ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Συσχέτιση Βιομετρικών Ενδείξεων με την Απώλεια Ακοής και Χρηστικότητα της Wearable Τεχνολογίας στην Ανάλυση των Συμπτωμάτων της

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αντώνιος Λουΐζος

Επιβλέπων : Δημήτριος - Διονύσιος Κουτσούρης

Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Νοέμβριος 2021

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Συσχέτιση Βιομετρικών Ενδείξεων με την Απώλεια Ακοής και Χρηστικότητα της Wearable Τεχνολογίας στην Ανάλυση των Συμπτωμάτων της

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αντώνιος Λουΐζος

Επιβλέπων : Δημήτριος - Διονύσιος Κουτσούρης
Καθηγητής ΕΜΠ

.....	.....	.....
Δ. Κουτσούρης	Γ. Ματσόπουλος	Π. Τσανάκας
Καθηγητής Ε.Μ.Π.	Καθηγητής Ε.Μ.Π.	Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Νοέμβριος 2021

.....
Αντώνης Λουΐζος
Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Αντώνης Λουΐζος 2021. Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.
Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.
Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους όσοι συνέβαλαν στην ολοκλήρωσή της καθώς και σε αυτούς που συνέβαλαν συνολικά σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Πρώτα από όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Κουτσούρη για την ανάθεση και την επίβλεψη της, καθώς και για την αψεγάδιαστη συνεργασία και καθοδήγηση που μου παρείχε σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής και όλους τους διδάσκοντες του τμήματος για τις γνώσεις που μου παρείχαν όλα αυτά τα χρόνια.

Περίληψη

Η παρούσα προπτυχιακή εργασία, εκπονήθηκε στα πλαίσια του Προγράμματος Σπουδών της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Το θέμα της διατριβής είναι η συσχέτιση ανάμεσα σε διάφορες βιομετρικές ενδείξεις και την απώλεια ακοής. Ο στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι να παρουσιάσει καταρχάς βιβλιογραφικά τη συσχέτιση της απώλειας ακοής με μετρήσεις ζωτικών λειτουργιών του ανθρώπου όπως ο ρυθμός αναπνοής, οι παλμοί της καρδιάς, και άλλα που θα αναπτυχθούν παρακάτω και στη συνέχεια να εντοπίσει τη σημασία και χρησιμότητα της καταγραφής τους μέσω αισθητήρων wearables με σκοπό την καλύτερη επίβλεψη και πρόληψη συμπτωμάτων / φαινομένων απώλειας ακοής.

Αρχικά η εργασία επικεντρώνεται στην αστοχία της απώλειας της ακοής δίνοντας βάση τόσο στην ανατομία του αυτιού, τις κατηγορίες απώλειας ακοής, τις βασικές αιτίες, τις μεθόδους διάγνωσης και τέλος τους ενδεικτικούς τρόπους θεραπείας αυτών. Στη συνέχεια στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται τμηματοποιημένα η βιβλιογραφική ανασκόπηση της επιστημονικής αρθρογραφίας όπου εντοπίζεται και αξιολογείται ο βαθμός συσχετισμού του κάθε βιομετρικού δείκτη με φαινόμενα απώλειας ακοής.

Το τέταρτο κεφάλαιο εστιάζει στην δομή και βασική αρχιτεκτονική των wearables συσκευών παρουσιάζοντάς μια σύντομη ιστορική αναδρομή καθώς και την τεχνολογική επιτομή τους σήμερα. Παράλληλα γίνεται αναφορά στο τρόπο με τον οποίο πραγματοποιείται η διαχείριση των πρωτογενών παραγόμενων δεδομένων με σκοπό, όχι μόνο την καταγραφή τους αλλά την επεξεργασία και ανάλυση τους.

Τέλος το πέμπτο κεφάλαιο εστιάζει στην ανάλυση του τρόπου καταγραφής των υπό έρευνα βιομετρικών δεικτών ενώ παρουσιάζεται συγκεντρωτικά ο συσχετισμός κάθε δείκτη με την απώλεια της ακοής.

Λέξεις κλειδιά

Απώλεια ακοής, wearable technology, βιομετρικές ακοής, βιομετρικοί δείκτες

ABSTRACT

The present undergraduate thesis was prepared in the framework of the Curriculum of the School of Electrical and Computer Engineering of the National Technical University of Athens. The subject of the dissertation is the correlation between various biometric readings and hearing loss. The aim of the dissertation is to first present in the literature the correlation of hearing loss with measurements of vital human functions such as respiration rate, heart rate, and others that will be developed below and then to identify the importance and usefulness of recording them through wearables sensors for better monitoring and prevention of symptoms / effects of hearing loss.

Initially the dissertation focuses on the failure of hearing loss explaining the anatomy of the ear, the categories of hearing loss, the main causes, the methods of diagnosis and finally the indicative ways of their treatment. Then, in the third chapter, the bibliographic review of the scientific articles is presented in sections, where the degree of correlation of each biometric index with hearing loss phenomena is identified and evaluated.

The fourth chapter focuses on the structure and basic architecture of wearables devices, presenting a brief historical background as well as their technological summary today. At the same time, reference is made to the way in which the primary generated data is managed in order, not only to record them but also to process and analyze them.

Finally, the fifth chapter focuses on the analysis of how the biometric indicators under investigation are recorded, while the correlation of each indicator with hearing loss is presented in a centralized way.

Keywords

Hearing loss, wearable technology, biometric hearing aids, biometric indicators

Περιεχόμενα

Λίστα Πινάκων 3

1. Εισαγωγή 5

2. Απώλεια Ακοής 6

2.1. Ερμηνεία του προβλήματος 6

2.2. Ανατομία και Φυσιολογία του Ανθρώπινου Αυτιού 9

2.2.1. Έξω Ους | Εξωτερικό Αυτί 9

2.2.2. Μέσο Ους | Μέσο Αυτί 10

2.2.3. Έσω Ους | Εσωτερικό Αυτί 11

2.3. Κατηγορίες απώλειας ακοής 12

2.3.1. Αγώγιμη Απώλεια Ακοής 13

2.3.2. Νευροαισθητηριακή Απώλεια Ακοής 15

2.3.3. Λειτουργική Απώλεια Ακοής 18

2.3.4. Κεντρική Απώλεια Ακοής 19

2.3.5. Μικτή Απώλεια Ακοής 19

2.4. Βασικές αιτίες απώλειας ακοής 20

2.4.1. Μόλυνση του αυτιού 20

2.4.2. Συγγενής απώλεια ακοής 21

2.4.3. Έκθεση σε παρατεταμένο ή υπερβολικό θόρυβο 22

2.5. Μέθοδοι διάγνωσης απώλειας ακοής 23

2.5.1. Κλινική Εξέταση 23

2.5.2. Ακοομετρική Αξιολόγηση 26

2.6. Θεραπεία 29

3. Συσχετισμός Βιομετρικών Δεικτών και Απώλειας Ακοής 32

3.1. Βιομετρικοί Δείκτες και Μη παρεμβατική Καταγραφή 32

3.2. Καρδιακός παλμός 33

3.3. Αρτηριακή πίεση 35
3.4. Κορεσμός οξυγόνου στο αίμα 36
3.5. Γλυκόζη στο αίμα 37
3.6. Ρυθμός αναπνοής 39
3.7. Γαλβανική απόκριση του δέρματος 40
3.8. Θερμοκρασία σώματος 44
3.9. Ύπνος 45
4. Τεχνολογία Wearable 48
4.1. Εισαγωγή στην τεχνολογία των Wearables 48
4.2. Πρόσφατες τάσεις και προκλήσεις 57
4.2.1. Εφαρμογές ανάκτησης και επεξεργασίας δεδομένων 58
4.2.2. Τεχνικές αξιοποίησης των επεξεργασμένων δεδομένων 60
4.3. Βασικές Αρχές και Δομή Επικοινωνίας 62
5. Καταγραφή Βιομετρικών Δεικτών 67
5.1. Μέθοδοι Καταγραφής Δεδομένων 67
5.1.1. Καρδιακός Παλμός, Αρτηριακή Πίεση, Κορεσμός Οξυγόνου & Γλυκόζη στο Αίμα 67
5.1.2. Ρυθμός αναπνοής, Ύπνος & Θερμοκρασία 69
5.1.3. Γαλβανική απόκριση του δέρματος 70
5.2. Συγκεντρωτική απόδοση του συσχετισμού των ενδείξεων 70
6. Συμπεράσματα 75
Βιβλιογραφία 77

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1 8
Πίνακας 2 30
Πίνακας 3 39
Πίνακας 4 65
Πίνακας 5 70
Πίνακας 6 72

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1 6
Εικόνα 2 9
Εικόνα 3 11
Εικόνα 4 11
Εικόνα 5 12
Εικόνα 6 14
Εικόνα 7 14
Εικόνα 8 16
Εικόνα 9 16
Εικόνα 10 17
Εικόνα 11 17
Εικόνα 12 18
Εικόνα 13 20
Εικόνα 14 24
Εικόνα 15 25
Εικόνα 16 26
Εικόνα 17 27
Εικόνα 18 28
Εικόνα 19 29
Εικόνα 20 41
Εικόνα 21 43
Εικόνα 22 44
Εικόνα 23 47

Εικόνα 24 49
Εικόνα 25 49
Εικόνα 26 51
Εικόνα 27 51
Εικόνα 28 51
Εικόνα 29 52
Εικόνα 30 53
Εικόνα 31 53
Εικόνα 32 54
Εικόνα 33 55
Εικόνα 34 56
Εικόνα 35 57
Εικόνα 36 60
Εικόνα 37 61
Εικόνα 38 64
Εικόνα 39 65
Εικόνα 40 66
Εικόνα 41 68
Εικόνα 42 68
Εικόνα 43 70

1. Εισαγωγή

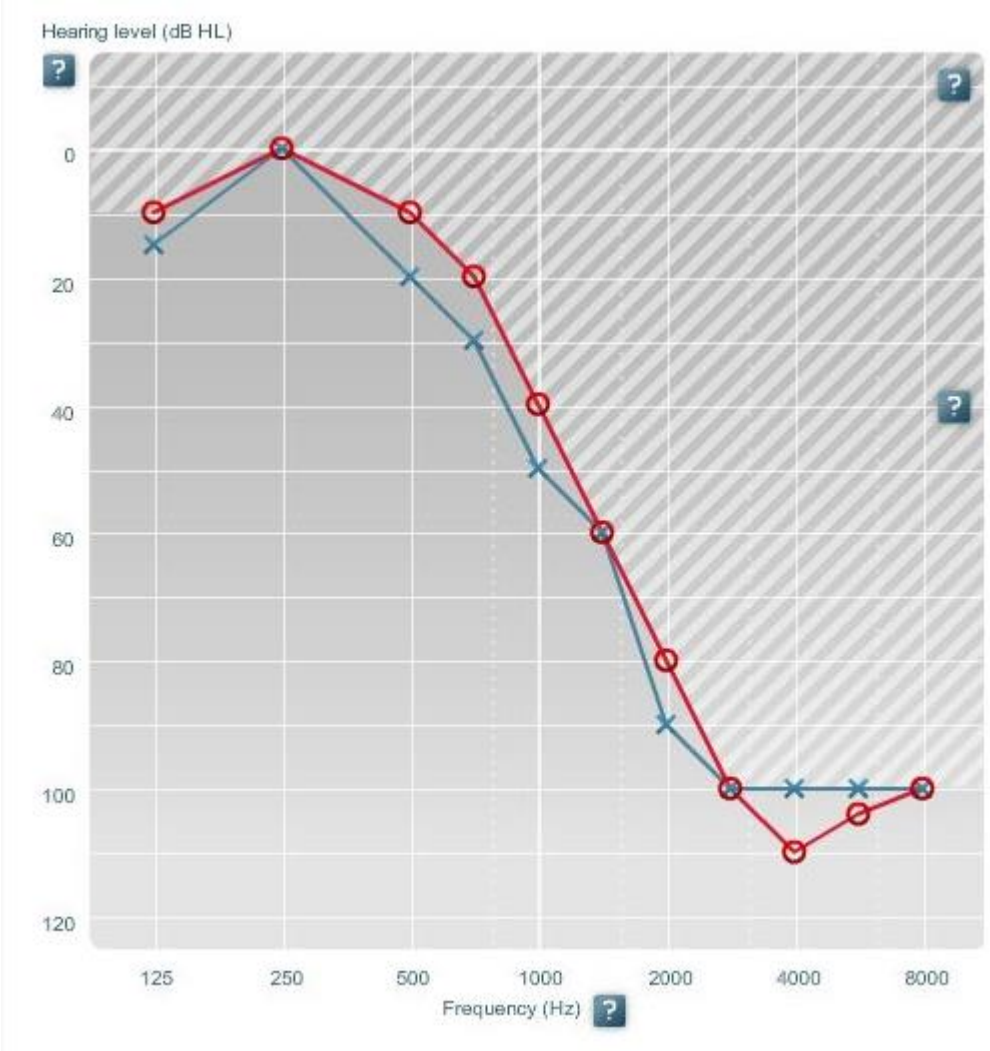
Ο τομέας των τεχνολογιών και της ψηφιακής πληροφορίας στη σύγχρονη εποχή, διαδραματίζει εξαιρετικά σημαντικό ρόλο στην κοινωνία. Ο ψηφιακός μετασχηματισμός των υφιστάμενων εφαρμογών / πρακτικών αλλά και η εισαγωγή νέων τεχνολογιών επηρεάζει όλους τους τομείς της ανθρώπινης συμπεριφοράς και εξέλιξης, από τις κοινωνικές διαδράσεις στις βασικές ανάγκες μέχρι σε θέματα που σχετίζονται με την υγειονομική περίθαλψη. Πιο συγκεκριμένα, το αντίκτυπο των νέων τεχνολογιών στη βελτίωση της υγείας και της ευημερίας των ατόμων της σύγχρονης κοινωνίας αποτελεί σημαντικό γεγονός που βρίσκεται σε ένα στάδιο συνεχόμενης εξέλιξης και εφαρμογής. Η παρακολούθηση και ανάλυση της ψυχοπαθολογικής κατάστασης ενός ανθρώπου αποτελεί ένα από τα βασικότερα στάδια στην αξιολόγηση της ποιότητας της ζωής του ενώ δίνει τη δυνατότητα για την στοχευμένη υγειονομική επέμβαση με βάση τη σταθερή καταγραφή των βιομετρικών δεικτών του. Η απώλεια της ακοής συσχετίζεται με διάφορους βιομετρικούς δείκτες οι οποίοι δύναται να καταγραφούν να αναλυθούν και μετά από την επεξεργασία των παραγόμενων δεδομένων να βοηθήσουν στην εξειδικευμένη υγειονομική επέμβαση στον ασθενή.

Η επιτομή των τεχνολογικών εφαρμογών των wearable συσκευών, καθίσταται εξαιρετικά δημοφιλής σε τομείς εφαρμογής όπως η κλινική ιατρική, η υγειονομική περίθαλψη, η διαχείριση της υγείας, οι χώροι εργασίας, η εκπαίδευση και η επιστημονική έρευνα. Η ψηφιακή επανάσταση προσφέρει λοιπόν μια σαφή ευκαιρία για την βελτίωση της υγειονομικής περίθαλψης. Η υιοθέτηση των νέων τεχνολογιών, εφαρμογών και συσκευών που σχετίζονται με την υγεία χρησιμοποιείται από όλο και περισσότερα άτομα σε καθημερινή βάση. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχουν πολλές φορητές συσκευές όπως, έξυπνα ρολόγια που μπορούν να καταγράψουν ζωτικά σημεία όπως τον καρδιακό ρυθμό, τον αναπνευστικό ρυθμό, τον κορεσμό του οξυγόνου και την αρτηριακή πίεση. Αυτές οι συσκευές είναι όλο και πιο ακριβείς και αξιόπιστες, μικρότερες και πιο εύχρηστες. Επιπλέον, οι συσκευές μπορούν να οδηγήσουν σε βελτιωμένα αποτελέσματα για την υγεία και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως διαγνωστικό εργαλείο για τον εντοπισμό πολλών ασθενειών αλλά και την πορεία της κλινικής εικόνας κατά την εισαγωγή (Appelboom et al., 2014).

2. Απώλεια Ακοής

2.1. Ερμηνεία του προβλήματος

Ως ακοή ορίζεται η ικανότητα ενός έμβιου οργανισμού να αντιλαμβάνεται τους ήχους του περιβάλλοντος και πραγματοποιείται κυρίως από το ακουστικό σύστημα όπου τα μηχανικά κύματα, γνωστά ως δονήσεις, ανιχνεύονται από το αυτί και μεταφέρονται σε μορφή νευρικών παλμών ώστε να γίνουν αντιληπτά από τον εγκέφαλο. Επιπροσθέτως, ο ήχος εμφανίζεται σε ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων μιας και το ανθρώπινο αυτί είναι ευαίσθητο και ικανό να αντιλαμβάνεται ηχητικά ερεθίσματα σε μια συγκεκριμένη ζώνη συχνοτήτων εντός του ηχητικού φάσματος που εκφράζεται σε ντεσιμπέλ (dB) και εντοπίζεται συνήθως μεταξύ 20 Hz και 20, 000 Hz (Hertz) (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**).



Εικόνα 1 Χαρακτηριστικό παράδειγμα διαγράμματος ακοογράμματος όπου παρουσιάζονται το εύρος των db και των Hz για τα δύο αυτιά (μπλέ-κόκκινο) (WoodardHearing, 2020).

Είναι εξαιρετικά οδυνηρό για κάποιον, όταν αντιληφθεί μια μεταβολή στην ευαισθησία της ακοής του. Όταν παραδείγματος χάρη εμφανίσει κάποια δυσκολία στην αντίληψη των καθαρών τόνων, ανεπηρέαστα από την έκθεση του σε δυνατή μουσική ή άλλους θορύβους είτε να συνειδητοποιήσει ότι αντιμετωπίζει ικανά προβλήματα στην κατανόηση της ομιλίας ακόμη και σε ένα ήσυχο περιβάλλον και συνολικά αντιληφθεί σαφείς αλλαγές στην ακουστική λειτουργία.

Συχνά οι περισσότεροι θεωρούν δεδομένη την αίσθηση της ακοής χωρίς να συνειδητοποιούν εις βάθος τι ακριβώς τους επιτρέπει η καλή ακοή. Χωρίς την αίσθηση της ακοής, η επικοινωνία με τους συνανθρώπους περιορίζεται σε μεγάλο βαθμό και το μέγεθος του συγκεκριμένου προβλήματος αναγνωρίζεται από την έντονη προσπάθεια και τους τρόπους με τους οποίους η ανθρωπότητα προσπαθεί να αντιμετωπίσει αυτή την αστοχία (Powell et al., 2019). Χαρακτηριστικά, παραδείγματα άξια αναφοράς αποτελούν η υποκατάσταση της μεθόδου επικοινωνίας σε φαινόμενα απώλειας ακοής μέσω της νοηματικής γλώσσας, η οποία αντικαθιστά την ακοή με την όραση ή τα κοχλιακά εμφυτεύματα, τα οποία αποκαθιστούν την ακοή σε μεγάλο βαθμό.

Η απώλεια της αίσθηση της ακοής, αποτελεί ένα συχνό παθολογικό χαρακτηριστικό, κυρίαρχο στην σύγχρονη ανθρώπινη κοινωνία με σοβαρές υγειονομικές, καθώς και κοινωνικές προεκτάσεις. Με βάση τα πρόσφατα στοιχεία του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (σ.σ. ΠΟΥ / WHO), το ποσοστό του παγκόσμιου πληθυσμού το οποίο παρουσιάζει απώλεια ακοής εκτιμάται στο 5% (περίπου 470 εκατομμύρια άνθρωποι) (WHO, 2020) ενώ εκτιμάται πως έως το 2050, περισσότερα από 900 εκατομμύρια άτομα θα αντιμετωπίσουν προκλήσεις σχετιζόμενες με την απώλεια της ακοής ή κάποια συναφή αστοχία στην ακουστική λειτουργία. Σε μία προσπάθεια ορισμού της απώλειας της αίσθησης της ακοής, ο ΠΟΥ τοποθετείται ως εξής (WHO, 2020):

> *Ένα άτομο που δεν μπορεί να ακούσει όπως κάποιος με φυσιολογική ακοή - όριο ακοής 25 dB ή περισσότερα και στα δύο αυτιά - αναγνωρίζεται ότι πάσχει από απώλεια ακοής. Η απώλεια ακοής μπορεί να είναι ήπια, μέτρια, σοβαρή ή εξαιρετικά σοβαρή, καθώς επίσης μπορεί να επηρεάσει το ένα ή και τα δύο αυτιά και ως αποτέλεσμα να οδηγήσει σε δυσκολία στην ακρόαση ή / και την συνομιλία.*

Σε μια παράλληλη ερμηνεία ο Eggermont (2017), αναφέρει πως η απώλεια ακοής περιλαμβάνει τη μειωμένη ευαισθησία σε «καθαρούς» τόνους (pure tones) και συσχετιζόμενα προβλήματα στην κατανόηση της ομιλίας. Συνολικά αποτελεί μια από της μεγαλύτερες προκλήσεις και ένα από τα πιο διακριτά προβλήματα που αντιμετωπίζει η σύγχρονη ιατρική, όχι μόνο λόγο του μεγέθους του πληθυσμού που ταλαιπωρείται, αλλά ειδικότερα λόγο του γεγονότος πως μπορεί να επηρεάσει σε εξαιρετικά μεγάλο βαθμό την ψυχική ισορροπία του ασθενή μιας και μια ήπια απώλεια ακοής μπορεί μερικές φορές να προκαλέσει εξαιρετικά έντονη ψυχολογική διαταραχή (Kaland & Salvatore, 2002; Knutson & Lansing, 1990). Παρακάτω παρουσιάζεται ο βασικός πίνακας με την ποσοτικοποιημένη κατηγοριοποίηση των ακουστικών αστοχιών καθώς και την περιγραφή της τυπικής βλάβης που συνεπάγονται.

Πίνακας 1 Πίνακας με την κατηγοριοποίηση του βαθμού ακουστικής βλάβης (Olusanya et al., 2019)

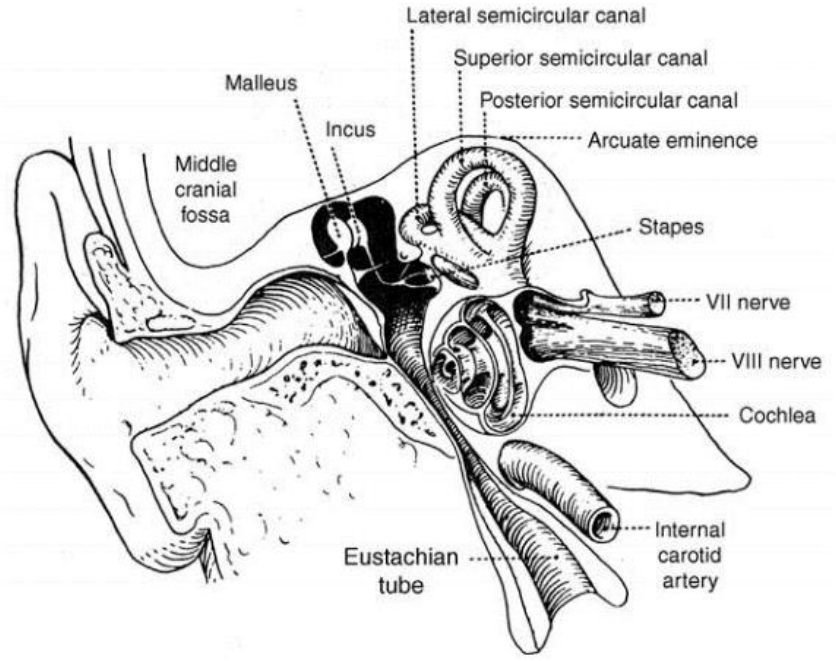
Βαθμός Βλάβης	Ακουομετρική τιμή ISO (μέσος όρος 500.1000, 2000, 4000 Hz)	Περιγραφή βλάβης
0 (Μη ύπαρξη βλάβης)	25 dB ή λιγότερο	Όχι ή πολύ ελαφρά προβλήματα ακοής. Ικανός να ακούσει ψίθυρους
1 (Ελαφριά βλάβη)	26-40 dB	Δυνατότητα ακρόασης και επανάληψης λέξεων με κανονική φωνή σε 1 μέτρο
2 (Μέτρια βλάβη)	41-60 dB	Δυνατότητα ακρόασης και επανάληψης λέξεων χρησιμοποιώντας υπερυψωμένη φωνή στα 1 μέτρα
3 (Έντονη βλάβη)	61-80 dB	Ικανότητα ακρόασης κάποιων λέξεων με υπερυψωμένη φωνή στο λειτουργικό αυτί
4 (Βαθιά βλάβη συμπεριλαμβανομένης της κώφωσης)	81 dB ή περισσότερο	Ανικανότητα ακρόασης και κατανόησης ήχων ακόμα και υπερυψωμένων

2.2. Ανατομία και Φυσιολογία του Ανθρώπινου Αυτιού

Το αυτί χωρίζεται σε τρεις κύριες ανατομικές διαιρέσεις: α) το εξωτερικό αυτί, β) το μεσαίο αυτί και γ) το εσωτερικό αυτί (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**). Ο ήχος δημιουργεί δονήσεις στον αέρα οι οποίες μεταδίδονται με τη μορφή ηχητικών κυμάτων. Το εξωτερικό αυτί συλλέγει αυτά τα ηχητικά κύματα τα οποία και διοχετεύονται κάτω από το εξωτερικό κανάλι του αυτιού στο τύμπανο (τυμπανικός υμένας). Καθώς τα ηχητικά κύματα αντιδρούν με το τύμπανο, προκαλούν δονήσεις. Οι δονήσεις μεταδίδονται με μηχανική δράση μέσω του μεσαίου αυτιού και με τη σειρά τους, προκαλούν τη δόνηση των μεμβρανών πάνω από τα ανοίγματα στο εσωτερικό αυτί, προκαλώντας την κίνηση του υγρού που βρίσκεται στο εσωτερικό αυτί. Η κίνηση του υγρού στο εσωτερικό αυτί διεγείρει τα νευρικά κύτταρα παράγοντας ηλεκτροχημικά ερεθίσματα που συγκεντρώνονται και μεταδίδονται στον εγκέφαλο από το ακουστικό νεύρο (Sataloff & Sataloff, 2005).

2.2.1. Έξω Ους | Εξωτερικό Αυτί

Το εξωτερικό αυτί έχει δύο μέρη: α) το πτερύγιο στο πλάι της κεφαλής β) τον έξω ακουστικό πόρο, ένα σωλήνα που οδηγεί από το αυτί στον τυμπανικό υμένα (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**) και γ) τον τυμπανικό υμένα που είναι μια λεπτή λειτουργική μεμβράνη που ουσιαστικά διαχωρίζει τον εξωτερικό από τον εσωτερικό ακουστικό πόρο.

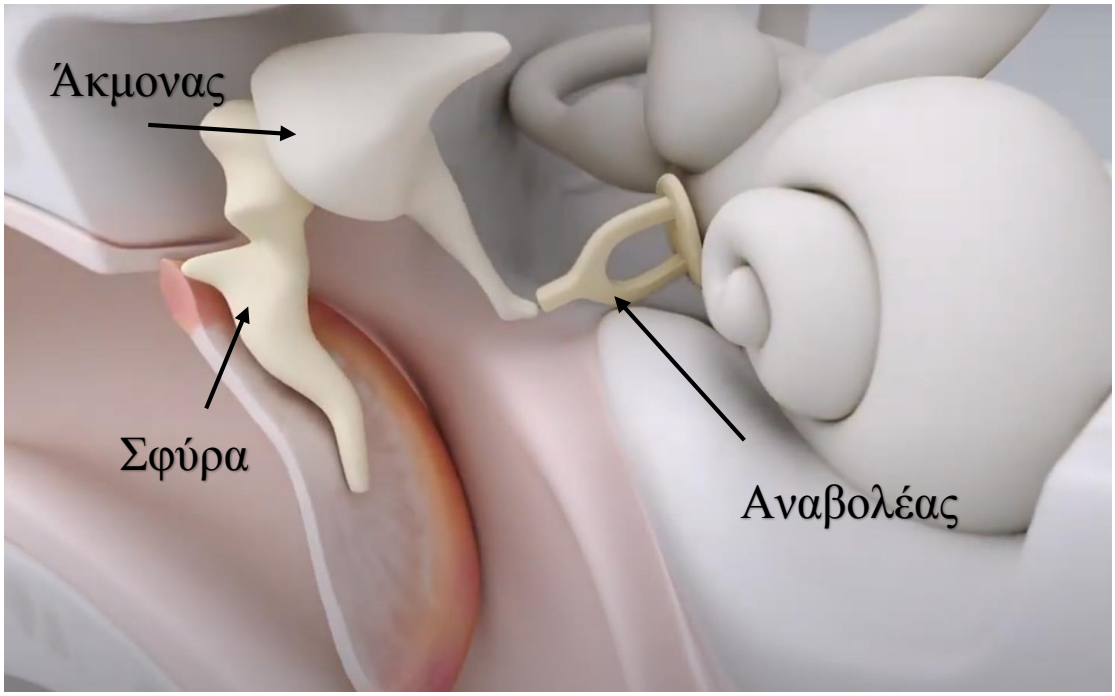


Εικόνα 2 Διαγραμματική διατομή του αυτιού (Sataloff & Sataloff, 2005).

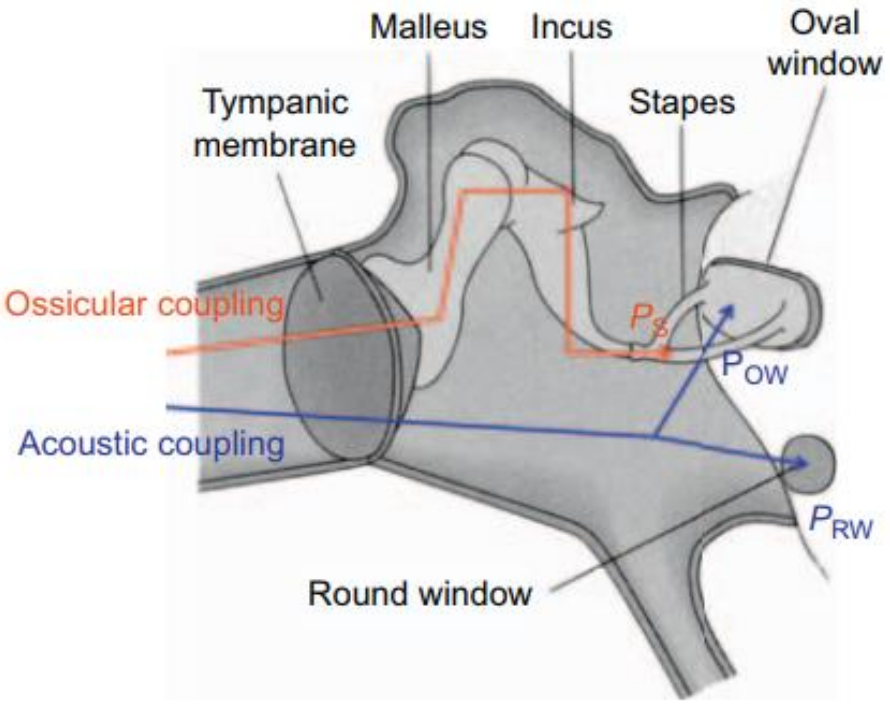
Το πτερύγιο του αυτιού ξεχωρίζει για τις πολλές αυλακώσεις και κοιλότητες του, ενώ καλύπτεται εξ ολοκλήρου από δέρμα. Η κοιλότητα στην είσοδο του ακουστικού καναλιού ονομάζεται έξω ακουστικός πόρος ή αλλιώς *concha*. Παράλληλα, το ακουστικό κανάλι (*ear canal*) είναι ένας σωλήνας μήκους περίπου 25-35mm από τον έξω ακουστικό πόρο έως το τύμπανο ή τυμπανική μεμβράνη, μια λεπτή και πολύ ελαστική μεμβράνη που χωρίζει το έξω από το μέσο αυτί.. Η βασική λειτουργία του έξω αυτιού είναι το γεγονός πως ουσιαστικά βοηθάει τον άνθρωπο να εντοπίσει από που προέρχονται οι ηχητικές πηγές. Επίσης ενισχύει κάποιες συχνότητες έναντι κάποιων άλλων ενώ ο εντοπισμός της ηχητικής πηγής επιτυγχάνεται λόγω της ακουστικής επίδρασης του πτερυγίου και του έξω ακουστικού πόρου.

2.2.2. Μέσο Ους | Μέσο Αυτί

Το μέσο αυτί είναι μία αεροφόρος κοιλότητα στην οποία βρίσκονται τα τρία ακουστικά οστάρια ή αλλιώς η ακουστική άλυσος, τα οποία είναι η σφύρα (malleus), ο άκμονας (incus) και ο αναβολέας (stapes) (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.** & **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**). Ο χώρος μεταξύ του τυμπανικού υμένα και του εσωτερικού αυτιού ονομάζεται το κοίλο του τυμπάνου. Μέρος του μέσου αυτιού είναι και η ευσταχιανή σάλπιγγα, η οποία αποτελεί αεραγωγό σωλήνα μήκους 3,5 περίπου εκατοστών, μέσω της οποίας το μέσο αυτί επικοινωνεί με τον ρινοφάρυγγα.



Εικόνα 3 Τρισδιάστατη αναπαράσταση του μεσαίου αυτιού όπου διακρίνονται τα τρία ακουστικά οστάρια, σφύρα, άκμονας και αναβολέας Τροποποιημένο από (Javitz Productions, 2020).

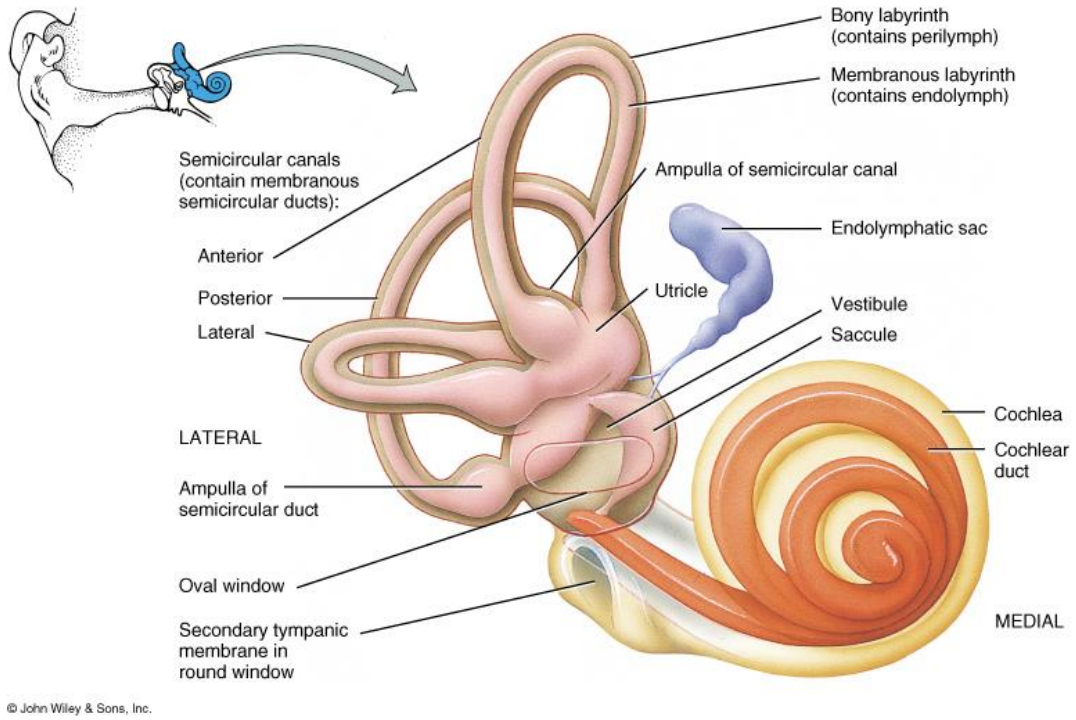


Εικόνα 4 Γραφική απεικόνιση της ζεύξης από τον ήχο του περιβάλλοντος στον κοχλία (Eggermont, 2017)

2.2.3. Έσω Ους | Εσωτερικό Αυτί

Το έσω αυτί ονομάζεται και λαβύρινθος λόγω της πολύπλοκης κατασκευής του και είναι, ίσως, το πιο πολύπλοκο μέρος του ανθρώπινου σώματος. Η βασική λειτουργία του είναι το γεγονός πως κάνει δυνατή την αίσθηση της ακοής μετατρέποντας τον ήχο σε ηλεκτρικά σήματα, τα οποία στη συνέχεια ταξιδεύουν κατά μήκος του ακουστικού νεύρου στον εγκέφαλο.

Επιπλέον, το εσωτερικό αυτί παίζει ρόλο και στην ισορροπία του ανθρώπου. Χάρη στο λαβύρινθο του αυτιού δύναται να αντιληφθεί την επιτάχυνση του κεφαλιού σε κάθε διεύθυνση, είτε σε ευθεία γραμμή είτε σε περιστροφή. Μέσα σ' αυτόν το λαβύρινθο εντοπίζεται ένα υγρό που λέγεται λέμφος και τα βασικά τμήματα του λαβύρινθου είναι ο κοχλίας (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**), η αίθουσα και οι τρεις ημικύκλιοι σωλήνες. Από το έσω αυτί ξεκινά το ακουστικό νεύρο (όγδοη εγκεφαλική συζυγία) που καταλήγει στα αντίστοιχα εγκεφαλικά κέντρα του ακουστικού φλοιού του εγκεφάλου.



Εικόνα 5 Γραφική απεικόνιση της ανατομίας του εσωτερικού αυτιού όπου διακρίνονται ο λαβύρινθος και η κοχλία (Teach Me Anatomy, 2020).

2.3. Κατηγορίες απώλειας ακοής

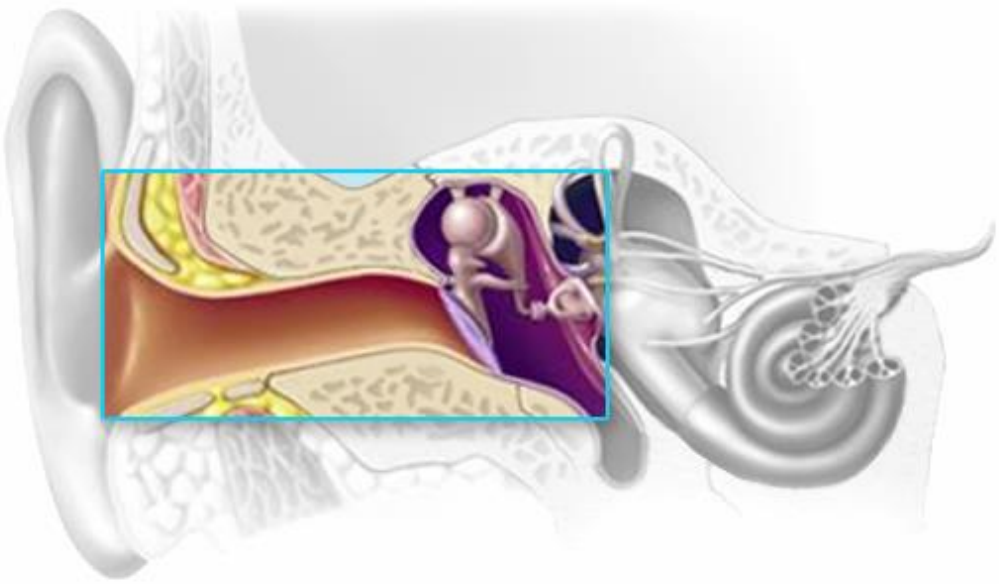
Παρά τις πρόσφατες εξελίξεις στην ωτορινολαρυγγολογία και πιο συγκεκριμένα την ωτολογία (σ.σ. που εξειδικεύεται στη λειτουργία του αυτιού και του αιθουσαίου συστήματος), η ιατρική κοινότητα εκφράζει την άποψη πως εξακολουθεί να εντοπίζεται έλλειψη σε ορισμένες κρίσιμες πληροφορίες σχετικά με τη λειτουργεία του αυτιού και, ως αποτέλεσμα, δεν είναι εφικτό πάντα να προσδιοριστεί η αιτία της κώφωσης (Danermark et al., 2010). Σε κάθε περίπτωση, εάν είναι εφικτό να διαπιστωθεί η περιοχή / σημείο της βλάβης στο ακουστικό σύστημα, είναι δυνατόν να αποφασιστεί η καλύτερη διαθέσιμη διάγνωση και η κατ' επέκταση θεραπεία. Όσον αφορά την βασική κατηγοριοποίηση των ειδών απώλειας ακοής, κατά την διαδικασία ταξινόμησης τους, εντοπίζεται το σημείο στο οποίο έχει υποστεί βλάβη η ακουστική οδός και προσδιορίζεται εάν η απώλεια ακοής του ασθενούς είναι: α) αγώγιμη, β) νευροαισθητήρια, γ) λειτουργική, δ) κεντρική ή ε) ένας συνδυασμός των παραπάνω. Πέρα από την βασική κατηγοριοποίηση, η απώλεια της αίσθησης της ακοής διακρίνεται και με βάση διάφορα άλλα διακριτά χαρακτηριστικά όπως: α) το να είναι μονομερής ή διμερής, β) συμμετρική ή ασύμμετρη και γ)προοδευτική ή ξαφνική.

2.3.1. Αγώγιμη Απώλεια Ακοής

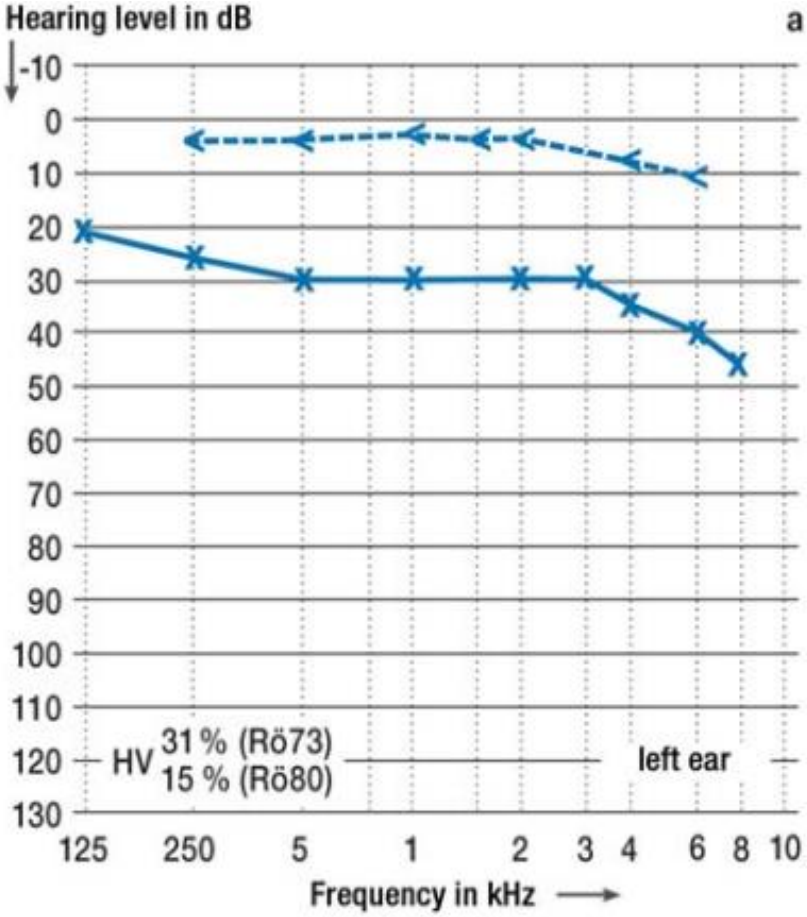
Η αγώγιμη απώλεια ακοής (Hartley & Moore, 2003) οφείλεται σε οποιαδήποτε κατάσταση που επηρεάζει τη μετάδοση ήχου μέσω του εξωτερικού, του μέσου και του εσωτερικού αυτιού (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**). Εάν βρίσκεται στο μεσαίο αυτί, η βλάβη μπορεί να περιλαμβάνει βλάβη στον αναβολέα, όπως στην πάθηση της ωτοσκλήρυνσης, ή την κινητικότητα του τυμπάνου και των ακουστικών οσφυρίων που προκαλούνται από την παρουσία υγρού (Bluestone et al., 2002).

Οι αγώγιμες απώλειες ακοής είναι γενικά διορθώσιμες και ορισμένα ευρήματα είναι χαρακτηριστικά για την διάγνωση τους (Lauer et al., 2019). Οι πιο ουσιαστικές ενδείξεις είναι το γεγονός ότι ο ασθενής ακούει καλύτερα από τα οστά παρά με την αγωγή μέσω αέρα. Μεταξύ των διακριτικών χαρακτηριστικών της αγώγιμης απώλειας ακοής που προκαλούνται από προσεκτική ανασκόπηση είναι τα ακόλουθα (εκτός από αυτά που αναφέρονται παραπάνω) (Sataloff & Sataloff, 2005):

i. Ο ασθενής δεν παρουσιάζει καμία δυσκολία να κατανοήσει τι ακούει όσο οι άνθρωποι στο περιβάλλον του, μιλούν αρκετά δυνατά (επειδή σε απλή αγώγιμη απώλεια ακοής επηρεάζεται μόνο το κρίσιμο όριο ακοής).
ii. Ο ασθενής ακούει συχνά καλύτερα σε θορυβώδεις περιοχές, όπως παραδείγματος χάριν μέσα σε μέσα μαζικής μεταφοράς. Ο λόγος για αυτό είναι ότι οι άνθρωποι μιλούν δυνατά σε θορυβώδη μέρη και ο ασθενής μπορεί να ακούσει τη φωνή του πάνω από τους περιβάλλοντες θορύβους.
iii. Ένα ακόμη διαγνωστικό κριτήριο στην αγώγιμη απώλεια ακοής το οποίο είναι σχετιζόμενο με την εμφάνιση ωτοσκλήρυνσης (Smyth, 1982), είναι η εξαιρετικά απαλή / χαμηλή φωνή του ασθενούς. Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό της απαλή φωνής υποδηλώνει παρουσία απώλειας ακοής. Η χαμηλή ένταση στη φωνή του ασθενή προκύπτει από το γεγονός πως λόγο της προαναφερθείσας αστοχίας κατά την ομιλία ο ασθενής θεωρεί πως η ένταση της φωνής του / της είναι μεγαλύτερη από ότι στην πραγματικότητα.



Εικόνα 6 Γραφική απεικόνιση (σκίαση) της περιοχής αστοχίας στην ανατομία του αυτιού κατά την αγώγιμη απώλεια ακοής.



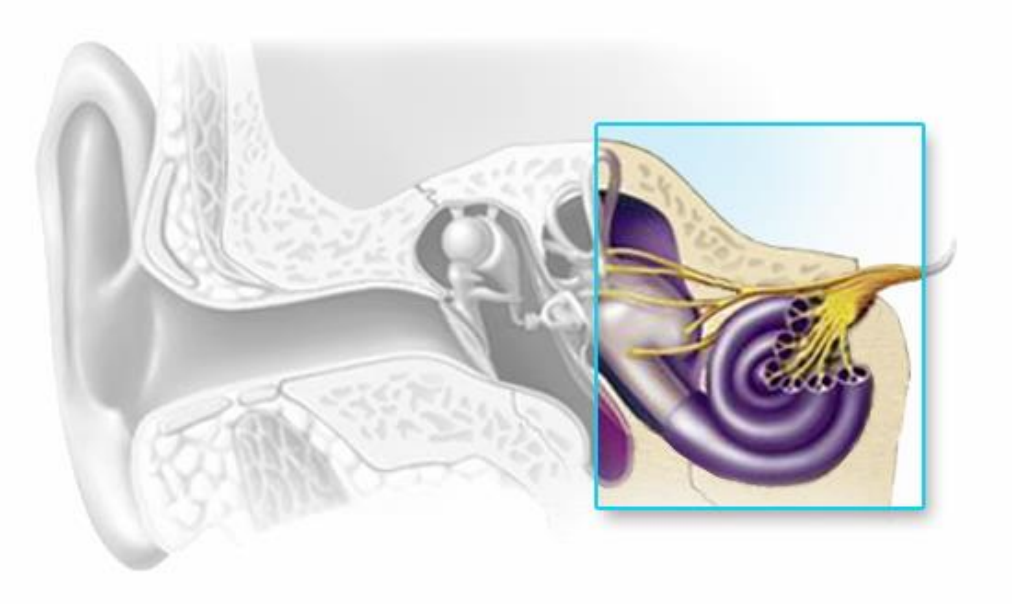
Εικόνα 7 Γραφική αναπαράσταση ακουομετρίας καθαρών τόνων αποκαλύπτει διαφορά μεταξύ των ορίων αγωγιμότητας αέρα (x-x-x) και αγωγιμότητας οστών (<- <- <) της περιοχής αστοχίας στην ανατομία του αυτιού κατά την αγώγιμη απώλεια ακοής (Zahnert, 2011).

2.3.2. Νευροαισθητηριακή Απώλεια Ακοής

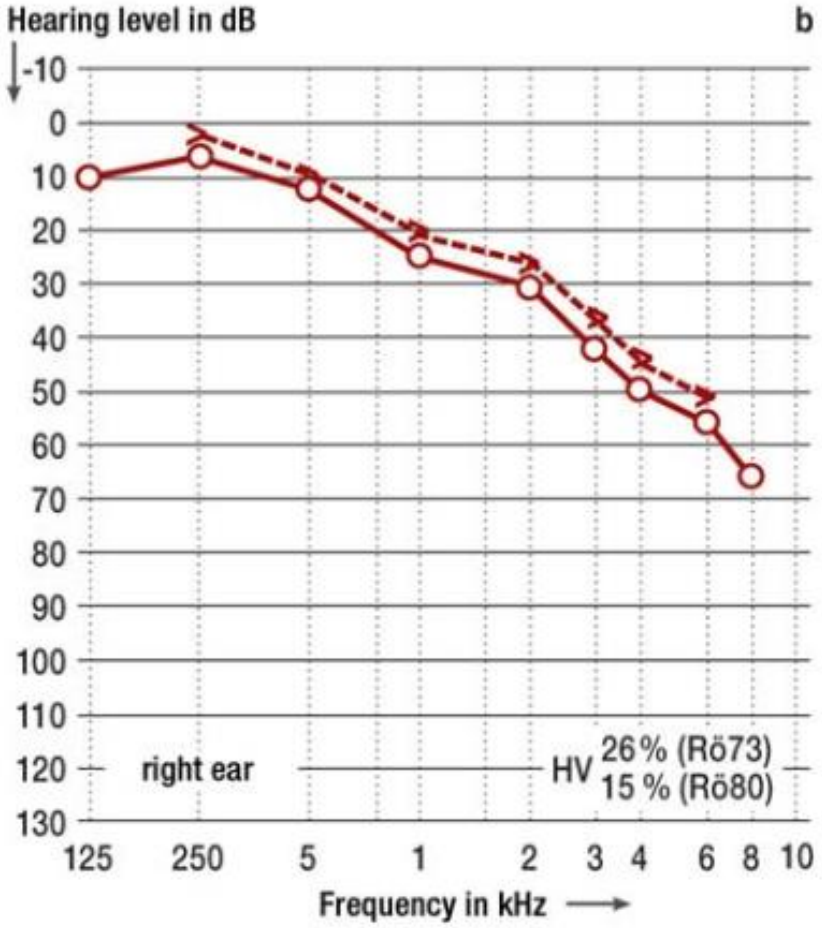
Στην νευροαισθητηριακή ακουστική απώλεια (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**), η βλάβη έγκειται στο εσωτερικό αυτί, στο ακουστικό νεύρο ή και στα δύο. Η βλάβη στο ακουστικό κανάλι μπορεί να συμβεί τόσο στο εσωτερικό αυτί (απώλεια αισθητηρίων) όσο και στο ακουστικό νεύρο (νευρική απώλεια). Είναι γεγονός πως η βλάβη μπορεί να είναι και στις δύο περιοχές (όπως υποδηλώνει το όνομα), αλλά είναι δυνατό σε πολλές περιπτώσεις να κατηγοριοποιηθεί η διάγνωση συγκεκριμένα ως αισθητήριος ή νευρικός τύπος αστοχίας.

Η νευρική συμπεριφορά της ανατομίας του αυτιού σχετίζεται με την άρτια λειτουργία του κοχλία (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**). Ο κοχλίας έχει 30.000 τριχοειδή κύτταρα που συνδέονται με νευρικές απολήξεις. Αυτά τα κύτταρα στο μεγάλο άκρο του κοχλία αποκρίνονται σε πολύ υψηλούς ήχους και αυτά στο μικρό άκρο (και σε μεγάλο μέρος του υπόλοιπου κοχλία) ανταποκρίνονται σε χαμηλούς ήχους. Αυτά τα κύτταρα και το νεύρο που τα συνδέει με τον εγκέφαλο, είναι ευαίσθητα σε βλάβες από διάφορες αιτίες οι οποίες κατηγοριοποιούνται στο τομέα της νευροαισθητηριακής απώλειας ακοής. Σε περιπτώσεις κεντρικής απώλεια ακοής, η βλάβη βρίσκεται στο κεντρικό νευρικό σύστημα σε κάποιο σημείο από τους ακουστικούς πυρήνες έως τον φλοιό.

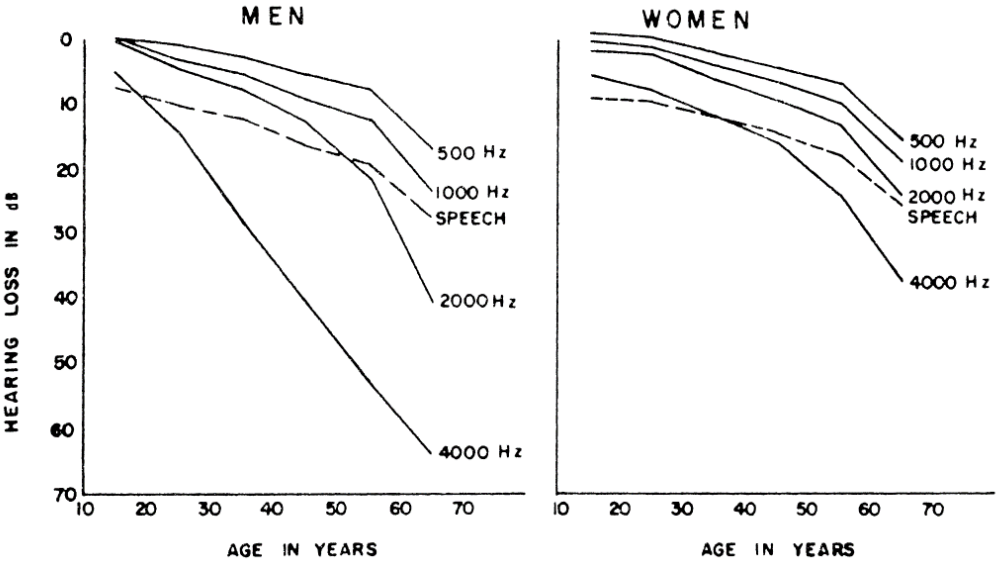
Πολλοί γιατροί αποκαλούν αυτή την κατάσταση «νευρική κώφωση» ενώ στις περισσότερες περιπτώσεις, δεν είναι ιάσιμη. Η πιο συνηθισμένη αιτία της νευροαισθητήριας απώλειας της ακοής είναι η πρεσβυακοΐα, η σταδιακή δηλαδή μείωση της ακοής με την προχωρημένη ηλικία (Gates & Mills, 2005). Τα δομικά χαρακτηριστικά του κοχλία έχουν τις δικές τους διαφορετικές ειδικές λειτουργίες στη δυναμική ισορροπία του εσωτερικού αυτιού και καθώς αυξάνεται η ηλικία, είναι επιρρεπής σε αλλαγές. Σε αυτή τη περίπτωση η απώλεια ακοής λαμβάνει χώρα με σαφώς καθορισμένο τρόπο. Εμφανίζεται σταδιακά για μια περίοδο ετών, συνήθως με τις υψηλότερες συχνότητες να επηρεάζονται πρώτα και τις χαμηλότερες να ακολουθούν σταδιακά. Και τα δύο αυτιά επηρεάζονται με τον ίδιο ρυθμό, αλλά μερικές φορές η απώλεια στο ένα αυτί μπορεί να προχωρήσει γρηγορότερα από το άλλο (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**).



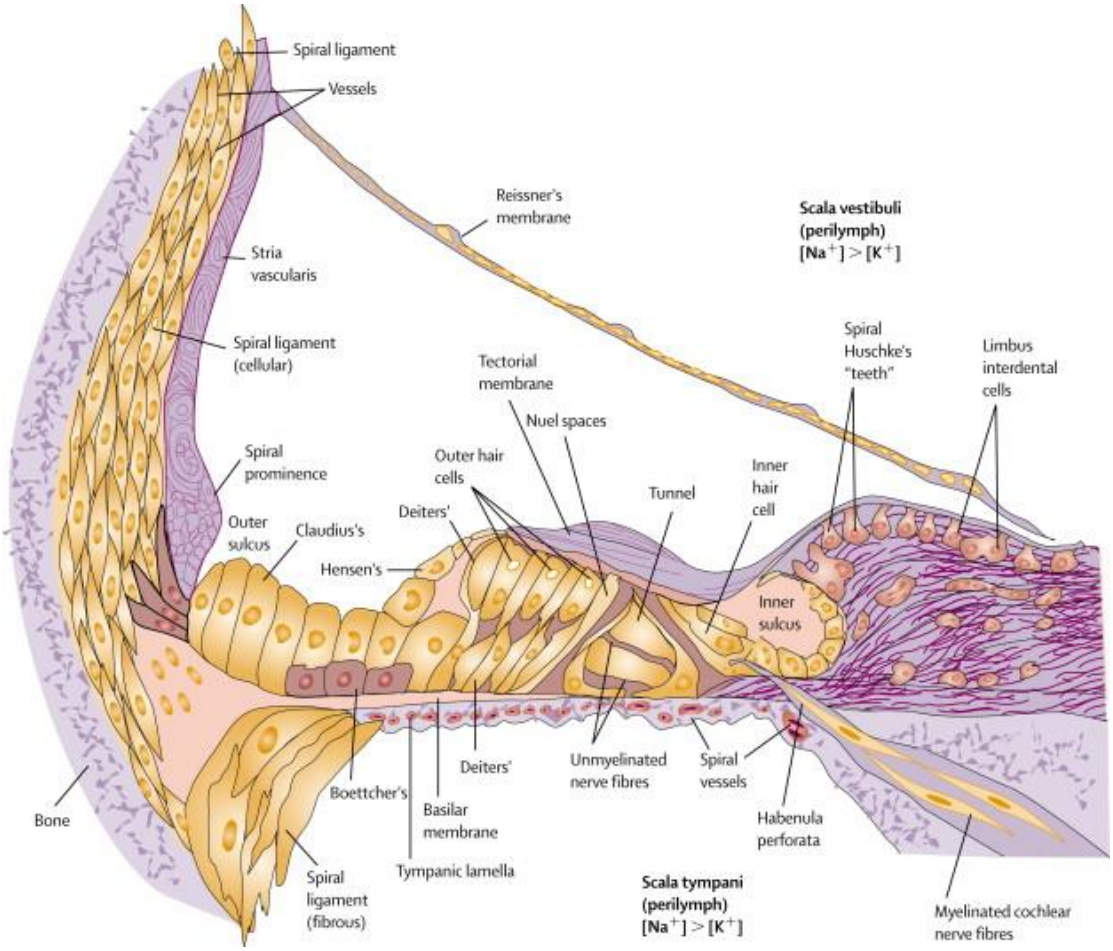
Εικόνα 8 Γραφική απεικόνιση (σκίαση) της περιοχής αστοχίας στην ανατομία του αυτιού κατά την νευροαισθητηριακή απώλεια ακοής (Shantz, 2020).



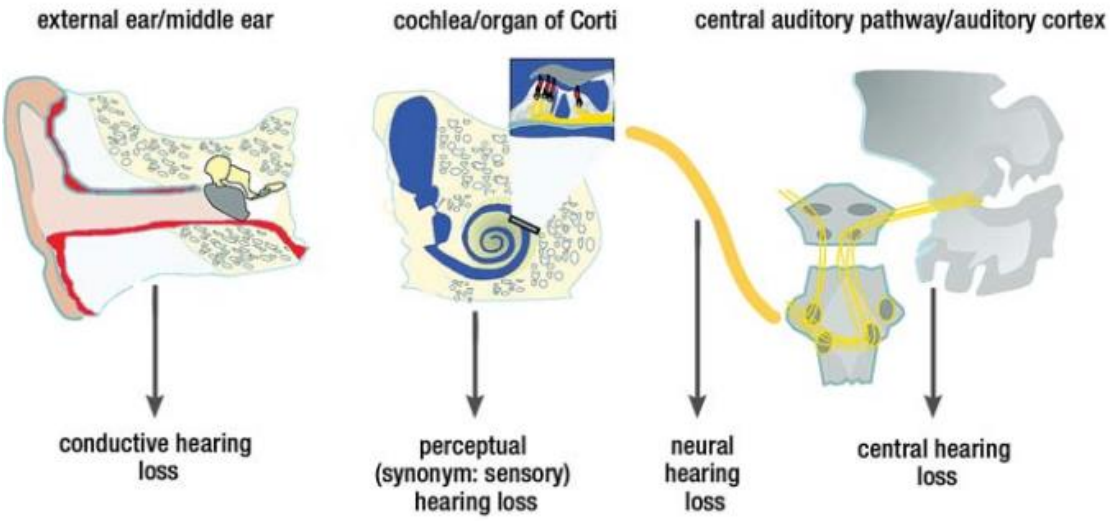
Εικόνα 9 Γραφική αναπαράσταση ακουομετρίας καθαρών τόνων αποκαλύπτει διαφορά μεταξύ των ορίων αγωγιμότητας αέρα (o-o-o) και αγωγιμότητας οστών (>- >- >) της περιοχής αστοχίας στην ανατομία του αυτιού κατά την νευροαισθητηριακή απώλεια ακοής (Zahnert, 2011).



Εικόνα 10 Μέση απώλεια της αίσθησης της ακοής κατά δεκαετίες για άντρες και γυναίκες σε ηλικίες από τα 10 έως και τα 70 έτη (Sataloff & Sataloff, 2005).



Εικόνα 11 Γραφική απεικόνιση τομής του κοχλία (Gates & Mills, 2005)



Εικόνα 12 Γραφική αναπαράσταση των διάφορων τύπων απώλειας ακοής (Zahnert, 2011)

2.3.3. Λειτουργική Απώλεια Ακοής

Η κατάσταση στην οποία οι ασθενείς μπορεί να συμπεριφέρονται σαν να παρουσιάζουν / έχουν, σημαντική απώλεια ακοής με σημάδια τόσο στη γενική επικοινωνία όσο και στην ακουστική μέτρηση καθαρού τόνου, η οποία δεν επιβεβαιώνεται από εξειδικευμένες ή αντικειμενικές δοκιμές, εμφανίζει μια ποικίλη ορολογία. Η έλλειψη σαφούς παθολογικού αίτιου έχει οδηγήσει αρκετούς στο να υιοθετήσουν τον όρο ψυχογενής απώλεια ακοής κάτι το οποίο όμως οδηγεί στην υπόθεση ότι πρόκειται για αποκλειστικά μια ψυχολογική διαταραχή.

Στη λειτουργική απώλεια ακοής δεν υπάρχει κάποια διακριτά ανιχνεύσιμη οργανική βλάβη (Aplin & Rowson, 1990) στον ακουστικό μηχανισμό, αλλά κάποιο υποκείμενο ψυχολογικό ή συναισθηματικό πρόβλημα το οποίο και ευθύνεται για την απώλεια της αίσθησης. Η δυσκολία στην ακοή μπορεί να έχει μια εντελώς συναισθηματική ή ψυχολογική αιτιολογία ή μπορεί να έχει επιβληθεί από κάποια ήπια οργανική απώλεια ακοής, οπότε ονομάζεται λειτουργική ή ψυχογενής. Ιδιαίτερα ενδιαφέρον είναι το γεγονός πως οι αιτιολογίες της λειτουργικής απώλειας ακοής διαφέρουν μεταξύ ενηλίκων και παιδιών, καθώς και υποπληθυσμών εντός αυτών των ομάδων. Με βάση τους Lin & Staecker (2006), το ακουστικό ιστορικό και η φυσική εξέταση μπορούν να παρέχουν σαφείς ενδείξεις που υποδηλώνουν λειτουργική απώλεια ακοής κυρίως όταν η παθολογική εξέταση δεν δύναται να διευκρινίσει την διάγνωση.

2.3.4. Κεντρική Απώλεια Ακοής

Το ακουστικό σήμα, που αρχικά αποτελείται από μηχανικά κύματα πίεσης, υποβάλλεται σε επεξεργασία και κωδικοποιείται σε διάφορες μορφές και σε πολλαπλά επίπεδα της ακουστικής οδού (Zahnert, 2011). Η κεντρική απώλεια ακοής προκαλείται από μια βλάβη στην κεντρική ακουστική οδό ή στον ακουστικό φλοιό ο οποίος είναι υπεύθυνος στο να επεξεργάζεται και ερμηνεύει τους ήχους που ενισχύονται και λαμβάνονται από τα οστάρια και τα κοχλιακά τριχοειδή κύτταρα. Είναι ένας γενικός όρος που αναφέρεται σε καταστάσεις στις οποίες η μερική ή ολική απώλεια ακοής συμβαίνει λόγω βλάβης ή δυσλειτουργίας του ακουστικού συστήματος.

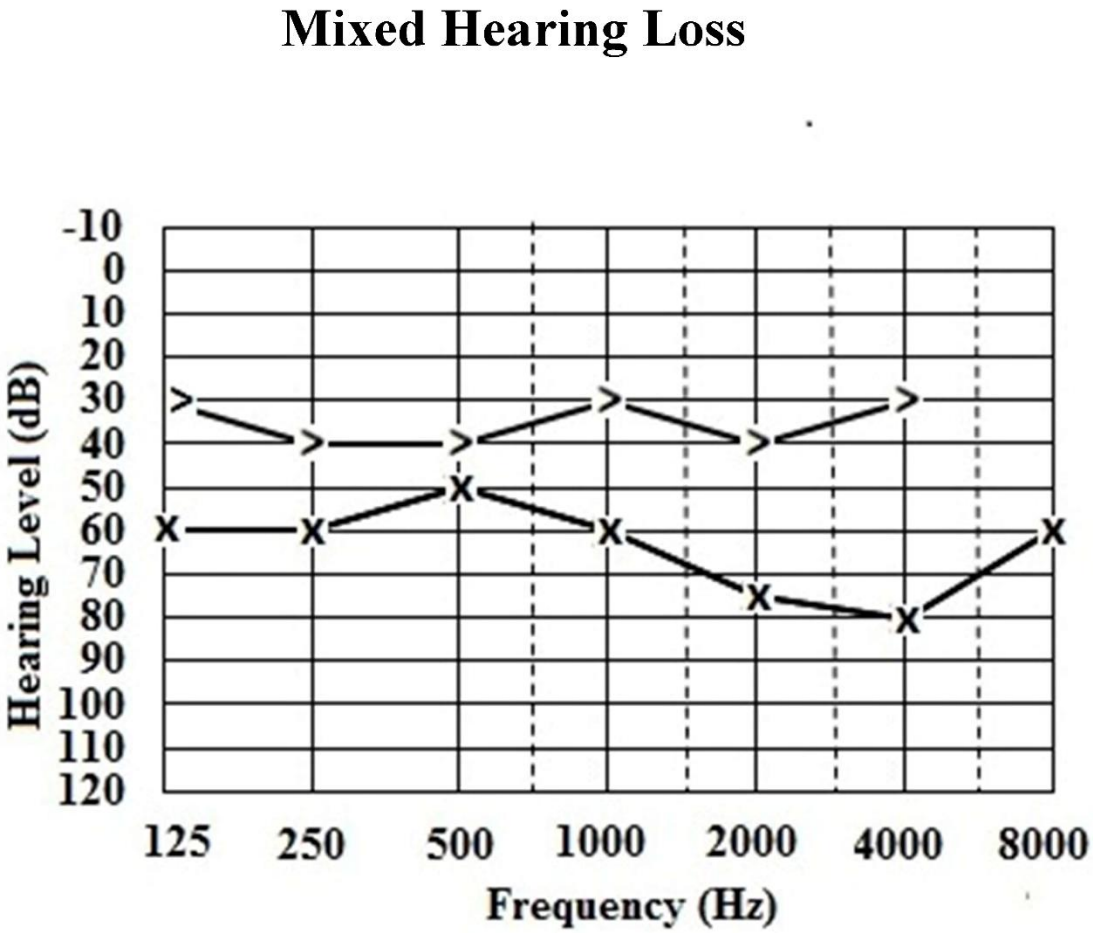
Η κλινική παρουσίαση της συγκεκριμένης κατηγορίας απώλειας ακοής είναι παρόμοια με τη βαριά κώφωση κοχλιακού τύπου, καθώς οι ασθενείς δεν εμφανίζουν συνεπή απόκριση στους ήχους και σημειώνουν αυξημένα όρια στην ακουστική μέτρηση. Ωστόσο, η περιφερειακή ανίχνευση ήχων είναι άθικτη ή μερικώς μειωμένη και αυτό την διαφοροποιεί από την κεντρική απώλεια ακοής. Οι ασθενείς πάσχουν από κεντρική απώλεια ακοή ως αποτέλεσμα τραύματος, φλεγμονωδών και μολυσματικών διεργασιών, εμφράγματος και βλαβών στο χώρο (όγκοι, αιμορραγία) που επηρεάζουν την ακουστική οδό και τα ακουστικά κέντρα. Όσο εντονότερη είναι η νευρική δυσλειτουργία, τόσο πιο περίπλοκη είναι η διαταραχή της αίσθησης της ακοής και έτσι, ο ασθενής μπορεί να παρουσιάζει αστοχίες όπως δυσκολία στην αναγνώριση ορισμένων σημάτων εν μέσω ακουστικού θορύβου η την αποσύνδεση των ταυτόχρονων σημάτων ομιλίας.

2.3.5. Μικτή Απώλεια Ακοής

Η μικτή απώλεια ακοής είναι ένας συνδυασμός αγώγιμης και νευροαισθητηριακής απώλειας ακοής, που καταδεικνύει το γεγονός πως υπάρχει βλάβη τόσο στο εξωτερικό και μεσαίο αυτί όσο και στο εσωτερικό. Αυτός ο τύπος απώλειας ακοής κυμαίνεται σε σοβαρότητα από ήπια έως έντονη και για τα άτομα που διαγιγνώσκονται με μικτή απώλεια ακοής, οι ήχοι μπορεί να είναι τόσο πιο ήπιοι όσο και πιο δύσκολοι στο να κατανοηθούν. Αναφορικά προκαλείται από ένα συνδυασμό αγώγιμης βλάβης στο εξωτερικό ή το μεσαίο αυτί και της αισθητηριακής βλάβης στο εσωτερικό αυτί (κοχλία) ή στο ακουστικό νεύρο (Eggermont, 2017).

Όσο αναφορά τις βασικές αιτίες οι γενετικοί παράγοντες, η υπερβολική έκθεση σε δυνατό θόρυβο, ορισμένα φάρμακα και η φυσιολογική διαδικασία της γήρανσης

μπορεί να οδηγήσουν σε μικτή απώλεια ακοής. Εάν η απώλεια της αίσθησης της ακοής είναι ως επί το πλείστων αγώγιμη, η ομιλία τείνει να ακούγεται κατανοητή, αλλά μόνο αν είναι αρκετά δυνατή και δεν υπάρχει πολύς θόρυβος στο παρασκήνιο. Εάν η απώλεια ακοής είναι ως επί το πλείστον νευροαισθητηριακή, μπορεί να υπάρχει δυσκολία στην κατανόηση της ομιλίας, ακόμη και όταν αξιολογείται αρκετά δυνατή.



Εικόνα 13 Γραφική αναπαράσταση ακουογράμματος με μικτή απώλεια ακοής για το αριστερό αυτί. Τόσο η αγωγή αέρα όσο και η αγωγή των οστών βρίσκονται στο ανώμαλο εύρος, με το διάκενο αέρα-οστού γενικά μεγαλύτερο από 10 dB. Σύμβολα: X, αγωγός αέρα αριστερού αυτιού. >, αγωγιμότητα οστού αριστερού αυτιού (Alshuaib et al., 2015).

2.4. Βασικές αιτίες απώλειας ακοής

2.4.1. Μόλυνση του αυτιού

Η απώλεια της αίσθησης της ακοής μπορεί να προκληθεί από ιογενείς, βακτηριακές, ή παρασιτικές μολύνσεις. Οι λοιμώξεις του μέσου ωτός είναι εξαιρετικά σημαντικές και χαρακτηριστικές αιτίες απώλειας ακοής για πολλά παιδιά στον κόσμο. Για παράδειγμα, η χρόνια μέση ωτίτιδα είναι η συνηθέστερη αιτία απώλειας ακοής σε παιδιά στις αναπτυσσόμενες χώρες (WHO, 1986). Επιπροσθέτως, η βακτηριακή

μηνιγγίτιδα θεωρείται μια από της πιο κοινές αιτιολογίες για την επίκτητη απώλεια ακοής (Kutz et al., 2006). Το 5% έως 35,00% των ασθενών με βακτηριακή μηνιγγίτιδα αναμένεται να παρουσιάσουν μόνιμη απώλεια ακοής ενώ θα υπάρξει βαθιά διμερής απώλεια ακοής σε έως και το 4% των ασθενών. Επίσης βακτηρίδια σα το *Streptococcus pneumonia* και το *Neisseria meningitides* είναι μακράν οι πιο συνηθισμένοι οργανισμοί που ευθύνονται για αυτού του είδους βακτηριακής μηνιγγίτιδας.

Ο ακριβής μηχανισμός της απώλειας ακοής σε ασθενείς με βακτηριακή μηνιγγίτιδα δεν είναι πλήρως κατανοητός και πιθανότατα οφείλεται σε πολλούς παράγοντες. Γεγονός αποτελεί όμως, και έχει παρατηρηθεί, πως το χαμηλό επίπεδο υγιεινής και η χαμηλή ποιότητα ζωής σχετίζεται με αυξημένα περιστατικά τέτοιου είδους κώφωσης. Η δυσκολία πρόσβασης σε εγκαταστάσεις υγειονομικής περίθαλψης και άλλοι παράγοντες όπως η κακή προσωπική υγιεινή και ο υπερπληθυσμός προκαλούν πολλά παιδιά σε χώρες με χαμηλό και μεσαίο εισόδημα να γίνουν κωφά ή να απωλέσουν τα επίπεδα ακοής τους μετά από λοιμώξεις (Bastos, 1996).

Όσον αφορά τις ιογενείς λοιμώξεις μπορεί να προκαλέσουν γενικά νευροαισθητηριακή απώλεια ακοής, η οποία μπορεί να είναι συγγενής ή επίκτητη, μονομερής ή διμερής. Ορισμένες ιογενείς λοιμώξεις μπορούν να βλάψουν άμεσα τις δομές του εσωτερικού αυτιού, ενώ άλλες μπορεί να προκαλέσουν φλεγμονώδεις αποκρίσεις, οι οποίες στη συνέχεια προκαλούν ακουστική βλάβη , καθώς και άλλες οι οποίες δύναται να αυξήσουν την ευαισθησία του αυτιού σε βακτηριακή ή μυκητιακή λοίμωξη, οδηγώντας τελικά σε απώλεια ακοής (Cohen et al., 2014).

2.4.2. Συγγενής απώλεια ακοής

Ο όρος συγγενής απώλεια ακοής, χαρακτηρίζει την κατάσταση όπου η απώλεια ακοής είναι παρούσα κατά τη γέννηση. Με βάση τους Korver et al.,(2017), η συγγενής απώλεια ακοής είναι μία από τις πιο διαδεδομένες χρόνιες καταστάσεις στα παιδιά. Στην πλειονότητα των ανεπτυγμένων χωρών, τα προγράμματα ανίχνευσης ακοής νεογνών επιτρέπουν την έγκαιρη ανίχνευση της. Η έγκαιρη παρέμβαση δύναται να αποτρέψει τις καθυστερήσεις στην ανάπτυξη του λόγου και της γλώσσας και έχει μακροχρόνιες ευεργετικές επιπτώσεις στην κοινωνική και συναισθηματική ανάπτυξη όπως και στην γενική ποιότητα της ζωής των ανθρώπων. Η διάγνωση της απώλειας

ακοής συνήθως ακολουθείται από την αναζήτηση μιας υποκείμενης αιτιολογίας ενώ μπορεί να προκληθεί από γενετικούς ή και μη γενετικούς (επίκτητους) παράγοντες.

Όπως αναφέρουν οι Yang et al., (2019), εκτιμάται ότι τουλάχιστον το 50% της συγγενούς απώλειας ακοής στην παιδική ηλικία οφείλεται σε γενετικές αιτίες. Επιπλέον, το 30% της γενετικής απώλειας ακοής χαρακτηρίζεται ως σύνδρομο και οι γενετικές αιτίες του είναι εξαιρετικά ετερογενείς ενώ μέχρι στιγμής, έχουν ανακαλυφθεί περισσότερα από 140 γονίδια που σχετίζονται με την κώφωση. Σε πολλές περιπτώσεις, η διάγνωση της γενετική απώλειας ακοής μπορεί να βοηθήσει στην αποφυγή περιττών και δαπανηρών κλινικών δοκιμών, στην παροχή προγνωστικών πληροφοριών και στην καθοδήγηση μιας στοχευμένης μελλοντικής ιατρικής διαχείρισης. Από την άλλη πλευρά, έχει αναπτυχθεί μια ποικιλία θεραπευτικών προσεγγίσεων γονιδίων με στόχο την ανακούφιση ή την αντιμετώπιση της απώλειας ακοής λόγω γενετικών αιτιών με σκοπό, η πρόληψη της να είναι εφικτή μέσω της και της προγεννητικής διάγνωσης.

Οι μη γενετικοί παράγοντες που είναι γνωστό ότι προκαλούν συγγενή απώλεια ακοής συνδέονται με την εγκυμοσύνη και τον τοκετό και περιλαμβάνουν (Robson, 2006): α) μητρικές λοιμώξεις κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης, όπως η ερυθρά, β) χαμηλό βάρος γέννησης, γ) τραυματισμούς κατά τη γέννηση, δ) τοξίνες συμπεριλαμβανομένων ορισμένων φαρμάκων και αλκοόλ που καταναλώνεται από τη μητέρα κατά την εγκυμοσύνη και ε) έλλειψη οξυγόνου (ανοξία).

2.4.3. Έκθεση σε παρατεταμένο ή υπερβολικό θόρυβο

Η έκθεση σε υψηλά επίπεδα θορύβου είναι η πιο συνηθισμένη αιτία απώλειας ακοής σε ενήλικες, ενώ στατιστικά σημαντική είναι και η παρουσία της πρεσβυακοΐας, η οποία ενισχύεται από τον έντονο θόρυβο και έχει τον υψηλότερο επιπολασμό σε ηλικιωμένους ενήλικες (Newton et al., 2012). Πολλές φορές το φαινόμενο αυτό σχετίζεται και αναφέρεται ως επαγγελματική απώλεια ακοής που προκαλείται από θόρυβο και περιγράφει μια επίκτητη απώλεια ακοής που οφείλεται άμεσα σε υπερβολική έκθεση στο θόρυβο συνήθως στο χώρο εργασίας. Τα συσχετιζόμενα δεδομένα (Kurmis & Apps, 2007) υποδηλώνουν ότι ο υπερβολικός θόρυβος οφείλεται για το 37% όλων των ενηλίκων που εμφανίζουν απώλεια ακοής και παραμένει σημαντικός συντελεστής στη νοσηρότητα που σχετίζεται με την εργασία διεθνώς, ενώ

συνήθως εμφανίζεται σταδιακά, συχνά χωρίς ξεκάθαρη προοδευτική συμπτωματολογία.

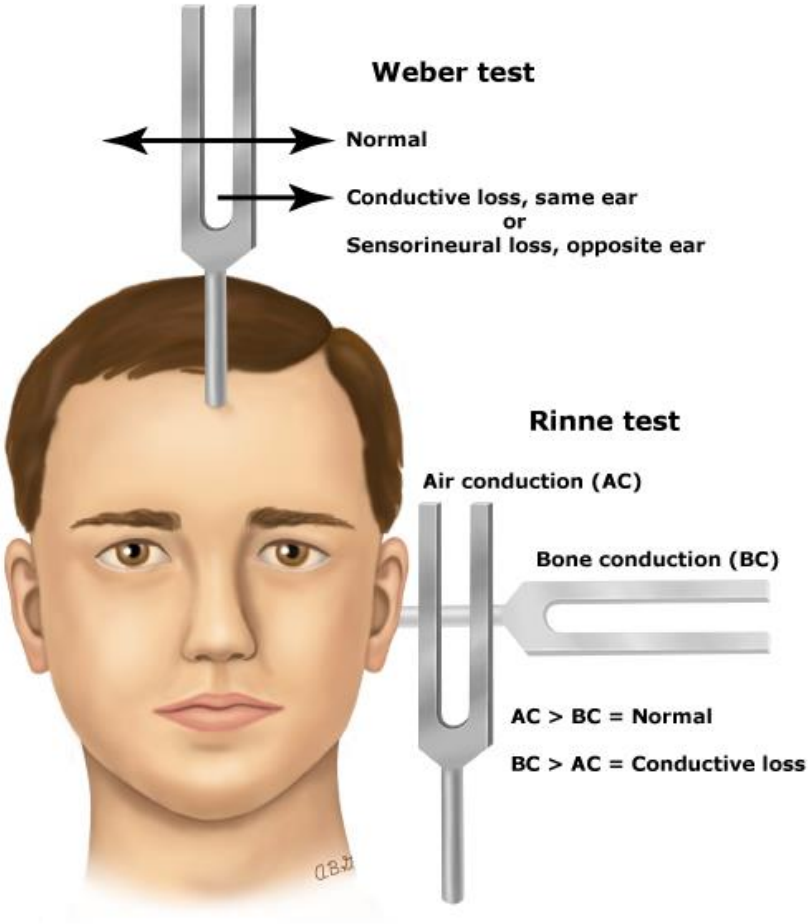
Η έκθεση σε υψηλά επίπεδα θορύβου, όπως κατά τη διάρκεια δυνατών συναυλιών ή με τη χρήση ακουστικών δύναται να συμβάλλει στην απώλεια ακοής. Ο έντονος θόρυβος είναι επίσης μια ιδιαίτερη ανησυχία για τους βιομηχανικούς εργάτες, ιδίως σε αναπτυσσόμενες χώρες όπου υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα έλλειψης διαθέσιμης προστασίας και της νομοθεσίας για την επιβολή του (May, 2000). Ο μηχανισμός της απώλειας ακοής που προκαλείται από τον θόρυβο είναι άμεσα συνδεδεμένος με την καταστροφή των τριχωτών κυττάρων στο υποδεκτικό όργανο της ακοής (όργανο Corti) μέσα στον κοχλία του εσωτερικού αυτιού. Η χρόνια έκθεση σε δυνατό θόρυβο βλάπτει αρχικά τα τριχοειδή κύτταρα, τα οποία είναι υπεύθυνα για ήχους υψηλής συχνότητας. Με την πάροδο του χρόνου, η συνεχής επαφή με υπερβολικό θόρυβο μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη μετάδοση τόσο των χαμηλών όσο και των υψηλών συχνοτήτων ήχων στον εγκέφαλο (Daniel, 2007).

2.5. Μέθοδοι διάγνωσης απώλειας ακοής

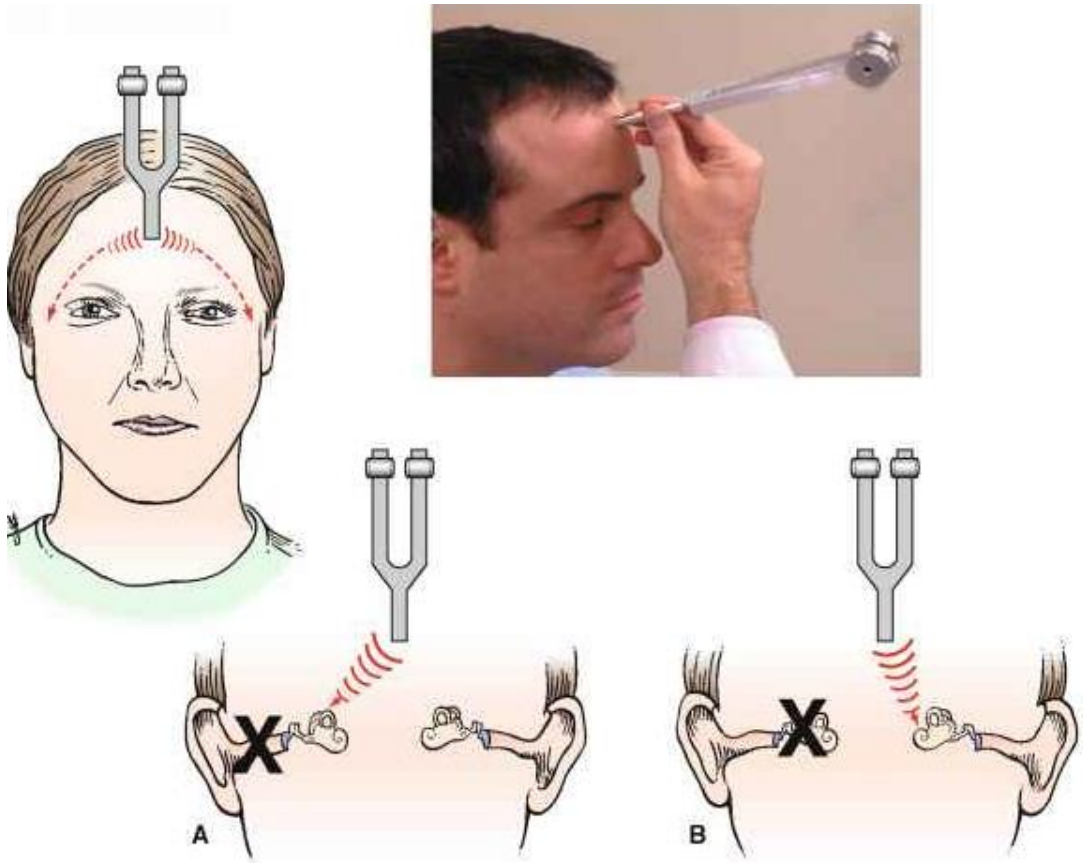
2.5.1. Κλινική Εξέταση

Μια ενδελεχής φυσική εξέταση με εστιασμένη προσοχή στην ανατομική έρευνα του αυτιού είναι ζωτικής σημασίας για την εξακρίβωση ενδεχόμενων προβλημάτων καθώς και της διάγνωσης μιας πιθανής απώλειας της αίσθησης της ακοής. Από της πιο συνηθισμένες διαγνώσεις που επιτυγχάνονται από την άμεση σωματική εξέταση είναι: α) το φράξιμο του έξω ακουστικού πόρου, β) η παρουσία φλεγμονής (εξωτερική ωτίτιδα) και γ) η ύπαρξη ξένου σώματος μπορεί να προκαλέσει αγώγιμη απώλεια της ακοής (Lasak et al., 2014). Παράλληλα η σωματική αξιολόγηση χρήζει εφαρμογές σε ασθενείς με πιθανές κρανίο-προσωπικές ανωμαλίες οι οποίες δύναται να μεταφράζονται σε αντίστοιχες ανωμαλίες στο μέσον ή / και στο εσωτερικό αυτί και οδηγούν σε ανάλογες αγώγιμες, μικτές ή νεύροαισθητηριακές απώλειες ακοής (Isaacson & Vora, 2003; St Martin & Hirsch, 2008). Στο ίδιο μήκος κύματος η διαδικασία της ωτοσκόπησης της τυμπανικής μεμβράνης με σκοπό να εξακριβωθεί η ακεραιότητα, η διαφάνεια και η παρουσία ή απουσία νόσου του μέσου ωτός είναι βασικό συστατικό της φυσικής εξέτασης για τον εντοπισμό της απώλεια ακοής μιας και μπορεί να επιτρέψει σε έναν κλινικό ιατρό να εντοπίσει μια δύσκαμπτη τυμπανική μεμβράνη η οποία να σχετίζεται με τη παρουσία αστοχίας του μέσου αυτιού όπως στην τυμπανωσκλήρυνση.

Μέσα στα πλαίσια της φυσικής εξέτασης για τη διάγνωση πιθανής απώλειας ακοής οι δοκιμές του Weber και του Rinne αποτελούν δημοφιλείς εξετάσεις ιδιαίτερα επειδή μπορούν να βοηθήσουν στη διάκριση μεταξύ των αγώγιμων και νευροαισθητηριακών απωλειών ακοής (Behn et al., 2007). Η δοκιμή Weber μπορεί να βοηθήσει στον προσδιορισμό του τύπου απώλειας ακοής (νευροαισθητηριακού έναντι αγώγιμου) σε έναν ασθενή με ασύμμετρη απώλεια ακοής. Η δοκιμή Weber πραγματοποιείται με την εφαρμογή ενός τονοδοτή με συχνότητα 512Hz στη μεσαία γραμμή του μετώπου, στη γέφυρα της μύτης ή στην άνω οδοντοστοιχία ενώ ο ασθενής κατά την διάρκεια αναφέρει ποιος ήχος είναι πιο δυνατός (Stankiewicz & Mowry, 1979)

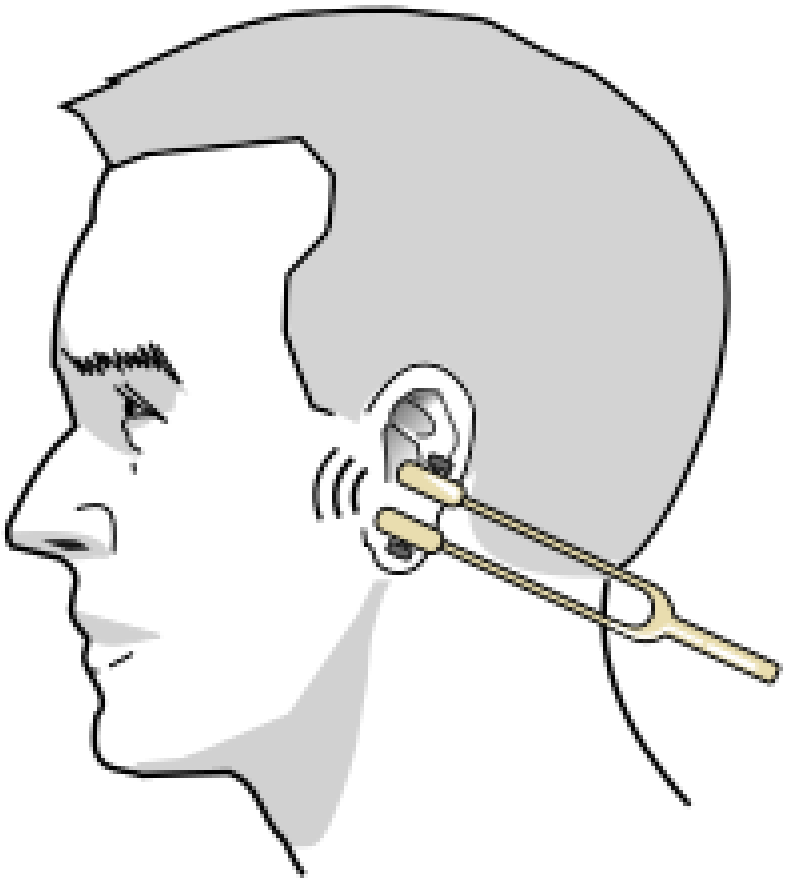


Εικόνα 14 Γραφική απεικόνιση της εφαρμογής τονοδοτή κατά την εξέταση τύπου Weber και Rinne (UptoDate, 2020).



Εικόνα 15 Παρουσίαση εφαρμογής της εξέτασης Weber (Mitch Medical Healthcare, 2020).

Η δοκιμή Rinne πραγματοποιείται με αντίστοιχο τονοδοτή συχνότητας 512Hz, και χρησιμοποιείται με κύριο σκοπό την αξιολόγηση πιθανής μονόπλευρης απώλειας ακοής. Η εφαρμογή της εξέτασης γίνεται περιφερειακά του ακουστικού πόρου και στη συνέχεια τοποθετείται στη μαστοειδή απόφυση (Burkey et al., 1998). Ένα θετικό, ή φυσιολογικό, τεστ Rinne συμβαίνει όταν ο ήχος μέσω της αγωγής αέρα είναι πιο δυνατός από τον ήχο μέσω της αγωγής με οστά. Αντίθετα, ένα «αρνητικό» τεστ Rinne συμβαίνει όταν ο ασθενής αναφέρει ότι δεν μπορεί να ακούσει κανέναν ήχο όταν ο τονοδοτής μετακινείται από το μαστοειδές οστό στο εξωτερικό του ακουστικού πόρου. Ο συνδυασμός των αποτελεσμάτων των εξετάσεων τύπου Weber και Rinne είναι ιδιαίτερα πολύτιμος. Ελλείψει μιας απλής, διορθώσιμης αιτίας που διαγιγνώσκεται μόνο με φυσική εξέταση, όλες οι περιπτώσεις προοδευτικής αγώγιμης και νευροαισθητηριακής απώλειας ακοής θα πρέπει να παραπεμφθούν για επιπλέον επεξεργασία, συμπεριλαμβανομένης της ακοομετρίας (Rauch, 2008).



Εικόνα 16 Παρουσίαση εφαρμογής της εξέτασης Rinne (Wordisk, 2019).

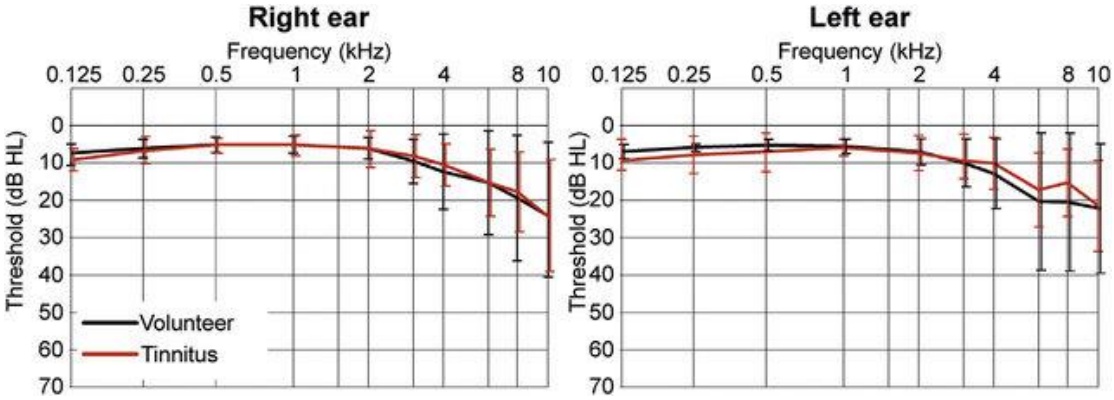
2.5.2. Ακοομετρική Αξιολόγηση

Όταν υπάρχει σαφής υποψία απώλειας της αίσθησης της ακοής, ο βαθμός της πρέπει και δύναται να ποσοτικοποιηθεί. Για το παραπάνω σκοπό, γίνεται χρήση διάφορων τρόπων για τον προσδιορισμό της απώλειας ακοής συνήθως προσαρμοσμένων ανάλογα την ηλικία του ασθενή (βρέφη, παιδιά και ενήλικες) (Bhatia et al., 2013). Μια τυπική εξέταση ακουστικής μέτρησης ουσιαστικά ελέγχει, το πόσο καλά λειτουργεί η ακοή του ασθενή. Ελέγχει τόσο την ένταση όσο και τον τόνο των ήχων, θέματα ισορροπίας και άλλα θέματα που σχετίζονται με τη λειτουργία του εσωτερικού αυτιού.

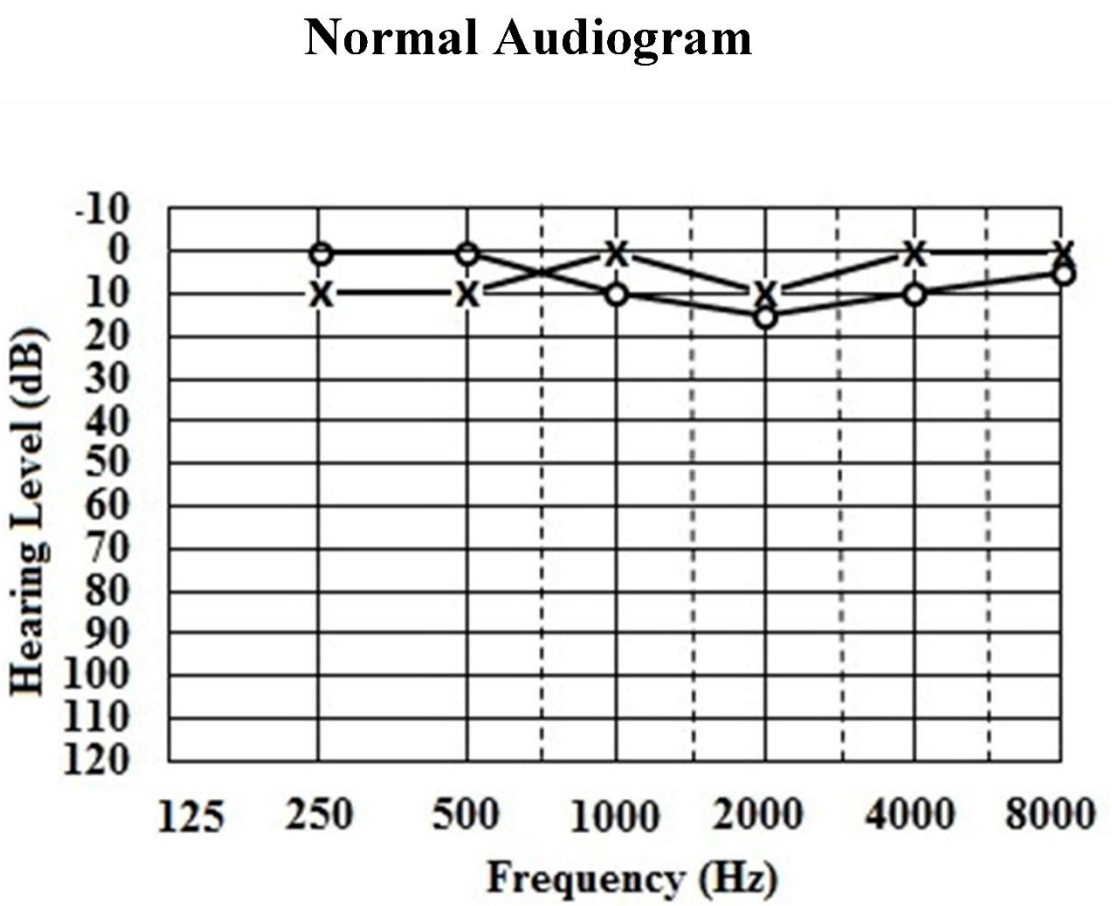
Συνήθως, η αίσθηση της ακοής εξετάζεται μέσω της διάδρασης με τον εξεταζόμενο, ο οποίος καλείται να ακούσει έναν αριθμό διαφορετικών σημάτων καθαρού τόνου μέσω ενός ζεύγους ακουστικών ή ακουστικών για την καταγραφή της αγωγής αέρα. Μία ακοομετρική εξέταση λοιπόν αξιολογεί την ικανότητα ακοής

δοκιμάζοντας το κατώτατο όριο της ακρόασης ενός ηχητικού σήματος σε διάφορες συχνότητες (βήμα, σε κύκλους ανά δευτερόλεπτο ή Hz). Ο γιατρός που ειδικεύεται στη διάγνωση και τη θεραπεία της απώλειας ακοής διαχειρίζεται τη διαδικασία ενώ όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, η ποσοτικοποίηση της πιθανής απώλειας ακοής τοποθετείται στην βασική μονάδα μέτρησης της έντασης του ήχου είναι το ντεσιμπέλ (dB). Η μονάδα μέτρησης για τον τόνο είναι τα Hertz (Hz).

Η διαδικασία της ακοομετρίας είναι μια μη επεμβατική διαδικασία και δεν διατρέχει κανένα κίνδυνο, ενώ υπάρχουν μερικές χαρακτηριστικές δοκιμές που εμπλέκονται στην ακουομετρία και αναφέρονται παρακάτω. Η δοκιμή καθαρού τόνου μετρά τον πιο αθόρυβο ήχο που μπορείτε να ακούσετε σε διαφορετικά βήματα και περιλαμβάνει τη χρήση ενός μετρητή ήχου, το οποίο είναι ένα μηχάνημα που παίζει ήχους μέσω ακουστικών. Ο ιατρός μέσω αυτού ενεργοποιεί μια ποικιλία τόνων, όπως ήχους και ομιλία, σε διαφορετικά διαστήματα σε ένα αυτί κάθε φορά, με σκοπό να προσδιορίσει το εύρος της ακοής. Ένα άλλο τεστ ακοής επιτρέπει στον ιατρό να αξιολογήσει την ικανότητά του ασθενή να διακρίνει την ομιλία από το θόρυβο του περιβάλλοντος.



Εικόνα 17 Διαγραμματική απεικόνιση των καταγραφών της διαδικασία μέτρησης καθαρών τόνων (Hofmeier et al., 2018).



Εικόνα 18 Ένα τυπικό ακουόγραμμα με κανονική αγωγή αέρα και για τα δύο αυτιά. Σύμβολα: Χ, αγωγός αέρα αριστερού αυτιού Ο, αγωγός αέρα δεξιού αυτιού (Alshuaib et al., 2015).

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η διαδικασία της ακοομετρικής αξιολόγησης δεν δύναται να είναι το ίδιο εφαρμόσιμη για κάθε ηλικία. Πιο συγκεκριμένα, τα βρέφη και τα μικρά παιδιά ενδέχεται να μην μπορούν να συμμετάσχουν ενεργά κατά τη διάρκεια ακοομετρικών δοκιμών. Ως εκ τούτου, χρησιμοποιούνται παθητικές τεχνικές, όπως η τυμπανομετρία, ωτοακουστικές εκπομπές, καθώς και ακουστικά προκλητά δυναμικά εγκεφαλικού στελέχους (auditory brainstem response) (Nelson et al., 2008). Η τυμπανομετρία αξιολογεί τη κατάσταση του τυμπανικού υμένα και εμφανίζεται ιδιαίτερα χρήσιμη για τον εντοπισμό αστοχιών στη περιοχή του μέσου αυτιού ενώ η συμβατική ακτινομετρία αγωγής αέρα και οστών χρησιμοποιείται στον ενήλικα ασθενή.

Εικόνα 19 Γραφική απεικόνιση της διαδικασία ακοομετρικής αξιολόγησης (Audiocardio, 2020).

2.6. Θεραπεία

Όπως είναι εμφανές από την ανάλυση της απώλειας ακοής που παρουσιάστηκε στο παρόν κεφάλαιο αποτελεί μια ψυχοπαθολογική αστοχία / ασθένεια με εξαιρετικά πολύπλοκο χαρακτήρα και συχνές διαφοροποιήσεις οι οποίες όπως είναι ευκόλως αντιληπτό διαφοροποιούν την θεραπευτική προσέγγιση κάθε φορά. Αναφορικά, η αντιμετώπιση της απώλειας της ακοής εξαρτάται από τον τύπο της απώλειας, καθώς και την αιτία ενώ οι τρείς βασικοί τύποι θεραπείας μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως α) η φάρμακο-ιατρική, β) η χειρουργική και γ) η τεχνητή / επεμβατική (μέσο ενίσχυσης) παρέμβαση (Lasak et al., 2014). Όσον αφορά την φαρμακευτική θεραπεία αυτή συνήθως επιτυγχάνεται με τη χορήγηση αντιβιοτικών χρησιμοποιούμενα για στοχευμένες μολύνσεις του ωτορινολαρυγγολογικού (Eggermont, 2017). Η χειρουργική αντιμετώπιση της απώλειας ακοής κατά κύριο λόγο εμπίπτει σε επανορθωτικές διαδικασίες και παρεμβάσεις ως αποτέλεσμα μολυσματικών ή τραυματικών συνθηκών, ενώ επιλέγεται να εφαρμόζεται συνήθως σε περιπτώσεις όπου η μέθοδος της ενίσχυσης δεν μπορεί να αντιμετωπίσει την αστοχία (π.χ. βαθιά μονομερής ή διμερής απώλεια). Λόγω του πολύπλοκου χαρακτήρα της απώλειας της ακοής και των εξαιρετικά διαφοροποιημένων μεθόδων θεραπείας, ο παρακάτω πίνακας (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**) τοποθετεί μια βιβλιογραφική επισκόπηση για κάθε τύπο απώλειας και τις συσχετιζόμενες

παραμέτρους της αιτίας, των κλινικών στοιχείων, της διάγνωσης και της ακοομετρικής αξιολόγησης.

Πίνακας 2 Σύνοψη των αιτιών και των κλινικών χαρακτηριστικών διαφόρων κατηγοριών απώλειας ακοής, με διαφοροποιημένες διαγνώσεις (Zahnert, 2011).

	Αγώγιμη Απώλεια Ακοής	Αισθητηριακή Απώλεια Ακοής	Νευροαισθητηριακή Απώλεια Ακοής	Κεντρική Απώλεια Ακοής
Αίτια	Ακουστική-μηχανική διαταραχή της αγωγιμότητας του ήχου στο εξωτερικό ακουστικό κανάλι, κατά μήκος της τυμπανικής μεμβράνης. ή στην οστεοειδή αλυσίδα	Δυσλειτουργία των τριχοειδών κυττάρων ή των συναπτικών τους συνδέσεων με το κοχλιακό νεύρο. Εάν επηρεαστούν τα εξωτερικά τριχοειδή κύτταρα μεταφράζεται σε απώλεια κοχλιακής ενίσχυσης και συνεπώς πρόσληψης ενδιάμεσων εντάσεων - θόλωση της ανάλυσης συχνότητας - μείωση της χρονικής ανάλυσης	Δυσλειτουργία κοχλιακού νεύρου - καθυστέρηση της ώθησης - διαταραγμένη νευρική κωδικοποίηση του το ακουστικού σήματος	Δυσλειτουργία της ακουστικής οδού (αστοχία διμερών ακουστικών ερεθισμάτων, συγχρονισμός, διαμόρφωση σήματος, αναγνώριση καταστολής θορύβου).
Κλινικά Στοιχεία	Ένταση ήχου (ο ήχος θεωρείται απαλός) Εάν η αιτία είναι στην τυμπανική μεμβράνη: αλλοίωση της συχνότητας και της έντασης του ήχου (οι υψηλοί και οι χαμηλοί τόνοι μπορεί να είναι είτε πιο μαλακοί είτε δυνατοί)	Απώλεια έντασης και δυναμικής Μπορεί να είναι ήχοι ή ομιλία αντιληπτοί ως πολύ απαλοί ή πολύ δυνατοί συχνά Παραμορφωμένη Αντίληψη	Παρόμοια με την αισθητική απώλεια ακοής, αλλά συνήθως μονομερή Αντίληψη ομιλίας χειρότερη από την αντίληψη τόνου	Μπορεί να μην υπάρχει διαταραχή της αντίληψης του τόνου Μειωμένη ταχεία επεξεργασία ομιλίας Απώλεια του ήχου εντοπισμού, κακή κατανόηση της ομιλίας με υπέρθεση θορύβου, βλάβη της ακουστικής μνήμης

Διαφοροποιημέ-νη Διάγνωση	Οξύς: - φραγή από κυψελίδα - σωληνοειδής καταρροή - τυμπανική φλεγμονή - τραυματική διάτρηση του τυμπάνου - οξεία μέση ωτίτιδα ή εξωτερική Μόνιμος: - στένωση του ακουστικού καναλιού - ελάττωμα του τυμπάνου ή του οστού λόγω χρόνιας πυώδους μόλυνση του βλεννογόνου - χολοστεάτωμα - δυσμορφία - ωτοσκλήρωση - τυμπανοσκλήρησ η	Οξύς: -ιδιοπαθή ξαφνική ακουστική απώλεια ακοής - οξύς τραυματισμό που προκαλείται από θόρυβο - τραύμα - βακτηριακή / ιική μόλυνση Κληρονομική / μόνιμη :: - κληρονομική απώλεια ακοή - πρεσβυκησία - προβλήματα ακοής που προκαλείται από θόρυβο - τοξικός λόγος απώλειας ακοής - παρενέργειες φαρμάκων - διαρκείς επακόλουθες λοιμώξεις και ξαφνική απώλεια ακοής	Ακουστικό νεύρωμα 'Όγκοι	Έμφραγμα Αιμορραγία Όγκο Σκλήρυνση κατά πλάκας Διαταραχή ακουστικής επεξεργασίας
Ακοομετρική Αξιολόγηση	Δοκιμή τονοδοτή - τεστ ψιθυρίσματος - δοκιμή ακοής σε απόσταση - ηχογράφημα καθαρού τόνου - ηχομετρία σύνθετης αντίστασης	Δοκιμή τονοδοτή - τεστ ψιθυρίσματος - δοκιμή ακοής σε απόσταση - ηχογράφημα καθαρού τόνου - ηχογράφημα ομιλίας - ωτοακουστικές εκπομπές	Ακκομετρία καθαρών τόνων - ηχογράφημα ομιλίας - υπερκλινικές δοκιμές - ακουστικές δοκιμές κόπωσης - ηχομετρία ηλεκτρικής απόκρισης	Δοκιμή ακοής σε απόσταση - ηχογράφημα καθαρού τόνου - ηχογράφημα ομιλίας - υπερκλινικές δοκιμές - ακουστικές δοκιμές κόπωσης - ηχομετρία ηλεκτρικής απόκρισης

3. Συσχετισμός Βιομετρικών Δεικτών και Απώλειας Ακοής

3.1. Βιομετρικοί Δείκτες και Μη παρεμβατική Καταγραφή

Οι βιομετρικοί δείκτες ή αλλιώς τα ζωτικά σημάδια (vital signs), συμπεριλαμβανομένου του αναπνευστικού ρυθμού, του κορεσμού του οξυγόνου στο αίμα, της αρτηριακής πίεσης, του παλμού και της θερμοκρασίας, είναι οι απλούστερες, φθηνότερες και πιθανώς οι πιο σημαντικές πληροφορίες που δύναται να μετρηθούν σε νοσοκομειακούς ασθενείς και όχι μόνο. Τις τελευταίες δεκαετίες, οι βιομετρικοί δείκτες έχουν γίνει ένας τομέας ενεργού έρευνας και όπως παρουσιάζεται παρακάτω πολλές μελέτες έχουν αναφέρει ότι αλλαγές στα ζωτικά σημεία εμφανίζονται και συσχετίζονται με ένα σοβαρό ανεπιθύμητο συμβάν.

Παράλληλα, διαχρονικά ένα τμήμα της έρευνας στον τομέα της υγείας στοχεύει στο να παρέχει εργαλεία, που βοηθούν τους ιατρούς να φτάσουν σε σαφείς και γρήγορες ιατρικές διαγνώσεις. Ενώ αυτή η διαδικασία και τα προαναφερθέντα εργαλεία έχουν χρησιμοποιηθεί και εφαρμοστεί επιτυχώς για τον εντοπισμό και την διάγνωση ορισμένων ασθενειών, πολλές διαγιγνώσκονται χρησιμοποιώντας μεθόδους που μπορεί να είναι δαπανηρές, επώδυνες για τον ασθενή ή / και ανακριβείς, ειδικά στα αρχικά στάδια της ανάπτυξής τους. Έτσι, παραμένει η ανάγκη για την περεταίρω έρευνα και ανάπτυξη που θα στοχεύει στο να παρέχει έγκαιρη διάγνωση και ανάλυση για κάθε ασθενή με πιο αποδοτική, ακριβή και μη επεμβατική τακτική (Fitzgerald & Fenniri, 2017). Ο βασικός στόχος της μη παρεμβατικής επίβλεψης και αξιολόγησης των ασθενών βασίζεται στο γεγονός πως κατά την καταγραφή των βιομετρικών δεικτών οι διαγνωστικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται δεν περιλαμβάνουν τη διάτρηση του δέρματος ή τη δημιουργία τομής στο σώμα (μη παρεμβατικές).

Στο παρόν κεφάλαιο, παρουσιάζεται μια αναλυτική βιβλιογραφική επισκόπηση όσον αφορά την ακουστική λειτουργεία και διάφορους βιομετρικούς δείκτες μεταξύ άλλων, το καρδιακό ρυθμό, την αρτηριακή πίεση, το ρυθμό αναπνοής και τα ποσοστά γλυκόζης στο αίμα. Ο βασικός στόχος του συγκεκριμένου κεφαλαίου είναι η συγκεντρωτική επισκόπηση των προαναφερθέντων δεικτών κυρίως λόγω του γεγονότος πως αποτελούν και βασικά ποσοτικοποιημένα δεδομένα κατά την χρήση μη παρεμβατικών φορετών συσκευών (wearables) και του άμεσου ή έμμεσου συσχετισμού τους με την απώλεια ακοής. Όπως είναι κατανοητό δεν εμφανίζουν όλοι οι βιομετρικοί δείκτες τον ίδιο βαθμό συσχετισμού με την ακουστική λειτουργία και

κατ’ επέκταση την απώλεια ακοής ενώ ιδιαίτερο ενδιαφέρον εντοπίζεται στο γεγονός πως δύναται ο συσχετισμός της απώλειας να εμπεριέχει το συνδυασμό παραπάνω από δύο συναφών αλλά διαφορετικών βιομετρικών δεικτών. Τέλος αξίζει να σημειωθεί πως μία ενδεχόμενη ανωμαλία στην απόκριση ενός από τους ζωτικούς δείκτες ενδέχεται να επηρεάσει και ένα έτερο εξ αυτών και συνολικά αυτό να προκαλέσει αστοχία στην ακουστική λειτουργία.

3.2. Καρδιακός παλμός

Ο παράγοντας της επίβλεψης και αξιολόγησης της μεταβολής του καρδιακού παλμού αναφέρεται στην μελέτη των διακυμάνσεων του καρδιακού ρυθμού απόκρισης σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα. Αυτές οι διακυμάνσεις αντικατοπτρίζουν τη ψυχοσωματική δραστηριότητα τόσο μέσω των συμπαθητικών όσο και από των παρασυμπαθητικών κλάδων του αυτόνομου νευρικού συστήματος. Το αυτόνομο νευρικό σύστημα είναι το μέρος του νευρικού συστήματος που συνδέεται με όρνανα των οποίων η λειτουργία δε γίνεται με τη θέλησή μας, όπως είναι η καρδιά, οι λείοι μύες των σπλάγχνων και των αγγείων και οι αδένες (Aitken et al., 1967). Παράλληλα, βρίσκεται και στο κεντρικό νευρικό σύστημα (εγκέφαλος και νωτιαίος μυελός) και στο περιφερικό (εγκεφαλικά και νωτιαίο νεύρα). Διακρίνεται σε παρασυμπαθητικό και συμπαθητικό νευρικό σύστημα. Τα δύο αυτά συστήματα δρουν με ανταγωνιστικό τρόπο μεταξύ τους αλλά και αλληλοσυμπληρώνονται σε κατάσταση δυναμικής ισορροπίας. Για παράδειγμα, στην καρδιά, το συμπαθητικό νευρικό σύστημα αυξάνει τον καρδιακό ρυθμό ενώ το παρασυμπαθητικό τον ελαττώνει (Nieuwenhuys et al., 2007).

Το ερευνητικό ενδιαφέρον που παρουσιάζεται είναι η ύπαρξη συσχετισμού της καρδιακής απόκρισης με την καταπόνηση του ανθρώπινου σώματος μέσω μιας στοχευμένης δραστηριότητας. Αποτελεί γεγονός πως η ψυχοσωματική δραστηριότητα δύναται να επηρεάσει την καρδιακή απόκριση μιας και έχουν παρατηρηθεί αντίστροφα ανάλογες σχέσεις μεταξύ συγκεκριμένων δραστηριοτήτων και του καρδιακού παλμού τόσο για την οπτική προσοχή (Duschek et al., 2009; Moses et al., 2007) όσο και για την άσκηση αναστολής συμπεριφοράς (behavioral inhibition tasks) (Mathewson et al., 2010).

Όσον αφορά την ακουστική ικανότητα και την απόκριση του καρδιακού παλμού, μια από τις πρώτες προσεγγίσεις ήταν αυτή των Dorman et al., (2012), στόχος

των οποίων ήταν να ποσοτικοποιηθεί η συνολική προσπάθεια που εμπλέκεται στην αντίληψη του λόγου, όπως υποδεικνύεται από ένα φυσιολογικό μέτρο μεταξύ των επιπέδων άγχους και της μεταβλητότητας του καρδιακού ρυθμού. Βασικός πυλώνας της έρευνας τους ήταν το γεγονός πως οι ασθενής με προβλήματα ακοής αναφέρουν συνήθως συναισθήματα άγχους και ψυχικής κόπωσης ως απάντηση στις απαιτήσεις επικοινωνίας σε έντονα και απαιτητικά κοινωνικά περιβάλλοντα. Εξαιρετικής σημασίας αποτελεί η αναγνώριση πώς η αντιστροφή της απώλειας της αίσθησης της ακοής σε κάποιο βαθμό, με παρέμβαση, όπως ακουστικό βαρηκοΐας ή κοχλιακό εμφύτευμα οδηγεί τα ίδια άτομα να αναφέρουν μια γενική μείωση των συμπτωμάτων που σχετίζονται με το στρες και βελτιωμένες κοινωνικές αλληλεπιδράσεις. Η κλινική μελέτη των Dorman et al., (2012) επιβεβαιώνει τον επιθυμητό συσχετισμό της δραστηριότητας της ακοής και του καρδιακού παλμού.

Στο ίδιο ερευνητικό τομέα, οι Mackersie et al., (2015), πραγματοποίησαν μια μελέτη βασιζόμενοι στη παραδοχή πως τα άτομα με απώλεια ακοής βιώνουν μεγαλύτερο γνωστικό φορτίο από ό, τι τα άτομα με φυσιολογική ακοή. Παράλληλα υποθέσανε ότι τόσο η υποκειμενική όσο και η ψυχοφυσιολογική αντιδραστικότητα στον θόρυβο θα ήταν μεγαλύτερη κατά τη διάρκεια δραστηριοτήτων ομιλίας και αναγνώρισης για συμμετέχοντες με απώλεια της αίσθησης της ακοής. Για τη διεξαγωγή της έρευνας τους 18 ενήλικες με απώλεια ακοής και 15 ενήλικες με άρτια ακοή συμμετείχαν σε διαδικασίες ερεθισμού μέσω ομιλίας και θορύβων, υποκειμενικά μέτρα φόρτου εργασίας και άγχους, ψυχοφυσιολογικές μετρήσεις και δοκιμή αναγνώρισης προτάσεων. Τα αποτελέσματα της έρευνας ενίσχυσαν την υπόθεση, ότι οι ακροατές με απώλεια της αίσθησης της ακοής βιώνουν μεγαλύτερο ψυχοφυσιολογικό άγχος που σχετίζεται με την διαδικασίας της επικοινωνίας σε σχέση με άτομα με άρτια ακοή, Επιπροσθέτως, οι συμμετέχοντες με απώλεια ακοής εμφάνισαν μεγαλύτερη παρασυμπαθητική καταστολή κάτι το οποίο αποδεικνυόταν από τη μείωση του καρδιακού ρυθμού κατά τη διάρκεια της δραστηριότητας αναγνώρισης ομιλίας σε θόρυβο σε σχέση τους συμμετέχοντες με άρτια ακοή.

Ο συσχετισμός του καρδιακού παλμού με την απώλεια ακοής μπορεί να βασιστεί και στο γεγονός πως η φυσιολογική ροή αίματος στον κοχλία είναι απαραίτητη για την σωστή και λειτουργική ακουστική ικανότητα. Επιπρόσθετα η απώλεια της ακοής έχει συσχετιστεί με διάφορους καρδιαγγειακούς παράγοντες κινδύνου και τον καρδιακό ρυθμό ανάπαυσης. Πιο συγκεκριμένα οι Helzner et al.,

(2011), διαπιστώσανε πως ο παράγοντας του καρδιακού παλμού και πιο συγκεκριμένα ο ταχύτερος καρδιακός ρυθμός ανάπαυσης συσχετίστηκε με χαμηλότερη ακουστική ευαισθησία. Ανάλογο ενδιαφέρον στον παραπάνω συσχετισμό επιβεβαίωσαν μέσω της έρευνας τους οι Engdahl et al., (2015) οι οποίοι αναφέρουν πως ότι ο υψηλός καρδιακός ρυθμός ανάπαυσης συσχετίστηκε με απώλεια ακοής.

3.3. Αρτηριακή πίεση

Όπως και στην παραπάνω περίπτωση της σύνδεσης του καρδιακού παλμού με την απώλεια ακοής, ο συσχετισμός της με την αρτηριακή πίεση αποτελεί ένα ενδιαφέρον θέμα συζήτησης και έρευνας στο κατά πόσο ο παραπάνω συσχετισμός αποδεικνύεται. Όσον αφορά τον βιομετρικό δείκτη της αρτηριακής πίεσης επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. Αυτοί περιλαμβάνουν την ηλικία, το φύλο, το σωματικό βάρος, το επίπεδο φυσικής κατάστασης, την τρέχουσα σωματική δραστηριότητα και συμπεριφορές όλων των ειδών, για παράδειγμα, το άγχος, το φαγητό, το ποτό και την άσκηση. Επιπλέον, η αρτηριακή πίεση ποικίλλει συνεχώς με μεταβολές που προκαλούνται από αλλαγές στα διαστήματα του καρδιακού ρυθμού, των καρδιακών παλμών και ύπνου, καθώς και τα επίπεδα ψυχολογικού στρες.

Σε μια από τις πρώτες προσπάθειες διερεύνησης του συγκεκριμένου συσχετισμού, ο Hansen (1968), πραγματοποίησε μια ανάλυση των καμπυλών ακοής μεταξύ δυο πληθυσμών από ασθενείς με φυσιολογική και με αυξημένη αρτηριακή πίεση. Η ομάδες των ασθενών χαρακτηρίζονταν από άτομα ηλικίας άνω των 45 ετών. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός πως, δεν βρέθηκε καμία συσχέτιση μεταξύ του μεγέθους της συστολικής ή διαστολικής αρτηριακής πίεσης και της απώλειας της αίσθησης ακοής.

Λαμβάνοντας υπό όψη το γεγονός πως όλα τα ζωντανά κύτταρα του ανθρώπινου σώματος εξαρτώνται από την κατάλληλη παροχή οξυγόνου και θρεπτικών ουσιών προκειμένου να διατηρηθεί η λειτουργία τους και το γεγονός πως, αυτή η παροχή εξαρτάται από τη λειτουργική και δομική ακεραιότητα της καρδιάς και των αιμοφόρων αγγείων η σύνδεση της αρτηριακής πίεσης με την λειτουργεία του εσωτερικού αυτιού αποτέλεσε αντικείμενο περισσότερων ερευνών. Πιο συγκεκριμένα όπως αναφέρουν οι Nagahara et al. (1983), οι ξαφνικές και προοδευτικές νευροαισθητηριακές απώλειες ακοής ενδέχεται να σχετίζονται με την αγγειακή δυσλειτουργία του εσωτερικού αυτιού κάτι το οποίο μέχρι την δυνατότητα ικανότερης

μελέτης της κοχλιακής ροής αίματος (σ.σ. με την εξέλιξη της τεχνολογίας) ήταν πολύ δύσκολο να αποδειχθεί ότι ένα κυκλοφορικό πρόβλημα ήταν πράγματι η αιτία στη παρατηρούμενη συγκεκριμένη διαταραχής της ακουστικής λειτουργείας.

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει συμφωνία στην αντίληψη πως, η παθολογία του κυκλοφορικού συστήματος στη περιοχή του αυτιού μπορεί να επηρεάσει άμεσα την ακοή με διάφορους τρόπους (Ohinata et al., 1994). Ένας από τους σχετιζόμενους αγγειακούς φυσιο-παθολογικούς μηχανισμούς είναι η αύξηση του ιξώδους του αίματος, η οποία μειώνει τη ροή του και κατ' επέκταση οδηγεί στη μείωση της μεταφοράς οξυγόνου, προκαλώντας υποξία των ιστών και εν συνεχεία διαστρέβλωση της αίσθησης της ακοής ή και την απώλεια της.

Σε μια πιο σύγχρονη ανάλυση, οι Agarwal et al., (2013) είχαν ως στόχο τον προσδιορισμό της πιθανής συσχέτισης της υπέρτασης και με την απώλεια ακοής. Μέσα από την κλινική μελέτη 150 περιπτώσεων ασθενών ηλικίας 45-64 χρονών συμπέραναν το ότι οι ασθενείς με υπέρταση, παρουσίαζαν υψηλότερο κατώτατο όριο ακοής από αυτούς χωρίς υπέρταση. Επιπροσθέτως, οι Przewoźny et al., (2015), παρουσίασαν μια ανασκόπηση σε πειραματικές και κλινικές έρευνες σχετικά με τη συμβολή της υπέρτασης στην κοχλιακή απώλεια ακοής αν και δεν είναι ξεκάθαρο, ότι η υπέρταση δύναται να θεωρηθεί σημαντικός παράγοντας κινδύνου στην νευροαισθητηριακή απώλεια ακοής και περεταίρω στοχευμένες κλινικές έρευνες θεωρούνται επιτακτικές . Ο προαναφερθείς αυτός σύνδεσμος φαίνεται ότι επηρεάζεται από ετέρους παράγοντες όπως ο διαβήτης, η έκθεση στο θόρυβο, το άγχος, η προχωρημένη ηλικία και το φύλο.

3.4. Κορεσμός οξυγόνου στο αίμα

Ο κορεσμός του οξυγόνου στο αίμα σαν βιομετρικός δείκτης αναφέρεται στον βαθμό στον οποίο η αιμοσφαιρίνη είναι κορεσμένη με οξυγόνο. Η αιμοσφαιρίνη είναι ένα στοιχείο στο αίμα που συνδέεται με οξυγόνο για να το μεταφέρει μέσω της κυκλοφορίας του αίματος στα όργανα, τους ιστούς και τα κύτταρα του σώματός και να διασφαλίζει την άρτια λειτουργία του. Ένα επίπεδο κάτω από το φυσιολογικό του οξυγόνου στο αίμα, ειδικά στις αρτηρίες αποτελεί σημάδι παθολογικής αστοχίας η οποία λογικά σχετίζεται με την αναπνοή ή την κυκλοφορία και μπορεί να οδηγήσει σε διάφορα συμπτώματα. Η κατάσταση αυτή ορίζεται ως υποξία και αποτελεί μια κατάσταση που προκαλείται από τη διαταραχή στην ισορροπία προσφοράς και κατανάλωσης οξυγόνου (O_2) σε σημεία του ανθρώπινου σώματος ενώ παράλληλα μια

συγγενής με το κορεσμό αστοχία η ισχαιμία, , είναι η μείωση της ροής του αίματος στους ιστούς. Σε κάθε περίπτωση και οι δύο περιπτώσεις σχετίζονται με την τροφοδοσία ικανής ποσότητας αίματος και κατ' επέκταση οξυγόνου στα απαραίτητα σημεία του ανθρώπινου σώματος και αυτή είναι και η βάση με τον πιθανό συσχετισμό με την απώλεια ακοής.

Η αναγνώριση της σημασίας της παρουσίας του απαραίτητου οξυγόνου στα ακουστικά κύτταρα είναι και η βάση του συσχετισμού του κορεσμού του αίματος με την απώλεια ακοής. Η εμφάνιση της νευροαισθητηριακής απώλειας ακοής, προκαλείται συχνά από την άμεση βλάβη στα τριχοειδή κοχλιακά κύτταρα και θεωρείται πιο συχνή και πιο σοβαρή από τις αντίστοιχες διαταραχές που επηρεάζουν το εξωτερικό ή το μεσαίο αυτί (Eggermont, 2017). Παράλληλα, οι μηχανισμοί που σχετίζονται με τη παρουσία φαινομένων εμβοής καθώς και την επίκτητη απώλεια ακοής σχετίζονται με αστοχίες στα τριχοειδή ακουστικά κύτταρα, διαταραχές της μεταγωγής σήματος στην περιοχή των εξωτερικών και εσωτερικών κυττάρων καθώς και βλάβες της κοχλιακής ροής αίματος, την υποξία και την ισχαιμία (Cayonu et al., 2014).

Η επιστημονική κοινότητα έχει αναφερθεί στην υποξία και την ισχαιμία ως βασικούς παθογόνους παράγοντες σε φαινόμενα απώλειας της ακοής. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός πως η πλειονότητα των περιπτώσεων απώλειας ακοής που εντοπίσθηκαν σε νεογνά σχετίζεται με λοιμώξεις και υποξικά-ισχαιμικά επεισόδια μετά τον τοκετό (Borg, 1997).

3.5. Γλυκόζη στο αίμα

Ο σακχαρώδης διαβήτης Τύπου 2 είναι μια μεταβολική διαταραχή που χαρακτηρίζεται από υπεργλυκαιμία (υψηλό σάκχαρο στο αίμα) στο πλαίσιο της αντίστασης στην ινσουλίνη και της σχετικής έλλειψης αυτής. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τον σακχαρώδη διαβήτη Τύπου 1, στον οποίο υπάρχει απόλυτη έλλειψη ινσουλίνης λόγω της κυτταρικής αστοχίας στο πάγκρεας (Eggermont, 2017). Μεταξύ των διαταραχών του μεταβολισμού της γλυκόζης, ο σακχαρώδης διαβήτης είναι η ασθένεια που σχετίζεται περισσότερο με διάφορες ακουστικές διαταραχές. Είναι γεγονός πως εντοπίζονται πολλοί και διαφορετικοί τύποι απώλειας ακοής σε διαβητικούς ασθενείς ενώ είναι προφανές, μετά από μια ανασκόπηση της ωτορινολαρυγικής βιβλιογραφίας, ότι η σαφής και ξεκάθαρη σχέση μεταξύ διαβήτη και της νευροαισθητηριακής

απώλειας της ακοής παραμένει περίπλοκη και αποτελεί θέμα με ιδιαίτερο ερευνητικό ενδιαφέρον εδώ και πολλές δεκαετίες (Aimoni et al., 2010; Kakarlapudi et al., 2003; Maia & de Campos, 2005). Το τελευταίο προκύπτει από το γεγονός ότι εντοπίζονται αρκετοί, διαφορετικοί τύποι απώλειας ακοής σε διαβητικούς ασθενείς.

Μια από τις πρώτες παρατηρήσεις που εντοπίσθηκαν ήταν αυτή της προοδευτικά σταδιακής και αμφίπλευρης νευροαισθητηριακής απώλειας ακοής, που επηρεάζει ιδιαίτερα τις υψηλές συχνότητες και τους ηλικιωμένους ασθενείς (Friedman et al., 1975; Miller et al., 1983; Nageris et al., 1998). Αν και ο παραπάνω συσχετισμός δημιούργησε χώρο για διαφωνία μιας και η μορφή της απώλειας ακοής ήταν παρόμοια με την πρεσβυακοΐα, το γεγονός πως παρουσιάζει σοβαρότερο βαθμό απώλειας από αυτό που αναμενόταν από τη γήρανση ενίσχυσε την πρωταρχική ερμηνεία (Maia & de Campos, 2005). Παράλληλα με την παραπάνω ερμηνεία, υπάρχουν ΄έρευνες που αναφέρουν την πιθανότητα πρόωρης απώλειας ακοής νευροαισθητηριακού τύπου σε σύνδεση με το διαβήτη (Aimoni et al., 2010; Friedman et al., 1975; Weng et al., 2005) και άλλοι που εντοπίζουν την αστοχία της απώλειας μόνο στις χαμηλές και τις μεσαίες συχνότητες (Jørgensex & Buch, 1961; Tay et al., 1995). Επιπρόσθετα, ορισμένες μελέτες περιέγραψαν τον διαβήτη ως την πιθανή αιτία της μονομερούς ξαφνικής απώλειας και εστίασαν σε αυτό φαινόμενο (Jørgensex & Buch, 1961), ενώ άλλες δεν επιβεβαίωσαν την ύπαρξη αντίστοιχης σύνδεσης (Dalton et al., 1998).

Όπως αναφέρουν στην ανάλυση τους οι Kakarlapudi et al., (2003), οι περισσότερες έρευνες καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι οι ασθενείς με διαβήτη έχουν εμφανώς χειρότερη ακοή. Ωστόσο, όπως προκύπτει ο συσχετισμός μεταξύ του διαβήτη και της απώλειας ακοής παραμένει μη ξεκάθαρος, κάτι το οποίο είναι εμφανές και μεταξύ κλινικών ερευνών που προσπάθησαν να εντοπίσουν μοτίβα στα δημογραφικά στοιχεία των ερευνών τους. Μερικοί ερευνητές, όπως για παράδειγμα ο Harner (1981), αρνήθηκαν τη ύπαρξη συσχετισμού ενώ σύμφωνα με τους Cullen και Cinnamond (1993), οι άνδρες με διαβήτη είχαν χειρότερη ακοή συνολικά από ότι οι γυναίκες με διαβήτη. Σε εντελώς αντίθετη κατεύθυνση, οι Taylor και Irwin (1978) παρατήρησαν ότι οι γυναίκες ασθενείς με διαβήτη είχαν σημαντικά μεγαλύτερη απώλεια ακοής από τους άνδρες με διαβήτη.

Όπως παρουσιάζεται στη βιβλιογραφική ανασκόπηση, δεν υπάρχουν αρκετά στοιχεία που να ορίζουν σταθερά τον σακχαρώδη διαβήτη ως αιτία της απώλειας ακοής

μιας και είναι εμφανές το γεγονός πως δεν υπάρχει συμφωνία μεταξύ πληθώρας ερευνών στις βασικές πτυχές αυτού του θέματος. Η ουσιαστική σχέση μεταξύ των ποσοστών γλυκόζης στο αίμα και της νευροαισθητηριακής κατά κύριο λόγο απώλειας της ακοής βασίζεται στη δεδομένη, τεκμηριωμένη νευροπαθητική και μικροαγγειακή επιπλοκής του διαβήτη και της περίπλοκης φύσης παροχής αίματος στο εσωτερικό αυτί. Παράλληλα, οι επιδράσεις διαφορετικών μεταβλητών όπως η διάρκεια του διαβήτη, ο έλεγχος του σακχάρου στο αίμα και η παρουσία βλάβης στα όργανα (Cayonu et al., 2014) σε σχέση με την απώλεια ακοής δεν έχουν ακόμη διευκρινιστεί, παρά τις αρκετές μελέτες που έχουν προσεγγίσει το θέμα. Τέλος είναι απαραίτητο να τονισθεί το γεγονός πως μέρος της δυσκολίας στον εντοπισμό των επιπτώσεων του διαβήτη στην ακοή είναι η παρουσία συννοσηρότητας, όπως η υπέρταση, κάτι το οποίο θα μπορούσε ενδεχομένως να επηρεάσει εμφανώς την ακουστική ικανότητα.

3.6. Ρυθμός αναπνοής

Ο ρυθμός αναπνοής είναι ένα από τα βασικά ζωτικά σημεία παρακολούθησης ενός ασθενή και αποτελεί τον αριθμό των αναπνοών που παίρνει ανά λεπτό. Ένα φυσιολογικό όριο για το ρυθμό αναπνοή σε έναν ενήλικα σε κατάσταση ηρεμίας είναι οι 12 έως 20 αναπνοές το λεπτό (Cretikos et al., 2008). Ως εκ τούτου, λιγότερες από 12 ή περισσότερες από 25 αναπνοές ανά λεπτό αποτελούν σαφείς ενδείξεις μη φυσιολογικής λειτουργείας (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**). Μεταξύ των συνθηκών που μπορούν να επηρεάσουν και κατ' επέκταση να αλλάξουν το φυσιολογικό αναπνευστικό ρυθμό είναι το άσθμα, το άγχος, η πνευμονία, η καρδιακή ανεπάρκεια ή ακόμα και διάφορες πνευμονικές ανεπάρκειες.

Η εκτίμηση της επιδείνωσης των ζωτικών σημείων ως προάγγελος της επιδείνωσης ενός ασθενή βασίζεται στην ανάγκη της έγκαιρης επέμβασης όπως προκύπτει από παθολογικές ενδείξεις και. κατά την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας αυτής της λογικής, έχει παρατηρηθεί ότι η παρακολούθηση του ρυθμού αναπνοής είναι το πιο συχνά παραλειπόμενο καταγεγραμμένο ζωτικό σημάδι παρά την αναγνώριση πως το ανθρώπινο σώμα διατηρεί μια υγιή κατάσταση αυξάνοντας τον αναπνευστικό ρυθμό (Kelley & Ramsay, 2014).

Πίνακας 3 Πίνακας με την κατηγοριοποίηση βασικών ορίων ζωτικών ενδείξεων από την βρεφική μέχρι την εφηβική ηλικία (Corrales & Starr, 2010).

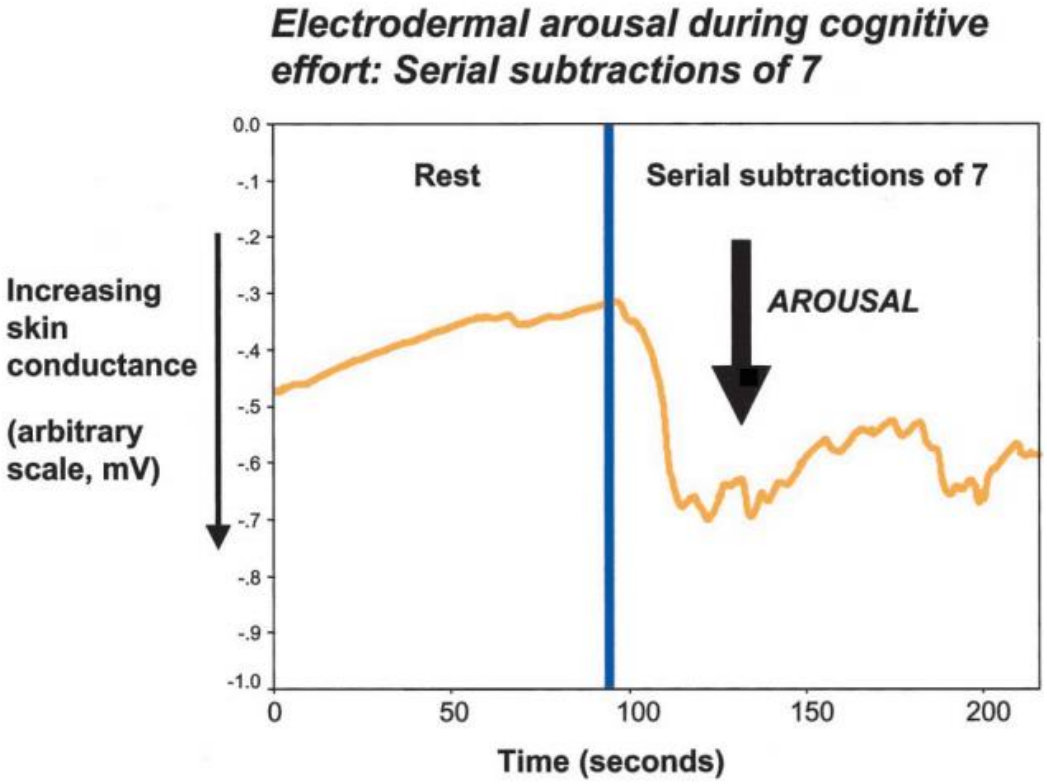
Ηλικία	Ρυθμός Αναπνοής (hs/min)	Καρδιακός Ρυθμός (beats/min)	Ελάχιστη συστολική αρτηριακή πίεση (mmHg)
Βρέφος	30-60	100-160	>60
Νήπιο	24-40	90-150	>70
Προσχολική ηλικία	22-34	80-140	>75
Παιδί ηλικίας σχολείου	18-30	70-120	>80
Έφηβος	12-16	60-100	>90

Οι Poole et al., (1966) ήταν από τους πρώτους που προσπάθησαν να εξετάσουν το πιθανό συσχετισμό της ακουστική λειτουργείας με τον ρυθμό αναπνοής και πιο συγκεκριμένα την μεταβολή αυτού. Με βάση την μελέτη τους, τα ευρήματα έδειξαν αρχικά ότι υπάρχει σημαντική επιβράδυνση στον κύκλο της αναπνοής κατά τη διάρκεια της ακουστικής διέγερσης των συμμετεχόντων σε σύγκριση με τον κύκλο αναπνοής όταν δεν υπάρχει ηχητική διέγερση. Επιπροσθέτως, η επιβράδυνση του κύκλου αναπνοής είναι μεγαλύτερη κατά τη διέγερση των χαμηλών συχνοτήτων από ότι των υψηλών. Βασιζόμενη στην ίδια αντίληψη, οι Teel et al.,(1967), αναγνώρισαν το γεγονός ότι η μέτρηση των αναπνευστικών αλλαγών παρουσία ακουστικών ερεθισμάτων θα μπορούσε να είναι μια χρήσιμη μέθοδος για την έμμεση αξιολόγηση της ακουστικής λειτουργίας.

3.7. Γαλβανική απόκριση του δέρματος

Μία σωματική παράμετρος - αντίδραση, που αντανακλάτε σε διαδικασίες όπως η ψυχική δραστηριότητα σε ένα άτομο ή ως αποτέλεσμα έντονων και αγχωδών καταστάσεων, είναι η ηλεκτροδερμική δραστηριότητα (EDA), η οποία περιγράφει την ηλεκτρική αγωγιμότητα και τις αλλαγές του δυναμικού του δέρματος (Critchley, 2002). Η συγκεκριμένη δραστηριότητα είναι γνωστή και ως γαλβανική απόκριση του δέρματος, και αφορά το μέτρο των συνεχών διακυμάνσεων των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών του δέρματος, όπως για παράδειγμα την αγωγιμότητα, που προκαλείται από την μεταβολή της εφίδρωσης του σώματος.

Η βασική θεώρηση της συγκεκριμένη προσέγγισης, βασίζεται στην υπόθεση ότι η αντίσταση του δέρματος ποικίλλει ανάλογα με την απόκριση των αδένων του ιδρώτα στο δέρμα. Η εφίδρωση του ανθρώπινου σώματος ρυθμίζεται από το αυτόνομο νευρικό σύστημα και πιο ειδικά, εάν ο συμπαθητικός κλάδος του διεγείρεται ιδιαίτερα, τότε αυξάνεται επίσης η δραστηριότητα του ιδρώτα, η οποία με τη σειρά της αυξάνει την αγωγιμότητα του δέρματος και το αντίστροφο. Με αυτόν τον τρόπο, η αγωγιμότητα του δέρματος μπορεί να είναι ένα μέτρο αντίληψης του ανθρώπινου συμπαθητικού νευρικού συστήματος (Lazar et al., 2017). Έτσι δύναται να στηριχθεί ο συσχετισμός όπου, οι αποκρίσεις του συμπαθητικού νευρικού συστήματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάγνωση συγκεκριμένων αντιδράσεων του ανθρώπινου σώματος (Goldstein & Kopin, 2007) και επομένως, η επίβλεψη και εξέταση τους (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**) είναι ένας καλός δείκτης για τη συμπαθητική αντίδραση μιας ψυχοπαθολογικής δραστηριότητας μιας και ακόμη και απλές προκλήσεις, όπως για παράδειγμα, ψυχικό φορτίο ή συναισθηματική διέγερση, οδηγούν σε αυξημένη ηλεκτροδερμική δραστηριότητα (Holube et al., 2016).



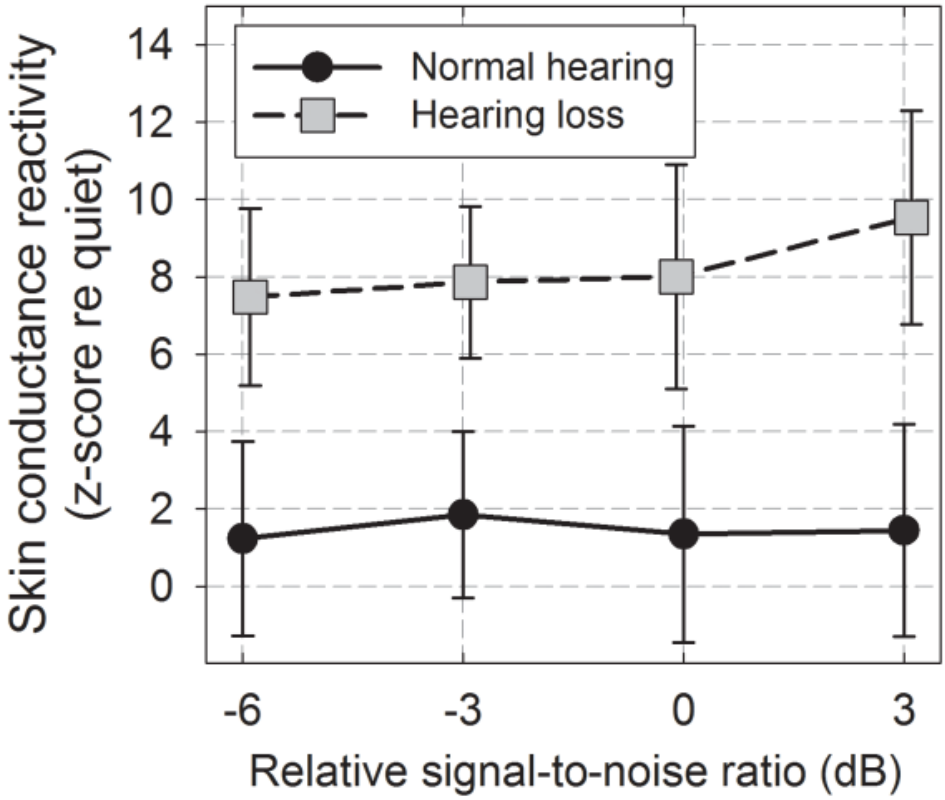
Εικόνα 20 Χαρακτηριστική γραφική απεικόνιση διαγράμματος, ηλεκτροδερμικής απόκρισης κατά γνωστική δραστηριότητα / πρόκληση. Οι ηλεκτροδερμικές αποκρίσεις ενός ατόμου σε κατάσταση ηρεμίας (προς τα αριστερά της μπλε γραμμής) και κατά την εκτέλεση μιας δοκιμής γνωστικής

δραστηριότητας / πρόκλησης. Οι μειώσεις στο ίχνος της γραμμής υποδηλώνουν αυξημένη συμπαθητική δραστηριότητα (Critchley, 2002).

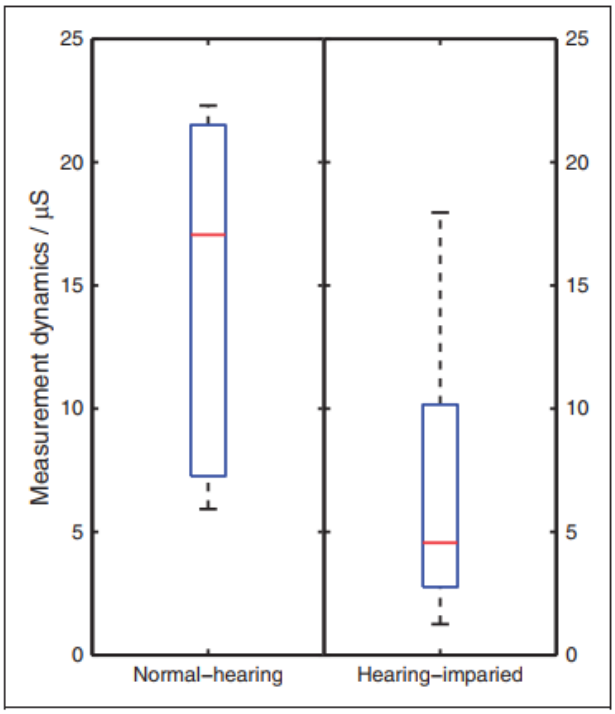
Όπως προαναφέρθηκε, η μέτρηση της ηλεκτροδερμικής δραστηριότητας αντανακλά την ποσότητα υγρασίας που εκκρίνεται στο δέρμα και θεωρείται δείκτης δραστηριότητας του συμπαθητικού νευρικού συστήματος. Συγκεκριμένα, η αύξηση της αγωγιμότητας του δέρματος υποδηλώνει αυξημένη διέγερση του συμπαθητικού νευρικού συστήματος (Cacioppo et al., 2007) και έχει αποδειχθεί ο συσχετισμός ότι η αύξηση της συσχετίζεται με την αυξημένη δυσκολία σε δραστηριότητες που εμπεριέχουν διανοητικές και γλωσσικές προκλήσεις (Clements & Turpin, 1995; Gendolla & Krüsken, 2001) και ως σωματική απόκριση στην ψυχολογική δυσφορία (Elfering & Grebner, 2011) και αυτό μπορεί να δώσει πρόσφορο έδαφος για την μελέτη της ακουστικής δραστηριότητας και ιδιαίτερη χρήση ως δείκτης για την επίδραση της μεταβλητής προσπάθειας στην ακρόαση.

Στο τομέα της μελέτης της ακουστικής ικανότητας έχουν αναφερθεί αλλαγές που σχετίζονται με την αγωγιμότητα του δέρματος ενώ έχουν αναφερθεί σημαντικές αυξήσεις στο επίπεδο αγωγιμότητας του δέρματος σε έρευνες με συμμετέχοντες με άρτια ακοή κάτω από την αυξανόμενη ζήτηση ακουστικών δραστηριοτήτων, ακόμη και όταν η απόδοση ήταν στο ανώτατο όριο (Mackersie & Cones, 2011). Το παρακάτω διάγραμμα (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**) παρουσιάζει την εμφανή διαφοροποίηση όπως προέκυψε από την έρευνα των Mackersie & Cones (2011) μεταξύ της ηλεκτροδερμικής δραστηριότητας των συμμετέχοντων με άρτια ακουστική λειτουργία και αυτών που αντιμετώπιζαν απώλεια ακοής ενώ συμπερένουν πως κατά μέσο όρο, οι συμμετέχοντες με απώλεια ακοής εμφάνισαν μεγαλύτερη διέγερση του συμπαθητικού νευρικού συστήματος. Σε μια συναφή έρευνα οι Holube et al., (2016), εφάρμοσαν την ίδια σκεπτική για την μελέτη της ακουστικής δραστηριότητας σε συσχετισμό με την ηλεκτροδερμική δραστηριότητα . Όπως και στην προαναφερθείσα έρευνα, η μελέτη των Holube et al., (2016), έδειξε μια ευρεία διασπορά αλλά παραλάλληλα μια σημαντικά και διακριτή διαφοροποίηση μεταξύ της δυναμικής μέτρησης για τα άτομα με φυσιολογική ακοή και των ατόμων με προβλήματα ακοής (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**). Επιπροσθέτως, δεν παρατηρήθηκε σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ των ανδρών και των γυναικών που συμμετήχαν κάτι το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ικανό

επιχείρημα στο διάλογο για την αυξημένη σημασία αξιολόγισης των γαλβανικών απορκίσεων του δέρματος στην μελέτη της απώλειας ακοής.



Εικόνα 21 Γραφική αναπαράσταση των ηλεκτροδερματικής αγωγιμότητας μεταξύ των πληθυσμών με απώλεια ακοής καθώς και αυτών με άρτια ακοή (Mackersie et al., 2015).



Εικόνα 22 Δυναμική μέτρησης της ηλεκτροδερμικής αγωγιμότητας για δύο ομάδες αξιολόγησης, μεταξύ ατόμων με προβλήματα ακοής και άρτιας ακοής (Holube et al., 2016).

3.8. Θερμοκρασία σώματος

Η αξιολόγηση της θερμοκρασίας του σώματος είναι μια από τις παλαιότερες και πιο γνωστές διαγνωστικές μεθόδους και εξακολουθεί να αποτελεί σημαντικό σημάδι για την εκτίμηση των ζωτικών επιπέδων των ασθενών, τόσο στην καθημερινή ζωή όσο και κατά την διαδικασία της ιατρικής περίθαλψη (Atkins, 1984). Στην κλινική πρακτική, η καταγραφή και αξιολόγηση της θερμοκρασίας του σώματος έχει μεγάλο αντίκτυπο στις αποφάσεις της νοσηλευτικής φροντίδας καθώς και στην διάγνωση και θεραπεία.

Ο ορισμός της κανονικής θερμοκρασίας του ανθρώπινου σώματος είναι έως το σημείο θερμοκρασίας των 37°C, ενώ πυρετός είναι οι θερμοκρασίες μεγαλύτερες ή ίσες των 38°C και εξακολουθεί να αποτελεί ένα γενικό κανόνα σε όλο τον κόσμο. Σε αυτό το σημείο είναι απαραίτητο να τονισθεί το γεγονός, όπως αναφέρουν οι Mackowiak και Wasserman (1995), πως στην πράξη της σωματικής θερμομέτρησης υπάρχει μια ευρεία σύγχυση της αξιολόγησης της θερμοκρασίας του σώματος. Αυτό οφείλεται στην αναγνώριση πως και κατά την εκτίμηση της θερμοκρασίας του σώματος, είναι απαραίτητο να ληφθεί υπόψη, η επίδραση της φυσιολογικής θερμορύθμισης, το φύλο, η γήρανση αλλά και ο τόπος μέτρησης (Sund-Levander & Grodzinsky, 2009).

Όσον αφορά κάποιο σαφή συσχετισμό με την θερμοκρασία του σώματος και την απώλεια ακοής ή την γενικότερη ακουστική δυσλειτουργία, δεν υπάρχει ικανός αριθμός στοχευμένων μελετών που να ενισχύει ή να επιβεβαιώνει την ύπαρξη του. Παρ' όλα αυτά, οι Hato et al., (2010) παρουσίασαν μια κλινική μελέτη όπου η στοχευμένη αλλαγή της θερμοκρασίας εφαρμόσθηκε ως μέθοδος αντιμετώπισης περιπτώσεων αιφνίδιας νευροαισθητητριακής απώλειας ακοής (Idiopathic Sudden Sensorineural Hearing Loss). Η βάση της θεώρησης των ερευνητών αναγνώρισε αρχικά το γεγονός πως η αιτιολογία της αιφνίδιας νευροαισθητητριακής απώλειας ακοής παραμένει άγνωστη ενώ οι ισχύουσες θεωρητικές αιτίες της περιλαμβάνουν, τις ιογενείς λοιμώξεις (Schuknecht et al., 1962, 1973), την ανοσοδιαμεσολαβούμενη διαταραχή (Cadoni et al., 2002, 2003), τη ρήξη της μεμβράνης του λαβύρινθου και τη διαταραγμένη αγγειακή κυκλοφορία (Schick et al., 2001; Shinohara et al., 2000). Λαμβάνοντας υπό όψη τα παραπάνω καθώς και το γεγονός πως η αιφνίδια

νεθροαισθητηριακή απώλεια ακοής εμφανίζεται ξαφνικά χωρίς προηγούμενα σημάδια ή συμπτώματα, οι Hato et al., (2010) υποστήριξαν ότι η διακοπή της παροχής αίματος στο εσωτερικό αυτί είναι η κύρια αιτία της συγκεκριμένης ακουστικής δυσλειτουργίας και με βάση αυτό πρότειναν την στοχευμένη υποθερμία στην περιοχή του αυτιού ως πιθανό τρόπο αντιμετώπισης. Σε αυτήν την πιλοτική μελέτη, αξιολογήθηκε η ήπια υποθερμία ως αποτελεσματική στην αποκατάσταση της ακοής σε ασθενείς με σοβαρή απώλεια ακοής και σε ασθενείς ηλικίας κάτω των 59 ετών. Το παραπάνω αποτελεί και ένα έμμεσο συσχετισμό ο οποίος ουσιαστικά συνδέει την μεταβολή της σωματικής θερμοκρασίας με την ακουστική λειτουργεία κυρίως λόγω τον έτερων επιπτώσεων που έχει η αυξομείωση της θερμοκρασίας στην συνολικότερη σωματική λειτουργεία όπως είναι η κυκλοφορία του αίματος και κατ' επέκταση η επαρκής οξυγόνωση του.

3.9. Ύπνος

Ο συσχετισμός του ύπνου και της απώλειας ακοής βασίζεται στην αναγνώριση του συσχετισμού του συνδρόμου υπνικής άπνοιας (σ.σ. αποφρακτική άπνοια ύπνου), με ακουστικές δυσλειτουργίες (Sheu et al., 2012). Το σύνδρομο της αποφρακτικής άπνοιας ύπνου είναι μια ασθένεια πολλαπλών συστημάτων που χαρακτηρίζεται από επαναλαμβανόμενα επεισόδια πλήρους ή μερικής απόφραξης των άνω αεραγωγών κατά τη διάρκεια του ύπνου, με αποτέλεσμα το μειωμένο κορεσμό οξυγόνου στο αίμα. Παράλληλα, επηρεάζει πολλά συστήματα στο ανθρώπινο σώμα, συμπεριλαμβανομένων καρδιαγγειακών, ενδοκρινικών, νευρο-ψυχιατρικών και γνωστικών συστημάτων (Hızlı et al., 2013; Kayabasi et al., 2015).

Όπως αναφέρουν στην κλινική μελέτη τους οι Hwang et al (2011) μετά από την επεξεργασία δεδομένων από 224 συμμετέχοντες, διαπίστωσαν ότι το σύνδρομο υπνικής άπνοιας (ΣΥΑ), συσχετίστηκε με μειωμένη κεντρική ακουστική λειτουργία σε ηλικιωμένα άτομα. Επιπροσθέτως υπέθεσαν ότι το ΣΥΑ συμβάλλει άμεσα στην ακουστική λειτουργία κάτι το οποίο σχετίζεται με την εγκεφαλική αγγειακή ανεπάρκεια και ότι ενισχύεται συνεργικά με την παχυσαρκία και τις μεταβολικές διαταραχές που συνδέονται άμεσα με το ΣΥΑ.

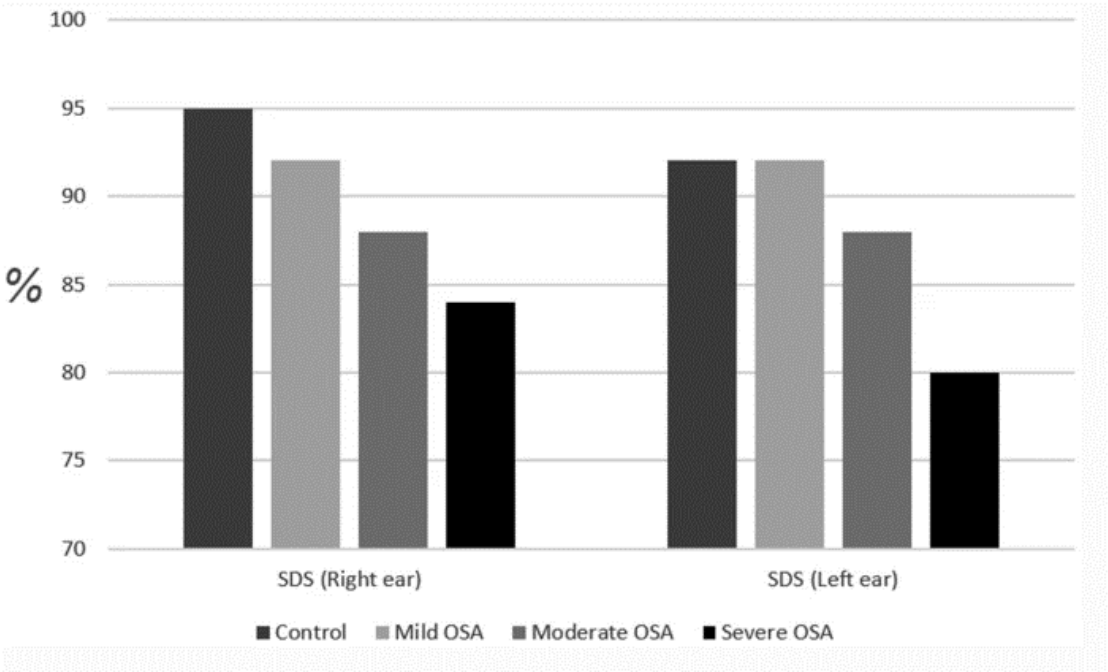
Σε μια αντίστοιχη μελέτη, οι Fisher et al., (2003), ανέφεραν ότι οι ασθενείς που εμφάνισαν ξαφνική νευροαισθητηριακή απώλεια ακοής εμφάνιζαν μεγαλύτερο συσχετισμό με την παρουσία προβλημάτων συνδρόμου υπνικής άπνοιας σε μεγαλύτερη συχνότητα από τους συμμετέχοντες που είχαν φυσιολογικό ύπνο. Σε αυτό

το σημείο είναι ενδιαφέρον να αναφερθεί το γεγονός πως οι Fisher et al., (2003) απεδώσαν τον παραπάνω συσχετισμό σε εγκεφαλοαγγειακούς παράγοντες που συνηθίζονται στο εγκεφαλικό έμφραγμα και στην ξαφνική απώλεια ακοής, αλλά δεν μπόρεσαν να αποδείξουν μια ισχυρή σχέση λόγω του μικρού μεγέθους δείγματος της μελέτης.

Στην πολυπληθή έρευνα τους, οι Sheu et al., (2012), αναγνώρισαν τον στατιστικά σημαντικό συσχετισμό του ΣΥΑ και των καρδιαγγειακών και μεταβολικών διαταραχών, κάτι το οποίο λειτούργησε ως βάση για την έμμεση ερμηνεία και την απόδοση συσχετισμού της με την νευροαισθητηριακή απώλεια ακοής. Όπως αναφέρουν, η περιοχή του κοχλία είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη σε κυκλοφορικές μεταβολές κυρίως επειδή το αίμα παρέχεται μέσα από μία μόνο αρτηρία και στερείται επαρκούς παράπλευρης παροχής αίματος (Lazarini & Camargo, 2006). Το σύνδρομο της υπνικής άπνοιας δύναται να οδηγήσει σε εγκεφαλική αγγειακή ανεπάρκεια με αποτέλεσμα την ύπαρξη φαινομένων υποξίας, και μειωμένης ροής του εγκεφαλικού αίματος κατά τη διάρκεια των επεισοδίων της άπνοιας. Επιπλέον, η αυξημένη δραστηριότητα του συμπαθητικού νευρικού συστήματος δευτερογενώς από τα παραπάνω αποτελέσματα της υποξίας, καθώς και της αρτηριακή πίεση που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια επεισοδίων άπνοιας μπορεί να οδηγήσει σε ανεπιθύμητα εγκεφαλοαγγειακά συμβάντα και ως εκ τούτου ισχαιμικό τραυματισμό στον κοχλία.

Τέλος οι Kayabasi et al., (2019), προσπάθησαν μέσω της κλινικής μελέτης τους να εξετάσουν και να προσδιορίσουν εάν τα φαινόμενα άπνοιας κατά τη διάρκεια του ύπνου έχουν σημαντικές επιδράσεις στην λειτουργία της ακοής, καθώς και να διερευνήσουν τις παραμέτρους της διαδικασίας της πολυσωματογραφίας, (σ.σ. καταγραφή της εγκεφαλικής δραστηριότητας, του επιπέδου οξυγόνου στο αίμα, τον καρδιακό ρυθμό και την αναπνοή, καθώς και τις κινήσεις των ματιών και των ποδιών κατά τη διάρκεια της μελέτης (Douglas et al., 1992)) που μπορεί να σχετίζονται με διαταραχή της ακοής σε ασθενείς με άπνοια ύπνου. Η παρούσα μελέτη, συμπεριέλαβε 120 ασθενείς που εισήχθησαν σε κλινική δοκιμή με φαινόμενα διαταραχής του ύπνου. Συγκροτήθηκαν τέσσερις ομάδες με αναφορά τον δείκτη άπνοιας (συμπεριλαμβανομένης της ομάδας ελέγχου) και πραγματοποιήθηκε σύγκριση των ακοομετρικών παραμέτρων των ομάδων. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν το γεγονός πως η μέτριου βαθμού άπνοια κατά τη διάρκεια του ύπνου επηρέασε τις λειτουργίες ακοής υψηλών συχνοτήτων, καθώς και τις βαθμολογίες στην εξέταση

διάκρισης της ομιλίας. Η σοβαρού βαθμού άπνοια κατά την διάρκεια του ύπνου είχε σημαντικές επιπτώσεις σε όλες τις λειτουργίες ακοής. Τα παραπάνω αποτελέσματα οδήγησαν τους Kayabasi et al., (2019) στο συμπέρασμα πως το σύνδρομο υπνικής άπνοιας έχει αρκετές και διακριτές επιδράσεις στην ακουστική λειτουργεία και ο βαθμός της απώλειας ακοής φαίνεται να σχετίζεται με τη σοβαρότητα του συνδρόμου. Επιπροσθέτως ο συσχετισμός αυτός ερμηνεύεται ως διακριτός μιας και το μέτριο ΣΥΑ επηρέασε τις λειτουργίες ακοής υψηλής συχνότητας ενώ το σοβαρό επηρέασε αρνητικά όλες τις λειτουργίες ακοής.



Εικόνα 23 Συγκριτική απεικόνιση της ακουστικής λειτουργίας σε ποσοστιαία απόδοση με βάση το πληθυσμό των ασθενών και την αναφερόμενο βαθμό του συνδρόμου υπνικής άπνοιας (OSA) (Kayabasi et al., 2019).

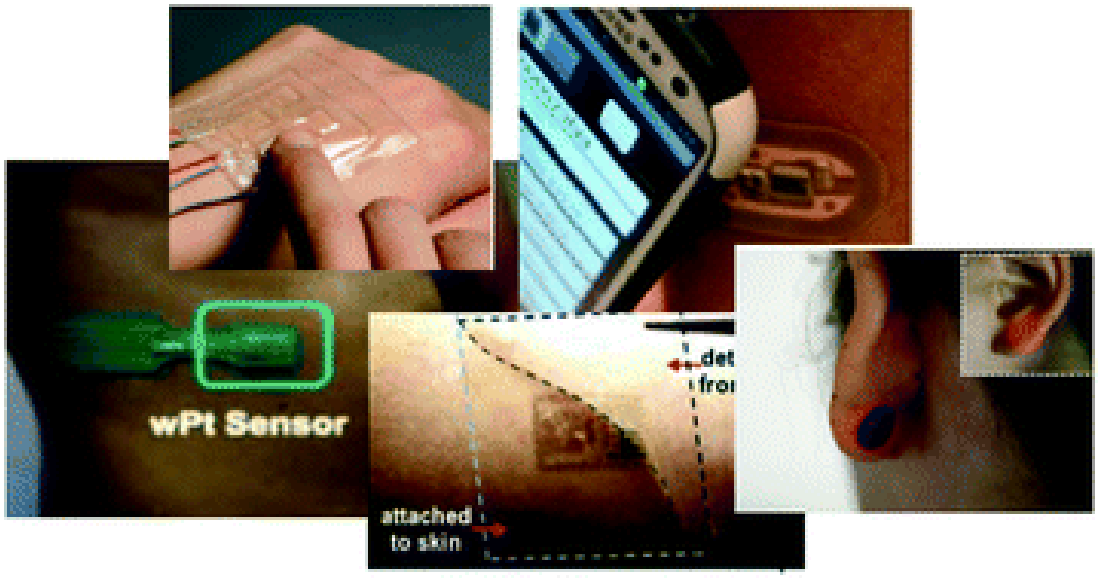
.

4. Τεχνολογία Wearable

4.1. Εισαγωγή στην τεχνολογία των Wearables

Η αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού μαζί με μια σημαντική άνοδο στο ποσοστό γήρανσης έχει δημιουργήσει την ανάγκη για την αντιμετώπιση τής ταχείας αύξησης του κόστους της υγειονομικής περίθαλψης καθώς και της διαθεσιμότητας της σε ολοένα και μεγαλύτερο ποσοστό του κοινωνικού συνόλου. Παράλληλα η συνεχής και ταχεία εξέλιξη των διαθέσιμων αλλά και νέων τεχνολογικών εφαρμογών ανοίγει νέους ορίζοντες στο τομέα της υγειονομικής περίθαλψης. Αυτό αντανακλάται από το γεγονός ότι το σύστημα υγειονομικής περίθαλψης διέρχεται έναν μετασχηματισμό στον οποίο είναι δυνατή η συνεχής παρακολούθηση των ασθενών ακόμη και χωρίς την φυσική παρουσία τους με τη νοσηλεία. Η πρόοδος των τεχνολογιών ανίχνευσης, των ενσωματωμένων συστημάτων, των ασύρματων τεχνολογιών επικοινωνίας και της νανο-τεχνολογίας καθιστά δυνατή την ανάπτυξη έξυπνων συστημάτων για τη συνεχή παρακολούθηση των δραστηριοτήτων του ανθρώπινου σώματος.

Στο συγκεκριμένο τεχνολογικό τομέα, εμπίπτουν οι φορετές συσκευές γνωστές ως “wearables” (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**). Η τεχνολογία των αισθητήρων αυτών, τους καθιστά εξαιρετικά δημοφιλείς σε πολλές εφαρμογές όπως ιατρικά, ψυχαγωγικά, εμπορικά και σχετικά με την ασφάλεια πεδία. Παράλληλα εμφανίζονται εξαιρετικά χρήσιμοι για την παροχή ακριβών και αξιόπιστων πληροφοριών σχετικά με τις δραστηριότητες και τις βιολογικές αποκρίσεις των ανθρώπων, διασφαλίζοντας έτσι μέσα από την γρήγορη και άμεση συλλογή δεδομένων ένα ασφαλές και υγιές περιβάλλον διαβίωσης (Mukhopadhyay, 2014).



Εικόνα 24 Φωτογραφικό κολάζ από χαρακτηριστικά παραδείγματα φορετών συσκευών για την επίβλεψη και μέτρηση βιομετρικών δεικτών (Heikenfeld et al., 2018).

Σε μια σύντομη ιστορική αναδρομή, μια από τις πρώτες αναφορές όχι μόνο στο σχεδιασμό αλλά και στην εφαρμογή ανάλογων συσκευών έγινε στην στη δεκαετία του 1960, όταν η πρόκληση για την διαστημική εξερεύνησης ενθάρρυνε την τεχνολογική επίβλεψη του πληρώματος των αποστολών. Πιο συγκεκριμένα στο διαστημικό πρόγραμμα *Apollo* οι υπεύθυνοι γνώριζαν ότι η διαστημική πτήση θα εκθέσει το πλήρωμα σε έντονες φυσικές προκλήσεις. Αυτό δημιούργησε την ανάγκη συνεχούς παρακολούθησης της υγείας των αστροναυτών, συμπεριλαμβανομένης της δυνατότητας μετάδοσης των δεδομένων αυτών πίσω στη γη. Η συνεχής παρακολούθηση επιτεύχθηκε με φορετούς αισθητήρες (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**) ικανούς για την καταγραφή του καρδιακού παλμού, του ρυθμού αναπνοής καθώς και την ακριβή θερμοκρασία του σώματος (Miller, 2020).

Εικόνα 25 Φωτογραφική απεικόνιση των πρότυπων φορετών συσκευών για το πλήρωμα της διαστημικής αποστολής Apollo (Miller, 2020).

Τη δεκαετία του 80 χαρακτηριστικά παραδείγματα αντίστοιχων συσκευών παρέμεναν περιορισμένα και στόχευαν σε πολύ συγκεκριμένες εφαρμογές όπως ένα

ασύρματο παλμογράφο ο οποίος χρησιμοποιούνταν από την εθνική ομάδα σκι της Φιλανδίας (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**), καθώς και τον σχεδιασμό και την παραγωγή του πρώτου εμπορικού παλμικού οξύμετρου (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**), το οποίο σε σύντομο χρονικό διάστημα, εμφανίστηκε ως βασική μέτρηση κατά τη γενική αναισθησία. Τέλος, οι φορητοί χημικοί αισθητήρες χρειάστηκαν πολύ περισσότερο χρόνο για να επιτύχουν ουσιαστικά την εμπορική εισαγωγή τους στην αγορά ενώ χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η συσκευή *GlucoWatch* (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**) ένα εντυπωσιακό επίτευγμα στη μη επεμβατική επίβλεψη των επιπέδων γλυκόζης για ασθενείς με διαβήτη (Cunningham & Stenken, 2009).

Εικόνα 26 Φωτογραφική απεικόνιση της πρότυπης φορετής συσκευής «Polar's 'Sport Tester PE2000' heart rate monitor» (Heikenfeld et al., 2018).

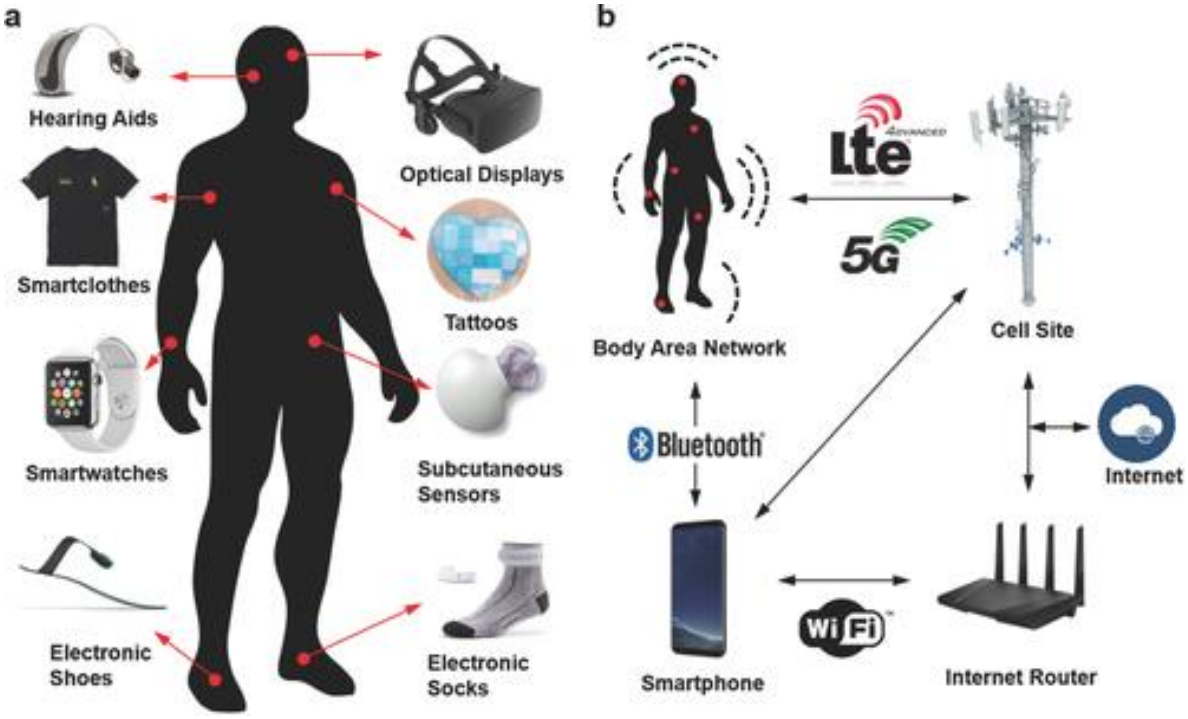
Εικόνα 27 Φωτογραφική απεικόνιση συσκευής παλμικού οξύμετρου (Heikenfeld et al., 2018).

Εικόνα 28 Φωτογραφική απεικόνιση συσκευής Glucowatch (Heikenfeld et al., 2018).

Την τελευταία δεκαετία υπάρχει μια διακριτή αύξηση της χρήσης των φορετών αισθητήρων, ειδικά στις ιατρικές επιστήμες, όπου υπάρχουν πολλές και ποικίλες εφαρμογές για την παρακολούθηση των φυσιο-παθολογικών δραστηριοτήτων (Yetisen et al., 2018). Αυτή η έκρηξη στη χρήση των *wearable* μπορεί να αποδοθεί σε διάφορους παράγοντες, όπως η προσιτή τιμή και η εργονομία που παρέχονται από τις τεχνολογικές εξελίξεις στα μικροσκοπικά ηλεκτρονικά είδη, τον πολλαπλασιασμό των έξυπνων τηλεφώνων και των συνδεδεμένων με αυτά συσκευών, την αυξανόμενη επιθυμία των καταναλωτών και την ευαισθητοποίηση τους για την υγεία τους, καθώς και την

διακριτή ανάγκη συνεχόμενης λήψης δεδομένων από τους ασθενείς (Heikenfeld et al., 2018). Σε αυτό το σημείο, είναι εξαιρετικά σημαντικό να γίνει αναφορά στο φαινόμενο του «ποσοτικού εαυτού» (quantified self), το οποίο λειτουργεί ως η κινητήρια δύναμη πίσω από τις φορητές τεχνολογίες (Swan, 2009) που σχετίζονται με την απόκτηση δεδομένων (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**) σε συσχετισμό με τις καθημερινές δραστηριότητες, τις αθλητικές επιδόσεις και την κατάσταση της υγείας κάτι το οποίο εκφράζεται από την εξαιρετικά δημοφιλή στάση του κοινού απέναντι σε συσκευές όπως τα έξυπνα ρολόγια.

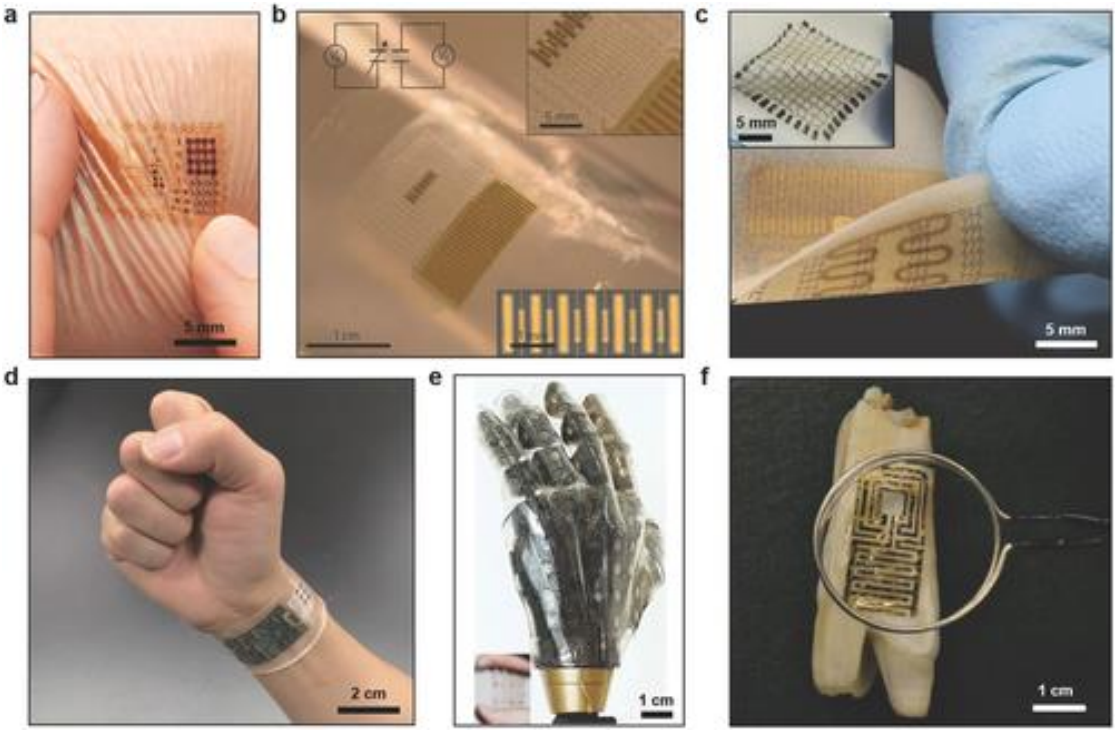
Πιο συγκεκριμένα, αυτές οι φορητές συσκευές περιλαμβάνουν έξυπνα βραχιόλια, ακουστικά βαρηκοΐας, ηλεκτρονικά και οπτικά τατουάζ, υποδόριους αισθητήρες, ηλεκτρονικά υποδήματα και ηλεκτρονικά υφάσματα τα οποία μπορούν να τοποθετηθούν με ευκολία στην επιδερμίδα, να εισαχθούν μέσω των πόρων του δέρματος ή του σώματος με βασικό σκοπό τη μέτρηση των ηλεκτρό-φυσιολογικών ή βιοχημικών σημάτων και την ανάλογη επικείμενη δράση τους όπως τη στοχευμένη διανομή φαρμάκων ή την ανάλογη επισήμανση ανωμαλιών (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**).



Εικόνα 29 Γραφική αναπαράσταση πιθανών εφαρμογών wearable σε συσχετισμό με την προσωπική επίβλεψη υγειονομικού ενδιαφέροντος (Yetisen et al., 2018)

Εικόνα 30 Χαρακτηριστική δομή βραχιολιών με τη δυνατότητα μέτρησης του καρδιακού παλμού και της αερόβιας καταπόνησης του χρήστη (Ricker, 2013).

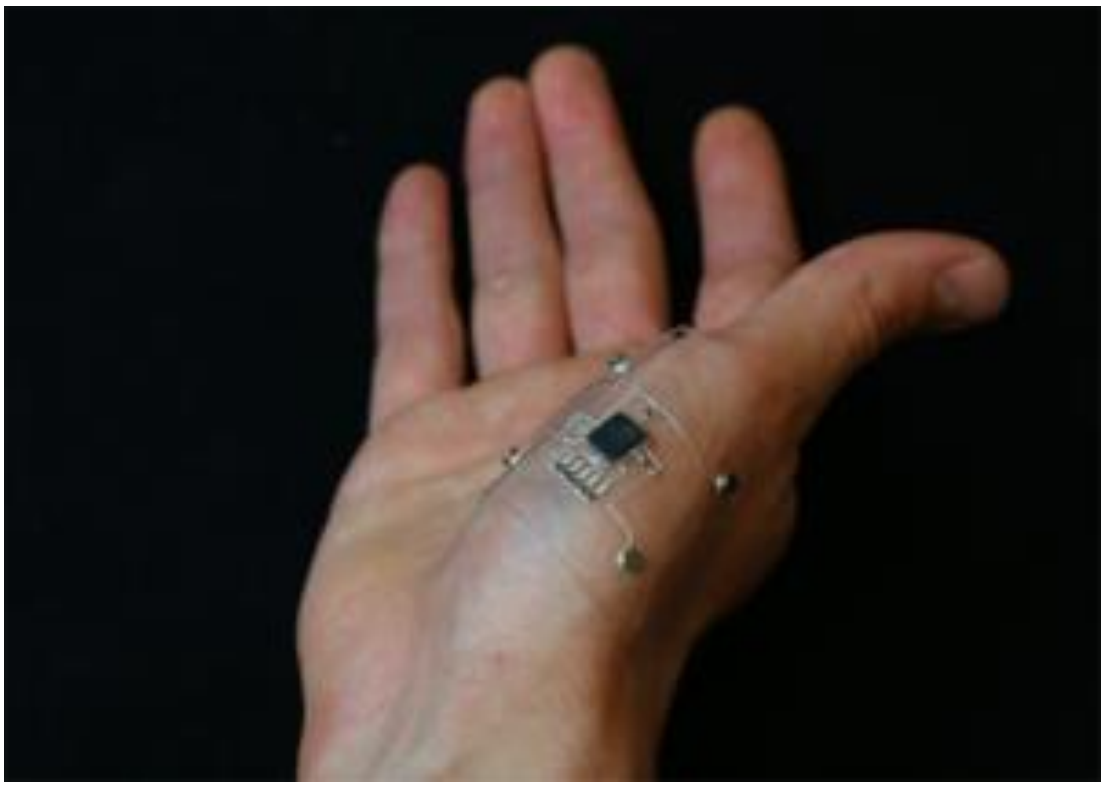
Εικόνα 31 Χαρακτηριστική εικόνα έξυπνων ρολογιών με τη δυνατότητα καταγραφής βασικών βιομετρικών δεικτών (Hartmas, 2020).



Εικόνα 32 Φωτογραφικό κολάζ από εφαρμογές τύπου wearables (Yetisen et al., 2018): a) ηλεκτρονικό τατουάζ, b) αισθητήρας από νανοκορδέλες από τιτάνια ως μηχανικός ενεργοποίητης, c) αυτοκόλητη εφαρμογή η οποία δίνει τη δυνατότητα επίβλεψης της μυϊκής δραστηριότητας, d) φορητό βραχιολάκι που αποτελείται από ηλεκτροχημικούς αισθητήρες για τον ποσοτικό προσδιορισμό των συγκεντρώσεων γλυκόζης, ηλεκτρολυτών και θερμοκρασίας, e) προσθετικό δερματικό επίθεμα με αισθητήρες πίεσης, καταπόνησης, υγρασίας και θερμοκρασίας, καθώς και θερμοσυσσωρευτές για τη δημιουργία της δερματικής ψευδαίσθησης και f) αντιμικροβιακός λειτουργικός αισθητήρας γραφενίου σε ένα δόντι για την ασύρματη ανίχνευση βακτηρίων.

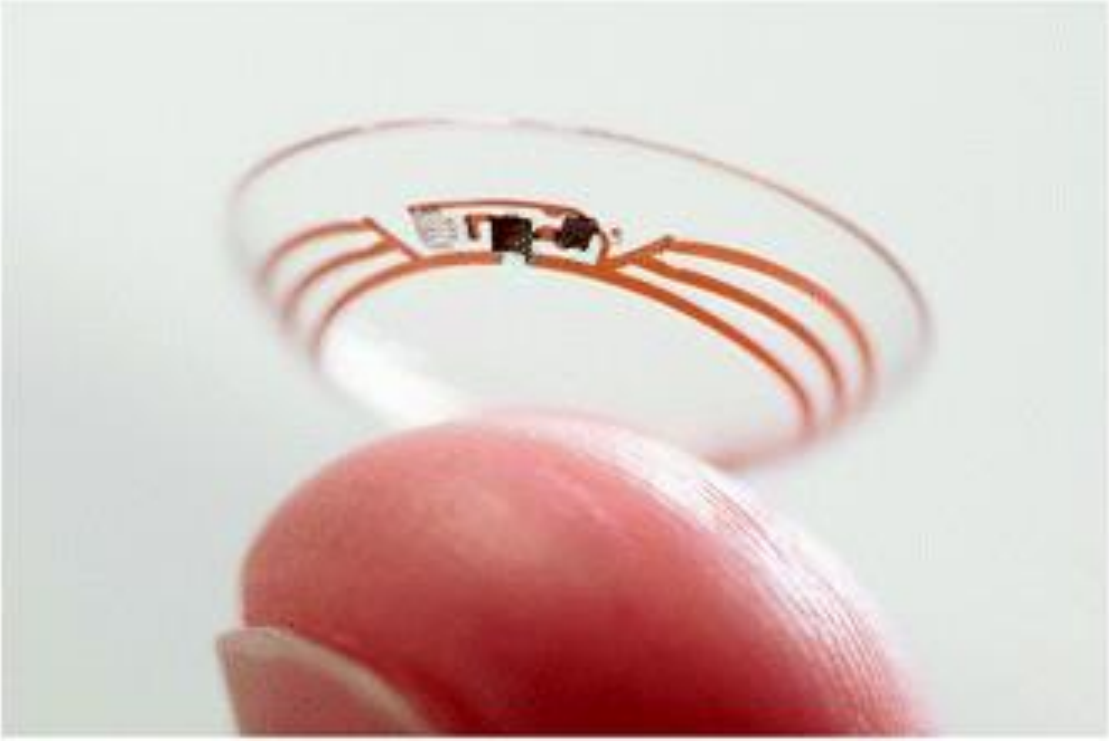
Όπως προκύπτει λοιπόν, οι φορητές συσκευές που είναι ενισχυμένες με ηλεκτρονικούς και οπτικούς βιοαισθητήρες μπορούν να παρέχουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο σχετικά με την ηλεκτροφυσιολογική ή βιοχημική κατάσταση ενός ασθενούς στον τόπο θεραπείας ή στην κλινική. Τέτοιοι βιοαισθητήρες μπορούν να ενσωματωθούν σε ηλεκτρονικά τατουάζ επιθέματα, προσθετικά υφάσματα (Yetisen et al., 2016), βραχιόλια και φακούς επαφής (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**) με σκοπό να επιτύχουν την άρτια συμμόρφωση επικοινωνίας τους με το βιολογικό ιστό ή τα σωματικά υγρά. Όσον αφορά την ενεργειακή αυτονομία τους, οι βιοαισθητήρες δύναται να τροφοδοτούνται ασύρματα ή να λειτουργούν μέσω ελαφριών μπαταριών που μπορούν να ενσωματωθούν απρόσκοπτα στις φορητές συσκευές. Συνεπώς, τα φυσικά και βιοχημικά δεδομένα μπορούν να μεταδοθούν ασύρματα στον ασθενή ή σε μια άλλη φορητή συσκευή (Zeng et al., 2014) για την επίτευξη των θεραπευτικών συστημάτων κλειστού βρόχου. Στον ιατρικό τομέα λοιπόν, είναι δυνατή η παρακολούθηση της θερμοκρασίας του σώματος των ασθενών, του

καρδιακού ρυθμού, της εγκεφαλικής δραστηριότητας, της μυϊκής κίνησης, καθώς και άλλων κρίσιμων δεδομένων (Edwards, 2012; Malhi et al., 2012) τα οποία ανοίγουν νέους δρόμους στην διάγνωση και θεραπεία και εκεί εντοπίζεται και η μεγάλη επιτυχία της εφαρμογής τους.



Εικόνα 33 Χαρακτηριστικά παράδειγμα φορετής συσκευής η οποία τοποθετείται στο δέρμα του ασθενή και εφαρμόζει κατά την κίνηση (Yetisen et al., 2018).

Η επιτυχία παράλληλα βασίζεται και στο γεγονός πως η συνεχής παρακολούθηση των σωματικών σημάτων θα μπορούσε να βοηθήσει στην ανίχνευση και διάγνωση αρκετών καρδιαγγειακών, νευρολογικών και πνευμονικών παθήσεων κατά την πρώιμη έναρξή τους ενώ, η παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο των δραστηριοτήτων κίνησης ενός ατόμου θα μπορούσε να είναι χρήσιμη στην ανίχνευση μιας πτώσης (Chen et al., 2006), στο μοτίβο βάδισης αλλά και στην ανάλυση στάσης ή στην αξιολόγηση ύπνου (Majumder et al., 2017).



Εικόνα 34 Χαρακτηριστική πρότυπη εφαρμογή φακών επαφής με σκοπό την μέτρηση της συγκέντρωσης γλυκόζης στα δάκρυα χρησιμοποιώντας έναν μικροσκοπικό ηλεκτροχημικό αισθητήρα γλυκόζης και ένα ασύρματο τσιπ και δακτύλιο κεραίας (Yetisen et al., 2018)

Εικόνα 35 Χαρακτηριστικά παραδείγματα φορετής συσκευής η οποία τοποθετείται στο σώμα του ασθενή(Yetisen et al., 2018).

Όσον αφορά την μελέτη της εφαρμογής τους και της ποιότητας αυτής, είναι γεγονός πως έχει πραγματοποιηθεί περιορισμένος αριθμός τυχαιοποιημένων και ελεγχόμενων μελετών για τη μέτρηση της αποτελεσματικότητας των φορητών συσκευών στη συμπεριφορά και την υγεία των καταναλωτών. Οι αξιολογήσεις διαφορετικών φορητών συσκευών (π.χ. ιχνηλάτες γυμναστικής) για την παρακολούθηση της σωματικής δραστηριότητας έδειξαν ανακριβείς παραλλαγές με περιθώρια σφάλματος έως και 25% (Jung-Min et al., 2014).

4.2. Πρόσφατες τάσεις και προκλήσεις

Με την αύξηση των υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης σε μη κλινικά περιβάλλοντα και την ανάγκη χρήσης και επίβλεψης ζωτικών μετρήσεων που παρέχονται από την εφαρμογή φορετών αισθητήρων, η ανάγκη ανάλυσης και επεξεργασίας των παθολογικών αυτών μετρήσεων αυξάνεται σημαντικά. Παράλληλα, οι πρόσφατες εξελίξεις στην ανάλυση δεδομένων στα συστήματα παρακολούθησης στο περιβάλλον της υγειονομικής περίθαλψης, οδήγησαν στην επιτυχημένη παροχή προληπτικών πληροφοριών για την αντιμετώπιση πιθανών ασθενειών ή την ενίσχυση των επικείμενων διαγνώσεων τους (Sow et al., 2013). Ωστόσο, καθώς το πεδίο των συσκευών wearables εξελίσσεται και περισσότερες εφαρμογές εξετάζουν την

περαιτέρω ανάπτυξή τους, οι τεχνικές ανάλυσης και επεξεργασίας των παραγόμενων δεδομένων που λαμβάνονται αποτελούν ένα τομέα σύγχρονης πρόκλησης που προκύπτει από τον όγκο των δεδομένων που προέρχονται από τους φορητούς αισθητήρες και είναι ολοένα αυξανόμενης σημασίας (Banaee et al., 2013).

Πιο συγκεκριμένα στα συστήματα παρακολούθησης της υγείας, η εστίαση έχει αλλάξει από εκείνη της απόκτησης δεδομένων και έχει μετατοπισθεί στην στοχευμένη εξέλιξη, ανάλυση και εφαρμογή αναπτυσσόμενων έξυπνων αλγόριθμων για την επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων (Atallah et al., 2012). Βασικός λόγος της προαναφερθείσας μετατόπισης είναι το γεγονός πως οι αναδυόμενες προκλήσεις που προκύπτουν είναι ιδιαίτερα σημαντικές εάν πρόκειται να σχεδιαστούν υπηρεσίες έξυπνης υγειονομικής παρακολούθησης που θα μπορούν να αντιμετωπίσουν τις αυξανόμενες ανάγκες και ευκαιρίες της αγοράς με διαπερατό έλεγχο, όπως η παρακολούθηση της υγείας και η μακροπρόθεσμη πρόληψη (Banaee et al., 2013).

4.2.1. Εφαρμογές ανάκτησης και επεξεργασίας δεδομένων

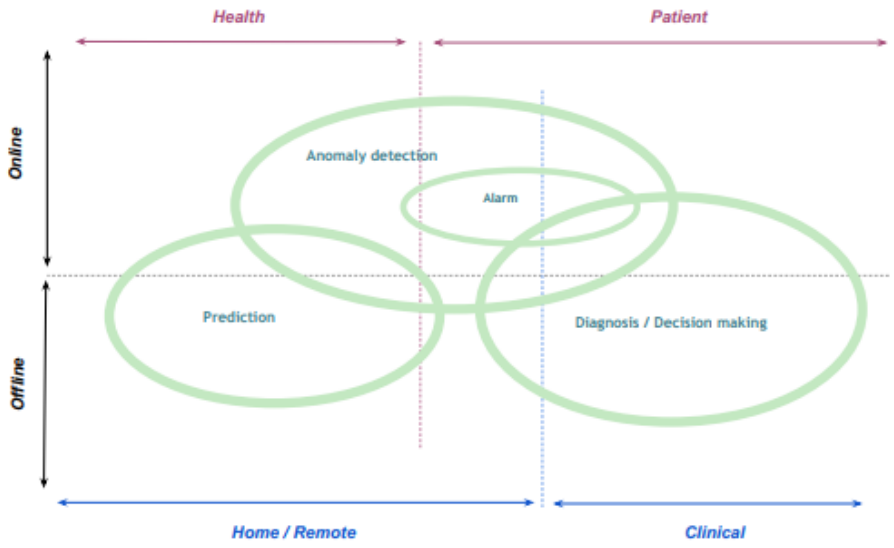
Όπως αναφέρθηκε στα παραπάνω σημεία του κεφαλαίου, ο ερευνητικός τομέας των συστημάτων παρακολούθησης της υγείας βρίσκεται σε ένα συνεχώς εξελισσόμενο καθεστώς. Πλέον η τεχνολογική επιτομή των συσκευών wearables δεν είναι η απλή συλλογή και ανάγνωση των ζωτικών ενδείξεων όπως παραδείγματος χάρη ο υπολογισμός των ωρών ύπνου ή του αριθμού των βημάτων ανά ημέρα. Ο νέος τεχνολογικός στόχος εντοπίζεται σε ένα υψηλότερο επίπεδο επεξεργασίας δεδομένων, προκειμένου να προκύψει μεγαλύτερος όγκος χρήσιμων πληροφοριών ο οποίος είναι πολύτιμος για τους τελικούς χρήστες (τόσο τους ασθενείς όσο και τους επαγγελματίες υγείας). Ως εκ τούτου, η τεχνολογική εξέλιξη και οι νέες τάσεις στο τομέα των wearables στις υπηρεσίες υγειονομικής περίθαλψης έχουν επικεντρωθεί σε πιο στοχευμένες διεργασίες ανάλυσης δεδομένων με στόχο τη βαθύτερη ανάγνωση και επεξεργασία τους.

Με βάση τους Banaee et al., (2013) , οι κυρίαρχοι τρεις τύποι επεξεργασίας και ανάλυσης των συλλεγόμενων δεδομένων από φορετές συσκευές (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**) είναι: α) η πρόβλεψη, β) η ανίχνευση ανωμαλιών που μπορεί να περιλαμβάνει το δευτερεύον ρόλο της σήμανσης - ειδοποίησης και γ) η διάγνωση όπου πραγματοποιείται μια διαδικασία λήψης

αποφάσεων για την συχνή κατηγοριοποίηση των δεδομένων σε διαφορετικές ομάδες ανάλογα με τις αντίστοιχες ασθένειες.

Ο πρώτος τύπος ανάλυσης με στόχο την πρόβλεψη περιλαμβάνει τις ρυθμίσεις στις οποίες πραγματοποιείται η παρακολούθηση των βιομετρικών δεικτών και η έγκαιρη σήμανση τους. Οι περισσότερες εφαρμογές παρακολούθησης (wearables) συνδέονται κυρίως με την πρόβλεψη και την ανίχνευση ανωμαλιών, ενώ οι εφαρμογές σε κλινικές ρυθμίσεις συνήθως επικεντρώνονται στη διάγνωση (Baig & Gholamhosseini, 2013; Stacey & McGregor, 2007). Η πρόβλεψη ουσιαστικά είναι μια προσέγγιση που χρησιμοποιείται ευρέως στο πεδίο τις επεξεργασίας και ανάλυσης δεδομένων και βοηθά στον εντοπισμό μοτίβων που δεν έχουν συμβεί ακόμη. Αυτή η προσέγγιση αποκτά όλο και περισσότερο ενδιαφέρον στο τομέα της υγειονομικής περίθαλψης, καθώς βοηθά στην πρόληψη περαιτέρω χρόνιων προβλημάτων (Bellazzi et al., 2011) και θα μπορούσε να οδηγήσει σε γρηγορότερες αποφάσεις κατά την διαδικασία της πρόγνωσης (Bellazzi & Zupan, 2008).

Η παραπάνω ανάγκη εξηγείται εύκολα από την αυξανόμενη επιθυμία της εγκαθίδρυσης μιας πιο προληπτικής προσέγγισης (με στόχο την πρόβλεψη) μέσω των φορητών αισθητήρων, καθώς και το γεγονός πως πλέον αποτελεί ανάγκη να εξεταστεί η δυνατότητα διευκόλυνσης της ανεξάρτητης επίβλεψης. Με αυτό το τρόπο αυξάνεται η αίσθηση ασφάλειας σε ατομικό επίπεδο ενώ, σε κλινικό περιβάλλον ενισχύονται οι δυνατότητες επεξεργασίας πολύ περισσότερων πληροφοριών για την παροχή διάγνωσης (σ.σ. μια σαφή υποβοήθηση στη λήψη των ιατρικών αποφάσεων) (Bellazzi et al., 2011).



Εικόνα 36 Διάγραμμα με τη σχηματική επισκόπηση της θέσης των κύριων εργασιών εξόρυξης δεδομένων (ανίχνευση ανωμαλιών, πρόβλεψη και διάγνωση / λήψη αποφάσεων) σε σχέση με τις διάφορες πτυχές της φορετής ανίχνευσης στα συστήματα παρακολούθησης υγειονομικού ενδιαφέροντος (Banaee et al., 2013).

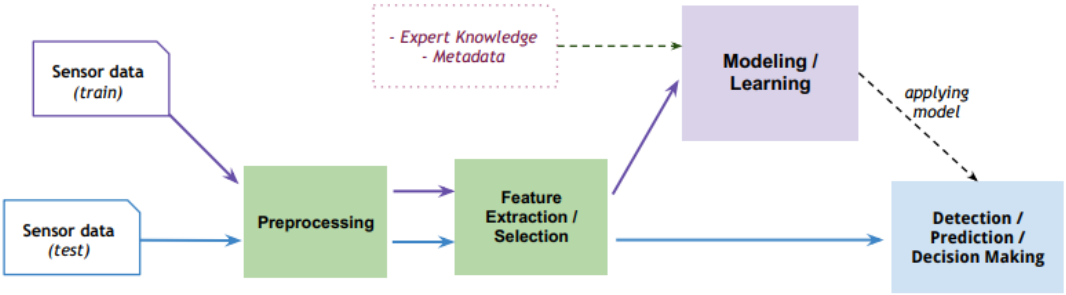
Ο δεύτερος τύπος ανάλυσης των δεδομένων όπως παρουσιάζεται και στο παραπάνω σχήμα εντοπίζει τις κύριες εφαρμογές ανάλυσης των φορητών αισθητήρων σε σχέση με τον τύπο και το ρόλο της εφαρμογής τους. Για ασθενείς με γνωστά ιατρικά ιστορικά, τόσο η διάγνωση όσο και η πιθανότητα αύξησης αρνητικών ενδείξεων είναι βασικές απαιτήσεις κατά την παρακολούθηση των βιομετρικών δεικτών τους. Έτσι για την παρακολούθηση της υγείας τους, τα άτομα που θέλουν να διασφαλίσουν και να διατηρήσουν αποδεκτά επίπεδα των βιομετρικών δεικτών τους η ανάλυση των δεδομένων από τις συσκευές wearables θα πρέπει στοχεύει στη πρόβλεψη και ανίχνευση κρίσιμων ανωμαλιών. Η ανίχνευση πιθανών ανωμαλιών ορίζεται ουσιαστικά ως η διαδικασία εντοπισμού ασυνήθιστων μοτίβων στο σύνολο των δεδομένων, που δεν συμμορφώνονται με την αναμενόμενη συμπεριφορά τους. Τα ανακτημένα μη φυσιολογικά μοτίβα σε βιομετρικά δεδομένα είναι εξαιρετικά υψηλής σημασίας στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψής μιας και η ανίχνευση ασυνήθιστων μοτίβων σε υγειονομικούς παραμέτρους, επιτρέπει στους κλινικούς ιατρούς να λάβουν ακριβείς αποφάσεις σε σύντομο χρονικό διάστημα (Chandola et al., 2009).

Ο τρίτος τύπος ανάλυσης επικεντρώνεται στον συνδυασμό και των δύο πρότερων αναλύσεων και αποτελεί τη στοχευμένη διάγνωση που δύναται να προκύψει μέσα από την επεξεργασία και ανάλυση των πρωτογενών δεδομένων. Η λήψη αποφάσεων στη διάγνωση είναι ένα από τα κύρια καθήκοντα των συστημάτων κλινικής παρακολούθησης και συχνά βασίζεται σε ανακτημένες γνώσεις από την παρακολούθηση των ζωτικών σημείων των ασθενών, καθώς επίσης και από πρόσθετες, άλλες πληροφορίες όπως τις καταγραφές του ιατρικού ιστορικού και των μετα-δεδομένων αυτού (Sneha & Varshney, 2009). Παράλληλα, η διάγνωση και λήψη αποφάσεων σχετίζεται με την ανίχνευση ανωμαλιών κατά την ανάγνωση των δεδομένων προκειμένου να εξαχθούν χρήσιμες πληροφορίες όπως μη αναμενόμενα μοτίβα στους βιομετρικούς δείκτες, ακραίες τιμές, καθώς ακόμα και ανησυχητικά κρίσιμες τιμές που έχουν νόημα στην τελική διάγνωση και τις απαραίτητες ενέργειες.

4.2.2. Τεχνικές αξιοποίησης των επεξεργασμένων δεδομένων

Στα συστήματα παρακολούθησης υγειονομικού ενδιαφέροντος, ο ρόλος της ανάλυσης δεδομένων είναι σχετικά διακριτός και ουσιαστικά καλείται να εξάγει

πληροφορίες από τις ενδείξεις των αισθητήρων παρακολούθησης των βιομετρικών δεικτών και να τις αποδώσει μετά την στοχευμένη ανάλυση και επεξεργασία τους σε μια πληροφορία υψηλού επιπέδου και ιατρικού ενδιαφέροντος. Με βάση αυτή τη λογική, τα σύγχρονα συστήματα παρακολούθησης βιομετρικών δεικτών στο τομέα της υγείας δίνουν μεγαλύτερη προσοχή στη φάση της επεξεργασίας των δεδομένων, προκειμένου να συλλέξουν πολύτιμες πληροφορίες, προσαρμοσμένες βάσει των απαιτήσεων των ειδικών και των επαγγελματιών υγείας. Οι τεχνικές ανάκτησης δεδομένων που έχουν εφαρμοστεί σε συσκευές με φορητούς αισθητήρες πράγματι ποικίλλουν με σκοπό να εξυπηρετήσουν το παραπάνω σκοπό. Ανεξάρτητα από την ειδική τεχνική ανάκτησης, ανάλυσης και επεξεργασίας των δεδομένων μια τυπική και ευρέως χρησιμοποιούμενη προσέγγιση για την ανάκτηση στοχευμένων πληροφοριών από φορετούς αισθητήρες παρέχεται στο παρακάτω διάγραμμα (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**).



Εικόνα 37 Διάγραμμα με τη σχηματική απόδοση μιας γενικής αρχιτεκτονικής της κύριας προσέγγισης κατά την ανάκτηση δεδομένων από συσκευές wearables (Banaee et al., 2013).

Η τυπική ροή επεξεργασίας των συλλεγμένων δεδομένων, αρχικά εμπεριέχει την συλλογή των πρωτογενών δεδομένων και την προ-επεξεργασία τους. Λόγω της εμφάνισης θορύβου, σφαλμάτων λόγω κίνησης και δομής του αισθητήρα σε οποιαδήποτε φορητά δίκτυα συσκευών wearables, απαιτείται η προ-επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων. Στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης αυτό περιλαμβάνει αρχικά το φιλτράρισμα ασυνήθιστων δεδομένων για την αφαίρεση ψευδών πληροφοριών και την αφαίρεση του ψηφιακού θορύβου. Το επόμενο βήμα αποτελεί η δόμηση των προ-επεξεργασμένων πρωτογενών δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, για την ανάκτηση μεγάλου όγκου δεδομένων και τη δόμηση τους, η αφαίρεση του θορύβου των πρωτογενών δεδομένων με σκοπό το σχεδιασμό και δημιουργία ενός μοντέλου με σκοπό την ανάκτηση πολύτιμων πληροφοριών αποτελεί και το στόχο της εξαγωγής των χαρακτηριστικών των δεδομένων (feature extraction). Η εξαγωγή των

χαρακτηριστικών στοχεύει στο να ανακαλύψει τα κύρια χαρακτηριστικά ενός συνόλου δεδομένων που είναι πανομοιότυπα και αντιπροσωπευτικά των αρχικών (Guyon et al., 2008).

Πιο συγκεκριμένα στα δεδομένα από τις συσκευές wearable, ανάλογα με το μέγεθος και την πολυπλοκότητα των πρωτογενών δεδομένων, η εξαγωγή χαρακτηριστικών παρέχει μια ουσιαστική αναπαράσταση των δεδομένων των αισθητήρων που μπορούν να διαμορφώσουν τη σχέση τους με την αναμενόμενη πληροφορία για τη λήψη σωστών αποφάσεων (Bellos et al., 2010). Με βάση τα παραπάνω το τελικό στάδιο πριν την απόφαση / διάγνωση αποτελεί το κομμάτι τις μοντελοποίησης μέσω της χρήσης των απαραίτητων αλγορίθμων. Ο βασικός λόγος αυτού αποτελεί το γεγονός πως, όταν χρησιμοποιούνται πολλοί αισθητήρες (σ.σ. ιδιαίτερα στο τομέα της υγείας), τα συλλεγόμενα δεδομένα είναι πολυπαραγοντικά με πιθανές και σαφείς εξαρτήσεις κάτι το οποίο σημαίνει ότι για την άρτια κατανόηση των δεδομένων, είναι απαραίτητες διάφορες και κατάλληλες τεχνικές επεξεργασίας αυτών.

Τέλος, είναι απαραίτητο να σημειωθεί πως το τελικό στάδιο για την διάγνωση είναι απαραίτητο να συνυπάρξει με άλλες παράμετρούς πέρα από την μοντελοποίηση και τις μεθόδους μηχανικής μάθησης, όπως γνώσεις εμπειρογνωμόνων, ιστορικές μετρήσεις δεδομένων, ηλεκτρονικά ιατρικά ιστορικά και σταθερές παραμέτρους μετα-δεδομένων όπως παραδείγματος χάρη το φύλο και η ηλικία. Αυτά τα μετα-δεδομένα παρέχουν ενίσχυση της τελικής πληροφορίας με βάση τον συσχετισμό τους και βελτιώνουν τη διαδικασία εξαγωγής άρτιας τελικής πληροφορίας (Wang et al., 2011). Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ότι σε κάθε σύστημα υγειονομικής περίθαλψης που χρησιμοποιεί δεδομένα από αισθητήρες μέτρησης του καρδιακού ρυθμού καλείται να διερευνήσει την επίδραση μετα-δεδομένων, όπως η ηλικία, το φύλο, το βάρος και το συνταγογραφημένο φάρμακο, προκειμένου να έχει ουσιαστική λογική η τελική πληροφορία. Να εντοπίσει, δηλαδή, βασικούς μη φυσιολογικούς καρδιακούς παλμούς ή να εξατομικεύσει τους κρίσιμους παλμούς με βάση τα αναφερόμενα μετα-δεδομένα (Hjalmarson, 2007).

4.3. Βασικές Αρχές και Δομή Επικοινωνίας

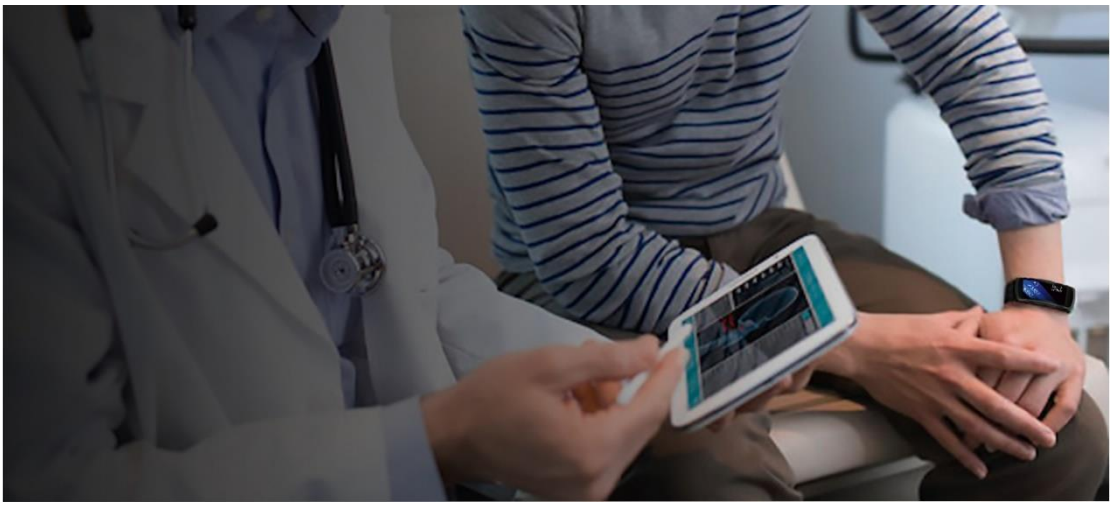
Τα συστήματα παρακολούθησης της υγείας ενός ασθενή με την τεχνολογία των wearable συσκευών δύναται να περιλαμβάνουν διάφορους τύπους μικροσκοπικών αισθητήρων, φορετών ή ακόμη και εμφυτεύσιμων. Αυτοί οι βίο-αισθητήρες μπορούν

να μετρήσουν σημαντικές φυσιολογικές παραμέτρους μερικές από τις πιο βασικές είναι: α) το καρδιακό ρυθμό, β) την αρτηριακή πίεση, γ) τη θερμοκρασία σώματος και δέρματος, δ) το κορεσμό οξυγόνου, ε) το ρυθμό αναπνοής και ζ) την γαλβανική απόκριση του δέρματος. Οι ληφθείσες μετρήσεις κοινοποιούνται είτε μέσω ασύρματου είτε ενσύρματου συνδέσμου προς έναν κεντρικό κόμβο, όπως για παράδειγμα ένας προσωπικός ψηφιακός βοηθός (Personal Digital Assistant) ή μια πλακέτα μικροελεγκτή, που στη συνέχεια μπορεί να εμφανίσει τις αντίστοιχες πληροφορίες σε μια διεπαφή χρήστη ή να μεταδώσει τη συγκεντρωτική πληροφορία σε στοχευμένα σημεία / τελικούς χρήστες. Το παραπάνω αποδεικνύει το γεγονός ότι ένα ιατρικό σύστημα τύπου wearable μπορεί να περιλαμβάνει μια μεγάλη ποικιλία εξαρτημάτων όπως: α) αισθητήρες, β) φορετά υλικά, γ) έξυπνα υφάσματα, δ) ενεργοποιητές, ε) τροφοδοτικά, στ) μονάδες ασύρματης επικοινωνίας και συνδέσμους, ζ) μονάδες ελέγχου και επεξεργασίας, η) διεπαφές για τον χρήστη και όπως είναι λογικό θ) το απαραίτητο λογισμικό και τους αντίστοιχους αλγόριθμους για την εξαγωγή δεδομένων και τη λήψη των απαραίτητων αποφάσεων.

Όπως παρουσιάζεται παρακάτω (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**), μια γενική αρχιτεκτονική για την εφαρμογή των συσκευών τύπου wearables, βασίζεται αρχικά σε ένα κεντρικό κόμβο παρουσίασης των δεδομένων, ο οποίος επικοινωνεί με τους εκάστοτε βίο-αισθητήρες οι οποίοι είναι σε επαφή με τον ασθενή και μεταδίδουν σε ορισμένο χρονικό διάστημα σύμφωνα με τη λειτουργικότητα και τα στοιχεία του συστήματος. Ωστόσο, αυτό δεν θα πρέπει να γίνει αντιληπτό ως ο μοναδικός και τυπικός σχεδιασμός ενός αντίστοιχου συστήματος, καθώς πολλά συστήματα μπορούν να υιοθετήσουν σημαντικά διαφορετικές αρχιτεκτονικές προσεγγίσεις (για παράδειγμα, τα βιολογικά σήματα μπορούν να μεταδοθούν σε αναλογική μορφή και χωρίς προ-επεξεργασία στον κεντρικό κόμβο (Pantelopoulos & Bourbakis, 2009).

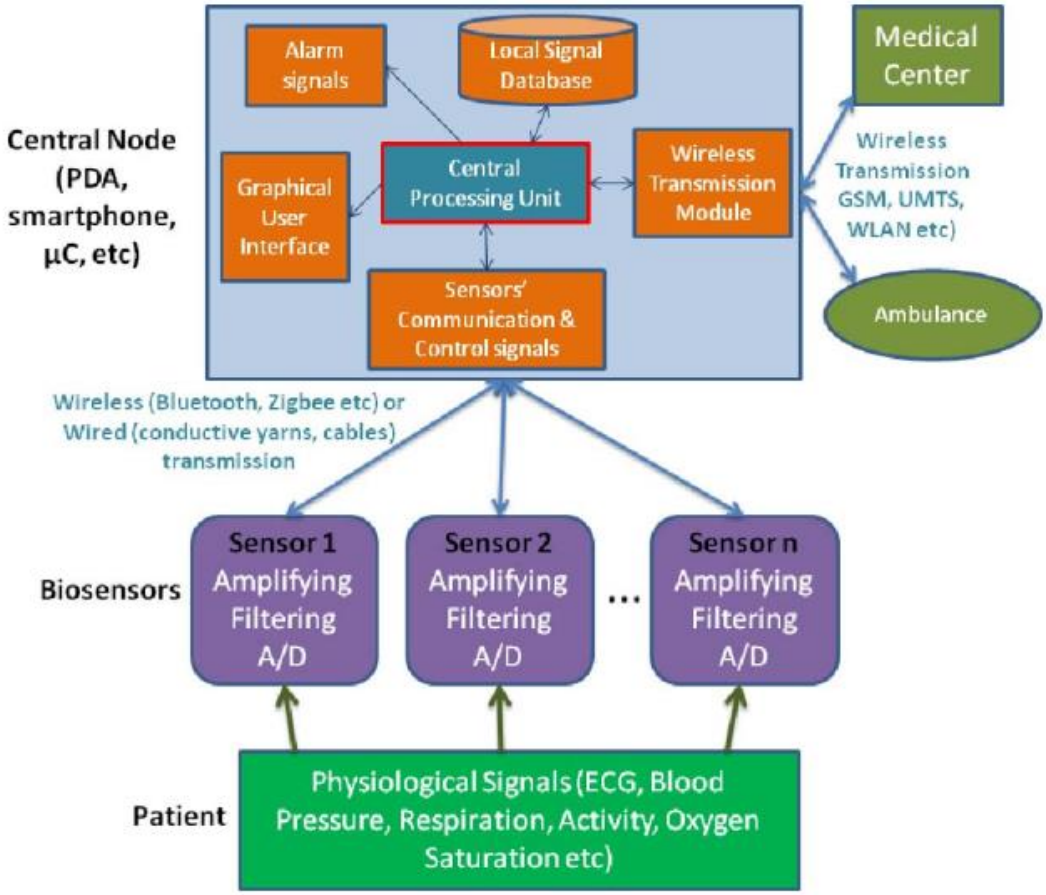
Όσον αφορά την μετάδοση των συλλεγόμενων δεδομένων στο γενικό πλαίσιο των συσκευών wearables, πρέπει να πραγματοποιηθεί άρτια για δύο διαφορετικούς σκοπούς: α) για την επικοινωνία των συλλεγόμενων βιολογικών σημάτων από τους βίο-αισθητήρες στον κεντρικό κόμβο του συστήματος και β) για την αποστολή των συγκεντρωτικών μετρήσεων από το φορητό σύστημα σε ένα απομακρυσμένο διακομιστή ή τελικό χρήστη (π.χ. γιατρός, **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**).

Όπως παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**) η μετάδοση δεδομένων ή αλλιώς η μετάδοση μικρής εμβέλειας μπορεί να αντιμετωπιστεί είτε μέσω καλωδίων είτε μέσω πολλαπλών ασύρματων συνδέσμων. Στην πρώτη περίπτωση, η κινητικότητα και η ευκολία του χρήστη μπορεί να παρεμποδιστεί σοβαρά από τη χρήση καλωδίων και επιπλέον υπάρχει αυξημένος κίνδυνος αστοχίας του συστήματος (Townsend et al., 2005). Όσον αφορά την ασύρματη επικοινωνία των συστημάτων ο **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.** παρέχει μια αναφορά στα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά των επικρατέστερων ασύρματων τεχνολογιών στο τομέα των συσκευών wearables.



Εικόνα 38 Χαρακτηριστική απεικόνιση της αμεσότητας της χρήσης συσκευών wearables στο τομέα της υγείας (Samsung, 2020).

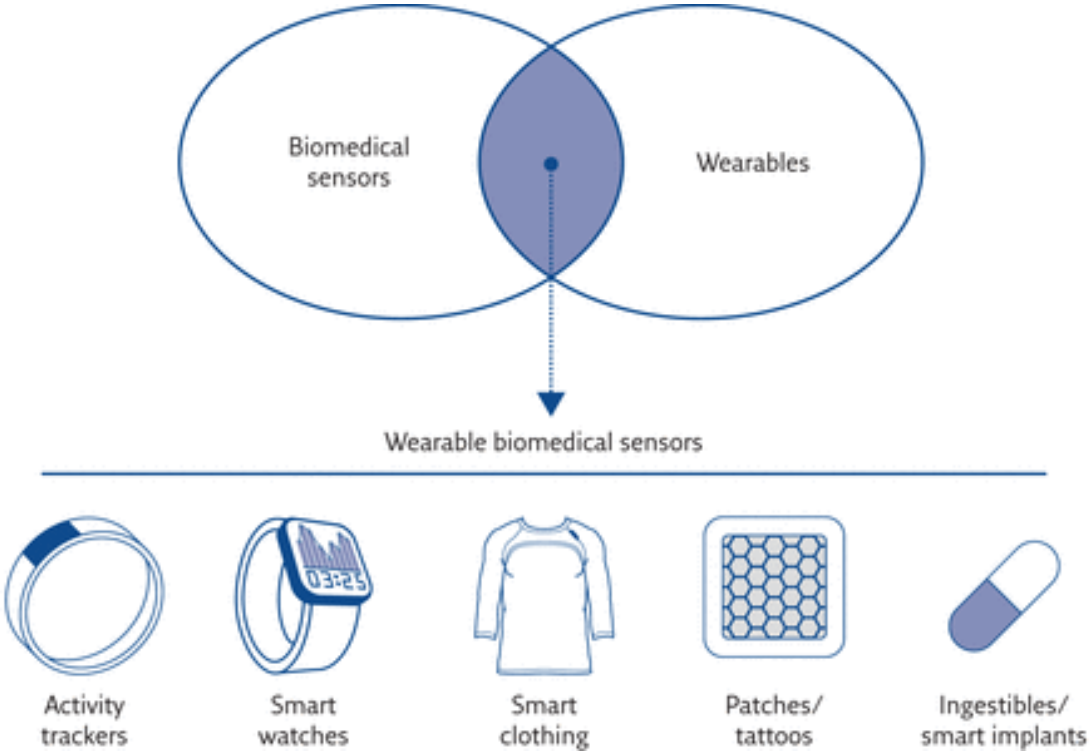
Πέρα από την βασική αρχιτεκτονική και τους τρόπους επικοινωνίας, οι συσκευές τύπου wearables στο τομέα της υγείας χαρακτηρίζονται και διαφοροποιούνται με βάση το βιοιατρικό σκοπό τους και κατ' επέκταση το ρόλο που καλούνται να εξυπηρετήσουν. Όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5), εντοπίζεται μια πληθώρα πιθανών συνδυασμών και τύπων εφαρμογής διάφορων βιο- αισθητήρων όπως προκύπτουν από τον αρχικό σχεδιασμό και το στοχευόμενο τύπο βιο-σήματος ο οποίος καλείται να συλλεχθεί, επεξεργασθεί και αναλυθεί ώστε να προκύψει η απαραίτητη πληροφορία η οποία θα αξιολογηθεί από τον εκάστοτε ιατρό.



Εικόνα 39 Βασική αρχιτεκτονική – διαδρομή διάδρασης κατά την εφαρμογή της συλλογής δεδομένων wearable συσκευών (Pantelopoulos & Bourbakis, 2009).

Πίνακας 4 Πίνακας με τα βασικά πρωτόκολλα επικοινωνίας που εφαρμόζονται στις συσκευές wearables με στοιχεία του εύρους, του ρυθμού δεδομένων, την ισχύ, το κόστος, καθώς και την συχνότητα (Pantelopoulos & Bourbakis, 2009).

Τύπος	Εύρος (τυπικό)	Ρυθμός δεδομένων (μέγιστος)	Ισχύς	Κόστος ανά τσιπ	Συχνότητα
Zigbee	10-75m	20kbps/ 40kbps/	30mW	$2	868MHz/ 915MHz/
Bluetooth	10-100m	250kbps 1-3Mbps	2.5-lOOmW	$3	2.4GHz 2.4GHz
IrDA	lm	16Mbps	-	$2	Infrared
MICS	2m	500kbps	25pW	-	402-405 MHz
802.llg	200m	54Mbps	1W	$9	2.4GHz



Εικόνα 40 Σχηματική κατηγοριοποίηση των φορητών / φορετών βιομετρικών αισθητήρων (Aliverti, 2017).

5. Καταγραφή Βιομετρικών Δεικτών

Το παρόν κεφάλαιο έχει διττό χαρακτήρα μιας και αρχικά γίνεται μια παρουσίαση της βασικής αρχιτεκτονικής και εφαρμογή του τρόπου με τον οποίο γίνεται η καταγραφή των προαναφερθέντων βιομετρικών δεικτών και στη συνέχεια πραγματοποιείται μια συγκεντρωτική απόδοση του συσχετισμού των ενδείξεων που εμφανίζουν σημαντικότερο ρόλο στην απώλεια ακοής είτε από πλευράς ενδείξεων είτε με το ποιες συσκευές παρουσιάζονται περισσότερο χρήσιμες σε ασθενείς με διάφορα είδη απώλειας ακοής.

5.1. Μέθοδοι Καταγραφής Δεδομένων

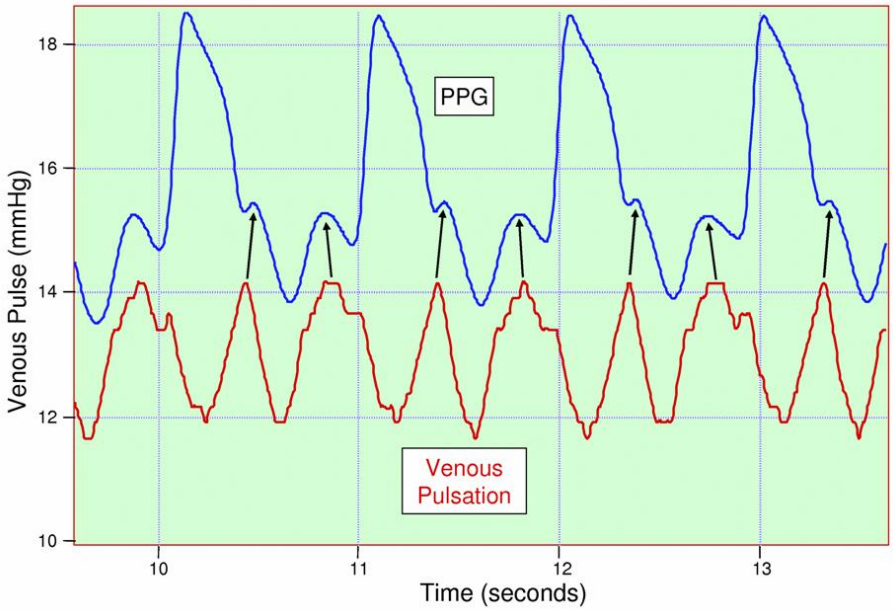
5.1.1. Καρδιακός Παλμός, Αρτηριακή Πίεση, Κορεσμός Οξυγόνου & Γλυκόζη στο Αίμα.

Όπως προκύπτει και από την βιβλιογραφική επισκόπηση των βιομετρικών δεικτών οι οποίοι σχετίζονται με την αγγειακή λειτουργεία καθώς και την ικανότητα του αίματος στη μεταφορά οξυγόνου, η απώλεια της αίσθησης της ακοής εντοπίζεται τόσο άμεσα όσο και έμμεσα. Ο βασικός τρόπος αξιολόγησης της καρδιακής λειτουργείας είναι η φωτοπλασματογραφία (photoplethysmography, PPG) μια τεχνική που συνδέεται με την ακτινοβολία του φωτός στο δέρμα και τη μέτρηση της ποσότητας του φωτός που διαχέεται από τη ροή του αίματος (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**). Το σήμα αντανακλά την κίνηση του αίματος στο αγγείο, το οποίο πηγαίνει από την καρδιά στα (Elgendi, 2012).

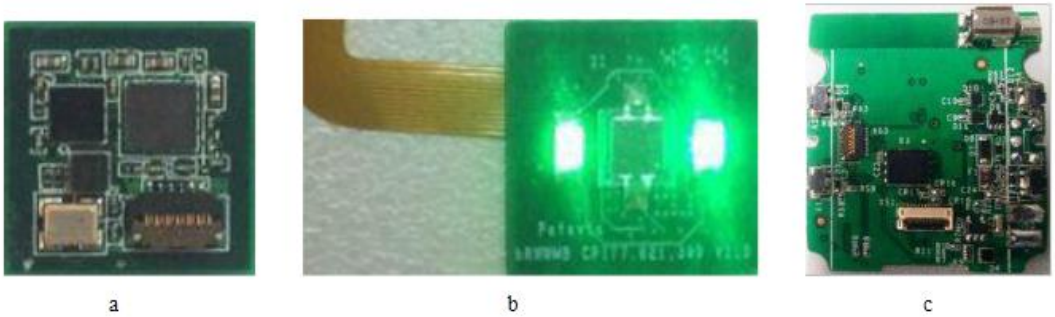
Παράλληλα με την στοχευμένη καταγραφή του καρδιακού παλμού ή τεχνική της φωτοπλασματογραφίας δύναται να εφαρμοσθεί και στην έμμεση αξιολόγηση της αρτηριακής πίεσης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η εφαρμογή δύο παλμικών οξύμετρων: ένα τοποθετημένο στο πίσω μέρος και ένα στο μπροστινό μέρος της συσκευής. Τα σήματα που λαμβάνονται φιλτράρονται και αλληλοσυσχετίζονται για να ληφθεί μια ετεροχρονισμένη απόσταση μεταξύ τους, που ονομάζεται χρόνος διέλευσης σφυγμού. Ο καρδιακός ρυθμός που εκτιμάται από την εφαρμογή της μεθόδου PPG εισάγεται στη συνέχεια σε ένα γραμμικό μοντέλο για να δώσει μια εκτίμηση της συστολικής και διαστολικής πίεσης (Lazazzera et al., 2019).

Η ίδια τεχνική βρίσκει εφαρμογή στην μη παρεμβατική αξιολόγηση του κορεσμού του οξυγόνου στο αίμα (SpO_2). Η βασική τεχνοτροπία βασίζεται στο γεγονός πως οι οπτικοί αισθητήρες SpO_2 χρησιμοποιούν αισθητήρες κόκκινου και

υπέρυθρου φωτός για να ανιχνεύσουν τα επίπεδα οξυγόνου, ανιχνεύοντας αλλαγές στα επίπεδα του, εξετάζοντας το χρώμα του αίματός. Ουσιαστικά καταγράφεται ο όγκος του οξυγόνου με βάση τον τρόπο που το φως διαπερνά το δάχτυλό και παραδίδει τα δεδομένα στην οθόνη της συσκευής.



Εικόνα 41 Χαρακτηριστικό διάγραμμα με την καταγραφή του καρδιακού παλμού με την χρήση της μεθόδου PPG (Franks Hospital, 2020).



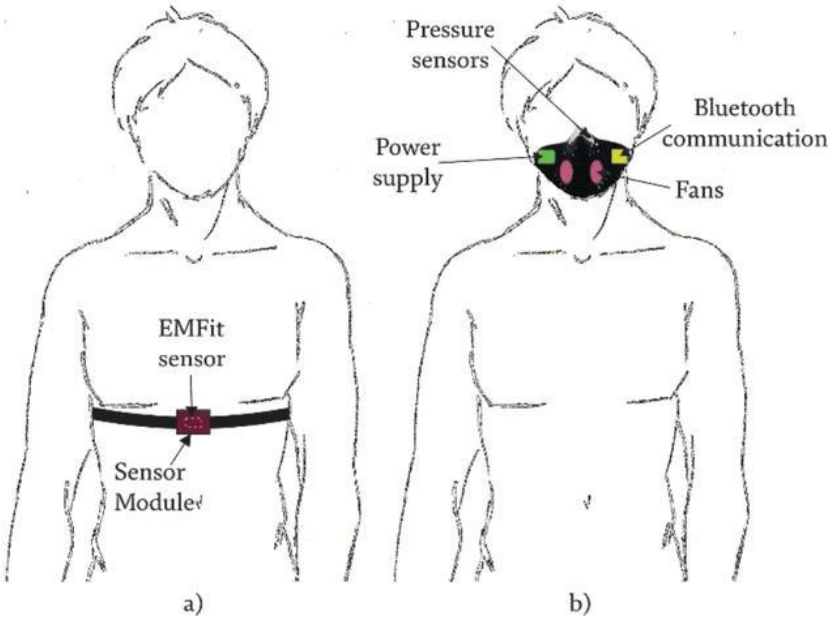
Εικόνα 42 Χαρακτηριστικό παράδειγμα πίνακα ανίχνευσης και κεντρική πλακέτα συσκευής φωτομέτρησης του κορεσμού οξυγόνου στο αίμα (α) Πίνακας ανίχνευσης (β) Πίνακας ανίχνευσης σε ισχύ (γ) Πλακέτα (Fu & Liu, 2015).

Σε αντίθεση με την συνολικά επιτυχή καταγραφή και συλλογή των παραπάνω τύπων βιομετρικών δεικτών, η παρακολούθηση των ποσοστών γλυκόζης στο αίμα με μη παρεμβατικές μεθόδους αποτελεί μια σταθερή τεχνολογική πρόκληση. Μέχρι τώρα, οι περισσότερες εφαρμογές στις μη-παρεμβατικές συσκευές wearables χρησιμοποιούν διάφορα βιολογικά ρευστά όπως ο ιδρώτας, τα δάκρυα και το σάλιο που εμφανίζουν σοβαρές και ανεπίλυτες αστοχίες, όπως το ακριβό υλικό, τη σταθερότητα των

αισθητήρων, τη βαθμονόμηση των αισθητήρων και τον χρόνο ενημέρωσης (Rachim & Chung, 2019). Ως εκ τούτου, η εφαρμογή της παρακολούθησης της γλυκόζης στο αίμα μη παρεμβατικά, τόσο για την απώλεια ακοής όσο και για την παρακολούθηση των επιπέδων ενός ανθρώπου που πάσχει από διαβήτη παραμένει μια διακριτή πρόκληση.

5.1.2. Ρυθμός αναπνοής, Ύπνος & Θερμοκρασία

Όπως αναφέρθηκε και στα παραπάνω κεφάλαια υπάρχει ένας εξαιρετικά ισχυρός συσχετισμός του συνδρόμου υπνικής άπνοιας και της ακουστικής δυσλειτουργίας. Με βάση αυτό η παρακολούθηση του ρυθμού αναπνοής κατά την διάρκεια του ύπνου δίνει τη δυνατότητα παρακολούθησης και καταγραφής των συναφών δεδομένων τα οποία εν δυνάμει θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε δυσλειτουργία του αυτιού ή ακόμα και απώλεια της ακοής. Ο βασικός τρόπος με τον οποίο επιτυγχάνεται η παρακολούθηση του ρυθμού αναπνοής είναι μέσω της χρήσης ειδικών συσκευών η οποίες ανιχνέυουν την σωματική κίνηση κατά τον ύπνο ή με τη χρήση ειδικά σχεδιασμένων αισθητήρων πίεσης που μπορούν να επωφεληθούν από τη συστολή του διαφράγματος και τη χαλάρωση του (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**). Όσον αφορά το δείκτη της θερμοκρασίας και το συσχετισμό του με την απώλεια ακοής η βιβλιογραφία δεν αποδίδει μια ικανή σύνδεση πέρα από την φυσιολογική σωματική απόκριση και συνεπώς σαν καταγραφόμενος δείκτης θα μπορούσε να συνδεθεί σαν πρόσθετο για την ομαλή λειτουργία του οργανισμού.



Εικόνα 43 Φορετοί αισθητήρες πίεσης: (α) αισθητήρας πίεσης συνδεδεμένος στον ιμάντα και στο δέρμα: οι μεταβολές του όγκου του θώρακα κατά την αναπνοή συμπιέζουν τον αισθητήρα, παράγοντας ένα ανάλογο φορτίο. (β) σύστημα που αναπτύχθηκε από για τη μέτρηση της αναπνευστικής αντίστασης με βάση την τεχνική αναγκαστικής ταλάντωσης (Daiana da Costa et al., 2019).

5.1.3. Γαλβανική απόκριση του δέρματος

Η γαλβανική απόκριση του δέρματος ή αλλιώς η ηλεκτροδερμική αγωγιμότητα αναφέρεται στο φαινόμενο όπου η αλλαγή στα επίπεδα ιδρώτα ενός ανθρώπου αντανακλά άμεσα την ψυχική κατάσταση του και τα επίπεδα άγχους. Ο βασικός τρόπος με των οποίο γίνεται η καταγραφή του συγκεκριμένου βιομετρικού δείκτη μη παρεμβατικά είναι με τη χρήση επιδερμικών ηλεκτροδίων.

5.2. Συγκεντρωτική απόδοση του συσχετισμού των ενδείξεων

Με το πέρας της βιβλιογραφικής ανασκόπησης τόσο του συσχετισμού των βιομετρικών δεικτών και η άμεση ή έμμεση σχέση τους με την απώλεια της ακοής, όσο και την πιο στοχευμένη αποτύπωση του τρόπου με τον οποίο πραγματοποιούνται η καταγραφή και επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων προκύπτουν οι παρακάτω συγκεντρωτικοί πίνακες (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**&**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**).

Είναι αρκετά εμφανές πως τα αποτελέσματα της παρούσας βιβλιογραφικής έρευνας εντοπίζουν αρχικά την διαφοροποιημένη σημασία μεταξύ των βιομετρικών δεικτών σε ότι έχει να κάνει με την απώλεια της ακοής και την διαφοροποίηση τόσο στον τρόπο με τον οποίο γίνεται η μη παρεμβατική συλλογή των δεδομένων όσο και στον τύπο της φορετής συσκευής.

Οι δείκτες που ξεχωρίζουν και εμφανίζουν τον πιο άμεσο συσχετισμό είναι αυτοί που σχετίζονται με την καρδιοαγγειακή λειτουργία (σ.σ. καρδιακός ρυθμός, αρτηριακή πίεση και κορεσμός του οξυγόνου στο αίμα). Παράλληλα, δείκτες όπως η θερμοκρασία ή οι ώρες ύπνου δεν εμφανίζουν κάποια ιδιαίτερη σημασία ενώ ο ρυθμός αναπνοής και η πιθανότητα ύπαρξης συνδρόμου υπνικής άπνοιας αναδεικνύουν ισχυρή σύνδεση με την σταδιακή νευροαισθητηριακή απώλεια ακοής.

Πίνακας 5 Πίνακας με την κατηγοριοποίηση του τύπου βιο-σήματος, του τύπου αισθητήρα και την περιγραφή των δεδομένων μέτρησης.

Τύπος Βιο-σήματος	Τύπος αισθητήρα	Περιγραφή δεδομένων μέτρησης

Ηλεκτροκαρδιογράφημα (ΗΚΓ)	Ηλεκτρόδια στο δέρμα ή στο στήθος	Μέτρηση της ηλεκτρικής δραστηριότητας της καρδίας (συνεχής κυμματομορφή που δείχνει τις φάσεις της συστολή και της διαστολής του καρδιακού κύκλου)
Πίεση αίματος	Βραχίονας χειρός	Μέτρηση της δύναμης που ασκεί το αίμα στα τοιχώματα των αιμοφόρων αγγείων, ειδικά των αρτηριών
Θερμοκρασία σώματος ή/και επιδερμίδας	Αισθητήρας θερμοκρασίας ή έμπλαστρο δέρματος	Μέτρηση της ικανότητας του σώματος να παράγει και να διώχνει θερμότητα
Ρυθμός αναπνοής	Πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας	Αριθμός κινήσεων ενδεικτικών εισποής και εκπνοής ανά μονάδα χρόνου
Κορεσμός οξυγόνου	Παλμικό οξύμετρο	Υποδεικνύει την οξυγόνωση ή τη συνολική ποσότητα οξυγόνου που "μεταφέρεται" στο αίμα του ασθενούς
Καρδιακοί Παλμοί	Παλμικό οξύμετρο ή ηλεκτρόδια δέρματος	Συχνότητα καρδιακού κύκλου
Εφίδρωση ή την αγωγιμότητα του δέρματος	Γαλβανική αντίδραση του δέρματος	Ηλεκτρική αγωγιμότητα του που σχετίζεται με τη δραστηριότητα των ιδρωτοποιών αδένων
Καρδιακοί ήχοι	Φωνοκαρδιογράφημα	Καταγραφή των ήχων της καρδίας, όπως καταγράφονται από ένα σωστά τοποθετημένο στηθοσκόπιο
Γλυκόζη αίματος	Ταινιομετρητής γλυκόζης	Μέτρηση του πλήθους γλυκόζης (κυρίως τύπος/ πηγή ζάχαρης/ενέργειας) στο αίμα
Ηλεκτρομυογράφημα (ΗΜΓ)	Ηλεκτρόδια τοποθετημένα στο δέρμα	Μέτρηση της δραστηριότητας των σκελετικών μυών (χαρακτηρισμός του νευρομυϊκού συστήματος)
Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (ΗΕΓ)	Ηλεκτρόδια τοποθετημένα στο κεφάλι	Μέτρηση της ηλεκτρικής δραστηριότητας του εγκεφάλου και άλλων εγκεφαλικών δυναμικών
Κινήσεις σώματος	Επιταχυνσιόμετρο	Μέτρηση των δυνάμεων επιτάχυνσης στον χώρο

Πίνακας 6 Πίνακας με την κατηγοριοποίηση του τύπου βιο-σήματος, του τύπου αιθητήρα και τη περιγραφή των δεδομένων μέτρησης.

Βιομετρικός Δείκτης	Τύπος Συσκευής	Μέθοδος Καταγραφής	Συσχετισμός με την Απώλεια Ακοής	Σχετικές Πηγές
Καρδιακός Παλμός (HR)	Smartwatches Fitness trackers Smart clothing	Φωτοπλασματογραφία Ηλεκτροκαρδιογράφημα	Ο καρδιακός παλμός αποτελεί ένα από τους βασικούς βιομετρικούς δείκτες οι οποίοι συσχετίζονται με την απώλεια ακοής με βάση τις παραδοχές πως: α) άτομα με ακουστική δυσλειτουργία εμφανίζουν μεγαλύτερη παρασυμπαθητική καταστολή και μείωση του καρδιακού ρυθμού και β) ο καρδιακός ρυθμός σχετίζεται με την φυσιολογική ροή του αίματος κάτι το οποίο είναι απαραίτητο για την ακουστική ικανότητα μιας ενώ ταχύτερος καρδιακός ρυθμός οδηγεί σε χαμηλότερη ακουστική ευαισθησία και απώλεια ακοής.	(Dorman et al., 2012; Engdahl et al., 2015; Helzner et al., 2011; Mackersie et al., 2015)
Αρτηριακή Πίεση	Smartwatches Smart clothing	Φωτοπλασματογραφία Έμμεσος υπολογισμός μέσα από την χρήση εμπορικών αλγορίθμων και επεξεργασίας των δεδομένων καρδιακού ρυθμού	Η αρτηριακή πίεση εκφράζει την άρτια καρδιακή λειτουργεία και υπό συνθήκες συσχετίζεται με την απώλεια ακοής ως: α) ξαφνικές και προοδευτικές νευροαισθητηριακές απώλειες ακοής σχετίζονται με την αγγειακή δυσλειτουργία του εσωτερικού αυτιού β) η αύξηση του ιξώδους του αίματος, η οποία μειώνει τη ροή	(Agarwal et al., 2013; Nagahara et al., 1983)

			του και κατ' επέκταση οδηγεί στη μείωση της μεταφοράς οξυγόνου, προκαλώντας υποξία των ιστών και εν συνεχεία διαστρέβλωση της αίσθησης της ακοής ή και την απώλεια της.	
Κορεσμός οξυγόνου στο αίμα	Smartwatches Clip on Devices	Παλμικά Οξύμετρα Οπτική αξιολόγηση υπεριώδους ακτινοβολίας η οποία αναγνωρίζει την διαφοροποίηση στο επίπεδο οξυγόνου του αίματος με βάση τη χρωματική του απόκριση.	Το επίπεδο O_2 στο αίμα έχει αναγνωριστεί ως βασικό αίτιο για την σταδιακή ή απότομη νευροαισθητηριακή απώλεια ακοής κυρίως λόγω των άμεσων επιπτώσεων που έχει στα τριχοειδή κύτταρα του εσωτερικού αυτιού.	(Borg, 1997; Cayonu et al., 2014)
Γλυκόζη στο αίμα	Wristbands Skin Patches Contact Lenses	Αυτοκόλλητα Ταινιομετρητής γλυκόζης Επεμβατική διάτρηση μικρόβελόνων υποδόρια	Ο συσχετισμός της γλυκόζης στο αίμα και της απώλειας ακοής δεν είναι σαφής και εντοπίζεται κυρίως στο γεγονός πως οι μικροαγγειακές επιπλοκές του διαβήτη και της περίπλοκης φύσης παροχής αίματος στο εσωτερικό αυτί δύναται να οδηγούν εμφανώς χειρότερη ακοή	(Eggermont, 2017; Kakarlapudi et al., 2003; Maia & de Campos, 2005)

Ρυθμός Αναπνοής & Υπνος	Wristbands Body Sensors Pressure Sensors	Ηλεκτρονικοί αισθητήρες Αισθητήρες Πίεσης	Ο βασικός συσχετισμός της απώλειας ακοής με την αναπνοή και τον ύπνο βασίζεται στο σύνδρομο της υπνικής άπνοιας και σχετίζεται με α) τον μειωμένο κορεσμό οξυγόνου στο αίμα στην περιοχή του αυτιού β) την γενική εγκεφαλική αγγειακή ανεπάρκεια	(Fischer et al., 2003; Hwang et al., 2011; Sheu et al., 2012)
Γαλβανική απόκριση του δέρματος	Wristbands Body Sensors Smartwatches	Πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας	Ο συσχετισμός της ηλεκτροδερμικής αγωγιμότητας με την απώλεια ακοής βασίζεται στην αναγνωρισμένη αύξηση των επιπέδων άγχους κατά την διάρκεια ακουστικών προκλήσεων και την συνεπακόλουθη αύξηση της.	(Holube et al., 2016; Mackersie et al., 2015; Mackersie & Cones, 2011)
Θερμοκρασία σώματος	Wristbands Skin Patches Body Sensors	Αισθητήρας θερμοκρασίας Έμπλαστρο δέρματος	Δεν υπάρχει σαφής και άμεσος συσχετισμός μεταξύ της μεταβολής της σωματικής θερμοκρασίας και της ακουστικής λειτουργίας πέρα από την έμμεση κοχλιακή λειτουργία σε φυσιολογικές θερμοκρασίες.	(Hato et al., 2010)

6. Συμπεράσματα

Τα άτομα τα οποία παρουσιάζουν μερική ή ακόμη και ολική απώλεια ακοής αποτελούν ένα σημαντικό μέρος του κοινωνικού συνόλου και καλούνται καθημερινά να αντιμετωπίσουν διάφορες προκλήσεις στην ζωή τους και τις ασχολίες τους. Όπως παρουσιάστηκε εκτενώς στα παραπάνω κεφάλαια, η ακουστική δυσλειτουργία και η απώλεια της ακοής χαρακτηρίζεται εξαιρετικά πολύπλοκη και αποτελεί πρόκληση τόσο στην σαφή και άρτια διάγνωση της όσο και στην πετυχημένη, έγκαιρη και στοχευμένη πρόληψη της. Ο κυριότερος λόγος για το τελευταίο εντοπίζεται στο γεγονός πως οι διάφοροι τύποι απώλειας ακοής εμφανίζουν διαφοροποιημένα αίτια με παθολογικές όσο και ψυχολογικές αστοχίες (σ.σ. αγώγιμη, νευροαισθητηριακή και λειτουργική απώλεια ακοής).

Η τεχνολογική εξέλιξη στο τομέα των έξυπνων συσκευών ενθαρρύνει την χρήση τους σε διάφορες αντίστοιχες προκλήσεις μιας και κερδίζουν διαρκώς έδαφος σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Πιο συγκεκριμένα, από την υγειονομική περίθαλψη έως τα βιοϊατρικά συστήματα παρακολούθησης, τα οποία επιτρέπουν τη συνεχή μέτρηση κρίσιμων βιομετρικών δεικτών η διαδικασία της ιατρική διάγνωσης, παρακολούθησης και αξιολόγησης μπορεί να ενισχυθεί μέσα από τον ψηφιακό μετασχηματισμό και την εφαρμογή αντίστοιχων συσκευών.

Η εφαρμογή των συσκευών wearables λαμβάνει τεράστια προσοχή στο τομέα της υγείας, κυρίως λόγω της δυνατότητας συλλογής δεδομένων βιομετρικών δεικτών όπως μεταξύ άλλων ο καρδιακός ρυθμός, η αρτηριακή πίεση, η σωματική θερμοκρασία και ο αναπνευστικός ρυθμός Επιπροσθέτως ισχυρό πλεονέκτημα χαρακτηρίζεται το γεγονός πως τα δεδομένα συλλέγονται σε πραγματικό χρόνο και η μη παρεμβατική φύση τους επιτρέπουν τη συνεχή παρακολούθηση των ατόμων, και έτσι παρέχουν επαρκείς πληροφορίες για τον προσδιορισμό της κατάστασης της υγείας, ακόμη και την προκαταρκτική ιατρική διάγνωση τους.

Με βάση την βιβλιογραφική επισκόπηση και την έρευνα των βιομετρικών δεικτών οι οποίοι σχετίζονται άμεσα ή έμμεσα με την απώλεια ακοής προκύπτει πως

i. Η καρδιοαγγειακή λειτουργία όπως εκφράζεται από τους δείκτες του καρδιακού παλμού, της αρτηριακής πίεσης και του κορεσμού οξυγόνου στο αίμα συνδέεται με την νευροαισθητηριακή απώλεια ακοής. Παράλληλα η ευκολία της συλλογής των συγκεκριμένων δεδομένων από τα εμπορικά

διαθέσιμα wearables ενισχύει το ανταγωνιστικό πλεονέκτημα τους για την εξ' αποστάσεως επίβλεψη των ασθενών.

ii. Ο δείκτης της γλυκόζης στο αίμα παρουσιάζει δύο διακριτά προβλήματα: α) ο συσχετισμός του με αστοχίες της ακουστικής λειτουργίας δεν παρουσιάζει σαφή συμφωνία μεταξύ της επιστημονικής βιβλιογραφίας και β) η δυνατότητα των εμπορικών συσκευών wearables για τη μη παρεμβατική συλλογή δεδομένων δεν είναι ακόμα διαθέσιμε σε μεγάλο εύρος.

iii. Ο ρυθμός της αναπνοής ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια του ύπνου αποτελεί εξαιρετικής σημασία δείκτης ο οποίος συνδέεται άμεσα με την πιθανότητα απώλειας ακοής μέσω του συνδρόμου υπνικής άπνοιας (ΣΥΑ) και την εγκεφαλική αγγειακή ανεπάρκεια. Παράλληλα οι διαθέσιμες συσκευές καταγραφής του ρυθμού αναπνοής κατά την διάρκεια του ύπνου είναι προσιτές αν και παρουσιάζονται πιο εξειδικευμένες από ένα απλό έξυπνο ρολόι (π.χ. αισθητήρες πίεσης).

iv. Η γαλβανική απόκριση του δέρματος δίνει τη δυνατότητα αξιολόγησης της ακουστικής λειτουργείας υπό την παραδοχή πως τα επίπεδα άγχους αυξάνονται όταν το άτομο αντιμετωπίζει ακόμα και μη διακριτά προβλήματα ακοής ή μερικής απώλειας.

v. Η θερμοκρασία σαν βιομετρικός δείκτης φέρει ιδιαίτερη σημασία για την ολική αξιολόγηση της παθολογικής κατάστασης του ατόμου παρόλα αυτά δεν προκύπτει κάποια σαφής σύνδεση με την απώλεια ακοής σε βαθμό που να προκύπτει κάποια επικείμενη χρησιμότητα στην χρήση των συσκευών wearables.

Συμπερασματικά, η εφαρμογή των wearable συσκευών δίνουν τη δυνατότητα σε άτομα τα οποία εμφανίζουν απώλεια ακοής ή η παθολογική κατάσταση τους συνδέεται με τέτοια φαινόμενα όπως παραδείγματος χάρη το γήρας να καταγράφουν κρίσιμα δεδομένα τα οποία υπό συνθήκες δύναται να ενισχύσουν τόσο την προσπάθεια πρόληψη όσο και την έγκαιρη διάγνωση. Όπως προκύπτει και από το τεχνολογικό καθεστώς των συσκευών και τις δυνατότητες τους η στοχευμένη επεξεργασία των δεδομένων και αναγνώριση κρίσιμων ανωμαλιών θα δίνει τη δυνατότητα τόσο σε ατομικό όσο και κλινικό επίπεδο για την άρτια αντιμετώπιση συναφών ασθενειών και προβλημάτων ακοής.

Βιβλιογραφία

Agarwal, S., Mishra, A., Jagade, M., Kasbekar, V., & Nagle, S. K. (2013). Effects of Hypertension on Hearing. *Indian Journal of Otolaryngology and Head & Neck Surgery*, *65*(S3), 614–618. https://doi.org/10.1007/s12070-013-0630-1

Aimoni, C., Bianchini, C., Borin, M., Ciorba, A., Fellin, R., Martini, A., Scanelli, G., & Volpato, S. (2010). Diabetes, cardiovascular risk factors and idiopathic sudden sensorineural hearing loss: a case-control study. *Audiology and Neurotology*, *15*(2), 111–115.

Aitken, J., Sholl, D., Webster, K., & Young, J. (1967). A manual of human anatomy. Vol V: Central nervous system. *British Journal of Surgery*, *54*(4), 320–320. https://doi.org/10.1002/bjs.1800540427

Aliverti, A. (2017). Wearable technology: role in respiratory health and disease. *Breathe*, *13*(2), e27–e36. https://doi.org/10.1183/20734735.008417

Alshuaib, W. B., Al-Kandari, J. M., & Hasan, S. M. (2015). Classification of Hearing Loss. In *Update On Hearing Loss*. InTech. https://doi.org/10.5772/61835

Aplin, D. Y., & Rowson, V. J. (1990). Psychological characteristics of children with functional hearing loss. *British Journal of Audiology*, *24*(2), 77–87. https://doi.org/10.3109/03005369009077848

Appelboom, G., Camacho, E., Abraham, M. E., Bruce, S. S., Dumont, E. L., Zacharia, B. E., D'Amico, R., Slomian, J., Reginster, J. Y., Bruyère, O., & Connolly, E. S. (2014). Smart wearable body sensors for patient self-assessment and monitoring. *Archives of Public Health*, *72*(1), 28. https://doi.org/10.1186/2049-3258-72-28

Atallah, L., Lo, B., & Yang, G.-Z. (2012). Can pervasive sensing address current challenges in global healthcare? *Journal of Epidemiology and Global Health*, *2*(1), 1–13.

Atkins, E. (1984). *Fever: the old and the new*. The University of Chicago Press.

Audiocardio. (2020). *The Different Types of Audiometry Tests for your Hearing*. https://audiocardio.com/2020/07/06/the-different-types-of-audiometry-tests-for-your-hearing/

Baig, M. M., & Gholamhosseini, H. (2013). Smart health monitoring systems: an

overview of design and modeling. *Journal of Medical Systems*, *37*(2), 9898.

Banaee, H., Ahmed, M., & Loutfi, A. (2013). Data Mining for Wearable Sensors in Health Monitoring Systems: A Review of Recent Trends and Challenges. *Sensors*, *13*(12), 17472–17500. https://doi.org/10.3390/s131217472

Bastos, I. (1996). *Otitis media and hearing loss among children in developing countries.*

Behn, A., Westerberg, B. D., Zhang, H., Riding, K. H., Ludemann, J. P., & Kozak, F. K. (2007). Accuracy of the Weber and Rinne tuning fork tests in evaluation of children with otitis media with effusion. *Journal of Otolaryngology*, *36*(4).

Bellazzi, R., Ferrazzi, F., & Sacchi, L. (2011). Predictive data mining in clinical medicine: a focus on selected methods and applications. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, *1*(5), 416–430.

Bellazzi, R., & Zupan, B. (2008). Predictive data mining in clinical medicine: Current issues and guidelines. *International Journal of Medical Informatics*, *77*(2), 81–97. https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2006.11.006

Bellos, C. C., Papadopoulos, A., Rosso, R., & Fotiadis, D. I. (2010). Extraction and Analysis of features acquired by wearable sensors network. *Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Information Technology and Applications in Biomedicine*, 1–4.

Bhatia, P., Mintz, S., Hecht, B. F., Deavenport, A., & Kuo, A. A. (2013). Early identification of young children with hearing loss in federally qualified health centers. *Journal of Developmental & Behavioral Pediatrics*, *34*(1), 15–21.

Bluestone, C. D., Gates, G. A., Klein, J. O., Lim, D. J., Mogi, G., Ogra, P. L., Paparella, M. M., Paradise, J. L., & Tos, M. (2002). 1. Definitions, Terminology, and Classification of Otitis Media. *Annals of Otology, Rhinology & Laryngology*, *111*(3_suppl), 8–18. https://doi.org/10.1177/00034894021110S304

Borg, E. (1997). Perinatal Asphyxia, Hypoxia, Ischemia and Hearing Loss: An Overview. *Scandinavian Audiology*, *26*(2), 77–91. https://doi.org/10.3109/01050399709074979

Burkey, J. M., Lippy, W. H., Schuring, A. G., & Rizer, F. M. (1998). Clinical utility of

the 512-Hz Rinne tuning fork test. *American Journal of Otology*, *19*(1), 59–62.

Cacioppo, J. T., Tassinary, L. G., & Berntson, G. (2007). *Handbook of psychophysiology*. Cambridge university press.

Cadoni, G., Agostino, S., Manna, R., De Santis, A., Fetoni, A. R., Vulpiani, P., & Ottaviani, F. (2003). Clinical associations of serum antiendothelial cell antibodies in patients with sudden sensorineural hearing loss. *The Laryngoscope*, *113*(5), 797–801.

Cadoni, G., Fetoni, A. R., Agostino, S., Santis, A. De, Manna, R., Ottaviani, F., & Paludetti, G. (2002). Autoimmunity in sudden sensorineural hearing loss: possible role of anti-endothelial cell autoantibodies. *Acta Oto-Laryngologica*, *122*(5), 30–33.

Cayonu, M., Capraz, M., Acar, A., Altundag, A., & Salihoglu, M. (2014). Hearing Loss Related with Type 2 Diabetes in an Elderly Population. *The Journal of International Advanced Otology*, *10*(1), 72–75. https://doi.org/10.5152/iao.2014.016

Chandola, V., Banerjee, A., & Kumar, V. (2009). Anomaly detection: A survey. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, *41*(3), 1–58.

Cheang, P. Y. S., & Smith, P. R. (2003). An overview of non-contact photoplethysmography. *Dept. of Electronics & Electrical Engineering, Loughborough University, LE*, *1*(1).

Chen, J., Kwong, K., Chang, D., Luk, J., & Bajcsy, R. (2006). Wearable sensors for reliable fall detection. *2005 IEEE Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference*, 3551–3554.

Clements, K., & Turpin, G. (1995). Effects of feedback and task difficulty on electrodermal activity and heart rate: An examination of Fowles' three arousal model. *Journal of Psychophysiology*.

Cohen, B. E., Durstenfeld, A., & Roehm, P. C. (2014). Viral causes of hearing loss: a review for hearing health professionals. *Trends in Hearing*, *18*, 2331216514541361.

Corrales, A. Y., & Starr, M. (2010). Assessment of the unwell child. *Australian Family*

Physician, *39*(5), 270–275. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20485711

Cretikos, M. A., Bellomo, R., Hillman, K., Chen, J., Finfer, S., & Flabouris, A. (2008). Respiratory rate: the neglected vital sign. *Medical Journal of Australia*, *188*(11), 657–659.

Critchley, H. D. (2002). Review: Electrodermal Responses: What Happens in the Brain. *The Neuroscientist*, *8*(2), 132–142. https://doi.org/10.1177/107385840200800209

Cullen, J. R., & Cinnamond, M. J. (1993). Hearing loss in diabetics. *The Journal of Laryngology & Otology*, *107*(3), 179–182. https://doi.org/10.1017/S0022215100122571

Cunningham, D. D., & Stenken, J. A. (2009). *In vivo glucose sensing* (Vol. 174). John Wiley & Sons.

Daiana da Costa, T., de Fatima Fernandes Vara, M., Santos Cristino, C., Zoraski Zanella, T., Nunes Nogueira Neto, G., & Nohama, P. (2019). Breathing Monitoring and Pattern Recognition with Wearable Sensors. In *Wearable Devices - the Big Wave of Innovation*. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.85460

Dalton, D. S., Cruickshanks, K. J., Klein, R., Klein, B. E., & Wiley, T. L. (1998). Association of NIDDM and Hearing Loss. *Diabetes Care*, *21*(9), 1540–1544. https://doi.org/10.2337/diacare.21.9.1540

Danermark, B., Cieza, A., Gangé, J.-P., Gimigliano, F., Granberg, S., Hickson, L., Kramer, S. E., McPherson, B., Möller, C., Russo, I., Strömgren, J. P., Stucki, G., & Swanepoel, D. (2010). International classification of functioning, disability, and health core sets for hearing loss: A discussion paper and invitation. *International Journal of Audiology*, *49*(4), 256–262. https://doi.org/10.3109/14992020903410110

Daniel, E. (2007). Noise and Hearing Loss: A Review. *Journal of School Health*, *77*(5), 225–231. https://doi.org/10.1111/j.1746-1561.2007.00197.x

Dorman, M. F., Spahr, A., Gifford, R. H., Cook, S., Zhang, T., Loiselle, L., Yost, W., Cardy, L., Whittingham, J., & Schramm, D. (2012). Current Research with Cochlear Implants at Arizona State University. *Journal of the American Academy*

of Audiology, *23*(06), 385–395. https://doi.org/10.3766/jaaa.23.6.2

Douglas, N. J., Thomas, S., & Jan, M. A. (1992). Clinical value of polysomnography. *The Lancet*, *339*(8789), 347–350.

Duschek, S., Muckenthaler, M., Werner, N., & Reyes del Paso, G. A. (2009). Relationships between features of autonomic cardiovascular control and cognitive performance. *Biological Psychology*, *81*(2), 110–117. https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2009.03.003

Edwards, J. (2012). Wireless Sensors Relay Medical Insight to Patients and Caregivers [Special Reports]. *IEEE Signal Processing Magazine*, *29*(3), 8–12. https://doi.org/10.1109/MSP.2012.2183489

Eggermont, J. J. (2017). *Hearing loss: Causes, prevention, and treatment*. Academic Press.

Elfering, A., & Grebner, S. (2011). Ambulatory assessment of skin conductivity during first thesis presentation: lower self-confidence predicts prolonged stress response. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, *36*(2), 93–99. https://doi.org/10.1007/s10484-011-9152-3

Elgendi, M. (2012). On the analysis of fingertip photoplethysmogram signals. *Current Cardiology Reviews*, *8*(1), 14–25.

Engdahl, B., Aarhus, L., Lie, A., & Tambs, K. (2015). Cardiovascular risk factors and hearing loss: The HUNT study. *International Journal of Audiology*, *54*(12), 958–966. https://doi.org/10.3109/14992027.2015.1090631

Fischer, Y., Yakinthou, A., & Mann, W. J. (2003). Prevalence of obstructive sleep apnea syndrome (OSA) in patients with sudden hearing loss. A pilot study. *HNO*, *51*(6), 462–466. https://doi.org/10.1007/s00106-002-0712-y

Fitzgerald, J., & Fenniri, H. (2017). Cutting Edge Methods for Non-Invasive Disease Diagnosis Using E-Tongue and E-Nose Devices. *Biosensors*, *7*(4), 59. https://doi.org/10.3390/bios7040059

Franks Hospital. (2020). *Photoplethysmograph*. http://www.frankshospitalworkshop.com/equipment/documents/pulse_oximeter/wikipedia/Photoplethysmograph.pdf

Friedman, S. A., Schulman, R. H., & Weiss, S. (1975). Hearing and diabetic neuropathy. *Archives of Internal Medicine*, *135*(4), 573–576.

Fu, Y., & Liu, J. (2015). System Design for Wearable Blood Oxygen Saturation and Pulse Measurement Device. *Procedia Manufacturing*, *3*, 1187–1194. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.197

Gates, G. A., & Mills, J. H. (2005). Presbycusis. *The Lancet*, *366*(9491), 1111–1120. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(05)67423-5

Gendolla, G. H., & Krüsken, J. (2001). The joint impact of mood state and task difficulty on cardiovascular and electrodermal reactivity in active coping. *Psychophysiology*, *38*(3), 548–556. https://doi.org/10.1017/s0048577201000622

Goldstein, D. S., & Kopin, I. J. (2007). Evolution of concepts of stress. *Stress*, *10*(2), 109–120.

Guyon, I., Gunn, S., Nikravesh, M., & Zadeh, L. A. (2008). *Feature extraction: foundations and applications* (Vol. 207). Springer.

Hansen, C. C. (1968). Perceptive Hearing Loss and Arterial Hypertension. *Archives of Otolaryngology - Head and Neck Surgery*, *87*(2), 119–122. https://doi.org/10.1001/archotol.1968.00760060121005

Harner, S. G. (1981). Hearing in Adult-Onset Diabetes Mellitus. *Otolaryngology–Head and Neck Surgery*, *89*(2), 322–327. https://doi.org/10.1177/019459988108900235

Hartley, D. E. H., & Moore, D. R. (2003). Effects of conductive hearing loss on temporal aspects of sound transmission through the ear. *Hearing Research*, *177*(1–2), 53–60. https://doi.org/10.1016/S0378-5955(02)00797-9

Hartmas, A. (2020). *11 reasons you should buy an Apple Watch instead of Fitbit's new $200 smartwatch*. https://www.businessinsider.com/apple-watch-vs-fitbit-versa-2018-5

Hato, N., Hyodo, J., Takeda, S., Takagi, D., Okada, M., Hakuba, N., & Gyo, K. (2010). Local hypothermia in the treatment of idiopathic sudden sensorineural hearing loss. *Auris Nasus Larynx*, *37*(5), 626–630. https://doi.org/10.1016/j.anl.2010.01.008

Heikenfeld, J., Jajack, A., Rogers, J., Gutruf, P., Tian, L., Pan, T., Li, R., Khine, M., Kim, J., Wang, J., & Kim, J. (2018). Wearable sensors: modalities, challenges, and prospects. *Lab on a Chip*, *18*(2), 217–248. https://doi.org/10.1039/C7LC00914C

Helzner, E. P., Patel, A. S., Pratt, S., Sutton-Tyrrell, K., Cauley, J. A., Talbott, E., Kenyon, E., Harris, T. B., Satterfield, S., Ding, J., & Newman, A. B. (2011). Hearing Sensitivity in Older Adults: Associations with Cardiovascular Risk Factors in the Health, Aging and Body Composition Study. *Journal of the American Geriatrics Society*, *59*(6), 972–979. https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2011.03444.x

Hızlı, Ö., Özcan, M., & Ünal, A. (2013). Evaluation of Comorbidities in Patients with OSAS and Simple Snoring. *The Scientific World Journal*, *2013*, 1–4. https://doi.org/10.1155/2013/709292

Hjalmarson, Å. (2007). Heart rate: an independent risk factor in cardiovascular disease. *European Heart Journal Supplements*, *9*(suppl_F), F3--F7.

Hofmeier, B., Wolpert, S., Aldamer, E. S., Walter, M., Thiericke, J., Braun, C., Zelle, D., Rüttiger, L., Klose, U., & Knipper, M. (2018). Reduced sound-evoked and resting-state BOLD fMRI connectivity in tinnitus. *NeuroImage: Clinical*, *20*, 637–649. https://doi.org/10.1016/j.nicl.2018.08.029

Holube, I., Haeder, K., Imbery, C., & Weber, R. (2016). Subjective Listening Effort and Electrodermal Activity in Listening Situations with Reverberation and Noise. *Trends in Hearing*, *20*, 233121651666773. https://doi.org/10.1177/2331216516667734

Hwang, J.-H., Chen, J.-C., Hsu, C.-J., & Liu, T.-C. (2011). Association of Obstructive Sleep Apnea and Auditory Dysfunctions in Older Subjects. *Otolaryngology–Head and Neck Surgery*, *144*(1), 114–119. https://doi.org/10.1177/0194599810390859

Isaacson, J. E., & Vora, N. M. (2003). Differential diagnosis and treatment of hearing loss. *American Family Physician*, *68*(6), 1125–1132. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14524400

Javitz Productions. (2020). *3D Human Ear*. http://javitz3d.com/

Jørgensex, M. R., & Buch, N. H. (1961). Studies on inner-ear function and cranial

nerves in diabetics. *Acta Oto-Laryngologica*, *53*(2–3), 350–364.

Jung-Min, L., Kim, Y., & Welk, G. (2014). Validity of Consumer-Based Physical Activity Monitors. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *46*(9), 1840–1848. https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000287

Kakarlapudi, V., Sawyer, R., & Staecker, H. (2003). The Effect of Diabetes on Sensorineural Hearing Loss. *Otology & Neurotology*, *24*(3). https://journals.lww.com/otology-neurotology/Fulltext/2003/05000/The_Effect_of_Diabetes_on_Sensorineural_Hearing.6.aspx

Kaland, M., & Salvatore, K. (2002). The psychology of hearing loss. *The ASHA Leader*, *7*(5), 4–15.

Kayabasi, S., Hizli, O., & Yildirim, G. (2019). The association between obstructive sleep apnea and hearing loss: a cross-sectional analysis. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, *276*(8), 2215–2221. https://doi.org/10.1007/s00405-019-05468-8

Kayabasi, S., Iriz, A., Cayonu, M., Cengiz, B., Acar, A., Boynuegri, S., Mujdeci, B., & Eryilmaz, A. (2015). Vestibular functions were found to be impaired in patients with moderate-to-severe obstructive sleep apnea. *The Laryngoscope*, *125*(5), 1244–1248. https://doi.org/10.1002/lary.25021

Kelley, S. D., & Ramsay, M. A. E. (2014). Respiratory Rate Monitoring. *Anesthesia & Analgesia*, *119*(6), 1246–1248. https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000000454

Knutson, J. F., & Lansing, C. R. (1990). The relationship between communication problems and psychological difficulties in persons with profound acquired hearing loss. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, *55*(4), 656–664.

Korver, A. M. H., Smith, R. J. H., Van Camp, G., Schleiss, M. R., Bitner-Glindzicz, M. A. K., Lustig, L. R., Usami, S., & Boudewyns, A. N. (2017). Congenital hearing loss. *Nature Reviews Disease Primers*, *3*(1), 16094. https://doi.org/10.1038/nrdp.2016.94

Kurmis, A., & Apps, S. (2007). Occupationally-Acquired Noise-Induced Hearing Loss: A Senseless Workplace Hazard. *International Journal of Occupational Medicine*

and Environmental Health, *20*(2). https://doi.org/10.2478/v10001-007-0016-2

Kutz, J. W., Simon, L. M., Chennupati, S. K., Giannoni, C. M., & Manolidis, S. (2006). Clinical predictors for hearing loss in children with bacterial meningitis. *Archives of Otolaryngology--Head & Neck Surgery*, *132*(9), 941–945.

Lasak, J. M., Allen, P., McVay, T., & Lewis, D. (2014). Hearing Loss. *Primary Care: Clinics in Office Practice*, *41*(1), 19–31. https://doi.org/10.1016/j.pop.2013.10.003

Lauer, A. M., Dent, M. L., Sun, W., & Xu-Friedman, M. A. (2019). Effects of Non-traumatic Noise and Conductive Hearing Loss on Auditory System Function. *Neuroscience*, *407*, 182–191. https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2019.01.020

Lazar, J., Feng, J. H., & Hochheiser, H. (2017). Measuring the human. In *Research Methods in Human Computer Interaction* (pp. 369–409). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805390-4.00013-3

Lazarini, P. R., & Camargo, A. C. K. (2006). Idiopathic sudden sensorineural hearing loss: etiopathogenic aspects. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, *72*(4), 554–561. https://doi.org/10.1016/S1808-8694(15)31004-1

Lazazzera, R., Belhaj, Y., & Carrault, G. (2019). A New Wearable Device for Blood Pressure Estimation Using Photoplethysmogram. *Sensors*, *19*(11), 2557. https://doi.org/10.3390/s19112557

Lin, J., & Staecker, H. (2006). Nonorganic Hearing Loss. *Seminars in Neurology*, *26*(3), 321–330. https://doi.org/10.1055/s-2006-945518

Mackersie, C. L., & Cones, H. (2011). Subjective and psychophysiological indexes of listening effort in a competing-talker task. *Journal of the American Academy of Audiology*, *22*(2), 113–122. https://doi.org/10.3766/jaaa.22.2.6

Mackersie, C. L., MacPhee, I. X., & Heldt, E. W. (2015). Effects of Hearing Loss on Heart Rate Variability and Skin Conductance Measured During Sentence Recognition in Noise. *Ear and Hearing*, *36*(1), 145–154. https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000091

Mackowiak, P. A., & Wasserman, S. S. (1995). Physicians' perceptions regarding body temperature in health and disease. *Southern Medical Journal*, *88*(9), 934–938.

Maia, C. A. S., & de Campos, C. A. H. (2005). Diabetes mellitus as etiological factor of hearing loss. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, *71*(2), 208–214. https://doi.org/10.1016/S1808-8694(15)31312-4

Majumder, S., Mondal, T., & Deen, M. (2017). Wearable Sensors for Remote Health Monitoring. *Sensors*, *17*(12), 130. https://doi.org/10.3390/s17010130

Malhi, K., Mukhopadhyay, S. C., Schnepper, J., Haefke, M., & Ewald, H. (2012). A Zigbee-Based Wearable Physiological Parameters Monitoring System. *IEEE Sensors Journal*, *12*(3), 423–430. https://doi.org/10.1109/JSEN.2010.2091719

Mathewson, K. J., Jetha, M. K., Drmic, I. E., Bryson, S. E., Goldberg, J. O., Hall, G. B., Santesso, D. L., Segalowitz, S. J., & Schmidt, L. A. (2010). Autonomic predictors of Stroop performance in young and middle-aged adults. *International Journal of Psychophysiology*, *76*(3), 123–129. https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2010.02.007

May, J. J. (2000). Occupational hearing loss. *American Journal of Industrial Medicine*, *37*(1), 112–120.

Miller, J. (2020). *Inventing the Apollo Spaceflight Biomedical Sensors*. https://airandspace.si.edu/stories/editorial/inventing-apollo-spaceflight-biomedical-sensors

Miller, J., Beck, L., Davis, A., Jones, D. E., & Thomas, A. B. (1983). Hearing loss in patients with diabetic retinopathy. *American Journal of Otolaryngology*, *4*(5), 342.

Mitch Medical Healthcare. (2020). *The Weber Test*. https://www.mitchmedical.us/physical-diagnosis/the-weber-test.html

Moses, Z. B., Luecken, L. J., & Eason, J. C. (2007). Measuring Task-related Changes in Heart Rate Variability. *2007 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 644–647. https://doi.org/10.1109/IEMBS.2007.4352372

Mukhopadhyay, S. C. (2014). Wearable sensors for human activity monitoring: A review. *IEEE Sensors Journal*, *15*(3), 1321–1330.

Nagahara, K., Fisch, U., & Yagi, N. (1983). Pertlymph Oxygenation in Sudden and Progressive Sénsorineural Hearing Loss. *Acta Oto-Laryngologica*, *96*(1–2), 57–

68. https://doi.org/10.3109/00016488309132875

Nageris, B., Hadar, T., Feinmesser, M., & Elidan, J. (1998). Cochlear histopathologic analysis in diabetic rats. *The American Journal of Otology*, *19*(1), 63–65.

Nelson, H. D., Bougatsos, C., & Nygren, P. (2008). Universal newborn hearing screening: systematic review to update the 2001 US Preventive Services Task Force Recommendation. *Pediatrics*, *122*(1), e266--e276.

Newton, V., Alberti, P., & Smith, A. (2012). *Prevention of hearing loss*. New York : Nova Biomedical. http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=535062

Nieuwenhuys, R., Voogd, J., & Van Huijzen, C. (2007). *The human central nervous system: a synopsis and atlas*. Springer Science & Business Media.

Ohinata, Y., Makimoto, K., Kawakami, M., Haginomori, S.-I., Araki, M., & Takahashi, H. (1994). Blood Viscosity and Plasma Viscosity in Patients with Sudden Deafness. *Acta Oto-Laryngologica*, *114*(6), 601–607. https://doi.org/10.3109/00016489409126112

Olusanya, B., Davis, A., & Hoffman, H. (2019). Hearing loss grades and the International classification of functioning, disability and health. *Bulletin of the World Health Organization*. https://www.who.int/bulletin/volumes/97/10/BLT-19-230367-table-T1.html

Pantelopoulos, A., & Bourbakis, N. G. (2009). A survey on wearable sensor-based systems for health monitoring and prognosis. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, *40*(1), 1–12.

Poole, R., Goetzinger, C. P., & Rousey, C. L. (1966). A Study of the Effects of Auditory Stimuli on Respiration. *Acta Oto-Laryngologica*, *61*(1–6), 143–152. https://doi.org/10.3109/00016486609127051

Powell, W., Jacobs, J. A., Noble, W., Bush, M. L., & Snell-Rood, C. (2019). Rural Adult Perspectives on Impact of Hearing Loss and Barriers to Care. *Journal of Community Health*, *44*(4), 668–674. https://doi.org/10.1007/s10900-019-00656-3

Przewoźny, T., Gójska-Grymajło, A., Kwarciany, M., Gąsecki, D., & Narkiewicz, K.

(2015). Hypertension and cochlear hearing loss. *Blood Pressure*, *24*(4), 199–205. https://doi.org/10.3109/08037051.2015.1049466

Rachim, V. P., & Chung, W.-Y. (2019). Wearable-band type visible-near infrared optical biosensor for non-invasive blood glucose monitoring. *Sensors and Actuators B: Chemical*, *286*, 173–180. https://doi.org/10.1016/j.snb.2019.01.121

Rauch, S. D. (2008). Idiopathic sudden sensorineural hearing loss. *New England Journal of Medicine*, *359*(8), 833–840.

Ricker, T. (2013). *Fitbit Flex wristband with Bluetooth could be the best activity tracker yet.* https://www.theverge.com/2013/1/7/3840106/fitbit-flex-wireless-fitness-bracelet

Robson, C. D. (2006). Congenital hearing impairment. *Pediatric Radiology*, *36*(4), 309–324. https://doi.org/10.1007/s00247-005-0042-9

Samsung. (2020). *Wearables in Healthcare*. https://www.samsung.com/us/business/solutions/topics/wearables/

Sataloff, J., & Sataloff, R. T. (2005). *Hearing loss* (4th ed.). CRC Press.

Schick, B., Brors, D., Koch, O., Schäfers, M., & Kahle, G. (2001). Magnetic resonance imaging in patients with sudden hearing loss, tinnitus and vertigo. *Otology & Neurotology*, *22*(6), 808–812.

Schuknecht, H., Benitez, J., Beekhuis, J., Igarashi, M., Singleton, G., & Ruedi, L. (1962). The pathology of sudden deafness. *The Laryngoscope*, *72*(9), 1142–1157.

Schuknecht, H., Kimura, R. S., & Naufal, P. M. (1973). The pathology of sudden deafness. *Acta Oto-Laryngologica*, *76*(1–6), 75–97.

Shantz, J. (2020). *Sensorineural Hearing Loss*. Ear and Hearing. https://earandhearingclinic.com/hearing-health/understanding-hearing-loss/sensorineural-hearing-loss/

Sheu, J.-J., Wu, C.-S., & Lin, H.-C. (2012). Association Between Obstructive Sleep Apnea and Sudden Sensorineural Hearing Loss A Population-Based Case-Control Study. *Archives of Otolaryngology–Head & Neck Surgery*, *138*(1), 55. https://doi.org/10.1001/archoto.2011.227

Shinohara, S., Yamamoto, E., Saiwai, S., Tsuji, J., Muneta, Y., Tanabe, M., Sakamoto, T., & Kim, T. (2000). Clinical features of sudden hearing loss associated with a high signal in the labyrinth on unenhanced T1-weighted magnetic resonance imaging. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, *257*(9), 480–484.

Smyth, G. D. L. (1982). Recent and future trends in the management of otosclerotic conductive hearing loss. *Clinical Otolaryngology*, *7*(3), 153–160. https://doi.org/10.1111/j.1365-2273.1982.tb01576.x

Sneha, S., & Varshney, U. (2009). Enabling ubiquitous patient monitoring: Model, decision protocols, opportunities and challenges. *Decision Support Systems*, *46*(3), 606–619. https://doi.org/10.1016/j.dss.2008.11.014

Sow, D., Turaga, D. S., & Schmidt, M. (2013). Mining of sensor data in healthcare: A survey. In *Managing and mining sensor data* (pp. 459–504). Springer.

St Martin, M. B., & Hirsch, B. E. (2008). Imaging of hearing loss. *Otolaryngologic Clinics of North America*, *41*(1), 157–178, vi–vii. https://doi.org/10.1016/j.otc.2007.10.007

Stacey, M., & McGregor, C. (2007). Temporal abstraction in intelligent clinical data analysis: A survey. *Artificial Intelligence in Medicine*, *39*(1), 1–24.

Stankiewicz, J. A., & Mowry, H. J. (1979). CLINICAL ACCURACY OF TUNING FORK TESTS. *The Laryngoscope*, *89*(12), 1956???1963. https://doi.org/10.1288/00005537-197912000-00009

Sund-Levander, M., & Grodzinsky, E. (2009). Time for a change to assess and evaluate body temperature in clinical practice. *International Journal of Nursing Practice*, *15*(4), 241–249. https://doi.org/10.1111/j.1440-172X.2009.01756.x

Swan, M. (2009). Emerging Patient-Driven Health Care Models: An Examination of Health Social Networks, Consumer Personalized Medicine and Quantified Self-Tracking. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *6*(2), 492–525. https://doi.org/10.3390/ijerph6020492

Tamura, T., Huang, M., & Togawa, T. (2018). Current Developments in Wearable Thermometers. *Advanced Biomedical Engineering*, *7*, 88–99. https://doi.org/10.14326/abe.7.88

Tay, H. L., Ray, N., Ohri, R., & Frootko, N. J. (1995). Diabetes mellitus and hearing loss. *Clinical Otolaryngology & Allied Sciences*, *20*(2), 130–134.

Taylor, I. G., & Irwin, J. (1978). Some audiological aspects of diabetes mellitus. *The Journal of Laryngology & Otology*, *92*(2), 99–113.

Teach Me Anatomy. (2020). *The Inner Ear*. https://teachmeanatomy.info/head/organs/ear/inner-ear/

Teel, J., Winston, M., Aspinall, K., Rousey, C., & Goetzinger, C. P. (1967). Thresholds of Hearing by Respiration Using a Polygraph. *Archives of Otolaryngology - Head and Neck Surgery*, *86*(2), 172–174. https://doi.org/10.1001/archotol.1967.00760050174010

Townsend, K. A., Haslett, J. W., Tsang, T. K.-K., El-Gamal, M. N., & Iniewski, K. (2005). Recent advances and future trends in low power wireless systems for medical applications. *Fifth International Workshop on System-on-Chip for Real-Time Applications (IWSOC'05)*, 476–481.

UptoDate. (2020). *Evaluation of hearing loss, Weber and Rinne tests*. https://www.uptodate.com/contents/image?imageKey=PC%2F58032&topicKey=PC%2F15359&source=see_link

Wang, W., Wang, H., Hempel, M., Peng, D., Sharif, H., & Chen, H.-H. (2011). Secure stochastic ECG signals based on Gaussian mixture model for $ e $-healthcare systems. *IEEE Systems Journal*, *5*(4), 564–573.

Weng, S.-F., Chen, Y.-S., Hsu, C.-J., & Tseng, F.-Y. (2005). Clinical features of sudden sensorineural hearing loss in diabetic patients. *The Laryngoscope*, *115*(9), 1676–1680.

WHO. (1986). *Prevention of deafness and hearing impairment: report by the Director-General*. (Provisional agenda item 22.2).

WHO. (2020). *Deafness and hearing loss*. World Health Organization. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/deafness-and-hearing-loss#:~:text=Hearing loss and deafness,moderate%2C severe%2C or profound.

WoodardHearing. (2020). *What Does An Audiogram Tell Me About My Hearing Loss?* https://woodardhearing.com/2015/02/what-does-an-audiogram-tell-me-about-

my-hearing-loss/

Wordisk. (2019). *Rinne Test*. https://worddisk.com/wiki/Rinne_test/

Yang, T., Guo, L., Wang, L., & Yu, X. (2019). *Diagnosis, Intervention, and Prevention of Genetic Hearing Loss* (pp. 73–92). https://doi.org/10.1007/978-981-13-6123-4_5

Yetisen, A. K., Martinez-Hurtado, J. L., Ünal, B., Khademhosseini, A., & Butt, H. (2018). Wearables in Medicine. *Advanced Materials*, *30*(33), 1706910. https://doi.org/10.1002/adma.201706910

Yetisen, A. K., Qu, H., Manbachi, A., Butt, H., Dokmeci, M. R., Hinestroza, J. P., Skorobogatiy, M., Khademhosseini, A., & Yun, S. H. (2016). Nanotechnology in Textiles. *ACS Nano*, *10*(3), 3042–3068. https://doi.org/10.1021/acsnano.5b08176

Zahnert, T. (2011). The Differential Diagnosis of Hearing Loss. *Deutsches Aerzteblatt Online*. https://doi.org/10.3238/arztebl.2011.0433

Zangróniz, R., Martínez-Rodrigo, A., Pastor, J., López, M., & Fernández-Caballero, A. (2017). Electrodermal Activity Sensor for Classification of Calm/Distress Condition. *Sensors*, *17*(10), 2324. https://doi.org/10.3390/s17102324

Zeng, W., Shu, L., Li, Q., Chen, S., Wang, F., & Tao, X.-M. (2014). Fiber-Based Wearable Electronics: A Review of Materials, Fabrication, Devices, and Applications. *Advanced Materials*, *26*(31), 5310–5336. https://doi.org/10.1002/adma.201400633