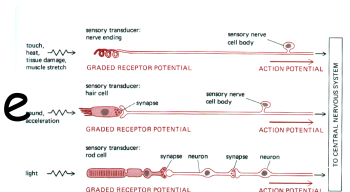


Az érzőrendszer

A szenzoros működések általános jellemzői

- receptorok csoportosítása:
 - inger helyzete alapján: **telereceptor** (látás, hallás, szaglás) - **kontaktreceptor** (ízlelés, tapintás)
 - a szervezet szempontjából: **exteroceptor** (külső környezet) - **interoceptor** (belső környezet, proprioceptív receptorok, vesztibuláris rendszer)
 - inger típusa szerint: **mechano-**, **kemo-**, **termo-** és **fotoreceptor**
- ált. egy adott modalitásra, változásra specifikusak - **adekvát inger**
- **küszöbinger**: az akciós potenciál kiváltásához szükséges minimális inger
- a receptor a modalitásnak megfelelő ingert, energiát átalakítja - **receptor potenciál**; általában gradált
- az inger akciós potenciálok frekvencia változása formájában kódolódik és szállítódik a központba: primér, szekunder vagy terciér érzőneuron
- tartós inger esetén **adaptáció** léphet fel:
 - lassú adaptáció - folyamatos kisüléssorozat tartós ingerre
 - gyors adaptáció - rövid válasz után megszűnik
- az afferens idegrostok típusa eltérő lehet



Az érzőneuronok típusai

primér

- tapintás
- hő
- szöveti sérülés
- izom nyújtása

idegvégződés

gradált receptor potenciál

érző neuron
sejttest

akciós potenciál

szekunder

- hang
- gyorsulás,
testhelyzet

szőrsejt

synapse

gradált receptor potenciál

érző neuron
sejttest

akciós potenciál

tercier

- fény

fotoreceptor

synapse

neuron

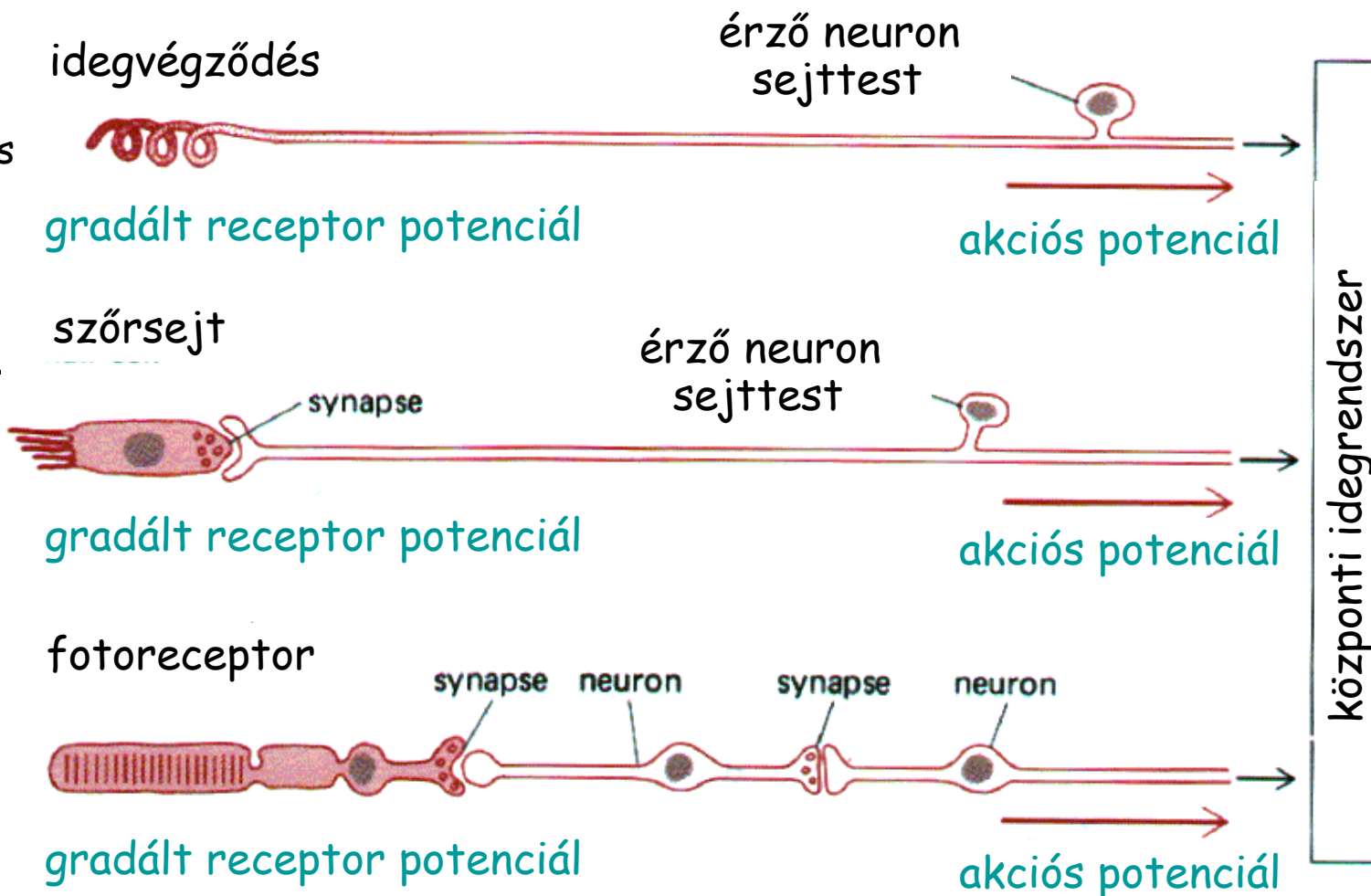
synapse

neuron

gradált receptor potenciál

akciós potenciál

központi idegrendszer



Idegrost osztályok

új név	régi név	átmérő (μm)	vezetési sebesség (m/s)	példa
Ia	A α	12-20	70-120	izomorsó motoneuronok rostjai
Ib	A α	12-20	70-120	ínorsó
II	A β	5-12	30-70	izmok virágcsokor receptorai bőr mechanoreceptorai
III	A γ , δ	2-5	12-30	hő, fájdalom γ -motoneuronok rostjai
	B		3-15	vegetatív preganglionáris
IV	C	0,5-1	0,5-2	bőr szabad idegvégződések vegetatív posztganglionáris

A szenzoros működések általános jellemzői

- az érzőpályák többszörös átkapcsolódással érik el az agykéreg elsődleges érzőterületét - feldolgozás is folyik az átkapcsolódás során
- a szaglópálya kivételével mindegyik érzőpálya átmegy a talamuszon
- az érzőrendszerek többségében értelmezhető a **receptív mező**
 - minden szinten értelmezhető (agykéreg felé haladva egyre nagyobbá válik - afferens konvergencia)
 - a szomszédos mezők részben átfednek
 - lehet serkentő vagy gátló - szomszédos mezők -> kontrasztképzés
 - a magasabbrendű szenzoros neuronok receptormezője egyre komplexebb (pl. látókéreg sejtjei adott irányban mozgó, adott orientációjú vonalra reagálhatnak)
- **topográfikus vetülés**: térben adott viszonyú receptormezők hasonló térbeli viszonyban lévő sejtekre, agyterületekre vetülnek
- az érzőrendszerekből érkező ingerületek reflexeket indíthatnak a gerincvelőben és az agytörzsben, vagy magasabb szinten
- a beérkező információ tudatosulhat, emlékképek formájában tárolódhat és érzelmi reakciókat is kiválthat
- a tudatosulás feltétele az érzet kialakulása, ehhez az agykérgi specifikus érzőterületek épsége szükséges

A szenzoros működések általános jellemzői

- a szenzoros működés leszálló kontroll alatt áll: pl. a hallócsontokon tapadó izmok; reflexes mozgások, stb
- az érzet minőségét a receptor és az aktuális idegrendszeri pálya határozza meg -> objektív és szubjektív tényezők befolyásolják
 - az érzet küszöbe: 50%-ban érzékelt ingerintenzitás
 - diszkriminációs képesség: 2 ingert nem ingerintenzitásuk abszolút különbsége, hanem arányuk alapján tudunk megkülönböztetni

Weber-tört: $\frac{\Delta S}{S} = K$ [ΔS : éppen megkülönböztethető ingerkülönbség; S : adott inger; K : adott rendszerre jellemző állandó]

- az ingerek abszolút nagyságát is képesek vagyunk becsülni

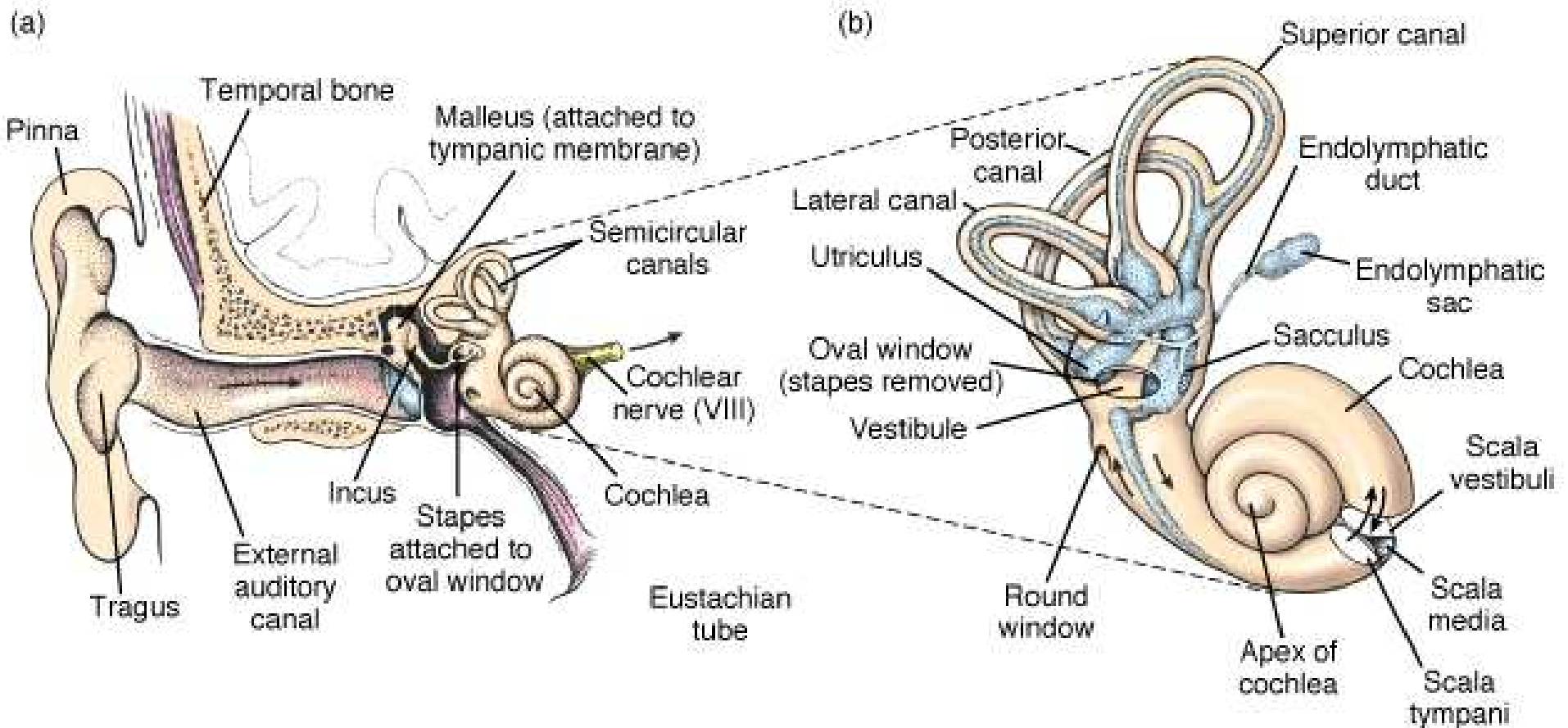
Weber-Fechner törvény: $I = K * \log \frac{S}{S_0}$ kis intenzitáskülönbségnél
 $I = K * (S - S_0)^n$ nagy intenzitáskülönbségnél

[I a megbecsült ingerintenzitás, S az inger, S_0 az ingerküszöb nagysága]

- intenzitás megkülönböztetése a kialakuló AP frekvencián (**frekvencia kód**), illetve az ingerelt szenzoros receptorok számán (**populációs kód**) alapszik

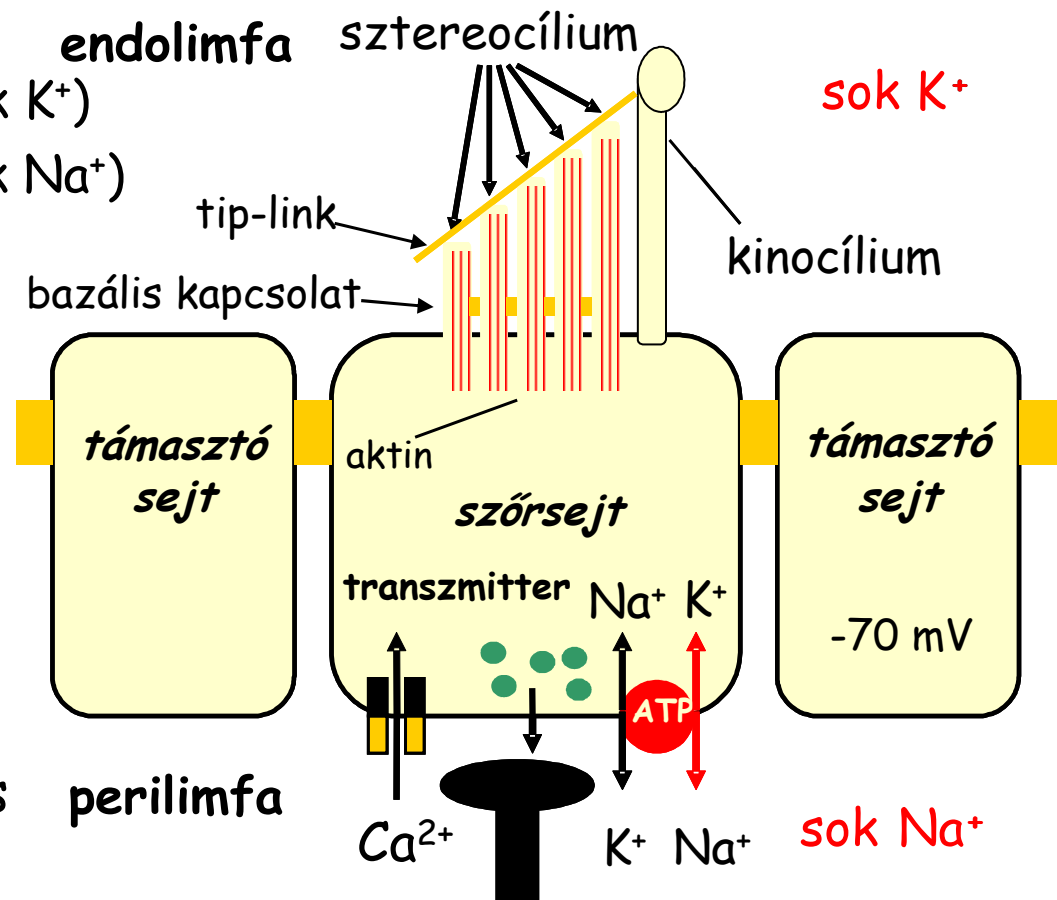
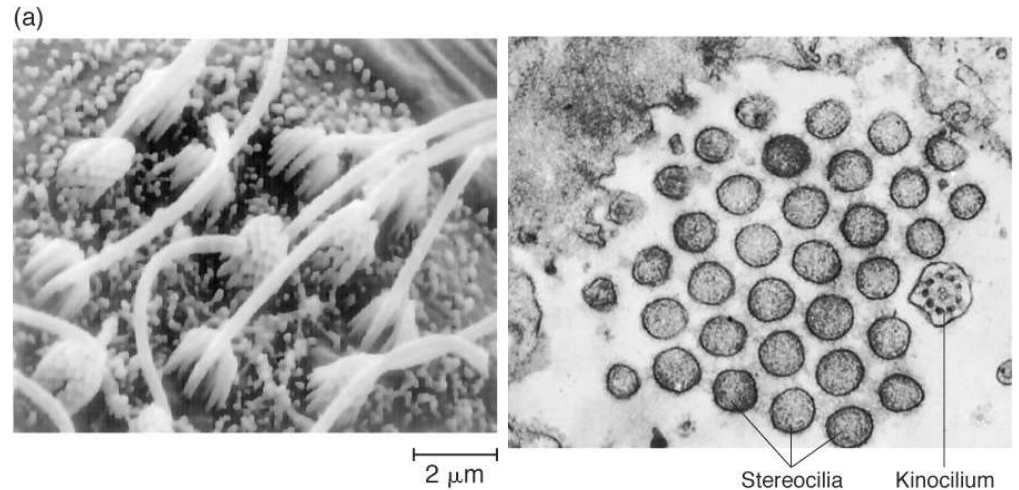
A belső fül érzékszervei

- a sziklacsonthoz tartozó labirintusban található
- **egyensúlyozás**: proprioceptor; félkörös ívjáratok, utriculus és sacculus
- **hallás**: exteroceptor; külső, középső és belső hallószervek; csiga
- mindkettőben **szőrsejtek**: másodlagos érzékszert



A szőrsejtek működése

- mechanoelektromos transzducer
- 1 hosszú **kinocílium** és sok, egymáshoz rögzített, méret szerint rendezett **sztereocílium**
 - bazális és csúcsi kapcsolat
- **endolimfa** (apikális) és **perilimfa** (bazális) ionösszetétele eltérő:
 - endolimfa ~ intracelluláris (sok K^+)
 - perilimfa ~ extracelluláris (sok Na^+)
- **apikális, mechanoszenzitív nem szelektív kation csatornák:** nyitásukat a cíliumok kitérése szabályozza
 - **kinocílium felé:** nyitás -> **hipopolarizáció**
 - **kinocíliumtól el:** zárás -> **hiperpolarizáció**
- szőrsejt depolarizáció -> Ca^{++} beáramlás -> transzmitter ürülés (Glu) -> AP a n. vestibularisban



A szőrsejtek működése

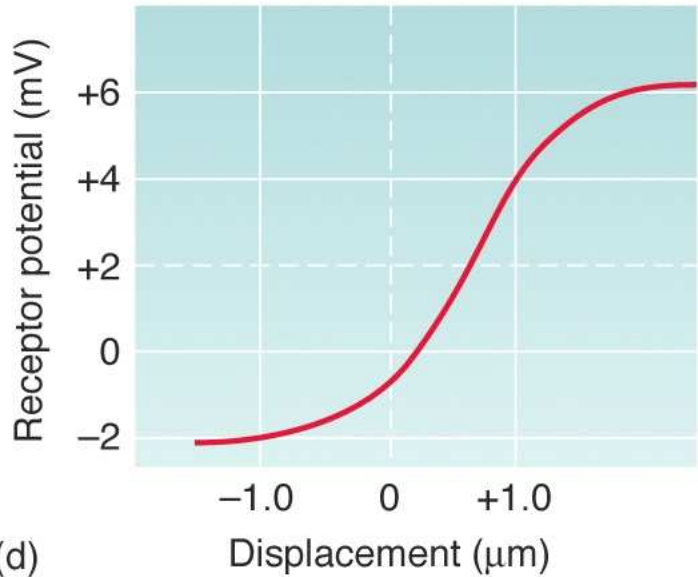
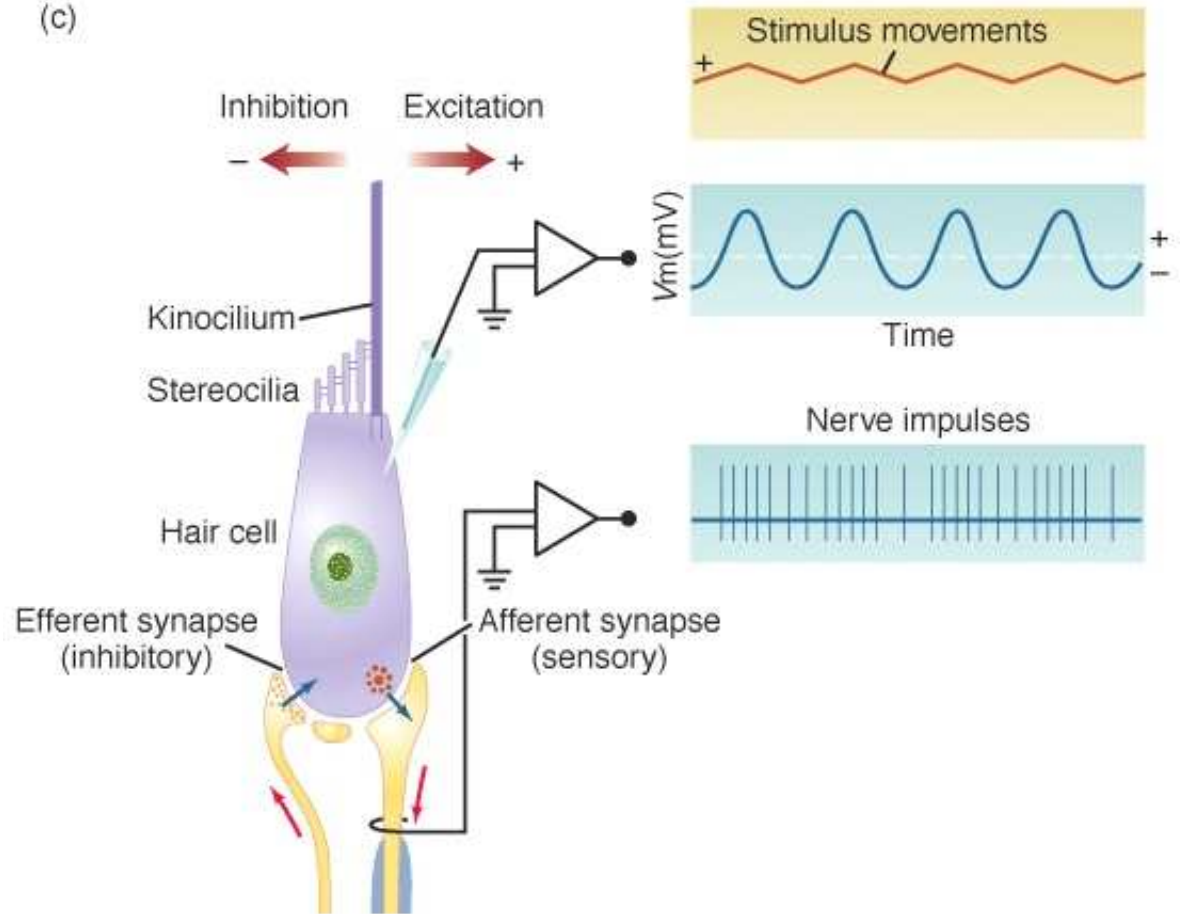
- alapállapotban is van transzmitter-leadás: ~90 Hz → az AP frekvenciát mind növelni, mind csökkenteni is lehet



mindkét irányú elmozdulást érzékelni lehet

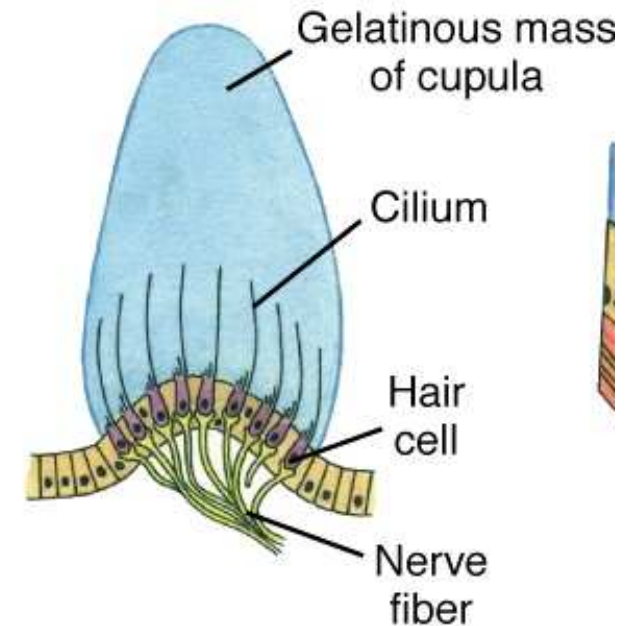
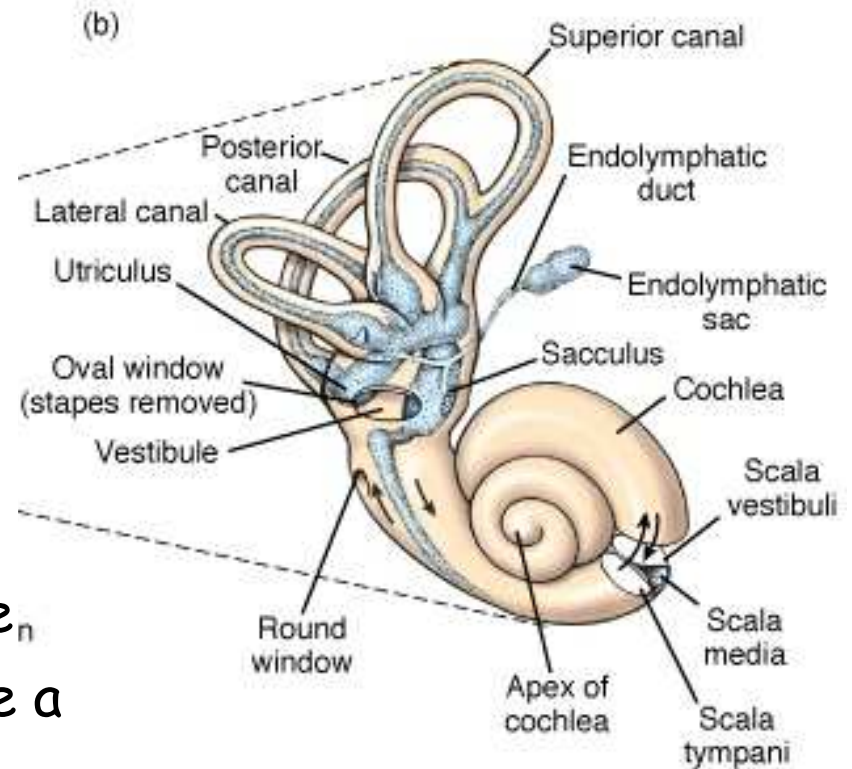
- ált. van efferens, gátló beidegzés - szőrsejt érzékenységének beállítása

(c)



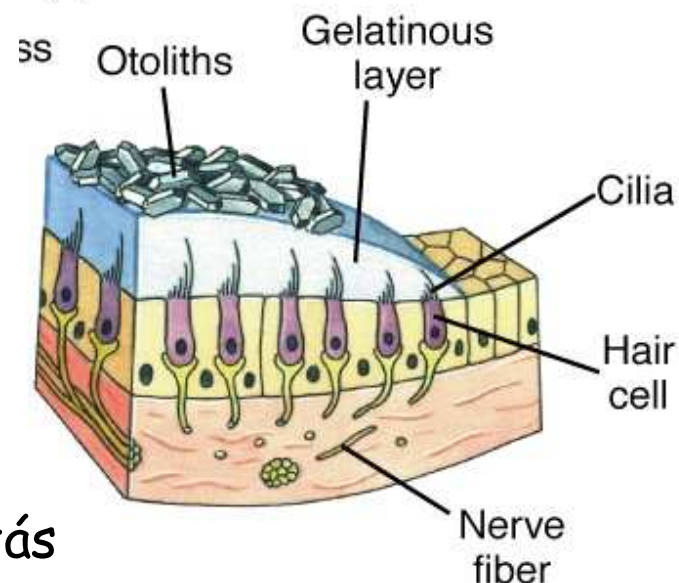
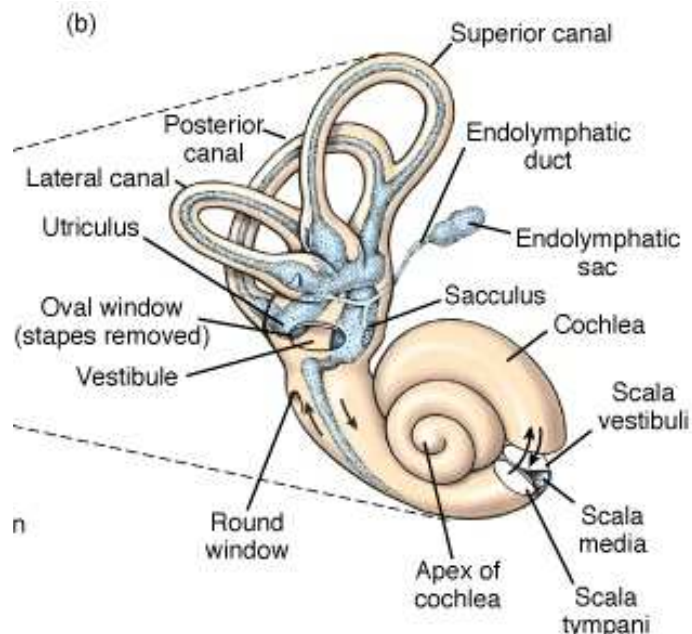
Az egyensúly érzékelése

- **félkörös ívjáratok**: laterális (vízszintes), felső, alsó (függőleges)
- **ampulla**: az utriculushoz közel, az ívjárat kiszélesedése
 - crista ampullaris, felette az ampulla tetejéig kocsonyás cupula
 - szőrsejtek cíliuma a cupulába lóg be_n
 - a szőrsejtek egy irányba néznek, de a csúcson hosszabb kinocíliumok
- a **szöggyorsulást** (fej fordulását) a kétoldali ívjáratok közösen érzékelik - csak **dinamikus mozgás** észlelése
 - endolimfa elmozdulása az ívjáratokban
- **utriculus** (tömlőcske), **sacculus** (zsákocska): szőrsejtek a **macula**-ban
- utriculusban ~ vízszintesen, sacculusban ~ függőlegesen helyezkednek el a szőrsejtek



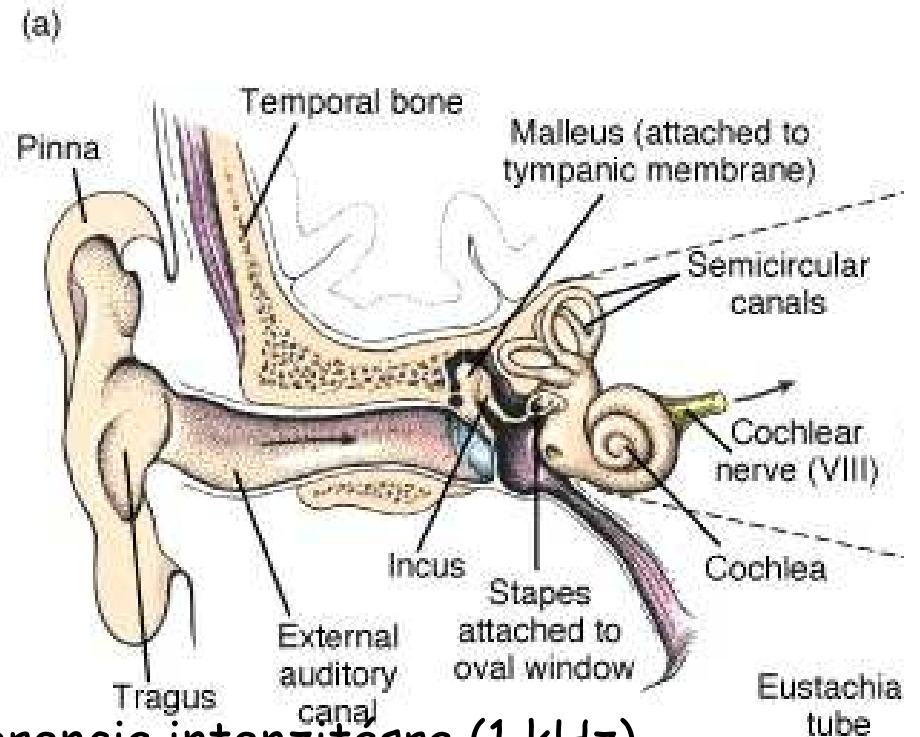
Az egyensúly érzékelése

- **macula**: ciliumok felett kocsonyás otolithmembrán, rajta otolith kristályok
 - **striola**: kocsonyás réteg elvékonyodása
 - szőrsejtek nem egyforma orientációban: striola-ban a leghosszabb szőrsejtek, egymással szemben
- a fej **statikus helyzetét, lineáris gyorsulását** érzékelik - a kristályok valamilyen nyomást/húzást mindig kifejtenek
 - a megváltozó AP mintázata ad térbeli információt
- vestibuláris app. -> ggl. vestibulare -> n. vestibularis, 4 mag -> agykéreg
 - Deiters mag (lateralis), superior, inferior, medialis
 - vestibulospinalis pálya: izomtónus, testtartás
 - nyak és külső szemizmok gyors koordinálása
 - vestibuloocularis reflex: igen rövid pálya -> gyors; fejmozgást a szemmozgás gyorsan követi

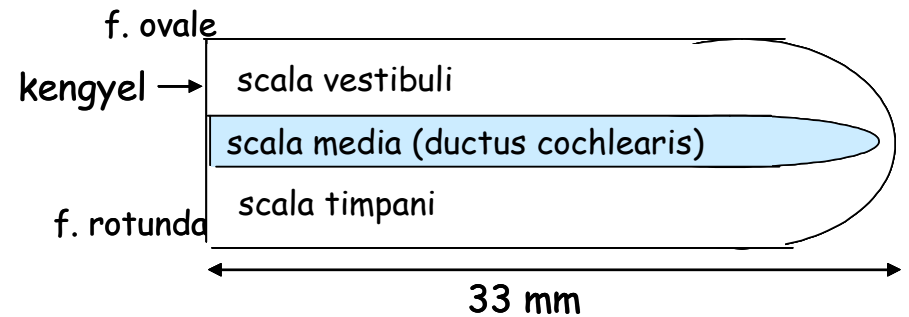
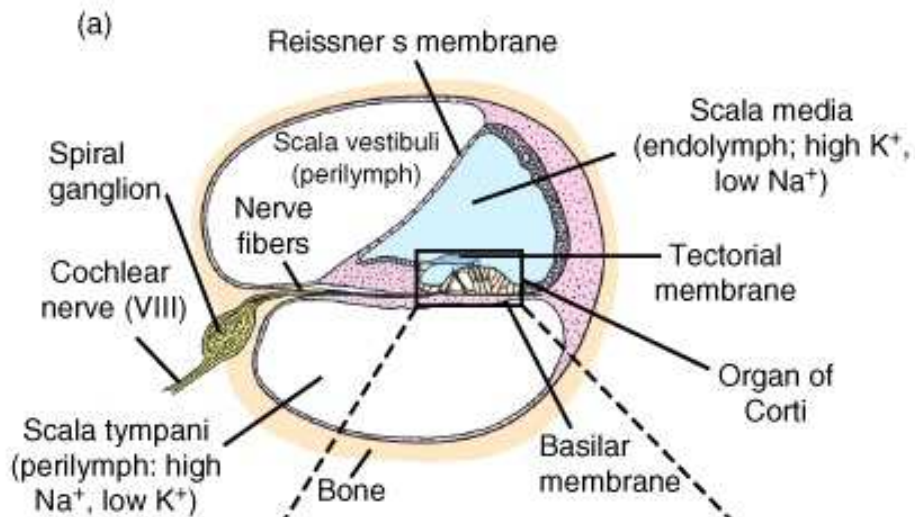


A hallás

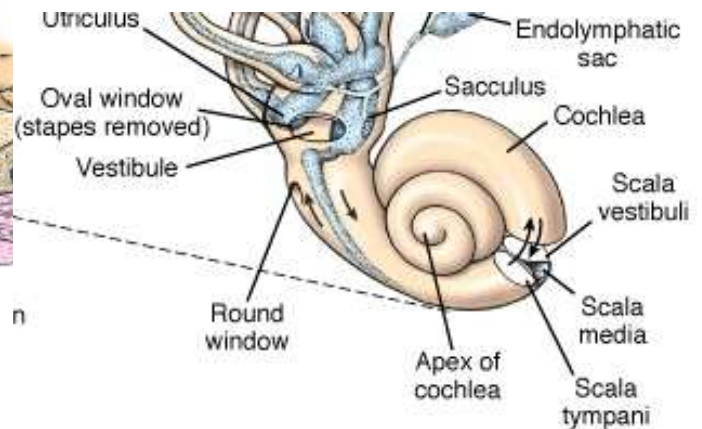
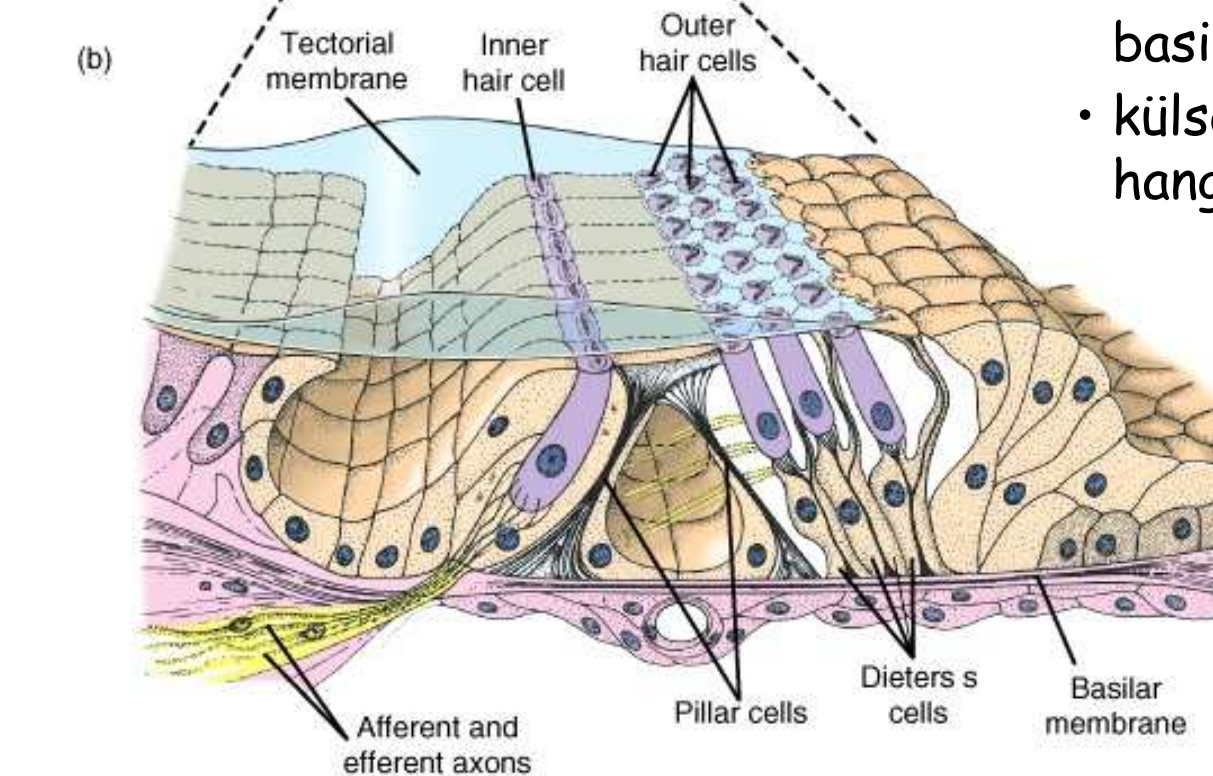
- igen fontos érzékszerv - alváskor is működik
- ember 20 - 20000 Hz közötti tartományban hall; legjobban 1000-3000 Hz között (beszéd)
- a hang frekvenciája -> mélység és magasság beállítása
- a hang intenzitása -> erősség
 - decibel (dB): logaritmikus skála, referencia intenzitásra (1 kHz) vonatkoztatva
 - 120 dB felett már fájdalom
- külsőfül - **rezonátor funkció**
 - fülkagyló, külső hallójárat, dobhártya
- középfül - **impedancia-illesztés** (levegő-folyadék határfelület)
 - hallócsontok (kalapács, üllő, kengyel; 22-szeres nyomásnövekedés)
 - fülkürt a szájüregbe - nyomáskiegyenlítés
- belsőfül - **frekvenciaanalízis**
 - csontos csiga és a benne elhelyezkedő hártványos csiga (Corti-féle szerv)



A csiga és a Corti-féle szerv

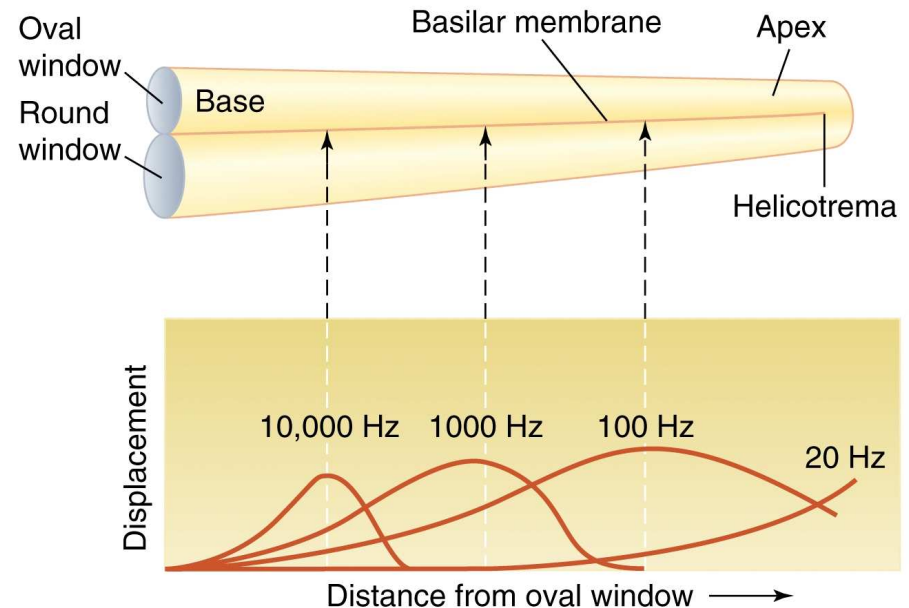
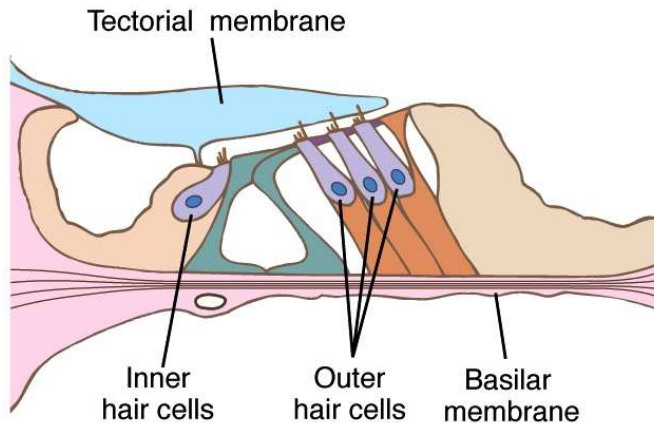


- endo-, perilymfa
- belső szőrsejtek: membrana basilaris, 1 sorban
- külső szőrsejtek: 3 sor, hangoló és erősítő funkció



A hallószerv működése

- hanghullám -> rezgés -> hallócsontok -> fenestra ovale -> perilimfa a scala vestibuliban -> rezgések a csiga csúcsáig, majd visszafordulva a scala tympanin át a fenestra rotundaig terjednek
- csontvezetés is lehetséges - normálisan kevésbé fontos (de ld. Beethoven)
- a membrana basilaris a hang frekvenciájának megfelelően **tonotópiásan** leng ki -> szőrsejtek ingerlése
- a m. basilaris alapja keskeny (100 μm) és feszes, csúcsa széles (500 μm) és laza -> **a csiga alján a magas** (nagy frekv), **csúcsán a mély** (alacsony frekv.) hangok adnak maximális kitérést (Helmholtz, Békésy)
- **belső szőrsejtek**: egy sorban, szenzoros sejtek, glutamát neurotranszmitter
 - membrana tectoria alatt rés, ciliumok az endolimfa áramlását érzékelik
 - n. cochlearis afferens 90%-a

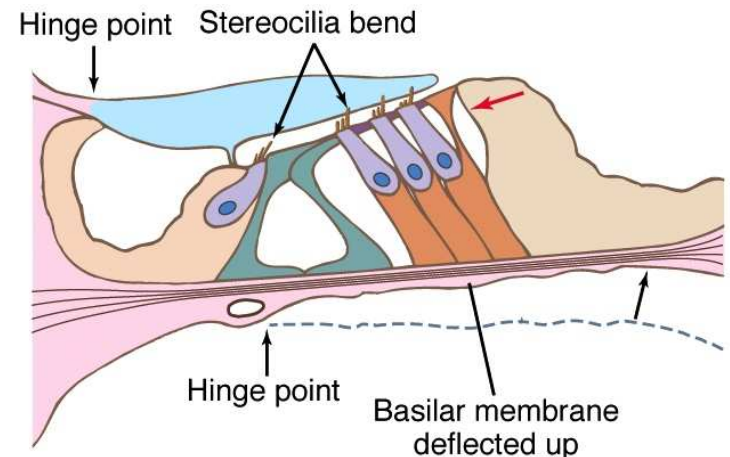
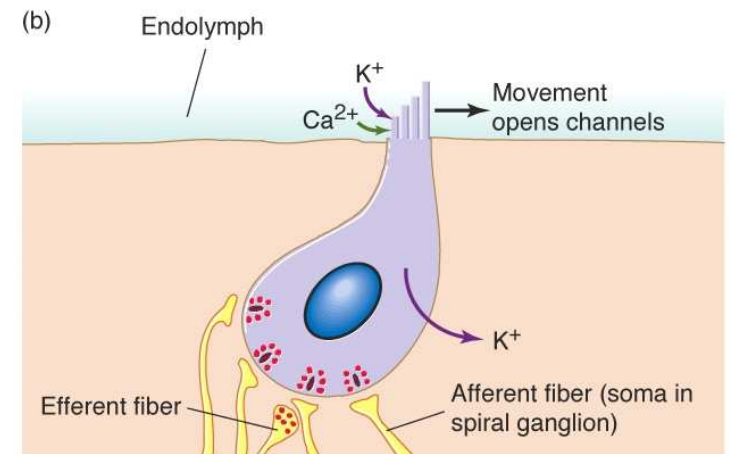


A hallószerv működése

- **külső szőrsejtek:** 3 sorban; afferensek + efferens beidegzés
 - **mechanoelektromos transzdukció:** cíliumok elmozdulása ("passzív")
 - **elektromechanikai transzdukció:** depolarizáció → Ca^{2+} beáramlás → citoszkeleton átrendezés → rövidülés ("aktív")
 - a m. tectoriát a rögzített cíliumok elmozdítják → hangolás, a vándorló hullám maximumát növeli
 - a fiziológiás hallásküszöb az erősítő funkciót jelzi
 - nagy intenzitású hangok → külső szőrsejtek leválnak → hallásromlás

- endocochleáris potenciál:
 - endolimfa: +80 mV, magas K^+ , alacsony Na^+ és Ca^{2+}
 - perilimfa: 0 mV; magas Na^+ , alacsony K^+
 - szőrsejt: -70 mV

az endolimfa és a sejt belseje között ~ 150 mV potenciálkülönbség → az endolimfa hasonlóan magas K^+ konc-ja mellett is K^+ beáramlás lesz a cíliumokban



A hallópálya

- másodlagos, bipoláris érzősejtek a ggl. spirale-ban - 1 szőrsejt 10 afferens, 1 afferens 1 szőrsejt kapcsolat
- 2x3500 szőrsejt, 2x35000 afferens - a teljes hallásért felelnek
- a m. basilaris adott részein lévő szőrsejtek adott frekvenciájú hangra érzékenyek - hangmagasság észlelése
- hangintenzitás: részben frekvenciakód (nagyobb hangnyomás - nagyobb amplitúdójú kitérés - nagyobb aktiváció), részben populációs kód alapján (szomszédos és magas küszöbű szőrsejtek toborzása) közvetítődik
- **laterális olivocochlearis köteg**: afferensek érzékenység-állítása
 - afferens beidegzés a belső szőrsejteken és primer dendriteken
 - szőrsejtek transzmitter-leadását gátolja (hogyan??)
- **mediális olivocochleáris köteg**: zajok kiszűrése?
 - ellenoldali külső szőrsejtek gátlása
- felszálló pályák: anatómia ismert, funkció kevésbé
 - hanginger kialakulását/megszűnését
 - hangforrás helyét
 - hanginger mintázatát } is elemeznie kell

A hallópálya

- párhuzamos felszálló pályák, kétirányú kapcsolat, tonotópia - minden szinten jellemző

1. nucleus cochlearis

- mindig azonos oldali (féloldali sükettség)

2. lemniscus medialis / oliva superior

- részben kereszteződve
- hangforrás lokalizációja: kétoldali bemenet, így az idő (2 kHz alatti; medialis) és intenzitás (2 kHz feletti; lateralis) különbségek alapján 1° különbséget is tud érzékelni

3. colliculus inferior

- irányhallásban fontos
- nem auditív területekre is küld információt

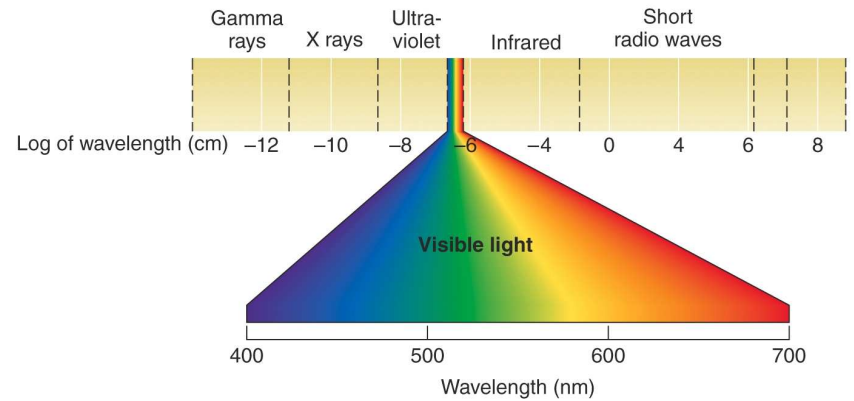
4. thalamus: corpus geniculatum mediale

- tonotópiás vetület megőrzött
- más szenzoros rendszerekből is bemenet

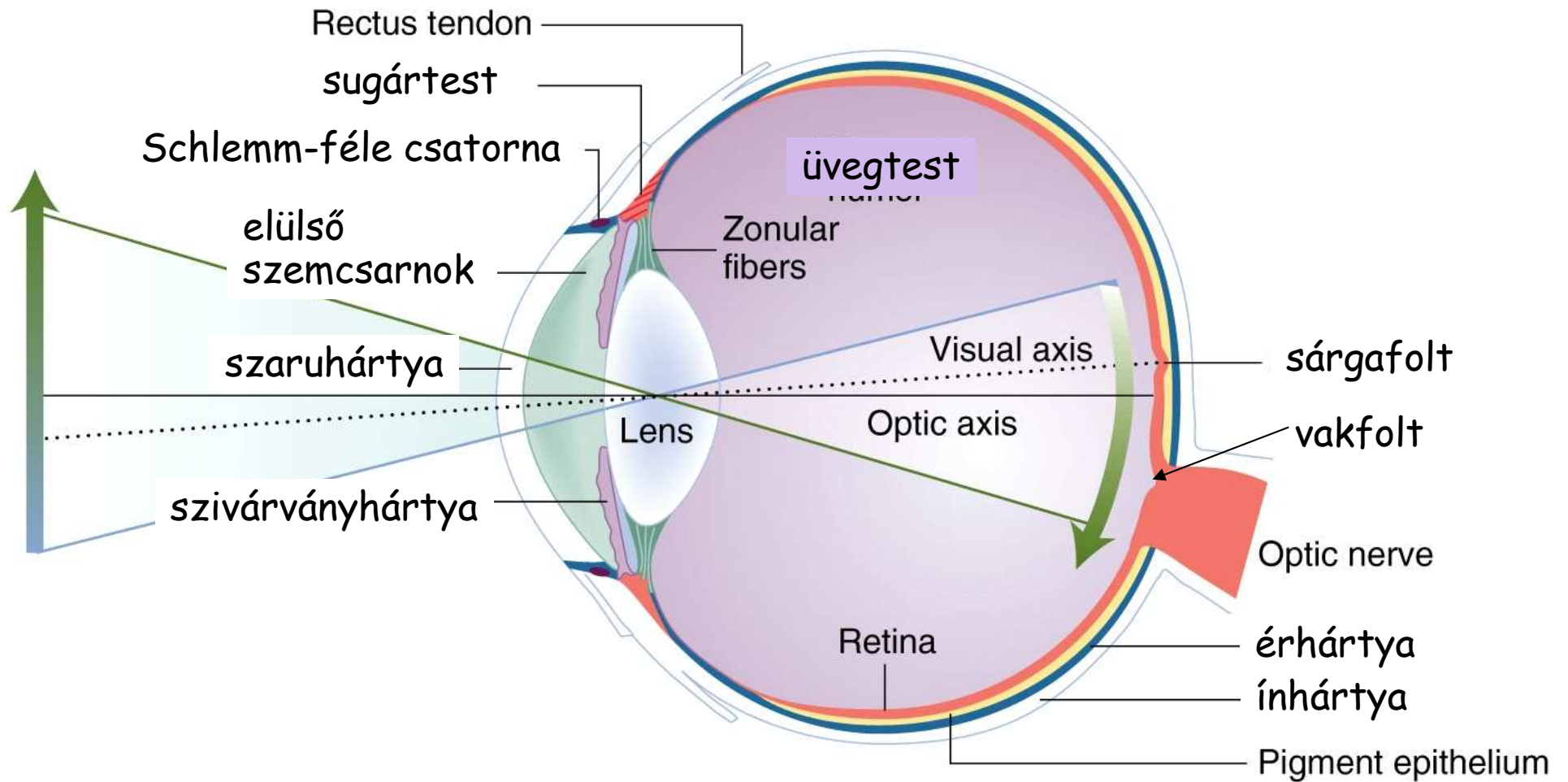
5. agykéreg: Br 41-42, temporális lebeny, Silvius árok mélye + magasabb rendű auditív áreák

A látás specialitásai

- emberi szemmel látható tartomány:
400-800 nm
- telereceptor; a környezetről a legfinomabb felbontású információkat szállítja
- a receptor-apparátus a KIR kihelyezett része
- a receptorsejtek ingerülete előzetes feldolgozás után jut el a központba
- környezet 3D -> retinában 2D leképezés <-> háromdimenziós érzéklet
- térlátás: részben a két szem eltérő látószögének, részben központi hatásoknak köszönhető
- más kérgi területek hatása, korábbi tapasztalatok befolyásolják az érzékletet - optikai csalódások
- igen nagy szerepe van a figyelemnek - a retina mindent leképez, de a figyelem kiemel és elnyom részeket
- Gestalt-elmélet: az „összbenyomás” számítja

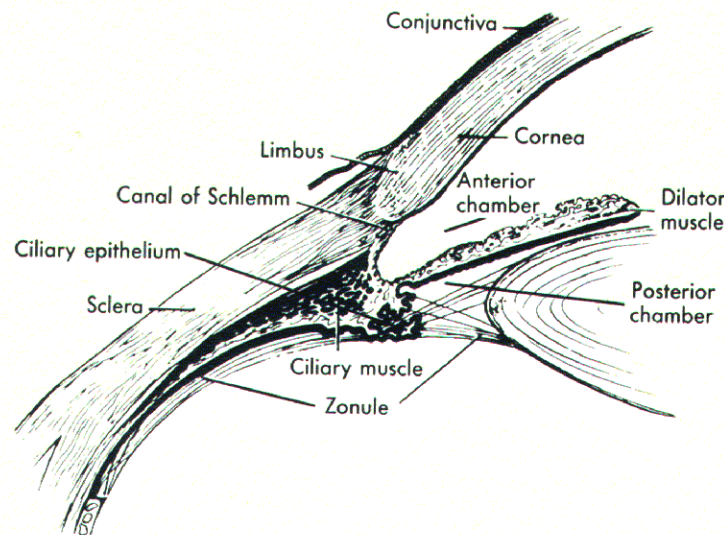


A szem felépítése



A szem, mint optikai rendszer

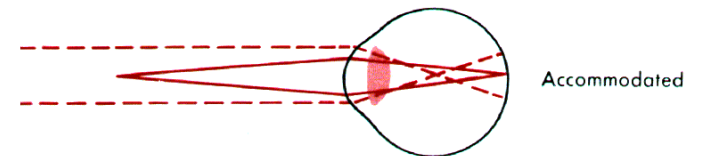
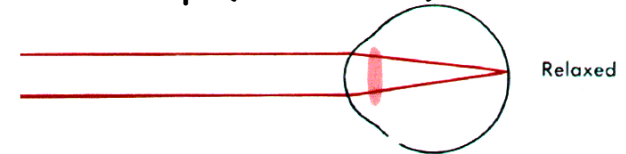
- jelentős fénytörési különbségek:
levegő (1) -> cornea (1,376) -> csarnokvíz (1,336) -> lencse (1,416) -> üvegtest (1,336) (levegő-cornea között 43D; fókusztávolság (m) reciproka)
- ideális esetben mindegyik átlátszó <-> **szürkehályog** (cataracta) - idős korban a lencse O_2 és tápanyag-ellátottsága csökken, átlátszósága csökken
- ideálisan az egymástól való távolság állandó: az állandó belnyomást a **csarnokvíz** biztosítja
 - a sugártest szecernálja: hátsó szemcsarnok -> pupilla -> elülső szemcsarnok -> Schlemm-féle csatorna -> vénás rendszerbe visszaszívódik
 - egyensúly esetén állandó, 16 Hgmm nyomás
 - nyomás megnövekedése -> **glaukóma** (zöldhályog) -> retina károsítása, vakság
- üvegtest: gél állagú; kollagén + hialuronsav
- **könny**: nem az optikai rendszer része!
 - könnymirigyek váladéka, magas sótartalom, hiperozmotikus; ~1 ml/nap
 - cornea nedvesen tartása
 - paraszimpatikus beidegzés
 - kötőhártya, cornea mechanikus ingerlése reflexesen kiváltja + emóciók



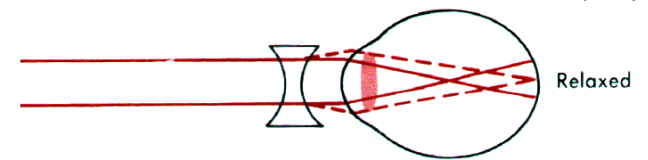
A fény törése a szemben

- sugártest (m. ciliaris): többegységes simaizom, paraszimpatikus beidegzés
- távolba nézés (>6m): nyugalmi állapot, kép retinára vetül
 - m. ciliaris ellazult, lencsefüggesztő rostok feszesek, lencse lapos
- közele nézés (<6m): akkomodáció, fénytörés megnő
 - sugártest összehúzódik, lencsefüggesztő rostok leválnak -> lencse „összeugrik”
 - iris is összehúzódik, szemek konvergálnak
- közelpont 10 cm fiatal korban
- idős korban a lencse rugalmassága csökken, nem gömbölyödik eléggé: presbyopia (öregkori távollátás)
- **rövidlátás** (myopia): kép retina elé -> korrekcióhoz szórólencse
- **távollátás** (hipermetropia): kép retina mögé -> korrekcióhoz gyűjtőlencse
- **asztigmatizmus**: cornea aszférikus (nem szabályos gömb) felszínű -> hengerlencse

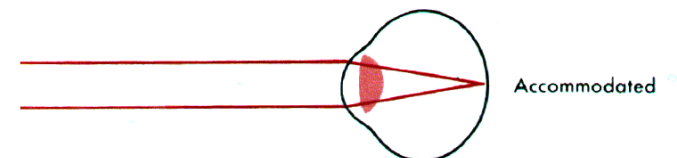
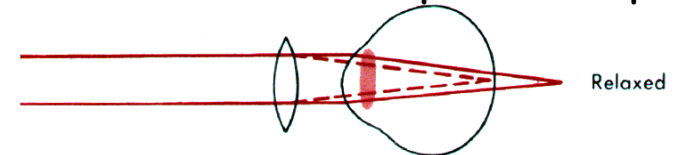
emmetrop (normális) szem



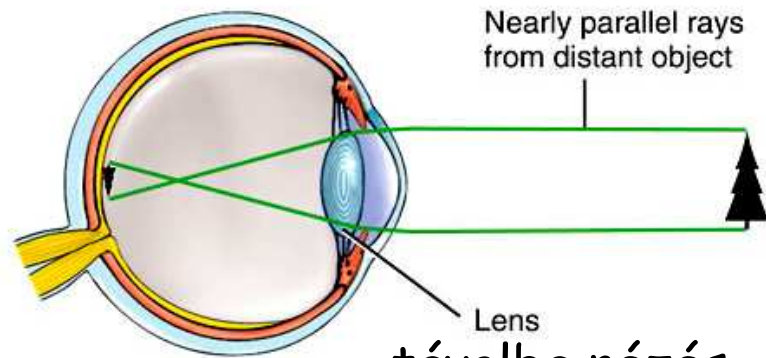
myopia



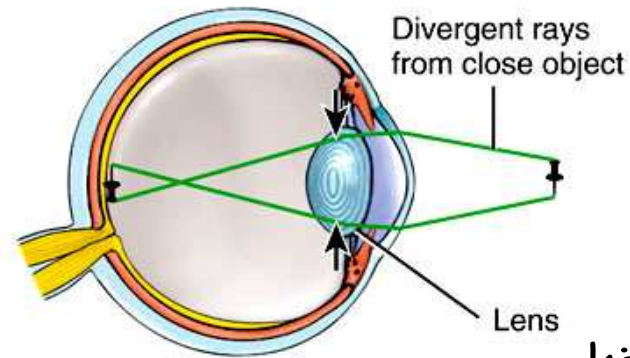
hipermetropia



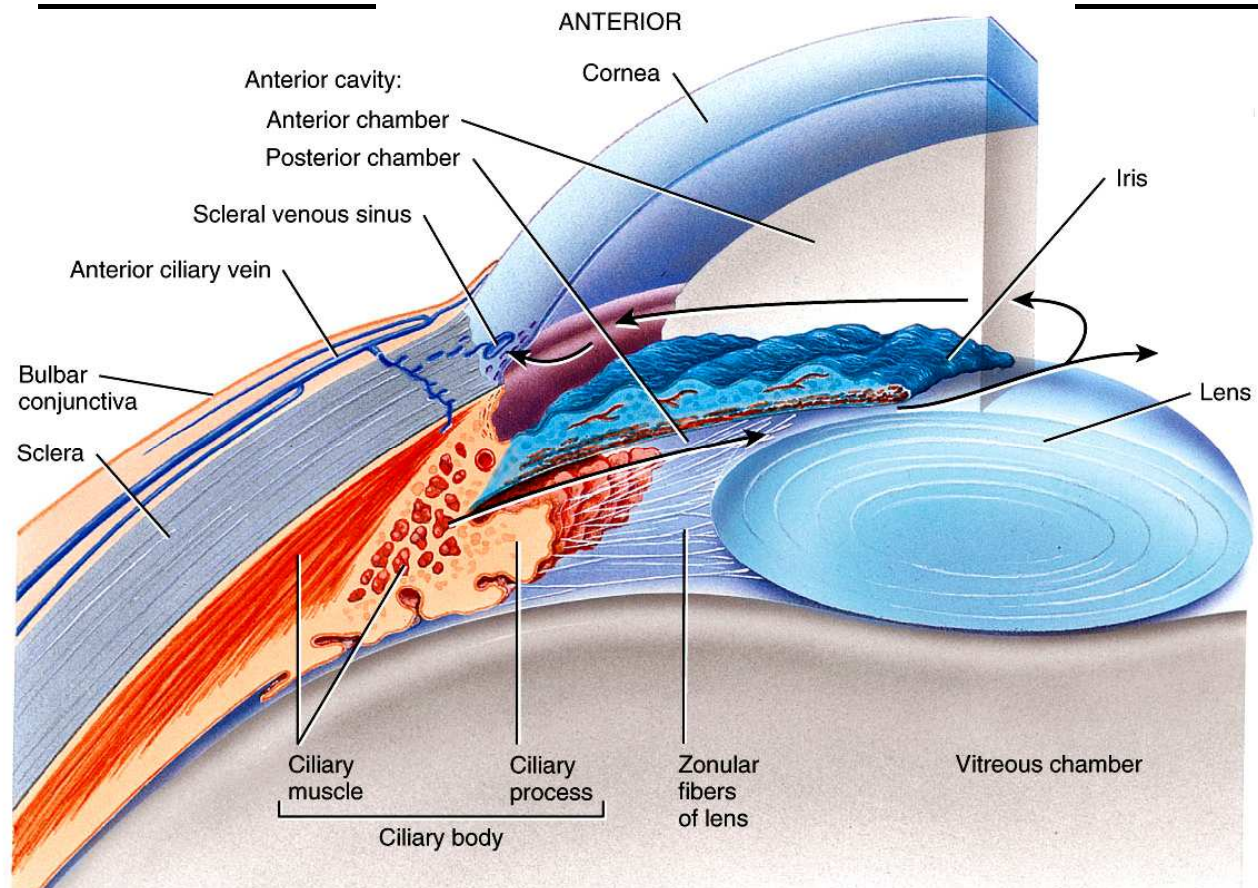
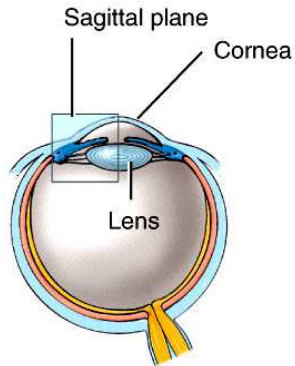
A szemlencse görbületének szabályozása



távolra nézés

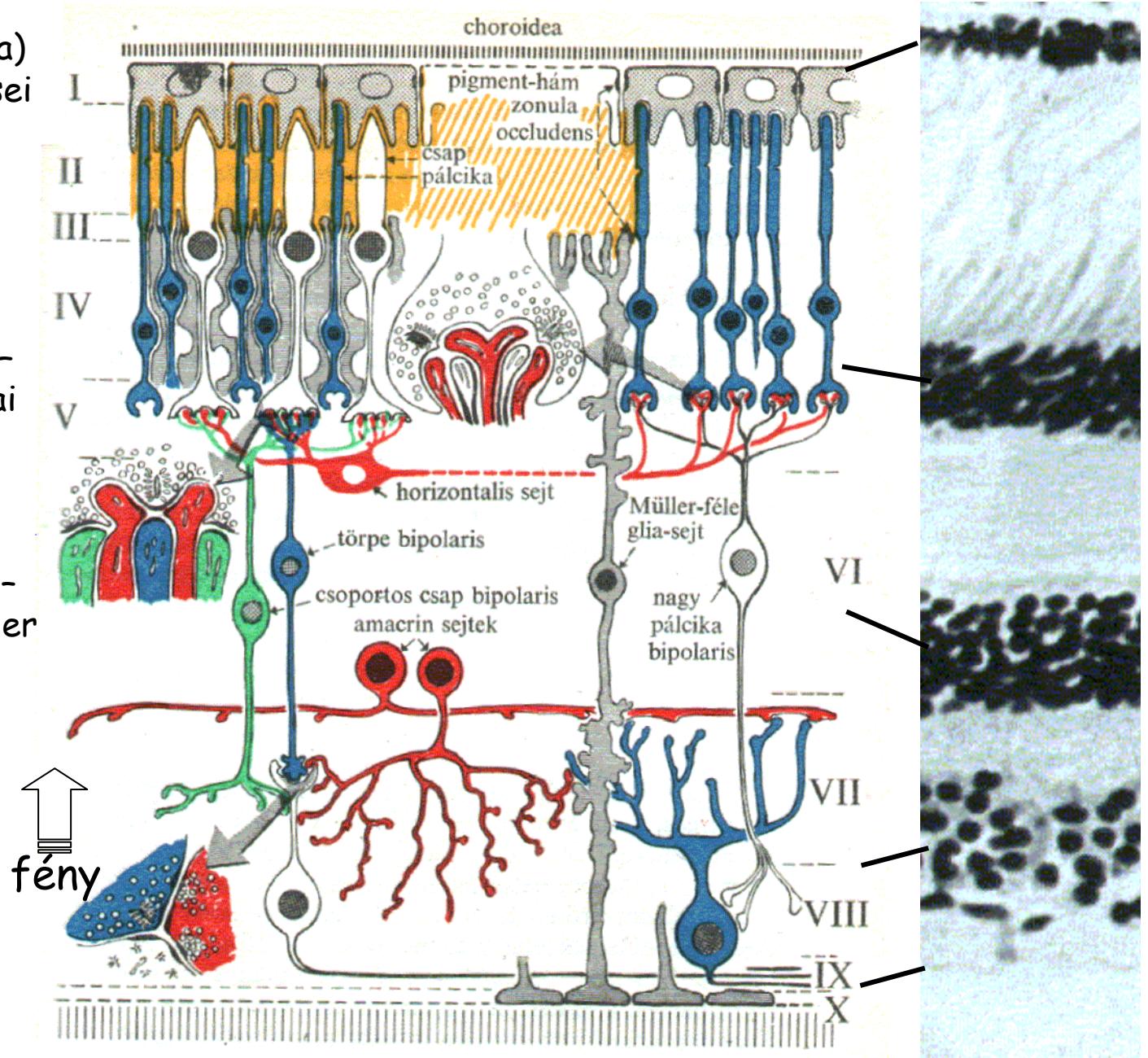


közelre nézés

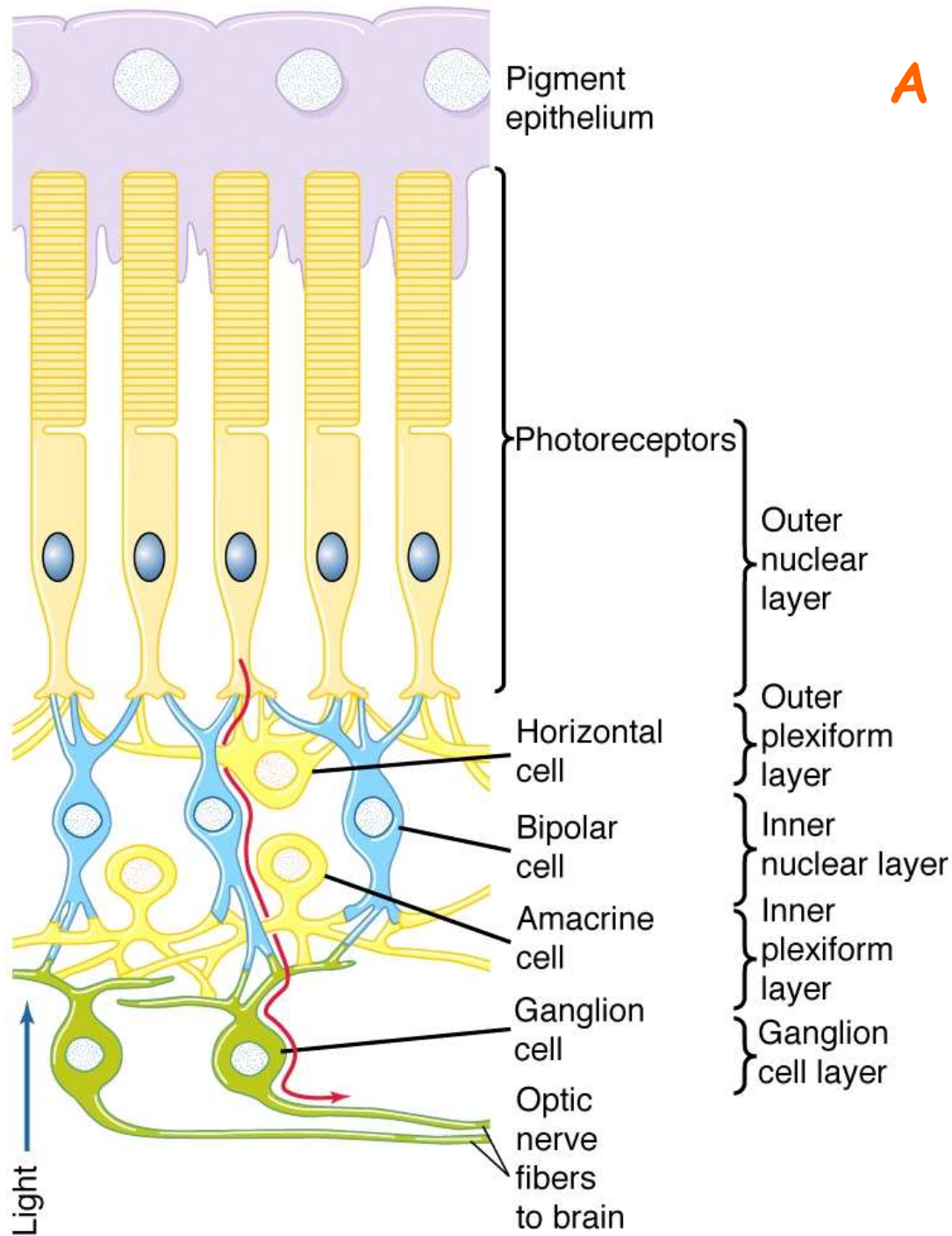


A retina rétegei

1. pigmentsejtek
2. receptorsejtek külső (a) és belső (b) szegmensei
3. külső határhártya - Müller sejtek nyúlványainak tight junction-jei a belső szegmensekkel
4. külső szemcsés réteg - receptorsejtek magvai
5. külső rostos réteg - receptorsejtek szinapszisai
6. belső szemcsés réteg - interneuronok és Müller sejtek sejtmagvai
7. belső rostos réteg - a ganglionsejtek és az interneuronok szinapszisai
8. ganglionsejtek
9. látóideg rostok
10. belső határhártya - Müller sejtek talpai



A retina rétegei és főbb sejtípusai



a pigmentsejtréteg funkciói:

- oldalirányú fényszóródás meggátolása - nyúlványaik körülveszik a receptorsejtek külső szegmensét
- receptorsejtek anyagcseréjének támogatása (pl. pigment reszintézis)
- fagocitózis (receptorsejtekből leváló részek)
- egyes éjszakai fajokban fényvisszaverés - érzékenység növelése

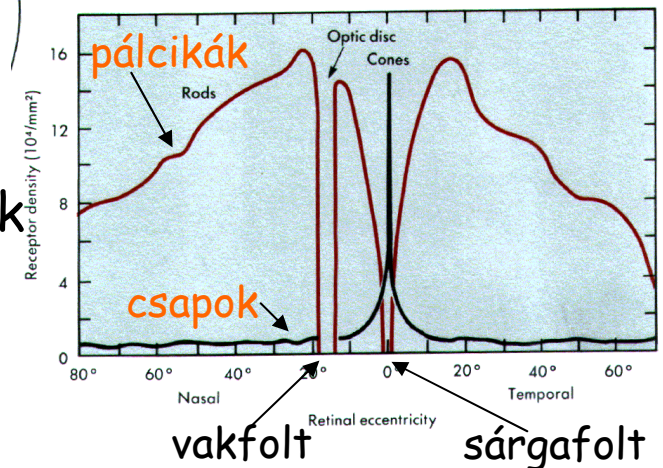
kétféle receptorsejt:

• pálcika

- érzékeny (1 foton), de közepes fénynél telítődik - nappali látásban nem szerepel
- főleg a retina szélén
- akromatikus - „szürkület”
- több pálcika jut egy ganglionsejtre - térbeli felbontás rosszabb

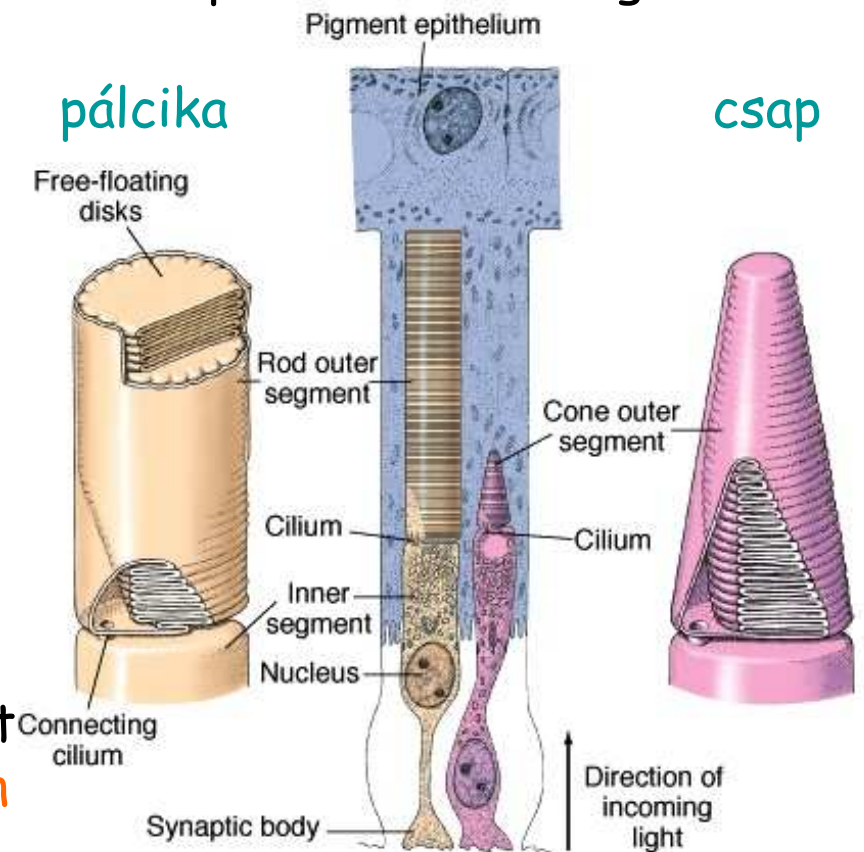
• csap

- magas ingerküszöb, de nappali fényben sem telítődnek
- a fovea centralis-ban a csapok dominálnak
- színlátás - háromféle pigment
- kismértékű konvergencia - jó térbeli felbontás



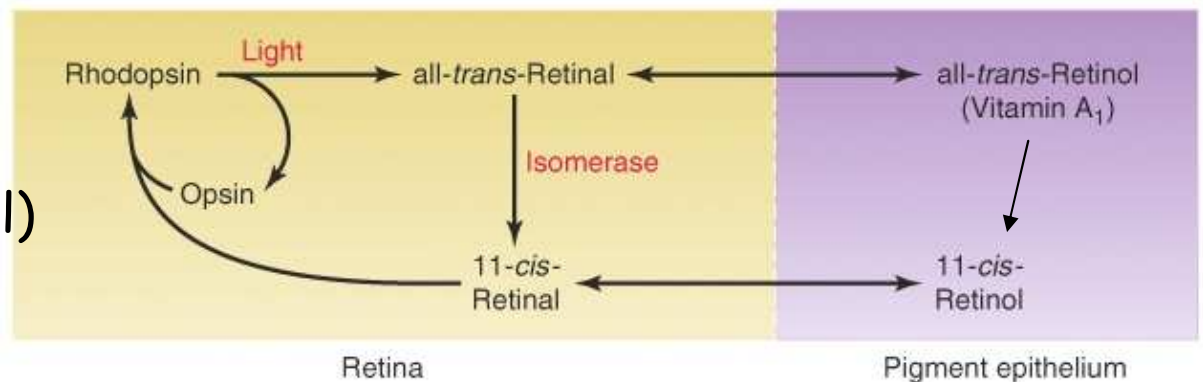
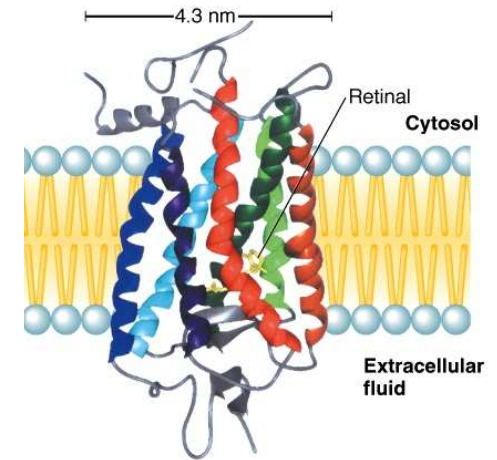
A retina működése

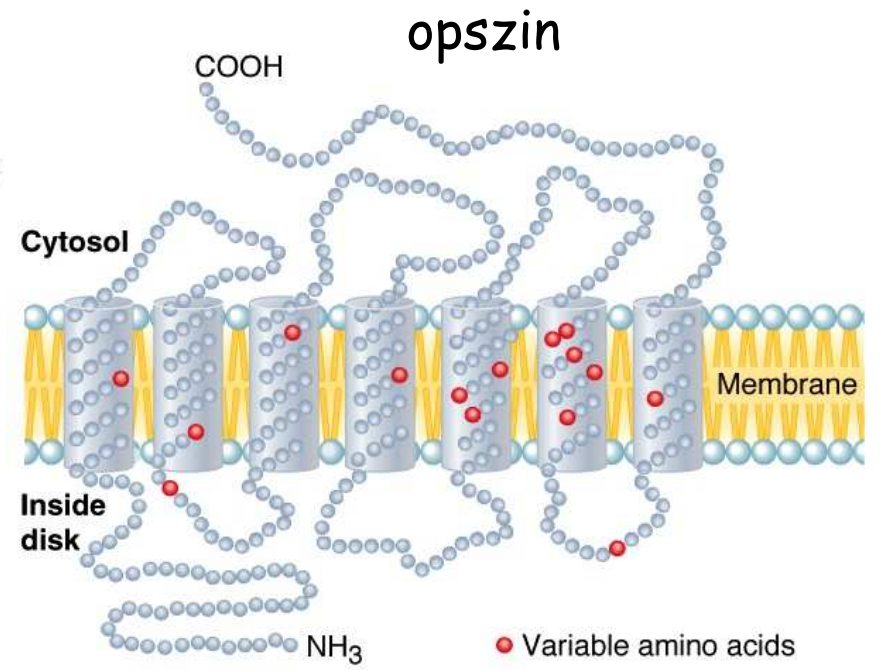
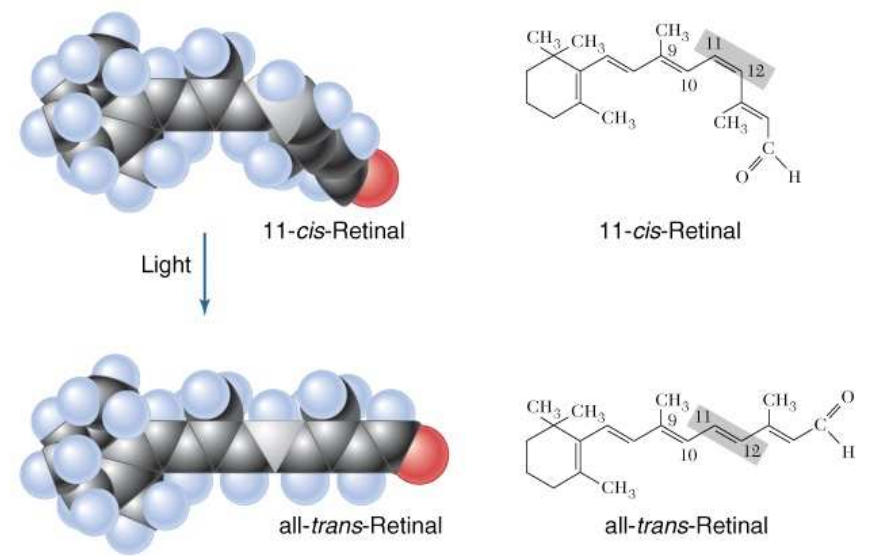
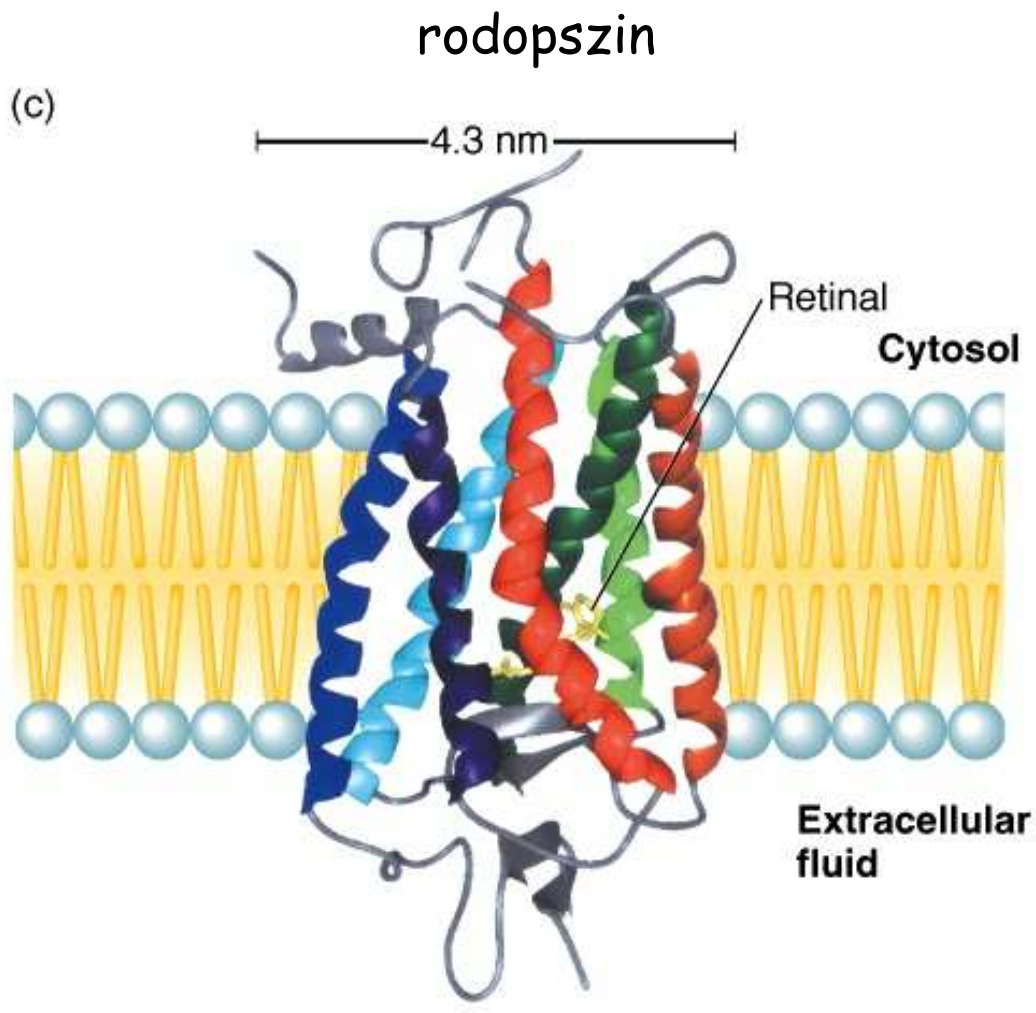
- duplicitásos elmélet:
 - rossz fényviszonyok: pálcikák; akromatikus, **szkotopiás látás**
 - jó fényviszonyok: csapok; kromatikus, **fotopiás látás**
- a receptorsejtek felépítése és működése hasonló:
 - **külső szegmens** fotopigmentekkel (integráns membránfehérje): csapban sokszoros membrán betüremkedés, pálcikában korongok formájában lefűződés
 - **cilium** - módosult csilló, közepéről hiányzik a tubulus-pár
 - **belső szegmens** - sejtservecskék, fotopigment szintézis
 - pálcikában óránként 3 új korong keletkezik, csúcson lelöködik, csapokban nincs ilyen jelenség
- a fotopigmentek G-fehérjével asszociált 7-TM receptorok - pálcikában **rodopszin**



A fototranszdukció

- a rodopszin: 7 transzmembrán régió
 - **opszin**: maga a fehérje (csapokban 3 féle variáns)
 - kromofór csoport: **retinal** - opszin egyik aminosavához kapcsolódik, az A-vitamin (retinol) aldehydje (csapokban is ugyanez)
 - **11-cisz-retinal**: delokalizált pi-elektron rendszer: felveszi a **foton** energiáját -> fény hatására **all-trans-retinal** pikosec alatt (10^{-12} s!)
- további konformációváltozások -> **metarodopszin II** (~ 1 msec) -> transzducinnal kapcsolódik (ld. később)
- inaktiválódás: transz-retinal leválik, kitranszportálódik, a pigmentsejtben retinollá, majd 11-cisz-retinollá alakul és visszalép
 - lassú folyamat (több min) -> fényben a pálcikák rodopszintartalma csökken
 - erős fény után sötétbe: 15 min kell a scotópiás látás visszaállításához (**sötétadaptáció**)
- A-vitamin hiány (karotinból) farkasvakságot, tartós hiánya vakságot okoz





A fototranszdukció

- **transzducin**: rodopszinnal asszociált G-fehérje (G_T)

- metarodopszin átalakulása aktiválja
- aktiválódás \rightarrow GDP - GTP cseré \rightarrow α alegység disszociáció \rightarrow

cGMP-foszfodiészteráz (PDE)

aktiváció \rightarrow cGMP szint \downarrow

- "sötét áram" ioncsatorna: kation-csatorna (Na^+ , Ca^{2+})

- magas cGMP szint mellett tart nyitva
- kationbeáramlás \rightarrow hipopolarizáció

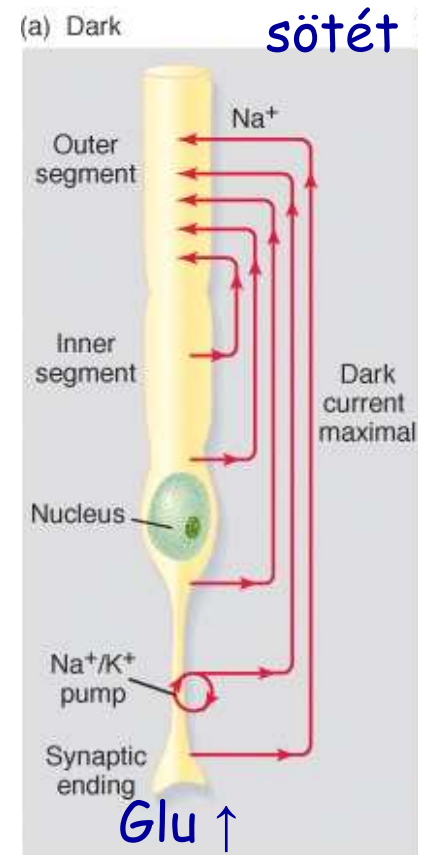
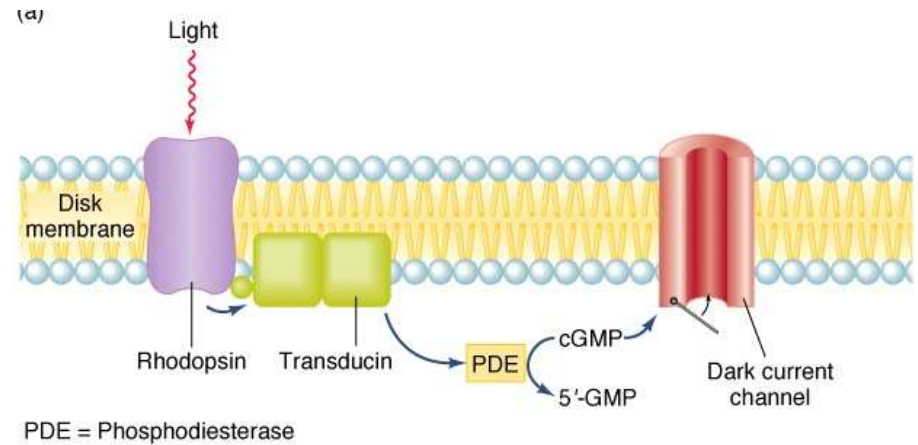
- **guanilát cikláz**: aktív, folyamatos cGMP termelés

sötétben: igen aktív guanilát-cikláz \rightarrow **magas cGMP szint**

\downarrow
külső szegmensben a kation csatornák nyitva

\downarrow
sötét-áram \rightarrow **depolarizáció** (-40 mV)

\downarrow
folyamatos transzmitter (glutamát) felszabadulás



A fototranszdukció

világosban : rodopszin átalakulás → transzducin aktiválódás

cGMP-foszfodiészteráz aktiváció

cGMP szint csökken

„sötétáram” Na^+ és Ca^{2+} csatorna zárul

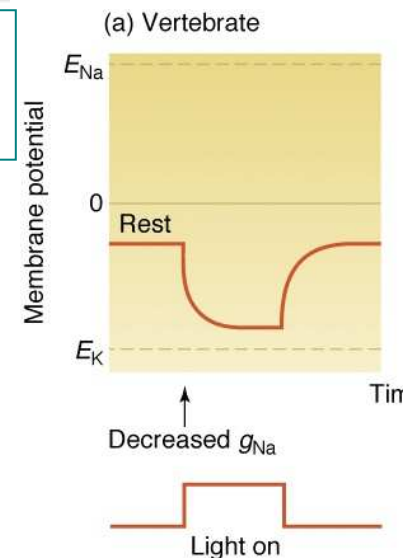
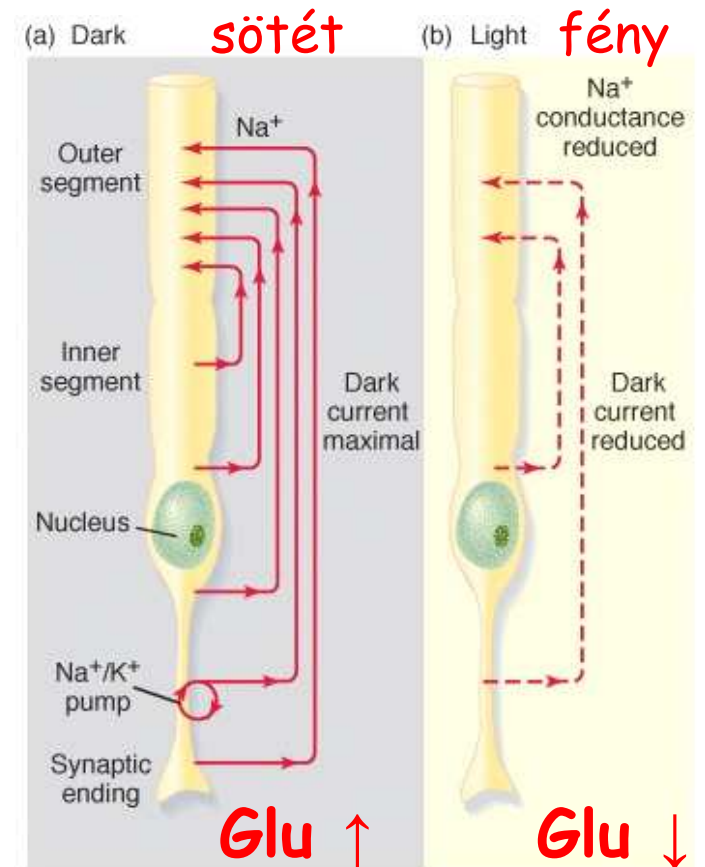
hiperpolarizáció (-70 mV)

transzmitter felszabadulás csökken

megvilágítás hatására a transzmitter felszabadulás csökken a hiperpolarizáció miatt (csapban és pálcikában is)

tartós megvilágítás : adaptáció; receptorok fényérzékelési tartományának kiszélesítése

- intracell. Ca^{2+} szint csökken → cGMP szintézis és a csatornák cGMP érzékenysége fokozódik
- csapokban pigmentszám csökken (photobleaching) → látszólag csökken a fényintenzitás



Az interneuronok működése

- a retina kimenetét a ganglion sejtek jelentik
- a pálcikákat és csapokat interneuronok kötik össze a ganglionsejtekkel: **bipoláris, horizontális és amakrin sejtek**
- a kapcsolat általában nem akciós potenciál, hanem **hipo- és hiperpolarizáció** által módosított **transzmitterfelszabadítás**, vagy **elektromos szinapszis** segítségével történik
- két út létezik:
 - direkt (vertikális): receptorsejt → bipoláris sejt → ganglion sejt
 - indirekt (horizontális): receptorsejt → horizontális v. amakrin sejt → ganglion sejt
- gyakori az „**előjelváltás**” (pl. hiperpolarizáció hatására depolarizáció), de más sejtek „**előjelmegőrzők**” (pl. hiperpolarizáció hatására hiperpolarizáció) → a fényinger **ON és OFF párhuzamos pályákra** tevődik át
 - csapok: 1 -1 előjelváltó (ON) és előjelmegőrző (OFF) bipoláris sejt
 - pálcika: ON bipoláris sejt és amakrin sejt

A csapok kapcsolatai

- kétfajta bipoláris sejttel állnak direkt összeköttetésben:
- **ON** bipoláris sejt (előjelváltó; **fényingerre aktivizálódik**)
 - **sötétben** a receptorsejtből folyamatosan felszabaduló glutamát **hiperpolarizált állapotban** tartja:
 - Glu felszabadulás → metabotrop GluR aktiváció a bipoláris sejtben → bipoláris sejt transzducin aktiváció ↑ → foszfodiészteráz aktiváció ↑ → cGMP ↓ → kationcsatornák zárnak → hiperpolarizáció
 - **megvilágításra** cGMP ↑ → kation csatorna nyílik → **depolarizáció**
 - receptorsejtben Glu felszabadulás ↓ → a bipoláris sejtben a foszfodiészteráz aktiváció ↓
- **OFF** bipoláris sejt (előjelmegejtartó; **fényre inaktiválódik**)
 - **sötétben** a glutamát közvetlenül kationcsatornát (ionotrop GluR: AMPAR) nyit a bipoláris sejtben → **depolarizáció**, saját transzmitterleadás ↑
 - **fényben** Glu szint ↓ → AMPAR zár → **hiperpolarizáció**, transzmitterleadás ↓
- a két bipoláris sejt egy-egy ganglion sejthez kapcsolódik, amelyek követik a viselkedését: **ON- és OFF ganglion sejtek**
- ganglion sejtek működése alapjából hasonló, de náluk a receptív mező centrális/perifériás részén való elhelyezkedés sokat számít

A csapok kapcsolatai

- a bipoláris és ganglion sejtek többségében a receptormező nem homogén: központi és perifériás részből áll

- a részek horizontális összeköttetésben állnak (horizontális és bipoláris sejtek): **laterális gátlás** (ált. gap junction)

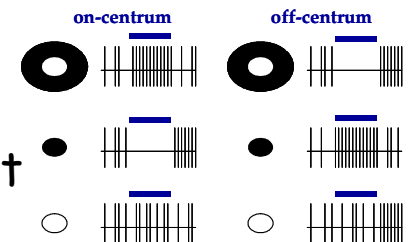
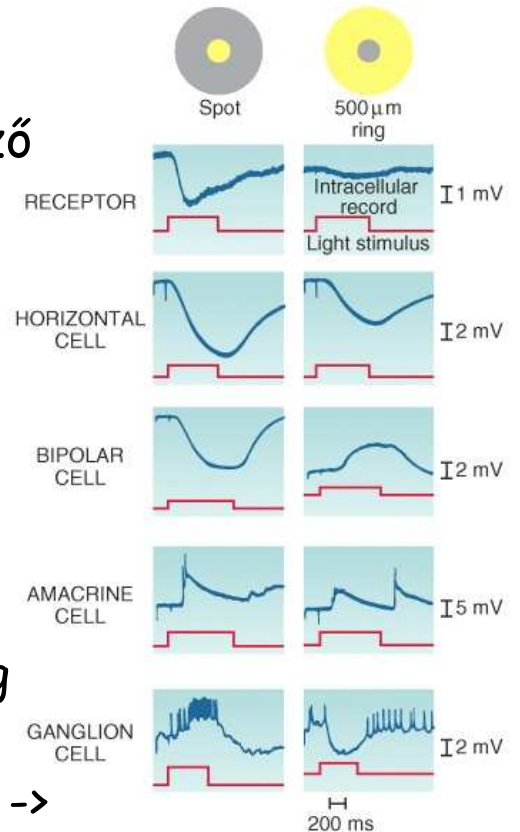
- ha pl. adott ON bipoláris sejt receptormezőjének szélén levő csap sötétben gátló (hiperpolarizáló) hatású horizontális sejtet aktivál -> ez folyamatosan gátolja a centrális csapot -> fényre a hiperpolarizáció mértéke még nagyobb

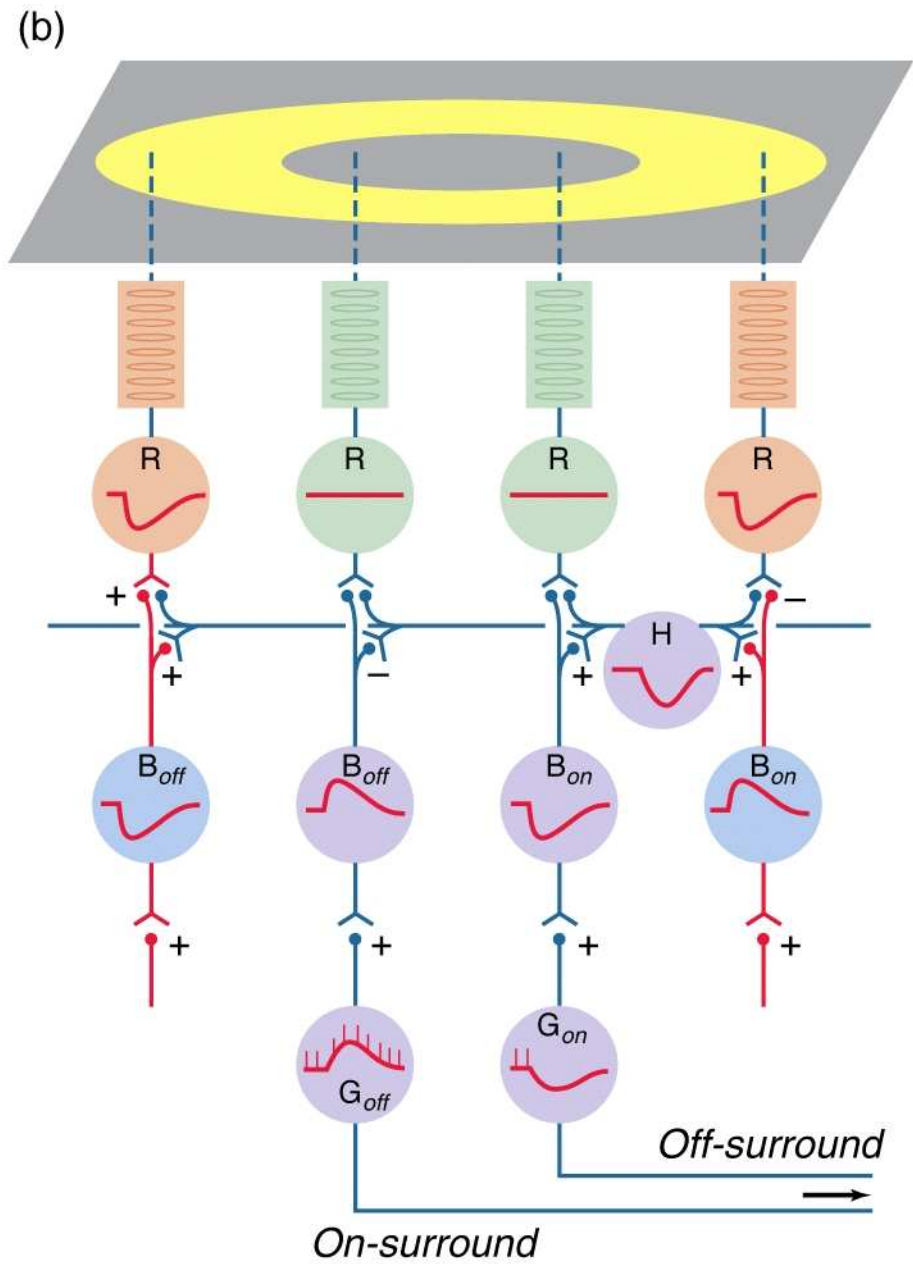
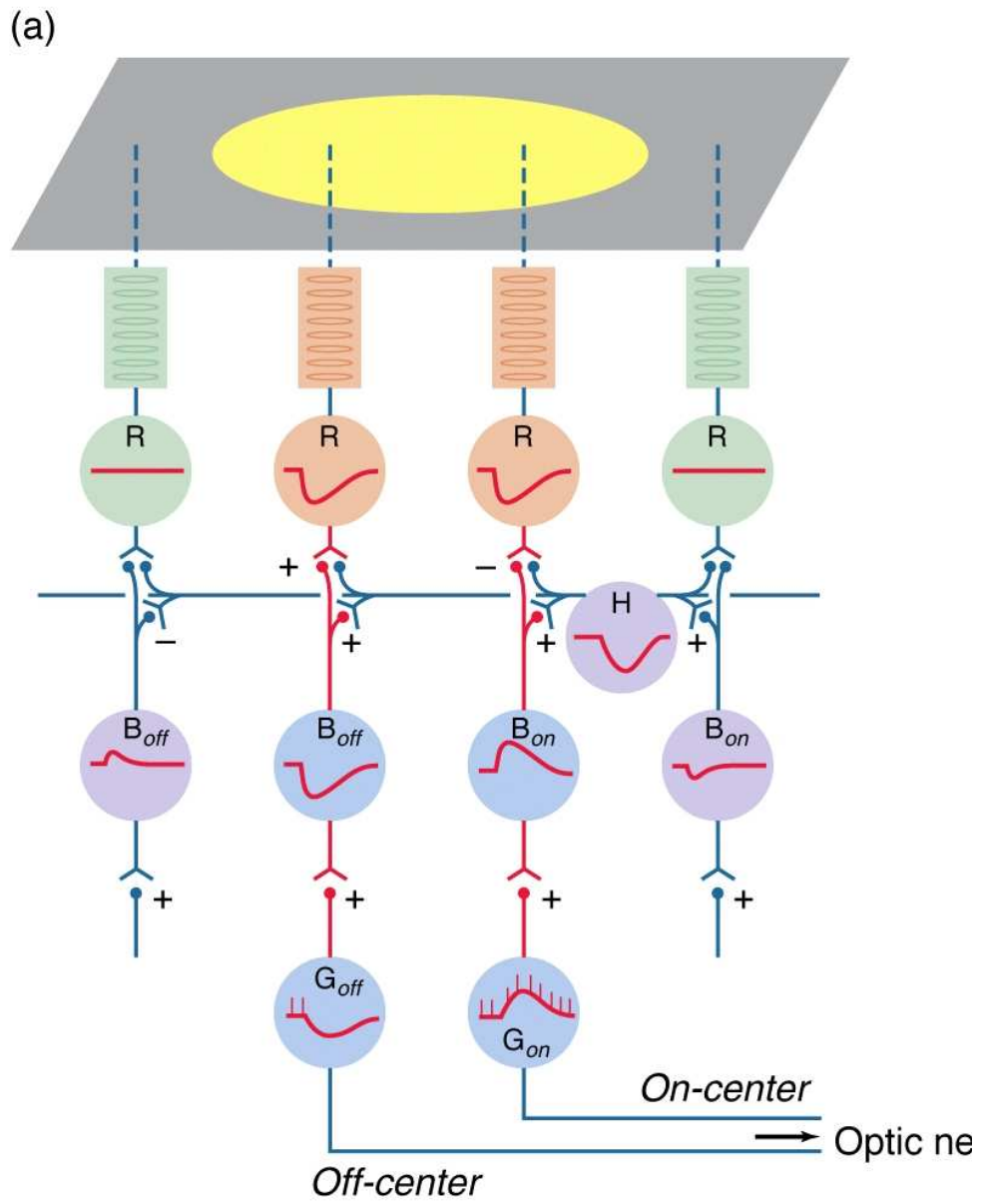
- ha a perifériás csapra fény esik, akkor hiperpolarizálódik -> a gátló horizontális sejt inaktiválódik -> centrális csap felszabadul a hiperpolarizáció alól -> a membrán hipopolarizációja miatt a rá eső fény kevésbé tudja hiperpolarizálni -> **a periféria megvilágítása gátolja a centrum fényvel való aktiválódását**

- maximális aktiváció a centrumban:

- ON ganglion sejt: ha a periféria sötét, a centrum világos
 - OFF ganglion sejt: ha a centrum sötét, a periféria megvilágított
- azaz: a kontraszthatás a lényeg**

- egyenletes megvilágítás: AP frekvencia alig változik





A csapok kapcsolatai - a ganglion sejtek

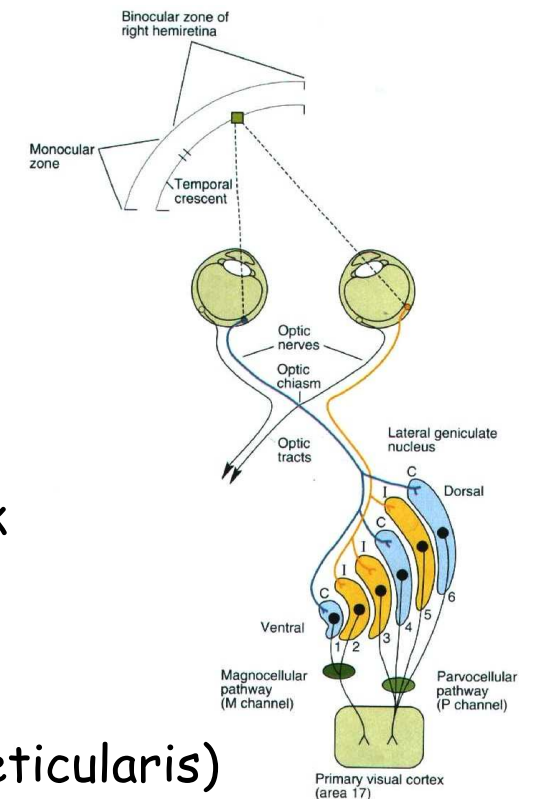
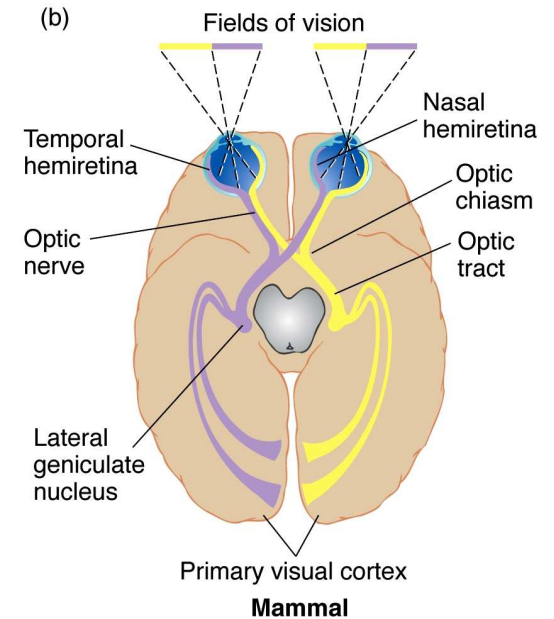
- receptormező köralakú, a foveában kisebb, mint a periféria felé: nagyobb felbontás
- az újabb (főemlős) adatok alapján a ganglion sejtek két nagy csoportja:
 - **M-sejtek**: nagy receptív mező, vetület a CGL magnocelluláris részébe, nagy kontúrok felismerése
 - **P-sejtek**: kisebb receptív mező, vetület a CGL parvocelluláris részébe, színek és részletek felismerése

A pálcikák kapcsolatai

- ON bipoláris sejten és amakrin sejteken keresztül - közvetlenül nem érik el a ganglionsejtet
- szürkületkor réskapcsolatokon át a csapoknak adják az ingerületet, sötétben ezek bezárulnak, és bipoláris sejteken át továbbítják - „egyetlen foton abszorpció”: mind a csapok, mind a pálcikák ugyanarra a ganglionsejtre vetülnek
- több fény esetén az aktiváció réskapcsolatokon át terjed át a csapokra -> lehetőség az ON és OFF útvonal szétválasztására

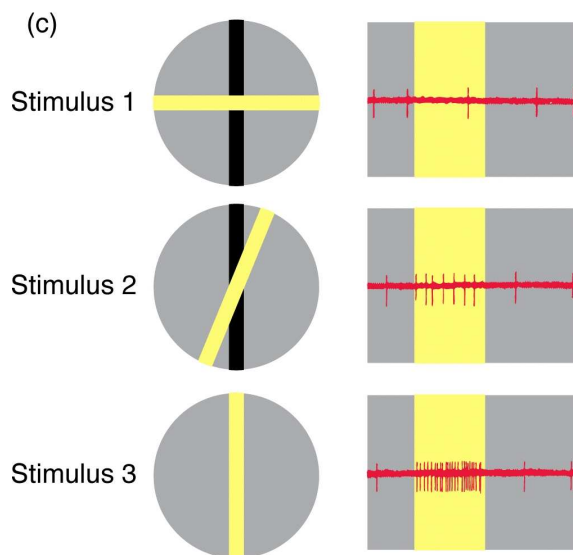
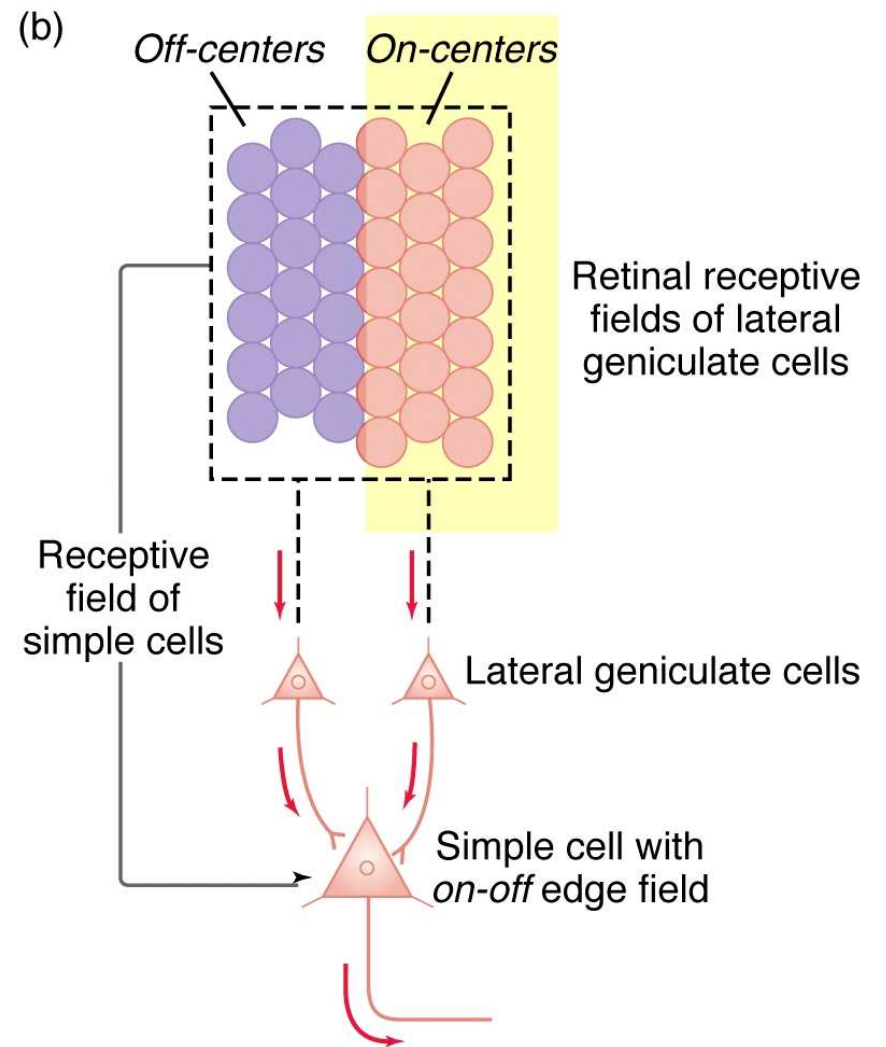
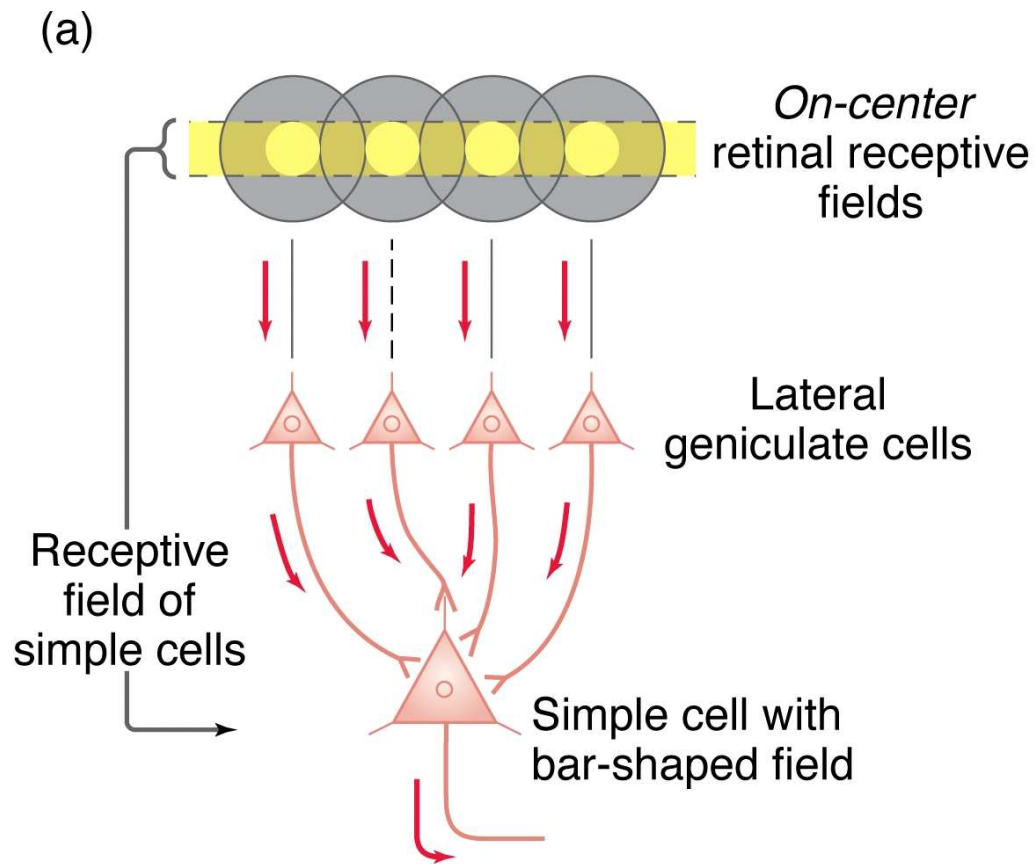
A látópálya lefutása

- a retinán fordított kép keletkezik - a nazális látótér a temporális retinafélbe képeződik le, és fordítva
- a ganglion sejtek rostjai rendezetten futnak a látóidegben; a chiasma opticum-ban a nazális retinából jövő rostok kereszteződnek - **hemidekusszáció**
- a talamuszban corpus gen. laterale (CGL)-be, és így a féltekébe mindkét szemből a jobb oldali látótér információi jutnak
- a CGL-ben 2 magno- (1-2), és 4 parvocelluláris (3-6) réteg van - az M-, és P-sejtek rostjai ennek megfelelően válnak szét
- a két retina rostjai külön rétegbe vetülnek - kontralaterális 1, 4 és 6, ipsilaterális 2, 3 és 5
- a látótér azonos pontjai egy projekciós egyenesre esnek
- minimális konvergencia, 1-1 megfelelés ganglion sejtek és CGL sejtek között - on, off centrum
- sok vetület jön (80%) más forrásokból (cortex, form. reticularis)



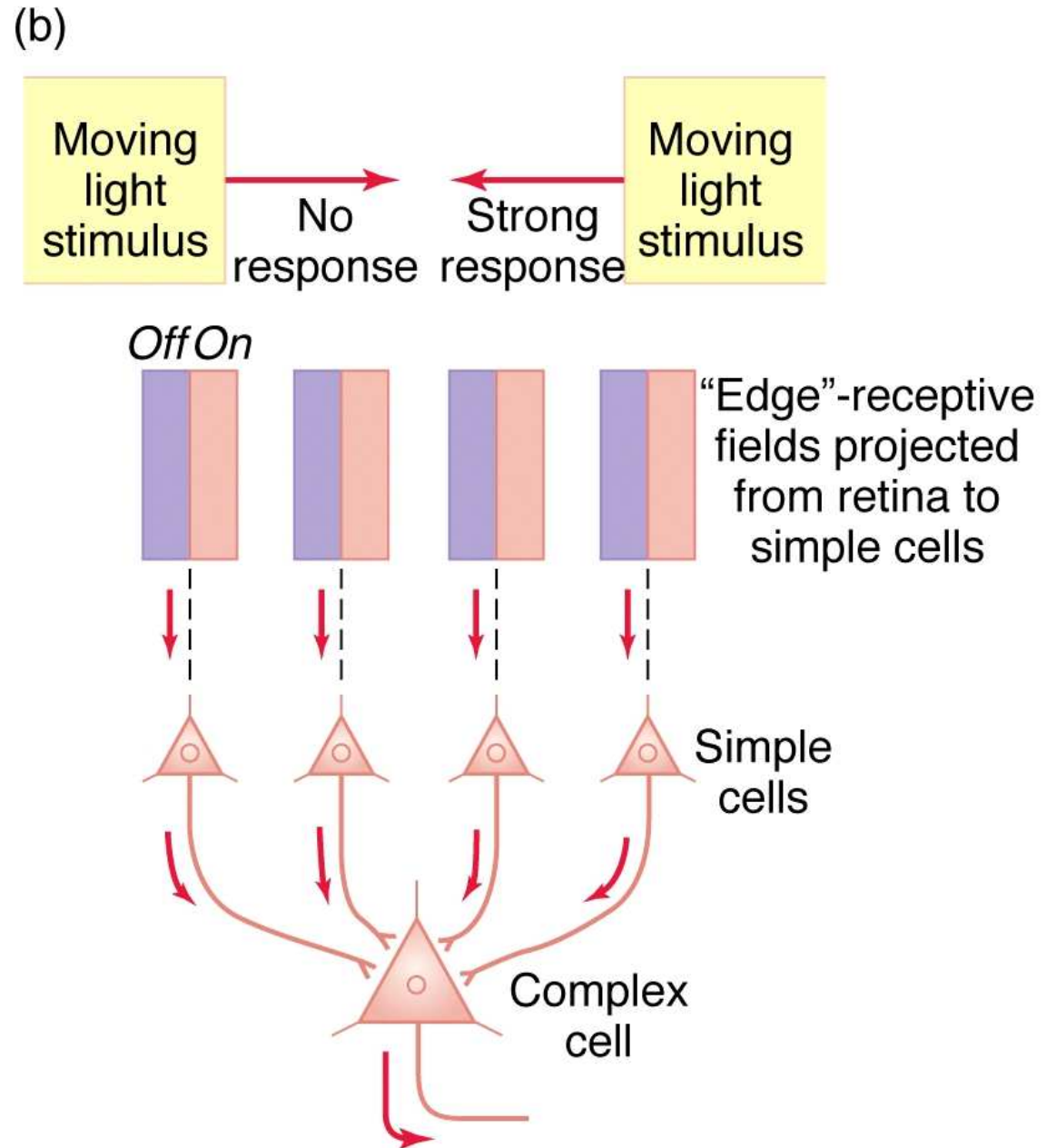
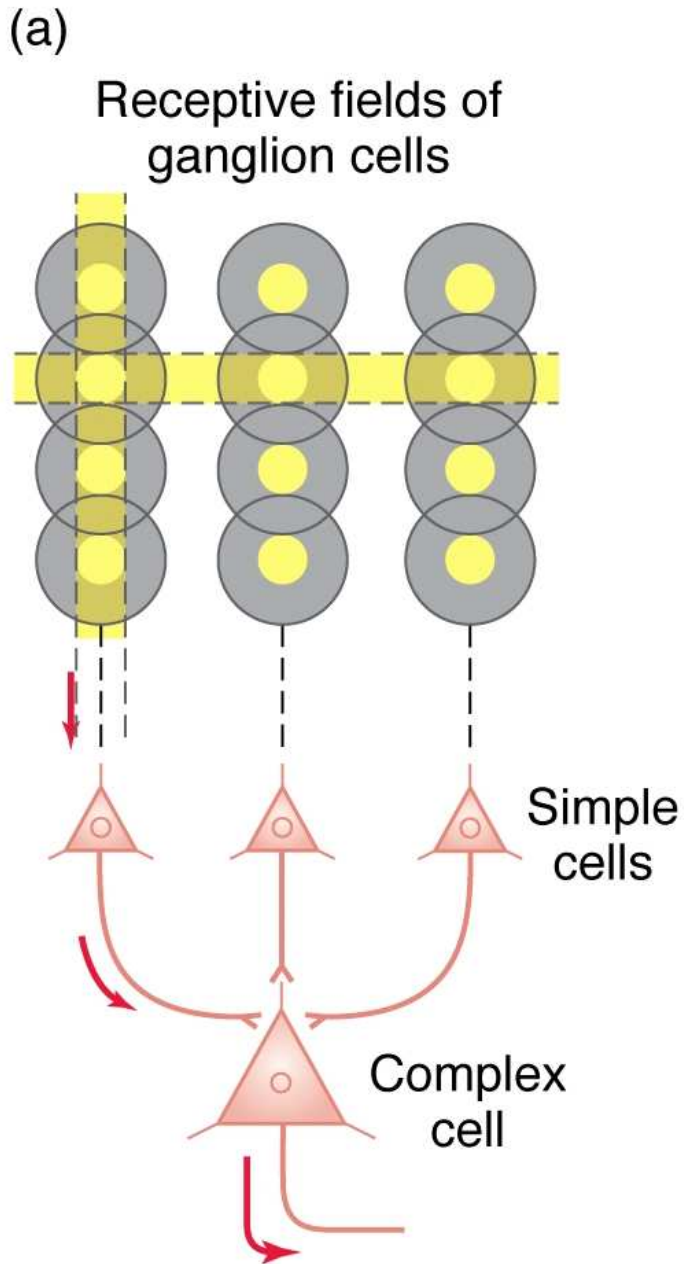
A látás központi feldolgozása

- a ganglion sejtek rostjainak többsége a **CGL-ban** átkapcsolódik és a **látókéregbe** jut (radiatio optica)
- a ganglion sejtek rostjainak egy része nem a vizuális érzékelést szolgálja:
 - végződés a középagy tegmentumában: pupilla fényreakciói
 - végződés a colliculus superiorban: fixálás, követés - optokinetikus reflexek
 - végződés a szuprakiazmatikus magban: napi ritmusok környezethez való hangolása - "Zeitgeber" funkció
- **elsődleges látókéreg** (Hubel és Wiesel): okcipitális lebeny (Br. 17, area striata)
 - **egyszerű sejtek**: adott orientációjú fénycsíkra reagálnak - a megfelelő ganglion/CGL sejtek bemenetét kapják a 4. rétegen át
 - **komplex sejtek geometriai alakzatokra** reagálnak
 - a látókéreg kolumnákból épül fel (30-100 μm), egy-egy kolumna sejtjei azonos receptív mezővel rendelkeznek
 - az egyszerű sejteket tartalmazó, egymás melletti orientációs kolumnák orientációja szabályosan változik, 10° elfordulás a szomszédosak között
 - a két szem bemenete elkülönül: **okuláris dominancia kolumnák** - egymással váltakozó csíkokban helyezkednek el



Az egyszerű sejtek

A komplex sejtek



- **elsődleges látókéreg** (folyt.):
 - a kolumnák között „cseppek” (blob) - színlátás
 - hiperkolumna (~1 mm²): a két szem látóterének egy részéhez tartozó minden orientáció jelen van
- **nem elsődleges látókéreg:** primér látókéreg körül, V2, V3 (Br. 18), V3a, V4, V5 (Br. 19) - más területeknek is van szerepe
 - a CGL-ből jövő M- és a P-projekció három párhuzamos rendszert valósít meg:
 - az M-rendszer a **mozgási és mélységi érzékelést** végzi, de színekre nem reagál, V1 majd V2-V3-V5
 - a P-rendszer :
 - egyik része a **formák felismerését** szolgálja, gyengén színérzékeny, V1 majd V2-V4
 - másik része a **színek felismerését** végzi, V1 majd V2-V4
- távolabbi tárgyak (> 30 m) térbeli viszonyait a már régen felismert információk segítségével érzékeljük (-> vizuális illúziók):
 - távolabbi tárgy kisebb
 - közelebbi takarhatja a távolit
 - távolodó vonalak összetartanak
 - közelebbi tárgyak árnyéka élesebb
 - közeli tárgyak gyorsabban mozdulnak el

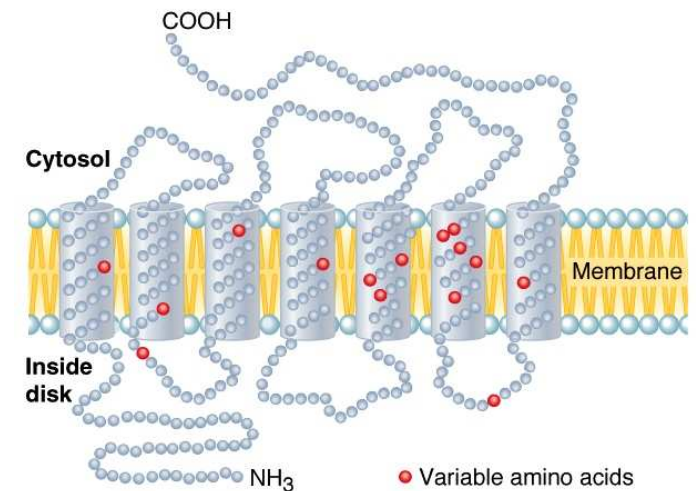
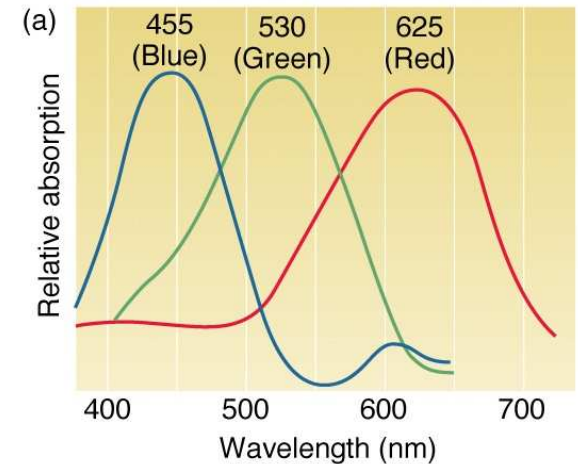
- közeli tárgyak esetében binokuláris stratégia: a fixált tárgy képe a két retina egymásnak megfelelő pontjaira esik
- a tekintet letapogatja az objektumot - a retina gyorsan adaptálódik, a képnek mozognia kell a tartós érzékeléshez

Motoros funkciók a látásban

- külső szemizmok mozgatják: négy egyenes, két ferde
- a nézett tárgy képét a sárgafolton kell tartani - akár a fej mozog (tekintetfixálás), akár a tárgy (követő szemmozgás)
- a fixálásban két reflex szerepel:
 - **vesztibulookuláris reflex** - félkörös ívjáratokból indul, III., IV. és VI. agyideg a végrehajtó
 - tanulni kell, ebben a kisagy is fontos
 - konjugált szemmozgások jönnek létre
 - **optokinetikus válasz** - colliculus superior, a retinán elmozduló kép vezérli
 - lassabban jön létre, ez is konjugált a két szemre
 - hallási, taktilis, stb. ingerek is futnak a colliculus superiorhoz - ingerforrás irányába fordulás
- a szemmozgások gyakran szakkádikusak - igen gyors elmozdulás (900 fok/s), 20 ms-ig nagy AP frekvencia

A színlátás

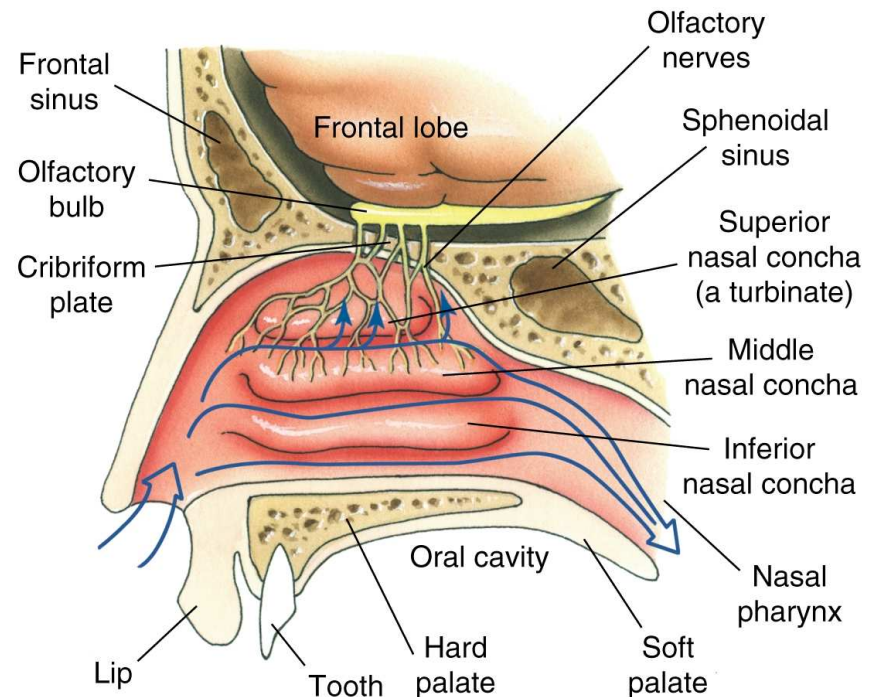
- a tárgyak a rájuk eső fény egy részét elnyelik, más részét visszaverik - adott hullámhosszú fény érkezik a szemünkbe
- itt is kontraszthatás a lényeg - a fényforrástól függően más-más hullámhossz verődik vissza
- a színlátás alapfeltétele a szelektíven érzékeny csapok jelenléte, de nélkülözhetetlen a neuronális kapcsolatok által kialakított kontraszt is
- ember és az óvilági majmok retinájában három fotopigment: **kék** (420 nm; S), **zöld** (531 nm; M) és **vörös** (558 nm; L) tartományban maximumot mutató
- a vörös és a zöld opszin között 90%-os homológia van, egymás mellett található az X kromoszómán - nemhez kötött öröklődésű a színtévesztés
- férfiak 10%-a színtévesztő, vagy színvak, nőknél 0,5%
- a csapok színspecifikussága nem abszolút, csak relatív, a szint az ingerületbe jövő csapok aránya jelzi - legalább két pigment kell a színlátáshoz



Kemorecepció: a szaglás

- szaganyag levegőn keresztül éri a receptort - telereceptor, bár nyálkába beoldódik
- fontos, emóciókat keltő, viselkedést befolyásoló hatás
- egyes molekularészletek „szag-epitopként” működnek - kombinációjuktól függ a szagérzet
- **szaglóhám**: a felső orrkagyló dorzális része, kb. 10 cm²
 - bipoláris érzőneuron, támasztósejt (nyálkatermelés)
- sok gerinces állatban emellett **vomeronazális szerv**: orr-, vagy szájüregbe nyíló vakon végződő üregek szaglóhámmal
 - fajtársak közötti kommunikáció
- az ember szaglása fejletlen - mikrozmaturus
- a gerinces állatok jelentős része fejlett szaglós - makrozmaturus
- több ezer szagot érzünk, egyeseket 10⁻⁸ g/l levegő koncentrációban
- a nők szaglása jobb, változik hormonális behatásra, pl. terhesség
- szaglóhám sérülékeny, könnyen elszakad
 - baleset utáni szaglóképesség hiány

(a)

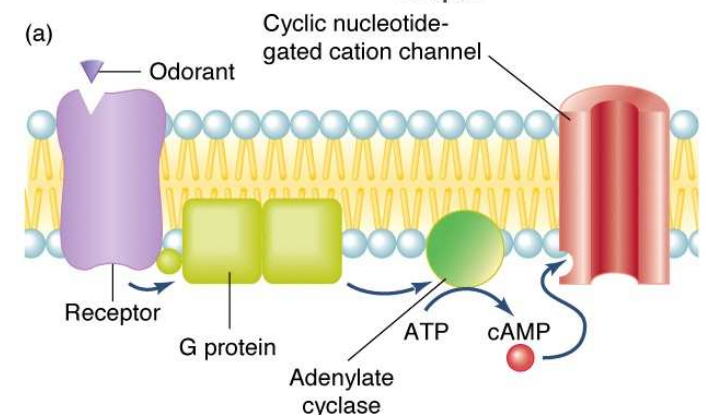
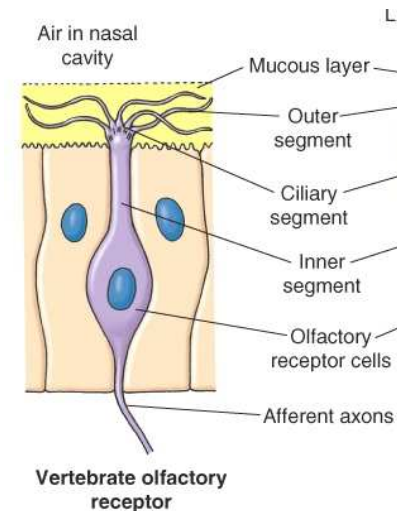
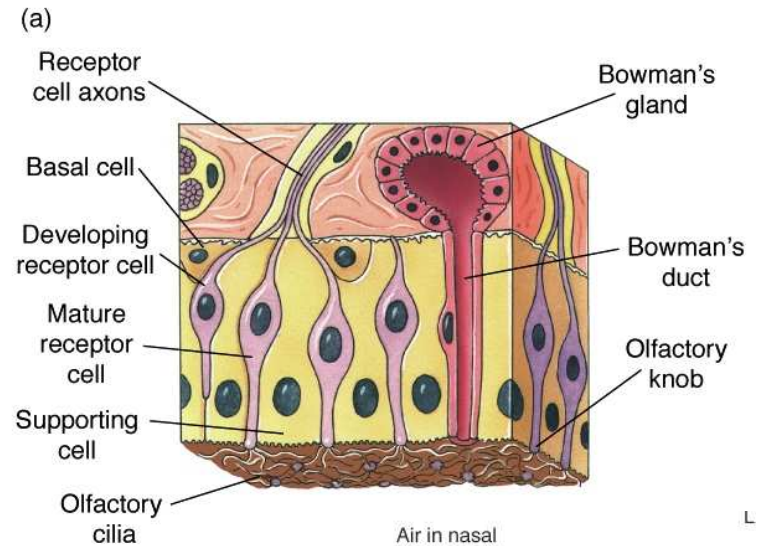


- **elsődleges érzőneuron** (kb. 10^7 db):

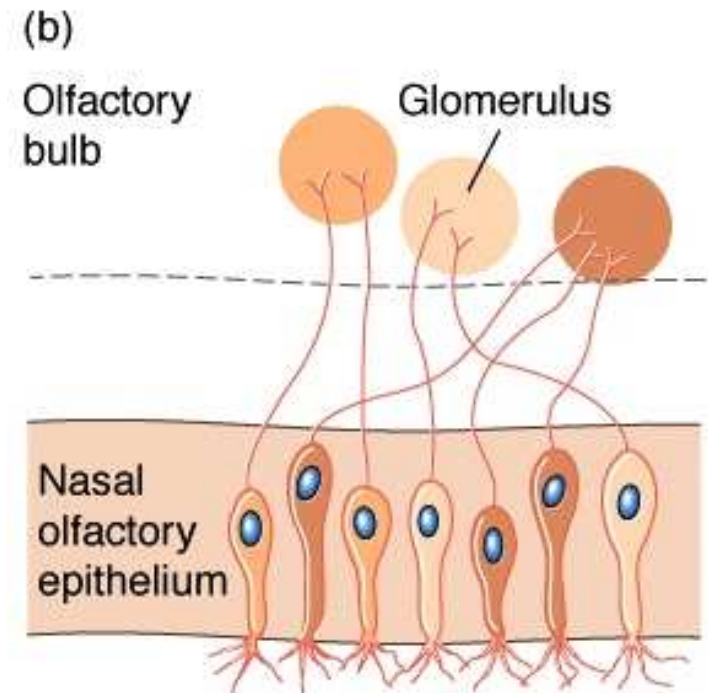
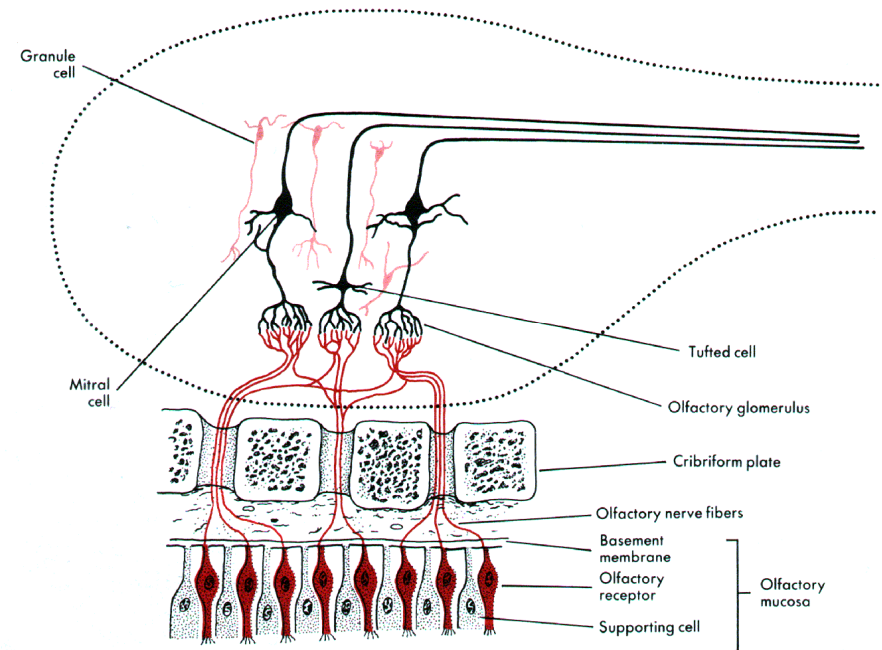
- perifériás nyúlvány (1 dendrit) a nyálkában: csillók vagy kefeszegély (vomeronazális szerv)
- a centrális nyúlvány a bulbus olfactoriusba fut a lamina cribrosa-n (rostalemez) át -> tr. olfactorius
- rövid élettartam (30-60 nap), folyamatos utánpótlás a szubventrikuláris zónából

- **szaglóreceptorok**: G-fehérjéhez kapcsolt 7 TM fehérjék

- 3 fehérje család: 1 nazális, 2 vomeronazális
- emberben kb 500-1000 fajta gén - egy sejt csak egy receptort fejez ki
- a szagmolekulán több epitóp - több receptor együttműködése észleli
- epitóp megkötése -> **adenilát-cikláz** aktiválás -> cAMP szint nő, bár más szignáltranszdukciós utak is szerepelhetnek (foszfolipáz-C, IP_3 , DAG)
- cAMP-függő kationcsatorna (Na^+ , Ca^{++}) nyílik (50 ms alatt) - **hipopolarizáció**
- az adaptáció igen gyors: Ca^{++} csatorna inaktiváció, cAMP receptor foszforiláció

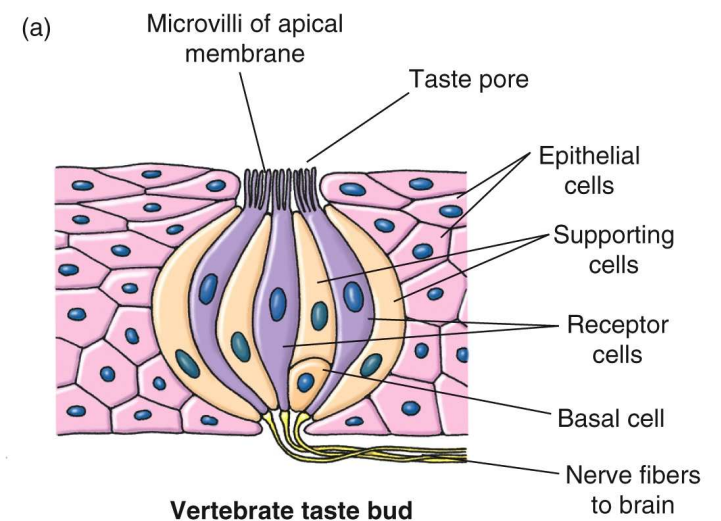


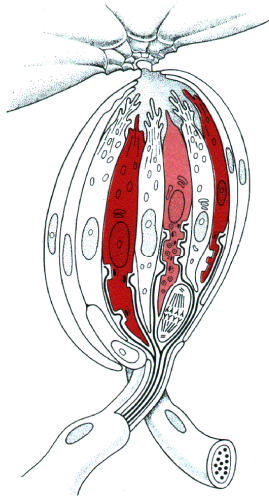
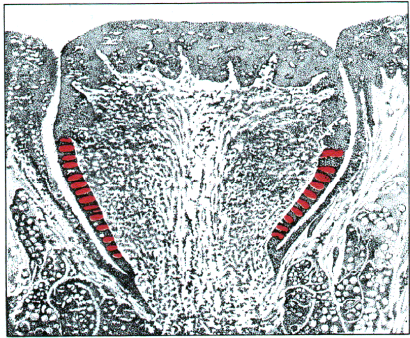
- **bulbus olfactorius**: az elsődleges érzékszervek nyúlványai az ún. **glomerulusokban** végződnek
 - átcsatolás a relésejtekre (mitrális és pamacsos sejtek) és a gátló interneuronokra (periglomeruláris sejtek)
 - erős konvergencia (100:1) a receptorsejt és a relésejt között
 - valószínűleg ez a funkcionális egység
- nem a szaglóhám területe, hanem az epitópok képződnek le: **egy glomerulus - egy epitóp**
- a gátló interneuronok feltehetően itt is laterális gátlást valósítanak meg
- bonyolult központi kapcsolatok, két fő vonulat:
 - tuberculum olfactorium → thalamusz dorzomediális magja → orbitofrontális kéreg
 - tudatosulás
 - limbikus rendszer, szaglókéreg, amigdala, hipokampusz - emóciók



Kemorecepció: az ízlelés

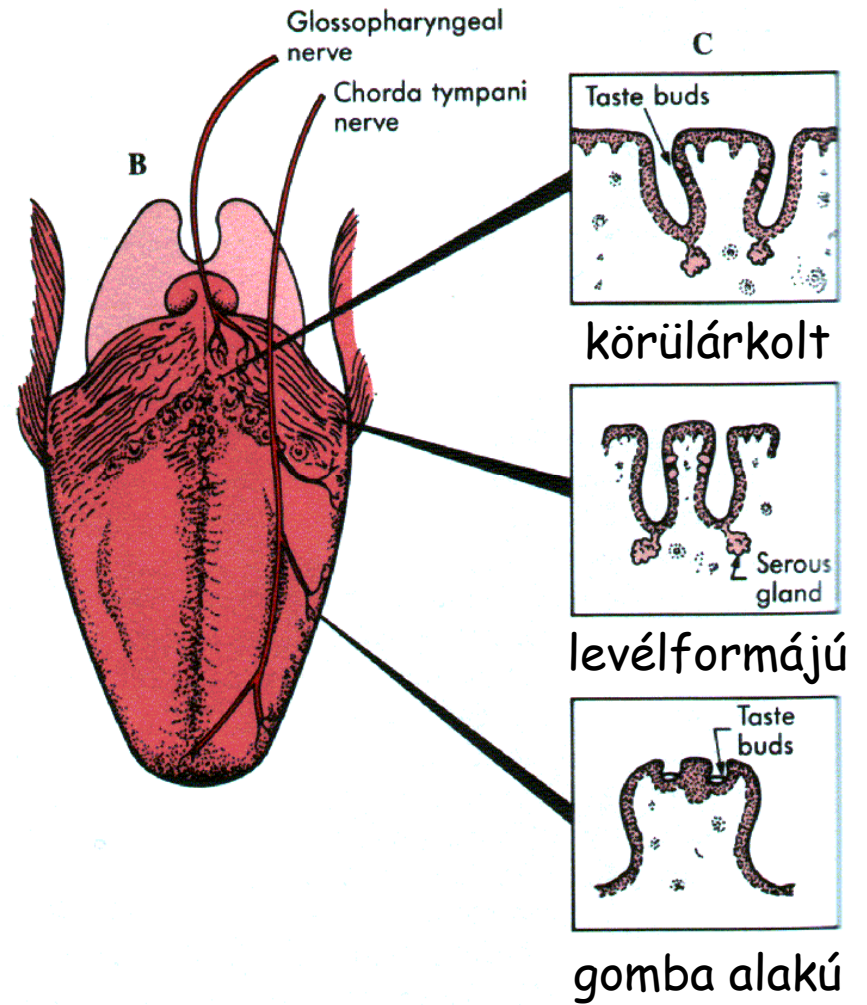
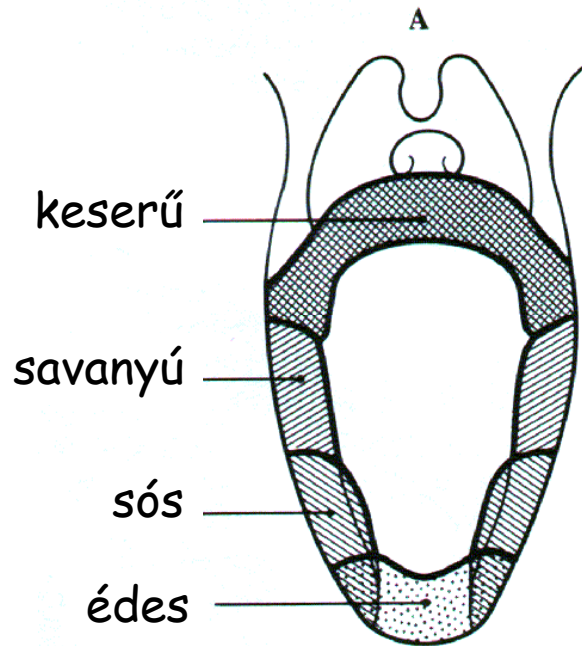
- a szaglással ellentétben csak néhány ízt érzékelünk:
 - **édes, sós, savanyú, keserű,**
 - **umami** (japán név = finom; aminosavak, peptidek, nukleotidok váltják ki; Na-glutamát: kínai vendéglő szindróma)
 - **víz** - bár nem tudatosul
- az ízek szubjektív hatása koncentrációfüggő is (túl édes - émelyítő, keserű - mérgező anyagra utal, savanyú - kis koncentrációban kellemes)
- ízérezékelés: **szekunder érzősejtek**
 - módosult hámsejtek: apikálisan receptorok és csatornák, bazálisan transzmitter felszabadulás - ízlelőbimbókba tömörülnek, ezek ízlelőszemölcsökben helyezkednek el (körülárkolt, levélformájú, gomba alakú típus)
- **ízlelőbimbók:** nyelv, száypad, garat, gége, nyelőcső kezdete
 - az érzősejtek között támasztósejtek, a bimbó tetején kis nyílás vezet a külvilágba
- a receptorsejtek többféle ízre reagálnak, de a nyelv hegyén főleg édes, oldalt sós és savanyú, hátul keserű íz a domináns





ízlelőbimbó

típusok

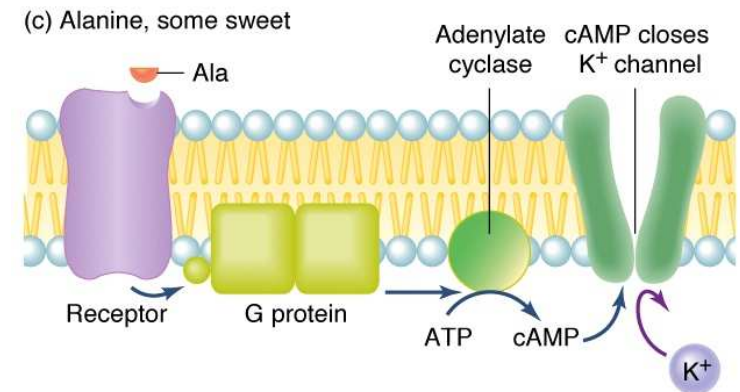


Az ízérzékelés mechanizmusa

- egy érzéksejthez több axon, egy axon több érzéksejthez fut
- afferens axonok: chorda tympani (VII.), n. glossopharyngeus (IX), n. vagusban (X.) -> n. tractus solitarii „ízérző mag” -> thalamus -> gyrus postcentralis (Br 3b)
 - rostok nem vagy alig kereszteződnek
 - NTS-ből számos más pályára is átkapcsol (pl. nyálelválasztás, hipotalamus)
- különböző mechanizmus, de a hatás általában depolarizáció -> transzmitter felszabadulás

édes íz

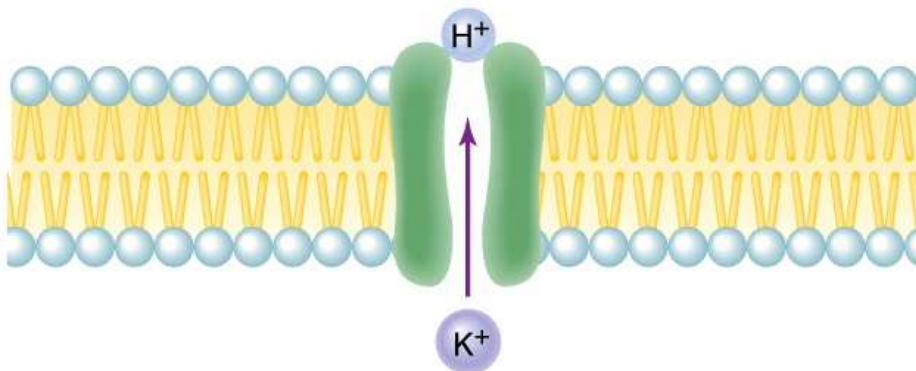
- ált. pozitív érzések, reflexesen inzulin elválasztást is indít - magas konc-t érzékel
- főleg szénhidrátok: szacharóz, glukóz, fruktóz, laktóz
 - adenilát-cikláz aktiválás -> cAMP \uparrow -> PKA aktiváció -> bazolaterális K⁺-csatorna zárul -> depolarizáció -> Ca⁺⁺ beáramlás -> transzmitter felszabadulás
- aminosavak (glicin), fehérjék és szintetikus anyagok (szacharin) is lehetnek édesek
 - ált. foszfolipáz C aktiváció -> IP₃ \uparrow -> belső Ca⁺⁺ felszabadulás vezet a transzmitter felszabaduláshoz
- **umami íz**: a metabotróp glutamát receptorokkal rokon receptor érzékeli, a szignáltranszdukciós út nem ismert



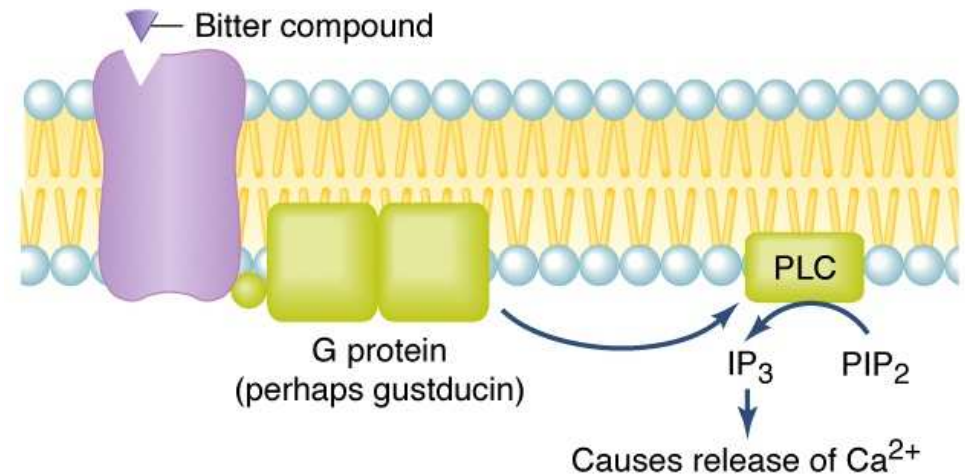
keserű íz

- erősen keserű íz veleszületetten negatív - Id. gustofaciális reflex csecsemőben
- keserű a kinin és számos alkaloid, de az epesavas sók és a bárium, magnézium (keserű só) ionok is
- többféle hatásmechanizmus, egyes anyagok (kinin) többet is használnak
 - apikális membrán K^+ -csatornáinak blokkolása (kinin, bárium, stb.) -> depolarizáció
 - G -fehérje, foszfolipáz C, IP_3 -> belső Ca^{++} felszabadulás
 - **gusztducin** (a transzducin rokona): 7 TM receptor, foszfodiészteráz aktiválás, cAMP csökkenés (kinin, nikotin, sztrichnin, stb.)
 - áthatolás a membránon, közvetlen G -fehérje aktiválás (apamin, bradikinin, stb.)

(b) Sour, some bitter

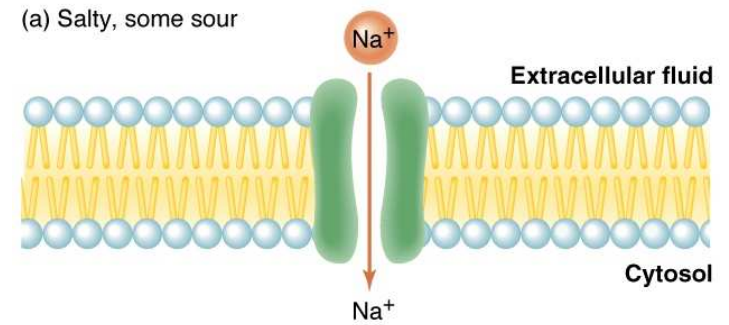


(e) Some bitter



sós íz

- sóháztartás fontos tényezője: sóhiányos állapotban keressük a sót -> sós íz növeli az ADH termelését
- apikális membránban Na^+ csatornák -> belépő Na^+ depolarizál -> transzmitter felszabadulás
- az ADH növekedése érzékenyíti a receptorsejteket -> csökkent sófelvétel



savanyú íz

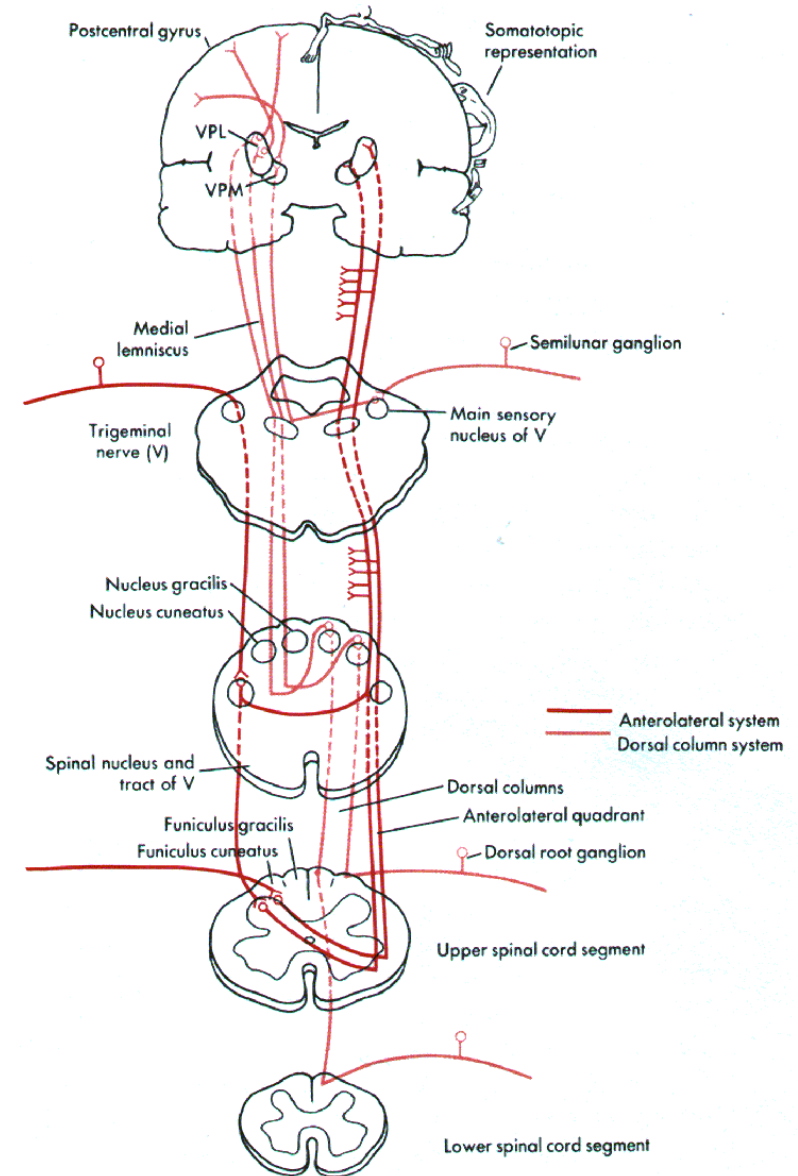
- érzékelésének mechanizmusa emberben nem feltárt: lehet H^+ belépés az apikális Na^+ receptorokon át vagy K^+ -csatorna gátlás

víz

- a vízérzékelő sejtek nem ozmoreceptorok: a folyadék Cl^- hiányát észlelik -> diurézis (ADH gátlás) desztvíz hatására lenyelés nélkül is
- érzet az előző érzettől függ:
 - nyál -> semleges íz
 - citromsav, kinin után -> édes
 - szacharóz után -> keserű
 - NaCl után -> savanyú

A szomatoszenzoros rendszer

- a bőrfelületet, a belső szervek nyálkahártyáját ért ingerekről, a testrészek helyzetéről szállít információkat
- receptorok többsége a **bőrben** található - exteroceptorok és egyben kontakt receptorok is
 - proprioceptorok: izomorsó, ínorsó, egyensúlyi szerv
 - mechano-, termo- és nociceptorok
 - **zsigerekben** lévő interoceptorok (kontakt receptorok): a bőrreceptorokhoz részben hasonlóak
- a primér receptorsejt a **gerincvelői dúcsejt** (hátsó gyöki ganglion) - perifériás nyúlványa veszi fel az ingerületet; a végződésük körül speciális képletek a receptor funkció segítésére
- 2 felszálló pályarendszer:
 - **hátsó köteg** - lemniscus medialis (tapintás, propriocepció)
 - **anterolateralis rendszer** (hő, fájdalom, durva tapintás)



A mechanoreceptorok

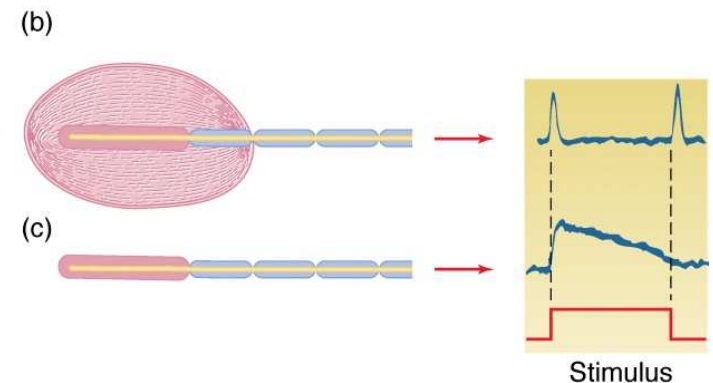
- egy részük felületesen, más részük mélyen, a bőr alatti kötőszövetben; a szőrrel borított részeken a szőrtüszőkben is vannak receptorok
- a tapintáshoz szükséges az érintkező felület mozgása
- zömmel A β rostok szállítják az ingerületet
- sokféle mechanoreceptor van a bőrben, az ingerek részletes analízisét ezek teszik lehetővé

- érzékeljük
 - az inger intenzitását
 - az inger időtartamát
 - az inger elmozdulásának irányát
 - a bőrhöz érő tárgy felületének minőségét
 - a felület száraz vagy nedves voltát
 - az inger állandóságát vagy vibrációját

név	bőrtípus	elhelyezkedés	adaptáció	receptormező
Vater-Pacini		bőralatti kötőszövetben	gyors	nagy
Ruffini		bőralatti kötőszövetben	lassú	nagy
Meissner	szőrtelen	felületesen	gyors	kicsi (2-4 mm)
Merkel	szőrtelen	felületesen	lassú	kicsi (2-4 mm)
szőrtüsző	szőrös	szőrtüszőben	gyors	

A termoreceptorok

- bőr, száj- és orrüreg, garat hőmérsékletének érzékelése
- **hideg** (Krause-féle végbunkó) receptorok: A δ rost
 - 10°-40° között érzékeny, csúcs 23° -28° között
 - 10° alatt érzéketlen (mint minden más is - sérüléskor fagyasztás)
 - 45° feletti ingerre újra reagálnak - paradox hidegérzés, pl. forró kőre lépés
- **meleg** (tok nélküli Ruffini végtestek) receptorok: C rost
 - 30°-45° között érzékeny, csúcs 38°-43° között
 - 45° feletti hőmérsékleten elhallgatnak
- **semleges zóna**: 32°-33° között
- lassan adaptálódnak, normális körülmények között folyamatosan aktívak
- közel vannak a bőr felszínéhez (kb. 1 mm) -> a bőr hőmérséklete és a vérátáramlás is befolyásolja (értágító, pl. alkohol - melegérzet)
- sugárzó hő önmagában nehezen lokalizálható - érintéssel kell párosulnia
- specializált kationcsatornák:
 - tranziens receptorpotenciál (meleg - capsaicin, hideg - mentol) kialakítása; Ca⁺⁺ és Na⁺ beáramlás (pl. vanilloid1 receptor: sav, >43C ingerli)
 - savérzékelő receptorok: szöveti sérüléskor felszabaduló metabolitok aktiválják

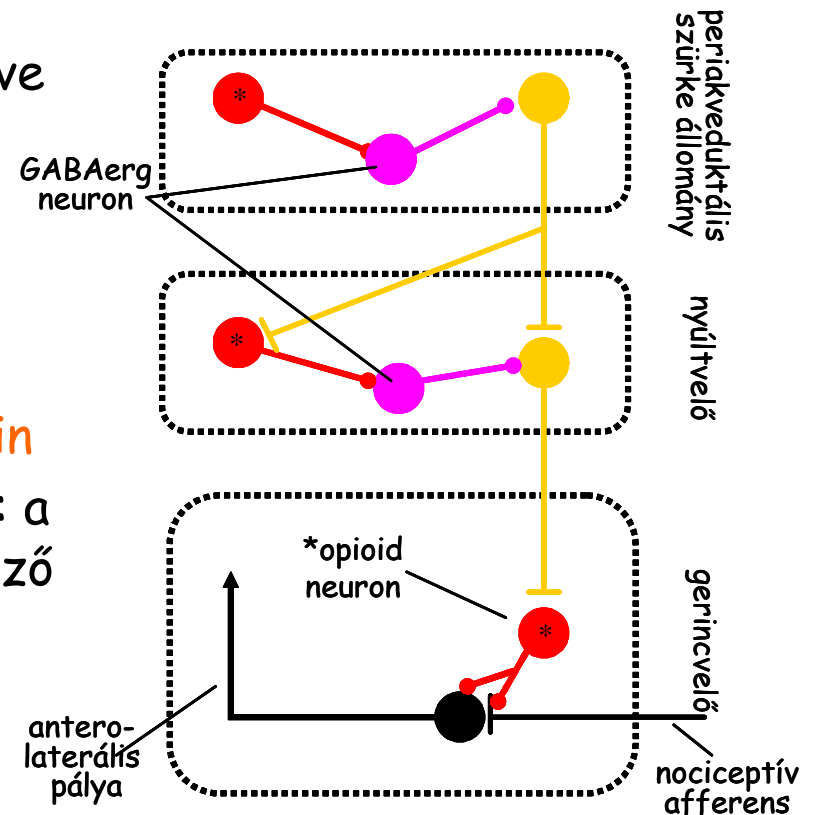


A nociceptorok

- szabad idegvégződés: bőrben, bőr alatt, csontban, csonthártyán, ízületben, izomzatban, fogbélben, savós hártyán, agyburokban (de agyszövetben nincs!)
 - váz-, szívizom: kémiai ingerek, hipoxia aktiválja
 - bél: lumen tágítása, görcsös összehúzódás aktiválja
- tartós behatásra alig adaptálódnak - inkább hiperszenzitivitás
- **modalitásra specifikus: A δ rostok**
 - extrém mechanikai vagy termikus ingerre reagálnak
 - glutamát a transzmitter
- **polimodális: C rostok**
 - különböző modalitású erős ingerek aktiválhatják
 - glutamát mellett P anyag (SP) és CGRP (calcitonin gen related peptide) is felszabadul a gerincvelőben - tartós ingerlésre lassú potenciálváltozás
 - algogén (fájdalomkeltő) anyagok is ingerületbe hozhatják: sérült sejtekből K⁺, trombociták szerotoninja, hízósejtek hisztaminja, bradikinin felszabadulás
 - más anyagok szenzitizálnak (meleg is fájhat):
 - eikozanoidok (prostaglandinok, leukotriének) - aszpirin gyulladásgátló és fájdalomcsillapító

A nocicepció (fájdalomérzékelés)

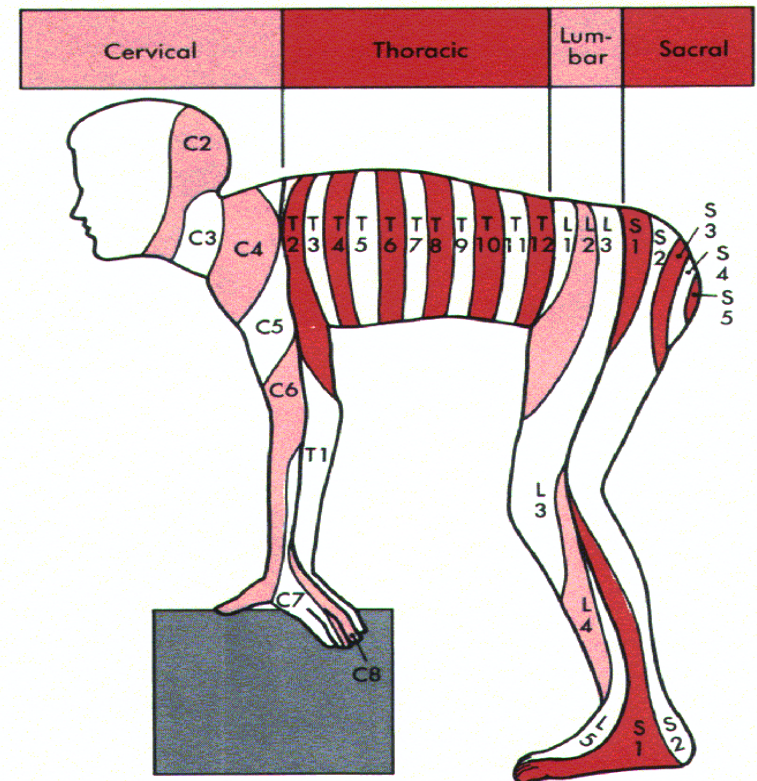
- gyors, éles fájdalom az A δ rostokon - jól lokalizálható
- lassú, tompább, nehezebben lokalizálható fájdalom a C-rostokon
- tartós, krónikus fájdalom - szenzitizáció:
 - **hiperalgéria**: fájdalomküszöb csökkenése
 - **allodínia**: korábbi, nem fájdalmas tapintási inger fájdalmassá válása
- a vékony rostok érzékenyebbek a helyi érzéstelenítésre - tapintás megmarad, pl. fogorvos, sebészet
- felszálló pályák erős **leszálló kontroll** alatt:
analgetikus pálya; opioid neuronokon végződve pre- és posztzinaptikusan gátolják az anterolaterális felszálló pályát
- opioidok középagy és gerincvelő szintjén is hatnak
 - μ -, δ -, és κ - morfin receptorok; endogén ligandok: **enkefalinok, endorfinok, dinorfin**
 - stressz alatti analgéria (sportsérülések): a proopiomelanokortin, és az ebből keletkező endorfin-enkefalin antinociceptív hatású
- centrális fájdalom: a fel- és leszálló pályák sérülése esetén (fantom fájdalom, stb)



Az érzőrendszer szegmentáltsága

- embrionális fejlődés: szegmentáció; szomiták -> bőr (**dermatóma**), izom (**miotóma**), vagy csont (**szklerotóma**) + zsigeri fejlődés, beidegzés
- az egyes szegmentumokat a gerincvelő egyazon szegmentuma idegzi be kifejlett állapotban is
- egy adott dermatóma a legsűrűbb beidegzést a hozzátartozó szegmensből kapja, de kap a szomszédosakból is
- egyetlen hátsó gyök átmetszése nem okoz teljes érzékkiesést a hozzátartozó dermatómában
- érzéstelenítéshez több egymás melletti szegmenst kell bénítani

A dermatómák

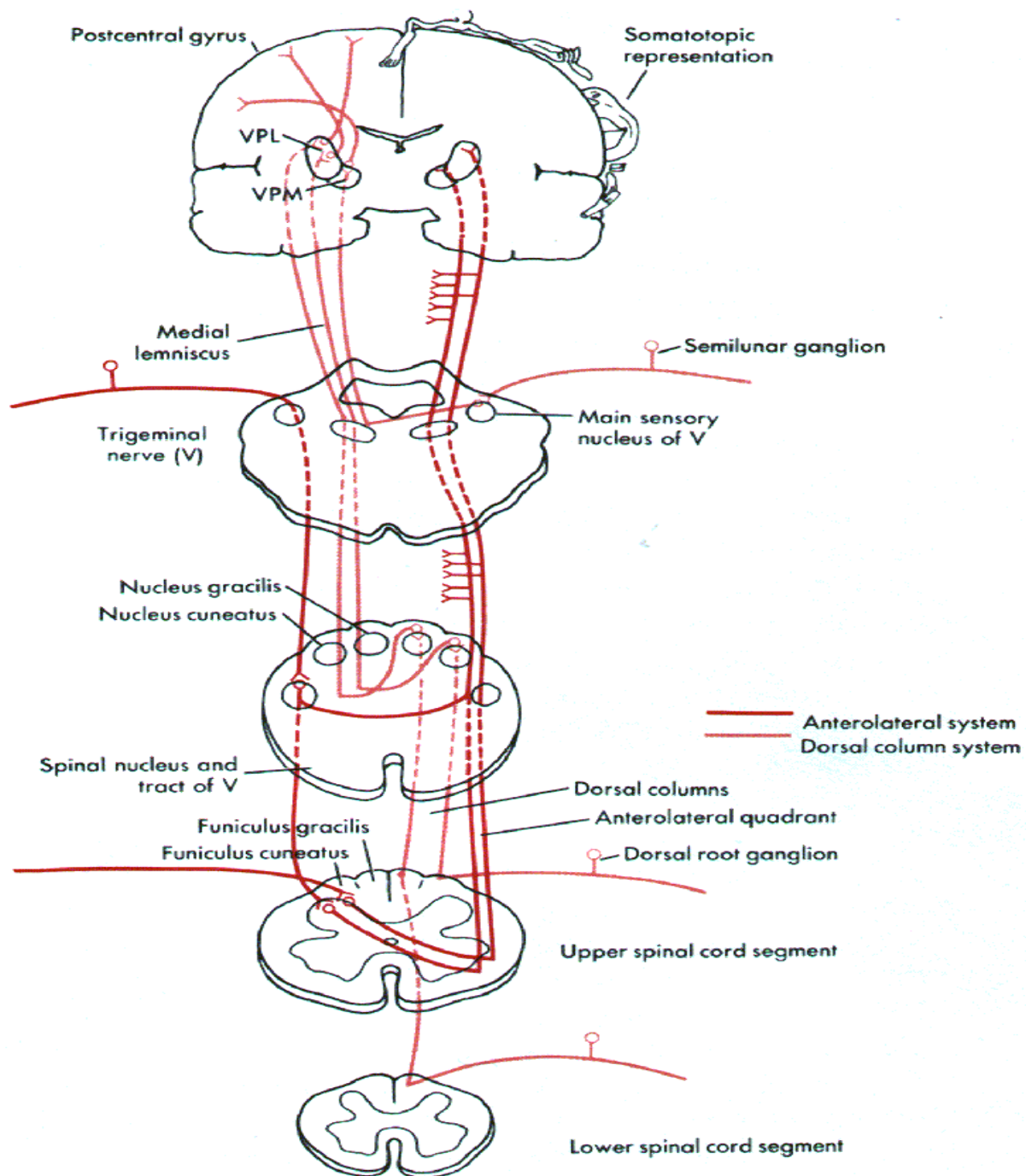


A szomatoszenzoros pályák

• két fő rész:

- hátsó köteg - lemniscus medialis rendszer: tapintás, tudatosuló propriocepció

- anterolaterális (spinothalamikus) rendszer: fájdalom, hő, durva tapintás

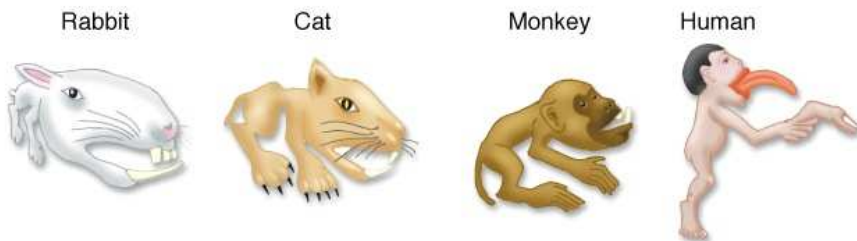


A hátsókötegi rendszer

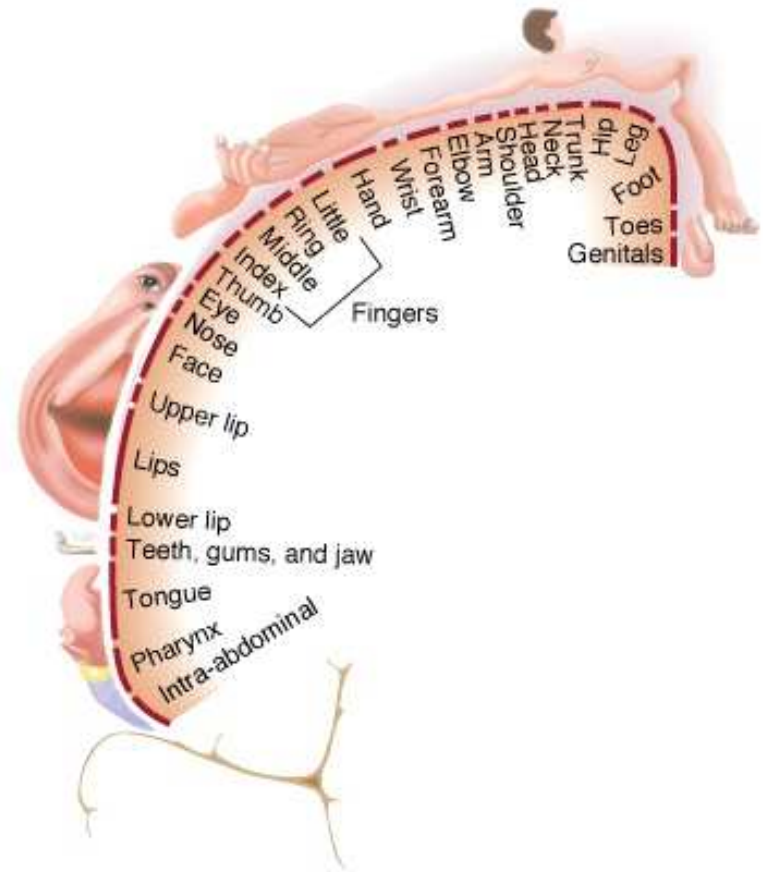
- A β rostok szállítják a taktilis és propioceptív ingerületet
- a **hátsó gyökön** belépő rostok (sejttest a hátsó gyöki, vagy spinális ganglionban) elágaznak \rightarrow egyik águk az **azonos oldali dorzális kötegben** fut felfelé, másik **szinaptizál a hátsó szarvban**
- a hátsó végtagból és a törzs alsó részéből a fasciculus gracilis, a felsőből a fasciculus cuneatus szállítja az információt
- első átkapcsolódás a **nyúltvelőben** a hasonló nevű magvakban
- innen **lemniscus medialis** - átkereszteződés + a n.trigeminus másodrendű rostjai is kapcsolódnak
- második átkapcsolódás a **talamusz VPL-VPM-ben** - vetítés az **elsődleges szomatoszenzoros kéregbe**
- az átkapcsolódás igen jó hatásfokú - az elsődleges rost egyetlen AP-je a másodlagos sejtben képes AP-t kiváltani
- a topografikus (**szomatotópiás**) vetület minden pálya és átkapcsolódás szintjén megtartott
- a magasabb szintek efferensei képesek gátolni az alacsonyabb szinteken az ingerület továbbítását - **disztális gátlás**
- jellemző a **széli gátlás**, ami fokozza a „kontrasztot” - az ingerületbe jött sejteket gátolt sejtek veszik körül - más érzőrendszerekre is jellemző

A szomatoszenzoros kéreg

- a talamuszból az ingerület a parietális kéreg **primer szomatoszenzoros területére** (SI) jut: gyrus postcentralis (Br3a, Br3b, Br2, Br1; a sulcus centralis mögött)
- **másodlagos szomatoszenzoros area** (SII): laterálisan; bemenet az SI-ből
- **hátsó parietális kéreg** (Br5, Br7): kaudálisan; van szomatoszenzoros funkciója
- a szomatoszenzoros kérgen a test felszíne **szomatotópiásan vetül** - homonkulusz (térképezés részben kiváltott potenciálokkal, részben agyműtétek alatti ingerléssel)
- egy-egy terület reprezentációja nem a kiterjedésével, hanem a receptorsűrűséggel arányos (emberben arc, kéz nagy, patkányban, nyúlban, macskában száj és bajusz nagy)

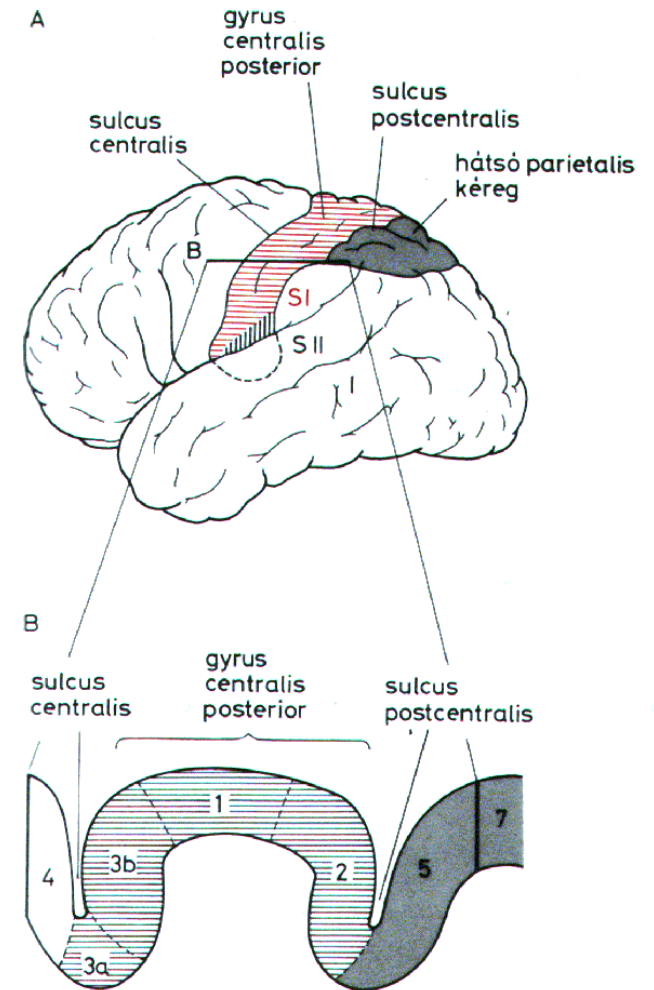


(a) Sensory



A szomatoszenzoros kéreg

- az SI 4 féle Brodman areát ölel fel - mindegyiken külön-külön szomatotópiás leképezés van, rajtuk más-más szubmodalitás dominál
 - Br3a: izomorsó
 - Br3b: bőrreceptorok
 - Br2: mély nyomásérző receptorok
 - Br1: gyorsan adaptáló felületetes receptorok
- az SII-n egy további szomatotóp térkép van
- a szomatoszenzoros kéreg is oszlopokba szerveződik - a talamikus ingerület a 4. rétegbe fut be, kimenet a 2-3 és 5-6 rétegből
- egy-egy oszlop egy-egy receptorféleség ingerületét dolgozza fel (pl. gyorsan vagy lassan adaptálódó receptor a bemenet)
- Br1 de főleg Br2 area Br3a és Br3b-ből is kap ingerületet - komplexebb ingerek analízise (pl. mozgás) - továbbítás a motoros kéregnek
- a hátsó parietális rész a vizuálissal információval is integrál



Az anterolaterális rendszer

- hő- és fájdalom információ közvetítése
- a fájdalom nehezen definiálható, sok szubjektív elem is van benne - a magas ingerküszöbű nociceptorokból indul ki - **hátsó gyök**
- első átkapcsolódás a **gerincvelő hátsó szarvában**
 - a hátsó gyökön belépő C-rostok az I. és II. laminában (substantia gelatinosa Rolandi) végződnek, az A δ rostok mélyebben is
- közvetlen vagy közvetett **átkapcsolódás a felszálló pálya** projekciós neuronjaira - ezek részben átkereszteződnek
 - ezek egy része csak nociceptív, más részén alacsony küszöbű receptorok rostjai is konvergálnak
 - a zsigerek nociceptorai ugyanitt végződnek - kisugárzó fájdalom
- több összetevő:
 - **paleospinotalamikus pálya**: talamusz intralamináris magjaihoz - lokalizáció rossz, ébresztés, affektív és vegetatív válaszok
 - **neospinotalamikus pálya**: specifikus talamusz magokhoz - bilaterális, finomabb lokalizációt adó vetület
 - **spinoretikuláris pálya**: a FR-ben átkapcsolódva éri el a talamuszt - ez a legősibb
 - **spinomezencefalikus pálya**: a PAG-ban és más középagyi struktúrákban végződik - hipotalamusz - limbikus rendszer
- kollaterálisok az arousal ("ébresztő") rendszer struktúráihoz

A receptormező megvilágításának hatása a ganglionsejtek működésére

(a) *On-center* ganglion cell

(b) *Off-center* ganglion cell

megvilágítás

