

Mozgató működés

Propriocepció és mozgás

- a szomatoszenzoros receptorok között említett proprioceptorok ingerülete zömmel nem tudatosul
- az izmok megnyúlását és az inak feszességét érzékelik és részben reflexeket indítanak, részben a mozgásszabályozás számára szolgáltatnak információkat
- ide tartoznak még az ízületek hajlásszögét érzékelő ízületi receptorok
- szintén a mozgásszabályozásnak jeleznek vissza
- ezért tárgyaljuk ezeket a receptorokat a mozgásszabályozással együtt

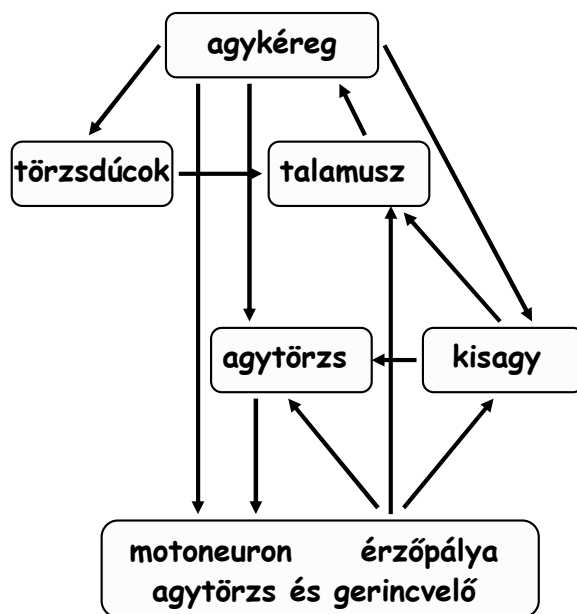
A végső közös út

- az idegrendszer kimenete a szomatomotoros és a viszceromotoros rendszeren keresztül valósul meg
- a szomatomotoros rendszerben a végső közös út a gerincvelő mellső szarvában lévő mozgatóneuron és az agytörzsi agyidegmagvak sejtjei
- a viszceromotorosban a gerincvelő laterális szarvában lévő motoneuron és az agytörzsi motoros vegetatív magvak
- a végső közös út (Sherrington) azt jelenti, hogy a végrehajtó szerveket csak a motoneuronon keresztül lehet elérni, minden integráció itt, vagy ennél magasabb szinten valósul meg
- a szomatomotoros rendszerben a rostok közvetlenül érik el az izmokat, a viszceromotorosban átkapcsolódva jutnak el a szívizomhoz, a simaizmokhoz és mirigyekhez



A hierarchikus felépítés

- azokat a területeket soroljuk a mozgató rendszerhez, amelyek ingerlése mozgást vált ki
- ugyanakkor ezek a területek szomatoszenzoros bemeneteket is kapnak, ezért szenzomotoros területekről, ill. rendszerről is szokás beszélni
- a szabályozás több szinten valósul meg - egyre magasabbra haladva egyre bonyolultabb mozgások irányítása történik, de ezeket a leszálló hatások is befolyásolják
- az agykéreg közvetlenül is képes a gerincvelői és agytörzsi motoneuronokra hatni, azonban közvetett úton, az agytörzsi szinteken át is hat
- emellett az útvonal mellett a kisagy és a törzsdúcok is hatnak a mozgásszabályozásra az agytörzs és a kéreg befolyásolásával
- a mozgatórendszerre minden szinten jellemző a szomatotópia

A mozgatórendszer felépítése



Az izomorsó

- az izomorsó a munkaizomat rostjai között párhuzamos elrendezésben elhelyezkedő módosult izomrostokból áll
- hossza kb. 4-10 mm, tokba van zárva
- a benne lévő intrafuzális rostok középső része érzékelő funkcióra módosult, végei összhúzókönyvek 
- van magzsák és maglánc receptor, előbbi lehet statikus és dinamikus
- a rostok középső részére idegrostok tekerednek spirális alakban - annulospirális receptornak is nevezik
- a primer végződéseket egy Ia afferens rost ágai képzik, mindhárom receptorféleséget ellátva
- a szekunder végződéseket egy II típusú rost ágai adják a statikus magzsák-, és a maglánc receptorokon 


Az izomorsó működése

- ha az extrafuzális (munkaizom) rostok összehúzódnak, az intrafuzálisak ellazulnak
- ha passzívan megnyúlnak, akkor ezek is megnyúlnak - ilyenkor a végződés mechanikusan ingerlődnek
- tartós megfeszüléskor a dinamikus magzsákreceptor végei elasztikusan "utánaengednek" a megnyúlásnak, és az ingerület megszűnik
- a munkaizomrostokat $A\alpha$ rostok, az intrafuzálisakat $A\gamma$ rostok idegzik be - együtt aktiválódnak, így a receptor érzékenysége állandóan megmarad
- korábban szervomechanizmust tétéleztek fel

Az ínorsó

- az ínorsók sorosan vannak kapcsolva az izmokkal
- kb. 1 mm, tokba zárt képletek
- az ín kollagén rostjai folytatódnak az izomban, merőlegesen Ib afferensek, melynek ágai átbújnak a rostok között, illetve rájuk tekerednek
- feszülésre deformálódnak - ingerület
- az izom aktív feszüléséről és passzív nyújtásáról egyaránt informálnak, de előbbire érzékenyebbek
- az ínban kialakuló erőről szolgáltatnak információt


A gerincvelői reflexek I.


- a mozgásszabályozás hierarchiájának legalsó szintjét a gerincvelőben záródó reflexek jelentik
- a miotatikus reflex monoszínaptikus: izomorsó afferensei ugyanazon izom motoneuronjain végződnek - saját (proprio) reflex
- az izom(orsó) nyújtására reflexes összehúzódás
- patella reflex, Achilles ín reflex, stb. főleg extenzorokban, de bicepszben is
- az Ia afferens kollaterálisa gátló interneuronon át az antagonistát gátolja- a reciprok innerváció jellemző a gerincvelőre - az együttes kontrakció mindig magasabb szinten szerveződik 
- van fázikus és tónusos miotatikus reflex, utóbbiban másodlagos végzések is szerepelnek
- tesztelésnek diagnosztikus jelentősége van: motoneuron excitabilitás - vizsgálható direkt ingerléssel is: H (Hoffman) reflex

A gerincvelői reflexek II.

- antigravitációs funkció, ezért főleg az extenzorokban, de lajhárban a hajlítókban kifejezettebb
- jellemző a divergencia és konvergencia az agonista izmok tekintetében - de: szegmentális marad
- az izomtónus (passzív mozgatóval szembeni ellenállás) ezen reflexnek köszönhető: a motoros egységek egy része állandóan kissé feszített állapotban van
- a miotatikus reflexet és így az izomtónust is leszálló hatások módosítják a motoneuron érzékenységének beállításával (pl. REM)
- az Ia afferens kollaterálisa a Clarke-oszlop sejtjein végződik: spinocerebelláris pályá

A gerincvelői reflexek III.

- a fordított miotatikus reflex az ínorsóból indul
- a befutó rostok gátló interneuronon át az agonista motoneuront, serkentő interneuronokon át az antagonistát érik el
- elsődleges funkció az izom és ín védelme
- kiegészíti a miotatikus hatását is: ín feszülése csökken - kisebb gátlás - összehúzódás 

- a flexor reflex a nociceptorokból indul (exteroceptív), funkciója a végtag eltávolítása a károsító inger közeléből
- poliszinaptikus, a flexor izmok feszítésén túl kereszttezett extenzor reflexet is kivált
- interszegmentális, sok izomcsoport részt vehet benne 

Motoros sztereotípiák

- a gerincvelő egyszerű motoros sztereotípiákat is képes szervezni - ezek interszegmentálisak
- a vakaródzási reflex ritmikusan alternáló mozgásokból áll, a frekvencia független az inger nagyságától, csak a vakaródzás hossza változik
- jellemző az utóleadás (reverberáló körök)
- központi ritmusgenerátor hozza létre a proprioceptorok visszajelzése nélkül - alapja a kölcsönös gátlás, az adaptáció és a rebound (visszacsapás)

- hasonló a járás központi szervezése, de a proprioceptorok visszajelzése és a leszálló hatások a frekvenciát is befolyásolják (járs, ügetés, galopp, vágta)

A gerincvelői szerveződés I.

- a motoneuronok elhelyezkedése szomatotópiát követ
- proximális izmok motoneuronjai mediálisan, disztálisaké laterálisan vannak
- a törzs középvonalában elhelyezkedő izmok (axiális izmok) így a legmediálisabb motoneuronokhoz tartoznak
- ezek mindkét oldal interneuronjaiból kapnak bemenetet - bilaterális szabályozás - testtartás
- extenzorok ventrálisan, flexorok dorzálisan
- egy-egy izom motoneuronjai 1-4 szegmensre terjednek ki - motoneuron pool
- ezen belül 1 motoneuron által beidegzett rostok: motoros egység - 10 (szem), 100 (kéz), 2000 (láb) rost lehet benne
- egy motoros egységben egyfajta izomrost

Izomrost típusok (ismétlés)

- **tónusos rostok**
 - kétéltű, hüllő, madár testtartás
 - emlős izomorsó és extraokuláris izmok
 - nincs AP, sok-sok szinapszis
 - lassú kontrakció - hatékony izometriás feszülés
- **lassú rángás típusú rostok (I. típus)**
 - emlős testtartás
 - lassú kontrakció, lassú fáradás - sok mioglobin (vörös izom), sok mitokondrium, jó vérellátás
- **gyors rángás típusú oxidatív rostok (IIa. típus)**
 - vadon élő madarak mellizmai
 - gyors, de lassan fárad - sok mioglobin, stb. - ez is vörös
- **gyors rángás típusú glikolitikus rostok (IIb. típus)**
 - igen gyors, gyorsan fárad - fehér izom
 - baromfi mellizom

A gerincvelői szerveződés II.

- egy-egy reflex csak a motoros egységek egy részét aktiválja - frakcionálási elv
- a reflexek és az akaratlagos mozgások ezért gradálhatók, egyre több motoros egység lép be - toborzás, vagy recruitment
- a belépés a méret elvet követi - először a kicsi egységek aktiválódnak - motoneuronok mérete, EPSPk hatása miatt
- a legnagyobbak gyors glikolitikusak (fehér izom), csak ha nagyon szükséges, akkor aktiválódnak
- a recruitment mellett a frekvencia is nő - akaratlagos mozgás során 8-25 Hz - inkomplett tetanusz, de aszinkron a motoros egységekben

A gátló interneuronok

- három fajta gátló interneuron idegzi be az α -motoneuronokat: Ia, Ib és Renshaw
 - az Ia az antagonist izom izomorsójából kap bemenetet (innen a neve), de az antagonist motoneuront serkentő leszálló rostok is aktiválják
 - kap leszálló gátló bemenetet is - reciprocitás felfüggesztése - „oszlop” funkció
 - az Ib a Golgi-féle ínorsóból kap bemenetet, de leszálló pályák, bőr és ízületi receptorok is hatnak rá - csökkenti a kontrakció erejét: simogatózás, tapintás
 - a Renshaw-sejteket az α -motoneuron visszakanyarodó kollaterálisa serkenti - feedback gátlás
 - leszálló serkentő és gátló pályák szabályozzák érzékenységét

A testtartás agytörzsi reflexei

- a neuraxis sérülései jellegzetesen változtatják az antigravitációs izmok tónusát - Sherrington: ezen izmok tónusa reflexes eredetű
- a leszálló hatások módosítják: egy láb felemelése, többi tónusfokozódása
- átmetszés a n.ruber és a Deiters mag között - decerebrációs rigiditás négy lábúakban
- a reflexív megszakítása megszünteti
- a Deiters mag (tr. vestibulospinalis lat.) és a hídi FR (tr. reticulospinalis med.) erőteljesen fokozza az extenzor tónust
- gátló hatások:
 - kisagy
 - négy lábúakban a n. ruberből induló tr. rubrospinalis
 - főemlősökben ez csak a nyaki szegmentumokig hat, az agykéreg fontosabb
 - nyúltvelői FR - tr. reticulospinalis lat.

Az akaratlagos mozgások I.

- az izomtónus szabályozás adja a hátteret az akaratlagos mozgások kivitelezéséhez is
- a tónus megfelelő átrendeződése szükséges a megfelelő testtartás megtartásához változó körülmények, és a sztereotíp mozgások kivitelezése közben
- a mozgásokra jellemző, hogy tanulás és gyakorlás során automatikussá válnak - kisbaba járni tanul, sportok, stb.
- Fritsch és Hitzig 1870: agykéreg egyes pontjainak ingerlése kutyában mozgást vált ki
- az agykérgi mozgatóműködés szervezéséről 5 forrásból nyertek adatokat:
 - ingerléses kísérletek (Penfield emberen)
 - agykérgi sérülések elemzése
 - egysejt regisztrálás majmokban
 - imaging, pl. PET
 - morfológiai elemzések



Az akaratlagos mozgások II.

- az akaratlagos mozgások irányításáról mindezek alapján tudjuk, hogy milyen területek sérülése teszi lehetetlenné, és hogy hol jelentkezik először aktivitás növekedés - szerveződés nem ismert
- primer motoros area: Br.4. - gyrus precentralis
- szomatotópia az érző területhez hasonlóan: láb mediálisan, a terület mérete a mozgások finomságával arányos *SC*
- nem primer motoros kéreg, vagy premotor area: Br.6. - a primer előtt van
- két része: szuplementer motoros area és a premotor kéreg
- a mozgás előkészítésvel (premotor), eltervezésével (szuplementer) foglalkoznak: elektromos és vérátáramlás változás a mozgás előtt, ill. a mozgás elképzelésére


Az akaratlagos mozgások III.

- a legfontosabb mozgatópálya a kortikospinális, vagy piramis pálya
- legnagyobb részt Br.4. és 6.-ból, de egyéb kéregterületekről is
- átkereszteződés után a nyúltvelői piramisban fut (innen a neve, nem a piramissejtekről kapta)
- közvetlen végződés α -motoneuronokon és közvetett hatás interneuronokon át
- a terület bemeneteit főleg a talamusz VL magjából és a szomatoszenzoros kéregből kapja
- a VL a kisagyból és a putamenből szállít információt, ezek közvetlenül nem vetülnek
- a kapcsolat kétirányú (lásd korábban)
- az agykéreg sok területéről váltható ki mozgás, de ezekről csak nagyobb intenzitású ingerrel

A kisagy működése I.

- a motoros működések koordinációját végzi, sérülése után ez valamint az elhatározott mozgások teljesítésének képessége elvész
- elvész a mozgások tanulása és ezek rögzülése is
- több idegsejt van a kérgében, mint a nagyagy kérgében 
- moduláris szerkezet, feltárásában Szentágotthai tett sokat
- a kéregben gátló Purkinje sejtek, a mély kisagyi magvakhoz vetülnek, onnan a VL-be
- sokfajta serkentő-, és gátló interneuron
- bemenet: kúszórost (nyv. alsó oliva) és moharost (gv., agytörzsi magvak)
- többszörös szomatotópiás reprezentáció a kéregben és a mély kisagyi magvakban 


A kisagy működése II.

- három rész (kapcsolatok, törzsfajlás alapján):
 - vestibulocerebellum (archeocerebellum) - a legősibb, kaudális rész (flocculus, nodulus) 
 - közvetlen bemenet a félkörös ívjáratokból és a tömlőcske-zsákocskából
 - közvetlen kimenet a Deiters maghoz (mély kisagyi magvak tekinthető részben)
 - szemmozgások koordinációja, fej reflexes mozgásai, egyensúly megtartása
 - spinocerebellum (paleocerebellum) - a kisagy középső része (vermis, féltekék centrális, intermedier része)
 - bemenet a dorzális spinocerebelláris pályán át a szenzoros afferensekből - végbement változások információi (külső visszacsatolás), dorzális gyökér átmetszése után megszűnik
 - bemenet a ventrális spinocerebelláris pályán át a leszálló parancsokról (belső visszacsatolás), dorzális gyökér átmetszése után megmarad az aktivitás
 - ellenőrzi, hogy a mozgások a tervezettnek megfelelőek-e
 - cerebrocerebellum (neocerebellum) - féltekék laterális része
 - bemenet a n. ruberből és a kéregből a hídon át
 - kimenet: n. dentatus, talamusz, kéreg
 - mozgások elindítása, leállítás, megtanulása a szerepe (hiányában a mozgás pl. túlló a célon)

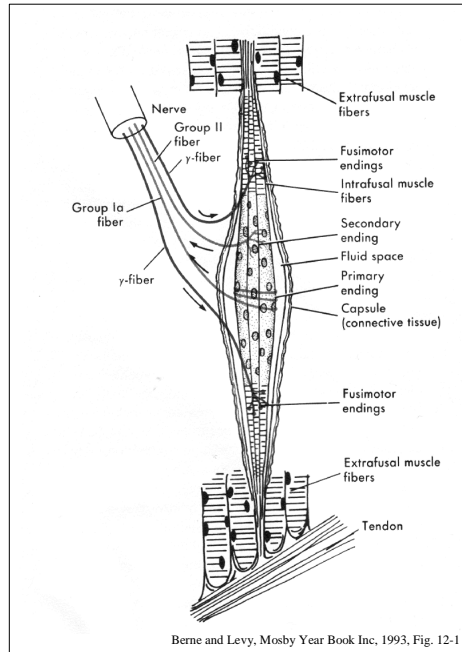
A bazális ganglionok I.

- részei: neostriatum (n. caudatus + putamen), globus pallidus v. pallidum (együtt corpus striatum, putamen+pallidum együtt lentiformis), subst. nigra (pars compacta, pars reticularis), n. subthalamicus
- a bazális ganglionok funkcióira inkább csak az egyes sejtcsoportok pusztulásával beálló kórképekből következtetünk: a mozgások és az izomtónus szabályozása a két fő feladat
- Parkinson-kór: nyugalmi tremor, mozgásszegénység (l. Awakenings) - subst. nigra pusztulása - MPTP (metil-fenil-tetrahidropiridin)
- Huntington-chorea: rángatózás, nagy akaratlan mozdulatok (chorea: tánc görögül) - a neostriatum kolinerg és GABAerg sejtjei pusztulnak - genetikai háttér ismert - korai diagnózis - etikai problémák

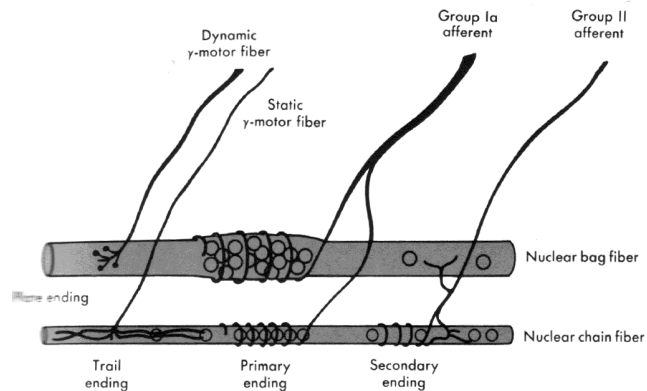
A bazális ganglionok II.

- korábban: piramidális - extrapiramidális pályák
- a bazális ganglionokból indult volna az extrapiramidális - helytelen elképzelés, már nem használatos az elnevezés
- a funkció nem pontosan ismert
- a bazális ganglionok sejtjei nem aktiválódnak a kérgi sejtek előtt, tehát a mozgás indításban nem szerepelnek
- többszörös körökön át módosítják a mozgatókéreg működését a talamusz VA, VL és CM (centre median) magjának közvetítésével 
- Parkinson-kórban a direkt pálya serkentése és az indirekt gátlása csökken - VA, VL és a kéreg serkentése csökken
- Huntington-choreában az indirekt pálya jobban érintett - VA, VL felszabadul a gátlás alól

Az izomorsó felépítése

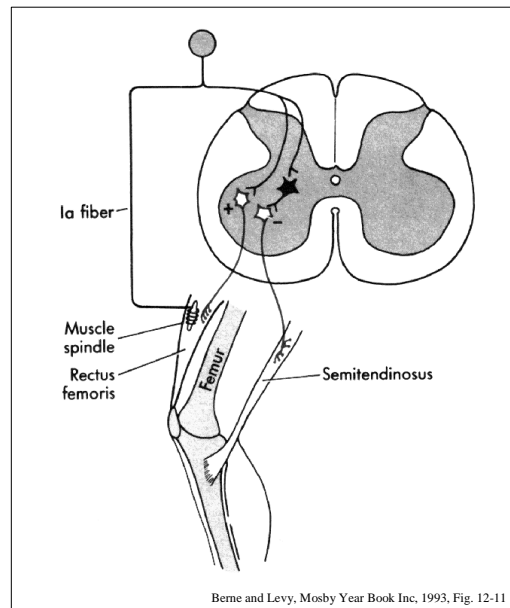


Az izomorsó afferensei

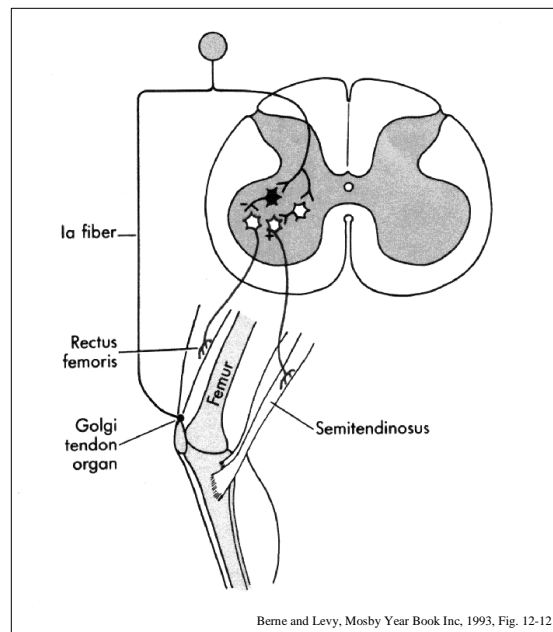


Bene and Levy, Mosby Year Book Inc, 1993, Fig. 12-2

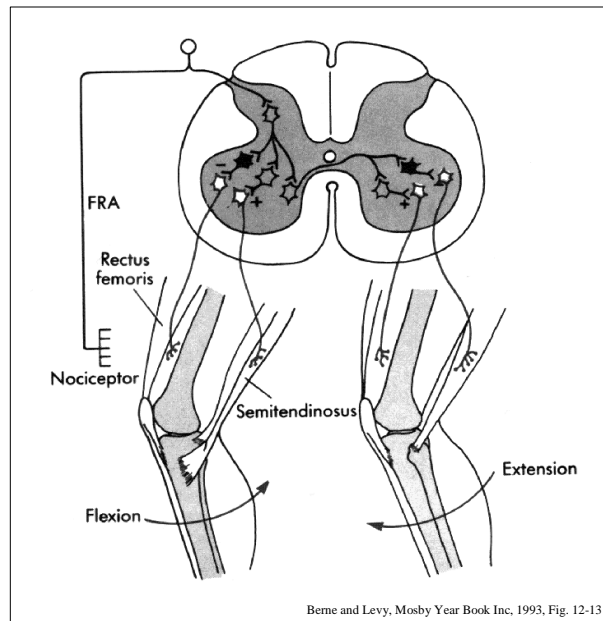
A miotatikus reflex



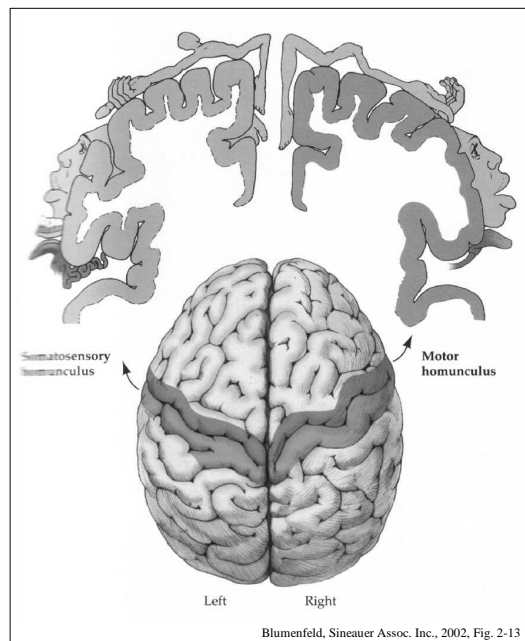
Az ínreflex



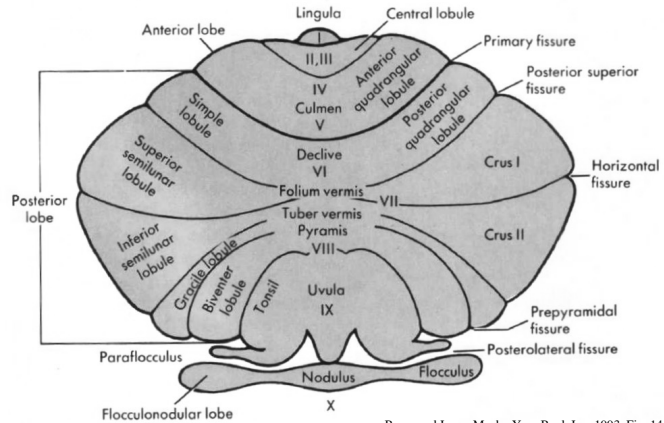
A flexor reflex



Szomatomotoros kéreg

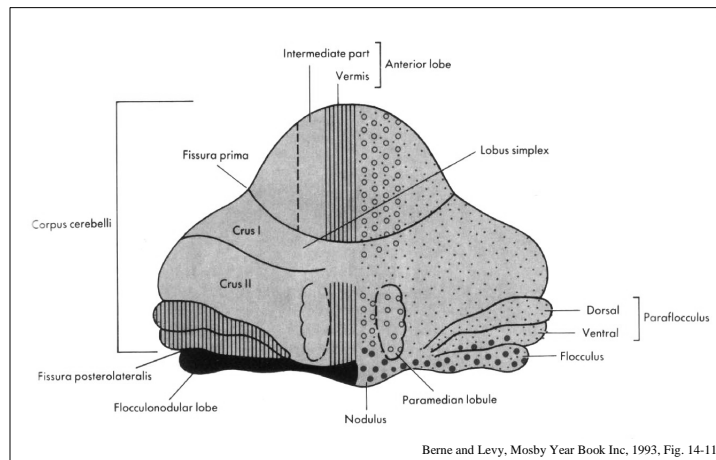


A kisagy részei



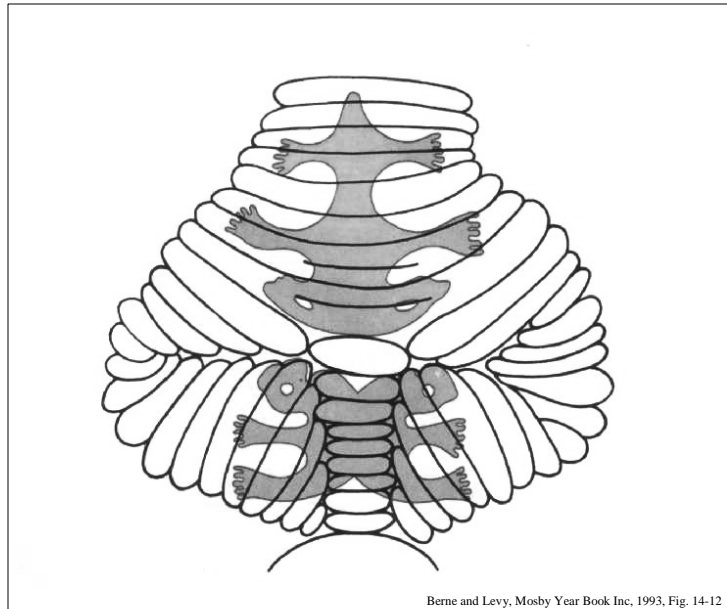
Berne and Levy, Mosby Year Book Inc, 1993, Fig. 14-9

A kisagy felosztása



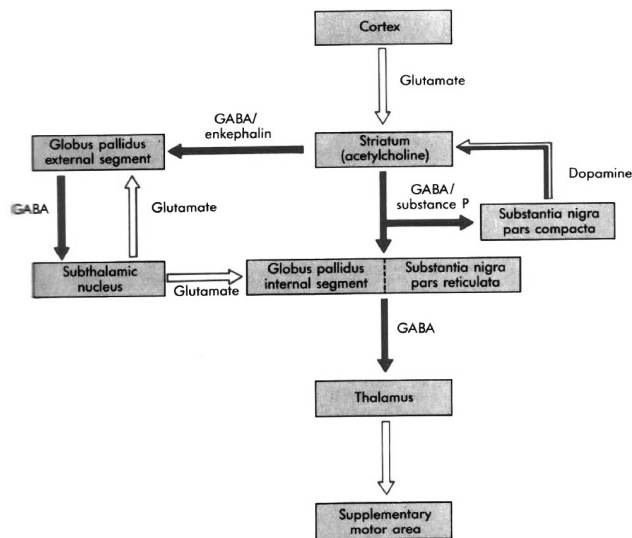
Berne and Levy, Mosby Year Book Inc, 1993, Fig. 14-11

A kisagyi szomatotópia



Berne and Levy, Mosby Year Book Inc, 1993, Fig. 14-12

A törzsdúcok kapcsolatai



Berne and Levy, Mosby Year Book Inc, 1993, Fig. 14-21