

# Μηχανικά και ηλεκτρικά φαινόμενα της ακουστικής λειτουργίας

## Αντικειμενική ακουομετρία & ακουστική νευροπάθεια

ΑΝΕΣΤΗΣ ΨΗΦΙΔΗΣ

Αν. Καθηγητής Ωτορινολαρυγγολογίας ΑΠΘ, Πανεπιστημιακή ΩΡΛ Κλινική  
Νοσοκομείο ΑΧΕΠΑ, Θεσσαλονίκη

### Περίληψη

Η διευκρίνιση και ερμηνεία των μηχανικών φαινομένων της περιφερικής ακουστικής λειτουργίας, όπως η ενίσχυση της μηχανικής πίεσης από το μέσο ους, η ενίσχυση και ο μετασχηματισμός της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια, ο λεπτός συντονισμός και η ανάλυση των συχνοτήτων από τον κοχλία, οδήγησαν στη κατασκευή της γέφυρας ακουστικής αντίστασης, με την οποία επιτυγχάνεται η τυμπανομετρία και η μέτρηση των ακουστικών αντανάκλαστικών. Η διευκρίνιση της ηλεκτρομηχανικής δραστηριότητας των έξω τριχωτών κυττάρων, οδήγησε στην ανακάλυψη της κοχλιακής αντίληψης και στην κατασκευή της μεθόδου ανάλυσης των ωτοακουστικών εκπομπών για την αντικειμενική μέτρηση της κοχλιακής λειτουργίας. Η διευκρίνιση των ηλεκτροφυσιολογικών φαινομένων του κοχλία -κοχλιακό και αθροιστικό δυναμικό- και της ακουστικής νευρικής οδού -δραστικό νευρικό δυναμικό, νευρικά δυναμικά εγκεφαλικού στελέχους και φλοιού-, οδήγησαν στην κατασκευή της ηλεκτροκοχλιογραφίας και των ακουστικών προκλητών δυναμικών του εγκεφαλικού στελέχους και του φλοιού, για την αντικειμενική εκτίμηση της ανατομικής ακεραιότητας και της φυσιολογικής λειτουργίας του ακουστικού συστήματος. Η αντικειμενική ακουομετρία μετέβαλε την κλασική αντίληψη στη διάκριση της βαρκοΐας, ως αγωγιμότητας και νευροαισθητήρια, στη νέα αντίληψη για τη διάκριση της βαρκοΐας, ως αγωγιμότητας, αισθητήρια, νευρική-περιφερική ή κεντρική. Η τυμπανομετρία, η μέτρηση των ακουστικών αντανάκλαστικών και η ανάλυση των ωτοακουστικών εκπομπών αποτελούν σήμερα την αντικειμενική τριάδα της βασικής ακουομετρικής εξέτασης. Η εξέταση των ακουστικών προκλητών δυναμικών σε συνδυασμό με την ανάλυση των ωτοακουστικών εκπομπών συμβάλλει καθοριστικά στην πρώιμη διάγνωση της παιδικής βαρκοΐας και στη νευροακουολογική διάγνωση. Η συμβολή των δύο μεθόδων είναι επίσης καθοριστική στη διάγνωση της ακουστικής νευροπάθειας. Οι μέθοδοι της υποκειμενικής ακουομετρίας -τονική και ομιλητική ακουομετρία- δεν έχουν χάσει την κλινική τους αξία, η οποία παραμένει μοναδική και ανα αντικατάστατη σε περιπτώσεις όπως είναι η εκτίμηση του τονικού και ομιλητικού ακουστικού ουδού και η εκτίμηση της διακριτικής ικανότητας στην ομιλία.

**Λέξεις κλειδιά:** Κοχλιακό μικροφωνικό, αθροιστικό δυναμικό, σύνθετο δραστικό δυναμικό, αντικειμενικές μετρήσεις, ακουστική νευροπάθεια.

**Ωτορινολαρυγγολογία - Χειρουργική Κεφαλής & Τραχήλου:**  
**2006, Τεύχος 24 (Απρίλιος-Μάιος-Ιούνιος) σελίδες 31-40.**

Η διαγνωστική ακουολογική μεθοδολογία, ωθούμενη από τα νέα δεδομένα των μηχανισμών της ακοής, πέρασε από την «κλασική αντίληψη» της υποκειμενικής ακουομετρίας στη «σύγχρονη αντίληψη» της αντικειμενικής ακουομετρίας.

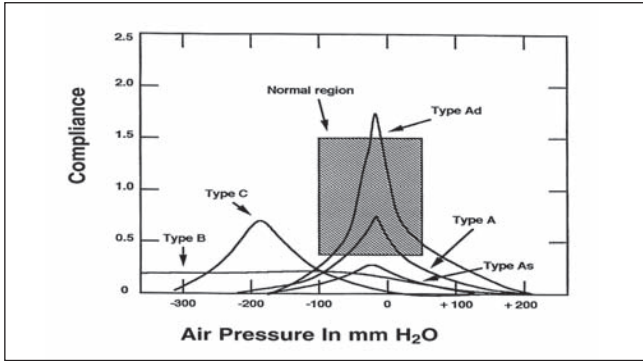
Σύμφωνα με την «κλασική αντίληψη» υπάρχουν δύο τύποι οργανικής βαρκοΐας: Η βαρκοΐα αγωγιμότητας, η οποία είναι θεραπεύσιμη, είτε με φαρμακευτική είτε με χειρουργική θεραπεία και η νευροαισθητήρια βαρκοΐα, η οποία δεν είναι ιάσιμη και μπορεί να υποβοηθηθεί, λίγο ή πολύ, με την ακουστική ενίσχυση που παρέχουν τα ακουστικά βαρκοΐας και τα κοχλιακά εμφυτεύματα. Η διάκριση της βαρκοΐας βασιζόταν κάποτε στους τονοδότες και στην τονική και ομιλητική ακουομετρία.

Η γνώση της μικροσκοπικής δομής και των μοριακών βιολογικών μηχανισμών, της μικρο-μηχανικής και της ηλεκτροφυσιολογίας του κοχλία οδήγησε στη «σύγχρονη αντίληψη» των διαφόρων τύπων κοχλιακής βαρκοΐας. Οι τύποι αυτοί δε μπορούν να αξιολογηθούν μόνο με το τονικό ακουόγραμμα, όταν έχει την ίδια απεικόνιση, αλλά μπορούν να διακριθούν από το συνδυασμένο αποτέλεσμα της «βασικής ακουομετρικής τριάδας», που απαρτίζεται από την τυμπανομετρία, τα ακουστικά αντανάκλαστικά και τις ωτοακουστικές εκπομπές<sup>1</sup>.

Η χρησιμότητα της «ακουομετρικής τριάδας» της σύγχρονης διαγνωστικής ακουομετρίας γίνεται φανερή από τη θεώρηση και ερμηνεία των μηχανικών και των ηλεκτρομηχανικών φαινομένων της λειτουργίας του περιφερικού ακουστικού οργάνου, που άγουν τα νευρικά φαινόμενα της περιφερικής και της κεντρικής ακουστικής λειτουργίας.

### Μηχανικά φαινόμενα της ακουστικής λειτουργίας

Τα μηχανικά φαινόμενα της περιφερικής ακουστικής λειτουργίας είναι η ενίσχυση της ηχητικής πίεσης, που επιτυγχάνεται με τη συντονισμένη δόνηση του έξω ακουστικού πόρου και του τυμπανοσταριώδους συστήματος, υπό την επίδραση του ηχητικού κύματος (υδραυλική σχέση, ενέργεια μοχλού). Η ενίσχυση της μηχανικής ενέργειας στον κοχλία και η τονοτοπική ανάλυση των συχνοτήτων, που επιτυγχάνεται με την τονοτοπική δόνηση του βασικού υμένα ➡



**Εικόνα 1.** Τύποι τυμπανογράμματος (Jerger, 1970). Τύπος A: Φυσιολογικό μέσο αυτί, Ad: Λύση ακουστικής αλύσου, As: Ωτοσκλήρυνση, Τύπος B: Εκκριτική μέση ωτίτιδα, Τύπος C: Δυσλειτουργία ευσταχιακής σάλπιγγας.

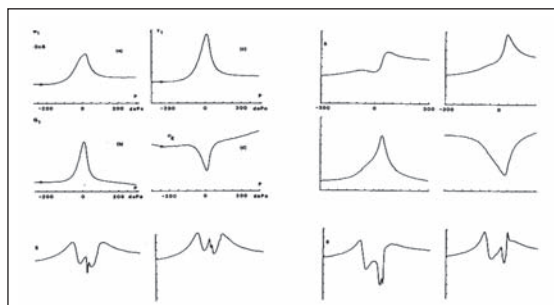
υπό την επίδραση του κύματος της λέμφου και την τονοτοπική διέγερση των έσω και των έξω τριχωτών κυττάρων, προκαλεί το λεπτό συντονισμό (sharp tuning) των συχνοτήτων. Το τελικό αποτέλεσμα αυτών των μηχανικών διεργασιών στο περιφερικό ακουστικό όργανο είναι η μηχανοηλεκτρική μετατροπή του ακουστικού ερεθίσματος σε ηλεκτρικό ερέθισμα, που προκαλεί τη συντονισμένη διέγερση των νευρικών ινών του ακουστικού νεύρου.

## Ακουομετρία ακουστικής αντίστασης

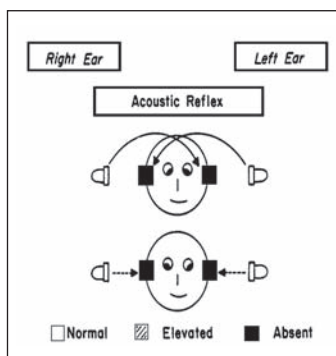
Η αγωγή της ακουστικής ενέργειας (immittance), που προσδιορίζεται είτε με την ακουστική αντίσταση (impedance), είτε με την ακουστική αγωγιμότητα (admittance), οφείλεται στις στατικές και στις δυναμικές μηχανικές ιδιότητες του εξωτερικού και ιδίως του μέσου αυτιού, υπό τη επίδραση της νηπιτικής πίεσης, όταν παραμένουν ίδια ή μεταβάλλονται τα στοιχεία της μάζας, της τριβής και της ελαστικότητας.

Η μέτρηση της στατικής και της δυναμικής ενδοτικότητας (compliance) του τυμπανοσταριώδους συστήματος, οδήγησε στη δημιουργία της μηχανικής ακουστικής γέφυρας από τον Schuster (1934), του κλινικού μοντέλου της από τους Metz (1940), Zwislocky (1957), Terkildsen και Scott-Nielsen και την κατασκευή των πρώτων συσκευών μέτρησης της ακουστικής αντίστασης από τις εταιρείες Madsen (1960) και Grason Stadler (1962)<sup>2</sup>. Η δεκαετία του 1970 υπήρξε η εποχή της κλινικής εφαρμογής της ακουομετρίας ακουστικής αντίστασης στη βασική ακουομετρική εξέταση, ιδίως μετά τη δημοσίευση των κλινικών τύπων του τυμπανογράμματος και των ακουστικών αντανάκλαστικών, από τον James Jerger και τους συνεργάτες του, με τη χρήση των συσκευών κλινικής μέτρησης της ηλεκτροακουστικής αντίστασης<sup>3</sup> (εικόνα 1).

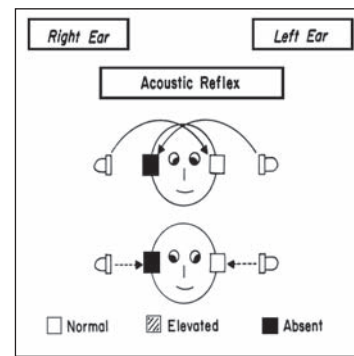
Η ακουομετρία ακουστικής αντίστασης, που περιλαμβάνει τη μέτρηση της στατικής ενδοτικότητας, την τυμπανομετρία και τη μέτρηση του ακουστικού αντανάκλαστικού, αποτελεί και σήμερα πολύ σημαντική αντικειμενική μέθοδο εξέτασης,



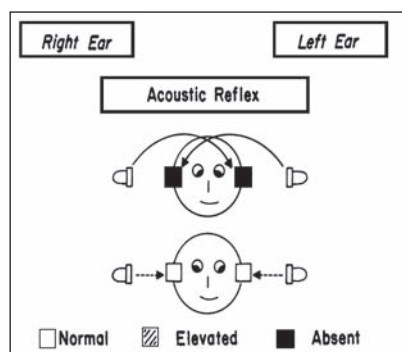
**Εικόνα 2.** Τυμπανογράμματα πολλαπλών συχνοτήτων (Van Camp et al., 1986). Πάνω αριστερά: Φυσιολογικό μέσο αυτί, Πάνω δεξιά: Μέση ωτίτιδα, Κάτω αριστερά: Βλάβη Τ.Μ. ή ακουστικής αλύσου, Κάτω δεξιά: Βλάβη Τ.Μ. ή ακουστικής αλύσου.



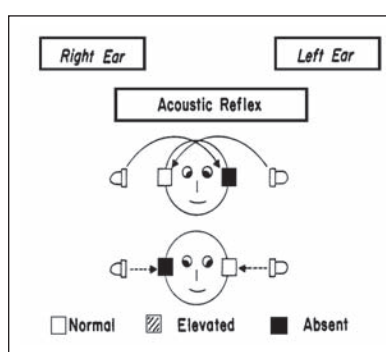
**Εικόνα 3.** Απουσία καταγραφής ομόπλευρου και ετερόπλευρου αντανάκλαστικού.



**Εικόνα 4.** Ακουστικά αντανάκλαστικά. Κάθετος τύπος.



**Εικόνα 5.** Ακουστικά αντανάκλαστικά. Οριζόντιος τύπος.



**Εικόνα 6.** Ακουστικά αντανάκλαστικά. Διαγώνιος τύπος.

που συμβάλλει στη διάγνωση και στη διαφορική διάγνωση των παθήσεων του μέσου αυτιού, των κοχλιακών και των οπισθοκοχλιακών βλαβών<sup>3</sup>.

Σήμερα, με τη συμβολή της απλής τυμπανομετρίας και της τυμπανομετρίας πολλαπλών συχνοτήτων (εικόνα 2), είναι σχετικά εύκολο να διακρίνουμε εάν η βαρηκοΐα αγωγιμότητας οφείλεται σε ωτοσκλήρυνση ή σε διακοπή της ακουστικής αλυσίδας ή σε δυσλειτουργία της ευσταχιανής σάλπιγγας ή σε παρουσία υγρού στο μέσο αυτί<sup>4,5</sup>.

Από την έκλυση ή μη του ακουστικού αντανάκλαστικού, μπορούμε να εκτιμήσουμε εάν η νευροαισθητήρια βαρηκοΐα είναι κοχλιακή, εάν είναι μικρού ή μεγάλου βαθμού, αν οφείλεται σε ενδολεμφικό ύδρωπα (reflex recruitment). Μπορούμε να εκτιμήσουμε επίσης αν η νευροαισθητήρια βαρηκοΐα είναι οπισθοκοχλιακή, αν οφείλεται σε ακουστικό νευρίνωμα ή όγκο της γεφυρο-παρεγκεφαλιδικής γωνίας ή πάθηση του εγκεφαλικού στελέχους (όγκος, πολλαπλή σκλήρυνση κ.λπ.), από την ανύψωση του ουδού ή την απουσία του αντανάκλαστικού, από την κόπωση (reflex decay) ή από τον τύπο που προκύπτει από το συσχετισμό ομόπλευρου-ετερόπλευρου ακουστικού αντανάκλαστικού (εικόνες 3-6). Έτσι, η μη καταγραφή των ακουστικών αντανάκλαστικών μπορεί να σημαίνει αμφοτερόπλευρη βαρηκοΐα αγωγιμότητας, έστω και μικρού βαθμού, ή νευροαισθητήρια βαρηκοΐα μεγάλου βαθμού (εικόνα 3). Η μη καταγραφή του ομόπλευρου και του ετερόπλευρου αντανάκλαστικού στο ένα αυτί μπορεί να σημαίνει παράλυση του VII νεύρου

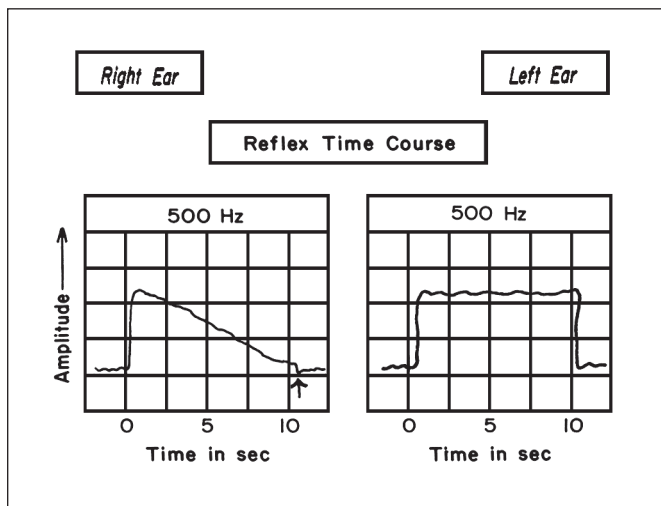
σύστοιχα (εικόνα 4, κάθετος τύπος). Η μη καταγραφή του ετερόπλευρου αντανάκλαστικού στα δύο αυτιά μπορεί να σημαίνει βλάβη στη μέση γραμμή του εγκεφαλικού στελέχους (εικόνα 5, οριζόντιος τύπος). Η μη καταγραφή του ομόπλευρου αντανάκλαστικού στο ένα αυτί και του ετερόπλευρου στο άλλο αυτί μπορεί να σημαίνει βλάβη στη σύστοιχη πλευρά του εγκεφαλικού στελέχους (εικόνα 6, διαγώνιος τύπος).

Το φαινόμενο της κόπωσης του ακουστικού αντανάκλαστικού (reflex decay) είναι ένα ισχυρό στοιχείο οπισθοκοχλιακής βλάβης, π.χ. ακουστικό νευρίνωμα (εικόνα 7).

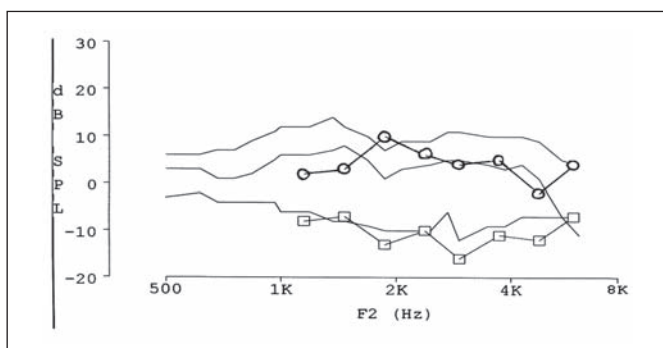
Η έκλυση του ακουστικού αντανάκλαστικού σε ένταση πάνω από τον ακουστικό ουδό είναι ισχυρό ενδεικτικό στοιχείο της ακουστικής εξίσωσης σε κοχλιακό ύδρωπα (reflex recruitment). Η καταγραφή των ακουστικών αντανάκλαστικών συμβάλλει, εκτός των άλλων, στην τοποδιάγνωση μιας περιφερικής παράλυσης του προσωπικού νεύρου, με την εντόπιση της θέσης βλάβης, πάνω ή κάτω από την έκφυση του νεύρου του μυός του αναβολέα. Συμβάλλει επίσης στην επιλογή και ρύθμιση του κατάλληλου ακουστικού βαρηκοΐας και στη ρύθμιση του κοχλιακού εμφυτεύματος.

## Ωτοακουστικές Εκπομπές (Otoacoustic Emissions, OAEs)

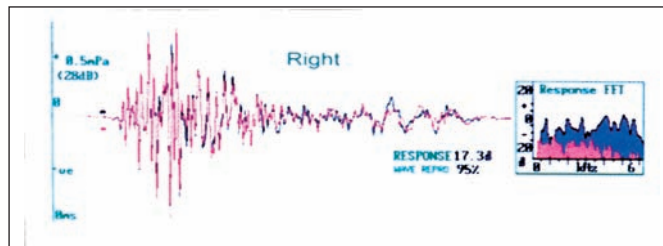
Οι ωτοακουστικές εκπομπές, που περιγράφηκαν για πρώτη φορά από τον Kemp (1978)<sup>6</sup>, είναι ήχοι που προέρχονται από ➔



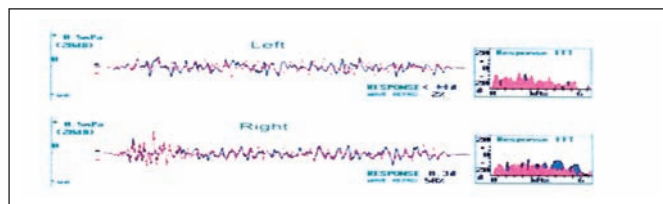
Εικόνα 7. Κόπωση ακουστικού αντανakλαστικού Reflex decay.



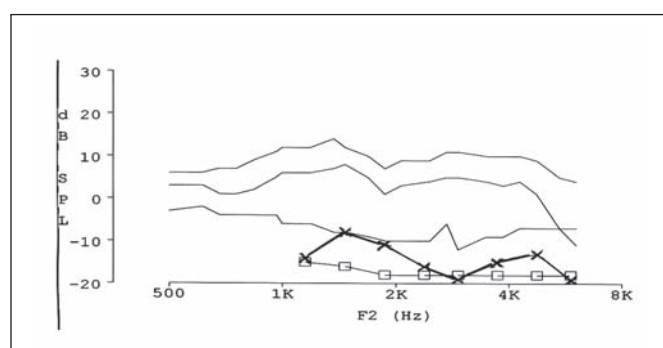
Εικόνα 10. Παρουσία DPOAE.



Εικόνα 8. Παρουσία παροδικών OAE.



Εικόνα 9. Απουσία παροδικών OAE.



Εικόνα 11. Απουσία DPOAE.

τον κοχλία (Kemp Echo) και συγκεκριμένα οφείλονται στην ηλεκτροκινητική δραστηριότητα των έξω τριχωτών κυττάρων. Διακρίνονται σε αυτόματες (spontaneous, SOAE), παροδικές (transient evoked, OAE) (εικόνες 8, 9), ειδικές του ερεθίσματος (stimulus evoked) και σε εκπομπές-προϊόντα ακουστικής παραμόρφωσης (distortion products, DPOAE) (εικόνες 10, 11). Παρά τη γενική αντίληψη ότι οι ωτοακουστικές εκπομπές προέρχονται από τη μικρομηχανική των έξω τριχωτών κυττάρων, υπάρχουν απόψεις ότι οι παροδικές εκπομπές και τα προϊόντα ακουστικής παραμόρφωσης οφείλονται σε διαφορετικούς μηχανισμούς<sup>7</sup>. Όταν βλέπουμε ωτοακουστικές εκπομπές σε έναν ασθενή, εκτιμούμε ότι το ενδοκοχλιακό δυναμικό, τα έξω τριχωτά κύτταρα και το μέσο ους είναι φυσιολογικά.

Σήμερα, η μέθοδος ανάλυσης των ωτοακουστικών εκπομπών αποτελεί αξιόπιστη αντικειμενική μέθοδο μέτρησης της κοχλιακής λειτουργίας. Ως ανιχνευτική εξέταση, συμβάλλει στην έγκαιρη διάγνωση της βαρηκοΐας στα νεογνά. Ως διαγνωστική εξέταση συμβάλλει στη διάγνωση και διαφορική διάγνωση της νευροαισθητηρίου βαρηκοΐας. Η καταγραφή ωτοακουστικών εκπομπών σημαίνει φυσιολογική κοχλιακή λειτουργία.

Η αντικειμενική πληροφόρηση που παρέχουν η τυμπανομετρία, η μέτρηση των ακουστικών αντανakλαστικών και η

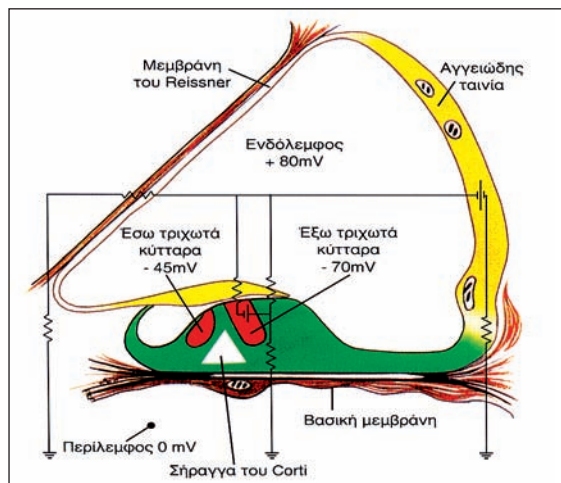
μέθοδος ανάλυσης των ωτοακουστικών εκπομπών για τα περισσότερα από τα φυσιολογικά φαινόμενα της ακουστικής λειτουργίας, επιβεβαιώνουν την κλινική αξία τους στη διαγνωστική ακουολογία.

## Ηλεκτροφυσιολογικά φαινόμενα της ακουστικής λειτουργίας

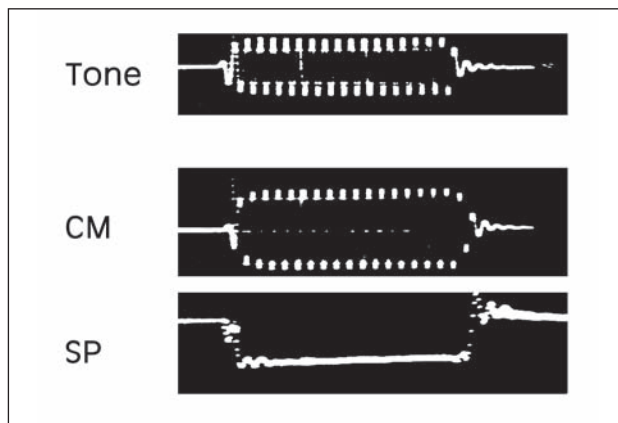
### Ενδοκοχλιακό Δυναμικό (Endocochlear potential, EP)

Το ενδοκοχλιακό δυναμικό (EP) είναι η γεννήτρια 80-100mV που ενδεχόμενα άγει όλες τις κλινικές μετρήσεις των ηλεκτρικών φαινομένων του κοχλία. Το δυναμικό αυτό προέρχεται από το αλγεβρικό άθροισμα του αεροβικού δυναμικού +140mV και του αναερόβιου δυναμικού -60mV. Όλα τα άλλα δυναμικά στο έσω ους μεταβάλλονται δραστικά όταν το ενδοκοχλιακό δυναμικό επηρεάζεται από τη στέρση οξυγόνου. Το EP είναι το μόνο δυναμικό που δε μπορεί να μετρηθεί μέχρι σήμερα. Η κλινική μέτρηση του EP θα συμβάλλει στη διεκρίνιση πολλών καταστάσεων που συμβαίνουν στο έσω ους<sup>8,9</sup> (εικόνα 12). Προς το παρόν, ενώ δεν είναι δυνατή η απ' ευθείας μέτρηση του EP, η ύπαρξή του εκτιμάται από την παρουσία του κοχλιακού μικροφωνικού και των ωτοακουστικών εκπομπών.

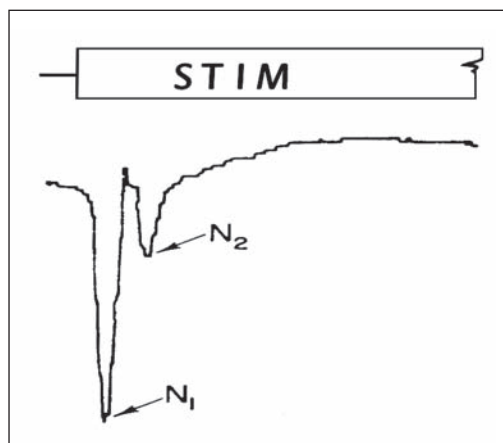




**Εικόνα 12.**  
Το ενδοκο-  
χλιακό δυ-  
ναμικό.



**Εικόνα 13.** Τα δυναμικά του κοχλία.  
CM: Κοχλιακό μικροφωνικό, SP: Αθροιστικό δυναμικό.



**Εικόνα 14.**  
Σύνθετο δραστι-  
κό δυναμικό.  
CAP:  
Compound  
action  
potential.

Η παρουσία τους επιβεβαιώνει την ακεραιότητα της αγγειώ-  
δους ταινίας και της μεμβράνης του Reissner που συμβάλλει  
στη διατήρηση του EP.

### Κοχλιακό Μικροφωνικό (Cochlear Microphonic, CM)

Το κοχλιακό μικροφωνικό αναφέρθηκε για πρώτη φορά από  
τους Wever και Bray (1930)<sup>10</sup>. Σήμερα γνωρίζουμε ότι το CM  
αντιπροσωπεύει το ηλεκτρικό πεδίο που περιβάλλει τα έσω  
και έξω τριχωτά κύτταρα και ότι η παρουσία του δηλώνει κυ-  
ρίως την ηλεκτρική δραστηριότητα των έξω τριχωτών κυττά-  
ρων στη βασική έλικα του κοχλία. Κύριο χαρακτηριστικό του  
ότι είναι ευαίσθητο στην πολικότητα του ερεθίσματος. Όταν η  
πολικότητα του ερεθίσματος αναστρέφεται, τότε αναστρέφεται  
και η ηλεκτρική καταγραφή του κοχλιακού μικροφωνικού. Το  
ιδιαίτερο αυτό γνώρισμα του CM έχει μεγάλη σημασία στην  
ερμηνεία της διαγνωστικής εξέτασης ABR<sup>8,9</sup> (εικόνα 13).

### Αθροιστικό Δυναμικό (Summating Potential, SP)

Το αθροιστικό δυναμικό είναι το δυναμικό συνεχούς ρεύ-  
ματος που παράγεται όσο διαρκεί το ηχητικό ερέθισμα (εικό-  
να 13). Το ύψος του δυναμικού σε σχέση με το ύψος του CAP

έχει διαγνωστική αξία στον κοχλιακό ύδρωπα<sup>11</sup>. Η θέση παρα-  
γωγής του αθροιστικού δυναμικού είναι αμφιλεγόμενη. Άλλοι  
υποστηρίζουν ότι προέρχεται από τη δραστηριότητα των έξω  
τριχωτών κυττάρων ή των έσω τριχωτών κυττάρων<sup>12</sup> ή από αμ-  
φότερα<sup>13</sup>. Σε ασθενείς με διαταραχές του νευρικού συγχρο-  
νισμού, με ακέραια όμως λειτουργία των έξω τριχωτών κυττά-  
ρων, καταγράφεται το αθροιστικό δυναμικό.

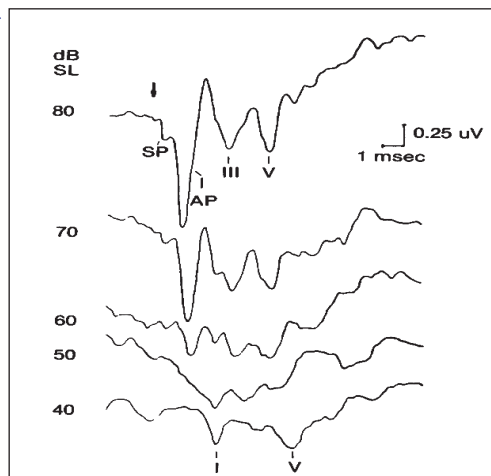
### Σύνθετο Δραστικό Δυναμικό (Compound Action Potential, CAP)

Το σύνθετο δραστικό δυναμικό αντιπροσωπεύει τη σύγχρο-  
νη εκπόλωση/εκφόρτιση πολλών νευρικών ινών (single units)  
του ακουστικού νεύρου. Παρατηρείται πιο εύκολα όταν χρη-  
σιμοποιούμε ερέθισμα μικρής διάρκειας που διεγείρει συγχρό-  
νως πολλές νευρικές ίνες στη βασική έλικα του κοχλία, μέσα σε  
λίγα msec (εικόνα 14). Οι νευρικές ίνες προς την κορυφή του  
κοχλία διεγείρονται με μικρότερο συντονισμό, λόγω της καθυ-  
στέρησης του κινούμενου κύματος και των μηχανικών διαφο-  
ρών της περιοχής αυτής του κοχλία. Από τον Kemp έχει γίνει η  
αναπαράσταση με computer (simulation) των μεταβολών της  
μηχανικής κίνησης του βασικού υμένα όταν μεταβάλλεται η συ-  
χνότητα του ερεθίσματος και της εμφάνισης των ωτοακουστι-  
κών εκπομπών-προϊόντων ακουστικής παραμόρφωσης<sup>14</sup>.

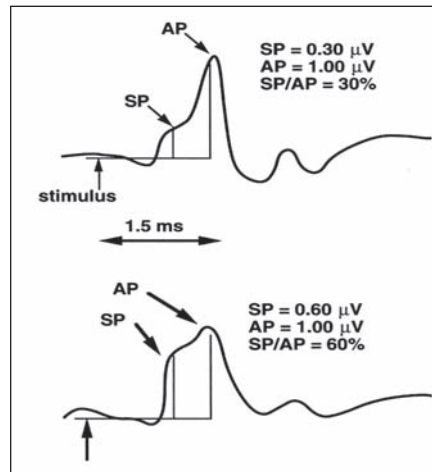
Ένα από τα κύρια γνωρίσματα είναι ότι η κυματομορφή  
CAP δεν αναστρέφεται με την πολικότητα του ερεθίσματος,  
αλλά απλώς μεταβάλλεται ο λανθάνων χρόνος (latency) (ει-  
κόνα 13). Είναι πιθανό, αν και σπάνιο, να καταγράφεται κο-  
χλιακό μικροφωνικό χωρίς να καταγράφονται ωτοακουστικές  
εκπομπές<sup>15</sup>. Με βάση αυτές τις ιδιότητες του CM και CAP, εί-  
ναι δυνατό να διαχωρίσουμε τη λειτουργία του τριχωτού κυτ-  
τάρου και την εμφάνιση του CM από τη νευρική λειτουργία  
και την εμφάνιση του CAP, με την αναστροφή της πολικότη-  
τας του ερεθίσματος.

### Ηλεκτροκοχλιογραφία (Electrocochleography, ECoG)

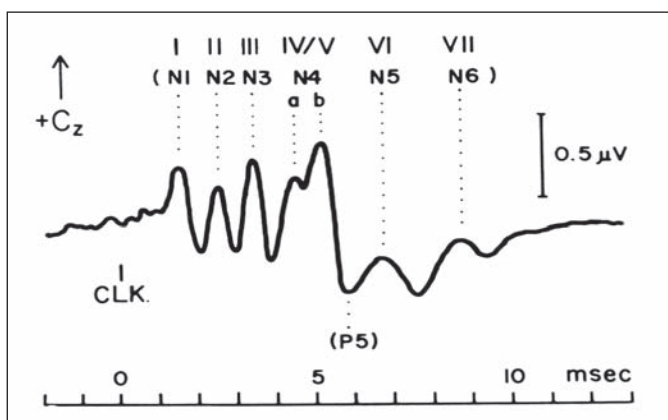
Υπήρξε η πρώτη μέθοδος καταγραφής των προκλητών δυ-  
ναμικών του ακουστικού νεύρου, στη δεκαετία του 1940-50  
(εικόνα 15). Η μέθοδος χρησιμοποιήθηκε για την αντικειμε-



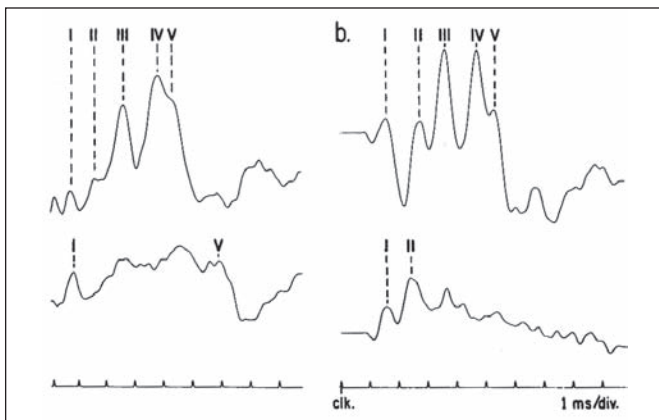
**Εικόνα 15.** Ηλεκτροκοχλιογραφία (ECoG).



**Εικόνα 16.** Σχέση SP/AP φυσιολογική (άνω). Παθολογική σε νόσο Menière (κάτω).



**Εικόνα 17.** Ακουστικά προκλητά δυναμικά (ABR). Φυσιολογική κυματομορφή. Κύματα I-II-III-IV-V.



**Εικόνα 18.** Ακουστικά προκλητά δυναμικά (ABR). Πάνω: Φυσιολογικές κυματομορφές. Κάτω: Παθολογικές κυματομορφές σε νευρίνωμα.

νική εξέταση της ακοής σε νεογνά και βρέφη, αλλά περιορίστηκε σημαντικά μετά την ευρεία διάδοση των ακουστικών προκλητών δυναμικών του εγκεφαλικού στελέχους. Σήμερα χρησιμοποιείται κυρίως για τη διάγνωση και μελέτη της πορείας της νόσου του Menière, με βάση την αναλογία εύρους των αθροιστικών δυναμικών (summing potentials, SP) και των νευρικών δυναμικών (action potentials, AP). Όταν η σχέση AS/AP είναι  $>50\%$ , τότε είναι ισχυρό στοιχείο διαγνωστικό της νόσου Menière<sup>2</sup> (εικόνα 16).

### Ακουστικά προκλητά δυναμικά εγκεφαλικού στελέχους (ABR)

Τα ακουστικά προκλητά δυναμικά του εγκεφαλικού στελέχους 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. Η μέθοδος χρησιμοποιείται επίσης στη διεγχειρητική παρακολούθηση της ακουστικής λειτουργίας (monitoring) σε επεμβάσεις (π.χ. ακουστικό νευρίνωμα, όγκος γεφυροπαρεγκεφαλιδικής γωνίας) και σε ασθενείς που βρίσκονται σε κωματώδη κατά-

σταση<sup>16</sup>. Η διαγνωστική αξία της μεθόδου, οφείλεται στη μεγάλη ευαισθησία και ειδικότητα που διαθέτει για την αντικειμενική εκτίμηση της ανατομικής και λειτουργικής ακεραιότητας του ακουστικού συστήματος. Η κυματομορφή ABR, αποτελείται από τα βασικά κύματα I-III-V. Το αποτέλεσμα της εξέτασης αξιολογείται από την παρουσία ή μη της κυματομορφής, από τη μορφολογία των κυμάτων, από το εύρος (amplitude), τον λανθάνοντα χρόνο (wave latency) και τους διακυματικούς χρόνους (interwave latency) (εικόνα 17). Σε οπισθοκοχλιακές βλάβες παρατηρείται ανώμαλη μορφολογία της κυματομορφής, απουσία κυμάτων, επιμήκυνση λανθάνοντα χρόνου και διακυματικού χρόνου<sup>16</sup> (εικόνα 18). Η μέθοδος των ακουστικών προκλητών δυναμικών του εγκεφαλικού στελέχους, σε συνδυασμό με τις άλλες αντικειμενικές μεθόδους των ωτοακουστικών εκπομπών και των ακουστικών αντανακλαστικών, χρησιμοποιείται στην εξέταση της ακοής νεογνών και μικρών και δύσκολων παιδιών (hard to test children)<sup>16</sup>.

### Οι αντικειμενικές μετρήσεις στη βασική ακουολογική εξέταση

Η βασική ακουολογική εξέταση περιλαμβάνει υποκειμενική



## Πίνακας 1. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΤΗ ΒΑΣΙΚΗ ΑΚΟΥΟΛΟΓΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΚΑΙ ΠΙΘΑΝΕΣ ΔΙΑΓΝΩΣΕΙΣ

| Αποτέλεσμα                                                                                                                         | Πιθανή διάγνωση                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Τυμπανόγραμμα φυσιολογικό.<br>Αντανακλαστικά, ομόπλευρο και ετερόπλευρο, 75-95 dB.<br>Ωτοακουστικές εκπομπές: κ.φ.                 | Φυσιολογική περιφερική ακουστική λειτουργία (μέσο αυτί, κοχλίας, εγκεφ. στέλεχος). Δεν αποκλείει βλάβη σε ανώτερο επίπεδο του εγκεφ. στελέχους ή στο φλοιό. Αναμένεται φυσιολογικό τονικό ακουόγραμμα σε >ηλικία.                                                                                       |
| Τυμπανόγραμμα φυσιολογικό.<br>Αντανακλαστικά κ.φ. ή ανυψωμένα.<br>Ωτοακουστικές εκπομπές δεν καταγράφονται σε όλες τις συχνότητες. | Κοχλιακή βαρηκοΐα. Το τονικό ακουόγραμμα αναμένεται ότι θα είναι ενδεικτικό περιφερικής βαρηκοΐας. Βλάβη έξω τριχωτών κυττάρων. ABR αναμένεται κ.φ. Τα ακουστικά συνήθως βοηθούν.                                                                                                                       |
| Τυμπανόγραμμα φυσιολογικό.<br>Αντανακλαστικά δεν καταγράφονται.<br>Ωτοακουστικές εκπομπές: κ.φ.                                    | Ισχυρή ένδειξη ακουστικής νευροπάθειας ή ακουστικού δυσυγχρονισμού. Απαιτείται εξέταση ABR με κλικ, σε θετική και αρνητική πολικότητα, για να καταγραφούν τα κοχλιακά μικροφωνικά, ώστε να διακριθεί η βλάβη των έξω τριχωτών κυττάρων από τη νευρική βλάβη. Τα ακουστικά βαρηκοΐας συνήθως δε βοηθούν. |
| Τυμπανόγραμμα φυσιολογικό.<br>Αντανακλαστικά δεν καταγράφονται.<br>Ωτοακουστικές εκπομπές δεν καταγράφονται.                       | Πιθανολογείται μεγάλου βαθμού βαρηκοΐα (πιθανή παρουσία ωτοσκλήρυνσης, που δεν έχει ακόμη επηρεάσει το τυμπανόγραμμα).                                                                                                                                                                                  |
| Τυμπανόγραμμα μη φυσιολογικό.<br>Αντανακλαστικά: όχι.<br>Ωτοακουστικές εκπομπές: όχι.                                              | Πιθανολογείται βαρηκοΐα τύπου αγωγιμότητας ή μικτή. Η νευροαισθητήρια βαρηκοΐα δεν αποκλείει μια βλάβη ή πάθηση στο μέσο ους.                                                                                                                                                                           |

κές μεθόδους μέτρησης της ακοής, όπως είναι η τονική και η ομιλητική ακουομετρία και αντικειμενικές μεθόδους, όπως είναι η τυμπανομετρία και τα ακουστικά αντανακλαστικά, οι ωτοακουστικές εκπομπές και τα ακουστικά προκλητά δυναμικά του εγκεφαλικού στελέχους. Η τελευταία μέθοδος εφαρμόζεται στις περιπτώσεις όπου το αποτέλεσμα της ακουολογικής εξέτασης είναι αμφίβολο ή υπάρχουν περιορισμοί στην εξέταση με τις άλλες αντικειμενικές μεθόδους, όπως μέση ωτίτιδα, παράλυση του VII νεύρου.

Κατά τους Berlin et al. (1999)<sup>8,9</sup> η σειρά των ακουολογικών εξετάσεων στις οποίες πρέπει να υποβάλλεται αρχικά ο ασθενής είναι: τυμπανομετρία, ακουστικά αντανακλαστικά, ωτοακουστικές εκπομπές, ομιλητική ακουομετρία για τον προσδιορισμό του ομιλητικού ουδού και της διακριτικής ικανότητας στην ομιλία και τονική ακουομετρία για τον προσδιορισμό του ακουστικού ουδού στην αέρινη και οστέινη αγωγή.

Η τυμπανομετρία, τα ακουστικά αντανακλαστικά και οι ωτοακουστικές εκπομπές είναι οι τρεις βασικές αντικειμενικές μέθοδοι που έχουν αλληλεξάρτηση και συνδυάζονται μεταξύ τους, έτσι ώστε να αποτελούν την «τριάδα» της βασικής ακουολογικής εξέτασης (the triage trio)<sup>8,9</sup>.

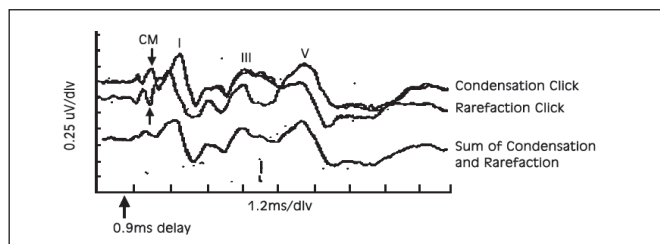
Όταν το τυμπανόγραμμα είναι φυσιολογικό, τότε αναμένεται και η έκλυση των ακουστικών αντανακλαστικών, εκτός βέ-

βαια αν υπάρχει σοβαρή κοχλιακή βαρηκοΐα. Όταν καταγράφονται ωτοακουστικές εκπομπές, τότε αποκλείεται μια μεγάλη βαρηκοΐα, ενώ αναμένεται η έκλυση των ακουστικών αντανακλαστικών, εκτός βέβαια αν υπάρχει βαρηκοΐα αγωγιμότητας. Από την εφαρμογή της εξεταστικής τριάδας σε μικρά παιδιά, προκύπτουν συνδυασμοί αποτελεσμάτων που παρέχουν αντικειμενική διαγνωστική πληροφόρηση, συμβάλλοντας στην τελική διάγνωση ή παραπέμποντας σε πιο ενδελεχή ακουολογικό έλεγχο<sup>8,9</sup> (πίνακας 1).

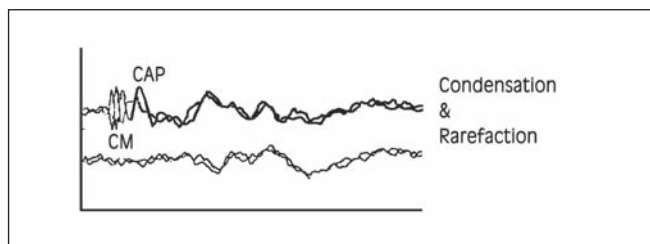
Όταν πρόκειται για νεογνό ή μικρό παιδί, η εξέταση ABR είναι η μέθοδος επιλογής για την εκτίμηση της ακουστικής λειτουργίας. Όμως η μέθοδος ABR δεν είναι τεστ της ακοής, αλλά είναι ένα τεστ συγχρονισμού των νευρικών ινών του ακουστικού νεύρου και της κεντρικής ακουστικής οδού. Είναι κοινώς αποδεκτό ότι τα έσω τριχωτά κύτταρα προκαλούν την εκπόλωση των κεντρομόλων νευρικών ινών<sup>17</sup>. Έτσι, η απουσία ABR δε σημαίνει απαραίτητα την ύπαρξη κοχλιακής βλάβης, αλλά μια πιθανή αδυναμία διέγερσης των έσω τριχωτών κυττάρων ή των νευρικών ινών του ελικοειδούς γαγγλίου.

### Ακουστική νευροπάθεια (Auditory neuropathy)

Η κλινική εφαρμογή της μεθόδου των ωτοακουστικών εκπομπών συνέβαλε στην αναγνώριση μιας ιδιαίτερης παθο-



**Εικόνα 19.** ABR με πυκνωτικό (condensation) και αραιωτικό (rarefaction) ερέθισμα σε νεογνό με φυσιολογική ακοή. Το κοχλιακό μικροφωνικό (CM) αναστρέφεται ενώ το νευρικό δυναμικό (CAP) δεν αναστρέφεται (Berlin, 1999).



**Εικόνα 20.** ABR σε νεογνό με ακουστική νευροπάθεια: Η κυματομορφή με πυκνωτικό ερέθισμα κλικ εμφανίζεται ως ABR. Η κυματομορφή με πυκνωτικό και αραιωτικό ερέθισμα κλικ δημιουργείται από το κοχλιακό μικροφωνικό που αναστρέφεται με την πολικότητα του ερεθίσματος, ενώ το νευρικό δυναμικό δεν αναστρέφεται (Hood, 1998).

λογικής ακουστικής διαταραχής, που παρατηρείται κυρίως στα μικρά παιδιά και αναφέρεται με τον όρο «ακουστική νευροπάθεια». Η ακουστική νευροπάθεια χαρακτηρίζεται από έλλειψη ακουστικής αντίληψης ή παθολογική συμπεριφορά του παιδιού στους ήχους, που οφείλεται είτε σε ειδική κοχλιακή είτε σε οπισθοκοχλιακή βλάβη. Η πάθηση είναι πιο συχνή σε παιδιά που κατά τη νεογνική ηλικία νοσηλεύθηκαν σε νεογνική μονάδα εντατικής νοσηλείας για πυρηνικό ίκτερο<sup>18,19</sup>.

Με τον όρο ακουστική νευροπάθεια περιγράφονται οι ακουστικές διαταραχές που οφείλονται σε οπισθοκοχλιακή, μη ογκολογική νευρική βλάβη, είτε του ακουστικού νεύρου είτε της κεντρικής ακουστικής οδού. Η ακουστική νευροπάθεια πιθανολογείται σε μικρά παιδιά που δεν αντιδρούν καθόλου ή αντιδρούν με μη φυσιολογικό τρόπο στους ήχους και αναγνωρίζεται από την ταυτόχρονη απουσία ή παθολογική εμφάνιση των ακουστικών προκλητών δυναμικών και την παρουσία και φυσιολογική εμφάνιση των ωτοακουστικών εκπομπών<sup>18,19</sup>.

Ο ορισμός της πάθησης δεν είναι σαφής και απόλυτος, όπως δεν είναι σαφώς γνωστή η φύση και η εντόπιση της βλάβης. Με τον όρο ακουστική νευροπάθεια διάφοροι συγγραφείς περιγράφουν οπισθοκοχλιακές, μη ογκολογικές βλάβες του ακουστικού συστήματος που εντοπίζονται στην περιφερική ακουστική οδό, δηλαδή στις νευρικές ίνες του ελικοειδούς γαγγλίου ή του ακουστικού νεύρου ή στους νευράξονες μεταξύ του κοχλία και της γέφυρας του εγκεφαλικού στελέχους. Άλλοι συγγραφείς περιγράφουν με τον ίδιο όρο και περιπτώσεις που εκτιμούν ότι οφείλονται σε ειδικές βλάβες του κοχλία, που αφορούν τον καλυπτήριο υμένα, τα έσω τριχωτά κύτταρα και τις συνάψεις με τις φυγόκεντρες ίνες του ακουστικού νεύρου. Η πρώτη διάγνωση βασίζεται κυρίως στα αποτελέσματα των εξετάσεων των ακουστικών προκλητών δυναμικών του εγκεφαλικού στελέχους, των ακουστικών αντανakλαστικών, που είναι παθολογικά και των ωτοακουστικών εκπομπών, που είναι φυσιολογικά. Για τον αποκλεισμό ή την επιβεβαίωση της ακουστικής νευροπάθειας συνιστάται η εξέταση ABR να γίνεται με κλικ θετικής και αρνητικής πολικότητας, ώστε να διαχωρίζονται τα κοχλιακά μικροφωνικά από τα δραστικά νευρικά δυναμικά που διαχωρίζουν την κυτταρική λειτουργία από τη νευρική λειτουργία<sup>8,9</sup> (εικόνες 19, 20).

Η διάγνωση της ακουστικής νευροπάθειας σε παιδιά ηλικίας μεγαλύτερης των 3 ετών επιβεβαιώνεται, εκτός των άλλων, με την τονική και την ομιλητική ακουομετρία. Σε παιδιά προσχο-

λικής ηλικίας με καθυστέρηση ομιλίας, η ακουολογική εξέταση αποτελεί προτεραιότητα για την επιβεβαίωση ή τον αποκλεισμό της βαρκοϊας και περιλαμβάνει τόσο τις υποκειμενικές όσο και τις αντικειμενικές μεθόδους εκτίμησης της ακουστικής λειτουργίας. Παιδιά προσχολικής και σχολικής ηλικίας με διαταραχές της ακουστικής και της λεκτικής επικοινωνίας μπορεί να έχουν φυσιολογική περιφερική ακοή, όπως αυτή αξιολογείται με την απλή τονική και την κλασική ομιλητική ακουομετρία. Η εξέταση των παιδιών αυτών με ειδικές ομιλητικές μεθόδους και με τις αντικειμενικές μεθόδους μπορεί να αποκαλύψει μια διαταραχή της ακουστικής επεξεργασίας.

Η ακουστική νευροπάθεια μέχρι πρότινος θεωρούνταν ανένδειξη για την κοχλιακή εμφύτευση. Σήμερα προσβέεται ότι δεν αποτελεί ανένδειξη, μετά από τη βελτίωση που έχει διαπιστωθεί στην ακουστική επικοινωνία παιδιών με ακουστική νευροπάθεια που υποβλήθηκαν σε κοχλιακή εμφύτευση<sup>19</sup>.

## Summary

### Electromechanical phenomena of the auditory function. Objective audiometry & auditory neuropathy A. Psifidis

The identification and interpretation of the mechanisms of the peripheral auditory function, like the sound pressure amplification in the middle ear, the mechanical energy amplification and the electromechanical transduction of energy, the sharp tuning and tonotopic frequency analysis in the cochlea, led to the application of the electromechanical acoustic bridge, in tympanometry and acoustic reflex measurement. The identification and interpretation of the electromechanical activity of the outer hair cells led to the discovery of cochlear echo and the method of analysis of otoacoustic emissions in the measurement of cochlear function.

The identification and interpretation of the electrophysiologic phenomena in the cochlea, like cochlear microphonic and summing potential and in the neural auditory pathway, like compound action potential and evoked auditory potentials, led to the application of electrocochleography and auditory evoked responses of brainstem and auditory cortex in the measurement of the integrity of anatomy and normal function of the auditory system. Objective audiometry has changed our concept from the classic concept in classifying hearing loss, as conductive and sensorineural to the modern concept in classifying hearing loss, as



► conductive, sensory, neural-peripheral or central. Tympanometry, acoustic reflex measurement and otoacoustic emissions are considered the triage trio of basic audiometry. Evoked response audiometry and otoacoustic emissions contribute definitely in the early diagnosis of childhood hearing loss and in neuro-audiological diagnosis. Both these procedures contributed to the identification of auditory neuropathy. Subjective hearing measurements, like pure tone and speech audiometry, still possess their clinical value which is valuable in measuring the pure tone and speech threshold and speech discrimination.

**Key words:** cochlear microphonic, summing potential, compound action potential, objective hearing measurement, auditory neuropathy.

## Βιβλιογραφία

1. Berlin CI, et al. Reversing click polarity may uncover auditory neuropathy in Infants. *Ear and Hearing* 1998; 19(1):37-47.
2. Hall JW III, Mueller HG III. Audiologist's Desk Reference. Vol. I. Diagnostic audiology, principles, procedures and practices. San Diego: Singular Pub Group Inc; 1997.
3. Jerger J. Clinical experience with impedance audiometry. *Arch Otol* 1970; 92:311-324.
4. Van Camp, et al. Principles of tympanometry. *ASHA Monographs* 1986; No. 24.
5. Hall JW III. Immittance audiometry. In: Northern JL and Perkins WH (editors). *Seminars in hearing*. New York: Thieme Med Pub Inc; 1987.
6. Kemp DT. Stimulated acoustic emissions from within the human auditory system. *Journal of*

- the Acoustical Society of America 1978; 64(5):1386-1391.
7. Shera CA, Guinan JJ. Evoked otoacoustic emissions arise by two fundamentally different mechanisms: a taxonomy for mammalian OAEs. *Journal of the Acoustical Society of America* 1999; 105(2,pt 1):782-798.
8. Berlin CI, Hood LJ, Goforth-Barter L, Bordelon J. Clinical application of auditory efferent studies. In: Berlin CI (editor). *The efferent auditory systems: Basic science and clinical applications*. San Diego; Singular Pub: 1999. p. 1015-1124.
9. Berlin CI, Hood LJ, Jeanfreau, Morlet T, Brashears S, Keats B. The physiological basis of audiological management. In: Berlin CI, Hood LJ, Ricci A (editors). *Hair cell micromechanics and otoacoustic emissions*. Thomson Pub Co; 1999. p. 139-154.
10. Wever EG. The cochlear potentials and their relation to hearing. *Trans American Otolaryngology Society* 1959; 47:13-27.
11. Engermond JJ, Odenthal DW. Action potentials and summing potentials in the normal human cochlea. *Acta Otolaryngol* 1974; 316(suppl):39-61.
12. Cheatham MA, Dallos P. Summing potential (SP) tuning curves. *Hearing Research* 1984; 6(2):189-200.
13. Durrant JD, Wang J, Ding DL, Salvi RJ. Are inner or outer ear hair cells the source of summing potentials recorded from the round window? *Journal of the Acoustical Society of America* 104(1):370-377.
14. Kemp DT. Echos of the traveling way; Cochlear traveling way simulation software and real time. OAE viewer. In: Berlin CI (editor). *Otoacoustic emissions: Basic science and clinical applications (CD-ROM)*. San Diego; Singular Pub Co: 1998.
15. Withnell RH. Brief report: The cochlear microphonic as an indication of outer hair cell function. *Ear & Hearing* 2001; 22(1):75-77.
16. Hall J III. *Handbook of Auditory Evoked Responses*. Allyn and Bacon: 1992.
17. Spoendlin H. Anatomy of cochlear innervation. *American Journal Of*
18. Starr A, Sininger Y, Winter M, et al. Auditory Neuropathy. *Brain* 1996; 119:741-753.
19. Trautwein PG, Sininger YS, Nelson R. Cochlear implantation of auditory neuropathy. *J Am Acad Audiol* 2000; 11:309-315.