

Az érzőrendszer


Az érzőrendszerek

2/28

- az érzőrendszerek a külvilágról (exteroceptorok) és a belső környezetről (interoceptorok) tájékoztatják az idegrendszert
- speciális csoport a proprioceptorok, amelyek a test, ill. a testrészek helyzetéről továbbítanak információkat
- az exteroceptorok között vannak telereceptorok (látás, hallás, szaglás) és kontaktreceptorok (ízlelés, tapintás), az interoceptorok ugyancsak kontaktreceptorok
- a tele-, és kontaktreceptorok funkciója a magatartás szabályozásában eltér (pl. preparatív és konzummációs szakasz)
- az érzőrendszerek egy adott modalitásra, energiafélésegre specifikusak - adekvát inger
- vannak kemo-, mechano-, termo-, és fotoreceptorok

Közös sajátságok I.

3/28

- a receptor a modalitásának megfelelő energiát, ingert átalakítja - receptor potenciál; ez gradált
- az idegrendszerrel való kapcsolat kétféle lehet
 - az elsődleges érzőneuron (sejttest mindig a periférián) nyúlványa érzékeli az ingert
 - érzékejt érzékeli az ingert és továbbítja az elsődleges érzőneuron nyúlványára közvetlenül (szekunder érzékejt), vagy közvetve (tercier érzékejt) 
- az inger akciós potenciálok frekvencia változása formájában kódolódik és szállítódik a központba
- Weber-Fechner törvény
$$R = a * (S - T)^b \quad \text{vagyis} \quad \lg R = b * \lg(S - T) + c$$
 - ahol T a küszöb, S az inger, R a válasz nagysága
- b általában < 1, de termoreceptorokra = 1, fájdalomreceptorokra > 1
- az ingerküszöb az a minimális inger, ami megváltoztatja az akciós potenciálok frekvenciáját a receptorhoz futó roston

Közös sajátságok II.

4/28

- tartós inger esetén adaptáció léphet fel:
 - lassú adaptáció - folyamatos kisüléssorozat tartós ingerre
 - gyors adaptáció - rövid válasz után megszűnik
- az érzőpályák többszörös átkapcsolódással érik el az agykéreg elsődleges érzőterületét - feldolgozás is folyik az átkapcsolódás során
- a szaglópálya kivételével mindegyik érzőpálya átmegy a talamuszon
- az érzőrendszerek többségében értelmezhető a receptormező (de proprioceptorok) - lehet serkentő, vagy gátló
- minél magasabbra megyünk, a magasabbrendű szenzoros neuronok receptormezője annál komplexebb - pl. látókéreg sejtjei adott irányban mozgó, adott orientációjú vonalra reagálhatnak

Közös sajátságok III.

5/28

- gyakori sajátság a topográfikus vetülés – térben adott viszonyú receptormezők hasonló térbeli viszonyban lévő sejtekre, agyterületekre vetülnek
- az érzőrendszerekből érkező ingerületek reflexeket indíthatnak a gerincvelő és az agytörzs, vagy magasabb szinten
- a beérkező információ tudatosulhat, emlékképek formájában tárolódhat és érzelmi reakciókat is kiválthat
- a tudatosulás feltétele az érzet kialakulása, ehhez az agykérgi specifikus érzőterületek épsége szükséges
- a szenzoros működés leszálló kontroll alatt áll: pl. a hallócsontokon tapadó izmok

Idegrost osztályok

6/28

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

Receptor típusok

	modalitás	exteroceptor	interoceptor	proprioceptor
kontakt receptor	mechano-receptor	bőr receptorok (tapintás)	sinus caroticus	izom-, ínorsó egyensúlyszerv
	termo-, nociceptor		méhizomzat, maghőmérséklet	
	kemo-receptor	ízlelés	glomus caroticus	
telereceptor	mechano-receptor	hallás		
	foto-receptor	látás		
	kemo-receptor	szaglás		

A szomatoszenzoros rendszer

- a bőrfelületet, a belső szervek nyálkahártyáját ért ingerekről, a testrészek helyzetéről szállít információkat
- tudatosuló része megfelel a klasszikus „tapintás” érzéknek
- az izmok, inak receptorairól és az egyensúly szervről nem itt fogunk beszélni
- két legfontosabb, anatómiailag és fiziológiailag elkülönülő része:
 - hátsó köteg - lemniscus medialis rendszer: tapintás, tudatosuló propriocepció
 - anterolaterális (spinothalmikus) rendszer: fájdalom, hő, durva tapintás
- mindkét rendszerre jellemző, hogy a receptorsejt a gerincvelői dúcsejt (hátsó gyöki ganglion) - perifériás nyúlványa veszi fel az ingerületet
- a végződéseket speciális képletek vehetik körül, segítve a receptor funkciót

Szomatoszenzoros receptorok

- az ide tartozó receptorok többsége a bőrben található - exteroceptorok és egyben kontakt receptorok
- más részük az izmokban és ízületekben - ezek a proprioceptorok
- ugyancsak a proprioceptorok közé tartozik az egyensúly szerv, amely a test térbeli helyzetéről informál
- ide sorolhatók még a zsigerekben lévő interoceptorok (kontakt receptorok), amelyek részben hasonlóak a bőrreceptorokhoz
- ezekről, kevés kivétellel, nem sok információ áll rendelkezésre
- a bőrreceptorok között vannak mechano-, termo-, és nociceptorok

9/28

A mechanoreceptorok

10/28

- a mechanoreceptorok egy része felületesen, más részük mélyen, a bőr alatti kötőszövetben található
- a szőrrel borított részekben a szőrtüszőkben is vannak receptorok
- a tapintáshoz szükséges az érintkező felület mozgása
- zömmel A β rostok szállítják az ingerületet
- sokféle mechanoreceptor van a bőrben, ezek teszik lehetővé az ingerek részletes analizisét
- érzékeljük
 - az inger intenzitását
 - az inger időtartamát
 - az inger elmozdulásának irányát
 - a bőrhöz érő tárgy felületének minőségét
 - a felület száraz, vagy nedves voltát
 - az inger állandóságát, vagy vibrációját

A bőr mechanoreceptorai

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

Termoreceptorok

- a bőr termoreceptorainak két típusa van:
 - hideg (Krause-féle végbunkó)
 - 10°-40° között érzékeny, csúcs 23° -28° között
 - 10° alatt érzéketlen, mint minden más - fagyasztás (foci)
 - 45° feletti ingerre újra reagálnak - paradox hidegérzés, pl. forró kőre lépés
 - Aδ rostok látják el
 - meleg (tok nélküli Ruffini végtestek) receptorok
 - 30°-45° között érzékeny, csúcs 38°-43° között
 - 45° feletti hőmérsékleten a meleg receptorok elhallgatnak
 - C rostok látják el
- lassan adaptálnak, normális körülmények között folyamatosan aktívak
- közel vannak a bőr felszínéhez (kb. 1 mm), a bőr hőmérséklete és a vérátáramlás is befolyásol - értágító, pl. alkohol - melegérzet, de a pálinka hatása rövid
- semleges zóna: 32°-33° között

A nociceptorok I.

13/28

- szabad idegvégződés, de nem minden szabad idegvégződés nociceptor (ajak, nemi szervek)
- két fajtája van:
 - modalitásra specifikus
 - mechanikai vagy termikus ingerre reagál
 - A δ rostok látják el
 - glutamát a transzmittere
 - polimodális
 - különböző modalitású erős ingerek aktiválhatják
 - C rostok látják el
 - glutamát mellett SP és CGRP is felszabadul a gerincvelőben
 - tartós ingerlésre lassú potenciálváltozás is
- algogén anyagok is ingerületbe hozhatják:
 - sérült sejtek K⁺-ja
 - trombociták szerotoninja
 - hízósejtek hisztaminja
 - bradikinin
- más anyagok szenzitizálnak (meleg is fájhat):
 - eikozanoidok (prostaglandinok, leukotriének) - aszpirin gyulladásgátló, és fájdalomcsillapító
 - SP és CGRP - axonreflex - értágulat

A nociceptorok II.

14/28

- gyors, éles fájdalom az A δ rostokon - jól lokalizálható
- lassú, tompább, nehezebben lokalizálható fájdalom a C-rostokon
- igen kevésbé adaptálódnak, tartós ingerlésre inkább szenzitizáció, hiperalgécia lép fel
- a vékony rostok érzékenyebbek a helyi érzéstelenítésre - tapintás megmarad, pl. fogorvos, sebész
- nem minden szervben van nociceptor, pl. az agy nem fáj, helyi érzéstelenítésben operálható
- a váz-, és szívizom nociceptorai érzékenyek az oxigén hiányra - angina pectoris, iskolai büntetés
- a zsigerek nociceptorai kevésbé ismertek, de a lumen tágítása, a simaizom görcsös kontrakciója fájdalmas

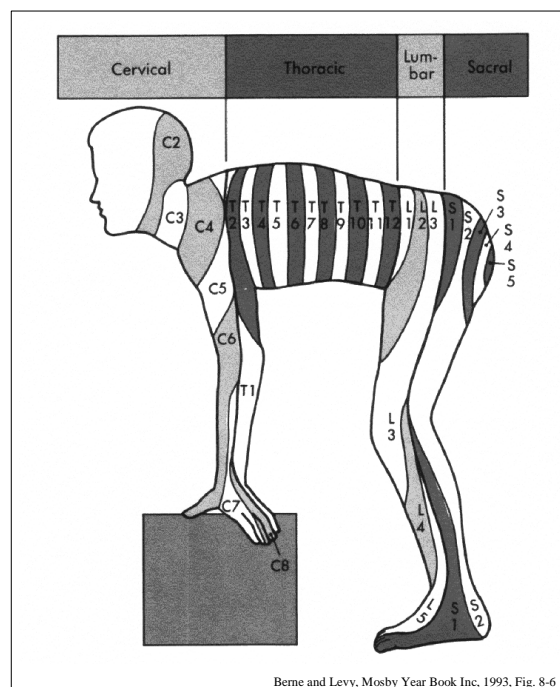
Az érzőpályák lefutása

15/28

- az embrió fejlődése során teste szegmentált lesz
- a szegmenseket szomitáknak nevezzük
- a szomiták egyes részeiből bőr (dermatóma), izom (miotóma), vagy csont (szklerotóma) lesz
- ezeket a gerincvelő egyazon szegmentuma idegzi be kifejlett állapotban is
- az egyes zsigeri szervek beidegzése is hasonlóan a szomitákhoz rendelhető
- egy adott dermatóma a legsűrűbb beidegzést a hozzátartozó szegmensből kapja, de kap a szomszédosakból is
- egyetlen hátsó gyök átmetszése nem okoz teljes érzékkiesést a hozzátartozó dermatómában
- érzéstelenítéshez több egymás melletti szegmenst kell bénítani

A dermatómák

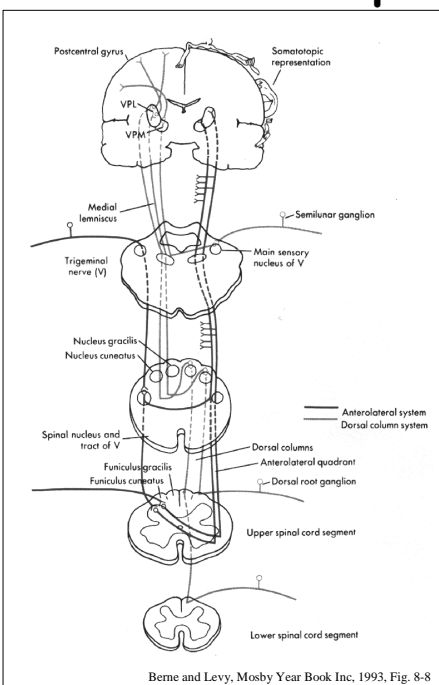
16/28



A hátsókötegi rendszer I. 17/28

- a hátsó kötegi rendszerben A β rostok szállítják a taktilis és proprioceptív ingerületet
- a hátsó gyökön belépő rostok (sejttest a hátsó gyöki, vagy spinális ganglionban) elágaznak
- egyik águk az azonos oldali dorzális kötegben fut felfelé, másik szinaptizál a hátsó szarvban
- a hátsó végtagból és a törzs alsó részéből a fasciculus gracilis, a felsőből a fasciculus cuneatus szállítja az információt
- első átkapcsolódás a nyúltvelőben a hasonló nevű magvakban
- innen lemniscus medialis - átkereszteződés
- csatlakoznak a n. trigeminus másodrendű rostjai
- második átkapcsolódás a thalamusz VPL-VPM-ben - radiáció az elsődleges szomatoszenzoros kéregbe

A szomatoszenzoros pályák 18/28



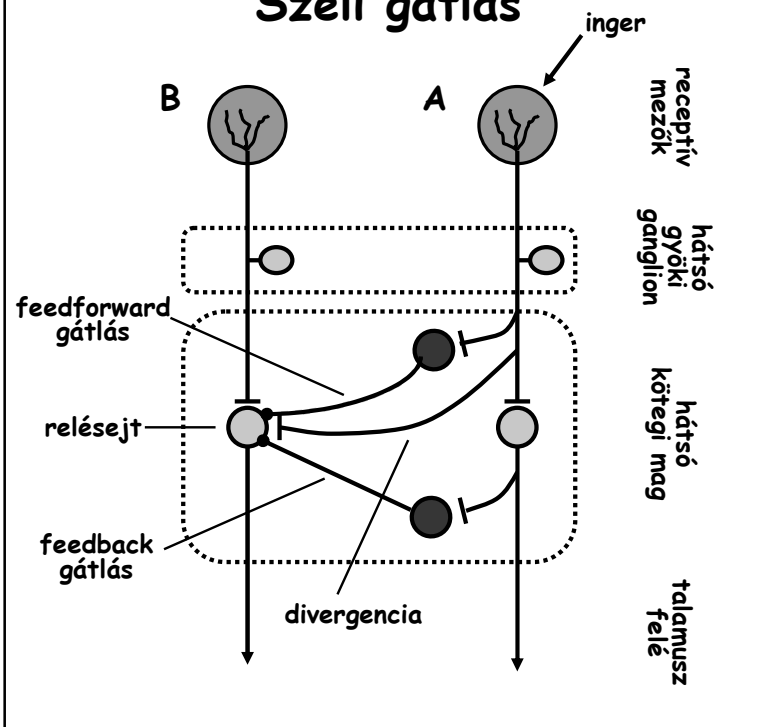
A hátsókötegi rendszer II.

19/28




- az átkapcsolódás igen jó hatásfokú - az elsődleges rost egyetlen AP-je a másodlagos sejtben képes AP-t kiváltani
- a topografikus (szomatotópiás) vetület minden pálya és átkapcsolódás szintjén megtartott
- a magasabb szintek efferensei képesek gátolni az alacsonyabb szinteken az ingerület továbbítását - disztális gátlás
- a szomatoszenzoros rendszerben nem, de másutt a receptorok szintjén is érvényesül
- jellemző a széli gátlás, ami fokozza a „kontrasztot” - az ingerületbe jött sejteket gátolt sejtek veszik körül - más érzőrendszerekre is jellemző

Széli gátlás


20/28



A szomatoszenzoros kéreg I. ^{21/28}

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

A szomatoszenzoros kéreg II.

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

22/28

Az anterolaterális rendszer I.

- az anterolaterális rendszer szállítja a hő-, és fájdalom információt
- a fájdalom nehezen definiálható, sok szubjektív elem is van benne – a magas ingerküszöbű nociceptorokból indul ki
- első átkapcsolódás a gerincvelő hátsó szarvában
- a hátsó gyökön belépő C-rostok az I. és II. laminában (substantia gelatinosa Rolandi) végződnek, az A δ rostok mélyebben is
- közvetlen vagy közvetett átkapcsolódás a felszálló pálya projekciós neuronjaira
- ezek egy része csak nociceptív, más részén alacsony küszöbű receptorok rostjai is konvergálnak
- a zsigerek nociceptorai ugyanitt végződnek – kisugárzó fájdalom

23/28

Az anterolaterális rendszer II.

- a projekciós neuronok axonjai zömmel átkeresztesződnek – ellenoldali anterolaterális pálya
- a nociceptív pályáknak több összetevője van:
 - paleospinotalamikus pálya a thalamusz intralamináris magjaihoz – lokalizáció rossz, ébresztés, affektív és vegetatív válaszok
 - neospinotalamikus pálya a specifikus thalamusz magokhoz – bilaterális, finomabb lokalizációt adó vetület
 - a spinoretikuláris pálya a FR-ben átkapcsolódva éri el a thalamuszt – ez a legősibb
 - a spinomezencefalikus a PAG-ban és más középagyi struktúrákban végződik – hipotalamusz – limbikus rendszer
- kollaterálisok az arousal rendszer struktúráihoz

24/28

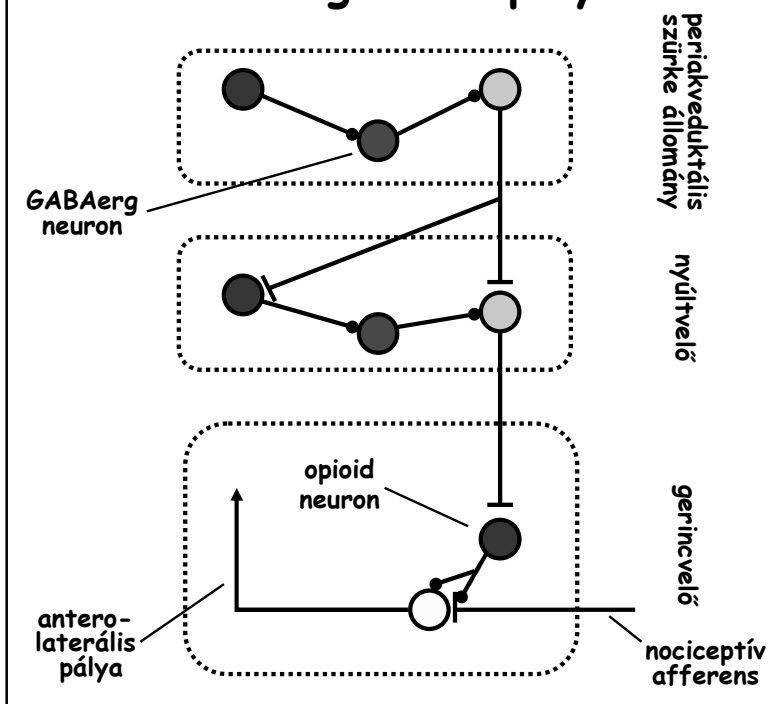
Analgetikus hatások I.

25/28

- a nociceptív információ bejutása erős leszálló kontroll alatt áll
- a PAG-ból NA és 5-HT pályák futnak a gerincvelőbe - analgetikus pálya
- ezek opioid neuronokon végződve pre-, valamint posztszinaptikus úton gátolják az anterolaterális pálya projekciós neuronjainak ingerületbe kerülését
- az analgetikus pálya neuronjait GABAerg interneuronok, azokat opioid sejtek gátolják
- az opioidok a középagy szintjén gátlástalanítják az analgetikus pályát, a gerincvelőben közvetlenül hatnak GR
- az ópium - mákgubó tejnedvéből kivont alkaloid keverék, a morfin a legfontosabb hatóanyaga

Az analgetikus pálya

26/28



Analgetikus hatások II.

27/28

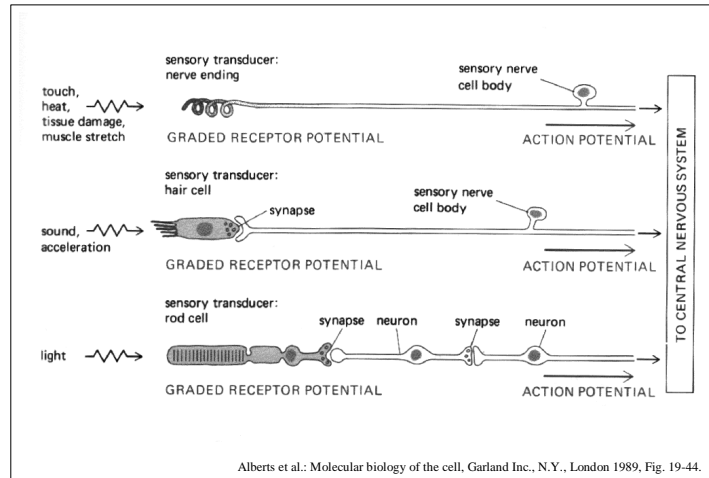
- a morfinnak μ -, δ -, és κ -receptorai vannak
- ebből kiindulva találták meg a természetes ligandokat: enkefalinok, endorfinok, dinorfin
- minden analgetikus pályában ott vannak az opioidok, posztszinaptikusan a receptorok
- stressz alatti analgéziában (sportsérülések) a proopiomelanokortin, és az ebből keletkező endorfin-enkefalin szerepel
- a nociceptív receptorok poliszinaptikus flexor reflexet váltanak ki (gátolható - lásd vérvétel)
- zsigerek esetén izomvédekezés- diagnosztika
- fájdalmat nem okozó ingerület is kiválthat reakciót - alvás alatti mozgás az azonos testtartás miatt (elgémberedés, elmacskásodás)
- vegetatív reflexek: szimpatikus izgalom, vérnyomás növekedés - mély fájdalom (csont, here) esetén csökkenés - ájulás

A fájdalomérzés specialitásai

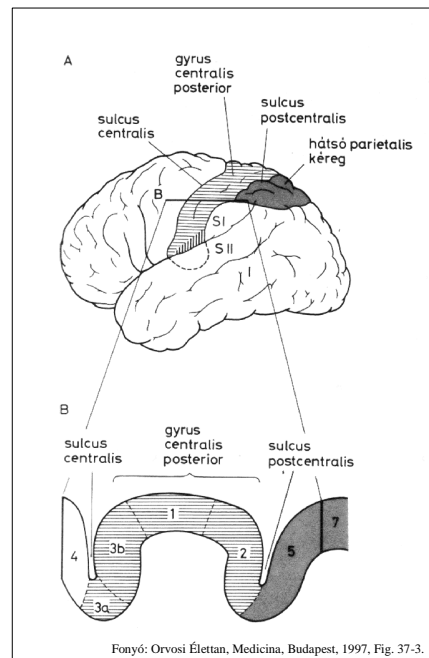
- centrális fájdalom: a fel-, és leszálló pályák sérülése esetén alakulhat ki - tabes dorsalis, amputáció utáni fantom fájdalom, stb.
- a veleszületett fájdalomérzethiány igen súlyos állapot - nem érzi a sérüléseket, nincs averzív tanulás - a legnagyobb gond a mozgásszerveknél
- a fájdalom enyhíthető a szomszédos területek simogatásával - kapu-elmélet - nem igazolták kísérletesen, de van benne valami - lehet, hogy közvetett hatás az analgetikus pályákon át
- a viszketés rokon a fájdalommal, C rostok közvetítik, de vakarózási reflexet vált ki
- legjobban kémiai anyagokkal (pl. hisztamin, proteolitikus enzimek) váltható ki, mechanizmus ismeretlen

28/28

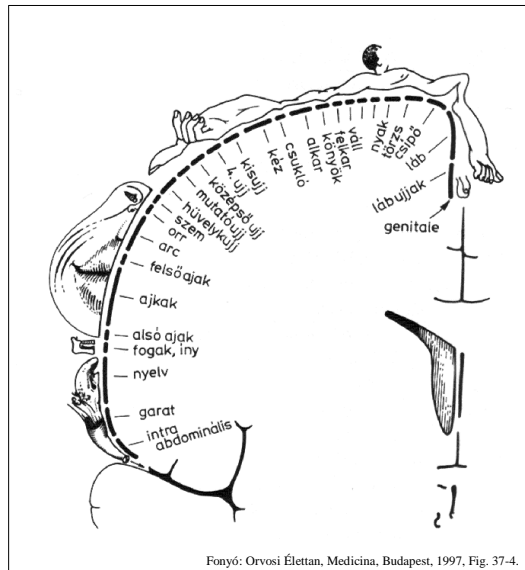
Az inger továbbítása



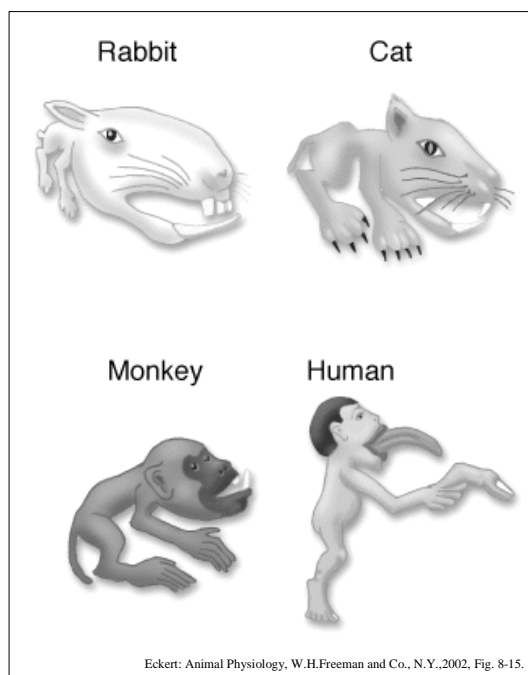
Szomatoszenzoros érző mezők



A szomatoszenzoros topográfia



"Homonkuluszok"



A fájdalom leszálló gátlása

