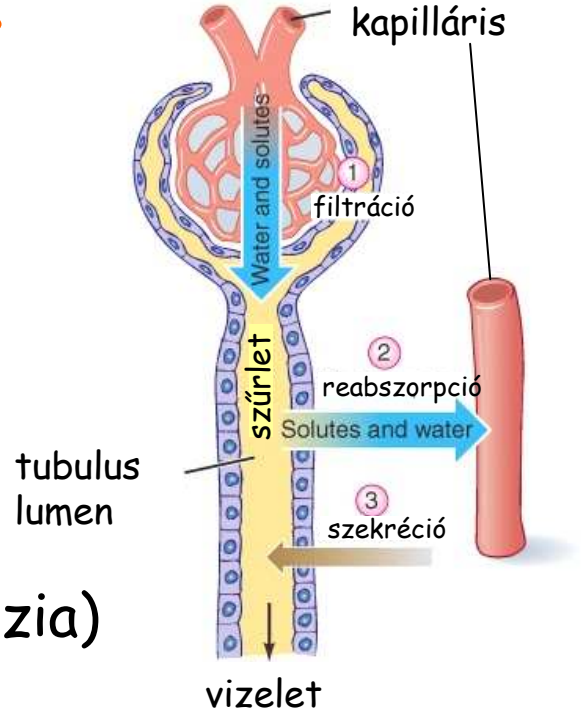
A kiválasztás

Az ionális és ozmotikus egyensúly

édesvízi, szárazföldi állatok: édesvízhez képest hiper-, tengervízhez képest hipozmotikus folyadékterek- szigorú ozmoreguláció szükséges

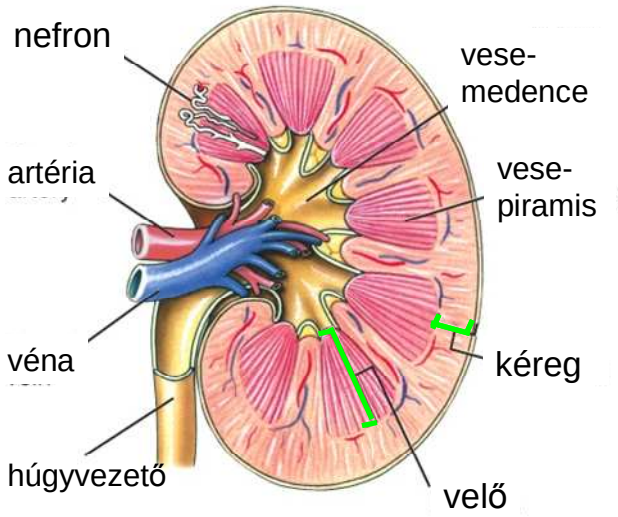
- obligát ("kötelező") ozmotikus kicserélődés:
  - fizikai faktoroktól függ, kevéssé szabályozható
  - bőr, légzőfelület, környezettel érintkező hám felszínén
    - folyadék-, ionkoncentrációk különbsége
    - térfogat/felület arány
    - permeabilitás
    - táplálkozás, metabolizmus, ürítés
    - légzés
    - hőmérséklet, munkavégzés
- szabályozott ozmotikus kicserélődés:
  - veseműködés a döntő, de a magatartás szabályozása is fontos

A vese fő funkciói

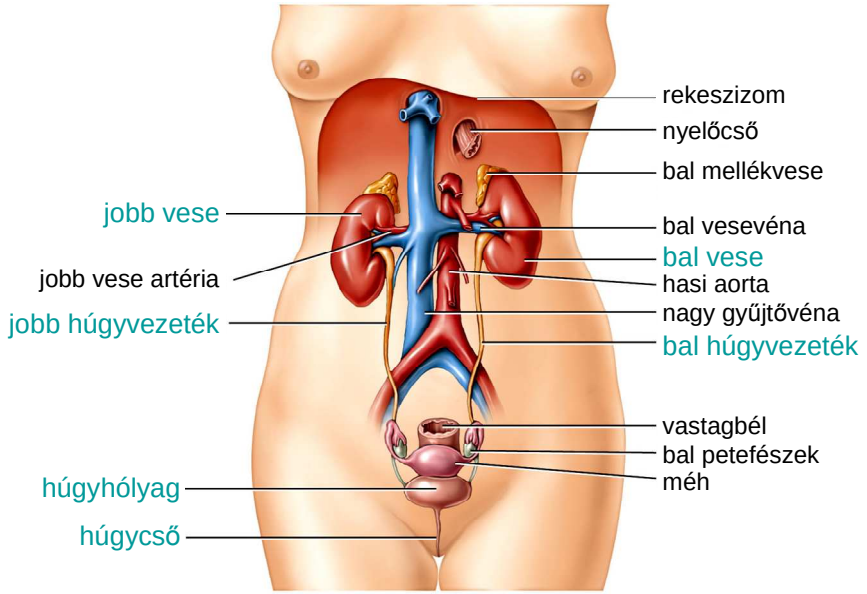


1. kiválasztó működés
   - ultraszűrés (filtráció) - visszaszívás (reabszorpció) - kiválasztás (szekréció)
   - állandóan tartja a szervezet
     - folyadéktartalmát (izovolémia)
     - elektrolit-összetételét (izoionia)
     - ozmotikus koncentrációját (izozmózia)
   - N_2-tartalmú végtermékek kiválasztása
   - anyagcsere-intermedierek, idegen anyagok kiválasztása
2. vérnyomás, keringésszabályozás
   - extracelluláris folyadéktérfogat (vértérfogat) szabályozása
   - renin szekréció (angiotenzin - aldoszteron)
3. pH szabályozás, sav-bázis egyensúly *(ld. tankönyv!)*
4. endokrin funkció
   - eritropoetin szekréció 90%-a
   - kalcitriol (dihidroxi-kolekalciferol, D_3 vitaminból) szintézis

A vese felépítése

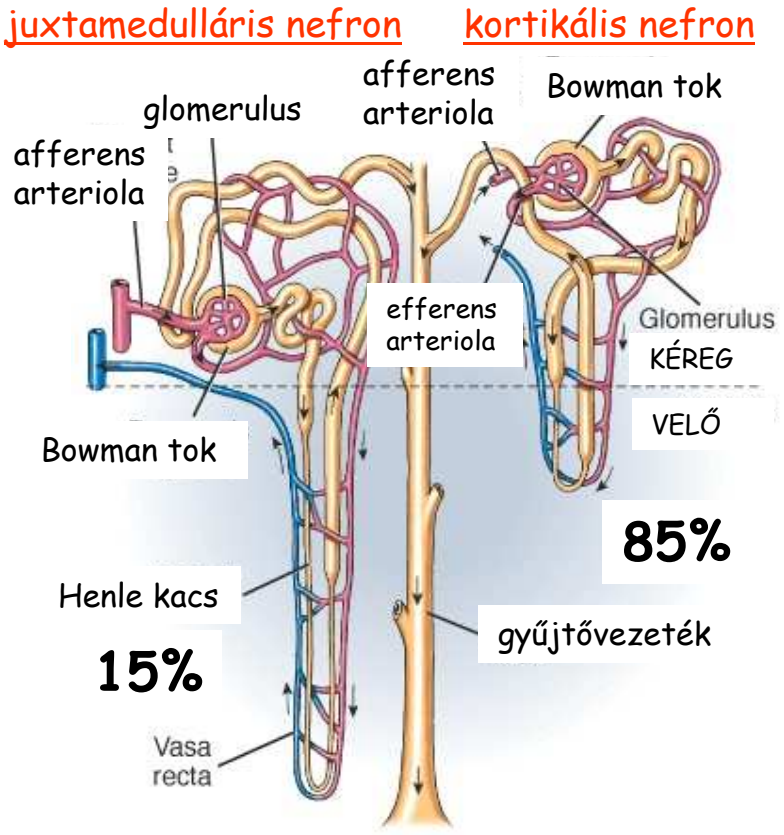


- 10-12 cm hosszú, 5-7 cm széles, 3 cm vastag, páros szerv
  - testúly 0,5%-a, perctérfogat 20-25%-a: igen nagy, 1300 ml/perc vérátáramlás
- kötő- és zsírszövetből álló tok veszi körül ("vándorvese")
- kéreg, velő, vesepiramis, vesemedence, nagyfokú erezettség
- kb. napi 1L vizelet, pH=6
  - vesemedencébe csöpög
  - vizeletelvezető rendszer: húgyvezeték (páros), húgyhólyag, húgycső



A vese felépítése

- működési egység: nefron
  - afferens arteriola (bevezető ér) - glomerulus (érgomolyag) - efferens arteriola (kivezető ér)
  - Bowman-kapszula
  - proximális (közeli) kanyarulatos csatorna
  - Henle-kacs
  - disztális (távoli) kanyarulatos csatorna
  - gyűjtőcsatorna
- 85% kortikális, 15% juxtamedulláris nefron
- peritubuláris kapilláris hálózat

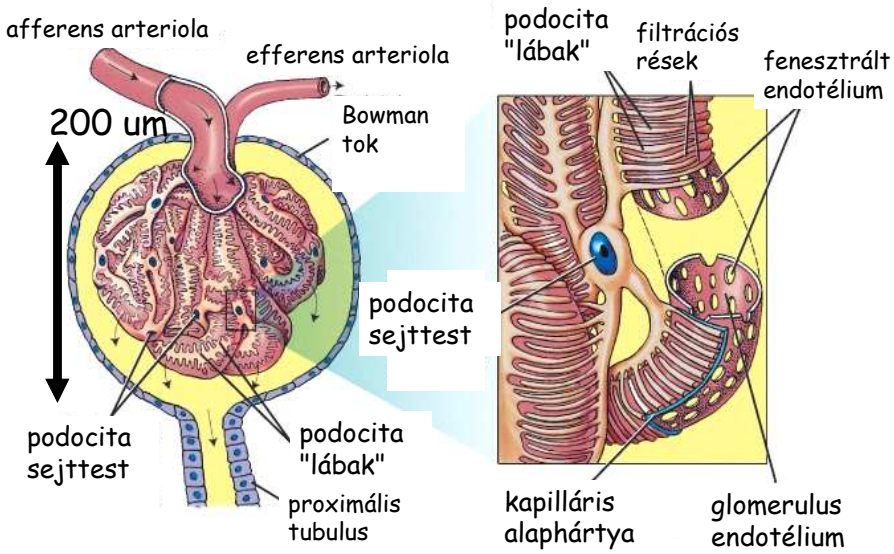


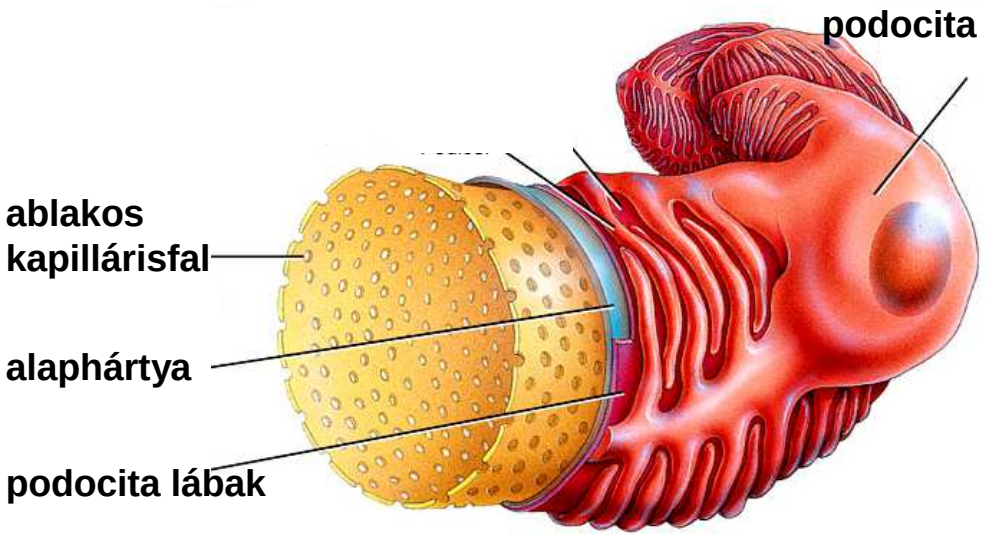
- vasa recta: kapillárishálózat a juxtaglomeruláris nefron Henle-kacs mentén
  - vékony fal, lassú, ellenirányú áramlás, mint a Henle-kacsban

A glomerulus felépítése

juxtaglomeruláris apparátus (JGA):

- glomerulus: érgomolyag (Malpighi test)
  - 200 μm átmérő; Bowman tok veszi körül
  - afferens arteriola vastagabb, mint az efferens arteriola
  - érfal: ablakos kapilláris endotélium és alaphártya; ehhez tapadva podocita nyúlványok
  - mezangiális sejtek és podociták: összehúzódásra képes, fésűszerű lábak az alaphártyán
    - ultraszűrés szabályozása

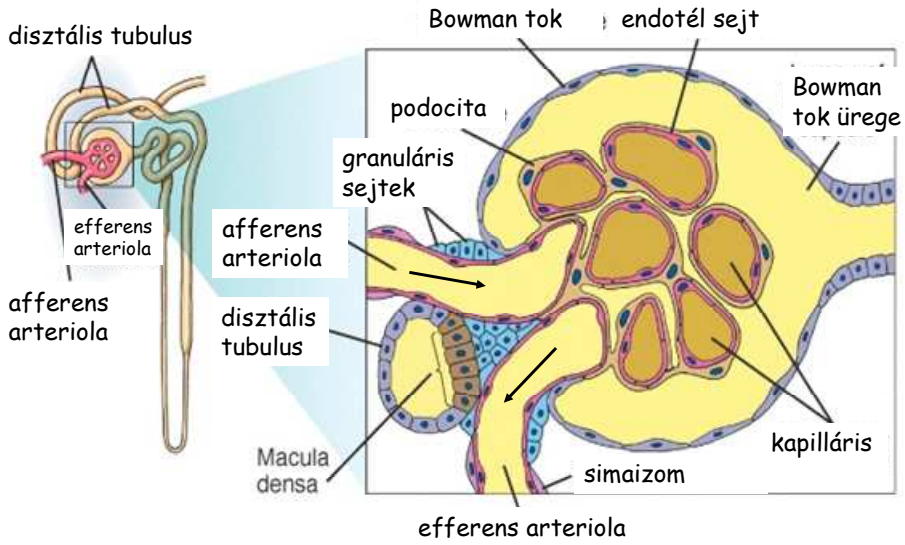




A glomerulus felépítése

juxtaglomeruláris apparátus (JGA):

- macula densa: disztális tubulus módosult, magas hengerhámsejtjei (granuláris sejt)
  - afferens és efferens arteriola közötti területhez simul
  - közvetlen visszajelzést biztosít a disztális tubulusban áramló szűrlet mennyiségéről/nyomásáról (tubuloglomeruláris visszacsatolás)
  - renin termelés; glomerolus filtrációs ráta (GFR) szabályozása
    - afferens arteriola keresztmetszete
    - mezangiális sejtek, podocita lábak "tágassága"

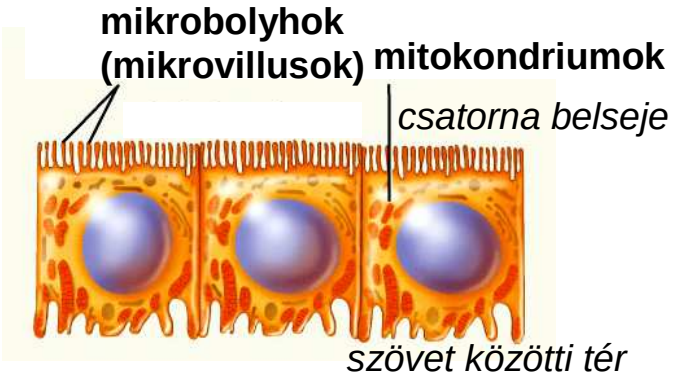


A tubuláris rendszer szakaszai

- az egyes szakaszokra más-más hámsejtek jellemzőek

<u>proximális kanyarulatos csatorna:</u>

- köbös hámsejtek, sok mikroboholy, intenzív szekréció és visszaszívás
- sok mitokondrium, aktív transzport



<u>Henle-kacs:</u>

➢ leszálló ág

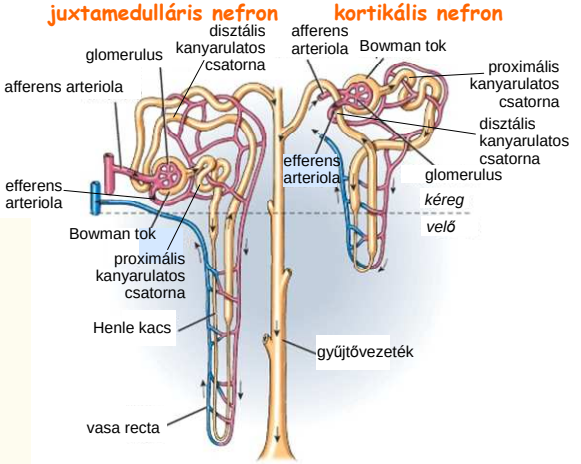
- vékony fal, kevés mitokondrium, nincs aktív transzport
- juxtamedulláris nefronban sokkal hosszabb!

➢ vékony felszálló ág

- kortikális nefronban hiányzik; vékony fal

➢ vastag felszálló ág

- vastagabb fal, kevés mikroboholy, aktív transzport
- kortikális nefonban rövidebb

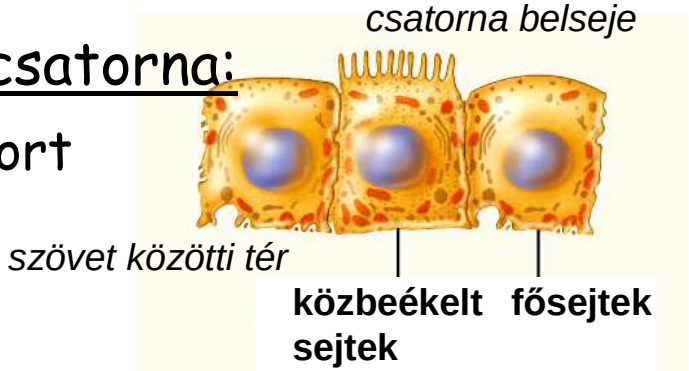


A tubuláris rendszer szakaszai

- az egyes szakaszokban más hámsejtek jellemzőek

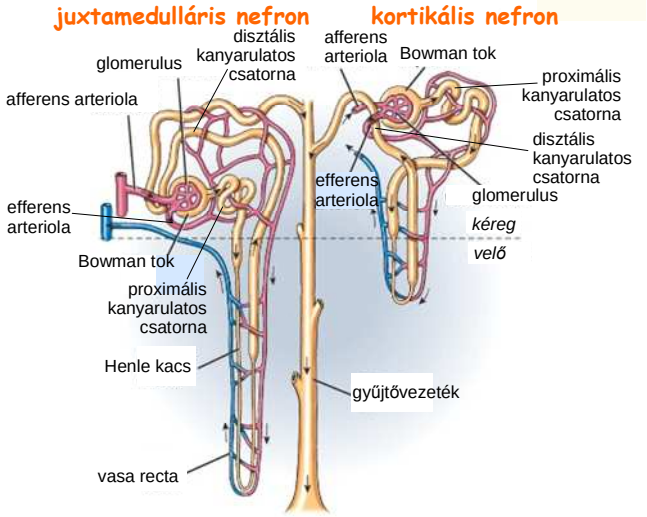
<u>disztális kanyarulatos csatorna:</u>

- egyszerű köbös hámsejtek, van aktív transzport
- Bowman tokhoz visszahajló szaksz: macula densa
  - renin termelés



<u>disztális kanyarulatos csatorna vége, gyűjtőcsatorna:</u>

- egyszerű köbös hámsejtek, van aktív transzport
- főseitek (principális sejtek): vazopresszinre (ADH) és aldoszteronra érzékenyek
  - vízvisszaszívás szabályozása
  - Na^+ ürítés és K^+ visszaszívás
- közbeékelt sejtek: vérplazma pH értékét, a H^+ szekréciót szabályozzák



A veseműködés szakaszai

1. ultrafiltráció

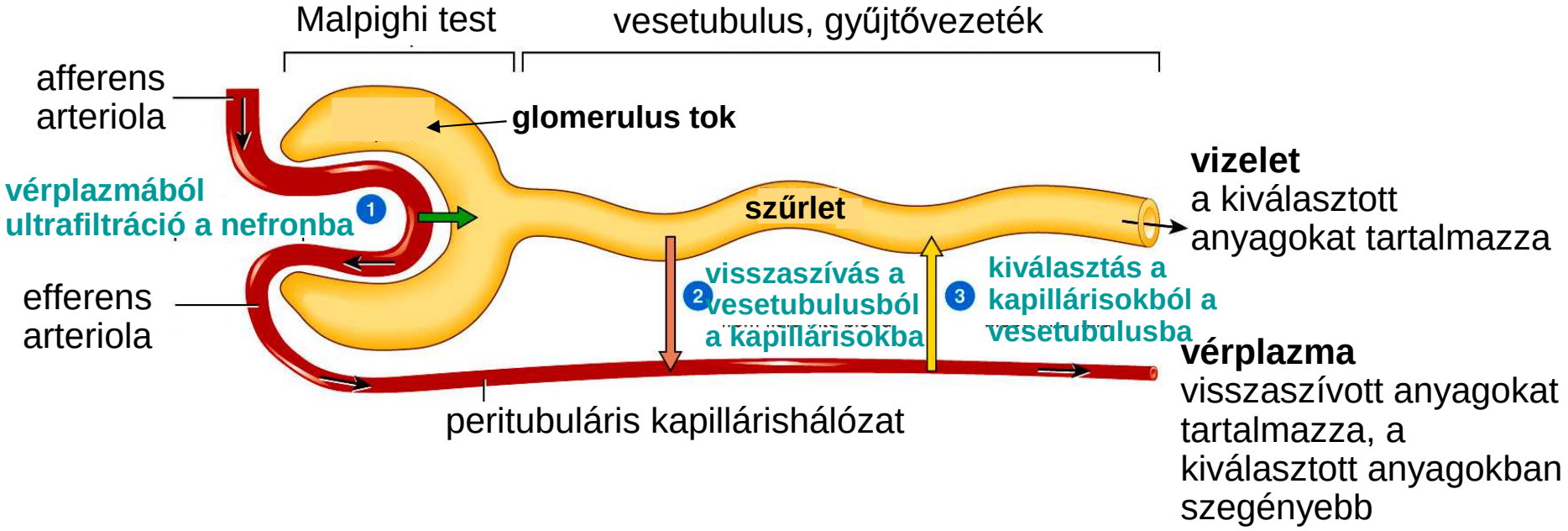
- az érgomolyag (glomerulus) vérplazmája és a Bowman-tok ürege között: elsődleges szűrlet képződése

2. visszaszívás (reabszorpció)

- a vesetubulus egyes szakaszaiból, a gyűjtőcsatornából a vérplazmába
- az elsődleges szűrlet 99%-ban visszaszívódik - "kötelező" visszaszívás és számos szabályozási lehetőség

3. kiválasztás (szekréció)

- a vérplazmából a tubuláris folyadékba irányuló anyagtranszport (végtermékek, ionok, drogok, stb)



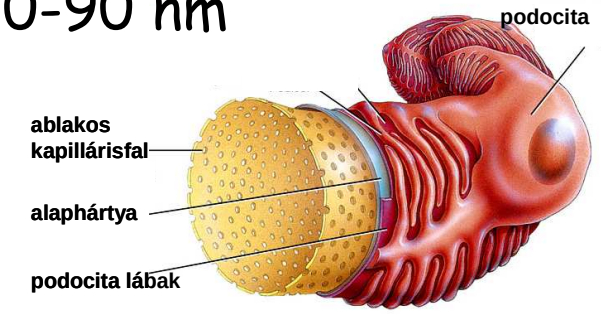
Az ultrafiltráció

ultrafiltrátum (elsődleges szűrlet):

- normálisan fehérje- és vérsejtmentes folyadék, de a vérplazma diffuzibilis (kis molekulájú szerves anyagok, ionok) összetevőit tartalmazza
- normál érték 125 ml/min (férfi), azaz 180l/nap <-> 1-2l vizelet/nap
  - 4x teljes víztérfogat, 15xECF térfogat, 60x plazma térfogat
  - a szűrlet ~99%-a visszaszívódik!

filtrációs membrán

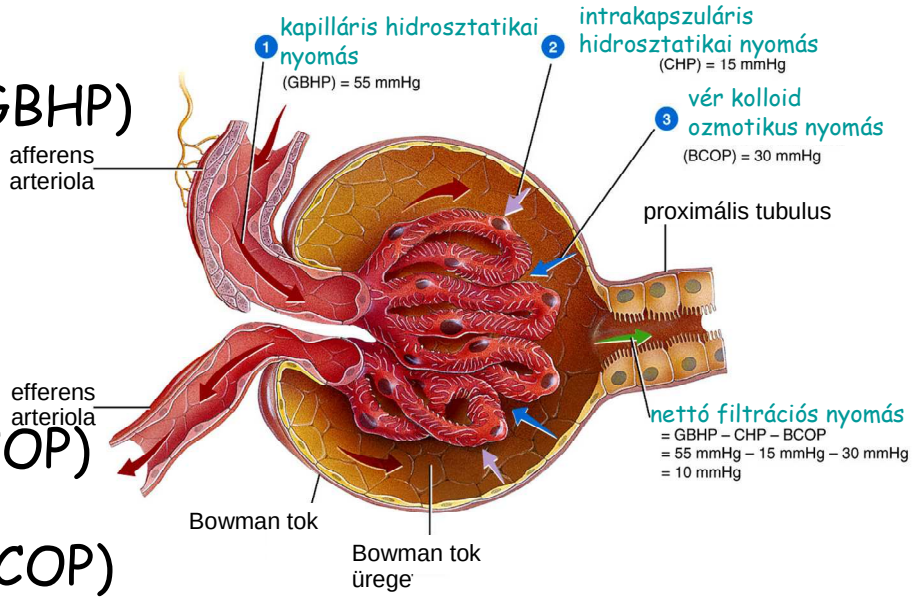
- érgomolyag ablakos kapilláris endotéliuma: 70-90 nm pórusok
- alaphártya
  - töltés és méret szerint permeábilis (vázizom alaphártyánál 50x áteresztőbb)
    - kollagén és negatív töltésű glikoproteinek alkotják
    - 4 nm (65 kDa) alatt szabadon átereszt
    - negatív töltésű anyagokat kevésbé enged át
- podocita lábak közötti rések: 25 nm, szabályozható



A glomerulus filtrációs ráta (GFR)

- elvileg hasonlóan szabályozódik, mint a szöveti kapillárisokban a filtráció, DE
  - a filtrációs membrán nagyobb áteresztőképességű (nagyobb pórusok)
  - a filtrációs membrán nagyobb felszínű - ezt a mezangiális sejtek / podociták szabályozzák
  - a glomerulusban nagyobb a vérnyomás: az afferens arteriola keresztmetszete nagyobb, mint az efferensé (nagy kimeneti ellenállás)

- az ultrafiltrációt befolyásoló tényezők:
  - vérplazma -> Bowman tok kapszula
    - kapilláris hidrosztatikai nyomás (GBHP)
  - Bowman tok kapszula -> vérplazma
    - intrakapszuláris hidrosztatikai nyomás (CHP)
    - vér kolloid ozmotikus nyomása (BCOP)



netto filtrációs nyomás = GBHP-(CHP+BCOP)

A GFR-t befolyásoló tényezők 1.

- a homeosztázis fenntartásához közel állandó GFR szükséges
  - ha a GFR túl nagy: nagyfokú szűrletképzés, gyors szűrletáramlás, nincs idő a visszaszívásra -> nagymértékű anyagveszteség a vizeletben
  - ha a GFR túl kicsi: kevés szűrletképzés, lassú szűrletáramlás, túlzott visszaszívás -> mérgező végtermékek nem tudnak a vizelettel távozni

- autoreguláció: 80-180 Hgmm artériás középnyomás között a glomerulus vérátáramlása állandó

  1. bazális miogén tónus (afferens arteriola):
     - vérnyomás ↑ -> vérátáramlás ↑ -> GFR ↑ -> afferens artéria fala feszül -> reflexes miogén kontrakció ↑ -> vérátáramlás ↓-> GFR visszacsökken

  2. tubuloglomeruláris feedback (visszacsatolás): macula densa
     - GFR ↑ -> gyorsabb szűrletáramlás -> Na^+, Cl^- , H_2O visszaszívás ↓ -> disztális tubulusban ozmolaritás és térfogat ↑ -> JGA érzékeli a falfeszülést -> renin termelés ↑ -> afferens arteriola kontrakció ↑ -> vérátáramlás ↓ -> GFR visszacsökken

A GFR-t befolyásoló tényezők 2.

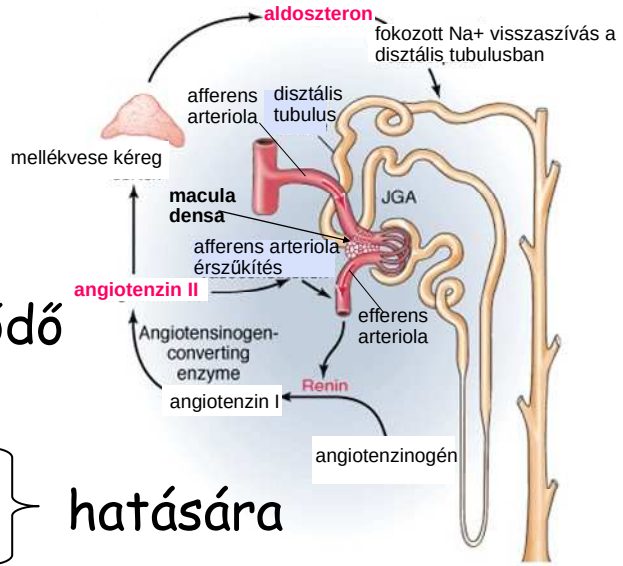
3. idegi szabályozás (afferens arteriola szimpatikus beidegzése):

- szimpatikus hatásra afferens arteriola keresztmetszet csökken -> GFR ↓ -> vizelet mennyisége ↓
- vértérfogat megőrzése, keringési átrendeződés: a vér más szervekhez (pl. izom, szív, tüdő) nagyobb arányban juthat el

4. hormonális szabályozás:

- angiotenzin (ld. keringésszabályozás)
  - igen hatásos érszűkítő -> GFR ↓
  - a JGA/macula densa területén termelődő renin alakítja át
    - hipoxia
    - alacsony vérnyomás és vértérfogat

} hatására



- ANP (pitvari natriuretikus peptid; ld. keringésszabályozás)
  - pitvarfal feszülésére termelődik -> mezangiális sejtek elernyedése -> filtrációs felület ↑-> GFR ↑

A clearence [*klírensz*]

egy anyag clearence-e az a plazmamennyiség, amely az adott anyagtól időegység alatt "megtisztul" a vesében

$$CP = VU \qquad \text{azaz} \qquad C = \frac{VU}{P}$$

ahol *C - clearence;*
P - az anyag plazma koncentrációja;
V - vizelet mennyisége 1 perc alatt;
U - az anyag koncentrációja a vizeletben

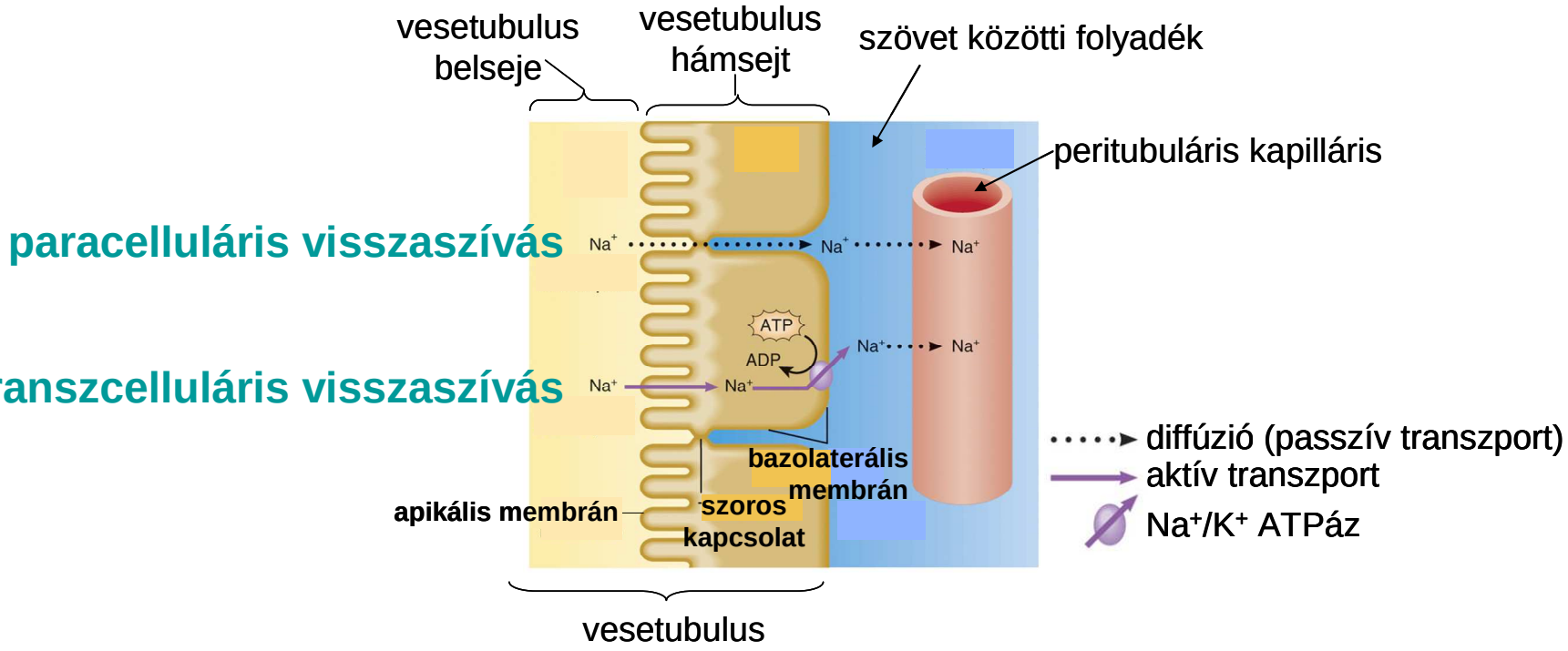
egy anyag ürülését, azaz a clearance-t

- növeli:
  - + filtráció a glomerulusban
  - + szintézis és kiválasztás a tubulusokban
- csökkenti:
  - - reabszorbció a tubulusokban
  - - kiválasztás alatti lebomlás

- **C = GFR**, azaz az 1 perc alatt képződő szűrlet mennyisége, ha az anyag (pl. inulin)
  - •nem szívódik vissza,
  - •nem szekretálódik és nem is bomlik,
  - •de szabadon filtrálódik
- **C < GFR**, ha az anyag a filtráció mellett reabszorbeálódik is
- **C > GFR**, ha az anyag a filtráció mellett szekretálódik is

A tubuláris folyamatok: filtráció és reabszorpció

- 3 folyadéktér között: tubulus belseje (szűrlet) - szövetközötti folyadék - kapilláris belseje (vérplazma)



- transzport lehetősége:
  - paracelluláris: tubulus hámsejtek *között* (csak passzív; diffúzió)
  - transzcelluláris: tubulus hámsejteken *keresztül*

A tubuláris folyamatok: filtráció és reabszorpció

- lehetséges transzporttípusok
  - aktív ~: koncentráció-különbség ellenében; ATP igényes
  - passzív ~: magasabb konc. felől az alacsonyabb konc. felé, nincs ATP igény; diffúzió

- a víz visszaszívása
  - "kötelező" vízvisszaszívás: az oldott anyagok és ionok (glükóz, Na^+, Cl^-) mozgását kíséri; 90%
    - vízáteresztő endotél sejtek a proximális kanyarulatos csatornában és a Henle-kacs felszálló szakaszában
  - szabályozott vízvisszaszívás: hormonális szabályozás alatt, főleg a gyűjtőcsatornákban; 10%
    - vízcsatornák; ADH hatás (ld. később)

A tubuláris folyamatok

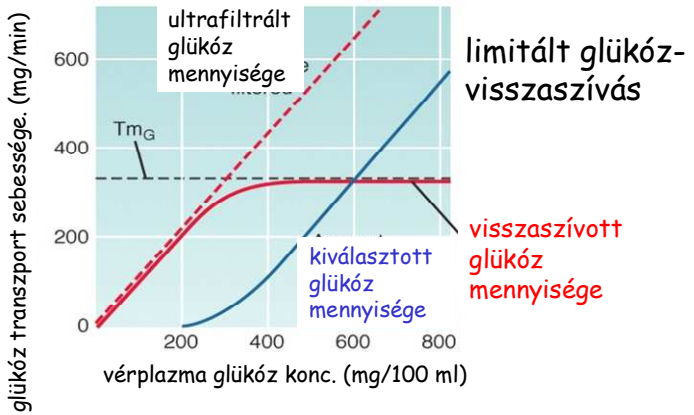
- proximális kanyarulatos csatornák

  - intenzív transzportfolyamatok (aktív és passzív is)

visszaszívás:

- nagy vízpermeabilitás (aquaporin1): víz passzív reabszorpció
- Na^+ 70%-a másodlagosan kapcsolt aktív transzporttal visszaszívódik (bazolaterális K-Na pumpa)
- Cl^- passzív para- és transzcelluláris transzportja
- urea 60%-a diffúzióval, passzívan visszaszívódik
- normálisan teljes, de maximált glükóz-reabszorpció
  - ozmotikus diurézis: a nem visszaszívott, ozmotikusan aktív anyag csökkenti a passzív víz-reabszorpciót

    -> tubuláris terhelés nő (túl sok glükóz a szűrletben - cukorbetegség első jele)



A tubuláris folyamatok

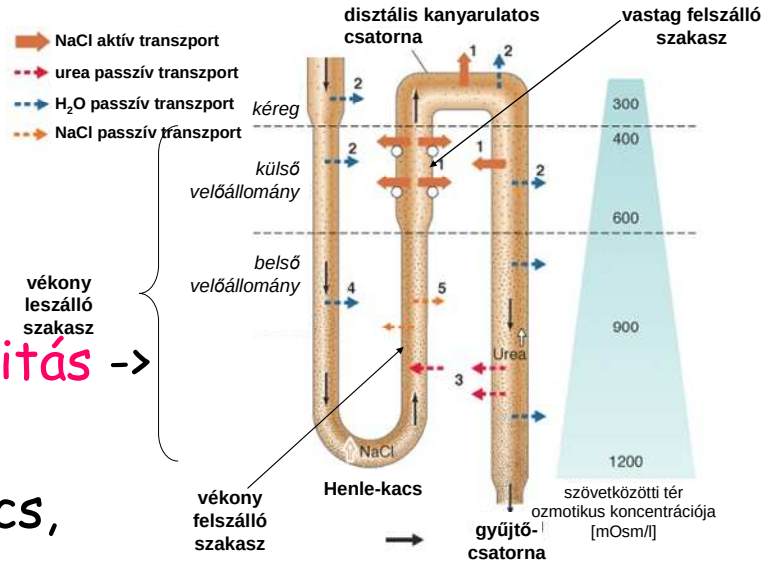
➢ proximális kanyarulatos csatornák

kiválasztás (szekréció):

- anyagcsere-termékek (húgysav, NH_3); idegen anyagok, szerves an- és kationok

➢ Henle-kacs

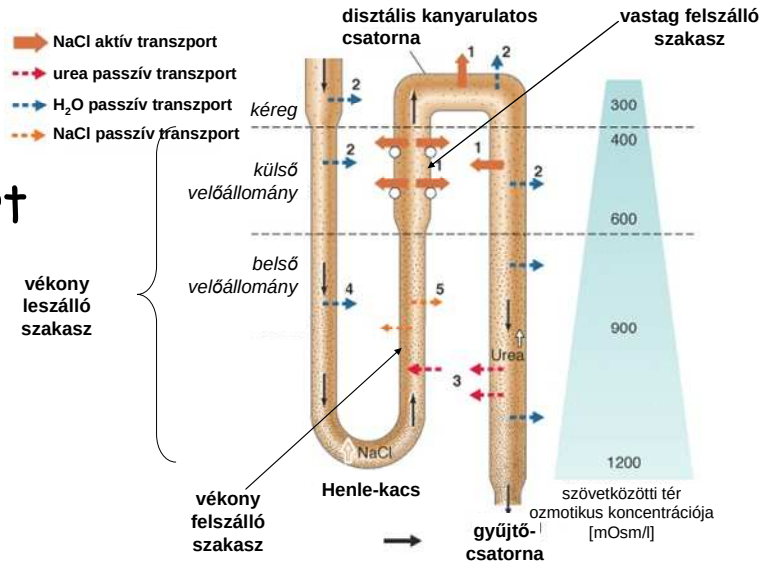
- leszálló ág, vékony felszálló ág
  - vékony fal, csak passzív transzport
  - a hámsejtek eltérő áteresztőképességűek
    - leszálló ág:
      magas víz, alacsony NaCl és urea permeabilitás – hiperozmotikus szakasz
    - vékony felszálló szakasz:
      magas NaCl, alacsony víz permeabilitás ->
      ld. vizeletkoncentrálás
  - juxtamedulláris nefron: hosszú Henle-kacs, nagyfokú vizeletkoncentrálás



A tubuláris folyamatok

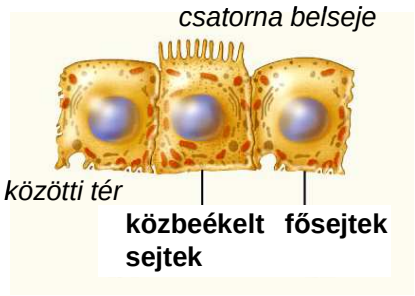
- Henle-kacs
  - vastag felszálló ág
    - vastag fal, aktív NaCl visszaszívás
    - alacsony víz permeabilitás
    - szűrlet urea-tartalma magas, Na^+-koncentrációja kisebb: hipozmotikus tubuláris folyadék ("higító szegmentum")

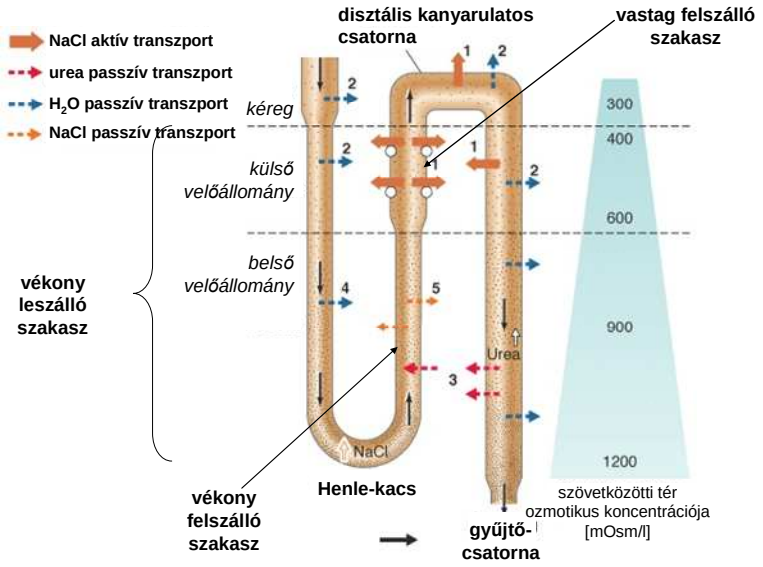
- disztális kanyarulatos csatornák
  - aktív Na^+ visszaszívás (5%) - hormonális szabályozás, aldoszteron
  - passzív vízvisszaszívás
  - pH szabályozás: K^+, H^+ és NH_3 transzport
  - szabályozott Ca^{2+} visszaszívás (igények szerint; hormonális szabályozás, parathormon)



A tubuláris folyamatok

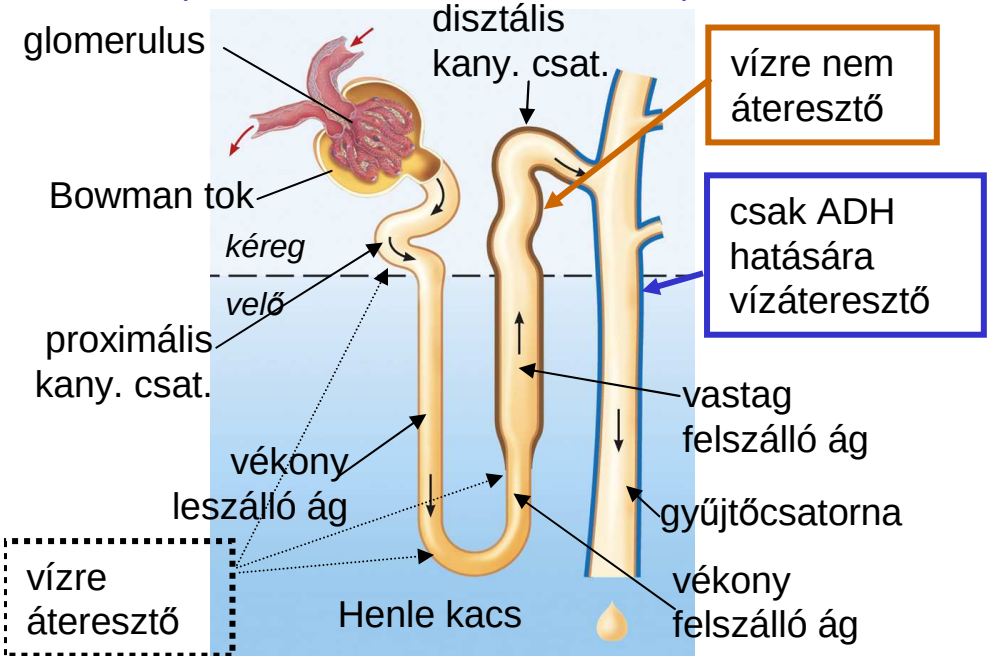
- gyűjtőcsatornák
  - vizelet végső összetételének (ozmolaritás, urea-tartalom, sav-bázis, ürülő K^+ szint) beállítása
  - aktív Na^+ visszaszívás (5%) - hormonális szabályozás, aldoszteron
  - vízvisszaszívás: hormonális szabályozás, ADH (fősejtek)
    - ADH (vazopresszin) hatására ún. vízcsatornák (aquaporin2) jelennek meg a hámsejtekben -> nagy mértékű vízvisszaszívás, vizeletkoncentrálás
  - nagy mértékű, passzív urea visszaszívás -> vizeletkoncentrálás
  - közbeékelt sejtek: vérplazma pH értékét, a H^+ szekréciót szabályozzák

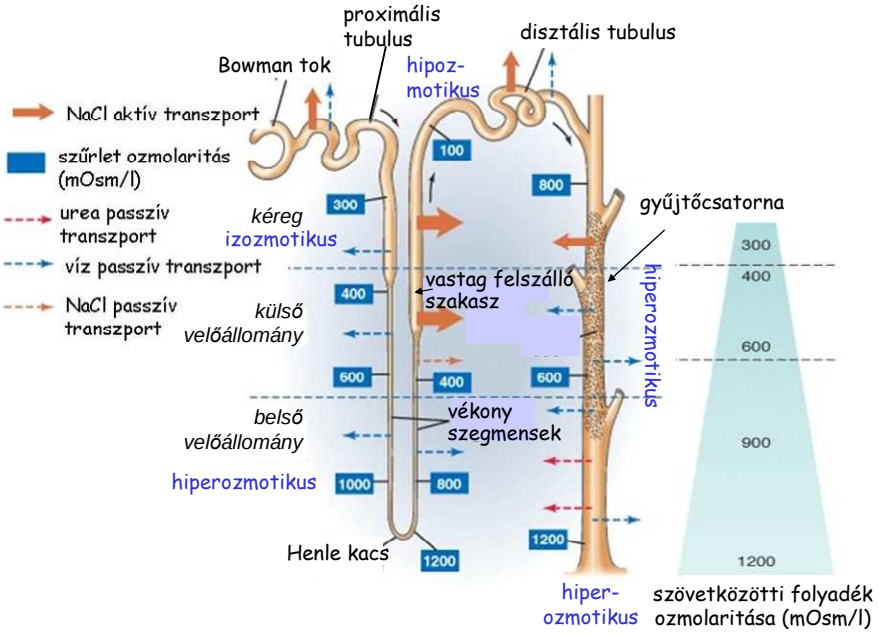




A vizeletkoncentrálás folyamata

- normál vérplazma, szöveti folyadék ozmolaritás: 300 mOsm/l
- a vizelet ozmolaritása a homeosztázisnak megfelelően változik:
  - nagy folyadékbevitel -> híg vizelet (~100 mOsm/l)
  - alacsony folyadékbevitel, izzadás, vérveszteség -> tömény vizelet (~1200 mOsm/l)
  - a tubuláris rendszerben visszaszívott vízmennyiség szabályozza!
- a tubuláris rendszer hámsejtjeinek vízáteresztő képessége eltérő
- szűrlet ozmolaritása a tubuláris szakaszokban eltérő: izozmotikus -> hiperozmotikus -> hipozmotikus -> hiperozmotikus





A vizeletkoncentrálás folyamata

- a szövetközötti folyadék (velőállomány) nagy ozmolaritása (azaz a vesemedence felé növekvő ozmolaritás-gradiens) döntő a víz-visszaszívásban (ozmózis!)

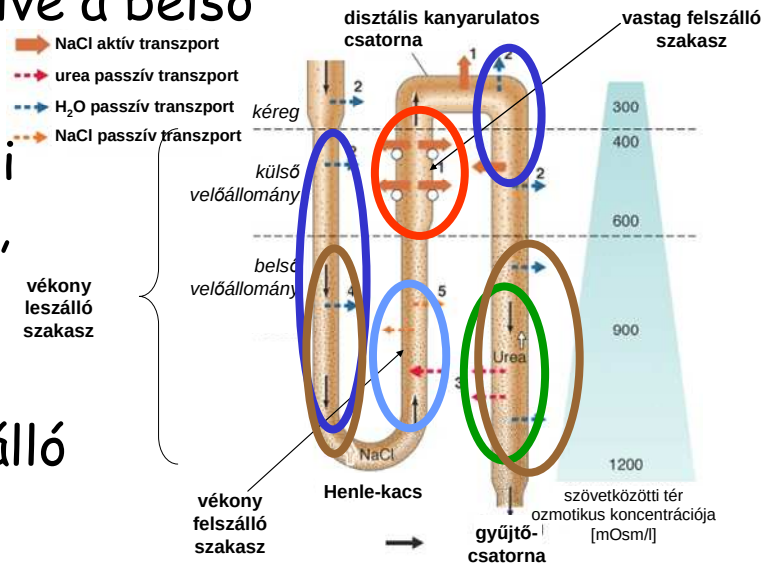
1. felszálló vastag Henle kacs: aktív NaCl transzport az intersticiális térbe
2. ozmotikus vízvesztés a proximális, valamint a disztális tubulusban
3. a Henle-kacsban történő víz és sóvesztés miatt a karbamid (urea) koncentráció megnő a gyűjtőcsatornában

⇩

nagy az urea-permeabilitás, így az urea passzívan kikerül az intersticiális térbe, tovább növelve a belső velőállomány ozmolaritását

4. a velőállomány növekvő ozmolaritása további vizet von ki a juxtamedulláris nefron hosszú, vékony leszálló ágából (passzív), a szűrlet hiperozmotikus lesz

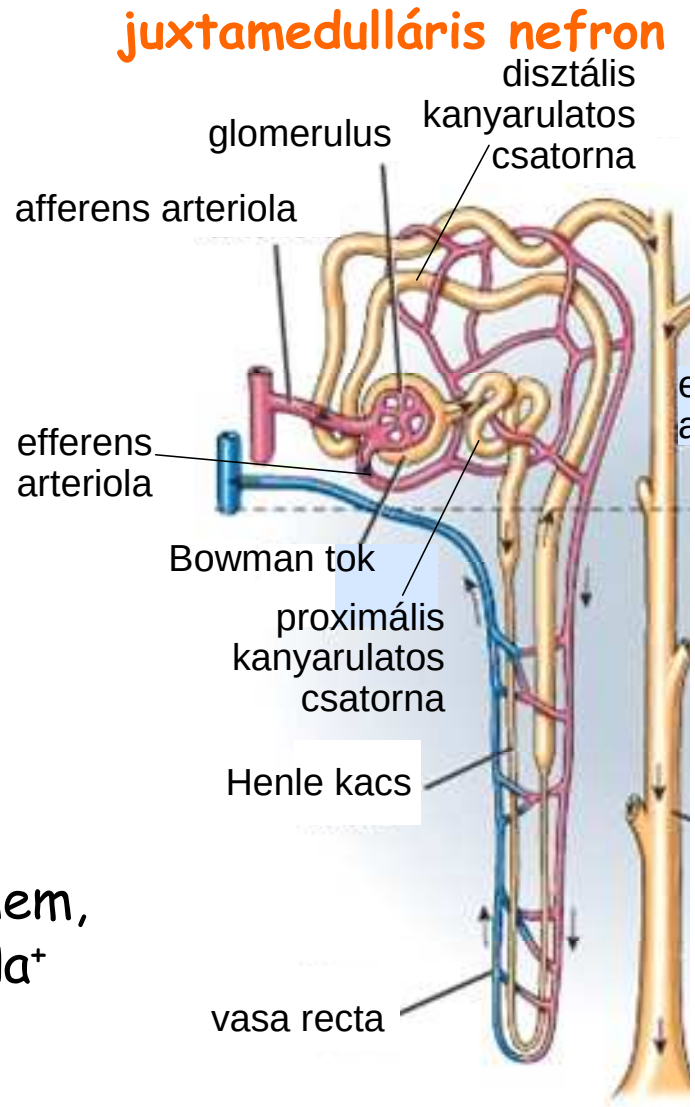
5. a hiperozmotikus szűrletből a vékony felszálló ágban további, passzív NaCl kiáramlás a szövetközötti térbe



A vizeletkoncentrálás folyamata

- a juxtamedulláris nefron körüli vasa recta is fontos:

  - tubuláris rendszerben áramló szűrlettel ellenkező irányú vérplazma áramlás a kapillárisokban
  - lehetővé teszi a filtrációhoz szükséges nagy renális véráramlás mellett az intersticiális folyadék ozmotikus koncentráció-gradiensének megőrzését
  - lassú véráramlás: a velőállomány O_2 és tápanyagelletásának biztosítása anélkül, hogy a kialakuló ozmolaritás-gradienst megszüntetné
  - a vasa recta-n keresztül a velőállomány nem, vagy csak nagyon kis mértékben veszít Na^+ iont



A veseműködés hormonális szabályozása

hormon	*termelődését előidéző élettani változás*	*élettani hatása*	*következmény*
angiotenzin II	vértérfogat ↓, vérnyomás ↓ -> JGA renin termelés ↑	•proximális kanyarulatos csatornában Na^+ és H_2O visszaszívás ↑ •arteriola konstrikció ↑	•GFR ↓ •vértérfogat, vérnyomás ↑
aldoszteron	magas angiotenzin II szint, vérplazma K^+ szintje ↑ -> mellékvese kéreg	•disztális tubulusban, gyűjtőcsatornában Na^+ (és H_2O) visszaszívás ↑	•vizeletmennyiség ↓ •vértérfogat ↑
ADH (vazopresszin)	vérplazma ozmolaritás ↑, vértérfogat ↓ -> hipotalamo-hipofizeális rendszer	•gyűjtőcsatornában vízcsatorna megjelenése, H_2O visszaszívás ↑	•vértérfogat ↑ •vérplazma ozmolaritás ↓ •vizeletmennyiség ↓
ANP	vértérfogat ↑, pitvarfal feszülése ↑ -> pitvarfalban termelése ↑	•filtrációs felület ↑ •Na^+, H_2O visszaszívás ↓	•GFR ↑ •vizeletmennyiség ↑ •vértérfogat ↓
parathormon (PTH)	vérplazma Ca^{2+} szint ↓ -> mellékpajzsmirigy PTH termelése ↑	•disztális kanyarulatos csatornában Ca^{2+} visszaszívás ↑	•vérplazma Ca^{2+} szint ↑

A vízfelvétel szabályozása

- ivás
- táplálék
- oxidációs víz (deszt. víz)

} hipozmotikus ⟺

- vizelet
- széklet
- légzés, izzadás
- párologtatás

} elektrolit oldatok

- hiperozmózis és hipovolémia egyaránt szomjúságérzetet kelt – de a vízkonzerválás (ld. ADH termelés) már hamarabb beindul
- emberben a hiperozmózis kiváltotta szomjúság a szükséges vízfelvétel ~50%-ánál megszűnik (maradék vízfelvétel 20-30 percen belül)

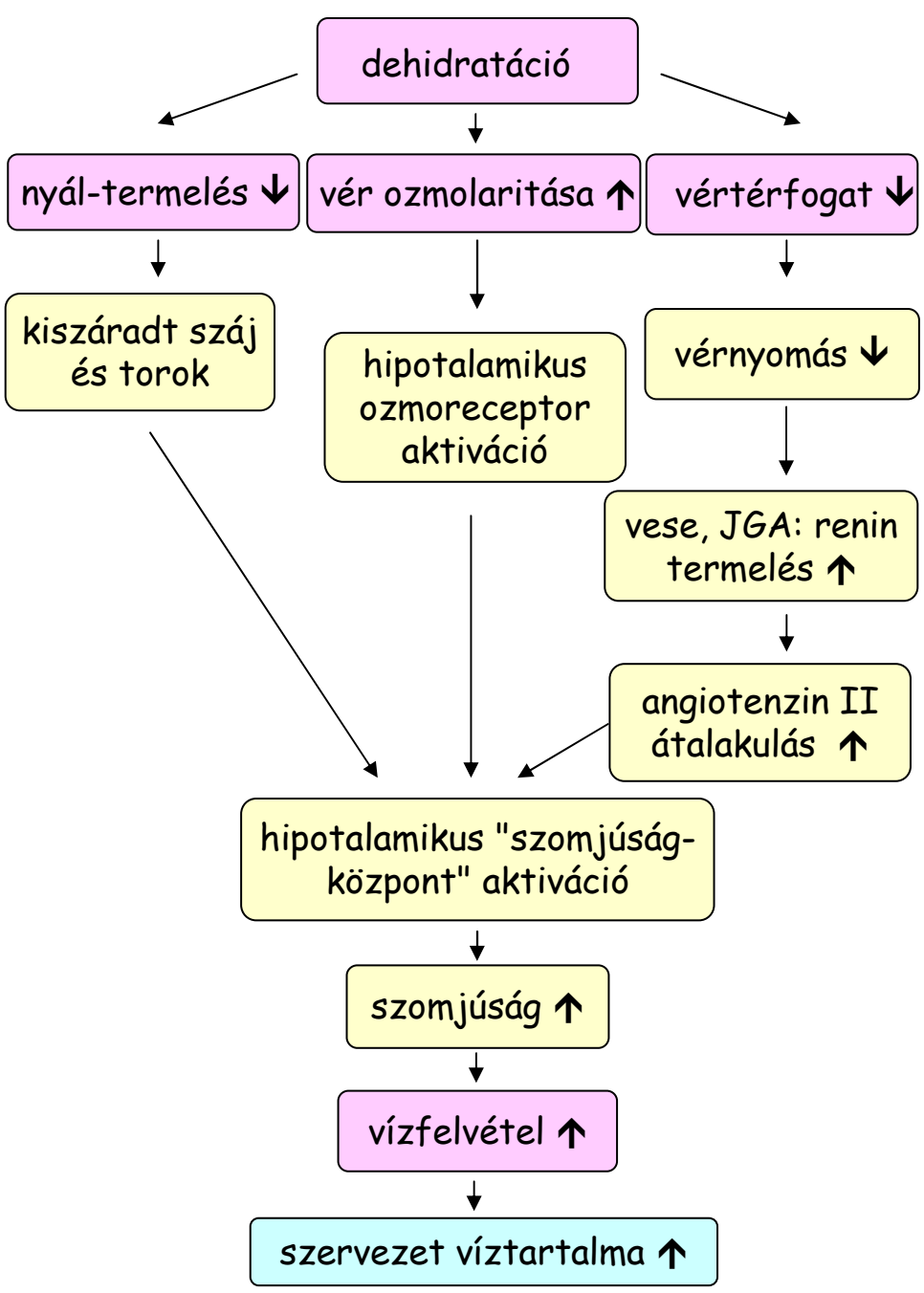
ozmoreceptorok

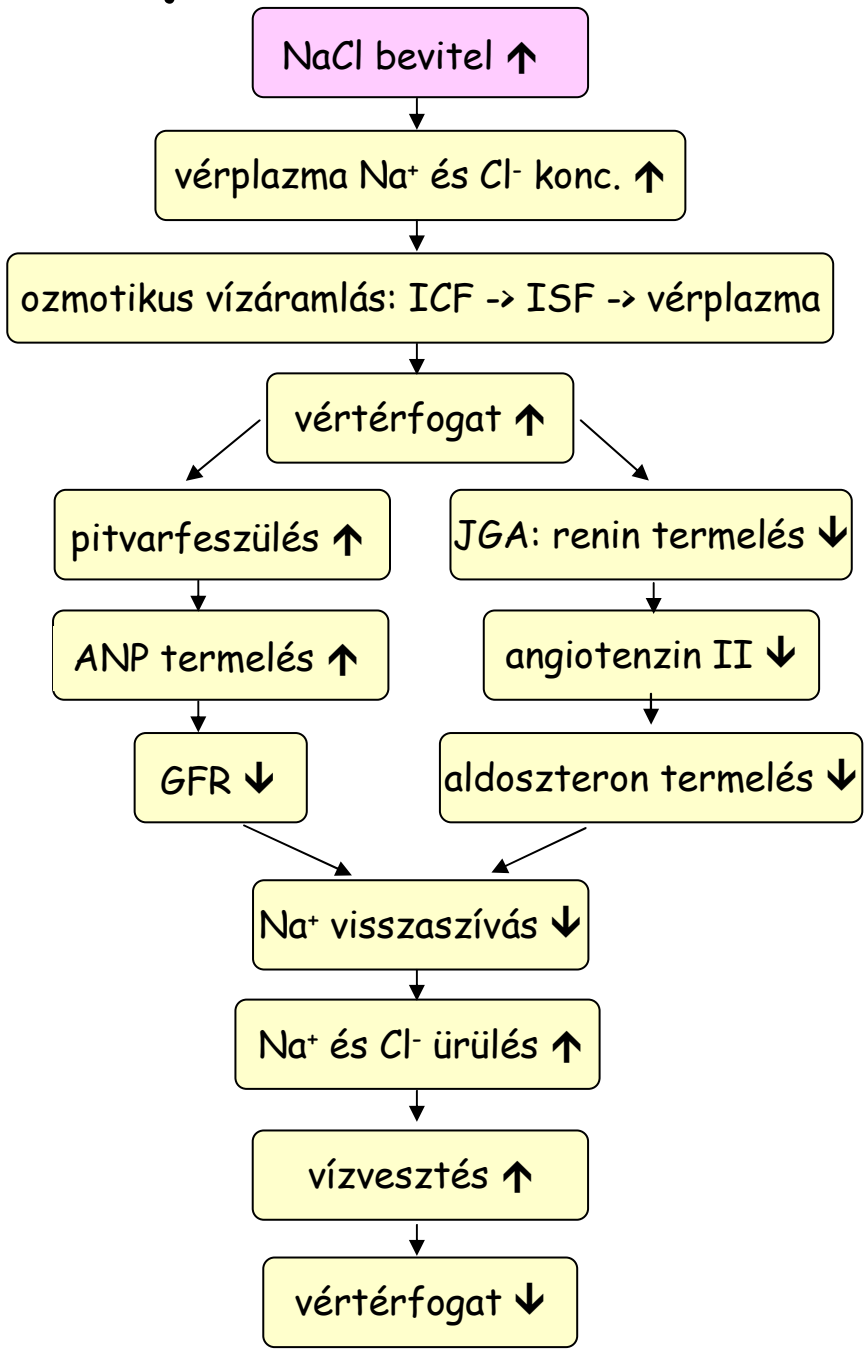
- elülső hipotalamuszban, szájnyálkahártyában (nyálelválasztás csökkenése -> szomjúságérzet)
- ECF vagy vérplazma ozmolaritásának 2-3% emelkedése aktiválja

ADH
angiotenzin II
aldoszteron

} víz és Na^+ konzerválás ⟺ ANP } túlzott vértérfogat elleni védelem

A vízfelvétel szabályozása





A vesében termelődő egyéb hormonok

eritropoetin (EPO)

- vörösvértest képződés fokozása
- termelődését hipoxia váltja ki

prosztaglandin E2

- értágító hatás, gyulladásmediátor
- angiotenzinnel ellentétes hatás

kallikrein

- bradikinin termelése
- értágító hatás, vesekeringés fokozása

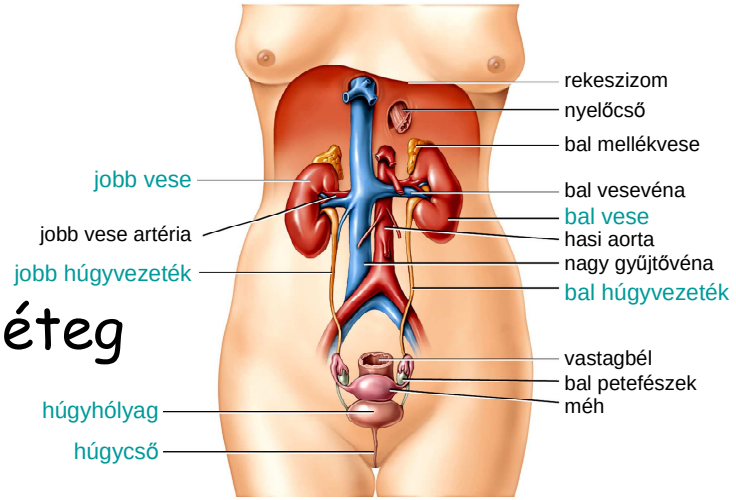
A vizeletelvezető rendszer

- folyamatos vizeletképződés (0,5-2 ml/perc), de szakaszos (akaratlagos) ürítés (300-400 ml)

<u>felső húgyutak:</u>

- vese: vesekelyhek, vesemedence
- húgyvezeték (ureter)
  - páros; falában egyegységes simaizomréteg
  - ureter perisztaltika: szakaszos vizelettovábbítás normál esetben
    - 1-5 hullám / perc
    - vizelet továbbításában a gravitáció és a hidrosztatikai nyomás is segít
  - anatómiailag nincs záróizom, DE:

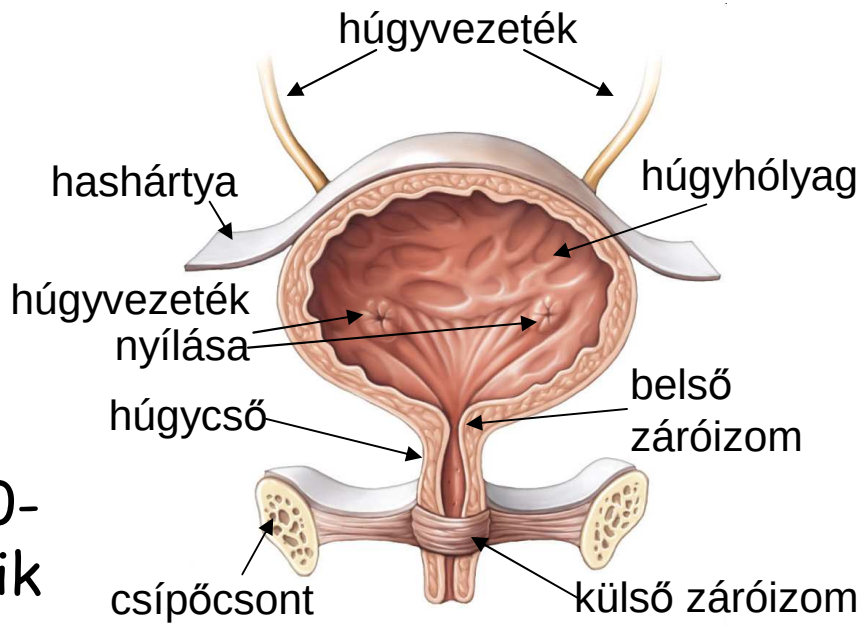
    az ureter a húgyhólyag falát ferdén fúrja át - a megtelő húgyhólyag feszülése meggátolja a vizelet visszaáramlását



A vizeletelvezető rendszer

<u>alsó húgyutak:</u>

- húgyhólyag
  - simaizom, feszülésmentesen nyújtható; nagy tágulékonyság
  - lassú telődés során a húgyhólyagon belüli nyomás 300-400 ml térfogatig alig emelkedik
  - fokozódó feszítés: → vizelési inger kiváltása (adott gerincvelői szelvények)



- húgycső

  fokozódó reflexes záróizom (szfinkter) kontrakció
  - belső záróizom – simaizom; akaratlan szabályozás
  - külső záróizom - vázizom; akaratlagos szabályozás

A vizeletürítés

- kölcsönös beidegzés:

a hólyagizomzat aktivációja ⟺ a húgyvezeték, a gát, a hólyagnyak simaizomzata és a külső záróizom vázizmai ellazulnak

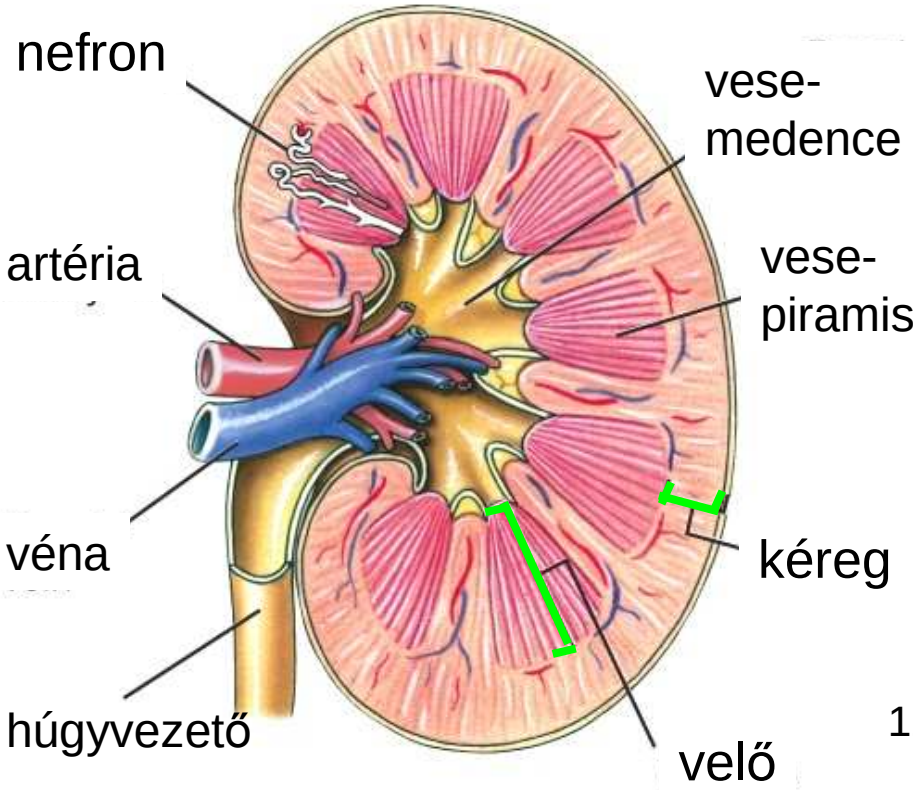
vegetatív idegrendszer irányítása alatt:

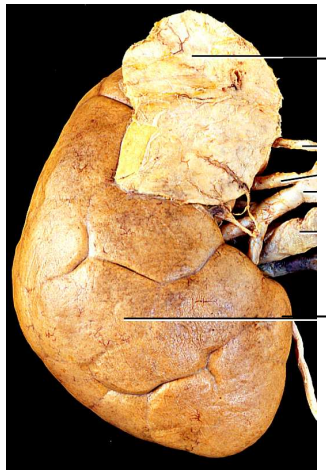
szimpatikus		**paraszimpatikus**
(Th_0-L_2) lumbális	gv-i szelvény afferensek	szakrális (S_2-S_4)
csökkenti	perisztaltikus mozgást, vizelettovábbítást	növeli
ellazít	húgyhólyagfal	összehúzza
összehúzódás	záróizom	ellazítás
⇩		⇩
vizeletvisszatartás		**vizeletürítés**

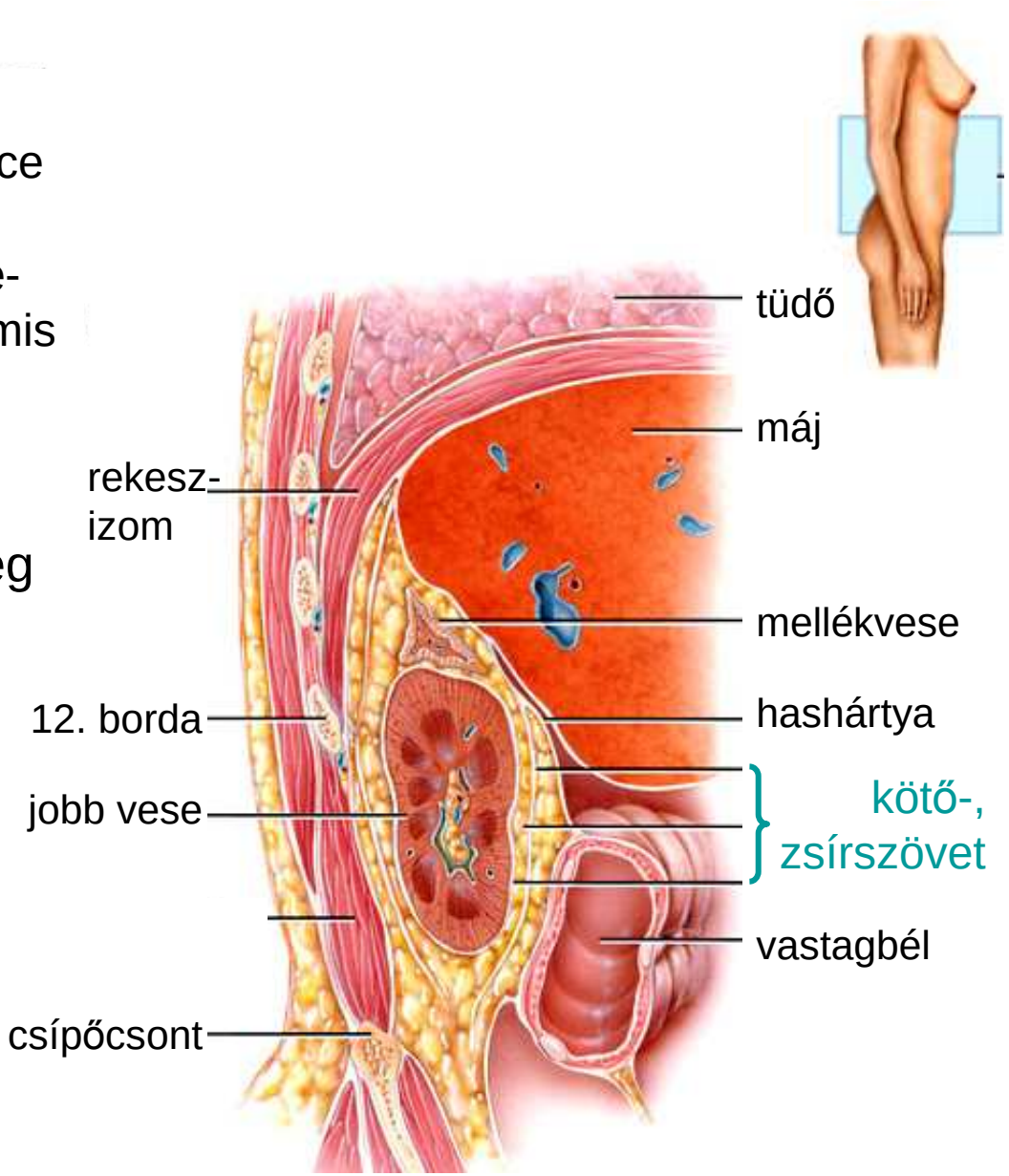
- "vizelési centrum" a hídban (Barrington-féle area)
- szobatisztaság: külső záróizom akaratlagos szabályozása

Ábrák

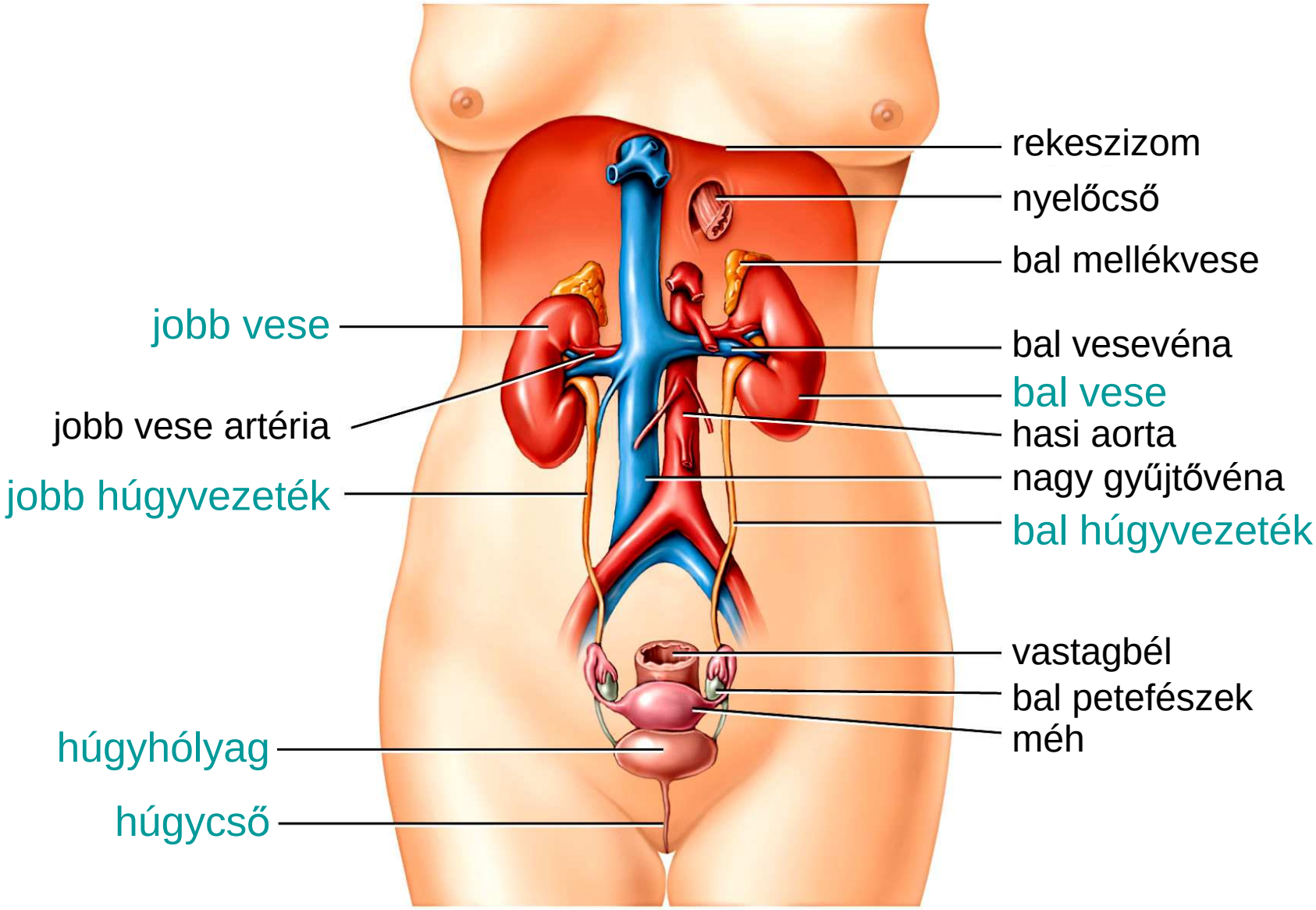
A vese felépítése és elhelyezkedése

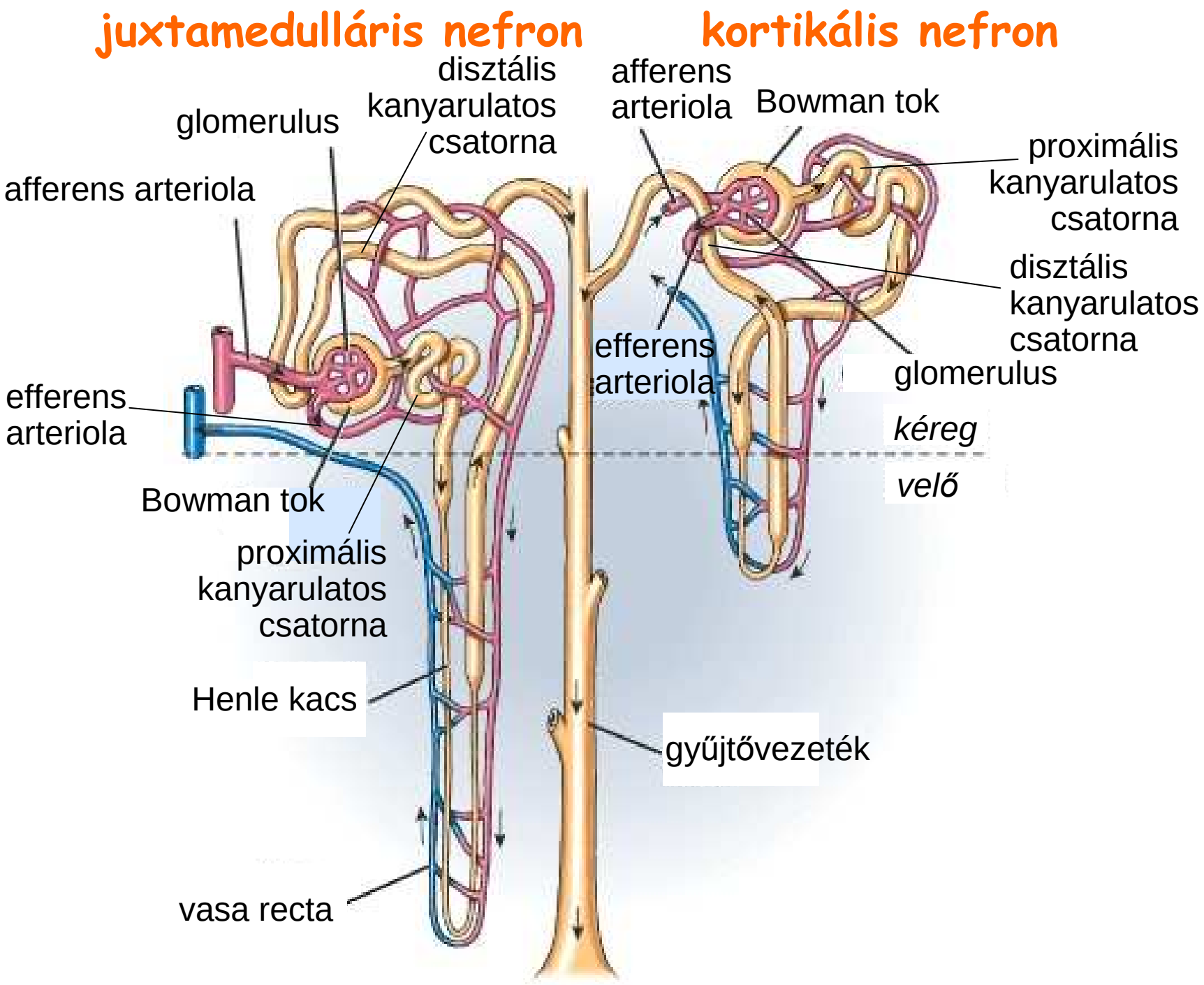




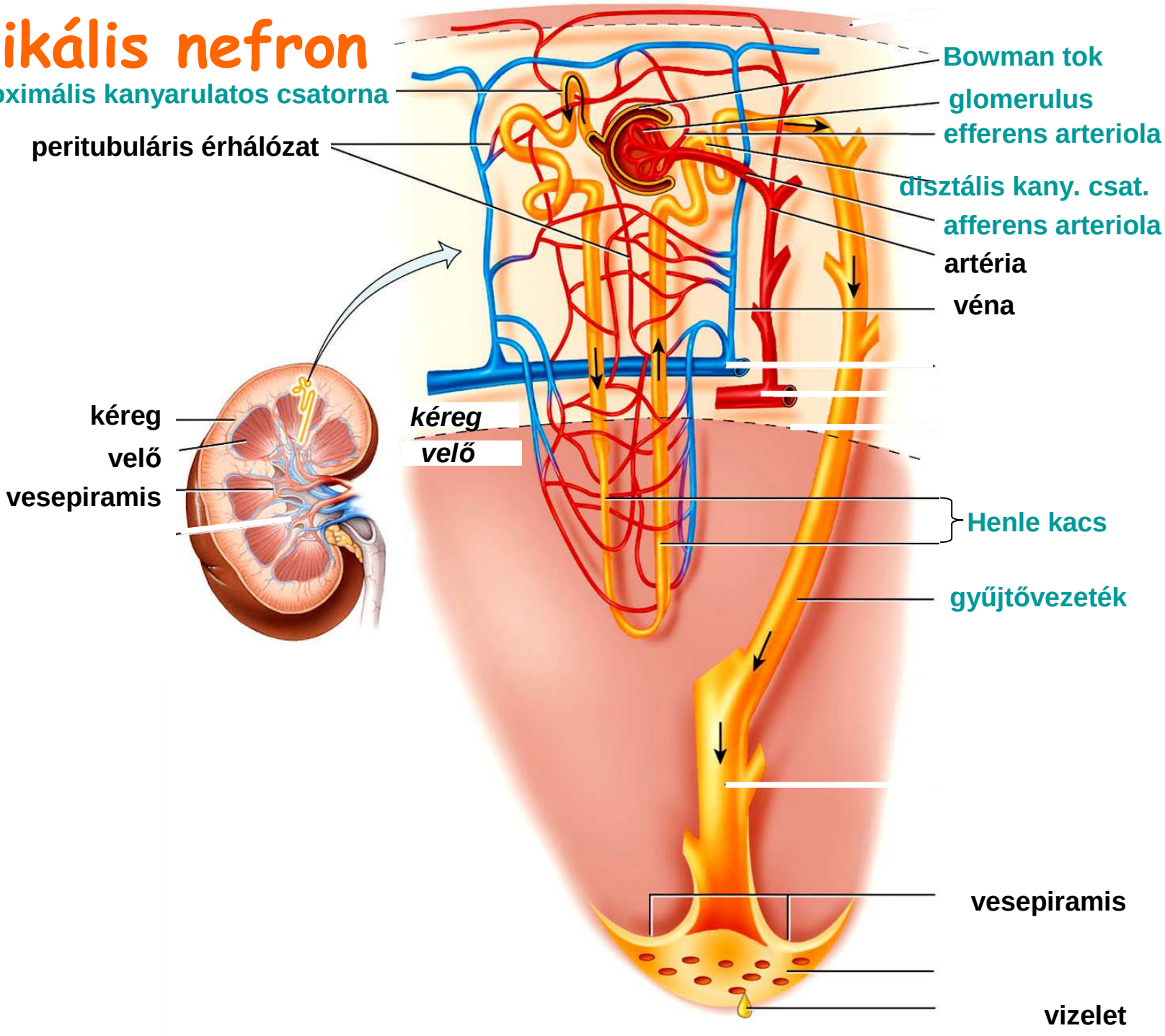


A vizeletelvezető rendszer felépítése

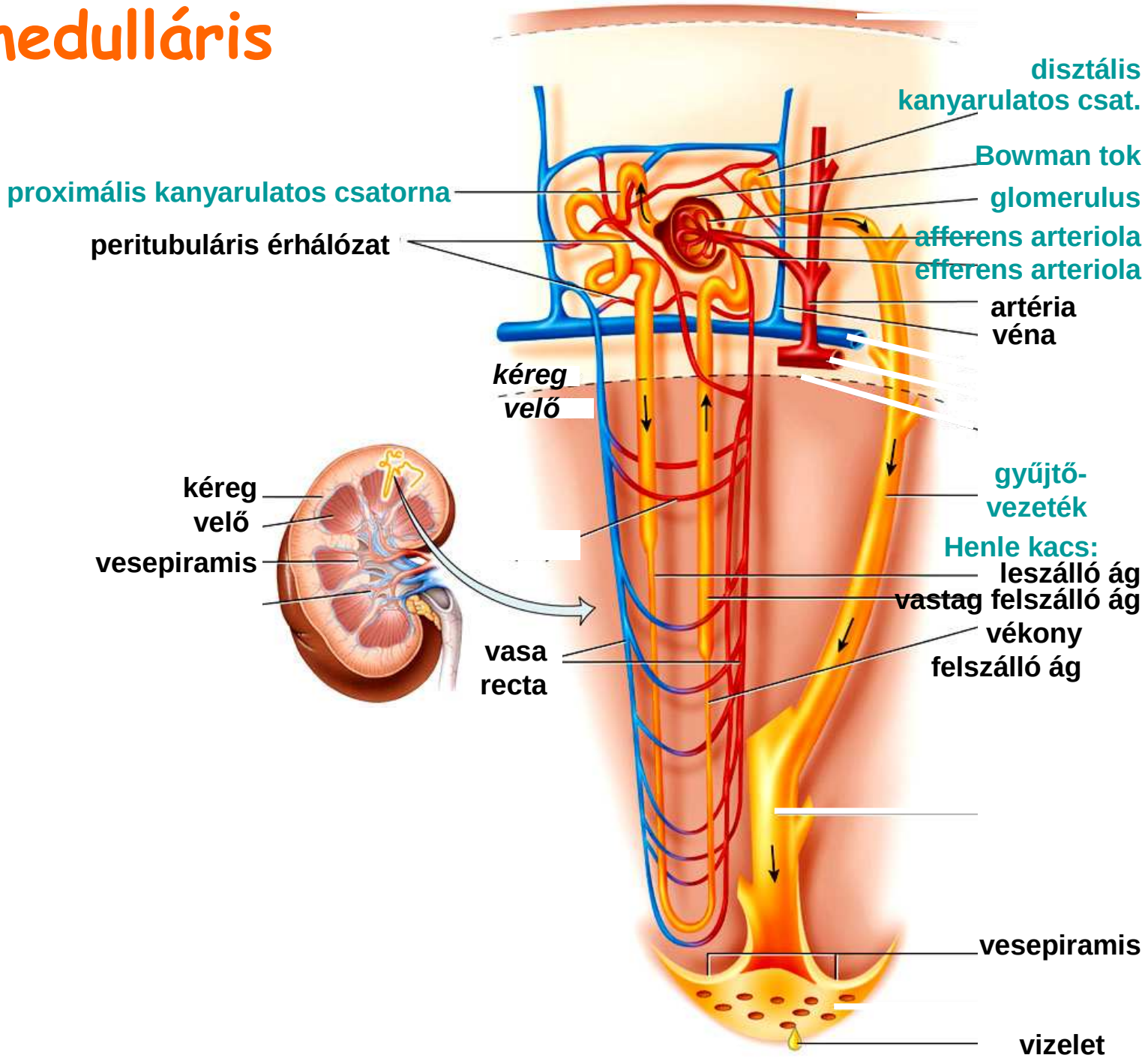



juxtamedulláris nefron
kortikális nefron
disztális kanyarulatos csatorna
glomerulus
afferens arteriola
efferens arteriola
Bowman tok
proximális kanyarulatos csatorna
Henle kacs
vasa recta
gyűjtővezeték
afferens arteriola
Bowman tok
proximális kanyarulatos csatorna
disztális kanyarulatos csatorna
efferens arteriola
glomerulus
kéreg
velő

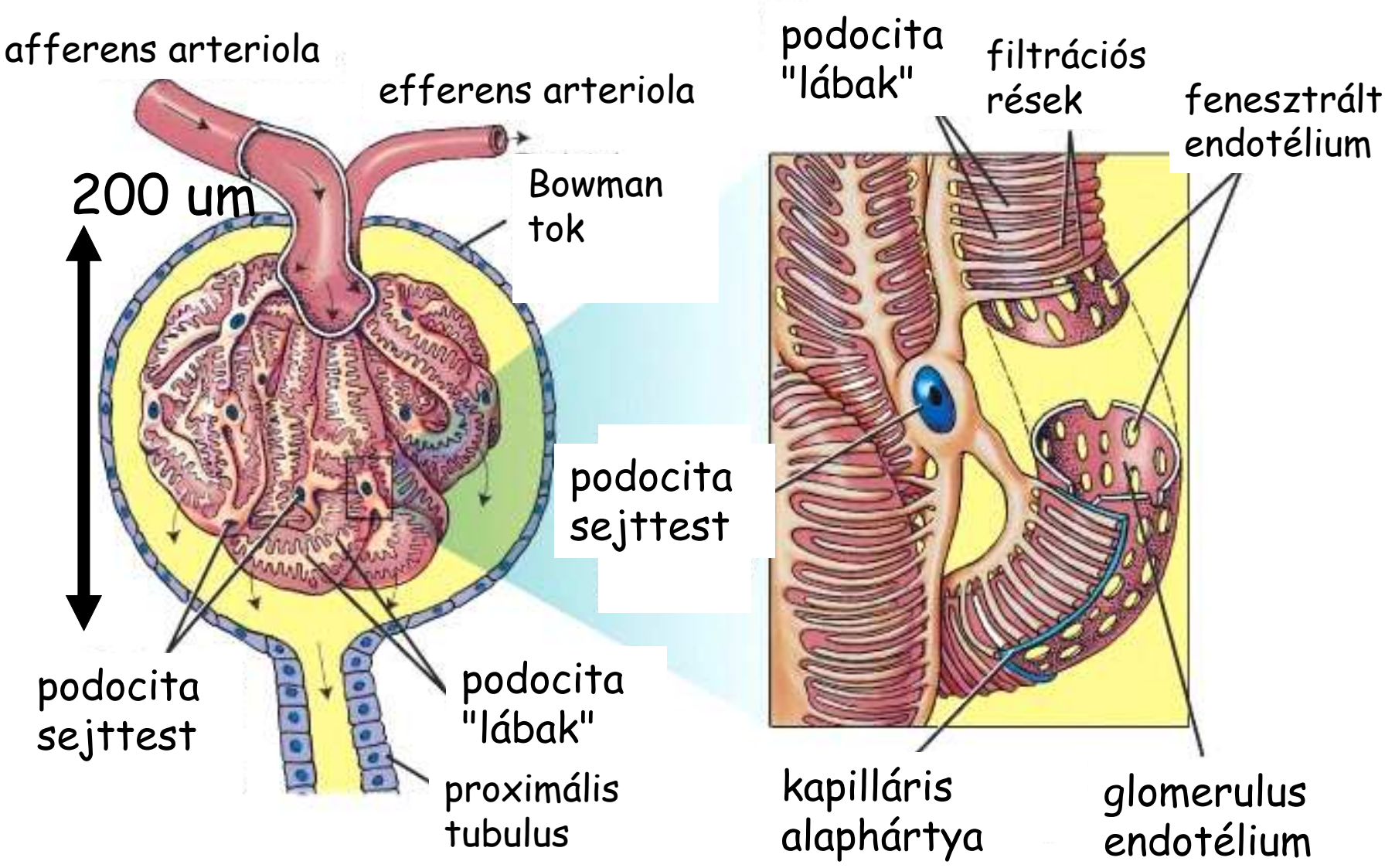
A kortikális nefron



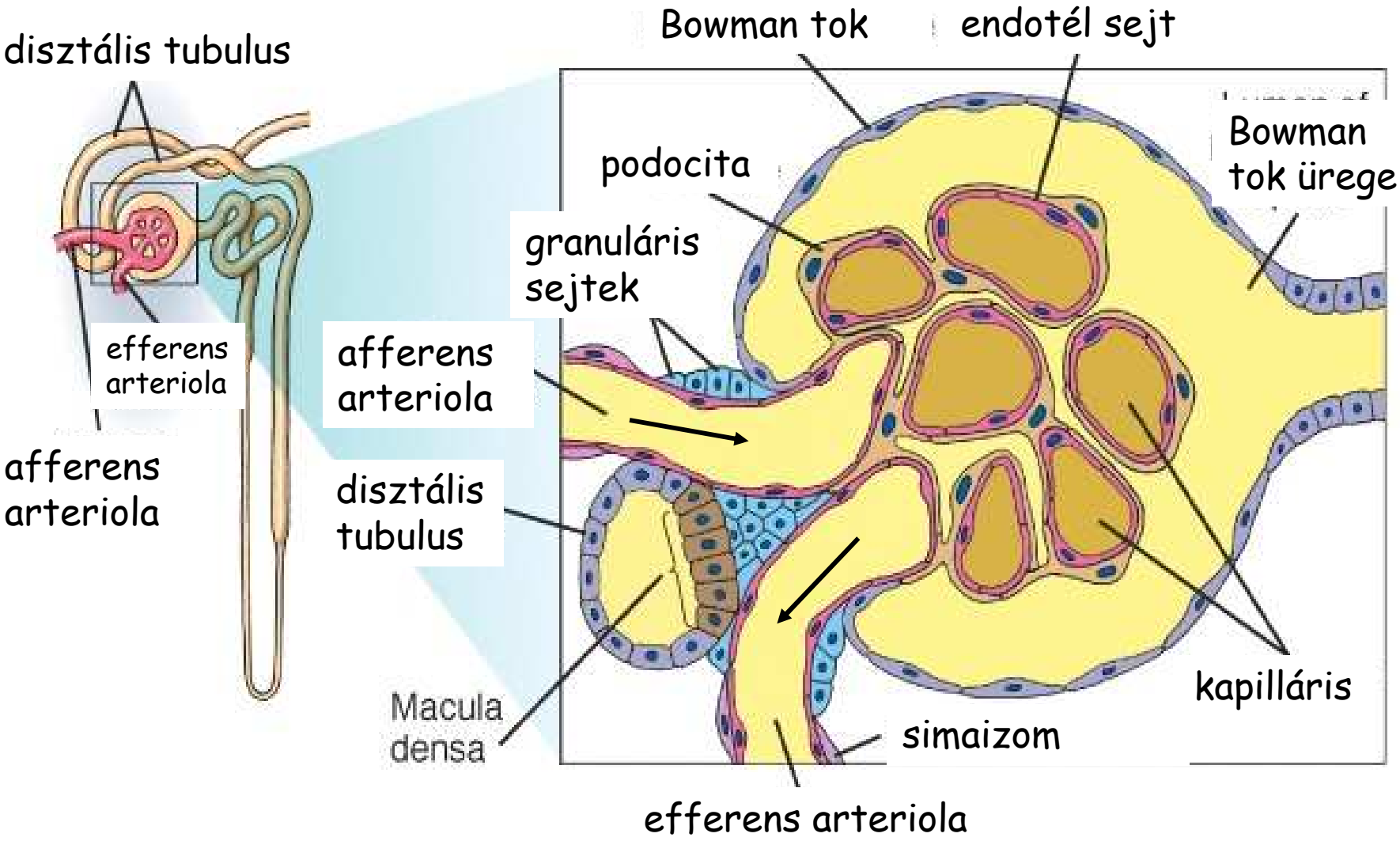
A juxtamedulláris nefron



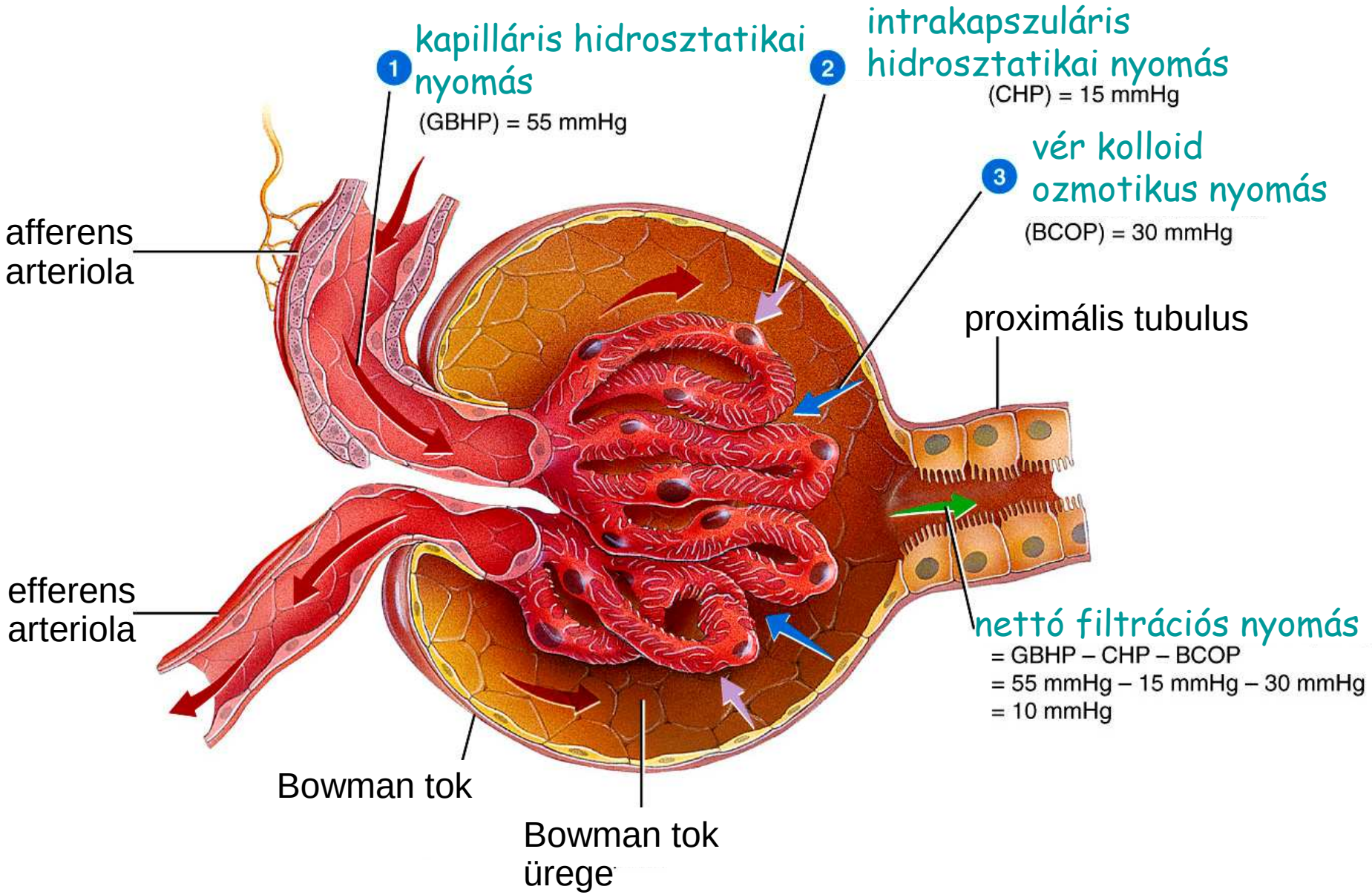
A glomerulus felépítése



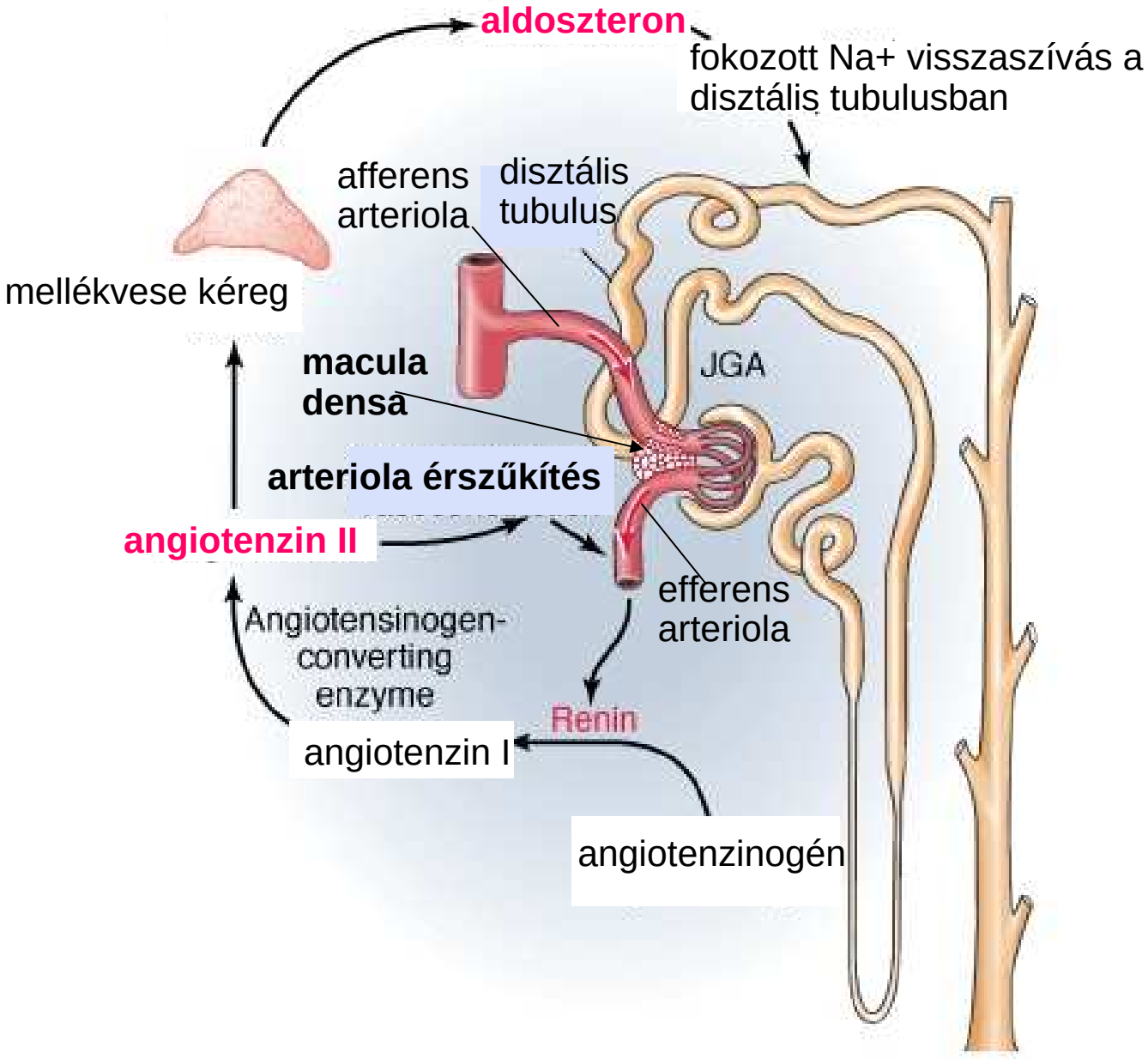
A glomerulus felépítése



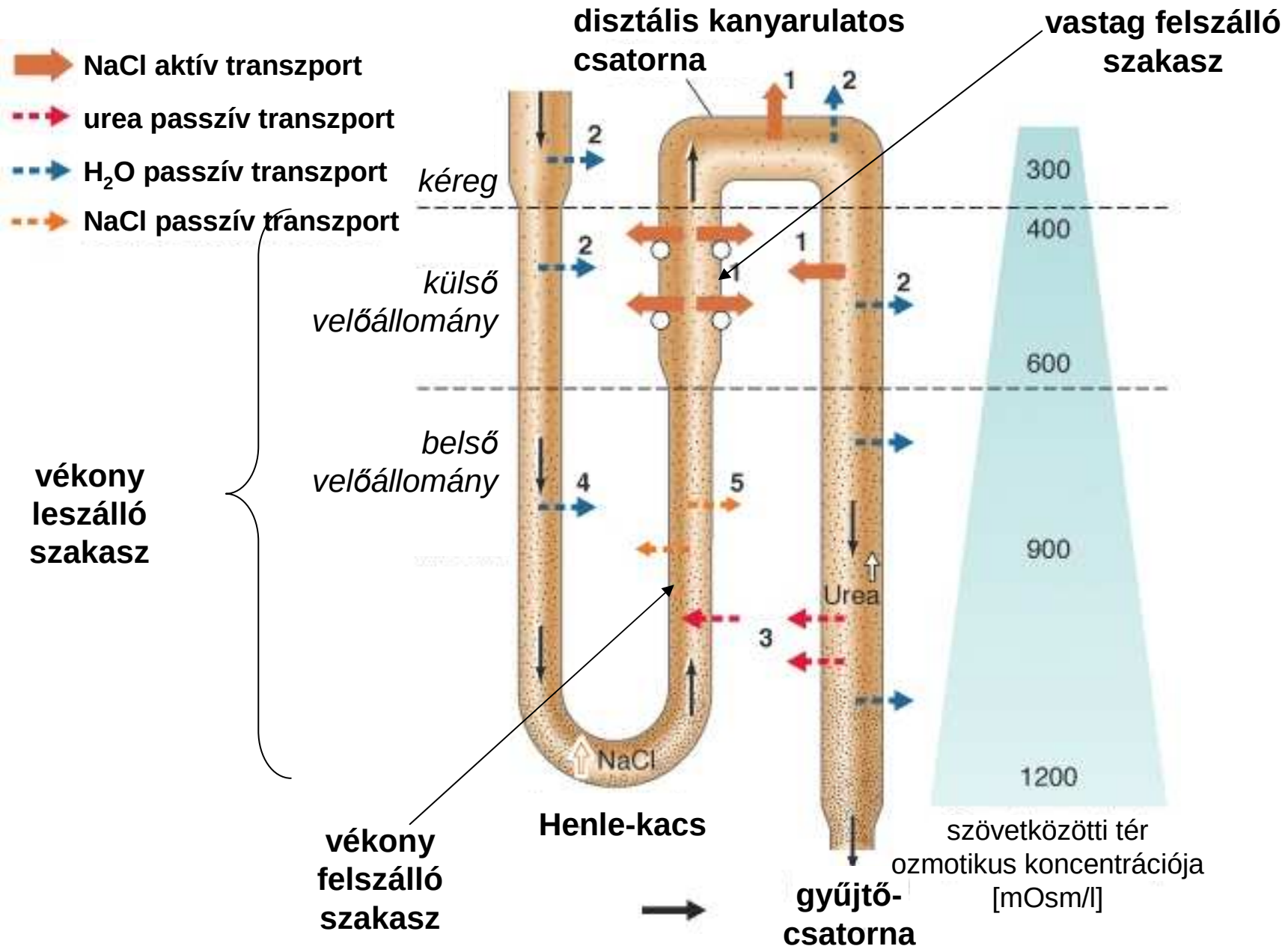
A GFR szabályozása



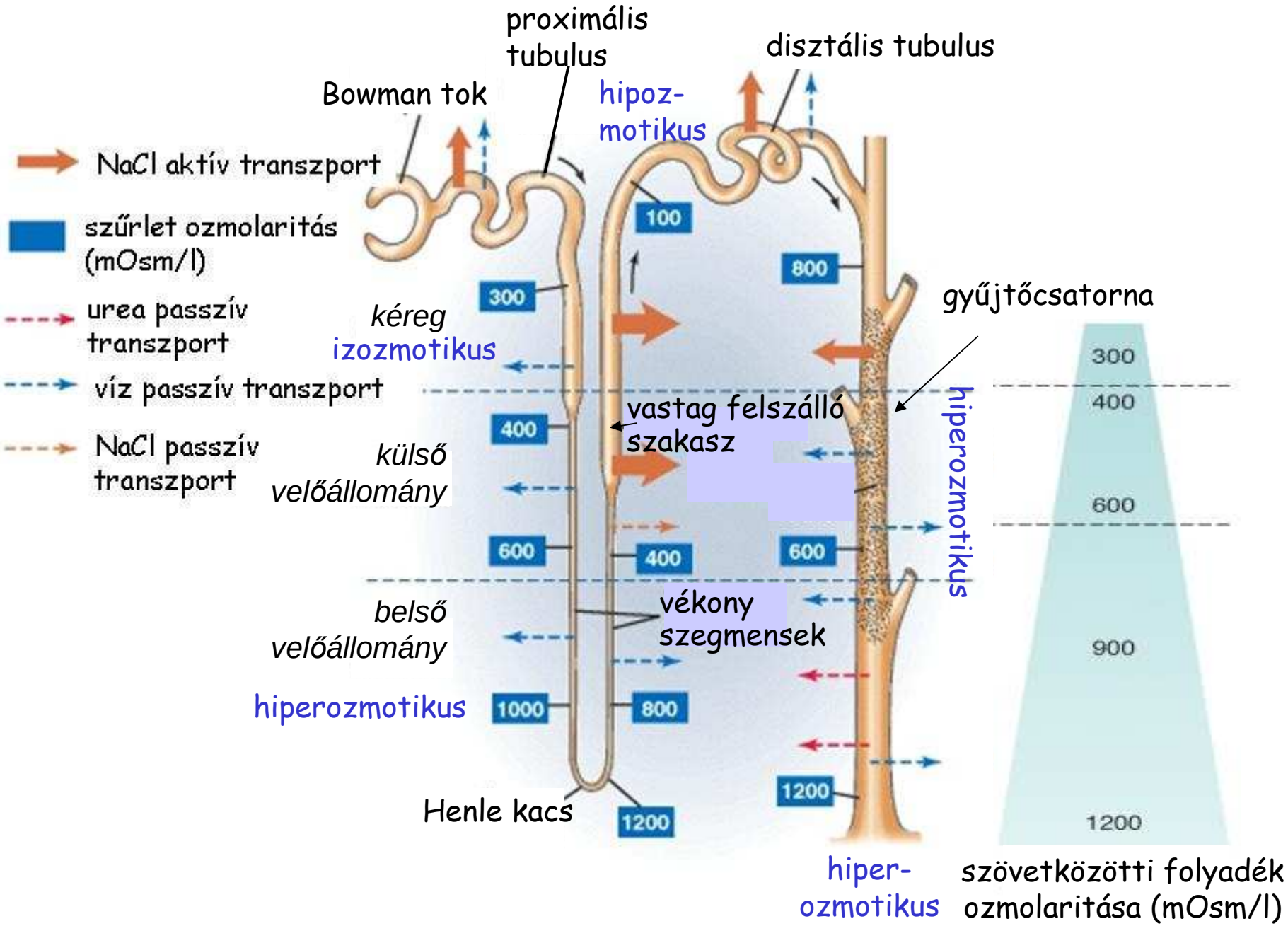
A renin-angiotenzin-aldoszteron rendszer



A tubuláris rendszer transzportfolyamatai



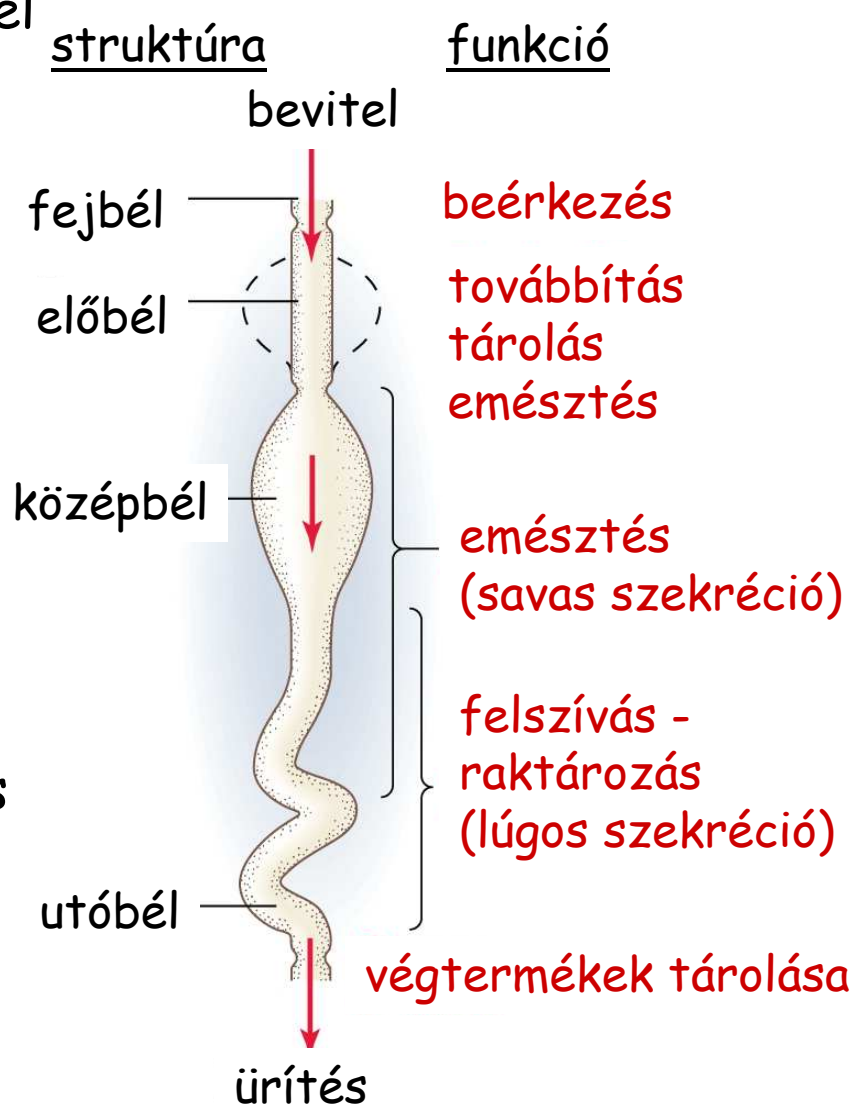
A szűrlet ozmolaritása



A tápcsatorna felépítése, az emésztés és felszívás folyamatai

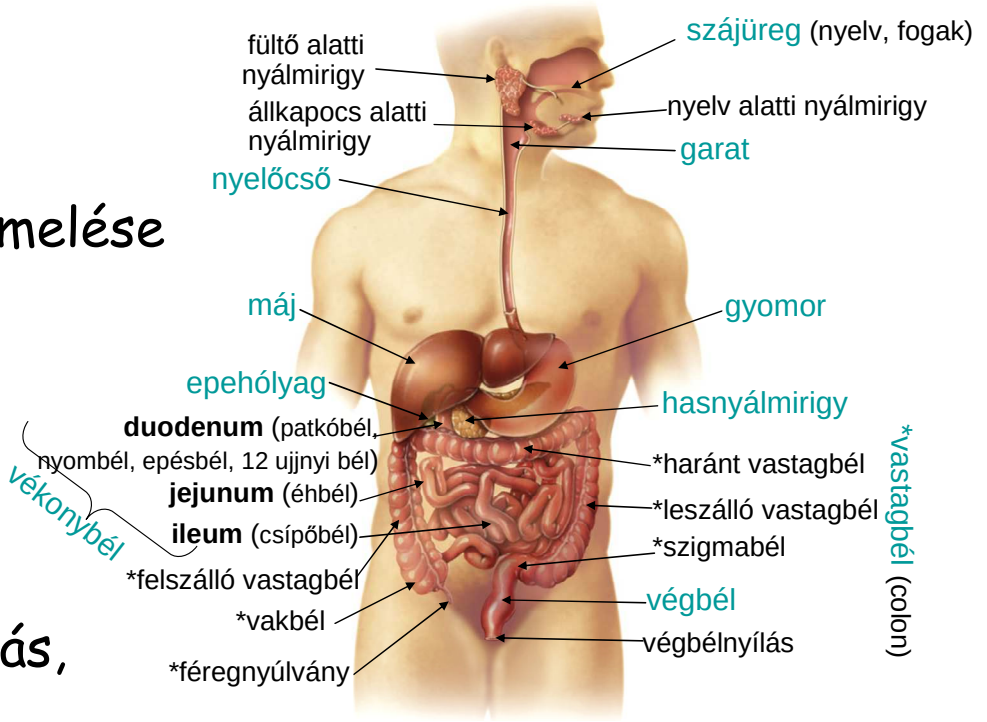
A bélcsatorna általános felépítése

- a külvilág része, a nyílásokat záróizmok (szfinkterek) védik
  - fejbél:
    - táplálék belépése: evéssel/nyeléssel kapcsolatos struktúrák, funkciók
    - szájüreg, garat
  - előbél:
    - táplálék továbbítása, tárolása, emésztése
    - ált. nyelőcső és gyomor
  - középbél:
    - emésztés (duodenum, jejunum)
    - felszívás (jejunum, ileum)
    - perisztaltikus, keverő mozgások
    - nagy felület, savas és/vagy bázikus szekréció
  - utóbél
    - tárolás, só- és vízvisszaszívás
    - ürítés



Az emésztőrendszer felépítése és általános funkciói

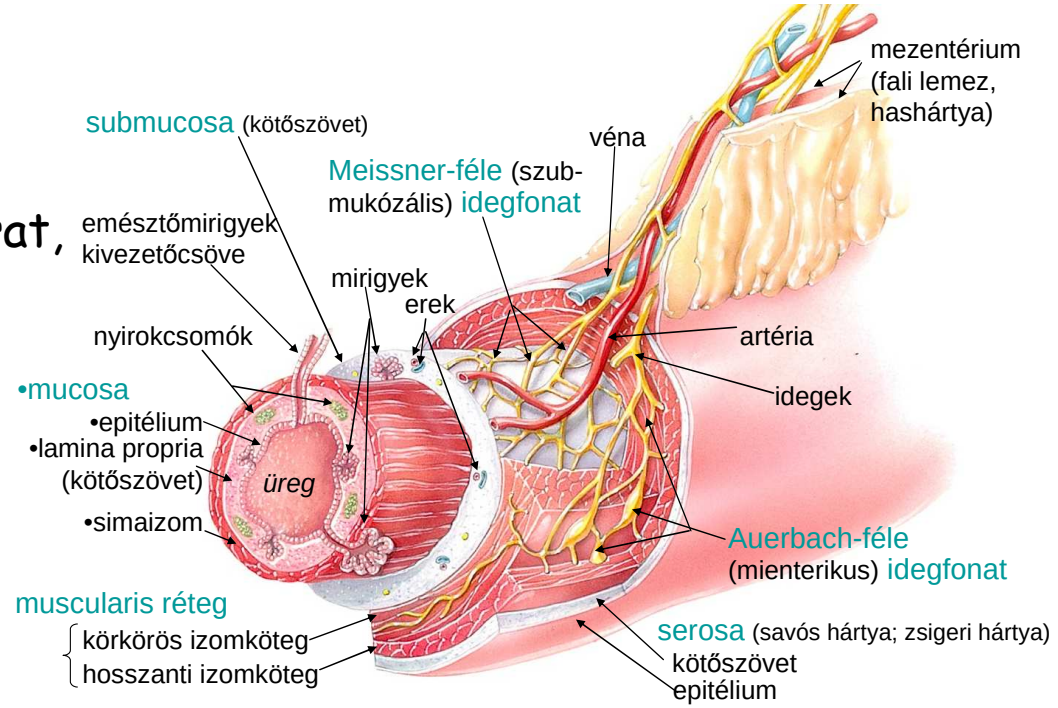
- tápanyag bevitel:
  - evés, ivás
- kiválasztás (szekréció):
  - víz, savak, pufferek, enzimek termelése az emésztő szervekben
  - kb. napi 7 liter!
- keverés, továbbítás:
  - simaizom perisztaltikus mozgása
- emésztés:
  - mechanikai ~: őrlés (fogak), aprítás, keverés (perisztaltika)
  - kémiai ~: emésztőenzimek (nyál, gyomornedv, hasnyál, vékonybélnedv)
- felszívás:
  - tápanyagok vér- és nyirokáramba juttatása
  - vitaminok, ionok, koleszterol, víz kémiai emésztés nélkül is
- ürítés:
  - széklet: salakanyag, emészthetetlen anyagok, baktérium, levált bélsejtek, fel nem szívott anyagok.....



A gyomor-bélrendszeri traktus (gasztrointesztinális, GI rendszer) fala

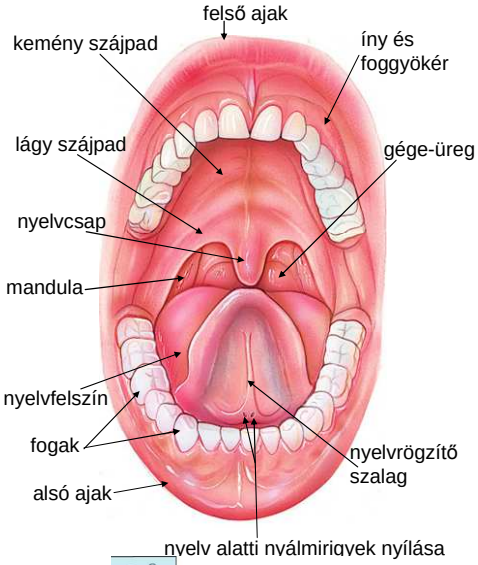
nyelőcső alsó harmadától a végbélnyílásig 4 réteg:

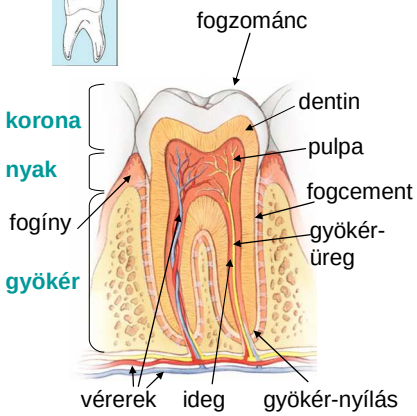
- mucosa:
  - epitélium: hámsejtek szorosan zárt rétege
  - lamina propria: laza kötőszövet (nyirokcsomók és -erek, mirigyek, erek)
  - vékony simaizomréteg
- submucosa:
  - laza rostos kötőszövet (vér- és nyirokerek, felszívott tápanyagok elszállítása)
  - Meissner-féle idegfonat
- izomréteg (muscularis):
  - többrétegű simaizom (száj, garat, nyelőcső felső harmada, külső záróizom: vázizom!!)
  - Auerbach-féle idegfonat
- serosa:
  - savós hártya: kötőszövet + hámréteg; hashártya zsigeri (viscerális) lemeze

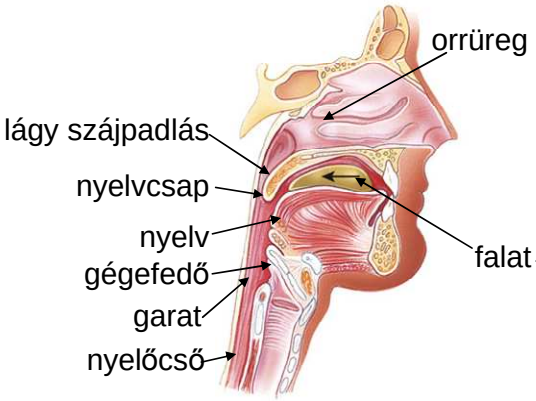


A szájüreg és a nyelés

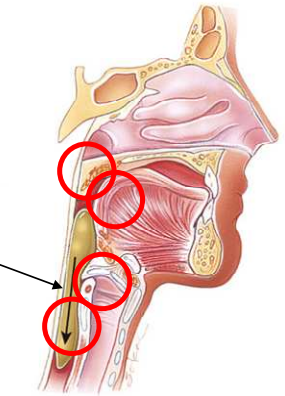
- táplálék bevitel: aprítás, nedvesítés, adagonkénti továbbítás
- nyelés: táplálék útjának elzárása az orrüreg és a légutak felé
  - nyelvgyök megemelkedése – táplálék a lágy szájpad és garat mechanoreceptoraihoz nyomódik – nyelési reflex beindítása
  - légutak elzárása: lágy szájpad megemelkedése, hangszalagok összehúzódása (glottis záródása), gége felemelkedése, agytörzsi belégző központ gátlása
  - falat nyelőcső felé való továbbítása: garatizmok



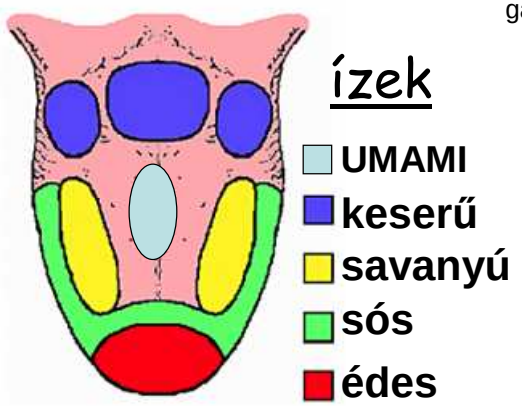


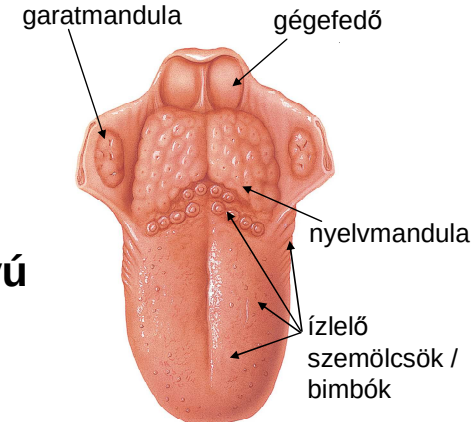


nyelés előtt



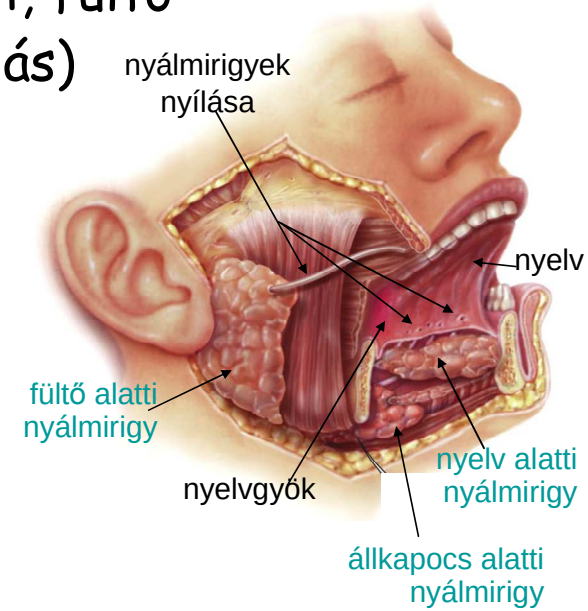
nyelés garati szakasza





A nyálmirigyek és a nyál

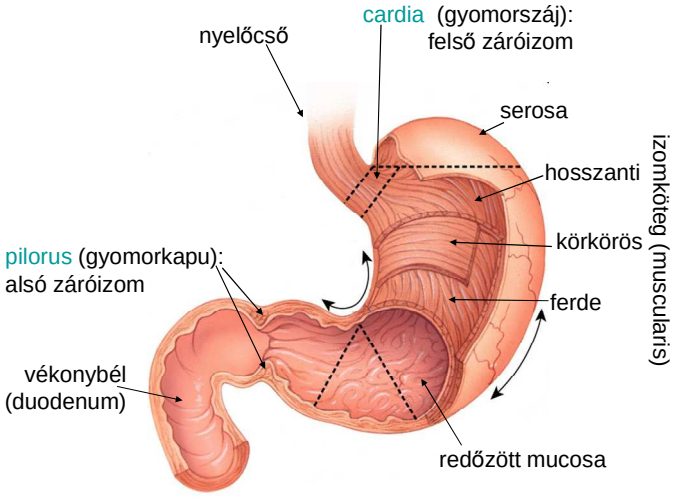
- 3 pár nagy nyálmirigy (nyelv alatti, állkapocs alatti, fültő alatti) és sok kis nyálmirigy (ajkak, pofa, szájpadlás)



- nyál:
  - nyálkahártya nedvesítése (szomjúság), tisztítás és védelem, beszédmozgások elősegítése
  - táplálkozás alatt: falat nedvesítése, oldása, kémiai emésztése; fokozott szekréció
  - 99,5% H_2O, 0,5% oldott anyag
    - ionok: Na^+, K^+, Cl^-, HCO_3^-, PO_4^{3-}
    - fehérjék: mucin (nyálkásítás), immunglobulinok (IgA) + lizozim (antibakteriális hatás, védelem), amiláz (keményítő emésztés di-, tri- és rövid poliszacharidokká), lipáz (gyomorban aktiválódik, trigliceridek bontása)
  - napi 1 - 1,5 l nyálelválasztás; reflexes (idegi és kémiai) szabályozás
    - szimpatikus nyál: sűrű, enzimet nem tartalmaz, enyhén savas/semleges pH (pH 6,5-6,8), sok nyák
      - nyelv- és állkapocsalatti mirigyek; védekezés, izgalom
    - paraszimpatikus nyál: híg, sok enzim, enyhén lúgos (pH 7,2) – **amiláz**
      - fültő- és nyelvalatti mirigy; emésztés

A gyomor

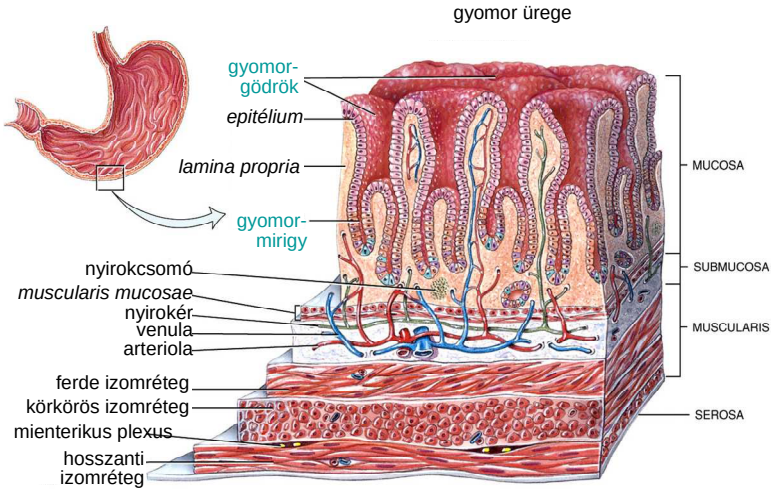
- nyelőcső felé eső rész (cardia, fundus)
  - körkörös, hosszanti és ferde izomkötegek
  - táplálék befogadása (felső záróizom elernyedésével) és tárolása
  - nagy tágulékonyság - táplálék beérkezésekor reflexes elernyedés



- vékonybél felé eső rész (corpus, pilorus)
  - ferde izomköteg nincs
  - lassú perisztaltikus ritmus (3/perc; amplitúdója disztálisan egyre nő): őrlés, keverés
  - pilorus emésztés alatt <1 mm darabokat enged át; emésztések között nagyobb darabok ürülése

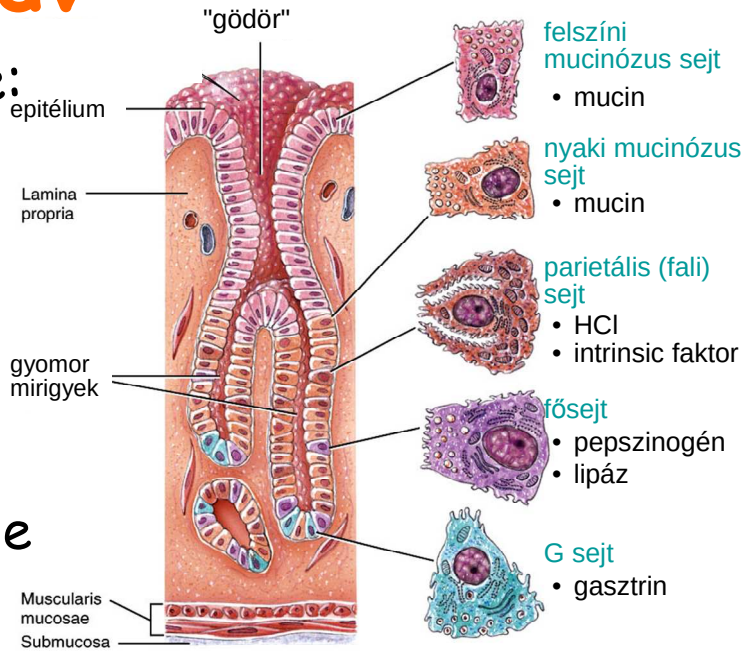
- gyomorfal: erősen redőzött + gyomormirigyek ("gödrök")

- kémiai és mechanikai emésztés; felszívás csak minimális



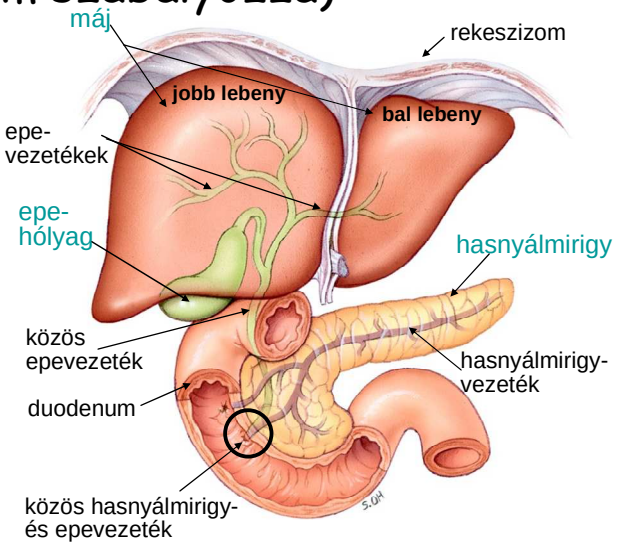
A gyomornedv

- szekréciós sejtek párhuzamos működése:
  - mucin: a gyomorfal sejtjeinek védelme a pepszines megemésztés ellen; lúgos pH (felszíni és nyaki mucinózus sejtek)
  - H^+ és Cl^-: savas pH (<pH2) biztosítása; (parietális/fali sejtek)
    - antibakteriális hatás, részleges fehérje denaturálás, pepszin pH optimumának biztosítása
    - K^+/H^+ ATPáz (aktív transzport); szénsav-anhidráz: HCO_3^- termelés; Cl^-/HCO_3^- transzporter (passzív transzport)
  - intrinsic faktor: B_{12} vitamin felszívásához, eritropoezishez szükséges (parietális/fali sejtek)
  - pepszinogén: savas közegben aktiválódik: pepszin (főssejtek)
    - fehérjebontás peptidekké
  - gyomor lipáz: trigliceridek bontása zsírsavakká és monogliceridekké; csecsemőkben anyatej-zsírok bontása (főssejtek)
  - gastrin: hormon; sósav és pepszinogén termelés serkentése (G sejtek)



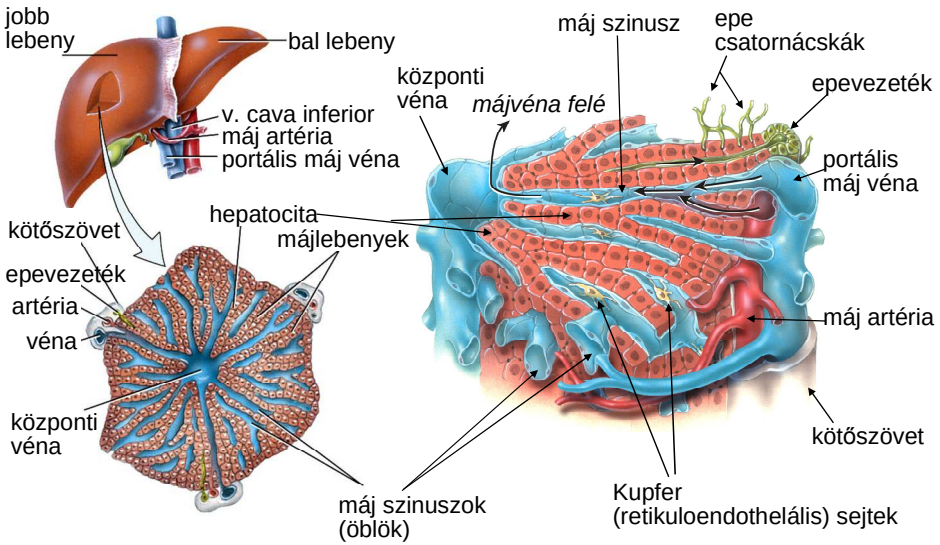
A hasnyálmirigy és a hasnyál

- 90-99% exokrin, de endokrin funkció is (acinusok: emésztőnedv; Langerhans szigetek: inzulin, glukagon, szomatosztatin termelés)
- 12-15 cm hosszú, 2,5 cm széles, gyomor nagy görbülete alatt
- epevezetékkel közös kivezető (Oddi-féle záróizom szabályozza)
- hasnyál: emésztéshez alapvetően szükséges (10% min. kell); duodenumba ürül
  - napi 1,2-1,5 l; enyhén lúgos (pH 7,1-8,2)
  - H_2O, sók, HCO_3^-
  - igen sokféle emésztőenzim termelése:
    - amiláz: keményítő (szénhidrát) bontás di- és triszacharidokká
    - lipáz: triglicerid bontás zsírsavakká és monogliceridekké
    - ribonukleáz, dezoxiribunukleáz: RNS, DNS bontás nukleotidokká
    - inaktív proteázok: tripszinogén, kimotripszinogén, prokarboxipeptidáz, proelasztáz
    - tripszin inhibitor: idő előtti tripszin-aktiváció ellen; védelem
- enterokináz: vékonybélfalban termelődik; tripszinogén -> tripszin átalakítás; tripszin a vékonybélben aktiválja a többi inaktív proteázt



A máj és az epehólyag; az epe

- sokféle működés
- szekréciós funkció: lipidek lebontásához, felszívásához epesavas sók, foszfolipidek termelése
- hepatociták:
  - májlebenyek: májszinuszok között elrendezve; ablakos kapilláris
  - epe termelése: nem valódi oldat; amfipatikus molekulák micellái – izozmotikus szekrétum
    - epevezetékbe szedődik össze, emésztések közötti időszakban epehólyagban tárolódik és sűrűsödik
    - napi 800-1000 ml; pH 7,6-8,6; sárgásbarna/zöld folyadék (bilirubin)



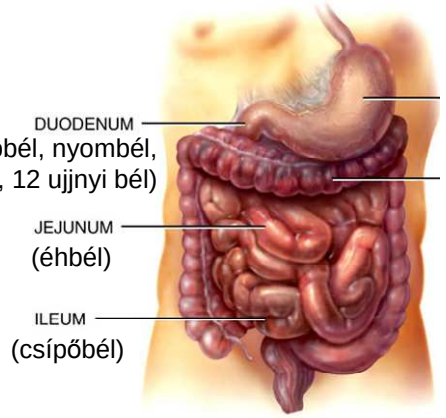
- epesavas sók, koleszterin, foszfolipidek, idegen anyagok kiválasztása
- emulzifikálás: nagy lipidcseppek kisebb cseppekre bontása; az emésztési felület növelése (lipázok), a zsírfelszívás fokozása

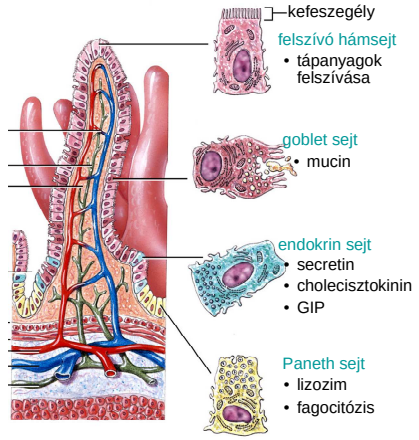
A máj egyéb funkciói

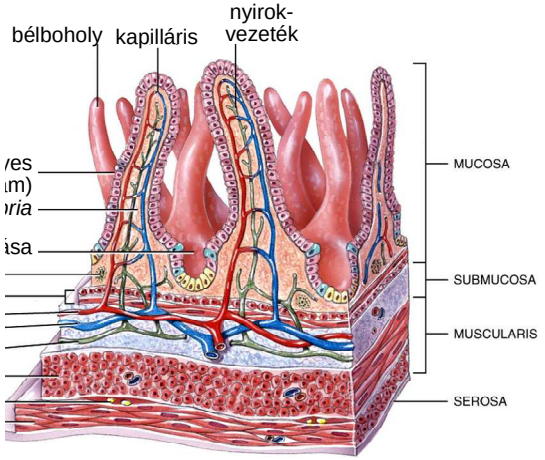
- szénhidrát anyagcsere: normál vércukorszint fenntartása
  - glikogén szintézis, raktározás és lebontás szükség szerint
  - glükoneogenezis: glükóz szintézis egyes aminosavakból, tejsavból és más cukrokból
- lipid anyagcsere:
  - triglicerid raktározás, zsírsavak lebontása (ATP előállítás) szükség szerint
  - lipoprotein és koleszterin szintézis; koleszterinből epesavas sók előállítása
- fehérje anyagcsere: N_2-tartalmú végtermékek eliminálása
  - lebontott aminosavak dezaminálása: NH_3 és karbamid termelés
  - fehérjeszintézis: globulinok, albumin, prothrombin, fibrinogén
- kiválasztó (exkréciós) funkció ("méregtelenítés"):
  - alkohol lebontás, drogok, gyógyszerek eltávolítása, átalakítása
- tárolás: vitaminok (A, B_{12}, D, E, K) és ásványi anyagok (Fe^{2+}, Cu^{2+})
- fagocitózis: Kupfer sejtek
  - öreg vörösvértestek, fehérvérsejtek és baktériumok bekebelezése
- D vitamin szintézis: aktív forma előállítása (ld. később, Ca^{2+} anyagcsere)

A vékonybél

- emésztés és felszívás legfontosabb területe
- 3m hossz, 2,5 cm átmérő; nagy felszín (körkörös redők, bélbolyhok és kefeszegély [mikrovillus])
  - duodenum: pilorustól kb. 25 cm-ig ["12 ujjnyi"]
  - jejunum: kb. 1m hossz; halál után ált. üres ["éhbél"]
  - ileum: kb. 2m hossz; ileocökális záróizom (simaizom) a vastagbél felé
- felszíni hámsejtek: kefeszegély, intenzív felszívás
- goblet sejtek: nyálka termelés
- Paneth sejtek: lizozim termelés, bélbaktérium-flóra szabályozása
- endokrin sejtek: bélhormonok termelése
  - secretin
  - kolecisztokinin (CCK)
  - glükóz-dependens inzulinotróp peptid (GIP)
- Lieberkühn-féle kripták: vékonybélnedv termelése

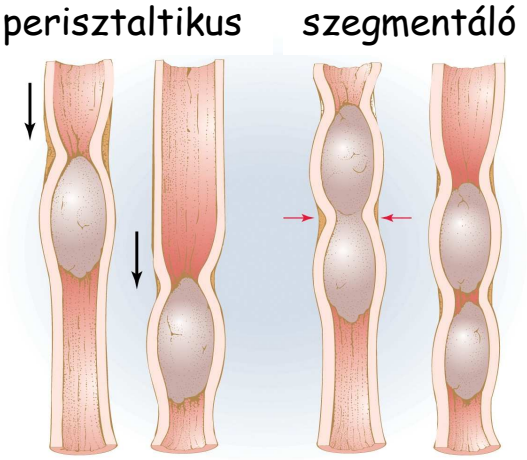






A vékonybélnedv és az emésztés

- vékonybélnedv:
  - napi 1-2 l; enyhén lúgos (pH 7,6); hasnyállal együtt elősegíti az emésztést és a felszívást; béltartalom higítása
  - emésztőenzim nincs, csak izotóniás NaCl és $NaHCO_3$ szekréció
- mechanikai emésztés:
  - szegmentáló mozgás: „gyűrűs" kontrakció, beindítása még nem ismert
  - perisztaltikus mozgás: béltartalom feszítő hatás váltja ki: análisan ellazulás, orálisan gyűrűs kontrakció

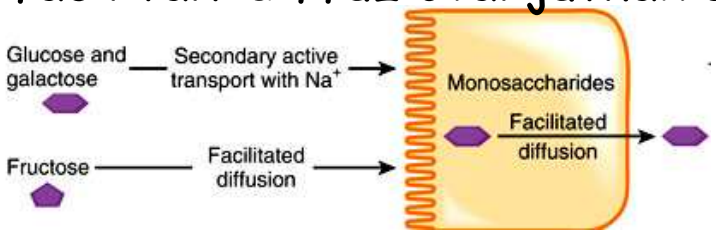


- kémiai emésztés:
  - kefeszegély-enzimek: felszíni hámsejtek mikrovillusai között
    - szénhidrát-bontás: dextrináz, maltáz, szukráz, laktáz
    - fehérje-bontás: aminopeptidáz, dipeptidáz
    - nukleotid-bontás: nukleozidáz, foszfatázok
  - enterokináz: hasnyál tripszinogén aktivációja a vékonybélben (ld. előbb)
  - hasnyál: vékonybél üregében zajló emésztés (ld. előbb)
  - epe: zsírcseppek emulgeálása (ld. előbb)

A tápanyagok felszívása

szénhidrátok -> monoszacharidok (glükóz, fruktóz, galaktóz)

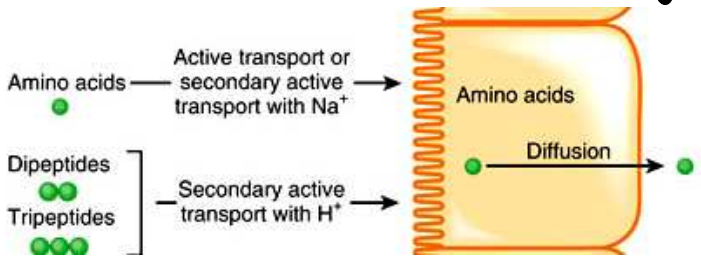
- nagy kapacitás, ált. teljes felszívás (kivéve cellulóz, rostok)
- glükóz, galaktóz: másodlagosan kapcsolt aktív transzport (Na^+)
- fruktóz: facilitált diffúzió → felszíni kefeszegélyen át
- hámsejtekből facilitált diffúzióval jutnak a kapillárisokba



bélbolyhok kapillárisaiba

fehérjék -> aminosavak, di- és tripeptidek

- nemcsak táplálékból: elhalt sejtek, emésztő enzimek, szekretált fehérjék felszívása is (~50%); 95%-os megemésztés
- felvétel elsődleges vagy másodlagosan kapcsolt aktív transzporttal (Na^+, H^+): főleg duodenum és jejunum
- hámsejtekből az aminosavak diffúzióval jutnak a kapillárisokba

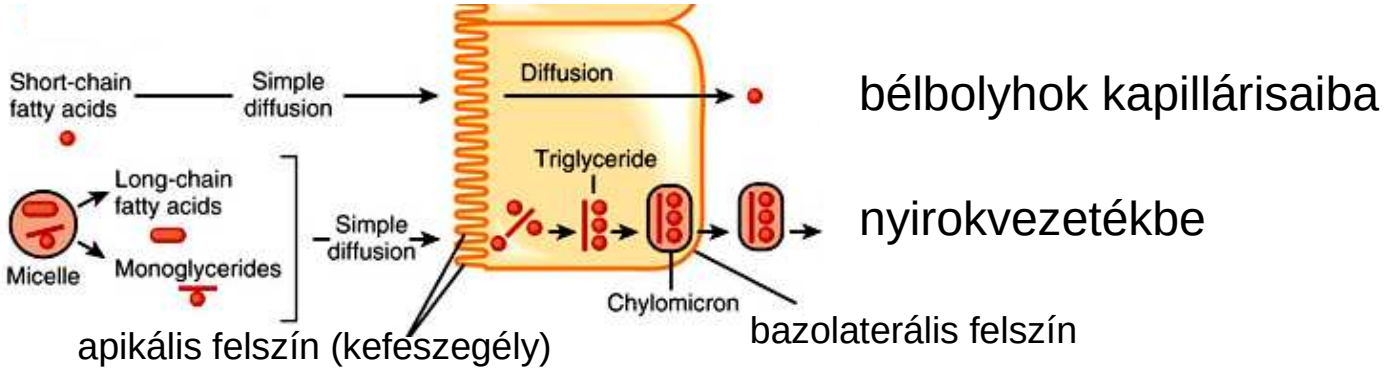


bélbolyhok kapillárisaiba

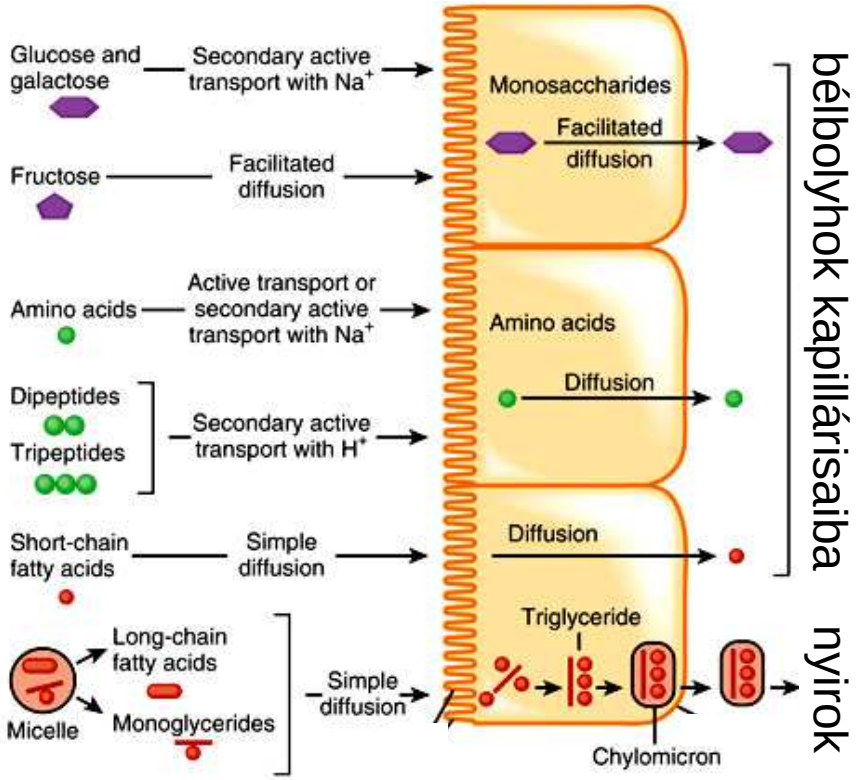
A tápanyagok felszívása

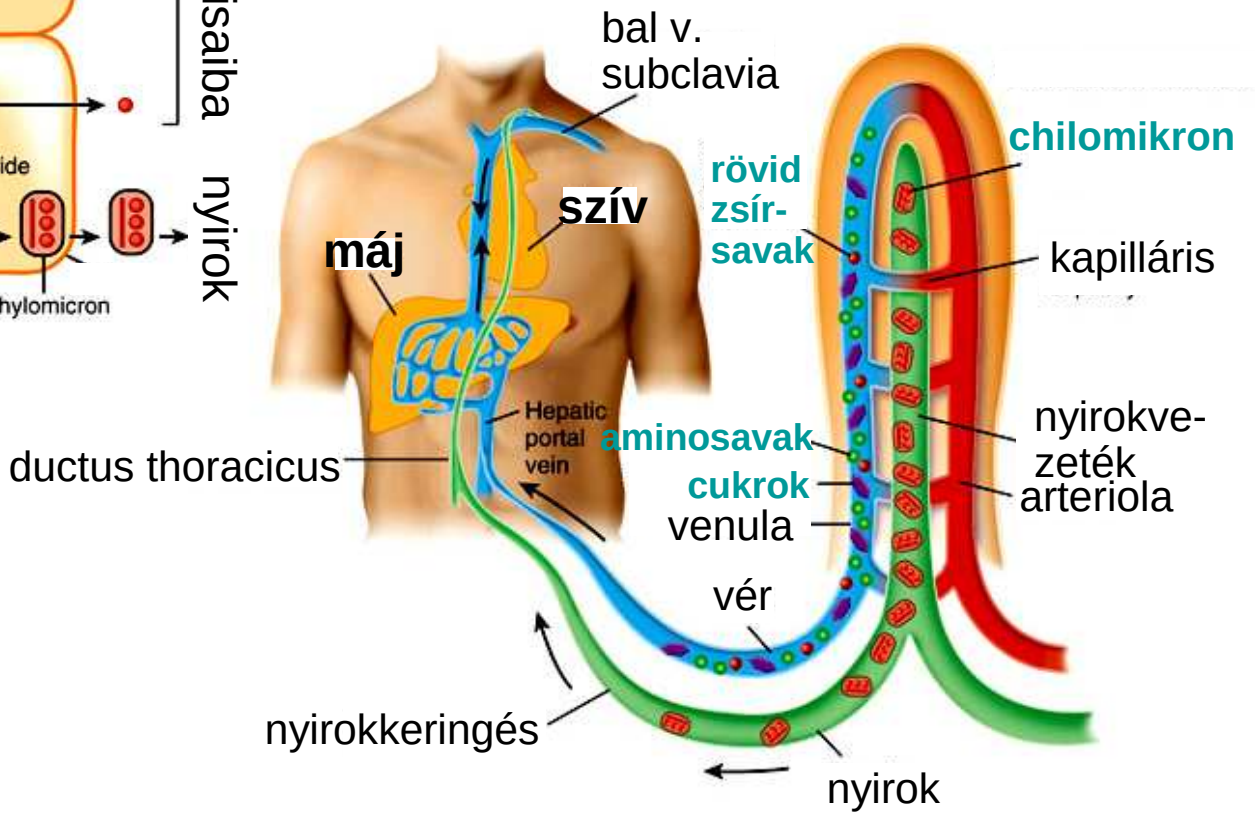
zsírok -> zsírsav, glicerol, monogliceridek

- felszívás és leadás egyszerű diffúzióval (zsíroldékony)
- felnőtt korban 95%-os felszívás (epe; csecsemőkben kevesebb)
- rövid zsírsavak: kis méret, diffúzióval a kapillárisokba
- hosszabb zsírsavak, monogliceridek: felvétel során az epe segítségével micella-képződés
  - hámsejtekben újra triglicerid-szintézis + foszfolipidek + koleszterin + fehérjék: chilomikron
  - ürülés exocitózissal a nyirokkeringésbe
  - visszajutás a vénás keringésbe; véráramból a kapilláris endotál sejtek lipoprotein lipáza segítségével szívódik fel a zsírsejtekbe és a májsejtekbe



A tápanyagok felszívása





A tápanyagok felszívása

elektrolitok (Na^+, HCO_3^-, Cl^-, I^-, nitrát)

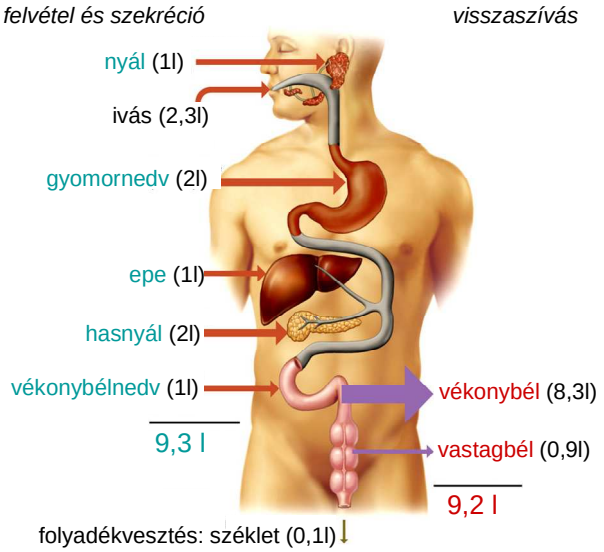
- aktív transzport, hajtóerő a bazolaterális membrán K^+/Na^+ pumpa: Na^+ eltávolítás a hámsejtből -> Na^+ gradiens kialakítása -> Na^+-hoz kapcsolt transzportfolyamatok az apikális membránban (transzporterek)
- Ca^{2+}, Fe^{2+}, K^+, Mg^{2+}, PO_4^{3-}: aktív transzport

vitaminok

- A, D, E, K: zsíroldékony; micellákba bejut, diffúzió
- B, C: vízoldékony; diffúzió
- B_{12}: a felszíváshoz a gyomor intrinsic faktora kell

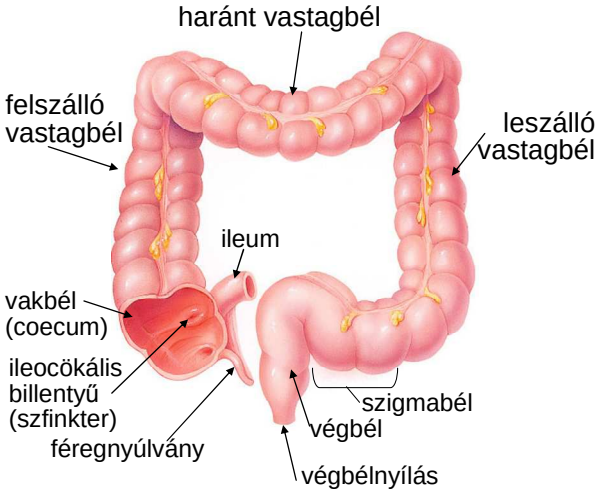
víz

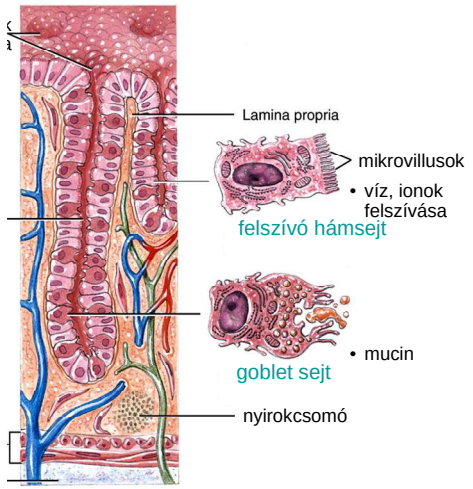
- ozmózis: elektrolitok és tápanyagok felszívásától függően
- hasmenés: nagy folyadékveszteség! -> kiszáradás ellen cukros/sós víz
- szekretált és visszaszívott folyadék közel egyensúlyban

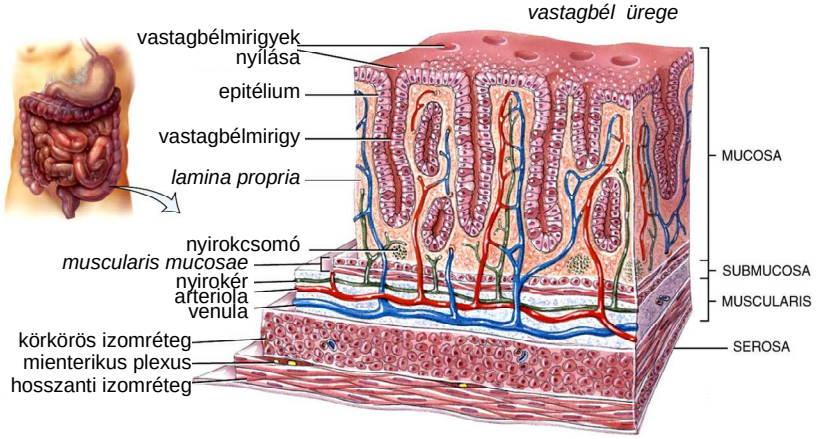


A vastagbél

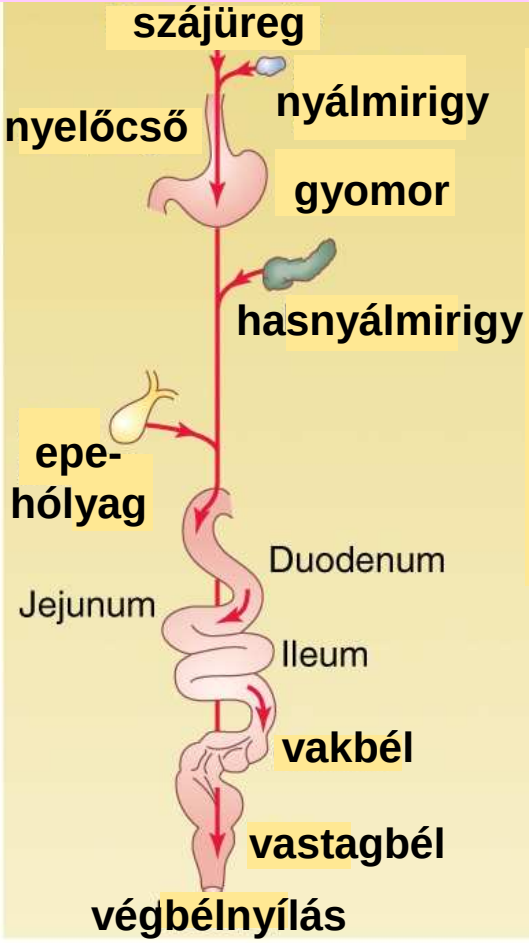
- fő feladatok:
  - víz és elektrolit felszívás: nincs emésztőenzim, csak bakteriális emésztés (gázképződés)
  - baktériumflóra fenntartása
  - béltartalom rendezett, alkalmankénti ürítése – áthaladás ideje változó
- hosszanti simaizmok: 3 kötegben, de végbélben és anusban egyenletesen
- körkörös simaizmok: erős, tartós kontrakciós gyűrűk (*haustratio*)
  - antiperisztaltikus mozgás: a felszálló vastagbélből a vakbél felé; ileocaecalis billentyű a reflux ellen
  - időleges tónusos kontrakció: disztális és leszálló harántvastagbélben; lassú, tónusos kontrakció anális irányba, szilárduló béltartalom
  - erőteljes tónusos kontrakciók: szigmabél – végbél között
- szabályozott székletürítés







Az emésztőnedvek főbb jellemzői (összefoglalás)



lokalizáció	emésztő-nedv	napi mennyiség (liter)	pH	összetétel*
szájüreg	nyál	1+	6.5	amiláz, (lipáz), ionok
gyomor	gyomornedv	1—3	1.5	pepszinogén, HCl, intrinsic faktor, (lipáz)
hasnyálmirigy	hasnyál	1	7—8	(kimo)tripszinogén, prokarboxi-peptidáz, proelasztáz, lipáz, amiláz, nukleázok, tripszin inhibitor
epe-hólyag	epe	1	7—8	zsírok és zsírsavak, epesavak, epefestékek, koleszterin
vékonybél	vékonybél-nedv	1	7—8	dextináz, maltáz, laktáz, szukráz, lipáz, peptidáz, nukleáz, foszfatáz, enterokináz

*** hormonok, nyálka (mucin) és víz nélkül; ezek a szekrétum akár 95%-t is kitehetik**

Az emésztés szakaszai 1.

- I. kefalikus ("feji") fázis:
  - már a táplálkozás megkezdése előtt is: illat, látvány, gondolat, a szájba kerülő falat idegi hatása
    - kéreg, hipotalamusz, agytörzsi központok serkentése
    - feltételes és feltétlen reflexek
    - agytörzsi aktivációt a VII. (n. facialis), IX. (n. glossopharyngeus) és X. (n. vagus) agyidegek közvetítik
      - VII., IX. agyidegek: nyálelválasztás ↑
      - X. agyideg: gyomornedv elválasztás ↑

      } paraszimpatikus hatás ↑
  - fő szerep: a száj és a gyomor előkészítése az emésztési folyamatokhoz

Az emésztés szakaszai 2.

- II. gasztrikus ("gyomri") fázis:
  - a táplálék gyomorba kerülésével indul
  - gyomornedv elválasztás és a gyomor perisztaltikus mozgása ↑
  - idegi szabályozás: bélidegrendszer és autonóm idegrendszer összehangolt működése
    - kemoreceptorok: fehérjék megjelenése -> pH nő (puffer hatás)
    - feszülési receptorok: gyomorfal kitágulása ↑

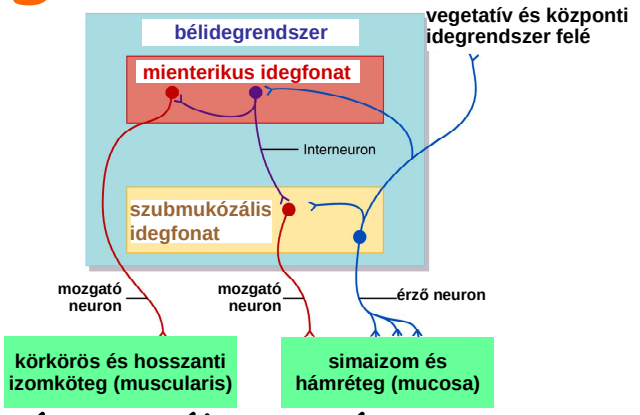
    → paraszimpatikus hatás, perisztaltikus mozgás, HCl szekréció ↑
  - hormonális szabályozás:
    - kemoreceptorok: fehérjék megjelenése -> pH nő (puffer hatás)
      - koffein, alkohol, kóla, tea, aminosavak
    - feszülési receptorok: gyomorfal kitágulása ↑
    - paraszimpatikus hatás, ACh ↑

    → gyomor G sejtjeiben gasztrin termelés ↑ -> HCl elválasztás ↑

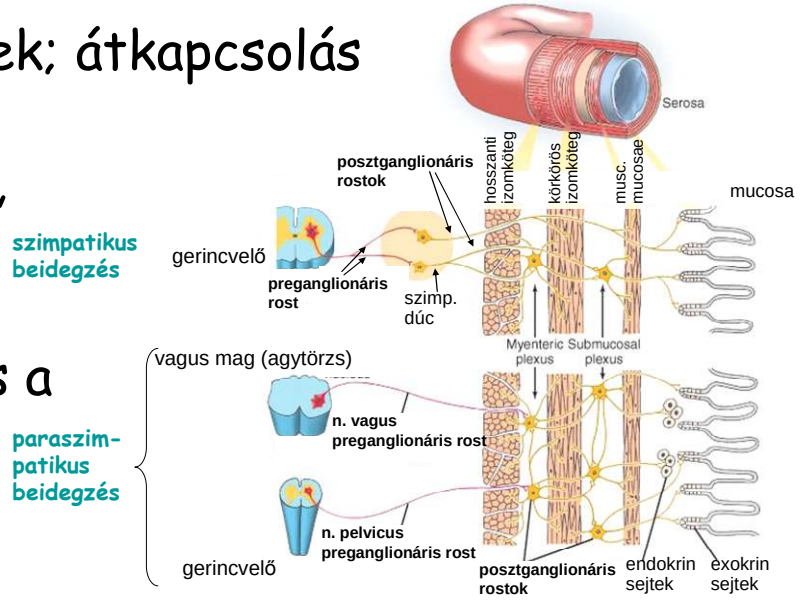
    - Helicobacter pilori: NH_3 termelés -> G sejtekbe diffundál -> gasztrin szekréció fokozása -> gyomor- és nyombélfekély

A GI rendszer beidegzése

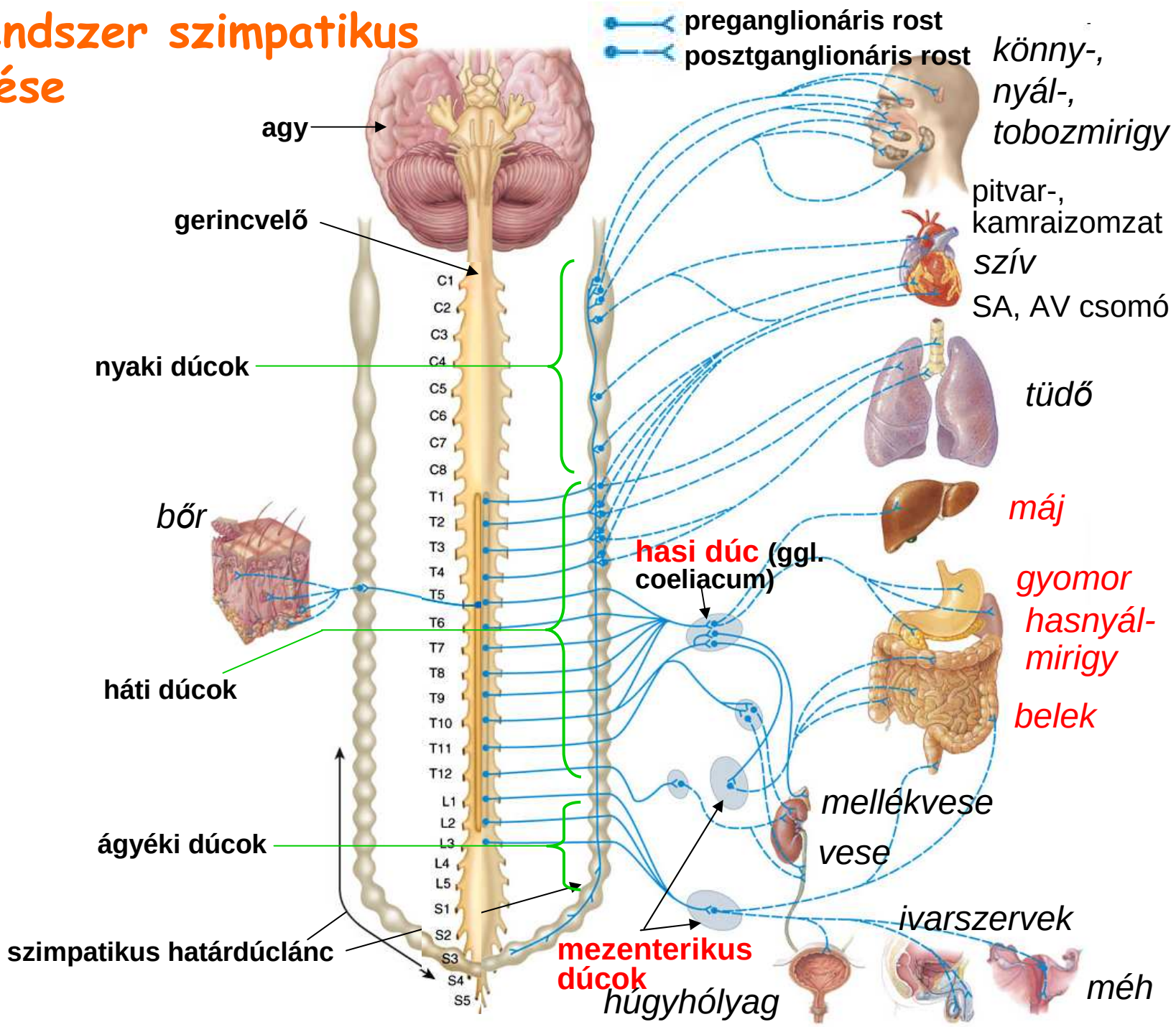
- bélidegrendszer:
  - ~100 millió neuron (nyelőcső - végbél)
  - 2 idegfonat: mienterikus (Auerbach) és szubmukózális (Meissner) plexus
  - motoros, érző és interneuronok
  - perisztaltikus mozgás (mienterikus) és szekréciós tevékenység (szubmukózális) tevékenység helyi szabályozása
  - érző neuronok: kemo- és feszülési ingerek továbbítása a vegetatív és központi idegrendszer felé



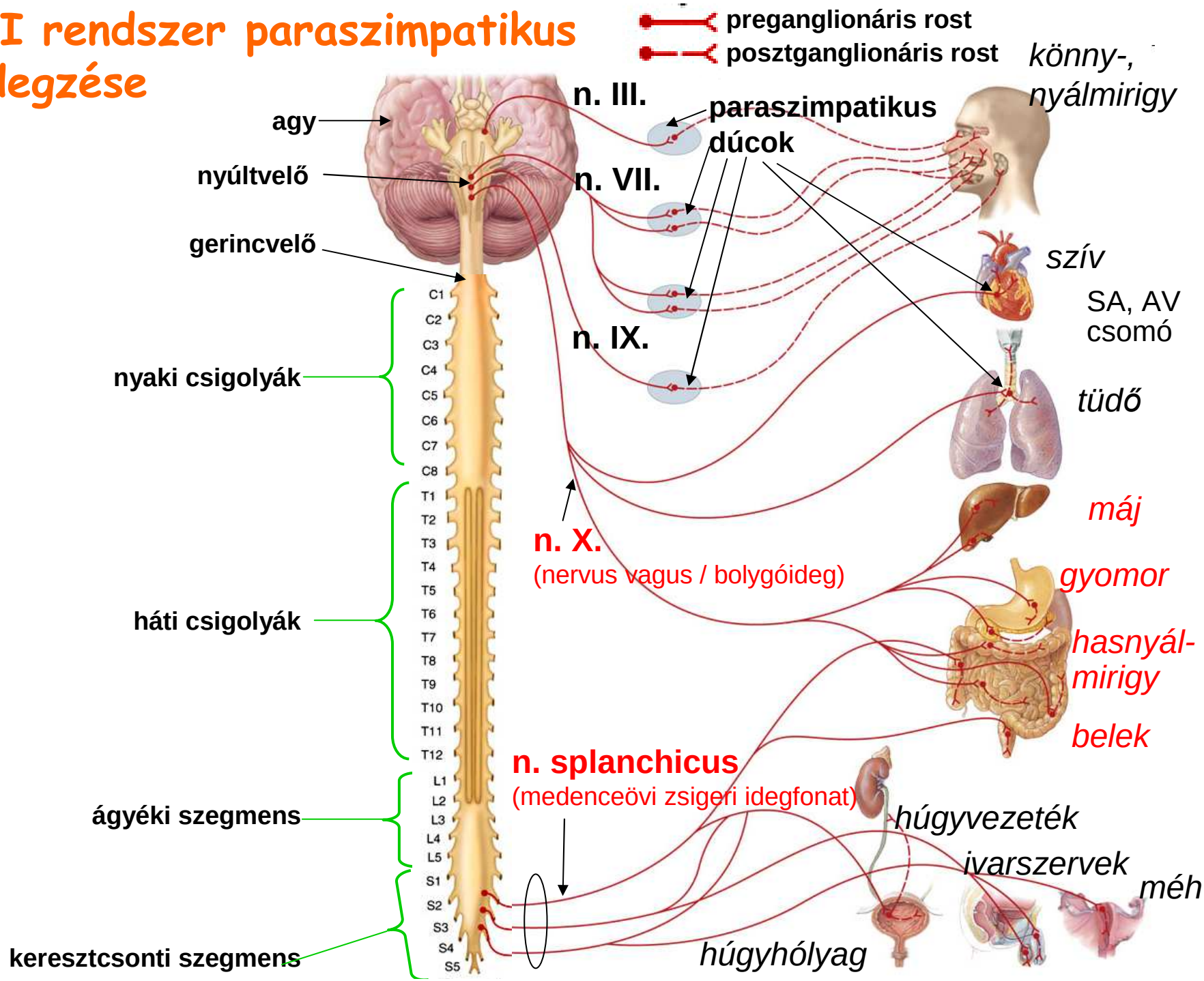
- vegetatív (autonóm) idegrendszer:
  - szimpatikus: alsó háti és ágyéki szelvények; átkapcsolás a hasi és mezentérikus dúcokban
    - bélidegrendszer működését (motilitás, szekréció) ált. gátolja
  - paraszimpatikus: n. vagus (bolygóideg) és keresztcsonti zsigeri idegek; átkapcsolás a bélfalban
    - bélidegrendszer működését (motilitás, szekréció) ált. serkenti



A GI rendszer szimpatikus beidegzése



A GI rendszer paraszimpatikus beidegzése



Az emésztés szakaszai 3.

- III. intesztinális ("bélrendszeri") fázis:
  - a táplálék vékonybélbe kerülésével indul
  - gyomorürülés gátlása, vékonybélben mechanikai és kémiai emésztés fokozása
  - idegi szabályozás:
    - bélfal feszülési receptorok: enterogasztrikus reflex
      - afferens rostok a nyúltvelőbe : paraszimpatikus hatás gátlása -> gyomor-perisztaltika, HCl szekréció ↓
      - pilorus záróizom kontrakció -> gyomor ürülés késleltetése
  - hormonális szabályozás:
    - vékonybélben termelődő hormonok hatása

kolecisztokinin (CCK)

- I (CCK) -sejtek a duodenumban és a felső jejunumban
- elsősorban fehérje/zsír tartalmú táplálék vékonybélbe jutása fokozza a termelődését
- asszimilatív anyagcsere fő integrátora

Az emésztés szakaszai 4.

- III. intesztinális ("bélrendszeri") fázis:
  - hormonális szabályozás:

kolecisztokinin (CCK; *folyt.*)

- epehólyag izomzatának kontrakciója, Oddi-szfinkter relaxáció (indirekt): epe vékonybélbe juttatása
- hasnyálmirigy enzimtermelésének fokozása
- gyomor ürülésének késleltetése, táplálékfelvétel gátlása (telítettség)
- bélperisztaltika fokozása
- n. vagus afferensek aktiválása, paraszimpatikus hatás erősítése

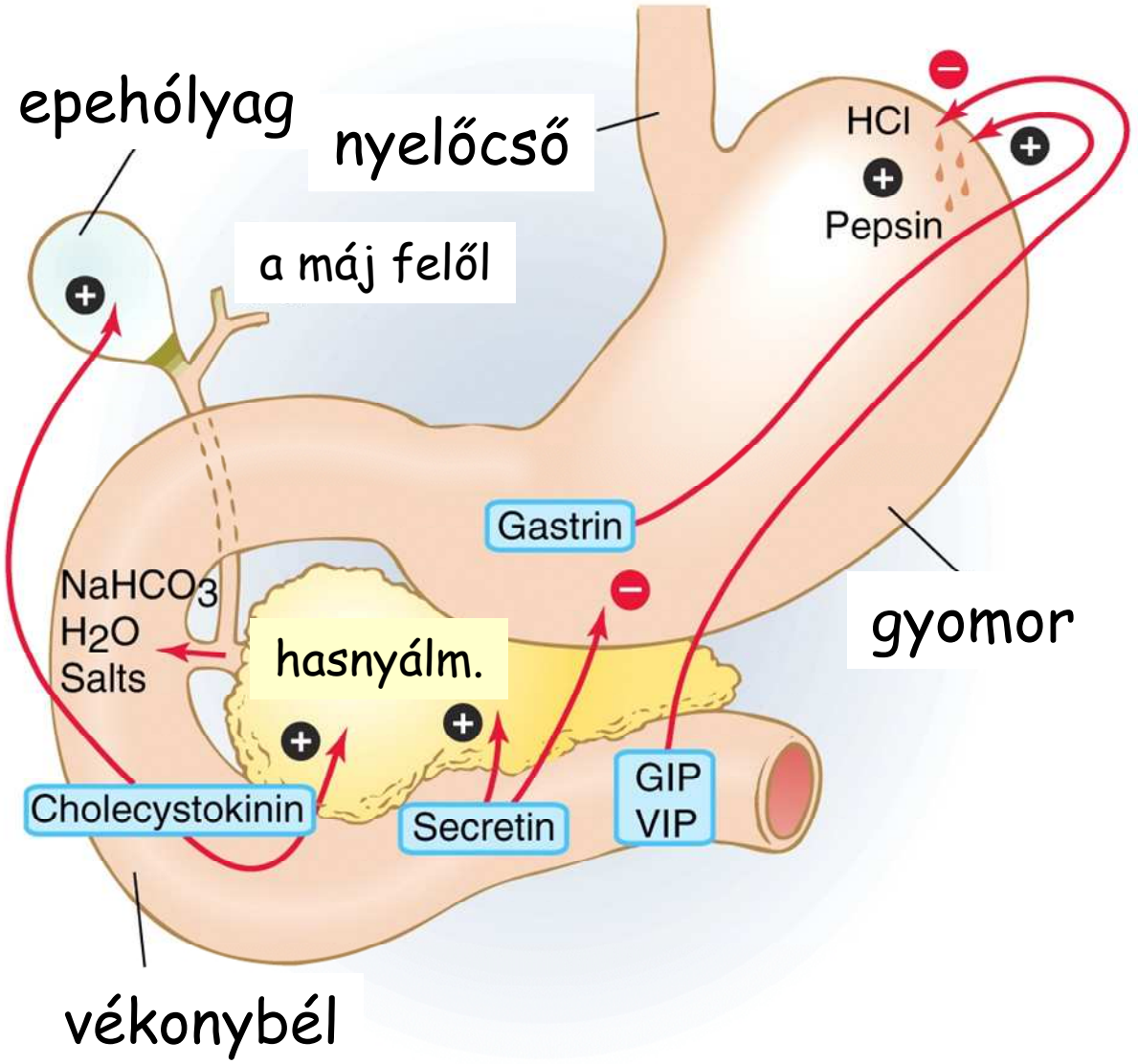
szekretin:

- legelső hormon – duodenumban S sejtekből sav hatására szabadul fel
- funkció: duodenumban savas hatás közömbösítése
  - HCO_3^- gazdag, lúgos hasnyál elválasztásának fokozása
  - gyomornedv elválasztásának gátlása

glükózdependens inzulinotróp peptid (GIP):

- a bélbe kerülő szénhidrát hatására a GIP -sejtek a duodenumban termelik
- hatása: inzulinelválasztás fokozása, gyomorürülés gátlása

Hormonális szabályozás a GI rendszerben



A főbb gasztrointesztinális hormonok

sejt	hormon	inger	gyomor	epe	hasnyálmirigy
G	gasztrin	peptidek, aminosavak a gyomorban	HCl termelés, mozgás nő		
I (CCK)	kolecisztokinin	zsír, fehérje a vékonybélben	mozgás, ürülés csökken	epehólyag ürülés	enzimtermelés fokozódik
S	szekretin	sav a vékonybélben	ürülés csökken		kivezetőcső HCO_3^- leadás fokozódik
GIP	glükózdependens inzulinotróp peptid	szénhidrát a vékonybélben	HCl termelés, ürülés csökken		

Egyéb gasztrointesztinális hormonok

szomatosztatin:

- D sejtek termelik a gyomorban, hasnyálmirigyben δ sejtek
- a gyomor-bél csatorna általános, negatív szabályozója
- termelődését a táplálékfelvétel nem befolyásolja!
- termelődését a bélüreg H^+ szintjének emelkedése (savasodása) indítja be

hisztamin:

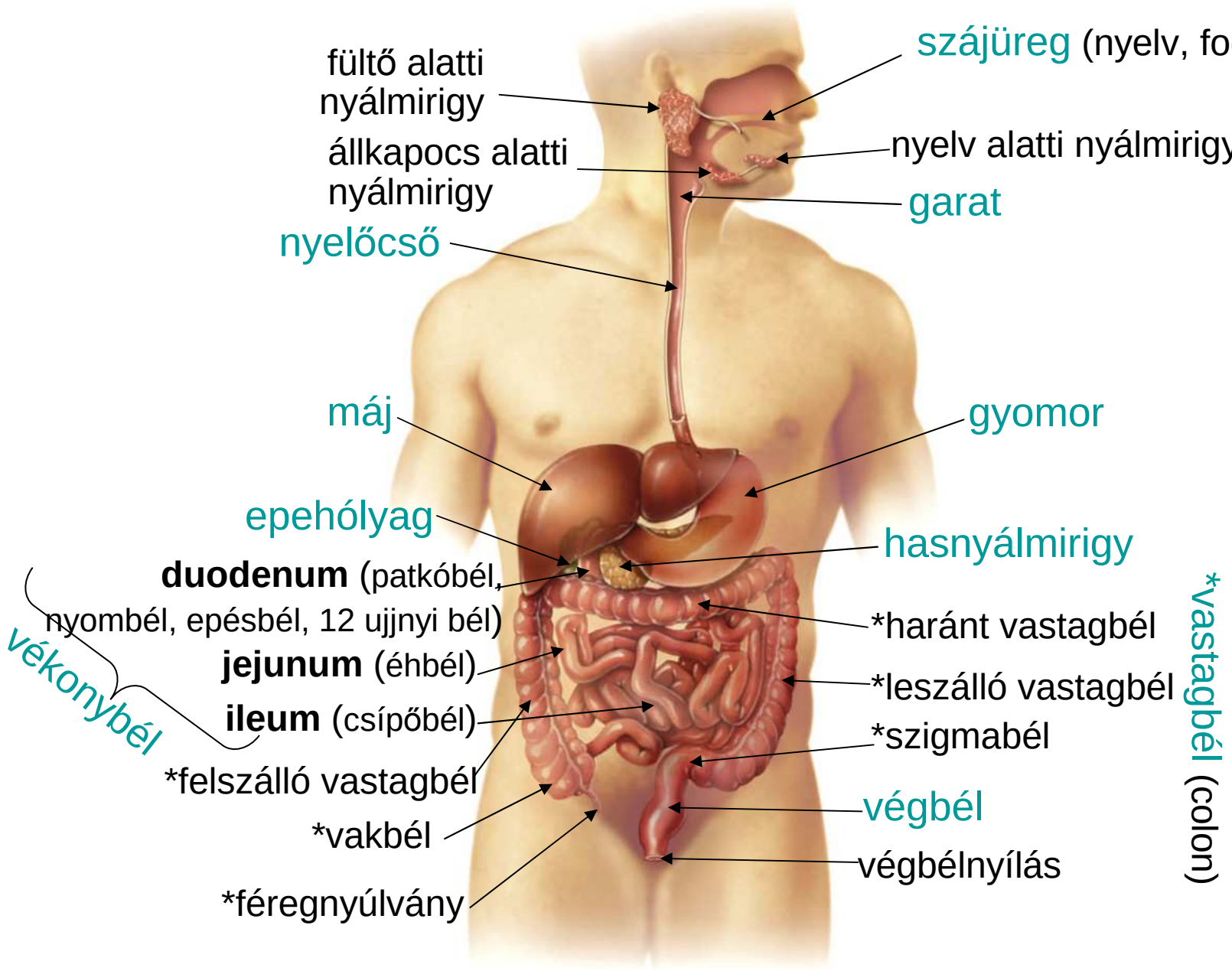
- enterochromaffin-típusú sejtekből (ECL sejtek) – gasztrin hatását közvetítik a fedősejtekhez
- hízósejtekből: gyomor-bélrendszeri védekező mechanizmusok; IgE aktiváció / allergia esetén; bélmotilitás fokozása

szerotonin:

- enterochromaffin sejtekben termelődik
- enterális idegrendszer saját primer afferenseit ingerli, lokális reflexívek működését fokozza

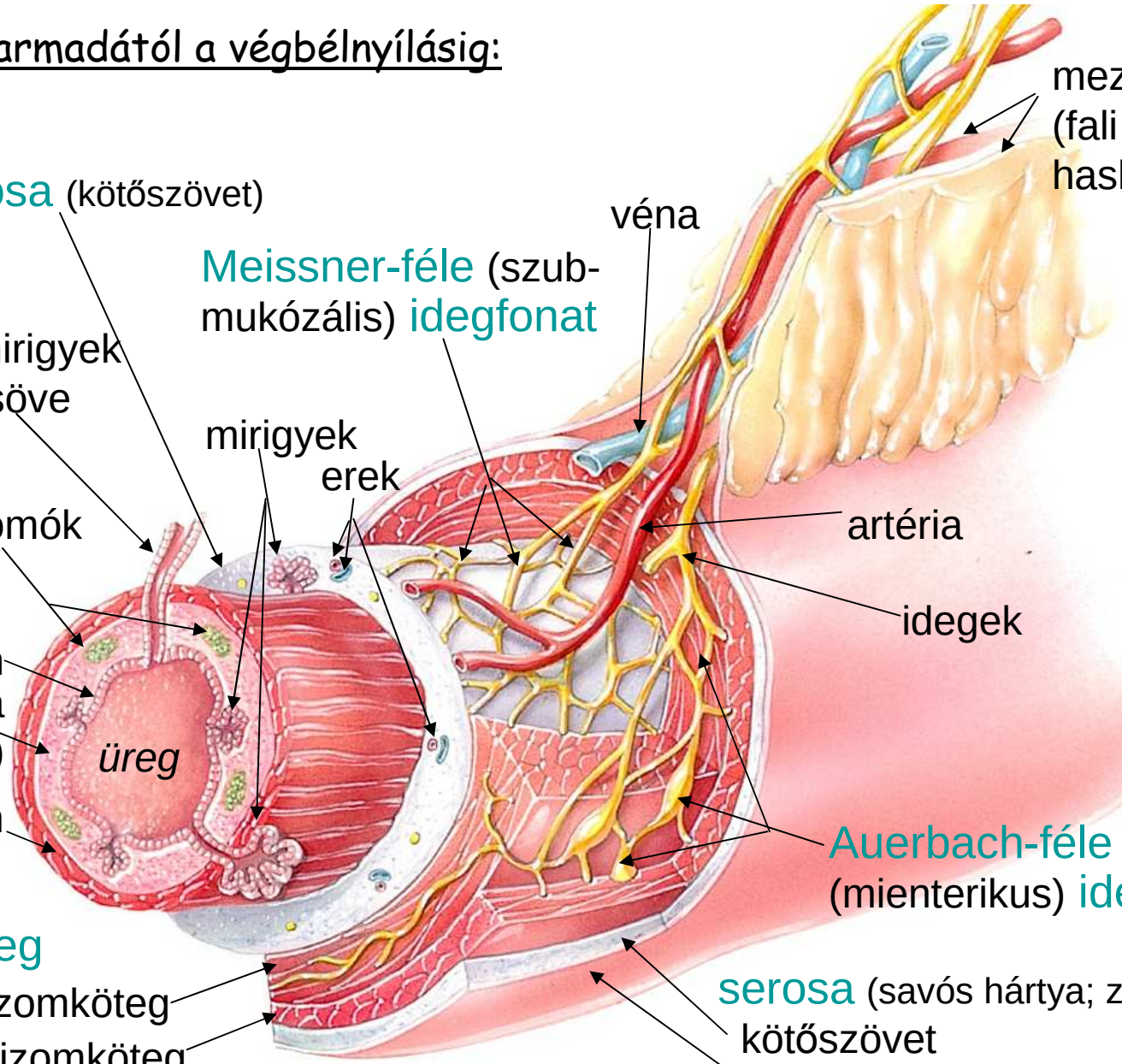
Ábrák

Az emésztőrendszer felépítése



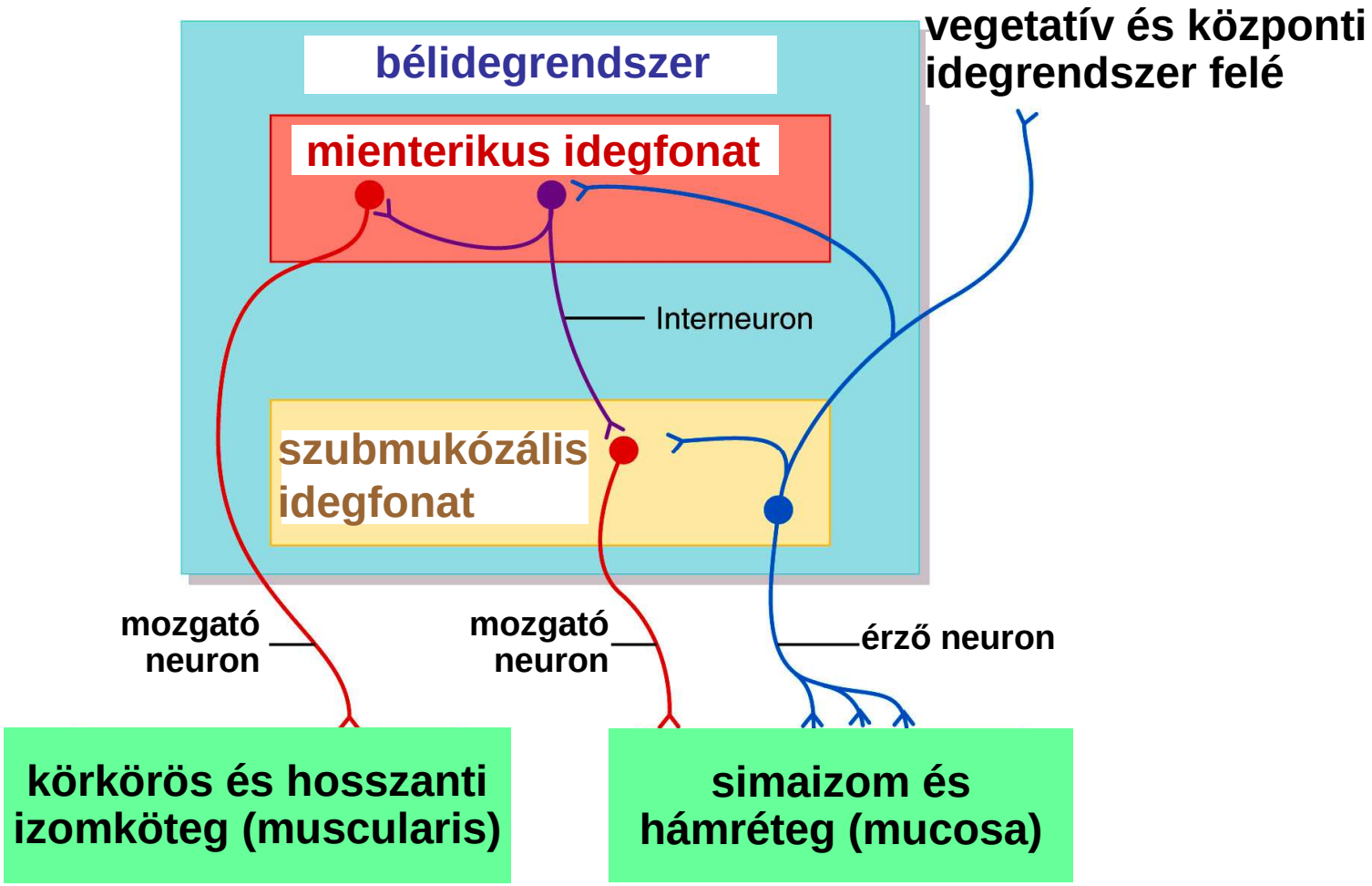
A gyomor-bélrendszer falának felépítése

<u>nyelőcső alsó harmadától a végbélnyílásig:</u>



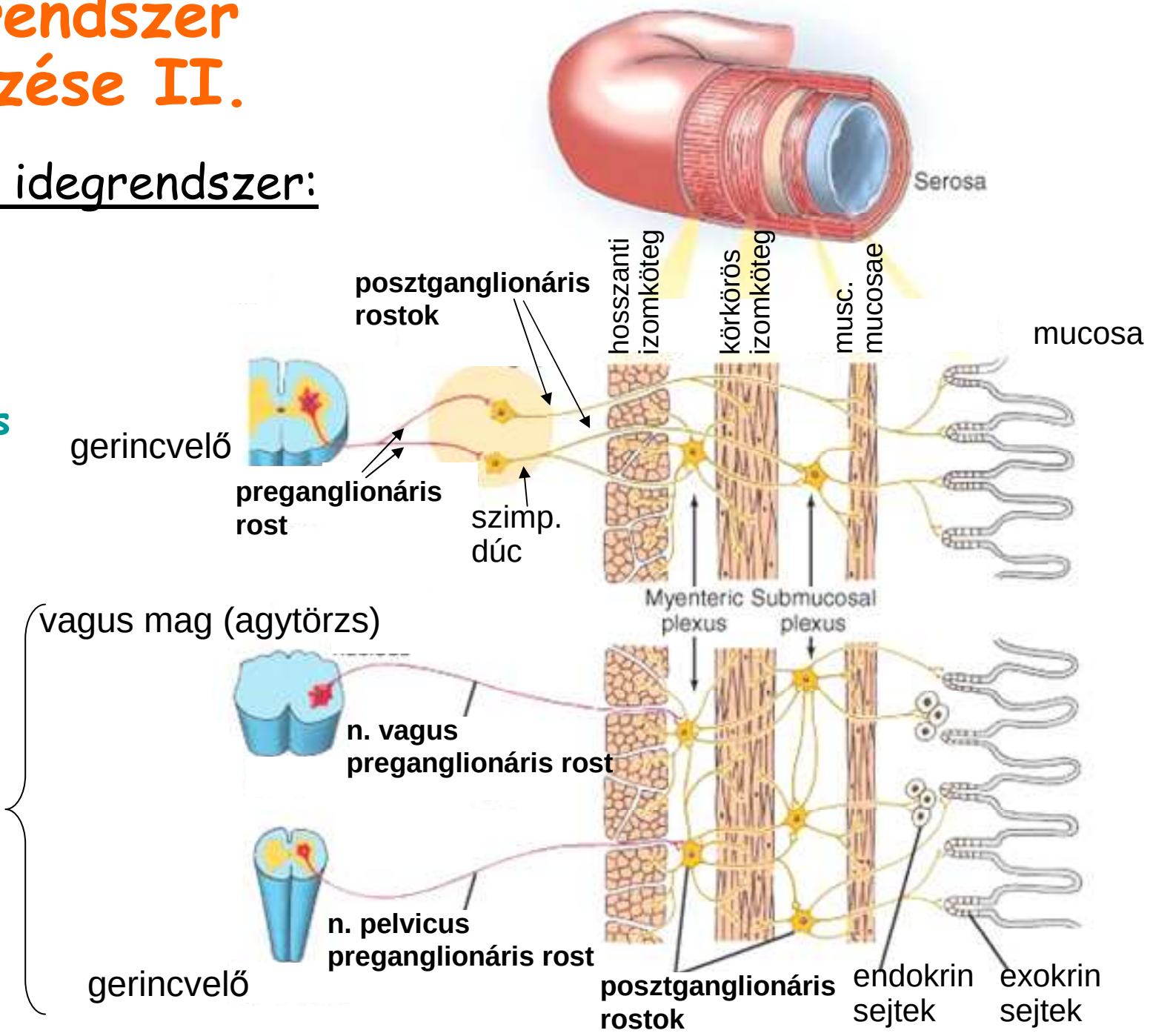
A GI rendszer beidegzése I.

bélidegrendszer:

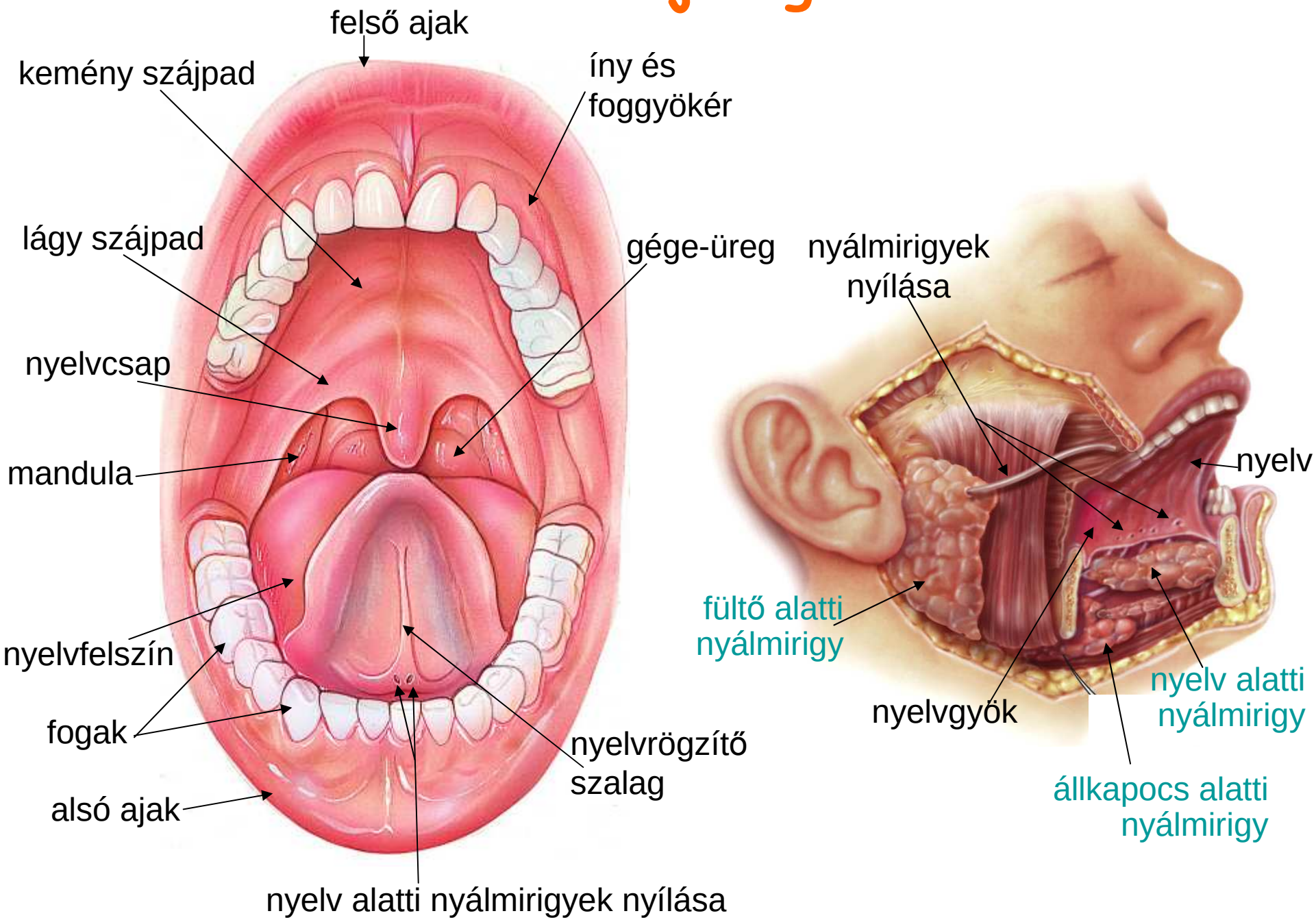


A GI rendszer beidegzése II.

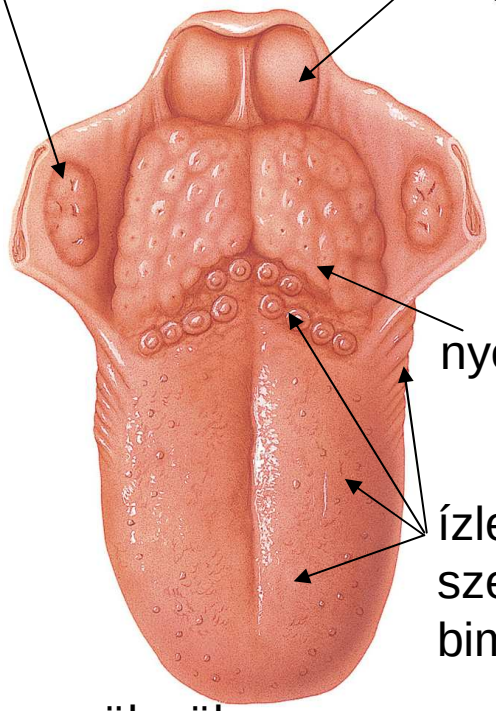
vegetatív idegrendszer:

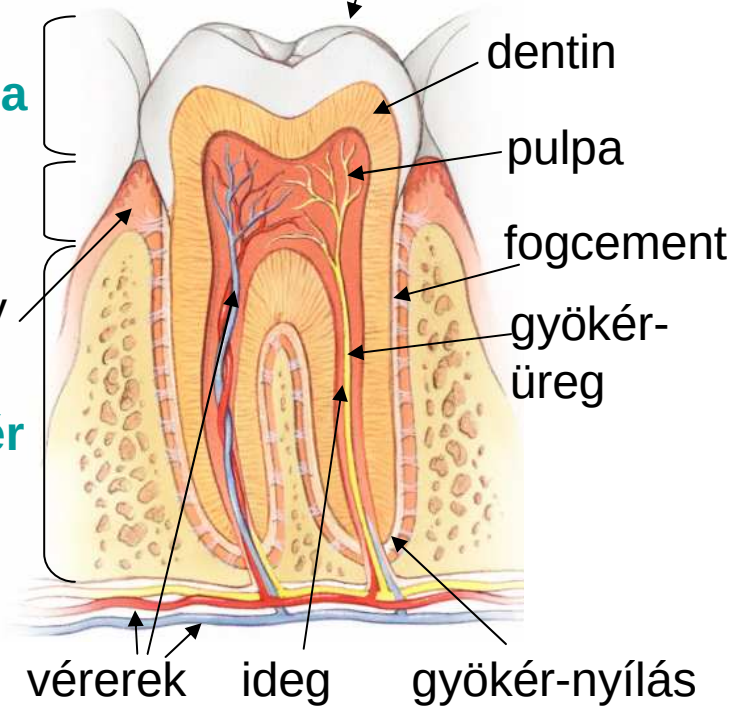


A szájüreg

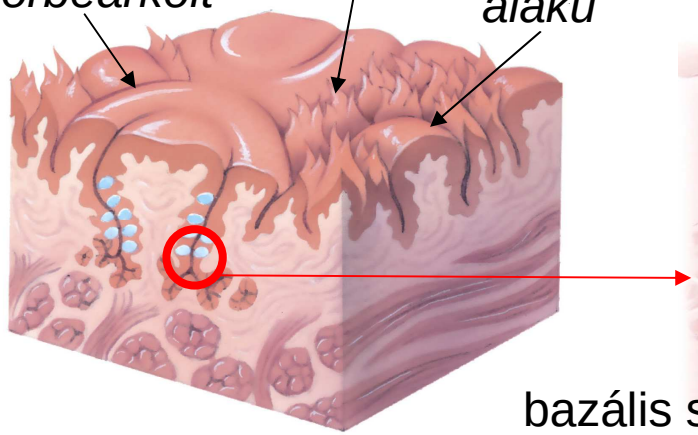

felső ajak
kemény szájpad
íny és
foggyökér
lágy szájpad
gége-üreg
nyelvcsap
mandula
nyelvfelszín
fogak
alsó ajak
nyelvrögzítő
szalag
nyelv alatti nyálmirigyek nyílása
nyálmirigyek
nyílása
nyelv
fültő alatti
nyálmirigy
nyelvgyök
nyelv alatti
nyálmirigy
állkapocs alatti
nyálmirigy

A nyelv és a fog felépítése

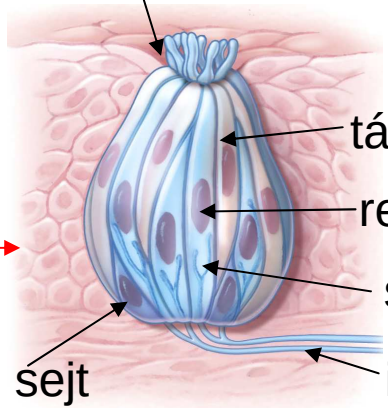




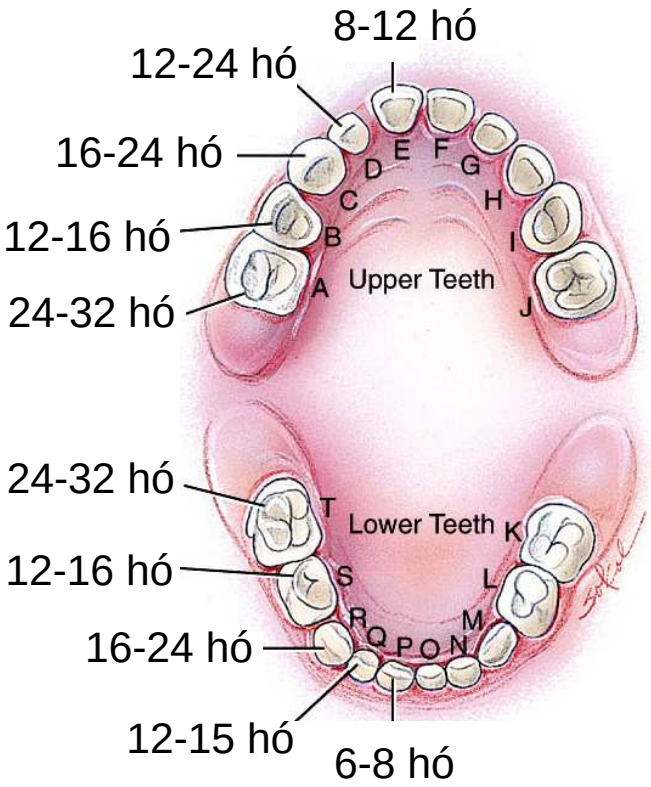
ízlelő szemölcsök



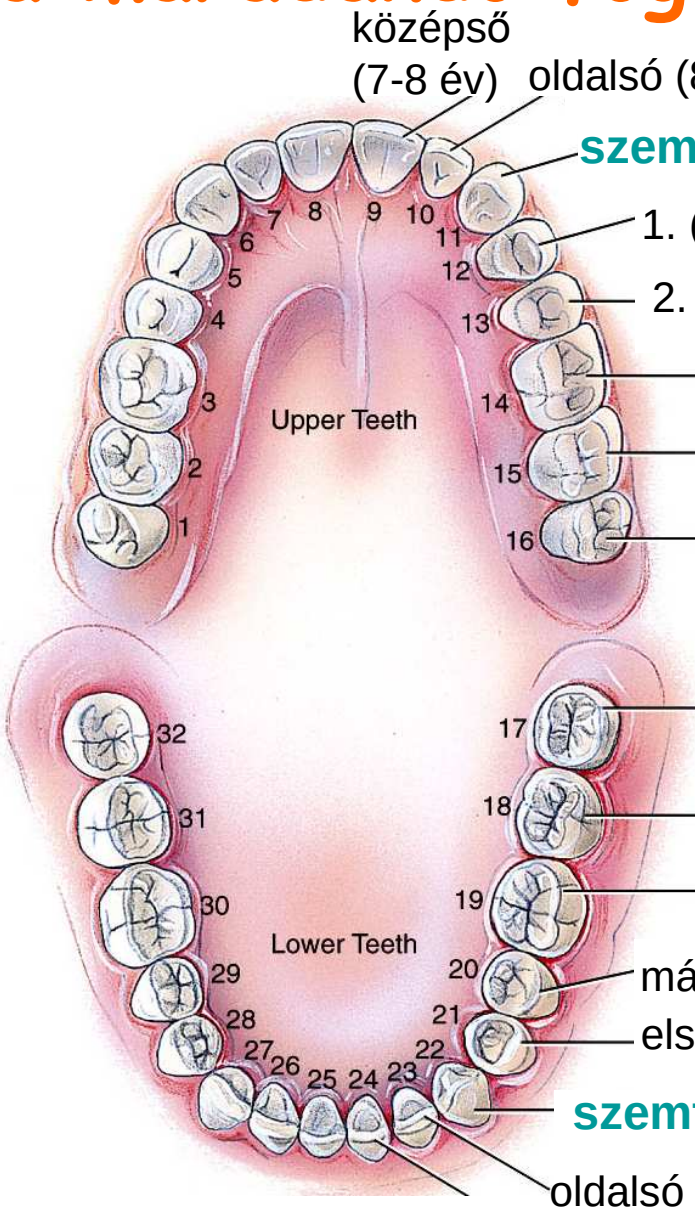
ízlelő bimbó



A tej- és a maradandó fogak

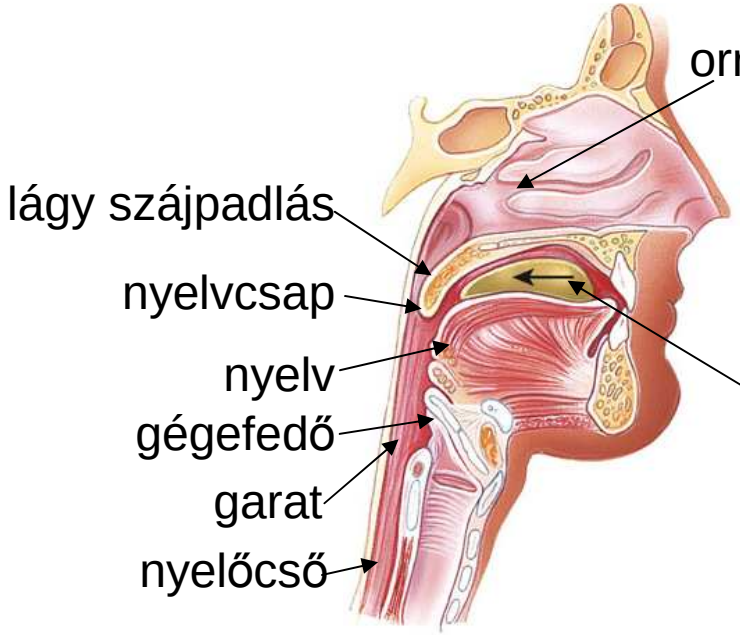


tejfogak

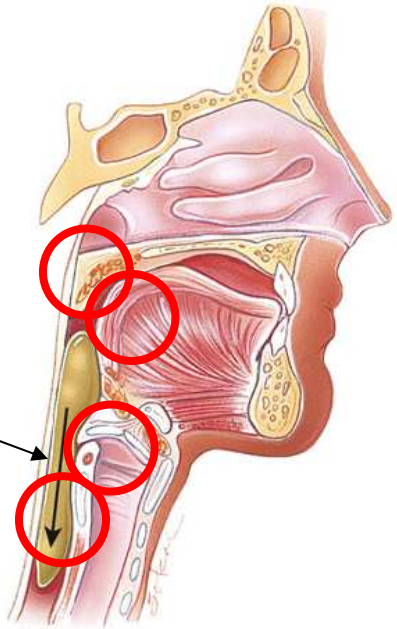


maradandó fogak

A nyelés folyamata

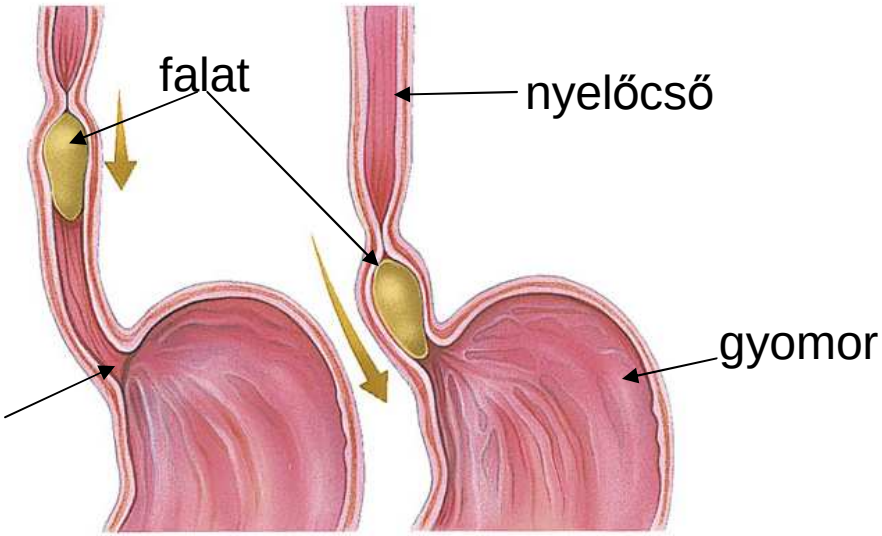


nyelés előtt

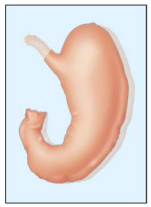


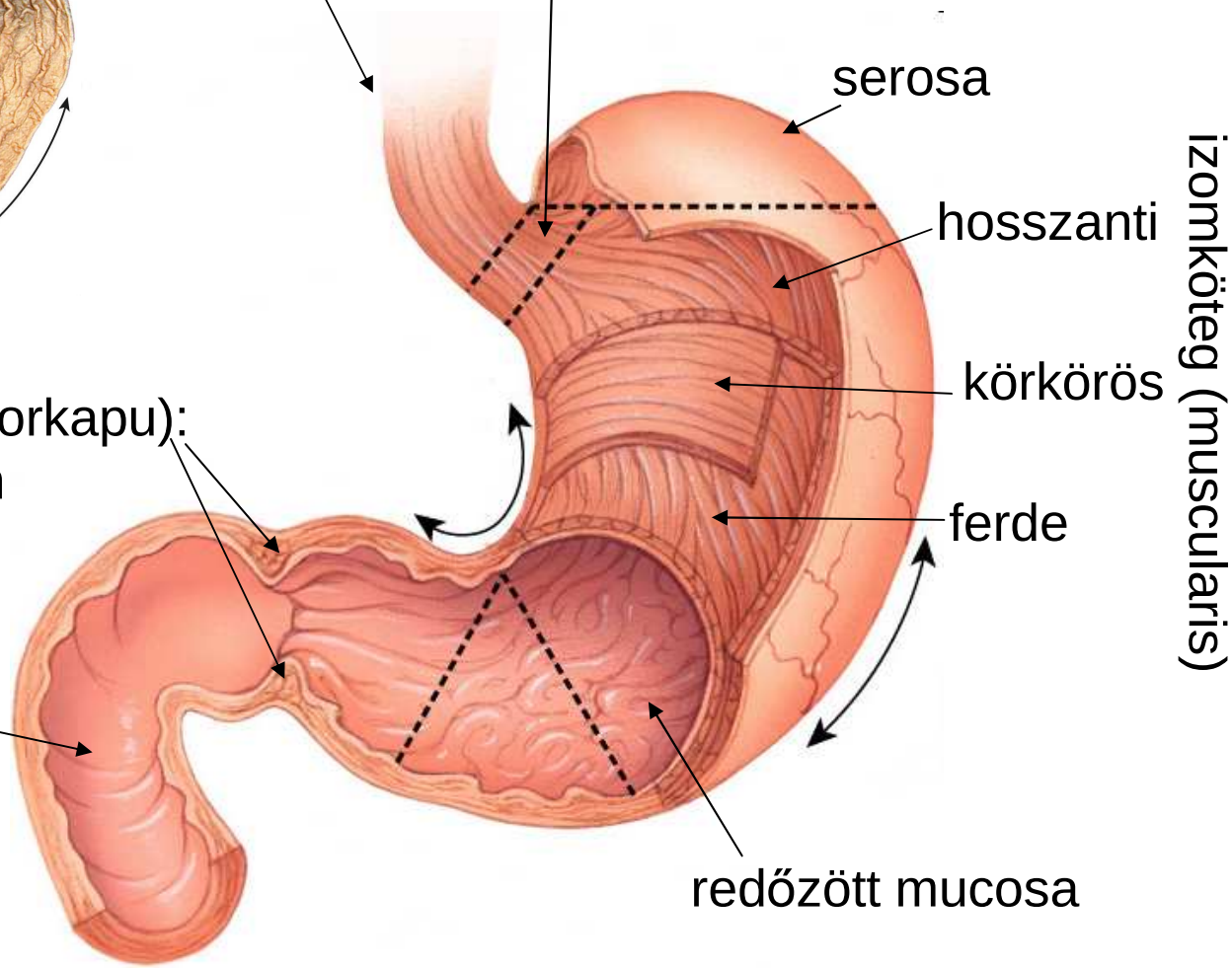
nyelés garati szakasza

nyelés nyelőcsői szakasza:
perisztaltikus továbbítás

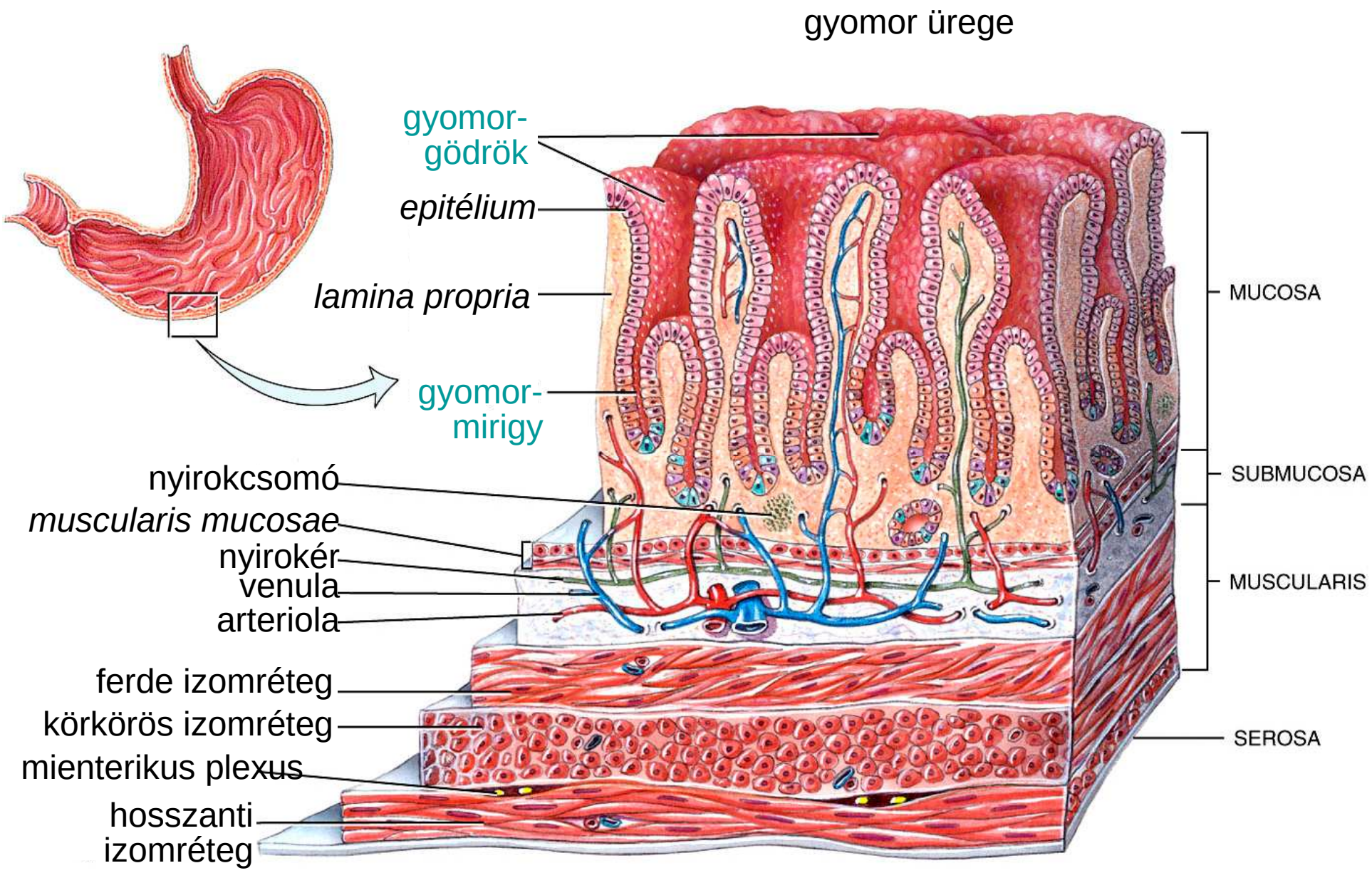


A gyomor felépítése

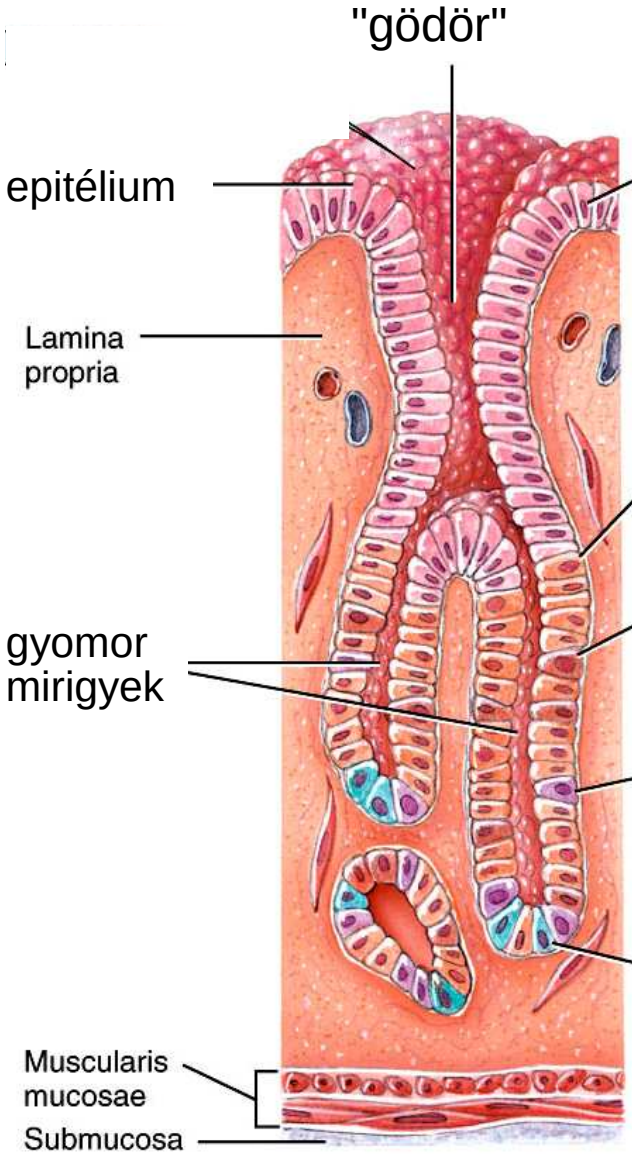




A gyomorfal szerkezete

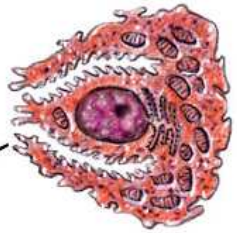


A gyomormirigy felépítése

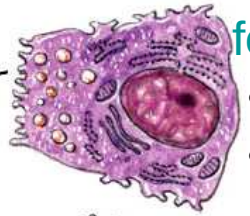


felszíni mucinózus sejt
- mucin

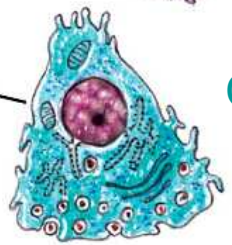
nyaki mucinózus sejt
- mucin



parietális (fali) sejt
- HCl
- intrinsic faktor

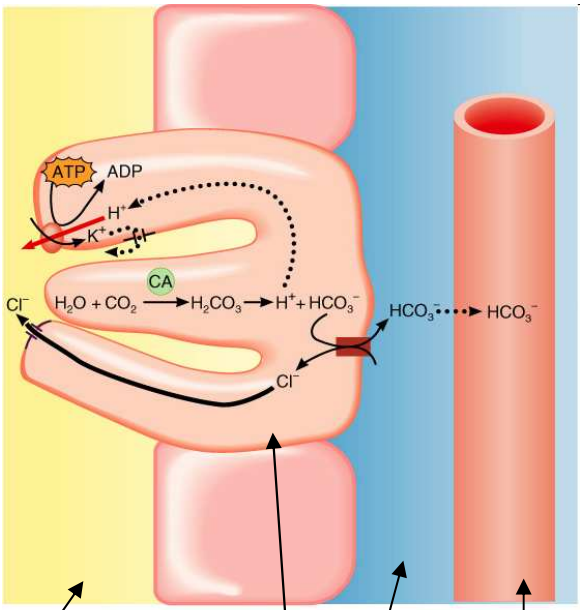


főssejt
- pepszinogén
- lipáz

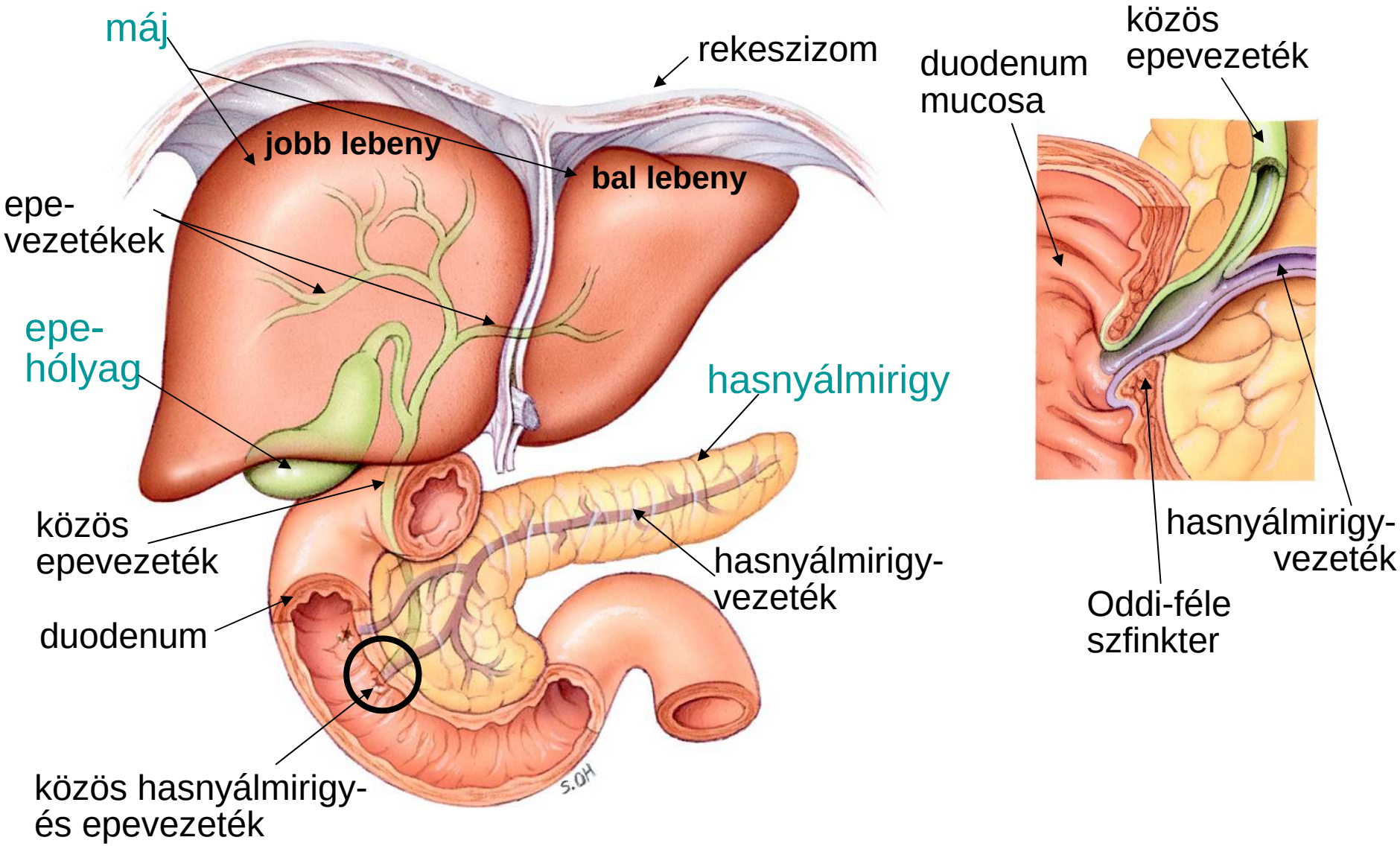


G sejt
- gasztrin

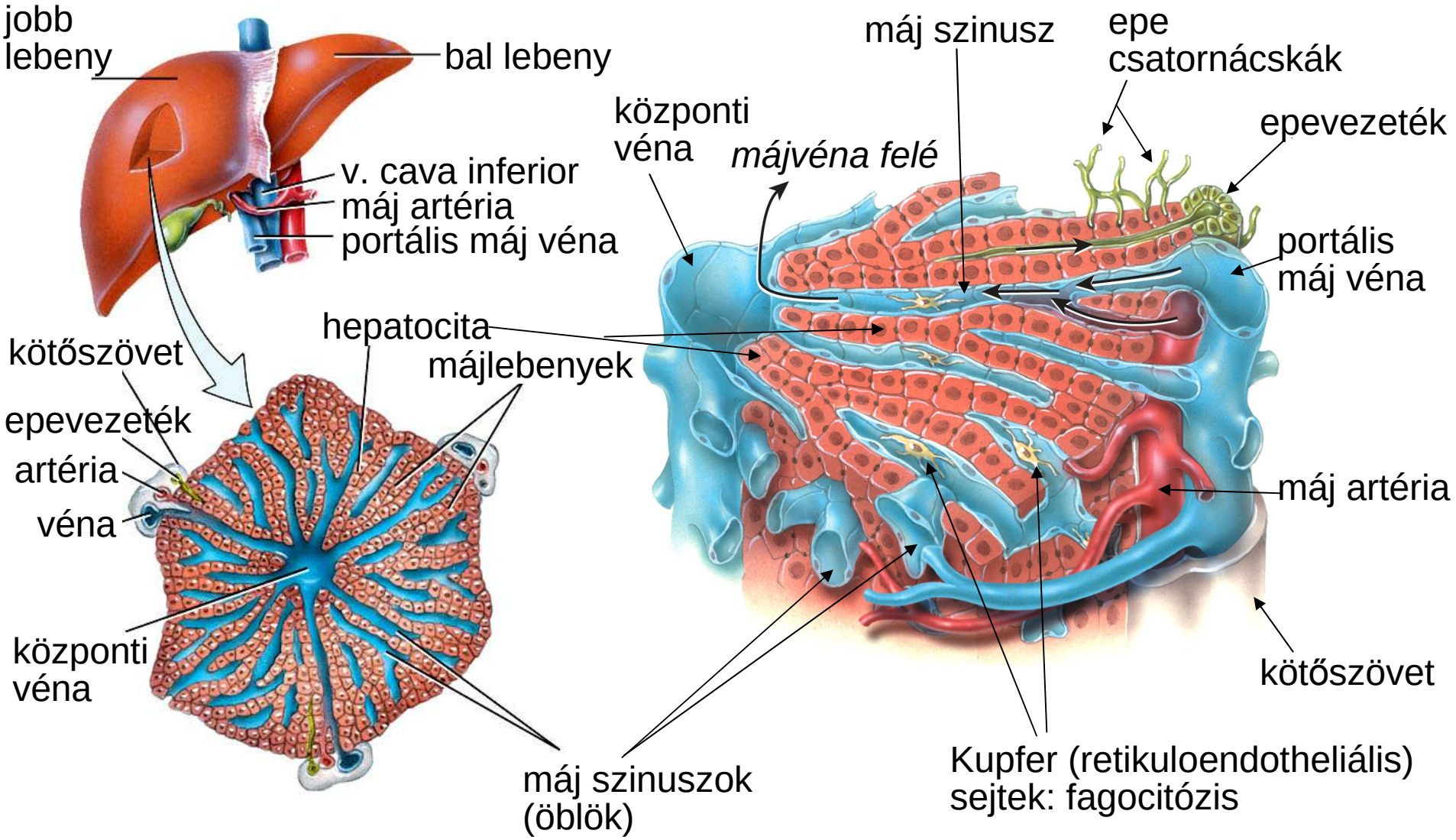
HCl szekréció



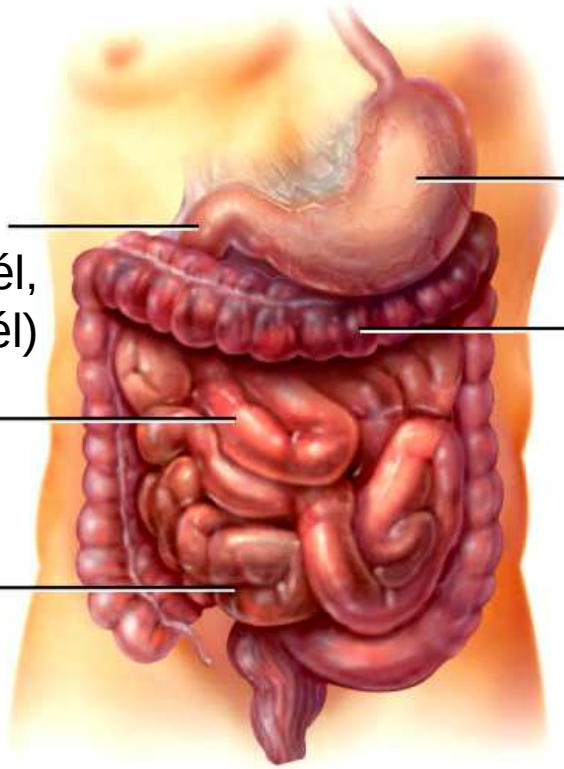
Járulékos emésztőmirigyek: hasnyálmirigy, máj, epehólyag I.



Járulékos emésztőmirigyek: máj, epehólyag II.

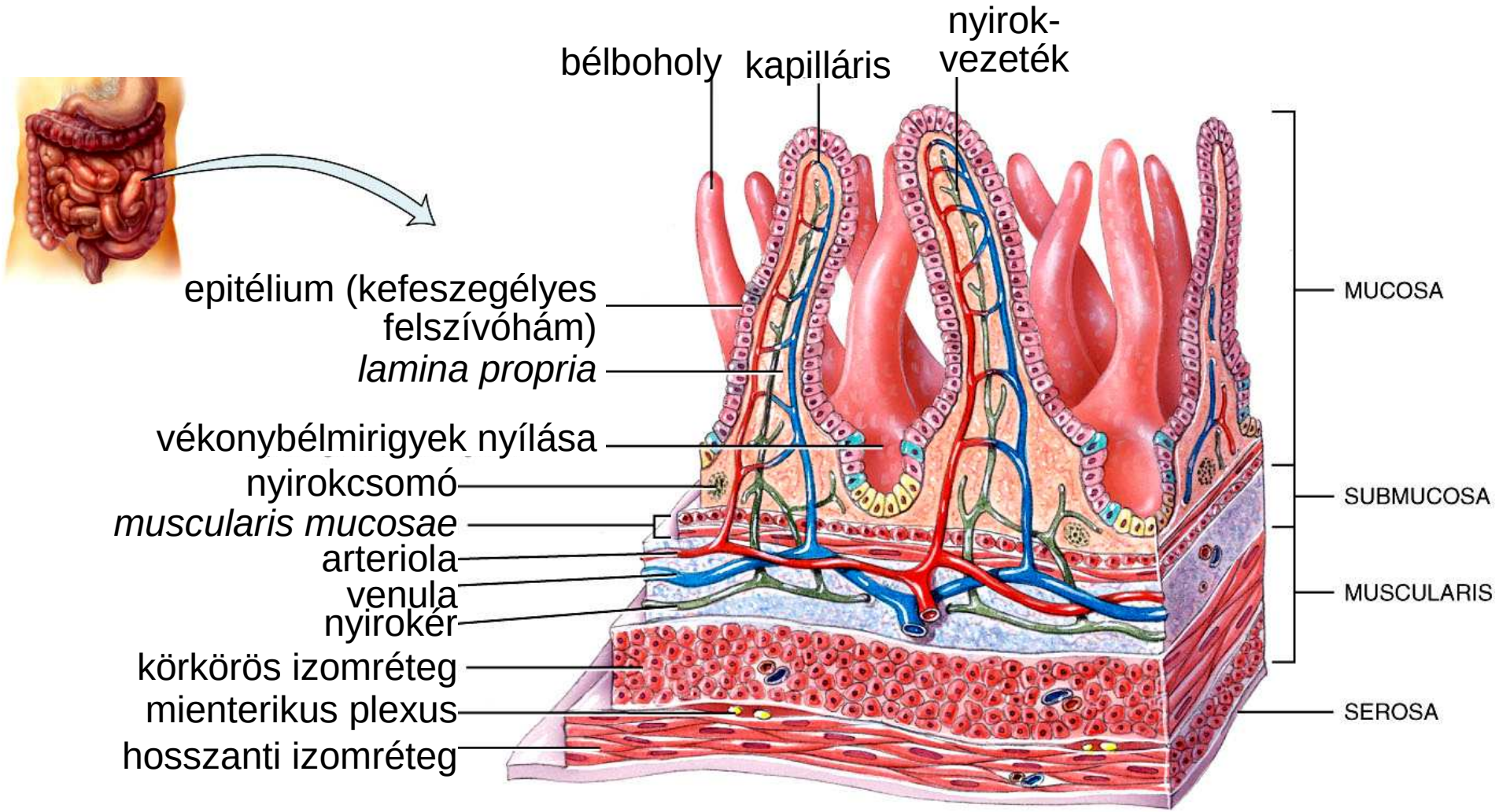


A vékonybél szakaszai

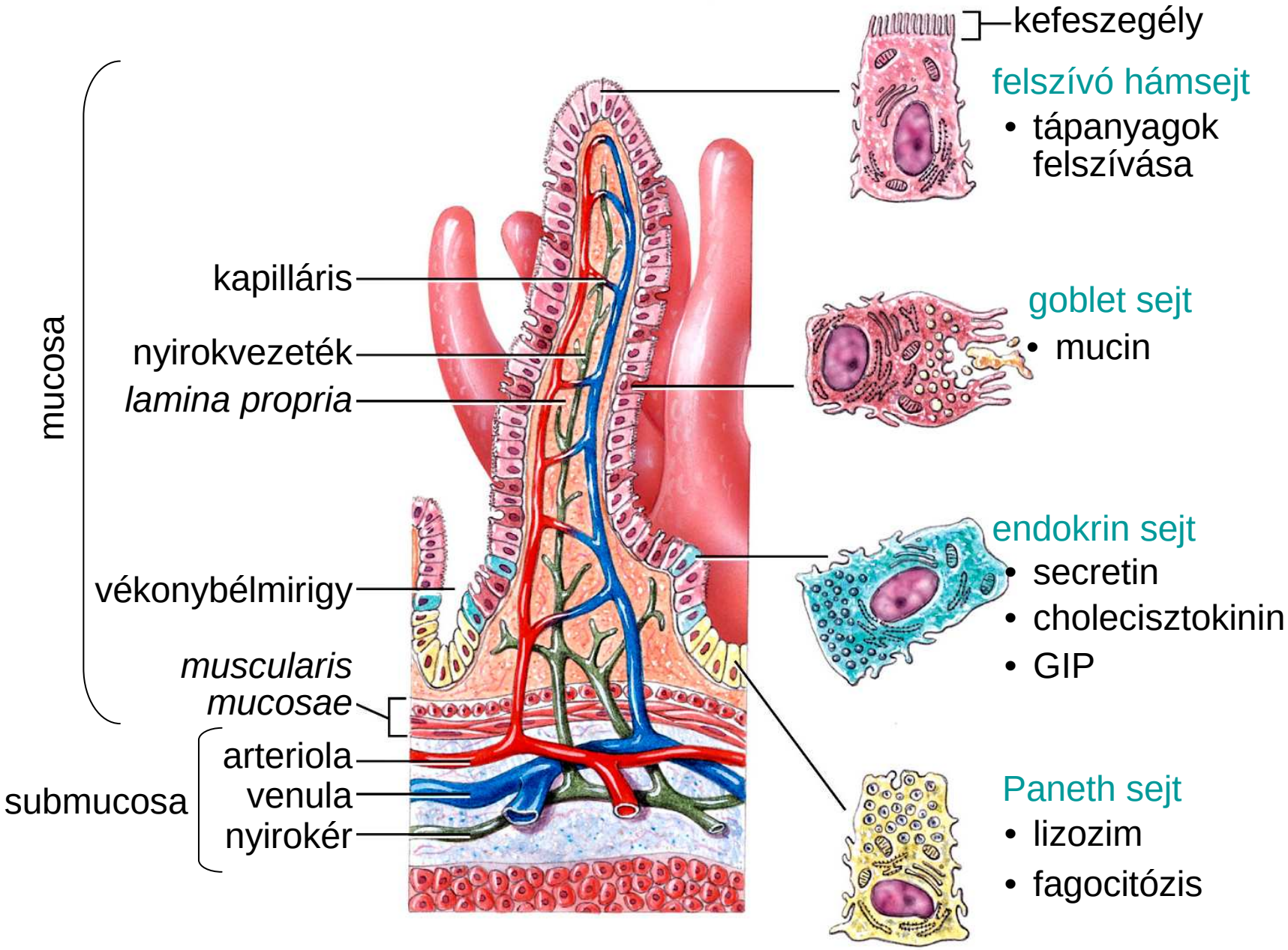


a jejunum körkörös redőzettsége:

A vékonybél fala, a bélbolyhok

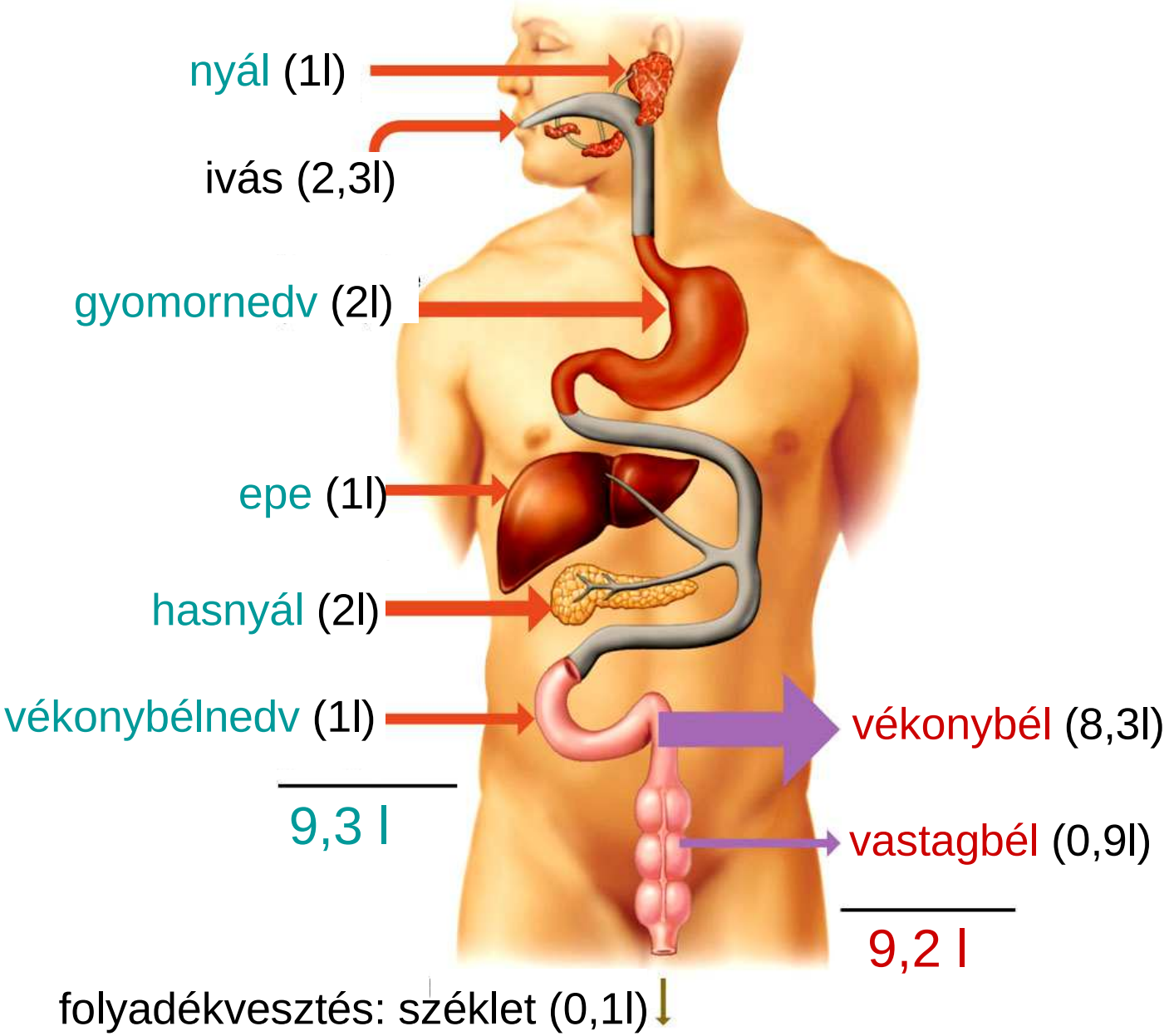


A bélbolyhok felépítése

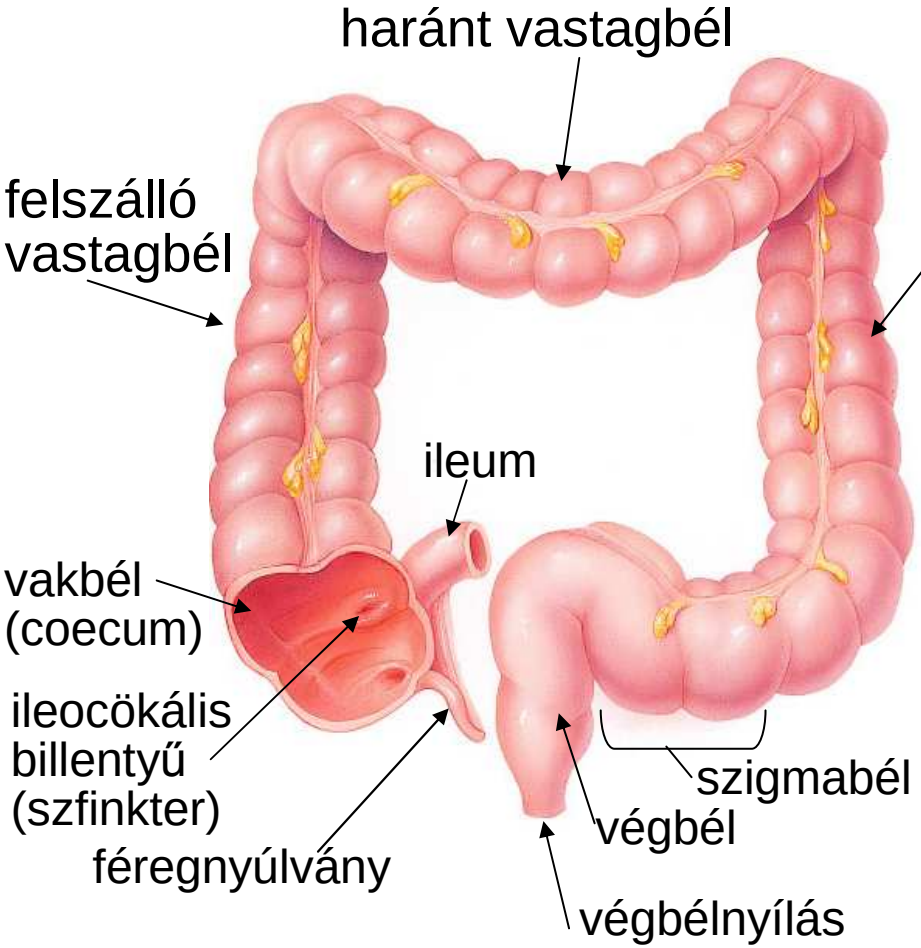


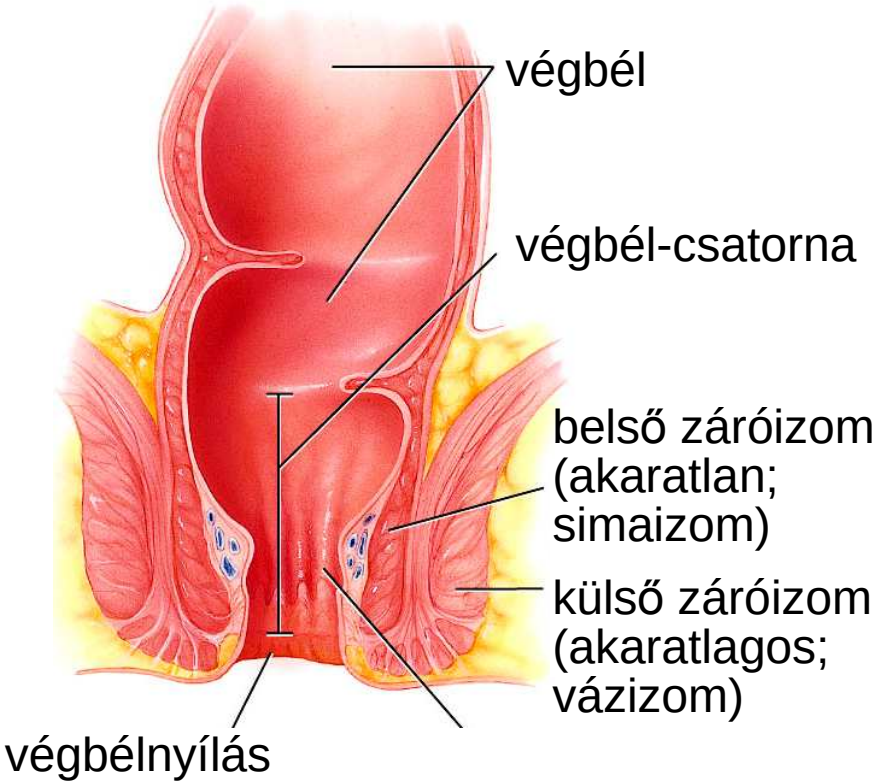
Folyadékháztartás a GI rendszerben

felvétel és szekréció *visszaszívás*

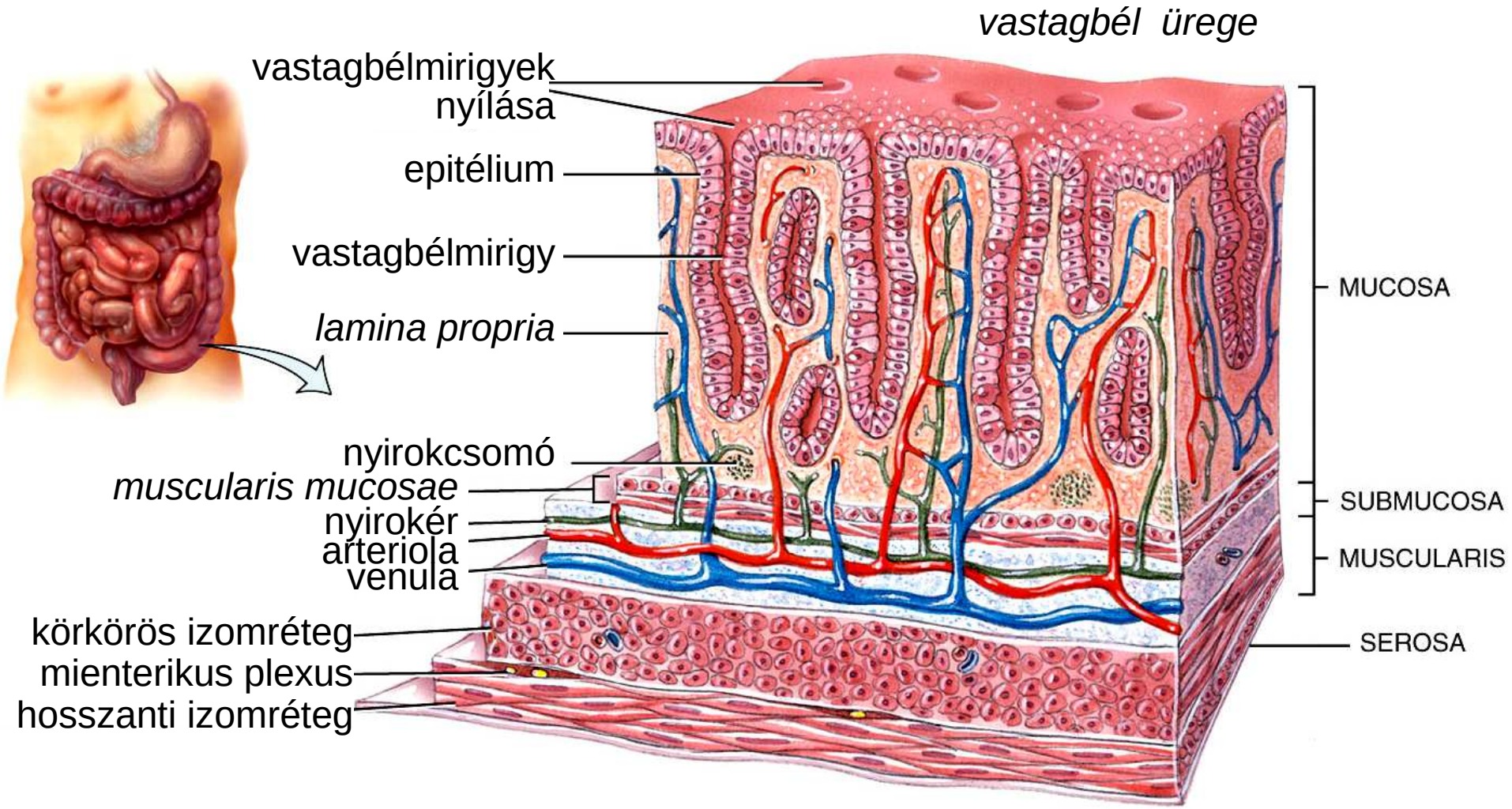


A vastagbél szakaszai és felépítése

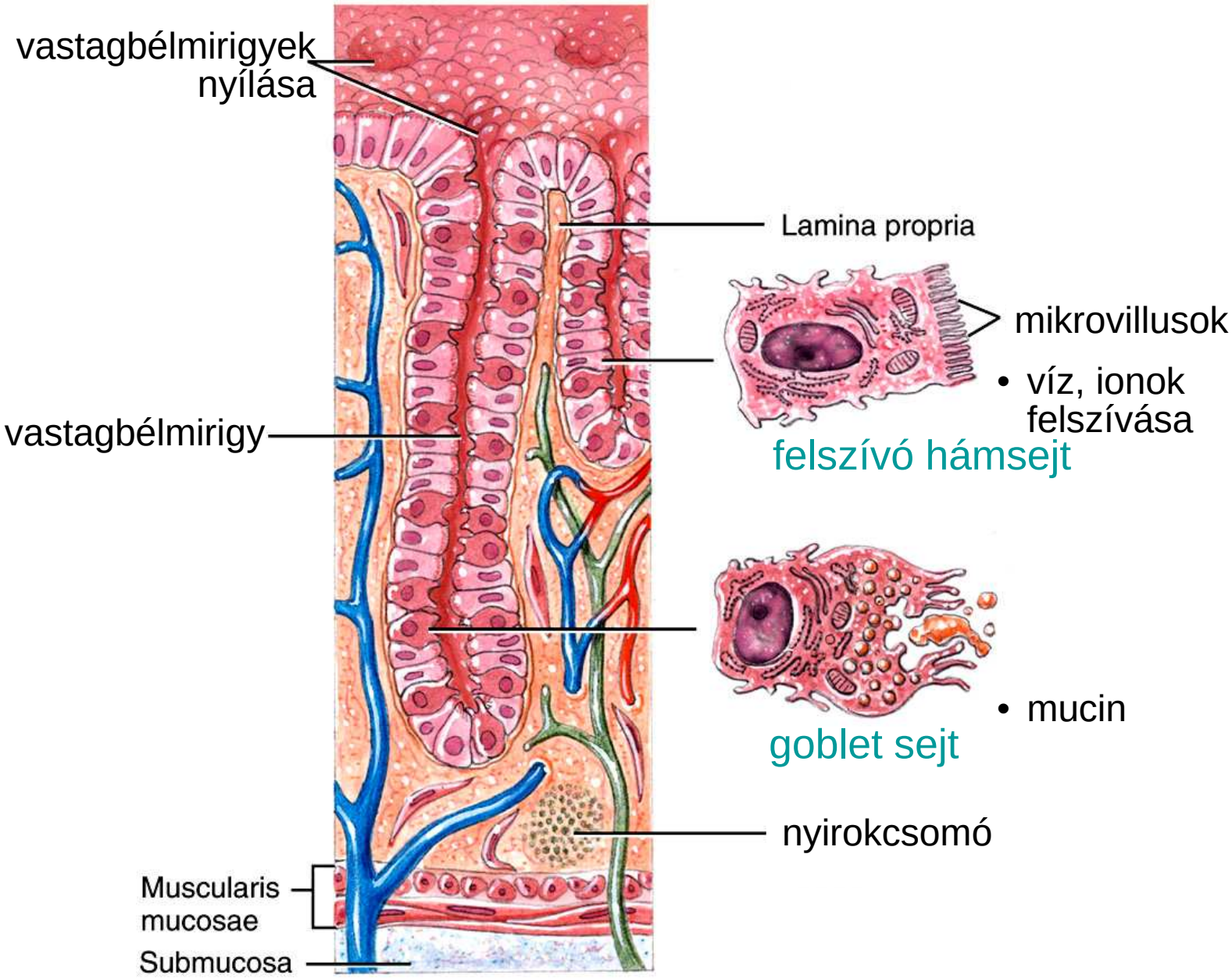




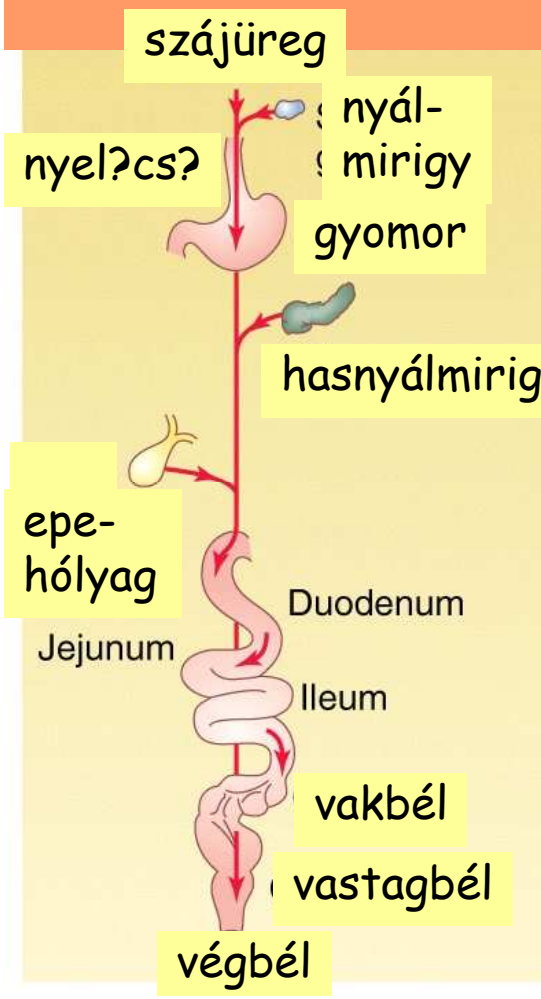
A vastagbélfal felépítése



A vastagbélfal mirigyek



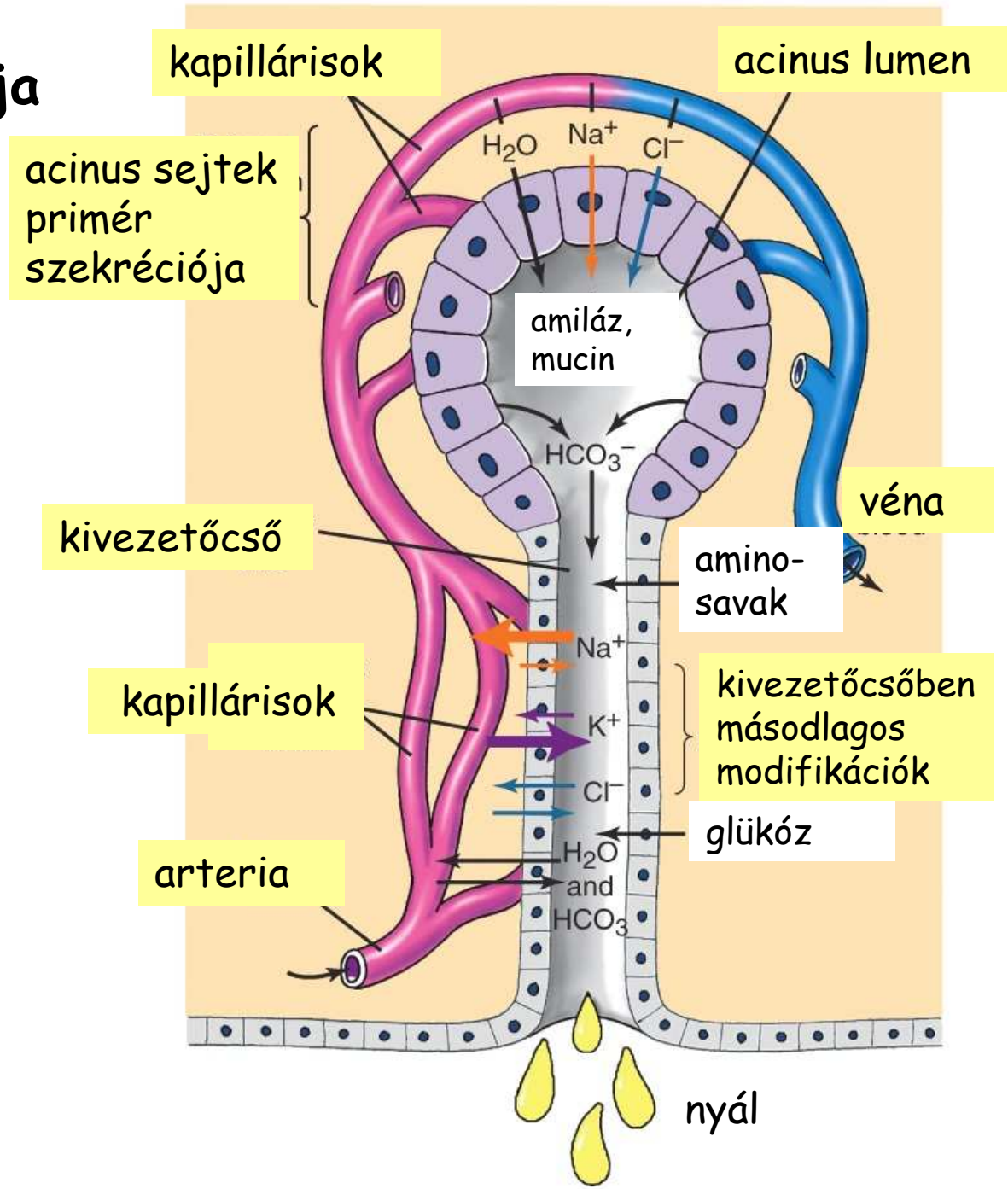
A tápcsatorna szekréciós működései



lokalizáció	szekrétum	napi mennyiség (l)	pH	összetétel*
nyál	nyál	1+	6.5	amiláz, bikarbonát
gyomor	gyomornedv	1—3	1.5	pepszinogén, HCl, intrinsic factor
hasnyálmirigy	hasnyál	1	7—8	(kimo)tripszinogén, korboxi- és aminopeptidáz, lipáz, amiláz, maltáz, nukleáz, bikarbonát
epe-hólyag	epe	1	7—8	zsírok és szírsavak, epesavak, epefestékek, koleszterol
vékonybél	bélnedv	1	7—8	enterokináz, korboxi- és aminopeptidáz, maltáz, laktáz, szukráz, lipáz, nukleázok

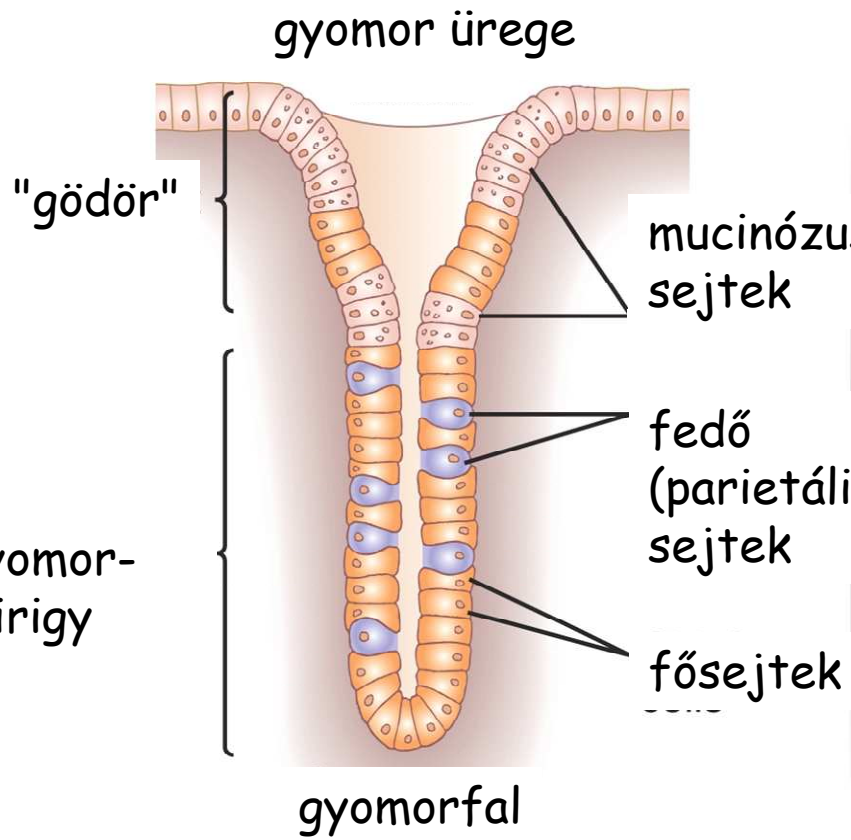
*mucus és víz nélkül (ezek a szekrétum akár 95%-át is kitehetik)

A nyál szekréciója

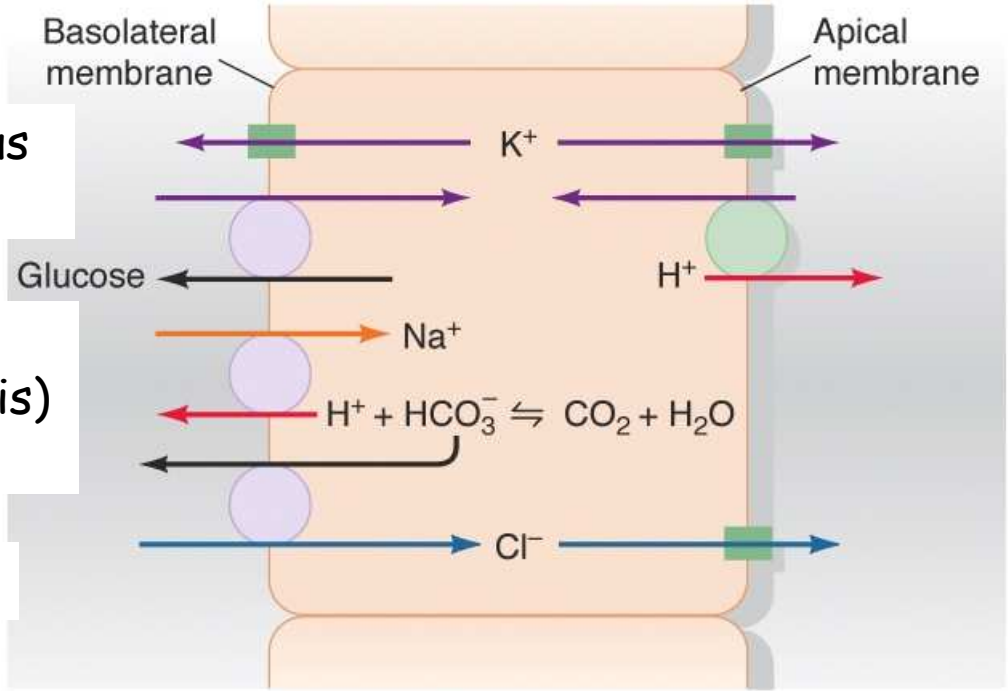


A gyomor sósav-szekréciója

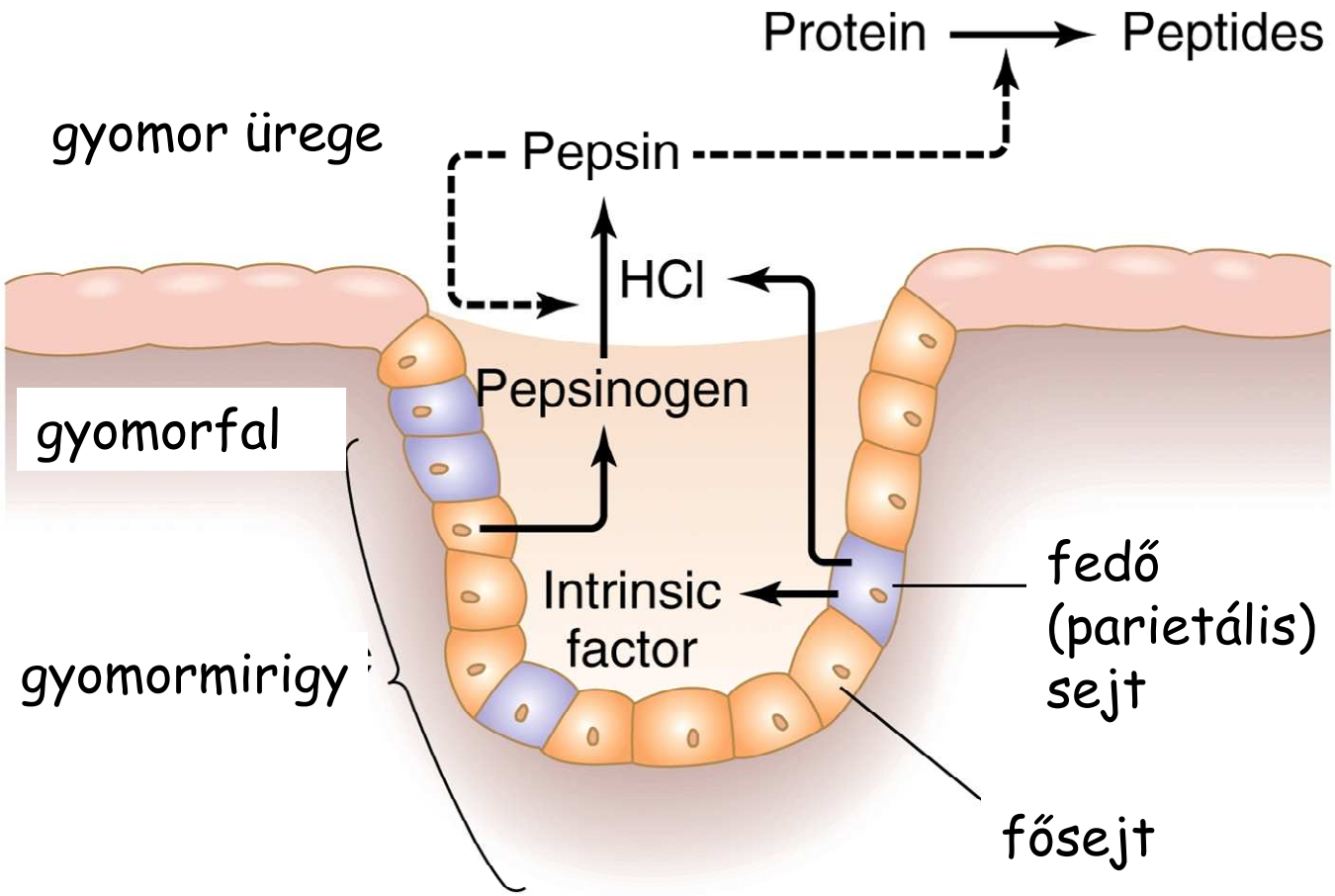
A gyomormirigy felépítése



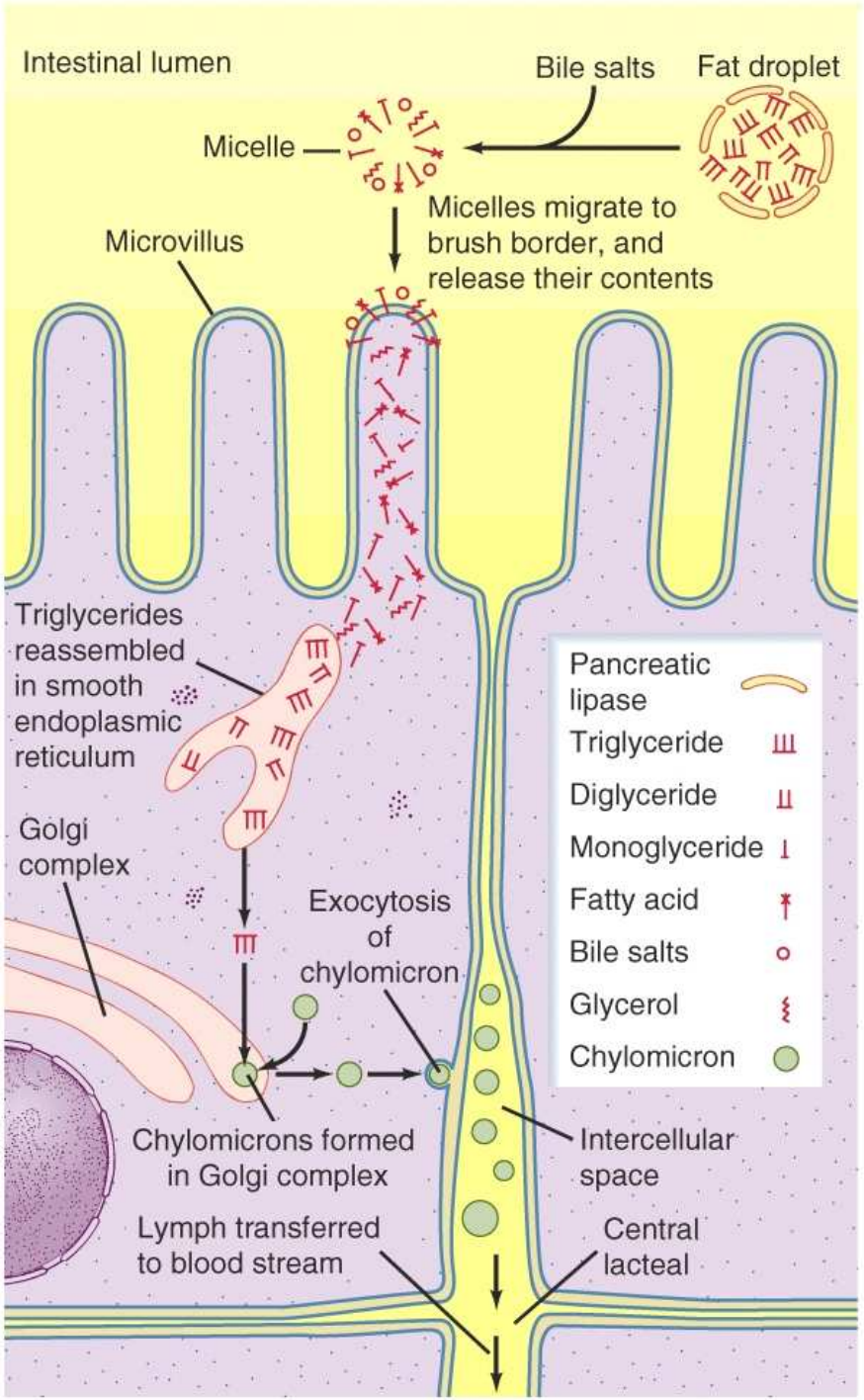
A parietális sejtek transzportfolyamatai



A gyomor pepszinogén-szekréciója



A lipidek felszívása



Anatómia élettan II.

Dr. Világi Ildikó
Élettani és Neurobiológiai Tanszék

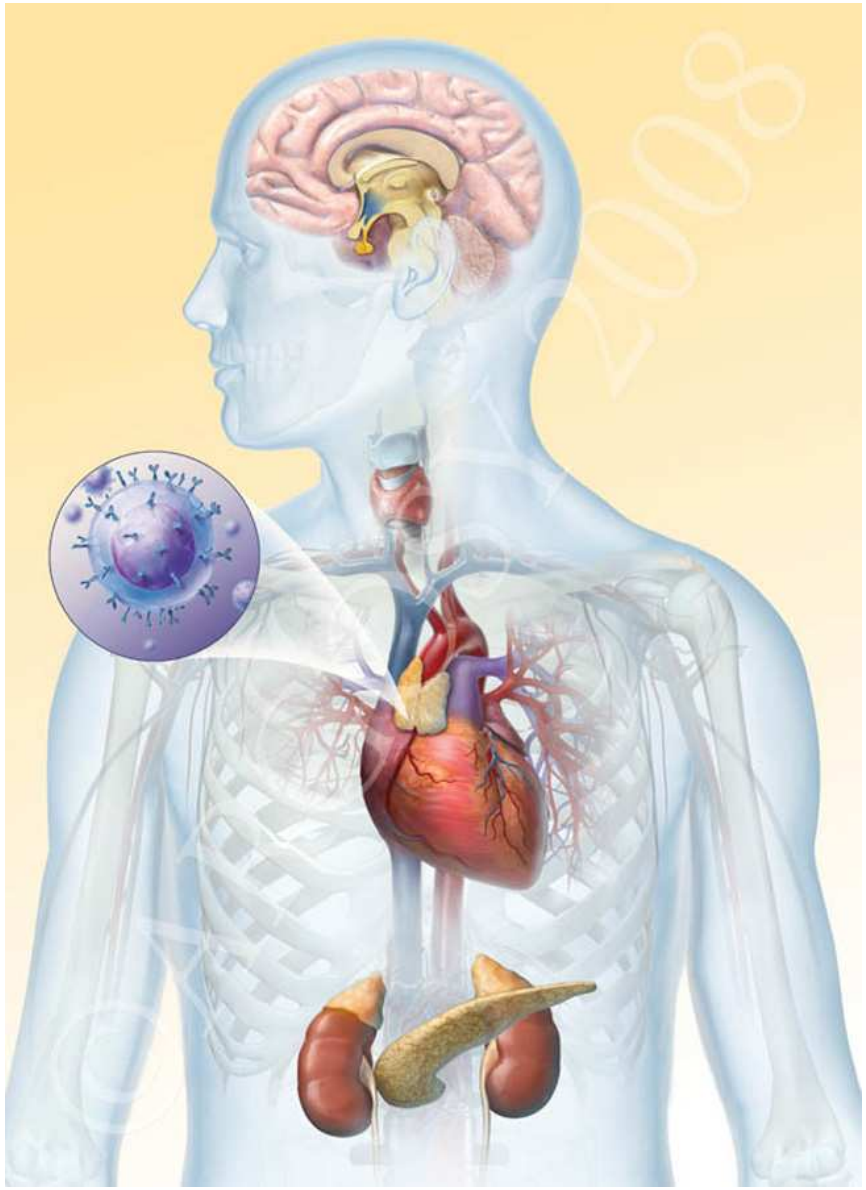
vilagildi@ludens.elte.hu

Tananyagok:
physiology.elte.hu

Ajánlott tankönyvek:

- Donáth Tibor: Anatóia - Élettan; Medicina Kiadó
- Stephen G. Waxman: Összehasonlító neuroanatómia, Medicina Kiadó
- Ormai Sándor: Élettan - kórélettan; Semmelweis Kiadó
- Fonyó Attila: Élettan gyógyszerészhallgatók számára, Medicina Kiadó

Endokrinológia I.



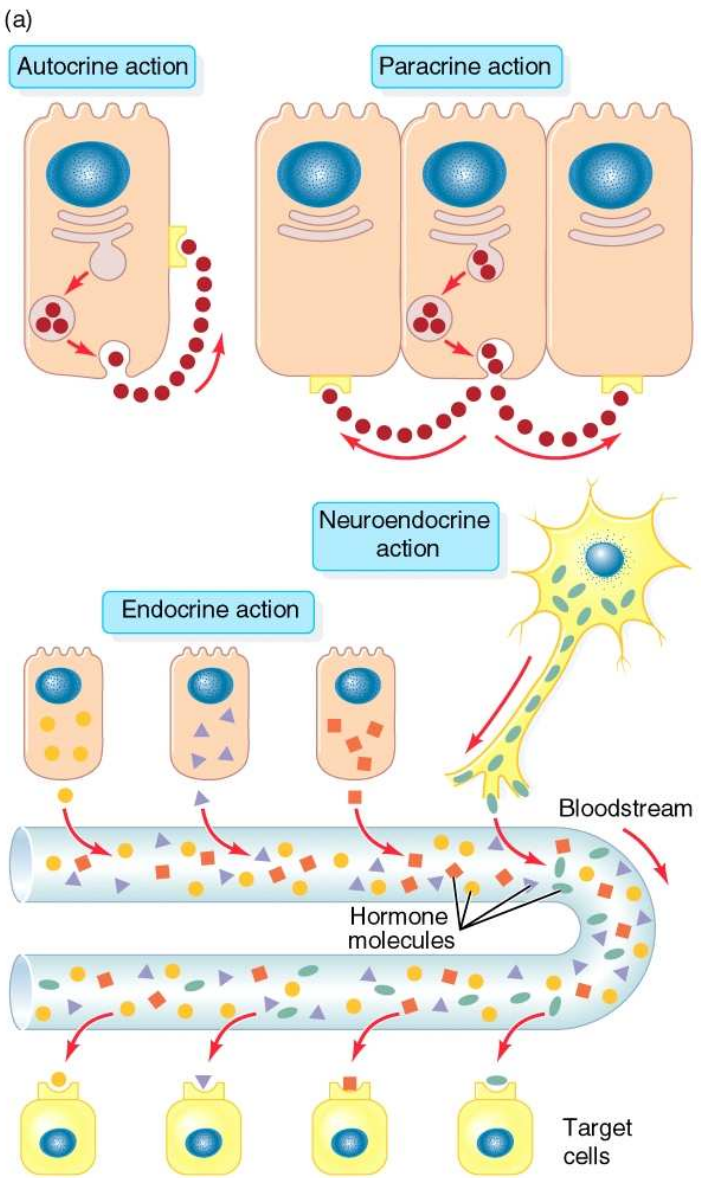
Hatásmódok

Autokrin hatás:
Saját magára visszahatás, autoreceptorral történik reguláció

Parakrin hatás:
Extracelluláris térbe ürítés, közelben hatás (szöveti hormonok)

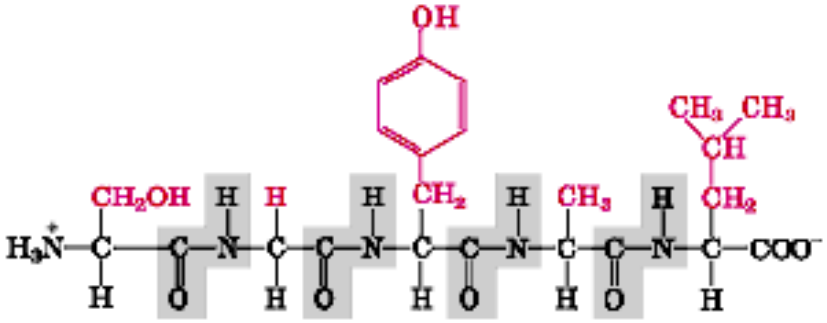
Endokrin hatás:
A kiürített anyagok a vérbe kerülnek, távoli szervekre is hatással lehetnek, a hormon endokrin szervben termelődik

Speciális eset: a termelő idegsejt

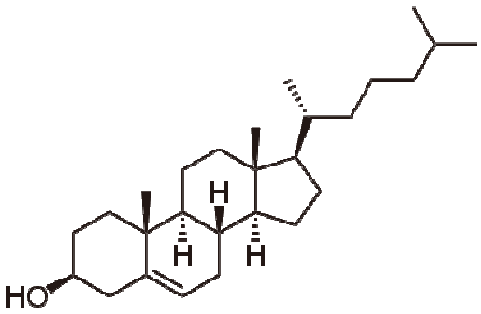


Hormon: endokrin szervben termelődő anyag, mely a vér útján kerül el a hatóhelyre

Hormon hatású anyagok kémiai szerkezete, kifejtett hatása



peptidek

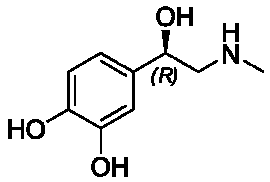


szteroidok

Anyagcsere befolyásolása: pl. tiroxin, inzulin

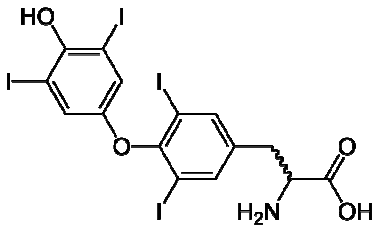
Izomaktiváció: pl. oxitocin, adrenalin

Morfogenetikus hatás: pl. tiroxin, ösztrogén

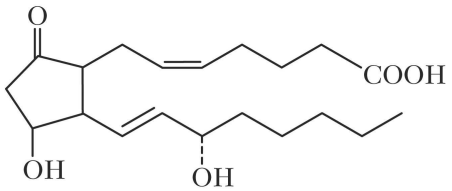


adrenalin

(tirozinból)



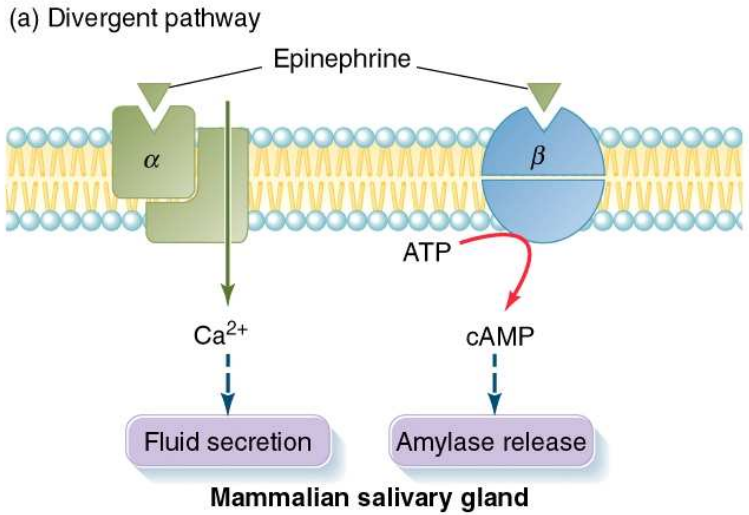
tiroxin

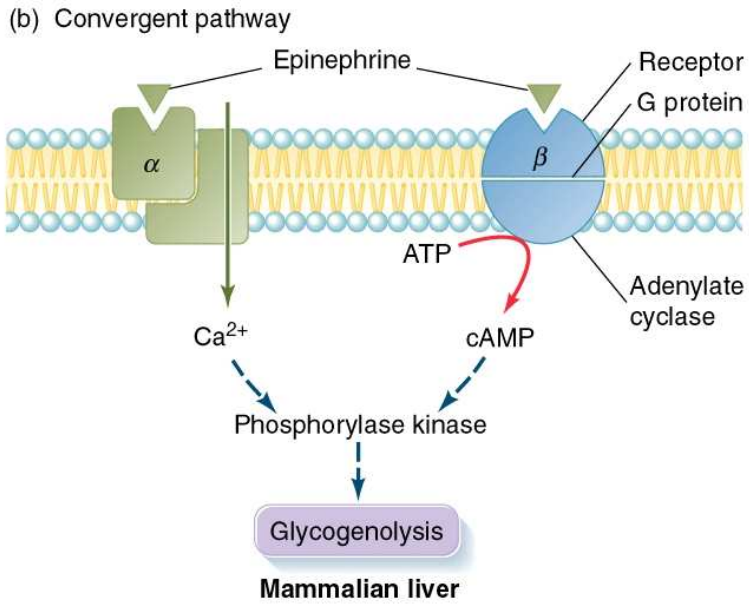


prosztaglandin
(általában szöveti hormonok)

Receptorok jellemzői

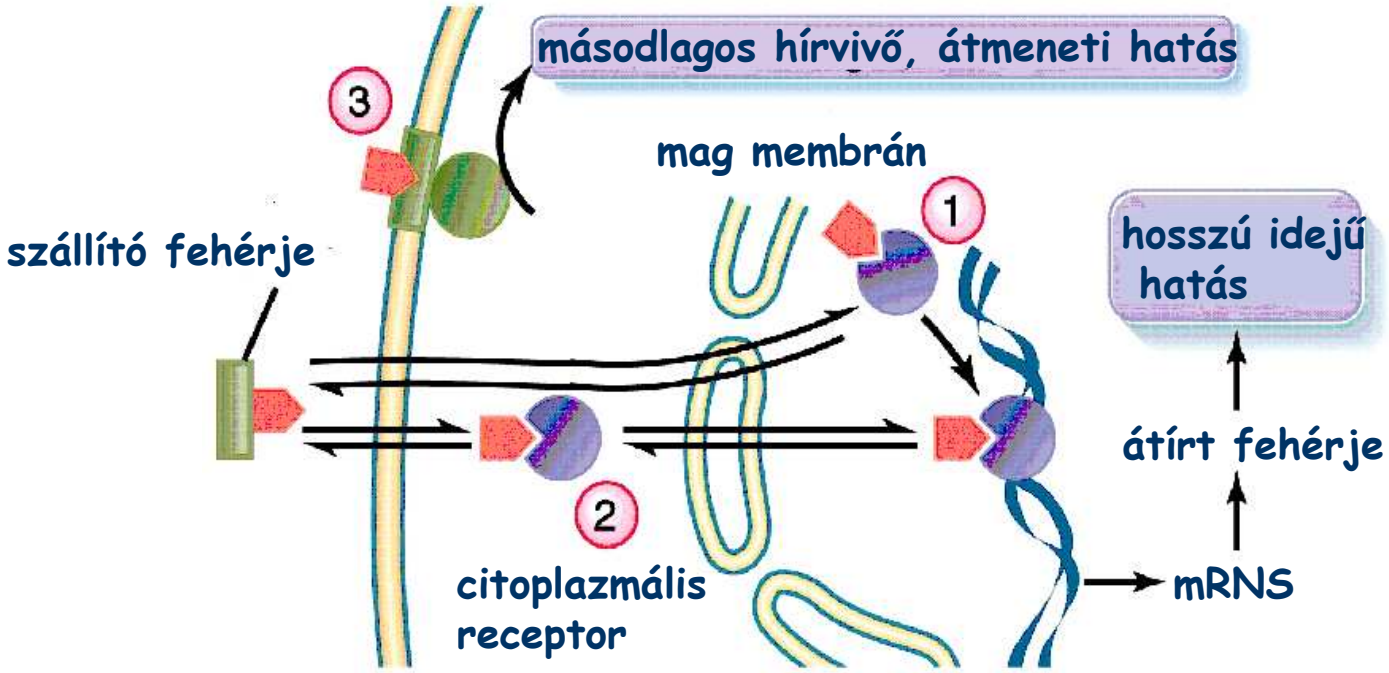
- Specificitás
- Nagy affinitás a hormonhoz
- Reverzibilis kötés
- Dinamikus receptorszám változás
- Több féle receptora is lehet egy hormonnak





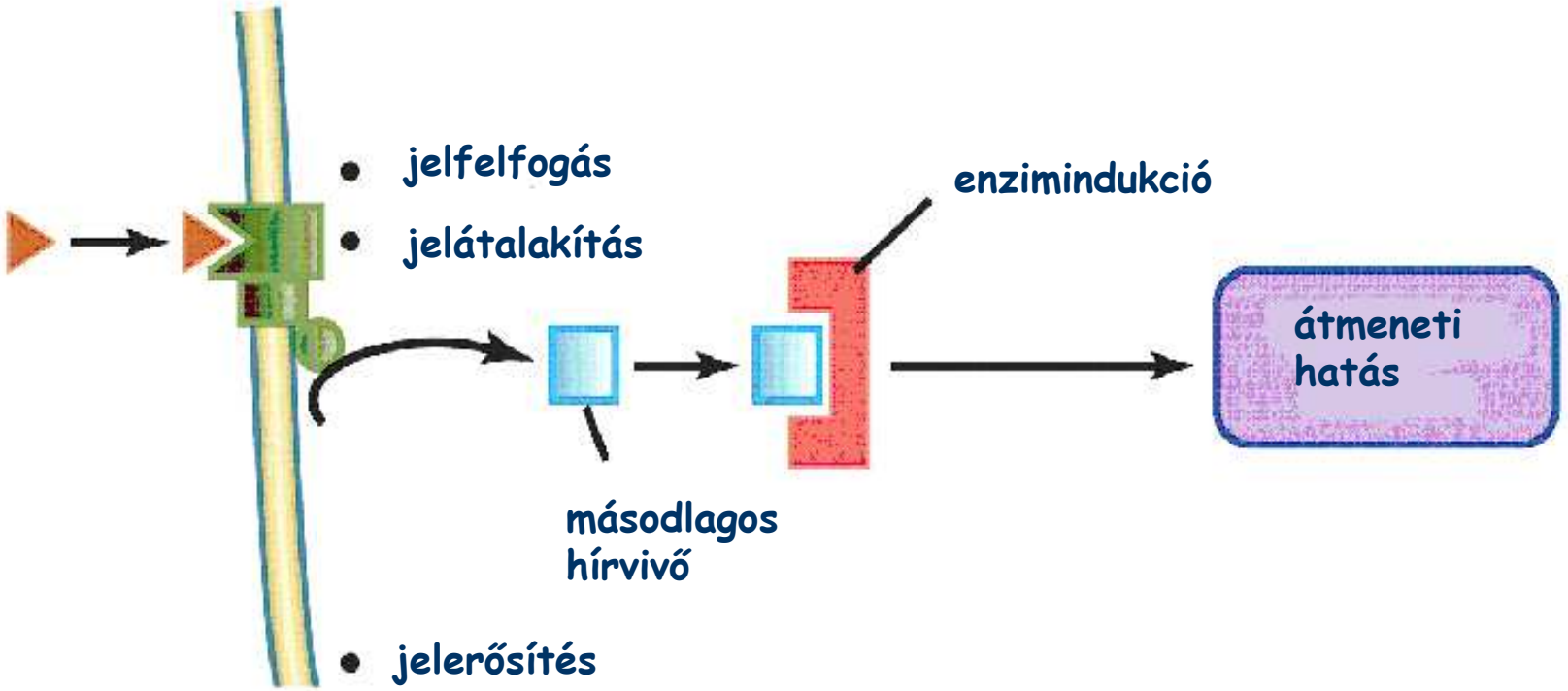
Hormon-receptor kölcsönhatás I.

Lipid oldékony hormonok hatása

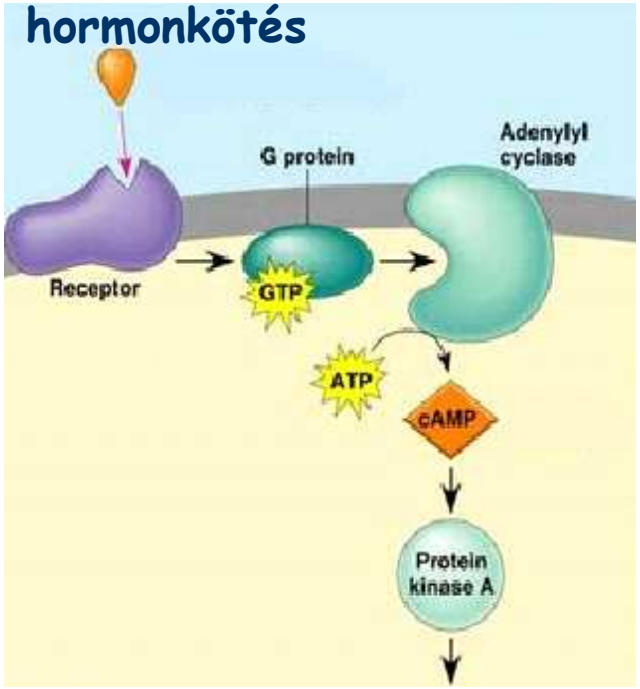


Hormon-receptor kölcsönhatás II.

Nem lipid oldékony hormonok hatása



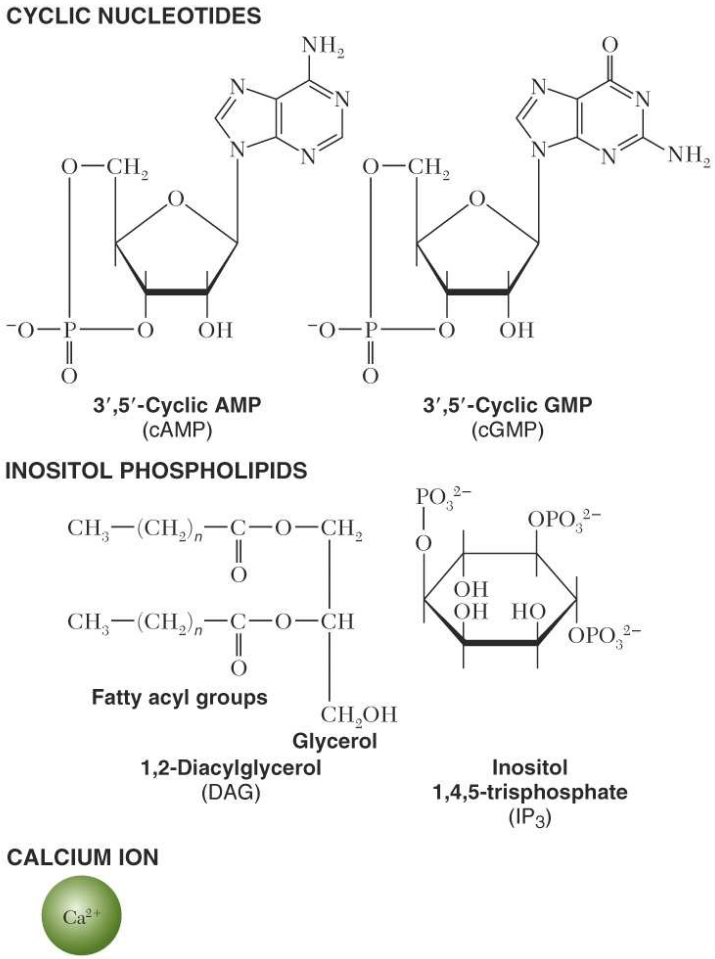
Másodlagos hírvivő aktiváció II.



extracelluláris tér

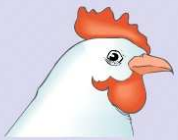
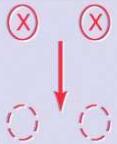
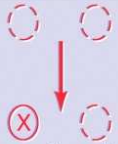
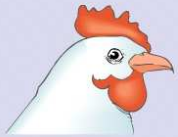
sejtmembrán

citoplazma



Hormonmennyiség meghatározása

Biológiai titrálás

	1	2
Experimental groups	Normal cock	 Castrated cock
Treatment	 Both testes removed	 One testis replaced
Results	 Comb and wattles small No interest in hens Weak crow Listless fight behavior	Comb and wattles normal Interest in hens Normal crow Aggressive fight behavior Testis larger than in controls

Radioimmun assay (RIA)

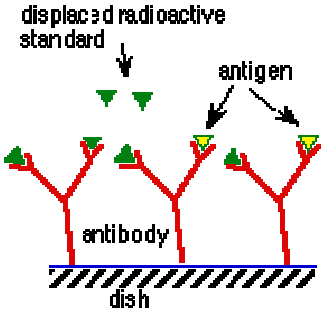


Figure 1: RIA

Enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA)

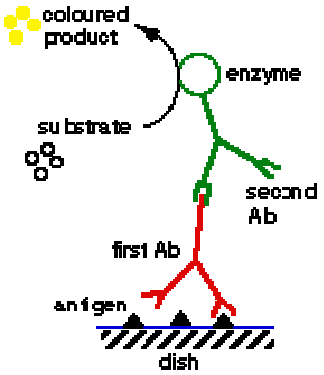
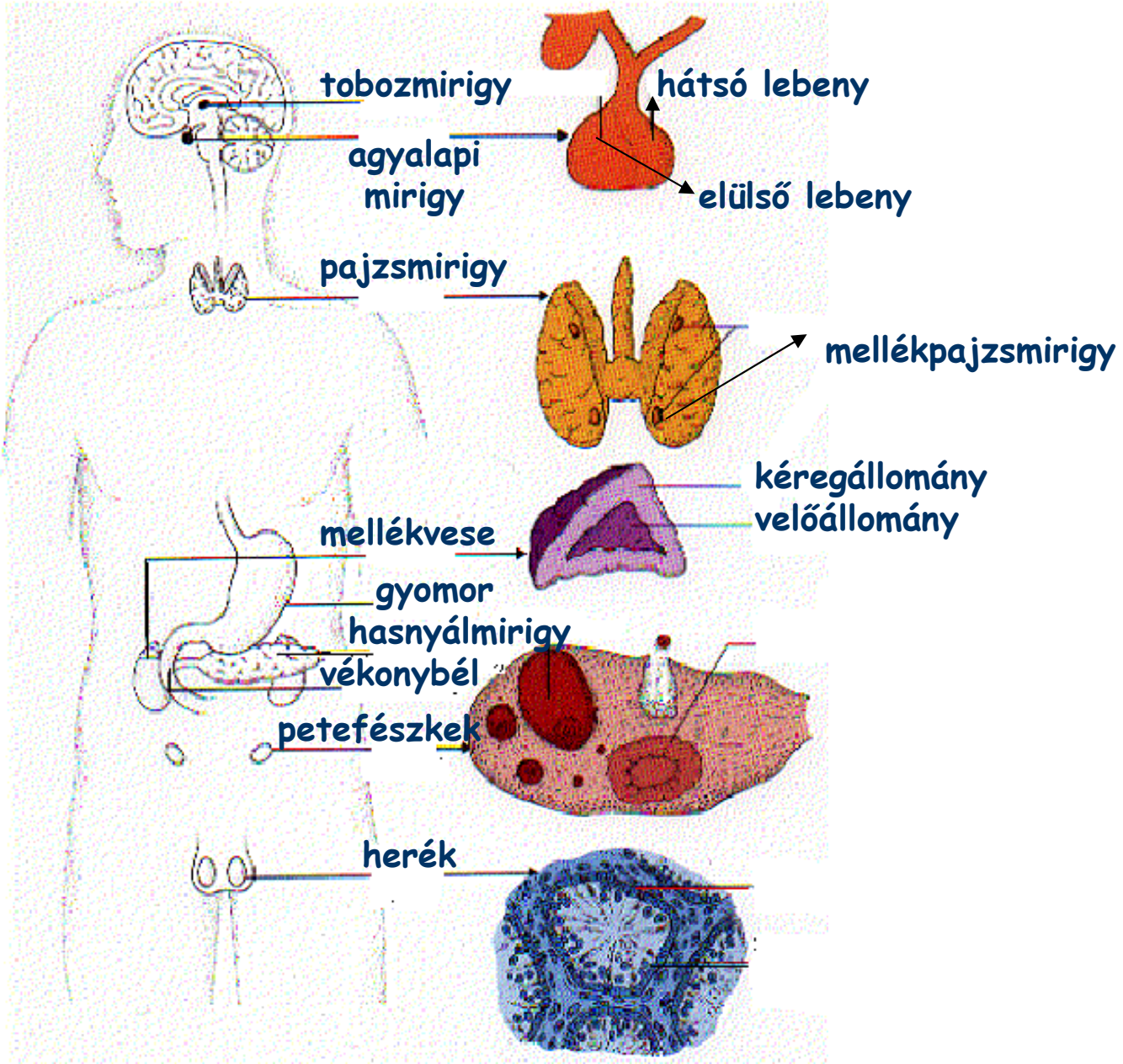
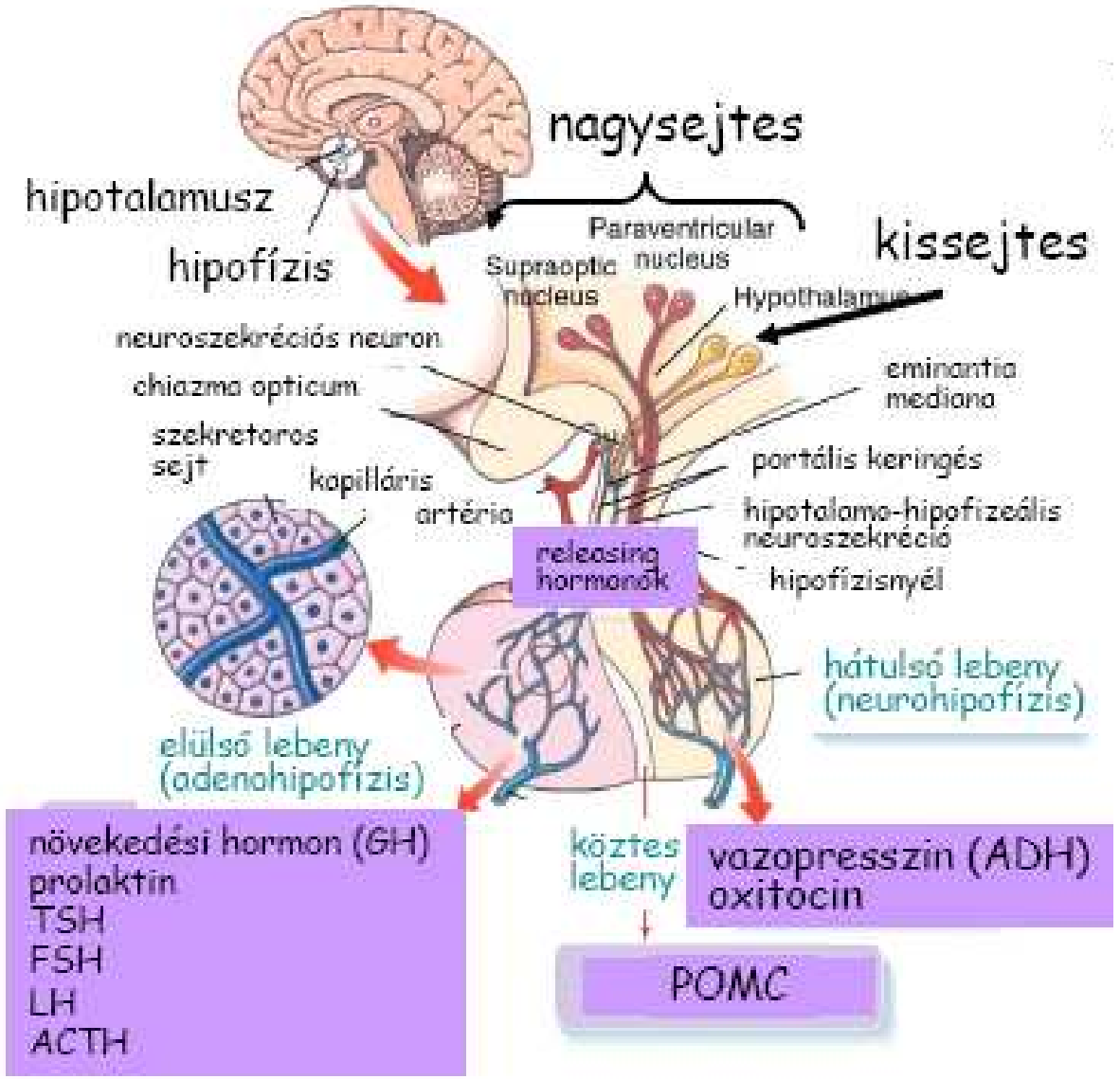


Figure 2: ELISA

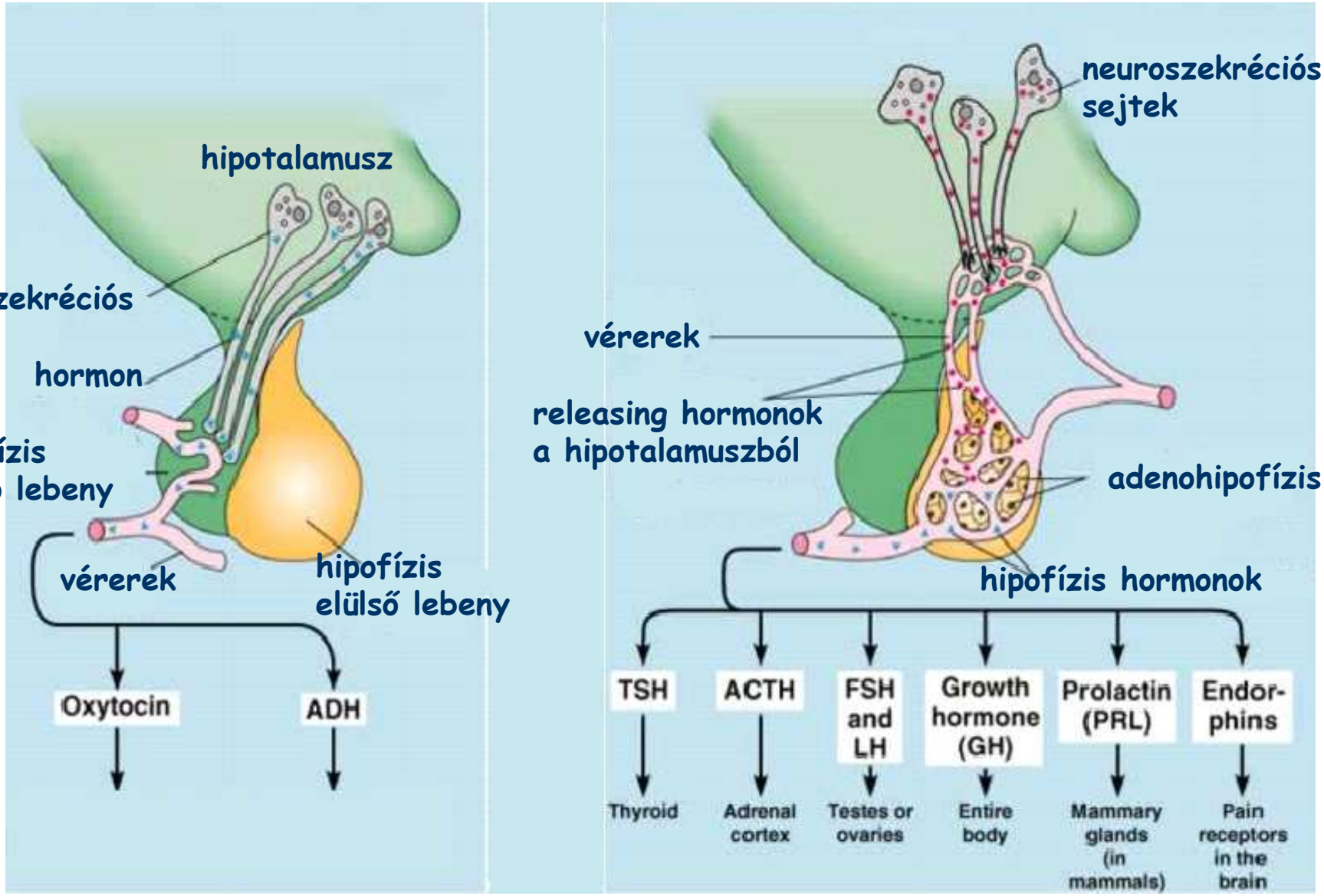
Fő endokrin mirigyek



Hipotalamo-hipofizeális rendszer



Hipotalamo-hipofizeális rendszer

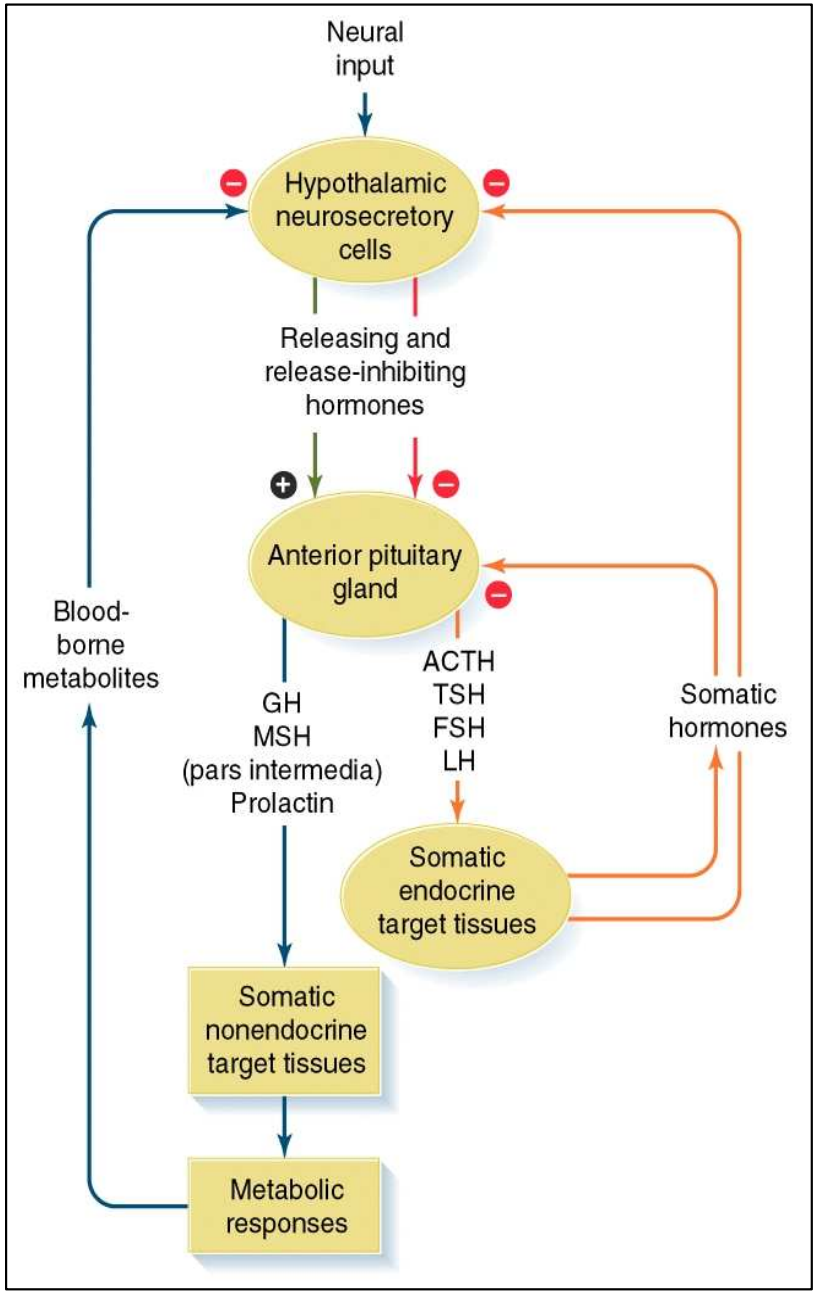


Szabályozás negatív visszacsatolással, ha más mirigy működését befolyásolja a hormon

Az adenohipofízis hormonjai, elválasztás szabályozása

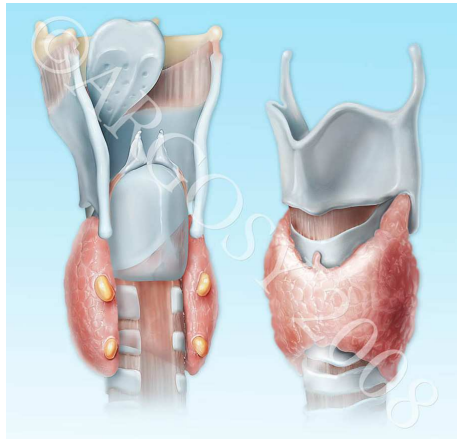
Hipotalamikus hormon	Hipofízis hormon	célszerv	célhormon
	Testi sejtekre ható hormonok		
GHRH GHRIH	növekedési h. (GH)	máj és egyéb sejtek	
PRH PRIH	Prolaktin (PRL)	emlő	
	Szabályozó peptid hormonok		
GnRH (szomatorelin)	LH FSH	ivarszervek	ösztrogén progeszteron tesztoszteron
CRH	ACTH	mellékvesekéreg	glukokortikoidok mineralokortikoidok androgének
TRH	TSH	pajzsmirigy	trijódtironin tiroxin

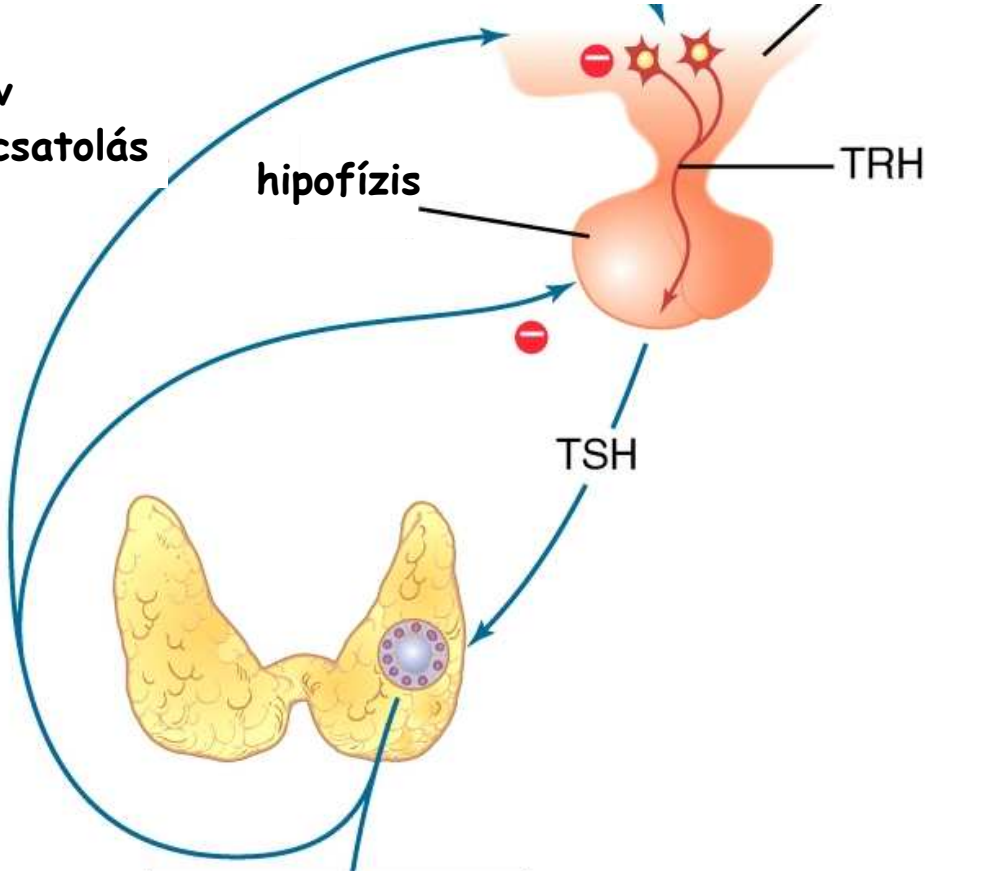
Szabályozás negatív visszacsatolással



A pajzsmirigy működése

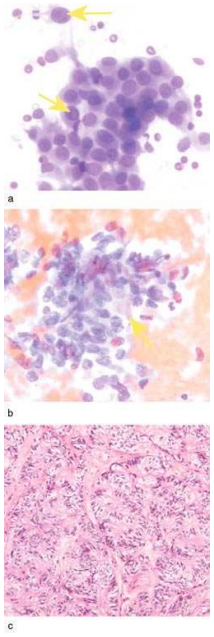
idegrendszeri hatások,
hőmérséklet szabályozás

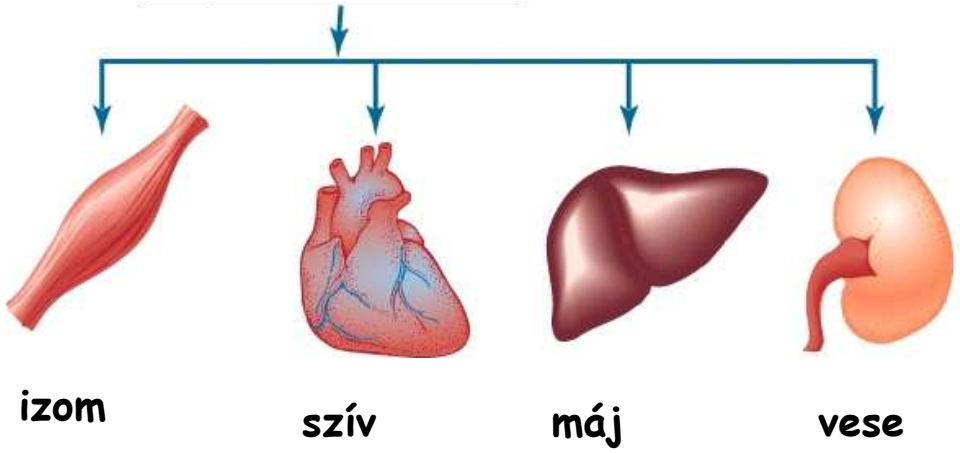




Sejtlégzés befolyásolása,
fokozott oxigén fogyasztás,
hőtermelés

tiroxin, trijódtironin





A pajzsmirigy működése

A pajzsmirigy túlműködése (hyperthyreosis) testsúlycsökkenéssel, a testhőmérséklet emelkedésével jár, a reflexek élénkülnek, a mentális és a pszichés működések fokozottak. Basedow-kórban a szemek kidüllednek

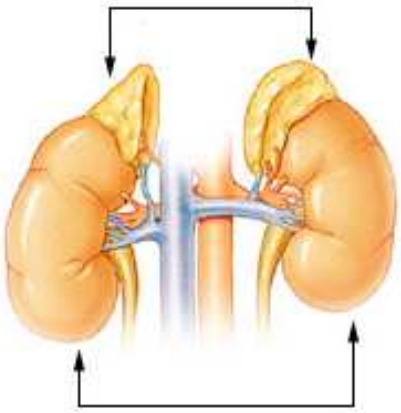
A hypothyreosis az alapanyagcsere csökkenésével, a mentális és a pszichés működések lanyhulásával jár, a testsúly nő.

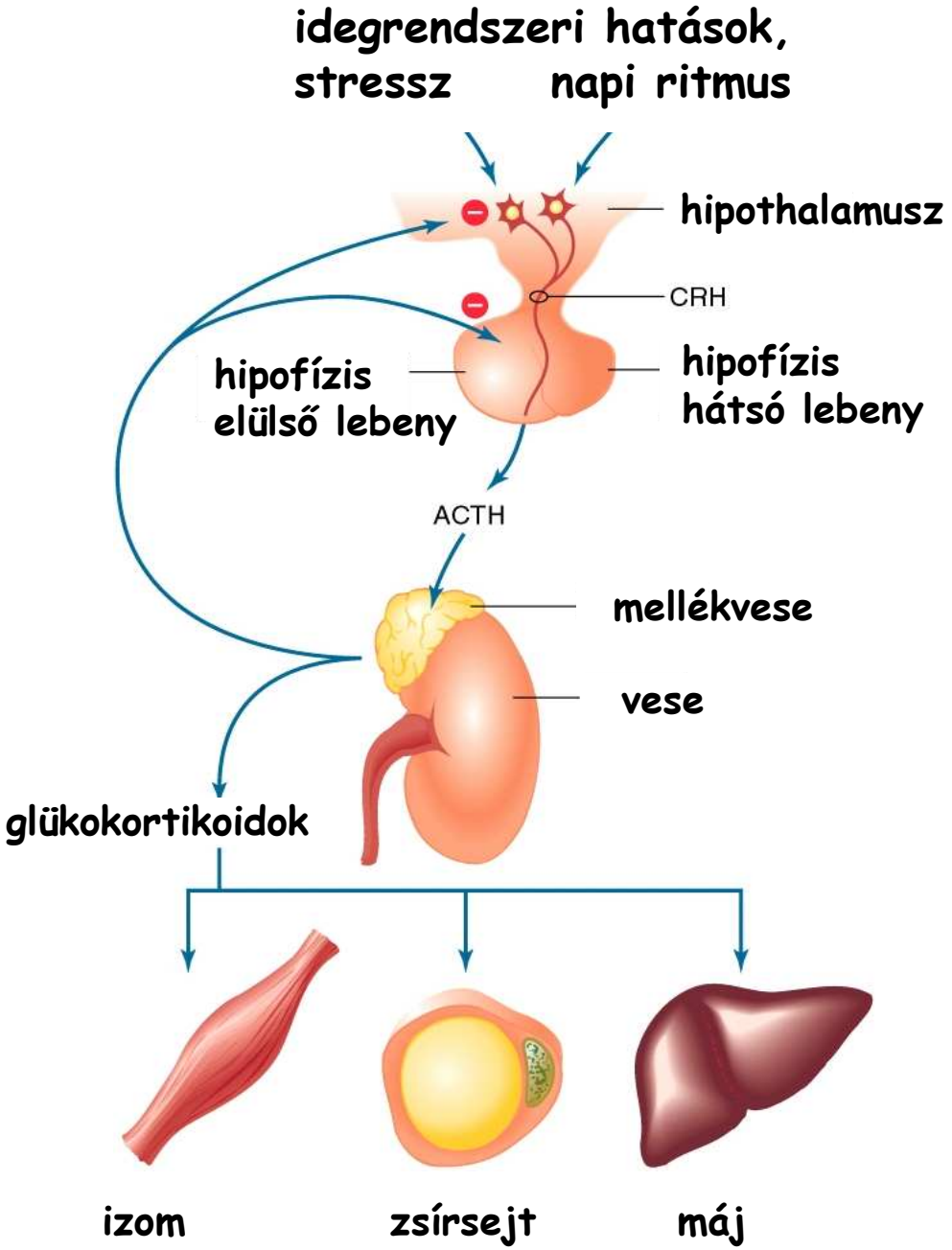
Betegségei:
Jódhiányos táplálkozás hatására kevés tiroxin termelődik, ez törpenövést okoz (kreténtörpeség)

.

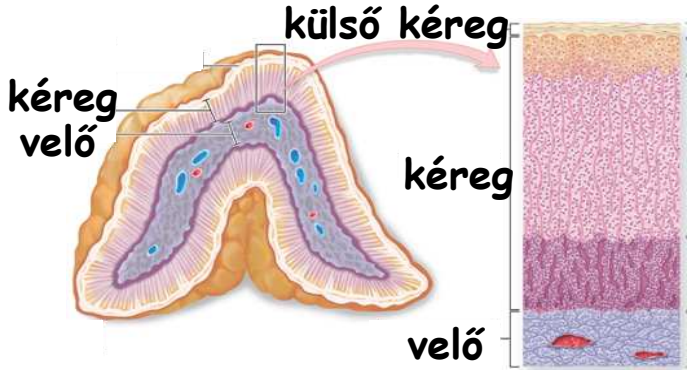
Felnőttkori rendellenességek: szemgödör dúsul, szemek kidüllednek (Bazedow-kór)
Strúma – megnő a pajzsmirigy mirigyállománya
Golyva – alacsony mirigyműködés – túl nyugodt lesz – gyógyítható tiroxin szedésével

A mellékvese kéreg





A mellékvese kéreg működése



Mineralokortikoidok (aldoszteron)

Glukokortikoidoks (kortizol)

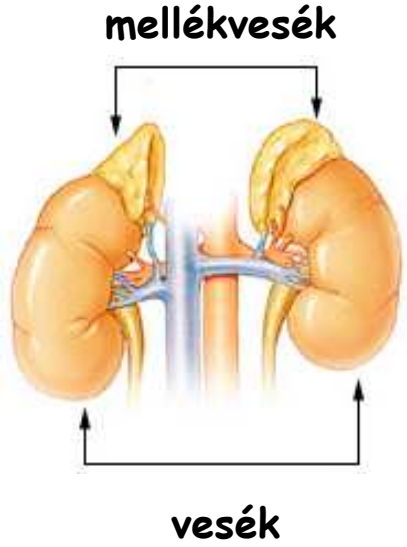
Androgen hormonok (androsztenedion, a tesztoszteron előanyaga)

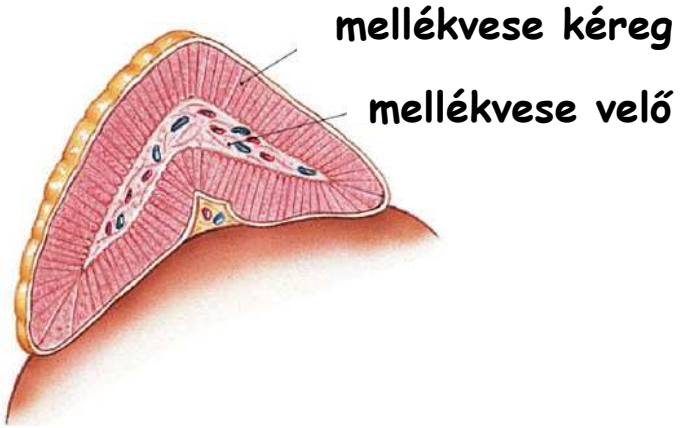
Renin – angiotenzin- aldoszteron rendszer

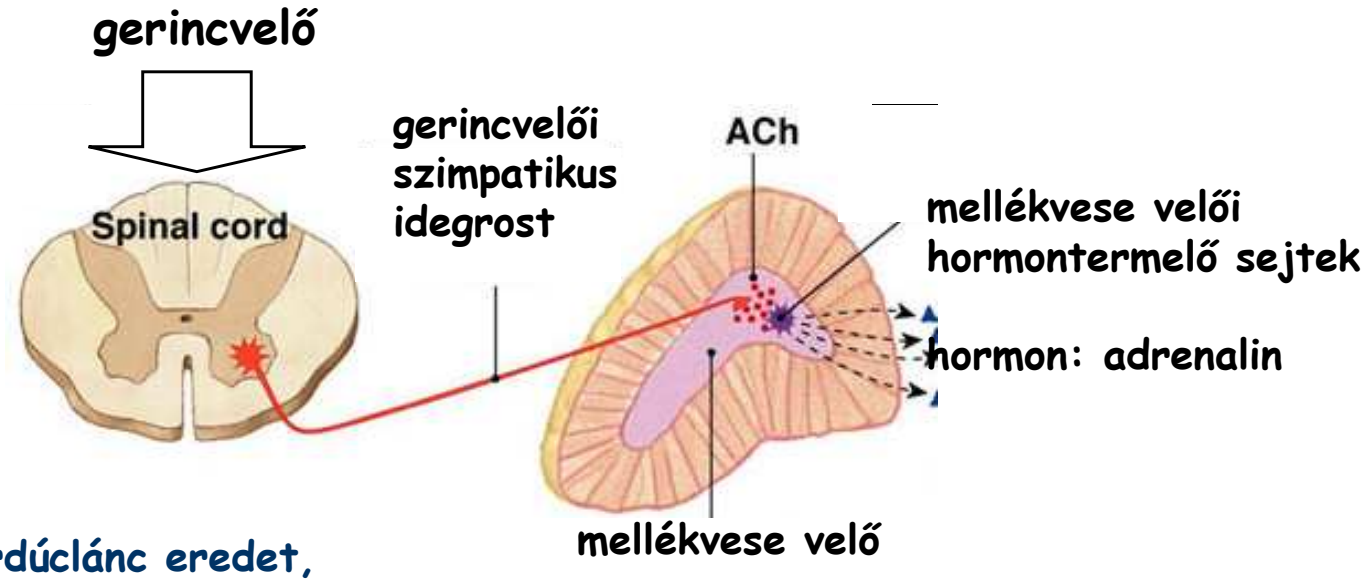
ACTH – glukokortikoidok – glukoneogenezis (májban)

A mellékvese betegségei:
Androgének túladagolása: dopping
Mellékvesekéregserkentő hormon malfunkciója májkárosodást okoz
Aldoszteron csökkenése: Addison-kór/bronz-kór
Mellékvese belső részének betegsége, androgén-túladagolás: Cushing-kór – erős szőrösödést okoz

A mellékvese velő működése



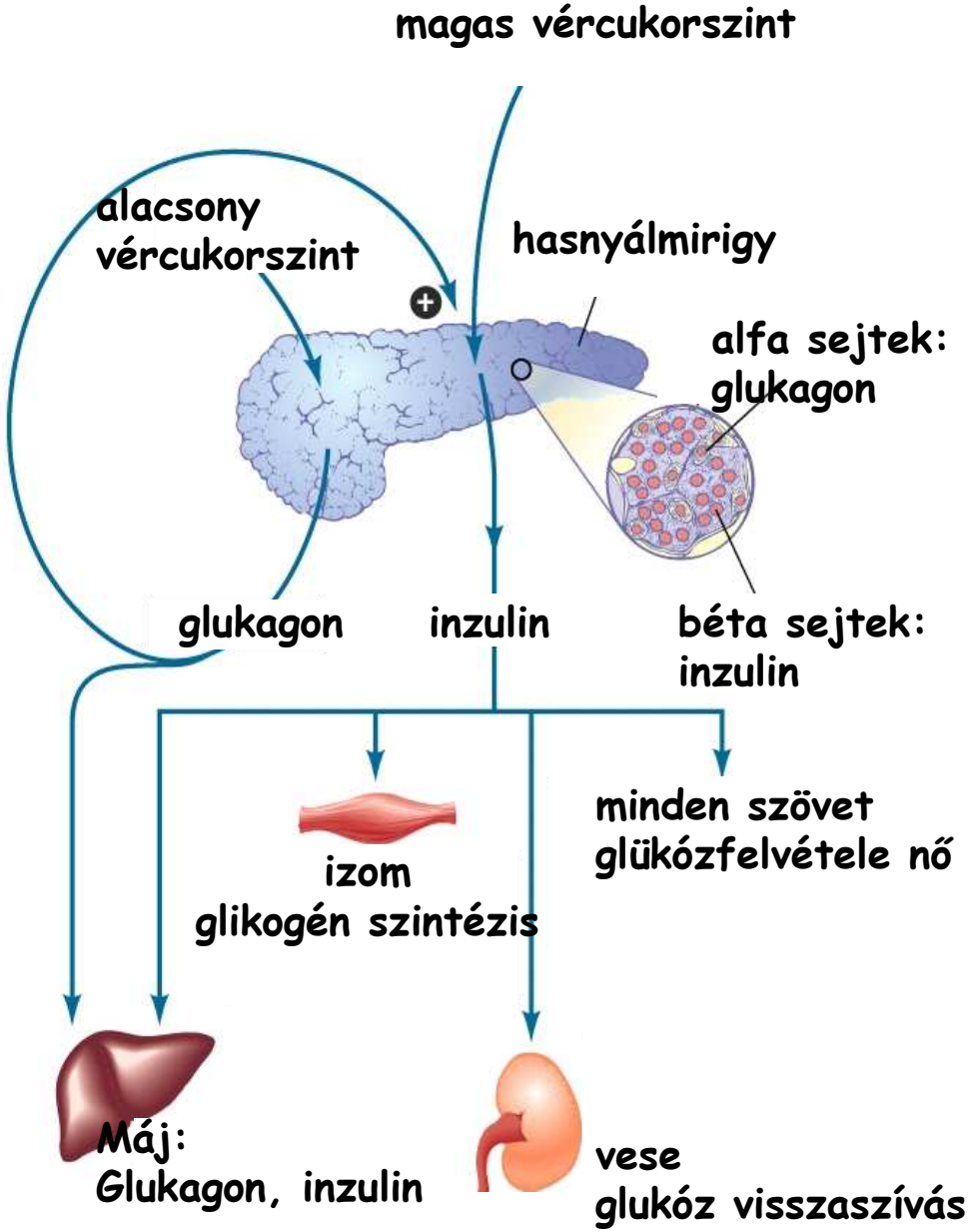




Szimpatikus határdúclánc eredet,
közvetlen beidegzés

Vércukor szint szabályozás

Elválasztás fokozódása
vércukorszint növekedés miatt



Inzulin hatása

Az inzulin hormon legfontosabb hatásai:

Glikogénfelépítés fokozása
(a glikogén a glukóz raktározódási formája→májban és izomszövetben)

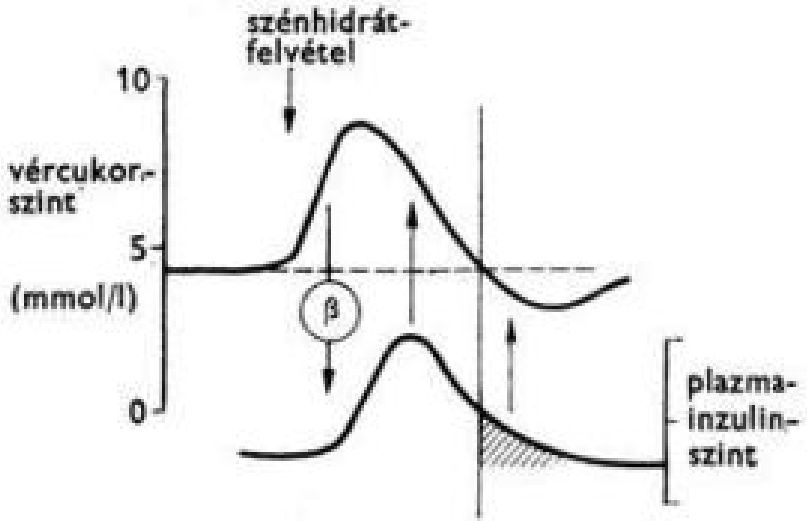
Glikogénlebontás gátlása (főképpen a májban)

Trigliceridek mozgósításának gátlása (a zsírszövetben)

Sejtek glükóz-felvételének és égetésének stimulálása
(főleg az izom és zsírszövetben)

Aminosavfelvétel és beépítés fokozása (pl. izomszövetben)

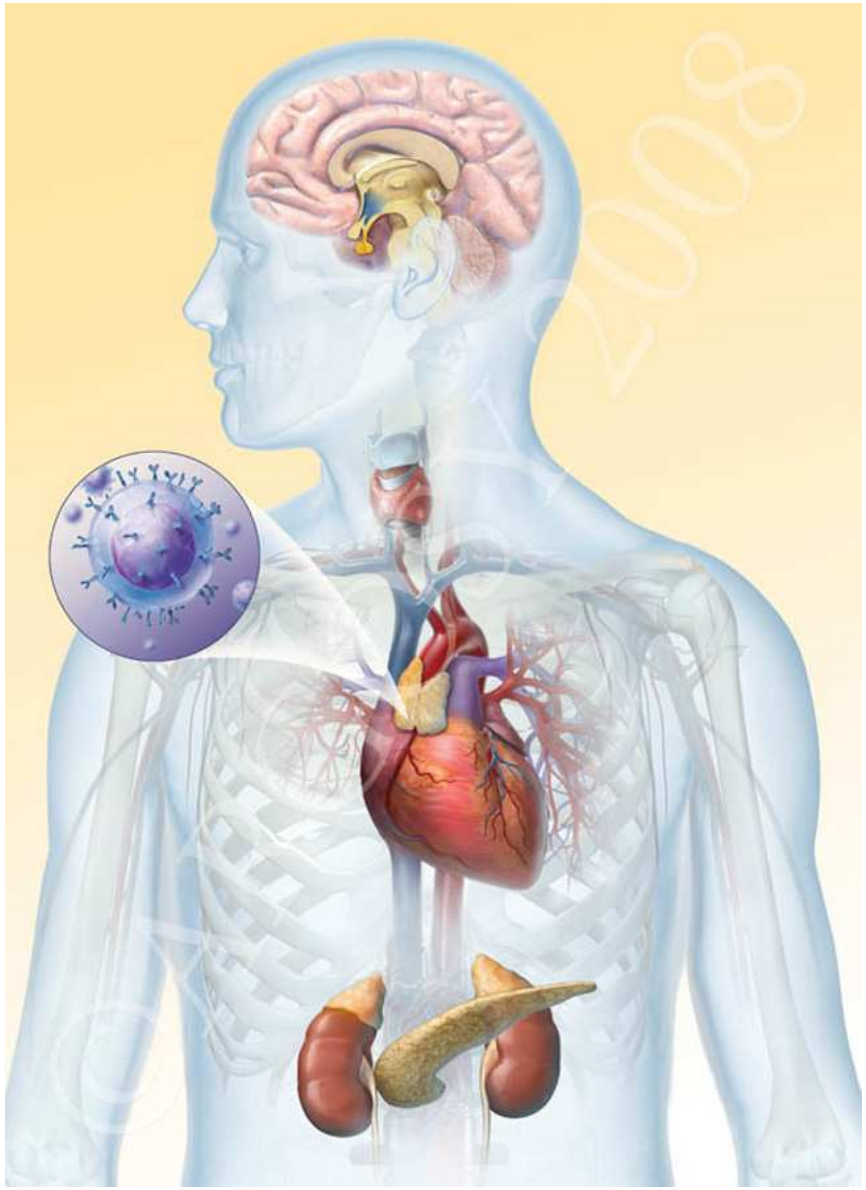
Sejtek kálium felvételének fokozása
(izomszövetben, zsírszövetben, májban)



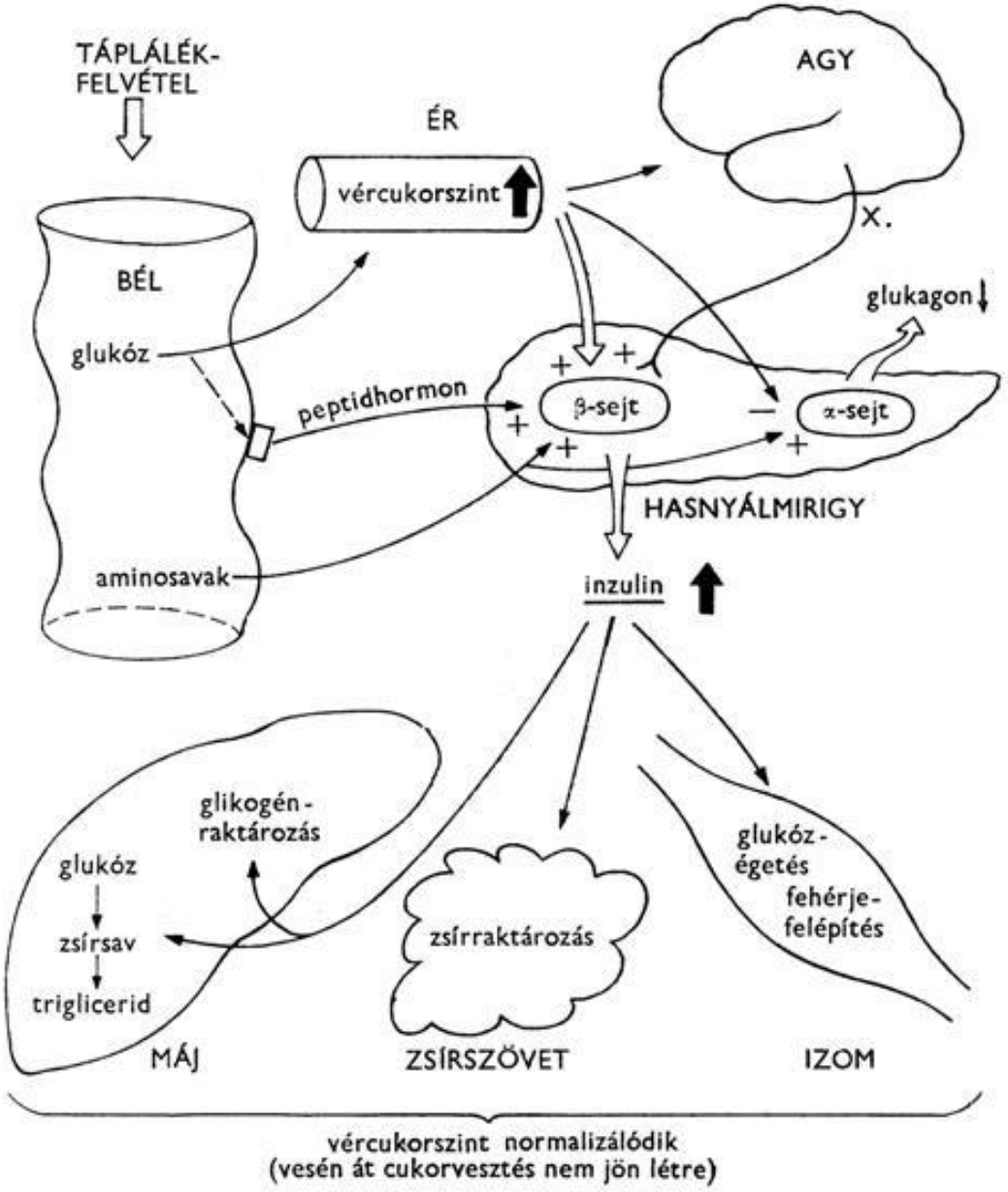
Cukorbetegség:

1-es típusú, inzulinhiány
2-es típusú, inzulin rezisztencia

Endokrinológia II.



Energiaforgalom szabályozás

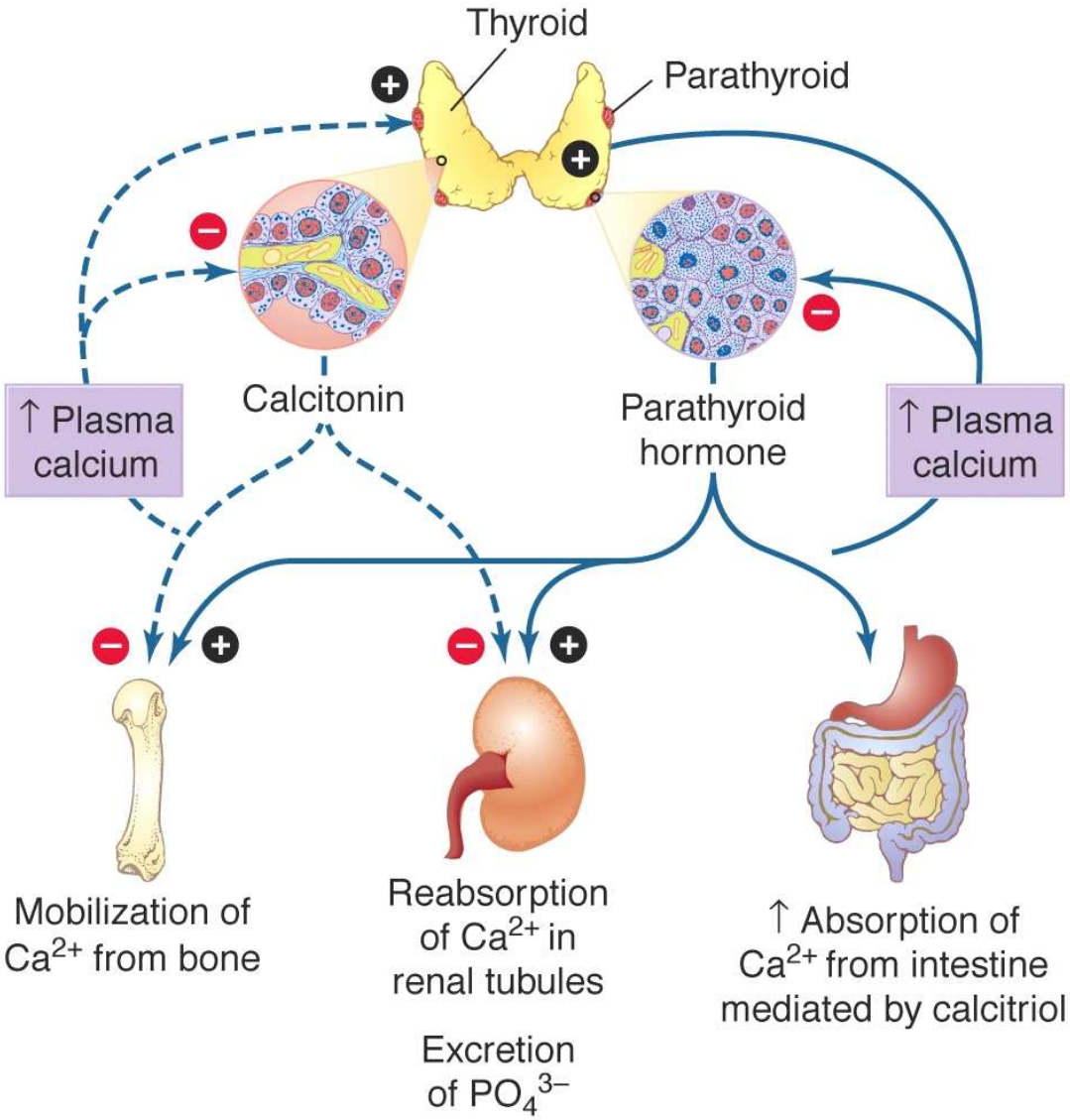


Alapanyagcsere:

teljes nyugalomban,
semleges hőmérsékleten,
felöltözve, 20 °C-on
éber állapotban, mozgás nélkül
az energiaforgalom.

glukagon
katekolaminok
glukokortikoidok
pajzsmirigyhormonok

Ca^{2+} forgalom szabályozása



Ca^{2+} szerepe:

csontállomány felépítése,

ideg-, izom ingerlékenység, (felszíni fehérjék semlegesítése a glikokalixban)

véralvadás folyamata,

intracelluláris enzimműködések

foszfát ion kötés,
Fehérjéhez kötődés – pH-függés

A nemi működés szabályozása

Genetikai nem:

kromoszómák szintjén
(XXY-47 kr., Klinefelter szindróma, XO – 45 kr., Turner szindróma)

Gonadális nem:

genetikai hatásra kialakuló ivarszervek
Y – herék fejlődnek, XX – normális petefészek

Genitális nem:

nemi szervek kialakulása
hím nemi hormonok hatására alakulnak ki a külső nemi szervek
(HCG hormon hatására termelődik a magzati herékben tesztoszteron,
ez dihidro-tesztoszteronná alakulva indukálja a nemi szervek fejlődését)
nincs tesztoszteron, női irányú fejlődés
(mellékvese enzimzavar – lányok külső nemi szerveinek fejlődési zavara)

Pszichoszociális nem:

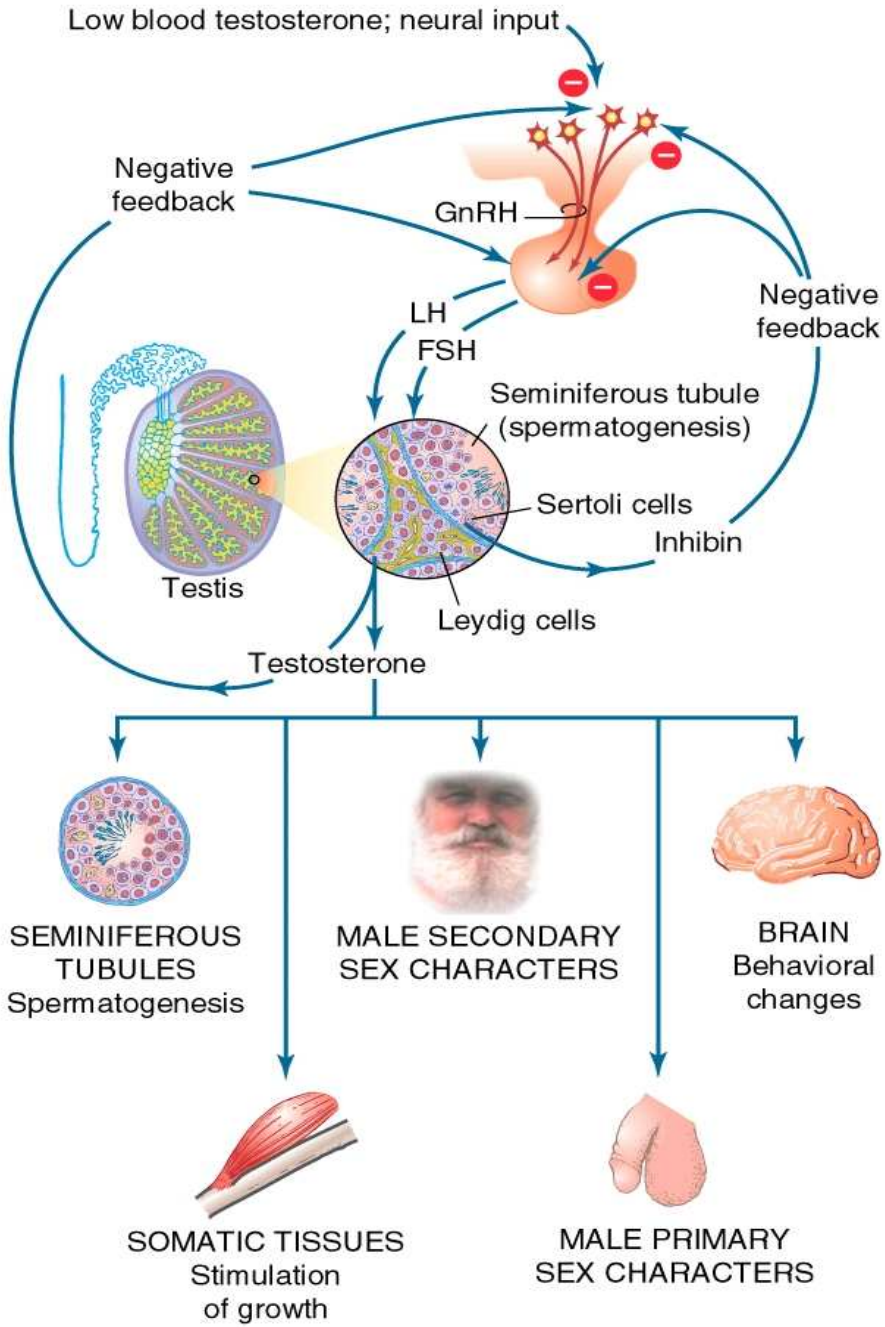
gyermekkorban minták alapján alakul ki, főleg a pubertás idején.

Éret ivari működés:

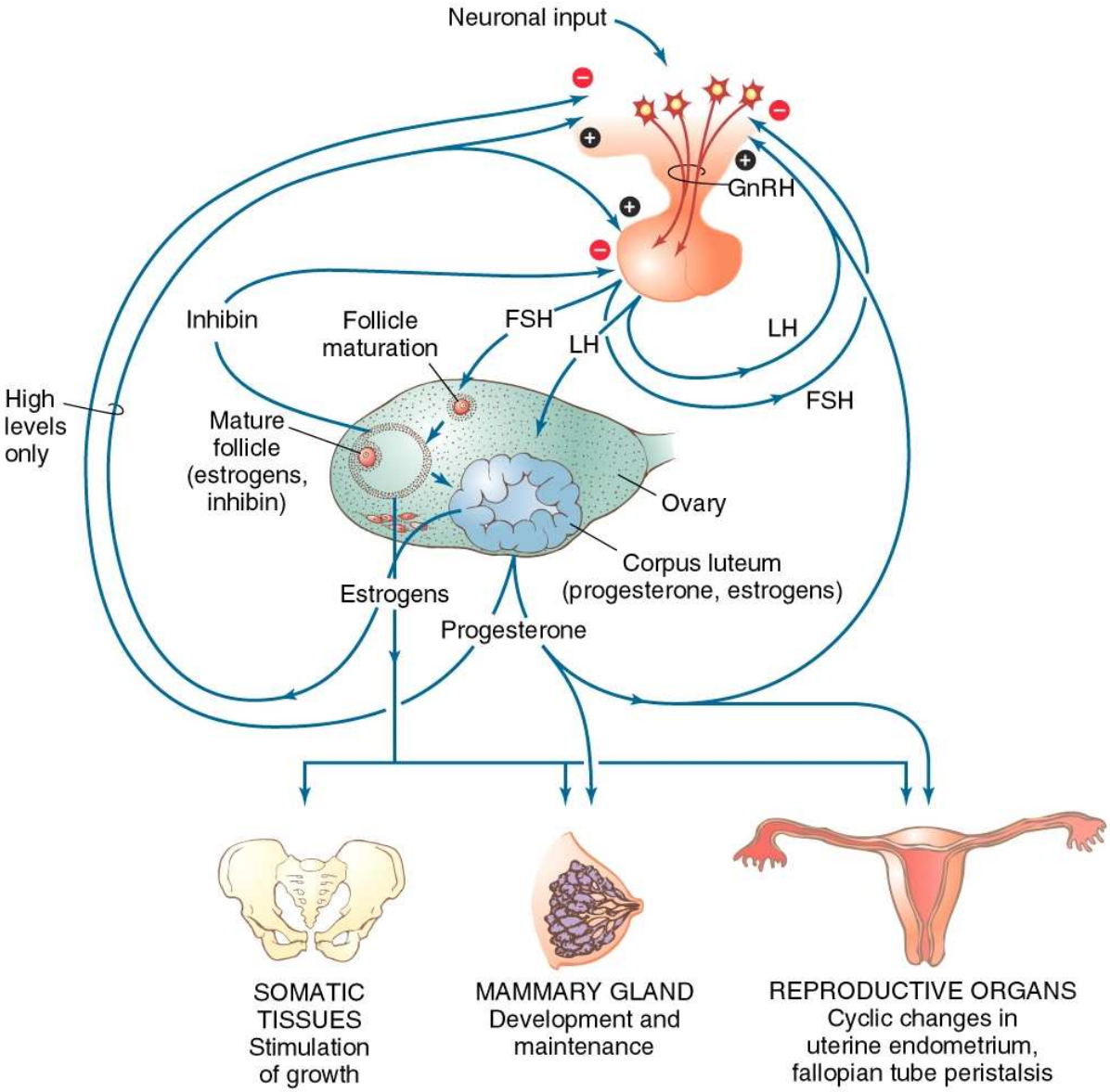
másodlagos nemi jellegek kialakulása a szxuálhormonok termelődése miatt

Idősödés során hormontermelés csökken.

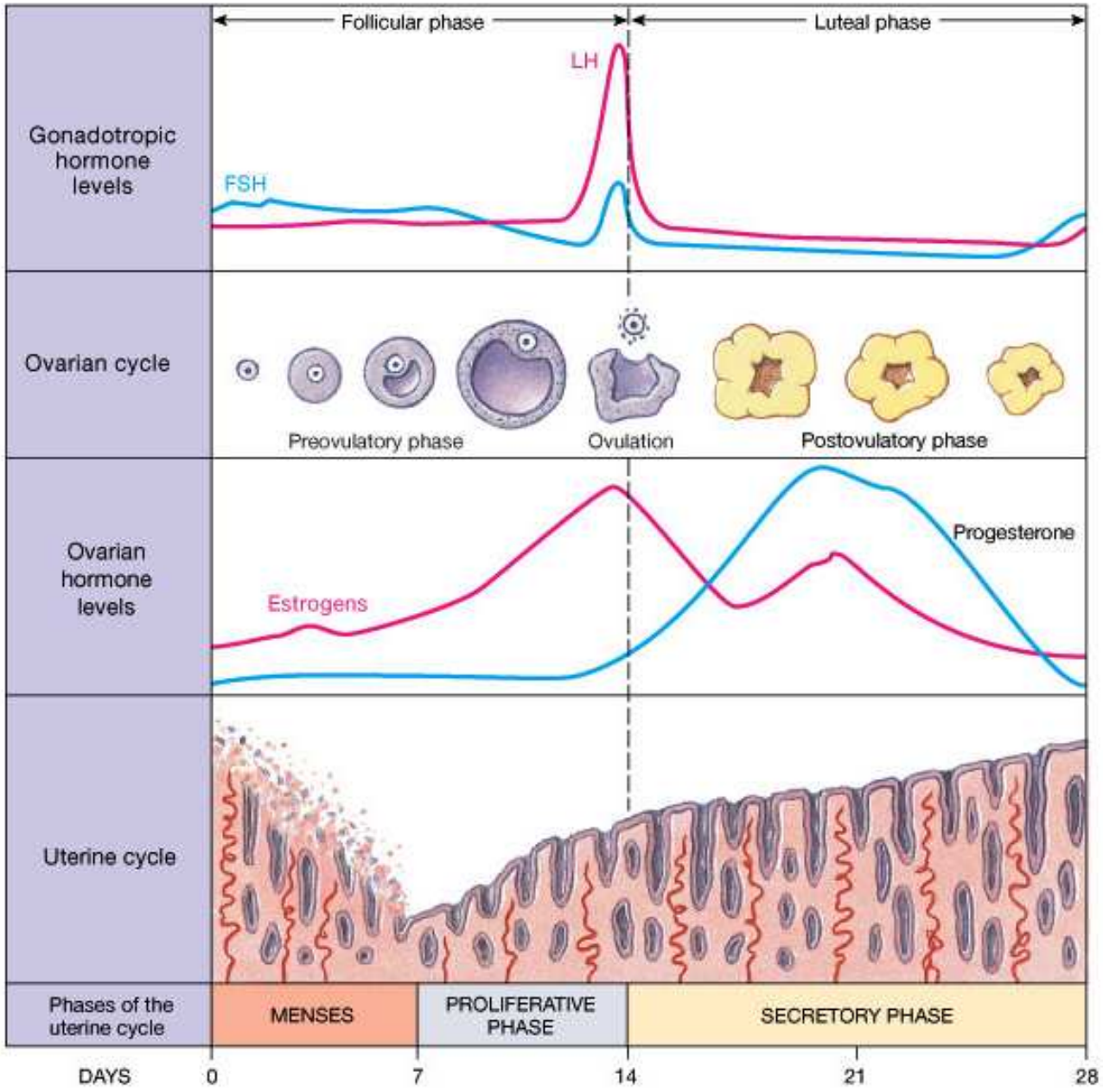
A férfi nemi működés szabályozása



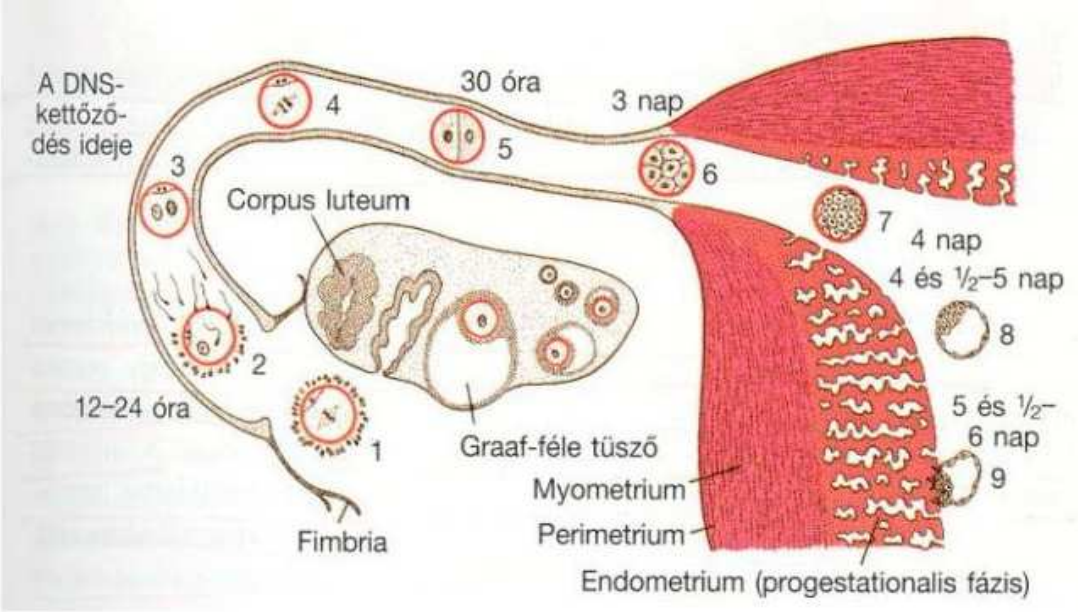
A női nemi működés szabályozása

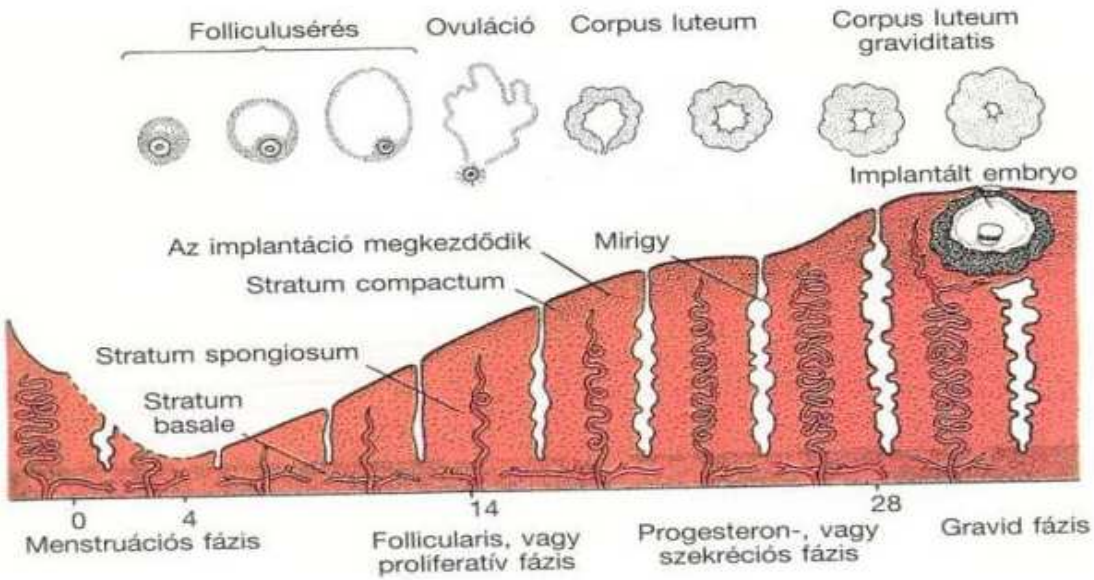


A női nemi működés szabályozása



A megtermékenyülés, beágyazódás folyamata





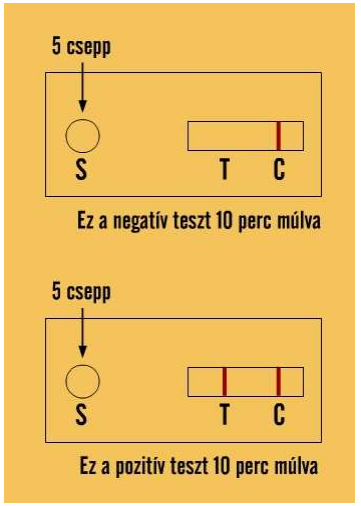
A megtermékenyülés, beágyazódás folyamata

A terhességi tesztek (biológiai titrálás, immunreakció) – humán coriogonadotrpopin HCG mutatható ki

1. infantilis egér méhszarv megvastagodás
2. béka próba
3. immuntesztek

1.

3.



Fogamzásgátlás: elsősorban a luteinizáló hormon jelentős emelkedésével [LH-peak]), a petefészekben nem következik be a tüszők érése, nem fejlődik ki ovulációra alkalmas Graaf-tüsző

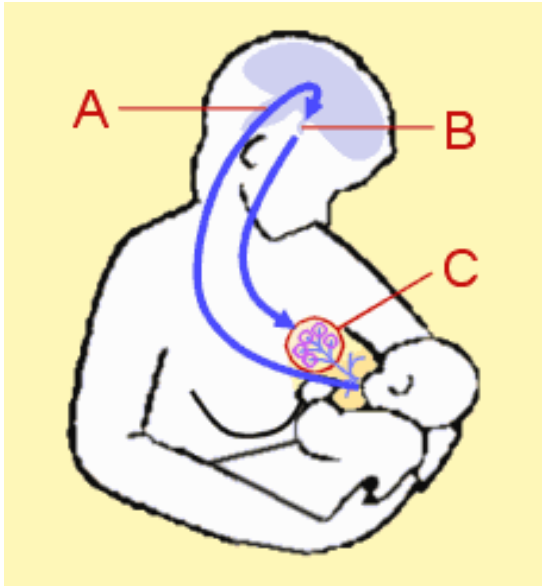
A szülés és a szoptatás hormonális háttere

Hormonális változások a szülés elindulásakor

Réskapcsolatok formálódása, oxitocin receptorok megjelenése

Magzati glukokortikoid szint növekedés, ösztrogén szint növekedés, Prosztagladin szint is növekszik

Oxitoccin szint a második fázisban növekszik



Szoptatás:
Ösztrogén ---prolaktin, inzulin (előkészítés)

A: A csecsemő szopása idegimpulzusokat küld az agyba.
B: Ennek folytán prolaktin hormon kerül a véráramba.
C: A prolaktin tejelválasztásra készteti az emlőt.

A stressz fogalma:

Cannon írta le, 1922-ben a vészreakció fogalmát:
a melllékvese velő *adrenalin* kiválasztása segíti a
kűzdési vagy menekülési reakciókat.

Selye János vezette be 1976-ban a stressz fogalmát:
káros külső vagy belső ingerekkel szembeni reakció,
a szervezet (sejtek) védekező mechanizmusainak
aktiválódása.
stresszorok hatására a hipotalamo-hipofizeális rendszer
aktiválódik, az ACTH és végül is a *glukokortikoidok*
termelése fokozódik a mellékvese kéregben (szteroidok)

Probléma: modern életforma, „régi" idegrendszer és sejt struktúra
az evolúció során másra alakult ki a „problémamegoldó rendszer"

Általános adaptációs szindróma

- alarm reakció (vészreakció) a homeosztázis védelmére
- ellenállás kialakulása a fokozott, erős védekezésre
- kimerülés, a szervezet legyengülése

(adaptációs betegségek: pl. rheumatoid arthritis, gyomorfekély, magas vérnyomás)

A fiziológiai stresszreakció

A fenyegetés észlelésekor a stresszortól függetlenül testünk automatikusan felkészül a veszedelemre.

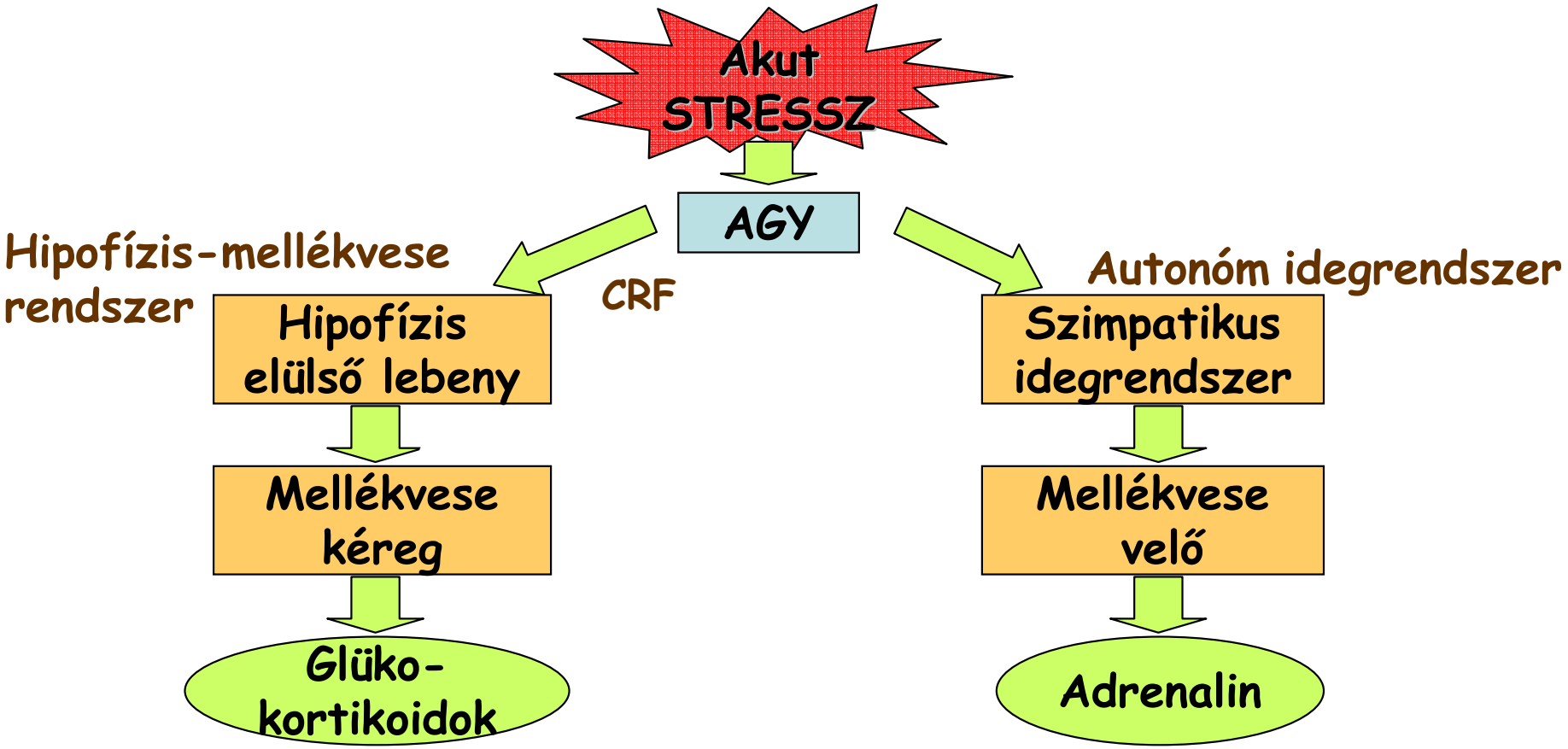
Ezt a reakciót harcolj, vagy menekülj válasznak nevezzük.

Jellemző testi változások:
A máj többletcukrot bocsát a szervezet rendelkezésére
Hormonok serkentik a zsír cukorrá alakulását
Gyorsul az anyagcsere
Nő a szívritmus, vérnyomás, légzésszám, izomfeszültség
Az emésztés, nyálelválasztás csökken
Az endorfinok termelése fokozódik
A lépből több vörösvértest jut a véráramba: oxigénszállítás
Csontvelő több fehérvérsejtet termel

A harcolj vagy menekülj válasz kialakulásának kettős szabályozása

Két rendszer aktivációjából fakadnak a fiziológiai reakciók:
szimpatikus idegrendszer -- adrenokortikális rendszer.

Mindkettő a hipotalamusz (stresszközpont) szabályzása alatt.

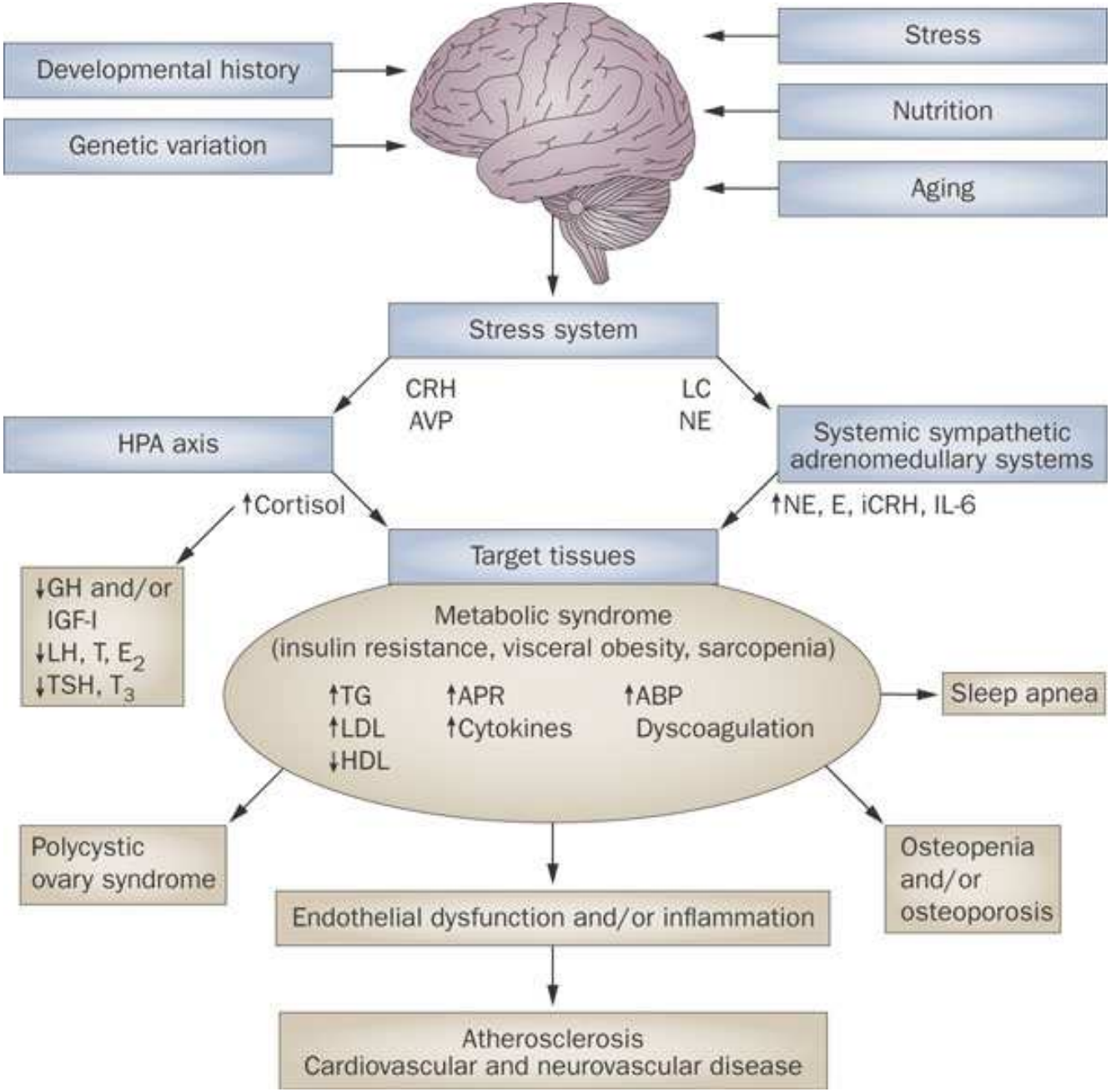


A krónikus stressz

- Ha sem menekülés, sem harc nem lehetséges.
- Emberben főképp pszichoszociális jellegű és nagyon általános.
- A megküzdési stratégiák döntő fontosságúak

- Magas vércukor, csontritkulás
- Emelkedett vérnyomás +magas koleszterin → érelmeszesedés
- Immunrendszer: működése gyengül vagy inadekváttá válik.
- Idegrendszer: működése károsodik. Főleg a glükokortikoid receptorokban gazdag területeken (pl. hippokampusz) sejtzsugorodás, elhalás következhet be → tanulási és térbeli tájékozódási zavarok.

A stresszválasz kialakulásában szerepet játszó hormonok



A központi idegrendszer szerkezete és kapcsolatrendszere

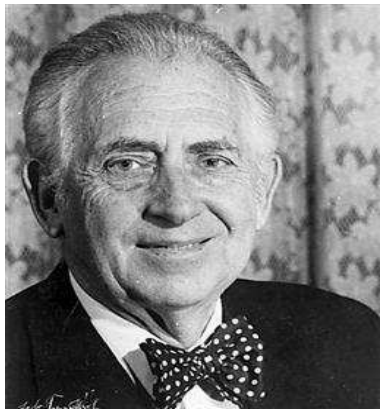
Rövid történeti áttekintés

Camillo Golgi

Santiago Ramón y Cajal

Korbinian Brodmann

Theodor Schwann



Szentágothai János

Kontinuitás- folyamatosság elmélet
Kontuguitás- kapcsolatos elmélet

Apáthy István
Lenhossék Mihály

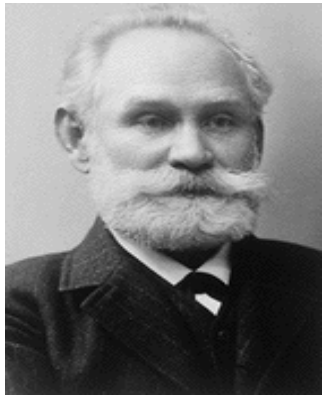
Rövid történeti áttekintés

Hans Berger

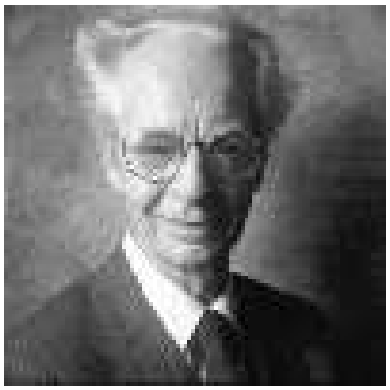
Charles Sherrington

Donald O'Hebb

Sir John Eccless

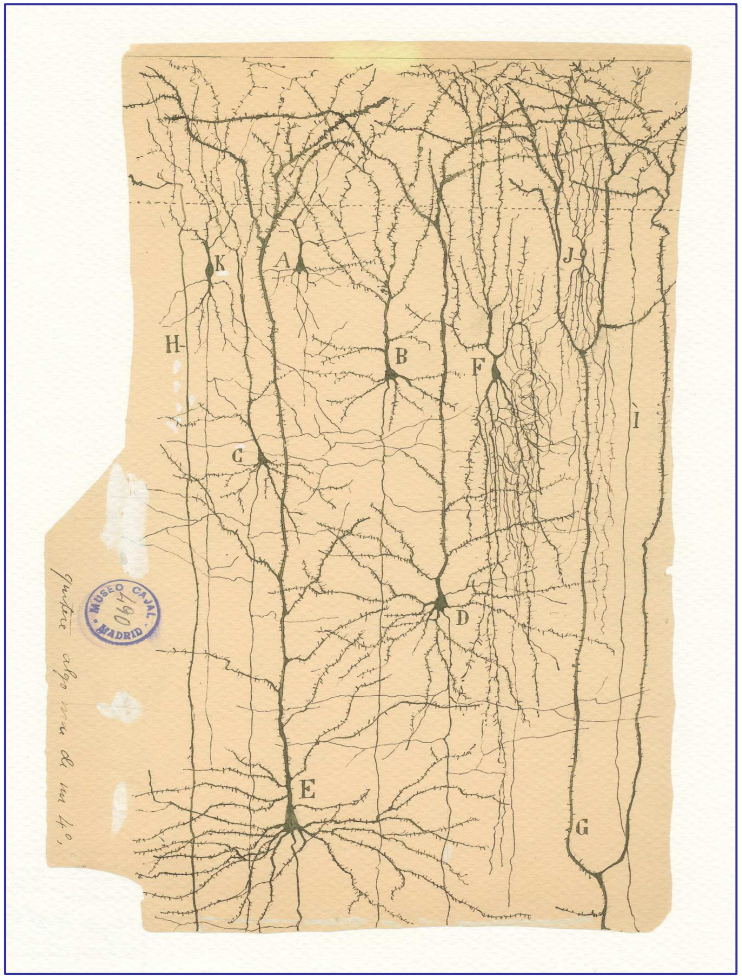


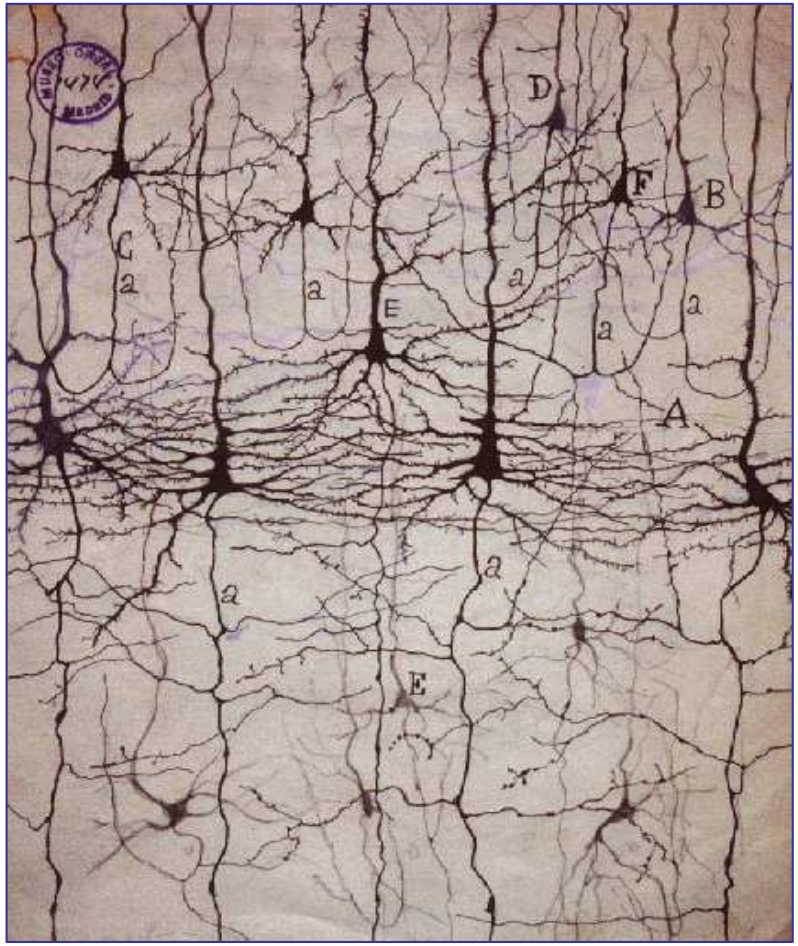
I.P. Pavlov



Skinner

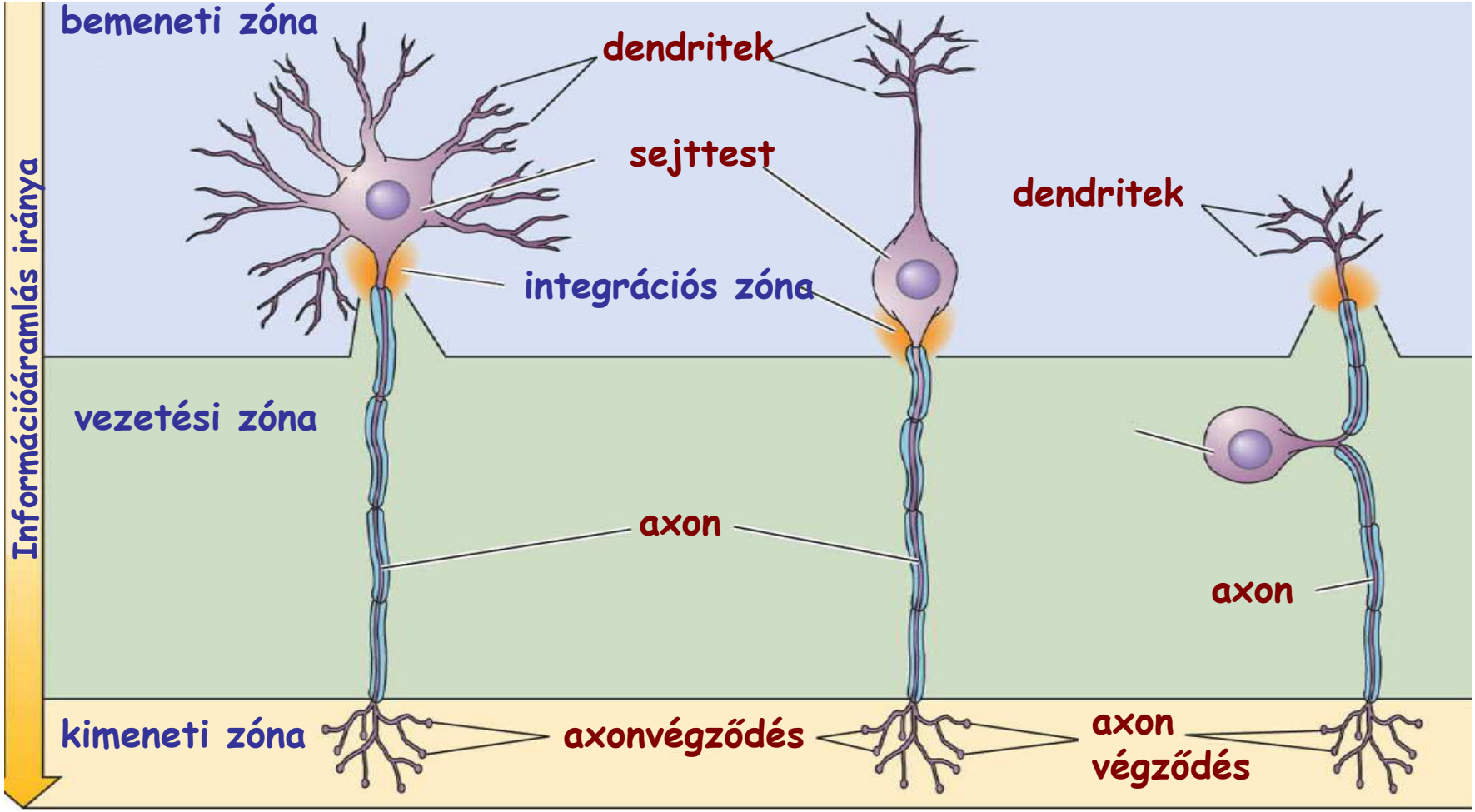
Golgi-impregnációval készült metszetek eredeti rajzai





Agykérgi piramissejtek, a kéreg réteges szerkezete jól látható

Neurontípusok



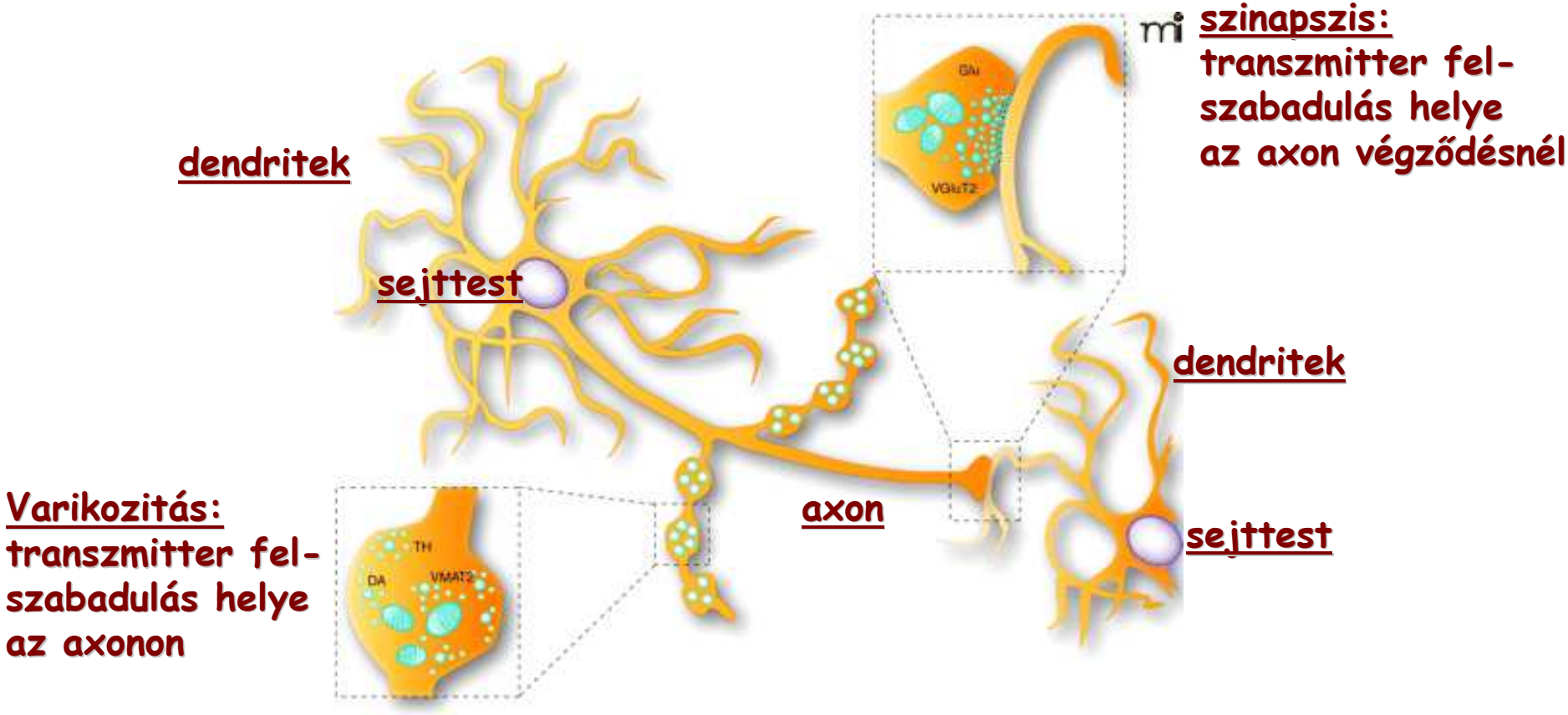
Multipoláris neuron:
sok dendritág,
egy axon

Bipoláris neuron:
egy dendrit
egy axon

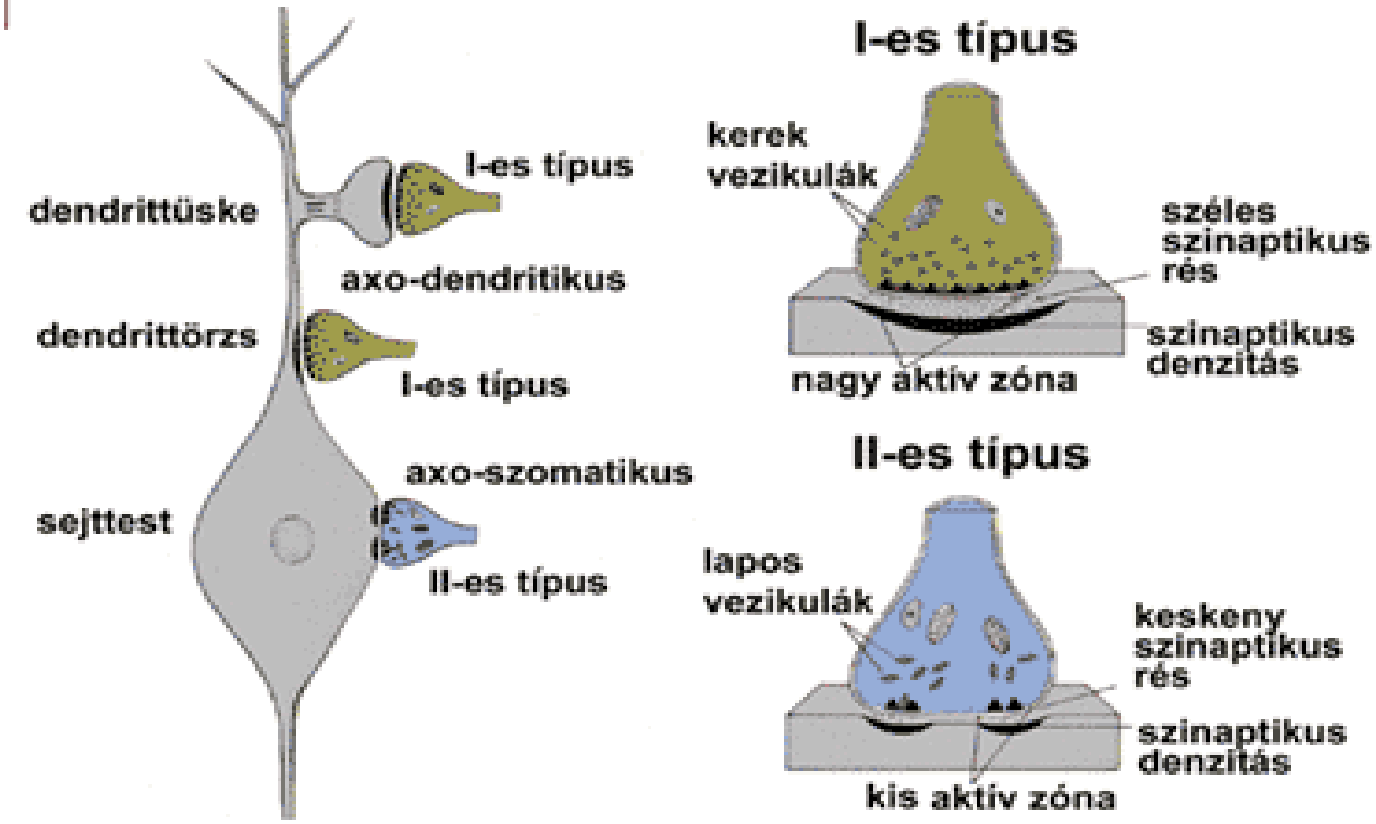
Ál bipoláris neuron:
egy axon elágazásokkal

Ingerület átvivő anyagok

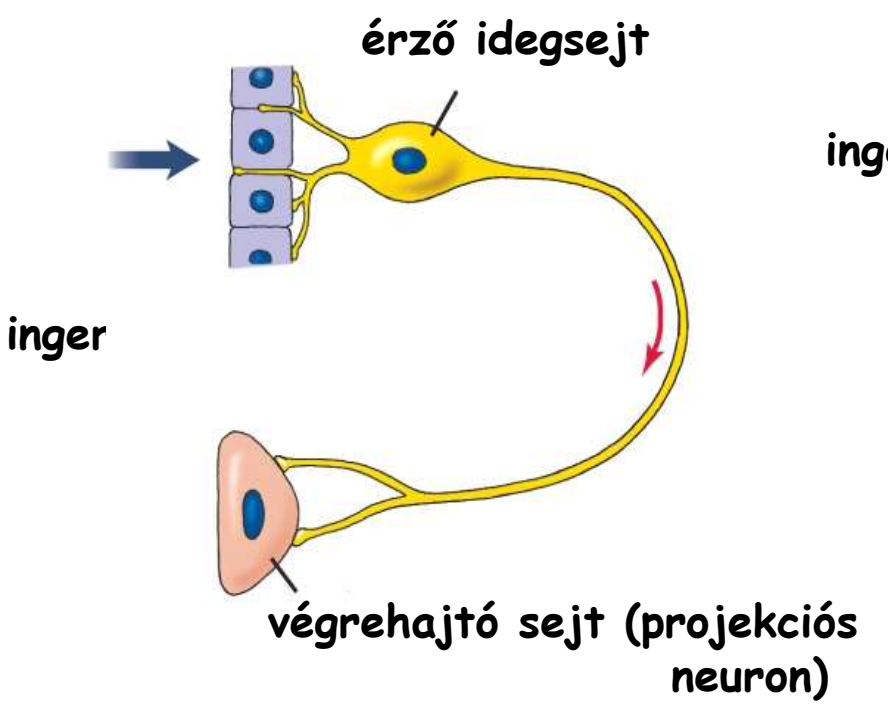
I. típusú szinapszisnál:	serkentő aminosavak (glutaminsav,aszparaginsav)
II. típusú szinapszisnál:	gátló aminosavak (γ-aminovajsav-GABA, glicin)
Varikozitásoknál: (nincs határozott szinapszis)	acetilkolin -ACh dopamin – DA, noradrenalin- NA, adrenalin - A szerotonin - 5-HT, hisztamin- HIS

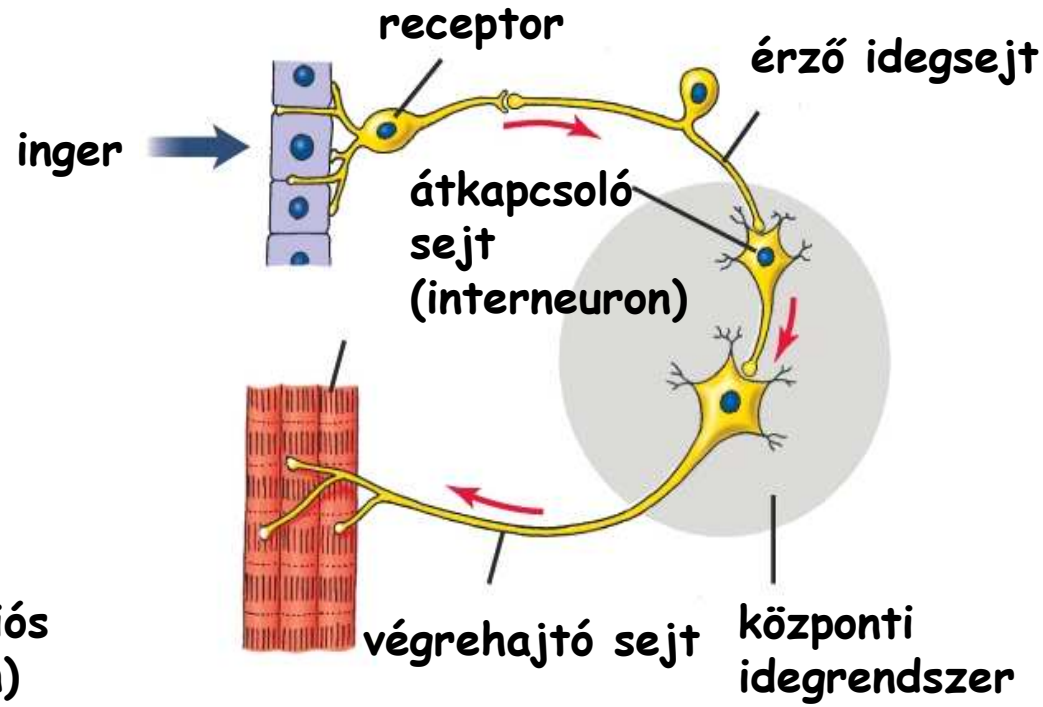


Jellegzetes szinaptikus kapcsolatok



Az idegrendszer szerveződése I.

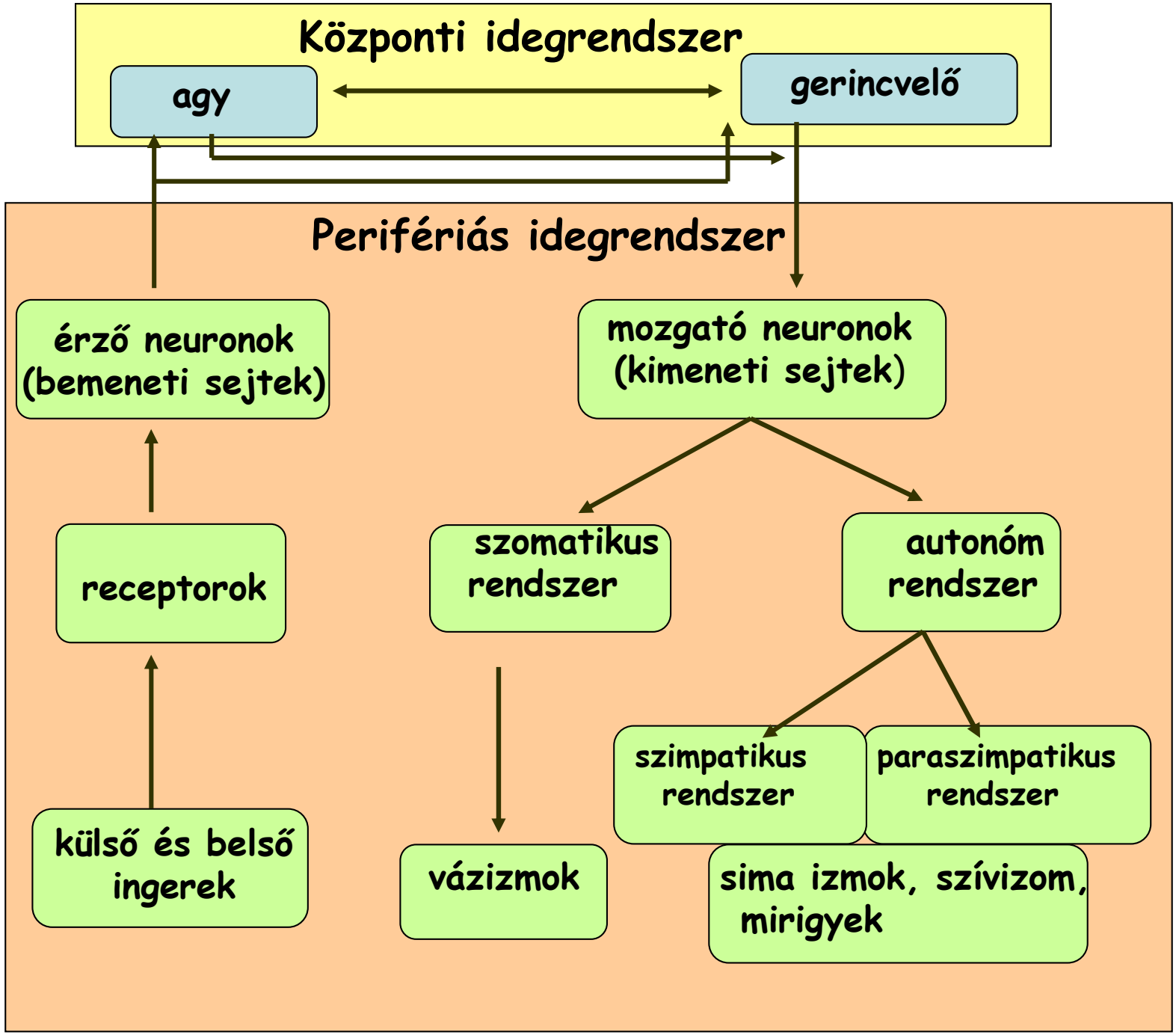




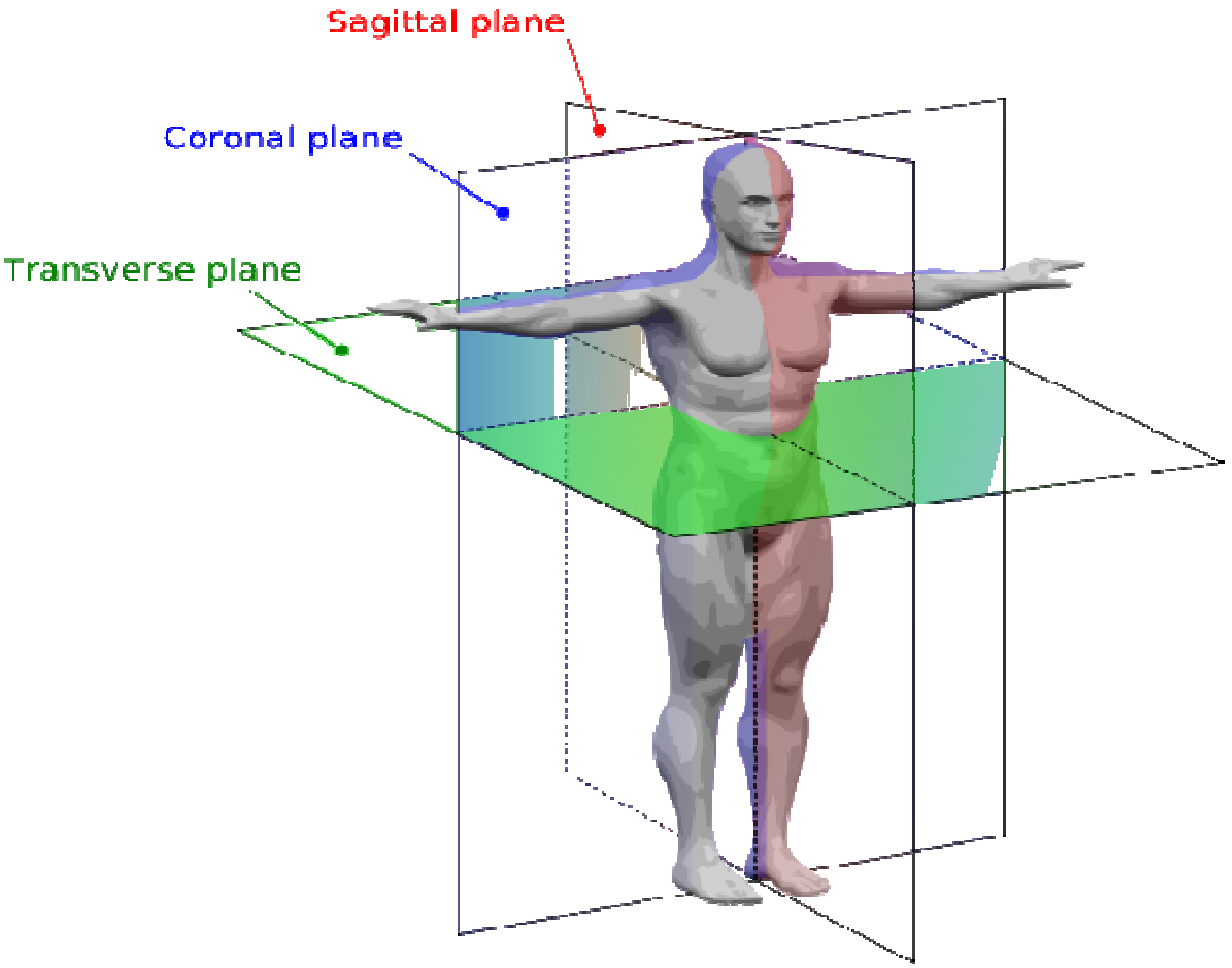
<u>feltétlen reflex</u>: a külső ingerre mindig hasonló módon adott válasz

<u>reflex ív</u>: a feltétlen reflexes válasz kialakulásában szerepet játszó idegsejtek láncolata

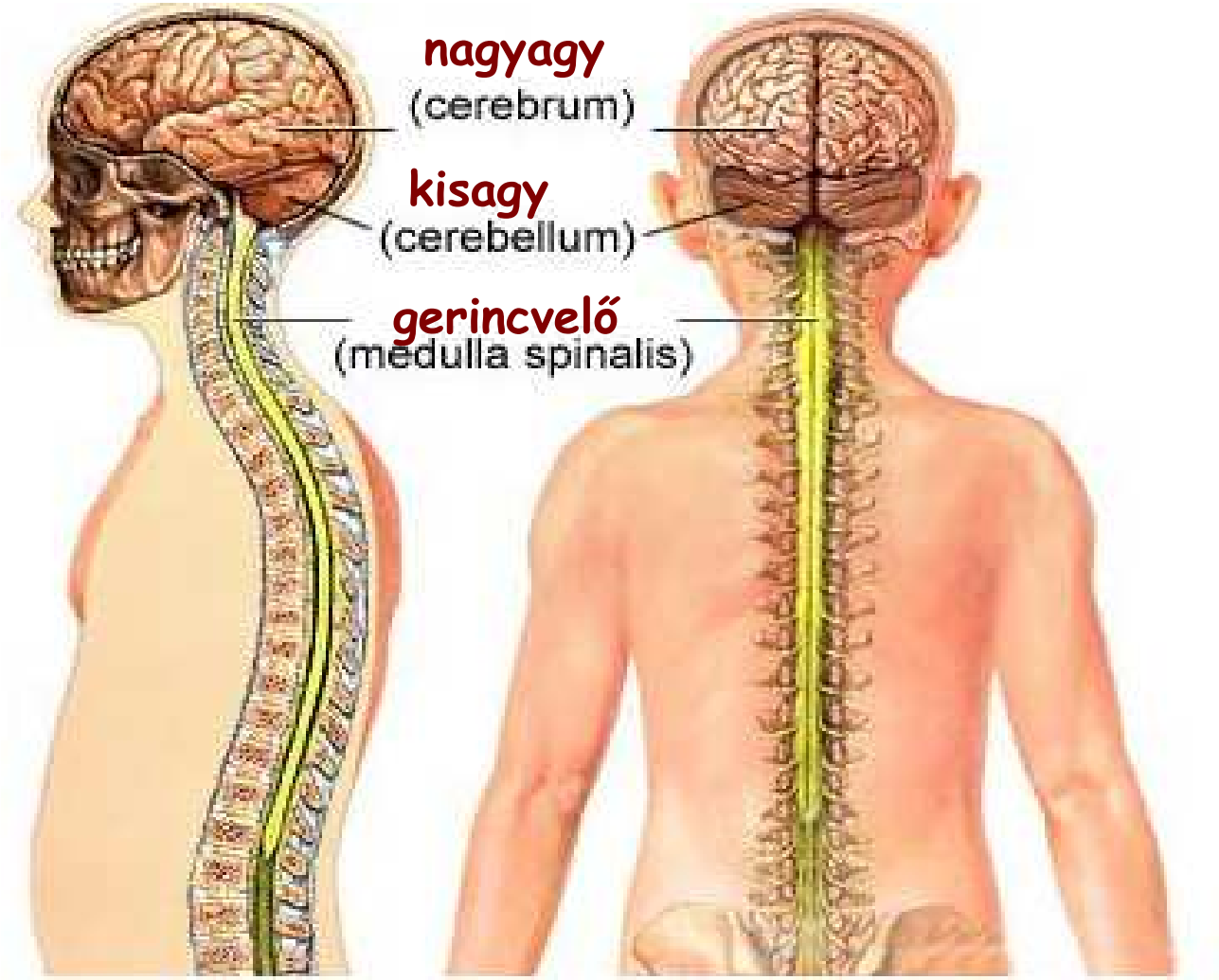
Az idegrendszer szerveződése II.



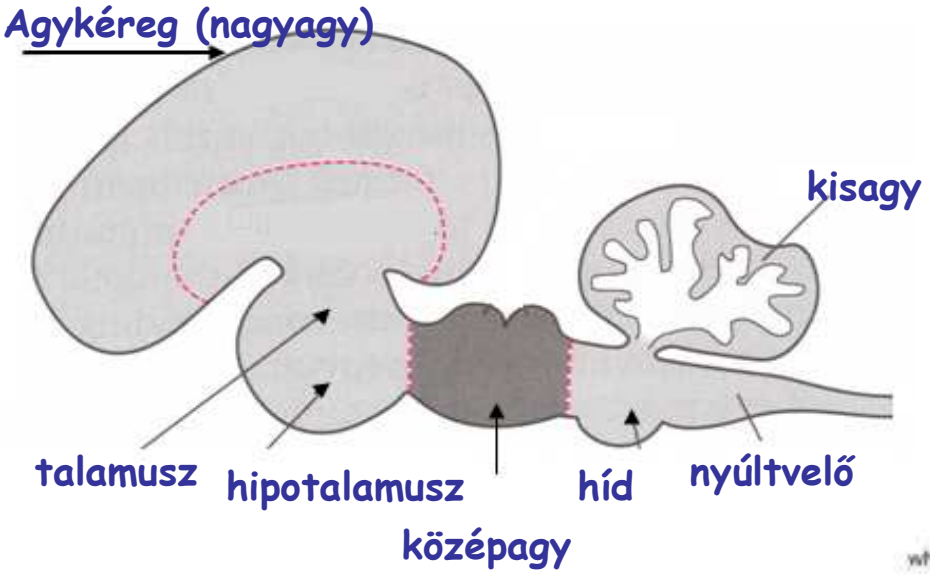
Metszési síkok



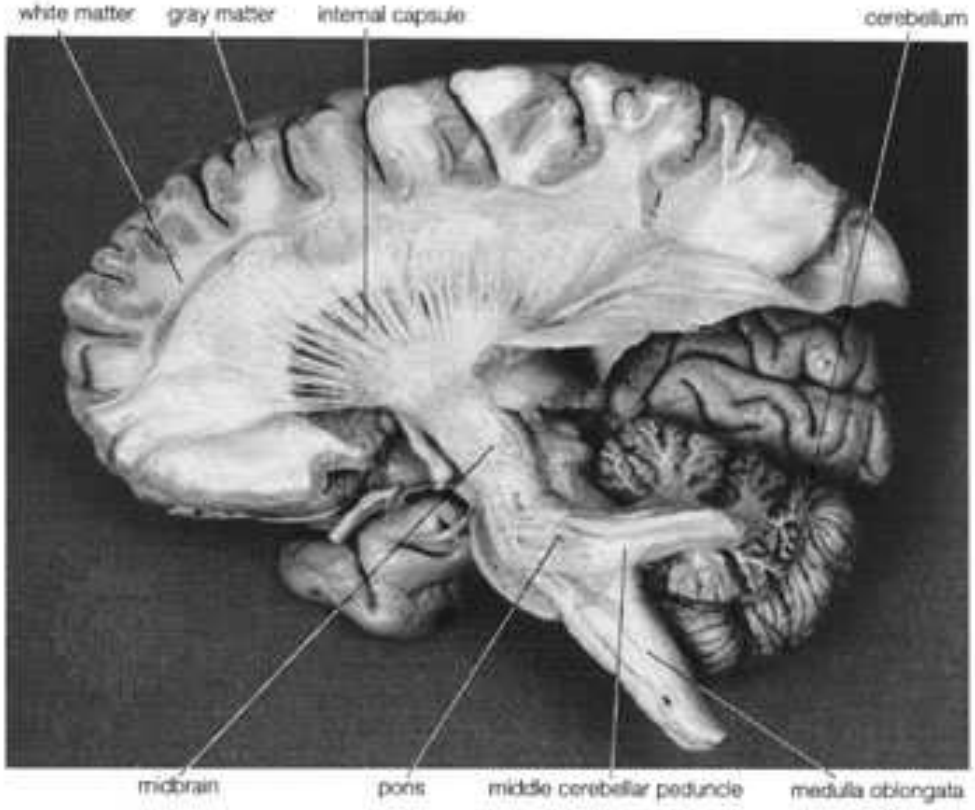
Az emberi központi idegrendszer felépítése I.



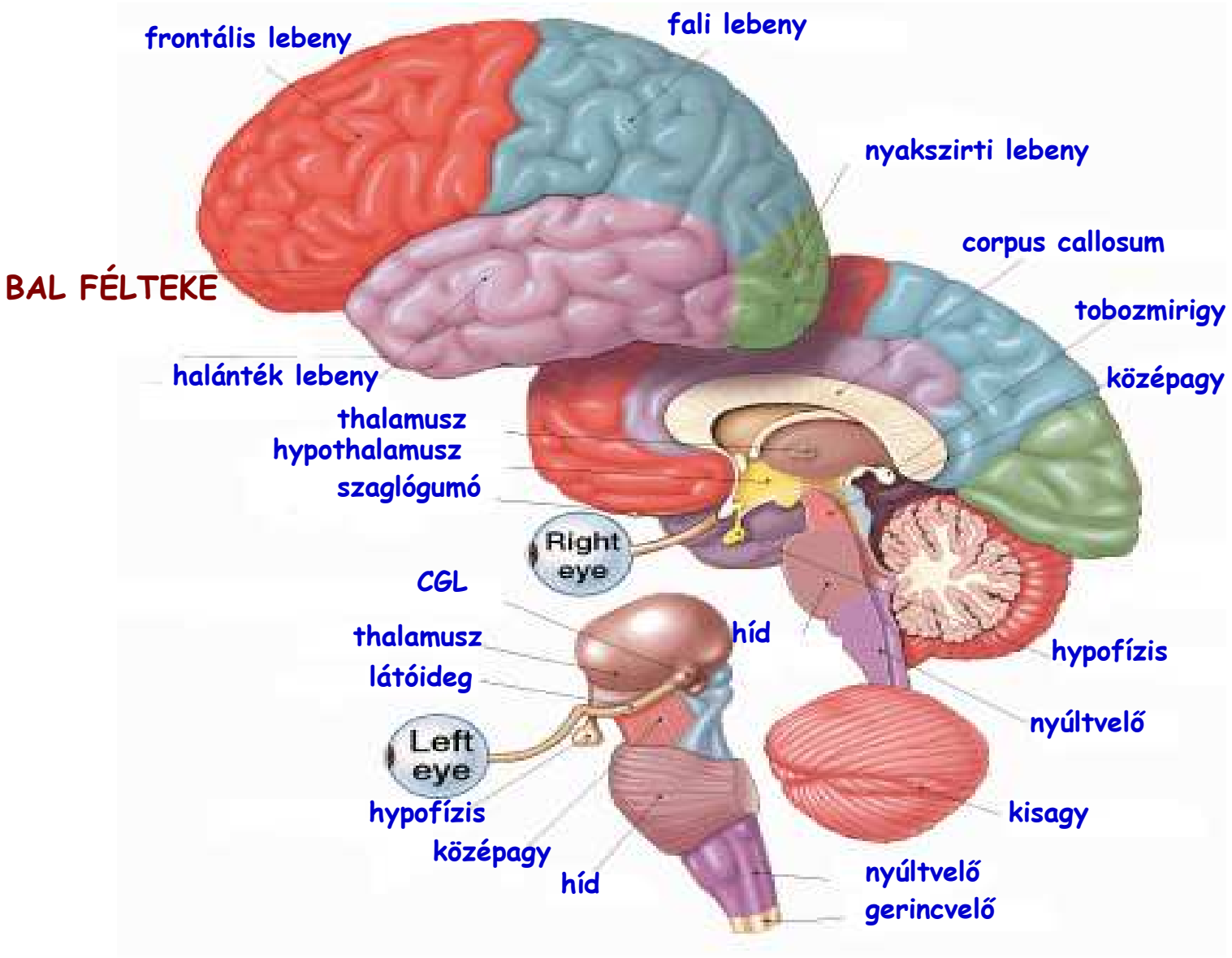
Az agy általános felépítése, az emberi agy képe



white matter	fehérállomány
gray matter	szürkeállomány
internal capsue	belső tok
cerebellum	kisagy
midbrain	középagy
pons	híd
middle cerebellar peduncle	kisagynyél
medulla oblongata	nyúltvelő

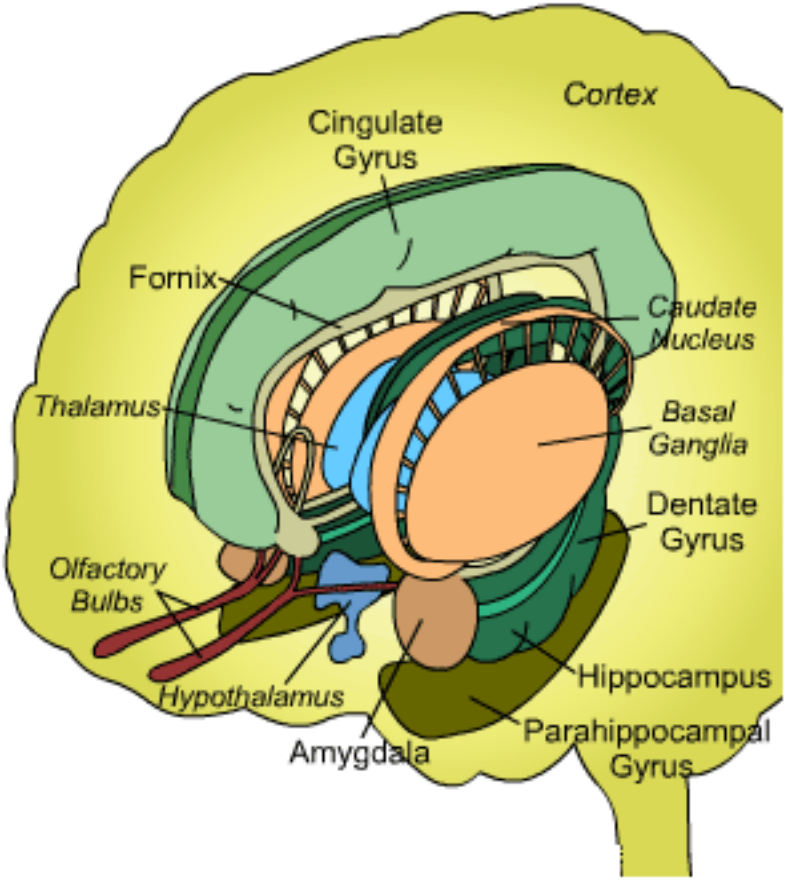


Az emberi központi idegrendszer struktúrái

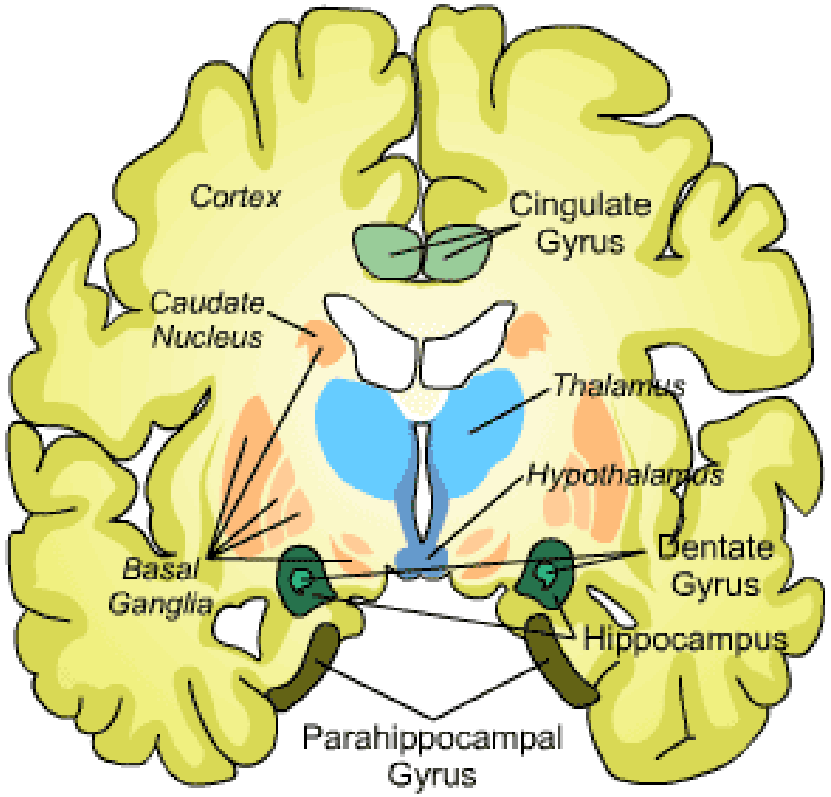


Az emberi agy belső felépítése (limbikus struktúrák)

belső szerkezeti kép

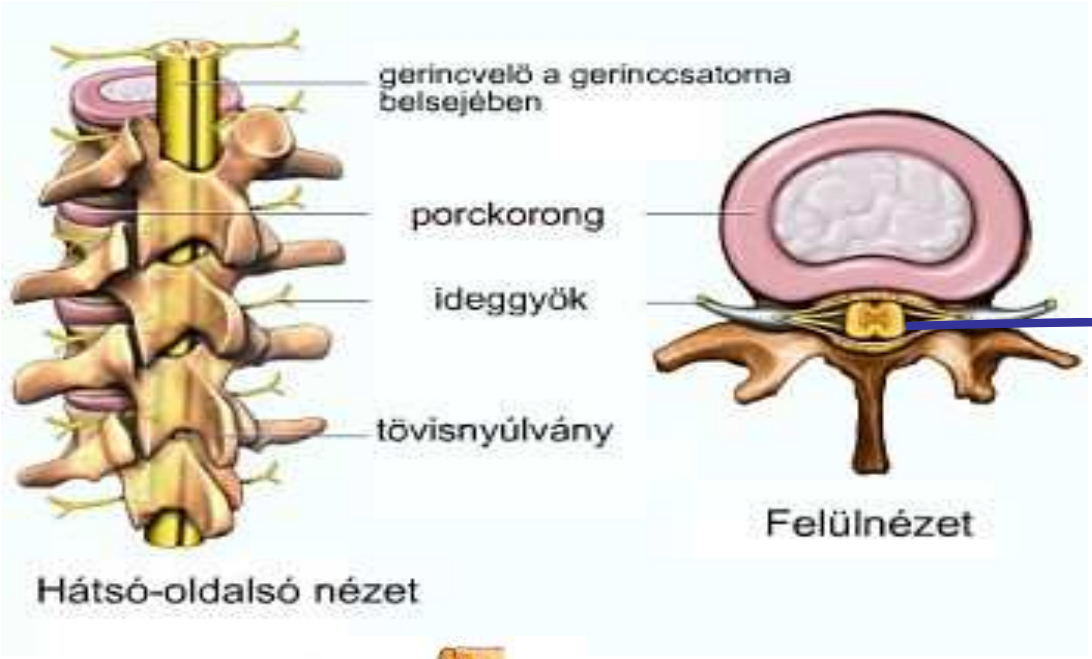


koronális metszeti kép

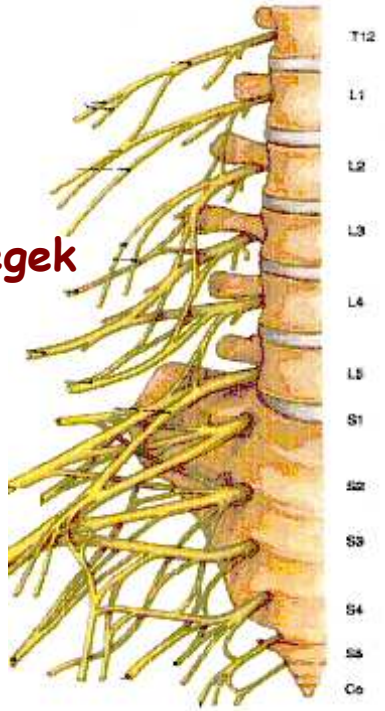


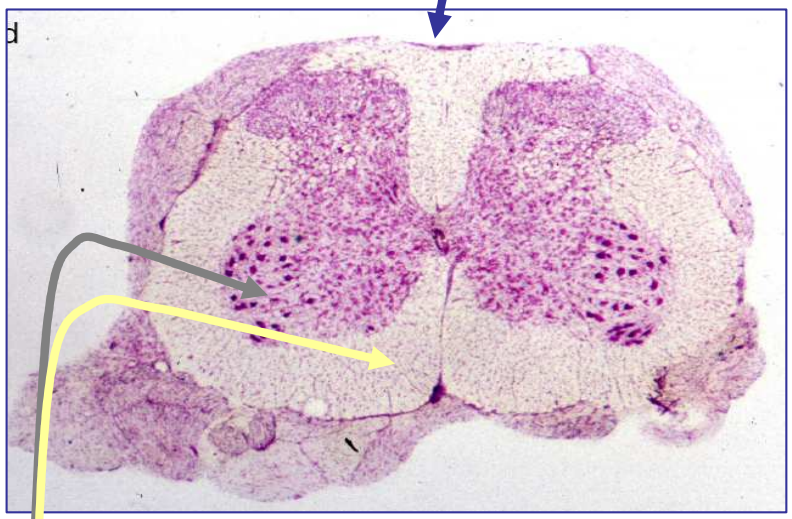
a szinjelölés a két ábrán azonoms

A gerincvelő felépítése



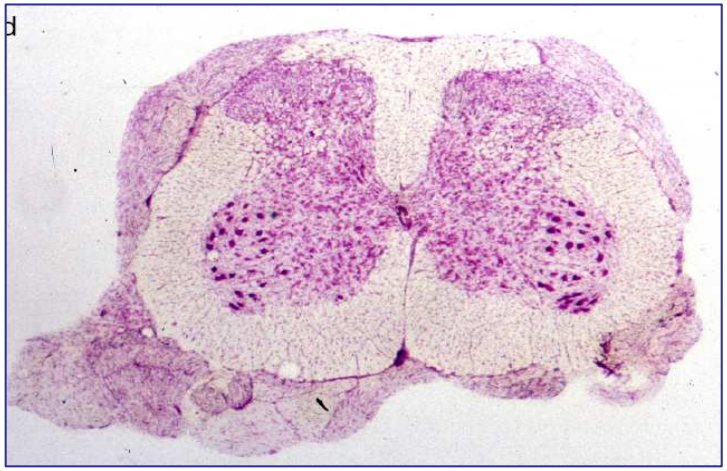
gerincvelői idegek kilépése

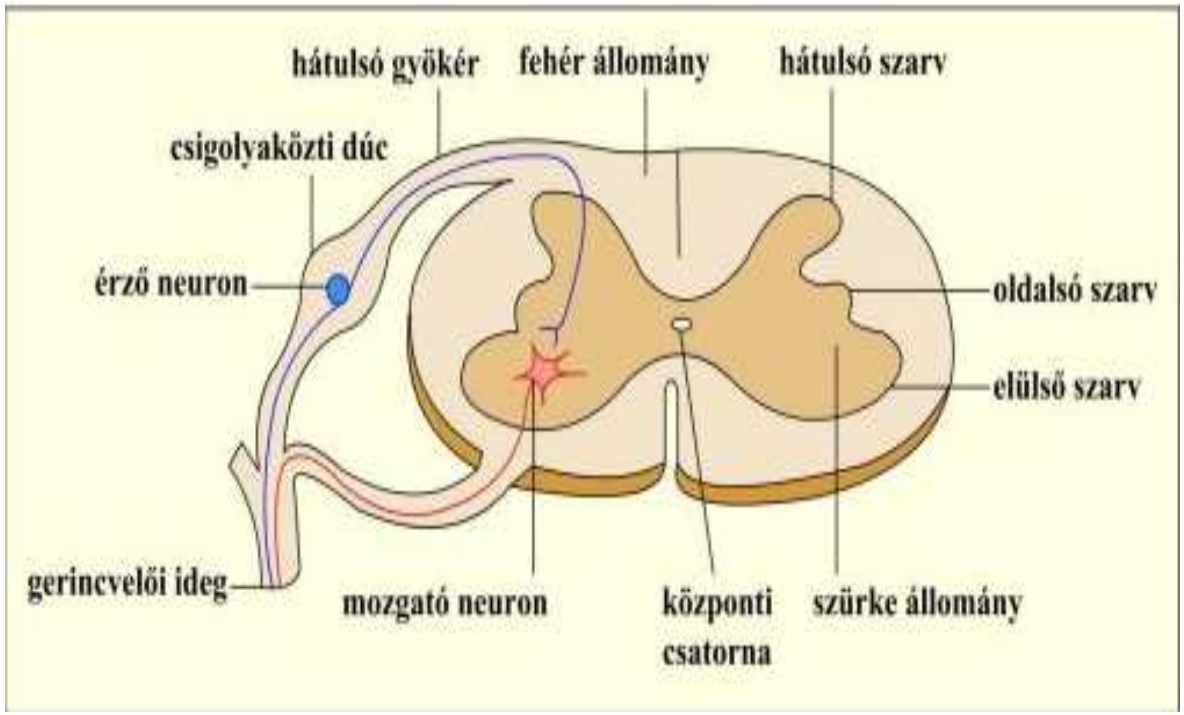




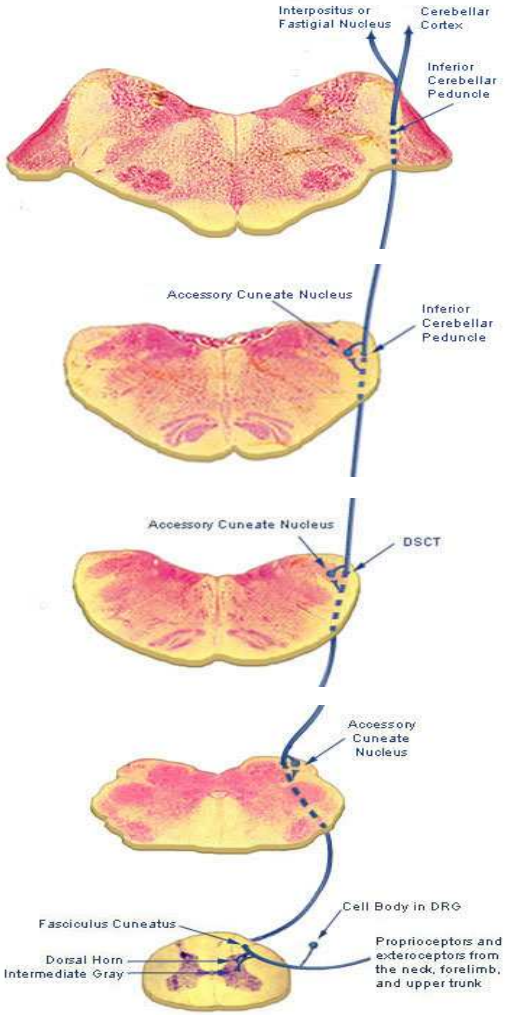
a gerincvelő keresztmetszeti szövettani képe
belül szürkeállomány (sejtek)
kívül fehérállomány (axonok alkotta fel- és leszálló pályák)

A gerincvelő szerveződése





A nyúltvelő szerveződése



felső nyúltvelői szakasz

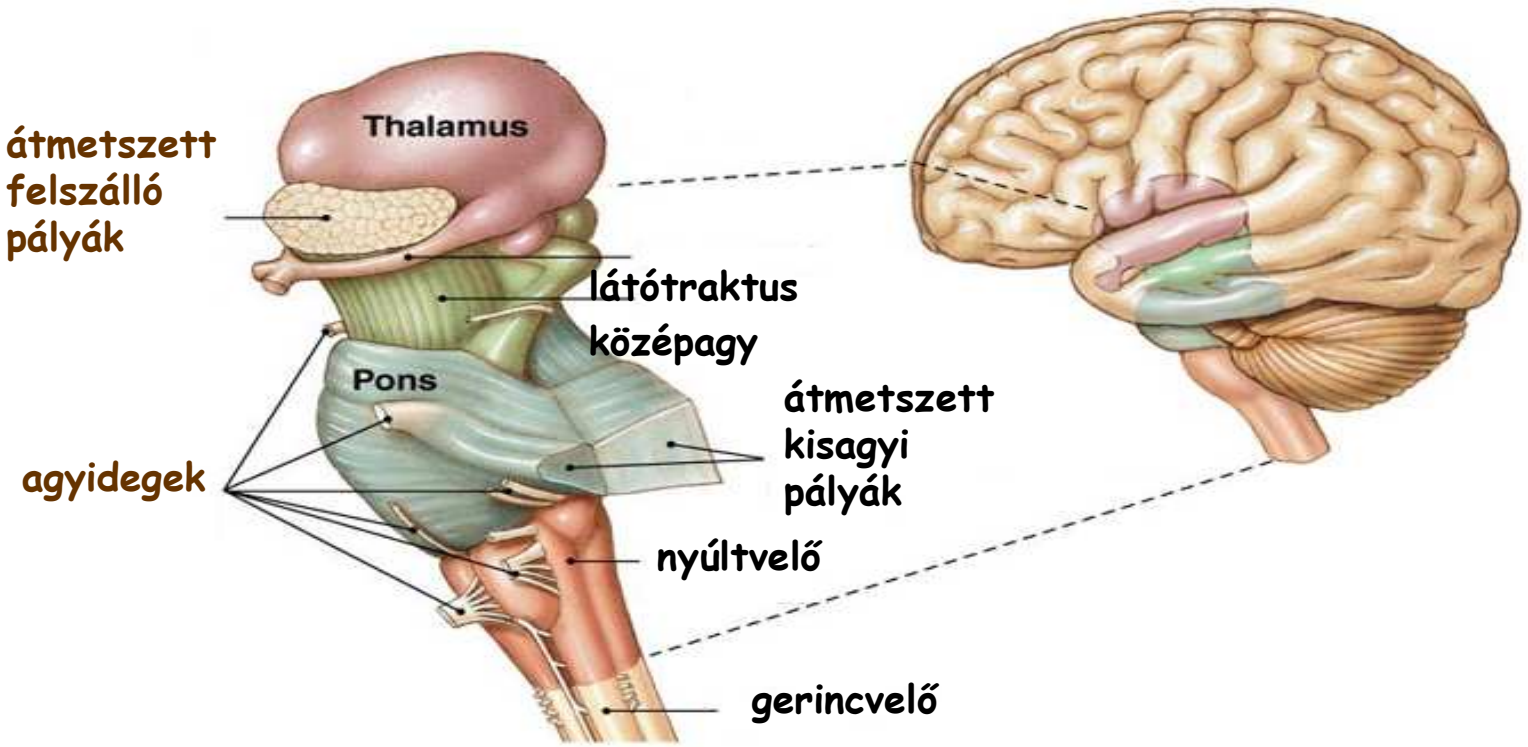
középső nyúltvelői szakasz

középső nyúltvelői szakasz

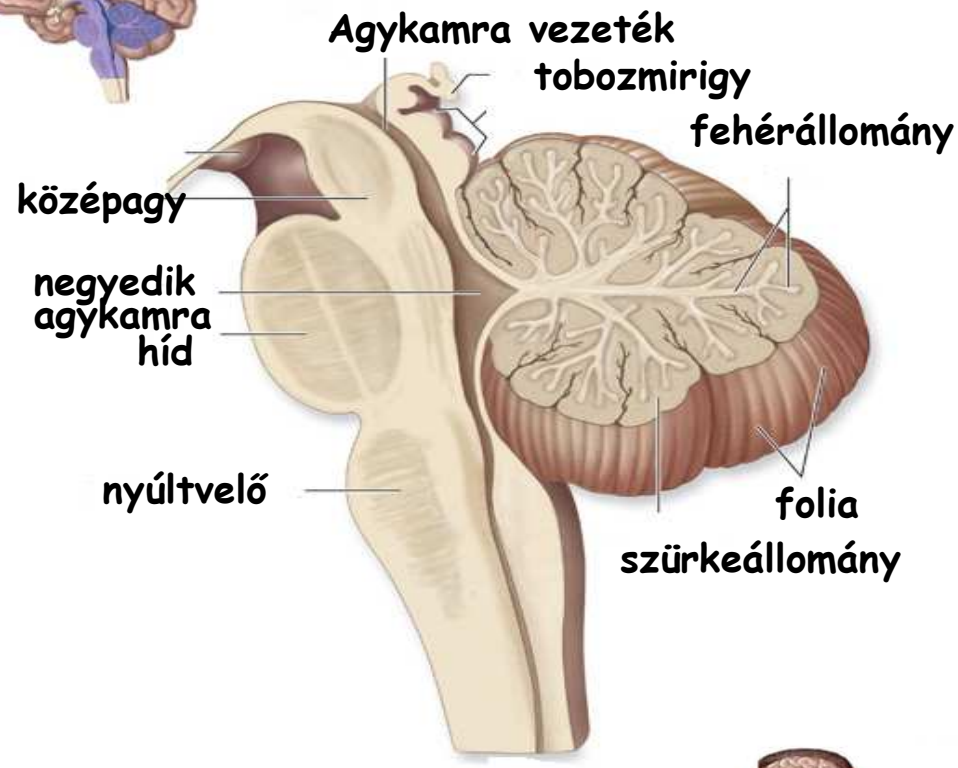
középső nyúltvelői szakasz

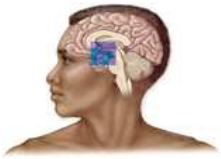
hatodik gerincvelői szegmens

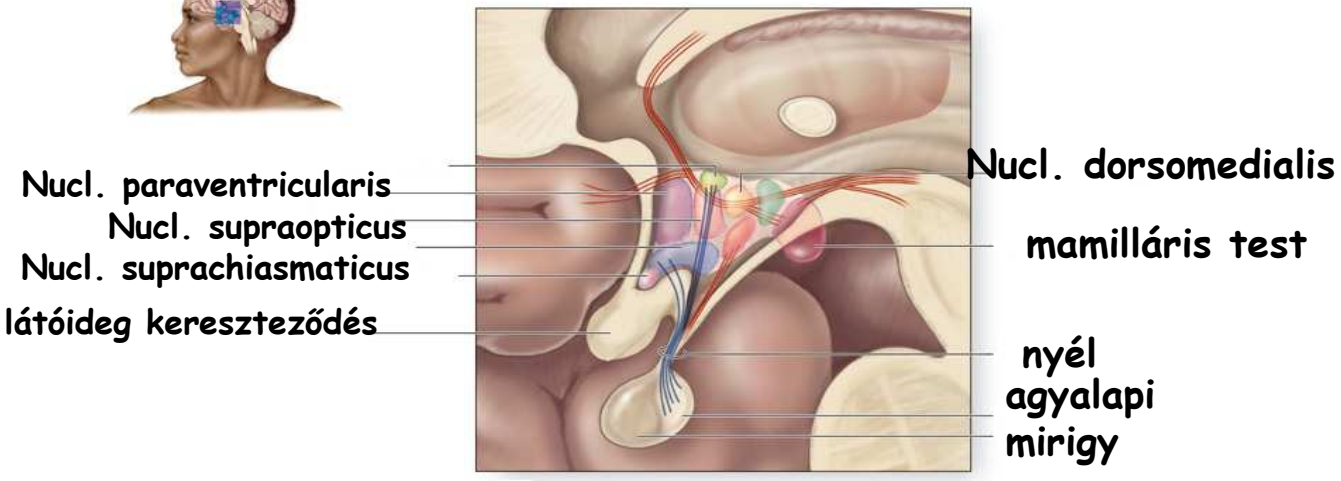
Az agytörzsi régió I.



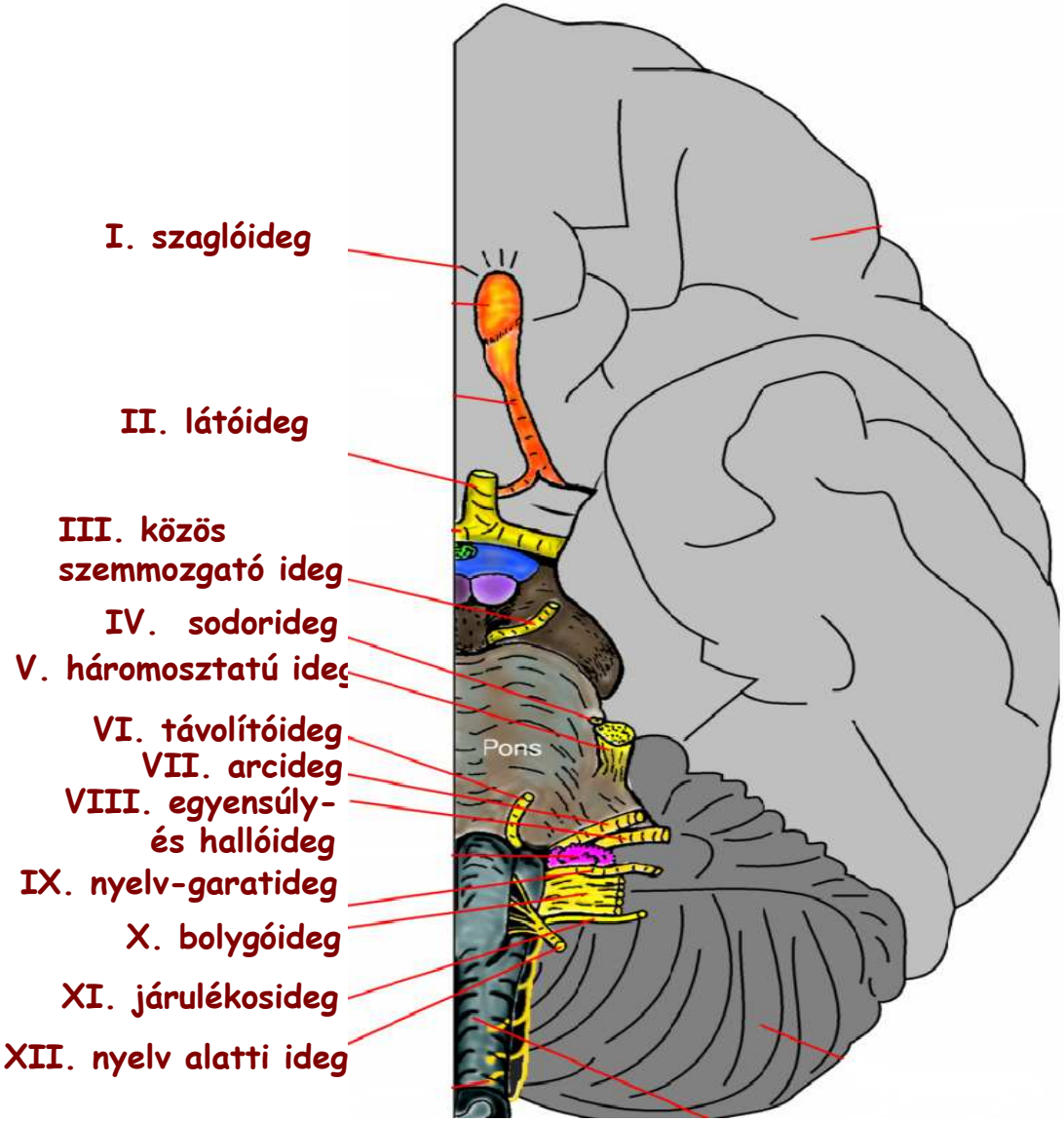
Az agytörzsi régió II.

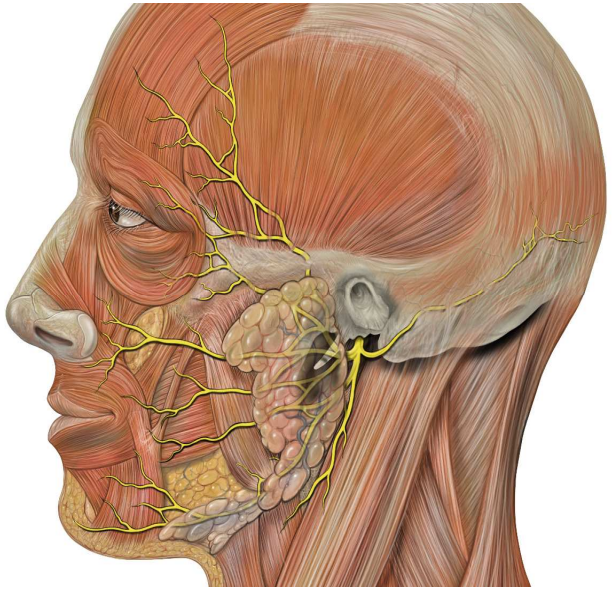




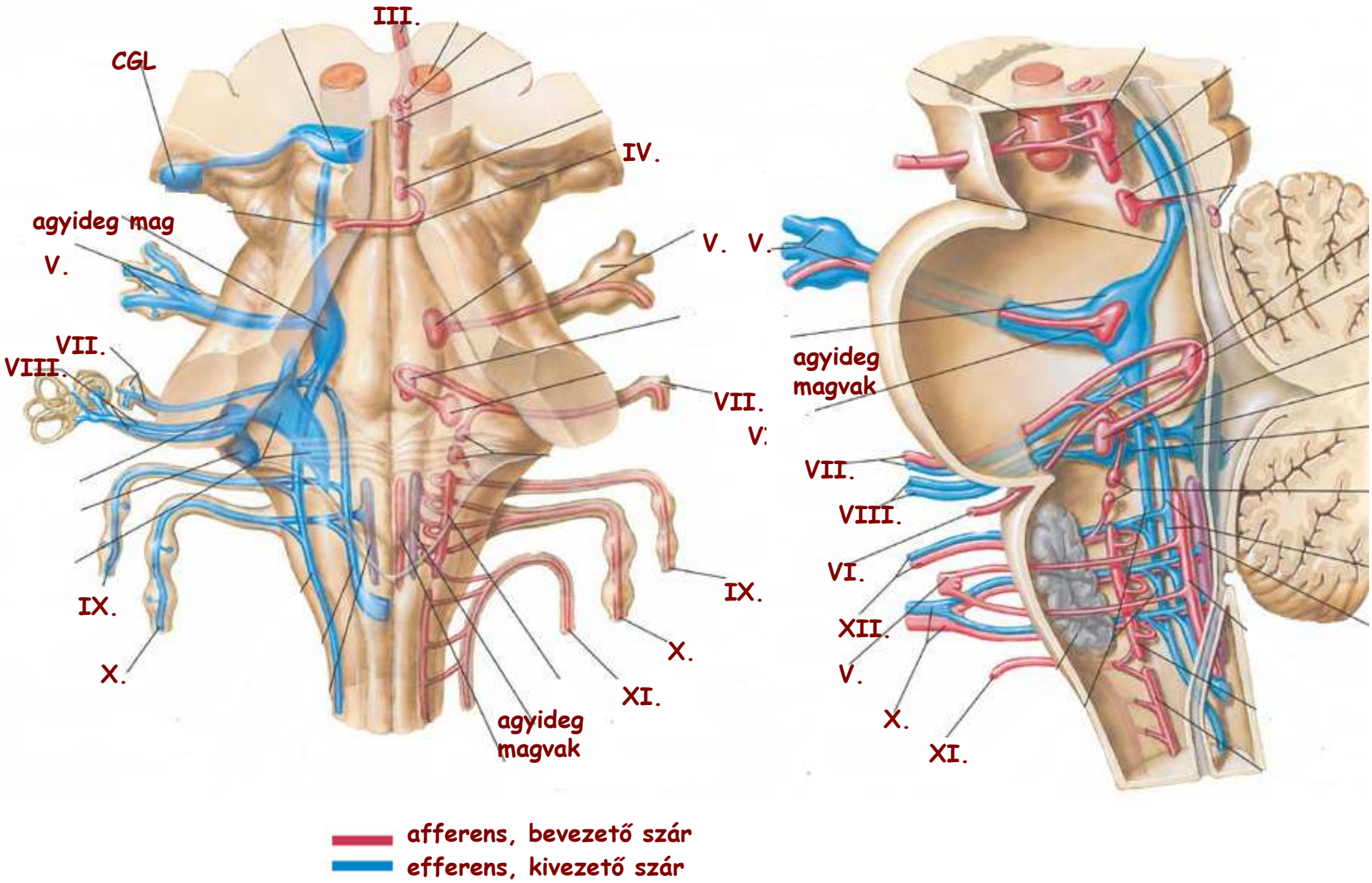


Agyidegek

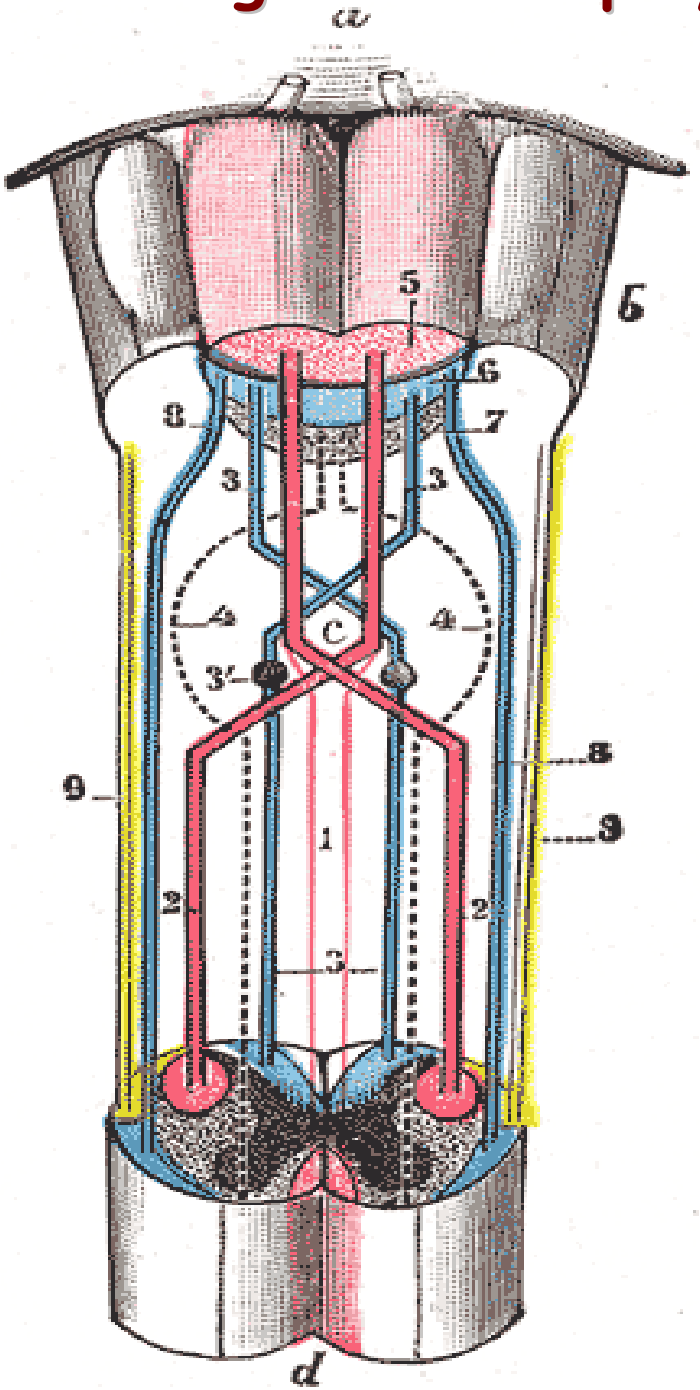

I. szaglóideg
II. látóideg
III. közös szemmozgató ideg
IV. sodorideg
V. háromosztatú ideg
VI. távolítóideg
VII. arcideg
VIII. egyensúly- és hallóideg
IX. nyelv-garatideg
X. bolygóideg
XI. járulékosideg
XII. nyelv alatti ideg
Pons



Az agytörzsből kilépő agyidegek és magvaik

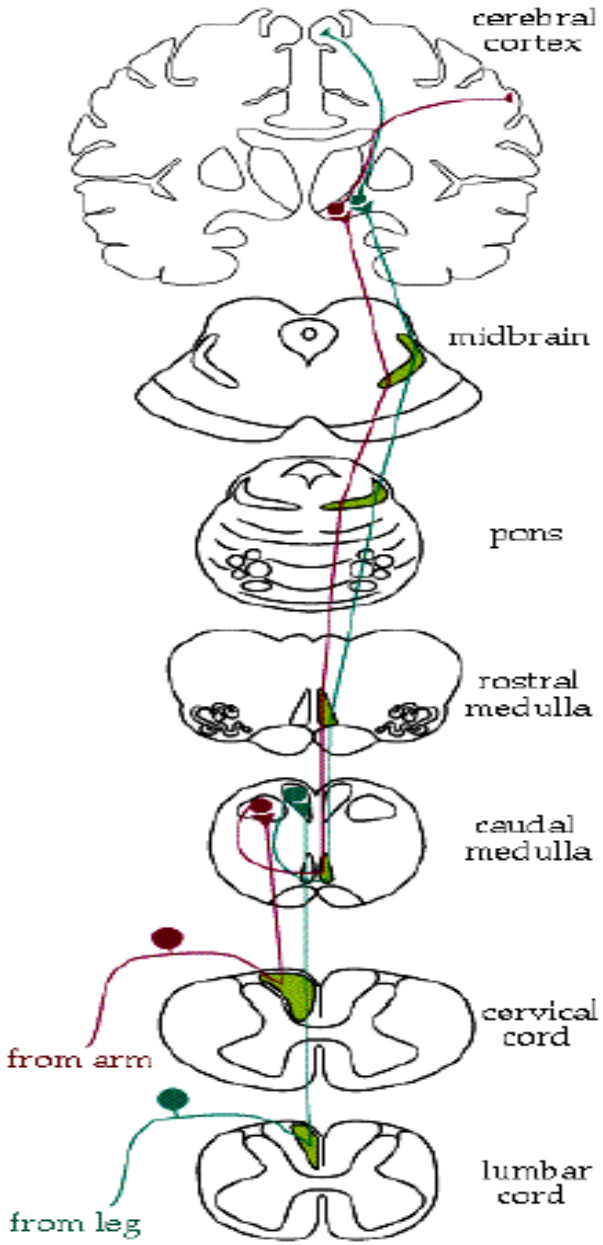


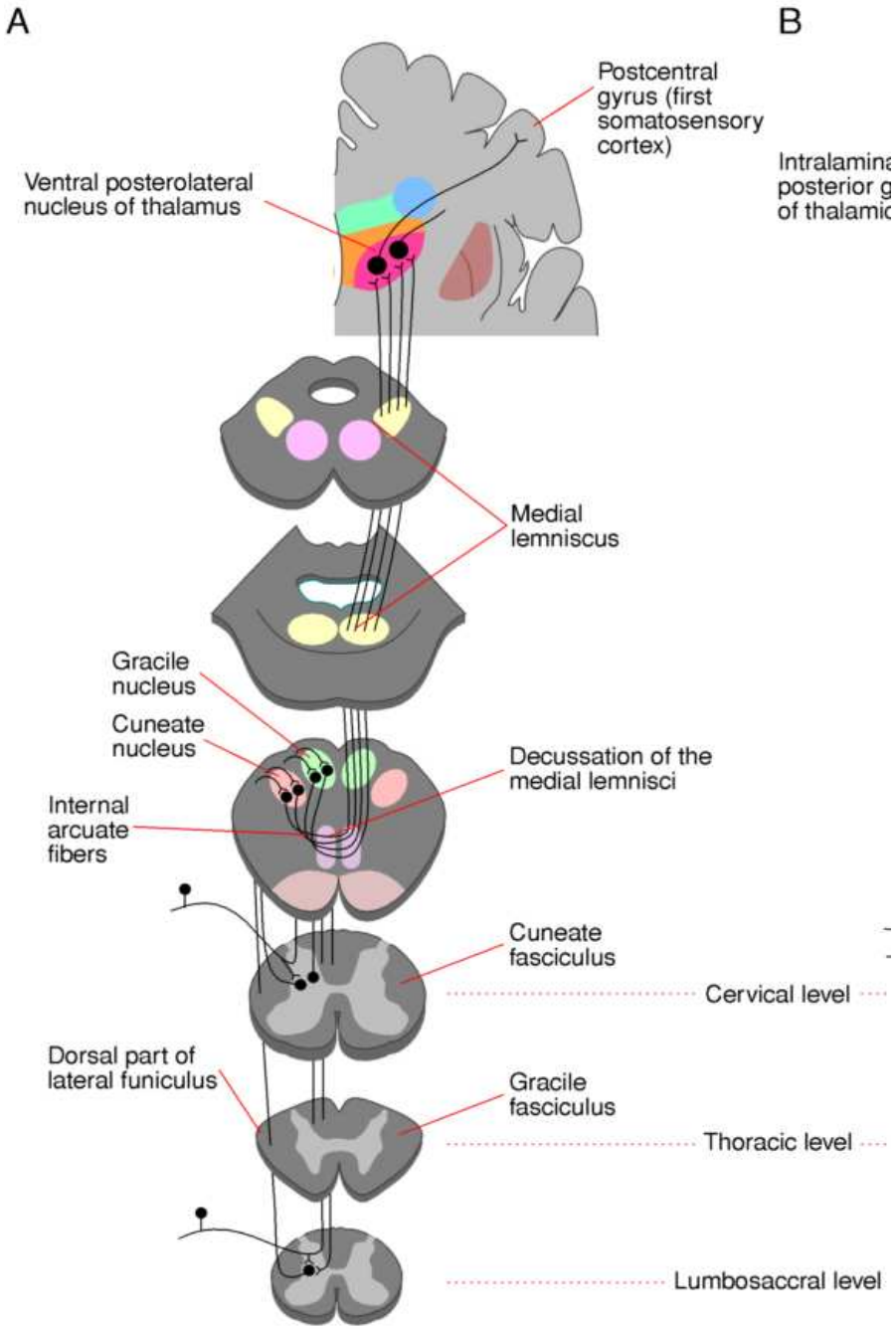
A gerincvelői pályák szerveződése



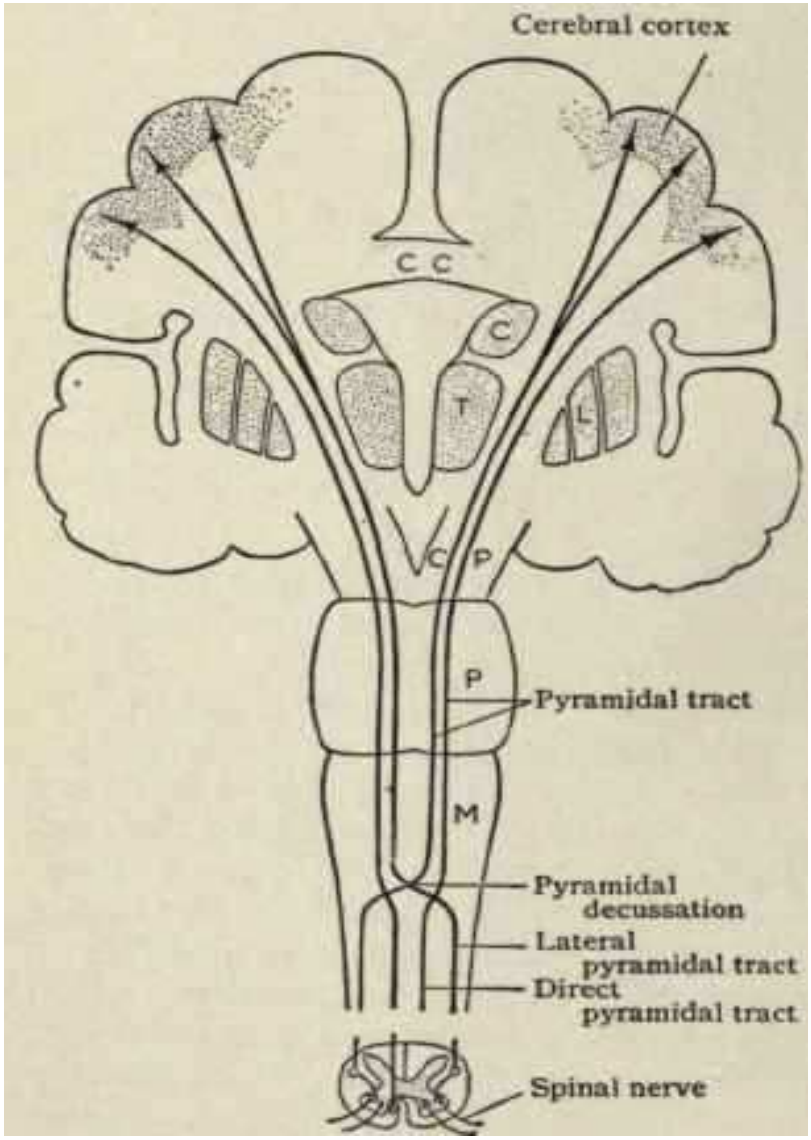
1. Anterior cerebrospinal fasciculus (piros).
2. Lateral cerebrospinal fasciculus (piros).
3. Sensory tract (fasciculi gracilis et cuneatus) (kék).
   3'. Gracile and cuneate nuclei.
4. Antero-lateral proper fasciculus
5. Pyramidális pálya
6. Lemniscus pálya
7. Medial longitudinal fasciculus.
8. Ventral spinocerebellar fasciculus (kék).
9. Dorsal spinocerebellar fasciculus (sárga).

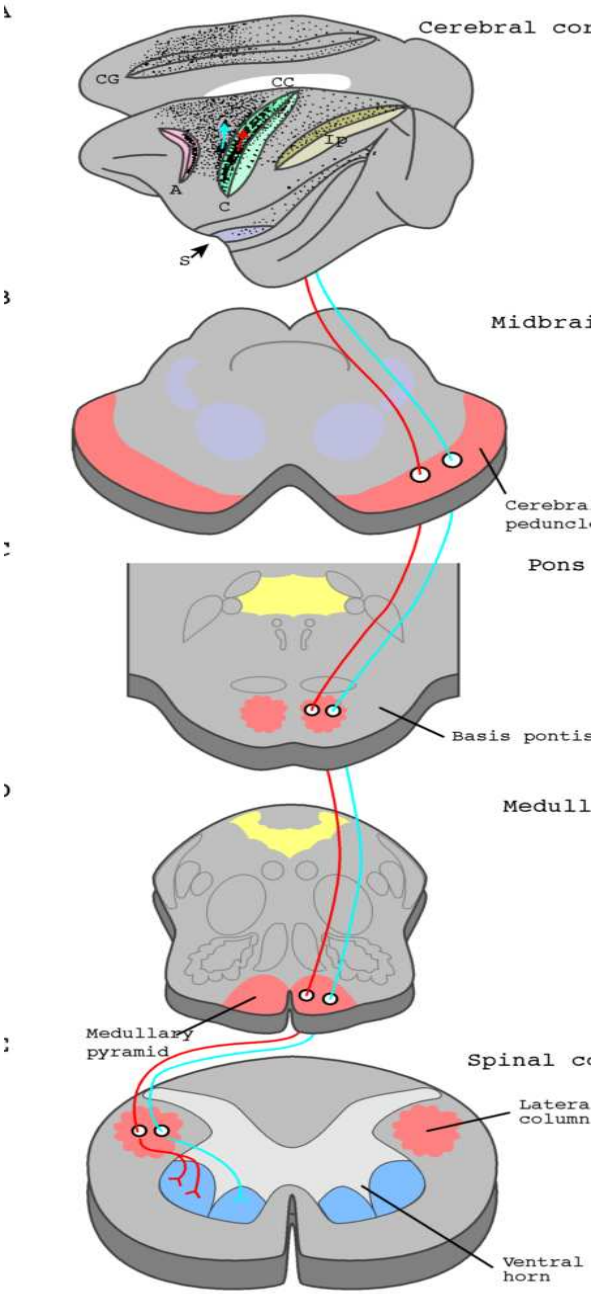
A felszálló, érző pályák





A leszálló, mozgató pályák

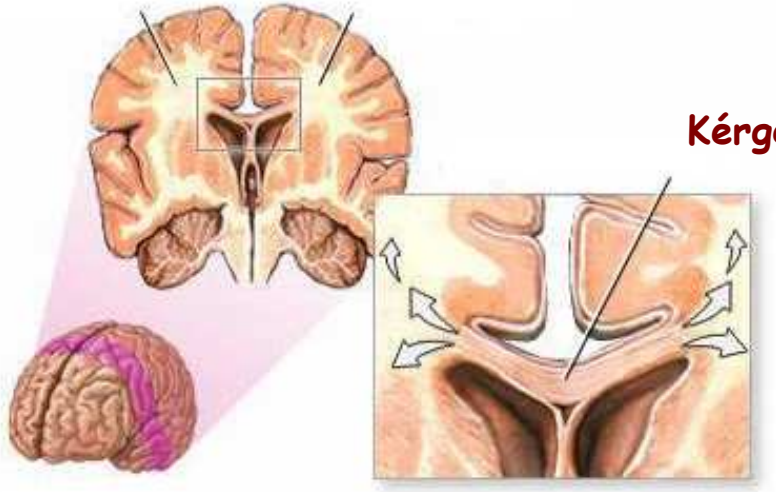




Agykérgi pályák

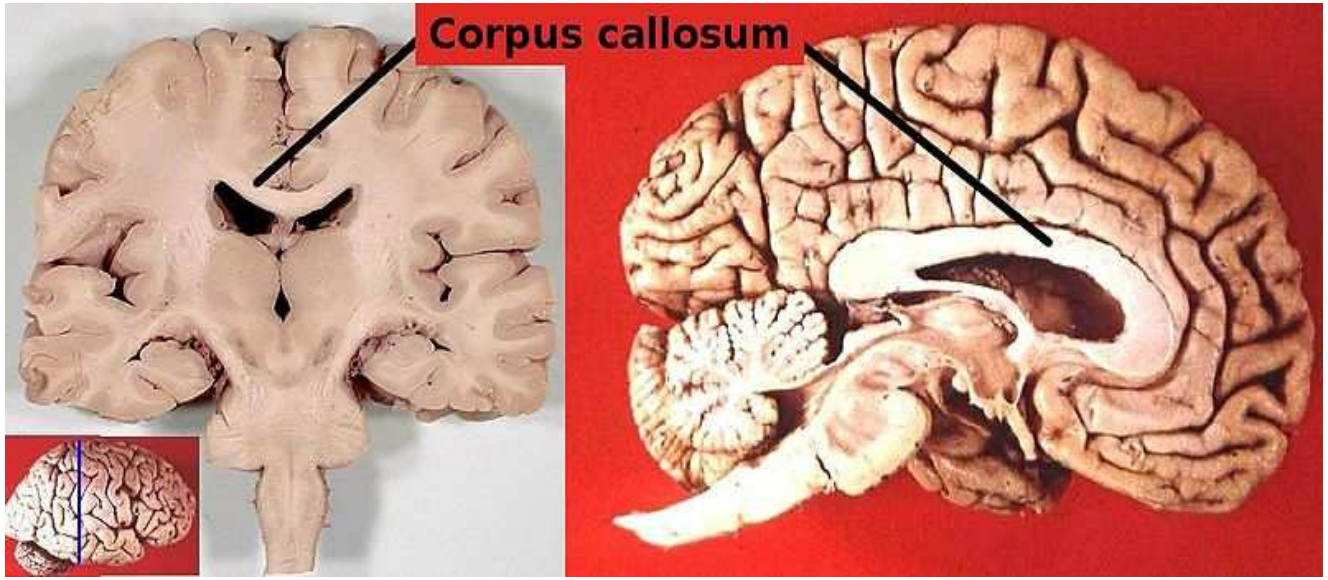
jobb félteke

bal félteke



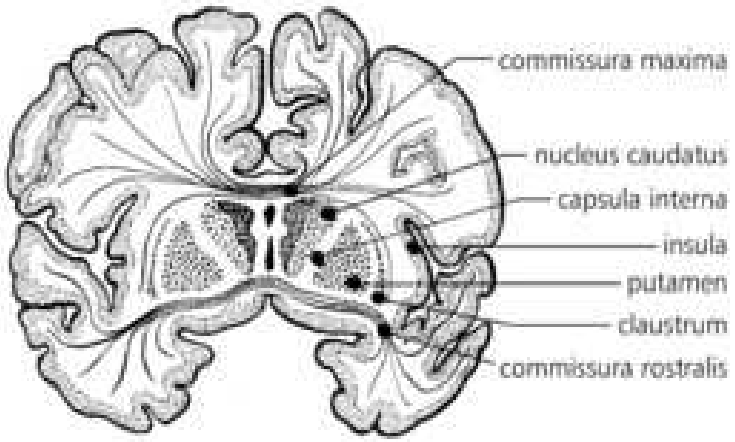
Kérges test (corpus callosum)

agy

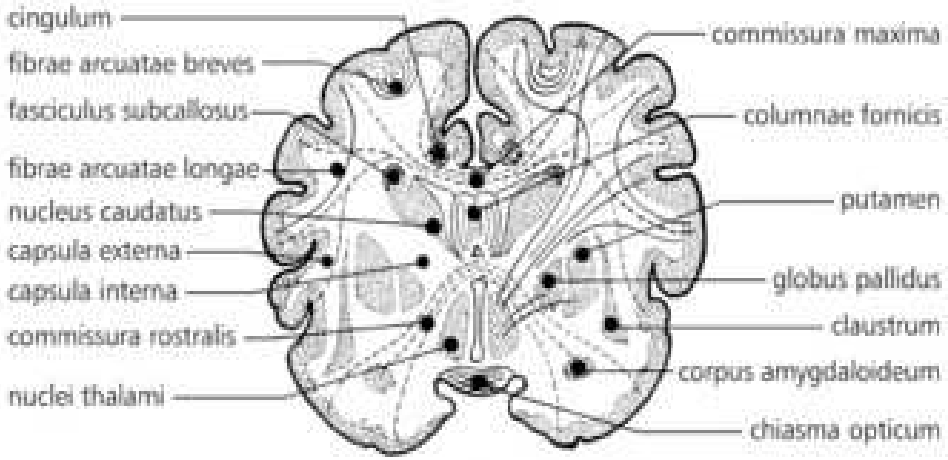


Agykérgi pályák

transversalis metszéslap

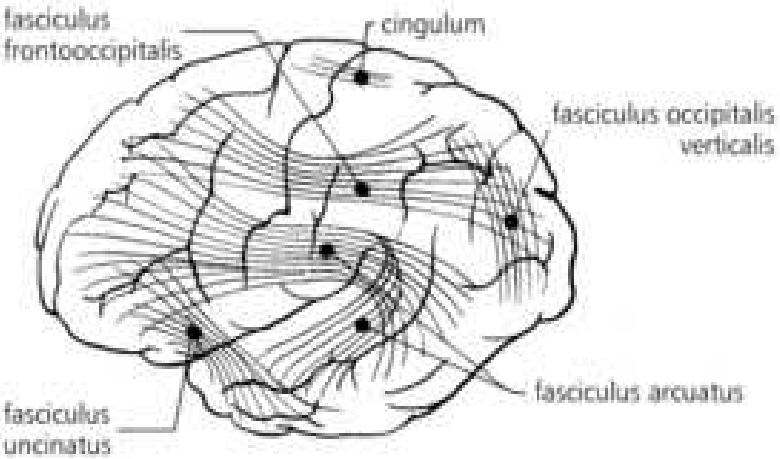


a crus fornicis síkjában

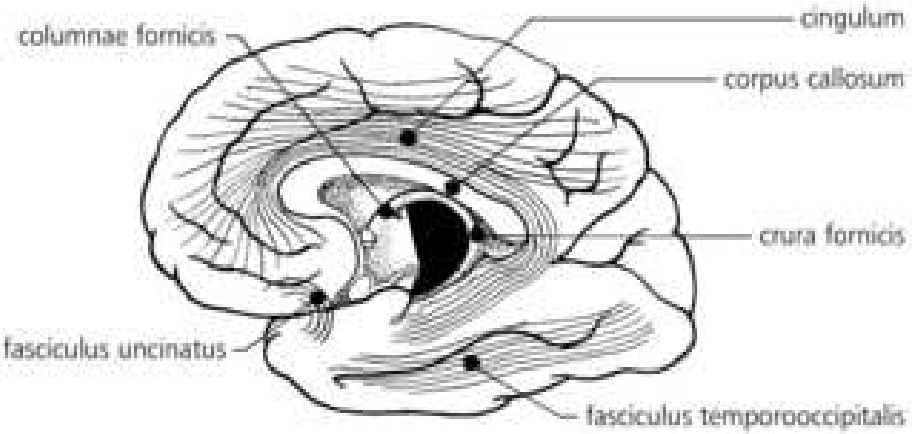


a columnae fornicis síkjában

agyvelő-félteke

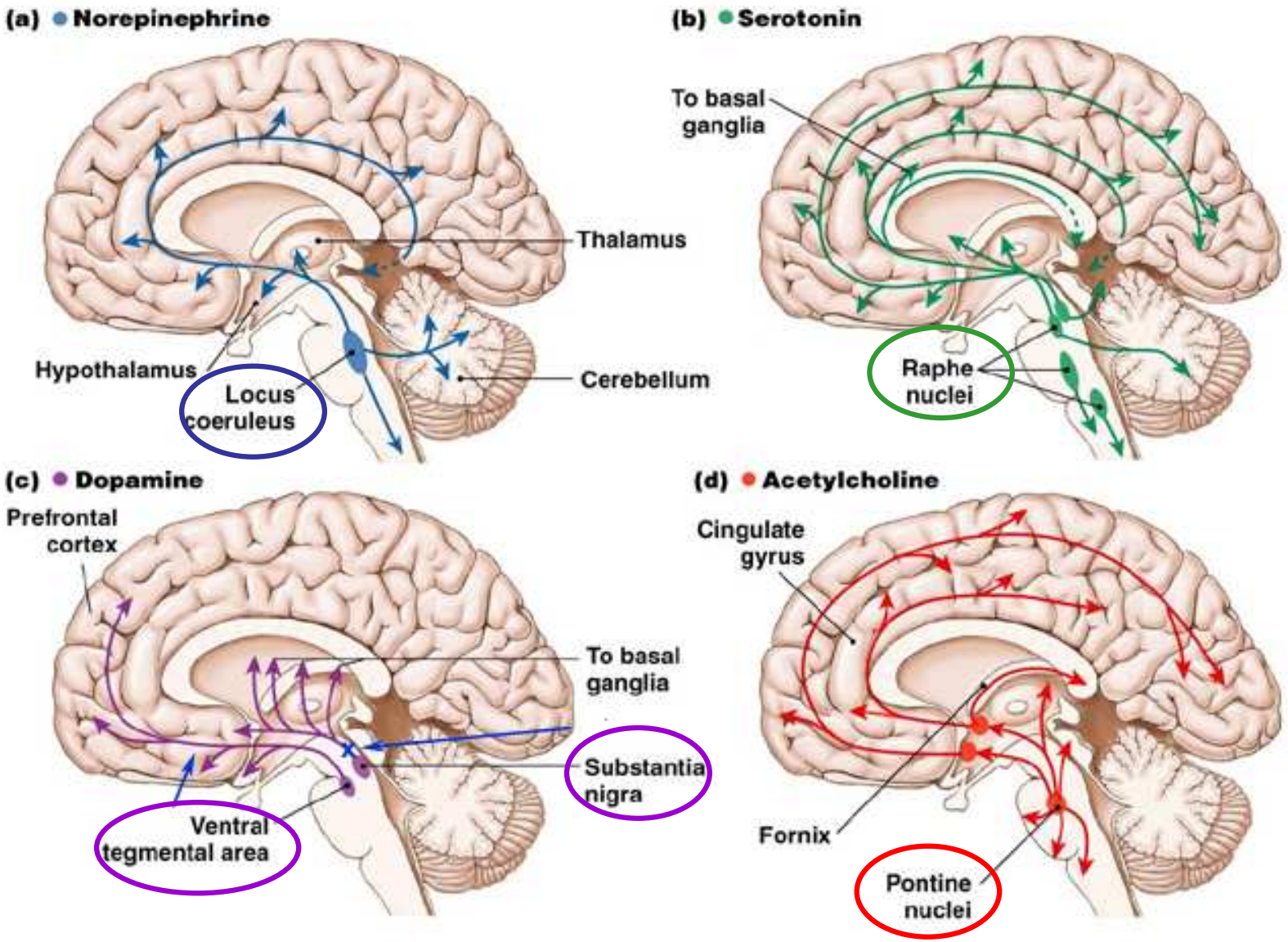


lateralis felület

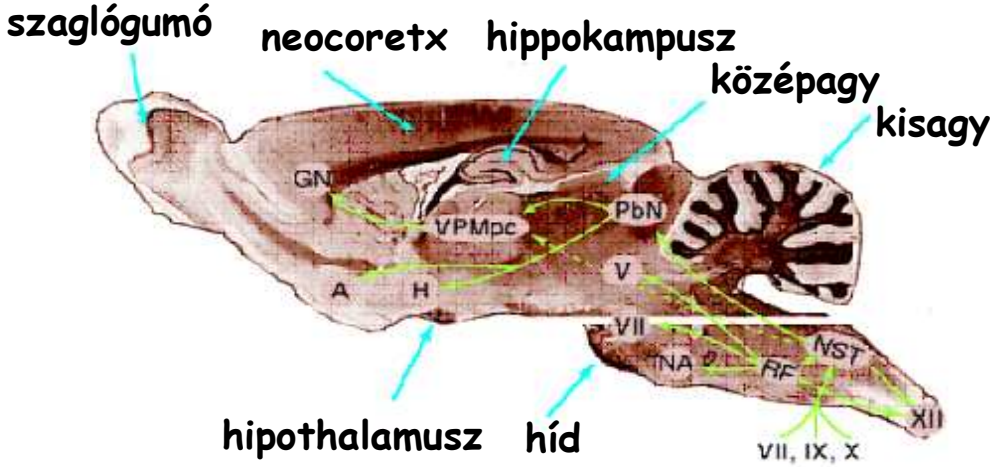


medialis felület

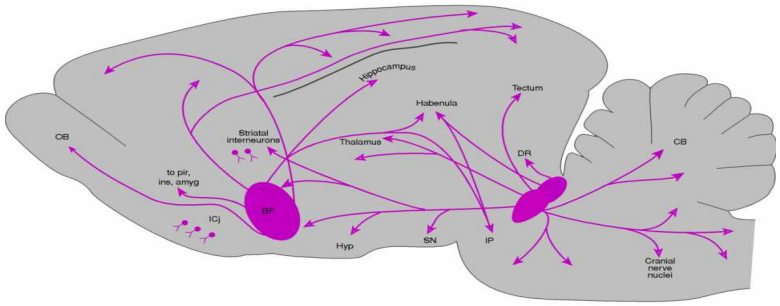
Agytörzsi pályák emberben



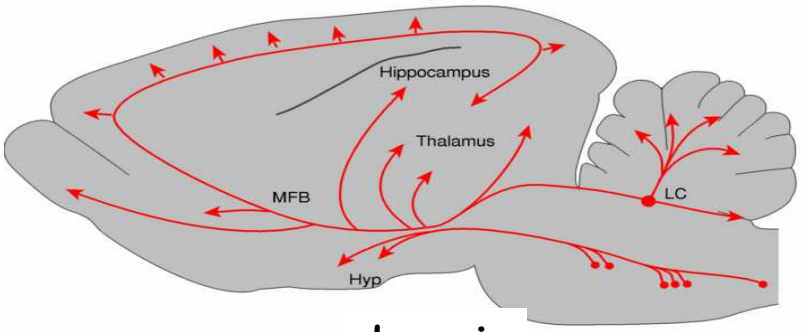
Agytörzsi pályák patkányban



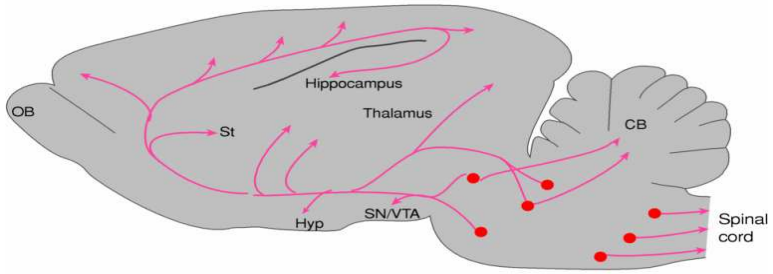
acetilkolin



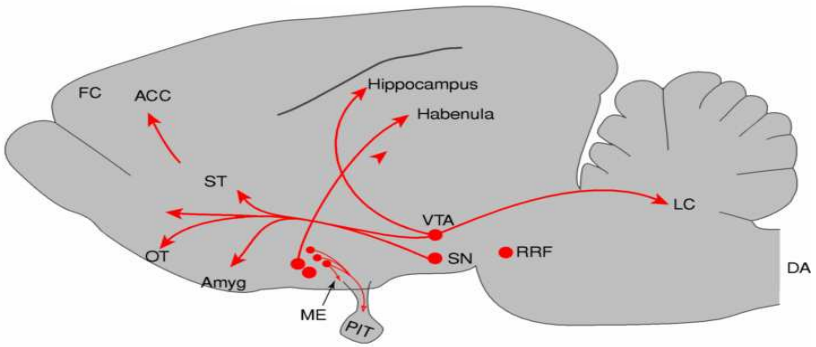
noradrenalin



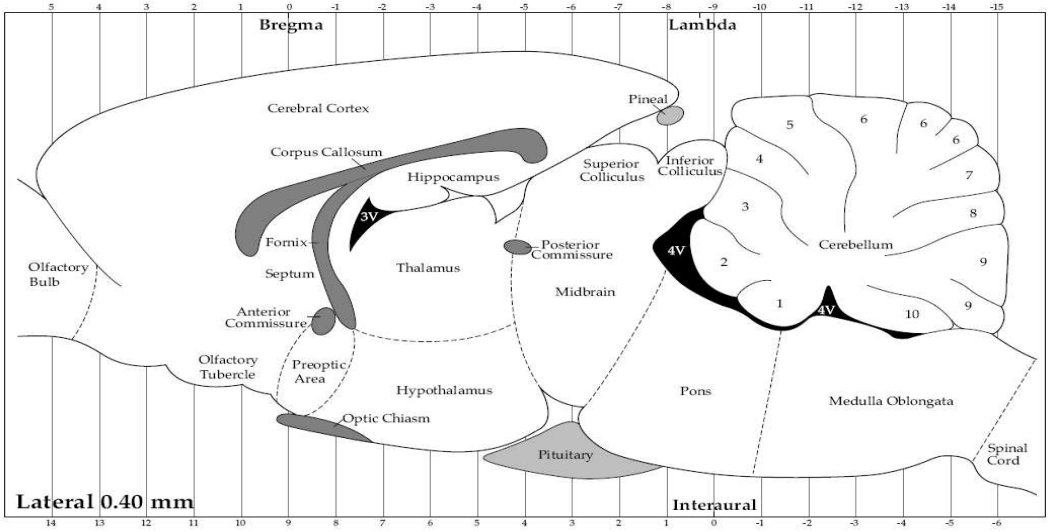
szerotonin

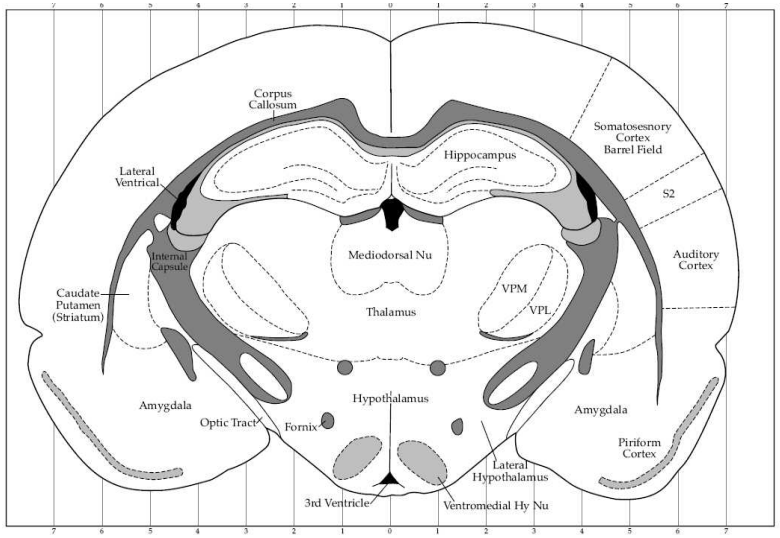


dopamin



Patkány agy sztereotaxikus kép

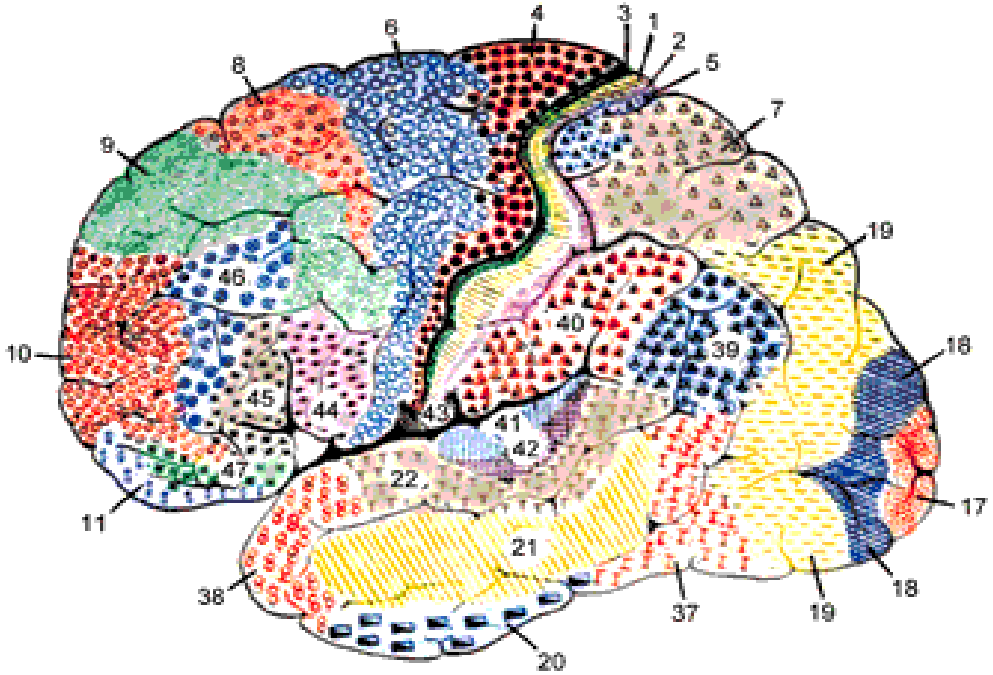




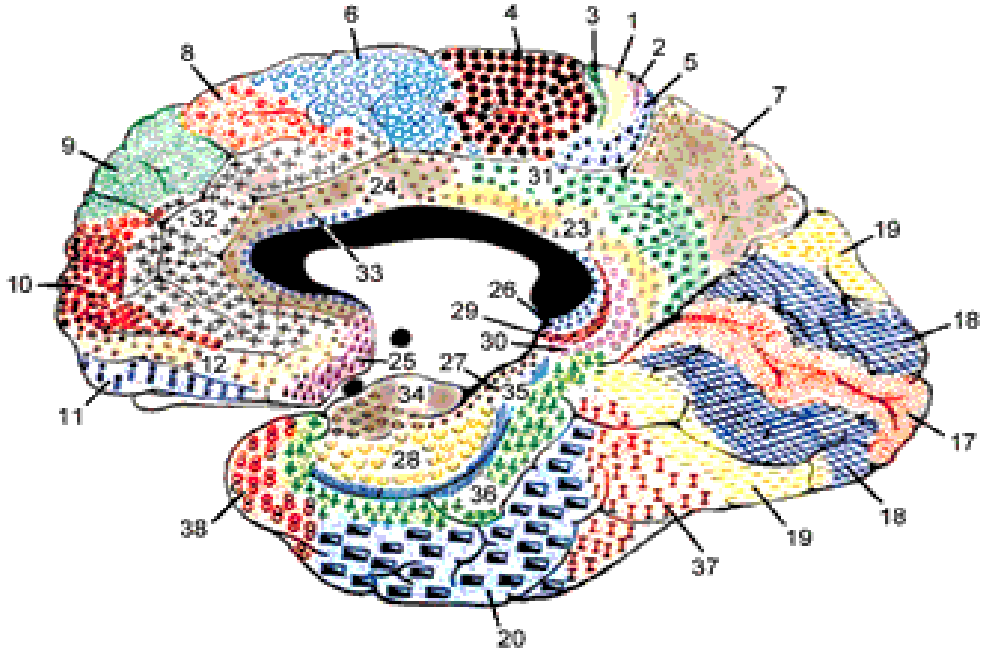
A környéki idegrendszer működése

Brodmann-féle mezők

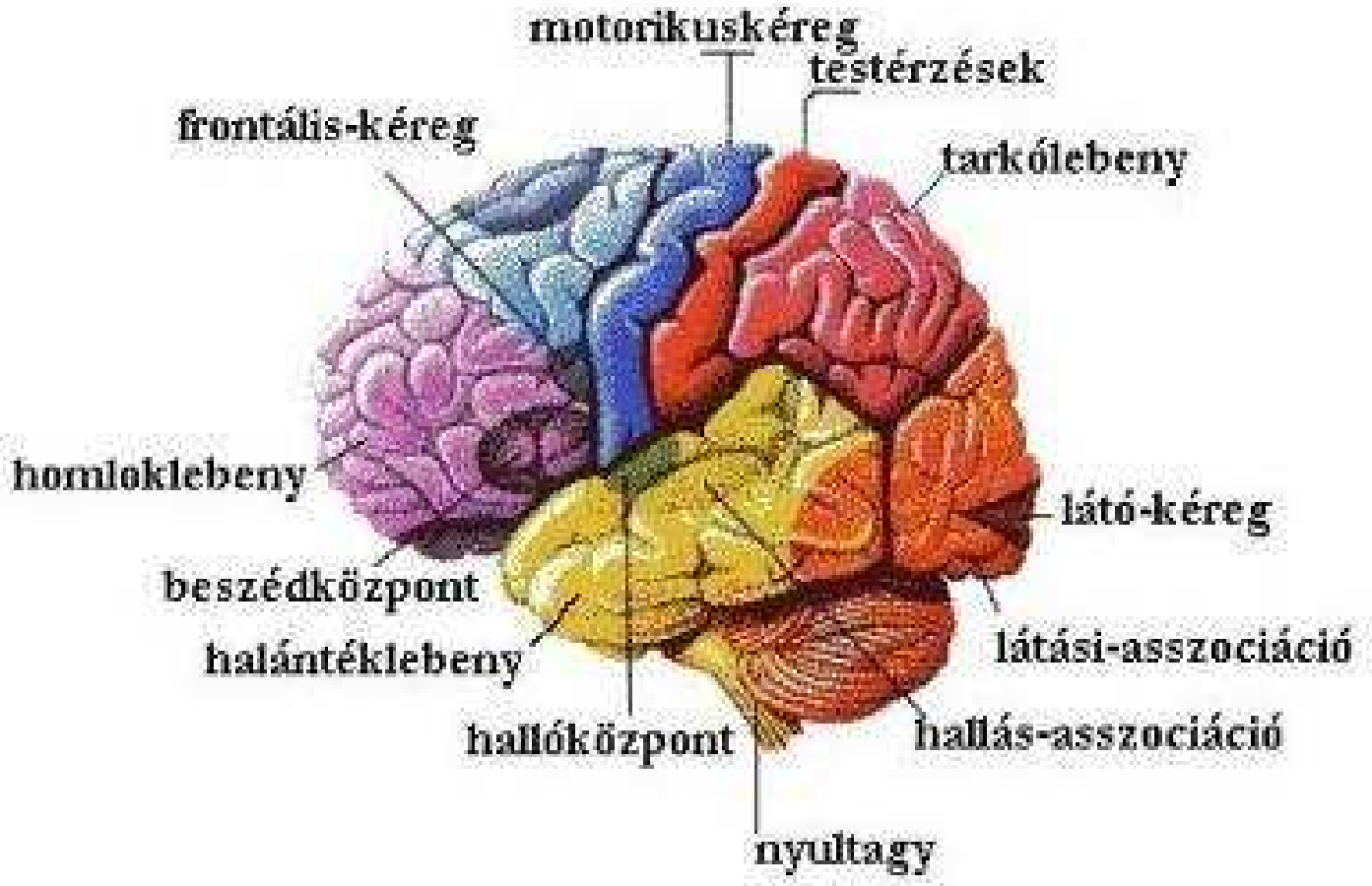
oldalnézeti felszín



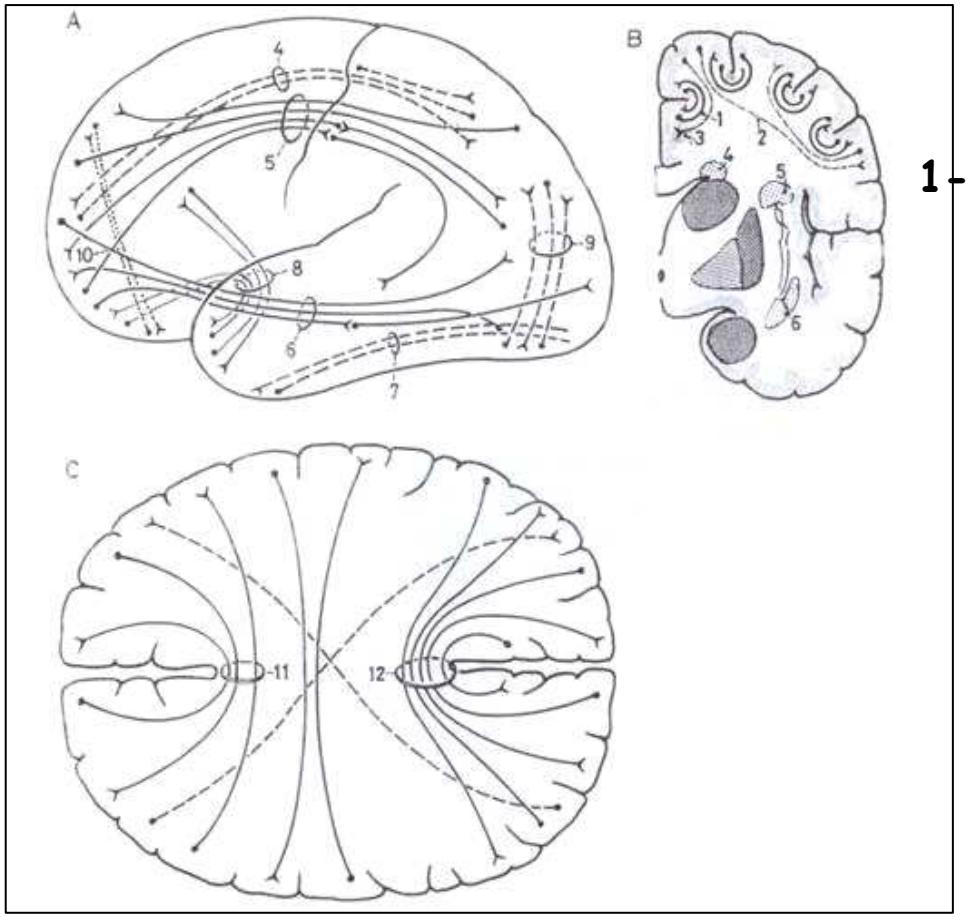
középnézet



Az agykéreg egyes funkcionális területei



Az agykérgen belüli kapcsolatrendszer, pályák

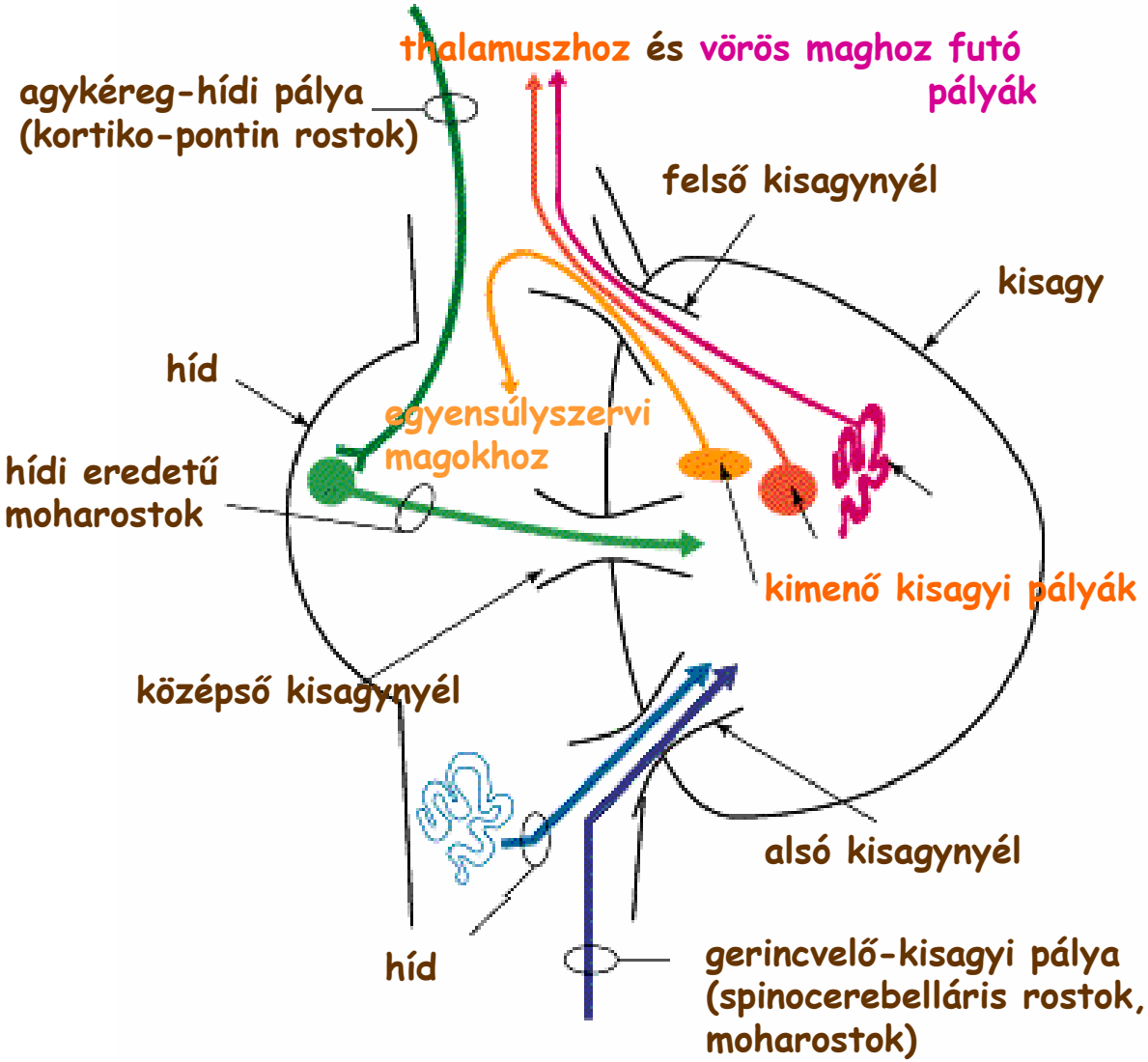


1-2. fibrae arcuatae longi et breves

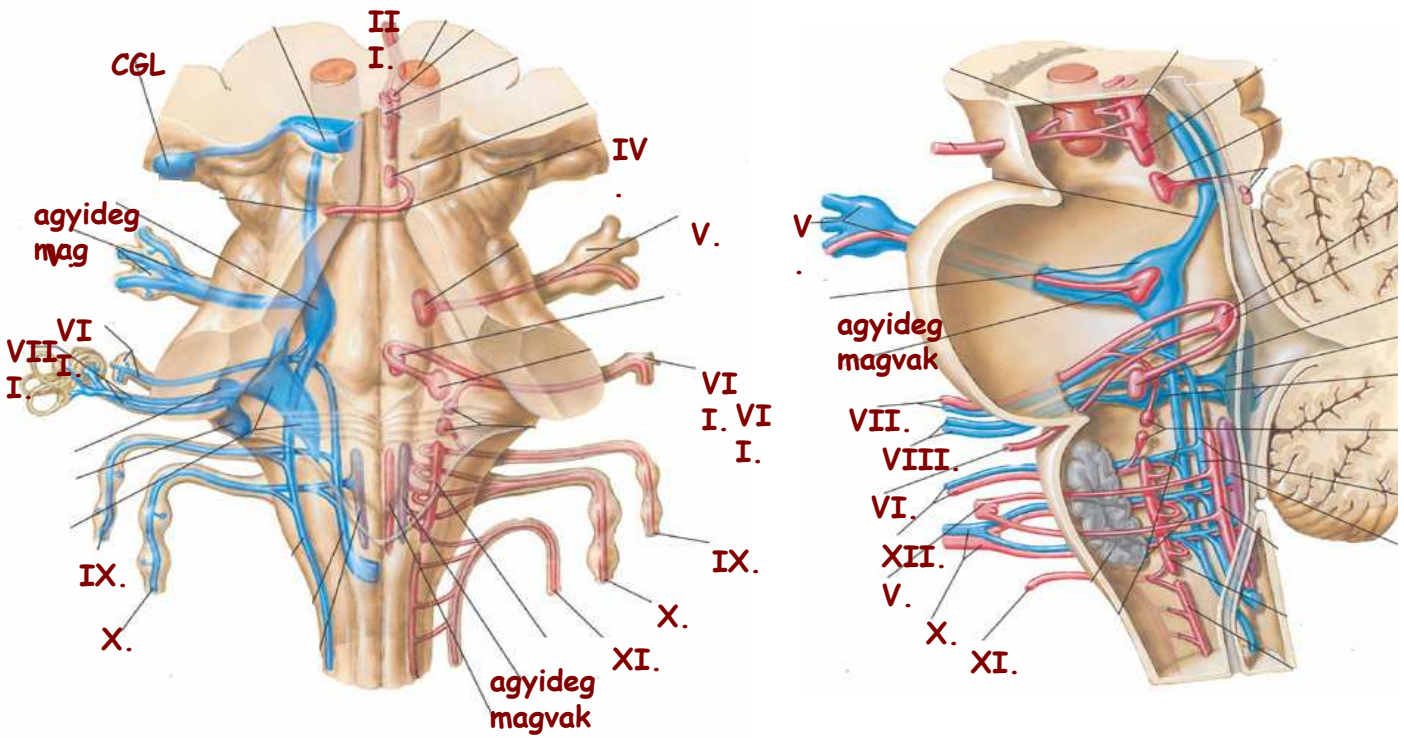
4-7. fasciculus longitudinalis sup. et inf.
fasciculus occipitofrontalis sup. et inf.
8. fasciculus uncinatus
9. fasciculus ocipitalis verticalis
10. fasciculus orbitofrontalis
11-12. corpus callosum

Corpus callosum - keresztmetszetben

A kisagy bemenő és kimenő kapcsolatai



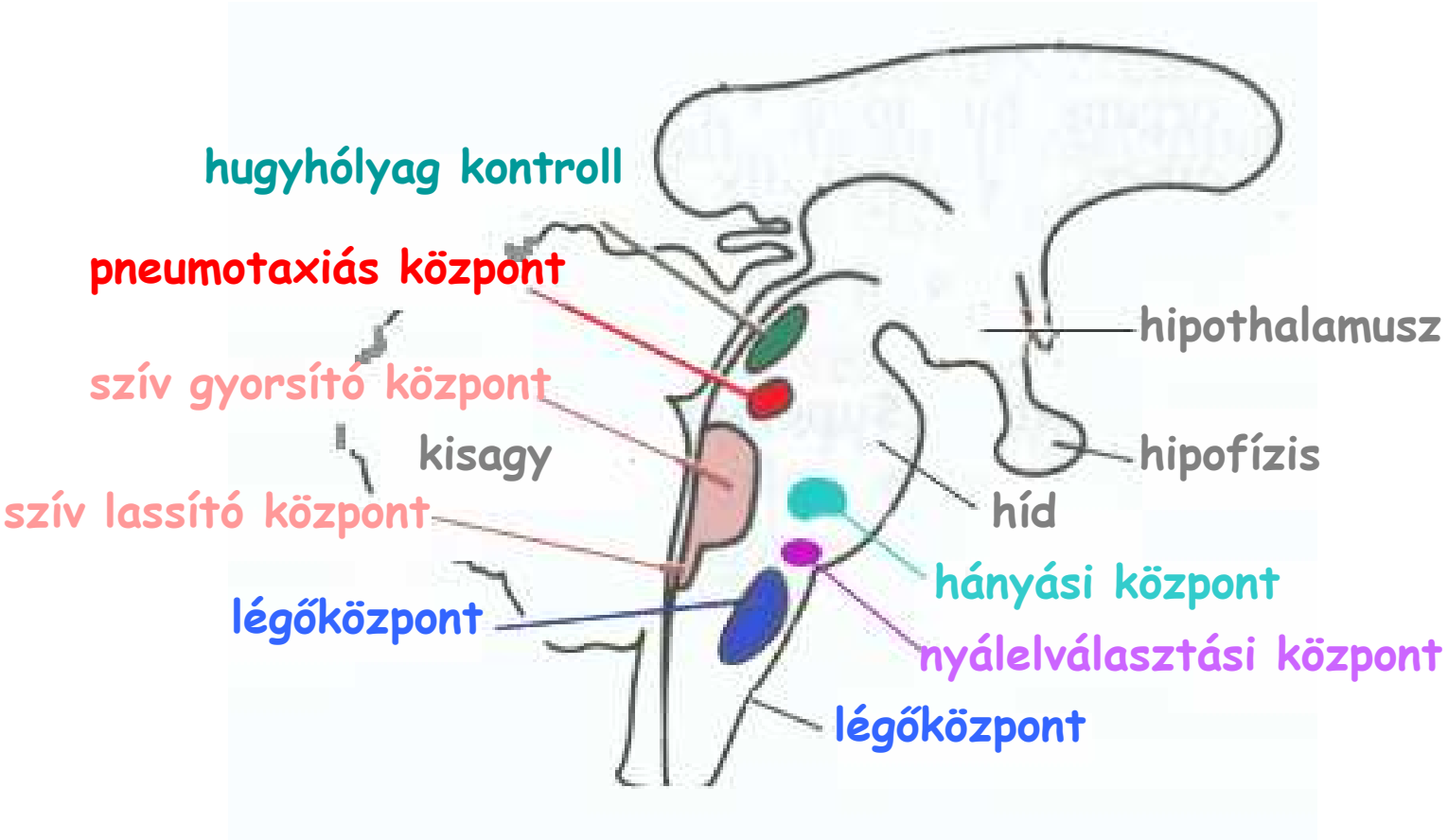
Az agytörzsből kilépő agyidegek és magvaik

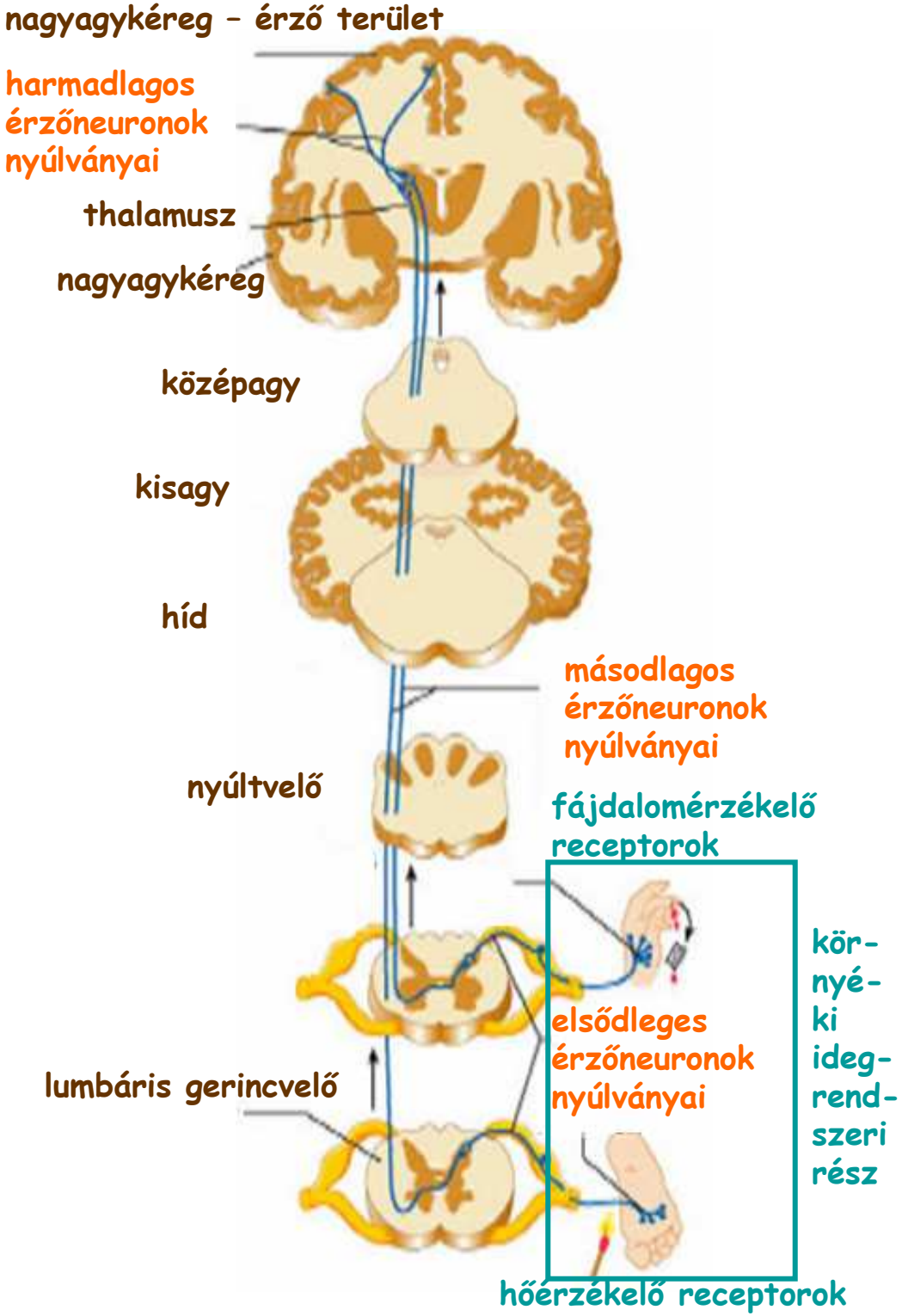


afferens, bevezető szár
efferens, kivezető szár

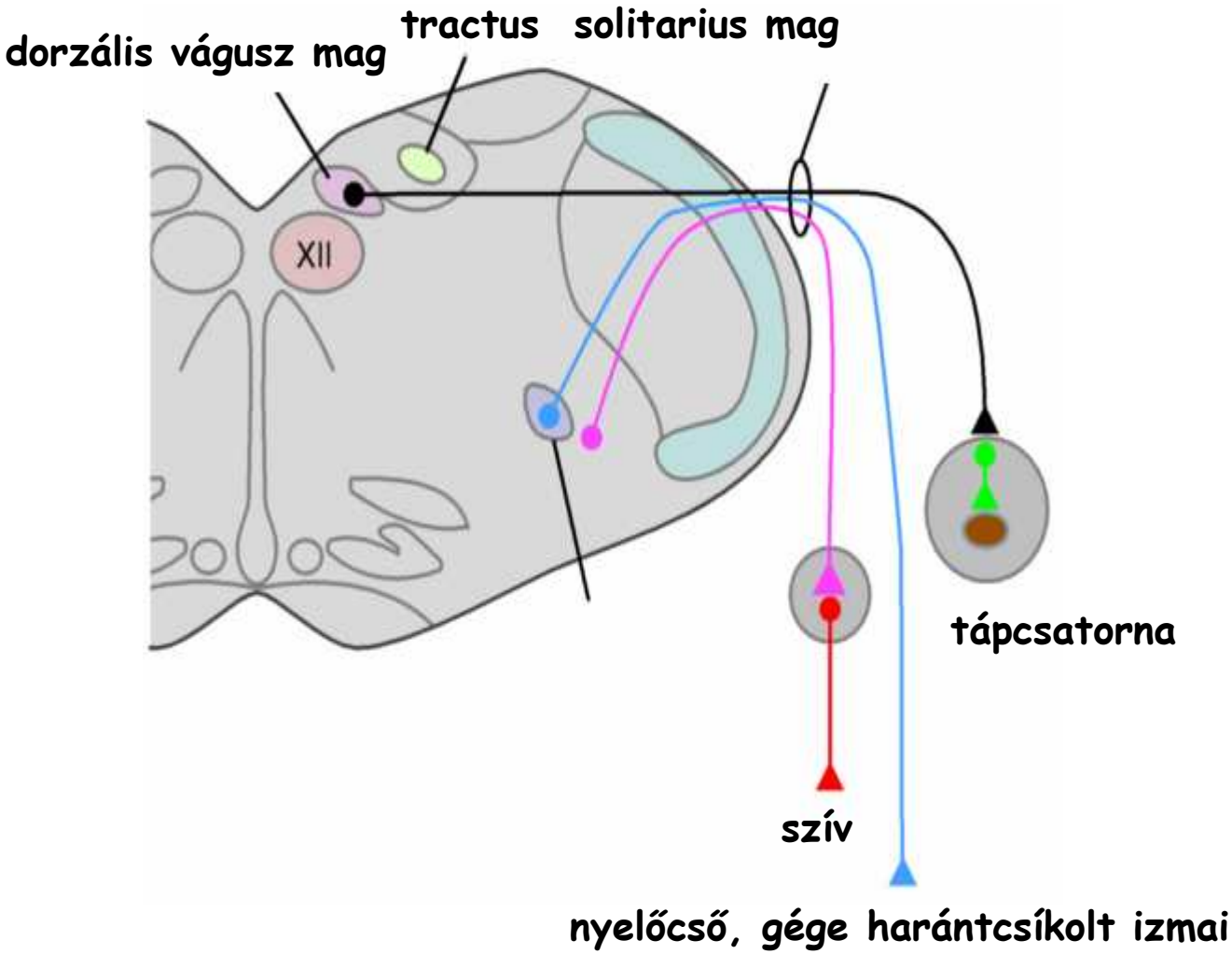
I. szaglóideg
II. látóideg
III. közös szemmozgató ideg
IV. Sodorideg
V. háromosztatú ideg
VI. távolítóideg
VII. arcideg
VIII. egyensúly- és hallóideg
IX. nyelv-garatideg
X. Bolygóideg
XI. Járulékosideg
XII. nyelv alatti ideg

Agytörzsi szabályozó pözpontok



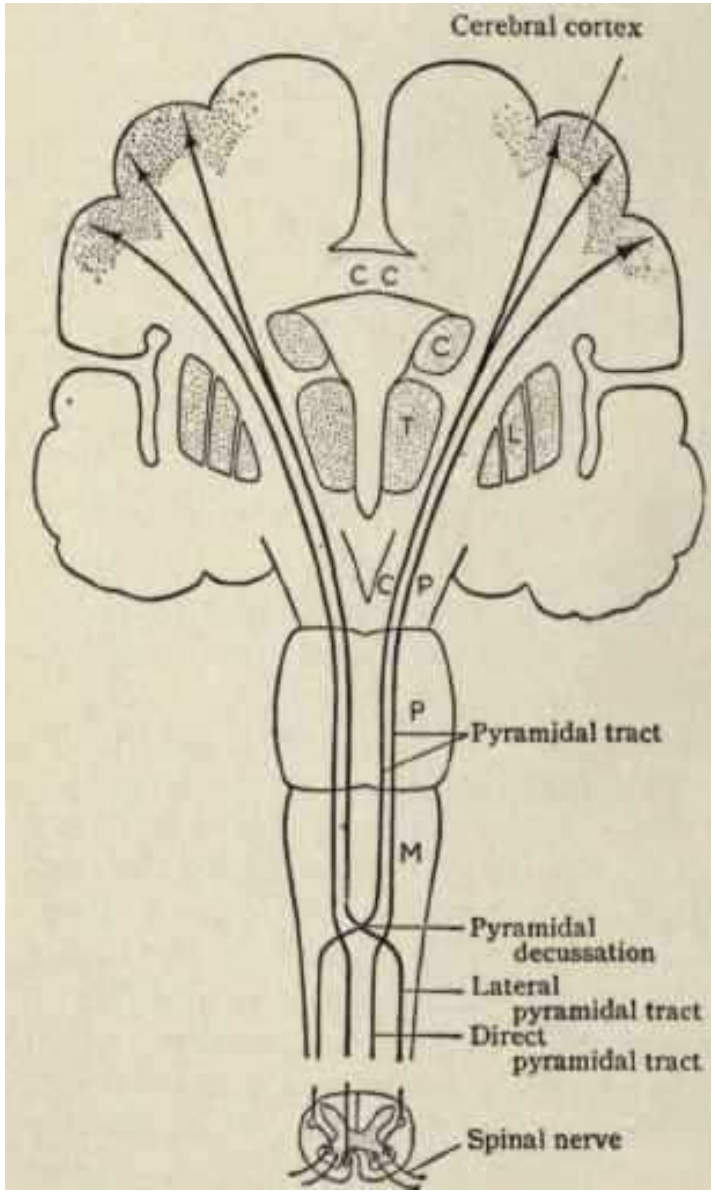

nagyagykéreg – érző terület
harmadlagos érzőneuronok nyúlványai
thalamusz
nagyagykéreg
középagy
kisagy
híd
másodlagos érzőneuronok nyúlványai
nyúltvelő
fájdalomérzékelő receptorok
elsődleges érzőneuronok nyúlványai
lumbáris gerincvelő
kör-nyé-ki ideg-rend-szeri rész
hőérzékelő receptorok

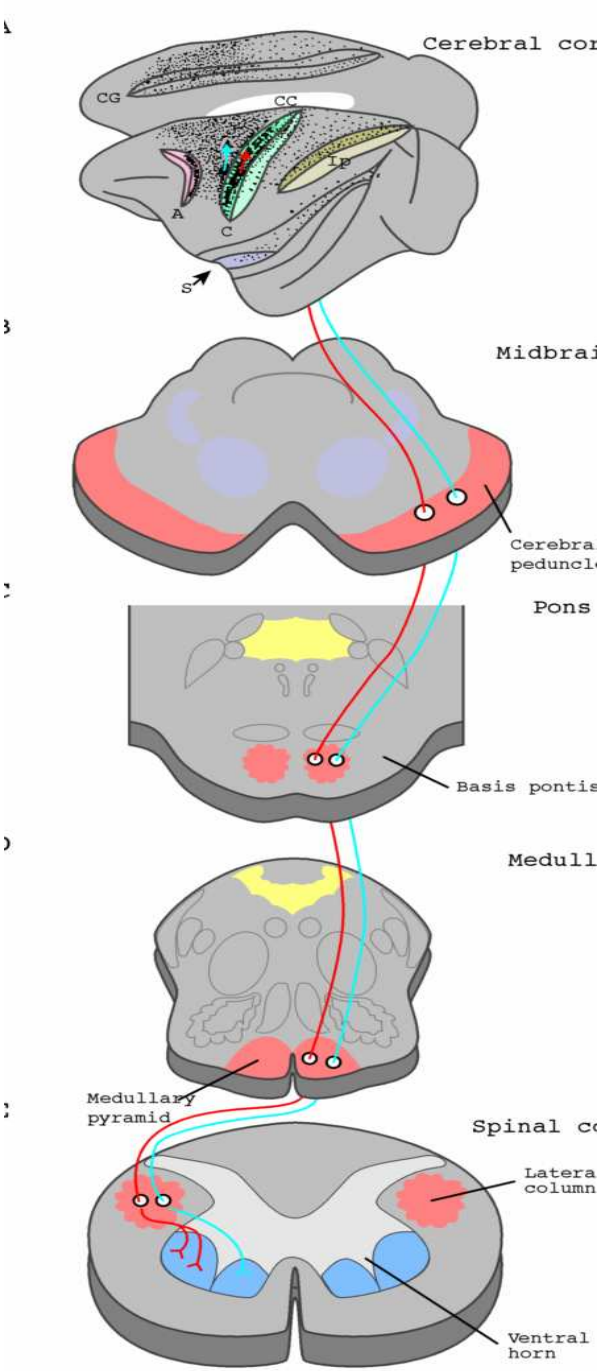
Nyúltvelői vegetatív idegek

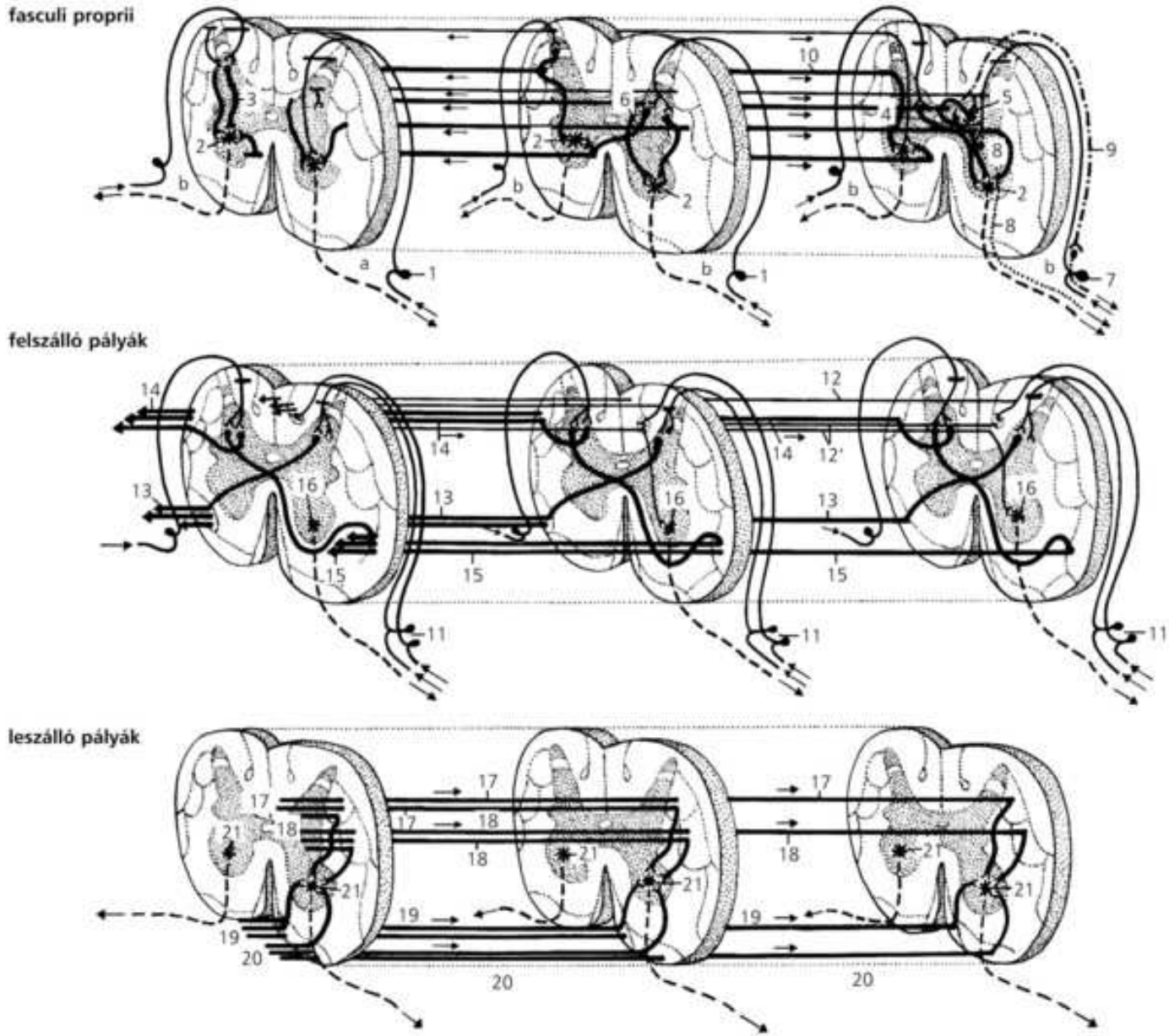


Érző és mozgató pályák

A leszálló, mozgató pályák

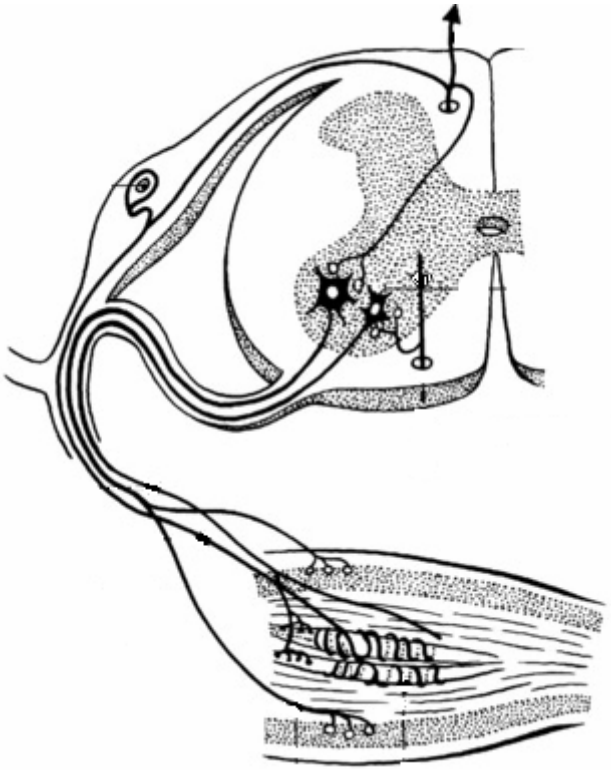




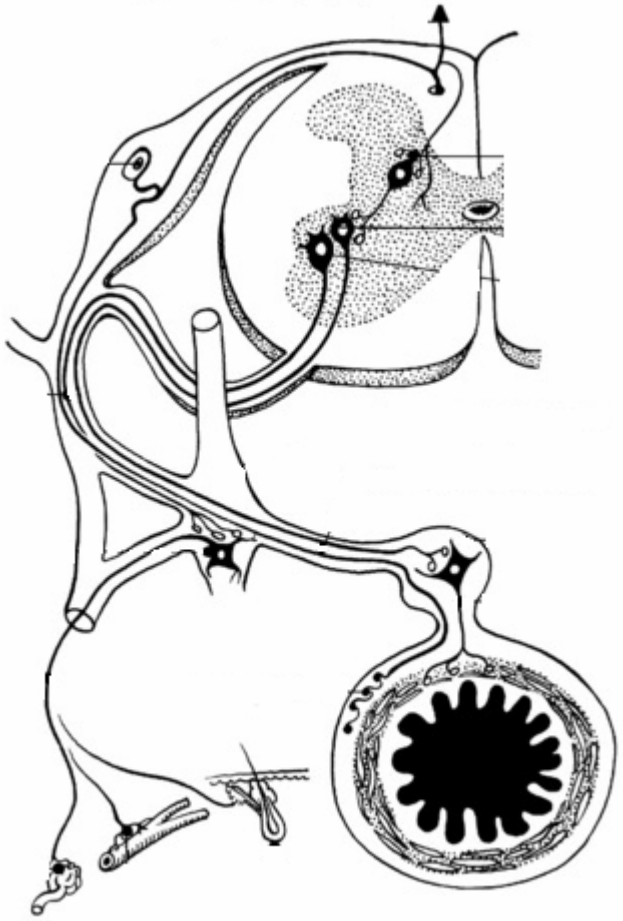

fasculi proprii
felszálló pályák
leszálló pályák

A környéki idegrendszer szerveződése

szomatikus rendszer

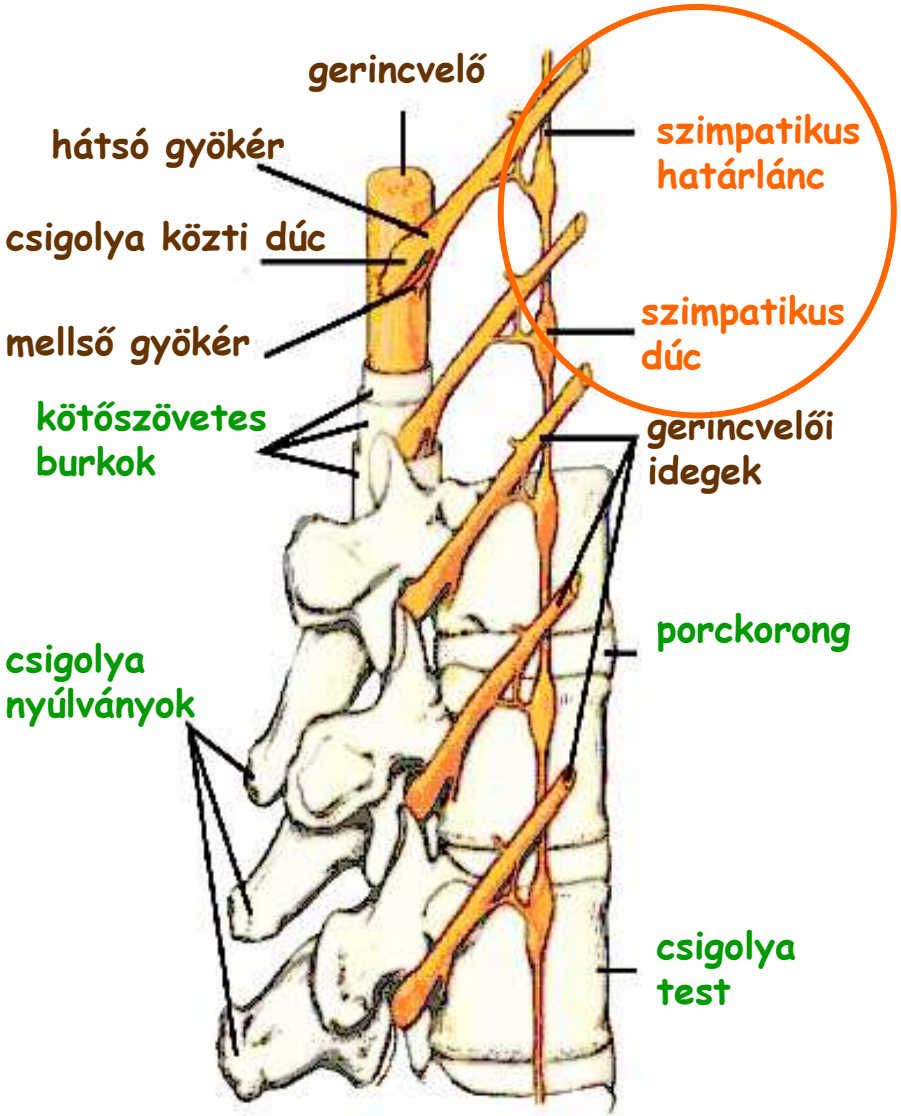


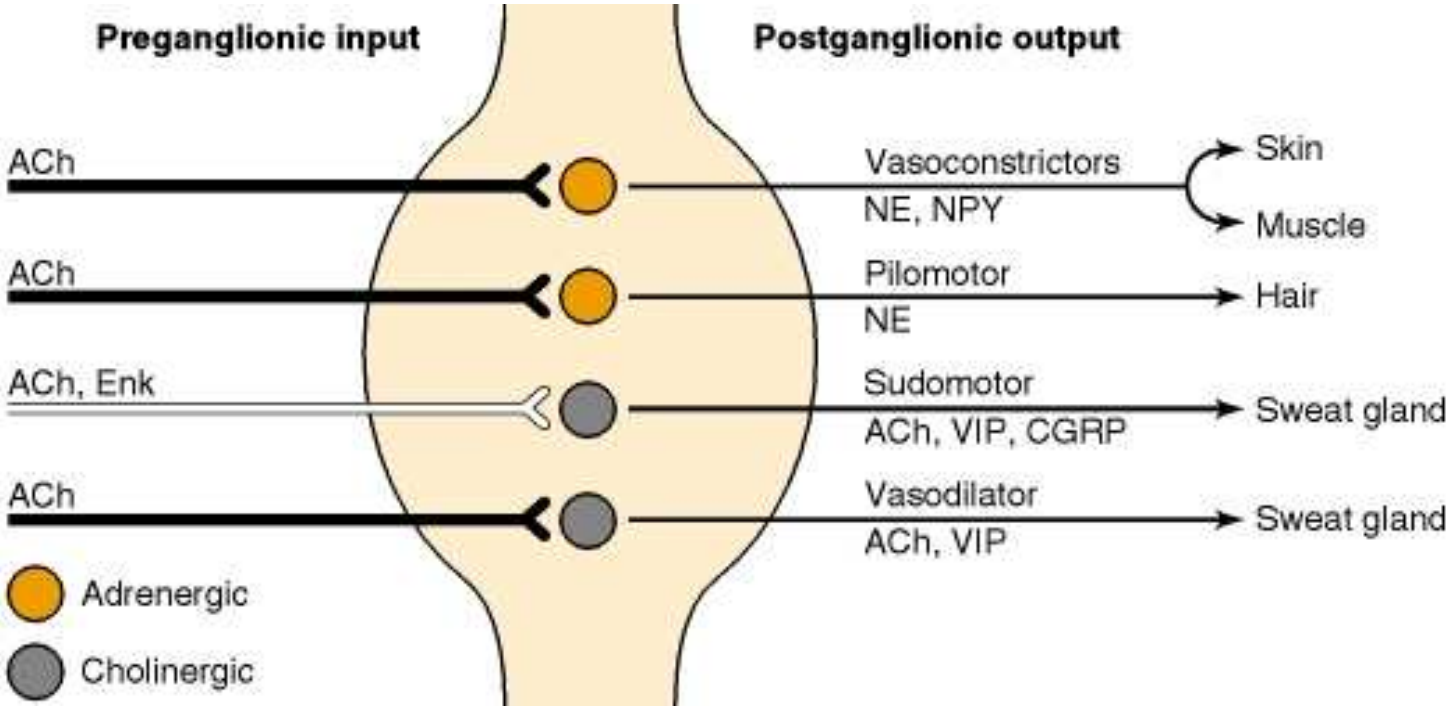
autonóm rendszer



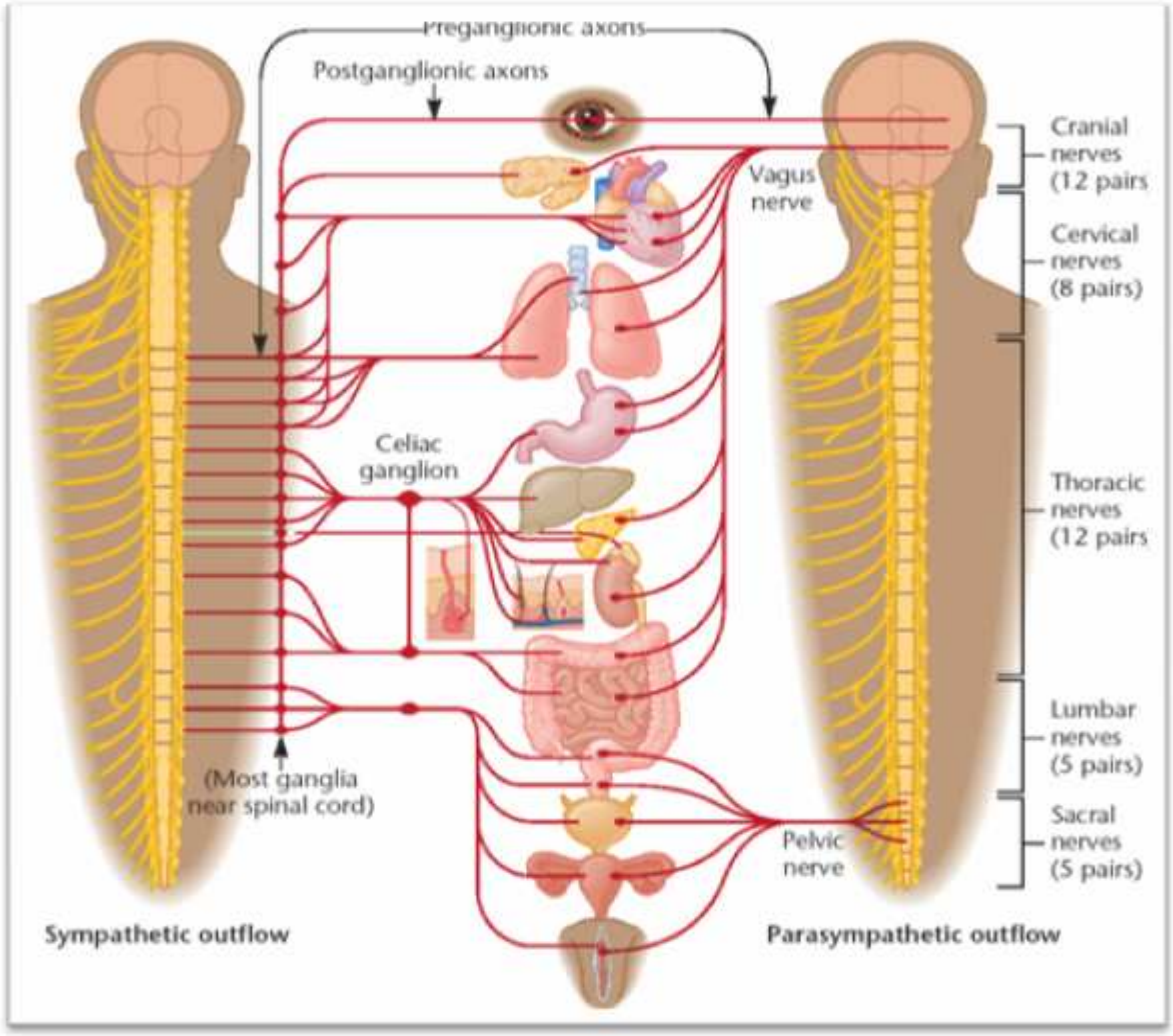
mozgató idegrendszer:
a vázizmokat idegzi be

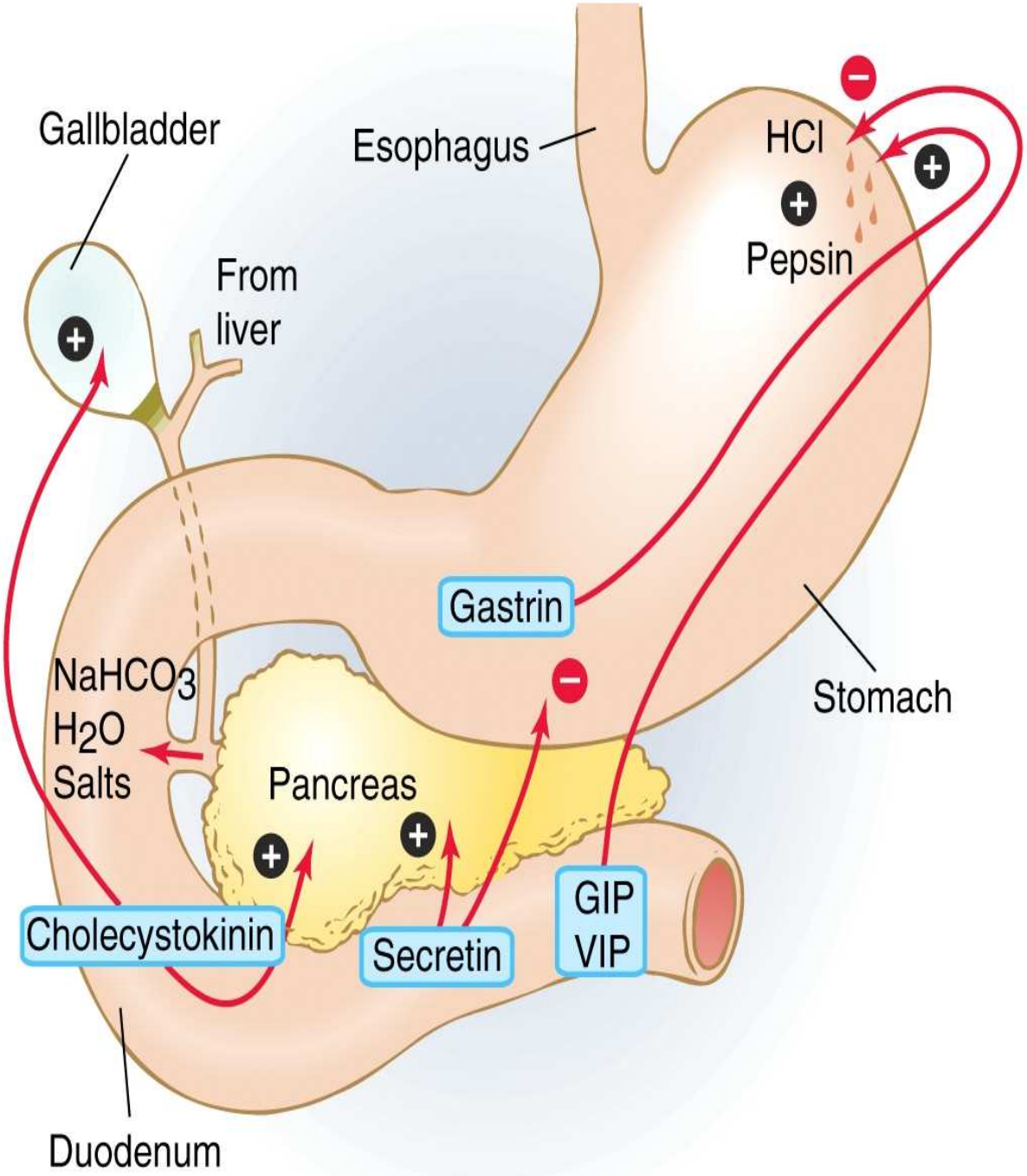
vegetatív idegrendszer:
a szívizmot, a símaizmokat és a mirigyeket idegzi be

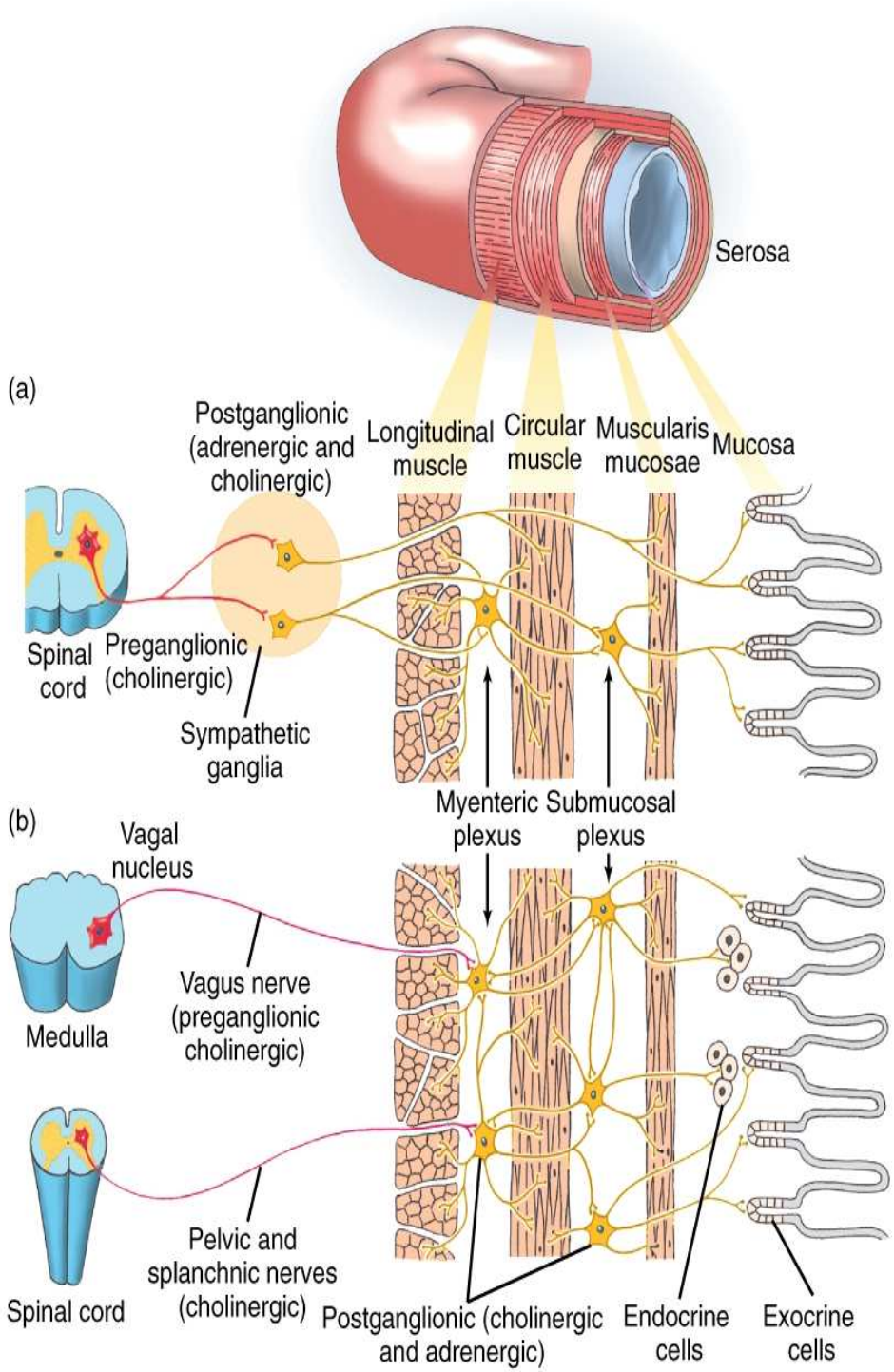

gerincvelő
hátsó gyökér
csigolya közti dúc
mellső gyökér
kötőszövetes burkok
csigolya nyúlványok
szimpatikus határlánc
szimpatikus dúc
gerincvelői idegek
porckorong
csigolya test

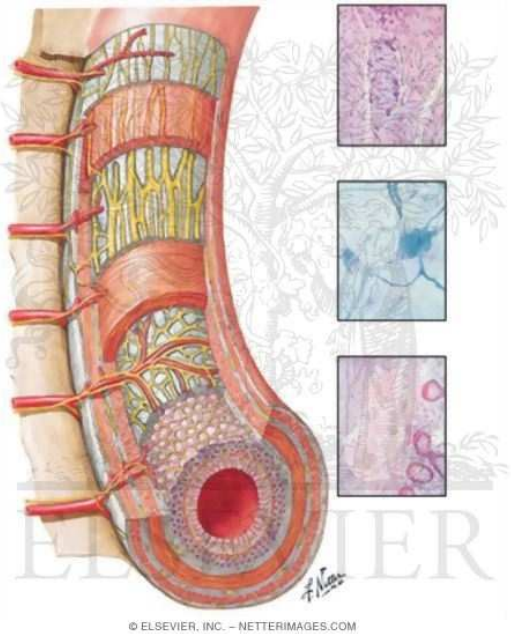

Preganglionic input
Postganglionic output
ACh
ACh
ACh, Enk
ACh
Vasoconstrictors
NE, NPY
Skin
Muscle
Pilomotor
NE
Hair
Sudomotor
ACh, VIP, CGRP
Sweat gland
Vasodilator
ACh, VIP
Sweat gland
Adrenergic
Cholinergic

Vegetatív idegrendszer

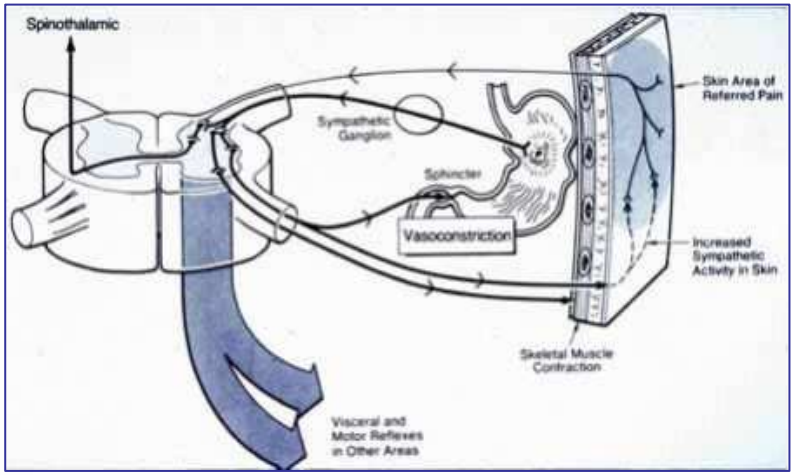


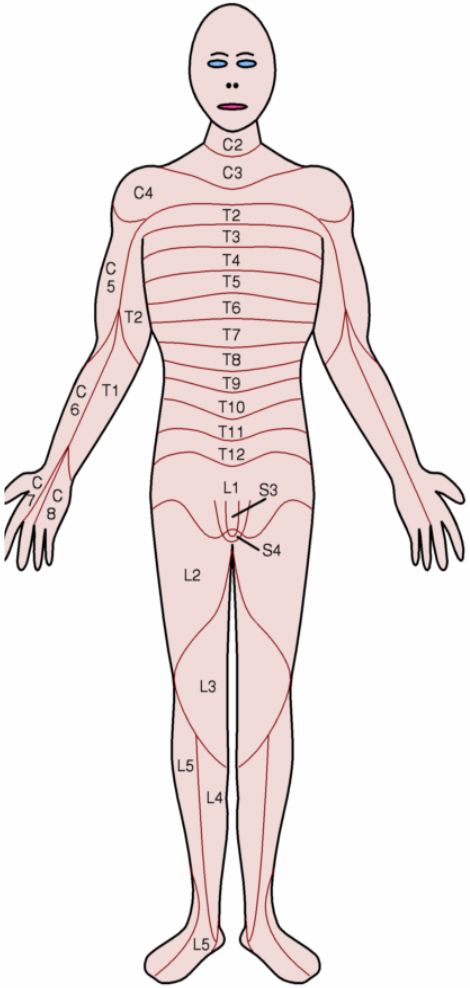

Gallbladder
Esophagus
HCl
Pepsin
From liver
Gastrin
Stomach
$NaHCO_3$
H_2O
Salts
Pancreas
Cholecystokinin
Secretin
GIP
VIP
Duodenum

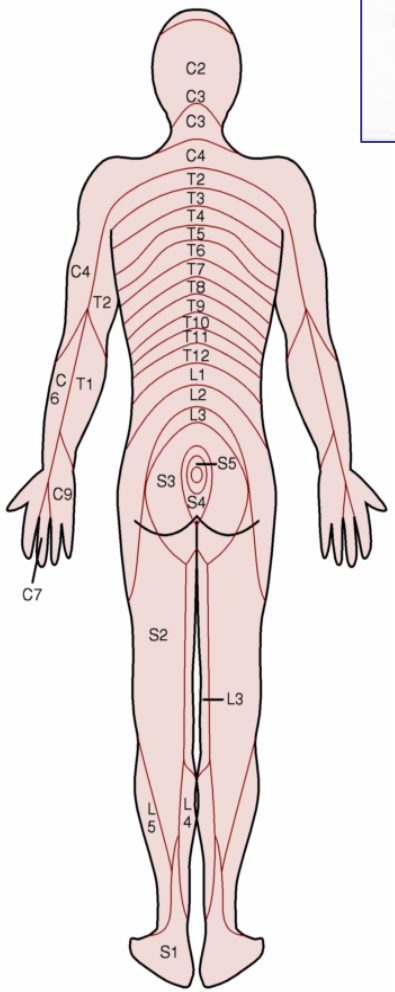



© ELSEVIER, INC. – NETTERIMAGES.COM

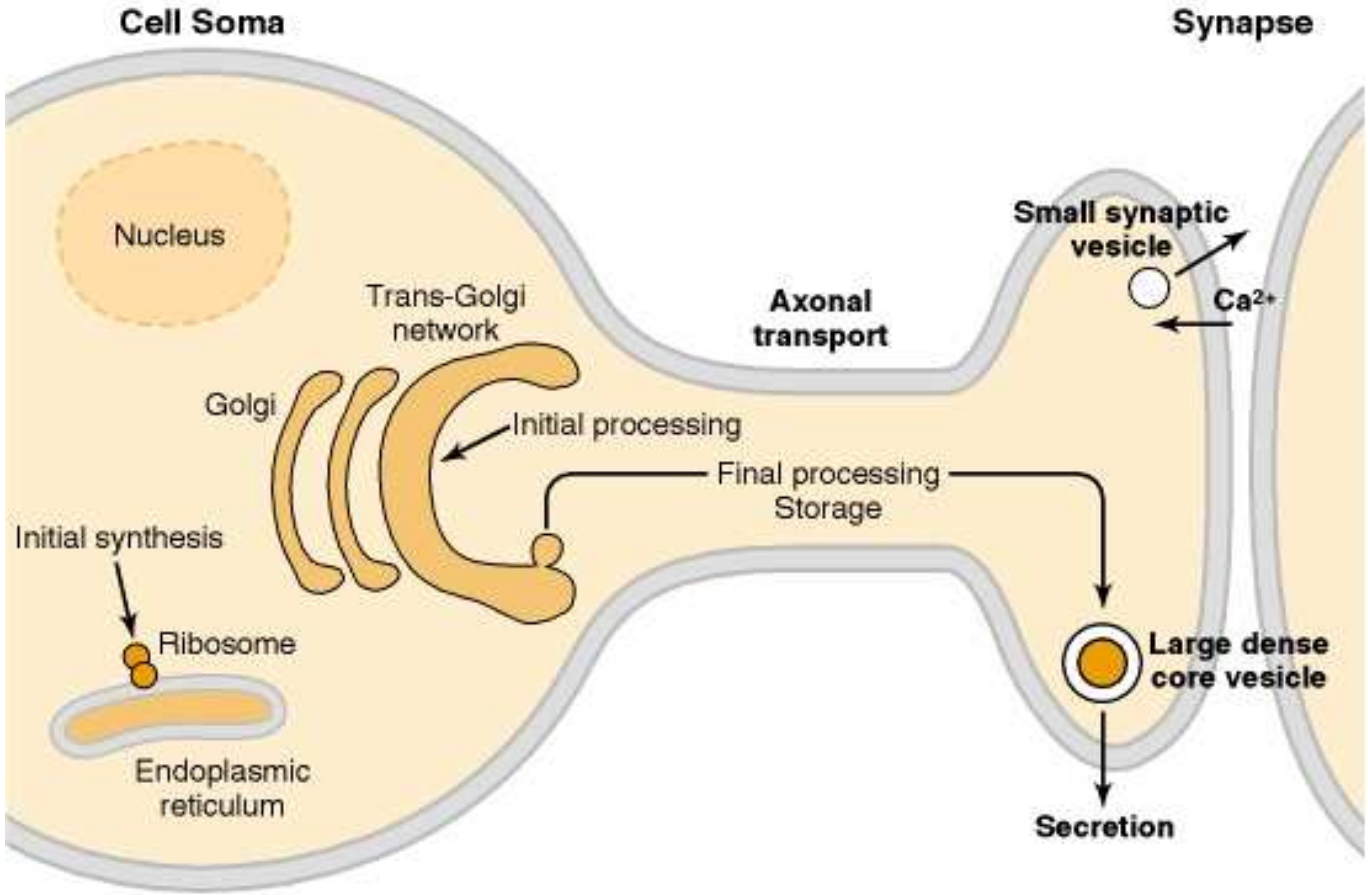
Dermatómák


Spinothalamic
Skin Area of Referred Pain
Sympathetic Ganglion
Sphincter
Vasoconstriction
Increased Sympathetic Activity in Skin
Skeletal Muscle Contraction
Visceral and Motor Reflexes in Other Areas

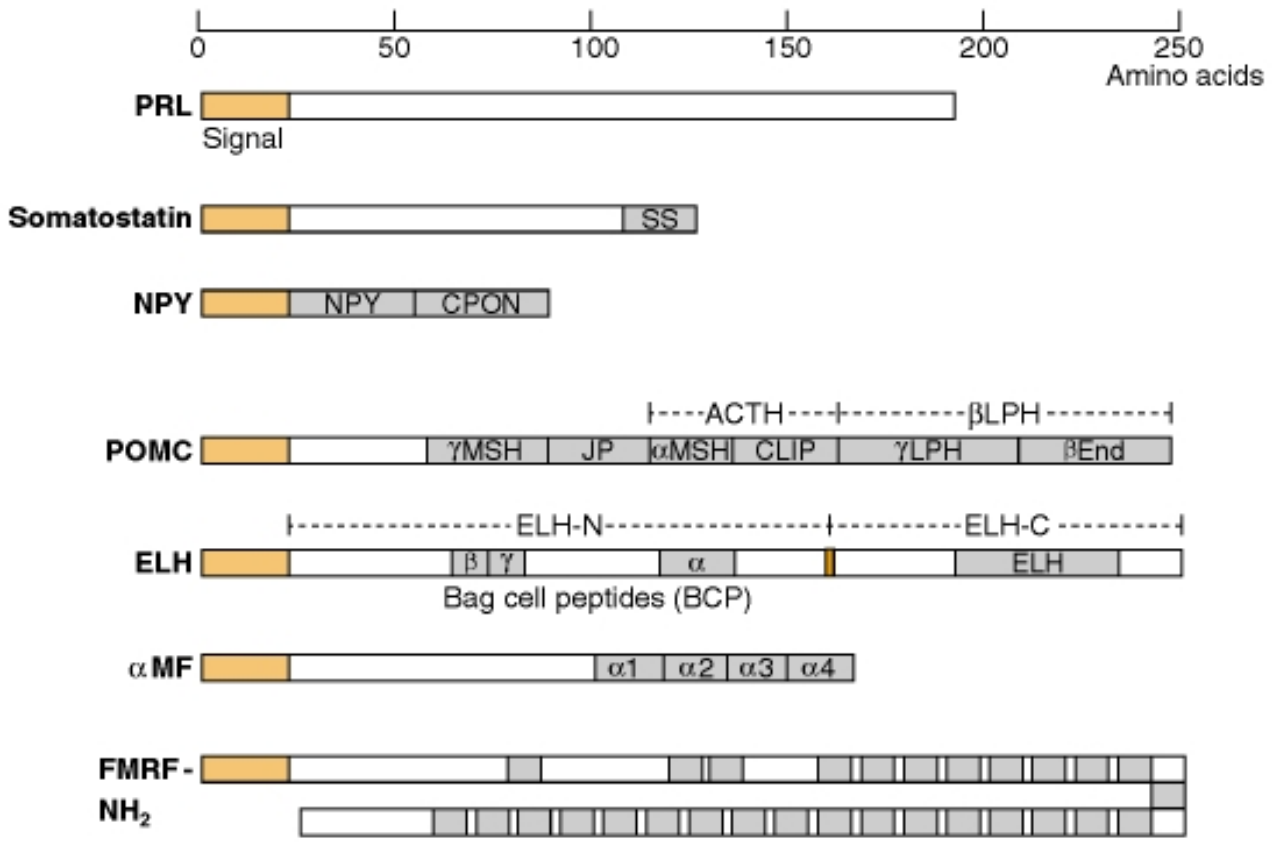

C2
C3
C4
T2
T3
T4
T5
T6
T7
T8
T9
T10
T11
T12
L1
S3
S4
L2
L3
L5
L4
L5
C5
T2
C6
T1
C7
C8


C2
C3
C3
C4
T2
T3
T4
T5
T6
T7
T8
T9
T10
T11
T12
L1
L2
L3
S5
S3
S4
S2
L3
L5
L4
S1
C4
T2
C6
T1
C9
C7

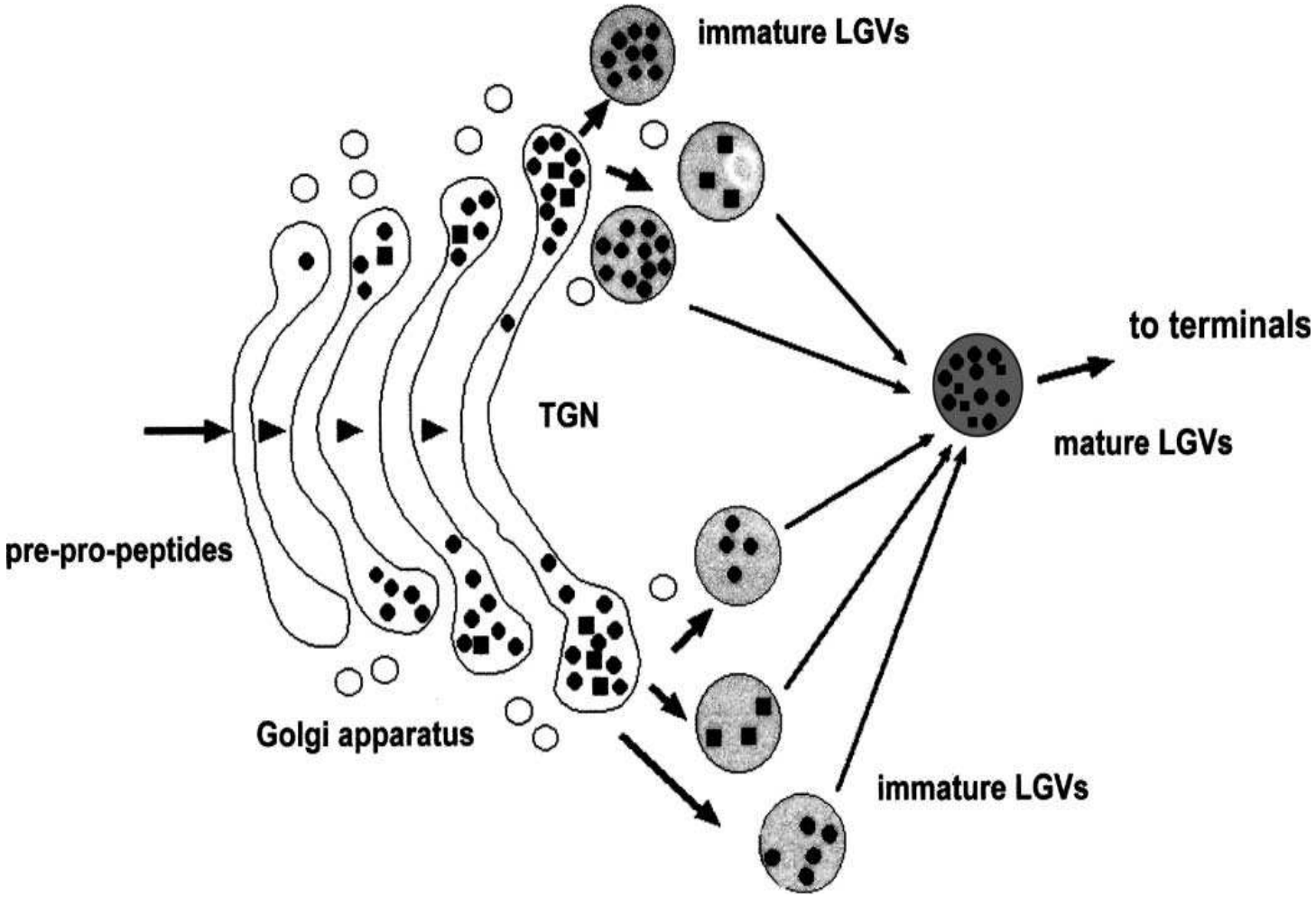
Peptidek, mint transzmitterek



Pre-pro peptidek, peptidhormonok előanyagai



Peptidhormonok szintézise



Peptidhormonok szintézise

Hypothalamic peptides: CRH GHRH LHRH, Oxytocin Somatostatin K
TRH, Vasopressin

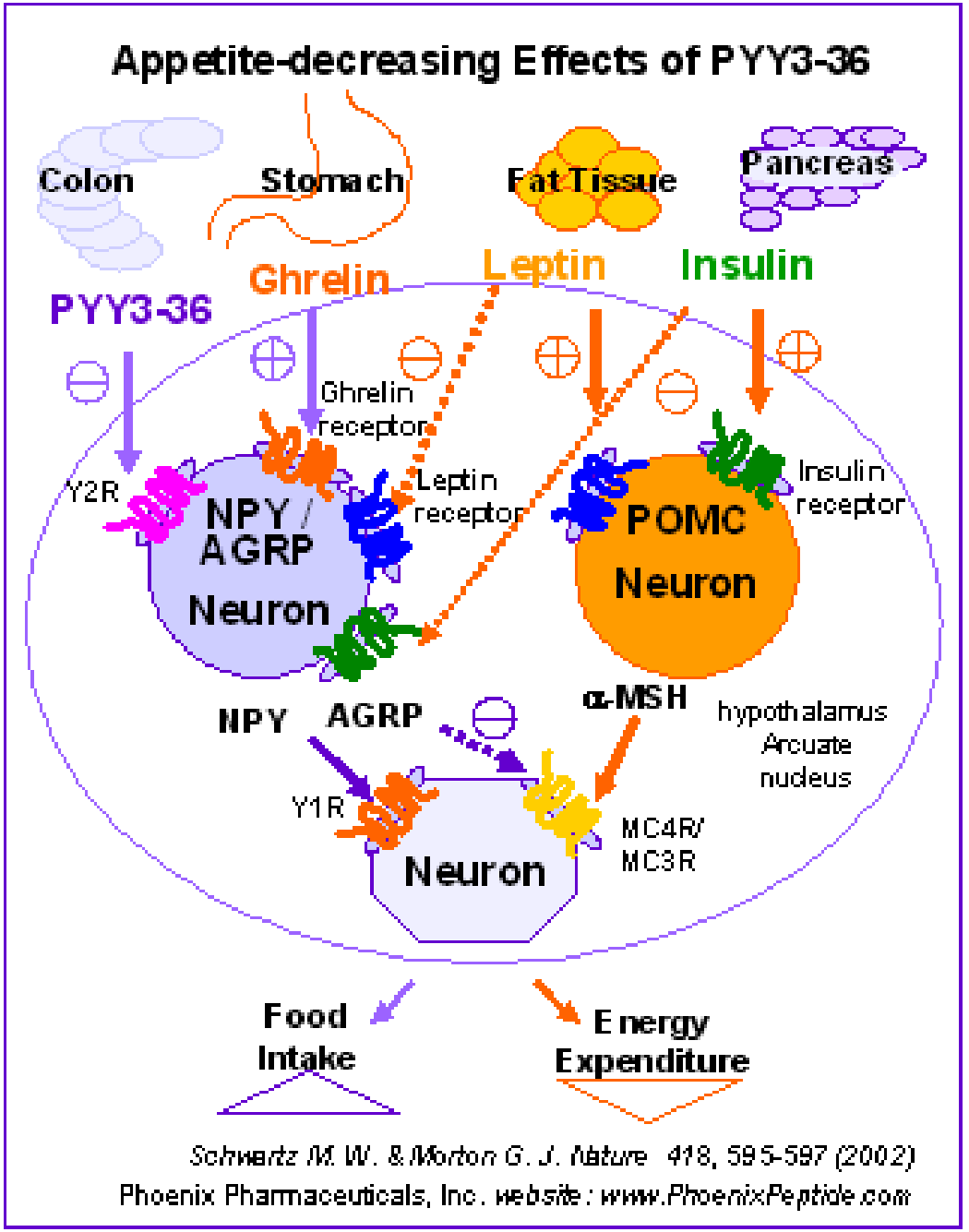
NPY and related peptides: NPY, PP, PYY

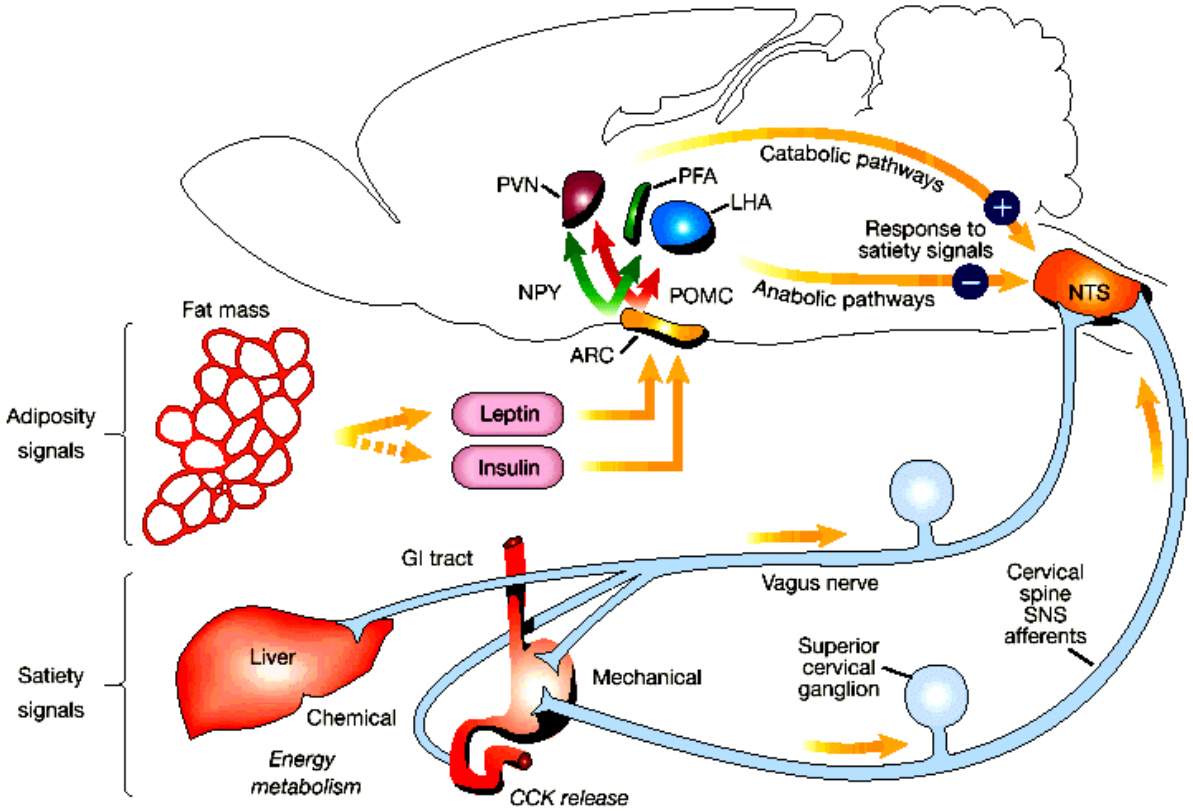
Opioid peptides Dynorphin, Met-enkephalin , leu-enkephalin

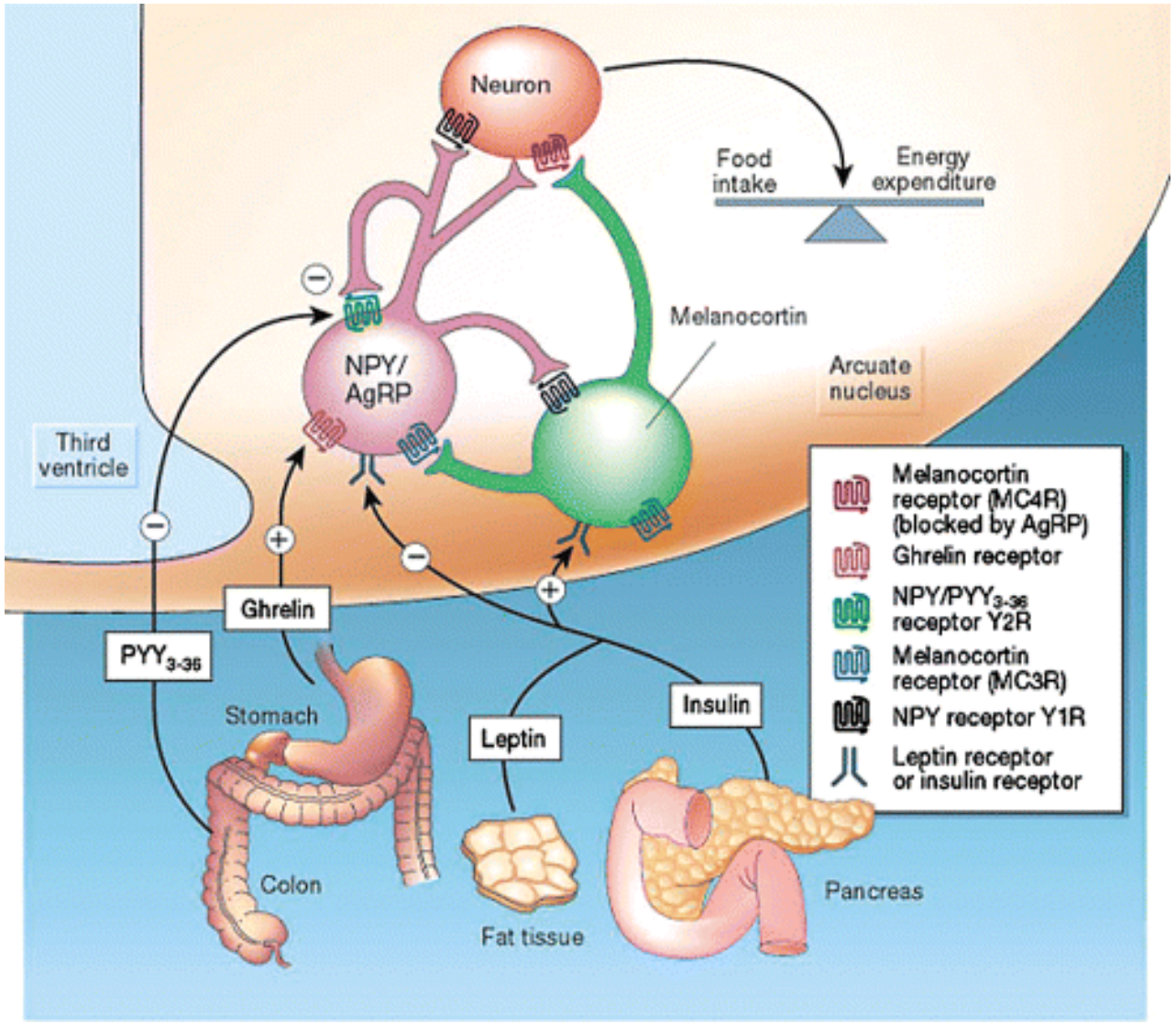
Tachykinins: Neurokinin Neurokinin Neuropeptide K
Substance P

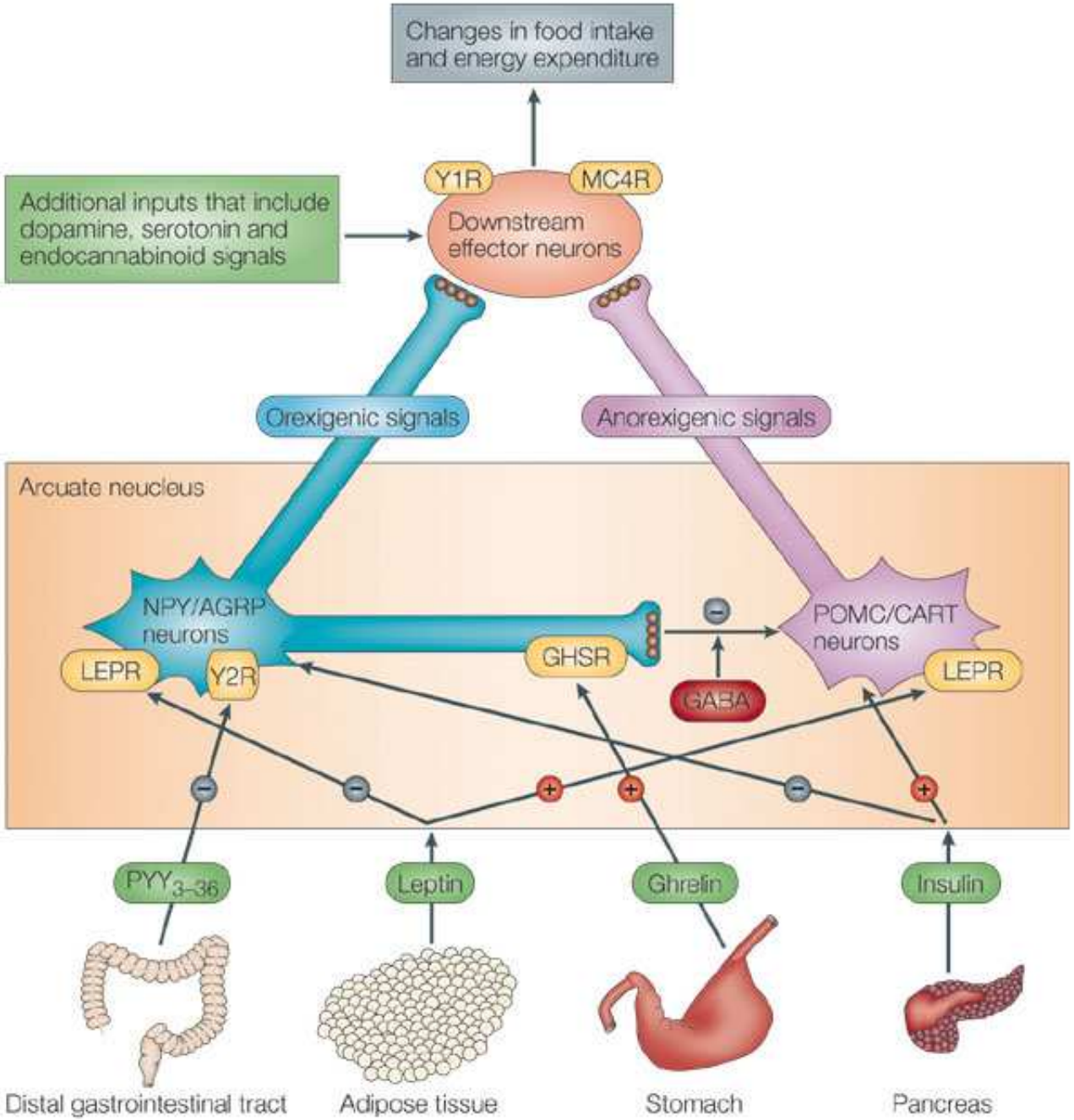
VIP-glucagon family: GLP-1, PHI, PACAP, VIP

Unclassified peptides: ACTH,AGRP,Brain natriuretic peptide
CGRP, CCK, CART/peptide, Corticostatin, Endomorphin-1 and -2
Glucagon-like peptide 1, Galanin, 5-HT-moduline, Hypocretins/orexins, IAPP, M MCH, α-MSH, Neuropeptide FF, Neurotensin, Nociceptin/orphanin., FQ, Nocistatin,
Parathyroid hormone related protein, Prolactin releasing peptide, Secretoneurin, Urocortin


Appetite-decreasing Effects of PYY3-36
Colon
Stomach
Fat Tissue
Pancreas
PYY3-36
Ghrelin
Leptin
Insulin
Ghrelin receptor
Leptin receptor
Insulin receptor
Y2R
NPY / AGRP Neuron
POMC Neuron
NPY
AGRP
α-MSH
hypothalamus Arcuate nucleus
Y1R
MC4R/ MC3R
Neuron
Food Intake
Energy Expenditure
Schwartz M. W. & Morton G. J. Nature 418, 595-597 (2002)
Phoenix Pharmaceuticals, Inc. website: www.PhoenixPeptide.com

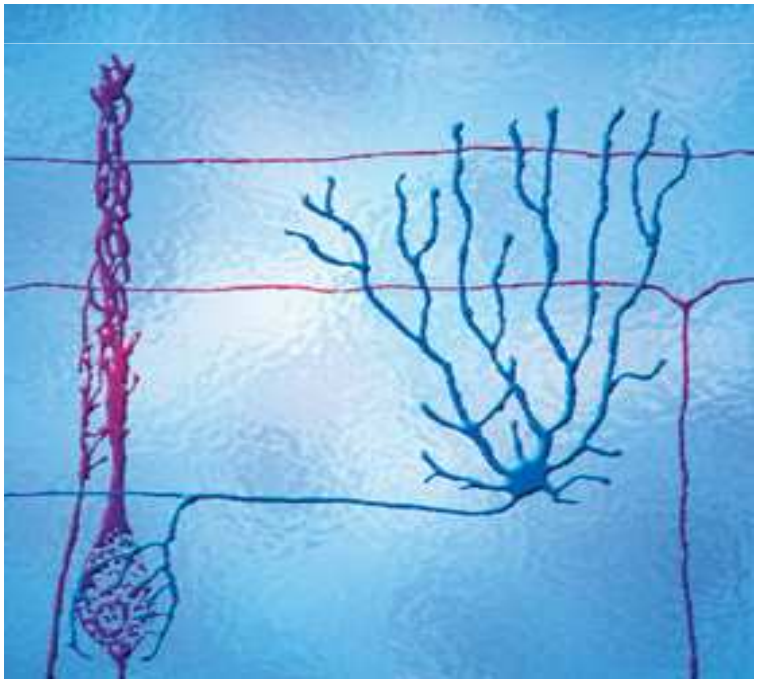

Catabolic pathways
PVN
PFA
LHA
Response to satiety signals
NPY
POMC
Anabolic pathways
NTS
ARC
Fat mass
Adiposity signals
Leptin
Insulin
GI tract
Vagus nerve
Cervical spine SNS afferents
Liver
Mechanical
Superior cervical ganglion
Satiety signals
Chemical
Energy metabolism
CCK release

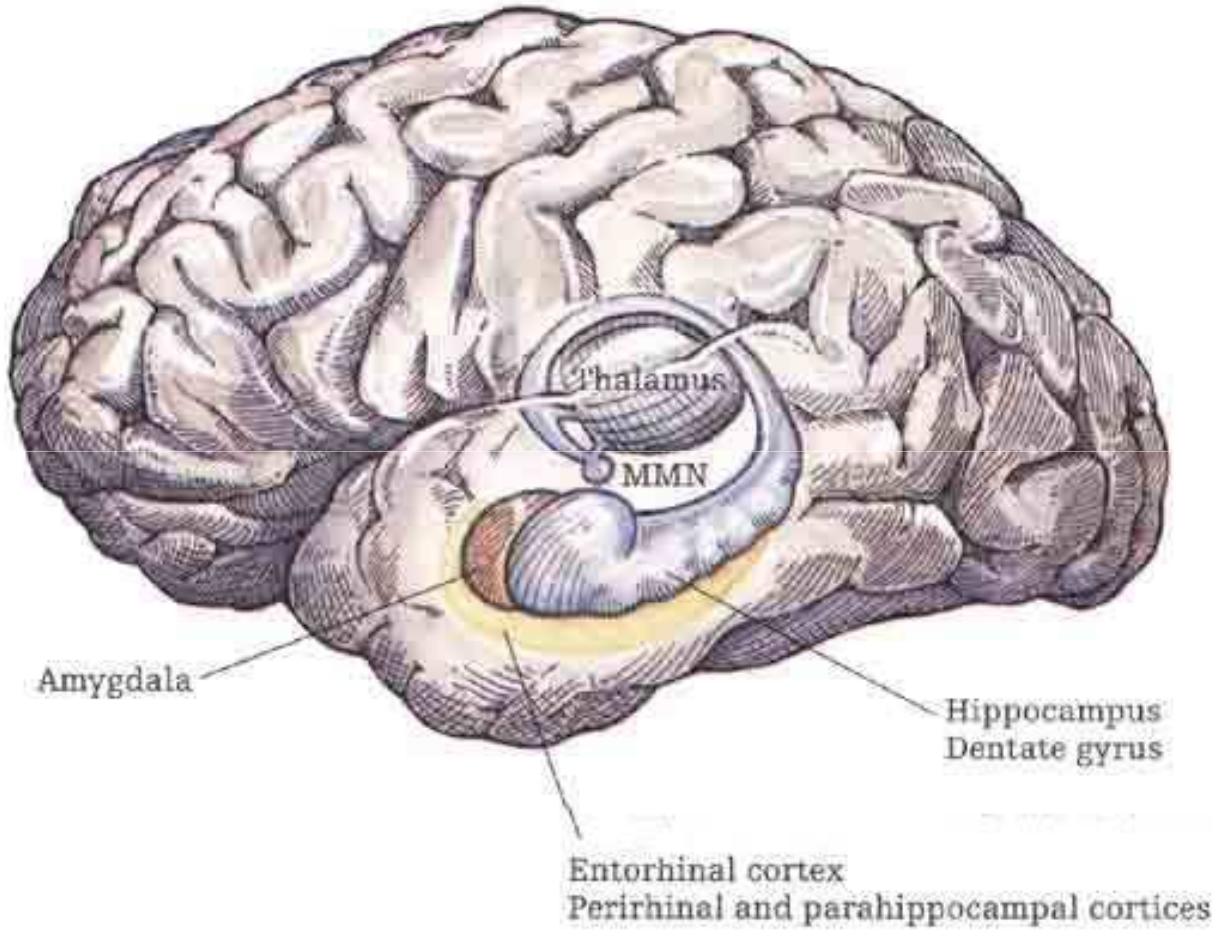

Neuron
Food intake
Energy expenditure
Melanocortin
NPY/ AgRP
Arcuate nucleus
Third ventricle
Ghrelin
PYY3-35
Stomach
Leptin
Insulin
Colon
Fat tissue
Pancreas
Melanocortin receptor (MC4R) (blocked by AgRP)
Ghrelin receptor
NPY/PYY3-36 receptor Y2R
Melanocortin receptor (MC3R)
NPY receptor Y1R
Leptin receptor or insulin receptor



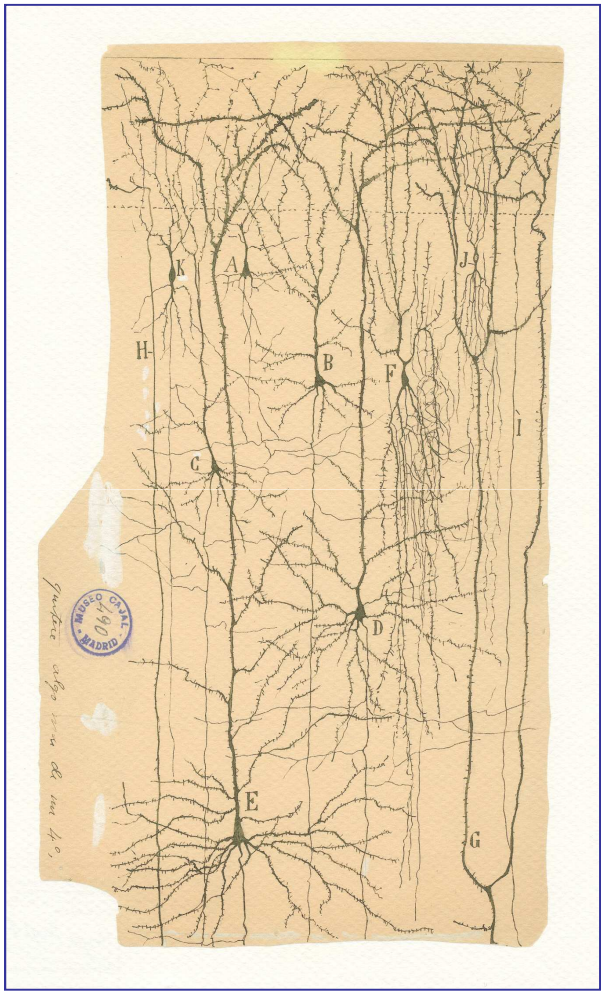
Nature Reviews | Genetics

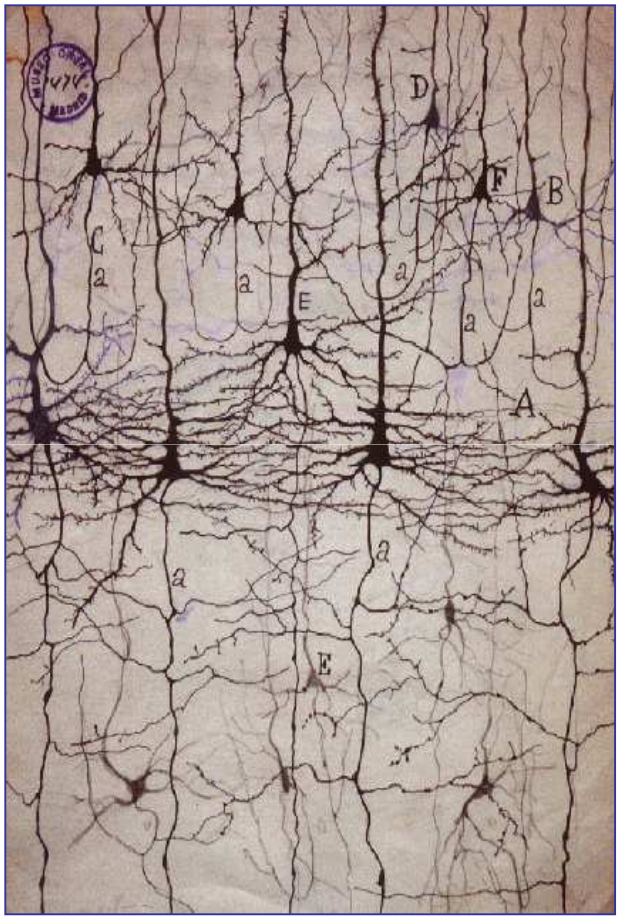
Központi idegrendszeri kapcsolatok, neuronális hálózatok szerveződése, működése




Thalamus
MMN
Amygdala
Hippocampus
Dentate gyrus
Entorhinal cortex
Perirhinal and parahippocampal cortices

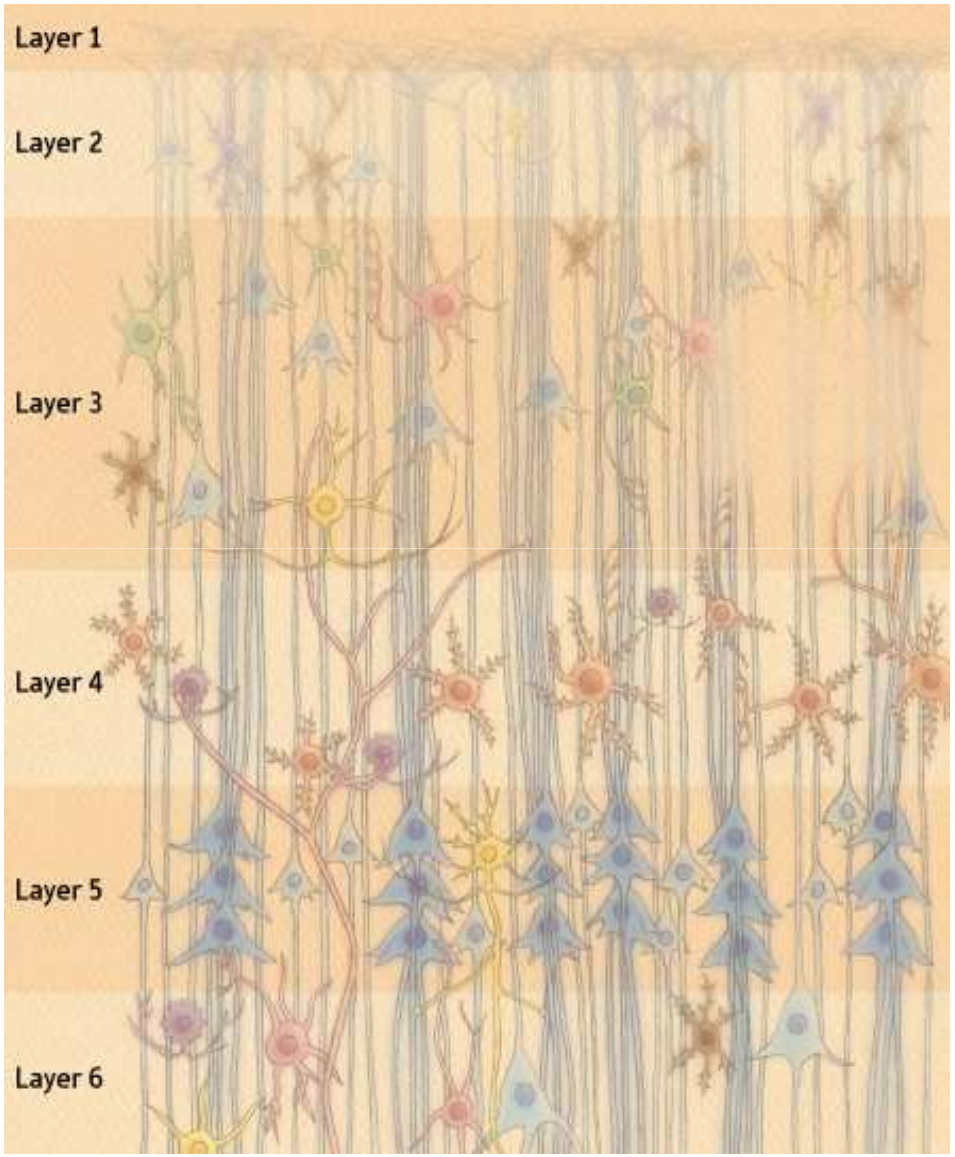
A nagyagykéreg szerveződése





Golgi impregnációval készült metszetek - funkciók

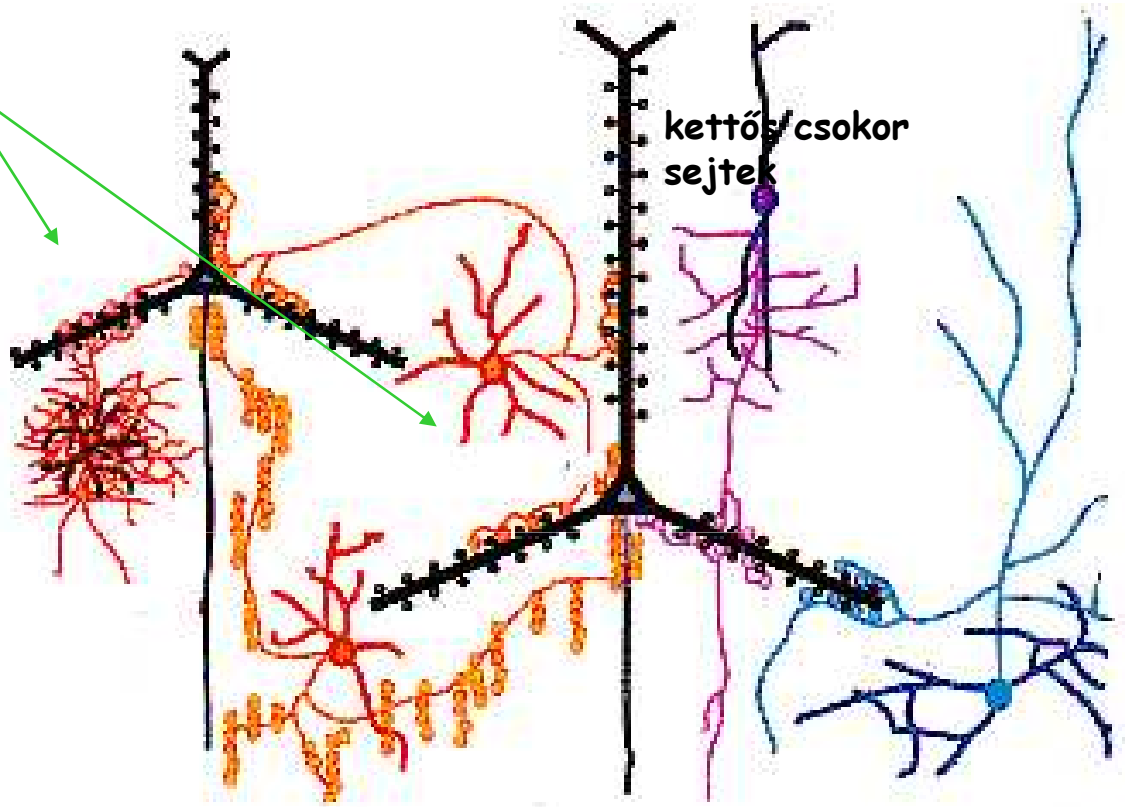
Az agykéreg rétegei



- Felületes réteg (főleg rostok)
- Külső szemcsesejtes réteg
- Külső piramissejt réteg
- Belső szemcsesejtes réteg
- Belső piramissejt réteg
- Plexiform réteg

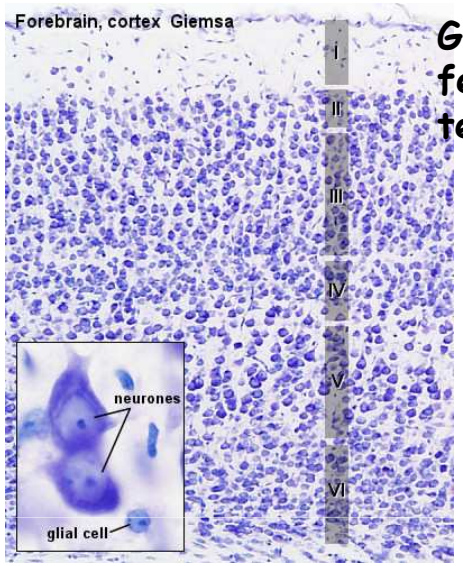
A nagyagykéreg szerveződése

Piramissejtek,
tüskés nyúlványokkal
A tüzelési frekvencia
lehet eltérő
Fast spiking cells
Low spiking cells



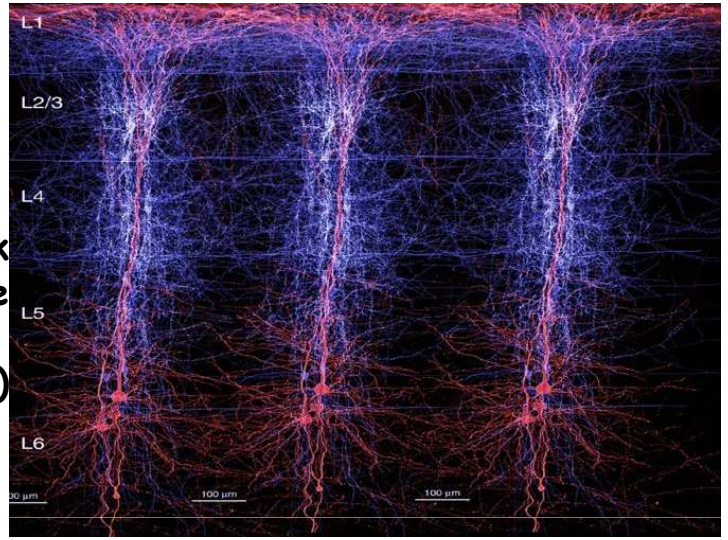
piramissejtek: principális, vetítő sejtek
gátló sejtek: interneuronok

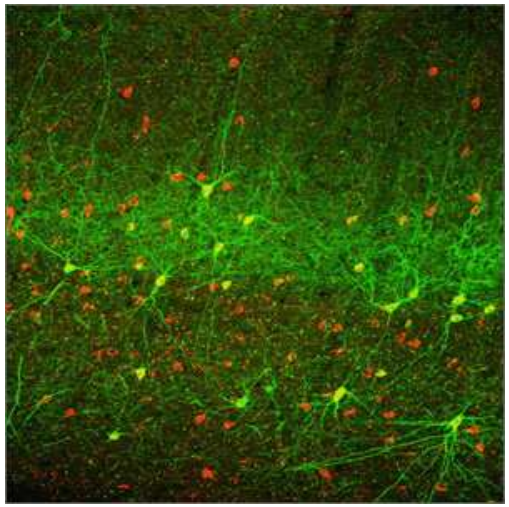
A nagyagykéreg szerveződése



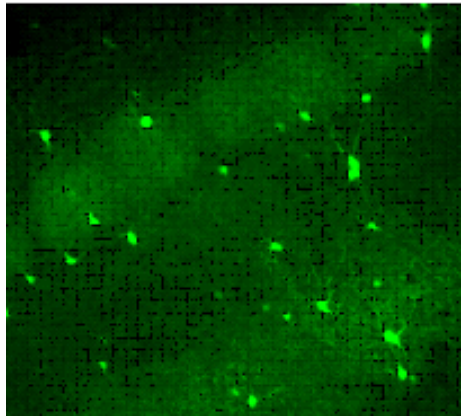
Gimsa szövettani festéssel láthatóvá tett szerkezeti kép

A piramissejtek fluoreszcens képe (kb. 80%, glutamaterg sejtek)

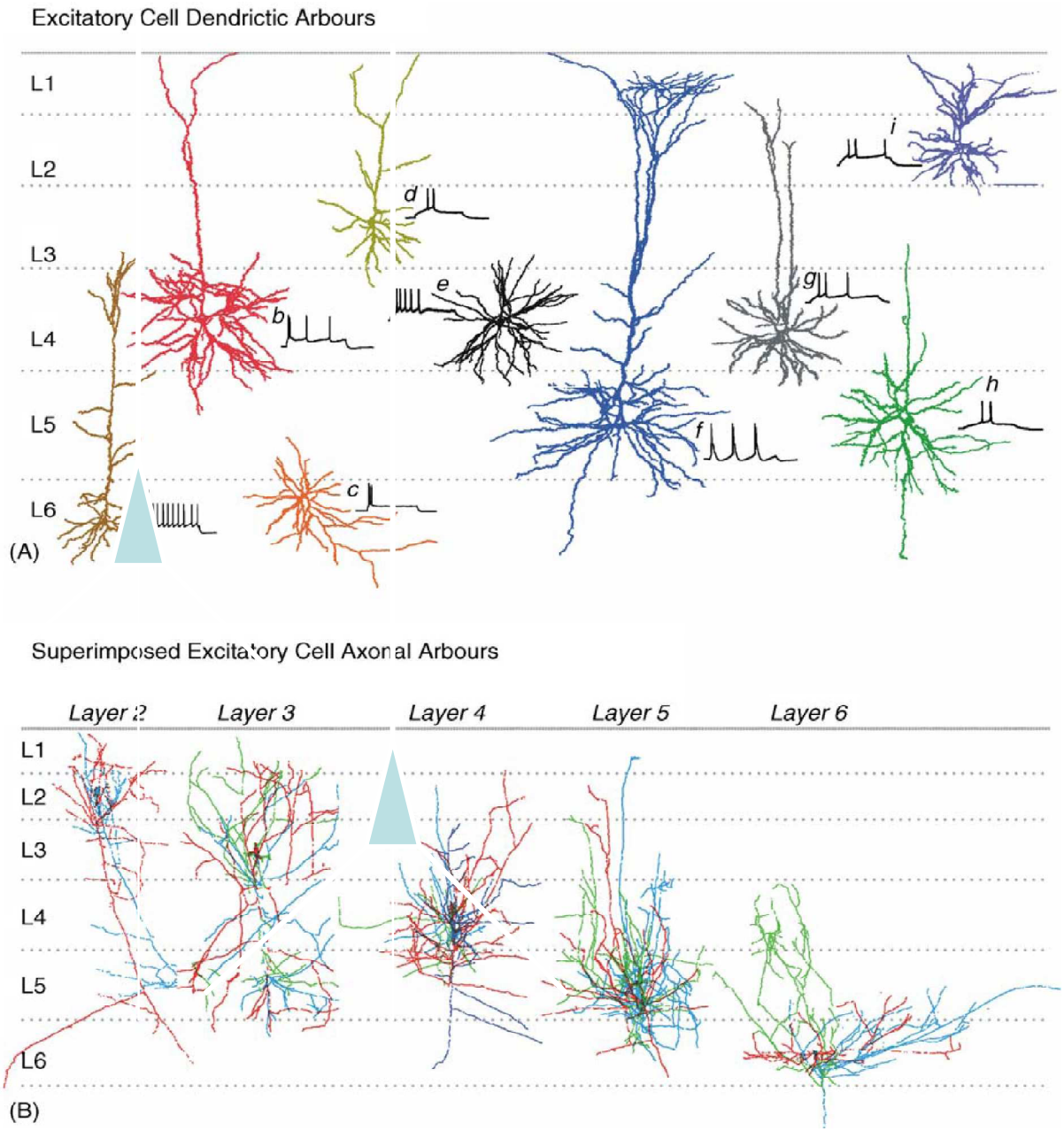




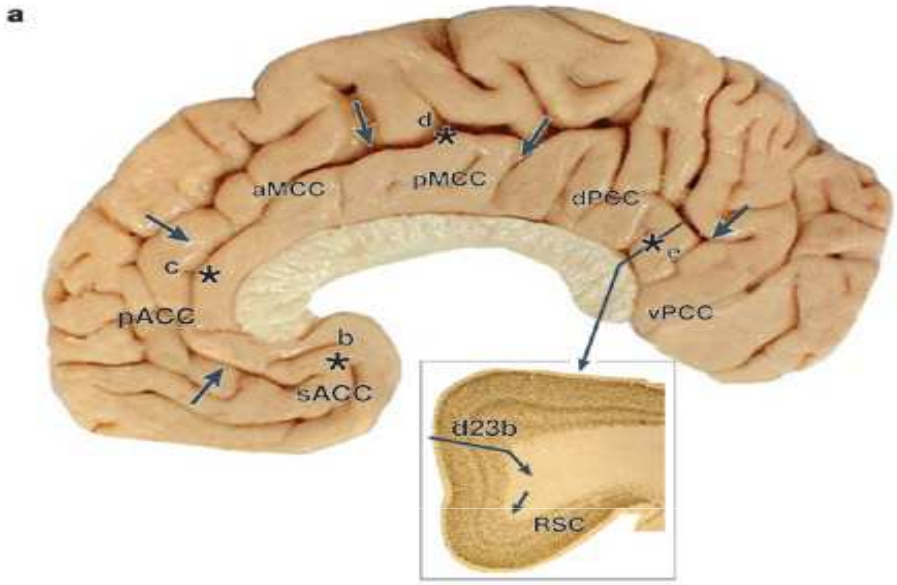
A interneuronok fluoreszcens képe (kb. 20%, GABAerg sejtek)

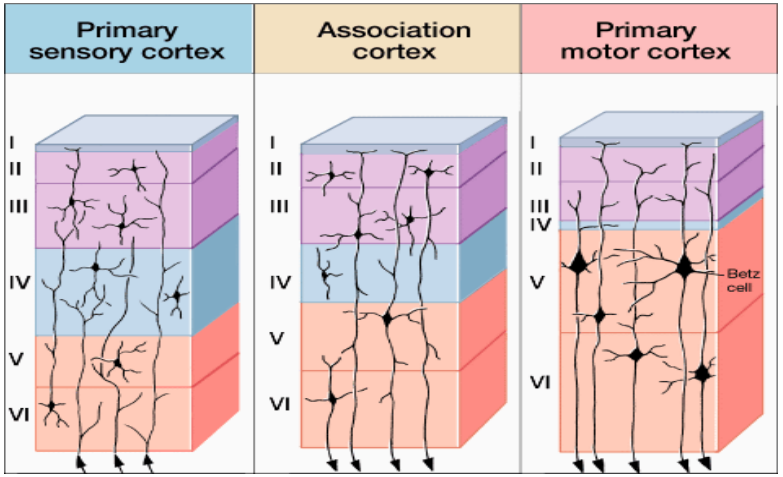


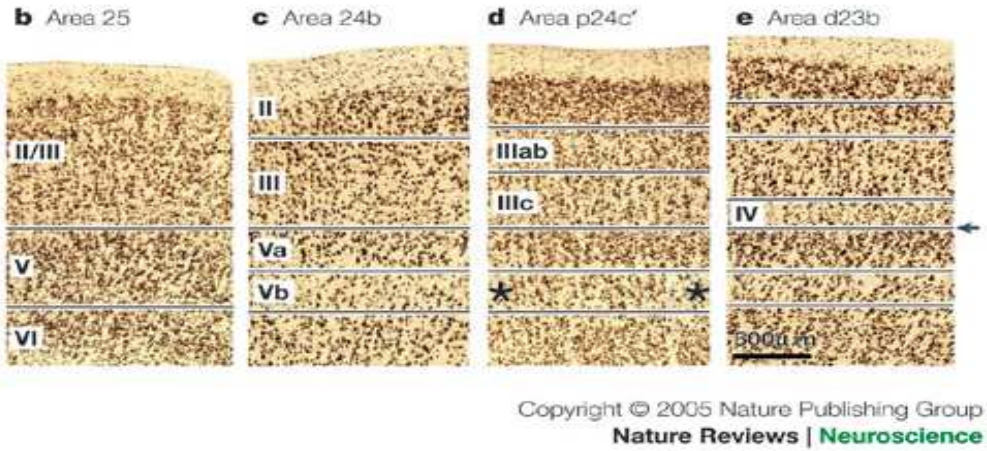
A nagyagykéreg szerveződése



A nagyagykéreg szerveződése



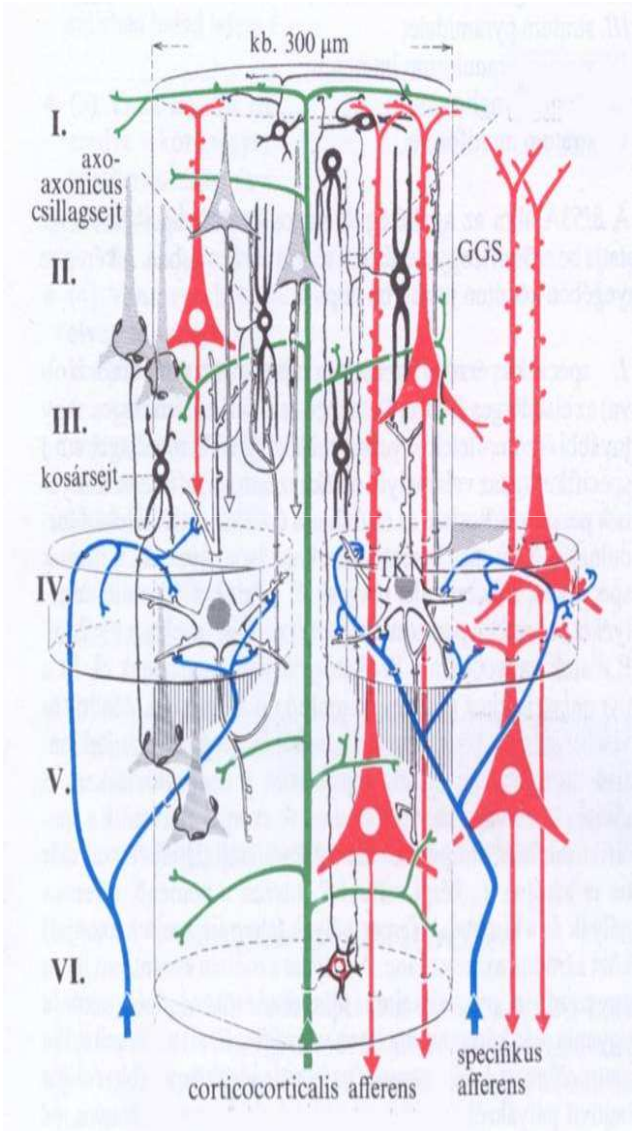




Copyright © 2005 Nature Publishing Group
Nature Reviews | Neuroscience

Minden neokortikális területre jellemző a hatos rétegezettség de a rétegek vastagsága a funkciótól függően eltérő

Az agykéreg moduláris felépítése



- 200-300 µm átmérőjű, 2.5-3mm magas hengeridomú modulok
- 5000 sejt/modul
- 2 millió mudul (patkány: 1000, majmok: 1 millió)
- összesen kb. 10 milliárd kérgi neuron
- a sejtek főleg a modulon belül, vertikálisan kommunikálnak
- egy modul kb. 100-200 másikkal tart kapcsolatot

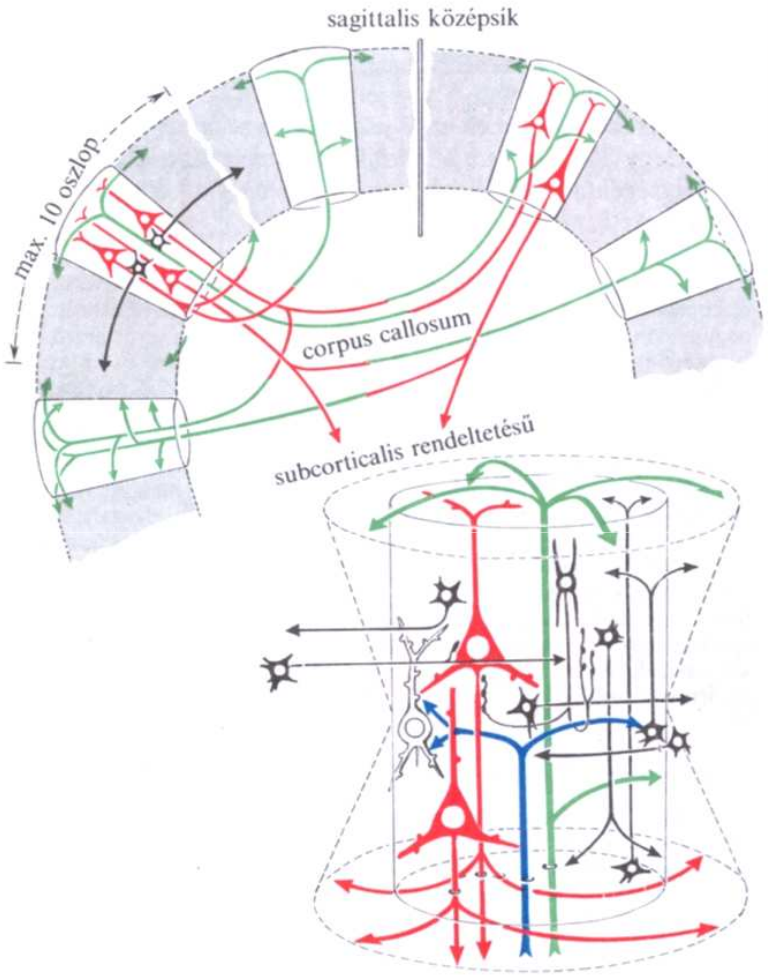
Modulok bemenete:

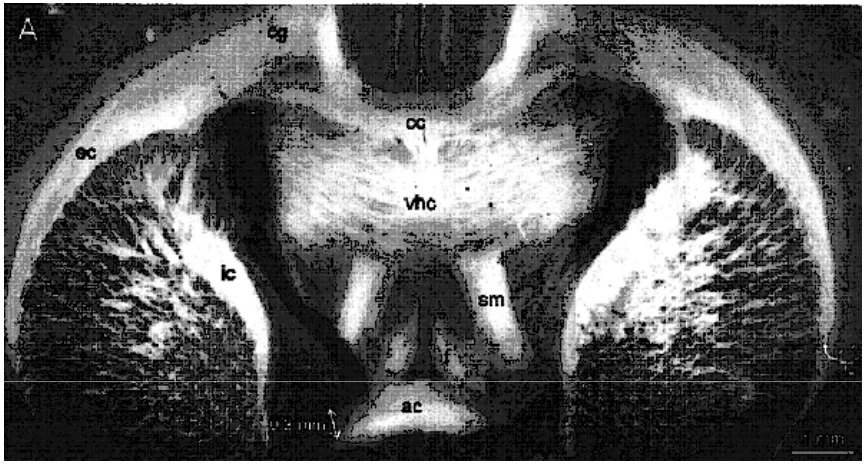
1. Más kérgi modulokból (corticocorticalis afferensek)
2. Érzékszervek felől (specifikus afferensek)

Kimenet:

1. Mozgató pályák
2. Más modulok irányába

A kérgi részek közti kapcsolatok

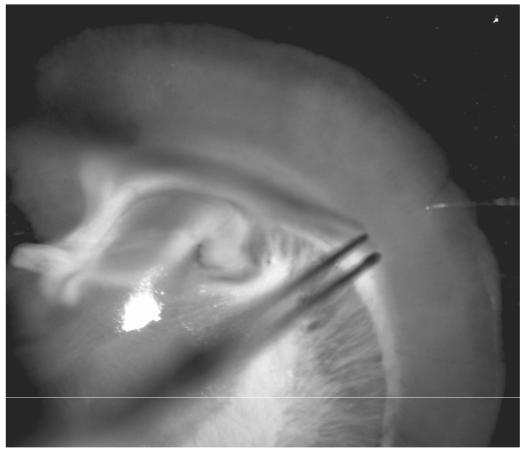




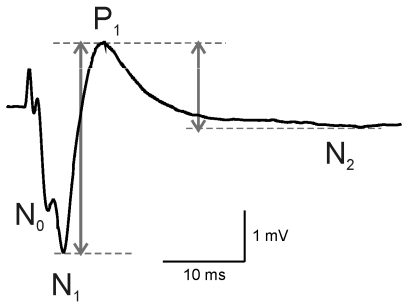
Az oszlopokban gátló sejtek is aktiválódnak, ezek gátolják a szomszédos hengerek egyidejű működését.

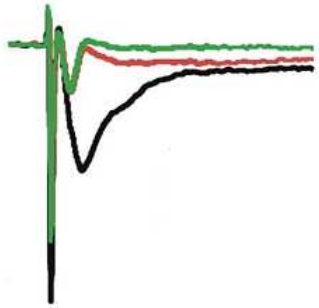
Agykérgi túlélő szeletből regisztrált jelek

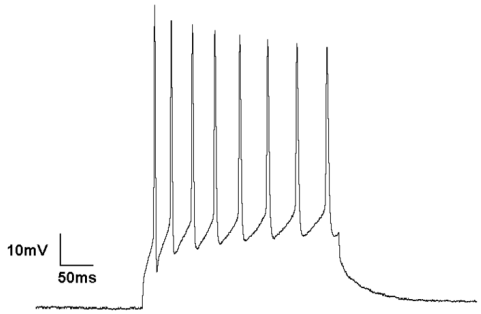
- Mezőpotenciál (field potenciál)
- Az elektród környezetében lévő sejtek összegzett elektromos aktivációját detektáljuk (szinaptikus átvitel, spontán kisülések)
- Az elektród ellenállása 3-15 MΩ , átmérője 1-10 µm

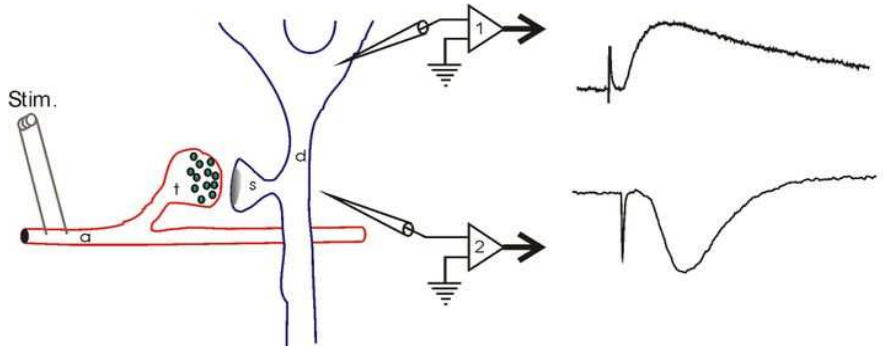


- Intracelluláris potenciál
- Egy sejt belsejéből elvezetés

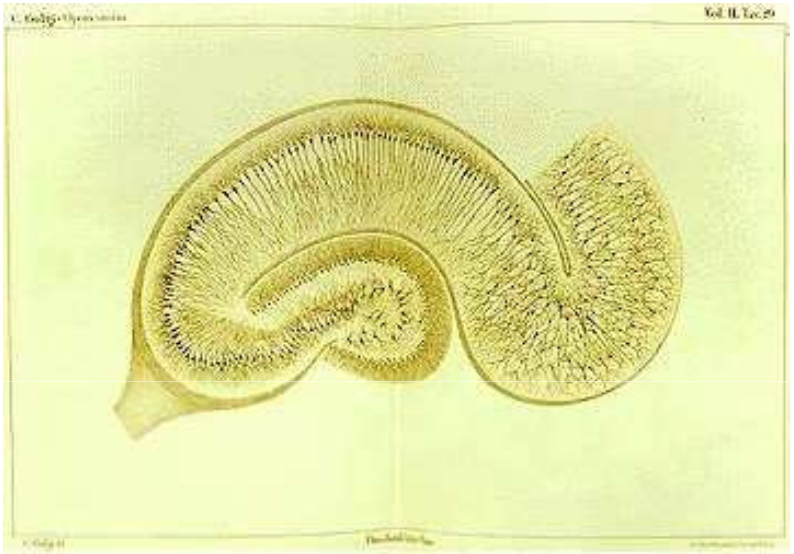


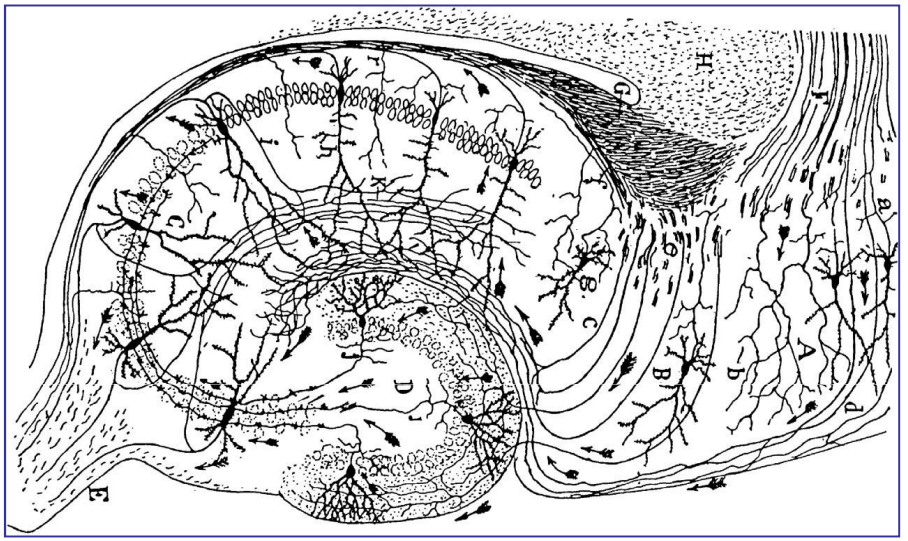






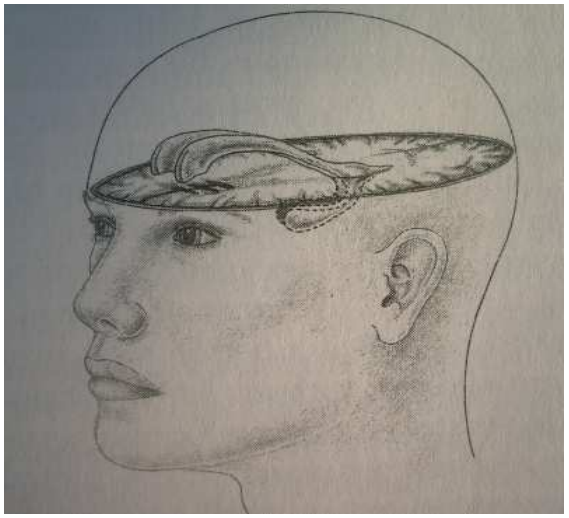
A hippokampusz sejtes szerkezete

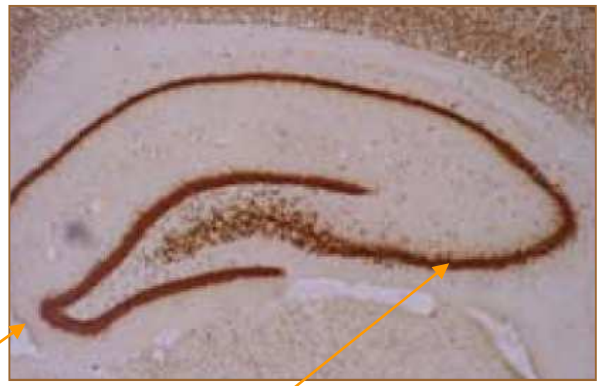




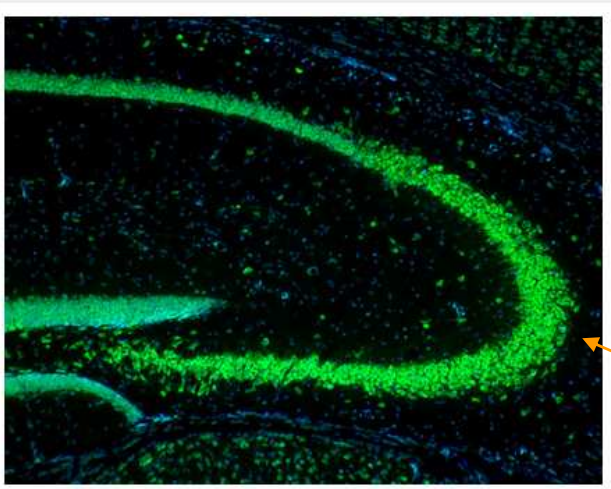
Golgi impregnációval készült metszetek - funkciók

A hippokampusz elhelyezkedése, felépítése

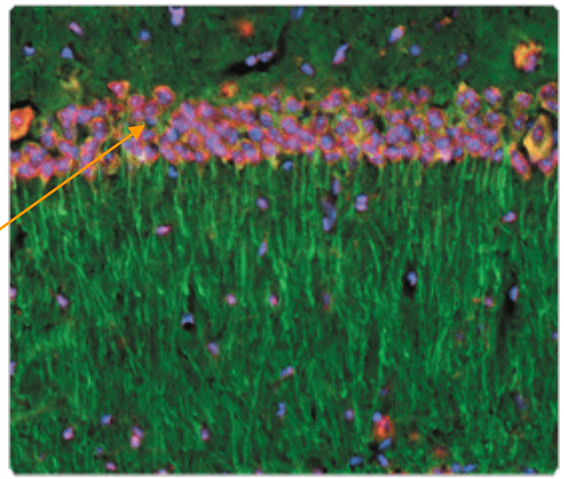




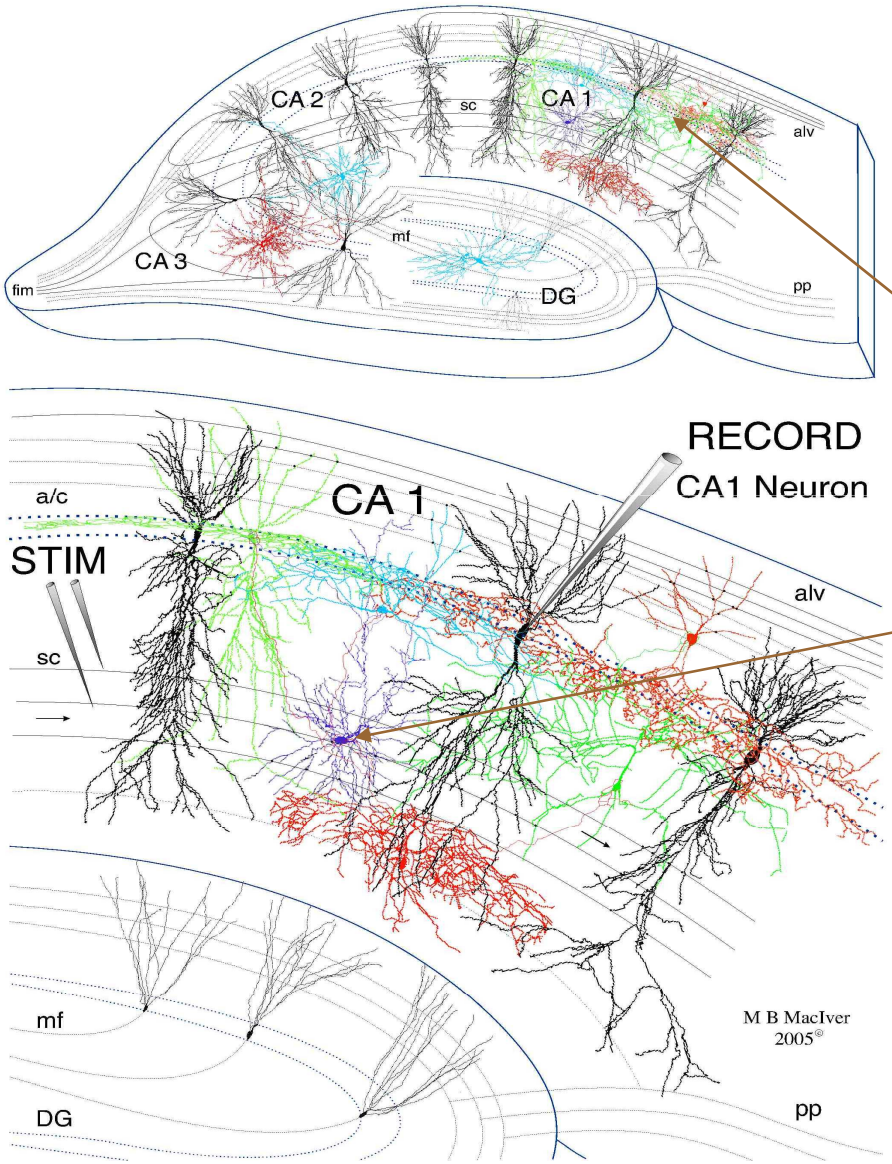
DG: girusz dentatusz
CA: ammon szarv



piramis sejtréteg



A hippokampusz szerveződése, sejttípusai



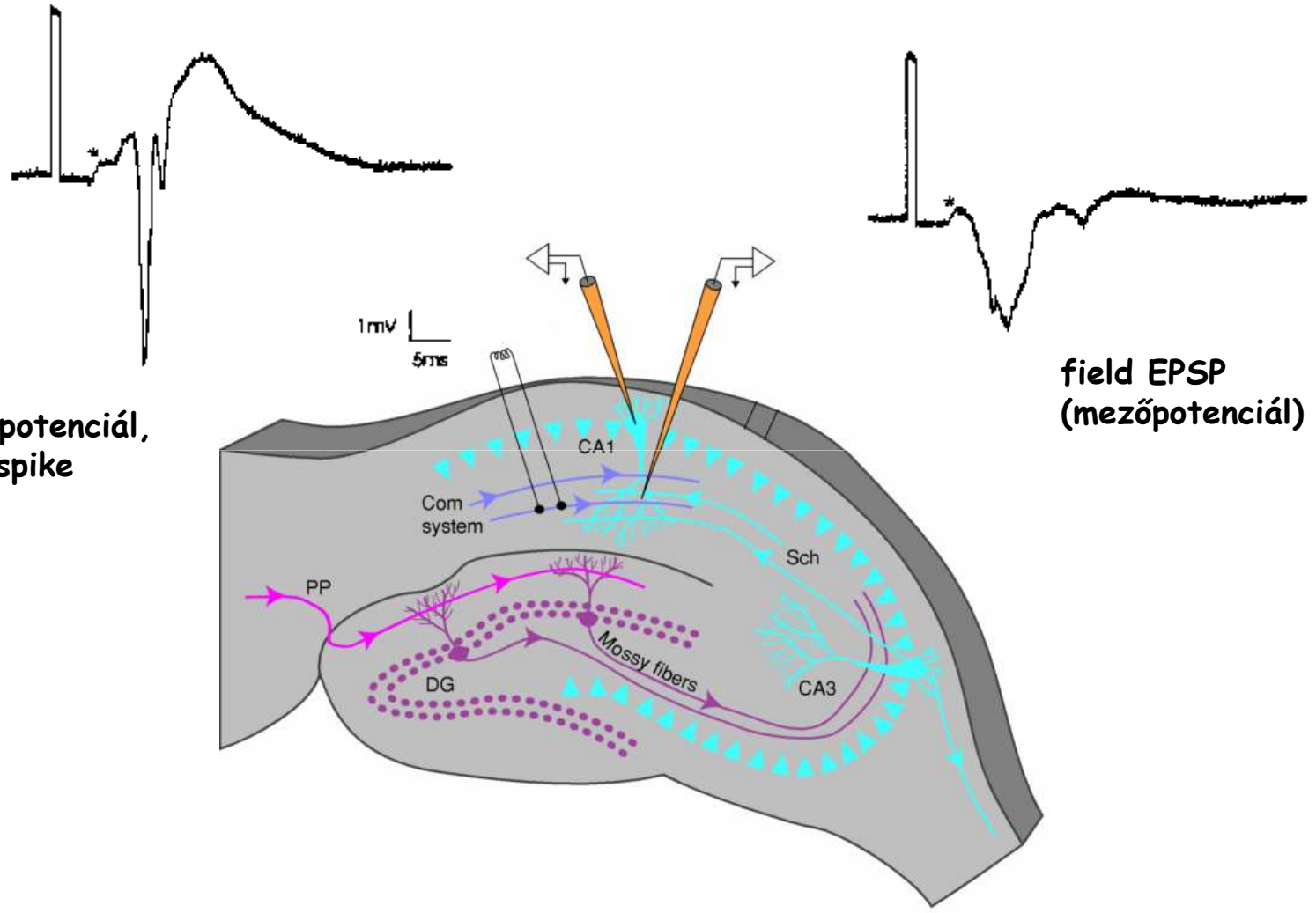
DG: girusz dentatusz
CA: ammon szarv

pp: perforás pálya
mf: moharostok
sc: Schaffer kollaterálosok

piramissejtek (projekciós neuronok)

interneuronok

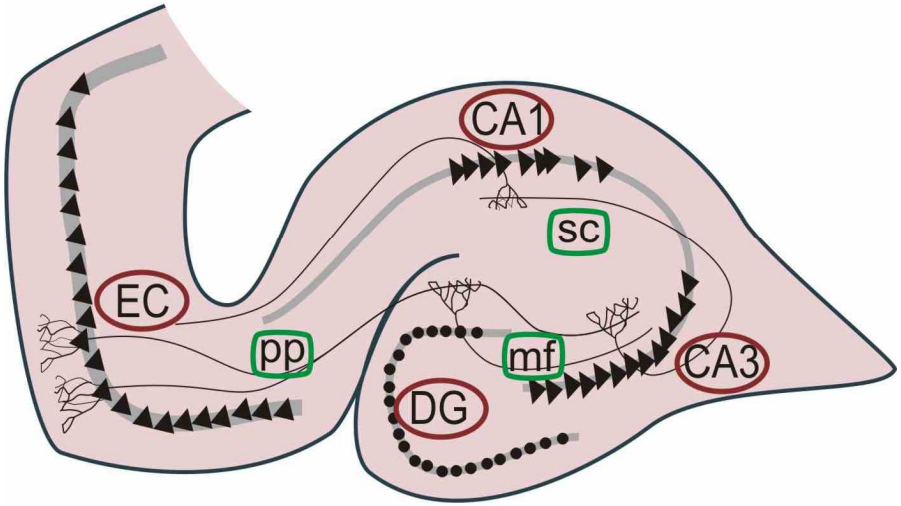
Hippokampusz, kiváltott válaszok túlélő szeletben



mezőpotenciál,
POP spike

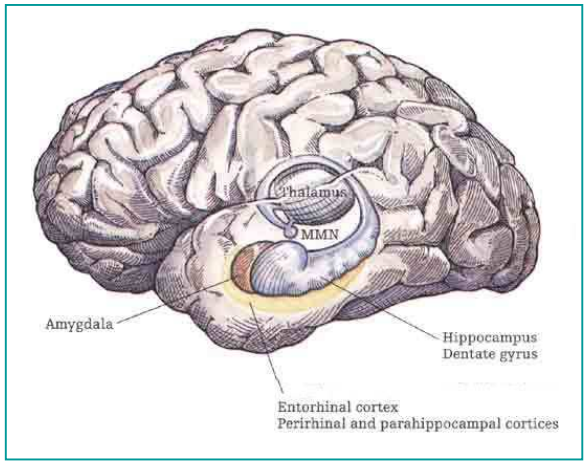
field EPSP
(mezőpotenciál)

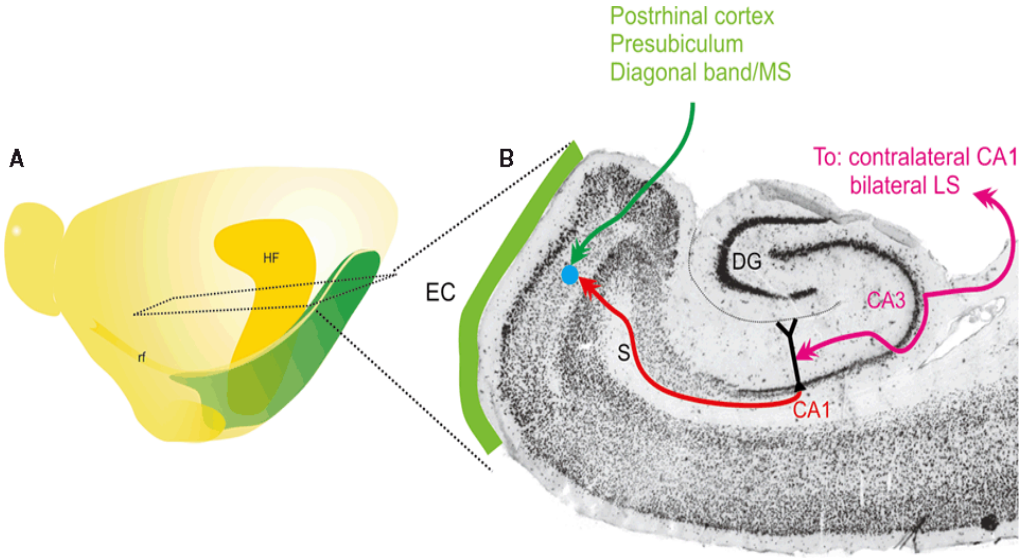
A hippokampusz kapcsolatai



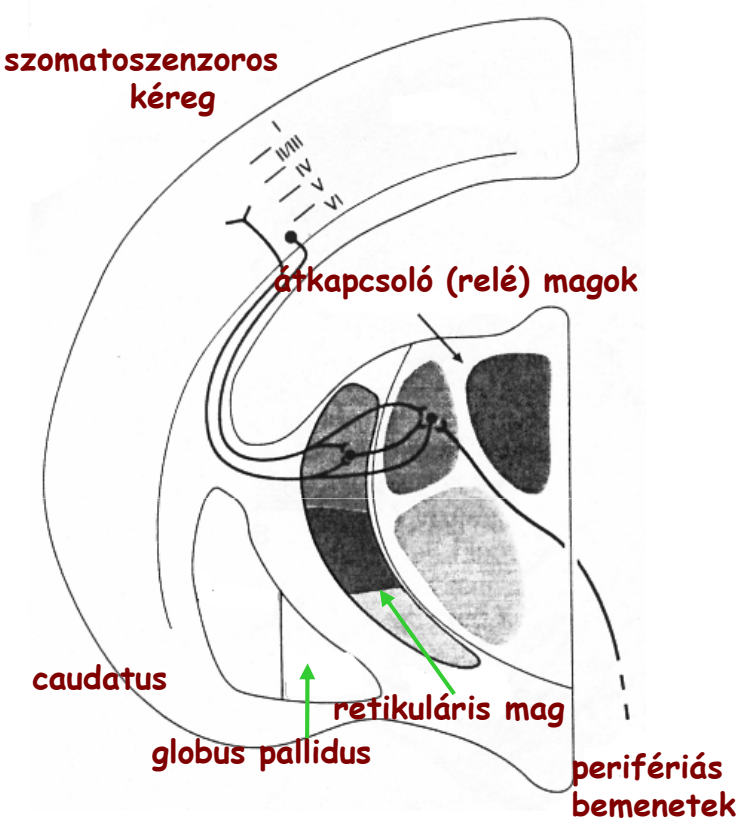
DG: girusz dentatusz
CA: ammon szarv

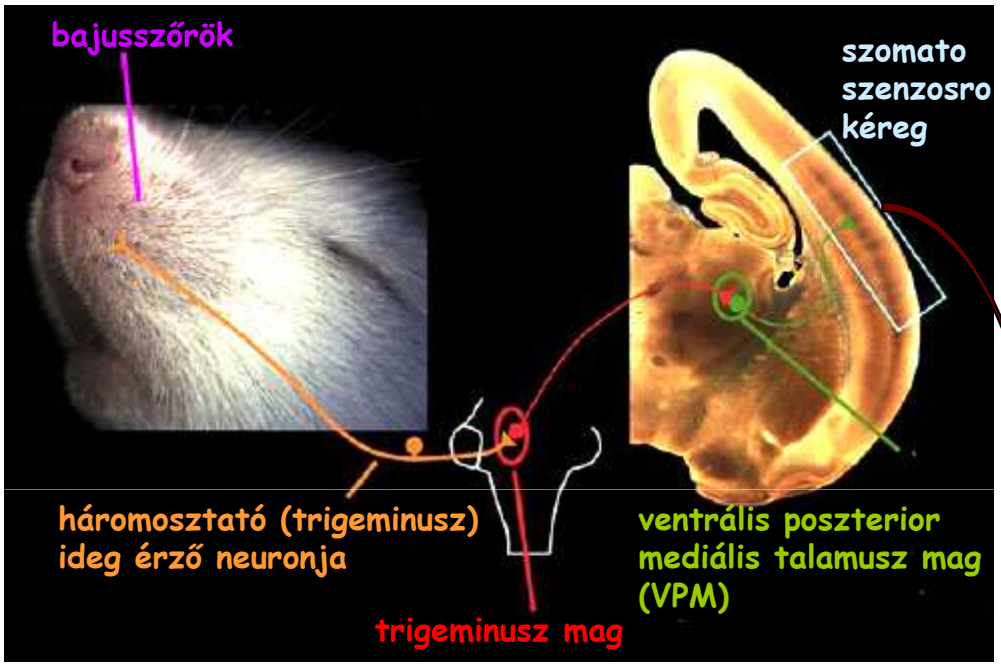
pp: perforás pálya
mf: moharostok
sc: Schaffer kollaterálosok

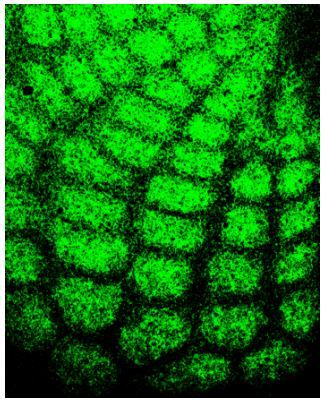




A talamo-kortikális hálózat







funkciók

A talamusz szerkezete, kapcsolatai

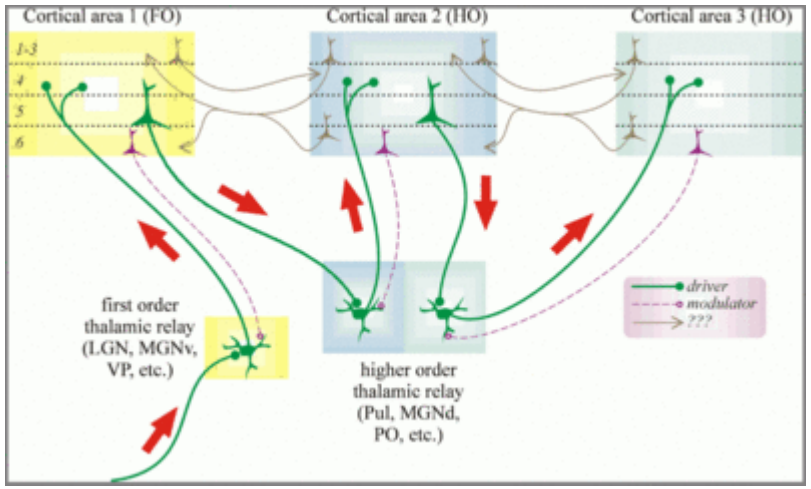
VA: ventrális anterior mag
VL: ventrolaterális mag
VPL: ventrális poszteroleterális mag
VPM: ventrális poszteromediális mag
ND: dorzomediális mag
CM: centromediális mag

retikuláris mag
(héjszerű szerkezet)

S1-S2: szomatoszenzoros kéreg

relé (átkapcsoló) sejtek –glutamát
retikuláris sejtek - GABA

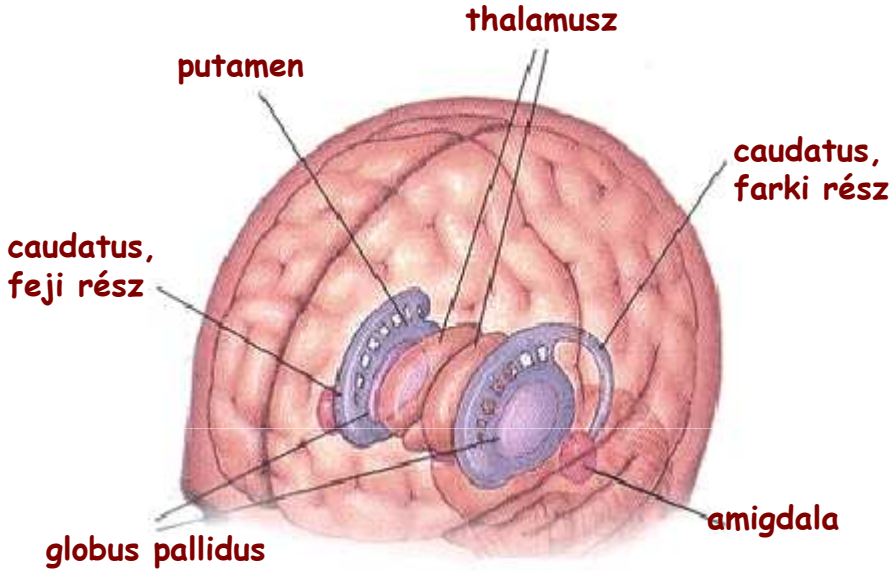
neokortex

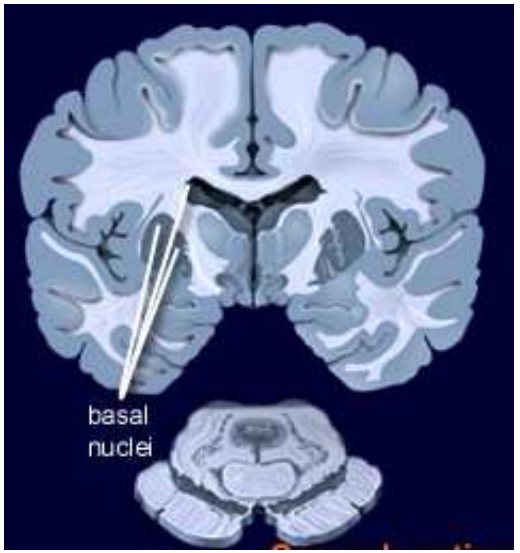


nyúltvelő

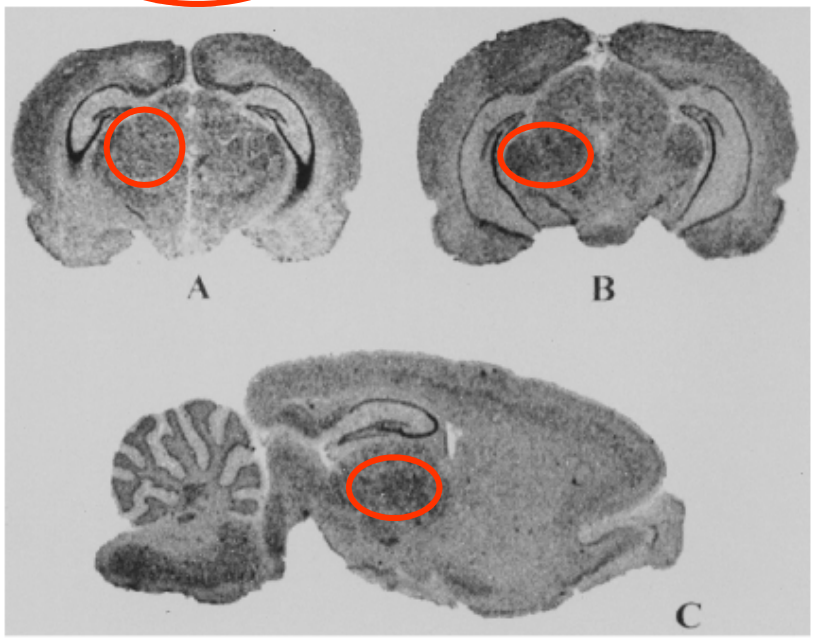
bajusszőr

A bazális ganglionok





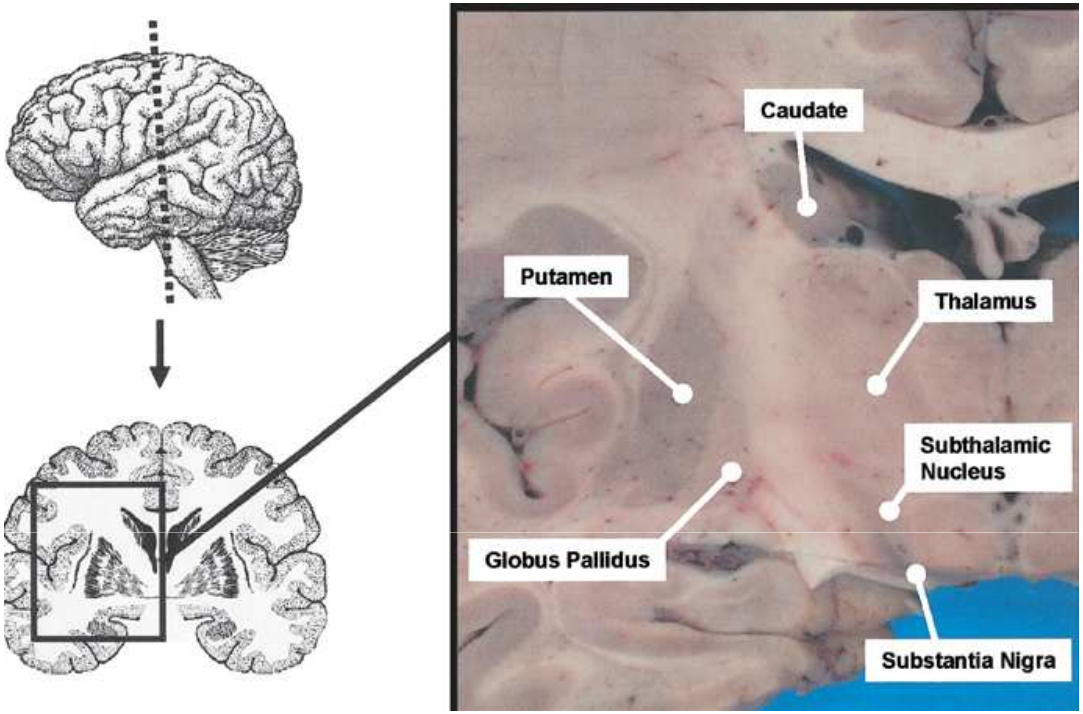
striatális terület

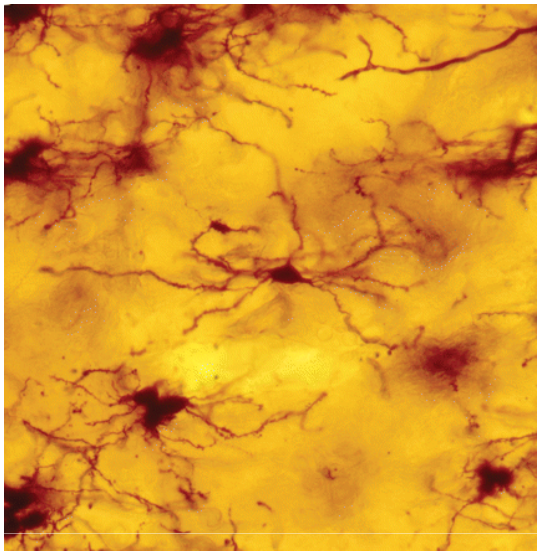


Funkciója főleg a mozgás szabályozásban van

GABA-erg projekciós neuronok, kevés kolinerg interneuron

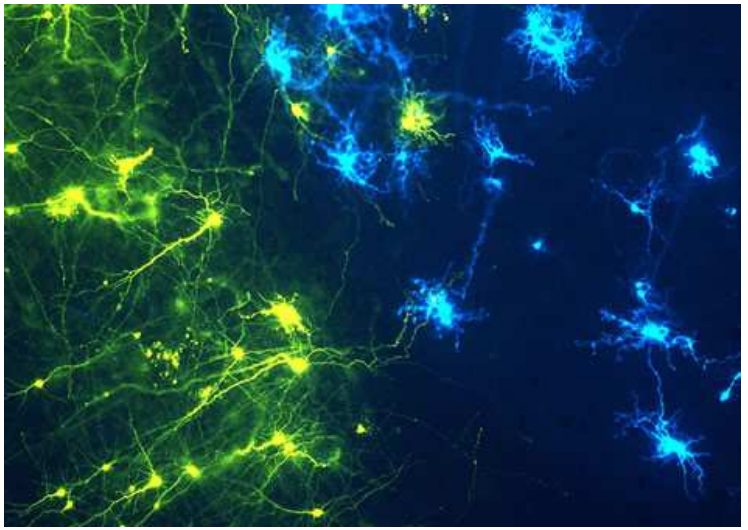
A bazális ganglionok elhelyezkedése, sejtszerkezete



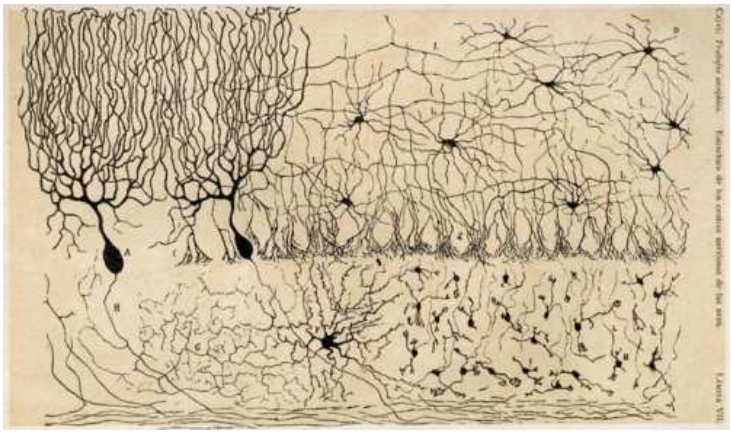


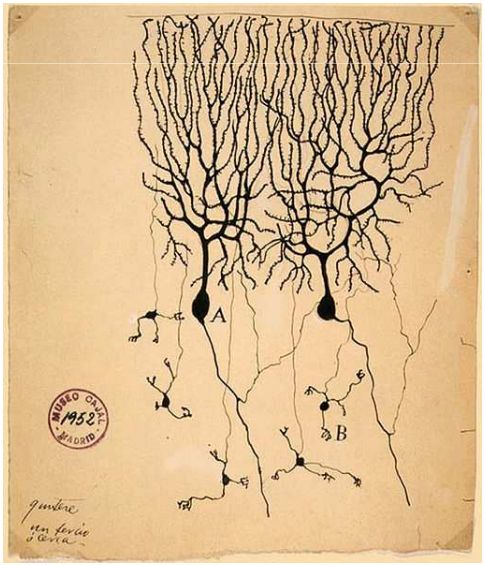
striatális sejtek

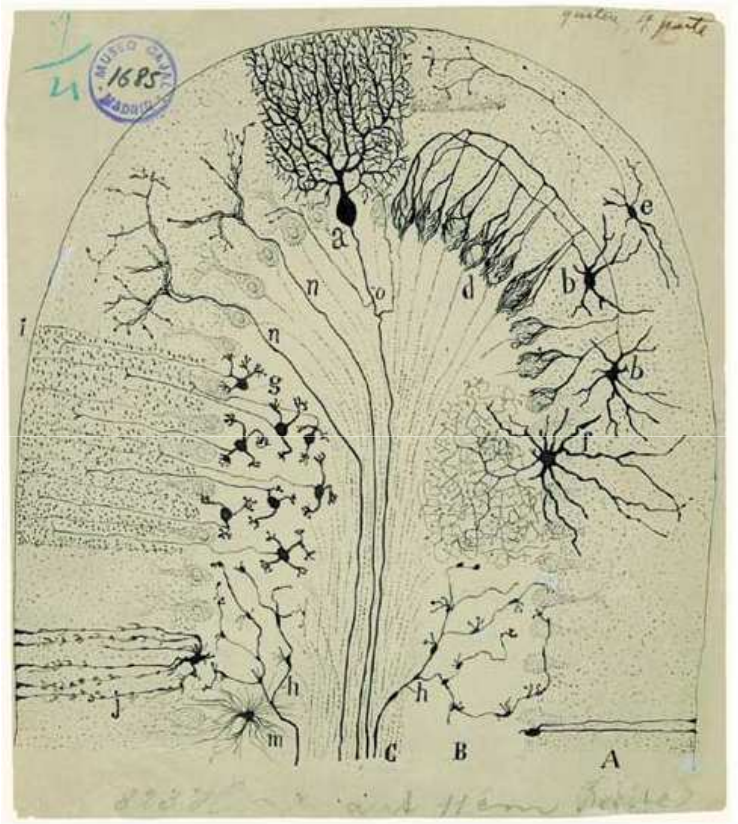
agykérgi sejtek



A kisagykéreg jellegzetes sejtjei



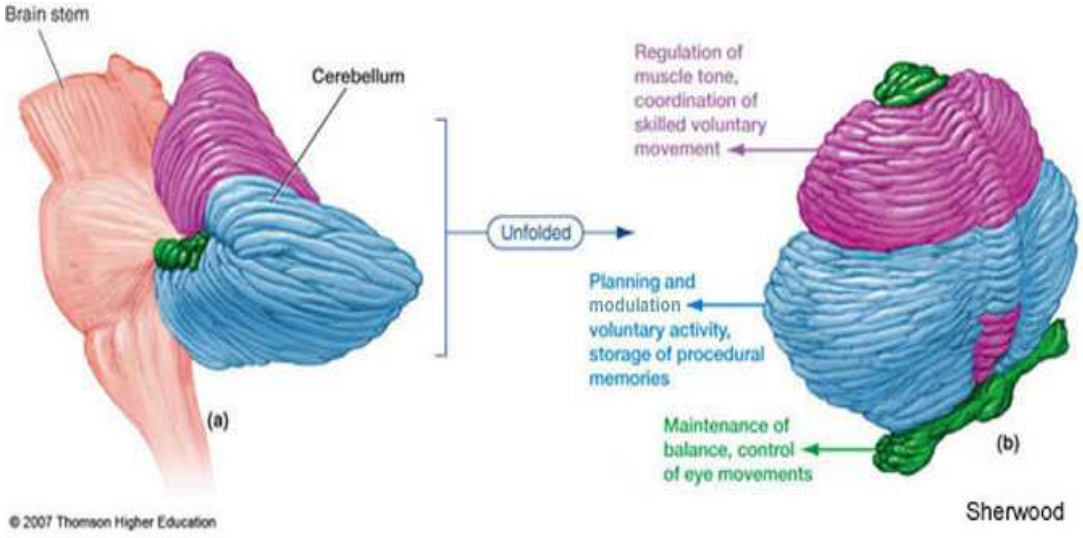




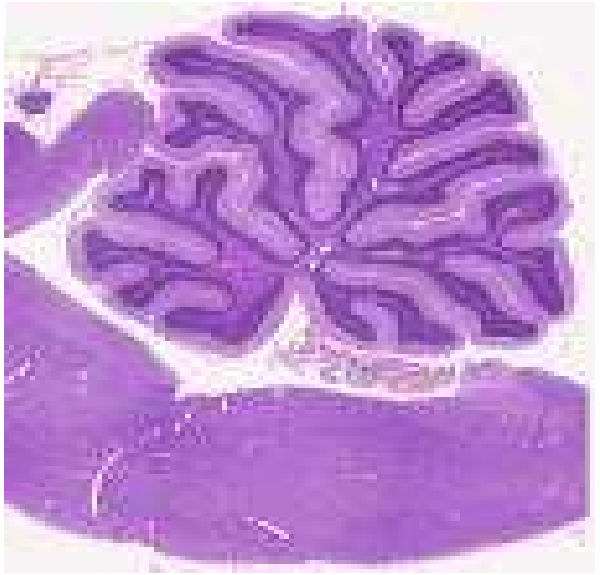
Golgi impregnációval készült metszetek

funkciók

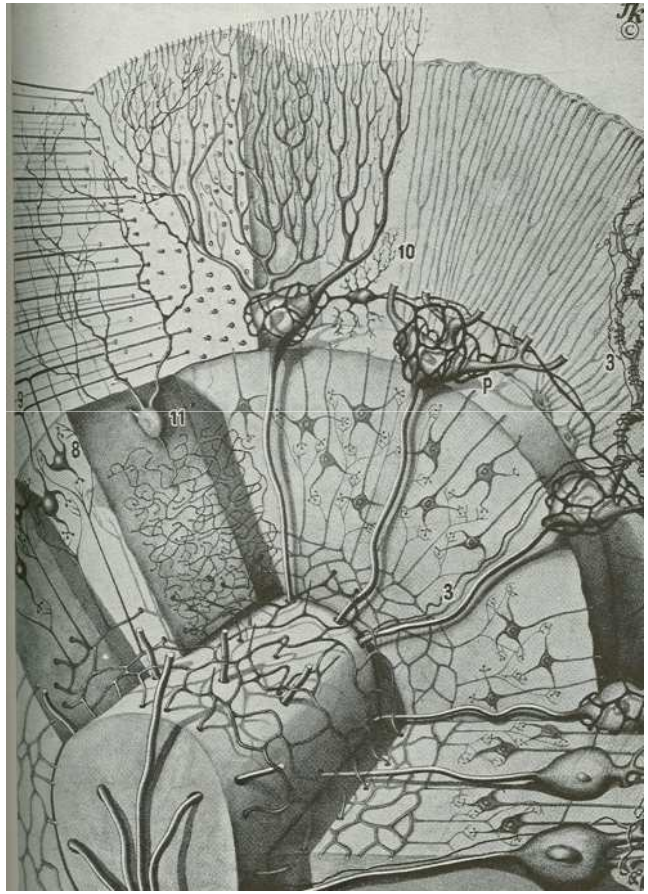
A kisagy felépítése

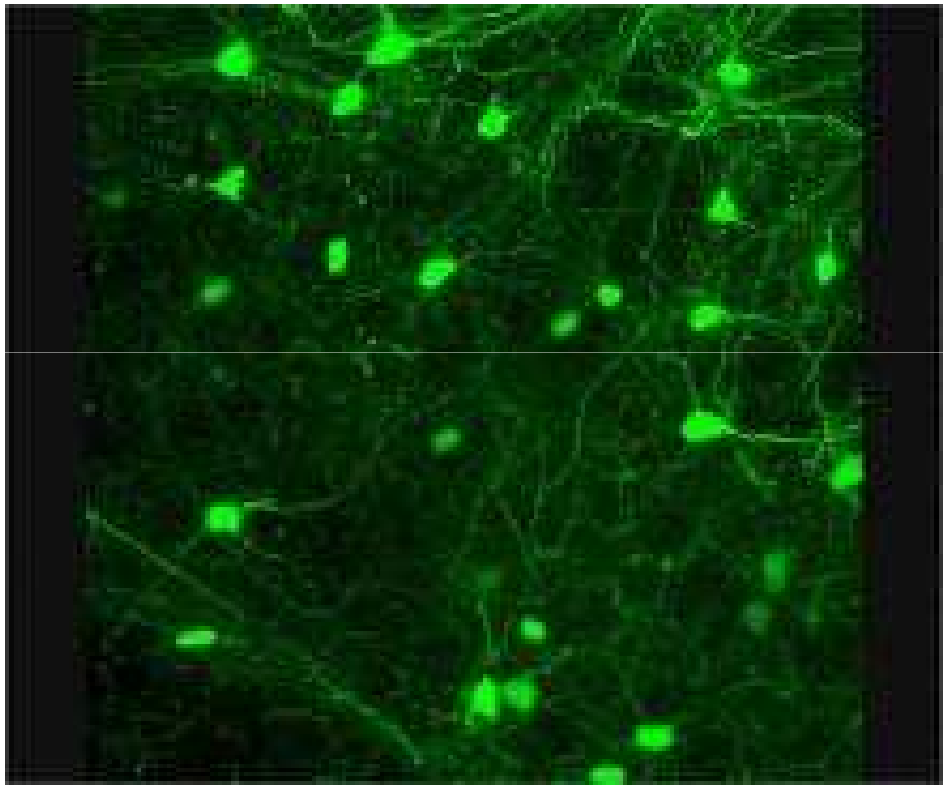


A kisagy szerkezete,
Nissl festés



A kisagykéreg szerkezete, sejtkapcsolatok





A kisagykéreg szerkezete, kapcsolatok

Rétegei:

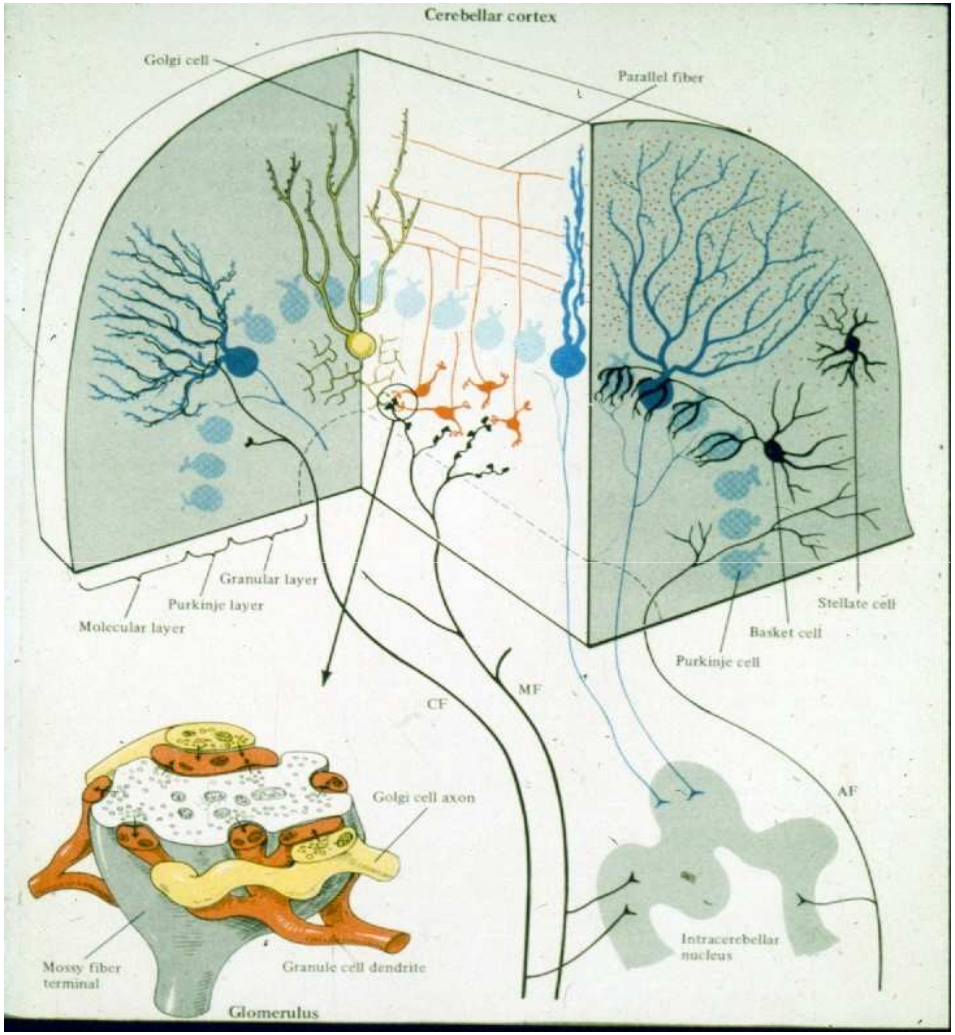
- molekuláris réteg
- ganglionáris réteg (Pu-sejtek)
- szemcsesejt réteg

Sejttipusai:

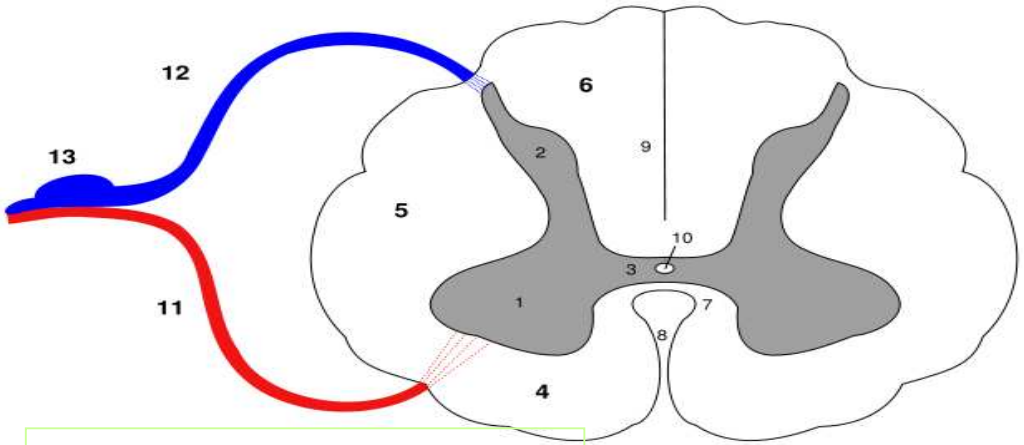
- Purkinje sejtek
- szemcse-sejtek
- Golgi-sejtek
- kosár-sejtek
- csillag sejtek

Bemenetei:

- Climbing fibers (kúszórostok)
- Mossy fibers (moharostok)

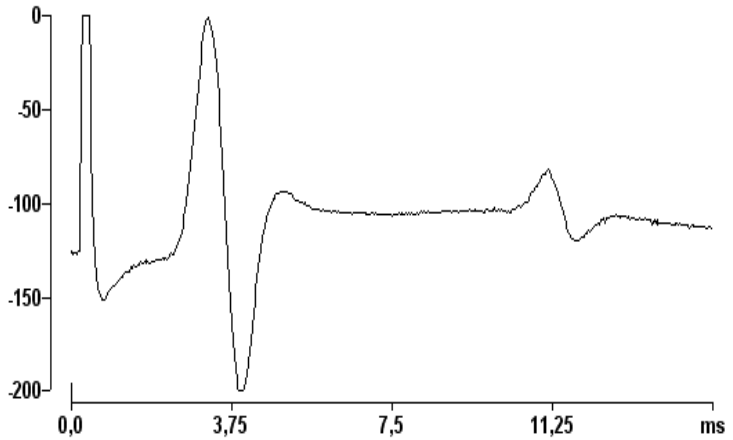


A gerincvelő alapfelépítése

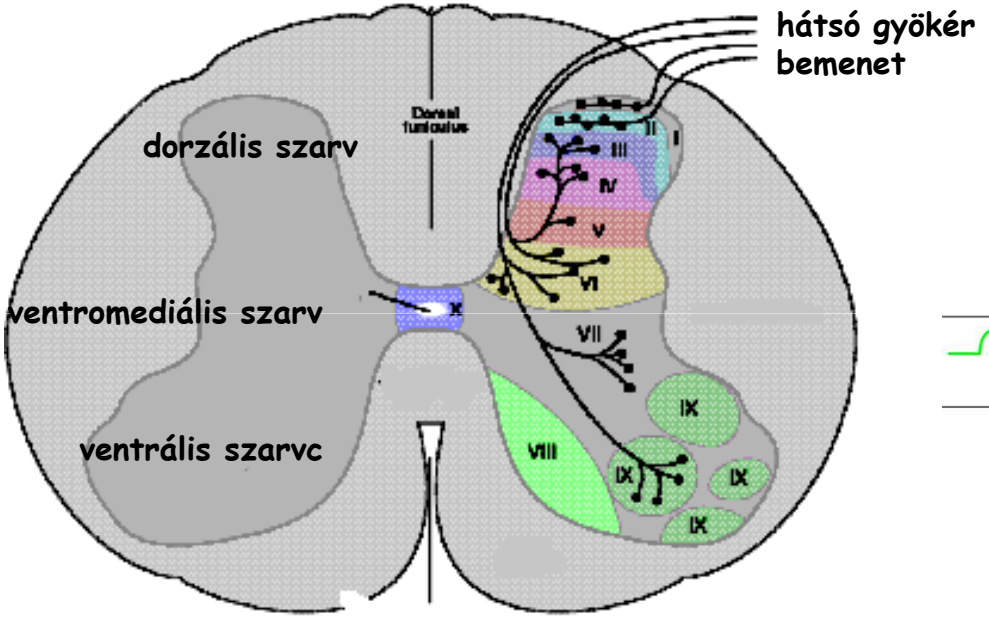


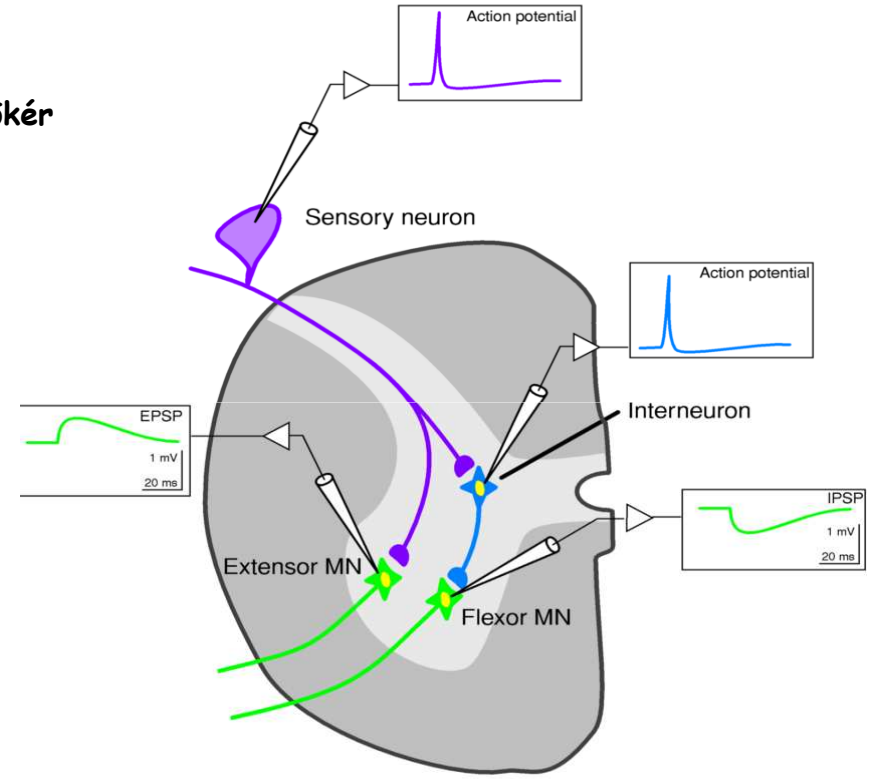
1. mellső szarv
2. hátsó szarv
3. összekötő szürkeállomány
4. mellső köteg
5. oldalsó köteg
6. hátsó köteg
7. elülső comissura
8. mellső árok
9. hátsó hasadék
10. gerinccsatorna
11. mellső gyökér
12. hátsó gyökér
13. Csigolya közti dúc

Elektromos ingerléssel kiváltott izomaktiváció (EMG)

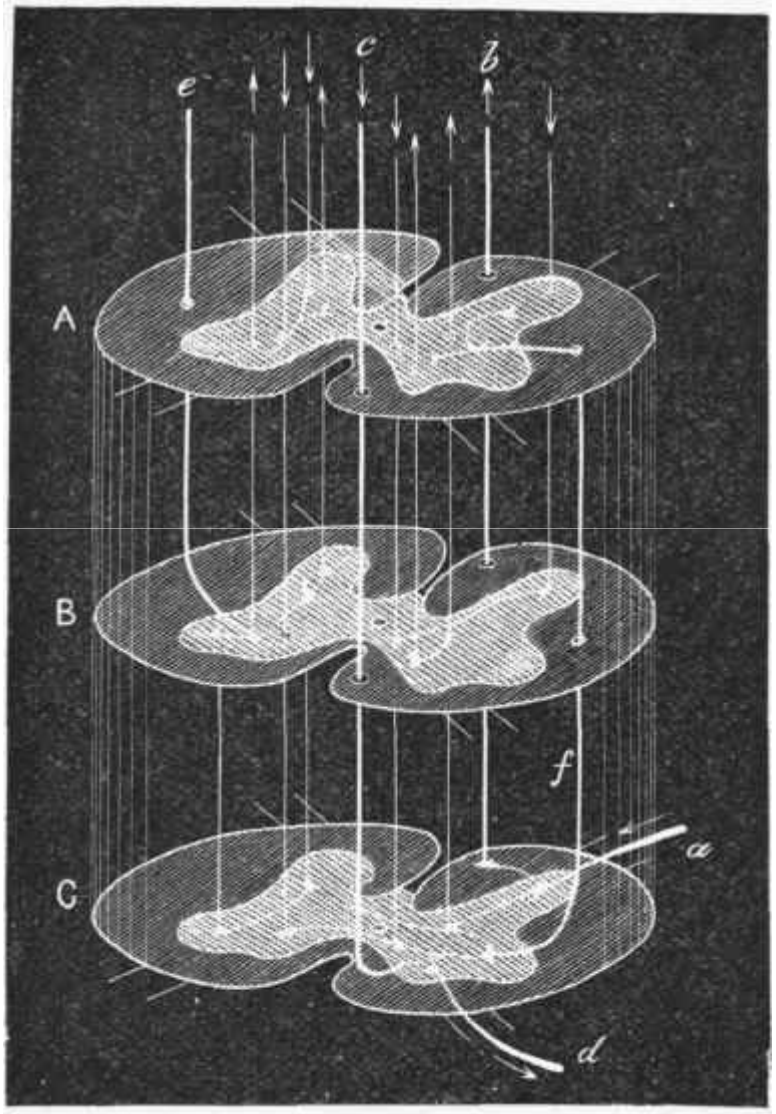


A gerincvelői laminák, idegi aktiváció

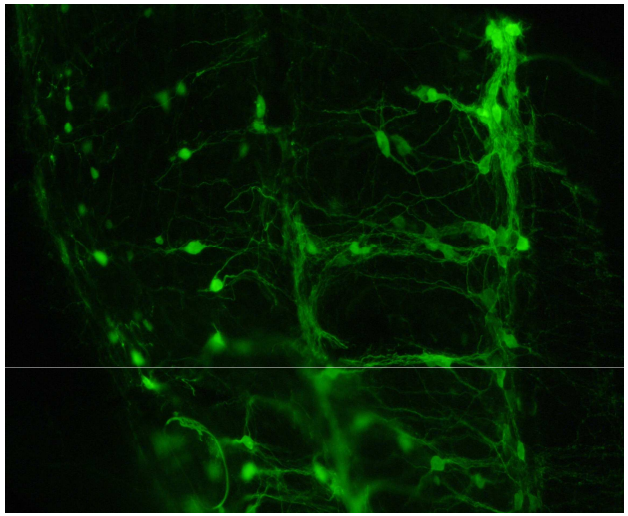




A gerincvelői pályák

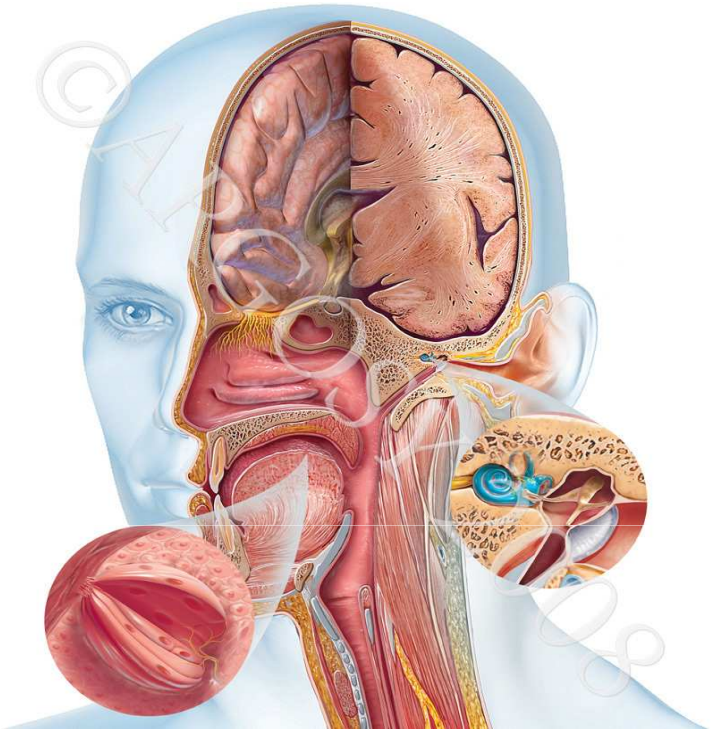


szimpatikus preganglionáris neuronok



funkciók

Érzőműködés I.



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 és számos reflex kiinduló állomása lehet.**

Érzékelés

Receptorok csoportosítása

Ingermodalitás szerint

mechano-, foto-, kémiai, hőmérsérlet, fájdalom érzékelő receptorok

Ingerforrás szerint

telereceptorok - távoli ingerforrás (látás, hallás),

kontakt receptorok - közvetlen külvilági ingerforrás

A test szempontjából

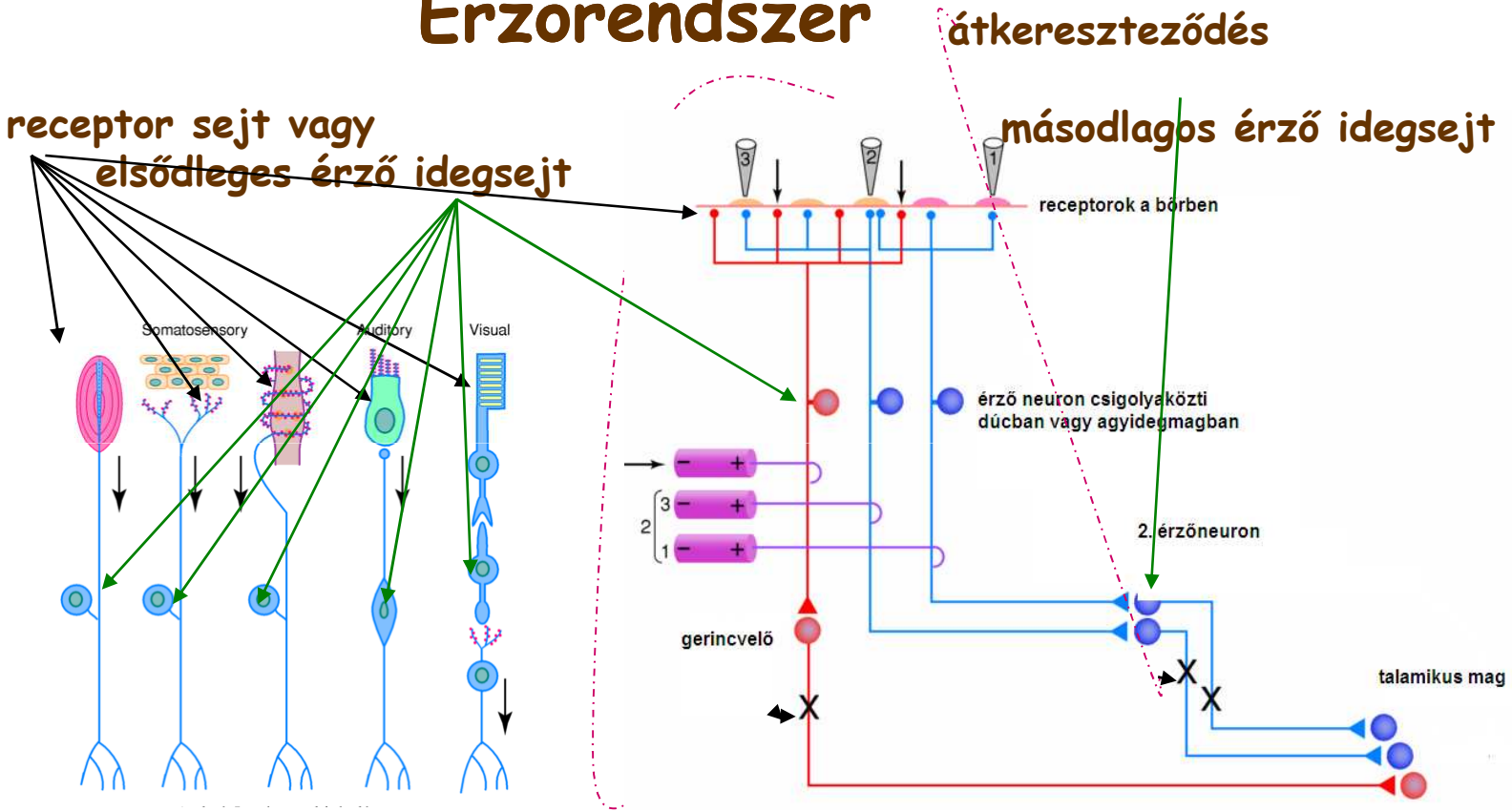
exteroceptorok - külső ingerforrás

interoceptorok - test belső monitorozása (egyensúly érzékelő receptorok, ínorsó, izomorsó)

Az inger az agykéregben tudatosulhat, a memóriában raktározódhat, a limbikus rendszerben érzelmi színezetet kaphat és számos reflex kiinduló állomása lehet.

A tudatosulás feltétele az érzet kialakulása, ehhez az agykérgi specifikus érzőterületek épsége és megfelelő aktivitása kell

Érzőrendszer



érzékenységi tartomány

küszöbinger → maximális inger

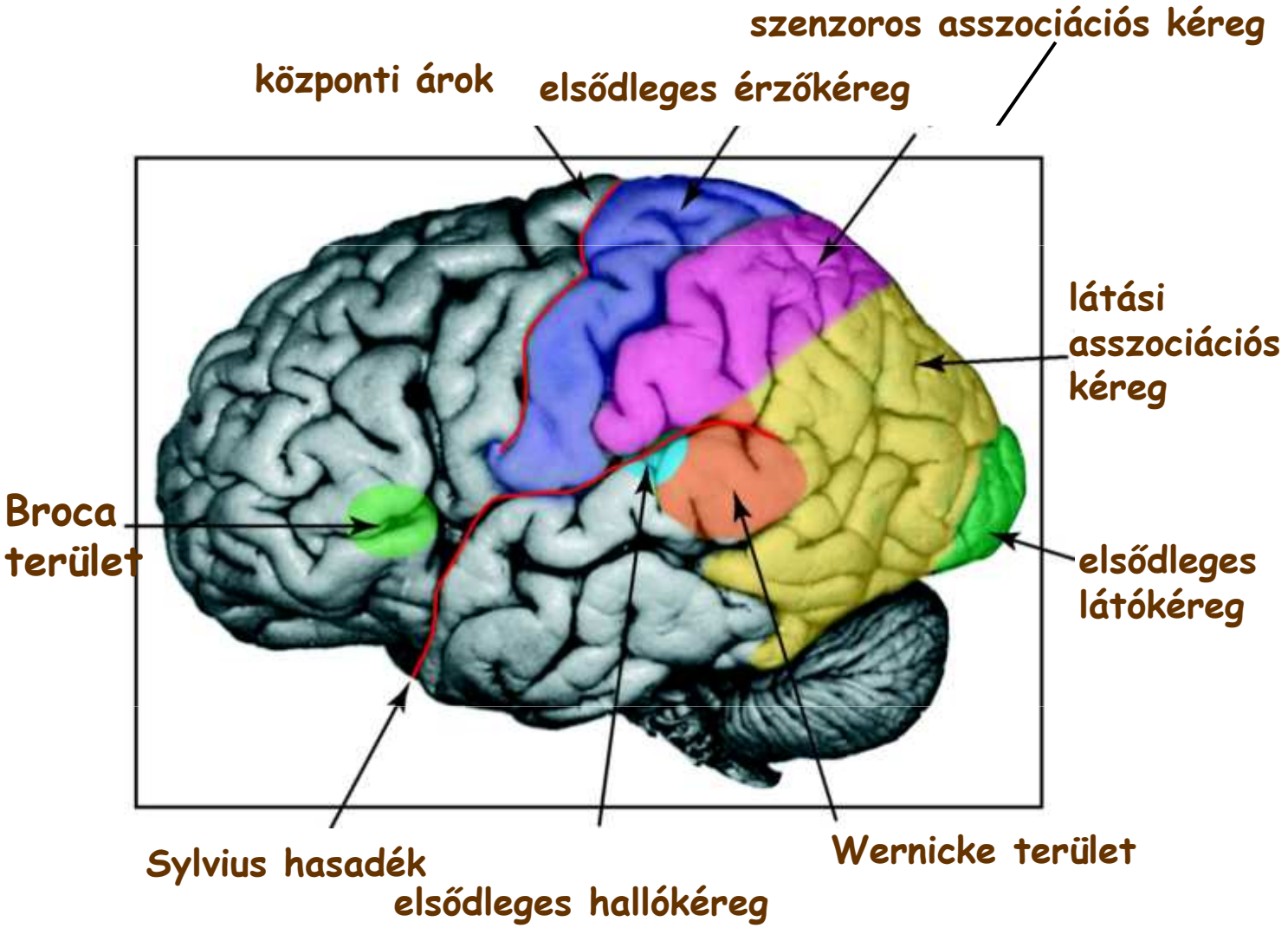
adequát inger (legalacsonyabb az ingerküszöb erre)
receptor potenciál (a receptor sejtben a membránpotenciál változása)

adaptáció – gyors vagy lassú

frekvenciakód (az idegsejtekre való átadódáskor)

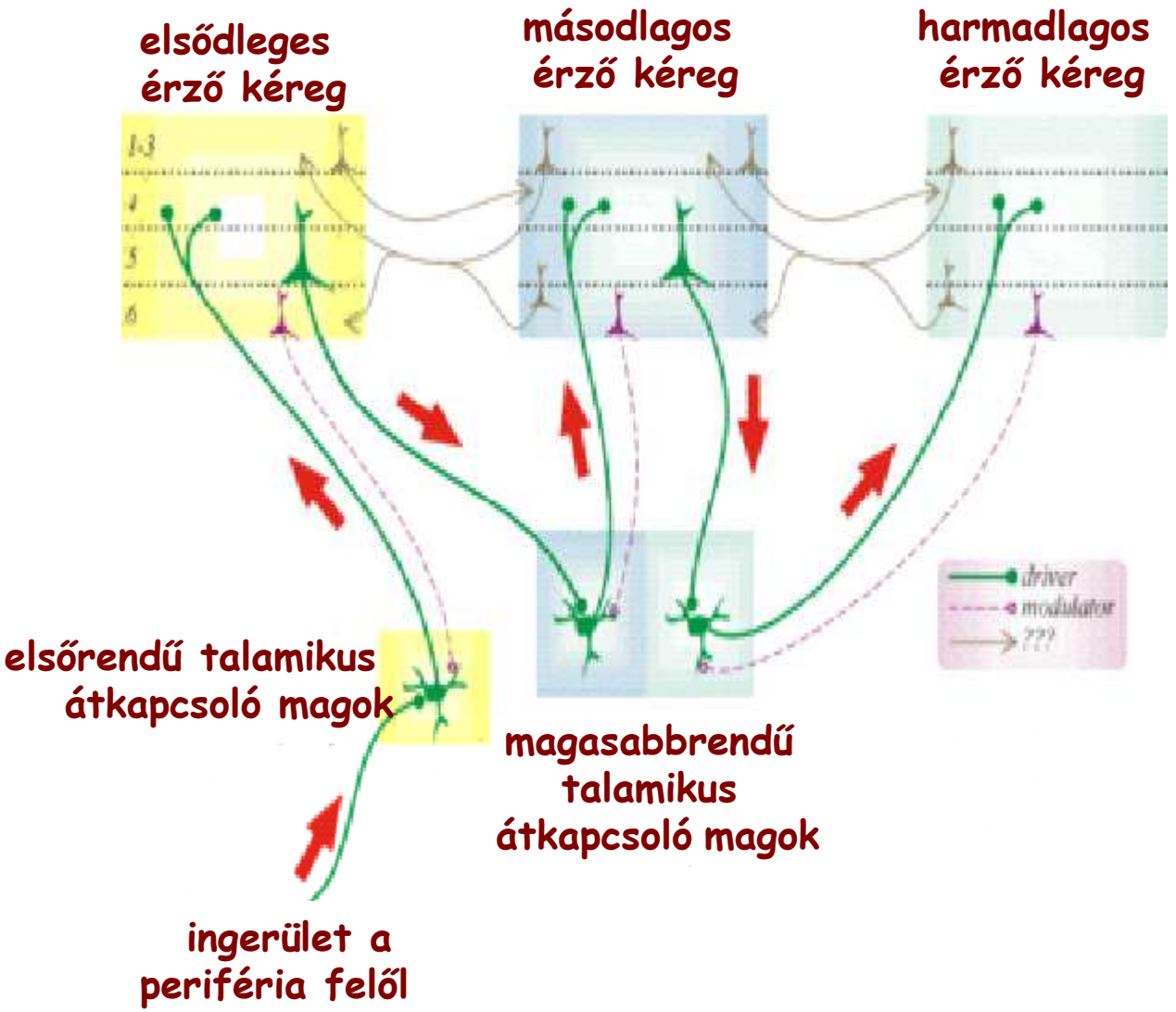
többszöri átkapcsolódás az agykéreg eléréséig

Agykérgi érző területek



receptív mező - az érzőneuron mely „területről" hozható ingerületbe.

Agykérgi érző területek



Interocepció

Vérnyomásérzékelő receptorok – vérnyomásszabályozás

Tüdő feszülésérzékelő receptorai – légzésszabályozás

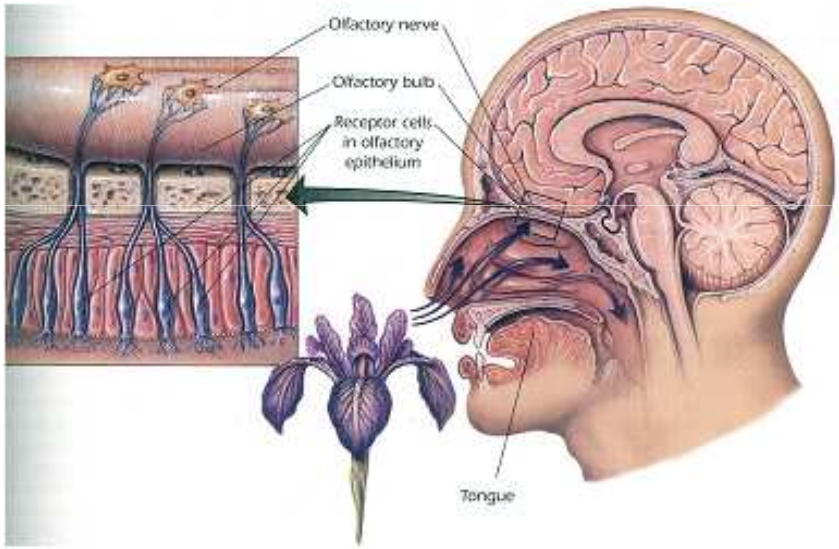
Tápcsatornában lévő receptorok – a tápcsatorna működésének szabályozása

CO_2 érzékelés – légzésszabályozás

O_2 érzékelés

Izomban receptorok - mozgásszabályozás

Szaglórendszer



- Legnagyobb részének útja: orr + száj – torok – tüdő
- Kisebb része: orrüreg – 3 csontból álló orrkagyló-sor – az itt keringő levegő felmelegszik, párássá válik, miközben a szőrök eltávolítják a szennyeződéseket
- Érdekesség: orrlyukak között dominancia van, mely kb. 2-3 óránként váltakozik

A szaglás receptor szervei a felső orrjárat szagló nyálkahártyájában (*regio olfactoria)* van.
Nagysága emberben 5, macskában 4, airedale terrierben 83,5, német juhász kutyában 150–170 cm2. A szaglóhámsejtek száma emberben 20, kutyában 200 millió.

Szaganyagok

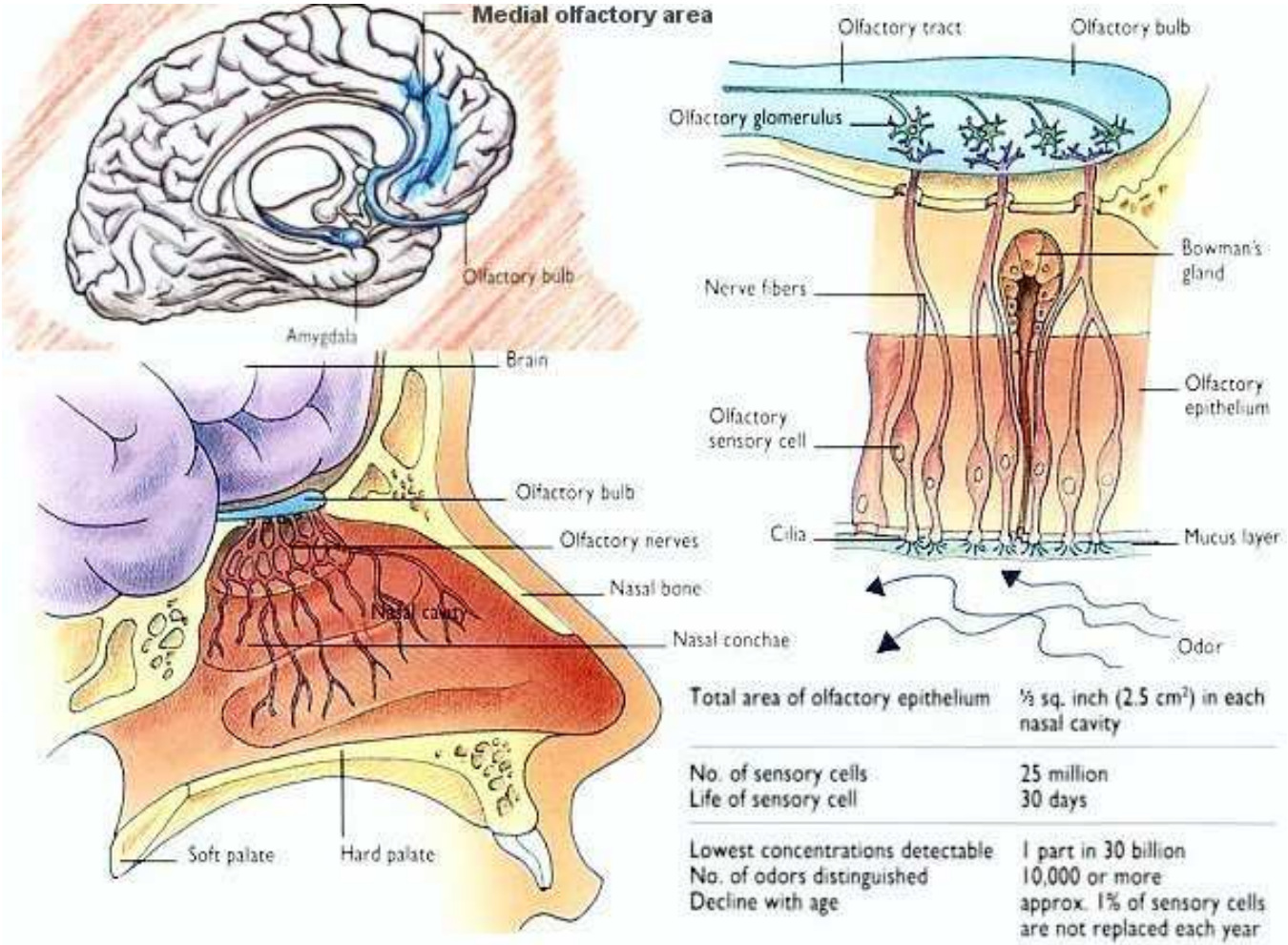
Szag: általában valamely anyagból párolgás vagy kiválás útján a levegőbe jutó és a szaglóidegekre ható illó részecskék, illetve gáznemű anyagok által keltett érzet.

Illat: rendszerint illóolajokból eredő jó, kellemes *szag*. Régen jelzővel általában jellegzetes *szag* leírására is használták, pl. "fojtó, kellemetlen, kesernyés illat".

dimetil-szulfid (a "gáz illata")
vajsav (az "izzadság illata")
indol, szkatol (emberi bélsár)

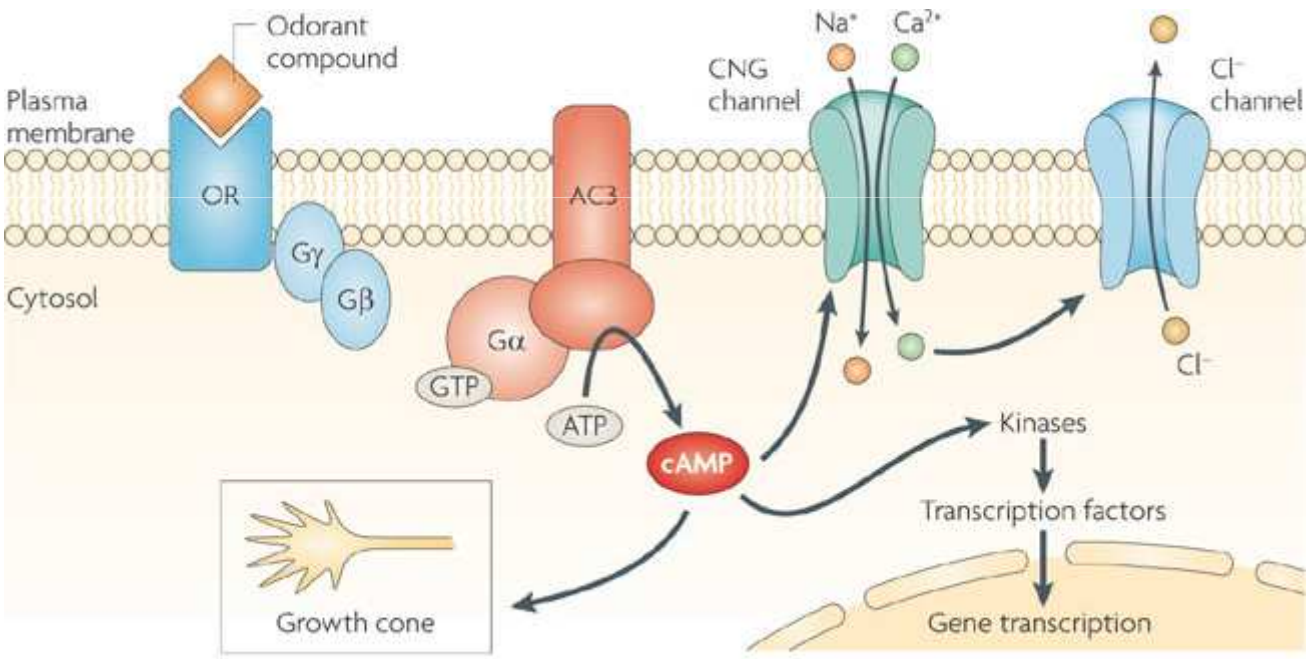
DE – mennyiségi viszonyoktól is függ az érzet

Szaglás



Total area of olfactory epithelium	½ sq. inch (2.5 cm^2) in each nasal cavity
No. of sensory cells	25 million
Life of sensory cell	30 days
Lowest concentrations detectable	1 part in 30 billion
No. of odors distinguished	10,000 or more
Decline with age	approx. 1% of sensory cells are not replaced each year

A szaglás neurokémiája



A szagmolekuláknak több epitopjuk van, több receptorhoz is kötődhetnek.
Egy glomerulus azonban egyféle epitoppal kapcsolatos.

- A receptorsejtek után 2 fő rész:
  - Szaglógumó
  - Szaglóagy
- Szaglógumó:
  - ez kapja a szaglóideg összes bemenetét
  - szaglóhámból jövő axonok – ezek diffúz módon aktiválják a gumó befogadóállomásán lévő idegsejteket (ezek a glomerulusok, másodlagos idegsejtek)
  - Nagy konvergencia jellemzi (1000:1), de nincs térképszerű megfeleltetés
  - Nincs „rózsillat-receptor”, minden glomerulus hozzájárul az észlelt szaghoz
  - Az aktivitásuk a folyamat alatt változik, a belégzés végén maximális, a gumó idegi tevékenysége függ az érzelmi arousal szinttől.
  - Éhség, szomjúság, izgatottság, félelem → fokozza az aktivitást.
- Az információ további útja: axonok → homloklebeny (frontális lebeny) szaglókérgéhez, valamint ez a kéreg kapcsolatban van más kéregalatti struktúrákkal is, pl.: az érzelmekért felelős limbikus rendszerrel
- A szag erőssége függ a koncentrációtól (töménység), az anyag mennyiségétől → ezek a kisülési frekvenciával kódolódnak.

Detektálás

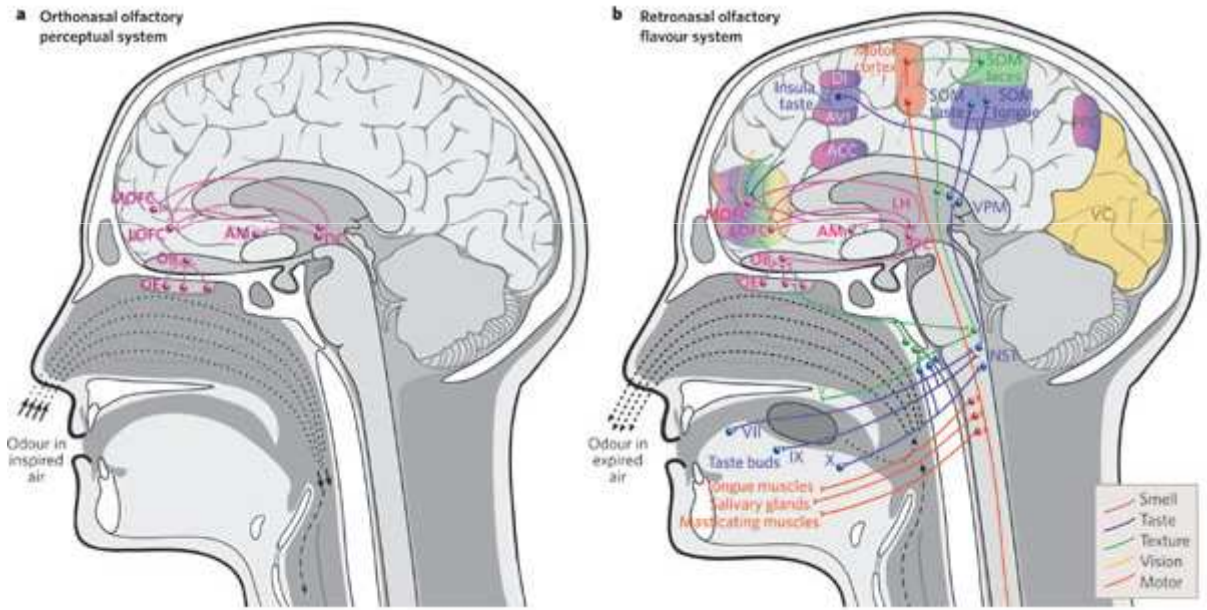
- Bár az állatok szaglása lényegesen jobb, mint az emberé, bizonyos szagok esetén nagyon jó a teljesítményünk
- Pedig: normál lélegzés: az orrlyukba belépő szagmolekulás 2%-a jut fel a receptorokhoz.
- Mindezekből is az következik, hogy különböző szagokra más az érzékenységünk.

Szagadaptáció

- Bizonyos szakmák esetén adaptív
- Időtartama: néhány perctől akár órákon át is
- Van rövidebb és hosszabb tartamú, melyeknek más-más idegi mechanizmus áll a hátterében
- Létezik keresztadaptáció is, a hasonló szagok esetén az adaptáció generalizálódhat

- Emlékezettel való kapcsolat: erős kapocs, de a szagról az emlék beugrik, fordítva nem, nehéz egy szagot felidézni!

Szaglóközpontok

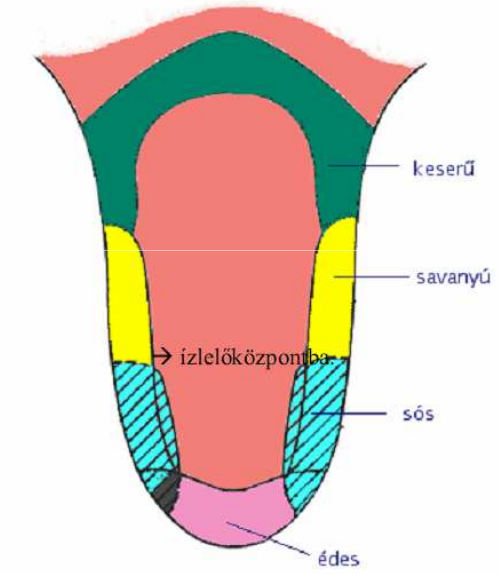


Az orthonazali funkció (belégzés) során érintett agyi területek.

A retronazalis funkció (kilégzés), során érintett területek, a táplálkozással kapcsolatos élmények.

ACC, accumbens; AM, amygdala; AVI, anterior ventral insular cortex; DI, dorsal insular cortex; LH, lateral hypothalamus; LOFC, lateral orbitofrontal cortex; MOFC, medial orbitofrontal cortex; NST, nucleus of the solitary tract; OB, olfactory bulb; OC, olfactory cortex; OE, olfactory epithelium; PPC, posterior parietal cortex; SOM, somatosensory cortex; V, VII, IX, X, cranial nerves; VC, primary visual cortex; VPM, ventral posteromedial thalamic nucleus.

Ízérzékelés



Táplálékválogatás szempontjából fontos

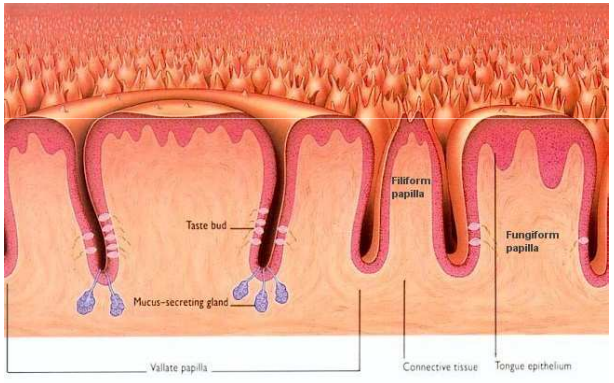
Izmolekulából kevesebb van, mint szagmolekulából.

Alapvetően négy alapízt érzünk.

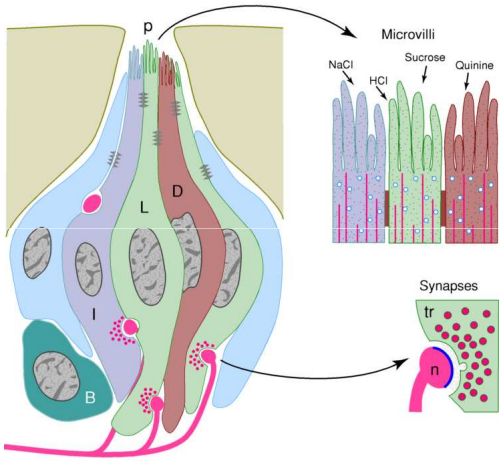
+ umami, víz

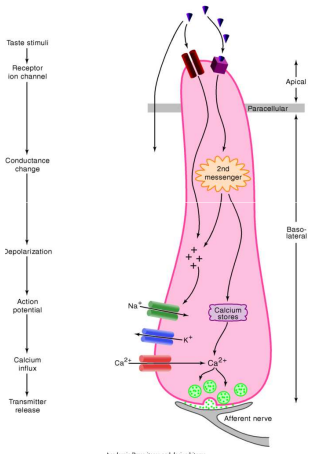
Ízlelőbimbók a nyelven, de máshol is a szájban

Körülárkolt szemölcs, levél- és gomba alakú szemölcs



Ízérzékelés





Édes íz – cAMP rendszer aktiválódása (PKA), K+ csatorna zárás

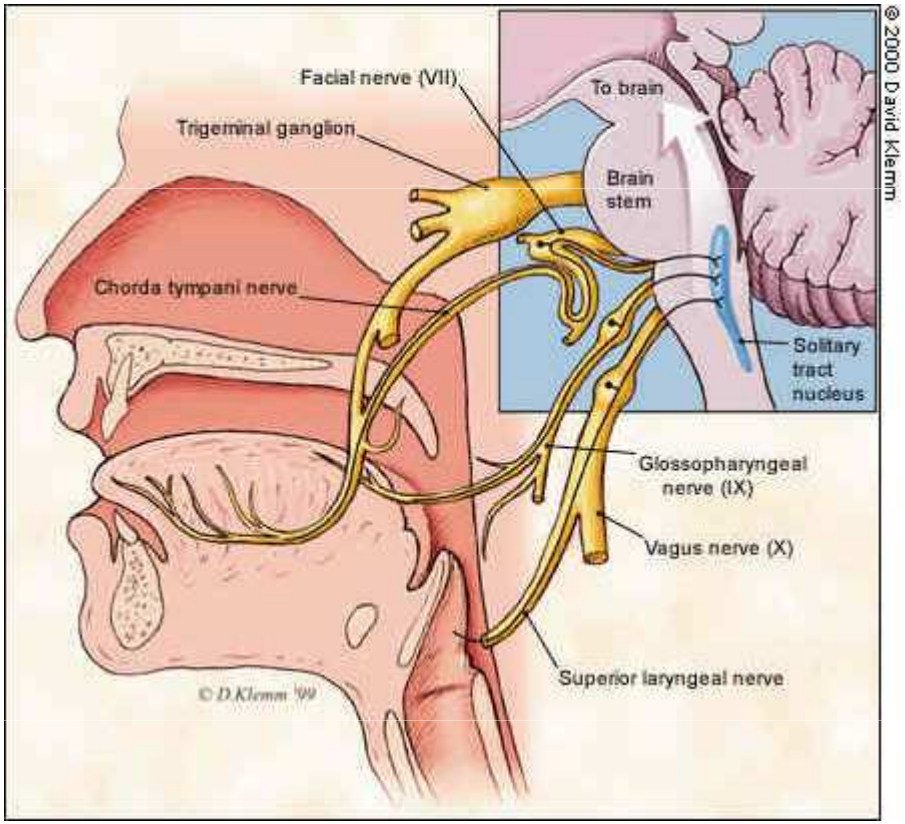
Keserű íz – PLC rendszer aktiválódása, IP3, Ca++ szint nő

Savanyú íz – H+ ion belépés hatása

Sós íz – egyértékű kation (ADH termelés fokozása)

Receptor hámsejt, ezzel kapcsolatos az idegsejt (transzmitter felszabadulás)

Izérzékelés



Izérzet

- ingerület
- VII-es agyideg
- IX-es agyideg

Út: rostok → számos átkapcsolódás → két agyi terület

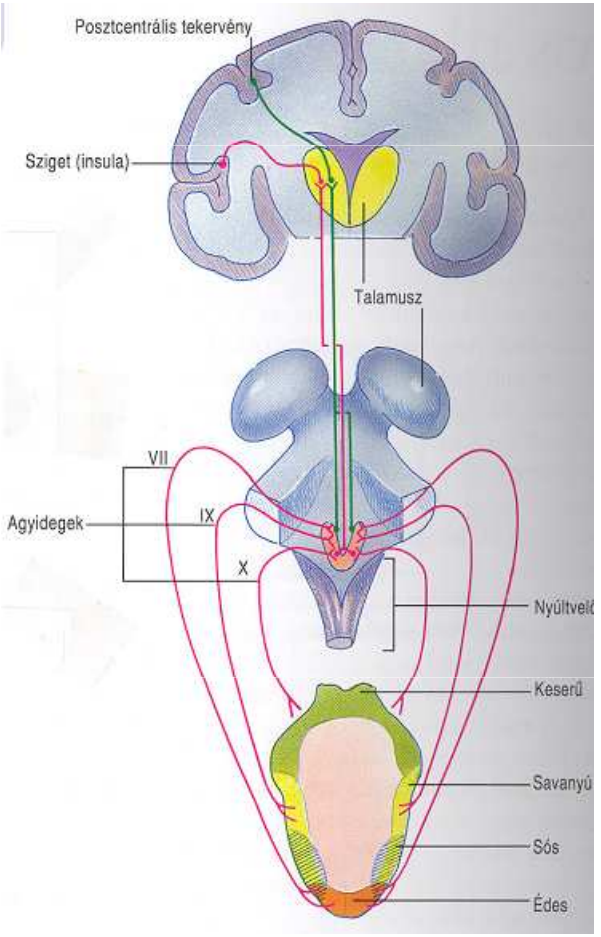
- Insula: a frontális és a temporális lebeny között mélyen, főként rágás, száj taktilis ingerlése
- Limbikus rendszer: tanult ízaverzió (pl.: görbe este után nem kívánjuk a whiskey-t ☺)

Ízerősség diszkriminációja

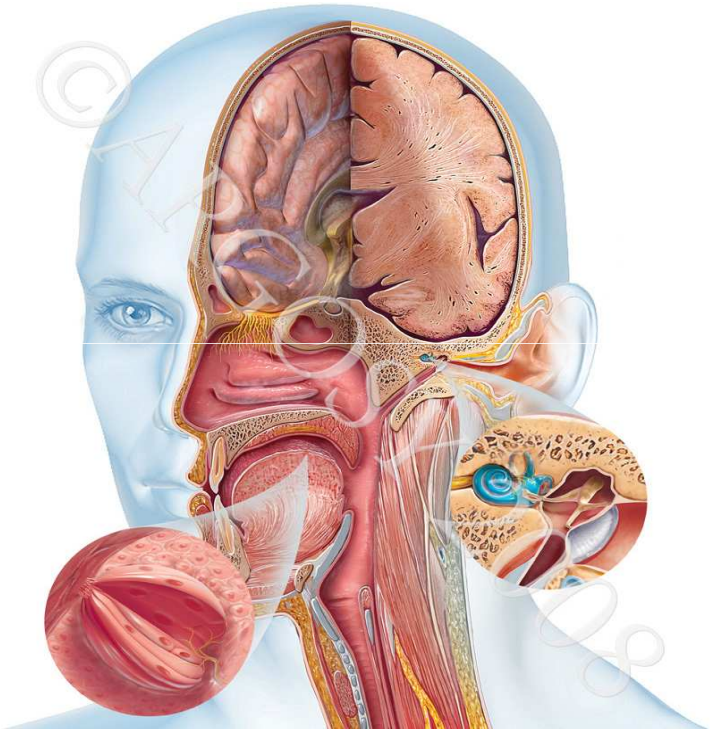
- Kb. 15-25% eltérés, amit észlelni tudunk.
- Egyszerre több íz → két jelenség:
  - Adaptáció (van keresztadaptáció is, két alapíz között általában nincs, kivétel: keserű - savanyú) → vannak különálló ízek
  - Ízmódosulás: articsóka, speciális indiai fűszerek, fogkrém

Ízkeverékek és ízpreferencia

- Egyik a másik hatását csökkenti = ízelnyomás
- McBurney vs. Schiffman és Erickson: inkább színlátás vagy inkább hallás
- Ízpreferencia: kellemes – kellemetlen dimenzió mentén megbízhatóan ítélnek
- Az ízek és a szagok szorosan együttjárnak

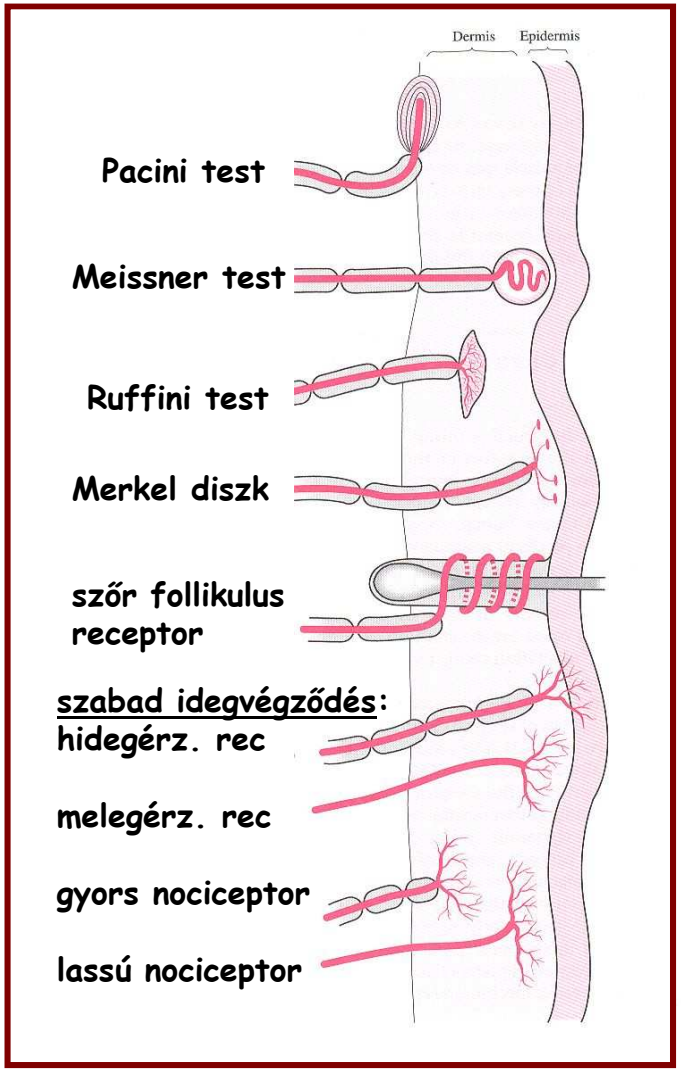


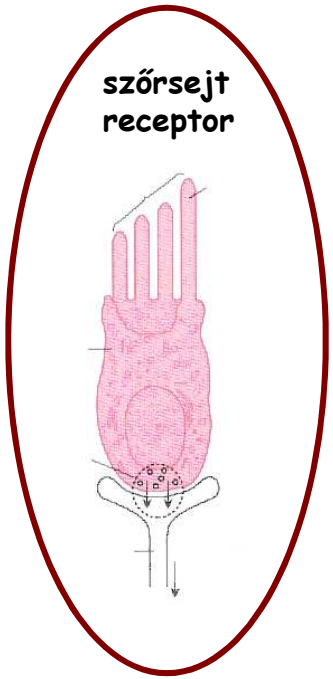
Érzőműködés II.
testérzékelés, fájdalom, egyensúly

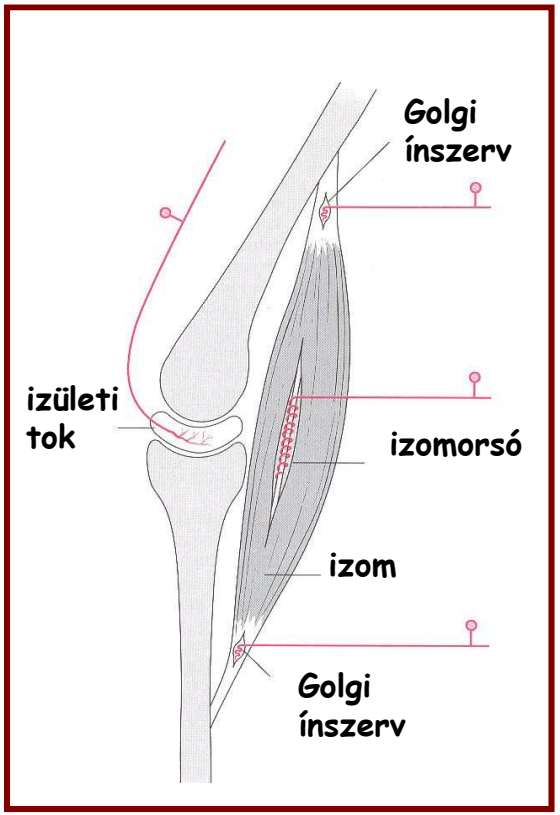


Exteroceptorok: mechano-, termo- és nociceptorok

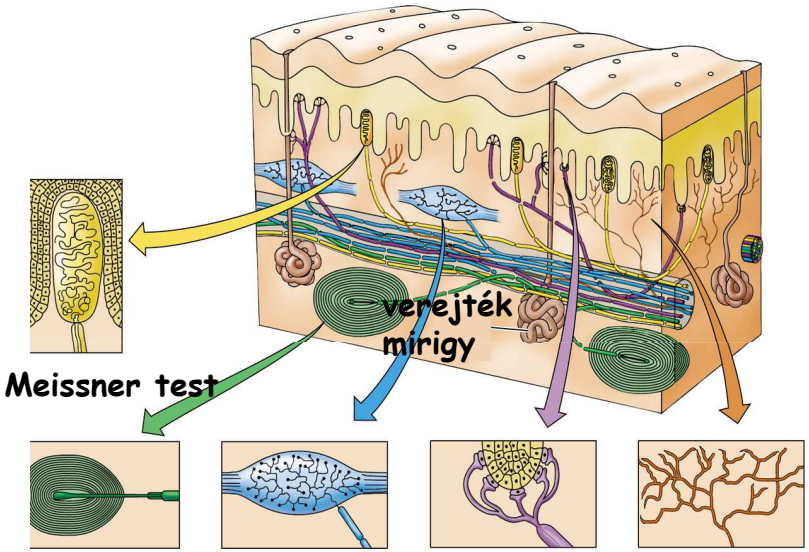
Interoceptorok: vesztibuláris rendszer, ínorsó, izomorsó



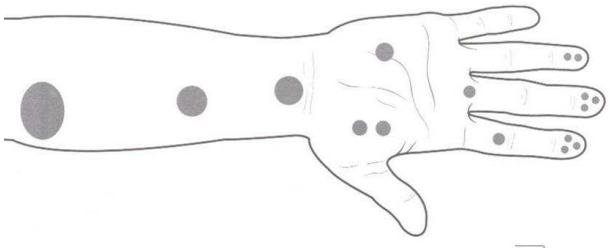


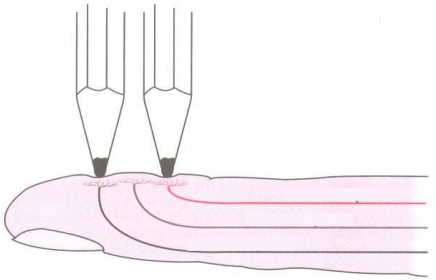


Testérzékelés

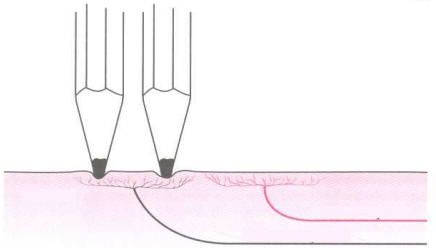


receptormegoszlás



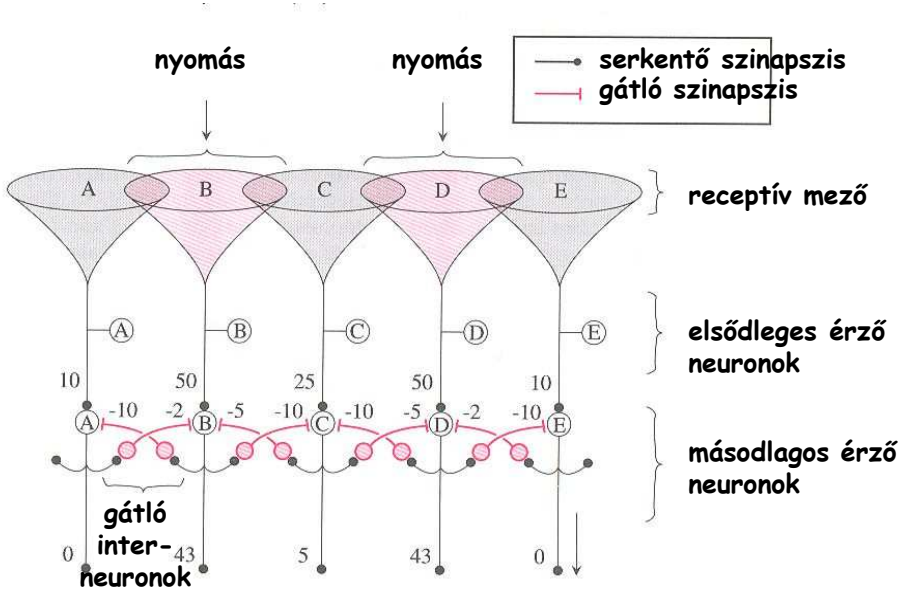


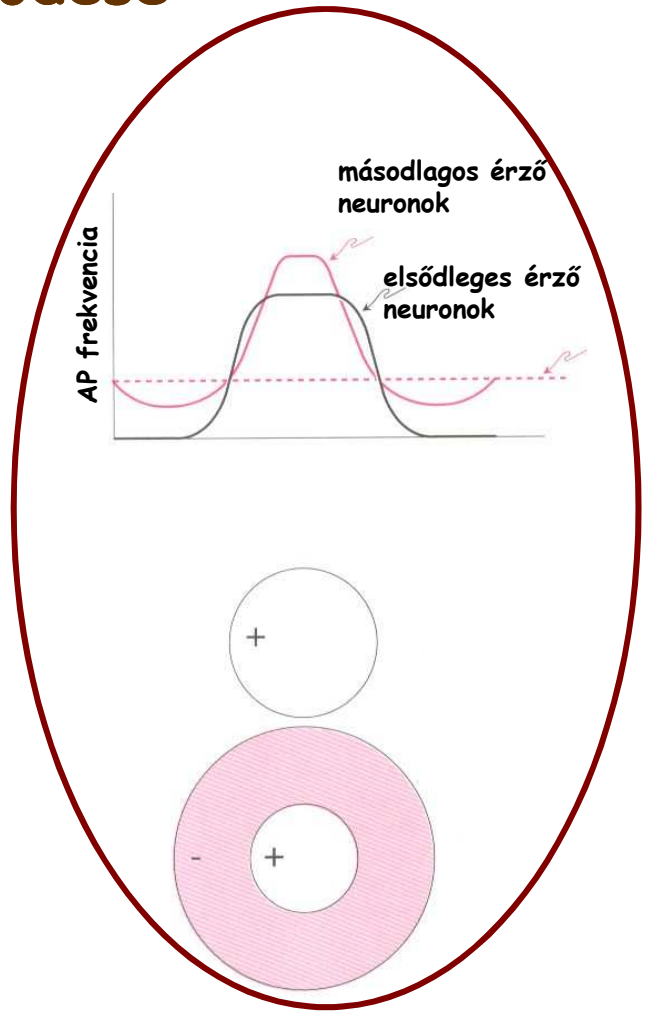
ujjak

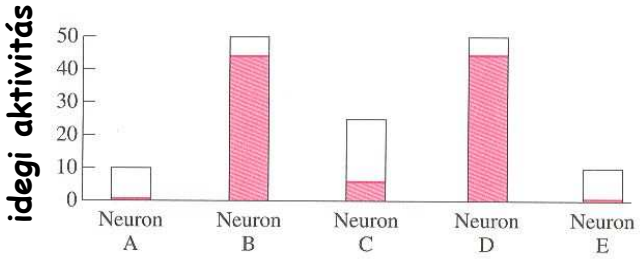


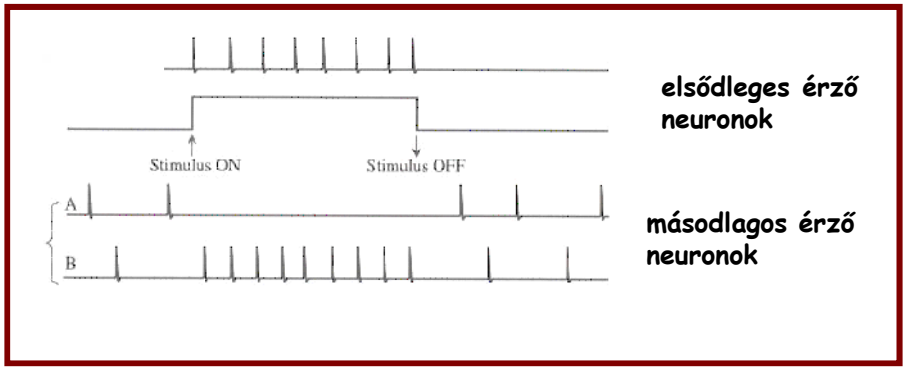
kar

A receptormezők működése

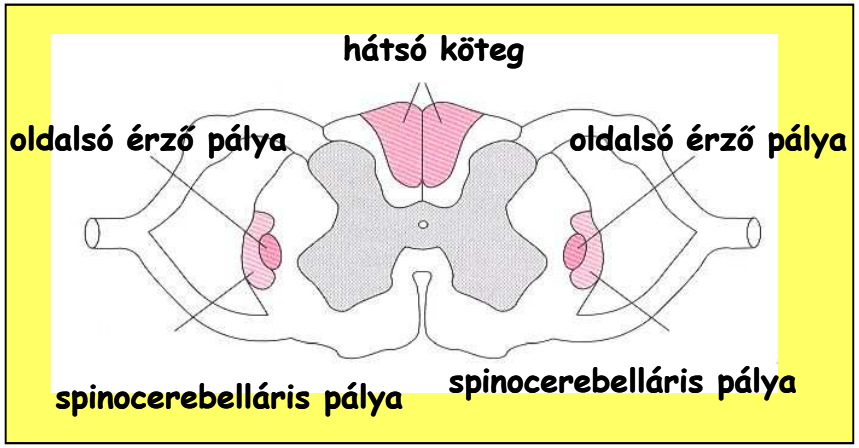


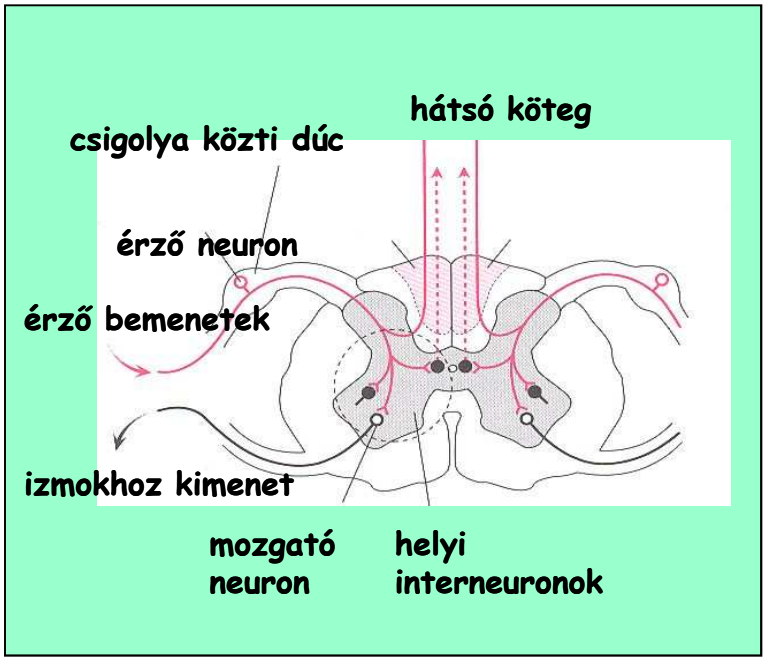




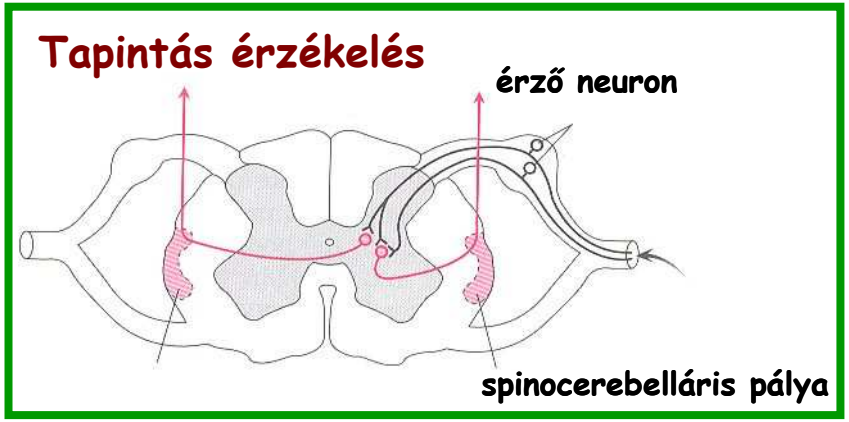


Testérzékelés – gerincvelői bemenetek, pályák

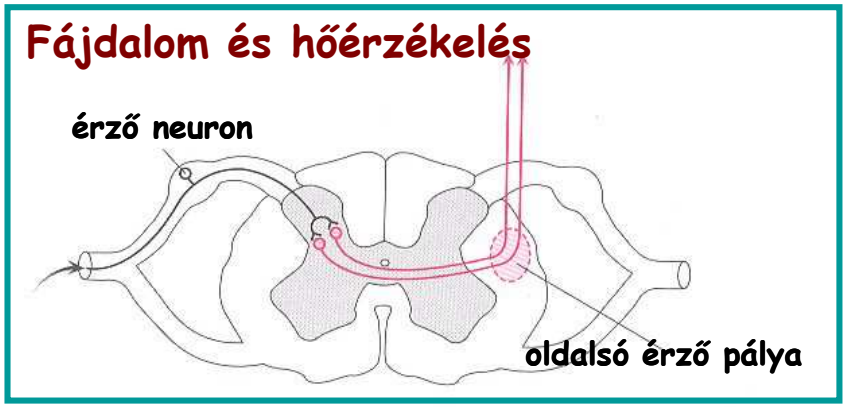




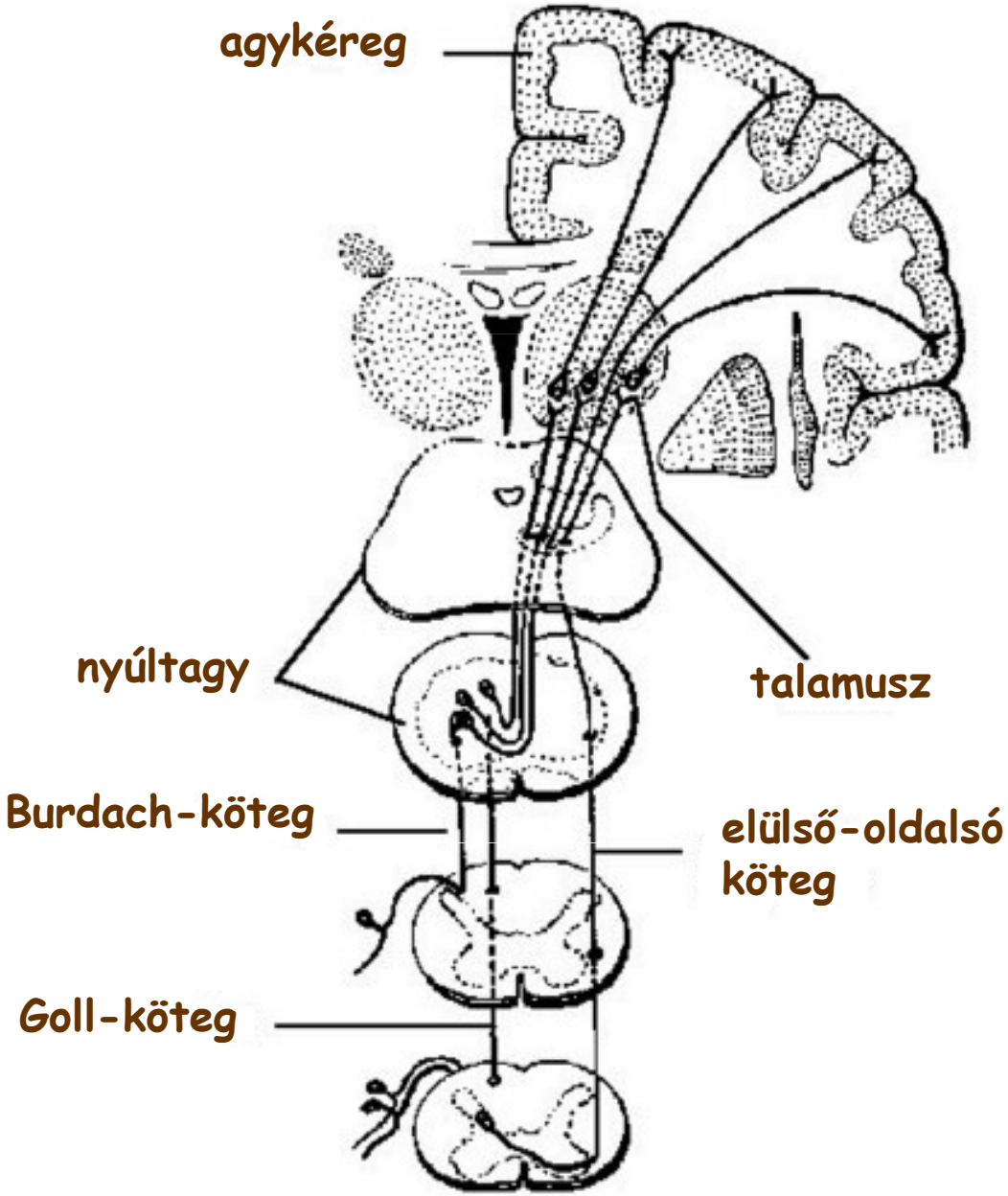
Tapintás érzékelés



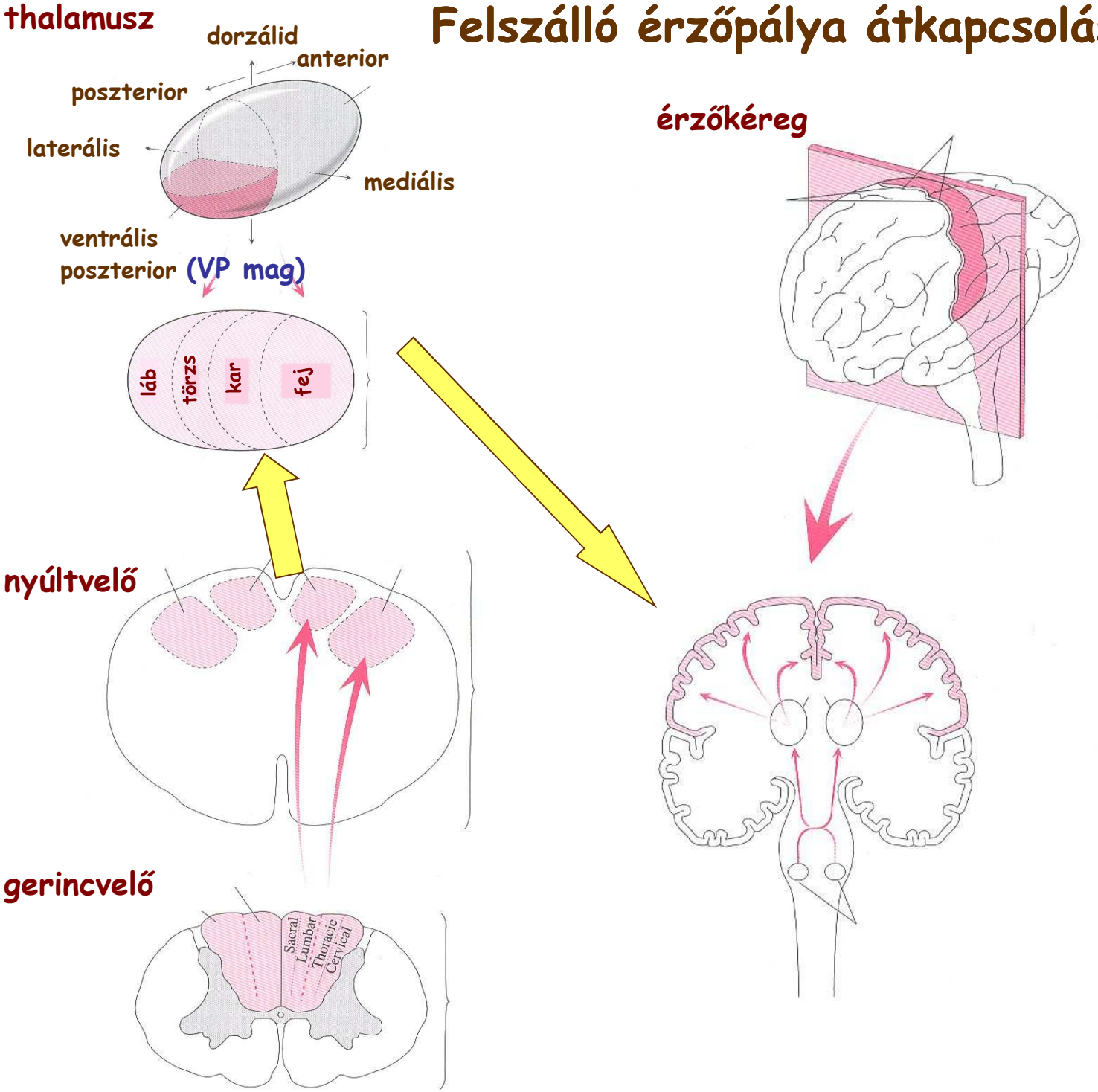
Fájdalom és hőérzékelés



Felszálló érzőpálya



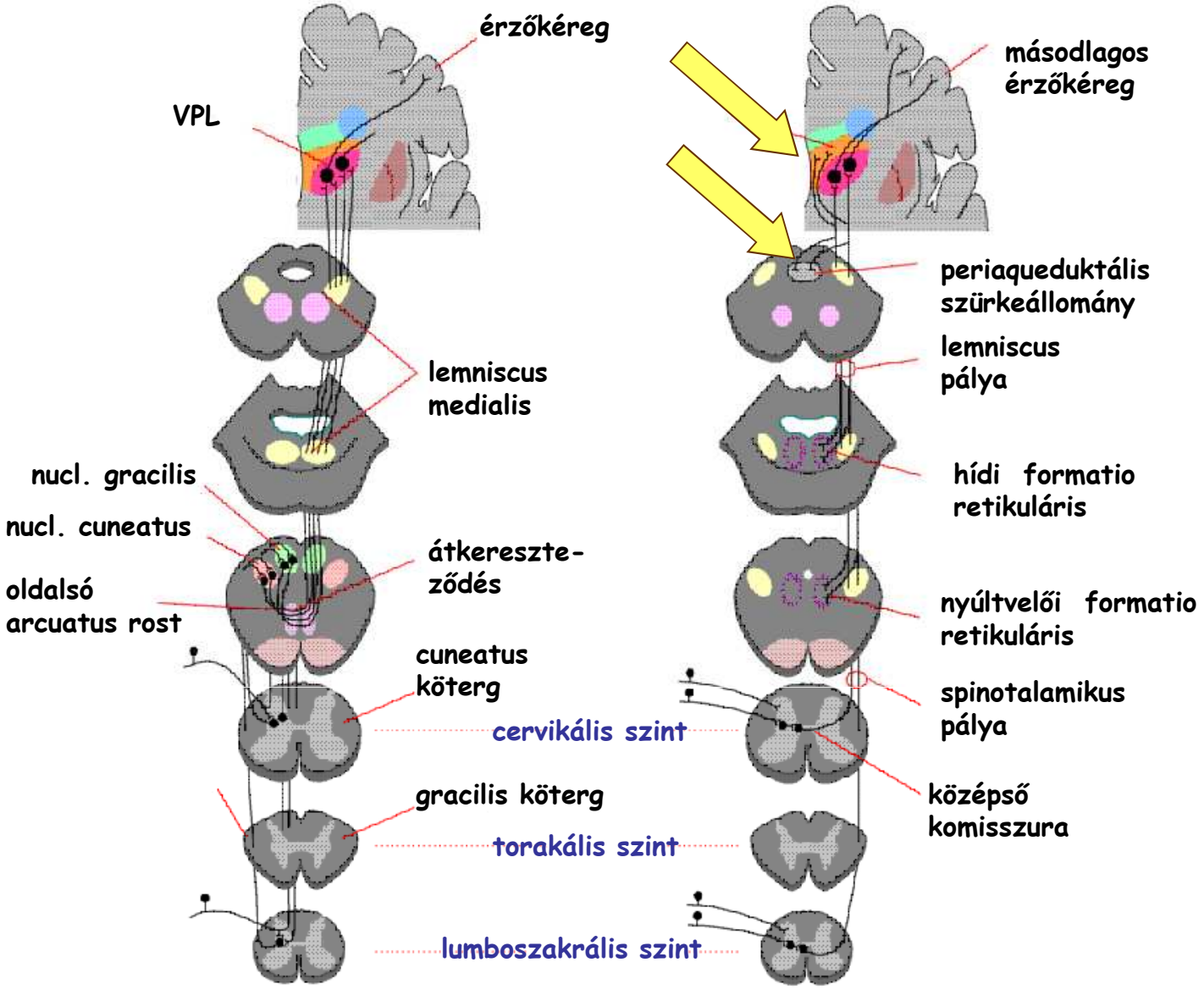
Felszálló érzőpálya átkapcsolásai



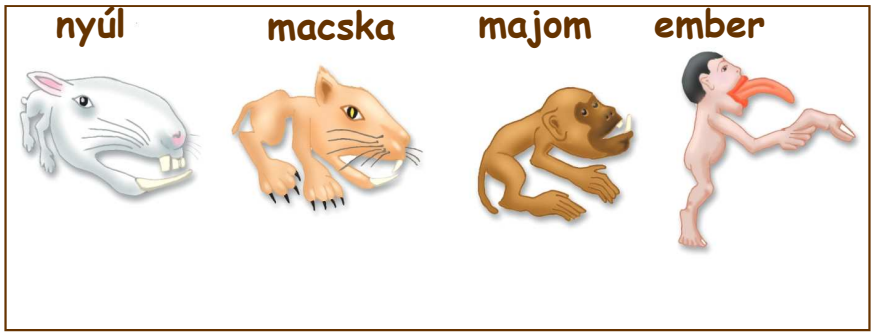
Testérzékelés

specifikus érzőpályák

nem-specifikus aktiváló rendszerek

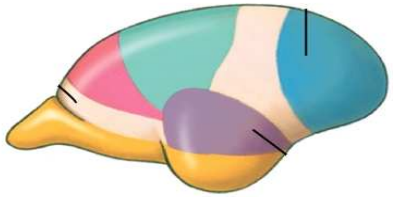


Testérzékelés vetülete az agykérgen

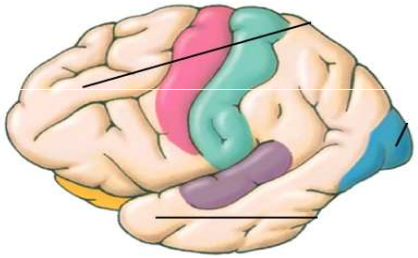


nyúl

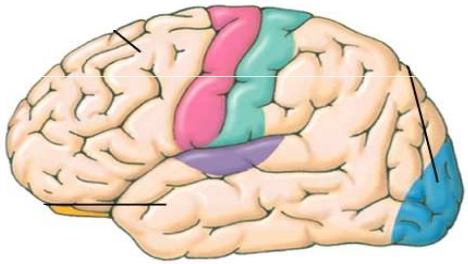
macska



majom



ember



látókéreg

testérzékelő kéreg

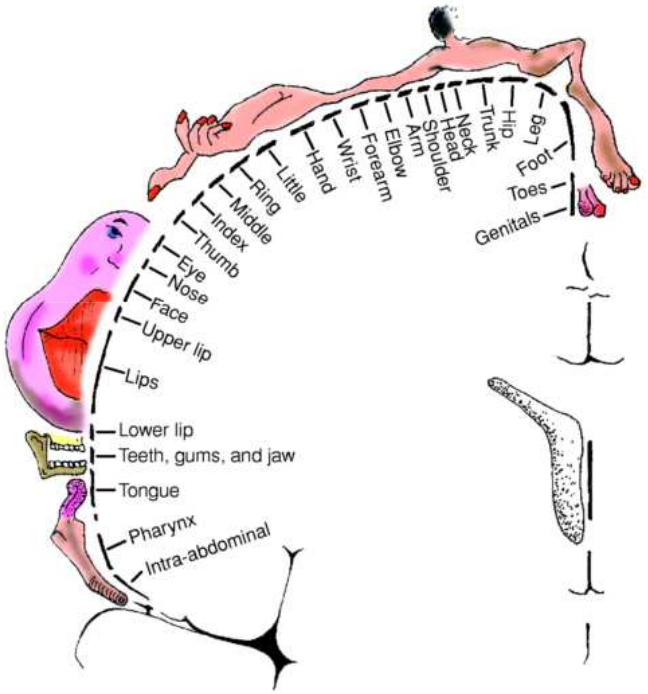
asszociációs kéreg

hallókéreg

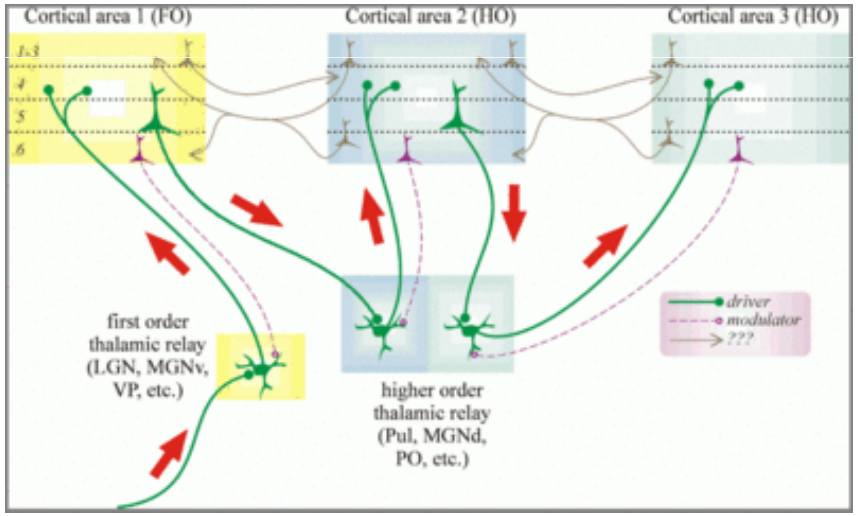
szaglókéreg

mozgatókéreg

A testérzékelés vetülete az agykérgen

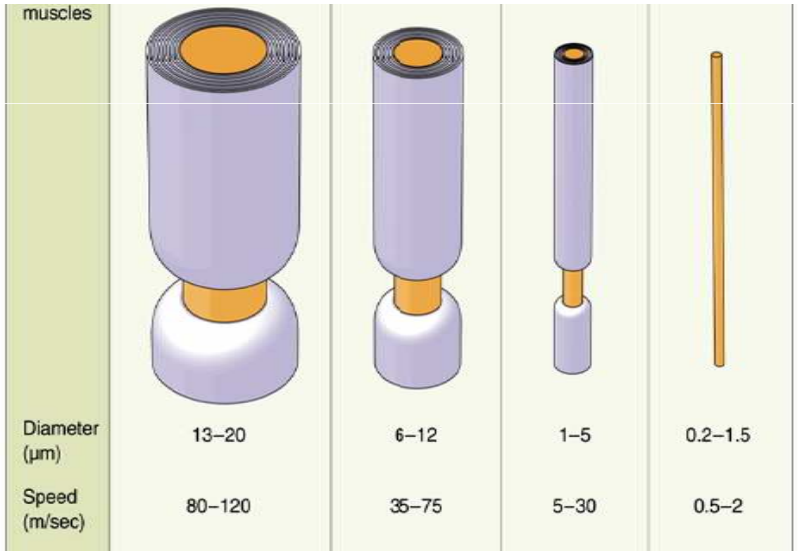


Topografikus vetület az elsődleges érzőkéregben

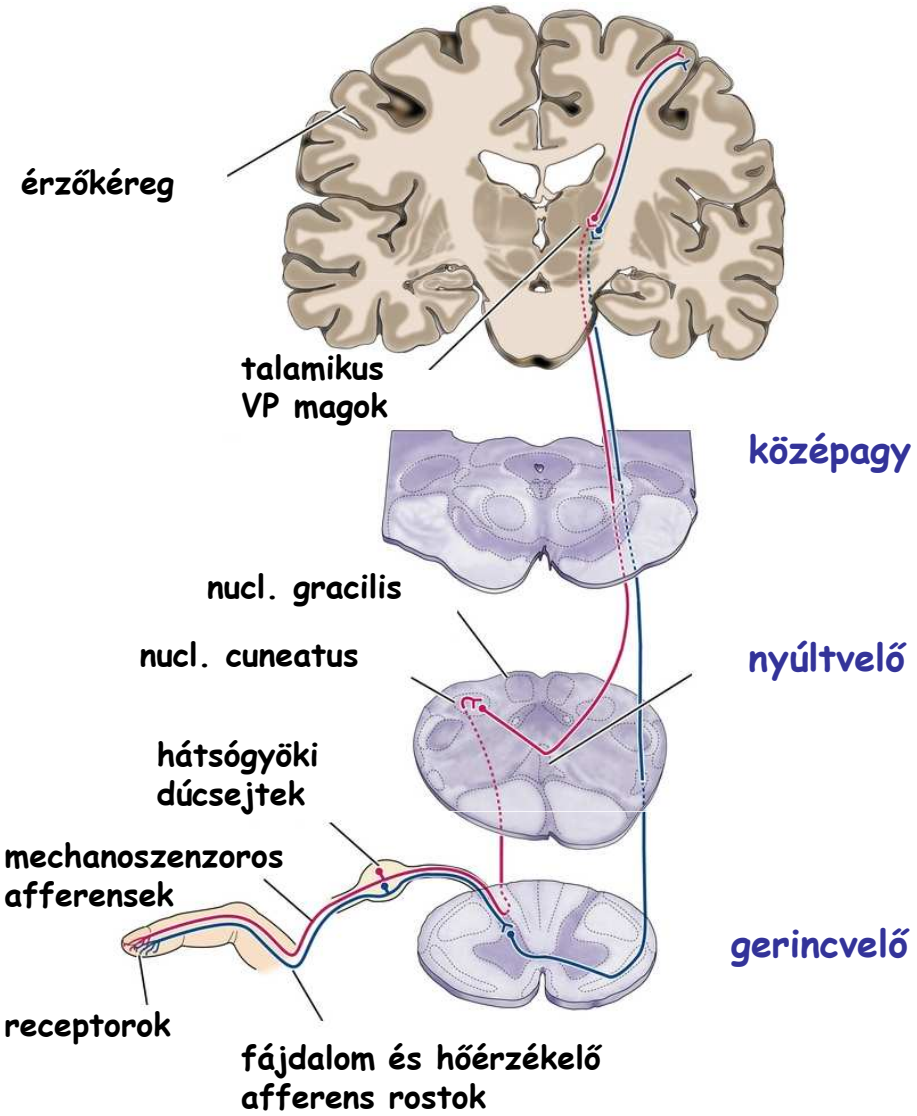


Idegrost osztályok

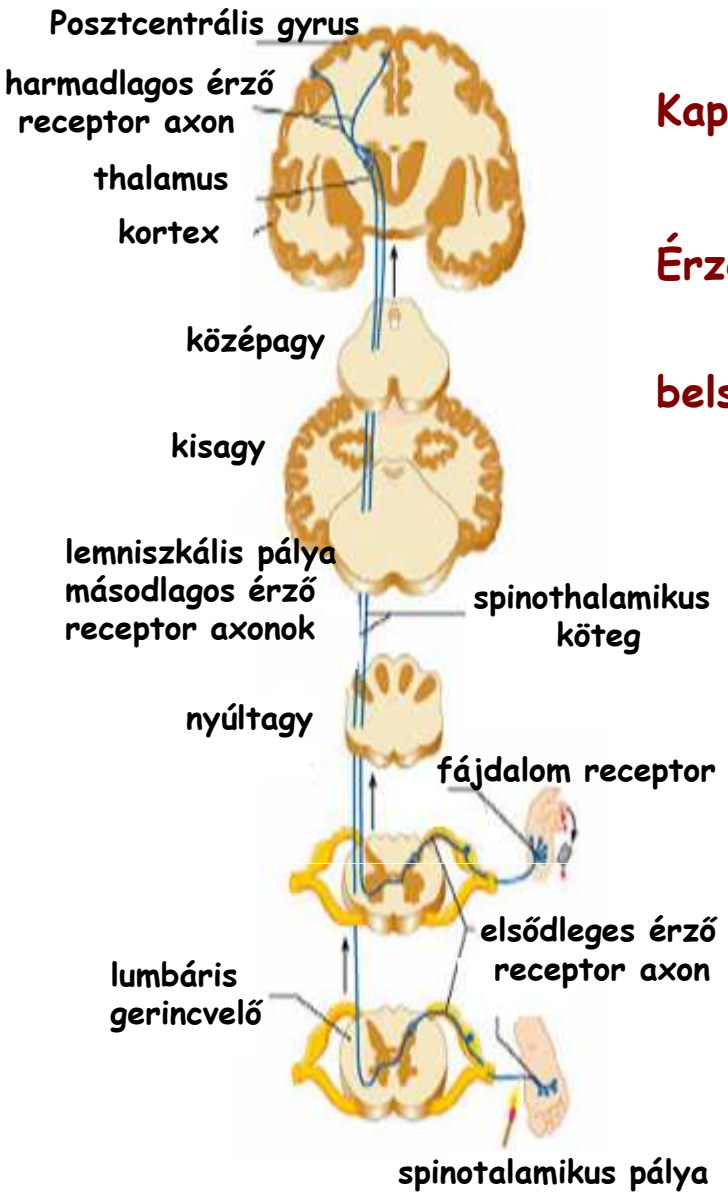
új név	régi név	átmérő µm	vezetési sebesség (m/s)	megjegyzés
Ia	Aα	12-20	70-120	izomorsó motoneuronok rostjai
Ib	Aα	12-20	70-120	ínorsó
II	Aβ	5-12	30-70	izmok virágcsokor receptorai bőr mechanoreceptorai
III	Aγ, δ	2-5	12-30	hő, fájdalom γ-motoneuronok rostjai
	B		3-15	vegetatív preganglionáris
IV	C	0,5-1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



Érzékelés - fájdalomérzékelés



Fájdalomérzékelés

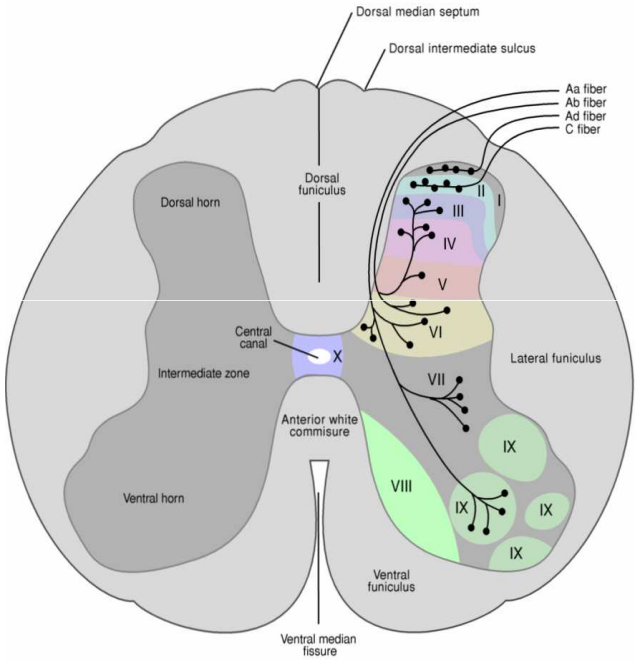


Kapuelmélet - gerincvelői szinten

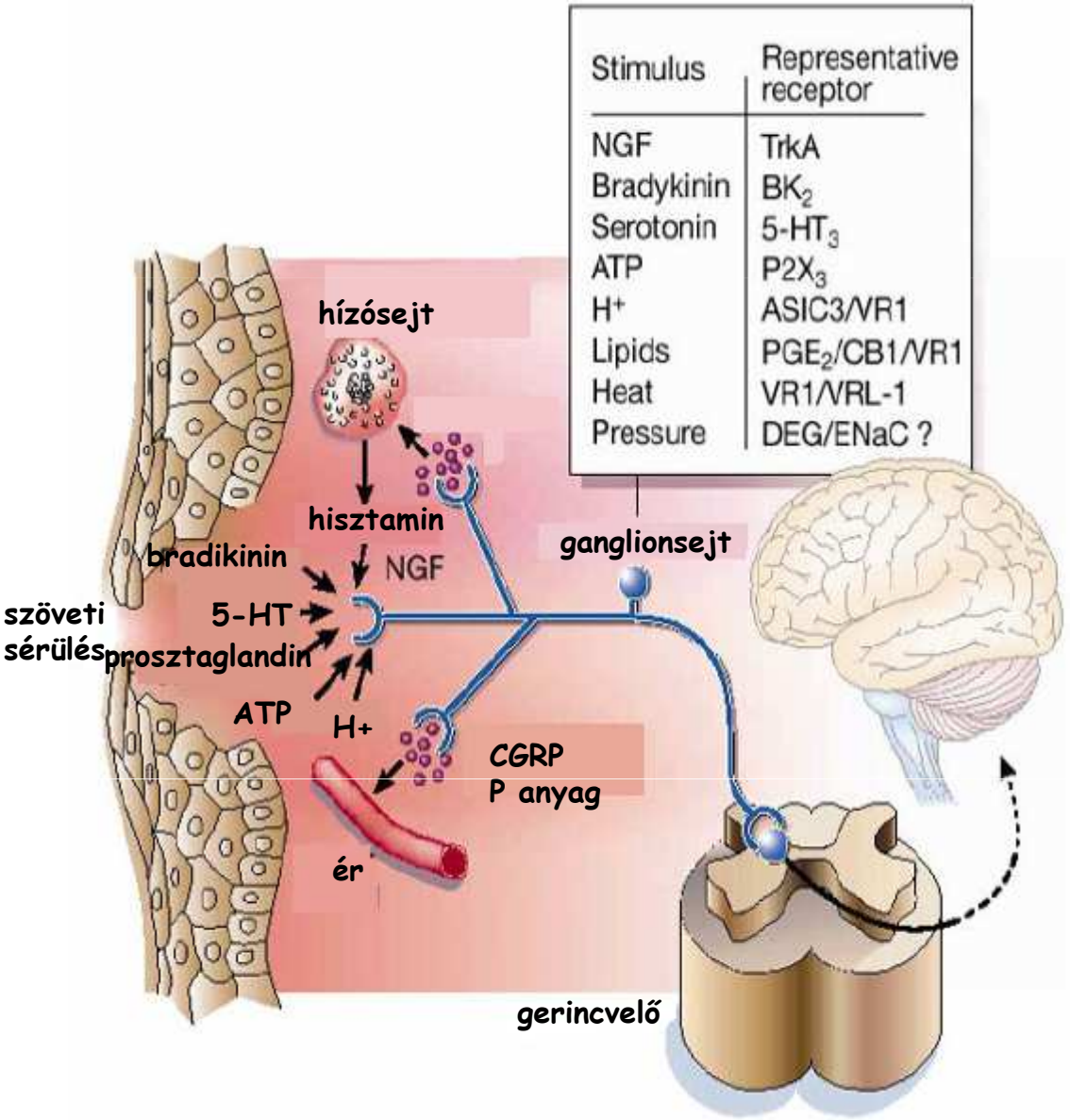
(kapszaicin rec., SP)

Érzékenységállítás – nyúltvelő szinten (NA)

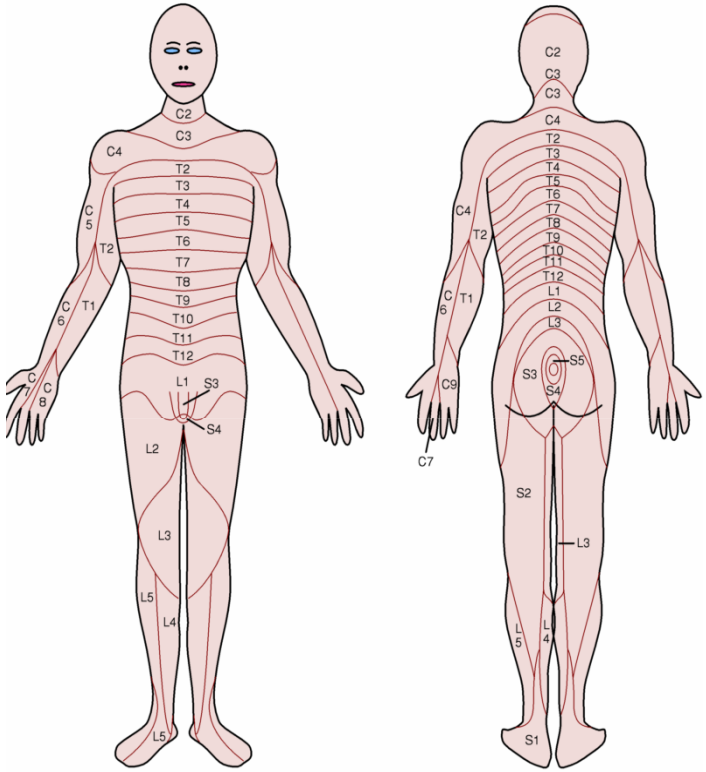
belső fájdalomcsillapítás - endorfinok, enkefalinok

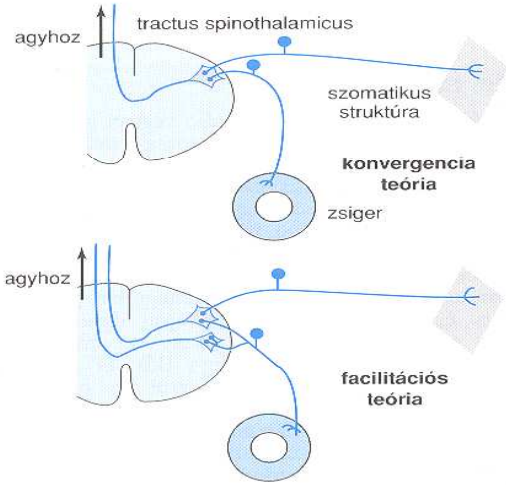


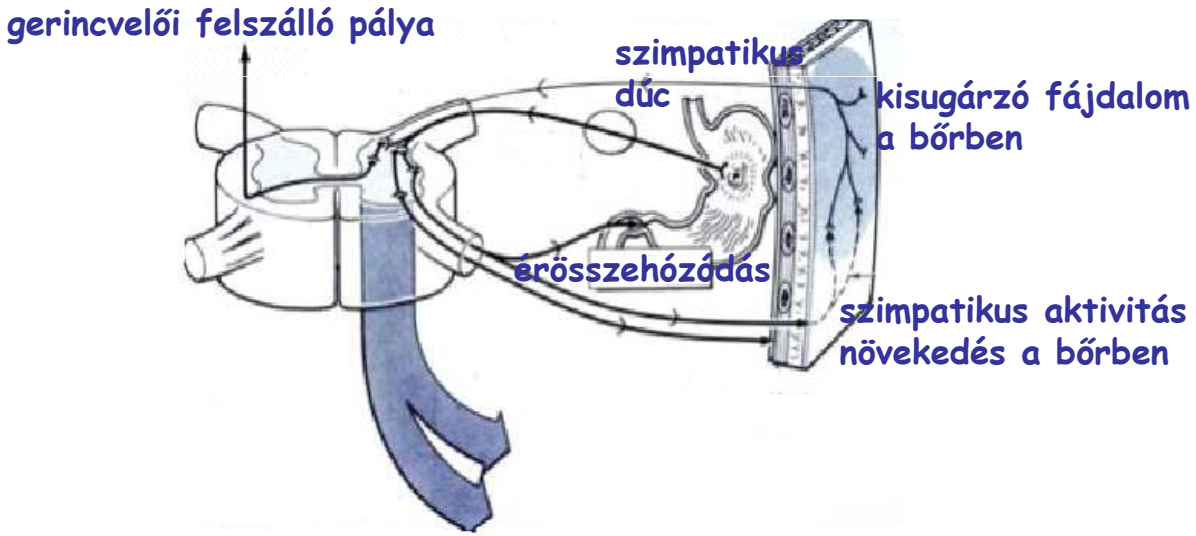
Fájdalom gyulladáskor



Dermatómák
kisugárzó fájdalom



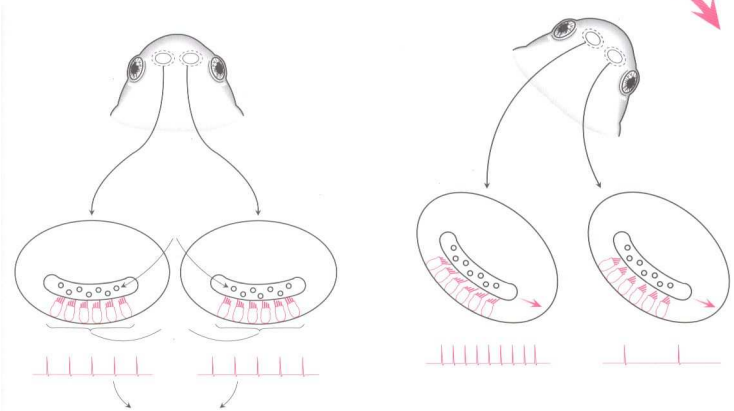




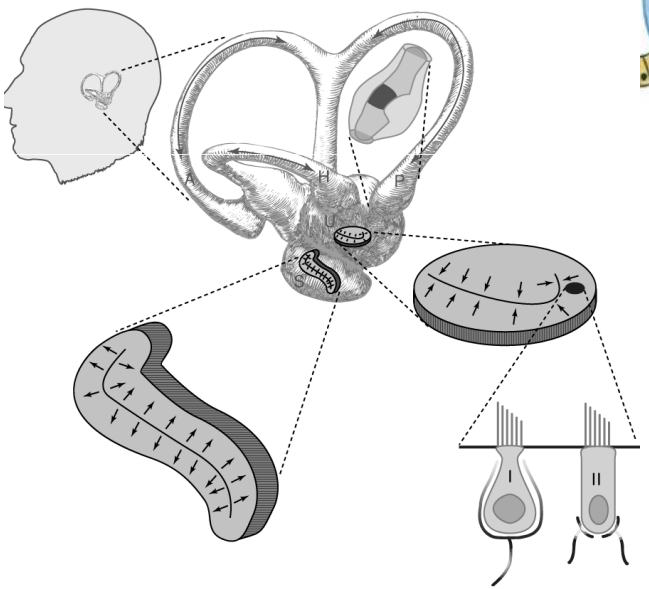
A szőrsejtek aktivitásváltozása

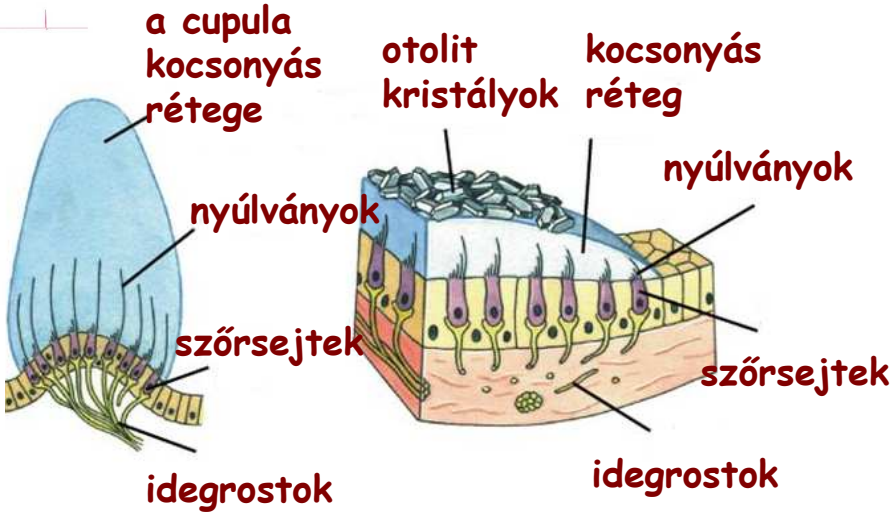
alapállapot

elfordulás



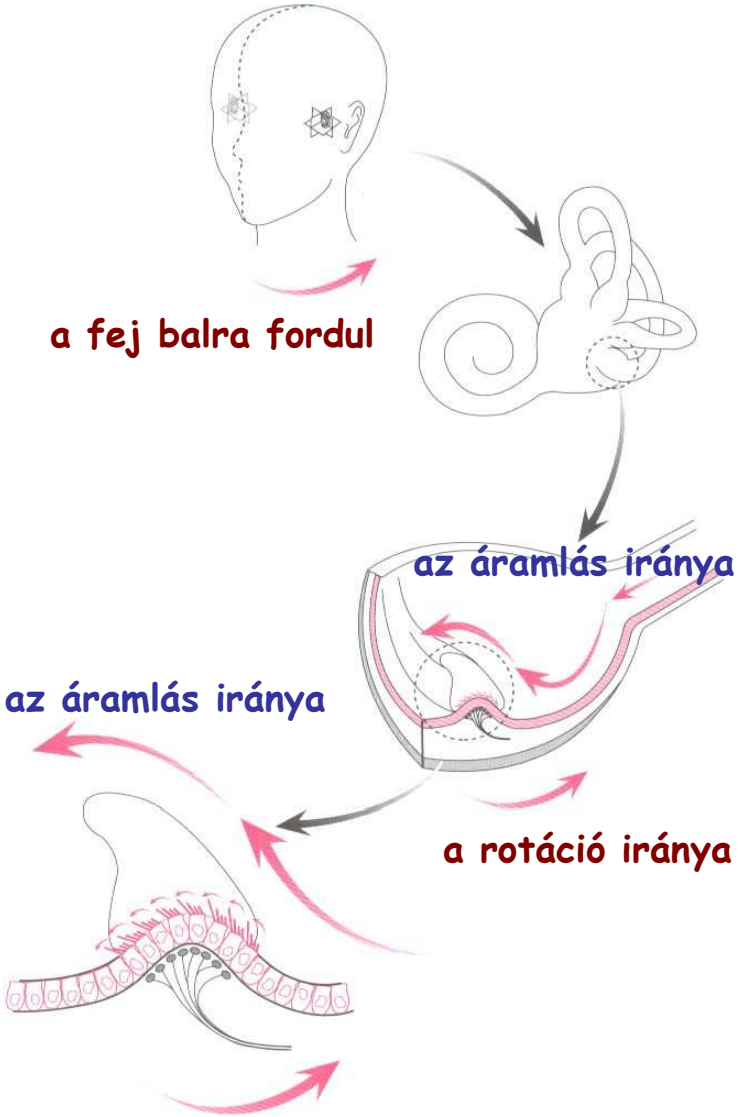
Egyensúlyszerv a belső fülben



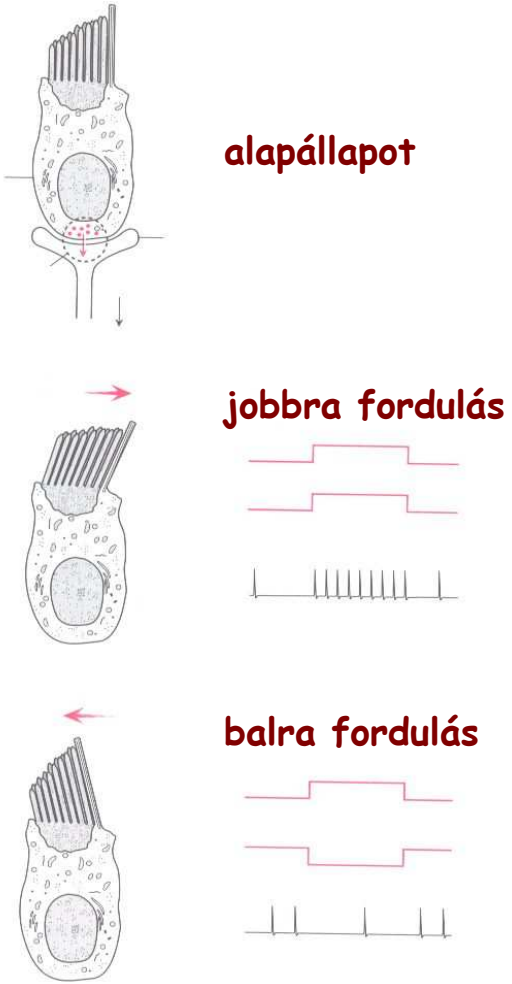


Egyensúlyérzékelés

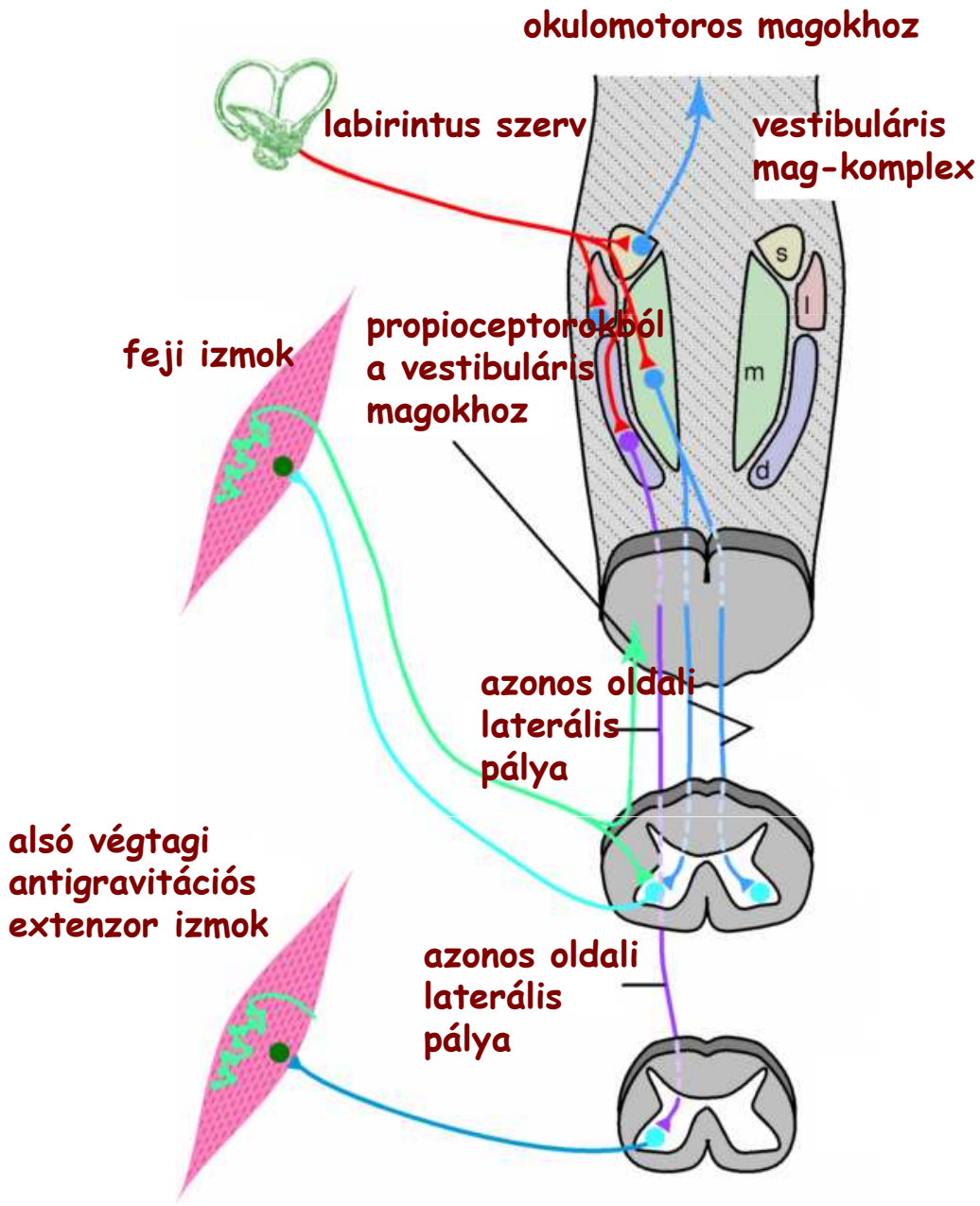
A folyadék mozgása



A receptorok aktivitása

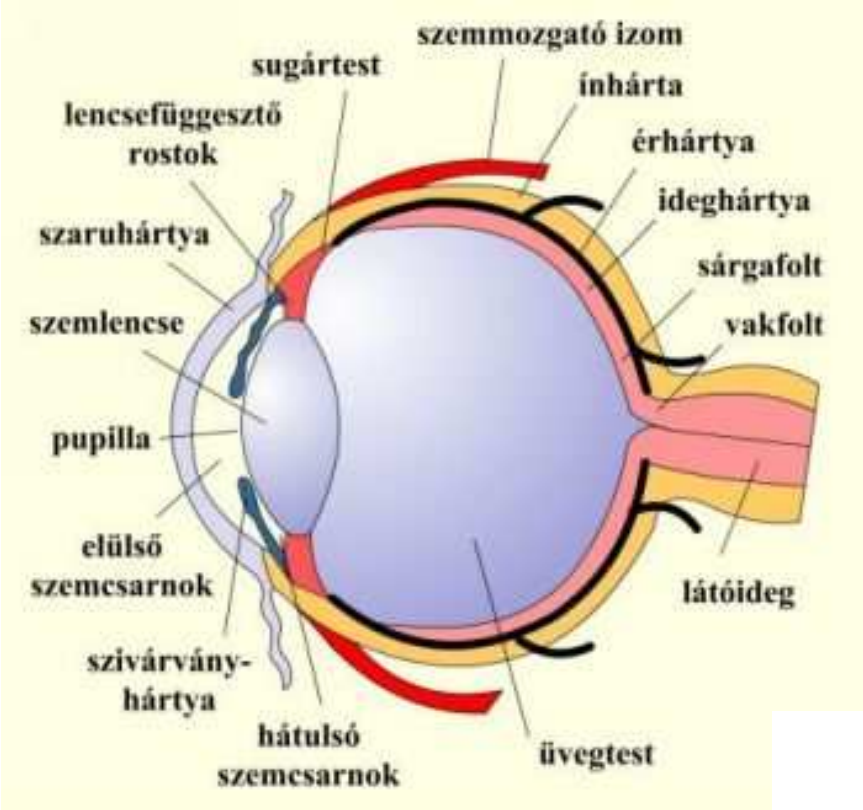


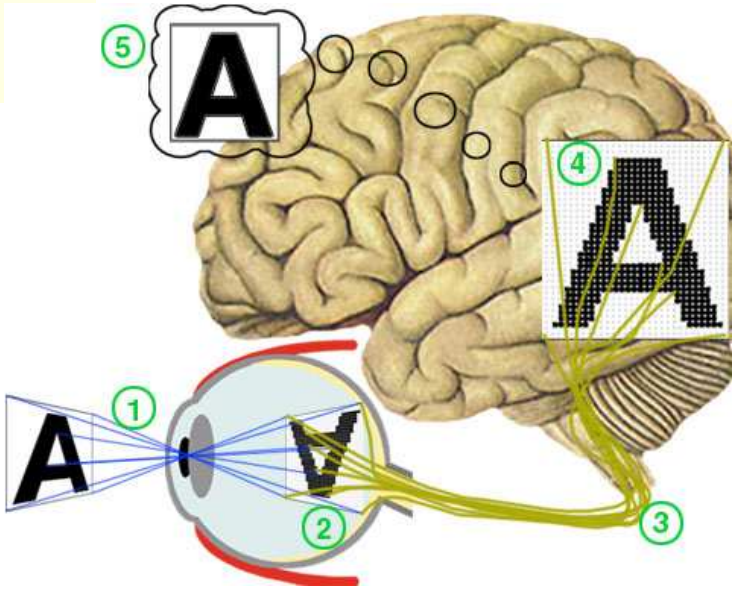
Egyensúlyozás – testtartás - szemmozgatás



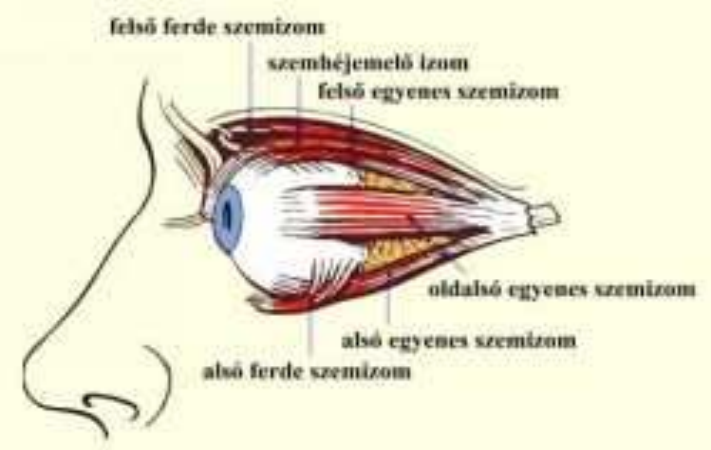
Érzőműködés III.
(látás, hallás)

A szem felépítése, a látás folyamata

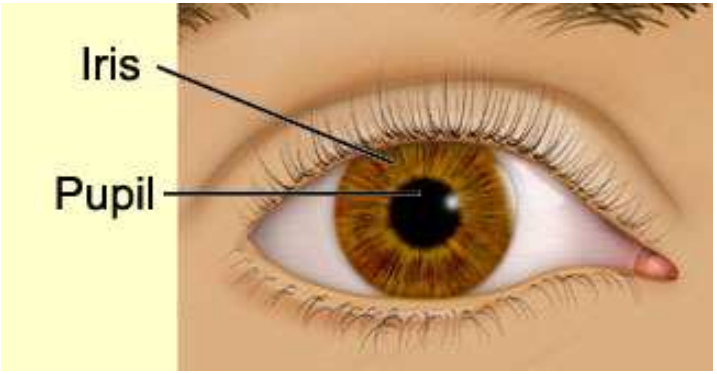




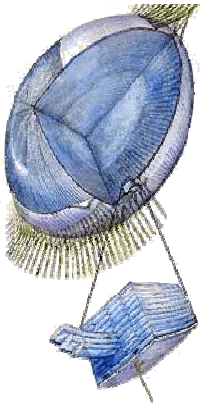
Látás

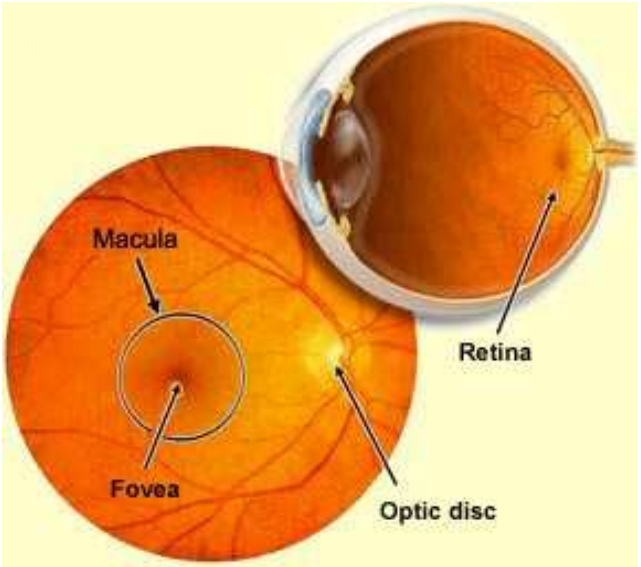


a szem izmai a szemgolyó helyzetének változtatására



lencsét mozgató sugárizmok a szemlencse domborulatának kialakítására





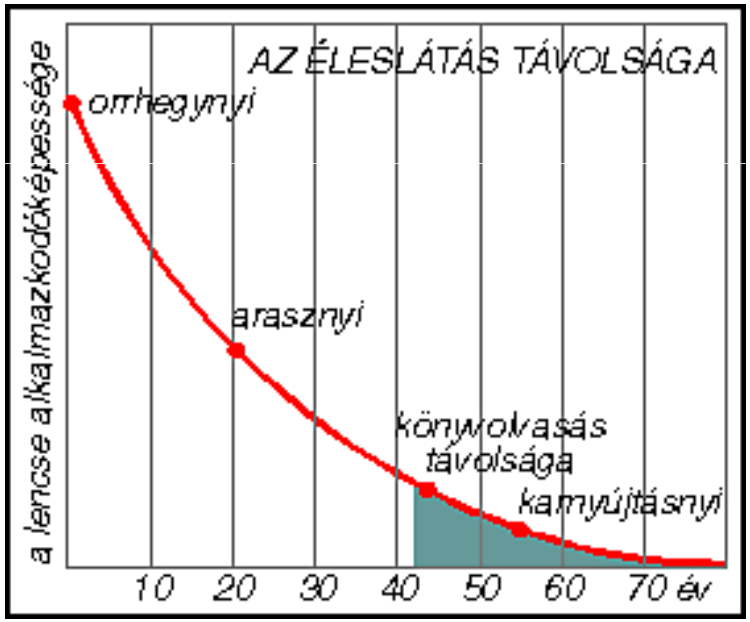
retina: ideghártya, a primer látási érzékelés helye

Látásélesség

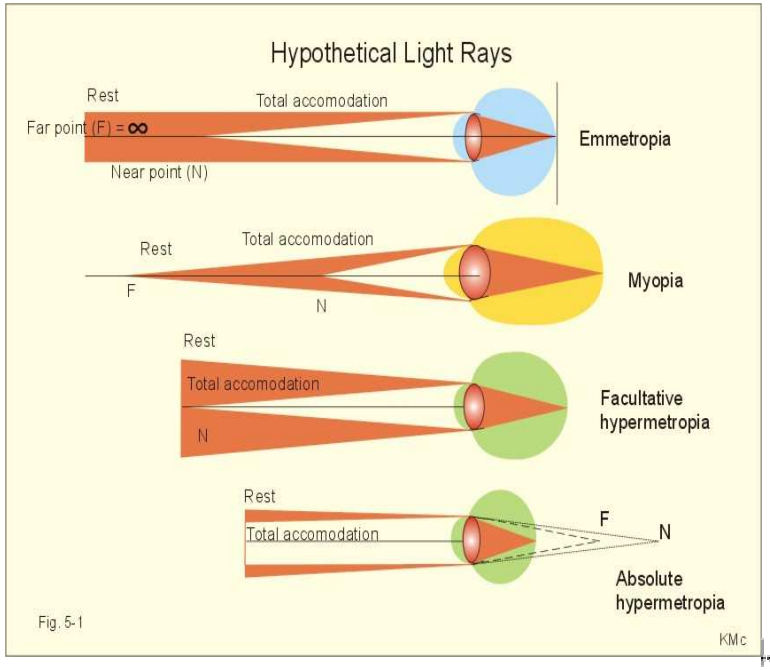
Dioptria (D) a lencsékre jellemző mennyiségi mutató.
Értéke megegyezik a vizsgált lencse méterben mért fókusztávolságának reciprokával

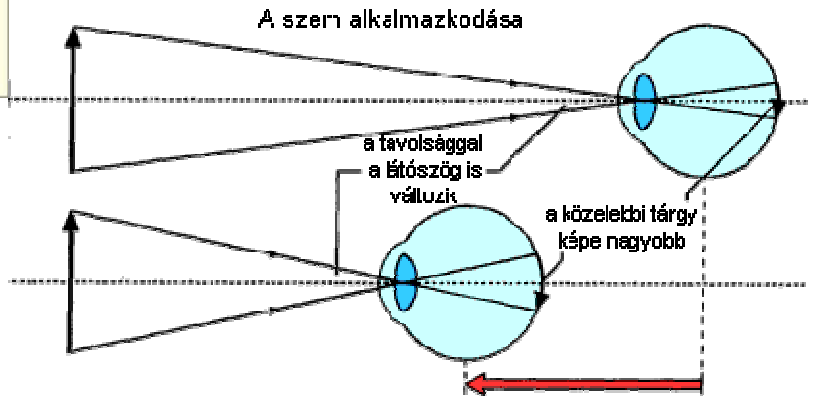
$$D = \frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

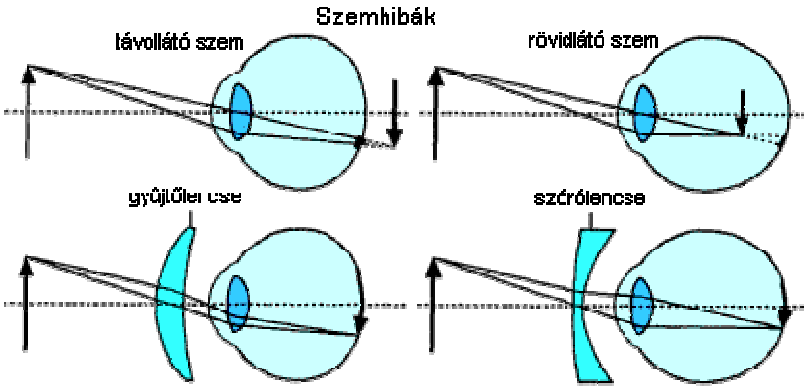
Tehát , ahol *n* a lencse törésmutatója, *R1* és *R2* a lencsét alkotó két gömbfelület sugara.
1 dioptriás az olyan üveg, melynek gyújtótávola 1 m.
2 dioptriás az olyan üveg, melynek gyújtótávola 0,5 m.



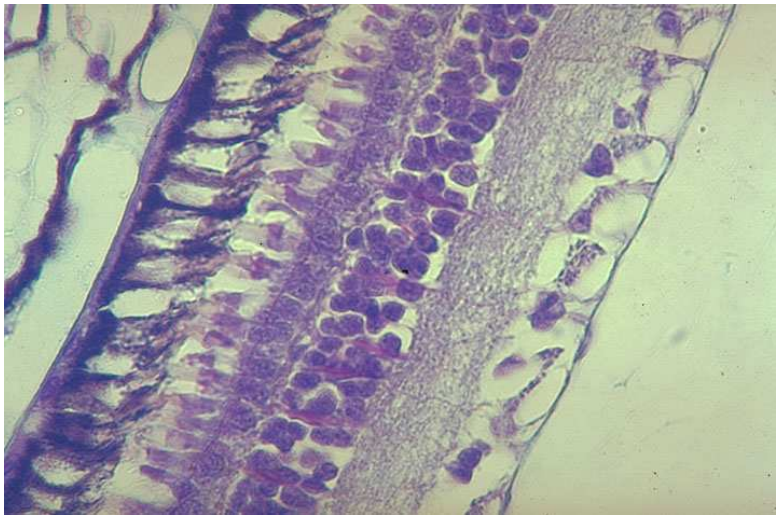
Látáshibák


Hypothetical Light Rays
Rest
Total accomodation
Far point (F) = ∞
Near point (N)
Emmetropia
Rest
Total accomodation
F
N
Myopia
Rest
Total accomodation
N
Facultative hypermetropia
Rest
Total accomodation
F
N
Absolute hypermetropia
Fig. 5-1
KMc

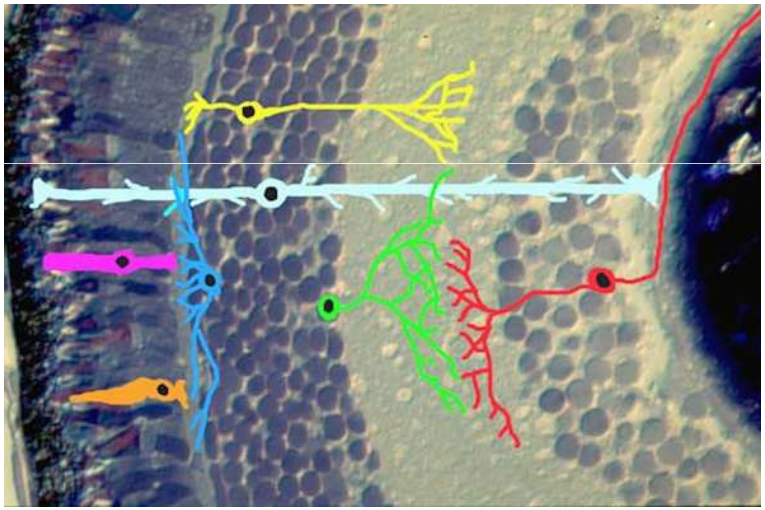

A szem alkalmazkodása
a távolsággal a látószög is változik
a közelebbi tárgy képe nagyobb


Szemhibák
távollátó szem
rövidlátó szem
gyűjtőlencse
szórólencse

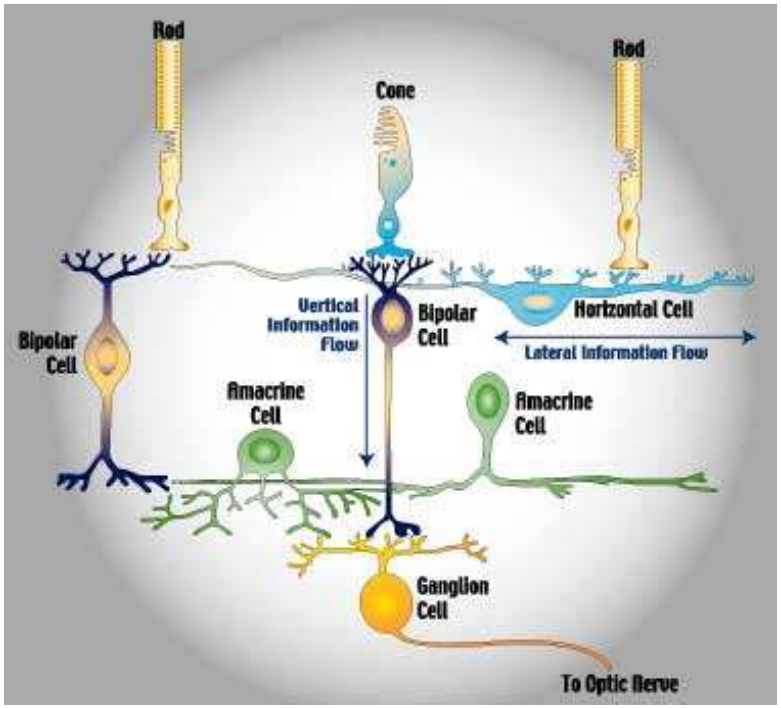
A retina struktúrája



Szövettani metszet



Jellegzetes sejttípusok



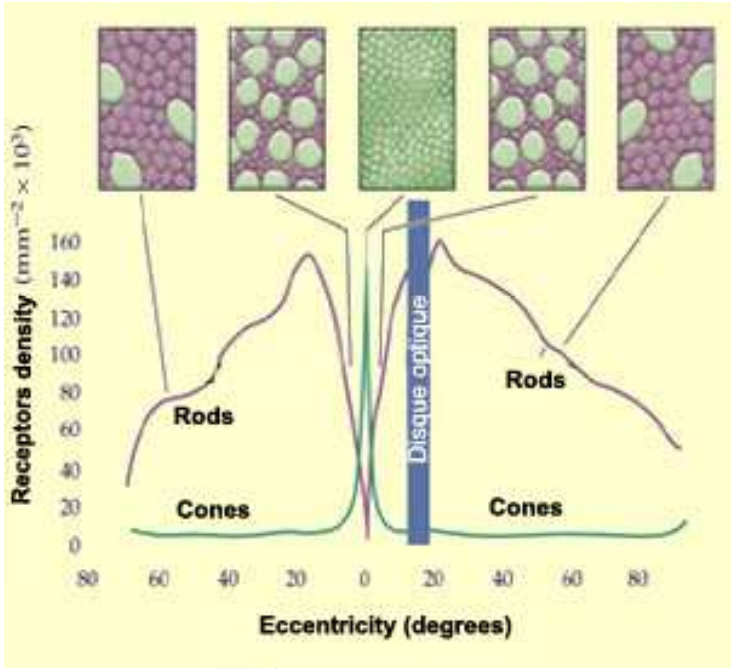
Látás

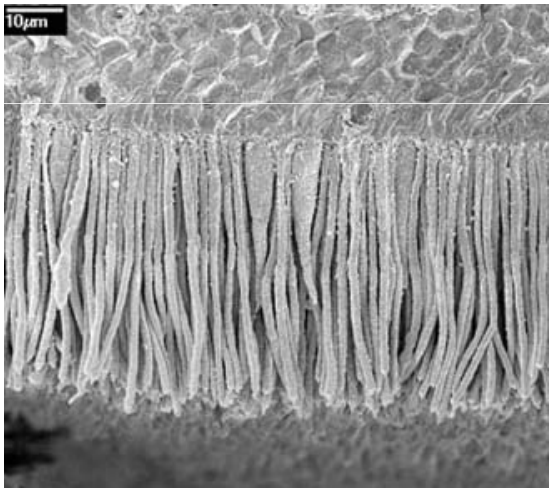
Pálcikák és csapok

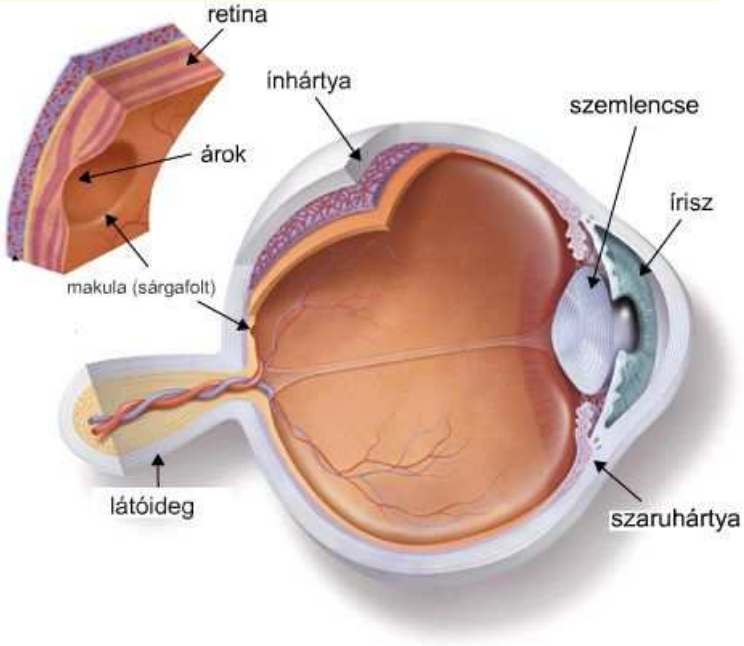
külső szegmens, lamellák

belső szegmens, mitokondriumok, mag

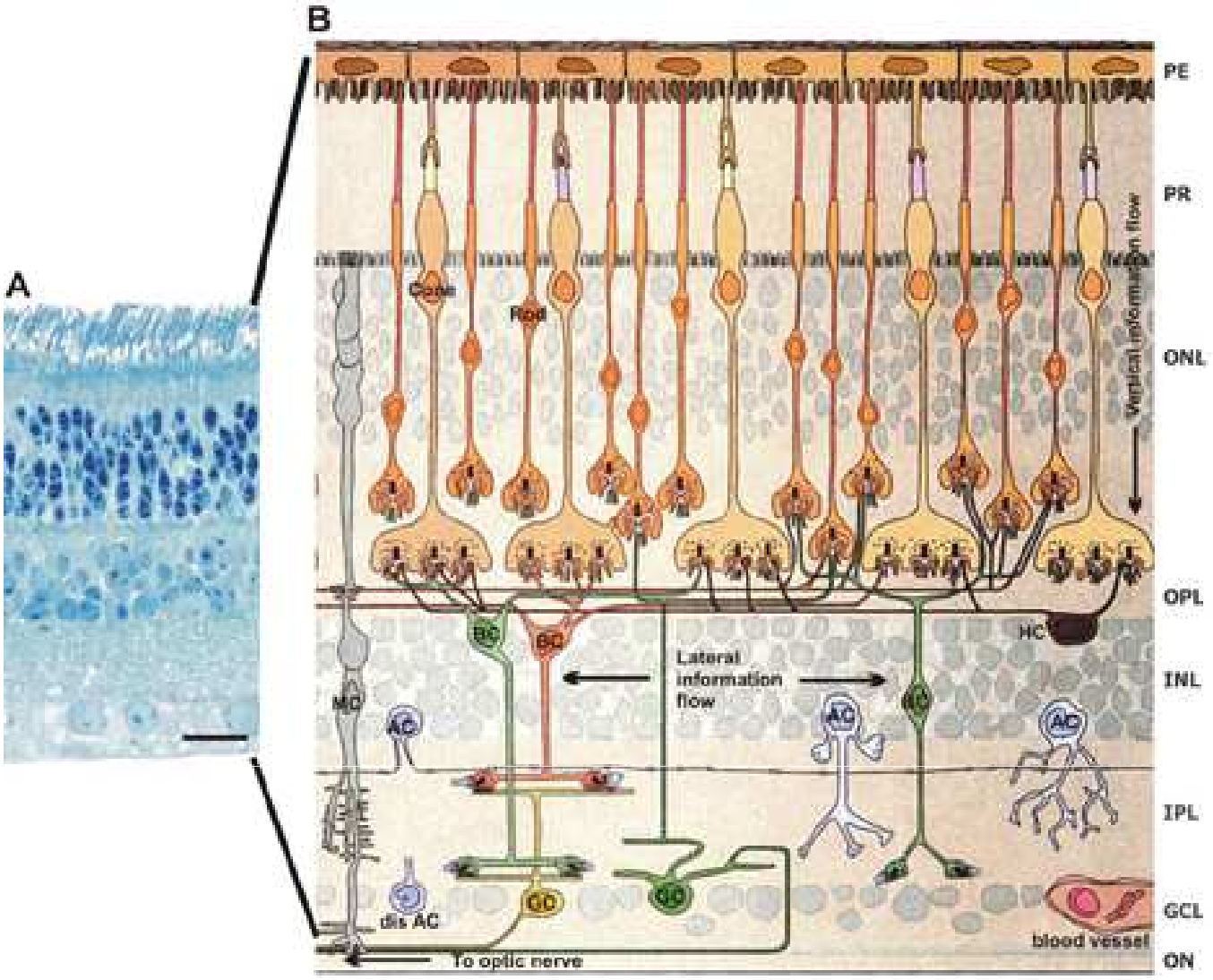
szinaptikus terület





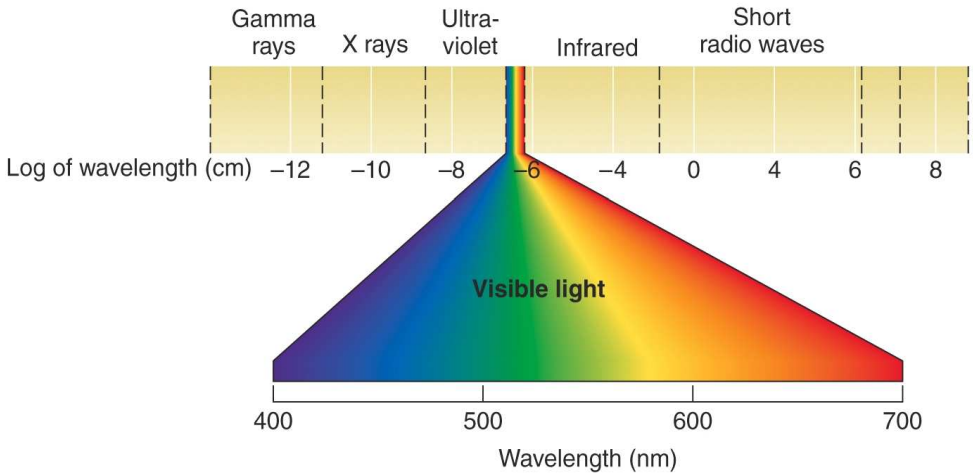


Látás


A
B
PE
PR
ONL
OPL
INL
IPL
GCL
ON
Cone
Rod
Vertical information flow
HC
BC
BC
Lateral information flow
MC
AC
AC
AC
MC
GC
GC
dis AC
blood vessel
To optic nerve

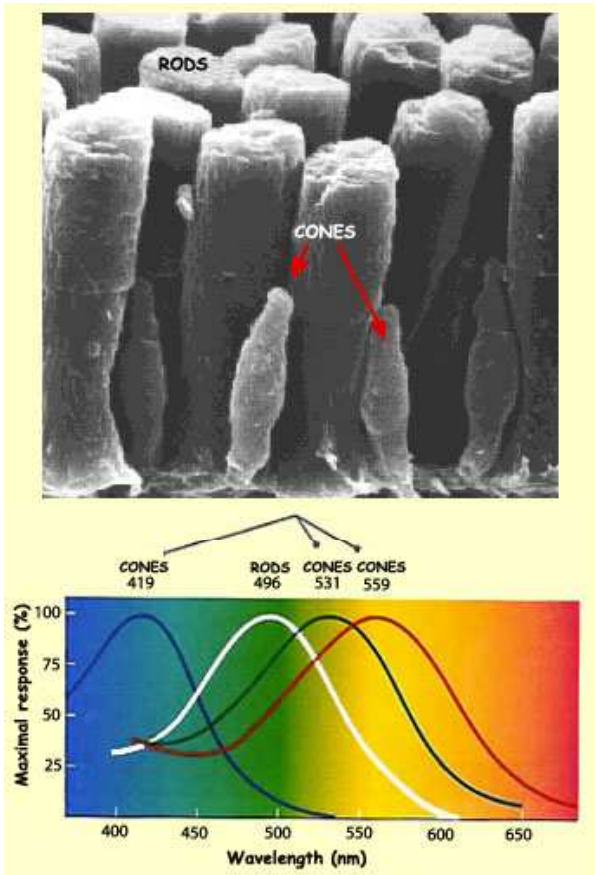
Látás

Elektromágnese sugárzások

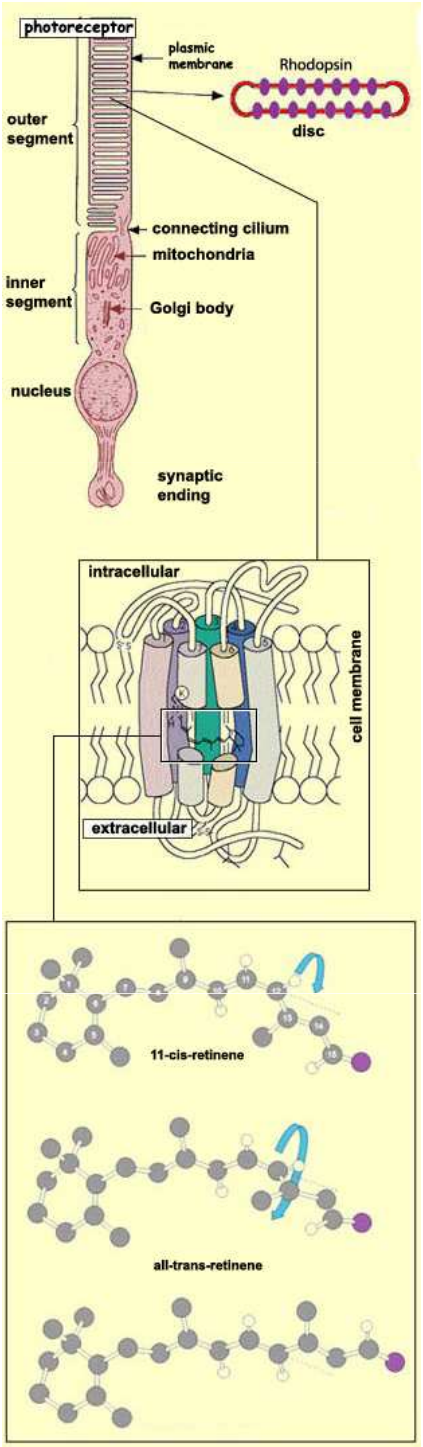


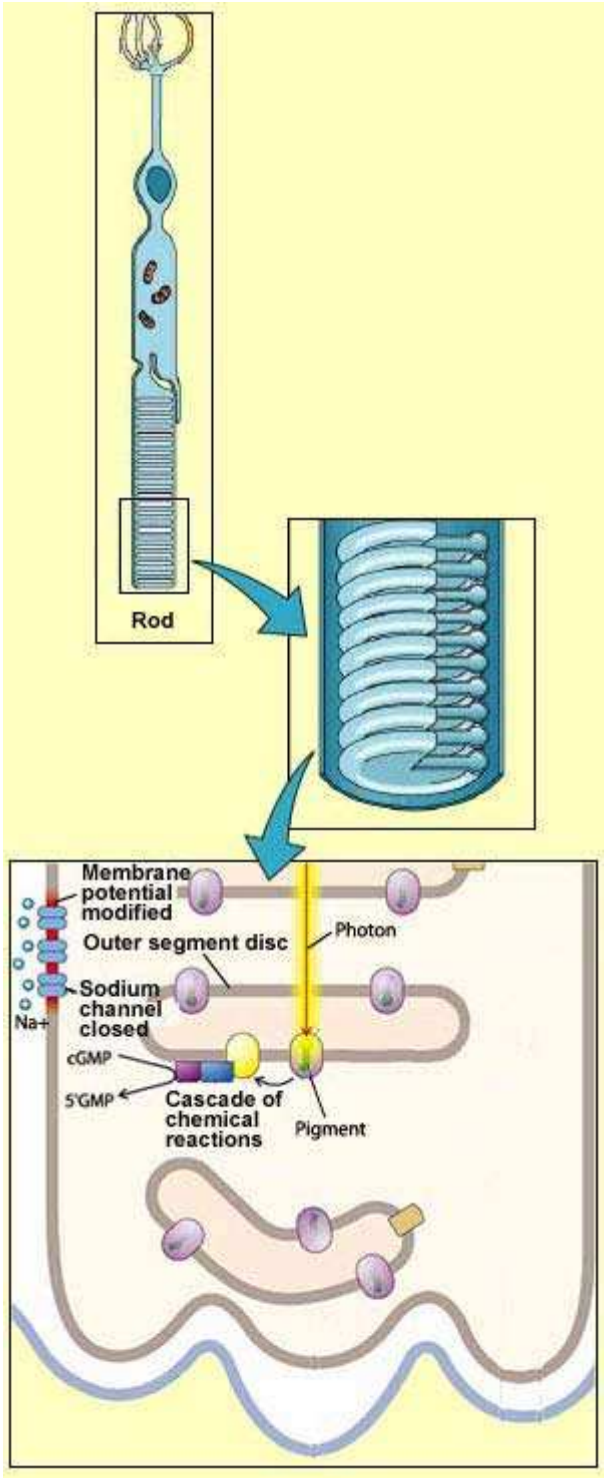
Fényelnyelő pigmentek

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

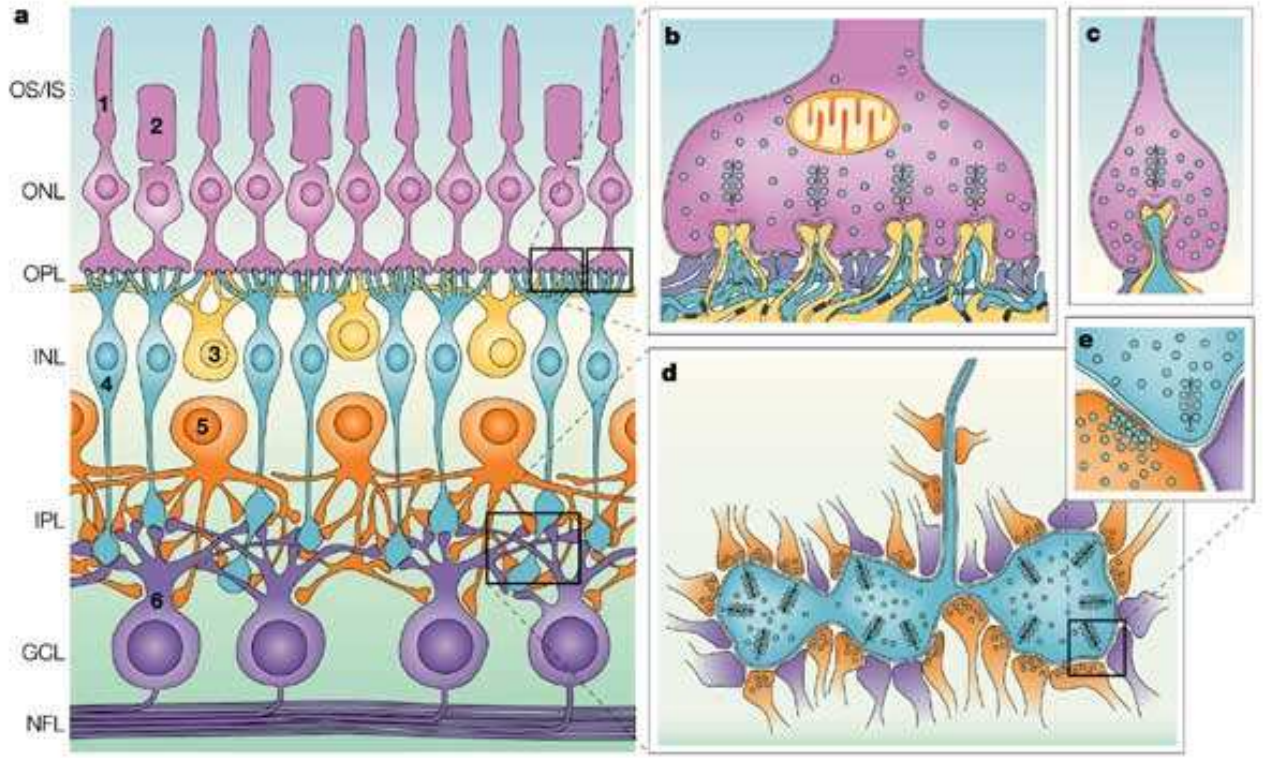


Látás


photoreceptor
plasmic membrane
Rhodopsin
disc
outer segment
connecting cilium
mitochondria
inner segment
Golgi body
nucleus
synaptic ending
intracellular
cell membrane
extracellular
11-cis-retinene
all-trans-retinene

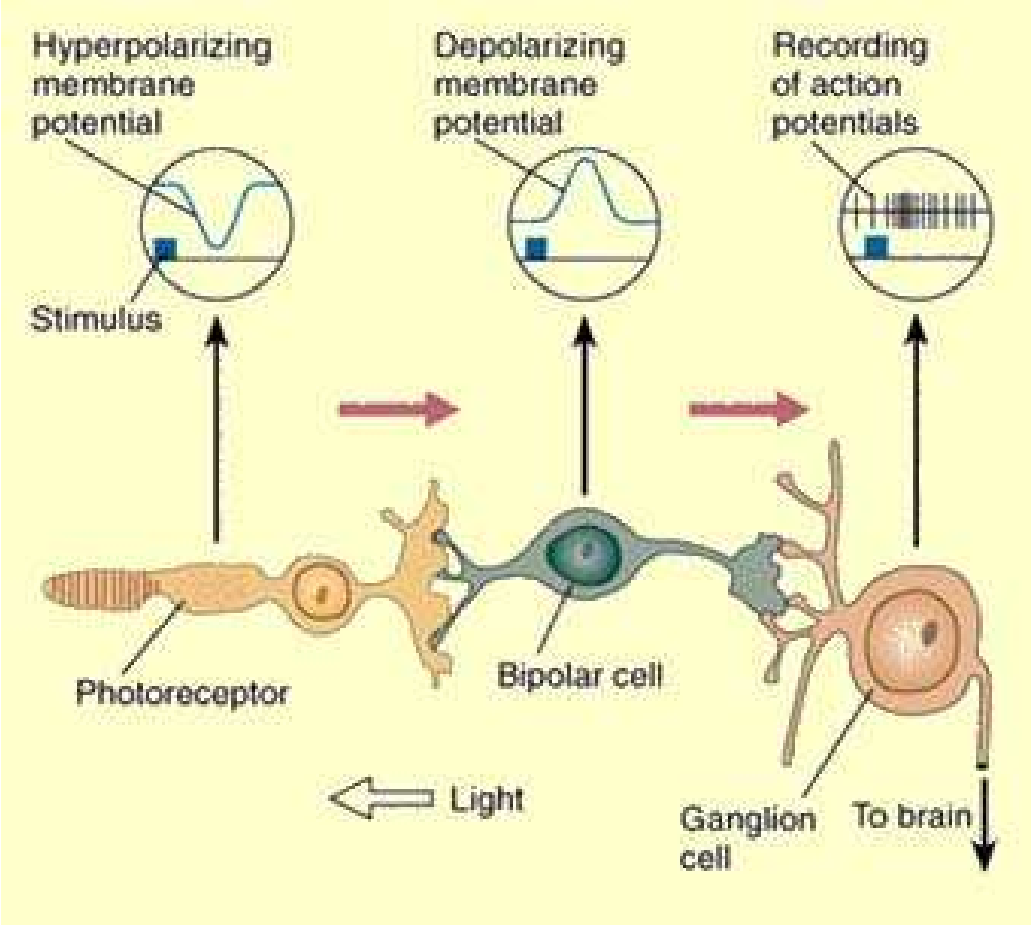

Rod
Membrane potential modified
Photon
Outer segment disc
Sodium channel closed
Na+
cGMP
5'GMP
Cascade of chemical reactions
Pigment

Látás

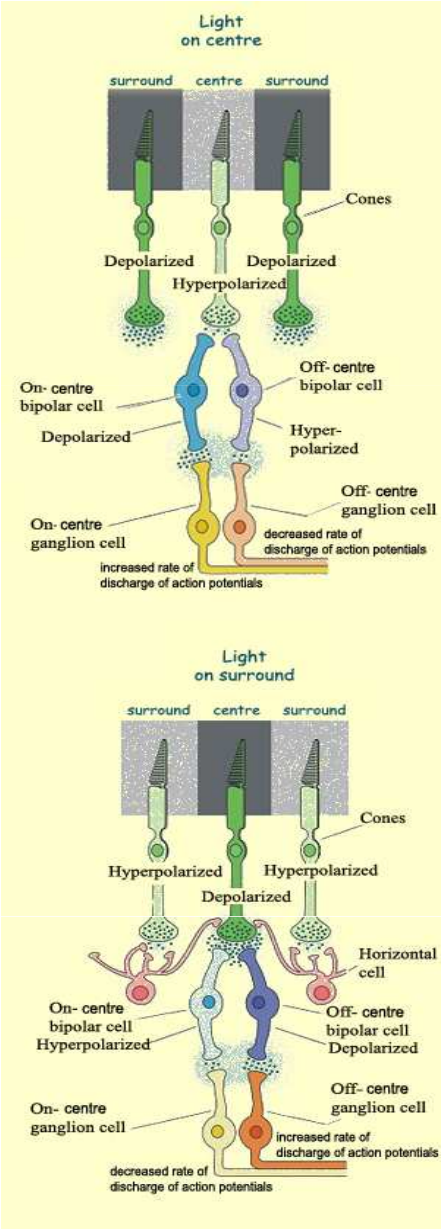


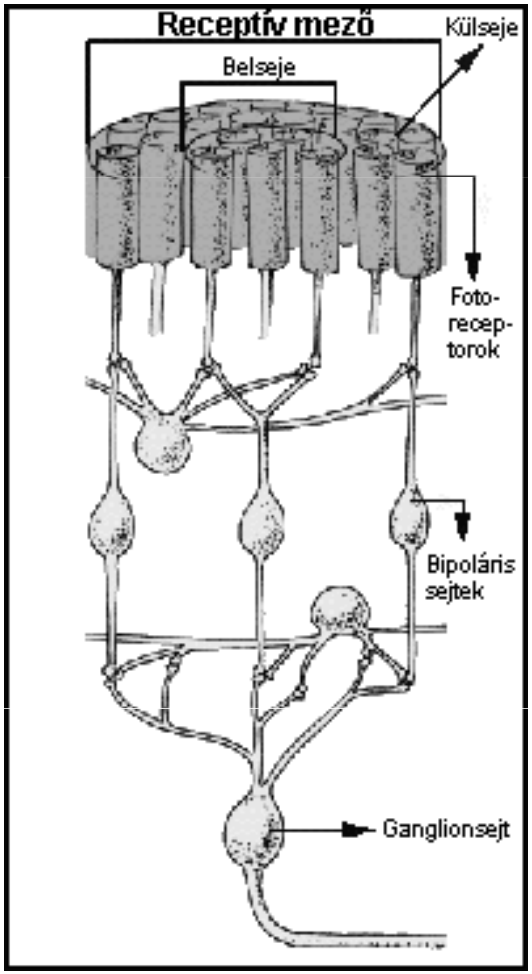
- a kapcsolatok szerveződése a retinában
- a szinapszisok szerkezete, Szalag (ribbon) szinapszis a triádokkal (On sejtek).

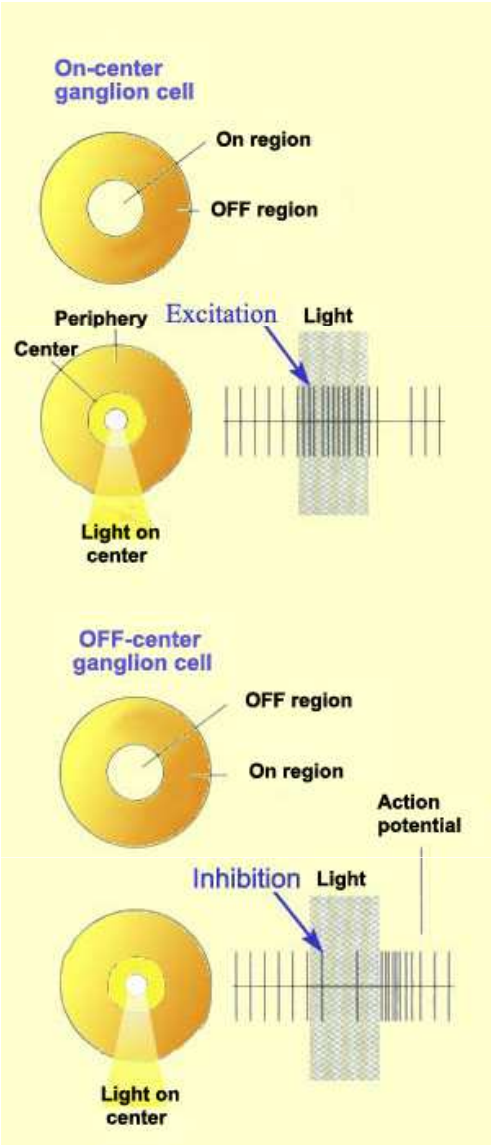
Látás


Hyperpolarizing membrane potential
Depolarizing membrane potential
Recording of action potentials
Stimulus
Photoreceptor
Bipolar cell
Light
Ganglion cell
To brain

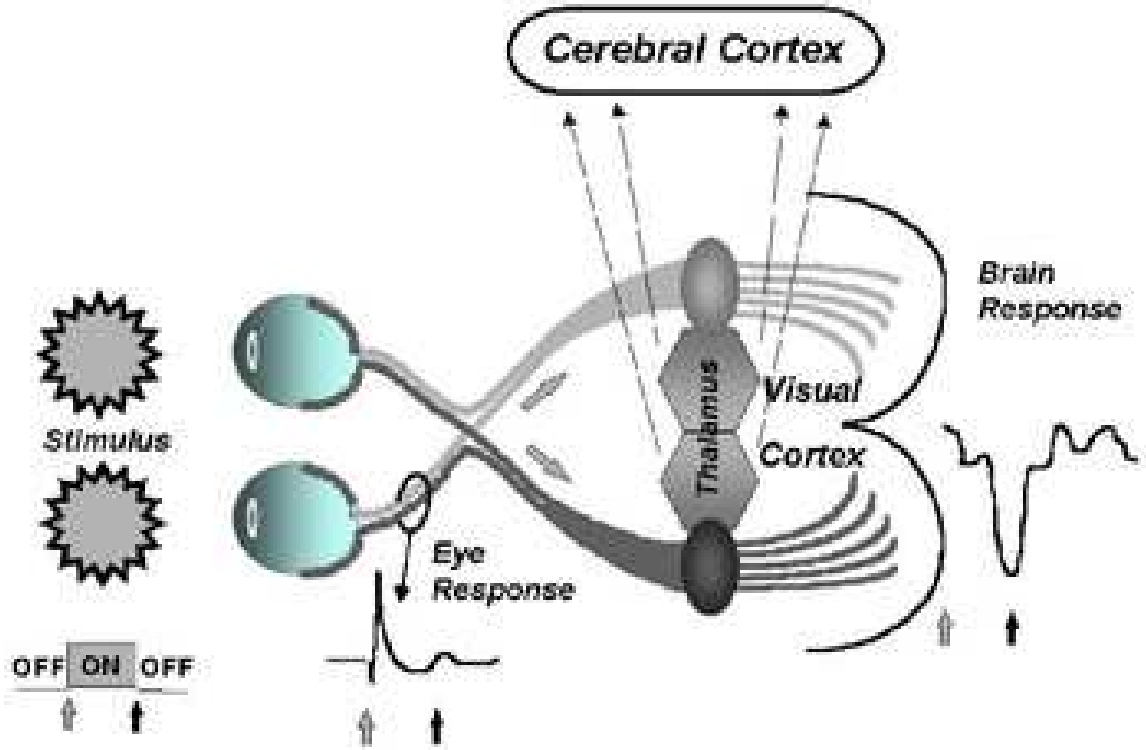
Látás


Light
on centre
surround
centre
surround
Cones
Depolarized
Depolarized
Hyperpolarized
On- centre
bipolar cell
Off- centre
bipolar cell
Depolarized
Hyper-
polarized
Off- centre
ganglion cell
On- centre
ganglion cell
decreased rate of
discharge of action potentials
increased rate of
discharge of action potentials
Light
on surround
surround
centre
surround
Cones
Hyperpolarized
Hyperpolarized
Depolarized
Horizontal
cell
On- centre
bipolar cell
Hyperpolarized
Off- centre
bipolar cell
Depolarized
Off- centre
ganglion cell
On- centre
ganglion cell
increased rate of
discharge of action potentials
decreased rate of
discharge of action potentials


Receptív mező
Külseje
Belseje
Foto-
recep-
torok
Bipoláris
sejtek
Ganglionsejt

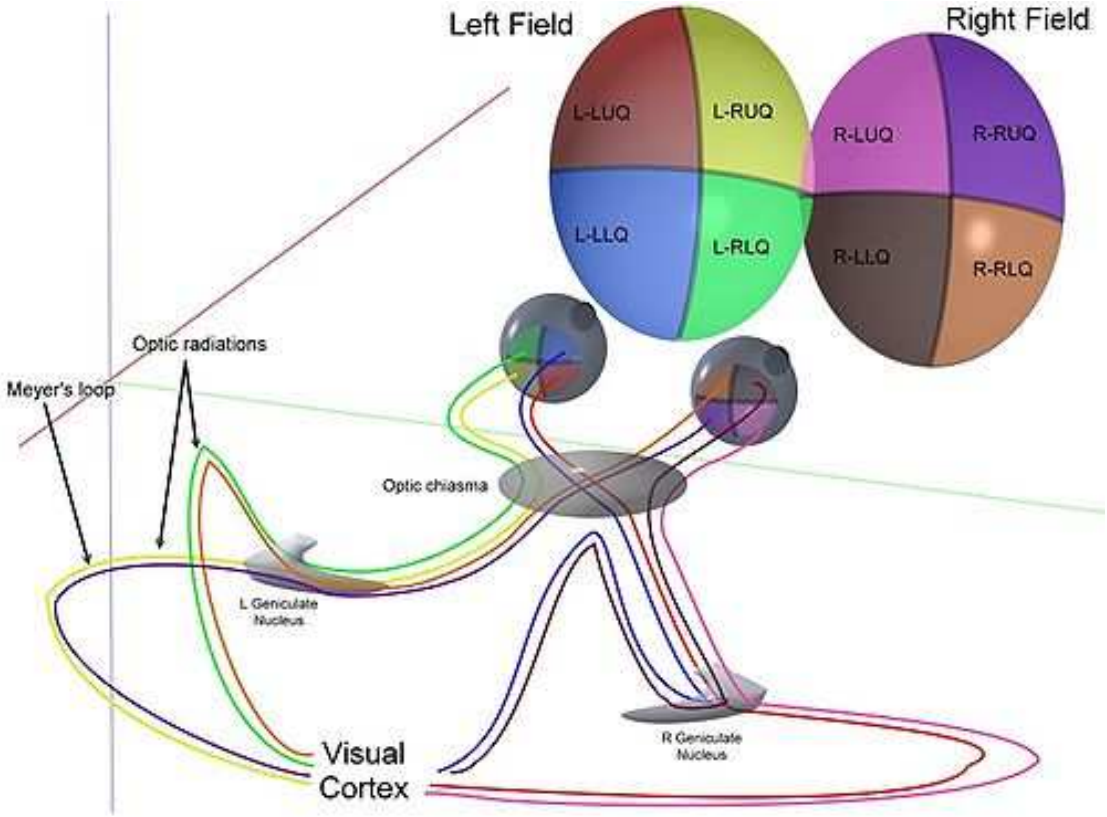

On-center
ganglion cell
On region
OFF region
Periphery
Excitation
Light
Center
Light on
center
OFF-center
ganglion cell
OFF region
On region
Action
potential
Inhibition
Light
Light on
center

Látópálya

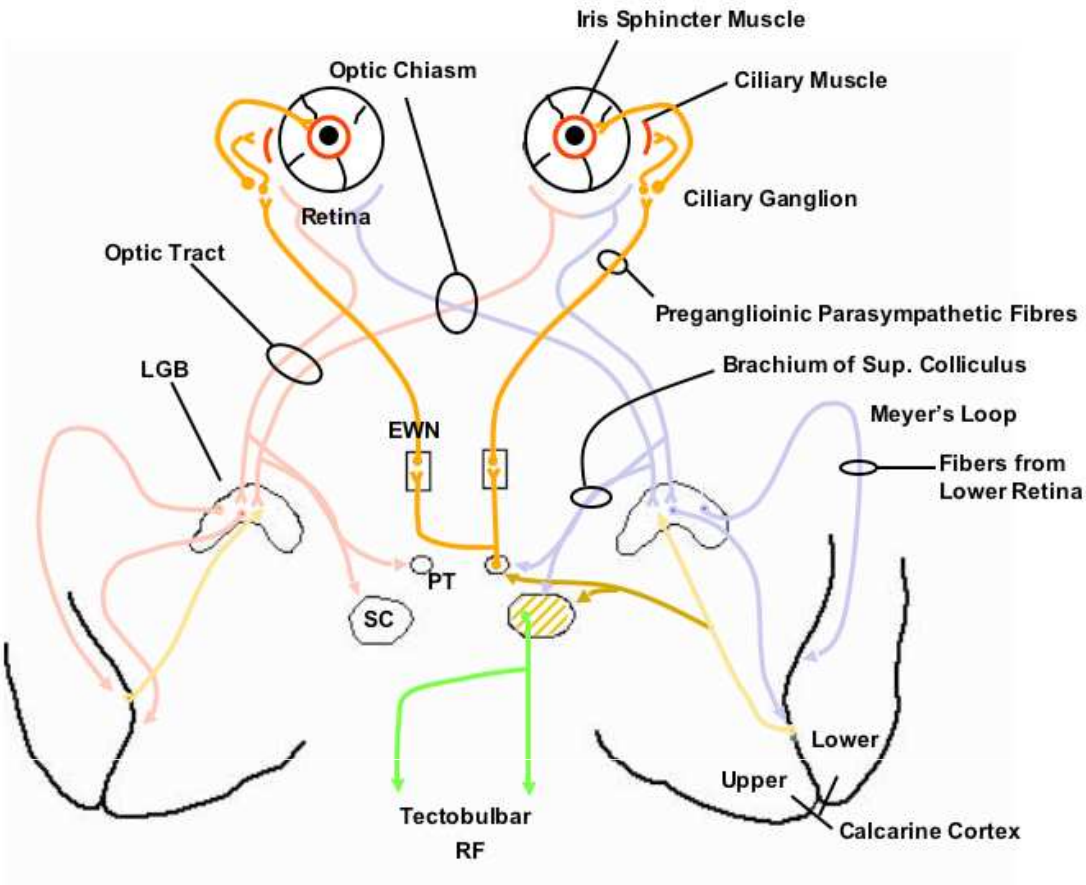


A *visual cortex* az elsődleges látókéregnek felelmeg, (V1) ez a Brodmann area 17, vagy BA17. A Brodmann area 18 and Brodmann area 19 a másodlagos ill. harmadlagos kérgi részt reprezentálja, mindkét féltekében megtalálhatók.

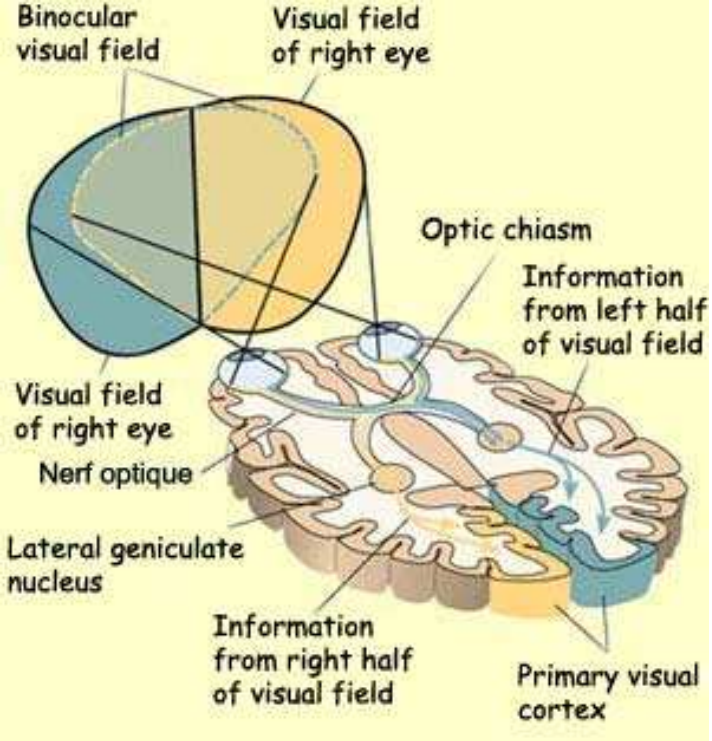
Látópálya

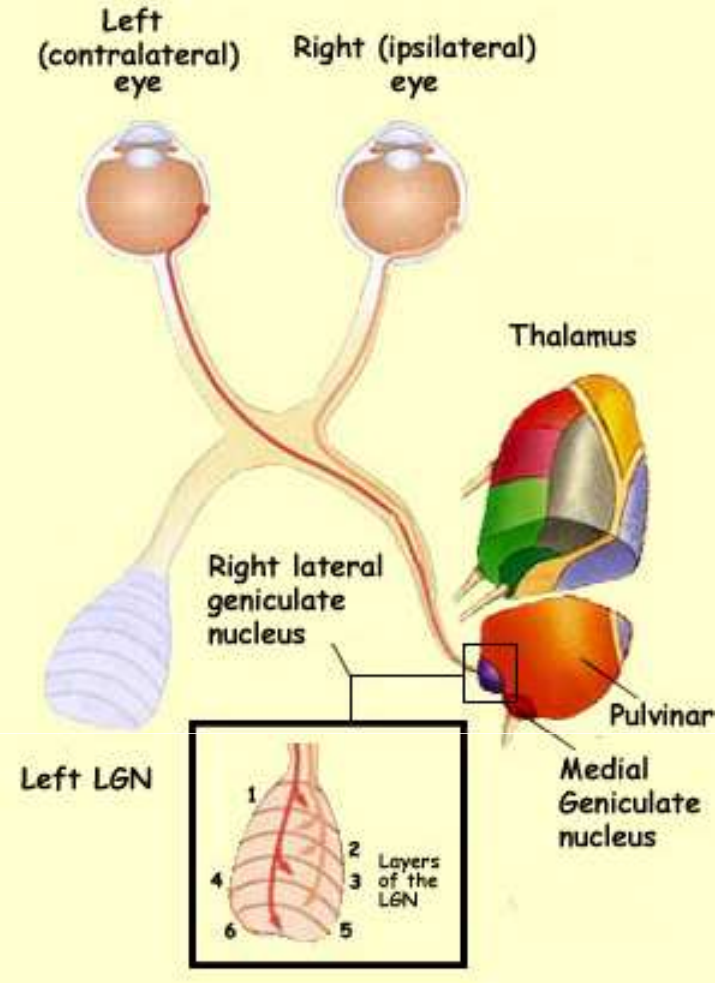

Left Field
Right Field
L-LUQ
L-RUQ
L-LLQ
L-RLQ
R-LUQ
R-RUQ
R-LLQ
R-RLQ
Optic radiations
Meyer's loop
Optic chiasma
L Geniculate Nucleus
R Geniculate Nucleus
Visual Cortex

Látópálya

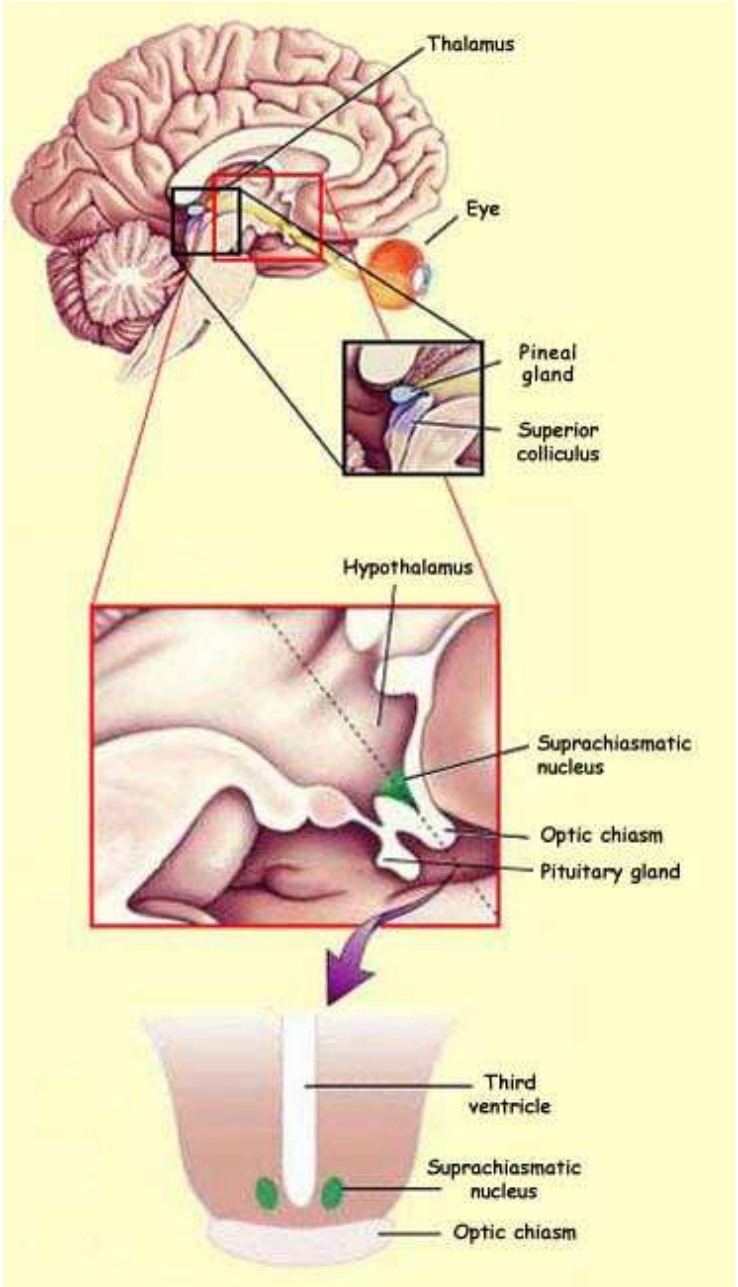

Iris Sphincter Muscle
Optic Chiasm
Ciliary Muscle
Retina
Ciliary Ganglion
Optic Tract
Preganglioinic Parasympathetic Fibres
LGB
Brachium of Sup. Colliculus
Meyer's Loop
EWN
Fibers from
Lower Retina
PT
SC
Lower
Upper
Tectobulbar
RF
Calcarine Cortex

Látópálya

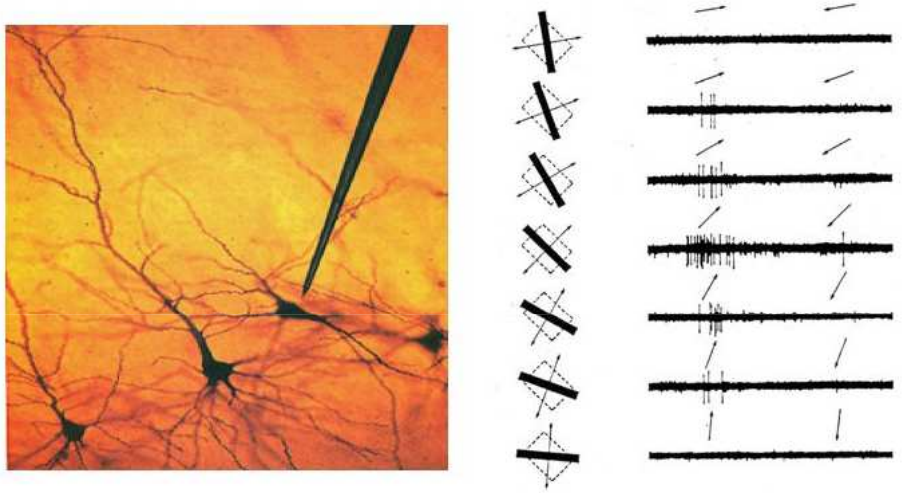

Binocular visual field
Visual field of right eye
Optic chiasm
Information from left half of visual field
Visual field of right eye
Nerf optique
Lateral geniculate nucleus
Information from right half of visual field
Primary visual cortex

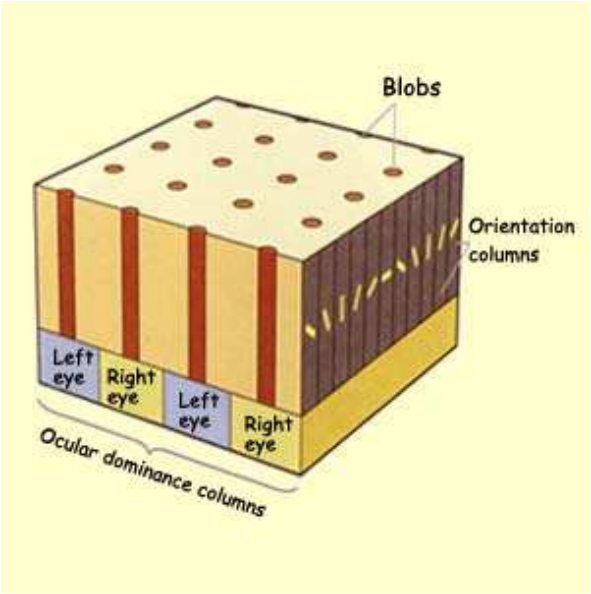

Left (contralateral) eye
Right (ipsilateral) eye
Thalamus
Right lateral geniculate nucleus
Pulvinar
Medial Geniculate nucleus
Left LGN
1
2
3
4
5
6
Layers of the LGN

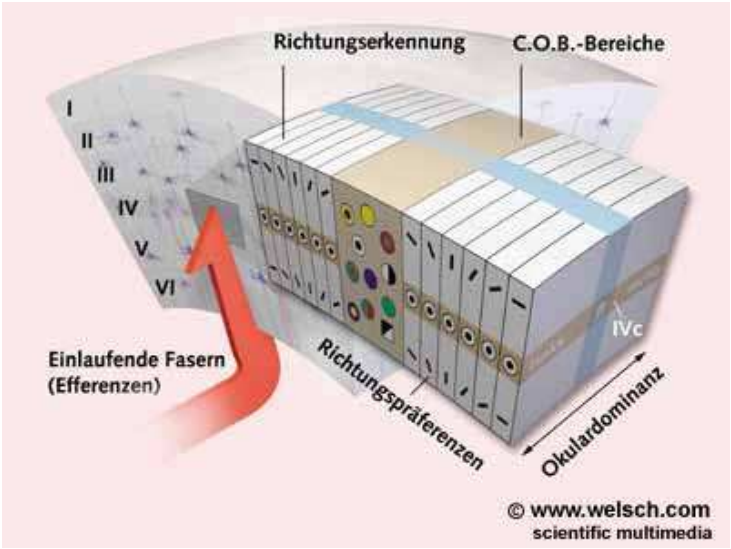
Látópálya kapcsolatrendszere



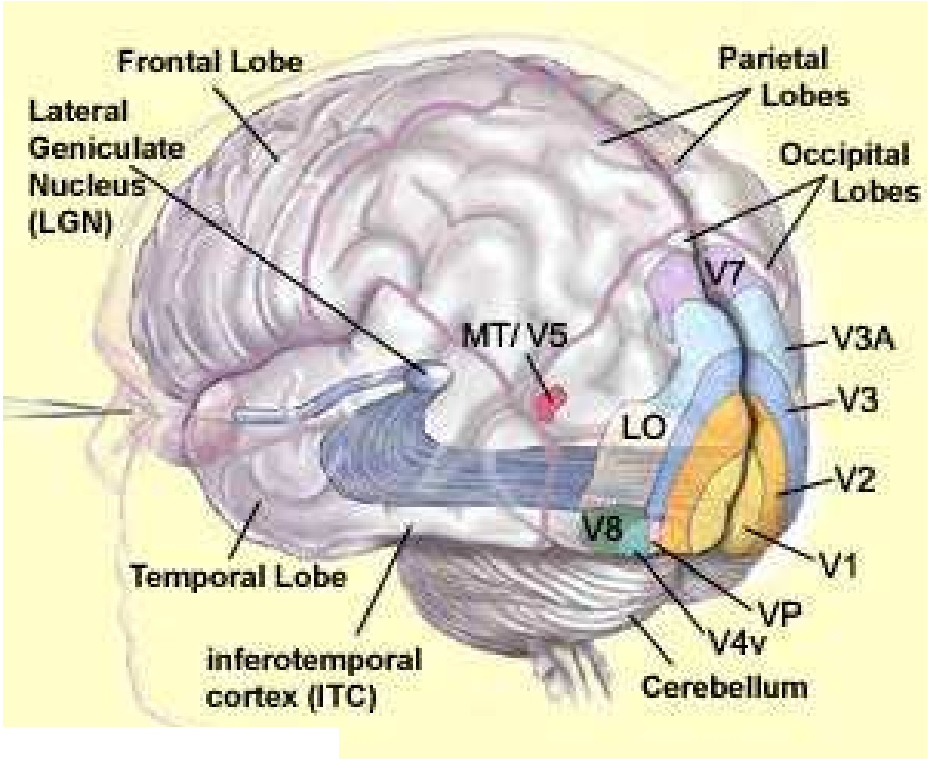
Irányszelektivitás érzékelés







Látási információ feldolgozás

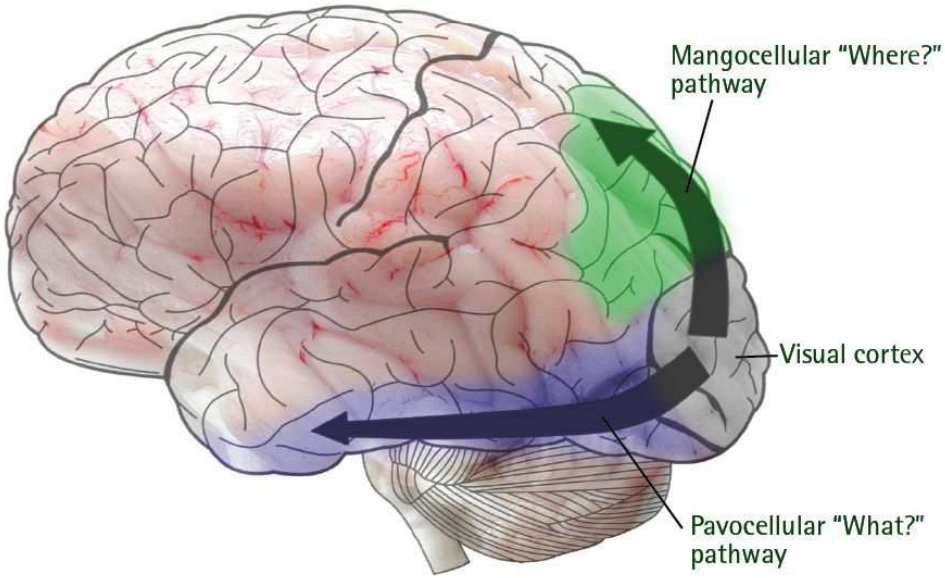


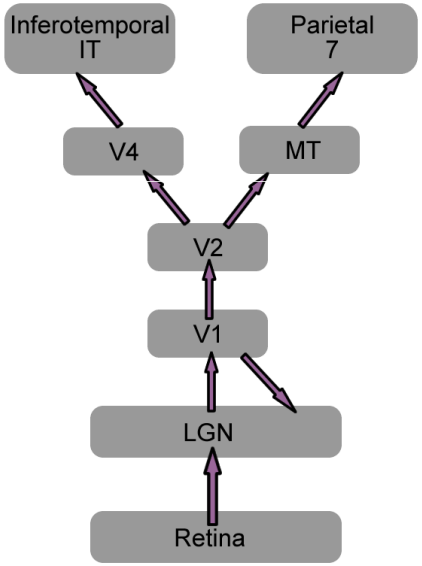
Functional specialization

Match each visual area to its corresponding function:

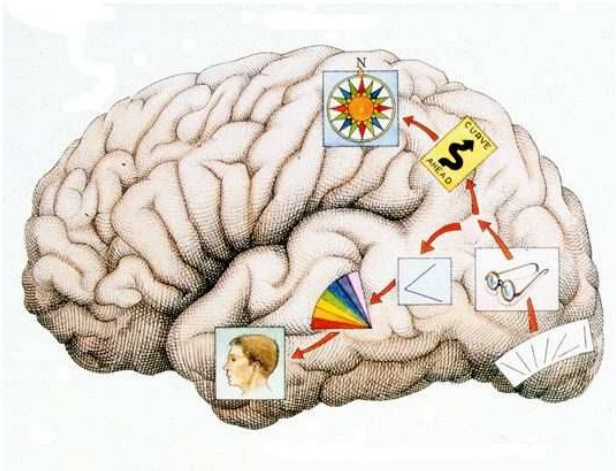
V1	Motion
V2	Stereo
V3	Color
V3a	Texture segregation
V3b	Segmentation, grouping
V4	Recognition
V7	Face recognition
MT	Attention
MST	Working memory/mental imagery
etc	Etc.

Látási információ feldolgozás

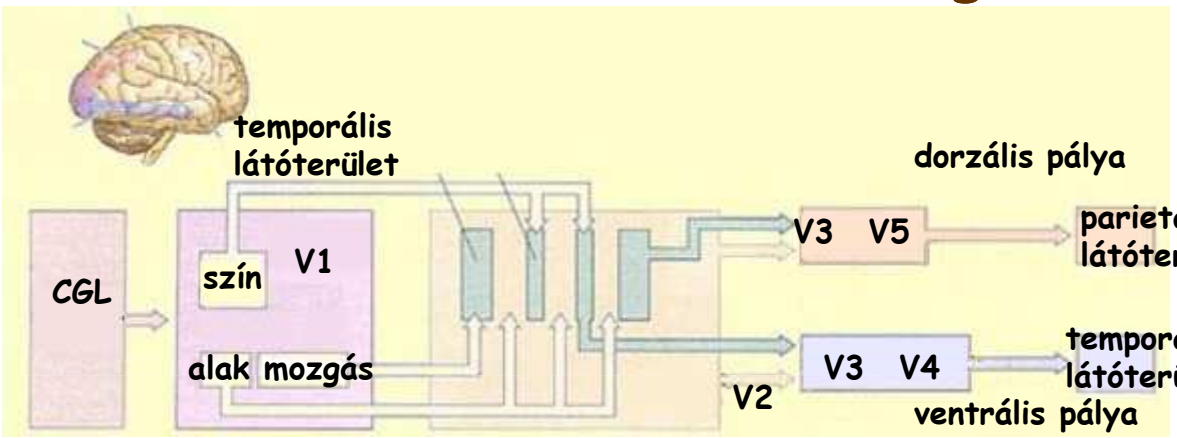


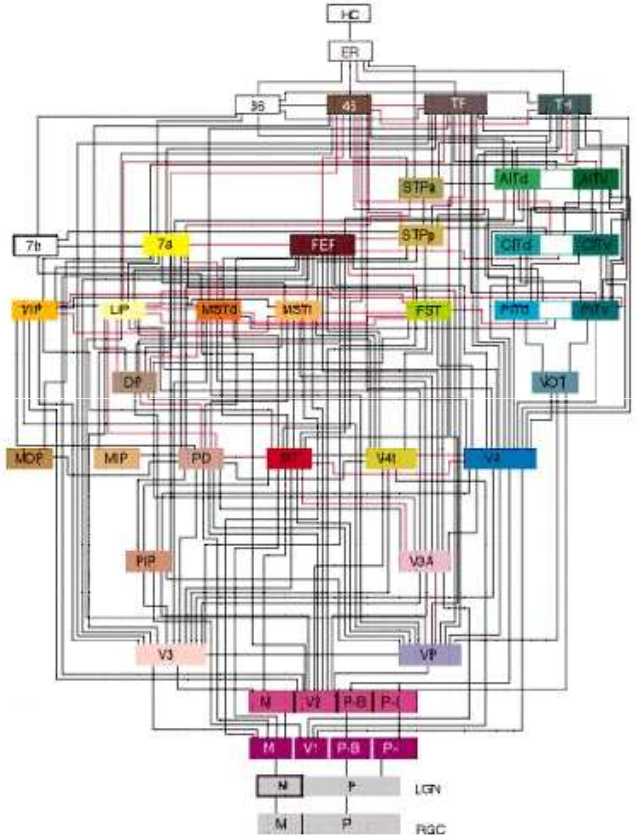


What and where pathways



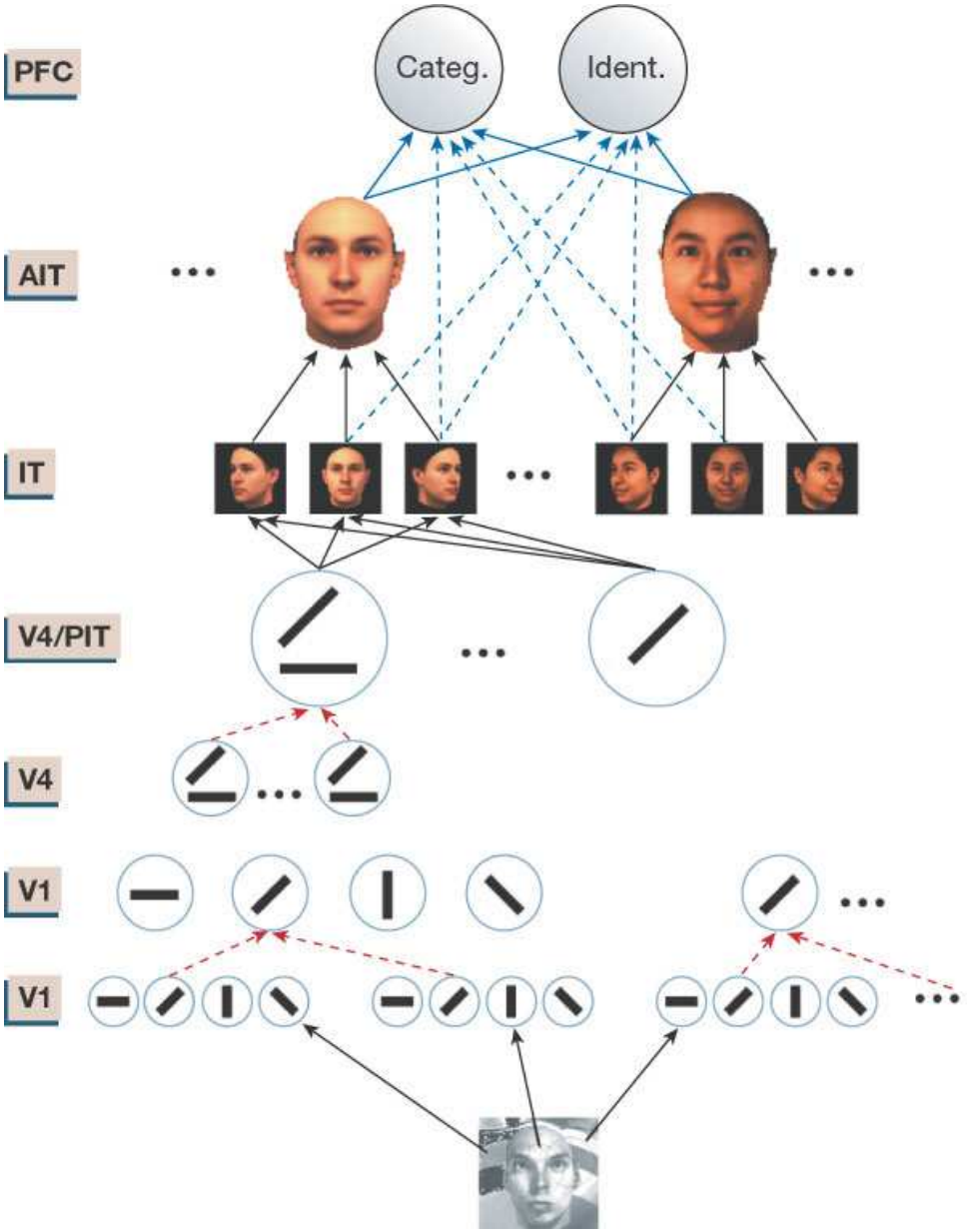
Látási információ feldolgozás



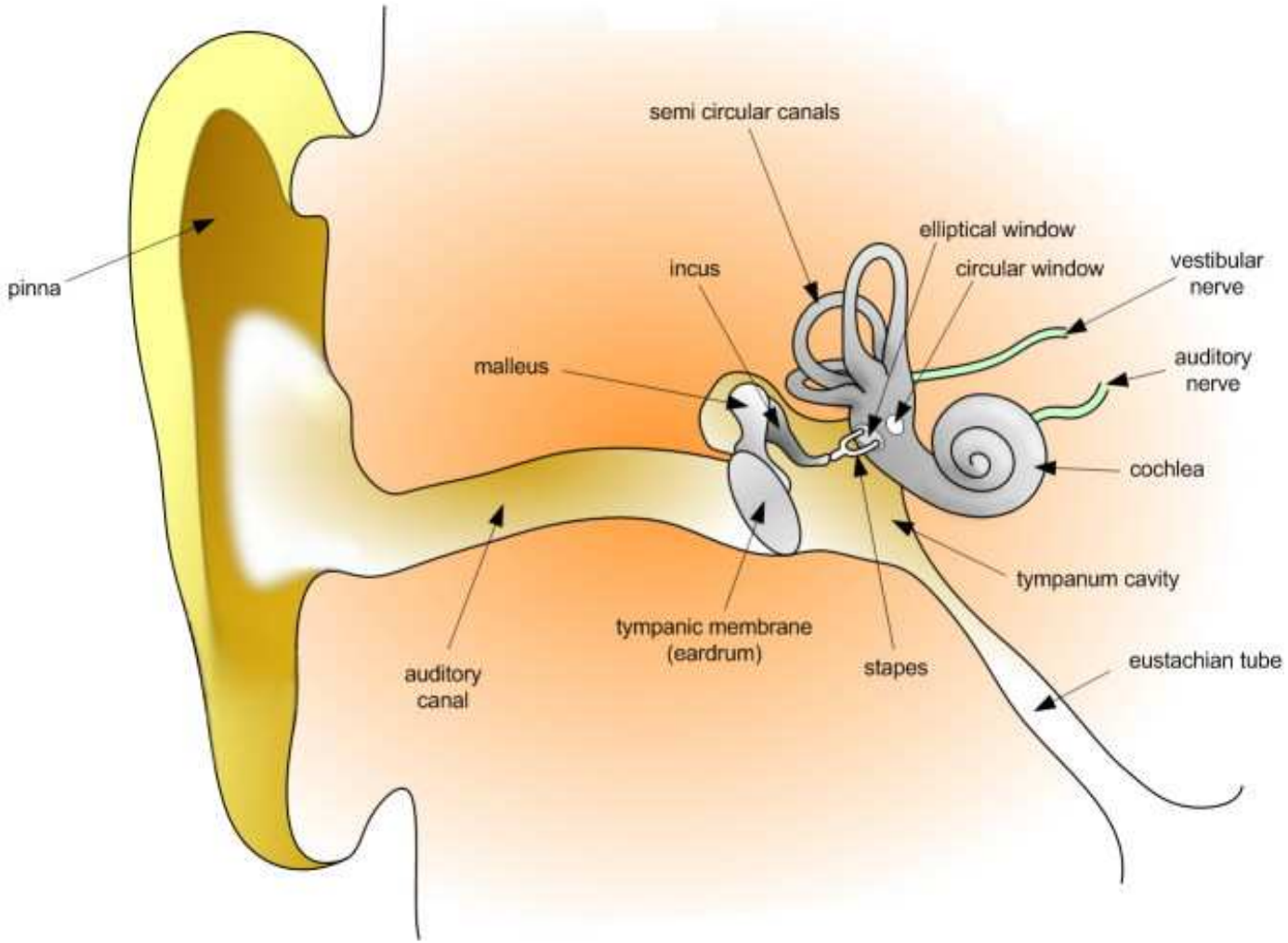


A kapcsoalternszer majomban

Látási információ feldolgozás



A hallószerv felépítése



Definíciók

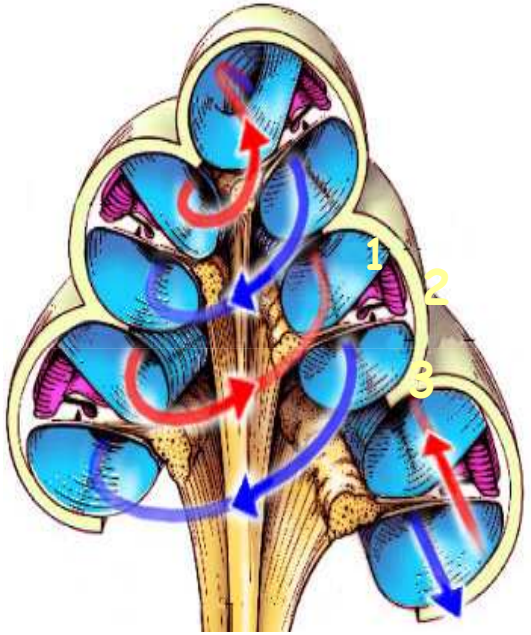
A hangerősség meghatározása (hangnyomás mértéke)

A decibel egy „dimenzió nélküli mértékegység”,
mint például a százalék. Két összehasonlítható energia v.
teljesítmény hányadosának tízes alapú logaritmusa.
A zajintenzitás energiája (decibel)

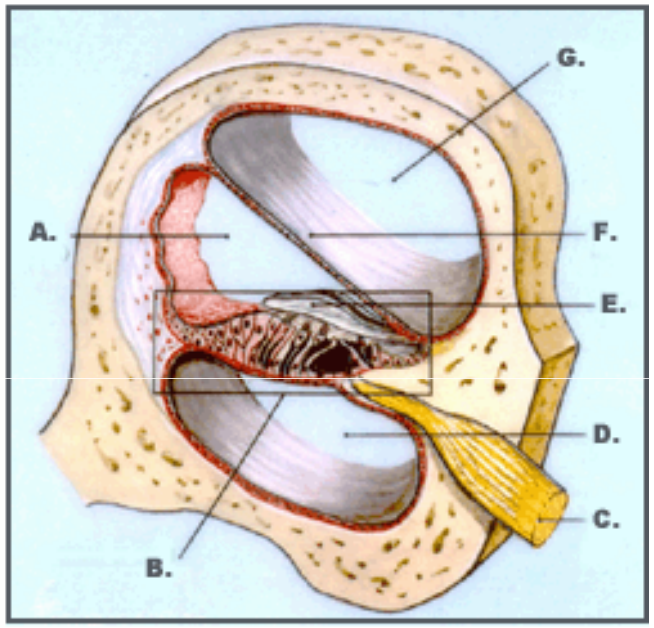
dB= 10 × log I /i,
Ahol I = mért zajintenzitás, i = kiindulási összehasonlító
(ez gyakran 1).

A bel (rövidítése: B) az egyik leggyakrabban használt egység
az akusztikában. A Bell Telephone Laboratory mérnökei
"fejlesztették ki", a szabványos telefonkábel 1 mérföld (1,6 km)
hosszú darabja okozta hangerősség csökkenés mértékének
meghatározásához.

A csiga felépítése

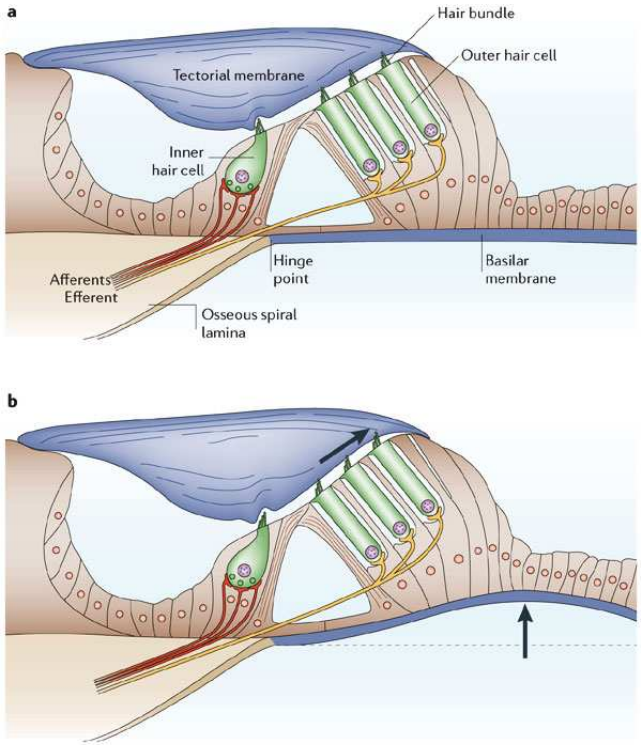


3 csatorna:
vesztibuláris csatorna (1)
csigavezeték (2)
dobcsatorna (3)

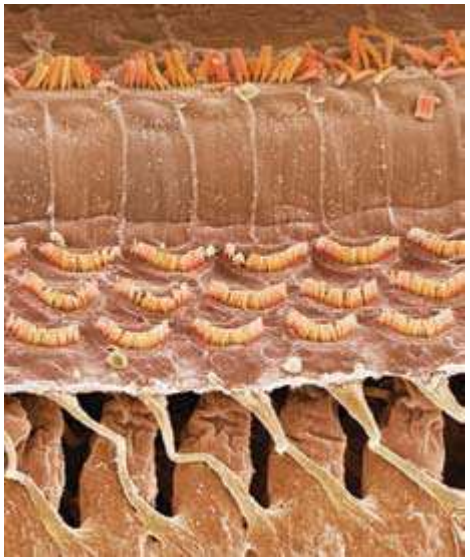


A. SCALA MEDIA (COCHLEAR DUCT)
B. ORGAN OF CORTI
C. COCHLEAR NERVE
D. SCALA TYMPANI
E. TECTORIAL MEMBRANE
F. VESTIBULAR MEMBRANE
G. SCALA VESTIBULI

A Corti szerv és a szőrsejtek



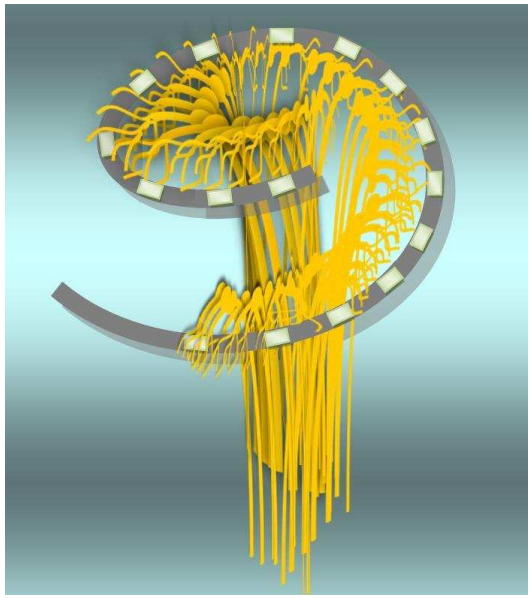
Copyright © 2006 Nature Publishing Group
Nature Reviews | Neuroscience



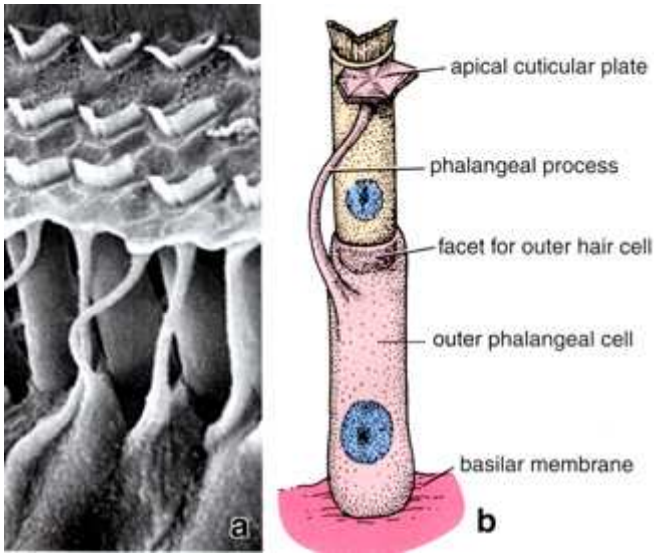
belső szőrsejtek

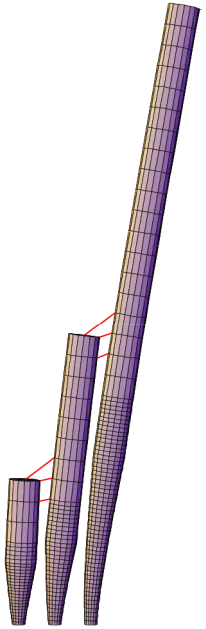
külső szőrsejtek

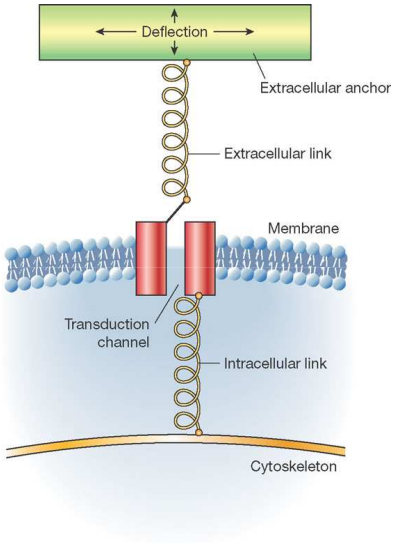
idegrostok

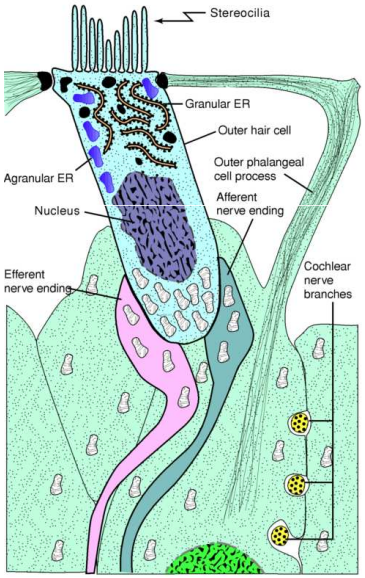


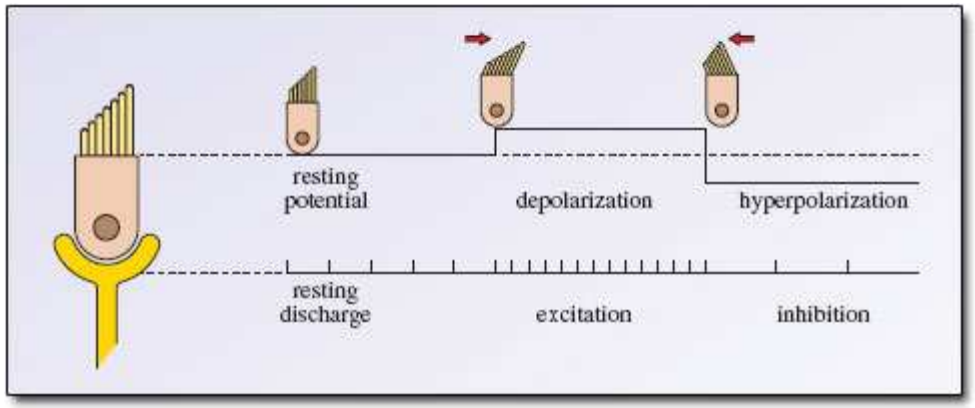
Külső szőrsejtek és aktivációjuk

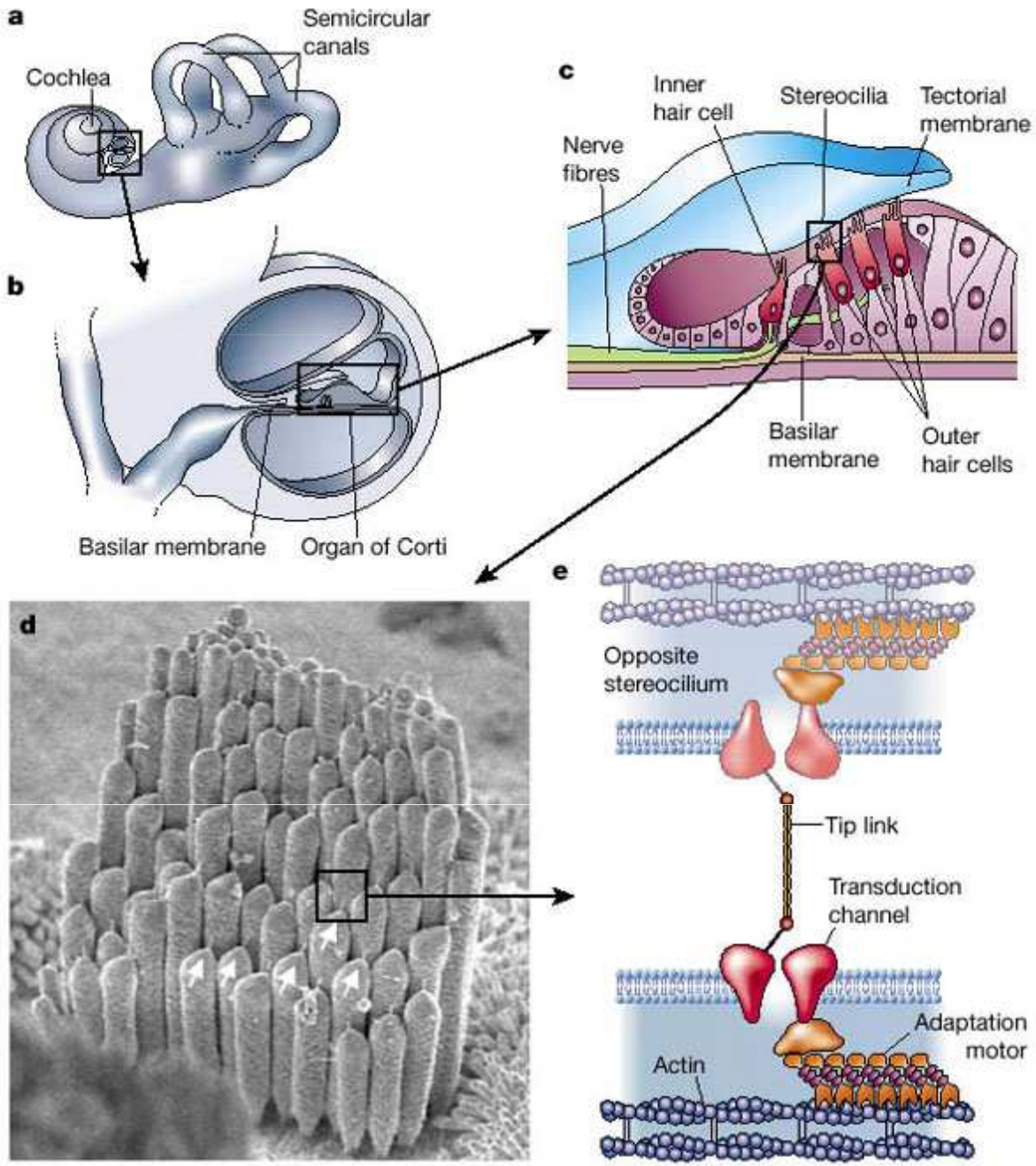




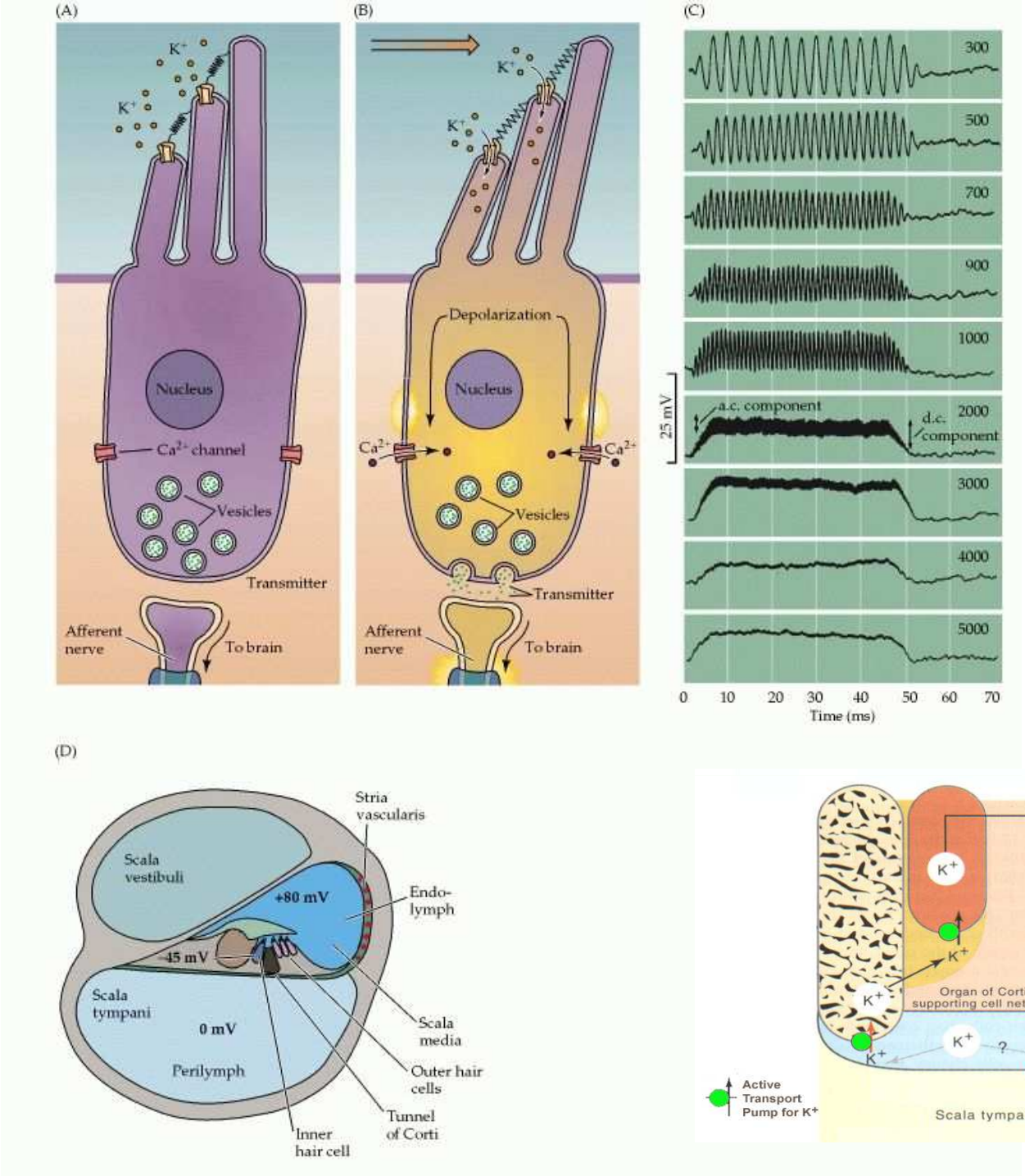




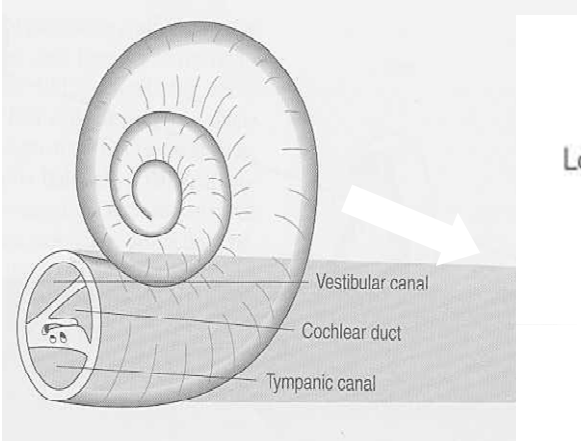


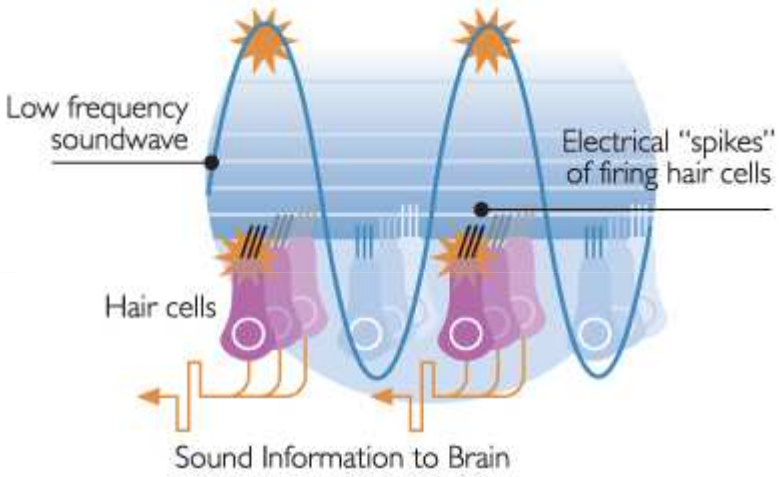

a
Semicircular canals
Cochlea
b
Basilar membrane
Organ of Corti
c
Inner hair cell
Stereocilia
Tectorial membrane
Nerve fibres
Basilar membrane
Outer hair cells
d
e
Opposite stereocilium
Tip link
Transduction channel
Adaptation motor
Actin

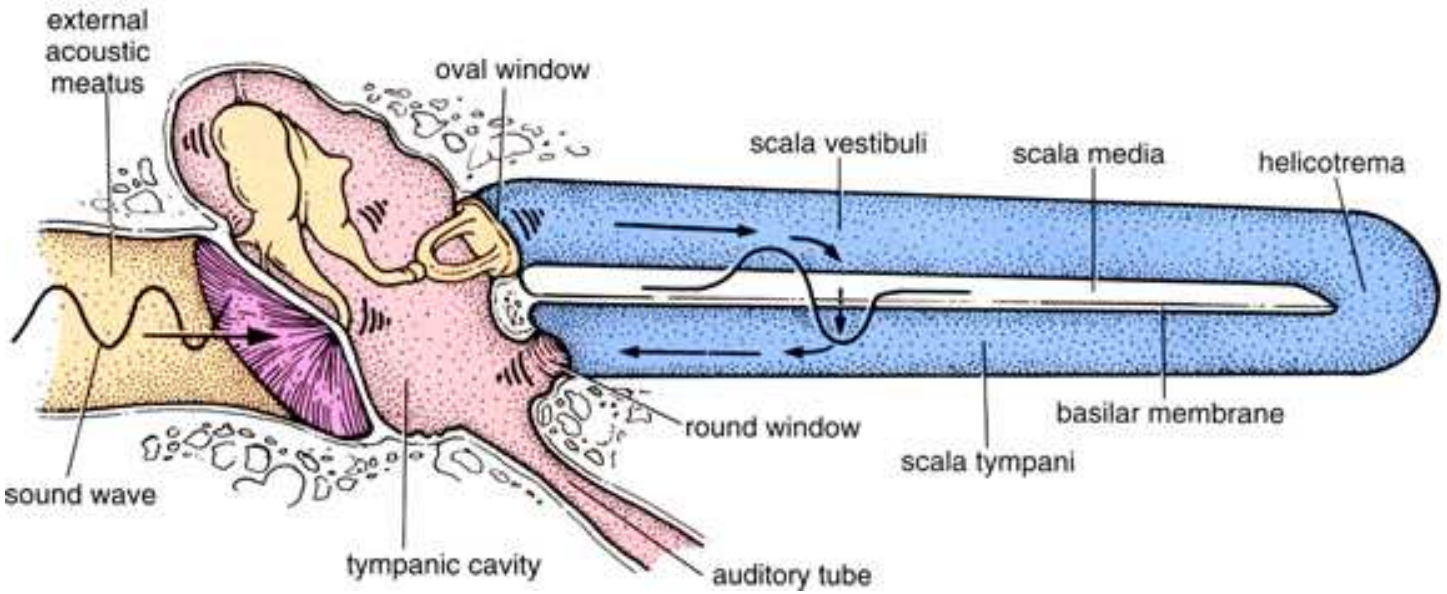
Kálium áram a szőrsejtekben



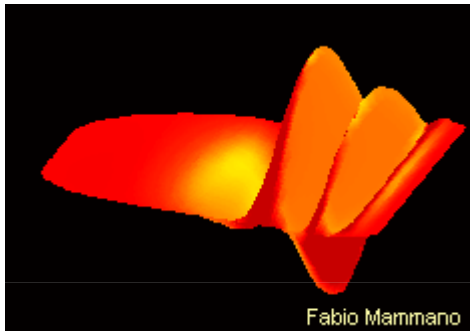
A hallás mechanizmusa

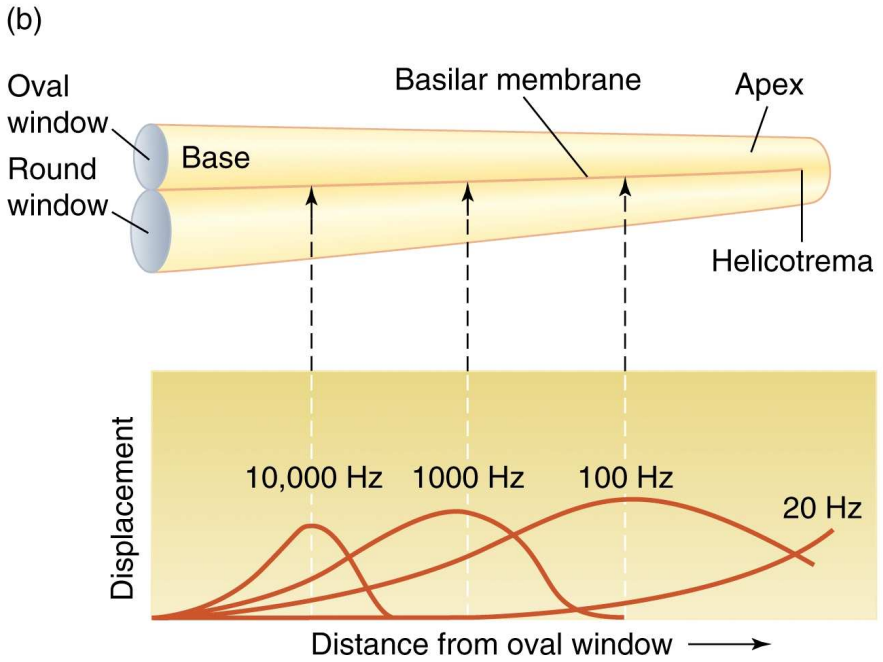


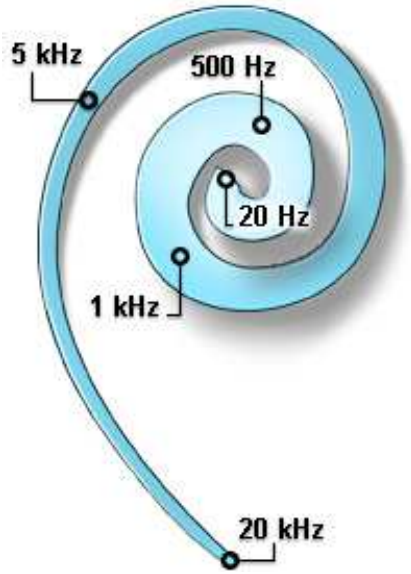


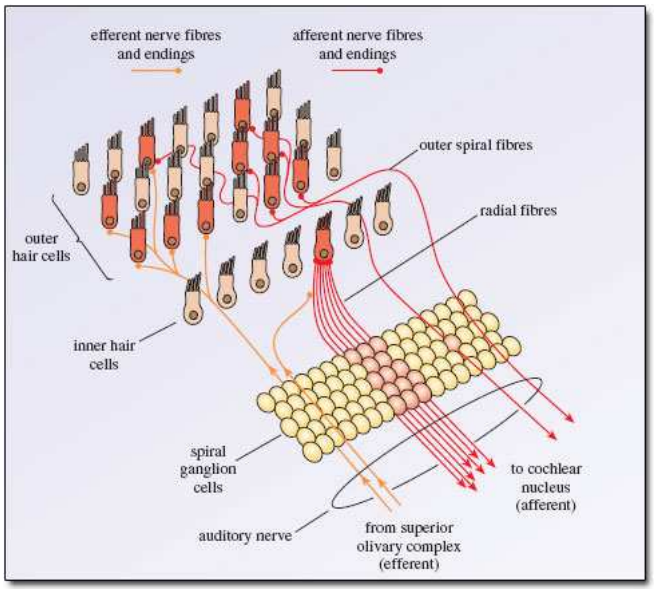


A receptor aktiválása

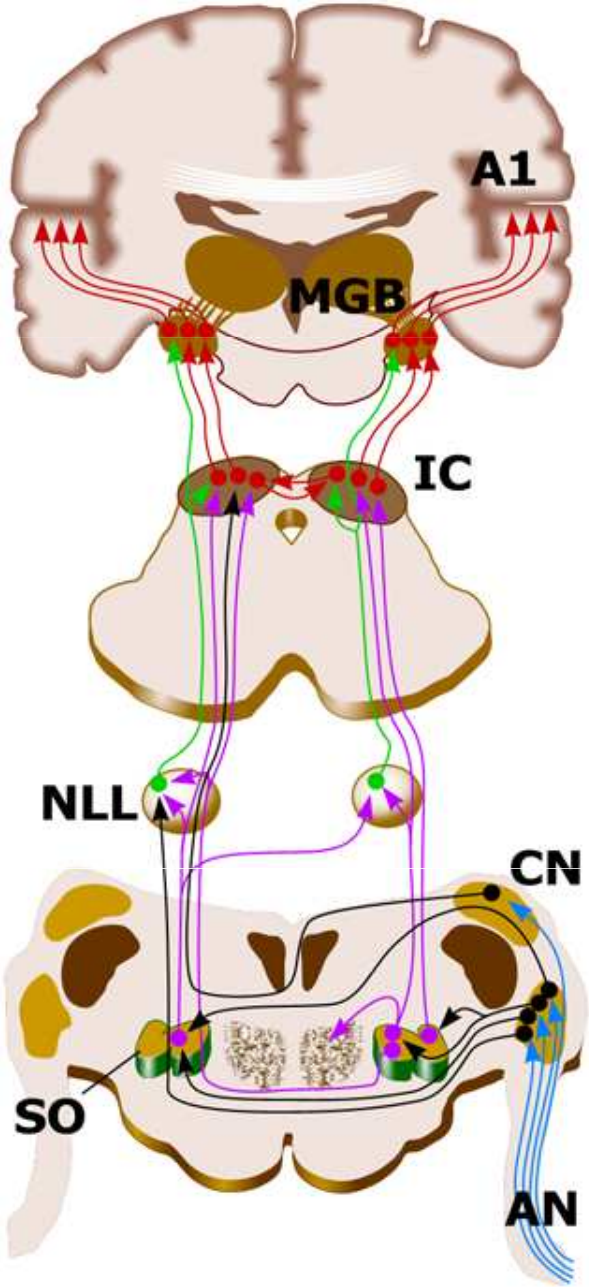








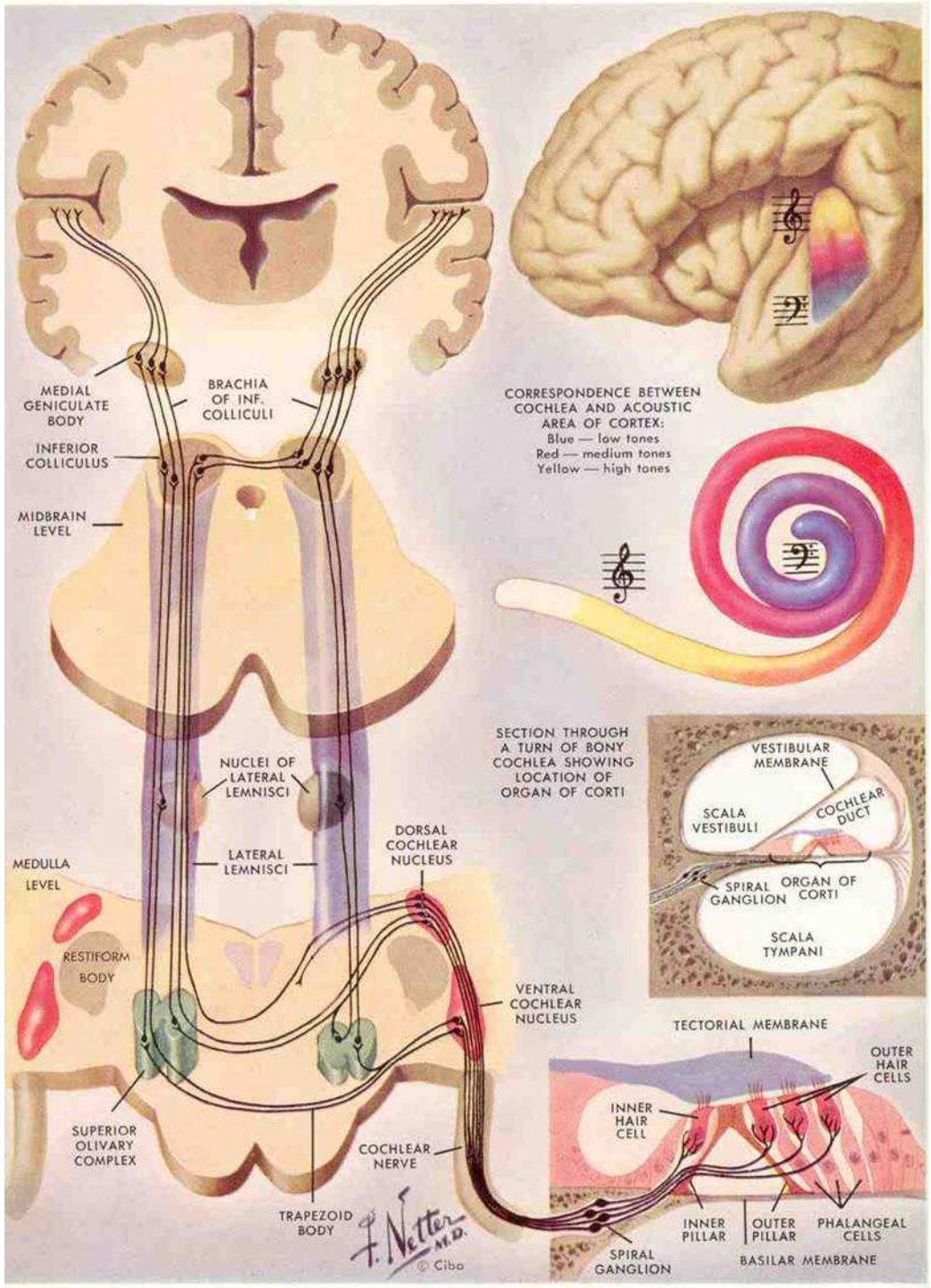
Az emlős hallórendszer fő felszálló pályái



A hallóideg a nervus acusticus,
a 8-ik agyidegpár

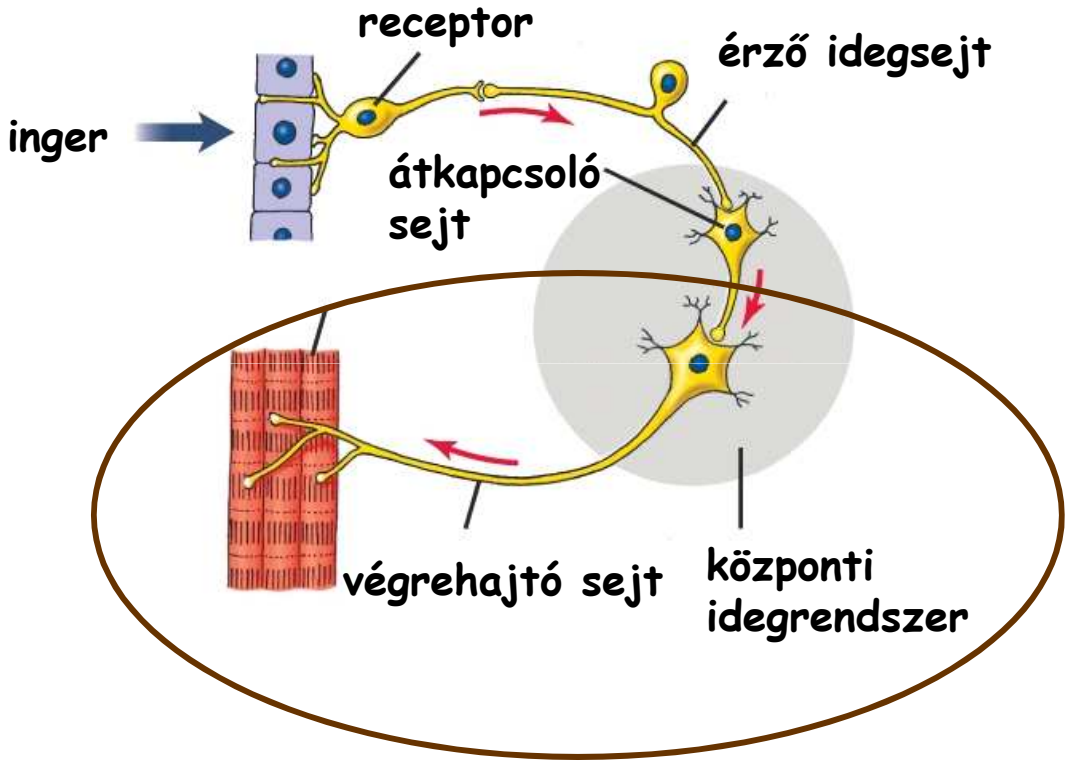
AN, hallóideg
CN, cochlearis mag
SO, superior oliva mag
NLL, lateralis lemniscus mag
IC, colliculus inferior
MGB, thalamus
A1, cortex

mindkét oldali vetülés -- térhallás
Frekvenciák elkülönülten érzékelődnek,


MEDIAL GENICULATE BODY
BRACHIA OF INF. COLLICULI
INFERIOR COLLICULUS
MIDBRAIN LEVEL
CORRESPONDENCE BETWEEN COCHLEA AND ACOUSTIC AREA OF CORTEX:
Blue — low tones
Red — medium tones
Yellow — high tones
SECTION THROUGH A TURN OF BONY COCHLEA SHOWING LOCATION OF ORGAN OF CORTI
VESTIBULAR MEMBRANE
COCHLEAR DUCT
SCALA VESTIBULI
SPIRAL GANGLION
ORGAN OF CORTI
SCALA TYMPANI
NUCLEI OF LATERAL LEMNISCI
DORSAL COCHLEAR NUCLEUS
MEDULLA LEVEL
LATERAL LEMNISCI
RESTIFORM BODY
VENTRAL COCHLEAR NUCLEUS
TECTORIAL MEMBRANE
OUTER HAIR CELLS
INNER HAIR CELL
SUPERIOR OLIVARY COMPLEX
COCHLEAR NERVE
TRAPEZOID BODY
INNER PILLAR
OUTER PILLAR
PHALANGEAL CELLS
SPIRAL GANGLION
BASILAR MEMBRANE
F. Netter M.D.
© Ciba

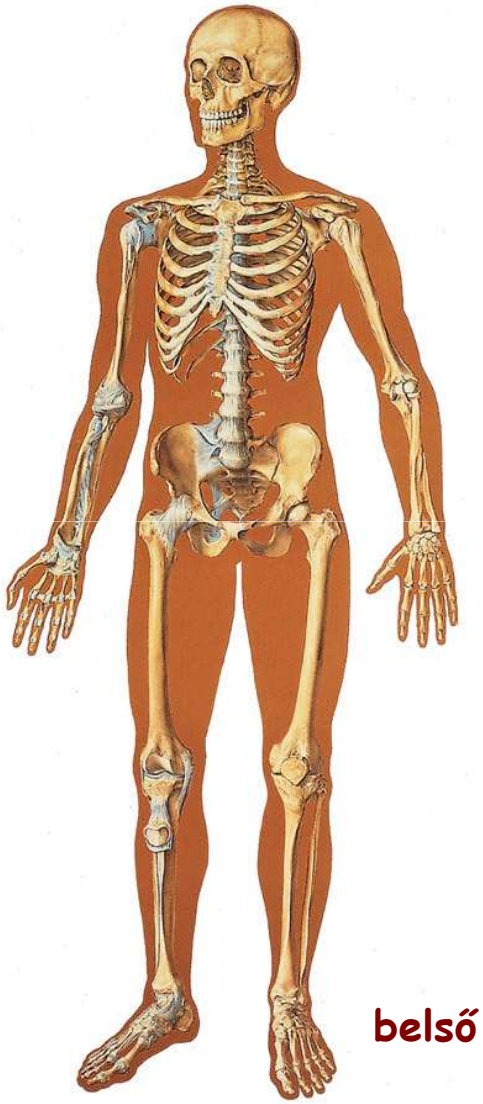
Mozgás mozgásszabályozás

Az idegrendszer szerveződése

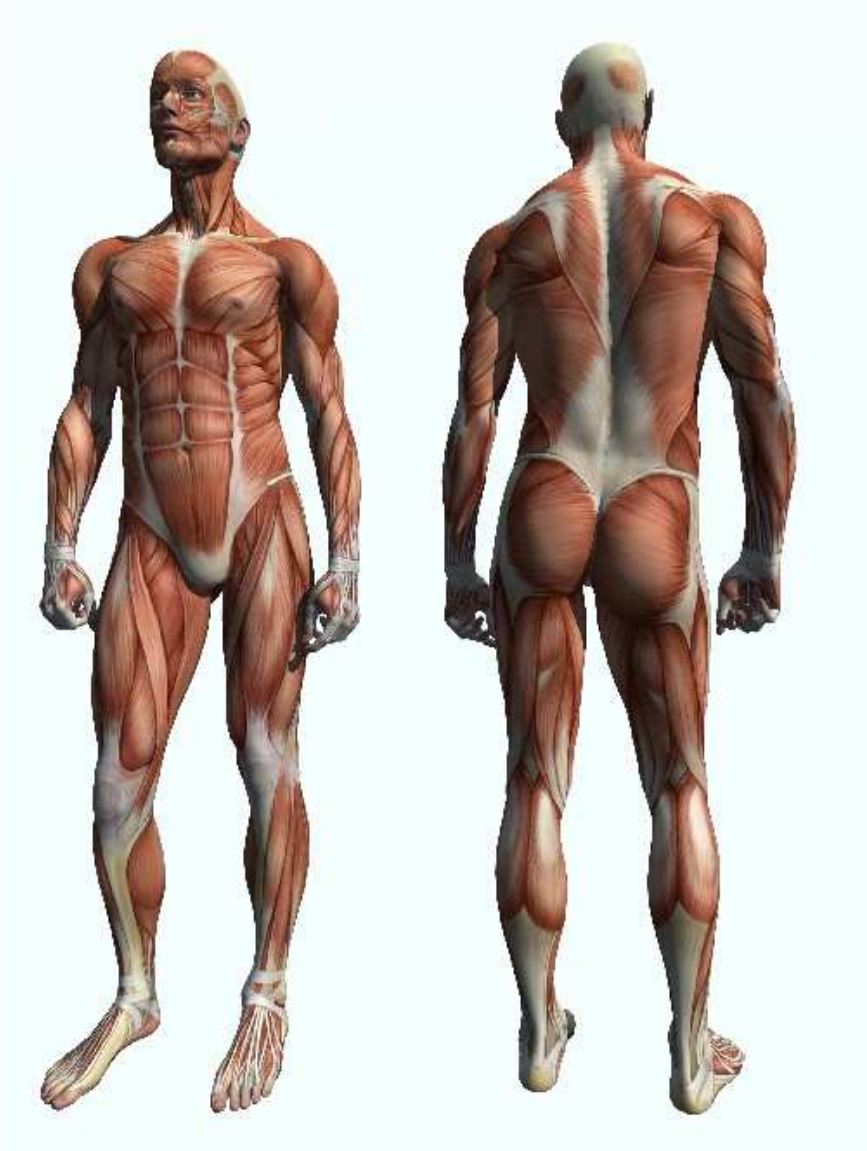


reflex ív, feltétlen reflex

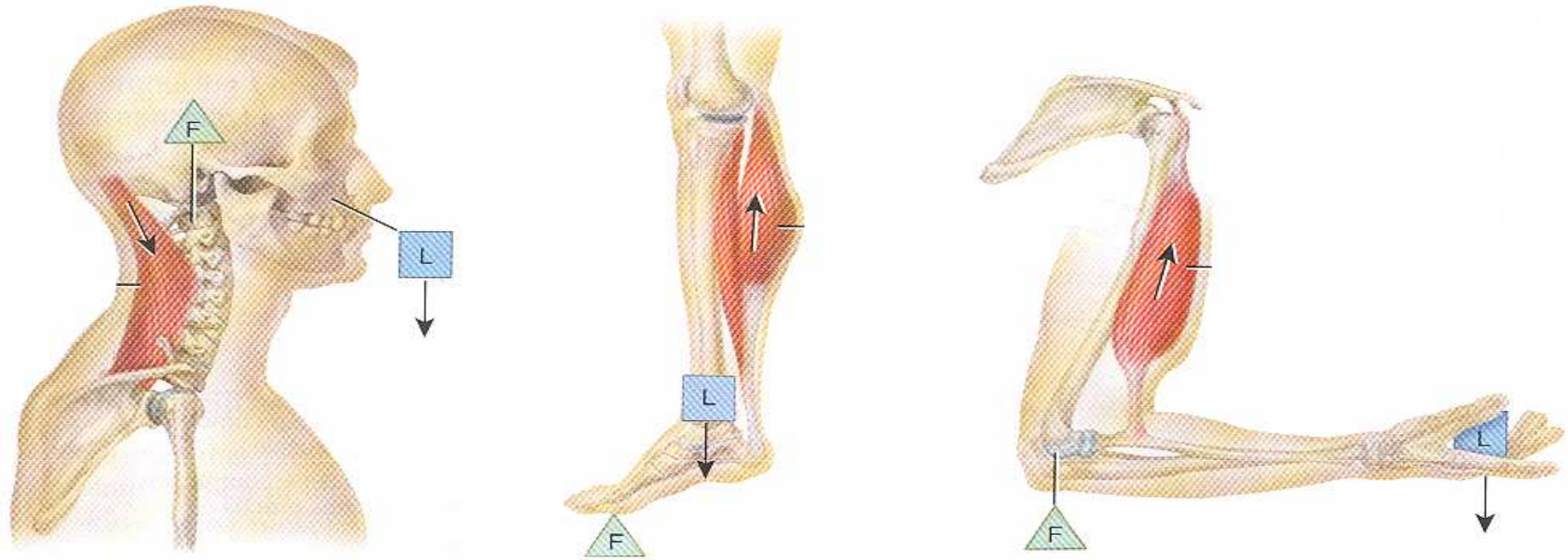
Az ember csontváza és izomrendszere



belső váz- izületek
- varratok



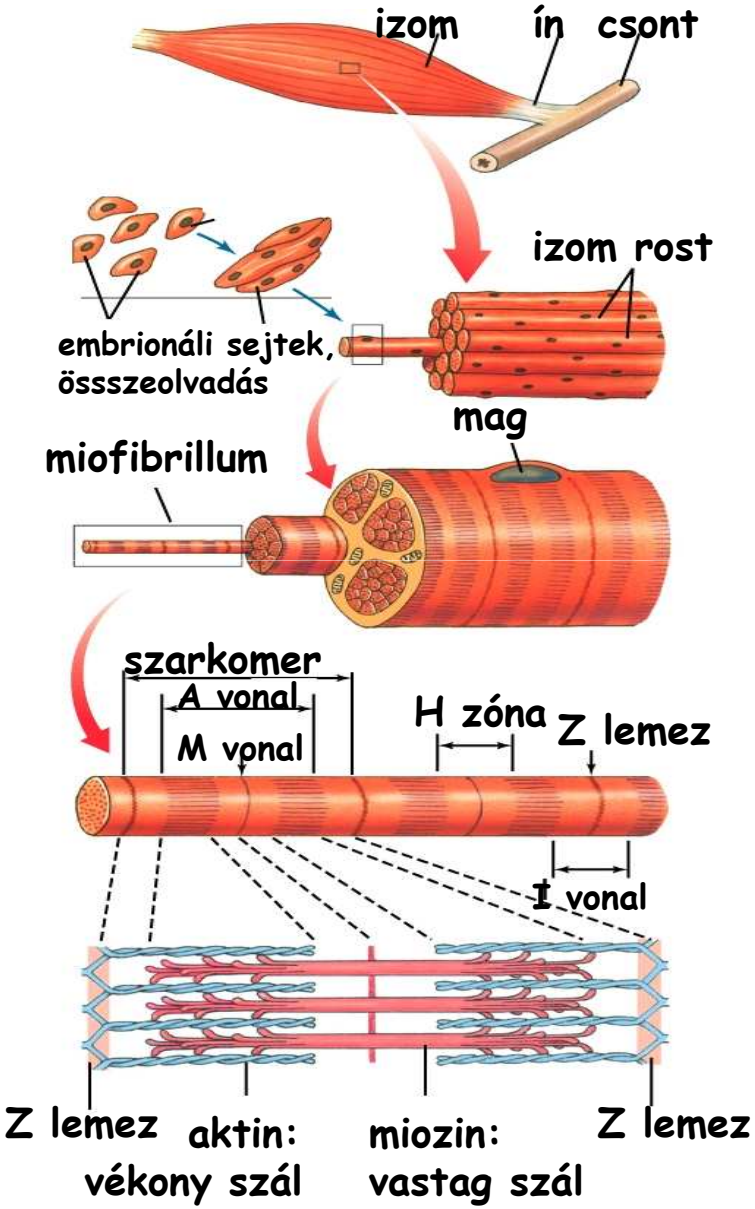
Az izmok működése



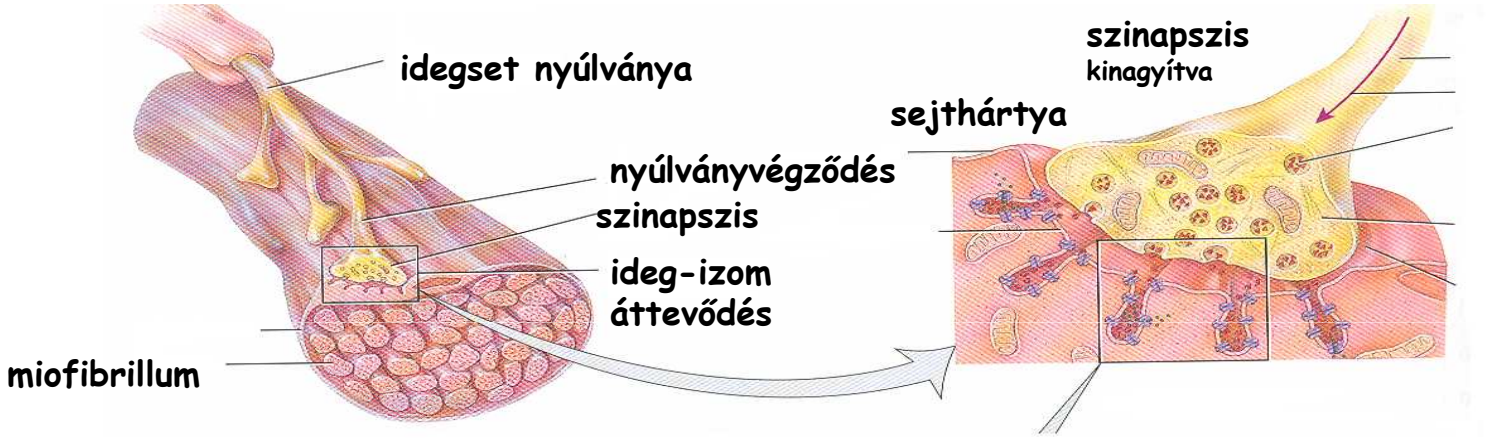
A statikus munkavégzés közvetlenül az izmok erejétől függ. Nagyobb súly felemeléséhez, viteléhez nagyobb erő szükséges.

A dinamikus munkákban, ahol szintén lényeges tényező az izomerő, de bizonyos intenzitás mellett a munkavégzést a szervezet oxigénfelvevő képessége határozza meg.

A vázizom szerkezete

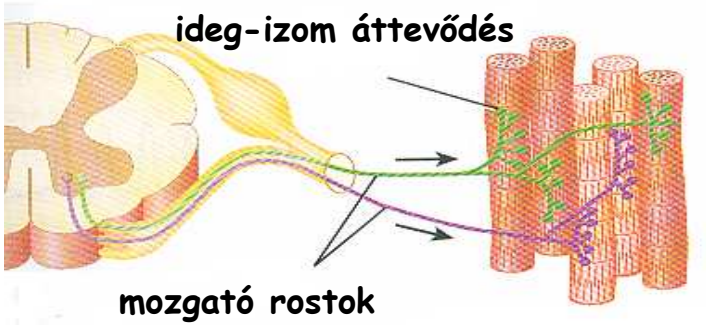


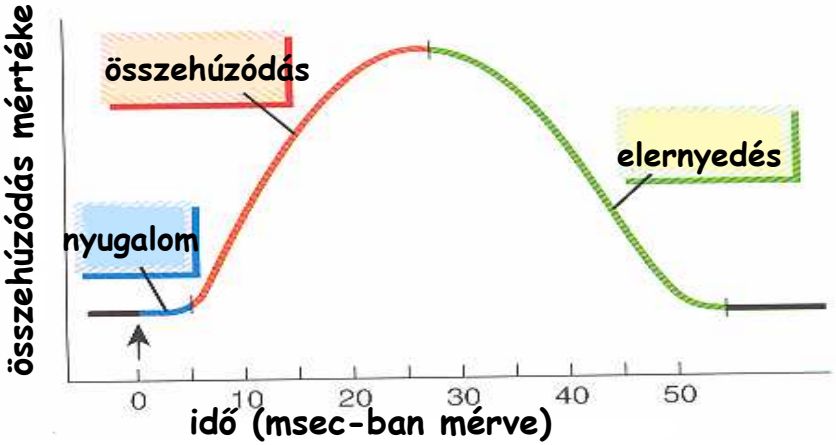
Az izom beidegzése, működése



Motoros- vagy mozgatóegység: egy ideg és az általa beidegzett izomrostok (rost toborzás)

Az izom aktivációja, rángási görbe

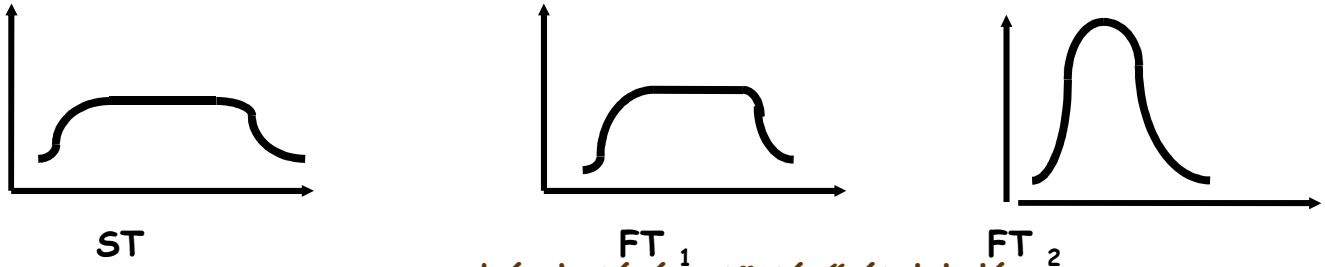




Összehúzódási típusok:

- izometriás összehúzódás
- izotóniás összehúzódás

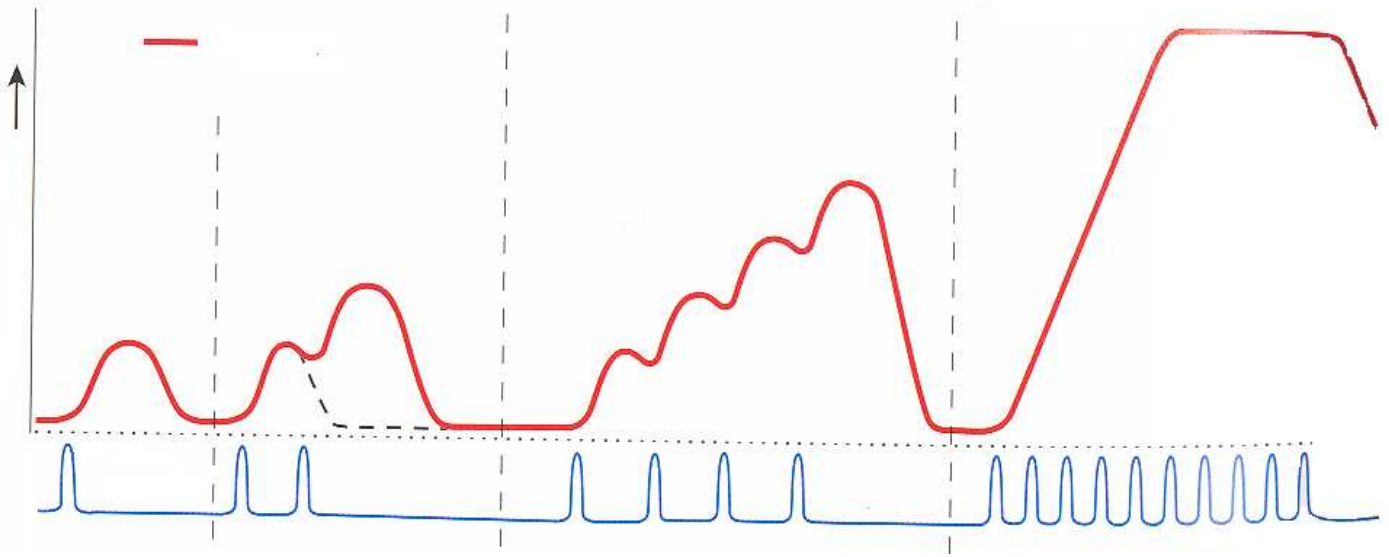
Az izomrostok fajtái



Az izomrosttípusok jellemzői

	ST (lassú, oxidatív)	FT 1 (gyors, oxidatív, glikolitikus)	FT 2 (gyors, glikolitikus)
Mitokondrium tartalom	nagy	kicsi	kicsi
Protoplazma mennyiség	nagy	kicsi	kicsi
Vastagság	kicsi	nagy	nagy
Szarkoplazmatikus retikulum Ca^{2+} felvevő és leadó képesség	kicsi	közepes	nagy
Kontrakció sebesség	kicsi	nagy	nagy
Fáradékonyság	kicsi	közepes	nagy

Az összehúzódások frekvencia függése



Alapjelenségek

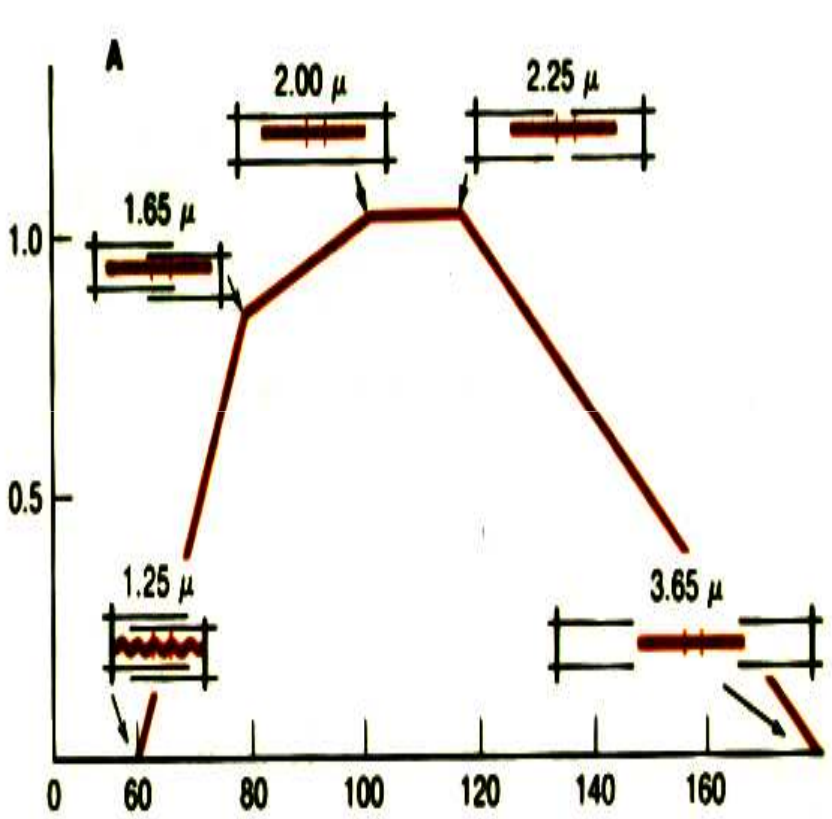
Izomrángás: egyszeri inger hatására történő összehúzódás (ingerküszöb → inger szummáció).

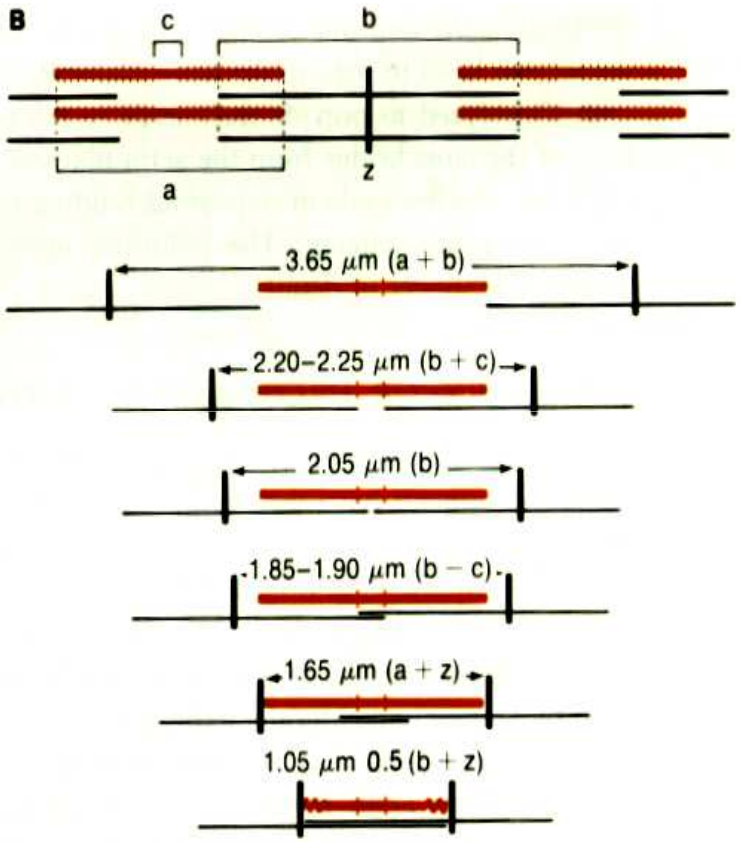
Kontrakcio- szummácio: szupramaximális erősségű inger az előző inger által okozott Kontrakciós hullám felszálló ágának megfelelő periódusban megismételjük, a kapott Kontrakció amplitúdója nagyobb lesz, mint az egyetlen ingert követő kontrakcióé.

Inkomplett tetanus: kisebb frekvencia mellett a kontrakciós görbén kisebb nagyobb hullámok Jelzik a nem teljesen fuzionált kontrakciót.

Komplett tetanus: megfelelő intervallumokban alkalmazott szupramaximális inger (ingersorozat) fenntartott kontrakció szummációt eredményez → tetanus. A kontrakciós görbe teljesen összeolvadt vonalat képez.

Az izomösszehúzódás ereje

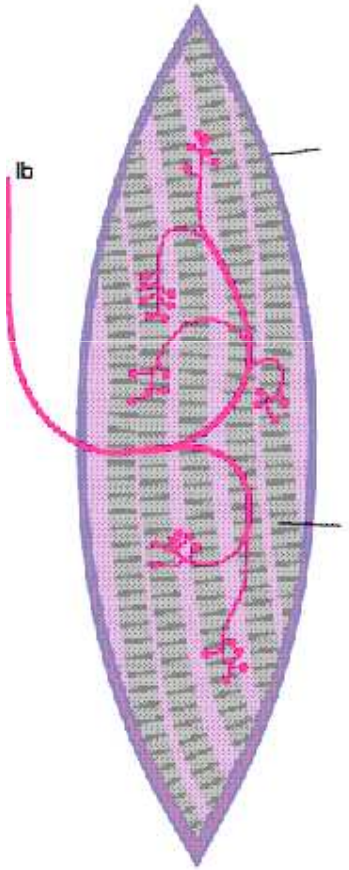




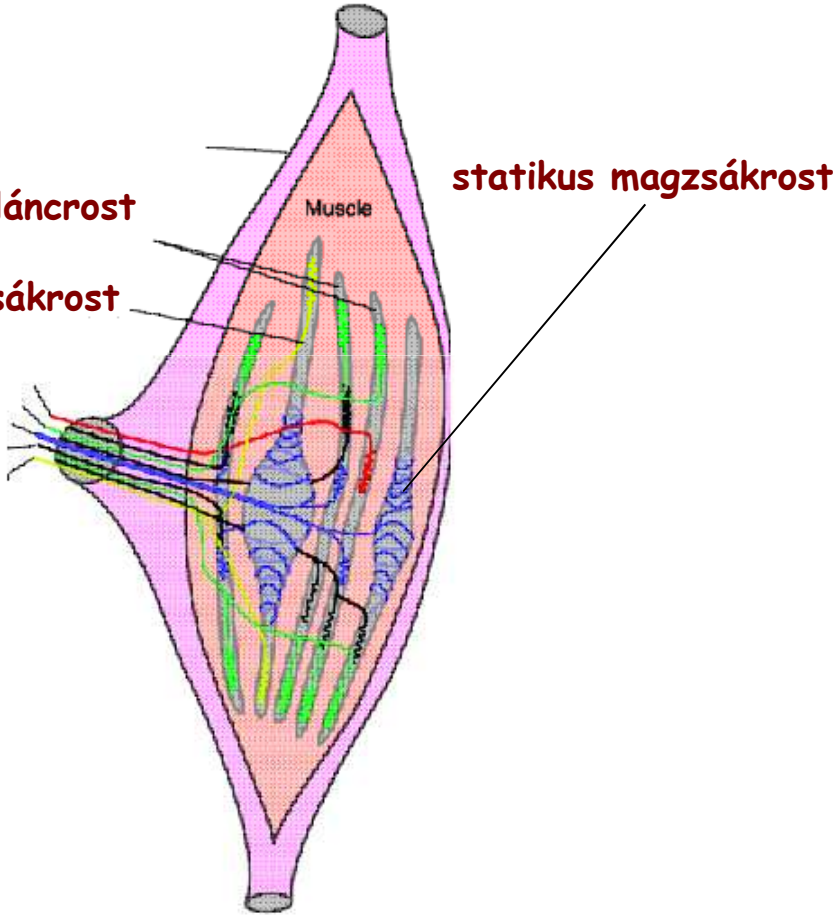
A nyugalmi hossz %-a

A Golgi-féle ínszerv és az izomorsó

Golgi-féle ínorsó



Izomorsó



magláncrost

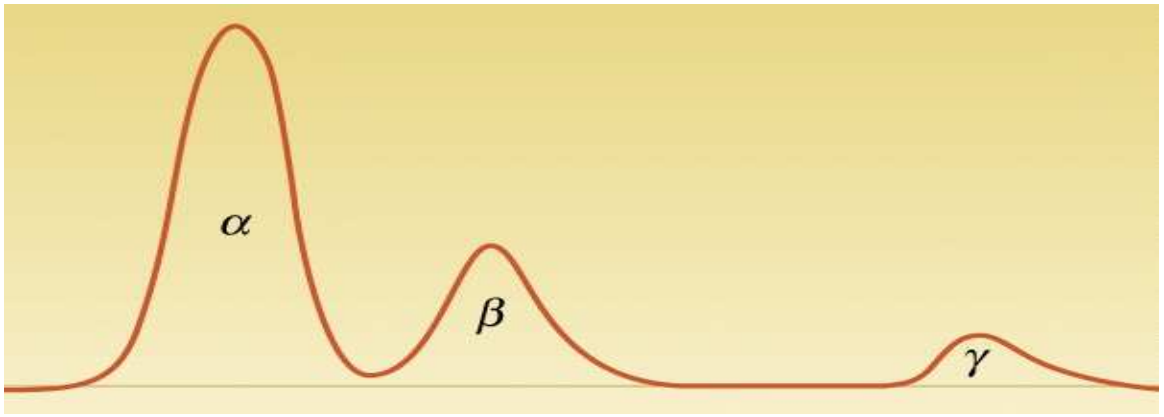
dinamikus magzsákrost

afferens és efferens idegek

statikus magzsákrost

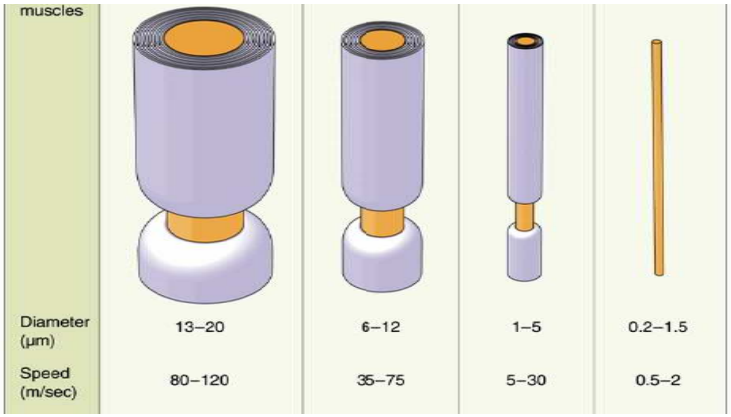
Rost spektrum

idegrost aktivitás (mV)



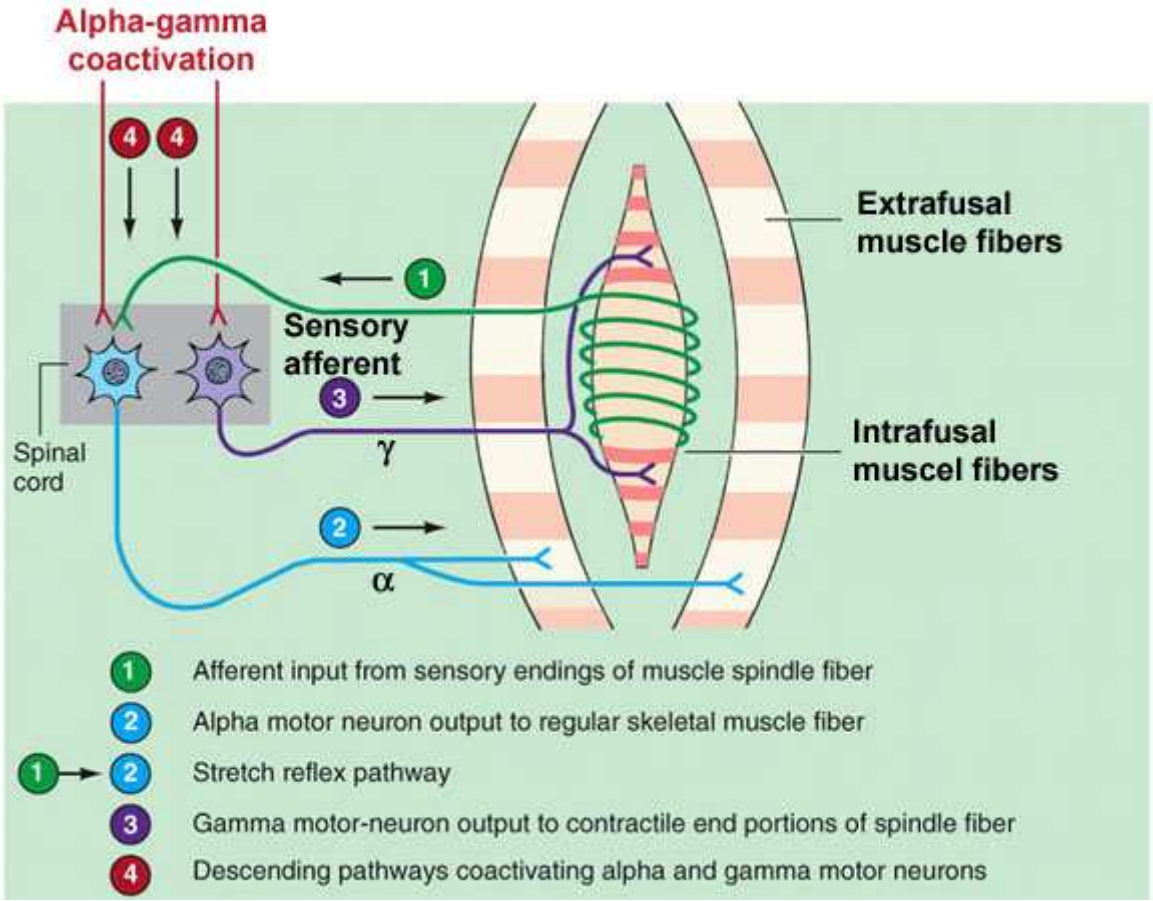
idő

Idegrost osztályok

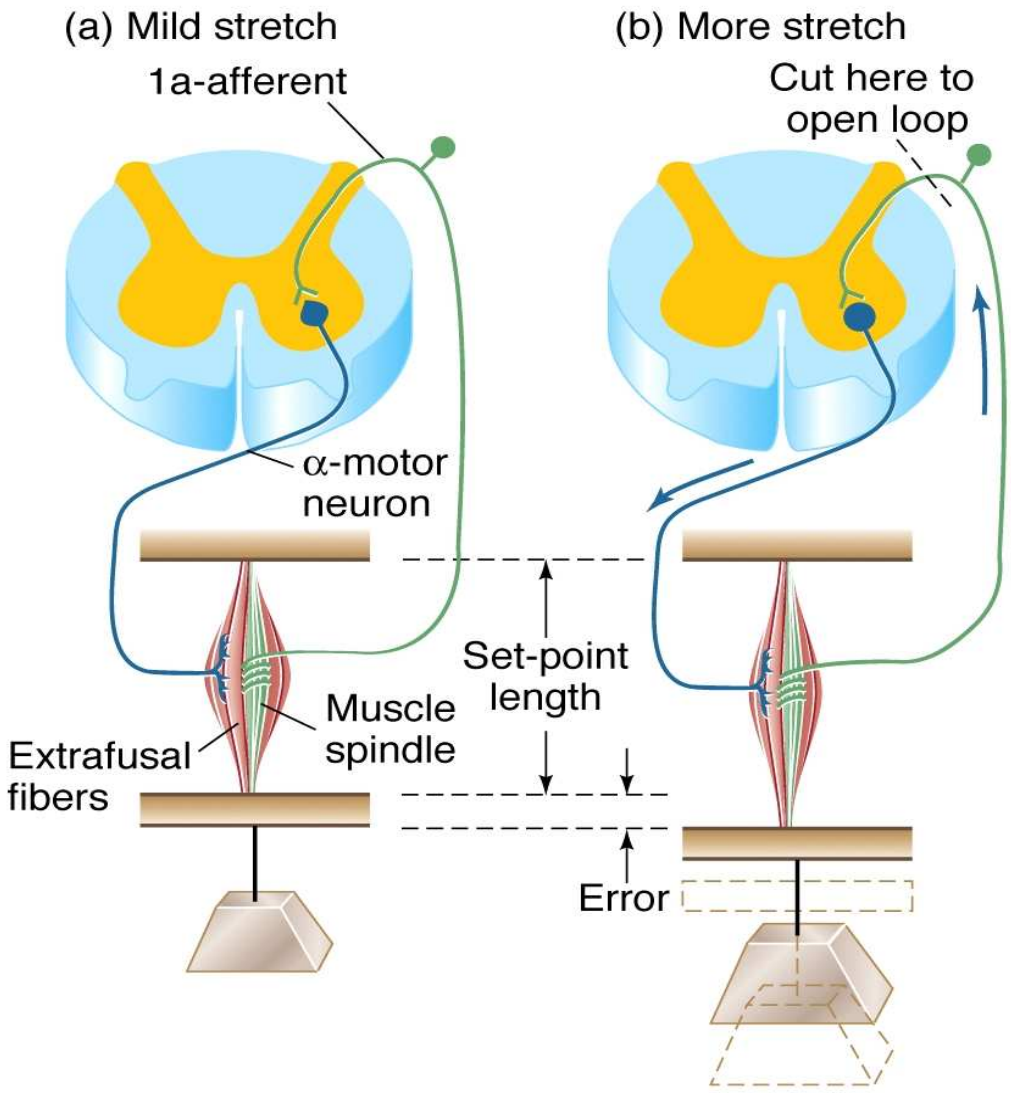


új név	régi név	átmérő μm	vezetési sebesség (m/s)	megjegyzés
Ia	Aα	12-20	70-120	izomorsó motoneuronok rostjai
Ib	Aα	12-20	70-120	ínorsó
II	Aβ	5-12	30-70	izmok virágcsokor receptorai bőr mechanoreceptorai
III	Aγ, δ	2-5	12-30	hő, fájdalom γ-motoneuronok rostjai
	B		3-15	vegetatív preganglionáris
IV	C	0,5-1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

Izomaktiváció



Az előfeszítettség beállítása



Az izmok ereje

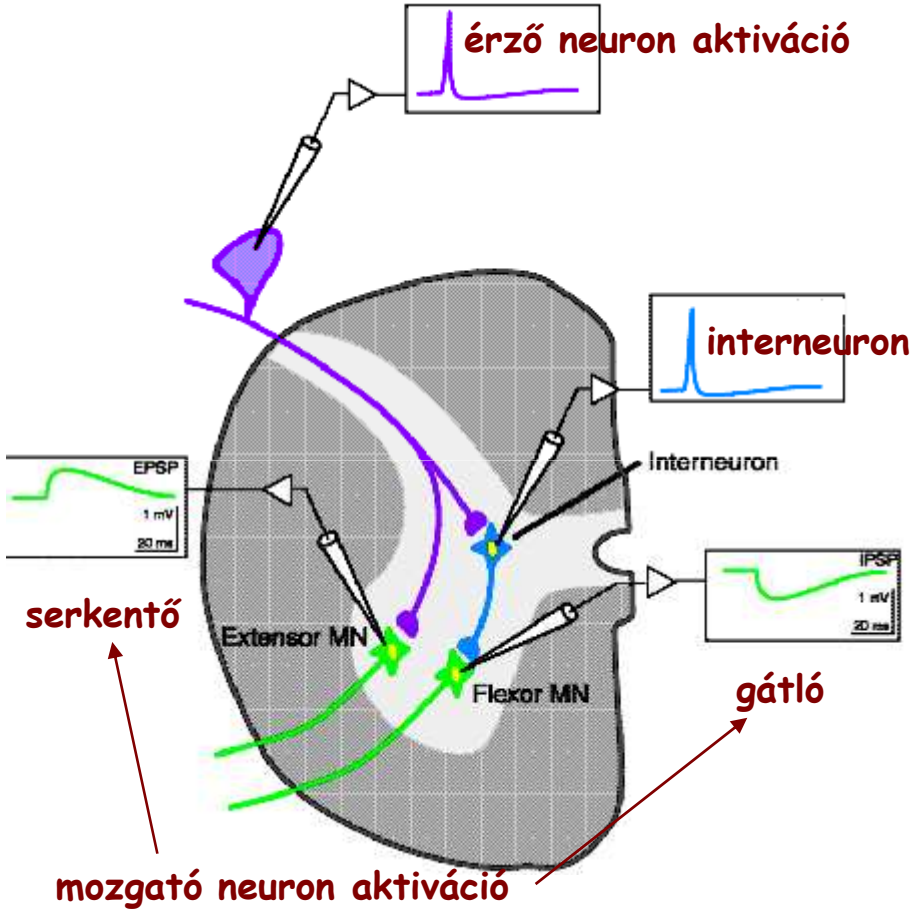
Izomerő fokozása:

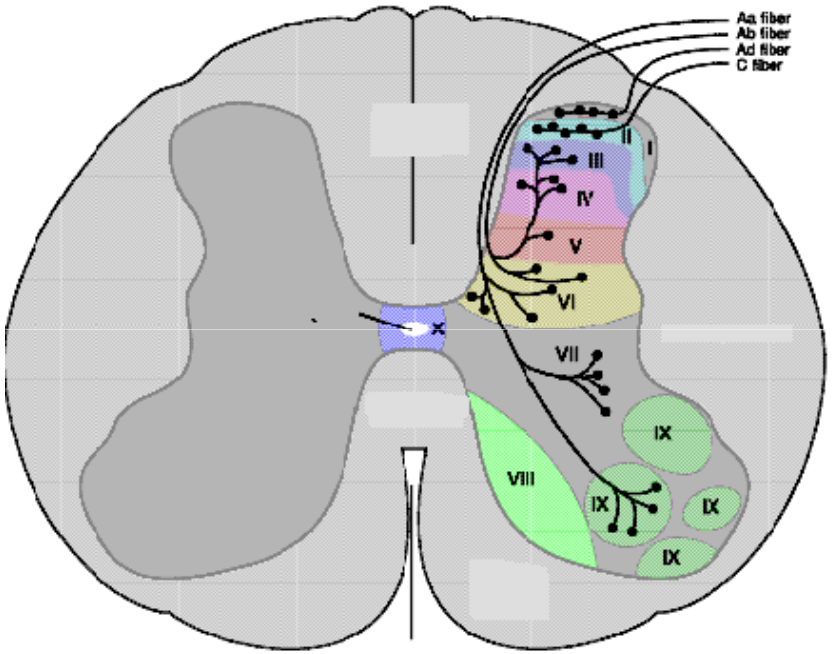
- a működő egységek számának növelésével
- az ingerlési frekvencia növelésével

Az izom-erőkifejtés függ:

- Az életkortól és a nemtől.
- A rostok vastagságától és vérellátásától.
- A működő izmok hosszától.
- A résztvevő ME. számától (ME.: motorikus egység).
- Az impulzusok sűrűségétől, szinkronizációjától.
- Az erőkifejtés idejétől.
- A mozgósítható energia mennyiségétől.
- A megmozgatott súly nagyságától és az ellenállás nagyságától.
- A rostok összetételétől.
- Az impulzusok nagyságától és erejétől.

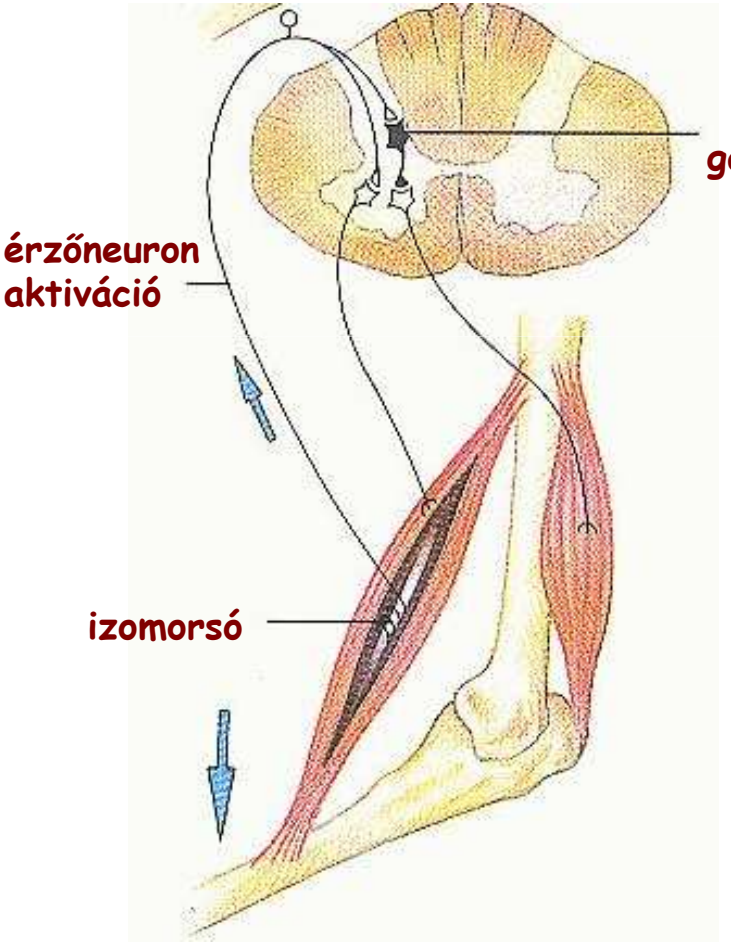
A gerincvelői idegek és működésük

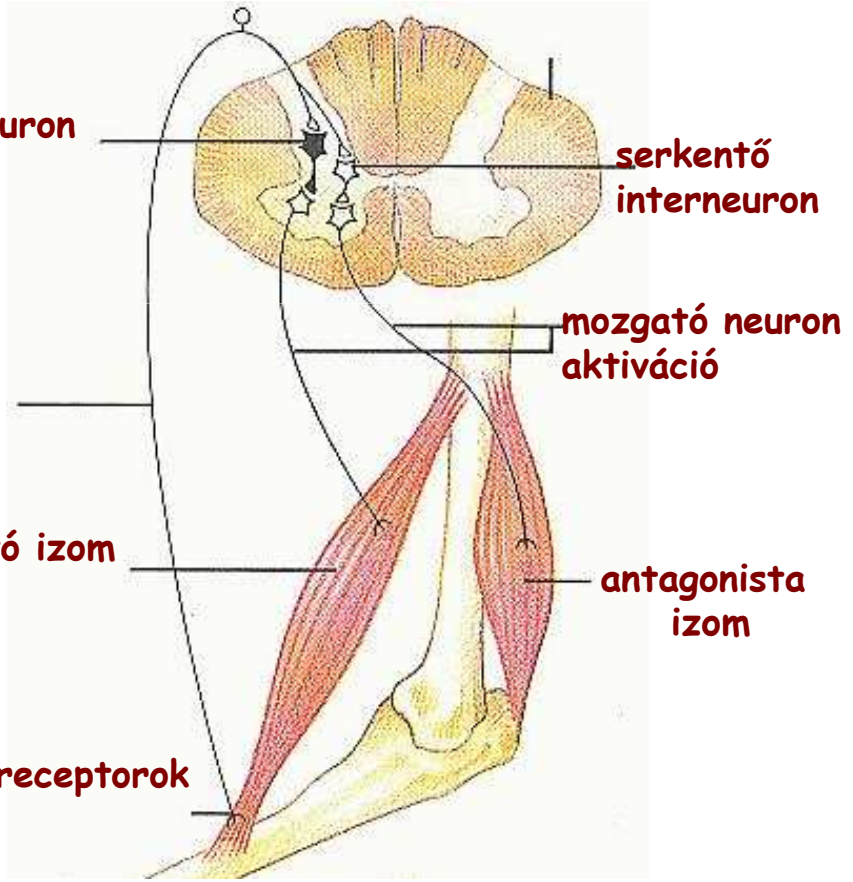




Miotatikus reflex

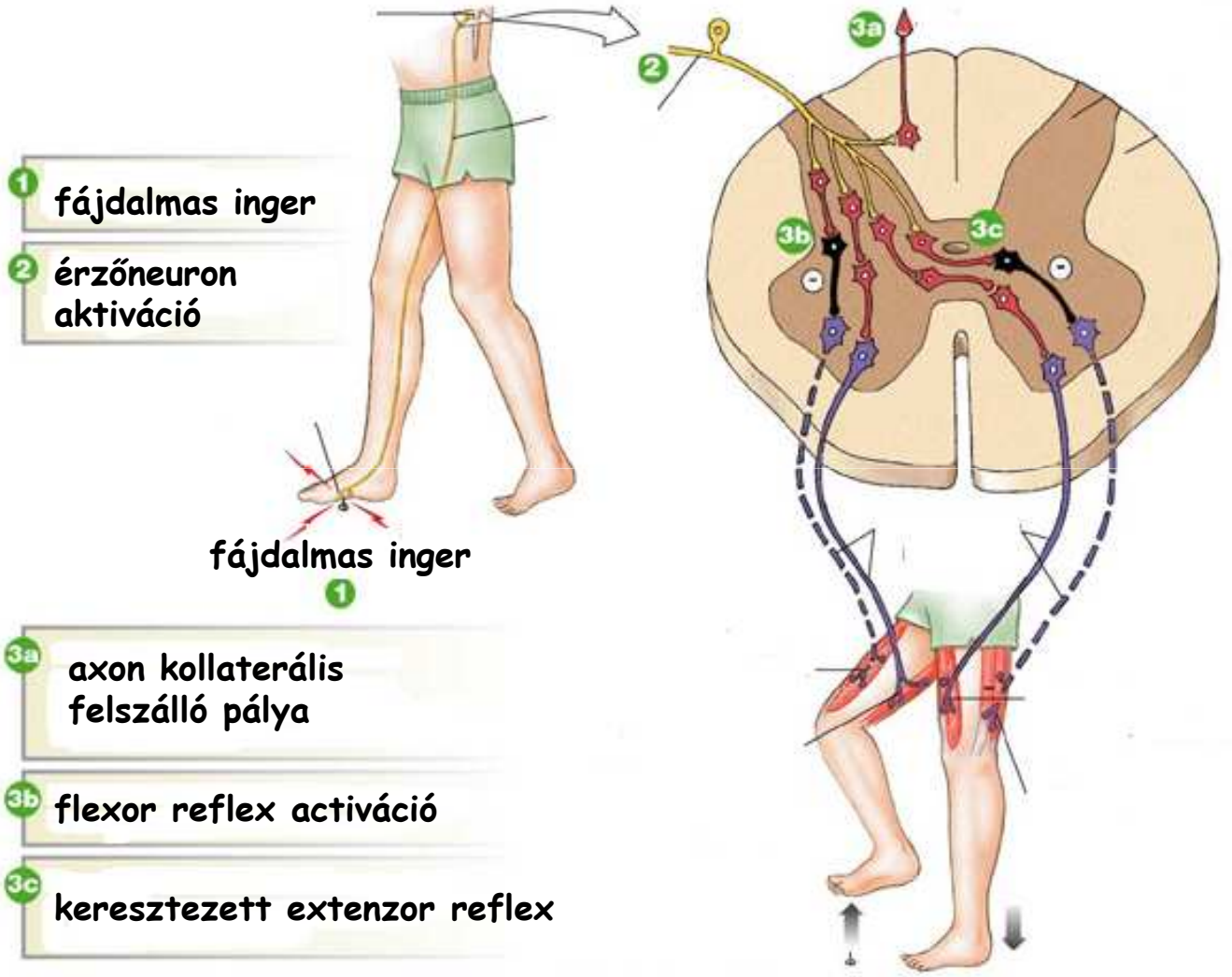
Monoszinaptikus védekező reflex



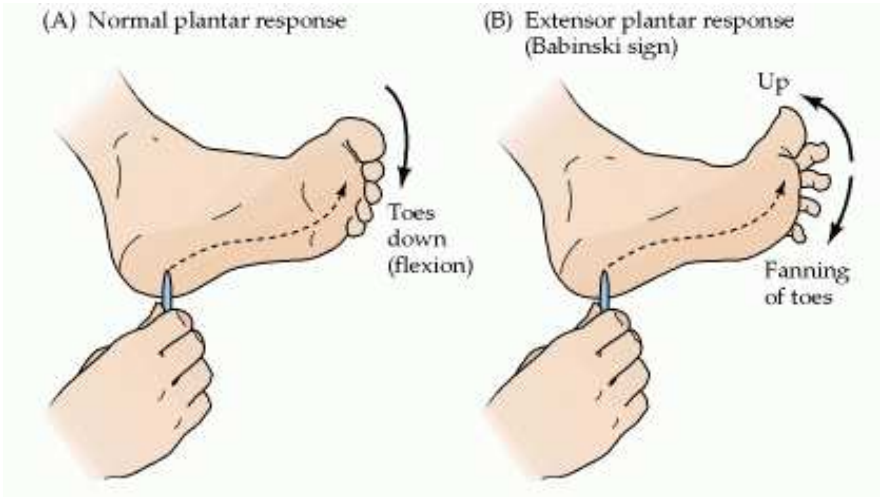


Flexor reflex

Diszinaptikus védekező reflex



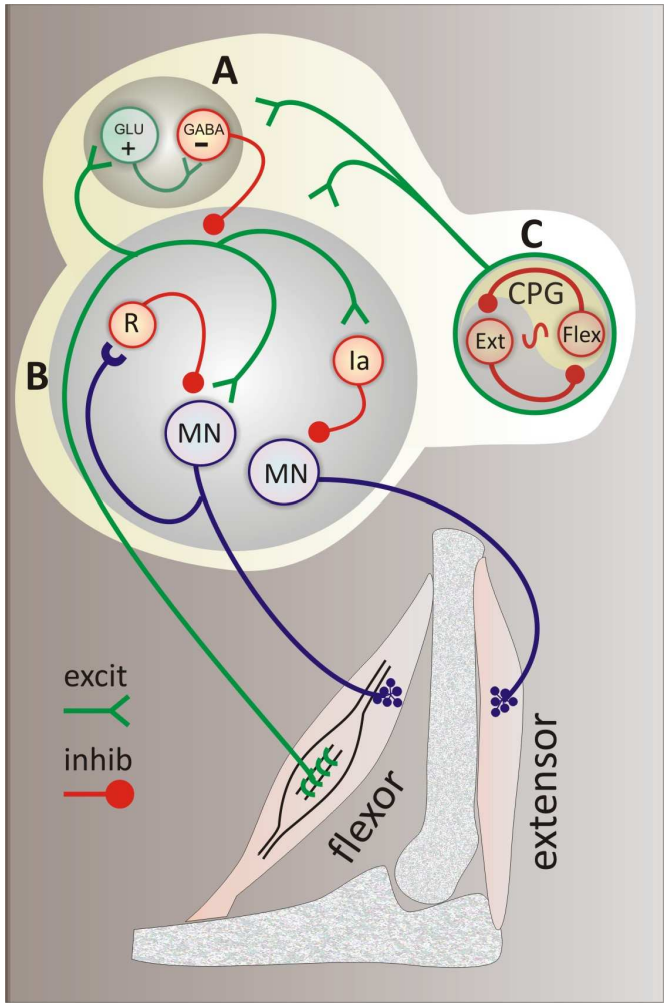
Egyéb reflexek, pálya sérülések

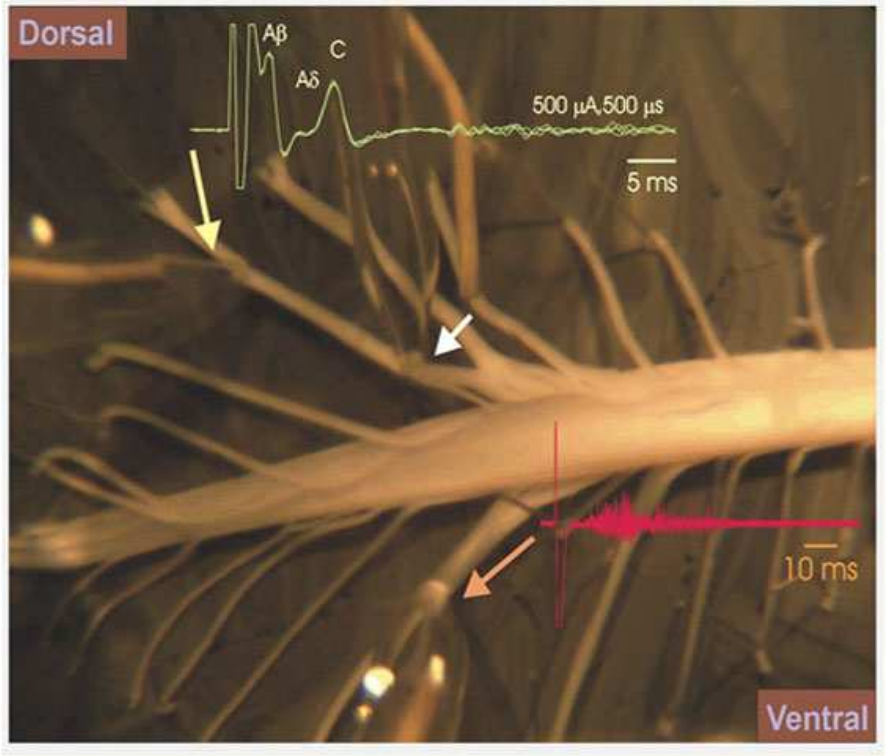


Veleszületett refelxek, elfedődnek
Kóros reflexek – pályasérülés

Testtartási reflexek – agytörzsi koordináció (izmokból információ)

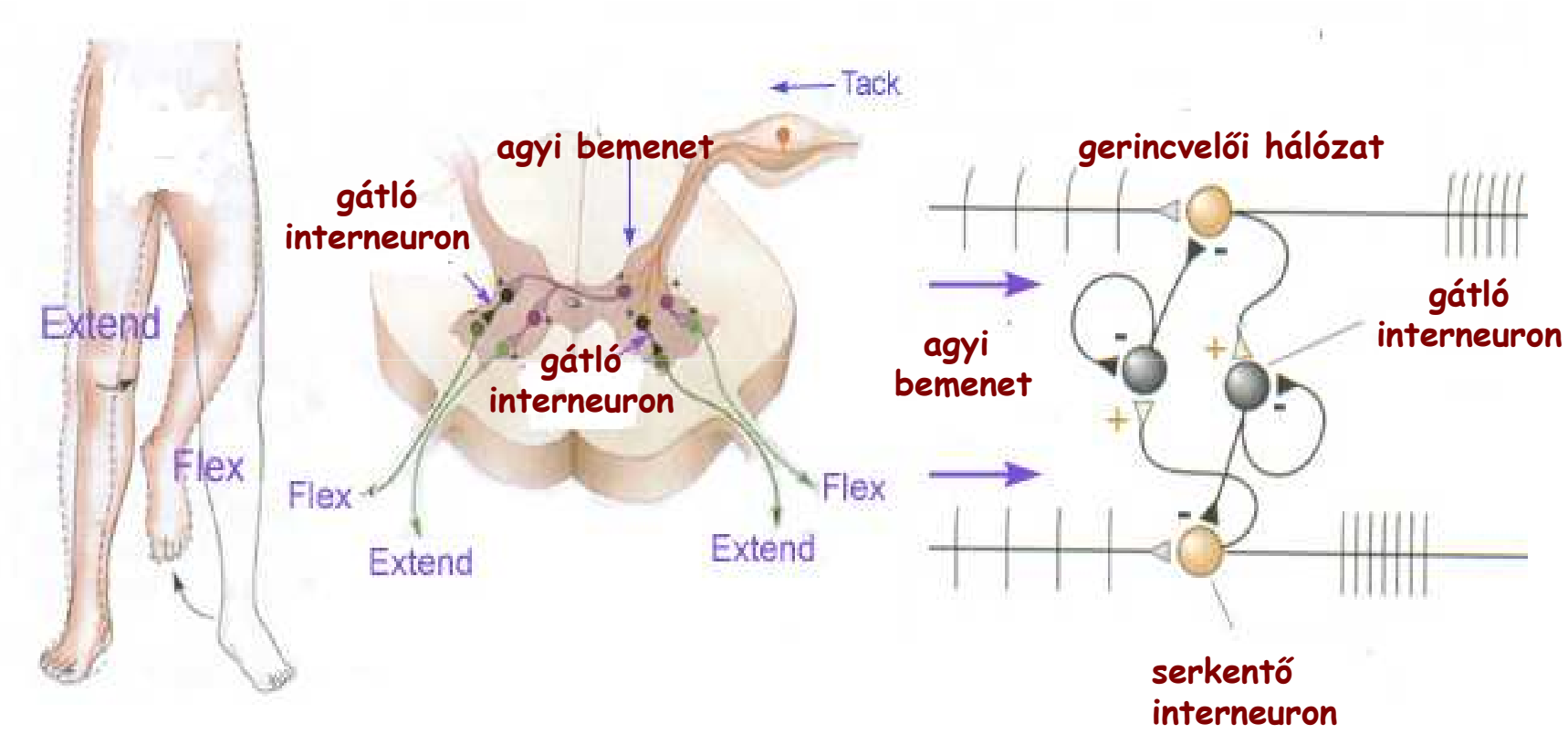
Mozgáskoordináció gerincvelői szinten



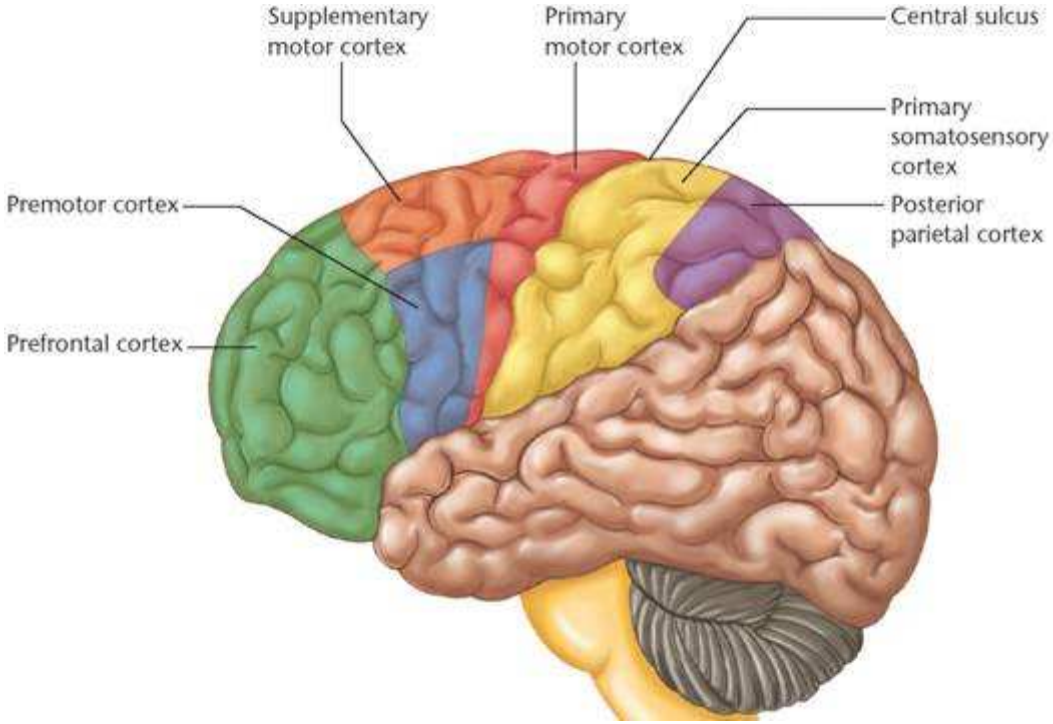


MN: motoneuron, R: Renshaw sejt, CPG: centrális mintázatgenerátor

Mozgáskoordináció – központi mintázat generátor



A motoros és szomatoszenzoros mezők



Primer motoros kéreg (gyrus praecentralis, Br4): mozgásminták tárolása és kivitelezése a pyramispályán át.

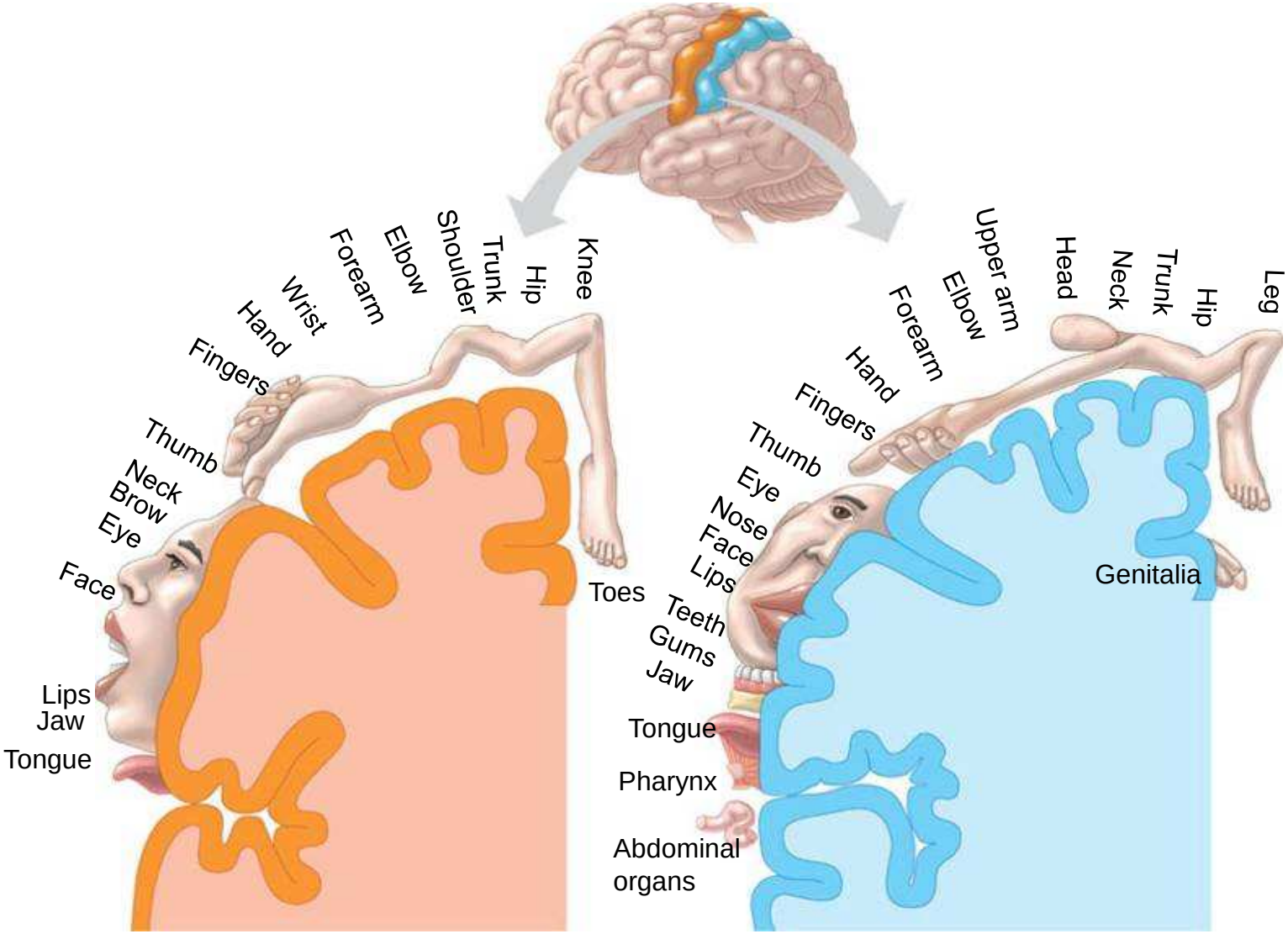
Praemotoros kéreg (Br6 dorsolateralis része): előkészíti a motoros kérget a mozgás végrehajtására, összehangolja többkomponensű mozgások elemeit.

Supplementer motoros kéreg (Br6 medialis része): akaratlagos mozgások tervezése és indítása, izomtónus-szabályozás.

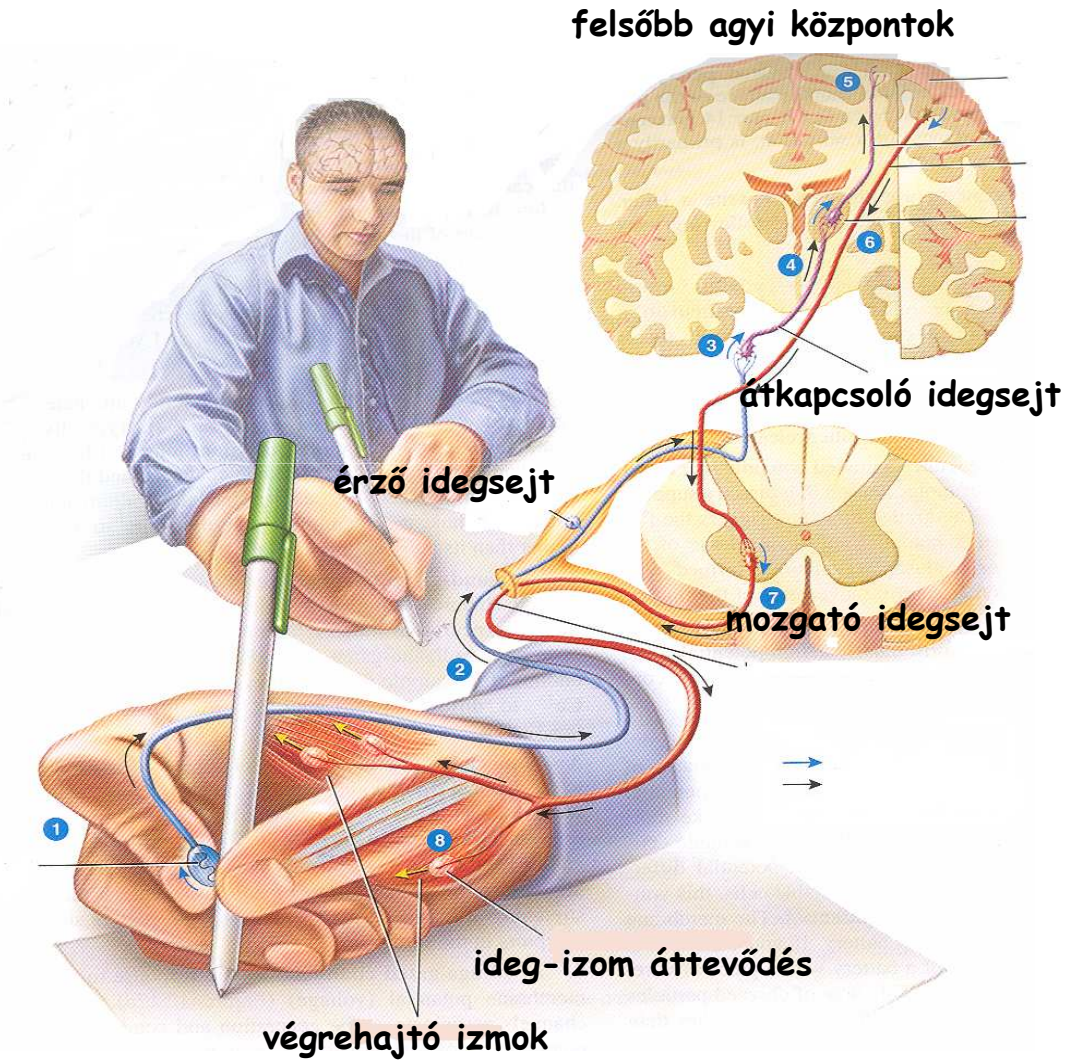
Primer szomatoszenzoros kéreg (Br3, 1, 2): gyrus postcentralis

Szomatotopia

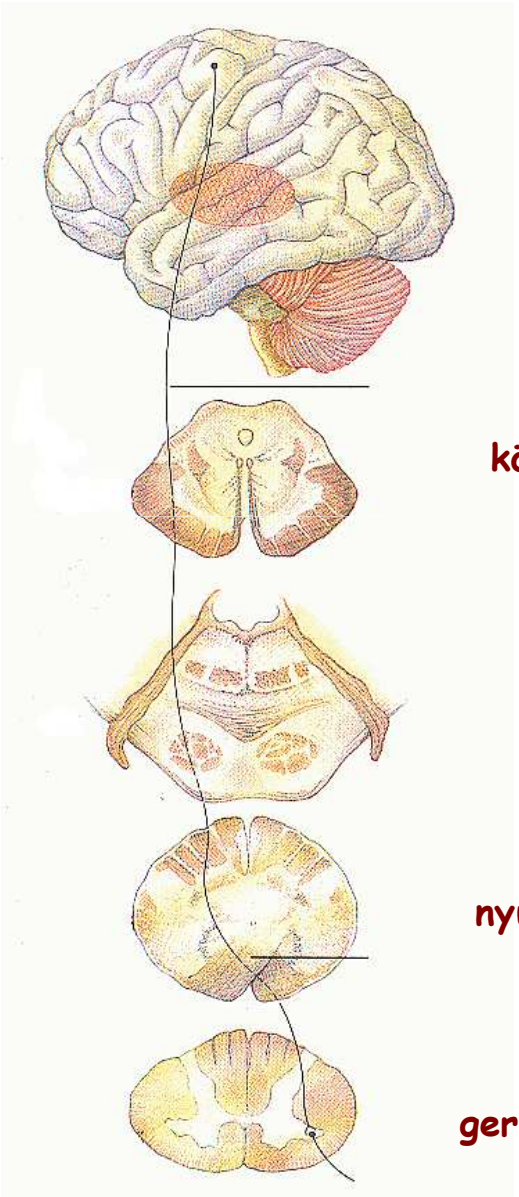
A homunculus: a mozgató pályák kiindulásának és az érző pályák végződésének kérgi vetülete



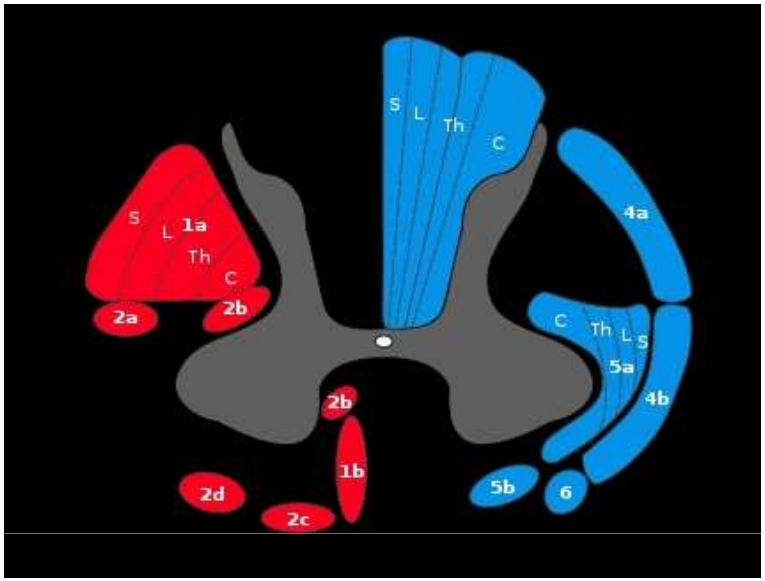
A mozgás kivitelezése



A mozgató működés szabályozása – piramidális pálya



Gerincvelői pályák



Leszálló mozgatópályák

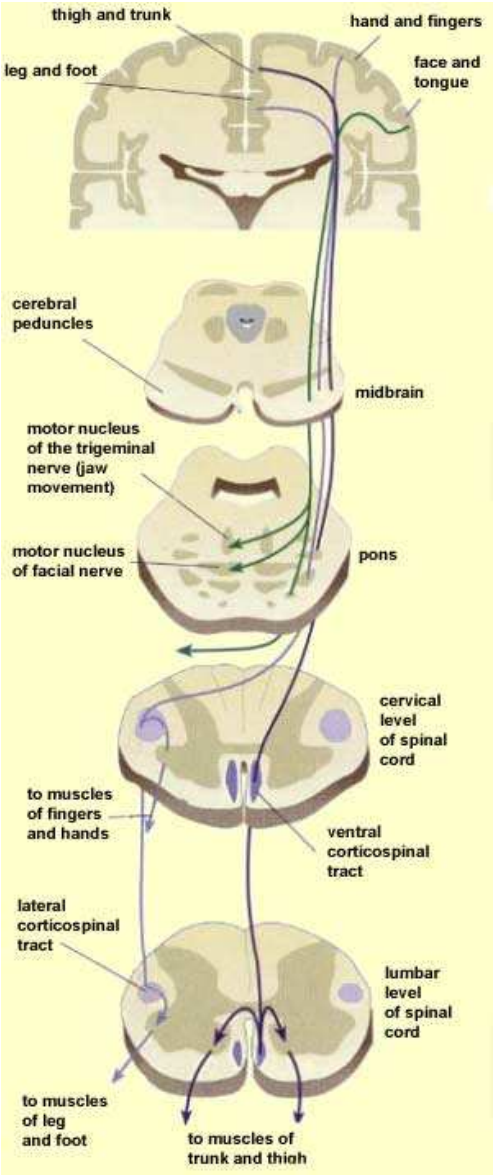
1. *piramidális pályák*
   - *a - oldalsó*
   - *b – elülső*
2. *Extrepiramidális pályák*
   - *a – rubrispinális pálya*
   - *b – retikulospinális pálya*
   - *c – vestibulospinális pálya*
   - *d – olivospinális pálya*

Felszálló érzőpályák

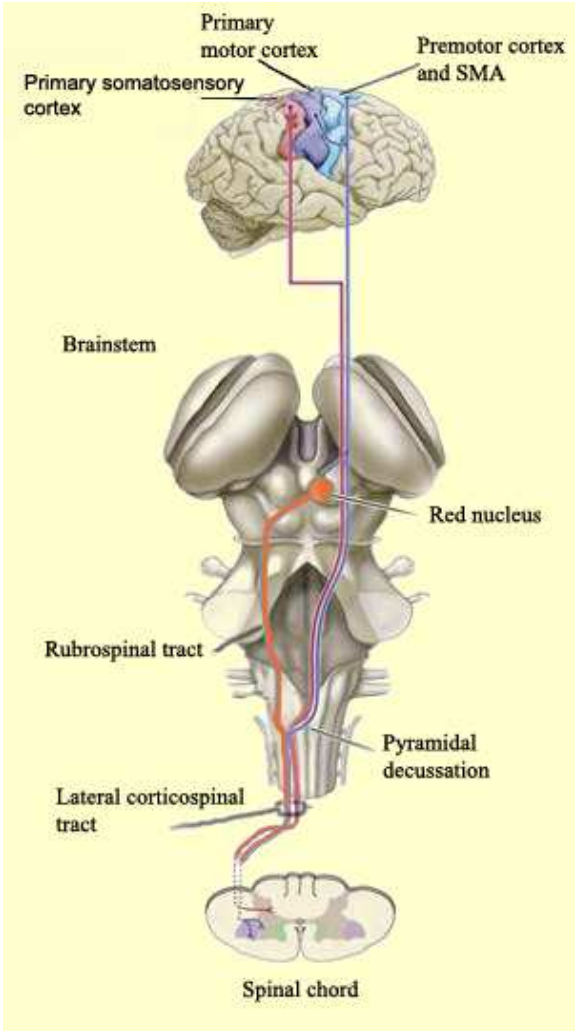
3. *hátsó oszlopi középső lemniscális rendszer*
   - *a – fasciculus gracilis*
   - *b – fasciculus cuneatus*
4. *spinocerebelláris köteg*
   - *a - hátsó köteg*
   - *b – elülső köteg*
5. *anterolateralis rendszer*
   - *a – oldalsó spinotalamikus köteg*
   - *b - elülső spinotalamikus köteg*
6. *spino-oliváris köteg*

A leszálló mozgató idegpályák

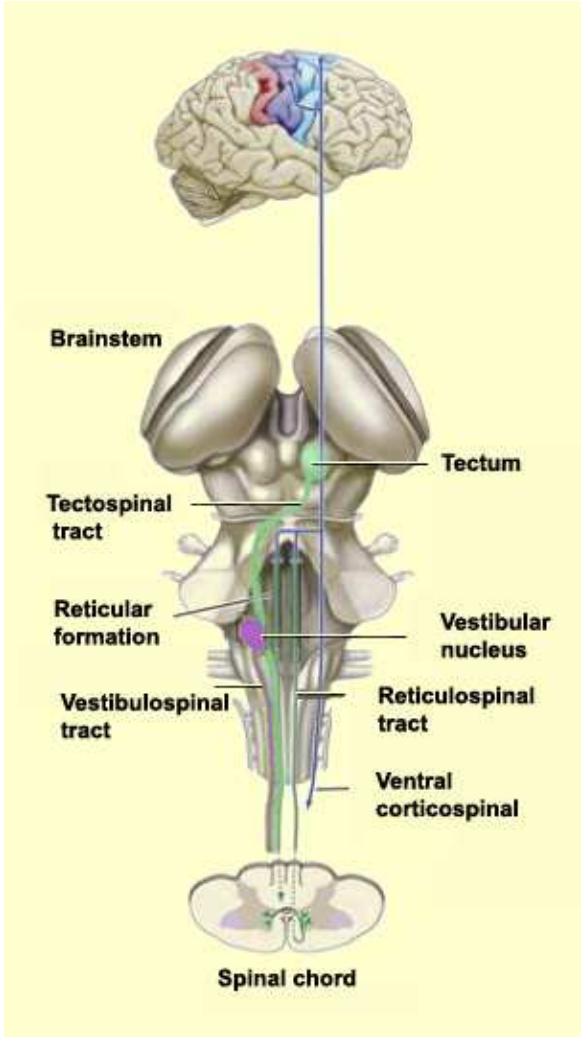
cortico-bulbáris és cortico-spinális pályák



piramidális pályák



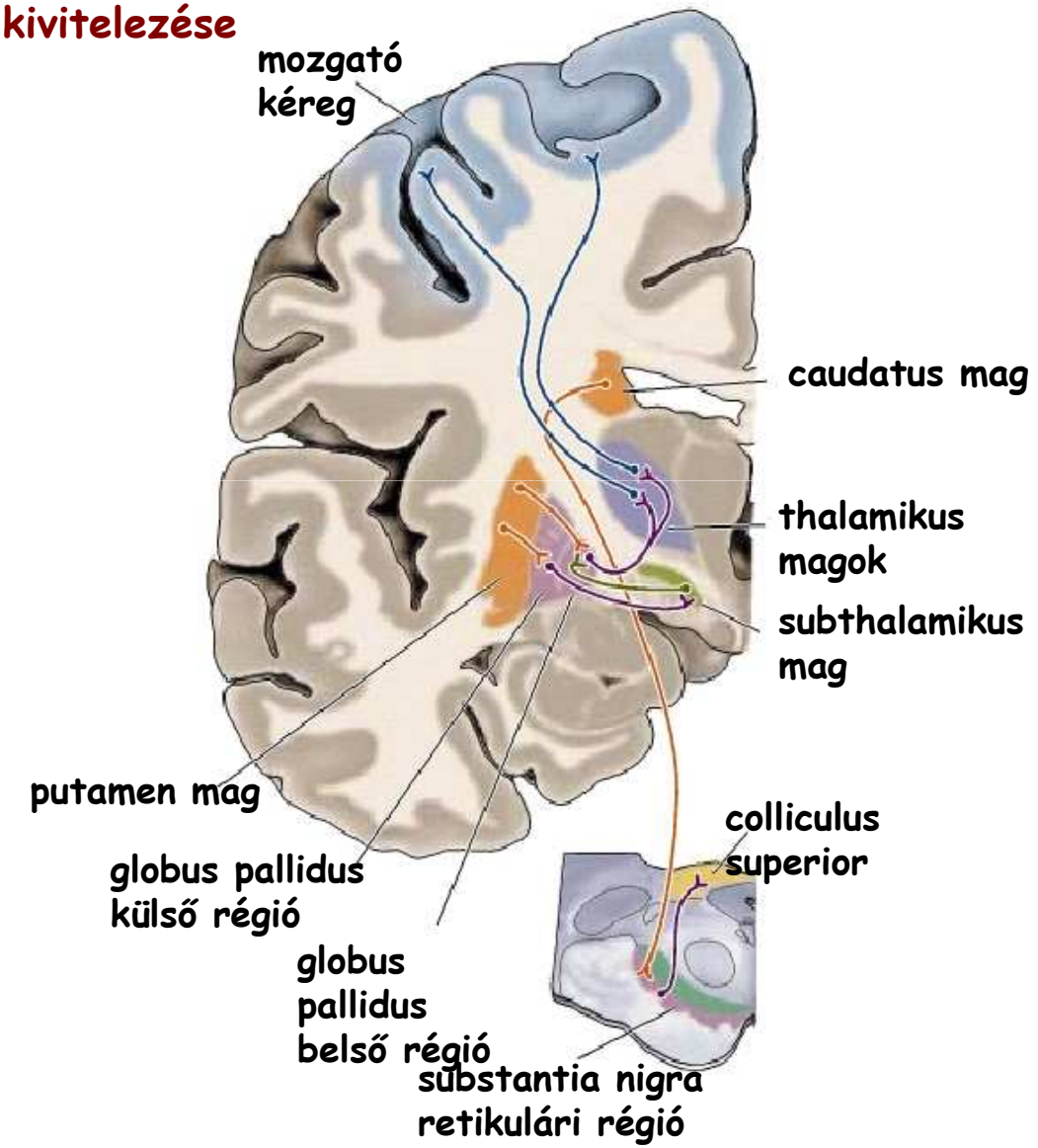
egyéb pályák



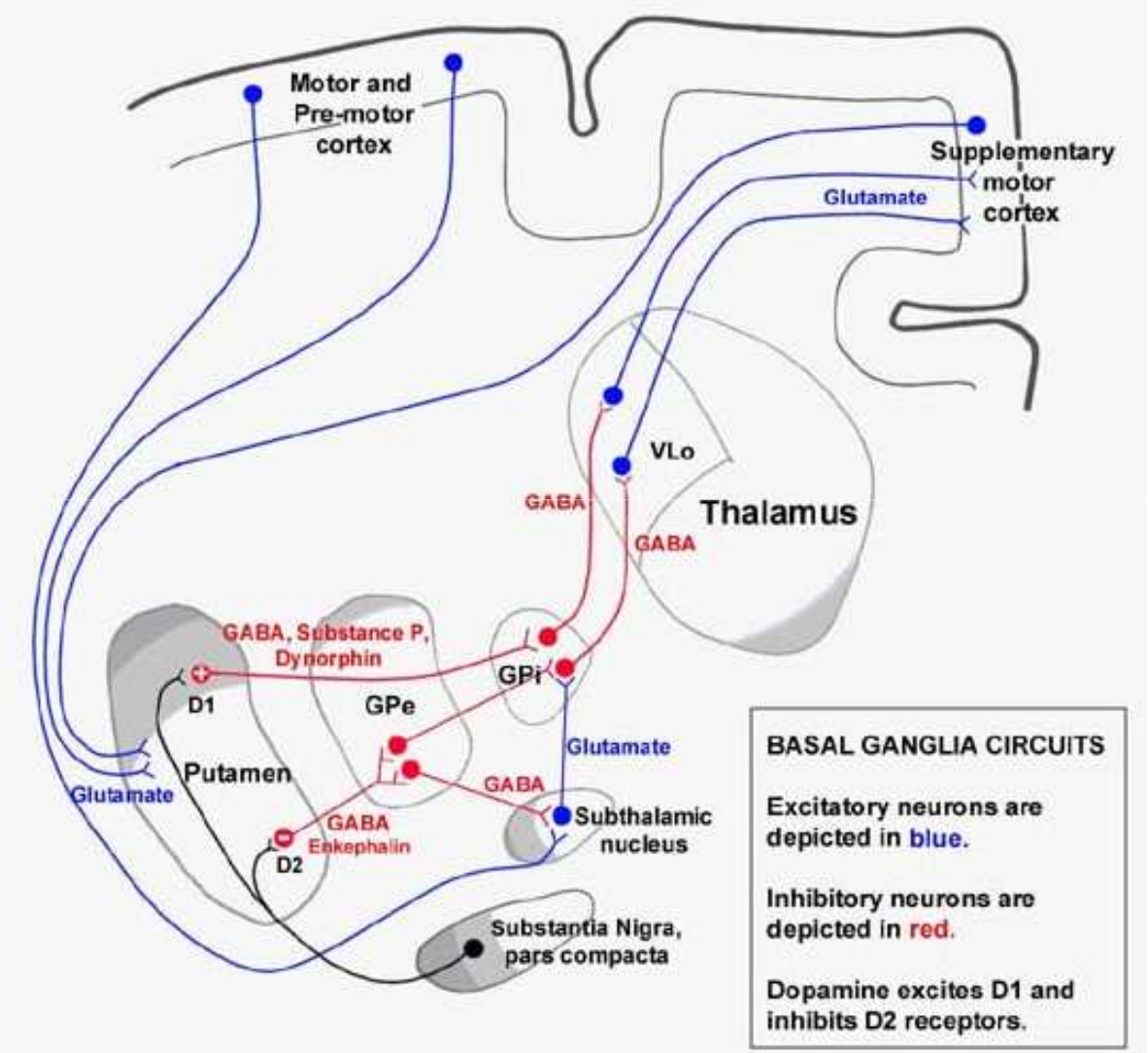
akaratlagos, tervezett mozgások kivitelezése

Bazális ganglionok – extrapiramidális rendszer

automatikus mozgások kivitelezése

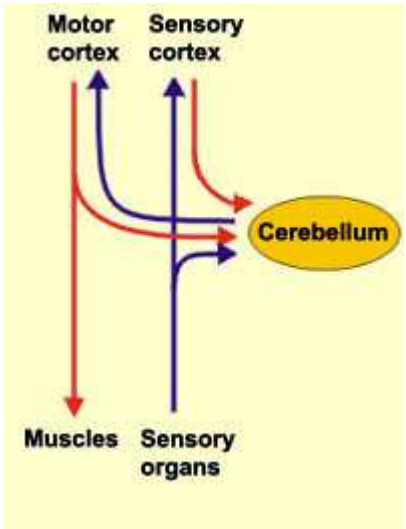


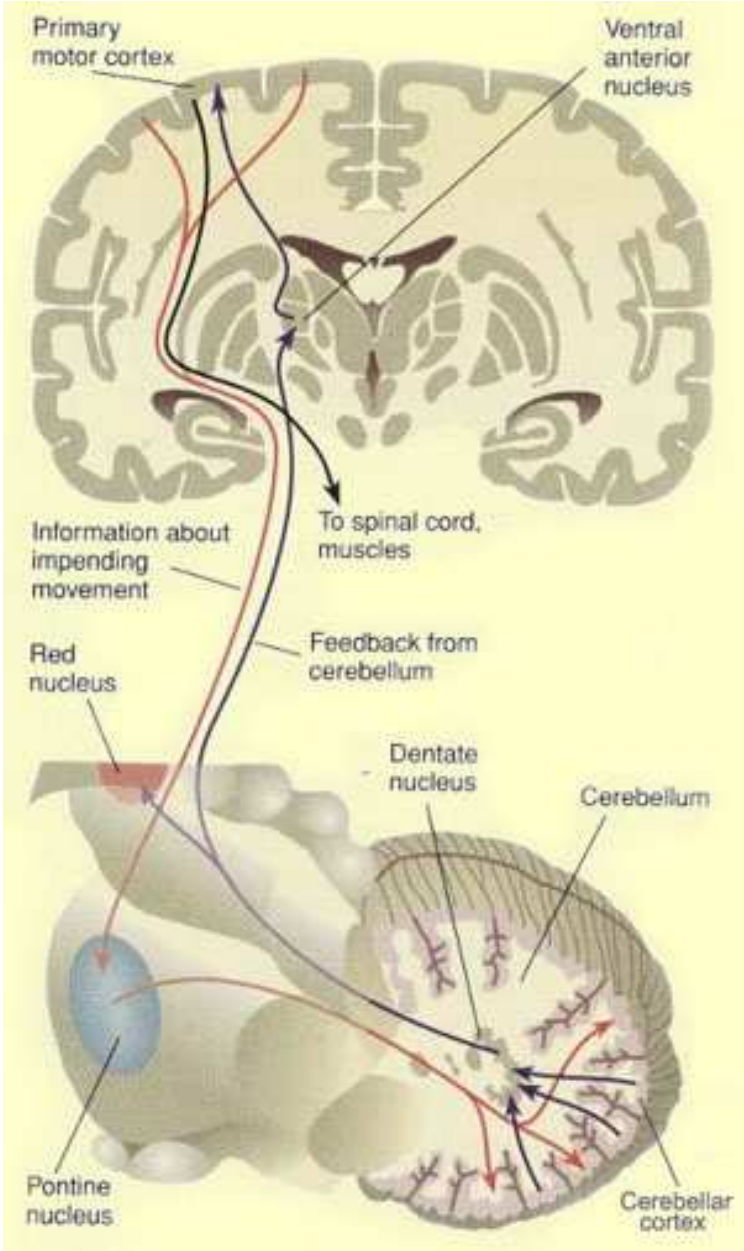
Bazális ganglionok – extrapiramidális renszer



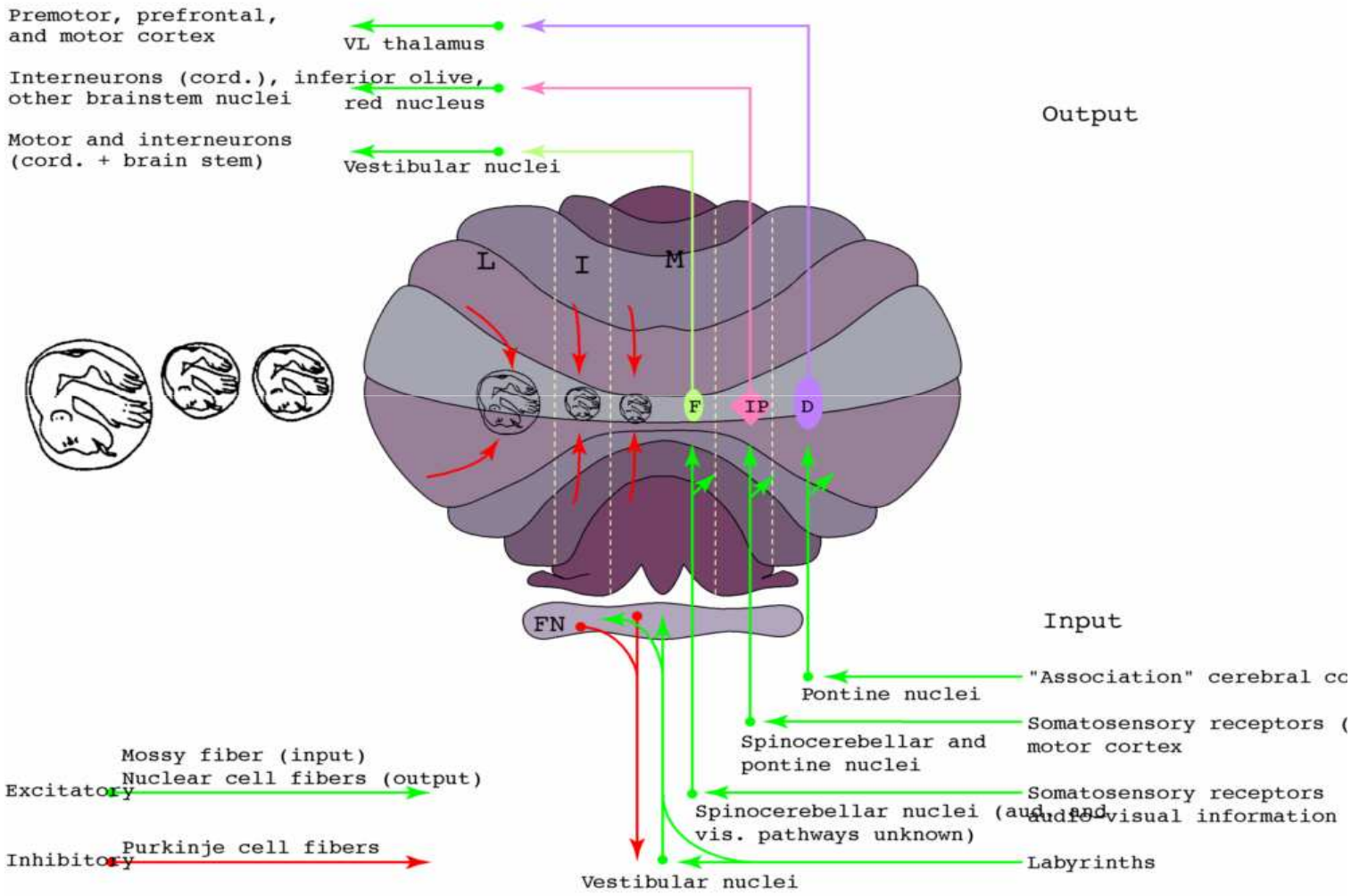
A kisagyi szabályozás – extrapiramidális rendszer

A kisagy koordinálja a mozgások megfelelő kivitelezését

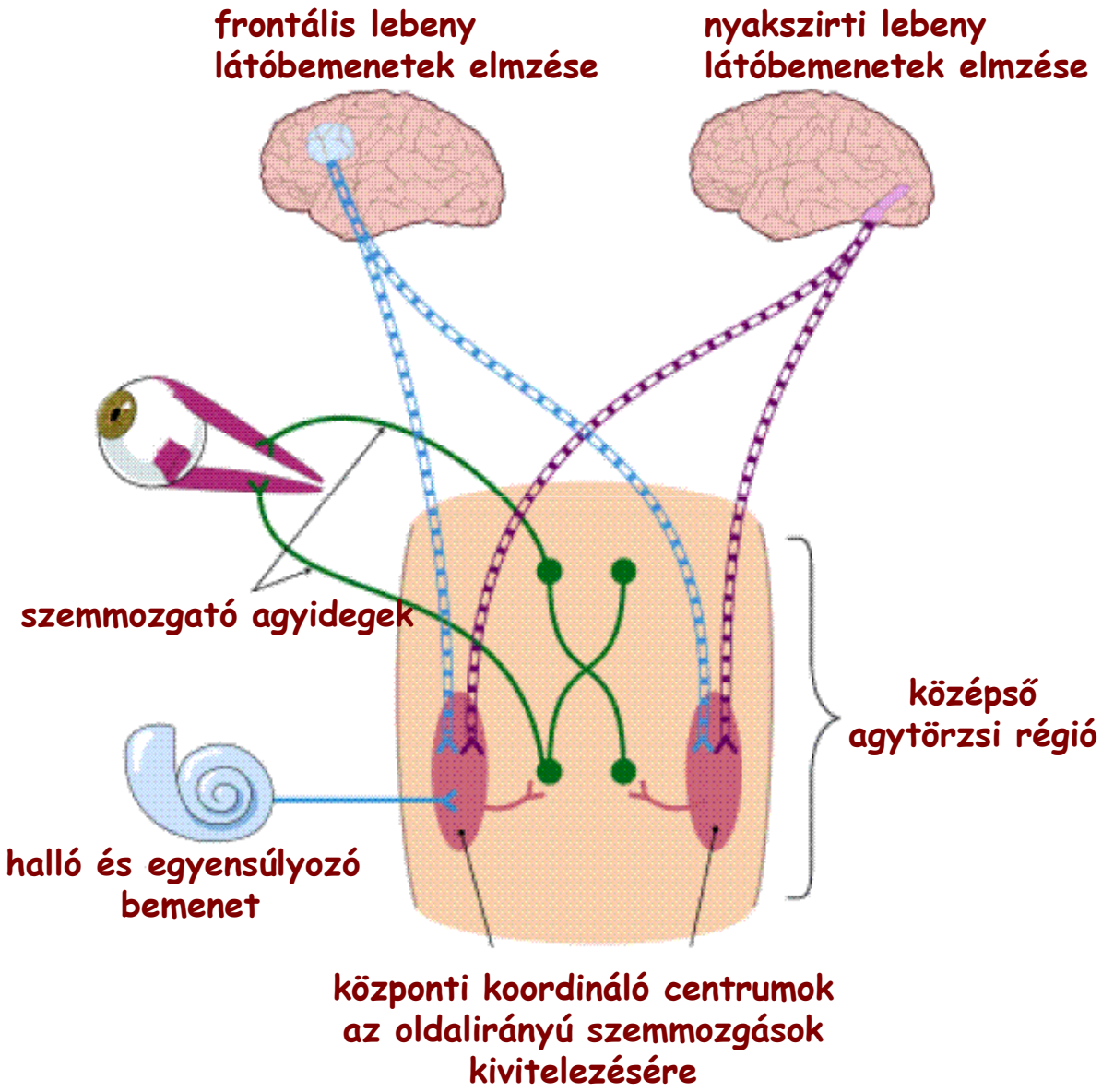




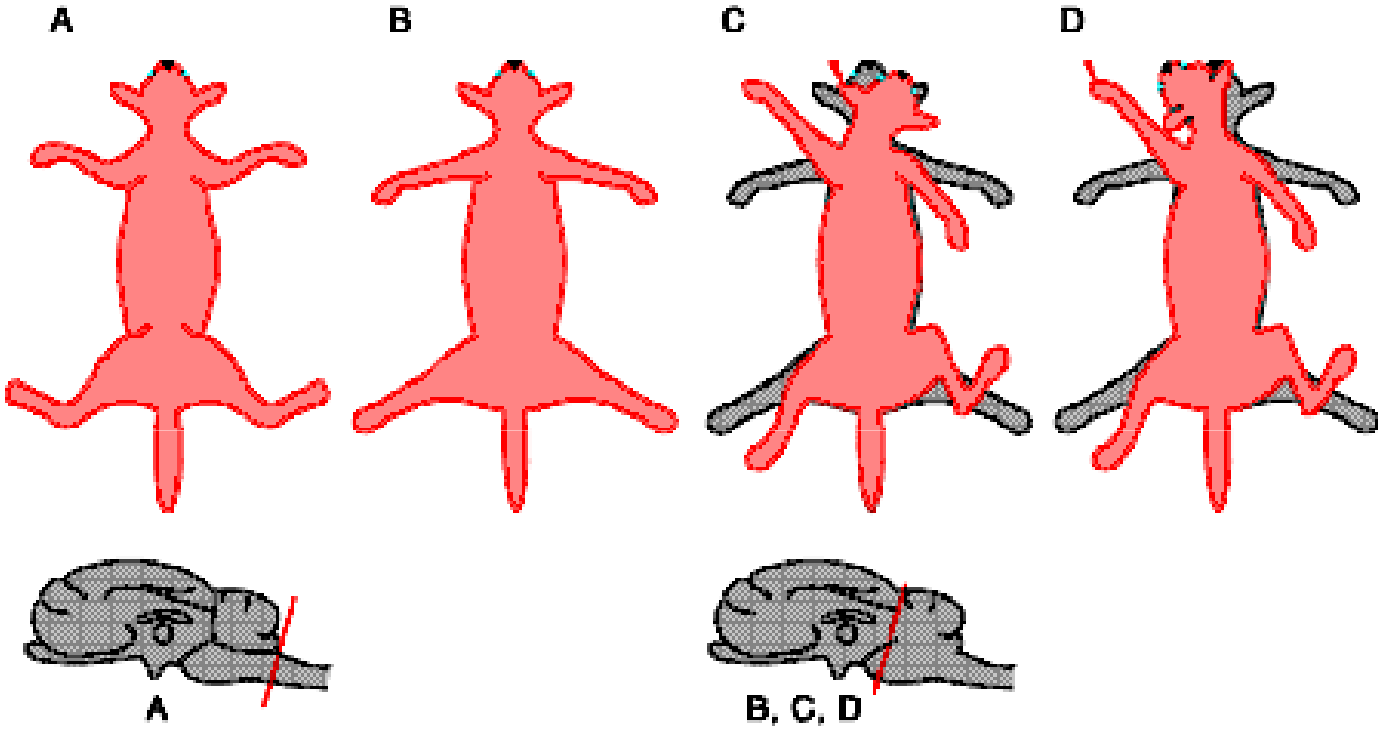
A kisagyi szabályozás – extrapiramidális rendszer



Mozgáskoordináció

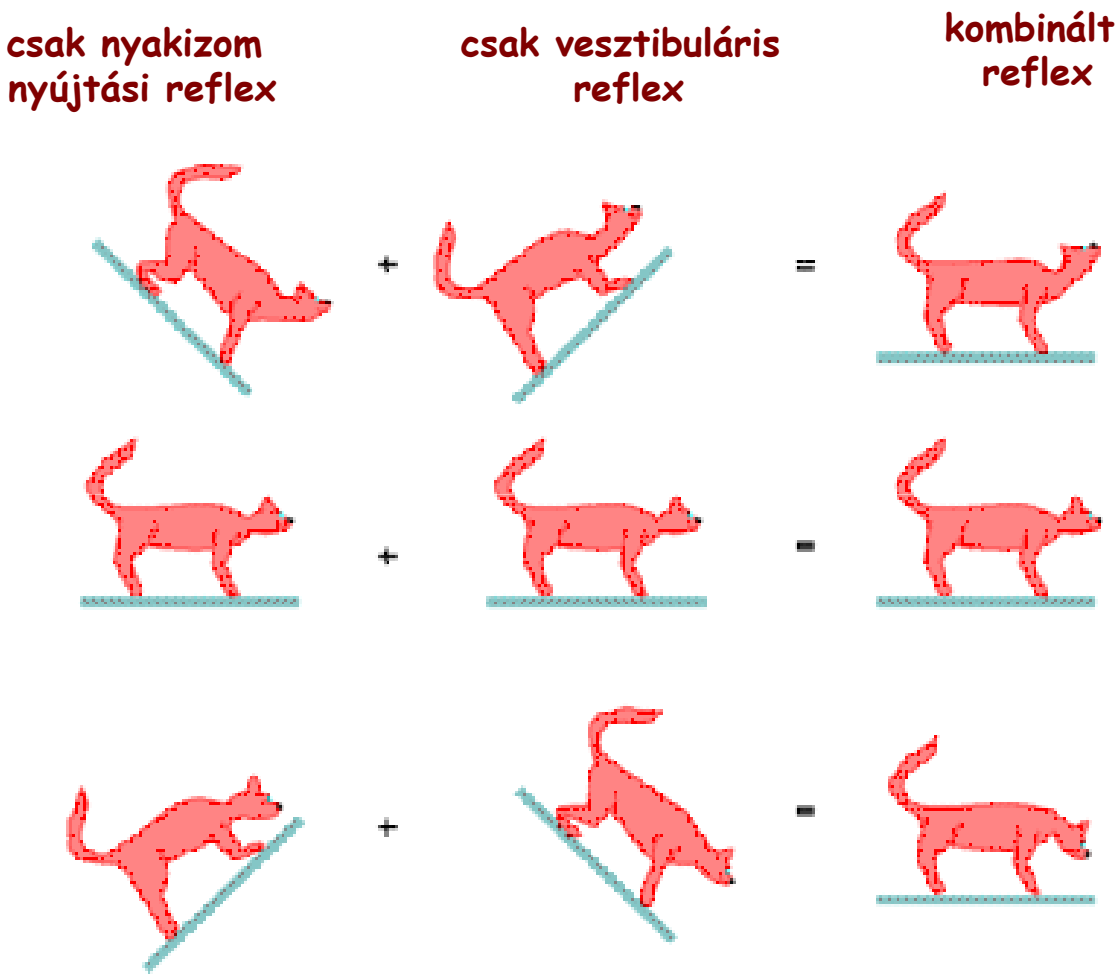


Mozgáskoordináció - testtartás

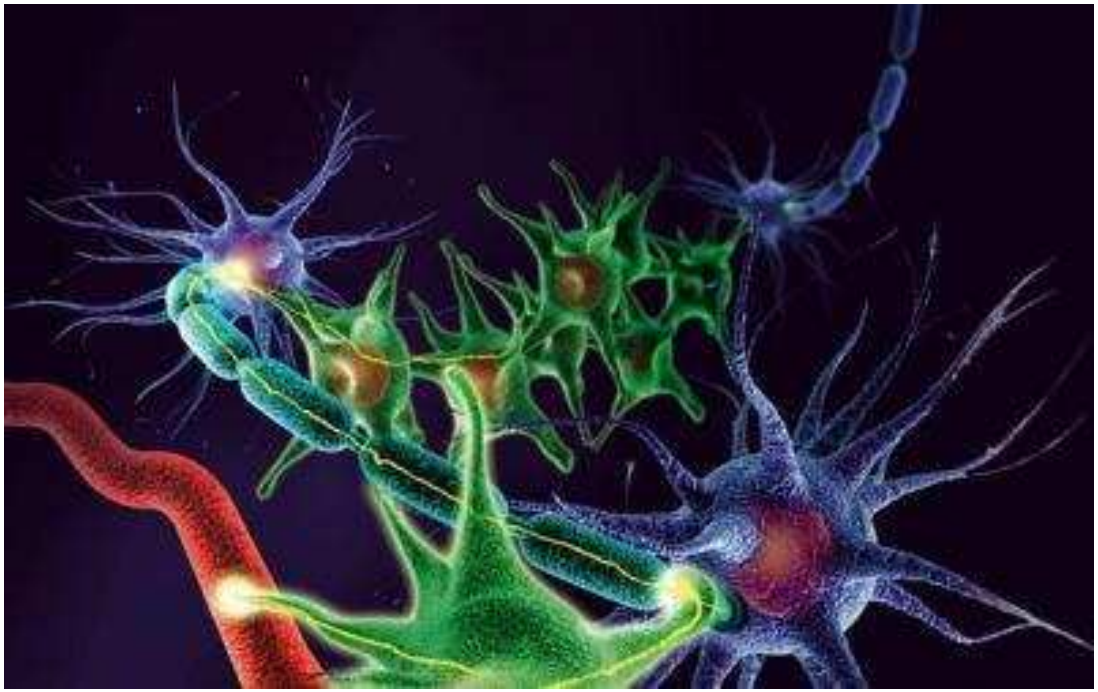


decerebrációs rigiditás

Mozgáskoordináció - testtartás

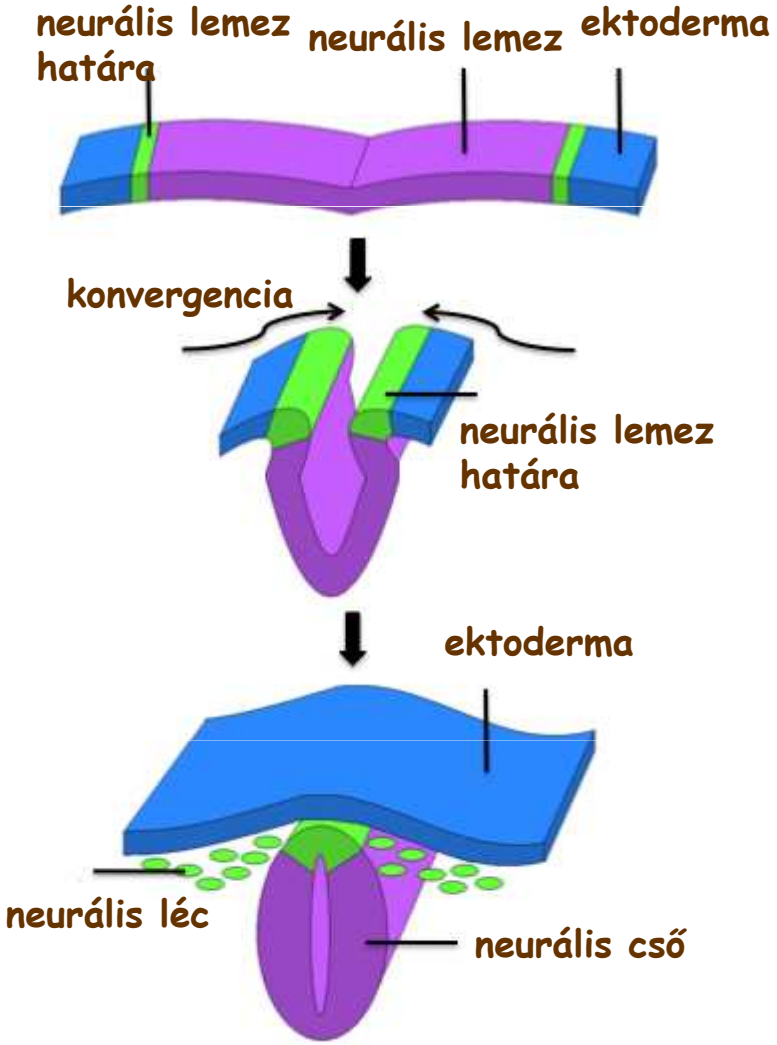


Neuronális hálózatok kialakulása, aktivitásuk mérése



Az idegrendszer fejlődése, velőcsőzáródás

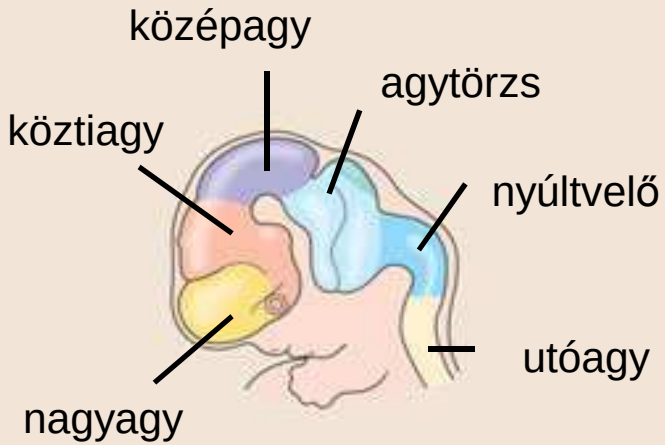
Velőcső záródási rendellenesség - spina bifida



Az agyhólyagok fejlődése

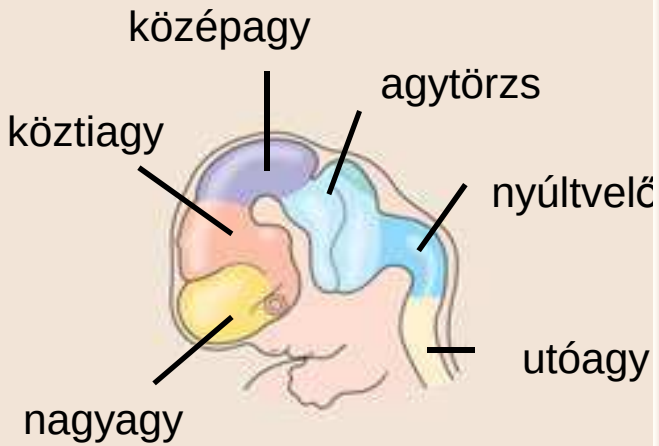
előagy
középagy
utóagy

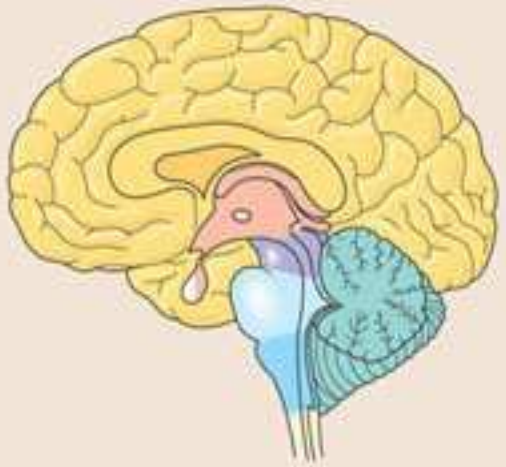
nagyagy
köztiagy
középagy
agytörzs
nyúltvelő



Az agy további fejlődése

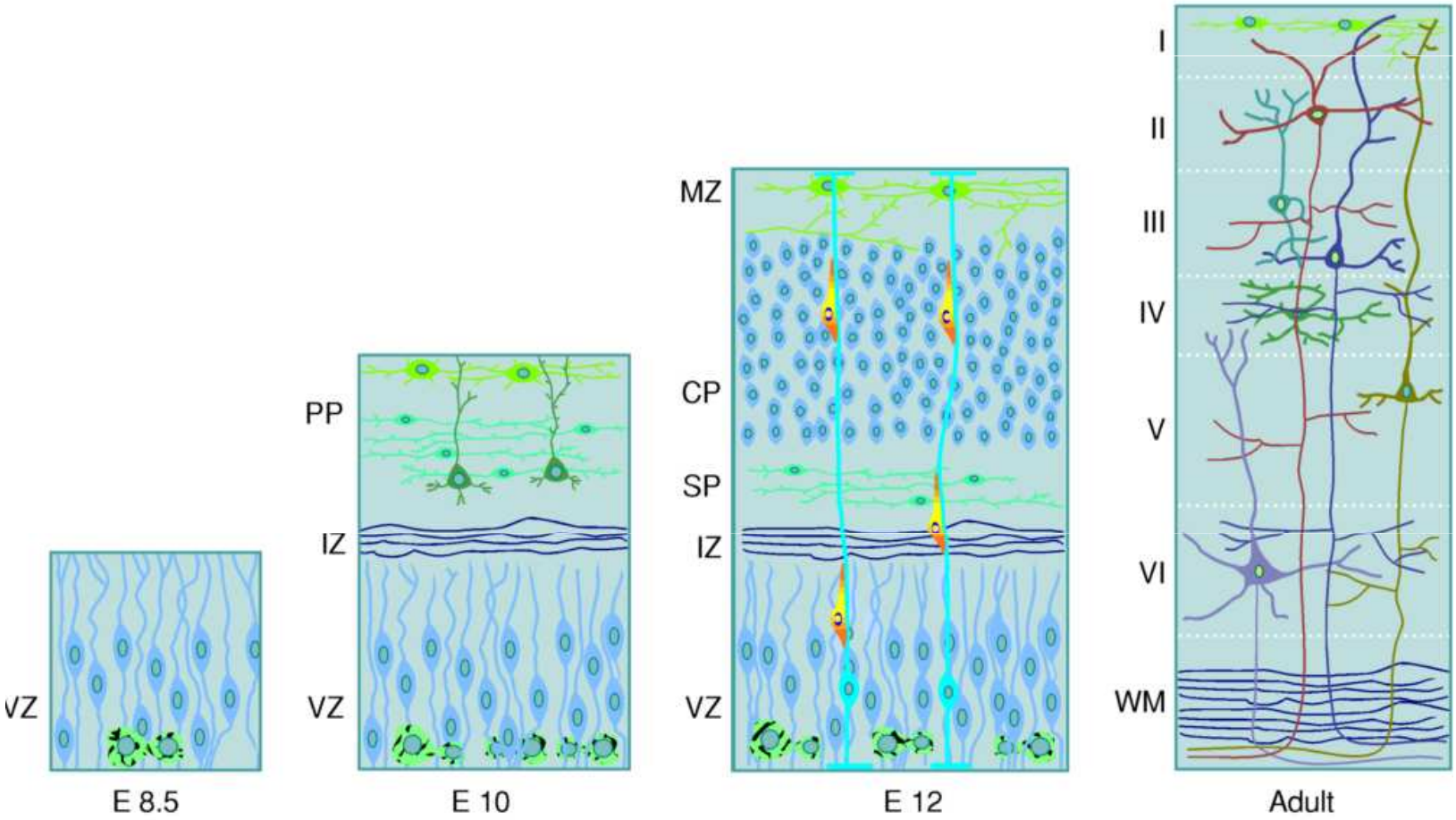
	Felnőtt agy
nagyagy	**nagyagy (neokortex, bazális ganglionok)**
köztiagy	**köztiagy (talamusz, hipotalamusz)**
középagy	**középagy**
agytörzs	**híd** **kisagy**
nyúltvelő	**nyúltvelő**





Az agykéreg fejlődése, a sejtkapcsolatok kialakulása

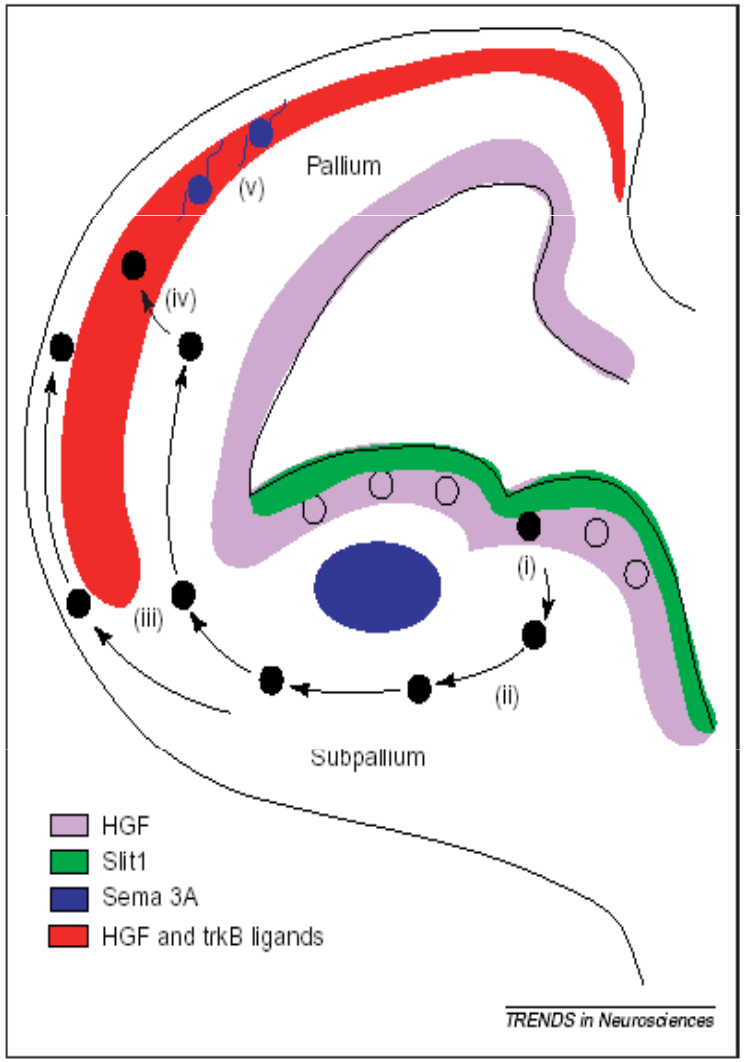
Radiális vándorlás



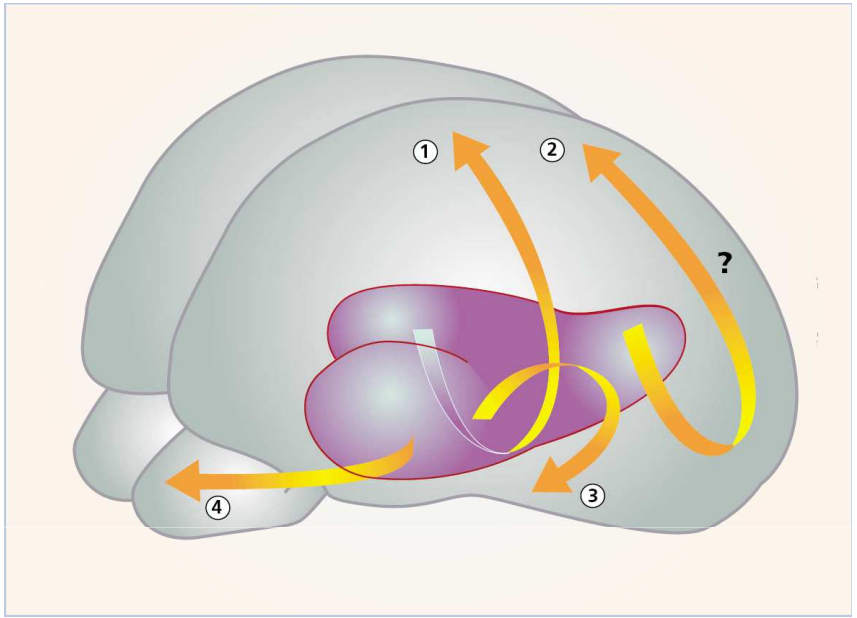
neurális cső

(időviszonyok, fajok közti eltérések)

Interneuronok és asztroglia kialakulása,

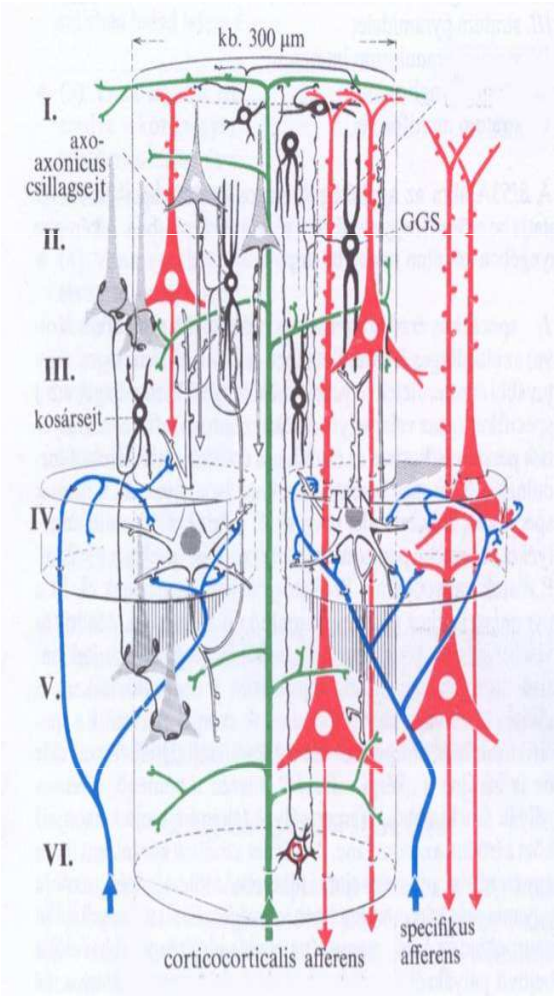


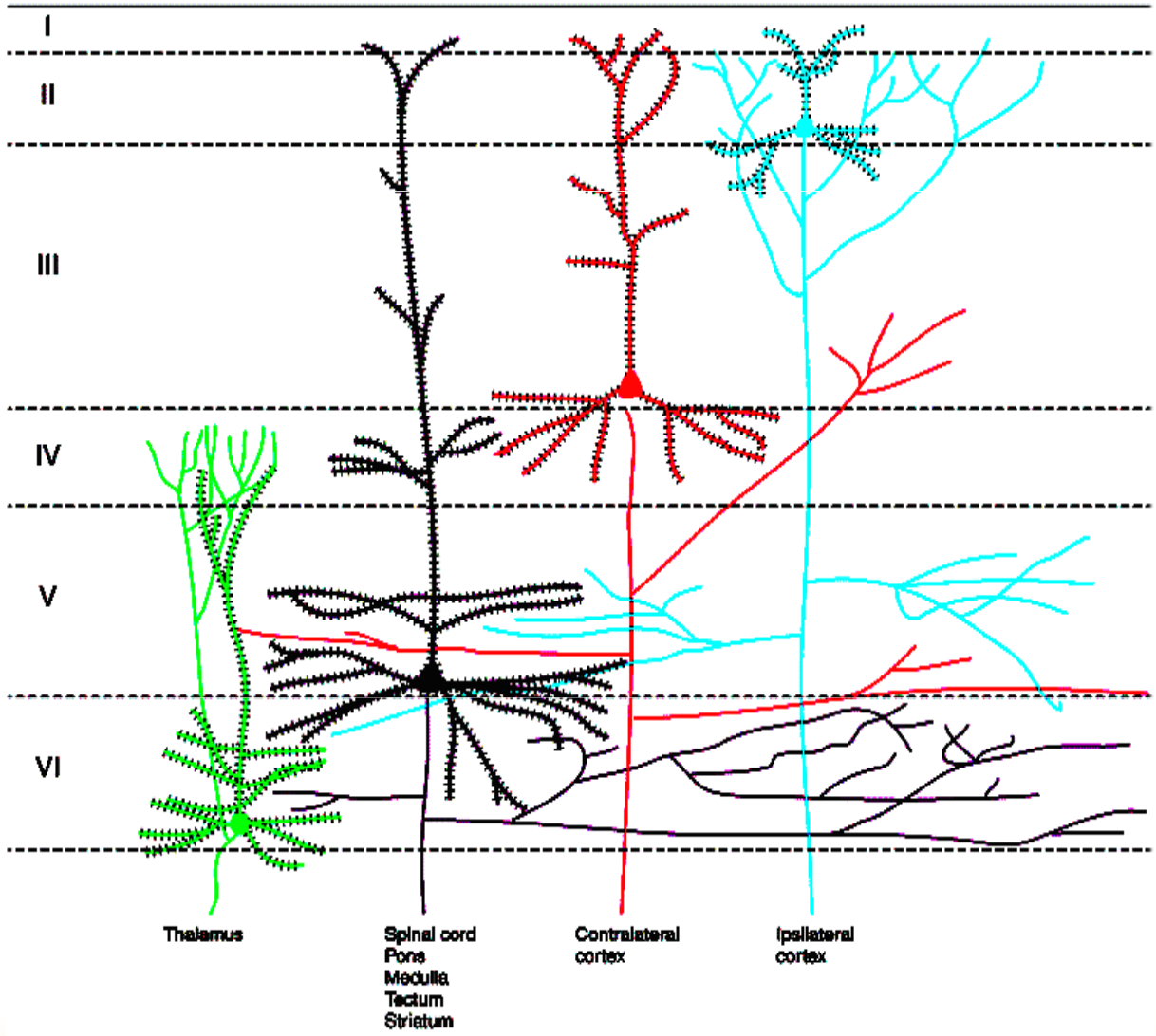
tangencionális vándorlás



Agykamra alatti germinatív rétegből (felnőtt korban is) születnek sejtek

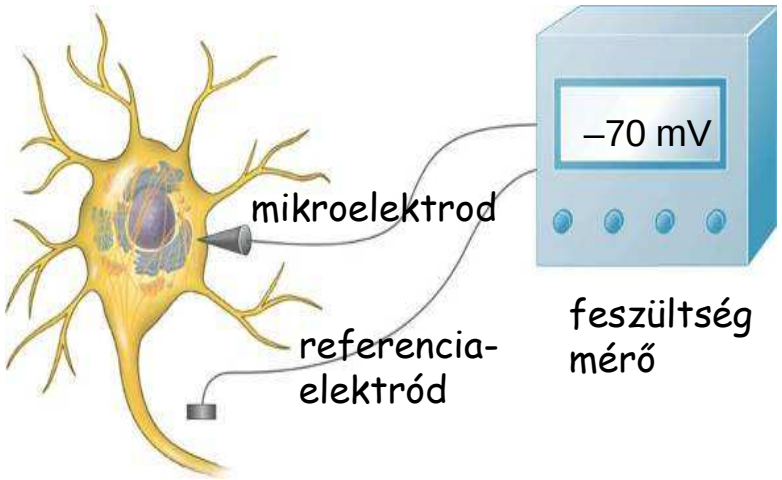
Intrakortikális hálózatok



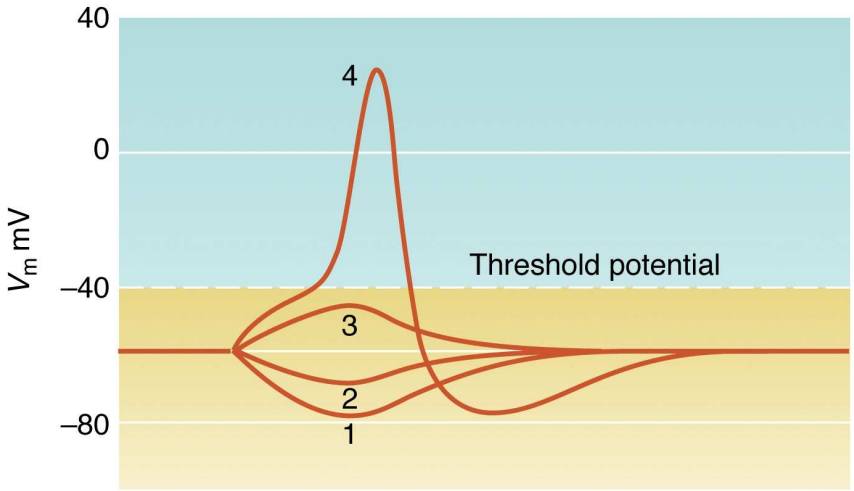


Elektromos aktiváció, sejtszintű integráció

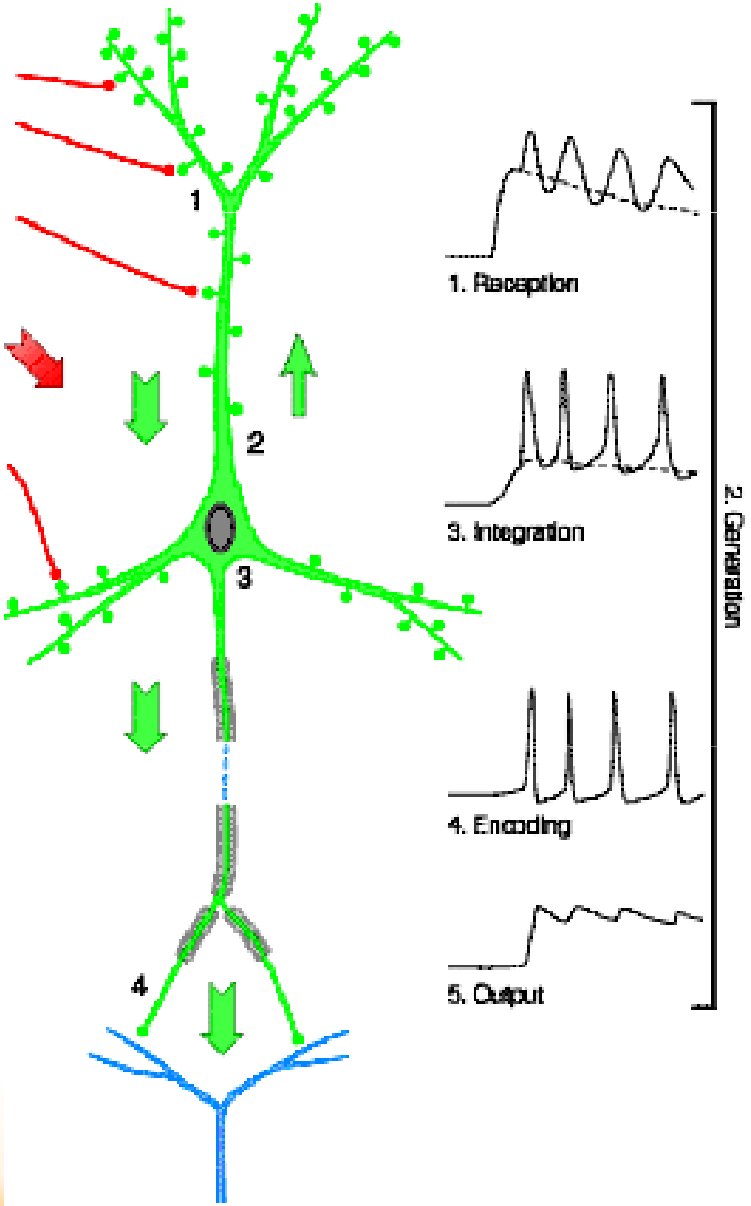
Intracelluláris sejtaktivitás mérés



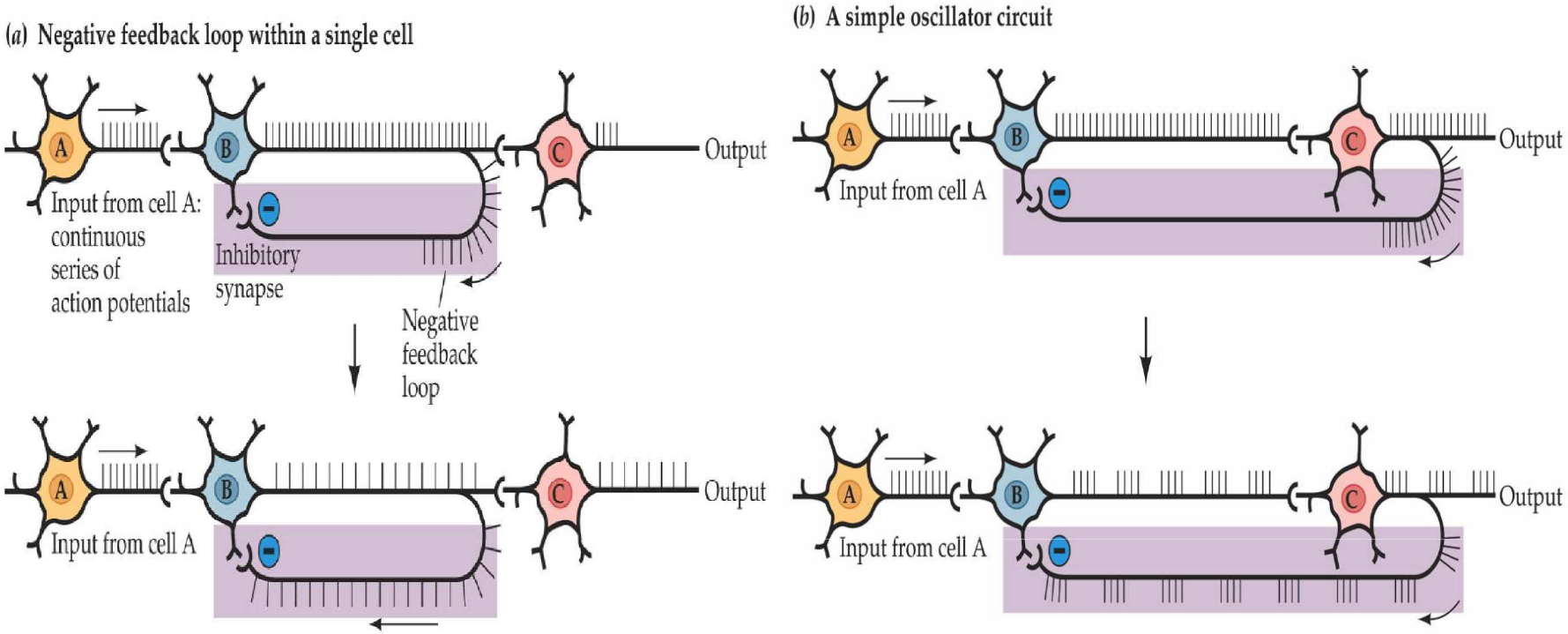
A mért jel



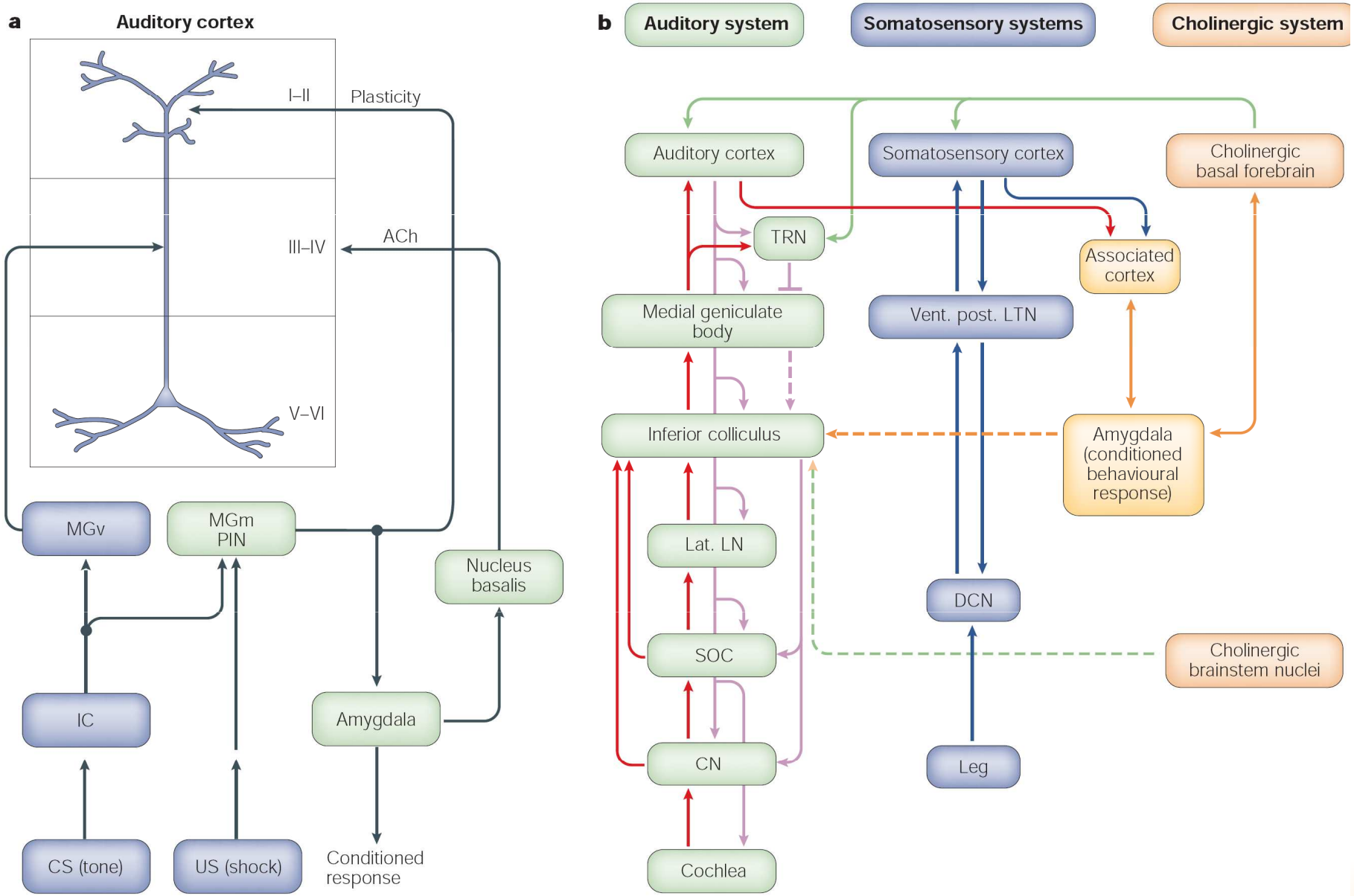
Sejten belüli elektromos integráció



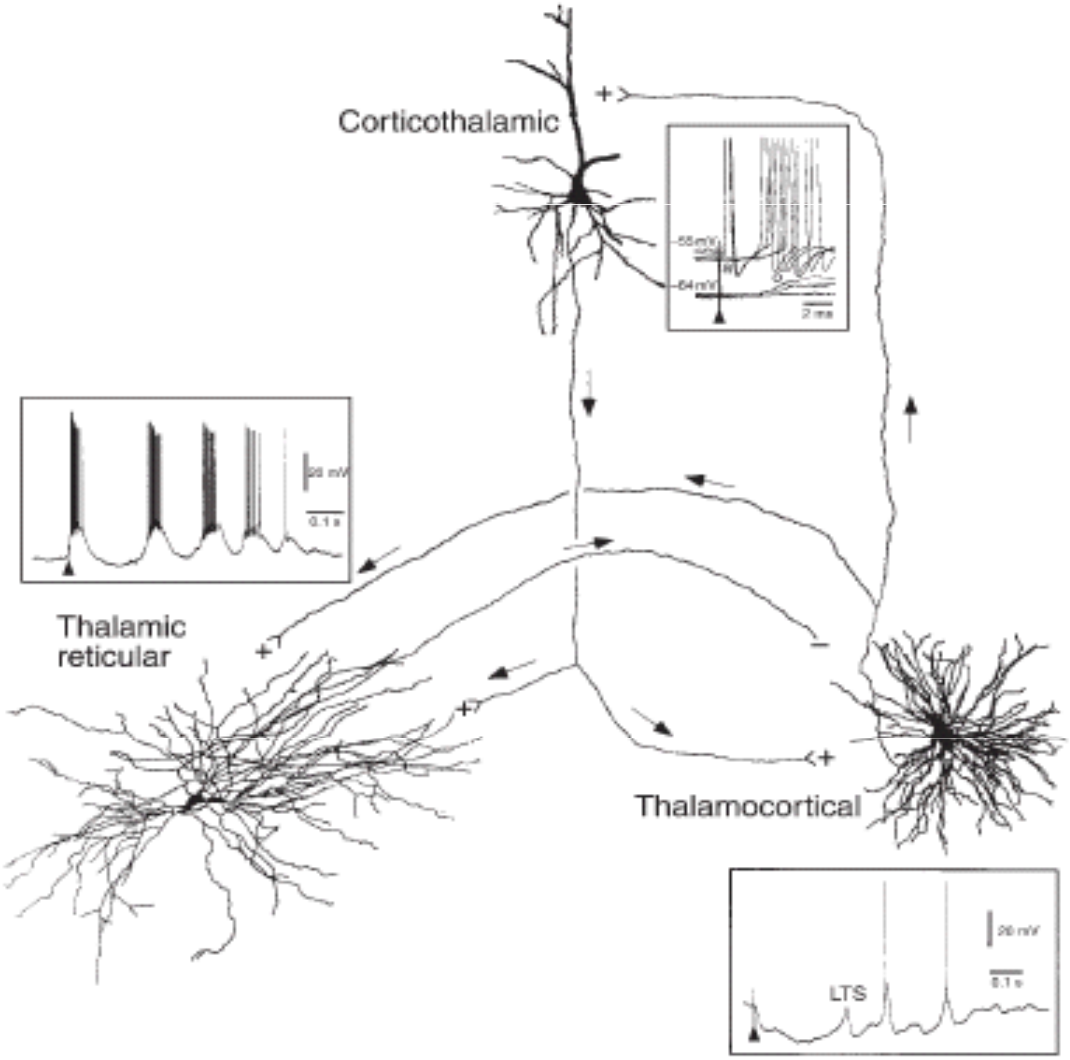
Mikrohálózati szintű integráció



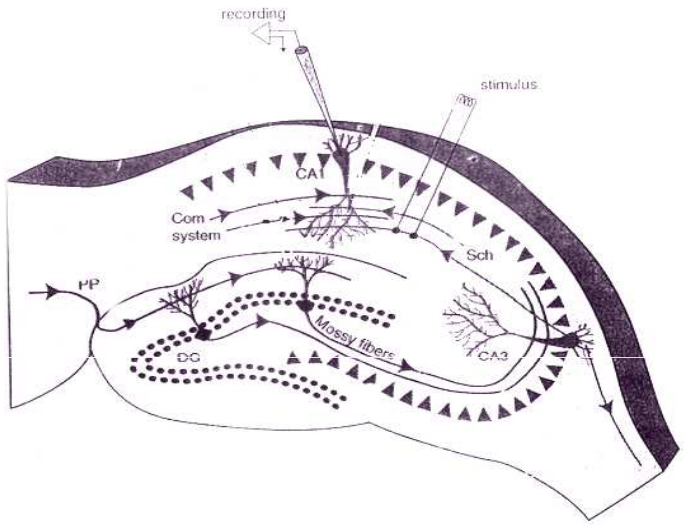
Hálózati szintű integráció

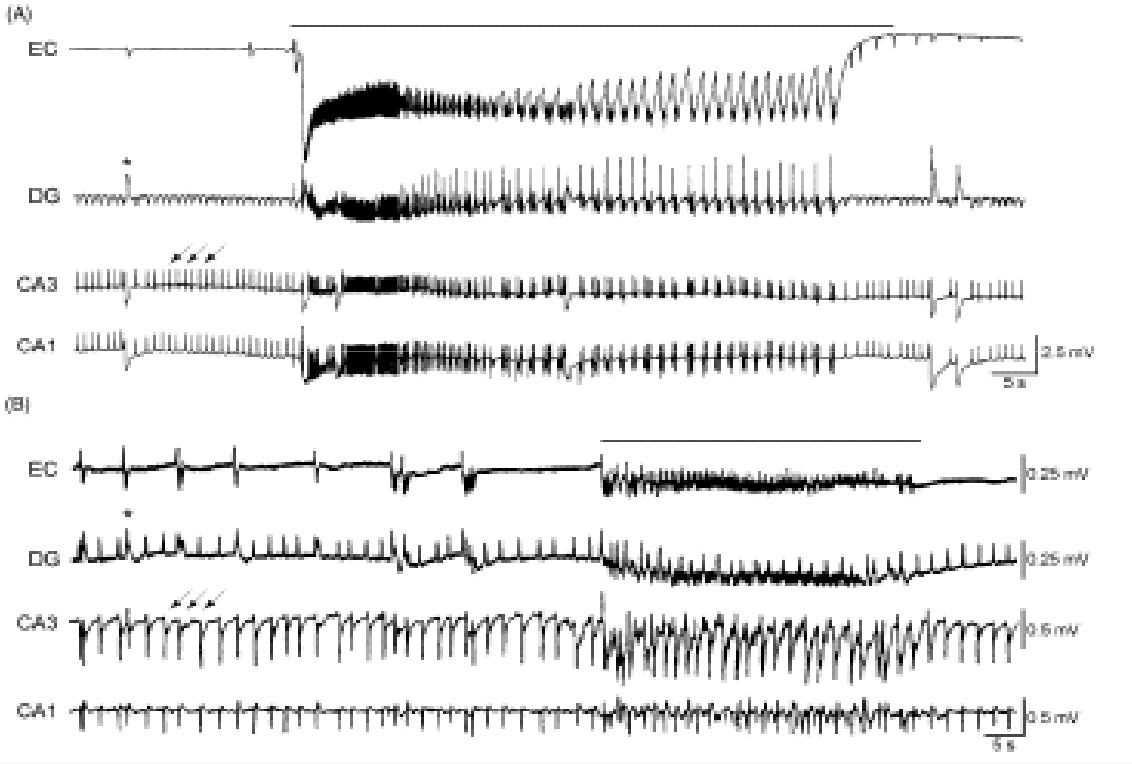


A talamo-kortikális hálózat szinkronizált aktivitása

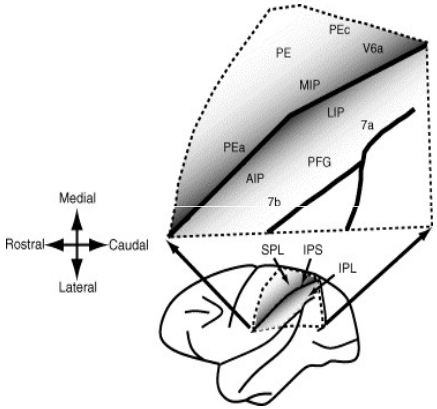


Hippokampális szinkronizáció – epileptikus aktivitás során

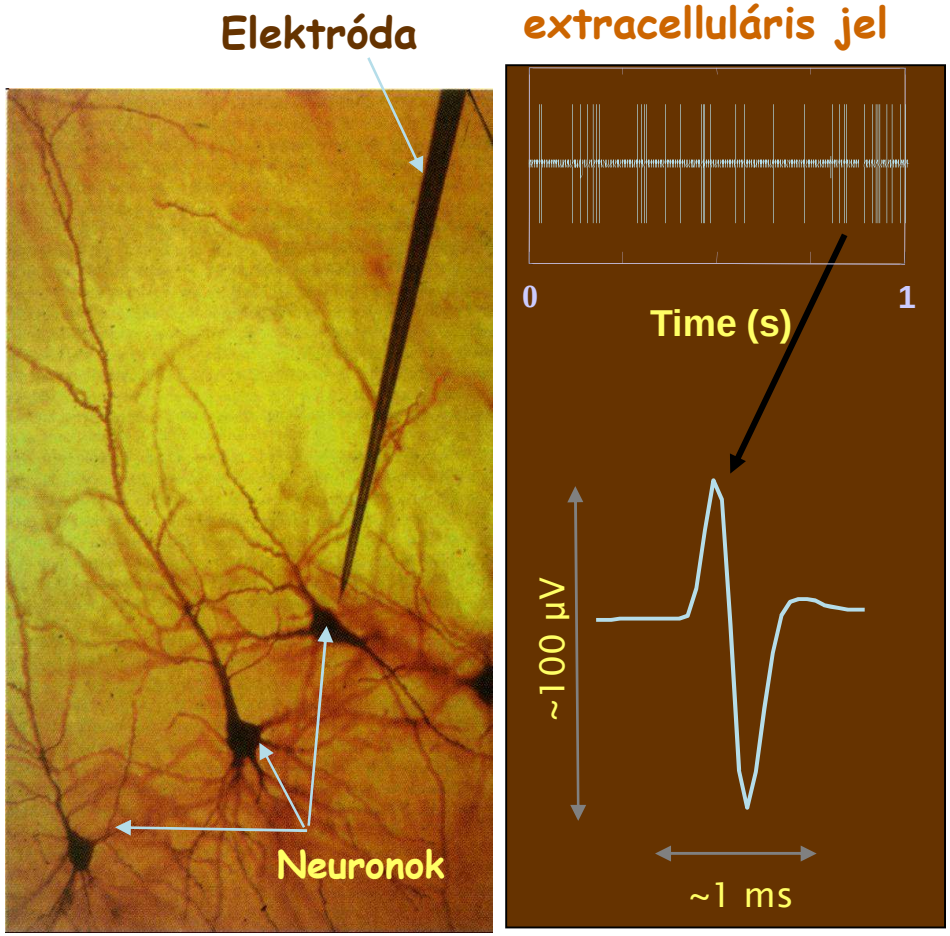




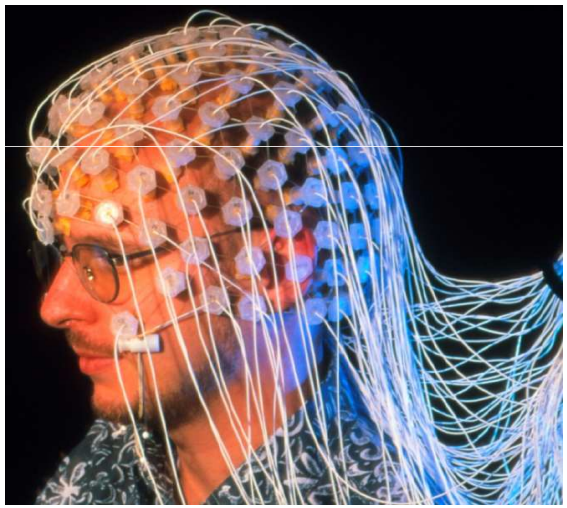
Kérgi lebeny aktivitásmérése

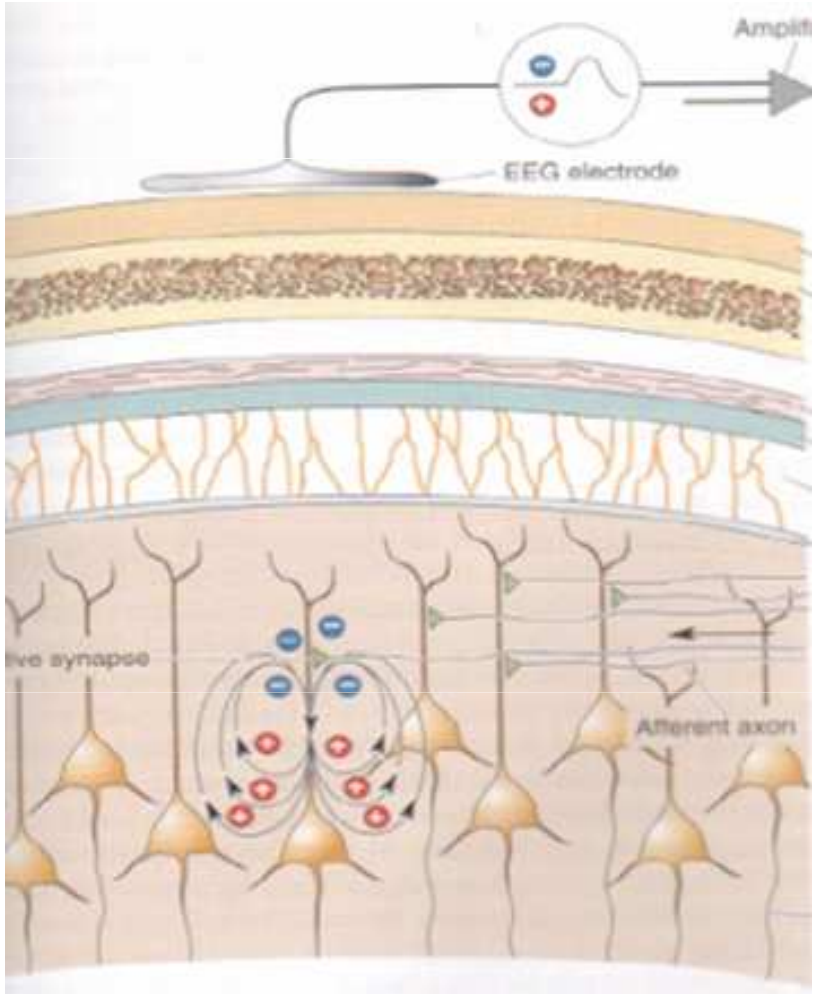


Nincs saját aktivitás (szezoros bemenetek, alsóbb agyi területek hatása)



Az idegi aktivitás mérése elektroenkefalográffal (EEG)





mérőrendszerhez

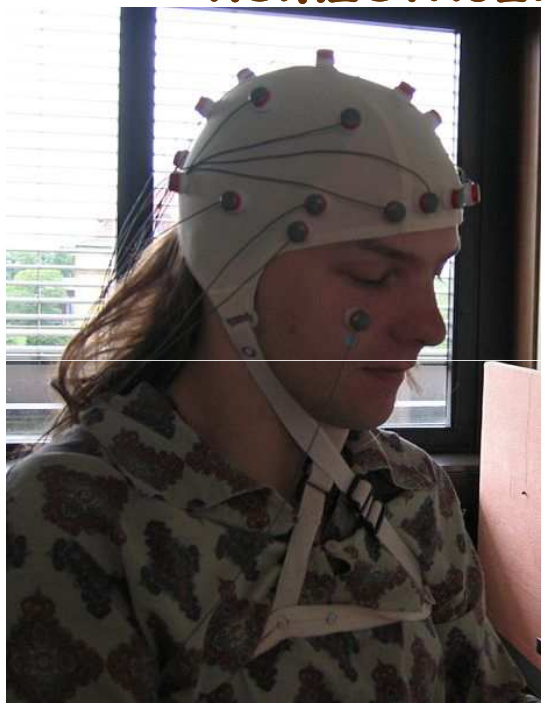
bőr

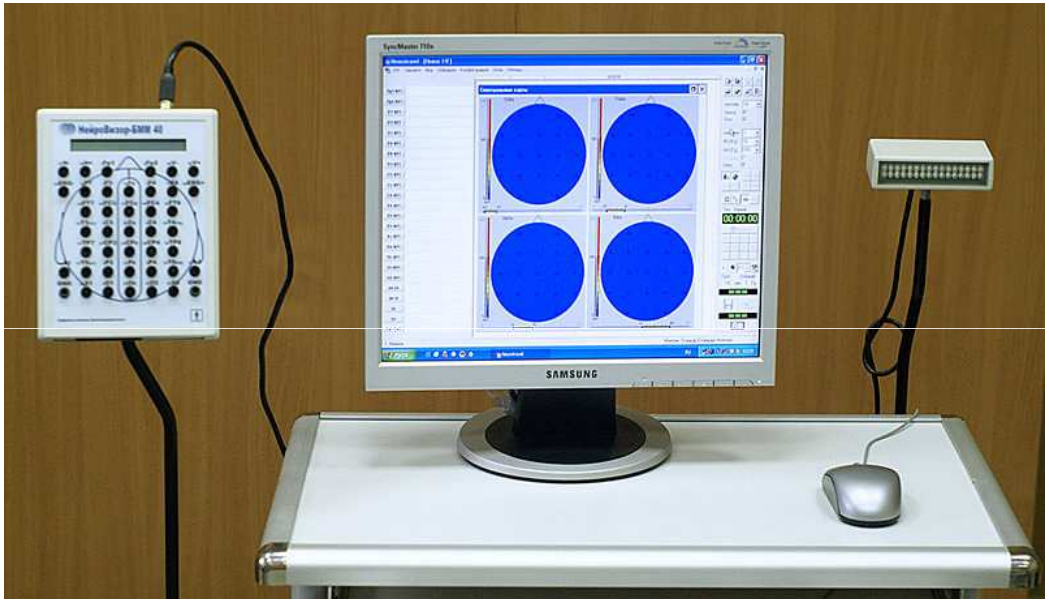
csont

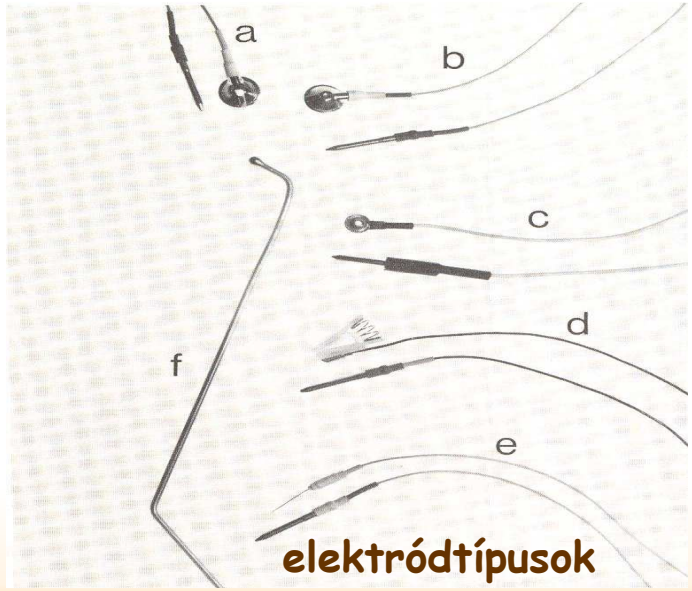
agyhártyák

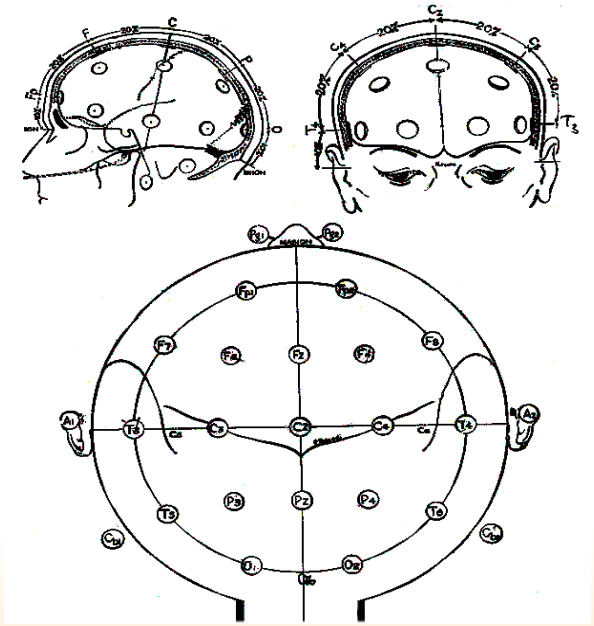
agykéreg

Az elektródák elhelyezése a nemzetközi 10-20-as rendszer szerint



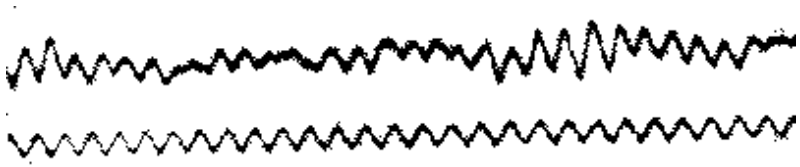




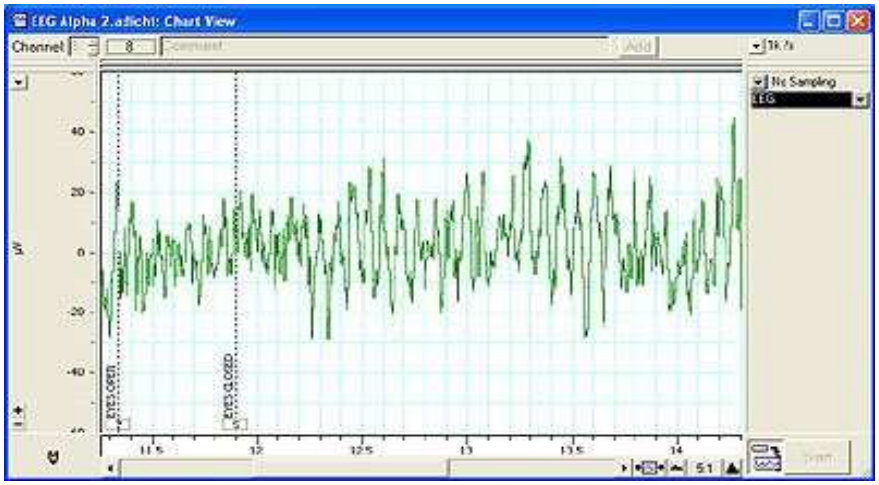


Jellegzetes EEG hullámok

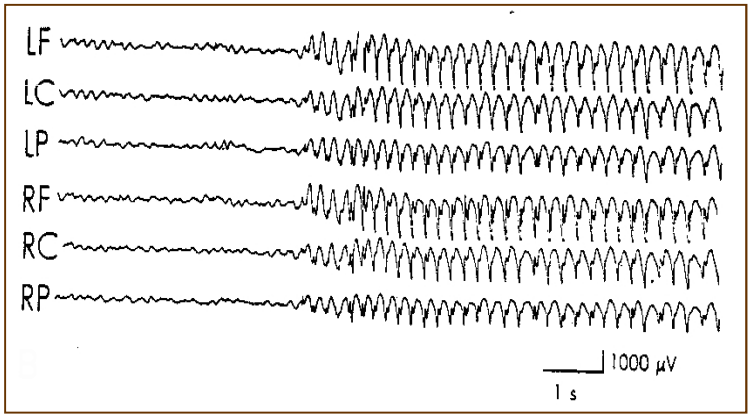
Első EEG regisztrátum

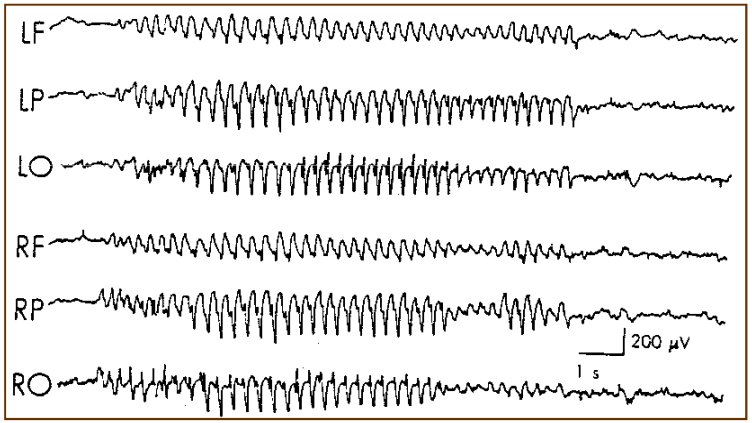


Számítógépes regisztrátum



Gyermekben ill. macskában regisztrált epileptikus aktivitás





Jellegzetes EEG hullámok

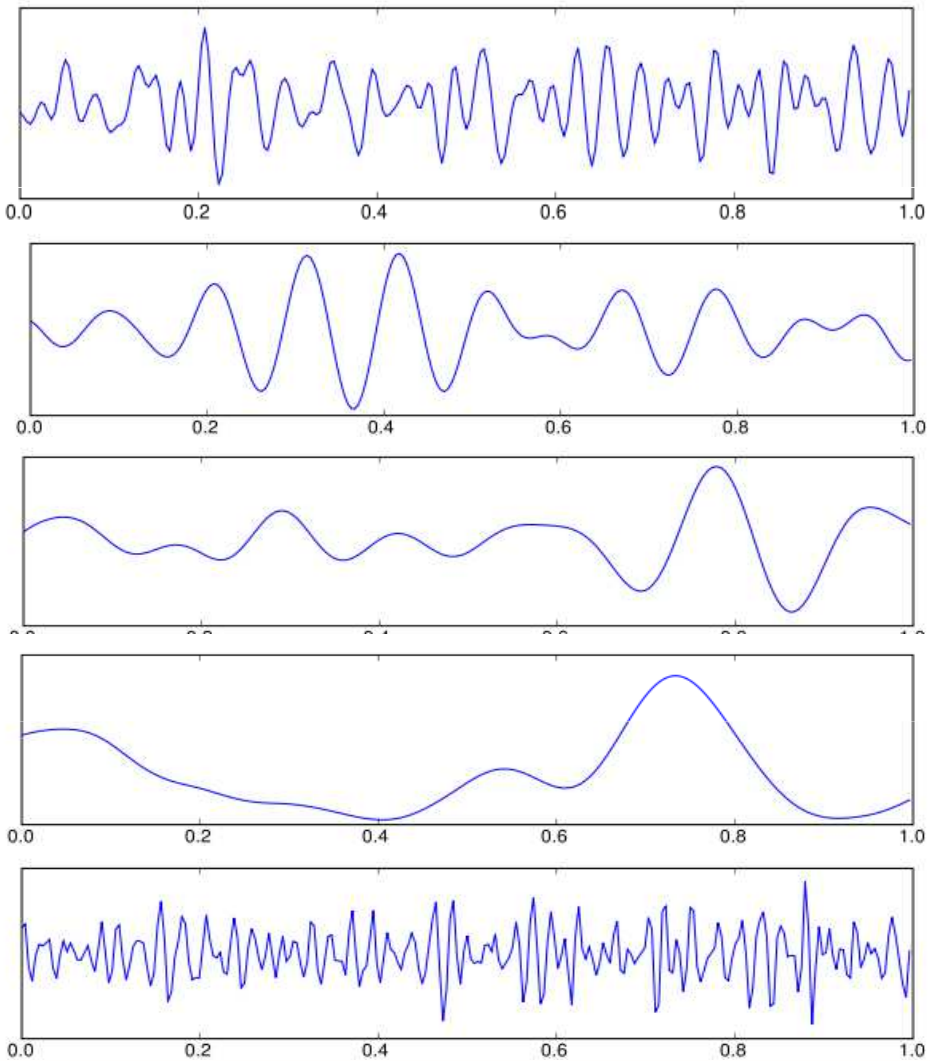
β – 14 Hz fölött

α – 8-14 Hz között

θ - 4-8 Hz között

δ – 4 Hz alatt

γ – 30-50 Hz körül



Béta: 13-30 Hz

éber állapot, az alvás álomlátásos szakasza, a paradox alvás

Alfa: 8-13 Hz

Ember esetében már a szem becsukásakor főleg az okcipitális kéregben
Elalvás során 0.5-10 másodperces "csomagok" formájában.
ú.n. alfa-orsók az egész agykéregben szinkron
Állatok esetében irregulárisabb és a nyugodt ébrenlétre jellemző domináns hullámforma.
Kortico-thalamo-corticalis pályák hozzák létre. A talamusz reticularis sejtei priodikusan hiperpolarizálják a relésejteket, amit posztinhibitoros aktiválódás követ. Ez a ritmus adódik át a kérgi sejteknek.

Teta: 4.0- 8.0 Hz

elalvás során,
metabolikus vagy strukturális zavarok hatására
gyermekeken normálisan is
A hippokampusz piramissejtjeinek működése nyomán keletkező ú.n. RSA hullámok is ebbe a hullámtartományba esnek. Ez patkányokon jól elvezethető a kéregről, mert a nagy hippocampus csak néhány miliméterrel van az agyfelszín alatt.

Delta: 0.5- 4.0 Hz

mély alvás alatt, atropinos kezelés után
Az alvási orsókat is a talamusz szinkronizálja. A delta ritmus akkor keletkezik, amikor a talamusz sejtjei egy adott hiperpolarizációs állapotba kerülnek. A talamusz az a kapu, amely a külvilági ingerek bejutását alvás alatt gátolja.

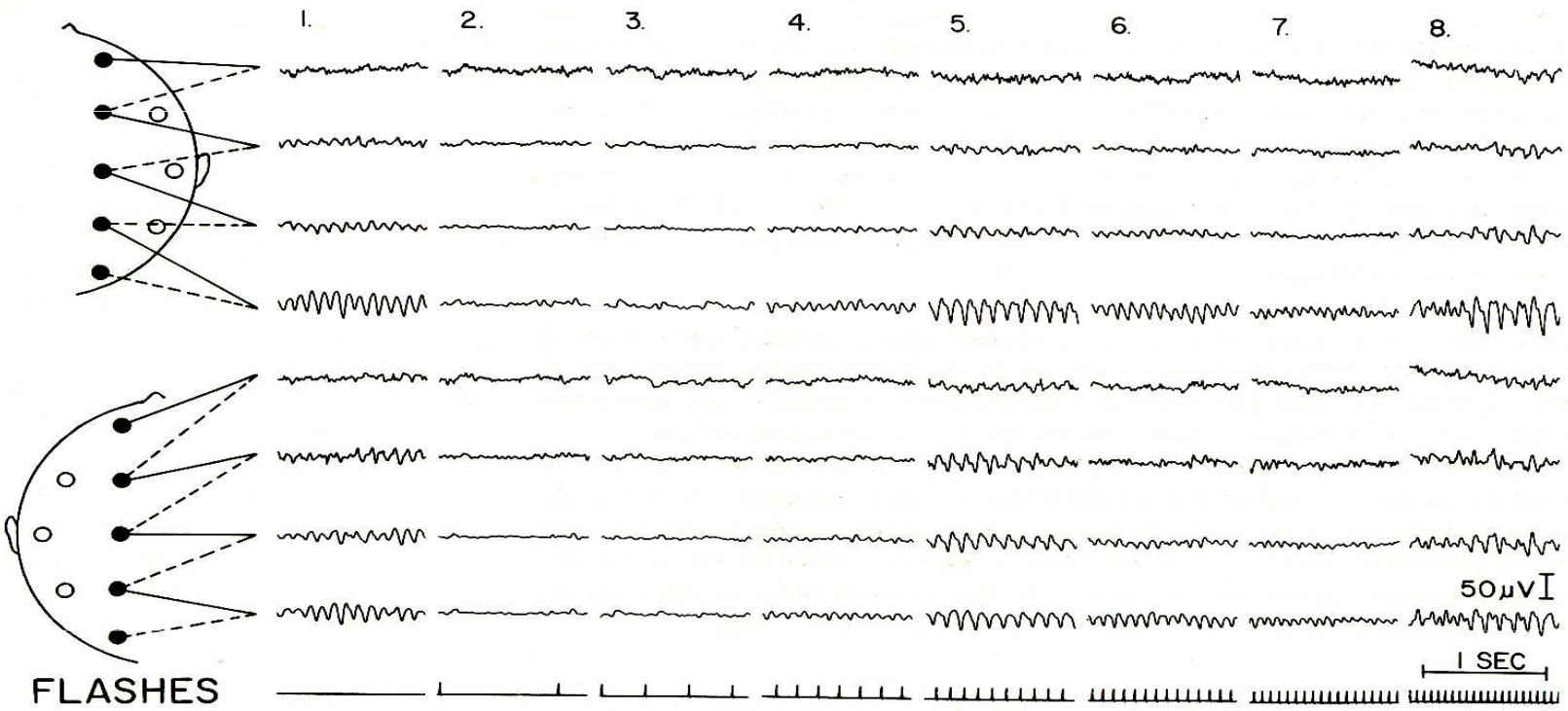
Gamma: 30-50Hz

A béta tartomány nagyfrekvenciás része, intenzív figyelmi állapotban és
paradox alvás álomképei alatt
A "deszinkronizált" elnevezés nem helyénvaló, a neuronok gyors tüzelése ebben az esetben nagyon is szinkron, ezt a kéreg neuronhálózatai maguk (a thalamus nélkül) hozzák létre

Lassú hullámok: 0.2- 0.5 Hz

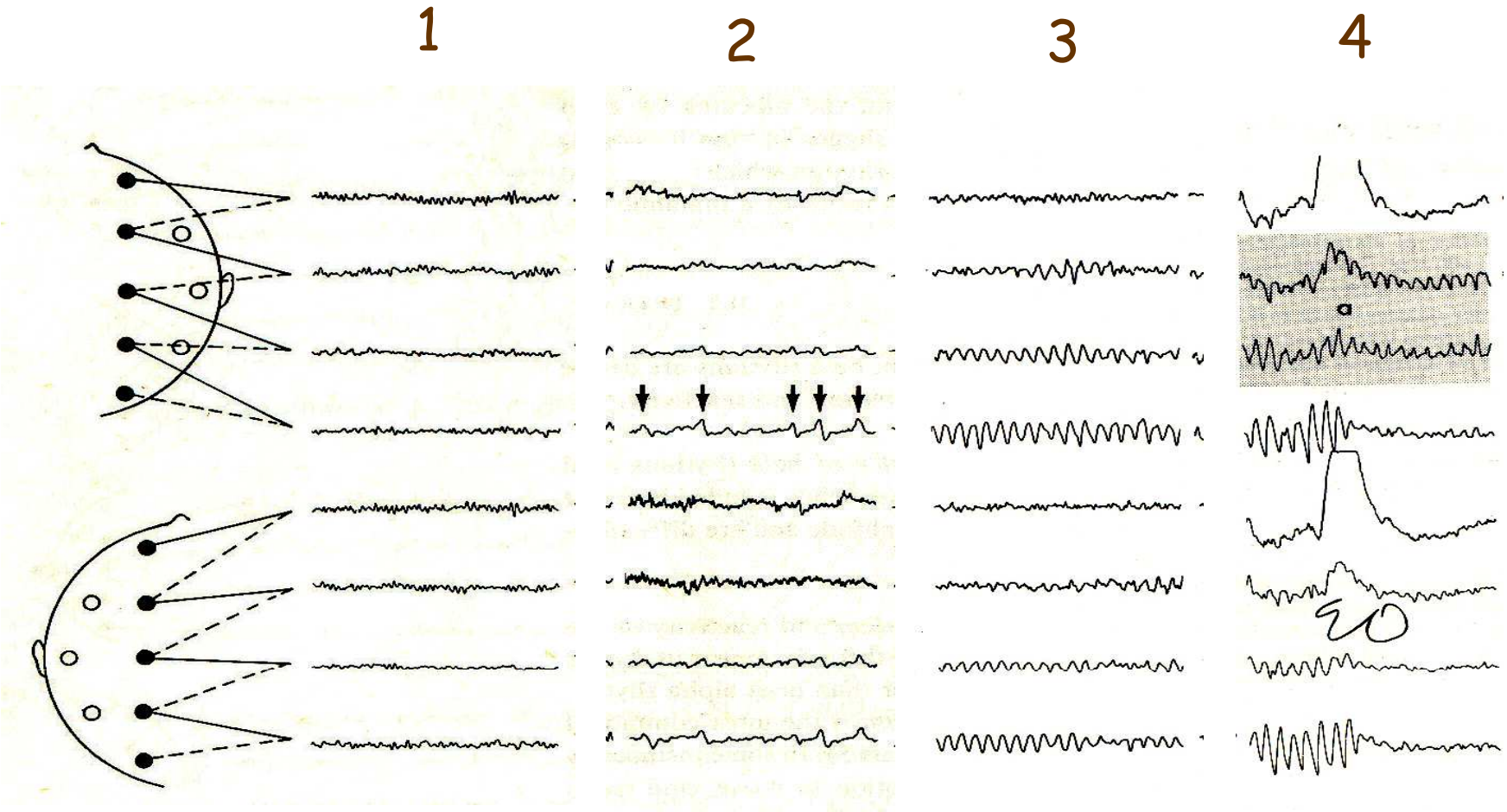
A thalamus kiirtása utáni kérgi mintázat. A kérgi sejtek lassú potenciálváltozása, mely ismeretlen szinkronizáló mechanizmussal mindkét oldalon egyidőben a kéreg egész területén regisztrálható.

Szinkronizációs-deszinkronizációs folyamatok



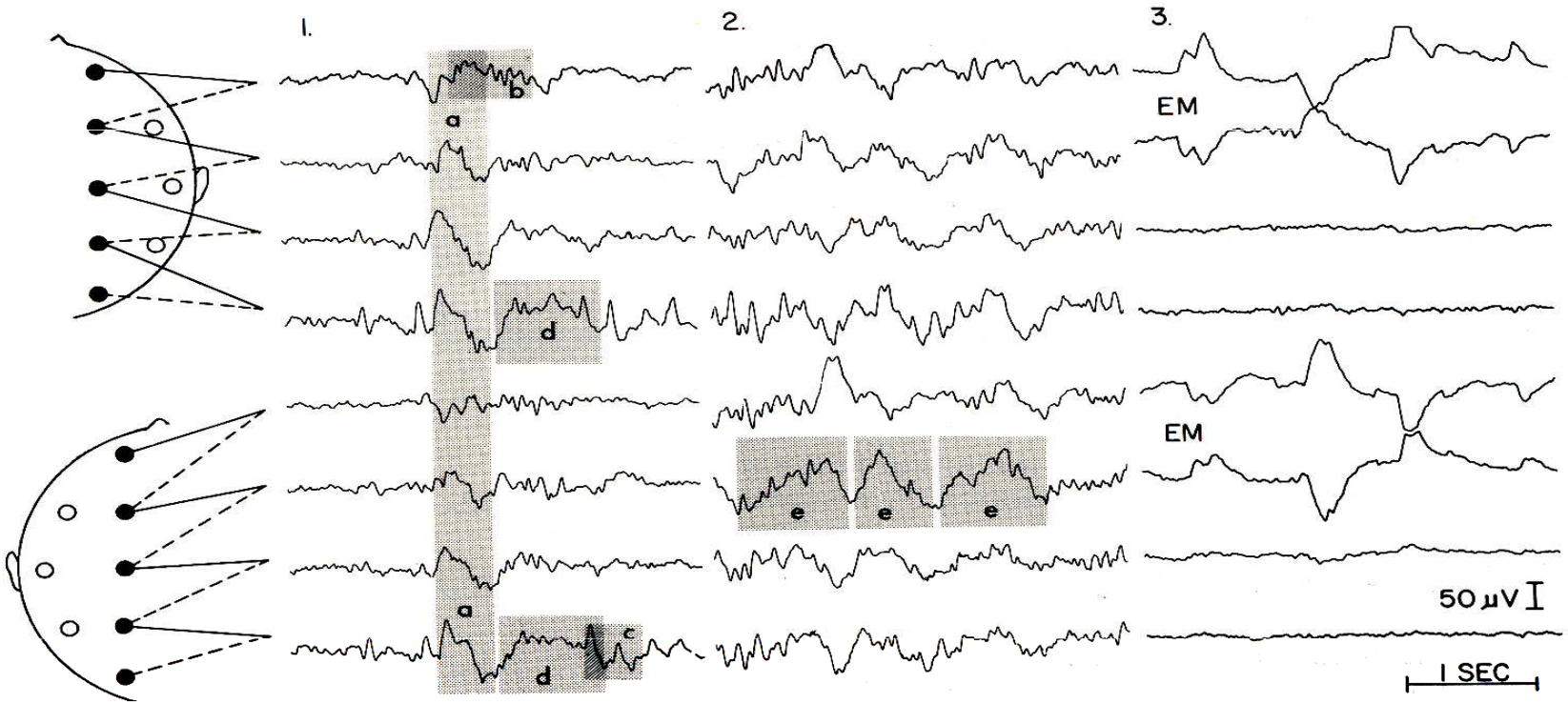
1: normál EEG a fényfelvillanások előtt,
2-8: 1, 3, 6, 9, 12, 15 és 18 Hz-es stimulálás hatása

Felnőttből elvezetett normál ébrenléti EEG mintázat



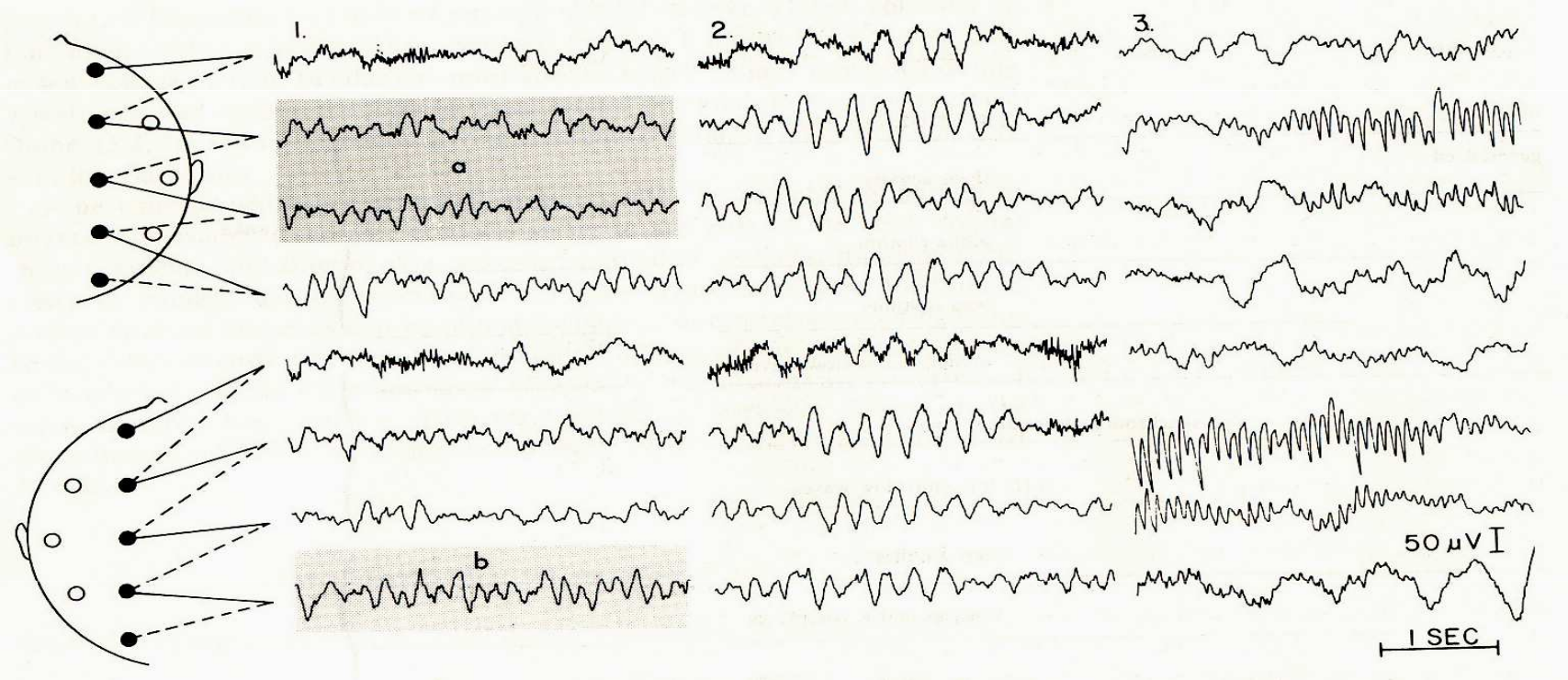
1: kis amplitúdójú, generalizált β aktivitás
2: a nyakszirti területen, kép nézésekor aktiválódó λ hullámok
3: jellegzetes α ritmus a frontális területen, minimális β aktivitással
4: szemnyitás (EO) hatására deszinkronizálódó α aktivitás, műtermékkel

Felnőttből elvezetett normál alvási EEG mintázat



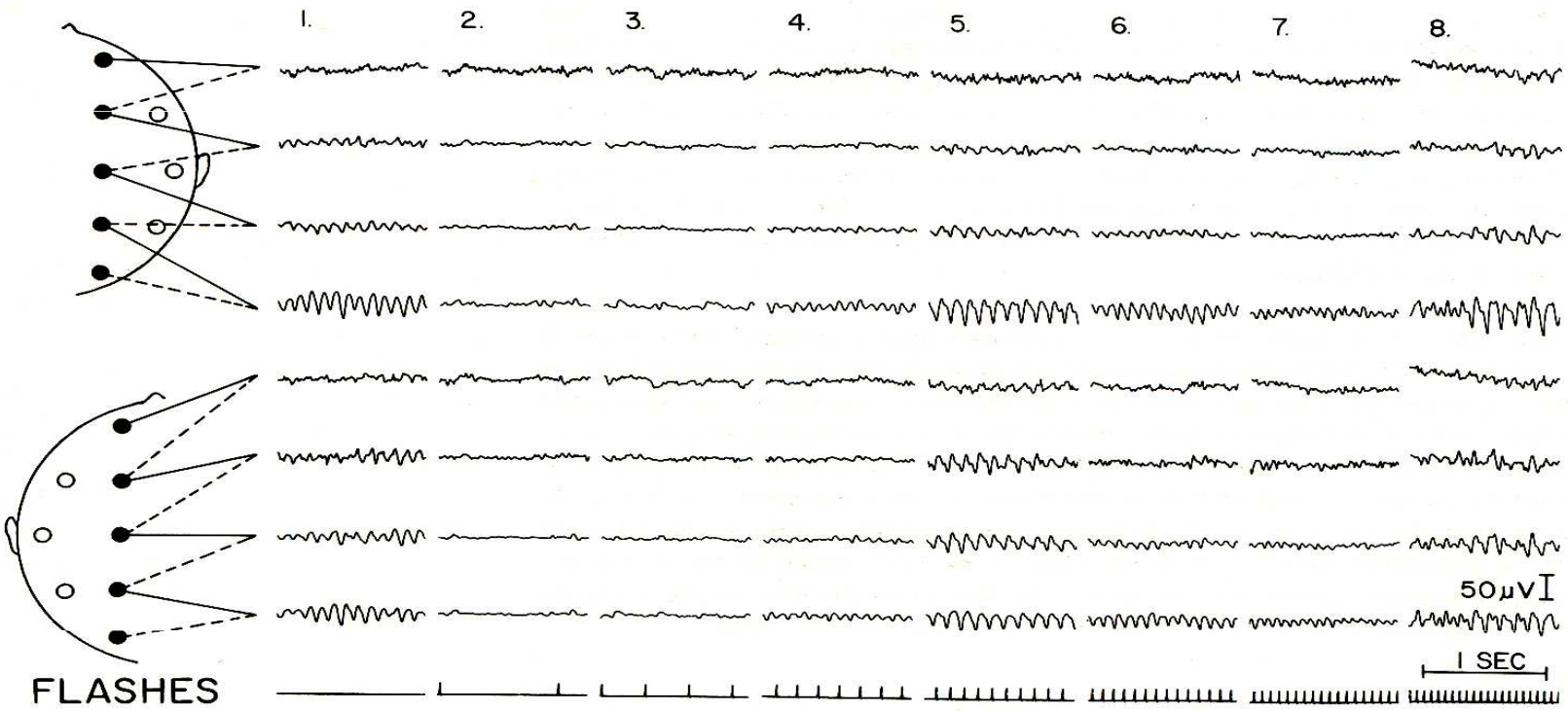
1: mélyalvás K-komplexszel (a), alvási orsóval (b) és lassú hullámmal (d)
2: nagyon lassú hullámú mélyalvás
3: REM alvás, szemmozgás műtermékkel

8 hónapos gyermek normál EEG aktivitás-mintázata



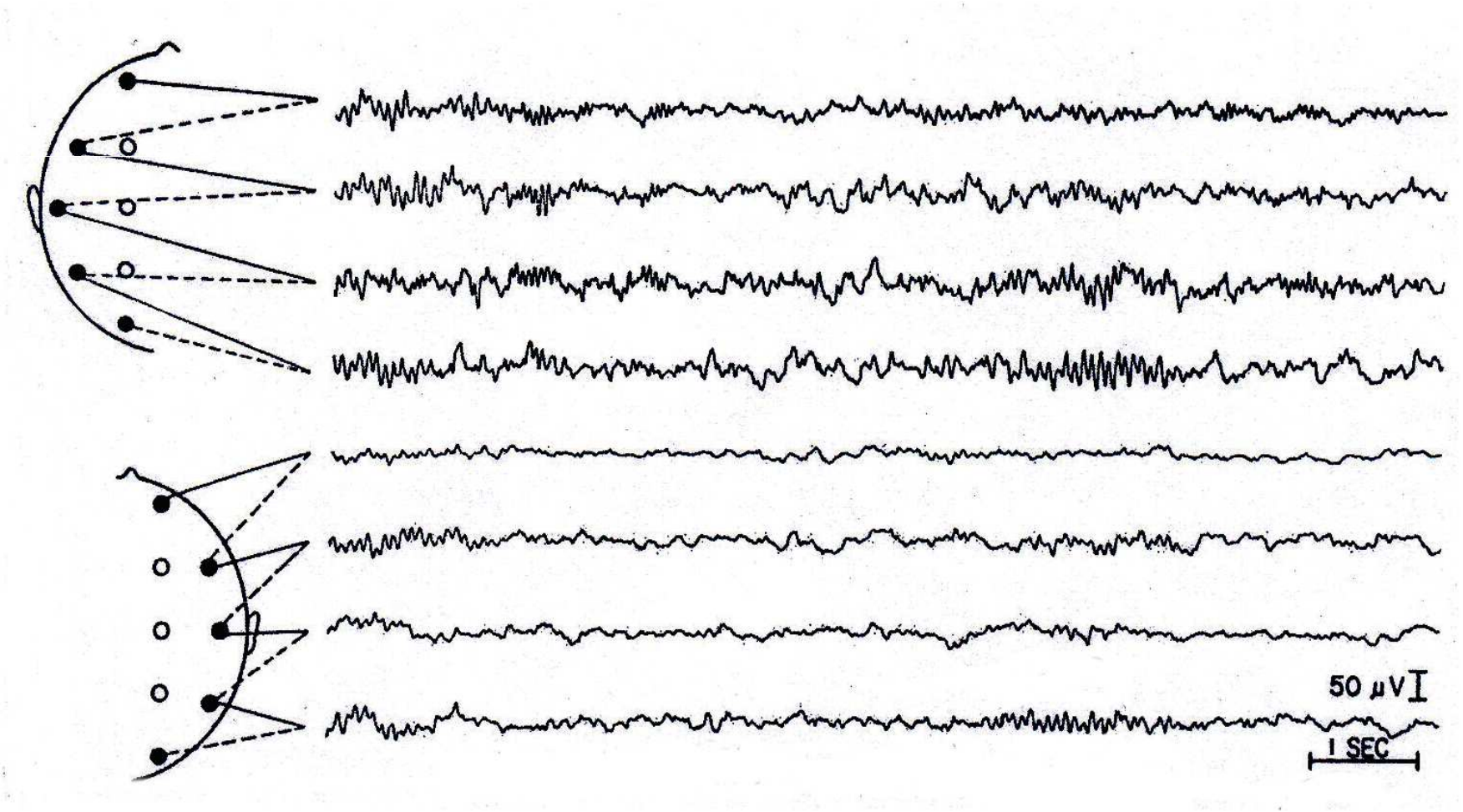
1: éber állapot (a centrális elvezetéseknél 4-5 Hz-es teta aktivitással)
2: szendergés
3: alvás (aszinkron, jellegzetes orsó aktivitás is megfigyelhető)

Ritmikus fényfelvillanások hatása

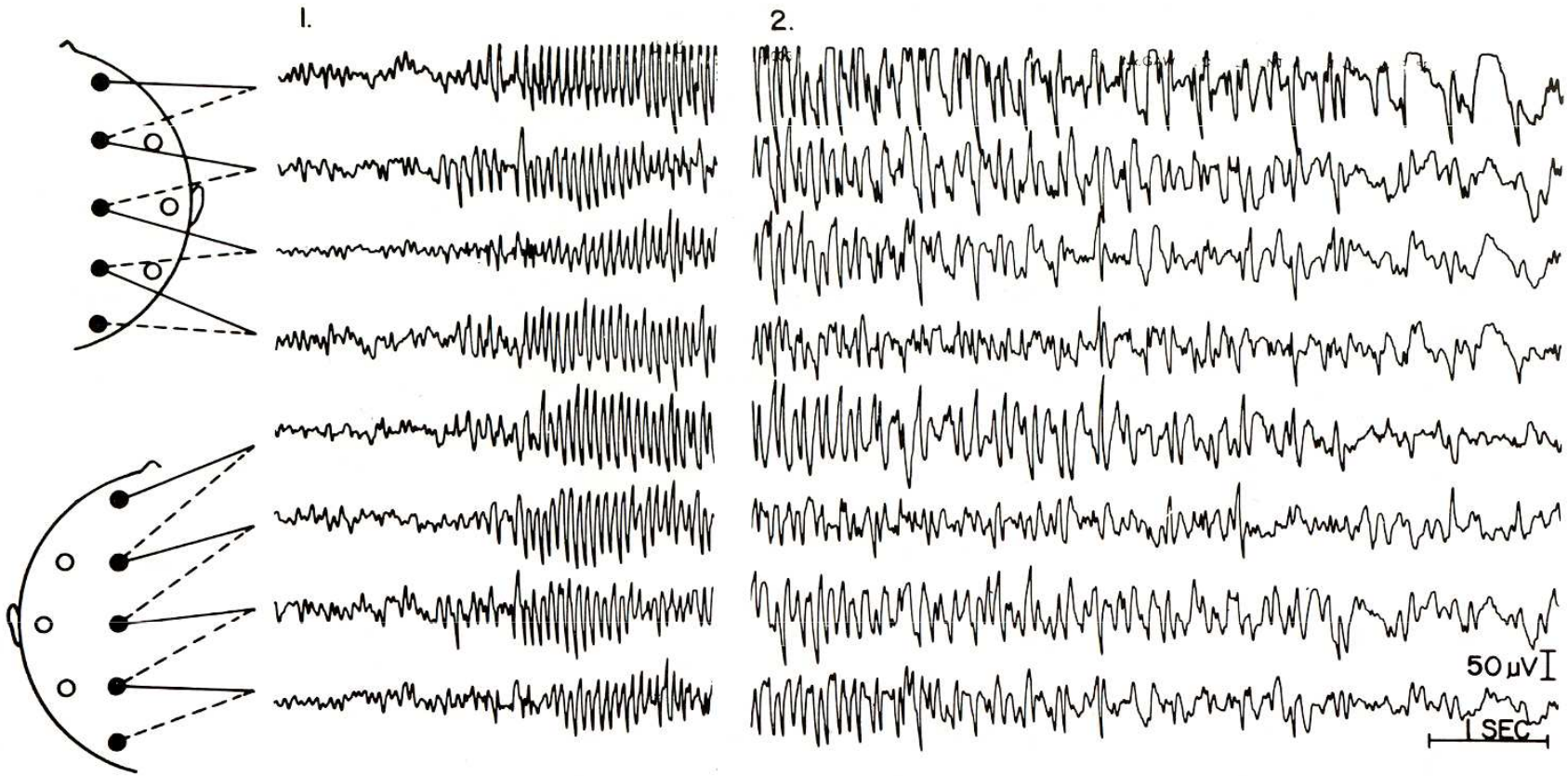


1: normál EEG a fényfelvillanások előtt,
2-8: 1, 3, 6, 9, 12, 15 és 18 Hz-es stimulálás hatása

Féltekei aszimmetria

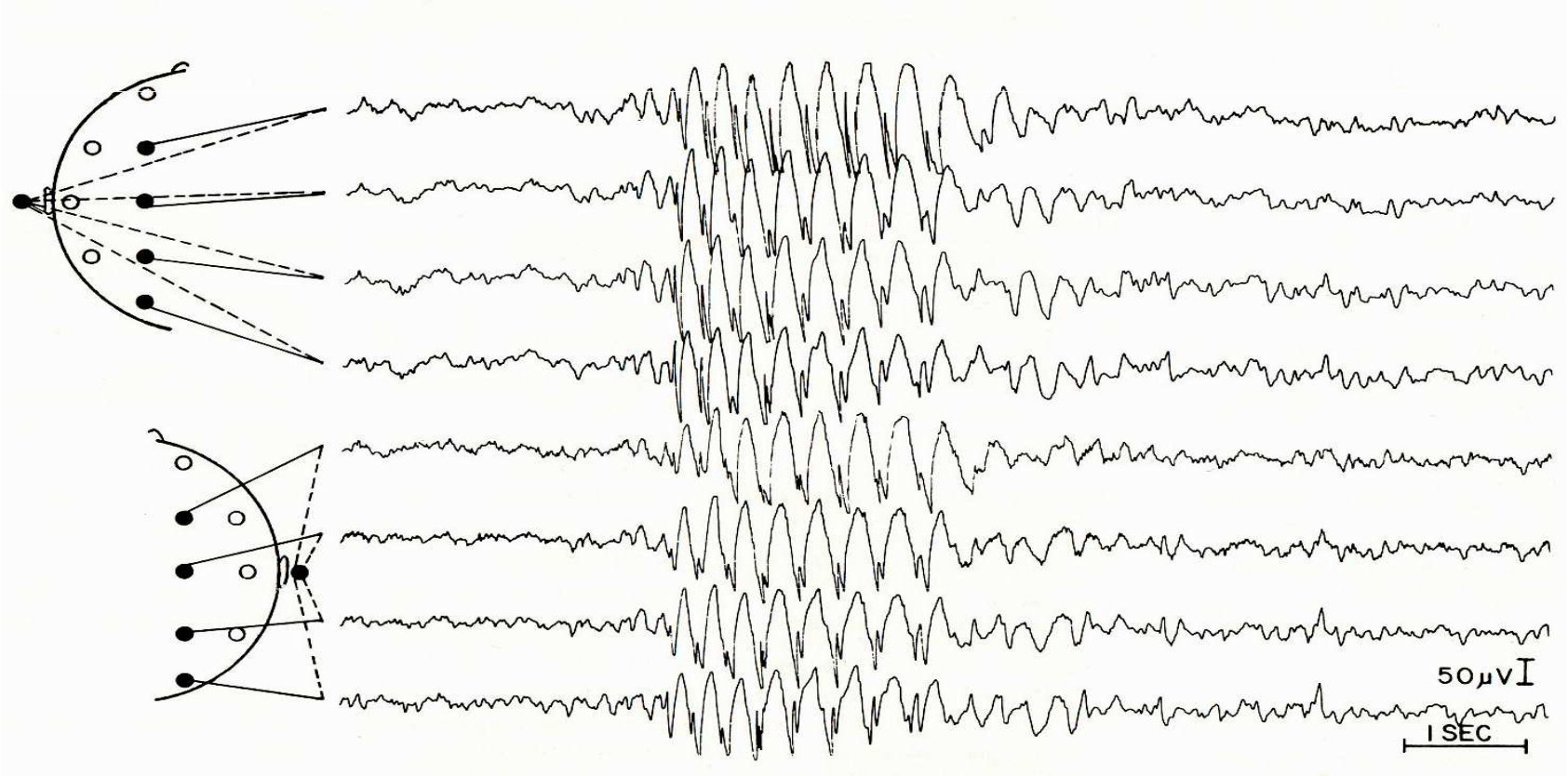


Epilepsziás generalizált nagyroham EEG képe

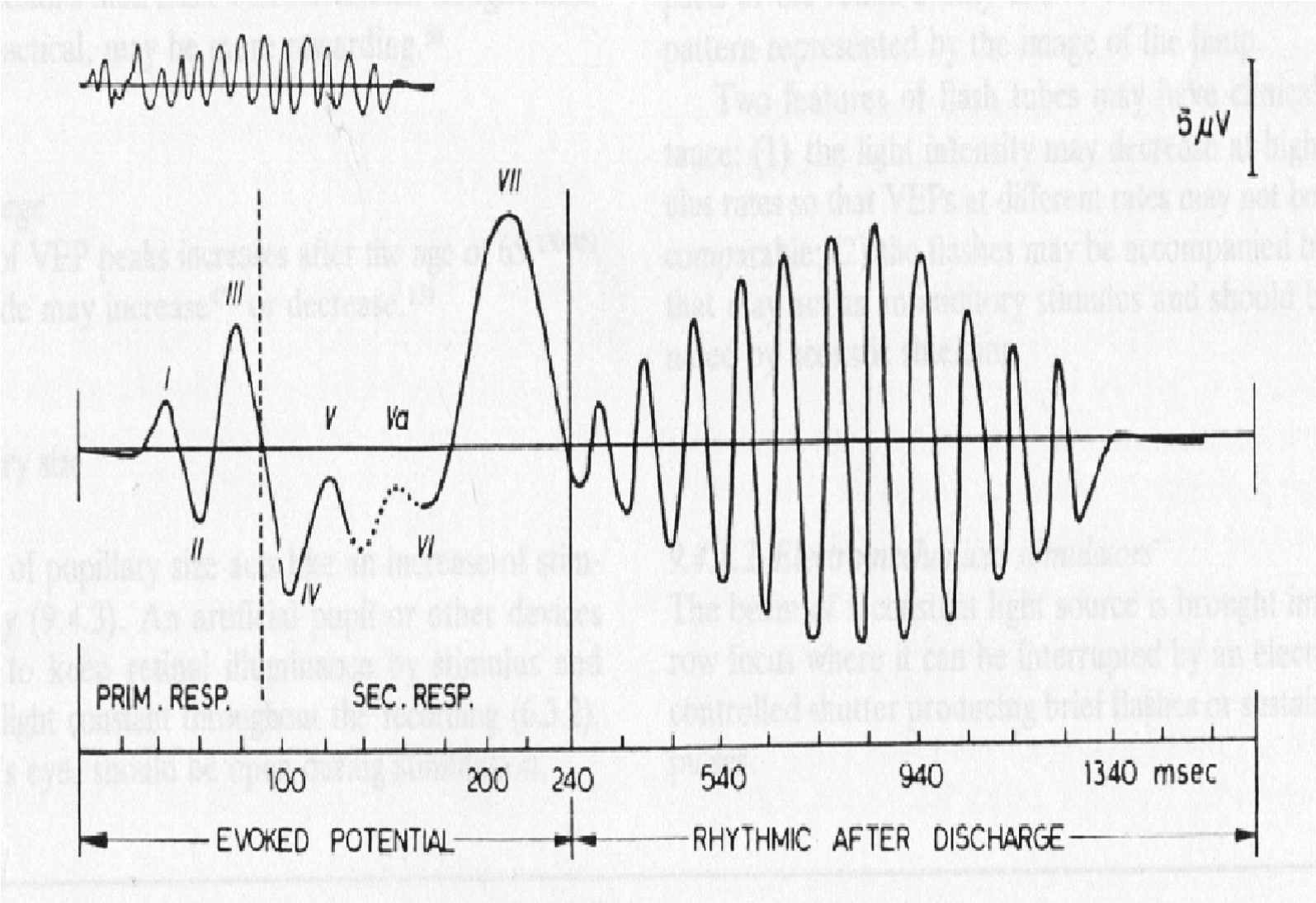


1: tónusos szakasz, 2: klónusos szakasz

Generalizált tüske-hullám típusú epileptikus aktivitás (absence epilepszia)

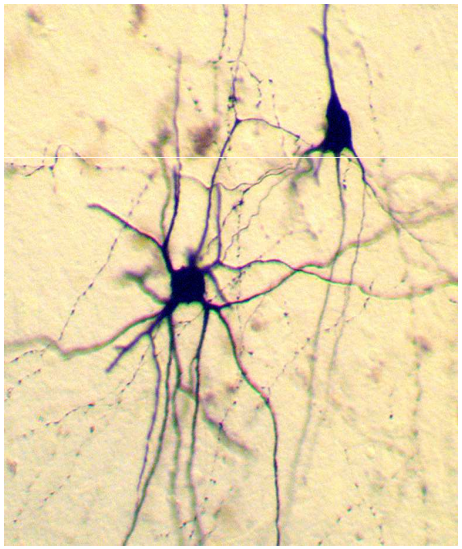


Kiváltott potenciál komponensei (EP)

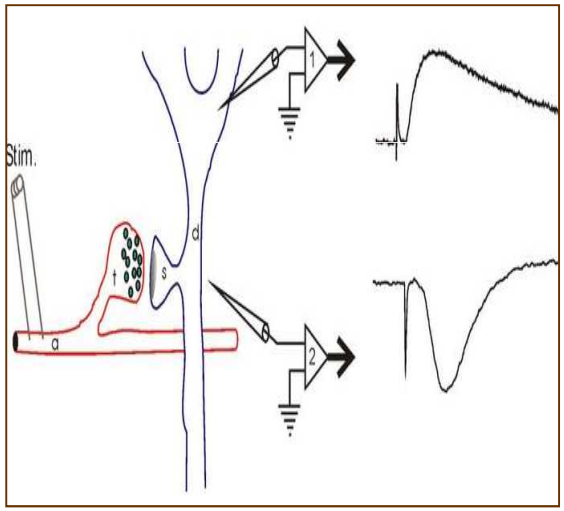


Vizsgálati technikák

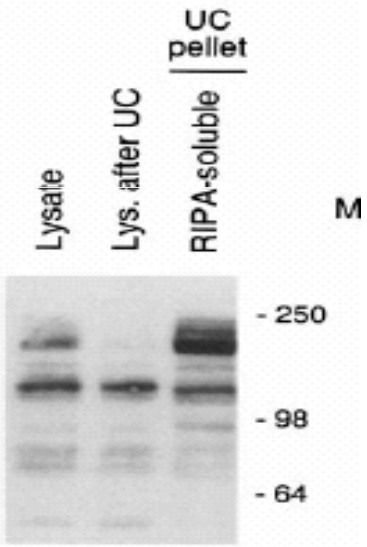
Anatómiai:
fénymikroszkópos
elektronmikroszkópos

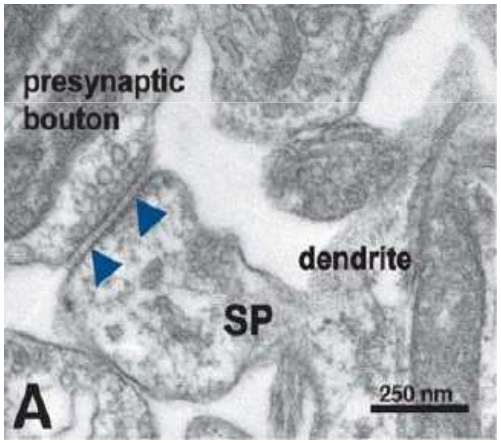


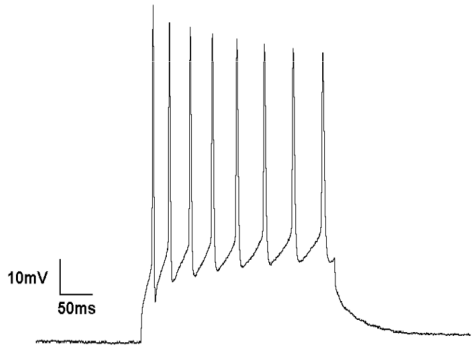
Elektrofiziológiai:
extracelluláris
intracelluláris

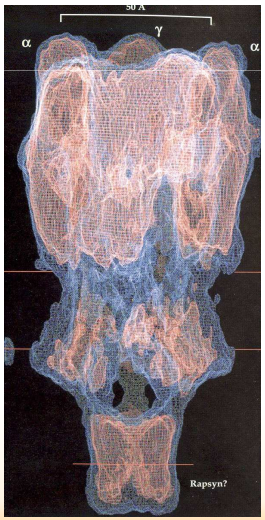


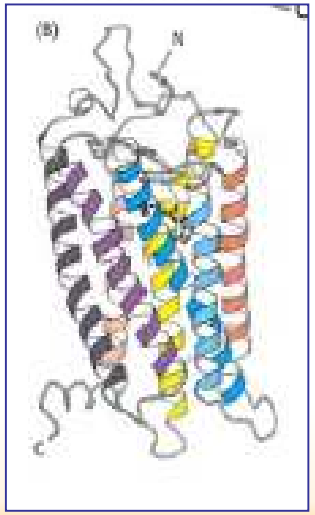
Molekuláris biológiai:
Pl. immunhisztoblott
egyéb biokémiai





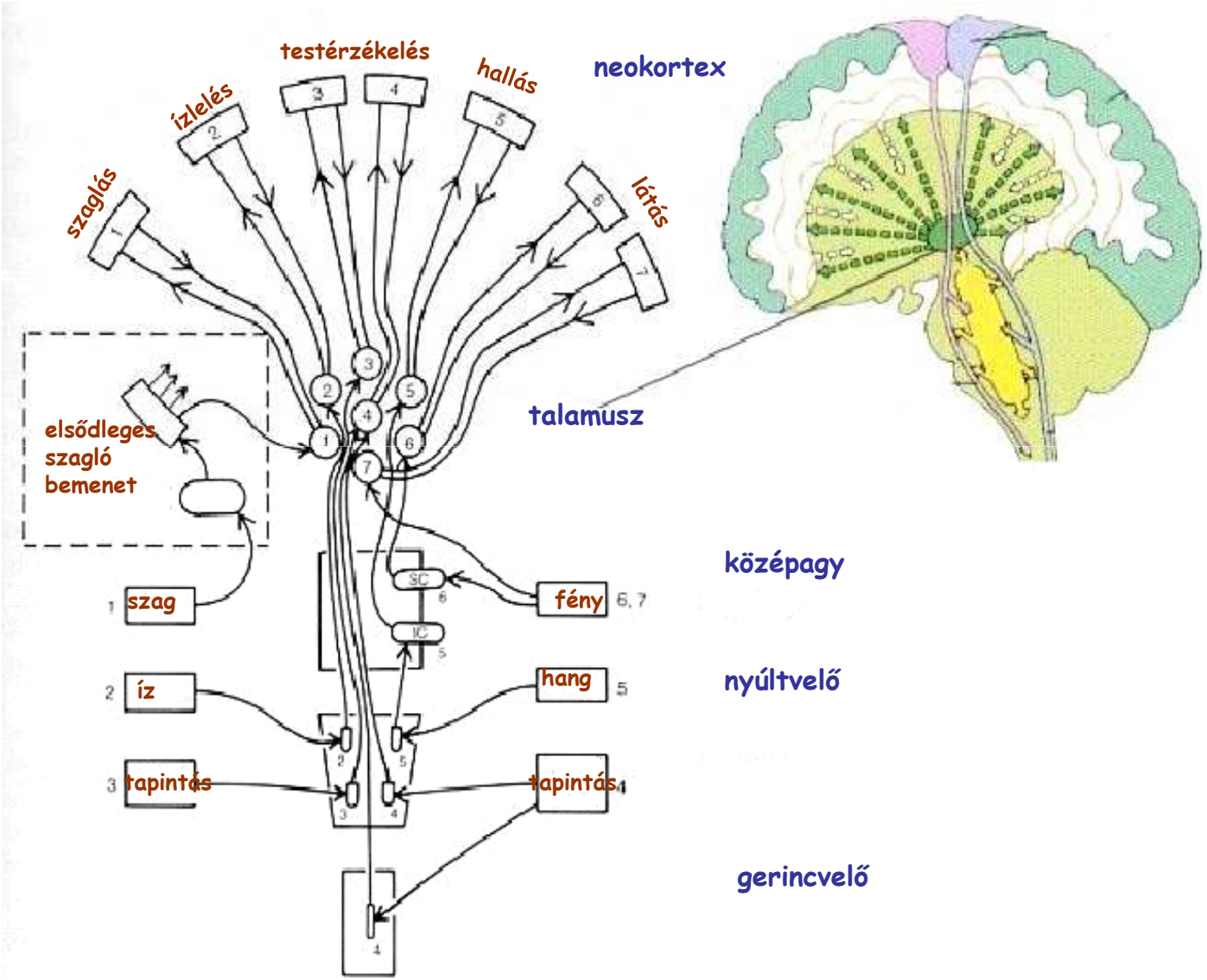






Ritmikus működések

Felszálló aktiváló rendszer szerkezete



Ébresztőrendszerek

rostralis agytörzsi formatio reticularis
hátsó hypothalamus
bazális előagy ingerlésével minden lassú komponens
megszűntethető az EEGben

Az aktiváló rendszer transzmitterei az ACh, NA, 5-HT, His és Glu.

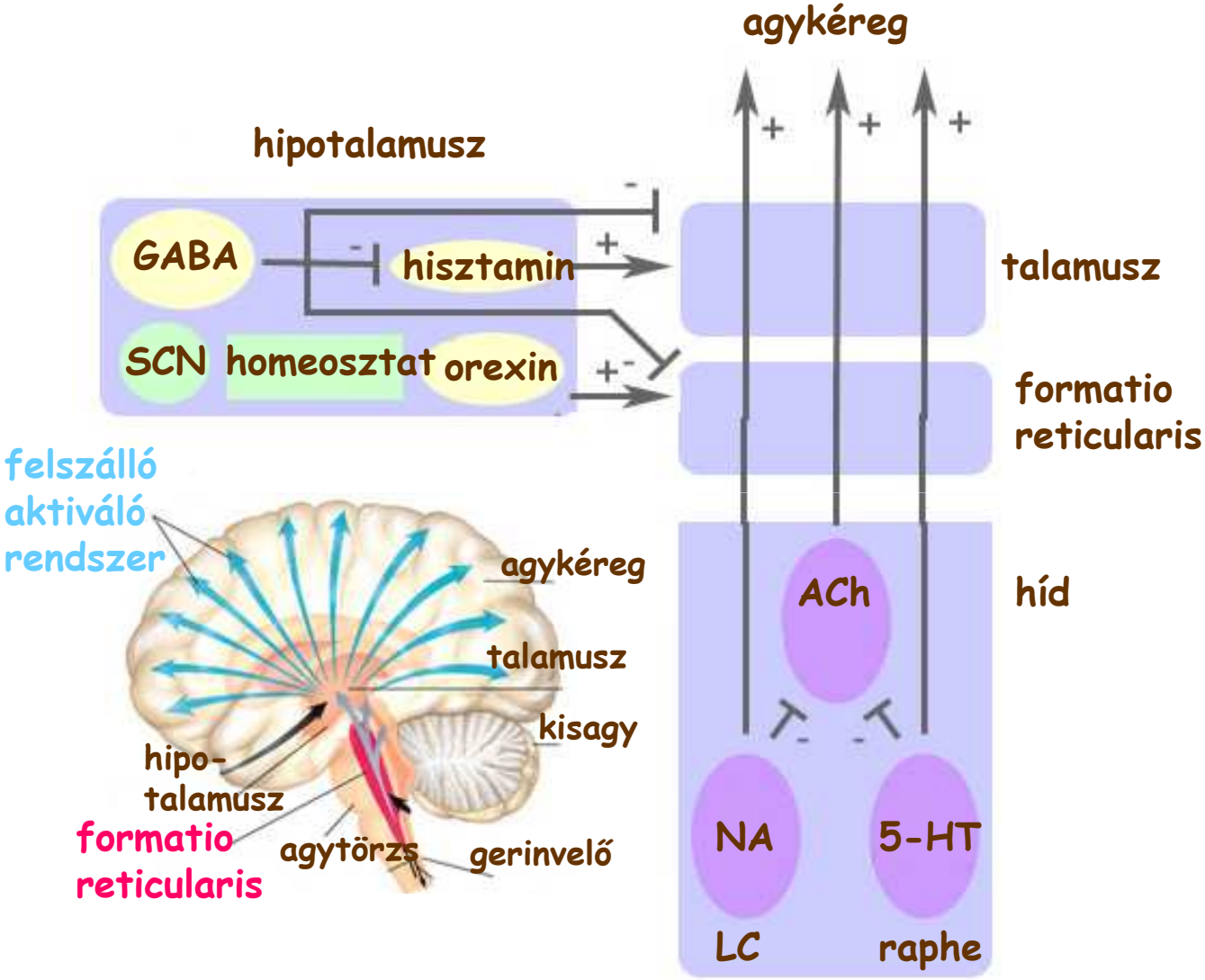
A rostralis formatio reticularist mindenfajta külső inger nem specifikus módon aktiválja.

Alvási központok

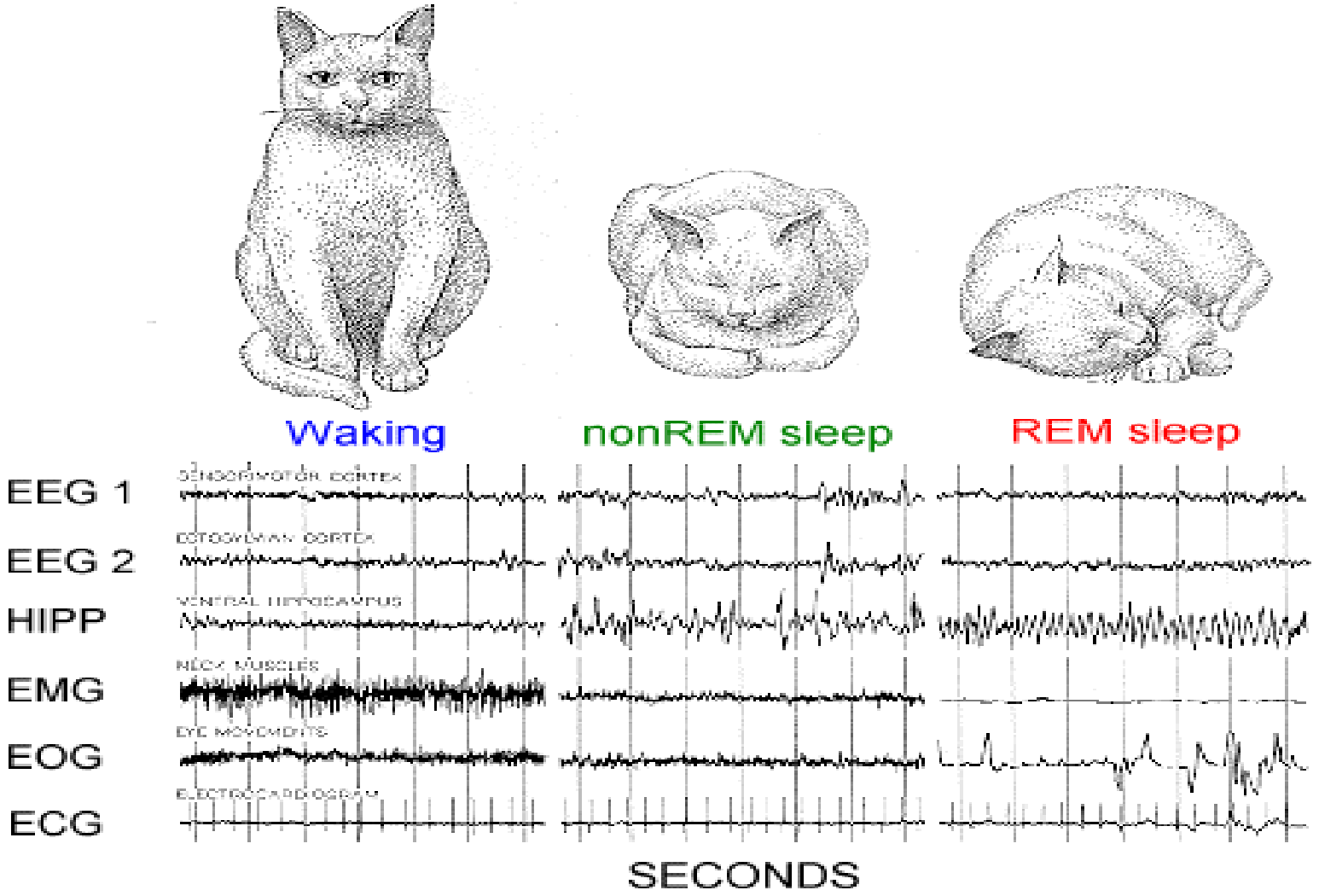
Raphe
praeopticus area
n. tractus solitarii

ingerlése szinkronizációt és alvást indukál.

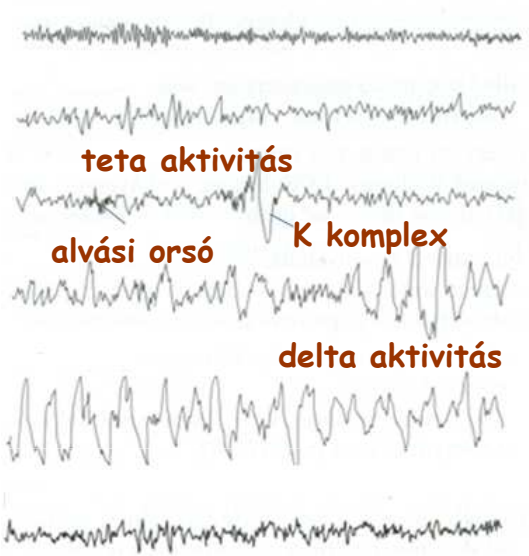
Az alvás kialakulása



Alvási stádiumok, poligráfiás felvétel



Az alvás szerkezete, stádiumai



éber

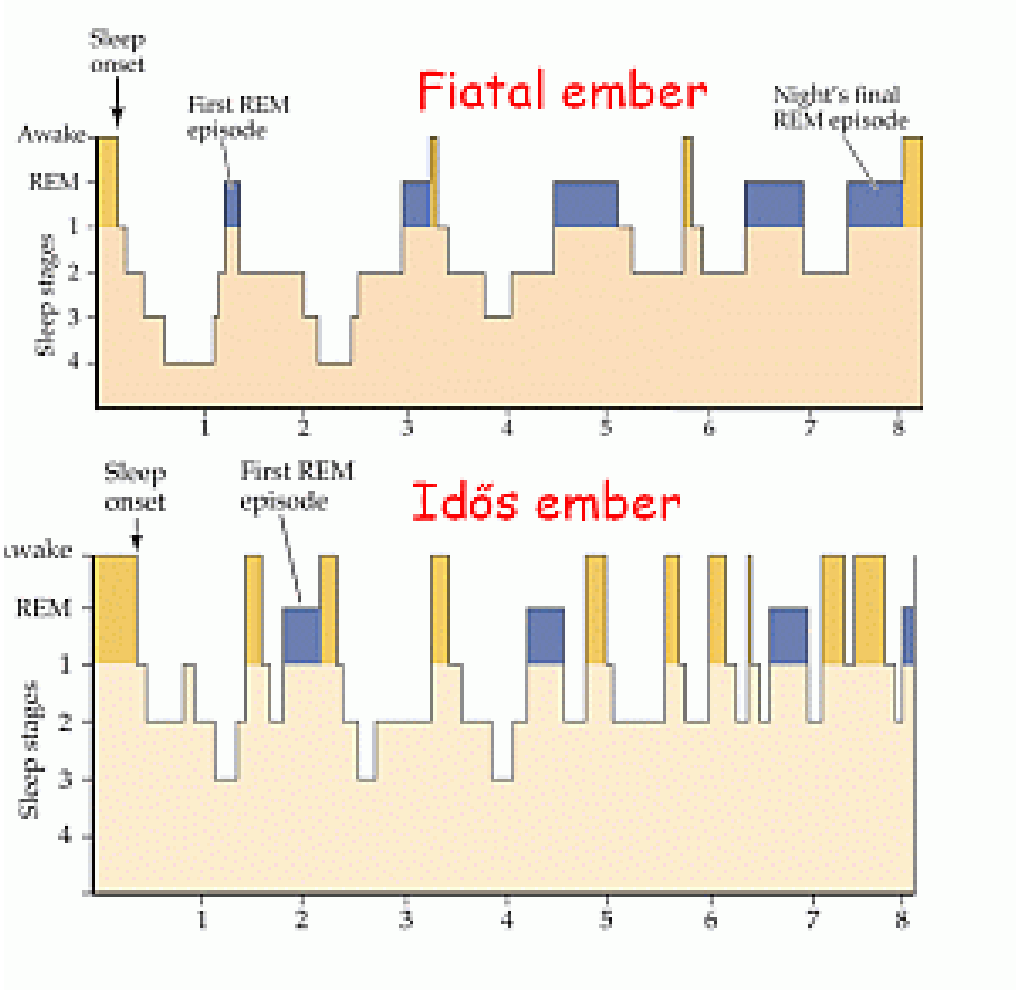
1. alvási stádium

2. alvási stádium

3. alvási stádium

4. alvási stádium

REM stádium

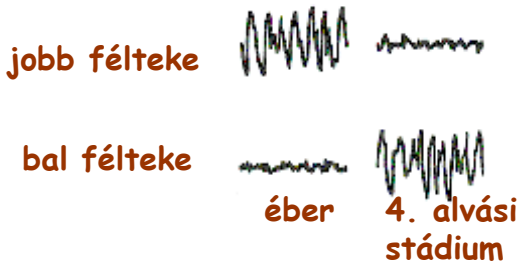


Az alvás szerepe

Az alvás jellemzői:

Csukott szem
Elernyedt izomzat
Jellegzetes EEG aktivitás

A delfin elkülönült féltekei alvása



Funkciója:
Egyfajta viselkedési állapot
pihenés – homeosztázis védelme
Memóriafolyamatok rendezése

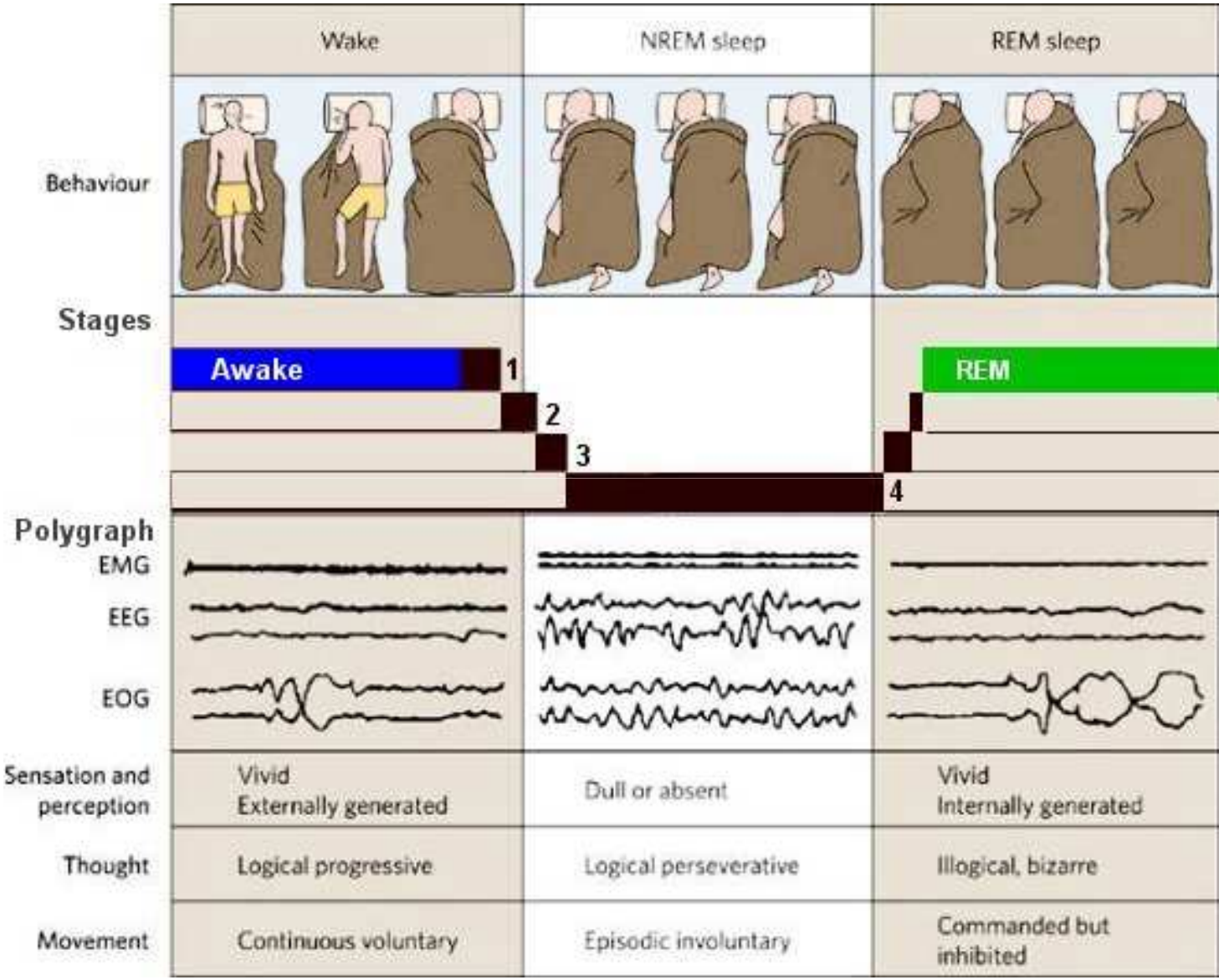
Mélyalvás fontossága

Alvás depriváció – pótlás

Depriváció következményei

Narkolepszia,
Restless-leg szindróma
Horkolás

Az alvás alatti élettani változások



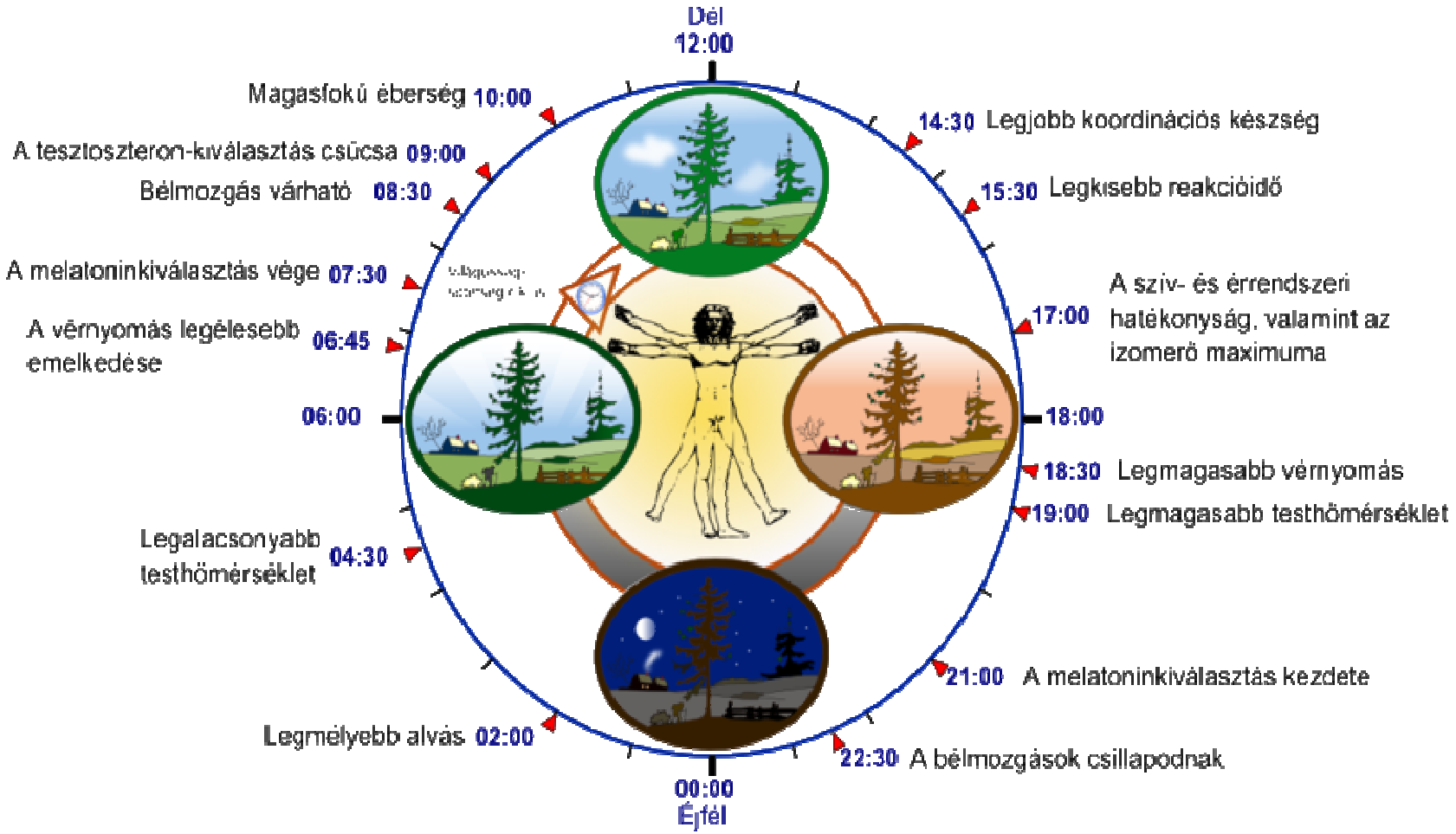
Cirkadian ritmusok, biológiai óra

Az alvás és ébrenlét váltakozása emberben kb. 25 órás periódust mutatna, amit a fény-sötét váltakozása 24 órásra módosít.

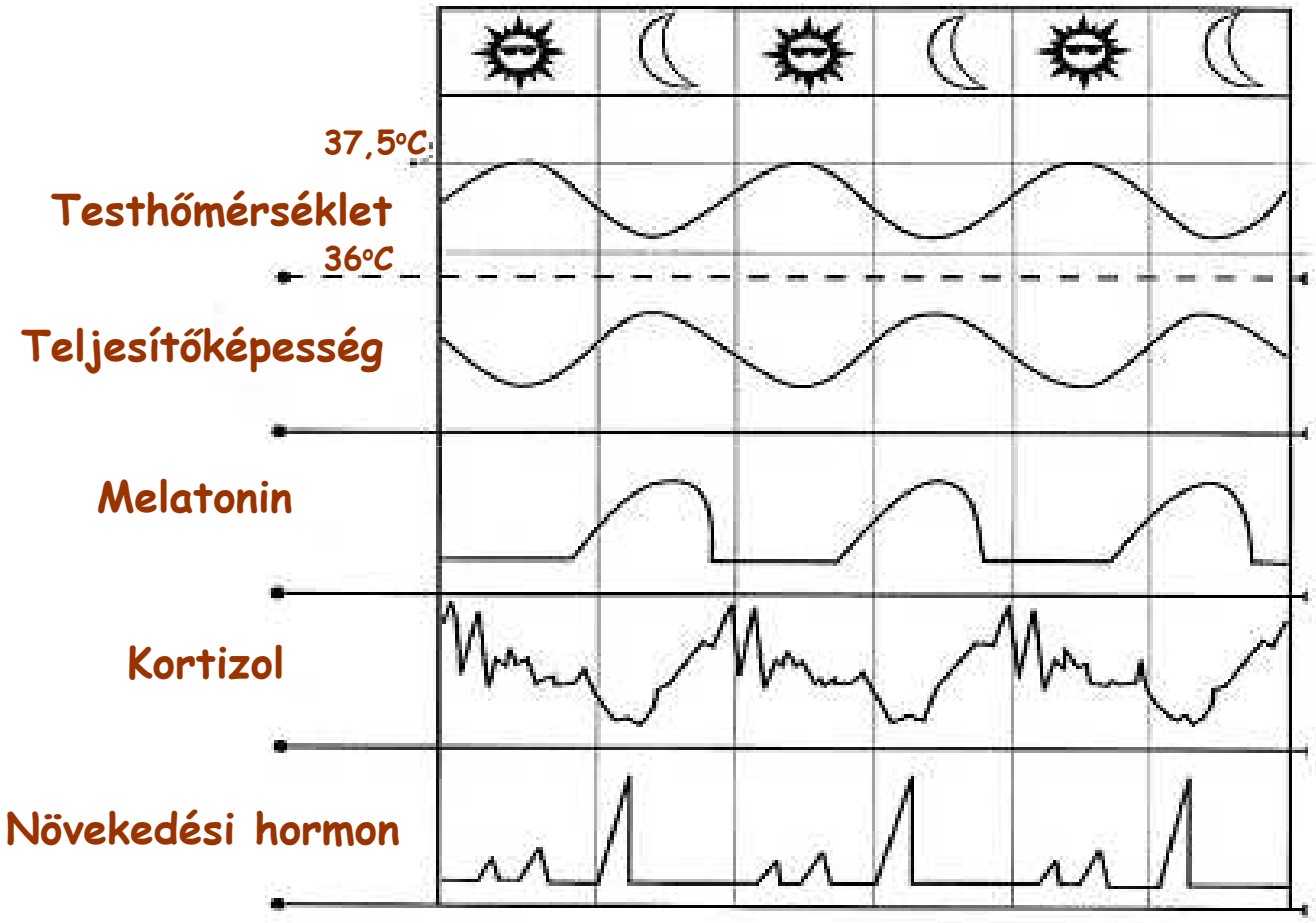
A ritmus generátora a suprachiasmaticus mag. A retinából ide is futnak rostok. A mag irányíthatja az egyéb napi ritmusainkat (hőmérséklet, hormonszintek stb) is. Ezek szabadon futó ritmusa közelebb van a 24 órához.

A tobozmirigy a suprachiazmaticus mag irányítása alatt ál. Az általa termelt melatonin koncentrációja éjszaka a legmagasabb.

Cirkadian ritmusok, biológiai óra

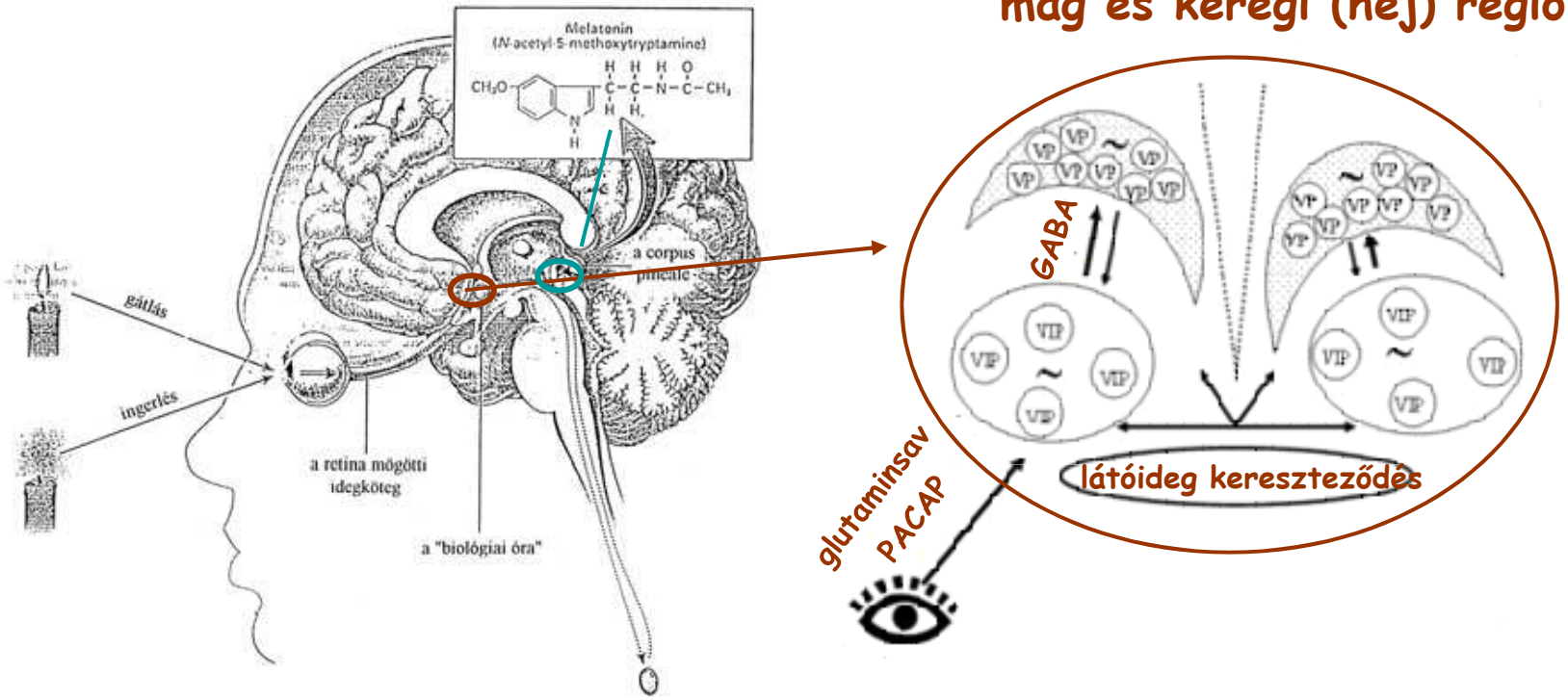


Napi ritmusos változások, hormonszintek



A biológiai óra

Suprakiazmatikus mag (SCN): mag és kéregi (héj) régió



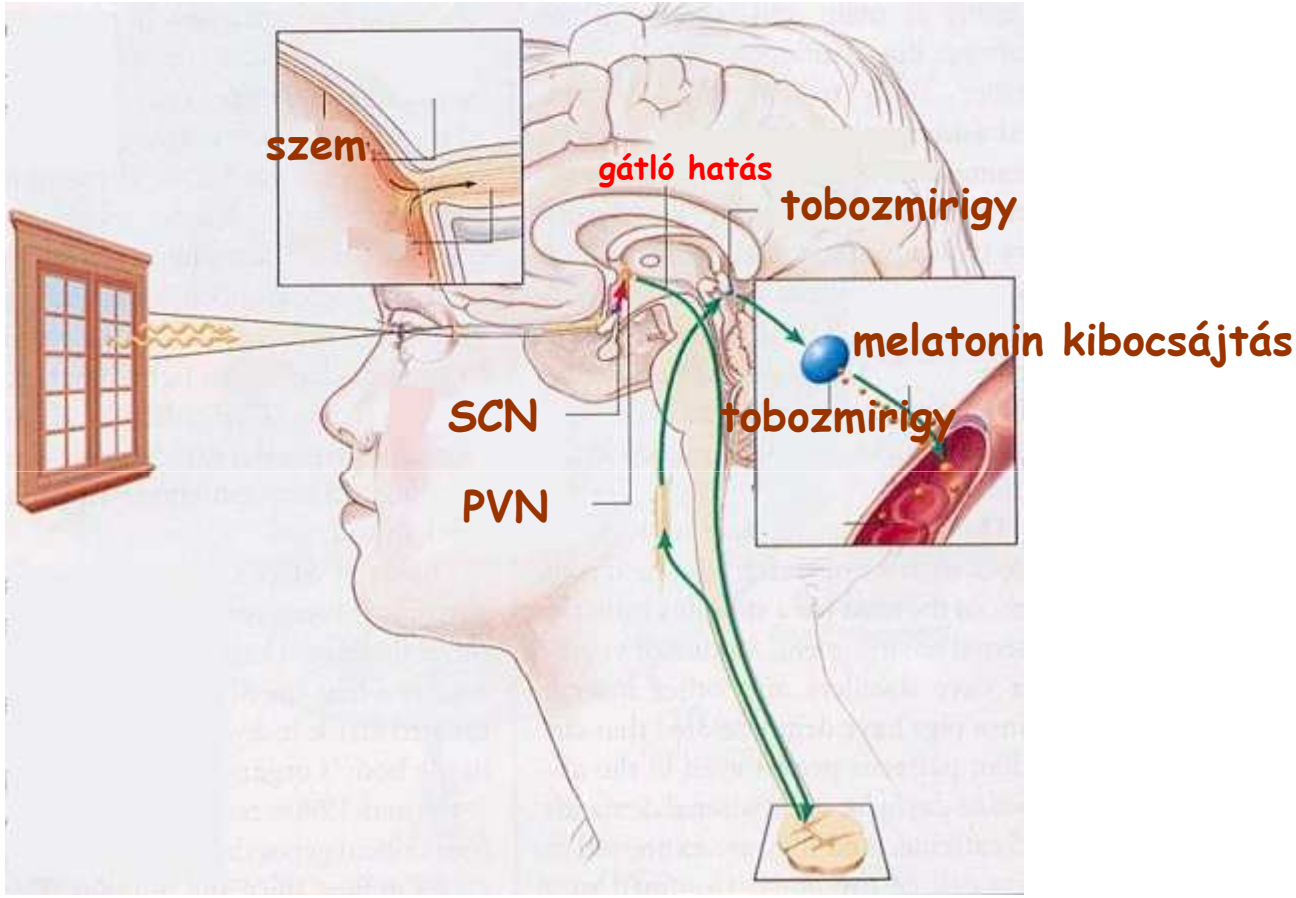
VIP: vazoaktív intesztinális peptid

VP: vazopresszin

GABA: gamma-aminovajsav

PACAP: tobozmirigy adenilát cikláz aktiváló peptid

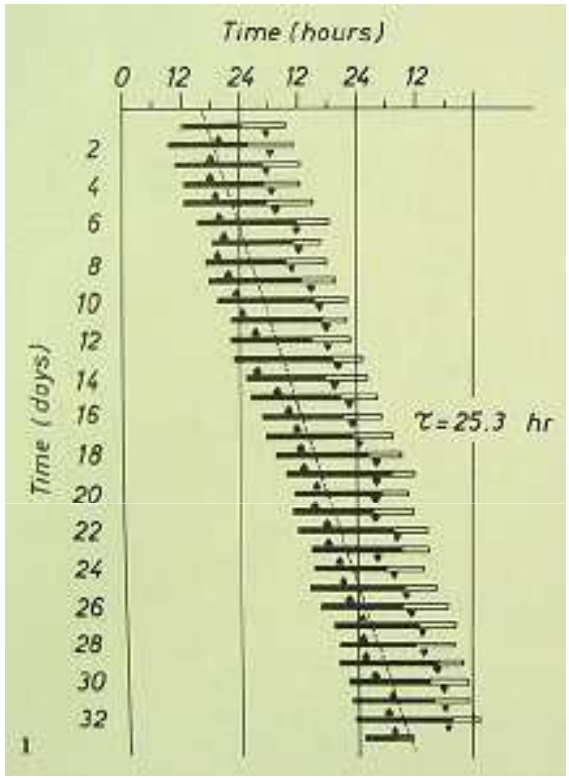
A biológiai óra hatása



SCN: látóideg kereszteződés feletti mag

PVN: agykamra melletti mag

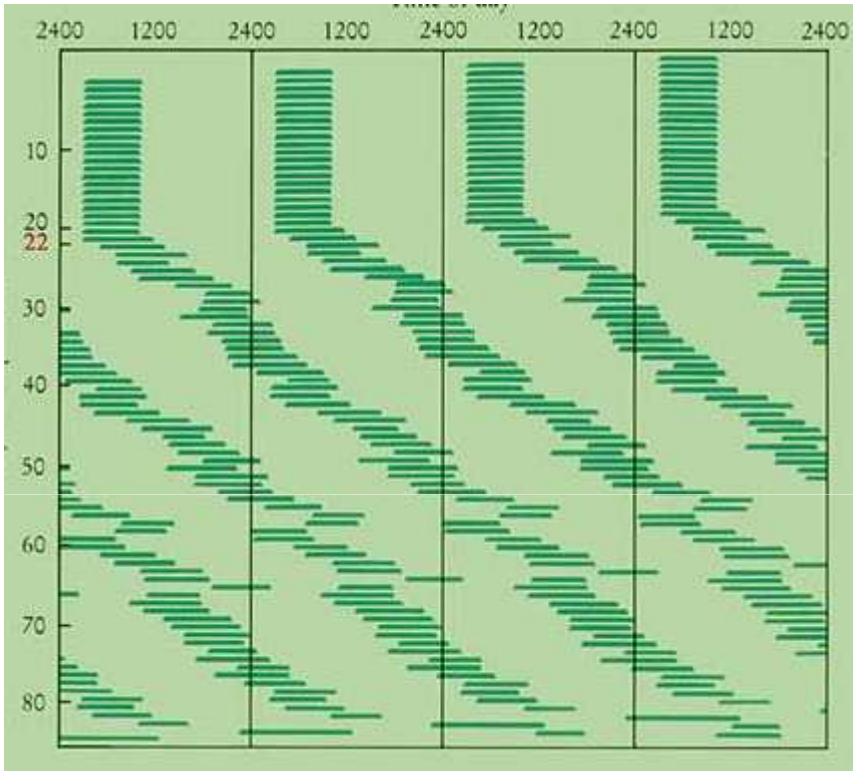
Cirkadian ritmusok, biológiai óra



Humán mérések

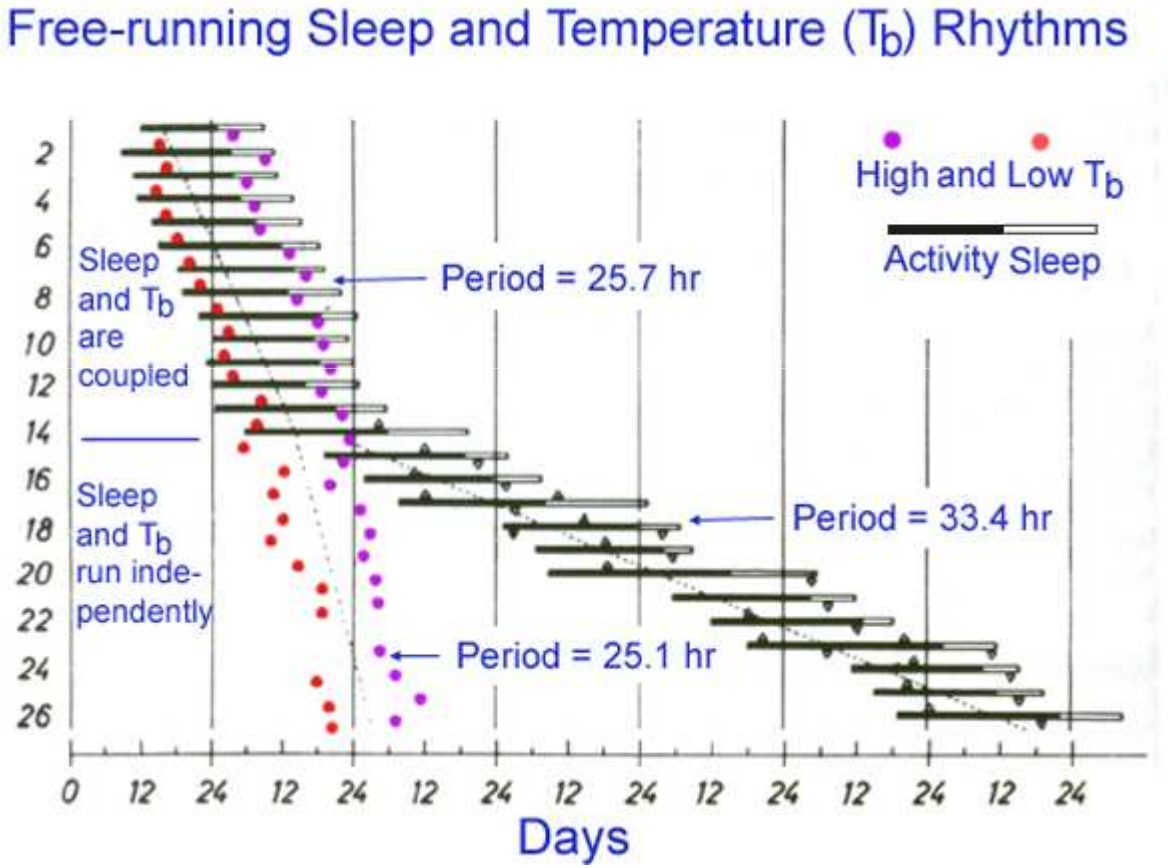
Napi idő

Kísérleti napok száma



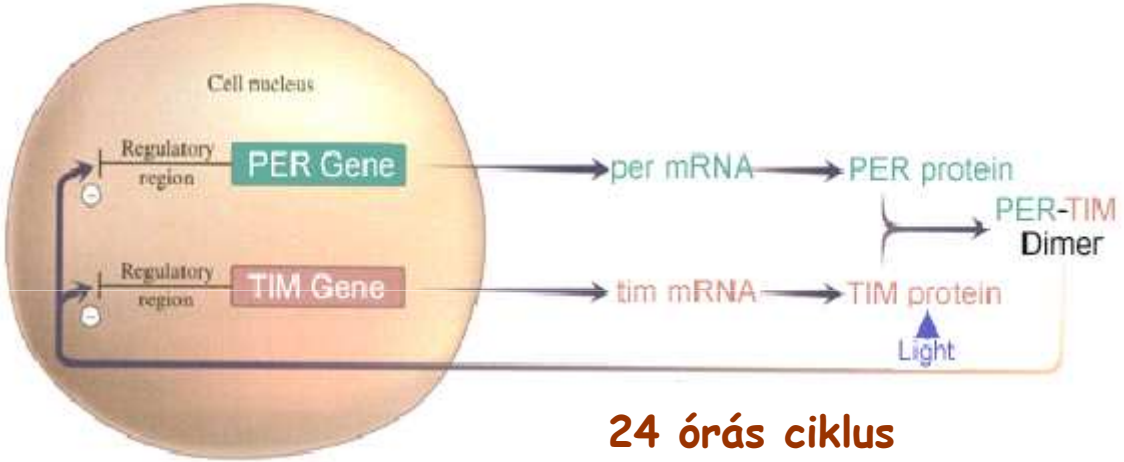
Patkány mérések

Szabadon futó óra



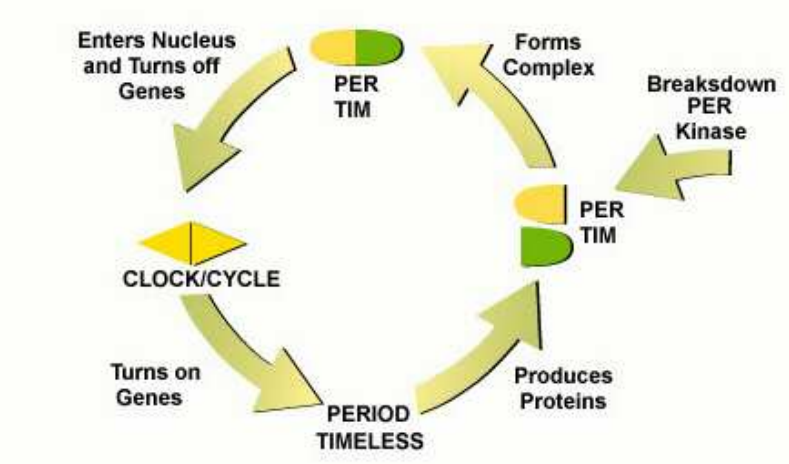
A molekuláris óra működése

Ecetmuslicában írták le először ezeket az óragéneket
több szövetben, pl. máj, tüdő, bőr vese is megjelennek



24 órás ciklus

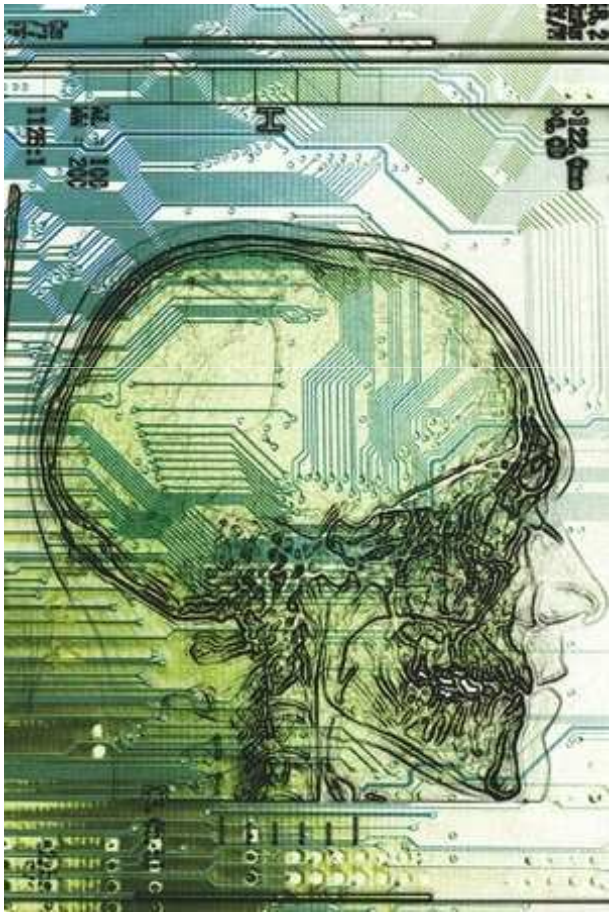
PER – periódus gén
TIM – idő gén



Egyéb ciklusok, kronobiológia

	Ciklus hossz	név	Kronobiológiai név	példa
A föld forgása	12.4 óra	félnapos	CIRCA TIDAL	Tengeri kagyló táplálkozás
A föld forgása	24 óra	napos	CIRCADIAN	Alvás-ébrenlét ciklus
A hold változása	29 óra	havi	CIRCA LUNAR	Menstriációs ciklus
A hold változása	365 óra	éves	CIRCANNUAL	Téli álom

Magasabb idegrendszeri folyamatok



Viselkedés

A szenzoros bemenetekre adott (motoros) válasz.

Az ember és állat viselkedését genetikusan kódolt az egész szervezet szintjén érvényesülő idegi és kémiai faktorok szabályozzák.

Az környezethez való alkalmazkodás, az adaptálódás, azaz tanulás képessége szintén genetikusan adott.

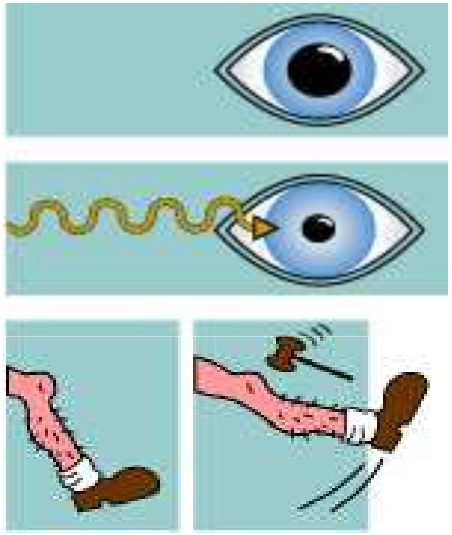
Így az elsődleges biológiai motivációra másodlagos regulációs rendszer épül.

Viselkedéselettan, etológia foglalkozik ezekkel a problémákkal, de elemi szintű tanulás elektrofiziológiai vizsgálatokkal történik

Viselkedés

Reflex:

meghatározott kulcsinger hatására mindig bekövetkező válaszreakció



Reflex láncolat (öröklött mozgáskombináció):

olyan összetett mozgásforma, amely az állat motiváltsága esetén adott kulcsinger hatására bekövetkezik

Központi mintázatgenerátor

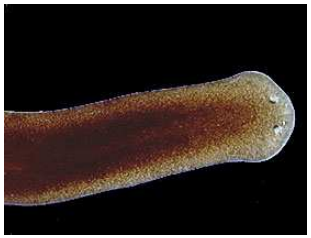
pióca úszása

Taxis

adott inger által irányított helyváltoztató mozgás

Pl. barotaxis, kemotaxis, alvanotaxis,geoxis, hydrotaxis, termotaxis és tigmotaxis

kullancs (vajsav), planária (fény)



Viselkedés, tanulás

Viselkedéssorozatok:

imprinting (korai bevésődés) - öröklött magatartási forma (leginkább a szárnyasoknál figyelhető meg).

magatartás aktiválása külső inegrekkel

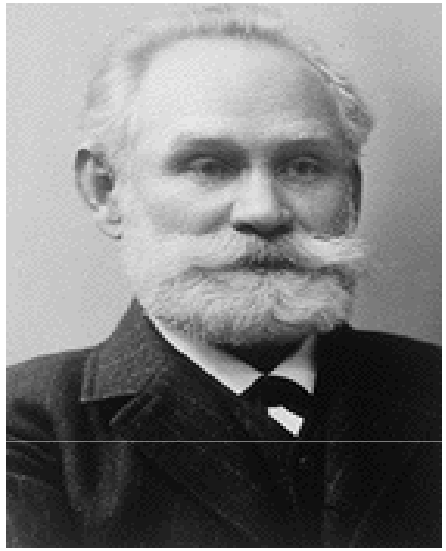
mozgáskombinációk tanulása

új információ megtanulása

Tanulás

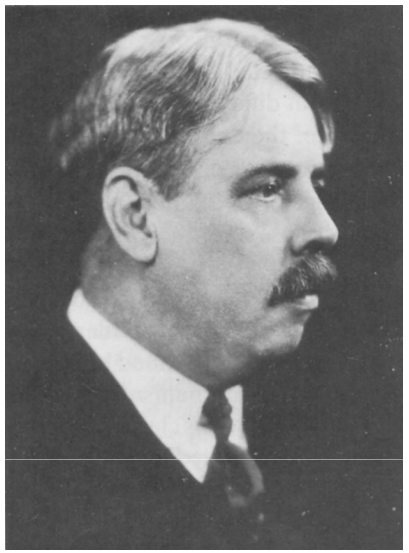
Valamely megelőző idegrendszeri folyamat nyomot hagy az idegrendszerben, és ezzel megváltoztathatja az egyed viselkedését.

Tanulási modellek



I. P. Pavlov

B. F. Skinner

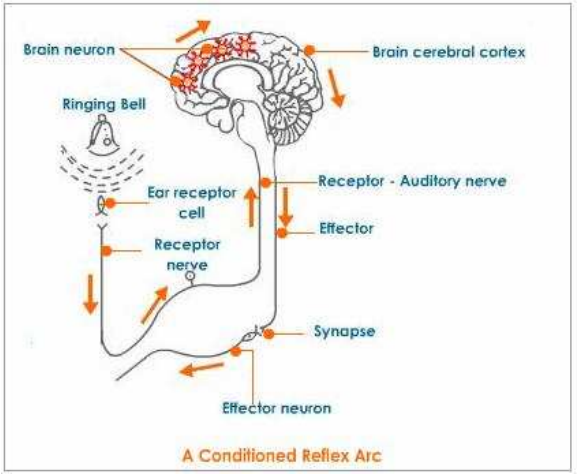


E. L. Thorndike

Asszociativ tanulás

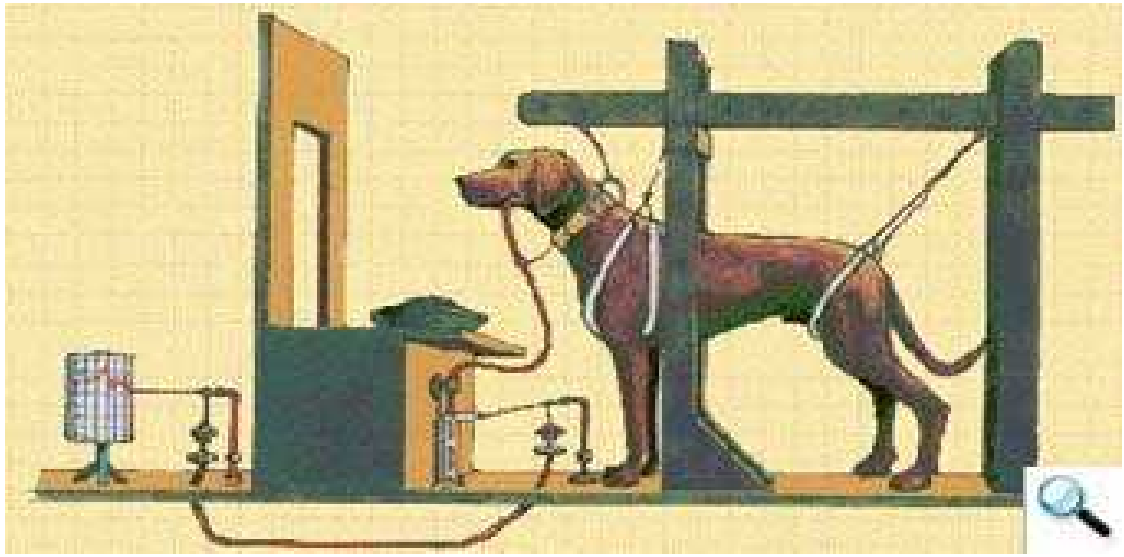
Jutalmazásos tanulás

Klasszikus kondicionálás



Feltételes reflex kialakítása

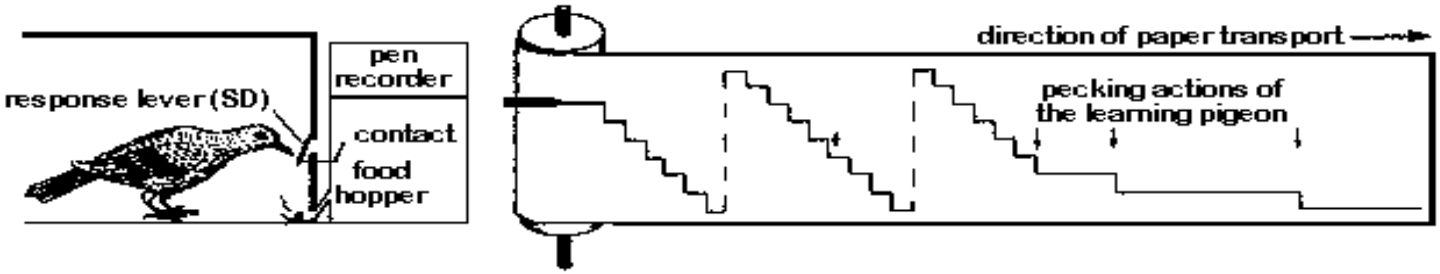
Két feltétlen reflex társítása, Ismétlés, megerősítés fontos

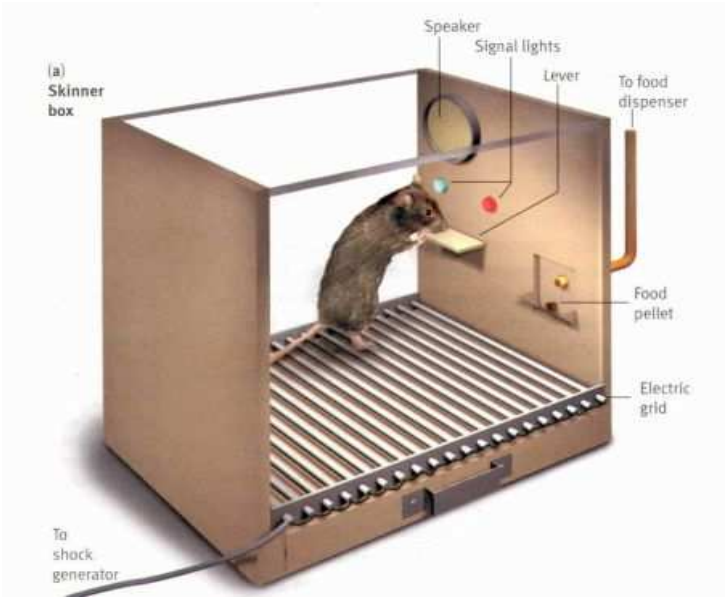


Operáns kondicionálás

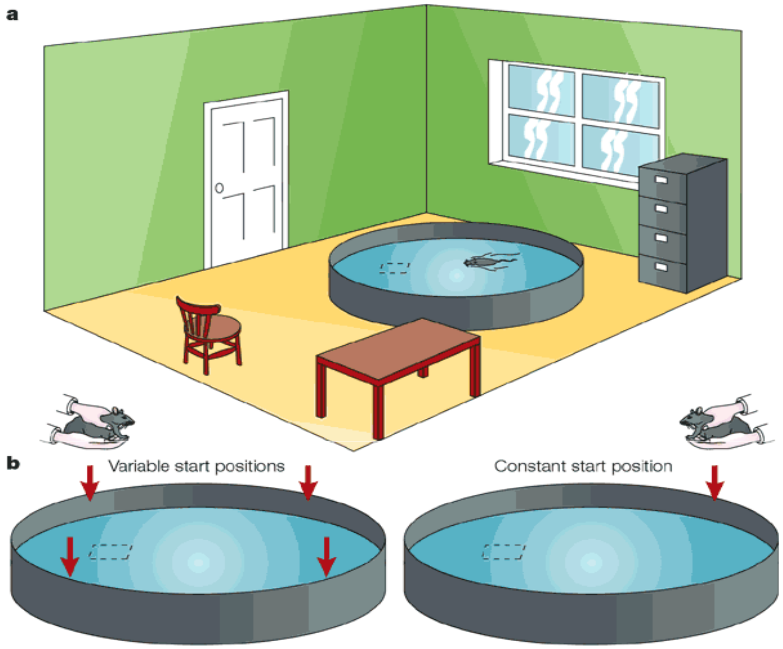
Megerősítéses tanulás – viselkedés elemet erősít meg, motiváció szükséges (emóció)

Büntetéses – hatékonyabb bevéséődés.





Térbeli tanulások



Vizi labirintus

T vagy Y labirintus

Tanulás

Nem asszociatív tanulás

Habituáció: ismételt inger egyre kisebb reflexválaszt vált ki (a szenzoros kollaterális egy gátló neuront ingerel)

Szenzitizáció: a reflexíven konvergáló másik neuron egyszeri ingerülete a következő szinaptikus válaszokat megnöveli. Praeszinaptikus hatás, axo-axonalis szinapszisokkal.

Asszociatív tanulás – több folyamat összekapcsolása

klasszikus kondicionálás
operáns kondicionálás

Memória

Nem-deklaratív memória - általában nem tudatos, többnyire ismétléssel vésődik be, ilyen a habituáció, szenzitizáció, feltételes reflex, tanult mozgások, priming (pl. a szó első betűje eszünkbe juttatja a szót).

Deklaratív memória - tények és történések megjegyzése.

Egyszeri alkalommal raktározódik, tudatosan idézhető csak fel.

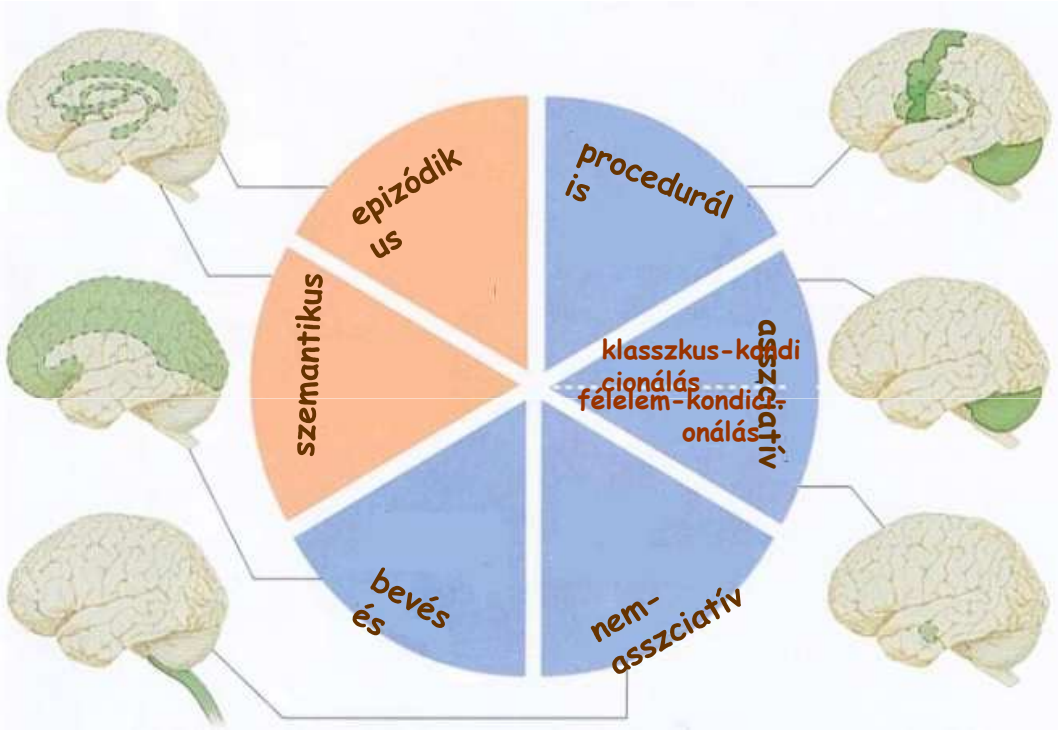
A memóriatartalom bevéséséhez a hippocampus, a perirhinalis-, entorhinalis és parahippocampalis kéreg szükséges. Sérülésük anterográd amnéziát okoz.

Memória típusok

Típus	Terület	Funkció	Példa
Nem deklaratív memória			
Procedural Memory	Kisagy és bazális ggl.-ok	Cselekvés végrehajtása	kerékpározás
Klasszikus kondicionálás	agykéreg	Hozzászokásos viselkedés	kávészünet
Félelem-kondicionálás	amigdala	Emocionális tanulás	fóbiák
Nem-asszociativ memória	gerincvelő	Habituáció vagy szenztizáció	Ingerre adott megváltozott válasz
Hosszó távú bevésés	Több agykérgi terület	Új memória alapja	Gyermekkori memória
Deklaratív memória			
Epizódiku memória	agykéreg	Elmúlt eseményekre emlékezés	Előhéti program
Szemantikus memória	Frontális és temporális lebeny	Tények rögzítése	Szavak és szimbólumok értelem
Munkamemória			

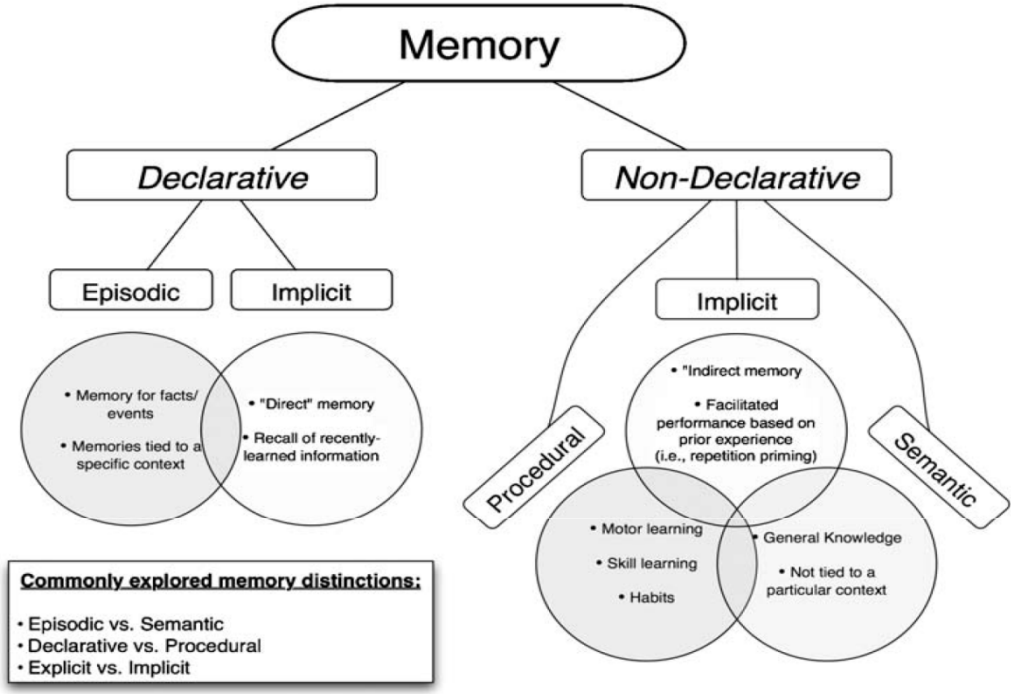
Memória - agyterületi lokalizáció

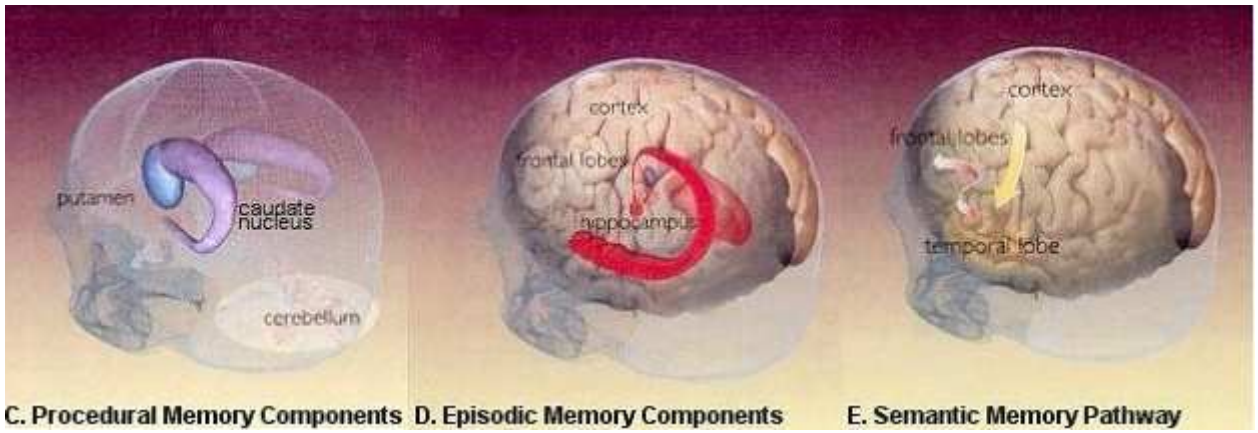
deklaratív memória nem-deklaratív memória



A rövid távú memóriafolyamatok a neokortexben zajlanak. A rövidtávú memória emlékképei a hippokampusz segítségével válnak a hosszú távú memória emléknyomaivá (engram), melyek szintén neokortexben tárolódnak. A felidézéshez nem kell a hippokampusz.

Memória - agyterületi lokalizáció





C. Procedural Memory Components D. Episodic Memory Components E. Semantic Memory Pathway

Szinaptikus hatékonyságváltozás - rövidtávú

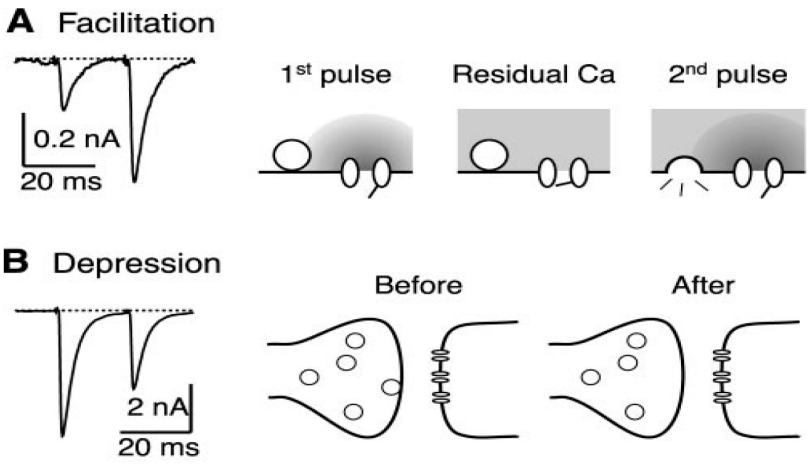
Szinapszis erősödés:

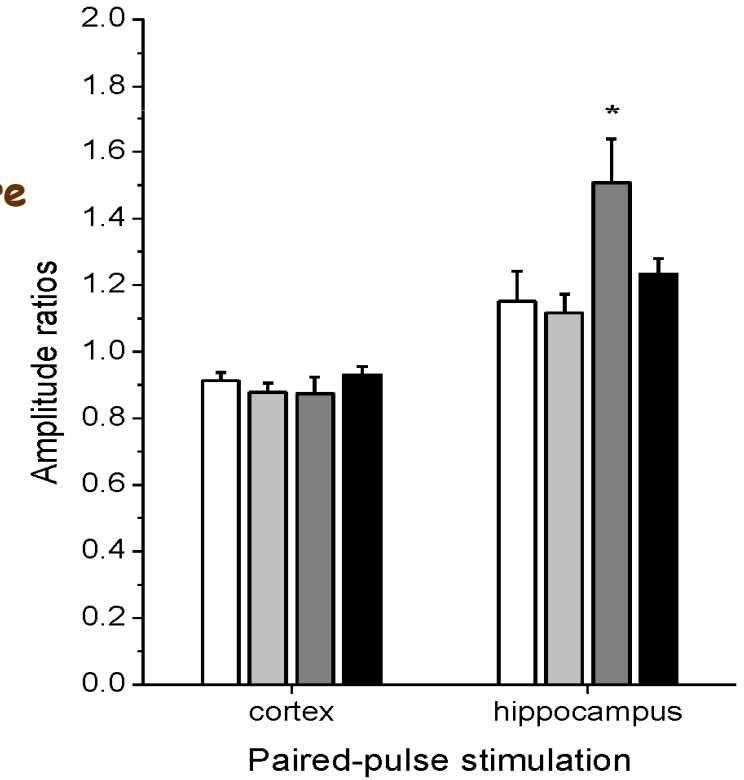
- facilitáció – rövid ideig tartó változás
- augmentáció – közepesen hosszú ideig tartó változás
- potenciáció – hosszabb ideig tartó változás
- (ptp = poszt tetanikus potenciáció – sorozatingerlést követően)

Szinapszis gyengülés:

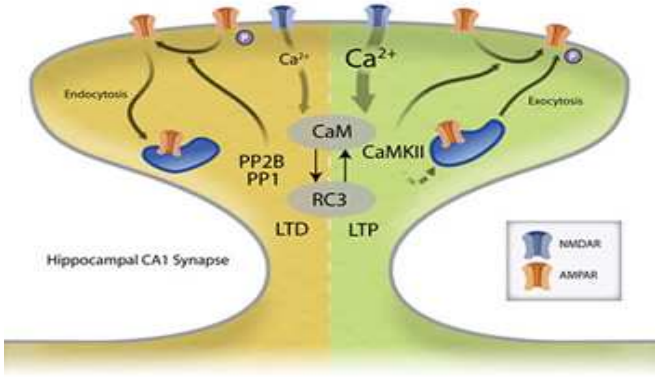
- habituáció
- depresszió

Páros ingerlés hatása a szinapszis működésére



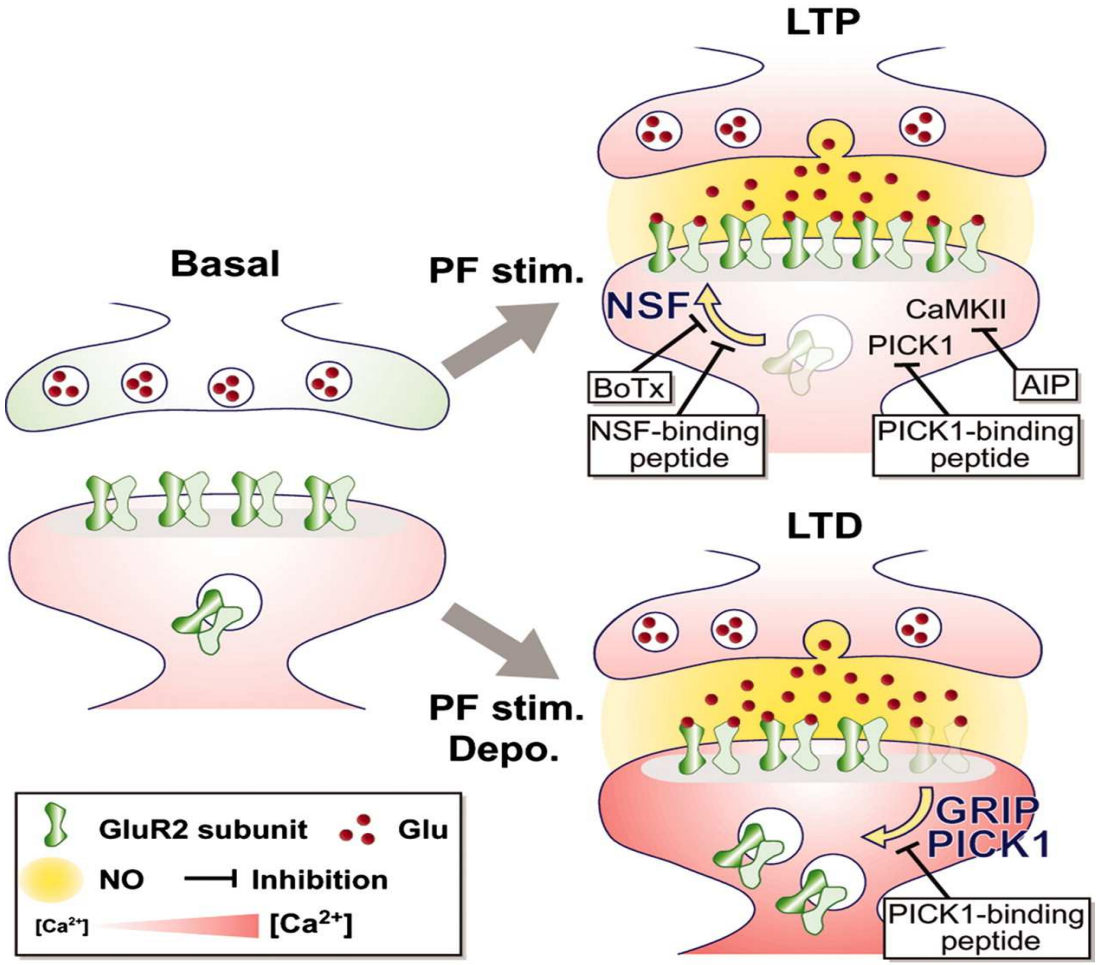


Hosszútávú szinaptikus hatékonyságváltozás

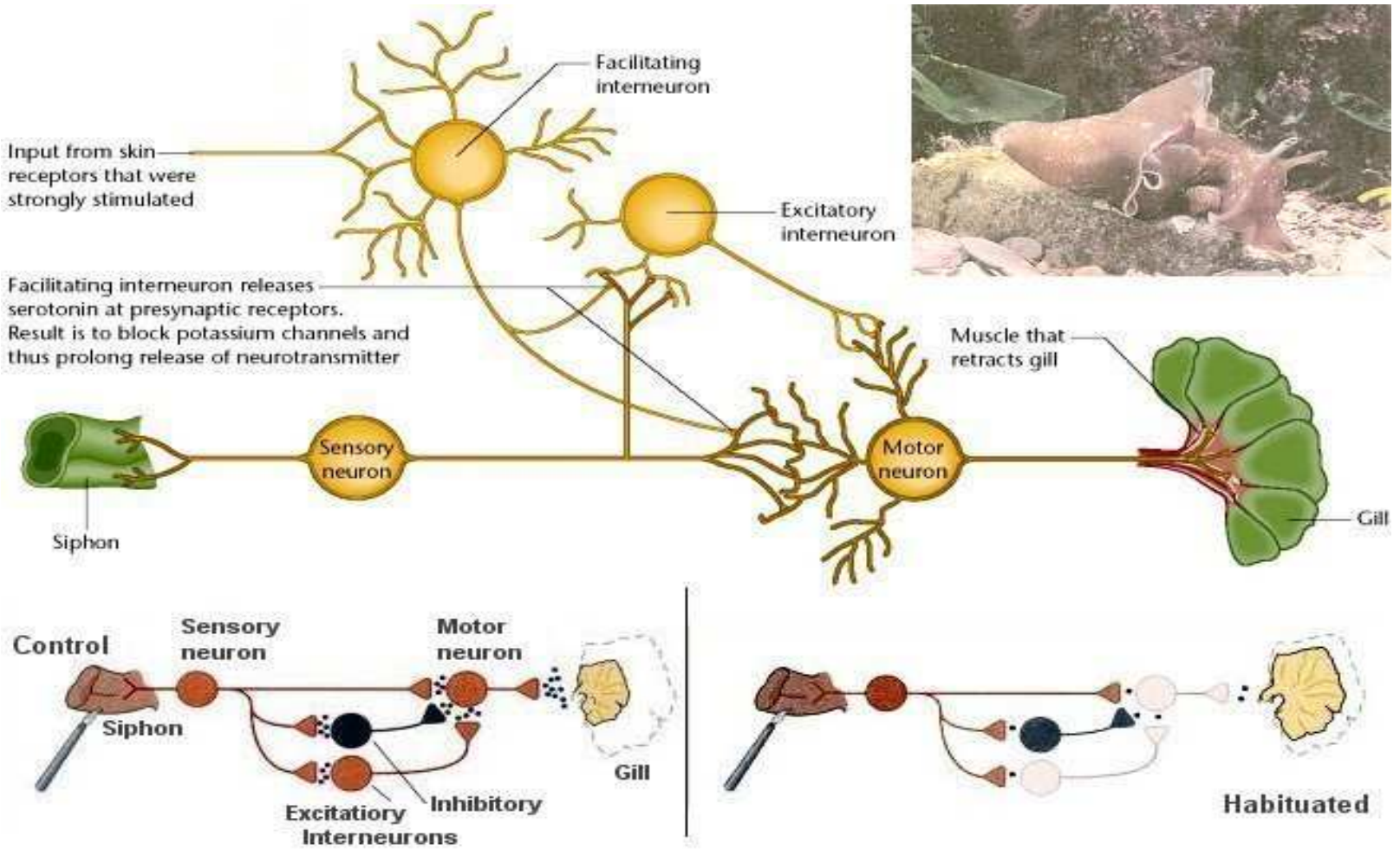


LTP: long term potentiation
(hosszú idejű szinaptikus hatékonyság fokozódás)

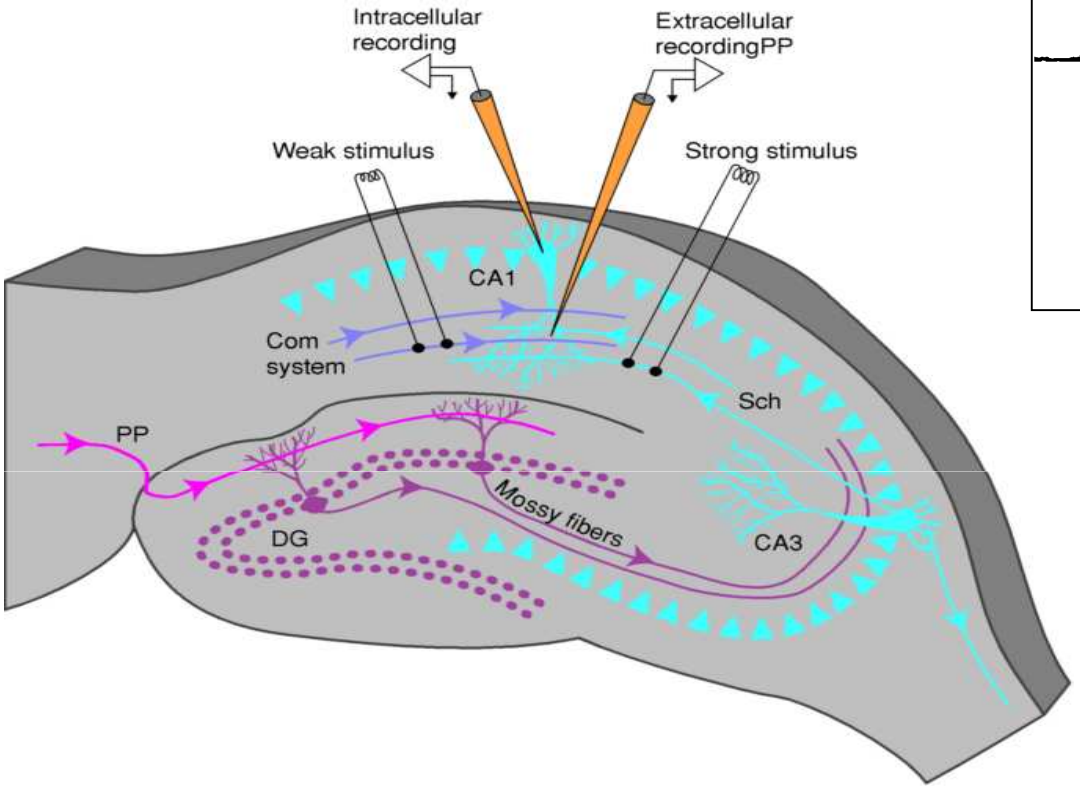
LTD: long term depression
(hosszú idejű szinaptikus hatékonyság csökkenés)

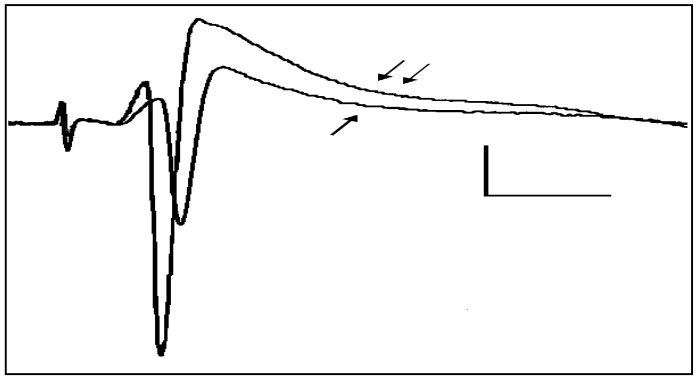


Elemi tanulási folyamatok



Elemi asszociációs tanulási folyamatok

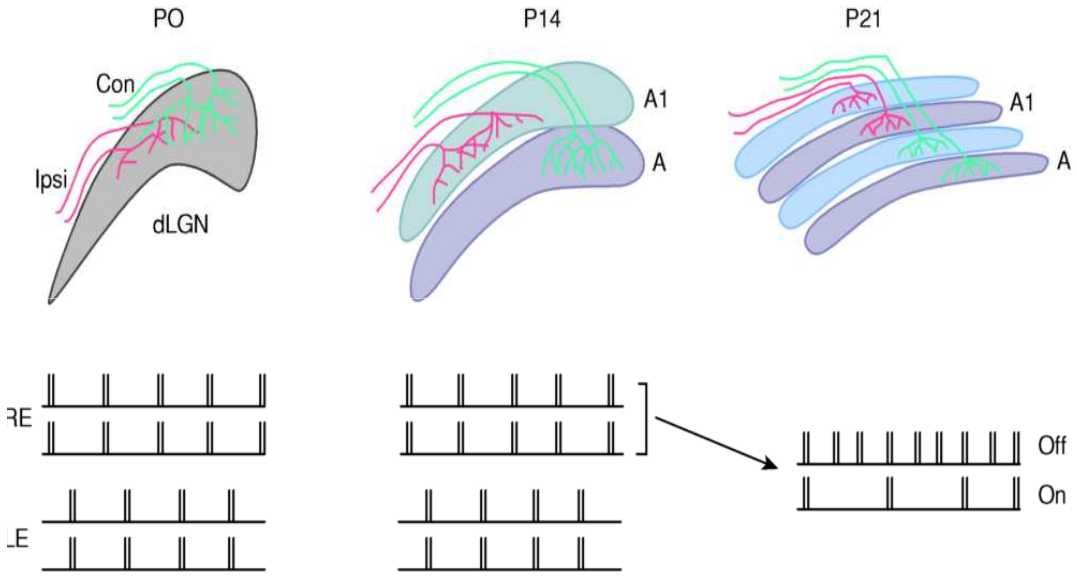




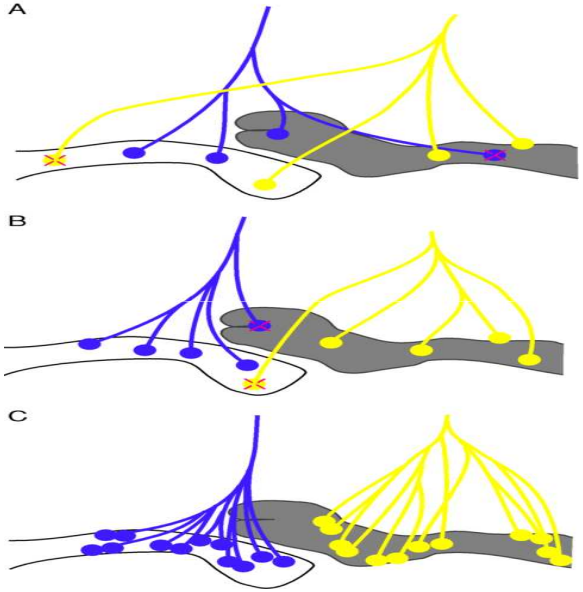
LTP -
először a hippokampuszban írták le, de általános jelenség (Bliss, Lomo)

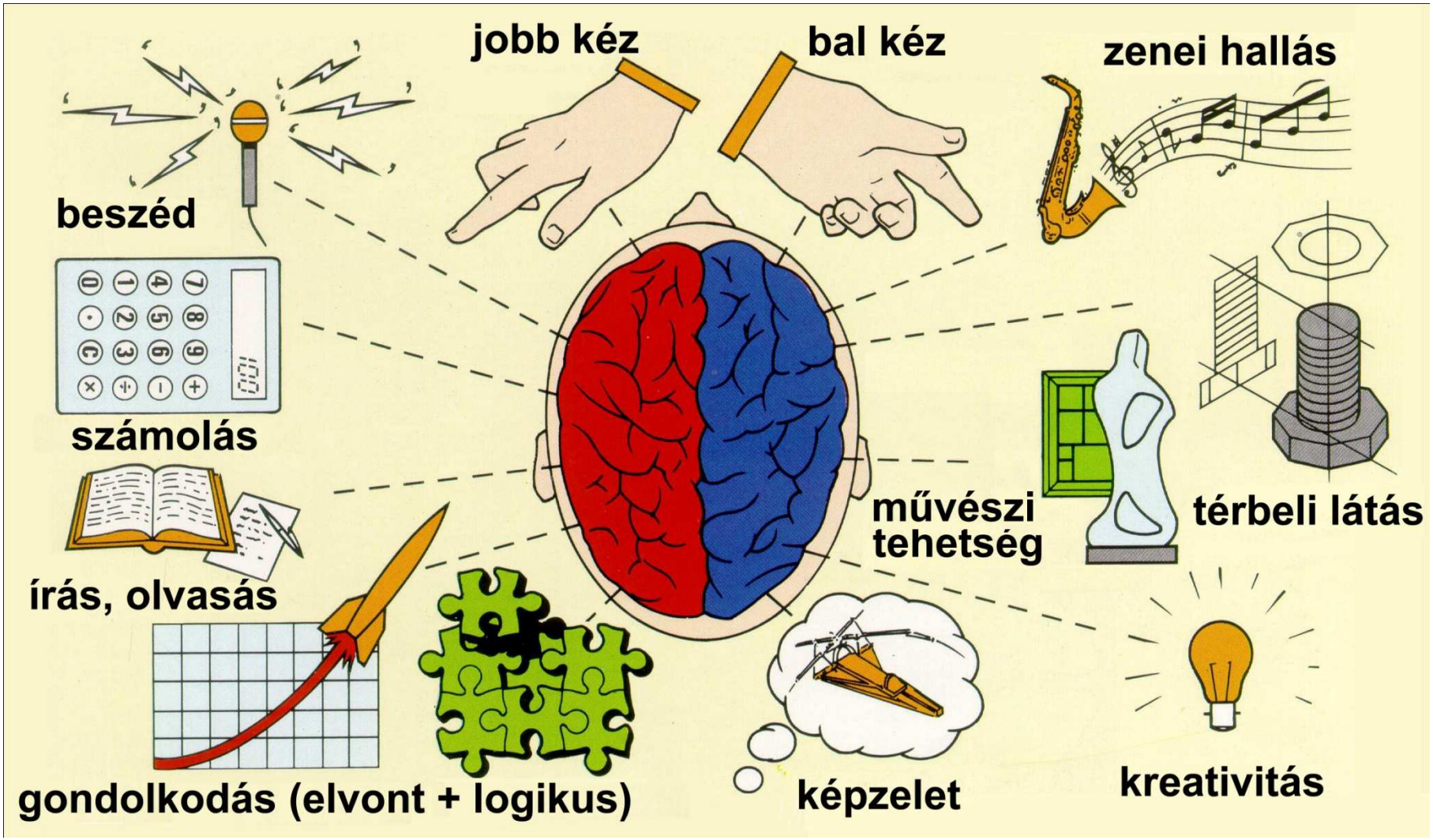
Látókéreg fejlődése, szinapszisok változása

A talamikus kapcsolatok változása a születést követően patkányban (P=születést követő napok)



A látókérgi kapcsolatok változása



A talamikus és elsődleges látókérgi kapcsolatok megerősödnek együttműködéskor, ill. eliminálódnak, ha nincs szinkron működés. Alapfolyamatok a tanuláshoz hasonlóak.

Az agykérgi aktivitás lokalizációja