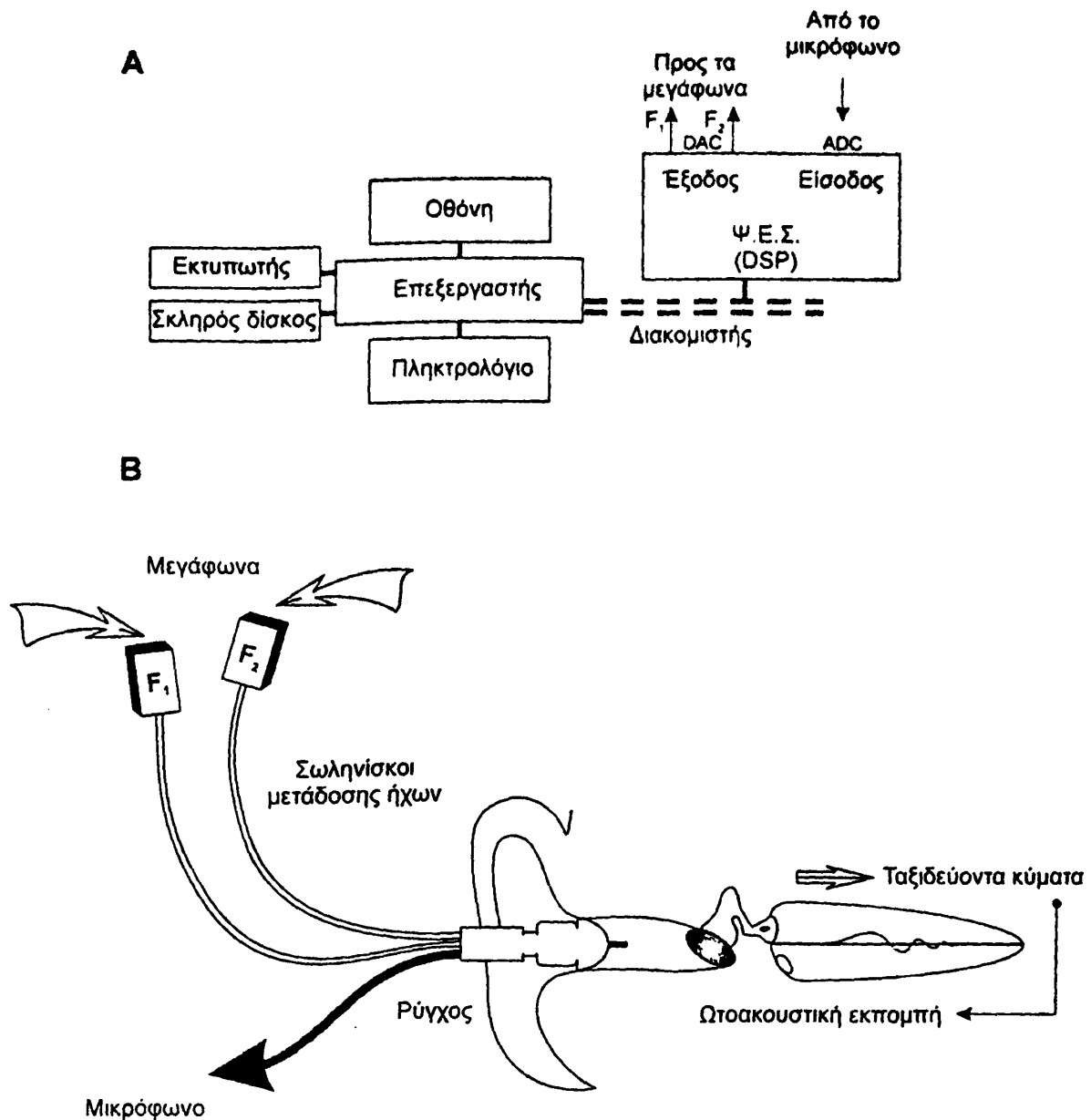
όργανο του Corti είναι ακέραιο ή σχεδόν ακέραιο, η δε καταγραφή τους είναι εφικτή εφόσον δεν έχει διαταραχθεί η λειτουργικότητα του μέσου ωτός. Η ένταση των ΟΑΕ είναι συνήθως μικρή, μερικές φορές όμως μπορεί να φθάσει το επίπεδο των 30 dB SPL, έτσι ώστε να είναι δυνητικά ακουστής⁽⁶²⁻⁶⁴⁾.

Η γένεσή τους συνήθως οφείλεται σε κάποιο ηχητικό ερέθισμα, μπορεί όμως να παραχθούν και αυτόματα επειδή ο ήχος ανακυκλώνεται συνεχώς στον κοχλία.

Για την καταγραφή των ΟΑΕ δε χρειάζονται ηλεκτρόδια γιατί αυτές δεν είναι ηλεκτρικές απαντήσεις αλλά μηχανικές δονήσεις. Ως εκ τούτου για την καταγραφή τους χρησιμοποιούνται μικρόφωνα που μετατρέπουν τη μηχανική ενέργεια των ΟΑΕ σε ηλεκτρική. Οι ΟΑΕ είναι αποτέλεσμα της μετάδοσης δονήσεων από τον κοχλία προς την τυμπανική μεμβράνη μέσω της ακουστικής αλυσίδας του μέσου ωτός. Επομένως προϋπόθεση καταγραφής τους είναι η φυσιολογική λειτουργικότητα του μέσου ωτός. Η πλήρης απόφραξη του έξω ακουστικού πόρου αποτελεί σημαντικό στοιχείο της καταγραφής των ΟΑΕ ιδιαίτερα εκείνων με συχνότητα χαμηλότερη των 3 ΚHz. Αυτό συμβαίνει γιατί οι δονήσεις που προκαλούνται στην τυμπανική μεμβράνη και μέσω αυτής στον αέρα του έξω ακουστικού πόρου είναι τόσο ασθενείς, που αν αυτός δεν αποφραχθεί, πρακτικά θα καθίσταντο μη αναγνωρίσιμες. Σχήμα 13,14.

Η ένταση των ΟΑΕ δεν είναι απόλυτο ποσοτικό μέγεθος αλλά εξαρτάται από τη λειτουργικότητα του κοχλίου, την αγωγιμότητα του μέσου ωτός και τη μορφολογία του έξω ακουστικού πόρου (όγκος-σχήμα-μήκος)^(65,66). Έτσι, εάν θα ήταν δυνατόν να





Σχήμα 14.

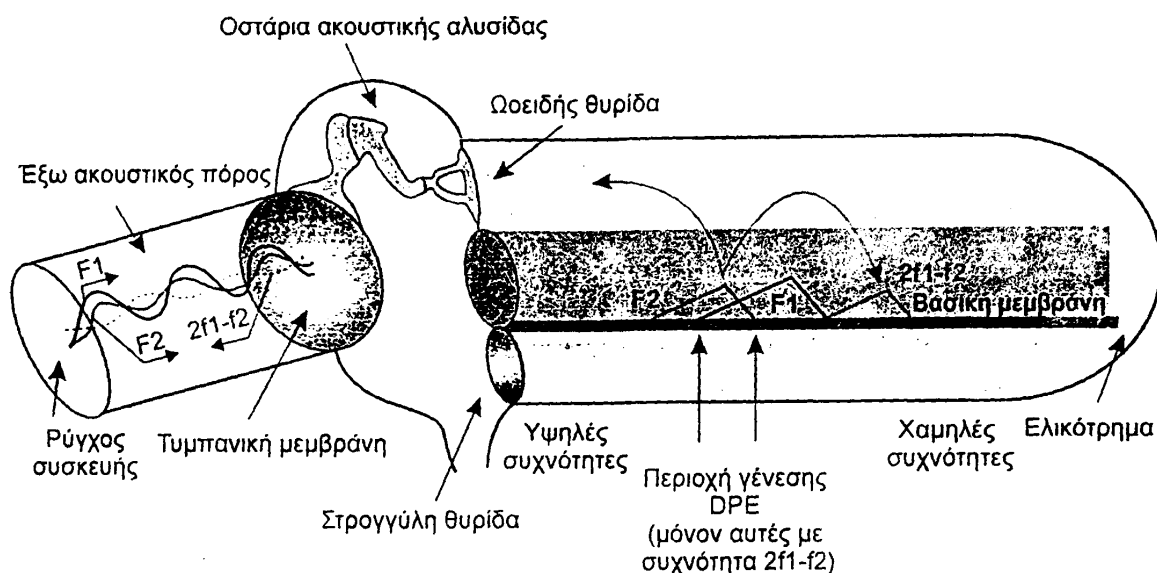
A: Μέρη από τα οποία αποτελείται η συσκευή παραγωγής ωτοακουστικών εκπομπών τύπου προϊόντων παραμόρφωσης, (Ψ.Ε.Σ.: ψηφιακή επεξεργασία σημάτων).

B: Μηχανισμός παραγωγής.

μεταβληθεί ο όγκος του έξω ακουστικού πόρου ή οι χαρακτήρες της αγωγιμότητας του μέσου ωτός, τότε θα μεταβαλλόταν και η ένταση των εκπομπών.

Η καταγραφή ΟΑΕ υψηλής έντασης αποτελεί ισχυρή απόδειξη ύπαρξης φυσιολογικής ακοής στο υπό εξέταση αυτί. Μεταξύ της έντασης των ΟΑΕ και του ψυχοακουστικού οδού έχει παρατηρηθεί σημαντική συσχέτιση⁽⁶⁷⁻⁷⁶⁾. Επί του παρόντος δεν έχει καταστεί δυνατό να γίνει αξιόπιστη και ακριβής αντιστοιχία της έντασης των ΟΑΕ με τον ουδό της ακοής στις διάφορες συχνότητες. Παρά ταύτα, αυτιά με ουδό ακοής 0 dB HL μπορεί να έχουν πολύ εντονότερες εκπομπές από εκείνα με ουδό ακοής 20-30 dB HL. Οι παράγοντες που διαφοροποιούν την ένταση των εκπομπών από άτομο σε άτομο είναι πολλοί και όχι επί του παρόντος πλήρως διευκρινισμένοι⁽⁷⁶⁻⁸¹⁾. Έτσι η ένταση των ΟΑΕ είναι δύσκολο να χρησιμοποιηθεί ως





Σχήμα 15.
Μηχανισμός παραγωγής ωτοακουστικών εκπομπών τύπου προϊόντων παραμόρφωσης.

ποσοτικό μέγεθος προς το παρόν.

Εν κατακλείδι το βέβαιον είναι ότι ο υγιής κοχλίας διαθέτει ένα μηχανισμό με τον οποίον μπορεί να εκπέμπει ήχο προς το μέσο ους και ότι ένας κοχλίας με σημαντική βλάβη έχει απωλέσει αυτήν την ικανότητα. Το γεγονός αυτό καθιστά τις ΟΑΕ τη μοναδική μη παρεμβατική μέθοδο ελέγχου της κοχλιακής λειτουργίας.

Καταγραφή των ΟΑΕ.

Η συσκευή καταγραφής των ΟΑΕ αποτελείται από τα ακόλουθα μέρη:

Α. Ρύγχος που εφαρμόζεται στον έξω ακουστικό πόρο ερμητικά με τη βοήθεια ελαστικών ελαίων διαφόρων διαμετρημάτων και που περιέχει ένα ή δύο μεγάφωνα (ανάλογα με τον τύπο των ΟΑΕ) για την εκπομπή του ηχητικού ερεθίσματος και ένα μικρόφωνο που καταγράφει όλους τους ήχους στον έξω ακουστικό πόρο.

Β. Λογισμικό που ρυθμίζει τη χορήγηση των ηχητικών ερεθισμάτων και που επιτρέπει τη διάκριση των ήχων που προέρχονται από τον κοχλία από άλλους ήχους που ανιχνεύονται στον έξω ακουστικό πόρο, όπως το ηχητικό ερέθισμα, ο θόρυβος του περιβάλλοντος και ο βιολογικός θόρυβος που πρόέρχεται από τον ασθενή (ψηφιακή επεξεργασία σημάτων με ειδικό επεξεργαστή). Επιπλέον το λογισμικό αυτό προκαλεί εκτός της διάκρισης και ενίσχυση των εν λόγω ήχων.

Γ. Ηλεκτρονικό επεξεργαστή, σκληρό δίσκο, οθόνη, εκτυπωτή και πληκτρολόγιο για τη συλλογή, επεξεργασία, αποθήκευση και εκτύπωση των ΟΑΕ. Σχήμα 14.

Το ρύγχος της συσκευής θα πρέπει να εφαρμόζεται ερμητικά στον έξω ακουστικό πόρο, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη ανίχνευση των ΟΑΕ και να αποκλείεται η επίδραση στην καταγραφή του εξωτερικού θορύβου. Το μικρόφωνο που περιέχει το ρύγχος της συσκευής έχει μεγάλη ευαισθησία και δυνατότητα καταγραφής ήχων ευρέως φάσματος.

Ο ερεθισμός του κοχλίου γίνεται με διάφορους τύπους ηχητικών ερεθισμάτων



(clicks, καθαρούς τόνους κ.λ.π.). Η επιλογή του ερεθίσματος καθορίζει την περιοχή του κοχλίου που θα ερεθισθεί και τον τρόπο με τον οποίο επιτυγχάνεται η καλύτερη καταγραφή των ΟΑΕ.

Στις ΟΑΕ τύπου προϊόντων παραμόρφωσης το ηχητικό ερέθισμα αποτελείται από δύο καθαρούς τόνους διαφορετικών (παραπλήσιων) συχνοτήτων που χορηγούνται ταυτόχρονα. Με τον τρόπο αυτό ενεργοποιείται ένα ευρύτερο τμήμα του κοχλίου, ενώ στις παροδικά προκλητές ΟΑΕ όπου το ερέθισμα αποτελείται από ηχητικά clicks διεγείρεται το σύνολο σχεδόν του κοχλίου. Σχήμα 14.

Μετά τη χορήγηση των ηχητικών ερεθισμάτων ακολουθεί η καταγραφή της απάντησης δηλαδή της ΟΑΕ, γεγονός που τεχνικά είναι πολύ δύσκολο. Αυτό συμβαίνει γιατί στον έξω ακουστικό πόρο καταγράφονται εκτός των ΟΑΕ και πολλοί άλλοι ήχοι, όπως ο θόρυβος του περιβάλλοντος, οι βιολογικοί θόρυβοι από τον εξεταζόμενο (αναπνοή, κατάποση, αιματική κυκλοφορία). Έτσι η τεχνολογία θα πρέπει να βρει τεχνικές για να ξεχωρίσει τους ήχους αυτούς μεταξύ τους.

Η αναγνώριση και διάκριση των ΟΑΕ από τους άλλους συνυπάρχοντες ήχους του μέσου ωτός επιτυγχάνεται με το λανθάνοντα χρόνο εμφάνισής τους αλλά και από τη μη γραμμικότητα της πηγής προέλευσής τους.

Ο λανθάνων χρόνος εμφάνισης αποδίδεται στη σχετικά μικρή ταχύτητα του ταξιδεύοντος κύματος στον κοχλίο (1m/s). Η μη γραμμικότητα έχει σχέση με το μηχανισμό εμφάνισης του ταξιδεύοντος κύματος και τις ιδιότητες των τριχωτών κυττάρων του οργάνου του Corti.

Το βασικό κριτήριο για την καταγραφή των DPOAE είναι η μη γραμμικότητά τους. Έτσι πρώτα καταγράφεται μια μη-γραμμική απάντηση και ακολούθως εξετάζεται εάν αυτή είναι κοχλιακής ή άλλης προέλευσης. Η ένταση του ερεθίσματος τροποποιείται κατά τη διάρκεια της καταγραφής πολλές φορές το δευτερόλεπτο. Αυτό επιτυγχάνεται με την ταυτόχρονη χορήγηση δύο καθαρών ή απλών τόνων (ήχων) σε τέτοια σχέση συχνοτήτων, ώστε τα όμορα δονούμενα τμήματα της βασικής μεμβράνης του κοχλίου να επικαλύπτονται μερικώς. Η μεγαλύτερη διακύμανση της έντασης του ερεθίσματος συμβαίνει σε εκείνη την περιοχή του κοχλίου, όπου τα δύο κινούμενα κύματα (από τους δύο τόνους) έχουν ίδιο μέγεθος. Η αναλογία των συχνοτήτων και των εντάσεων των δύο απλών τόνων καθορίζουν τη θέση του κοχλίου, στην οποία θα προκύψει η μεγαλύτερη παραμόρφωση. Έχοντας κατά νου τις ιδιότητες του ταξιδεύοντος κύματος, είναι φανερό ότι για να συμβεί η μέγιστη παραμόρφωση στο τμήμα της βασικής μεμβράνης που είναι υπεύθυνο για την πρόσληψη του τόνου με την υψηλότερη συχνότητα, θα πρέπει ο τόνος με τη χαμηλότερη συχνότητα να έχει ένταση μεγαλύτερη από τον τόνο με την υψηλή συχνότητα⁽⁸²⁻⁸⁴⁾. Η παραμόρφωση αυτή δεν μπορεί να συμβεί στο τμήμα του κοχλίου που προσλαμβάνει τον τόνο της χαμηλής συχνότητας γιατί ο τόνος της υψηλής συχνότητας δεν φθάνει ποτέ σ' αυτό. Στο σημείο συνάντησης των δύο ταξιδευόντων κυμάτων που δημιουργήθηκαν από αυτούς τους τόνους, παράγεται η ΟΑΕ. Αυτή η εκπομπή αποτελείται από μια ΟΑΕ που είναι η απάντηση του κοχλίου σε καθένα από



τους τόνους και από άλλες μικρότερες με νέους συνδυασμούς συχνοτήτων, όπως $2f_1-f_2$, $3f_1-2f_2$, $2f_2-f_1$. Οι νέοι τόνοι είναι δυνατό να διαφοροποιηθούν από τους τόνους του ηχητικού ερεθίσματος εφαρμόζοντας ανάλυση της απάντησης ανά συχνότητα. Με τη μέθοδο αυτή όμως χάνεται η εκπομπή που έχει την ίδια συχνότητα με το ηχητικό ερέθισμα.

Η ένταση των εκπομπών και ο ουδός ακουσικότητας.

Οι ωτοακουστικές εκπομπές προϊόντων παραμόρφωσης (DPOAE) αποτελούν εξαιρετικά χρήσιμο εργαλείο για το μαζικό έλεγχο της ακοής σε μεγάλες ομάδες πληθυσμού^(64,67,69,71,73,77,78,80,85-87). Επί του παρόντος δεν είναι εφικτό να προσδιορίζεται ο ακριβής ουδός ακουσικότητας, είναι όμως δυνατό να διακρίνεται η υγιής από την παθολογική κοχλιακή λειτουργία, επειδή όπως προαναφέρθηκε οι DPOAE είναι αποτέλεσμα μηχανισμών που σχετίζονται με την εμφάνιση του ταξιδεύοντος κύματος στον κοχλία. Η καρδιά αυτών των μηχανισμών είναι πιθανότατα η σύσπαση των πλαγίων τοιχωμάτων των έξω τριχωτών κυττάρων κατά τον επιμήκη άξονά τους. Η σύσπαση αυτή ελέγχει το μέγεθος του ταξιδεύοντος κύματος που σχετίζεται άμεσα με τον ουδό ακουσικότητας.

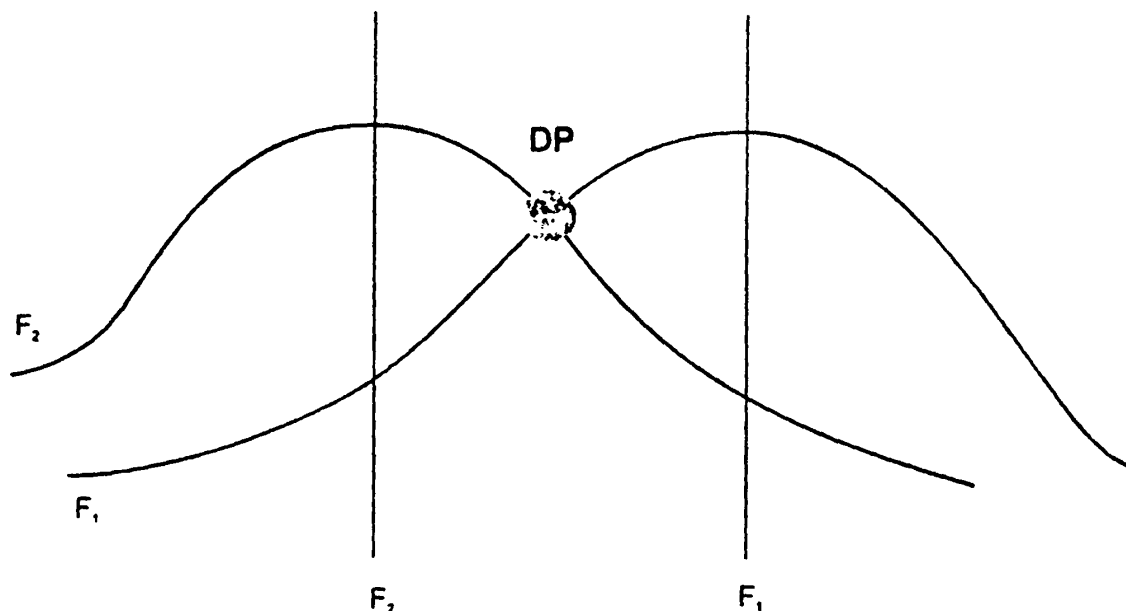
Η καταγραφή των DPOAE από τον D. Kemp αποτέλεσε την πρώτη πειραματική ένδειξη ενίσχυσης των ηχητικών κυμάτων στον κοχλία. Η ενίσχυση αυτή είναι απαραίτητη για να αναπληρωθεί η απόσβεση της κινητικής ενέργειας του ηχητικού κύματος από τα υγρά του κοχλία για να μπορεί αυτός να εκτελέσει την ευγενή λειτουργία της διάκρισης των συχνοτήτων.

Η φυσιολογική ακοή όμως προϋποθέτει, εκτός από τη φυσιολογική κοχλιακή λειτουργία, φυσιολογική λειτουργικότητα έξω και μέσου ωτός, όπως επίσης φυσιολογική λειτουργία όλης της υπόλοιπης ακουστικής οδού.

Ο ουδός ακουσικότητας είναι συνάρτηση της ανατομικής και λειτουργικής ακεραιότητας όλων των προαναφερθέντων παραγόντων, η φυσιολογική όμως παραγωγή και δυνατότητα καταγραφής των DPOAE εξαρτάται μόνο από μερικούς από αυτούς. Έτσι για την παραγωγή των DPOAE πρέπει να υπάρχει φυσιολογική λειτουργία του έξω και μέσου ωτός επειδή διαδραματίζει σημαντικό ρόλο η ηχητική δόνηση που φθάνει στο όργανο του Corti. Παράλληλα επειδή η πηγή των DPOAE είναι τα έξω τριχωτά κύτταρα θα πρέπει τόσο αυτά όσο το περιβάλλον τους και η νευρωνική σύνδεσή τους να είναι φυσιολογικές. Οι DPOAE αφού παραχθούν από τα έξω τριχωτά κύτταρα καταγράφονται στον έξω ακουστικό πόρο αφού διατρέξουν πάλι το μέσο και το έξω ούς (δεύτερη φορά). Βλάβες που αφορούν την ακουστική οδό από το ύψος των έσω τριχωτών κυττάρων και πάνω δεν ανιχνεύονται με τις DPOAE.

Είναι φανερό επομένως ότι οι DPOAE είναι διπλά ευαίσθητες σε διαταραχές του έξω και μέσου ωτός σε σχέση με τον ακουστικό ουδό, ενώ είναι εντελώς ακατάλληλες για την ανίχνευση βλαβών των έσω τριχωτών κυττάρων και της κεντρομόλου ακουστικής οδού. Οι αρχικές μελέτες επικέντρωναν το ενδιαφέρον τους στην ομοιότητα του τονικού ακουογράμματος και του φάσματος της καταγραφής των DPOAE (DP-gram) σε φυσιολογικά και βαρήκοα αυτιά. Από αυτές τις αρχικές μελέτες δε διαπιστώθηκε η δυνατότητα ακριβούς προσδιορισμού του ουδού ακουσικότητας





Σχήμα 16.

Όταν η ένταση των 2 πρωτεύοντων τόνων είναι η ίδια ($L_1=L_2$), τότε το προϊόν παραμόρφωσης $2F_1-F_2$ προέρχεται από θέση της βασικής μεμβράνης που αντιστοιχεί στο γεωμετρικό μέσο των δύο συχνοτήτων F_1 και F_2 . Έτσι στην απεικόνιση Dp-gram τα καταγραφόμενα προϊόντα παραμόρφωσης θα πρέπει να απεικονίζονται ως συνάρτηση του γεωμετρικού μέσου των συχνοτήτων F_1 και F_2 .

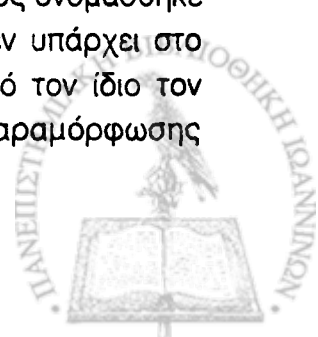
με βάση τις ωτοακουστικές εκπομπές. Διαπιστώθηκε όμως η δυνατότητα αναγνώρισης της συχνότητας στην οποία ο ουδός ακουστικότητας είναι αυξημένος. Σήμερα βρίσκονται σε εξέλιξη προσπάθειες για την ανάπτυξη μεθόδων για τον προσδιορισμό του ουδού της ακοής με μεγαλύτερη ακρίβεια με την εφαρμογή των DPOAE, γιατί αυτό θα αποτελούσε αντικειμενικό τρόπο προσδιορισμού του επιπέδου της ακοής⁽¹²⁾.

Ωτοακουστικές εκπομπές τύπου προϊόντων παραμόρφωσης (DPOAE).

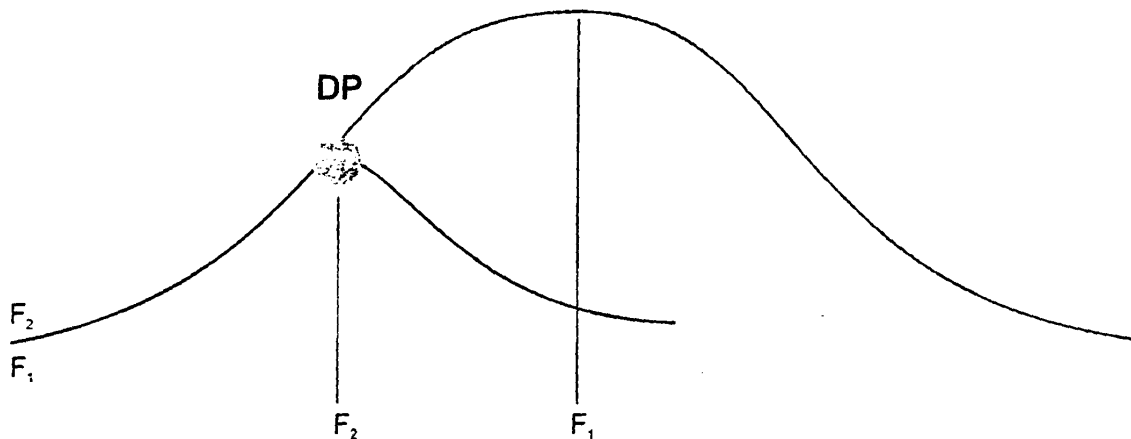
Οι DPOAE ανακαλύφθηκαν από το βρετανό βιοφυσικό D. Kemp το 1978, ένα χρόνο μετά από την ανακάλυψη από τον ίδιο των παροδικά προκλητών ωτοακουστικών εκπομπών.

Τα προϊόντα παραμόρφωσης είναι η απάντηση του κοχλίου σε σύνθετο ηχητικό ερέθισμα που αποτελείται από δύο απλούς τόνους που χορηγούνται ταυτόχρονα και που ονομάζονται βασικοί ή πρωτεύοντες τόνοι. Από τους δύο πρωτεύοντες τόνους αυτός με τη μικρότερη συχνότητα ονομάζεται F_1 και η έντασή του L_1 και εκείνος με τη μεγαλύτερη συχνότητα F_2 και η έντασή του L_2 . Σχήμα 16, 17.

Η σχέση των συχνοτήτων των πρωτεύοντων τόνων δεν είναι τυχαία. Για κάθε ζεύγος πρωτεύοντων τόνων ισχύει η αναλογία $f_2/f_1 = 1.22$ ^(63,70,82-84). Η απάντηση που καταγράφεται μετά από τη χορήγηση του σύνθετου τονικού ερεθίσματος ονομάστηκε προϊόν παραμόρφωσης (distortion product) γιατί είναι τόνος που δεν υπάρχει στο αρχικά χορηγούμενο σύνθετο τονικό ερέθισμα, αλλά παράγεται από τον ίδιο τον κοχλία. Όπως προαναφέρθηκε ο κοχλίας παράγει προϊόντα παραμόρφωσης



διαφόρων συχνοτήτων ($2f_1-f_2$, $3f_1-2f_2$, $2f_2-f_1$)⁽⁸⁸⁾. Όμως το προϊόν που καταγράφεται και αξιολογείται στην κλινική πράξη είναι αυτό με συχνότητα $2f_1-f_2$ γιατί εμφανίζει τη μεγαλύτερη ένταση από όλα τα άλλα. Τα προϊόντα παραμόρφωσης ανιχνεύονται σε όλους τους ανθρώπους με φυσιολογική ακοή και η ένταση τους μπορεί να φθάσει ανάλογα με την εξεταζόμενη συχνότητα, την ηλικία, το φύλο και την



Σχήμα 17.

Όταν η ένταση του πρωτεύοντα τόνου F_1 είναι μεγαλύτερη της έντασης του πρωτεύοντα τόνου F_2 κατά 10 dB SPL ή περισσότερο, τότε το προϊόν παραμόρφωσης $2F_1-F_2$ προέρχεται από θέση της βασικής μεμβράνης που αντιστοιχεί στη συχνότητα του τόνου F_2 . Έτσι στην απεικόνιση Dr-gram τα καταγραφόμενα προϊόντα παραμόρφωσης θα πρέπει να απεικονίζονται ως συνάρτηση της συχνότητας F_2 .

ένταση των πρωτευόντων τόνων τα 15-20 dB SPL. Σχήμα 15.

Τα μέρη από τα οποία αποτελείται η συσκευή καταγραφής των OAE επιδεικνύονται στο σχήμα 14.

Η συσκευή των DPOAE αποτελείται από ένα ρύγχος-ανιχνευτήρα που διαθέτει:

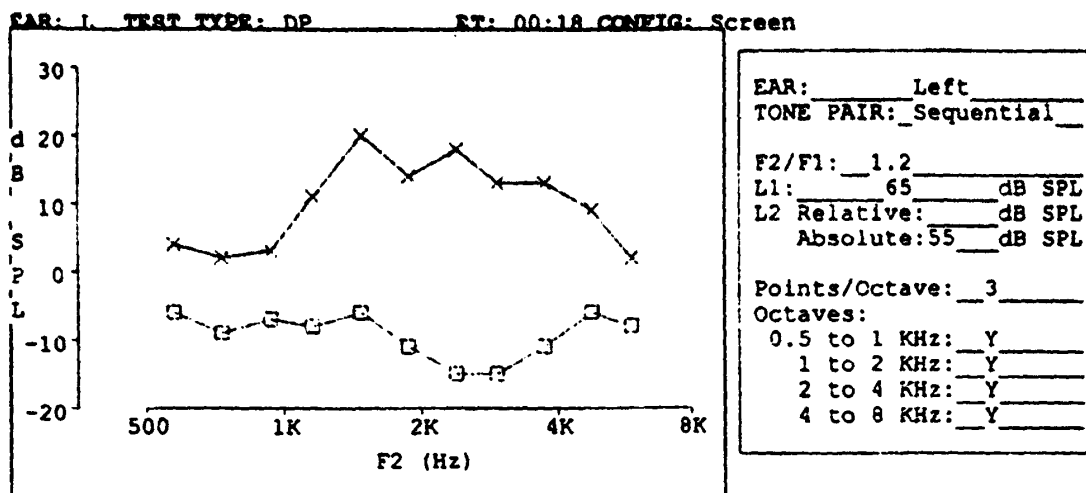
α) δύο μεγάφωνα για την ταυτόχρονη χορήγηση των πρωτευόντων τόνων που αποτελούν το τονικό ερέθισμα. Αυτό είναι αναγκαίο γιατί οι δύο τόνοι πρέπει να αναμιγνύονται ηχητικά και όχι ηλεκτρικά με σκοπό την αποφυγή ανάπτυξης παρασίτων και θορύβου στην καταγραφή και

β) μικρόφωνο μεγάλης ευαισθησίας που να παράγει ελάχιστο εσωτερικό θόρυβο για να μπορεί να συλλαμβάνει τις OAE που είναι όπως προαναφέρθηκε χαμηλής έντασης. Σχήμα 14.

Η καταγραφή των DPOAE γίνεται ταυτόχρονα με τη χορήγηση του τονικού ερεθίσματος, επιτυγχάνεται δε με τη χρησιμοποίηση της φασματικής ανάλυσης κατά Fourier γιατί οι εκπομπές είναι διαφορετικής συχνότητας και έντασης από το τονικό ερέθισμα.

Μορφές καταγραφών DPOAE.

Η γραφική παράσταση των DPOAE γίνεται συνήθως σε συνάρτηση των συχνοτήτων των πρωτευόντων τόνων και όχι σε συνάρτηση της συχνότητας των ίδιων των εκπομπών. Αυτό γίνεται γιατί έχει αποδειχτεί ότι οι εκπομπές $2f_1-f_2$ παράγονται σε εκείνο το τμήμα του κοχλίου που εμφανίζει τη μεγαλύτερη παραμόρφωση από το



Σχήμα 18.

Παράδειγμα Dp-gram.

ερεθίσμα των πρωτευόντων ήχων⁽⁸⁰⁻⁸⁹⁾. Το τμήμα αυτό αντιστοιχεί στη συχνότητα που προσδιορίζεται από το γεωμετρικό μέσο των f_1 και f_2 (τετραγωνική ρίζα του γινομένου τους) ή σπανιότερα από τη συχνότητα f_2 . Σύμφωνα με νεότερα δεδομένα, θεωρείται ότι η συχνότητα που προσδιορίζει ακριβέστερα τη θέση παραγωγής της εμπομπής $2f_1 - f_2$, εξαρτάται από την ένταση των πρωτευόντων τόνων. Οι τόνοι χαμηλής έντασης ενεργοποιούν την περιοχή της βασικής μεμβράνης γύρω από τη συχνότητα f_2 , ενώ τόνοι μέσης και μεγάλης έντασης ενεργοποιούν την περιοχή που αντιστοιχεί στο γεωμετρικό μέσο των δύο αυτών συχνοτήτων⁽⁷⁹⁾.

Η παράμετρος που κύρια εξετάζεται είναι η ένταση των DPOAE σε όλο το φάσμα των συχνοτήτων^(64,77,90,91). Η γραφική απεικόνιση της έντασης των DPOAE σε σχέση με τη συχνότητα f_2 ονομαζόταν παλαιότερα "DPOAE audiogram". Σήμερα η εν λόγω ονομασία έχει εγκαταλειφθεί και τη θέση της έχει πάρει ο όρος "Dp-gram". Σχήμα 18.

Η ένταση των DPOAE εξαρτάται από τη συχνότητα, την ένταση και τη διαφορά των συχνοτήτων και των εντάσεων των πρωτευόντων τόνων. Η ένταση των DPOAE είναι σχετικά σταθερή σε σχέση με τη συχνότητα του ερεθίσματος. Συνήθως είναι μικρότερη στις συχνοότητες κάτω του 1 KHz και άνω των 6 KHz καθώς και σε ένα μικρό φάσμα μεταξύ των συχνοτήτων 2 και 3 KHz⁽⁷⁷⁾.

ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ



Πρώτη ενότητα.

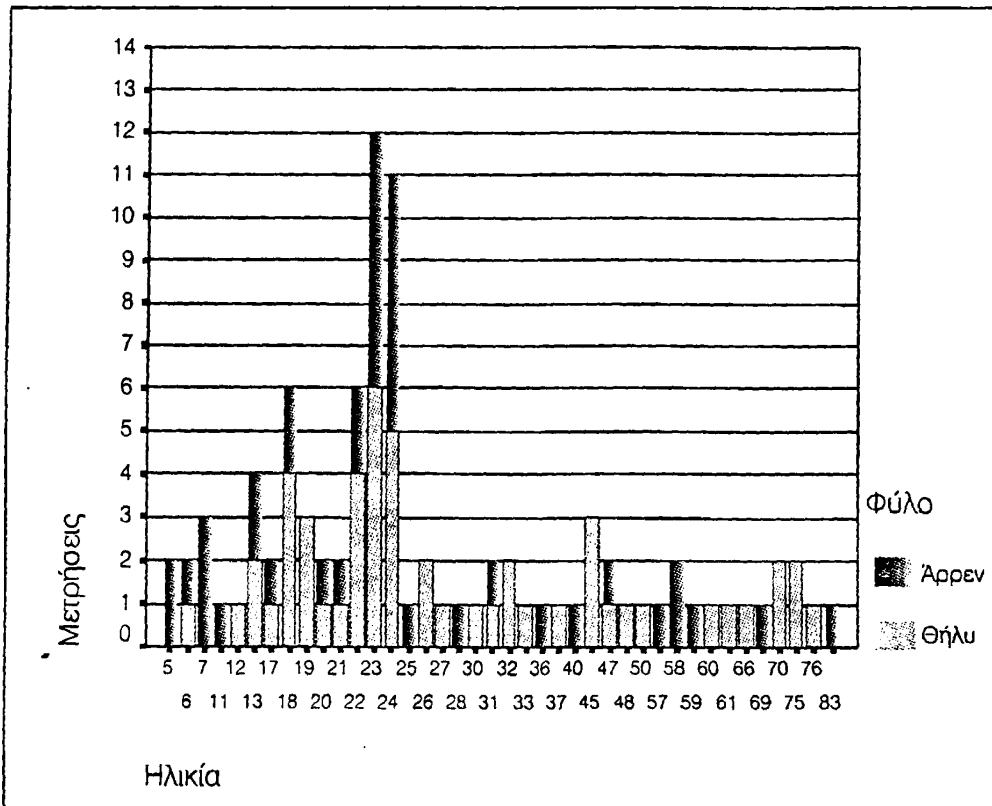
Ομάδα εξετασθέντων με φυσιολογική ακοή.

Μελέτη επίδρασης της ηλικίας, του φύλου και της πλευράς (δεξί ή αριστερό ουσ) στην ένταση των DPOAE. Προσδιορισμός φυσιολογικών τιμών.

Υλικό και μέθοδος.

A. Υλικό.

Εξετάσθηκαν συνολικά 92 άτομα (184 ώτα) με φυσιολογική ακοή ηλικίας από 5 έως 83 ετών. Ο αριθμός των μετρήσεων σε σχέση με την ηλικία και το φύλο



Σχήμα 19.

Διάγραμμα στηλών αριθμού μετρήσεων σε σχέση με την ηλικία και το φύλο.

περιγράφεται στο σχήμα 19.

Η κατανομή του φύλου και των ομάδων ηλικιών των εξετασθέντων περιγράφονται στους πίνακες 1 και 2, ενώ η περιγραφική στατιστική (μέση τιμή, σταθερή απόκλιση

Φύλο	Συχνότητα	Ποσοστό
Θήλυ	52	56,5
Άρρεν	40	43,5
Σύνολο	92	100,0

Πίνακας 1.

Κατανομή φύλου εξετασθέντων με φυσιολογική ακοή.

κλπ), της ηλικίας τους σε συνάρτηση με το φύλο στον πίνακα 3.

Προϋποθέσεις εισαγωγής στην ομάδα:

1. Ελεύθερο ωτολογικό ιστορικό.
2. Αντικειμενική ωτορινολαρυγγολογική εξέταση χωρίς παθολογικά ευρήματα.



Ομάδες ηλικιών	Αριθμός εξετασθέντων
1-15 έτη	13
16-30 έτη	49
31-45 έτη	11
46-60 έτη	10
61-85 έτη	9

Πίνακας 2.

Κατανομή εξετασθέντων με φυσιολογική ακοή σε ομάδες ηλικιών.

3. Τυμπανόγραμμα τύπου A-As-Ad.

4. Φυσιολογική έκλυση ακουστικών αντανάκλαστικών.

Κριτήρια αποκλεισμού.

1. Χρόνια ωτίτιδα, χολοστεατωματώδης ή μη.
2. Οξεία ωτίτιδα.
3. Ορώδης ωτίτιδα.
4. Οξύ ακουστικό τραύμα (acoustic trauma).
5. Χρόνια έκθεση σε θόρυβο (noise induce hearing loss).
6. Ιστορικό κρανιοεγκεφαλικής κάκωσης - κακώσεις ή και κατάγματα λιθοειδούς οστού.
7. Προηγούμενες ωτολογικές επεμβάσεις.
8. Λήψη ωτοτοξικών φαρμάκων.
9. Νόσος Meniere.
10. Οξεία απώλεια ακοής.
11. Ιστορικό οικογενούς βαρηκοΐας.
12. Συγγενείς ή περιγεννητικές λοιμώξεις (ερυθρά, ιός μεγαλοκυτταρικών εγκλείστων κλπ).
13. Μικροβιακή μηνιγγίτιδα.

Φύλο	Ηλικία	
Θήλυ	Μέση τιμή	32,38
	Σταθερή απόκλιση	18,53
	Ελάχιστη	6
	Μέγιστη	76
Άρρεν	Εύρος	70
	Μέση τιμή	27,13
	Σταθερή απόκλιση	18,41
	Ελάχιστη	5
	Μέγιστη	83
	Εύρος	78

Πίνακας 3.

Περιγραφική στατιστική (μέση τιμή, σταθερή απόκλιση κλπ), της ηλικίας των εξετασθέντων με φυσιολογική ακοή σε συνάρτηση με το φύλο τους.

14. Περιγεννητική ασφυξία.

B. Μέθοδος.

Η μεθοδολογία περιελάμβανε τις ακόλουθες δοκιμασίες.



1. Δοκιμασία με τονοδότες Rinne.
2. Δοκιμασία με τονοδότες Weber.
3. Τονικό ακουόγραμμα για τον προσδιορισμό του ουδού ακουσικότητας οστέινης (συχνότητες 250-500-1000-2000-4000 Hz) και αέρινης οδού (συχνότητες 250-500-1000-2000-4000-8000 Hz).
4. Σε παιδιά ηλικίας κάτω των 5 ετών προκλητά ακουσικά δυναμικά εγκεφαλικού στελέχους, μετά από καταστολή.
5. Τυμπανόγραμμα.
6. Προσδιορισμός ουδών έκλυσης ακουσικών αντανάκλαστικών ομόπλευρων και ετερόπλευρων για τις συχνότητες 500-1000-2000-4000 Hz.
7. Δοκιμασία κόπωσης ακουστικού αντανάκλαστικού (Reflex Decay) ομόπλευρα και ετερόπλευρα στις συχνότητες 500 και 1000 Hz.
8. Καταγραφή DPOAE με χορήγηση ενός ζεύγους πρωτευόντων ήχων (sequential). Πρωτόκολλο καταγραφής DPOAE.

Ρύθμιση της συσκευής.

- Ένταση χορήγησης πρωτευόντων τόνων: $L_1=65$ dB SPL, $L_2=55$ dB SPL.
- Σχέση συχνοτήτων πρωτευόντων τόνων $F_2/F_1:1.2$.
- Οκτάβες:
 - 0.5 έως 1 KHz, 1 έως 2 KHz, 2 έως 4 KHz και 4 έως 8 KHz.
- Αριθμός συχνοτήτων που καταγράφηκαν ανά οκτάβα 3.

Οι τιμές των συχνοτήτων F_1 και F_2 των πρωτευόντων τόνων, οι ακριβείς τιμές της έντασης χορήγησης των πρωτευόντων τόνων, οι συχνότητες εμφάνισης των DP καθώς και οι συχνότητες εμφάνισης του γεωμετρικού μέσου (GM) περιγράφονται αναλυτικά στον πίνακα 4.

Για την καταγραφή των DPOAE χρησιμοποιήθηκε η συσκευή GSI-60 της εταιρείας Grason-Stadler Corp. Εικόνα 2.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
F1 Hz	500	625	781	1000	1250	1593	2000	2531	3187	4000	5031
L1 dB	65	64	65	65	64	64	65	65	64	64	64
F2 Hz	593	750	967	1187	1500	1906	2406	3031	3812	4812	6031
L2 dB	54	55	55	55	54	54	54	55	54	55	55
DP Hz	406	500	625	812	1000	1281	1593	2031	2562	3187	4031
GM Hz	531	687	843	1093	1375	1750	2187	2781	3500	4375	5500

Πίνακας 4.



Εικόνα 2.

Αποτελέσματα.

A. Επίδραση της ηλικίας στην ένταση των DPOAE.

Έγινε προσδιορισμός του συντελεστή συσχέτισης (r) των μεταβλητών ηλικίας και έντασης DPOAE για κάθε συχνότητα ξεχωριστά (παραμετρικός κατά Pearson). Διαπιστώθηκε αρνητική συσχέτιση της έντασης των DPOAE σε συνάρτηση με την ηλικία σε όλες τις συχνότητες και ιδιαίτερα στις υψηλές. Η συσχέτιση αυτή βρέθηκε στατιστικά σημαντική στο επίπεδο του 0.01 για όλες τις συχνότητες. Πίνακας 5.

DP Hz	406	500	625	812	1000	1281	1593	2031	2562	3187	4031
r	-.478*	-.625*	-.535*	-.512*	-.587*	-.523*	-.568*	-.683*	-.623*	-.690*	-.593*

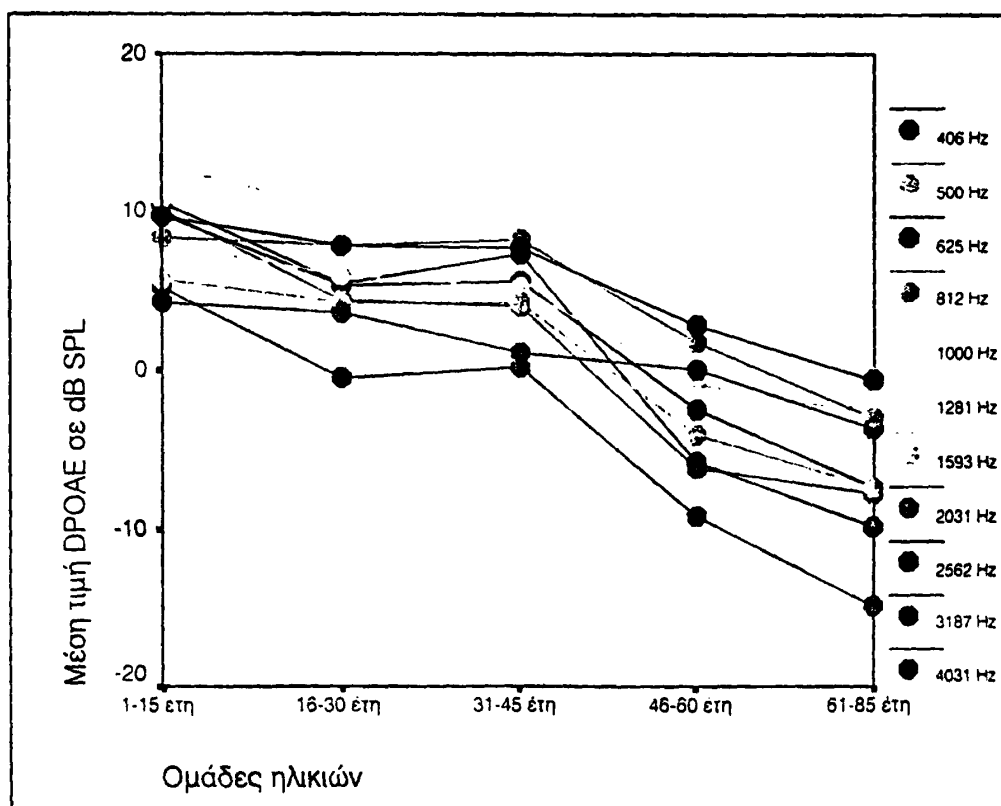
* Στατιστικά σημαντική συσχέτιση στο επίπεδο του 0.01.

Πίνακας 5.

Συντελεστές συσχέτισης (r) των μεταβλητών ηλικίας και έντασης των DPOAE.

Παρατηρείται δηλαδή μείωση της έντασης των DPOAE με την αύξηση της ηλικίας. Η μείωση αυτή είναι εντονότερη στις υψηλές συχνότητες.

Οι μέσες τιμές της έντασης των DPOAE σε dB SPL (για όλες τις συχνότητες), για τις ομάδες ηλικιών του πίνακα 2 περιγράφονται με διάγραμμα γραμμών στο σχήμα



Σχήμα 20.

Διάγραμμα γραμμών μέσων τιμών έντασης των DPOAE όλων των συχνοτήτων, σε συνάρτηση με τις ομάδες ηλικιών.

20.

Στον πίνακα 6 περιγράφονται οι παραπάνω μέσες τιμές με τις σταθερές αποκλίσεις τους.



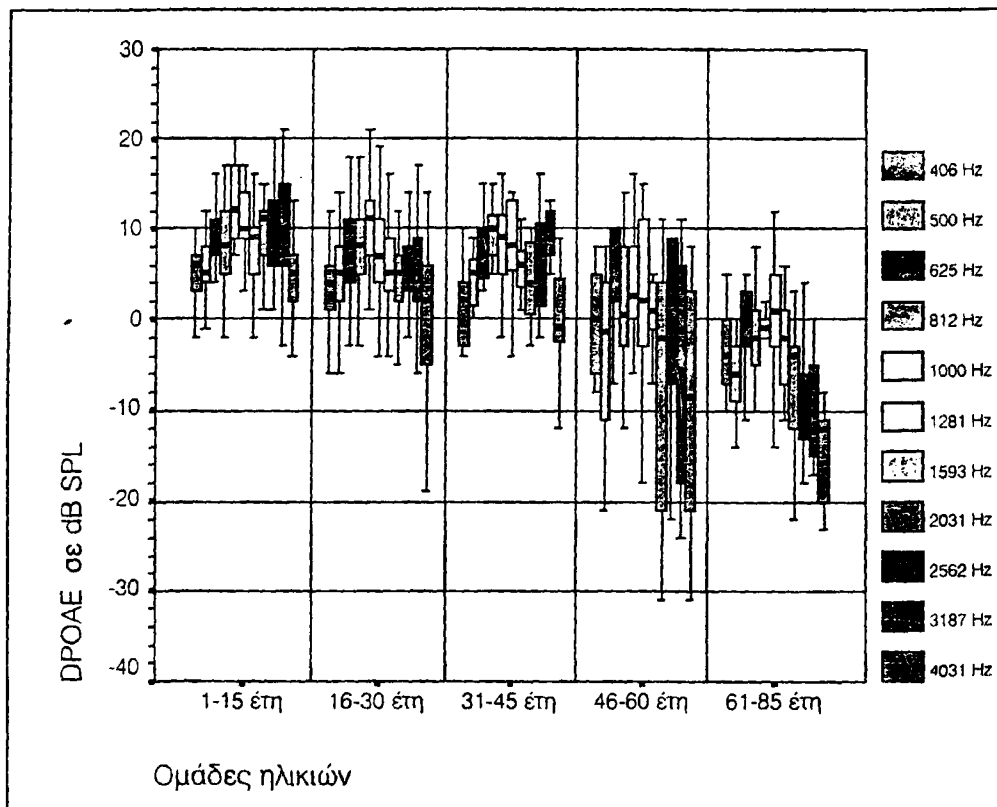
Ομάδες ηλικιών σε έτη		DP Hz 406	DP Hz 500	DP Hz 625	DP Hz 812	DP Hz 1000	DP Hz 1281	DP Hz 1593	DP Hz 2031	DP Hz 2562	DP Hz 3187	DP Hz 4031
1-15	Μέση τιμή	4,2	5,7	9,6	8,3	13	10,8	8	10	9,7	10,6	5,2
	SD	3,8	3,6	4,3	5,4	4,5	3,9	5,9	5,4	7	6,8	6,2
16-30	Μέση τιμή	3,5	4,3	7,8	7,8	10	7,1	6	4,4	5,2	5,4	-0,4
	SD	4,6	4,7	4,4	5,5	5,7	4,9	4,8	4	4,5	5	8,8
31-45	Μέση τιμή	1,1	4,2	7,7	8,2	8	7,9	5,1	4	5,5	7,3	0,1
	SD	4,5	3,2	4	7,1	5,7	6,1	4,1	4,5	7,9	7,8	6,3
46-60	Μέση τιμή	1	-4	2,8	1,8	3,5	1,5	-0,8	-6,1	-2,5	-5,8	-9,2
	SD	5,9	9,4	9,3	7,6	6,5	10	10,2	13,7	11,9	12,5	12,3
61-85	Μέση τιμή	-3,6	-7,3	-0,5	-3	-0,4	-1,6	-2,6	-7,7	-7,3	-9,7	-14,8
	SD	4,9	6,2	4,9	8,3	3,9	10,4	5,6	9	8	5,8	5,8
Σύνολο	Μέση τιμή	2,3	2,4	6,7	6,2	8,5	6,2	4,6	2,8	3,8	3,7	-1,9
	SD	5,1	6,7	5,8	7,1	6,6	7,1	6,5	8,3	8,2	9,1	10

Πίνακας 6.

Μέσες τιμές και σταθερές αποκλίσεις της έντασης των DPOAE σε dB SPL (για όλες τις συχνότητες), στις διάφορες ομάδες ηλικιών.

Στο σχήμα 21 δίνεται υπό μορφή boxplots η συσχέτιση των τιμών της έντασης των DPOAE με την ηλικία στις διάφορες συχνότητες.

B. Επίδραση του φύλου στην ένταση των DPOAE.



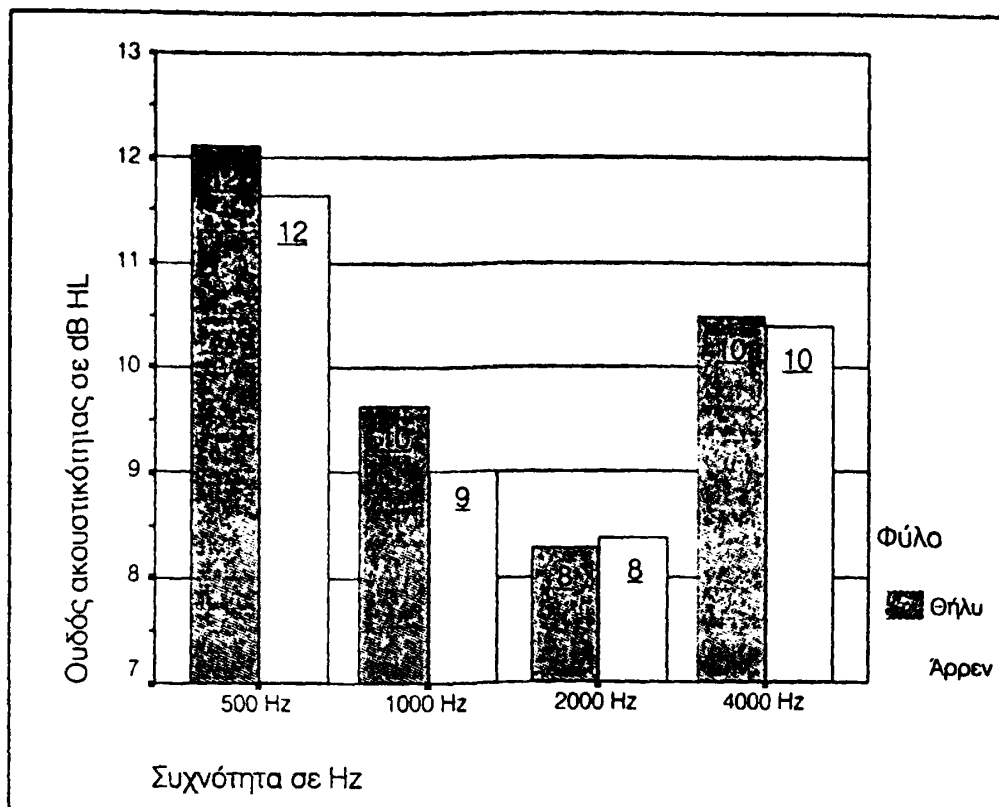
Σχήμα 21.

Επίδραση της ηλικίας στην ένταση των DPOAE. Boxplots.

Αρχικά έγινε σύγκριση των ουδών ακουσικότητας των ανδρών με εκείνων των γυναικών για τις συχνότητες από 500 έως και 4000 Hz με εφαρμογή της δοκιμασίας *t*-test. Δε διαπιστώθηκε για καμιά συχνότητα διαφορά στατιστικά σημαντική, δηλαδή $p < 0.05$.

Οι μέσες τιμές του ουδού ακουσικότητας για τις διάφορες συχνότητες του





Σχήμα 22.

Διάγραμμα στηλών μέσων τιμών ουδών ακουσικότητας για τις συχνότητες 500 έως 4000 Hz σε συνάρτηση με το φύλο.

τονικού ακουογράμματος σε συνάρτηση με το φύλο περιγράφονται με διάγραμμα στηλών στο σχήμα 22.

Ακολούθως έγινε σύγκριση της έντασης των DPOAE των ανδρών με εκείνη των γυναικών, για όλες τις συχνότητες, με εφαρμογή της δοκιμασίας Mann-Whitney. Δε διαπιστώθηκε για καμιά συχνότητα διαφορά στατιστικά σημαντική, δηλαδή $p < 0.05$.

Οι μέσες τιμές της έντασης των DPOAE σε σχέση με το φύλο, για όλες τις συχνότητες, περιγράφονται με διάγραμμα στηλών στο σχήμα 23.

Γ. Επίδραση της πλευράς (δεξιά ή αριστερό ουσ) στην ένταση των DPOAE.

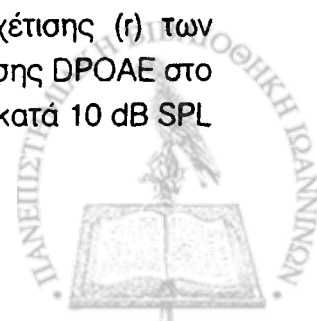
Αρχικά έγινε σύγκριση των ουδών ακουσικότητας της δεξιάς πλευράς με εκείνων της αριστερής για τις συχνότητες από 500 Hz έως και 4000 Hz, (δοκιμασία *t*-test κατά ζεύγη). Δε διαπιστώθηκε για καμιά συχνότητα διαφορά στατιστικά σημαντική, δηλαδή $p < 0.05$.

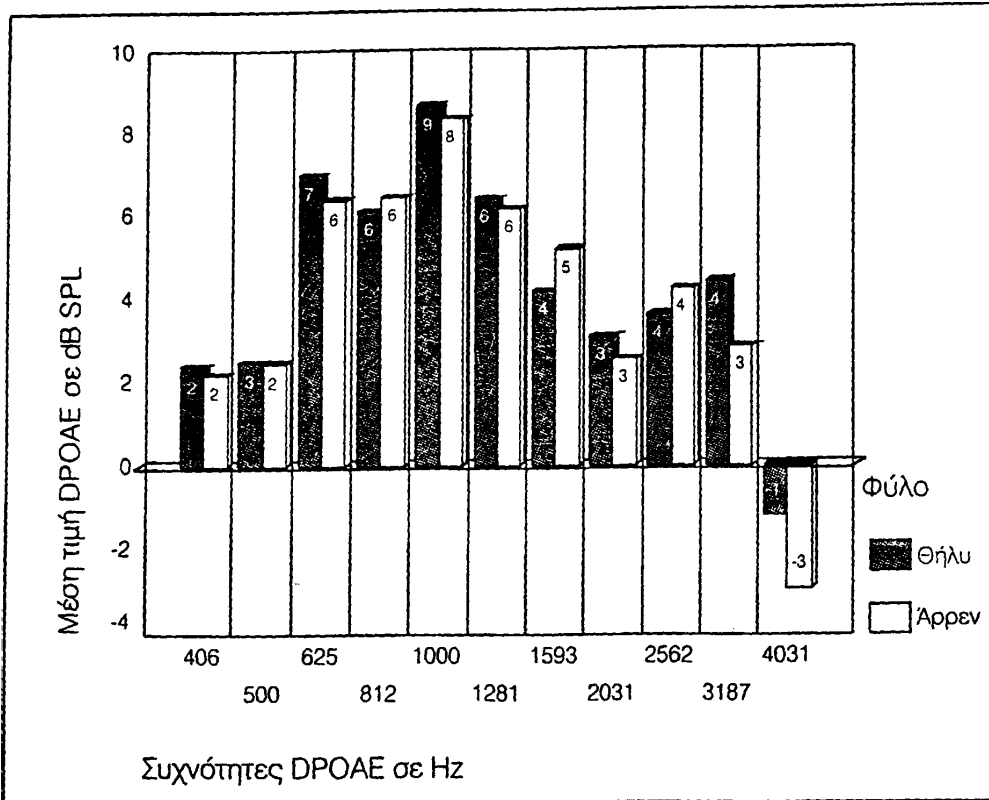
Ακολούθως έγινε σύγκριση της έντασης των DPOAE σε συνάρτηση με την πλευρά, με τη δοκιμασία *t*-test κατά ζεύγη. Και εδώ δε διαπιστώθηκε σε καμιά συχνότητα διαφορά στατιστικά σημαντική, δηλαδή $p < 0.05$.

Οι μέσες τιμές της έντασης των DPOAE σε συνάρτηση με την πλευρά, για όλες τις συχνότητες περιγράφονται με διάγραμμα στηλών στο σχήμα 24.

Δ. Συσχέτιση του ουδού ακουσικότητας με την ένταση των DPOAE.

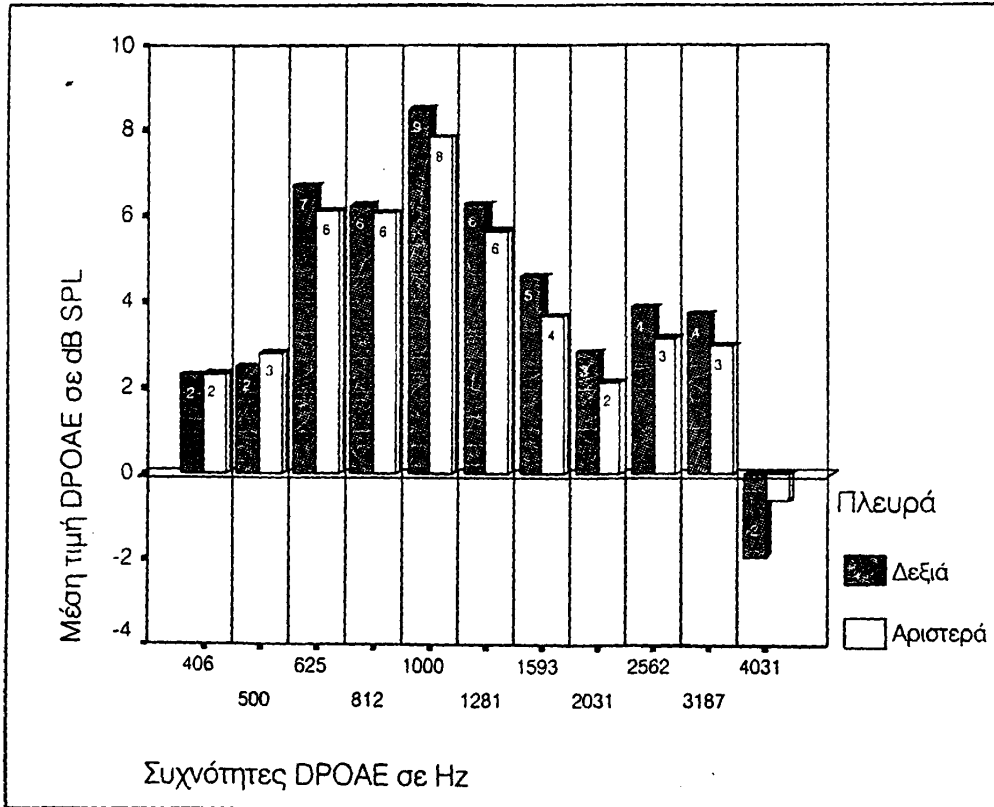
Προσδιορίσθηκε ο παραμετρικός κατά Pearson συντελεστής συσχέτισης (r) των μεταβλητών ουδού ακουσικότητας στο τονικό ακουογράμμα και έντασης DPOAE στο DP-gram. Λόγω του ότι οι πρωτεύοντες τόνοι διαφέρουν μεταξύ τους κατά 10 dB SPL





Σχήμα 23.

Διάγραμμα στήλων μέσων τιμών έντασης DPOAE σε συνάρτηση με το φύλο για όλες τις συχνότητες.



Σχήμα 24.

Διάγραμμα στήλων μέσων τιμών της έντασης των DPOAE σε συνάρτηση με την πλευρά, για όλες τις συχνότητες.

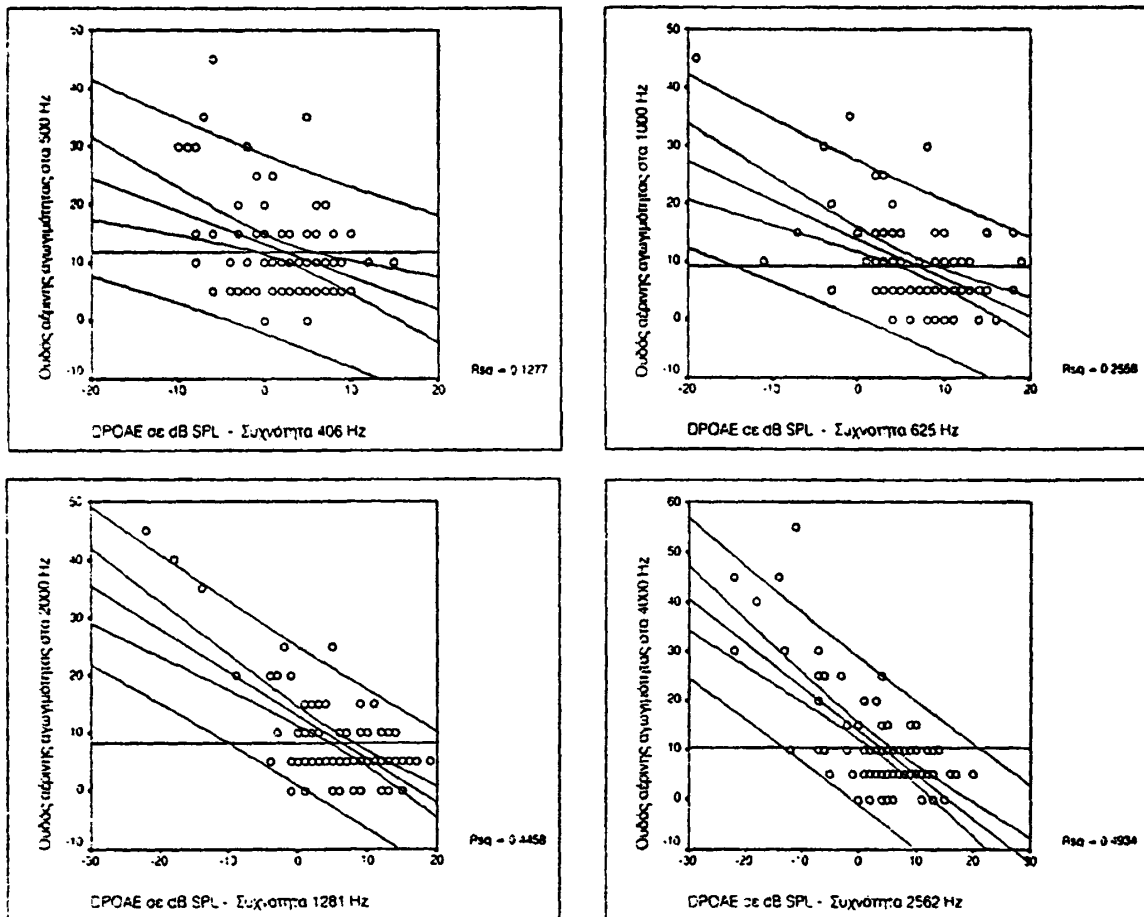


($L_1=65$, $L_2=55$), η αντιστοιχία συχνοτήτων ουδών στο τονικό ακουόγραμμα και συχνοτήτων εμφάνισης των DPOAE έχει ως εξής:

- 500 Hz τονικού ακουογράμματος αντιστοιχεί σε συχνότητα DPOAE 406 Hz
- 1000 Hz τονικού ακουογράμματος αντιστοιχεί σε συχνότητα DPOAE 625 Hz
- 2000 Hz τονικού ακουογράμματος αντιστοιχεί σε συχνότητα DPOAE 1281 Hz
- 4000 Hz τονικού ακουογράμματος αντιστοιχεί σε συχνότητα DPOAE 2562 Hz

(αυτό συμβαίνει γιατί λόγω της διαφοράς στην ένταση των πρωτεύοντων τόνων, η ωτοακουστική εκπομπή εμφανίζεται στην περιοχή του κοχλιακού τμήματος που αντιστοιχεί στην συχνότητα f_2 του πρωτεύοντα τόνου).

Διαπιστώθηκε αρνητική συσχέτιση της έντασης των DPOAE σε συνάρτηση με τον ουδό ακουστικότητας και για τις 4 εξετασθείσες συχνότητες του τονικού ακουογράμματος, που όμως ήταν ισχυρότερη στις υψηλές συχνότητες (2-4 KHz). Η



Σχήμα 25.

Στικτογράμματα συσχέτισης της έντασης των DPOAE του DP-gram σε συνάρτηση με τον ουδό ακουστικότητας του τονικού ακουογράμματος.

συσχέτιση αυτή βρέθηκε στατιστικά σημαντική στο επίπεδο του 0.01 σε όλες τις περιπτώσεις. Σχήμα 25 και πίνακας 7, (στο σχήμα 25 παρατίθενται τα αντίστοιχα στικτογράμματα και οι τιμές του r^2).

DP Hz	406	625	1281	2562
Συχνότητες σε Hz Ακουογράμματος	500	1000	2000	4000
r	-,357*	-,506*	-,668*	-,702*

* Στατιστικά σημαντική συσχέτιση στο επίπεδο του 0.01.

Πίνακας 7.

Συντελεστές συσχέτισης (r) των μεταβλητών ουδού ακουστικότητας του τονικού ακουογράμματος και έντασης DPOAE του DP-gram.



Δεύτερη ενότητα.

I. Ομάδα εξετασθέντων με φυσιολογική ακοή.

Μελέτη επίδρασης της μεθόδου χορήγησης (κλασική χορήγηση ενός ζεύγους και ταυτόχρονη χορήγηση συνδυασμού 4, 3 ζευγών πρωτευόντων τόνων), των πρωτευόντων τόνων στην ένταση των DPOAE, στην ένταση του θορύβου καταγραφής και στη διάρκεια του εξεταστικού χρόνου. Προσδιορισμός φυσιολογικών τιμών.

Υλικό και μέθοδος.

Εξετάσθηκαν 58 ενήλικες (116 ώτα), με φυσιολογική ακοή, (ουδοί ακουστικότητας μικρότεροι των 20 dB HL για όλες τις συχνότητες στο τονικό ακούογραμμα, ωτολογικό ιστορικό ελεύθερο, τυμπανόγραμμα τύπου A και φυσιολογική έκλυση ακουστικών αντανακλαστικών).

Απ' αυτούς 32 ήταν άνδρες και 26 γυναίκες. Μέση ηλικία 22.3 ± 6.6 για τους άνδρες και 18.7 ± 8 έτη για τις γυναίκες. Διασπορά ηλικίας για τους άνδρες 16-40 και για τις γυναίκες 16-37.

Η καταγραφή των DPOAE έγινε με τους εξεταζόμενους καθήμενους εντός ηχομονωμένου δωματίου και όχι εντός ακουσολογικού θαλάμου για την εκτίμηση της μεθόδου υπό όχι ιδανικές συνθήκες, όπως είναι αυτές που αντιμετωπίζουμε σε μονάδες εντατικής παρακολούθησης νεογνών ή θαλάμων κλινικών νοσοκομείων.

Χρησιμοποιήθηκαν δύο μέθοδοι χορήγησης πρωτευόντων τόνων. Η κλασική (Sequencial-Seq), βλέπε πίνακα 4 και η ταυτόχρονη χορήγηση συνδυασμού 4 και 3 ζευγών πρωτευόντων τόνων (Simultaneous-Sim).

Οι δύο διαφορετικές δοκιμασίες (Seq και Sim) έγιναν με τυχαία σειρά για κάθε εξεταζόμενο αυτί, χωρίς όμως να αφαιρείται και να επανατοποθετείται το ρύγχος της συσκευής στον έξω ακουστικό πόρο του εξεταζόμενου (μια μόνο τοποθέτηση του ρύγχους της συσκευής στον έξω ακουστικό πόρο και για τις δύο μεθόδους).

Οι τιμές των συχνοτήτων F_1 και F_2 της ταυτόχρονης χορήγησης 4 και 3 ζευγών πρωτευόντων τόνων και οι ακριβείς τιμές της έντασής τους περιγράφονται αναλυτικά στους πίνακες 8-10.

Για την καταγραφή των DPOAE χρησιμοποιήθηκε η ίδια συσκευή (GSI-60).

(Spectrum #1).

	1	2	3	4
F_1 Hz	500	1000	2000	4000
L_1 dB	65	65	65	65
F_2 Hz	593	1187	2406	4812
L_2 dB	55	55	55	55

(Spectrum # 2).

	1	2	3	4
F_1 Hz	625	1250	2531	5031
L_1 dB	65	65	65	65
F_2 Hz	750	1500	3031	6031
L_2 dB	55	55	55	55

(Spectrum #3).

	1	2	3	-
F_1 Hz	781	1593	3187	-
L_1 dB	65	65	65	-
F_2 Hz	937	1906	3812	-
L_2 dB	55	55	55	-

Πίνακες 8, 9 και 10.

Φάσματα συχνοτήτων και εντάσεις ταυτόχρονης χορήγησης πολλαπλών ζευγών πρωτευόντων τόνων.



Αποτελέσματα.

Α. Συσχέτιση της έντασης των DPOAE και μεθόδων χορήγησης των πρωτευόντων τόνων (κλασική-Seq προς ταυτόχρονη-Sim).

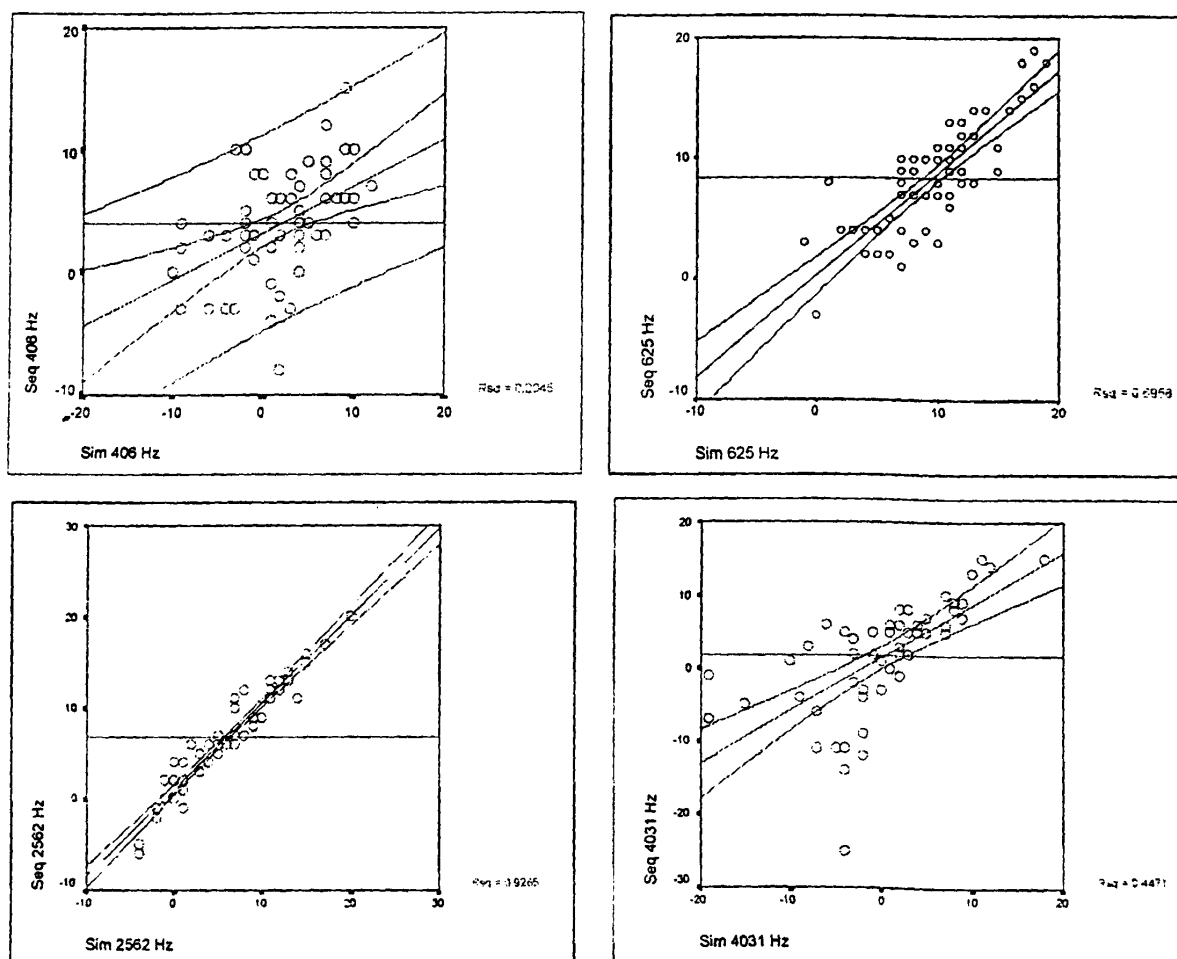
Έγινε προσδιορισμός του παραμετρικού κατά Pearson συντελεστή συσχέτισης (r) των μεταβλητών Seq και Sim για κάθε συχνότητα ξεχωριστά. Διαπιστώθηκε θετική συσχέτιση μεταξύ των δύο μεθόδων χορήγησης των πρωτευόντων τόνων σε όλες τις συχνότητες. Η συσχέτιση αυτή βρέθηκε στατιστικά σημαντική στο επίπεδο του 0.01 σε όλες τις περιπτώσεις. Πίνακας 11. Σχήμα 26.

F2 Hz	593	750	937	1187	1500	1906	2406	3031	3812	4812	6031
r	.452*	.784*	.834*	.865*	.925*	.799*	.917*	.938*	.964*	.900*	.669*
DP Hz	406	500	625	812	1000	1281	1593	2031	2562	3187	4031

Στατιστικά σημαντική συσχέτιση στο επίπεδο του 0.01.

Πίνακας 11.

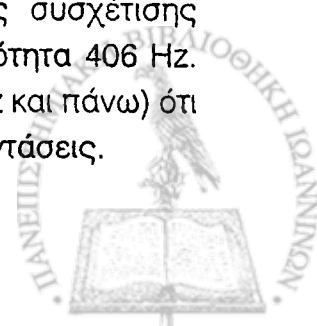
Συντελεστές συσχέτισης (r) των μεταβλητών Seq και Sim των DPOAE.



Σχήμα 26.

Στικτογράμματα συσχέτισης έντασης DPOAE και μεθόδων χορήγησης των πρωτευόντων τόνων (κλασική προς ταυτόχρονη) για τις συχνότητες 406, 625, 2562 και 4031 Hz.

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 11, ο μεγαλύτερος συντελεστής συσχέτισης σημειώθηκε στη συχνότητα των 2562 Hz, ενώ ο μικρότερος στη συχνότητα 406 Hz. Από τα στικτογράμματα διαφαίνεται επίσης (στις συχνότητες από 625 Hz και πάνω) ότι οι τιμές των DPOAE εμφανίζουν μεγαλύτερη διασπορά στις χαμηλές εντάσεις.



Παρόλα αυτά είναι φανερό ότι όταν η ένταση των DPOAE αυξάνει χορηγώντας τους πρωτεύοντες τόνους με την κλασική μέθοδο, τότε αυξάνει και όταν χορηγούμε τους ίδιους πρωτεύοντες τόνους με την ταυτόχρονη μέθοδο.

Β. Πολυπαραγοντική ανάλυση διακύμανσης στα δεδομένα των εξετασθέντων με φυσιολογική ακοή.

1. Προκειμένου να διερευνηθεί η αλληλεπίδραση της μεθόδου χορήγησης των πρωτευόντων τόνων, της πλευράς (δεξιά ότα - αριστερά ότα) και της συχνότητας εμφάνισης στην ένταση των DPOAE, εφαρμόστηκε η στατιστική μέθοδος πολυπαραγοντικής ανάλυσης διακύμανσης (MANOVA) με μοντέλο που καθορίστηκε ως ακολούθως: εξαρτώμενη μεταβλητή η ένταση των DPOAE και επιδρώσες μεταβλητές η μέθοδος χορήγησης των πρωτευόντων τόνων, η πλευρά και η συχνότητα εμφάνισης των DPOAE. Τα αποτελέσματα περιγράφονται στους πίνακες 12-15 και τα σχήματα 27-29.

Πηγή	dF	F-value	P-value	G-G	H-F
Μέθοδος	1	154,9302	0,0001	0,0001	0,0001
Πλευρά	1	1,5611	0,2166	0,2166	0,2166
Συχνότητα	10	28,8412	0,0001	0,0001	0,0001
Μέθοδος-πλευρά	1	2,7038	0,1056	0,1056	0,1056
Μέθοδος-συχνότητα	10	8,8842	0,0001	0,0001	0,0001
Μέθοδος-πλευρά-συχνότητα	10	1,0880	0,3691	0,3659	0,3673
Πλευρά - συχνότητα	10	0,4681	0,9106	0,8377	0,8588

Πίνακας 12.

Αποτελέσματα πολυπαραγοντικής ανάλυσης διακύμανσης στα δεδομένα των εξετασθέντων με φυσιολογική ακοή.

Εξαρτημένη μεταβλητή η ένταση των DPOAE. Επιδρώσες μεταβλητές: α) η μέθοδος χορήγησης πρωτευόντων τόνων, β) η πλευρά και γ) η συχνότητα εμφάνισης των DPOAE.

Μέθοδος χορήγησης	Μέση τιμή	SD
Seq	6,4953	5,9330
Sim	5,1614	6,3640

Πίνακας 13.

Αποτελέσματα πολυπαραγοντικής ανάλυσης διακύμανσης στα δεδομένα των εξετασθέντων με φυσιολογική ακοή. Πηγή μέθοδος. Μέση τιμή έντασης DPOAE σε dB SPL.

(Seq). Διαδοχική χορήγηση ενός ζεύγους πρωτευόντων τόνων (116 ώτα).

DP Hz	406	500	625	812	1000	1281	1593	2031	2562	3187	4031
Μέση τιμή	4,04	4,45	8,06	8,08	10,65	8,16	6,45	5,52	6,92	7,21	1,85
Σταθερή απόκλιση	4,51	4,46	4,71	5,83	5,46	5,39	5,19	5,37	5,63	5,78	7,39

(Sim). Ταυτόχρονη χορήγηση 4-3 ζευγών πρωτευόντων τόνων (116 ώτα).

DP Hz	406	500	625	812	1000	1281	1593	2031	2562	3187	4031
Μέση τιμή	2,03	3,69	9,40	7,01	9,00	6,46	4,31	3,85	6,01	5,31	-0,35
Σταθερή απόκλιση	5,45	5,42	4,63	5,84	5,70	5,15	5,13	5,55	5,36	6,79	7,67

Πίνακας 14.

Αποτελέσματα πολυπαραγοντικής ανάλυσης διακύμανσης στα δεδομένα των εξετασθέντων με φυσιολογική ακοή. Πηγή μέθοδος-συχνότητα. Μέση τιμή έντασης DPOAE σε dB SPL.



I. (Seq). Διαδοχική χορήγηση ενός ζεύγους πρωτευόντων τόνων (58 ώτα).

A. Δεξιά πλευρά.

DP Hz	406	500	625	812	1000	1281	1593	2031	2562	3187	4031
Μέση τιμή	3,94	4,68	8,34	8,24	10,65	8,22	6,36	5,86	6,86	7,46	1,77
Σταθερή απόκλιση	4,43	4,61	4,68	5,92	5,69	4,63	4,97	5,03	5,52	5,71	7,73

B. Αριστερή πλευρά.

DP Hz	406	500	625	812	1000	1281	1593	2031	2562	3187	4031
Μέση τιμή	4,13	4,22	7,79	7,93	10,65	8,10	6,55	5,18	6,98	6,96	1,93
Σταθερή απόκλιση	4,63	4,33	4,76	5,78	5,26	6,09	5,44	5,71	5,79	5,89	7,11

II. (Sim). Ταυτόχρονη χορήγηση 4-3 ζευγών πρωτευόντων τόνων (58 ώτα).

A. Δεξιά πλευρά.

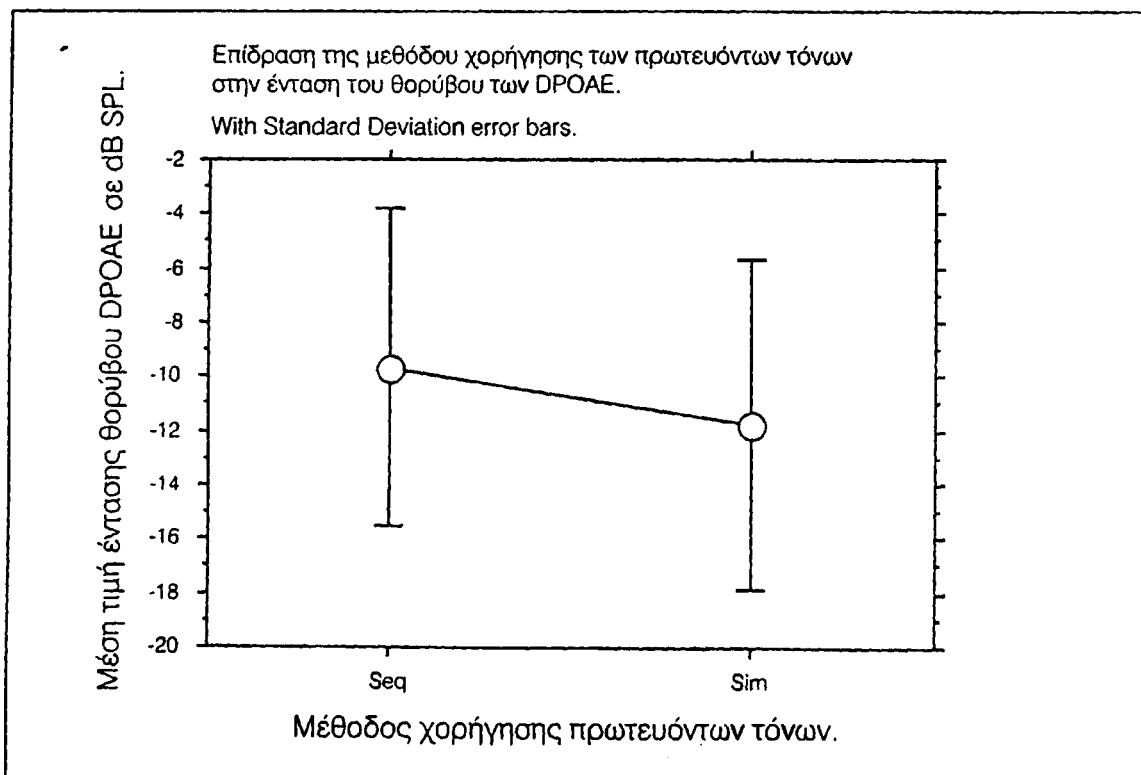
DP Hz	406	500	625	812	1000	1281	1593	2031	2562	3187	4031
Μέση τιμή	2,00	3,81	9,51	7,46	9,01	6,41	4,41	4,32	6,13	5,89	0,51
Σταθερή απόκλιση	5,27	5,57	4,60	5,48	6,19	4,96	4,85	5,31	5,56	6,30	7,12

B. Αριστερή πλευρά.

DP Hz	406	500	625	812	1000	1281	1593	2031	2562	3187	4031
Μέση τιμή	2,06	3,58	9,29	6,56	8,98	6,51	4,22	3,37	5,89	4,74	-1,22
Σταθερή απόκλιση	5,68	5,31	4,69	6,19	5,21	5,38	5,44	5,79	5,19	7,26	8,15

Πίνακας 15.

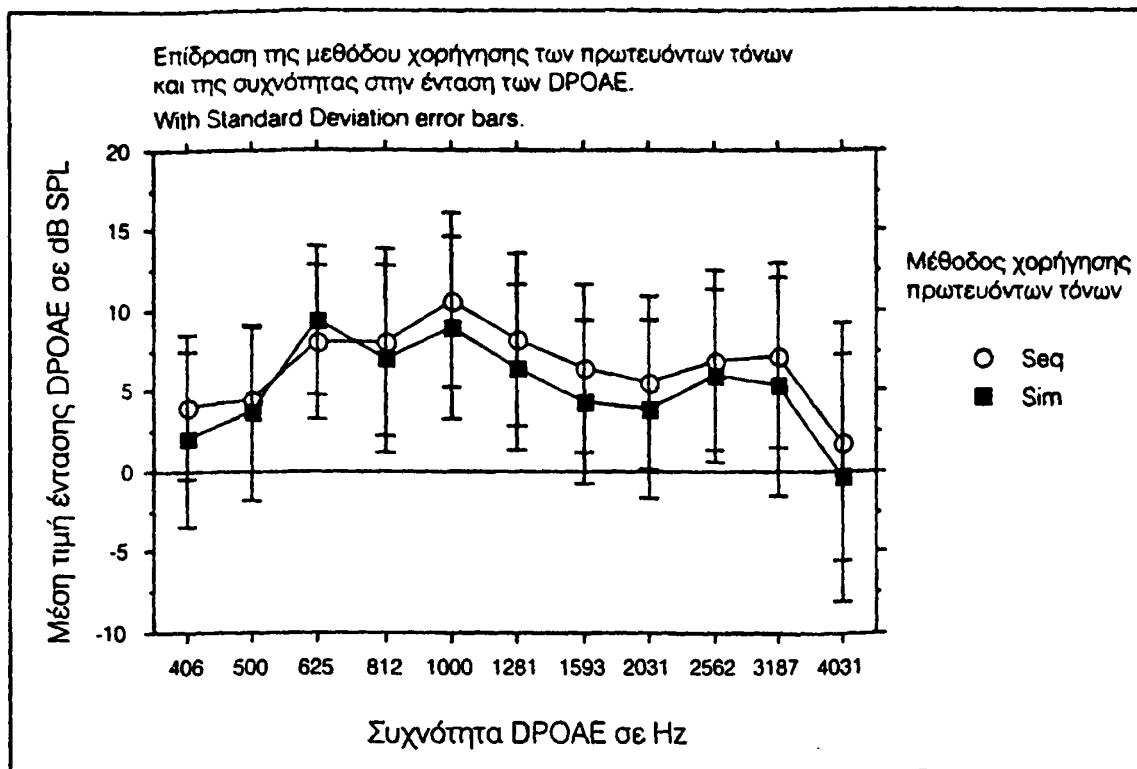
Αποτελέσματα πολυπαραγοντικής ανάλυσης διακύμανσης στα δεδομένα των εξετασθέντων με φυσιολογική ακοή. Πηγή πλευρά-μέθοδος-συχνότητα. Μέση τιμή έντασης DPOAE σε dB SPL.



Σχήμα 27.

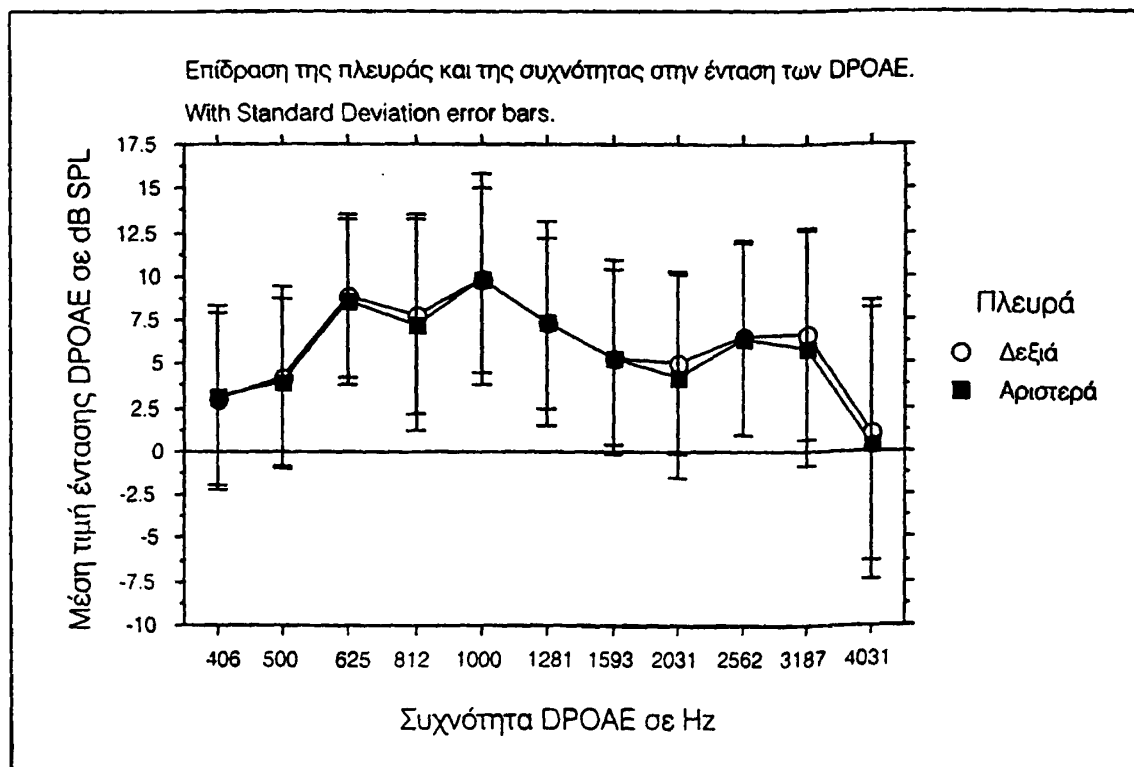
Διάγραμμα γραμμών μέσων τιμών έντασης DPOAE. Επίδραση της μεθόδου χορήγησης των πρωτευόντων τόνων.





Σχήμα 28.

Διάγραμμα γραμμών μέσων τιμών έντασης DPOAE. Επίδραση της μεθόδου χορήγησης των πρωτευόντων τόνων και της συχνότητας.



Σχήμα 29.

Διάγραμμα γραμμών μέσων τιμών έντασης DPOAE. Επίδραση της πλευράς και της συχνότητας.



2. Προκειμένου να διερευνηθεί η αλληλεπίδραση της μεθόδου χορήγησης των πρωτευόντων τόνων, της πλευράς (δεξιά ώτα - αριστερά ώτα) και της συχνότητας εμφάνισης στο επίπεδο του θορύβου καταγραφής των DPOAE, εφαρμόστηκε η στατιστική μέθοδος πολυπαραγοντικής ανάλυσης διακύμανσης (MANOVA) με μοντέλο που καθορίστηκε ως ακολούθως: εξαρτώμενη μεταβλητή η ένταση του επιπέδου θορύβου καταγραφής των DPOAE και επιδρώσες μεταβλητές η μέθοδος χορήγησης των πρωτευόντων τόνων, η πλευρά και η συχνότητα εμφάνισης των DPOAE. Τα αποτελέσματα περιγράφονται στους πίνακες 16-19 και τα σχήματα 30-32.

Πηγή	dF	F-value	P-value	G-G	H-F
Μέθοδος	1	87,4798	0,0001	0,0001	0,0001
Πλευρά	1	2,8007	0,0997	0,0997	0,0997
Συχνότητα	10	102,6835	0,0001	0,0001	0,0001
Μέθοδος-πλευρά	1	0,1381	0,7115	0,7115	0,7115
Μέθοδος-συχνότητα	10	48,7806	0,0001	0,0001	0,0001
Μέθοδος-πλευρά-συχνότητα	10	0,7927	0,6359	0,4630	0,4674
Πλευρά-συχνότητα	10	1,2611	0,2493	0,2894	0,2895

Πίνακας 16.

Αποτελέσματα πολυπαραγοντικής ανάλυσης διακύμανσης στα δεδομένα των εξετασθέντων με φυσιολογική ακοή.

Εξαρτημένη μεταβλητή το επίπεδο θορύβου καταγραφής των DPOAE. Επιδρώσες μεταβλητές: α) η μέθοδος χορήγησης πρωτευόντων τόνων, β) η πλευρά και γ) η συχνότητα εμφάνισης των DPOAE.

Μέθοδος χορήγησης	Μέση τιμή	SD
Seq	-9,6614	5,8426
Sim	-11,7531	6,0691

Πίνακας 17.

Αποτελέσματα πολυπαραγοντικής ανάλυσης διακύμανσης στα δεδομένα των εξετασθέντων με φυσιολογική ακοή. Πηγή μέθοδος. Μέση τιμή θορύβου καταγραφής σε dB SPL.

(Seq). Διαδοχική χορήγηση ενός ζεύγους πρωτευόντων τόνων (116 ώτα).

DP Hz	406	500	625	812	1000	1281	1593	2031	2562	3187	4031
Μέση τιμή	-7.50	-7.48	-6.60	-7.67	-8.13	-10.03	-11.95	-15.03	-12.37	-10.06	-9.41
Σταθερή απόκλιση	2.49	2.26	1.46	2.27	2.21	2.55	2.68	15.74	2.59	2.38	3.68

(Sim). Ταυτόχρονη χορήγηση 4-3 ζευγών πρωτευόντων τόνων(116 ώτα).

DP Hz	406	500	625	812	1000	1281	1593	2031	2562	3187	4031
Μέση τιμή	-7.86	-2.56	-6.50	-11.39	-15.06	-12.00	-19.56	-10.74	-13.42	-17.20	-12.95
Σταθερή απόκλιση	2.87	4.34	1.26	4.68	3.76	4.06	4.58	4.41	3.36	4.32	4.48

Πίνακας 18.

Αποτελέσματα πολυπαραγοντικής ανάλυσης διακύμανσης στα δεδομένα των εξετασθέντων με φυσιολογική ακοή. Πηγή μέθοδος-συχνότητα. Μέση τιμή θορύβου καταγραφής σε dB SPL.



I. (Seq). Διαδοχική χορήγηση ενός ζεύγους πρωτευόντων τόνων (58 ώτα).

A. Δεξιά πλευρά.

DP Hz	406	500	625	812	1000	1281	1593	2031	2562	3187	4031
Μέση τιμή	-7.44	-7.22	-6.58	-7.63	-8.46	-10.01	-11.98	-16.51	-12.65	-9.75	-9.68
Σταθερή απόκλιση	2.34	2.24	1.27	2.48	2.43	2.45	2.73	22.10	2.44	2.31	4.05

B. Αριστερή πλευρά.

DP Hz	406	500	625	812	1000	1281	1593	2031	2562	3187	4031
Μέση τιμή	-7.56	-7.74	-6.62	-7.70	-7.81	-10.05	-11.93	-13.55	-12.08	-10.36	-9.13
Σταθερή απόκλιση	2.64	2.28	1.65	2.06	1.93	2.67	2.66	2.57	2.72	2.44	3.27

II. (Sim). Ταυτόχρονη χορήγηση 4-3 ζευγών πρωτευόντων τόνων (58 ώτα).

A. Δεξιά πλευρά.

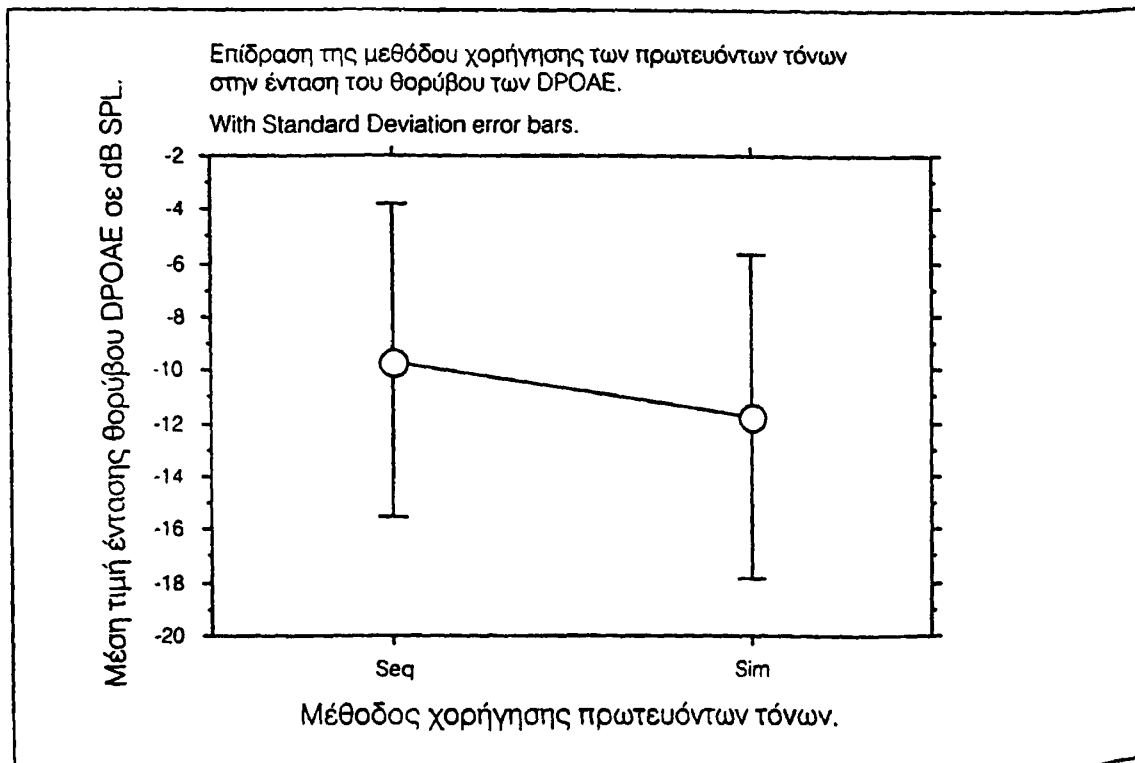
DP Hz	406	500	625	812	1000	1281	1593	2031	2562	3187	4031
Μέση τιμή	-8.34	-2.15	-6.46	-11.82	-15.20	-12.44	-19.98	-10.94	-13.79	-17.10	-13.43
Σταθερή απόκλιση	2.89	4.57	1.23	4.61	3.70	3.96	5.05	4.99	3.18	3.86	4.21

B. Αριστερή πλευρά.

DP Hz	406	500	625	812	1000	1281	1593	2031	2562	3187	4031
Μέση τιμή	-7.37	-2.98	-6.53	-10.96	-14.63	-11.55	-19.13	-10.53	-13.05	-17.31	-12.48
Σταθερή απόκλιση	2.79	4.08	1.31	4.75	3.85	4.15	4.07	3.77	3.53	4.78	4.72

Πίνακας 19.

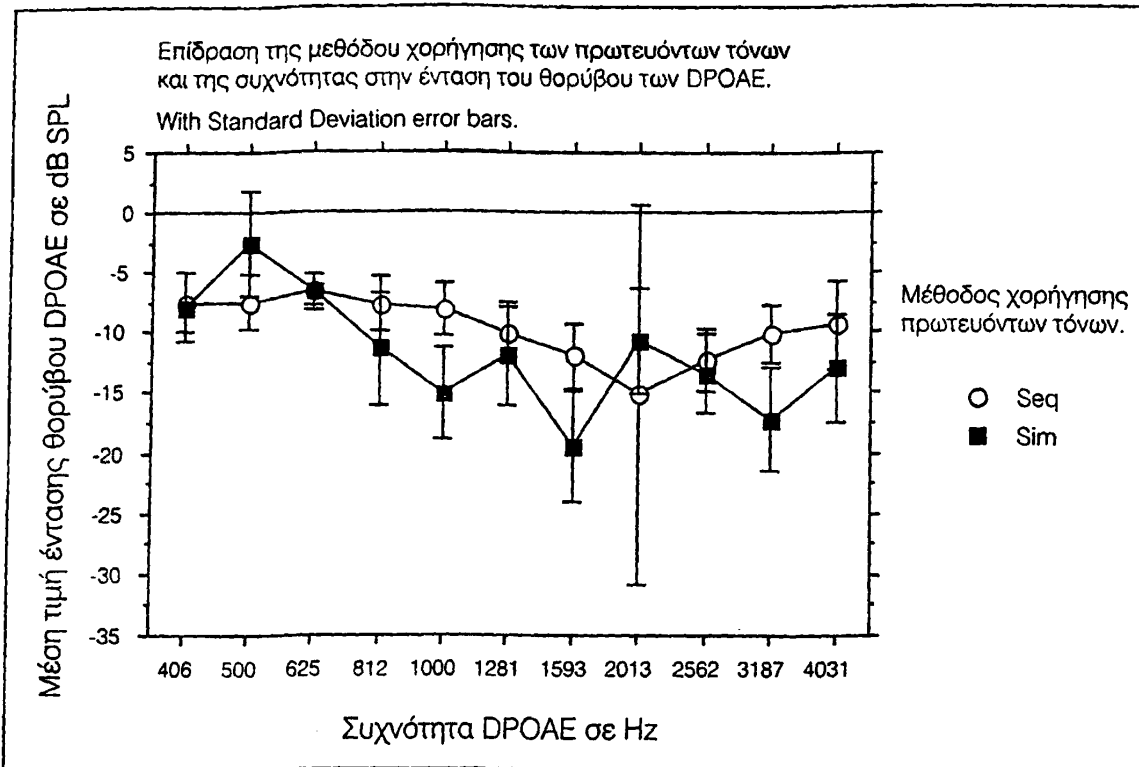
Αποτελέσματα πολυπαραγοντικής ανάλυσης διακύμανσης στα δεδομένα των εξετασθέντων με φυσιολογική ακοή. Πηγή πλευρά-μέθοδος-συχνότητα. Μέση τιμή θορύβου καταγραφής σε dB SPL.



Σχήμα 30.

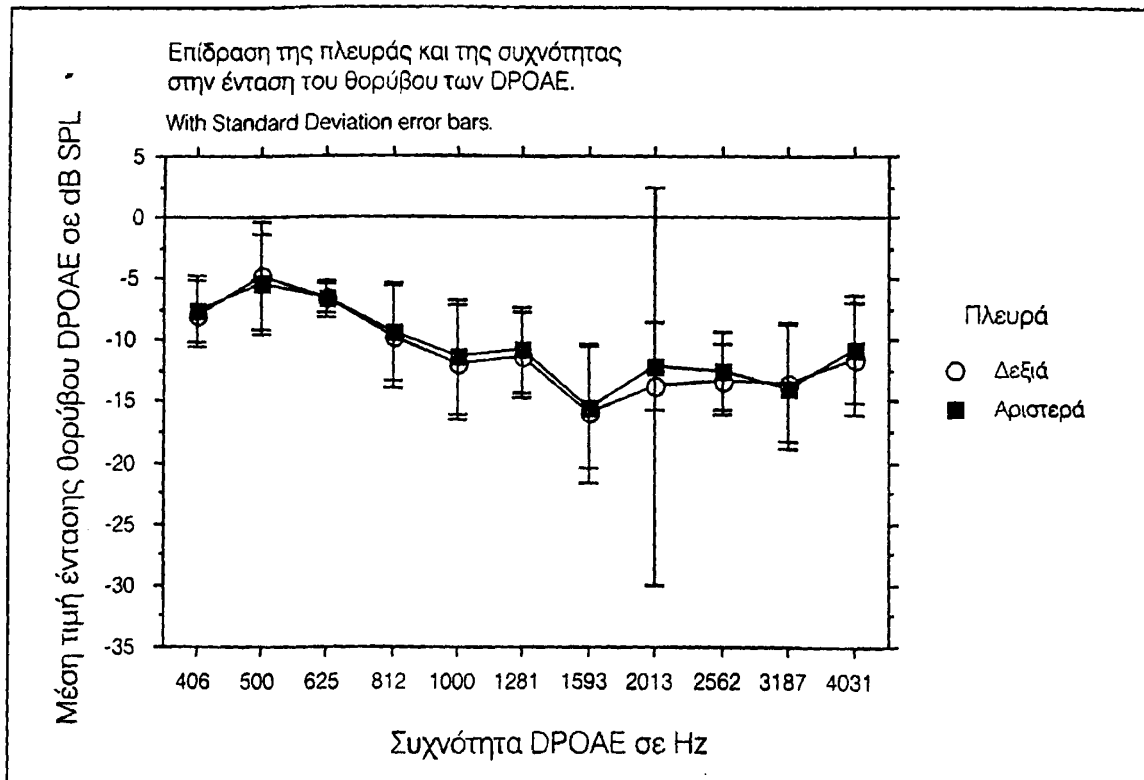
Διάγραμμα γραμμών μέσων τιμών έντασης θορύβου καταγραφής DPOAE. Επίδραση της μεθόδου χορήγησης των πρωτευόντων τόνων.





Σχήμα 31.

Διάγραμμα γραμμών μέσων τιμών έντασης θορύβου καταγραφής DPOAE. Επίδραση της μεθόδου χορήγησης των πρωτευόντων τόνων και της συχνότητας.



Σχήμα 32.

Διάγραμμα γραμμών μέσων τιμών έντασης θορύβου καταγραφής DPOAE. Επίδραση της πλευράς και της συχνότητας.



II. Ομάδα εξετασθέντων με κοχλιακού τύπου βαρηκοΐες.

Μελέτη επίδρασης της μεθόδου χορήγησης (κλασική χορήγηση ενός ζεύγους και ταυτόχρονη χορήγηση συνδυασμού 4, 3 ζευγών πρωτευόντων τόνων), των πρωτευόντων τόνων στην ένταση των DPOAE, ~~στην ένταση του θερύβου καταγραφής~~ και στη διάρκεια του εξεταστικού χρόνου.

Υλικό και μέθοδος.

Εξετάσθηκαν συνολικά 86 ώτα 55 ασθενών με νευροαισθητήριες βαρηκοΐες (NAB) διαφόρου αιτιολογίας (31 εμφάνιζαν αμφοτερόπλευρη βαρηκοΐα, 9 μόνο στο δεξί και 15 μόνο στο αριστερό ουσ).

Ηλικία ώτων: μέση τιμή 38.802, σταθερή απόκλιση 18.542, ώτα αρρένων 50, ποσοστό 58.14%, ώτα θηλέων 36, ποσοστό 41.86%.

Η καταγραφή των DPOAE έγινε με τους εξεταζόμενους καθήμενους εντός ηχομονωμένου δωματίου και όχι εντός ακουολογικού θαλάμου για την εκτίμηση της μεθόδου υπό όχι ιδανικές συνθήκες, όπως είναι αυτές που αντιμετωπίζουμε σε μονάδες εντατικής παρακολούθησης νεογνών ή θαλάμων κλινικών νοσοκομείων.

Χρησιμοποιήθηκαν δύο μέθοδοι χορήγησης πρωτευόντων τόνων. Η κλασική (Sequencial-Seq), βλέπε πίνακα 4 ειδικού μέρους και η ταυτόχρονη χορήγηση συνδυασμού 4 και 3 ζευγών πρωτευόντων τόνων (Simultaneous-Sim).

Οι δύο διαφορετικές δοκιμασίες (Seq και Sim) έγιναν με τυχαία σειρά για κάθε εξεταζόμενο αυτί, χωρίς όμως να αφαιρείται και να επανατοποθετείται το ρύγχος της συσκευής στον έξω ακουστικό πόρο του εξεταζόμενου (μια μόνο τοποθέτηση του ρύγχους της συσκευής στον έξω ακουστικό πόρο και για τις δύο μεθόδους).

Οι τιμές των συχνοτήτων F_1 και F_2 της ταυτόχρονης χορήγησης 4 και 3 ζευγών πρωτευόντων τόνων και οι ακριβείς τιμές της έντασής τους περιγράφονται αναλυτικά στους πίνακες 8-10 του ειδικού μέρους.

Για την καταγραφή των DPOAE χρησιμοποιήθηκε η ίδια συσκευή (GSI-60).

Η κατανομή των εξετασθέντων ώτων ανάλογα με την αιτία της βαρηκοΐας περιγράφεται στον πίνακα 20.

Είδος βαρηκοΐας	η	Ποσοστό %
Ακουστικό τραύμα	24	28
Αιφνίδια απώλεια ακοής	17	20
Νόσος Meniere	8	9
Λήψη ωτοτοξικών φαρμάκων	4	5
NAB άλλης απολογίας	27	31
Πρεσβυακουσία	6	7
Σύνολο	86	100

Πίνακας 20.

Κατανομή εξετασθέντων ώτων ανάλογα με την αιτία της βαρηκοΐας.



Συγκρίθηκαν οι εντάσεις των DPOAE του DP-gram και με τις δύο μεθόδους χορήγησης με τους ουδούς ακουσικότητας του τονικού ακουογράμματος για κάθε μια από τις συχνότητες 500, 1000, 2000 και 4000 Hz ξεχωριστά. Ακολουθήθηκε αυτή η τακτική γιατί οι ασθενείς δεν εμφανίζουν υποχρεωτικά νευροαισθητήριο βαρηκοΐα σε όλες τις συχνότητες αλλά τις περισσότερες φορές σε μερικές ή και σε μια μόνο απ' αυτές.

Για να γίνει εφικτή η σύγκριση των ουδών ακουσικότητας, οι ουδοί κατατάχθηκαν σε πέντε (5) βαθμούς βαρηκοΐας δηλαδή:

- βαθμός 0 = ουδός ακουσικότητας 0-20 dB HL
- βαθμός 1 = ουδός ακουσικότητας 21-30 dB HL
- βαθμός 2 = ουδός ακουσικότητας 31-40 dB HL
- βαθμός 3 = ουδός ακουσικότητας 41-50 dB HL
- βαθμός 4 = ουδός ακουσικότητας 51-65 dB HL
- βαθμός 5 = ουδός ακουσικότητας >65 dB HL

Λόγω του ότι οι πρωτεύοντες τόνοι διαφέρουν μεταξύ των κατά 10 dB SPL ($L_1=65$, $L_2=55$), η αντιστοιχία συχνοτήτων ουδών στο τονικό ακουόγραμμα και των συχνοτήτων εμφάνισης των DPOAE έχει ως εξής:

- 500 Hz τονικού ακουογράμματος αντιστοιχεί σε συχνότητα εμφάνισης DPOAE 406 Hz
- 1000 Hz τονικού ακουογράμματος αντιστοιχεί σε συχνότητα εμφάνισης DPOAE 625 Hz
- 2000 Hz τονικού ακουογράμματος αντιστοιχεί σε συχνότητα εμφάνισης DPOAE 1281 Hz
- 4000 Hz τονικού ακουογράμματος αντιστοιχεί σε συχνότητα εμφάνισης DPOAE 2562 Hz

Χρησιμοποιήθηκαν επίσης για κάθε συχνότητα και 116 ώτα με φυσιολογική ακοή (ομάδα ελέγχου), 66 ώτα θηλέων και 50 ώτα αρρένων.



Αποτελέσματα.

1. Πολυπαραγοντική ανάλυση διακύμανσης στα δεδομένα των εξετασθέντων με κοχλιακού τύπου βαρηκοΐα, για τη συχνότητα των 500 Hz του τονικού ακουογράμματος.

Προκειμένου να διερευνηθεί η αλληλεπίδραση των βαθμών βαρηκοΐας και της μεθόδου χορήγησης των πρωτευόντων τόνων στην ένταση των DPOAE, εφαρμόσθηκε η στατιστική μέθοδος πολυπαραγοντικής ανάλυσης διακύμανσης (MANOVA) με μοντέλο που καθορίσθηκε ως εξής: εξαρτώμενη μεταβλητή η ένταση των DPOAE και επιδρώσες μεταβλητές ο αντίστοιχος βαθμός βαρηκοΐας και η μέθοδος χορήγησης των πρωτευόντων τόνων. Τα αποτελέσματα περιγράφονται στους πίνακες 21-24 και τα σχήματα 33-35.

Διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά της έντασης των DPOAE σε σχέση

Πηγή	dF	F-value	P-value	G-G	H-F
Βαθμοί βαρηκοΐας	5	13,5704	0,0001		
Μέθοδος χορήγησης	1	0,0246	0,8755	0,8755	0,8755
Μέθοδος και βαθμοί βαρηκοΐας	5	3,2196	0,0081	0,0081	0,0081

Πίνακας 21.

Αποτελέσματα πολυπαραγοντικής ανάλυσης διακύμανσης σε ασθενείς με κοχλιακού τύπου βαρηκοΐες για τη συχνότητα των 500 Hz του τονικού ακουογράμματος.

Εξαρτώμενη μεταβλητή η ένταση των DPOAE, επιδρώσες μεταβλητές, ο βαθμός βαρηκοΐας, η μέθοδος χορήγησης των πρωτευόντων τόνων και ο συνδυασμός μεθόδου χορήγησης και βαθμού βαρηκοΐας.

με τους βαθμούς βαρηκοΐας, ως επίσης σε σχέση με το συνδυασμό μεθόδου χορήγησης και βαθμού βαρηκοΐας. Αντίθετα δε σημειώθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά της έντασης των DPOAE σε σχέση μόνο με τη μέθοδο χορήγησης. Στον πίνακα 22 περιγράφεται σε ποιους βαθμούς βαρηκοΐας οι εντάσεις των DPOAE διαφέρουν στατιστικά σημαντικά. (Εφαρμογή Post Hoc στα δεδομένα του πίνακα 21).

Η στατιστική ανάλυση των Post Hoc έγινε με τη μέθοδο Fisher's protected LSD.

		1	2	3	4	5	6
1	5	-					
2	4	-	-				
3	3	-	-	-			
4	2	S	-	-	-		
5	1	S	S	S	-	-	
6	0	S	S	S	S	S	-

Πίνακας 22.

Περιγραφή των βαθμών βαρηκοΐας μεταξύ των οποίων σημειώνεται στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων τιμών της έντασης των DPOAE (Post-Hocs στα δεδομένα του πίνακα 21, με τη μέθοδο Fisher's protected LSD).



Μέθοδος χορήγησης πρωτευόντων τόνων	Μέση τιμή	Σταθερή απόκλιση
Seq	0,5970	7,1814
Sim	-0,6667	6,6553

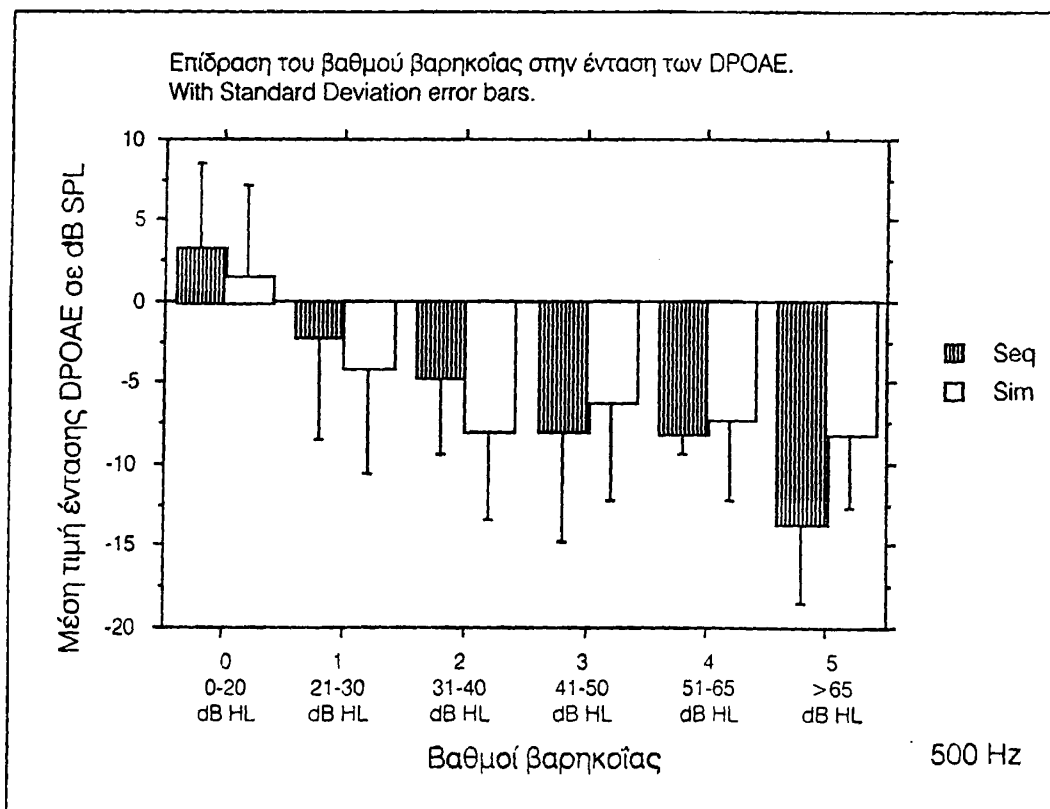
Πίνακας 23.

Μέσες τιμές και σταθερές αποκλίσεις των εντάσεων των DPOAE σε dB SPL, ανάλογα με τη μέθοδο χορήγησης των πρωτευόντων τόνων.

	Μέθοδος χορήγησης πρωτευόντων τόνων											
	Seq						Sim					
	Βαθμοί βαρηκοΐας						Βαθμοί βαρηκοΐας					
	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
n	146	19	10	8	6	12	146	19	10	8	6	12
Mean	3.34	-2.26	-4.80	-8.00	-8.16	-13.6	1.50	-4.15	-8.10	-6.25	-7.33	-8.25
SD	5.11	6.27	4.56	6.82	1,16	4,83	5,63	6,40	5,40	5,92	4,96	4,41

Πίνακας 24.

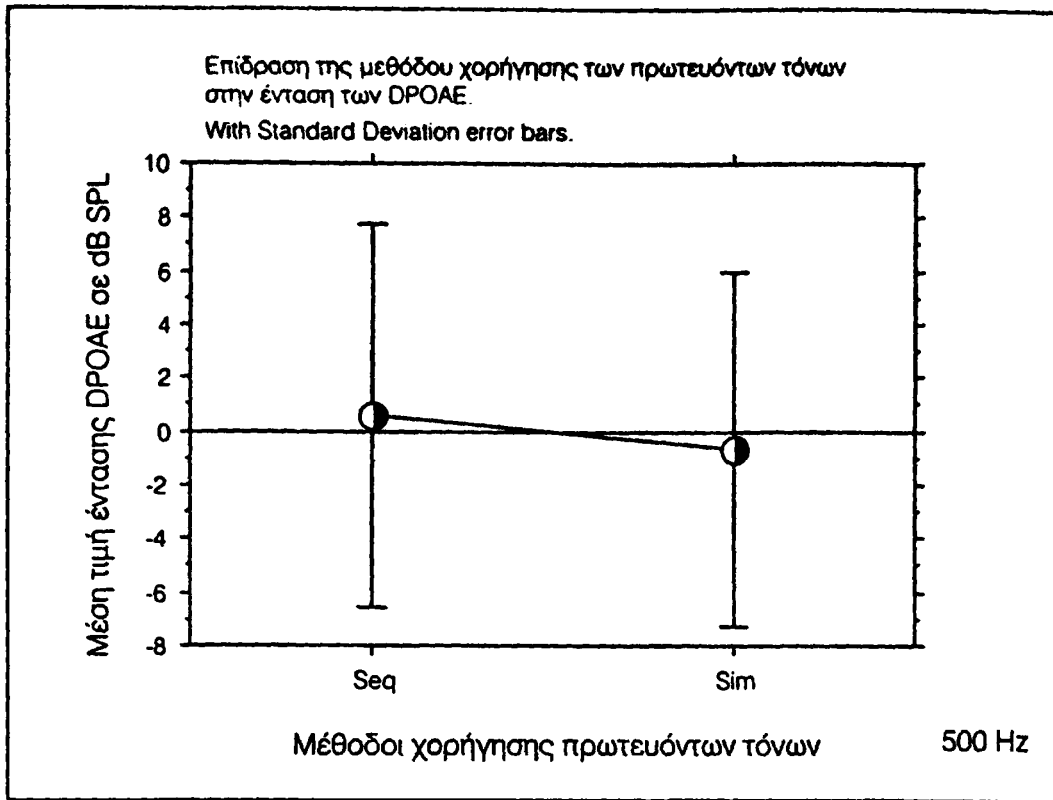
Μέσες τιμές και σταθερές αποκλίσεις των εντάσεων των DPOAE σε dB SPL, ανάλογα με τη μέθοδο χορήγησης των πρωτευόντων τόνων και τους βαθμούς βαρηκοΐας.



Σχήμα 33.

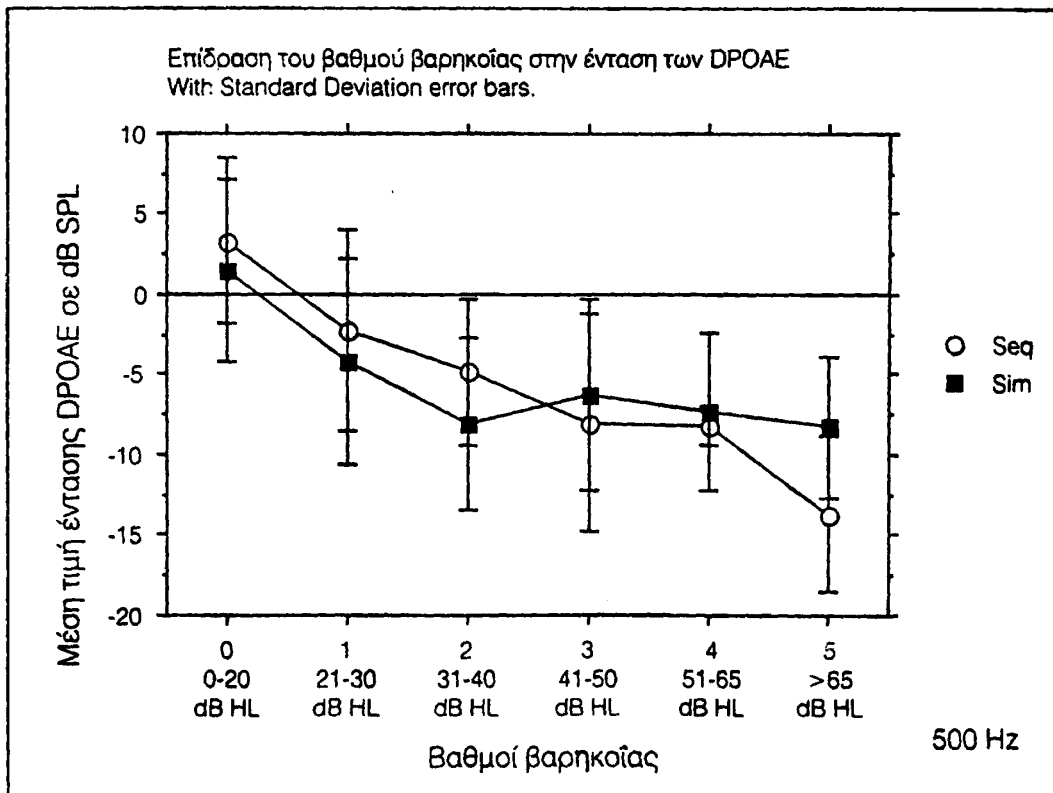
Διάγραμμα στηλών μέσων τιμών και σταθερών αποκλίσεων εντάσεων DPOAE σε σχέση με τους διάφορους βαθμούς βαρηκοΐας και τη μέθοδο χορήγησης των πρωτευόντων τόνων, για τη συχνότητα των 500 Hz του τονικού ακουογράμματος.





Σχήμα 34.

Διάγραμμα γραμμών μέσων τιμών και σταθερών αποκλίσεων έντασης DPOAE σε σχέση με τη μέθοδο χορήγησης των πρωτευόντων τόνων.



Σχήμα 35.

Διάγραμμα γραμμών μέσων τιμών και σταθερών αποκλίσεων έντασης DPOAE σε σχέση με τους βαθμούς βαρηκοΐας και τη μέθοδο χορήγησης των πρωτευόντων τόνων.



2. Πολυπαραγοντική ανάλυση διακύμανσης στα δεδομένα των εξετασθέντων με κοχλιακού τύπου βαρηκοΐα, για τη συχνότητα των 1000 Hz του τονικού ακουογράμματος.

Προκειμένου να διερευνηθεί η αλληλεπίδραση του βαθμού βαρηκοΐας και της μεθόδου χορήγησης των πρωτευόντων τόνων στην ένταση των DPOAE, εφαρμόστηκε η στατιστική μέθοδος πολυπαραγοντικής ανάλυσης διακύμανσης (MANOVA) με μοντέλο που καθορίστηκε ως ακολούθως: εξαρτώμενη μεταβλητή η ένταση των DPOAE και επιδρώσες μεταβλητές ο αντίστοιχος βαθμός βαρηκοΐας και η μέθοδος χορήγησης των πρωτευόντων τόνων. Τα αποτελέσματα περιγράφονται στους πίνακες 25-28 και τα σχήματα 36-38.

Διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά της έντασης των DPOAE σε σχέση

Πηγή	dF	F-value	P-value	G-G	H-F
Βαθμοί βαρηκοΐας	5	22,0055	0,0001		
Μέθοδος χορήγησης	1	0,2167	0,6421	0,6421	0,6421
Μέθοδος και βαθμοί βαρηκοΐας	5	1,8635	0,1024	0,1024	0,1024

Πίνακας 25.

Αποτελέσματα πολυπαραγοντικής ανάλυσης διακύμανσης σε ασθενείς με κοχλιακού τύπου βαρηκοΐες για τη συχνότητα των 1000 Hz του τονικού ακουογράμματος.

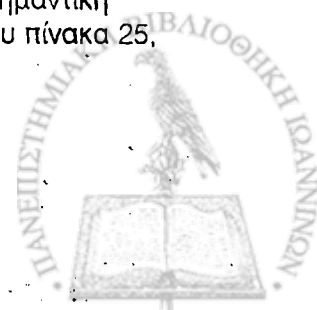
Εξαρτώμενη μεταβλητή η ένταση των DPOAE, επιδρώσες μεταβλητές, ο βαθμός βαρηκοΐας, η μέθοδος χορήγησης των πρωτευόντων τόνων και ο συνδυασμός μεθόδου χορήγησης και βαθμού βαρηκοΐας.

με τους βαθμούς βαρηκοΐας. Αντίθετα, δε σημειώθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά της έντασης των DPOAE σε σχέση μόνο με τη μέθοδο χορήγησης, ή με το συνδυασμό μεθόδου χορήγησης και βαθμού βαρηκοΐας. Στον πίνακα 26 περιγράφεται σε ποιους βαθμούς βαρηκοΐας οι εντάσεις των DPOAE διαφέρουν στατιστικά σημαντικά. (Εφαρμογή Post Hoc στα δεδομένα του πίνακα 25). Η στατιστική ανάλυση των Post Hoc έγινε με τη μέθοδο Fisher's protected LSD.

		1	2	3	4	5	6
1	5	-					
2	4	-	-				
3	3	-	-	-			
4	2	S	S	S	-		
5	1	S	S	S	-	-	
6	0	S	S	S	S	S	-

Πίνακας 26.

Περιγραφή των βαθμών βαρηκοΐας μεταξύ των οποίων σημειώνεται στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων τιμών της έντασης των DPOAE (Post-Hocs στα δεδομένα του πίνακα 25, με τη μέθοδο Fisher's protected LSD).



Μέθοδος χορήγησης πρωτευόντων τόνων	Μέση τιμή	Σταθερή απόκλιση
Seq	0,6436	7.98
Sim	-0,7079	8.17

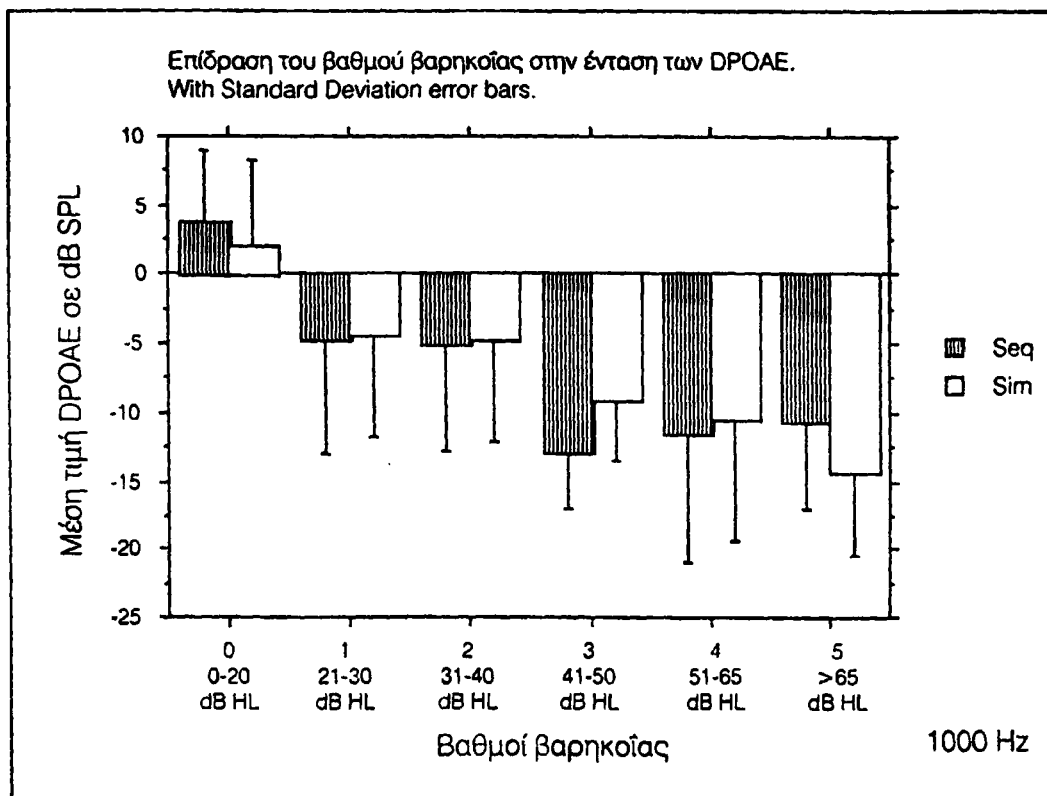
Πίνακας 27.

Μέσες τιμές και σταθερές αποκλίσεις των εντάσεων των DPOAE σε dB SPL, ανάλογα με τη μέθοδο χορήγησης των πρωτευόντων τόνων.

	Μέθοδος χορήγησης πρωτευόντων τόνων											
	Seq						Sim					
	Βαθμοί βαρηκοΐας						Βαθμοί βαρηκοΐας					
	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
n	153	13	7	7	7	15	153	13	7	7	7	15
Mean	3.67	-4.76	-5.14	-13.0	-11.5	-10.8	1.96	-4.38	-4.71	-9.14	-10.5	-14.3
SD	5.22	8.27	7.64	4.00	9.34	6.23	6.28	7.33	7.47	4.29	8.82	6.17

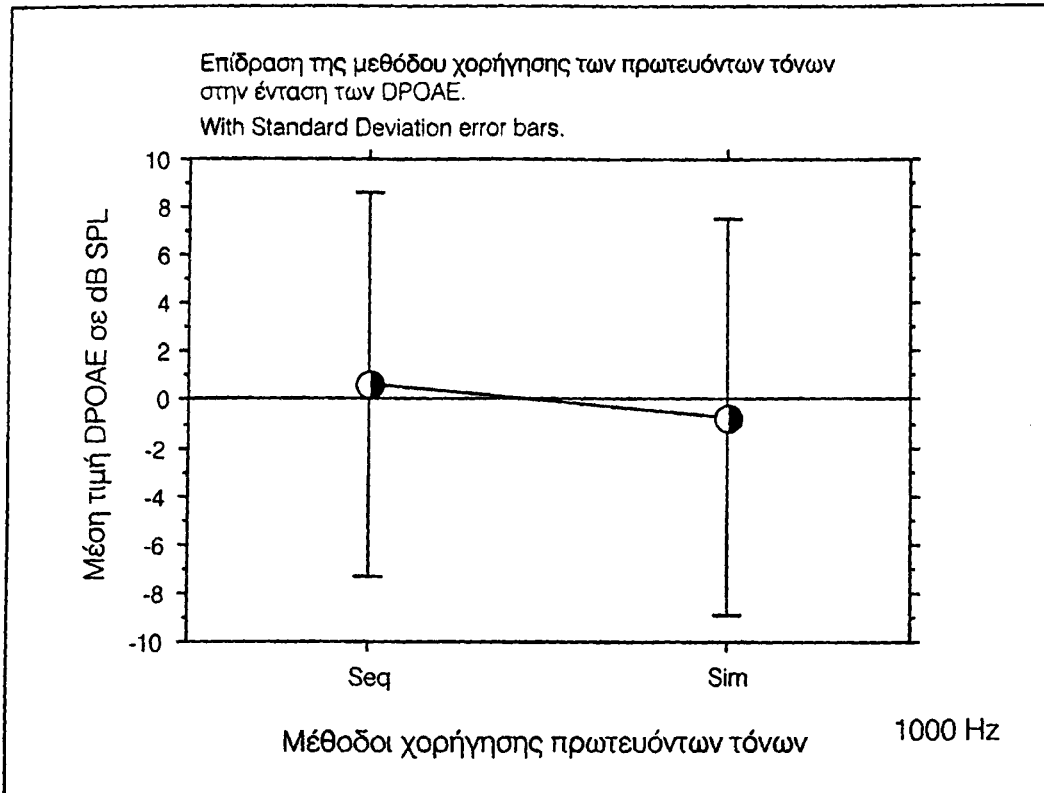
Πίνακας 28.

Μέσες τιμές και σταθερές αποκλίσεις των εντάσεων των DPOAE σε dB SPL, ανάλογα με τη μέθοδο χορήγησης των πρωτευόντων τόνων και τους βαθμούς βαρηκοΐας.



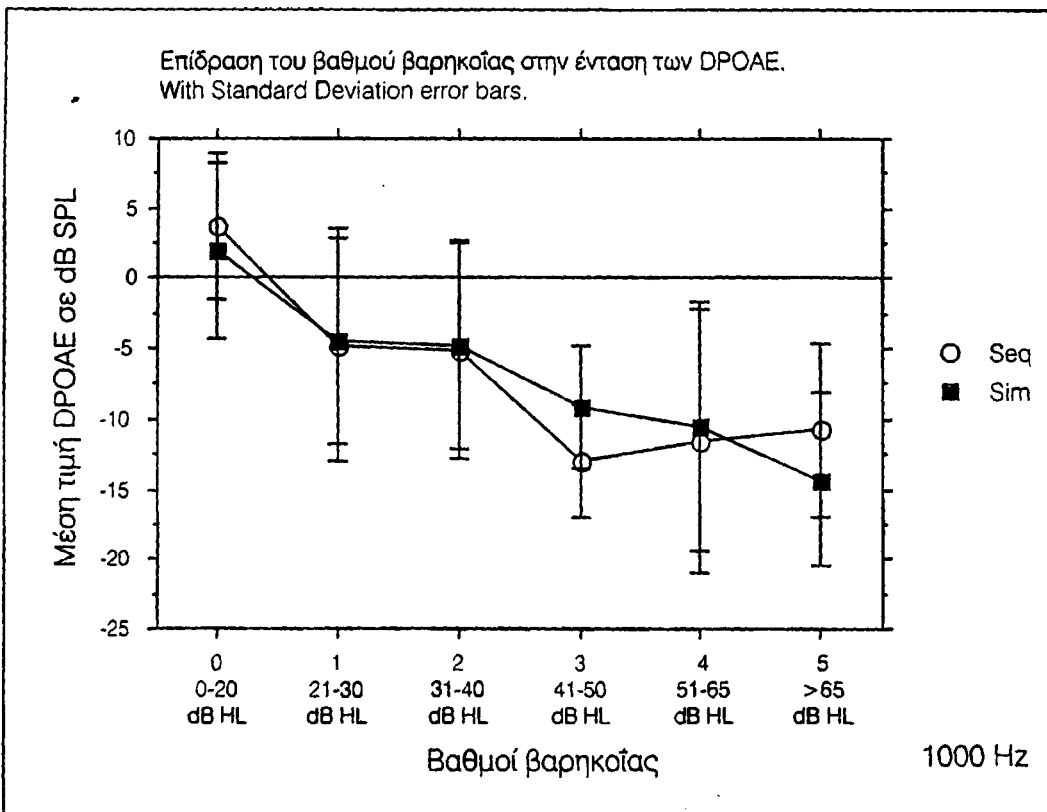
Σχήμα 36.

Διάγραμμα στηλών μέσων τιμών και σταθερών αποκλίσεων έντασεων DPOAE σε σχέση με τους διάφορους βαθμούς βαρηκοΐας και τη μέθοδο χορήγησης των πρωτευόντων τόνων, για τη συχνότητα των 1000 Hz του τονικού ακουογράμματος.



Σχήμα 37.

Διάγραμμα γραμμών μέσων τιμών και σταθερών αποκλίσεων έντασης DPOAE σε σχέση με τη μέθοδο χορήγησης των πρωτευόντων τόνων.



Σχήμα 38.

Διάγραμμα γραμμών μέσων τιμών και σταθερών αποκλίσεων έντασης DPOAE σε σχέση με τους βαθμούς βαρηκοΐας και τη μέθοδο χορήγησης των πρωτευόντων τόνων.



3. Πολυπαραγοντική ανάλυση διακύμανσης στα δεδομένα των εξετασθέντων με κοχλιακού τύπου βαρηκοΐα, για τη συχνότητα των 2000 Hz του τονικού ακουογράμματος.

Προκειμένου να διερευνηθεί η αλληλεπίδραση του βαθμού βαρηκοΐας και της μεθόδου χορήγησης των πρωτευόντων τόνων στην ένταση των DPOAE, εφαρμόσθηκε η στατιστική μέθοδος πολυπαραγοντικής ανάλυσης διακύμανσης (MANOVA) με μοντέλο που καθορίσθηκε ως ακολούθως: εξαρτώμενη μεταβλητή η ένταση των DPOAE και επιδρώσες μεταβλητές ο αντίστοιχος βαθμός βαρηκοΐας και η μέθοδος χορήγησης των πρωτευόντων τόνων. Τα αποτελέσματα περιγράφονται στους πίνακες 29-32 και τα σχήματα 39-41.

Διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά της έντασης των DPOAE σε σχέση με τους βαθμούς βαρηκοΐας. Αντίθετα, δε σημειώθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά

Πηγή	dF	F-value	P-value	G-G	H-F
Βαθμοί βαρηκοΐας	5	30,0236	0,0001		
Μέθοδος χορήγησης	1	2,5474	0,1121	0,1121	0,1121
Μέθοδος και βαθμοί βαρηκοΐας	5	0,5672	0,7251	0,7251	0,7251

Πίνακας 29.

Αποτελέσματα πολυπαραγοντικής ανάλυσης διακύμανσης σε ασθενείς με κοχλιακού τύπου βαρηκοΐες για τη συχνότητα των 2000 Hz του τονικού ακουογράμματος.

Εξαρτώμενη μεταβλητή η ένταση των DPOAE, επιδρώσες μεταβλητές, ο βαθμός βαρηκοΐας, η μέθοδος χορήγησης των πρωτευόντων τόνων και ο συνδυασμός μεθόδου χορήγησης και βαθμού βαρηκοΐας.

της έντασης των DPOAE σε σχέση μόνο με τη μέθοδο χορήγησης, ή με το συνδυασμό μεθόδου χορήγησης και βαθμού βαρηκοΐας. Στον πίνακα 30 περιγράφεται σε ποιους βαθμούς βαρηκοΐας οι εντάσεις των DPOAE διαφέρουν στατιστικά σημαντικά. (Εφαρμογή Post Hoc στα δεδομένα του πίνακα 29). Η στατιστική ανάλυση των Post Hoc έγινε με τη μέθοδο Fisher's protected LSD.

		1	2	3	4	5	6
1	5	-					
2	4	-	-				
3	3	-	-	-			
4	2	-	-	-	-		
5	1	S	S	S	S	-	
6	0	S	S	S	S	S	-

Πίνακας 30.

Περιγραφή των βαθμών βαρηκοΐας μεταξύ των οποίων σημειώνεται στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων τιμών της έντασης των DPOAE (Post-Hocs στα δεδομένα του πίνακα 29, με τη μέθοδο Fisher's protected LSD).



Μέθοδος χορήγησης πρωτευόντων τόνων	Μέση τιμή	Σταθερή απόκλιση
Seq	-0,6931	9,70
Sim	-2,7079	9,19

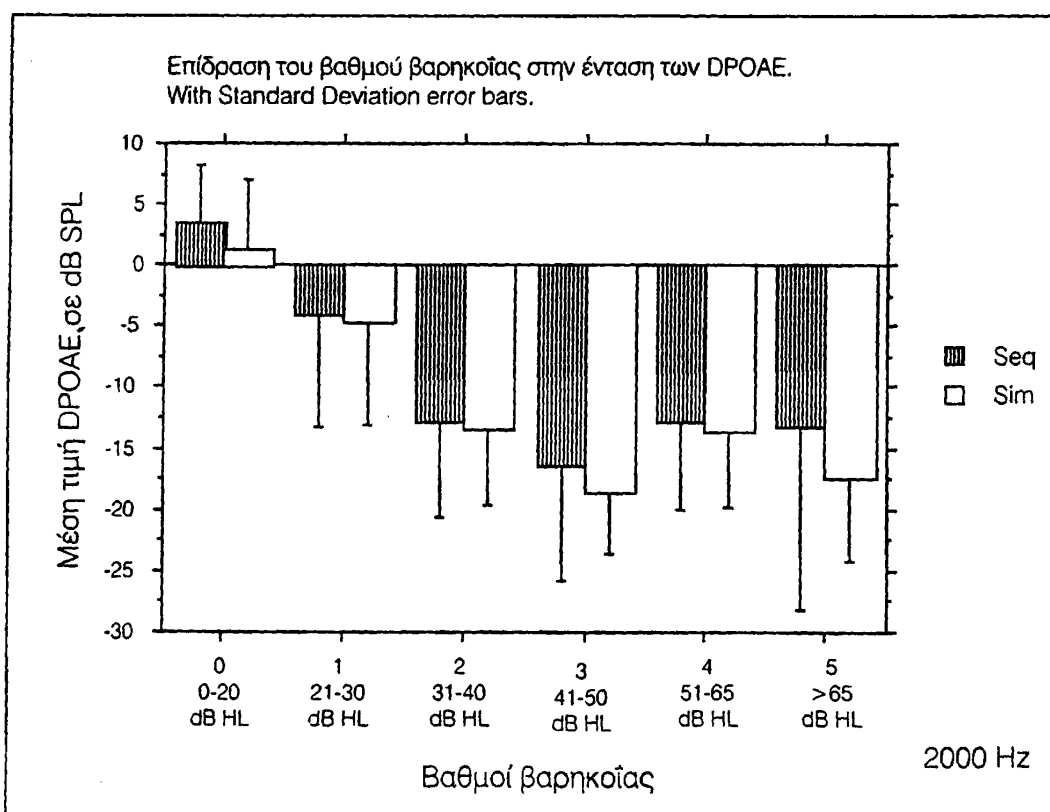
Πίνακας 31.

Μέσες τιμές και σταθερές αποκλίσεις των εντάσεων των DPOAE σε dB SPL, ανάλογα με τη μέθοδο χορήγησης των πρωτευόντων τόνων.

	Μέθοδος χορήγησης πρωτευόντων τόνων											
	Seq						Sim					
	Βαθμοί βαρηκοΐας						Βαθμοί βαρηκοΐας					
	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
n	148	8	13	5	13	15	148	8	13	5	13	15
Mean	3,43	-4,12	-12,8	-16,4	-12,9	-13,2	1,33	-4,75	-13,5	-18,6	-13,6	-17,4
SD	4,82	9,06	7,88	9,42	7,08	14,9	5,71	8,24	6,13	5,12	6,29	6,75

Πίνακας 32.

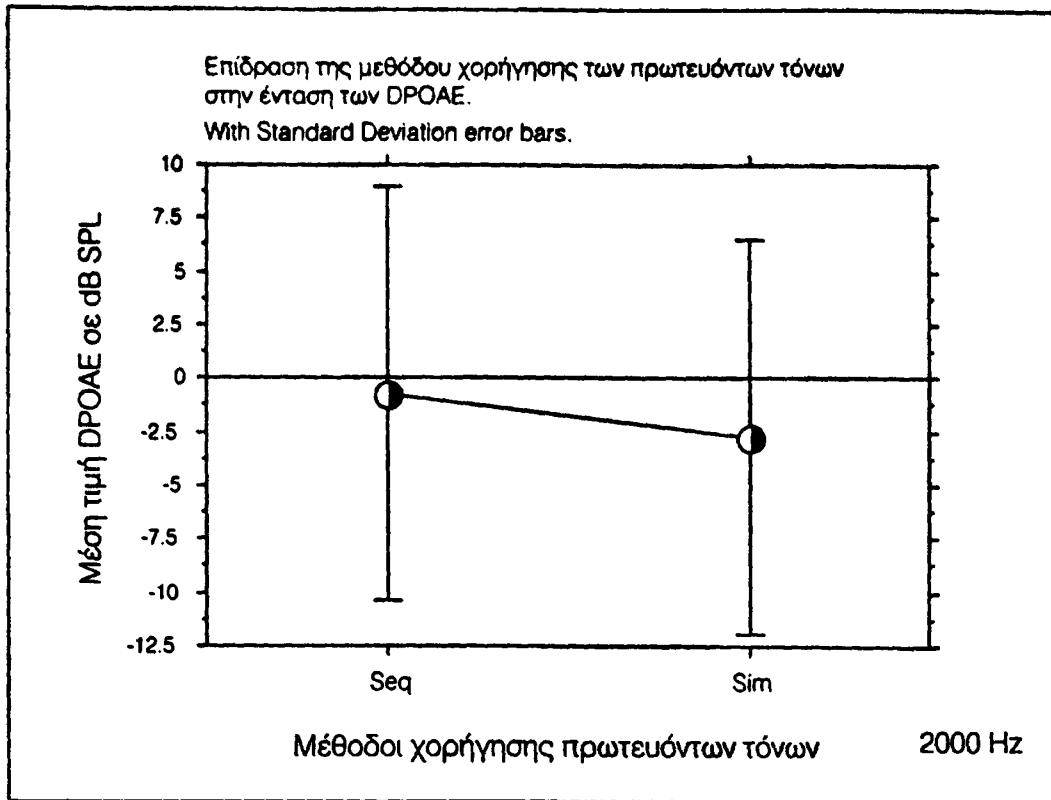
Μέσες τιμές και σταθερές αποκλίσεις των εντάσεων των DPOAE σε dB SPL, ανάλογα με τη μέθοδο χορήγησης των πρωτευόντων τόνων και τους βαθμούς βαρηκοΐας.



Σχήμα 39.

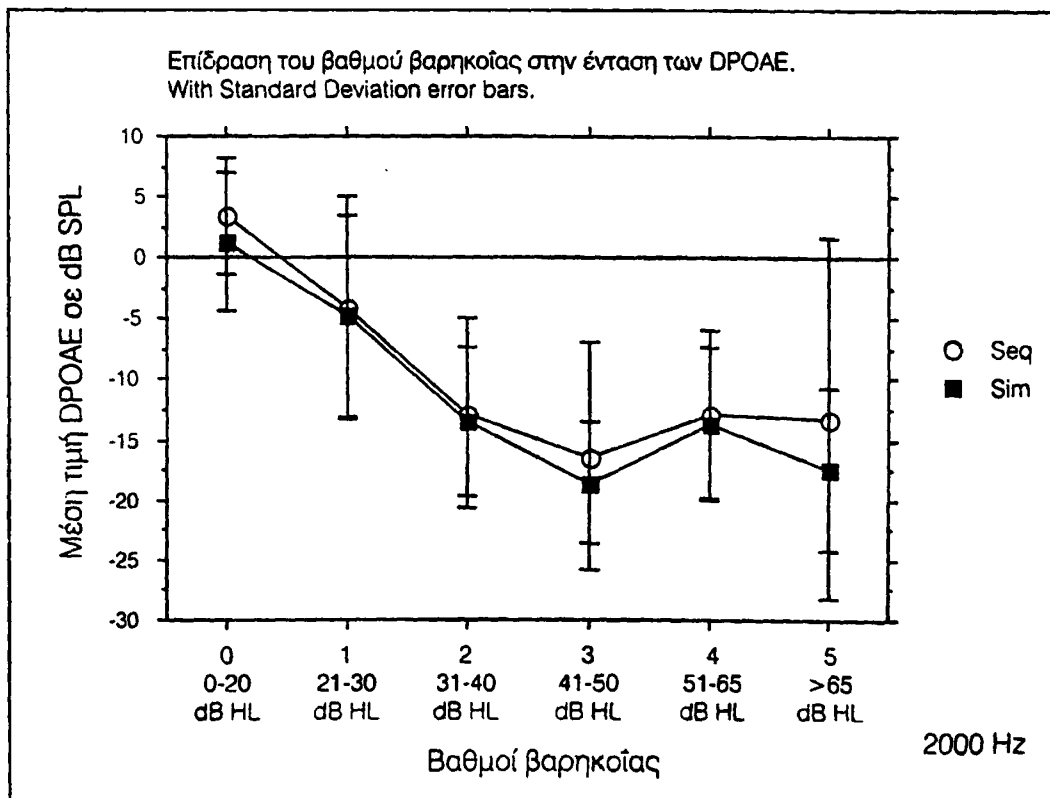
Διάγραμμα στηλών μέσων τιμών και σταθερών αποκλίσεων εντάσεων DPOAE σε σχέση με τους διάφορους βαθμούς βαρηκοΐας και τη μέθοδο χορήγησης των πρωτευόντων τόνων, για τη συχνότητα των 2000 Hz του τονικού ακουογράμματος.





Σχήμα 40.

Διάγραμμα γραμμών μέσων τιμών και σταθερών αποκλίσεων έντασης DPOAE σε σχέση με τη μέθοδο χορήγησης των πρωτευόντων τόνων.



Σχήμα 41.

Διάγραμμα γραμμών μέσων τιμών και σταθερών αποκλίσεων έντασης DPOAE σε σχέση με τους βαθμούς βαρηκοΐας και τη μέθοδο χορήγησης των πρωτευόντων τόνων.



4. Πολυπαραγοντική ανάλυση διακύμανσης στα δεδομένα των εξετασθέντων με κοχλιακού τύπου βαρηκοΐα, για τη συχνότητα των 4000 Hz του τονικού ακουογράμματος.

Προκειμένου να διερευνηθεί η αλληλεπίδραση του βαθμού βαρηκοΐας και της μεθόδου χορήγησης των πρωτευόντων τόνων στην ένταση των DPOAE, εφαρμόστηκε η στατιστική μέθοδος πολυπαραγοντικής ανάλυσης διακύμανσης (MANOVA) με μοντέλο που καθορίστηκε ως ακολούθως: εξαρτώμενη μεταβλητή η ένταση των DPOAE και επιδρώσες μεταβλητές ο αντίστοιχος βαθμός βαρηκοΐας και η μέθοδος χορήγησης των πρωτευόντων τόνων. Τα αποτελέσματα περιγράφονται στους πίνακες 33-36 και τα σχήματα 42-44.

Διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά της έντασης των DPOAE σε σχέση με τους βαθμούς βαρηκοΐας, το συνδυασμό μεθόδου χορήγησης και βαθμών

Πηγή	dF	F-value	P-value	G-G	H-F
Βαθμοί βαρηκοΐας	5	7,8763	0,0001		
Μέθοδος χορήγησης	1	4,8229	0,0293	0,0293	0,0293
Μέθοδος και βαθμοί βαρηκοΐας	5	2,4541	0,0349	0,0349	0,0349

Πίνακας 33.

Αποτελέσματα πολυπαραγοντικής ανάλυσης διακύμανσης σε ασθενείς με κοχλιακού τύπου βαρηκοΐες για τη συχνότητα των 4000 Hz του τονικού ακουογράμματος.

Εξαρτώμενη μεταβλητή η ένταση των DPOAE, επιδρώσες μεταβλητές, ο βαθμός βαρηκοΐας, η μέθοδος χορήγησης των πρωτευόντων τόνων και ο συνδυασμός μεθόδου χορήγησης και βαθμού βαρηκοΐας.

βαρηκοΐας, καθώς επίσης της έντασης των DPOAE σε σχέση με τη μέθοδο χορήγησης. Στον πίνακα 34 περιγράφεται σε ποιους βαθμούς βαρηκοΐας οι εντάσεις των DPOAE διαφέρουν στατιστικά σημαντικά. (Εφαρμογή Post Hoc στα δεδομένα του πίνακα 33). Η στατιστική ανάλυση των Post Hoc έγινε με τη μέθοδο Fisher's protected LSD.

		1	2	3	4	5	6
1	5	-					
2	4	-	-				
3	3	-	-	-			
4	2	S	S	-	-		
5	1	S	S	-	-	-	
6	0	S	S	S	S	S	-

Πίνακας 34.

Περιγραφή των βαθμών βαρηκοΐας μεταξύ των οποίων σημειώνεται στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων τιμών της έντασης των DPOAE (Post-Hocs στα δεδομένα του πίνακα 29, με τη μέθοδο Fisher's protected LSD).



Μέθοδος χορήγησης πρωτευόντων τόνων	Μέση τιμή	Σταθερή απόκλιση
Seq	-3,0196	10,17
Sim	-5,4158	10,98

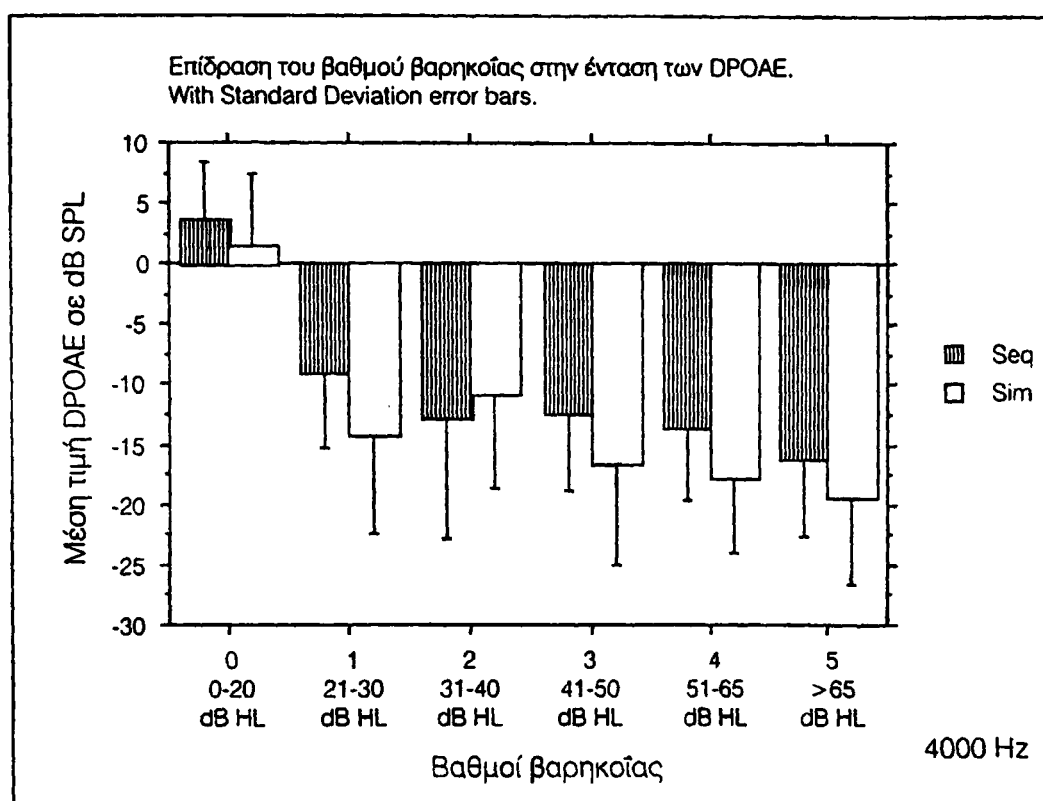
Πίνακας 35.

Μέσες τιμές και σταθερές αποκλίσεις των εντάσεων των DPOAE σε dB SPL, ανάλογα με τη μέθοδο χορήγησης των πρωτευόντων τόνων.

	Μέθοδος χορήγησης πρωτευόντων τόνων											
	Seq						Sim					
	Βαθμοί βαρηκοΐας						Βαθμοί βαρηκοΐας					
	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
n	123	12	15	12	18	22	123	12	15	12	18	22
Mean	3.60	-9.08	-12.8	-12.5	-13.7	-16.1	1.51	-14.2	-10.8	-16.5	-17.7	-19.4
SD	4.81	6.18	10,0	6,30	5,96	6,52	5,92	8,09	7,79	8,40	6,21	7,19

Πίνακας 36.

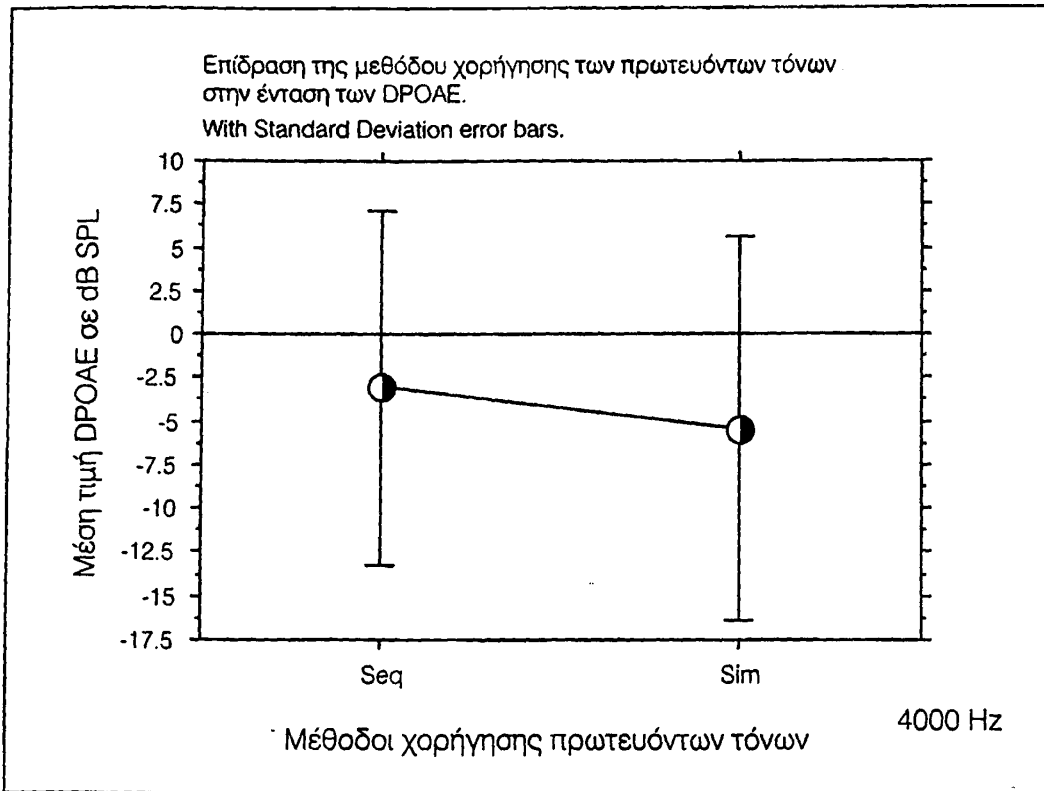
Μέσες τιμές και σταθερές αποκλίσεις των εντάσεων των DPOAE σε dB SPL, ανάλογα με τη μέθοδο χορήγησης των πρωτευόντων τόνων και τους βαθμούς βαρηκοΐας.



Σχήμα 42.

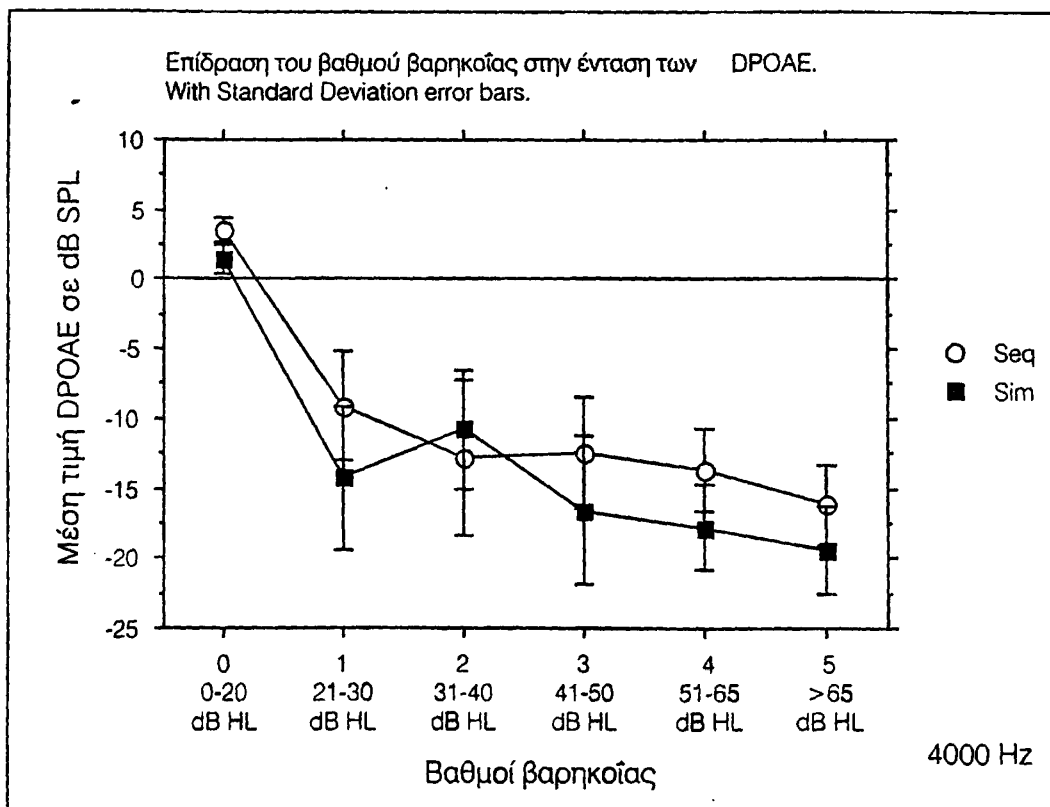
Διάγραμμα στήλων μέσων τιμών και σταθερών αποκλίσεων έντασεων DPOAE σε σχέση με τους διάφορους βαθμούς βαρηκοΐας και τη μέθοδο χορήγησης των πρωτευόντων τόνων, για τη συχνότητα των 4000 Hz του τονικού ακουογράμματος.





Σχήμα 43.

Διάγραμμα γραμμών μέσων τιμών και σταθερών αποκλίσεων έντασης DPOAE σε σχέση με τη μέθοδο χορήγησης των πρωτευόντων τόνων.



Σχήμα 44.

Διάγραμμα γραμμών μέσων τιμών και σταθερών αποκλίσεων έντασης DPOAE σε σχέση με τους βαθμούς βαρηκοΐας και τη μέθοδο χορήγησης των πρωτευόντων τόνων.



Επίδραση της μεθόδου χορήγησης των πρωτευόντων τόνων επί του εξεταστικού χρόνου των DPOAE.

A. Ομάδα εξετασθέντων με φυσιολογική ακοή.

Οι εξεταστικοί χρόνοι των DPOAE που καταγράφηκαν στην ομάδα των εξετασθέντων με φυσιολογική ακοή περιγράφονται στον πίνακα 35.

Εξεταστικός χρόνος σε sec	Μέθοδος χορήγησης πρωτευόντων τόνων	
	Seq	Sim
Μέση τιμή	24,103	19,207
Σταθερή απόκλιση	7,193	8,503
Ελάχιστη τιμή	16	5
Ενδιάμεση τιμή	22	19

Πίνακας 35.

Εξεταστικοί χρόνοι DPOAE ανάλογα με τη μέθοδο χορήγησης των πρωτευόντων τόνων, περιγραφική στατιστική. Ομάδα ατόμων με φυσιολογική ακοή.

Διαπιστώθηκε ότι η ταυτόχρονη χορήγηση πολλαπλών ζευγών πρωτευόντων τόνων έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του εξεταστικού χρόνου των DPOAE που κατά μέσο όρο εγγίζει το 20%.

B. Ομάδα ασθενών με κοχλιακού τύπου νευροαισθητήριο βαρηκοΐα.

Οι εξεταστικοί χρόνοι των DPOAE που καταγράφηκαν στην ομάδα των ασθενών με κοχλιακού τύπου νευροαισθητήριο βαρηκοΐα περιγράφονται στον πίνακα 36.

Εξεταστικός χρόνος σε sec	Μέθοδος χορήγησης πρωτευόντων τόνων	
	Seq	Sim
Μέση τιμή	56,174	31,058
Σταθερή απόκλιση	19,299	10,052
Ελάχιστη τιμή	20	5
Ενδιάμεση τιμή	55	32.5

Πίνακας 36.

Εξεταστικοί χρόνοι DPOAE ανάλογα με τη μέθοδο χορήγησης των πρωτευόντων τόνων, περιγραφική στατιστική. Ομάδα ασθενών με νευροαισθητήριο βαρηκοΐα.

Διαπιστώθηκε ότι η ταυτόχρονη χορήγηση πολλαπλών ζευγών πρωτευόντων τόνων έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του εξεταστικού χρόνου των DPOAE που κατά μέσο όρο εγγίζει το 50%.



ΣΥΖΗΤΗΣΗ

A. Επίδραση της ηλικίας στην ένταση των DPOAE.

Από τις μέχρι σήμερα μελέτες έχει αποδειχθεί ότι η ένταση των DPOAE μπορεί να χρησιμεύσει για τη διάκριση φυσιολογικών ουδών ακουστικότητας από παθολογικούς λόγω διαφόρου βαθμού και είδους κοχλιακών βλαβών^(73, 92).

Παράλληλα η ηλικία φαίνεται να έχει σημαντική επίδραση στην ένταση των DPOAE όπως έχει διαπιστωθεί από διάφορες δημοσιεύσεις⁽⁹³⁻⁹⁶⁾. Απ' αυτές τις δημοσιεύσεις φαίνεται ότι η ένταση των DPOAE μειώνεται όσο αυξάνεται η ηλικία με ένα τρόπο ανεξάρτητο από τους αντίστοιχους ουδούς του τονικού ακουογράμματος.

Είναι επομένως αναγκαίο για την ορθή εκτίμηση της έντασης των DPOAE τόσο σε ώτα με φυσιολογική ακοή όσο και σε ώτα με κοχλιακού τύπου νευροαισθητήρια βαρηκοΐα, να προσδιορισθούν οι φυσιολογικές τιμές έντασης DPOAE σε σχέση με την ηλικία.

Η επίδραση της ηλικίας στην ένταση των DPOAE μελετήθηκε σε 92 άτομα με φυσιολογική ακοή με εύρος ηλικίας από 5 έως 83 ετών. Η μελέτη της επίδρασης έγινε με προσδιορισμό του συντελεστή συσχέτισης r των μεταβλητών ηλικία και ένταση DPOAE για κάθε συχνότητα ξεχωριστά. Σε όλες τις περιπτώσεις παρατηρήθηκε αρνητική συσχέτιση έντασης DPOAE και ηλικίας. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων διαπιστώνεται ότι οι DPOAE εμφανίζουν τη μεγαλύτερή τους ένταση στη νηπιακή και παιδική ηλικία (στα νεαρά ώτα), ενώ σημειώνεται προοδευτική μείωση της έντασής τους με την αύξηση της ηλικίας (στα γερασμένα ώτα).

Η μείωση αυτή της έντασης είναι μεγαλύτερη για τις υψηλές συχνότητες (>2 KHz) και μικρότερη για τις χαμηλές συχνότητες (500 έως 1500 Hz). Έτσι ενδεικτικά ο μέσος όρος έντασης των DPOAE μειώνεται από 9.6 σε 7.7 dB SPL για συχνότητα DP 625 Hz, για τις ηλικιακές ομάδες 1-15 και 31-45 έτη, ενώ η αντίστοιχη μείωση για συχνότητα DP 4031 Hz είναι από 5.2 σε 0.1 dB SPL (Πίνακας 6 ειδικού μέρους).

Παρόμοιες μελέτες έγιναν από τους Brown και συν. 1994⁽⁹⁷⁾ και Lafreniere και συν. 1991⁽⁹⁸⁾, οι οποίοι καταλήγουν στο ίδιο συμπέρασμα αλλά και από τους Whitehead και συν. 1994⁽⁹⁹⁾ που σημειώνουν ότι μεταξύ παιδιών και ενηλίκων υπάρχει διαφορά έντασης περίπου 3 dB SPL.

Οι διαφορές αυτές της έντασης των DPOAE σε συνάρτηση με την ηλικία καθιστούν απαραίτητη την κατάρτιση πινάκων με φυσιολογικές τιμές έντασης/ηλικίας προκειμένου να αξιολογείται ορθά η ένταση των DPOAE και να διαφοροδιαγνώσκεται εάν πιθανή μείωση της έντασης οφείλεται στην ηλικία ή σε νευροαισθητήριο βαρηκοΐα.

B. Επίδραση του φύλου στην ένταση των DPOAE.

Συγκρίθηκαν συνολικά οι εντάσεις των DPOAE 104 ώτων θηλέων με 80 ώτα αρρένων με φυσιολογική ακοή. Προηγήθηκε σύγκριση των ουδών ακουστικότητας του τονικού ακουογράμματος των αρρένων με εκείνη των θηλέων για όλες τις συχνότητες (δε σημειώθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ αρρένων και θηλέων για καμιά συχνότητα του τονικού ακουογράμματος). Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων δε διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του φύλου στην ένταση των DPOAE.



Βέβαια στις περισσότερες συχνότητες παρατηρείται μια ελαφρά υπεροχή της έντασης των DPOAE των θηλέων έναντι των αρρένων. Οι παρατηρήσεις μας αυτές συμφωνούν απόλυτα με παρόμοιες άλλων ερευνητών, που όμως διαπιστώνουν διαφορά στατιστικά σημαντική στις υψηλές συχνότητες (για γεωμετρικό μέσο μεγαλύτερο των 4031 Hz δηλαδή 5, 5.3 και 5.7 kHz) με υπεροχή της έντασης στα ώτα των θηλέων⁽⁷⁹⁾. Στο σχήμα 23 του ειδικού μέρους διακρίνεται και στις δικές μας μετρήσεις στην περιοχή των υψηλών συχνοτήτων (στα 3187 αλλά κυρίως στα 4031 Hz), η τάση υπεροχής της έντασης των DPOAE των ωτών των θηλέων έναντι των ωτών των αρρένων χωρίς όμως να είναι στατιστικά σημαντική (μέση τιμή ύψους DPOAE για τη συχνότητα 4031 Hz για τα θήλεα -1 dB SPL, ενώ για τα άρρενα -3 dB SPL).

Γ. Επίδραση της πλευράς στην ένταση των DPOAE.

Η ανάλυση βασίσθηκε σε μετρήσεις 92 ατόμων με φυσιολογική ακοή των οποίων μετρήθηκαν και οι δύο πλευρές (δεξιά-αριστερή). Προηγήθηκε σύγκριση των ουδών ακουστικότητας του τονικού ακουογράμματος της δεξιάς πλευράς με εκείνη της αριστερής πλευράς για όλες τις συχνότητες (δε σημειώθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο πλευρών για καμιά συχνότητα του τονικού ακουογράμματος). Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων δε διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση της πλευράς στην ένταση των DPOAE, η πλευρά δηλαδή δεν επιδρά στην ένταση των DPOAE. Σε παρόμοια αποτελέσματα (με πολύ μικρότερο όμως αριθμό παρατηρήσεων -55 άτομα μόνο-) κατέληξαν και οι Lonsbury-Martin BL, Martin GK, Whitehead ML 1997 ⁽⁷⁹⁾ με παρόμοιο πρωτόκολλο.

Δ. Επίδραση του ουδού ακουστικότητας στην ένταση των DPOAE (φυσιολογικά ώτα μόνο).

Έγινε προσπάθεια συσχέτισης του ουδού ακουστικότητας του τονικού ακουογράμματος (ψυχοακουστική μέθοδος), με την ένταση των DPOAE, με τον προσδιορισμό του παραμετρικού κατά Pearson συντελεστή συσχέτισης r . Η ανάλυση βασίσθηκε και πάλι σε μετρήσεις 92 ατόμων με φυσιολογική ακοή.

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων διαπιστώθηκε αρνητική συσχέτιση της έντασης των DPOAE με τον ουδό ακουστικότητας του τονικού ακουογράμματος για όλες τις συχνότητες, που όμως ήταν ισχυρότερη στις υψηλές συχνότητες (2-4 KHz) Πίνακας 7 ειδικού μέρους. Η ασθενέστερη συσχέτιση που παρατηρήθηκε στις χαμηλές συχνότητες ($r=-.357$ για τη συχνότητα DP 406 Hz και $r=-.506$ για τη συχνότητα DP 625 Hz) μπορεί να αποδοθεί στην επίδραση του θορύβου, του περιβάλλοντος αλλά και του βιολογικού των εξετασθέντων κατά τη διάρκεια των καταγραφών.

Βέβαια αυτή η μέθοδος ανάλυσης αδυνατεί να περιγράψει με σαφήνεια τον τρόπο επίδρασης των διαφόρων βαθμών της πρεσβυακουσίας (νευροαισθητηρίου βαρηκοΐας) στην ένταση των DPOAE*. Γι' αυτό το λόγο όπως θα δούμε στο Β τμήμα του ειδικού μέρους επιλέχθηκε διαφορετική στατιστική μεθοδολογία (MANOVA) προκειμένου να περιγραφεί καλύτερα η επίδραση του βαθμού της νευροαισθητηρίου βαρηκοΐας κοχλιακής εντόπισης στην ένταση των DPOAE.



* (Ο κυριότερος λόγος είναι ότι η βαθμονόμηση της έντασης των DPOAE γίνεται σε βήματα του 1 dB ενώ η βαθμονόμηση του ουδού ακουστικότητας σε βήματα των 5 dB).

Ε. DPOAE. Ταυτόχρονη χορήγηση ζευγών πρωτευόντων τόνων σε ενήλικες με φυσιολογική ακοή. Σύγκριση με την κλασική χορήγηση ενός ζεύγους πρωτευόντων τόνων.

Οι Patric Zurek και William Rabinowitz επινόησαν και κατασκεύασαν συσκευή DPOAE με δυνατότητα ταυτόχρονης χορήγησης πολλαπλών ζευγών πρωτευόντων τόνων, με σκοπό την ελάττωση του εξεταστικού χρόνου καταγραφής των DPOAE. Η ανάπτυξη της συσκευής αυτής έγινε στο Ινστιτούτο Τεχνολογίας της Μασαχουσέτης.

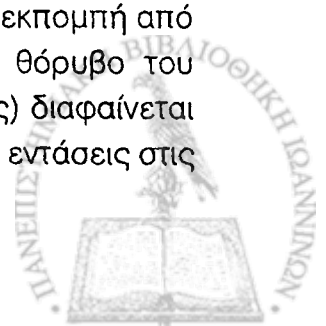
Η από τους ανωτέρω προτεινόμενη τεχνική επιτρέπει τη συλλογή πολλαπλών ωτοακουστικών εκπομπών ταυτόχρονα, χωρίς αυτό να έχει ουσιαστικές επιπτώσεις στην αξιοπιστία και εξειδίκευση της εξέτασης. Το DP-gram που λαμβάνεται από την ταυτόχρονη χορήγηση πολλαπλών ζευγών πρωτευόντων τόνων φαίνεται παρόμοιο με εκείνο που λαμβάνεται όταν τα ζεύγη των πρωτευόντων τόνων χορηγούνται ένα ένα διαδοχικά. Η σημαντική όμως διαφορά σημειώνεται στον εξεταστικό χρόνο μεταξύ των δύο μεθόδων που στις περισσότερες περιπτώσεις μειώνεται στο 1/2 ή στο 1/3 όταν χρησιμοποιείται η ταυτόχρονη χορήγηση⁽¹⁰⁰⁻¹⁰²⁾.

Οι υπάρχουσες αναφορές στη διεθνή βιβλιογραφία είναι ελάχιστες (δύο)^(101,102) και αφορούν ταυτόχρονη χορήγηση 3 ζευγών πρωτευόντων τόνων μόνο. Στη δική μας μελέτη έγινε ταυτόχρονη χορήγηση συνδυασμού 4 και 3 ζευγών πρωτευόντων τόνων (βλέπε πρωτόκολλο ειδικού μέρους). Τα ίδια άτομα (58 ενήλικες με φυσιολογική ακοή) εξετάστηκαν και με την κλασική μέθοδο (χορήγηση ενός ζεύγους πρωτευόντων τόνων) με τα ίδια ζεύγη συχνοτήτων.

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων διαπιστώθηκαν:

- Ως προς τον εξεταστικό χρόνο μείωση που εγγίζει κατά μέσο όρο το 20% και για τις δύο πλευρές. Σημειώνεται ότι (όμως όχι σε όλες τις περιπτώσεις) ο ελάχιστος χρόνος που σημειώθηκε με την ταυτόχρονη χορήγηση ήταν και για τις δύο πλευρές μόλις 5 sec, ενώ με την κλασική μέθοδο 16 sec, δηλαδή μείωση του εξεταστικού χρόνου μέχρι και στο 1/3. Βέβαια σε ορισμένες περιπτώσεις παρατηρήθηκε παρόμοιος χρόνος ή και μεγαλύτερος, γεγονός που θα μπορούσε να αποδοθεί σε δυσχέρεια καταγραφής των εκπομπών στις χαμηλές συχνότητες λόγω του θορύβου του περιβάλλοντος ή του βιολογικού των εξετασθέντων.

- Θετική συσχέτιση μεταξύ των δύο μεθόδων χορήγησης (Seq προς Sim) με προσδιορισμό του παραμετρικού κατά Pearson συντελεστή συσχέτισης r των μεταβλητών Seq και Sim. Η συσχέτιση αυτή είναι μεγαλύτερη στις υψηλές συχνότητες (F_2 1500 και >), ενώ εμφανίζεται ασθενέστερη στις χαμηλές συχνότητες, ιδιαίτερα δε όταν η συχνότητα $F_2=593$ Hz. Η παρατήρηση αυτή αποδίδεται στη δυσκολία του μικροφώνου του ρύγχους της συσκευής να διακρίνει την ωτοακουστική εκπομπή από το θόρυβο του περιβάλλοντος χώρου, αλλά και από το βιολογικό θόρυβο του εξεταζόμενου. Από τα στικτογράμματα επίσης (σχήμα 8 ειδικού μέρους) διαφαίνεται ότι οι τιμές των DPOAE εμφανίζουν μεγαλύτερη διασπορά στις χαμηλές εντάσεις στις



περισσότερες των συχνοτήτων.

-Συνολικά η μέση τιμή έντασης των DPOAE ήταν μεγαλύτερη στις καταγραφές με την κλασική μέθοδο. Η διαφορά των μέσων τιμών μεταξύ των δύο καταγραφών (ταυτόχρονης και κλασικής) βρέθηκε στατιστικά πολύ σημαντική (0.0001) και με πολύ υψηλή τιμή $F=154.53$. Το φαινόμενο αυτό φαίνεται να είναι αποτέλεσμα καταστολής του σήματος που οφείλεται στις βιο-μηχανικές μη γραμμικές ιδιότητες του κοχλίου. Η μέση τιμή της διαφοράς υπολογίσθηκε στα 1.333 το δε εύρος διακύμανσης της διαφοράς από 0.7586 έως 2.2068 dB SPL. Η παρατήρηση αυτή διατυπώθηκε για πρώτη φορά από τον Kim και συν 1997⁽¹⁰¹⁾, όπου όμως χρησιμοποίησε διαφορετικό πρωτόκολλο DPOAE ($L_1=65$, $L_2=50$ dB SPL) και χορηγήθηκαν ταυτόχρονα τρία ζεύγη συχνοτήτων και όχι συνδυασμός 4 και 3 ζευγών.

-Οι μεγαλύτερες διαφορές σημειώθηκαν επί ταυτόχρονης χορήγησης 4 ζευγών συχνοτήτων, όταν δηλαδή το διάστημα συχνοτήτων σε ταυτόχρονη πολλαπλή χορήγηση στενεύει, χωρίς όμως αυτό να είναι απόλυτο.

-Στατιστικά σημαντική διαφορά σημειώθηκε επίσης μεταξύ της έντασης των DPOAE και της μεθόδου χορήγησης και της συχνότητας (επιδρώσες μεταβλητές και οι δύο), αλλά με όμως μικρότερο $F=8.8842$. Από τη γραφική παράσταση των μέσων τιμών και των σταθερών αποκλίσεων των δύο μεθόδων στις διάφορες συχνότητες διαπιστώνεται ότι σε όλες εκτός από εκείνη των 625 Hz η ένταση των DPOAE που λαμβάνονται με τον κλασικό τρόπο χορήγησης είναι μεγαλύτερη, από εκείνη με την ταυτόχρονη χορήγηση είτε 4 ζευγών, είτε 3 ζευγών συχνοτήτων. Όμως η μία καμπύλη παρακολουθεί την άλλη με μικρές διαφορές (που δεν ξεπερνούν τα 2.2 dB SPL). Οι καταγραφές δηλαδή με ταυτόχρονη χορήγηση είτε 4, είτε 3 ζευγών συχνοτήτων "παρακολουθούν" εκείνες της κλασικής μεθόδου, αλλά με ελαφρώς μικρότερες εντάσεις. Όμως οι διαφορές αυτές έστω και αν αριθμητικά είναι μικρές, στατιστικά είναι σημαντικές στο επίπεδο του 0.0001 αλλά με $F=8.8842$. Το γεγονός αυτό καθιστά απαραίτητη την κατάρτιση πινάκων με φυσιολογικές τιμές, όταν χρησιμοποιείται η μέθοδος της ταυτόχρονης χορήγησης πολλαπλών ζευγών πρωτευόντων τόνων.

-Οι μεγαλύτερες εντάσεις των DPOAE σημειώθηκαν και στις δύο μεθόδους στη συχνότητα των 1000 Hz και οι μικρότερες εντάσεις στη συχνότητα των 4031 Hz (υψηλή συχνότητα) και αμέσως μετά στις χαμηλές συχνότητες. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με το μεγάλο επίπεδο θορύβου που παρατηρείται στις χαμηλές συχνότητες (όπως θα δούμε παρακάτω) καθιστά δύσκολες τις καταγραφές των DPOAE στις συχνότητες αυτές (χαμηλές).

Τέλος αναφορικά με την επίδραση της μεθόδου χορήγησης των πρωτευόντων τόνων στο επίπεδο θορύβου των καταγραφών διαπιστώθηκαν τα ακόλουθα:

-Συνολικά η μέση τιμή του επιπέδου θορύβου των DPOAE ήταν μεγαλύτερη στις καταγραφές με την κλασική μέθοδο. Η διαφορά των μέσων τιμών μεταξύ των δύο καταγραφών (ταυτόχρονης και κλασικής) βρέθηκε στατιστικά πολύ σημαντική (0.0001) και με τιμή $F=87.4798$ (Τιμή F μικρότερη εκείνης των εντάσεων). Η μέση τιμή της διαφοράς υπολογίσθηκε στα 2,0917 dB SPL, το δε εύρος διακύμανσης της διαφοράς από 0.10 έως 7.14 dB SPL. Οι μεγαλύτερες διαφορές σημειώθηκαν επί ταυτόχρονης



χορήγησης 4 ζευγών συχνοτήτων, όταν δηλαδή το διάστημα συχνοτήτων σε ταυτόχρονη πολλαπλή χορήγηση στενεύει.

- Στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ του επιπέδου του θορύβου των DPOAE και της μεθόδου χορήγησης και της συχνότητας (επιδρώσες μεταβλητές και οι δύο), αλλά με όμως μικρότερο $F=48.7806$. Από τη γραφική παράσταση των μέσων τιμών και των σταθερών αποκλίσεων του επιπέδου του θορύβου των δύο μεθόδων στις διάφορες συχνότητες διαπιστώνεται ότι σε όλες εκτός από εκείνες των 500 και 2031 Hz το επίπεδο θορύβου των DPOAE με τον κλασικό τρόπο χορήγησης είναι μεγαλύτερο, από εκείνο με την ταυτόχρονη χορήγηση είτε 4 ζευγών, είτε 3 ζευγών συχνοτήτων. Όμως η μία καμπύλη παρακολουθεί την άλλη με διαφορές (που μπορεί να φθάσουν τα 7.14 dB SPL). Οι καταγραφές δηλαδή με ταυτόχρονη χορήγηση είτε 4, είτε 3 ζευγών συχνοτήτων "παρακολουθούν" εκείνες της κλασικής μεθόδου, αλλά με μικρότερο επίπεδο θορύβου, εκτός από δύο συχνότητες (500 και 2031 Hz). Όμως οι διαφορές είναι στατιστικά σημαντικές στο επίπεδο του 0.0001 αλλά με $F=48.7806$. Το γεγονός αυτό καθιστά απαραίτητη την κατάρτιση πινάκων με φυσιολογικές τιμές, επιπέδων θορύβου. Παρατηρείται επίσης τάση αύξησης του επιπέδου του θορύβου καθώς αυξάνεται η συχνότητα από 3187 Hz και πάνω.

- Το αυξημένο επίπεδο θορύβου που σημειώθηκε στις συχνότητες 500 και 2031 Hz με τη μέθοδο της ταυτόχρονης χορήγησης μπορεί να αποδοθεί είτε στα χαρακτηριστικά κατασκευής του ρύγχους της συσκευής, είτε σε επίδραση του θορύβου του περιβάλλοντος εξεταστικού χώρου, είτε σε θόρυβο βιολογικό των εξετασθέντων, είτε σε άλλους αδιευκρίνιστους παράγοντες.

- Τα μεγαλύτερα επίπεδα θορύβου σημειώθηκαν και για τις δύο μεθόδους χορήγησης στις χαμηλές συχνότητες από 406 έως 625 Hz, ενώ τα μικρότερα σε παραπλήσιες συχνότητες (για μεν την ταυτόχρονη χορήγηση στα 1593 Hz, για δε την κλασική στα 2031 Hz).

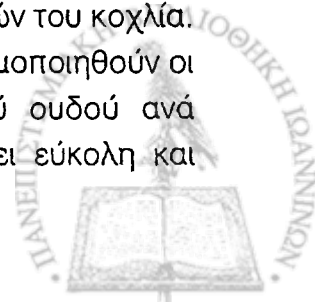
ΣΤ. Ένταση DPOAE και ακουσολογικά ευρήματα στο τονικό ακουόγραμμα.

Πρώτος ο D. Kemp το 1978⁽⁷⁾ διαπίστωσε και απέδειξε ότι οι ωτοακουστικές εκπομπές καταγράφονται μόνο όταν οι ουδοί ακουστικότητας στο τονικό ακουόγραμμα είναι καλύτεροι (μικρότεροι) των 30 dB HL περίπου.

Έκτοτε έχουν γίνει πολλές προσπάθειες από ικανό αριθμό ερευνητών σε πειραματόζωα αλλά και σε ανθρώπους με φυσιολογική ακοή αλλά και με νευροαισθητήριο βαρηκοΐα προκειμένου να συσχετισθεί η ένταση των ωτοακουστικών εκπομπών με τους ουδούς ακουστικότητας στο τονικό ακουόγραμμα (62,64,73,79,80,93,95). Σημειωτέον ότι η κλινική εφαρμογή των ωτοακουστικών εκπομπών άρχισε μόλις το 1988.

Τα αποτελέσματα αυτών των ερευνών αποδείχθηκαν πολύ σημαντικά όχι μόνο για την οριοθέτηση των κλινικών εφαρμογών των ωτοακουστικών εκπομπών αλλά επίσης και για τη συμβολή τους στην κατανόηση των βασικών λειτουργιών του κοχλίου.

Η προσδοκία όλων μας είναι ότι θα υπάρξει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν οι DPOAE, ως αντικειμενικός τρόπος προσδιορισμού του ακουστικού ουδού ανά συχνότητα (αντικειμενικό ακουόγραμμα), γεγονός που θα καταστήσει εύκολη και



ακριβή την ακουολογική εκτίμηση πληθυσμών που σήμερα αξιολογούνται με δυσκολία, όπως τα νεογνά και τα άτομα με νοητική καθυστέρηση.

Οι μέχρι σήμερα παράμετροι των DPOAE που καταμετρώνται προκειμένου να συσχετισθούν με τα ακουολογικά ευρήματα των δοκιμασιών της ακουομετρίας είναι οι ακόλουθοι :

-Η ένταση των DPOAE ανά συχνότητα, που φαίνεται ότι αποτελεί την περισσότερο αξιόλογη και πιο μελετημένη παράμετρο συσχέτισης DPOAE και ουδών ακουοσικότητας του τονικού ακουογράμματος,

-Η μελέτη της αναλογίας της έντασης του ερεθίσματος (input) προς την ένταση της απάντησης (output) (I/O function ή Growth rate), και

-Ο λανθάνων χρόνος των DPOAE.

Από τους παράγοντες αυτούς εμείς ασχοληθήκαμε αποκλειστικά και μόνο με τον πρώτο δηλαδή με την ένταση των DPOAE ανά συχνότητα.

Τα κριτήρια επιλογής του πρωτοκόλλου των DPOAE βασίσθηκαν στις παρακάτω παρατηρήσεις από τη μέχρι σήμερα διεθνή βιβλιογραφία.

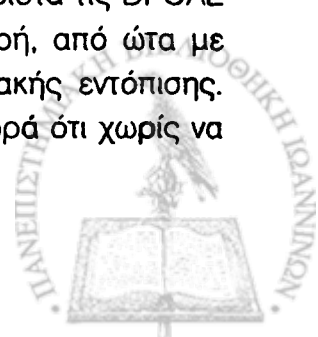
-Μετρήθηκε το προϊόν $2F_1-F_2$ και όχι τα άλλα διότι οι DPOAE στη συχνότητα αυτή εμφανίζουν μεγαλύτερη ένταση^(63,79, 84,103).

-Η σχέση των συχνοτήτων των πρωτευόντων τόνων που επιλέχθηκε και που θεωρείται η ιδανική σχέση, ισούται με $F_2/F_1 = 1.2/1$. Οποιαδήποτε άλλη έχει σαν αποτέλεσμα παραγωγή DPOAE μικρότερης έντασης και επομένως δυσκολότερης ανίχνευσης, ιδίως στις πολύ χαμηλές και τις πολύ υψηλές συχνότητες (αυξημένη πιθανότητα ψευδώς θετικών καταγραφών)^(79, 82).

-Επιλέχθηκε χαμηλή ένταση πρωτευόντων ήχων ($< ή =$ των 65 dB SPL) και με διαφορά 10 dB SPL μεταξύ τους ($L_1=65, L_2=55$) γιατί ο συνδυασμός αυτός αυξάνει την ευαισθησία των εκπομπών στην ανίχνευση μικρού βαθμού βαρηκοΐας, χωρίς να επηρεάζει την ευαισθησία τους στην ανίχνευση μέτριας και μεγάλης βαρηκοΐας^(79,84).

Για τη συσχέτιση του βαθμού βαρηκοΐας του τονικού ακουογράμματος με την ένταση των DPOAE στο DP-gram χρησιμοποιήθηκε η στατιστική μεθοδολογία MANOVA (πολυπαραγοντική ανάλυση διακύμανσης), με εξαρτημένη μεταβλητή την ένταση των DPOAE και επιδρώσες μεταβλητές τη μέθοδο χορήγησης Seq-Sim και το βαθμό βαρηκοΐας σε δύο πληθυσμούς (φυσιολογικά ώτα και ώτα με νευροαισθητήριο βαρηκοΐα). Οι σημαντικότερες μέχρι σήμερα προσπάθειες συσχέτισης ουδών ακουοσικότητας τονικού ακουογράμματος και έντασης DPOAE έχουν γίνει είτε με εφαρμογή της μεθόδου Discriminal Analysis, είτε με εφαρμογή νευρωνικών δικτύων^(93,104).

-Διαπιστώθηκε ότι υπάρχει διαφορά στατιστικά σημαντική μεταξύ των εξετασθέντων με φυσιολογική ακοή (ουδοί ακουοσικότητας $<$ των 20 dB HL) και όλων των υπολοίπων με νευροαισθητήριο βαρηκοΐα (βαθμοί βαρηκοΐας από 1 έως 5, δηλαδή βαρηκοΐα από 25 έως και 100 dB HL). Το γεγονός αυτό καθιστά τις DPOAE μεθοδολογία κατάλληλη για τη διάκριση ωτών με φυσιολογική ακοή, από ώτα με διαφόρων τύπων και βαθμών νευροαισθητηρίων βαρηκοϊών κοχλιακής εντόπισης. Αυτό συμβαίνει και για τις δύο μεθόδους (Seq και Sim) με τη διαφορά ότι χωρίς να



είναι στατιστικά σημαντική η διαφορά, η μέση τιμή της έντασης των DPOAE με τη μέθοδο Sim είναι μικρότερη από εκείνη με τη μέθοδο Seq για όλες τις συχνότητες. Η ταυτόχρονη δηλαδή χορήγηση πολλαπλών ζευγών πρωτευόντων τόνων έχει σα συνέπεια την καταστολή του σήματος των παραγομένων DPOAE, επίδραση που μπορεί να αποδοθεί στις μη γραμμικές βιο-μηχανικές ιδιότητες της βασικής μεμβράνης του κοχλίου. Η παρατήρηση αυτή έγινε, με διαφορετικό όμως πρωτόκολλο (ταυτόχρονη χορήγηση 3 ζευγών πρωτευόντων τόνων), από τους Kim DO και συν το 1997, και επιβεβαιώθηκε από εμάς με χορήγηση 4 ζευγών πρωτευόντων τόνων ταυτοχρόνως⁽¹⁰¹⁾.

-Η στατιστικά σημαντική διαφορά της έντασης των DPOAE που σημειώθηκε μεταξύ των διαφόρων βαθμών βαρηκοΐας αφορά όπως προαναφέραμε τα φυσιολογικά ώτα (βαθμός βαρηκοΐας 0), σε σχέση με όλους τους άλλους βαθμούς, αλλά (σχεδόν σε όλες τις συχνότητες) και τα ώτα με μικρού βαθμού νευροαισθητήριο βαρηκοΐα (25 και 30 dB HL -βαθμός βαρηκοΐας 1-), σε σχέση με τους μεγαλύτερους βαθμούς βαρηκοΐας (3, 4 και 5).

-Δε διαπιστώθηκε διαφορά στατιστικά σημαντική μεταξύ των βαθμών βαρηκοΐας 3, 4 και 5 (βαρηκοΐες μεγαλύτερες των 40 dB HL) σε καμιά συχνότητα. Όταν δηλαδή η βαρηκοΐα είναι 40 dB HL και μεγαλύτερη, οι DPOAE που καταγράφονται έχουν μεγάλες αρνητικές τιμές που δε συσχετίζονται με το βαθμό βαρηκοΐας και που συγχέονται με το επίπεδο του καταγεγραμμένου θορύβου. Έτσι η μέθοδος των DPOAE φαίνεται κατάλληλη για ανίχνευση νευροαισθητηρίων βαρηκοϊών που δεν ξεπερνούν τα 30-35 dB HL, ενώ αδυνατεί να προσδιορίσει αξιόπιστα μεγαλύτερες βαρηκοΐες.

-Δυνατότητα διάκρισης και του 2^{ου} βαθμού βαρηκοΐας από τους μεγαλύτερους 3, 4 και 5 σημειώθηκε μόνο για τη συχνότητα των 1000 Hz του τονικού ακουογράμματος. Και αυτό το γεγονός θα πρέπει να αποδοθεί στις βιο-μηχανικές μη γραμμικές ιδιότητες της βασικής μεμβράνης του κοχλίου (ως γνωστόν η ιδιοσυχνότητα του ωτός είναι τα 1000 Hz).

Σχετικά με τον εξεταστικό χρόνο διαπιστώθηκε σημαντική μείωση της μέσης τιμής του εξεταστικού χρόνου μεταξύ των δύο μεθόδων που ανέρχεται, στα ώτα με φυσιολογική ακοή, στο 20% (μέση τιμή Seq: 24 sec, μέση τιμή Sim: 19 sec). Η διαφορά αυτή είναι κατά πολύ μεγαλύτερη στα ώτα με νευροαισθητήριο βαρηκοΐα (μέση τιμή Seq: 56 sec, μέση τιμή Sim: 31 sec).



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων των καταγραφών των DPOAE εξάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα:

1. Η ένταση των DPOAE επηρεάζεται σημαντικά από την ηλικία (αρνητική συσχέτιση). Κρίνεται απαραίτητη η κατάρτιση πινάκων με φυσιολογικές τιμές έντασης/ηλικίας προκειμένου να αξιολογείται η ένταση των DPOAE ορθά και να γίνεται διαφορική διάγνωση των ώτων με νευροαισθητήριες βαρηκοΐες από τα φυσιολογικά.

2. Η πλευρά (δεξιά ώτα - αριστερά ώτα) δεν επιδρά στην ένταση των DPOAE όποια και να είναι η μέθοδος χορήγησης των πρωτευόντων τόνων.

3. Το φύλο (άρρεν - θήλυ) δεν επιδρά στην ένταση των DPOAE όποια και να είναι η μέθοδος χορήγησης των πρωτευόντων τόνων.

4. Η μέθοδος πολλαπλής χορήγησης πρωτευόντων τόνων (Simultaneous-Sim) σε σχέση με την κλασική μέθοδο χορήγησης ενός ζεύγους συχνοτήτων (Sequential-Seq) εμφανίζει:

- Εντάσεις DPOAE μικρότερες σε όλες τις συχνότητες.
- Επίπεδο θορύβου καταγραφής DPOAE μικρότερο στις περισσότερες συχνότητες.
- Διαφορές εντάσεων DPOAE που είναι στατιστικά σημαντικές στα ώτα με φυσιολογική ακοή, γεγονός που καθιστά αναγκαία την κατάρτιση πινάκων με φυσιολογικές τιμές.

5. Οι καταγραφές των DPOAE επηρεάζονται από το θόρυβο του περιβάλλοντος, από το βιολογικό θόρυβο του εξεταζομένου και από τις τεχνικές προδιαγραφές του ρύγχους της συσκευής που χρησιμοποιείται. Κρίνεται απαραίτητη ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιείται η μέθοδος χορήγησης πολλαπλών ζευγών πρωτευόντων τόνων η κατάρτιση πινάκων με φυσιολογικές τιμές τόσο για τις εντάσεις των DPOAE όσο και για τα επίπεδα θορύβου της καταγραφής.

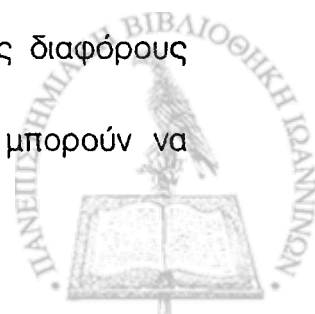
6. Οι καταγραφές που προκύπτουν με την ταυτόχρονη χορήγηση πολλαπλών ζευγών πρωτευόντων τόνων 'παρακολουθούν' εκείνες που λαμβάνονται με τη διαδοχική χορήγηση ενός ζεύγους πρωτευόντων τόνων των ιδίων συχνοτήτων, αλλά παρουσιάζουν το πλεονέκτημα της μείωσης του εξεταστικού χρόνου. Η μείωση αυτή μπορεί να φθάσει έως και το 1/3 του εξεταστικού χρόνου.

7. Η μείωση του εξεταστικού χρόνου που παρατηρείται με την ταυτόχρονη χορήγηση πολλαπλών ζευγών πρωτευόντων τόνων είναι μεγαλύτερη στα ώτα με νευροαισθητήριο βαρηκοΐα.

8. Μεταξύ των ουδών ακουστικότητας του τονικού ακουογράμματος και των εντάσεων των DPOAE του DP-gram, στην ομάδα των εξετασθέντων με φυσιολογική ακοή ανεξαρτήτου ηλικίας, διαπιστώθηκε αρνητική συσχέτιση σε όλες ανεξαιρέτως τις συχνότητες.

9. Αναφορικά με τη δυνατότητα των DPOAE να διακρίνουν τους διάφορους βαθμούς βαρηκοΐας διαπιστώθηκαν τα ακόλουθα:

- Και οι δύο μέθοδοι χορήγησης των πρωτευόντων τόνων, μπορούν να



διακρίνουν τα ώτα με φυσιολογική ακοή (ουδοί στο τονικό ακουόγραμμα μικρότεροι ή ίσοι των 20 dB HL) από εκείνα με διαφόρων βαθμών και αιτιολογίας κοχλιακού τύπου βαρηκοϊών.

- Παρομοίως μπορούν να διακρίνουν και τα ώτα με μικρού βαθμού νευροαισθητήριο βαρηκοϊά (25-30 dB HL) από εκείνα με μεγαλύτερων βαθμών νευροαισθητήριες βαρηκοϊές (μεγαλύτερες ή ίσες των 35 dB HL).

- Όταν ο βαθμός της νευροαισθητηρίου βαρηκοϊας εγγίζει και ξεπερνά τα 40 dB HL, τότε οι τιμές έντασης των DPOAE (και για τις δύο μεθόδους χορήγησης) καθίστανται αρνητικές με μεγάλη απόλυτη τιμή ανεξάρτητα του βαθμού βαρηκοϊας και συγχέονται με το επίπεδο θορύβου της καταγραφής. Πρακτικώς δηλαδή οι DPOAE δεν ανιχνεύονται όταν ο ουδός ακουστικότητας είναι μεγαλύτερος ή ίσος των 40 dB HL.



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΩΤΟΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΤΥΠΟΥ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΤΗ ΔΙΑΓΝΩΣΗ ΤΩΝ ΚΟΧΛΙΑΚΟΥ ΤΥΠΟΥ ΒΑΡΗΚΟΪΩΝ

ΝΑΥΣΙΚΑ Β. ΖΙΑΒΡΑ

Σκοπός

α) Ο προσδιορισμός της έντασης των ωτοακουστικών εκπομπών τύπου προϊόντων παραμόρφωσης (DPOAE) και η επίδραση σ' αυτήν του φύλου, της πλευράς (δεξιά και αριστερά ώτα) και της ηλικίας σε ελληνικό πληθυσμό με φυσιολογική ακοή.

β) Η συσχέτιση μεταξύ του ουδού ακουστικότητας του τονικού ακουογράμματος και της έντασης των DPOAE του DP-gram σε άτομα με φυσιολογική ακοή.

γ) Η σύγκριση της μεθόδου ταυτόχρονης χορήγησης πολλαπλών ζευγών πρωτευόντων τόνων προς την κλασική μέθοδο χορήγησης ενός ζεύγους, σε άτομα με φυσιολογική ακοή και σε ασθενείς με κοχλιακού τύπου νευροαισθητήριο βαρηκοΐα διαφόρων αιτιολογιών. Επίδραση της μεθόδου ταυτόχρονης χορήγησης πολλαπλών ζευγών πρωτευόντων τόνων στην ένταση, στο επίπεδο θορύβου καταγραφής και στον εξεταστικό χρόνο των DPOAE.

δ) Η διερεύνηση της δυνατότητας συσχέτισης των διαφόρων βαθμών βαρηκοΐας του τονικού ακουογράμματος με την ένταση των DPOAE του DP-gram. Απάντηση στο ερώτημα αν μπορούν οι ωτοακουστικές εκπομπές να αντικαταστήσουν το τονικό ακουόγραμμα, να αποτελέσουν δηλαδή το πολυπόθητο "αντικειμενικό ακουόγραμμα".

Υλικό - Μέθοδος

Συνολικά υποβλήθηκαν σε ακουολογικό έλεγχο 270 ώτα (184 με φυσιολογική ακοή και 86 με νευροαισθητήριο βαρηκοΐα). Το σύνολο των εξετασθέντων ανήλθε στους 147 (92 με φυσιολογική ακοή και 55 με νευροαισθητήριο βαρηκοΐα).

Ο ακουολογικός έλεγχος περιελάμβανε δοκιμασίες με τονοδότες, τονικό ακουόγραμμα, τυμπανόγραμμα και καταγραφή των ακουστικών αντανakλαστικών και καταγραφή ωτοακουστικών εκπομπών τύπου προϊόντων παραμόρφωσης (DPOAE). Η καταγραφή των DPOAE έγινε με δύο τρόπους: α) με την κλασική μέθοδο χορήγησης ενός ζεύγους πρωτευόντων τόνων και β) με ταυτόχρονη χορήγηση πολλαπλών ζευγών πρωτευόντων τόνων.

Αποτελέσματα

Πρώτη ενότητα.

A. Επίδραση της ηλικίας στην ένταση των DPOAE.

Σε όλες τις συχνότητες παρατηρήθηκε αρνητική συσχέτιση έντασης των DPOAE και ηλικίας των εξετασθέντων. Οι DPOAE εμφανίζουν τη μεγαλύτερή τους ένταση στη νηπιακή και παιδική ηλικία, ενώ σημειώνεται προοδευτική μείωση της έντασής τους με την αύξηση της ηλικίας.



B. Επίδραση του φύλου στην ένταση των DPOAE.

Δε διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του φύλου στην ένταση των DPOAE αν και παρατηρήθηκε κυρίως στην περιοχή των υψηλών συχνοτήτων τάση υπεροχής της έντασης των DPOAE των ώτων των θηλέων έναντι των ώτων των αρρένων.

Γ. Επίδραση της πλευράς στην ένταση των DPOAE.

Δε διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση της πλευράς στην ένταση των DPOAE.

Δ. Επίδραση του ουδού ακουστικότητας στην ένταση των DPOAE (φυσιολογικά ώτα μόνο).

Διαπιστώθηκε αρνητική συσχέτιση της έντασης των DPOAE με τον ουδό ακουστικότητας του τονικού ακουογράμματος για όλες τις συχνότητες, που όμως ήταν ισχυρότερη στις υψηλές συχνότητες (2-4 KHz).

E. DPOAE. Ταυτόχρονη χορήγηση πολλαπλών ζευγών πρωτευόντων τόνων (Sim) σε ενήλικες με φυσιολογική ακοή. Σύγκριση με την κλασική χορήγηση ενός ζεύγους πρωτευόντων τόνων (Seq).

Διαπιστώθηκε:

1. Μείωση του εξεταστικού χρόνου που φθάνει ανεξάρτητα πλευράς το 20%, με χορήγηση των πρωτευόντων τόνων με τη Sim μέθοδο.

2. Θετική συσχέτιση της έντασης των DPOAE μεταξύ των δύο μεθόδων χορήγησης των πρωτευόντων τόνων (Seq-Sim).

3. Μέση τιμή έντασης των DPOAE μεγαλύτερη με την κλασική μέθοδο χορήγησης των πρωτευόντων τόνων.

4. Ότι οι καταγραφές της έντασης των DPOAE με τη Sim μέθοδο χορήγησης των πρωτευόντων τόνων "παρακολουθούν" εκείνες της κλασικής μεθόδου αλλά με ελαφρώς μικρότερες εντάσεις.

5. Μέση τιμή επιπέδου θορύβου καταγραφής των DPOAE μεγαλύτερη με την κλασική μέθοδο χορήγησης των πρωτευόντων τόνων.

6. Ότι οι καταγραφές του επιπέδου θορύβου με τη Sim μέθοδο χορήγησης των πρωτευόντων τόνων "παρακολουθούν" εκείνες της κλασικής μεθόδου αλλά με ελαφρώς μικρότερα επίπεδα θορύβου καταγραφής σε όλες σχεδόν τις συχνότητες.

Δεύτερη ενότητα.

Ένταση DPOAE και ακουολογικά ευρήματα στο τονικό ακουόγραμμα.

Διαπιστώθηκε:

1. Διαφορά στατιστικά σημαντική μεταξύ των εντάσεων των DPOAE των εξετασθέντων με φυσιολογική ακοή και όλων των υπολοίπων με νευροαισθητήριο βαρηκοΐα.

2. Διαφορά στατιστικά σημαντική μεταξύ των εντάσεων των DPOAE των ώτων με μικρού βαθμού νευροαισθητήριο βαρηκοΐα και όλων των υπολοίπων με μεγαλύτερους βαθμούς βαρηκοΐας.

3. Διαφορά μη στατιστικά σημαντική μεταξύ των εντάσεων των DPOAE που καταγράφηκαν για τους βαθμούς βαρηκοΐας 3, 4, και 5 σε όλες τις συχνότητες.

4. Δυνατότητα διάκρισης και του 2ου βαθμού βαρηκοΐας από τους μεγαλύτερους



3, 4 και 5 μόνο για τη συχνότητα των 1000 Hz του τονικού ακουογράμματος.

Συμπεράσματα

Η ένταση των DPOAE επηρεάζεται αρνητικά από την ηλικία, ενώ η πλευρά και το φύλο δεν έχουν καμιά επίδραση σ' αυτή. Η Sim μέθοδος χορήγησης πρωτευόντων τόνων σε σχέση με την κλασική (Seq) εμφανίζει εντάσεις DPOAE μικρότερες σε όλες τις συχνότητες και μικρότερα επίπεδα θορύβου καταγραφής, επίσης σε όλες σχεδόν τις συχνότητες.

Οι καταγραφές των DPOAE επηρεάζονται από το θόρυβο του περιβάλλοντος, από το βιολογικό θόρυβο του εξεταζομένου και από τις τεχνικές προδιαγραφές του ρύγχους της συσκευής. Οι καταγραφές που λαμβάνονται με τη Sim μέθοδο χορήγησης των πρωτευόντων τόνων "παρακολουθούν" εκείνες που λαμβάνονται με την κλασική αλλά εμφανίζουν το πλεονέκτημα της μείωσης του εξεταστικού χρόνου.

Η μείωση του εξεταστικού χρόνου που παρατηρείται με τη Sim μέθοδο χορήγησης είναι μεγαλύτερη στα ώτα με νευροαισθητήριο βαρηκοΐα.

Και οι δύο μέθοδοι χορήγησης πρωτευόντων τόνων μπορούν να διακρίνουν τα ώτα με φυσιολογική ακοή και μικρού βαθμού νευροαισθητήριο βαρηκοΐα από εκείνα με μεγαλύτερων βαθμών κοχλιακού τύπου βαρηκοΐα. Όταν ο βαθμός της νευροαισθητηρίου βαρηκοΐας εγγίζει και ξεπερνά τα 40 dB HL τότε οι τιμές έντασης των DPOAE (και για τις δύο μεθόδους χορήγησης) καθίστανται αρνητικές με μεγάλη απόλυτη τιμή, ανεξάρτητα του βαθμού βαρηκοΐας και συγχέονται με το επίπεδο θορύβου της καταγραφής. Καθίστανται δηλαδή οι DPOAE μη ανιχνεύσιμες.



ABSTRACT

THE CONTRIBUTION OF DPOAE IN DIAGNOSIS OF COCHLEAR TYPE SENSORINEURAL HEARING LOSS

NAFSIKA V. ZIAVRA

Objective

a). The influence of gender, side and age on DPOAE amplitude in normal-hearing Greek population.

b). The correlation between DPOAE and audiometric outcomes in normal population.

c). Comparison between simultaneous condition (multiple pairs method) and single condition (one tone pair) in normal and cochlear-impaired ears. The influence of multiple pairs method on amplitude, noise level and examination time of DPOAE.

d). Comparison of audiometric configuration with DPOAE amplitudes of DP-gram. Answer to the question: can DP-gram replace pure tone audiogram (can DP-gram become the desirable objective audiogram).

Materials and methods

270 ears underwent audiological evaluation (184 with normal hearing and 86 with sensorineural hearing loss of cochlear origin). Totally 147 persons were examined (92 with normal hearing and 45 with sensorineural hearing loss). Audiological examination included Weber and Rinne tests, pure tone audiometry, impedance audiometry (tympanometry, acoustic reflexes) and DPOAE recording. DPOAE recording was done both with single tone pair and simultaneous tone pairs methods.

Results

A. First unity.

Influence of age on DPOAE amplitude:

In all the frequencies negative correlation was observed between age and DPOAE amplitude. DPOAE tend to be larger in neonates and infants and decreased with increasing age.

Influence of gender on DPOAE amplitude:

Not statistical significant influence of gender was found on DPOAE amplitude. However DPOAE were slightly greater for women, particularly for high frequencies.

Influence of side on DPOAE amplitude:

Not statistical significant influence of side was found on DPOAE amplitude.

Influence of the hearing thresholds on DPOAE amplitude (normal ears only):

Negative correlation was found between DPOAE amplitude and pure tone audiogram thresholds for all the frequencies, which was stronger in high frequencies (2-4KHZ).

Simultaneous multiple pairs method (Sim) in adults with normal hearing. Comparison with the one tone pair method (Seq):

Our data revealed:



Reduction of the examination time up to 20%, independently of side, when the Sim method is used.

Positive correlation of DPOAE amplitude between one tone pair method and multiple tone pairs method (seq-sim).

Larger mean values of DPOAE amplitude when the Sim method is used.

Recordings of DPOAE amplitude with Sim method similar with those of Seq method with slightly lower values.

Mean values of noise level of DPOAE recordings larger when Seq method is used.

Recordings of noise level with Sim method similar of those of Seq with slightly lower values in almost all the frequencies.

B. Second unity.

A. DPOAE amplitude and audiometric outcomes.

Our data revealed:

Statistical significant difference between DPOAE amplitude of subjects with normal hearing and subjects with sensorineural hearing loss.

Statistical significant difference was noticed between DPOAE amplitudes of ears with low degree of sensorineural hearing loss and ears with higher degrees of hearing loss.

No statistical significant difference between DPOAE amplitudes which were recorded for 3, 4 and 5 degrees of hearing loss.

Possibility of discrimination of the 2nd degree of hearing loss from the 3rd, 4th and 5th for the frequency of 1000 Hz of the pure tone audiogram.

Conclusions

DPOAE amplitude is negatively influenced from age, while side and gender do not influence it. Sim method appears DPOAE amplitudes lower than Seq method in all frequencies as also lower noise level in almost all frequencies.

DPOAE recordings are affected by surrounding noise, biological noise of the subject and from technical specifications of the probe. Recordings that are selected with Sim method are similar of those of Seq but their examination time is shorter. The reduction of the examination time noticed with the Sim method is bigger in ears with sensorineural hearing loss.

Both methods can discriminate ears with normal hearing and low degree of sensorineural hearing loss from those with higher degrees of cochlear hearing loss.

When the degree of sensorineural hearing loss is 40 dB HL or more (in both methods) then DPOAE amplitudes become negative, independently of the degree of hearing loss and are confused with noise level of the recording, making DPOAE not detectable.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Bekesy von G. The vibration of the cochlear partition in anatomical preparations and in models of the inner ear. *J Acoust Soc Am* 1949; 21: 233-45.
2. Bekesy von G. Experiments in hearing (EG Wever, trans and ed) McGraw-Hill, New York, 1960.
3. Bekesy von G. Resting potentials inside the cochlear partition of the guinea pig. *Nature* 1952; 169: 241-242.
4. Gold T. Hearing II: The physical basis of the action of the cochlea. Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences 1948;135: 492-8.
5. Gold T. Historical background to the proposal 40 years ago of an active model for cochlear frequency analysis. In: JP Wilson and DT Kemp (eds), "Cochlear mechanisms: structure, function and models", New York, Plenum 1989; pp: 299-306.
6. Kemp DT, Martin JA. Active resonant systems in audition. Abstracts of XIIIth International Congress of Audiology, Florence, Italy 1976; 64-5.
7. Kemp DT. Stimulated acoustic emissions from within the human auditory system. *J Acoust Soc Am* 1978; 64: 1386-91.
8. Kemp DT. Towards a model for the origin of cochlear echoes. *Hear Res* 1980; 2: 533-48.
9. Kemp DT. Evidence of mechanical nonlinearity and frequency selective wave amplification in cochlea. *Arch Otorhinolaryngol* 1979a; 224: 37-45.
10. Kemp DT. The evoked cochlear mechanical response of the auditory microstructure in models of the auditory system and related signal processing techniques. *Scand Audiol* 1979b; 9: 35-47.
11. Kemp DT, Bray P, Alexander L, Brown AM. Acoustic emissions cochleography: practical aspects. *Scand Audiol* 1986; 25 (Suppl): 71-82.
12. Kemp DT. Otoacoustic emissions in perspective. In: Martin S Robinette and Theodore J Clatke (eds), "Otoacoustic Emissions-Clinical Applications", Thieme, New York 1997; pp: 1-21.
13. Flock A. Contractile proteins in hair cells. *Hear Res* 1980; 2: 411-2.



14. Le Page E, Johnstone B. Nonlinear mechanical behavior of the basilar membrane in the basal turn of the guinea pig cochlea. *Hear Res* 1980; 2: 183-9.
15. Zwislocki JJ. Theory of cochlear mechanics. *Hear Res* 1980; 2: 171-82.
16. Brownell WE. Observations on a motile response in isolated outer hair cells. In: W Webster and L Aitkin (eds), "Mechanisms of hearing" Monash University Press, Clayton, Australia, 1983; pp: 5-10.
17. Brownell WE. Microscopic observation of cochlear hair cell motility. *Scan Electron Microsc* 1984; 3: 1401-6.
18. Brownell WE, Bader CR, Bertrand D, de Ribaupierre Y. Evoked mechanical responses of isolated cochlear outer hair cells. *Science* 1985; 227: 194-6.
19. Brownell WE. Outer hair cell electromotility and otoacoustic emissions. *Ear Hear* 1990;11: 82-92.
20. Α. Σκεύας. Επίτομη Ωτορινολαρυγγολογία. Ιωάννινα 1997, σελ: 39-43.
21. Pickles JO, Comis SD, Osborne MP. Cross-links between stereocilia in the guinea pig organ of Corti and their possible relation to sensory transudation. *Hear Res* 1984;15:103-12.
22. Kimura RS. Hairs of the cochlear sensory cells and their attachment to the tectorial membrane. *Acta Oto-Laryngol* 1966; 61: 55-72.
23. Kiang NY-S, Rho JM, Northrop CC, Liberman MC, Ryugo DK. Hair cell innervation by spiral ganglion cells in adult cats. *Science* 1982; 217: 175-7.
24. Rasmussen G. The olivary peduncle and other projections of the superior olivary complex. *J Comp Neurol* 1946; 84: 141-219.
25. Warr WB, Guinan JJ Jr. Efferent innervation of the organ of Corti: two separate systems. *Brain Res* 1979; 173: 152-5.
26. Warr WB. Organization of olivocochlear efferent system in mammals. In: Wester, DB ed, *Mammalian Auditory Pathway: Neuroanatomy*, Springer Handbook of Auditory Research 1992; pp: 410-48.
27. Hudspeth AJ, Corey DP. Sensitivity, polarity and conductance change in the



response of vertebrate hair cells to controlled mechanical stimuli. Proceedings of the National Academy of Sciences 1977; 74: 2407-11.

28. Russell IJ, Richardson GP, Cody AR. Mechanosensitivity of mammalian auditory hair cells in vitro. Nature 1986; 321: 517-9.

29. Dallos P. The active cochlea. J Neurosci 1992; 12: 4575-85.

30. Dallos P, Billone MC, Durrant JD, Wang C-Y, Raynot S. Cochlear inner and outer hair cells : functional differences. Science 1972; 177: 356-8.

31. Ruggero MA. Distortion in those good vibrations. Curr Biol 1993; 3: 755-8.

32. Rhode WW. Observations of the vibrations of the basilar membrane in squirrel monkeys using the Mossbauer technique. J Acoust Soc Am; 49: 1218-31.

33. Ruggero MA, Rich NC. Application of a commercially manufactured Doppler shift laser velocimeter to the measurement of basilar membrane vibration. Hear Res 1991; 51: 215-30.

34. Offner DL, Dallos P, Cheatham MA. Positive endocochlear potential: Mechanism of production by marginal cells of the stria vascularis. Hear Res 1987; 29: 117-24.

35. Ryan AF, Watts AG. Expression of genes coding for α and β isoforms of Na/K-ATPase in the cochlea of the rat. Mol Cell Neurosci 1991; 2: 179-87.

36. Marcus DC, Takeuchi S, Wangemann P. Ca²⁺-activated nonselective cation channel in apical membrane of vestibular dark cells. Am J Physiol 1992; 262: 1423-9.

37. Dallos P, Santos-Sacchi J, Flock A. Intracellular recordings from cochlear outer hair cells. Science 1982; 218: 582-4.

38. Russell IJ, Sellick PM. Intracellular studies of hair cells in the mammalian cochlea. J Physiol 1977; 284: 261-90.

39. Dallos P, Wang C-Y. Bioelectric correlates of kanamycin intoxication. Audiology 1974; 13: 277-89.

40. Dallos P. Response characteristics of mammalian cochlear hair cells. J Neurosci 1985; 5: 1591-1608.

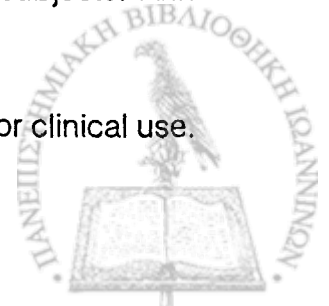
41. Hudspeth AJ. Extracellular current flow and the site of transduction by vertebrate hair cells. J Neurosci 1982; 2: 1-10.



42. Davis H. An active process in cochlear mechanics. *Hear Res* 1983; 9: 79-90.
43. Ryan AF, Dallos P. The physiology of the cochlea. In : J Northern (ed) "Hearing disorders", 3rd ed, Allyn and Bacon, Boston, 1996; pp: 15-31.
44. Harrison RV, Evans EF. Cochlear fibre responses in guinea pigs with well defined cochlear lesions. *Scand Audiol* 1979; (Suppl): 83-92.
45. Santos-Sacchi J. Reversible inhibition of voltage-dependent outer hair cell motility and capacitance. *J Neurosci* 1991; 11: 3096-110.
46. Dallos P, Evans BN, Hallworth R. Nature of the motor element in electrokinetic shape changes of cochlear outer hair cells. *Nature* 1991; 350: 155-7.
47. Kalinic F, Holley M, Iwasa KH, Lim DJ, Kachar B. Force generation mechanism in the plasma membrane of auditory sensory cells. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 1992; 89: 8671-5.
48. Ohnishi S, Hara M, Inoue M, Yamashita T, Kumazawa T, Minato A, Inagaki C. Delayed shortening and shrinkage of cochlear outer hair cells. *Am J Physiol* 1992; 263: 1088-95.
49. Zenner HP. Motility of outer hair cells as an active, actin-mediated process. *Acta Oto-Laryngol* 1988; 105: 39-44.
50. Dieler R, Shehata-Dieler WE, Brownell WE. Concomitant salicylate-induced alterations of outer hair cell subsurface cisterna and electromotility. *J Neurocytol* 1991; 20: 637-53.
51. Iwasa KH, Kachar B. Fast in vitro movements of outer hair cells in an external electrical field: Effect of digitonin, a membrane permeabilizing agent. *Hear Res* 1989; 40: 246-54.
52. Santos-Sacchi J, Dilger JP. Whole cell currents and mechanical responses of isolated outer hair cells. *Hear Res* 1988; 35: 143-50.
53. Iwasa KH, Chandwick RS. Elasticity and force generation of cochlear outer hair cells. *J Acoust Soc Am* 1992; 92: 3169-73.
54. Ryan FA, Dallos P. Absence of cochlear outer hair cells: effect on behavioral auditory thresholds. *Nature* 1975; 253: 44-6.



55. Mammano F, Ashmore JF. Reverse transduction measured in the isolated cochlea by laser Michaelson interferometry. *Nature* 1993; 365: 838-41.
56. Harris D. Action potential suppression, tuning curves and thresholds: comparison with single fiber data. *Hear Res* 1979; 1: 133-41.
57. Dallos P. Some electrical circuit properties of the organ of Corti: I. Analysis without reactive elements. *Hear Res* 1983; 12: 89-119.
58. Kuriyama H, Albin RL, Altschuler RA. Expression of NMDA-receptor mRNA in the rat cochlea. *Hear Res* 1993; 69: 215-20.
59. Kiang NY-S, Watanabe T, Thomas EC, Clark LF. Discharge patterns of single fibers in the cat's auditory nerve. MIT Press, Cambridge, MA 1965.
60. Brown MC, Berglund AM, Kiang NY-S, Ryungo DK. Central trajectories of type II spiral ganglion neurons. *J Comp Neurol* 1988;278:581-90.
61. Ryan AF. New views of cochlear function. In: Martin S Robinette and Theodore J Glatke (eds) "Otoacoustic Emissions-Clinical Applications", Thieme, New York, 1997; pp: 22-45.
62. Kemp DT, Ryan S, Bray P. A guide to the effective use of otoacoustic emissions. *Ear Hear* 1990; 11: 93-105.
63. Kemp DT, Brown AM. Ear canal acoustic and round window correlates of 2f1-f2 distortion generated in the cochlea. *Hear Res* 1984; 13: 39-46.
64. Gorga MP, Neely ST, Bergman BM, Beauchaine KL, Kaminski JR, Peters J, Jesteadt W. Otoacoustic emissions from normal-hearing and hearing-impaired subjects: distortion product responses. *J Acoust Soc Am* 1993a; 93: 2050-60.
65. Whitehead ML, Stagner BB, Lonsbury-Martin BL, Martin GK. Effects of ear-canal standing waves on measurements of distortion-product otoacoustic emissions. *J Acoust Soc Am* 1995c; 98: 3200-14.
66. Lonsbury-Martin BL, Harris FP, Hawkins MD, Stagner BB, Martin GK. Distortion-product emissions in humans: I. Basic properties in normally hearing subjects. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1990; 99 (Suppl 147): 3-14.
67. Bonfils P, Avan P. Distortion-product otoacoustic emissions: values for clinical use.



Arch Otolaryngol Head Neck Surg 1992; 118: 1069-76.

68. Brown AM, McDowell B, Forge A. Acoustic distortion products can be used to monitor the effects of chronic gentamycin treatment. *Hear Res* 1989; 42: 143-56.

69. Durrant JD. Distortion-product OAE analysis: is it ready to broad clinical use? *Hear J* 1992; 45: 42-55.

70. Gaskill SA, Brown AM. The behavior of the acoustic distortion product, 2f1-f2, from the human ear and its relation to auditory sensitivity. *J Acoust Soc Am* 1990; 88: 821-839.

71. Harris FP. Distortion-product otoacoustic emissions in humans with high-frequency sensorineural hearing loss. *J Speech Hear Res* 1990; 33: 594-600.

72. Kim DO, Paparello J, Jung MD, Smurzynski J, Sun X. Distortion product otoacoustic emission test of sensorineural hearing loss: performance regarding sensitivity, specificity and receiver operating characteristics. *Acta Otolaryngol (Stockh)* 1996; 116: 3-11.

73. Kimberley BP, Nelson DA. Distortion product emissions and sensorineural hearing loss. *J Otolaryngol* 1989; 18: 365-9.

74. Kowalska S, Sulkowski W. Measurements of distortion product otoacoustic emissions in industrial workers with noise-induced hearing loss. Proceedings of the 1st European Conference of Protection Against Noise (PAN 98) Concerted Action, 21st June 1996, Bari.

75. Kumagai S. Distortion-product otoacoustic emissions in kanamycin-treated guinea pig cochlea. *Nippon Jibiinkoka Gakkai Kaiho* 1995; 98: 368-79.

76. Lonsbury-Martin BL, Whitehead ML, Martin GK. Clinical applications of otoacoustic emissions. *J Speech Hear Res* 1991; 34: 964-81.

77. Lonsbury-Martin BL, Martin GK. The clinical utility of distortion-product otoacoustic emissions. *Ear Hear* 1990; 11: 144-54.

78. Lonsbury-Martin BL, Whitehead ML, Martin GK. Distortion-product otoacoustic emissions in normal and impaired ears: insight into generation processes. In: JHJ Allum, DJ Allum-Mecklenburg, FP Harris, R Probst (eds), *Prog Brain Res*, Amsterdam: Elsevier Science 1993; 97: pp: 77-90.



79. Lonsbury-Martin BL, Martin GK, Whitehead ML. Distortion product otoacoustic emissions. In: Martin S Robinette and Theodore J Glattke (eds) "Otoacoustic emissions. Clinical applications", Thieme, New York 1997; pp: 83-109.
80. Martin GK, Ohlms LA, Franklin DJ, Harris FP, Lonsbury-Martin BL. Distortion-product emissions in humans: III. Influence of sensorineural hearing loss. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1990; 99 (Suppl 147): 29-44.
81. Probst R, Harris FP. Transiently evoked and distortion-product otoacoustic emissions. Comparison of results from normally hearing and hearing-impaired human ears. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 1993b; 119: 858-60.
82. Harris FP, Lonsbury-Martin BL, Stagner BB, Coats CA, Martin GK. Acoustic distortion products in humans: systematic changes in amplitude as a function of f_2/f_1 ratio. *J Acoust Soc Am* 1989; 85: 220-9.
83. Harris FP, Probst R, Xu L. Suppression of the $2f_1-f_2$ otoacoustic emission in humans. *Hear Res* 1992; 64: 133-141.
84. Harris FP, Probst R, Plinkert P, Xu L. Influence of interference tones on $2f_1-f_2$ acoustic distortion products. In: H Duifhuis, JW Horst, P van Dijk, et al (eds), "Proceedings from the international symposium on biophysics of hair cell sensory systems", London, World Scientific 1993; pp: 87-93.
85. Harris FP, Probst R. Reporting click-evoked and distortion-product otoacoustic emission results with respect to the pure-tone audiogram. *Ear Hear* 1991; 12: 399-405.
86. Smurzynski J, Leonard G, Kim DO, Lafreniere DC, Jung MD. Distortion product otoacoustic emissions in normal and impaired adult ears. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 1990; 116: 1309-16.
87. Suckfull M, Schneeweis S, Dreher A, Schorn K. Evaluation of TEOAE and DPOAE measurements for the assessment of auditory thresholds in sensorineural hearing loss. *Acta Otolaryngol* 1996; 116: 528-33.
88. Pickles JO: Active mechanical processes in the cochlea: Cochlear emissions. In: "An Introduction to the Physiology of Hearing", 2nd ed, Academic, London 1988; 141-145.
89. Brown AM, Kemp DT: Suppressibility of the $2f_1-f_2$ stimulated acoustic emissions in gerbil and man. *Hear Res* 1984; 13: 29-37.



90. Spektor Z, Leonard G, Kim DO, Jung MD, Smurzynski J: Otoacoustic emissions in normal and hearing impaired-children and normal adults. *Laryngoscope* 1991; 101: 965-976.
91. Smurzynski J, Kim DO: Distortion-product and clic-evoked otoacoustic emissions of normally-hearing adults. *Hear Res* 1992; 58: 227-240.
92. Nelson DA, Kimberley BP. Distortion-product emissions and auditory sensitivity in human ears with normal hearing and cochlear hearing loss. *J Speech Hear Res* 1992; 35: 1142-59.
93. Kimberley BP, Hernadi I, Lee AM, Brown DK. Predicting pure-tone thresholds in normal and hearing-impaired ears with distortion product emission and age. *Ear Hear* 1994; 15: 199-209.
94. Lonsbury-Martin BL, Cutler WM, Martin GK. Evidence for the influence of aging on distortion-product otoacoustic emissions in humans. *J Acoust Soc Am* 1991; 89: 1749-1759.
95. Nelson DA, Kimberley BP. Distortion-product emissions and auditory sensitivity in human ears with normal hearing and cochlear hearing loss. *J Speech Hear Res* 1992; 135: 1142-1159.
96. Stover L, Norton SJ. The effects of aging on otoacoustic emissions. *J Acoust Soc Am* 1993; 94: 2670-2681.
97. Brown AM, Sheppard SL, Russell PT. Acoustic distortion products (ADP) from the ears of term infants and young adults using low stimulus levels. *Br J Audiol* 1994; 28: 273-280.
98. Lafreniere D, Jung MD, Smurzynski J, Leonard G, Kim DO, Sasek J. Distortion product and click-evoked otoacoustic emissions in healthy newborns. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 1991; 117: 1382-1389.
99. Whitehead ML, Stagner BB, Lonsbury-Martin BL, Martin GK. Measurement of otoacoustic emissions for hearing assessment. *IEEE Eng Med Mag* 1994; Apr/May: 210-226.
100. Painter EJ. Basic instrumentation issues in acquiring distortion product otoacoustic emissions. In: Martin S Robinette and Theodore J Glatke (eds). "Otoacoustic emissions. Clinical applications", Thieme, New York 1997; pp: 333-346.



101. Kim DO, Sun XM, Jung MD, Leonard G. A new method of measuring Distortion Product Otoacoustic Emissions using multiple tone pairs: study of human adults. *Ear Hear* 1997; Aug: 277-85.

102. Schairer SK, Clukey C, Gould JH. Distortion product otoacoustic emissions to single and simultaneous tone pairs. *J Am Acad Audiol* 2000, 11: 411-417.

103. Bonfils P, Avan P, Londero A, Trotoux J, Narcy P. Objective low-frequency audiometry by distortion-product acoustic emissions. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 1991; 117: 1167-1171.

104. Kimberley BP, Kimberley BM, Roth L. A neural network approach to the prediction of pure tone thresholds with distortion product emissions. *Ear Nose Throat J* 1994; Nov: 812-823.

