

Περιεχόμενα

Α' ΠΡΟΛΟΓΟΣ	11
Β' ΠΡΟΛΟΓΟΣ	12
ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ	15

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Ανατομοφυσιολογία

συστήματος ακοής	19
A. Εξωτερικό αυτί	21
B. Μέσο αυτί	31
Γ. Εσωτερικό αυτί	48
Δ. Ακουστική οδός	77

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Ήχος

Ψυχοακουστική	91
A. Ήχος	93
B. Ταλάντωση	95
Γ. Ψυχοακουστική	104
Δ. Μονάδες μέτρησης	107

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Τονική

ακουομετρία	117
A. Διαπασών – Δοκιμασίες	119
B. Τονικό ακουόγραμμα	132
Γ. Ηχοκάλυψη	146
Δ. Λάθη στην τονική ακουομετρία	150
E. Ακουομετρικές δοκιμασίες	151

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Υπερουδική

ακουομετρία	179
A. Τονικές παρακουσίες	183
B. Παραμορφώσεις ακουστότητας	195
Γ. Παραμορφώσεις σε σχέση με το χρόνο	198

Δ. Ακουομετρία BEKESY	200
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	
Ομιλητική ακουομετρία	207
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	
Ακουομετρία αντίστασης	235
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	
Ηλεκτρονική ακουομετρία	275
A. Ηλεκτροκοχλιογραφία	277
B. Ακουστικά προκλητά δυναμικά	281
Γ. Ωτοακουστικές εκπομπές	296
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8	
Διαταραχές (κεντρικής) ακουστικής επεξεργασίας	307
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9	
Το βαρήκοο παιδί	325
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10	
Αντιμετώπιση βαρηκοΐας – κώφωσης	351
A. Ακουστικά βαρηκοΐας	353
B. Κοχλιακά εμφυτεύματα	384
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11	
Ειδικά προβλήματα	397
A. Λειτουργικές βαρηκοΐες	399
B. Θόρυβος και βαρηκοΐα	403
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12	
Εφαρμοσμένη ακουολογία	413

1

**Ανατομοφυσιολογία
συστήματος ακοής**

- A. Εξωτερικό αυτί**
- B. Μέσο αυτί**
- Γ. Εσωτερικό αυτί**
- Δ. Ακουστική οδός**

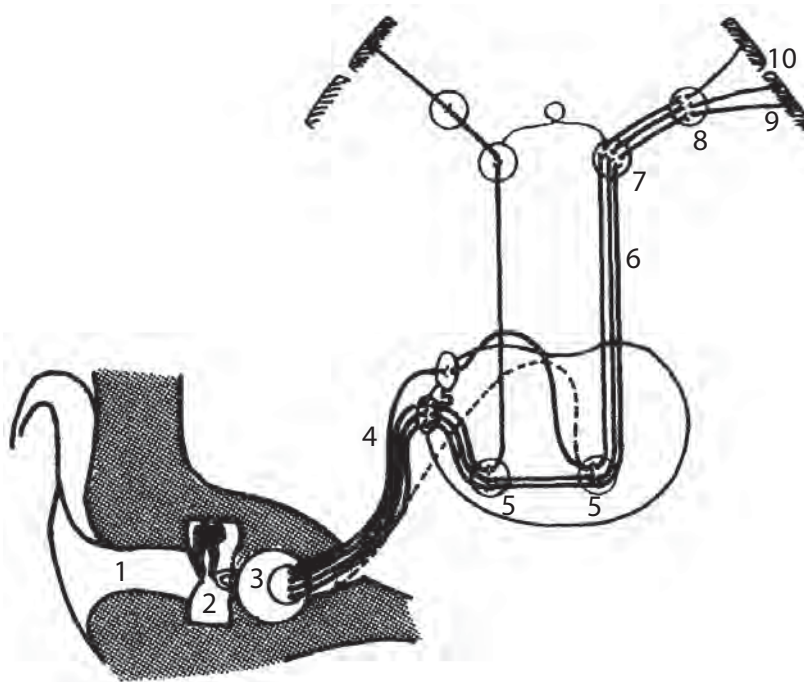
Α. ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΑΥΤΙ

Η μεταβίβαση του ακουστικού ερεθίσματος στον ακουστικό φλοιό, πού αποτελεί το κέντρο της ακοής, γίνεται από το εξωτερικό, στο μέσο αυτί, τον κοχλία, το ακουστικό νεύρο και την ακουστική οδό (σχ. 1).

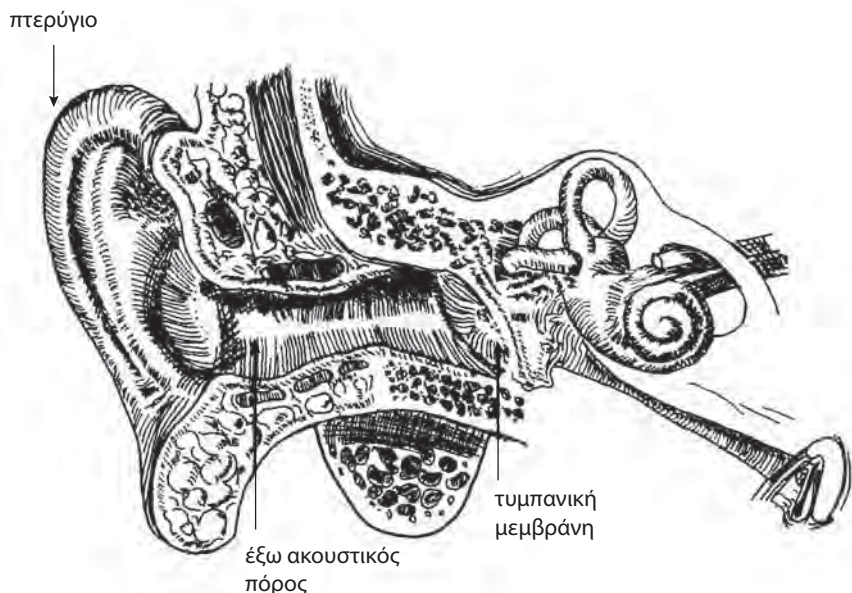
Ι. ΠΤΕΡΥΓΙΟ — ΕΞΩ ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΣ ΠΟΡΟΣ

α. Ανατομική

Το εξωτερικό αυτί, αποτελούμενο από το πτερύγιο και τον έξω ακουστικό πόρο, παίζει σημαντικό ρόλο στη μετάδοση των ηχητικών κυμάτων προς το τυμπανό



Σχ. 1 Σύστημα ακοής. 1. έξω ακουστικός πόρος, 2. μέσο αυτί, 3. εσωτερικό αυτί, 4. ακουστικό νεύρο, 5. πυρήνες κοχλιακού, 5-5. τραπεζοειδές σώμα, 6. σύνδεση τραπεζοειδούς και τετραδύμου, 7. τετράδυμο, 8. έσω γονατώδες σώμα, 9. ακουστική ακτινοβολία, 10. φλοιϊκό κέντρο.



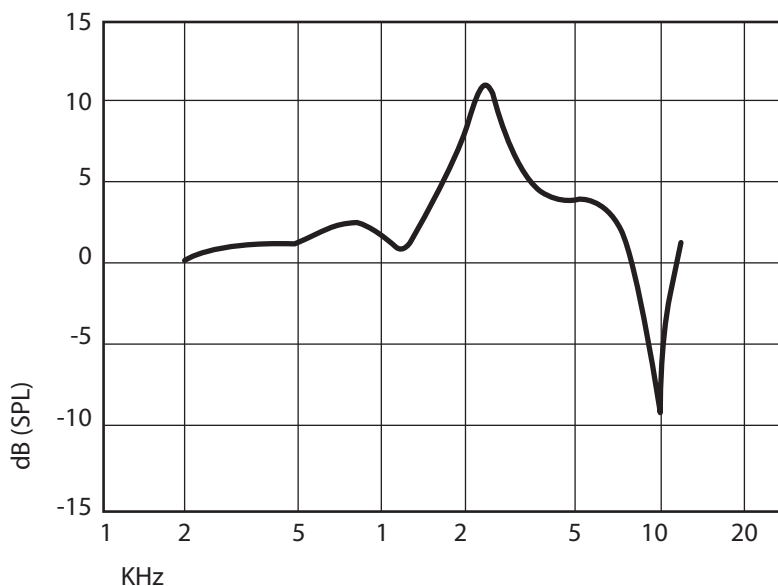
Σχ. 2 Το εξωτερικό αυτί. Φαίνονται σε λεπτομέριες το πτερύγιο, ο έξω ακουστικός πόρος και η τυμπανική μεμβράνη.

νοσταριώδες σύστημα (σχ. 2). Σε πολλά είδη ζώων, ο ρόλος του πτερυγίου, όσον αφορά την συγκέντρωση των ηχητικών κυμάτων και την εντόπιση της ηχητικής πηγής είναι σημαντικότερος. Η λειτουργία αυτή επιτυγχάνεται με την δυνατότητα να κινείται και να παίρνει το πτερύγιο, κάθε φορά θέση ανάλογη με την κατεύθυνση του ήχου. Ο άνθρωπος κατορθώνει το ίδιο πράγμα με τις κινήσεις της κεφαλής του.

β. Φυσιολογία του εξωτερικού αυτιού

Η βαθειά εντόπιση της τυμπανικής μεμβράνης στον έξω ακουστικό πόρο βοηθάει στο να την προφυλάσσει από τραυματισμούς. Στη θέση αυτή η θερμοκρασία και η υγρασία διατηρούνται σε σταθερές τιμές. Ο έξω ακουστικός πόρος έχει την ιδιότητα του αυτοκαθαρισμού που οφείλεται στην ανάπλαση και μετατόπιση του επιθηλίου με φυγόκεντρη κατεύθυνση, από το κέντρο της τυμπανικής μεμβράνης προς την περιφέρεια, κι από κει προς το δέρμα του πόρου, με κατεύθυνση την είσοδο του έξω ακουστικού πόρου.

Ο έξω ακουστικός πόρος, είναι ένας σωλήνας μήκους από 2,5 μέχρι 3 εκ. (συνήθως 2,7 εκ. περίπου) τυφλός από τη μια μεριά (τύμπανο). Έτσι ένα μέρος



Σχ. 3 Η αύξηση της ηχητικής πίεσης στον έξω ακουστικό πόρο είναι 10–12 dB στις συχνότητες 2000–3000 Hz.

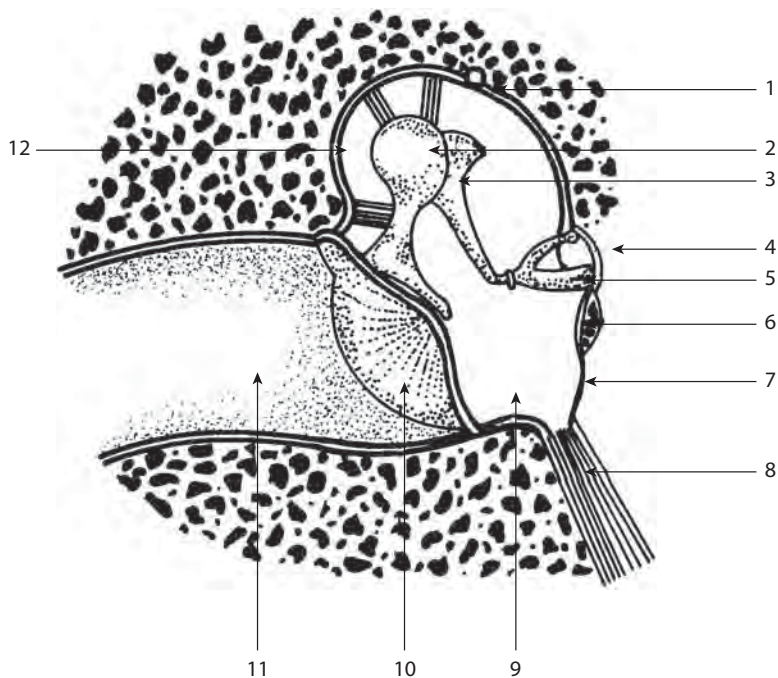
της ακουστικής ενέργειας που προσπίπτει στην ακουστική μεμβράνη, ανακλάται, με αποτέλεσμα η ηχητική πίεση μέσα στον έξω ακουστικό πόρο να είναι μεγαλύτερη από ότι είναι έξω. Η αύξηση της ηχητικής πίεσης, είναι μεγαλύτερη για τις συχνότητες που τα μήκη κύματός των είναι πολλαπλάσια του μήκους του έξω ακουστικού πόρου. Υπάρχει μια αύξηση της ηχητικής πίεσης μεγαλύτερη στις συχνότητες μεταξύ 2000Hz–5000Hz, που πλησιάζουν την ιδιοσυχνότητα του έξω ακουστικού πόρου (3000Hz). Η αύξηση είναι πάνω από 10dB όπως φαίνεται στη γραφική παράσταση (σχ. 3).

Ευνόητο επομένως είναι, ότι οποιαδήποτε αλλαγή στη μορφολογία του έξω ακουστικού πόρου, θα έχει δυσμενή επίδραση στα φυσικά χαρακτηριστικά του μεταδιδόμενου ήχου.

II. ΤΥΜΠΑΝΙΚΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ

α. Ανατομική

Η τυμπανική μεμβράνη είναι λεπτός, στιλπνός, ημιδιαφανής υμένας που φέρεται λοξά από τα άνω και έξω προς τα κάτω και έσω (σχ. 4). Έχει σχήμα ελ-

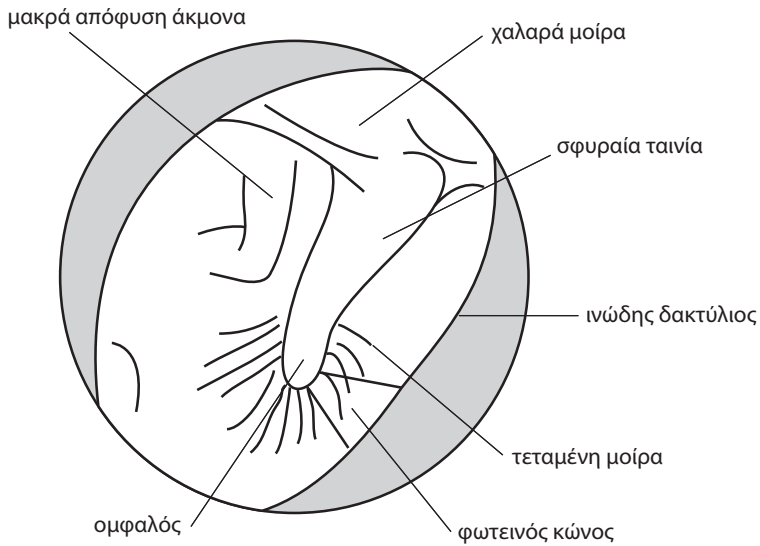


Σχ. 4 Σύστημα αγωγιμότητας.

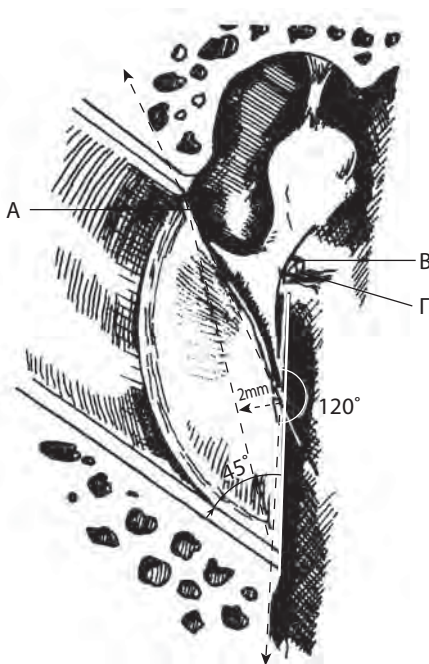
1. η είσοδος στο άντρο, 2. η σφύρα, 3. ο άκμονας, 4. η ωοειδής θυρίδα, 5. ο αναβολέας, 6. το ακρωτήριο, 7. η στρογγυλή θυρίδα, 8. η ακουστική σάλπιγγα, 9. το κοίλο του τυμπάνου, 10. η τυμπανική μεμβράνη, 11. έξω ακουστικός πόρος, 12. επιτυμπάνιος χώρος.

λειψοειδές, πάχος περίπου 0,1 χιλιοστά και εμβαδόν περίπου 85mm^2 (το εμβαδόν της τυμπανικής μεμβράνης ποικίλλει από άτομο σε άτομο και είναι μικρότερο στους Ασιάτες). Η κάθετη διάμετρος του τυμπάνου είναι 10–11 χιλιοστά, η δε οβελιαία 8–9 χιλιοστά. Η «έγκλιση» της τυμπανικής μεμβράνης σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο είναι περίπου 45° (σχ. 5) και δεν επηρεάζεται πολύ από την ηλικία. Αξίζει να σημειωθεί ότι η σχεδόν οριζόντια θέση της τυμπανικής μεμβράνης, που παρατηρείται στα βρέφη, εξηγείται από τη λοξή (προς τα κάτω και έσω) φορά του έξω ακουστικού πόρου. Με την αύξηση της ηλικίας αναπτύσσεται το οστέινο τμήμα του έξω ακουστικού πόρου, ο αυλός του ευθείάζεται και ορισμένοι μένουν με την εντύπωση ότι η τυμπανική μεμβράνη αλλάζει προσανατολισμό με την ηλικία.

Η έξω επιφάνειά της φέρεται προς τα έσω, εμπρός και κάτω και έχει σχήμα κώνου, με το κοίλο προς τα έξω (σχ. 6, σχηματισμός γωνίας 120°), του οποίου η



Σχ. 5 Η τυμπανική μεμβράνη, όπως φαίνεται κατά την ωτοσκόπηση, με τα σπουδαιότερα οδηγιά σημεία της.



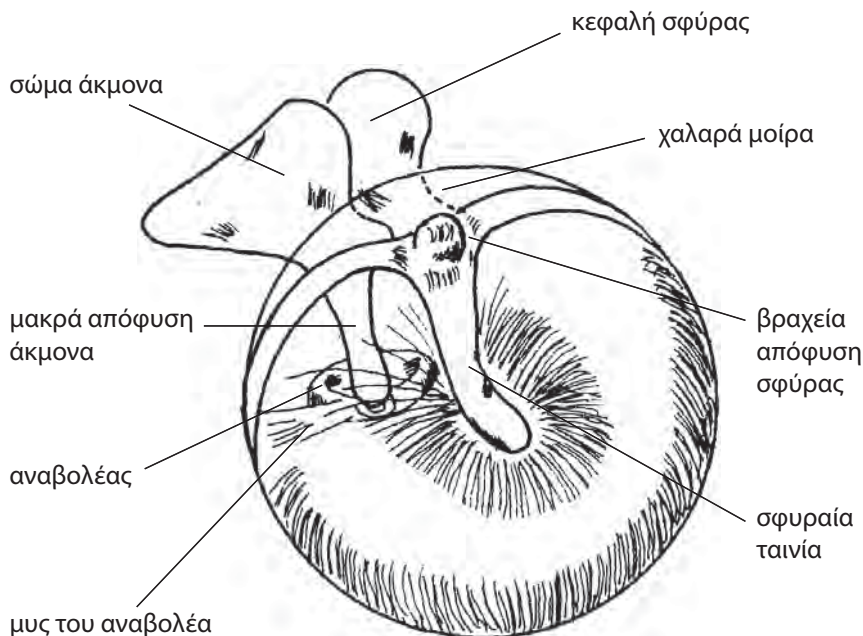
Σχ. 6 Μετωπιαία διατομή του έξω ακουστικού πόρου και του μέσου αυτιού που δείχνει τις σχέσεις της τυμπανικής μεμβράνης και την έγκλισή της. Α. Χαλαρή μοίρα, Β. Χορδή Τυμπάνου, Γ. Μυς της σφύρας (τείνων το τύμπανο), Α. έγκλιση τυμπάνου (45° περίπου).

κορυφή ή «ομφαλός» αποτελεί το βαθύτερο μέρος της τυμπανικής μεμβράνης. Η κωνική μορφή αυξάνει την επιφάνεια της σαν υποδοχέα ηχητικών κυμάτων.

Η περιφέρεια της τυμπανικής μεμβράνης προσφύεται στην τυμπανική αύλακα του τυμπανικού οστού και στην τυμπανική εντομή του λεπιδοειδούς οστού (μοίρα του Rivinus). Η ινώδης πάχυνση, που παρατηρείται στην περιοχή πρόσφυσης πάνω στην τυμπανική αύλακα, λέγεται ινώδης δακτύλιος (του Gerlach).

Η μοίρα της τυμπανικής μεμβράνης που αντιστοιχεί στην τυμπανική εντομή του λεπιδοειδούς (άνω) λέγεται χαλαρά μοίρα ή υμένας του Shrapnell. Η κάτω μοίρα (τα 3/4), πολύ μεγαλύτερη, που αντιστοιχεί στην τυμπανική αύλακα του τυμπανικού οστού, λέγεται τεταμένη μοίρα.

Από τον «ομφαλό» φέρεται προς τα άνω και εμπρός μια λευκωπή ταινία, σχηματιζόμενη από τη λαβή της σφύρας, η λεγόμενη σφυραία ταινία. Η σφυραία ταινία απολήγει στο σφυραίο έπαρμα, το οποίο σχηματίζεται από την έξω ή βραχεία απόφυση της σφύρας. Από το σφυραίο έπαρμα φέρονται προς τα άκρα της τυμπανικής αύλακας η πρόσθια και οπίσθια πτυχή της τυμπανικής μεμβράνης, μεταξύ των οποίων περιλαμβάνεται ο υμένας του Shrapnell (σχ. 7).



Σχ. 7 Σχέση των οστέων με την τυμπανική μεμβράνη.

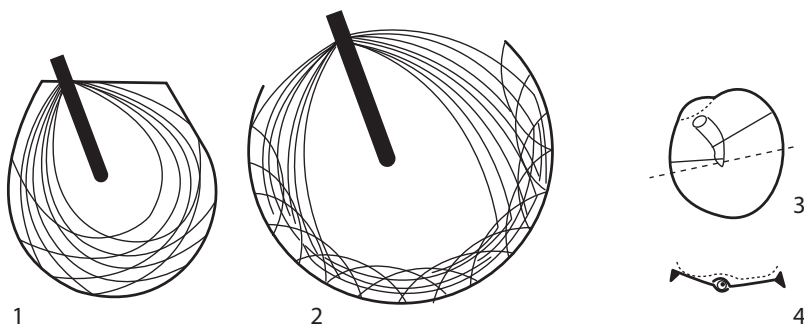
Η τυμπανική μεμβράνη ιστολογικά αποτελείται από τον ίδιο ινώδη υμένα της, ο οποίος εξωτερικά επαλείφεται από την επιδερμίδα και εσωτερικά από το βλεννογόνο του κοίλου του τυμπάνου.

Ο ίδιος υμένας της τυμπανικής μεμβράνης παρουσιάζει δύο στοιβάδες, την έξω, αποτελούμενη από ίνες φερόμενες ακτινοειδώς από την περιφέρεια προς το κέντρο και την έσω στοιβάδα, αποτελούμενη από κυκλοτερείς ίνες με διάταξη πυκνότερη στην περιφέρεια και αραιότερη στο κέντρο (σχ. 8) (Secondi, Kirikae, Σάββας, Eggston και Wolf). Λεπτομερέστερα και σύμφωνα με τις παρατηρήσεις του Fumagalli, ο οποίος ασχολήθηκε ιδιαίτερα με την υφή της τυμπανικής μεμβράνης, υπάρχουν 4 είδη ινών (ανάλογα με την τροχιά που διαγράφουν):

1. Οι **ακτινοειδείς** ίνες, που ξεκινούν από τον ινώδη δακτύλιο, και καταλήγουν στην λαβή της σφύρας περιβάλλοντάς την. Κάθε ίνα, μόλις φθάσει στη λαβή της σφύρας, κάνει κυκλοτερή στροφή κι ύστερα προσφύεται. Έτσι αγκαλιάζουν την λαβή άλλες ίνες από την έσω κι άλλες από την έξω πλευρά. Η ιδιόμορφη διάταξη αυτή εξηγεί τον τρόπο κινητικότητας περιστροφής της λαβής της σφύρας γύρω από τον άξονα της.

2. Οι **κυκλοτερείς** ίνες, που προσφύονται σε διάφορα σημεία της λαβής της σφύρας και σχηματίζουν δακτυλίους γύρω από τον ομφαλό του τυμπάνου.

3. Οι **παραβολικές** ίνες, σχηματίζουν δυο δέσμες, που ξεκινάνε από τη βραχεία απόφυση της σφύρας, φέρονται ακτινοειδώς στην πρόσθια και οπίσθια μοίρα της τυμπανικής μεμβράνης, και καταλήγουν στον ινώδη δακτύλιο. Οι πε-



Σχ. 8 Η διάταξη των ινών του τυμπάνου σε σχέση με την λαβή της σφύρας. 1. πρόσθιες και οπίσθιες παραβολικές ίνες, 2. Τα παραβολικά συστήματα, πρόσθιο και οπίσθιο, μαζί με το ήμισελινοειδές σύστημα ινών, 3. Πρόσφυση των ακτινοειδών ινών της τυμπανικής μεμβράνης στη λαβή της σφύρας, όπως φαίνεται από το κοίλο του τυμπάνου, 4. Τρόπος πρόσφυσης των ινών, όπως φαίνεται σε διατομή.

ρισσότερες συναντούν τον ινώδη δακτύλιο στην αντιδιαμετρικά αντίθετη πλευρά από την πλευρά εκκίνησης τους. Μερικές παραβολικές ίνες συναντούν τις ημισεληνοειδείς ίνες και συνενούνται μεταξύ τους. Όλες αυτές οι ίνες διασταυρούνται μεταξύ τους στο κάτω μέρος της τυμπανικής μεμβράνης.

4. Οι **ημισεληνοειδείς** ίνες διαγράφουν τόξα ημισεληνοειδούς τροχιάς με το κοίλο προς την περιφέρεια, τα δύο άκρα τους προσφύονται στον ινώδη δακτύλιο κι όπως είπαμε, συχνά συμφύονται με τις παραβολικές.

Στη χαλαρή μοίρα της τυμπανικής μεμβράνης δεν υπάρχει ίδιος ινώδης υμένας, αλλά ελάχιστος αραιός συνδετικός ιστός. Κατά συνέπεια, η χαλαρή μοίρα αποτελείται μόνο από επιδερμίδα και βλεννογόνο. Αυτή η έλλειψη ινώδους στοιχείου στον υμένα του Shrapnell, εξηγεί τη μειωμένη της αντίσταση και τη μεγάλη ευενδοτότητά της.

Οι ίνες της τυμπανικής μεμβράνης είναι κολλαγόνες, γίνονται ελαστικές μόνο στα άκρα τους. Ακόμη πρέπει να τονισθεί ότι, οι διάφορες μεταβολές της θέσης της λαβής της σφύρας μεταβάλλουν την κάμψη αλλά όχι και την τάση των ακτινοειδών ινών. Έτσι η ιδιομορφία αυτή στην ινώδη διάταξη, διασφαλίζει στην τυμπανική μεμβράνη ένα βαθμό ανθεκτικότητας, και της δίνει τη δυνατότητα να μην χάνει τα βασικά ακουστικά χαρακτηριστικά της. Πάνω στη διάταξη των ινών της τυμπανικής μεμβράνης έχουν ασχοληθεί αρκετοί (Lim, Johnson, Hentzer, Kawabata), κάνοντας χρήση και ηλεκτρονικού μικροσκοπίου.

β. Φυσιολογία της τυμπανικής μεμβράνης

Η τυμπανική μεμβράνη δεν είναι ένας απλός κωνικού σχήματος υμένας – δέκτης ηχητικών κυμάτων, αλλά εκτελεί πολλαπλές λειτουργίες.

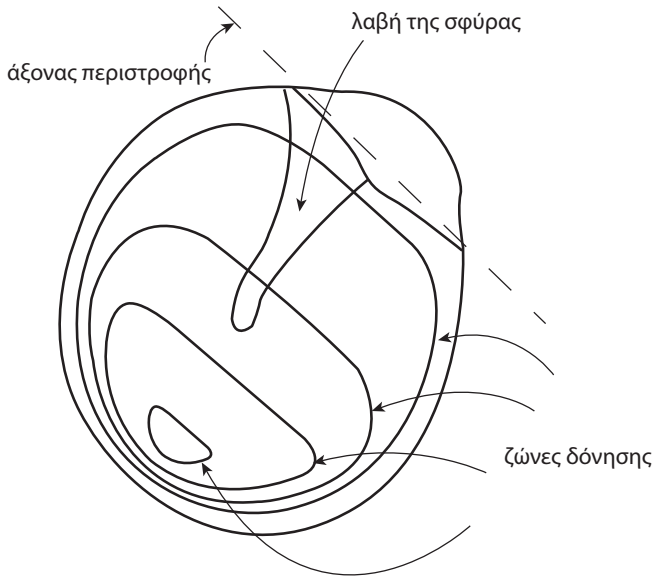
1. Προστατεύει το δευτερεύοντα τυμπανικό υμένα της στρογγυλής θυρίδας από την άμεση έκθεση στα ηχητικά κύματα, μεσολαβώντας ανάμεσα στην ηχητική πηγή και σ' αυτή. Συμβάλλει έτσι στο σχηματισμό κοιλότητας γεμάτης με αέρα, και δεν αφήνει να φθάσουν στην στρογγυλή και την ωοειδή θυρίδα ηχητικά κύματα της ίδιας έντασης και φάσης.

2. Η κινητικότητα της τυμπανικής μεμβράνης επηρεάζεται κυρίως από τη λειτουργία του μυός της σφύρας και (πολύ λιγότερο) από τη λειτουργία του μυός του αναβολέα.

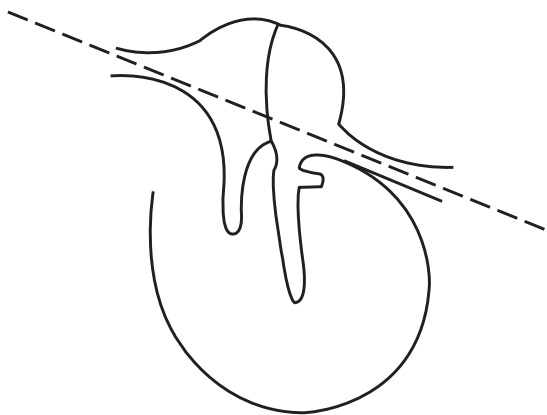
3. Η πιό εύκολα (με τον παραμικρό ήχο) δονούμενη περιοχή βρίσκεται στο κάτω μέρος της τυμπανικής μεμβράνης.

Όσο η ηχητική πίεση αυξάνει, τόσο αυξάνει και το εύρος των δονήσεων και η δονούμενη περιοχή κατά κυκλοτερή μάλιστα τρόπο (σχ. 9). Από άμεσες μετρήσεις βρέθηκε ότι η τυμπανική μεμβράνη δονείται σαν μια στερεά επιφάνεια μαζί με τη λαβή της σφύρας. Στη ρύθμιση της κινητικότητάς της συμ-

βάλλουν οι δύο μικροί μύες του μέσου αυτιού, ο τείνων το τύμπανο κύρια και λιγότερο ο μυς του αναβολέα. Ο άξων περιστροφής ακολουθεί τον άξονα των τυμπανοσφυριαίων συνδέσμων (σχ. 10).



Σχ. 9 Πρότυπο τυμπανικής μεμβράνης κατά Békésy. Φαίνονται οι κυκλοτερείς περιοχές που έχουν ίσο εύρος δόνησης στην συχνότητα των 2000Hz.

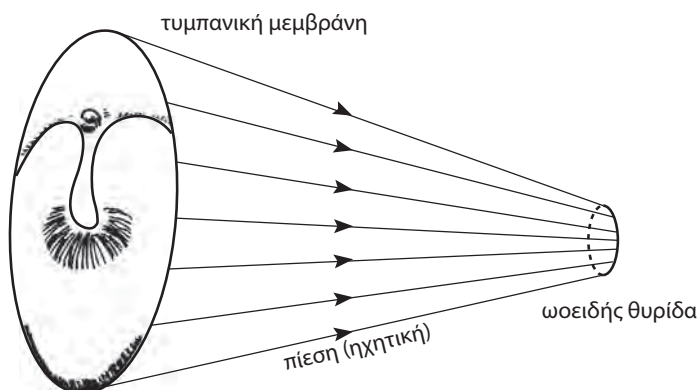


Σχ. 10 Άξονας περιστροφής του σφυροακμονικού συστήματος.

Η πλέον ευαίσθητη περιοχή της τυμπανικής μεμβράνης βρίσκεται πιό κάτω από τον ομφαλό και είναι το τμήμα που πρωταρχίζει να δονείται. Καθώς η ηχητική πίεση στον έξω ακουστικό πόρο ανέρχεται, αυξάνει το εύρος δονήσεως, και το δονούμενο τμήμα της τυμπανικής μεμβράνης μεγαλώνει.

Ο Von Békésy έχει αποδείξει ότι η τυμπανική μεμβράνη, από τις χαμηλές συχνότητες μέχρι τα 2400Hz, πάλλεται σαν ενιαίο στερεό σώμα, με άξονα τα άνω όρια της. Στις χαμηλές συχνότητες συμπεριφέρεται σαν μια ελαστική μεμβράνη, της οποίας η μετατόπιση είναι ανάλογη με την ηχητική πίεση. Στις υψηλές συχνότητες η τυμπανική μεμβράνη δονείται κατά τμήματα, όπου το κάθε τμήμα δονείται στην ίδια συχνότητα αλλά κατά διαφορετικό τρόπο. Οι δονήσεις όλων των συχνοτήτων μεταδίδονται στη μακρά απόφυση της σφύρας, στον άκμονα και στον αναβολέα, η βάση του οποίου μεταβιβάζει την ηχητική ενέργεια στο σύστημα των υγρών του εσωτερικού αυτιού. Η ολική επιφάνεια της τυμπανικής μεμβράνης είναι 85mm² και από αυτήν η ωφέλιμη επιφάνεια είναι 55–60mm². Η αντίστοιχη επιφάνεια της βάσης του αναβολέα έχει εμβαδόν 3,2mm². Αυτή η σχέση 1/17 περίπου συμβάλλει πολύ στην μεγένθυση της ηχητικής πίεσης και την αυξάνει κατά 17 φορές (σχ. 11). Όπως τονίσαμε προηγουμένως, ο τρόπος δονήσεως του τυμπάνου αλλάζει ανάλογα με τις συχνότητες και η ωφέλιμη επιφάνεια του είναι τα 60–70% του συνόλου.

Σύγρονες μέθοδοι της ακουολογίας έδωσαν την δυνατότητα σε ακριβείς μετρήσεις της κινητικότητας της τυμπανικής μεμβράνης. Βρέθηκε ότι η ιδιοσυχνότητά της είναι 1300Hz και διαπιστώθηκε ότι στα 800Hz έχει τη μικρότερη αντίσταση.



Σχ. 11 Η ηχητική πίεση που συγκεντρώνεται από την επιφάνεια της τυμπανικής μεμβράνης μεταφέρεται στην κατά πολύ μικρότερη επιφάνεια της ωοειδούς θυρίδας και έτσι αυξάνεται η ηχητική πίεση.