


A belső fül

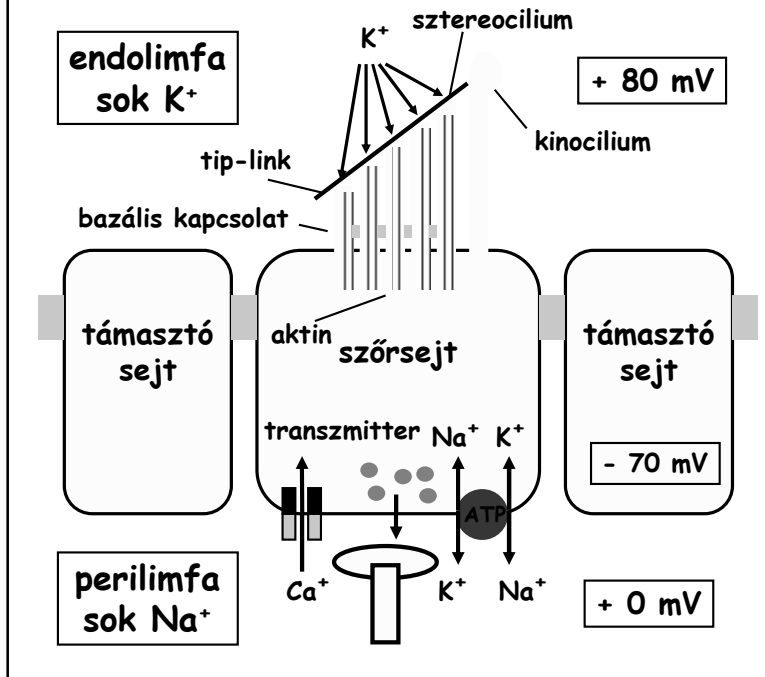
A belső fül érzékszervei

2/14

- belsőfül: egyensúlyozás és hallás érzékszerve
- a sziklacsontban lévő labirintusban található 
- az első proprioceptor, a második exteroceptor
- mindkettőben szőrsejtek: másodlagos érzékszövet
- evolúciós rokonságot mutatnak az oldalvonal szervvel (halak) - akusztikolaterális rendszer
- a szőrsejt felépítése mindkettőben hasonló
- a szőrsejtek mellett támasztósejtek - szoros illeszkedés: perilimfa és endolimfa szétválasztás
- perilimfa extracelluláris tér, sok Na⁺, kevés K⁺
- endolimfa transzcelluláris, sok K⁺, kevés Na⁺
- az endolimfa pozitív a perilimfához képest - a sejt belsejéhez viszonyítva 150 mV feszültség
- sztereociliumok tetején mechanoszenzitív K⁺ csatornák, 10-15% nyitva - 90 Hz az alapfrekvencia - irányfüggően változik

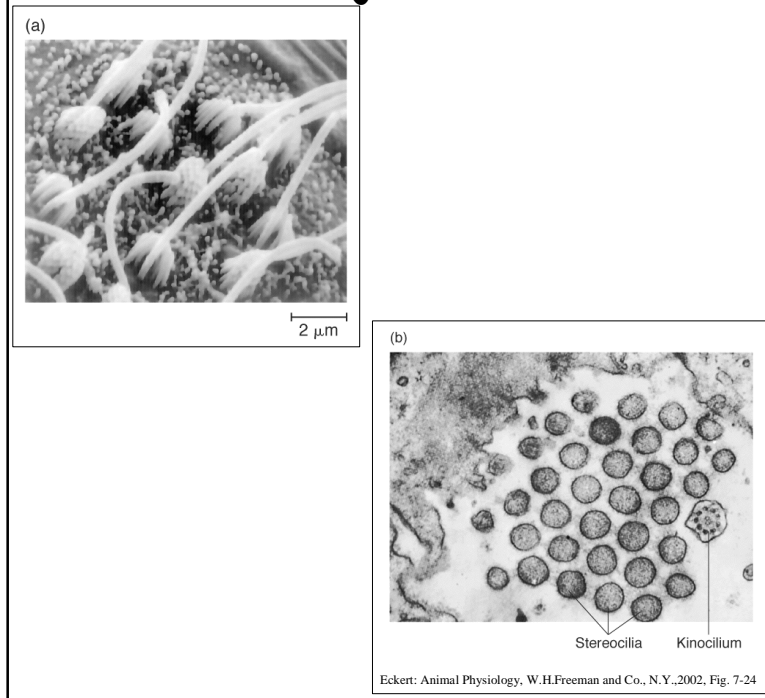
A szőrsejt felépítése

3/14





A szőrsejtek ciliumai

4/14




Az egyensúlyszerv I.

5/14

- két része van:
 - 3 félkörös ívjárat - szöggyorsulás érzékelése
 - utriculus (tömlőcske), sacculus - fej helyzetének, ill. a lineáris gyorsulásnak az érzékelése
- az ívjáratok egymásra kb. merőlegesek
- a „vízszintes” 25° szögben lefelé mutat, a két függőleges a középvonallal 41° , ill. 56° szöget zár be
- egyik végén ampulla, benne crista ampullaris a szőrsejtekkel, rajta cupula, ami lezárja az endolimfa útját 
- hasonló elv az oldalvonalszervnél 
- a kinociliumok azonosan orientáltak egy-egy ampullában
- az ívjáratok párosával azonos síkban vannak
- komplementer párokat alkotnak, ha az egyik serkentődik, másik gátlódik

Az egyensúlyszerv II.

6/14

- az utriculusban és a sacculusban maculákban tömörülnek a szőrsejtek
- utriculusban vízszintes, a sacculusban függőleges a macula
- szőrsejteken otolitmembrán, rajta otolitikristályok 
- a maculákban a kinociliumok egy képzeletbeli vonal, striola mentén helyezkednek el
- adott fejhelyzet - adott kisülési mintázat
- a fejhelyzet megváltozásán kívül lineáris gyorsulást is érzékeli: lift
- az elsődleges érzőneuronok a ggl. vestibulare-ban
- innen az agytörzs négy vestibuláris magjába fut az ingerület

A vesztibuláris központok


- **Deiters-féle mag (nucl. vestibularis lateralis)**
 - erőteljes, tónusos serkentő hatás a gerincvelő motoneuronjain - tractus vestibulospinalis lateralis
 - alapvető az egyenes testhelyzet fenntartásában
 - ellensúlyozás: kisagyi gátlás a Deiters magon, agykérgi (négy lábúakban nucl. ruber eredetű) gátlás a gerincvelői motoneuronon
 - decerebrációs rigiditás
- **nucl. vestibularis medialis**
 - a félkörös ívjáratokból kap rövid, fázikus bemenetet, nyakizmokat vezérli
- **nucl. vestibularis superior**
 - hasonló bemenet, de a szemmozgató izmokat irányítja
- **nucl. vestibularis inferior**
 - kevésbé ismert, kisagyi információval integrálja a bemeneteket és küldi felfelé

A hallás

- a hallószerv talán a legfontosabb telereceptor - látni nem mindig lehet (sötétség, rejtőzés) a szagokat a szél viszi
- alvás alatt is működik - csecsemő nyögdecselése
- kommunikációban is igen fontos
- a hang longitudinális rezgés
- 20 Hz és 20 kHz között hallunk, egyes állatok ultrahangot is; infrahang kellemetlen
- az intenzitást egy referencia értékhez (20 μ Pa - 2 kHz hallásküszöb) viszonyítva, logaritmikusan adják meg, mivel igen nagy a tartomány
- a gyakorlatban ennek 10-ed részét használjuk dB, a Bel helyett
- ha nem intenzitást használunk, hanem pl. feszültséget, vagy áramot, akkor négyzetre kell emelni - innen a 20-as szorzó (kitevő lg elé)


A hallószerv

9/14

- az emberi hallószerv 3 részből áll: külső fül, középfül, belfül
- külsőfül:
 - fülkagyló (egyes állatokban mozgatható)
 - külső hallójárat
 - dobhártya
- középfül:
 - hallócsontok (kalapács, üllő, kengyel) - 22-szeres nyomásnövekedés a felület és az áttétel miatt
 - fülkürt a szájüregbe - nyomáskiegyenlítés (repülőgép, ásítás, cukorka)
- belfül:
 - a csontos csiga és a benne elhelyezkedő hártyás csiga
 - a membrana basilaris (rajta a Corti-szerv) és a membrana Reissneri közrefogja a scala media-t (ductus cochlearis), felette scala vestibuli, alatta scala tympani 

A hallószerv működése I.

10/14

- a hallócsontok a fenestra ovalis-on át a rezgést a perilimfára adják (scala vestibuli)
- a 2,5 fordulatot leíró csigában a rezgések a csiga csúcsáig terjednek, majd visszafordulnak a scala tympani-n át a fenestra rotunda-ig
- a hártyás csiga teljes hossza kb. 32-33 mm
- a rezgések csontvezetéssel is eljutnak a belfülhöz - kevésbé fontos, kivéve saját hang magnóról, hallókészülék középfül károsodásakor
- a perilimfában terjedő rezgések a membrana basilaris különböző helyein okoznak maximális kilengést - tonotópia
- a membrán mozgása ingerli a szőrsejteket 
- a membrana basilaris az alapján keskeny és feszes (100 μ), fent széles és laza (500 μ)
- Helmholtz vetette fel, Békésy György igazolta, hogy lent magas, fent mély hangok okoznak maximális kitérést

A hallószerv működése II.

11/14

- a külső és belső szőrsejtek funkciója eltérő
- belső szőrsejtek - érzékelés, külső szőrsejtek érzékenység állítás
- az aktiváció hatására a külső szőrsejtek citoszkeletonja aktiválódik, a sejt rövidül - a maximális kitérés nagysága nő
- a belső szőrsejtek ingerküszöbe magasabb, csak az erősítés hatására éri el a normális hallásküszöböt
- a zajártalom (Walkman), valamint egyes gyógyszerek (sztreptomycin) károsítják a külső szőrsejteket - nagyothallás
- a csiga bázisán rövidebb, feszesebb szterociliumok - ez is elősegíti a tonotópiát
- a külső szőrsejtek eléri a membrana tectoria-t, a belsők nem - az örvénylő folyadék mozgatja őket

A hallószerv működése III.

12/14

- a szőrsejtek sztereociliumain a mechanoszenzitív csatornák μ s-os időbeli felbontással reagálnak - K^+ lép be a 150 mV feszültségkülönbség hatására
- a depolarizáció hatására Ca^{++} lép be - külső szőrsejtekben alakváltozás, belsőkben transzmitterleadás (glutamát ?)
- az elsődleges érzősejtek a ggl. spirale-ban - 1 szőrsejt 10 afferens, 1 afferens - 1 szőrsejt
- kb. 3500-3500 szőrsejt, 60-70000 afferens van a két oldalon összesen
- az afferensek nem tudják követni pl. a 20 kHz frekvenciát, de fázisfüggően (phase-locked) jelennek meg
- az intenzitást részben frekvenciakód, részben populációs kód (szomszédos, és magas küszöbű szőrsejtek toborzása) jeleníti meg
- a lateralis (belső szőrsejtek, és primer dendritek) és mediális (külső szőrsejtek) olivocochlearis köteg: érzékenységállítás

A hallóközpontok I.

13/14

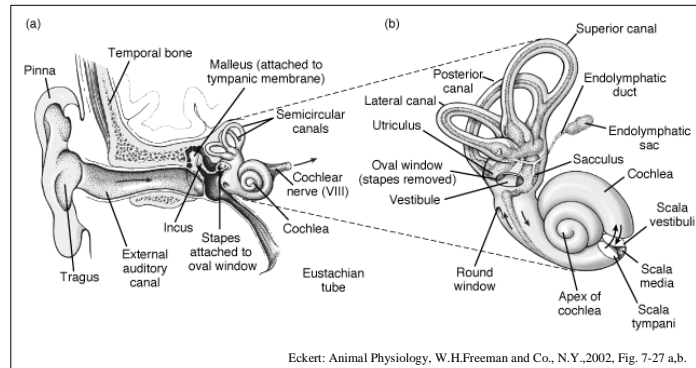
- a hangingerek kialakulását-megszűnését, a hangforrás helyét és a hanginger mintázatát kell kielemeznie a központi apparátusnak
- anatómia ismert, fiziológiáról keveset tudunk
- általánosan jellemzőek a párhuzamos felszálló pályák, a kétirányú kapcsolat, valamint a tonotópia
- az első állomás a nucl. cochlearis (anteroventralis, posteroventralis és dorsalis) – szigorúan azonosoldali
- féloldali süketség csak ezen magok, vagy a periféria sérülése miatt lehet
- izofrekvenciás laminákat alkotnak egy-egy szörsejt afferensei (kb. 10 axon)
- innen felszálló pályák az azonos-, és ellenoldali lemniscus lateralisba, illetve az azonos-, és ellenoldali oliva superiorhoz – második állomás

A hallóközpontok II.

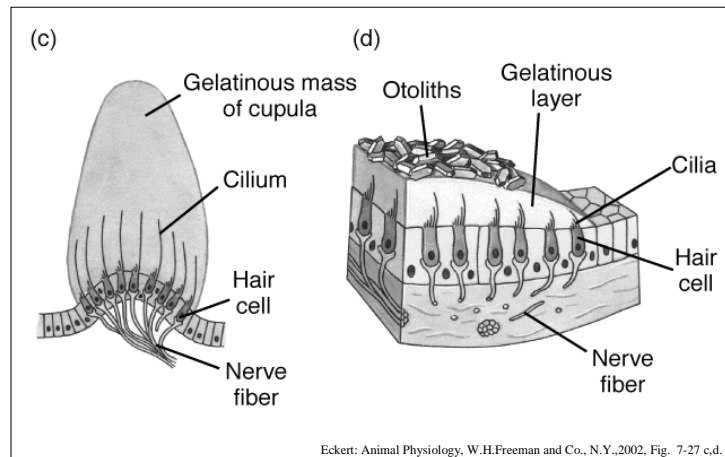
14/14

- az oliva feladata a hangforrás lokalizációja – kétoldali vetületet kap, az idő- [2 kHz alatt], és intenzitás [2 kHz felett] különbség alapján
- 1° iránykülönbség már észlelhető
 - a harmadik állomás a colliculus inferior, amit az azonos-, és ellenoldali lemniscus lateralisra át ér el a vetület (a lemniscus lateralis magja nem biztos, hogy reléállomás)
 - irányhallásban fontos – pl. bagoly
 - kimenet nem auditív területek felé is
 - a corpus geniculatum mediale a negyedik állomás – tonotópiás reprezentáció megőrzött, bemenet más szenzoros rendszerekből is
 - az agykéreg (Br. 41-42, temporális lebeny, Sylvius árok mélye) a végállomás, több tonotópiás mező

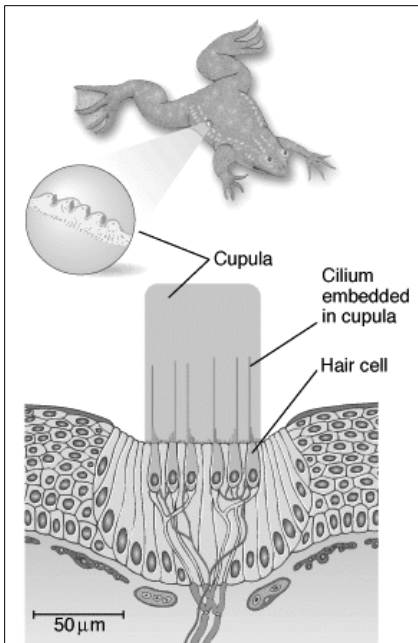
A belső fül felépítése



A crista ampullaris és a macula

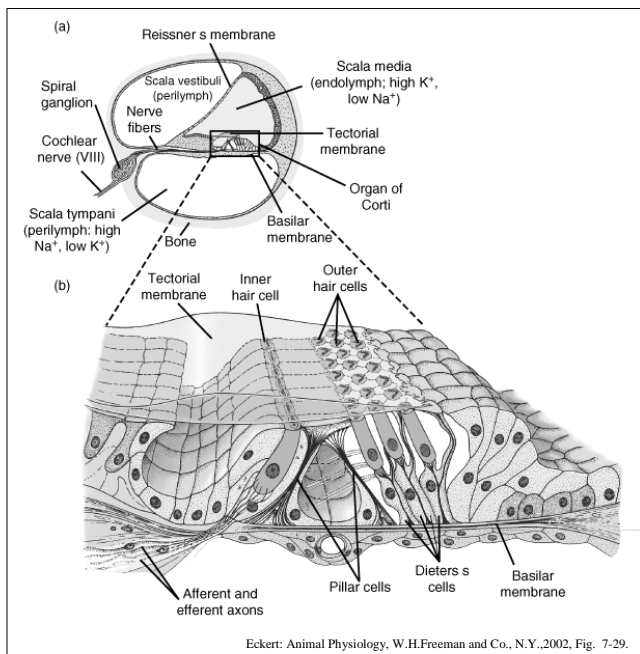


Az oldalvonalszerv



Eckert: Animal Physiology, W.H.Freeman and Co., N.Y.,2002, Fig. 7-25

A labirintus szerkezete



Eckert: Animal Physiology, W.H.Freeman and Co., N.Y.,2002, Fig. 7-29.

A Corti-szerv

