



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών
— ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837 —

Α' ΚΑΙ Β' ΩΤΟΡΙΝΟΛΑΡΥΓΓΟΛΟΓΙΚΗ ΚΛΙΝΙΚΗ,
ΙΑΤΡΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΑΘΗΝΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΣΤΗΝ ΑΚΟΟΛΟΓΙΑ – ΝΕΥΡΟΤΩΛΟΓΙΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αντώνης Κόλλιας

*ΔΡΟΑΕΣ ΚΑΙ ΑΚΟΟΓΡΑΜΜΑ, ΟΜΟΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΦΟΡΕΣ
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ*

Αθήνα, Μάιος 2021



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών
— ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837 —

Α' ΚΑΙ Β' ΩΤΟΡΙΝΟΛΑΡΥΓΓΟΛΟΓΙΚΗ ΚΛΙΝΙΚΗ,
ΙΑΤΡΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΑΘΗΝΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΣΤΗΝ ΑΚΟΟΛΟΓΙΑ – ΝΕΥΡΟΤΩΛΟΓΙΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αντώνης Κόλλιας

*ΔΡΟΑΕΣ ΚΑΙ ΑΚΟΟΓΡΑΜΜΑ, ΟΜΟΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΦΟΡΕΣ
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ*

Επιβλέπων:

Ομ. Καθηγητής Κορρές Σταύρος

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή:

Δρ. Νικολόπουλος
Θωμάς
Καθηγητής

Δρ. Κορρές Σταύρος
Ομ. Καθηγητής

Δρ. Κορρές Γεώργιος
Ακαδημαϊκός
Υπότροφος

Αθήνα, Ιούλιος 2021

Copyright © Αντώνης Κόλλιας, 2021

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εκπονήθηκε κατά την χειμερινή περίοδο του Ακαδημαϊκού έτους 2020-2021, στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών στην Ακουσολογία-Νευροωτολογία του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε κάτω από την καθοδήγηση των κ. Δρ. Σταύρο Κορρέ Ομ. Καθηγητή, Δρ. Γεώργιο Κορρέ.

Η πρώτη περιγραφή της μεθόδου των οτοακουστικών εκπομπών (OAEs) έγινε το 1978 (1). Οι ωτοακουστικές εκπομπές προϊόντων παραμόρφωσης (DPOAEs) είναι η απόκριση του κοχλίου σε ηχητικό ερέθισμα δύο απλών τόνων που χορηγούνται ταυτόχρονα και αποκαλούνται βασικοί τόνοι (primary tones). Η ακουστική απόκριση είναι το αποτέλεσμα της ενεργής λειτουργίας του κοχλιακού ενισχυτή. Αυτό συνδέεται με την κατάσταση των έξω τριχωτών κυττάρων (2). Από την πρώτη περιγραφή της μεθόδου μέχρι σήμερα έχουν εξελιχθεί πολλά μέσα από προτάσεις, μελέτες και αλλαγές στις παραμέτρους.

Η ακοομετρία καθαρών τόνων (Pure Tone Audiometry, PTA) χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των ακουστικών κατώτατων ορίων των εξεταζόμενων επιτρέποντας τον προσδιορισμό του βαθμού και το είδους της απώλειας ακοής και παρέχοντας έτσι μια βάση για τη διάγνωση και τη διαχείριση του προβλήματος. Ηχομετρία καθαρού τόνου είναι μια υποκειμενική, συμπεριφορική μέτρηση ενός ορίου ακοής, καθώς βασίζεται στις αντιδράσεις των ασθενών σε καθαρά ερεθίσματα τόνου (3).

Αντικείμενο της εργασίας αυτής, αποτελεί η μελέτη των ωτοακουστικών εκπομπών προϊόντων παραμόρφωσης (DPOAEs) σαν μια διαφορετική προσέγγιση για την κοχλιακή αξιολόγηση σε σχέση με την τονική ακοομετρία. Ο στόχος της εργασίας αυτής είναι μια ανασκόπηση της βιβλιογραφίας για τις ομοιότητες αλλά και διαφορές ανάμεσα στα αποτελέσματα των ωτοακουστικών εκπομπών προϊόντων παραμόρφωσης σαν εκτιμητές των ουδών ακοής και στα αποτελέσματα των ελέγχων με τονική ακοομετρία και να παρουσιαστεί μια προσέγγιση συσχέτισης των παραπάνω δύο μεθόδων.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Εισαγωγή

Οι ωτοακουστικές εκπομπές είναι ήχος που παράγεται μέσα από έσω ους ως απάντηση των έξω τριχωτών κυττάρων του κοχλίου όταν διεγείρονται και δονούνται από κάποιο εξωτερικό ηχητικό ερέθισμα. Αυτές οι δονήσεις παράγουν έναν πολύ χαμηλής έντασης ήχο που αντηχεί στο μέσο ους και τελικά στην τυμπανική μεμβράνη όπου μετριέται με μια ειδική συσκευή από τον έξω ακουστικό πόρο. Μελέτες έχουν δείξει πως όταν οι OAEs εξαφανίζονται, υπάρχει παθολογία στο έσω ους και έτσι οι OAEs χρησιμοποιούνται συχνά σαν μια διαγνωστική εξέταση που εξετάζει αντικειμενικά την κατάσταση της υγείας του έσω ωτός με πολύ καλά αποτελέσματα. Σχετικά, όμως, με την αξιοπιστία της μεθόδου σε σχέση με την ακουομετρία καθαρών τόνων δεν βρίσκεται ιδιαίτερη βιβλιογραφία στον τομέα της ακοολογίας.

Υλικό και μέθοδος

Για την ανασκόπηση της δημοσιευμένης βιβλιογραφίας έγινε αναζήτηση σε άρθρα στην αγγλική γλώσσα σε βάθος εικοσαετίας στις ηλεκτρονικές μηχανές αναζήτησης PubMed, Cochrane Library, Google Scholar, Medline με την χρήση όρων κατάλληλων ως προς την αναζήτηση (Λέξεις Κλειδιά): Distortion Product Otoacoustic Emissions, pure-tone audiometry, thresholds, correlation, comparison, estimates.

Αποτελέσματα

Μετά από την συσχέτιση αλλά και την συστηματική μελέτη των αποτελεσμάτων από τις ηλεκτρονικές μηχανές αναζήτησης, στην παρούσα ανασκόπηση συμπεριλαμβάνονται δεκατρία (13) άρθρα. Εφαρμόστηκε χρονικός περιορισμός εικοσαετίας στην αναζήτηση (2001-2021).

Οι DPOAEs παρουσιάζονται στην βιβλιογραφία σαν ένα εργαλείο που μπορεί να αποκαλύψει γρήγορα και αντικειμενικά παθολογίες στον κοχλίο. Πέρα από αυτό δεν παρουσιάζεται σαν ένα εργαλείο που μπορεί να εκτιμήσει με ασφάλεια σε όλες τις περιπτώσεις τους ουδούς ακοής σε σχέση με το τονικό ακούγραμμα, αυτοματοποιημένα και αντικειμενικά, ούτε παρουσιάζεται κάποια νεότερη μέθοδος είτε ως οδηγία είτε ως μελέτη.

Συμπεράσματα

Επί του παρόντος, η εκτίμηση των ουδών ακοής κυρίως θα πρέπει να βασίζεται στην τονική ακουομετρία και σε περιπτώσεις που αυτό δεν είναι εφικτό π.χ. νεογνά, νήπια, άτομα με αδυναμία επικοινωνίας με το περιβάλλον, να βασίζεται σε μετρήσεις με άλλες μεθόδους όπως ABR και ASSR.

ABSTRACT

Introduction

Otoacoustic emissions are sound produced through the inner ear in response to the outer hair cells of the cochlea when stimulated and vibrated by stimuli sounds. These vibrations produce a very low-intensity sound that resonates in the middle ear and eventually at the tympanic membrane where it is measured with a special device that is placed inside the ear canal. Studies have shown that when OAEs disappear the inner ear is damaged so OAEs are often used as a diagnostic test that objectively examines the state of health of the inner ear with very good results. However, with regard to the reliability of the method in relation to pure tone audiometry, there are no particular articles in the field of audiology.

Material and method

For the review of published articles in English a search was made over twenty years in the online search engines PubMed, Cochrane Library, Google Scholar, Medline using search-appropriate terms (Keywords): Distortion Product Otoacoustic Emissions, pure-tone auditory, thresholds, corrections, comparison, estimates.

Results

Following the correlation and systematic study of the results by online search engines, this review includes thirteen (13) articles. A 20-year time limit was applied to the search (2001-2021). DPOAEs are presented in the literature as a tool that can quickly and objectively reveal pathologies in the cochlea. Apart from this, it is not presented as a tool that can safely assess in all cases hearing threshold levels in relation to the pure tone audiogram, automated and objective, nor a newer method is presented either as a directive or as a study.

Conclusion

At present, the assessment of hearing thresholds, in particular, should be based on pure tone audiometry and in cases where this is not possible e.g., newborns, toddlers, people with inability to communicate with the environment, must be based on measurements by other methods like ABR and ASSR.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους καθηγητές κ. Μπίμπα Αθανάσιο και κ. Νικολόπουλο Θωμά που με την προσπάθειά τους κατόρθωσαν να δημιουργήσουν και να οργανώσουν ένα άρτιο και πλήρες Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών στην Ακουσολογία-Νευρωτολογία στην Ελλάδα, μου έδωσαν την δυνατότητα να το παρακολουθήσω και με ενέπνευσαν με την επιστημονική τους δεινότητα.

Τον Ομ. καθηγητή κ. Δρ. Σταύρο Κορρέ και τον κ. Δρ. Γεώργιο Κορρέ για την συμπαράσταση, την βοήθεια και τις πολύτιμες συμβουλές τους για την συγγραφή της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Θέλω επίσης να ευχαριστήσω όλους τους εμπλεκόμενους διδάσκοντες στο εν λόγω Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών για το χρόνο που αφιέρωσαν ώστε να μας μεταδώσουν όσο καλύτερα τις απαιτούμενες γνώσεις παρά τις οποιεσδήποτε δυσκολίες και επίσης που κατάφεραν να φέρουν εις πέρας την εκπαιδευτική διαδικασία με τον καλύτερο δυνατό τρόπο παρά τις αντιξοότητες που έφερε η πανδημία σε όλους μας.

Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου που στάθηκε δίπλα μου σε αυτό το ταξίδι της γνώσης, ιδιαίτερα στην μικρή μου Μάνια.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
ABSTRACT	7
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	8
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	9
ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕ ΑΚΡΩΝΥΜΑ.....	11
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	12
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	13
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	13
1.1 Ήχος και ακοή	13
1.2 Ανατομία και φυσιολογία του αυτιού.....	14
1.2.1 Έσω ους.....	15
1.2.1.1 Κοχλίας.....	16
1.2.2 Ακουστικό Νευρικό Σύστημα	19
1.3 Ακουστότητα	21
1.4 Κλίμακα dB, dB-HL.....	21
1.5 Ακούγραμμα	22
1.6 Ωτοακουστικές εκπομπές	27
1.6.1 DPOAE I/O Functions (Input / Output Functions).....	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	33
2.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	34
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	34
3.1 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ	34
3.2 Πηγές βιβλιογραφίας – Στρατηγικές αναζήτησης.....	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	35
4.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	35
4.2 Αποτελέσματα από τα παραπάνω άρθρα ως προς την συσχέτιση των ουδών του τονικού ακουογράμματος και των DPOAEs.	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	47
5.1 ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....	51
6.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	51

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.....	53
7.1 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	53

ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕ ΑΚΡΩΝΥΜΑ

ABR–Auditory Brain Stem Responses

ANSI - American National Standards Institute

ASSR - Auditory Steady State Responses

CEOAE - Click evoked otoacoustic emissions

CHOAES- Chirp otoacoustic emissions

DPOAE - Distortion Product Otoacoustic Emissions

dB - Decibel

HL - Hearing Level

OAE - Otoacoustic Emissions

PTA - Pure Tone Audiometry

SFOAE – Stimulus Frequency Otoacoustic emissions

SOAE - Spontaneous otoacoustic emissions

SPL - Sound pressure level

TEOAE - Transitory evoked otoacoustic emissions

SNR - Signal to Noise Ratio

PTT - Pure Tone Thresholds

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Μελέτες στις οποίες έγινε ανασκόπηση	35
---	----

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Ανατομία του αυτιού	14
Εικόνα 2. Οριζόντια τομή του κροταφικού οστού	16
Εικόνα 3. Έσω ους - Αίθουσα - Κοχλίας - Νευρικές απολήξεις.....	19
Εικόνα 4. Ακουστικό νευρικό σύστημα	20
Εικόνα 5. Κλίμακα dB με παραδείγματα	21
Εικόνα 6. Καμπύλη ακουστότητας dB-HL	22
Εικόνα 7. Διάγραμμα τονικού ακοογράμματος και τα σύμβολά του	26
Εικόνα 8. Ακοομετρητής	26
Εικόνα 9. Παραγωγή παροδικά προκλητών OAEs με χορήγηση ηχητικού ερεθίσματος.	28
Εικόνα 10. Καταγραφή φυσιολογικών OAEs στον Η/Υ.....	28
Εικόνα 11. Παραγωγή DPOAEs μετά από χορήγηση τονικών ερεθισμάτων f_1 και f_2	31
Εικόνα 12. DP-Gram	32
Εικόνα 13. DPOAE I/O Functions	33

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ήχος και ακοή

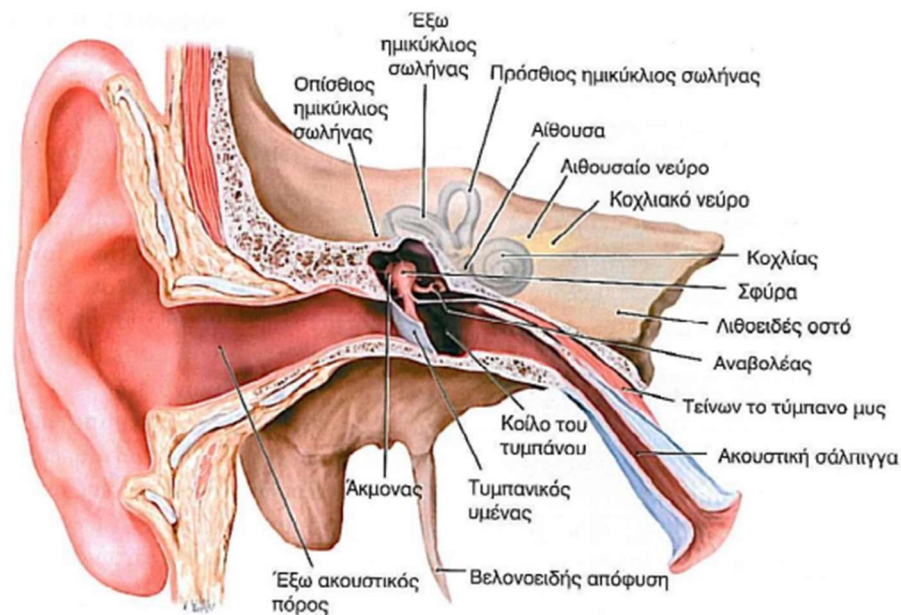
Με τον όρο ήχος μπορούμε να αναφερθούμε στην αίσθηση που προκαλείται από την διέγερση των οργάνων της ακοής μέσα από τις μεταβολές πίεσεως του ατμοσφαιρικού αέρα ή ενός μέσου που μπορεί να συμπιεστεί. Η διαδικασία της κωδικοποίησης αυτών των μεταβολών της πίεσης, από το αυτί και η μεταφορά τους στον εγκέφαλο, όπου γίνεται η επεξεργασία, είναι η αντίληψη της ακοής (23). Η φυσική του ήχου ή τα ηχητικά κύματα παράγονται από ταλαντώσεις σωμάτων (δονήσεις) και στην ουσία είναι κύματα (μηχανικά) που μεταφέρουν μηχανική ενέργεια. Ο ήχος μεταδίδεται στον αέρα με ταχύτητα 343 μέτρα ανά δευτερόλεπτο χωρίς όμως αυτή να είναι απόλυτα σταθερή μιας και οι καταστατικές μεταβλητές του συστήματος όπως πίεση και θερμοκρασία την επηρεάζουν. (4)

Στους ανθρώπους το εύρος της ακοής, σε συχνότητες, εκτείνεται από 20Hz μέχρι 20.000Hz χωρίς αυτό να είναι απόλυτο μιας και μπορεί να διαφέρει λόγω διαφόρων παραγόντων όπως η ηλικία ή διάφορων παθήσεων.

Οι μικρές μεταβολές στην πίεση ενός μέσου γίνονται αντιληπτές από το ανθρώπινο αυτί. Η μέτρηση της ηχητικής πίεσης γίνεται με την μονάδα μέτρησης Pascal και το δυναμικό εύρος του αυτιού εκτείνεται από τα 20μPa έως και τα 200Pa. Τα ακουστικά μεγέθη της έντασης και της πίεσης περιγράφονται από το decibel (dB) που είναι μια μονάδα που ακολουθεί λογαριθμική κλίμακα και εκφράζει τη διαφορά στάθμης μιας φυσικής ποσότητας στην περίπτωση μας του ήχου. (5)

1.2 Ανατομία και φυσιολογία του αυτιού

Για την καλύτερη κατανόηση του μηχανισμού της ακοής και των παθολογιών που μπορεί να προκύψουν, ώστε να μελετηθούν καλύτερα, είναι απαραίτητη η γνώση της φυσιολογίας και της ανατομικής του ακουστικού συστήματος του ανθρώπου. Το βασικό όργανο της ακοής είναι το αυτί. Είναι υπεύθυνο για την ακοή αλλά και για την ισορροπία. Χωρίζεται σε τρία μέρη: το έξω ους, το μέσο ους και το έσω ους. Τα ηχητικά κύματα συλλαμβάνονται από το έξω ους και περνώντας μέσα από τον έξω ακουστικό πόρο δονούν τον τυμπανικό υμένα. Η δόνηση του τυμπανικού υμένα παράγει ενέργεια που μετατρέπεται σε μηχανική στο μέσο ους μέσω των ακουστικών οσταρίων και τελικά σε υδραυλική ενέργεια στο έσω ους. Από το έσω ους και συγκεκριμένα τον κοχλία η υδραυλική ενέργεια μετατρέπεται σε ώσεις (σήματα) μέσω των τριχωτών κυττάρων και προς τον εγκέφαλο μέσω του κοχλιακού νεύρου.



Εικόνα 1. Ανατομία του αυτιού (απο Google Images)

1.2.1 Έσω ους

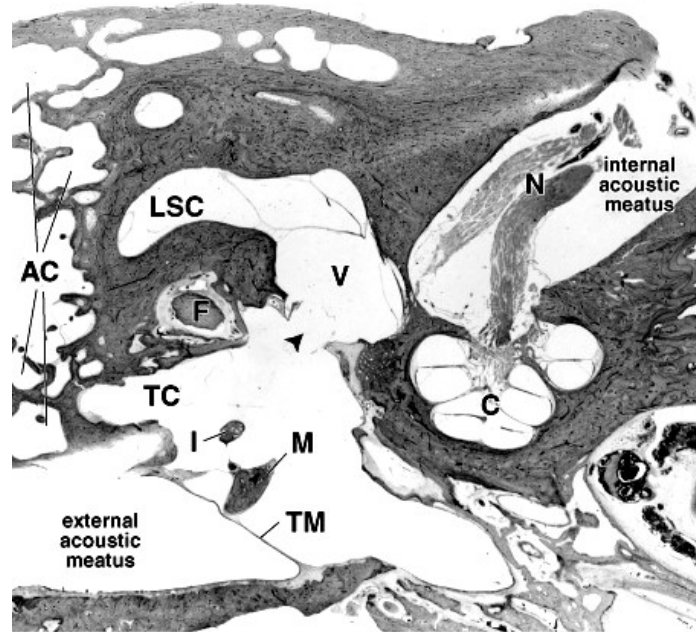
Το έσω ους είναι το πιο πολύπλοκο μέρος του αυτιού και ίσως το πιο πολύπλοκο μέρος ολόκληρου του ανθρωπίνου σώματος. Ο κοχλίας κάνει δυνατή την ακοή καθώς μετατρέπει τον ήχο σε ηλεκτρικά σήματα που μέσω του ακουστικού νεύρου ταξιδεύουν στον εγκέφαλο όπου και γίνονται αντιληπτά. Αποτελείται από την αίθουσα, τους ημικυκλικούς σωλήνες και τον κοχλία. Η αίθουσα και οι ημικυκλικοί σωλήνες δίνουν πληροφορίες σχετικά με την ισορροπία και συγκεκριμένα με την γραμμική και γωνιακή επιτάχυνση του κεφαλιού σε κάθε διεύθυνση. Ο κοχλίας είναι υπεύθυνος για την μετατροπή της μηχανικής ενέργειας του ήχου σε ηλεκτρική ενέργεια, δρώντας ως μορφοτροπέας, ώστε να μπορέσει η πληροφορία αυτή να αποκωδικοποιηθεί από τον εγκέφαλο. Το έσω ους βρίσκεται μέσα στη λιθοειδή μοίρα του κροταφικού οστού. Περιβάλλεται από την οτική κάψα μέσα στην οποία περιέχεται ο οστέινος λαβύρινθος καθώς και το κύριο ανατομικό στοιχείο του έσω ωτός ο υμενώδης λαβύρινθος. Μεταξύ του οστέινου και του υμενώδους λαβυρίνθου, ο χώρος, πληρούται από υγρό που ονομάζεται έξω λέμφος (περίλεμφος) που ομοιάζει με το εξωκυττάριο υγρό. Έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε κάλιο και υψηλή σε νάτριο. (Τιμές: 5.5-6,5 mEq/L έναντι 140 mEq/L). Έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη (2mg/ml) σε σχέση με το εγκεφαλονωτιαίο υγρό και επίσης έχει διαφορά στην ποσότητα γλυκόζης που περιέχει. Αυτές οι χημικές διαφορές καταδεικνύουν πως πιθανώς η περίλεμφος σχηματίζεται ως υπερδιήθημα πλάσματος από αγγεία που υπάρχουν στους περιωτικούς χώρους. Σύγχρονες μελέτες έχουν δείξει πως μια μικρή ποσότητα του περιωτικού υγρού που μεταφέρεται μέσω του υδραγωγού του κοχλίας προέρχεται από το εγκεφαλονωτιαίο υγρό.

Από την άλλη πλευρά η έσω λέμφος (ενδόλεμφος) έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε νάτριο (12-16 mEq/L) και υψηλή σε κάλιο (140-160 mEq/L). Μετά από πειράματα έχει γίνει γνωστό πως ο βασικός υμένας είναι αδιαπέραστος από τα παραπάνω ιόντα ενώ μέσω του υμένα του Reissner γίνεται ενεργή μεταφορά ιόντων καλίου στην μέση κλίμακα. Τα κύτταρα του ημισεληνοειδούς πεδίου των ληκύθων καθώς και των παρυφών των ακουστικών κηλίδων αλλά και τα κύτταρα της αγγειώδους ταινίας εμπλέκονται ενεργά στην απορρόφηση και στην έκκριση της έσω λέμφου.

Στον ενδολεμφικό σάκο περιέχεται υγρό διαφορετικό σε σύσταση από την έσω λέμφο με πυκνότητα καλίου και νατρίου όμοια με αυτή του αίματος και μεγάλη συγκέντρωση πρωτεΐνης (5g/100ml). Στην σήραγγα του Corti περιέχεται υγρό (κορτίλεμφος) το οποίο επίσης έχει διαφορές από την έσω λέμφο. Πιθανώς σχηματίζεται από εγκεφαλονωτιαίο υγρό που διέρχεται κατά μήκος των ιών του ακουστικού νεύρου διαμέσου των σωληναρίων του οστέινου ελικοειδούς πετάλου. Ακόμα και η ουσία που υπάρχει στον χώρο μεταξύ των τριχωτών κυττάρων

και των υμένων που βρίσκονται πάνω από αυτά (ωτολιθοφόρος, τελικό κυπέλλιο, καλυπτήριος υμένας) είναι διαφορετική από την έσω λέμφο. Έχει υψηλό ιξώδες και είναι άμορφη.

Ο επιμήκης άξονας του οστέινου υμενώδους λαβυρίνθου είναι περίπου 20mm. Ο υμενώδης λαβύρινθος διαιρείται σε τρία μέρη που συνδέονται μεταξύ τους α) αιθουσαίο λαβύρινθο, β) κοχλία, γ) ενδολεμφικός πόρος και σάκος



Εικόνα 2. Οριζόντια τομή του κροταφικού οστού

TM= τυμπανική μεμβράνη, TC= τυμπανική κοιλότητα, M=σφύρα, I=άκμονας, Κεφαλή βέλους = ωοειδής θυρίδα, F=προσωπικό νεύρο, C=κοχλίας, V=αίθουσα, LSC= οριζόντιος ημικύκλιος σωλήνας, N=κοχλιακό και αιθουσαίο νεύρο της VIII εγκεφαλικής συζυγίας

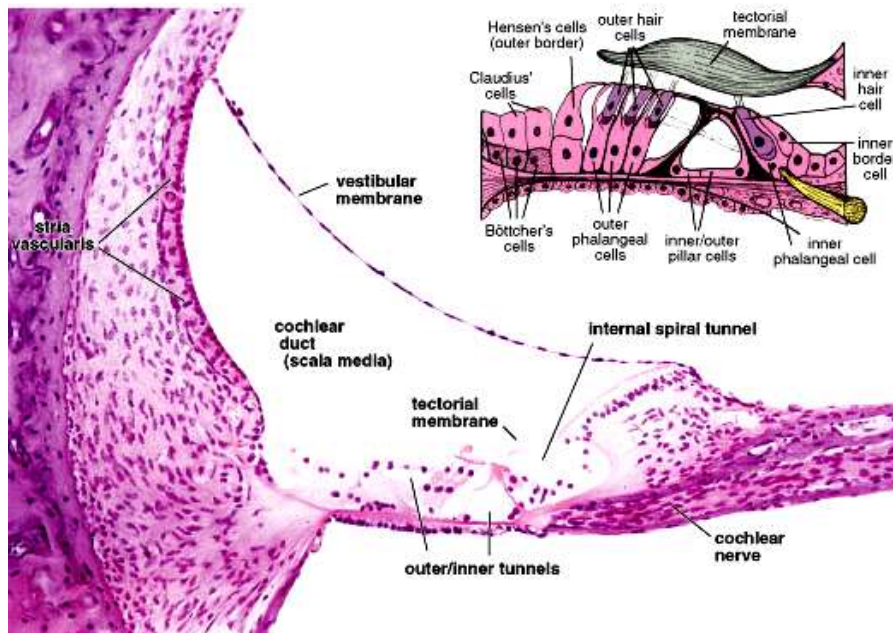
(από Ross MH, Kaye GI, Pawlina W. Histology text and Atlas. 4thed. Lippincott Williams and Wilkins)

1.2.1.1 Κοχλίας

Ο κοχλίας είναι οστέινος και το σχήμα του είναι σπειροειδές (σαλιγκαριού) από το οποίο έχει πάρει και την ονομασία του. Το συνολικό του μήκος είναι περίπου 35mm και αυτό διαμορφώνεται σε έλικες $2^{1/2}$ έως $2^{3/4}$ στροφών. Ένα σύστημα τεσσάρων σωληνοειδών διαμερισμάτων, η αιθουσαία κλίμακα, ο κοχλιακός πόρος, η μέση κλίμακα και η τυμπανική κλίμακα σχηματίζεται από τα οστέινα και υμενώδη μέρη του κοχλίου. Η υποστήριξη του κοχλίου γίνεται από το ελικοειδές πέταλο της ατράκτου που είναι ένα σπειροειδές λεπτό οστέινο πέταλο, στερεωμένο με διαφράγματα στην λαβυρινθική κάψα. Αυτά τα διαφράγματα είναι χρήσιμα στο να διαχωρίζονται οι σπείρες του κοχλίου. Μέσα σε αυτό το λεπτό οστέινο πέταλο, ίνες του ακουστικού τμήματος του ακουστικού νεύρου ανέρχονται και καταλήγουν, μέσω των σωληναρίων του πετάλου, στα τριχωτά κύτταρα. Αυτά τα κυτταρικά σώματα των νευρώνων, σχηματίζουν το ελικοειδές γάγγλιο. Ο κοχλιακός πόρος είναι τριγωνικού σχήματος. Εκτείνεται από τον ελικοειδή σύνδεσμο, μια ευρεία πρόσφυση έξω από την λαβυρινθική κάψα, μέχρι το

οστέινο ελικοειδές πέταλο σε μια στενή πρόσφυση. Μεταξύ του ορίου του κοχλιακού πόρου και της κλίμακας της αίθουσας βρίσκεται ο υμένας του Reissner, ένας υμένας με δύο στρώματα κυττάρων. Ο κοχλιακός πόρος είναι πολύ υψηλής σημασίας, πληρούται από ενδόλεμφο και μέσα του βρίσκεται το όργανο του Corti που είναι το όργανο της ακοής. Κατά μήκος του κοχλιακού πόρου στο εξωτερικό μέρος βρίσκεται και εκτείνεται η αγγειώδης ταινία και σε αυτήν περιέχονται εκκριτικά κύτταρα.

Η κλίμακα του τυμπάνου και η αιθουσαία κλίμακα επικοινωνούν μέσω του ελικοτρήματος που βρίσκεται στο τέλος της κοχλιακής έλικας. Το οστέινο ελικοειδές πέταλο τελειώνει στο άγκιστρο του ελικοειδούς πετάλου, μια αγκιστροειδή προσεκβολή που μαζί με την κορυφή του πετάλου της ατράκτου σχηματίζουν το ελικότρημα. Η αιθουσαία κλίμακα εκβάλλει στην αίθουσα. Ο υπαραχοειδής χώρος καθώς και η αρχή της κλίμακας επικοινωνούν με τον υδραγωγό του κοχλίου ο οποίος είναι ένας οστέινος πόρος. Μέσα στον υδραγωγό του κοχλίου περιέχεται ένα δίκτυο από δοκίδες ερειστικού ιστού που επιτρέπει την επικοινωνία της έξω λέμφου με το εγκεφαλονωτιαίο υγρό. Η κατάληξη της αιθουσαίας κλίμακας του τυμπάνου είναι ένας τυφλός θύλακας όπου εκβάλλει η στρογγυλή θυρίδα.



Εικόνα 3. Δομή του οργάνου του Corti (X 180) και διάγραμμα των αισθητικών και στηρηκτικών του κυττάρων (από Ross MH, Kaye GI, Pawlina W. Histology text and Atlas. 4thed. Lippincott Williams and Wilkins).

Τρία βασικά μέρη αποτελούν το όργανο του Corti. Τα τριχωτά κύτταρα, τα ερειστικά κύτταρα και ο καλυπτύριος υμένας. Μέσα στο όργανο του Corti περιέχονται περίπου 15.500 τριχωτά κύτταρα και αυτά χωρίζονται σε δύο σειρές. Στην εσωτερική σειρά που περιλαμβάνονται περίπου 3.500 τριχωτά κύτταρα και σε τρεις μέχρι πέντε εξωτερικές σειρές που περιλαμβάνουν τα υπόλοιπα 12.000 κύτταρα. Οι δύο αυτές ομάδες χωρίζονται από ένα ισχυρό ερειστικό μόρφωμα που δημιουργείται από τα τονικά ινίδια των έξω και των έσω συλοειδών κυττάρων με την μορφή ενός ανεστραμμένου V. Στην σήραγγα του Corti, που βρίσκεται ανάμεσα στα έσω και στα έξω

στυλοειδή κύτταρα, περιέχεται ένα υγρό διαφορετικό από την έσω λέμφο που ονομάζεται κορτίλεμφος.

Τα τριχωτά κύτταρα φέρουν τρίχες στα ελεύθερα άκρα τους οι οποίες έρχονται σε επαφή με την εσωτερική επιφάνεια του καλυπτήριου υμένα. Τα κύτταρα αυτά υποστηρίζονται από άλλα φαλλαγοειδή κύτταρα που είναι επιμηκυμένα. Τα τελευταία έχουν μεταβαλλόμενο σχήμα. Υψηλό κοντά στα τριχωτά κύτταρα και βαθμιαία βραχύτερο κατά την απομάκρυνσή τους από αυτά. Αυτή η διαφορά στο σχήμα τους είναι που δίνει ένα επικλινές σχήμα στο όργανο του Corti. Διακρίνονται σε επιχείλια κύτταρα, κύτταρα του Hansen και κύτταρα του Claudius.

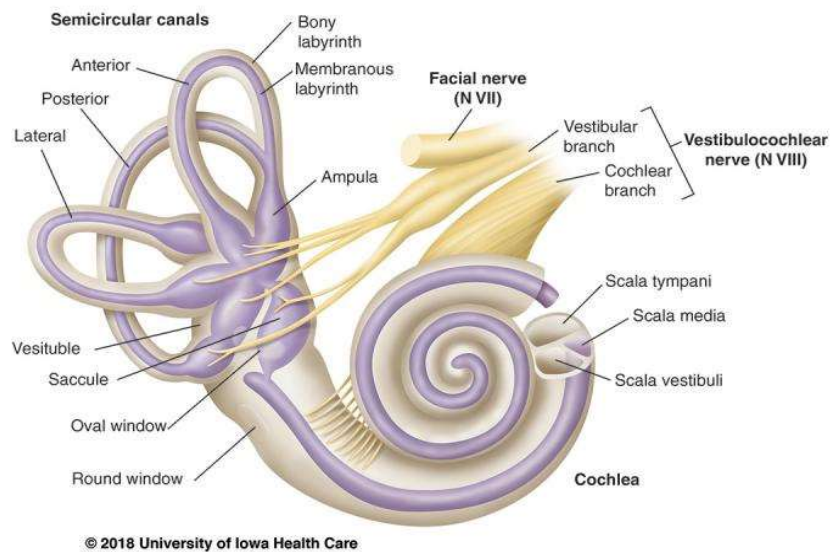
Ο βασικός ή καλυπτήριος υμένας μαζί με το ερειστικό στοιχείο του έχουν διαφορά σε όλο το μήκος τους. Ο βασικός υμένας είναι στο βασικό άκρο άκαμptos και σκληρός και στο κορυφαίο άκρο του είναι χαλαρός και ευρύτερος. Η ποικιλία που υπάρχει στα δομικά χαρακτηριστικά του καλυπτήριου υμένα και του οργάνου του Corti είναι ίδια ούτως ώστε να επιτυγχάνεται συντονισμός του κοχλιακού πόρου. Στο βασικό άκρο του κοχλία υπάρχει συγκέντρωση της υψηλής συχνότητας ηχητικής ενέργειας, ενώ οι συχνότητες χαμηλότερης ηχητικής ενέργειας διασπείρονται βαθμιαία προς την κορυφή κατά μήκος του οργάνου του Corti.

Μια παχιά πλάκα κυττάρων που επικάθονται στο οστέινο ελικοειδές πέταλο που ονομάζεται ελικοειδής στεφάνη ενισχύουν κεντρικά τον καλυπτήριο υμένα. Επάνω σε αυτήν την πλάκα βρίσκεται και προσφύεται ο υμένας του Reissner ενώ το ελεύθερο χείλος του καλυπτριού υμένα προσφύεται στα κύτταρα του Hansen και σχηματίζει την έσω ελικοειδή αύλακα η οποία περιέχει τις ακουστικές τριχωτά κύτταρα και εσωτερικά επενδύεται από τα κυβοειδή κύτταρα της έσω αύλακας.

Στα τριχωτά κύτταρα καταλήγουν νευρικές απολήξεις δύο ειδών. Οι απαγωγές και οι προσαγωγές απολήξεις. Το προσαγωγό σύστημα συνδέεται με τα έσω τριχωτά κύτταρα και το κύριο απαγωγό σύστημα συνδέεται με τα έξω τριχωτά κύτταρα. Οι νευράξονες απολήγουν στους δενδρίτες των κυττάρων του ελικοειδούς γαγγλίου στον πόρο του Rosenthal έχοντας διασχίσει τους σωληνίσκους του οστέινου ελικοειδούς πετάλου του κοχλία. Στην συνέχεια αυτοί οι νευράξονες ακολουθώντας τους σωληνίσκους που υπάρχουν στο κύριο σώμα της ατράκτου του κοχλία σχηματίζουν το ακουστικό τμήμα της 8^{ης} εγκεφαλικής συζυγίας για να καταλήξουν στην γέφυρα, στον ραχιαίο και στον κοχλιακό πυρήνα.

Συνολικά ο κοχλίας είναι ένας τυλιγμένος σωλήνας με την μορφή κελύφους σαλιγκαριού χωρίς σταθερή διάμετρο. Στην βάση του βρίσκεται η ωοειδής θυρίδα που πιέζεται από το οστάριο του αναβολέα. Κατά προσέγγιση ο κοχλίας συμπεριφέρεται σαν ένας αναλυτής Fourier συχνοτήτων. Πιο συγκεκριμένα η ενεργή λειτουργία της συχνοτικής ανάλυσης οφείλεται στις δονήσεις ενός ιδιαίτερου τύπου κυττάρων της μεμβράνης, των έξω τριχωτών κυττάρων, τα οποία μεταβάλλουν το σχήμα τους ως αντίδραση στον ήχο. Απλοποιημένα, ο κοχλίας -με την βοήθεια του οργάνου του Corti- κωδικοποιεί το κύμα που διέρχεται από το εσωτερικό του με μια περίπλοκη ηλεκτρομηχανική διεργασία που ουσιαστικά προκαλεί την εμφάνιση διαφοράς δυναμικού από τα

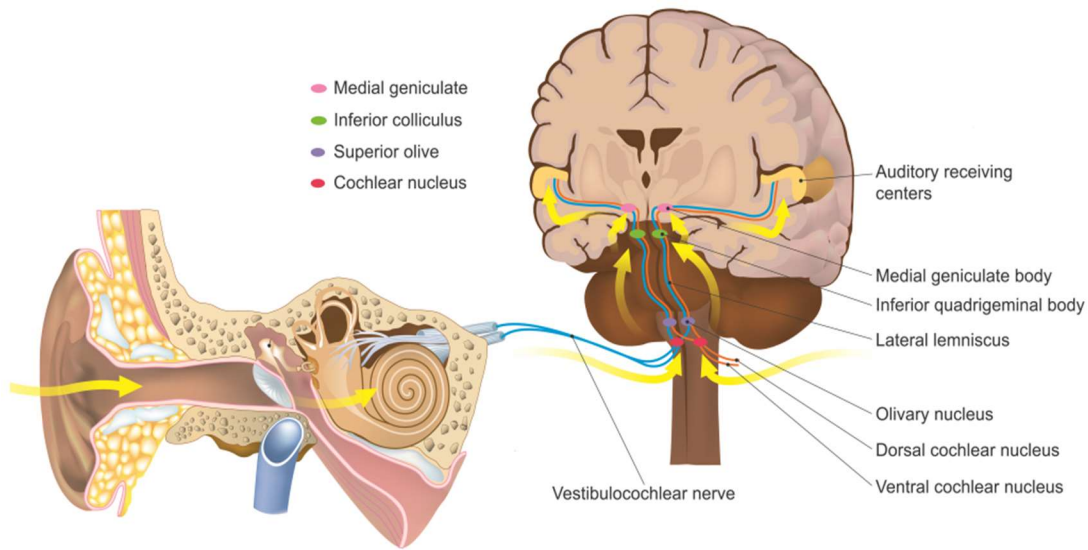
τριγωνικά κύτταρα και την απόθεση ώσεων (ηλεκτρικών σημάτων) σε ένα σύνολο νευρικών απολήξεων του ακουστικού νεύρου.



Εικόνα 3. Έσω ους - Αίθουσα - Κοχλίας - Νευρικές απολήξεις (από Google Images)

1.2.2 Ακουστικό Νευρικό Σύστημα

Τα κωδικοποιημένα νευρικά σήματα που έχουν προέλθει από τους προσλαμβανόμενους ήχους από το αυτί αποστέλλονται μέσω του 8^{ου} κρανιακού νεύρου στο εγκεφαλικό στέλεχος μέσω της κεντρικής ακουστικής οδού όπως θα δούμε, επιγραμματικά, παρακάτω. Ανάλογα με τις διεγέρσεις τα σήματα αποστέλλονται στον ακουστικό φλοιό. Η δραστηριότητα αυτή του νευρικού συστήματος γίνεται κατά κύριο λόγο από την αντίθετη πλευρά του αυτιού που λαμβάνει τον ήχο δηλαδή η ηχητική πληροφορία από το δεξί αυτί μεταφέρεται κυρίως στον αριστερό φλοιό και η ηχητική πληροφορία από το αριστερό αυτί μεταφέρεται κυρίως στον δεξιό φλοιό. Οι νευρικές ίνες από τον κοχλία ομαδοποιούνται ανάλογα με την περιοχή συχνοτήτων και έτσι έχουμε τον τονοτοπικό διαχωρισμό κάτι που διατηρείται σε όλη τη διαδρομή του ακουστικού νευρικού σήματος μέχρι τον ακουστικό φλοιό. Η επεξεργασία των ήχων συντελείται από τα χαμηλά επίπεδα του εγκεφαλικού στελέχους όπου για παράδειγμα προκαλούνται τα ακουστικά αντανακλαστικά.



Εικόνα 4. Ακουστικό νευρικό σύστημα (από Google Images)

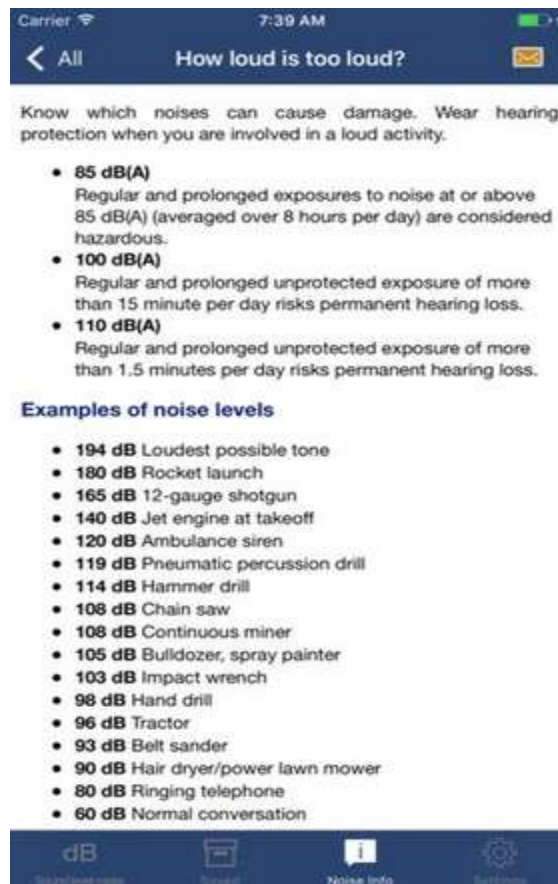
Οι πληροφορίες που μεταφέρονται στο ακουστικό νεύρο, αρχικά, επεξεργάζονται κεντρικά στον κοχλιακό πυρήνα. Το κοχλιακό τμήμα της 8^{ης} εγκεφαλικής συζυγίας διαιρείται σε δύο κλάδους όταν εισέρχεται στον κοχλιακό πυρήνα. Η τονοτοπική κατανομή είναι φανερή μιας και υπάρχει πολλαπλή αντιπροσώπευση της υποδεκτικής επιφάνειας στις οδούς που συνδέονται όλα τα αισθητήρια συστήματα. Στην συνέχεια η πληροφορία φτάνουν στο σύμπλεγμα της άνω ελαίας. Το σύμπλεγμα άνω ελαίας αποτελείται από α) την έξω άνω ελαία β) την έσω άνω ελαία γ) τον περιελαϊκό πυρήνα δ) τον έσω πυρήνα του τραπεζοειδούς σώματος. Στο σύμπλεγμα της άνω ελαίας έρχονται ερεθίσματα και από τους δύο κοχλιακούς πυρήνες δηλαδή και από τα δύο αυτιά. Έτσι επιτυγχάνεται ο εντοπισμός του ήχου στον χώρο ανάλογα με την ένταση και τον χρόνο άφιξης του ερεθίσματος στα δύο αυτιά. Το οπίσθιο διδύμιο συγκροτείται από τρεις ομάδες νευρώνων και έρχονται συνάψεις από όλες τις ίνες που εκφύονται στους κατώτερους ακουστικούς πυρήνες. Συνεχίζοντας, βρίσκεται το έσω γονατώδες σώμα που και αυτό αποτελείται από τρεις πυρήνες και συνδέεται με περιοχές του ακουστικού φλοιού. Παρόμοια με το οπίσθιο διδύμιο, κάτι που ισχύει γενικά για τους νευρώνες των ανώτερων ακουστικών πυρήνων, η λειτουργία του δεν είναι διασαφηνισμένη. Τελευταίο τμήμα είναι ο ακουστικός φλοιός. Η περιοχή A1, κύρια περιοχή ακουστικών συνάψεων, εντοπίζεται στον κροταφικό λοβό και την καλύπτει η γραμμή του Sylvius. Εκεί καταλήγουν όλες σχεδόν οι συνδετικές ίνες από το κοιλιακό τμήμα του έσω γονατώδους σώματος κάτι που την κάνει να θεωρείται το κύριο ακουστικό κέντρο στον εγκεφαλικό φλοιό. Η τονοτοπική οργάνωση που απαντάται σε όλη την διαδρομή της κεντρικής ακουστικής οδού εμφανίζεται και στον ακουστικό φλοιό. Όπως και με προηγούμενα ακουστικά κέντρα η φλοιώδης ακουστική διεργασία δεν είναι πλήρως κατανοητή.

1.3 Ακουστότητα

Η ακουστότητα του ήχου είναι το χαρακτηριστικό με το οποίο ξεχωρίζει ο άνθρωπος τους ήχους σε ασθενείς, λιγότερο ισχυρούς, ισχυρούς κ.λπ. και είναι κάτι το οποίο καθορίζεται κυρίως από την ένταση της ηχητικής ενέργειας που φτάνει στο αυτί μας. Δηλαδή την ένταση του ηχητικού κύματος. Ένας δεύτερος παράγοντας, όμως, που καθορίζει το εν λόγω χαρακτηριστικό είναι και η συχνότητα του κάθε ήχου. Είναι ένα μέγεθος υποκειμενικό καθώς σχετίζεται με την αντίληψη της ακουστικής πίεσης. Σύμφωνα με τον επίσημο ορισμό (ANSI), «Ακουστότητα είναι το χαρακτηριστικό της ακουστικής αίσθησης κατά το οποίο οι ήχοι μπορούν να διαταχθούν σε μια κλίμακα με εύρος από τους χαμηλόφωνους στους μεγαλόφωνους.» Η οποιαδήποτε σχέση ανάμεσα στα φυσικά χαρακτηριστικά των ήχων και του αντιληπτικού μεγέθους της ακουστότητας είναι ανάμεσα σε φυσικά χαρακτηριστικά, χαρακτηριστικά φυσιολογίας και ψυχολογικά χαρακτηριστικά (ψυχοακουστική (7))

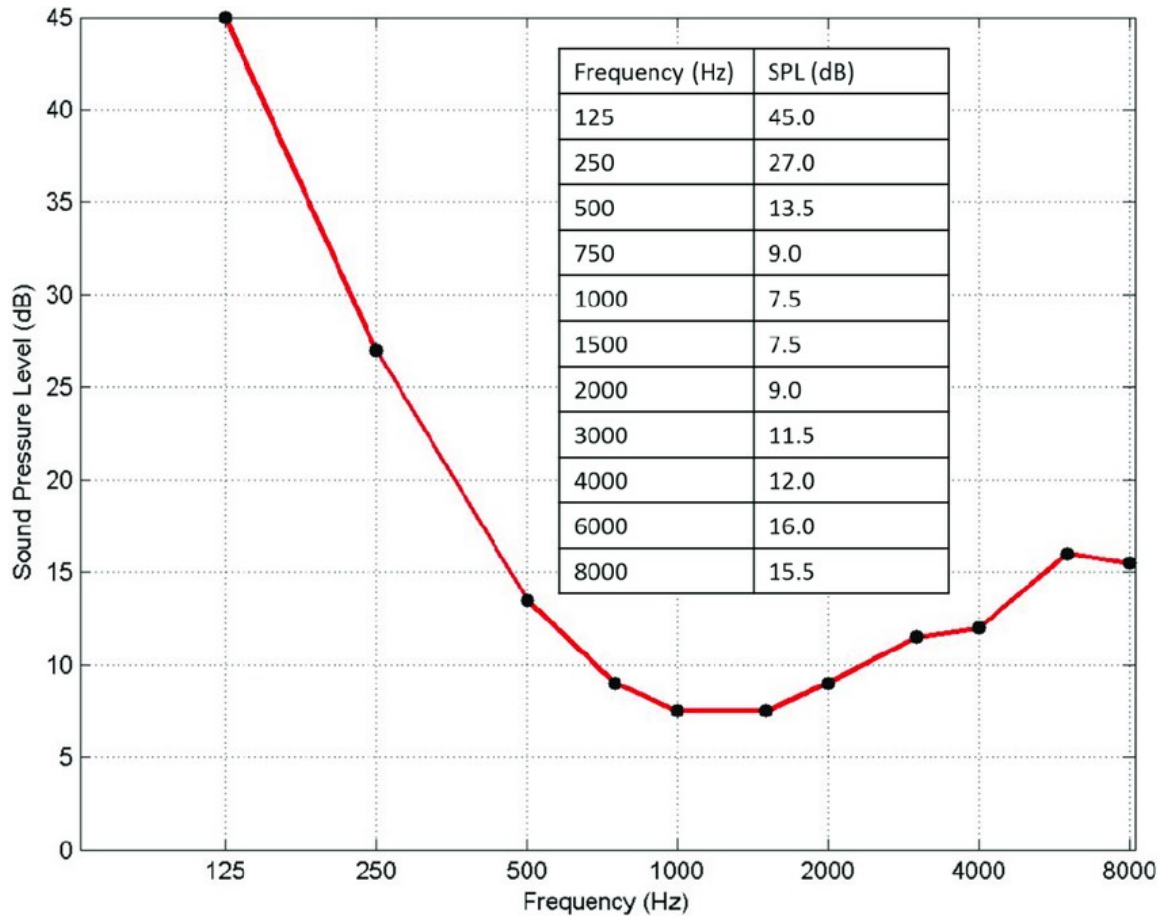
1.4 Κλίμακα dB, dB-HL

Το ντεσιμπέλ (dB) είναι μια σχετική μονάδα μέτρησης. Αντιστοιχεί στο 1/10 του μπελ (B). Εκφράζει την αναλογία μιας τιμής μιας ποσότητας ισχύος προς μία άλλη σε λογαριθμική κλίμακα.(5)



Εικόνα 5 Κλίμακα dB με παραδείγματα (από Google Images)

Το dB-HL, χρησιμοποιείται στα ακοογράμματα ως μέτρο απώλειας ακοής. Σε αυτή την κλίμακα, το επίπεδο αναφοράς ποικίλλει ανάλογα με την συχνότητα σύμφωνα με μια ελάχιστη καμπύλη ακουστικής (8) όπως ορίζεται στο ANSI. Το αποτέλεσμα είναι το ακοόγραμμα έτσι που το διάγραμμα που προκύπτει μετά από μετρήσεις σε κλίμακα dB-HL μπορεί να δείχνει την απόκλιση σε αυτό που θεωρείται «κανονική» ακοή.



Εικόνα 6. Καμπύλη ακουστότητας dB-HL (από Google Images)

1.5 Ακοόγραμμα

Για να προσδιορίσουμε την ακουστική ικανότητα χρησιμοποιούμε την ακοομετρία καθαρών τόνων ή τονική ακοομετρία. Το ακοόγραμμα ή τονική ακοομετρία είναι μια ψυχοακουστική εξέταση στην οποία καθορίζονται οι ουδοί της ακοής. Είναι ένα διάγραμμα που καταγράφονται οι ουδοί ακοής για την αέρια και οστέινη αγωγή του ήχου και αποτελεί την γραφική αναπαράσταση της απόλυτης ακουστικής ευαισθησίας ενός εξεταζόμενου. Η αναπαράσταση αυτή της στάθμης έντασης της ακουστικής ευαισθησίας ορίζεται σε διαστήματα των 10dB HL

στον κάθετο άξονα και σε διαστήματα ανά οκτάβα από τα 125 μέχρι τα 8000Hz. Η γραμμή στα 0 dB HL είναι η στάθμη ακουστικής πίεσης που χρειάζεται ο μέσος εξεταζόμενος με φυσιολογική ακοή για να αντιληφθεί τον ήχο. Η αέρια αγωγή διεγείρει συνολικά το ακουστικό σύστημα ενώ η οστέινη αγωγή διεγείρει μόνο το εσωτερικό αυτί. Στην ακοομετρία καθαρών τόνων (PTA) η μέτρηση γίνεται με την αναπαραγωγή ημιτονοειδών σημάτων προς το εξεταζόμενο αυτί. Ουδός ακοής θεωρείται η μικρότερη ένταση ενός καθαρού τόνου μιας συγκεκριμένης συχνότητας που είναι ελάχιστα ακουστός κατά το 50% από τις φορές που ο τόνος αυτός χορηγείται στον εξεταζόμενο. Παρότι η ακοή του ανθρώπου έχει εύρος από 20Hz μέχρι 20.000Hz, οι συχνότητες που εξετάζονται, στο τυπικό ακούγραμμα, είναι από 250Hz μέχρι 8.000Hz μιας και αυτές θεωρείται πως είναι οι περισσότερο χρήσιμες για την κατανόηση της ομιλίας. Κατά την ακοολογική εξέταση, στις συχνότητες από 250Hz μέχρι τα 1.000Hz γίνεται έλεγχος ανά οκτάβα και στη συνέχεια και μέχρι τα 8.000Hz ο έλεγχος μπορεί να γίνεται ανά μισή οκτάβα. Ο έλεγχος ανά μισή οκτάβα ενδείκνυται να γίνεται όταν ανά ουδό ακοής, μεταξύ δύο συνεχόμενων ανά οκτάβα συχνοτήτων είναι μεγαλύτερος των 20dB. Ειδικά όταν υπάρχει περίπτωση ακουστικού τραύματος ή σε περιπτώσεις που το ακούγραμμα θα χρησιμοποιηθεί για χορήγηση αποζημιώσεων πρέπει πάντα να εξετάζονται οι συχνότητες των 3.000Hz και 6.000Hz. Τα επίπεδα του ήχου, που μετρώνται σε dB-HL αντιπροσωπεύουν την ένταση με την οποία το αυτί προσλαμβάνει τον ήχο και αυτός γίνεται αντιληπτός από τον εξεταζόμενο. (9) Το ακούγραμμα γίνεται με την μέθοδο της τονικής ακοομετρίας με την χρήση ενός οργάνου που λέγεται ακοογράφος ή ακοομετρητής. Αυτό το όργανο παράγει καθαρούς τόνους διαφόρων συχνοτήτων και εντάσεων μετά την ρύθμισή του από τον χειριστή του. Η εξέταση των ουδών της αέρινης αγωγής του ήχου γίνεται με την χρήση ακουστικών (π.χ. κάψες TDH39) και της οστέινης αγωγής του ήχου με την χρήση ενός ειδικού εξαρτήματος που λέγεται δονητής ή οστεόφωνο (π.χ. οστεόφωνο B71). Για την μέτρηση της αέρινης αγωγής ο χειριστής του ακοομετρητή μπορεί να μετρήσει την ακοή για κάθε αυτί ξεχωριστά όταν έχει εφαρμόσει στερεοφωνικά ακουστικά και στα δύο αυτιά ταυτόχρονα μέσω ακοομετρίας ελευθέρου πεδίου. Για την μέτρηση της αέρινης αγωγής, με ακουστικά, υπάρχουν δύο τύποι ακουστικών. Αυτά που καλύπτουν το περύγιο του ωτός και έρχονται σε επαφή με αυτό και τα ακουστικά που μπαίνουν μέσα στον ακουστικό πόρο. Τα ακουστικά που μπαίνουν μέσα στον ακουστικό πόρο έχουν κάποια πλεονεκτήματα έναντι των ακουστικών που καλύπτουν τον ακουστικό πόρο. Τα πλεονεκτήματα είναι πως με τα ένθετα ακουστικά έχουμε μεγαλύτερη ενδοωτιαία εξασθένηση και επίσης λαμβάνεται υπόψιν η σύμπτωση των τοιχωμάτων της χόνδρινης μοίρας του έξω ακουστικού πόρου.

Όταν λαμβάνεται ένα ακούγραμμα πρέπει πάντα να λαμβάνεται υπόψιν πως τα δύο αυτιά δεν είναι ποτέ ακουστικά απομονωμένα μεταξύ τους. Τα ηχητικά ερεθίσματα που χορηγούνται στο ένα αυτί μπορούν να μεταφερθούν στο άλλο διαμέσου των οστών του κρανίου και έτσι να υπάρξει ακουστικό ερέθισμα και στην αντίθετη πλευρά από αυτήν που εξετάζεται. Μια περίπτωση που μπορεί να συμβεί αυτό είναι στην περίπτωση μεγάλου βαθμού, μονόπλευρης

βαρηκοΐας.

Η μεταφορά του ερεθίσματος διαμέσου των οστών του κρανίου σημαίνει πως όταν εξετάζεται η δια των οστών αγωγή για την μία πλευρά, ερεθίζεται σχεδόν ισόποσα και η αντίθετη πλευρά. Όταν η αγωγή του ερεθίσματος γίνεται δια του αέρος μπορεί να ερεθιστεί και η αντίθετη πλευρά όταν το ηχητικό ερέθισμα στο αυτί που εξετάζεται υπερβαίνει την ενδοωτιαία εξασθένηση. Η ενδοωτιαία εξασθένηση είναι η διαφορά της έντασης του ηχητικού ερεθίσματος ανάμεσα στο αυτί που εξετάζεται και στο αυτί της αντίθετης πλευράς. Έχει βρεθεί πως η ενδοωτιαία εξασθένηση για την δια του αέρος αγωγή είναι περίπου 40dB - 60dB, όταν η εξέταση γίνεται με ακουστικά που έρχονται σε επαφή με το πτερύγιο, και περίπου 55dB - 70dB για τα ακουστικά που μπαίνουν μέσα στον ακουστικό πόρο.

Για να αποφευχθεί ο ηχητικός ερεθισμός του αυτιού που δεν εξετάζεται, χρησιμοποιείται η τεχνική της ηχοκάλυψης (masking). Όταν εξετάζεται ένα αυτί υπάρχει πιθανότητα ο ήχος που παρέχεται να γίνει αντιληπτός και από το άλλο αυτί λόγω του ότι τα δύο αυτιά δεν έχουν κάποιου είδους μόνωση μεταξύ τους. Έτσι, ειδικά όταν τα ηχητικά ερεθίσματα είναι υψηλών εντάσεων, είναι πιθανόν ο ήχος να γίνει αντιληπτός από το αντίθετο αυτί από αυτό που εξετάζεται μέσω της δόνησης των οστών του κεφαλιού. Αυτό συμβαίνει γιατί η ένταση που παρουσιάζεται στο ένα αυτί έχει αρκετή ενέργεια ώστε ο ήχος να διασχίσει το κεφάλι και να διεγερθεί ο κοχλίας του άλλου αυτιού. Αυτό έχει ως συνέπεια να γίνεται ουσιαστικά εξέταση στο αυτί που δεν εκτίθεται σε ήχο. Το φαινόμενο αυτό της διαρροής του ήχου στο αντίθετο από το εξεταζόμενο αυτί είναι συχνό σε περιπτώσεις που υπάρχει μονόπλευρη απώλεια ακοής ή η διαφορά μεταξύ των ουδών των δύο αυτιών είναι μεγάλη. Για να εξαιρεθεί αυτό το φαινόμενο εφαρμόζεται η τεχνική της ηχοκάλυψης. Στην ηχοκάλυψη γίνεται τεχνητά ανύψωση των κατώφλιών της ακοής στο μη εξεταζόμενο αυτί με χρήση ενός θορύβου ώστε να μην γίνονται αντιληπτοί οι τόνοι της δοκιμής στο εξεταζόμενο αυτί. Ο τύπος και η ένταση του θορύβου που εφαρμόζεται στο μη εξεταζόμενο αυτί προκύπτει αναλογικά με τους ουδούς της ακουστικής αντίληψης του εξεταζόμενου και συνήθως είναι λευκός θόρυβος σε αντιστοιχία με την συχνότητα του καθαρού τόνου που παρέχεται στο εξεταζόμενο αυτί. Πρέπει να υπάρχει επαρκής ηχοκάλυψη κατά την εξέταση οπότε η ένταση του θορύβου που εφαρμόζεται πρέπει να είναι υψηλότερη από το κατώφλι ακοής του αυτιού που δεν εξετάζεται. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η ηχοκάλυψη έχει τον σκοπό της αποφυγής της συμμετοχής του μη εξεταζόμενου αυτιού όταν γίνεται προσπάθεια για να βρεθεί ο ουδός ακοής της εξεταζόμενης πλευράς. Εάν κατά την εξέταση το μη εξεταζόμενο αυτί συμμετέχει, έχουμε το φαινόμενο Crossover Hearing -Διασταυρούμενη Ακοή-. Υπάρχουν κάποιοι κανόνες κατά την χορήγηση της ηχοκάλυψης που καθορίζονται από τους παρακάτω παράγοντες.

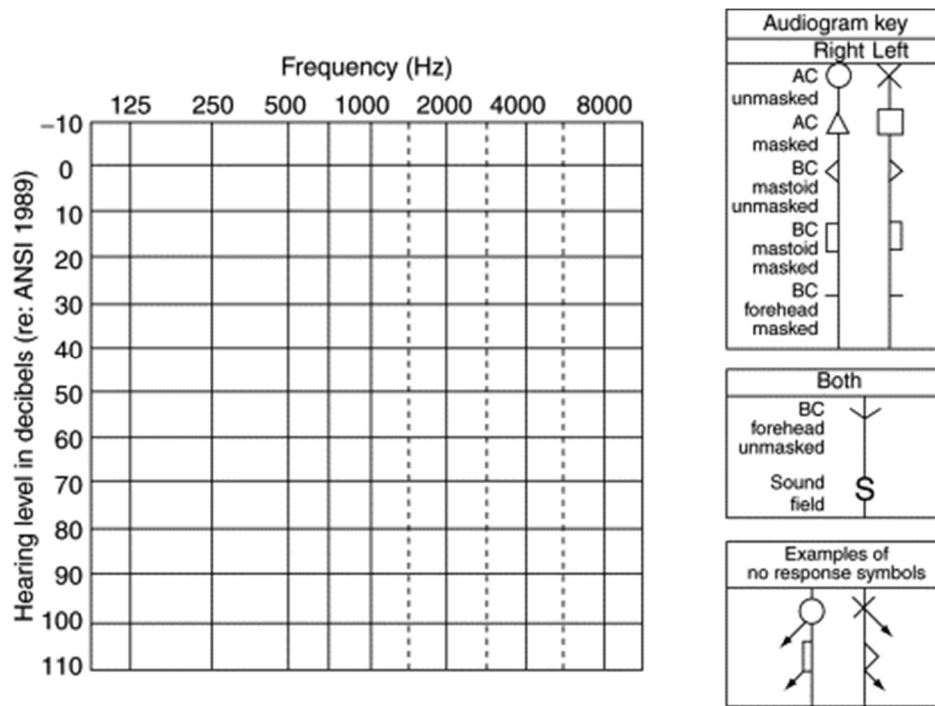
1. Το επίπεδο ακοής της πλευράς που δεν εξετάζεται.
2. Την ένταση του ηχητικού ερεθίσματος που χορηγείται το αυτί που εξετάζεται.
3. Την μείωση που υφίσταται το ηχητικό σήμα όπως αυτό περνάει διαμέσου των οστών του κρανίου.

Κατά την εξέταση αέρινης αγωγής, όταν υπάρχει υπέρβαση 40dB για τις χαμηλές συχνότητες και 60dB για τις υψηλές συχνότητες στην ένταση του ηχητικού ερεθίσματος σε σχέση με την αέρινη ή οστέινη αγωγή του μη εξεταζόμενου αυτιού ή όταν έχουμε διαφορά αέρινης οστέινης μεγαλύτερη από 10dB στο εξεταζόμενο αυτί, κάνουμε χρήση ηχοκάλυψης. Η διαδικασία της ηχοκάλυψης γίνεται με τους εξής τρόπους.

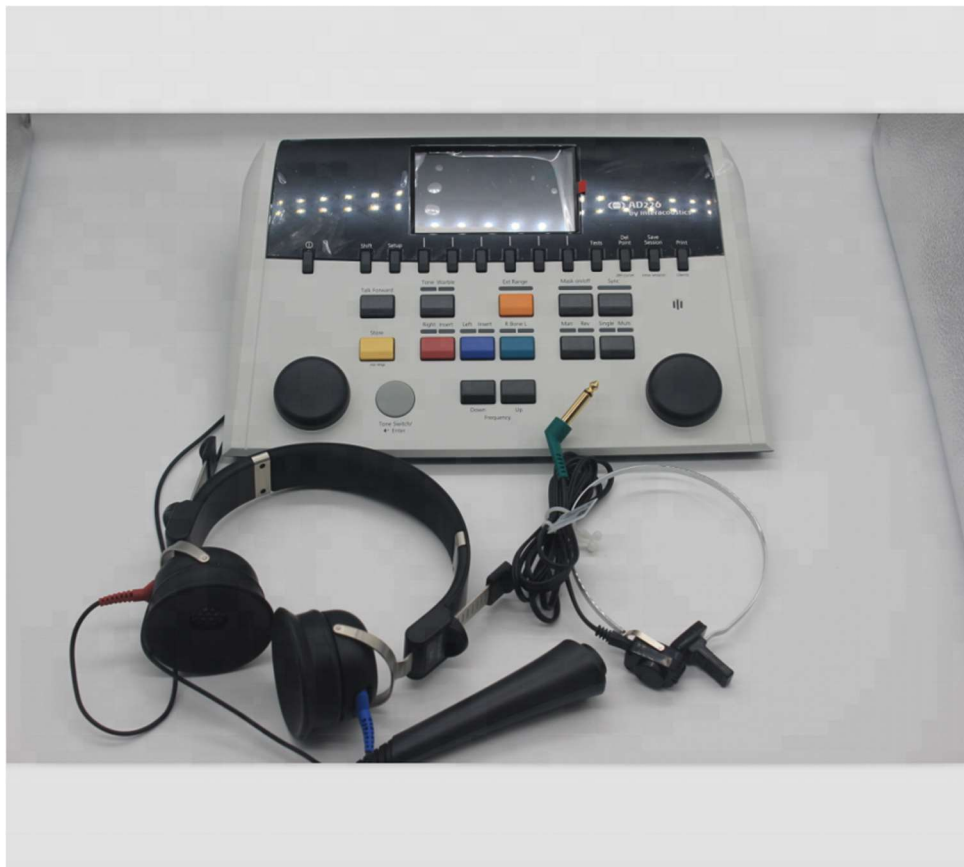
Για την αέρινη αγωγή: Στο μη εξεταζόμενο αυτί βάζουμε το επίπεδο έντασης της ηχοκάλυψης να είναι όσο ο ουδός που έχει προκύψει στο ίδιο αυτί σύν 15dB. Αν ο εξεταζόμενος απαντήσει, αυξάνεται το επίπεδο έντασης της ηχοκάλυψης κατά 5 dB μέχρι να απαντήσει 3 φορές, δηλαδή 3 αυξήσεις-4 απαντήσεις. Ο ουδός που θα βρεθεί μετά από αυτή την διαδικασία είναι ο πραγματικός. Εάν δεν απαντήσει τότε αυξάνεται η ένταση του ήχου στο εξεταζόμενο αυτί κατά 5dB μέχρι να απαντήσει και επαναλαμβάνεται η παραπάνω διαδικασία.

Για την οστέινη αγωγή: Αφού ληφθούν οι ουδοί της οστέινης αγωγής και στα δύο αυτιά χωρίς ηχοκάλυψη, εάν υπάρχει διαφορά ανάμεσα σε αέρινη και οστέινη του ίδιου αυτιού μεγαλύτερη από 10dB τότε εφαρμόζουμε ηχοκάλυψη στο μη εξεταζόμενο αυτί με την ένταση της ηχοκάλυψης να είναι ο ουδός του μη εξεταζόμενου αυτιού σύν 15dB, σύν 15dB για τις συχνότητες από 0.25KHz και 0.5KHz, 10dB για την συχνότητα του 1KHz, 0dB για τις συχνότητες των 2 - 4KHz.

Όταν κατά την απόκτηση του ουδού της ακοής, μετά τις τρεις αυξήσεις, έχει βρεθεί μια τιμή που αν αφαιρεθούν από αυτή 40dB, το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι μεγαλύτερο από τον ουδό της οστέινης αγωγής στο εξεταζόμενο αυτί τότε έχει γίνει overmasking και δεν είναι δυνατόν να καθοριστεί ο ακριβής ουδός.



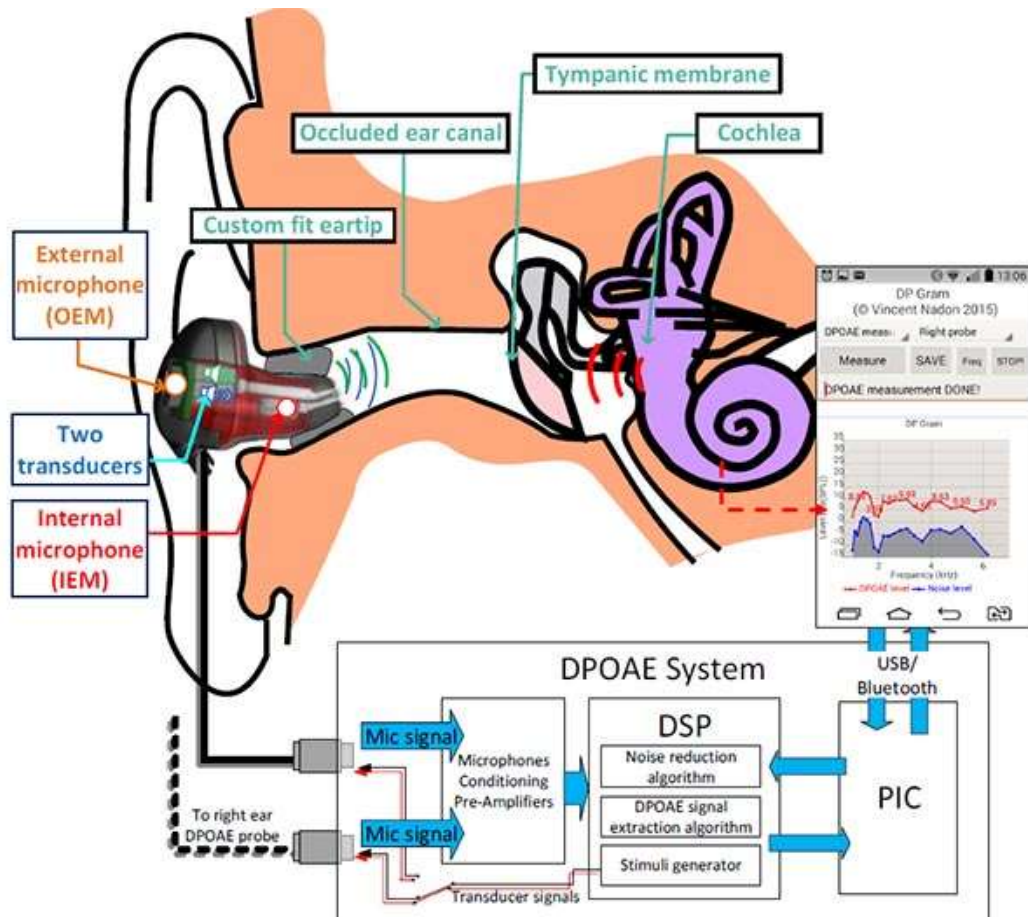
Εικόνα 7. Διάγραμμα τονικού ακοογράμματος και τα σύμβολά του (από Google Images)



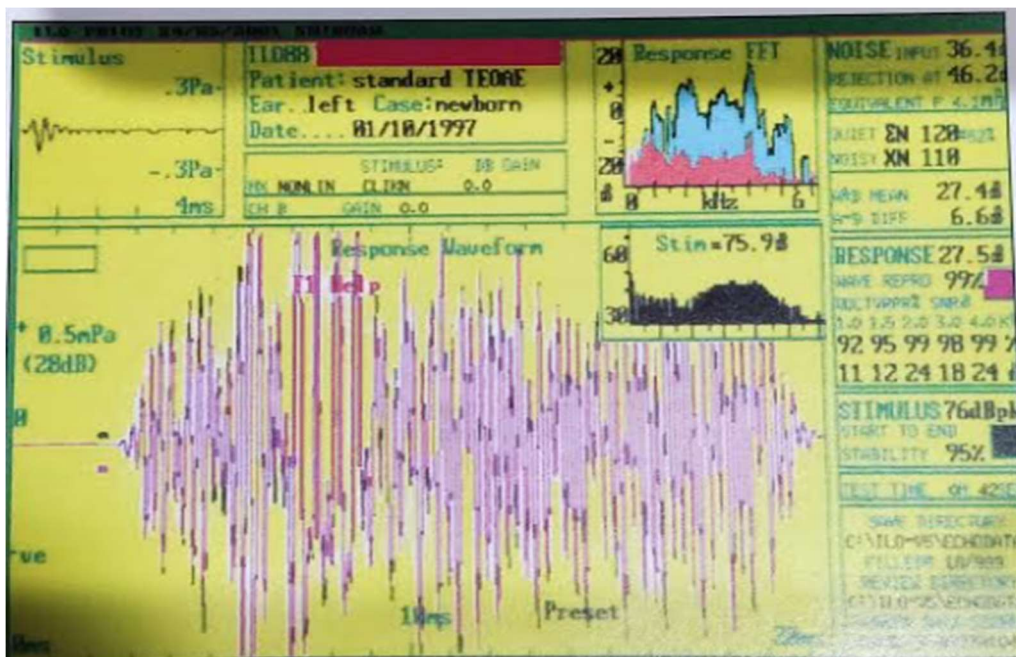
Εικόνα 8. Ακοομετρητής (από Google Images)

1.6 Ωτοακουστικές εκπομπές

Οι ωτοακουστικές εκπομπές (OAEs) ανακαλύφθηκαν από τον David Kemp το 1978 όμως η παρουσία τους είχε προβλεφθεί από τον Gold το 1948. Οι ωτοακουστικές εκπομπές είναι ενέργεια. Ενέργεια μιας ορισμένης ακουστικής συχνότητας και αποτελούν ένα παραπροϊόν των κοχλιακών μηχανισμών ενίσχυσης. Η φυσιολογική λειτουργία των έξω τριχωτών κυττάρων με τις ηλεκτρομηχανικές ιδιότητες που διαθέτουν και συμβάλουν στον κοχλιακό ενισχυτή (cochlear amplifier) είναι αυτή που παράγει τις ωτοακουστικές εκπομπές. Οι OAEs διαβιβάζονται στον έξω ακουστικό πόρο, όπου και μετριούνται με την βοήθεια ειδικού μηχανήματος, μέσω της ακουστικής αλυσού και του τυμπανικού υμένα, έτσι για να γίνει η καταγραφή τους πρέπει να υπάρχει φυσιολογικός έξω ακουστικός πόρος αλλά και φυσιολογικό μέσο ούς. Είναι ήχοι χαμηλής έντασης κάτω από 30dB SPL που παράγονται από έναν φυσιολογικό κοχλία και ανιχνεύονται στον έξω ακουστικό πόρο. Κατά την δόνηση της βασικής μεμβράνης κινούνται και τα έξω τριχωτά κύτταρα. Όταν εκπολώνουν κονταίνουν (βραχύνονται), όταν υπερπλώνουν μακραίνουν (επιμηκύνονται) και έχουν δύο μορφές κινητικότητας την ταχεία και την βραδεία. Η βραδεία κινητικότητα σχετίζεται με τις συνάψεις στις απαγωγές νευρικές ίνες και ο κύριος νευροδιαβιβαστής είναι η ακετυλοχολίνη. Επειδή τα έξω τριχωτά κύτταρα αλληλοσυνδέονται όλες οι μηχανικές επιδράσεις από τις κινήσεις τους προκαλεί κίνηση του καλυπτήριου υμένα και έτσι ενίσχυση της κίνησης της βασικής μεμβράνης σε στενή ζώνη συχνοτήτων. Αυτό κάνει δυνατή την ενίσχυση, με μηχανικό τρόπο, της κίνησης των έσω τριχωτών κυττάρων. Στις προσαγωγές συνάψεις ο νευροδιαβιβαστής είναι η γλουταμίνη. Οι νευρικές ίνες είναι εξειδικευμένες ανά συχνότητες λόγω ευαισθησίας σε φάσμα συχνοτήτων που είναι στενό. Οι ίνες των χαμηλών συχνοτήτων φέρονται στο κέντρο του ακουστικού νεύρου και αντιστοιχούν στην κορυφή του κοχλία και οι ίνες των υψηλών συχνοτήτων φέρονται στην περιφέρεια του ακουστικού νεύρου και αντιστοιχούν στην βάση του κοχλία. Η δραστηριότητα αυτή των έξω τριχωτών κυττάρων παράγει μιας χαμηλής εντάσεως ηχητική ενέργεια που εκπέμπεται κατά φορά αντίστροφη (από μέσα προς τα έξω), μετριέται εντός του αποφραγμένου -τεχνητά- ακουστικού πόρου και είναι οι ωτοακουστικές εκπομπές. Οι OAEs δεν θεωρούνται απαραίτητες για την φυσιολογική ακοή, όμως, η παρουσία τους είναι ένδειξη πως οι μηχανισμοί ενίσχυσης του κοχλία είναι ακέραιοι.



Εικόνα 9. Παραγωγή παροδικά προκλητών OAEs με χορήγηση ηχητικού ερεθίσματος. (από <https://substance.etsmtl.ca>)



Εικόνα 10. Καταγραφή φυσιολογικών OAEs στον Η/Υ (από Ωτορινολαρυγγολογία - χειρουργική κεφαλής και τραχήλου - Σισμάνης-Αθανασιάδης Αριστείδης)

Οι ΟΑΕs μπορούν να ταξινομηθούν, ανάλογα με το αν τις προκαλεί ακουστικό ερέθισμα ή όχι, σε δύο κατηγορίες. Η μία κατηγορία είναι οι αυτόματες, που εκλύονται χωρίς να υπάρχει κάποια εξωτερική διέγερση και η άλλη κατηγορία είναι οι ΟΑΕs που εκλύονται μετά από την χορήγηση ηχητικού ερεθίσματος. Οι αυτόματες ΟΑΕs σημειώνονται στην βιβλιογραφία ως SOAEs (Spontaneous Otoacoustic Emissions) που ουσιαστικά είναι χαμηλού επιπέδου και στενής ζώνης σήματα που μπορούν να καταγραφούν στον έξω ακουστικό πόρο χωρίς να υπάρχει οποιαδήποτε εξωτερική διέγερση. Στην δεύτερη κατηγορία έχουμε τις ΟΑΕs που εκλύονται μετά από ακουστική διέγερση και με τη σειρά τους χωρίζονται σε τρεις υποκατηγορίες, α) οι ΟΑΕs συχνότητας ερεθίσματος. Σε αυτές τις ΟΑΕs το ερέθισμα είναι ένας τόνος σταθερής συχνότητας που είναι συνεχής. Σημειώνονται στην βιβλιογραφία ως SFOAEs (Stimulus Frequency Otoacoustic Emissions), β) οι παροδικά προκλητές ΟΑΕs. Σε αυτές τις ΟΑΕs το ερέθισμα αποτελείται από ηχητικά clicks ή tonebursts. Στην βιβλιογραφία θα τις δούμε ως TEOAEs (Transient Evoked Otoacoustic Emissions) ή και ως CEOAEs (Click Evoked Otoacoustic Emissions). Επίσης σε αυτήν την κατηγορία των TEOAEs υπάρχουν και οι ΟΑΕs που εκλύονται μετά από χορήγηση ερεθισμάτων τύπου Chirp και τις συναντάμε στην βιβλιογραφία ως CHOAEs (Chirp Evoked Otoacoustic Emissions), γ) τις ΟΑΕs προϊόντων παραμόρφωσης οι οποίες εκλύονται όταν το ηχητικό ερέθισμα που χορηγείται είναι δύο τόνοι διαφορετικών συχνοτήτων. Τις τελευταίες ΟΑΕs τις βλέπουμε στην βιβλιογραφία να σημειώνονται ως DPOAEs (Distortion Product Otoacoustic Emissions). Γενικά οι ΟΑΕs παράγονται σε φυσιολογικούς κοχλίες ή με κάποιου πολύ μικρού βαθμού έκπτωση ακουστικής ικανότητας, έως 30dB. Η παρουσία φυσιολογικών ΟΑΕs επιβεβαιώνει, αρχικά, την φυσιολογική κινητικότητα του μέσου ωτός μιας και μεταδίδονται στον έξω ακουστικό πόρο, όπου και μετριοούνται, μέσω του τυμπανικού υμένα. Στην πράξη όμως οι ΟΑΕs είναι μια μέθοδος που μπορεί να μετρήσει την δραστηριότητα της ενίσχυσης του ταξιδεύοντος κύματος μέσα στον κοχλία. Μέσα από πολλές μελέτες επιβεβαιώνεται πως η παραγωγή των ΟΑΕs είναι θέμα των έξω τριχωτών κυττάρων και η παρουσία τους είναι η επιβεβαίωση της φυσιολογικής λειτουργίας και ανατομίας της βασικής μεμβράνης, του οργάνου του Corti και των έξω τριχωτών κυττάρων άρα επιβεβαιώνει πως υπάρχει φυσιολογική ρύθμιση της ενδολέμφου από την αγγειώδη ταινία. Οι ΟΑΕs μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέσο αξιολόγησης του μέσου ωτός και του κοχλία μέχρι το επίπεδο των έξω τριχωτών κυττάρων, στους παραπάνω μηχανισμών χωρίς όμως να κάνουν κάποιον εξειδικευμένο εντοπισμό ως προς το σημείο που πιθανώς υπάρχει κάποια βλάβη. Δεν φαίνεται να υπάρχει συμμετοχή από τα έσω τριχωτά κύτταρα στην παραγωγή των ΟΑΕs. Οι ΟΑΕs είναι μια μέθοδος αξιολόγησης που είναι αντικειμενική γιατί δεν επηρεάζεται καθόλου από την δυνατότητα συνεργασίας του εξεταζόμενου. Επίσης οι ΟΑΕs μπορούν να απαντήσουν ανεξάρτητα για κάθε συχνότητα που μελετάται. Αν και τα ερεθίσματα που προκαλούν τις ΟΑΕs έχουν την μορφή clicks ή πολλαπλών τόνων αυτές δεν παράγονται σε

περιοχές του κοχλίου που έχουν καταστραφεί. Παρόλα αυτά, δεν είναι εύκολο να χαρτογραφηθούν τα σημεία του κοχλίου που είναι κατεστραμμένα ή υγιή μιας και ακόμα και όταν το ηχητικό ερέθισμα για την πρόκληση των ΟΑΕs είναι τόνος το ταξιδεύον κύμα ερεθίζει μια μεγαλύτερη περιοχή του κοχλίου σε σχέση με την συγκεκριμένη συχνότητα του τονικούερεθίσματος. Η περιοχή αυτή μπορεί να αντιστοιχεί και στο 30% των συνολικών αισθητήριων κυττάρων του κοχλίου. Για τον παραπάνω λόγο δεν μπορεί να γίνει εύκολα κάποια αντιστοίχιση των ΟΑΕs που εκλύονται με τον ουδό ακοής ανά συχνότητα με την ακρίβεια που αυτός μπορεί να ληφθεί με ένα τονικό ακούγραμμα. Στις ΤΕΟΑΕs τα ερεθίσματα είναι clicks, tonebursts ή chirps ενώ στις DΡΟΑΕs είναι τόνοι. Αυτό σημαίνει πως οι DΡΟΑΕs μπορούν να καταγράψουν μια απάντηση ευκολότερα από ένα επηρεασμένο αντί μιας και έχουν μεγαλύτερη ευαισθησία γιατί όταν γίνεται χρήση τόνων έχουμε μεγαλύτερη ενέργεια που μεταφέρεται στον κοχλία κατά την χορήγηση του ερεθίσματος. Το ίδιο δεν συμβαίνει με τις ΤΕΟΑΕs μιας και έχουν μικρότερη ενέργεια που μεταφέρεται στον κοχλία από το ερέθισμα, λόγω των click. Έχουν όμως υψηλότερη ειδικότητα σε παθολογίες. Επίσης, οι ΤΕΟΑΕs είναι περισσότερο επαρκείς στην καταγραφή των απαντήσεων συχνοτήτων μικρότερων του 1ΚΗz ενώ οι DΡΟΑΕs είναι περισσότερο επαρκείς για την καταγραφή των απαντήσεων συχνοτήτων μεγαλύτερων των 4ΚΗz -5ΚΗz. Μετά από αρκετές μελέτες, οι DΡΟΑΕs δείχνουν να κάνουν καλύτερη χαρτογράφηση του κοχλίου σε σχέση με τις ΤΕΟΑΕs χωρίς αυτό να σημαίνει πως η ουσιαστική χαρτογράφηση του κοχλίου είναι εφικτή με την χρήση DΡΟΑΕs μιας και η τονική ακοομετρία, η ανάλυση συχνοτήτων ανά οκτάβα είναι, το βασικό εργαλείο, το σημείο αναφοράς στην ακοολογία και γενικότερα η συσχέτιση των δύο εξεταστικών μεθόδων είναι δύσκολη και δεν έχει γίνει ιδιαίτερη έρευνα πάνω σε αυτόν τον τομέα.

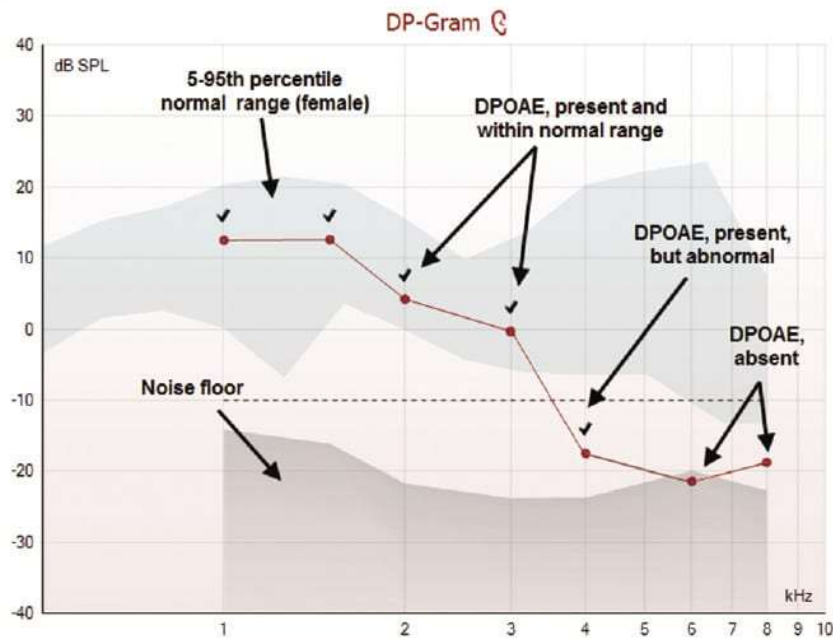
Οι DΡΟΑΕs είναι η απόκριση του κοχλίου σε ένα ηχητικό ερέθισμα δύο απλών τόνων με ταυτόχρονη χορήγηση και αποκαλούνται βασικοί τόνοι. Σε αυτούς τους δύο βασικούς τόνους, ο βασικός τόνος με την μικρότερη ένταση χαρακτηρίζεται ως f1 και η έντασή του ως L1 και αυτός με τη μεγαλύτερη έντασης ως f2 και η έντασή του ως L2. Όταν αυτός ο τόνος χορηγείται στον κοχλία, η απόκριση (DP) ονομάζεται έτσι γιατί είναι ένας τόνος που δεν υπάρχει στο χορηγούμενο ηχητικό ερέθισμα αλλά παράγεται από τον κοχλία ο οποίος δεν έχει γραμμικές ιδιότητες (10)(11). Οι DΡΟΑΕs έχουν κάποιες χαρακτηριστικές ιδιότητες. Η σχέση συχνότητας των βασικών τόνων στις DΡΟΑΕs έχει μεγάλη σημασία για τις μετρήσεις. Όταν υπάρχει πολύ μεγάλη ή πολύ μικρή διαφορά στις βασικές συχνότητες, δεν καταγράφονται DΡΟΑΕs. Για κάθε ένα από τα ζεύγη των βασικών τόνων, απέχουν μεταξύ τους κατά 1/3 της οκτάβας, πρέπει να ισχύει η αναλογία $f2/f1 = 1,2$. (12) Αυτή η αναλογία παράγει τις πιο εύρωστες DΡΟΑΕs σε όλες τις ηλικιακές ομάδες στο φάσμα συχνοτήτων από

1-8KHz. Επίσης η ένταση των βασικών τόνων έχει μεγάλη σημασία για τις μετρήσεις. Η πιο διαδεδομένη σχέση έντασης των δυο βασικών τόνων είναι $L1=65\text{dB}>L2=55\text{dB}$. (13)

Όταν χορηγούνται οι βασικοί τόνοι με τις κατάλληλες σχέσεις μεταξύ τους προκαλείται η παραγωγή DPOAEs από τον κοχλία που μεταδίδονται στην βάση του αναβολέα και κατόπιν στον έξω ακουστικό πόρο. Μετά την χορήγηση των βασικών τόνων γίνεται φασματική ανάλυση Fourier από την ειδική εφαρμογή και εντοπίζονται DPOAEs στις περιοχές του βασικού υμένα που προβλέπονται. Η περιοχή του βασικού υμένα που παράγει τις περισσότερο εύρωστες DPOAEs είναι η περιοχή που αντιστοιχεί στην σχέση $2f1-f2$. Ο τρόπος που συνηθίζεται για να αναφερόμαστε στα αποτελέσματα είναι η γραφική απεικόνιση DPgram. Ουσιαστικά είναι η γραφική απεικόνιση του εύρους των DPOAEs σε dB SPL σε συνάρτηση με τις συχνότητες των δύο βασικών τόνων. (13)



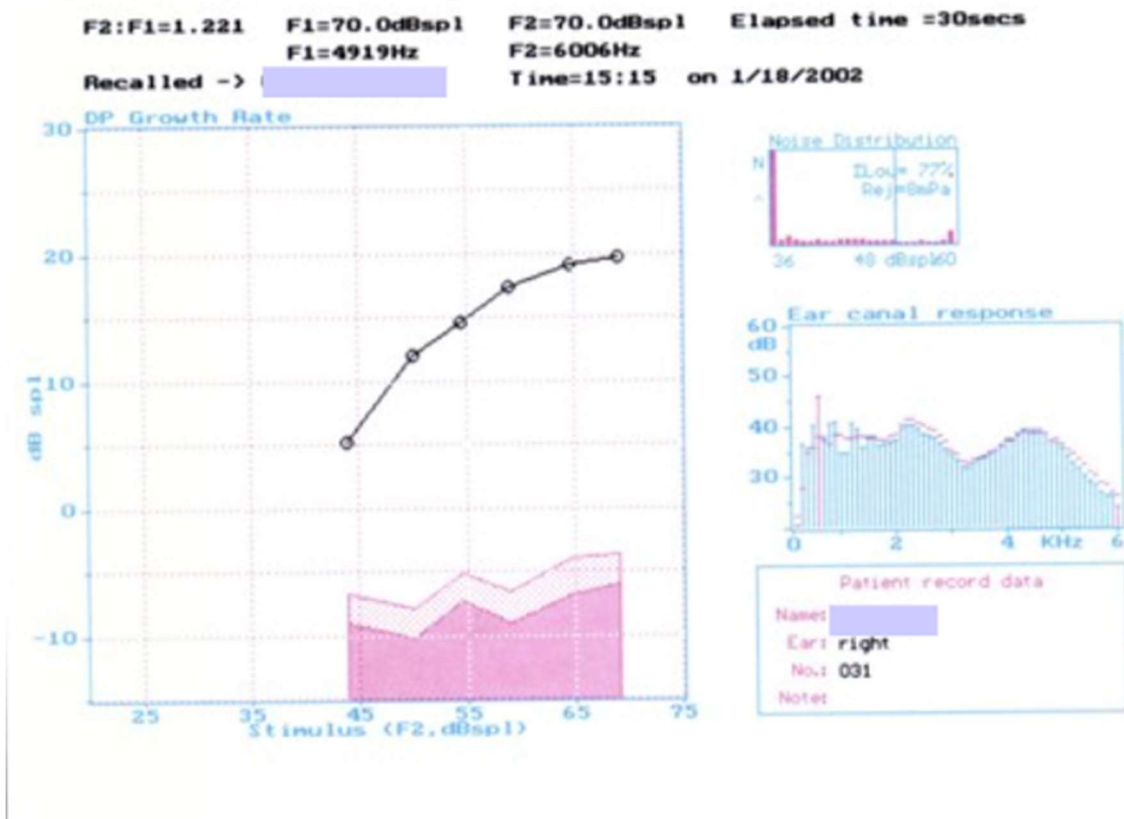
Εικόνα 11. Παραγωγή DPOAEs μετά από χορήγηση τονικών ερεθισμάτων $f1$ και $f2$ (από Ωτορινολαρυγγολογία - χειρουργική κεφαλής και τραχήλου - Σισμάνης-Αθανασιάδης Αριστείδης)



Εικόνα 12. DP-Gram (από Interacoustics.com)

1.6.1 DPOAE I/O Functions (Input / Output Functions)

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω οι DPOAEs προέρχονται από τον κοχλία όταν παρέχεται ερέθισμα δύο τόνων f_1 και f_2 . Οι DPOAEs είναι προϊόντα μη αρμονικής παραμορφώσεως του κοχλία. Σε μια διαφορετική προσέγγιση γίνεται καταγραφή του πλάτους των DPOAEs σε σχέση με τις διαφορετικές εντάσεις του ηχητικού ερεθίσματος. Η εξάρτηση αυτή του πλάτους της DPOAE L2 με τον τόνο f_2 καλείται DPOAE I/O Function. Χρειάζεται περισσότερο χρόνο για να γίνει η καταγραφή, όμως φαίνεται πως υπολογίζει καλύτερα την ευαισθησία της ακοής.



Εικόνα 13. DPOAE I/O Functions (από Google Images)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Αυτή η διπλωματική εργασία έχει σκοπό την ανασκόπηση στην βιβλιογραφία ώστε να απαντηθούν τα παρακάτω ερωτήματα.

- Ποια είναι η συσχέτιση των ουδών που προκύπτουν από το τονικό ακούγραμμα και των ουδών που προκύπτουν από τις DPOAEs ανά συχνότητα στους ενήλικες.
- Ποια είναι η συσχέτιση των ουδών που προκύπτουν από το τονικό ακούγραμμα και των ουδών που προκύπτουν από τις DPOAEs ανάλογα με το βαθμό βαρηκοΐας στους ενήλικες.
- Είναι οι DPOAEs αξιόπιστη μέθοδος προσδιορισμού της ακουστικής οξύτητας;

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ

Η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας για το θέμα βασίστηκε στο πρωτόκολλο PRISMA. Το πρωτόκολλο της εφαρμογής PRISMA “Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analysis” είναι ένας τύπος συστηματικής βιβλιογραφικής ανασκόπησης στο οποίο γίνεται χρήση αναλυτικών μεθόδων για να συλλεχθούν δεδομένα και αυτά να αναλυθούν ποσοτικά και ποιοτικά. Στην συστηματική ανασκόπηση γίνεται επιλογή διαφόρων μελετών που είναι καλά μεθοδολογικά σχεδιασμένες και στο πλαίσιο της επιχειρείται να δοθεί μια απάντηση σε ερευνητικά ερωτήματα, με βάση προδιαγεγραμμένους κανόνες, μέσω της αποτίμησης του συνόλου της βιβλιογραφίας που έχει επιλεγεί. Η παρούσα μελέτη δεν είναι μετανάλυση καθώς η μετανάλυση είναι μια μαθηματική διαδικασία όπου τα αποτελέσματα των μελετών που έχουν επιλεγεί μετά την συστηματική ανασκόπηση συνδυάζονται στατιστικά.

3.2 Πηγές βιβλιογραφίας – Στρατηγικές αναζήτησης

Η αναζήτηση έγινε στις ηλεκτρονικές μηχανές αναζήτησης PubMed, Cochrane Library, Google Scholar, Medline με την χρήση όρων Distortion Product Otoacoustic Emissions, DPOAE, pure-tone, audiometry, thresholds, correlation, comparison, association, estimation στους τομείς: τίτλος, περίληψη, λέξεις κλειδιά, θέμα.

Η αναζήτηση με τον όρο DPOAEs εμφάνισε πάρα πολλά αποτελέσματα στις μηχανές αναζήτησης που στην πλειοψηφία δεν είχαν συνάφεια με το θέμα.

Η αναζήτηση με τους όρους distortion product otoacoustic emissions vs pure tone audiometry εμφάνισε λιγότερα αποτελέσματα που όμως δεν είχαν σχετική συνάφεια με το θέμα.

Η αναζήτηση με τους όρους dpoae pure tone audiometry thresholds correlation ήταν αυτή που εμφάνισε τα περισσότερα συναφή αποτελέσματα. Πιο συγκεκριμένα: η ηλεκτρονική μηχανή αναζήτησης Google scholar εμφάνισε 2560 αποτελέσματα. Η PubMed εμφάνισε 79 αποτελέσματα. Η Cochrane Library εμφάνισε 1 αποτέλεσμα που δεν ήταν σχετικό με το θέμα. Η Medline δεν εμφάνισε κανένα αποτέλεσμα.

Κατόπιν αφαίρεσης των άρθρων που δεν είχαν συνάφεια με το θέμα, δεν ήταν στην αγγλική γλώσσα, δεν είχαν περίληψη, ήταν παλαιότερα της εικοσαετίας (<2001), δεν περιλάμβαναν τους όρους correlation, relationship, audiometry η αναζήτηση απέδωσε 13 άρθρα που πληρούσαν τα κριτήρια που είχαν τεθεί για να μπούν στην παρούσα μελέτη ανασκόπησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω στην μελέτη συμπεριλαμβάνονται αποτελέσματα που περιέχουν DPOAE, pure-tone, audiometry, thresholds, correlation, comparison, otoacoustic emissions

Στον παρακάτω πίνακα θα αναφερθούν όλες οι μελέτες που συμπεριλήφθηκαν σε αυτή την διπλωματική εργασία.

Πίνακας 1 Μελέτες στις οποίες έγινε ανασκόπηση

Συγγραφέας	Τίτλος	Είδος Μελέτης	Σκοπός	Συμπεράσματα
1.Bo Engdahl, Kristian Tambs & Howard J. Hoffman	Otoacoustic emissions, pure-tone audiometry, and self-reported hearing	Μελέτη Κοορτής	Να περιγραφεί η συσχέτιση μεταξύ των ουδών που προσδιορίζονται μέσω οτοακουστικών εκπομπών (OAE), των ουδών που προσδιορίζονται μέσω ακοομετρίας καθαρών τόνων σε σχέση με την προσωπική αντίληψη που έχει ο κάθε εξεταζόμενος για την ακουστική του ικανότητα.	Παρατηρήθηκαν συντελεστές συσχέτισης της τάξης του 0.3-0.5 μεταξύ των ουδών των οτοακουστικών εκπομπών και της προσωπικής - υποκειμενικής - αντίληψης της ακοής των εξεταζόμενων. Γενικά η ακοομετρία καθαρών τόνων είχε καλύτερες προβλέψεις στους ουδούς σε σχέση με τις προβλέψεις των οτοακουστικών εκπομπών.
2.Ualace de Paula Campos, Renata Mota Mamede Carvalho	Correlation between DPOAE I/O functions and pure-tone thresholds	Προοπτική Μελέτη	Να ελεγχθεί η αντιστοιχία μεταξύ των ουδών ακοής ακοομετρίας καθαρών τόνων και τους ουδούς απόκρισης μέσω DPOAEs λαμβάνοντας υπόψιν μεταβλητές όπως	Υπήρξε ένας υψηλός και σημαντικός συσχετισμός των ακοομετρικών ουδών όταν οι DPOAEs είχαν τις χαμηλότερες

			φύλο, παρελθόν των μέσων οξέων ωτίτιδων και πλευρά εξεταζόμενου αυτιού.	εντάσεις κατά την καταγραφή τους όμως δεν μπορεί να αντικατασταθεί η τονική ακουομετρία για την αναγνώριση των ουδών γιατί οι μεταβλητές που υπάρχουν για να παραχθούν οι DPOAEs είναι πολλές.
3.Lauren A. Shaffer, Sumitrajit Dhar	DPOAE Component Estimates and Their Relationship to Hearing Thresholds	Μελέτη παρατήρησης	Να ελεγχθεί η σχέση μεταξύ των ουδών ακοής και του επιπέδου των συστατικών των DPOAEs.	Όσον αφορά τα ανθρώπινα αυτιά, υπάρχουν ενδείξεις πως όσο περισσότερο «φυσιολογικό» είναι το ακούγραμμα καθαρών τόνων τόσο περισσότερο συσχετισμένες θα είναι οι DPOAEs. Λόγο, όμως, του ότι υπάρχουν πολλές αιτίες που δεν είναι πάντα διακριτές αναφορικά με την παθολογία στην ακοή μεμονωμένων εξεταζόμενων δεν μπορεί να υπάρξει ουσιαστικός συσχετισμός μεταξύ των ουδών που παράγονται από το τονικό ακούγραμμα και τις DPOAEs
4.Gunjan Mehta, Anuj	Comparative Study on	Μελέτη παρατήρησης	Η αξιολόγηση της αξιοπιστίας της μεθόδου	Η μελέτη καταλήγει στο συμπέρασμα πως

Kumar Neupane, Abhishek Mistri, Hiral Joshi, Nirmal Shah	Method of Threshold Estimation: Distortion Product Threshold Test versus Pure Tone Threshold Test		συγκρίνοντας τα όρια που λαμβάνονται με DPOAE με εκείνα που λαμβάνονται από τις αποκρίσεις στην τονική ακοομετρία σε διάφορες συχνότητες.	υπάρχει σημαντική διαφορά ανάμεσα στις δύο μεθόδους όπου η εκτίμηση των ουδών έχει μέση διαφορά 3dB για το αριστερό αυτί και 4dB για το δεξί αυτί ανάλογα την μέθοδο που χρησιμοποιείται. (Οι μετρήσεις με DPOAEs τείνουν να εκτιμούν μικρότερους ουδούς). Όμως η μέτρηση των ουδών ακοής με ωτοακουστικές εκπομπές μπορεί να είναι ένα εργαλείο αξιολόγησης και πιστοποίησης διαφόρων ακουστικών παθολογιών σε εξεταζόμενους που δεν μπορούν εύκολα ή καθόλου να εξεταστούν με τονική ακοομετρία.
5.Nicolas Schmuziger, Jochen Patscheke, and Rudolf Probst	Automated pure-tone threshold estimations from extrapolated distortion product otoacoustic emission (DPOAE)	Μελέτη παρατήρησης	Έλεγχος μιας προσέγγισης στην πρόβλεψη των ουδών ακοομετρίας καθαρών τόνων διαμέσου της εκτίμησης των ουδών μέσω των λειτουργιών εισόδου/εξόδου DPOAEs	Η διάμεση διαφορά μεταξύ των ουδών τονικής ακοομετρίας και των ουδών DPOAEs ήταν περίπου 2dB χαμηλότερη σε αυτούς που αποκτήθηκαν με χρήση DPOAEs. Ωστόσο, για μεμονωμένους που εξεταζόμενους που

	input/output functions (L)a			ελέγχθηκαν οι διαφορές στους ουδούς έφταναν μέχρι και 30dB. Εκ τούτου τα κλινικά διαγνωστικά οφέλη είναι πιθανώς περιορισμένα
6.Bo Engdahl, Kristian Tambs, Hans M. Borchgrevink, Howard Hoffman	Otoacoustic Emissions in the general adult population of Nord. Norway III. Relationships with pure-tone hearing thresholds	Μελέτη κοορτής	Σε αυτή την μελέτη προσπαθεί να γίνει μια περιγραφή για την συσχέτιση μεταξύ των ουδών ακοής που προκύπτουν από μετρήσεις με ωτοακουστικές εκπομπές και των ουδών ακοής που προκύπτουν από μετρήσεις με τονική ακουομετρία.	Η σχέση μεταξύ των ουδών που προέκυψαν από τις μετρήσεις με ωτοακουστικές εκπομπές και με τους ουδούς που προέκυψαν από μετρήσεις με τονική ακουομετρία είναι καμπυλόγραμμη με ένα μέτριο βαθμό μη γραμμικότητας. Τα αποτελέσματα μας δείχνουν πως οι μετρήσεις με ωτοακουστικές εκπομπές μπορούν να είναι ένα εργαλείο για άλλες πληθυσμιακές μελέτες ή/και κλινικά προγράμματα διαλογής των εξεταζόμενων σε κατηγορίες.
7.Paul Boege and Thomas Janssen	Pure-tone threshold estimation from extrapolated distortion product	Μελέτη παρατήρησης	Σε αυτήν την μελέτη παρουσιάζεται μια νέα μέθοδος για την εκτίμηση των ουδών της ακοής με χρήση των λειτουργιών εισόδου/εξόδου των DPOAEs (DPOAE I/O	Από τις μετρήσεις προέκυψε πως οι ουδοίπου προέκυψαν με χρήση των DPOAE I/O functions ήταν σχεδόν 1:1 με τους ουδούς που προέκυψαν με την

	otoacoustic emission I/O-functions in normal and cochlear hearing loss ears		functions) σε εξεταζόμενους.	χρήση τονικής ακοομετρίας στο 70% των εξεταζόμενων. Για το υπόλοιπο 30% που οι ουδοί δεν ήταν κοντά, η μελέτη καταλήγει πως ίσως να ευθύνεται το ότι υπάρχει κάποια συνεισφορά στις DPOAEs, από κάποιον παθολογικό ή άλλο εξωγενή παράγοντα που δεν έχει ανιχνευτεί, και έτσι δεν μπορεί να γίνει συσχέτιση με τους ουδούς που προκύπτουν από την τονική ακοομετρία. Η μελέτη καταλήγει στο ότι η χρήση των DPOAEs είναι ένα εργαλείο που μπορεί να προβλέψει τους ουδούς της ακοής σε μεγάλο βαθμό και έτσι υπάρχει ανάγκη να ερευνηθεί περισσότερο αυτός ο τομέας.
8. Michael P. Gorga, Stephen T. Neely, Patricia A. Dorn, and Brenda M. Hoover	Further efforts to predict pure-tone thresholds from distortion product otoacoustic emission input/output	Μελέτη παρατήρησης	Σε αυτήν την μελέτη γίνεται προσπάθεια για την περαιτέρω εξερεύνηση της πρόβλεψης των ουδών ακοής με χρήση DPOAEs σε σχέση με την τονική ακοομετρία με βάση την παραπάνω μελέτη των Paul Boegeand, Thomas Janssen	Σε αυτήν την μελέτη βρέθηκε πως όταν οι συνθήκες εξέτασης ήταν ίδιες με αυτές της προηγούμενης μελέτης, οι συσχετίσεις των ουδών ήταν υψηλότερες στις μεσαίες συχνότητες. Τα

	functions			αποτελέσματα έδειξαν πως οι DPOAE I/O functions μπορούν να προβλέψουν τους ουδούς με αρκετή ακρίβεια όμως πρέπει να υπάρχουν αρκετοί περιορισμοί στα εξεταζόμενα αυτιά.
9.Stavros Hatzopoulos Andrea Ciorba Joseph Petruccelli Domenico Grasso Lech Sliwa Krzysztof Kochanek Henryk Skarzynski Alessandro Martini	Estimation of pure-tone thresholds in adults using extrapolated distortion product otoacoustic emission input/output-functions and auditory steady state responses	Μελέτη παρατήρησης	Σε αυτήν την μελέτη έγινε προσπάθεια να εκτιμηθούν οι ουδοί της ακοής σε βαρήκοους ενήλικες με την χρήση DPOAE I/O functions και ASSR.	Με βάση τους ουδούς που μετρήθηκαν με τονική ακοομετρία, σε βαρήκοους ενήλικες, έγινε προσπάθεια να γίνει συσχέτιση με τους ουδούς που προέκυψαν με την χρήση ωτοακουστικών εκπομπών και ASSR. Το αποτέλεσμα ήταν πως δεν προκύπτει σαφής συσχέτισμός ανάμεσα στους ουδούς που προέκυψαν με χρήση της τονικής ακοομετρίας και αυτούς που προέκυψαν με την χρήση DPOAEs.
10.G. Precerutti, M.P. Lunati	Amplitude and frequency correspondence between DPOAE and pure tone audiometry: clinical	Μελέτη παρατήρησης	Σε αυτή την μελέτη γίνεται προσπάθεια να αναλυθούν ανακολουθίες ανάμεσα στις μετρήσεις των ουδών ακοής που προκύπτουν με χρήση τονικής ακοομετρίας και των ουδών που προκύπτουν με χρήση DPOAEs (DPGrams)	Με βάση τους ουδούς που προέκυψαν με την χρήση τονικής ακοομετρίας και αυτούς που προέκυψαν με χρήση των DPOAEs, σε εξεταζόμενους με βαρηκοΐα, η μελέτη

	checkup		σε βαρήκοους εξεταζόμενους και σε εξεταζόμενους με φυσιολογική ακοή.	βρίσκει πως υπάρχουν ανακολουθίες και έτσι καταλήγει πως δεν μπορεί να γίνει αντικειμενική μέτρηση των ουδών της ακοής με χρήση DPOAEs όταν υπάρχει παθολογία στην ακοή.
11. Heraldo Lorena Guida, Ariane Laís de Sousa, Ana Cláudia Vieira Cardoso.	Relationship between the findings of pure-tone audiometry and otoacoustic emission tests on military police personnel	Μελέτη παρατήρησης	Ο σκοπός της μελέτης αυτής είναι να ερευνηθεί την συσχέτιση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν με την χρήση τονικής ακοομετρίας και των αποτελεσμάτων που προκύπτουν με την χρήση DPOAEs στην στρατιωτική αστυνομία.	Τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας ήταν πως υπήρχε συσχέτιση στα αποτελέσματα που προέκυψαν με την χρήση τονικής ακοομετρίας και την χρήση DPOAEs για τις περισσότερες συχνότητες που ελέγχθηκαν και στα δύο αυτιά. Παρατηρήθηκε διαφοροποίηση στα αποτελέσματα ανάμεσα σε εξεταζόμενους χωρίς παθολογία σε σχέση με τους εξεταζόμενους που είχαν κάποιας μορφής έκπτωσης ακοής.
12. D. Zelle, J. P. Thiericke, A. W. Gummer, E.	Multi-Frequency Acquisition of DPOAE Input-Output Functions for Auditory-Threshold	Μελέτη παρατήρησης	Ο σκοπός της μελέτης αυτής είναι η εκτίμηση των ουδών της ακοής με χρήση των λειτουργιών εισόδου/εξόδου ωτοακουστικών εκπομπών πολλαπλών συχνοτήτων.	Τα αποτελέσματα εκτίμησης των ουδών της ακοής που προέκυψαν με χρήση DPOAEs είχαν μεγάλη συσχέτιση σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την

	Estimation			τονική ακοομετρία. Η μέθοδος αυτή μπορεί να είναι ένα υποσχόμενο διαγνωστικό εργαλείο για αντικειμενική εκτίμηση των ουδών της ακοής.
13. Shaum P. Bhagat	Modeling DPOAE Input/Output Function Compression: Comparisons with Hearing Thresholds	Μελέτη παρατήρησης	Ο σκοπός της μελέτης αυτής είναι η σύγκριση των εκτιμήσεων συμπίεσης των DPOAE I/O Functions σε σχέση με τους ουδούς τονικής ακοομετρίας στις συχνότητες 1KHz και 2KHz	Βρέθηκε υψηλή συσχέτιση ανάμεσα στους ουδούς που εκτιμήθηκαν με χρήση DPOAEs και τονικής ακοομετρίας για την συχνότητα των 2KHz όχι όμως και για την συχνότητα του 1KHz.

4.2 Αποτελέσματα από τα παραπάνω άρθρα ως προς την συσχέτιση των ουδών του τονικού ακοογράμματος και των DPOAEs.

Στην πρώτη μελέτη (14) επιχειρήθηκε η συσχέτιση ανάμεσα στις OAEs, ουδούς τονικής ακοομετρίας και την προσωπική - υποκειμενική αντίληψη έκπτωσης ακοής. Από τον Αύγουστο του 1995 μέχρι και τον Ιούνιο του 1997, περίπου 52000 άτομα έλαβαν από 24 δήμους έλαβαν μέρος σε αυτήν την μελέτη κοορτής όπου μετρήθηκε η ακουστική τους ικανότητα με τονική ακοομετρία από 0.5KHz – 8KHz. Σε ένα υποσύνολο των παραπάνω ατόμων έγινε και μέτρηση ωτοακουστικών εκπομπών (6415 άτομα) με ηλικίες από 20 μέχρι 97 έτη. Όλοι οι συμμετέχοντες έλαβαν ένα ερωτηματολόγιο και ένα δεύτερο ερωτηματολόγιο δόθηκε σε αυτούς που αποδείχθηκε πως είχαν κάποιου βαθμού έκπτωσης ακοής. Μετά από διαδικασία επιλογής δειγμάτων παρουσιάστηκαν τα παρακάτω αποτελέσματα για την συσχέτιση μεταξύ OAEs, ουδούς τονικής ακοομετρίας και την προσωπική - υποκειμενική αντίληψη έκπτωσης ακοής. Οι ωτοακουστικές εκπομπές συσχετίστηκαν περισσότερο με την τονική ακοομετρία υψηλότερων συχνοτήτων, συσχετίστηκαν καλά με τις μεσαίες προς υψηλές συχνότητες και λιγότερο καλά με τις χαμηλές συχνότητες. Εν κατακλείδι η μελέτη αυτή δείχνει πως με τις ωτοακουστικές εκπομπές μπορεί να γίνει μια έγκυρη μέτρηση σε σχέση με την προσωπική - υποκειμενική ακουστική έκπτωση όμως δεν δόθηκε κάποια παραπάνω πληροφορία σε σχέση με την

πληροφορία που δόθηκε από την τονική ακοομετρία. Η εύρεση των ουδών ακοής με την τονική ακοομετρία γενικά προέβλεψε λίγο καλύτερα την προσωπική - υποκειμενική ακουστική έκπτωση σε σχέση με αυτό που προέβλεψαν οι μετρήσεις με ωτοακουστικές εκπομπές. Βρέθηκε επίσης πως η συσχέτιση ανάμεσα στις ωτοακουστικές εκπομπές και την προσωπική - υποκειμενική ακουστική έκπτωση ήταν μεγαλύτερη για τους άντρες σε σχέση με τις γυναίκες.

Στην δεύτερη μελέτη (15), μελετήθηκε η συσχέτιση τονικού ακοογράμματος και μετρήσεων DPOAEs στις συχνότητες 2KHz, 3KHz, 4KHz, 6KHz σε 69 άτομα με φυσιολογική ακοή λαμβάνοντας υπόψιν τις εξής μεταβλητές: φύλο, ιστορικό οξείας ωτίτιδας, αριστερό/δεξί αυτί. Μετά την διαδικασία μέτρησης με τονικό ακοόγραμμα και την διαδικασία μέτρησης DPOAEs έγινε στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων. Ανάμεσα στα αυτιά που εξετάστηκαν, 37 άτομα είχαν ιστορικό οξείας ωτίτιδας τα τελευταία 10 έτη. Δεν βρέθηκαν ιδιαίτερες διαφορές σε σχέση με τις μεταβλητές στις αποκρίσεις των DPOAEs. Μετά την ολοκλήρωση της μελέτης το συμπέρασμα ήταν πως υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των ακοομετρικών κατωφλιών και της χαμηλότερης έντασης των DPOAEs στην οποία το SNR ήταν τουλάχιστον 3μPa. Βέβαια η μελέτη αναγνωρίζει πως εφόσον έγινε με μετρήσεις που είχαν ακρίβεια 1dBHL και υπήρχε διαχωρισμός των συμμετεχόντων σε υπό-ομάδες λαμβάνοντας υπόψιν τις μεταβλητές φύλο, ιστορικό οξείας ωτίτιδας, αριστερό/δεξί αυτί, υπήρχε επίδραση στο αποτέλεσμα της υψηλής συσχέτισης των DPOAEs σε σχέση με την τονική ακοομετρία. Το τελικό αποτέλεσμα ήταν πως αν και οι DPOAEs μπορούν να συνεισφέρουν στην καλύτερη διάγνωση ακουστικών προβλημάτων και λήψη καλύτερων αποφάσεων, δεν μπορούν να μετρήσουν με ακρίβεια τους ουδούς ακοής όπως η τονική ακοομετρία.

Στην τρίτη μελέτη (16) επιχειρήθηκε η συσχέτιση των δομικών στοιχείων των DPOAEs με τους ουδούς ακοής της τονικής ακοομετρίας. Έλαβαν μέρος 10 άτομα με φυσιολογική ακοή όπως είχε προκύψει από μέτρηση με τονικό ακοόγραμμα με ακρίβεια ανά 2dB HL, χωρίς ιστορικό έκθεσης σε δυνατούς ήχους και κανονική λειτουργία μέσου ωτός με μέτρηση τυμπανογράμματος. Η μετρήσεις των DPOAEs έγιναν για τις συχνότητες 1KHz -6KHz λόγω διαφόρων περιορισμών. Σαν συμπέρασμα στην συγκεκριμένη μελέτη βλέπουμε πως όσο περισσότερο «φυσιολογικό» είναι το τονικό ακοόγραμμα των εξεταζόμενων αυτιών τόσο μεγαλύτερη είναι η συσχέτιση των αποτελεσμάτων των DPOAEs όταν βάλουμε μεταβλητές όπως έκπτωση ακοής ή άλλες παθολογίες εγείρονται ερωτήματα κατά πόσο οι μετρήσεις των ουδών ακοής με DPOAEs είναι κοντά στις μετρήσεις του τονικού ακοογράμματος ή μπορούν να προβλέψουν αυτές. Εν κατακλείδι, σε αυτή την μελέτη φαίνεται πως ενώ δεν είναι τόσο εμφανές αν οι DPOAEs μπορούν να μετρήσουν ουσιαστικά τους ουδούς της ακοής μπορεί να είναι περισσότερο ευαίσθητες στο να αναδείξουν συγκεκριμένες παθολογίες του κοχλίου σε σχέση με το τονικό ακοόγραμμα.

Στην τέταρτη μελέτη (17) η υπόθεση είναι πως οι DPOAEs μπορούν να βοηθήσουν στον υπολογισμό των ουδών ακοής βγάζοντας συμπεράσματα από τις λειτουργίες εισόδου/εξόδου των DPOAEs με την βοήθεια του scissor paradigm (18). 50 συμμετέχοντες με ηλικίες από 18 έως 35 ετών, χωρίς ιστορικό αναφοράς έκπτωσης ακοής, με «φυσιολογική» ακουστική ικανότητα συμπεριλήφθηκαν στην μελέτη αυτή. Σε όλους έγινε τονικό ακοόγραμμα ώστε να καθοριστούν οι ουδοί σε κάθε αυτί. Κατόπιν έγιναν μετρήσεις DPOAEs στις συχνότητες 1KHz, 2KHz, 4KHz, 8KHz και έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων. Ο στόχος της μελέτης αυτής ήταν να συγκρίνει τους ουδούς που μετρήθηκαν με το τονικό ακοόγραμμα και τους ουδούς που μετρήθηκαν με τις DPOAEs και να γίνει έλεγχος για απόκλιση. Στην συγκεκριμένη μελέτη βρέθηκε πως οι ουδοί που έδωσαν οι DPOAEs, στις συχνότητες που ελέγχθηκαν, ήταν χαμηλότεροι σε σχέση με αυτούς της τονικής ακοομετρίας. Σε γενικές γραμμές η μέση διαφορά ήταν, σύμφωνα με τις μετρήσεις, 3dB HL για το αριστερό αυτί και 4dB HL για το δεξί αυτί. Επίσης σε αυτή την μελέτη η μέση διαφορά ανάμεσα στους ουδούς που βρέθηκαν με το τονικό ακοόγραμμα και τις DPOAEs βρέθηκε να είναι χαμηλότερη στις μεσαίες συχνότητες ενώ στις υψηλές συχνότητες είναι μεγαλύτερη κάτι που είναι διαφορούμενο σε σχέση με άλλες μελέτες που έχει βρεθεί πως υπάρχουν μεγαλύτερες διαφορές στις διάμεσες τιμές όσον αφορά τις μεσαίες συχνότητες σε σχέση με τις χαμηλότερες και τις υψηλότερες. Το αποτέλεσμα αυτής της μελέτης μας δίνει συγκριτικά και κανονιστικά δεδομένα για τους ουδούς που προκύπτουν μέσω DPOAEs για έρευνα και κλινική χρήση όσον αφορά ασθενείς που έχουν δυσκολία να κάνουν τονικό ακοόγραμμα όπως νεογνά ή νήπια. Υπάρχουν όμως και περιορισμοί σε αυτή την έρευνα όπως η αδυναμία μέτρησης χαμηλότερων συχνοτήτων με DPOAEs έτσι δεν υπάρχουν συγκρίσιμα αποτελέσματα για τις χαμηλές συχνότητες και επίσης όλες οι μετρήσεις έγιναν σε συμμετέχοντες με φυσιολογική ακουστική ικανότητα και όχι σε κάποιους με έκπτωση ακοής.

Στην πέμπτη μελέτη (19) έγινε μια προσπάθεια να μετρηθεί η αξιοπιστία μιας συσκευής που μετράει αυτόματα τους ουδούς ακοής με χρήση DPOAEs σε 53 συμμετέχοντες που είχαν φυσιολογική ακοή ή κοχλιακή απώλεια ακοής μέχρι 50dB HL. Αρχικά έγιναν μετρήσεις με τονικό ακοόγραμμα στις συχνότητες 0.25KHz - 8KHz και μετρήθηκαν και οι συχνότητες των 1,5KHz, 3KHz, 6KHz. Οι μετρήσεις DPOAEs έγιναν στις συχνότητες 1,5KHz, 2KHz, 3KHz, 4KHz, 5KHz και οι ουδοί ακοής καταγράφηκαν. Τα αποτελέσματα της σύγκρισης έδειξαν διάμεση διαφορά της τάξης των 2dB HL είτε για αυτιά με «φυσιολογική» ακοή, είτε για αυτιά με έκπτωση ακοής όμως για μεμονωμένες περιπτώσεις η διαφορά αυτή έφτανε και τα 40dB HL με μια τυπική απόκλιση των 10dB για αυτούς τους υπολογισμούς. Γενικά σε αυτήν την μελέτη, η πρόβλεψη των ουδών μέσω των DPOAEs ήταν αρκετά καλή, όσον αφορά τις μέσες τιμές, των ομάδων συμμετεχόντων που ελέγχθηκαν αλλά φτωχή για ένα σημαντικό ποσοστό μεμονωμένων συμμετεχόντων και αυτό είχε ως συμπέρασμα το ότι η εύρεση πραγματικών ουδών ακοής είναι πιθανώς περιορισμένη με χρήση DPOAEs

Στην έκτη μελέτη (24) έγινε προσπάθεια να περιγραφεί η σχέση ανάμεσα στις ωτοακουστικές εκπομπές και στους ουδούς που προκύπτουν με χρήση της τονικής ακοομετρίας σε περίπου 6500 εξεταζόμενους που δεν είχαν κάνει κάποιου είδους ακοολογικό έλεγχο. Οι DPOAEs μετρήθηκαν σε ηχομονωμένους θαλάμους με την χρήση των ILO92 και ILO292 Otodynamics, στις συχνότητες 2, 3, 4, 6, και 8 KHz, χωρίς να γίνει μέτρηση σε όλους τους εξεταζόμενους των DPOAEs και στα δύο αυτιά λόγω περιορισμών. Οι ουδοί της ακοής με χρήση τονικής ακοομετρίας προέκυψαν με μετρήσεις που έγιναν σε ηχομονωμένους θαλάμους με την χρήση ακοογράφων Interacoustics AD25 που ήταν συνδεδεμένοι σε ηλεκτρονικό υπολογιστή στις συχνότητες 0.25, 0.5, 1, 2, 3, 4, 6 και 8 KHz. Γενικά, η σχέση μεταξύ των επιπέδων DPOAEs και των PTT έχει καμπυλόγραμμο σχήμα και υπάρχει μεγάλη διασπορά στα δεδομένα. Αυτή η διασπορά είναι μεγαλύτερη στις συχνότητες που είναι μεγαλύτερες από τα 4 KHz κάτι που υποδεικνύει και την σχέση της βαρηκοΐας υψηλών συχνοτήτων που είναι πιο διαδεδομένη στον πληθυσμό. Η σχέση γενικά είναι καλύτερη για την συχνότητα των 4 KHz και χειρότερη για την συχνότητα των 8 KHz.

Στην έβδομη μελέτη (25) γίνεται προσπάθεια να βρεθεί ένας μηχανισμός πρόβλεψης των ουδών της ακοής με την χρήση DPOAE I/O functions ώστε αυτός ο μηχανισμός να καταστεί ένα πρόσθετο εργαλείο στις ήδη υπάρχουσες ακοομετρικές μεθόδους. Τριάντα εξεταζόμενοι με φυσιολογική ακοή (εξετάστηκε μόνο το δεξί τους αυτί) και 92 εξεταζόμενοι (εξετάστηκαν 59 δεξιά και 60 αριστερά αυτιά από αυτούς) με νευροαισθητήρια βαρηκοΐα μετρήθηκαν. Οι μετρήσεις των DPOAEs έγιναν με την χρήση του συστήματος CubDis. Για υψηλότερη ακρίβεια στις μετρήσεις η μέτρηση των ουδών με τονική ακοομετρία έγινε αμέσως μόλις τελείωναν οι μετρήσεις με την χρήση DPOAEs. Αμφότερες οι μετρήσεις έγιναν σε ηχομονωμένους θαλάμους με διπλά τοιχώματα. Όταν τα δεδομένα των αποτελεσμάτων συνδυάστηκαν και ανακτήθηκαν μέσω όροι η διαφορά ήταν 2.5dB με την τυπική απόκλιση να είναι 10.9dB. Από την άλλη πλευρά όταν εξετάζονται μεμονωμένα τα αποτελέσματα η απόκλιση είναι 10.9dB. Αυτό δείχνει πως, για μεμονωμένα αποτελέσματα, το λάθος στην εκτίμηση των ουδών με χρήση DPOAEs σε σχέση με την τονική ακοομετρία μπορεί να είναι μέχρι 10.9 dB.

Στην όγδοη μελέτη (26) γίνεται προσπάθεια για την περαιτέρω εξερεύνηση της πρόβλεψης των ουδών ακοής με χρήση DPOAEs σε σχέση με την τονική ακοομετρία με βάση την παραπάνω μελέτη (25). Σε αυτή την μελέτη 97 εξεταζόμενοι με φυσιολογική ακοή και 130 εξεταζόμενοι με βαρηκοΐα εξετάστηκαν. Στο σύνολο εξετάστηκαν 278 αυτιά από τους εξεταζόμενους. Όλοι οι εξεταζόμενοι είχαν κανονική λειτουργία του μέσου ωτός κατά την εξέταση με DPOAEs. Οι μετρήσεις των DPOAEs έγιναν με λογισμικό που ήταν δημιουργημένο και προσαρμοσμένο για τον σκοπό της συλλογής δεδομένων και οι ωτοακουστικές εκπομπές καταγράφηκαν μέσω μιας κάρτας ήχου υψηλής ποιότητας σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Τα αποτελέσματα της τονικής ακοομετρίας προέκυψαν μετά την μέτρηση με τον καθιερωμένο τρόπο κλινικής μέτρησης της

ακοής σε ηχομονωμένο θάλαμο με βήματα του 1 dB. Όταν συγκεντρώθηκαν όλα τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις εφαρμόστηκαν κριτήρια για το ποια αποτελέσματα θα συμπεριληφθούν στην μελέτη. Τα αποτελέσματα της μελέτης δείχνουν πως όταν οι συνθήκες μέτρησης ήταν ίδιες με την μελέτη (25), οι συσχετίσεις ουδών ανά συχνότητα ήταν υψηλότερες για τις μεσαίες συχνότητες. Όσον αφορά τα αποτελέσματα των μετρήσεων που δεν συμπεριλήφθηκαν στην μελέτη, αυτά αφορούσαν αυτιά με βαρηκοΐα μεγαλύτερη των 30dB HL στις μεσαίες και υψηλές συχνότητες σε σχέση με τις χαμηλότερες συχνότητες. Η έρευνα καταλήγει στο συμπέρασμα πως όταν εφαρμοστούν συγκεκριμένα κριτήρια στα αποτελέσματα των μετρήσεων με την χρήση DPOAE I/O functions μπορούν να προκύψουν περισσότερο ακριβείς ουδοί στις μεσαίες και υψηλές συχνότητες.

Στην ένατη μελέτη (27) έγινε προσπάθεια για την εκτίμηση των ουδών της ακοής ενηλίκων με την χρήση DPOAE I/O functions και με ASSR. Εξετάστηκαν 53 άτομα με βαρηκοΐες από 25 μέχρι 70 dBHL στις συχνότητες από 1 – 6 KHz. Οι μετρήσεις τονικής ακοομετρίας έγιναν με βάση τις οδηγίες ISO 8253-1 και στα δύο αυτιά με βήμα μετρήσεων 5 dB και με χρήση του ακοομετρητή Interacoustics AD229. Οι DPOAEs καταγράφηκαν με χρήση του Cochlea Scan ακολουθώντας τις τυπικές διαδικασίες καταγραφής. Κατά την ανάλυση των δεδομένων φάνηκε πως υπάρχει συμφωνία και συσχέτιση μεταξύ των αποτελεσμάτων που αποκτήθηκαν και με τις δύο μεθόδους μέτρησης σε όλες τις εξεταζόμενες συχνότητες. Γενικά η μέση τιμή των μετρήσεων με ωτοακουστικές εκπομπές, ανά συχνότητα, ήταν μικρότερη από τις αντίστοιχες τιμές που προέκυψαν με χρήση τονικής ακοομετρίας δείχνοντας έτσι την τάση να γίνεται μια υπερεκτίμηση των ουδών. Σημαντικές διαφορές στις μέσες τιμές των μετρήσεων εμφανίστηκαν στα 3 KHz και στα 6 KHz.

Στην δέκατη αυτή μελέτη, (29) γίνεται προσπάθεια να βρεθούν διαφοροποιήσεις μεταξύ των ουδών της ακοής που μετρήθηκαν με DPOAEs (DPGram) και με τονική ακοομετρία σε εξεταζόμενους με νευροαισθητήρια βαρηκοΐα και εξεταζόμενους με φυσιολογική ακοή. 58 αυτιά με πτώση στην συχνότητα των 4 KHz και 72 αυτιά με προοδευτική μείωση από τις χαμηλές προς τις υψηλές συχνότητες εξετάστηκαν. Επίσης εξετάστηκαν και 10 κανονικά αυτιά χωρίς κάποια παθολογία. Όλοι οι εξεταζόμενοι δεν είχαν κάποια παθολογία στο μέσο ους. Η καταγραφή των DPOAEs έγινε με την χρήση του Celesta 503 (Madsen) στις συχνότητες 1, 2, 3, 4 και 6 KHz. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως οι μέσες τιμές των ουδών που προέκυψαν για τους εξεταζόμενους με φυσιολογική ακοή είχαν τυπική απόκλιση κατά 2 μονάδες (+/- 1dB). Στην συγκεκριμένη μελέτη θεωρείται πως και για ελαφριές βαρηκοΐες η απόκλιση στους ουδούς που προκύπτουν και από τις δύο μετρήσεις έχουν παρόμοια απόκλιση, όμως για μεγαλύτερες βαρηκοΐες (35 – 60 dBHL) η απόκλιση ξεπερνά τα 2dB ενώ όταν δεν καταγράφονται DPOAEs δεν μπορούν να βρεθούν ουδοί και θεωρείται πως υπάρχει μεγάλη βαρηκοΐα.

Στην ενδέκατη μελέτη που εξετάζεται (30), ο στόχος ήταν να βρεθεί αν οι ωτοακουστικές εκπομπές μπορούν να είναι μια εναλλακτική κοχλιακή αξιολόγηση, σε εξεταζόμενους που υπηρετούν στην στρατιωτική αστυνομία, με την διερεύνηση της συσχέτισης αυτών ανάμεσα στα αποτελέσματα που προκύπτουν με χρήση τονικής ακοομετρίας και χρήση DPOAEs. Σε αυτήν την μελέτη 200 εξεταζόμενοι έλαβαν μέρος. Οι μετρήσεις με τονική ακοομετρία έγιναν με χρήση του ακοογράφου GSI 61 Grason-Stadler σε ηχομονωμένο θάλαμο. Οι μετρήσεις των DPOAEs έγιναν και αυτές σε ηχομονωμένο θάλαμο με χρήση του Interacoustics Eclipse EP-25 για τις συχνότητες 1, 2, 3, 4 και 6 KHz. Τα αποτελέσματα της έρευνας δείχνουν πως υπήρξε συσχέτιση ανάμεσα στα αποτελέσματα σε όλες τις συχνότητες που εξετάστηκαν.

Στην δωδέκατη μελέτη (31) που εξετάζεται, ο στόχος ήταν να μελετηθεί αν μεταβάλλοντας τις παραμέτρους χορήγησης DPOAEs μπορούν να γίνουν καλύτερες εκτιμήσεις των ουδών ακοής. Σε αυτήν την μελέτη έλαβαν μέρος 16 εξεταζόμενοι με φυσιολογική ακοή και μετρήθηκαν οι ουδοί της ακοής με χρήση της τεχνικής multi frequency DPOAE I/O Functions acquisition με το σύστημα ER-10 CDPOAE συνδεδεμένο σε H/Y στις συχνότητες 1, 1.5, 2 και 3KHz. Οι ουδοί της ακοής με τονική ακοομετρία μετρήθηκαν με την αυτόματη μέθοδο Bekesy.

Στην τελευταία μελέτη (32), ο στόχος ήταν να μελετηθεί και να μοντελοποιηθεί η συμπίεση των DPOAE I/O Functions και να γίνει εκτίμηση των ουδών της ακοής σε σχέση με τους ουδούς της ακοής που προκύπτουν από την τονική ακοομετρία για τις συχνότητες 1 και 2KHz. Οι εξεταζόμενοι ήταν 16 με φυσιολογική ακοή και στα δύο αυτιά και εξετάστηκαν με τονική ακοομετρία με το σύστημα Tucker-Davis Technologies (TDT) System 3 συνδεδεμένο σε H/Y. Οι DPOAEI/OFunctions μετρήθηκαν με το σύστημα Otodynamics ILO 296 που ήταν συνδεδεμένο σε υπολογιστή. Μετά από τους ουδούς που προέκυψαν από τις μετρήσεις και την εφαρμογή στατιστικού ελέγχου Pearson βρέθηκε υψηλή συσχέτιση στα αποτελέσματα των εξεταζόμενων για την συχνότητα των 2KHz.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1 ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Οι DPOAEs έχουν ως κύριο στόχο την γρήγορη διάγνωση παθολογίας του κοχλία. Υπάρχουν, όπως είδαμε, προσπάθειες να γίνουν ένα γρήγορο εργαλείο αντικειμενικής μέτρησης των ουδών ακοής που να προσεγγίζουν όσο το δυνατόν περισσότερο τους ουδούς που προκύπτουν από το τονικό ακοόγραμμα. Ανά περίπτωση, ο στόχος αυτός επιτυγχάνεται σε κάποιον βαθμό ανάλογα με τις διάφορες ομάδες ασθενών που εξετάζονται. Η σύγκριση μεταξύ των ουδών που προκύπτουν από τις DPOAEs και το τονικό ακοόγραμμα γίνεται με υπολογισμό μέσω ή διάμεσων τιμών μαζί με την σταθερή τους απόκλιση.

Στην πρώτη μελέτη βλέπουμε πως υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των μετρήσεων με τονικό ακοόγραμμα και DPOAEs ειδικά στις υψηλές συχνότητες (3KHz - 8KHz) όπου ο συντελεστής συσχέτισης ανάμεσα στις δύο μετρήσεις ήταν 0.7-0.8 υποδηλώνοντας πως υπάρχει εξάρτηση ανάμεσα στις τιμές που προέκυψαν. Σε αυτή την μελέτη η ακοομετρία καθαρών τόνων πετυχαίνει καλύτερες εκτιμήσεις των ουδών της ακοής.

Στην δεύτερη μελέτη ο στόχος ήταν να φανεί αν σε άτομα με φυσιολογική ακοή στους ουδούς της τονικής ακοομετρίας υπήρχε κάποια συσχέτιση με τους ουδούς που βρέθηκαν από τις DPOAEs με μεταβλητές το αριστερό ή δεξί αυτί, το φύλο και το ιστορικό οξείας ωτίτιδας. Ο τρόπος για να γίνει αυτό ήταν χορήγηση ηχητικών ερεθισμάτων σύμφωνα με τις καμπύλες ανάπτυξης των DPOAEs (DPOAE Growth Curve) δηλαδή η ανάπτυξη των οτοακουστικών εκπομπών είχε συσχέτιση με την ένταση του ηχητικού ερεθίσματος που χορηγήθηκε. Γενικά βρέθηκε υψηλή συσχέτιση ανάμεσα στις μετρήσεις. Σε σχέση με τους παράγοντες που παίζουν ρόλο και μπορούν να επηρεάσουν τις μετρήσεις βρέθηκε πως όταν υπάρχει ιστορικό οξείας ωτίτιδας επηρεάζονται τα αποτελέσματα για την συχνότητα 2KHz και η διαφορά στο φύλο και για την διαφορά στην πλευρά του αυτιού επηρεάζονται τα αποτελέσματα στην συχνότητα 4KHz. Βρέθηκε πως υπήρχε μεταβλητότητα μέχρι και 30dB ανάμεσα στα αποτελέσματα μεταξύ των μετρήσεων (στα 4KHz) όταν όλες οι μεταβλητές (φύλο, ιστορικό οξείας ωτίτιδας, εξεταζόμενη πλευρά) λήφθηκαν υπόψιν. Αυτή η μεταβλητότητα περιορίζει την χρήση της μεθόδου για την πρόβλεψη των ουδών της ακοής με χρήση οτοακουστικών εκπομπών σε σχέση με την τονική ακοομετρία.

Στην τέταρτη μελέτη ο στόχος ήταν να συγκριθούν οι εκτιμήσεις των ουδών ακοής με την τονική ακοομετρία με τις εκτιμήσεις των ουδών ακοής με DPOAEs και να ελεγχθεί οποιαδήποτε μεταβλητότητα. Στην συγκεκριμένη μελέτη βρέθηκαν χαμηλότερες τιμές ουδών όταν μετρήθηκαν με DPOAEs σε σχέση με την τονική ακοομετρία για τις συχνότητες 1KHz, 2KHz, 4KHz, 8KHz που ελέγχθηκαν. Βρέθηκε πως υπάρχει σημαντική διαφορά ανάμεσα στους ουδούς. Γενικά, βρέθηκε διαφορά 3dB HL για το αριστερό αυτί και 4dB HL για το δεξί αυτί. Κατά μέσο όρο βρέθηκε μια μέση διαφορά για όλες τις συχνότητες 2.2dB HL στις προβλέψεις ουδών με χρήση οτοακουστικών εκπομπών.

Στην πέμπτη μελέτη τα αποτελέσματα έδειξαν διάμεσες διαφορές 2dB ανάμεσα στους ουδούς που αποκτήθηκαν με DPOAEs και σε αυτούς που αποκτήθηκαν με τονική ακοομετρία είτε για άτομα με φυσιολογική ακοή, είτε για άτομα με μέτρια έκπτωση ακοής, κάτι το οποίο είναι καλό για κλινική χρήση όμως ένας αριθμός από ευρήματα έδειξε πως για μεμονωμένες περιπτώσεις οι διαφορές έφταναν και τα 40dB έτσι η πρόβλεψη των ουδών με χρήση DPOAEs μπορεί να έχει χρησιμότητα για έλεγχο των μέσων σε ομάδες όμως μπορεί να είναι ελλιπής για ένα σημαντικό μέρος μεμονωμένων περιπτώσεων μέσα σε αυτές τις ομάδες. Έτσι το κλινικό όφελος για την

πρόβλεψη των ουδών ακοής με την χρήση DPOAEs για μεμονωμένες περιπτώσεις μάλλον είναι περιορισμένο.

Στην έκτη μελέτη (24) τα αποτελέσματα της σύγκρισης έδειξαν πως υπήρχε διαφοροποίηση ανάμεσα στα αποτελέσματα που προέκυψαν με την χρήση ωτοακουστικών εκπομπών σε σχέση με τα αποτελέσματα με την χρήση τονικής ακοομετρίας ανάμεσα σε εξεταζόμενους με 'φυσιολογική' ακοή. Αυτό ίσως προκύπτει λόγω του ότι υπάρχουν ανεπαίσθητες ανατομικές διαφορές, για παράδειγμα απώλεια μέρους των έξω τριχωτών κυττάρων εξεταζόμενων, που όμως δεν επηρεάζουν την ικανότητα ακοής. Η διαφοροποίηση, επίσης, μπορεί να προκύπτει λόγω του ότι μπορεί να υπάρχουν ανακρίβειες στην εκτίμηση των ωτοακουστικών εκπομπών. Υπήρχε επίσης διαφοροποίηση ανάμεσα στις εκτιμήσεις με χρήση ωτοακουστικών εκπομπών και τονικής ακοομετρίας όταν οι τιμές των ωτοακουστικών εκπομπών ήταν μικρότερες από κάποια τιμή. Όπως και σε άλλες μελέτες, η συσχέτιση μεταξύ των ουδών που προέκυψαν ανάμεσα στις δύο μεθόδους αυξήθηκε όταν έγινε εξαγωγή των μέσων όρων ανάμεσα στις συχνότητες και στις προβλέψεις μεταξύ των δύο μεθόδων και η διαφοροποίηση μειώθηκε. Ένα ακόμη αποτέλεσμα αυτής της έρευνας ήταν πως η συσχέτιση είναι καλύτερη για τις υψηλότερες σε σχέση με τις χαμηλότερες συχνότητες.

Στην έβδομη μελέτη (25) βλέπουμε πως για την καλύτερη συσχέτιση των ουδών που προκύπτουν με χρήση τονικής ακοομετρίας και των ουδών που προκύπτουν με χρήση ωτοακουστικών εκπομπών ένα σημείο κλειδί είναι τα ερεθίσματα που θα προκαλέσουν τις ωτοακουστικές εκπομπές. Πρέπει οι συνθήκες παραγωγής των ερεθισμάτων να είναι βέλτιστες ούτως ώστε να γίνει η καλύτερη εκμετάλλευση των ωτοακουστικών εκπομπών για την καλύτερη δυνατή κλινική διαγνωστική. Από τις DPOAE I/O functions μπορεί να εξαχθεί ουδός σαν αποτέλεσμα που μπορεί να συσχετισθεί με την ακοή. Η μεγάλη συσχέτιση ανάμεσα στους ουδούς που προέκυψαν από τις μετρήσεις με DPOAEs και τις μετρήσεις με τονική ακοομετρία αποδεικνύει την στενή σχέση ανάμεσα στις ωτοακουστικές εκπομπές και τους ουδούς της ακοής. Από τα δεδομένα της μελέτης φαίνεται πως αυτό ισχύει και για αυτιά που έχουν κάποια κοχλιακή παθολογία. Η έρευνα καταλήγει στο ότι στο 70% των περιπτώσεων που εξετάστηκαν οι ουδοί που προέκυψαν από αμφότερες τις μετρήσεις ήταν πολύ κοντά. Για τις υπόλοιπες όμως που δεν ήταν κοντά χρειάζεται περαιτέρω αναζήτηση των αιτιών.

Στην όγδοη μελέτη (26), όσον αφορά τα αποτελέσματα που παρήχθησαν με την μέθοδο της προηγούμενης μελέτης (25) και εφαρμόστηκαν τα ίδια κριτήρια συμπερίληψης, υπήρξε συμφωνία ανάμεσα στις δύο μελέτες. Σε αυτήν την μελέτη, μετά τις μετρήσεις των ουδών που έγιναν με την χρήση DPOAEs και τονικής ακοομετρίας παρατηρήθηκε συσχέτιση στην συχνότητα των 4KHz. Στις χαμηλές συχνότητες όπως και στην συχνότητα των 8KHz, η συσχέτιση ήταν χαμηλή. Γενικά, τα καλύτερα αποτελέσματα για την εκτίμηση των ουδών, μεταξύ των δύο μετρήσεων, παρατηρήθηκαν για τις μεσαίες προς υψηλές συχνότητες. Αυτά τα

αποτελέσματα ήταν αναμενόμενα με την προϋπόθεση πως προηγούμενες έρευνες έχουν δείξει ότι κατά την αξιολόγηση pass/fail με την χρήση ωτοακουστικών εκπομπών τα αποτελέσματα είναι καλύτερα όταν ελέγχονται μεσαίες προς υψηλές συχνότητες παρά οι χαμηλότερες συχνότητες.

Στην ένατη μελέτη (27) ο στόχος ήταν να γίνει μια εκτίμηση των ουδών της ακοής με χρήση του Cochlea-Scan σε σύγκριση με τα δεδομένα που προέκυψαν με χρήση τονικής ακοομετρίας και ASSR. Σημαντικές συσχετίσεις παρατηρήθηκαν ανάμεσα στις μετρήσεις. Οι μεγαλύτερες συσχετίσεις βρέθηκαν για τις συχνότητες 1.5 και 2 KHz ενώ μετά την συχνότητα των 2KHz η συσχέτιση ήταν μικρότερη. Πιθανώς, επειδή οι εξεταζόμενοι είχαν κάποιου βαθμού βαρηκοΐα και η βαρηκοΐα είναι χαμηλότερη κατά μέσο όρο στον πληθυσμό στις χαμηλότερες συχνότητες. Επιπρόσθετα οι μετρήσεις των DPOAEs ήταν περισσότερο εύρωστες στις μεσαίες συχνότητες 2KHz – 3 KHz στους ενήλικες, κάτι το οποίο ίσως επηρέασε τα δεδομένα. Σε αντίθεση με δεδομένα από άλλη έρευνα (28), βρέθηκε πως οι μετρήσεις με το Cochlea-Scan τείνουν να υπερεκτιμούν τους ουδούς ακοής σε όλες τις εξεταζόμενες συχνότητες κάτι που υποδεικνύει πως ίσως πρέπει να εφαρμόζονται κάποιες διορθωτικές συναρτήσεις στα αποτελέσματα όταν το επίπεδο των ουδών της ακοής ξεπερνά κάποιο όριο, για παράδειγμα 20 – 25dB. Γενικά, δεν υπάρχει ακριβής συσχετισμός μεταξύ των δομών που παράγουν τις ωτοακουστικές εκπομπές και των ουδών που προκύπτουν από την τονική ακοομετρία. Σε αυτή την μελέτη υποδηλώνεται πως η χρήση του Cochlea-Scan για την μέτρηση των ουδών ακοής έχει μικρή χρησιμότητα στην κλινική πράξη.

Στην δέκατη μελέτη (29) βρέθηκε πως οι ουδοί που προέκυψαν, με την χρήση DPOAEs (DPGram), για τους εξεταζόμενους με πτώση στην συχνότητα των 4 KHz και σε αυτούς με προοδευτική μείωση από τις χαμηλές προς τις υψηλές συχνότητες δεν είχαν ιδιαίτερη συσχέτιση με τους ουδούς που προέκυψαν από τις μετρήσεις με τονική ακοομετρία. Η βαρηκοΐα φαίνεται να επηρεάζει τις καταγραφές των DPOAEs και αυτό με την σειρά του επηρεάζει τα αποτελέσματα των ουδών που προκύπτουν. Γενικά όσο μεγαλύτερη είναι η βαρηκοΐα τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόκλιση ανάμεσα στους ουδούς που προκύπτουν με την χρήση τονικής ακοομετρίας σε σχέση με τους ουδούς που προκύπτουν με την χρήση DPOAEs (DPGram).

Στην ενδέκατη μελέτη (30) μετά την ανάλυση των αποτελεσμάτων βρέθηκε πως υπάρχει χαρακτηριστική σχέση ανάμεσα στα αποτελέσματα μεταξύ των δύο μετρήσεων ακοολογικής αξιολόγησης. Η συσχέτιση μεταξύ των μέσων τιμών που προέκυψε ανά συχνότητα ανάμεσα στην τονική ακοομετρία και των μέσων τιμών του πλάτους των DPOAEs ανά συχνότητα είναι μεγάλη και έχει ως εξής. Όσο μεγαλύτερος είναι ο ουδός της ακοής ανά συχνότητα, τόσο μικρότερο είναι το πλάτος των ωτοακουστικών εκπομπών. Και σε αυτήν την έρευνα βλέπουμε πως για φυσιολογικά αυτιά έχουμε καλύτερη πρόβλεψη με την χρήση των DPOAEs ενώ αυτές επηρεάζονται όσο αυξάνεται η βαρηκοΐα.

Στην δωδέκατη μελέτη (31) τα αποτελέσματα έδειξαν πως η εκτίμηση των ουδών έχει αξιοπιστία στις συχνότητες που εξετάστηκαν με χαμηλή τυπική απόκλιση στα αποτελέσματα ειδικά στην συχνότητα των 3KHz όπου η τυπική απόκλιση των αποτελεσμάτων των DPOAEs ήταν μόνο 1.5dB SPL υψηλότερη από αυτή της τονικής ακοομετρίας. Αυτό έδειξε πως η μέθοδος αυτή μπορεί να είναι ένα διαγνωστικό εργαλείο για την εκτίμηση των ουδών της ακοής μέσω της χρήσης των DPOAEs.

Στην τελευταία μελέτη (32) τα αποτελέσματα έδειξαν πως υπάρχει στατιστική σημαντικότητα ανάμεσα στους ουδούς που προέκυψαν με τονική ακοομετρία και τους ουδούς που προέκυψαν με την χρήση DPOAE I/O Functions για την συχνότητα των 2KHz αλλά όχι για την συχνότητα του 1KHz κάτι που πιθανώς προκύπτει από την μηχανική της βασικής μεμβράνης στους ανθρώπους και τον ρόλο που αυτή παίζει για την ανίχνευση των τόνων στις συχνότητες 1-2KHz.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μετά από την ανάλυση των αποτελεσμάτων των ερευνών διαπιστώθηκε ετερογένεια μεταξύ των μελετών σχετικά με τον σχεδιασμό, τις τεχνικές εξέτασης και τις παραμέτρους για τις εξετάσεις που χρησιμοποιήθηκαν κάθε φορά από τους συγγραφείς. Σε όλες τις μελέτες δεν υποστηρίχθηκε πως ο καθορισμός των ουδών ακοής για μεμονωμένα άτομα, με ή χωρίς παθολογία στα αυτιά, μπορεί να προβλεφθεί αυτοματοποιημένα και αξιόπιστα με την χρήση DPOAEs. Δεν μπορούμε να κάνουμε συσχέτιση στις μελέτες ως προς τον βαθμό βαρηκοΐας ή φυσιολογικής ακοής σε σχέση με την ομαδοποίηση των συμμετεχόντων γιατί σε κάθε μελέτη το τονικό ακούγραμμα έγινε με διαφορετική διαδικασία και όχι πάντα σε ηχομονωμένους θαλάμους. Διάφορες μεταβλητές, όπως φύλο, πλευρά αυτιού, έκπτωση ακοής, θόρυβος στις μετρήσεις κ.λπ. έδειξε πως μπορούν να επηρεάσουν τα αποτελέσματα των μετρήσεων με DPOAEs και να παράγουν διαφορετικά αποτελέσματα σε σχέση με την εκτίμηση των ουδών μέσω τονικής ακοομετρίας. Υπήρχε διαφορά στην μέθοδο μετρήσεων των DPOAEs ανάμεσα στις μελέτες. Λόγω των παραπάνω διαφορετικών μεταβλητών ανά μελέτη υπάρχουν πρακτικές δυσκολίες στην επεξεργασία των αποτελεσμάτων με την χρήση στατιστικού εργαλείου, όπως το SPSS, έτσι μετά την ανάλυση, μελέτη και σύγκριση της βιβλιογραφίας στην οποία έγινε η παρούσα ανασκόπηση θα γίνει μια αποτύπωση των συμπερασμάτων που προέκυψαν.

Στις μελέτες, τα αποτελέσματα των ουδών που βρέθηκαν με την χρήση DPOAEs σε σχέση με τα αποτελέσματα που βρέθηκαν με την χρήση PTA, είχαν συσχέτιση όταν σε αυτά έγινε επεξεργασία με στατιστικό εργαλείο και συγκρίθηκαν οι διάμεσες ή μέσες τιμές μεταξύ των αποτελεσμάτων όλων των εξεταζόμενων της κάθε μελέτης. Για μεμονωμένους εξεταζόμενους

όμως υπήρχαν από μικρές έως πολύ σημαντικές αποκλίσεις στους ουδούς που προέκυψαν ανάλογα με την μέτρηση, το φύλο, το εξεταζόμενο αντί, ιστορικό παθολογιών κ.α.

Αξίζει να αναφερθεί πως από την ανασκόπηση των μελετών προκύπτει ένα συμπέρασμα πως ο προσδιορισμός των ουδών με χρήση ωτοακουστικών εκπομπών σε σχέση με τους ουδούς που προσδιορίστηκαν με χρήση τονικής ακουομετρίας είχε μεγαλύτερη συσχέτιση, ακόμα και για μεμονωμένους εξεταζόμενους, όταν δεν υπήρχε κανένας παθολογικός παράγοντας στα αυτιά των εξεταζόμενων και πως όσο αυξάνεται η βαρηκοΐα τα αποτελέσματα των DPOAEs έχουν λιγότερη συσχέτιση με τα αποτελέσματα της τονικής ακουομετρίας αναφορικά με τους ουδούς. Έχουν σχέση ως προς το πλάτος. Όσο μικρότερο είναι το πλάτος των ωτοακουστικών εκπομπών τόσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός της βαρηκοΐας. Επίσης βλέπουμε πως σε βαρηκοΐες μεγάλου βαθμού οι ωτοακουστικές εκπομπές απουσιάζουν κάτι που είναι απαγορευτικό για τον καθορισμό των ουδών με την χρήση τους για μεγάλες βαρηκοΐες.

Δεν υπήρχε αρκετή σύγχρονη (λιγότερο από δεκαετία) βιβλιογραφία που να υποστηρίζει πως κάποια μέθοδος πρόβλεψης ουδών με την χρήση DPOAEs είναι αντικειμενικά αξιόπιστη.

Οι DPOAEs παρουσιάζονται στην βιβλιογραφία σαν ένα εργαλείο που μπορεί να αποκαλύψει γρήγορα και αντικειμενικά παθολογίες στον κοχλία. Πέρα από αυτό δεν παρουσιάζεται σαν ένα εργαλείο που μπορεί να εκτιμήσει με ασφάλεια και αξιοπιστία τους ουδούς ακοής σε σχέση με το τονικό ακούγραμμα, αυτοματοποιημένα και αντικειμενικά, ούτε παρουσιάζεται κάποια νεότερη μέθοδος είτε ως οδηγία είτε ως μελέτη. Σίγουρα υπάρχουν ενδιαφέροντα αποτελέσματα στο ότι οι ουδοί που προσδιορίζονται από τις DPOAEs έχουν συσχέτιση με τους ουδούς που προβλέπονται από την τονική ακουομετρία, τουλάχιστον αναφορικά με τους διάμεσους ή μέσους όρους των ομάδων των εξεταζόμενου, ώστε να υπάρχει ενδιαφέρον για την πραγματοποίηση νέων ερευνών προς αυτήν την κατεύθυνση.

Πρέπει να εκπονηθούν νέες έρευνες για την καλύτερη ανάλυση του θέματος, στις οποίες πρέπει να υπάρχει ομοιογένεια, τουλάχιστον ως προς τις τεχνικές παραμέτρους, καλύτερα ακόμη και ως προς τον σχεδιασμό, ούτως ώστε τα αποτελέσματά τους να μπορούν να συγκριθούν κατόπιν στατιστικής ή άλλης επεξεργασίας. Πρέπει να προσδιοριστούν, μέσα από νέες μελέτες, οι παράμετροι εκπομπής και καταγραφής των ωτοακουστικών εκπομπών ώστε όταν η εξέταση γίνεται με σκοπό τον προσδιορισμό ουδών, για παράδειγμα σε νεογνά ή σε άτομα που δεν μπορεί να γίνει χρήση τονικής ακουομετρίας, να παρέχονται τα βέλτιστα αποτελέσματα, που στις υπάρχουσες μελέτες παρουσιάζουν έως και μεγάλες αποκλίσεις για μεμονωμένους εξεταζόμενους, όπως και να βρεθούν τα όρια είτε σε παθολογίες του ωτός, είτε σε συχνότητες, είτε σε άλλους παράγοντες της χρήσης των ωτοακουστικών εκπομπών.

Η ενημέρωση όλων των ιατρικών ειδικοτήτων που εμπλέκονται μπορεί να δημιουργήσει ιδέες για περαιτέρω έρευνα στο θέμα αυτό και έτσι να βρεθούν νέοι δρόμοι χρήσης των DPOAEs για την εκτίμηση των ουδών ακοής.

Επί του παρόντος η εκτίμηση των ουδών ακοής κυρίως θα πρέπει να βασίζεται στην τονική ακουομετρία και σε περιπτώσεις που αυτό δεν είναι εφικτό π.χ. νεογνά, νήπια, άτομα με αδυναμία επικοινωνίας με το περιβάλλον, να βασίζεται σε μετρήσεις με την μέθοδο ABR ή ASSR με την αναμονή, στο μέλλον να γίνουν νέες έρευνες που θα βάλουν και τις DPOAEs στην φαρέτρα της διαγνωστικής ακουολογίας για την εκτίμηση των ουδών ακοής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

7.1 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

(1)

Kemp D. T. (1978). Stimulated acoustic emissions from within the human auditory system. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 64(5), 1386–1391.
<https://doi.org/10.1121/1.382104>

(2)

Brownell W. E. (1990). Outer hair cell electromotility and otoacoustic emissions. *Ear and hearing*, 11(2), 82–92.
<https://doi.org/10.1097/00003446-199004000-00003>

(3)

In Katz, J., In Chasin, M., In English, K. M., In Hood, L. J., In Tillery, K. L., & Ovid Technologies, Inc. *Handbook of clinical audiology*.

(4)

Wikipedia contributors. (2021, May 20). *Ηχος*. Βικιπαίδεια.
<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%89%CF%87%CE%BF%CF%82>

(5)

Wikipedia contributors. (2020, February 7). *Ντεσιμπέλ*. Βικιπαίδεια.
<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9D%CF%84%CE%B5%CF%83%CE%B9%CE%BC%CF%80%CE%AD%CE%BB>

(6)

Fletcher, M. A. H. W. A. (1933). LOUDNESS, ITS DEFINITION, MEASUREMENT AND CALCULATION (PDF)

(7)

Παπαδέλης, Γιώργος (1 Δεκεμβρίου 2010). «Τι είναι η Ψυχοακουστική;» (PDF). Ινστιτούτο Έρευνας Μουσικής & Ακουστικής (IEMA): Κύκλος διαλέξεων Μουσικής Ακουστικής (2010-11)

(8)

Wikipedia contributors. (2020, June 6). *Minimum audibility curve*. Wikipedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/Minimum_audibility_curve

(9)

Wikipedia contributors. (2021, March 16). *Audiogram*. Wikipedia.
<https://en.wikipedia.org/wiki/Audiogram>

(10)

Rayan AF. New views of cochlear function. In: Robinette MS, Glatke TJ editors. Otoacoustic emissions. Clinical applications. N. York: Thieme; 1997. p. 22-45.

(11)

Η κλασική και η σύγχρονη αντίληψη για τη λειτουργία του κοχλία Ανέστης Ψηφίδης Av. Καθηγητής Ωτορινολαρυγγολογίας ΑΠΘ (PDF)

(12)

Nielsen, L. H., Popelka, G. R., Rasmussen, A. N., & Osterhammel, P. A. (1993). Clinical significance of probe-tone frequency ratio on distortion product otoacoustic emissions. *Scandinavian audiology*, 22(3), 159–164.

<https://doi.org/10.3109/01050399309047462>

(13)

Hall JW III (2000). Handbook of Otoacoustic Emissions. *Ear and Hearing*, 21(6), 646.

<https://doi.org/10.1097/00003446-200012000-00013>

(14)

Engdahl, B., Tambs, K., & Hoffman, H. J. (2013). Otoacoustic emissions, pure-tone audiometry, and self-reported hearing. *International journal of audiology*, 52(2), 74–82.

<https://doi.org/10.3109/14992027.2012.733423>

(15)

Campos, U., & Carvalho, R. M. (2011). Correlation between DPOAE I/O functions and pure-tone thresholds. *Brazilian journal of otorhinolaryngology*, 77(6), 754–760.

(16)

Shaffer, L. A., & Dhar, S. (2006). DPOAE component estimates and their relationship to hearing thresholds. *Journal of the American Academy of Audiology*, 17(4), 279–292.

<https://doi.org/10.3766/jaaa.17.4.6>

(17)

Mehta, G., Neupane, A. K., Mistri, A., Joshi, H., & Shah, N. (2020). Comparative Study on Method of Threshold Estimation: Distortion Product Threshold Test versus Pure Tone Threshold Test. *Annals of Otology and Neurotology*, 3(02), 077–081. <https://doi.org/10.1055/s-0041-1724218>

(18)

Kummer, P., Janssen, T., Hulin, P., & Arnold, W. (2000). Optimal L(1)-L(2) primary tone level separation remains independent of test frequency in humans. *Hearing research*, 146(1-2), 47–56.

[https://doi.org/10.1016/s0378-5955\(00\)00097-6](https://doi.org/10.1016/s0378-5955(00)00097-6)

(19)

Schmuziger, N., Patscheke, J., & Probst, R. (2006). Automated pure-tone threshold estimations from extrapolated distortion product otoacoustic emission (DPOAE) input/output functions. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 119(4), 1937–1939.

<https://doi.org/10.1121/1.2180531>

(20)

Κορρές, Γεώργιος. (2009). Συμβολή στη μελέτη των υπερύψηλών συχνοτήτων σε άτομα με φυσιολογικό ακοογράφημα και σε άτομα εκτεθειμένα σε θόρυβο. *Didaktorika.gr*. Published.

<https://doi.org/10.12681/eadd/24127>

(21)

Γεώργιος Κ.Αδαμόπουλος “Ωτορινολαρυγγολογία και Χειρουργική Κεφαλής και Τραχήλου”
Ιατρικές Εκδόσεις Πασχαλίδης, 2001

(22)

Κωνσταντίνος Γ. Παπαφράγκου “Ακοολογία” Επιστημονικές Εκδόσεις "Γρηγόριου Παρισιανού”

(23)

Wikipediacontributors. (2020, June 17). *Ακουστικό σύστημα*. Βικιπαίδεια.
https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%BA%CE%BF%CF%85%CF%83%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C_%CF%83%CF%8D%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BC%CE%B1

(24)

Bo Engdahl, Kristian Tambs, Hans M. Borchgrevink & Howard J. Hoffman (2005) Otoacoustic emissions in the general adult population of Nord-Trøndelag, Norway: III. relationships with pure-tone hearing thresholds Emisiones otoacústicas en la población general adulta en Nord-Trøndelag, Noruega: III: Relación con los umbrales de la audiometría tonal, International Journal of Audiology, 44:1, 15-23, DOI: 10.1080/14992020400022504

(25) Boege, P., & Janssen, T. (2002). Pure-tone threshold estimation from extrapolated distortion product otoacoustic emission I/O-functions in normal and cochlear hearing loss ears. The Journal of the Acoustical Society of America, 111(4), 1810–1818. <https://doi.org/10.1121/1.1460923>

(26)

Gorga, M. P., Neely, S. T., Dorn, P. A., & Hoover, B. M. (2003). Further efforts to predict pure-tone thresholds from distortion product otoacoustic emission input/output functions. The Journal of the Acoustical Society of America, 113(6), 3275. <https://doi.org/10.1121/1.1570433>

(27)

Hatzopoulos, S., Ciorba, A., Petruccelli, J., Grasso, D., Sliwa, L., Kochanek, K., Skarzynski, H., & Martini, A. (2009). Estimation of pure-tone thresholds in adults using extrapolated distortion product otoacoustic emission input/output-functions and auditory steady state responses. International Journal of Audiology, 48(9), 625–631. <https://doi.org/10.1080/14992020902998391>

(28)

Hatzopoulos, S., Kochanek, K., Sliwa, L. & Skarzynski, H. 2008. A pilotstudy on assessing hearing threshold using the Cochlea-Scan. MedSci Monit, 14, 7-11

(29)

Precerutti, G., & Lunati, M. (2003). Amplitude and frequency correspondence between DPOAE and pure tone audiometry: clinical checkup. International Congress Series, 1240, 303–312. [https://doi.org/10.1016/s0531-5131\(03\)00865-3](https://doi.org/10.1016/s0531-5131(03)00865-3)

(30)

de Sousa, A., Cardoso, A., & Guida, H. (2014). Relationship between the findings of pure-tone audiometry and otoacoustic emission tests on military police personnel. Arquivos Internacionais de Otorrinolaringologia, 16(01), 067–073. <https://doi.org/10.7162/s1809-48722012000100010>

(31)

Multi-Frequency Acquisition of DPOAE Input-Output Functions for Auditory-Threshold Estimation D. Zelle, J. P. Thiericke, A. W. Gummer, E. Dalhoff Dept. of Otolaryngology, Eberhard-Karls-University Tübingen, Tübingen, Germany

(32)

Bhagat, S. P. (2014). Modeling DPOAE Input/Output Function Compression: Comparisons with Hearing Thresholds. *Journal of the American Academy of Audiology*, 25(08), 746–759. <https://doi.org/10.3766/jaaa.25.8.5>