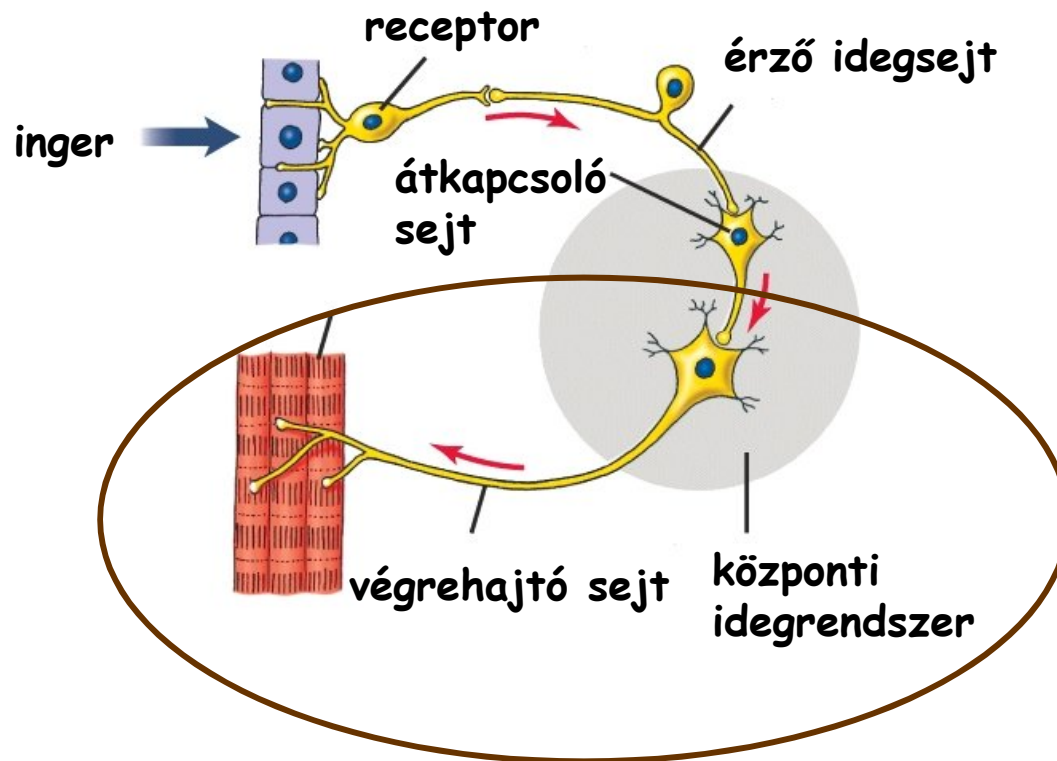


A vázizmok működése, mozgás, mozgásszabályozás



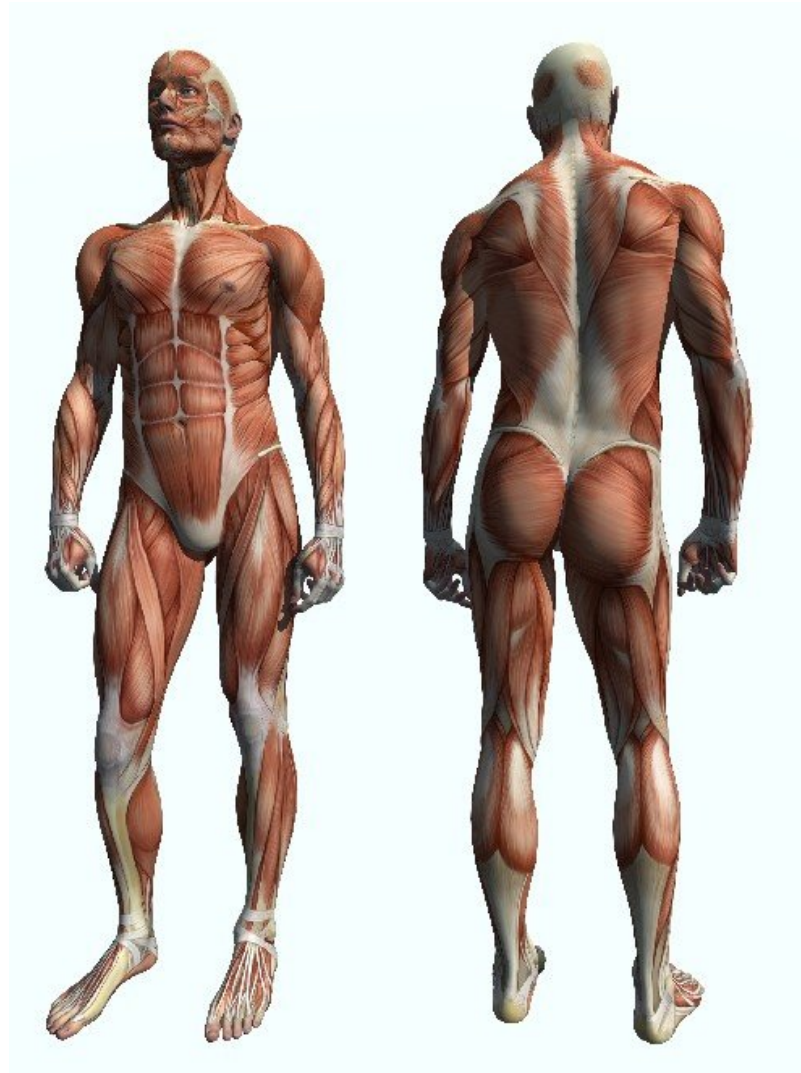
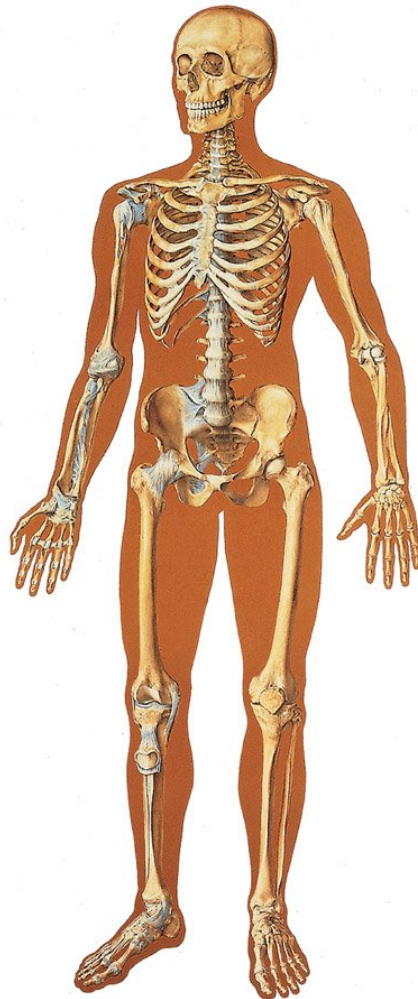
Az idegrendszer szerveződése



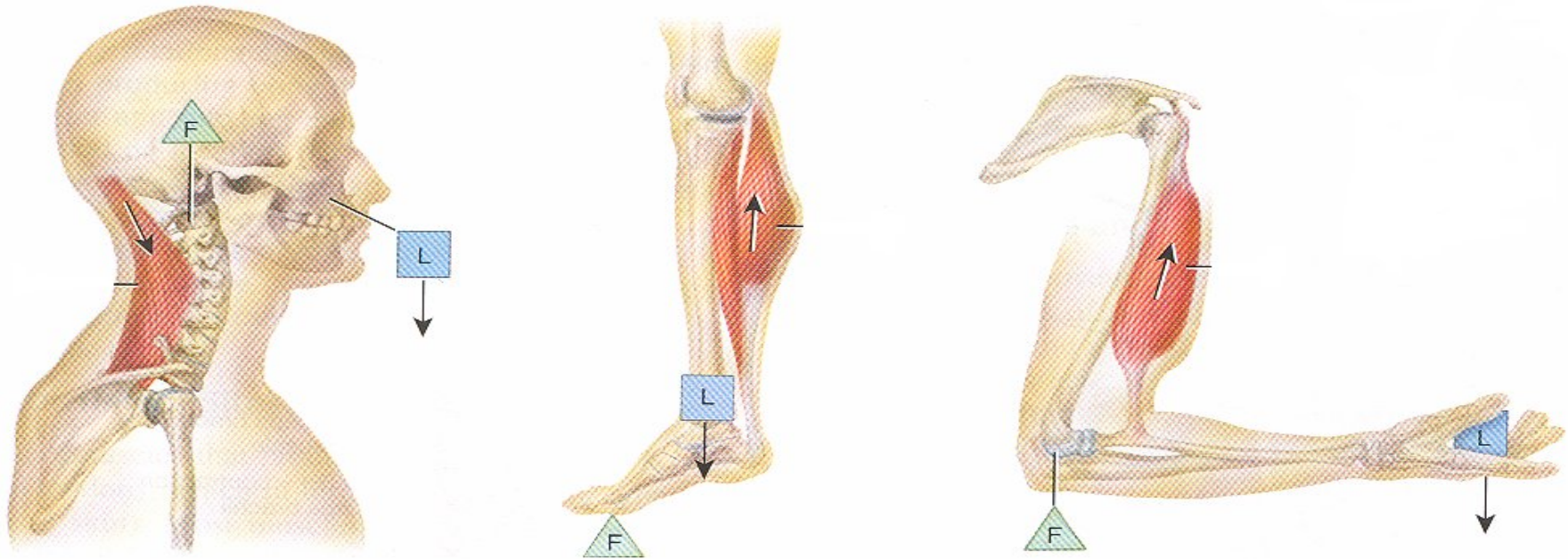
reflex ív, feltétlen reflex

Az ember csontváza és izomrendszere

- vázizomzat tömege a teljes testtömeg 40-45 %-a felnőttben
- fizikai munka (edzettség) és nem befolyásolja az izomtömeget
- mozgás aktív szerve → test vázának (a csontoknak) egymáshoz képesti elmozdítása
- legtöbb izom két különböző csonton tapad inakkal, közben áthidal egy vagy több ízületet is



Az izmok működése



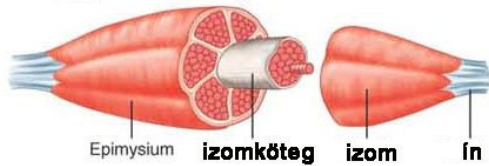
statikus munkavégzés:

- közvetlenül az izmok erejétől függ → nagyobb súly felemeléséhez vagy hordozásához nagyobb erő szükséges

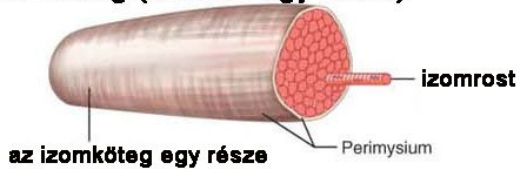
dinamikus munkavégzés:

- ❖ szintén lényeges tényező az izomerő, de bizonyos intenzitás mellett a munkavégzést a szervezet oxigénfelvevő képessége határozza meg

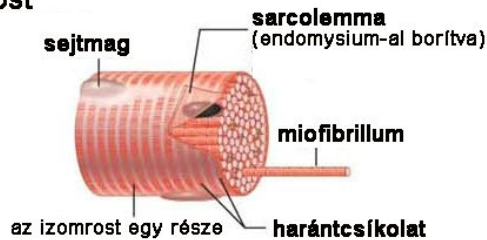
Az izom (mint szerv)



Izomköteg (az izom egy része)

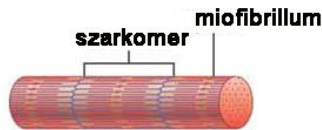


Izomrost

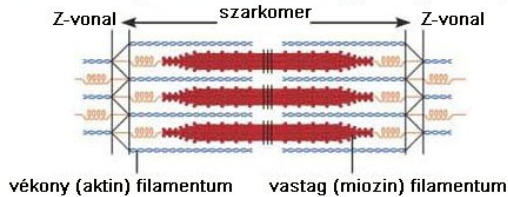


Miofibrillum

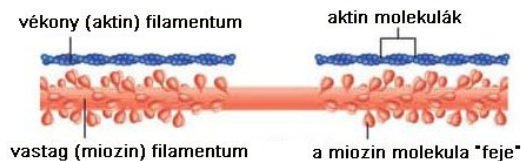
(komplex organelum, amelyet miofilamentum-kötegek alkotnak)



Szarkomer (a miofilamentum egy szegmense)



Miofilamentum



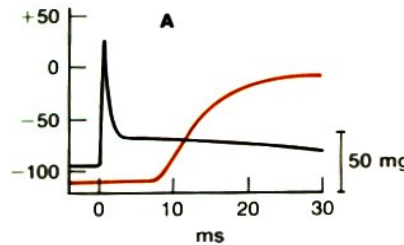
A vázizom szerkezete

A különböző izomszövetek aktivációja

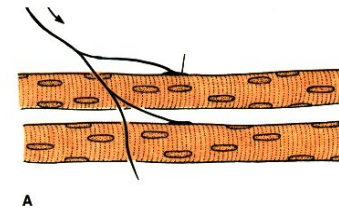
- 1) először elektromos aktiváció - akciós potenciál (fekete)
- 2) aztán adott késéssel (→ latencia) mechanikai munka (piros)

elektromos aktiváció utáni mechanikai aktiváció létrejötte → elektromechanikai csatolás

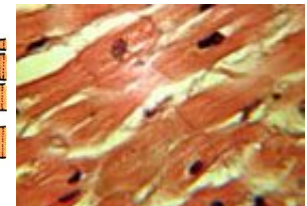
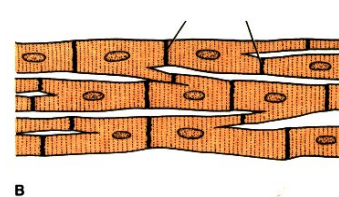
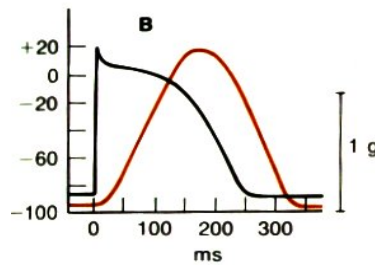
váz



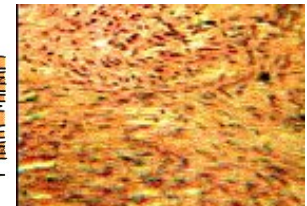
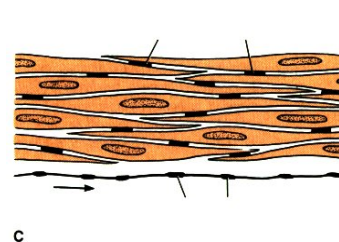
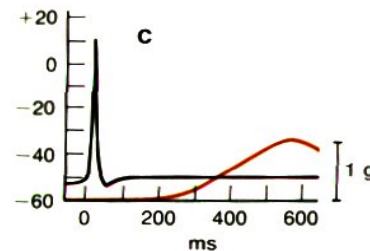
szöveti kép



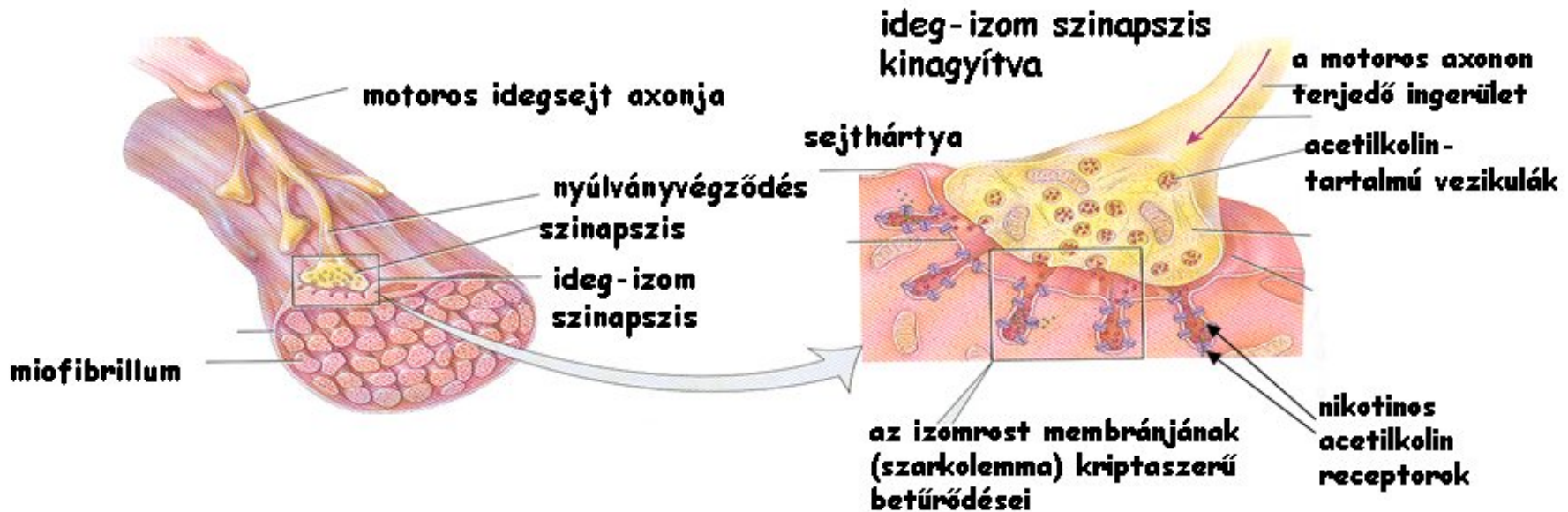
szív



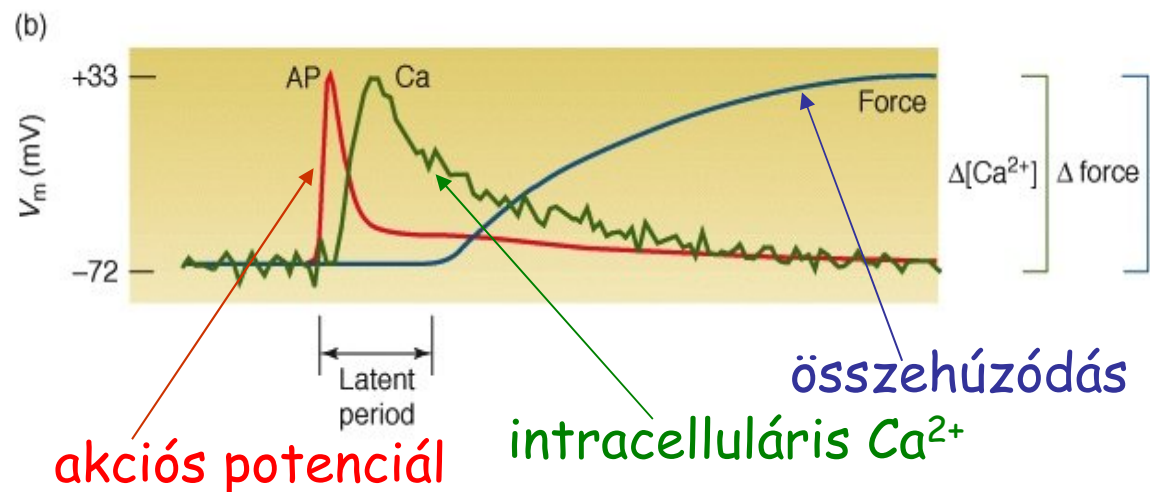
sima



A vázizom beidegzése I.



- a vázizom beidegzésének kizárólagos forrásai a motoneuronok
- a vázizom kizárólag idegi impulzusokra húzódik össze



A vázizom beidegzése II.

Motoros egység: egy motoneuron és az általa beidegzett izomrostok funkcionális egysége

motoros egységek mérete igen változatos, az adott izom mozgási funkciójának megfelelően

Kis méretű (10-20 izomrost/neuron):

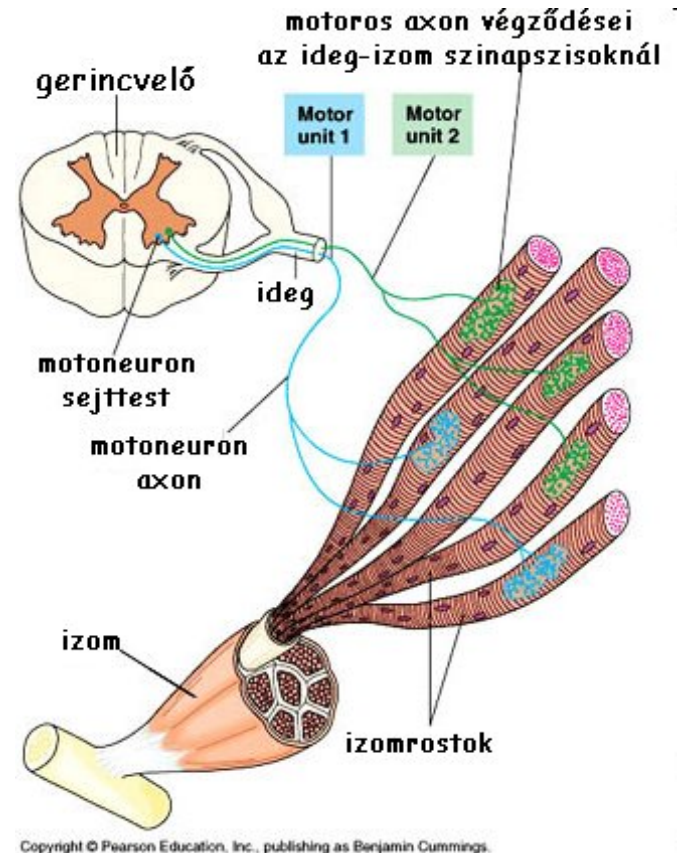
- pl. mimikai és szemmozgató izmok
- az adott izmot nagyszámú motoneuron látja el

Nagy méretű (több ezer izomrost/neuron):

- ❖ pl. a törzs axiális izomzata („durva mozgások”)
- ❖ az adott izmot kis számú motoneuron látja el

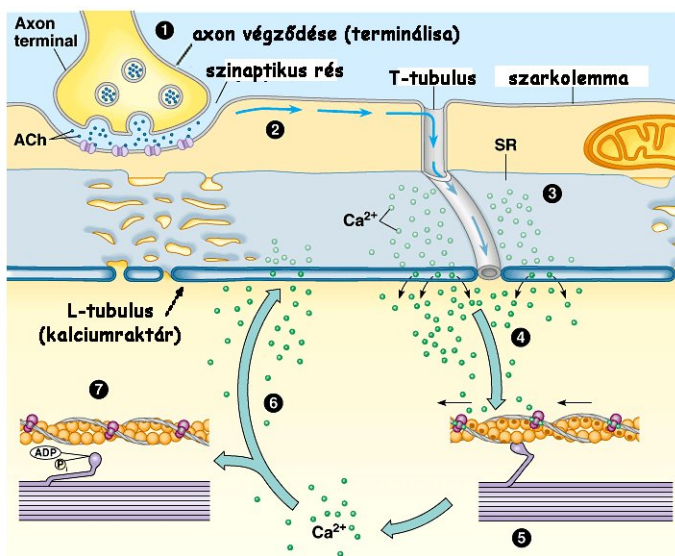
Ha nagyobb izomerő szükséges, akkor:

- motoneuronok tüzelési frekvenciája nő → izomban **kontrakció szummáció** alakul ki
- az aktív motoros egységek száma nő az adott izomban → **TOBORZÁS**

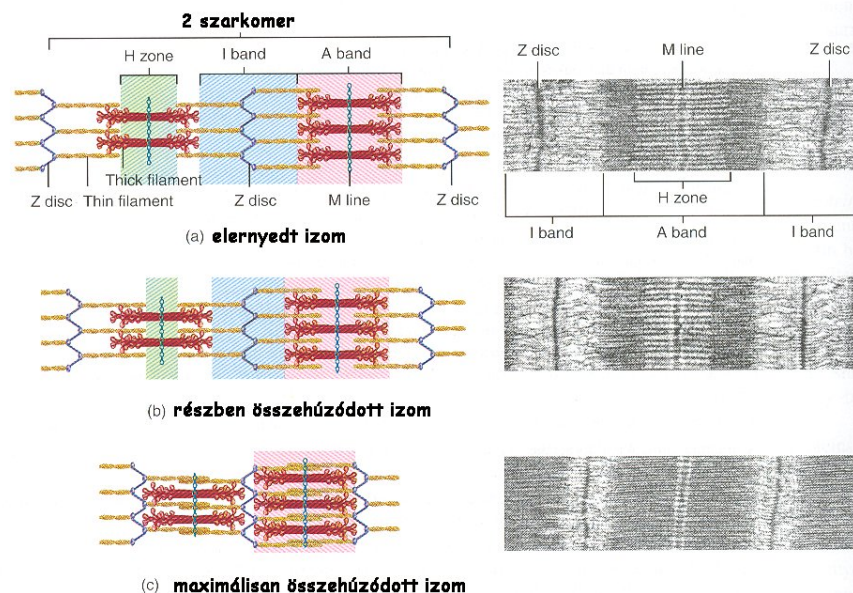


A kontrakció lépései

- 1) a motoneuron kisülése
- 2) ACh felszabadulása a véglemezen, kötődése a receptorhoz
- 3) a véglemezen Na^+ -csatornák nyílnak \rightarrow depolarizáció
- 4) a depolarizáció betérése az izomrostokba a T-tubulusokon keresztül \rightarrow dihidro-piridin (DHP)-receptorok aktiválódása („feszültségszenzorok“)
- 5) a Ca^{2+} felszabadulása a szarkoplazmatikus reticulumból a ryanodin receptorokon át (Ca^{2+} -csatornák)
- 6) Ca^{2+} diffúziója a vékony és vastag filamentumokhoz
- 7) Ca^{2+} kötődése a troponin C-hez \rightarrow aktin-miozin kötőhelyek szabaddá válnak
- 8) aktin és miozin között kereszthidak \rightarrow a vékony filamentumok kontrakciót eredményező elcsúszása a vastag filamentumokon

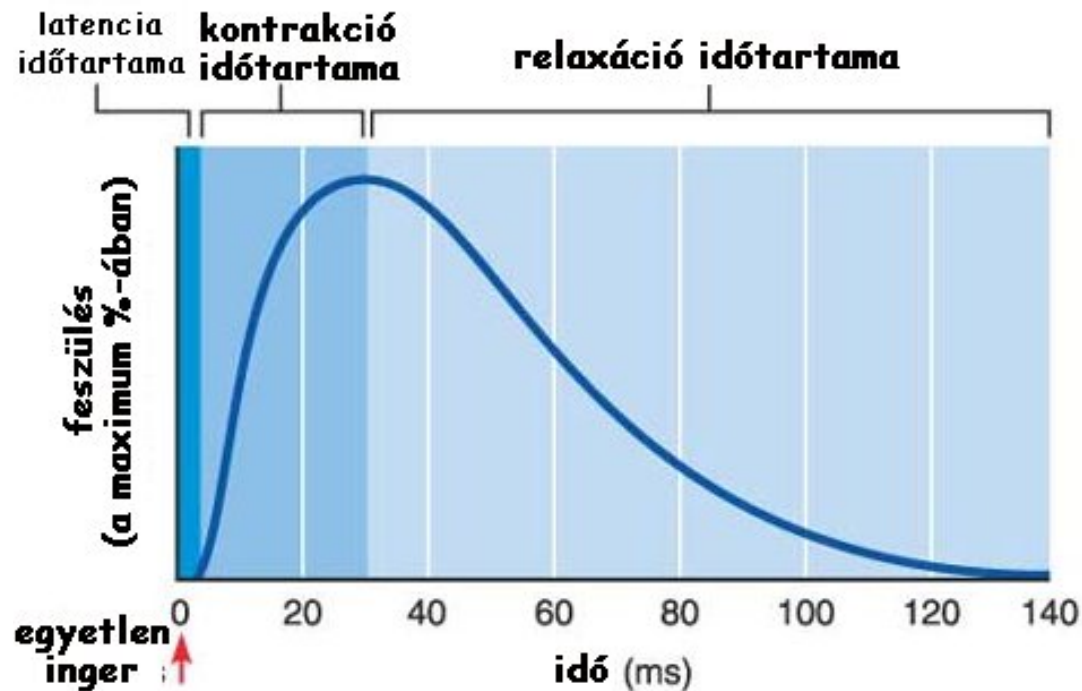


Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

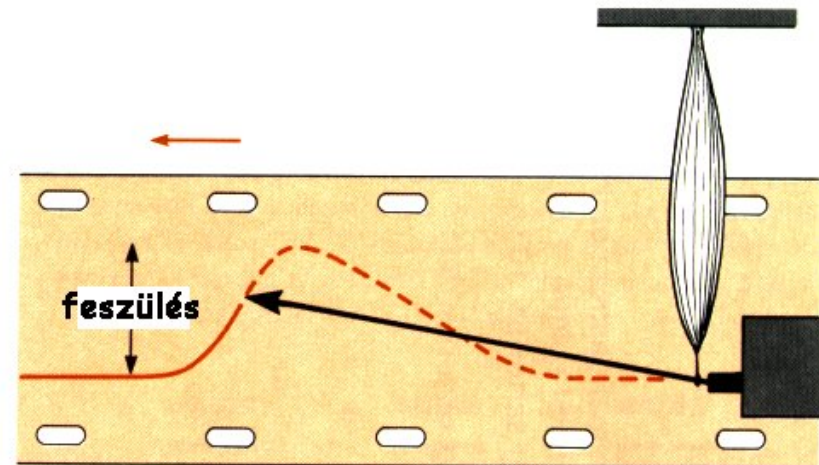
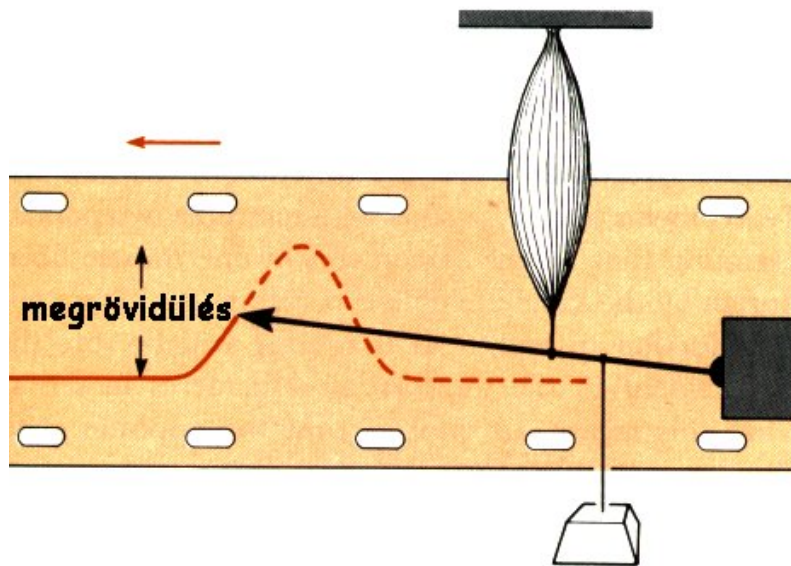


A relaxáció lépései

- a Ca^{2+} visszavétele a szarkoplazmatikus retikulumba
- a Ca^{2+} ledisszociálása a troponinról
- az aktin és a miozin közötti kölcsönhatás megszűnése
- a relaxáció időtartama 2-3-szorosa a kontrakciónak



Izomrángás típusai



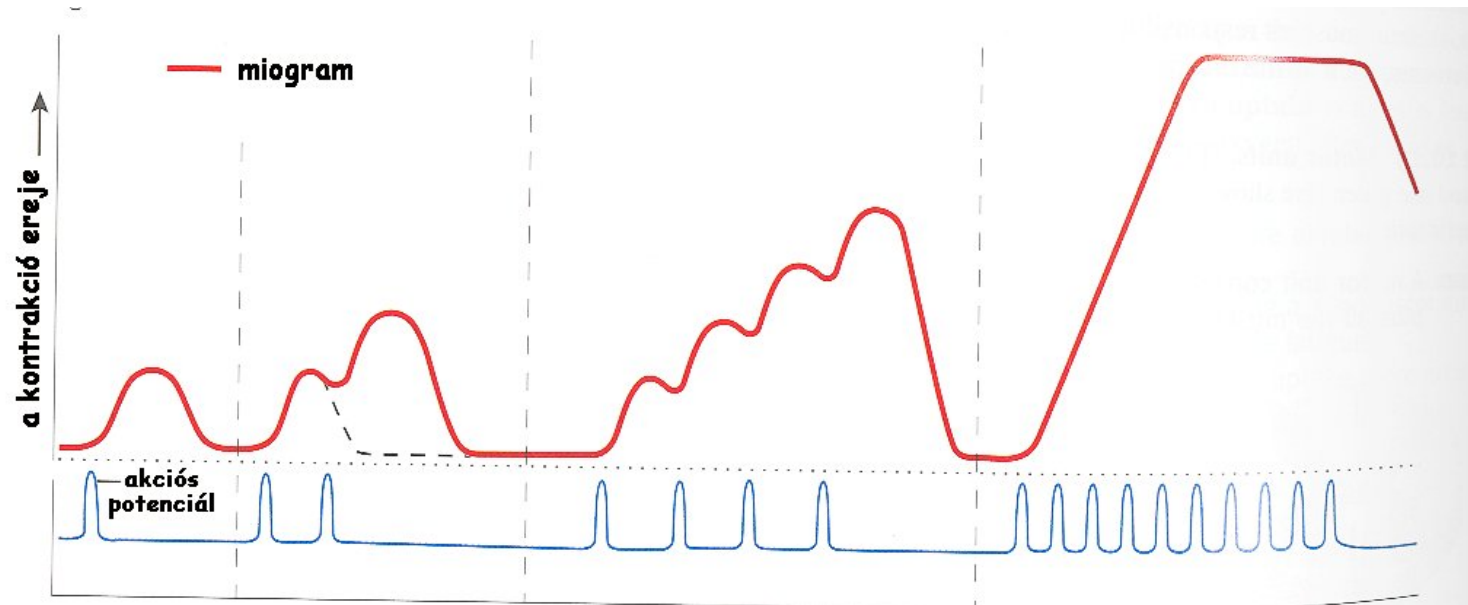
Izotóniás összehúzódás

- megrövidülésnek nincs akadálya
- változatlan feszülés mellett következnek be
- izomerő és a megrövidülési sebesség között fordított arányosság van
- külső munkavégzés is folyik
- olyankor jelentkezik, amikor az izom konstans terhelésnek van kitéve, pl. súlyemelő emeli a súlyt

Izometriás összehúzódás

- a kontrakció ereje nem elegendő a megrövidüléshez
- csak a feszülés fokozódik
- nincs mechanikai munka
- szarkomerhossz és ingerlési frekvencia függvénye

Az összehúzódások aktiválási frekvencia függése



Alapjelenségek

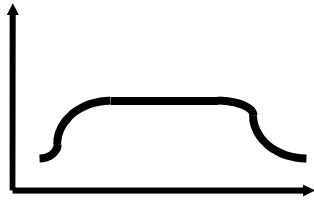
Izomrángás: egyszeri inger hatására történő összehúzódás (ingerküszöb → inger szummáció)

Kontrakció- szummáció: az előző inger által okozott kontrakciós hullám felszálló ágának megfelelő periódusban újabb ingert adunk, a kapott kontrakció amplitúdója nagyobb lesz, mint az egyetlen ingert követő kontrakcióé

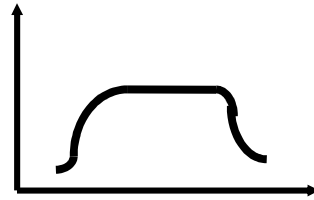
Inkomplett tetanusz: kisebb ingerlési frekvencia mellett a kontrakciós görbén kisebb-nagyobb hullámok jelzik a nem teljesen fuzionált kontrakciót (részleges relaxációk)

Komplett tetanusz: megfelelő intervallumokban alkalmazott szupramaximális inger (ingersorozat) fenntartott kontrakció-szummációt eredményez → tetanuszos összehúzódás. A kontrakciós görbe teljesen összeolvadt vonalat képez, nincsenek relaxációk.

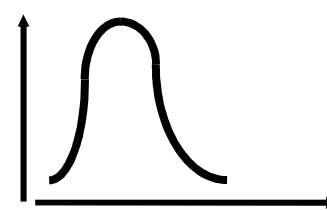
Az izomrostok fajtái



ST



FT₁



FT₂

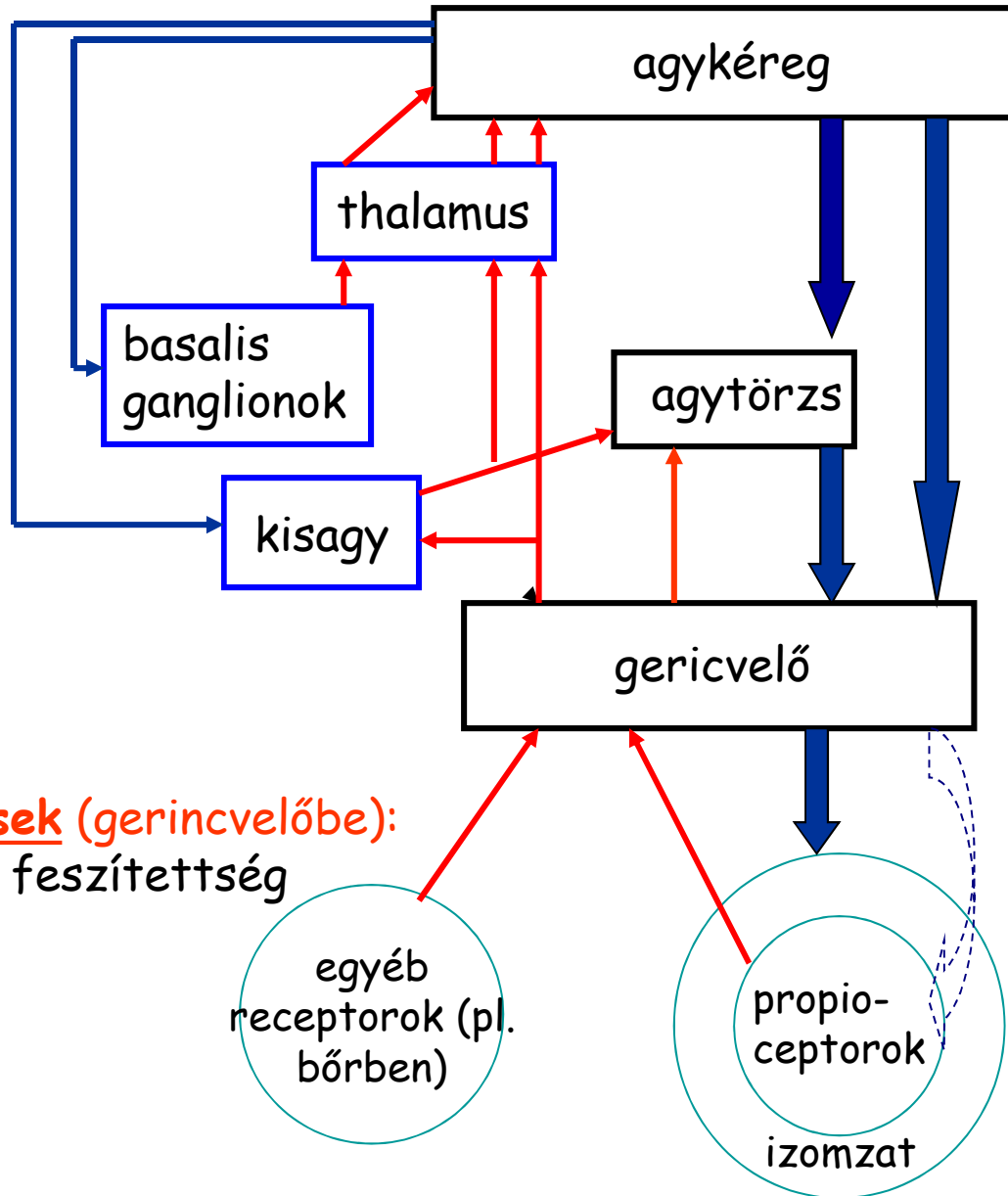
az edzés hatására történő átalakulás



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

A mozgatórendszer hierarchikus és mellérendelt szerveződése



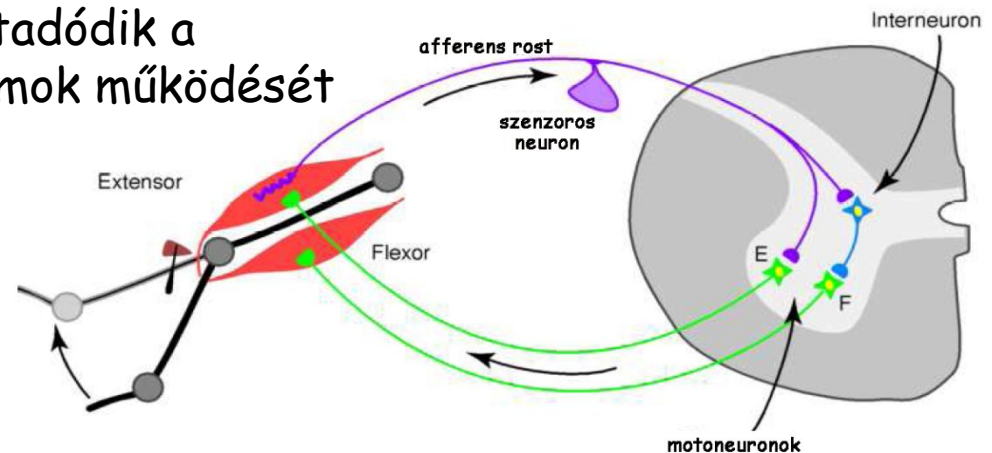
afferensek (gerincvelőbe):
Ia/IIa - feszítettség

efferensek:
A γ - izomorsó beállítása
A α - izomösszehúzó

A motorika ellenőrzése

Az ellenőrzés jellemzői

- 1) szenzoros receptort ért ingerre adott sztereotip válaszreakciók, gyakran mozgás és/vagy reflex váltódik ki
- 2) folyamatos szenzoros információra épül az izom állapotáról
- 3) az érző bemenetek (izomorsó, ínorsó stb.) aktivációja átkapcsolódás(okkal) átadódik a motoneuronra és az antagonista izmok működését gátló interneuronokra



Az ellenőrzésben részt vevő receptorok

Proprioceptorok:

- ❖ a test, illetve a testrészek helyzetéről továbbítanak információt
- ❖ izmokban, ízületekben és az egyensúlyszervben vannak
 - izom passzív feszítettségének mértéke (fázisos/statikus)
 - izom kontrakció mértéke
 - ízület helyzete (hajlásszöge)

} izomorsók
Golgi-féle ínorsók

} ízületi receptorok

Izomorsók

munkaizomrostok között, azokkal párhuzamosan, tokkal körülvett; 4-10 mm hosszúságú; módosult izomrostokból áll, középső részén nincsenek aktin és miozin filamentumok

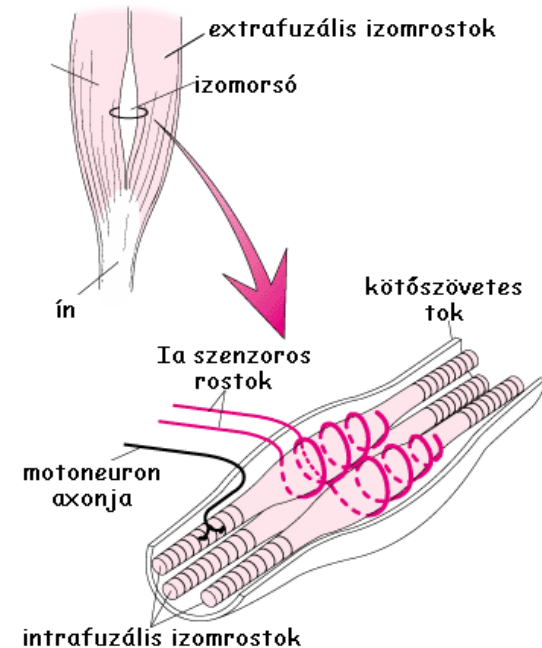
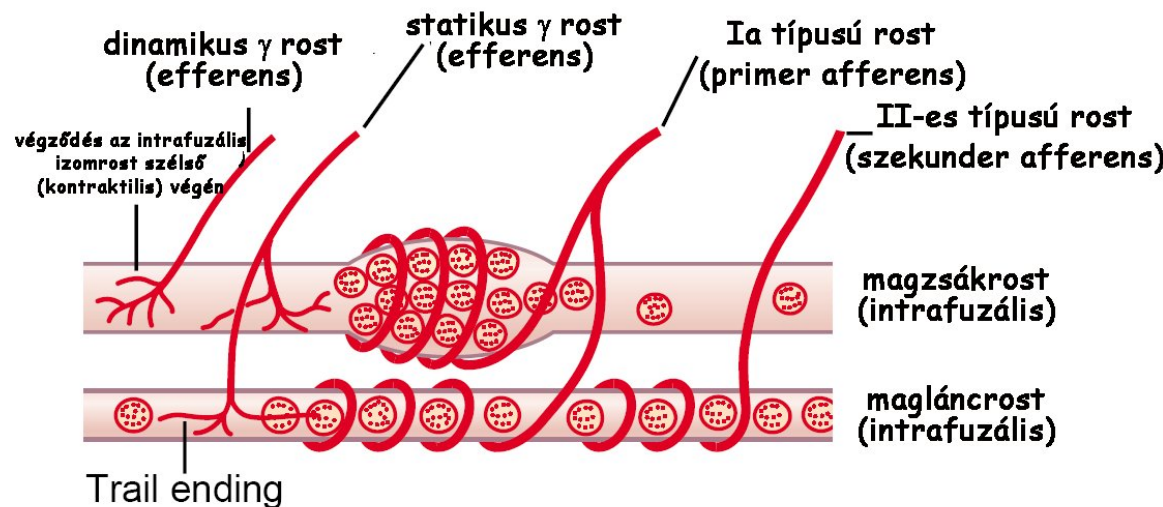
3 féle intrafuzális

- dinamikus magzsákrrost
- statikus magzsákrrost
- statikus magláncrost

II-es típusú afferens = szekunder végződés

extrafuzális rostok = munkaizomrostok

Ia afferens axon = primer végződés (rost közepén)



Az izomorsók működése I.

- ❖ izomorsók az **extrafuzális rostokkal párhuzamosan**
- ❖ extrafuzális rostok összehúzódása → izomorsók feszítettsége csökken
- ❖ intrafuzális rostok szélei össze tudnak húzódní, a középső rész csak passzívan megnyúlik (szenzoros afferensek itt végződnek)
- ❖ a szenzoros végzódések nyújtásra érzékenyek → **extrafuzális rostok passzív nyújtásakor az intrafuzális rostok is megnyúlnak** → idegvégzódések deformálódnak → mechanoszenzitív ioncsatornák megnyílnak → receptorpotenciál
- ❖ **extrafuzális rostok összehúzódnak** → **intrafuzális rostok ellazulnak** (=izomorsó feszítettsége csökken) → receptorpotenciál nem alakul ki
- ❖ **extrafuzális rostok tartós feszülése** → intrafuzális rostok is megfeszülnek → dinamikus magzsákreceptor rostjai „utánaengednek” a megnyúlásnak → megszűnik az ingerület

Az izomorsók működése II.

γ -efferensek: intrafuzális izomrostok kontraktilis szélső szakaszán



intrafuzális rostok széleinek összehúzódását váltják ki

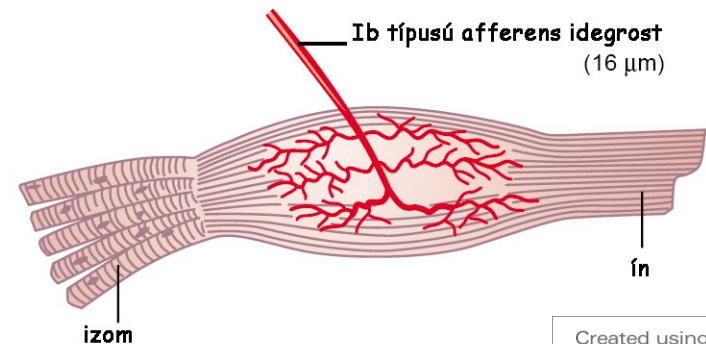


beállítják az izomorsó nyújtással szembeni érzékenységét

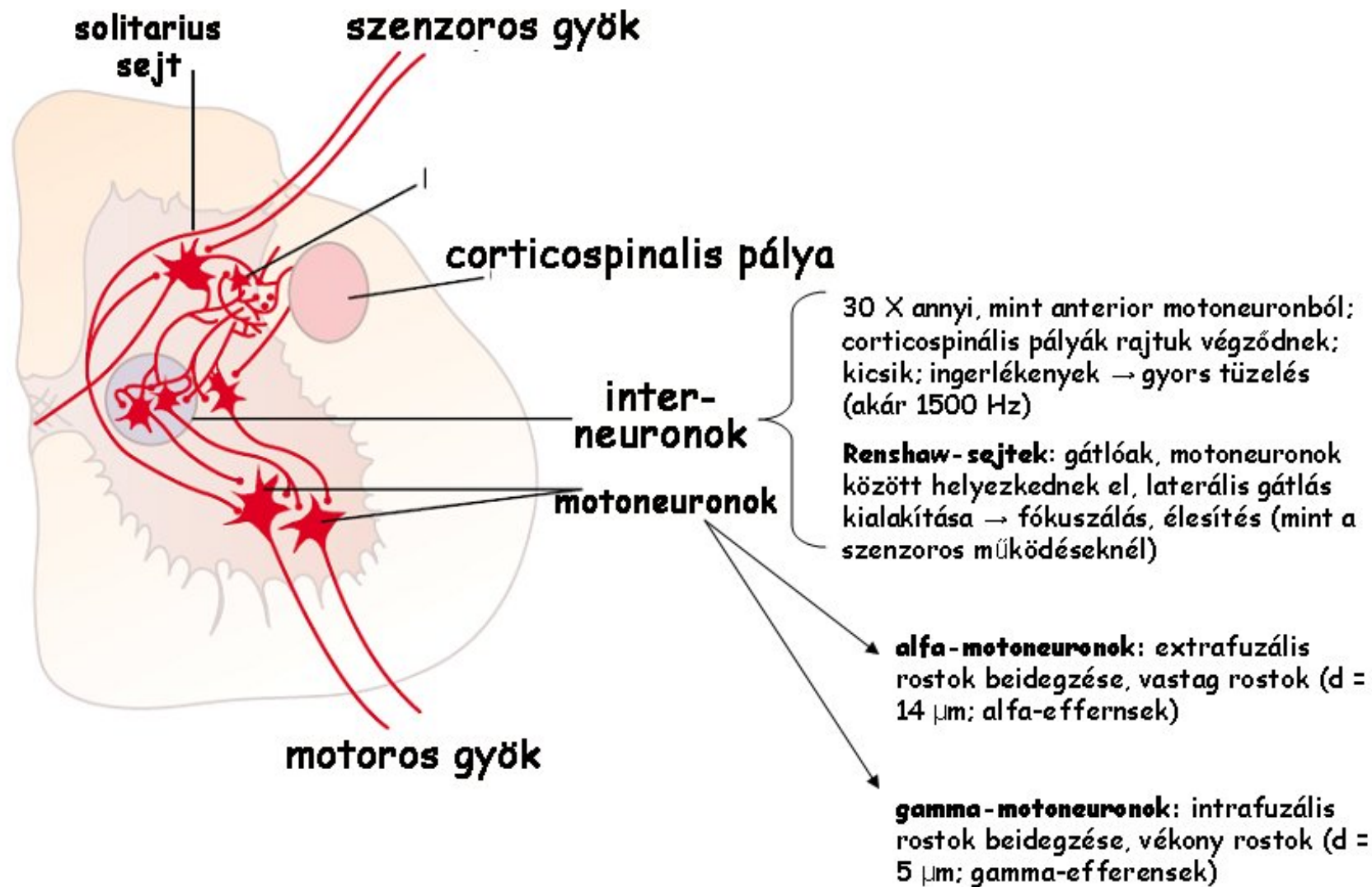
akaratlagos izomműködés: a kivitelező alfa-motoneuronokkal egyszerre aktiválódnak a gamma-motoneuronok is

Golgi-féle ínorsók

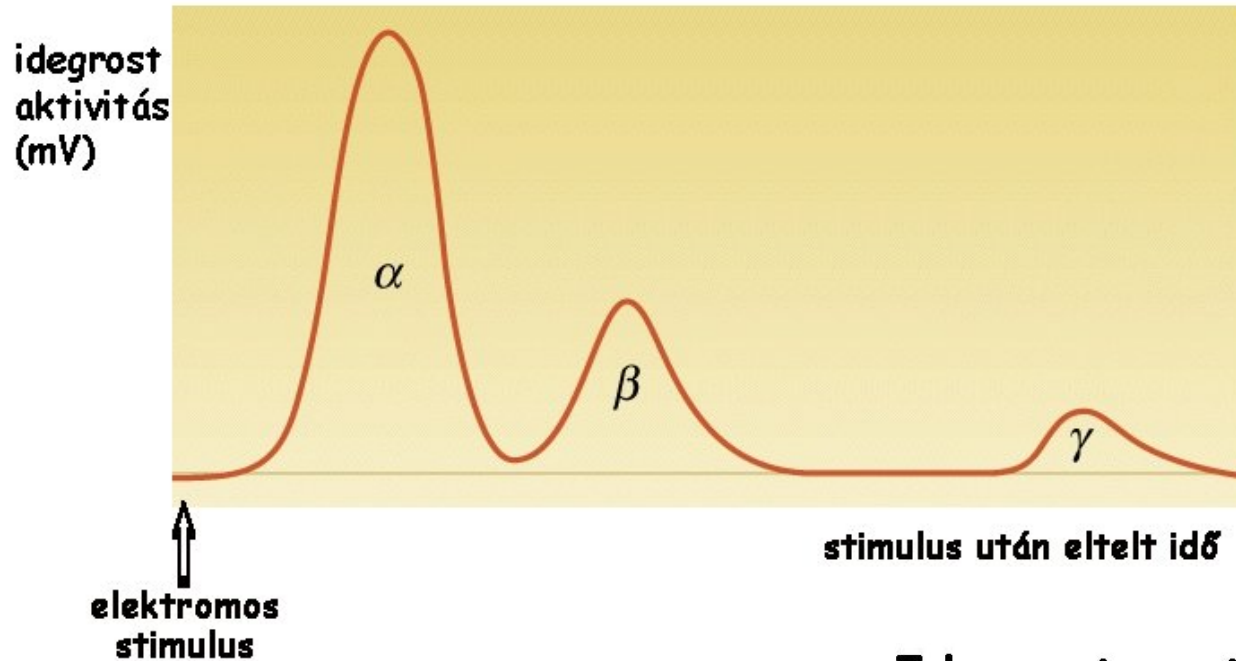
- ❖ soros kapcsolás az izmokkal, Ib afferensek
- ❖ feszülésre deformálódnak, ez jár ingerülettel
- ❖ izom aktív feszüléséről és aktív nyújtásáról egyaránt adnak információt
- ❖ az ínban kialakuló erőt jelzik

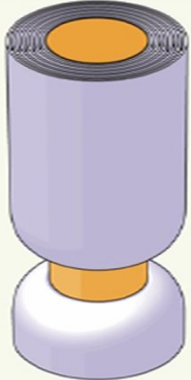





A gerincvelő felépítése - motoneuron populációk



Idegrost spektrum



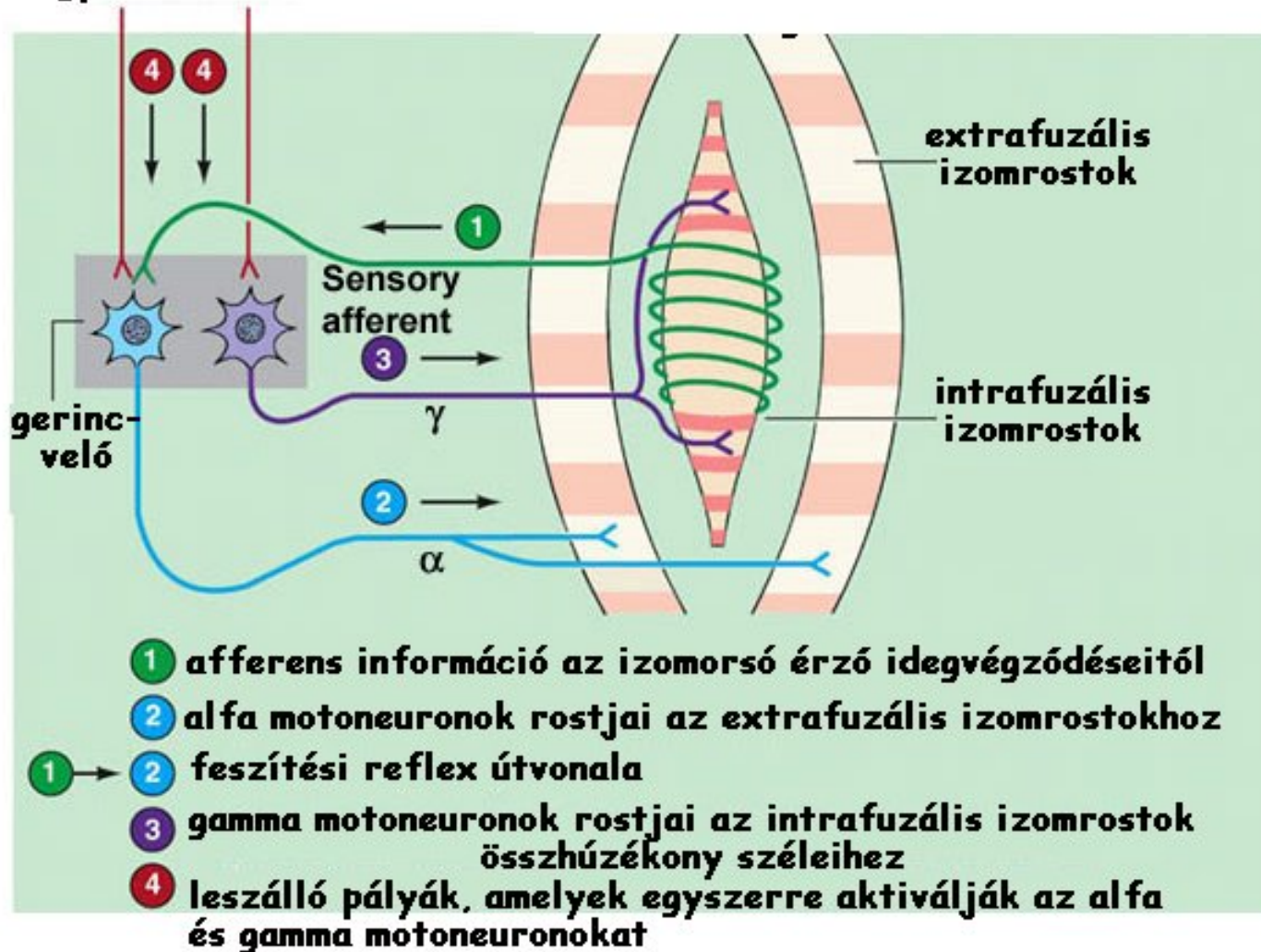
muscles				
Diameter (μm)	13-20	6-12	1-5	0.2-1.5
Speed (m/sec)	80-120	35-75	5-30	0.5-2

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

alfa- és gamma motoneuronok egyszerre aktiválódnak



Az izmok ereje

Izomerő fokozása:

- a működő egységek számának növelésével → toborzás
- az ingerlési frekvencia növelésével → kontrakció szummáció

Az izom-erőkifejtés függ:

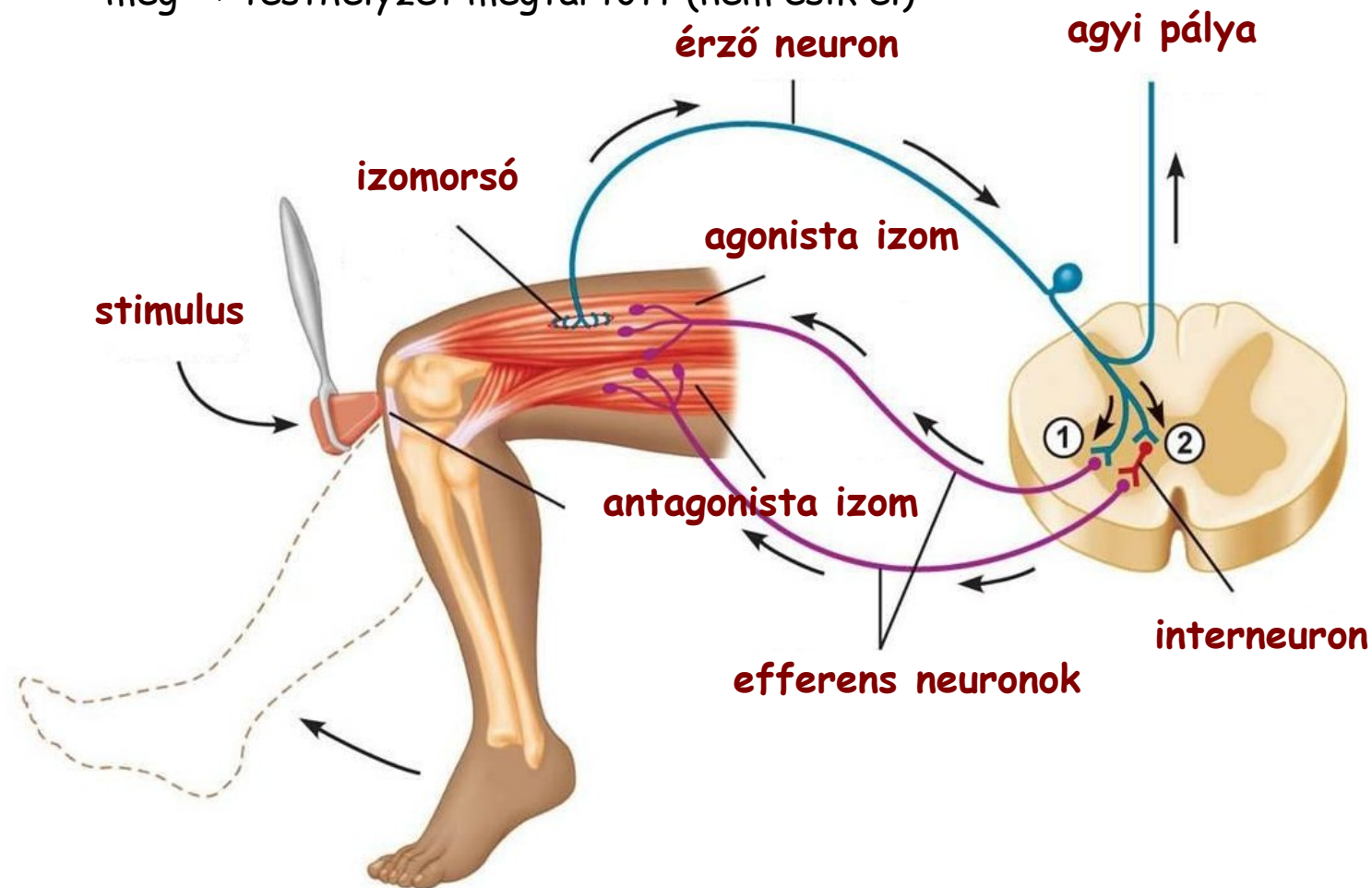
- az életkortól és a nemtől
- a rostok vastagságától és vérellátásától
- a működő izmok hosszától.
- az aktiválódó motoros egységek számától
- az idegimpulzusok sűrűségétől és szinkronizációjától
- az erőkifejtés idejétől
- a mozgósítható energia mennyiségétől (glikogén, kreatin-foszfát)
- a megmozgatott súly és az ellenállás nagyságától
- a rostok összetételétől

Miotatikus reflexek

Monoszinaptikus védekező reflex

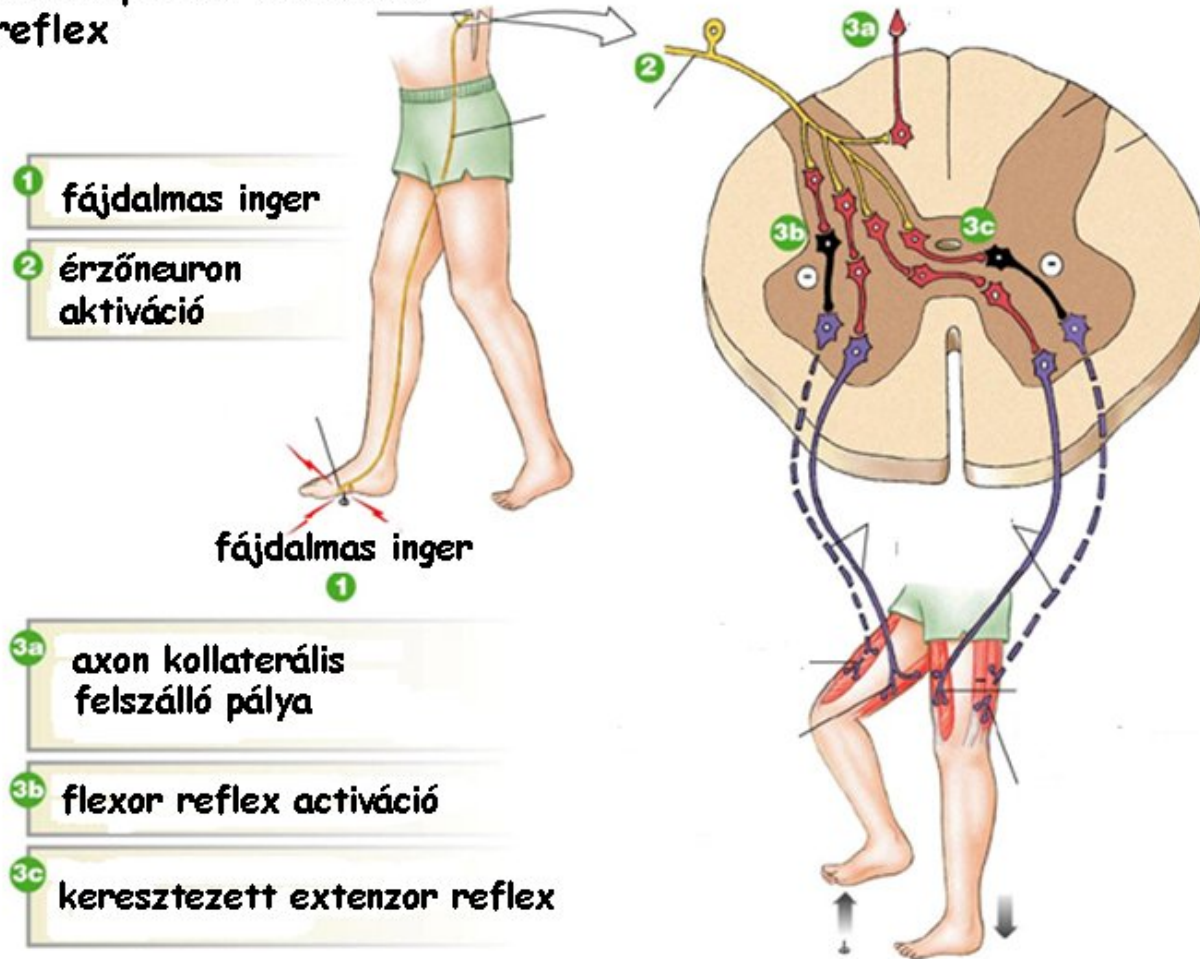
❖ példa: térdín- vagy patellareflex

- ✓ ütés a patelláinra → m. quadriceps femoris megnyúlik → izomorsó megnyúlik
- ✓ a reflex **szinkron** (valamennyi izomorsó egyszerre jön ingerületbe) és **rövid latenciájú**
- ✓ egyidejűleg az antagonista funkciójú izmon poliszinaptikus **flexor reflex** jelenik meg → testhelyzet megtartott (nem esik el)



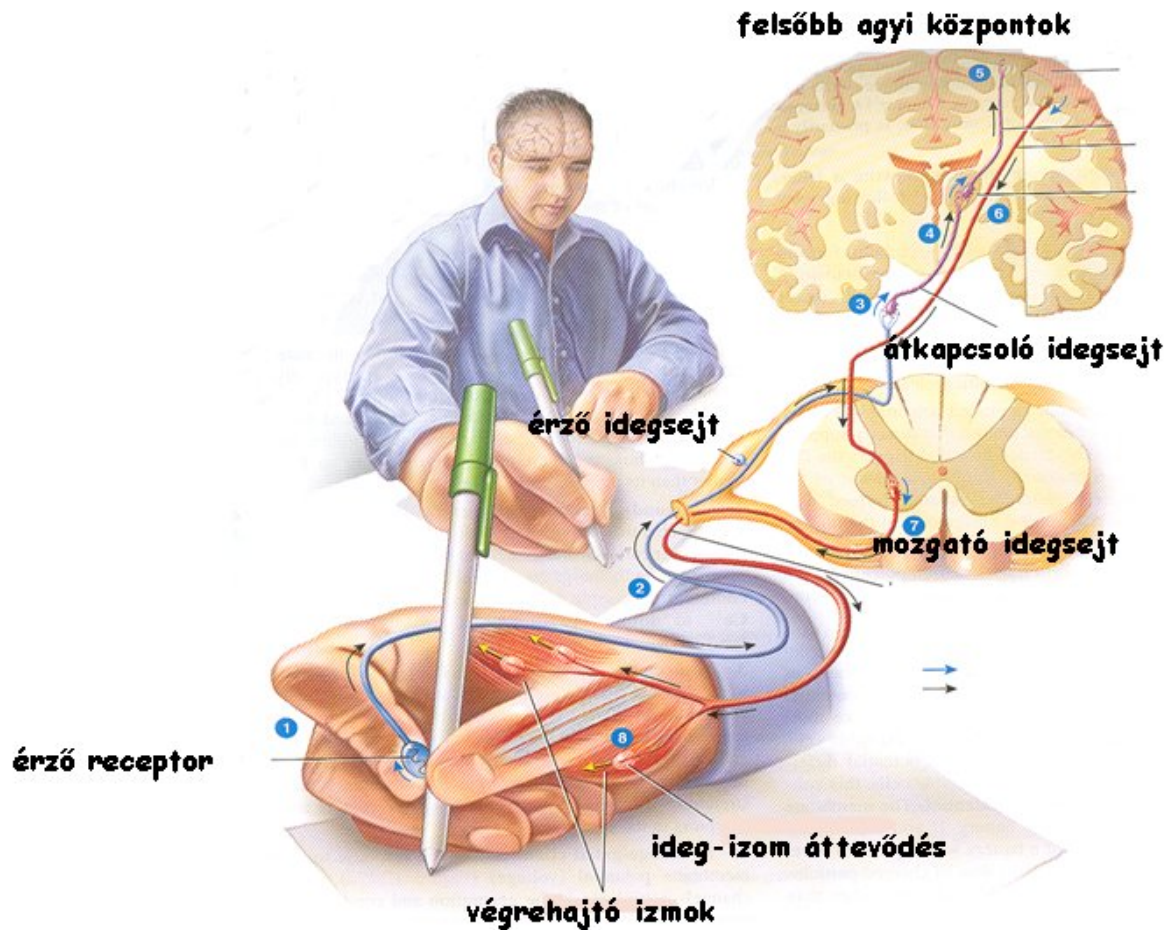
Flexor reflex

Diszinaptikus védekező reflex



- védekezés, végtag távolítása a fájdalmas- veszélyes behatás forrásától
- bőr fájdalomérző receptorai ingerlődnek
- átkapcsolódás aktiváló interneuronokra → motoneuronok serkentése → ingerelt oldalon flexorizmok összehúzódnak
- átkapcsolódás gátló interneuronokra → motoneuronok gátlása → ellenoldalon extenzor izmok összehúzódnak → testhelyzet megtartása

Akaratlagos mozgások kivitelezése



Corticospinalis pálya („piramispálya”)

eredés:

- 1) primer motoros kéregből (Brodmann 4)
- 2) szupplementer motoros kéregből (mozgások tervezése)
- 3) premotoros kéregből (Brodmann 6)



nyúlvelő piramisán fut keresztül illetve átkereszteződik



végződés ellenoldali gerincvelő alfa-motoneuronjain illetve interneuronokon

Szomatotopia

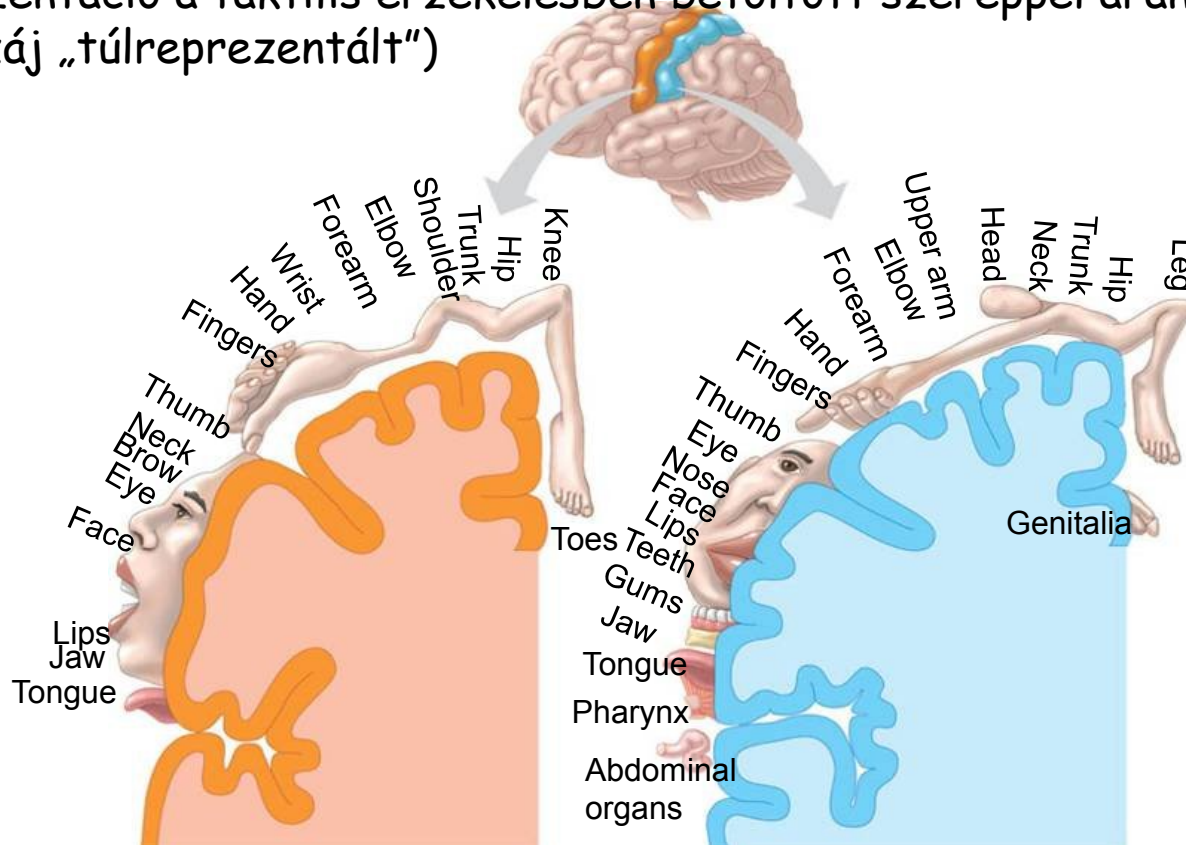
homunculus: a mozgató pályák kiindulásának és az érző pályák végződésének kérgi vetülete

❖ **primer motoros kéregben:** egymás közelében lévő izmok az agykéregben is egymás mellett reprezentáltak

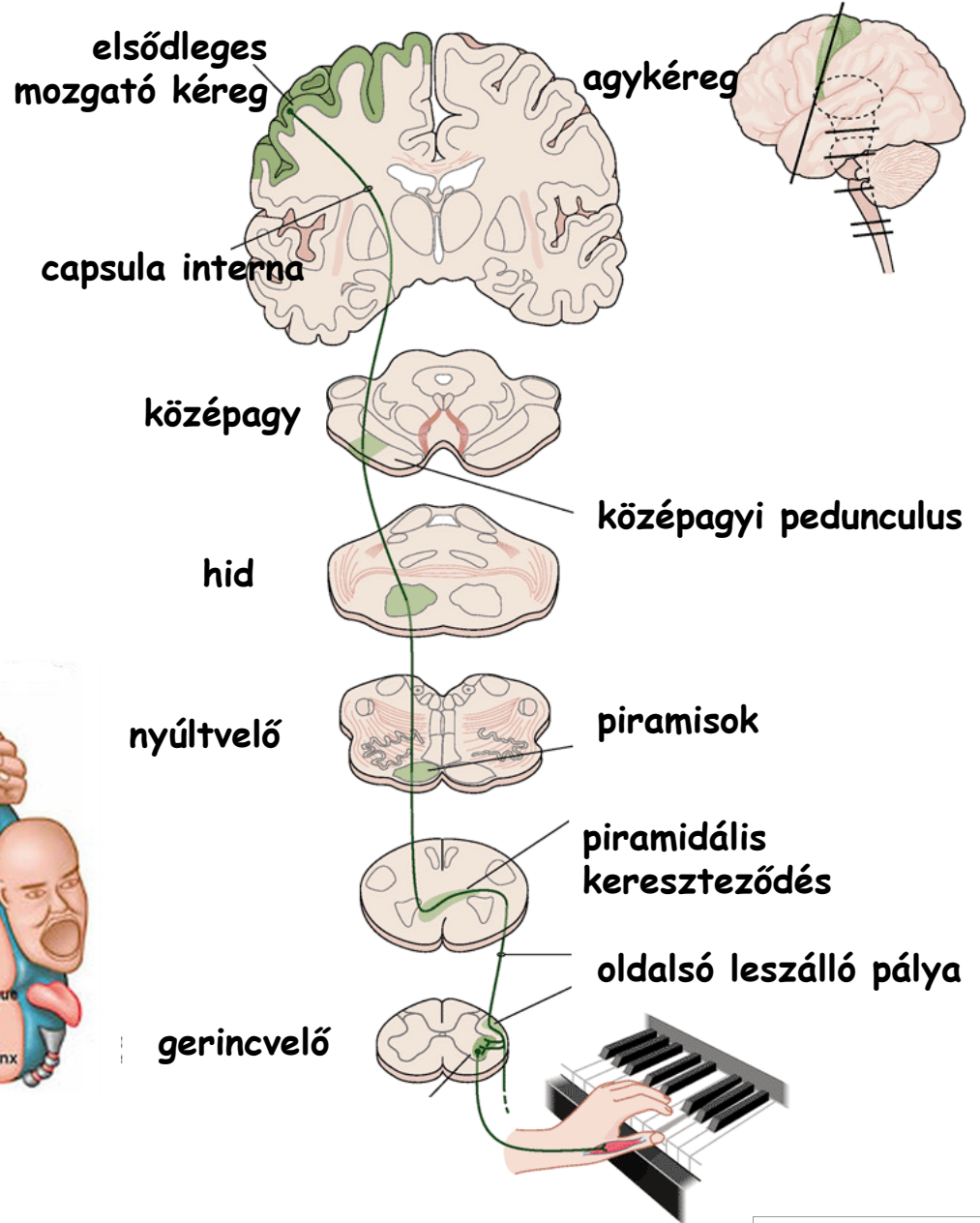
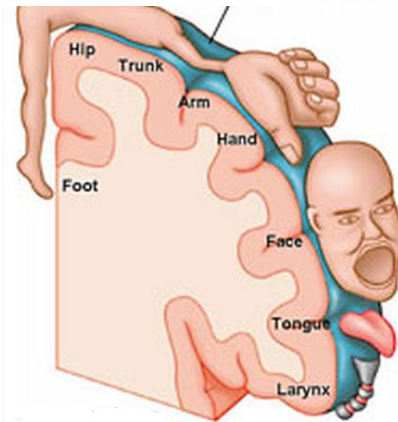
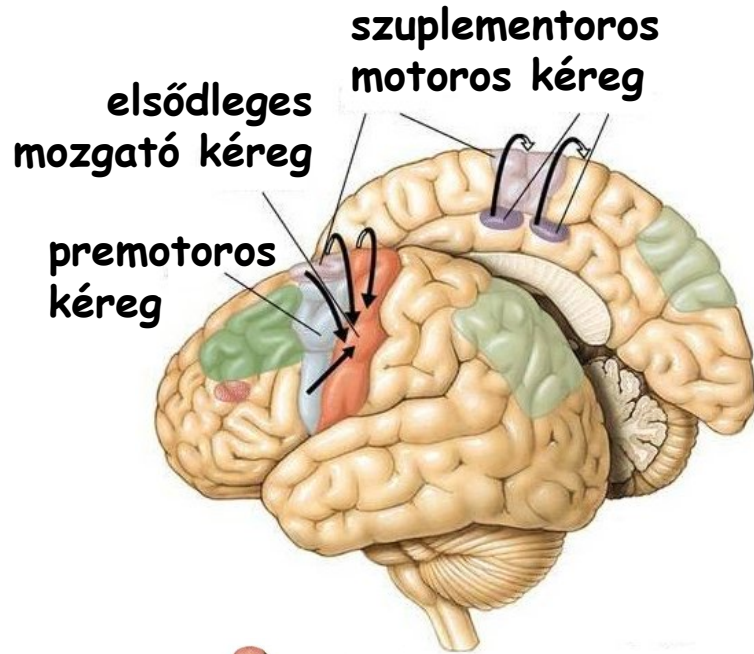
- a reprezentáció nem az izom méretével, hanem az általa végzett mozgás „finomságával” arányos (kéz, arc, nyelv „túlreprezentált”)

❖ **primer szomatoszenzoros kéregben (S1; Brodmann 1):** elektromos ingerlés, mely testrészén érez zsibbadást vagy mást

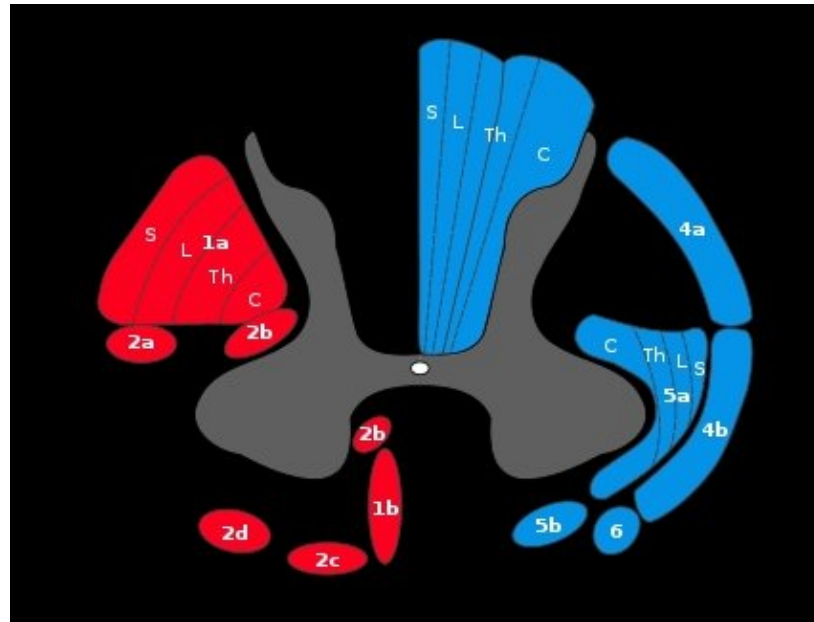
- a reprezentáció a taktilis érzékelésben betöltött szereppel arányos (kéz, arc, nyelv, száj „túlreprezentált”)



A mozgató működés szabályozása - piramispálya



Gerincvelői pályák



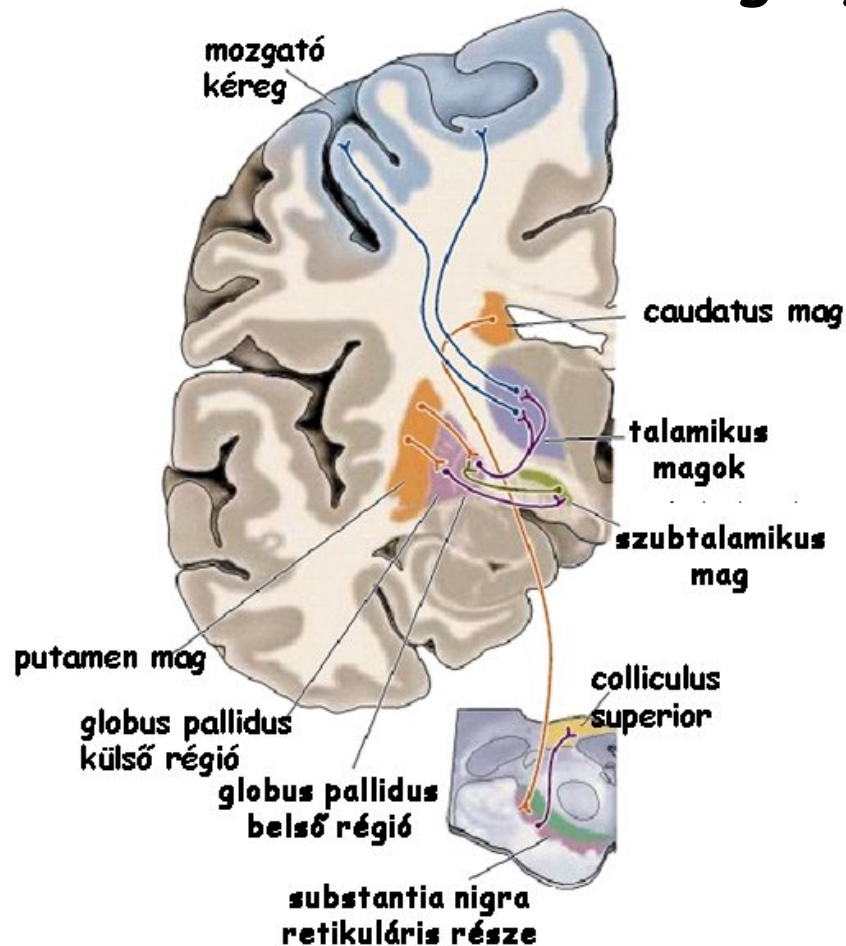
Leszálló mozgatópályák

1. piramispályák
a - oldalsó
b - elülső
2. extrapiramidális 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

Bazális ganglionok rendszere



- automatikus mozgások kivitelezése
- izomtónus beállítása
- érzelmekkel-ösztönökkel kapcsolatos mozgások szervezése (→pszichomotorika)
- agykéregből kiinduló és oda visszatérő hurokpályák feldolgozó állomásai
- a bejövő agykérgi információ kapuja a striatum
- feldolgozott kimenő információ a globus pallidus belső részéből és a substantia nigra retikuláris részéből
- kimenő info a thalamuszba kerül, onnan vissza a kéregbe
- bemenő információ a teljes agykéregből, a kimenő már csak adott agykérgi részekbe megy
- mozgást kivitelező struktúrákhoz (gerincvelő, agytörzs) közvetlenül nem csatlakozik

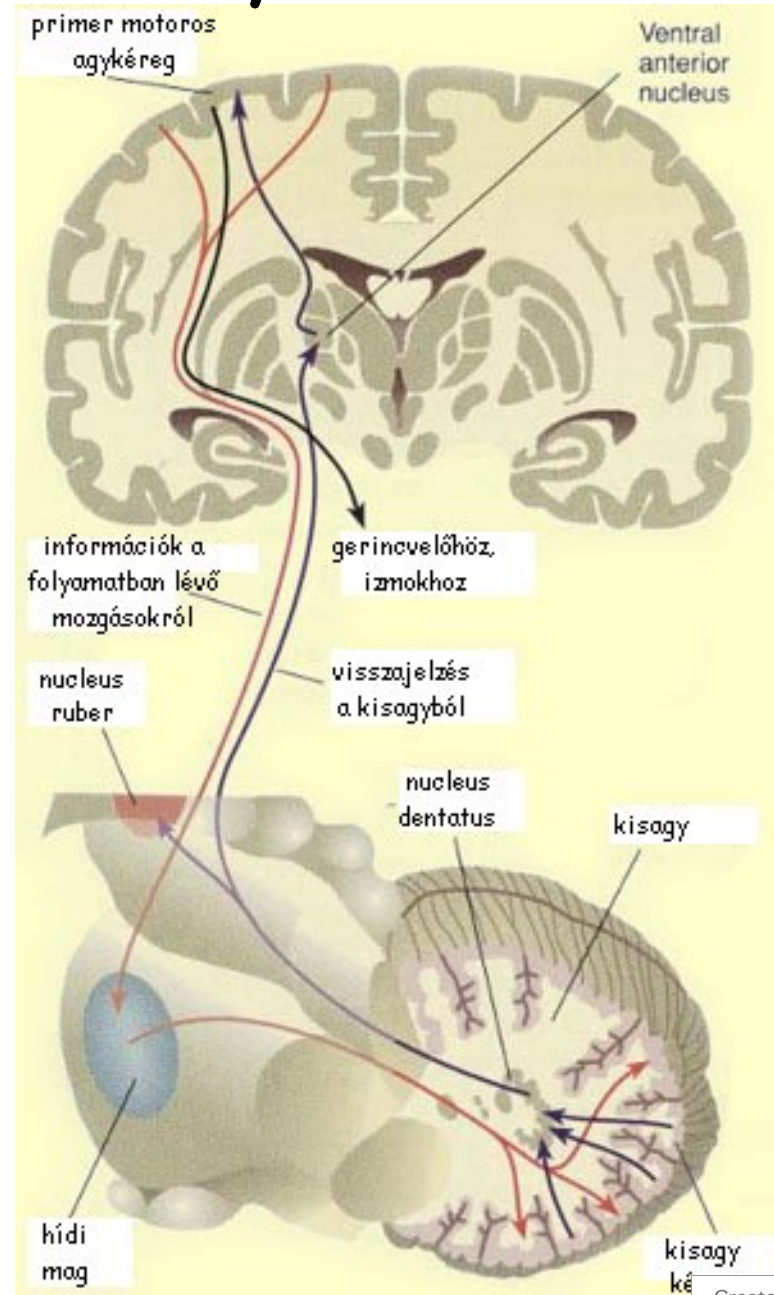
Parkinson-kór:

- mozgásszegénység, lassú mozgás
- remegés, merev izmok
- substantia nigra dopaminerg neuronjai elpusztulnak (striatumot aktiválják, ha épek)

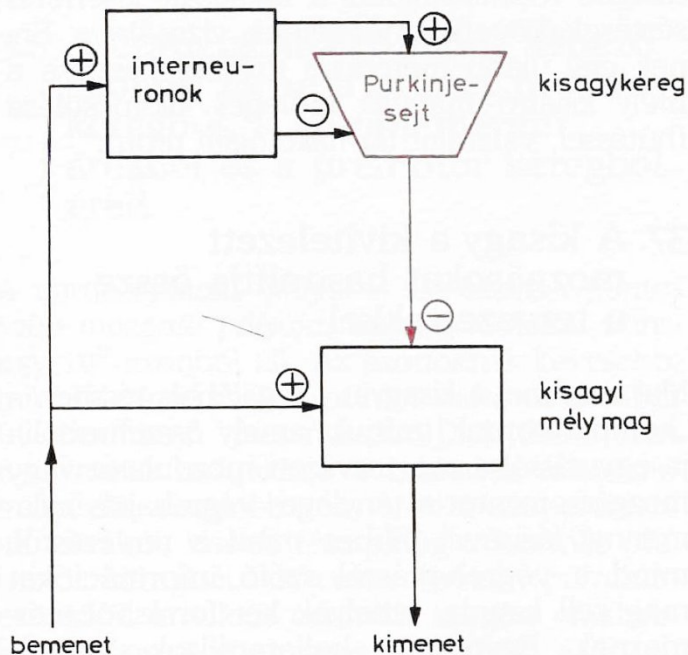
Huntington-chorea:

- félelmetes, akaratlan túlmozgás
- striatum (caudatus mag + putamen mag) károsodik

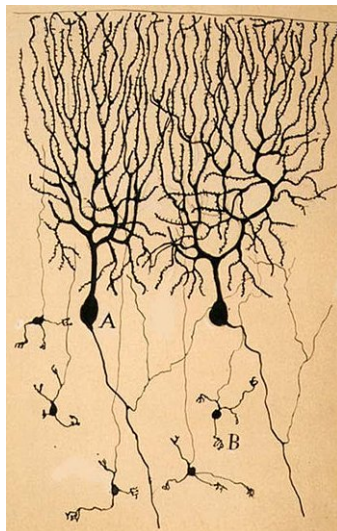
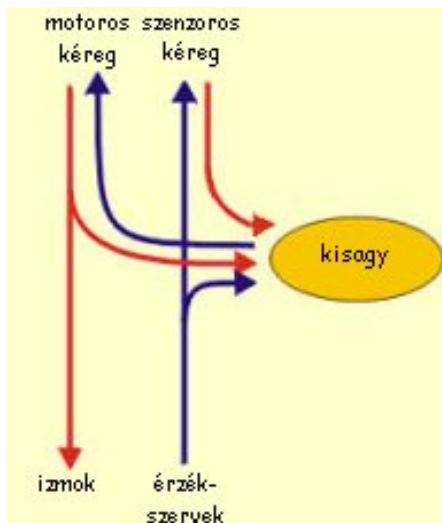
A kisagyi szabályozás



A kisagy működése



^k kisagyi információáramlás vázlatja



- **motoros koordináció** → kivitelezett mozgásokat összehasonlítja a tervezettekkel („komparátor”)
- szükség esetén korrigál → utasítás mozgást kivitelező rendszereknek
- **megtanult mozgások rögzülése**
- beérkező axonok elágaznak:
 - interneuronokat serkentenek a kisagykéregben
 - mély mag neuronjait serkentik
- interneuronok a Purkinje sejteket serkentik/gátolják → Purkinje-sejtek aktiválódnak vagy gátolódnak → aktivált Purkinje-sejt gátló (GABA) hatású → mély magot gátolja
- **mély mag sejtjei összegzik az információkat** → agykéreg, agytörzs, gerincvelő felé megfelelő üzenetet küldenek

Purkinje-sejtek

- ✓ óriási dendritfa (~ 200.000 szinapszis) → rengeteg információt kapnak, ezeket integrálják
- ✓ a kimenetük gátló (GABA)

A mozgáskoordináció főbb struktúrái

