



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ**

# **Κοχλιακά Εμφυτεύματα**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Της

**Ευστρατίας Κολτσίδα**

**Επιβλέπων** : Δημήτριος Κουτσουρής





**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ**

# **Κοχλιακά Εμφυτεύματα**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Ευστρατία Κολτσιδα**

**Επιβλέπων : Δημήτριος Κουτσουρής**

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την.

**ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΚΟΥΤΣΟΥΡΗΣ**

**Ον/μο Μέλος Δ.Ε.Π**

**Ιδιότητα Μέλους Δ.Ε.Π**

**ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΤΣΑΝΑΚΑΣ**

**Ον/μο Μέλος Δ.Ε.Π**

**Ιδιότητα Μέλους Δ.Ε.Π**

**ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΜΑΤΣΟΠΟΥΛΟΣ**

**Ον/μο Μέλος Δ.Ε.Π**

**Ιδιότητα Μέλους Δ.Ε.Π**

.....  
Ευστρατία Κολτσίδα

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

Copyright © Ευστρατία Κολτσίδα, 2016

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.

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο μελέτης τα Κοχλιακά Εμφυτεύματα. Σκοπός είναι η παρουσίαση των παραμέτρων κωδικοποίησης του σήματος των εμφυτευμάτων και η ανάλυση των στρατηγικών κωδικοποίησης και επεξεργασίας του ήχου. Πρόκειται για την παρουσίαση των τρόπων αντιμετώπισης της κώφωσης, με την εφαρμογή κοχλιακών εμφυτευμάτων, αλλά και των προγραμμάτων και εργαλείων μέσω των οποίων επιτυγχάνεται η επανένταξη των ατόμων με απώλεια ακοής. Για την επίτευξη των στόχων αυτών χρησιμοποιούνται σύγχρονες τεχνολογίες που έχουν ως κοινό παρονομαστή την αποκατάσταση της βαρηκοΐας στο μεγαλύτερο δυνατό βαθμό.

### **Λέξεις Κλειδιά**

Κοχλιακά εμφυτεύματα, κωδικοποίηση σήματος, στρατηγικές κωδικοποίησης, παράμετροι κωδικοποίησης, συστήματα κοχλιακών εμφυτευμάτων

## **ABSTRACT**

In the following thesis we intend to present the issue of Cochlear Implants. It is particularly presented the implants' signal coding parameters and analysis of coding strategies and sound process. Moreover, the treatment of deafness is presented with the application of cochlear implants as well as the programs and tools through which the rehabilitation of persons with hearing loss is achieved. In order these objectives to be achieved modern technologies are used that have the common denominator the restoration of hearing to the greatest extent possible.

### **Keywords**

Cochlear implants, signal coding, coding strategies, coding parameters, cochlear implant systems

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vi</b>
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b> .....	<b>1</b>
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ</b> .....	<b>3</b>
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>4</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΑΝΑΤΟΜΙΑ ΚΑΙ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΑΥΤΙΟΥ</b> .....	<b>8</b>
1.1. Γενικά.....	8
1.2. Ανατομία αυτιού .....	8
1.3. Μηχανισμός της ακοής .....	12
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΒΑΡΗΚΟΪΑ – ΚΩΦΩΣΗ</b> .....	<b>15</b>
2.1. Τύποι και αιτίες βαρηκοΐας.....	15
2.2. Διάγνωση – μέθοδοι εξέτασης – ταξινόμηση βαρηκοΐας .....	18
2.3. Αντιμετώπιση της βαρηκοΐας .....	28
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΚΟΧΛΙΑΚΑ ΕΜΦΥΤΕΥΜΑΤΑ</b> .....	<b>32</b>
3.1. Ορισμός και ιστορική αναδρομή.....	32
3.2. Περιγραφή και βασική λειτουργία κοχλιακών εμφυτευμάτων.....	34
3.3. Επιλογή ατόμων για κοχλιακή εμφύτευση .....	42
3.3.1. Υποψήφιοι λήπτες κοχλιακών εμφυτευμάτων.....	42
3.3.2. Εξετάσεις προεγχειρητικού ελέγχου .....	47
3.3.3. Παράγοντες ακουστικής απόδοσης ληπτών κοχλιακών εμφυτευμάτων.....	51
3.4. Εφαρμογή κοχλιακού εμφυτεύματος .....	52
3.5. Παράμετροι κωδικοποίησης σήματος .....	55
3.5.1. Κωδικοποίηση σήματος έντασης.....	55
3.5.2. Κωδικοποίηση σήματος συχνότητας.....	61
3.5.3. Κωδικοποίηση σήματος χρόνου.....	63
3.6. Ρύθμιση και προγραμματισμός κοχλιακών εμφυτευμάτων .....	64
3.7. Στρατηγικές κωδικοποίησης / επεξεργασίας του ήχου .....	71
3.7.1. <i>Continuous Interleaved Sampling (CIS) Συνεχής Παρεμβαλλόμενη Δειγματοληψία</i> .....	73
3.7.2. <i>HiResolution (HiRes) Sound Processing</i> .....	76
3.7.3. <i>n-of-m</i> .....	76
3.7.4. <i>Spectral Peak (SPEAK)</i> .....	78
3.7.5. <i>Advanced Combination Encoder (ACE)</i> .....	78
3.7.6. <i>Fine Structure Processing (FSP)</i> .....	81

3.7.7. <i>Simultaneous Analog Strategy (SAS)</i> .....	81
3.7.8. <i>Virtual Channel (Symphony)</i> .....	82
3.7.9. <i>Adaptive dynamic range optimization (ADRO)</i> .....	82
3.7.10. <i>FineHearing</i> .....	83
3.8. Συστήματα κοχλιακών εμφυτευμάτων.....	84
3.8.1. <i>Advanced Bionics</i> .....	84
3.8.2. <i>Cochlear Ltd.</i> .....	86
3.8.3. <i>Medical Electronics (Med-EL)</i> .....	89
3.9. Αποκατάσταση.....	91
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΟΦΕΛΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΚΟΧΛΙΑΚΩΝ ΕΜΦΥΤΕΥΜΑΤΩΝ .....</b>	<b>93</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....</b>	<b>99</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>104</b>



## ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Ανατομία ανθρώπινου αυτιού (Αθανασιάδης-Σισμάνης, 2010).....	11
Εικόνα 2: Αναπαράσταση λειτουργίας ακοής (Γκέλης, 2005).....	14
Εικόνα 3: Ακούγραμμα φυσιολογικής ακοής (Κουρμπέτης και συν., 2007).....	20
Εικόνα 4: Ομιλητικό ακούγραμμα (Καρελάς, 2012) .....	22
Εικόνα 5: Μηχανισμός λειτουργίας ακουστικής αντίστασης (Κυριαφίνης, 2005). ....	23
Εικόνα 6: Ακουστικά προκλητά δυναμικά (Αγγελέτος, 2014).....	23
Εικόνα 7: Τύποι ακουστικών βαρηκοΐας, (Κυριαφίνης και Βιτάλ, 2008).....	30
Εικόνα 8: Εμφύτευμα εγκεφαλικού στελέχους (Cochlear Corp, MED-EL) .....	31
Εικόνα 9: Σύστημα κοχλιακού εμφυτεύματος (Κυριαφίνης, 2005) .....	35
Εικόνα 10. Εφαρμογή κοχλιακού εμφυτεύματος (University of Cyprus, 2016).....	37
Εικόνα 11: Σύστημα κοχλιακού εμφυτεύματος, διάταξη λειτουργίας (Κυριαφίνης, 2005; Cowan, 2007) .....	38
Εικόνα 12: Ακουστικές συχνότητες κοχλιακού εμφυτεύματος.....	40
Εικόνα 13. Κανάλια διέγερσης (a), ηλεκτρόδια (b) (Seligman, 2007; Komal, 2012).....	40
Εικόνα 14. Αντιστοίχιση διαύλου-ηλεκτροδίου (Wolfe & Schafer, 2015).....	62
Εικόνα 15. Σχηματική αναπαράσταση των AEVs (Hughes, 2013).....	68
Εικόνα 16: Στρατηγική κωδικοποίησης σήματος CIS (Wolfe & Schafer, 2015).....	74
Εικόνα 17: Στρατηγική κωδικοποίησης σήματος n-of-m, SPEAK, ACE (Wolfe & Schafer, 2015) .....	80
Εικόνα 18: Harmony της Advanced Bionics (HiResolution™ Bionic Ear). ....	85
Εικόνα 19: Κοχλιακό εμφύτευμα Nucleus CP910, CP920 (Cochlear Ltd, 2015) .....	87
Εικόνα 20: Εσωτερικού κοχλιακού εμφυτεύματος Nucleus (Cochlear Ltd, 2015) .....	87
Εικόνα 21: Κοχλιακό εμφύτευμα SYNCHRONY της MED-EL .....	90
Εικόνα 22: Τεχνολογία Triformance της MED-EL ( <a href="http://www.medel.com/gr/cochlear-implants">http://www.medel.com/gr/cochlear-implants</a> ).....	90

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα εργασία διερευνά το θέμα των Κοχλιακών Εμφυτευμάτων.

Η ακοή είναι μία από τις πέντε αισθήσεις μας και είναι το αποτέλεσμα μιας σύνθετης διαδικασίας πρόσληψης ήχων από το αισθητήριο όργανο, το αυτί, και απόδοσης σε αυτούς, κάποιας εννοιολογικής σημασίας. Το ανθρώπινο αυτί είναι το πρώτο πλήρως ανεπτυγμένο και λειτουργικό αισθητήριο όργανο από την εμβρυική ηλικία κάθε ανθρώπου ενώ κατά και μετά τη γέννηση, ανταποκρίνεται πλήρως σε ήχους πολύ χαμηλούς ή πολύ δυνατούς.

Σημαντικό πρόβλημα της ακοής είναι η βαρηκοΐα, η μείωση δηλαδή της ακουστικής ικανότητας του ατόμου όπου σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (World Health Organization) WHO, ανάλογα με τον εντοπισμό της βλάβης, διακρίνεται σε τέσσερις τύπους: τη βαρηκοΐα αγωγιμότητας, τη βαρηκοΐα νευροαισθητηρίου τύπου ή αντίληψης, τη βαρηκοΐα μικτού τύπου και την κεντρική βαρηκοΐα (WHO, 1997; Καρελάς, 2012).

Η ιατρική με τις συνεχείς τεχνολογικές ανακαλύψεις και εφαρμογές διαθέτει αρκετά μέσα διάγνωσης της βαρηκοΐας, αξιόπιστα και αποτελεσματικά, τόσο για παιδιά όσο και για ενήλικες. Ειδικότερα, τα Ακουστικά Προκλητά Δυναμικά Εγκεφαλικού Στελέχους (ABR, Auditory Brainstem Response) και οι Ωτοακουστικές εκπομπές (OAEs, Otoacoustic Emissions) είναι δύο από τα πλέον χρήσιμα εργαλεία διάγνωσης βαρηκοΐας. Άλλες τεχνικές αξιολόγησης της ακουστικής λειτουργίας στους ενήλικες είναι η τονική ακοομετρία, η μέτρηση της ακουστικής αντίστασης (τυμπανομετρία και αντανακλαστικό του μυ του αναβολέα) καθώς και άλλες τεχνικές της κλινικής ακοολογίας.

Μετά τη διάγνωση της βαρηκοΐας πρέπει να καθορίζεται και να συστήνεται η κατάλληλη ακουστική ενίσχυση. Τα ακουστικά βοηθήματα παίζουν σημαντικό ρόλο στην αντιμετώπιση της βαρηκοΐας αποτελώντας πολλές φορές την μόνη

επιλογή. Χωρίζονται στα: γενικά βοηθήματα, τις ακουστικές προσθέσεις ή ακουστικά βαρηκοΐας, στις εμφυτεύσιμες προσθέσεις και στα κοχλιακά εμφυτεύματα (Κυριαφίνης, 2005; Κυριαφίνης και Βιτάλ, 2008).

Τα κοχλιακά εμφυτεύματα αποτελούνται από δύο τμήματα: το εξωτερικό (μικρόφωνο, επεξεργαστή ομιλίας, πηνίο πομπού) και το εσωτερικό (εσωτερικό πηνίο δέκτη, μικροεπεξεργαστή ομιλίας και ηλεκτρόδια) τμήμα (Wolfe & Schafer, 2015).

Η επιλογή των υποψηφίων για κοχλιακή εμφύτευση είναι μια σύνθετη διαδικασία που απαιτεί προσεκτική εκτίμηση πολλών παραγόντων. Πλέον οι λήπτες των κοχλιακών εμφυτευμάτων διακρίνονται σε τρεις κύριες κατηγορίες: μεταγλωσσικοί κωφοί ενήλικες και παιδιά, εκ γενετής ή προγλωσσικά κωφά παιδιά και εκ γενετής ή προγλωσσικοί κωφοί έφηβοι και ενήλικες.

Πριν την εμφύτευση διενεργείται προεγχειρητικός έλεγχος (ωτοσκοπική εξέταση, MRI-μαγνητική τομογραφία κ.λπ.) για τη μέτρηση του σημείου ηλεκτρικής διέγερσης, της ικανότητας διάκρισης του χρόνου και του ελέγχου της κόπωσης του ακουστικού νεύρου. Η εφαρμογή μπορεί να είναι μονόπλευρη, στο ένα μόνο αυτί ή αμφίπλευρη με εφαρμογή και στα δύο αυτιά.

Ιδιαίτερα σημαντική είναι η μελέτη των παραμέτρων που επηρεάζουν την κωδικοποίηση της ευαισθησίας του σήματος (το επίπεδο διέγερσης, ο ουδός διέγερσης, τα ανώτερα επίπεδα διέγερσης, το εύρος απόκρισης και παλμού και η χαρτογράφηση των ακουστικών δεδομένων στο ηλεκτρικό δυναμικό εύρος), την κωδικοποίηση της συχνότητας (ηλεκτρόδιο επικοινωνίας σε κανάλι, τα εικονικά ηλεκτρόδια, η κατανομή συχνότητας) και την κωδικοποίηση σήματος χρόνου (ρυθμός διέγερσης).

Μετά την χειρουργική επέμβαση για την εμφύτευση ακολουθεί ο **έλεγχος** για τη διαπίστωση της λειτουργικότητας του εμφυτεύματος. Οι τεχνικές δοκιμασίες

ελέγχου της συσκευής κοχλιακών εμφυτευμάτων είναι η τηλεμετρία, η μέτρηση της αντίστασης των ηλεκτροδίων και η καταγραφή σε πραγματικό χρόνο των ηλεκτροδιακών τάσεων ή του μέσου όρου των ηλεκτροδιακών φορτίων (Dillier et Lai, 1998). Πριν ακόμη βγει ο ασθενής από το χειρουργείο, ο ιατρός γνωρίζει ότι το εμφύτευμα λειτουργεί και ο ασθενής «ακούει» και αποκτώνται πολύτιμες πληροφορίες που θα βοηθήσουν στη μετέπειτα ρύθμιση και προσαρμογή του. Ακολούθως, περίπου 3-4 εβδομάδες μετά την επέμβαση γίνεται η τοποθέτηση του εξωτερικού συστήματος του κοχλιακού εμφυτεύματος και ο πρώτος προγραμματισμός των καναλιών του. Στόχος είναι να βρεθεί η άριστη ένταση και διαμόρφωση με την οποία πρέπει να διοχετεύονται τα ακουστικά μηνύματα και ο ασθενής να έχει ευχάριστη και φυσιολογική ακοή (Lalwani, 2004; Δανιηλίδης, 2007). Ο **προγραμματισμός** είναι ιδιαίτερα σημαντικό κομμάτι στην αποκατάσταση και την εξέλιξη του βαρήκοου ατόμου και χρειάζεται να γίνεται από εξειδικευμένα άτομα.

Η **στρατηγική κωδικοποίησης** του σήματος περιγράφει τον **αλγόριθμο** που χρησιμοποιείται για να μετατρέψει τα χαρακτηριστικά του εισερχόμενου ακουστικού σήματος σε ηλεκτρικό σήμα που επιχειρεί να μεταδώσει αυτά τα χαρακτηριστικά με ουσιαστικό τρόπο στο ακουστικό νεύρο. Οι μέχρι σήμερα στρατηγικές κωδικοποίησης είχαν τη δυνατότητα αναπαράστασης ενός μόνο μέρους του ηχητικού φάσματος, που ονομάζεται «φάκελος», ενώ το υπόλοιπο, η «λεπτομερής δομή», ήταν προβληματική λόγω των τεχνολογικών περιορισμών (MED-EL, 2015; Hochmair et al., 2015). Η εξέλιξη των εμφυτευμάτων, με στόχο την ακρίβεια αναπαράστασης του ηχητικού φάσματος, επιτρέπει στους χρήστες καλύτερα αποτελέσματα κατανόησης της ομιλίας σε χώρους με χαμηλά επίπεδα θορύβου (Helms, 2001). Ωστόσο σε περιπτώσεις πιο σύνθετων ήχων αυτό δεν είναι αρκετό. Οι πιο διαδεδομένες στρατηγικές κωδικοποίησης είναι η **CIS**, η **SPEAK**, η **ACE** και η **SAS** (Κυριαφίνης, 2005; Wolfe & Schafer, 2015).

Για την αποκατάσταση του ατόμου στο οποίο έγινε εμφύτευση του κοχλιακού συστήματος, είναι απαραίτητο να ακολουθηθεί η κατάλληλη εκπαίδευση και επιμόρφωση από εξειδικευμένους επαγγελματίες.

Τέλος, πρέπει να υπογραμμιστεί ότι τα οφέλη των κοχλιακών εμφυτευμάτων διαπιστώνονται άμεσα από τους ενήλικες καθώς μπορούν να επικοινωνούν αποτελεσματικά με τους γύρω τους. Τα παιδιά χρειάζονται περισσότερο χρόνο καθώς δεν είναι σε θέση να ερμηνεύσουν τα ηλεκτρικά σήματα που λαμβάνουν.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΑΝΑΤΟΜΙΑ ΚΑΙ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΑΥΤΙΟΥ

## 1.1. Γενικά

Η ακοή είναι μία από τις πέντε αισθήσεις. Πρόκειται για μια σύνθετη διαδικασία που προσλαμβάνει τους ήχους και αποδίδει σημασία σε αυτούς. Το ανθρώπινο αυτί είναι το πρώτο αισθητήριο όργανο, έτοιμο να λειτουργήσει στο έμβρυο. Εμφανίζεται κατά τους πρώτους μήνες της εγκυμοσύνης και λειτουργικά ολοκληρώνεται στον 4<sup>ο</sup> μήνα. Κατά τη γέννηση είναι πλήρως ανεπτυγμένο και ανταποκρίνεται σε ήχους πολύ χαμηλούς ή πολύ δυνατούς. Ακόμη και στη μήτρα, η ανταπόκριση των βρεφών στους ήχους είναι σημαντική. Το αυτί είναι ένα μικρό όργανο, με δυσανάλογες για το μέγεθός του ιδιότητες. Έχει την ικανότητα αυτοπροστασίας από απότομους και υψηλής έντασης ήχους, ενισχύει σημαντικές συχνότητες για την ανθρώπινη επικοινωνία και επικεντρώνεται σε μια μόνο φωνή, απορρίπτοντας τις υπόλοιπες γύρω του. Επιπλέον, το αυτί προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες στον εγκέφαλο για τη θέση του κεφαλιού σε σχέση με το σώμα, διατηρώντας με αυτόν τον τρόπο την ισορροπία (Beranek, 1993; Κυριαφίνης, 2005).

## 1.2. Ανατομία αυτιού

Για να κατανοηθεί καλύτερα η διαδικασία εφαρμογής των κοχλιακών εμφυτευμάτων είναι χρήσιμη η περιγραφή της ανατομίας του αυτιού. Συγκεκριμένα το αυτί **αποτελείται** από τρία κύρια μέρη που παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στο ζήτημα της ακοής: το εξωτερικό (έξω), το μέσο και το εσωτερικό (έσω) αυτί (οὔς). Ειδικότερα:

- Το **έξω αυτί** αποτελείται από το πτερύγιο και τον ακουστικό πόρο. Το πτερύγιο είναι το μοναδικό ορατό μέρος του αυτιού και το πρώτο τμήμα του οργάνου

που συναντάει ο ήχος. Είναι κατασκευασμένο από χόνδρο και έχει πτυχές. Συλλέγει τα ηχητικά κύματα και τα διοχετεύει στον ακουστικό πόρο ο οποίος με τη σειρά του κατευθύνει τον ήχο στο εσωτερικό του αυτιού. Ο έξω ακουστικός πόρος έχει μήκος 2,5 cm, πολύ μικρή διάμετρο, ξεκινά από το πτερύγιο του αυτιού και με ελαφρά τοξοειδή πορεία καταλήγει στον τυμπανικό υμένα. Τα πρώτα 8mm είναι από χόνδρο, ενώ τα επόμενα 16mm είναι οστέινα. Προσομοιώνεται με κλειστό στο ένα του άκρο ηχητικό σωλήνα με συχνότητα συντονισμού στα 3300Hz. Ο έξω ακουστικός πόρος προστατεύει τον τυμπανικό υμένα από άμεση βλάβη ενώ παράλληλα συμβάλλει στην βελτίωση της ακοής στην κλίμακα συχνοτήτων που χρησιμοποιείται για την ομιλία και το διαχωρισμό του ήχου. Το ακουστικό κανάλι ενώνει το πτερύγιο με το εξωτερικό στρώμα της τυμπανικής μεμβράνης και ενισχύει τον ήχο. Εξαιτίας του φαινομένου του συντονισμού, η ενίσχυση που μπορεί να προκαλέσει πλησιάζει ακόμα και τα 15dB. Έτσι, ενισχύονται οι συχνότητες που είναι απαραίτητες για την ανθρώπινη ομιλία ενώ παράλληλα προστατεύει το μέσο αυτί από εξωτερικά σώματα και από αλλαγές στην υγρασία και την θερμοκρασία.

- Το **μέσο αυτί** μεταφέρει μηχανικά την ακουστική ενέργεια από το γεμάτο αέρα εξωτερικό αυτί στον γεμάτο υγρό κοχλία. Όταν ένας ήχος φτάνει στην επιφάνεια ενός υγρού ανακλάται κατά 99,5 % ή και περισσότερο. Αποτελείται από το τυμπανοσταριώδες σύστημα δηλαδή την τυμπανική μεμβράνη, τα τρία οστάρια (σφύρα, άκμονας και αναβολέας), τους μύες, την κοιλότητα του μέσου αυτιού και την ευσταχιανή σάλπιγγα. Το τύμπανο χωρίζει το ακουστικό κανάλι από την τυμπανική κοιλότητα του μέσου αυτιού. Ο τυμπανικός υμένας έχει πάχος περίπου 0,1mm και εμβαδό περίπου 65mm<sup>2</sup>. Το μηχανικό ερέθισμα (ηχητικό κύμα) φτάνει μέσω των οσταρίων στον κοχλία όπου μετατρέπεται σε παλμό ηλεκτρικού δυναμικού. Ο κοχλίας και το έσω αυτί περιέχουν υγρό (λέμφος) και η μετάδοση της πίεσης στην περιοχή αυτή γίνεται με υδραυλικά κύματα πίεσης. Λειτουργεί ως μετατροπέας της ακουστικής πίεσης σε μηχανική

δηλαδή ο ήχος μετατρέπεται σε παλμικές δονήσεις και μεταφέρεται από την επιφάνεια στα οστάρια που τη συνδέουν με τον κοχλία. Η τυμπανική μεμβράνη παίζει σημαντικό ρόλο στην αποτελεσματική μετάδοση της ενέργειας. Τα τρία μικρά οστάρια (σφύρα, άκμονας, αναβολέας), όπως προαναφέρθηκε, μεταφέρουν διαδοχικά την ηχητική ενέργεια (δονήσεις) στο έσω αυτί. Στο μέσο αυτί ενισχύεται η ηχητική πίεση η οποία φτάνει μέσω του τυμπάνου γιατί τα τρία ακουστικά οστάρια δρουν ως μοχλός. Περαιτέρω ενίσχυση επιτυγχάνεται λόγω της διαφοράς στα εμβαδά του τυμπάνου και της ωοειδούς θυρίδας. Η συνθήκη ισορροπίας δίνεται από τη σχέση:

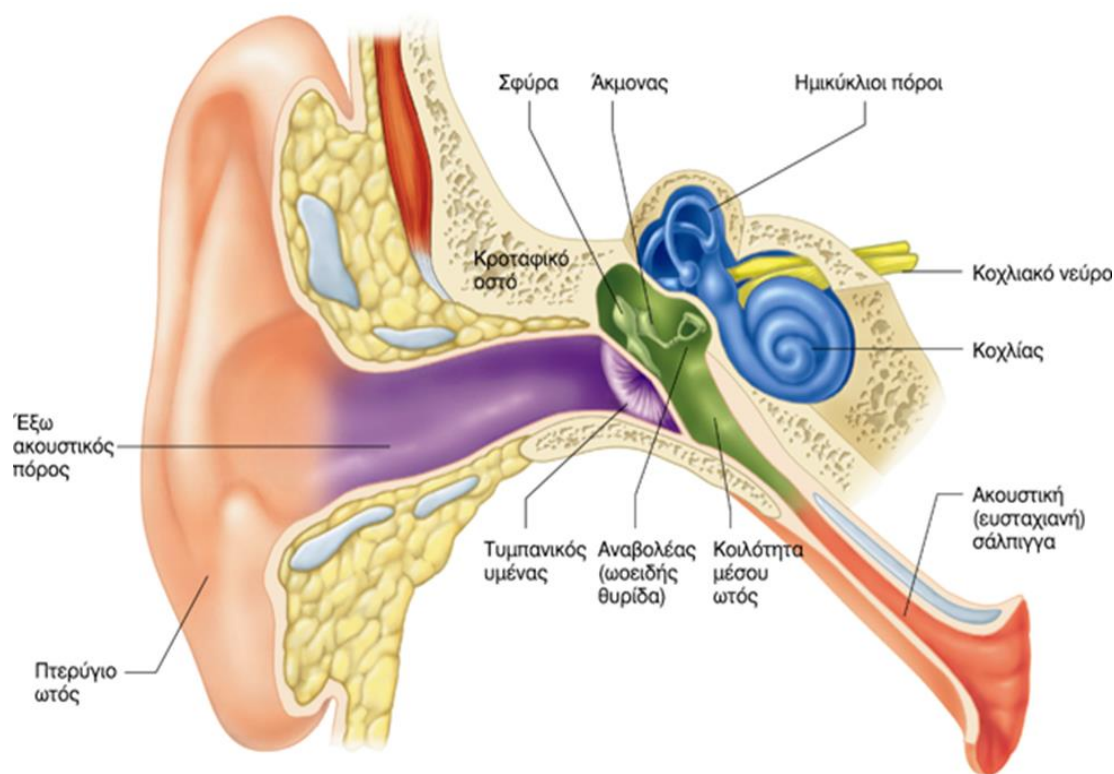
$$P_m * A_m * L_m = P_o * A_o * L_o$$

όπου  $P_m, P_o$  είναι η πίεση σε τύμπανο και ωοειδή θυρίδα αντίστοιχα,  $A_m, A_o$  τα εμβαδά των αντίστοιχων επιφανειών και  $L_m, L_o$  οι μοχλοβραχίονες. Η λειτουργία του μέσου ωτός έχει ως αποτέλεσμα περίπου το 50% του ήχου που φτάνει στον τυμπανικό υμένα να μεταφέρονται στο έσω ου.

- Το **έσω αυτί** βρίσκεται βαθιά, στο πλάγιο μέρος του κρανίου. Ονομάζεται και λαβύρινθος λόγω της πολύπλοκης κατασκευής του. Μέσα σε αυτόν το λαβύρινθο κυκλοφορεί η λέμφος. Τα βασικά του τμήματα είναι ο κοχλιάς, η αίθουσα και οι τρεις ημικύκλιοι σωλήνες. Στα τοιχώματα του κοίλου του τυμπάνου που αντιστοιχεί στην αίθουσα υπάρχουν δύο οπές, η ωοειδής και η στρογγυλή θυρίδα. Ο κοχλιάς είναι μια δομή με σπείρες και μέσα σε αυτόν βρίσκεται το αισθητήριο όργανο της ακοής ή όργανο του Corti. Το όργανο του Corti αποτελεί το υποδεκτικό όργανο της ακοής. Βρίσκεται στη βασική μεμβράνη του κοχλιακού πόρου και διαθέτει εξαιρετικά ευαίσθητα αισθητήρια τριχοφόρα κύτταρα που κινούνται όταν δέχονται ηχητικούς παλμούς. Η διέγερσή τους έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία νευρικών ώσεων, οι οποίες μεταφέρουν στον εγκέφαλο την κωδικοποιημένη πληροφορία για η συχνότητα του ήχου. Το αιθουσαίο σύστημα που είναι το ήμισυ ανατομικά και λειτουργικά του ακουστικού νεύρου είναι υπεύθυνο για την ισορροπία του σώματος σε συνεργασία με άλλα όργανα όπως τα μάτια, την παρεγκεφαλίδα κτλ. Το άλλο



έτερον ήμισυ, το κοχλιακό νεύρο είναι υπεύθυνο για την μεταφέρουν των ώσεων στον εγκέφαλο, όπου και ερμηνεύονται ως ήχος (Δαυηλίδης, 2003; Δαυηλίδης και Ασημακόπουλος, 2006; Marion and Johnson, 2006; Αθανασιάδης-Σισμάνης, 2010).



**Εικόνα 1.** Ανατομία ανθρώπινου αυτιού (Αθανασιάδης-Σισμάνης, 2010)

Έτσι, κάθε τμήμα επιτελεί μια συγκεκριμένη λειτουργία που επιτρέπει στα ηχητικά κύματα που έρχονται στο αυτί να μετασχηματισθούν σε ηλεκτρικούς παλμούς τους οποίους ο εγκέφαλος μπορεί να κατανοήσει (εικόνα 1).

### 1.3. Μηχανισμός της ακοής

Η ακοή είναι το αποτέλεσμα της διάδοσης του ήχου μέσα στο κανάλι του αυτιού, από το μέσω στο εσωτερικό αυτί (Σκεύας, 2002).

Έχει τρεις κύριες συνιστώσες:

- Το μηχανικό σύστημα που συλλέγει και μεταδίδει τις ηχητικές πληροφορίες ώστε να διεγερθούν τα τριχωτά κύτταρα στον κοχλία
- Τα αισθητήρια κύτταρα που μετατρέπουν τον μηχανικό παλμό σε ηλεκτρικό, δηλαδή παράγουν νευρικό παλμό, ο οποίος μεταδίδεται μέσω των κοχλιακών νεύρων στον εγκέφαλο
- Τον ακουστικό φλοιό, το τμήμα δηλαδή του εγκεφάλου που αποκωδικοποιεί και μεταφράζει τα ηλεκτρικά σήματα των κοχλιακών νεύρων.

Υπάρχουν δύο **διαδικασίες λήψης ηχητικών σημάτων** από το έξω αυτί και παραγωγής ήχου. Συγκεκριμένα, ανάλογα με την ηχητική διέγερση παράγονται δύο τύποι λεκτικών ήχων: οι **φωνητικοί** (αν η ηχητική διέγερση είναι περιοδική) και οι **μη φωνητικοί** (αν η ηχητική διέγερση είναι θόρυβος). Στους τελευταίους ο θόρυβος δημιουργείται με αγωγή μέσω αέρος ή με αγωγή μέσω των οστών:

1. **Αγωγή μέσω του αέρος:** Τα ηχητικά κύματα μεταφέρονται από τον έξω ακουστικό πόρο, μέσω των ελικώσεων, στην τυμπανική μεμβράνη, προς τα πάνω και γύρω από τον κοχλία. Ακολουθώντας, η τυμπανική μεμβράνη δονείται ανάλογα με τον ακουστικό ερεθισμό που δέχεται, η ηχητική ενέργεια μετατρέπεται σε μηχανική, κινεί τα ακουστικά οστάρια (σφύρα – άκμονα – αναβολέα) και μεταφέρει τη δόνηση στα τριχωτά κύτταρα στο όργανο του Corti. Η κίνηση των οσταρίων προκαλεί ανάλογη δράση στο υγρό του κοχλία (λέμφος). Στις ελικώσεις αυξάνεται το ακουστικό επίπεδο ενώ παράλληλα συμβάλλουν στον ακριβέστερο εντοπισμό της πηγής του ήχου. Καθώς το κύμα περνά μέσα από τον κοχλία, τίθεται σε κίνηση ο λεπτός βασικός υμένας και

μαζί με αυτόν το όργανο του Corti που περιέχει περισσότερα από 16.000 τριχωτά κύτταρα, η κίνηση των οποίων δημιουργεί την παραγωγή ηλεκτρικού σήματος στο ακουστικό νεύρο που, μέσω εγκεφαλικών νευρωνικών συνάψεων, μεταδίδεται σε διάφορες περιοχές του εγκεφάλου, όπου επιτυγχάνεται η αντίληψη του ήχου. Τα σήματα περνούν από τον ένα σταθμό αναμετάδοσης στον άλλο και υφίστανται περίπλοκες αλληλεπιδράσεις στο εγκεφαλικό στέλεχος. Περίπου 1/5 του δευτερολέπτου μετά την ανίχνευση, τα ηλεκτρικά σήματα φτάνουν στις ακουστικές περιοχές του εγκεφάλου (ακουστικός φλοιός των κροταφικών λοβών) και οι ήχοι γίνονται αντιληπτοί (Αθανασιάδης-Σισμάνης, 2010; American Academy of Otolaryngology, 2015).

2. **Αγωγή μέσω των οστών:** Τα ηχητικά κύματα προσκρούουν στα οστά του κρανίου και μετατρέπονται σε κραδασμούς (δονήσεις) και μέσω αυτών μεταφέρονται στις νευρικές απολήξεις και στη συνέχεια στον ακουστικό φλοιό του εγκεφάλου (Γκέλης, 2005; Αθανασιάδης-Σισμάνης, 2010; American Academy of Otolaryngology, 2015).

Το ηχητικό κύμα μεγιστοποιείται για κάθε ξεχωριστή συχνότητα και στη συνέχεια μηδενίζεται. Σε κάθε στάδιο μετάδοσης του ήχου, το σύστημα είναι ρυθμισμένο ώστε να μεγιστοποιεί την ευαισθησία του ήχου., δηλαδή την ικανότητα διάκρισης μεταξύ ενός συνόλου ηχητικών σημάτων που δέχεται ταυτόχρονα και αντίληψη των διαφορών στη λήψη του ίδιου σήματος. Για τους ήχους υψηλών συχνοτήτων το κύμα μεγιστοποιείται στη βάση του κοχλίου, ενώ για τους ήχους χαμηλών συχνοτήτων κοντά στην κορυφή του. Υπάρχει ένας καλά ρυθμισμένος μηχανισμός του μέσου ωτός που παράγει τις μεταβολές της πίεσης στον κοχλία που διαμορφώνουν τελικά το περίπλοκο κύμα που θα ταξιδέψει μέχρι τον εγκέφαλο. Με τη σειρά του, αυτό εξαρτάται από τη λεπτεπίλεπτη δομή του κοχλίου. Υπάρχει ένα πολύ ασυνήθιστο υγρό, η έσω λέμφος, και ένας αρκετά αξιοσημείωτος εσωτερικός κοχλιακός ενισχυτής (εικόνα 2) (Γκέλης, 2005; Αθανασιάδης-Σισμάνης, 2010; American Academy of Otolaryngology, 2015).



**Εικόνα 2:** Αναπαράσταση λειτουργίας ακοής (Γκέλης, 2005)

Η **αμφοτερόπλευρη ακοή** παρέχει φυσικότερο ήχο και βελτιωμένη ποιότητα ζωής, επιτρέποντας σε φυσιολογικώς ακούοντα άτομα να αντιλαμβάνονται καλύτερα την ομιλία σε συνθήκες ησυχίας και θορύβου. Είναι ουσιαστικό και προαπαιτούμενο προσόν για την ακοή στον χώρο και την εντόπιση του ήχου. Η φλοιώδης προβολή του αυτιού στον φλοιό του εγκεφάλου είναι ετερόπλευρη και μόνο ένα μικρό μέρος ιών της ακουστικής νευρικής οδού είναι ομόπλευρη. Έτσι, προκαλείται μία ανεπαρκής ομόπλευρη ανάπτυξη του εγκεφαλικού φλοιού και των νευρικών ιών σε περιπτώσεις μονόπλευρου ερεθισμού. Να επισημάνουμε ότι το **εύρος των εντάσεων** των ήχων που μπορεί να ακούει ο άνθρωπος ξεπερνά το  $10^{12}$ , ενώ οι συχνότητες που μπορεί να ακούει το ανθρώπινο αυτί διαφέρουν κατά ένα παράγοντα ίσο με 1000 (16-20000 Hz) (Αθανασιάδης-Σισμάνης, 2010; Γκέλης, 2005; American Academy of Otolaryngology, 2015).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΒΑΡΗΚΟΪΑ – ΚΩΦΩΣΗ

### 2.1. Τύποι και αιτίες βαρηκοΐας

Με τον όρο βαρηκοΐα ορίζουμε την μείωση της ακουστικής ικανότητας. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO), ανάλογα με την εντόπιση της βλάβης η βαρηκοΐα διακρίνεται σε τέσσερις τύπους:

- **Βαρηκοΐα τύπου αγωγιμότητας** που προκαλείται από βλάβες στο έξω ή μέσο αυτί, οι οποίες διαταράσσουν το μηχανισμό αγωγής του ήχου από το πτερύγιο προς τα μέσα. Τα ηχητικά κύματα εμποδίζονται καθώς δεν λειτουργεί φυσιολογικά ο ακουστικός πόρος, η τυμπανική μεμβράνη ή και το μέσο αυτί. Καθώς ο ήχος δεν μπορεί να μεταδοθεί αποτελεσματικά, η ηχητική ενέργεια που φθάνει στο έσω αυτί είναι αδύνατη ή χαμηλή. Η βαρηκοΐα αγωγιμότητας μπορεί να προκληθεί από ύπαρξη σημαντικής ποσότητας κεριού (βύσμα κυψελίδας) ή ξένου σώματος εντός του έξω ακουστικού πόρου, από μόλυνση (εξωτερική ωτίτιδα), ωτίτιδα ή υγρό στο μέσο αυτί, βλάβη στα οστάρια του μέσου αυτιού, διάτρηση της τυμπανικής μεμβράνης, ωτοσκλήρυνση. Εκδηλώνεται με αμυδρή ή θαμπή αντίληψη ομιλίας και άλλων ήχων, πόνο στο αυτί ή εκροή υγρού, ερυθρότητα ή πρήξιμο του εξωτερικού τμήματος του αυτιού, πίεση ή αίσθηση πληρότητας εντός του αυτιού. Μπορεί να αντιμετωπιστεί φαρμακευτικά ή χειρουργικά και δεν αποτελεί ένδειξη για κοχλιακό εμφύτευμα. Σε ορισμένες περιπτώσεις, χρησιμοποιούνται ακουστικά βαρηκοΐας. Στα παιδιά η βαρηκοΐα αγωγιμότητας συνήθως προκαλείται από εκκριτική ή μέση ωτίτιδα, έχει πολύ καλή πρόγνωση και αντιμετωπίζεται με επιτυχία συντηρητικά ή χειρουργικά (Δαניהλίδης, 2003; Isaacson and Vora, 2003; Καρελάς, 2012).
- **Βαρηκοΐα νευροαισθητήριου τύπου ή βαρηκοΐα αντίληψης** είναι βαρηκοΐα που οφείλεται σε βλάβες στο μηχανισμό αντίληψης του ήχου στο έσω αυτί. Απαντάται σε παθήσεις του κοχλίου και όπισθεν αυτού ή σε βλάβες στο κεντρικό

τμήμα της ακουστικής οδού. Συνήθως, εμφανίζεται βλάβη στα τριχωτά κύτταρα με αποτέλεσμα να μην μπορούν να λειτουργήσουν. Τα ηχητικά κύματα κινούνται κανονικά στο έξω και μέσο αυτί, ενώ το έσω αυτί αδυνατεί είτε να συλλάβει τις δονήσεις είτε να στείλει τις δονήσεις στον εγκέφαλο. Συνήθως είναι αμφίπλευρη. Προκαλείται από βλάβες συγγενείς (κληρονομικές, προγεννητικές ή ενδομήτριες) ή επίκτητες.

Η βαρηκοΐα λόγω **κληρονομικών** αιτιών οφείλεται σε γενετικές ανωμαλίες για τις οποίες ευθύνονται παθολογικά γονίδια ή γονιδιακές μεταλλάξεις. Συνήθως υπάρχει οικογενειακό ιστορικό. Η βλάβη είναι νευροαισθητηριακή αμφοτερόπλευρα και μπορεί να αποτελεί είτε τη μοναδική εκδήλωση είτε μέρος συνδρόμου. Διαγιγνώσκεται ακτινολογικά ως δυσπλασία του πρόσθιου λαβυρίνθου (κοχλίας, όργανο του Corti και σπειροειδές γάγγλιο). Η **προγεννητική** ή ενδομήτρια βαρηκοΐα οφείλεται στην επίδραση εξωγενών παραγόντων κατά τους τρεις ή τέσσερις πρώτους μήνες της εγκυμοσύνης, δηλαδή κατά τη διάρκεια του σταδίου ανάπτυξης του κοχλίου (Δανιηλίδης, 2003; Κυριαφίνης, 2005; Καρελάς, 2012). Η **περιγεννητική βαρηκοΐα** οφείλεται συνήθως σε προωρότητα ή τραυματισμό κατά τον τοκετό λόγω ενδοεγκεφαλικής και ενδοκοχλιακής αιμορραγίας ή οιδήματος που προκαλεί βλάβη στο κοχλιακό νεύρο (Κυριαφίνης, 2005).

Εκδηλώνεται με αντίληψη ομιλίας και άλλων ήχων με παραμόρφωση ή χωρίς ευκρίνεια, με δυσκολία ακοής συγκεκριμένων τόνων (συνήθως υψηλών τόνων/ συχνοτήτων), άκουσμα ενός συνεχούς ή περιοδικού κουδουνίσματος ή βουίσματος, δυσκολία στην κατανόηση ομιλίας κυρίως παρουσία θορύβου. Η νευροαισθητηρια απώλεια ακοής μπορεί να αποκατασταθεί μόνο με τη βοήθεια κοχλιακών εμφυτευμάτων και όχι με φαρμακευτική αγωγή. Αφορά μικρότερα παιδιά (από ότι η ωτίτιδα) και έχει συνήθως δυσμενέστερη πρόγνωση, ωστόσο τα παιδιά μπορούν να ακούσουν με ακουστικά βαρηκοΐας

ή κοχλιακά εμφυτεύματα (Δανιηλίδης, 2003; Isaacson and Vora, 2003; Καρελάς, 2012).

- **Βαρηκοΐα μικτού τύπου** που είναι συνδυασμός των δύο παραπάνω τύπων. Προκαλείται από βλάβη τόσο στο έξω/μέσω αυτί όσο και στο έσω αυτί. Στην περίπτωση αυτή τα ηχητικά κύματα ούτε μεταδίδονται αποτελεσματικά στο έσω αυτί ούτε ανιχνεύονται από αυτό. Η μικτού τύπου βαρηκοΐα αποτελεί το συνδυασμό αγωγιμότητας και νευροαισθητηρίου βαρηκοΐας, εμφανίζοντας τα συμπτώματα και των δύο. Βελτιώνεται ιατρικά, λόγω της δυνατότητας ίασης των προβλημάτων αγωγιμότητας, αλλά δεν είναι ολικά αναστρέψιμη (Καρελάς, 2012).
- **Κεντρική βαρηκοΐα** που προκαλείται από βλάβη στο ακουστικό νεύρο ή στα ακουστικά κέντρα. Προκαλείται από κρανιοεγκεφαλικές κακώσεις, νόσους ή όγκους και εμφανίζεται με αντίληψη ήχων χωρίς τη δυνατότητα της κατανόησης. Επειδή δεν προέρχεται από βλάβη στα περιφερειακά όργανα της ακοής, δεν μειώνει την ακουστική ικανότητα αλλά δημιουργεί προβλήματα στην ακουστική κατανόηση της ομιλίας. Στην περίπτωση αυτή τα ηχητικά κύματα μεταδίδονται φυσιολογικά μέσω και των τριών τμημάτων του αυτιού, αλλά είτε το ακουστικό νεύρο αδυνατεί να μεταδώσει τους ηλεκτρικούς παλμούς στον εγκέφαλο ή τα ακουστικά κέντρα του εγκεφάλου δεν λαμβάνουν τα σήματα σωστά. Είναι σπάνια σε βρέφη και παιδιά. Σε πολλές περιπτώσεις, ενδέχεται να αποτελεί θεραπευτική επιλογή το ακουστικό εμφύτευμα εγκεφαλικού στελέχους (Καρελάς, 2012).

Η απώλεια της ακοής αποτελεί τεράστιο εμπόδιο στην απόκτηση και διατήρηση αποτελεσματικών επικοινωνιακών δεξιοτήτων. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας η βαρηκοΐα αποτελεί μία σοβαρή κατάσταση που επιβαρύνει την ποιότητα ζωής των πασχόντων. Τόσο η αντίληψη όσο και η παραγωγή λόγου και κυρίως η εκμάθηση της μητρικής γλώσσας, εξαρτάται από τη δυνατότητα επεξεργασίας των ακουστικών πληροφοριών. Στους ενήλικες η βαρηκοΐα και

περισσότερο η κώφωση συνοδεύεται από άγχος, μελαγχολία και κοινωνική απομόνωση (Monzani et al., 2008). Συνήθως αποκτούν κατώτερη μόρφωση και πλήττονται συχνότερα από ανεργία σε σχέση με το γενικό πληθυσμό (Blanchfield et al., 2001). Τα παιδιά με βαρηκοΐα παρουσιάζουν σοβαρά προβλήματα ανάπτυξης του λόγου και μείωσης της σχολικής απόδοσης. Στα παιδιά η έγκαιρη διάγνωση είναι το πρώτο βήμα στη διαχείριση των επιπτώσεων της εξασθένησης της ακοής (Κορρές και συν., 2006).

Γεγονός δε είναι ότι η βαρηκοΐα αποτελεί σοβαρό πρόβλημα όχι μόνο για τα άτομα αλλά και για την κοινωνία. Στις ΗΠΑ υπολογίστηκε ότι ο κρατικός προϋπολογισμός επιβαρύνεται ιδιαίτερα καθ' όλη τη ζωή του ασθενή. Το 67% της απώλειας οφείλεται σε μειωμένη παραγωγικότητα των βαρήκων ατόμων και το 21% στην ανάγκη εξειδικευμένης εκπαίδευσης (Mohr et al., 2000).

## **2.2. Διάγνωση – μέθοδοι εξέτασης – ταξινόμηση βαρηκοΐας**

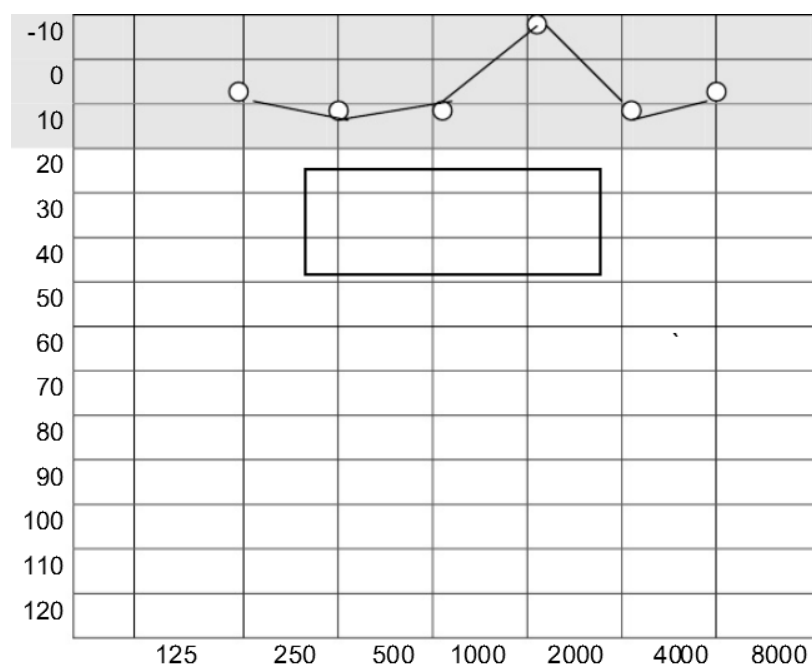
Η επιστήμη της ιατρικής με τις συνεχείς τεχνολογικές ανακαλύψεις και εφαρμογές διαθέτει αρκετά μέσα διάγνωσης της βαρηκοΐας, πολύ αξιόπιστα και αποτελεσματικά, τόσο σε παιδιά όσο και σε ενήλικες. Υπάρχει ποικιλία ομιλητικών και μη-ομιλητικών συμπεριφορικών εξετάσεων αλλά και δοκιμασίες με ακουστικά προκλητά δυναμικά που συνδράμουν στην κλινική αξιολόγηση της δυσλειτουργίας του κεντρικού ακουστικού νευρικού συστήματος και σχετικών διαταραχών με την ακουστική επεξεργασία. Ειδικότερα, τα ακουστικά προκλητά δυναμικά είναι ηλεκτροφυσιολογικές καταγραφές των απαντήσεων στους ήχους. Με σύγχρονες υπολογιστικές μεθόδους και κατάλληλα πρωτόκολλα εξέτασης οι απαντήσεις καταγράφονται κλινικά από την ενεργοποίηση όλων των επιπέδων του ακουστικού συστήματος, από τον κοχλία έως τον εγκεφαλικό φλοιό (Κυριαφίνης, 2005).



Συγκεκριμένα, τα Ακουστικά Προκλητά Δυναμικά Εγκεφαλικού Στελέχους (ABR, Auditory Brainstem Response) και οι Ωτοακουστικές εκπομπές (OAEs, Otoacoustic Emissions) είναι δύο από τα πλέον χρήσιμα εργαλεία διάγνωσης βαρηκοΐας στα νεογέννητα νήπια σε διάστημα λίγων ημερών από τη γέννησή τους και την αντιμετώπισή τους στους επόμενους έξι μήνες. Άλλες τεχνικές αξιολόγησης της ακουστικής λειτουργίας στους ενήλικες είναι η τονική ακοομετρία, η μέτρηση της ακουστικής αντίστασης (τυμπανομετρία και αντανακλαστικό του μυ του αναβολέα) καθώς και άλλες τεχνικές της κλινικής ακοολογίας όπως η ηλεκτροκοχλιογραφία (EcochG, Electrocochleography).

- **Τονική ακοομετρία:** Είναι η εξέταση με τονοδότες. Πραγματοποιείται για να καθοριστεί ο ακουστικός ουδός στους τονικούς ήχους. Παρά τις εξαιρετικής ακρίβειας σύγχρονες δοκιμασίες ελέγχου της ακουστικής ικανότητας, τα διαπασών παραμένουν ένα ανεκτίμητο και απλό διαγνωστικό εργαλείο στη συνήθη ωτολογική εξέταση. Οι συχνότητες των διαπασών βασίζονται στην κλίμακα του "C" (στα πλήκτρα του πιάνου παράγεται ήχος συχνότητας 256 Hz) και καλύπτουν το φάσμα συχνοτήτων 32-4096Hz. Εξετάζεται η αέρια και η οστέινη αγωγή του ήχου και καθορίζεται το είδος και ο βαθμός της βαρηκοΐας. Τα αποτελέσματα της εξέτασης περιγράφονται γραφικά σε ένα ακοόγραμμα, το οποίο παραμένει χρήσιμο και αποτελεσματικό στη βασική ακοολογική αξιολόγηση (εικόνα 3). Διακρίνεται σε ουδική τονική ακοομετρία και υπερουδική. Ειδικότερα, η **ουδική τονική ακοομετρία** είναι μέτρηση της ακουστικής ευαισθησίας με τη χρήση ημιτονικών ερεθισμάτων στις οκταβικές συχνότητες 250-8000Hz. Άτομα κάτω των 20 ετών με φυσιολογική ακοή αποκρίνονται στις συχνότητες 20-20000Hz. Τα αποτελέσματα καταγράφονται σε ένα ακοόγραμμα το οποίο περιλαμβάνει μια γραφική παράσταση. Στο ακοόγραμμα, μονάδα έντασης χρησιμοποιείται το decibel. Η ένταση του ήχου καθορίζεται από την αναλογία της ηχητικής πίεσης (έντασης του ήχου) με μια ηχητική πίεση ως βάση αναφοράς και πρόκειται για την πίεση που ασκείται

στην τυμπανική μεμβράνη, από τα μόρια του αέρα, όταν υπάρχει ήχος που δονεί την τυμπανική μεμβράνη και μπορεί οριακά να ανιχνευθεί από ένα φυσιολογικό ανθρώπινο αυτί. Η **υπερουδική ακοομετρία** είναι το σύνολο των διαδικασιών διαφορικής διάγνωσης απώλειας ακοής νευροαισθητήριας φύσης (Ηλιάδης και Κεκές, 1986; Κυριαφίνης, 2005).

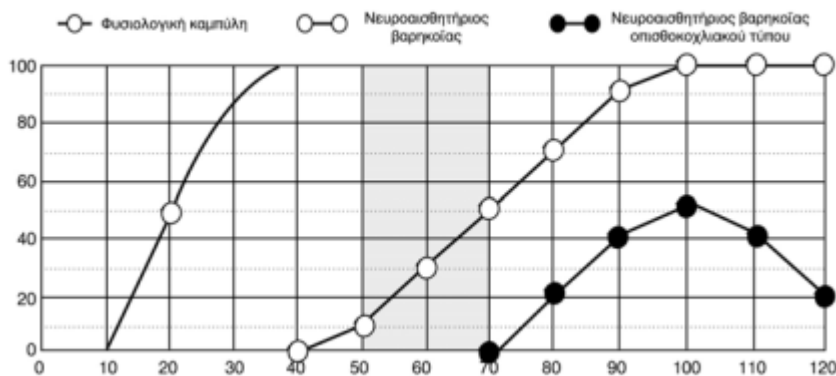


**Εικόνα 3:** Ακουόγραμμα φυσιολογικής ακοής (Κουρμπέτης και συν., 2007)

Μέσω της τονικής ακοομετρίας προσδιορίζεται η ποσοτική εκτίμηση της ακουστικής ικανότητας (βαθμός βαρηκοΐας). Ο βαθμός βαρηκοΐας έχει ως εξής:

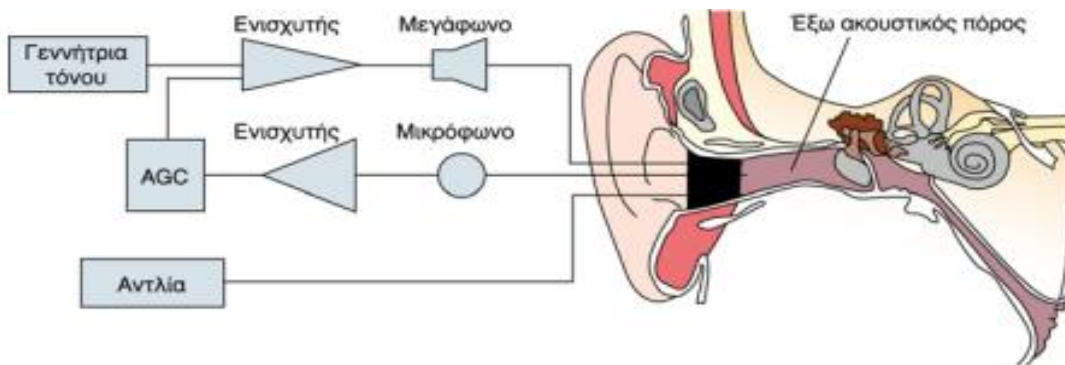
- ✓ Φυσιολογική ακοή: Δεν παρατηρείται καμία διαταραχή ή παρουσιάζονται ελάχιστα προβλήματα ακοής. Υπάρχει ικανότητα αντίληψης ψιθυριστής ομιλίας. Ουδός ακοής μεταξύ 0-20 dB.
- ✓ Ελαφρού βαθμού βαρηκοΐα: Πρόκειται για μικρή διαταραχή. Υπάρχει ικανότητα αντίληψης και επανάληψης λέξεων που προφέρονται από απόσταση ενός μέτρου με φυσιολογική ένταση φωνής. Ουδός ακοής μεταξύ 20-40 dB.

- ✓ Μέσου βαθμού βαρηκοΐα: Πρόκειται για μέτρια διαταραχή. Υπάρχει ικανότητα επανάληψης λέξεων που προφέρονται από απόσταση ενός μέτρου με αυξημένη ένταση της φωνής. Ουδός ακοής μεταξύ 40-60 dB.
- ✓ Μεγάλου βαθμού βαρηκοΐα: Πρόκειται για σοβαρή διαταραχή. Υπάρχει ικανότητα αντίληψης μερικών λέξεων όταν προφέρονται σε υψηλό τόνο στο αυτή με την καλύτερη ακοή. Ουδός ακοής μεταξύ 60-90 dB.
- ✓ Υπολειμματική ακοή (κώφωση): Πρόκειται για πολύ σοβαρή διαταραχή που περιλαμβάνει και την κώφωση. Υπάρχει αδυναμία αντίληψης και κατανόησης ακόμα και πολύ δυνατής φωνής. Ουδός ακοής πάνω από 90 dB (Δανιηλίδης, 2003; Κουρμπέτης και συν., 2007; Καρελάς, 2012).
- **Ομιλητική ακοομετρία:** Αφορά τις διαδικασίες με τις οποίες ελέγχεται η ακουστική λειτουργία με ομιλητικά ερεθίσματα. Πρόκειται για μέτρηση του πόσο καλά ακούει ένα άτομο και καταλαβαίνει λεκτικά σήματα. Οι μετρήσεις των διαφόρων παραμέτρων μπορεί να χρησιμοποιηθούν στον προσδιορισμό της ικανότητας επεξεργασίας του λεκτικού σήματος (ικανότητα ομιλίας) και του τρόπου με τον οποίο επηρεάζεται η ακοή από βλάβες του μέσου και έσω αυτιού, του κοχλιακού νεύρου και της κεντρικής ακουστικής οδού. Χρησιμοποιείται κυρίως για τον προσδιορισμό της ακουστικής ευαισθησίας δηλαδή των κατώτερων ορίων ακοής σε dB, ή της ικανότητας αναγνώρισης λέξεων. Σημαντικό μέρος της ακοομετρικής διαδικασίας αξιολόγησης είναι η ακουστική αντίσταση. Πρόκειται για σύνθεση δύο σχετικών τεχνικών αξιολόγησης της λειτουργίας του μέσου αυτιού (εικόνα 4) (Αθανασιάδης-Σισμάνης, 2010).



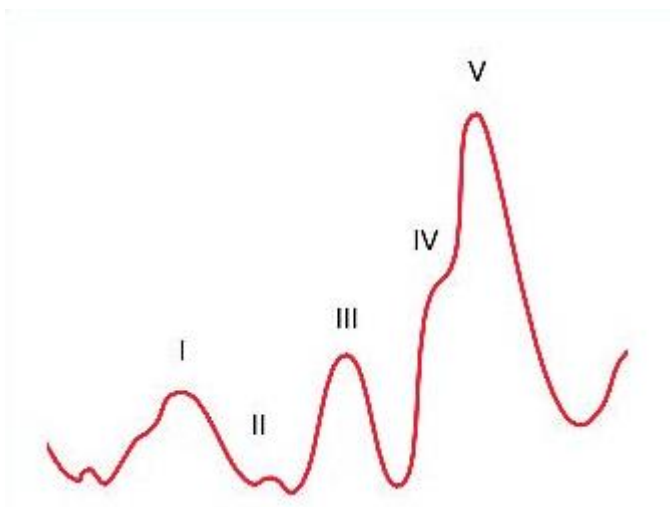
**Εικόνα 4:** Ομιλητικό ακούγραμμα (Καρελάς, 2012)

- Μέτρηση ακουστικής αντίστασης (impedance):** Αποτελεί σημαντικό τμήμα της βασικής ακοομετρικής δοκιμασίας αξιολόγησης. Περιλαμβάνει την τυμπανομετρία (συνεχής καταγραφή της αντίστασης του μέσου αυτιού όταν η πίεση του αέρα στον ακουστικό πόρο αυξάνεται ή μειώνεται συστηματικά) και την ακουστική μέτρηση του αντανακλαστικού του αναβολέα (μέτρηση των συσπάσεων του μυός του αναβολέα σε υψηλής έντασης ήχους συνήθως άνω των 80 dB). Στοχεύει στην εκτίμηση της κατάστασης της τυμπανικής μεμβράνης, του μέσου ωτός και της ακουστικής περιοχής. Δεν εκτιμάται άμεσα η ακουστική ικανότητα του ατόμου αλλά τα αποτελέσματα της εξέτασης συνεκτιμώνται με άλλες ακοολογικές εξετάσεις. Ο εξωτερικός ακουστικός πόρος σφραγίζεται με μια μαλακή λαστιχένια εξεταστική άκρη με την οποία συνδέεται συσκευή παραγωγής τόνου που προωθείται προς την τυμπανική μεμβράνη (εικόνα 5). Η ακουστική αντίσταση του μέσου ωτός υπολογίζεται από την ένταση και άλλες φυσικές ιδιότητες του τόνου στον ακουστικό πόρο. Ένα μέσο αυτί με χαμηλή ακουστική αντίσταση δέχεται ευκολότερα την ακουστική ενέργεια του εξεταζόμενου τόνου, ενώ ένα μέσο αυτί με αφύσικα υψηλή ακουστική αντίσταση προκαλούμενη (π.χ. από το υγρό στη τυμπανική κοιλότητα) τείνει να απορρίψει την ενεργειακή ροή (Κυριαφίνης, 2005; Αθανασιάδης-Σισμάνης, 2010).



**Εικόνα 5:** Μηχανισμός λειτουργίας ακουστικής αντίστασης (Κυριαφίνης, 2005).

- Ακουστικά Προκλητά Δυναμικά Εγκεφαλικού Στελέχους (Auditory Brainstem Response, ABR):** Πρόκειται για ένα εύκολο, προσιτό και σχετικά ανέξοδο μέσο προσδιορισμού της οπισθοκοχλιακής ακουστικής δυσλειτουργίας, δηλαδή της ύπαρξης προβλήματος μετά τον κοχλία. Είναι ηλεκτρονική αντικειμενική μέθοδος εξέτασης της ακοής που καταγράφει τα ηλεκτρικά δυναμικά στα οποία μετατρέπονται τα ηχητικά κύματα στο ακουστικό νεύρο. Χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί η τονική ακοομετρία λόγω έλλειψης συνεργασίας του υποβαλλόμενου σε αυτή (π.χ. στην περίπτωση των νεογνών). Με σύγχρονες υπολογιστικές μεθόδους και κατάλληλα πρωτόκολλα εξέτασης, οι απαντήσεις μπορούν να καταγραφούν κλινικά από την ενεργοποίηση όλων των επιπέδων του ακουστικού συστήματος, από τον κοχλία ως τον εγκεφαλικό φλοιό (εικόνα 6) (Κυριαφίνης, 2005; Καρελάς, 2012).



**Εικόνα 6:** Ακουστικά προκλητά δυναμικά (Αγγελέτος, 2014)

Με τη μέθοδο αυτή καταγράφονται με ηλεκτρόδια που τοποθετούνται στο κεφάλι, οι απαντήσεις του ακουστικού νευρικού συστήματος σε διάφορες εντάσεις ήχου. Συγκεκριμένα, στα ABR χορηγούνται ακουστικά ερεθίσματα με τη μορφή «κλικ» (σειρά από διακοπτόμενους ήχους), τα οποία προκαλούν νευροηλεκτρική δραστηριότητα (ηλεκτρικά δυναμικά) της κεντρικής ακουστικής οδού (ακουστικό νεύρο και εγκέφαλος) για 12,5 msec μετά από την εκπομπή τους, η οποία και καταγράφεται με ηλεκτρόδια, που τοποθετούνται στο κεφάλι του εξεταζόμενου. Οι πρώτες πέντε κυματομορφές (κύματα I-V) που καταγράφονται σε υπολογιστή με την μορφή γραφικής παράστασης, αξιολογούνται ως προς το μέγεθος και το χρόνο που μεσολάβησε από τη χορήγηση του ακουστικού ερεθίσματος έως την εμφάνισή τους (καθυστέρηση ή λανθάνων χρόνος). Τα ηχητικά ερεθίσματα αυξομειώνονται ως προς την ένταση για να αξιολογηθούν σωστά. Ο ουδός του κύματος V αποτελεί και τον ουδό της ακοής. Τα προκλητά δυναμικά υποδιαιρούνται σύμφωνα με την πορεία της ακουστικής οδού από την περιφέρεια προς τις κεντρικές δομές και βάση της προοδευτικής αύξησης του λανθάνοντος χρόνου εμφάνισής τους σε όψιμα (early), διάμεσα (middle) και βραδέα (late). Περισσότερες από δώδεκα υποκατηγορίες ακουστικών προκλητών δυναμικών μπορούν να καταγραφούν από τον κοχλία μέχρι και τον φλοιό (εικόνα 7) (Καρελάς, 2012).

Τα ABR αποτελούν σήμερα την πιο αξιόπιστη μέθοδο αντικειμενικής εκτίμησης της ακουστικής λειτουργίας, που χρησιμοποιείται στην ανιχνευτική εξέταση της ακοής των νεογνών, στη διάγνωση και στη διαφορική διάγνωση της βαρηκοΐας (ακουστικό νευρίνωμα) και στη διεγχειρητική παρακολούθηση της ακουστικής λειτουργίας (monitoring) σε επεμβάσεις (π.χ. όγκοι) και σε ασθενείς που βρίσκονται σε κωματώδη κατάσταση. Η διαγνωστική αξία της μεθόδου, οφείλεται στη μεγάλη ευαισθησία και εξειδίκευση που διαθέτει για την αντικειμενική εκτίμηση της ανατομικής και λειτουργικής ακεραιότητας του ακουστικού συστήματος (Καρελάς, 2012).

- **Ωτοακουστικές Εκπομπές (OAEs):** Πρόκειται για ήχους χαμηλής έντασης που παράγονται φυσιολογικά από τα κύτταρα του εσωτερικού αυτιού ως απάντηση σε κάποιον ήχο πρόκληση και ανιχνεύονται στον αποφραγμένο με ένα καλώδιο έξω ακουστικό πόρο, με ειδική συσκευή που είναι συνδεδεμένη με υπολογιστή. Αυτό μπορεί να γίνεται σε επίπεδα φυσιολογικής ακοής και απώλεια ακοής έως 30 dB και χρησιμοποιείται κυρίως για την ανίχνευση της ποιότητας λειτουργίας του κοχλίου (Kemp, 2002). Η παραγωγή τους σχετίζεται με τη φυσιολογική λειτουργία των έξω τριχωτών κυττάρων του κοχλίου, που διαθέτουν ηλεκτρομηχανικές ιδιότητες και συμβάλουν στην ενίσχυση του ήχου από τον κοχλίο. Οι εκπομπές μπορεί να είναι αυτόματες (παράγονται χωρίς την ύπαρξη εξωτερικών ερεθισμάτων, παρατηρούνται στο 50-60% του πληθυσμού) (Lalwani, 2004), προκλητές (δημιουργούνται μετά την χορήγηση εξωτερικού ηχητικού ερεθίσματος και μέχρι 40 dB και ανιχνεύονται σε σχεδόν όλους τους φυσιολογικά ακούοντες) και ωτοακουστικές εκπομπές προϊόντων ακουστικής παραμόρφωσης (παράγονται σε φυσιολογικά επίπεδα, σε άτομα με φυσιολογική ακοή ή μικρού βαθμού ακουστική πτώση μέχρι 30 dB) (Kemp, 2002). Η καταγραφή των OAEs προϋποθέτει φυσιολογικό και καθαρό, χωρίς βύσματα ή υγρά ακουστικό πόρο και ελεύθερο μέσο αυτί (χωρίς ωτίτιδα ή υγρό). Η ανάλυση των OAEs αποτελεί την πιο αξιόπιστη και διαδεδομένη μέθοδο αντικειμενικής εξέτασης της κοχλιακής λειτουργίας και κατά κύριο λόγο της λειτουργίας των έξω τριχωτών κυττάρων με παρά πολλές εφαρμογές σε παιδιά και ενήλικες. Η μέθοδος χρησιμοποιείται σαν ανιχνευτική εξέταση της ακοής νεογνών, στον έλεγχο της ακοής παιδιών, στη διαφορική διάγνωση της βαρηκοΐας, στη διάγνωση της ακουστικής νευροπάθειας, στον έλεγχο της ακοής παιδιών που υποβάλλονται σε χημειοθεραπεία με ωτοτοξικά φάρμακα. Στους ενήλικες, η μέθοδος χρησιμοποιείται για τη διαφορική διάγνωση της νευροαισθητήριας βαρηκοΐας, της λειτουργικής βαρηκοΐας, για τον έλεγχο και την παρακολούθηση της ακοής ατόμων που εργάζονται σε έντονο θόρυβο, για την παρακολούθηση της ακοής στη νόσο του Meniere, στην οξεία πτώση της

ακοής, και στις εμβοές. Εξαιτίας της μοναδικής τους ευαισθησίας και ειδικότητας στην κοχλιακή δυσλειτουργία, αποτελούν την πιο πρόσφατη προσθήκη στην κλινική ακοολογική αξιολόγηση (Καρελάς, 2012).

- **Pure Tone Audiometry -Ακοομετρία Καθαρού Τόνου (PTA):** Πρόκειται για τον έλεγχο αναγνώρισης τονικών σημάτων, το βασικό ακοολογικό έλεγχο που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των οριακών ακουστικών επιπέδων ενός ατόμου, ενώ επιτρέπει τον προσδιορισμό του βαθμού, του είδους και της μορφής της ακουστικής απώλειας. Είναι ένας συμπεριφορικός έλεγχος μέτρησης της ακουστικής ευαισθησίας. Περιλαμβάνει το περιφερικό και κεντρικό ακουστικό σύστημα υποδεικνύοντας τον χαμηλότερο ήχο σε ένα άτομο. Η ακουστική ευαισθησία καταγράφεται σε ένα ακουόγραμμα (Kutz et al., 2015). Έτσι, παρέχεται η βάση για διάγνωση και διαχείριση της ακουστικής απώλειας. Στηρίζεται στην ανταπόκριση του ασθενούς σε καθαρά τονικά ερεθίσματα. Χρησιμοποιείται σε ενήλικες και παιδιά αρκετά μεγάλα ώστε να συνεργάζονται κατά τη διαδικασία. Όπως με τις περισσότερες κλινικές δοκιμές, η βαθμονόμηση του περιβάλλοντος δοκιμών, ο εξοπλισμός, τα ερεθίσματα και τα πρότυπα ISO είναι απαραίτητα πριν τον έλεγχο. Η μέθοδος PTA μετρά μόνο κατώτατα όρια και όχι άλλες ακουστικές πτυχές (π.χ. ήχος εντοπισμού). Ωστόσο, υπάρχουν οφέλη από τη χρήση PTA σε σχέση με άλλες μορφές ακουστικών ελέγχων, όπως άμεση ακουστική ανταπόκριση του εγκεφαλικού στελέχους. Αν και έχει πολλά κλινικά οφέλη, δεν είναι τέλειο στον εντοπισμό όλων των απωλειών, όπως οι «νεκρές περιοχές» (Moore, 2004). Αυτό εγείρει το ερώτημα του κατά πόσον ή όχι τα ακουογράμματα μπορούν με ακρίβεια να προβλέψουν το βαθμό απώλειας ακοής του ατόμου. Η PTA περιγράφεται ως το χρυσό πρότυπο εκτίμησης της ακουστικής απώλειας (Sindhusake et al., 2001).
- **Αιθουσαία προκλητά μυογενή δυναμικά (Vestibular Evoked Myogenic Potentials, VEMPs):** Αποτελεί τη σημαντικότερη ίσως νέα κλινική δοκιμασία αξιολόγησης της αιθουσαίας λειτουργίας. Καταγράφονται εύκολα και είναι κατάλληλα για την καθημερινή αξιολόγηση. Τα VEMPs λειτουργούν ως



απάντηση στον αερομεταφερόμενο ηχητικό ερεθισμό με τη χρήση επιφανειακών ηλεκτροδίων. Έχουν κλινική σημασία για τον υπολογισμό της σοβαρότητας της περιφερικής αιθουσαίας βλάβης στα πλαίσια παθοφυσιολογικών διεργασιών (π.χ. νόσος του Meniere, αιθουσαία νευρίτιδα, αιθουσαίο σβάννωμα). Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να τεκμηριωθεί η υπεραπαντητικότητα του λαβυρίνθου σε ήχους. Τα VEMPs αποτελούν μια ηλεκτροφυσιολογική μέθοδο ικανή να ανιχνεύει υποκλινικές βλάβες στις κεντρικές αιθουσαίες οδούς, στους ασθενείς με πολλαπλή σκλήρυνση (Brantberg, 2009).

Το αερομεταφερόμενο ηχητικό ερέθισμα που χρησιμοποιήθηκε αρχικά αποτελείται από μεταλλικούς ήχους (clicks) ενός στενού φάσματος συχνοτήτων (που εφαρμόζονταν μέσω ακουστικών κεφαλής). Αργότερα, διαπιστώθηκε ότι οι εξάρσεις τόνων χαμηλής συχνότητας με κεντρική συχνότητα περίπου τα 500 Hz προκαλούσαν πιο έντονα VEMPs με χαμηλότερο ουδό έκλυσης. Αυτό, σε κάποιο βαθμό μπορεί να οφείλεται στο ότι οι μεταλλικοί ήχοι έχουν βραχύτερη διάρκεια σε σχέση με τις εξάρσεις τόνων. Για την καταγραφή, τα ενεργά ηλεκτρόδια τοποθετούνται συμμετρικά επάνω στην πλέον προέχουσα μοίρα κάθε μυός, ενώ ηλεκτρόδια αναφοράς τοποθετούνται σε κάθε κλείδα. Οι καταγραφές πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια της ενεργοποίησης του μυός, όπως για παράδειγμα όταν ο εξεταζόμενος σε ύπτια θέση ανασηκώνει την κεφαλή ή την στρέφει αντίπλευρα από το ερεθιζόμενο αυτί. Επιπροσθέτως της καταγραφής της μη διορθωμένης ηλεκτρομυογραφικής δραστηριότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ένα χωριστό κανάλι για να καταγραφεί μια αριθμητική τιμή που αντιπροσωπεύει τον υποκείμενο βασικό μυϊκό τόνο κατά τη διάρκεια της καταγραφής των VEMPs. Τα ευρήματα από τα VEMPs που υποδηλώνουν διαταραχή της αιθουσαίας λειτουργίας είναι η απουσία τους, καθώς και η μείωση του ύψους τους (Brantberg, 2009).

### 2.3. Αντιμετώπιση της βαρηκοΐας

Μετά τη διάγνωση της βαρηκοΐας πρέπει να καθοριστεί και να εφαρμοστεί μια κατάλληλη ακουστική ενίσχυση, ώστε να αρχίσει όσο το δυνατόν γρηγορότερα η εκμάθηση της ομιλίας μέσω λογοθεραπευτικής παρέμβασης καθώς και η εκπαίδευση και η ψυχολογική υποστήριξη του παιδιού και των γονέων. Τα ακουστικά βοηθήματα παίζουν σημαντικό ρόλο στην αντιμετώπιση της βαρηκοΐας αποτελώντας πολλές φορές την μόνη επιλογή. Χωρίζονται στα (Κυριαφίνης, 2005; Κυριαφίνης και Βιτάλ, 2008):

- **Γενικά βοηθήματα:** Πρόκειται για βοηθήματα ή εξαρτήματα που είτε αυτόνομα είτε σε συνδυασμό με ακουστικά βαρηκοΐας ή κοχλιακά εμφυτεύματα λύνουν προβλήματα της καθημερινότητας. Τα συστήματα αυτά μετατρέπουν τις ακουστικές ενδείξεις, ώστε να γίνονται αντιληπτές με την όραση ή την αφή. Οι πιο διαδεδομένες συσκευές προειδοποίησης είναι οι φωτεινές ενδείξεις για το κουδούνι της εξώπορτας ή του τηλεφώνου και τα ξυπνητήρια με δόνηση. Σημαντικοί στην αποκατάσταση της βαρηκοΐας - κώφωσης είναι οι δερματικοί αισθητήρες σωματικού τύπου. Είναι εξωτερικές προθέσεις σε σχήμα μικρού κουτιού και μετατρέπουν τους ήχους σε δόνηση προσαρμοσμένη στη συχνότητα ερεθισμού του δέρματος (10-1000 Hz) με μεγαλύτερη ευαισθησία στα 250Hz. Η διάκριση συχνοτήτων που προσφέρουν είναι περίπου 20% (έναντι του 0,2% του αυτιού) και το δυναμικό εύρος είναι περίπου 30dB (έναντι των 100dB του αυτιού). Τοποθετούνται στο στήθος με τη βοήθεια ελαστικής ζώνης ώστε να επιτρέπουν την απόλυτη ελευθερία των κινήσεων. Απευθύνονται σε μικρά παιδιά με βαριές βαρηκοΐες ή κωφώσεις και μαζί με τα ακουστικά βαρηκοΐας αποτελούν πρόδρομο των κοχλιακών εμφυτευμάτων. Έτσι, επιταχύνεται απόκτηση της αίσθησης του ήχου και επιτρέπεται καλύτερος έλεγχος της φωνής αν και δεν βοηθάνε στη διάκριση και την αναγνώριση της ομιλίας (Κυριαφίνης και Βιτάλ, 2008).

Στα **γενικά βοηθήματα** ανήκουν και τα συστήματα που εκπέμπουν σε απόσταση την παραγόμενη φωνή και καλυτερεύουν τη σχέση σήματος/θορύβου σε ποικίλες καταστάσεις ακρόασης, δηλαδή επιτρέπουν την επιλεκτική ακρόαση του ομιλητή σε θορυβώδες περιβάλλον. Στην περίπτωση αυτή η φωνή του ομιλητή εκπέμπεται από ένα μικρόφωνο-πομπό, με υψηλής τεχνολογίας ραδιοσυχνότητες (FM), στο δέκτη που ενώνεται σε ειδικές υποδοχές στα ακουστικά βαρηκοΐας ή τα κοχλιακά εμφυτεύματα παρακάμπτοντας το θόρυβο του περιβάλλοντος, που είναι το μεγαλύτερο πρόβλημα των ασθενών με βαρηκοΐα αντίληψης (Κυριαφίνης και Βιτάλ, 2008).

- **Ακουστικές προσθέσεις ή ακουστικά βαρηκοΐας:** Είναι ενισχυτές του ήχου που έχουν εξελιχθεί ακολουθώντας τις επιταγές της σύγχρονης τεχνολογίας και αποτελούνται βασικά από το μικρόφωνο, την ενισχυτική βαθμίδα (ενισχυτής) και το μεγάφωνο. Ο ήχος συλλέγεται από το μικρόφωνο και μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα, ενισχύεται από τον ενισχυτή και εξέρχεται προς τον ακουστικό πόρο μέσω του μεγαφώνου. Λειτουργούν με μπαταρία (εικόνα 7) (Κυριαφίνης και Βιτάλ, 2008).

Σε περιπτώσεις βαριάς ακουστικής απώλειας, συχνά τα ακουστικά βαρηκοΐας έχουν περιορισμένη ικανότητα βελτίωσης της ακοής, κυρίως σε επίπεδο αντίληψης της ομιλίας. Αυτό συμβαίνει επειδή κάποια μικροσκοπικά τριχωτά κύτταρα του έσω αυτιού (κοχλία) έχουν υποστεί υπερβολική βλάβη ή και έχουν καταστραφεί εντελώς. Έτσι, ο ενισχυμένος ήχος δεν μεταδίδεται σωστά στον εγκέφαλο (Advanced Bionics, 2009).

Υπάρχουν 5 βασικοί τύποι ακουστικών βαρηκοΐας, ανάλογα με τη θέση που εφαρμόζονται: Οπισθωτιαία, Ενδωτιαία, Ενδοκαναλικά, Ακουστικά Γυαλιά και Σωματικού Τύπου. Συχνότερα απαντώνται τα οπισθωτιαίου, ενδωτιαίου και ενδοκαναλικού τύπου (εικόνα 7) (Κυριαφίνης και Βιτάλ, 2008).



**Εικόνα 7:** Τύποι ακουστικών βαρηκοΐας, (Κυριαφίνης και Βιτάλ, 2008)

Τέλος, να επισημάνουμε ότι ανάλογα με τον τρόπο επεξεργασίας του ηχητικού σήματος διακρίνονται σε αναλογικά (συμβατικά, προγραμματιζόμενα, τηλεχειριζόμενα και αυτόματα) και ψηφιακά (Κυριαφίνης και Βιτάλ, 2008).

- **Εμφυτεύσιμες προσθέσεις (BAHA, Symphonix, TICA):** Πρόκειται για προγραμματιζόμενες ή ψηφιακές προσθέσεις που τοποθετούνται χειρουργικά μερικώς ή ολόκληρες στο μέσο αυτί. Η διαφορά τους με τα ακουστικά βαρηκοΐας είναι η μετατροπή του ενισχυμένου σήματος σε ηλεκτρομαγνητική ενέργεια που δεν κινεί την μεμβράνη του μεγαφώνου, ώστε να παραχθεί ήχος, αλλά ένα συμπαγές μικροσύστημα που προκαλεί δονήσεις. Υπάρχουν δύο κατηγορίες οστέινης επαγωγής εμφυτεύσιμων συστημάτων: οι προσθέσεις με το σύστημα δόνησης που τοποθετείται στο μαστοειδές οστό και αυτές που ο δονητής στερεώνεται στον άκμονα ή τον αντικαθιστά.
- **Εμφυτεύσιμα ακουστικά συστήματα Εγκεφαλικού Στελέχους (Auditory brainstem implant, ABI):** Τα Εμφυτεύματα Εγκεφαλικού Στελέχους αντιπροσωπεύουν τη τεχνητή προσομοίωση της λειτουργίας του ακουστικού νεύρου στο σημείο που ερεθίζει τον κοχλιακό πυρήνα του εγκεφαλικού στελέχους. Απευθύνονται σε ασθενείς με οπισθοκοχλιακή κώφωση, δηλαδή με κώφωση που η αιτιολογία βλάβης είναι πέραν του κοχλία. Η χρήση τους περιορίζεται μόνο στις περιπτώσεις ακουστικού νευρινώματος στους ενήλικες, δηλαδή στις επίκτητες κωφώσεις απ' όπου αποκομίζονται πολύτιμες πληροφορίες ώστε να διαμορφωθούν νέες στρατηγικές επεξεργασίας του ήχου.

Διατηρούν τη φιλοσοφία ερεθισμού του κοχλίου αλλά στο ακουστικό νεύρο πλέον, με τροποποιημένο ηλεκτρόδιο, γι' αυτό τα αποτελέσματά τους ακόμη δεν είναι τα αναμενόμενα και ο σχεδιασμός τους βρίσκεται σε εξέλιξη. Βρίσκονται σε πειραματικό στάδιο (εικόνα 8) (Κυριαφίνης και Βιτάλ, 2008).



**Εικόνα 8:** Εμφύτευμα εγκεφαλικού στελέχους (Cochlear Corp, MED-EL)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΚΟΧΛΙΑΚΑ ΕΜΦΥΤΕΥΜΑΤΑ

### 3.1. Ορισμός και ιστορική αναδρομή

Για αιώνες οι άνθρωποι θεωρούσαν ότι μόνο με ένα θαύμα θα μπορούσαν να ανακτήσουν την ακοή τους. Πριν κάποια χρόνια οι επιστήμονες επιχείρησαν για πρώτη φορά να αποκαταστήσουν την ακοή των κωφών με ηλεκτρική διέγερση του ακουστικού νεύρου. Τα πρώτα πειράματα ήταν απογοητευτικά καθώς οι ασθενείς ανέφεραν ότι η ομιλία ακουγόταν ακατάληπτη. Εντούτοις οι ερευνητές συνέχισαν τις προσπάθειες και σήμερα πλέον, μία προσθετική συσκευή που ονομάζεται κοχλιακό εμφύτευμα μπορεί να εφαρμοστεί στο εσωτερικό του αυτιού και μερικώς να αποκαταστήσει την κώφωση (Γκέλης, 2005).

Συγκεκριμένα, πριν από τον 18<sup>ο</sup> αιώνα η κώφωση θεωρούνταν βαριάς μορφής αναπηρία ενώ τα άτομα με κώφωση είχαν ελάχιστη βοήθεια στην επικοινωνία. Τα παιδιά ιδιαίτερα ήταν σε πολύ μειονεκτική θέση και κατέληγαν σε ιδρύματα, ζώντας απομονωμένα και με τη φήμη ότι η κώφωση συνοδεύεται από νοητική υστέρηση. Με την πρόοδο στην ιατρική και τις επιστήμες σημειώθηκαν οι πρώτες προσπάθειες βοήθειας των ατόμων με κώφωση με την ανάπτυξη της νοηματικής γλώσσας. Ο Ιταλός φυσικός Alessandro Volta διεξήγαγε το πρώτο πείραμα ηλεκτρικής διέγερσης του ακουστικού νεύρου στον εαυτό του χωρίς κάποια ουσιαστικά αποτελέσματα. Στον αιώνα που ακολούθησε οι μελέτες για την ηλεκτρική διέγερση του ακουστικού νεύρου και την αντίληψη του ήχου πλήθυναν (Duchene της Βουλώνης το 1855, Brenner το 1868) (Clark, 2003).

Στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα υπήρξε προσανατολισμός στην ενίσχυση του ήχου μέσω ακουστικών βαρηκοΐας ενώ μετά το 1930 έγιναν τα πρώτα μεγάλα βήματα με δύο πολύ σημαντικές ανακαλύψεις: την εφαρμογή διαμορφωμένου ηλεκτρικού εναλλασσόμενου ρεύματος κοντά στο αυτί και τη μετατροπή της μηχανικής ακουστικής ενέργειας σε βιοηλεκτρική. Αργότερα τον ίδιο αιώνα, ο Lundberg

(1950) διέγειρε απευθείας το ακουστικό νεύρο με χρήση ημιτονοειδούς ηλεκτρικού σήματος κατά τη διάρκεια χειρουργικής επέμβασης. Την άμεση ηλεκτρική διέγερση μελέτησαν και οι Djourno και Eyrie (1953) ενώ η ερευνητική ομάδα του Harvard κατέληξε στο συμπέρασμα ότι το ακουστικό σύστημα μπορεί να συνθέσει το σύνολο των ακουστικών ερεθισμάτων σε 24 κανάλια (ηλεκτρόδια) (Κυριαφίνης, 2005).

Το 1961 ο William House ξεκίνησε μελέτη με πειραματόζωα και εμφύτευσε σε τρία άτομα εμφύτευμα με ένα μόνο ηλεκτρόδιο (μονοκάναλο) τα οποία απέκτησαν μια νέα, ευχάριστη και ικανοποιητική ακοή. Ακολούθησαν πολλές έρευνες και πειράματα σε διάφορες συχνότητες ως τα 3500 Hz για την ηλεκτρική διέγερση ενώ ο Doyle το 1963-1964 τοποθέτησε ηλεκτρόδιο στο μέσο αυτί και ο Simmons (1965-1966) τοποθέτησε και μελέτησε πολυκάναλο ηλεκτρόδιο 6 επαφών στον κεντρικό άξονα του κοχλία (Clark, 2003). Θετικά στην ανάπτυξη της τεχνολογίας του κοχλιακού εμφυτεύματος συντέλεσαν και οι διάφορες ανακαλύψεις στα εργαστήρια έρευνας της τηλεφωνίας Bell και AT & T, όπως αυτή σύμφωνα με την οποία 6 ως 7 κανάλια κωδικοποίησης συχνοτήτων είναι επαρκή και ικανά για τη δημιουργία κατανοητής ομιλίας. Το 1969 στην Μελβούρνη ξεκινά και η πρώτη μελέτη από τον Graehme Clark πολυκάναλου με πολλά ηλεκτρόδια ενδοκοχλιακού εμφυτεύματος. Σκοπός της μελέτης αυτής ήταν να ξεπεράσει και να ανατρέψει τον σκεπτικισμό και την αρνητική διάθεση για την κοχλιακή εμφύτευση που είχαν προκύψει μετά από κάποια αποτελέσματα ερευνών. Οι κριτικές διαθέσεις και ενδιασμοί βασίζονταν σε μεγάλο βαθμό στη φυσιολογία και νευροβιολογία λόγω του πολύ σύνθετου δικτύου των νεύρων στον κοχλία και του σημαντικού ρόλου που συντελούσαν για την κωδικοποίηση του ήχου (Clark, 2003).

Για πρώτη φορά, το 1984, εγκρίθηκε στις ΗΠΑ από τον Food and Drug Administration (FDA). Από τότε περισσότερα από 300.000 άτομα παγκοσμίως, με προβλήματα ακοής, χρησιμοποίησαν ηλεκτρική διέγερση του ακουστικού νεύρου (Zeng et al., 2015).

### 3.2. Περιγραφή και βασική λειτουργία κοχλιακών εμφυτευμάτων

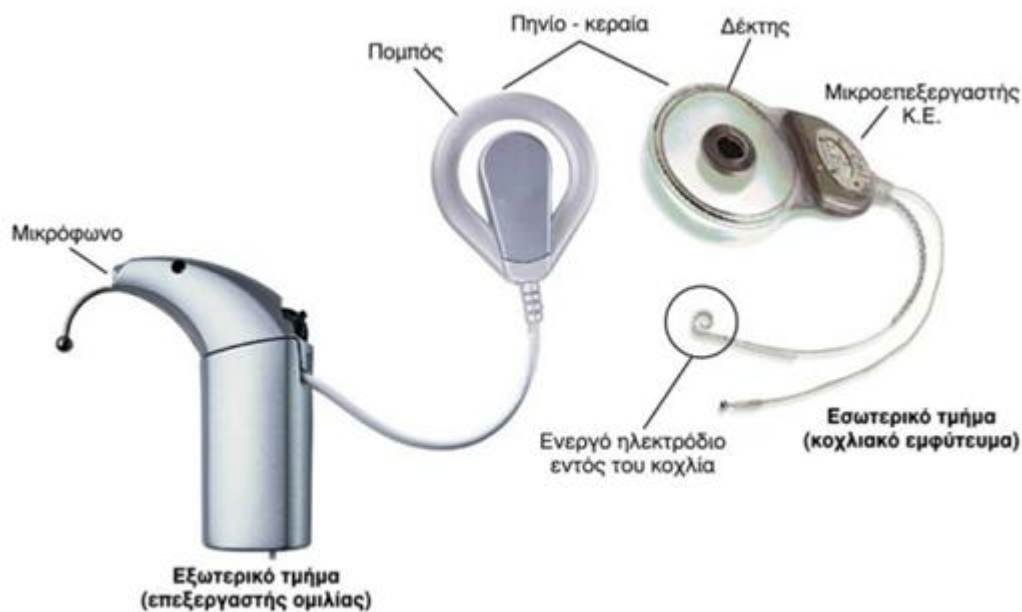
Τα κοχλιακά εμφυτεύματα είναι το τελευταίο επίτευγμα της τεχνολογίας. Πολλά είδη κοχλιακών εμφυτευμάτων δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκεια των ετών. Συνέβησαν δε σημαντικές βελτιώσεις στην τεχνολογία που χρησιμοποιήθηκε για την ολοκλήρωση της ακουστικής διέγερσης (Γκέλης, 2005). Τα κοχλιακά εμφυτεύματα δεν ενισχύουν απλά την ένταση του ήχου, όπως τα ακουστικά βαρηκοΐας αλλά μετατρέπουν τα προσλαμβανόμενα ηχητικά ερεθίσματα σε ηλεκτρικά και τα μεταδίδουν στο ακουστικό νεύρο. Πρόκειται για ηλεκτρονική συσκευή που αντικαθιστά το σύστημα της ακοής, κυρίως τα αισθητά τριχωτά κύτταρα του οργάνου Corti, και μετατρέπει τη μηχανική ηχητική ενέργεια σε ηλεκτρικά σήματα τα οποία μπορούν να φτάσουν, με τη βοήθεια ηλεκτροδίων, στο κοχλιακό νεύρο που τοποθετούνται. Πρόκειται δηλαδή για ένα βιονικό αυτί που λειτουργεί παρέχοντας άμεση ηλεκτρική διέγερση στο ακουστικό νεύρο παρακάμπτοντας τον κοχλία που δεν λειτουργεί. Έτσι, παρέχουν βελτιωμένη αντίληψη του ήχου και δυνατότητα καλύτερης κατανόησης της ομιλίας, σε παιδιά κι ενήλικες με σοβαρή ως βαρύτατη απώλεια ακοής, στους οποίους τα συμβατικά ακουστικά βαρηκοΐας προσφέρουν μικρά ως ανύπαρκτα οφέλη καθώς υποκαθιστούν τη λειτουργία των τριχωτών κυττάρων του κοχλία (Δανιηλίδης και Κυριαφίνης, 2002; Κυριαφίνης και Βιτάλ, 2008; Αθανασιάδης-Σισμάνης, 2010).

Η ιδέα σχεδιασμού των κοχλιακών εμφυτευμάτων βασίζεται στην προσομοίωση της λειτουργίας του κοχλία. Οι συσκευές διαφέρουν ως προς:

- Το σχεδιασμό του ηλεκτροδίου (π.χ. αριθμός και διαμόρφωση ηλεκτροδίων).
- Τον τύπο διέγερσης (αναλογικός ή παλμικός). Υπάρχουν δύο τύποι διέγερσης που εξαρτώνται από τον τρόπο με τον οποίο παρουσιάζονται οι πληροφορίες στα ηλεκτρόδια. Εάν οι πληροφορίες δίνονται αναλογικά τότε η διέγερση αναφέρεται ως αναλογική διέγερση και αν παρουσιάζονται με παλμούς τότε αναφέρεται ως παλμική.



- Την τοποθέτηση (εξωκοχλιακά ή ενδοκοχλιακά), τον αριθμό και τη συσχέτιση μεταξύ των ηλεκτροδίων. Τα **ηλεκτρόδια** κοντά στη βάση του κοχλία προσομοιάζουν τα σήματα υψηλής συχνότητας ενώ τα ηλεκτρόδια της κορυφής προσομοιάζουν τα σήματα χαμηλής συχνότητας.
- Τον τρόπο μετάδοσης του ερεθίσματος από τον εξωτερικό επεξεργαστή προς τα ηλεκτρόδια. Ο **επεξεργαστής σήματος** είναι υπεύθυνος για την ανάλυση του σήματος εισόδου σε διαφορετικές συχνότητες και οδηγεί τα φιλτραρισμένα σήματα στα κατάλληλα ηλεκτρόδια. Η κύρια λειτουργία του επεξεργαστή σήματος είναι η ανάλυση του σήματος εισόδου. Αποτελεί πρόκληση για τους δημιουργούς κοχλιακών εμφυτευμάτων η ανάπτυξη τεχνικών επεξεργασίας σήματος που μιμούνται τη λειτουργία του υγιούς κοχλία.
- Τον τρόπο δημιουργίας ηλεκτρικών ερεθισμάτων από τα εισαγόμενα λεκτικά και άλλα ερεθίσματα (Γκέλης, 2005).

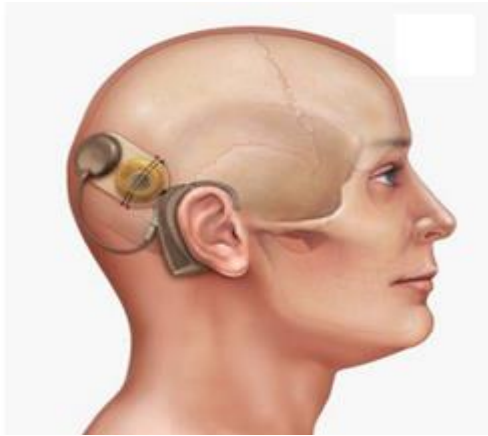


**Εικόνα 9:** Σύστημα κοχλιακού εμφυτεύματος (Κυριαφίνης, 2005)

Αν και υπάρχουν διαφορές στις συσκευές ανάλογα με τους κατασκευαστές, πολλά εξαρτήματα είναι κοινά σε όλες τις σύγχρονες συσκευές κοχλιακής εμφύτευσης. Ειδικότερα, το κοχλιακό σύστημα αποτελείται από δύο τμήματα το εξωτερικό

(μικρόφωνο, επεξεργαστή ομιλίας, πηνίο πομπού) και το εσωτερικό (εσωτερικό πηνίο δέκτη, μικροεπεξεργαστή ομιλίας και ηλεκτρόδια) τμήμα (εικόνα 9) (Κυριαφίνης, 2005; Δανιηλίδης, 2007; Κυριαφίνης και Βιτάλ, 2008; Wolfe & Schafer, 2015).

Το **εξωτερικό τμήμα**, που είναι και ο **επεξεργαστής ομιλίας** (speech processor), τοποθετείται επί το πλείστον οπισθωτιαία, έχει μέγεθος παρόμοιο με αυτό των ακουστικών βαρηκοΐας και πολύ μικρό βάρος. Εκτελεί την παρακάτω ακολουθία λειτουργιών: μέσω των μικροφώνων, που βρίσκονται στο πάνω μέρος του, συλλέγονται οι ήχοι από το περιβάλλον του χρήστη και στη συνέχεια, μέσω ειδικών φίλτρων και μηχανισμών, φιλτράρονται και κωδικοποιούνται με προκαθορισμένη στρατηγική. Τα επεξεργασμένα ηχητικά σήματα, που έχουν ψηφιοποιηθεί και επεξεργαστεί μετατρέπονται σε ηλεκτρικά σήματα και στέλνονται σε έναν ενισχυτή όπου βελτιώνεται το επίπεδο που έχει το κλάσμα σήμα-θόρυβος κατά τη διάρκεια μετάβασης στον επεξεργαστή. Εν συνεχεία φτάνουν σε ένα πηνίο που συγκρατείται με τη βοήθεια ενός μαγνήτη μέσω ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής κάτω από το δέρμα, στη θέση του εσωτερικού τμήματος (δέκτης). Το σήμα αναλύεται από το ψηφιακό επεξεργαστή σήματος (digital signal processor, DSP) και ταξινομείται σύμφωνα με την ένταση, συχνότητα και τη διάρκεια και μετατρέπεται σε ηλεκτρικό κώδικα που αντιστοιχίζει τα χαρακτηριστικά αυτά στο ακουστικό νεύρο. Από εκεί το σήμα, με τα δεδομένα που φέρει αλλά και την απαραίτητη ενέργεια για τη λειτουργία του εμφυτεύματος μεταφέρεται με μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στο εσωτερικό τμήμα του εμφυτεύματος (εικόνα 10) (Κυριαφίνης και Βιτάλ, 2008; Zeng et al., 2008; Roche and Hansen, 2015).



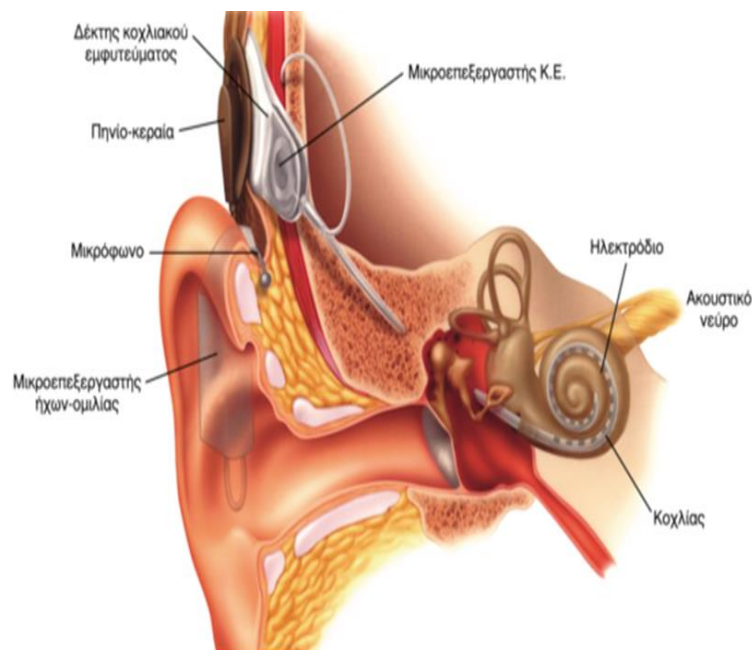
**Εικόνα 10.** Εφαρμογή κοχλιακού εμφυτεύματος (University of Cyprus, 2016)

Οι επεξεργαστές ομιλίας διαθέτουν μνήμες προγραμμάτων (maps) και εξωτερικές ρυθμίσεις για το χρήστη, ώστε να προσαρμόζονται σε διάφορες καταστάσεις ακρόασης, καθώς επίσης και είσοδο για εξωτερικές πηγές ήχου ή βοηθήματα τύπου FM. Υπάρχουν επεξεργαστές ομιλίας που βρίσκονται σε ξεχωριστό κουτί, σωματικού τύπου, που δίνουν μεγαλύτερη ισχύ και αυτονομία στη μπαταρία και ευκολία χειρισμών (ειδικά για τα βρέφη και τα μικρά παιδιά). Στην περίπτωση αυτή όμως τα θετικά αντιβαίνουν την αισθητική (Κυριαφίνης και Βιτάλ, 2008; Wilson and Dorman, 2008).

Το **εσωτερικό τμήμα**, το εμφύτευμα, αποτελείται από ένα πηνίο-δέκτη, έναν μικροϋπολογιστή και ένα λεπτό καλώδιο που φέρει συστοιχία ηλεκτροδίων (12-22 ανάλογα με το εμφύτευμα). Δεν φέρει μπαταρία και η απαραίτητη ενέργεια που χρειάζεται για να λειτουργήσει παρέχεται από τον εξωτερικό επεξεργαστή ομιλίας μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων μαζί με τις πληροφορίες (data). Όλα τα εμφυτεύματα κατασκευάζονται από ιστοσυμβατά υλικά (σιλικόνη, κεραμικά, τιτάνιο) (Κυριαφίνης και Βιτάλ, 2008; Roche and Hansen, 2015).

Το εσωτερικό **πηνίο** λαμβάνει τα δεδομένα-πληροφορίες και τα μεταφέρει στον μικροϋπολογιστή ώστε να αποκωδικοποιηθούν και να κατανεμηθούν στα επιμέρους αντίστοιχα ηλεκτρόδια. Αυτά είναι τοποθετημένα μέσα στην τυμπανική κλίμακα του κοχλίου, κατανεμημένα στις νευρικές απολήξεις του κοχλιακού νεύρου

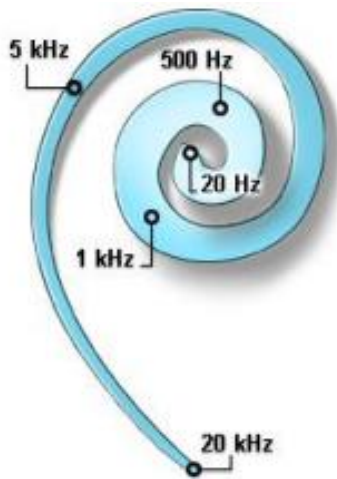
ώστε το κάθε ηλεκτρόδιο να ερεθίζει τις αντίστοιχες νευρικές ίνες του ακουστικού νεύρου στο σπειροειδές γάγγλιο και να προσομοιώνουν ηλεκτρονικά τη λειτουργία του κοχλίου. Έτσι, το κάθε ηλεκτρόδιο-κανάλι είναι προγραμματισμένο να ενεργοποιείται σε ένα συγκεκριμένο εύρος συχνοτήτων. Η πορεία της ακουστικής πληροφορίας από το σημείο αυτό και μετά ακολουθεί τη φυσιολογική οδό μέχρι το κέντρο της ακοής στο φλοιό του εγκεφάλου, όπου προκαλείται η αίσθηση της ακοής (εικόνα 11) (Κυριαφίνης και Βιτάλ, 2008; Zeng et al., 2008; Roche and Hansen, 2015).



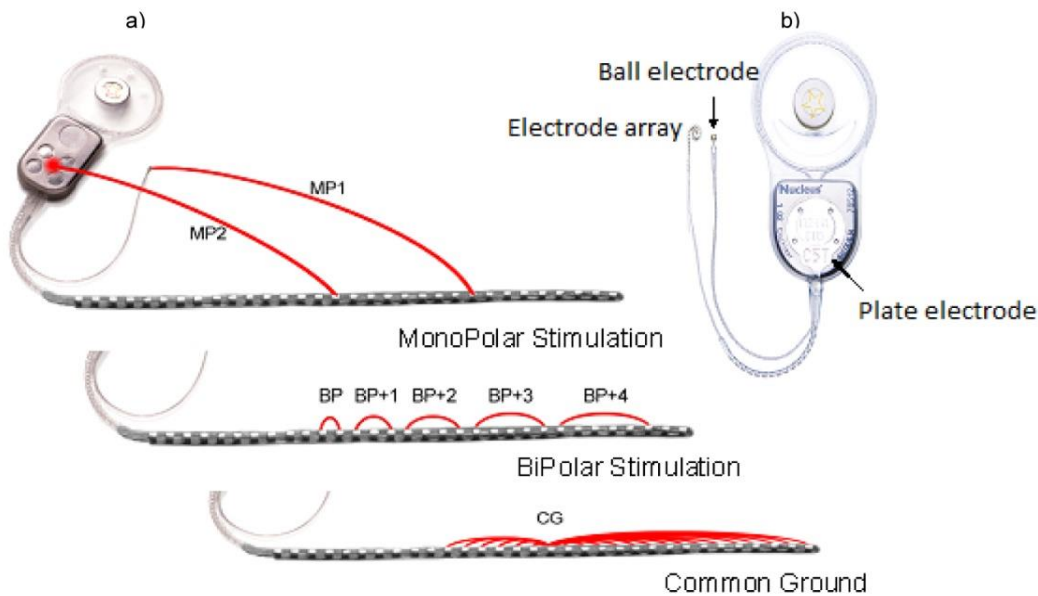
**Εικόνα 11:** Σύστημα κοχλιακού εμφυτεύματος, διάταξη λειτουργίας (Κυριαφίνης, 2005; Cowan, 2007)

Η τοποθέτηση των ηλεκτροδίων ανάλογα με το είδος εμφυτεύματος μπορεί να γίνει έξω από τον κοχλία (εξωκοχλιακά), μέσα στον κοχλία (ενδοκοχλιακά) που είναι και το πιο συνηθισμένο ή πάνω στην επιφάνεια του κοχλιακού νεύρου στο εγκεφαλικό στέλεχος. Ιδιαίτερα σημαντικός είναι και ο προσανατολισμός των ηλεκτροδίων σε σχέση με τον ιστό που διεγείρεται (Κυριαφίνης και Βιτάλ, 2008; Zeng et al., 2008; Roche and Hansen, 2015).

Η τεχνολογία των κοχλιακών εμφυτευμάτων εξελίχθηκε από μονοκάναλη αναλογική συσκευή σε πολυκάναλη (Zeng et al., 2015). Στα **μονοκάναλα εμφυτεύματα** χρησιμοποιείται μόνο ένα ηλεκτρόδιο ενώ στα **πολυκάναλα** εισάγεται μία σειρά ηλεκτροδίων στον κοχλία έτσι ώστε να διεγείρεται το ακουστικό νεύρο σε διαφορετικά σημεία προσομοιώνοντας τον ακουστικό μηχανισμό. Αρχικά, τα πρώτα κοχλιακά εμφυτεύματα, ήταν **μονοκάναλα** (ένα μονήρες ηλεκτρόδιο) με πολύ φτωχά αποτελέσματα ενώ παρείχαν αναγνώριση ομιλίας. Το εμφύτευμα με ένα κανάλι μετέδιδε μόνο χρονικές πληροφορίες, αίσθηση της έντασης και πληροφορίες για το ρυθμό. Σήμερα πλέον, τα σύγχρονα κοχλιακά εμφυτεύματα είναι **πολυκάναλα** με πολυηλεκτροδιακή διάταξη που παρέχει έναν αριθμό από ανεξάρτητα κανάλια (δίαυλοι) διέγερσης. Το εμφύτευμα πολλαπλών καναλιών μεταδίδει πληροφορίες τόνου (συχνότητας) αλλά και χρονικές. Για απλή ομιλία σε ένα ήσυχο περιβάλλον συνήθως χρειάζονται 4 κανάλια ενώ περισσότερα κανάλια απαιτούνται για πιο δύσκολους ήχους ή θορυβώδη περιβάλλοντα. Ακόμα περισσότερα κανάλια απαιτούνται για την αναγνώριση μιας μελωδίας (εικόνες 12, 13) (Seligman, 2007; Komal, 2012). Οι πολυκάναλες συσκευές παρέχουν περισσότερη πληροφορία για το ακουστικό σήμα και δίδουν καλύτερη απόδοση στην αναγνώριση της φωνής. Έχει γίνει μεγάλη πρόοδος στην απόδοση του κοχλιακού εμφυτεύματος, που περιλαμβάνει βελτιώσεις στους επεξεργαστές του λόγου, οι οποίες μετατρέπουν τον ήχο σε ηλεκτρικά ερεθίσματα. Η καλύτερη απόδοση προέρχεται από επεξεργαστές του λόγου, που επιχειρούν να διατηρήσουν τον κώδικα της κανονικής συχνότητας στην φασματική αναπαράσταση του κοχλία. Αυτοί διακρίνονται από τους επεξεργαστές που βασίζονται σε χαρακτηριστικά (Feature-based processors), οι οποίοι επιχειρούν να αναλύσουν ορισμένα χαρακτηριστικά, που είναι γνωστό ότι είναι σημαντικά στην αντίληψη του λόγου και παρουσιάζουν μόνο εκείνα τα χαρακτηριστικά μέσω των ηλεκτροδίων (Γκέλης, 2005).



**Εικόνα 12:** Ακουστικές συχνότητες κοχλιακού εμφυτεύματος



**Εικόνα 13.** Κανάλια διέγερσης (a), ηλεκτρόδια (b) (Seligman, 2007; Komal, 2012)

Επιπλέον, η καλύτερη απόδοση στην αναγνώριση του λόγου παρατηρείται με ηλεκτρόδια, που βρίσκονται πλησίον των νευρικών ινών οι οποίες πρέπει να διεγερθούν, ελαχιστοποιώντας έτσι τις ανεπιθύμητες παρενέργειες.

Ένα μείζον πρόβλημα στα πολυκάναλα εμφυτεύματα είναι η αλληλεπίδραση των διαύλων, όταν δηλαδή δυο ηλεκτρόδια διεγείρουν αλληλοκαλυπτόμενους πληθυσμούς νευρών. Η αλληλεπίδραση των διαύλων έχει τώρα ελαχιστοποιηθεί με τους επεξεργαστές του λόγου, οι οποίοι ενεργοποιούν τα ηλεκτρόδια με έναν ασύγχρονο τρόπο καθώς και με ηλεκτρόδια που τοποθετούνται πολύ κοντά στις

νευρικές απολήξεις, ώστε να μειωθεί το φαινόμενο αυτό και να μεγιστοποιηθεί η διάκριση των ήχων, άρα και την αναγνώριση του λόγου (Γκέλης, 2005).

Έρευνες υποστηρίζουν ότι η ενεργοποίηση ουσιαστικά μόνο τριών καναλιών μπορεί να βοηθήσει ουσιαστικά στην εκπαίδευση του προφορικού λόγου στα παιδιά. Ο μεγαλύτερος αριθμός καναλιών δίνει τη δυνατότητα να απολαύσει ο χρήστης τους το κελάηδημα των πουλιών ή μια συναυλία. Βασιζόμενοι στις μαρτυρίες ενηλίκων που είχαν απώλεια ακοής σε μεγάλη ηλικία, γνωρίζουμε ότι ο ήχος που τελικά λαμβάνουν είναι ένας ηλεκτρονικός ήχος όπως αυτός των ρομπότ (Κυριαφίνης, 2005).

Αξίζει να σημειωθεί ότι ερευνητές του Πανεπιστημίου του Harvard και του Ινστιτούτου Τεχνολογίας της Μασαχουσέτης (MIT) αναπτύσσουν πρωτοποριακό κοχλιακό εμφύτευμα που θα φορτίζεται ασύρματα και θα λειτουργεί χωρίς εξωτερική υποστήριξη. Η διάρκεια λειτουργίας, μετά από κάθε φόρτιση, προσδιορίζεται στις 8 ώρες περίπου. Πιο συγκεκριμένα, το εμφύτευμα δεν θα διαθέτει εξωτερικό εξοπλισμό, ενώ αντί για εξωτερικό μικρόφωνο θα χρησιμοποιεί το φυσικό «μικρόφωνο» του οργανισμού που βρίσκεται στο έσω αυτί. Θα χρησιμοποιεί ένα είδος αισθητήρα, ενώ το σήμα που θα παράγει θα φτάνει σε ένα τσιπ το οποίο θα εμφυτεύεται στο αυτί και θα το μετατρέπει σε ηλεκτρικό σήμα που θα περνά, μέσω ηλεκτροδίου, στον κοχλία. Παράλληλα, σχεδιάζεται ένας πρωτότυπος φορτιστής, συμβατός με τα απλά κινητά τηλέφωνα, που θα επαναφορτίζει το τσιπ εύκολα και γρήγορα (Massachusetts Institute of Technology, 2014).

### 3.3. Επιλογή ατόμων για κοχλιακή εμφύτευση

#### 3.3.1. Υποψήφιοι λήπτες κοχλιακών εμφυτευμάτων

Η επιλογή των υποψηφίων ατόμων για κοχλιακή εμφύτευση είναι μια σύνθετη διαδικασία που απαιτεί προσεκτική εκτίμηση πολλών παραγόντων. Παλαιότερα τα κριτήρια περιορίζονταν μόνο σε ενήλικες με μέσο όρο ουδού ακοής >90 dB στο τονικό ακούγραμμα. Το γεγονός ότι ασθενείς με υπολειμματική ακοή παρουσίαζαν καλύτερα αποτελέσματα στη διάκριση της ομιλίας με τα κοχλιακά εμφυτεύματα παρά με τα ακουστικά βαρηκοΐας συνέβαλε στη διεύρυνση των κριτηρίων (Raine, 2013).

Από τα κοχλιακά εμφυτεύματα μπορούν πλέον να επωφεληθούν παιδιά και ενήλικες που είτε γεννήθηκαν κωφοί είτε απέκτησαν σοβαρή νευροαισθητήρια βαρηκοΐα αργότερα (Lenarz, 2002; Cochlear Limited, 2011). Η κοχλιακή εμφύτευση **αντενδείκνυται** στους ενήλικες με συγγενή κώφωση και σε αυτούς που απώλεσαν την ακοή τους πριν μάθουν να ομιλούν (προγλωσσικοί). Στα άτομα αυτά τα αποτελέσματα δεν είναι ιδιαίτερα ενθαρρυντικά κυρίως γιατί το κεντρικό νευρικό τμήμα του συστήματος της ακοής έχει χάσει την πλαστικότητά του να εξελίσσεται ως προς την ακουστική μνήμη και τη διακριτικότητα των ήχων υπό την επίδραση των ακουστικών πληροφοριών λόγω της μακροχρόνιας στέρησης του εγκεφάλου από ακουστικά μηνύματα (Κυριαφίνης, 2005).

Ειδικότερα, οι λήπτες των κοχλιακών εμφυτευμάτων διαιρούνται σε τρεις κύριες κατηγορίες:

- **Μεταγλωσσικοί κωφοί ενήλικες και παιδιά:** Είναι οι ασθενείς που γίνονται κωφοί μετά την ηλικία των 5 ετών και έχουν αναπτύξει πολλές ή όλες τις πτυχές της προφορικής γλώσσας πριν από την έναρξη της κώφωσή τους. Εμφανίζουν μέσο όρο ουδού ακοής >70 dB στο τονικό ακούγραμμα και διάκριση ομιλίας <40% και είναι ικανοί να υποβληθούν χωρίς κίνδυνο σε γενική



αναισθησία. Οι εν λόγω ασθενείς μόλις χάσουν την πρόσβαση στο άκουσμα και την ανατροφοδότηση, συχνά εμφανίζουν επιδείνωση στην ομιλία τους. Η εμφύτευση νωρίς, μετά την έναρξη της κώφωσης, βελτιώνει την παραγωγή της ομιλίας και την ικανότητα αντίληψης.

- **Εκ γενετής ή προγλωσσικά κωφά παιδιά:** Η συγγενής ή η πρόωρη επίκτητη κώφωση είναι ο πιο συχνά αντιμετωπίσιμος τύπος σοβαρής νευροαισθητήριας απώλειας ακοής στα παιδιά. Η απόκτηση δεξιοτήτων προφορικής επικοινωνίας μπορεί να είναι μια δύσκολη διαδικασία για αυτά τα παιδιά. Εντούτοις, με την πρόωρη εμφύτευση και την κατάλληλη αποκατάσταση, αναπτύσσουν προφορικό λόγο. Αν και υπάρχει ποικιλομορφία στα αποτελέσματα, οι λήπτες των εμφυτευμάτων εμφανίζουν δεξιότητες ομιλίας και γλώσσας ανάλογες της ηλικίας τους. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν παιδιά 10-12 μηνών τα οποία πάσχουν από αμφοτερόπλευρη βαρηκοΐα πολύ σοβαρού βαθμού και δεν ωφελήθηκαν από τη χρήση ακουστικών βαρηκοΐας για διάστημα 3-6 μηνών. Δεν θα πρέπει να υπάρχει βλάβη της κεντρικής ακουστικής οδού ή του ακουστικού νεύρου καθώς και αντενδείξεις για γενική αναισθησία.
- **Εκ γενετής ή προγλωσσικοί κωφοί έφηβοι και ενήλικες:** Οι έφηβοι ή οι ενήλικες οι οποίοι είχαν ελάχιστη ή καμία εμπειρία με τον ήχο, λόγω της συγγενής ή πρόωρης κώφωσης, δεν έχουν επιδείξει υψηλά επίπεδα επιτυχίας. Παρά την καλή ηλεκτρική διέγερση του ακουστικού συστήματος δεν υπάρχει ανεπτυγμένη διαδικασία επεξεργασίας του σήματος στον εγκέφαλο, ούτε ακουστική μνήμη. Τα άτομα αυτά δεν έχουν την πλαστικότητα εγκεφάλου των παιδιών και στηρίζονται πλέον στην οπτική επικοινωνία (Lenarz, 2002; Αθανασιάδης-Σισμάνης, 2010).

Από ιατρικής πλευράς, μεγάλη σημασία έχει η **σωστή επιλογή των υποψηφίων ασθενών**, γιατί από αυτήν εξαρτάται το αποτέλεσμα. Μπορούμε, σε γενικές γραμμές, να κατατάξουμε τους ασθενείς **ανάλογα με την ακοολογική τους κατάσταση** σε τρεις κατηγορίες:

- 1) Υποψήφιοι με απόλυτη ένδειξη:** Πρόκειται για παιδιά με συγγενή κώφωση ή σχεδόν κώφωση μέχρι ηλικίας το πολύ 5 ετών και μεταγλωσσικούς κωφούς ή σχεδόν κωφούς, παιδιά ή ενήλικες, των οποίων, όμως, η κώφωση δεν υπερβαίνει το ένα ή το πολύ τα δύο χρόνια.
- 2) Υποψήφιοι με σχετική ένδειξη:** Πρόκειται για μεταγλωσσικούς κωφούς ή σχεδόν κωφούς, παιδιά ή ενήλικες, των οποίων η κώφωση χρονολογείται πέραν των δύο ετών και προγλωσσικούς κωφοί ή σχεδόν κωφοί, οι οποίοι κατόρθωσαν με τη βοήθεια ακουστικών βαρηκοΐας και συστηματικής λογοθεραπείας να αποκτήσουν ομιλία, έχουν καλή χειλοανάγνωση, επιθυμούν πολύ να χειρουργηθούν και δεν έμαθαν τη νοηματική γλώσσα ενώ δεν ωφελούνται καθόλου από τη χρήση ακουστικών βαρηκοΐας. Οι προγλωσσικοί κωφοί ενήλικες μπορεί να είναι κατάλληλοι για εμφύτευση, αν και θα πρέπει να παίρνουν συμβουλές ρεαλιστικών προσδοκιών από την εμφύτευση. Στο παρελθόν άτομα που είχαν οριακό όφελος από τα ακουστικά βαρηκοΐας δεν θεωρούνταν υποψήφια για κοχλιακή εμφύτευση αν και η αντίληψη του λόγου ήταν πτωχότερη σε σύγκριση με άτομα με σοβαρή κώφωση που χρησιμοποιούν κοχλιακό εμφύτευμα. Πλέον, τα περισσότερα άτομα που χρησιμοποιούν ακουστικά βαρηκοΐας παρουσιάζουν βελτίωση της απόδοσης της αντίληψης του λόγου με ένα κοχλιακό εμφύτευμα. **Υποψήφιοι για κοχλιακό εμφύτευμα** είναι επίσης τα άτομα, που έχουν χάσει μόνο τις υψηλές συχνότητες. Σε αυτούς γίνεται μερική κοχλιακή εμφύτευση και μετά χρησιμοποιούν το κοχλιακό εμφύτευμα για τις υψηλές συχνότητες και συμβατικό ακουστικό για τις χαμηλές. Το σύστημα αυτό λέγεται **ηλεκτροακουστική διέγερση** (EAS, electroacoustic stimulation).
- 3) Υποψήφιοι με αντένδειξη:** Όλοι οι προγλωσσικοί κωφοί, που διδάχτηκαν τη νοηματική γλώσσα και έχουν ενσωματωθεί στην κοινωνία των κωφών. Η κοχλιακή εμφύτευση αντενδείκνυται στους ενήλικες με συγγενή κώφωση και σε αυτούς που απώλεσαν την ακοή τους προτού μάθουν να ομιλούν. Τα πενιχρά αποτελέσματα της μεθόδου στα άτομα αυτά αποδίδονται στο ότι το κεντρικό

νευρικό τμήμα του συστήματος ακοής έχει χάσει πλέον την πλαστικότητά του να εξελίσσεται ως προς την ακουστική μνήμη και τη διακριτικότητα των ήχων υπό την επίδραση των ακουστικών πληροφοριών (Γκέλης, 2005; Δανιηλίδης, 2007).

Οι οδηγίες επιλογής που εφαρμόζονται στους ενηλίκους είναι εφαρμόσιμες και στα παιδιά αν και στην περίπτωση αυτή η επιλογή είναι μια πολύ πιο σύνθετη και υπό συνεχή διαμόρφωση διαδικασία. Γίνεται δε, με αυστηρά επιστημονικά κριτήρια και απαιτείται προσέγγιση από σύνθετη διεπιστημονική ομάδα που να καλύπτει τις ποικίλες ανάγκες του ασθενούς (Αθανασιάδης-Σισμάνης, 2010).

Ως προς τα **παιδιά** έχει αποδειχτεί ότι τα κοχλιακά εμφυτεύματα συμβάλλουν ιδιαίτερα στην επιτυχή αντίληψη του λόγου. Μέχρι το 1995 η μικρότερη ηλικία εμφύτευσης ήταν οι 24 μήνες. Σήμερα, προσφορότερη ηλικία εμφύτευσης θεωρείται το 1 έτος, γιατί η επίδραση των ακουστικών πληροφοριών και το κεντρικό νευρικό σύστημα εξελίσσονται (Lenarz, 2002). Επίσης κατάλληλα για κοχλιακή εμφύτευση θεωρούνται τα παιδιά με αμφοτερόπλευρη κώφωση ή μεγάλου βαθμού νευραισθητήρια βαρηκοΐα (>90 dBHL) και ελάχιστη αντίληψη λόγου που δεν υπάρχει βελτίωση με την χρήση σύγχρονων ακουστικών βαρηκοΐας (Δανιηλίδης και Κυριαφίνης, 2002). Παιδιά που γεννήθηκαν με φυσιολογική ακοή, την οποία έχασαν στη συνέχεια, πρέπει έγκαιρα να χειρουργηθούν, γιατί προοδευτικά ξεχνούν τις ακουστικές πληροφορίες και χάνουν την αποκτηθείσα ομιλία. Έτσι, **αντίθετα με τους ενηλίκους**, υποψήφιοι για κοχλιακά εμφυτεύματα είναι τα προγλωσσικά και τα μεταγλωσσικά κωφά παιδιά (Κυριαφίνης, 2005). Στις περιπτώσεις αυτές, τα προκλητά δυναμικά του εγκεφαλικού στελέχους, η δοκιμασία του αντανακλαστικού του αναβολέα και η δοκιμασία των ωτοακουστικών εκπομπών πρέπει να συνδυάζονται με ακουστικές συμπεριφορικές αποκρίσεις για τον καθορισμό της κατάστασης της ακοής (Lenarz, 2002).

Σε μικρότερη ηλικία φάνηκε ότι μπορούν να περιοριστούν τα αρνητικά επακόλουθα της ακουστικής στέρησης επιτρέποντας την αποτελεσματική απόκτηση του λόγου και της γλώσσας (Δαניהλίδης και Κυριαφίνης, 2002). Επίσης, με την επίδραση των ακουστικών πληροφοριών εξελίσσεται και το κεντρικό νευρικό τμήμα του ακουστικού συστήματος. Στις ΗΠΑ και διεθνώς, ένας μεγάλος αριθμός παιδιών, κάτω των 2 ετών, έχουν δεχτεί εμφύτευμα. Ο κυριότερος λόγος είναι ότι στις ηλικίες αυτές υπάρχει κίνδυνος νεοσχηματισμού οστού σχετιζομένου με τη μηνιγγίτιδα, γεγονός που θα απέκλειε την εμφύτευση στα μετέπειτα έτη (Lenarz, 2002).

Η **προεγχειρητική αξιολόγηση** για κοχλιακή εμφύτευση έχει στόχο την επιλογή ασθενών που έχουν μεγάλη πιθανότητα επίτευξης βελτιωμένων δεξιοτήτων επικοινωνίας από ότι με ακουστικά βαρηκοΐας. Οι υποψήφιοι υποβάλλονται σε σειρά ιατρικών εξετάσεων και ειδικών δοκιμασιών (ακοολογική εξέταση, ηλεκτροφυσιολογική διερεύνηση) καθώς και απεικόνιση με αξονική και μαγνητική τομογραφία του κοχλία σε λεπτές τομές ώστε να αποκλειστεί η παρουσία ενεργού συστηματικής νόσου που θα ήταν αντένδειξη στην εμφύτευση. Ιδιαίτερο βάρος δίνεται στην ψυχική διερεύνηση, τη νοητική κατάσταση και τις πιθανές σύννοδες αναπηρίες. Διερευνάται και αξιολογείται το οικογενειακό, κοινωνικό και σχολικό περιβάλλον του παιδιού ώστε με βεβαιότητα να θεωρηθεί η εμφύτευση κατάλληλη παρέμβαση. Πριν την εμφύτευση, πρέπει να παρεμβάλλεται μια δοκιμαστική περίοδος κατάλληλης ενίσχυσης της ακοής με εντατική ακουστική εκπαίδευση, προκειμένου να επιβεβαιωθεί το μέγιστο όφελος από την εμφύτευση. Τέλος, οι γονείς ενός κωφού παιδιού είναι υπεύθυνοι για την απόφαση της κοχλιακής εμφύτευσης. Αυτοί πρέπει να συναινέσουν έχοντας ρεαλιστικές πληροφορίες και κατανοώντας ότι τα κοχλιακά εμφυτεύματα δεν αποκαθιστούν τη φυσιολογική ακοή και ότι τα ακουστικά και ομιλητικά αποτελέσματα ποικίλλουν πολύ και είναι απρόβλεπτα. Γενικότερα θα πρέπει ο ασθενής και οι οικείοι του να έχουν ρεαλιστικές προσδοκίες για τα οφέλη και τη λειτουργία των κοχλιακών

εμφυτευμάτων που παρέχουν ακουστική εμπειρία διαφορετική από τα ακουστικά βοηθήματα και έτσι ίσως χρειαστεί μεγάλο διάστημα πριν να είναι σε θέση να αναπτύξουν ικανοποιητικά αποτελέσματα αναγνώρισης ήχου. Ιδιαίτερα τα παιδιά (που αντιμετωπίζουν νευροαισθητήρια βαρηκοΐα από τη βρεφική τους ηλικία) ουσιαστικά μόλις «γεννιούνται» ακουστικά μετά την επέμβαση (Αθανασιάδης-Σισμάνης, 2010; Wolfe & Schafer, 2015).

Άλλη ένδειξη για κοχλιακή εμφύτευση που μελετάται εσχάτως είναι η ετερόπλευρη κώφωση, ιδίως όταν το κωφό αυτί έχει έντονες εμβοές, που παρεμποδίζουν την αντίληψη και από το καλό αυτί. Δεδομένου ότι το κοχλιακό εμφύτευμα, εκτός από την προσφορά της ακοής ή της ακουστικής αποκατάστασης, στο μεγαλύτερο ποσοστό καλύπτει τις εμβοές, (Κυριαφίνης, 2005). Η μέθοδος της κοχλιακής εμφύτευσης αντενδείκνυται στους ενήλικες με συγγενή κώφωση και σε αυτούς που απώλεσαν την ακοή τους προτού μάθουν να ομιλούν. Τα πενιχρά αποτελέσματα της μεθόδου στα άτομα αυτά αποδίδονται στο ότι το κεντρικό νευρικό τμήμα του συστήματος ακοής έχει χάσει πλέον την πλαστικότητά του να εξελίσσεται ως προς την ακουστική μνήμη και τη διακριτικότητα των ήχων υπό την επίδραση των ακουστικών πληροφοριών (Γκέλης, 2005).

### **3.3.2. Εξετάσεις προεγχειρητικού ελέγχου**

Κατά τον προεγχειρητικό έλεγχο πραγματοποιείται **ωτοσκοπική** και ακτινολογική εξέταση μέσω Μαγνητικής Τομογραφίας (MRI) και υψηλής ευκρίνειας Αξονική Τομογραφία για την αξιολόγηση της παρουσίας ή όχι κοχλίας και της αρτιότητας τόσο του κοχλίας όσο και της τυμπανικής μεμβράνης (Αθανασιάδης-Σισμάνης, 2010).

Αρχικά, ο καθορισμός της καταλληλότητας του ασθενή για κοχλιακή εμφύτευση γίνεται με την **ακοολογική αξιολόγηση** με κατάλληλη ακουστική ενίσχυση. Περιλαμβάνει όλες τις εξετάσεις και την αξιολόγηση λεκτικής αναγνώρισης για την δημιουργία μίας σφαιρικής εικόνας της κατάστασης του ασθενή. Σε παιδιά μικρής

ηλικίας ή σε αυτά με περιορισμένες γλωσσικές ικανότητες, χρησιμοποιούνται τα ερωτηματολόγια γονέων για να καθορίσουν το όφελος της ενίσχυσης της ακοής ενώ για τα μεγαλύτερα παιδιά και τους ενήλικες σημαντική είναι η ηλεκτρική εξέταση του ακρωτηρίου (Κυριαφίνης, 2005; Αθανασιάδης-Σισμάνης, 2010).

Βασική εξέταση αξιολόγησης των ασθενών για κοχλιακή εμφύτευση είναι η **ηλεκτρική εξέταση του ακρωτηρίου** ή ηλεκτροακοογράφημα (Electrical Promontory Test, PROM Test). Χρησιμοποιείται σε ασθενείς που δεν δίνουν ακοομετρικές απαντήσεις και για όσους θεωρείται αμφίβολη η ωφέλεια που θα επιτευχθεί με την κοχλιακή εμφύτευση. Δεν είναι αντικειμενική μέτρηση καθώς απαιτείται συνεργασία και ανταπόκριση από τον ασθενή. Ως τεχνική συνήθως ακολουθείται η διατυμπανική τοποθέτηση ηλεκτροδιακής βελόνης στο ακρωτήριο ή στον έξω ακουστικό πόρο εμποτισμένη με ηλεκτροαγώγιμη αλοιφή. Ένα δεύτερο ηλεκτρόδιο αναφοράς τοποθετείται στο μέτωπο. Στα ηλεκτρόδια δίνονται διφασικοί τετραγωνικοί παλμοί με τον ηλεκτρικό διεγέρτη. Το ακουστικό νεύρο διεγείρεται με ρεύμα έντασης 1-10mA. Τα ερεθίσματα αυτά ίσου φορτίου χρησιμεύουν για την εκτέλεση διάφορων δοκιμασιών με τις οποίες αξιολογείται η ζωτικότητα των νευρικών στοιχείων του ακουστικού νεύρου (Κυριαφίνης, 2005).

Με τη εξέταση αυτή μετρούνται:

- **Ουδός ηλεκτρικής διέγερσης/ανοχής** (Electrical Stimulation Threshold/Comfort): Μέσω διακοπτόμενων ηλεκτρικών σημάτων αυξανόμενης έντασης προσδιορίζεται η ένταση του ρεύματος στην οποία ο ασθενής αρχίζει να αντιλαμβάνεται το ηλεκτρικό σήμα ως ακουστική αίσθηση και το σημείο στο οποίο αισθάνεται άνετα. Τα διακεκομμένα σήματα είναι ευκολότερο αντιληπτά ιδίως όταν ο ασθενής έχει εμβοές. Ο ασθενής μετράει δείχνοντας με τα δάχτυλα τον αριθμό των σημάτων και εν συνεχεία την ένταση των σημάτων σε κλίμακα από 0-5 (0=δεν είναι αντιληπτό το σήμα, 5=το σήμα είναι πολύ δυνατό). Οι μη ακουστικές αισθήσεις είναι συχνότερες σε ασθενείς με συγγενή

κώφωση ή μακροχρόνια επίκτητη κώφωση. Η έλλειψη απάντησης θεωρείται αντένδειξη για κοχλιακή εμφύτευση του ασθενή. Γενικότερα, χαμηλοί ουδοί και μεγάλο δυναμικό εύρος στην εξέταση του ακρωτηρίου συνδυάζεται με τη δυνατότητα καλύτερης αναγνώρισης της ομιλίας από τον ασθενή με κοχλιακό εμφύτευμα (Pfungst et al., 2011).

- **Ικανότητα διάκρισης διαφορετικών συχνοτήτων** (frequency discrimination): Στην εξέταση αυτή διαπιστώνεται αν ο υποψήφιος λήπτης κοχλιακού έχει ακουστική αντίληψη στα ηλεκτρικά ερεθίσματα που δέχεται ο κοχλίας του. Ο υποψήφιος καλείται να αναγνωρίσει ηλεκτρικά ερεθίσματα που δίνονται είτε με τυχαία σειρά είτε κατά ζεύγη σε ένταση ίση με το επίπεδο του οδού διέγερσης. Ο αριθμός των επιτυχημένων διακρίσεων από τον υποψήφιο είναι αυτός που καθορίζει αν ο ίδιος είναι κατάλληλος για κοχλιακή εμφύτευση. Εάν ο ασθενής αναγνωρίσει σειρές 3 ή 4 συχνοτήτων (π.χ. οκτάβες από 50-400 Hz) θεωρείται ότι διαθέτει επαρκή ικανότητα διάκρισης των συχνοτήτων, που είναι ευνοϊκό στοιχείο για το αποτέλεσμα της κοχλιακής εμφύτευσης (Nagle, 2009).
- **Ικανότητα διάκρισης του χρόνου** (temporal discrimination): Η εξέταση αυτή γίνεται με τη μέτρηση του χρονικού χάσματος μεταξύ των ζευγών ηλεκτρικών σημάτων και τη μέτρηση της διαφοράς στη χρονική διάρκεια των ηλεκτρικών σημάτων. Προσδιορίζεται κατά πόσο ο υποψήφιος λήπτης μπορεί να διακρίνει τόσο τη χρονική διάρκεια των ηλεκτρικών σημάτων που δέχεται όσο και το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ του κάθε σήματος με το επόμενο. Η μέθοδος ανίχνευσης χάσματος (gap detection threshold) γίνεται με τη χορήγηση σημάτων ελέγχου non gap και σημάτων gap. Η συνολική διάρκεια των σημάτων τόσο του ελέγχου όσο και των σημάτων gap είναι σταθερή. Η ικανότητα διάκρισης τόσο της διάρκειας των σημάτων όσο και της χρονικής απόστασης μεταξύ τους σχετίζεται με τον αριθμό των νευρικών ινών του κοχλιακού νεύρου που είναι λειτουργικές και αντιστοιχούν σε ανάλογο κέρδος για το κοχλιακό εμφύτευμα (Molin, 2005; Cooper and Roberts, 2009).

- Ο **έλεγχος κόπωσης του ακουστικού νεύρου** (neural adaptation): Είναι πολύ σημαντική εξέταση για την αξιολόγηση της αντοχής του κοχλιακού νεύρου στην ηλεκτρική διέγερση από τα σήματα που θα μεταδίδονται μέσω του κοχλιακού εμφυτεύματος. Γίνεται σε όλους τους υποψηφίους για την επιβεβαίωση ή τον αποκλεισμό παθολογίας μετά τον κοχλία που επιδρά αρνητικά στη χρήση του κοχλιακού εμφυτεύματος. Βασίζεται στην εφαρμογή ηλεκτρικού σήματος έντασης στο επίπεδο του ουδού συνεχόμενα για 1min, κατά την οποία ο υποψήφιος θα πρέπει να αντιλαμβάνεται το ακουστικό σήμα χωρίς να νιώθει εξάντληση. Σε περίπτωση όμως κόπωσης θα πρέπει να αξιολογηθεί το αίτιο γιατί είναι καθοριστικής σημασίας για την απόφαση κοχλιακής εμφύτευσης ή όχι.

Εκτελείται επίσης ακτινολογική αξιολόγηση του κοχλία (για να καθοριστεί αν είναι παρών και στη θέση του και να προσδιοριστούν οι δυσμορφίες του αν και όπου υπάρχουν) και υψηλής ευκρίνειας Αξονική Τομογραφία (CT) του κοχλία. Συμπληρωματικά πραγματοποιείται απεικόνιση μέσω Μαγνητικής Τομογραφίας (MRI) που προσφέρει πρόσθετες πληροφορίες σχετικά με την αρτιότητα του κοχλία (Lalwani, 2004).

Περαιτέρω διενεργείται ψυχολογική και λογοθεραπευτική αξιολόγηση. Συγκεκριμένα η ψυχολογική αξιολόγηση εκτελείται για τον προσδιορισμό των ασθενών που έχουν οργανική εγκεφαλική δυσλειτουργία, νοητική καθυστέρηση, μη ανιχνευθείσα ψύχωση ή μη ρεαλιστικές προσδοκίες. Στην περίπτωση αυτή αξιολογούνται πληροφορίες σχετικά με την οικογένεια και άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες του ασθενή. Η λογοθεραπευτική αξιολόγηση διενεργείται κατά την προεγχειρητική περίοδο, μετά τις ιατρικές, ακοολογικές και ψυχολογικές εξετάσεις. Γίνεται λήψη ιστορικού και διάγνωση της κατάστασης της προφορικής επικοινωνίας, της ομιλίας και της φωνής (Fadda, 2011).



Όλα τα παραπάνω πρέπει να ελέγχονται γιατί είναι ζωτικής σημασίας στοιχεία για τον προσδιορισμό της καταλληλότητας ή όχι κάθε υποψηφίου.

### **3.3.3. Παράγοντες ακουστικής απόδοσης ληπτών κοχλιακών εμφυτευμάτων**

**Ακουστική απόδοση** (acoustic performance) είναι η ικανότητα του λήπτη των κοχλιακών εμφυτευμάτων για ανίχνευση, διάκριση, αναγνώριση ή εντοπισμό των ακουστικών σημάτων, περιλαμβανομένου κυρίως του λόγου. Η ικανότητα αυτή ποικίλλει μεταξύ χρηστών ακουστικού εμφυτεύματος. Οι **παράγοντες** που φαίνεται να επιδρούν λιγότερο ή περισσότερο στο αποτέλεσμα της εφαρμογής τους είναι πολλοί.

Ειδικότερα, η **αιτιολογία της κώφωσης**, αν και είναι σημαντική, δεν επηρεάζει την ακουστική απόδοση στα παιδιά και τους ενήλικες. Η κώφωση από μηνιγγίτιδα, εάν δεν έχουν παρουσιαστεί επιπλοκές στο κεντρικό νευρικό σύστημα (π.χ. οστεοποίηση του κοχλία, κοχλιακή απόφραξη) δεν λειτουργεί περιοριστικά στα οφέλη του κοχλιακού εμφυτεύματος. Τα παιδιά με συγγενή και μηνιγγιτιδική κώφωση, που συνέβη πριν την ηλικία ανάπτυξης του λόγου, επιτυγχάνουν παρόμοια ακουστική απόδοση, αν το κοχλιακό εμφύτευμα εφαρμοστεί πριν από την ηλικία των 5 ετών (Γκέλη, 2005).

Η έγκαιρη ανίχνευση απώλειας της ακοής και εφαρμογής κοχλιακού εμφυτεύματος είναι ιδιαίτερα σημαντική για την μεγίστη ακουστική απόδοση. Η **ηλικία έναρξης της κώφωσης** έχει σημαντικό ρόλο στο αν η κώφωση συνέβη προγλωσσικά, περιγλωσσικά ή μεταγλωσσικά. Σύμφωνα με μελέτες, τα παιδιά ή οι ενήλικες με μεταγλωσσική έναρξη της κώφωσης παρουσίαζαν καλύτερη ακουστική απόδοση σε σχέση με αυτούς με προγλωσσική ή περιγλωσσική έναρξη. Η διαφορά των δύο φαίνεται να εξασθενεί με την πάροδο του χρόνου και εφόσον η τοποθέτηση του εμφυτεύματος γίνει έγκαιρα (πριν από την ηλικία των 3 ετών). Όμως παραμένουν σε κάθε ομάδα μεγάλες εξατομικευμένες διαφορές.

Ως προς την **ηλικία εμφύτευσης όσο νωρίτερα ηλικιακά** τοποθετηθεί το κοχλιακό εμφύτευμα τόσο καλύτερα είναι τα αποτελέσματα (Δανιηλίδης και Κυριαφίνης, 2002). Ειδικότερα, τα προγλωσσικά ή περιγλωσσικά άτομα με κώφωση που δέχτηκαν κοχλιακό εμφύτευμα στην εφηβική ή ενήλικη ζωή δεν απέκτησαν το ίδιο επίπεδο ακουστικής απόδοσης, όπως αυτά στα οποία έγινε εμφύτευση κατά τη διάρκεια της παιδικής ηλικίας. Μετά το 6<sup>ο</sup> έτος, ενδείκνυται η εμφύτευση, μόνο κατ' εξαίρεση σε παιδιά, που έχουν αξιοποιήσει υπολειμματική ακοή με συμβατικά ακουστικά στο παρελθόν και διαθέτουν σαφή ακουστική μνήμη και αξιόλογη ομιλία. Σήμερα η εφαρμογή κοχλιακού εμφυτεύματος μπορεί να γίνει και σε παιδιά μικρότερα του 1-1,5 έτους (Σταυριανού και Αναγνώστου, 2001; Δανιηλίδης και Κυριαφίνης, 2002).

Ως προς τους **ηλεκτροφυσιολογικούς παράγοντες**, για την ακουστική εφαρμογή ενός κοχλιακού εμφυτεύματος είναι απαραίτητο να υπάρχουν ζώντα μερικά γαγγλιακά κύτταρα. Στην νευραιοθητήρια βαρηκοΐα παρουσιάζονται εκφυλιστικές αλλαγές στα γαγγλιακά κύτταρα και τους κεντρικούς ακουστικούς νευρώνες. Ο αριθμός των υγιών γαγγλιακών κυττάρων, έχει καταδειχθεί σε ζώα, ότι έχει σχέση με τις ψυχοφυσικές αποδόσεις τις οποίες μπορούν να φτάσουν σε επίπεδο ορθότητας 90-100% στις καθημερινά χρησιμοποιούμενες προτάσεις.

Στους παράγοντες του λήπτη πρέπει να αναφερθεί και το κίνητρο του ασθενούς και του **περιβάλλοντός** του, καθώς και η απαραίτητη συνεχής υποστήριξη του από τους ανθρώπους του περιβάλλοντός του (Βελεγράκης, 2000; Σταυριανού και Αναγνώστου, 2000; Γκέλης, 2005).

### **3.4. Εφαρμογή κοχλιακού εμφυτεύματος**

Το κοχλιακό εμφύτευμα εφαρμόζεται με μια λεπτή χειρουργική επέμβαση στο κροταφικό οστό και τα ηλεκτρόδιά του μέσα στον κοχλία. Σημεία τα οποία

χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής είναι η προστασία και διατήρηση του δερματικού κρημνού οπισθωτιαία, η οπισθία τυμπανοτομή και η κοχλιοστομία. Προτιμάται μικρή οπισθωτιαία τομή του δέρματος με βοηθητική επέκταση προς τα άνω και πίσω του αυτιού, προσέχοντας να παραμείνει άθικτη η αιμάτωση του δερματικού κρημνού. Το περίστεο προετοιμάζεται επιμελώς, ώστε κάτω από αυτό να τοποθετηθεί ο δέκτης με τον μικροεπεξεργαστή ομιλίας. Ιδιαίτερη φροντίδα δίνεται να εισαχθούν όλα τα επί μέρους ηλεκτρόδια (Lalwani, 2004).

Η κοχλιακή εμφύτευση μπορεί να είναι **αμφίπλευρη** ή **μονόπλευρη**. Οι λήπτες αμφίπλευρου εμφυτεύματος βιώνουν καλύτερη ακρόαση σε περιβάλλον με θόρυβο, καλύτερο εντοπισμό της προέλευσης του ήχου, μεγαλύτερη ευκολία στην ακρόαση με καλύτερη διάκριση της ομιλίας, καλύτερη ακρόαση σε όλες τις θέσεις και βελτίωση σε επίπεδο ποιότητας του ήχου. Ειδικότερα, η **αμφίπλευρη κοχλιακή εμφύτευση** επιτρέπει την αμφίπλευρη είσοδο ήχων στο ακουστικό σύστημα ενηλίκων και παιδιών που υποφέρουν από σοβαρή έως πολύ σοβαρή κώφωση. Εφαρμόζεται όταν τα ακουστικά βαρηκοΐας δεν επιτρέπουν τον επαρκή ερεθισμό του ακουστικού συστήματος και δίνει στους χρήστες τα πλεονεκτήματα της αμφοτερόπλευρης φυσιολογικής ακοής (Litovsky et al., 2012).

Με την αμφίπλευρη εμφύτευση επιτυγχάνεται η σύλληψη καλύτερης ακοής, επειδή και τα δύο ώτα έχουν υποστεί εμφύτευση ενώ σημαντική είναι η βελτίωση της ομιλίας σε θορυβώδες περιβάλλον. Είναι δύσκολο προεγχειρητικά να προβλεφθεί ποιο αυτί θα έχει τα καλύτερα αποτελέσματα ακοής με το κοχλιακό εμφύτευμα. Επιπλέον, επιτρέπει τον αμφίπλευρο ερεθισμό του φλοιού και διατηρεί την αμφοτερόπλευρη ακοή. Από την άλλη το κόστος είναι ιδιαίτερα υψηλό και αποτρεπτικό ενώ μπορεί να είναι δύσκολη η χρήση μελλοντικών τεχνικών (Litovsky et al., 2012).

Οι πιθανές χειρουργικές τεχνικές αμφίπλευρης κοχλιακή εμφύτευσης είναι η **τεχνική σε έναν ή δύο χρόνους**. Στην πρώτη περίπτωση, η εμφύτευση και στα

δύο ώτα γίνεται κατά τη διάρκεια μιας χειρουργικής διαδικασίας, από έμπειρους χειρουργούς κοχλιακών εμφυτευμάτων. Η εμφύτευση σε έναν χρόνο βελτιώνει την σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας. Στην **τεχνική σε δύο χρόνους** οι κοχλιακές εμφυτεύσεις πραγματοποιούνται σε δύο διαφορετικές χειρουργικές επεμβάσεις. Ο μέγιστος χρόνος μεταξύ των δύο επεμβάσεων, ώστε να αποφευχθεί η αντίπλευρη φλοιώδης ατροφία, καθορίζεται με βάση συγκεκριμένα κριτήρια. Συγκεκριμένα, ενδείκνυται να διακόπτεται για κάποιο χρονικό διάστημα η λειτουργία του πρώτου εμφυτεύματος ώστε να αποκατασταθεί η απόδοση και ρύθμιση του εμφυτεύματος στην δεύτερη πλευρά. Γενικά, η ρύθμιση θα πρέπει να στοχεύει στην δημιουργία παρόμοιων επιπέδων απόδοσης και στις δύο πλευρές και για το λόγο αυτό και τα δύο εμφυτεύματα ρυθμίζονται ώστε να εξισορροπηθούν οι εντάσεις και να βελτιστοποιηθούν τα αποτελέσματα (Migiron and Kronenberg, 2009).

Η αμφίπλευρη κοχλιακή εμφύτευση συστήνεται σε περιπτώσεις όπου η ωφέλεια με ένα κοχλιακό εμφύτευμα είναι πτωχή, όταν έχει ήδη ξεκινήσει οστεοποίηση του κοχλία και έτσι είναι δύσκολη η πλήρης είσοδος του ηλεκτροδίου και όταν οι ασθενείς επιθυμούν να διατηρήσουν την αμφοτερόπλευρη ακοή ή χρειάζονται την αμφοτερόπλευρη ακοή για να συνεχίσουν να εργάζονται. Επιπλέον συστήνεται σε παιδιά με μόνιμη αμφίπλευρη μεγάλου βαθμού βαρηκοΐα ιδιαίτερα σε παιδιά μικρής ηλικίας που βρίσκονται σε περιόδους απόκτησης της ομιλίας και της γλώσσας (Litovsky et al., 2012; Health care authority, 2013).

Η **μονόπλευρη κοχλιακή εμφύτευση** γίνεται σε ενήλικες μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα, διότι τα αποτελέσματα είναι φτωχότερα μετά από παρατεταμένη διάρκεια κώφωση. Το χρονικό διάστημα ανάμεσα στις δύο επεμβάσεις σε μεταγλωσσικά κωφούς ενήλικες όταν πρόκειται για αμφίπλευρη εμφύτευση δεν είναι μείζονος σημασίας όσο στα παιδιά όπου ένα σύντομο διάστημα μικρότερο από 6-12 μήνες, επιτρέπει σε προγλωσσικά κωφά παιδιά να σημειώσουν επιτυχία με το δεύτερο εμφύτευμα μέσα σε λίγες εβδομάδες. Μακρύτερο χρονικό διάστημα καθιστά αναγκαία την επιπρόσθετη εκπαίδευση και

αποκατάσταση, ώστε να αποφευχθεί η απόρριψη της χρήσης του δευτέρου κοχλιακού εμφυτεύματος (Ψυλλάς και Βιτάλ, 2008; Litovsky et al., 2012; Health care authority, 2013).

### **3.5. Παράμετροι κωδικοποίησης σήματος**

#### **3.5.1. Κωδικοποίηση σήματος έντασης**

Οι παράμετροι που επηρεάζουν την κωδικοποίηση της ευαισθησίας του σήματος είναι το επίπεδο διέγερσης, η ουδός διέγερσης, τα ανώτερα επίπεδα διέγερσης, το εύρος απόκρισης και παλμού και η χαρτογράφηση ακουστικών δεδομένων στο ηλεκτρικό δυναμικό εύρος.

#### **Επίπεδο διέγερσης (Stimulation Level)**

Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι σημαντικότεροι παράμετροι που καθορίζονται κατά τον προγραμματισμό του κοχλιακού εμφυτεύματος είναι το μέγεθος της διέγερσης που ασκεί το εμφύτευμα στο ακουστικό νεύρο. Βασικός στόχος του προγραμματισμού είναι να αποκατασταθεί η ακουστικότητα για ένα φάσμα ήχων ομιλίας που εκτείνεται από τη χαμηλή έως τη δυνατή ομιλία. Ιδανικά, το επίπεδο διέγερσης ρυθμίζεται ώστε να αναγνωρίζονται οι ήχοι της ομιλίας ενώ πρέπει να ρυθμιστούν τα επίπεδα διέγερσης ώστε ο ήχος που είναι αντιληπτός να αποθηκεύεται σε συνδυασμό με τους ήχους του περιβάλλοντος. Οι ήχοι που θεωρούνται χαμηλοί για ένα άτομο με φυσιολογική ακουστική ευαισθησία, θα πρέπει είναι χαμηλοί και για το χρήστη του κοχλιακού εμφυτεύματος, ενώ αυτοί που θεωρούνται δυνατοί για ένα άτομο με φυσιολογική ακοή θα πρέπει επίσης να προκαλούν δυσαρέσκεια στους χρήστες των κοχλιακών εμφυτευμάτων (Wolfe & Schafer, 2015).

Η επίτευξη των παραπάνω στόχων είναι δύσκολη καθώς η ομιλία και οι καθημερινοί ακουστικοί ήχοι έχουν ένα ευρύ φάσμα εντάσεων περίπου 100 dB. Για τους περισσότερους χρήστες κοχλιακού εμφυτεύματος, αυτό το ευρύ φάσμα εντάσεων πρέπει να κωδικοποιηθεί σε μία σχετικά μικρή ηλεκτρική δυναμική κλίμακα (γύρω στα 20 dB) (Wolfe & Schafer, 2015). Το ηλεκτρικό δυναμικό εύρος είναι η διαφορά μεταξύ του αντιληπτού ορίου του χρήστη του κοχλιακού εμφυτεύματος και του επιπέδου άνεσης (δυνατά αλλά όχι ενοχλητικά) για την ηλεκτρική διέγερση. Για να αποφευχθούν βλάβες λόγω της διέγερσης, συνέπεια μη αναστρέψιμων ηλεκτροχημικών αντιδράσεων, θα πρέπει να γίνεται διέγερση με τη χρήση διφασικών παλμών ρεύματος μικρής διάρκειας με συγκεκριμένο φορτίο και εντοπισμένα.

### **Ουδός διέγερσης (Threshold of Stimulation)**

Η ουδός διέγερσης αναφέρεται στο ελάχιστο επίπεδο διέγερσης που μπορεί να ανιχνευθεί όταν τα ηλεκτρικά σήματα (τυπικά διφασικοί ηλεκτρικοί παλμοί) απελευθερώνονται σε μεμονωμένες επαφές ηλεκτροδίων. Πρακτικά, ο ακριβής προσδιορισμός ποικίλει ανάλογα με τους κατασκευαστές του λογισμικού. Για τα εμφυτεύματα της **Advanced Bionics**, η ηλεκτρική ουδός είναι συγκρίσιμη με την ακουομετρική και ορίζεται καλύτερα ως το χαμηλότερο ποσό ηλεκτρικής διέγερσης που μπορεί ένας χρήστης να ανιχνεύσει με ακρίβεια 50%. Για την **Cochlear Ltd** και το **Nucleus** ορίζεται ως το ελάχιστο επίπεδο ηλεκτρικής διέγερσης που μπορεί να ανιχνευθεί στο 100% του χρόνου. Αντίθετα, η **MED-EL** ορίζει την ηλεκτρική ουδό ως το υψηλότερο επίπεδο στο οποίο δεν λαμβάνεται απάντηση (δηλαδή, το ποσό της ηλεκτρικής διέγερσης κάτω από το οποίο δεν αφυπνίζεται η ακουστική αντίληψη) (Wolfe & Schafer, 2015).

Σε ενήλικες και μεγαλύτερα παιδιά, η μέτρηση της ηλεκτρικής ουδού σχετίζεται άμεσα και περιλαμβάνει ψυχοσωματικές μετρήσεις που χρησιμοποιούνται συχνά στη διαγνωστική ακοολογία. Συνήθως δίνεται εντολή στους αποδέκτες να

σηκώνουν τα χέρια τους ή να πουν «ναι» όταν ακούσουν το παλμικό σήμα προγραμματισμού. Σε έναν χρήστη κοχλιακού εμφυτεύματος, το σήμα αυτό είναι συνήθως παρόμοιο με ένα «μπιπ» ή κάποια φωνή αν και σε σχετικά σπάνιες περιπτώσεις ο χρήστης μπορεί να περιγράψει το σήμα ως γρατζούνισμα ή κάτι στατικό που μοιάζει με ήχο. Η συνεχιζόμενη αναφορά για θόρυβο μπορεί να υποδηλώνει ότι η διέγερση γίνεται σε περιοχή του κοχλία με σημαντική νευρική εκφύλιση ή χωρίς νευρική δραστηριότητα. Επιπλέον, μπορεί η διέγερση να προκαλεί αντίδραση σε μια περιοχή του ακουστικού νευρικού συστήματος που για μεγάλο διάστημα δεν είχε ακουστική διέγερση (Wolfe & Schafer, 2015).

Το ιδανικό δοκιμαστικό επίπεδο του ήχου διαφέρει ανάλογα με τον κατασκευαστή πιθανόν επειδή οι κλίμακες διέγερσης είναι διαφορετικές. Μεγαλύτερα μεγέθη μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τα παιδιά που έχουν περιορισμένο χρόνο συγκέντρωσης. Για τους περισσότερους λήπτες με εμβοές, ο καθορισμός του ορίου μπορεί να είναι δύσκολος γιατί το σήμα τείνει να αναμιγνύεται με το βουητό. Το πρόβλημα αυτό είναι διαδεδομένο στους νέους χρήστες (Wolfe & Schafer, 2015).

Μια **διαφορετική προσέγγιση μέτρησης** του ουδού διέγερσης είναι να ζητηθεί από τον λήπτη να μετρήσει τα «μπιπ» που ακούει (περίπου 2-5 βόμβους τη φορά) και γίνεται άμεσα μετατροπή του αριθμού των σημάτων. Η μέθοδος αυτή βοηθά τους λήπτες να συγκεντρωθούν στο ηχητικό σήμα παρά στις παρατεταμένες εμβοές και βελτιώνεται η πιθανότητα ανταποκριθούν στο σήμα παρά στις εμβοές. Επιπλέον βοηθά στον καθορισμό ενός έγκυρου επιπέδου διέγερσης τους λήπτες που δίνουν πολλές εσφαλμένες θετικές απαντήσεις λόγω της δυσκολίας να διακρίνουν μεταξύ του ερεθίσματος προγραμματισμού και των βόμβων (Holden et al., 2011; Wolfe & Schafer, 2015).

### **Επίπεδο ανώτερης διέγερσης (Upper-Stimulation Level)**

Η παράμετρος προγραμματισμού σχετίζεται με το ανώτερο επίπεδο διέγερσης που επίσης ποικίλλει ως προς την ορολογία και τον προσδιορισμό της ανάλογα με τους

κατασκευαστές. Στο σύστημα της **Advanced Bionics**, το ανώτατο όριο της ηλεκτρικής διέγερσης έχει οριστεί σε ένα επίπεδο που ο χρήστης αντιλαμβάνεται ως «πιο άνετο». Η παράμετρος αυτή είναι παρόμοια με το πιο άνετο επίπεδο ακοής συχνά μετρείται ως αξιολόγηση του ακουστικού βοηθήματος και στην **Advanced Bionics** είναι κοινώς γνωστή ως «επίπεδο M». Στο σύστημα της **MED-EL**, το επίπεδο ανώτερης διέγερση γνωστό ως «επίπεδο μέγιστης άνεσης» ορίζεται ως το ποσό της ηλεκτρικής διέγερσης που θεωρείται ότι είναι «δυνατά, αλλά όχι άβολα». Για τα εμφυτεύματα **Nucleus**, το επίπεδο της ανώτερης διέγερση γνωστό ως επίπεδο C έχει οριστεί ως το επίπεδο διέγερσης που ο χρήστης θεωρεί ότι είναι «δυνατά, αλλά άνετα» (Wolfe & Kasulis, 2008; Wolfe & Schafer, 2015).

Το επίπεδο ανώτερης διέγερσης είναι εξαιρετικά σημαντικό για το χρήστη του εμφυτεύματος καθώς επηρεάζει την αναγνώριση της ομιλίας, την ποιότητα του ήχου και στην περίπτωση της προγλωσσικής κώφωσης παιδιών την ικανότητα παρακολούθησης της φωνής του και παραγωγής κατανοητής ομιλίας. Εάν τα επίπεδα ανώτερης διέγερσης ρυθμιστούν λάθος ο λήπτης θα βιώσει χαμηλού επιπέδου αποτελέσματα. Οι κλινικοί γιατροί τυπικά ρυθμίζουν το επίπεδο ανώτερης διέγερσης μέσω μεθόδων κλιμάκωσης της ψυχοσωματικής έντασης του ήχου ή μέσω παρατήρησης της συμπεριφοράς. Κάποιοι μελετητές αναφέρουν ότι τα Ηλεκτρικά Προκλητά Αντανακλαστικά Ουδού του Αναβολέα (Electrically Evoked Stapedial Reflex Threshold, ESRT) είναι ένας χρήσιμος οδηγός για τον προσδιορισμό του επιπέδου ανώτερης διέγερσης (Wolfe & Kasulis, 2008; Wolfe & Schafer, 2015).

### **Εύρος ρεύματος και εύρος παλμού (Current Amplitude and Pulse Width)**

Τα σύγχρονα κοχλιακά εμφυτεύματα δίνουν διφασικούς ηλεκτρικούς παλμούς στα ηλεκτρόδια επαφή σε όλη τη συστοιχία ηλεκτροδίων. Αύξηση στην ένταση του ερεθίσματος μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους. Πρώτον, στην ένταση του ερεθίσματος δηλαδή το πλάτος (ή το ύψος κάθε φάσης του παλμού) του ρεύματος μπορεί να αυξηθεί (να διπλασιαστεί ή να επιμηκυνθεί) (Wolfe & Schafer, 2015).



## Χαρτογράφηση ηχητικών ερεθισμάτων στο ηλεκτρικό δυναμικό εύρος (Mapping Acoustical Inputs into the Electrical Dynamic Range)

Οι κατασκευαστές κοχλιακών εμφυτευμάτων υιοθετούν διαφορετικές προσεγγίσεις για να κατευθύνουν τα επιθυμητά ηχητικά ερεθίσματα στο επιθυμητό ηλεκτρικό δυναμικό εύρος του λήπτη. Οι παράμετροι που επηρεάζουν τον τρόπο κωδικοποίησης στο πεδίο έντασης είναι οι εξής (Wolfe & Schafer, 2015):

- Δυναμικό εύρος εισερχόμενου ήχου (Input Dynamic Range, IDR): Το IDR είναι μία ιατρικά ρυθμιζόμενη παράμετρος που, μαζί με την ευαισθησία, καθορίζει το εύρος των ακουστικών εισροών που αντιστοιχούν στο δυναμικό εύρος του λήπτη. Το IDR των σύγχρονων συστημάτων κοχλιακού εμφυτεύματος κυμαίνεται από 40-60 dB. Το κατώτατο όριο καθορίζει το ακουστικό επίπεδο εισόδου που προσεγγίζει τον ουδό ηλεκτρικής διέγερσης ενώ το άνω όριο καθορίζει το επίπεδο ακουστικής εισόδου που αντιστοιχεί στο μέγιστο επίπεδο ηλεκτρική διέγερσης. Όσοι ήχοι βρίσκονται κάτω από το κατώτατο όριο πιθανόν δεν γίνονται αντιληπτοί από το χρήστη ενώ όσοι υπερβαίνουν το IDR έχουν υποβληθεί σε άπειρες συμπίεσεις (Dawson et al., 2007).
- Ευαισθησία (Sensitivity): Η ευαισθησία ελέγχει τα οφέλη που παρέχονται από τον επεξεργαστή ήχου και του μικροφώνου. Για ορισμένους επεξεργαστές ήχου η παράμετρος αυτή ρυθμίζει μόνο το κέρδος για το σήμα που λαμβάνεται από το μικρόφωνο του επεξεργαστή ήχου, ενώ για άλλους επεξεργαστές επηρεάζει το κέρδος των σημάτων από το μικρόφωνο και το ακουστικό. Η αριθμητική τιμή της παραμέτρου ευαισθησίας ποικίλλει ανάλογα με τον κατασκευαστή. Αλληλεπιδρά με την παράμετρο IDR για να προσδιορίσει τον τρόπο που τα ακουστικά δεδομένα αντιστοιχίζονται σε κάποια ηλεκτρική δυναμική περιοχή του λήπτη. Ουσιαστικά, η μείωση της ευαισθησίας του μικροφώνου ρυθμίζει την IDR με προβλέψιμο τρόπο. Έτσι, αν η ευαισθησία του μικροφώνου αυξηθεί πέρα από το προκαθορισμένο επίπεδο η ακουστικότητα για χαμηλού επιπέδου ήχους βελτιώνεται και τα ακουστικά δεδομένα κάτω από το επίπεδο IDR

υποβάλλονται σε άπειρες συμπίεσεις. Από την άλλη, όταν η ευαισθησία του επεξεργαστή ήχου μειώνεται από μια προεπιλεγμένη ρύθμιση σε μια χαμηλότερη ρύθμιση π.χ. κοντά στο μηδέν, το ακουστικό επίπεδο που απαιτείται αυξάνεται. Ως εκ τούτου, η ευαισθησία ρυθμίζει το σήμα εισόδου πριν ανάλυση συχνότητας και η επίδρασή της είναι παρόμοια σε όλο το φάσμα συχνοτήτων του επεξεργαστή (Wolfe & Schafer, 2015).

- Συμπίεση (Compression): Όλα τα σύγχρονα κοχλιακά εμφυτεύματα χρησιμοποιούν συμπίεση για να οδηγήσουν ένα ευρύ φάσμα ακουστικών εισροών στο στενό ηλεκτρικό δυναμικό εύρος του χρήστη. Ουσιαστικά, η συμπίεση (ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό ανάλογα με τον κατασκευαστή) λειτουργεί ως αυτόματος έλεγχος ωφέλειας, προσδιορίζοντας τη ρύθμιση ως λειτουργία της στάθμης εισόδου και των σταθερών του χρόνου που διέπουν την μη ανταπόκριση στη συμπίεση. Οι τρεις εταιρείες κοχλιακών εμφυτευμάτων των ΗΠΑ χρησιμοποιούν ένα χαρακτηριστικό γνωστό ως Αυτόματος Έλεγχος Κέρδους / Ενίσχυσης (Automatic Gain Control, AGC), αλλά ο τρόπος με τον οποίο υλοποιείται αυτή η δυνατότητα διαφέρει μεταξύ των τριών συστημάτων (Khing et al., 2013; Wolfe & Schafer, 2015).
- Κέρδος/Ενίσχυση Καναλιού (Channel Gain): Προσαρμογές στην ενίσχυση του καναλιού ελέγχουν το βαθμό αύξησης του σήματος σε ένα ειδικό κανάλι και ως εκ τούτου, τις ειδικές συχνότητες. Όπως και στις άλλες παραμέτρους το αποτέλεσμα διαφέρει μεταξύ των κατασκευαστών. Σε κοχλιακό εμφύτευμα που χρησιμοποιεί στρατηγικές τύπου CIS, μία αύξηση της ενίσχυσης του καναλιού οδηγεί σε αύξηση της ειδικής συχνότητας για το σήμα εισόδου. Αυτό μπορεί να είναι επιθυμητό όταν αυξηθεί στο επίπεδο ανώτερης διέγερσης, επιφέρει όμως ανεπιθύμητα αποτελέσματα, όπως κακή ποιότητα ήχου, νευρική διέγερση, δυσφορία κ.λπ. (Wolfe & Schafer, 2015)
- Έλεγχος έντασης (Volume Control): Γενικά, η παράμετρος ελέγχου της έντασης είναι αρκετά σαφής. Ρυθμίσεις στην ένταση του ήχου επηρεάζουν την αντίληψη του χρήστη για την ηχηρότητα του σήματος. Έτσι, μια αλλαγή στη ρύθμιση της

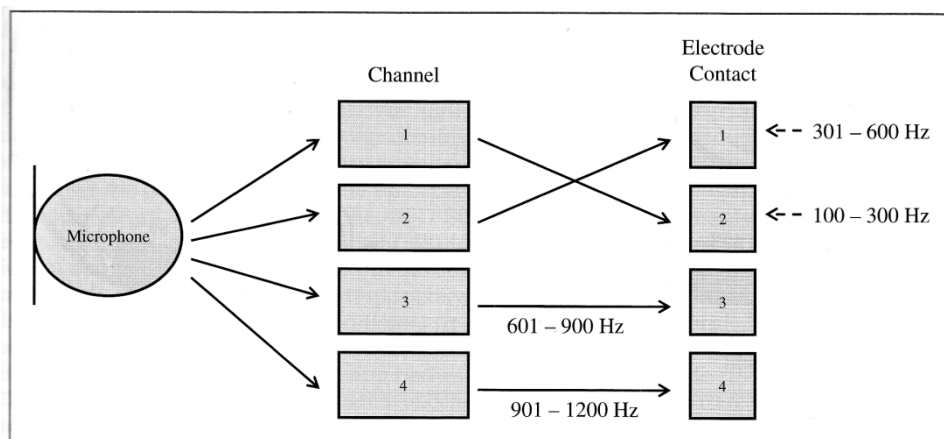
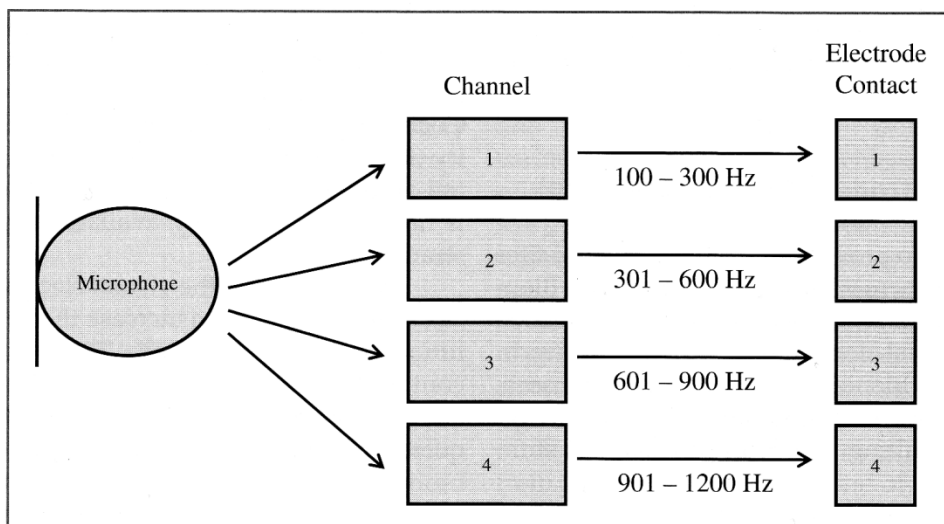
έντασης δημιουργεί αλλαγή στο επίπεδο ανώτερης διέγερσης του λήπτη. Ανάλογα με τις προγραμματισμένες ρυθμίσεις η ρύθμιση της έντασης στην ελάχιστη θέση μπορεί να οδηγήσει σε χαμηλότερο ήχο ή σε ελάχιστη αλλαγή της συνολικής διέγερσης (Wolfe & Schafer, 2015).

### **3.5.2. Κωδικοποίηση σήματος συχνότητας**

#### **Επαφή Ηλεκτροδίου - κανάλι (Electrode contact versus channel)**

Η επαφή του ηλεκτροδίου περιγράφει μια φυσική επαφή στην εσωτερική συστοιχία ηλεκτροδίων όπου η διέγερση μεταφέρεται στο ακουστικό νεύρο. Το ενδοκοχλιακό ηλεκτρόδιο χρησιμοποιείται συνήθως για την διέγερση των ινών του ακουστικού νεύρου. Ο αριθμός των ενδοκοχλιακών επαφών ποικίλλει ανάλογα με τους κατασκευαστές. Οι πληροφορίες συχνότητας στο εισερχόμενο ακουστικό σήμα μεταφέρονται κυρίως από την ενδοκοχλιακή περιοχή διέγερσης (Wolfe & Schafer, 2015; Hochmair et al., 2015).

Οι στρατηγικές κωδικοποίησης των κοχλιακών εμφυτευμάτων συνήθως επωφελούνται από την τονική οργάνωση της τυπικής λειτουργίας του κοχλία μεταφέροντας τους ήχους χαμηλών συχνοτήτων προς τις επαφές του ηλεκτροδίου που βρίσκεται στο κορυφαίο άκρο του κοχλία και της υψηλής συχνότητας ήχους στις επαφές του ηλεκτροδίου που βρίσκεται στη βάση του. Το κανάλι περιγράφει ένα διακριτό φάσμα συχνοτήτων όπου ο ήχος αναλύεται για ενδεχόμενη μετάδοση στο ηλεκτρόδιο επαφής. Τα κανάλια οριοθετούνται από φίλτρα διέλευσης σχετικά απότομα (αν και μερικά επικαλύπτονται μεταξύ γειτονικών καναλιών). Σε πολλές περιπτώσεις, οι επαφές των ηλεκτροδίων είναι παρόμοιες με της διέγερσης ενώ σπάνια διαφέρουν (εικόνα 14) (Wolfe & Schafer, 2015; Hochmair et al., 2015).



**Εικόνα 14.** Αντιστοίχιση διαύλου-ηλεκτροδίου (Wolfe & Schafer, 2015)

**Εικονικά ηλεκτρόδια (κατεύθυνση ρεύματος) (Virtual electrodes / current steering)**

Προκειμένου να δοθεί μεγαλύτερος αριθμός περιοχών διέγερσης στον κοχλία, χρησιμοποιείται μια εναλλακτική προσέγγιση γνωστή ως εικονικά ηλεκτρόδια ή κατεύθυνση ρεύματος. Συγκεκριμένα, όταν δύο γειτονικά ηλεκτρόδια διεγείρονται ταυτόχρονα στον ίδιο βαθμό, το κέντρο της διέγερσης βρίσκεται ανάμεσα σε αυτά τα δύο. Εάν ο βαθμός διέγερσης είναι μεγαλύτερος στο ένα ηλεκτρόδιο, τότε θα προκύψει εστίαση της διέγερσης πιο κοντά σε αυτό το ηλεκτρόδιο. Στόχος του εικονικού ηλεκτροδίου είναι να αυξήσει τις ικανότητες φασματικής ανάλυσης των ληπτών (Dumm et al., 2014; Wolfe & Schafer, 2015).

### **Κατανομή συχνότητας (Frequency Allocation)**

Όπως υποδηλώνει το όνομα η παράμετρος «κατανομή συχνότητας» ελέγχει τον τρόπο με τον οποίο οι συχνότητες μεταφέρονται στα ενεργά κανάλια. Στο σύστημα της Advanced Bionics η κατανομή συχνοτήτων καθορίζεται αυτόματα από το λογισμικό προγραμματισμού. Αν ένα ηλεκτρόδιο είναι απενεργοποιημένο τότε οι συχνότητες επανακατανέμονται σε υπάρχοντα ενεργά ηλεκτρόδια. Στις συσκευές Nucleus η παράμετρος ρύθμισης της κατανομής της συχνότητας επηρεάζει το ανώτερο όριο (ή την υψηλότερη συχνότητα που μεταδίδεται στο βασικό ηλεκτρόδιο). Μία επιπλέον παράμετρος στον προγραμματισμό του Nucleus αναφέρεται ως «συχνότητα επεξεργασίας ορίων» και επιτρέπει στον κλινικό να προσδιορίζει τις ακριβείς διακοπές συχνοτήτων κάθε καναλιού. Στην MED-EL μπορεί να αλλάξει το χαμηλότερο (70-350 Hz) και το υψηλότερο (3500-8500 Hz) επίπεδο συχνότητας σε διάστημα 10-500 Hz, αντίστοιχα (Reiss et al., 2012; Wolfe & Schafer, 2015).

### **3.5.3. Κωδικοποίηση σήματος χρόνου**

#### **Ρυθμός διέγερσης (Stimulation Rate)**

Τα σύγχρονα κοχλιακά εμφυτεύματα μεταφέρουν αλληλουχίες διφασικών ηλεκτρικών παλμών προς τα ενδοκοχλιακά ηλεκτρόδια. Το ποσοστό διέγερσης τυπικά αναφέρεται στον αριθμό των διφασικών παλμών που παραδίδονται σε ξεχωριστό ηλεκτρόδιο μέσα σε 1 δευτερόλεπτο και καθορίζει τους παλμούς ανά δευτερόλεπτο. Το πρώτα πολυκάναλα κοχλιακά εμφυτεύματα είχαν σχετικά αργούς ρυθμούς διέγερση (250 rps ή λιγότερο) αλλά τα σύγχρονα συστήματα επιτρέπουν υψηλότερα ποσοστά διέγερση (μέχρι περίπου 5.000 rps). Εκτός από την κωδικοποίηση χρονικών προτύπων, αλλαγές στο ρυθμό διέγερσης μπορεί να οδηγήσουν σε αλλαγές στον ήχο και την ένταση αντίληψης του χρήστη. Συγκεκριμένα, ταχύτεροι ρυθμοί διέγερσης συχνά οδηγούν σε δυνατότερο σήμα

λόγω της χρονικής άθροισης και υψηλότερη αντίληψη ήχου, ιδιαίτερα ως ποσοστό αύξησης 50-500 Hz (Arora et al., 2009; Wolfe & Schafer, 2015).

Με την παροχή υψηλότερου βαθμού διέγερσης τα εισερχόμενα ακουστικά σήματα αλλάζουν ως προς το εύρος με την πάροδο του χρόνου. Αργές αλλαγές στο εύρος (δηλαδή 2-50 Hz) παρέχονται στον χρήστη με υποδείγματα που χρησιμοποιούνται για κατανόηση της ομιλίας. Αντιστρόφως, ταχείες διακυμάνσεις πλάτους μεταφέρουν πληροφορίες σχετικά με τη λεπτή χρονική δομή του σήματος που είναι απαραίτητη για την κατανόηση της ομιλίας σε θόρυβο, την αναγνώριση μουσικής και την αναγνώριση φωνητικών ήχων (Wolfe & Schafer, 2015). Η διέγερση του ακουστικού νεύρου με ηλεκτρικούς παλμούς οδηγεί σε μία εξαιρετικά σύγχρονη και σύνθετη απάντηση του ακουστικού νεύρου.

### **3.6. Ρύθμιση και προγραμματισμός κοχλιακών εμφυτευμάτων**

Αμέσως μετά την επέμβαση για την τοποθέτηση κοχλιακού εμφυτεύματος ακολουθεί ο **ηλεκτροφυσιολογικός έλεγχος** για τη διαπίστωση της λειτουργικότητας του εμφυτεύματος μέσω της **τηλεμετρίας**, της **μέτρησης της αντίστασης των ηλεκτροδίων** και της **καταγραφής σε πραγματικό χρόνο των ηλεκτροδιακών τάσεων ή του μέσου όρου των ηλεκτροδιακών φορτίων** (Dillier et Lai, 1998). Έτσι, πριν ακόμη βγει ο ασθενής από το χειρουργείο, ο ιατρός γνωρίζει ότι το εμφύτευμα λειτουργεί και ο ασθενής «ακούει» και αποκτώνται πολύτιμες πληροφορίες που θα βοηθήσουν στη μετέπειτα ρύθμιση και προσαρμογή του (Lalwani, 2004; Δανιηλίδης, 2007).

**Μετεγχειρητικά** και περίπου 3-4 εβδομάδες μετά την επέμβαση, έχοντας μεσολαβήσει αρκετός χρόνος για την επούλωση του τραύματος γίνεται, από ιατρό ή τεχνικό ειδικευμένο στον τομέα αυτό, η τοποθέτηση του εξωτερικού συστήματος (επεξεργαστής σήματος, μικρόφωνο, πομπός) του κοχλιακού εμφυτεύματος και ο

πρώτος προγραμματισμός των καναλιών του κοχλιακού εμφυτεύματος. Στόχος είναι να βρεθεί η άριστη ένταση και διαμόρφωση με την οποία πρέπει να διοχετεύονται τα ακουστικά μηνύματα και ο ασθενής να έχει ευχάριστη και φυσιολογική ακοή. Ο λήπτης εκπαιδεύεται στη φροντίδα του κοχλιακού εμφυτεύματος και μαθαίνει να ακούει τους ήχους με τη βοήθεια του εμφυτεύματος ανάλογα με τις ανάγκες του. Κάποιοι λήπτες χρειάζονται περισσότερο χρόνο εξάσκησης και προσαρμογής στο νέο σύστημα υποβοήθησης της ακοής. (Lalwani, 2004; Δαניהλίδης, 2007).

Ο ασθενής οφείλει να υποβάλλεται σε ιατρικό έλεγχο σε τακτά χρονικά διαστήματα για τη ρύθμιση του επεξεργαστή ομιλίας. Περίπου 3 εβδομάδες μετά την εγχείρηση, την ενεργοποίηση και τον προγραμματισμό του κοχλιακού εμφυτεύματος ακολουθούν περιοδικοί έλεγχοι και ρυθμίσεις (χαρτογραφήσεις του κοχλιακού εμφυτεύματος) στις οποίες ελέγχεται η λειτουργικότητα του συστήματος και αξιολογείται η ακουστική αντίληψη των ήχων και της ομιλίας και η διάκριση των επιμέρους στοιχείων με την ομιλητική ακοομετρία. Για δύο περίπου χρόνια μετά την επέμβαση το άτομο υποβάλλεται σε προγραμματισμό των καναλιών της συσκευής ώστε να δέχεται προοδευτικά μεγαλύτερο εύρος ήχων ενώ παράλληλα εκπαιδεύεται να δέχεται, να αναγνωρίζει και να κατηγοριοποιεί τα νέα ερεθίσματα στον εγκέφαλό του (Κυριαφίνης, 2005).

Ο **προγραμματισμός** είναι ιδιαίτερα σημαντικό κομμάτι στην αποκατάσταση και την εξέλιξη του ατόμου με εμφύτευμα και χρειάζεται να γίνεται από εξειδικευμένα άτομα. Επίσης, οφείλει να υπάρχει αμφίδρομη επικοινωνία ανάμεσα στον προγραμματιστή και τον λογοθεραπευτή που ακολουθεί την θεραπεία του ατόμου για να ενημερώνει τον πρώτο σε ποιους ήχους το άτομο αυτό παρουσιάζει πολύ λίγες αντιδράσεις και ο δεύτερος να δέχεται ενημέρωση σχετικά με τη νέα ρύθμιση της συσκευής (Κυριαφίνης, 2005).

Για τον έλεγχο της **σωστής λειτουργίας του εσωτερικού και εξωτερικού τμήματος** του κοχλιακού εμφυτεύματος χρησιμοποιούνται **τεχνικές δοκιμασίες** όπως η τηλεμετρία, η μέτρηση της αντίστασης των ηλεκτροδίων και η καταγραφή σε πραγματικό χρόνο των ηλεκτροδιακών τάσεων και ο μέσος όρος των ηλεκτροδιακών φορτίων και **βιολογικές δοκιμασίες** όπως τα ηλεκτρικώς εκλυόμενα αντανακλαστικά του μυός του αναβολέα, η μέθοδος καταγραφής των ηλεκτρικών ακουστικών προκλητών δυναμικών του εγκεφαλικού στελέχους και τα ηλεκτρικά προκλητά νευρικά δυναμικά (Dillier et Lai, 1998; Lalwani, 2004).

Αναλυτικότερα, η **τηλεμετρία** εφαρμόζεται στην αξιολόγηση των ηλεκτρικών πεδίων που προκαλούνται στον κοχλία αλλά και στην αξιολόγηση της νευρικής ανταπόκρισης. Επιπλέον, χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της υπόθεσης σχετικά με την επίδραση των διαφορετικών τύπων διέγερσης στο ακουστικό σύστημα. Έτσι, κατά τη διάρκεια ή μετά την κοχλιακή εμφύτευση πραγματοποιείται μέτρηση των αντιστάσεων του ηλεκτροδίου με τη χρήση ανάστροφης τηλεμετρίας ώστε οι μετρήσεις των ηλεκτρικών αντιστάσεων να γίνουν με όλους τους συνδυασμούς των ηλεκτροδίων. Κατά την εξέταση ο λήπτης θα πρέπει να είναι ήρεμος και συνεργάσιμος. Στην τηλεμετρία, το ενεργό ηλεκτρόδιο συνδέεται με ηλεκτρόδιο γείωσης και χορηγείται σταθερό, χαμηλής έντασης ηλεκτρικό ρεύμα σε μία ειδική συχνότητα (π.χ. 30, 100 Hz). Από την χορηγούμενη ηλεκτρική τάση, για να διατηρηθεί σταθερό ρεύμα, υπολογίζεται η ηλεκτρική αντίσταση (σύμφωνα με τον Νόμο του Ohm) (Rohr, 2011).

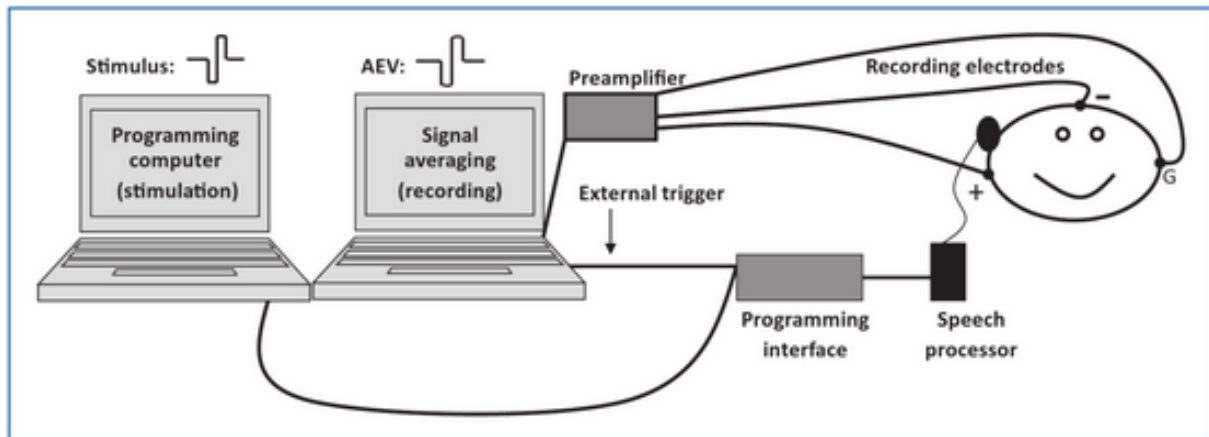
Η **μέτρηση της αντίστασης των ηλεκτροδίων και η καταγραφή σε πραγματικό χρόνο των ηλεκτροδιακών τάσεων (electrode voltage, EV)** πραγματοποιείται με ηλεκτρόδια επιφανείας που τοποθετούνται στο κεφάλι του λήπτη, ώστε να μεγεθύνονται οι τάσεις που παράγονται από την ενεργοποίηση του κοχλιακού εμφυτεύματος. Τα ηλεκτρόδια καταγραφής τοποθετούνται στις μαστοειδείς αποφύσεις, ενώ το ηλεκτρόδιο γείωσης τοποθετείται στο μέτωπο. Συνδέονται με ενισχυτή και το σήμα εξόδου από τον ενισχυτή σε έναν



παλμογράφο. Με σήμα σύζευξης συγχρονίζεται το σήμα του κοχλιακού εμφυτεύματος στον παλμογράφο και ενεργοποιείται το κοχλιακό εμφύτευμα. Έτσι ελέγχεται άμεσα κάθε ηλεκτρόδιο. Η ενεργοποίηση του εμφυτεύματος γίνεται αρχικά με σήμα χαμηλής έντασης το οποίο αυξάνεται σταδιακά. Έτσι, οι κυματομορφές της απάντησης λαμβάνονται με απλό τρόπο αν και παρατηρείται δυσκολία μέτρησης των χαμηλής έντασης σημάτων από τα διπολικά ηλεκτρόδια της κορυφής του κοχλία. Πρόβλημα παρουσιάζεται κατά την εξέταση μικρών παιδιών που δεν συνεργάζονται καθώς οι κινήσεις του ανήσυχου παιδιού παράγουν μυϊκά δυναμικά, που δυσκολεύουν τη μέτρηση των αποκρίσεων (Mens and Mulder, 2002; Hughes, 2013; Wolfe & Schafer, 2015).

Ανάλογος είναι ο έλεγχος του **Μέσου Όρου Ηλεκτροδιακών Φορτίων (Averaged Electrode Voltages, AEV)**. Στην περίπτωση αυτή, εάν το ερέθισμα είναι διφασικό τότε το AEV παρουσιάζεται ως διφασικός παλμός. Το λειτουργικό ηλεκτρόδιο πρέπει να μπορεί να αναπαράγει ένα ηλεκτρικό ερέθισμα (διατηρώντας μέρος των χαρακτηριστικών του) ή να το μετατρέπει με συγκεκριμένες γνωστές παραμέτρους. Στη μέθοδο χρησιμοποιείται ανάλυση του σήματος για βελτίωση της καταγραφής των προϊόντων διέγερσης, και μέτρηση των απαντήσεων σε χαμηλά επίπεδα (10  $\mu$ V). Τα ηλεκτρόδια καταγραφής τοποθετούνται και σε αυτή την περίπτωση στις μαστοειδείς αποφύσεις, το θετικό ενεργό ηλεκτρόδιο στην πλευρά του κοχλιακού εμφυτεύματος και το αρνητικό ηλεκτρόδιο αναφοράς στο κεφάλι ή το μέτωπο. Το ηλεκτρόδιο γείωσης τοποθετείται στην αντίθετη μαστοειδή διασφαλίζοντας τη λήψη απάντησης, κατά την ενεργοποίηση του κοχλιακού εμφυτεύματος. Τα επιφανειακά ηλεκτρόδια καταγραφής χρησιμεύουν για την είσοδο στο σύστημα των ακουστικών προκλητών δυναμικών. Τα AEV προσδίδουν ένα αντικειμενικό μέτρο μέτρησης πολυκαναλικών εμφυτευμάτων. Είναι από κορυφή σε κορυφή τάσεις του κάθε ηλεκτροδίου στην έσω συστοιχία. Οι πληροφορίες που μας δίνουν αυτές οι μετρήσεις μπορούν να εφαρμοσθούν για τον εντοπισμό πιθανού προβλήματος στο εμφύτευμα και είναι ιδιαίτερα χρήσιμες

όταν πρόκειται για μικρά παιδιά που έχουν εμφυτευθεί, τα οποία δυσκολεύονται να παρέχουν σωστές και ακριβείς πληροφορίες. Οι παράμετροι της ανάλυσης πρέπει να επιλέγονται έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η παραμόρφωση του σήματος (εικόνα 15) (Mens and Mulder, 2002; Hughes, 2013; Wolfe & Schafer, 2015).



**Εικόνα 15.** Σχηματική αναπαράσταση των AEVs (Hughes, 2013)

Η συσκευή των προκλητών δυναμικών πυροδοτείται εξωτερικά από το σήμα ελέγχου της συσκευής προγραμματισμού του κοχλιακού εμφυτεύματος και η ανάλυση γίνεται με βάση την ευαισθησία, τη ζώνη συχνοτήτων (1-10.000 Hz), το χρόνο ανάλυσης (10 ms) και την εξωτερική πυροδότηση. Ο απαραίτητος αριθμός αναλύσεων εξαρτάται από την κατάσταση του ασθενή. Αν είναι σε κατάσταση ηρεμίας ή κοιμάται είναι αρκετές 25 αναλύσεις ανά sec ανά ηλεκτρόδιο ενώ στην αντίθετη περίπτωση χρειάζονται περισσότερες (Mens and Mulder, 2002; Hughes, 2013; Wolfe & Schafer, 2015).

Οι AEVs δίνουν χρήσιμες πληροφορίες για την λειτουργία των ηλεκτροδίων. Το σύστημα καταγραφής ενισχύει τα αποτελέσματα, με την αλγεβρική ανάλυση των ηλεκτροδιακών τάσεων. Σε περιπτώσεις που η ένταση είναι πάνω από τον ουδό ανοχής του ασθενή, ρυθμίζεται (Mens and Mulder, 2002; Hughes, 2013; Wolfe & Schafer, 2015).

Για την μέτρηση των AEVs είναι προτιμότερη η χρήση διπολικής διέγερσης μεγάλου εύρους αν και μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι τρόποι διέγερσης. Συνιστάται η χρήση του ηλεκτροδίου βάσης ή του εξωκοχλιακού ηλεκτροδίου, ως ουδέτερου ηλεκτροδίου. Έτσι, το εύρος των AEV αυξάνει αναλογικά με το εύρος της διέγερσης και το εύρος των AEVs από τα κορυφαία ηλεκτρόδια είναι μεγαλύτερο με αυτόν το τρόπο διέγερσης (Mens and Mulder, 2002; Hughes, 2013; Wolfe & Schafer, 2015).

Επειδή ο **προγραμματισμός** του κοχλιακού εμφυτεύματος είναι δύσκολο να εφαρμοστεί, ιδιαίτερα στα παιδιά μικρής ηλικίας, αναπτύχθηκαν και εξελίχθηκαν αντικειμενικές (βιολογικές) μέθοδοι προγραμματισμού όπως: τα ηλεκτρικώς εκλυόμενα αντανακλαστικά του μυός του αναβολέα (Electrical stapedius Reflex, **ESR**), η μέθοδος καταγραφής των ηλεκτρικών ακουστικών προκλητών δυναμικών του εγκεφαλικού στελέχους (Electrical Auditory Brainstem Response, **EABR**) και τα ηλεκτρικά προκλητά νευρικά δυναμικά (Electrically Evoked Compound Action Potentials, **ECAP**) που χρησιμοποιούν προγράμματα όπως το **NRT** (neural response telemetry) και συμβάλλουν στον προσδιορισμό του ουδού ακοής και του μέγιστου ανεκτού επιπέδου έντασης (Lalwani, 2004; Polak et al., 2006).

Αναλυτικότερα, τα ηλεκτρικώς εκλυόμενα αντανακλαστικά του μυός του αναβολέα (Electrical stapedius Reflex, **ESR**) είναι μία αντικειμενική μέτρηση που συμβάλει στην επιβεβαίωση του επιπέδου της ακουστικής ικανότητας των ασθενών με κοχλιακό εμφύτευμα. Στην περίπτωση αυτή, το αντανακλαστικό που παράγεται είναι χρήσιμο για την ηλεκτρική εξέταση, αν και απουσιάζει σε ποσοστό 25% των ασθενών με κοχλιακό εμφύτευμα. Χρησιμοποιείται διεγχειρητικά για την οπτική επαλήθευση της λειτουργίας του εμφυτεύματος, αλλά και μετεγχειρητικά για την εκτίμηση των επιπέδων ανοχής και τη ρύθμιση του επεξεργαστή ομιλίας (Κυριαφίνης, 2005; Polak et al., 2006).

Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής: μέσω ηλεκτροδιακής βελόνης και μετά από ηλεκτρική διέγερση ακρωτηρίου ή μέσω των ηλεκτροδίων του κοχλιακού εμφυτεύματος, εκλύεται το ESR. Τα ηλεκτρικά ερεθίσματα χορηγούνται από το διεγέρτη του ακρωτηρίου ή τον ενεργοποιημένο επεξεργαστή ομιλίας του κοχλιακού εμφυτεύματος. Το σήμα είναι μία ηλεκτρική ώση 250-1.000 ms με ειδικό ρυθμό. Η γέφυρα ηλεκτροακουστικής αντίστασης συνδέεται με τον ασθενή κατά τον ίδιο τρόπο που χρησιμοποιείται για τη λήψη του ακουστικού αντανακλαστικού. Είναι προτιμότερη η εξέταση του ετερόπλευρου αυτιού από την εξέταση του σύστοιχου. Η σύνδεση της γέφυρας ακουστικής αντίστασης με ηλεκτρονικό υπολογιστή επιτρέπει την παρατήρηση και την ανάλυση των απαντήσεων του αντανακλαστικού. Ο χρόνος εξέτασης είναι μικρός όταν ο ασθενής είναι συνεργάσιμος ή όταν κοιμάται. Η απουσία απάντησης του αντανακλαστικού πρέπει να ερμηνεύεται με προσοχή. Οι μετρήσεις συμβάλλουν στην πρόβλεψη της δυναμικής σειράς του ηλεκτρικού ρεύματος που απαιτείται για κάθε ηλεκτρόδιο. Το επίπεδο σάρωσης του ESR ανταποκρίνεται καλώς με το επιθυμητό επίπεδο ακουστότητας του ασθενή. Όσο διευρύνεται ο τρόπος διέγερσης, τα επίπεδα ουδού και ανοχής αυξάνουν (Κυριαφίνης, 2005; Polak et al., 2006).

Άλλη βιολογική διαδικασία είναι τα **Ηλεκτρικά Προκλητά Νευρικά Δυναμικά** (Electrically Evoked Compound Action Potentials, **ECAP**) που χρησιμοποιούν το πρόγραμμα NRT (Neural Response Telemetry). Η διέγερση του ακουστικού νεύρου οδηγεί σε πλήθος μετρήσιμων δυνατοτήτων που κυμαίνονται από δυνατότητες πρόωρης υποδοχής έως φλοιώδεις απαντήσεις. Τα ECAP είναι μία τεχνική που αναπτύχθηκε για τον προγραμματισμό των κοχλιακών εμφυτευμάτων. Είναι σύντομη, μη επεμβατική, αντικειμενική μέθοδος ελέγχου λειτουργίας του ακουστικού νεύρου. Χρησιμοποιεί την ίδια συστοιχία ηλεκτροδίων που χρησιμοποιείται για τη διέγερση του νεύρου. Εκτός από την εξωκοχλιακή διέγερση, που επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση σφαιρικού ηλεκτροδίου, μπορούν να

καταγραφούν και με ενδοκοχλιακή διέγερση από το ηλεκτρόδιο του κοχλιακού εμφυτεύματος (Alvarez et al., 2010). Μπορεί να χρησιμοποιηθεί διεγχειρητικά ή μετεγχειρητικά ώστε να διαπιστωθεί η απάντηση των απολήξεων του ακουστικού νεύρου στην ηλεκτρική διέγερση από το εμφύτευμα, καθώς και το εύρος της, άρα και ο ουδός της. Έτσι, επαληθεύεται η καλή λειτουργία του συστήματος και συμβάλλει στην προσαρμογή και την ρύθμιση του κοχλιακού εμφυτεύματος, κυρίως στα μικρά παιδιά που δεν συνεργάζονται. Μπορεί να πραγματοποιηθεί οποιαδήποτε στιγμή, χωρίς την ανάγκη πρόσθετου εξοπλισμού. Ως προς τη διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής: ένα από τα ηλεκτρόδια-επαφές του εμφυτεύματος δίνει παλμό, σε μορφή διφασικών ηλεκτρικών ώσεων, στις νευρικές απολήξεις του ακουστικού νεύρου που εφάπτονται σ' αυτό. Ένα άλλο γειτονικό ηλεκτρόδιο καταγράφει την απάντηση, το σύνθετο νευρικό δυναμικό του ακουστικού νεύρου, στην ηλεκτρική διέγερση. Αυτή η διαδικασία μπορεί να επαναληφθεί για κάθε ηλεκτρόδιο, δηλαδή σε 22 περιοχές, με συνολικό χρόνο λιγότερο από 5 λεπτά (Wolfe & Schafer, 2015).

### **3.7. Στρατηγικές κωδικοποίησης / επεξεργασίας του ήχου**

Στον τομέα των κοχλιακών εμφυτευμάτων, η ακουστική διαδικασία συνίσταται στη δημιουργία της πιο αποτελεσματικής δομής για τη μετατροπή του ήχου σε ηλεκτρικά σήματα που μπορούν να γίνουν αντιληπτά από τον εγκέφαλο. Οι στρατηγικές και οι αλγόριθμοι για τους ήχους μέσω των κοχλιακών εμφυτευμάτων αποτελούσαν και αποτελούν σημαντική πρόκληση (Hochmair et al., 2015)

Η **στρατηγική κωδικοποίησης** του σήματος περιγράφει τον **αλγόριθμο** που χρησιμοποιείται για να μετατρέψει τα χαρακτηριστικά του εισερχόμενου ακουστικού σήματος (εύρος, συχνότητα και χρονική αλληλουχία) σε ηλεκτρικό

κώδικα που επιχειρεί να μεταδώσει αυτά τα χαρακτηριστικά με ουσιαστικό τρόπο στο ακουστικό νεύρο. Ειδικότερα, η μετατροπή της κινητικής ενέργειας σε ηλεκτροβιολογική δηλαδή η μεταφορά των φασματικών πληροφοριών του λεκτικού σήματος και η κωδικοποίηση των στοιχείων της διάρκειας και της έντασης της ομιλίας, γίνεται μέσω ειδικών προγραμμάτων (software), τις στρατηγικές κωδικοποίησης. Κάθε μία από αυτές βασίζεται σε διαφορετική αντίληψη της φυσιολογίας του κοχλίου, δηλαδή άλλες αποκωδικοποιούν τα σήματα **τονοτοπικά**, άλλες **χωροχρονικά** και άλλες με **μικτό τρόπο**. Η ύπαρξη πολλών στρατηγικών επεξεργασίας του ήχου οφείλεται στις διαφορετικές απαιτήσεις του κάθε λήπτη και στην ικανότητα επεξεργασίας των σημάτων από το κεντρικό ακουστικό σύστημα. Επειδή καμία στρατηγική δεν έχει την ίδια απόδοση σε όλους τους ασθενείς, σήμερα προσφέρεται πάνω από μία, για το ίδιο εμφύτευμα, ώστε κατά την ρύθμιση να επιλεγεί αυτή με την καλύτερη απόδοση για τον κάθε λήπτη.

Οι μέχρι σήμερα στρατηγικές κωδικοποίησης είχαν τη δυνατότητα αναπαράστασης ενός μόνο μέρους του ηχητικού φάσματος, του «φακέλου», ενώ το υπόλοιπο, η «λεπτομερής δομή», ήταν προβληματική λόγω των τεχνολογικών περιορισμών. Ο φάκελος είναι το «περίγραμμα» της έντασης ενός ηχητικού σήματος, το σημαντικό στην κατανόηση της ομιλίας ενώ η λεπτομερής δομή περιλαμβάνει τις μικρολεπτομέρειες ενός ηχητικού σήματος και βελτιώνει την υφή (τόνο) και την ποιότητα του ήχου (MED-EL, 2015; Hochmair et al., 2015).

Η εξέλιξη των εμφυτευμάτων, με στόχο την ακρίβεια αναπαράστασης του ηχητικού φάσματος, επιτρέπει στους χρήστες καλύτερα αποτελέσματα κατανόησης της ομιλίας σε χώρους με χαμηλά επίπεδα θορύβου (Helms, 2001). Ωστόσο σε περιπτώσεις πιο σύνθετων ήχων αυτό δεν είναι αρκετό. Χωρίς πληροφορίες για τη λεπτομερή δομή του ήχου, που προσδίδει σε κάθε ήχο τη δική του ξεχωριστή ποιότητα (π.χ. μουσικός τόνος), οι χρήστες κοχλιακών εμφυτευμάτων συχνά αναφέρουν δυσκολίες στην ακρόαση της μουσικής και την κατανόηση της ομιλίας σε θορυβώδη περιβάλλοντα (Nopp and Polak, 2010). Η

εφαρμογή ειδικής τεχνολογίας για εξειδικευμένες καταστάσεις, όπως η κατευθυντική ακρόαση, η ακρόαση της μουσικής ή η ενίσχυση ήχων χαμηλής έντασης, αποδείχθηκε ανεπαρκής ή ακατάλληλη. Επιπλέον, γλώσσες που χρησιμοποιούν σε μεγάλο βαθμό αλλαγές στους ηχητικούς τόνους, γνωστές ως «τονικές γλώσσες», όπως τα κινέζικα, δημιουργούσαν ιδιαίτερες δυσκολίες στους χρήστες κοχλιακών εμφυτευμάτων (MED-EL, 2015).

Μελέτες δείχνουν ότι η λεπτομερής δομή αποτελεί το βασικό μεταφορέα πληροφοριών για την ακρόαση μουσικής και τον εντοπισμό του ήχου. Στόχος είναι οι χρήστες να απολαμβάνουν τα οφέλη μιας εξελιγμένης στρατηγικής κωδικοποίησης του ήχου, που να αναπαριστά και τα δύο μέρη του ηχητικού φάσματος (Smith et al., 2002).

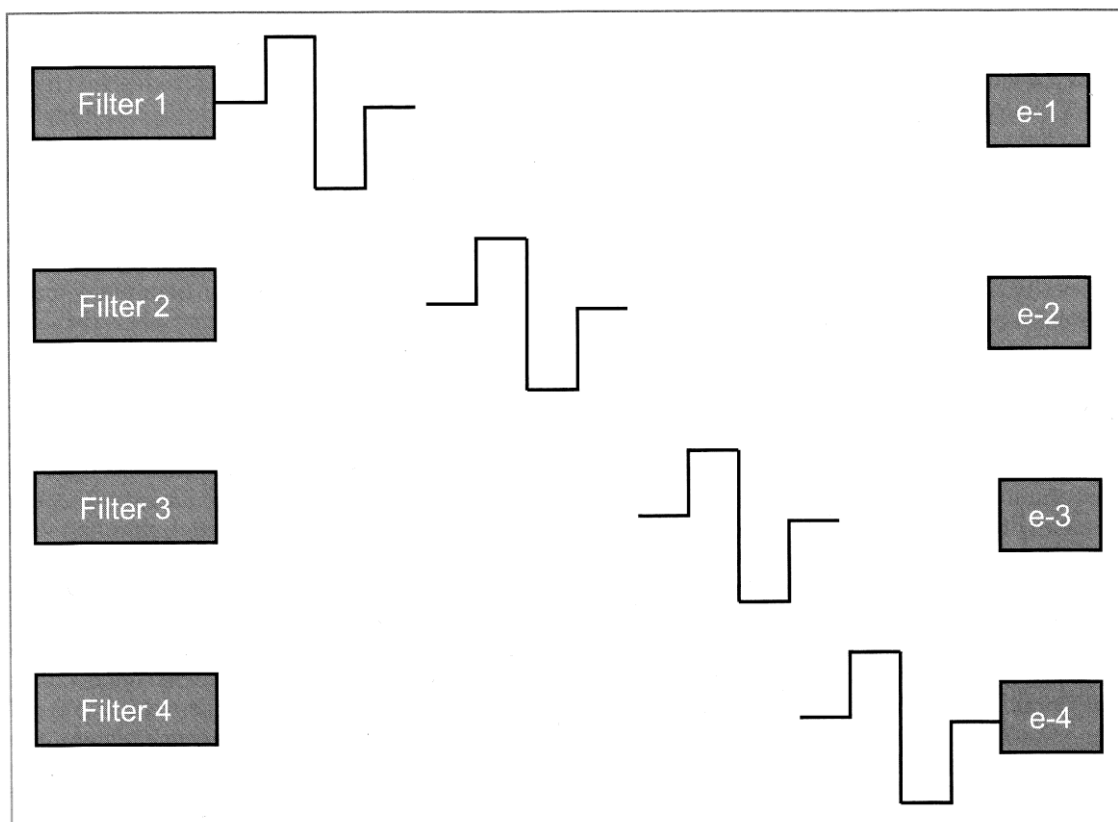
Οι πιο διαδεδομένες στρατηγικές κωδικοποίησης είναι η **CIS** (continuous interleaved sampling), η **SPEAK** (spectral peak), η **ACE** (advanced combined encoder) και η **SAS** (simultaneous analog strategy) (Κυριαφίνης, 2005; Wolfe & Schafer, 2015).

### **3.7.1. Continuous Interleaved Sampling (CIS) Συνεχής Παρεμβαλλόμενη Δειγματοληψία.**

Η ανάπτυξη της στρατηγικής CIS από τον Wilson και τους συνεργάτες του στις αρχές της δεκαετίας του 1990 αποτέλεσε σημαντική εξέλιξη. Αν και ήταν ιδιαίτερα απλή σε σχέση με προηγούμενες και σύγχρονες στρατηγικές, η CIS παρείχε εντυπωσιακές βελτιώσεις στην αντίληψη του λόγου με τα κοχλιακά εμφυτεύματα (Hochmair et al., 2015).

Η στρατηγική επεξεργασίας σήματος CIS είναι διαθέσιμη και για τους τρεις κύριους κατασκευαστές κοχλιακών εμφυτευμάτων (Cochlear, MED-EL, Advanced Bionics) και θεωρείται ως ο πρόδρομος των περισσότερων στρατηγικών κωδικοποίησης σήματος. Σχεδιάστηκε για να διατηρεί τις λεπτές χρονικές λεπτομέρειες του λεκτικού σήματος με τη χρήση παλμικών ερεθισμάτων μεγάλου ρυθμού (έως

18.180 το δευτερόλεπτο) (εικόνα 16) (Κυριαφίνης, 2005; Wolfe & Schafer, 2015). Στην περίπτωση της CIS το ακουστικό σήμα στέλνεται μέσω μίας συστοιχίας καναλιών ορισμένης συχνότητας σε διακριτές ζώνες συχνότητες. Έτσι ελέγχεται αποτελεσματικά η αλληλεπίδραση των καναλιών που διεγείρονται ακολουθιακά. Θα μπορούσε να περιγραφεί η συγκεκριμένη στρατηγική ως κύματα εξισορροπημένων διφασικών παλμών που φτάνουν σε κάθε ηλεκτρόδιο με χρονικές μετατοπίσεις (offset) εξαλείφοντας τυχόν αλληλοεπικάλυψη μεταξύ των καναλιών (Wolfe & Schafer, 2015).



**Εικόνα 16:** Στρατηγική κωδικοποίησης σήματος CIS (Wolfe & Schafer, 2015)

Για παράδειγμα η ομιλία φιλτράρεται σε 8-12 επιμέρους ζώνες συχνοτήτων, επιλέγονται οι αιχμές της ομιλίας και μετά συμπιέζεται το σήμα για κάθε κανάλι. Σε κάθε κύκλο διέγερσης, μια σειρά ψηφιακών παλμών διεγείρει ταχύτατα διαδοχικά ζεύγη ηλεκτροδίων. Η τονοτοπική οργάνωση που δημιουργήθηκε με το φιλτράρισμα διατηρείται καθ' όλη την επεξεργασία του σήματος και τελικά



αντιστοιχίζεται στο ακουστικό σύστημα μέσω των ηλεκτροδίων που βρίσκονται σε διαφορετικές θέσεις του κοχλίου (π.χ. χαμηλής συχνότητας φίλτρο απόδοσης αντιστοιχίζεται σε ηλεκτρόδιο που είναι τοποθετημένο στο άνω άκρο του κοχλίου, ενώ υψηλής συχνότητας φίλτρο απόδοσης σε ηλεκτρόδιο που βρίσκεται στη βάση του κοχλίου). Η συχνότητα των φίλτρων που χρησιμοποιούνται στην CIS ποικίλλει στους τρεις κύριους κατασκευαστές (Cochlear Corporation, MED-EL, Advanced Bionics) (Wolfe & Schafer, 2015).

Στην CIS το επίπεδο των παλμών θα πρέπει ιδανικά να είναι 4-5 φορές υψηλότερο από το αποτέλεσμα των φίλτρων χαμηλής εισόδου για την αποφυγή σφαλμάτων. Η συχνότητα αποκοπής των φίλτρων χαμηλής διέλευσης είναι 200-400 Hz. Η συχνότητα αποκοπής των 400 Hz περιλαμβάνει τη συχνότητα στην οποία το νεύρο μπορεί να κωδικοποιήσει αλλαγές στο επίπεδο ηλεκτρικών παλμών (ανάμεσα σε αυτές και της ανθρώπινης φωνής που είναι 125 Hz και για άνδρες και έως 400 Hz για μικρά παιδιά) (Wolfe & Schafer, 2015). Το αποτέλεσμα των φίλτρων χαμηλής διέλευσης προωθείται σε ένα μετατροπέα που, με τη χρήση λογαριθμικών συναρτήσεων, προσδιορίζει το σήμα εισόδου και μετατρέπει το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές σήμα. Εν συνεχεία, το αποτέλεσμα του μετασχηματιστή στέλνεται στη γεννήτρια παλμών που είναι ρυθμισμένη σε σταθερή συχνότητα (συνήθως 800-1600 rps που εφαρμόζονται σε 8-16 κανάλια). Οι παλμοί από τη γεννήτρια ρυθμίζονται με βάση τα δεδομένα εισόδου από το συμπιεστή (Wolfe & Schafer, 2015).

Η **Advanced Bionics** προσφέρει μία παραλλαγή της CIS γνωστή ως Multiple Pulsatile Sampler (MPS) που παρέχει μερικώς ταυτόχρονη προσομοίωση καθώς δύο ηλεκτρόδια που είναι τοποθετημένα σε απόσταση μεταξύ τους, διεγείρονται ταυτόχρονα (π.χ. το ηλεκτρόδιο 1 και 5, ύστερα το 2 και 6). Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει διπλασιασμό του ρυθμού διέγερσης που θεωρητικά βελτιώνει την παροχή λεπτότερων και μεγαλύτερης ακρίβειας ήχων. Η **MED-EL** προσφέρει

επιπρόσθετες παραλλαγές της CIS γνωστές ως CIS+ και High Definition CIS (HDCIS) (Wolfe & Schafer, 2015).

### **3.7.2. HiResolution (HiRes) Sound Processing**

Η HiRes επεξεργασία του ήχου αναπτύχθηκε από την Advanced Bionics το 2003 και αποτελεί μία παραλλαγή της CIS. Οι βασικές διαφορές τους περιλαμβάνουν: (1) παροχή των 16 ενεργών ηλεκτροδίων στην HiRes αντί για την τυπική των 8 στην CIS, (2) σημαντικά υψηλότερα ανώτατα ποσοστά διέγερση (μέχρι 5.156 rps), (3) υψηλότερη διακοπή συχνοτήτων για τα φίλτρα διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων (2800 Hz) και (4) πιο εκλεπτυσμένο αυτόματο έλεγχο κέρδους/ενίσχυσης (Automatic Gain Control, AGC). Η HiRes είναι η πρώτη διαθέσιμη στρατηγική επεξεργασίας ήχου που διοχετεύει συστηματικά ρεύμα στα ηλεκτρόδια για να αυξήσει τον αριθμό των περιοχών διέγερσης και να αποδώσει την αντίστοιχη «λεπτή υφή» των ήχων. Θεωρητικά, ο συνδυασμός των υψηλότερων ποσοστών διέγερσης και το φίλτρο διακοπής βελτιώνει την παροχή λεπτής χρονικής δομής. Ένα πρόσθετο πλεονέκτημα μπορεί να είναι η διευκόλυνση του «στόχου» στο ακουστικό νεύρο. Η Advanced Bionics κυκλοφόρησε πρόσφατα μια νέα έκδοση του HiRes γνωστή ως HiRes Fidelity 120 που ενσωματώνει καθοδήγηση του ρεύματος επιχειρώντας να αυξήσει τον αριθμό των καναλιών αντίληψης, δημιουργώντας περισσότερα από 120 εικονικά κανάλια. Τα αποτελέσματα δείχνουν καλύτερη αναγνώριση ομιλίας, ποιότητα ήχου και μουσικής αντίληψης (Κυριαφίνης, 2005; Advanced Bionics, 2009; Wolfe & Schafer, 2015).

### **3.7.3. n-of-m**

Ο κοινός παρονομαστής των στρατηγικών CIS είναι ότι όλες οι ενεργές επαφές ηλεκτροδίων διεγείρονται ταυτόχρονα σε σειρά ή τμηματικά για κάθε κύκλο διέγερσης. Η στρατηγική κωδικοποίησης σήματος n-of-m χρησιμοποιεί μια διαφορετική προσέγγιση. Βασικός στόχος είναι να μειωθεί ο αριθμός των διεγέρσεων ανά κύκλο, αγνοώντας τις λιγότερο σημαντικές φασματικές

συνιστώσες και ενδυναμώνοντας τις πιο κυρίαρχη ζώνες συχνοτήτων. Για ένα δεδομένο εισερχόμενο ήχο, η ακουστική ενέργεια που εμφανίζεται σε κάθε  $m$  κανάλι προσδιορίζεται και διεγείρεται μόνο το  $n$  κανάλι με υψηλότερο εύρος εισόδου. Το  $n$  κυμαίνεται τυπικά από 8-12 και ως εκ τούτου, ένα πρόγραμμα με 22 κανάλια και  $n=10$  θα οδηγήσει σε αλληλουχία διφασικών παλμών για τα 10 κανάλια με υψηλότερο πλάτος ενώ τα υπόλοιπα 12 κανάλια δεν διεγείρονται κατά τη διάρκεια του συγκεκριμένου κύκλου. Οι στρατηγικές  $n$ -of- $m$  σχεδιάστηκαν να συλλαμβάνουν τα προεξέχοντα συστατικά που υπάρχουν σε ένα σήμα ομιλίας και να απορρίπτουν τις χαμηλού πλάτους διακυμάνσεις. Η μείωση του αριθμού των ενεργών ηλεκτροδίων κατά τη διάρκεια κάθε κύκλου επιτρέπει ταχύτερους ρυθμούς διέγερσης, μείωση της αλληλεπίδρασης και συγκάλυψης καναλιών και αύξηση της διάρκειας ζωής της μπαταρίας. Οι περιορισμοί της συγκεκριμένης στρατηγικής προσέγγισης έγκεινται στο γεγονός ότι οι επιθυμητές πληροφορίες σε κάποια κανάλια μπορεί να μην διαθέτουν το απαραίτητο εύρος για να επιλεγούν. Έτσι ο χρήστης δεν θα έχει πρόσβαση στη συγκεκριμένη ακουστική πληροφορία. Μελέτες της Cochlear Corporation σε χρήστες καταδεικνύουν ότι θεωρούν τη στρατηγική  $n$ -of- $m$  ίσης ή ανώτερης αποτελεσματικότητας από την CIS (Wolfe & Schafer, 2015).

Παρόμοια με την  $n$ -of- $m$  στρατηγική είναι η **Advanced Peak Selection (APS)** με μέγιστο αριθμό καναλιών επεξεργασίας 24 ενώ ο αριθμός των καναλιών διέγερσης είναι τυπικά 6-8 ανάλογα με τη διανομή ενέργειας του εισερχόμενου ήχου και τα διαθέσιμα ηλεκτρόδια. Η στρατηγική APS αυξάνει το επίπεδο της διέγερση για βελτιωμένη ακουστική αναπαράσταση. Έτσι διαχωρίζει, για παράδειγμα, τη συχνότητα μεταξύ 100-8000Hz σε 128 γραμμικές συχνότητες και στη συνέχεια τις συνθέτει σε 24 με βάση τον χάρτη Greenwood (Zeng et al., 2015).

### 3.7.4. Spectral Peak (SPEAK)

Η SPEAK, μία από τις πρώτες διαθέσιμες τεχνικές κωδικοποίησης, είναι χαμηλής ταχύτητας και χρησιμοποιεί την προσέγγιση n-to-m όπου το ακουστικό σήμα φιλτράρεται σε κανάλια ορισμένης συχνότητας (bandpass) «m» και τα σήματα υψηλότερων αιχμών «n» επιλέγονται για κάθε κύκλο διέγερσης. Το εισερχόμενο λεκτικό σήμα φιλτράρεται σε 20 ζώνες συχνοτήτων, από 200-10.000 Hz. Κάθε ζώνη αντιστοιχεί σε ένα ηλεκτρόδιο. Σε κάθε κύκλο διέγερσης, διεγείρονται 6-10 ηλεκτρόδια (κατά μέσο όρο) με ρυθμό από 180-300 παλμούς το δευτερόλεπτο. Το σήμα εξόδου από κάθε φίλτρο αναλύεται και τα κανάλια με την ψηλότερη διαμόρφωση, που περιέχουν τις πληροφορίες της ομιλίας, ερεθίζουν τις απολήξεις του ακουστικού νεύρου. Ο ρυθμός ερεθισμού αντιστοιχεί στην περίοδο της χαμηλότερης συχνότητας της ομιλίας (F0). Εν συνεχεία αναγνωρίζεται η ισχυρότερη συχνότητα της ομιλίας μεταξύ 280-1000 Hz (F1) και ερεθίζεται το κατάλληλο ηλεκτρόδιο. Κατόπιν, αναγνωρίζεται η συχνότητα 800-4000 Hz (F2) ερεθίζοντας το κατάλληλο ηλεκτρόδιο. Αυτό συμβαίνει και για δύο επιπλέον φίλτρα των 2000-2800 Hz και 2800-4000 Hz, καθώς και για τις συχνότητες πάνω από 4000 Hz (Κυριαφίνης, 2005; Wolfe & Schafer, 2015).

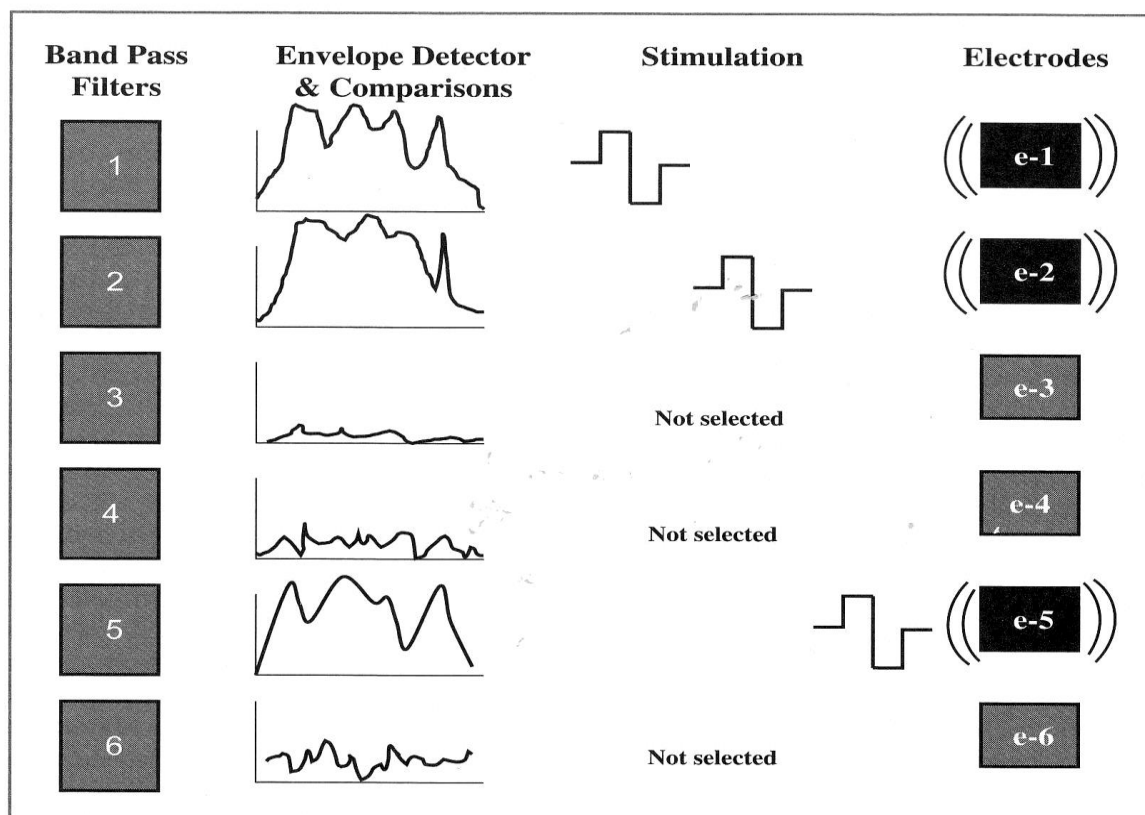
Πρακτικά, η στρατηγική SPEAK εφαρμόζεται με τη διπολική σύζευξη ηλεκτροδίων σε προηγούμενη γενιά Nucleus 22 και είτε στη μονοπολική ή στη διπολική σύζευξη στο Nucleus 24 και σε μεταγενέστερα εμφυτεύματα. Είναι διαθέσιμος μέγιστος αριθμός 20 ενεργών καναλιών και τυπικά ρυθμίζεται στα 8 (Wolfe & Schafer, 2015).

### 3.7.5. Advanced Combination Encoder (ACE)

Η στρατηγική ACE ανήκει στη γενικότερη κατηγορία των στρατηγικών n-to-m σύμφωνα με την οποία επιλέγονται n φάκελοι από τους συνολικά m ( $n < m$ ) φακέλους για διέγερση (m τυπικά ρυθμίζεται στον αριθμό των διαθέσιμων ηλεκτροδίων). Στοχεύει στην παροχή λεπτομερούς χρονικής δομής στο χρήστη.

Είναι παρόμοια με την SPEAK καθώς χρησιμοποιεί ένα ταχύτερο ρυθμό διέγερσης, αλλά ενσωματώνει υψηλότερα επίπεδα διέγερσης. Είναι η προεπιλεγμένη στρατηγική κωδικοποίησης σήματος που χρησιμοποιείται από την Cochlear Ltd στο Nucleus (Wolfe & Schafer, 2015).

Η πρώτη έκδοση της ACE επέτρεπε συνολικό ρυθμό διέγερση 14400 rps. Επομένως ο ρυθμός διέγερσης ανά κανάλι εξαρτάται από τον μέγιστο αριθμό που επιλέγεται. Στην ACE διατηρείται το όφελος της SPEAK με τις αιχμές του ήχου σε 22 κανάλια, αλλά με τους υψηλότερους ρυθμούς διέγερσης της CIS που φτάνουν τους 14.400 παλμούς το δευτερόλεπτο. Πρακτικά η ACE χρησιμοποιεί σύζευξη μονοπολικού ηλεκτροδίου. Είναι η πιο διαδεδομένη στρατηγική σήμερα και χρησιμοποιείται από τα κοχλιακά εμφυτεύματα της Cochlear (Κυριαφίνης, 2005; Wolfe & Schafer, 2015). Στην τρέχουσα έκδοση η ACE εφαρμόζεται με δεδομένο ρυθμό διέγερσης 900 rps και 8 μέγιστα (Wolfe & Schafer, 2015).



**Εικόνα 17:** Στρατηγική κωδικοποίησης σήματος n-of-m, SPEAK, ACE (Wolfe & Schafer, 2015)

Στην στρατηγική ACE ορίζεται ο ουδός ακοής (T level) καθώς και ο ουδός δυσφορίας (C level) για κάθε ηλεκτρόδιο και ρυθμίζονται οι παράμετροι που επηρεάζουν τη διαμόρφωση του σήματος, το φιλτράρισμά του, τον τρόπο και την μορφή του τελικού ερεθίσματος. Ο κάθε νέος προγραμματισμός αξιολογείται από την επίδοση του ασθενή σε ό,τι αφορά την ακουστική αντίληψη των ήχων και της ομιλίας και τη διάκριση των επιμέρους στοιχείων της φώνησης, βάσει ενός πρωτοκόλλου που έχουμε δημιουργήσει για τις ανάγκες της ελληνικής γλώσσας (εικόνα 17) (Κυριαφίνης, 2005).

Μελέτες έδειξαν ότι οι περισσότεροι λήπτες λειτουργούν καλύτερα με την ACE παρά με την SPEAK (Kiefer et al., 2001; Skinner et al., 2002). Η ACE επιτρέπει καλύτερη λειτουργία λόγω της παροχής υψηλότερων ρυθμών διέγερσης. Έτσι, ένας μεγάλος αριθμός ληπτών του Nucleus χρησιμοποιούν ACE. Οι κλινικοί ιατροί μπορεί να προτιμούν την υιοθέτηση της SPEAK εάν ο λήπτης νοιώθει ανεπιθύμητες ενέργειες με τη μονοπολική διέγερση (π.χ. διέγερση του οπτικού νεύρου) και ενδείκνυται η διπολική ή ψευδομονοπολική διέγερση (Wolfe & Schafer, 2015).

Η εταιρεία Cochlear παρέχει ποικιλία ACE γνωστά ως ACE(RE) ή HighACE. Η ACE(RE) λειτουργεί όπως και η ACE αλλά ο μέγιστος συνολικός ρυθμό διέγερσης είναι 32000pps αντί για 14400pps. Τα πλεονεκτήματα της ACE(RE) είναι αμελητέα ενώ σε κλινικές δοκιμές φάνηκε ότι οι περισσότεροι προτιμούν και λειτουργούν καλύτερα με προγράμματα που χρησιμοποιούν ρυθμούς ίσους ή μικρότερους των 900pps (Arora et al., 2009; Wolfe & Schafer, 2015).

### **3.7.6. Fine Structure Processing (FSP)**

Η MED-EL προσφέρει μία πρωτότυπη, τύπου CIS, στρατηγική κωδικοποίησης σήματος την FSP, που έχει δύο σημαντικές διαφορές από την CIS. Αρχικά δημιουργούνται ενδιάμεσες κορυφές που παρέχουν καλύτερη φασματική ανάλυση, απαραίτητη για την αναγνώριση φωνημάτων υψηλής συχνότητας συμπεριλαμβανομένων και κάποιων συμφώνων. Επιπλέον, η συχνότητα διέγερσης παρουσιάζει, σε χαμηλής συχνότητας κανάλια, προσαρμοσμένες αλλαγές προκειμένου να είναι παρόμοια με τη συχνότητα του σήματος εισόδου στα κανάλια χαμηλής συχνότητας (Hochmair et al., 2006; Vermeire et al., 2010; Wolfe & Schafer, 2015).

### **3.7.7. Simultaneous Analog Strategy (SAS)**

Η SAS διεγείρει τις συνδέσεις των ηλεκτροδίων με συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα (και όχι με διφασικούς παλμούς) που είναι ανάλογο με το ακουστικά δεδομένα σε κάθε κανάλι. Το μικρόφωνο μετατρέπει το ακουστικό σήμα σε ηλεκτρικό και, όπως οι περισσότερες στρατηγικές κωδικοποίησης σήματος, το σήμα υποβάλλεται στην πλευρά των ζωνοπερατών φίλτρων. Τα φίλτρα διαχωρίζουν τα σύνθετα ηλεκτρικά σήματα σε σχετικά περιορισμένης συχνότητας. Η ηλεκτρική ισχύς από κάθε κανάλι υπόκειται σε συμπίεση με βάση αλγόριθμο και στην συνέχεια το συμπιεσμένο σήμα από κάθε κανάλι αποστέλλεται σε ειδικό ηλεκτρόδιο (Wolfe & Schafer, 2015). Η SAS φιλτράρει και συμπιέζει την ομιλία σε 8 επιμέρους ζώνες συχνοτήτων που διεγείρουν τονοτοπικά τα ηλεκτρόδια στα οποία αντιστοιχούν, ταυτόχρονα και διαρκώς. Έτσι δεν είναι ανάγκη να διαχωριστούν οι ήχοι από την ομιλία. Η ένταση μεταφράζεται σε ισχυρότερο ερέθισμα και/ή μεγαλύτερο ρυθμό διέγερσης (Κυριαφίνης, 2005; Wolfe & Schafer, 2015).

### **3.7.8. Virtual Channel (Symphony)**

Η στρατηγική Symphony συνδυάζει το νοητό κανάλι με την APS για μεγαλύτερη βελτίωση της φασματικής δομής όπου ταυτόχρονη διέγερση των δύο ηλεκτροδίων χρησιμοποιείται για να δημιουργήσει ενδιάμεση αντίληψη του τόνου μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων (Zeng et al., 2015).

### **3.7.9. Adaptive dynamic range optimization (ADRO)**

Η ADRO εισήχθη το 2002 και είναι μια προεπεξεργασμένη στρατηγική που ρυθμίζει συνεχώς το κέρδος σε κάθε κανάλι προκειμένου να ρυθμιστεί το σήμα με τον καλύτερο τρόπο στο δυναμικό εύρος ώστε να βελτιωθεί η ακουστικότητα στους χαμηλούς ήχους, να διατηρηθεί η άνεση στους υψηλούς και να βελτιστοποιηθεί το εύρος της ομιλίας στους χρήστες. Πρόκειται για μία στρατηγική ενίσχυσης που χρησιμοποιεί ψηφιακές τεχνικές επεξεργασίας σήματος για τη βελτίωση της ακουστικότητας, την άνεση, και την ευκρίνεια των ήχων για ανθρώπους που χρησιμοποιούν κοχλιακά εμφυτεύματα ή / και ακουστικά βαρηκοΐας. Η στρατηγική, με στατιστική ανάλυση, συλλέγει πλούσιο πληροφοριακό υλικό του δυναμικού εύρους στα κανάλια πολλαπλής συχνότητας. Το αποτέλεσμα ελέγχεται με τους κανόνες της fuzzy logic σε κάθε κανάλι ώστε ο επιλεγμένος τομέας του δυναμικού εύρους να παρουσιάζεται σε ένα ηχητικό και άνετο επίπεδο. Έτσι, η επεξεργασία ADRO βελτιστοποιεί προσαρμοστικά τη δυναμική περιοχή του σήματος στα κανάλια πολλαπλής συχνότητας. Κλινικές μελέτες δείχνουν ότι η ADRO επιτρέπει την βελτίωση της αναγνώρισης σε χαμηλούς ήχους αλλά τα οφέλη της ως προς την αναγνώριση της ομιλίας σε θόρυβο είναι ανάμικτα. Μπορεί επίσης να τοποθετηθεί εύκολα σε όλους τους βαθμούς ακουστικής απώλειας για τα ακουστικά βαρηκοΐας και τα κοχλιακά εμφυτεύματα με άμεσο τρόπο και με βάση τις προτιμήσεις του χρήστη. Το αποτέλεσμα είναι υψηλή αποδοχή από νέους και έμπειρους χρήστες σε σύγκριση με εναλλακτικές στρατηγικές ενίσχυσης. Η ADRO είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για διπολική και υβριδική διέγερση που συνδυάζει



ηλεκτρικές και ακουστικές διεγέρσεις σε αντίθετα αυτιά ή στο ίδιο αυτί (Blamey, 2005; Wolfe & Schafer, 2015).

### **3.7.10. FineHearing**

Η τεχνολογία κωδικοποίησης ήχου FineHearing παρέχει πρόσβαση σε 250 φασματικές ζώνες (τόνους). Χάρη στη δυνατότητα ακρόασης ολόκληρου του φάσματος του ήχου, οι χρήστες των προϊόντων μπορούν να αντιλαμβάνονται τις λεπτές, ανεπαίσθητες διαφορές μεταξύ των ήχων. Η τεχνολογία FineHearing είναι ειδικά σχεδιασμένη να αναπαριστά περισσότερους τόνους από οποιαδήποτε άλλη τεχνολογία κοχλιακών εμφυτευμάτων. Η δυνατότητα πρόσβασης σε 250 φασματικές ζώνες ζωντανεύει τις λεπτομέρειες του ήχου για τους χρήστες των κοχλιακών εμφυτευμάτων.

Η FineHearing διαχωρίζει τον ήχο σε δύο διαφορετικά μέρη: το φάκελο και την λεπτή δομή. Γενικά, ο φάκελος περιέχει πληροφορίες που μπορούν να βοηθήσουν τους αποδέκτες να κατανοήσουν την ομιλία, ενώ η λεπτή δομή βοηθά στην εκτίμηση της μουσικής και άλλων λεπτομερειών των ήχων. Ο ήχος, όπως η ανθρώπινη ομιλία, είναι ο φάκελος. Οι στρατηγικές κωδικοποίησης του ήχου αναπαράγουν το φάκελο στέλνοντας σταθερή ροή ηλεκτρικών παλμών στον κοχλία. Διαφορετικοί ήχοι δημιουργούνται από ποικίλης έντασης παλμούς και διέγερση του κοχλία. Συνήθως δεν αναπαράγονται πιο σύνθετοι ήχοι όπως μουσική και χαμηλής συχνότητας ήχοι με ακρίβεια. Στο σημείο αυτό εντάσσεται η λεπτή δομή που προσθέτει ακρίβεια και έλεγχο. Όπως και ο φάκελος, οι πληροφορίες της λεπτής δομής στέλνονται στον κοχλία ως παλμοί. Ωστόσο, οι λεπτές δομές δεν είναι συνεπείς: μερικές φορές είναι γρήγοροι και μερικές αργοί. Μεταβάλλοντας την ταχύτητα των παλμών, η στρατηγική μπορεί να ταιριάζει με την ταχύτητα της συχνότητας του ήχου που αναπαράγεται. Αυτό επιτρέπει στους ήχους χαμηλής συχνότητας να ακουστούν με πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια και να δώσουν πλουσιότερη και πληρέστερη ακρόαση. Οι πληροφορίες για τη λεπτή δομή

είναι ιδανικές για την αναπαραγωγή πολύπλοκων ήχων μουσικής: σε μελέτη 46 χρηστών κοχλιακών εμφυτευμάτων το 93% δήλωσε ότι η στρατηγική FineHearing είναι καλύτερη από άλλες στρατηγικές κωδικοποίησης ήχου (π.χ. CIS) για την ακρόαση μουσικής. Επιπλέον, ενισχύει την αντίληψη να συμβάλει στη βελτίωση της κατανόησης των τονικών γλωσσών, όπως τα κινέζικα, καθώς επίσης την κατανόηση των φωνηέντων και των μονοσύλλαβων λέξεων σε όλες τις γλώσσες (Müller et al., 2012).

### **3.8. Συστήματα κοχλιακών εμφυτευμάτων**

Η αγορά των κοχλιακών εμφυτευμάτων στην Ελλάδα ελέγχεται από τρεις εταιρείες: την Cochlear Corporation στην Αυστραλία, την MED-EL στην Αυστρία και την Advanced Bionics LLC στις ΗΠΑ με την Cochlear Corporation να αποτελεί τον κυρίαρχο παίκτη (Zeng et al., 2015). Οι εν λόγω εταιρείες διαφέρουν μεταξύ τους, κυρίως στις στρατηγικές κωδικοποίησης των ακουστικών σημάτων, στα εσωτερικά ηλεκτρονικά κυκλώματα – συστήματα, στο είδος του άξονα των ηλεκτροδίων και στον αριθμό των επιμέρους ηλεκτροδίων.

#### **3.8.1. Advanced Bionics**

Η **Advanced Bionics** διαθέτει το πολυκάναλο σύστημα HiResolution® (HiRes®) 90K Bionic Ear στο οποίο μπορούν να εφαρμοστούν οι στρατηγικές επεξεργασίας CIS, MPS, SAS, HiRes-P και HiRes-S, με επιλογή στον μονοπολικό ή διπολικό ερεθισμό των ηλεκτροδίων και ταυτόχρονη αναλογική διέγερση ή όχι, εξομοίωση. Το HiRes 90K υποστηρίζει μια σειρά αντικειμενικών μετρήσεων όπως τα ηλεκτρικά προκλητά αντανακλαστικά ουδού του αναβολέα (Electrically Evoked stapedius Reflex Threshold) και τον έλεγχο απόκρισης του ακουστικού νεύρου με τηλεμετρία (Neural Response imaging). Το συγκεκριμένο εμφύτευμα έχει δεκαεξακάναλη διάταξη ηλεκτροδίων Hi Focus®. Το ηλεκτρόδιο είναι προδιαμορφωμένο στο

σχήμα του κοχλίου και ο μηχανισμός του εμφυτεύματος είναι κλεισμένος σε μια πολύ ανθεκτική θήκη τιτανίου που καλύπτεται από ένα περίβλημα σιλικόνης, με αφαιρούμενο μαγνήτη, δίνοντας τη δυνατότητα πραγματοποίησης ιατρικών εξετάσεων (εικόνα 18) (Advanced Bionics, 2009).



**Εικόνα 18:** Harmony της Advanced Bionics (HiResolution™ Bionic Ear).

Η πιο πρόσφατη σειρά προϊόντων της Advanced Bionics είναι η **Harmony** που χρησιμοποιεί την πιο προηγμένη τεχνολογία και προσφέρει καθαρότερη υψηλής πιστότητας ήχο στα περιβάλλοντα της καθημερινής ζωής. Συνδυάζουν την εδραιωμένη ισχύ του εμφυτεύματος HiRes 90K, τον αισθητικά ελκυστικό σχεδιασμό του οπισθωτιαίου επεξεργαστή Harmony, καθώς και δύο στρατηγικές επεξεργασίας ήχου HiResolution: την HiRes® και την HiRes Fidelity 120™. Το εμφύτευμα HiRes 90K χειρίζεται 90.000 παλμούς πληροφορίας κάθε δευτερόλεπτο, που φθάνουν από την εξωτερική μονάδα (επεξεργαστή) και μεταδίδει πληροφορίες με ταχύτητα 83.000 παλμών το δευτερόλεπτο. Χάρη στον τρόπο συλλογής (συλλέγει 120 ζώνες ηχητικού φάσματος), σύνθεσης, ανάλυσης (επεξεργασία AutoSound™) και μετάδοσης του ήχου (Μικρόφωνο T-Mic® που τοποθετείται κατά φυσικό τρόπο στην είσοδο του ακουστικού πόρου για υψηλά εστιασμένη ακρόαση, με ταυτόχρονη ασύρματη σύνδεση με κινητά τηλέφωνα,

MP3player και άλλες συσκευές επικοινωνίας και ψυχαγωγίας) στο ακουστικό νεύρο δίνει απaráμιλλη πιστότητα απόδοσης ήχου και τονικών υψών αυτού, ώστε ο ενήλικος ή το παιδί να μπορεί να ακούει όλες τις χρωματικές λεπτομέρειες του ήχου. Προσαρμόζεται αυτόματα στο ηχητικό περιβάλλον, όπως ένα υγιές αυτί, δηλαδή δεν χρειάζεται να ψάχνει διαρκώς ο χρήστης τα κουμπιά και να ρυθμίζει την ένταση σε περιβάλλον με μεταβαλλόμενο ήχο. Έτσι, οι χρήστες απολαμβάνουν άριστη ακουστική άνεση και λεπτομέρεια, δυνατή ακοή ακόμη και σε περιβάλλον με θόρυβο, και πρόσβαση στις μουσικές απολαύσεις. (Spahr et al., 2007; Haumann et al., 2008; Advanced Bionics, 2009).

### **3.8.2. Cochlear Ltd.**

Το **Nucleus 6** είναι το τελευταίο επίτευγμα της **Cochlear** που έλαβε, τον Αύγουστο του 2013, έγκριση από τον Αμερικανικό Οργανισμό Τροφίμων και Φαρμάκων (FDA) να διατεθεί εμπορικά για χρήση σε ενήλικες και παιδιά.

Είναι ένα πολυκάναλο κοχλιακό εμφύτευμα με 22 κανάλια (CI 22M) και διατίθεται σε δύο διαφορετικά μοντέλα, το Nucleus CP910 και Nucleus CP920. Η βασική διαφορά των μοντέλων έγκειται στο γεγονός ότι το δεύτερο έχει θύρα άμεσης ακουστικής εισόδου και έτσι ο χρήστης μπορεί να συνδέσει MP3 ή κινητό τηλέφωνο. Όμως και οι δύο επεξεργαστές ήχου είναι συμβατοί με τις ασύρματες ακουστικές συσκευές της Cochlear. Τα υπόλοιπα ηλεκτρονικά χαρακτηριστικά είναι ίδια.

Διαθέτει ένα προδιαμορφωμένο ηλεκτρόδιο με ελαστική μνήμη και ειδικό στυλεό (AOS-stylet) που μετά την αφαίρεσή του το ηλεκτρόδιο παίρνει το σχήμα του κοχλίου και τοποθετείται πλησιέστερα προς τον άξονα αυτού, όπου βρίσκονται οι αποφυάδες των νευρικών κυττάρων του κοχλιακού νεύρου. Ο μηχανισμός σε συνδυασμό με το ρύγχος του ηλεκτροδίου βοηθά στην προστασία των λεπτών εσωτερικών δομών του κοχλίου κατά τη διάρκεια της χειρουργικής επέμβασης αλλά και μετά. Ο μικροεπεξεργαστής των εμφυτευμάτων Nucleus τοποθετείται σε

μια ανθεκτική θήκη τιτανίου που καλύπτεται από περίβλημα σιλικόνης για μεγαλύτερη αντοχή και αντίσταση στα σπασίματα. Επιπλέον, υπάρχει μαγνήτης για την σύζευξη της εξωτερικής κεραίας που μπορεί να αφαιρεθεί ώστε να γίνει μαγνητική τομογραφία εγκεφάλου (εικόνα 19. 20) (Wolfe & Schafer, 2015; Cochlear Ltd, 2016).



**Εικόνα 19:** Κοχλιακό εμφύτευμα Nucleus CP910, CP920 (Cochlear Ltd, 2015)



**Εικόνα 20:** Εσωτερικού κοχλιακού εμφυτεύματος Nucleus (Cochlear Ltd, 2015)

Οι μέχρι τώρα διαθέσιμες στρατηγικές επεξεργασίας (SPEAK, η CIS, ACE) με επιλογή για μονοπολικό ή διπολικό ερεθισμό των ηλεκτροδίων εμπλουτίζονται με την ανάπτυξη της **ADRO** (αρχικά για τον επεξεργαστή ομιλίας SPrint™) με αποτέλεσμα την καλύτερη διάκριση των ψιθύρων. Σημαντικό χαρακτηριστικό των εμφυτευμάτων της Cochlear είναι η δυνατότητα επικοινωνίας τους με υπολογιστή για την επαλήθευση της σωστής θέσης και λειτουργίας του ηλεκτροδίου (Wolfe & Schafer, 2015; Cochlear Ltd, 2016).

Ειδικότερα, ο Αυτόματος έλεγχος ευαισθησίας (Automatic Sensitivity Control, ASC), ο ψηφιακός αλγόριθμος **ADRO** και το Whisper είναι τεχνολογίες SmartSound IQ που συνδυάζονται για να εξασφαλιστεί ότι τα σήματα είναι άνετα και όχι πολύ έντονα. Ο **ASC** είναι ένας αργός συμπίεστής που σχεδιάστηκε για να μετατρέπει αυτόματα τον ήχο σε θορυβώδες περιβάλλον, και εισήχθη για πρώτη φορά στο μίνι επεξεργαστή ήχου το 1989. Αυτό εξασφαλίζει ότι οι ήχοι παρουσιάζονται πάντα σε ένα άνετο και ικανό για ακρόαση επίπεδο σε κάθε μια από τις συχνότητες του κοχλιακού εμφυτεύματος. Το ADRO παρέχει σημαντική κατανόηση της ομιλίας, βελτιώσεις και καλή ποιότητα ήχου στους χρήστες (Patrick et al., 2006; Muller-Deile et al., 2008). Το **Whisper** είναι ένα ταχύ κύκλωμα συμπίεσης που δίνει στους λήπτες αυξημένη πρόσβαση σε μαλακούς ή απόμακρους ήχους με την ενίσχυση του σήματος κατά 10 dB (McDermott et al, 2002).

Η νέα γενιά της τεχνολογίας SmartSound ονομάζεται SmartSoundiQ (SSiQ) συνδυάζεται με το SCAN. Το σύστημα επιτρέπει πολλές αυτόματες τεχνολογίες ήχου και ασύρματες δυνατότητες. Συγκεκριμένα, το νέο πρόγραμμα «**SCAN**», που ανέπτυξε η Cochlear λειτουργεί ως «αυτόματο κιβώτιο ταχυτήτων» για τον επεξεργαστή. Πραγματοποιεί ακουστικό έλεγχο του περιβάλλοντος σε κάθε κανάλι συχνότητας, υπολογίζει το ρυθμό από το σήμα έως τον ήχο σε κάθε κανάλι, επιλέγει εάν ο ήχος είναι μέτριος ή υψηλός και μετριάζει τα κανάλια που παρουσιάζουν θόρυβο. Υπάρχουν προγράμματα για «ησυχία», «ομιλία», «ομιλία σε θόρυβο», «αέρα», «μουσική» και «συγκέντρωση» που χρησιμοποιεί την τεχνολογία zoom στο μικρόφωνο για να βοηθήσει την ακρόαση ενός συγκεκριμένου ομιλητή σε θορυβώδες περιβάλλον. Να υπογραμμιστεί ότι ο θόρυβος που προέρχεται από τον άνεμο αποτελεί μόνιμο παράπονο για τους χρήστες κοχλιακών εμφυτευμάτων. Στην περίπτωση του SmartSoundiQ όταν ανιχνεύεται ο θόρυβος η κατεύθυνση του μικροφώνου προσαρμόζεται. Το SCAN αναλύει συνεχώς τους ήχους του περιβάλλοντος και επιλέγει ποιο πρόγραμμα είναι το πιο κατάλληλο (Hersbach et al., 2012; Mauger et al., 2012; Wolfe & Schafer, 2015).

Το 2016 εστιάζοντας στην διακριτικότητα, την απλότητα και στο μέγεθος ενός επεξεργαστή θα λανσάρει το νέο της επεξεργαστή που φέρει τεχνολογία ίδια με αυτή του N6, ο οποίος όμως θα φέρει σε ένα ενιαίο σώμα το πηνίο, καλώδιο και το κυρίως σώμα του επεξεργαστή.

Τέλος, η Cochlear διαθέτει το σύστημα Nucleus® Freedom™ με το Smart Sound™, έναν οπισθωτιαίο επεξεργαστή ομιλίας που αλλάζοντας τη θήκη των μπαταριών μπορεί να γίνει και σωματικού τύπου, με περισσότερη ενέργεια – αυτονομία, ενδείξεις και χειρισμούς (Cochlear Ltd, 2016).

Όσον αφορά την νέα τεχνολογία στο εσωτερικό τμήμα του κοχλιακού δηλαδή το εμφύτευμα η εταιρεία έχοντας ως στόχο την κατασκευή ηλεκτροδίων για καλύτερα αποτελέσματα, θα λανσάρει ηλεκτρόδιο πιο λεπτό για όσο το δυνατόν λιγότερη τραυματική είσοδο στον κοχλία, το οποίο θα τοποθετείται με νέα τεχνική που σκοπό έχει την καλύτερη τοποθέτηση μέσα στον κοχλία όσο το δυνατόν πιο κοντά στον κεντρικό άξονά του.

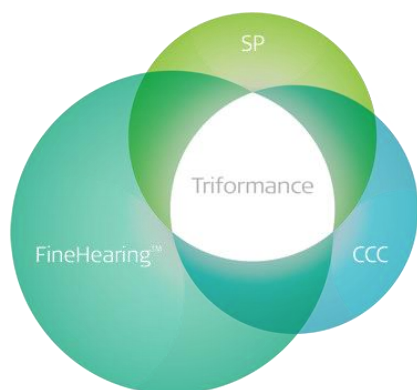
### **3.8.3. Medical Electronics (Med-EL)**

Η **Medical Electronic (MED-EL)** εισήγαγε στην αγορά το 2014, το εμφύτευμα **SYNCHRONY** που προσφέρει ασφάλεια κατά τη διεξαγωγή μαγνητικής τομογραφίας υψηλής ανάλυσης 3,0 Tesla. Ο μαγνήτης του εμφυτεύματος περιστρέφεται ελεύθερα και ευθυγραμμίζεται αυτόματα εντός του περιβλήματός του, επομένως δεν επηρεάζεται από το μαγνητικό πεδίο της απεικόνισης μαγνητικής τομογραφίας. Επίσης, το εμφύτευμα SYNCHRONY είναι ιδιαίτερα μικρό, λεπτό και ελαφρύ και είναι κατασκευασμένο από ανθεκτικό τιτάνιο. Διαθέτει προαιρετικές μικροσκοπικές (1,4 mm) ακίδες τιτανίου σχεδιασμένες για να ασφαλίζουν το εμφύτευμα στη θέση του. Το ηλεκτρόδιο του κοχλιακού εμφυτεύματος διαθέτει μαλακή και εύκαμπτη συστοιχία ηλεκτροδίων για τη διατήρηση των ευαίσθητων κοχλιακών δομών και προστασία της υπολειμματικής ακοής (εικόνα 21) (MED-EL, 2015).



**Εικόνα 21:** Κοχλιακό εμφύτευμα SYNCHRONY της MED-EL

Οι επεξεργαστές ήχου της MED-EL υποστηρίζονται από την τεχνολογία **Triformance** που αποτελεί τον συνδυασμό των μοναδικών στρατηγικών κωδικοποίησης ήχου της MED-EL: της Διατήρησης Δομής, της Πλήρους Κοχλιακής Κάλυψης και της τεχνολογίας FineHearing (εικόνα 22). Οι στρατηγικές αυτές συνεργάζονται με στόχο την καλύτερη δυνατή ακουστική αντίληψη των τόνων του ήχου σε όλο το φάσμα συχνοτήτων (MED-EL, 2015).



**Εικόνα 22:** Τεχνολογία Triformance της MED-EL (<http://www.medel.com/gr/cochlear-implants>)

Η διασφάλιση της ακεραιότητας των ακουστικών δομών (Structure Preservation, SP) του κοχλία είναι κρίσιμης σημασίας γιατί επιτρέπει στους χρήστες να επωφεληθούν από μελλοντικές θεραπείες και τεχνολογίες. Οι εν λόγω θεραπείες



και λύσεις θα έχουν μεγαλύτερη επιτυχία εάν διασφαλιστεί η ακεραιότητα των νευρικών δομών του κοχλίου. Επιπλέον, πολλά άτομα με βαρηκοΐα ενδέχεται να μπορούν ακόμη να ακούν ορισμένους ήχους στις χαμηλές συχνότητες (υπολειμματική ακοή). Η διατήρηση των ακουστικών δομών κατά τη διάρκεια της κοχλιακής εμφύτευσης είναι ζωτικής σημασίας διότι επιτρέπει στους λήπτες να χρησιμοποιήσουν τη φυσική υπολειμματική ακοή τους. Η δυνατότητα χρήσης της φυσικής αυτής ακοής, σε συνδυασμό με το κοχλιακό εμφύτευμα, εξασφαλίζει στον χρήστη την καλύτερη δυνατή ακουστική εμπειρία. Συνεπώς, η **διατήρηση της ακεραιότητας των ακουστικών δομών** κατά τη διάρκεια της κοχλιακής εμφύτευσης είναι απαραίτητη για την εξασφάλιση βέλτιστης ακουστικής απόδοσης στο παρόν αλλά και για το μέλλον (MED-EL, 2015).

Η Πλήρης Κοχλιακή Κάλυψη (Complete Cochlear Coverage, **CCC**) είναι η διέγερση του μέγιστου εύρους νευρικών ινών στον κοχλίο. Η εκτεταμένη αυτή διέγερση επιτυγχάνεται με την εισαγωγή μιας εύκαμπτης συστοιχίας ηλεκτροδίων μεγάλου μήκους που καλύπτει ολόκληρο τον κοχλίο, από τη βάση έως την κορυφή του. Οι συστοιχίες ηλεκτροδίων μικρού μήκους επιτρέπουν τη διέγερση σε περιορισμένες μόνο περιοχές του κοχλίου, χωρίς να καλύπτουν τις νευρικές ίνες στην κορυφή του. Τα εύκαμπτα ηλεκτρόδια μεγάλου μήκους της MED-EL διεγείρουν όλο το εύρος των νευρικών ινών. Το πλήρες αυτό εύρος διέγερσης είναι σημαντικό για την απόλαυση ολόκληρου του φάσματος του ήχου (MED-EL, 2015).

### **3.9. Αποκατάσταση**

Αν και ένα κοχλιακό εμφύτευμα μπορεί να προκαλέσει αύξηση της προσληφθείσας ακουστικής πληροφορίας, εν τούτοις για να επιτευχθούν τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα, μετά την εμφύτευση, είναι απαραίτητο να ακολουθηθεί η κατάλληλη εκπαίδευση και επιμόρφωση. Η αποκατάσταση περιλαμβάνει

επαγγελματίες εξοικειωμένους με τα κοχλιακά εμφυτεύματα ενώ οι προσπάθειες αποκατάστασης θα πρέπει να καλύπτουν τις εξατομικευμένες ανάγκες του κάθε λήπτη και να αναπτύσσονται πρωτόκολλα που αντανακλούν αποτελεσματικές θεραπείες ποικίλων τύπων για άτομα που έχουν δεχτεί το εμφύτευμα (Γκέλης, 2005).

Η κοχλιακή εμφύτευση απαιτεί ένα πολυσύνθετο επιτελείο αποτελούμενο από γιατρούς, ακοολόγους, λογοθεραπευτές, ψυχολόγους, ειδικούς εκπαιδευτές εξειδικευμένους με την κώφωση και τα κοχλιακά εμφυτεύματα. Αυτοί οι επαγγελματίες πρέπει να συνεργάζονται για να υποστηρίξουν την ακουστική και ομιλητική ανάπτυξη. Αν και τα αποτελέσματα του τρόπου επικοινωνίας μετά την κοχλιακή εμφύτευση δεν έχουν επιτυχώς τεκμηριωθεί, είναι προφανές ότι τα εκπαιδευτικά προγράμματα πρέπει να περιλαμβάνουν ακοολογικές και ομιλητικές οδηγίες χρησιμοποιώντας την ακουστική πληροφορία που παρέχεται από το εμφύτευμα (Γκέλης, 2005).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΟΦΕΛΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΚΟΧΛΙΑΚΩΝ ΕΜΦΥΤΕΥΜΑΤΩΝ

Η κοχλιακή εμφύτευση έχει βαθύ αντίκτυπο στην αντίληψη της ακοής και του λόγου σε μεταγλωσσικά κωφά άτομα. Τα ενήλικα άτομα με μεταγλωσσική κώφωση έχουν εξαιρετική αντίληψη του λόγου εάν η τοποθέτηση γίνει έγκαιρα, τα πρώτα χρόνια μετά την κώφωση. Τα περισσότερα άτομα επιδεικνύουν σημαντικά ενισχυμένη ικανότητα επικοινωνίας με χειλοανάγνωση, πράγμα που συμβάλλει στην ποικιλότητα των αποτελεσμάτων. Λίγο μετά την εμφύτευση, η ακουστική απόδοση μπορεί να είναι συγκρίσιμη με αυτήν των ατόμων με ακουστικά βαρηκοΐας όμως με την πάροδο του χρόνου βελτιώνεται και μπορεί να συγκριθεί με αυτή των παιδιών που με πολύ επιτυχία είναι χρήστες ακουστικού βαρηκοΐας. Χρησιμοποιώντας δοκιμασίες που συνήθως εφαρμόζονται σε παιδιά και ενήλικους με διαταραχή της ακοής, η αντιληπτική ικανότητα αυξάνει κάθε έτος μετά την εμφύτευση. Οι ενήλικες με κοχλιακό εμφύτευμα διαπιστώνουν άμεσα ότι μπορούν να επικοινωνούν αποτελεσματικότερα με τους γύρω τους (American Academy of Otolaryngology, 2015). Έτσι, τα **μέγιστα οφέλη** παρατηρούνται στους κωφούς μεταγλωσσικούς ενήλικες. Η κοχλιακή εμφύτευση στους προγλωσσικούς κωφούς ενήλικους παρέχει πιο περιορισμένη βελτίωση στην αντίληψη της ομιλίας, αλλά σημαντική επαγρύπνηση για τους περιβαλλοντικούς ήχους. Πολλοί είναι ικανοί να αντιλαμβάνονται απαλούς, μέσους και δυνατούς διαφορετικούς ήχους όπως το κουδούνισμα του τηλεφώνου, το δυνατό χτύπημα της πόρτας, το γάβγισμα των σκύλων, το θρόισμα των φύλων και άλλα. Επιπλέον, ένας αρκετά σημαντικός αριθμός ατόμων με κοχλιακό εμφύτευμα μπορούν να παρακολουθούν με ευκολία τηλεόραση, ειδικά όταν είναι σε θέση να βλέπουν το πρόσωπο του ατόμου. Άλλα οφέλη έγκεινται στην μουσική ακρόαση καθώς είναι σε θέση να απολαμβάνουν τους ήχους κάποιων μουσικών οργάνων όπως η κιθάρα ή το πιάνο (Γκέλης, 2005; Bittencourt et al., 2012).

Γενικά, οι παράγοντες που καθορίζουν το ποσοστό ωφέλειας από τη χρήση κοχλιακού εμφυτεύματος είναι το διάστημα κώφωσης και η σοβαρότητά της, ο

αριθμός των υγιών ινών του ακουστικού νεύρου, η κατάσταση του κοχλία (εσωτερικό αυτί), άλλες ιατρικές συνθήκες καθώς και το κίνητρο του χρήστη να μάθει να ακούει (Cochlear Limited, 2011; American Academy of Otolaryngology, 2015).

Μολονότι τα κοχλιακά εμφυτεύματα δεν συμβάλλουν στην αποκατάσταση της φυσιολογικής ακοής και τα οφέλη ποικίλλουν από άτομο σε άτομο, οι περισσότεροι χρήστες θεωρούν ότι τους βοηθούν να επικοινωνούν αποτελεσματικότερα ενώ το 90% των ενηλίκων με κοχλιακό εμφύτευμα αντιλαμβάνονται τον λόγο χωρίς τη χρήση οπτικών ενδείξεων (American Academy of Otolaryngology, 2015).

Τα αποτελέσματα των κοχλιακών εμφυτεύσεων είναι ιδιαίτερα εμφανή στα παιδιά, όπου προκαλείται βαθμιαία, σταθερή βελτίωση στην αντίληψη του λόγου και παραγωγή ομιλίας. Τα **παιδιά** που δέχθηκαν ακουστικό εμφύτευμα σε μικρότερες ηλικίες είναι κατά μέσον όρο πιο ακριβή στην παραγωγή συμφώνων, φωνηέντων, τονισμού και ρυθμού. Η ομιλία τους είναι ακριβέστερη σε σύγκριση με αυτή των παιδιών με συγκρίσιμες ακουστικές απώλειες και χρησιμοποιούν ακουστικά βαρηκοΐας (Γκέλης, 2005; Marschark et al., 2007). Η επιτυχία του κοχλιακού εμφυτεύματος βελτιώνει στο παιδί τις επικοινωνιακές και κοινωνικές του δεξιότητες, την καθημερινότητά του, την αντιληπτική και εκφραστική γλώσσα, την ικανότητά του να χειρίζεται τη φωνή και την ομιλία του (Dyar & Nikolopoulos, 2003).

Ένα έτος μετά την εμφύτευση, η ικανότητα του λόγου είναι διπλάσια από αυτήν που αναφέρεται τυπικά, ότι διαθέτουν παιδιά με σοβαρή ακουστική διαταραχή και συνεχίζουν να βελτιώνονται. Η εκπαίδευση οδηγεί σε ουσιαστικά μεγαλύτερη κατανόηση του λόγου. Βέβαια, η ανάπτυξη του προφορικού λόγου σε κωφά παιδιά, περιλαμβανομένων και εκείνων με κοχλιακά εμφυτεύματα παραμένει μια αργή διαδικασία (Γκέλης, 2005). Παρόλα αυτά, σύμφωνα με τον Dammeyer (2009)

τα οφέλη του κοχλιακού για τα κωφά παιδιά συνίσταται στην ανάπτυξη της επικοινωνίας τους. Τα αποτελέσματα της έρευνάς του έδειξαν ότι το κοχλιακό εμφύτευμα βελτίωσε την προσοχή, τη συναισθηματική απόκριση των παιδιών και την αλληλεπίδραση με τους ενήλικες. Γενικότερα, βελτιώθηκε η επικοινωνία όχι όμως και η ικανότητα ομιλίας. Επίσης σημαντικά βελτιώνεται η πρόοδος των παιδιών στο σχολείο αν και διαγνώστηκε δυσκολία των παιδιών αυτών να λειτουργήσουν σε θορυβώδεις τάξεις (Vermeulen et al., 2012).

Οι αναγνωστικές ικανότητες των παιδιών με κοχλιακό εμφύτευμα φαίνεται να παρουσιάζουν κάποια υστέρηση που επηρεάστηκε από την αναγνωστική ικανότητα, το επίπεδο της φωνολογικής επίγνωσης και το εκπαιδευτικό πλαίσιο ενώ η ηλικία που έγινε η διάγνωση ή ο βαθμός κώφωσης δεν φάνηκε να παίζουν ιδιαίτερο ρόλο (Harris και Terlektsi, 2011). Σημαντική επίσης ήταν και η συμβολή των κοχλιακών εμφυτευμάτων στην ανάπτυξη του λεξιλογίου των παιδιών. Ειδικότερα, όσο μικρότερη ήταν η ηλικία στην οποία έγινε η εμφύτευση τόσο καλύτερο ήταν το επίπεδο λεξιλογίου και ανάγνωσης (James et al., 2008). Ο Dammeyer (2012) μελέτησε την πραγματολογία παιδιών με κοχλιακό εμφύτευμα. Παρατήρησε ότι τα παιδιά με κοχλιακό εμφύτευμα βελτίωσαν με το χρόνο την ομιλία τους και την ακουστική τους ικανότητα, αλλά είχαν δυσκολίες στην πραγματολογία, δηλαδή δεν χρησιμοποιούν την κατάλληλη γλώσσα στην κατάλληλη περίπτωση. Αυτό φάνηκε να οφείλεται στις λιγότερο ευέλικτες γλωσσικές δομές που έχουν τα κωφά παιδιά, τις δυσκολίες κατά την ακουστική αντίληψη της γλώσσας και στην περιορισμένη έκθεση σε περιστάσεις και στρατηγικές πραγματολογίας.

Θετικές είναι οι επιπτώσεις της εφαρμογής κοχλιακών εμφυτευμάτων στον ψυχολογικό και τον κοινωνικό τομέα σε ενήλικες και φαίνεται ότι υπάρχει συμφωνία μεταξύ των προεμφυτευματικών προσδοκιών και των μετέπειτα ωφελειών. Το όφελος σε αυτή την περίπτωση εστιάζεται στον περιορισμό της μοναξιάς, της κατάθλιψης, της κοινωνικής απομόνωσης, στην αύξηση της

αυτοεκτίμησης, της ανεξαρτησίας, της κοινωνικής ολοκλήρωσης και των προσδοκιών ομιλητικής ικανότητας. Πολλοί ενήλικες αναφέρουν ότι πλέον είναι ικανοί να λειτουργούν κοινωνικά ή ομιλητικά με τρόπους συγκρίσιμους με εκείνων, που πάσχουν από μετρίου βαθμού βαρηκοΐα. Επιπλέον, περιγράφουν μια νέα ή ανανεωμένη περιέργεια για την απόκτηση εμπειρίας ακοής και των ηχητικών φαινομένων. Σε μερικές περιπτώσεις η εμπειρία της εμφύτευσης γίνεται ένα ολοκληρωμένο τμήμα της ταυτότητας του ατόμου, που οδηγεί αυτούς τους χρήστες του εμφυτεύματος να συμμετέχουν και να μοιράζονται εμπειρίες και να συμμετέχουν σε υποστηρικτικές και συμβουλευτικές ομάδες (Γκέλης, 2005).

Οι αρνητικές **ψυχολογικές και κοινωνικές** επιπτώσεις παρατηρούνται λιγότερο συχνά και συνήθως σχετίζονται με το ενδιαφέρον για τη συντήρηση και/ή την δυσλειτουργία του εμφυτεύματος και του εξωτερικού λογισμικού. Επίσης μπορεί να προκύψουν κοινωνικές ανασφάλειες από τη δυσκολία ακοής λόγω παρεμβαλλόμενου θορύβου και από παράλογες προσδοκίες ακουστικού οφέλους από την πλευρά των χρηστών των κοχλιακών εμφυτευμάτων ή των οικείων τους. Η αξιολόγηση των ψυχολογικών επιπτώσεων στα παιδιά καθυστερεί σε σύγκριση με τον ενήλικο πληθυσμό, εν μέρει διότι το ψυχολογικό αποτέλεσμα αποτελεί παράγοντα ακοολογικού οφέλους, το οποίο γίνεται κατανοητό από τα παιδιά πιο αργά. Επιπρόσθετα τέτοια αξιολόγηση πρέπει να αφορά την οικογένεια των παιδιών. Επειδή η απόκτηση της ικανότητας της γλώσσας σχετίζεται με την ταυτότητα, την κοινωνική ανάπτυξη και την κοινωνική ολοκλήρωση η επίπτωση της εμφύτευσης στην ανάπτυξη του παιδιού σ' αυτές τις περιοχές χρειάζεται περισσότερη μελέτη για να παραχθούν χρήσιμοι δείκτες που μπορούν να βοηθήσουν τους γονείς στη λήψη αποφάσεων (Γκέλης, 2005). Να σημειωθεί ότι οι θετικές σχέσεις των παιδιών με κοχλιακό εμφύτευμα με τους συνομηλίκους τους φαίνεται να επηρεάζεται από τη χρήση του κοχλιακού εμφυτεύματος. Ειδικότερα, όσο περισσότερο χρησιμοποιούσαν το κοχλιακό εμφύτευμα και όσο υψηλότερο ήταν το επίπεδο αυτοεκτίμησης τόσο καλύτερες ήταν και οι κοινωνικές τους

σχέσεις (Martin et al., 2011). Βέβαια, παρατηρήθηκε ότι τα παιδιά με κοχλιακό εμφύτευμα παρουσίαζαν υστέρηση στην κατανόηση των συναισθημάτων από τις εκφράσεις του προσώπου σε διάφορες περιστάσεις καταδεικνύοντας ότι η απώλεια της ακοής επηρεάζει την συναισθηματική κατανόηση (Wiefferink et al., 2013).

Από **κοινωνικής πλευράς**, η υψηλή τιμή των κοχλιακών εμφυτευμάτων δημιουργεί **προβλήματα**. Πρώτον διότι η μεγάλη επιβάρυνση των ταμείων δεν επιτρέπει τη διεύρυνση των ενδείξεων, όπως π.χ. της αμφοτερόπλευρης κοχλιακής εμφύτευσης σε προγλωσσικά παιδιά ή την εφαρμογή τους σε ηλικιωμένα άτομα με μεγάλο βαθμού πρεσβυακουσία, εκεί που τα απλά ακουστικά βαρηκοΐας αδυνατούν να δώσουν ικανοποιητική ακοή και δεύτερον, οι δυσκολίες στην παραγγελία τους από τα νοσοκομεία, που εδρεύουν τα κέντρα κοχλιακού εμφυτεύματος, με τη διαδικασία του μειοδοτικού διαγωνισμού, η οποία αφ' ενός είναι χρονοβόρα, αφ' ετέρου περιορίζει τη δυνατότητα επιλογής από την ομάδα του κέντρου (Δανιηλίδης, 2007).

Η **σχέση κόστους-οφέλους** ή **κόστους-χρησιμότητας** της κοχλιακής εμφύτευσης πρέπει να υπολογίζεται ξεχωριστά στους ενήλικες και τα παιδιά. Για τους ενήλικους το κόστος της κοχλιακής εμφύτευσης περιλαμβάνει τα αρχικά κόστη της αξιολόγησης, των ιατρικών και τεχνικών συμβουλών, της χειρουργικής εμφύτευσης, της μετεγχειρητικής αποκατάστασης, του συστήματος ελέγχου και της συντήρησης. Το όφελος ή η χρησιμότητα υπολογίζεται ως μια λειτουργία της ποιότητας της ζωής, για το υπόλοιπό της ζωής. Σε αυτή τη βάση, η κοχλιακή εμφύτευση, είτε γίνει στα 45 έτη είτε στα 70, συγκρίνεται πολύ ευνοϊκά με πολλές ιατρικές διαδικασίες που βρίσκουν σήμερα χρήση, όπως π.χ. η εισαγωγή εμφυτεύσιμου απινιδωτή. Ο υπολογισμός κόστους-οφέλους στα παιδιά σήμερα φαίνεται να είναι πολύ ευνοϊκή, στηριζόμενοι σε έρευνες του εξωτερικού, συγκρίνοντας την κοχλιακή εμφύτευση με την εφαρμογή των ακουστικών βαρηκοΐας (Σταυριανός και Αναγνώστου, 2005; Οικονομίδης, 2005), αλλά είμαστε

ακόμη και στα αρχικά στάδια της εφαρμογής της κοχλιακής εμφύτευσης και αδυνατούμε ακόμη να υπολογίσουμε το κόστος ή την πιθανή εξοικονόμηση κόστους που θα προκύψει στην περιοχή της μετεγχειρητικής αποκατάστασης και της εκπαίδευσης (Γκέλης, 2005).



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Από όσα αναλύθηκαν στην παρούσα εργασία φαίνεται ότι τα κοχλιακά εμφυτεύματα αποτελούν ιδιαίτερα σημαντική βοήθεια για παιδιά και ενήλικες τα οποία είτε δεν ωφελούνται είτε ωφελούνται ελάχιστα από τα συμβατικά ακουστικά βαρηκοΐας. Απευθύνονται κυρίως σε ασθενείς με ολική απώλεια της ακοής τους αλλά και σε αυτούς που πάσχουν από σοβαρή αμφοτερόπλευρη νευροαισθητήρια βαρηκοΐα και συμβάλλουν στην βελτίωση της ικανότητας επικοινωνίας οδηγώντας συχνά σε θετικά ψυχολογικά και κοινωνικά οφέλη. Τα διαθέσιμα δεδομένα δείχνουν ότι η απόδοση είναι καλύτερη σε άτομα με κώφωση βραχύτερης διάρκειας, που απέκτησαν λόγο και ομιλία προτού χάσουν την ακοή τους και υπέστησαν εμφύτευση έως την ηλικία των 6 ετών. Βέβαια η ακουστική απόδοση δεν επηρεάζεται από την αιτία της βαρηκοΐας αλλά από την καλύτερη δυνατή προσέγγιση στην εκπαίδευση και αποκατάσταση των ενηλίκων ενώ τα παιδιά πρέπει να μεγιστοποιήσουν τα αποκτηθέντα οφέλη από την κοχλιακή εμφύτευση (Γκέλης, 2005). Η **σωστή επιλογή των ασθενών**, ο λεπτομερής προεγχειρητικός έλεγχος και η προετοιμασία, η επιμελής χειρουργική επέμβαση και τέλος η μετεγχειρητική τεχνολογική ρύθμιση του συστήματος και η ειδική λογοθεραπεία οδηγούν στο άριστο αποτέλεσμα (Δανιηλίδης, 2007).

Οι **κύριες εταιρίες** κοχλιακών εμφυτευμάτων είναι η Advanced Bionics, η Cochlear και η MED-EL. Οι διαφορές τους εστιάζονται στις στρατηγικές κωδικοποίησης των ακουστικών σημάτων που εφαρμόζουν, στα εσωτερικά ηλεκτρονικά κυκλώματα – συστήματα, στο είδος του άξονα των ηλεκτροδίων και στον αριθμό των επιμέρους ηλεκτροδίων. Άλλωστε, τα σύγχρονα εμφυτεύματα είναι πολυκάναλα, με φασματικά βασισμένους επεξεργαστές ομιλίας, που δίνουν ουσιαστική βελτίωση σε σύγκριση με τα εμφυτεύματα της προηγούμενης γενεάς. Εμφανίζουν χαμηλή συχνότητα επιπλοκών και υψηλή αξιοπιστία που ευνοεί την εμφύτευση ενώ συνεχώς βελτιώνεται (Γκέλης, 2005).

Βέβαια, παρά την πρόοδο που αναμφισβήτητα έχει σημειωθεί στον σχεδιασμό και την κατασκευή των εμφυτευμάτων, υπάρχουν μεγάλα περιθώρια βελτίωσης. Για παράδειγμα, ένα πρακτικό θέμα που αφορά τους χρήστες των κοχλιακών εμφυτευμάτων είναι η μη συμβατότητα με την **MRI**. Αποτελεί πάγιο και καθολικό αίτημα η τροποποίηση των συσκευών ώστε μελλοντικά όλες να είναι συμβατές με την MRI.

Επιπλέον, η πρόοδος που σημειώνεται στις **απεικονιστικές μεθόδους** του εγκεφάλου, θα μπορούσε να εφαρμοστεί στη μελέτη των κοχλιακών εμφυτευμάτων με στόχο την εξερεύνηση σημαντικών παραμέτρων της λειτουργίας τους. Χρήζει περαιτέρω διερεύνησης η ικανότητα του εμφυτεύματος να ενεργοποιήσει το κεντρικό νευρικό σύστημα αλλά και ο ρόλος που παίζουν οι **γνωσιακές διαδικασίες** (αντιληπτική ικανότητα, προσοχής, γλώσσα, μνήμη, μάθηση κ.λπ.) στην απόδοση του κοχλιακού εμφυτεύματος (Luiz Rodolpho Pena Lima, 2008). Οι συγκρίσεις της νευρικής πλαστικότητας και της προσαρμογής της ηλεκτρικής διέγερσης στο κοχλιακό εμφύτευμα οδηγεί στη μελέτη της σχέσης μεταξύ της νευρικής δραστηριότητας και της ακουστικής αντίληψης (Γκέλης, 2005).

Θα πρέπει επίσης να συνεχιστούν τα σημαντικά βήματα προόδου ως προς τη βελτίωση της αντίληψης του λόγου των χρηστών με κοχλιακό εμφύτευμα και να προσανατολιστούν σε βελτιώσεις στο **σχεδιασμό των ηλεκτροδίων** και στις **στρατηγικές επεξεργασίας του ήχου**. Οι τεχνολογίες περιορισμού του θορύβου και ενίσχυσης της απόδοσης φαίνεται να είναι υποσχόμενες περιοχές. Επειδή τα κοχλιακά εμφυτεύματα περιέχουν συστοιχίες ηλεκτροδίων πρέπει αυτά να σχεδιάζονται με τρόπο που να μην προκαλούν τον ελάχιστο τραυματισμό στο εσωτερικό του αυτιού. Διαφαίνεται επίσης η ανάγκη για ολοκληρωμένα συστήματα ηλεκτρικής και ακουστικής επεξεργασίας σήματος στο ίδιο αυτί. Ίσως να είχε καλύτερα αποτελέσματα ο συνδυασμός αυτών των υβριδικών συσκευών με ένα ακουστικό βαρηκοΐας στο ετερόπλευρο αυτί.

Είναι επίσης αναγκαία η γενίκευση της χρήσης **αμφοτερόπλευρων** κοχλιακών εμφυτευμάτων καθώς η μονόπλευρη κώφωση φέρει το άτομο σε μειονεκτική θέση. Αν έχει εμφυτευθεί μόνο ένα κοχλιακό εμφύτευμα τότε ακόμα σημειώνεται μονόπλευρη απώλεια ακοής. Το σημαντικό είναι οι χρήστες να επωφελούνται πλήρως και από τα δύο αυτιά, χρησιμοποιώντας την πλέον κατάλληλη τεχνολογία γι' αυτούς (Dunn et al., 2008; Litovsky et al., 2012).

Αν και έχει γίνει μια πρώτη προσπάθεια προς αυτή την κατεύθυνση, θα ήταν πολύ χρήσιμο οι χρήστες κοχλιακών εμφυτευμάτων να είναι οι ίδιοι σε θέση να ελέγχουν την ακοή τους μέσω **αυτοματοποίησης του επεξεργαστή ήχου** (Litovsky et al., 2012). Αυτό σημαίνει ότι οι χρήστες δεν θα πρέπει να αποφασίζουν εάν πρέπει να αλλάξουν τα προγράμματα ή την ένταση ή την ευαισθησία αλλά η συσκευή θα προσαρμόζεται αυτόματα, ανάλογα με τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Αυτό θα είχε ιδιαίτερη απήχηση στα παιδιά, τα οποία αδυνατούν να ελέγξουν και να ρυθμίσουν τις ακουστικές παραμέτρους της συσκευής τους (Dunn et al., 2008; Litovsky et al., 2012).

Θα ήταν επίσης χρήσιμο να μην υπάρχει ανάγκη για άμεση σύνδεση με τον επεξεργαστή ήχου αλλά όλες οι ρυθμίσεις να πραγματοποιούνται **ασύρματα**. Έτσι δεν θα ήταν απαραίτητη η ύπαρξη της εξωτερικής συσκευής και όλο το κοχλιακό εμφύτευμα θα ήταν εσωτερικό, συμβάλλοντας στην αισθητική πέρα από τη λειτουργικότητα. Προς αυτή την κατεύθυνση, τα εμφυτεύματα πρέπει να γίνουν μικρότερα και πιο ευέλικτα.

Να υπογραμμιστεί ότι παρά τα εμφανή οφέλη, την τεχνολογική πρόοδο και την εμπορική επιτυχία των κοχλιακών εμφυτευμάτων, ένα μικρό μόνο ποσοστό δυνητικών υποψηφίων προχωρά στην πραγματοποίηση της εμφύτευσης. Ανασταλτικός παράγοντας εφαρμογής είναι το υψηλό κόστος. Έχει ήδη γίνει εμφανής η ανάγκη δημιουργίας ενός **χαμηλού κόστους** αλλά **υψηλής απόδοσης** συστήματος κοχλιακής εμφύτευσης.

Τέλος θα ήταν αποτελεσματική η ιδέα της ερευνητικής συνεργασίας των ερευνητών με πανεπιστήμια προκειμένου να βελτιώσουν τις τεχνολογίες και τις υπηρεσίες που μπορούν να προσφέρουν. Άλλωστε φαίνεται να υπάρχει ιδιαίτερα μακρύς δρόμος στην έρευνα των κοχλιακών εμφυτευμάτων, την κατασκευή και την εμπορική τους διάδοση.

Απάντηση στις παραπάνω ερωτήσεις και σκέψεις που εκφράστηκαν αρχίζουν σιγά σιγά να δίνουν οι εταιρείες κατασκευής κοχλιακών εμφυτευμάτων.

Η ανάγκη απλούστευσης της ζωής των ατόμων με κοχλιακό εμφύτευμα, έχει οδηγήσει τις εταιρείες στην έρευνα και ανάπτυξη ασύρματων αξεσουάρ, με τεχνολογία Bluetooth. Στόχος τους είναι η άμεση μετάδοση του ήχου στον επεξεργαστή του λήπτη σε διάφορα απαιτητικά από άποψη ήχου περιβάλλοντα. Η Cochlear είναι η πρώτη εταιρεία που παρέχει ασύρματες υπηρεσίες και χρησιμοποιεί το ίδιο πρωτόκολλο (2,4 GHz) των συσκευών Bluetooth και Wi-Fi. Αυτό σημαίνει ότι παρέχεται μία «καθαρή», ασφαλής σύνδεση χωρίς παρεμβολές και προβλήματα στο σήμα (Cochlear Ltd, 2016).

Στο πνεύμα της παγκοσμιοποίησης και του διαδικτύου οι εταιρείες έχουν θέσει ως στόχο την άμεση και ευρεία χρήση του διαδικτύου και του διαδικτυακού χώρου αποθήκευσης ως μέσο μετάδοσης, μεταφοράς, αρχείων, εφαρμογών κτλ. Έχοντας ήδη αναπτύξει προϊόντα που απλοποιούν τη χρήση, τροποποίηση του προγραμματισμού των εμφυτευμάτων των ληπτών χωρίς την άμεση και φυσική τους συνύπαρξη με τον γιατρό ή προγραμματιστή τους εκμηδενίζοντας την απόσταση και εξοικονομώντας εργατοώρες.

Η κοχλιακή εμφύτευση ως χειρουργική επέμβαση είναι μια απαιτητική και πολλές φορές χρονοβόρα διαδικασία που εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Κάποιες κατασκευάστριες έχουν ήδη προχωρήσει στην κατασκευή ενδοχειρουργικών προϊόντων για την καλύτερη, πιο γρήγορη έκβαση της επέμβασης τόσο στο καθαυτό χειρουργικό κομμάτι όσο και στο κομμάτι της τηλεμετρίας .

Η Cochlear Ltd ήδη έχει προχωρήσει στην πειραματική εμφύτευση πλήρως εμφυτευόμενων συσκευών, και στο πολύ κοντινό μέλλον, εφόσον ξεπεράσει δύο σημαντικά εμπόδια τα οποία είναι ο σωματικός θόρυβος και η φόρτιση της μπαταρίας, θα είναι σε θέση για την παραγωγή και προώθηση αυτών στην αγορά (Distributor's Meeting for Cochlear Ltd EMEA , Vienna ,April 2016)

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Advanced Bionics (2009) Harmony Σύστημα HiResolution Bionic Ear. Διαθέσιμο στο <http://www.abionics.gr/pdfs/AB-BionicEar-GR-web.pdf>

Alvarez I et al. (2010). Using Evoked Compound Action Potentials to Assess Activation of Electrodes and Predict C-Levels in the Tempo+ Cochlear Implant Speech Processor. *Ear & Hearing*, 31(1): 135-45

American Academy of Otolaryngology - Head and neck surgery (2015). Cochlear implants. Διαθέσιμο στο <http://www.entnet.org/content/cochlearimplants>

Arora, K., Dawson, P, Dowell, R., Vandali, A. (2009) Electrical stimulation rate effects on speech perception in cochlear implants. *Int J Audiol.*, 48(8):561-7

Bittencourt, A., Ana Adelina Giantomassi Della Torre, Ricardo Ferreira Bento, Robinson Koji Tsuji, and Rubens de Brito (2012). Prelingual deafness: Benefits from cochlear implants versus conventional hearing aids. *Int Arch Otorhinolaryngol.* 16(3): 387–390.

Blamey, P.J. (2005) Adaptive dynamic range optimization (ADRO): A digital amplification strategy for hearing aids and cochlear implants. *Trends Amplif.*, 9(2):77–98

Blanchfield, B.B., Feldman, J.J., Dunbar, J.L. and Gardner, E.N. (2001). The severely to profoundly hearing-impaired population in the United States: prevalence estimates and demographics. *T.J.Am. Acad. Audiol.*, 12: 183-189

Brantberg, K. (2009). Vestibular evoked myogenic potentials (VEMPs): usefulness in clinical neurotology. *Semin Neurol.*, 29(5): 541-7

Clark G. (2003). Cochlear implants. Fundamentals & Applications. AIP Press, Springer, Verlag. New York

Cochlear Limited (2011). Cochlear Implants Answers to your questions. Διαθέσιμο στο: [http://www.cochlear.com/wps/wcm/connect/f4054f12-fd1b-4757-9274-5cdb07b1b072/CI+N34846+Answers+to+Your+Questions+\\_candidates+LR.pdf?MOD=AJPERES&CONVERT\\_TO=url&CACHEID=f4054f12-fd1b-4757-9274-5cdb07b1b072](http://www.cochlear.com/wps/wcm/connect/f4054f12-fd1b-4757-9274-5cdb07b1b072/CI+N34846+Answers+to+Your+Questions+_candidates+LR.pdf?MOD=AJPERES&CONVERT_TO=url&CACHEID=f4054f12-fd1b-4757-9274-5cdb07b1b072)

Cochlear Ltd, (2016). The Nucleus 6. Διαθέσιμο στο: <http://www.cochlear.com/wps/wcm/connect/au/home/discover/cochlear-implants/the-nucleus-6-system>

Cooper, H.R., Roberts, B. (2009). Auditory stream segregation in cochlear implant listeners: measures based on temporal discrimination and interleaved melody recognition. *J Acoust Soc Am.*, 126(4):1975-87

Cowan, B. (2007). Historical and BioSafety Overview. Paper presented at the Cochlear Implant Training Workshop, Bionic Ear Institute, Melbourne

Dammeyer, J. (2009). Congenitally deafblind children and cochlear implants: Effects on communication. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 14 (2), 278-288.

Dammeyer, J. (2012). A longitudinal study of pragmatic language development in three children with cochlear implants. *Deafness and Education International*, 14 (4), 217-232.

Dawson, P.W., Vandali, A.E., Knight, M.R. and Heasman, J.M. (2007). Clinical evaluation of expanded input dynamic range in Nucleus cochlear implants. *Ear Hear*, 28(2):163-76

Dillier, N., Lai, W.K. (1998). Recent technical developments of cochlear implant systems. 4th European Symposium on Paediatric Cochlear Implantation's-Hertogenbosch, Invited keynote lecture

Dumm, G., Fallon, J.B., Williams, C.E., Shivdasani, M.N. (2014). Virtual electrodes by current steering in retinal prostheses. *Invest Ophthalmol Vis Sci.*, 21;55(12):8077-85

Dunn, C.C., Tyler, R.S., Oakley, S. & Gantz, B.J. (2008). Comparison of speech recognition and localization performance in bilateral and unilateral cochlear implant users matched on duration of deafness and age at implantations. *Ear Hear*, 29(3), 352-359.

Dyar, D., & Nikolopoulos, T. (2003). Monitoring progress: the role and remit of a speech and language therapist. Στο B. McCormick & S. Archbold, (Επιμ.), *Cochlear implants for young children. The Nottingham approach to assessment and rehabilitation.* (σ.σ. 327-382). 2nd ed. London: Whurr.

Fadda, S. (2011). Psychological aspects when counseling families who have children with cochlear implants. *J Matern Fetal Neonatal Med.*, 24 Suppl 1:104-6.

Harris, M., & Terlektsi, E. (2011). Reading and spelling abilities of deaf adolescents with cochlear implants and hearing aids. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 16 (1), 24-34.

Haumann, S., Büchner, A., Lenarz, Th. (2008). Does the Input Dynamic Range of Cochlear Implant Processors Influence Speech Perception in Adverse Listening

Situations? Presentation at the 10th International Conference on Cochlear Implants and Other Implantable Auditory Technologies, San Diego, CA

Health care authority (2013). Cochlear Implants: Bilateral versus Unilateral. Health Technology Assessment Program (HTA). Διαθέσιμο στο: [http://www.hca.wa.gov/hta/documents/ci\\_report\\_final\\_041713.pdf](http://www.hca.wa.gov/hta/documents/ci_report_final_041713.pdf)

Helms, J. (2001). Comparison of the TEMPO+ ear-level speech processor and the CIS PRO+ body-worn processor in adult MED-EL cochlear implant users. *ORL Head Neck Surg.* 63: 31-40.

Hersbach, A.A., Arora, K., Mauger, S.J., Dawson, P.W. (2012). Combining directional microphone and single-channel noise reduction algorithms: a clinical evaluation in difficult listening conditions with cochlear implant users. *Ear and Hearing* 33:13-23.

Hochmair, I., Hochmair, E., Nopp, P., Waller, M., Jolly, C. (2015). Deep electrode insertion and sound coding in cochlear implants. *Hearing Research Volume 322* Pages 14–23

Holden, L.K., Reeder, R.M., Firszt, J.B. and Finley, C.C. (2011). Optimizing the perception of soft speech and speech in noise with the Advanced Bionics cochlear implant system. *Int J Audiol.*; 5:255–269

Hughes, M. (2013). Objective measures in cochlear implants. Plural publishing

Isaacson, J.E. and Vora, N.M. (2003). Differential diagnosis and treatment of hearing loss. *Am Fam Physician*, 15: 1125-1132

James, D., Rajput, K., Brinton, J., & Goswami, U. (2008). Phonological awareness, vocabulary, and word reading in children who use cochlear implants: Does age of implantation explain individual variability in performance outcomes and growth? *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 13 (1), 117-137

Kemp, D.T. (2002). Otoacoustic emissions, their origin in cochlear function and use. *Br. Med Bull*, 63: 223-241

Khing, P.P., Swanson, B.A., Ambikairajah, E. (2013). The Effect of Automatic Gain Control Structure and Release Time on Cochlear Implant Speech Intelligibility. *PLoS ONE* 8(11): e82263.

Komal, A. (2012). Cochlear Implant Stimulation Rates and Speech Perception, *Modern Speech Recognition Approaches with Case Studies*, Dr. S Ramakrishnan (Ed.), Διαθέσιμο στο: <http://www.intechopen.com/books/modern-speech-recognition-approaches-with-case-studies/cochlear-implant-stimulation-rates-and-speech-perception>



Kutz, J.W., Campbell, K., Mullin, G. (2015). Audiology Pure-Tone Testing. Medscape Διαθέσιμο: <http://emedicine.medscape.com/article/1822962-overview>

Lenarz, T. (2002). Results and Perspective of Early Cochlear Implantation, 6<sup>th</sup> European Symposium on Pediatric Cochlear Implantation, Abstracts book, 98

Litovsky, R., Goupell, M.J., Shelly Godar, Tina Grieco-Calub, Gary L. Jones, Soha N. Garadat, Smita Agrawal, Alan Kan, Ann Todd, Christi Hess, Sara Misurelli (2012). Studies on Bilateral Cochlear Implants at the University of Wisconsin's Binaural Hearing and Speech Laboratory. *J Am Acad Audiol.*, 23:476–494

Luiz Rodolpho Pena Lima Júnior, Marina David Rocha, Priscilla Vargas Walsh, Camila André Antunes, Clara Maria Dias Ferreira Calhau (2008). Evaluation by imaging methods of cochlear implant candidates: radiological and surgical correlation. Volume 74, Issue 3, May–June 2008, Pages 395–400

Marion, A. and Johnson, M. (2006). Assistive Technology for the Hearing-impaired, Deaf and Deafblind. Springer

Marschark, M., Rhoten, C., & Fabich, M. (2007). Effects of cochlear implants on children's reading and academic achievement. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 12 (3), 269-282.

Martin, D., Bat-Chava, Y., Lalwani, A., & Waltzman, S. (2011). Peer relationships of deaf children with cochlear implants: Predictors of peer entry and peer interaction success. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 16 (1), 108-120.

Massachusetts Institute of Technology, (2014). Cochlear implant with no exterior hardware can be wirelessly recharged. ScienceDaily. Διαθέσιμο στο: [www.sciencedaily.com/releases/2014/02/140209152452.htm](http://www.sciencedaily.com/releases/2014/02/140209152452.htm).

Mauger, S.J., Dawson, P.W., Hersbach, A.A. (2012). Perceptually optimized gain function for cochlear implant signal-to-noise ratio based noise reduction. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 131:327-336.

McDermott, H.J., Henshall, K.R. & McKay, C.M. (2002). Benefits of syllabic input compression for users of cochlear implants. *Journal of the American Academy of Audiology*, 13, 14-24

MED-EL (2015). Κοχλιακά εμφυτεύματα. Διαθέσιμο στο <http://www.medel.com/gr/cochlear-implants>

Mens, L. and Mulder, J. (2002). Averaged Electrode Voltages in Users of the Clarion Cochlear Implant Device *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 111: 370-375

- Migirov, I. and Kronenberg, J. (2009). Bilateral, simultaneous cochlear implantation in children: surgical considerations. *J. Laryngol. Otol.*, 123: 837-839
- Mohr, P.E., Feldman, J.J. and Dunbar, J.L. (2000). The societal costs of severe to profound hearing loss in the United-States. *Policy Anal Brief H Ser*, 2: 1-4
- Molin, E. (2005). Spectro-temporal discrimination in cochlear implant users. *Acoustics, Speech and Signal Processing Proceedings (ICASSP 05) IEEE International Conference on Vol 3*
- Monzani, D., Galeazzi, G.M., Genovese, E., Marrara, A., Martini, A. (2008). Psychological profile and social behavior of working adults with mild or moderate hearing loss. *Acta Otorhinolaryngological*, 28: 61-66
- Moore, B.C. (2004). Dead regions in the cochlea: conceptual foundations, diagnosis, and clinical applications. *Ear and hearing*, 25 (2): 98–116.
- Müller J, Brill S, Hagen R, Moeltner A, Brockmeier SJ, Stark T, Helbig S, Maurer J, Zahnert T, Zierhofer C, Nopp P, Anderson I. (2012). Clinical Trial Results with the MED-EL Fine Structure Processing Coding Strategy in Experienced Cochlear Implant Users. *Journal for Oto-Rhino-Laryngology, Head and Neck Surgery*. 74, 185-198
- Muller-Deile, J., Kiefer, J., Wyss, J., Nicolai, J., Battmer, R. (2008). Performance benefits for adults using a cochlear implant with adaptive dynamic range optimization (ADRO): A comparative study. *Cochlear Implants International*. 9:8–26
- Nagle, S. (2009). Frequency discrimination and (C)APD. *Hearing Journal: Volume 62, Issue 2*, p 36
- Nopp, P. and Polak, M. (2010). From electric acoustic stimulation to improved sound coding in cochlear implants. van de Heyning P (ed), *Cochlear Implant and Hearing Preservation*, Karger. *Adv Otorhinolaryngol. Basel, Karger*, vol 67, pp 43–50
- Patrick, J.F., Busby, P.A., Gibson, P.J. (2006). The development of the Nucleus Freedom Cochlear implant system. *Trends Amplif.* 10:175–200.
- Pfingst, B., Franck, K.H., Xu, Li, Bauer, E.M., Zwolan, T.A. (2011). Effects of electrode configuration and place of stimulation on speech perception with cochlear prostheses. *JARO*, 02: 087-103
- Polak, M., Hodges, A.V., King, J.E., Payne, S.L., Balkany, T.J. (2006). Objective methods in postlingually and prelingually deafened adults for programming cochlear implants: ESR and NRT. *Cochlear Implants Int.* 7(3):125-41.

Raine, C. (2013). Cochlear implants in the United Kingdom: Awareness and utilization. *Cochlear Implants Int.* 14(Suppl 1): S32–S37.

Reiss, L.A., Perreau, A.E. & Turner, C.W. (2012). Effects of lower frequency-to-electrode allocations on speech and pitch perception with the hybrid short-electrode cochlear implant. *Audiology and Neurootology*, 17(6), 357-372

Roche, J.P. and Hansen, M.R. (2015). On the Horizon: Cochlear Implant Technology. *Otolaryngol Clin North Am.*, 48(6):1097-116.

Rohr, R. (2011). Cochlear Implant Impedance Telemetry Measurements and Model Calculations to Estimate Modiolar Currents. Master Thesis, UniversitätsSpital Zurich

Seligman, P. (2007). Behind-The-Ear Speech Processors. Paper presented at Cochlear Implant Training Workshop, Bionic Ear Institute, Melbourne.

Sindhusake, D., Mitchell, P., Smith, W., Golding, M., Newall, P., Hartley, D., et al. (2001). Validation of self-reported hearing loss. The Blue Mountains Hearing Study. *Int. J. Epidemiol.*, 30:1371-78.

Smith, Z., Delgutte, B. and Oxenham, A.J. (2002). Chimaeric sounds reveal dichotomies in auditory perception. *Nature*, 2002; 416: 87-90.

Spahr, A., Dorman, M.F., Loiseau, L.H. (2007). Performance of Patients Using Different Cochlear Implant Systems: Effects of Input Dynamic Range. *Ear and Hearing*, 28 (2): 260-275

University of Cyprus (2016). Διαθέσιμο στο: <http://www.eng.ucy.ac.cy/cpitris/courses/ECE370/presentations/10.%20Implantable%20Devices.pdf>

Vermeulen, A., De Raeve, L., Langereis, M., & Snik, A. (2012). Changing realities in the classroom for hearing-impaired children with cochlear implant. *Deafness and Education International*, 14 (1), 36–47.

Wiefferink, C. Rieffe, C., Ketelaar, L., De Raeve, L., & Frijns, J. (2013). Emotion understanding in deaf children with a cochlear implant. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 18 (2), 175-186.

Wilson, B.S., Dorman, M.F. (2008). Cochlear implants: Current designs and future possibilities. *J. Rehabil. Res. Dev.*, 45: 695-730

Wolfe, J. & Kasulis, H. (2008). Relationships among objective measures and speech perception in adult users of the HiResolution Bionic Ear. *Cochlear implants international*, 9(2), 70-81

Wolfe, J. & Schafer, E.C. (2015). Programming cochlear implants. Plural Publishing, 2<sup>nd</sup> ed.

World Health Organization (WHO) (1997). Application of the international classification of Diseases to Neurology. Second Edition Geneva

Zeng, F.G., Rebscher, S., Fu, Q-J., Chen, H., Sun, X., Yin, L. et al., (2015). Development and evaluation of the Nurotron 26-electrode cochlear implant system. Hearing Research, vol. 32, pp. 188-199

Zeng, F.G., Rebscher, S., Harrison, W.V., Sun, X. and Feng, H. (2008). Cochlear implants: system design, integration and evaluation. IEEE Reviews in Biomedical Engineering, 1, 115-142

Αγγελέτος, Δ. (2014). Εξεταστικές μέθοδοι της ακοής: η κλινική χρησιμότητα των ακουστικών προκλητών δυναμικών του εγκεφαλικού στελέχους. Εγκυκλοπαίδεια υγείας. Διαθέσιμο στο [http://www.hygeia.gr/page.aspx?p\\_id=1151](http://www.hygeia.gr/page.aspx?p_id=1151)

Αθανασιάδης-Σισμάνης, Α. (2010). Ωτορινολαρυγγολογία. Τόμος Α, Ωτολογία-Νευρωτολογία. Αθήνα-Επιστημονικές εκδόσεις Παρισιάνου

Βελεγράκης, Γ. (2005). Κοχλιακά εμφυτεύματα. Εκδ. Παρισιάνου

Γκέλης, Δ. (2005). Καθοδηγητικές Γραμμές για τις Εφαρμογές των Κοχλιακών Εμφυτευμάτων σε παιδιά και ενήλικες. Πανελλήνια Εταιρεία ΩΡΛ Χειρουργικής κεφαλής και τραχήλου, Κόρινθος, εκδόσεις Βελλερεφόντης

Δανιηλίδης, Ι. (2003). *Κλινική Ωτορινολαρυγγολογία και Στοιχεία Χειρουργικής Κεφαλής και Τραχήλου*. Βιβλίο Ωτορινολαρυγγολογίας ΑΠΘ. Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη, 2η έκδοση.

Δανιηλίδης, Ι. (2007). Δέκα χρόνια εμπειρίας στα κοχλιακά εμφυτεύματα. Ωτορινολαρυγγολογία - Χειρουργική Κεφαλής & Τραχήλου, τ. 29, σελ. 27-31

Δανιηλίδης, Ι. και Κυριαφίνης, Γ. (2002). Η σύγχρονη αντιμετώπιση της κώφωσης. Κοχλιακό εμφύτευμα, π. Ελληνική Ιατρική, τχ. 1-6, σ. 88-96

Δανιηλίδης, Ι., Ασημακόπουλος, Δ. (2006). Ωτορινολαρυγγολογία Παθολογία – Χειρουργική κεφαλής και τραχήλου. Θεσσαλονίκη-University Studio Press

Ηλιάδης Θ., Κεκές Γ. (1986). Κλινική Ακουσολογία. Εκτύπωση Τριανταφύλλου. Θεσσαλονίκη

Καρελάς, Λ. (2012). Βαρηκοΐα. Διαθέσιμο στο <http://www.orlkarelas.gr/barekoiea>

Κορρές, Σ., Βλασταράκος, Π.Β, Νικολόπουλος, Θ., Μπαλατσούρας, Δ., Κανδηλώρος, Δ., Ξενέλης, Ι., Τζαγκαρουλάκης, Μ. και Φερεκύδης, Ε. (2006). Πρόγραμμα ανίχνευσης βαρηκοΐας νεογνών με παροδικά προκλητές ωτοακουστικές εκπομπές: προβληματισμοί και απαντήσεις. Ελληνική Ωτορινολαρυγγολογία-Χειρουργική Κεφαλής-Τραχήλου, 27: 34-39

Κουρμπέτης, Β., Χατζοπούλου, Μ., Σαβαλίδου, Φ. και Σίμψα, Θ. (2007). Προσεγγίζοντας την κώφωση. ΕΠΕΑΕΚ, Αθήνα

Κυριαφίνης, Γ. και Βιτάλ, Β. (2008). Η τεχνολογία στην αντιμετώπιση της βαρηκοΐας – κώφωσης. Ιατρικό Βήμα Μάιος – Ιούνιος 2008

Κυριαφίνης, Γ.Ι. (2005). Η αξιολόγηση του αποτελέσματος της κοχλιακής εμφύτευσης σε κωφά άτομα από τη μελέτη των προεγχειρητικών και μετεγχειρητικών παραμέτρων. Τμήμα Ιατρικής Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη (Διδακτορική διατριβή)

Οικονομίδης, Ι. (2005). Η χειρουργική αντιμετώπιση της νευροαισθητήριας βαρηκοΐας μεγάλου βαθμού, με χρήση κοχλιακού εμφυτεύματος στα παιδιά, π. Γενετική του ανθρώπου, τχ. 2ο, σ. 41-43

Σκεύας, Α. (2002). Επίτομη Ωτορινολαρυγγολογία. Ιωάννινα-Εκδόσεις Γ. Τσόλη

Ψυλλάς, Γ. και Βιτάλ, Β. (2008). Νεότερες εξελίξεις στην κοχλιακή εμφύτευση. Ωτορινολαρυγγολογία - Χειρουργική Κεφαλής & Τραχήλου: τεύχος 36, σελ. 31-38