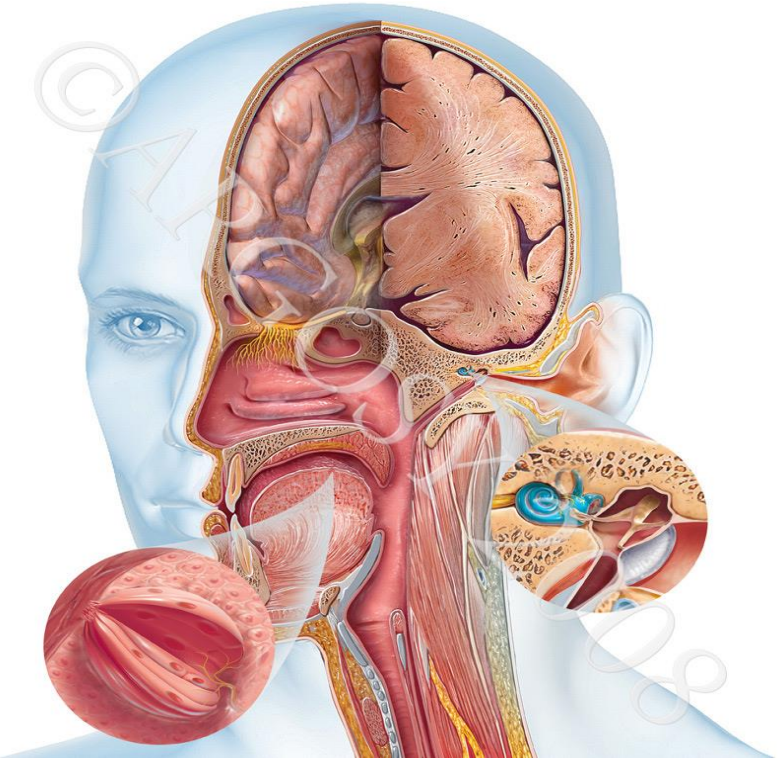
Érzőműködések



Érzékelés

- az ember az öt érzékszervével (látó-, halló-, tapintó-, szagló- és ízérzékelő rendszer) szoros kapcsolatban áll a környezetével

ingerfelfogás → érzékelés → érzet
(recepció – szenzáció – percepció)

- speciális receptorsejtek (hám eredetűek) vagy szabad idegvégződések

- az inger:
  - az agykéregben tudatosulhat
  - a memóriában raktározódhat
  - a limbikus rendszerben érzelmi színezetet kaphat
  - számos reflex kiinduló állomása lehet

- **a tudatosulás feltétele az érzet kialakulása**, ehhez az agykérgi specifikus érzőterületek épsége és megfelelő aktivitása kell

Érzékelés
Receptorok és érzéksejtek csoportosítása

ingermodalitás szerint

- mechanoreceptorok
- fotoreceptorok
- kémiai receptorok
- hőmérsékleti receptorok (termoreceptorok)
- fájdalomérző receptorok (nociceptorok, polimodális receptorok)

ingerforrás szerint

- **telereceptorok** - távoli ingerforrás (látás, hallás)
- **kontakt receptorok** - közvetlen külvilági ingerforrás

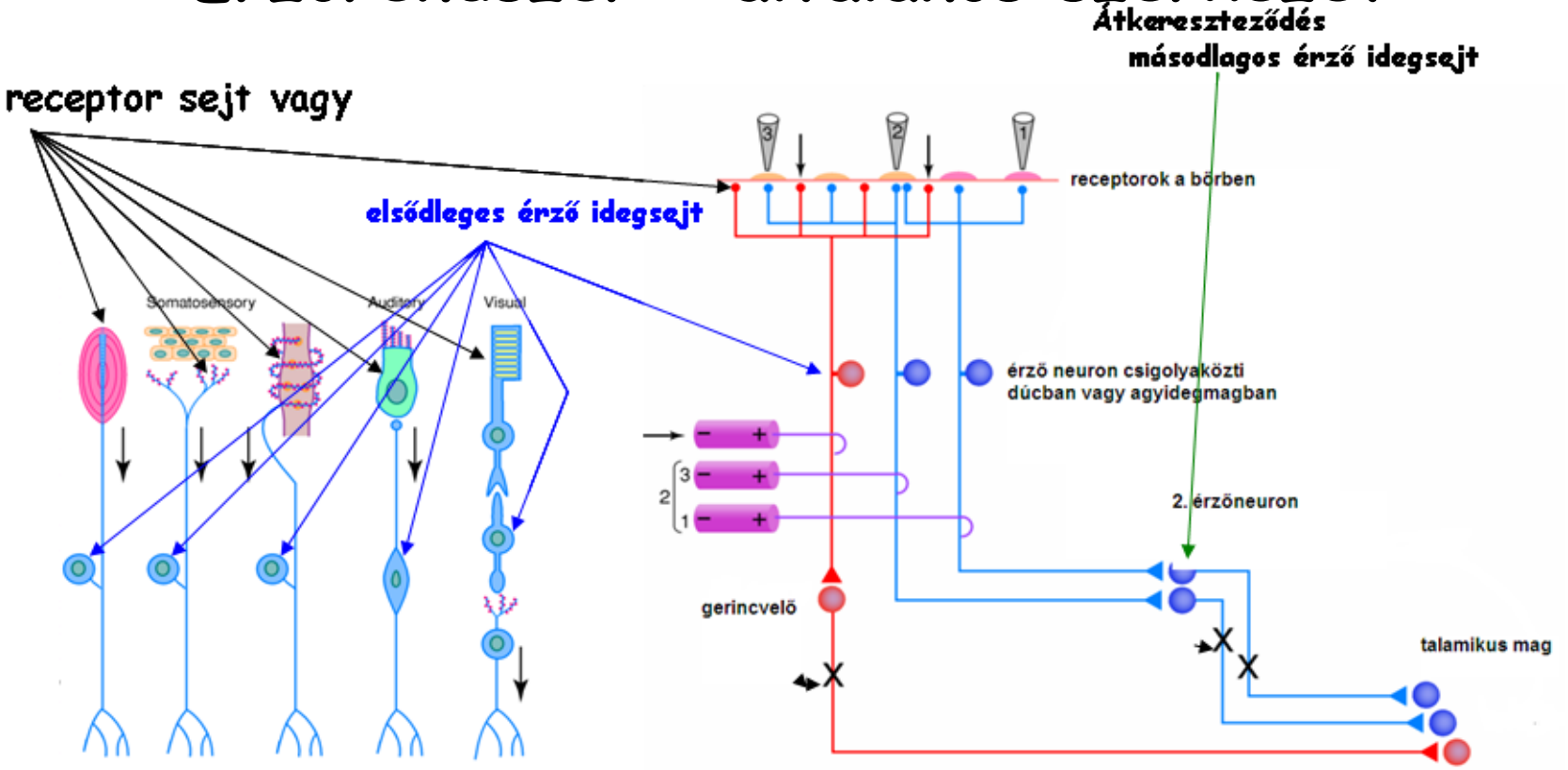
a test szempontjából

- **exteroceptorok - külső ingerforrás**
- **interoceptorok (proprioceptorok)**
  - test belső monitorozása
  - egyensúlyérző receptorok, ínorsó, izomorsó, ízületi receptorok

érzéksejtek csoportjai „rendi" alapon

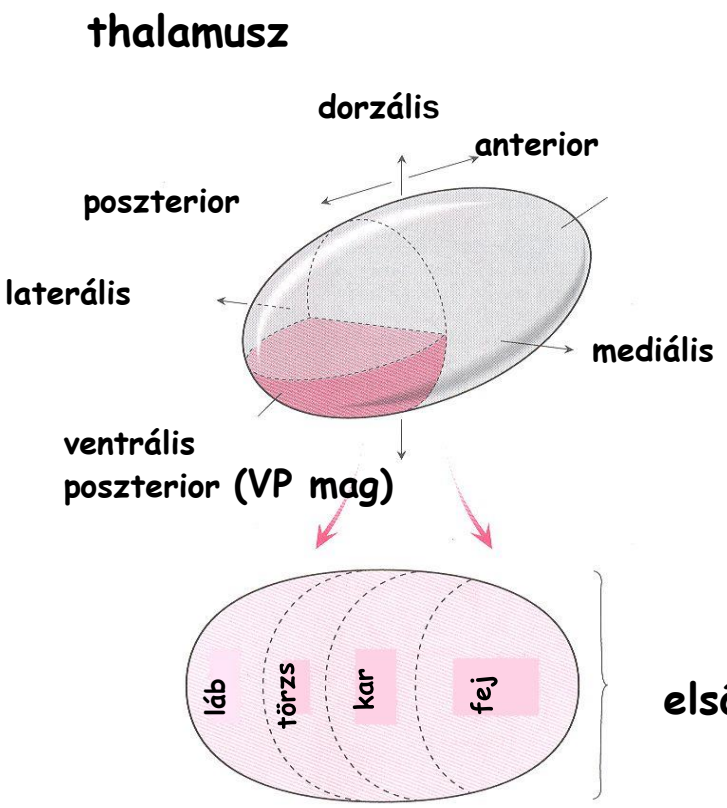
- **primer afferens neuron**: a receptor a neuron specializált végződése
- **szekunder érzéksejt**: hám típusú, adott modalitású inger felvételére differenciálódott sejt, érzőneuronnak adja át az információt
- **tercier érzéksejt**: hám típusú, adott modalitású inger felvételére differenciálódott sejt, egy további sejt közbeiktatásával adja át az információt az érzőneuronnak

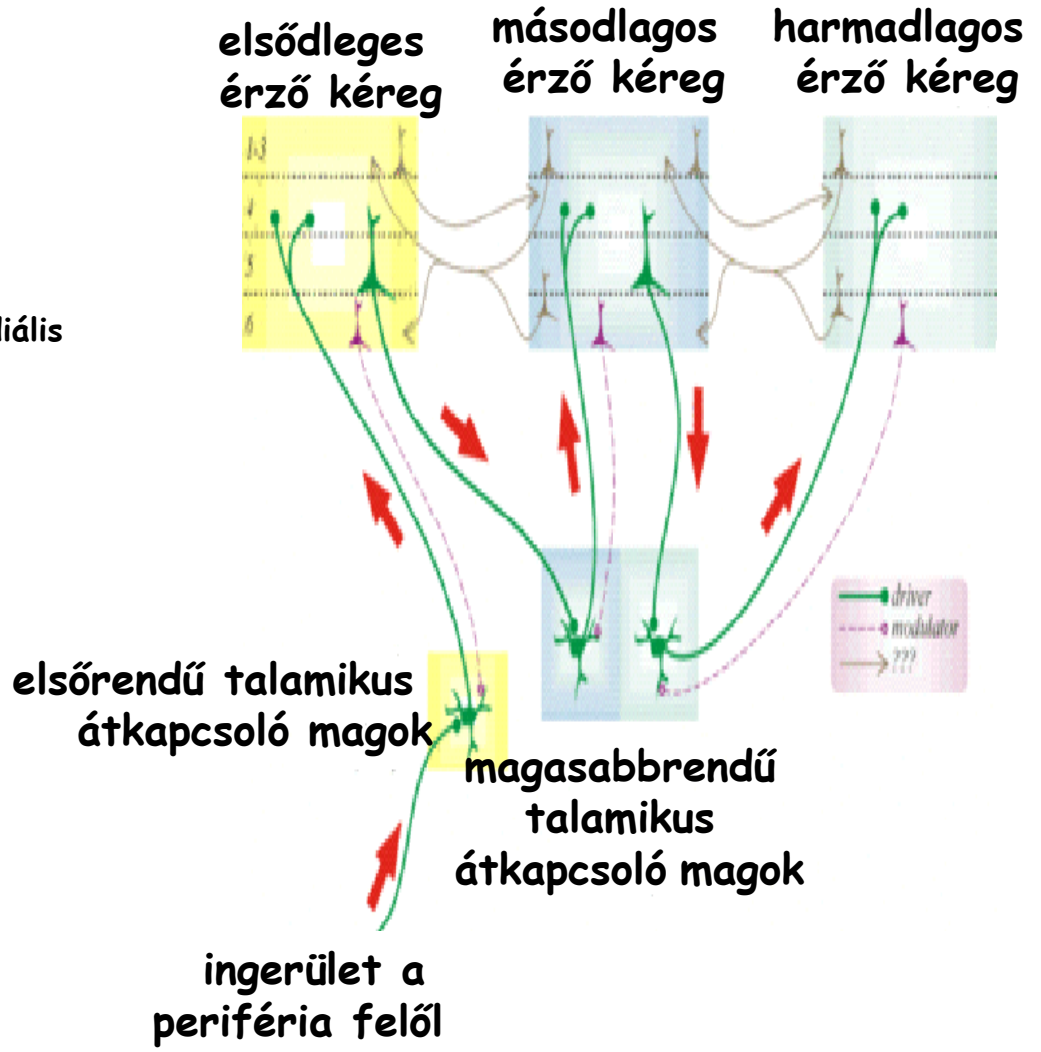
Érzőrendszer – általános szerkezet



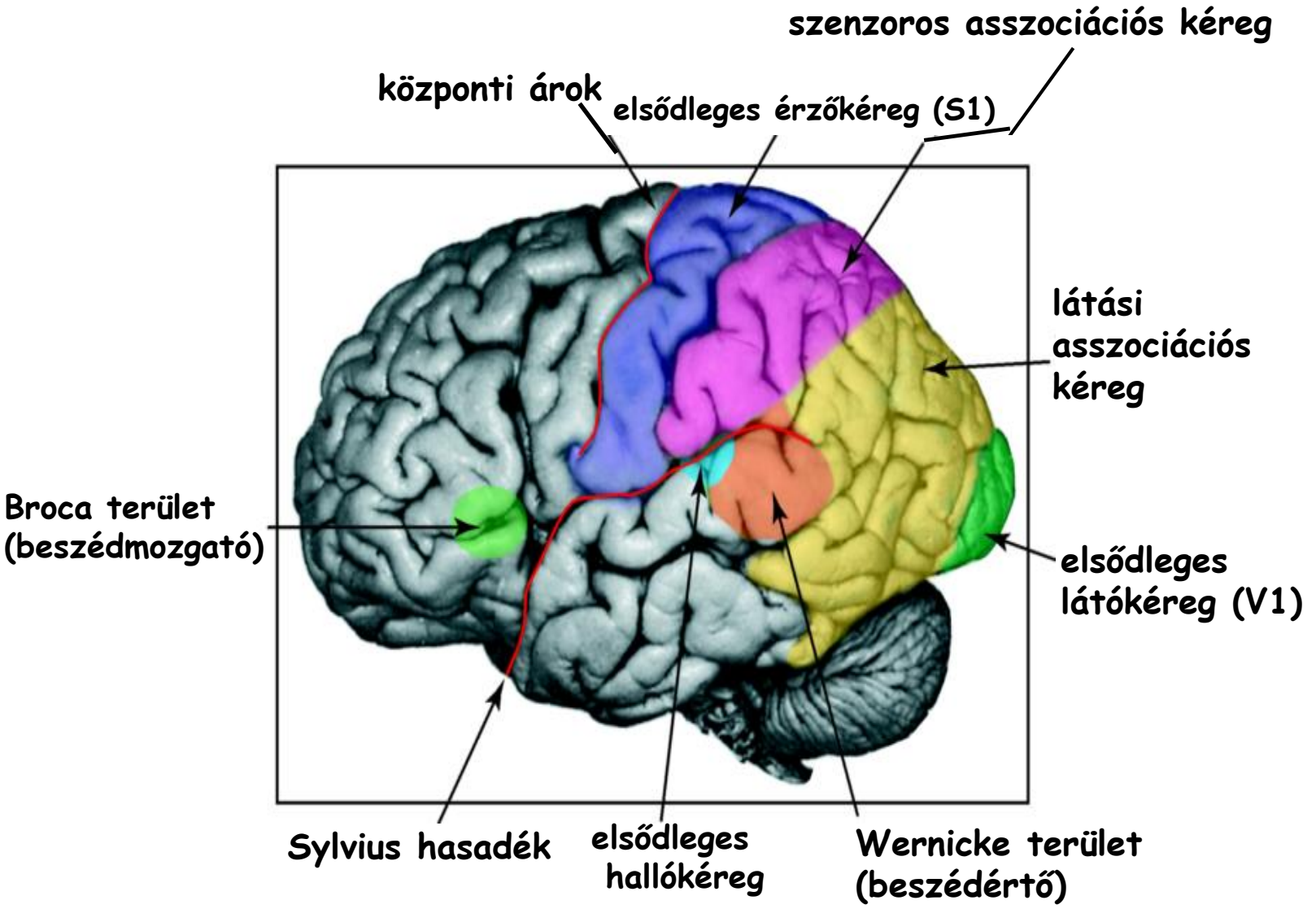
- küszöbinger —érzékenységi tartomány→ maximális inger
- **receptív mező:** a környezet azon pontjainak összessége, melyeket speciális ingerekkel ingerelve a sejt működését befolyásolni tudjuk
- **adekvát inger**: az ingerküszöb erre a típusú ingerre a legalacsonyabb
- **receptor potenciál**: a receptor sejtben a membránpotenciál változása)
- adaptáció – gyors vagy lassú
- inger intenzitásának megkülönböztetése:
  - a) **frekvenciakód**: nagyobb ingerintenzitás → az idegsejtekre való átadódáskor nagyobb frekvenciájú akciós potenciálok az axonban
  - b) **populációkód**: nagyobb ingerintenzitás → több receptor kerül ingerületbe
- **érzőpálya**: többszöri átkapcsolódás az agykéreg eléréséig

Talamikus átkapcsoló területek





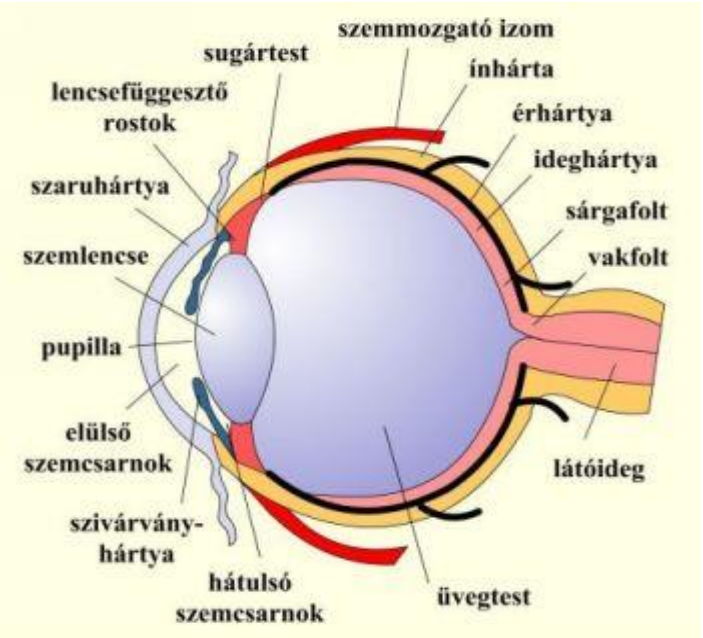
Agykérgi érzőterületek

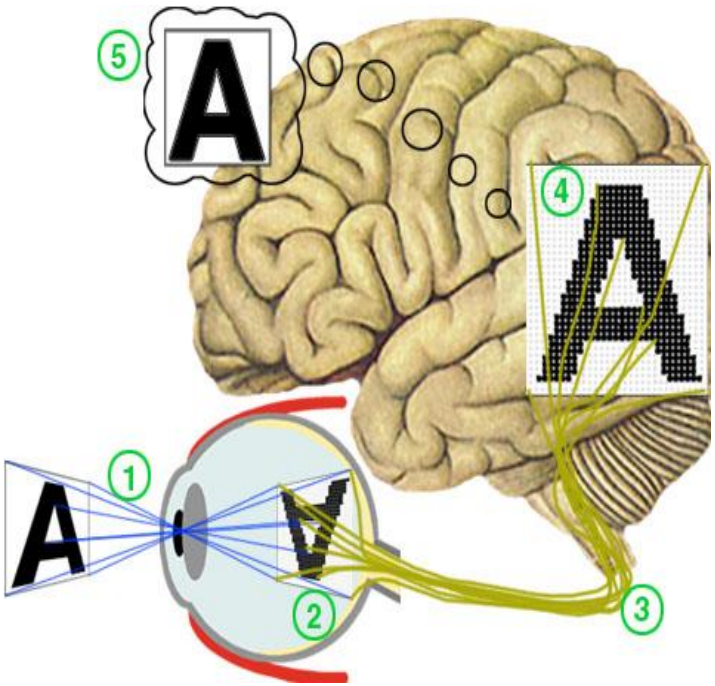


Interocepció és propriocepció

- vérnyomásérzékelő receptorok (baroreceptorok) → keringésszabályozás
- tüdő feszülésérzékelő- és kemoreceptorai → légzésszabályozás
- tápcsatornában lévő mechano-, kemo- és ozmoreceptorok → a tápcsatorna működésénének szabályozása
- CO_2 és O_2 érzékelő kemoreceptorok → légzésszabályozás
- izomorsó receptorok, ínreceptorok, ízületi receptorok → mozgásszabályozás

A szem felépítése, a látás folyamata





- látás alapfeltétele: a külvilág képe megjelenjen az ideghártya (retina) fényérzékelő elemein
- a szem optikai rendszere a külvilág **<u>fordított állású, kicsinyített és valós képét</u>** vetíti a retinára

A szem optikai rendszere, fénytörési hibák

Szem fő fénytörő közegei: cornea és szemlencse

Dioptria: a fénytörés egysége, a lencse fókusztávolságának reciproka méterben.
Cornea törőképesség: 40-43 dioptria, szemlencséé 17-20

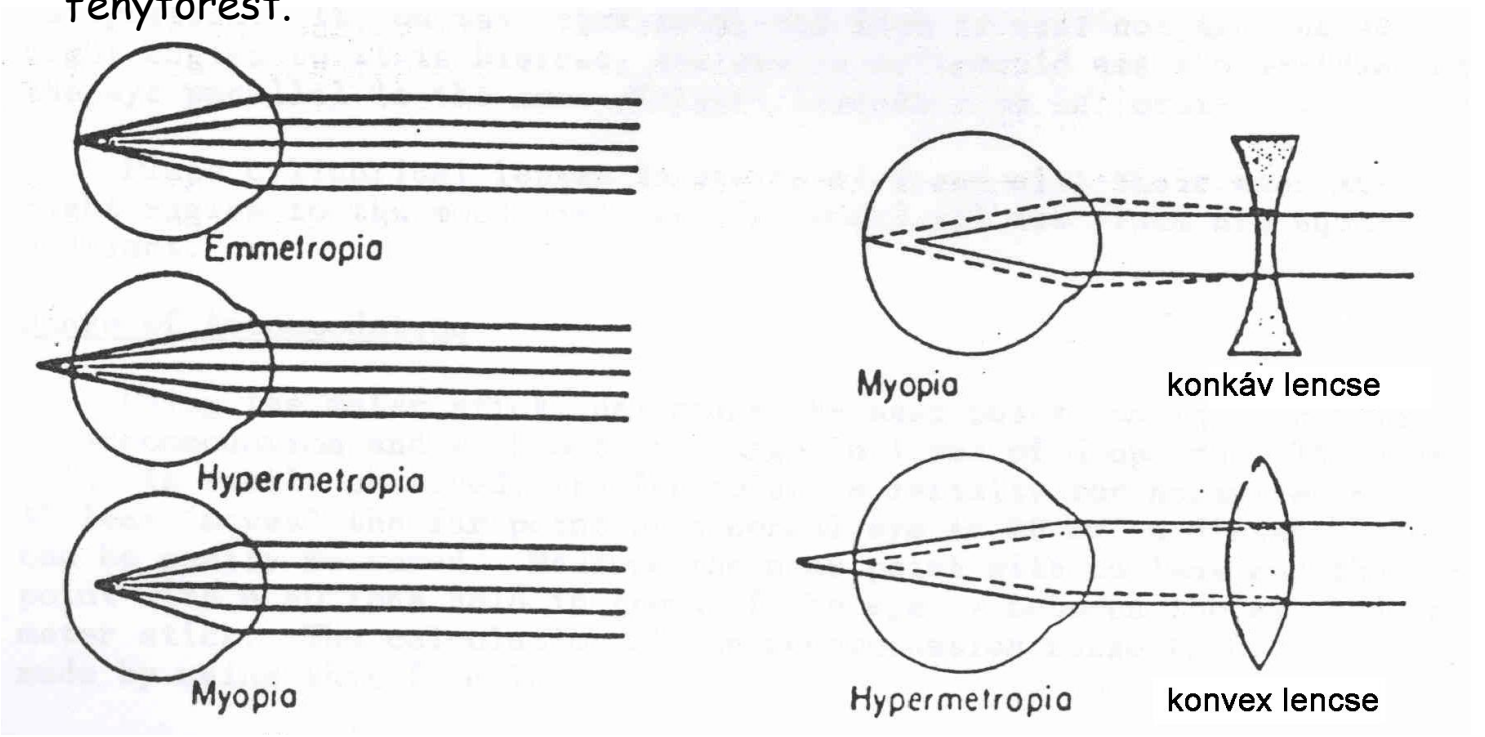
Normál (emmetrop) szem: távoli fénysugarak pontosan a retinán képződnek le

Nem normál (ametrop) szem: a sugarak nem a retinán képződnek le

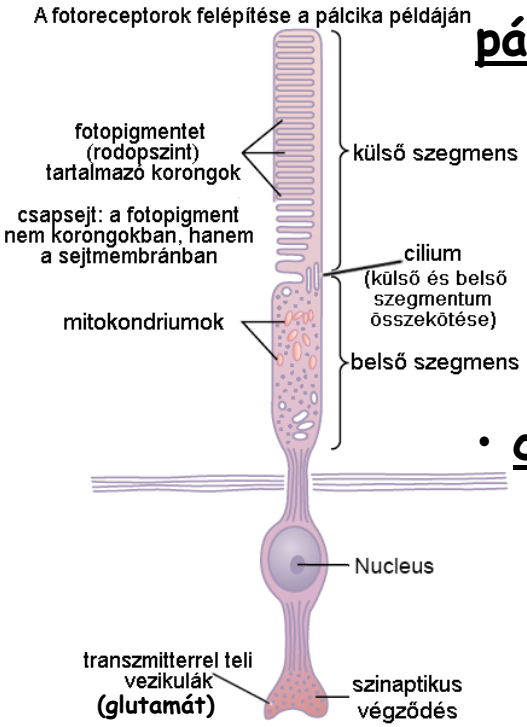
Hipermetróp szem: a távoli fénysugarak retina mögött fókuszálódnak (→távollátás). A szem túl rövid vagy fénytörő képessége a normálisnál kisebb. Konvex (gyűjtő) lencsével korrigálható.

Miópiás szem: a távoli fénysugarak a retina előtt fókuszálódnak (→rövidlátás). A szem túl hosszú, konkáv (szóró) lencsével korrigálható.

Asztigmatizmus: a cornea görbülete nem szabályos (nem tökéletes gömbszelet), hanem 2 fő görbület (meridián) → tárgy képének egy része a retinára, más része a retina elé vagy mögé vetül. Cilinderes lencsével korrigálható: csak a megfelelő meridiánban változtatja meg a fénytörést.



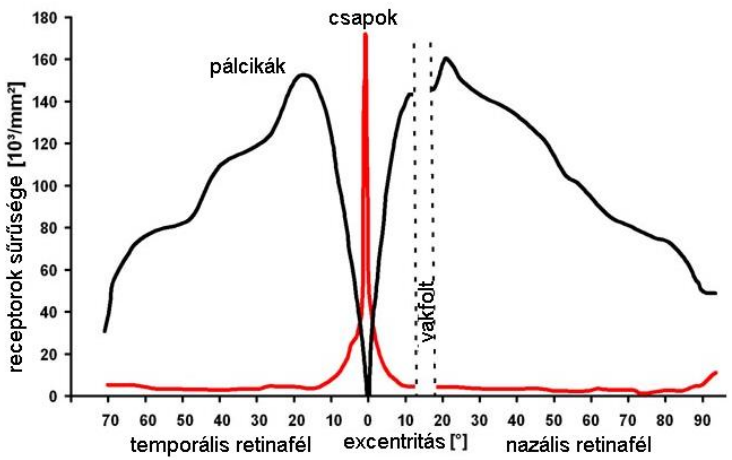
Fotoreceptorok

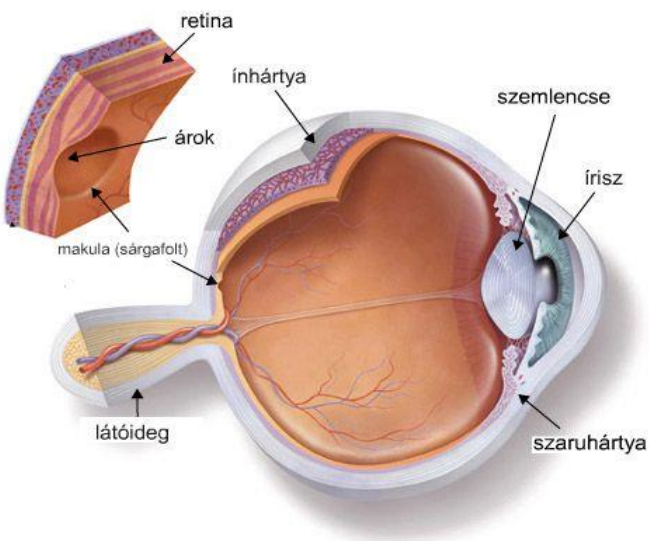


pálcikák

- nagyon érzékenyek (sötétadaptált szemben 1 (!) fotonra is reagálnak)
- közepesen erős fénynél már telítődnek
- **éjszakai látás – színtelen**
- sötétadaptáció: 15 perc (rodopszin újraszintézise sötétben nagyon lassú)

- **csapok**
  - nem annyira érzékenyek, de széles fényerősség-tartományban működnek
  - **nappali látás - színes**

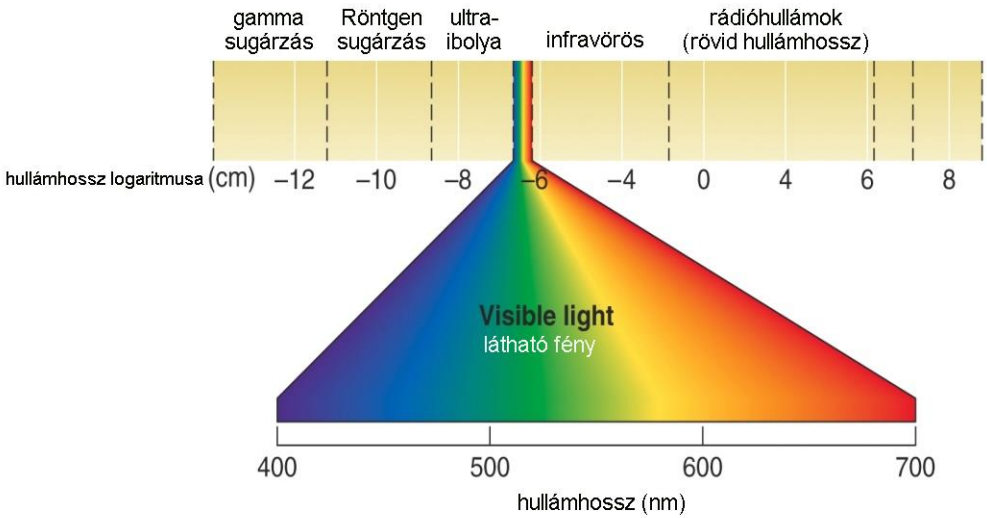


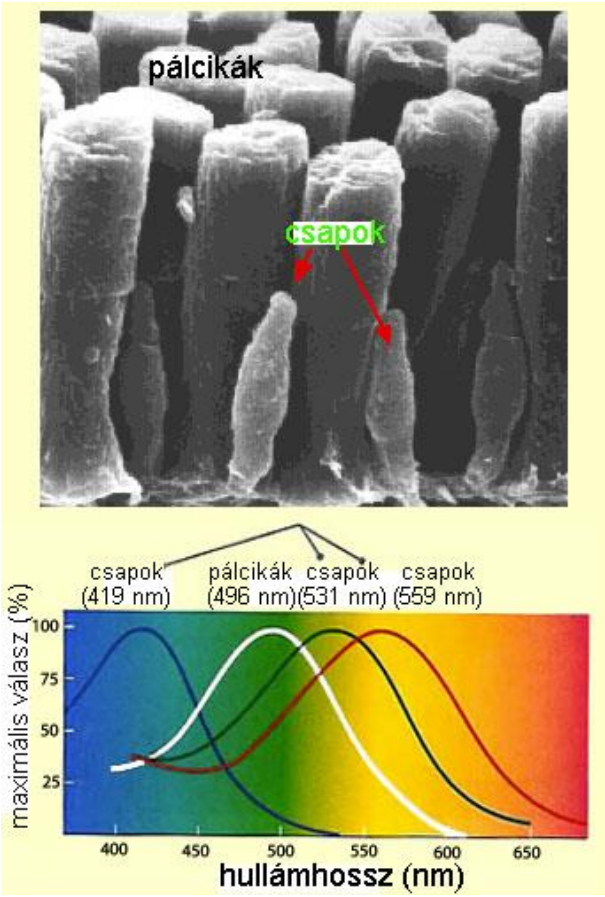


- fotoreceptorok eloszlása a retinában egyenlőtlen
- **színlátás helye a sárgafolt** (makula), főleg csapok
- **éleslátás helye: látógödör** (fovea centralis), csapok legsűrűbben itt
- pálcikák a retina szélein vannak
- **vakfolt: nincsenek fotoreceptorok** (ganglionsejtek axonjainak kilépése)

A fotoreceptor pigmentek

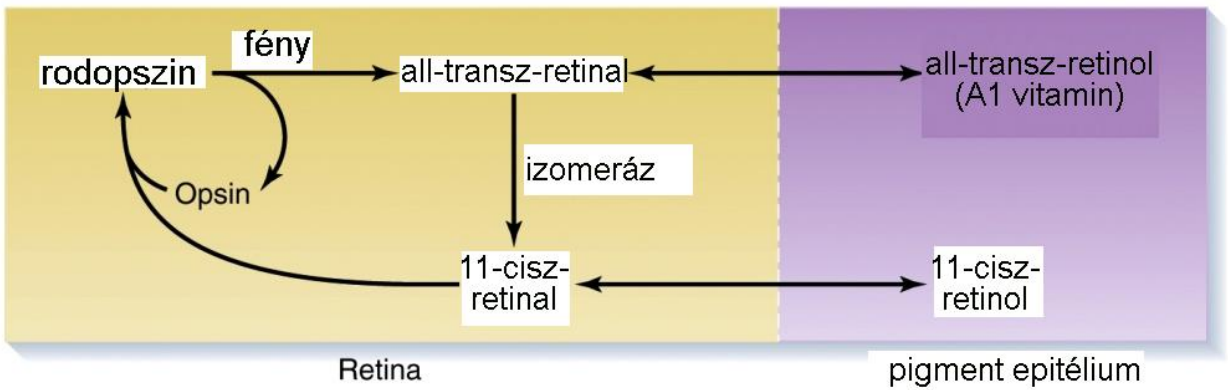
Elektromágneses sugárzások

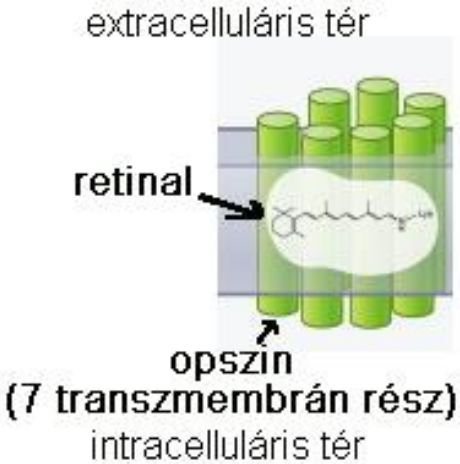




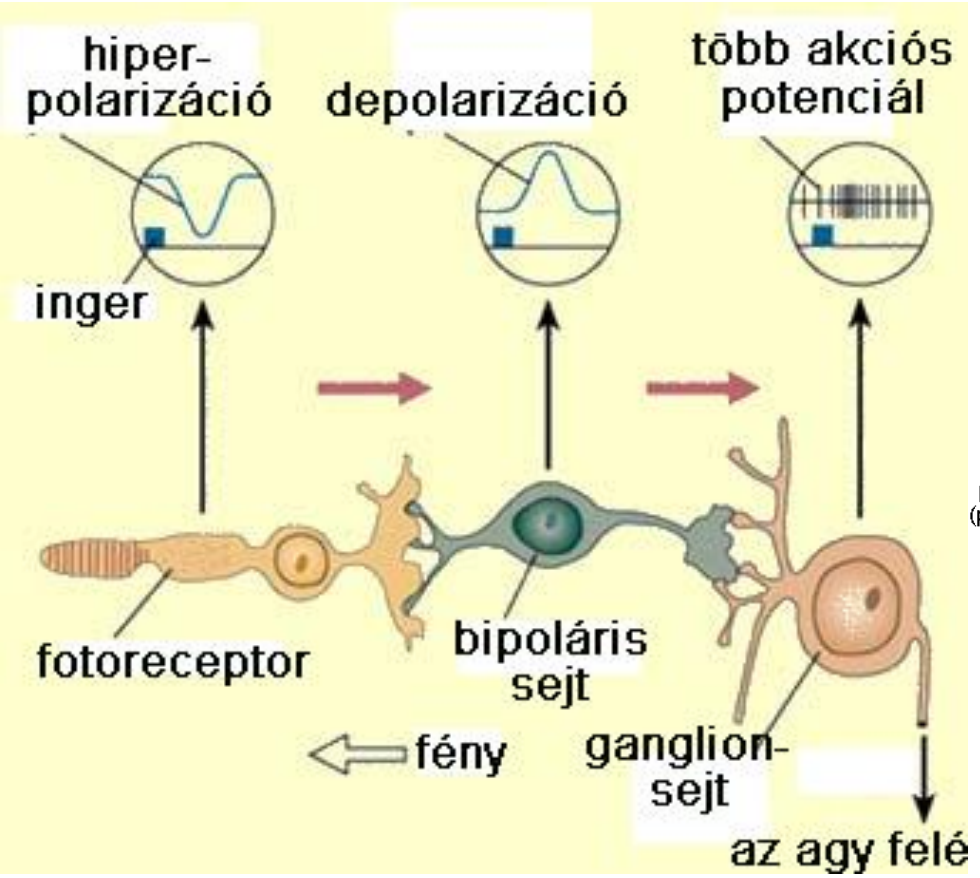
Fényelnyelő pigmentek

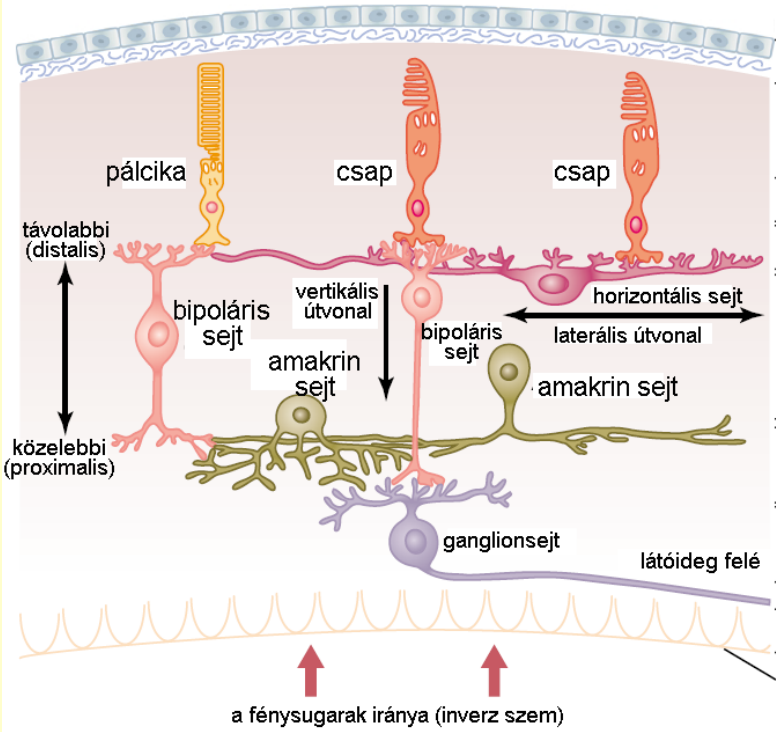
Rhodopsin	498 nm
Bathorhodopsin	543 nm
Lumirhodopsin	497 nm
Metarhodopsin I	487 nm
Metarhodopsin II	380 nm
trans-Retinal (free)	370 nm





Sejtaktiváció a retinában

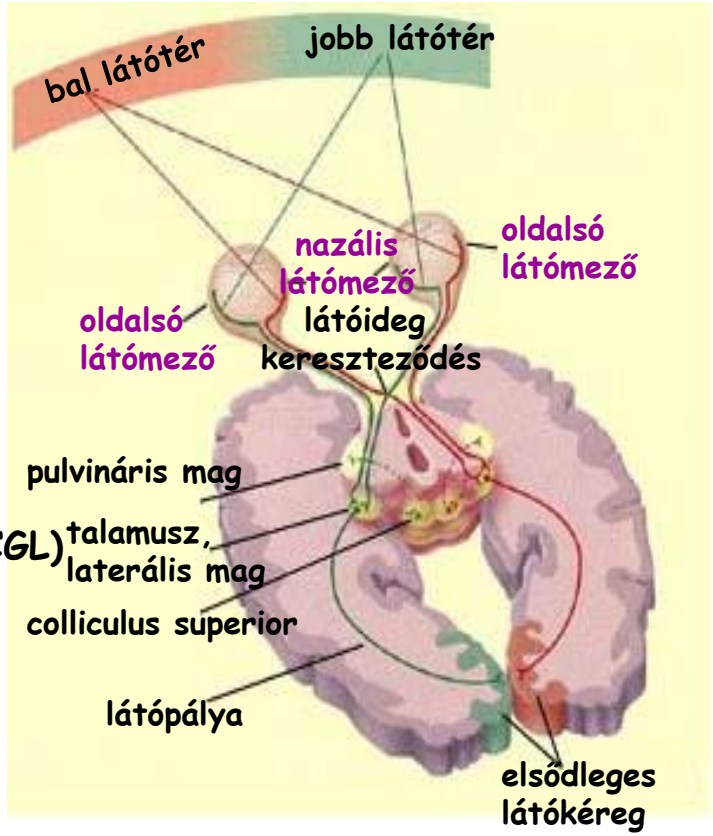


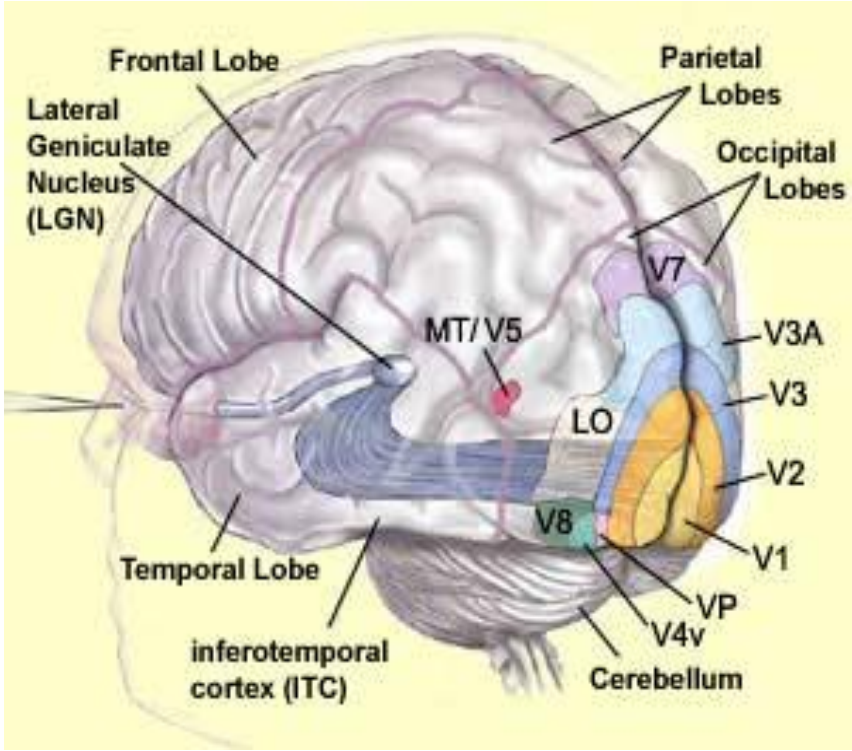


- **sötét**: cGMP szint magas a fotoreceptorokban, a sejt depolarizált (cGMP miatt nyitott Na^+- és Ca^{2+}-csatornák → „sötétáram")
- **fény**: cGMP bomlik (foszfodiészteráz hatására) → Na^+ és Ca^{2+}-csatornák bezárnak, K^+ csatornák továbbra is nyitva → hiperpolarizáció → csökkent transzmitter-leadás

a) **vertikális útvonal**: fotoreceptor → bipoláris sejt → ganglionsejt
b) **laterális útvonal**: fotoreceptor → horizontális sejt és/vagy amakrin sejt

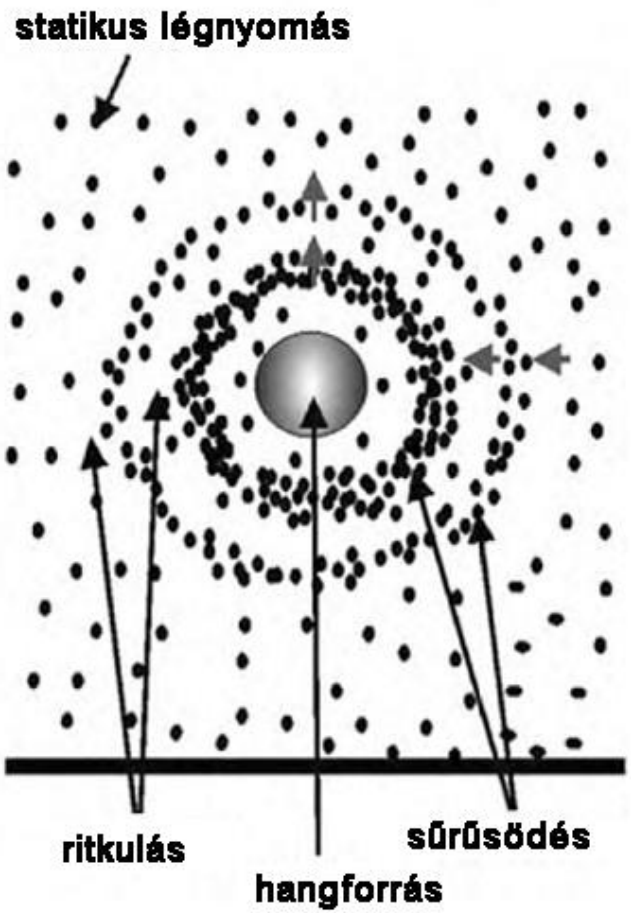
Látópálya





- a retinán 2D-s kép alakul ki, ebből a központi feldolgozás csinál 3D-st
- látóideg részben átkereszteződik (nazális látómezőhöz tartozó rostok)
- talamuszban corpus geniculatum laterale (CGL)-ban átkapcsolódás
- primer látókéreg: V1 (Brodmann 17) az occipitalis kéregben
- a látórendszer alsó szintjei a kontúrokat, a formát, a textúrát, a látott kép mozgását és a színt ismerik csak fel
- párhuzamos feldolgozás: a primer látókéregbe bekerülő információ feldolgozása külön „csatornákon" keresztül történik, nem primer kérgi területeken (V2-V5)

Hallás – fizikai háttér

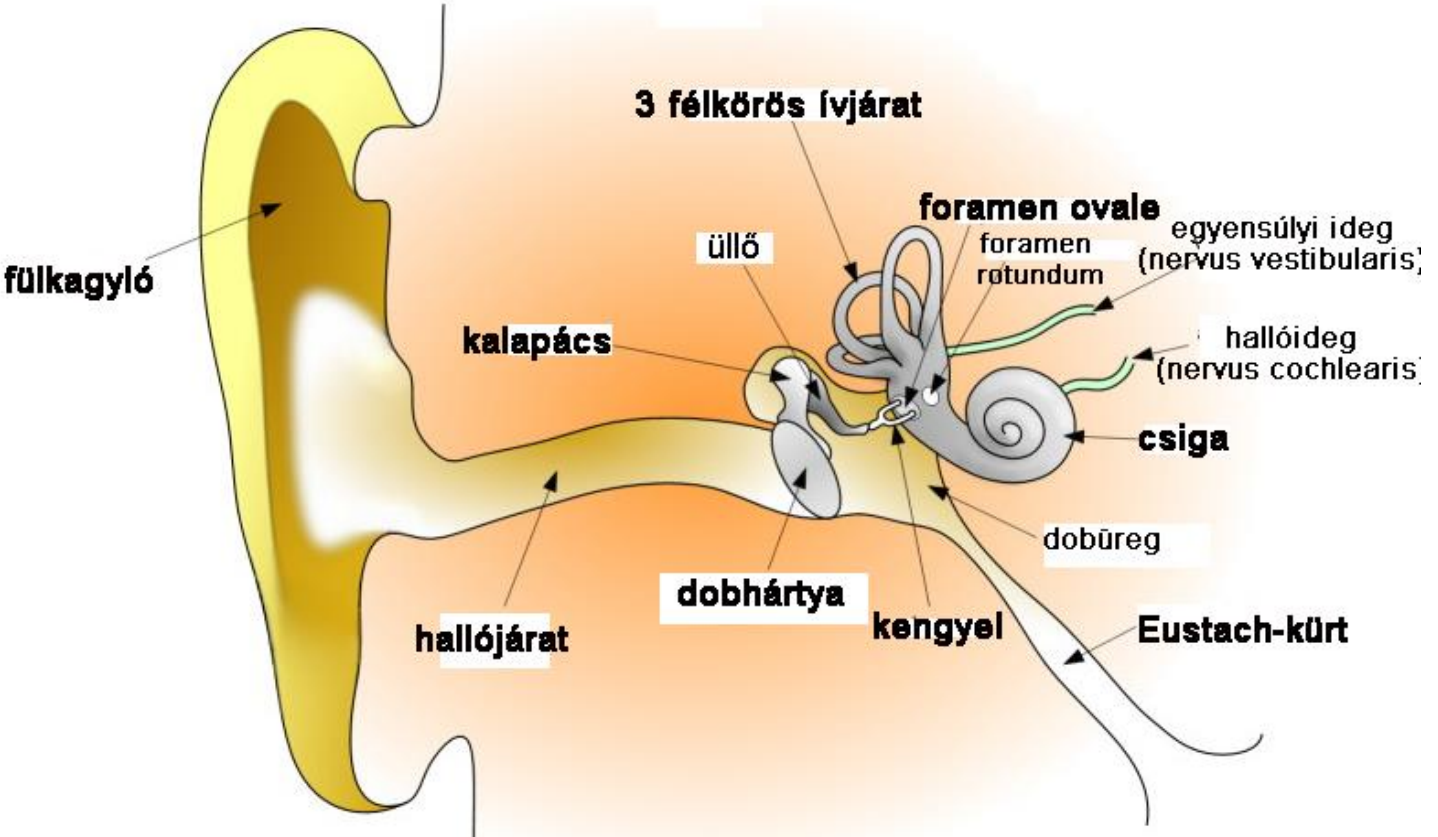


- **a hang longitudinális rezgés**, a levegő mint közeg sűrűsödése és ritkulása
- sűrűbb és ritkább pont között nyomáskülönbség
- **<u>hangintenzitás</u>**: legritkább (minimumpont) és legsűrűbb (maximumpont) közti nyomáskülönbség
- **<u>tiszta hang</u>**: a hangnyomás időbeli lefutása szinuszgörbe
- hangintenzitások: milliószoros különbségek → logaritmikus skála (decibel; dB)

  dB= 10 × log I /i,
  ahol I = mért zajintenzitás
  i = kiindulási referencia érték

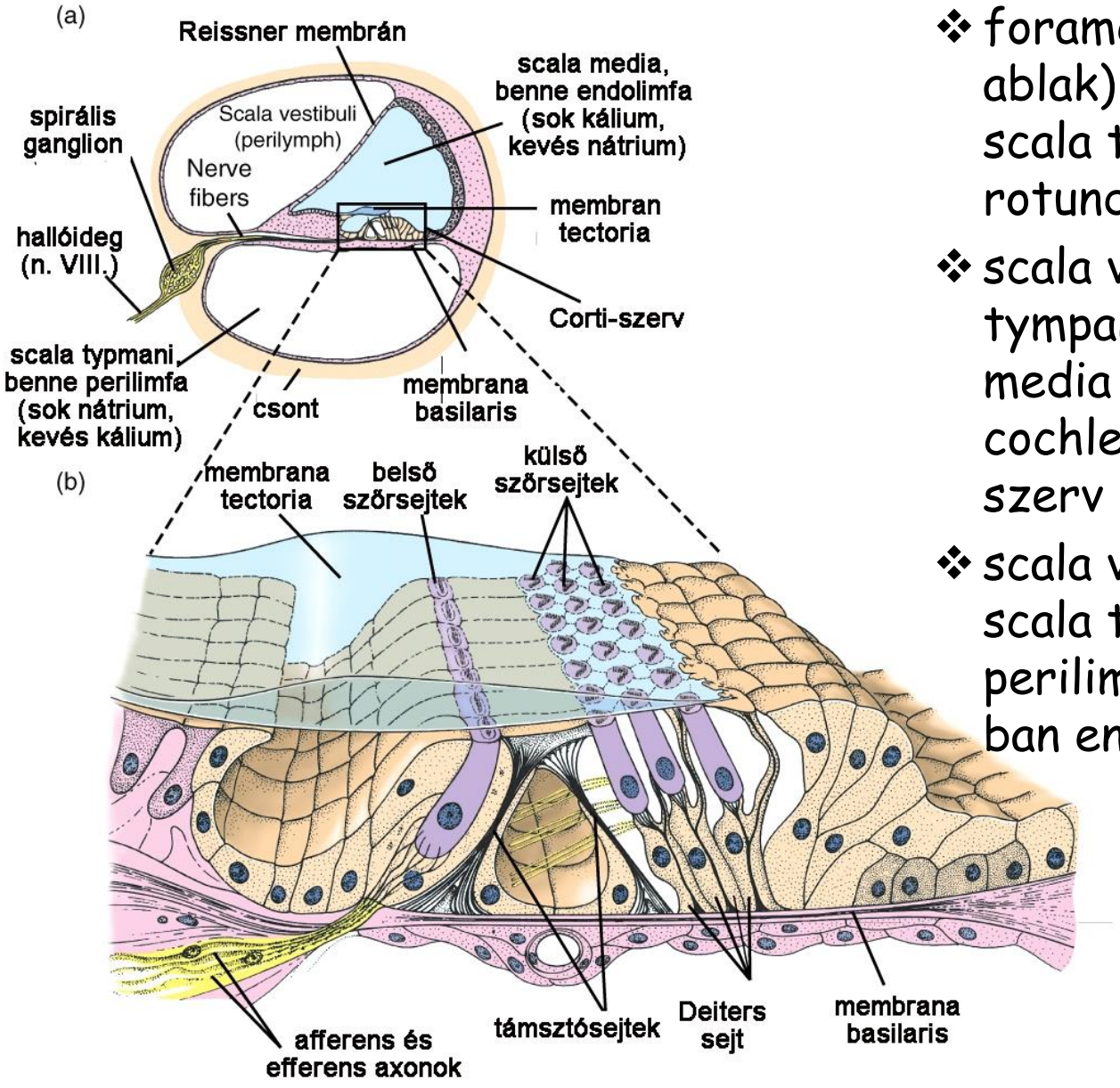
- **referencia hangnyomás: 20 μPa, ez felel meg 0 dB-nek** → hallásküszöb 2000 Hz-es hangnál.
- 40-60 dB: halk-normál beszéd
- 120 dB felett: hang helyett már fájdalom
- **<u>akusztikus impedancia</u>**: adott közeg ellenállása a hang terjedésével szemben
  - levegő: alacsony impedancia
  - folyadék: magas impedancia

A hallószerv felépítése

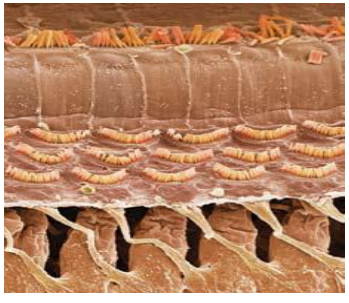


- fülkagyló (nélkülözhető): hangrezgéseket a dobhártya felé irányítja
- külső hallójárat: rezonátor funkció
- dobhártya és hallócsontocskák:
  - ❖ impedanciaillesztés
  - ❖ levegő akusztikus impedanciája alacsony, a folyadékoké magas → átmenetet kell biztosítani
  - ❖ ha nincs illesztés, akkor több 10 dB veszteség a hangintenzitásból
  - ❖ illesztő funkció károsodhat → vezetéses típusú halláscsökkenés
- csontvezetés:
  - ➢ koponya csontjai vezetik a hangot → hang a középfül megkerülésével is eljuthat a belsőfülbe
  - ➢ saját hang felismerésében fontos: visszahallgatás magnóról → „ez nem is az én hangom”

A csiga szerkezete



- foramen ovale (ovális ablak) – scala vestibuli – scala tympani – foramen rotundum (kerek ablak)
- scala vestibuli és scala tympani között scala media (ducuts cochlearis), benne Corti-szerv
- scala vestibuli-ban és scala tympani-ban perilimfa, scala media-ban endolimfa



belső szőrsejtek

külső szőrsejtek

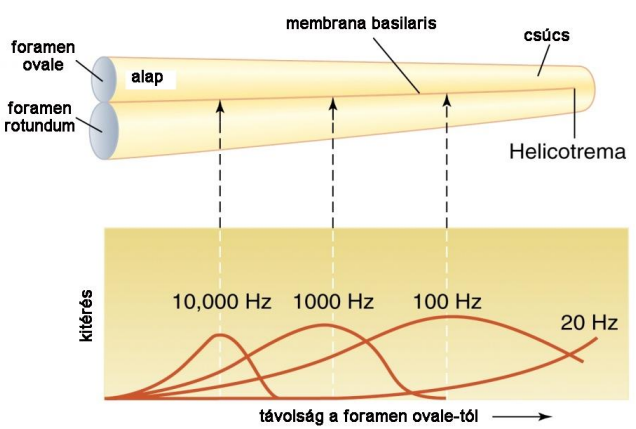
idegrostok

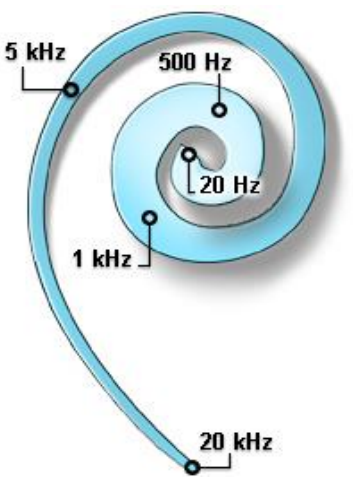
membrana basilarison:

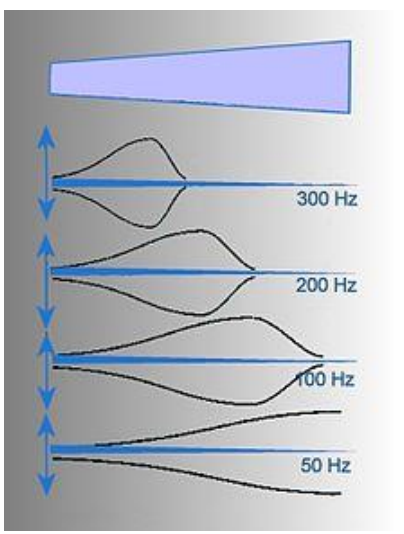
- **belső szőrsejtek**: szenzoros funkció
- **külső szőrsejtek**: erősítő funkció

A csiga működése

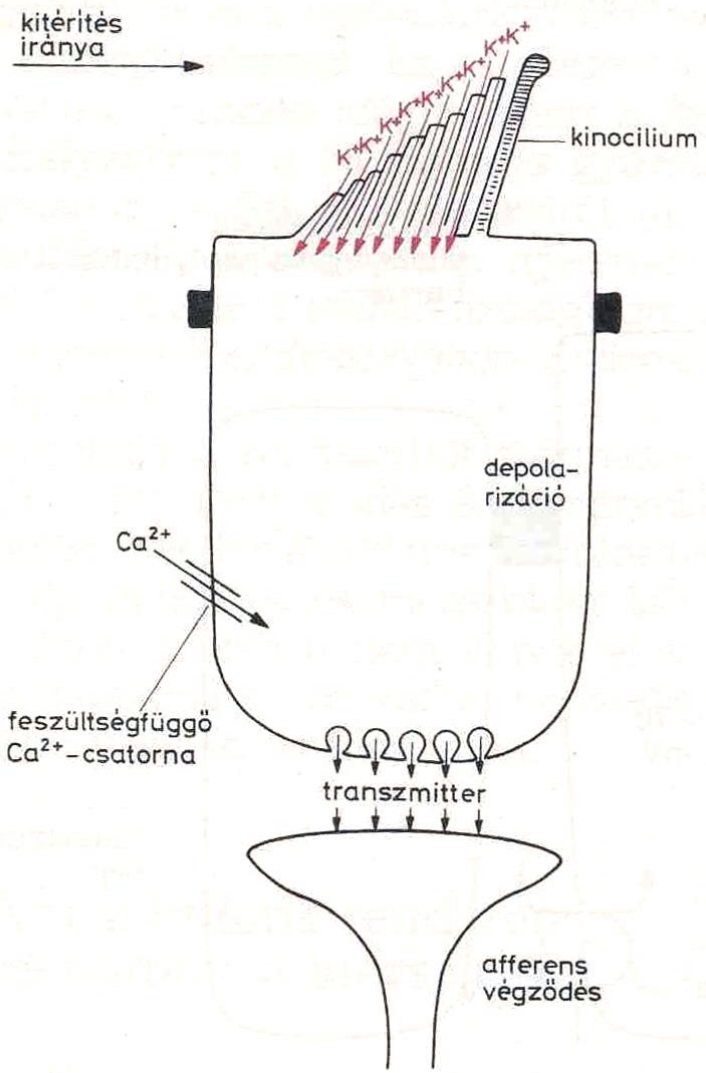
- **tonotopia („helyelv”)**
  - membrana basilaris mentén különböző helyeken lévő szőrsejtek ingerülete más és más frekvenciájú hangrezgést jelez
  - **csiga alapján** (foramen ovale felé): **legmagasabb hangok**
  - **csiga csúcsán: legmélyebb hangok**
  - minden szőrsejtnek ún. **karakterisztikus frekvenciája** van, amire a legérzékenyebb
- **membrana basilarison vándorló hullám keletkezik**
  - hangrezgések alatt a kengyel talpa dugattyúszerűen mozog a foramen ovale-ban → scala vestibuli és scala tympani között nyomáskülönbség → membrana basilaris kitér a scala tympani felé
  - **adott frekvenciájú hang: membrana basilaris adott helyen kerül maximális kitérésbe**
    - alacsony frekvenciájú rezgések feljutnak a csúcsáig → ott lesz maximális a membrana basilaris kitérése
    - nagy frekvenciájú rezgések a csiga alapjánál okoznak maximális kitérést
- **nagyobb intenzitású hang: membrana basilaris szélesebb része mozdul el**
- **komplex hangrezgések (többféle frekvencia): membrana basilaris összetevőkre bont → frekvenciaanalízis**





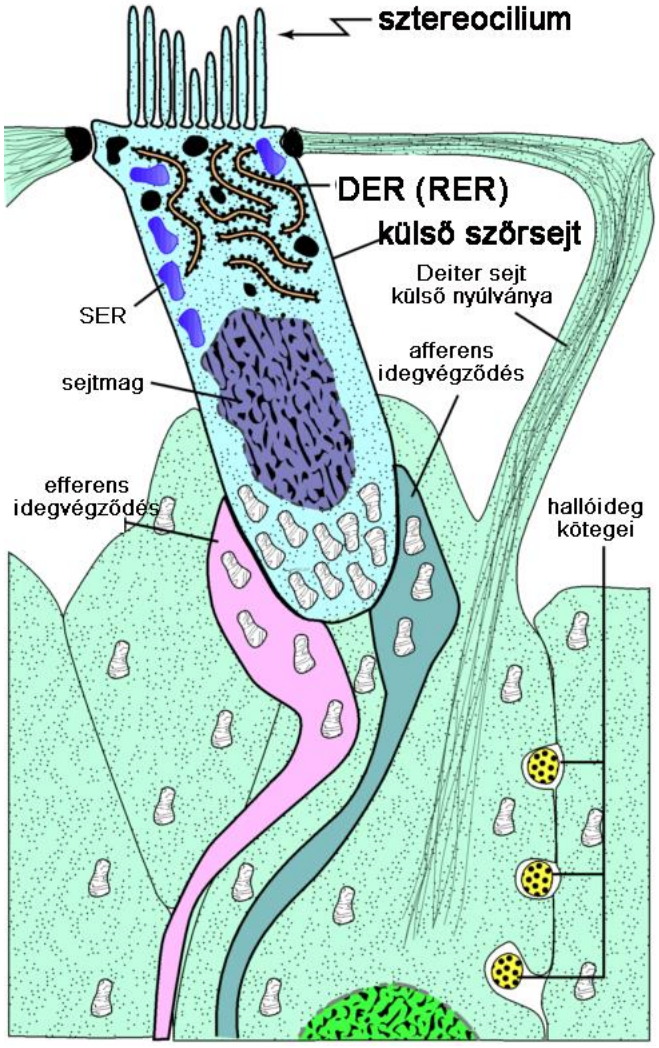


A belső szőrsejtek működése



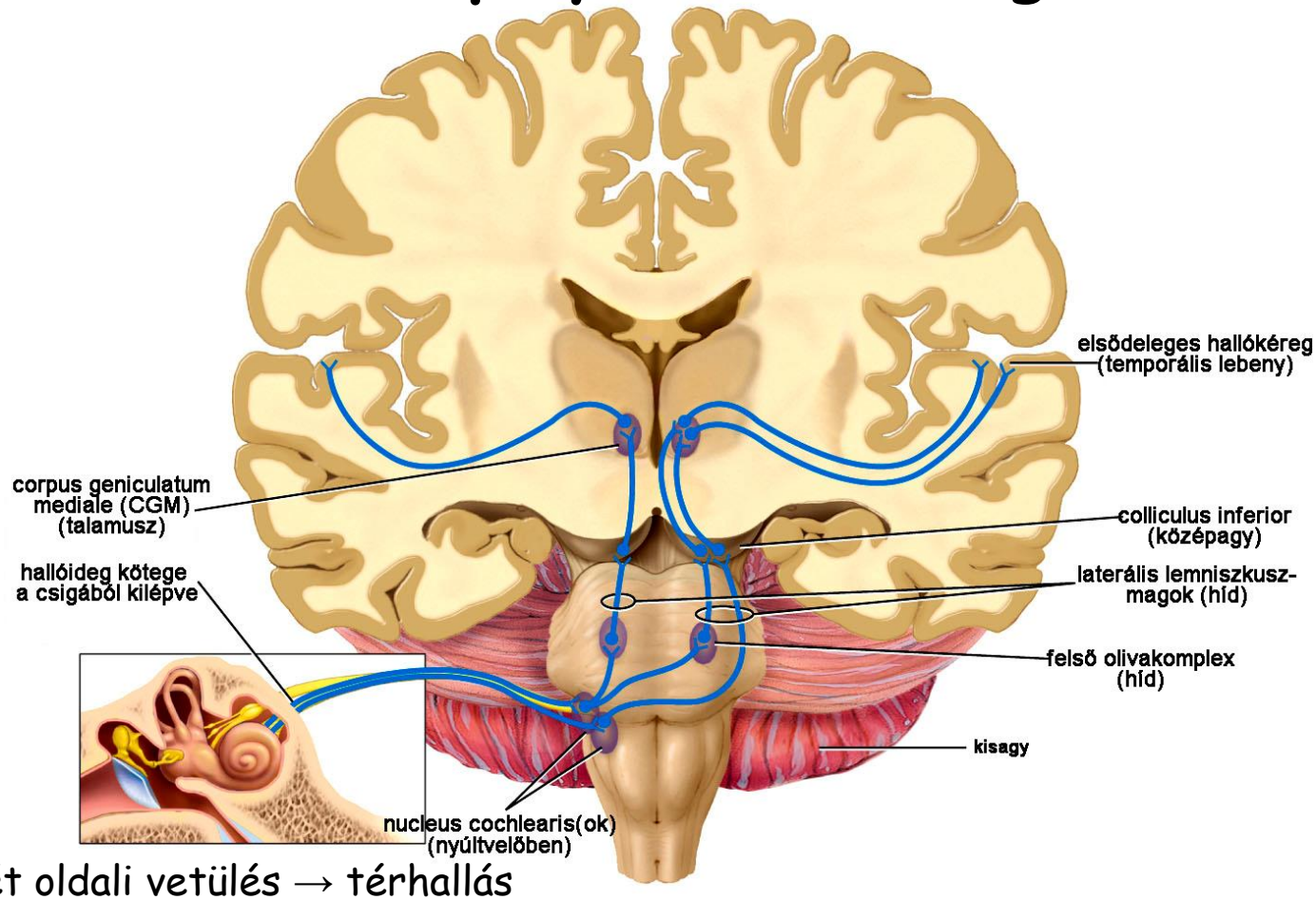
- 1 sorban a membrana basilarison
- **szekunder érzősejtek**, hallóideg afferens végződése csatlakozik hozzájuk
- mechanoelektromos transzducerek
- kétoldalt támasztósejtek mellettük
- szőrsejt bázisánál perilimfa (sok nátrium, kevés kálium), csúcsánál endolimfa (sok kálium, kevés nátrium)
- sztereocilumok:
  - membránnal borított aktinfilamentum-kötegek az apicalis részen
  - össze vannak egymással kötve nyalábként → egyszerre térnek ki
- plusz egyetlen kinocilium
- sztereociliumok a kinocilium irányába dőlnek → mechanoszenzitív ioncsatornák nyílnak → K^+-beáramlás → depolarizáció → bazális részen feszültségfüggő Ca^{2+}-csatornák nyílnak → transzmitter leadása → hallóideg afferensen akciópotenciál-sorozat
- sztereociliumok a kinociliummal ellentétes irányba dőlnek → hiperpolarizáció → csökkent transzmitter-leadás

A külső szőrsejtek működése



- 3 sorban
- erősítenek
- alig van afferens beidegzésük
- mechanoelektromos transzdukció: sztereociliumok egyirányú kitérése → mechanoszenzitív ioncsatornák nyílnak → depolarizáció → Ca^{2+}-beáramlás → sejtváz aktiválódik → szőrsejt alakváltozása → membrana tectoria elmozdulása → a vándorló hullám maximumának helyén még nagyobb kitérés → **élesebb hangolás**
- külső szőrsejt ingerküszöbe sokkal kisebb, mint a belsőé (50-60 dB-el) → **fiziológiás hallásküszöb a külső szőrsejtek erősítésének eredménye**
- **zajártalom: külső szőrsejtek elpusztulhatnak az erős rezgésektől** → adott frekvenciákon a hallás károsodik → szőrsejtek nem regenerálódnak többé

Hallópálya, hallókéreg



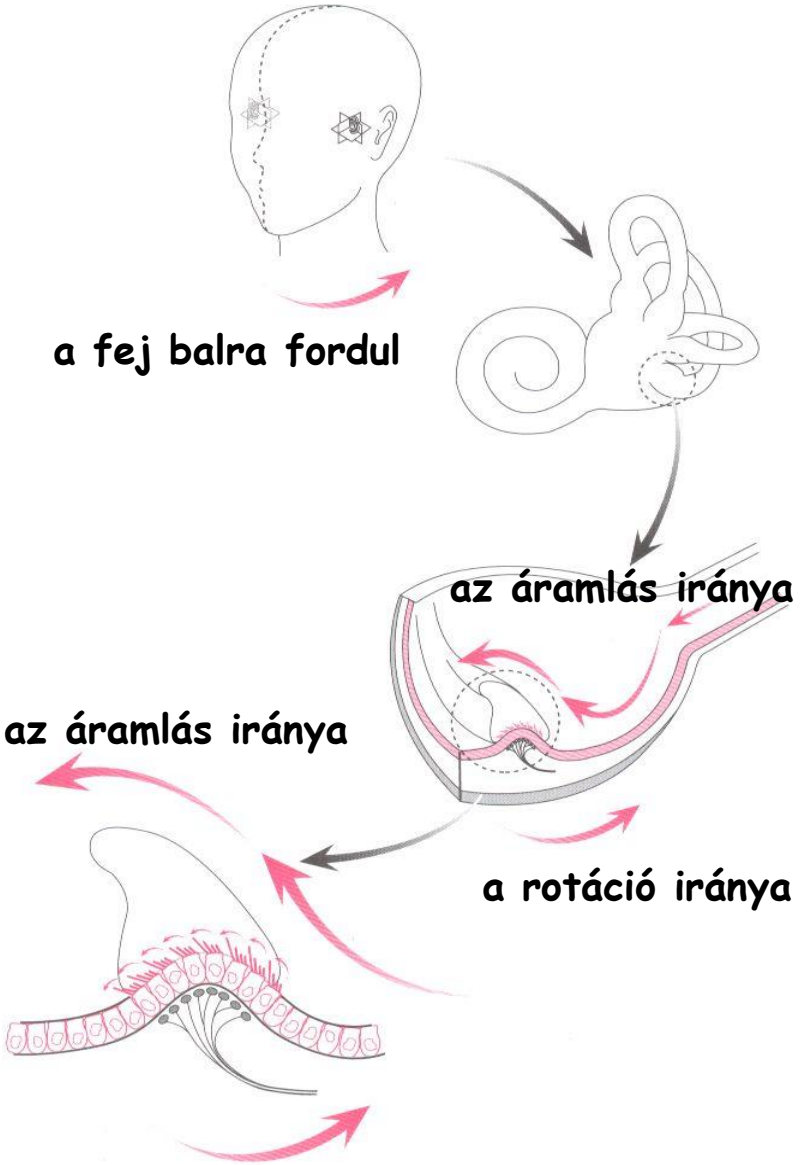
- mindkét oldali vetülés → térhallás
- frekvenciák elkülönülten érzékelődnek
- kétirányú összeköttetések a különböző feldolgozó szintek között
- átkapcsolódás már alsó szinttől kezdve párhuzamos felszálló pályákra → minden átcsatolásnál módosul az inger, más-más jellemzők kerülnek kiemelésre
- „kétfüles" (binaurális) hallás: a hangforrás lokalizációja („duplex teória"):
  - alacsony frekvenciájú hangok (<1500 Hz) iránya: időkülönbség
  - magas frekvenciájú hangok (>1500 Hz) iránya: intenzitáskülönbség
  - a hallórendszer tonotopikus szerveződésű:
    - ✓ a mediális superior oliva-mag neuronjai alacsony karakterisztikus frekvenciára és az időkülönbségre érzékenyek
    - ✓ laterális superior oliva mag neuronjai a magas hangokra és intenzitáskülönbségre

Egyensúlyérzés

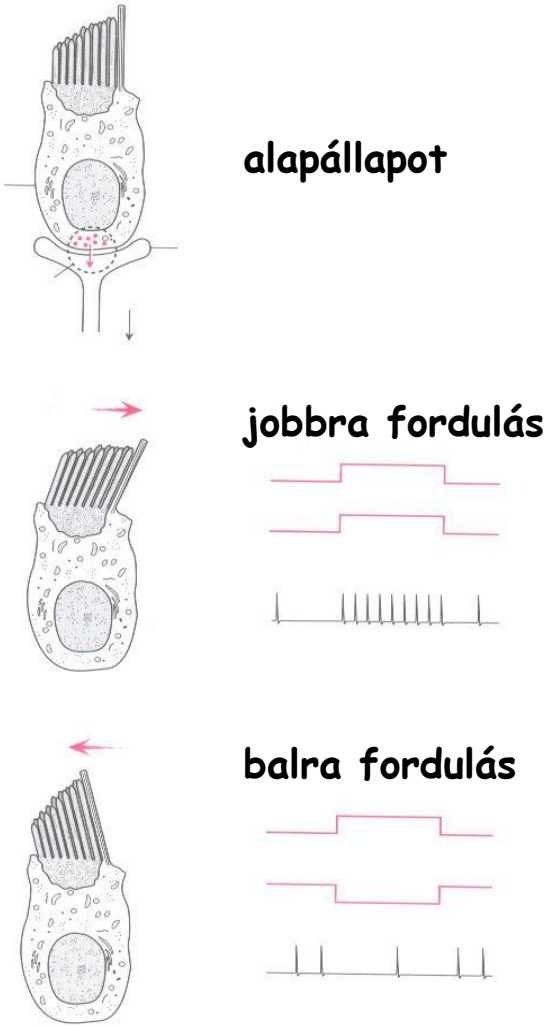
- egyensúlyszerv a belső fülben - félkörös ívjáratok + otolitszerv
- **<u>2 X 3 félkörös ívjárat</u>**
  - 3 funkcionális pár, a tér 3 irányának megfelelően
  - információk a központi idegrendszernek: fej lineáris gyorsulása + fej elfordulása
  - ívjáratokban endolimfa
  - minden ívjárat végén kiöblösödés (ampulla), itt vannak a szőrsejtek
  - szőrsejtek nyúlványai a kocsonyás masszában (cupula)
  - adott ívjáratban az összes szőrsejt nyúlványai azonos irányban állnak
  - fej elfordulása: ívjárat fala is elfordul, de az endolimfa kissé lemarad → cupula két oldala között nyomáskülönbség → cupula és a benne lévő szőrsejt-sztereociliumok deformálódnak → szőrsejt de- vagy hiperpolarizációja

Egyensúlyérzékelés

A folyadék (endolimfa) mozgása



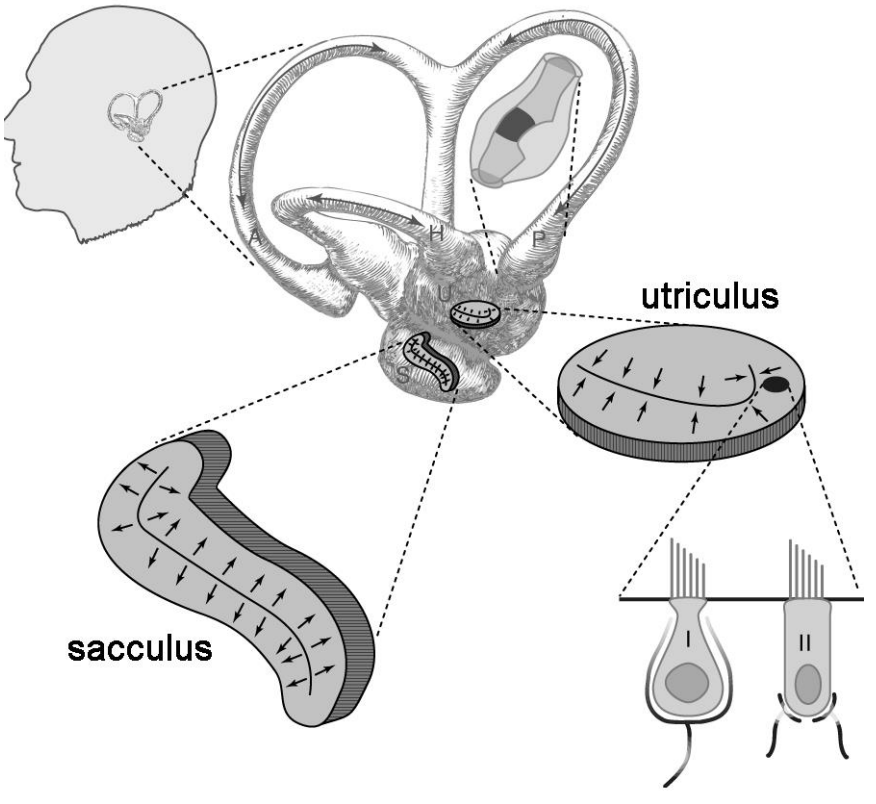
A receptorok aktivitása

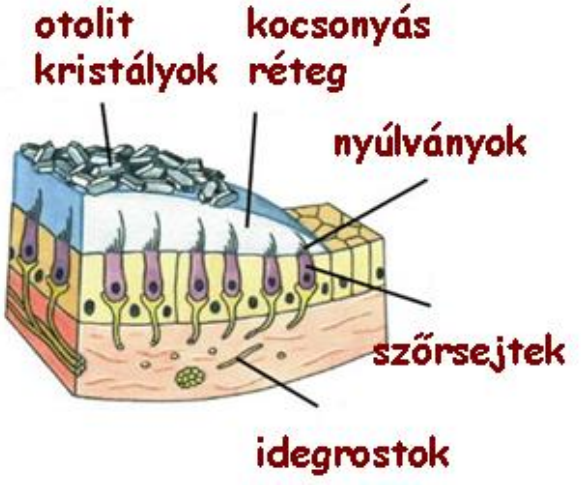


Egyensúlyérzés

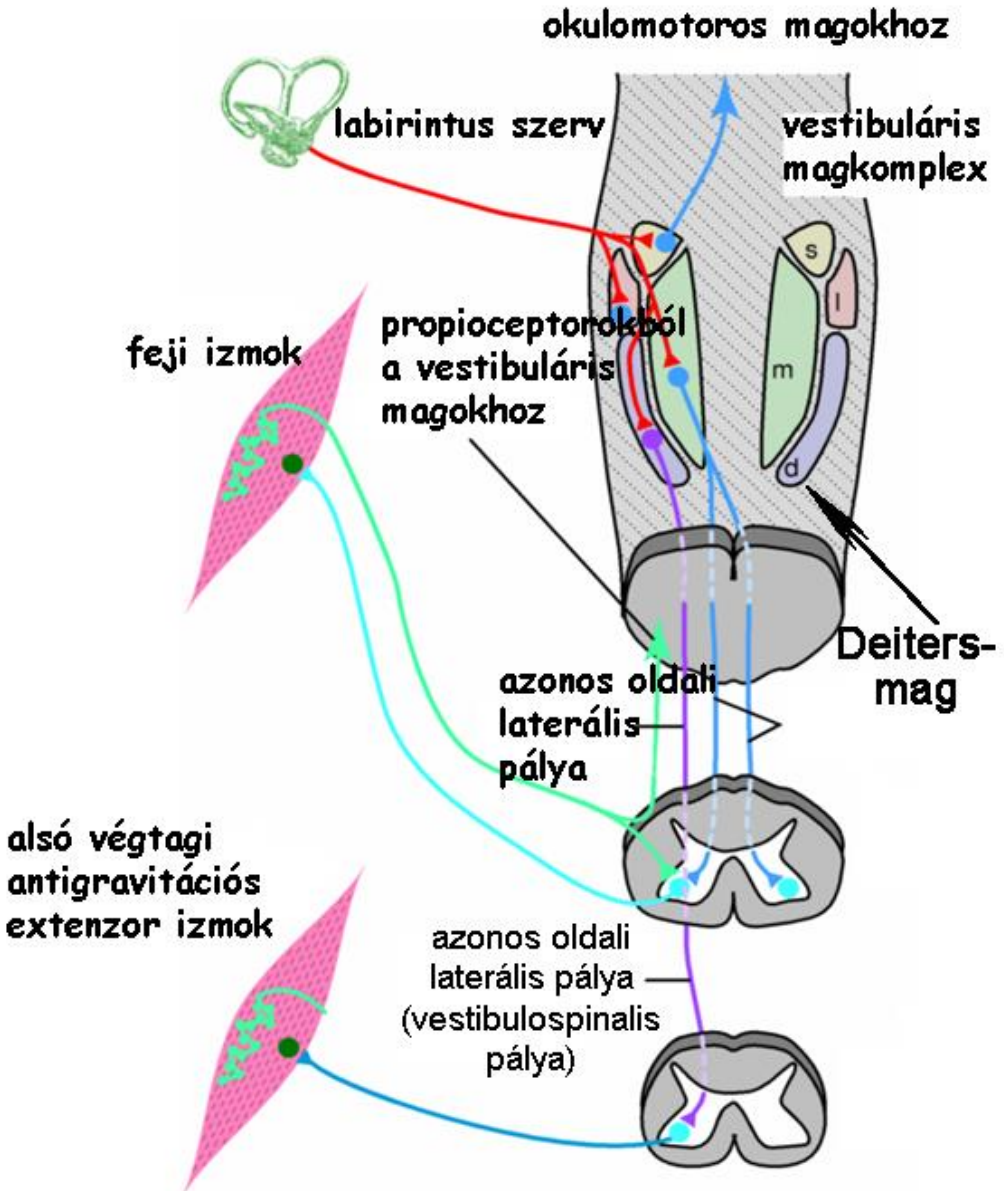
otolitszerv: fej térbeli helyzetének érzékelése

- utriculuson és sacculuson belül 1-1 receptorzóna (macula)
- utriculusban macula síkja vízszintes, sacculusban függőleges
- macula szőrsejtei felett kocsonyás réteg otolit (kalcium-karbonát) kristályokkal
- kristályok változtatják a helyüket a gravitációnak és a gyorsulásnak megfelelően → közeli szőrsejtek sztereociliumait meghúzzák → leadott ingerületi mintázat megváltozik



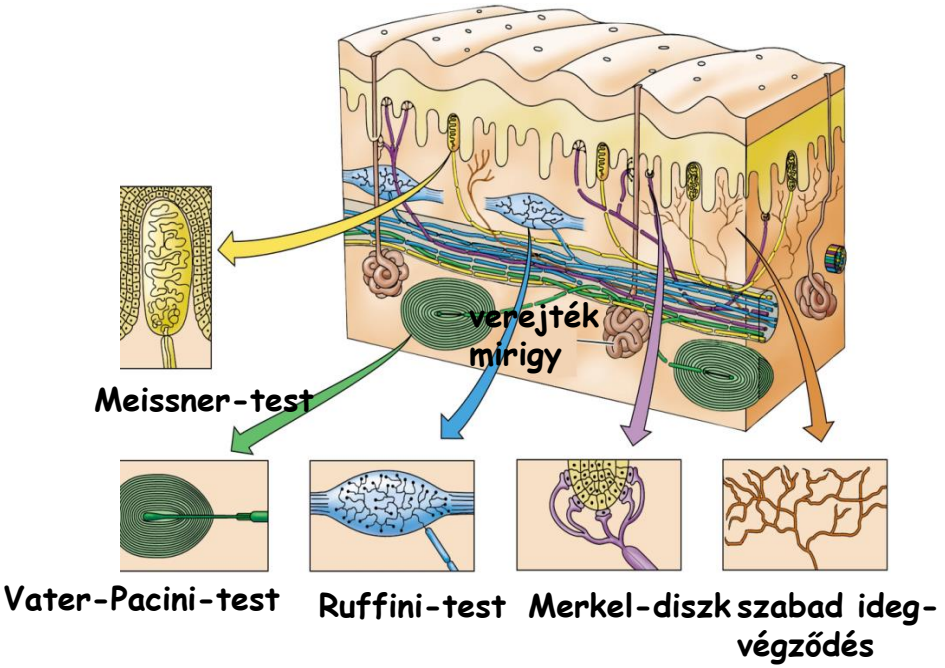


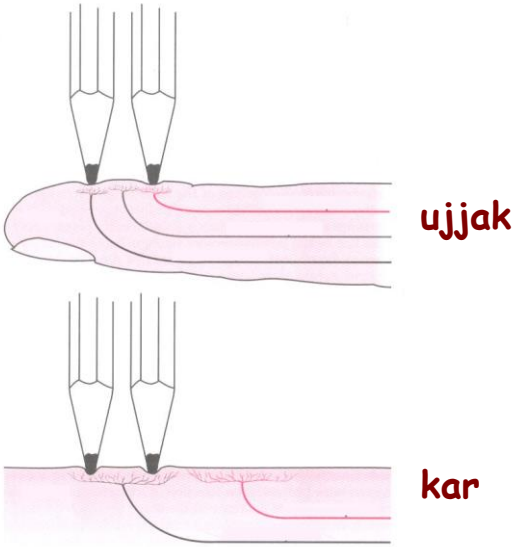
Egyensúlyozás – testtartás - szemmozgatás

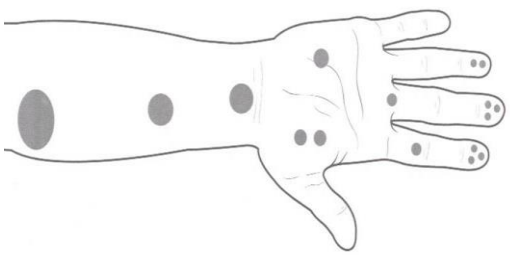


- **<u>Deiters-mag</u>**: információk a labirintusból és a kisagyból → izomtónus eloszlásának beállítása a tractus vestibulospinalis-al
- **<u>félkörös ívjáratok információi</u>**: nyakizmok tónusának beállítása és szemmozgató izmok koordinációja → **vesztibulookuláris reflexek** (a fejem elfordul, de közben adott pontot fixálok a tekintetemmel)

Testérzékelés (szomatoszenzórium)







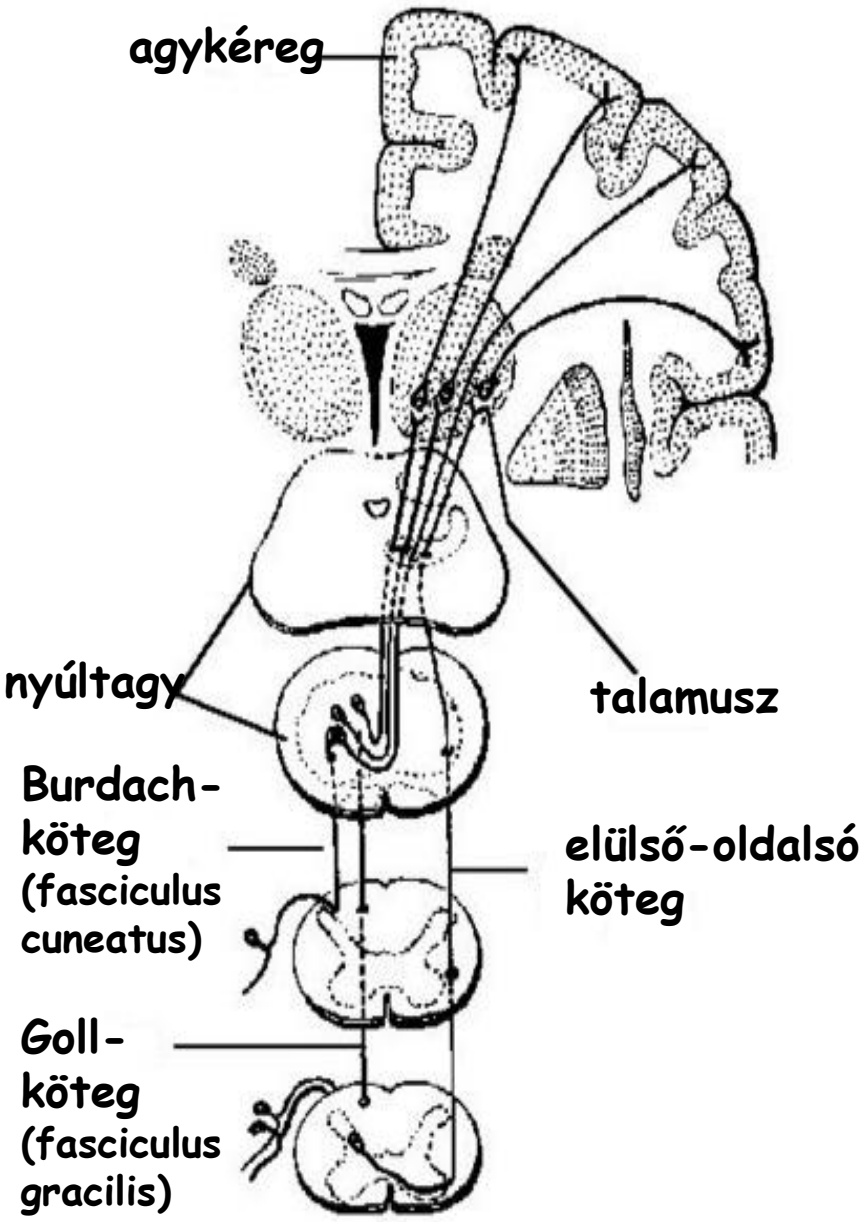
Bőr mechanoreceptorok funkcionális csoportjai

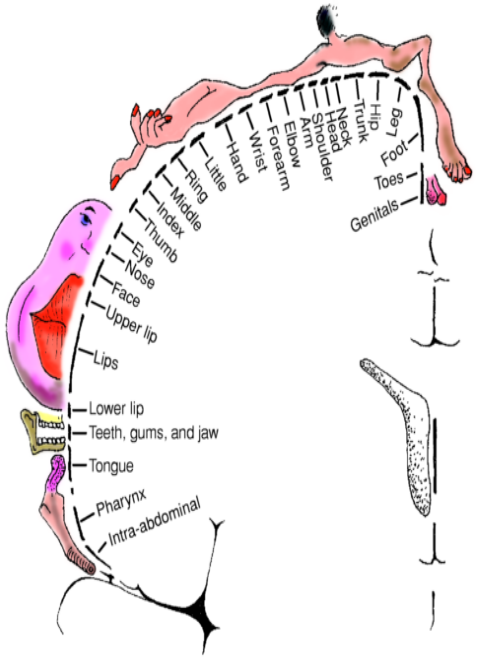
1. **nyomás receptorok**
   (intenzitás érzékelők)
2. **tapintási receptorok**
   (sebesség érzékelők)
3. **vibrációs receptorok**
   (gyorsulás érzékelők)

vibrációs érzés: hangvilla

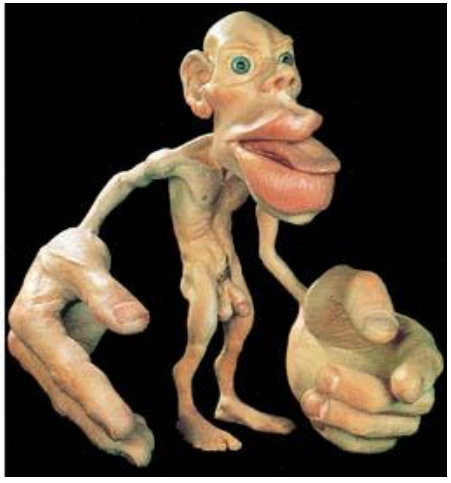
kétpont-diszkrimináció → **receptoreloszlás egyenetlen a bőrben**: legtöbb receptor az ujjbegyeken, legkevesebb a háton

Felszálló érzőpálya





topografikus vetület az elsődleges érzőkéregben



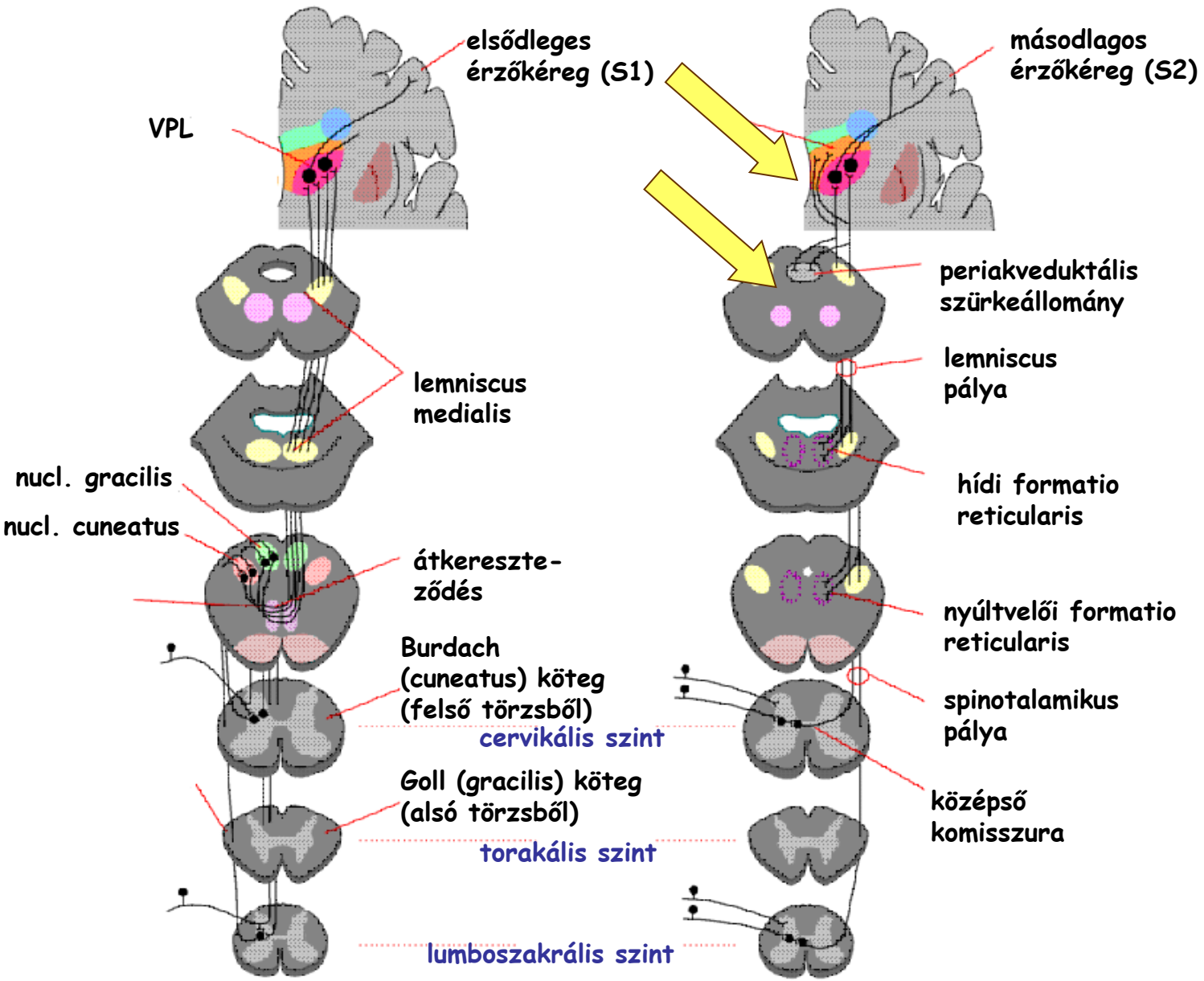
Testérzékelés

specifikus érzőpályák

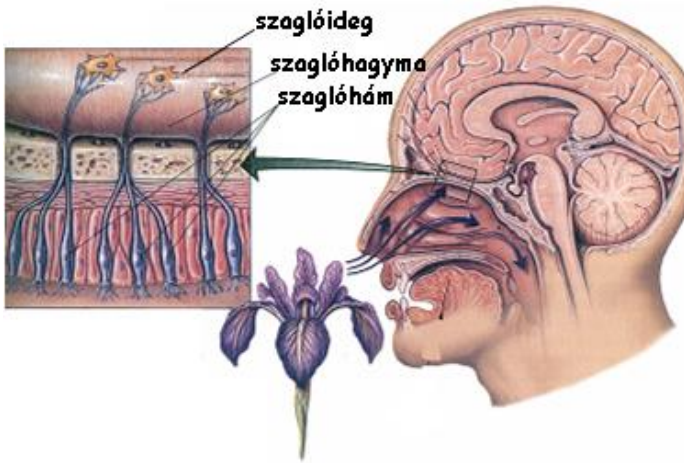
- gerincvelő hátsó köteg – lemniscus medialis pálya

nem-specifikus aktiváló rendszerek

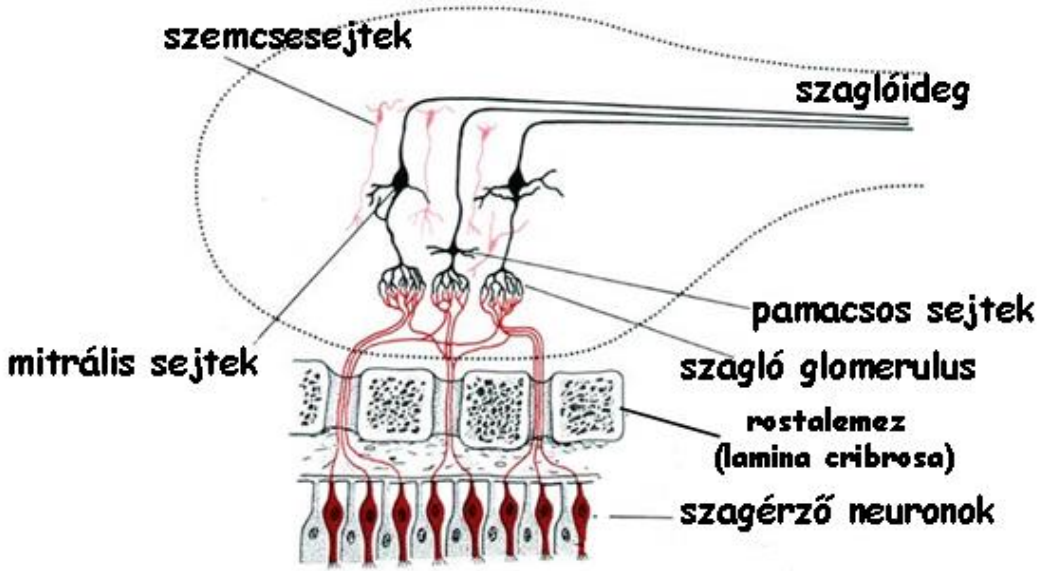
- spino-reticulo-talamikus pálya
- pl. fájdalom ébresztő hatása



Szaglórendszer

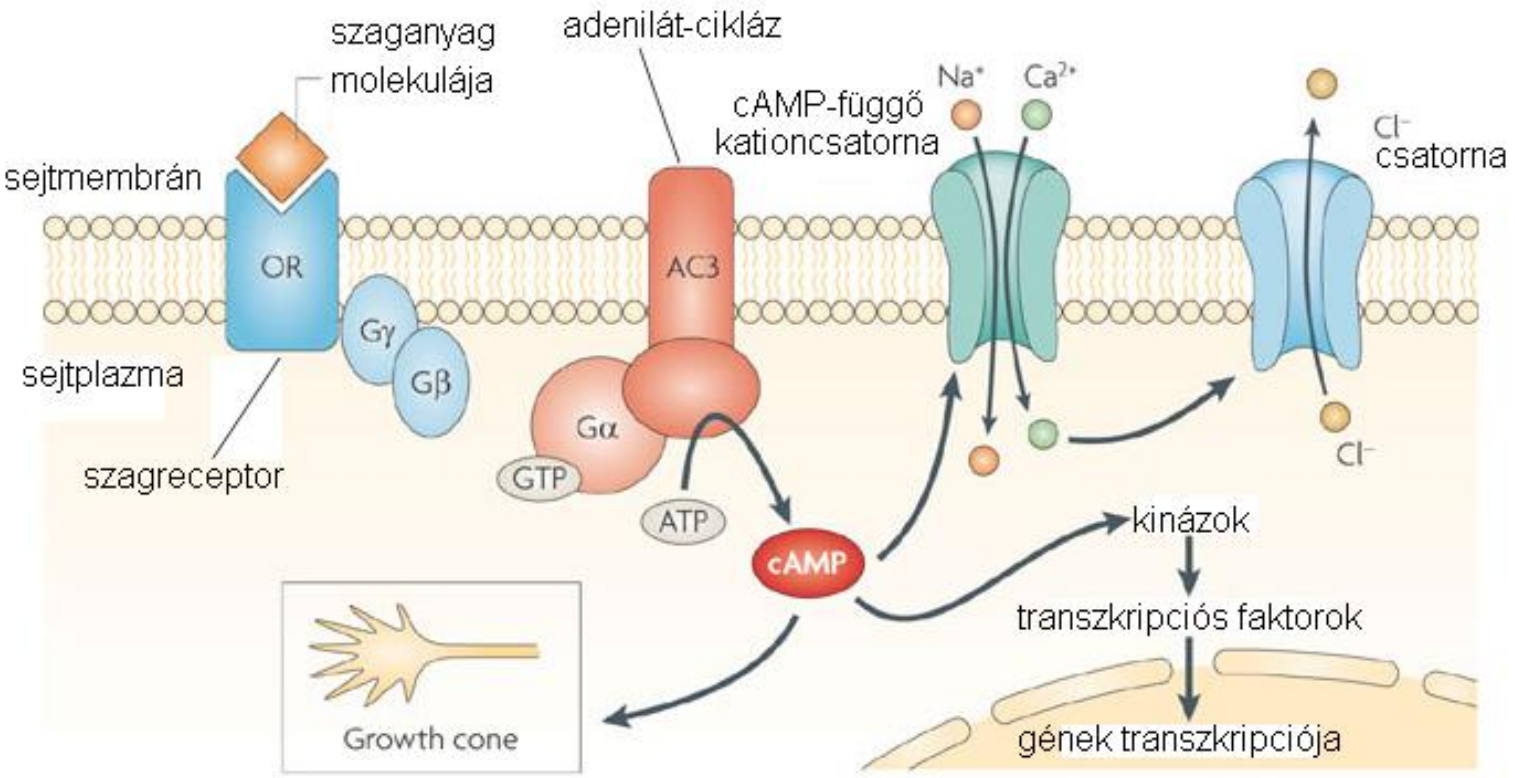


A szaglóhagyma szerkezete



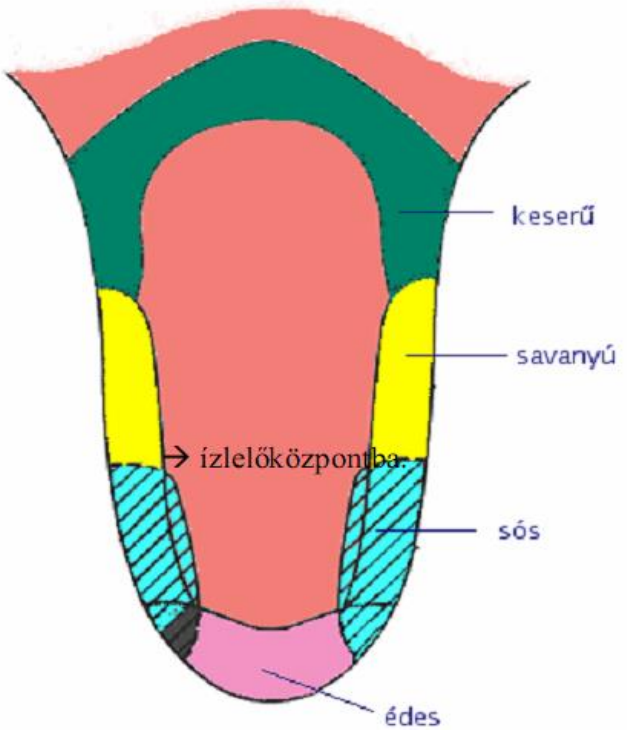
- szaganyagok a levegőn keresztül akaratlanul jutnak el receptorukhoz (szárazföldi állatokban)
- íz: a szájüregbe aktívan bekerülő anyagé
- íz + szag = zamat
- szaglás receptor szervei a felső orrjárat szagló nyálkahártyájában (*regio olfactoria)*
- szagló nyálkahártya nagysága emberben 5, macskában 4, airedale terrierben 83.5, németjuhászban 150–170 cm^2
- szagérző neuronok száma emberben 20 millió, kutyában 200 millió, medvében ~ 1 milliárd
- a szaglóideg a limbikus rendszerhez szállítja a szaginformációt → affektív hatások, magatartási reakciók, emlékképek felidéződése (hippocampus)

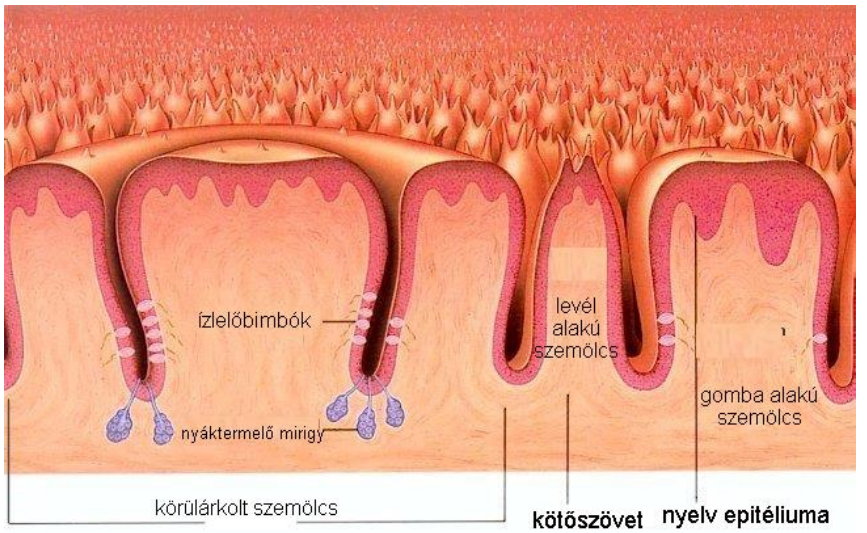
A szaglás neurokémiája



- a szagmolekuláknak több szagingerként szereplő molekularészletük (epitopjuk) van, több receptorhoz is kötődhetnek
- szagreceptorok 7 TM doménes, G-fehérje kapcsolt receptorok
- ember: 500-1000 szagreceptor-gén
- egy szagérző neuronban csak egyféle szagreceptor
- egy glomerulus csak egyféle receptortól kap információt → csak egyféle epitoppal kapcsolatos

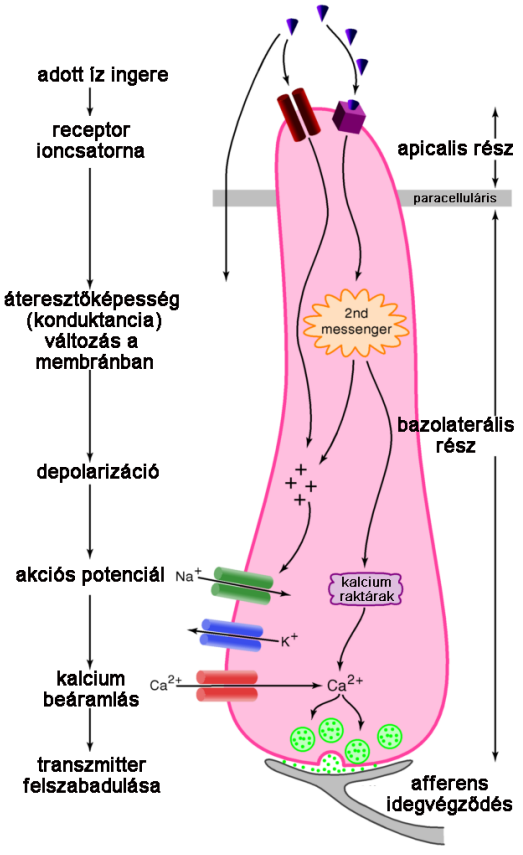
Ízérzékelés I.

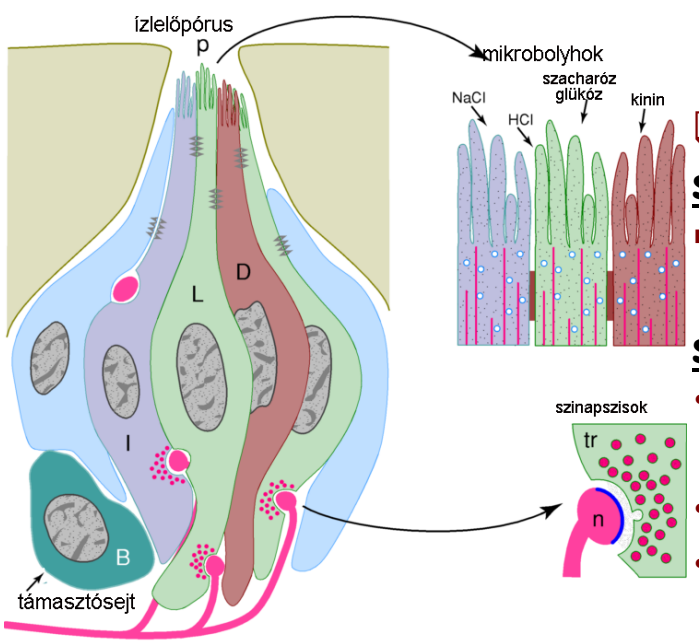




- táplálékválogatás szempontjából fontos
- ízmolekulából kevesebb van, mint szagmolekulából (>1000 szagot tudunk felismerni
- **<u>alapvetően négy alapízt érzünk</u>** (édes, sós, savanyú, keserű)
- 5. íz: **umami** (egyes aminosavak, peptidek, 5'-nukleotidok váltják ki)
- további íz: a víz „íze"
- szubjektív benyomások – koncentrációtól függően pl. az édes íz kellemes vagy émelyítő
- ízlelőbimbók a nyelven, de máshol is a szájban, a bimbók szemölcsökbe rendeződnek
  a) körülárkolt szemölcs
  b) levél alakú szemölcs
  c) gomba alakú szemölcs

Ízérzékelés II.





ízérző szenzoros sejtek

- módosult hámsejtek
- szekunder érzéksejtek
- apicalis részén érzékel + csatornák (jelátvitel és érzékelés)
- bazolaterálisan transzmittert szabadít fel, ide kapcsolódik az érző idegvégződés

édes íz és umami íz

- ✓ szénhidrátok, szacharin, glicin, egyes fehérjék
- ✓ G-fehérje kapcsolt receptorok →cAMP rendszer aktiválódása (PKA) → K^+-csatorna zárás

keserű íz

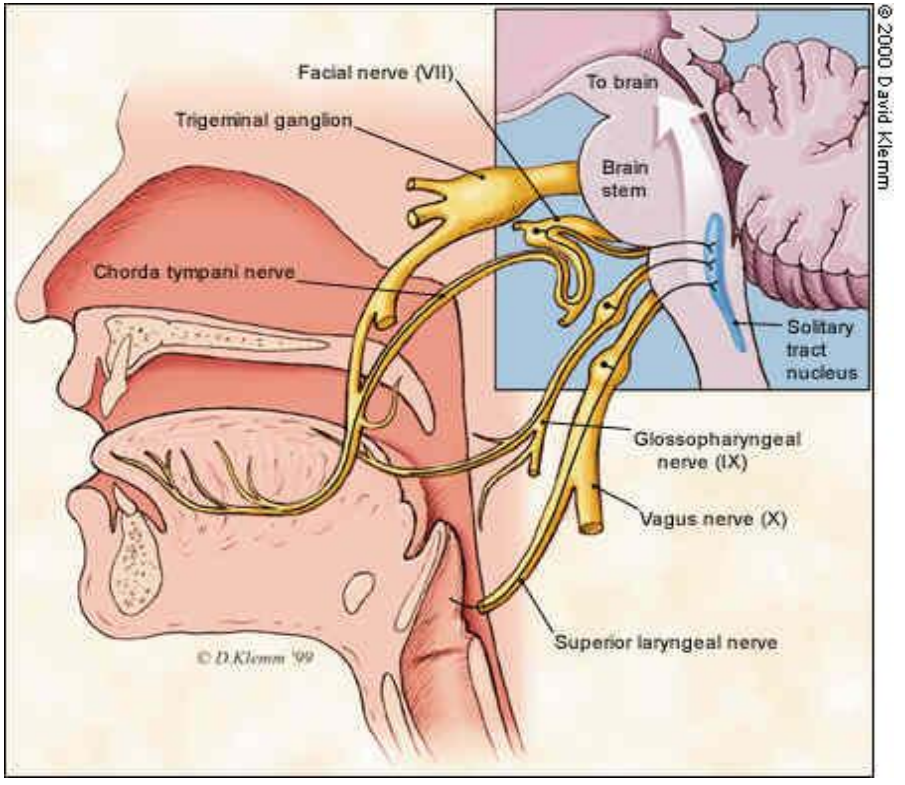
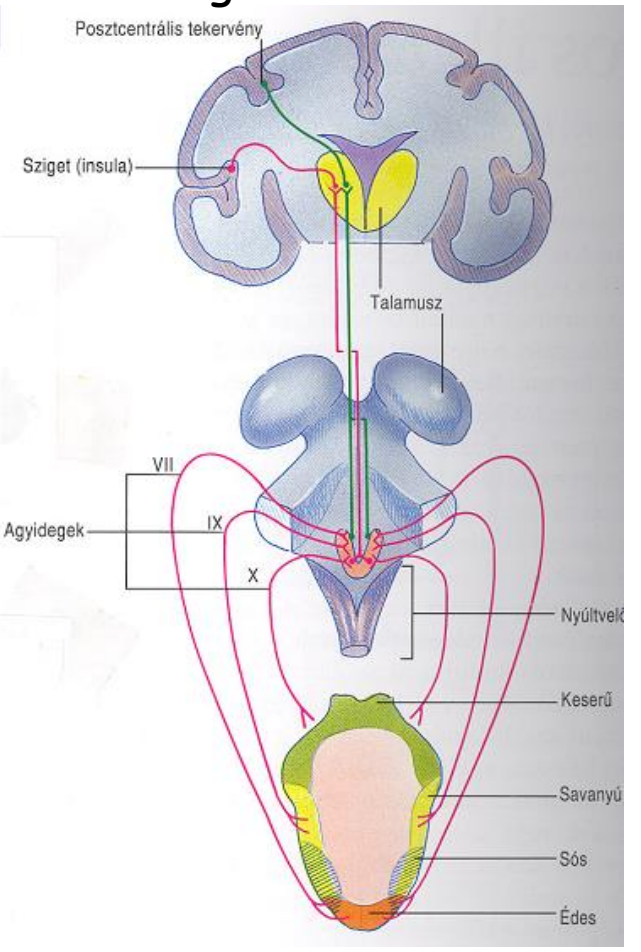
- ❑ kinin, más növényi alkaloidok, epesavas sók
- ❑ PLC rendszer aktiválódása → IP_3 → Ca^{2+} felszabadul az endoplazmatikus retikulumból → Ca^{2+} szint nő → transzmitter ürül
- ❑ vagy: apicalis membránban K^+-csatornák zárása

savanyú íz

- H^+-ion belépés hatása (belép Na^+-csatornákon át vagy közvetlenül zárja a K^+-csatornákat)

sós íz

- Na^+ az apicalis membrán Na^+-csatornáin keresztül beáramlik a sejtbe
- akkor lesz igazán sós íz, ha a kísérő anion Cl^-
- sok sót eszünk → vazopresszin (VP) termelés fokozódik → sós ízérzet fokozódik → sóevés abbamarad → ozmotikus viszonyok helyreállnak

Ízérzékelés III.

- a **tudatosuló ízérzés** ingerületei a VII-es (n. facialis) és a IX-es agyidegen (n. glossopharyngeus) keresztül a **nucleus tractus solitariiba (NTS)** futnak be
- NTS egy része az „ízérző" mag, innen a talamuszba kerül az ingerület, majd a primer szomatoszenzoros kéregbe (ennek Brodmann 3b területére)
- NTS-ből indulnak ki az ízérzéssel kiváltott vegetatív reflexek és ízérzéshez kapcsolódó affektív reakciók (kellemes-kellemetlen-undorító íz)
- ízérzethez specifikus tanult reakciók társulnak: évekig is fennállhatnak