



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ**

Ακουστικά Βαρηκοΐας Μία Ολιστική Προσέγγιση

ΑΡΒΑΝΙΤΗ ΒΑΣΙΛΙΚΗ

Αριθμός Μητρώου: 15012

Επιβλέπων Καθηγητής

**Κανδαράκης Ιωάννης, Ομότιμος Καθηγητής Τμήματος Μηχανικών
Βιοϊατρικής / Σχολή Μηχανικών / Εργαστήριο Ακτινοφυσικής,
Τεχνολογίας Υλικών & Βιοϊατρικής Απεικόνισης (ΑΚΤΥΒΑ)**

Η Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Ο Επιβλέπων Καθηγητής

Όνομα Επώνυμο

ΚΑΝΔΑΡΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

[ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ]

Όνομα Επώνυμο

ΜΙΧΑΗΛ ΧΡΗΣΤΟΣ

[ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ]

Όνομα Επώνυμο

ΒΑΛΛΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

[ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ]

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η υπογράφουσα **Αρβανίτη Βασιλική** του **Γεωργίου** , με αριθμό μητρώου **15012** φοιτήτρια του Τμήματος **Μηχανικών Βιοϊατρικής** της Σχολής **Μηχανικών** του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου».

Ημερομηνία

10/10/24

Η Δηλούσα



Περίληψη

Στην παρούσα εργασία γίνεται μία εκτενής ανάλυση, όχι μόνο όσον αφορά το ακουστικό βαρηκοΐας σαν ιατρικό όργανο άμεσα συνυφασμένο με τον κλάδο της βιοϊατρικής τεχνολογίας, αλλά και σε ολόκληρη τη διαδικασία στην οποία υπόκειται ένα άτομο που έχει διαγνωσθεί με βαρηκοΐα, από το αρχικό στάδιο της παραπομπής του από τον ΩΡΛ στον ακοολόγο, μέχρι την κατασκευή και το στάδιο ρύθμισης, εφαρμογής και συντήρησης του ακουστικού. Ακόμα, παραθέτονται ζητήματα που έχουν προκύψει όσον αφορά τις νέες τεχνολογίες ακουστικών βαρηκοΐας και γίνεται μία σύντομη επίκληση σε τρόπους επίλυσης τους από τη σκοπιά του μηχανικού βιοϊατρικής τεχνολογίας. Επίσης, γίνεται αναφορά στα κοχλιακά εμφυτεύματα, από το σχεδιασμό μέχρι την τοποθέτησή τους. Το ερευνητικό κομμάτι της εργασίας είναι αφιερωμένο σε μετρήσεις ακουστικών Philips, τα οποία ανήκουν σε βαρήκοους ασθενείς, μέσω testbox και στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων όσον αφορά τη λειτουργικότητά τους. Τέλος, δεν γινόταν ένα μικρό κομμάτι της διπλωματικής αυτής εργασίας να μην αφιερωθεί στις ψυχολογικές επιπτώσεις που μπορεί να έχει η συγκεκριμένη διαταραχή στη ζωή του ίδιου του ατόμου αλλά και των κοντινών σε αυτό προσώπων. Ο κλάδος της ακοολογίας είναι ένας ταχύτατα αναπτυσσόμενος κλάδος ο οποίος βαδίζει παράλληλα με την συνεχή και αδιάκοπη εξέλιξη της τεχνολογίας. Κάθε χρόνο, νέα μοντέλα ακουστικών με όλο και περισσότερες δυνατότητες κάνουν την εμφάνισή τους στην αγορά. Ο μηχανικός βιοϊατρικής τεχνολογίας είναι το άτομο εκείνο που θα ασχοληθεί κυρίως με το κομμάτι της κατασκευής και επισκευής ενός ακουστικού σαν τεχνικός, είναι όμως πολύ πιθανό μέσω της «τριβής» και της εμπειρίας που θα αποκομίσει να μετουσιωθεί σε έναν επιτυχημένο ακοοπροθετιστή και ακοολόγο και να έρθει σε άμεση επαφή με τον ενδιαφερόμενο. Το σίγουρο είναι ότι η ακοολογία ολιστικά σαν επιστημονικό πεδίο και πάντα σε συνδυασμό με τον τομέα της βιοϊατρικής τεχνολογίας, προσφέρει λύσεις ακοής σε ανθρώπους που το έχουν ανάγκη και αυτό αποτελεί και την κινητήρια δύναμη για όλους όσους εργάζονται στο συγκεκριμένο κλάδο.

Λέξεις κλειδιά: Ακουστικό Βαρηκοΐας, Κοχλιακό Εμφύτευμα, Ακοολογία, Κατασκευή Ακουστικού Βαρηκοΐας, Επισκευή Ακουστικού Βαρηκοΐας, 3D Printing, Testbox, Ψυχολογικές Επιπτώσεις Βαρηκοΐας

Abstract

In this paper an extensive analysis is made, not only of the hearing aid as a medical device directly intertwined with the biomedical technology sector, but also of the entire process to which a person diagnosed with hearing loss is subjected, from the initial stage of referral from the ENT to the audiologist, through the manufacture and programming via specialized application stage and finally the fitting and maintenance of the hearing aid. Also, issues that have arisen regarding new hearing aid technologies are listed and a reference is made to ways of solving them from the perspective of the biomedical engineer. A substantive analysis will also be made as for cochlear implants, from their design to their placement, The research part of the paper is dedicated to Philips hearing aids measurements through testbox, which belong to hearing impaired patients and to useful conclusions regarding their functionality. Finally, a small part of this thesis could not fail to be devoted to the psychological effects that this disorder can have on the life of the individual and those close to him or her. The field of audiology is a rapidly growing industry that is marching alongside the constant and unceasing development of technology. Every year, new models of hearing aids with more and more features appear on the market. The biomedical engineer is the person who will mainly be involved in the manufacturing and repairing part of a hearing aid as a technician, but it is very likely that through the "friction" and experience gained, he or she has the opportunity to transform into a successful hearing care professional and audiologist who will develop a direct contact with the client. What is certain is that audiology holistically as a scientific field and always combined with biomedical engineering sector, provides hearing solutions to people in need and this is the driving force for all those who work in this exact field.

Key Words: Hearing Aid, Cochlear Implant, Audiology, Hearing Aid Construction, Hearing Aid Service, 3D Printing, Testbox, Hearing Loss Psychological Effects

Αφιερώσεις

Ευχαριστίες σε όλους τους συναδέλφους που βοήθησαν με τις γνώσεις τους και στην εταιρία ακουστικών βαρηκοΐας Galitos Earcare για την παραχώρηση του εργαστηριακού εξοπλισμού, χωρίς τον οποίο δεν θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν μετρήσεις και να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα, οδηγώντας στην επιτυχή ολοκλήρωση της εργασίας μου.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Κανδαράκη Ιωάννη, ο οποίος αρχικά πίστεψε στην ιδέα της συγκεκριμένης εργασίας και με τη δική του υπομονή και καθοδήγηση τη φέραμε μαζί εις πέρας.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	4
Abstract	5
Αφιερώσεις.....	6
1. Ιστορική Ανασκόπηση	9
1.1 1900 – 1970: Ακουστικά Βαρηκοΐας Άνθρακα, Λυχνίας Κενού και Κρυσταλλολυχνίας.....	9
1.2 Σύγχρονα Ακουστικά Βαρηκοΐας.....	11
1.2.1 Αναλογικά Ακουστικά Βαρηκοΐας.....	11
1.2.2 Ψηφιακά Προγραμματιζόμενα Ακουστικά Βαρηκοΐας.....	12
1.2.3 Ψηφιακά Ακουστικά Βαρηκοΐας.....	13
2. Βασικά Μέρη Ακουστικού Βαρηκοΐας	15
2.1 Μικρόφωνο	15
2.2 Ενισχυτής	16
2.3 Δέκτης.....	17
2.4 Μπαταρία	17
3. Τύποι Ακουστικών Βαρηκοΐας.....	19
3.1 Ενδοωτιαία Ακουστικά Βαρηκοΐας.....	19
3.1.1 IC (Invisible-Into-Canal)	19
3.1.2 CIC (Completely-Into-Canal)	19
3.1.3 ITE (Into-The-Ear).....	20
3.2 Οπισθοωτιαία Ακουστικά Βαρηκοΐας.....	20
3.2.1 BTE (Behind-The-Ear).....	20
3.2.2 RIC (Receiver-Into-The-Canal)	22
3.2.3 Επαναφορτιζόμενα ακουστικά (Rechargeable).....	23
3.2.4 CROS (Contralateral-Routing-Of-Signals)	24
4. Χειρουργικές Επιλογές Ενίσχυσης του Ήχου.....	26
4.1 Εμφυτεύσιμες Συσκευές Οστέινης Αγωγής	27
4.2 Εμφυτεύσιμες Συσκευές Μεσαίου Αυτιού.....	27
4.3 Sound-Bite Hearing System.....	28
4.4 Κοχλιακά Εμφυτεύματα.....	28
4.4.1 Εξωτερικός Επεξεργαστής Ήχου	30
4.4.2 Εξωτερική Συσκευή Μετάδοσης.....	31
4.4.3 Εσωτερική Συσκευή Λήψης και Εσωτερική Συσκευή Διέγερσης	31
4.4.4 Συστοιχία Ηλεκτροδίων	31
4.4.5 Συσκευή Διασύνδεσης	31

4.4.6 Σύγχρονες Εξελίξεις Κοχλιακών Εμφυτευμάτων	33
5. Τεχνολογία Σύγχρονων Ακουστικών Βαρηκοΐας.....	35
5.1 Ψηφιακή Επεξεργασία Σήματος (Digital Signal Processing)	35
5.2 Συνδεσιμότητα	37
5.3 Αδιάβροχα Ακουστικά Βαρηκοΐας	38
5.4 Ακουστικά Βαρηκοΐας και Τεχνητή Νοημοσύνη (AI).....	40
6. Εισαγωγή στην Επιστήμη της Ακουολογίας.....	43
6.1 Ηγετικές μορφές της ακουολογίας.....	43
6.2 Επεξήγηση Βασικών Ιδιοτήτων του Ήχου.....	45
6.3 Μία Σύντομη Αναφορά στην Έννοια του Decibel.....	48
6.4 Σύνθετοι Ήχοι της Καθημερινότητας	49
6.5 Λίγα Λόγια Για Το Ακούγραμμα	51
7. Διαδικασία Κατασκευής, Εφαρμογής και Συντήρησης του Ακουστικού	53
7.1 Από Τον ΩΡΛ Στον Ακουολόγο	53
7.2 Εξοπλισμός Σύγχρονου Ακουολογικού Εργαστηρίου	54
7.3 Κατασκευή Ενδωτιαίου Ακουστικού Βαρηκοΐας	55
7.4 Κατασκευή Εκμαγείων και Ωτοασπίδων	57
7.5 Ρύθμιση και Εφαρμογή του Ακουστικού.....	57
7.6 Φροντίδα Ακουστικού και Πιθανές Βλάβες	58
8. Μετρήσεις ακουστικών βαρηκοΐας μέσω testbox.....	61
8.1 Εισαγωγή στο testbox	61
8.2 Έλεγχος ακουστικών Philips μέσω testbox και σύγκριση με τιμές αναφοράς σε dB.....	61
8.2.1 PHILIPS HEARLINK 2030 miniRITE T	63
8.2.2 PHILIPS HEARLINK 2030 miniRITE T R	65
8.2.3 PHILIPS HEARLINK 3020 BTE UP	66
8.2.4 PHILIPS HEARLINK 2010 BTE PP.....	68
9. Ψυχολογικές Επιπτώσεις της Πάθησης.....	69
Συμπεράσματα	72
Βιβλιογραφία.....	73

1. Ιστορική Ανασκόπηση

Τα ακουστικά βαρηκοΐας αποτελούν την πλέον σύγχρονη επιλογή αντιμετώπισης των διαταραχών ακοής. Από τα παλαιότερα χρόνια μέχρι και σήμερα η τεχνολογία ενός ακουστικού βαρηκοΐας βασίζεται στο φαινόμενο της ενίσχυσης του ήχου. Όταν κάποιος θέλει να ακούσει πιο καθαρά ασυναίσθητα θα βάλει το χέρι του πίσω από το αυτί, δημιουργώντας με την παλάμη του τον πιο απλουστευμένο και ανέξοδο «ενισχυτή». Τα χέρια μπορούν να παρομοιαστούν με χαμηλής απόδοσης όργανα ενίσχυσης του ήχου καθώς αυξάνουν τον ήχο σε συγκεκριμένες συχνότητες. Ακόμα, σε έναν ανοιχτό χώρο με ελάχιστες έως καθόλου ηχητικές παρεμβολές, τα decibel (dB) αυξάνονται όσο μειώνεται η απόσταση δύο ομιλούντων, πράγμα που σημαίνει ότι όσο κάποιος πλησιάζει το συνομιλητή του, τόσο πιο καθαρά θα τον ακούει. Κατά κανόνα, όσο αυξάνεται ο λόγος σήματος ομιλίας προς τον περιβαλλοντικό θόρυβο, τόσο πιο καθαρά θα ακούνε δύο ομιλούντες, ο ένας τον άλλον.

Οι παραπάνω διαπιστεύσεις αποτελούν πρακτικές επικοινωνιακές λύσεις στις καθημερινές διαπροσωπικές σχέσεις των ατόμων. Όταν όμως το πρόβλημα είναι μεγαλύτερο και υπάρχει εντοπισμένη διαταραχή της ακοής, τότε την καλύτερη και πιο αποτελεσματική λύση αποτελούν τα ακουστικά βαρηκοΐας. Όταν δε, υπάρχει πολύ μεγάλο ποσοστό βαρηκοΐας ή ολική απουσία ακοής, τότε οι χειρουργικές επιλογές ενίσχυσης, με συνηθέστερη τα κοχλιακά εμφυτεύματα, είναι και η μόνη διέξοδος.

Οι χοάνες ήταν από τα πρώτα όργανα ενίσχυσης του ήχου που κατασκεύασε ο άνθρωπος πολλά χρόνια πριν, επηρεασμένος από τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό των κεράτων των ζώων. Οι χοάνες αυτιού ήταν συνήθως μεταλλικές ενώ ο βαρήκοος τοποθετούσε το μακρόστενο τμήμα στον πόρο του αυτιού και το πλατύ τμήμα κοντά στον συνομιλητή. Τα συγκεκριμένα όργανα αποτέλεσαν σημαντικό βοήθημα ενίσχυσης του ήχου και εξάλειψαν σημαντικά προβλήματα κατανόησης της ομιλίας. Αρκετά χρόνια αργότερα, κατά τα τέλη του 19^{ου} αιώνα, η ανθρωπότητα γνώρισε ανοδική πορεία στον τομέα της ηλεκτρονικής μηχανικής, γεγονός που έφερε νέες καινοτομίες στο κομμάτι της ενίσχυσης του ήχου. Τότε έκαναν την εμφάνισή τους τα πρώτα ηλεκτρονικά ακουστικά βαρηκοΐας.

1.1 1900 – 1970: Ακουστικά Βαρηκοΐας Άνθρακα, Λυχνίας Κενού και Κρυσταλλολυχνίας

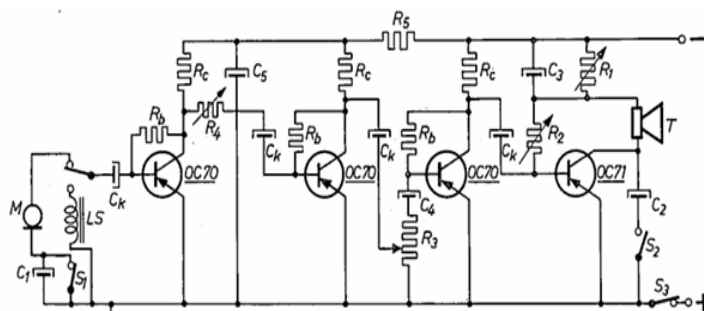
Τα ακουστικά βαρηκοΐας άνθρακα ήταν μεγάλου μεγέθους και απλουστευμένα στο σχεδιασμό τους. Ο άνθρακας, που ήταν και το κύριο υλικό κατασκευής τους, χρησιμοποιε ως μέσο ενίσχυσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Κατόπιν, έκαναν την εμφάνισή τους τα ακουστικά λυχνίας κενού. Η λυχνία κενού αποτελούνταν από υάλινο περίβλημα διαμορφωμένο σε κατάλληλες συνθήκες κενού με τρεις ακροδέκτες, στον ένα εκ των οποίων εφαρμόζονταν υψηλή ισχύς. Μέσω της ενίσχυσης του ηλεκτρικού ρεύματος ή της ηλεκτρικής τάσης στους υπολειπόμενους δύο ακροδέκτες, επιτυγχάνονταν υψηλής ποιότητας ενίσχυση του ήχου. Πάραυτα, το μεγάλο μέγεθος των ακουστικών εξακολουθούσε να αποτελεί σημαντική τροχοπέδη.

Τα πρώτα ηλεκτρονικά ακουστικά βαρηκοΐας λυχνίας κενού ήταν τόσο μεγάλα που χρειαζόταν να τοποθετηθούν επάνω σε ένα τραπέζι και ασφαλώς ήταν αδύνατο να φορεθούν στο σώμα.

Η δεκαετία του 1950 αποτέλεσε δεκαετία – σταθμό για την επιστημονική κοινότητα αλλά και για ολόκληρη την ανθρωπότητα καθώς έκανε την εμφάνιση του το λεγόμενο τρανζίστορ, ή αλλιώς κρυσταλλολυχνία. Το τρανζίστορ αποτελεί τεχνολογία ηλεκτρονικής στερεάς κατάστασης και το κυριότερο πλεονέκτημα του όσον αφορά το κομμάτι των ακουστικών βαρηκοΐας ήταν το μικρό μέγεθος της διάταξης του. Στην Εικόνα 1α διακρίνονται στο επάνω μέρος ακουστικά βαρηκοΐας κρυσταλλολυχνίας που φοριούνταν στο σώμα και κάτω δεξιά ακουστικά που τοποθετούνταν πίσω ή εσωτερικά του αυτιού. Τα πρώτα ακουστικά κρυσταλλολυχνίας, τα οποία φοριούνταν στο σώμα, έφεραν το μικρόφωνο στο στήθος του ατόμου. Το μικρόφωνο λάμβανε τον ήχο, κατόπιν γινόταν η ενίσχυση στο κουτί του ακουστικού που εμπεριείχε τη διάταξη των κρυσταλλολυχνιών και μέσω δύο καλωδίων τον μετέφερε αντίστοιχα σε δύο δέκτες οι οποίοι βρίσκονταν στο οπίσθιο ή εμπρόσθιο μέρος των αυτιών. Με το πέρασμα των ετών και ενόσω η τεχνολογία εξελισσόταν όλο και περισσότερο, τα ακουστικά κρυσταλλολυχνίας κατέληξαν να φοριούνται αποκλειστικά οπισθοωτιαία ή ενδοωτιαία, ξεπερνώντας το μεγάλο μειονέκτημα της τοποθέτησης του μικροφώνου μπροστά από το στήθος του ατόμου (Staab & Lybarger, 1994).



Εικόνα 1α. Ακουστικά βαρηκοΐας κρυσταλλολυχνίας. Επάνω και αριστερά διακρίνονται τα ακουστικά που φοριούνταν στο σώμα και κάτω δεξιά ένα οπισθοωτιαίο και ένα ενδοωτιαίο ακουστικό (Πηγή: James W. Hall, III, 2015, Ιδιοκτησία Wayne Staab)



Εικόνα 1β. Ακουστικό κρυσταλλολυχνίας Philips KL5500. Στα δεξιά διακρίνεται το ολοκληρωμένο μπλοκ διάγραμμα του με τέσσερα τρανζίστορ τύπου 0C70 και 0C71, όπου M, το μικρόφωνο, LS το πηνείο ακρόασης και S1,S2,S3 οι διακόπτες διαβάθμισης χαμηλών και υψηλών τόνων και ενεργοποίησης/απενεργοποίησης της συσκευής, οι οποίοι μπορούν να εναλλάσσονται σε τέσσερις διαφορετικές θέσεις. Όταν είναι μόνο ο διακόπτης S3 ανοιχτός η συσκευή είναι απενεργοποιημένη, όταν είναι όλοι οι διακόπτες κλειστοί υπάρχει εξασθένηση υψηλών τόνων, όταν είναι μόνο ο διακόπτης S2 ανοιχτός υπάρχει ενίσχυση όλων των τόνων και όταν είναι και ο διακόπτης S1 ανοιχτός εξασθενούν οι χαμηλοί τόνοι. (Πηγή: *A transistor hearing aid*, P. Blom, P. Boxman, 1955)

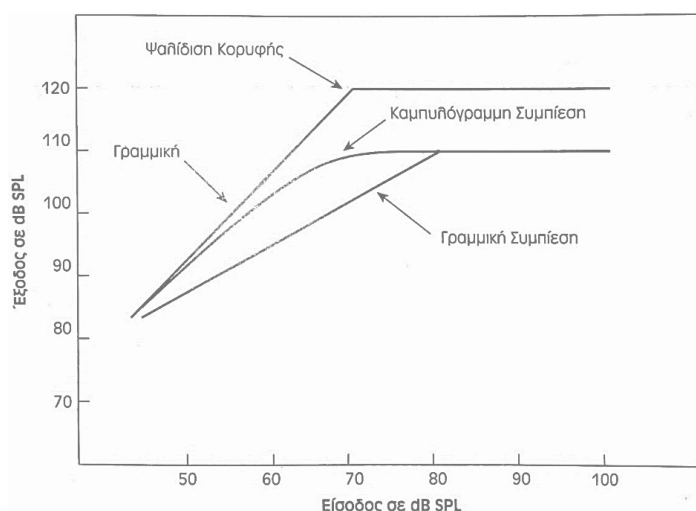
1.2 Σύγχρονα Ακουστικά Βαρηκοΐας

Από τη δεκαετία του 1970 μέχρι και σήμερα είναι σαφές ότι η τεχνολογία έχει διαγράψει μια αλματώδη ανοδική πορεία, γεγονός που, όπως ήταν φυσικό, ευνόησε και τον τομέα των ακουστικών βαρηκοΐας. Τα ακουστικά μπορούν πλέον να διακριθούν σε δύο βασικές κατηγορίες, τα αναλογικά και τα ψηφιακά, ενώ περί το 1980 περίπου κάνουν την εμφάνισή τους και τα ψηφιακά προγραμματιζόμενα ακουστικά, τα οποία αποτελούν ένα συνδυασμό αναλογικής και ψηφιακής τεχνολογίας.

1.2.1 Αναλογικά Ακουστικά Βαρηκοΐας

Τα αναλογικά ακουστικά βαρηκοΐας μέχρι και σήμερα διακρίνονται για την απλότητα στο σχεδιασμό τους, τον φυσικό και ποιοτικό ήχο και την προσιτή τιμή τους σε σχέση με τα ψηφιακά ενώ στην πλειοψηφία τους βασίζονται στην τεχνολογία της γραμμικής ενίσχυσης. Αρχικά, το μικρόφωνο ανιχνεύει το ηχητικό σήμα και το μετατρέπει σε ηλεκτρικό ενισχύοντας το με βάση ένα αναλογικό ή κάποιο άλλο εξατομικευμένο μέγεθος. Στη συνέχεια, το ενισχυμένο ηλεκτρικό σήμα αναδιαμορφώνεται αντιστρόφως και επανέρχεται σε ηχητικό μέσω του δέκτη και τέλος καταλήγει στον ακουστικό πόρο του ατόμου. Αναλόγως τη βαρηκοΐα η ενίσχυση μπορεί να τροποποιηθεί μέσω ειδικών φίλτρων, που επεμβαίνουν στις διάφορες περιοχές συχνοτήτων. Στη γραμμική ενίσχυση, ο ήχος που ανιχνεύει το μικρόφωνο και ο ενισχυμένος ήχος που κατευθύνεται από τον δέκτη στον ακουστικό πόρο, συνδέονται αναλογικά, γεγονός που σημαίνει ότι όλοι οι ήχοι του περιβάλλοντος του ατόμου, είτε είναι χαμηλής είτε υψηλής έντασης, ενισχύονται κατά τον ίδιο βαθμό. Οι χρήστες αναλογικών ακουστικών συχνά παρατηρούν ότι ανεπαίσθητοι ήχοι μέσα σε θορυβώδες περιβάλλον μπορεί να ενισχυθούν υπερβολικά και να γίνουν ιδιαίτερα ενοχλητικοί, ενώ πολύ δυνατοί ξαφνικοί ήχοι επίσης ενισχύονται κατά τον ίδιο τρόπο, σε βαθμό να γίνουν οριακά εκκωφαντικοί. Οι τρεις παράμετροι που παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον για τον ακοολόγο / ακοοπροθετιστή που κάνει την εφαρμογή ενός αναλογικού ακουστικού είναι η συνολική ενίσχυση του ακουστικού ή αλλιώς το συνολικό κέρδος εισόδου/εξόδου, το μέγεθος της ενίσχυσης για κάθε dB ήχου που εισέρχεται σε αυτό ή αλλιώς ο ρυθμός ενίσχυσης και τέλος η μέγιστη ένταση που μπορεί να παραχθεί σε ένα πιθανό σενάριο υψηλότερης δυνατής ενίσχυσης ή αλλιώς η μέγιστη έξοδος του ακουστικού εκφρασμένη σε dB. Τα παραπάνω γίνονται εύκολα κατανοητά μέσω του

διαγράμματος γραμμικής ενίσχυσης που απεικονίζεται στην Εικόνα 1γ. Περισσότερες πληροφορίες για τον ορισμό της συμπίεσης, που αναφέρεται στην Εικόνα 1γ, θα δοθούν στο σκέλος όπου αναλύεται η τεχνολογία των ψηφιακών ακουστικών.



Εικόνα 1γ. Διάγραμμα γραμμικής ενίσχυσης, μη γραμμικής ενίσχυσης και συμπίεσης ενίσχυσης (Πηγή: Hall, J. W., 2015)

Ο περισσότερος κόσμος έχει λανθασμένα στο μυαλό του τα αναλογικά ακουστικά σαν μία κατώτερης ποιότητας τεχνολογία σε σχέση με τα ψηφιακά, λόγω της απλότητας στο σχεδιασμό τους και της χαμηλότερης τιμής τους. Στην πραγματικότητα όμως, ο ήχος που παράγουν έχει χαρακτηριστεί περισσότερο φυσικός εν συγκρίσει με τον ήχο των ψηφιακών που είναι πιο μηχανικός. Αυτή είναι και η ειδική διαφορά μεταξύ των δύο τεχνολογιών. Ένας μακροχρόνιος χρήστης αναλογικού ακουστικού, λαμβάνοντας υπόψιν την συγκεκριμένη παράμετρο, σίγουρα θα δυσκολευτεί να κάνει τη μετάβαση από ένα αναλογικό σε ένα ψηφιακό ακουστικό.

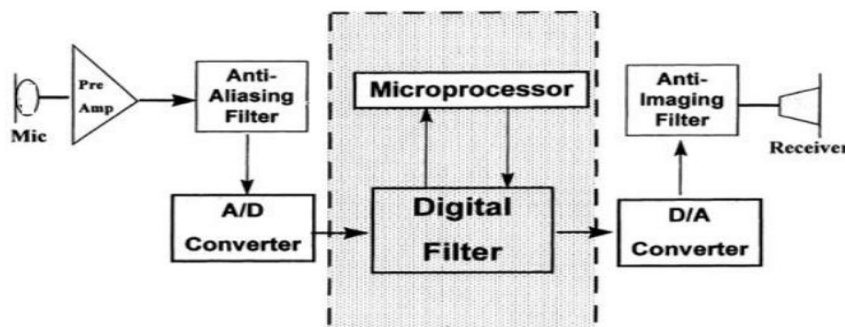
1.2.2 Ψηφιακά Προγραμματιζόμενα Ακουστικά Βαρηκοΐας

Στα μέσα της δεκαετίας του 1980 κάνουν την εμφάνιση τους ψηφιακά προγραμματιζόμενα ακουστικά βαρηκοΐας, τα οποία εμπεριέχουν ένα συνονθύλευμα αναλογικών και ψηφιακών δυνατοτήτων. Με άλλα λόγια, ο χρήστης του ακουστικού λαμβάνει τον καθαρό και φυσικό ήχο που του προσφέρει η αναλογική τεχνολογία αλλά μέσω ψηφιακών συστημάτων έχει παράλληλα τη δυνατότητα να αποθηκεύσει συγκεκριμένα προγράμματα μέσα στο ακουστικό, σε μορφή μνήμης. Τα διαφορετικά προγράμματα, τα οποία αποκόπτουν ή επιτρέπουν την έλευση συγκεκριμένων συχνοτήτων, μπορούν εύκολα να εναλλάσσονται αναλόγως το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται ο χρήστης. Για πολλά άτομα με βαρηκοΐα, τα ψηφιακά προγραμματιζόμενα ακουστικά αποτελούν ακόμα και σήμερα πρώτη επιλογή λόγω του ότι συνδυάζουν αρκετά καλή ποιότητα ήχου, ευελιξία προγραμμάτων μέσω ψηφιακής μνήμης και τέλος προσιτή τιμή.

1.2.3 Ψηφιακά Ακουστικά Βαρηκοΐας

Τα πρώτα ψηφιακά ακουστικά βαρηκοΐας έκαναν την εμφάνισή τους στην αγορά στα τέλη της δεκαετίας του 1980 με αρχές 1990. Ο «εγκέφαλος» του ακουστικού αποτελείται από το λεγόμενο τσιπάκι (microchip), το οποίο βασίζεται στην τεχνολογία ψηφιακής επεξεργασίας σήματος και ουσιαστικά καθιστά το ακουστικό έναν μικροσκοπικό υπολογιστή με απεριόριστες δυνατότητες. Αυτό που αλλάζει ριζικά σε σχέση με τα αναλογικά ακουστικά είναι η ευρεία κλίμακα τεχνικών ενίσχυσης με βάση τη συμπίεση. Η συμπίεση ορίζεται ως η ικανότητα του ολοκληρωμένου κυκλώματος να παρέχει μεγαλύτερη ενίσχυση για ήχους εισόδου χαμηλής εντάσεως αλλά όχι για υψηλότερης έντασης ήχους – που ουσιαστικά δεν είναι επιθυμητή η ενίσχυση τους. Στην Εικόνα 1γ παρατηρείται ο τρόπος με τον οποίο συμπιέζεται η ενίσχυση όσο αυξάνεται η ένταση του ήχου. Παράλληλα, τα ψηφιακά ακουστικά είναι σε θέση να προγραμματιστούν μέσω εξατομικευμένων λογισμικών που η κάθε εταιρία ακουστικών παρέχει στους συνεργάτες τις σε όλα τα εγκεκριμένα ακοολογικά κέντρα και εργαστήρια. Ο προγραμματισμός και η ρύθμιση ενός ακουστικού γίνεται μέσω υπολογιστή. Το κάθε ακουστικό διαθέτει ειδική υποδοχή όπου συνδέεται ενσύρματα ή ασύρματα με τον υπολογιστή, αναλόγως εάν διαθέτει κεραία Wireless. Έπειτα, με βάση το ακοόγραμμα του πελάτη, το οποίο φανερώνει το μέγεθος της βαρηκοΐας του, γίνονται οι ανάλογες τροποποιήσεις της ενίσχυσης για τις διάφορες συχνότητες. Για παράδειγμα, σε έναν πελάτη που παρουσιάζει αυξημένη βαρηκοΐα στους ήχους υψηλών συχνοτήτων αλλά σε ήχους χαμηλών συχνοτήτων η ακουστική του ικανότητα είναι φυσιολογική, το ακουστικό του θα ρυθμιστεί κατάλληλα ώστε να παρέχει ενίσχυση των υψηλών συχνοτήτων και να συμπιέζει τις χαμηλές (Schweitzer, 1997; Shaub, 2008; Hall, J. W., 2015;).

Επιπροσθέτως, κάποιες περαιτέρω δυνατότητες των σύγχρονων ψηφιακών ακουστικών βαρηκοΐας εμπεριέχουν την εφαρμογή αλγορίθμων επεξεργασίας σήματος για μείωση περιβαλλοντικού θορύβου, έλεγχο ορθής λειτουργίας του ακουστικού μέσω ανατροφοδότησης και εντοπισμό του «χρήσιμου» θορύβου, όπως παραδείγματος χάριν είναι ο ομιλητικός θόρυβος, έναντι του ανεπιθύμητου που συνήθως είναι ο περιβαλλοντικός. Τέλος, αρκετά ψηφιακά ακουστικά του εμπορίου δίνουν τη δυνατότητα κατασκευής με πολλαπλά μικρόφωνα, γεγονός που αυξάνει την ικανότητα εντοπισμού του χρήσιμου σήματος και προσφέρει αυξημένες επιλογές ενίσχυσης και συμπίεσης. Στην Εικόνα 1δ παρουσιάζονται αναλυτικά όλα τα μέρη ενός σύγχρονου ψηφιακού ακουστικού βαρηκοΐας.



Εικόνα 1δ. Βασική αρχιτεκτονική ψηφιακού ακουστικού βαρηκοΐας (Πηγή: *A Microcontroller-Based Design for Digital Hearing Aid Devices*, Nivin Ghamry, 2013)

Στην παραπάνω εικόνα διακρίνεται το μπλοκ διάγραμμα ενός ψηφιακού ακουστικού βαρηκοΐας. Περιλαμβάνει AD αλλά και DA μετατροπέα, ώστε το σήμα να εναλλάσσεται από αναλογική σε ψηφιακή κατάσταση και το αντίστροφο ενώ τα φίλτρα anti-aliasing και anti-imaging βοηθούν στην εξάλειψη των παραμορφώσεων. Το πρώτο κομμάτι του κυκλώματος περιλαμβάνει το μικρόφωνο και τον ενισχυτή που εμπεριέχουν αντιστάσεις και πυκνωτές κατάλληλα διαμορφωμένους να ανιχνεύουν τον ήχο. Μέσω του μικροφώνου διαμορφώνεται η αναλογία σήματος προς θόρυβο (SNR) και παρέχεται η βέλτιστη κατανόηση της ομιλίας σε θορυβώδη περιβάλλοντα. Το δεύτερο κομμάτι και το πιο σημαντικό, είναι εκείνο του μικροελεγκτή, ο οποίος αποτελεί τον πυρήνα της επεξεργασίας του λαμβανόμενου σήματος. Ένας κατάλληλος Μμικροελεγκτής θα μπορούσε να είναι ο PIC18F4550. Διαθέτει 40 pins, τα οποία καλύπτουν επαρκώς τις ανάγκες του ακουστικού, φέρει εσωτερικό συγκριτή και σύστημα ADC στο εσωτερικό του, ενώ μπορεί να εκτελέσει εντολές με τη δική του ήδη υπάρχουσα συχνότητα, γεγονός που απαλείφει την ανάγκη προσθήκης εξωτερικού ταλαντωτή. Ο κάθε μικροελεγκτής είναι κατασκευασμένος σε συγκεκριμένη γλώσσα προγραμματισμού (C, Assembly κοκ.) (Ghamry N., 2013).

2. Βασικά Μέρη Ακουστικού Βαρηκοΐας

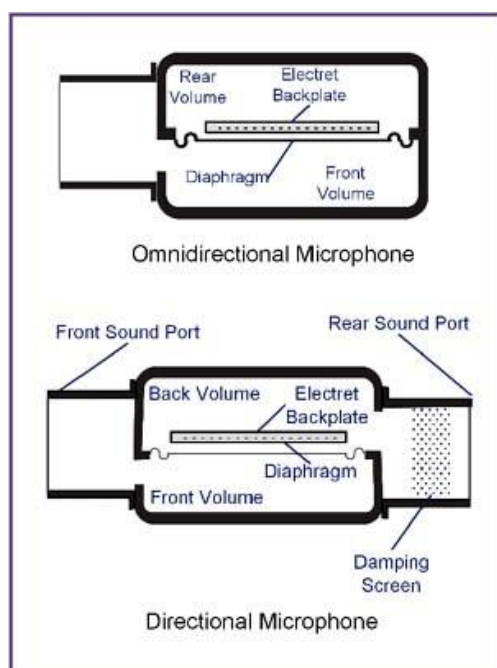
2.1 Μικρόφωνο

Το μικρόφωνο αποτελεί βασικό συστατικό του ακουστικού. Τα περισσότερα ακουστικά εμπεριέχουν ένα μικρόφωνο, όμως είναι δυνατόν να υπάρχουν και πολλαπλά μικρόφωνα. Το μικρόφωνο λαμβάνει τους εξωτερικούς ήχους και τους μετατρέπει σε ηλεκτρικό σήμα, ενώ η ακριβής θέση του ποικίλει αναλόγως τον τύπο του ακουστικού και τις εκάστοτε προδιαγραφές της κάθε εταιρίας. Στα ενδωτιαία ακουστικά το μικρόφωνο τοποθετείται συνήθως πλησίον της εισόδου της μπαταρίας, το τμήμα δηλαδή του ακουστικού που κοιτάει προς την εξωτερική πλευρά του αυτιού, απ' όπου λαμβάνονται και οι εξωτερικοί ήχοι. Στα οπισθοωτιαία ακουστικά, τα μικρόφωνα είναι στην πλειονότητα τους δύο σε αριθμό και βρίσκονται πλησίον της εξόδου του ήχου, απ' όπου και ο ήχος, ενισχυμένος πλέον, καταλήγει στον ακουστικό πόρο του ατόμου. Στα περισσότερα σύγχρονα ψηφιακά ενδωτιαία ακουστικά IIC (Invisible-Into-Canal) και CIC (Completely-Into-Canal), το μικρόφωνο είναι τύπου Omnidirectional (εν συντομία OMNI) που σημαίνει ότι είναι ένα σε αριθμό και η κατευθυντικότητα του έχει εύρος 360 μοιρών. Η κατευθυντικότητα σχετίζεται με το πού εστιάζει το μικρόφωνο όταν ανιχνεύει τους περιβαλλοντικούς ήχους. Υπάρχουν όμως και τα μικρόφωνα τύπου Directional που είναι δύο σε αριθμό, έχουν μικρότερο εύρος κατευθυντικότητας και είναι σχεδιασμένα ώστε να ανιχνεύουν τον ήχο από συγκεκριμένη κατεύθυνση μέσα στο χώρο. Ακουστικά με μικρόφωνα τύπου Directional είναι συνήθως τα ενδωτιαία ITE (Into-The-Ear) ακουστικά και όλα τα οπισθοωτιαία ακουστικά. Ένα ακουστικό OMNI δεν είναι δυνατόν να παρέχει εύρος Directional, ενώ το αντίθετο είναι εφικτό. Δηλαδή, τα ακουστικά με δύο μικρόφωνα τύπου Directional μπορούν να εναλλάσσονται από OMNI σε Directional και το αντίστροφο. Τα μικρόφωνα τύπου Directional έχουν την ικανότητα να διαχωρίζουν πιο αποτελεσματικά την ομιλία σε σχέση με τον περιβαλλοντικό θόρυβο, μπορεί να παρουσιάσουν όμως ευαισθησία σε απαλούς ήχους του περιβάλλοντος που δεν είναι επιθυμητοί για τον χρήστη όπως π.χ. ο ήχος του αέρα. Επίσης, όταν ο χρήστης βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας, π.χ. κάθεται στον καναπέ του σπιτιού του και διαβάζει ένα βιβλίο, η λειτουργία Directional δεν εξυπηρετεί διότι μπορεί λανθασμένα να εστιάσει σε κάποιον ξαφνικό περιβαλλοντικό ήχο και να τον ενισχύσει περισσότερο απ' όσο χρειάζεται. Ένας γενικός κανόνας είναι ότι για ήπιες έως μέτριες βαρηκοΐες, όπου δεν υπάρχουν αυξημένες απαιτήσεις ενίσχυσης προτιμώνται κατά κόρον ακουστικά με μικρόφωνο τύπου OMNI.

Το μικρόφωνο στο βασικό του σχεδιασμό αποτελείται από δύο μέρη τα οποία διαχωρίζονται μέσω ενός λεπτού διαφράγματος πολυμερούς υλικού. Στα μικρόφωνα τύπου OMNI η ηχητική πίεση ταξιδεύει μέσω ενός σωληνίσκου που βρίσκεται στα αριστερά και εισέρχεται στο κάτω μέρος του μικροφώνου, που ονομάζεται εμπρόσθιος όγκος (“front volume”). Τότε, η πίεση αρχίζει να ενεργοποιεί το διάφραγμα, το οποίο ξεκινάει να πάλλεται. Η μεταλλική πλάκα που βρίσκεται πίσω από το διάφραγμα, στο κομμάτι του οπίσθιου όγκου (“rear volume”), εμπεριέχει

ηλεκτρικό φορτίο που με τη σειρά του ενεργοποιείται μέσω του διαφράγματος και παράγει ένα σταδιακά αυξανόμενο ηλεκτρικό σήμα, το οποίο αποτελεί και το σήμα εξόδου του μικροφώνου.

Στα μικρόφωνα τύπου Directional υπάρχουν δύο θύρες, η μπροστινή και η οπίσθια. Οι κινήσεις του διαφράγματος καθορίζονται από τη διαφορά πίεσης μεταξύ των δύο μερών, του εμπρόσθιου και του οπίσθιου όγκου. Τα δύο μέρη διαχωρίζονται αναλόγως με το πού φτάνει πιο γρήγορα η ηχητική πίεση. Η χρονική αυτή καθυστέρηση με την οποία ταξιδεύει ο ήχος από τον εμπρόσθιο στον οπίσθιο όγκο, μαζί με τη γωνία πρόσπτωσης του ήχου στη μπροστινή θύρα, διαμορφώνουν τη διαφορά φάσης μεταξύ των σημάτων και εν τέλει το σήμα εξόδου (Thompson,



Stephen C, 2003).

Εικόνα 2α. Η αρχιτεκτονική των μικροφώνων Directional και Omnidirectional, (Πηγή: *Tutorial on microphone technologies for directional hearing aids*, Thompson, Stephen C, 2003)

2.2 Ενισχυτής

Ο ενισχυτής αποτελεί την καρδιά του ακουστικού. Ουσιαστικά, μέσω του ενισχυτή ρυθμίζονται όλες οι παράμετροι και τα προγράμματα που απευθύνονται στην βαρηκοΐα του κάθε χρήστη εξατομικευμένα. Καθώς ο ήχος διαπερνά το μικρόφωνο δημιουργείται ηλεκτρική ενέργεια η οποία στη συνέχεια ενισχύεται κατά ένα συγκεκριμένο μέγεθος, ενώ υπάρχει η δυνατότητα οι ήχοι εισόδου να διαχωρίζονται σε ζώνες αναλόγως τη συχνότητα τους ή άλλα χαρακτηριστικά και να ενισχύονται κατάλληλα. Στα σύγχρονα ψηφιακά ακουστικά βαρηκοΐας το σύστημα ενίσχυσης εμπεριέχεται στο ολοκληρωμένο κύκλωμα του ακουστικού και μέσω καλωδίων ενώνεται με τα υπόλοιπα μέρη του. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η πιο συχνή ρύθμιση

αφορά την ενίσχυση των υψηλών συχνοτήτων και την καταστολή των χαμηλών. Με παρόμοιο τρόπο μπορεί να ανιχνευτεί και ο βαθμός της έντασης ενός ήχου και αναλόγως να ενισχυθεί ή όχι. Είναι γεγονός ότι τα περισσότερα ακουστικά βαρηκοΐας στοχεύουν στην ενίσχυση των απαλών ήχων παρά των πιο δυνατών, καθώς στους περισσότερους χρήστες παρατηρείται δυσκολία ανίχνευσης των πρώτων, όπου και στοχεύεται η αύξηση της έντασης (Hall, J. W., 2015).

2.3 Δέκτης

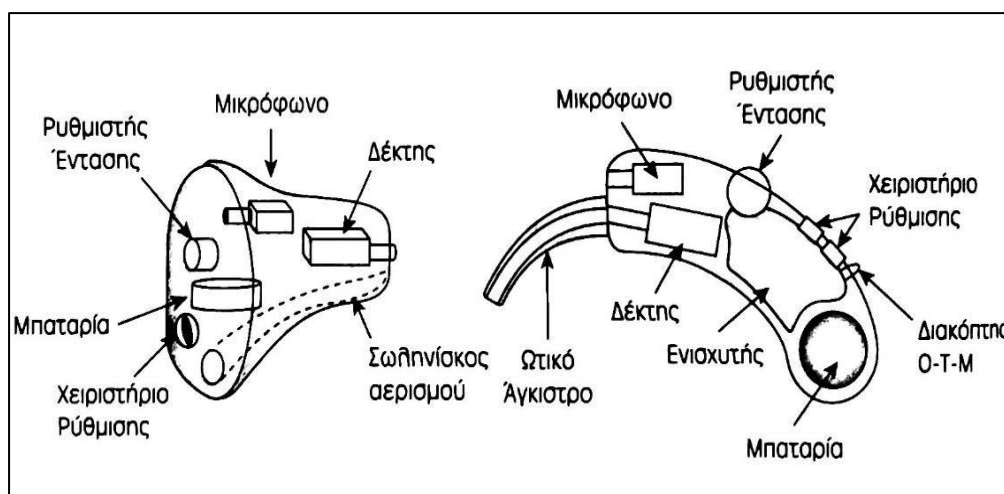
Ο δέκτης λαμβάνει την ενισχυμένη μορφή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω του ενισχυτή και την μετατρέπει σε ήχο ενώ κατόπιν ο ήχος κατευθύνεται στον ακουστικό πόρο του χρήστη. Το δέκτη του ακουστικού ουσιαστικά αποτελεί το μεγάφωνο. Αναλόγως τον τύπο της βαρηκοΐας και το είδος του ακουστικού που φοράει ο χρήστης, τα μεγάφωνα διαφοροποιούνται με βάση τα decibel που μπορούν να υποστηρίξουν. Στις χαμηλές έως μέτριες βαρηκοΐες ο χρήστης δεν είναι σε θέση να διακρίνει καθαρά ήχους του εύρους των 56-70 dB. Όσο αυξάνουν τα dB που μπορεί να υποστηρίξει ένα μεγάφωνο, τόσο αυξάνεται και το μέγεθός του, πράγμα που σημαίνει ότι καθώς η βαρηκοΐα αυξάνεται τόσο πιο αδύνατη καθίσταται η εφαρμογή ενός αθέατου ενδοωτιαίου ακουστικού, κυρίως επειδή θα πρέπει ο ακουστικός πόρος να διαθέτει αρκετό χώρο για ένα δυνατό μεγάφωνο αλλά και για επιπλέον χαρακτηριστικά όπως κάποιο κουμπί αυξομείωσης της έντασης ή κουμπί εναλλαγής προγραμμάτων. Για το λόγο αυτό στις πολύ υψηλές βαρηκοΐες του εύρους των 91 dB και άνω προτιμώνται κυρίως οπισθοωτιαία ακουστικά με ισχυρά μεγάφωνα, τα οποία συνδέονται μέσω σωληνίσκου που καταλήγει σε εκμαγείο, με τον ακουστικό πόρο. Στα ενδοωτιαία ακουστικά, το μεγάφωνο βρίσκεται στην έσω πλευρά του ακουστικού πόρου. Η οπή από την οποία εξέρχεται ο ήχος καθώς και η οπή του αερισμού δεν θα πρέπει σε καμία περίπτωση να καλύπτονται από τα τοιχώματα του αυτιού, αλλά αντιθέτως επιβάλλεται να ακολουθούν μέσω του κελύφους την ομαλή κατεύθυνση της καμπυλότητας του πόρου για να διασφαλιστεί η ορθή λειτουργία του ακουστικού. Στα οπισθοωτιαία ακουστικά, το μεγάφωνο επίσης βρίσκεται πλησίον της οπής εξόδου του ήχου, που οδηγεί στον πόρο μέσω του εκμαγείου. Σε συγκεκριμένου τύπου οπισθοωτιαία ακουστικά το μεγάφωνο δύναται να τοποθετηθεί εντός του ακουστικού πόρου, όπου υποστηρίζεται με τη βοήθεια θηλής ή κελύφους ενώ ο υπόλοιπος μηχανισμός βρίσκεται πίσω από το αυτί. Τα μεγάφωνα στην πλειονότητα τους διακρίνονται σε Standard, Moderate, Power, Super Power και Ultra Power αναλόγως το εύρος των decibels που μπορούν να καλύψουν και διαφοροποιούνται ελάχιστα με βάση την εκάστοτε εταιρία.

2.4 Μπαταρία

Οι μπαταρίες αποτελούν το τελευταίο σημαντικότερο συστατικό που ολοκληρώνει τη βασική διάταξη ενός ακουστικού βαρηκοΐας. Μέσω της μπαταρίας παρέχεται στο ακουστικό η απαραίτητη ισχύς ώστε να διεκπεραιωθούν όλες οι απαιτούμενες λειτουργίες ενίσχυσης και επεξεργασίας του ηλεκτρικού σήματος. Στην πλειονότητα τους οι μπαταρίες ακουστικών που κυκλοφορούν σήμερα στο εμπόριο έχουν ως βασικό υλικό τον ψευδάργυρο και διακρίνονται σε τέσσερα βασικά μεγέθη: 10, 312,

13 και 675. Οι μπαταρίες μεγέθους 10 χρησιμοποιούνται εξ ‘ ολοκλήρου σε ενδοωτιαία ακουστικά τύπου IC (Invisible-In-Canal) και CIC (Completely-In-The-Canal) και λαμβάνοντας υπόψιν ότι βρίσκονται σε λειτουργία κατά μέσο όρο 16 ώρες την ημέρα, έχουν μία διάρκεια ζωής περίπου 3-7 ημερών. Οι μπαταρίες 312 χρησιμοποιούνται σε ενδοωτιαία ακουστικά τύπου ITE (In-The-Ear), όπου συνήθως εμπεριέχεται μεγάφωνο υψηλών dB και άρα υπάρχουν αυξημένες απαιτήσεις κατανάλωσης αλλά και στην πλειονότητα των οπισθοωτιαίων ακουστικών τύπου RIC(Rec-In-The-Canal) που φέρουν το μεγάφωνο στον ακουστικό πόρο. Η διάρκεια ζωής τους υπό κανονικές συνθήκες χρήσης είναι 7 με 10 ημέρες. Όσον αφορά τις μπαταρίες μεγέθους 13 και 675, συναντώνται κυρίως σε οπισθοωτιαία ακουστικά τύπου BTE(Behind-The-Ear). Η διάρκεια ζωής τους υπό κανονικές συνθήκες χρήσης κυμαίνεται από 10-14 και 14-20 ημέρες αντίστοιχα.

Εκτός από τα μεγέθη μπαταριών που αναφέρθηκαν παραπάνω, υπάρχουν και οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες Lithium-ion οι οποίες συναντώνται εξ ‘ ολοκλήρου σε οπισθοωτιαία ακουστικά και μέσω μίας πλήρους φόρτισης διαρκούν, υπό κανονικές συνθήκες, περίπου 24 ώρες. Στην Εικόνα 2β απεικονίζεται μία σχηματική άποψη όλων των συστατικών μερών ενός ενδοωτιαίου και οπισθοωτιαίου ακουστικού που αναφέρθηκαν παραπάνω, ώστε να γίνουν περισσότερο κατανοητά.



Εικόνα 2β. Βασικά μέρη ενός ενδοωτιαίου και ενός οπισθοωτιαίου ακουστικού, αριστερά και δεξιά της εικόνας αντίστοιχα. Διακρίνονται το μικρόφωνο, ο ενισχυτής και ο δέκτης, η θέση της μπαταρίας, ο αερισμός και κάποια επιπλέον κουμπιά ρύθμισης τα οποία ποικίλουν αναλόγως το μοντέλο του ακουστικού (O: Off για εξοικονόμηση μπαταρίας, T: Telecoil Operation, M: Microphone Operation) (Πηγή: Hersh et al, 2003).

3. Τύποι Ακουστικών Βαρηκοΐας

3.1 Ενδοωτιαία Ακουστικά Βαρηκοΐας

Τα ενδοωτιαία (εφεξής ΕΩ) ακουστικά βαρηκοΐας έκαναν για πρώτη φορά την εμφάνισή τους τη δεκαετία του 1980. Ένα ΕΩ ακουστικό αποτελείται από το εξωτερικό κέλυφος, το οποίο είναι ειδικά κατασκευασμένο σύμφωνα με το αποτύπωμα του αυτιού του πελάτη και ως επί το πλείστον είναι ακρυλικό υλικό κατάλληλα πολυμερισμένο μέσω ακτινοβολίας UV ενώ στο εσωτερικό του φέρει τον μηχανισμό που είναι ενσωματωμένος με την πρόσοψη του ακουστικού και «κουμπώνει» επάνω στο κέλυφος με την κατάλληλη επεξεργασία. Ο μηχανισμός, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, αποτελείται από το ολοκληρωμένο κύκλωμα, το μικρόφωνο και το μεγάφωνο. Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα ενός ΕΩ ακουστικού είναι η οπή του μικροφώνου, η οποία βρίσκεται στην εξωτερική πλευρά του πόρου του αυτιού, λαμβάνοντας έτσι τον ήχο φυσικά, όπως θα λαμβάνονταν και υπό φυσιολογικές συνθήκες ακοής.

3.1.1 IIC (Invisible-Into-Canal)

Τα ακουστικά τύπου IIC είναι τα μικρότερα σε μέγεθος ΕΩ ακουστικά και ενδείκνυνται για όσους αναζητούν μία εμφανίσιμη αισθητικά επιλογή καθώς τοποθετούνται βαθιά στον εξωτερικό ακουστικό πόρο, γεγονός που τα καθιστά αθέατα. Για να κατασκευαστούν τα συγκεκριμένα ακουστικά θα πρέπει να ληφθεί ένα πολύ βαθύ αποτύπωμα ωτικού εκμαγείου. Τα συγκεκριμένα ακουστικά μπορούν να καλύψουν χαμηλές έως μέτριες βαρηκοΐες ενώ δεν φέρουν ρυθμιστικά κουμπιά εξωτερικά του κελύφους, όπως παραδείγματος χάριν κουμπί αυξομείωσης της έντασης. Αξίζει να σημειωθεί ότι όλα τα ακουστικά τύπου IIC είναι συμβατά εξ 'ολοκλήρου με μπαταρίες μεγέθους 10. Είναι μικροσκοπικά αλλά εύκολα στη χρήση και μπορούν να αφαιρεθούν από το αυτί μέσω ενός καλωδίου, σαν πετονιά, το οποίο είναι επίσης αθέατο και ενσωματωμένο στην πρόσοψη του ακουστικού. Πετονιά, πάραυτα, φέρουν όλοι οι τύποι ΕΩ ακουστικών για μεγαλύτερη διευκόλυνση του χρήστη. Ο λεπτεπίλεπτος σχεδιασμός και το μικρό τους μέγεθος δεν τα καθιστά ιδανικά για άτομα μεγαλύτερης ηλικίας.

3.1.2 CIC (Completely-Into-Canal)

Τα ακουστικά τύπου CIC είναι ΕΩ ακουστικά τα οποία έχουν πολλές ομοιότητες με τα IIC. Έχουν τον ίδιο σχεδιασμό με τη μόνη διαφορά ότι το αποτύπωμα ωτικού εκμαγείου που χρησιμοποιείται δεν είναι τόσο βαθύ όσο στα IIC. Τα CIC ακουστικά καλύπτουν από χαμηλές έως υψηλές βαρηκοΐες και δεν είναι εντελώς αθέατα, όμως είναι εξίσου μικροσκοπικά και απαιτούν λεπτούς χειρισμούς, ενώ είναι κι αυτά συμβατά με μπαταρίες μεγέθους 10. Η πλειονότητα των ακουστικών τύπου CIC έχουν την επιλογή κουμπιού εναλλαγής προγραμμάτων από το χρήστη. Ακόμα, το γεγονός ότι το μικρόφωνο εντοπίζεται στον έξω ακουστικό πόρο του αυτιού σε συνδυασμό με τα πλεονεκτήματα του χαρακτηριστικού σχεδιασμού του πτερυγίου και του εξωτερικού ακουστικού πόρου μέσω του αποτυπώματος του ατόμου, προσδίδει φυσικότητα στους λαμβανόμενους ήχους.

3.1.3 ITE (Into-The-Ear)

Τα ITE ακουστικά, αποτελούν τα μεγαλύτερα σε μέγεθος ΕΩ ακουστικά. Το αποτύπωμα ωτικού εκμαγείου που λαμβάνεται ώστε να δημιουργηθεί το κέλυφος του ακουστικού πρέπει να έχει ικανοποιητικό βάθος και παράλληλα να φέρει όλη την πληροφορία του πτερυγίου και ένα σημαντικό κομμάτι του εξωτερικού ακουστικού πόρου ώστε να γίνει σωστά η κατασκευή του κελύφους. Τα ακουστικά τύπου ITE είναι συμβατά ως επί το πλείστον με μπαταρίες μεγέθους 312, ενώ είναι εφικτό να φέρουν παραπάνω από ένα μικρόφωνα. Ενδείκνυνται για χαμηλές έως υψηλές βαρηκοΐες και λόγω του ότι το ακουστικό βγαίνει αρκετά έξω στον ακουστικό πόρο, δεν υπάρχει περιορισμός χώρου και κατ' επέκταση περιορισμός στα κουμπιά που μπορεί να προσθέσει ο χρήστης, από κουμπί εναλλαγής προγραμμάτων μέχρι ροδέλα αυξομείωσης της έντασης. Τα ΕΩ ακουστικά ITE λόγω του μεγαλύτερου μεγέθους τους είναι ιδανικά για ηλικιωμένους χρήστες που παρουσιάζουν αυξημένη δυσκολία στους χειρισμούς (Hall, J. W., 2015).

3.2 Οπισθοωτιαία Ακουστικά Βαρηκοΐας

Τα οπισθοωτιαία (εφεξής ΟΩ) ακουστικά βαρηκοΐας υλοποιήθηκαν για πρώτη φορά τη δεκαετία του 1950, μαζί με την εμφάνιση των κρυσταλλολυχνιών. Ο μηχανισμός ενός ΟΩ ακουστικού βρίσκεται εξ' ολοκλήρου ή στο μεγαλύτερο μέρος πίσω από το αυτί, αναλόγως τον τύπο του ακουστικού. Τα ΟΩ ακουστικά φέρουν πλαστική θήκη η οποία περικλείει και προστατεύει το μηχανισμό και συνήθως είναι διαθέσιμη σε μία ευρεία γκάμα χρωμάτων, αναλόγως τις επιθυμίες και τις ανάγκες του χρήστη. Οι ενήλικες προτιμούν κυρίως γήινα χρώματα κοντά στις αποχρώσεις των μαλλιών ή του δέρματος ενώ σε μικρότερες ηλικίες υπάρχει ζήτηση σε πιο ζωντανά και εκκεντρικά χρώματα, όπως το μπλε και το ροζ. Οι περιβαλλοντικοί ήχοι λαμβάνονται από το πίσω μέρος του αυτιού, όπου είναι τοποθετημένο το κύριο μέρος του ακουστικού και κατόπιν ο ενισχυμένος ήχος μεταφέρεται στο αυτί, είτε μέσω ωτικού εκμαγείου ή απλού σωληνίσκου με θηλή είτε μέσω κελύφους ή θηλής όπου περικλείεται το μεγάφωνο. Αξίζει επίσης να αναφερθεί ότι όλα τα σύγχρονα ΟΩ ακουστικά φέρουν δύο μικρόφωνα. Τα ΟΩ ακουστικά ενδείκνυνται για παιδιά καθώς μπορούν να καλύψουν από χαμηλές έως πολύ σοβαρές βαρηκοΐες, προγραμματίζονται εύκολα από τον ακοολόγο αναλόγως τις ανάγκες που μπορεί να προκύψουν, είναι μεγαλύτερα σε μέγεθος από τα ΕΩ ακουστικά και κατ' επέκταση απλούστερα στο χειρισμό και το σημαντικότερο, δεν χρειάζεται να ανακατασκευαστεί όλο το ακουστικό σε περίπτωση που αλλάξει το μέγεθος του αυτιού, παρά μόνο το εκμαγείο ή το κέλυφος που περικλείει το μεγάφωνο. Λεπτομέρειες σχετικά με τους διαφορετικούς τύπους θα αναλυθούν παρακάτω, ώστε να γίνουν περισσότερο κατανοητά τα όσα προαναφέρθηκαν.

3.2.1 BTE (Behind-The-Ear)

Τα κλασσικά ΟΩ ακουστικά βαρηκοΐας ή αλλιώς BTE, όπως είναι ευρέως γνωστά στο καταναλωτικό κοινό, περικλείουν όλο το μηχανισμό σε μία προστατευτική θήκη ή οποία ακολουθεί την καμπυλότητα του οπίσθιου μέρους του αυτιού, όπου και

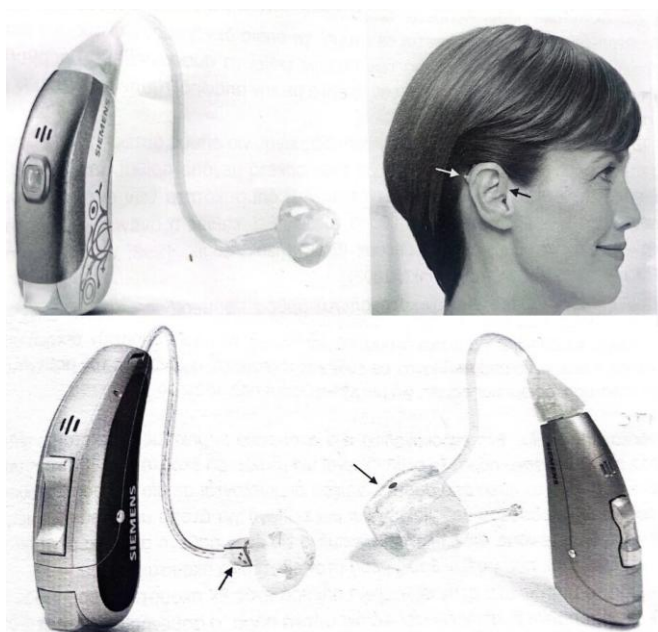
τοποθετείται. Ένα ακουστικό τύπου BTE λαμβάνει τον ήχο, τον ενισχύει και κατόπιν ο ήχος οδηγείται στο αυτί μέσω πλαστικού σωληνίσκου που καταλήγει σε ακρυλικό εκμαγείο ή θηλή. Τί από τα δύο θα καταλήξει να βάλει τελικά ο χρήστης είναι περισσότερο πρακτικό παρά αισθητικό ζήτημα καθώς εξαρτάται ως επί το πλείστον από το μέγεθος της βαρηκοΐας του.

Τα ΟΩ ακουστικά με απλή θηλή είναι γνωστά και ως ΟΩ ακουστικά ανοιχτής εφαρμογής για τον λόγο ότι οδηγούν τον ήχο στον ακουστικό πόρο χωρίς να τον φράζουν και κατ' επέκταση δεν χρειάζεται να ληφθεί αποτύπωμα. Έτσι, ο χρήστης είναι εφικτό να παραλάβει αυθημερόν το ακουστικό του από ένα κέντρο ακοολογικών εφαρμογών ενώ δεν αντιμετωπίζει πιθανά προβλήματα εφαρμογής και δεν είναι απαραίτητο ανά τακτά χρονικά διαστήματα να μεριμνά για τον καθαρισμό και την απόφραξη της θηλής από συσσωρευμένη κυψελίδα όπως ένας χρήστης BTE ακρυλικού εκμαγείου. Από το 2005 και μετά παρατηρείται μία ραγδαία αύξηση της δημοτικότητας των ΟΩ ακουστικών ανοιχτού τύπου και ο λόγος είναι ότι εν συγκρίσει με τα συμβατικά ΟΩ ακουστικά με εκμαγείο, είναι σχεδόν αόρατα. Ο σωληνίσκος που καταλήγει σε θηλή είναι πολύ διακριτικός ενώ ένα ακόμη πλεονέκτημα είναι ότι λόγω της ανοιχτής εφαρμογής επιτρέπει στο πτερύγιο και τον εξωτερικό πόρο του αυτιού να ενισχύουν φυσικά τον ήχο. Ως αποτέλεσμα, δεν μπλοκάρονται οι περιβαλλοντικοί ήχοι χαμηλών συχνοτήτων, προσομοιάζοντας έτσι τον τρόπο με τον οποίο λαμβάνει τον ήχο και ένα άτομο που δεν είναι χρήστης ακουστικού. Τα ΟΩ ακουστικά ανοιχτής εφαρμογής είναι ιδανική επιλογή για άτομα με χαμηλή έως μέτρια βαρηκοΐα υψηλών συχνοτήτων ενώ δεν αποκλείεται η δημοτικότητα τους να αυξηθεί ακόμα περισσότερο με το πέρας των ετών σύμφωνα με δημοσκοπήσεις που έλαβαν μέρος ανάμεσα σε εκατομμύρια ηλικιωμένους που αναζητούν λύσεις ακοής (Wiley et al, 2008).

Τα ΟΩ ακουστικά που φέρουν εκμαγείο είναι τα κλασσικά BTE ακουστικά που συναντώνται στην αγορά. Τα εκμαγεία μπορούν να είναι από μαλακό σιλικονούχο ή σκληρό ακρυλικό υλικό, αναλόγως τις ανάγκες του χρήστη. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, χρειάζονται τακτικό καθαρισμό και αλλαγή στο πλαστικό σωληνάκι τους, καθώς με το χρόνο το τελευταίο φθείρεται και φράσσει λόγω της κυψελίδας μέσα στον ακουστικό πόρο. Το εκμαγείο είναι σαφώς πιο εμφανές από τη θηλή και δεν προσδίδει ιδιαίτερα αισθητικό αποτέλεσμα, πάραυτα είναι διαφανές και σταθερό. Ο αερισμός που θα ανοιχτεί επάνω στο εκμαγείο εξαρτάται από το βαθμό και τον τύπο της βαρηκοΐας του χρήστη ενώ λαμβάνεται υπόψιν και ο διαθέσιμος χώρος μέσα στον πόρο. Εάν ο πόρος είναι στενός θα πρέπει να υπολογιστεί αρχικά ο χώρος που θα καταλάβει η οπή του σωληνίσκου και μετέπειτα η οπή του αερισμού. Όμως, εάν το εκμαγείο για οποιοδήποτε λόγο χρειαστεί αλλαγή, είναι πολύ εύκολο και οικονομικό να ανακατασκευαστεί. Παραπάνω λεπτομέρειες σχετικά με την κατασκευή των ωτικών εκμαγείων θα αναλυθούν σε παρακάτω κεφάλαιο της παρούσης εργασίας.

3.2.2 RIC (Receiver-Into-The-Canal)

Στα ΟΩ ακουστικά τύπου RIC, όπως φανερώνει και το όνομά τους, το μεγάφωνο βρίσκεται εσωτερικά του ακουστικού πόρου ενώ όλος ο υπόλοιπος μηχανισμός βρίσκεται πίσω από το αυτί. Το μεγάφωνο, που αποτελεί ουσιαστικά τον ενδοκαναλικό δέκτη του ήχου, μπορεί να φέρει θηλή ή να περικλείεται σε κέλυφος. Ουσιαστικά, ο δέκτης, ο οποίος βρίσκεται μέσα στο αυτί του ατόμου, παράγει τον ενισχυμένο ήχο απευθείας στον πόρο. Σε σύγκριση με τα ΟΩ ακουστικά ανοιχτού τύπου, τα ακουστικά τύπου RIC παρουσιάζουν κάποια επιμέρους πλεονεκτήματα. Αρχικά, είναι σε θέση να καλύψουν από μέτριες έως και πολύ σοβαρές βαρηκοΐες, λόγω του ότι καλύπτουν υψηλές αλλά και χαμηλές συχνότητες σε όλο το φάσμα του ήχου. Ακόμα, το γεγονός ότι ο ήχος ενισχύεται κατευθείαν στο εσωτερικό του αυτιού και δεν χρειάζεται να «μεταφερθεί» ήδη ενισχυμένος, μέσω σωληνίσκου, αποτελεί ένα πολύ μεγάλο πλεονέκτημα, καθώς η ποιότητα και η ένταση του είναι σαφώς υψηλότερες. Τέλος, όταν ο δέκτης, ο οποίος ενισχύει τον ήχο, βρίσκεται σε απόσταση από το μικρόφωνο, που ανιχνεύει τον ήχο, μπορούν να προβλεφθούν προβλήματα ανατροφοδότησης ή αλλιώς μικροφωνισμού. Το φαινόμενο της ανατροφοδότησης παρουσιάζεται όταν ο ήχος επιστρέφει από το δέκτη στο μικρόφωνο και ενισχύεται για δεύτερη φορά. Τέτοιου είδους φαινόμενα είναι σημαντικό να προλαμβάνονται και να αποφεύγονται και στην περίπτωση ενός RIC ακουστικού είναι εξαιρετικά σπάνια έως μηδαμινά (Hall, J. W., 2015)



Εικόνα 3α. Αριστερά πάνω απεικονίζεται RIC ανοιχτού τύπου και κάτω αριστερά και δεξιά RIC με το μεγάφωνο τοποθετημένο σε θηλή και ειδικά διαμορφωμένο ωτικό εκμαγείο αντίστοιχα. Πάνω δεξιά, άποψη εφαρμογής RIC ακουστικού σε πελάτη. Το άσπρο βέλος

δείχνει το μικρόφωνο και τα μαύρα βέλη τους δέκτες (Πηγή: Hall, J. W., 2015, ιδιοκτησία Siemens Hearing Instruments)



Εικόνα 3β. Διάφοροι τύποι ακουστικών και η εφαρμογή τους. A: CIC, B: ITC, C: ITE, D: BTE, E: RIC, F: Open Dome (ανοιχτού τύπου, με σκέτη θηλή χωρίς μεγάφωνο), (Πηγή: Mayo Foundation For Medical Education and Research)

3.2.3 Επαναφορτιζόμενα ακουστικά (Rechargeable)

Τα επαναφορτιζόμενα ακουστικά έχουν ενσωματωμένη τη μπαταρία στο μηχανισμό τους. Η μπαταρία είναι σε θέση να επαναφορτίζεται μέσω ειδικού φορτιστή που θα πρέπει πάντα να είναι συμβατός με το ακουστικό. Οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, συνήθως είναι τύπου Li-Ion (μπαταρίες ιόντων λιθίου) και εάν είναι πλήρως αποφορτισμένες χρειάζονται περίπου 3 ώρες για να φτάσουν σε κατάσταση πλήρους φόρτισης. Μόλις φορτιστούν πλήρως, υπό κανονικές συνθήκες χρήσης εκτιμάται ότι μπορούν να λειτουργήσουν περίπου 24 ώρες, γεγονός που σημαίνει ότι ένα επαναφορτιζόμενο ακουστικό χρειάζεται καθημερινή φόρτιση για να είναι πλήρως λειτουργικό. Τα επαναφορτιζόμενα ακουστικά είναι κατά κόρον ΟΩ ακουστικά και συχνότερα ακουστικά τύπου RIC. Διακρίνονται για την εργονομία τους καθώς ο χρήστης δεν χρειάζεται να προβληματίζεται για την αλλαγή μπαταρίας και όταν το ακουστικό αποφορτίζεται αρκεί να το τοποθετήσει στη βάση φόρτισης. Σε γενικές γραμμές τα επαναφορτιζόμενα ακουστικά που είναι διαθέσιμα στην αγορά διακρίνονται για την ευκολία στη χρήση τους, την ικανότητα τους να συνδέονται ασύρματα με άλλες συσκευές και τέλος το ελάχιστο περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα σε σύγκριση με τις συμβατικές μπαταρίες. Οι κατασκευαστές επαναφορτιζόμενων ακουστικών από τη μεριά τους θα πρέπει πάντα να διασφαλίζουν την υψηλή διάρκεια

ζωής, την ευκολία στη χρήση και να προσφέρουν εγγύηση στον πελάτη σε περίπτωση πρόωμης αχρήστευσης της μπαταρίας. Καθότι τα επαναφορτιζόμενα ακουστικά αποτελούν μία νέα σχετικά τεχνολογία, όπως κάθε νέο τεχνολογικό προϊόν, επιδέχονται περιθώρια βελτίωσης ώστε να κερδίσουν πλήρως την εμπιστοσύνη των πελατών (Yanz et al, 2011).

3.2.3.1 Επαναφορτιζόμενες μπαταρίες Li-Ion

Οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες ιόντων λιθίου εισήχθησαν στην αγορά περί το 1991 από την εταιρία Sony και έκτοτε χρησιμοποιούνται ευρέως στον τομέα των ηλεκτρονικών αλλά και στην αυτοκινητοβιομηχανία ενώ τα τελευταία χρόνια αποτελούν το βασικό πυλώνα των επαναφορτιζόμενων ακουστικών βαρηκοΐας. Το πρόβλημα της υπερφόρτισης της μπαταρίας που οδηγεί στη σύντομη φθορά της, είναι ένα από τα βασικά ζητήματα που απασχολεί τους κατασκευαστές ενώ και η επισκευή του ακουστικού σε περίπτωση μη αντιστρέψιμης βλάβης της μπαταρίας είναι αρκετά χρονοβόρα, αφού θα πρέπει να τοποθετηθεί σε ειδικά διαμορφωμένη συσκευασία και να αποσταλεί στο εργοστάσιο. Ακόμα, οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες ιόντων λιθίου μπορεί να αποβούν απειλητικές για τη ζωή σε περίπτωση κατάποσης από άνθρωπο ή και ζώο καθώς είναι πιθανό να τραυματίσουν σοβαρά τον οισοφάγο και τους γειτονικούς ιστούς ενώ είναι και ιδιαίτερα εύφλεκτες. Επίσης, σε αντίθεση με τις συμβατικές μπαταρίες που αντικαθίστανται πολύ εύκολα, εάν το ακουστικό αποφορτιστεί χρειάζεται κάποιες ώρες φόρτισης πριν να είναι σε θέση να χρησιμοποιηθεί ξανά από το χρήστη και συνήθως σε ασύρματη λειτουργία η μπαταρία καταναλώνεται και πάλι ταχέως (<24h). Η τάση εξόδου των ιόντων λιθίου είναι πολύ υψηλή και κατά συνέπεια αυξάνει το κόστος, το μέγεθος και την πολυπλοκότητα στην αρχιτεκτονική του ακουστικού. Από την άλλη, οι συμβατικές μπαταρίες μίας χρήσης που απορρίπτονται κάθε χρόνο ανέρχονται στο 1,5 δις σε αντίθεση με τις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες ιόντων λιθίου, οι οποίες έχουν διάρκεια ζωής περίπου 3-4 χρόνια και αυτομάτως μικρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Συμπερασματικά, οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες είναι μια σχετικά νέα τεχνολογία επάνω στο κομμάτι των ακουστικών βαρηκοΐας και προσφέρουν πολλαπλά πλεονεκτήματα, φέρουν όμως και αρκετά μειονεκτήματα. Είναι στην κρίση του χρήστη εάν τελικά θα επιλέξει ένα επαναφορτιζόμενο ακουστικό, λαμβάνοντας υπόψιν πολλαπλούς παράγοντες, όπως τις ώρες χρήσης, το ποσοστό βαρηκοΐας και τη συνδεσιμότητα του ακουστικού με άλλες συσκευές ακοής (Freeman et al, 2016).

3.2.4 CROS (Contralateral-Routing-Of-Signals)

Τα ακουστικά τύπου CROS αποτελούν μία ξεχωριστή κατηγορία ακουστικών ειδικού τύπου. Έκαναν την εμφάνισή τους αρκετά χρόνια πριν και προορίζονται για άτομα με σχεδόν μηδενική ή καθόλου ακοή στο ένα αυτί και φυσιολογική έως ελάχιστη ακοή στο άλλο. Μέσω της τεχνολογίας CROS ο πελάτης θα πρέπει να φοράει ακουστικό και στα δύο αυτιά. Το ακουστικό που τοποθετείται στο αυτί με την μηδενική ακοή, συλλέγει τους ήχους που ανιχνεύει μέσω του μικροφώνου και τις

αποστέλλει στο αυτί που διαθέτει ένα ικανοποιητικό ποσοστό ακοής. Με τον τρόπο αυτό το άτομο μπορεί πιο εύκολα να ξεχωρίσει λέξεις οι οποίες μοιάζουν μεταξύ τους και να έχει μία πιο βελτιωμένη ακουστική εμπειρία σε σχετικά θορυβώδες περιβάλλον. Ιδανικά ο ακουστικός πόρος στο λειτουργικό αυτί δεν θα πρέπει να φράσσεται και έτσι τα ακουστικά τύπου RIC ανοιχτού τύπου αποτελούν μία ιδανική επιλογή για να ληφθεί το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα στην ποιότητα του ήχου. Θα πρέπει πάντως να αναφερθεί ότι τα CROS ακουστικά δεν βελτιώνουν ιδιαίτερα το πρόβλημα της κατευθυντικότητας του ήχου, δηλαδή ο χρήστης δεν μπορεί να είναι σίγουρος από πού προέρχεται ο κάθε ήχος που λαμβάνει το ακουστικό του. Παλαιότερα, τα ακουστικά τύπου CROS συνδέονταν μεταξύ τους μέσω σωληνίσκου ο οποίος πέρναγε πίσω από το λαιμό του χρήστη και με τον τρόπο αυτό μεταφερόταν ο ήχος από το ένα ακουστικό στο άλλο. Πλέον, με τις δυνατότητες που δίνονται μέσω της ασύρματης τεχνολογίας, όλα γίνονται πιο εύκολα και χωρίς τη χρήση άσκοπων καλωδίων. Τα ακουστικά τύπου CROS αποτελούν μία ιδιαίτερη περίπτωση ακουστικών. Δεν ενδείκνυνται για όλους τους ασθενείς με μονόπλευρη κώφωση και χρειάζεται υπομονή και τακτική χρήση ώστε να επιφέρουν αποτέλεσμα. Αποτελούν πρόδρομη λύση των κοχλιακών εμφυτευμάτων και των εμφυτεύσιμων συσκευών οστέινης αγωγής, τα οποία αναλύονται παρακάτω (Hall, J. W., 2015).

4. Χειρουργικές Επιλογές Ενίσχυσης του Ήχου

Οι χειρουργικές επιλογές ενίσχυσης του ήχου για κάποιους χρήστες είναι μονόδρομος, ιδιαίτερα όταν υπάρχει πλήρης κώφωση στο ένα αυτί. Το εάν κάποιος είναι υποψήφιος για χειρουργικά εμφυτεύσιμο ακουστικό συνήθως το κρίνει ο ακοολόγος ο οποίος θα κάνει τη μέτρηση της βαρηκοΐας. Εάν δεν υπάρχει πλήρης κώφωση είναι πιθανό ο υποψήφιος πελάτης να μπορεί να επιλέξει ανάμεσα σε ακουστικό και κοχλιακό εμφύτευμα. Αρχικά, θα πρέπει να γίνει σαφής διαχωρισμός ανάμεσα στα συμβατικά ακουστικά και τα κοχλιακά εμφυτεύματα. Το συμβατικό ακουστικό μιμείται τη φυσιολογική λειτουργία του αυτιού, καθώς αποτελεί εξωτερική συσκευή ενίσχυσης, συλλέγοντας και ενισχύοντας όλους τους περιβαλλοντικούς ήχους, συμπεριλαμβανομένου και της ομιλίας, ενώ ο ασθενής το αφαιρεί κατά τη διάρκεια του ύπνου, του μπάνιου και σε περιπτώσεις έντονης σωματικής δραστηριότητας. Εάν ληφθεί υπόψιν η ανατομία του αυτιού, μπορεί εύκολα να εξηγηθεί η διαδικασία με την οποία ο ενισχυμένος ήχος «ταξιδεύει» με τη μορφή ενέργειας από τον έξω ακουστικό πόρο του ασθενή, στο μεσαίο και έπειτα στο έσω αυτί με τη βοήθεια της αέρινης αγωγής, δηλαδή του αέρα.

Από την άλλη πλευρά, οι χειρουργικές επιλογές ενίσχυσης, οι οποίες αποτελούν εμφυτεύσιμες συσκευές, διακρίνονται από ένα εξωτερικό κομμάτι το οποίο είναι σε θέση να αφαιρεθεί κατά τον ύπνο και έχει το ρόλο του συλλέκτη του περιβαλλοντικού ήχου, ένα μέρος το οποίο είναι υπεύθυνο για την ενίσχυση και το εξ'ολοκλήρου εμφυτευμένο κομμάτι που μέσω χειρουργικής επέμβασης εισάγεται πλησίον ή εσωτερικά του αυτιού. Οι εμφυτεύσιμες συσκευές βαρηκοΐας είναι σε θέση να ενεργοποιούνται και να απενεργοποιούνται αναλόγως τις ανάγκες ακρόασης του ασθενή.

Το κοχλιακό εμφύτευμα από την άλλη είναι μία εμφυτεύσιμη συσκευή που αποτελεί συνοπτικά ένα μετατροπέα του περιβαλλοντικού ήχου σε ηλεκτρικό σήμα. Μέσω της χειρουργικής διαδικασίας έχουν πρωτίστως τοποθετηθεί ηλεκτρόδια εσωτερικά του δυσλειτουργικού αυτιού, τα οποία ενεργοποιούν τα ακουστικά νεύρα και με τον τρόπο αυτό είναι σε θέση να ανιχνεύουν τα ηλεκτρικά σήματα. Αυτή είναι και η κυριότερη διαφορά ανάμεσα στα συμβατικά/εμφυτεύσιμα ακουστικά και στα κοχλιακά εμφυτεύματα. Πιο συγκεκριμένα, τα συμβατικά/εμφυτεύσιμα ακουστικά απλώς μεταφέρουν τον ήχο στο έσω αυτί ενώ τα κοχλιακά εμφυτεύματα διεγείρουν απευθείας το ακουστικό νεύρο μέσω των ηλεκτροδίων.

Συνοπτικά, οι επιλογές ενίσχυσης διακρίνονται στα συμβατικά ακουστικά που αντιγράφουν τη φυσιολογική λειτουργία του αυτιού και μεταφέρουν τον ήχο μέσω της αέρινης αγωγής και τα οποία έχουν αναλυθεί παραπάνω, στις εμφυτεύσιμες συσκευές οστέινης αγωγής που είναι εν μέρη μόνιμα τοποθετημένες επάνω στον ασθενή και διακρίνονται σε εμφυτεύσιμες οστεοαναρτώμενες και σε συσκευές

εμφυτεύματος μεσαίου αυτιού και στα κοχλιακά εμφυτεύματα που αποτελούν ξεχωριστή περίπτωση. Οι εμφυτεύσιμες συσκευές οστέινης αγωγής και τα κοχλιακά εμφυτεύματα θα αναλυθούν λεπτομερώς παρακάτω, ενώ αξίζει να γίνει και μία σύντομη αναφορά σε μία σχετικά νέα τεχνολογία που όμως δεν αποτελεί χειρουργική επιλογή, το Sound-Bite Hearing System (Dun et al., 2011; Pai et al., 2012; Hall, J. W., 2015).

4.1 Εμφυτεύσιμες Συσκευές Οστέινης Αγωγής

Οι εμφυτεύσιμες οστεοαναρτώμενες ακουστικές συσκευές ή όπως αλλιώς ονομάζονται, συσκευές Baha (Bone-anchored hearing aid), ουσιαστικά μεταφέρουν ενέργεια μέσω της οστέινης αγωγής, δηλαδή μέσω των οστών του κρανίου. Το κύριο μέρος της συσκευής τοποθετείται εξωτερικά, στο κεφάλι του ασθενή και μέσω μικροφώνου ανιχνεύει και επεξεργάζεται τους ήχους και πιο συγκεκριμένα την ομιλία. Είναι σε θέση να προγραμματιστεί κατάλληλα μέσω ειδικού λογισμικού για τις εξατομικευμένες ανάγκες του κάθε ασθενή. Το εξωτερικό αυτό κομμάτι συνδέεται με το μαστοειδές οστό, το οποίο βρίσκεται πίσω από το αυτί και αποτελεί οστό του κρανίου. Η σύνδεση γίνεται μέσω ενός υλικού στήριξης που συνήθως είναι το τιτάνιο και μετά την χειρουργική διαδικασία της εμφύτευσης αποτελεί προέκταση των οστών του κρανίου. Το σημείο στήριξης είναι υπεύθυνο για τη μεταφορά των δονήσεων του ήχου, μέσω της οστέινης αγωγής στο εσωτερικό τμήμα του αυτιού.

Υποψήφιοι ασθενείς για συσκευή Baha είναι εκείνοι που παρουσιάζουν αυξημένη συσσώρευση κυψελίδας στον εξωτερικό πόρο του αυτιού, οι ασθενείς με χρόνιες λοιμώξεις αυτιού και οι ασθενείς που παρουσιάζουν συγκεκριμένες συγγενείς δυσπλασίες στον ακουστικό τους πόρο. Ουσιαστικά, η συσκευή Baha διαπερνά το παθολογικό κομμάτι του αυτιού, στοχεύοντας κατευθείαν στον εσωτερικό ακουστικό πόρο. Μία άλλη ομάδα ατόμων που επωφελούνται σε μεγάλο ποσοστό από τα οστεοαναρτώμενα ακουστικά είναι εκείνοι που παρουσιάζουν μονόπλευρη κώφωση ή αλλιώς κώφωση μιας πλευράς (ΚΜΠ). Σε αυτή την περίπτωση ο ήχος που φτάνει στο παθολογικό αυτί δρομολογείται ώστε να μεταφερθεί στο αυτί με τη φυσιολογική βαρηκοΐα. Παρ'ολ'αυτά πολλές μελέτες έχουν διεξαχθεί όσον αφορά τη χρησιμότητα και την αποτελεσματικότητα των συσκευών αυτών (Dun et al., 2011; Pai et al., 2012; Rasmussen, Olsen, & Nielsen, 2012).

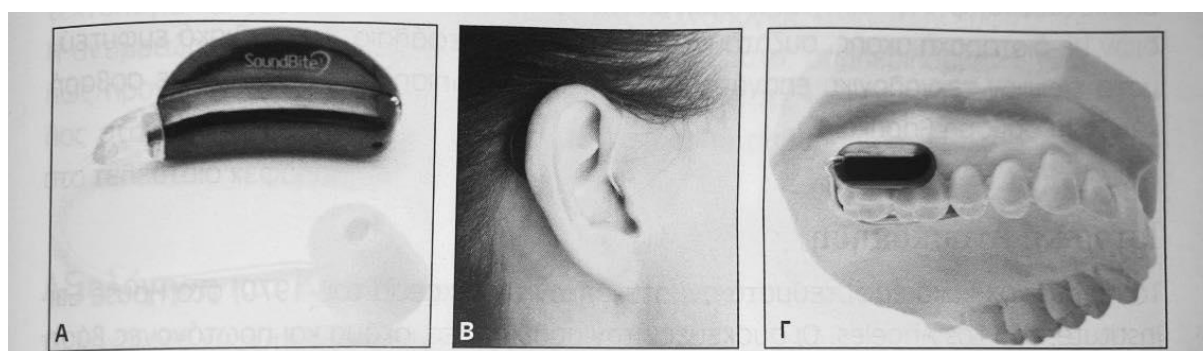
4.2 Εμφυτεύσιμες Συσκευές Μεσαίου Αυτιού

Η τεχνολογία εμφυτεύσιμων συσκευών μεσαίου αυτιού πρωτοεμφανίστηκε τη δεκαετία του 1990 και το 1996 εφαρμόστηκε για πρώτη φορά σε ασθενή. Το 2002 εντέλει εγκρίθηκε η εμπορική κυκλοφορία της από τον FDA (Food and Drug Administration) και έγινε νόμιμη η εμφύτευση της σε άτομα με βαρηκοΐα. Τα εμφυτεύματα μεσαίου αυτιού μπορούν να είναι είτε εν μέρει είτε πλήρως εμφυτεύσιμα. Στα εν μέρει εμφυτεύσιμα, το εξωτερικό κομμάτι τοποθετείται οπισθοωτιαία, εντοπίζει τον ήχο και τον μετατρέπει σε ψηφιακό σήμα ενώ το

εσωτερικό τοποθετείται στο μέσο αυτί, όπου και μεταφέρεται το σήμα. Στις πλήρως εμφυτεύσιμες συσκευές, ο ήχος εισέρχεται κατευθείαν στον ακουστικό πόρο και μέσω της δόνησης της τυμπανικής μεμβράνης, η οποία παίζει το ρόλο μικροφώνου, οι ενισχυμένες πλέον πολλαπλές δονήσεις ενισχύονται από τα οστά και μέσω αυτών η ακουστική ενέργεια μεταφέρεται τελικά στο έσω αυτί. Τα εμφυτεύματα μεσαίου αυτιού λειτουργούν με μπαταρίες οι οποίες έχουν διάρκεια ζωής έως πέντε χρόνια. Άτομα υποψήφια για τα συγκεκριμένα εμφυτεύματα είναι εκείνα με μέτριες έως σοβαρές βαρηκοΐες ή άτομα που για κάποιο λόγο δεν επιθυμούν να φορέσουν συμβατικά ακουστικά. Άξιο αναφοράς είναι ότι τα εμφυτεύματα μεσαίου αυτιού παρουσιάζουν κάποια πλεονεκτήματα ενίσχυσης εν συγκρίσει με τα κλασσικά ακουστικά.

4.3 Sound-Bite Hearing System

Η τεχνολογία Sound-Bite, αποτελεί μία σχετικά καινούρια, μη χειρουργική εναλλακτική αντιμετώπισης της βαρηκοΐας που αποτελείται από δύο κύρια μέρη. Το πρώτο μέρος τοποθετείται βαθιά μέσα στον ακουστικό πόρο και αποτελείται από ένα μικρόφωνο και το δεύτερο μέρος είναι μία ειδικά κατασκευασμένη συσκευή η οποία τοποθετείται εντός του στόματος του ασθενή. Ουσιαστικά οι ανιχνευόμενοι εξωτερικοί ήχοι μετασχηματίζονται σε δονήσεις και μέσω της ενδοστοματικής συσκευής μεταφέρονται από τα δόντια στα κρανιακά οστά και από εκεί στον κοχλία. Μεγάλο πλεονέκτημα της συγκεκριμένης συσκευής είναι ότι δεν απαιτεί χειρουργική επέμβαση, παρά μόνο ένα οδοντικό αποτύπωμα, ενώ το τμήμα που τοποθετείται εντός του στόματος μπορεί να αφαιρεθεί οποιαδήποτε στιγμή και δεν παρεμποδίζει τη μάσηση, την ομιλία και την κατάποση. Το Sound-Bite System ενδείκνυται κυρίως για άτομα με μονόπλευρη βαρηκοΐα, κώφωση μίας πλευράς και για κάποιες ακόμα εξειδικευμένες βαρηκοΐες (Popelka et al., 2010; Hall, J. W., 2015).



Εικόνα 4α. Sound-Bite Hearing System, (Α) το οπισθοωτιαίο τμήμα που αποτελείται από το μικρόφωνο, (Β) φορεμένο επάνω στον ασθενή, (Γ) προσθετική συσκευή οστεϊνης αγωγής που μεταβιβάζει τον ήχο μέσω των δοντιών (Ιδιοκτησία Sonitus Medical, Hall, J. W., 2015)

4.4 Κοχλιακά Εμφυτεύματα

Τα κοχλιακά εμφυτεύματα αποτελούν μία από τις πιο σημαντικές τεχνολογικές εξελίξεις του 21^{ου} αιώνα, ενώ κάθε μέρα συνεχίζουν να εξελίσσονται εάν αναλογιστεί κανείς ότι κάθε χρόνο εμφανίζονται σχεδόν 100 νέες ερευνητικές εργασίες επάνω στο συγκεκριμένο αντικείμενο. Ο προγραμματισμός και η ρύθμιση ενός κοχλιακού εμφυτεύματος είναι δύο από τους κυριότερους όρους που απασχολούν σήμερα την επιστημονική κοινότητα. Τα κοχλιακά εμφυτεύματα έκαναν την εμφάνισή τους στις αρχές της δεκαετίας του 1980 και έφεραν την επανάσταση καθώς μέχρι τότε τα άτομα με πολύ σοβαρή βαρηκοΐα ή και κώφωση είχαν ως μόνο μέσο επικοινωνίας ένα συνονθύλευμα προφορικών και νοηματικών τεχνικών όπως η χειλεοανάγνωση και η χρήση νοηματικής γλώσσας, πιθανώς σε συνδυασμό με κάποιο συμβατικό ακουστικό. Τα προβλήματα όμως ήταν πολλά, κυρίως για τις μικρές ηλικίες, καθώς δεν λάμβαναν κανένα ουσιαστικό όφελος από το κομμάτι του ακουστικού, ενώ η εντατική εκπαίδευση που απαιτούνταν για την εκμάθηση των τεχνικών που αναφέρθηκαν παραπάνω, δυσχέραινε ακόμα περισσότερο την κατάσταση και για τους ίδιους τους ασθενείς αλλά και για το κοντινό τους περιβάλλον.

Τα πρώτα κοχλιακά εμφυτεύματα αναπτύχθηκαν κατά το 1970 και αποτελούσαν απλουστευμένες και πρωτόγονες, θα έλεγε κανείς, συσκευές σε σχέση με τις σημερινές, καθώς θύμιζαν ακουστικά βαρηκοΐας σώματος. Περιλάμβαναν ένα μικρόφωνο, το οποίο μετέτρεπε τον ήχο σε ηλεκτρικό σήμα που μέσω καλωδίου μεταφερόταν σε μία εξωτερική οπισθοωτιαία συσκευή που με τη σειρά της συνδεόταν χειρουργικά με ένα εσωτερικό τμήμα που βρισκόταν κάτω από το δέρμα της κεφαλής. Κατά τη διαδικασία της χειρουργικής επέμβασης τοποθετούνταν ένα καλώδιο μέσα στον κατεστραμμένο κοχλία, το οποίο έπαιζε το ρόλο ηλεκτροδίου. Οι ήχοι που εντοπίζονταν από την εξωτερική συσκευή κατέληγαν στο εσωτερικό τμήμα του εμφυτεύματος όπου μετατρέπονταν σε ηχητικές διεγέρσεις, ενεργοποιούσαν τις γειτονικές νευρικές ίνες και δημιουργούσαν την αίσθηση του ήχου. Μέσω της τοποθέτησης του ηλεκτροδίου ουσιαστικά επιτυγχάνονταν η πλήρης διέγερση πολλών ακουστικών νευρικών ιών ταυτόχρονα, ενεργοποιώντας έτσι τα χιλιάδες κύτταρα του κοχλία. Εάν αναλογιστεί κανείς ότι ο κοχλίας είναι υπεύθυνος για την ενεργοποίηση των διαφορετικών ηχητικών συχνοτήτων του νευρικού συστήματος, γίνεται εύκολα κατανοητή η σπουδαιότητα της χρήσης του ηλεκτροδίου. Τα ηχητικά ερεθίσματα που παράγονταν από τα πρώτα κοχλιακά εμφυτεύματα, παρ'ολ'αυτά, δεν έμοιαζαν με εκείνα μιας φυσιολογικής ακοής αλλά ένα μεγάλο ποσοστό ασθενών ήταν σε θέση να επικοινωνήσει σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό μέσω εξειδικευμένων τεχνικών αποκατάστασης, χειλεοανάγνωσης και φυσικά σημαντικής εμπειρίας. 50 χρόνια μετά και ύστερα από χιλιάδες μηχανικές και κλινικές έρευνες αλλά και σωρεία τεχνολογικών εξελίξεων, τα κοχλιακά εμφυτεύματα προσφέρουν πλέον εξειδικευμένες λύσεις για κάθε ασθενή καθώς επεξεργάζονται εξατομικευμένα τις ακουστικές και ηλεκτρικές πληροφορίες που λαμβάνουν ενώ σε συνδυασμό με τις τεχνικές αποκατάστασης επιτυγχάνεται η ανάπτυξη αποτελεσματικής επικοινωνίας σε τεράστιο ποσοστό.

Υποψήφιοι για κοχλιακό εμφύτευμα είναι ασθενείς με αποδεδειγμένα σοβαρή έως πολύ σοβαρή βαρηκοΐα, οι οποίοι δεν έχουν ευνοηθεί από τα κλασσικά ακουστικά. Κατά κόρον είναι άτομα τα οποία παρουσιάζουν βλάβη ή δυσλειτουργία του κοχλία. Ακόμα, θα πρέπει να πληρούνται κάποιες προϋποθέσεις όσον αφορά την ηλικία του ασθενούς - μέχρι πρότινος ο FDA είχε καθορίσει τους 12 μήνες ως τη μεγαλύτερη ηλικία κατά την οποία μπορεί ένα παιδί να υποβληθεί σε εγχείρηση κοχλιακού εμφυτεύματος – όμως εάν υπάρχει ιατρική γνωμάτευση το όριο ηλικίας μπορεί να τροποποιηθεί. Επιπροσθέτως θα πρέπει ο ασθενής να μην έχει παρουσιάσει κάποια αντένδειξη σε παρελθοντική χειρουργική επέμβαση, να μην έχει ευνοηθεί ικανοποιητικά από συμβατικό ακουστικό και να υπάρχει στήριξη από το συγγενικό του περιβάλλον. Τέλος, θα πρέπει να είναι πρόθυμος να υποβληθεί σε εκπαιδευτικές διαδικασίες που αφορούν τεχνικές αποκατάστασης.

Υπάρχουν τρεις βασικές εταιρίες παραγωγής κοχλιακών εμφυτευμάτων παγκοσμίως, οι οποίες είναι εγκεκριμένες από τον FDA. Αυτές είναι η Cochlear Americas, η Advanced Bionics και η MED-EL. Καθώς οι συγκεκριμένες εταιρίες διαθέτουν αξιοσημείωτους οικονομικούς πόρους, χρηματοδοτούν σε τακτική βάση έρευνες για την ανάπτυξη των κοχλιακών εμφυτευμάτων και ως αποτέλεσμα κάθε χρόνο κάνουν την εμφάνισή τους νέες τεχνολογίες που ανατρέπουν τα δεδομένα. Τα βασικά συστατικά μέρη ενός κοχλιακού εμφυτεύματος είναι (α) ένας εξωτερικός επεξεργαστής του ήχου και ένα καλώδιο μετάδοσης, (β) μία εξωτερική συσκευή μετάδοσης ή αλλιώς πηνίο ραδιοσυχνότητας, (γ) μία εσωτερική συσκευή λήψης, (δ) μία εσωτερική συσκευή διέγερσης και τέλος (ε) μία συστοιχία ηλεκτροδίων. Παρ'όλο που τα παραπάνω συστατικά μέρη διαφέρουν στο μέγεθος, το σχήμα και τον τρόπο επεξεργασίας των πληροφοριών αναλόγως την κάθε εταιρία, η συνολική λειτουργία παρουσιάζει σημαντικές ομοιότητες (Popelka et al., 2010; Hall, J. W., 2015).

4.4.1 Εξωτερικός Επεξεργαστής Ήχου

Διαθέτει άγκιστρο μέσω του οποίου συγκρατείται στο αυτί και σε όψη μοιάζει με οπισθοωτιαίο ακουστικό. Εμπεριέχει το μικρόφωνο το οποίο ανιχνεύει τους ήχους του περιβάλλοντος και τους μετατρέπει σε ψηφιακό σήμα. Κατόπιν το σήμα αυτό ενισχύεται και υπόκειται σε ψηφιακή επεξεργασία ως προς την ένταση, τη συχνότητα και τη διάρκειά του. Πιο συγκεκριμένα, οι εξωτερικοί ήχοι που μετατρέπονται σε ψηφιακό σήμα μεταφράζονται σε χιλιάδες διαφορετικές συχνότητες που με τη σειρά τους διαχωρίζονται σε ζώνες ή τμήματα που ονομάζονται κανάλια. Οι συχνότητες αυτές δημιουργούνται μέσω της διέγερσης των ακουστικών νευρικών ινών. Το πιο σημαντικό κομμάτι του εξωτερικού επεξεργαστή είναι εκείνο της μετατροπής του περιβαλλοντικού ήχου σε ηλεκτρικές ώσεις, που με τη σειρά τους ενεργοποιούν τις ακουστικές νευρικές ίνες, λόγω της πολυπλοκότητας και του μεγάλου εύρους των περιβαλλοντικών ήχων και κυρίως της ομιλίας. Το μεγαλύτερο ποσοστό των ερευνών πραγματοποιείται επάνω στο συγκεκριμένο κομμάτι ενώ έχει βρεθεί άμεση σχέση

μεταξύ της στάθμης του περιβαλλοντικού ήχου και του πλάτους των ηλεκτρικών ώσεων.

4.4.2 Εξωτερική Συσκευή Μετάδοσης

Μέσω του καλωδίου που αναφέρθηκε προηγουμένως μεταφέρονται οι κωδικοποιημένες πληροφορίες στην εξωτερική μονάδα επεξεργασίας, η οποία βρίσκεται πάνω στο δέρμα και πίσω από το αυτί του ασθενή. Οι συγκεκριμένες πληροφορίες περιλαμβάνουν παραμέτρους όπως την ένταση και τη συχνότητα, οι οποίες συνθέτουν το ηλεκτρικό σήμα.

4.4.3 Εσωτερική Συσκευή Λήψης και Εσωτερική Συσκευή Διέγερσης

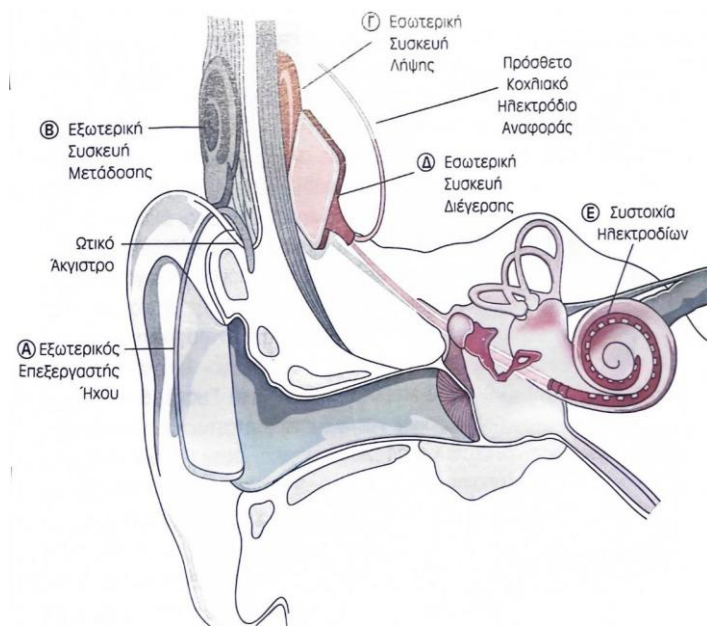
Θεωρούνται ως μία συσκευή, ιδιαίτερα λεπτή σε πάχος – συνήθως περίπου 6mm ή και λιγότερο. Συνδέονται μέσω μαγνήτη με την εξωτερική συσκευή μετάδοσης με την οποία βρίσκονται σε πλήρη ευθυγράμμιση. Η χειρουργική επέμβαση έχει ως εξής: Αρχικά ο χειρουργός δημιουργεί στο κοχλιακό οστό μια μικρή κοιλότητα στο εσωτερικό της οποίας τοποθετεί τη συσκευή λήψης και διέγερσης. Η συσκευή δεν τοποθετείται εκτεθειμένη μέσα στην κοιλότητα, αλλά προστατεύεται από μία ειδική θήκη σιλικόνης, πλήρως αεροστεγής και βιοσυμβατή, ώστε να επιτυγχάνεται η ελάχιστη δυνατή πιθανότητα απόρριψης από τον οργανισμό και να απομακρύνονται τα σωματικά υγρά. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι πλέον ένας ασθενής με κοχλιακό εμφύτευμα μπορεί να υποβληθεί σε μαγνητική τομογραφία διότι ο μαγνήτης που συνδέει την εσωτερική με την εξωτερική συσκευή είναι αφαιρούμενος.

4.4.4 Συστοιχία Ηλεκτροδίων

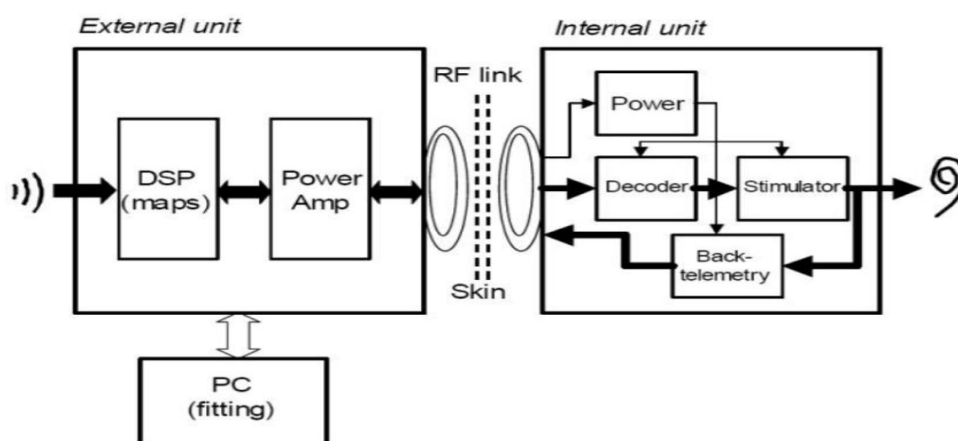
Η συστοιχία ηλεκτροδίων είναι εμφυτευμένη σε όλο το μήκος του κοχλία, από τη βάση έως την κορυφή και δέχεται τους ήχους του περιβάλλοντος που η συσκευή λήψης και διέγερσης έχει μετατρέψει σε ηλεκτρικό σήμα. Στα σύγχρονα κοχλιακά εμφυτεύματα τοποθετούνται κατά μέσο όρο δεκαέξι με είκοσι-τέσσερα ηλεκτρόδια τα οποία βρίσκονται πλησίον των ακουστικών νευρικών ιών. Ο λεγόμενος ρυθμός παρουσίας φανερώνει πόσες ώσεις μπορεί να κωδικοποιήσει η συστοιχία ηλεκτροδίων και διαφέρει αναλόγως τον κατασκευαστή. Μία τυπική τιμή αναφοράς είναι περίπου 30.000 ώσεις ανά δευτερόλεπτο. Κάθε πληροφορία που ανιχνεύεται μεταφράζεται σε ηλεκτρική ώση και κατόπιν συγκαταλέγεται σε συγκεκριμένο «κανάλι» συχνότητων. Οι υψηλές συχνότητες εντοπίζονται στα ηλεκτρόδια της βάσης του κοχλία ενώ οι χαμηλότερες συχνότητες στα ηλεκτρόδια της κορυφής, δηλαδή εις βάθος του κοχλία και με τη σειρά τους διεγείρουν τα γειτονικά ακουστικά νεύρα. Μέσω αυτής της διαδικασίας επιτυγχάνεται ο κοχλίας να δέχεται τα ερεθίσματα και να λειτουργεί σε ένα ποσοστό όπως θα λειτουργούσε και υπό κανονικές συνθήκες, οργανώνοντας τις συχνότητες σε κανάλια και διεγείροντας τα ακουστικά νεύρα.

4.4.5 Συσκευή Διασύνδεσης

Όπως ισχύει με τα κλασικά σύγχρονα ακουστικά βαρηκοΐας, έτσι και τα κοχλιακά εμφυτεύματα επιβάλλεται να είναι σε θέση να συνδεθούν με τον υπολογιστή, ώστε να μπορούν να προγραμματιστούν κατάλληλα από τον ακοολόγο. Κάθε κοχλιακό εμφύτευμα είναι συμβατό με δικό του πρόγραμμα, αναλόγως την εταιρία από την οποία προέρχεται, το οποίο μέσω της συσκευής διασύνδεσης συνδέεται με τον υπολογιστή. Ο προγραμματισμός του κοχλιακού εμφυτεύματος γίνεται αρχικά αφού τοποθετηθεί στον ασθενή και κατόπιν όποτε κριθεί απαραίτητο να γίνει κάποια επιπλέον τροποποίηση στις ήδη υπάρχουσες ρυθμίσεις βαρηκοΐας (Popelka et al., 2010; Pai et al., 2012; Hall, J. W., 2015).



Εικόνα 4β. Συγκεντρωτικά όλα τα μέρη του κοχλιακού εμφυτεύματος (Ιδιοκτησία Cochlear Americas, Hall, J. W., 2015)



Εικόνα 4γ. Μπλοκ διάγραμμα ενός σύγχρονου κοχλιακού εμφυτεύματος (Πηγή: Cochlear Implants: System Design, Integration and Evaluation, Zeng et al, 2009)

Με τη βοήθεια της Εικόνας 4γ γίνονται περισσότερο κατανοητά τα μηχανικά μέρη ενός κοχλιακού εμφυτεύματος. Η εξωτερική μονάδα συγκροτείται από τον

επεξεργαστή του ψηφιακού σήματος (DSP) που αποτελεί και τον εγκέφαλο του κοχλιακού εμφυτεύματος, έναν ενισχυτή ισχύος και ένα πομπό RF. Ο επεξεργαστής DSP λαμβάνει τον ηχητικό σήμα και το μεταφράζει με βάση τα χαρακτηριστικά του, σε bits. Μέσω του πομπού τα χαρακτηριστικά αυτά μεταφέρονται στην εσωτερική μονάδα. Ο διεγέρτης της εσωτερικής μονάδας λαμβάνει την απαραίτητη ισχύς μέσω του σήματος που παράγει ο πομπός RF, αποκωδικοποιεί τα bits και τα μετατρέπει σε ηλεκτρικό ρεύμα που διεγείρει τα κατάλληλα ηλεκτρόδια. Τέλος, το σύστημα ανάδρασης επιτρέπει την αναγνώριση σημάτων που εκπέμπονται μέσω των νευρικών απολήξεων και χρήζουν προσοχής και αποστέλλει τα σήματα αυτά πίσω στην εξωτερική μονάδα (Zeng *et al*, 2009).

4.4.6 Σύγχρονες Εξελίξεις Κοχλιακών Εμφυτευμάτων

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, λόγω των χρηματοδοτήσεων που είναι σε θέση να διεξάγουν κάθε χρόνο οι τρεις κορυφαίες εταιρίες κοχλιακών εμφυτευμάτων, ο συγκεκριμένος τομέας εξελίσσεται ραγδαία. Δύο βασικά στοιχεία που έχουν παρουσιάσει μεγάλη ανάπτυξη είναι το μέγεθος του κοχλιακού εμφυτεύματος, το οποίο έχει μειωθεί σε σημαντικό βαθμό σε σχέση με παλαιότερες σειρές μοντέλων και τα υλικά κατασκευής που αποτελούνται κυρίως από λευκόχρυσο, σιλικόνη και τιτάνιο, ουσίες που χαρακτηρίζονται από αυξημένη βιοσυμβατότητα και αντοχή στο χρόνο. Οι δύο αυτές βασικές βελτιστοποιήσεις έχουν επιφέρει αισθητή μείωση στις βλάβες και τις δυσλειτουργίες των κοχλιακών εμφυτευμάτων.

Ένα ακόμα σκέλος του κοχλιακού εμφυτεύματος που έχει σημειώσει βελτίωση είναι η τεχνολογία των ηλεκτροδίων, καθώς οι επαφές τους βρίσκονται όσο γίνεται πιο κοντά στις ακουστικές νευρικές ίνες, ενώ πλέον τοποθετούνται με μεγάλη ευκολία δημιουργώντας ελάχιστες έως μηδαμινές βλάβες στις υπόλοιπες κυτταρικές δομές του κοχλία. Ακόμα, δίνεται η δυνατότητα χρήσης πολλαπλών μικροφώνων στο κομμάτι του επεξεργαστή του ήχου, όπως συμβαίνει και με τα συμβατικά ψηφιακά ακουστικά βαρηκοΐας, γεγονός που βελτιώνει την επίδοση του εμφυτεύματος σε θορυβώδες περιβάλλον.

Επιπροσθέτως, πολλοί ασθενείς οι οποίοι παρουσιάζουν βαρηκοΐα στις υψηλές συχνότητες δεν μπορούν να ευνοηθούν επαρκώς ούτε από ακουστικό αλλά ούτε και από κοχλιακό εμφύτευμα. Με τις σύγχρονες εξελίξεις, όμως, των κοχλιακών εμφυτευμάτων είναι πλέον εφικτό μέσω ενός υβριδικού συστήματος κοχλιακού εμφυτεύματος – ακουστικού βαρηκοΐας που αναφέρεται ως συνδυασμένη ηλεκτρική και ακουστική διέγερση (εν συντομία ΣΗΑΔ), να τοποθετηθεί ένα πιο κοντό ηλεκτρόδιο το οποίο εκτείνεται μερικώς κατά μήκος του κοχλία και ενεργοποιεί στοχευμένα εξ' ολοκλήρου τις ακουστικές νευρικές ίνες υψηλών συχνοτήτων. Οι ήχοι χαμηλών συχνοτήτων, από την άλλη, ενισχύονται μέσω του εξωτερικού επεξεργαστή και μεταφέρονται στον έξω ακουστικό πόρο, όπως ακριβώς συμβαίνει και με ένα κλασικό ακουστικό βαρηκοΐας. Η υβριδική αυτή προσέγγιση είναι πολλά

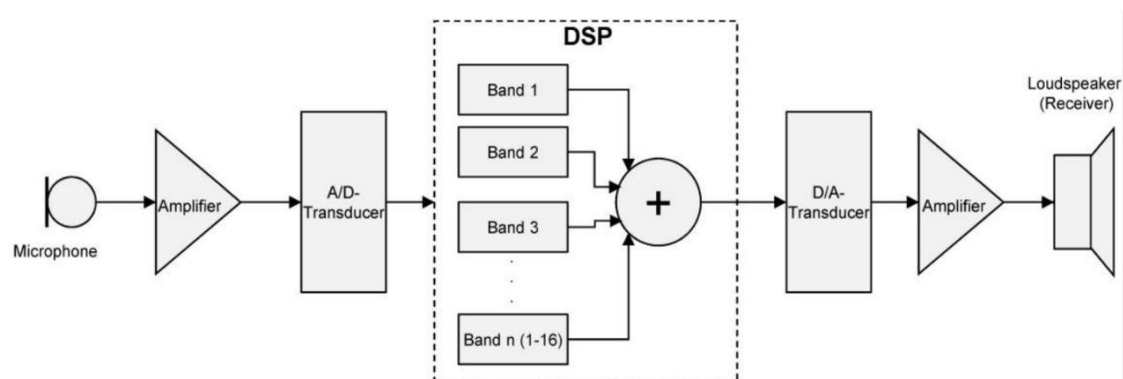
υποσχόμενη όσον αφορά την αναγνώριση της ομιλίας και την αποτελεσματικότερη επικοινωνία του ασθενή ενώ περεταίρω υβριδικά συστήματα όπως αμφίπλευρα κοχλιακά εμφυτεύματα ή κοχλιακό εμφύτευμα στο ένα αυτί και ακουστικό βαρηκοΐας στο άλλο παρουσιάζουν επίσης σημαντικά ευρήματα σχετικά με την αποτελεσματικότητά τους (Hall, J. W., 2015).

5. Τεχνολογία Σύγχρονων Ακουστικών Βαρηκοΐας

5.1 Ψηφιακή Επεξεργασία Σήματος (Digital Signal Processing)

Για να γίνει εύκολα κατανοητή η τεχνολογία Ψηφιακής Επεξεργασίας Σήματος αξίζει να γίνει μία σύντομη αναφορά στη φύση του ανθρώπινου αυτιού και της ακουστικής διαδικασίας η οποία αποτελεί ένα συνονθύλευμα της συνεργασίας πολλών νευρικών κυττάρων που ονομάζονται τριχωτά κύτταρα και εκτείνονται από το έξω αυτί έως και το εσωτερικό τμήμα του εγκεφάλου. Μέσω των τριχωτών κυττάρων γίνεται η «μετάφραση» των ήχων που δέχεται ο εγκέφαλος σε κάτι το οποίο μπορεί τελικά να κατανοήσει. Ο κάθε ήχος μέσα στο περιβάλλον δημιουργεί ένα ημιτονοειδές κύμα με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά το οποίο κατόπιν συλλαμβάνεται από το έξω αυτί και μετατρέπεται σε μία σειρά δονήσεων που μέσω ειδικών οστών στο μεσαίο και έσω αυτί, φτάνουν στον κοχλία. Ο κοχλίας με τη σειρά του εμπεριέχει μία μεμβράνη που μετατοπίζεται αναλόγως τη συχνότητα του ακουστικού κύματος που προσπίπτει επάνω της. Οι χαμηλές συχνότητες προκαλούν μετατόπιση της μεμβράνης προς το ανώτερο σημείο της ενώ οι υψηλές τη διεγείρουν προς τη βάση της. Παράλληλα οι συχνότητες διαμορφώνουν το πλάτος του εκάστοτε κύματος. Μέσω του μηχανισμού αυτού γίνεται εύκολα κατανοητό ότι ο κοχλίας διαχωρίζει τους ήχους που λαμβάνει, από τους πιο απλούς μέχρι και τους πιο περίπλοκους αναλόγως τις συχνότητες που εμπεριέχουν.

Η τεχνολογία DSP έρχεται να επιλύσει το ζήτημα της μετατροπής των ακουστικών κυμάτων σε ηλεκτρικούς παλμούς. Αρχικά, ο ήχος που λαμβάνει το ακουστικό ανιχνεύεται με τη μορφή ηλεκτρικών παλμών μέσω του μικροφώνου. Κατόπιν, μέσω ενός φίλτρου επεξεργασίας σήματος οι ηλεκτρικοί παλμοί μεταφράζονται σε bits και διασπώνται σε επιμέρους κανάλια χαμηλών και υψηλών συχνοτήτων αναλόγως τα χαρακτηριστικά τους. Στη συνέχεια οι συχνότητες αυτές γίνονται και πάλι μία ολότητα, μετατρέπονται σε ηλεκτρικούς παλμούς μέσω του ενισχυτή και καταλήγουν στο μεγάφωνο. Η παραπάνω πολύπλοκη διαδικασία επιτυγχάνεται μέσω του μετασχηματισμού Fourier σε συνδυασμό με ειδικά διαμορφωμένο κώδικα προγραμματισμού (Abdulkareem S., Janajreh, I., 2020).



Εικόνα 5.1 Αρχή λειτουργίας σύγχρονων ψηφιακών ακουστικών βαρηκοΐας, τεχνολογίας DSP (Πηγή: Hoppe, U., Hesse, G., *Hearing aids: indications, technology, adaptation, and quality control*, 2017)

Η συνεχής ανάπτυξη των ψηφιακών ακουστικών βαρηκοΐας συμβαδίζει στενά με τη ραγδαία ανάπτυξη της ψηφιακής τεχνολογίας, ενώ εκτιμάται ότι μέσα στα επόμενα χρόνια θα ανέλθει ακόμα περισσότερο, προσφέροντας καινοτόμες λύσεις ακοής ως προς τη συνδεσιμότητα των ακουστικών με άλλες συσκευές αλλά και την εξατομίκευση κάθε περιστατικού βαρηκοΐας ξεχωριστά μέσω ειδικών αλγορίθμων. Η εμφάνιση της τεχνολογίας Ψηφιακής Επεξεργασίας Σήματος (Digital Signal Processing, εν συντομία DSP) τη δεκαετία του 1990 αποτέλεσε την αφετηρία για την εισαγωγή προηγμένων αλγορίθμων στα ακουστικά βαρηκοΐας ενώ μέχρι το 2005 το 93% των ακουστικών που πωλούνταν στις ΗΠΑ διέθεταν τεχνολογία DSP. Η τεχνολογία DSP έχει προσφέρει αναρίθμητα πλεονεκτήματα στον κλάδο των ακουστικών βαρηκοΐας, τα οποία μέχρι πρότινος δεν μπορούσαν να καλύψουν τα αναλογικά ακουστικά, όπως είναι η συλλογή και ταξινόμηση στατιστικών δεδομένων όσον αφορά το χρήστη, η μείωση του θορύβου και η παρεμπόδιση της ανάδρασης του ήχου (feedback cancellation) στα ακουστικά ανοιχτού τύπου. Παράλληλα, με το πέρασ των ετών παρατηρείται αισθητή βελτίωση στις τεχνολογίες κατευθυντικότητας των μικροφώνων καθώς και αύξηση της δημοτικότητας των οπισθοωτιαίων ακουστικών ανοιχτού τύπου σε συνδυασμό με τη βελτίωση των αλγορίθμων ανατροφοδότησης, ενώ φαίνεται ότι τεχνολογίες DSP που αρχικά είχαν κριθεί μέχρι και επιζήμιες, όπως οι αλγόριθμοι Συμπίεσης Πολλαπλών Ζωνών (Multiband Wide Dynamic Range Compression, εν συντομία WDRC), πλέον είναι εκείνοι που χρησιμοποιούνται κατά κόρον στη βιομηχανία των ακουστικών.

Πάραυτα, τα τσιπ DSP που χρησιμοποιούνται στα ακουστικά βαρηκοΐας είναι της τάξεως των μερικών MHz, σε αντίθεση με τα τσιπ DSP γενικής χρήσης που μπορούν να υποστηρίξουν ταχύτητες μερικών χιλιάδων MHz. Η μνήμη RAM που εμπεριέχεται στο τσιπ DSP του ακουστικού είναι επίσης πολύ περιορισμένη εν συγκρίσει με τις RAM ευρείας κατανάλωσης που κυκλοφορούν στην αγορά. Συμπερασματικά, με το πέρασ των ετών ευελπιστάται τα τσιπ DSP που προορίζονται για ακουστικά βαρηκοΐας να γίνουν περισσότερο ισχυρά και κατ' επέκταση να μπορέσουν να υποστηρίξουν πιο πολύπλοκους αλγόριθμους οι οποίοι θα βασίζονται κυρίως στη στοχευμένη μείωση του περιβαλλοντικού θορύβου. Ένα κινητό τηλέφωνο διαθέτει πιο εξελιγμένο αλγόριθμο μείωσης θορύβου από ένα ακουστικό κι αυτό γιατί το ακουστικό μπορεί να υποστηρίξει μόνο αλγόριθμους που εμπεριέχουν απλουστευμένους ταξινομητές και στατιστικά μοντέλα τύπου "φακέλων" (envelope statistics), σε αντίθεση με το κινητό τηλέφωνο που υποστηρίζει αλγόριθμους DSP μεγαλύτερης πολυπλοκότητας. Κανείς δεν μπορεί να εγγυηθεί ότι οι συγκεκριμένοι αλγόριθμοι θα βελτιώσουν την ποιότητα του χρήσιμου σήματος και θα μειώσουν το θόρυβο, εάν όμως καταφέρουν και συμπεριληφθούν στο κύκλωμα ενός ακουστικού

θα αναβαθμίσουν αυτομάτως την ταχύτητα και την μνήμη του, γεγονός που προετοιμάζει το έδαφος για περαιτέρω βελτιώσεις και καινοτομίες σε προγραμματιστικό επίπεδο.

Είναι σημαντικό να γίνει κατανοητό ότι οι δυνατότητες των τσιπ DSP είναι καθορισμένες και δεν επιδέχονται περαιτέρω βελτιώσεων διότι αποτελούν συστήματα τα οποία είναι ήδη πανίσχυρα και μπορούν να υποστηρίξουν από πολύ απλούς μέχρι εξαιρετικά πολύπλοκους αλγόριθμους. Ο προβληματισμός έγκειται στις περιορισμένες δυνατότητες των ακουστικών βαρηκοΐας να υποστηρίξουν αυτούς τους πολύπλοκους αλγόριθμους, λόγω του μικρού μεγέθους και της χωρητικότητάς τους. Η επιστημονική κοινότητα, μέσα από έρευνες έκρινε ότι τα ακουστικά μοντέλα, δηλαδή οι αλγόριθμοι DSP που χρησιμοποιούνται για επεξεργασία του ήχου κυρίως στη βιομηχανία της μουσικής, θα μπορούσαν στο άμεσο μέλλον να αποτελέσουν αφετηρία για την εξέλιξη των αλγορίθμων DSP που εμπεριέχονται στα ακουστικά βαρηκοΐας. Παρ'όλο που υπάρχει δυσκολία στο να «μεταφραστούν» οι αλγόριθμοι ώστε να συμφωνούν πλήρως με το προγραμματιστικό περιβάλλον ενός ακουστικού, η ιδέα τα ακουστικά μοντέλα να χρησιμοποιηθούν ως πρότυπα μοντέλα για την μετεξέλιξη των ακουστικών βαρηκοΐας κερδίζει όλο και περισσότερο έδαφος ανάμεσα στις διάφορες εταιρίες που προσφέρουν λύσεις ακοής και ευελπιστούν να εξελίσσονται και να παρέχουν κορυφαίες υπηρεσίες στους πελάτες τους. Τα πιο σύγχρονα ψηφιακά ακουστικά που κυκλοφορούν στην αγορά είναι φυσικό να κοστίζουν και αρκετά και για το λόγο αυτό η ικανοποίηση του πελάτη θα πρέπει να είναι πρωταρχικός σκοπός (Edwards, 2007).

5.2 Συνδεσιμότητα

Όσον αφορά την ασύρματη συνδεσιμότητα των ακουστικών, αυτή είχε ήδη κάνει την εμφάνισή της μέσω των αναλογικών ακουστικών και της τεχνολογίας πομπού και δέκτη, όπου μέσω συστήματος βρόγχου ένα σήμα στέλνονταν στο ακουστικό με τη βοήθεια πηνίου. Παρουσίαζε όμως αρκετά μειονεκτήματα, όπως το υψηλό κόστος, το μεγάλο μέγεθος, την ασυμβατότητα και τις τυχόν παρεμβολές που παρεμπόδιζαν το σήμα από το να φτάσει αυτούσιο στο ακουστικό. Όλα τα παραπάνω προβλήματα ξεπεράστηκαν μέσω των ψηφιακών αλγορίθμων ενώ επιδέχονται πάντα και βελτιώσεων μέσω της συνεχούς εξέλιξης της τεχνολογίας. Ενδεικτικά, κάποια πλεονεκτήματα όσον αφορά την ασύρματη συνδεσιμότητα των ψηφιακών ακουστικών είναι η υψηλότερη πιστότητα και ποιότητα του ήχου σε καθορισμένο εύρος, η μεγαλύτερη ανθεκτικότητα σε παρεμβολές από άλλα ηλεκτρομαγνητικά σήματα και συσκευές, η χαμηλότερη ισχύς, το χαμηλό κόστος και το μικρό μέγεθος που απαιτείται.

Μέσω της τεχνολογίας του Bluetooth ένα ακουστικό είναι πλέον σε θέση να συνδεθεί με μία ευρεία γκάμα συσκευών όπως τηλεόραση, κινητό, MP3 player, άλλα

αξεσουάρ ακοής, ακόμα και υπολογιστή χωρίς τη χρήση καλωδίων. Στο άμεσο μέλλον ο στόχος είναι ένα ακουστικό βαρηκοΐας να καθίσταται πλήρως συμβατό με όλες τις συσκευές που διαθέτουν Bluetooth και το ίδιο το ακουστικό μέσω των κουμπιών του να μπορεί να αλληλοεπιδράσει πλήρως με τη συζευγμένη συσκευή. Ακόμα, αποσκοπείται να μπορεί να μετατρέψει ένα κείμενο σε ομιλία όπως παραδείγματος χάριν ένα email και να είναι σε θέση να μεταδώσει τα δεδομένα σε συσκευές μετάδοσης ή/και αποθήκευσης ηχητικών ή μη αρχείων όπως ασύρματα ακουστικά, ηχεία, usb sticks, σκληρούς δίσκους κ.α. Συζήτηση γίνεται επίσης και για το κατά πόσο ένας χρήστης ζεύγους ακουστικών θα ευνοηθεί εάν τα ακουστικά του συνδέονται πλήρως μεταξύ τους μέσω Bluetooth και ανατροφοδοτούν το ένα το άλλο για βελτιωμένη εμπειρία ακοής. Είναι σαφώς πιθανό να προκύψουν μειονεκτήματα εάν αναλογιστεί κανείς ότι το ένα ακουστικό θα είναι πλήρως εξαρτώμενο από το άλλο και δεν θα είναι σε θέση να λειτουργήσουν ξεχωριστά. Μέσω κατάλληλα διαμορφωμένων αλγορίθμων είναι εφικτό να ξεπεραστεί η τροχοπέδη δύο ακουστικών που λειτουργούν ξεχωριστά αλλά ουσιαστικά αποτελούν ζεύγος.

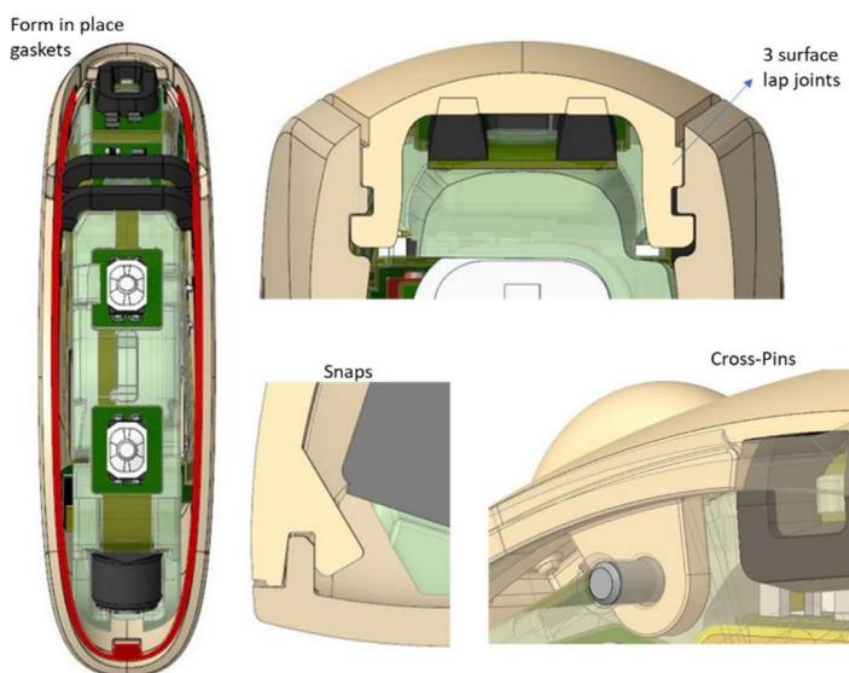
Ένα ακόμα μειονέκτημα της ασύρματης συνδεσιμότητας είναι η υψηλή κατανάλωση ενέργειας, καθώς χωρίς Bluetooth ένα ακουστικό καταναλώνει κατά μέσο όρο 1mW υπό φυσιολογικές συνθήκες χρήσης ενώ με Bluetooth καταναλώνει περίπου 30mW. Η αυξημένη κατανάλωση ενέργειας μειώνει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας του ακουστικού ενώ παράλληλα αυξάνει την απαιτούμενη ισχύ που χρειάζεται για να λειτουργήσει. Το πρόβλημα αυτό είναι δυνατόν να επιλυθεί όσο η τεχνολογία εξελίσσεται και τα τσιπ Bluetooth σχεδιάζονται όλο και πιο μικρά, καθώς και χαμηλότερα σε ισχύ. Στο άμεσο μέλλον δεν αποκλείεται ακόμα και το megάφωνο του ακουστικού να συνδέεται με το υπόλοιπο κύκλωμα μέσω Bluetooth, ενώ το ζήτημα που απασχολεί περισσότερο την επιστημονική κοινότητα είναι το κατά πόσο η συνδεσιμότητα όλων αυτών των συσκευών μεταξύ τους θα είναι απλουστευμένη και εύκολα διαχειρίσιμη από το χρήστη (Kerckhoff et al, 2008; Najeeb et al, 2022)

5.3 Αδιάβροχα Ακουστικά Βαρηκοΐας

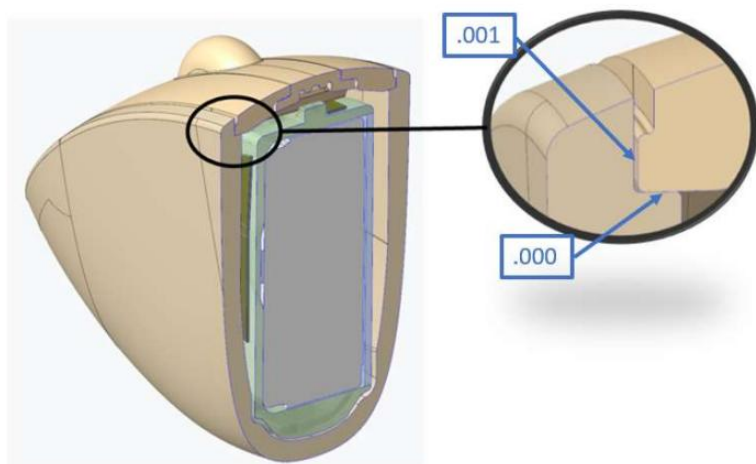
Η φύση ενός ακουστικού βαρηκοΐας επιβάλλει το να υπάρχουν οπές στα μέρη του απ' όπου εισέρχονται και εξέρχονται οι περιβαλλοντικοί ήχοι και κατ' επέκταση το ακουστικό δεν μπορεί να είναι με κάποιο τρόπο ερμητικά κλειστό ώστε να διασφαλιστεί ότι θα μπορεί να προστατεύεται πλήρως από το νερό. Οι Borra G., Plymouth et al (2024) διεξήγαγαν μία μελέτη στην οποία υπέδειξαν τρεις βασικούς πυλώνες για την ορθή κατασκευή ενός αδιάβροχου οπισθωτιαίου ακουστικού, οι οποίοι σχετίζονται με την αρχιτεκτονική του περιβλήματος του ακουστικού, την προστασία του ολοκληρωμένου κυκλώματος και την προστατευτική επίστρωση του.

Όσον αφορά την αρχιτεκτονική του πλαστικού περιβλήματος, οι οπές των μικροφώνων επιβάλλεται να τοποθετούνται στα πλάγια για να ελαχιστοποιείται η εισχώρηση της υγρασίας ενώ το επάνω με το κάτω περίβλημα θα πρέπει να

επικαλύπτουν επακριβώς το ένα το άλλο με τη βοήθεια ειδικά διαμορφωμένων άγκιστρων και μεταλλικών pins που «κλειδώνουν» τα διάφορα μέρη του περιβλήματος αναμεταξύ τους. Ακόμα, όλα τα ακουστικά εσωτερικά του περιβλήματος θα πρέπει να φέρουν σιλικονούχα ταινία (τσιμούχα) ώστε να διασφαλίζεται η μέγιστη στεγανοποίηση τους. Μελετώντας τη διαδρομή που ακολουθεί ο ήχος εσωτερικά του ακουστικού μπορούν να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα και για όλα τα μέρη του τα οποία είναι περισσότερο εκτεθειμένα στην υγρασία και έτσι να διαμορφωθεί ένα «κανάλι» το οποίο θα είναι επίσης μονωμένο με σιλικονούχο υλικό. Τέλος, για επιπλέον προστασία, τοποθετούνται υδρόφοβα φίλτρα στα μικρόφωνα τα οποία εμποδίζουν μέχρι ένα βαθμό το κερί και την υγρασία. Στο κομμάτι της προστασίας του ολοκληρωμένου κυκλώματος, χρησιμοποιείται ένα πολύ λεπτό ακρυλικό φιλμ υψηλής διηλεκτρικής αντοχής το οποίο κατόπιν πολυμερίζεται μέσω UV φως. Το συγκεκριμένο προστατευτικό φιλμ είναι μείζονος σημασίας, όχι μόνο για την αποφυγή βραχυκυκλώματος του ολοκληρωμένου κυκλώματος αλλά και για την προστασία της μπαταρίας ιόντων λιθίου στην περίπτωση επαναφορτιζόμενου ακουστικού, καθώς η εισχώρηση υγρασίας στο εσωτερικό της μπαταρίας μπορεί να προκαλέσει προβλήματα γρήγορης κατανάλωσης και τελικά να επιφέρει την πλήρη αχρήστευση της. Η προστατευτική επίστρωση, η οποία αφορά το τελευταίο στάδιο αδιαβροχοποίησης στην κατασκευή ενός ακουστικού, αποτελεί ουσιαστικά ένα υδρόφοβο αέριο με βάση το νερό και κάποιο ειδικό έλαιο. Τα νανοσωματίδια του υδρόφοβου αερίου επικάθονται επάνω στο πλαστικό περίβλημα και έως ένα βαθμό το προστατεύουν από όλες τις περιβαλλοντικές συνθήκες, συμπεριλαμβανομένου και της υγρασίας. Το συγκεκριμένο αέριο μέσω της καθημερινής τριβής του ακουστικού με τους εξωτερικούς παράγοντες, φθείρεται και τελικά εξασθενεί πλήρως, όμως είναι ένα πολύ σημαντικό κομμάτι στη διαδικασία αδιαβροχοποίησης του (Borra G., Plymouth et al, 2024).



Εικόνα 5.2 Τα βασικά μέρη της αρχιτεκτονικής του περιβλήματος του ακουστικού. Στα αριστερά διακρίνεται η σιλικονούχα προστατευτική ταινία, επάνω και κάτω αριστερά τα ειδικά διαμορφωμένα άγκριστρα και κάτω δεξιά τα pins με τη βοήθεια των οποίων «κουμπώνει» το πλαστικό περίβλημα (Πηγή: Borra G., Plymouth et al, 2024)



Εικόνα 5.3 Ο σχεδιασμός του πλαστικού περιβλήματος ώστε το ένα μέρος να επικαλύπτει το άλλο με μεγάλη ακρίβεια (της τάξεως του ενός χιλιοστού της ίντσας) και χωρίς να δημιουργούνται διάκενα (Πηγή: Borra G., Plymouth et al, 2024)

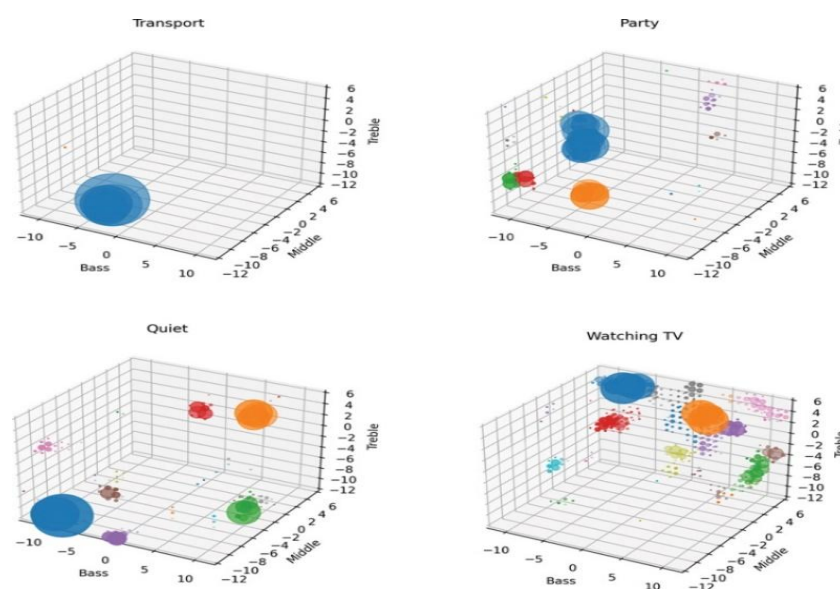
5.4 Ακουστικά Βαρηκοίας και Τεχνητή Νοημοσύνη (AI)

Η τεχνολογία στην οποία βασίζεται η λειτουργία της Τεχνητής Νοημοσύνης αφορά τη δημιουργία αλγορίθμων που στοχεύουν στην επίλυση πολύπλοκων προβλημάτων. Αρχικά, το σύστημα δέχεται σαν είσοδο μεγάλες ποσότητες πληροφοριών, τις επεξεργάζεται και μέσω κανόνων που έχουν οριστεί από το χρήστη ή που δημιουργεί αυτόματα ο ίδιος ο αλγόριθμος τη δεδομένη στιγμή, προσδιορίζεται η ιδανική απόκριση. Ο κλάδος της τεχνητής νοημοσύνης που σχετίζεται με τα ψηφιακά ακουστικά βαρηκοΐας αποσκοπεί στην ανάπτυξη αλγορίθμων και λογισμικού που θα συμβαδίζουν με την πολυπλοκότητα της ανθρώπινης ακοής.

Πάραυτα, όπως φαίνεται η αναγνώριση και βελτίωση του λόγου σήματος προς θόρυβο εν έτει 2024 αποτελεί ακόμα σημαντική πρόκληση για τους αλγορίθμους τεχνητής νοημοσύνης που συμπεριλαμβάνουν μεταξύ άλλων αλγόριθμους ακύρωσης θορύβου (noise cancellation algorithms) και τεχνολογίες μηχανικής μάθησης (machine learning). Η τεχνητή νοημοσύνη έγκειται στην ικανότητα του ακουστικού να απομνημονεύει τις προτιμήσεις του χρήστη στα διάφορα περιβάλλοντα ακρόασης όπως στο σπίτι, στην εργασία, σε μία συναυλία, σε ένα εστιατόριο κοκ. Επίσης μέσω συστήματος πλοήγησης, το ακουστικό αντιλαμβάνεται τα μέρη στα οποία συχνάζει ο χρήστης και τροφοδοτείται σχετικά με τις καταστάσεις ακρόασης με τις οποίες έρχεται συχνότερα σε επαφή. Κάποιες επιπλέον δυνατότητες του ακουστικού είναι η αναγνώριση της ομιλίας, η απομακρυσμένη ρύθμιση του ακουστικού από τον ακοολόγο, η μετάφραση ξένων γλωσσών σε πραγματικό χρόνο, η ανίχνευση της φυσικής κατάστασης του ατόμου και του αριθμού των βημάτων, η ανίχνευση πιθανής πτώσης ατόμου – κυρίως μεγαλύτερης ηλικίας – και η έγκαιρη αποστολή ειδοποίησης

και τοποθεσίας σε συγγενικό πρόσωπο, η ακρόαση μουσικής και ταινιών με ήχο υψηλών προδιαγραφών και πολλά ακόμα. Όπως αναφέρει ο Thomas Lang, αντιπρόεδρος της εταιρίας Phonak: «Είναι μία μεγάλη αλλαγή γιατί παραδοσιακά τα ακουστικά βαρηκοΐας δεν είναι κάτι που θέλουν οι ασθενείς, αλλά κάτι που χρειάζονται. Καθώς η τεχνητή νοημοσύνη εξελίσσεται για να καλύπτει περισσότερες λύσεις και οφέλη, το στίγμα θα εξαφανιστεί.»

Παρ'όλο που ο κλάδος των αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης δεν είναι εφικτό να αναλυθεί σε μία παράγραφο, θα γίνει μία σύντομη αναφορά σε ορισμένα βασικά στοιχεία που την απαρτίζουν. Στην καρδιά της τεχνητής νοημοσύνης, όπως αναφέρθηκε, κάθε περιβάλλον και κάθε κατάσταση διαφέρει. Μπορεί ο χρήστης να κάθεται σε ένα παγκάκι και να θέλει να αποκοπεί πλήρως από τους περιβαλλοντικούς θορύβους ώστε να συγκεντρωθεί στην εργασία του ή μπορεί να θέλει να διαβάσει ένα βιβλίο και ταυτόχρονα να έχει επαφή με τους ήχους γύρω του. Ένα παράδειγμα σαν κι αυτό βοηθάει στην κατανόηση της αναγκαιότητας ανάπτυξης ταξινομητών περιβαλλοντικών ήχων. Οι ταξινομητές χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό στην ανάπτυξη συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης και έχουν την ικανότητα να εκπαιδεύονται και να απορροφούν μεγάλο όγκο δεδομένων. Το SSL (SoundSense Learn) αποτελεί παράδειγμα τέτοιου είδους ταξινομητή, καθώς συνεργάζεται με το χρήστη και λαμβάνει πληροφορίες από αυτόν σχετικά με την προτίμηση του σε συγκεκριμένους ήχους. Ο ταξινομητής SSL αποτελεί απόρροια μαθηματικών αλγορίθμων που βασίζονται στη μπεϋζιανή και τη γκαουσιανή κατανομή (Bayesian – Gaussian process) και στοχεύει στην εύρεση της βέλτιστης ρύθμισης του ακουστικού βάζοντας κατ' επανάληψη το χρήστη να επιλέξει ανάμεσα σε δύο δείγματα ήχων A και B και φτιάχνοντας του ένα εξατομικευμένο προφίλ βαρηκοΐας. Παρακάτω δίνεται ένα παράδειγμα αποτελεσμάτων του ταξινομητή SSL σε τέσσερα διαφορετικά περιβάλλοντα αναφορικά με τις προτιμήσεις του χρήστη σε μπάσα, πρίμα και μεσαία κανάλια έντασης. Όπως γίνεται κατανοητό, κάποια περιβάλλοντα είναι περισσότερο πολύπλοκα από άλλα και ακόμα και οι προτιμήσεις του ίδιου χρήστη στο ίδιο περιβάλλον μπορεί ανά διαστήματα να αλλάζουν. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα κάτι τέτοιο συμβαίνει στην τέταρτη περίπτωση που αφορά την παρακολούθηση τηλεόρασης (Nielsen et al, 2021).



Εικόνα 5.4 Αποτελέσματα ταξινομητή SSL σε 4 διαφορετικά περιβάλλοντα: Μέσα μαζικής μεταφοράς, πάρτυ, ήσυχο περιβάλλον και παρακολούθηση τηλεόρασης. Οι προτιμήσεις του χρήστη διακρίνονται σε 3 διαφορετικά κανάλια συχνότητων: πρίμα, μεσαία και μπάσα (*Πηγή: The Collaboration between Hearing Aid Users and Artificial Intelligence to Optimize Sound, Balling et al, 2021*)

6. Εισαγωγή στην Επιστήμη της Ακοολογίας

6.1 Ηγετικές μορφές της ακοολογίας

Η γέννηση της ακοολογίας συναντάται κατά το 1800, όπου διακεκριμένοι επιστήμονες της εποχής, στην Ευρώπη και κυρίως στη Γερμανία, ένωσαν τις δυνάμεις τους και έκαναν σπουδαίες ανακαλύψεις που έθεσαν τις βάσεις για την αποσαφήνιση του όρου «ακοή» και της φύσης αυτού του πολύπλοκου και σημαντικού οργάνου που ονομάζεται αυτί (Feldman, 1970). Το Psychoacoustic Laboratory (PAL) στο Cambridge της Μασαχουσέτης αποτέλεσε πρωτοποριακό ερευνητικό κέντρο στον τομέα της ακοολογίας ενώ πολλές από τις ανακαλύψεις που έλαβαν χώρα εκεί, θεωρούνται μέχρι και σήμερα σημεία αναφοράς για περαιτέρω έρευνα και εξέλιξη. Εμβληματικές μορφές που επιτέλεσαν σημαντικό επιστημονικό και κοινωνικό έργο στο PAL είναι οι Hallowell Davis, Robert Galambos, Ira Hirsh και Georg von Békésy. Το εργαστήριο Bell Labs σε Νέα Υόρκη και Νιου Τζέρσεϋ αποτέλεσε επίσης σταθμό στην έρευνα της ακοής κατά τις αρχές του 20ου αιώνα, με πρωτεργάτη τον Harvey Fletcher, ο οποίος έχει μείνει στην ιστορία ως ο «Πατέρας του Στερεοφωνικού Ήχου». Ο Dr. Fletcher είναι γνωστός για τη συμβολή του στον τομέα του ήχου και της ψυχοακουστικής μέσω της εκπόνησης μελετών αλλά και της συγγραφής άρθρων και βιβλίων. Στο Bell Labs επίσης αναπτύχθηκαν και οι πρώτες συσκευές αξιολόγησης ακοής και διεξήχθησαν έρευνες επάνω στο κομμάτι της αντίληψης της ομιλίας. Εν συνεχεία, την περίοδο 1920 – 1930 έκανε την εμφάνιση του στις Ηνωμένες Πολιτείες ένα όργανο που ονομάστηκε ακοομετρητής και το οποίο ήταν σε θέση μέσω διαφορετικών τύπων ήχων και σε συγκεκριμένες στάθμες, να αξιολογεί σε κλινικό περιβάλλον την ακοολογική κατάσταση του εξεταζόμενου. Ο Cordiac C. Bunch, μία ακόμα εξέχουσα προσωπικότητα στον τομέα της ακοολογίας, άφησε στην επιστημονική κοινότητα σπουδαία παρακαταθήκη στο κομμάτι της αξιολόγησης της ακοής, μέσω πολύχρονης έρευνας που διακρίνεται συγκεντρωτικά στο βιβλίο του με τίτλο Κλινική Ακοομετρία (Bunch, 1943).

Η γέννηση του επιστημονικού κλάδου της ακοολογίας και της επιτακτικής ανάγκης της δημιουργίας ενός οργάνου ενίσχυσης της έντασης του ήχου προέκυψε στην Αμερική κατά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, όπου οι συσκευές ενίσχυσης του ήχου και το επάγγελμα του ακοολόγου βρήκαν πρόσφορο έδαφος (Jerger, 2009). Οι διαταραχές ακοής των στρατιωτικών, οι οποίες είχαν προκληθεί από ήχους πολύ υψηλής έντασης, δεν μπορούσαν να αντιμετωπιστούν ούτε χειρουργικά αλλά ούτε και μέσω φαρμακευτικής αγωγής και έτσι ο μόνος τρόπος αποκατάστασης ήταν μέσω της ενίσχυσης με ακουστικά βαρηκοΐας, τα οποία στην πρώιμη μορφή τους, όπως αναφέρθηκε, ήταν ογκώδη και απλουστευμένα στο σχεδιασμό τους σε σχέση με τα σημερινά. Ο Raymond Carhart αποτελεί μία ακόμα ηγετική μορφή άξια αναφοράς και έχει μείνει στην ιστορία ως ο «Πατέρας της Ακοολογίας». Κέρδισε τον συγκεκριμένο τίτλο επάξια, καθώς η συμβολή του στη φροντίδα των στρατιωτικών με διαταραχές ακοής σε διάφορα νοσοκομεία των ΗΠΑ αλλά και στη μετέπειτα δημιουργία των πρώτων εκπαιδευτικών προγραμμάτων για ακοολόγους ήταν τεράστια, ενώ καθ' όλη τη διάρκεια της γόνιμης ερευνητικής του πορείας οδήγησε στην πρόοδο του τομέα

της ακοολογίας σε όλα τα επίπεδα και έδωσε βαθύτερο νόημα στο κομμάτι της ορθής παροχής υπηρεσιών υγείας σε βαρήκοους ασθενείς. Όπως διαπιστώνεται από ιστορικές πηγές, τα εκπαιδευτικά προγράμματα ακοολογίας δημιουργήθηκαν μέσω ατόμων όπως ο Carhart, που επιτελούσαν τις υπηρεσίες τους στο στρατό κατά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο και προσέφεραν ακοολογική φροντίδα σε όσους στρατιώτες την είχαν ανάγκη. Στην Εικόνα 5α απεικονίζεται στρατιώτης κατά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, ο οποίος φέρει στην ακουστική οδό ένα εκμαγείο που συνδέεται μέσω σωληνίσκου με το ακουστικό βαρηκοΐας. Ο στρατιώτης υποβάλλεται σε εξετάσεις αξιολόγησης του βαθμού ακουστικής ικανότητας, ενώ στο δίπλα δωμάτιο διακρίνεται ο εξεταστής ο οποίος υποβάλλει την αξιολόγηση.



Εικόνα 6α. Στρατιώτης κατά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο υποβάλλεται σε αξιολόγηση του βαθμού ακουστικής ικανότητας. Στο δίπλα δωμάτιο διακρίνεται ο εξεταστής. (Πηγή: Hall, J. W., 2015 με την ευγενική χορηγία του Jerry Northern, PhD)

Από τη δεκαετία του 1950 μέχρι και τη δεκαετία του 1970, ο τομέας της ακοολογίας βρισκόταν σε μία μόνιμη ανοδική πορεία καθώς επίδοξοι ακοολόγοι που είχαν αρχικά ξεκινήσει τις σπουδές τους στον συγκεκριμένο τομέα, εξελίχθηκαν σε επιφανείς διδάκτορες και επαγγελματίες υγείας. Πολλοί από αυτούς, μάλιστα, στα τέλη της δεκαετίας του 1970 φαίνεται να δραστηριοποιήθηκαν μεμονωμένα, παίρνοντας το ρίσκο να ανοίξουν ιδιωτικά γραφεία. Πάραυτα, είναι άξιο αναφοράς το γεγονός ότι, κατά την περίοδο εκείνη, η εφαρμογή και πώληση ακουστικών βαρηκοΐας από ακοολόγους όχι μόνο δεν αποτελούσε αποδεκτή πρακτική αλλά θεωρούνταν και ανήθικη. Εν τέλει όμως οι ακοολόγοι κατάφεραν να επικυρώσουν τα επαγγελματικά τους δικαιώματα σε κλινικό επίπεδο ως οι μόνοι και καταλληλότεροι αρμόδιοι που

μπορούσαν να κάνουν εφαρμογές ακουστικών ενώ η ακοολογία διακρίθηκε ως αυτόνομο επάγγελμα.

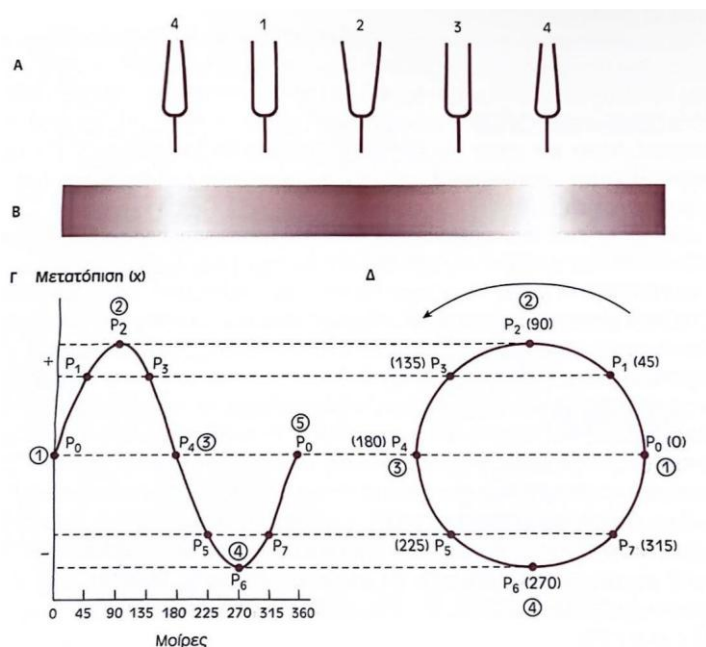
Από τις αρχές του 1980 έως και τα τέλη του 1990 η ανάπτυξη της τεχνολογίας φέρνει νέες καινοτομίες στις πρακτικές φροντίδας και θεραπείας ατόμων με βαρηκοΐα, καθώς η ψηφιακή επεξεργασία ιατρικού σήματος γνωρίζει αξιοσημείωτη εξέλιξη. Παράλληλα, τα κλινικά καθήκοντα των ακοολόγων διευρύνονται καθώς κρίνονται οι πλέον αρμόδιοι για την αξιολόγηση και διαχείριση μίας ευρείας γκάμας περιστατικών, από διαταραχές ισορροπίας, πιθανότητα βλάβης ακουστικής λειτουργίας κατά τη διάρκεια χειρουργείου, επιτήρηση ακοής νεογνών σε MENN (Μονάδες Εντατικής Νοσηλείας Νεογνών) μέχρι αποκατάσταση ασθενών με πολύ μεγάλα ποσοστά βαρηκοΐας μέσω εμφυτευμάτων υποστήριξης ακοής (τα σημερινά κοχλιακά εμφυτεύματα). Όσον αφορά το επιστημονικό σκέλος της εφαρμογής ακουστικών βαρηκοΐας σε βρέφη αλλά και παιδιά μεγαλύτερης ηλικίας, δεν θα μπορούσε να μη γίνει αναφορά στη Marion Downs, ή αλλιώς «Μητέρα της Παιδιατρικής Ακοολογίας». Η Marion Downs, κάτοχος μεταπτυχιακού τίτλου στην ακοολογία από το Πανεπιστήμιο του Ντένβερ και επίτιμη διδάκτωρ του Πανεπιστημίου του Κολοράντο, αφιέρωσε τη ζωή της στην έρευνα και παροχή υπηρεσιών παιδιατρικής ακοολογίας από τις αρχές της δεκαετίας του 1960 μέχρι και τα τέλη της δεκαετίας του 1990 ενώ καθιέρωσε πρακτικές ακοολογικού ελέγχου νεογνών παγκοσμίως. Ακόμα, έχει συντελέσει στη συγγραφή μεγάλου αριθμού επιστημονικών άρθρων και βιβλίων. Έφυγε πρόσφατα από τη ζωή σε ηλικία 100 ετών και η συμβολή της στον τομέα της ακοολογίας θα μείνει, σαφώς, ανεξίτηλη (Hall, J. W., 2015).

6.2 Επεξήγηση Βασικών Ιδιοτήτων του Ήχου

Ο ήχος με απλά λόγια είναι το αποτέλεσμα της δόνησης των μορίων του αέρα. Η δημιουργία δονήσεων και κατ' επέκταση ήχων είναι μια κατάσταση η οποία συμβαίνει ακατάπαυστα καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής ενός ανθρώπου, μέσα του και γύρω του. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ο ήχος δεν μπορεί να παραχθεί και εν συνεχεία να μεταφερθεί χωρίς τη βοήθεια υλικών μέσων όπως είναι ο αέρας, το νερό και η στερεά ύλη. Οι δύο βασικές ιδιότητες που κρίνονται απαραίτητες για τη δημιουργία τέτοιου είδους δονήσεων είναι η αδράνεια και η ελαστικότητα. Η αδράνεια ενός αντικείμενου ή σώματος μεταφράζεται πιο σωστά σαν κατάσταση ηρεμίας κατά την οποία το αντικείμενο έχει μηδενική τάση. Όταν διαταραχθεί από κάποια εξωτερική δύναμη, ενεργοποιείται και παράγει κάποιου είδους κίνηση. Τα περισσότερα αντικείμενα διακατέχονται από την ιδιότητα της ελαστικότητας, που σημαίνει ότι όταν αφεθούν χωρίς να τους ασκείται κάποια εξωτερική δύναμη, επιστρέφουν στην αρχική κατάσταση ηρεμίας. Η απλή αρμονική ταλάντωση αποτελεί την πιο απλουστευμένη ελαστική κίνηση.

Οι δονήσεις και κατ' επέκταση οι παραγόμενοι από αυτές ήχοι, επηρεάζονται σε

μεγάλο βαθμό από τις ιδιότητες του εκάστοτε αντικειμένου. Ενδεικτικά, κάποιες από αυτές τις ιδιότητες είναι το μήκος, η δυσκαμψία και η μάζα. Η δυσκαμψία σχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με την ελαστικότητα και η μάζα δεν πρέπει να συγχέεται με το βάρος, καθώς αποτελεί ιδιότητα της ύλης καθολικά. Πιο συγκεκριμένα, το βάρος προσδιορίζεται από τον καθορισμό της επίδρασης της βαρύτητας στη μάζα, πράγμα που σημαίνει ότι ένα αντικείμενο στο διάστημα παρ' όλο που μπορεί να μην έχει βάρος, θα έχει σίγουρα μάζα. Η δόνηση ενός αντικειμένου σχετίζεται σε μεγάλο βαθμό και με την αύξηση της πίεσης των μορίων του αέρα κοντά στο σημείο που το αντικείμενο δέχεται τη δόνηση. Η πίεση αυτή μεταφέρεται σε όλη την επιφάνεια του αντικειμένου με τη μορφή ηχητικού κύματος και όταν είναι αυξημένη παρατηρείται το φαινόμενο της συμπύκνωσης, ενώ όταν είναι μειωμένη, υπάρχει αραιώση. Η συμπύκνωση μπορεί να μεταφραστεί και ως αυξημένη πυκνότητα μορίων αέρα ενώ η αραιώση ως μειωμένη πυκνότητα των μορίων του αέρα. Εν συνεχεία, σημαντικό ρόλο παίζει και το φαινόμενο της μετατόπισης. Ένα αντικείμενο μπορεί να μετακινηθεί από τη θέση ηρεμίας ή από μία αρχική θέση σε ένα άλλο σημείο επάνω στην κυματομορφή της αρμονικής ταλάντωσης. Η κίνηση επιστροφής στο ίδιο σημείο, από την ίδια κατεύθυνση, ορίζεται ως ένας κύκλος και ο χρόνος που απαιτείται για την ολοκλήρωση ενός πλήρους κύκλου ονομάζεται περίοδος. Η κίνηση σε συνδυασμό με το χρόνο ονομάζεται μετατόπιση και συμβολίζεται με $d(t)$. Όταν η μετατόπιση λαμβάνει χώρα από τη γραμμή βάσης της κυματομορφής έως το θετικό ή αρνητικό όριο ονομάζεται πλάτος. Όλες οι παραπάνω ιδιότητες απεικονίζονται σχηματικά στην Εικόνα 6β μέσω του διαπασών.



Εικόνα 6β. Α: Δονούμενο διαπασών, Β: Κύματα αραιώσης και συμπύκνωσης αναλόγως των δονήσεων που δέχεται το διαπασών, Γ: Ημιτονοειδές κύμα πίεσης που παράγεται από τις δονήσεις του διαπασών, Δ: Ένας πλήρης κύκλος δόνησης, όπου οι

μοίρες εμφανίζονται κατ' αντιστοιχία με τα διαφορετικά μέρη του κύκλου (Πηγή: *Hall, J. W., 2015*).

Προχωρώντας στον πυρήνα των ιδιοτήτων του ήχου, δεν θα μπορούσε να παραληφθεί ο ορισμός της συχνότητας. Η συχνότητα του ήχου ορίζεται ως ο αριθμός των κύκλων ενός ημιτονοειδούς κύματος ανά μονάδα χρόνου και συνήθως μετριέται σε δευτερόλεπτα. Ένα αντικείμενο το οποίο δονείται και κατ' επέκταση ταλαντώνεται, φέρει κάποιες συγκεκριμένες ιδιότητες που με τη σειρά τους καθορίζουν τη συχνότητα του. Μία απλή ημιτονοειδής αρμονική ταλάντωση εμπεριέχει μία απλή συχνότητα, ενώ τα κύματα ημιτονοειδούς μορφής ονομάζονται αλλιώς και καθαροί τόνοι. Η συχνότητα είναι το αντίστροφο της περιόδου, πράγμα που σημαίνει ότι ήχοι υψηλότερης συχνότητας έχουν μικρότερους περιόδους και ήχοι χαμηλότερης συχνότητας, μεγαλύτερες περιόδους. Μία συχνότητα που χρησιμοποιείται συχνά κατά την εξέταση ακοής είναι αυτή των 1000Hz ή αλλιώς 1000 κύκλων ανά δευτερόλεπτο. Η φάση και το μήκος κύματος είναι δύο ακόμα σημαντικές ιδιότητες του απλού καθαρού τόνου. Η φάση ορίζεται ως το σημείο απ' όπου ξεκινάει το κύμα και έχει ως μονάδα μέτρησης τις μοίρες, οι οποίες εκτείνονται από το 0 έως το 360 και από την αρχή μέχρι το τέλος διαγράφουν ένα πλήρη κύκλο. Κύμα μηδενικής φάσης, απεικονίζεται ως μία ευθεία γραμμή, ενώ δύο κύματα μπορούν να χαρακτηρισθούν εντός φάσης, εκτός φάσης και αντίθετης φάσης αναμεταξύ τους, λαμβάνοντας υπόψιν το σημείο έναρξης τους. Το μήκος κύματος για ένα ηχητικό ημιτονοειδές κύμα ορίζεται ως η απόσταση από κάποιο σημείο του κύματος μέχρι ένα δεύτερο σημείο το οποίο απέχει από το πρώτο 360°. Οι δύο ιδιότητες του μήκους κύματος και της συχνότητας συνδέονται μεταξύ τους μέσω της εξίσωσης $\lambda = v/f$, όπου λ το μήκος κύματος εκφρασμένο σε μέτρα, f η συχνότητα και v η ταχύτητα του ήχου, που ορίζεται στα 345m/sec.

Μία σύντομη αναφορά θα γίνει και στους ορισμούς της έντασης, της δύναμης, της πίεσης και της ισχύος. Το παράδειγμα του ήχου που παράγεται από τη χορδή μιας κιθάρας θα κάνει τα πράγματα πιο κατανοητά. Πιο συγκεκριμένα το πλάτος της δόνησης της χορδής ή αλλιώς η μέγιστη μετατόπιση των μορίων του αέρα αποτελούν πρόδρομο της έντασης και της πίεσης του παραγόμενου ήχου. Η ένταση του ήχου ορίζεται ως πίεση ήχου ανά μονάδα περιοχής (Watt/cm^2). Η πίεση με τη σειρά της ορίζεται ως η δύναμη που ασκείται σε μία περιοχή και αυξομειώνεται ανάλογα με τις αλλαγές στη δύναμη και την ταχύτητα της δόνησης. Ακόμα, εάν η πίεση εφαρμοστεί σε ένα μικρό κομμάτι της χορδής θα είναι αυξημένη, ενώ εάν εφαρμοστεί σε μεγαλύτερη έκταση της χορδής θα μειωθεί. Με τον ίδιο τρόπο τα δονούμενα μόρια του αέρα που ταλαντώνονται και μεταδίδονται στην τυμπανική μεμβράνη του αυτιού πάλλοντας την, δημιουργούν αυξημένη πίεση. Η κίνηση και η φύση της τυμπανικής μεμβράνης εμπεριέχουν σπουδαίο διαγνωστικό περιεχόμενο για τον ακοολόγο. Για ένα υγιές νεαρό αυτί η μετρούμενη πίεση κυμαίνεται στα 20 μPa που μεταφράζεται σε δύναμη της τάξεως των 0,0002 dyne/cm^2 . Η ισχύς με τη σειρά της αποτελεί μονάδα μέτρησης της δύναμης ή του μεγέθους του ήχου και ορίζεται ως το σύνολο

της ακουστικής ενέργειας ανά μονάδα χρόνου. Η μονάδα μέτρησης της ισχύος στον κλάδο της ακοολογίας είναι το erg (κατ' αντιστοιχία 1 Watt = 1 x 10⁶ erg/sec).

Συνοπτικά, η ένταση του ήχου μπορεί να εκφραστεί με τον τύπο:

$$\text{Ένταση} \left(\frac{\text{watts}}{\text{cm}^2} \right) = \frac{\text{Δύναμη(watts)}}{4\pi \times \text{ακτίνα (cm)}} \quad (1)$$

6.3 Μία Σύντομη Αναφορά στην Έννοια του Decibel

Το decibel(εφεξής dB) αποτελεί μονάδα μέτρησης υψηλής διαγνωστικής σημασίας για τον κλάδο της ακοολογίας. Κάποια βασικά στοιχεία όσον αφορά το dB:

- Αποτελεί λογαριθμική μονάδα
- Εκφράζει την αναλογία ισχύος ήχου προς άλλη καθορισμένη ισχύ ήχου ή πίεσης ήχου προς άλλη καθορισμένη πίεση ήχου
- Αποτελεί σχετική μέτρηση
- Αποτελεί μονάδα προσδιορισμού της ισχύος αλλά και της πίεσης του ήχου

Το dB χρησιμοποιείται ευρέως για τον καθορισμό της πίεσης και της ισχύος που είναι ικανή να δεχθεί η τυμπανική μεμβράνη ενός ατόμου και όπως αναφέρθηκε παραπάνω, αποτελεί λογαριθμική μονάδα. Ο λογάριθμος αποτελείται από τη βάση και τον εκθέτη. Για το dB η βάση είναι το 10 και ο συγκεκριμένος αριθμός φορών με τον οποίο πολλαπλασιάζεται (2, 3, 4 κοκ), αποτελεί τον εκθέτη. Εάν αναλογιστεί κανείς ότι οι πιέσεις που μπορεί να δεχθεί το ανθρώπινο αυτί κυμαίνονται από 20-200.000.000 μPa γίνεται εύκολα κατανοητός ο λόγος για τον οποίο κρίνεται αναγκαία η λογαριθμική μονάδα ως τρόπος έκφρασης των dB, καθώς μπορεί να καλύψει ένα τεράστιο αριθμητικό εύρος. Η στάθμη ηχητικής πίεσης (Sound Pressure Level – SPL) είναι από τις σημαντικότερες παραμέτρους κατά τη διαδικασία μίας ακοολογικής εξέτασης, κυρίως για τη βαθμονόμηση του ακοολογικού εξοπλισμού και την αξιολόγηση της λειτουργίας των ακουστικών βαρηκοΐας και άλλων βοηθημάτων ακοής. Σε περιπτώσεις εξειδικευμένων ακοολογικών εξετάσεων, η στάθμη του ήχου που ανιχνεύεται, μετριέται επίσης σε dB SPL.

Για την Ένταση Ήχου (IL) ισχύει:

$$dB (IL) = 10 \times \log \left(\frac{I_2}{I_R} \right) \quad (2)$$

όπου I_2 / I_R : Αναλογία μιας τιμής έντασης προς μία αναφορική τιμή έντασης

Για την Πίεση Ήχου (SPL) ισχύει:

$$dB (SPL) = 10 \times \log \left(\frac{P_2}{P_R} \right) \quad (3)$$

όπου P_2 / P_R : Αναλογία μιας τιμής πίεσης προς μία αναφορική τιμή πίεσης

6.4 Σύνθετοι Ήχοι της Καθημερινότητας

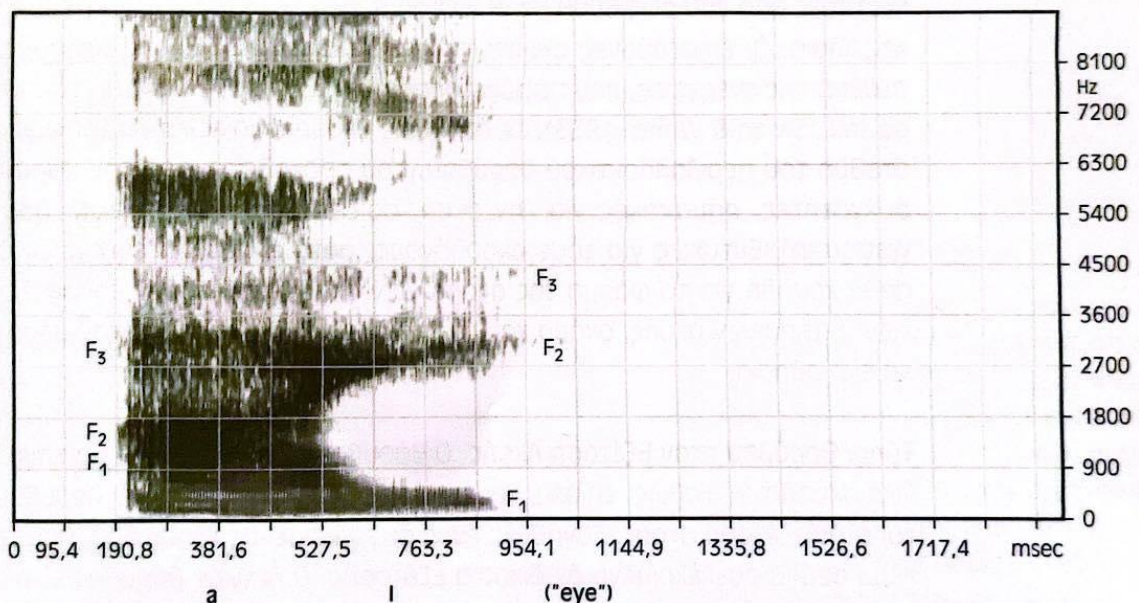
Στους ήχους καθαρών τόνων, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, το πλάτος και η περιοδικότητα εμφανίζουν ένα αρμονικό ημιτονοειδές μοτίβο. Κάτι τέτοιο δεν ισχύει για τους πραγματικούς ήχους του περιβάλλοντος οι οποίοι εμφανίζουν συνεχείς διακυμάνσεις στη συχνότητα, το πλάτος, τη φάση και την διάρκεια τους. Αρχικά, πρέπει να γίνει κατανοητό ότι ο ήχος μπορεί να εκφραστεί στο πεδίο του χρόνου, όπου διακρίνεται το πλάτος συναρτήσει του χρόνου, αλλά και στο πεδίο της συχνότητας, όπου διακρίνεται το πλάτος συναρτήσει μιας κλίμακας συχνοτήτων. Το γράφημα του πεδίου των συχνοτήτων ονομάζεται αλλιώς και φασματική απεικόνιση. Η ανάλυση της ομιλίας μέσω φασματικής απεικόνισης είναι συνήθης τακτική διάγνωσης διαταραχών ομιλίας που χρησιμοποιούν οι λογοπαθολόγοι. Ένας γενικός κανόνας είναι ότι οι πιο έντονα σκιασμένες περιοχές του φάσματος αντιπροσωπεύουν τους έντονους ομιλητικούς ήχους ενώ με πιο απαλή σκίαση απεικονίζονται οι λιγότερο έντονοι ήχοι.

Οι παροδικοί ήχοι εντάσσονται επίσης στην κατηγορία των σύνθετων ήχων. Παροδικός είναι ο ήχος πολύ σύντομης διάρκειας (μερικών χιλιοστών του δευτερολέπτου) όπως για παράδειγμα ο ήχος που κάνει το ποντίκι του υπολογιστή, ή πολύ σύντομα τμήματα ήχων καθαρών τόνων. Μία άλλη σύνθετη πηγή ήχου είναι και ο θόρυβος. Ως θόρυβος μπορεί να οριστεί ένας ήχος που προκαλεί δυσφορία ή ενόχληση όπως για παράδειγμα το ακατάπαυστο γάβγισμα ενός σκυλιού αλλά και η κίνηση των μορίων του αέρα που μπορεί να είναι αμελητέα όμως θεωρείται ένα είδος περιβαλλοντικού θορύβου που κυμαίνεται από 250 έως 8000 Hz. Περίπου έναν αιώνα πριν, οι επιστήμονες του κλάδου προσπάθησαν να προσδιορίσουν την έννοια του θορύβου μέσω των μαθηματικών, υπολογίζοντας τη στάθμη του φάσματος της ενέργειας που παράγεται μέσω της κίνησης των μορίων του αέρα υπό φυσιολογικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας (Sivian & White, 1933). Η εξίσωση στην οποία κατέληξαν συνοψίζεται ως:

$$\theta\acute{o}\rho\upsilon\beta\omicron\varsigma = \frac{10^{-16}\text{watts}}{\text{cm}^2} \quad (4)$$

Ακόμα, άξιο αναφοράς είναι ότι κάποια είδη θορύβων χρησιμοποιούνται στην ακοολογία και για ερευνητικούς σκοπούς αλλά και κατά την ακοολογική εξέταση και αποτελούν πολύτιμο εργαλείο. Παραδείγματα τέτοιου είδους θορύβων είναι ο λευκός θόρυβος, ο θόρυβος στενής ζώνης (ΘΣΖ), ο θόρυβος φάσματος ομιλίας και ο θόρυβος οκτάβας.

Η ομιλία αποτελεί ξεχωριστή κατηγορία σύνθετου ήχου, του οποίου οι εκφάνσεις και η πολυπλοκότητα είναι αδύνατον να εξηγηθούν σε μία παράγραφο. Συνοπτικά θα αναφερθούν δύο σημαντικές έννοιες που υπάγονται στους ομιλητικούς ήχους. Η θεμελιώδης συχνότητα ή αλλιώς F_0 , η οποία προσδιορίζεται από το ρυθμό με τον οποίο δονούνται οι φωνητικές χορδές, εξαρτάται από ένα εύρος χαρακτηριστικών όπως η ηλικία, το φύλο και το μέγεθος των φωνητικών χορδών ενώ παρατηρείται χαμηλότερη στους άνδρες και υψηλότερη σε γυναίκες και παιδιά με το εύρος της να κυμαίνεται από 85-300 Hz. Οι διαμορφωτές, από την άλλη, αποτελούν τις κορυφές ενέργειας που ξεπερνούν τη θεμελιώδη συχνότητα της φωνής ενός ατόμου και είναι άμεσα συνυφασμένοι με την αντήχηση. Στην παρακάτω φασματική απεικόνιση γίνεται ευκολότερα κατανοητή η έννοια της ενέργειας διαμορφωτή.



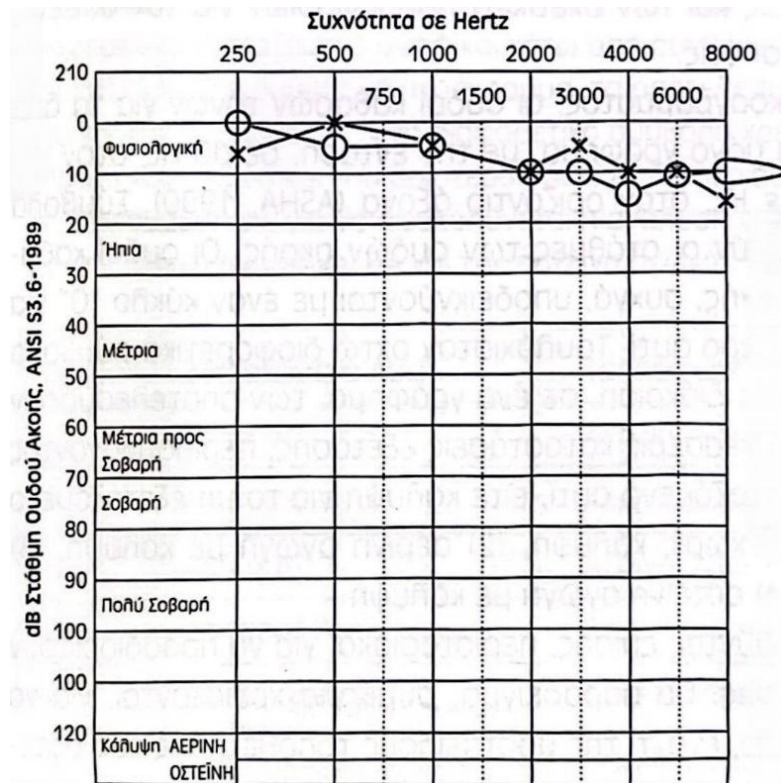
Εικόνα 6γ. Φασματική απεικόνιση της φωνής μίας ενήλικης γυναίκας, που λέει την Αγγλική λέξη “eye”. Οι τιμές F_1, F_2 και F_3 υποδεικνύουν την ενέργεια διαμορφωτή (Πηγή: *Fundamentals of sound with applications to speech and hearing, 1st Ed., 2003*)

Η μουσική αποτελεί έναν ακόμα σύνθετο ήχο που εμπεριέχει χαρακτηριστικά όπως συχνότητα, ύψος, ένταση, ηχηρότητα, διάρκεια και αλληλουχία. Πολλές πληροφορίες και ορισμοί επάνω στο κομμάτι της μουσικής εμπίπτουν με τον τομέα της ακοολογίας, ενώ άξιο αναφοράς είναι και το γεγονός ότι οι συχνότητες που καλύπτει το εύρος ενός πιάνου συμπίπτουν σε μεγάλο βαθμό με τις σημαντικότερες συχνότητες του ανθρώπινου εύρους ακοής που ευθύνονται για την αντίληψη και κατανόηση της ομιλίας (250 – 4000 Hz). Τέλος, οι περιβαλλοντικοί ήχοι αποτελούν ακόμα μία σημαντική υποκατηγορία σύνθετων ήχων. Περιβαλλοντικός ήχος μπορεί να θεωρηθεί ο θόρυβος της καθημερινότητας από πολλές διαφορετικές πηγές που δυσχεραίνει την επικοινωνία και την ποιότητα ζωής των ατόμων αλλά μπορεί να είναι και ένας πολύ έντονος ήχος, πολλές φορές επαρκώς δυνατός ώστε να βλάψει την ακοή. Παραδείγματα τέτοιων ήχων είναι η θορυβώδης εξάτμιση μιας μοτοσυκλέτας, η παρατεταμένη χρήση ακουστικών για ακρόαση μουσικής, κάποια συναυλία, έκθεση σε δυνατό ήχο από μηχανήματα που εκτελούν δημόσια έργα κοκ). Τα καλά νέα είναι ότι βαρηκοΐες από τέτοιου είδους πηγές σύνθετων ήχων μπορούν να προληφθούν και να αποφευχθούν (Hall, J. W., 2015).

6.5 Λίγα Λόγια Για Το Ακοόγραμμα

Το ακοόγραμμα αποτελεί ένα γράφημα απεικόνισης των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από μία εξέταση της μέτρησης της ακουστικής ικανότητας. Στον άξονα y δείχνει τους ουδούς ακοής σε dB, δηλαδή το κατώφλι ακουστικής ικανότητας με βάση κάποιο ερέθισμα που δίνεται από τον ακοολόγο και στον άξονα x τη συχνότητα σε Hertz που προκύπτει από σήματα καθαρών τόνων. Οι συχνότητες που παράγονται σε μία ακοολογική εξέταση αποτελούν καθαρούς ημιτονοειδείς τόνους που απέχουν μεταξύ τους διάστημα μίας οκτάβας, δηλαδή η μία συχνότητα είναι είτε διπλάσια είτε το ήμισυ της άλλης. Οι εξεταζόμενες συχνότητες εντείνονται από τα 125 έως τα 8000 Hz. Κάθε έντυπο περιλαμβάνει μεταξύ άλλων και βασικές πληροφορίες για τον ασθενή, όπως το όνομα του, την ημερομηνία γέννησης και το φύλο. Υπάρχουν δύο τρόποι ερεθισμού της τυμπανικής μεμβράνης κατά την ακοολογική εξέταση, η αέρινη και η οστέινη αγωγή. Στην αέρινη αγωγή, δηλαδή στη μεταφορά του ήχου μέσω του αέρα το δεξί αυτί συμβολίζεται με (O) και το αριστερό με (X). Στην οστέινη αγωγή, όπου εξετάζεται η μεταφορά του ήχου μέσω των οστών του κρανίου, το δεξί αυτί συμβολίζεται με (<) και το αριστερό με (>) αντίστοιχα. Η διεξαγωγή του ακοογράμματος μέσω οστέινης αγωγής γίνεται με τη βοήθεια ενός ειδικού μηχανήματος που ονομάζεται οστεόφωνο. Η διαδικασία εξέτασης και για τους δύο τρόπους είναι η ίδια. Αρχικά, ο εξεταζόμενος τοποθετείται σε ένα ηχομονωμένο δωμάτιο και φοράει ένα ζευγάρι ακουστικά. Έπειτα ο ακοολόγος του δίνει ένα κουμπί και τον ενημερώνει ότι θα πρέπει να το πατάει κάθε φορά που θα αντιλαμβάνεται έναν ήχο στα ακουστικά του. Η εξέταση είναι ανώδυνη και διαρκεί λίγα λεπτά ενώ για τη σωστή διεξαγωγή κρίνεται απαραίτητο ο εξεταζόμενος να έχει πλήρη συνείδηση. Για το λόγο αυτό δεν εφαρμόζεται σε βρέφη ή παιδιά πολύ μικρής ηλικίας ή σε γηραιά άτομα με χρόνια νοητικά προβλήματα όπως πχ. άνοια, όπου εκεί οι

διαδικασίες εξέτασης είναι διαφορετικές και εξατομικευμένες αναλόγως την περίπτωση. Παρακάτω διακρίνεται ένα ακούγραμμα εξεταζόμενου με φυσιολογικές τιμές ακοής, για να μπορέσει ο αναγνώστης να κατανοήσει τη φύση του συγκεκριμένου γραφήματος. Φυσικά, υπάρχουν αναρίθμητες περιπτώσεις βαρηκοΐας που είναι στη φύση του ωτορινολαρυγγολόγου και εν συνεχεία του ακοολόγου να ερμηνεύσουν και κατόπιν να πράξουν τις απαραίτητες ενέργειες και οι οποίες δεν εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής της παρούσας εργασίας.



Εικόνα 6δ. Ακούγραμμα φυσιολογικών τιμών με ουδούς ακοής για το δεξί (O) και το αριστερό (X) αντί εκφρασμένες σε dB στον κάθετο άξονα Y, σε συνάρτηση με τα σήματα καθαρών τόνων σε Hertz, στον οριζόντιο άξονα των X (Πηγή: Hall, J. W., 2015)

7. Διαδικασία Κατασκευής, Εφαρμογής και Συντήρησης του Ακουστικού

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μία εκτενής αναφορά σε ολόκληρη τη διαδικασία κατασκευής, τοποθέτησης και συντήρησης ενός ενδοωτιαίου ακουστικού βαρηκοΐας καθώς τονίζεται και ο ρόλος του μηχανικού βιοϊατρικής τεχνολογίας. Τα βήματα που ακολουθεί ο ακοολόγος είναι αυστηρά καθορισμένα και εξατομικευμένα στις ανάγκες του κάθε πελάτη ώστε να γίνει η ορθή επιλογή του ακουστικού, ενώ για την κατασκευή ενδοωτιαίων ακουστικών είναι υπεύθυνο το εκάστοτε εργαστήριο με το οποίο συνεργάζεται το ακοολογικό κέντρο που έχει επιλέξει ο πελάτης. Ακόμα, η στενή επικοινωνία που θα πρέπει να διατηρήσει ο πελάτης με τον ακοολόγο είναι καίριας σημασίας ώστε ο ένας να τροφοδοτεί τον άλλον και έτσι η ακουστική εμπειρία να είναι η καλύτερη δυνατή. Η σωστή φροντίδα του ακουστικού παίζει επίσης σημαντικό ρόλο ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι βλάβες που ενδέχεται να παρουσιαστούν.

7.1 Από Τον ΩΡΛ Στον Ακοολόγο

Αρχικά ο πελάτης θα πρέπει να επισκεφθεί έναν ωτορινολαρυγγολόγο ώστε να γίνει σωστός καθαρισμός στο εσωτερικό του αυτιού και κατόπιν μία εξέταση της ακουστικής ικανότητας, συνήθως ενδεδειγμένη ενδοσκοπική και λήψη ακοογράμματος, μέσω των οποίων θα καθοριστεί ο βαθμός βαρηκοΐας του. Έπειτα ο πελάτης, αφού κριθεί από τον ιατρό ότι χρήζει ακουστικού βοηθήματος, θα παραπεμφθεί άμεσα σε κάποιο ακοολογικό κέντρο. Στο ακοολογικό κέντρο λαμβάνεται για δεύτερη φορά ακοόγραμμα από πιστοποιημένο ακοολόγο, όπου και εκτιμάται το ακριβές ποσοστό της βαρηκοΐας του πελάτη. Κατόπιν, κύριος σκοπός του ακοολόγου είναι να προσεγγίσει όσο καλύτερα γίνεται την εκάστοτε περίπτωση και να ενημερώσει τον πελάτη για τις διαθέσιμες λύσεις ακοής που υπάρχουν στην αγορά, λαμβάνοντας υπόψιν τις πρακτικές ανάγκες και τις αισθητικές επιθυμίες του. Η σωστή επικοινωνία μεταξύ πελάτη και ακοολόγου είναι καίριας σημασίας ώστε να υπάρξει ένα άρτιο αποτέλεσμα και όλοι να παραμείνουν ικανοποιημένοι. Συχνά, ο υποψήφιος πελάτης είναι μεγαλύτερης ηλικίας και πολύ πιθανό λόγω και επιμέρους προβλημάτων υγείας να μην είναι σε θέση να συνεργαστεί πλήρως με τον ακοολόγο. Σε αυτή την περίπτωση οι κοντινοί συγγενείς που παίζουν το ρόλο του συνοδού, κλίνονται να πάρουν τις απαραίτητες αποφάσεις. Αφού ληφθούν υπόψιν όλες οι παράμετροι, όπως είναι ο βαθμός της απώλειας ακοής, οι ανάγκες σε συνδυασμό με το κόστος του ακουστικού καθώς και τα χρήματα που ο πελάτης είναι διατεθειμένος να επενδύσει, ο ακοολόγος θα διαθέσει ένα δοκιμαστικό ακουστικό, συνήθως οπισθοωτιαίο, ρυθμισμένο στην κατάλληλη βαρηκοΐα. Μερικές ημέρες μετά θα έρθει και πάλι σε επικοινωνία με τον πελάτη ώστε να ακούσει τα σχόλια και τις παρατηρήσεις του. Εάν ο πελάτης είναι ευχαριστημένος και τελικά επιθυμεί να προχωρήσει στην αγορά του ακουστικού, αναλόγως τον τύπο αυτού, είναι πολύ πιθανό να πρέπει να ληφθεί αποτύπωμα του αυτιού. Αποτύπωμα λαμβάνεται πάντα για κατασκευή ενδοωτιαίου ακουστικού, εκμαγείου ή για ακουστικά τύπου RIC, όπου χρειάζεται να κατασκευαστεί κέλυφος μέσα στο οποίο τοποθετείται το μεγάφωνο. Κατόπιν, το

αποτύπωμα αποστέλλεται στο εργαστήριο και σε μερικές ημέρες το τελικό προϊόν παραδίδεται στον πελάτη.



Εικόνα 7α. Λήψη αποτυπώματος του αυτιού από τον ακοολόγο (Πηγή: *Phonak Custom Product Reference Guide*,

https://www.phonakpro.com/content/dam/phonakpro/gc_hq/en/campaigns/ite-excellence/documents/PH_ReferenceGuide_CustomProducts_210x297_EN_027-0670-02.pdf)

7.2 Εξοπλισμός Σύγχρονου Ακοολογικού Εργαστηρίου

Ένα σύγχρονο ακοολογικό εργαστήριο αποτελείται κατά κανόνα από μηχανικούς βιοϊατρικής τεχνολογίας κατάλληλα καταρτισμένους με το αντικείμενο αλλά και από σύγχρονο ιατροτεχνολογικό εξοπλισμό που μπορεί να υποστηρίξει μία ευρεία γκάμα περιπτώσεων επισκευής και κατασκευής ακουστικών, εκμαγείων και ωτοασπίδων. Αρχικά το εργαστήριο θα πρέπει να διαθέτει σύγχρονους υπολογιστές οι οποίοι θα είναι σε θέση να προγραμματίζουν τα ακουστικά μέσω κατάλληλου λογισμικού το οποίο έχει διατεθεί από την εκάστοτε συνεργαζόμενη εταιρία. Μέσω του προγραμματισμού ένας μηχανικός βιοϊατρικής τεχνολογίας μπορεί να θέσει το ακουστικό σε πλήρη λειτουργία και να διαπιστώσει πιο εύκολα οποιαδήποτε βλάβη. Ακόμα, είναι σημαντικό το εργαστήριο να διαθέτει μικροσκόπια και κολλητήρια υψηλής ποιότητας, με τη βοήθεια των οποίων γίνονται μικροκολλήσεις στα διάφορα μέρη του κυκλώματος του ακουστικού. Όσον αφορά το κομμάτι των κατασκευών, το εργαστήριο θα πρέπει να είναι εξοπλισμένο με επαγγελματικό φούρνο εκπομπής UV φως, για τον πολυμερισμό των σιλικονούχων και ακρυλικών κελυφών, ενώ ακόμα θα πρέπει να υπάρχει ειδικά διαμορφωμένος τροχός για το τρόχισμα και τη λείανση

των τελευταίων. Τέλος, κάθε εργαστήριο φέρει υλικά κατασκευής συμβατά με τα πρωτόκολλα της εκάστοτε εταιρίας, όπως σιλικόνες και ακρυλικά τα οποία αναφέρθηκαν και παραπάνω, αλλά και ειδική λάκα (lacquer) η οποία τοποθετείται στο τέλος της διαδικασίας και προσδίδει ένα πιο όμορφο αισθητικά αποτέλεσμα. Επιπροσθέτως, πρώτες ύλες υψηλής ποιότητας όπως παραδείγματος χάριν κόλλες στιγμής, ταινίες μόνωσης για προστασία από βραχυκύκλωμα, προστατευτικά φίλτρα και σωληνάκια μεγάφωνων και εκμαγείων και λοιπά αναλώσιμα είναι καίριας σημασίας για την καλή έκβαση της κατασκευής και επισκευής ενός ακουστικού ενώ σημαντικό ρόλο παίζουν και τα διάφορα ανταλλακτικά, όπως τα μικρόφωνα, τα μεγάφωνα, οι κεραίες συνδεσιμότητας (telecoil) και οι μπαταριοθήκες. Η καλή ποιότητα των υλικών βοηθάει ώστε να αποφεύγονται λάθη κατά τη διαδικασία και εν τέλει προσφέρει ένα άρτιο τελικό αποτέλεσμα.

Τέλος, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι όσο η τεχνολογία εξελίσσεται, το 3D Printing εισχωρεί όλο και περισσότερο σε κλάδους που σχετίζονται με το σχεδιασμό. Ένας από τους κλάδους αυτούς είναι και τα ακουστικά βαρηκοΐας. Με την εισαγωγή ενός 3D εκτυπωτή η διαδικασία της κατασκευής κελυφών και εκμαγείων γίνεται σαφώς πιο εύκολη, ενώ ο χρόνος που απαιτείται ώστε να γίνει το τρόχισμα και η λείανση τους είναι πολύ μικρότερος σε σχέση με το συμβατικό τρόπο. Η όλη διαδικασία αποτελεί σίγουρα το μέλλον του κλάδου και ήδη εφαρμόζεται σε αρκετά ακοολογικά εργαστήρια.

7.3 Κατασκευή Ενδωτιαίου Ακουστικού Βαρηκοΐας

Για να προχωρήσει η διαδικασία κατασκευής ενός ενδωτιαίου ακουστικού, αρχικά το ακοολογικό κέντρο αποστέλλει τα αποτυπώματα του πελάτη στο εργαστήριο. Με την συμβατική διαδικασία, χωρίς τη χρήση 3D εκτυπωτή, τα μέτρα αρχικά τοποθετούνται μέσα σε κερί, όπου δημιουργείται μία πολύ λεπτή στρώση. Με τον τρόπο αυτό εξομαλύνονται τυχόν σημεία του αποτυπώματος που μπορεί να παρουσιάζουν τραχύτητα και να δημιουργήσουν πληγή στο αυτί του πελάτη. Έπειτα το αποτύπωμα στερεώνεται κατάλληλα μέσα σε ειδική «θήκη» η οποία στη συνέχεια γεμίζεται με σιλικονούχο υλικό. Κατόπιν, η «θήκη» αφήνεται για λίγη ώρα ώστε να πήξει ή για πιο γρήγορα αποτελέσματα τοποθετείται στο ψυγείο. Όταν έρθει στην κατάλληλη θερμοκρασία και σταθεροποιηθεί, το αποτύπωμα αφαιρείται και στη θέση του τοποθετείται ρευστό ακρυλικό υλικό το οποίο πολυμερίζεται εξωτερικά στο φούρνο UV για μερικά δευτερόλεπτα. Έπειτα το περίσσιο εσωτερικό ακρυλικό υλικό αφαιρείται και λαμβάνεται το τελικό κέλυφος που διαμορφώνεται στο επιθυμητό σχήμα μέσω τρόχισματος από έναν έμπειρο τεχνικό. Στη συνέχεια ακολουθεί η διαδικασία τοποθέτησης του σειριακού αριθμού επάνω στο κέλυφος, ο οποίος είναι μοναδικός για κάθε ακουστικό και φανερώνει παράλληλα και το μοντέλο του. Τέλος, πραγματοποιείται η συναρμολόγηση του κελύφους με το κύκλωμα και την πρόσοψη του ακουστικού, το τελικό τρόχισμα, η λείανση και η τοποθέτηση της λάκας. Όλα τα καινούρια ακουστικά ελέγχονται διεξοδικά ώστε να εξακριβωθεί η ορθή λειτουργία

τους πριν φτάσουν στον πελάτη, ενώ πάντα προγραμματίζονται και μέσω του υπολογιστή.

Με τη διαδικασία του σχεδιασμού μέσω 3D Printer, τα βήματα συναρμολόγησης του κελύφους με το κύκλωμα είναι τα ίδια. Εκείνο που αλλάζει είναι ότι τα αποτυπώματα τοποθετούνται σε ειδικό μηχάνημα σάρωσης (scanner) και αφού γίνει ο κατάλληλος σχεδιασμός του ακουστικού μέσω του υπολογιστή, στη συνέχεια το τελικό σχέδιο αποστέλλεται στον εκτυπωτή. Το κυριότερο πλεονέκτημα του εκτυπωτή είναι ότι μέσω του σχεδιασμού του ακουστικού στον υπολογιστή επιτυγχάνει μεγαλύτερη ακρίβεια στη σωστή εφαρμογή του μέσα στο αυτί του πελάτη, πράγμα που σημαίνει ότι και ο ακοολόγος διευκολύνεται και έχει μία σωστή εικόνα της βαρηκοΐας κατά την πρώτη ρύθμιση του ακουστικού επάνω στο εκάστοτε αυτί. Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι το τρόχισμα του ακουστικού, το οποίο απαιτεί πολύ λιγότερο χρόνο σε σχέση με τη συμβατική διαδικασία του UV, καθώς τυχόν αιχμές και τραχιές επιφάνειες που μπορεί να δημιουργήσουν πληγή στο αυτί του πελάτη, έχουν εξομαλυνθεί μέσω του σχεδιασμού στον υπολογιστή.

Στην εικόνα 7γ απεικονίζονται αναλυτικά όλα τα στάδια κατασκευής ενός ενδωτιαίου ακουστικού με τη μέθοδο του 3D Printer. Αρχικά ο ακοολόγος λαμβάνει το αποτύπωμα του αυτιού του πελάτη. Κατόπιν το αποτύπωμα αποστέλλεται στο εργαστήριο, όπου τοποθετείται στο σαρωτή και μέσω ειδικού προγράμματος 3D Printing ο έμπειρος τεχνικός σχεδιάζει ένα εξατομικευμένο κέλυφος αναλόγως τις ακοολογικές ανάγκες αλλά και τις αισθητικές επιθυμίες του κάθε πελάτη, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 7β. Στη συνέχεια το τελικό μοντέλο αποστέλλεται στον εκτυπωτή και αφού εκτυπωθεί, αφαιρείται από την επιφάνεια εκτύπωσης, τοποθετείται στη φυγόκεντρο ώστε να απομακρυνθούν τυχόν υπολείμματα περίσσιου υλικού και διαχωρίζεται από τα υπόλοιπα κελύφη. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι σε κάθε εκτύπωση αποστέλλονται πολλά κελύφη μαζί τα οποία στο αρχικό στάδιο είναι ενωμένα μεταξύ τους και πρέπει να διαχωριστούν με πολλή προσοχή. Έπειτα τα κελύφη, διαχωρισμένα πλέον, τοποθετούνται σε ειδικό μηχάνημα πολυμερισμού και μετά καθαρίζονται μέσω βύθισης σε ισοπροπανόλη. Το στάδιο αυτό διασφαλίζει ότι το υλικό σκληραίνει και γίνεται πλήρως συμβατό με το αυτί. Ακολουθεί η διαδικασία τοποθέτησης του μοναδικού σειριακού αριθμού για το κάθε ακουστικό μέσω μηχανήματος δέσμης laser, η ένωση του κελύφους με το κύκλωμα, η τοποθέτηση της λάκας για άρτιο αισθητικά αποτέλεσμα και τέλος ο ποιοτικός έλεγχος του ακουστικού.



Εικόνα 7β. Σχεδιασμός ενδοωτιαίου ακουστικού μέσω 3D Printing. Η διαδικασία απαιτεί την εμπειρία του τεχνικού στις εφαρμογές ακουστικών και εκτεταμένη γνώση όσον αφορά τα μέρη του έξω αυτιού, (Πηγή: *Phonak Custom Product Reference Guide*, 2022, https://www.phonakpro.com/content/dam/phonakpro/gc_hq/en/campaigns/ite-excellence/documents/PH_ReferenceGuide_CustomProducts_210x297_EN_027-0670-02.pdf)

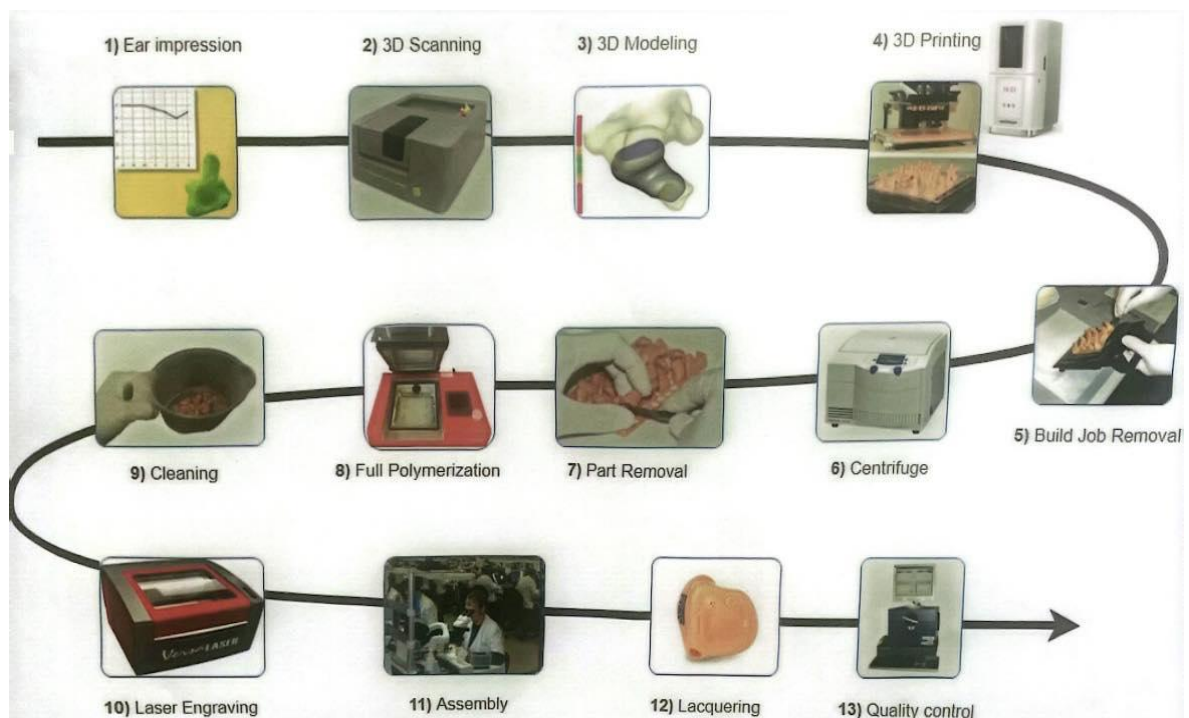
7.4 Κατασκευή Εκμαγείων και Ωτοασπίδων

Η διαδικασία κατασκευής των εκμαγείων και των ωτοασπίδων είναι κατά βάση ίδια με τη διαδικασία που ακολουθείται για την κατασκευή των ακρυλικών κελυφών. Το μόνο στο οποίο διαφοροποιείται είναι ο χρόνος που χρειάζεται να μείνει το υλικό στο φούρνο πολυμερισμού. Αφού το υλικό πολυμεριστεί, μετά τροχίζεται και επικαλύπτεται με ειδική λάκα. Τα σκληρά εκμαγεία πολυμερίζονται με UV ώστε να στεγνώσει πλήρως η λάκα, ενώ τα μαλακά εκμαγεία και οι ωτοασπίδες πρέπει να μείνουν περίπου μισή με μία ώρα σε θερμοκρασία δωματίου, ώστε να στεγνώσουν πλήρως. Με το 3D printer η διαδικασία είναι σχεδόν η ίδια, όμως όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, σχεδιάζοντας το εκμαγείο ή την ωτοασπίδα στον υπολογιστή υπάρχει ακριβέστερη εφαρμογή στο αυτί του πελάτη και λιγότερος χρόνος προετοιμασίας και τροχίσματος.

7.5 Ρύθμιση και Εφαρμογή του Ακουστικού

Δεν θα γίνει εκτενής αναφορά στις διαδικασίες ρύθμισης και εφαρμογής του ακουστικού, καθώς αποτελούν κομμάτι του ακοολόγου/ακοοπροθετιστή και δεν σχετίζονται άμεσα με το κομμάτι του βιοϊατρικού μηχανικού. Πάραυτα αξίζει να σημειωθεί ότι αφού το ακουστικό έχει κριθεί πλήρως λειτουργικό στο εργαστήριο και

έχει περάσει επιτυχώς τους ποιοτικούς ελέγχους που απαιτούνται, κατόπιν στέλνεται στο εκάστοτε κατάστημα και ο πελάτης ενημερώνεται ότι μπορεί να το παραλάβει. Έπειτα ο ακοολόγος είναι υπεύθυνος για τις διάφορες ρυθμίσεις που ικανοποιούν τη βαρηκοΐα του πελάτη και οι οποίες πραγματοποιούνται μέσω υπολογιστή με το κατάλληλο λογισμικό. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω είναι σημαντικό ο πελάτης να διατηρεί μία ουσιαστική επαφή με τον ακοολόγο ώστε προβλήματα που αφορούν την ανατομία του αυτιού και το ποσοστό βαρηκοΐας να διορθώνονται άμεσα. Προβλήματα ανατομίας μπορεί να είναι η αλλαγή της δομής του αυτιού λόγω του ότι ο πελάτης έχασε ή πήρε κιλιά και τότε θα πρέπει να γίνει ανακατασκευή του κελύφους ενώ προβλήματα στη βαρηκοΐα μπορεί να είναι η αύξηση αυτής και άρα να πρέπει να τοποθετηθεί κάποιο πιο ισχυρό μεγάφωνο. Σε γενικές γραμμές ένα μεγάλο εύρος βλαβών επιλύονται με τη βοήθεια του ακοολόγου, μέσω ενός καθαρισμού ρουτίνας ή με μία αλλαγή στη ρύθμιση του ακουστικού. Εάν το πρόβλημα είναι πιο σοβαρό τότε θα πρέπει το ακουστικό να σταλεί στο εργαστήριο και να ελεγχθεί από τον βιοϊατρικό μηχανικό.



Εικόνα 7γ. Αναλυτικά τα στάδια κατασκευής ενός ενδωτιαίου ακουστικού/εκμαγείου με τη μέθοδο του 3D Printing (*Ιδιοκτησία Galiotos Earcare*)

7.6 Φροντίδα Ακουστικού και Πιθανές Βλάβες

Το κομμάτι της φροντίδας και της επισκευής ενός ακουστικού είναι εκείνο που σχετίζεται άμεσα με τον βιοϊατρικό μηχανικό. Αρχικά ο βιοϊατρικός μηχανικός είναι υπεύθυνος για τον ενδεδειγμένο καθαρισμό του ακουστικού, είτε είναι ενδωτιαίο είτε οπισθοωτιαίο. Όταν παραλαμβάνει το ακουστικό θα πρέπει να το καθαρίσει εξωτερικά αλλά και εσωτερικά, όπου αυτό είναι εφικτό, με βαμβάκι και οινόπνευμα.

Τα ενδωτιαία ακουστικά καθαρίζονται ενδεδειγμένα εξωτερικά και κατόπιν με ειδικό μηχανήμα εισρόφησης καθαρίζονται οι οπές του μικροφώνου και του μεγαφώνου ώστε να απομακρυνθούν τυχόν υπολείμματα από κερί, συσσωρευμένη σκόνη και υγρασία. Τα οπισθοωτιαία ακουστικά μπορούν πολύ εύκολα να ανοιχθούν και να καθαριστούν και εσωτερικά. Εάν η υγρασία έχει εισέλθει στο εσωτερικό μέρος του ακουστικού, τότε θα πρέπει να τοποθετηθεί μερικές ώρες σε συσκευή αφύγρανσης. Σε άτομα τα οποία παρουσιάζουν αυξημένη ροή ωτικού υγρού συστήνεται να αγοράζουν έναν αφυγραντήρα όπου θα τοποθετούν το ακουστικό ιδανικά κάθε βράδυ πριν τον ύπνο και για όλη τη διάρκεια της νύχτας ενώ δεν θα πρέπει να παραλείπουν και τον συστηματικό καθαρισμό των αυτιών τους από τον ΩΡΛ. Το κερί και η υγρασία είναι ικανά να προκαλέσουν πολλά προβλήματα σε ένα ακουστικό και να θέσουν εκτός λειτουργίας τα διάφορα μέρη του, όπως το μικρόφωνο και το μεγάφωνο και σπανιότερα το ολοκληρωμένο κύκλωμα, όπου σε αυτή την περίπτωση το ακουστικό αχρηστεύεται εντελώς. Εάν το ακουστικό εξακολουθεί να παρουσιάζει πρόβλημα μετά από καθαρισμό και αφύγρανση σημαίνει ότι πρέπει να αντικατασταθεί κάποιο ανταλλακτικό. Στα σύγχρονα ψηφιακά οπισθοωτιαία ακουστικά όλος ο μηχανισμός είναι συνδεδεμένος και άρα βλάβη στο μικρόφωνο ή το μεγάφωνο σημαίνει την αντικατάσταση ολοκληρωτού κυκλώματος, γεγονός που κάνει τη ζωή του μηχανικού πολύ πιο εύκολη, αφού όλη η διαδικασία γίνεται μέσω υπολογιστή. Στα ενδωτιαία ακουστικά συνήθως το πρόβλημα εντοπίζεται στο μικρόφωνο ή το μεγάφωνο του ακουστικού και μέσω της εμπειρίας και της τριβής ο μηχανικός είναι εύκολο να κάνει μία εκτίμηση και αφού ανοίξει το ακουστικό να το επισκευάσει.

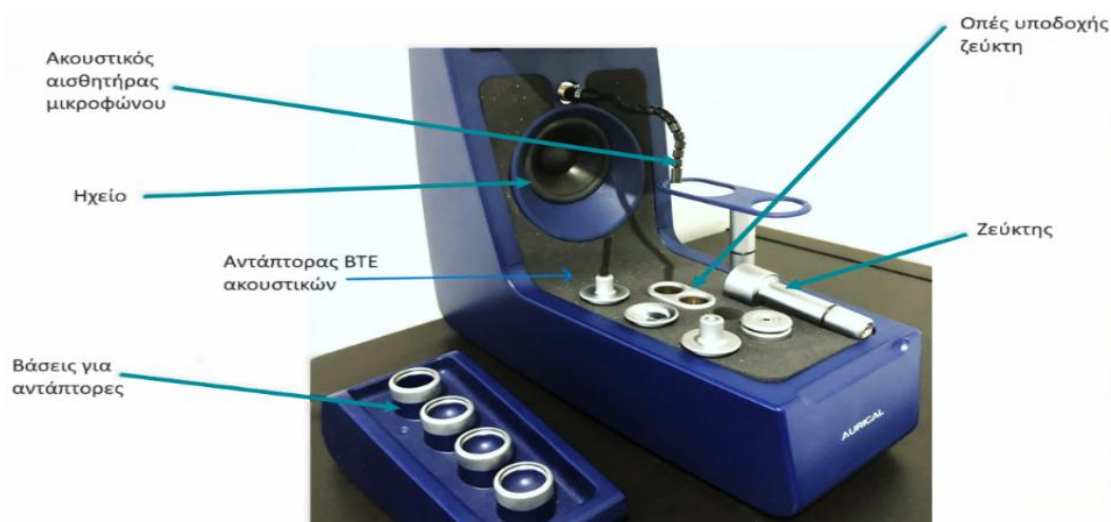
Πέρα από τις συνήθεις βλάβες που αναφέρθηκαν παραπάνω, μπορεί το ακουστικό να παρουσιάσει πρόβλημα στις καλωδιώσεις, τα σωληνάκια του μικροφώνου και του μεγαφώνου, τη μπαταριοθήκη ή κάποια ρωγμή στο κέλυφος (ή τα καπάκια του, εάν αναφερόμαστε σε οπισθοωτιαίο ακουστικό). Όλες οι παραπάνω βλάβες παρουσιάζονται κυρίως λόγω φθοράς από εκτεταμένη χρήση του ακουστικού και αποτελούν σχεδόν το 85% των βλαβών που μπορεί να παρουσιάσει ένα ακουστικό. Όσον αφορά τα επαναφορτιζόμενα ακουστικά, αφού καθαριστούν και εάν κρίνεται απαραίτητο να τοποθετηθούν στην αφύγρανση, ελέγχεται ενδεδειγμένα η ικανότητα τους να φορτίζονται και να αποφορτίζονται σωστά καθώς και η ορθή λειτουργία του μικροφώνου και του μεγαφώνου τους, όπως συμβαίνει και με τα υπόλοιπα ΩΩ ακουστικά. Εάν διαπιστωθεί βλάβη η οποία εμπεριέχεται στο ολοκληρωμένο κύκλωμα του ακουστικού που συμπεριλαμβάνει τη μπαταρία και τα μικρόφωνα, τότε αντικαθίσταται όλος ο μηχανισμός πολύ εύκολα με τη βοήθεια του υπολογιστή. Τέλος, όλα τα ακουστικά μπορούν να μπουν σε ειδικά μονωμένο «κουτί» για το οποίο θα γίνει εκτενής αναφορά παρακάτω, όπου εκεί ελέγχονται οι τιμές του μικροφώνου και του μεγαφώνου και συγκρίνονται με τιμές αναφοράς σε dB.



Εικόνα 7δ. Κόλληση των καλωδίων του ολοκληρωμένου κυκλώματος επάνω στις επαφές της μπαταρίας (Πηγή: *Phonak Custom Products*, 2016, [041-1380-03-Custom-Process-Brochure.pdf \(phonak.com\)](#))

8. Μετρήσεις ακουστικών βαρηκοΐας μέσω testbox

Στο παρόν κεφάλαιο πραγματοποιούνται μετρήσεις πραγματικών ακουστικών της εταιρίας Philips από ενεργούς χρήστες και με βάση τις τιμές που προκύπτουν, εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα για τη λειτουργικότητα του μικροφώνου και του μεγαφώνου των ακουστικών αυτών. Για τη λήψη των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε εργαστηριακό μηχάνημα τύπου testbox, του οποίου ο σχεδιασμός και οι λειτουργίες αναλύονται παρακάτω.



Εικόνα 8α. Επεξήγηση βασικών παραμέτρων του testbox (Πηγή: Aurical HIT: RECD, McLeod Robert, 2021, [PowerPoint Presentation \(baaudiology.org\)](http://baaudiology.org))

8.1 Εισαγωγή στο testbox

Το testbox είναι ένα ηχομονωμένο «κουτί», ειδικά διαμορφωμένο να λειτουργεί ως προσομοιωτής του ανθρώπινου αυτιού, το οποίο παίζει καθοριστικό ρόλο για τον βιοϊατρικό μηχανικό που θα ελέγξει το ακουστικό σε κλειστό περιβάλλον αλλά και για τον ακοοπροθετιστή που θα θελήσει να κάνει συγκεκριμένες ρυθμίσεις με βάση τον εκάστοτε πελάτη. Είναι αρκετά χρήσιμο κυρίως σε περιπτώσεις όπου το άτομο έχει ακουστικό πόρο πολύ μικρής διαμέτρου και χρειάζεται να ληφθούν μετρήσεις με μεγάλη ακρίβεια, χωρίς να χρειαστεί να τοποθετηθεί το ακουστικό στο αυτί και για το λόγο αυτό ενδείκνυται κυρίως όταν χρειάζεται να γίνουν ρυθμίσεις σε παιδικά ακουστικά. Ο σχεδιασμός του testbox είναι απλός. Πρόκειται για ένα «κουτί» που φέρει ειδικό ηχομονωτικό υλικό σε όλη την εσωτερική του επιφάνεια, ενώ το κύριο στοιχείο αποτελεί ο ζεύκτης (coupler), ο οποίος προσομοιάζει το ανθρώπινο αυτί. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι για την εκάστοτε εταιρία ακουστικών βαρηκοΐας ορίζονται συγκεκριμένες τιμές στις μετρήσεις των ακουστικών και οι αντίστοιχες αποκλίσεις που είναι αποδεκτές ώστε οι μετρήσεις αυτές να θεωρηθούν επιτυχείς. Οι αποκλίσεις συνήθως κυμαίνονται από ± 3 έως ± 5 dB από την τιμή αναφοράς που αναγράφεται στο εγχειρίδιο χρήσης.

8.2 Έλεγχος ακουστικών Philips μέσω testbox και σύγκριση με τιμές αναφοράς

σε dB

Παρακάτω παρουσιάζονται 4 μοντέλα ακουστικών της εταιρίας Philips από πραγματικούς πελάτες οι οποίοι κάνουν καθημερινή χρήση αυτών και τα έχουν προσκομίσει στο εργαστήριο για έλεγχο ορθής λειτουργίας. Οι σειριακοί αριθμοί και τα στοιχεία των πελατών έχουν αποκρυφθεί για λόγους προσωπικών δεδομένων. Οι τιμές αναφοράς για το κάθε ακουστικό έχουν αντληθεί από τα επίσημα εγχειρίδια δεδομένων της Philips, αποτελούν ιδιοκτησία της και έχουν χρησιμοποιηθεί στην παρούσα εργασία καθαρά για ερευνητικούς σκοπούς. Ο έλεγχος των ακουστικών πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του testbox σε συνδυασμό με ειδικά διαμορφωμένο λογισμικό, το οποίο εξάγει τιμές λαμβάνοντας ακοομετρικά δεδομένα και προχωράει στη δημιουργία διαγραμμάτων, όπως φαίνεται παρακάτω.

Η διαδικασία είναι απλή και γρήγορη. Αρχικά το ακουστικό θα πρέπει να είναι σε θέση να συνδεθεί με τον υπολογιστή είτε μέσω καλωδίου, είτε ασύρματα, αναλόγως το εκάστοτε μοντέλο. Στη συνέχεια μέσω ειδικού λογισμικού το ακουστικό ρυθμίζεται ώστε να λειτουργήσει στα μέγιστα dB, σύμφωνα με το μεγάφωνο που διαθέτει. Όταν το ακουστικό μπει στη συγκεκριμένη ρύθμιση δεν θα πρέπει να είναι τοποθετημένο στο αυτί του χρήστη καθώς ο δυνατός ήχος που παράγεται μπορεί να βλάψει το τύμπανο. Κατόπιν το ακουστικό τοποθετείται μέσα στο ειδικά διαμορφωμένο ηχομονωμένο κουτί τύπου testbox. Παρακάτω απεικονίζεται ο τρόπος με τον οποίο τοποθετείται το ακουστικό μέσα στο κουτί. Για να διασφαλιστεί η αξιοπιστία των μετρήσεων το ακουστικό θα πρέπει να εφάπτεται επάνω στην υποδοχή του testbox με τέτοιο τρόπο ώστε να μην ακούγεται καθόλου ο δυνατός ήχος που παράγει. Όταν το άτομο που πραγματοποιεί τη μέτρηση διασφαλίσει ότι το ακουστικό έχει τοποθετηθεί σωστά, κλείνει το κουτί και προχωράει στις απαραίτητες μετρήσεις.

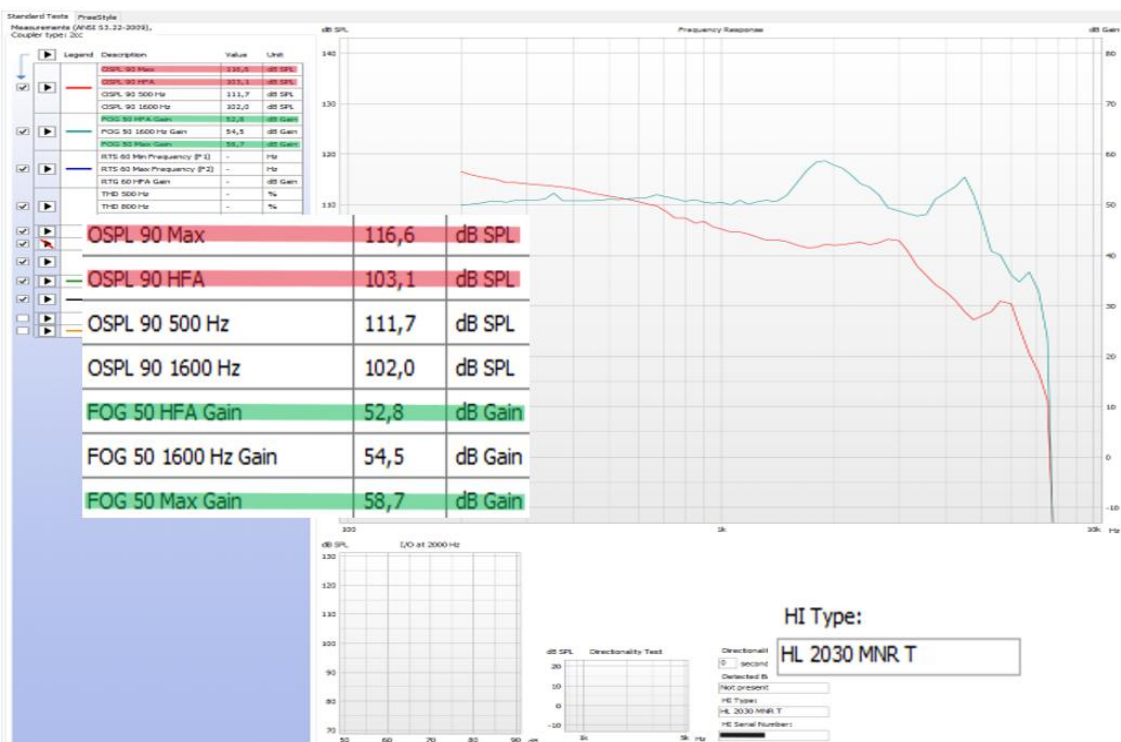


Εικόνα 8β. Τοποθέτηση ακουστικού τύπου RIC στο testbox ώστε να πραγματοποιηθεί η μέτρηση της λειτουργικότητας του μεγαφώνου και του μικροφώνου του. Το μεγάφωνο του ακουστικού μονώνεται μέσω ειδικής πλαστελίνης και κατόπιν ο χειριστής το τοποθετεί ώστε

να εφάπτεται πλήρως επάνω στην οπή του ζεύκτη χωρίς να «σφυρίζει». Ο αισθητήρας μικροφώνου τοποθετείται πλησίον της οπής του μικροφώνου του ακουστικού. Ο χειριστής κλείνει το κουτί και πραγματοποιεί τη μέτρηση (Πηγή: Aurical HIT: RECD, McLeod Robert, 2021, [PowerPoint Presentation \(baaudiology.org\)](http://baaudiology.org))

8.2.1 PHILIPS HEARLINK 2030 miniRITE T

Το παρόν ακουστικό είναι οπισθοωτιαίο και φέρει το μεγάφωνο στο εσωτερικό του αυτιού, δηλαδή είναι τύπου RIC (Receiver-In-Canal). Στον συγκεκριμένο πελάτη έχει τοποθετηθεί μεγάφωνο της τάξεως των 100dB το οποίο είναι εσώκλειστο σε κέλυφος. Αρχικά ο πελάτης προσκόμισε το ακουστικό του στο εργαστήριο για έλεγχο, με την παρατήρηση ότι μόλις το τοποθετεί στο αυτί του αντιλαμβάνεται παράσιτα στον ήχο. Προτού γίνει ο τυπικός καθαρισμός, πραγματοποιήθηκε ακουστικός έλεγχος ώστε να διαπιστωθεί εάν όντως το ακουστικό παρουσιάζει παράσιτα. Πράγματι, διαπιστώθηκαν έντονα παράσιτα ενώ και μετά τον καθαρισμό εξωτερικά αλλά και εσωτερικά του ακουστικού, τα παράσιτα δεν υποχώρησαν. Πριν πραγματοποιηθεί αντικατάσταση του μεγαφώνου, το ακουστικό τοποθετήθηκε για έλεγχο στο testbox, ώστε να εξακριβωθεί η βλάβη. Αφού έγινε σωστή τοποθέτηση του ακουστικού στην οπή του ζεύκτη, προέκυψαν οι μετρήσεις που απεικονίζονται παρακάτω. Κατόπιν έγινε σύγκριση των μετρήσεων του testbox με τις εγκεκριμένες τιμές από το εγχειρίδιο της εταιρίας Philips και εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την ορθή λειτουργία της συσκευής.



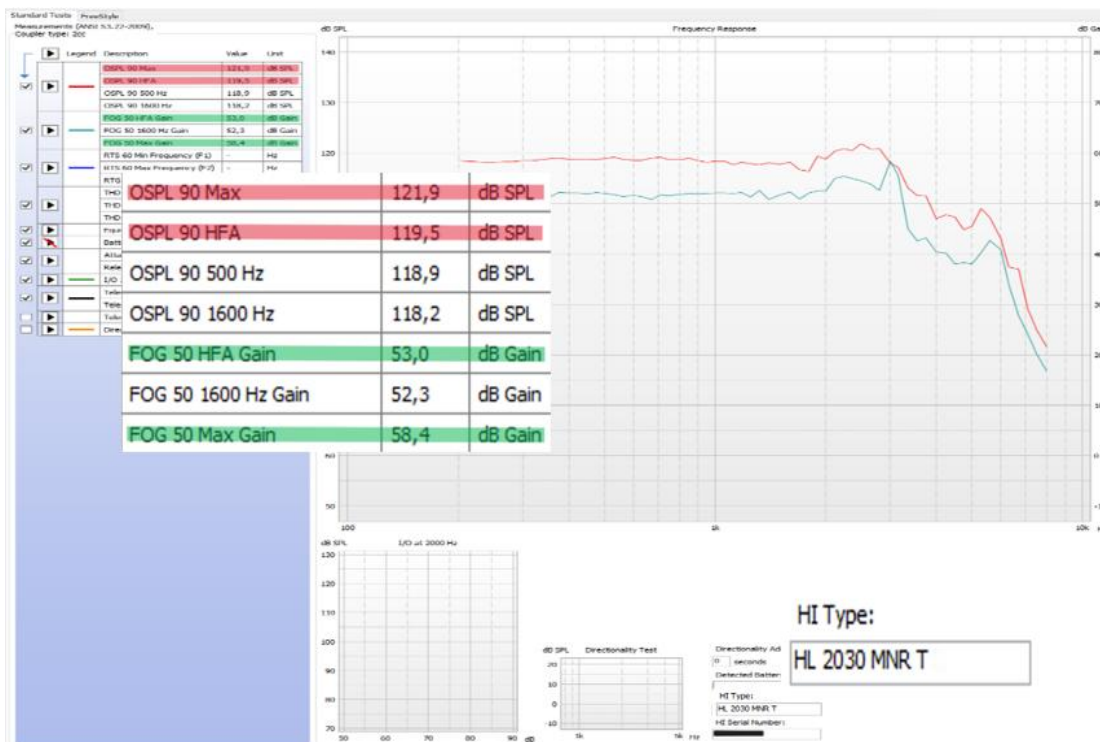
Εικόνα 8.2.1α Αποτελέσματα μετρήσεων μεγάφωνου και μικροφώνου (οι τιμές που έχουν διαγνωστικό περιεχόμενο απεικονίζονται με κόκκινο και πράσινο χρώμα αντίστοιχα)

Πίνακας σύγκρισης τιμών και εξαγωγή συμπερασμάτων:

	Μικρόφωνο	Μεγάφωνο
Τιμή HFA κατά τον έλεγχο (dB)	52,8	103,1
Τιμή HFA κατασκευαστή (dB)	53	119
Τιμή Peak κατά τον έλεγχο (dB)	58,7	116,6
Τιμή Peak κατασκευαστή (dB)	57	123

(Πηγή: https://wdhimages.azureedge.net/damfilesprod/7aab14e017c74f34b27bade900ce0071/pep/244620_PH_HL_MNR-T_SG_22-H1_UK.pdf)

Όπως φαίνεται και παραπάνω, έπειτα από σύγκριση που έγινε με τις τιμές που αναγράφονται στο εγχειρίδιο της εταιρίας για το μοντέλο Philips HEARLINK 2030 miniRITE T, οι τιμές που αφορούν το μεγάφωνο του ακουστικού είναι εκτός των επιτρεπτών ορίων ενώ οι τιμές του μικροφώνου θεωρούνται επιτυχείς. Συμπερασματικά, το μεγάφωνο θα πρέπει να αντικατασταθεί και κατόπιν να επαναληφθούν οι μετρήσεις ώστε να διασφαλισθεί η λειτουργικότητα του ακουστικού. Παρακάτω απεικονίζονται τα αποτελέσματα των εκ νέου μετρήσεων μετά την τοποθέτηση του καινούριου μεγάφωνου.



Εικόνα 8.2.1β Αποτελέσματα εκ νέου μετρήσεων έπειτα από την τοποθέτηση καινούριου μεγάφωνου

Πίνακας σύγκρισης τιμών και εξαγωγή συμπερασμάτων:

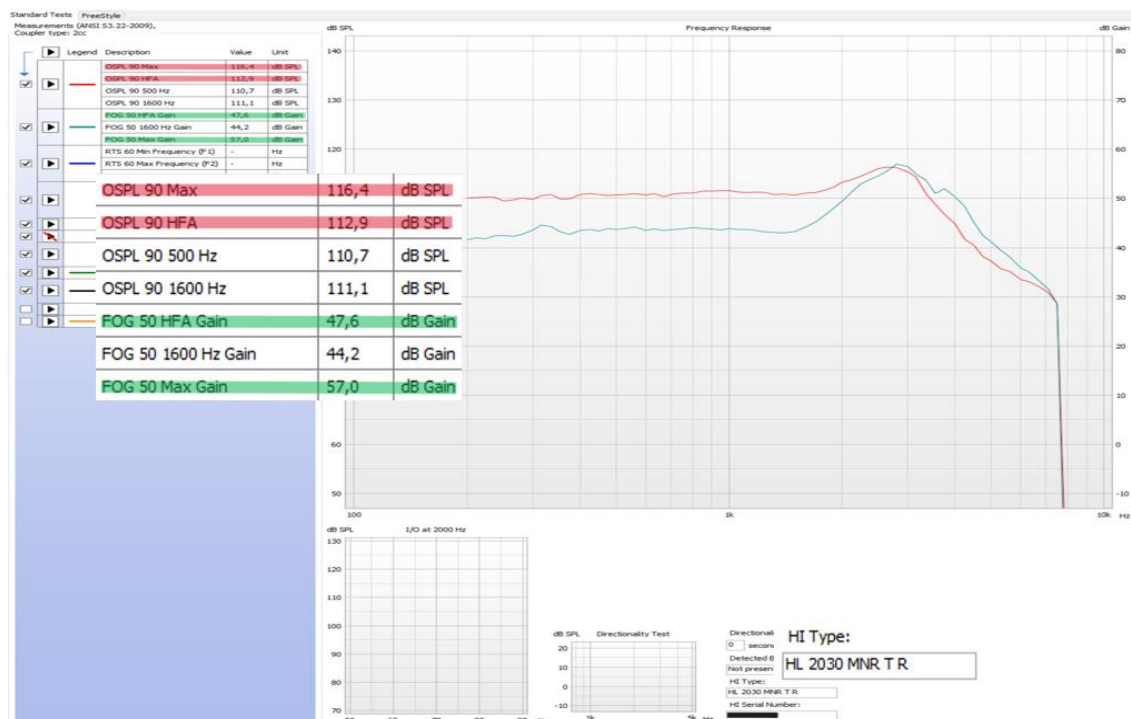
	Μικρόφωνο	Μεγάφωνο
Τιμή HFA κατά τον έλεγχο (dB)	53	119,5

Τιμή HFA κατασκευαστή (dB)	53	119
Τιμή Peak κατά τον έλεγχο (dB)	58,4	121,9
Τιμή Peak κατασκευαστή (dB)	57	123

Όπως φαίνεται στον πίνακα, οι εκ νέου μετρήσεις έχουν πολύ μικρή απόκλιση από τις ιδανικές τιμές που ορίζει ο κατασκευαστής. Συνεπώς, η βλάβη διορθώθηκε και το ακουστικό μπορεί να θεωρηθεί πλήρως λειτουργικό και να επιστραφεί στον πελάτη.

8.2.2 PHILIPS HEARLINK 2030 miniRITE T R

Το συγκεκριμένο ακουστικό είναι οπισθοωτιαίο και φέρει το μεγάφωνο στο εσωτερικό του αυτιού, δηλαδή είναι τύπου RIC (Receiver-In-Canal) ενώ η μπαταρία του είναι επαναφορτιζόμενη. Στον πελάτη έχει τοποθετηθεί μεγάφωνο της τάξεως των 85dB με θηλή. Ο πελάτης προσκόμισε το ακουστικό του στο εργαστήριο για ένα τυπικό καθαρισμό και έλεγχο ορθής λειτουργίας. Πριν τον έλεγχο έγινε καθαρισμός του ακουστικού, ενώ δεν παρατηρήθηκε συσσωρευμένη κυψελίδα ή υγρασία στο εσωτερικό του. Αφού έγινε σωστή τοποθέτηση του ακουστικού στην οπή του ζεύκτη, προέκυψαν οι μετρήσεις που απεικονίζονται παρακάτω. Κατόπιν έγινε σύγκριση των μετρήσεων του testbox με τις εγκεκριμένες τιμές από το εγχειρίδιο της εταιρίας Philips και εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την ορθή λειτουργία της συσκευής.



Εικόνα 8.2.2 Αποτελέσματα μετρήσεων μεγάφωνου και μικροφώνου (οι τιμές που έχουν διαγνωστικό περιεχόμενο απεικονίζονται με κόκκινο και πράσινο χρώμα αντίστοιχα)

Πίνακας σύγκρισης τιμών και εξαγωγή συμπερασμάτων:

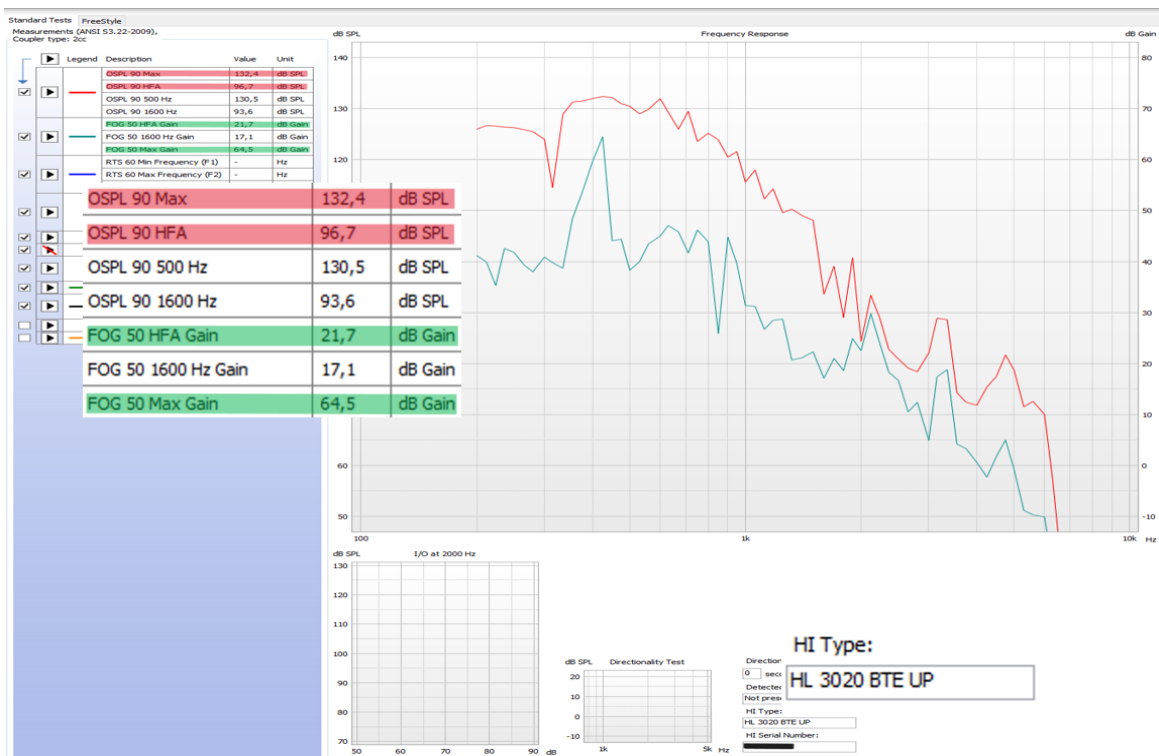
	Μικρόφωνο	Μεγάφωνο
Τιμή HFA κατά τον έλεγχο (dB)	47,6	112,9
Τιμή HFA κατασκευαστή (dB)	48	114
Τιμή Peak κατά τον έλεγχο (dB)	57	116,4
Τιμή Peak κατασκευαστή (dB)	55	117

(Πηγή: https://wdhimages.azureedge.net/damfilesprod/bf1995fbc10749bfa0c8ade900cdffb1/pep/244621_PH_HL_MNR-TR_SG_22-H1_UK.pdf)

Όπως φαίνεται παραπάνω, οι τιμές που προέκυψαν κατά τον έλεγχο βρίσκονται εντός των επιτρεπτών ορίων και για το μεγάφωνο αλλά και για το μικρόφωνο του ακουστικού. Κατά συνέπεια το ακουστικό περνάει επιτυχώς τον έλεγχο ορθής λειτουργίας και μπορεί να επιστραφεί στον πελάτη χωρίς να γίνει κάποια περαιτέρω ενέργεια.

8.2.3 PHILIPS HEARLINK 3020 BTE UP

Το παρόν ακουστικό είναι οπισθοωτιαίο και φέρει ολόκληρο το μηχανισμό στο οπίσθιο μέρος του αυτιού, δηλαδή είναι τύπου BTE (Behind-The-Ear) με ενσωματωμένο μεγάφωνο το οποίο μπορεί να καλύψει από μέτριες έως πολύ σοβαρές βαρηκοΐες. Ο πελάτης προσκόμισε το ακουστικό του στο εργαστήριο για έλεγχο, με την παρατήρηση ότι μόλις το τοποθετεί στο αυτί ακούει ένα συνεχόμενο φύσημα (περιγράφοντας αυτολεξεί «σαν να φυσάει έντονα δυνατός αέρας»). Προτού γίνει ο τυπικός καθαρισμός, πραγματοποιήθηκε έλεγχος ώστε να διαπιστωθεί εάν όντως το ακουστικό παρουσιάζει φύσημα. Πράγματι, διαπιστώθηκε πολύ έντονο φύσημα ενώ και μετά τον καθαρισμό εξωτερικά αλλά και εσωτερικά του ακουστικού, το φύσημα δεν υποχώρησε. Αξίζει να σημειωθεί ότι στο ακουστικό διαπιστώθηκε συσσωρευμένο ωτικό υγρό το οποίο είχε εισχωρήσει στο εσωτερικό των μικροφώνων. Πριν πραγματοποιηθεί ο έλεγχος στο testbox, ώστε να εξακριβωθεί η βλάβη, το ακουστικό τοποθετήθηκε στην αφύγρανση ώστε να εξατμισθεί το μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας, όμως και πάλι το πρόβλημα δεν διορθώθηκε. Αφού έγινε σωστή τοποθέτηση του ακουστικού στην οπή του ζεύκτη, προέκυψαν οι μετρήσεις που απεικονίζονται παρακάτω. Κατόπιν έγινε σύγκριση των μετρήσεων του testbox με τις εγκεκριμένες τιμές από το εγχειρίδιο της εταιρίας Philips και εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την ορθή λειτουργία της συσκευής.



Εικόνα 8.2.3α Αποτελέσματα μετρήσεων μεγάφωνου και μικροφώνου (οι τιμές που έχουν διαγνωστικό περιεχόμενο απεικονίζονται με κόκκινο και πράσινο χρώμα αντίστοιχα)

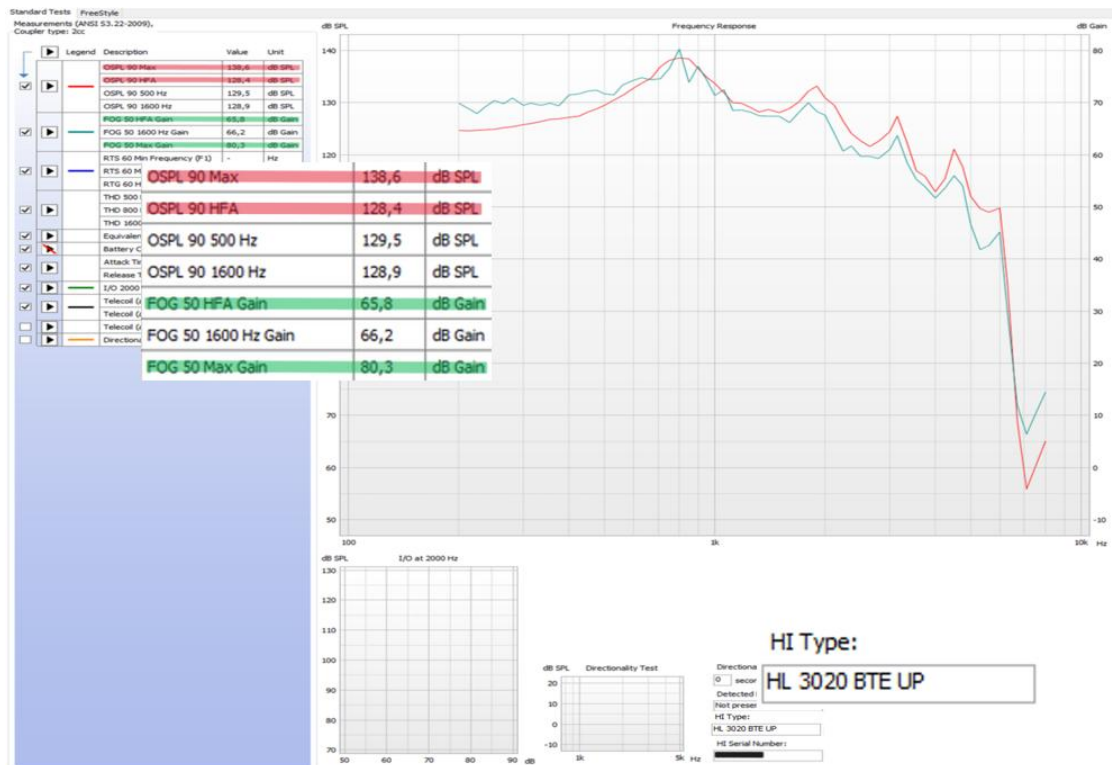
Πίνακας σύγκρισης τιμών και εξαγωγή συμπερασμάτων:

	Μικρόφωνο	Μεγάφωνο
Τιμή HFA κατά τον έλεγχο (dB)	21,7	96,7
Τιμή HFA κατασκευαστή (dB)	69	130
Τιμή Peak κατά τον έλεγχο (dB)	64,5	132,4
Τιμή Peak κατασκευαστή (dB)	83	142

(Πηγή: https://wdhimages.azureedge.net/damfilesprod/4bab930257a24739bd4eac5c00d2c7d6/pep/204644_Philips_HearLink_SG_BTE_SP_UP_UK.pdf)

Όπως φαίνεται παραπάνω, οι τιμές που προέκυψαν κατά τον έλεγχο δεν συνάδουν με καμία από τις τιμές που ορίζει ο κατασκευαστής, αντιθέτως βρίσκονται κατά πολύ εκτός των επιτρεπτών ορίων. Συμπερασματικά, το ακουστικό παρουσιάζει πρόβλημα με τα μικρόφωνα του, γεγονός που με τη σειρά του επηρεάζει και τις τιμές του μεγάφωνου και επιβεβαιώνει την παρατήρηση του πελάτη για έντονο φύσημα. Για να επιλυθεί η βλάβη θα πρέπει να αντικατασταθεί ολόκληρος ο μηχανισμός του ακουστικού.

Αφού έγινε αντικατάσταση του μηχανισμού του ακουστικού μέσω του υπολογιστή, κατόπιν το ακουστικό τοποθετήθηκε και πάλι στο testbox για να πραγματοποιηθούν εκ νέου μετρήσεις. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων απεικονίζονται παρακάτω.



Εικόνα 8.2.3β Αποτελέσματα εκ νέου μετρήσεων μεγάφωνου και μικροφώνου έπειτα από την αλλαγή του μηχανισμού του ακουστικού

Πίνακας σύγκρισης τιμών και εξαγωγή συμπερασμάτων:

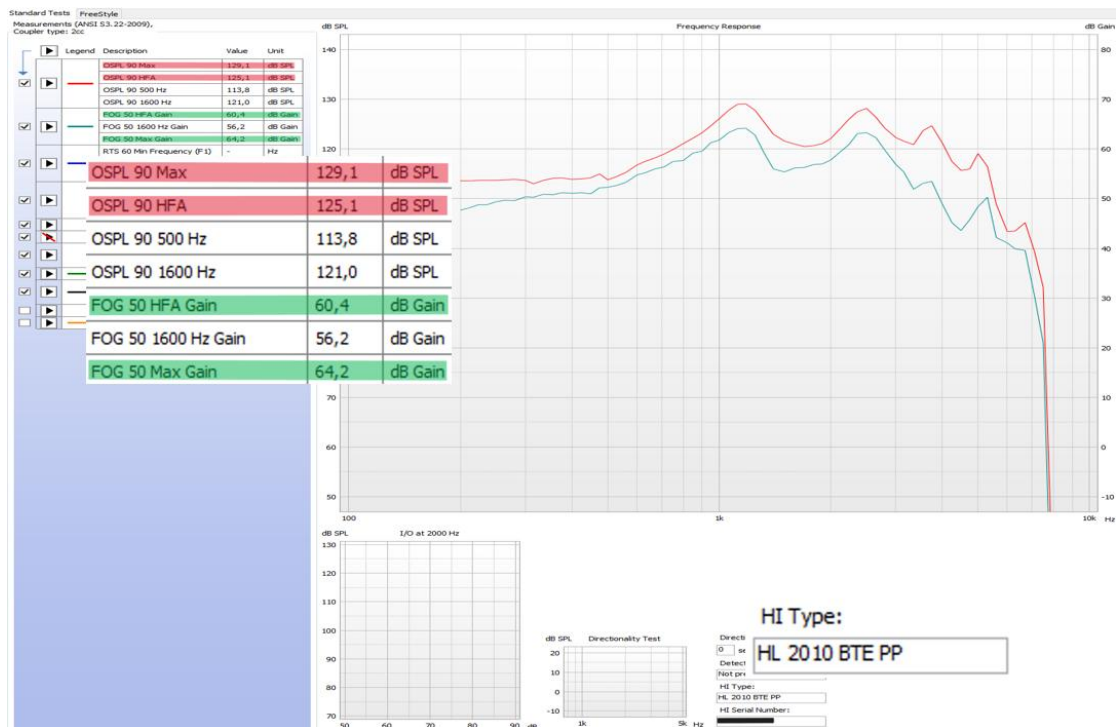
	Μικρόφωνο	Μεγάφωνο
Τιμή HFA κατά τον έλεγχο (dB)	65,8	128,4
Τιμή HFA κατασκευαστή (dB)	69	130
Τιμή Peak κατά τον έλεγχο (dB)	80,3	138,6
Τιμή Peak κατασκευαστή (dB)	83	142

Όπως φαίνεται στον πίνακα, οι εκ νέου μετρήσεις έχουν πολύ μικρή απόκλιση από τις ιδανικές τιμές που ορίζει ο κατασκευαστής. Συνεπώς, με την αλλαγή του μηχανισμού η βλάβη διορθώθηκε και το ακουστικό μπορεί να θεωρηθεί πλήρως λειτουργικό και να επιστραφεί στον πελάτη.

8.2.4 PHILIPS HEARLINK 2010 BTE PP

Το παρόν ακουστικό είναι οπισθοωτιαίο και φέρει ολόκληρο το μηχανισμό στο πίσθιο μέρος του αυτιού, δηλαδή είναι τύπου BTE (Behind-The-Ear) με ενσωματωμένο μεγάφωνο, το οποίο μπορεί να καλύψει από μέτριες έως και πιο σοβαρές βαρηκοΐες. Ο πελάτης προσκόμισε το ακουστικό του στο εργαστήριο για ένα τυπικό καθαρισμό και έλεγχο ορθής λειτουργίας. Αφού έγινε σωστή τοποθέτηση του ακουστικού στην οπή του ζεύκτη, προέκυψαν οι μετρήσεις που απεικονίζονται παρακάτω. Κατόπιν έγινε σύγκριση των μετρήσεων του testbox με τις εγκεκριμένες

τιμές από το εγχειρίδιο της εταιρίας Philips και εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την ορθή λειτουργία της συσκευής.



Εικόνα 8.2.4 Αποτελέσματα μετρήσεων μεγάφωνου και μικροφώνου (οι τιμές που έχουν διαγνωστικό περιεχόμενο απεικονίζονται με κόκκινο και πράσινο χρώμα αντίστοιχα)

Πίνακας σύγκρισης τιμών και εξαγωγή συμπερασμάτων:

	Μικρόφωνο	Μεγάφωνο
Τιμή HFA κατά τον έλεγχο (dB)	60,4	125,1
Τιμή HFA κατασκευαστή (dB)	62	126
Τιμή Peak κατά τον έλεγχο (dB)	64,2	129,1
Τιμή Peak κατασκευαστή (dB)	66	131

(Πηγή: <https://oogvoororen.nl/storage/specificatiegids-philips-bte-pp.pdf>)

Όπως φαίνεται παραπάνω, οι τιμές που προέκυψαν κατά τον έλεγχο βρίσκονται εντός των επιτρεπτών ορίων και για το μεγάφωνο αλλά και για το μικρόφωνο του ακουστικού. Κατά συνέπεια το ακουστικό περνάει επιτυχώς τον έλεγχο ορθής λειτουργίας και μπορεί να επιστραφεί στον πελάτη χωρίς να γίνει κάποια περεταίρω ενέργεια.

9. Ψυχολογικές Επιπτώσεις της Πάθησης

Είναι σημαντικό το άτομο με βαρηκοΐα να αναγνωρίσει τα διάφορα συμπτώματα της πάθησης και να προχωρήσει στην άμεση αναζήτηση ενός ακουστικού βοηθήματος πριν το πρόβλημα ενταθεί περεταίρω. Μία βαρηκοΐα η οποία παραμένει αθεράπευτη είναι πολύ πιθανό να γίνει εντονότερη με το πέρασμα των ετών και σταδιακά να απομονώσει το άτομο σε ψυχοκοινωνικό επίπεδο αλλά και πολλές φορές να το φέρει σε έντονη ρήξη με τους οικείους του. Ορισμένες συγκινησιακά επίπονες καταστάσεις που μπορεί να βιώνει το άτομο με βαρηκοΐα περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων αισθήματα άγχους, απελπισίας, απομόνωσης, άρνησης, θυμού, πικρίας, σύγχυσης και χαμηλής αυτοεκτίμησης. Οι περισσότεροι νέοι ασθενείς με βαρηκοΐα έχει παρατηρηθεί ότι αντιμετωπίζουν τουλάχιστον μία ή και παραπάνω ψυχοκοινωνικές δυσκολίες οι οποίες δυσχεραίνουν σε μεγάλο βαθμό τις προσπάθειες αποκατάστασης τους (Kricos, 2000b).

Όσον αφορά την παιδική βαρηκοΐα, ο οικογενειακός περίγυρος επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από το νεαρό ασθενή, ο οποίος συχνά βιώνει αισθήματα απώλειας, απογοήτευσης και απελπισίας. Αναλόγως την ηλικιακή φάση του παιδιού, τα αρνητικά συναισθήματα και οι δυσκολίες μπορεί να χειροτερεύουν ή να κοπάζουν, όμως πάντα είναι σημαντικό το άτομο να έχει τη στήριξη των οικείων του αλλά και ειδικών που θα το συμβουλεύουν τόσο ψυχολογικά όσο και υλικά, μέσω του καταλληλότερου ακουστικού βοηθήματος και πάντα λαμβάνοντας υπόψιν τις ανάγκες και επιθυμίες του. Για τη βρεφική βαρηκοΐα τα πράγματα είναι λίγο πιο περίπλοκα, καθώς όλος ο κοντινός οικογενειακός περίγυρος συμπεριλαμβανομένων των αδερφών και των παππούδων, σε αρχικό στάδιο διανύει μία περίοδο πένθους την οποία ακολουθούν συναισθήματα άρνησης, θυμού, διαπραγμάτευσης, κατάθλιψης και τελικώς αποδοχής. Οι γονείς καλούνται να πάρουν σημαντικές αποφάσεις για την αποκατάσταση της ακουστικής ικανότητας του βρέφους ενώ παράλληλα διακατέχονται από αισθήματα χαμηλής αυτοεκτίμησης και έντονου στρες. Τα αδέρφια μπορεί μεταξύ άλλων να διακατέχονται από θετικά συναισθήματα όπως αγάπη, ενσυναίσθηση, υπερηφάνεια, προστασία και σπανιότερα από αισθήματα ντροπής και ενόχλησης. Το σημαντικότερο είναι μέσω της δυσκολίας που καλούνται να αντιμετωπίσουν τα μέλη, να δράσουν συλλογικά και να αλληλοϋποστηρίξουν ο ένας τον άλλον, καθώς μέσα από τις δυσκολίες είναι σημαντικό να τονιστεί ότι ο δεσμός μιας οικογένειας γίνεται δυνατότερος και αδιάσπαστος.

Η βαρηκοΐα ενηλίκων συχνά παραμένει αθεράπευτη για καιρό μέχρι το άτομο να αναζητήσει τη βοήθεια ειδικού. Όταν τελικά φοράει το ακουστικό είναι διόλου σπάνιο φαινόμενο να μην μπορεί να συνηθίσει τη νέα πραγματικότητα ενώ πολλές φορές ενοχλείται όταν ακούει ήχους τους οποίους χωρίς το ακουστικό δεν άκουγε. Τα πρότυπα επικοινωνίας με τον/την σύντροφο και τα λοιπά μέλη του στενού οικογενειακού περιβάλλοντος είναι εκείνα που επηρεάζονται περισσότερο σε

συνδυασμό με ένα μικρό ποσοστό υποβάθμισης στην ποιότητα ζωής. Τα καλά νέα είναι ότι οι ψυχολογικές και κοινωνικές επιπτώσεις της πάθησης μπορούν να ελαχιστοποιηθούν ή ακόμα και να εξαλειφθούν πλήρως με την κατάλληλη συμβουλευτική και το καταλληλότερο πλάνο αποκατάστασης (Johnston et al., 2009; Kricos, 2000b).

Εν κατακλείδι, όταν ένα άτομο αντιμετωπίζει πρόβλημα ακοής, ανεξαρτήτως της ηλικιακής του ομάδας, κάτι τέτοιο αυτόματα συνεπάγεται επικοινωνιακά προβλήματα, κυρίως με τα υπόλοιπα μέλη της οικογένειας. Η επικοινωνία μεταξύ των μελών μιας οικογένειας και κατ' επέκταση των ατόμων μιας κοινωνίας είναι μείζονος σημασίας. Κάθε μέλος αντιδρά διαφορετικά στο άκουσμα ότι κάποιος αγαπημένος του έχει πρόβλημα ακοής ενώ κυρίως στις ακρογωνιαίες ηλικίες, δηλαδή τα βρέφη και τους ηλικιωμένους, η καθοδήγηση από ακοολόγους και λογοπαθολόγους κρίνεται σημαντική για την ομαλή έκβαση της πάθησης. Εξελίξεις στον ακοολογικό εξοπλισμό έχουν συμβάλει κατά πολύ στην έγκαιρη και έγκυρη διάγνωση ενώ είναι σημαντικό ο ειδικός να καθοδηγήσει τον βαρήκοο στη σωστή χρήση της υπολειπομένης ακοής και προσαρμογής στη βαρηκοΐα (Hall, J. W., 2015).

Συμπεράσματα

Ο κλάδος των ακουστικών βαρηκοΐας είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με την επιστήμη των μαθηματικών και της φυσικής, την ηλεκτρολογία, τη μουσική, την ψυχολογία, τη λογοθεραπεία, τον προγραμματισμό, την ακοολογία, την ωτορινολαρυγγολογία, τον κλάδο του μάρκετινγκ και ένα σωρό ακόμα επιστήμες. Ως εκ τούτου μπορεί και πρέπει να αντιμετωπίζεται ολιστικά. Με το πέρας των ετών η επισκευή ενός ψηφιακού ακουστικού όπως όλα δείχνουν θα αποτελεί μία αυτοματοποιημένη διαδικασία ρουτίνας, κάτι που συμβαίνει ήδη με τα περισσότερα ΟΩ ακουστικά ενώ άξιο αναφοράς είναι ότι και ο κλάδος της Τεχνητής Νοημοσύνης κερδίζει έδαφος με ταχύτατους ρυθμούς, όχι μόνο όσον αφορά τον ακοολογικό τομέα αλλά παντού γύρω μας, γεγονός όχι απαραίτητα ευοίωνο. Το ολοκληρωμένο κύκλωμα, το μεγάφωνο και το μικρόφωνο ήδη στα σύγχρονα ψηφιακά ΟΩ ακουστικά αποτελούν έναν αδιάσπαστο μηχανισμό, πράγμα που απλουστεύει τη διαδικασία αφού το μεγαλύτερο μέρος της επισκευής εκτελείται υπολογιστικά μέσω καθορισμένων βημάτων. Είναι άξιο αναφοράς ότι μερικά χρόνια πριν η σημερινή πραγματικότητα ακουγόταν σαν σενάριο επιστημονικής φαντασίας, αφού συχνά η επισκευή ενός ΟΩ ακουστικού επέβαλλε μία εξαιρετικά πολύπλοκη προσέγγιση που απαιτούσε λεπτούς χειρισμούς και επιδεξιότητα στις κολλήσεις. Ακόμα, μέσω σύγχρονου ακοολογικού εξοπλισμού όπως είναι το Aurical HIT, ο τεχνικός πλέον διαθέτει υποβοήθηση στον εντοπισμό της βλάβης που σε συνδυασμό με την εμπειρία, του γλιτώνουν πολύτιμο χρόνο εργασίας. Τα μηχανήματα τύπου testbox, όπως είναι το Aurical HIT, εκτός από την ικανότητά τους να εντοπίζουν βλάβες στο κύκλωμα, μπορούν να δώσουν χρήσιμες πληροφορίες και για την κατανάλωση της μπαταρίας. Ο έλεγχος κατανάλωσης μπαταρίας ή αλλιώς “battery drain” αποτελεί μία κατά τα άλλα χρονοβόρα διαδικασία που μέσω του συγκεκριμένου μηχανήματος είναι εφικτό να πραγματοποιηθεί μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα. Συνεπώς, γίνεται εύκολα κατανοητό ότι ο μηχανικός έχει στα χέρια του ένα πολύτιμο όπλο που τον βοηθάει να αποδίδει καλύτερα στην εργασία του.

Καθώς όλο και περισσότερος κόσμος αναζητά λύσεις ακοής και η τοποθέτηση ενός ακουστικού βαρηκοΐας δεν θεωρείται πλέον θέμα ταμπού, είναι σημαντικό ένα τόσο αυξημένου κόστους βοήθημα να δίνει στον πελάτη αυτά που έχει ανάγκη συν το κάτι παραπάνω. Νέας τεχνολογίας ακουστικά με σχεδιασμό υψηλής αισθητικής, επιλογές συνδεσιμότητας με άλλες συσκευές, ανθεκτικότητα στην υγρασία και μεγάλη διάρκεια ζωής είναι μερικά από τα χαρακτηριστικά που προσελκύουν ένα πιθανό αγοραστή. Ο βιοϊατρικός μηχανικός που απασχολείται στον κλάδο των ακουστικών δεν πρέπει να ξεχνάει ότι επιτελεί ένα λειτούργημα. Συνήθως οι άνθρωποι που έρχονται σε ένα ακοολογικό κέντρο έχουν ο καθένας από μία προσωπική ιστορία και ένα λόγο για τον οποίο τελικά μπήκαν στη διαδικασία να αναζητήσουν μία λύση ακοής. Από το παράπονο ότι κάποιος δεν μπορεί να ακούσει το κελάηδισμα ενός πουλιού, μέχρι το ότι το να κάνει μία συζήτηση με κάποιον σε θορυβώδες περιβάλλον του φαίνεται σαν άθλος, είναι σημαντικό οι άνθρωποι αυτοί να έχουν τη στήριξη και την κατανόηση που τους αξίζει.

Βιβλιογραφία

Abdulkareem, S., & Janajreh, I. (2020). *Modelling of hearing aid's digital signal processor. International Journal of Thermal and Environmental Engineering*, 17(02). <https://doi.org/10.5383/ijtee.17.02.005>

Bloom, P., & Boxman, P. (1955). *A transistor hearing aid. In Philips Technical Review (4th ed., Vol. 19, pp. 130–139)*. Retrieved October 10, 2024, from https://pearl-hifi.com/06_Lit_Archive/02_PEARL_Arch/Vol_16/Sec_53/Philips_Tech_Review/PTechReview-19-1957_58-130.pdf

Borra, G., & Standish, C. (2024). *How to Design Wearable Devices to be Waterproof: Hearing Aid Engineered from the Inside Out to be Waterproof and Weatherproof*. 2024 Design of Medical Devices Conference. <https://doi.org/10.1115/dmd2024-1052>

Bunch, C. C. (1943). *Clinical audiometry*. The C.V. Mosby Company, St. Louis.

Dun, C. A. J., Faber, H. T., De Wolf, M. J. F., Cremers, C. W. R. J., & Hol, M. K. S. (2011). *Overview over different systems: An overview of different systems: the Bone-Anchored Hearing Aid. In Advances in Oto-Rhino-Laryngology Implantable Bone Conduction Hearing Aids (Vol. 71)*. S.Karger AG. <https://doi.org/10.1159/000323577>

Edwards, B. (2007). *The future of hearing aid technology. Trends in Amplification*, 11(1), 31–45. <https://doi.org/10.1177/1084713806298004>

Feldman, H. (1970). *A History of Audiology: A comprehensive report and bibliography from the earliest beginnings to the present (22nd ed.)*. Illinois: The Beltone Institute for Hearing Research.

Gamry, N. (2013). *A Microcontroller-Based design for digital hearing aid devices. International Journal of Emerging Trends in Engineering and Development*, 4(3), 407–415. <https://rspublication.com/ijeted/july13/42.pdf>

Freeman, B. A., Ortega, J., Dueber, R., (2016). *What's the state of rechargeable batteries for hearing aids?* The Hearing Review. <https://hearingreview.com/hearing-products/hearing-aids/whats-state-rechargeable-batteries-hearing-aids>

Hall, J. W., (2015). *Κλινική ακοολογία*. Broken Hill Publishers.

Hersh, M. A., PhD, & Johnson, M. A., PhD. (2006). *Hearing-aid principles and technology. In Springer eBooks (pp. 71–115)*. <https://doi.org/10.1007/1-85233-855->

Jerger, J. (2009). *Audiology in the USA*. Plural Publishing.

Johnston, K. N., John, A. B., Kreisman, N. V., Hall, J. W., Crandell, C. C., Johnston, K. N., John, A. B., Kreisman, N. V., Hall, J. W., & Crandell, C. C. (2009). *Multiple benefits of personal FM system use by children with auditory processing disorder (APD)*. *International Journal of Audiology*, 48(6), 371–383. <https://doi.org/10.1080/14992020802687516>

Kerckhoff, J., Listenberger, J., & Valente, M. (2008). *Advances in hearing aid technology. Contemporary Issues in Communication Science and Disorders*, 35(Fall), 102–112. <https://doi.org/10.1044/cicsd.35.f.102>

Kricos, P. B. (2000). *The influence of nonaudiological variables on audiological rehabilitation outcomes*. *Ear And Hearing*, 21(Supplement), 7S–14S. <https://doi.org/10.1097/00003446-200008001-00003>

Pai, I., Kelleher, C., Nunn, T., Pathak, N., Jindal, M., O'Connor, A. F., & Jiang, D. (2012). *Outcome of bone-anchored hearing aids for single-sided deafness: A prospective study*. *Acta Oto-Laryngologica*, 132(7), 751–755. <https://doi.org/10.3109/00016489.2012.655862>

Popelka, G. (2010). *SoundBite Hearing System by Sonitus Medical: A New Approach to Single-Sided Deafness*. *Seminars in Hearing*, 31(04), 393–409. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1268037>

Rasmussen, J., Olsen, S. Ø., & Nielsen, L. H. (2011). *Evaluation of long-term patient satisfaction and experience with the Baha®bone conduction implant*. *International Journal of Audiology*, 51(3), 194-199. <https://doi.org/10.3109/14992027.2011.635315>

Schum, D. J. (2004). *Artificial intelligence: the new advanced technology in hearing aids*. *AudiologyOnline*. <https://www.audiologyonline.com/articles/artificial-intelligence-new-advanced-technology-1082>

Schweitzer, C. (1997). *Development of digital hearing aids*. *Trends in Amplification*, 2(2), 41–77. <https://doi.org/10.1177/108471389700200202>

Schaub, A. (2008). *Digital Hearing Aids*. Thieme Medical Publishers, New York.

Sivian, L. J., & White, S. D. (1933). On minimum audible sound fields. *Journal of the Acoustical Society of America*, 4, 288–321. <https://doi.org/10.1121/1.1915608>

Staab, W. J., & Lybarger, S. F. (1994). Characteristics and use of hearing aids. *Handbook of Clinical Audiology*, 24.

Najeeb, S. M. T., Singh, A., Chandel, S., Parveen, M., & Gupta, N. (2022). Study on Use of Bluetooth Technology in Hearing Aids among Adults. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 41(47), 1-7, <https://doi.org/10.9734/cjast/2022/v41i474024>

Thompson, S. C. (2003). Tutorial on microphone technologies for directional hearing aids. *The Hearing Journal*, 56(11), 14-16, <https://doi.org/10.1097/01.hj.0000292900.09293.32>

Balling, L. W., Mølgaard, L. L., Townend, O., & Nielsen, J. B. B. (2021). The Collaboration between Hearing Aid Users and Artificial Intelligence to Optimize Sound. *Seminars in Hearing*, 42(03), 282–294. <https://doi.org/10.1055/s-0041-1735135>

Wolfgang, K. (2019). Artificial intelligence and Machine Learning: pushing new boundaries in hearing technology. *The Hearing Journal*, 72(3), 26,27,30. <https://doi.org/10.1097/01.hj.0000554346.30951.8d>

Wiley, T. L., Chappell, R., Carmichael, L., Nondahl, D. M., & Cruickshanks, K. J. (2008). Changes in Hearing Thresholds over 10 Years in Older Adults. *Journal of the American Academy of Audiology*, 19(04), 281–292. <https://doi.org/10.3766/jaaa.19.4.2>

Wolfe, J., & Schafer, E. C. (2010). Basic principles of programming. In *Programming cochlear implants* (pp. 115–127). Plural Publishing.

Yanz, J. L., Ellessor, J., Kaempf, H. (2012). *Bringing Rechargeable Hearing Aids into the Mainstream Market*. *The Hearing Review*. 19(01), 28-

31. <https://hearingreview.com/hearing-products/hearing-aids/bringing-rechargeable-hearing-aids-into-the-mainstream-market>

Zeng, N. F., Rebscher, S., Harrison, W., Sun, N. X., & Feng, N. H. (2008). Cochlear Implants: System design, integration, and evaluation. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, *1*, 115–142. <https://doi.org/10.1109/rbme.2008.2008250>