

❖ ΒΙΟΦΥΣΙΚΗ ΤΗΣ ΟΡΑΣΗΣ

Τα μάτια δέχονται ερεθίσματα από τον περιβάλλοντα κόσμο. Τα κατάλληλα ερεθίσματα για τους ανθρώπινους οφθαλμούς είναι ηλεκτρομαγνητικά κύματα που βρίσκονται σε μια πολύ μικρή περιοχή του φάσματος ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, την περιοχή του «ορατού», με μήκη κύματος περίπου 400-780 nm. Οι φωτοϋποδοχείς στους οφθαλμούς δέχονται φως και δημιουργούν νευρικό παλμό.

Το φως εισέρχεται στον οφθαλμό, διαθλάται στα διάφορα μέσα, φτάνει στον αμφιβληστροειδή, όπου μετατρέπεται σε νευρικό παλμό που οδεύει με τα νευρικά κύτταρα του οπτικού νεύρου προς τον εγκέφαλο.

Η αίσθηση της όρασης έχει επομένως τρεις κύριες συνιστώσες:

- *Τους οφθαλμούς, που εστιάζουν μια εικόνα από τον εξω κόσμο στον φωτοευαίσθητο αμφιβληστροειδή χιτώνα*
- *Ένα σύστημα εκατομμυρίων νευρώνων που μεταφέρουν την πληροφορία στον εγκέφαλο*
- *Τον εγκέφαλο, όπου γίνεται η επεξεργασία της πληροφορίας*

Οι οφθαλμοί αποτελούν ένα σημαντικό «παράθυρο» επικοινωνίας του ανθρώπου με τον περιβάλλοντα κόσμο. Βρίσκονται προστατευμένοι μέσα σε μια οστική (κρανιακή) κοιλότητα, την *οφθαλμική κόγχη*, περιβάλλονται από ένα δίκτυο αιμοφόρων αγγείων που τους οξυγονώνουν και κινούνται με τη βοήθεια κατάλληλων μυών. Στον άνθρωπο, ο οφθαλμός αποτελείται από τον περίπου σφαιρικό βολβό και βοηθητικά – προστατευτικά όργανα (μύες, βλέφαρα, βλεφαρίδες, δακρυϊκοί πόροι κ.λ.π.).

Ο βολβός, ο οποίος σε φυσιολογικό μάτι έχει διάμετρο περίπου 25 mm, αποτελείται από τρεις ομόκεντρους χιτώνες: εξωτερικά διακρίνουμε τον *ινώδη χιτώνα*, ο οποίος στο πρόσθιο μέρος είναι διαφανής και ονομάζεται *κερατοειδής* και το υπόλοιπο τμήμα του είναι αδιαφανές και αποτελεί τον *σκληρό χιτώνα*. Ο μεσαίος χιτώνας είναι ο *χοριοειδής* (με έντονη αγγείωση) και ο εσωτερικός χιτώνας είναι ο *αμφιβληστροειδής* (ή νευρικός χιτώνας). Τμήμα του χοριοειδή χιτώνα είναι ένα κυκλικό διάφραγμα, η *ίρις*, μια κυκλική οπή που βρίσκεται στο κέντρο της ίριδας, η *κόρη*, καθώς και το *ακτινωτό σώμα*, του οποίου η συστολή ή διαστολή μεταβάλλει το σχήμα του φακού του οφθαλμού.

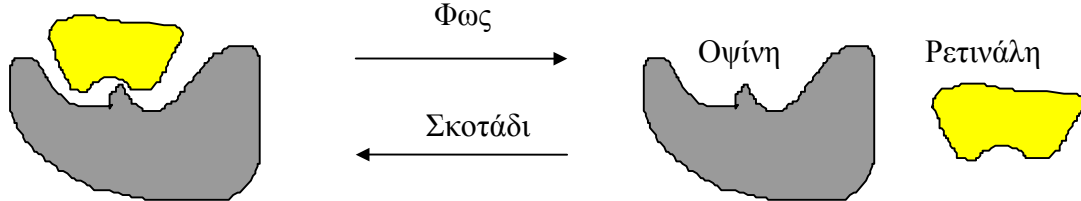
Τα διαθλαστικά μέσα του οφθαλμού είναι 4: ο κερατοειδής ($n \approx 1,38$), το υδατοειδές υγρό ($n \approx 1,34$), ο κρυσταλλοειδής φακός ($n \approx 1,37-1,42$) και το υαλώδες σώμα ($n \approx 1,34$). Η μεταβολή της κυρτότητας των επιφανειών του φακού, με τη βοήθεια των ακτινικών και κυκλικών μυϊκών ινών που τον περιβάλλουν, επιτρέπει στον οφθαλμό να εστιάζει αντικείμενα σε διάφορες αποστάσεις.

Ο αμφιβληστροειδής

Ο αμφιβληστροειδής μετατρέπει τις οπτικές εικόνες σε βιοηλεκτρικά σήματα που στέλνονται έπειτα για επεξεργασία στον εγκέφαλο. Αποτελείται από 6-7 στρώματα φωτοευαίσθητων κυττάρων (γαγγλιακά κύτταρα, οριζόντια κύτταρα, διπολικά κύτταρα, αμακρινικά κύτταρα και κύτταρα-φωτοϋποδοχείς). Το επιφανειακό στρώμα των φωτοϋποδοχέων του αμφιβληστροειδούς αποτελείται από τα *ραβδία* και τα *κωνία*. Στις άκρες των ραβδίων κυκλοφορεί μια διαμεμβρανική πρωτεΐνη - χρωστική, η *ροδοψίνη*, η οποία έπειτα από φωτοδιέγερση («φωτεινό μέρος» του

κύκλου της ροδοψίνης) υδρολύεται σε οψίνη και ρετινάλη, για να ανασχηματισθεί πάλι στο «σκοτεινό μέρος» του κύκλου της. Το επόμενο βήμα είναι η υπερπόλωση της πλασματικής μεμβράνης του εξωτερικού τμήματος των ραβδίων (ελάττωση της διαπερατότητάς της σε Na^+) και η δημιουργία νευρικού παλμού.

Ροδοψίνη



Η ρετινάλη είναι παράγωγο της βιταμίνης Α και η οψίνη μια πρωτεΐνη.

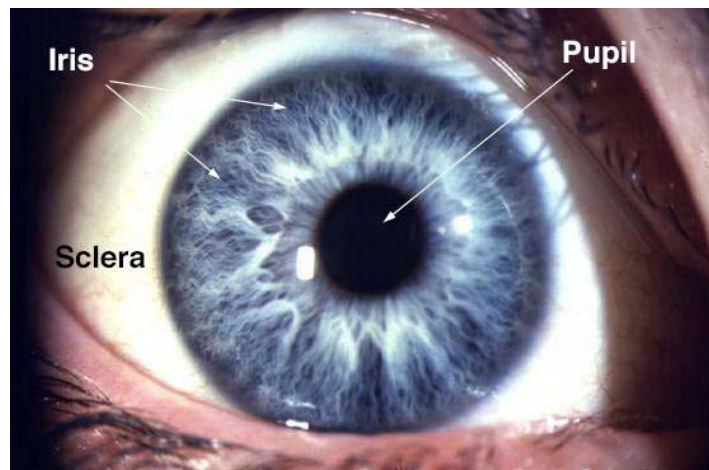
Τα ραβδία είναι περίπου 120 εκατομμύρια σε κάθε μάτι, ανομοιόμορφα κατανομημένα στον αμφιβληστροειδή, πολύ ευαίσθητα σε φωτεινή ακτινοβολία μήκους κύματος 360-680 nm (μέγιστη ευαισθησία : $\lambda=550$ nm). Είναι ευαίσθητα στο αμυδρό φως, στην κίνηση και σε μικρές διαφορές της φωτεινής έντασης, θυσιάζοντας βέβαια ποσοστό των λεπτομερειών και του χρώματος των αντικειμένων (σκοτοπική όραση - περιφερειακή όραση).

Τα κωνία είναι περίπου 6-7 εκατομμύρια σε κάθε μάτι, βρίσκονται συγκεντρωμένα στην περιοχή της ωχράς κηλίδας και, όπως και τα ραβδία, απουσιάζουν εντελώς από το τυφλό σημείο. Είναι ευαίσθητα στο λαμπρό φως, οι χρωστικές τους εμφανίζουν διαφορετικά φάσματα απορρόφησης του φωτός, με κορυφές στα 570, 540 και 450 nm που συσχετίζονται με την τριχρωματική θεωρία της έγχρωμης όρασης.

Οι οπτικές νευρικές ίνες είναι περίπου 1 εκατομμύριο. Τα κωνία του κεντρικού βοθρίου συνδέονται το καθένα χωριστά με μια νευρική ίνα, ενώ τα υπόλοιπα κωνία και τα ραβδία (100 ραβδία μαζί) μοιράζονται μία οπτική νευρική ίνα.

Ο αμφιβληστροειδής αντιστοιχεί περισσότερο στο φωτοευαίσθητο τμήμα του σωλήνα της τηλεόρασης παρά στο φωτοευαίσθητο φιλμ μιας φωτογραφικής μηχανής!

👉 Βιοφυσική της όρασης



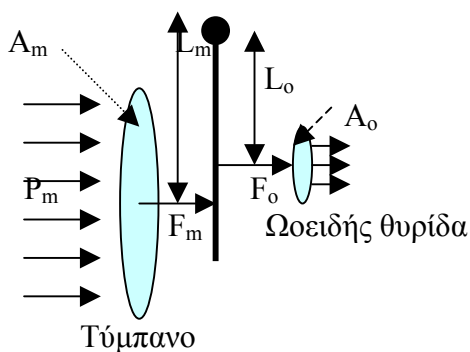


ΒΙΟΦΥΣΙΚΗ ΤΗΣ ΑΚΟΗΣ

- ⇒ Η *αίσθηση της ακοής* είναι μια από τις πλέον σημαντικές αισθήσεις μας, πολύ σημαντική για την επικοινωνία μας με τον υπόλοιπο κόσμο αλλά και για να ακούμε τον ίδιο μας τον εαυτό!
- ⇒ Το εύρος των εντάσεων των ήχων που μπορούμε να ακούμε ξεπερνά το 10^{12} , ενώ *οι συχνότητες* που μπορεί να ακούει το ανθρώπινο αυτί διαφέρουν κατά ένα παράγοντα ίσο με 1000 (16 Hz έως 20 000 Hz).
- ⇒ Η *αίσθηση της ακοής έχει τρεις κύριες συνιστώσες:*
 - (a) Το μηχανικό σύστημα που συλλέγει και μεταδίδει τις ηχητικές πληροφορίες, ώστε να διεγερθούν τα τριχωτά κύτταρα στον κοχλία,
 - (b) Τα αισθητήρια κύτταρα που παράγουν νευρικό παλμό, ο οποίος μεταδίδεται μέσω των κοχλιακών νεύρων,
 - (c) Τον ακουστικό φλοιό, το τμήμα δηλαδή του εγκεφάλου που αποκωδικοποιεί και μεταφράζει τα ηλεκτρικά σήματα των κοχλιακών νεύρων.
- ⇒ Η *κώφωση* ή η *βαρηκοΐα* προέρχεται από τη δυσλειτουργία οποιουδήποτε από αυτά τα μέρη.
- ⇒ Το αυτί είναι ένας βιοφυσικός μετατροπέας των πολύ ασθενών μηχανικών ηχητικών κυμάτων του αέρα σε ηλεκτρικές ώσεις.
- ⇒ Το αυτί συνήθως χωρίζεται σε τρία μέρη: το *εξωτερικό αυτί* (ή έξω ους), το *μέσο* και το *εσωτερικό* (ή έσω ους).
- ⇒ Στο μέσο αυτί ενισχύεται η ηχητική πίεση που φθάνει μέσω του τυμπάνου διότι τα τρία οστάρια δρουν ως μοχλός. Περαιτέρω ενίσχυση επιτυγχάνεται λόγω της διαφοράς στα εμβαδά του τυμπάνου και της ωοειδούς θυρίδας (το τμήμα της αιθουσαίας κλίμακας του κοχλία, στο οποίο ακουμπά ο αναβολέας).
- ⇒ Η συνθήκη ισορροπίας στο σύστημα τύμπανο – μοχλός – ωοειδής θυρίδα δίνει τη σχέση:

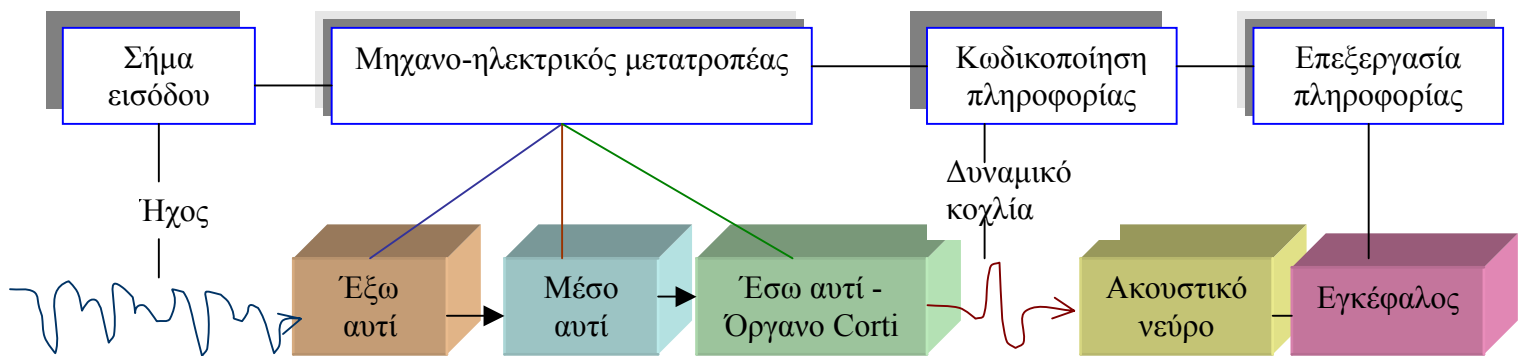
$$P_m A_m L_m = P_o A_o L_o$$

όπου P_m , P_o η πίεση στο τύμπανο και στην ωοειδή θυρίδα αντίστοιχα, A_m , A_o η επιφάνεια του τυμπάνου και της ωοειδούς θυρίδας αντίστοιχα και L_m , L_o οι μοχλοβραχίονες.



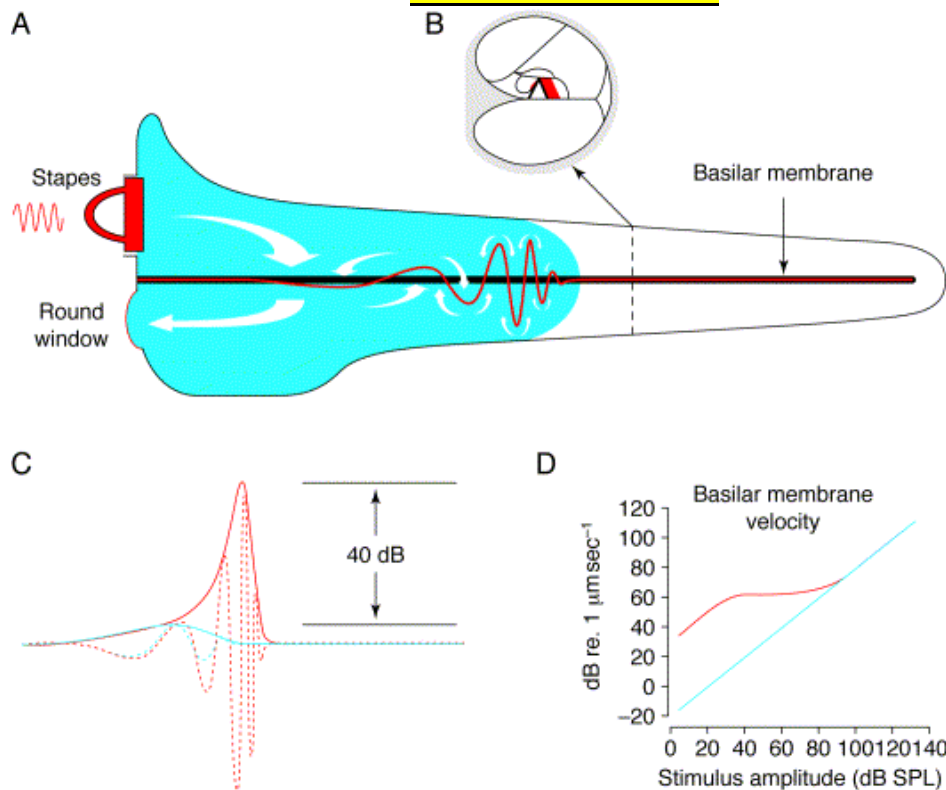
❖ Βιοφυσικός ακουστικός αναλυτής

- Το μηχανικό ερέθισμα (ηχητικό κύμα) μέσω των οσταρίων φθάνει στον κοχλία, όπου μετατρέπεται σε παλμό ηλεκτρικού δυναμικού. Ο κοχλίας και το εσωτερικό αυτί περιέχουν υγρό (λέμφος) και η μετάδοση των πιέσεων στην περιοχή αυτή γίνεται με υδραυλικά κύματα πίεσης.
- Η διαδρομή του ακουστικού ερεθίσματος στα επιμέρους όργανα του αισθητήριου της ακοής, ή στον **βιοφυσικό ακουστικό αναλυτή**, δίνεται περιληπτικά και σχηματικά:



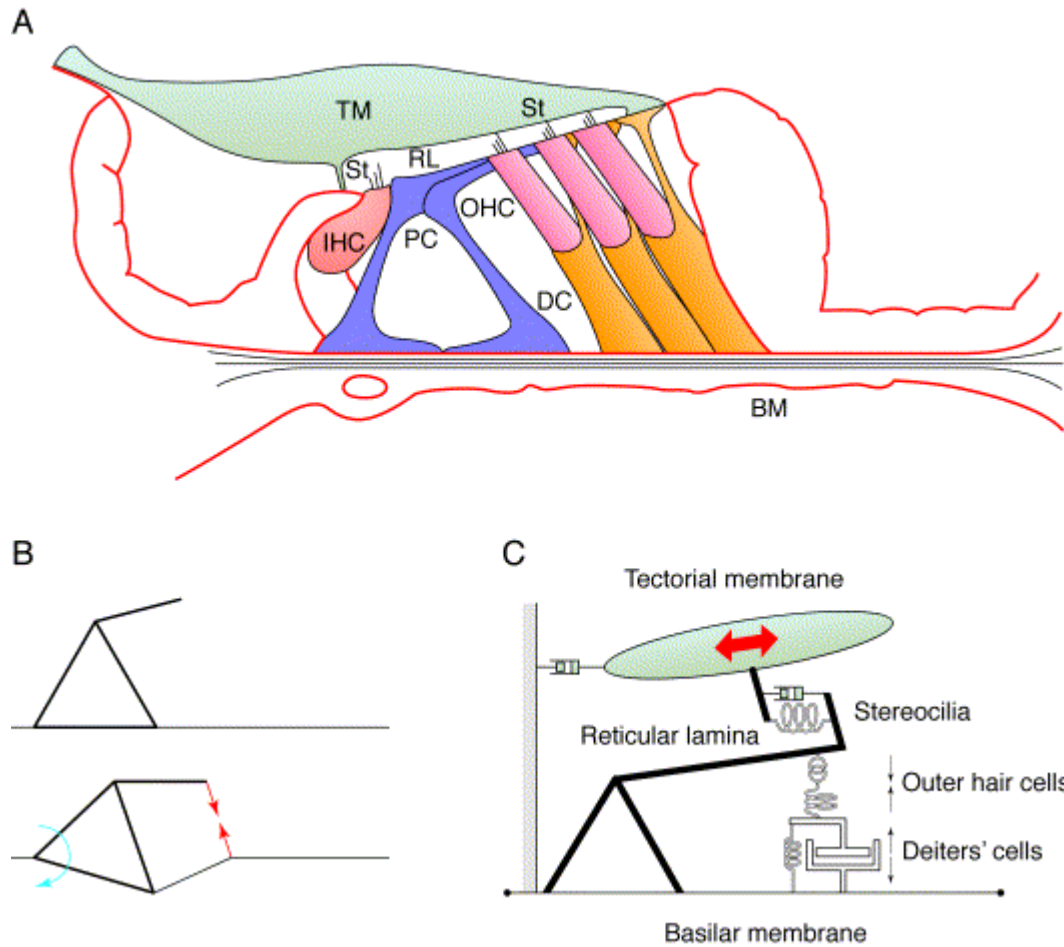
- Ο **βασικός υμένας του κοχλίας** διαχωρίζει τους ήχους ανάλογα με τη **συχνότητά τους**. Η μεμβράνη του βασικού υμένα είναι λεπτή και σφικτά πακτωμένη στο ένα άκρο (προς τον αναβολέα) και παχιά και χαλαρή στο αντίθετο άκρο.
- Οι **ήχοι υψηλής συχνότητας** δημιουργούν μέγιστο κύμανσης του βασικού υμένα εκεί που η μεμβράνη είναι σφικτή, ενώ οι **ήχοι χαμηλής συχνότητας** δημιουργούν μέγιστο κύμανσης προς το αντίθετο άκρο.
- Η θέση του μεγίστου κύμανσης της βασικής μεμβράνης καθορίζει ποιές νευρικές ίνες θα διεγερθούν και έτσι, μέσω του οργάνου του Corti, μεταφέρεται στον εγκέφαλο κωδικοποιημένη η πληροφορία για τη συχνότητα του ήχου. Το **πλάτος κύμανσης** της βασικής μεμβράνης σχετίζεται με την ένταση του ερεθίσματος.
- Οι κυμάνσεις των μεμβρανών του κοχλίας κάμπτουν ανάλογα τις βλεφαρίδες των τριχωτών κυττάρων του οργάνου του Corti και η κάμψη αυτή αποτελεί το αίτιο δημιουργίας ηλεκτροχημικού δυναμικού, δηλαδή νευρικού παλμού.
- **Τελικά από το όργανο του Corti μεταφέρονται στον εγκέφαλο με βιο-ηλεκτρικό τρόπο πληροφορίες για το ύψος, την ακουστότητα και τη χροιά των ήχων.**

Μερικές πληροφορίες από βιβλιογραφία στα αγγλικά (από ιστοσελίδες και



Travelling waves on the basilar membrane of the cochlea. (A)

A longitudinal section of the uncoiled cochlea is represented with vertical dimension expanded by about three times. A travelling wave elicited by a 3 kHz tone is shown as a red line displacing the basilar membrane (unbroken black line) from its resting position (the wave amplitude has been magnified about 10^6 times for clarity). Arrows around wave peaks indicate the direction of local fluid flow. The fluid mass affects the dynamics of the basilar membrane, loading its different parts by amounts that depend upon the local wave length. Notice the progressive shortening of the wave length up to a critical point beyond which both the basilar membrane and the fluid remain at rest. (B) Cross-section of the cochlear duct, showing that the basilar membrane is laterally clamped across the duct and supports the organ of Corti that hosts two types of sensory hair cells: inner hair cells, that transmit signals to the acoustic nerve, and outer hair cells (OHC), that provide mechanical amplification to the basilar membrane motion. (C) Two travelling waves, produced by a low-level input, are shown for different amplification levels (broken lines). Solid lines are wave-amplitude envelopes. (D) Basilar membrane velocity (in dB relative to $1 \mu\text{m sec}^{-1}$) versus input sound pressure level (in dB SPL) at fixed input characteristic frequency for the same two amplification levels as in (C). When the OHCs function properly (red line), the basilar membrane motion at low-input levels (below 20 dB SPL) is linear but greatly enhanced (40–60 dB) compared with the passive case (blue line). At higher input levels transducer currents saturate, limiting the undamping action provided by OHCs, and producing a compressive non-linearity in the basilar membrane response between 30 and 90 dB SPL. Above 90 dB SPL OHC forces are negligible compared with the intrinsic viscous forces and the response approaches the linear, passive case.



Organ of Corti mechanics. (A)

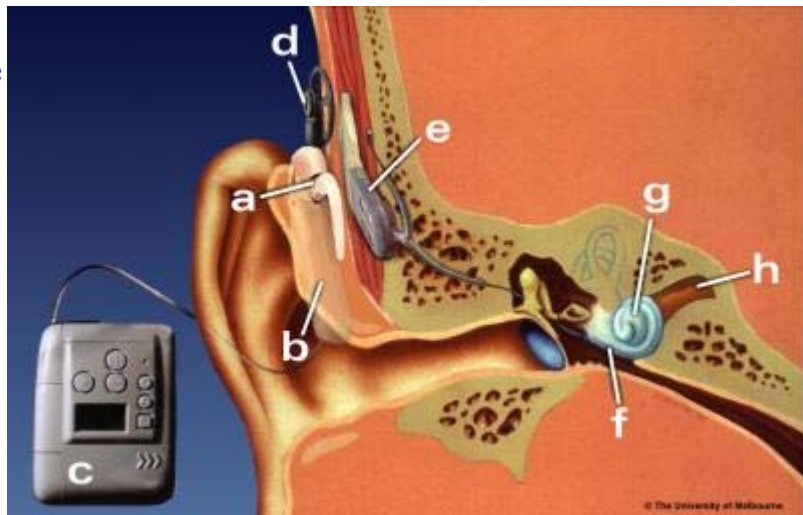
The basilar membrane (BM) supports a rigid structure formed by the pillar cells (PC) and the reticular lamina (RL). One inner hair cell (IHC) sits at the left of the pillars with its stereocilia (St) close to, but not inserted in, the overlying tectorial membrane. A triplet of outer hair cells (OHCs), firmly anchored at their apex within the reticular lamina and cupped by Deiters' cells (DC), have their tallest stereocilia inserted in the tectorial membrane (TM). Deiters' cells provide visco-elastic coupling between the motile OHCs and the elastic basilar membrane. (B) The organ of Corti distorts under hair-cell contraction: the lever effect associated with cell-length change forces the arch structure formed by PCs to pivot around the inner attachment of the basilar membrane. The outermost basilar membrane segment keeps almost at rest. (C) Functional representation of the organ of Corti with the OHCs represented as a displacement generator and the visco-elastic components added as shown. The tectorial membrane is coupled visco-elastically to the reticular lamina through the cell stereocilia and the interposed fluid layer. Viscosity plays an important role in organ of Corti dynamics: the viscosity of the organ of Corti itself acts as a mechanical high-pass filter that compensates for the electrical low-pass filtering of the OHC receptor potential. An analogous compensation for the IHC capacitance might be provided by the high-pass filtering properties of the coupling between the stereocilia and the tectorial membrane.

Bionic Ears and The Cochlear Implant: What Did You Say?

Step 2 on the way to achieving the ultimate goal is already in place with the increasing use of the cochlear implant that allows profoundly deaf people to “hear”. The development of the cochlear implant, which uses implanted electrodes to stimulate nerves, is now serving as a guide to how a full connection between brain and artificial body parts may one day be possible. Unlike prosthetic limbs, cochlear implants, have been able to overcome the obstacle of sending feedback to the brain. The cochlear implant has meant that scientists can now, not only translate electrical impulses into mechanical action, but also they can use technology to send the information back to the brain. Although the implant is rather complex, and requires a network of microphone, receiver, transmitter, and processor, the concept behind it is simple.

How does the Cochlear Implant Work?

The human ear is made up of thousands of hair cells, which when working properly are stimulated by sound, and then begin to vibrate, passing electrical impulses on to the auditory nerve fibers. In people having sensorineural deafness, the hair cells are unable to function, therefore severing the path of sound to the brain. To restore this important connection, a lead of electrodes is implanted in the ear to replicate the function of hair cells and stimulate the cochlea. The implanted lead contains anywhere from 1 to 22 electrodes, each being stimulated by different frequencies and pitches. These electrodes then stimulate the nerves and then send it to the brain via the hearing nerve.

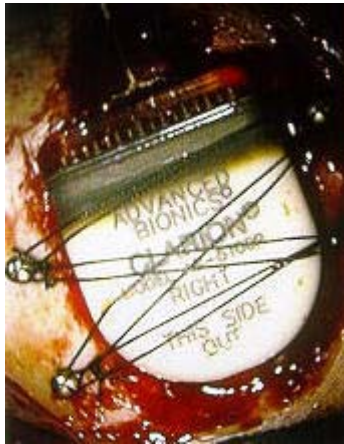


Why Does a Cochlear implant work?

Muscles can change electrical energy into mechanical energy, as seen when the ear changes the mechanical energy of sound into electrical impulses. Electrodes can give off such electrical impulses, stimulating surrounding nerves. This allows for signals to by-pass damaged parts, such as hair cells or the ear, yet still stimulate the nerve.

Cochlear implants are also dependent on the electromagnetic spectrum and quantum mechanics for getting the external sound to the electrodes. Once picked up by the external microphone and transmitted to the speech processor, the translated frequencies must be sent to the receiver implanted in the head. This is generally done by transmitting radio waves through the ear, however metal induction or other types of signal transfer could be used. The radio waves must also be of certain frequency and wavelength. The principles of spectroscopy, in terms of the electromagnetic spectrum, help to explain this transfer of sound in the form of radio waves.

What needs to be figured out to move onto the ultimate goal?



With the brain being so complex, and functioning so differently for everyone, it is nearly impossible to know how the brain really interprets data. In the case of hearing, scientists are still working diligently to solve the puzzles of how the brain interprets pitch, loudness, quality, and direction of sound. Although cochlear implants work efficiently without this knowledge, for further advancement in the field of bionics, a better understanding of the brain is necessary.

Another problem with the cochlear implant is that the function of thousands of damaged hair cells must be replicated, and it is not feasible to implant near that many electrodes. Although 22 electrodes do allow a person to hear, it is much different than the actual sound they would be hearing had they the thousands of working hair cells. These electrodes can compensate for the loss of thousands of hair cells, but they cannot truly make up for them.

❖ ΒΙΟΦΥΣΙΚΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΩΝ ΒΙΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

- ✎ Διακρίνουμε τρεις φάσεις στη διαδικασία της αίσθησης: το **ερέθισμα** (μεταβολές φυσικο-χημικών παραγόντων του έξω κόσμου), τη **διέγερση** (μεταβολές στο επίπεδο των διεγέρσιμων κυττάρων) και τη **επεξεργασία - απόκριση** (μετατροπή του ερεθίσματος σε νευρικό παλμό, διάδοση και επεξεργασία στο Κεντρικό Νευρικό Σύστημα - ΚΝΣ).

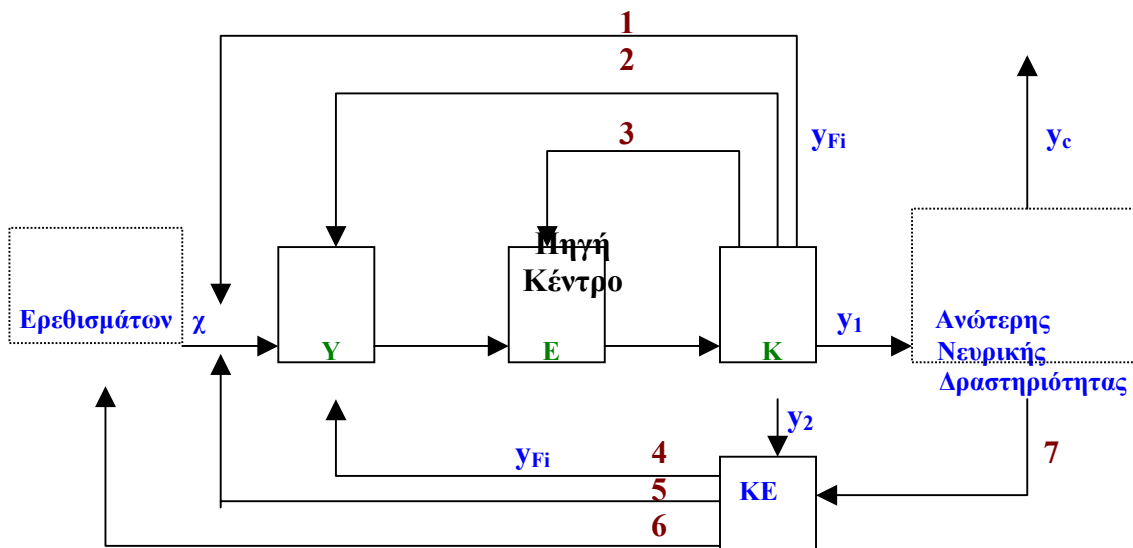
Ερεθίσματα και βιοφυσικοί αναλυτές

Ερέθισμα = πληροφορία από το περιβάλλον

Αναλυτές = σύνθετα αισθητήρια βιοσυστήματα (π.χ. όραση - οπτικός αναλυτής, ακοή - ακουστικός αναλυτής, όσφρηση - οσφρητικός αναλυτής).

Αισθητήριιοι υποδοχείς = απολήξεις αισθητηρίων νευρώνων ή και ολόκληρα κύτταρα που έχουν διαφοροποιηθεί ώστε να δέχονται συγκεκριμένα ερεθίσματα.

- ✎ Αν και οι αναλυτές αποτελούν μια μορφολειτουργική μονάδα, διακρίνουμε τρεις επιμέρους ενότητες: α) **το τμήμα υποδοχής (Y)**, το οποίο αλληλεπιδρά άμεσα με το τον έξω κόσμο και τα ερεθίσματα, αποτελούμενο από κατάλληλα διαμορφωμένους νευρώνες, β) **το ενδιάμεσο τμήμα (E)**, το οποίο συνδέει τα ακραία μέρη του αναλυτή, αποτελούμενο από τους ενδιάμεσους νευρώνες ή νευρώνες σύνδεσης, και γ) **το κεντρικό τμήμα (K)**, το οποίο βρίσκεται στο ΚΝΣ και επεξεργάζεται τις πληροφορίες που έχουν μεταφερθεί από τις νευρικές ώσεις, τις ερμηνεύει και απαντά με εντολές προς τους εκτελεστές αυτών των εντολών (μυς, νεύρα, αδένες κ.λ.π.).



Κυβερνητικό μοντέλο ενός αναλυτή. Y, E, K: τμήματα υποδοχής, ενδιάμεσο και κεντρικό αντίστοιχα, KE: κύτταρα εκτελεστές των εντολών, χ : βάρος εισόδου (ερέθισμα), y_i ($i=1,2$): βάρος εξόδου, y_{Fi} ($i=1 \div 7$): αναδράσεις (feed-back), y_c : εντολή απόκρισης.

☞ Οι υποδοχείς των ερεθισμάτων διακρίνονται σε:

- **μηχανοϋποδοχείς**, ειδικευμένους στην ανίχνευση μηχανικών ερεθισμάτων (απτικό ερέθισμα - αφή, πίεση-δύναμη και τασεοϋποδοχείς, θέση, κίνηση, ακουστικό ερέθισμα και τριχωτά κύτταρα οργάνου Corti),
- **θερμοϋποδοχείς**, ειδικευμένους στην ανίχνευση θετικών διαφορών θερμοκρασίας (αίσθημα ζέστης - σωματίδια Ruffini) ή αρνητικών διαφορών (αίσθημα κρύου -σωματίδια Krause),
- **χημιοϋποδοχείς**, ειδικευμένους στην ανίχνευση μεταβολών στη χημική σύσταση του εσωτερικού ή/και του εξωτερικού περιβάλλοντος (π.χ. γευστικοί κάλυκες, οσφρητικά κύτταρα),
- **ηλεκτρομαγνητικοί υποδοχείς**, ειδικευμένους στην ανίχνευση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (φωτοϋποδοχείς για όραση, θερμοϋποδοχείς που ανιχνεύουν υπέρυθρη ακτινοβολία),
- **ηλεκτροϋποδοχείς**, ειδικευμένους στην ανίχνευση μεταβολών του γήϊνου ηλεκτρικού πεδίου, (συναντώνται π.χ. σε μερικά ψάρια που τους χρησιμοποιούν για προσανατολισμό),
- **μαγνητοϋποδοχείς**, ειδικευμένους στην ανίχνευση μεταβολών του γήϊνου μαγνητικού πεδίου, (συναντώνται π.χ. σε αποδημητικά πουλιά, έντομα ακόμη και μικρο-οργανισμούς),
- **υποδοχείς πόνου**, πολλοί σημαντικοί για την άμυνα και προστασία του οργανισμού σε διάφορους εισβολείς.

☞ Βασικές βιοφυσικές αρχές της αισθητηριακής υποδοχής

- **επιλεκτική επιλογή του σήματος,**
 - **μετατροπή**
 - **ενίσχυση της επίδρασης του ερεθίσματος**
- (a) Τα κύτταρα - υποδοχείς παρουσιάζουν μια μέγιστη ευαισθησία για ορισμένες περιοχές της ενέργειας των ερεθισμάτων, αγνοώντας άλλες.
- (b) Όλα τα κύτταρα - υποδοχείς μετατρέπουν ερεθίσματα διαφορετικής φύσης σε διαμεμβρανικά βιο-ηλεκτρικά δυναμικά, τα οποία διαδίδονται με δυναμικά δράσης στα νεύρα.
- (c) Η ενίσχυση της δράσης του ερεθίσματος συνίσταται στην ελευθέρωση ενέργειας αποθηκευμένης στα διεγέρσιμα κύτταρα, η οποία αναπληρώνεται από την μεταβολική ενέργεια που παράγει το ATP. Αυτή ακριβώς η ενέργεια εξασφαλίζει την χωρίς απώλειες διάδοση των δυναμικών δράσης που μεταφέρουν την πληροφορία μακριά.

❖ Μηχανισμός δίψας

- Το όργανο που ρυθμίζει την ποσότητα των υγρών του σώματος είναι οι νεφροί (ή **τα νεφρά**). Αν τα υγρά του σώματος είναι λίγα, τότε σχηματίζονται μικρές ποσότητες ούρων. Αν για κάποιο λόγο, έξω από τις φυσιολογικές συνθήκες για το άτομο, υπάρξει μείωση των υγρών του σώματος, π.χ. λόγω αιμορραγίας ή υπερβολικής εφίδρωσης ή αφυδάτωσης, τότε ενεργοποιείται ο **βιοφυσικός μηχανισμός της δίψας** για την αναπλήρωση των σωματικών υγρών και τη διατήρηση της ομοιοστασίας του οργανισμού.
- Ο μηχανισμός της δίψας είναι ένας θαυμάσιος, όσο και πολύπλοκος **μηχανισμός ανάδρασης**, ο οποίος μπορεί να παρασταθεί σχηματικά με τη βοήθεια των ενζύμων που υπεισέρχονται στη λειτουργία του.

