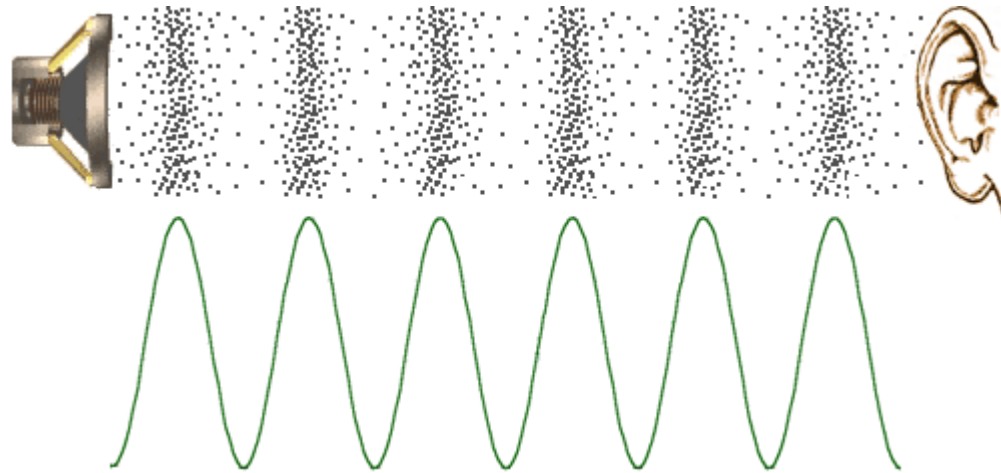


Ακοή

Αλεξάνδρα Οικονόμου

Ηχητικά κύματα

Περιοδικές πυκνώσεις (ταλαντώσεις) αέρα, νερού, ή άλλου μέσου



Απαραίτητη προϋπόθεση η ύπαρξη ενός μέσου.

Διαστάσεις του ήχου

- Ένταση (πλάτος ή εύρος, σε ντεσιμπέλ -dB)
- Συχνότητα (αριθμός κύκλων/δευτερ., σε Hertz -Hz)
- Χροιά

Ο μέσος ενήλικας ακούει δονήσεις μεταξύ 15-20.000 Hz. Μείωση των υψηλών συχνοτήτων με την ηλικία.

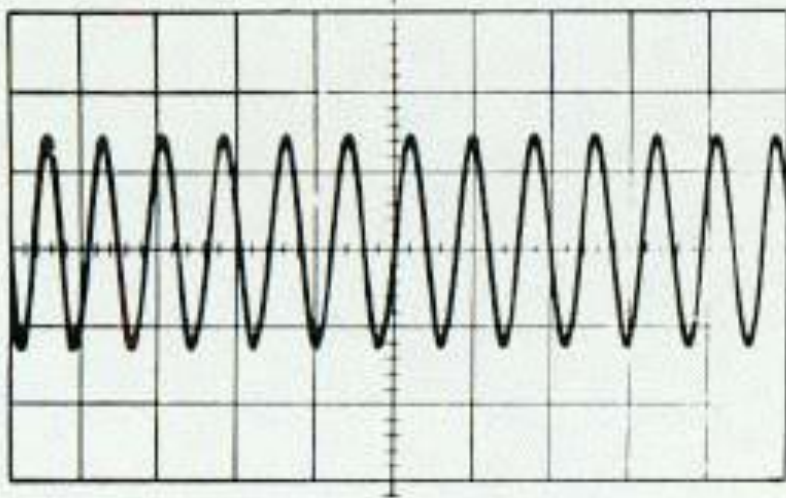


Fig 2 Oscilloscope displaying a pure high frequency tone.

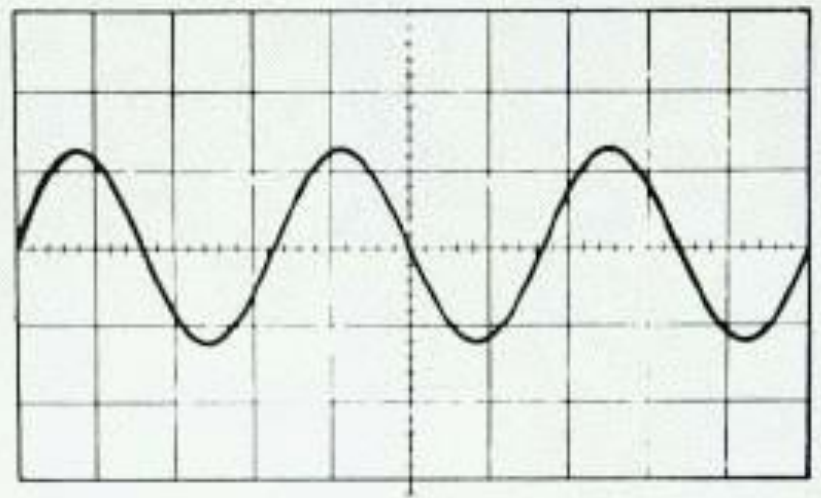


Fig 3 Oscilloscope displaying a pure low frequency tone (fewer waves – or cycles – per second).

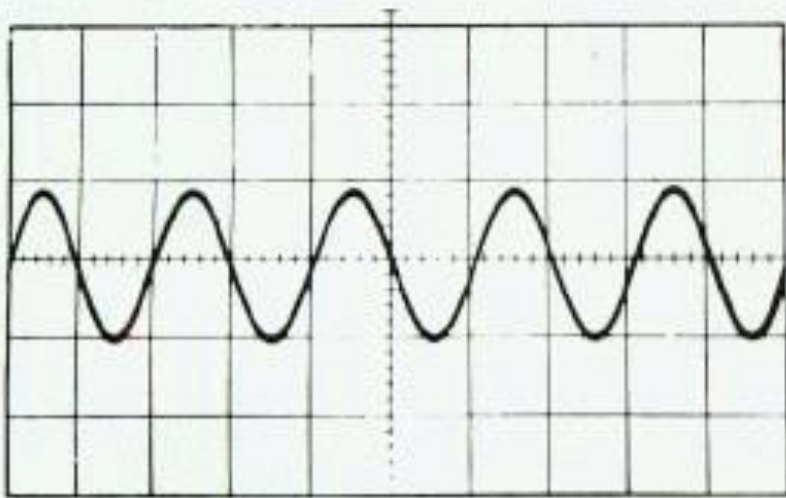


Fig 4 Oscilloscope displaying a pure tone at a given intensity.

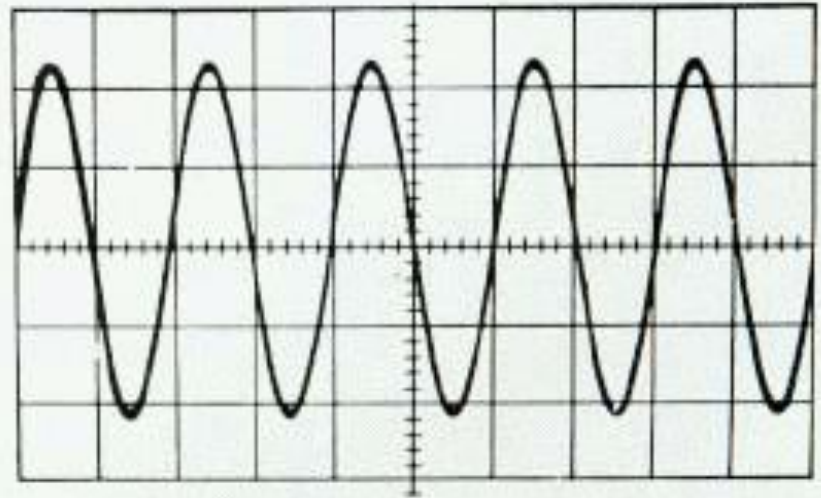


Fig 5 Oscilloscope displaying the same tone at increased intensity.

Ένταση (πλάτος ή εύρος)

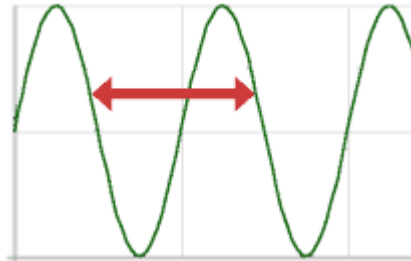
Το βίωμα = **Ηχηρότητα**

Amplitude



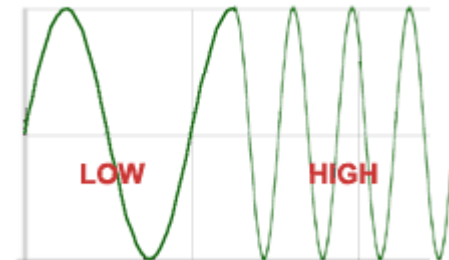
Μήκος κύματος

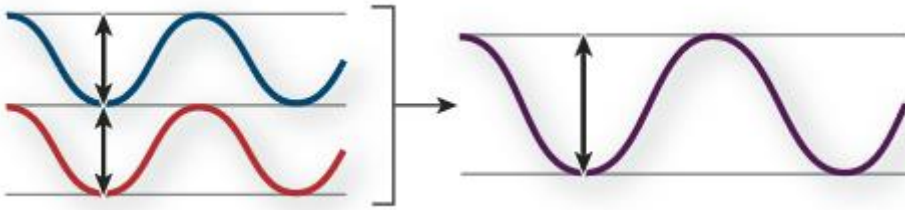
Wavelength



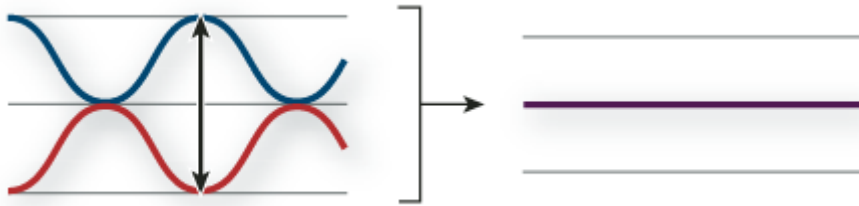
Το βίωμα = **Τόνος**
Συχνότητα

Frequency

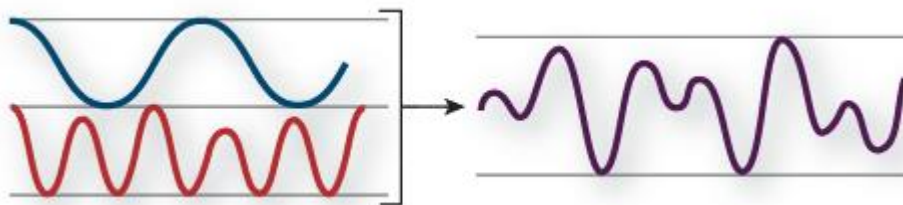




+ (ίδια φάση)



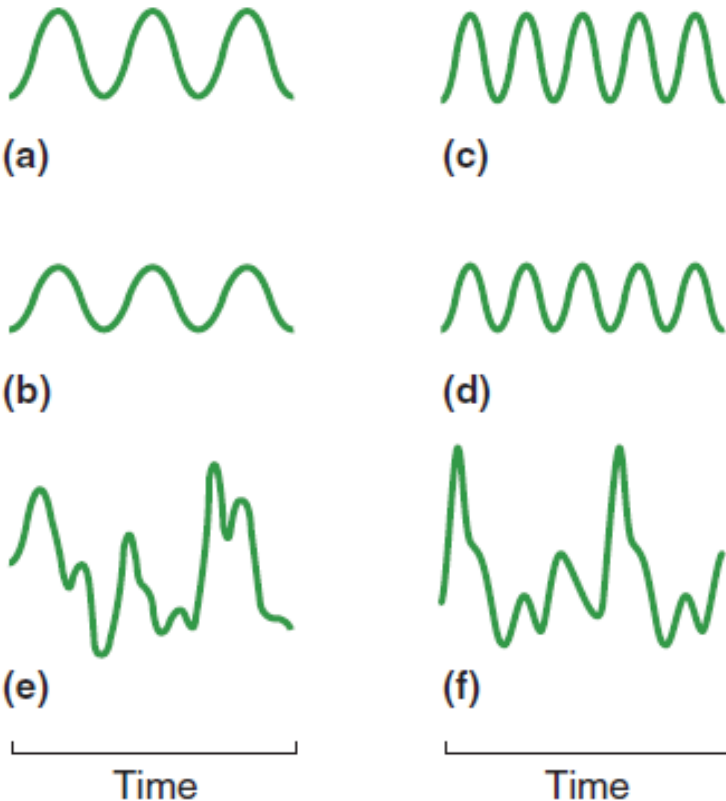
- (εκτός φάσης)



συνδυασμός 2
απλών κυμάτων

FIGURE 9.3 Examples of Pure and Complex Sounds.

(a) and (b) are pure tones of the same frequency but different amplitudes, as are (c) and (d). (a) and (c) have the same amplitudes but different frequencies, as do (b) and (d). Both (e) and (f) are complex sounds—noise and a clarinet note, respectively.



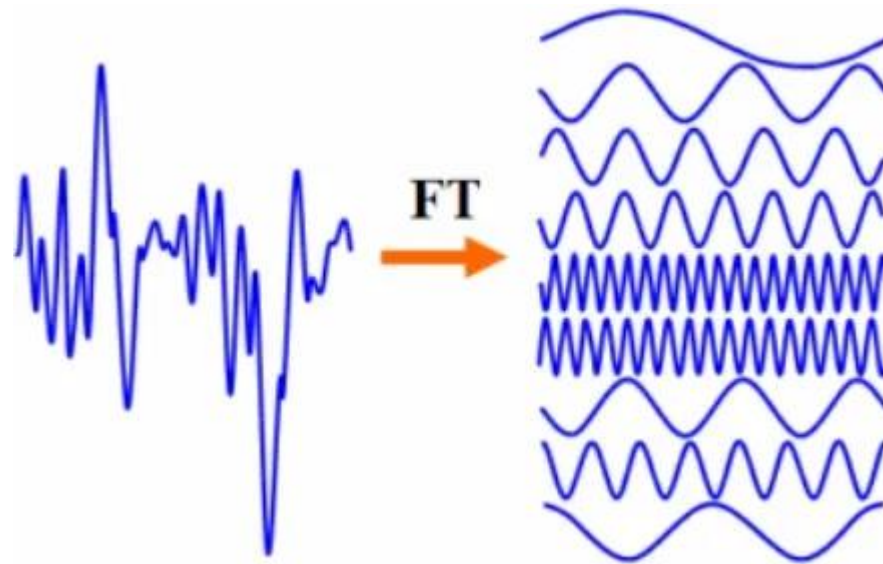
(a, b) & (c, d) καθαροί
τόνοι ίδιας συχνότητας,
διαφορετικής έντασης

(a, c) & (b, d) καθαροί
τόνοι ίδιας έντασης,
διαφορετικής συχνότητας

(e, f) σύνθετοι ήχοι,
θορύβου και κλαρινέτου

Ανάλυση σύνθετων ήχων

Ανάλυση Fourier: μια κυματομορφή (οποιοδήποτε είδους) μπορεί να αναλυθεί σε συνιστώσες ημιτονοειδών κυμάτων

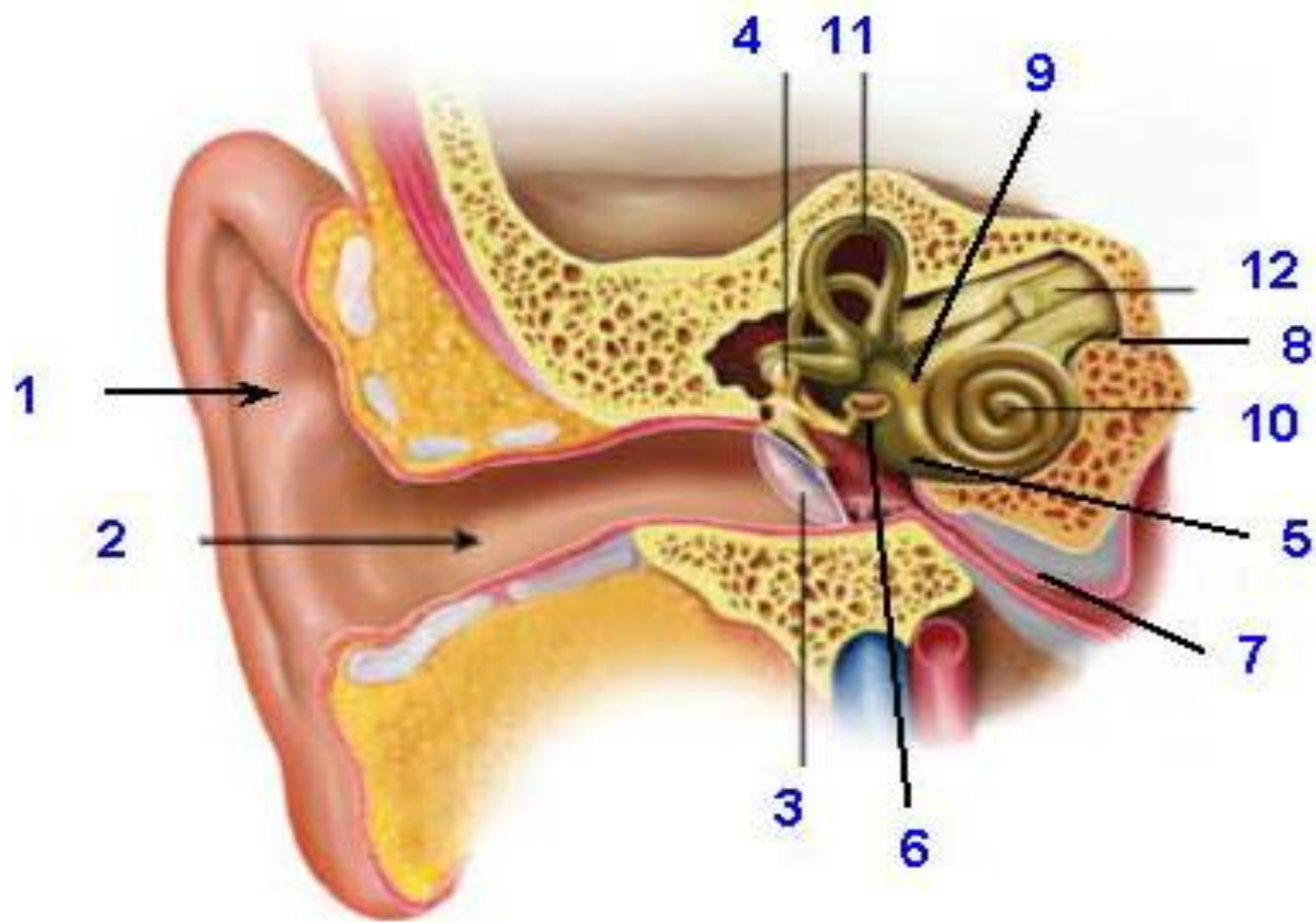


Ήχος

Το μάτι είναι συνθετικό όργανο: η σύνθεση δύο διαφορετικών μήκων κύματος έχει σαν αποτέλεσμα την αντίληψη ενός χρώματος. Κόκκινο φως + μπλε-πράσινο φως = κίτρινο φως.

Το αυτί είναι αναλυτικό όργανο: δύο διαφορετικές συχνότητες δεν ακούγονται σαν ένας ενδιάμεσος τόνος. Ακούμε τους ήχους διαφορετικών μουσικών οργάνων σαν ξεχωριστούς.

Το αυτί



Έξω ους

Πτερύγιο (1)

Ακουστικός πόρος (2)

Εστίαση, φιλτράρισμα του ήχου

Το τύμπανο δονείται με την ίδια συχνότητα με τα ηχητικά κύματα.

Μέσο ους -1

Τυμπανικός υμένας (μεμβράνη, τύμπανο) (3)

Σφύρα, άκμων, αναβολέας (4)

Ευσταχιανή σάλπιγγα (7)

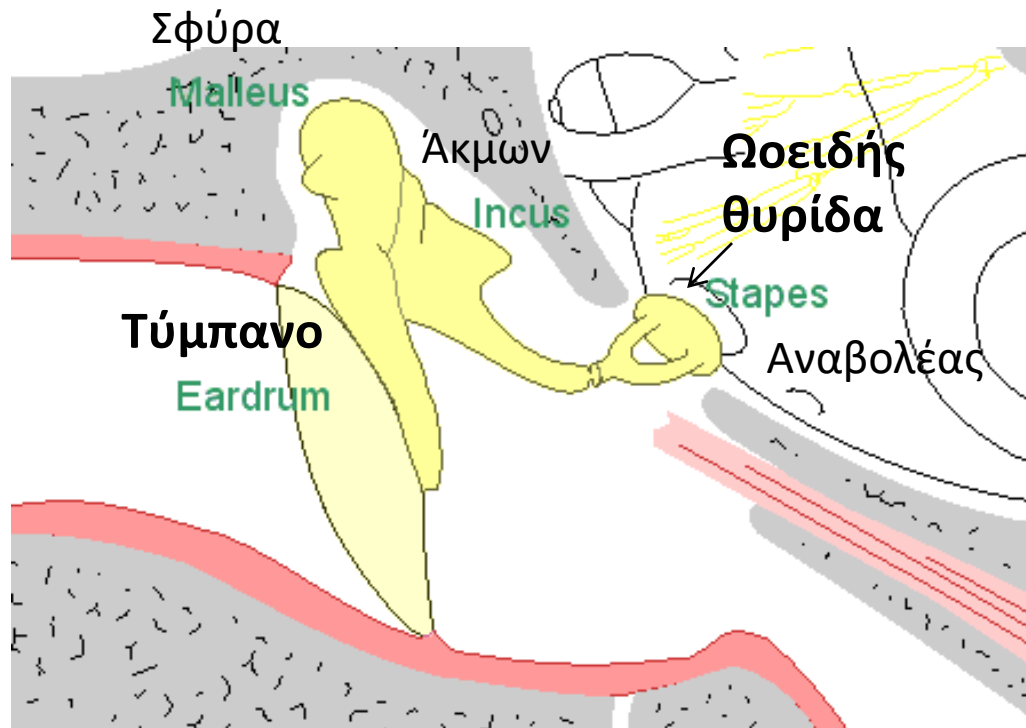
Τα 3 οστάρια είναι πολύ αποτελεσματικός τρόπος συγκέντρωσης ενέργειας από το τύμπανο στην ωοειδή θυρίδα.

Το τύμπανο εφάπτεται στη σφύρα και μετατοπίσεις του τυμπάνου κινούν τα 3 οστάρια, που μεταδίδουν τις δονήσεις στην **ωοειδή θυρίδα** του έσω ωτός.

Η ευσταχιανή σάλπιγγα εξισώνει την πίεση του αέρα στις δύο πλευρές του τυμπάνου

Μέσο ους -2

Η επιφάνεια του τυμπάνου είναι περίπου 20 φορές μεγαλύτερη από τη βάση του αναβολέα, που εφάπτεται στην ωοειδή θυρίδα → συγκέντρωση της δύναμης για τη διακίνηση του παχύρευστου υγρού του έσω ωτός.



Μέσο ους -3

Τείνων το τύμπανο μυς, μυς του αναβολέα: βελτίωση της ακουστικής αντίληψης (μείωση ήχων χαμηλών συχνοτήτων), αλλά και προστασία του έσω ωτός από δυνατούς ήχους

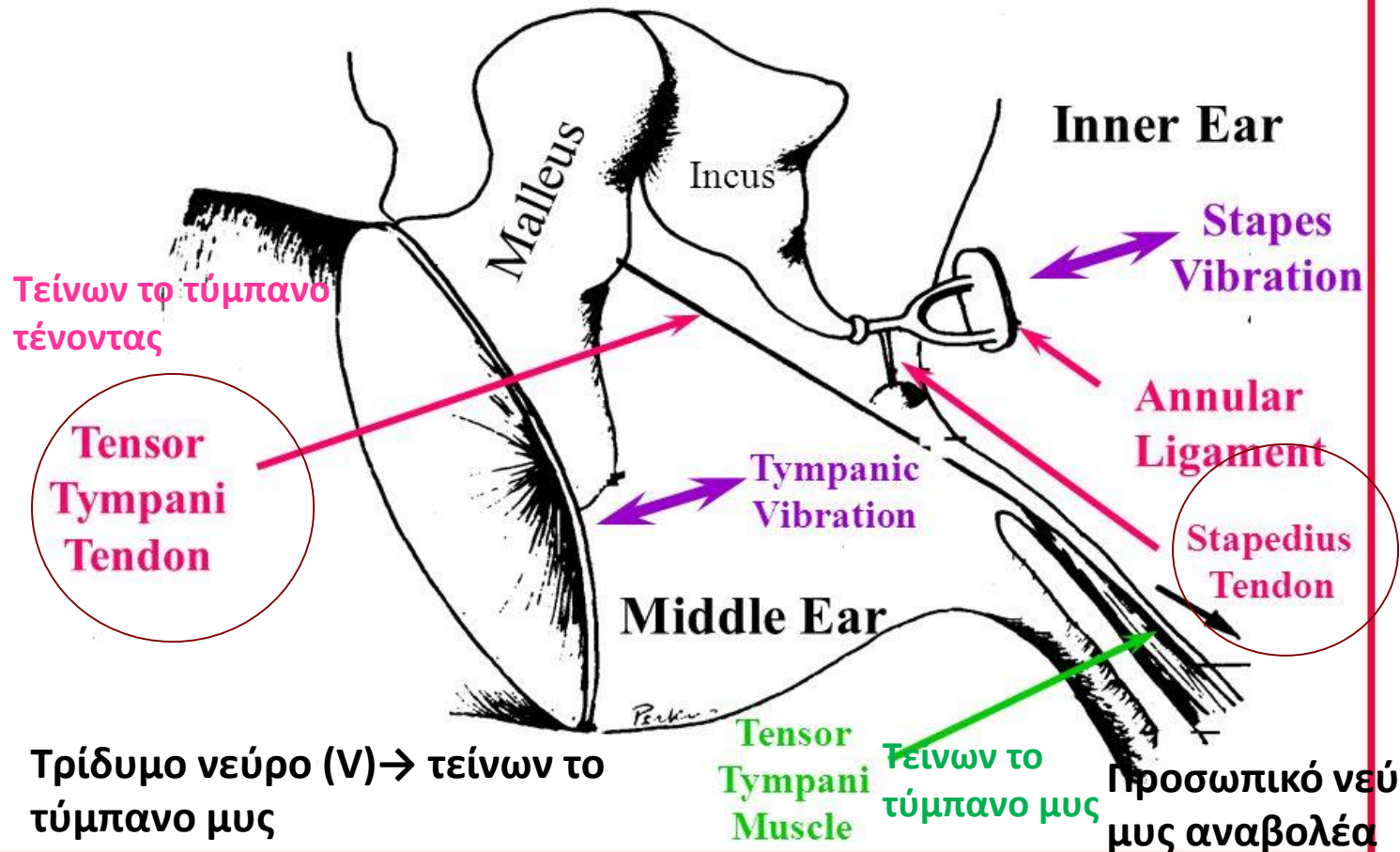
Δυνατοί ήχοι: συστολή μυός αναβολέα περ. 200 ms αργότερα, συνδέσεις οσταρίων πιο άκαμπτες, μείωση έντασης ήχου (ακουστικό ανακλαστικό)

Το ακουστικό ανακλαστικό δεν προστατεύει από δυνατούς ήχους με *αιφνίδια έναρξη*

Αυτοδημιούργητοι ήχοι (π.χ., κατάποση, φώνηση): συστολή μυός αναβολέα *πριν* ακουστεί ο ήχος, μείωση έντασης ήχου

Μέσο ους -4

Middle Ear Muscles

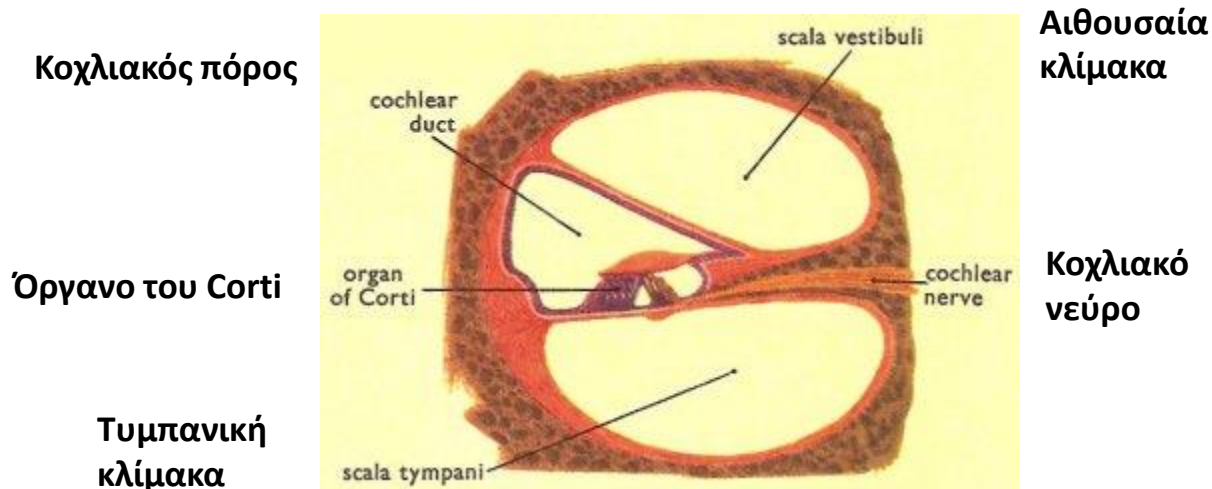


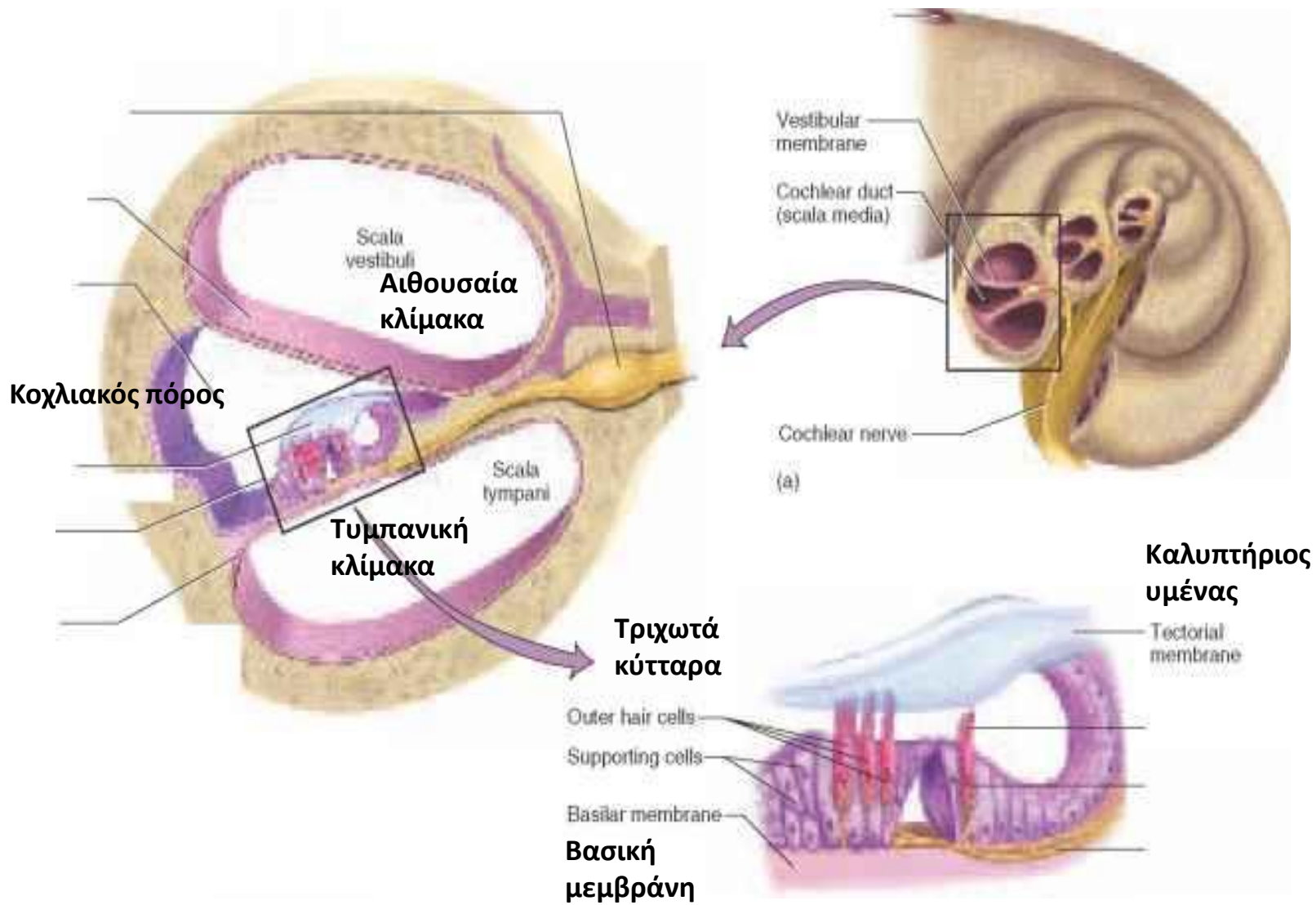
Έσω ους -1

Περιέχει παχύρρευστο υγρό, μετατρέπει την ενέργεια των δονήσεων σε κύματα υγρού

Κοχλίας (10): αιθουσαία κλίμακα, μέση κλίμακα (κοχλιακός πόρος), τυμπανική κλίμακα (*scala vestibuli, scala media, scala tympani*).

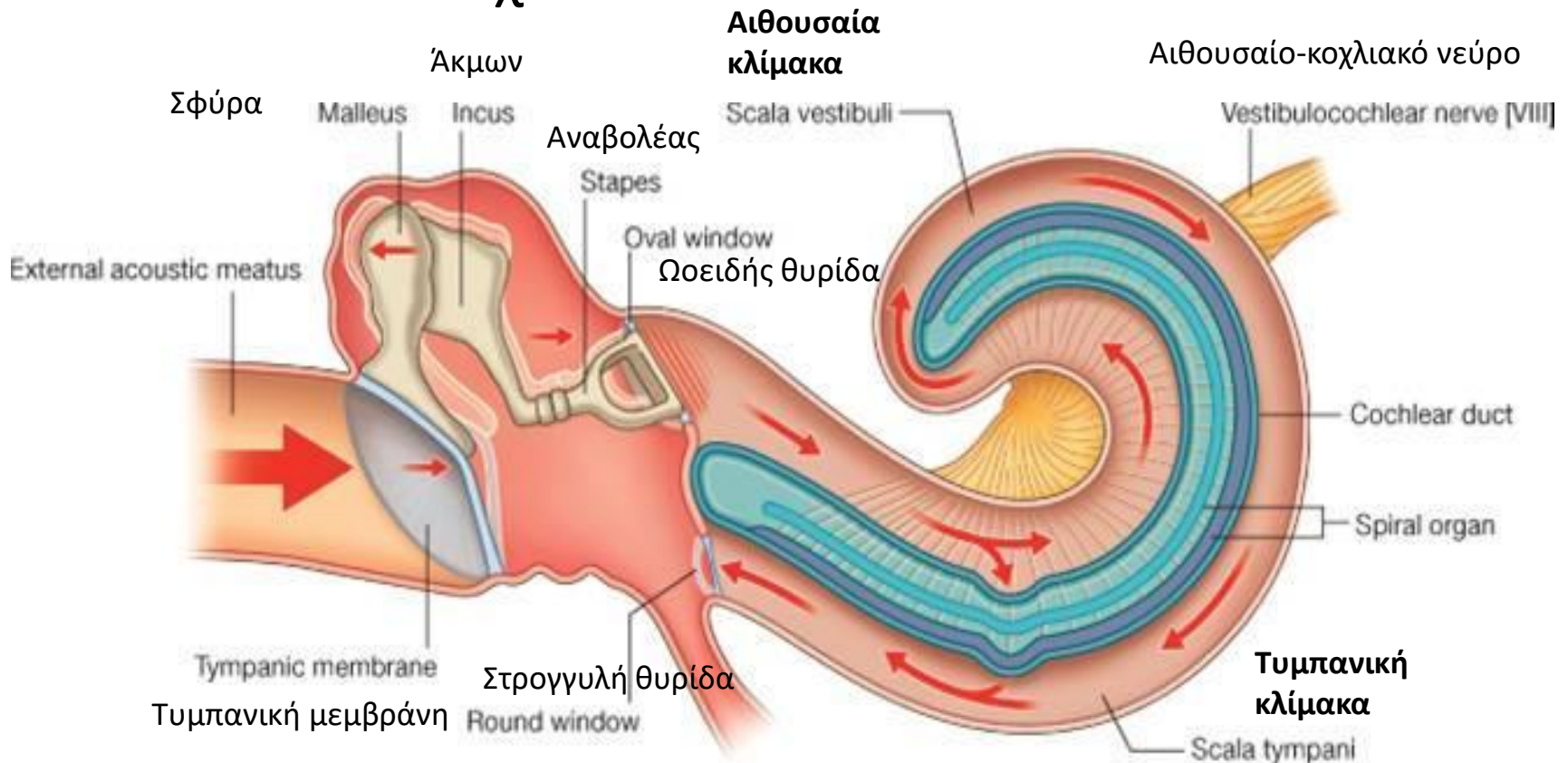
Όργανο του Κόρτι





Έσω ους -2

Η ωοειδής θυρίδα (6) βρίσκεται στην είσοδο προς την αιθουσαία κλίμακα. Από εκεί οι δονήσεις μεταδίδονται στον υπόλοιπο κοχλία.



Έσω ους -3

Το δάπεδο της μέσης κλίμακας σχηματίζει η **βασική μεμβράνη**. Κατά μήκος της βασικής μεμβράνης βρίσκονται τα **τριχωτά κύτταρα**.

Καθώς η **μέση κλίμακα (κοχλιακός πόρος)** κινείται πάνω-κάτω λόγω των κυμάτων, κάμπτονται τα τριχωτά κύτταρα μεταξύ του **καλυπτηρίου υμένα (μεμβράνης)** (*tectorial membrane*), ο οποίος είναι σχετικά άκαμπτος, και της **βασικής μεμβράνης** (*basilar membrane*). Τα τριχωτά κύτταρα διεγείρουν τα κύτταρα που σχηματίζουν το ακουστικό νεύρο.

Τα τριχωτά κύτταρα είναι **τροποποιημένοι υποδοχείς αφής**.

Τα τριχωτά κύτταρα

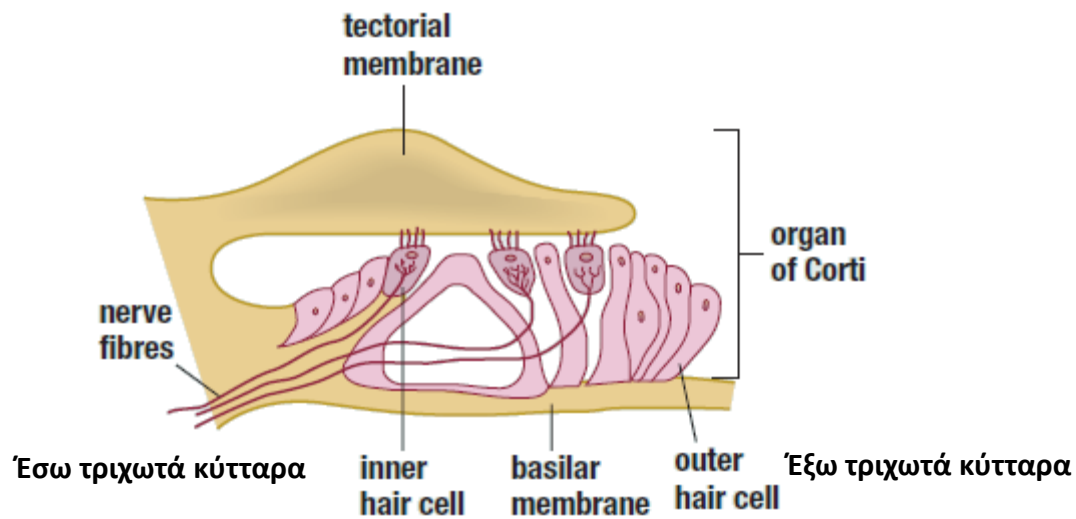
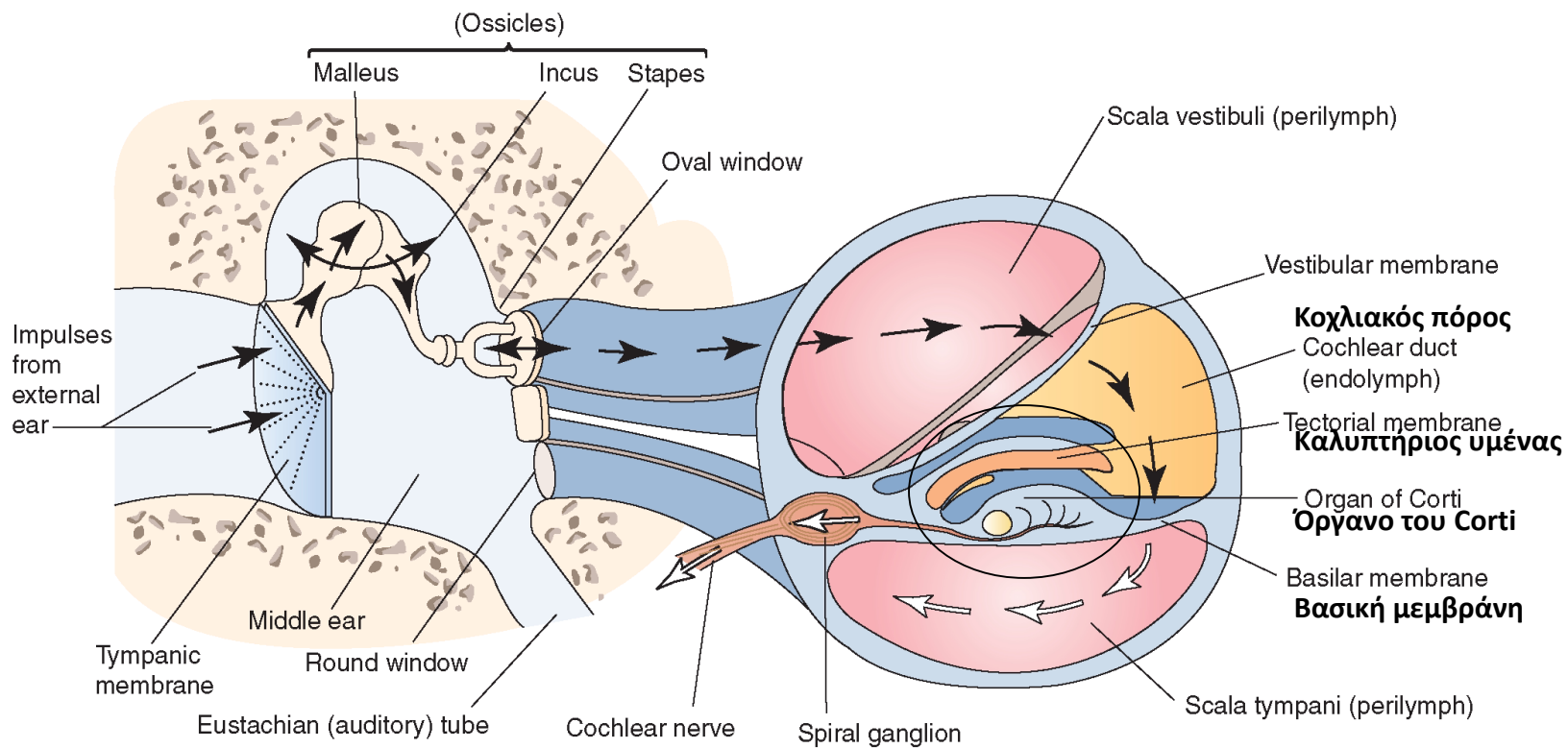
Ο ανθρώπινος κοχλίας έχει 2 σειρές τριχωτών κυττάρων:
3.500 περίπου **έσω τριχωτά κύτταρα**

3 σειρές 12.000 περίπου **έξω τριχωτά κύτταρα**

(οι όροι «έσω» και «έξω» αναφέρονται στη θέση τους σε σχέση με το κέντρο του σπειροειδούς κοχλίου)

Τα λιγότερα *έσω τριχωτά κύτταρα* λαμβάνουν το 90%-95% των ακουστικών νευρώνων και παρέχουν τις περισσότερες πληροφορίες για την ακουστική διέγερση

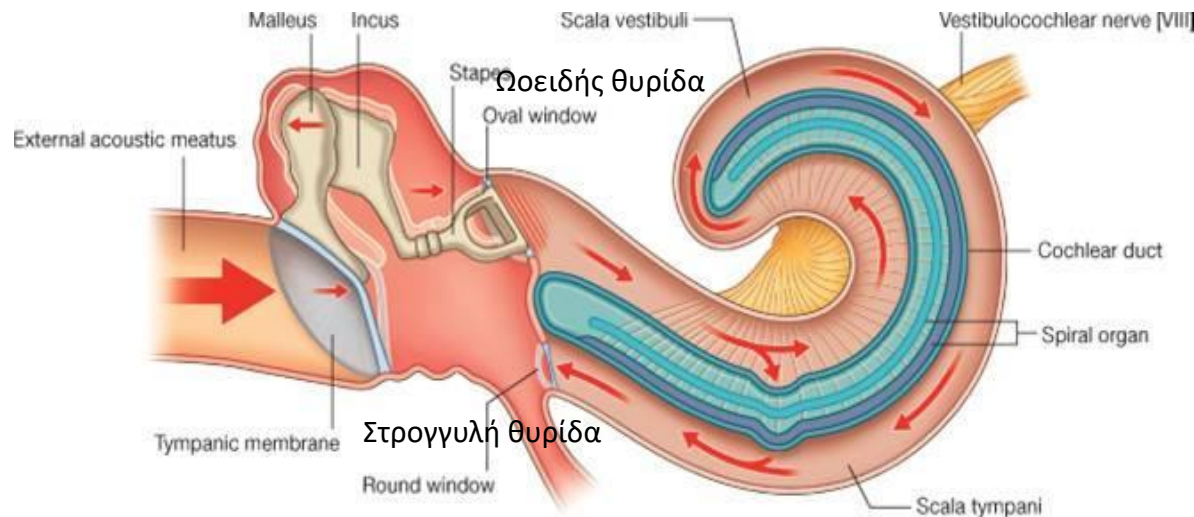
Τα *έξω τριχωτά κύτταρα* αυξάνουν την ευαισθησία του κοχλίου με την ενίσχυση της εξόδου του και με την όξυνση της συχνότητας συντονισμού στη θέση της κορυφαίας δόνησης



Έσω ους -4

Η **στρογγυλή θυρίδα (5)** αποτελείται από μια μεμβράνη η οποία αφήνει το υγρό να μετακινείται (τα υγρά δεν είναι συμπιέσιμα). Με αυτό τον τρόπο, οι δονήσεις μεταδίδονται από την ωοειδή θυρίδα.

Όταν η βάση του αναβολέα πιέζει προς τα μέσα, η μεμβράνη της σφαιρικής θυρίδας εξέχει προς τα έξω.



Βλ. βίντεο για τη λειτουργία του αυτιού

<https://www.youtube.com/watch?v=fIIAxGsV1q0>

<https://www.youtube.com/watch?v=K-cRIO4gQmk>

<https://www.youtube.com/watch?v=46aNGGNPm7s>

Οι δύο μηχανισμοί αντίληψης της οξύτητας
(συχνότητας) των ήχων

Συμπληρωματικοί μηχανισμοί

Η αντίληψη της οξύτητας -1

Η θεωρία της ριπής (συχνότητας) (*rate coding*): Η βασική μεμβράνη συντονίζεται σε έναν ήχο και προκαλεί την παραγωγή δυναμικών ενέργειας της ίδιας συχνότητας από τους νευράξονες του ακουστικού νεύρου. Π.χ. 50 Hz = 50 δυναμικά ενεργείας ανά δευτ. στο ακουστικό νεύρο.

Μεμονωμένοι νευρώνες καλύπτουν τις χαμηλές συχνότητες (μέχρι 100 Hz), διότι η ανερέθιστη περίοδος των νευρώνων παρεμποδίζει τη διατήρηση δυναμικών ενέργειας σε υψηλές συχνότητες.

Η αντίληψη της οξύτητας -2

Η θεωρία της θέσης (*place coding, von Helmholtz*):

Κάθε περιοχή της βασικής μεμβράνης είναι συντονισμένη σε μια συγκεκριμένη συχνότητα.

Δονείται όταν η συχνότητα αυτή είναι παρούσα.

Το νευρικό σύστημα διακρίνει τις διάφορες συχνότητες βάσει της θέσης των νευρώνων που ενεργοποιούνται.

Όμως η βασική μεμβράνη είναι συνεχόμενη και δεν είναι δυνατό να διεγερθεί μια συγκεκριμένη περιοχή, μόνο.

Η αντίληψη της οξύτητας -3

Ο μηχανισμός αντίληψης της συχνότητας είναι διαφορετικός για διαφορετικές συχνότητες.

Για συχνότητες ως 4000 Hz ισχύει η **θεωρία της ριπής & της θέσης**.

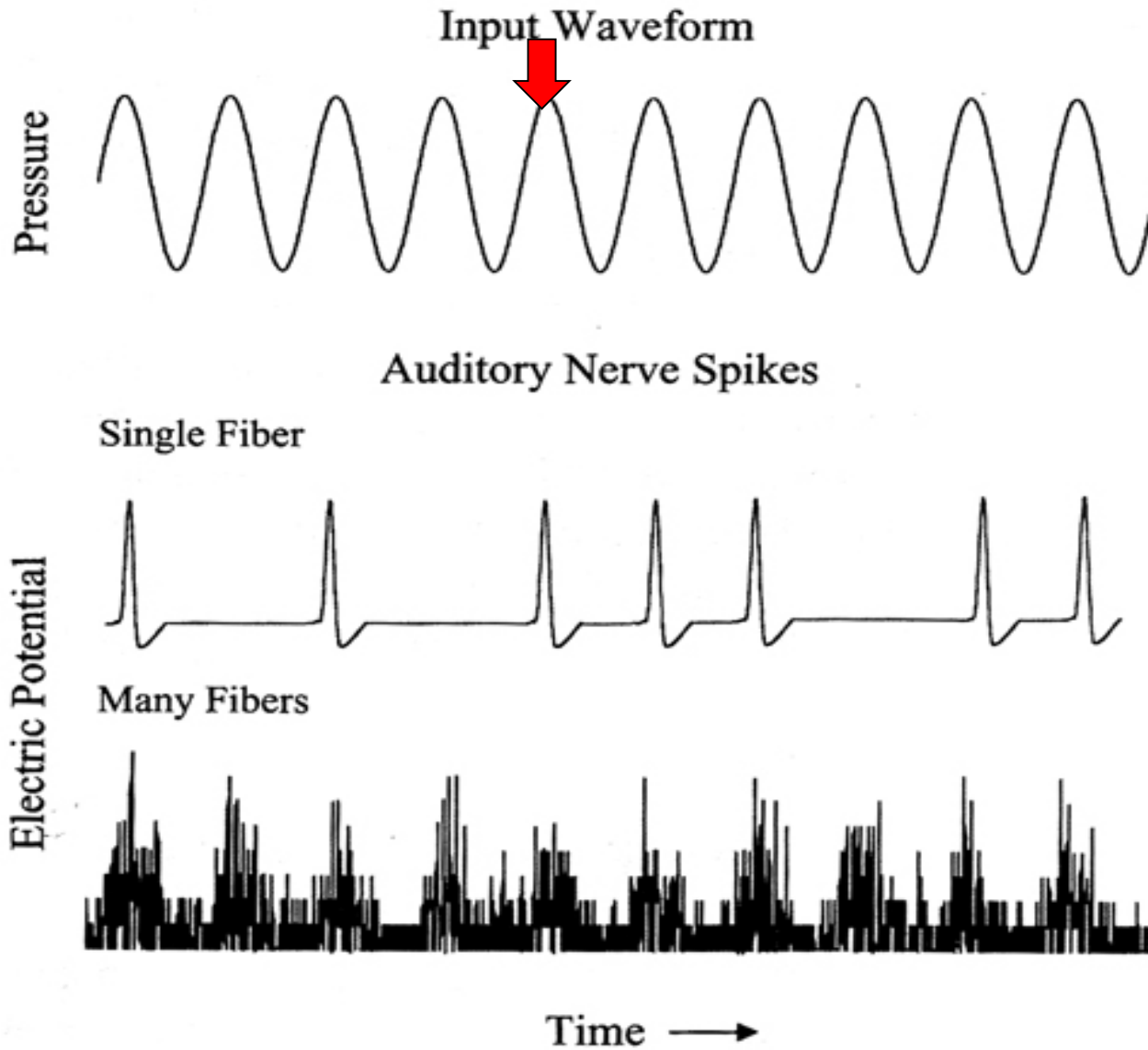
Για συχνότητες >4000 Hz ισχύει η **θεωρία της θέσης**.

Η αντίληψη της οξύτητας -4

Για **συχνότητες >100 Hz**, ένας νευρώνας δεν μπορεί να ανταπεξέλθει στη συχνότητα των ηχητικών κυμάτων.

Οι νευρώνες παράγουν δυναμικά ενεργείας **σε συμφωνία φάσης** με τις κορυφές των ηχητικών κυμάτων (*phase locking*).

Επιπρόσθετοι νευρώνες παράγουν δυναμικά ενεργείας σε συμφωνία φάσης με τις κορυφές του ηχητικού κύματος αλλά όχι με τα δυναμικά ενεργείας των πρώτων νευρώνων.



Η αντίληψη της οξύτητας -5

Η αρχή της ομοβροντίας: κάθε κύμα υψηλών συχνοτήτων προκαλεί μια ομοβροντία ώσεων σε μια σειρά νευρικών ινών.

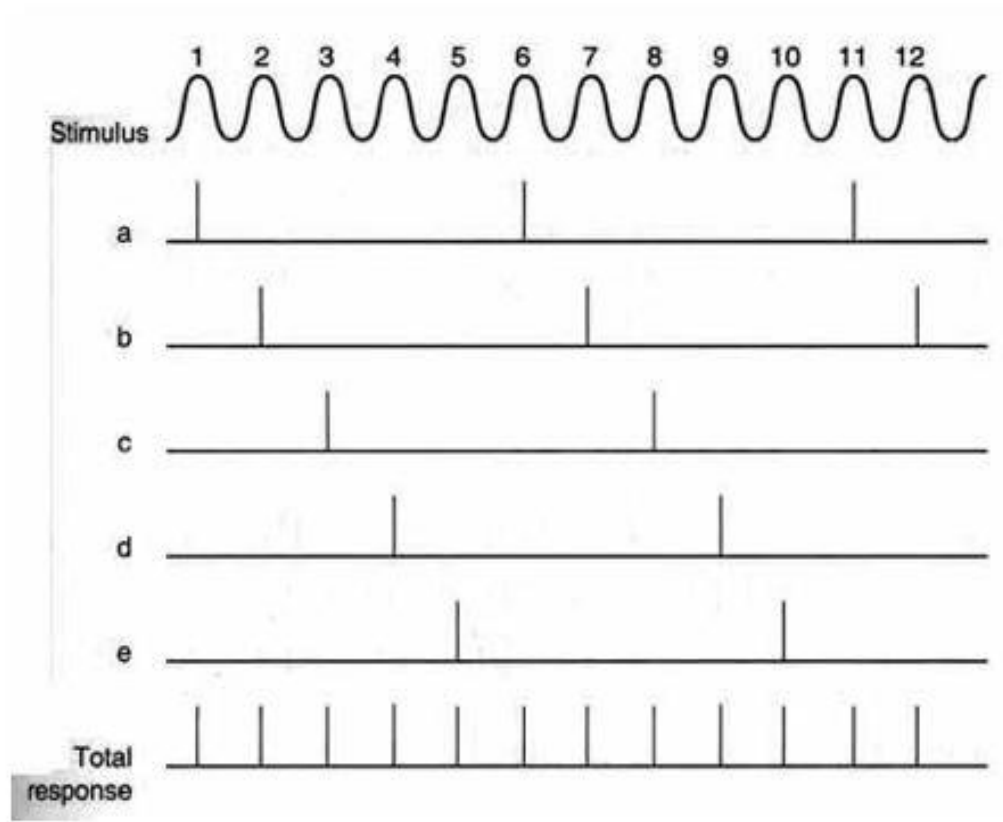
Το ακουστικό νεύρο σαν σύνολο μπορεί να παράγει 1000 ώσεις ανά δευτερόλεπτο, παρ' όλο που μεμονωμένοι νευρώνες δεν μπορούν.

Η αρχή της ομοβροντίας δεν ισχύει για ήχους > 4000 Hz, διότι ακόμα και εναλλασσόμενες ομοβροντίες δεν μπορούν να ανταπεξέλθουν στις υψηλές συχνότητες.

Για **υψηλές συχνότητες > 4000 Hz** ισχύει η **θεωρία της θέσης**.

Η αρχή της ομοβροντίας

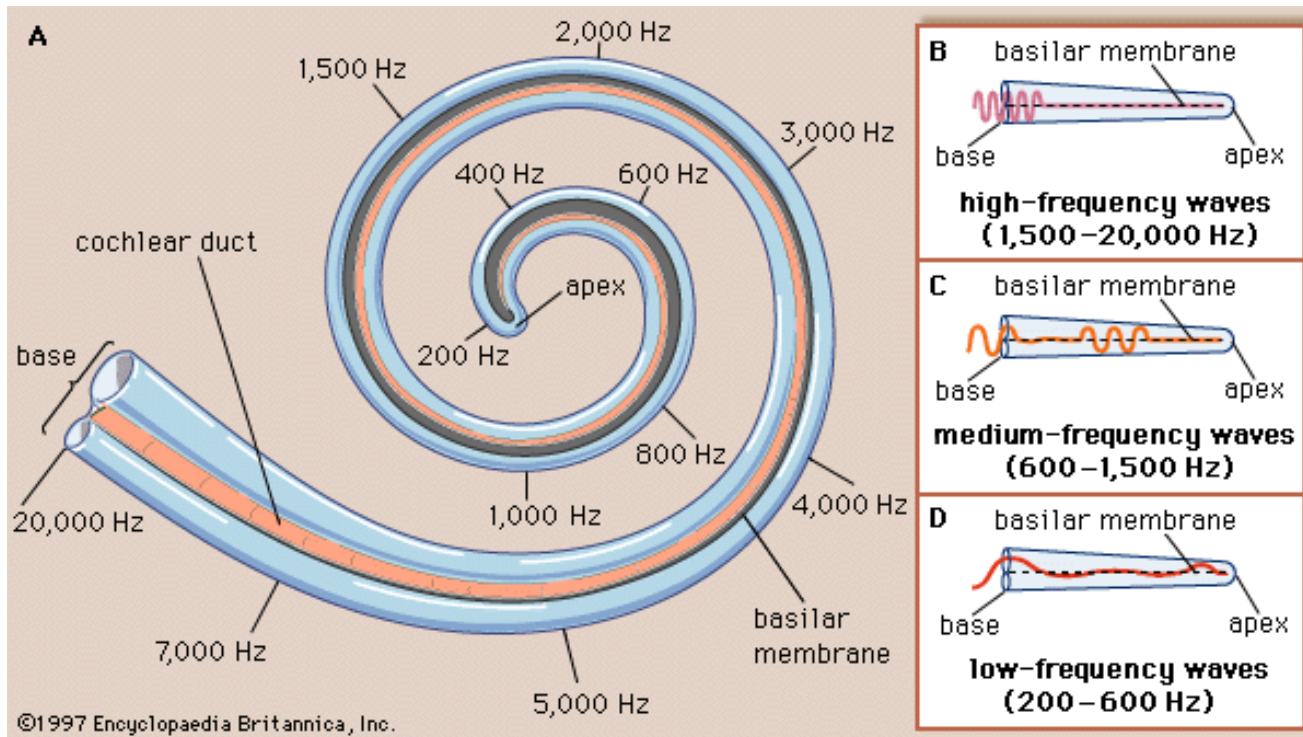
Volley principle

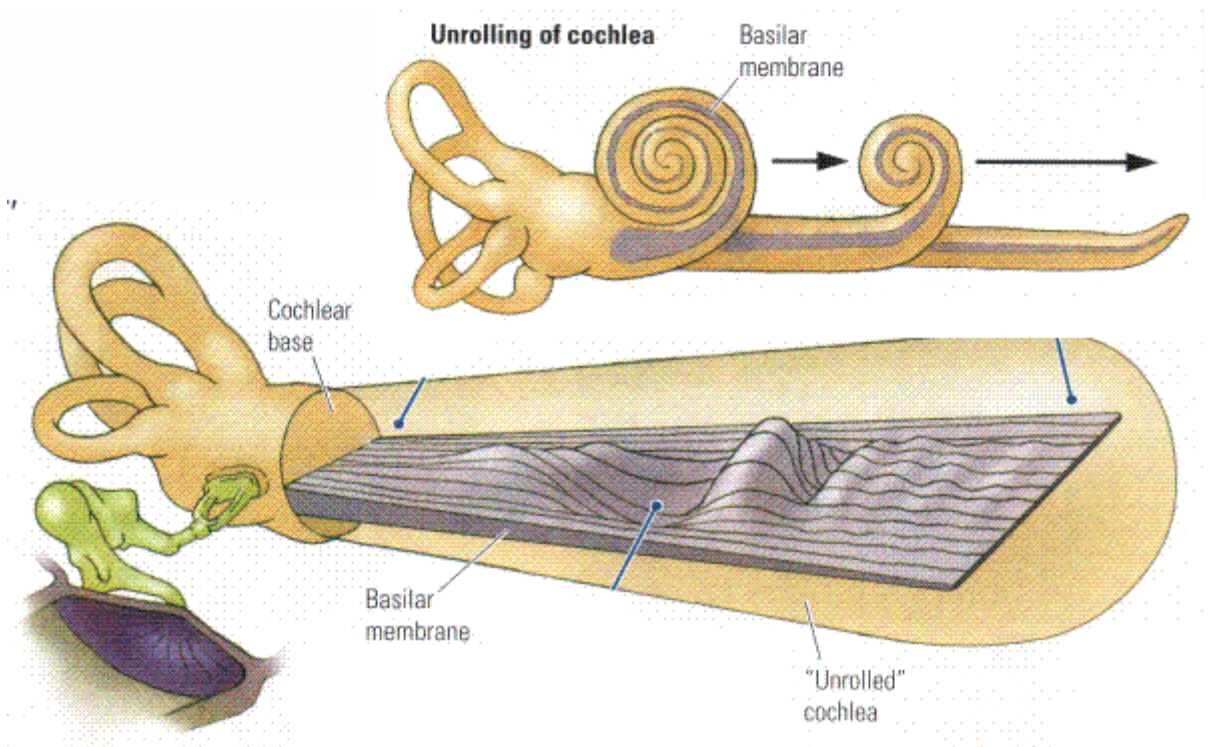


Η αντίληψη της οξύτητας -6

Η **βάση** της βασικής μεμβράνης είναι στενή και δύσκαμπτη. Ανάλυση υψηλών συχνοτήτων.

Η **κορυφή** της βασικής μεμβράνης είναι πλατύτερη και εύκαμπτη. Ανάλυση χαμηλών συχνοτήτων.





Η αντίληψη της οξύτητας -7

Όταν ένα κύμα ταξιδεύει κατά μήκος της μεμβράνης, προκαλεί μετατοπίσεις σε όλα τα σημεία της, αλλά το μέγεθος των μετατοπίσεων ποικίλλει λόγω της διαφοροποίησης του πλάτους και της δυσκαμψίας της μεμβράνης.

Η μέγιστη μετατόπιση για κύματα υψηλής συχνότητας είναι κοντά στη *βάση*. Για κύματα χαμηλής συχνότητας είναι κοντά στην *κορυφή*.

Η αντίληψη της έντασης

Για **χαμηλές συχνότητες**: οι αδύναμοι ήχοι διεγείρουν ένα μικρό αριθμό νευρώνων. Οι δυνατότεροι ήχοι διεγείρουν *μεγαλύτερο αριθμό*.

Για **υψηλές συχνότητες**: οι άξονες του κοχλιακού νεύρου *αυξάνουν το ρυθμό της πυροδότησης*.

Για τους νευρώνες που συνεισφέρουν στην αντίληψη της συχνότητας βάσει της **θέσης**, η συχνότητα γίνεται αντιληπτή βάσει του *ποιοι νευρώνες πυροδοτούν*, και η ένταση βάσει του *ρυθμού* της πυροδότησης.

Η αντίληψη της χροιάς -1

Πως αναγνωρίζουμε τους σύνθετους ήχους;
Μπορούμε να διακρίνουμε τον ήχο του πιάνου από τον ήχο του βιολιού.

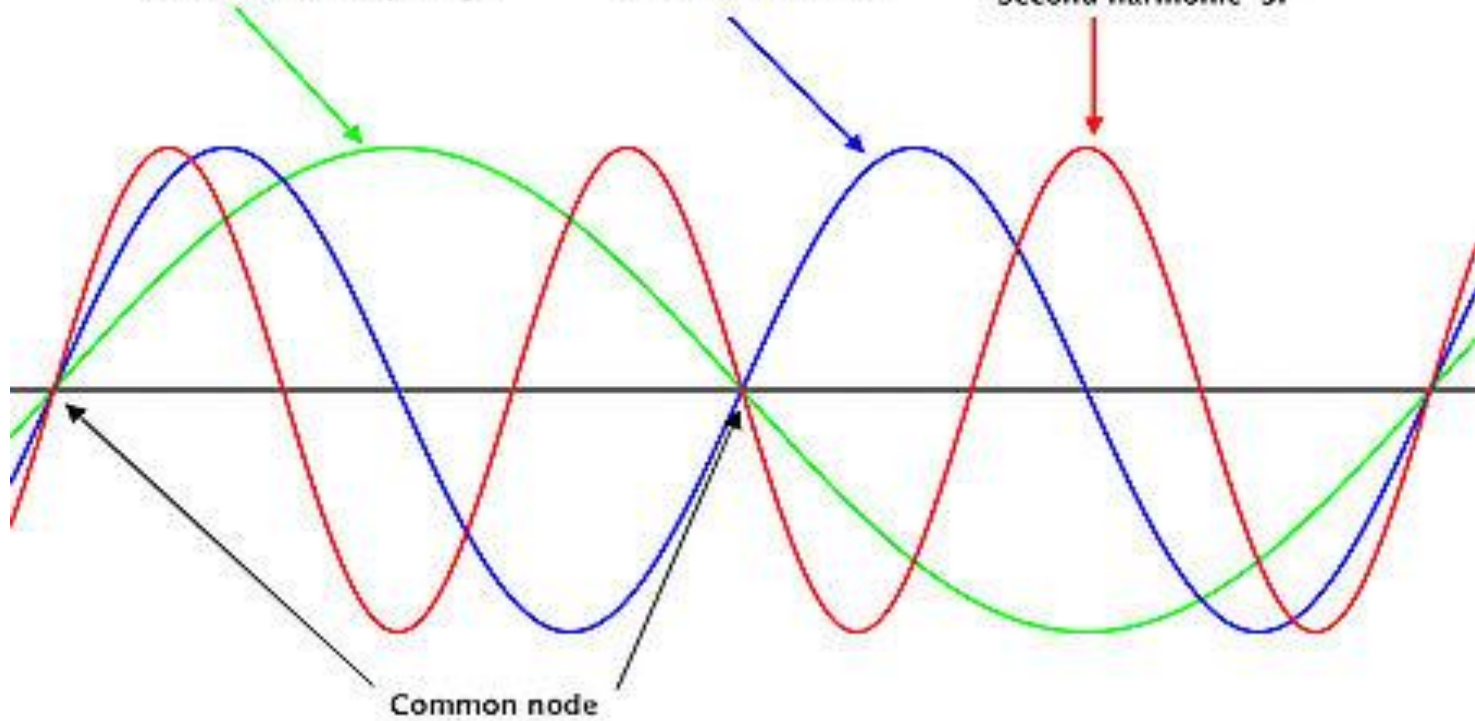
Το σχήμα του κύματος επαναλαμβάνεται στη **βασική συχνότητα**. Η βασική συχνότητα μας δίνει την αίσθηση του τόνου (συχνότητας).

Το σύνθετο κύμα μπορεί να αναλυθεί στη βασική συχνότητα και σε **αρμονικές** (πολλαπλάσια της βασικής συχνότητας). Διαφορετικά όργανα παράγουν αρμονικές διαφορετικής έντασης.

Βασική (θεμελιώδης) συχνότητα
Fundamental Frequency f

1^η αρμονική
First harmonic $2f$

2^η αρμονική
Second harmonic $3f$



Η αντίληψη της χροιάς -2

Όταν ένας ήχος διεγείρει την βασική μεμβράνη, διαφορετικές περιοχές της μεμβράνης αντιστοιχούν στις αρμονικές. Ο ακουστικός φλοιός ερμηνεύει αυτές τις διεγέρσεις.

Ακουστικές εκπομπές

Προκλητές ωτοακουστικές εκπομπές (evoked autoacoustic emissions, EOAEs): Οι ήχοι που παράγει ο κοχλίας ως αντίδραση σε ένα ακουστικό ερέθισμα.

Αυτόματες ωτοακουστικές εκπομπές (spontaneous autoacoustic emissions, SOAEs): συνεχείς χαμηλοί ήχοι που παράγονται αυθόρμητα, που το άτομο δεν αντιλαμβάνεται.

Είναι λειτουργίες του **κοχλιακού ενισχυτή**, ενός μηχανισμού βελτίωσης του συντονισμού της βασικής μεμβράνης. Τα έξω τριχωτά κύτταρα επιμηκύνονται με την υπερπόλωση, ενισχύοντας τις κινήσεις της βασικής μεμβράνης σε ορισμένες περιοχές.

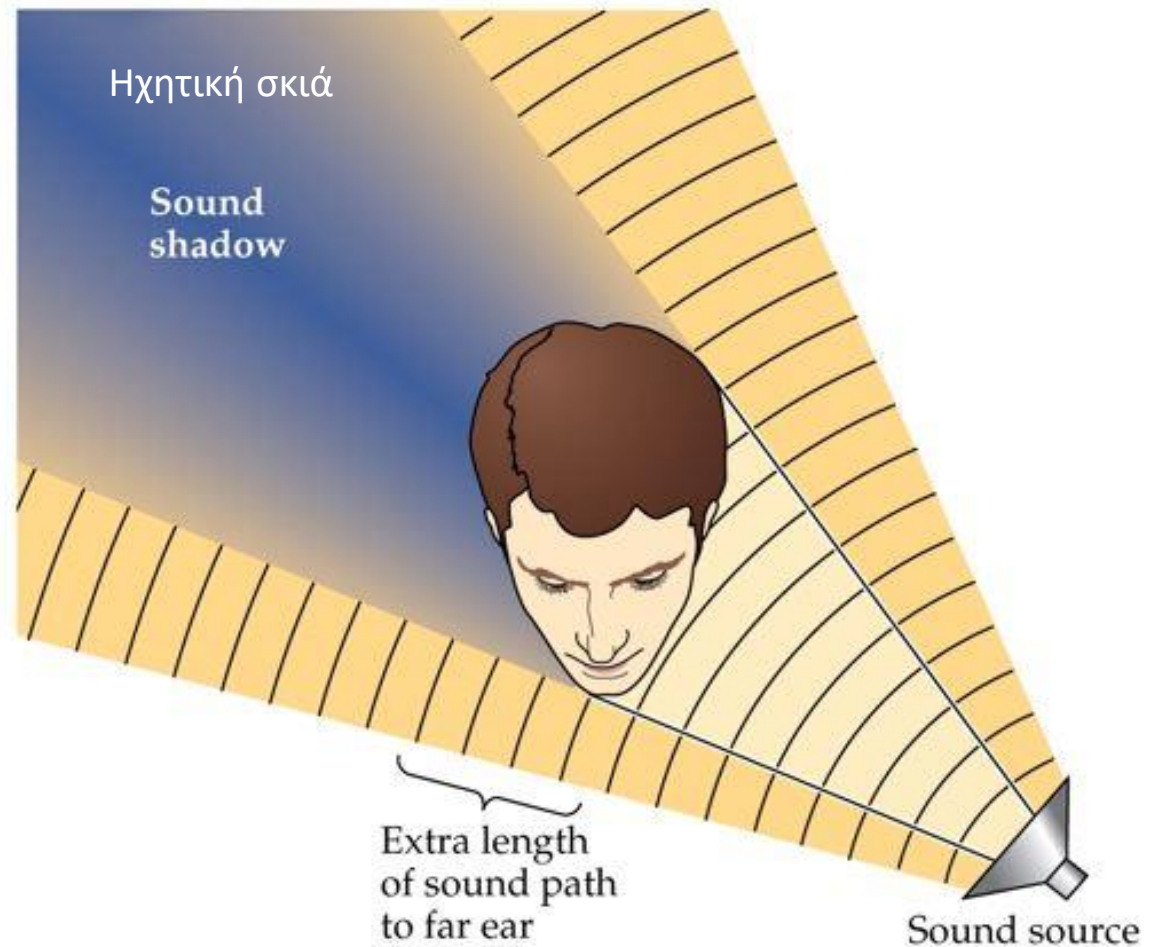
Ο εντοπισμός του ήχου -1

Η **διαφορά της έντασης** μεταξύ των δύο αυτιών: Η κεφαλή εμποδίζει τη διέλευση των ακουστικών κυμάτων, κυρίως κυμάτων υψηλών συχνοτήτων και δημιουργεί μια ηχητική σκιά. Ο ήχος είναι πιο δυνατός στο πλησιέστερο αυτί. Για συχνότητες **>3.000 Hz**.

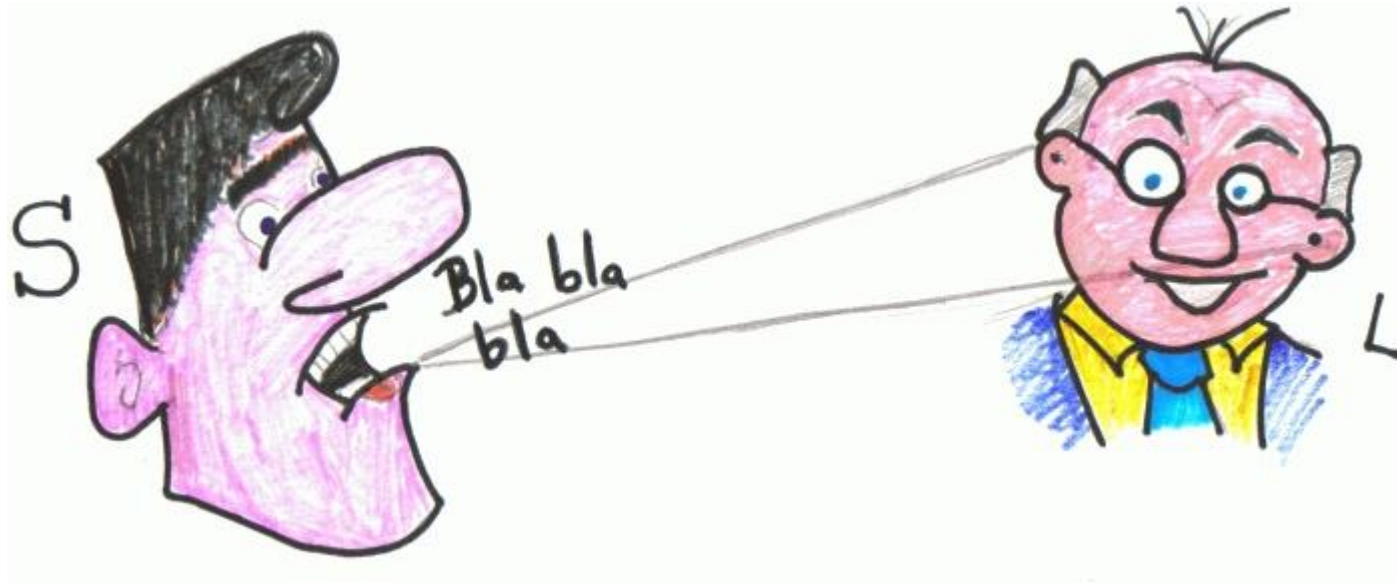
Οι **διαφορές λανθάνοντος χρόνου (του χρόνου άφιξης)** μεταξύ των δύο αυτιών: Ο ήχος που δεν προέρχεται από πηγή ακριβώς μπροστά φτάνει στο ένα αυτί πιο γρήγορα. Ο μηχανισμός αυτός δεν λειτουργεί όταν η έναρξη του ήχου δεν είναι ξαφνική, αλλά σταδιακή.

Διαφορά της έντασης

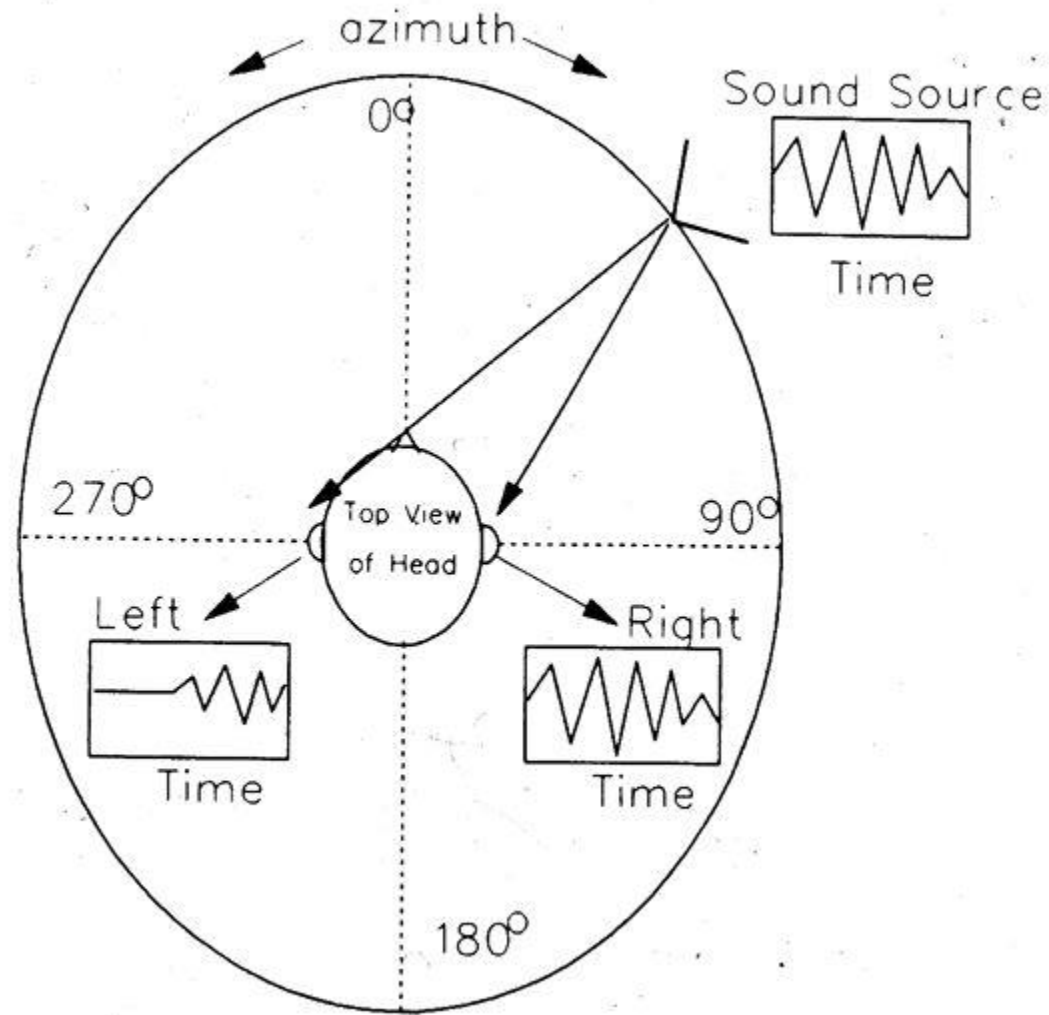
Sound localization



Διαφορά του χρόνου άφιξης



Διαφορά του χρόνου άφιξης



Ο εντοπισμός του ήχου -2

Στις **χαμηλές συχνότητες** (μέχρι 1.500 Hz) οι ήχοι σταδιακής έναρξης εντοπίζονται βάσει **διαφοράς της φάσης** (των κορυφών των κυμάτων). Η διαφορά της φάσης δημιουργεί διαφορά στο χρόνο άφιξης.

Όλοι οι ήχοι εντοπίζονται επίσης και βάσει της **διαφοράς του χρόνου έναρξης** (που επίσης δημιουργεί διαφορά στο χρόνο άφιξης).

Στις **υψηλές συχνότητες** οι ήχοι εντοπίζονται βάσει **διαφοράς της έντασης**.

Ο εντοπισμός του ήχου -3

Στα μικρά ζώα με αυτιά το ένα κοντά στο άλλο (ποντίκια), δεν μπορεί να γίνει διάκριση διαφοράς φάσης ήχων χαμηλής συχνότητας.

Οι ήχοι υψηλής συχνότητας εντοπίζονται διότι δημιουργούν ηχητική σκιά.

Το μέγεθος του κεφαλιού του ζώου καθορίζει την ικανότητα εντόπισης του ήχου σε σχέση με τη συχνότητα. Όσο μικρότερο είναι το κεφάλι του ζώου, τόσο υψηλότερη πρέπει να είναι η συχνότητα.



Η πορεία της ακουστικής ώσης

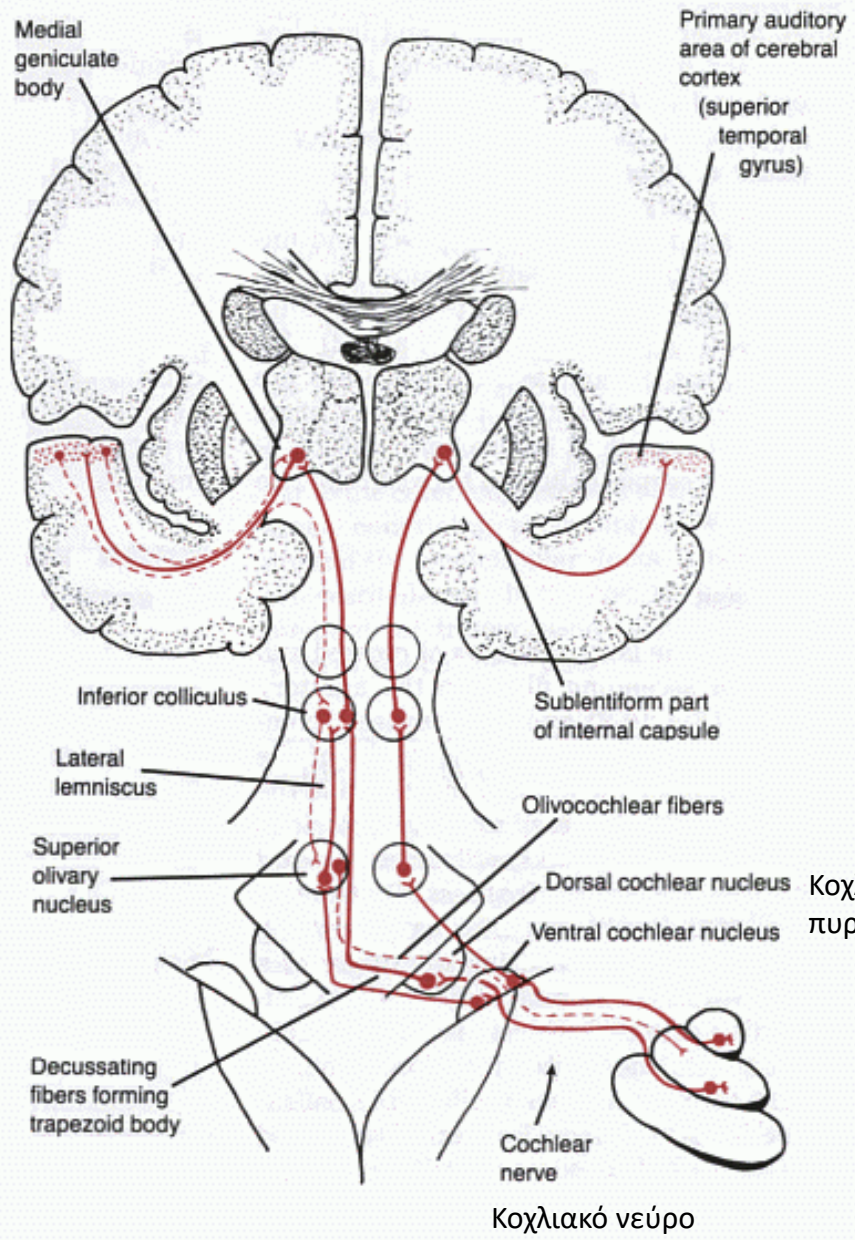
Κοχλίας → κοχλιακός πυρήνας → κάτω διδύμια → έσω γονατώδες σώμα → ακουστικός φλοιός

Ο κοχλιακός πυρήνας δέχεται πληροφορίες από το ομόπλευρο αυτί. Σε όλα τα υπόλοιπα στάδια οι πληροφορίες προέρχονται και από τα δύο αυτιά.

Η επιφάνεια του ακουστικού φλοιού περιέχει έναν **τονοτοπικό χάρτη**.

Κόκκινες γραμμές:
 ανερχόμενες οδοί
 Διακεκομμένες
 γραμμές:
 κατερχόμενες οδοί

The principal central connections of hearing.
 Solid coloured lines show the ascending pathways to the primary auditory cortex.
 Descending connections are represented by broken lines.



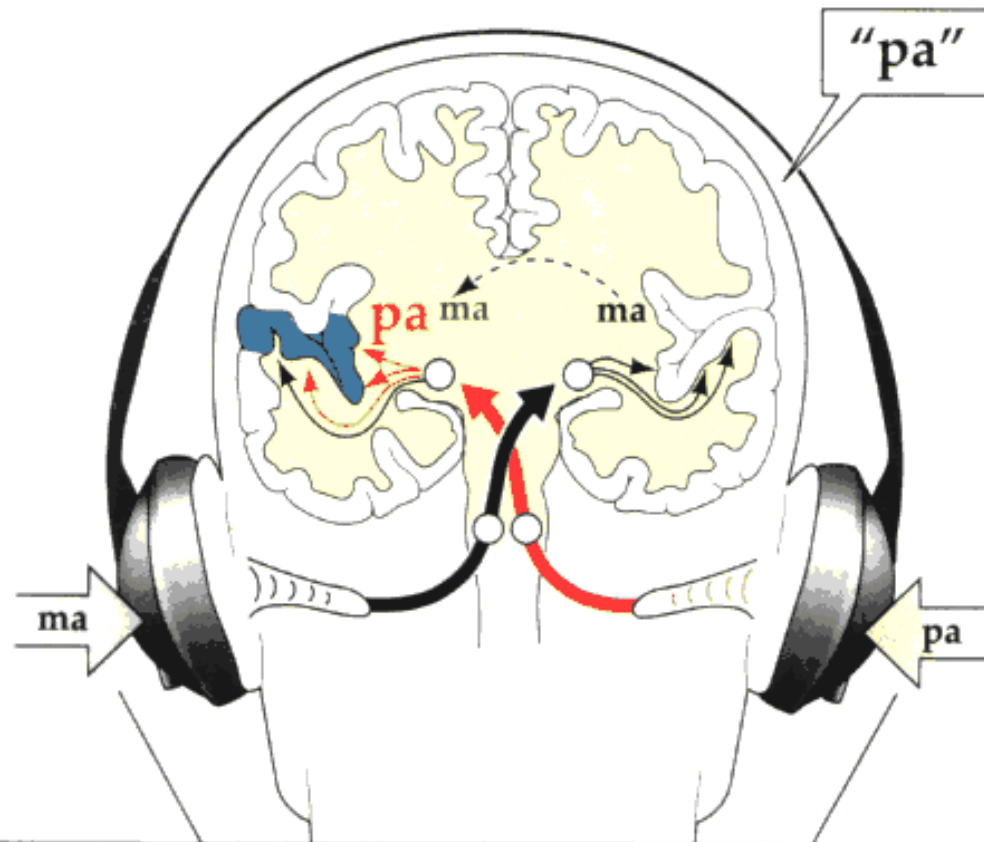
Κοχλιακός
 πυρήνας

Κοχλιακό νεύρο

Διχωτική ακρόαση

- Μέθοδος μελέτης της εγκεφαλικής ασυμμετρίας για φωνητική επεξεργασία (Kimura 1961, Bryden, 1963, κ.ά)
- Ταυτόχρονη παρουσίαση δύο διαφορετικών ακουστικών ερεθισμάτων στα δύο αυτιά
- Πχ., παρουσίαση /ba/ στο Δ αυτί, /da/ στο Α αυτί: τι ακούει καλύτερα το άτομο;
- Το πλεονέκτημα του Δ αυτιού (Right Ear Advantage, REA): περισσότερα ερεθίσματα από το Δ παρά από το Α αυτί

Διχωτική ακρόαση



When conflicting information goes to both ears, that to the right ear reaches Wernicke's area first. Subject repeats only the right ear information.

Διχωτική ακρόαση: μηχανισμός

- Ακουστικό μήνυμα προς στο αντίθετο ημισφαίριο: ισχυρότερο
- Προς το ομόπλευρο ημισφαίριο: αναστέλλεται από το αντίθετο ημισφαίριο
- Α ημισφαίριο και εξειδίκευση για τη γλώσσα
- Το ομόπλευρο μήνυμα πρέπει να περάσει στο Α ημισφαίριο μέσω του μεσολοβίου για να υποστεί επεξεργασία, καθυστέρηση

Η κώφωση/ βαρηκοΐα

Νευροαισθητήρια

Προκαλείται από διαταραχές του κοχλίου/ των τριχωτών κυττάρων/ του 8^{ου} κρανιακού νεύρου/ των κοχλιακών πυρήνων. Συνήθως μη αναστρέψιμη.

Εκ γενετής: κληρονομικού τύπου, από έκθεση της μητέρας σε τοξίνες, κτλ.

Επίκτητη: από τοξόπλασμα, ερυθρά, έρπητα, ανεπαρκή οξυγόνωση του εγκεφάλου, μόλυνση, μηνιγγίτιδα, ωτοτοξικές ουσίες (αντιβιοτικά κ.ά), θόρυβο, συστηματικές παθήσεις, τραυματισμό, γήρανση, σκλήρυνση κατά πλάκας, έκθεση σε θόρυβο. Καταστροφή τριχωτών κυττάρων του κοχλίου

Ιδιοπαθής = άγνωστη αιτιολογία.

Αγωγής

Προκαλείται από διαταραχές του έξω και μέσου ωτός.

Παραδείγματα: ωτίτιδα, τυμπανοσκλήρυνση (από επανειλημμένες μολύνσεις του μέσου ωτός), κερί, ωτοσκλήρυνση, κτλ.

Συνήθως αναστρέψιμη.

Κεντρική

Από βλάβη στο ακουστικό τμήμα του εγκεφαλικού στελέχους, της ακουστικής οδού, ή του ακουστικού φλοιού.

Δυσκολίες ακουστικής αποκωδικοποίησης μπορούν να παρατηρηθούν *στα πλαίσια φυσιολογικού ακουογράμματος*. Δυσκολία στην κατανόηση του λόγου.

Επίκτητη (π.χ. τοξόπλασμα, ασφυξία, σκλήρυνση κατά πλάκας, επιληψία, αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο) ή εκ γενετής.

«Φλοιική (φλοιώδης) κώφωση», «λεκτική κώφωση»

Σύνδρομο Landau-Kleffner

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC320814/>

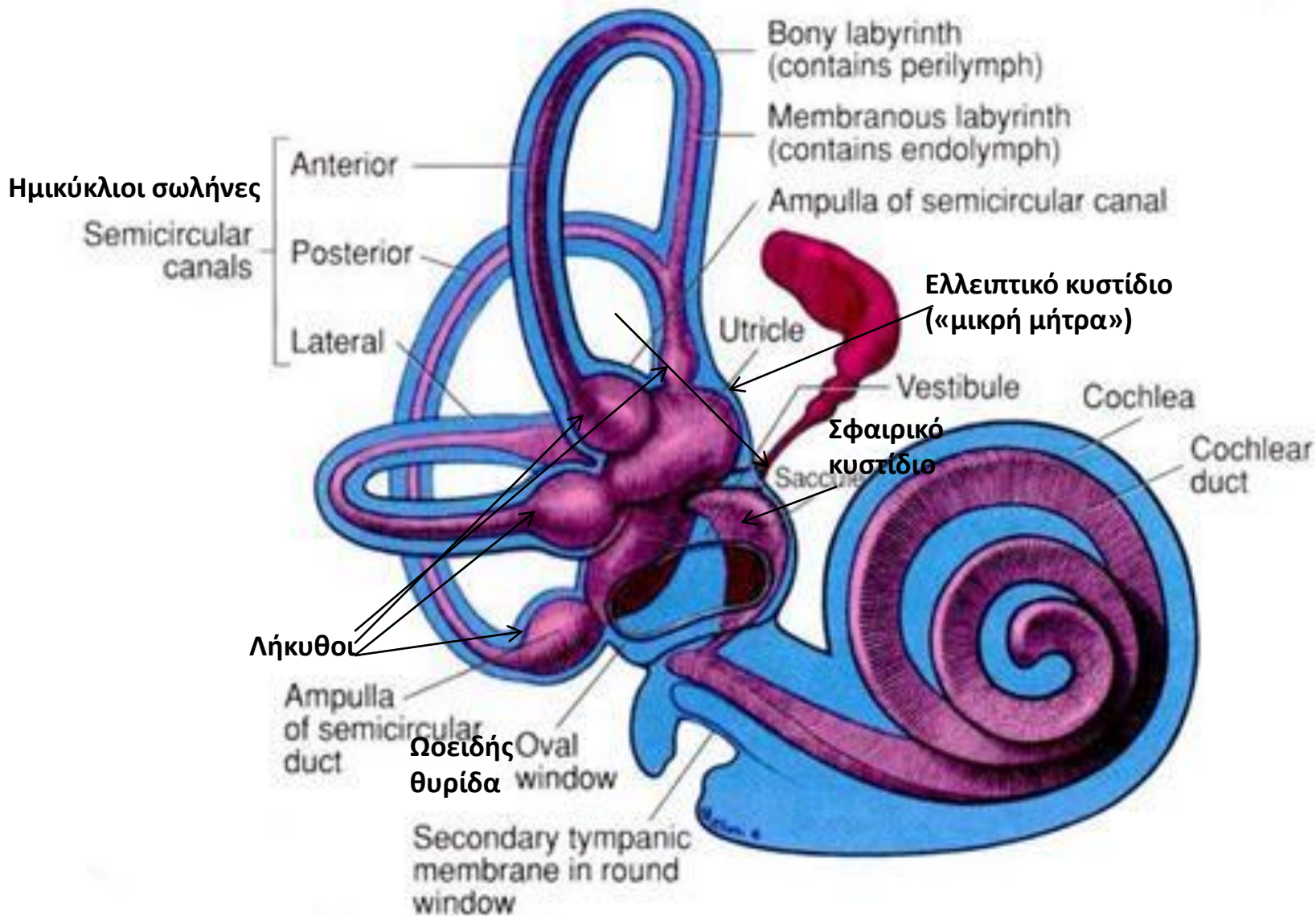
Κατηγοριοποίηση βαθμού απώλειας

dB	
< 26	Φυσιολογική ακοή
26-40	Ήπια ακουστική απώλεια
41-55	Μέση ακουστική απώλεια
56-70	Μέτρια σοβαρή ακουστική απώλεια
71-90	Σοβαρή ακουστική απώλεια
> 90	Βαθιά ακουστική απώλεια

Βάσει ακουομετρικής εκτίμησης με αέρινη αγωγιμότητα στα 500, 1000, & 2000 Hz. Υπολογίζεται μέσος όρος βάσει των καλύτερων 2 από τις 3 συχνότητες.

Η παραδοσιακή αυτή κατηγοριοποίηση δεν λαμβάνει υπ' όψιν τις υψηλές συχνότητες, που δεν γίνονται αντιληπτές σε θορυβώδες περιβάλλον.

Η αιθουσαία αίσθηση



Η αιθουσαία αίσθηση

Ιδιοδεκτικότητα

Proprioception

The **Brain** receives and interprets information from multiple inputs:

Αιθουσαίο

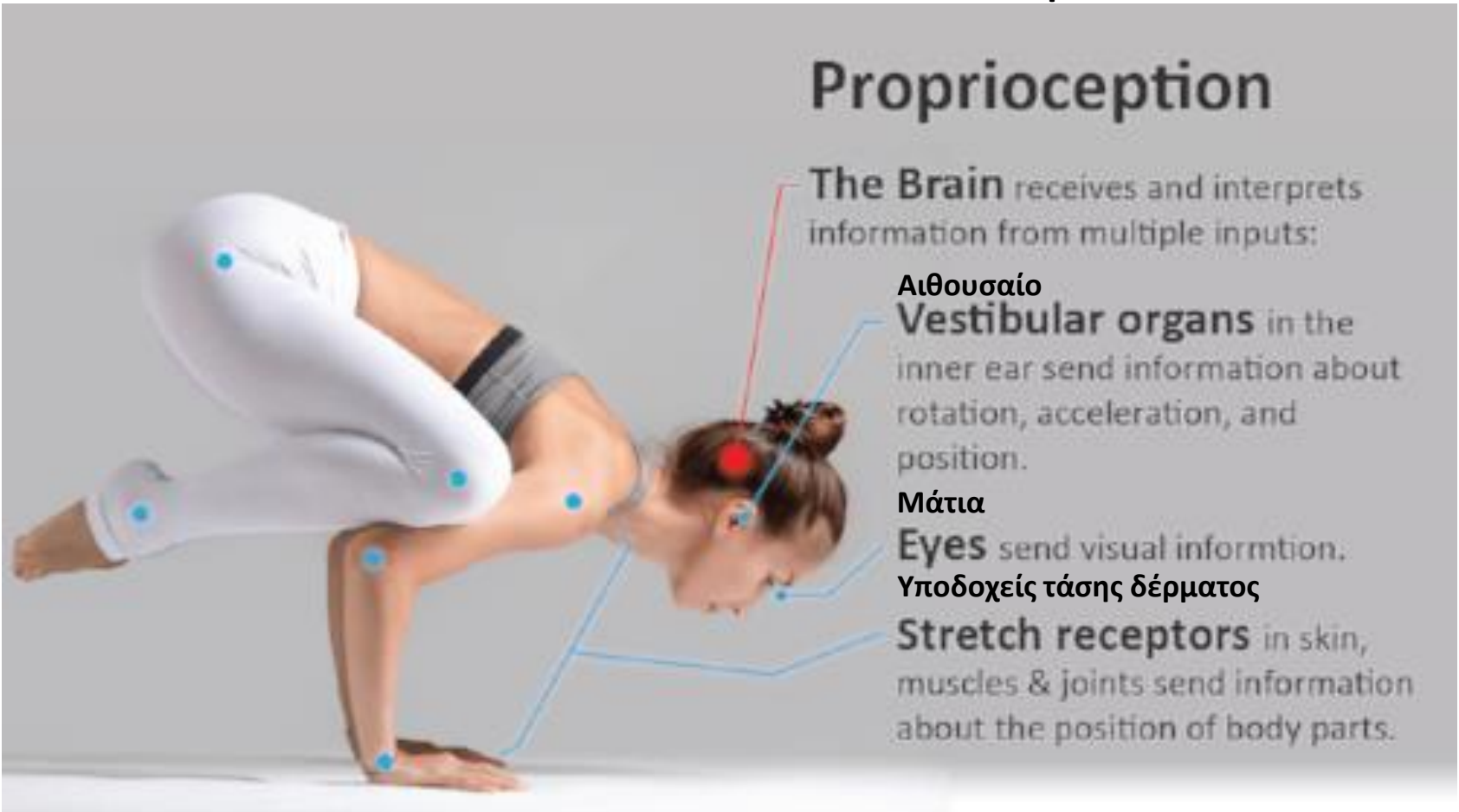
Vestibular organs in the inner ear send information about rotation, acceleration, and position.

Μάτια

Eyes send visual information.

Υποδοχείς τάσης δέρματος

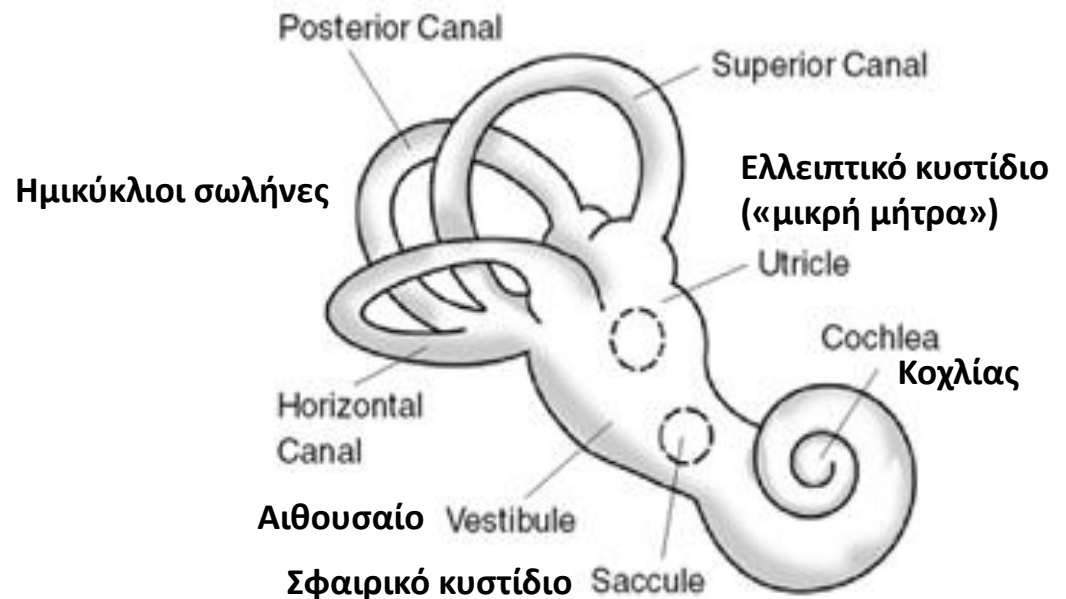
Stretch receptors in skin, muscles & joints send information about the position of body parts.



Η αιθουσαία αίσθηση -1

Οι αιθουσαίοι υποδοχείς είναι επίσης τροποποιημένοι απτικοί υποδοχείς.

Το αιθουσαίο όργανο είναι υπεύθυνο για την αίσθηση της ισορροπίας, της επιτάχυνσης, την ανίχνευση της θέσης και κίνησης της κεφαλής. Είναι μηχανική αίσθηση, όπως και η ακοή.



Η αιθουσαία αίσθηση -2

Τα άκρα των 3 ημικύκλιων σωλήνων συνδέονται με το ελλειπτικό κυστίδιο. Κάτω από αυτό βρίσκεται το σφαιρικό κυστίδιο. Η λήκυθος βρίσκεται στη σύνδεση μεταξύ του κάθε σωλήνα και του ελλειπτικού κυστιδίου.

Η αιθουσαία αίσθηση -3

Οι υποδοχείς στο σφαιρικό και ελλειπτικό κυστίδιο ανταποκρίνονται σε κάθετες και οριζόντιες γραμμικές δυνάμεις.

Utricle and Sacculle

ΕΛΛΕΙΠΤΙΚΟ ΚΥΣΤΙΔΙΟ

- Utricle sensitive to horizontal acceleration

Οριζόντια επιτάχυνση

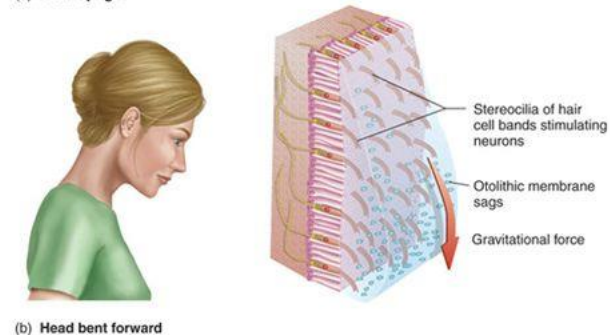
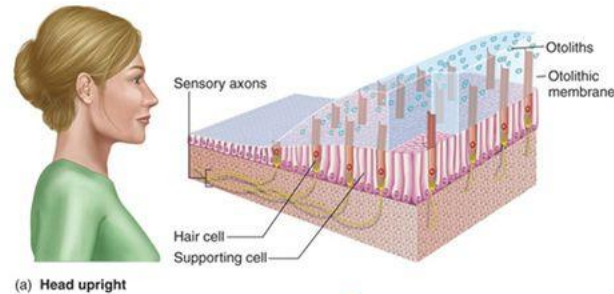
- Hairs pushed backward during forward acceleration

- Sacculle sensitive to vertical acceleration

Κάθετη επιτάχυνση

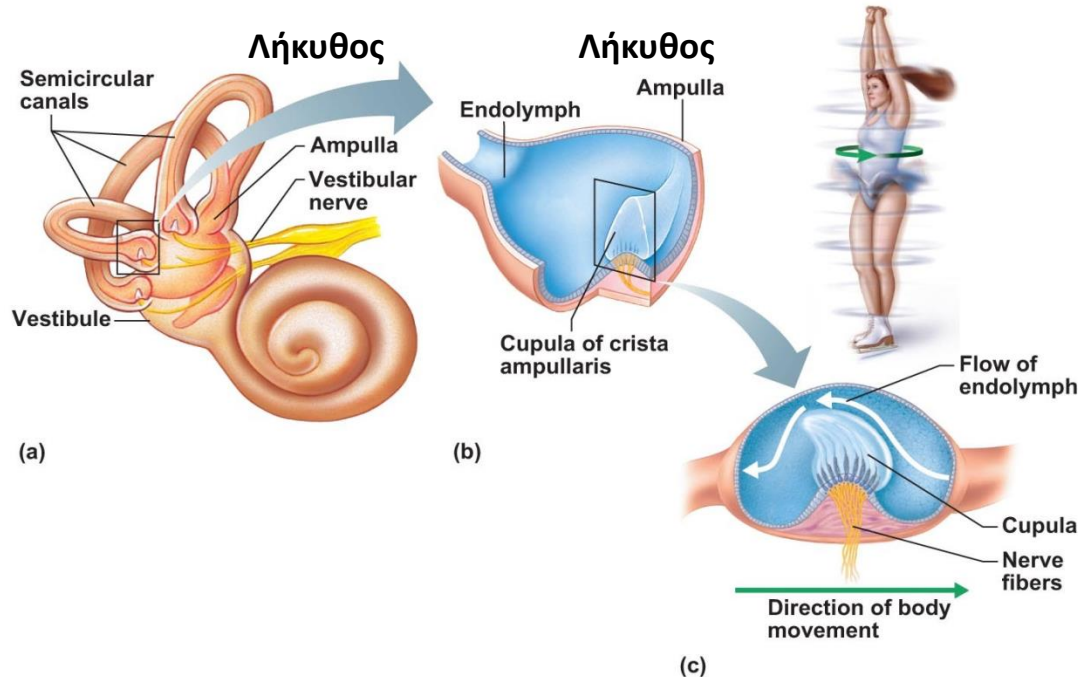
- Hairs pushed upward when person descends

ΣΦΑΙΡΙΚΟ ΚΥΣΤΙΔΙΟ



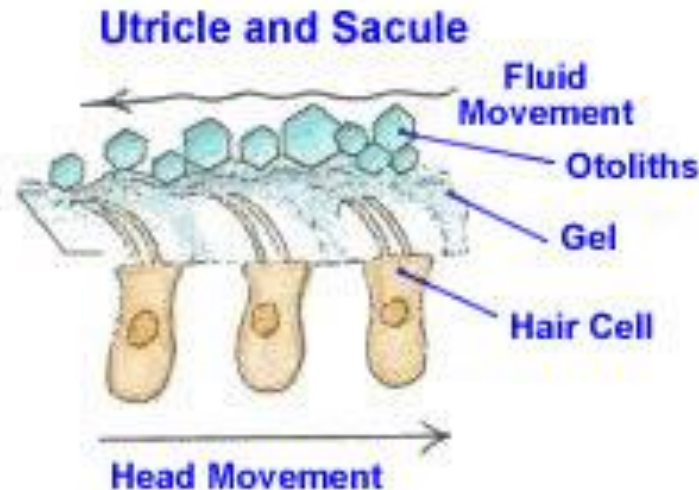
Η αιθουσαία αίσθηση -4

Οι 3 ημικύκλιοι σωλήνες είναι προσανατολισμένοι σε διαφορετικά επίπεδα και καλύπτονται από τριχωτά κύτταρα. Ο καθένας ανιχνεύει την περιστροφική επιτάχυνση στην εκάστοτε διεύθυνση. Η επιτάχυνση της κεφαλής επιφέρει την απώθηση των τριχωτών κυττάρων από την παχύρρευστη ουσία.



Η αιθουσαία αίσθηση -5

Οι **ωτόλιθοι** (σωμάτια ανθρακικού ασβεστίου) που βρίσκονται στους υποδοχείς αυξάνουν την ευαισθησία τους στην κίνηση. Όταν η κεφαλή κλίνει προς διαφορετικές κατευθύνσεις, οι ωτόλιθοι απωθούν διαφορετικές ομάδες τριχωτών κυττάρων και τις διεγείρουν.



vestibular system



enlargement of crista

Κυπέλιο
cupula

hair bundles

nerve fibre

hair cells

Λήκυθοι

enlargement of macula

otoconia

otolithic membrane

stereocilia

kinocilium

Type I hair cell

nerve fibre

basement membrane

Type II hair cell

supporting cells

Review of The vestibular system

Two classes of sensory subsystems:

3 crista: encode angular acceleration

- Located in the ampulla at the terminus of each of 3 fluid-filled semi circular canals
- The inertial force of the fluid provides the basis for moving hair bundles

Otolith organs: encode linear acceleration

Two types:

- Utricle (Horizontal acceleration)
- Sacculle (vertical acceleration)
 - Located in the utricle
 - The inertial force of the otoliths provides the basis for moving hair bundles

