



Νευροφυσιολογία και Αισθήσεις

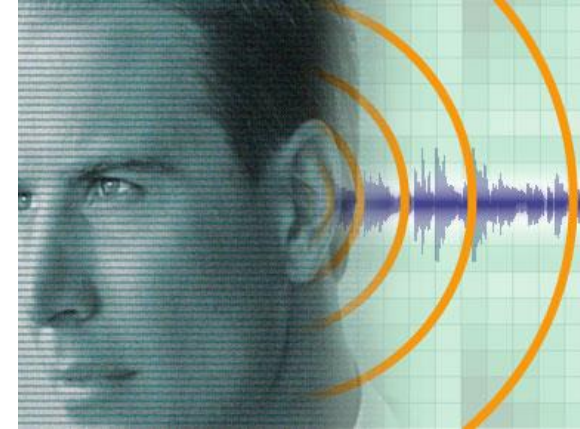
Διάλεξη 12

Ακουστικό και Αιθουσιαίο Σύστημα (Auditory and Vestibular Systems)



- **Σύστημα Αισθήσεων**

- Αίσθηση ακοής (hearing, audition)
 - Αντίληψη ήχου
 - Αντίληψη και ερμηνεία τόνων
- Αίσθηση ισορροπίας – Αιθουσιαίο Σύστημα (vestibular system)
 - Θέση της κεφαλής και του σώματος
 - Κινήσεις κεφαλής και σώματος



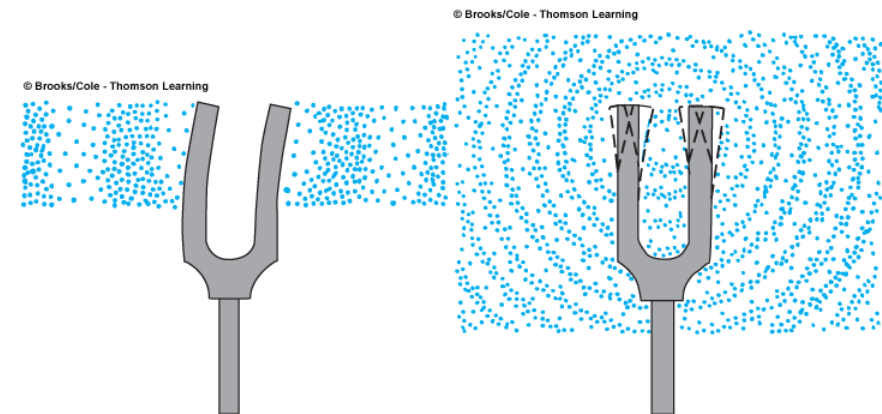
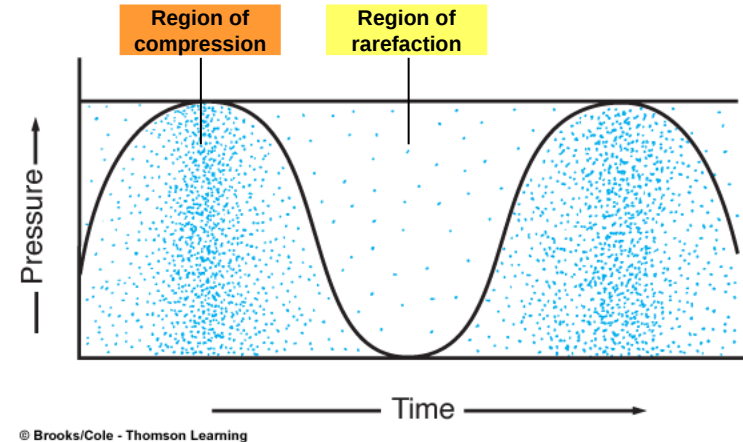


- **Ακοή (Hearing)**

- Νευρωνική αίσθηση της ενέργειας του ήχου
- Δύο “διαστάσεις”
 - Ταυτοποίηση του ήχου (“Τι;”)
 - Εντοπισμός του ήχου (“Από πού;”)

- **Ήχος**

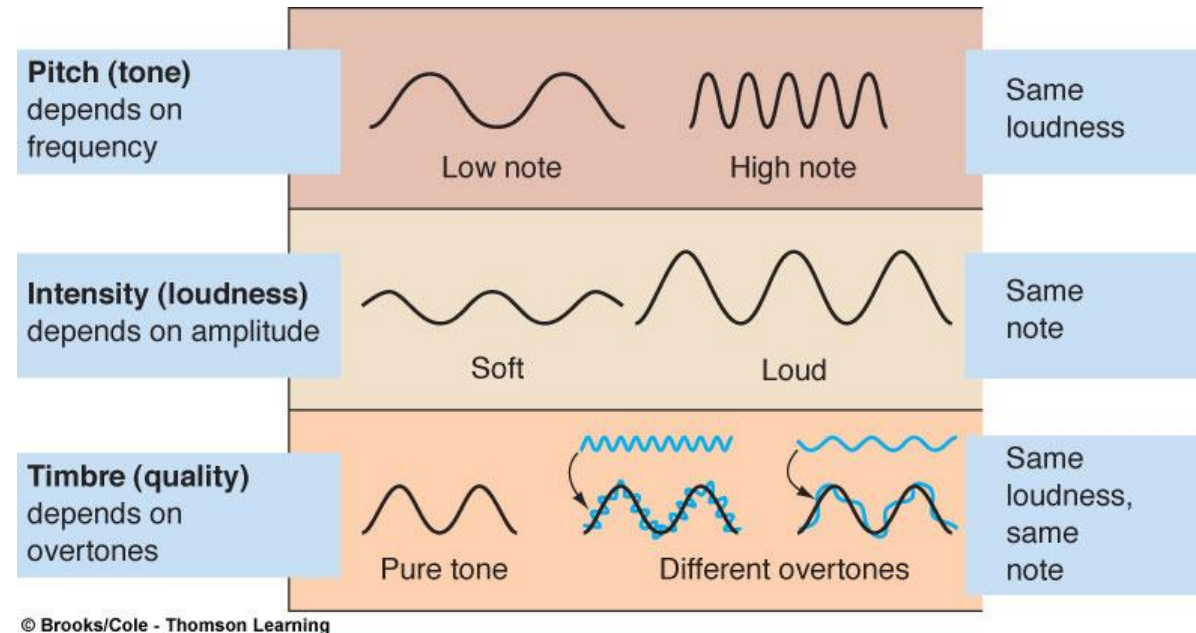
- Αλλαγές στη πίεση του αέρα ικανές να ακουστούν
 - Εναλλασσόμενες περιοχές συμπίεσης και αραιοποίησης των μορίων του αέρα
- Συχνότητα Ήχου
 - Κύκλοι/δευτερόλεπτο σε Hertz (Hz)
- Κύκλος
 - Απόσταση μεταξύ διαδοχικών συμπίεσεων
- Εύρος
 - 20 Hz ως 20,000 Hz
- Ένταση (Intensity):
 - Διαφορά πίεσης μεταξύ συμπιεσμένων και αραιοποιημένων περιοχών



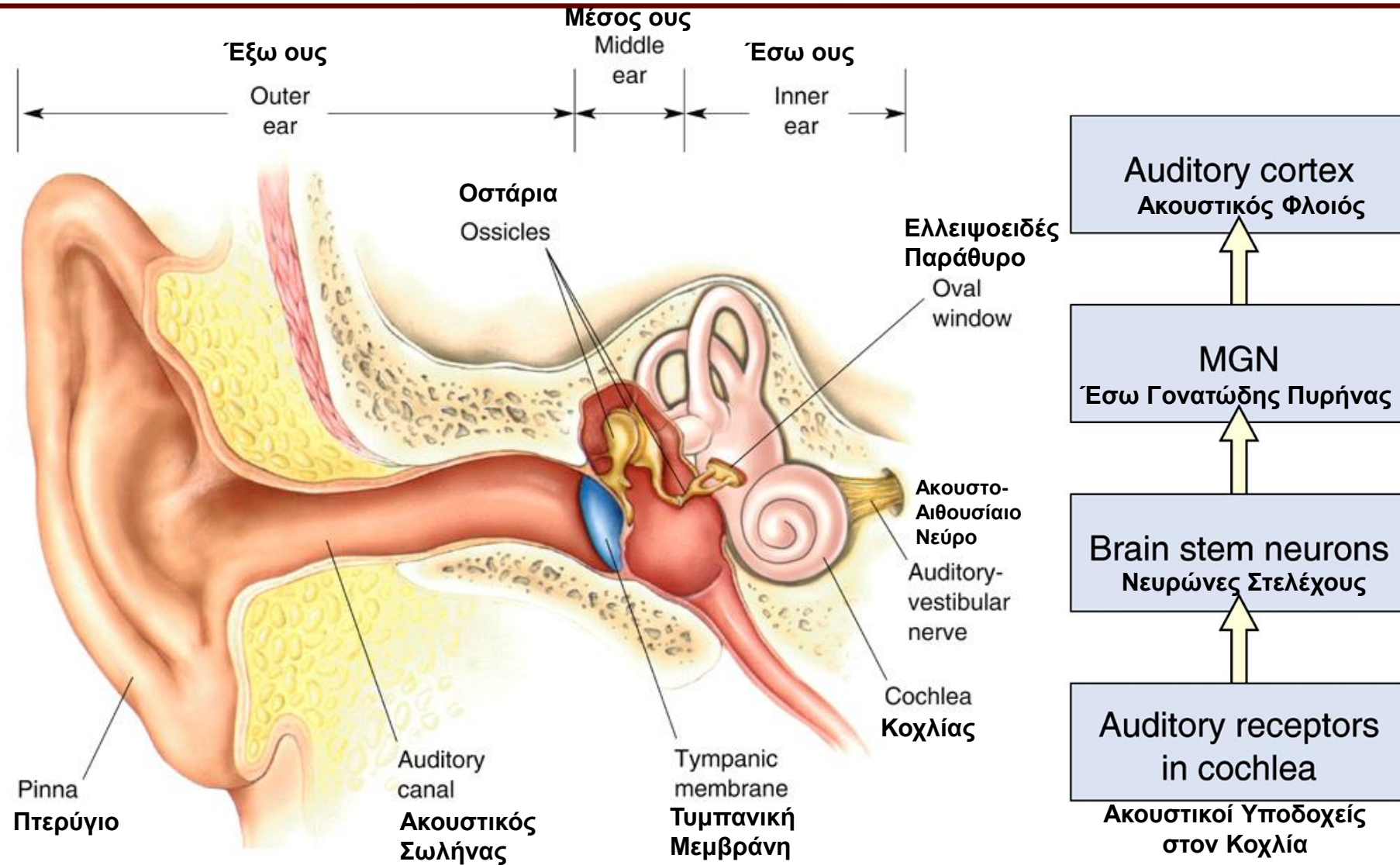


- **Χαρακτηριστικά του ήχου**

- Τόνος του ήχου (Pitch or tone)
 - Εξαρτάται από τη συχνότητα των κυμάτων του αέρα
- Ένταση (Intensity or loudness)
 - Εξαρτάται από το πλάτος των κυμάτων του αέρα
- Χροιά ή Τέμπρο (Timbre or quality)
 - Εξαρτάται από τα υπερτόνια



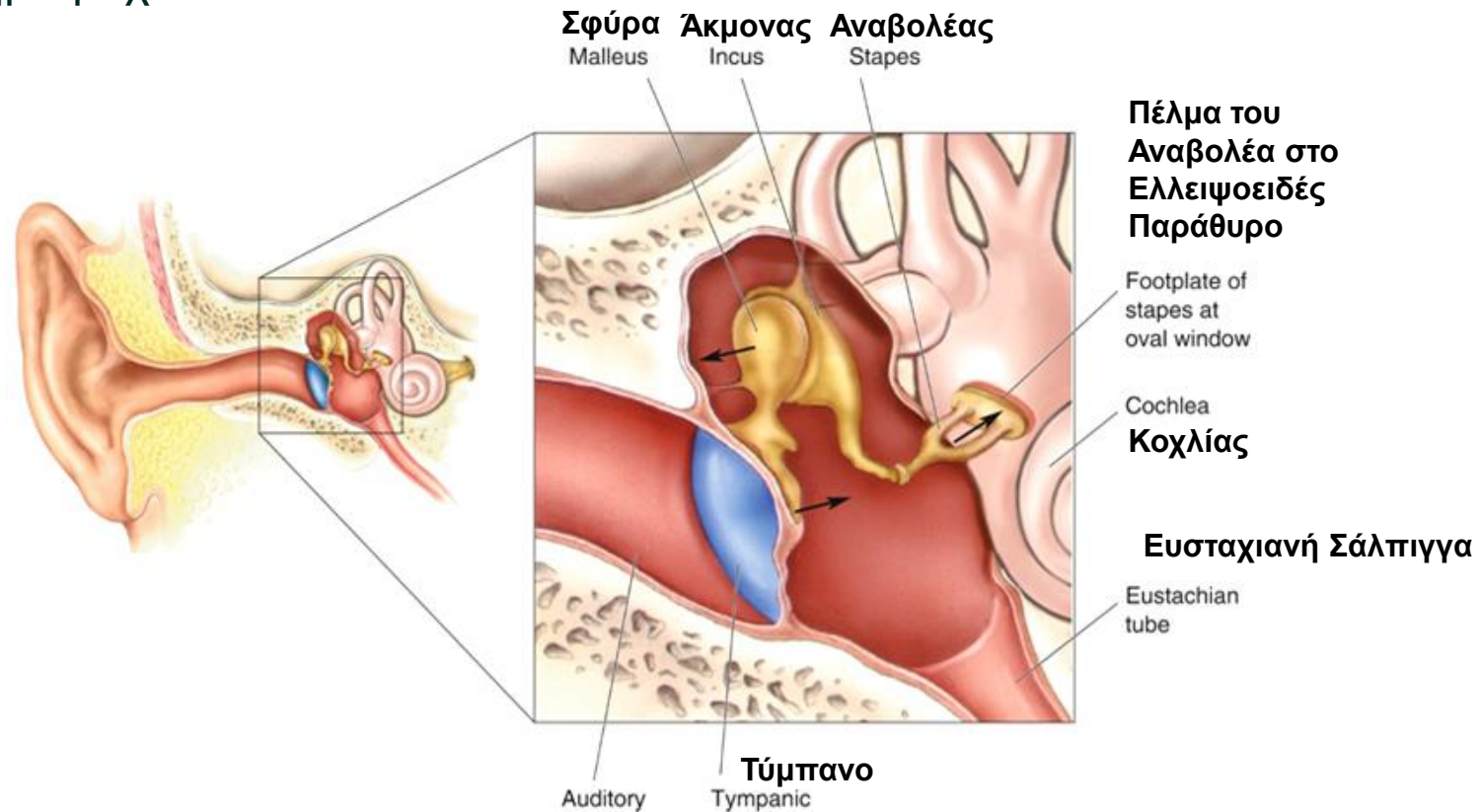
Ακουστικό Σύστημα





- **Ενίσχυση του ήχου από τα οστάρια**

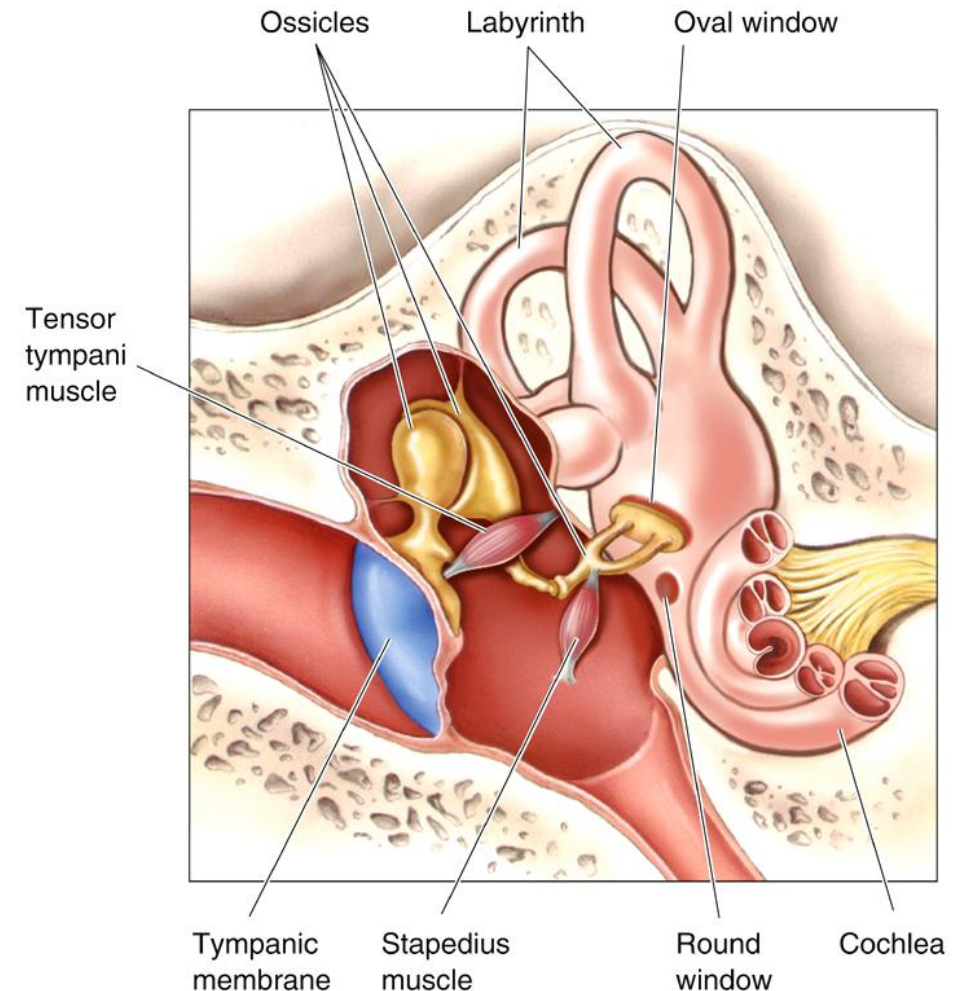
- Η πίεση στη ωοειδή οπή είναι 20x της τυμπανικής μεμβράνης → κίνηση υγρού
 - Πίεση: Δύναμη/Εμβαδό Περιοχής
 - Οστάρια → Σύστημα μοχλών

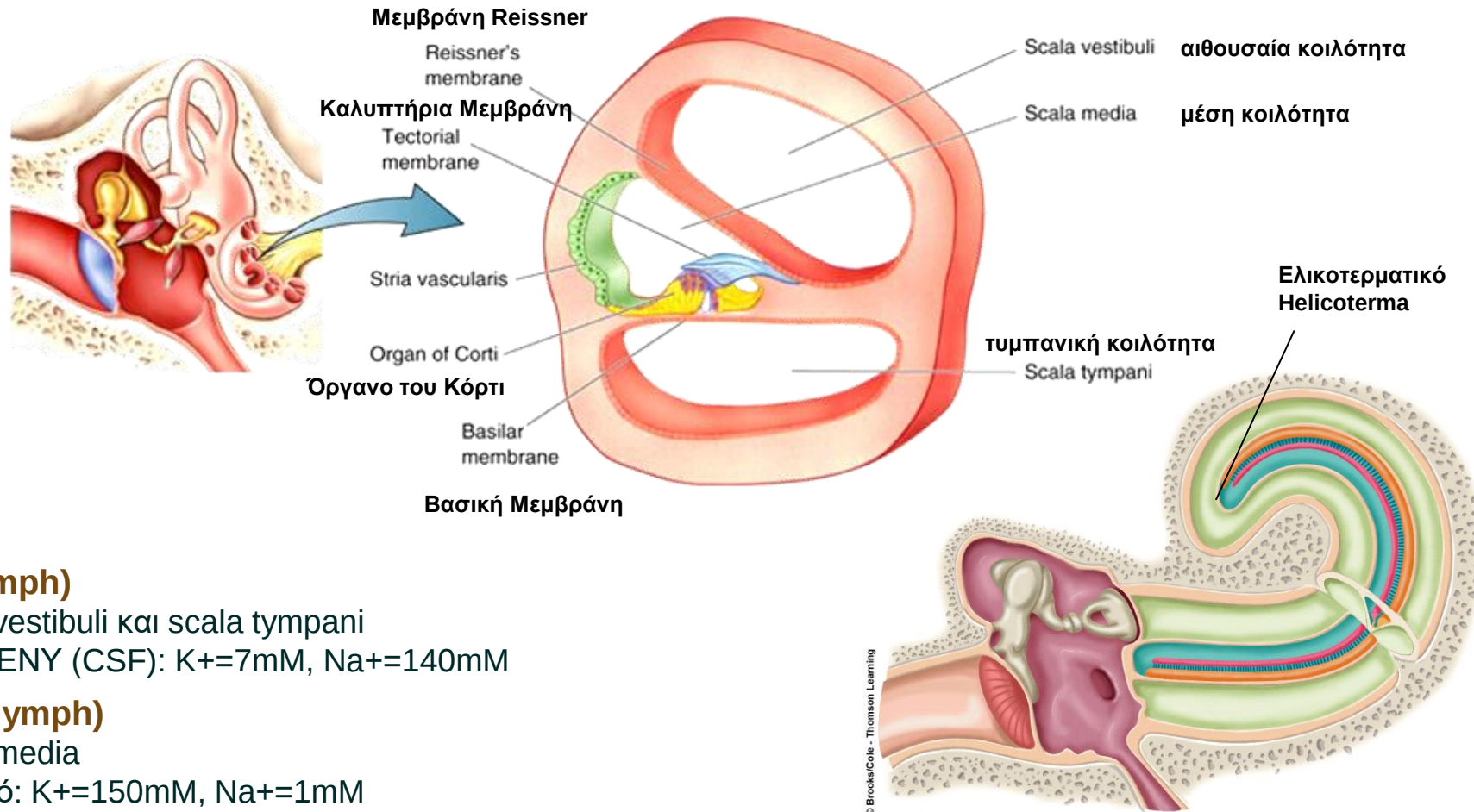




- **Ανακλαστικό Εξασθένησης (Attenuation Reflex)**

- Ήχος Ψηλής Έντασης → σύσπαση των tensor tympani και stapedius
 - Ελαττώνει τις χαμηλές συχνότητες περισσότερο από τις ψηλές
- Λειτουργία
 - Προστασία (αλλά με καθυστέρηση)
 - Προσαρμόζει το αυτί σε δυνατούς ήχους
 - Καλύτερη κατανόηση της ομιλίας
 - Δεν επιτρέπει στο άτομο να ακούει τη φωνή του



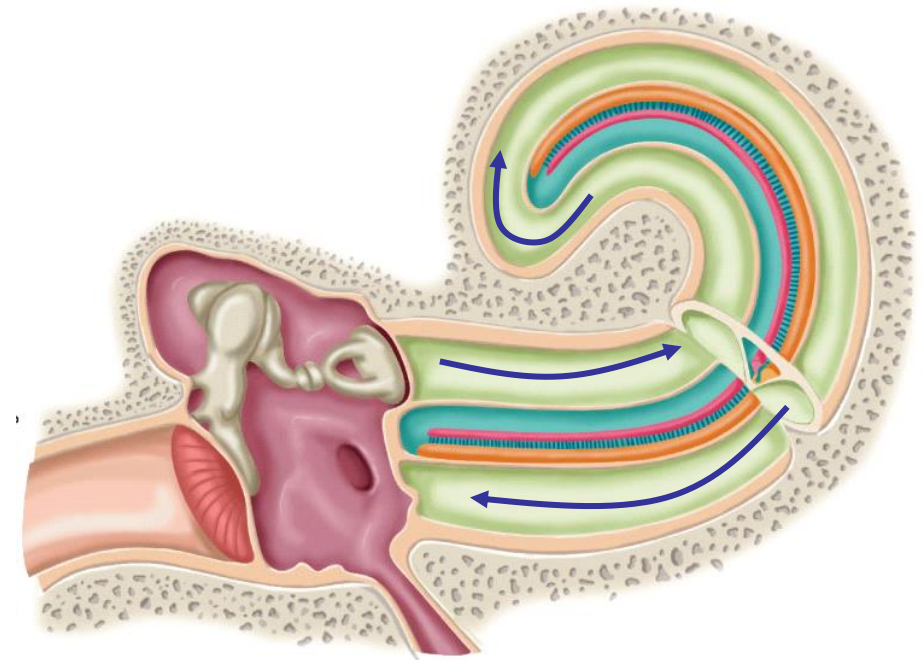


- **Περιλέμφος (Perilymph)**
 - Υγρό στη scala vestibuli και scala tympani
 - Παρόμοιο με το ENY (CSF): $K^+=7\text{mM}$, $Na^+=140\text{mM}$
- **Ενδολέμφος (Endolymph)**
 - Υγρό στη scala media
 - Ασυνήθιστο υγρό: $K^+=150\text{mM}$, $Na^+=1\text{mM}$
- **Ενδοκχλιακό Δυναμικό (Endocochlear potential)**
 - Το δυναμικό της ενδολέμφου είναι 80 mV πιο θετικό από ότι η περιλέμφος



- **Φυσιολογία του Κοχλίου (Cochlea)**

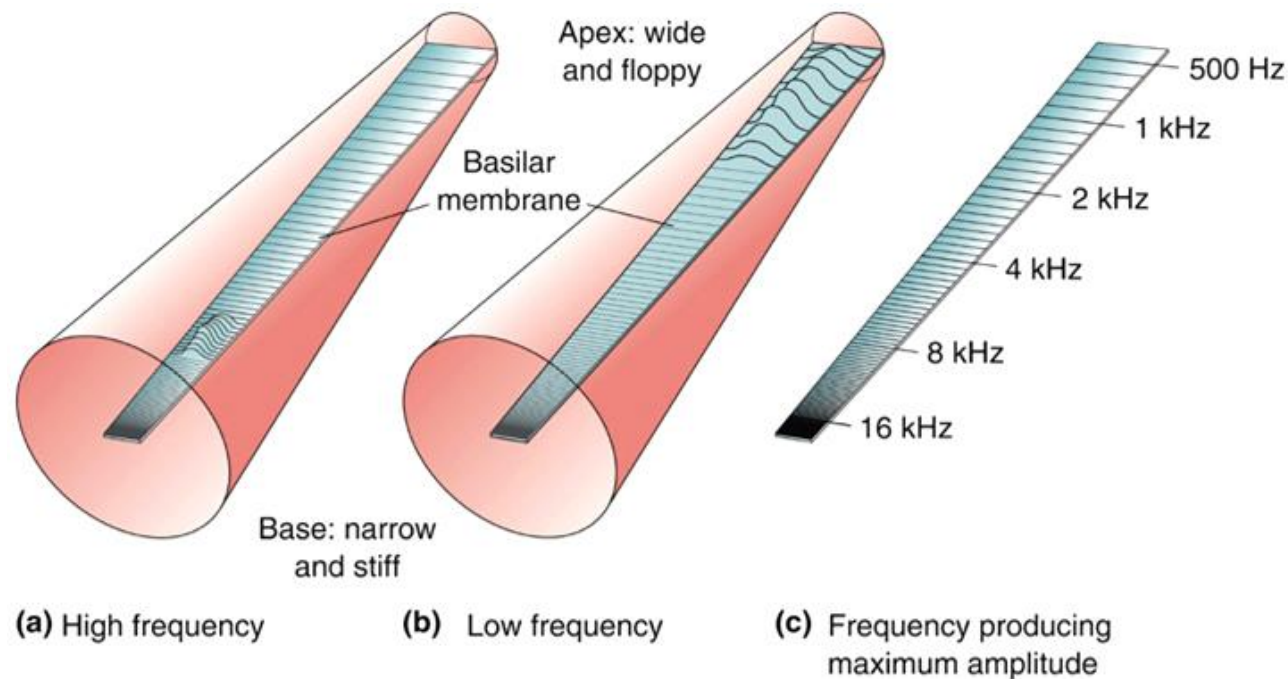
- Πίεση στο Ελλειψοειδές Παράθυρο
- Η πίεση εξασθενεί
 - Αιθουσιαία Κοιλότητα → Ελικοτερματικό → Τυμπανική Κοιλότητα → Στρογγυλό Παράθυρο (φουσκώνει προς τα έξω)
- Το ακουόμενο μέρος της ενέργειας του ήχου περνά στη Μέση Κοιλότητα (ή κοχλιακό αγωγό (cochlear duct))
- Κύματα στην ενδολέμφο (κοχλιακό υγρό) κινούν τη βασική μεμβράνη
- Ο ήχος μετατρέπεται σε ηλεκτρικά σήματα από το Όργανο του Κόρτι (Organ of Corti)

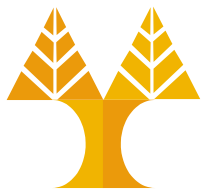




- **Η απόκριση της βασικής μεμβράνης στον ήχο**

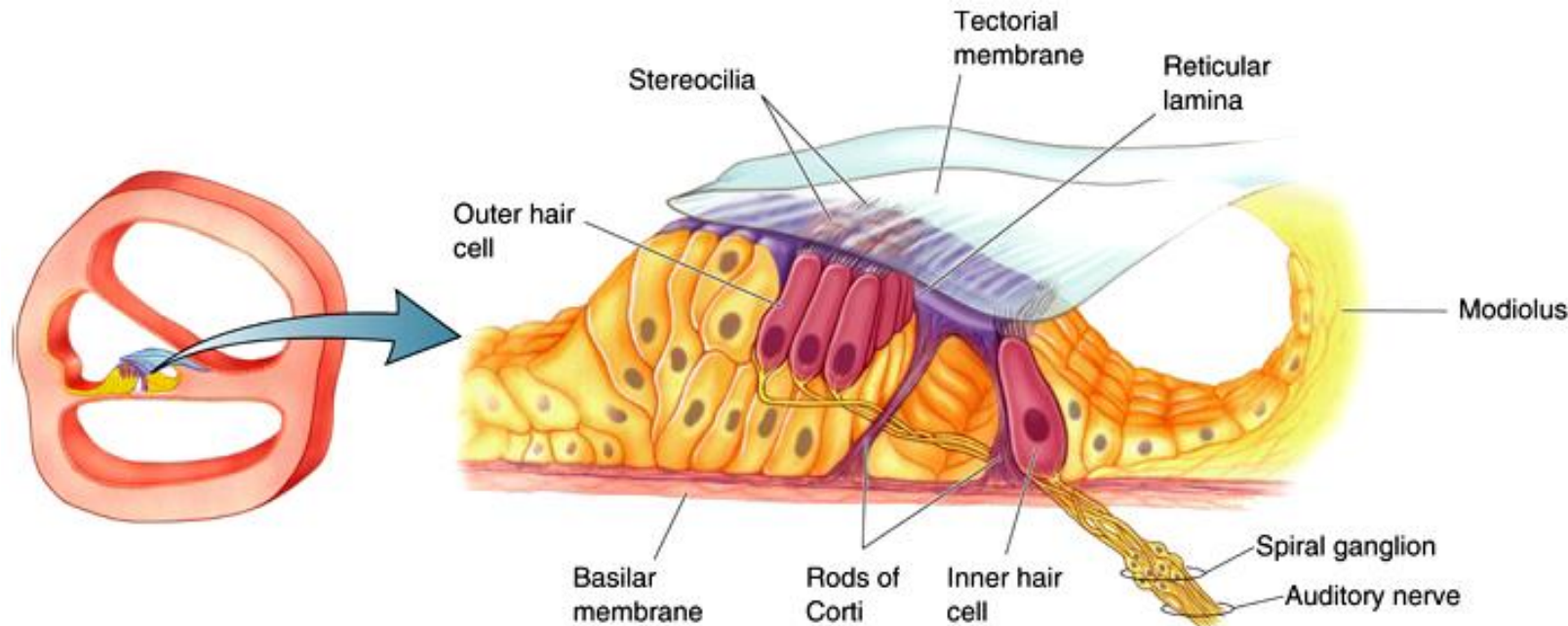
- Δομικά Χαρακτηριστικά: Πλατιά στη κορυφή, σκληρότητα μειώνεται από τη βάση προς τη κορυφή
- Η κίνηση της ενδολέμφου κινεί τη βασική μεμβράνη κοντά στη βάση της και το κύμα κινείται προς την κορυφή





- **Όργανο του Κόρτι (Organ of Corti)**

- Τριχωτά Κύτταρα (Hair cells) με ~ 100 στερεοτριχία (stereocilia) το κάθε ένα
 - Έσω τριχωτά κύτταρα (Inner hair cells): 3 500 σε μια γραμμή
 - Έξω τριχωτά κύτταρα (Outer hair cells): 15 000-20 000 σε τρεις γραμμές
 - Συνάψεις με νευρώνες του ακουστικού νεύρου (auditory nerve)

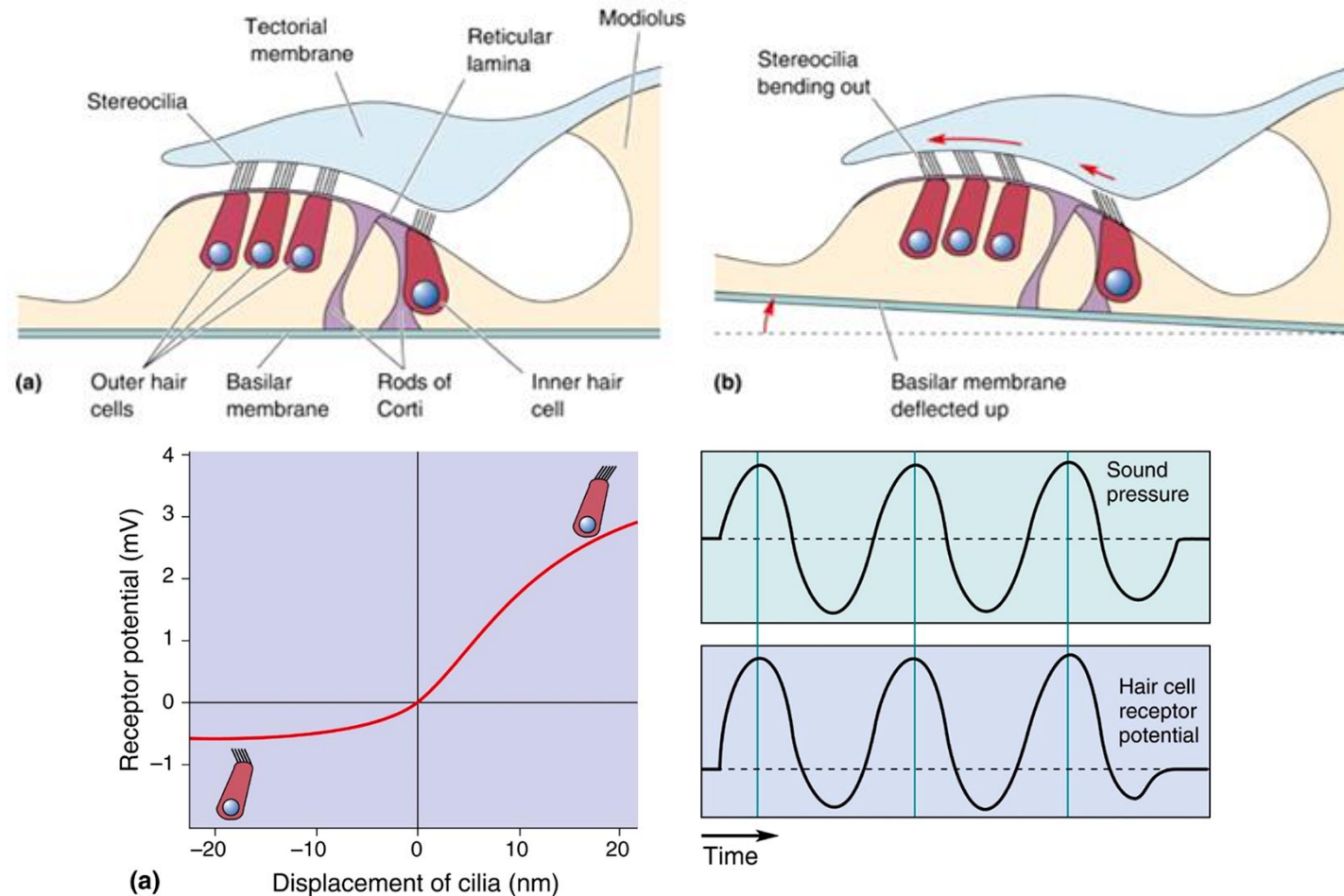


Μετατροπή Σήματος



- **Μετατροπή από τα τριχωτά κύτταρα (Hair Cells)**

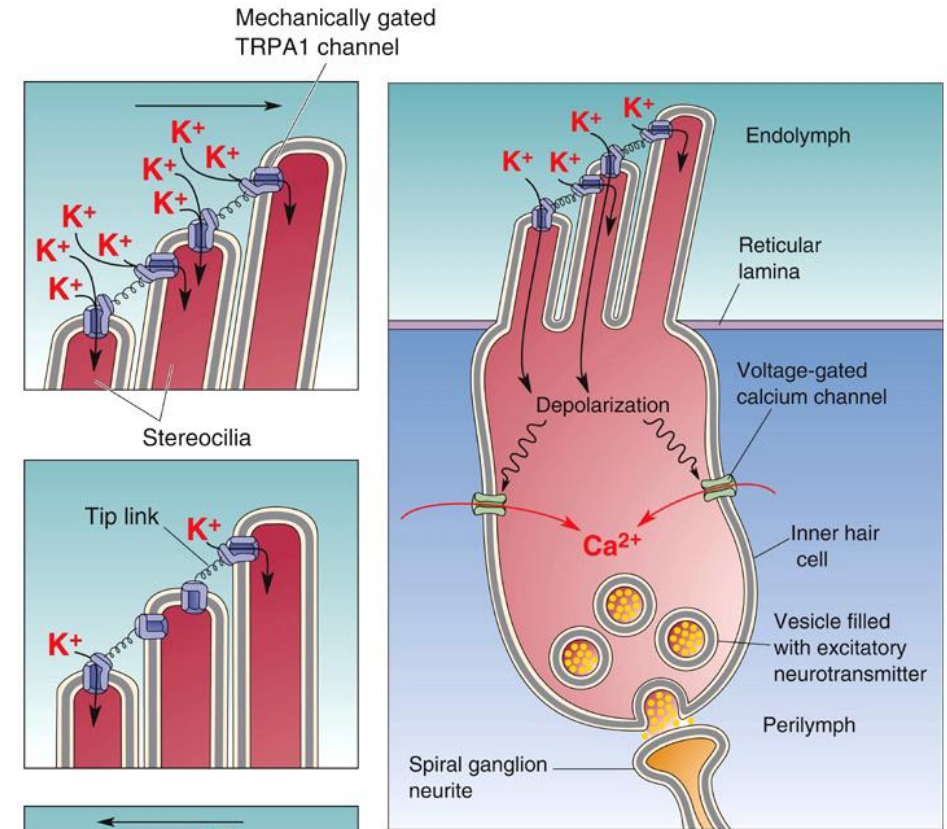
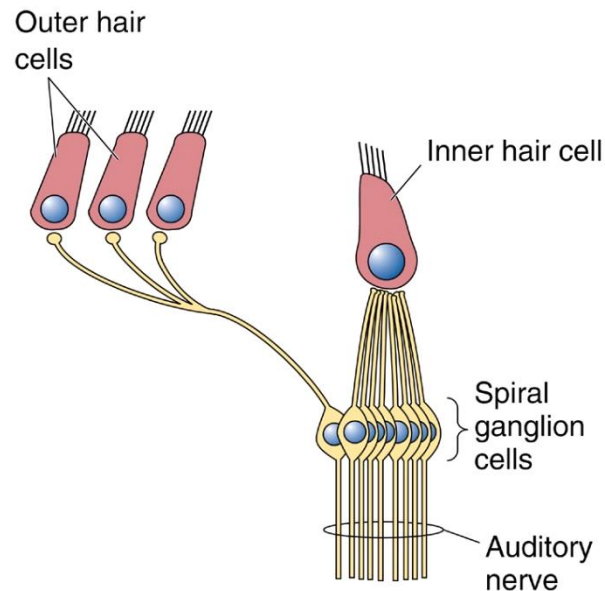
- Ήχος → Βασική Μembrάνη κινείται προς τα πάνω → Πλεγματοειδής υμένας (reticular lamina) κινείται προς τα πάνω → Στερεοτριχία (stereocilia) μετακινούνται προς τα έξω



Μετατροπή Σήματος



- **Μηχανικά ελεγχόμενοι διάυλοι (Mechanically gated channels)**
 - Ανοίγουν και κλείνουν → βαθμιδωτά δυναμικά (graded potentials) → Ασβέστιο → Χημική σύναψη
- **Εννεύρωση των τριχωτών κυττάρων**
 - Ένας νευρώνας ελικοειδούς γαγγλίου (spiral ganglion) → Ένα έσω τριχωτό κύτταρο (inner hair cell)
 - Πολλοί νευρώνες σε κάθε έσω τριχωτό κύτταρο (inner hair cell)
 - Ένας νευρώνας ελικοειδούς γαγγλίου (spiral ganglion) → Πολλά έξω τριχωτά κύτταρα (outer hair cell)



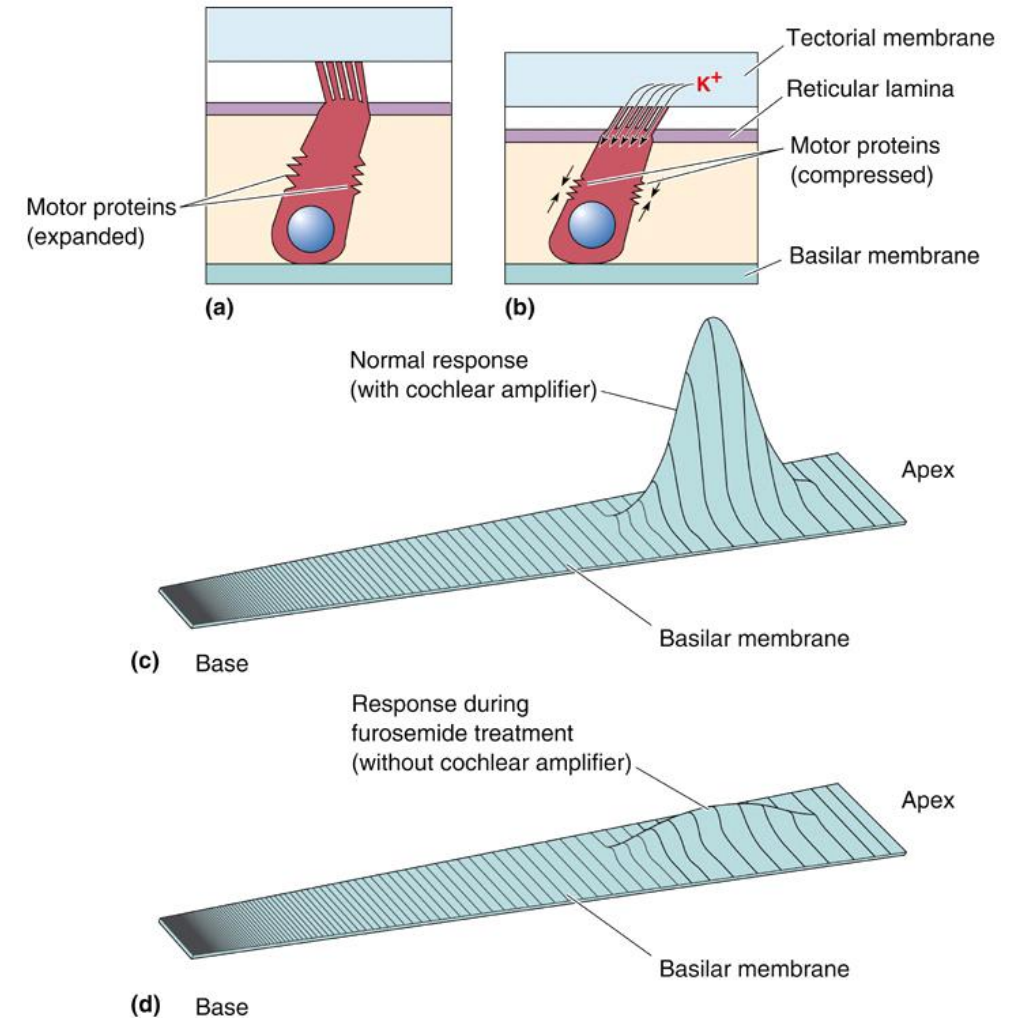
(b)

Μετατροπή Σήματος



- **Ενίσχυση από τα Έξω τριχωτά κύτταρα (Outer Hair Cells)**

- Ανταποκρίνονται αλλάζοντας το μήκος τους
- Κινητικές πρωτεΐνες (Motor proteins) αλλάζουν το μήκος
 - Ηλεκτροκινητικότητα (electromotility): κίνηση από ηλεκτρισμό (όχι ATP)
 - Τονίζουν την κίνηση της βασικής μεμβράνης (100x) και συντονίζουν (fine tune) την απόκριση
 - Prestin: απαραίτητη για την κίνηση των κυττάρων



Κεντρικοί Ακουστικοί Μηχανισμοί



- **Ακουστική Οδός (Auditory Pathway)**

- Περισσότερες συνάψεις στους πυρήνες του στελέχους (πιο πολλές εναλλακτικές οδοί)
- Εκτεταμένη ανάδραση (feedback)

Ακουστικός Φλοιός

Θάλαμος (Μέσος
Γονατώδης Πυρήνας)

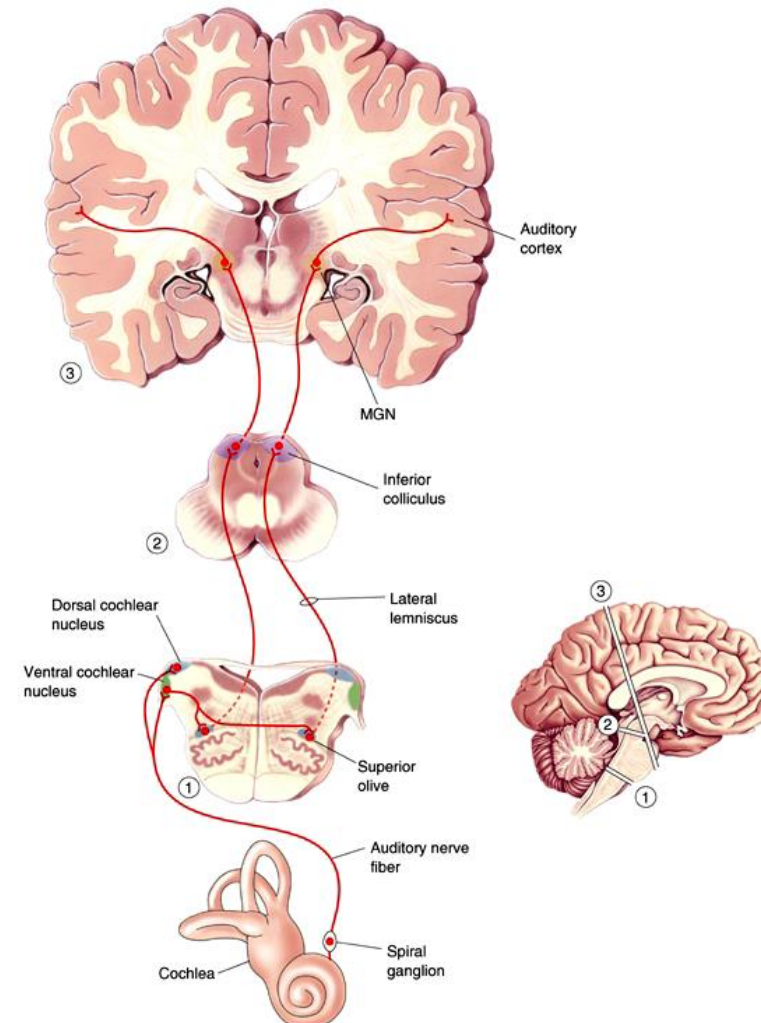
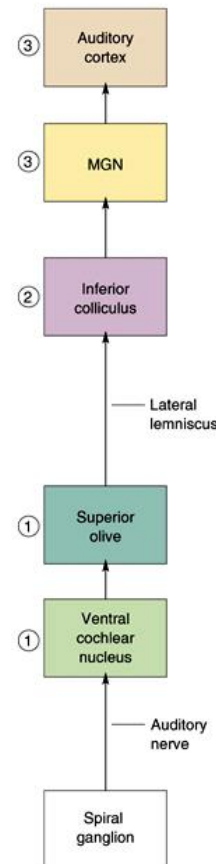
Στέλεχος (Κατώτερος
Colliculus)

Στέλεχος (Ανώτερη
Olive)

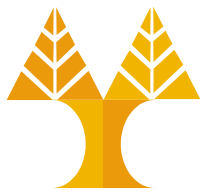
Στέλεχος (Κοχλιακός
Πυρήνας)

Ακουστικό Νεύρο

Ελικοειδές γάγγλιο

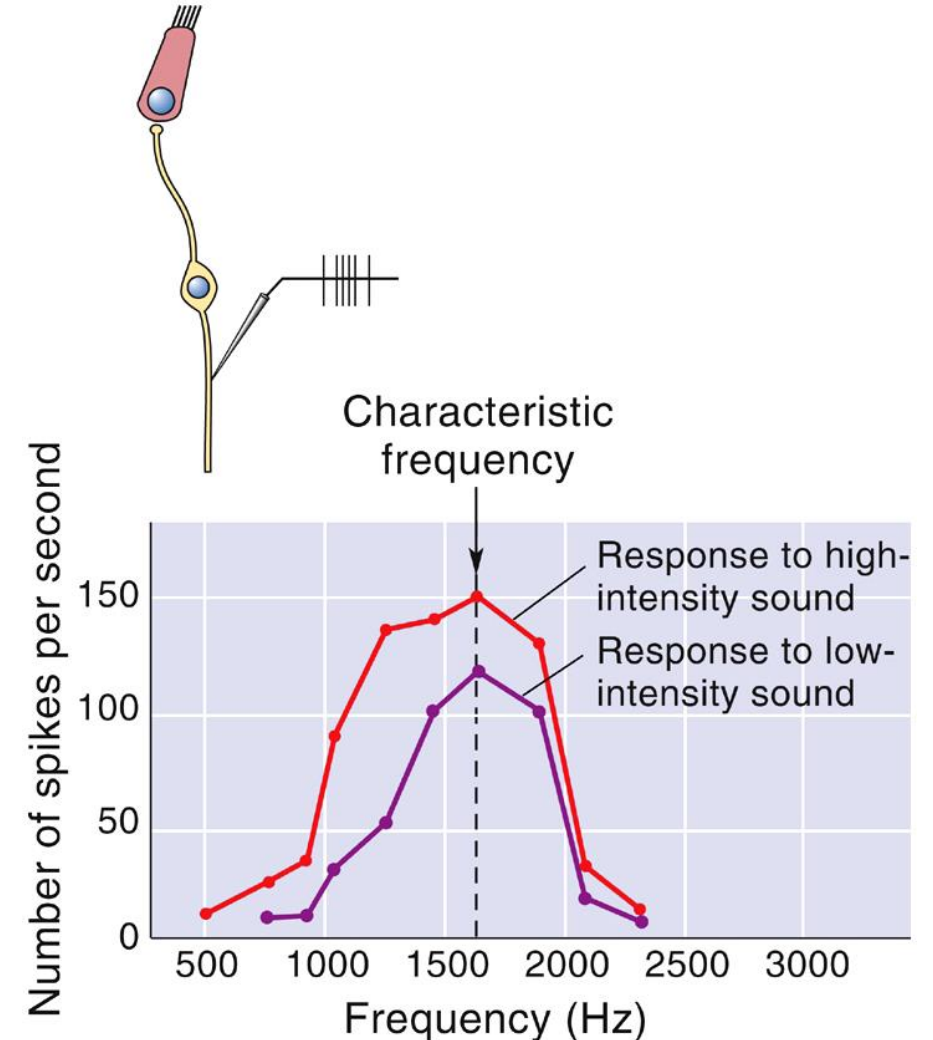


Κεντρικοί Ακουστικοί Μηχανισμοί



- **Χαρακτηριστικά της απόκρισης των νευρώνων στην Ακουστική Οδό (Auditory Pathway)**

- Χαρακτηριστική Συχνότητα (Characteristic frequency)
 - Η συχνότητα στην οποία ο νευρώνας ανταποκρίνεται πιο έντονα
- Απόκριση
 - Γίνεται πιο πολύπλοκη και ποικιλόμορφη στην κάθοδο προς το Στέλεχος



Κωδικοποίηση Έντασης και Συχνότητας

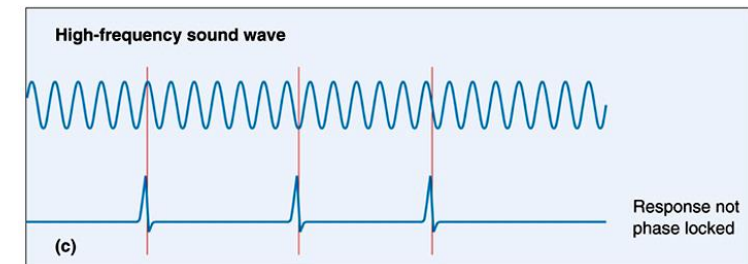
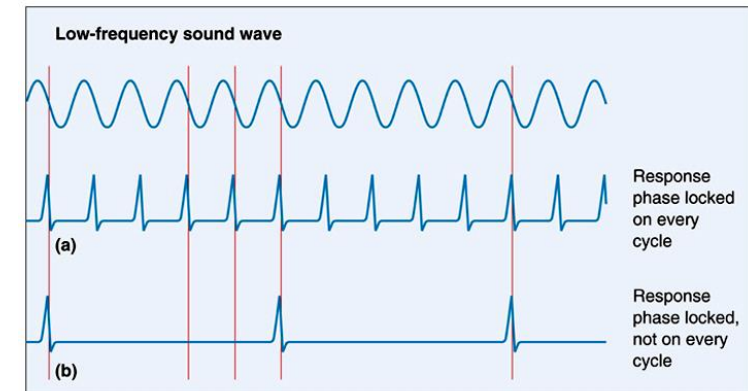
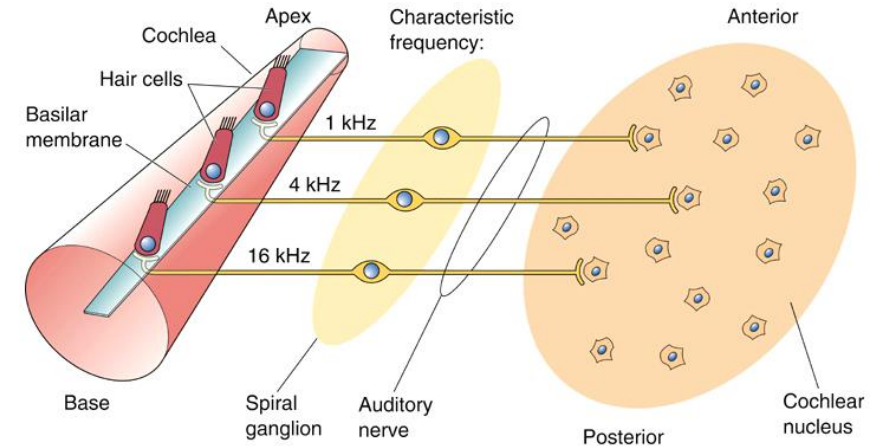


- **Κωδικοποίηση της πληροφορίας της έντασης**

- Ρυθμός ΔΕ των νευρώνων
- Αριθμός ενεργοποιημένων νευρώνων

- **Κωδικοποίηση της συχνότητας**

- Βασική Μεμβράνη
 - Συχνότητα ερεθίσματος (Stimulus Frequency)
 - Ευαισθησία συχνότητας: Ψηλές στη βάση, χαμηλές στη κορυφή
- Τονοτοπία (Tonotopy)
 - Συστηματοποιημένη οργάνωση χαρακτηριστικών συχνοτήτων μέσα στο ακουστικό σύστημα
- **Σταθερή Φάση (Phase Locking)**
 - Οι νευρώνες πυροδοτούν ΔΕ σε φάση με τον ήχο
 - Όχι όμως σε κάθε κύκλο
 - Η φάση είναι τυχαία πάνω από 4 kHz
 - Πολλοί νευρώνες
 - Τουλάχιστον ένα ΔΕ ανά κύκλο → συχνότητα ίδια με του ήχου



Κωδικοποίηση Έντασης και Συχνότητας



Sound	Loudness in decibels (dB)	Comparison to faintest audible sound (hearing threshold)
Rustle of leaves	10 dB	10 x louder
Ticking of watch	20 dB	100 x
Hush of Library	30 dB	1000 x
Normal conversation	60 dB	1 million x
Food Blender	90 dB	1 billion x
Loud rock concert	120 dB	1 trillion x
Takeoff of jet plane	150 dB	1 quadrillion x

- **Διάκριση έντασης (Loudness discrimination)**

- Πολύ ευαίσθητο όργανο (κίνηση μικρότερη από το μέγεθος ενός ατόμου Υδρογόνου)
→ πολύ εύκολο να πάθει βλάβη
- Μεγάλο εύρος (range)
 - Κάθε 10 dB = 10x αύξηση στην ένταση
- Οποιοσδήποτε ήχος > 100 dB μπορεί να προκαλέσει μόνιμη ζημιά

Μηχανισμοί Εντοπισμού του Ήχου

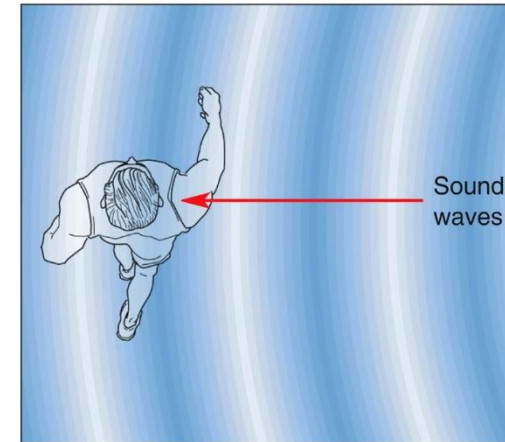


- **Εντοπισμός**

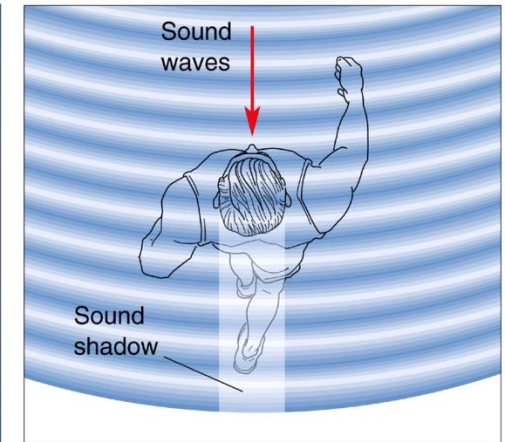
- Οριζόντια (αριστερά-δεξιά)
- Κάθετα (πάνω-κάτω)

- **Εντοπισμός στο Οριζόντιο επίπεδο**

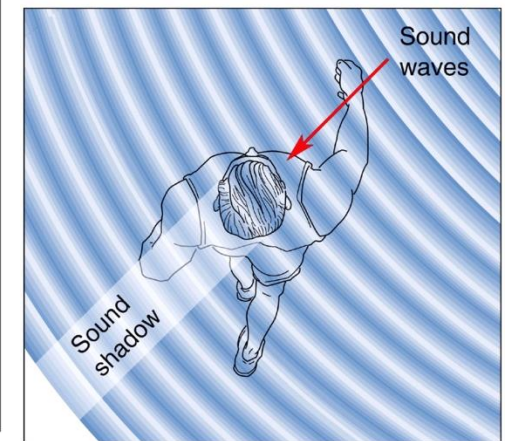
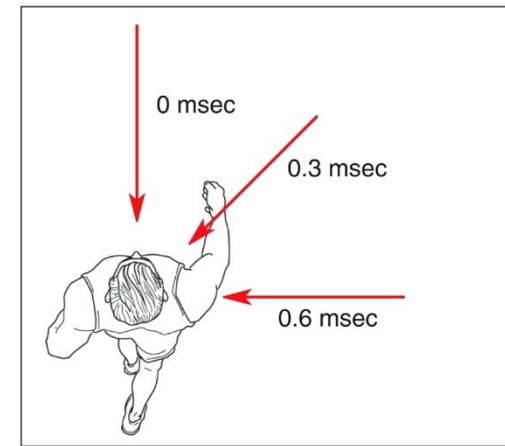
- Ακρίβεια: 2 μοίρες
- Ενδοακουστική καθυστέρηση (Interaural time delay)
 - Ο χρόνος για να φτάσει ο ήχος από το ένα αυτί στο άλλο
 - Συνεχείς ήχοι → διαφορά φάσης
- Ενδοακουστική διαφορά έντασης (Interaural intensity difference)
 - Διαφορετική ένταση στο ένα αυτί → σκίαση (shadowing)
- Διμερής (Duplex) θεωρία εντοπισμού του ήχου:
 - Ενδοακουστική καθυστέρηση
 - 20-2000 Hz
 - Ενδοακουστική διαφορά έντασης
 - 2000-20000 Hz



(a)



(b)



Μηχανισμοί Εντοπισμού του Ήχου

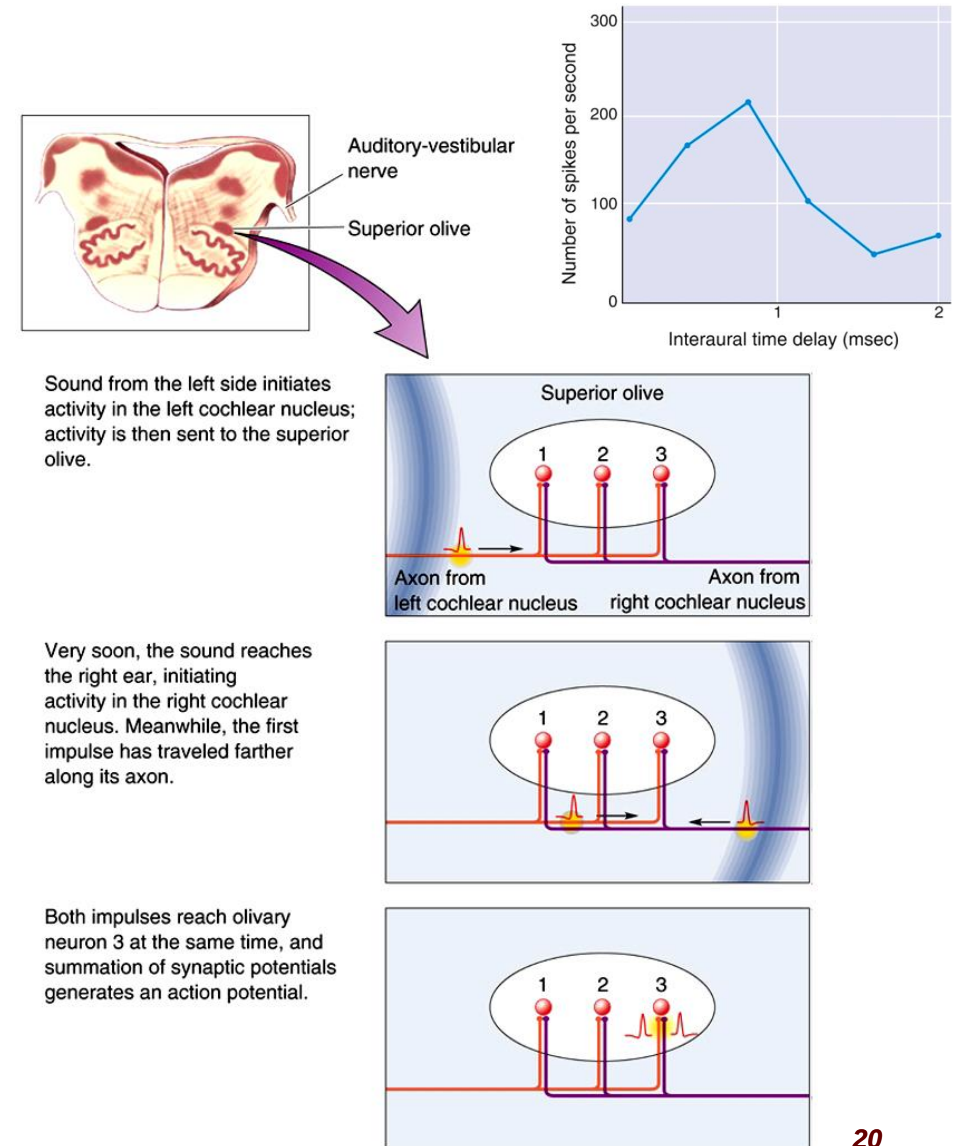


- **Ευαισθησία Διπλωτικών (Binaural) νευρώνων στον εντοπισμό του ήχου**

- Μονοωτικοί: Ήχος από το ένα αυτί Διπλωτικοί: Ήχος και από τα δύο αυτιά
- Στο Στέλεχος (Superior olive): είσοδοι από κοχλιακούς πυρήνες → μέγιστη απόκριση σε συγκεκριμένη ενδοακουστική καθυστέρηση

- **Γραμμές Καθυστέρησης (Delay Lines) και νευρωνική ευαισθησία στη ενδοακουστική καθυστέρηση**

- Ήχος από τα αριστερά φτάνει πρώτος
- Ο ήχος φτάνει από τα δεξιά με καθυστέρηση
- ΔΕ στο μετασυναπτικό νευρώνα δημιουργείται όπου τα δύο ΔΕ φτάνουν ταυτόχρονα (άθροιση)

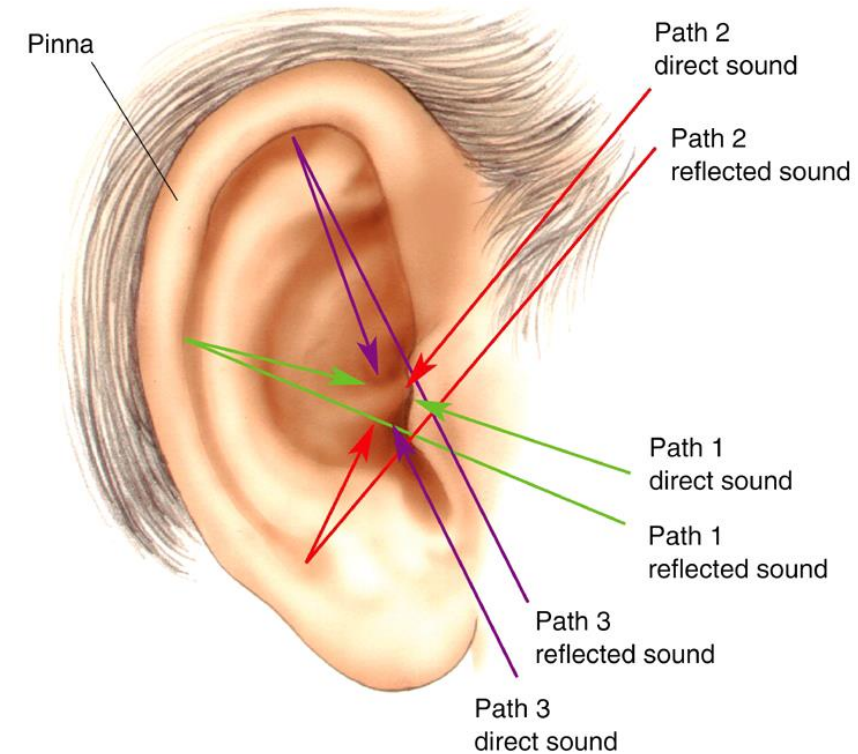


Μηχανισμοί Εντοπισμού του Ήχου



- **Εντοπισμός στο Κάθετο επίπεδο**

- Καμπύλες του πτερυγίου
- Κάποια ζώα χρησιμοποιούν άλλες τεχνικές
 - Κουκουβάγιες → Δεν έχουν πτερύγιο αλλά έχουν τα αυτιά τους σε διαφορετικά επίπεδα
 - Νυχτερίδες → Μετάδοση υπερήχων (10 nsec χρόνος καθυστέρησης)





- **Ακουστικός Φλοιός (A1)**

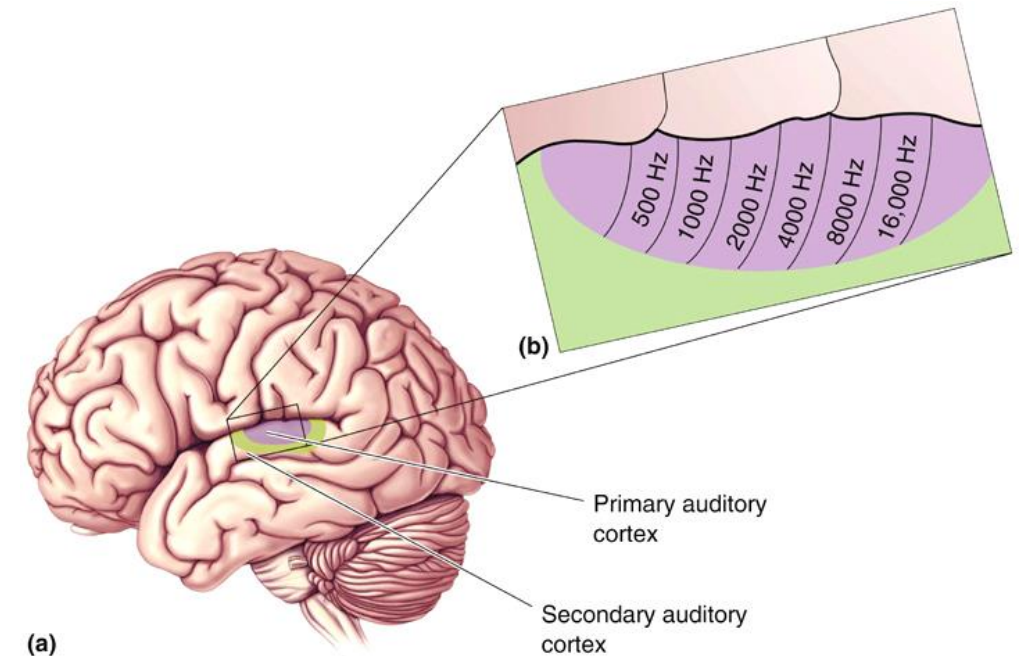
- Ακουστική Ταινία (Acoustic Radiation)
 - Άξονες από το ΜΓΠ του Θαλάμου μεταβαίνουν στον ακουστικό φλοιό
- Δομή του A1 και δευτεροταγών ακουστικών περιοχών
 - Παρόμοια με του οπτικού Φλοιού

- **Χαρακτηριστικά απόκρισης των νευρώνων**

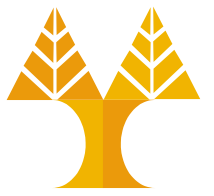
- Παρόμοια χαρακτηριστική συχνότητα
- Ισόσυχνες ζώνες (Isofrequency bands): Παρόμοια χαρακτηριστική συχνότητα, ποικιλομορφία μεταξύ κυττάρων
- Τονοτοπία
- Οργάνωση σε στήλες με παρόμοια διακουστική αλληλεπίδραση

- **Τα αποτελέσματα τραυμάτων ή αποκοπής του Ακουστικού Φλοιού**

- Τραύματα στον Ακουστικό φλοιό → φυσιολογική ακοή
 - Τραύματα στον V1 → τύφλωση στο ένα οπτικό ημιπεδίο (hemifield)
- Μονόπλευρο τραύμα → πρόβλημα με τον εντοπισμό ή συγκεκριμένες συχνότητες
- Εξειδικευμένες περιοχές (θα τις δούμε όταν θα μιλήσουμε για τη γλώσσα)



Το Αιθουσιαίο Σύστημα



- **Σημασία του Αιθουσιαίου Συστήματος (vestibular system)**

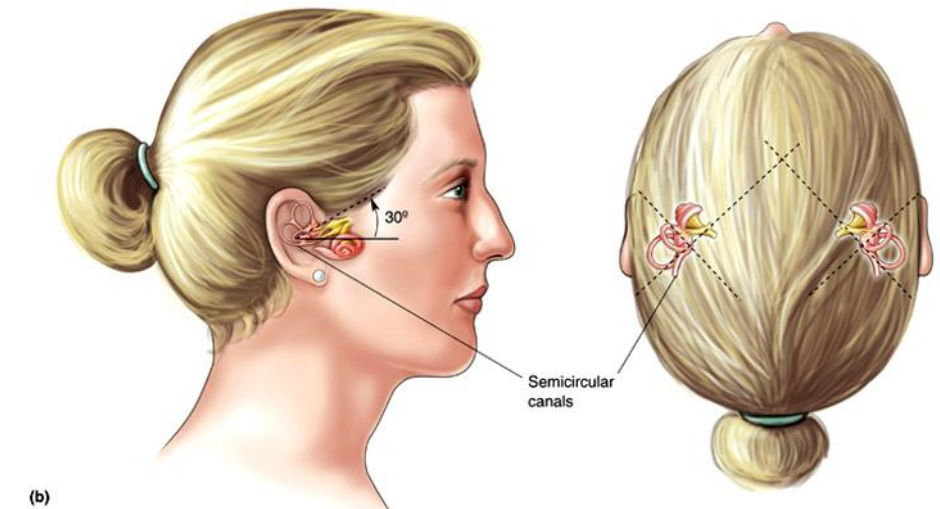
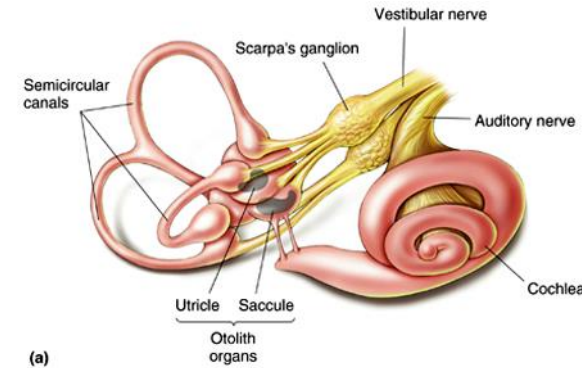
- Ισορροπία (Balance, equilibrium), στάση σώματος (posture), κίνηση κεφαλής, σώματος, ματιών

- **Ο Αιθουσιαίος Λαβύρινθος (Labyrinth)**

- Σωλήνες γεμάτοι υγρό στο έσω ούς (ενδολέμφος)
- Ημικυκλικοί Σωλήνες (Semicircular canals)
 - Τρεις ημικυκλικοί σωλήνες σε τρία διαφορετικά, κάθετα, επίπεδα
- Όργανα Ωτολίθων (Otolith organs)
 - Ελλειπτικό κυστίδιο (Utricle) και ασκίδιο (sacculle)
 - Δύο εξογκώματα σε κάθετες διευθύνσεις

- **Λειτουργία**

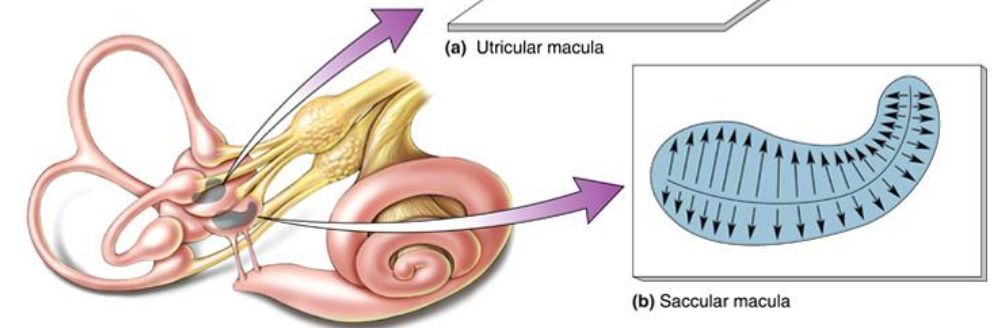
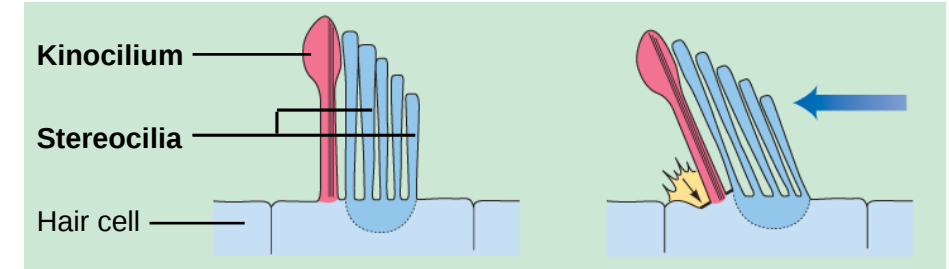
- Αίσθηση αλλαγής στην κίνηση (δηλ. επιτάχυνση)



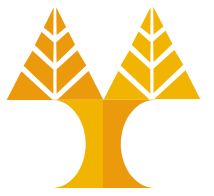
Όργανα Ωτολίθων (Otolith Organs)



- Αίσθηση αλλαγής γραμμικής κίνησης σε οποιαδήποτε κατεύθυνση
- Βρίσκονται κάθετα το ένα προς το άλλο
- Παρέχουν σημαντικές πληροφορίες ως προς τη θέση της κεφαλής σε σχέση με τη βαρύτητα
- Τριχωτά κύτταρα (Hair Cells)
 - Έχουν ένα κινोटριχίο (kinocilium) και πολλά στερεοτριχία (stereocilia) (μικρολάχνες)
 - Ενσωματωμένα σε ένα πυκτοειδές (gelatinous) υλικό
 - Παράγουν δυναμικό μόνο όταν κινούνται προς το κινोटριχίο
 - Επιπρόσθετα υπάρχουν κρύσταλλοι ανθρακικού ασβεστίου (calcium carbonate), οι ωτόλιθοι (otoliths) ενσωματωμένοι στο πυκτοειδές υλικό
 - Αυξάνουν την αδράνεια (inertia)
 - Ευαισθησία στη βαρύτητα

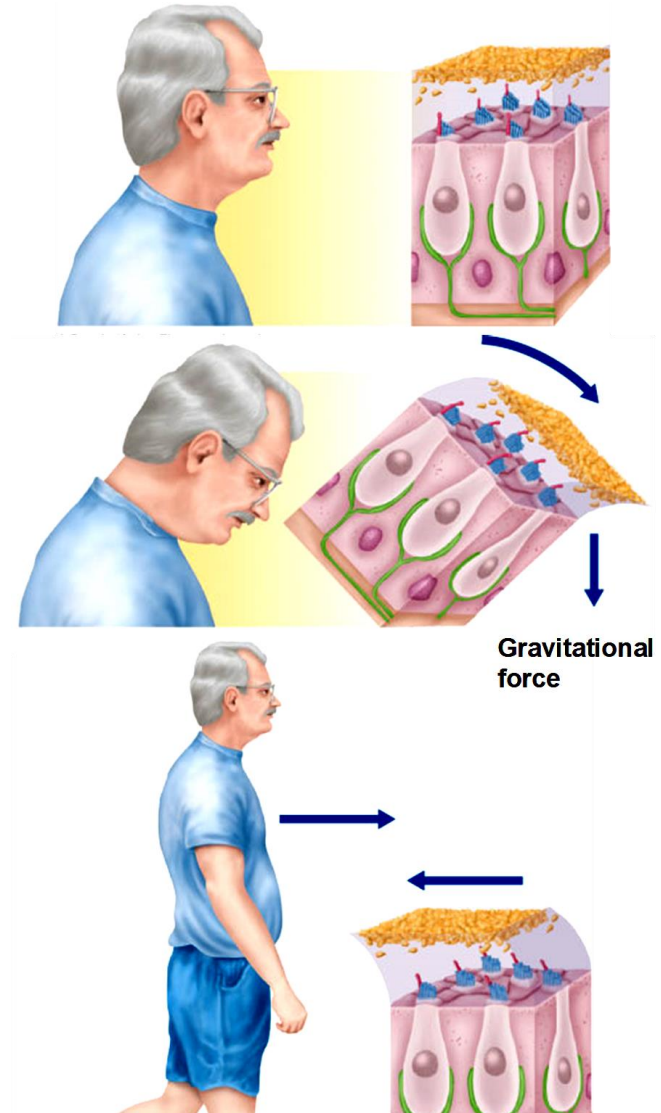


Όργανα Ωτολίθων (Otolith Organs)



- **Μετατροπή σήματος**

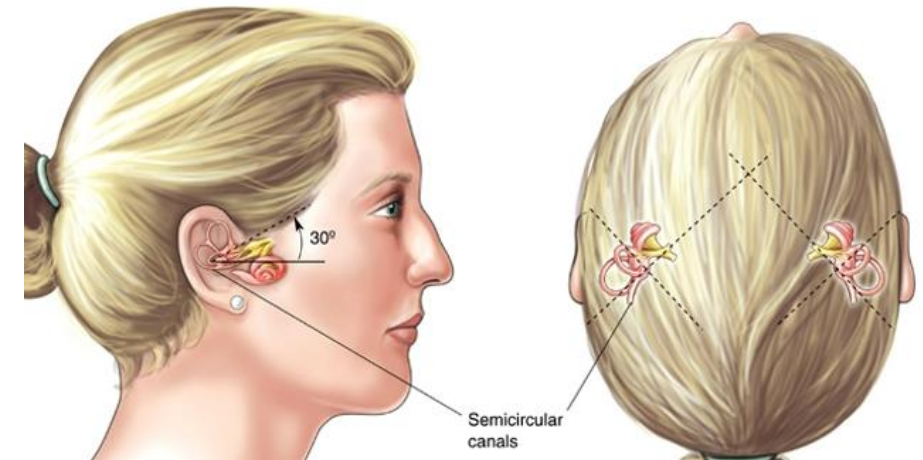
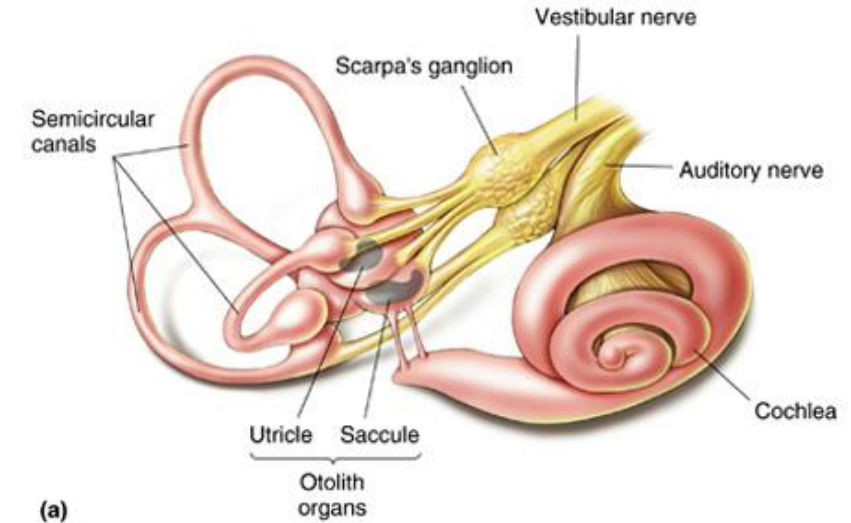
- Κυστίδιο (Utricle) → Κίνηση προς τα μπρος ή προς τα πίσω ή κλίση (tilt) (κίνηση λόγω βαρύτητας)
- Ασκίδιο (Saccule) → κάθετη κίνηση
- Η ενδολέμφος και το πυκτοειδές υλικό με τους ωτόλιθους κινούνται στην αντίθετη κατεύθυνση
- Τα τριχία λυγίζουν και ανοίγουν ή κλείνουν δίαυλοι K^+
- Τα τριχωτά κύτταρα εκπολόνωνται ή υπερπολώνονται
- Η απελευθέρωση νευροδιαβιβαστή από τα κύτταρα αυτά μεταβάλλεται
- Δημιουργία ΔΕ στο αισουσιαίο νεύρο μεταβάλλεται επίσης



Ημικυκλικοί Σωλήνες (Semicircular Canals)



- Τρεις ημικυκλικοί σωλήνες τοποθετημένοι σε κάθετα επίπεδα
- Αίσθηση περιστροφικής επιτάχυνσης (rotational acceleration) ή επιβράδυνσης (deceleration) σε όλες τις κατευθύνσεις
 - Η ταχύτητα υπολογίζεται με ολοκλήρωση σε κυκλώματα του Στελέχους
- Τριχωτά Κύτταρα (Hair cells)
 - Σε μια προεξοχή (ridge) στην κύστη (ampulla)
 - Έχουν ένα κινotριχίο και πολλά στερεοτριχία (μικρολάχνες)
 - Τα κινotριχία είναι προσανατολισμένα προς την ίδια κατεύθυνση και γι' αυτό διεγείρονται ή αναστέλλονται ταυτόχρονα
 - Ενσωματωμένα σε πυκτοειδές υλικό (cupula)



Ημικυκλικοί Σωλήνες (Semicircular Canals)

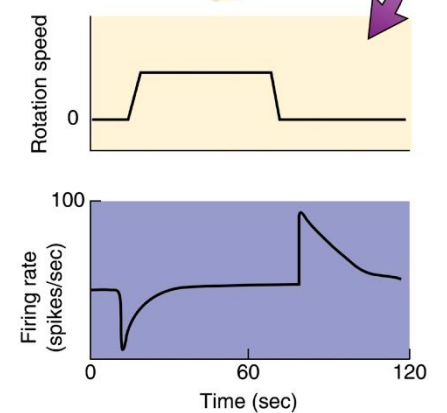
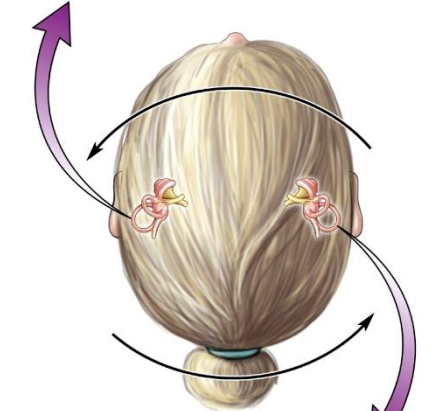
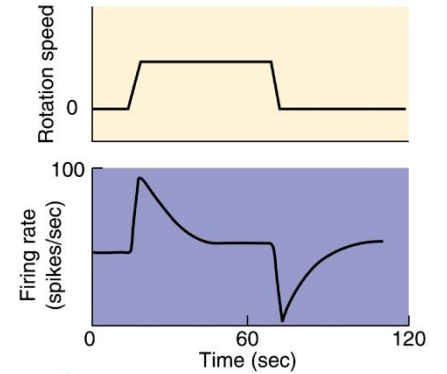
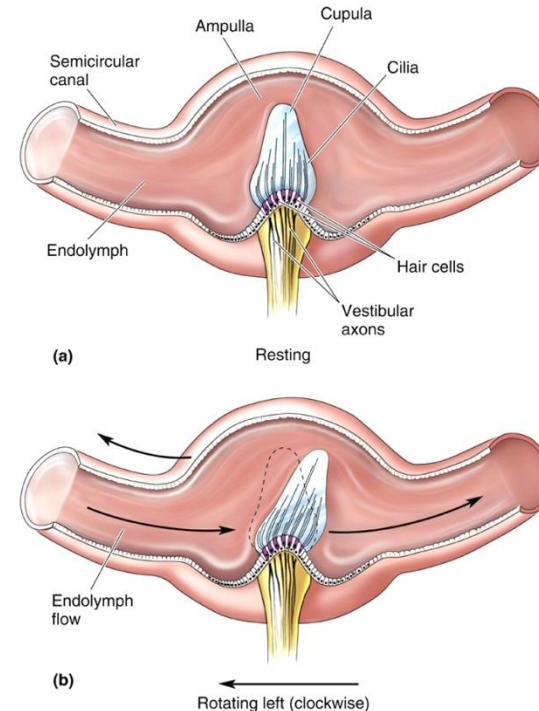


• Μετατροπή Σήματος

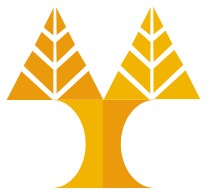
- Το κεφάλι περθστρέφεται
- Δύο σωλήνες περιστρέφονται γύρω από τον άξονα τους σε αντίθετες κατευθύνσεις
- Η ενδολέμφος κινείται προς την αντίθετη κατεύθυνση (αδράνεια)
- Κουβούκλιο (Cupula) λυγίζει προς εκείνη την κατεύθυνση
- Τα τριχία λυγίζουν και οι δίαυλοι K^+ ανοίγουν ή κλείνουν
- Τα τριχωτά κύτταρα εκπολόνωνται ή υπερπολώνονται
- Η απελευθέρωση νευροδιαβιβαστή από τα κύτταρα αυτά μεταβάλλεται
- Δημιουργία ΔΕ στο αιθουσιαίο νεύρο μεταβάλλεται επίσης
- Τρεις κάθετοι σωλήνες → μπορούν να δουν κίνηση σε όλες τις γωνίες

• Αντιτιθέμενη Ενεργοποίηση (Push-Pull Activation)

- Ζεύγη σε αντίθετες πλευρές της κεφαλής
- Αντιτιθέμενη ενεργοποίηση = διέγερση στη μια πλευρά, αναστολή στην άλλη

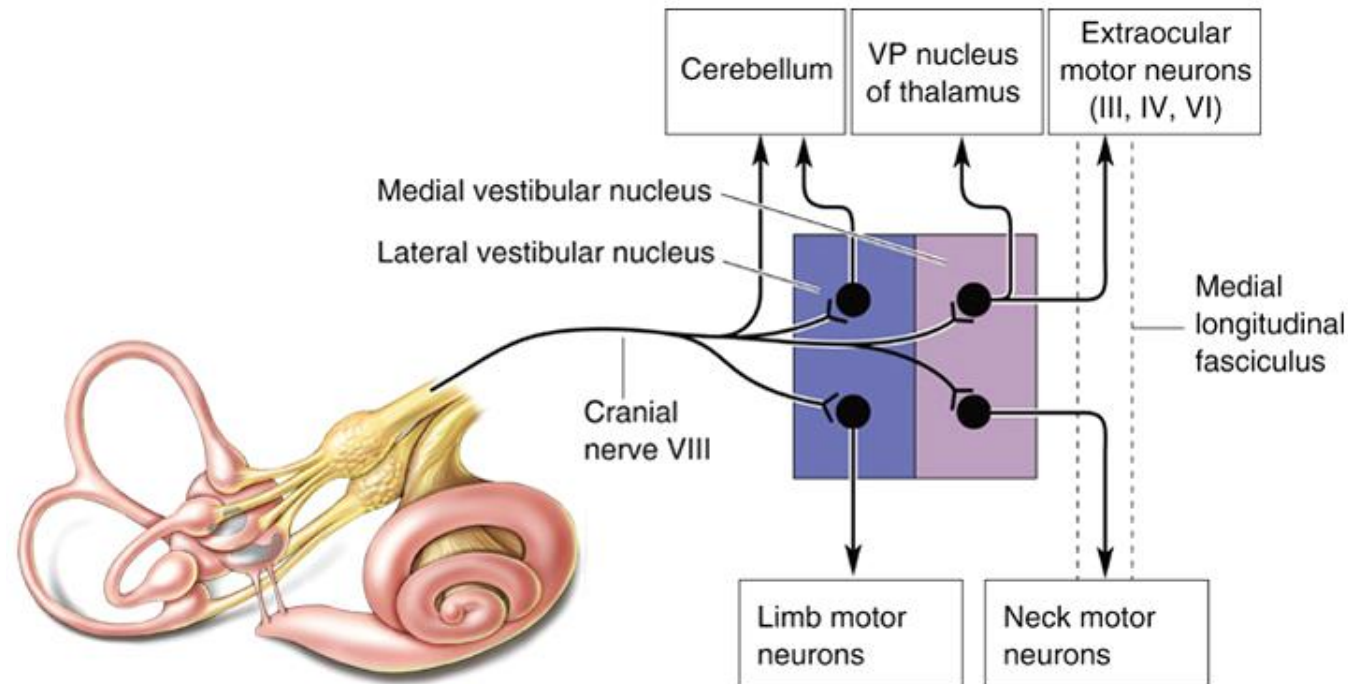


Κεντρικές Αιθουσιαίες Οδοί



- **Αθουσιαίοι πυρήνες (Vestibular nuclei) στο εγκεφαλικό στέλεχος**

- Δέχονται
 - Αιθουσιαία σήματα από την ίδια (Ipsilateral) πλευρά
 - Πληροφορίες από άλλα συστήματα (οπτικό, σωματοαισθητικό, παρεγκεφαλίδα, κλπ)
- Προβάλλει εξόδους σε πολλές περιοχές
- Ο φλοιός διατηρεί συνεχώς μια περιγραφή (representation) της θέσης και του προσανατολισμού του σώματος



Το Αιθουσο-Οπτικό Ανακλαστικό (Vestibulo-Ocular Reflex - VOR)



- **Λειτουργία**

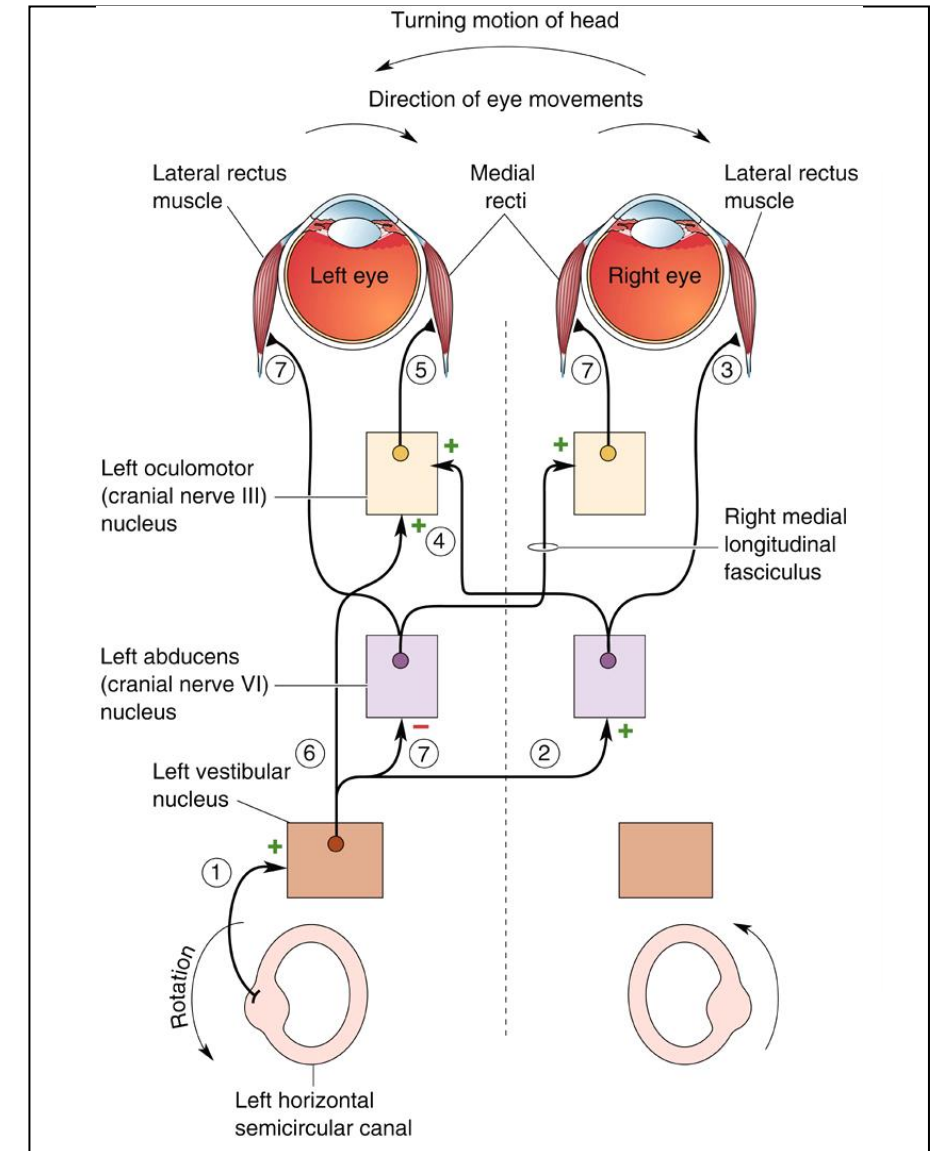
- Διατηρεί οπτική επαφή με ένα στόχο

- **Μηχανισμός**

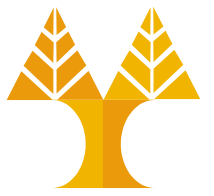
- Αίσθηση της περιστροφής του κεφαλιού
- Σήματα για αντισταθμιστικές κινήσεις των ματιών στην αντίθετη κατεύθυνση

- **Διασυνδέσεις**

- Ημικυκλικοί σωλήνες → αιθουσιαίοι πυρήνες (vestibular nucleus) → πυρήνες κρανιακών νεύρων (cranial nerve nuclei)
- Διέγερση μυών ματιών (extraocular muscles)



Προβλήματα με τα Αιθουσιαίο



- Μετακίνηση ωτολίθων προκαλεί ναυτία (nausea)
- Ιδιοπαθής ίλιγγος
- Κάποια φάρμακα μπορεί να προκαλέσουν ζημιά στο αιθουσιαίο σύστημα
- Επακόλουθα:
 - Πρόβλημα διατήρησης οπτικής επαφής
 - Δυσκολίες στο περπάτημα και όρθια στάση
 - “Ο κόσμος γυρίζει γύρω μου”

Happy Halloween!



Pumpkin Puke



Διάλεξη 13

Σωματοαισθητικό Σύστημα (Somatosensory System)