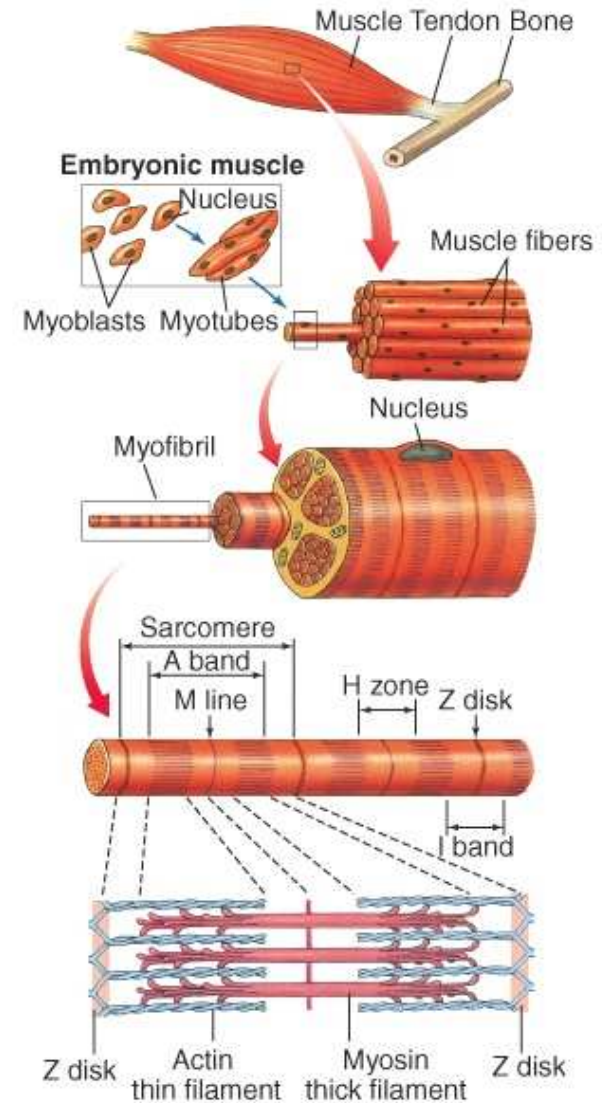


Az izomszövet

- szövettanilag eltérő típusok: sima és harántcsíkolt, utóbbin belül váz- és szívizom
- az összehúzódás alapvető mechanizmusa azonos: aktin-miozin rendszer

A harántcsíkolt izom

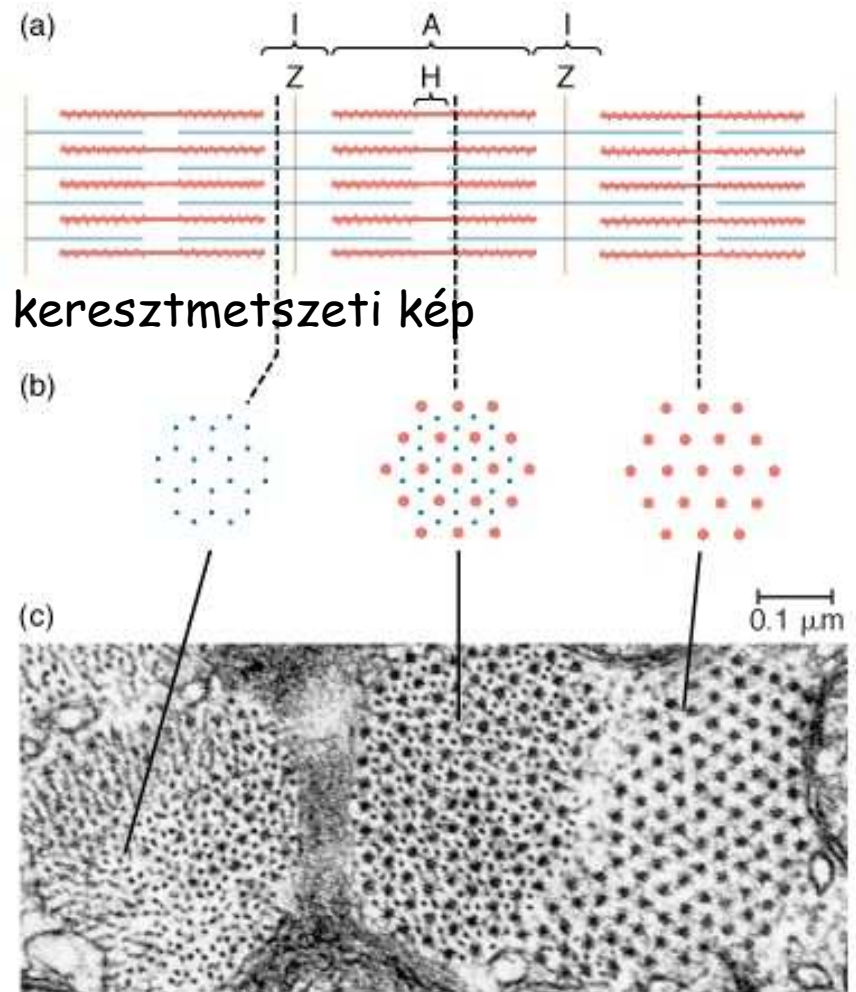
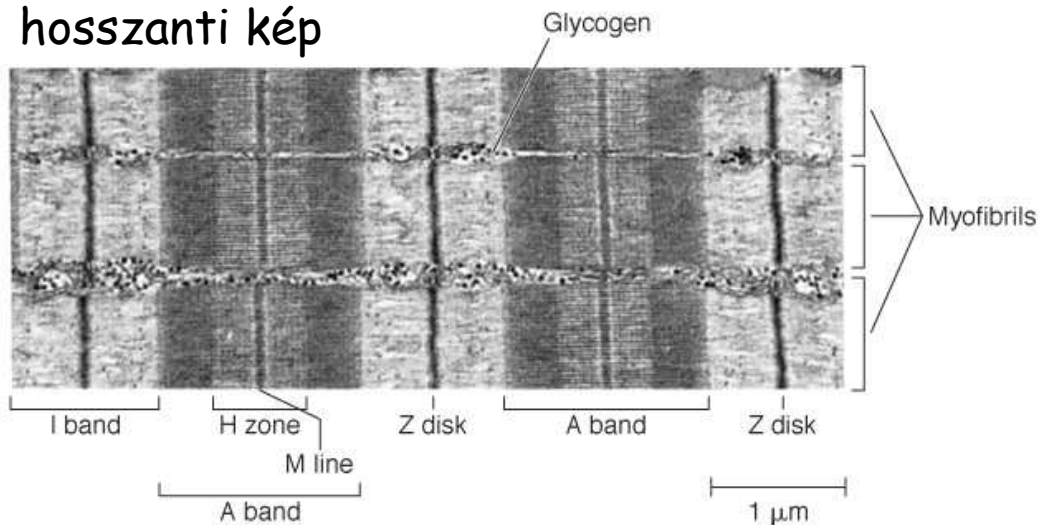
- vázizom: ínnaal csonthoz rögzül
- izomrost: szincíciális, sokmagvú izomsejt, 10-100 μm vastag, akár 40 cm hosszú!, szarkolemma burkolja
- miofibrillum: miofilamentumokból szerelődik össze, szarkomérák
- miofilamentum: aktin (vékony) és miozin (vastag) filamentumok



A miofibrillumok szerkezete

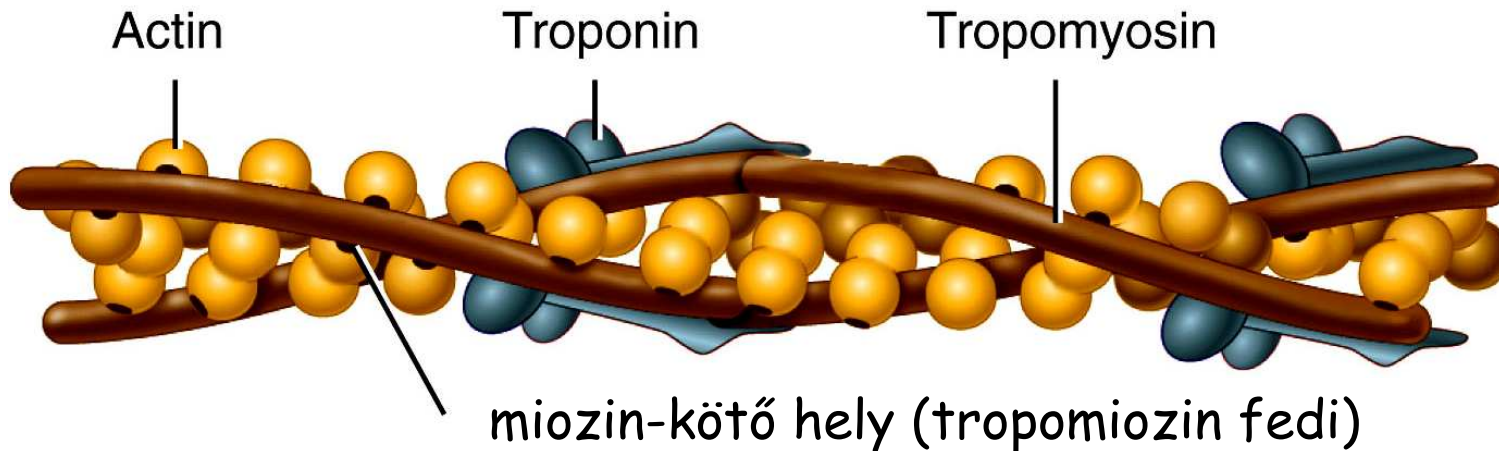
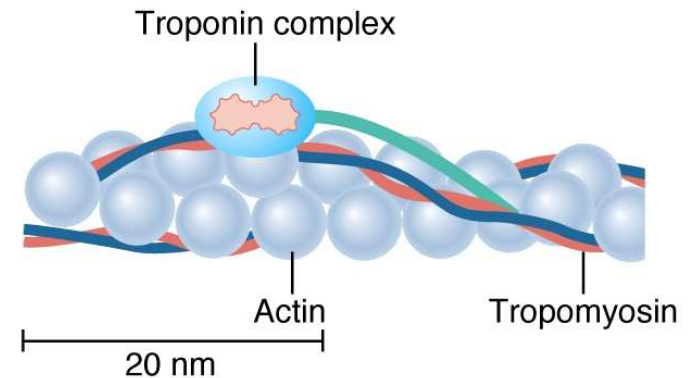
- harántcsíkolat: hossztengety mentén anizotróp (A, kettős fénytörő, sötét) és izotróp (I, gyengén fénytörő, világos) csíkok váltakoznak
- szarkomer: 2 Z lemez között, ált. 1,5-2,5 μm hosszú

hosszanti kép



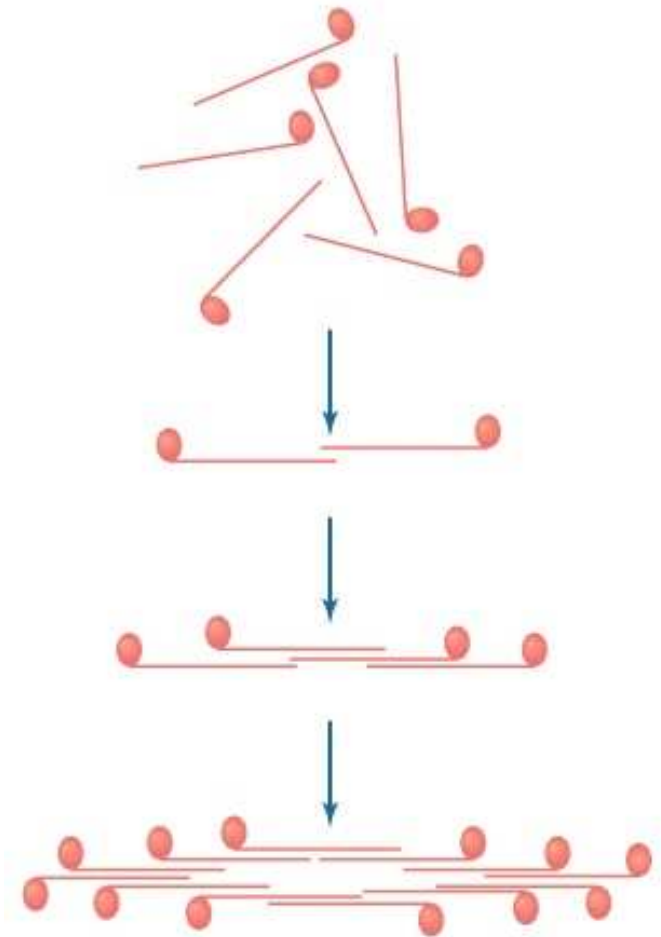
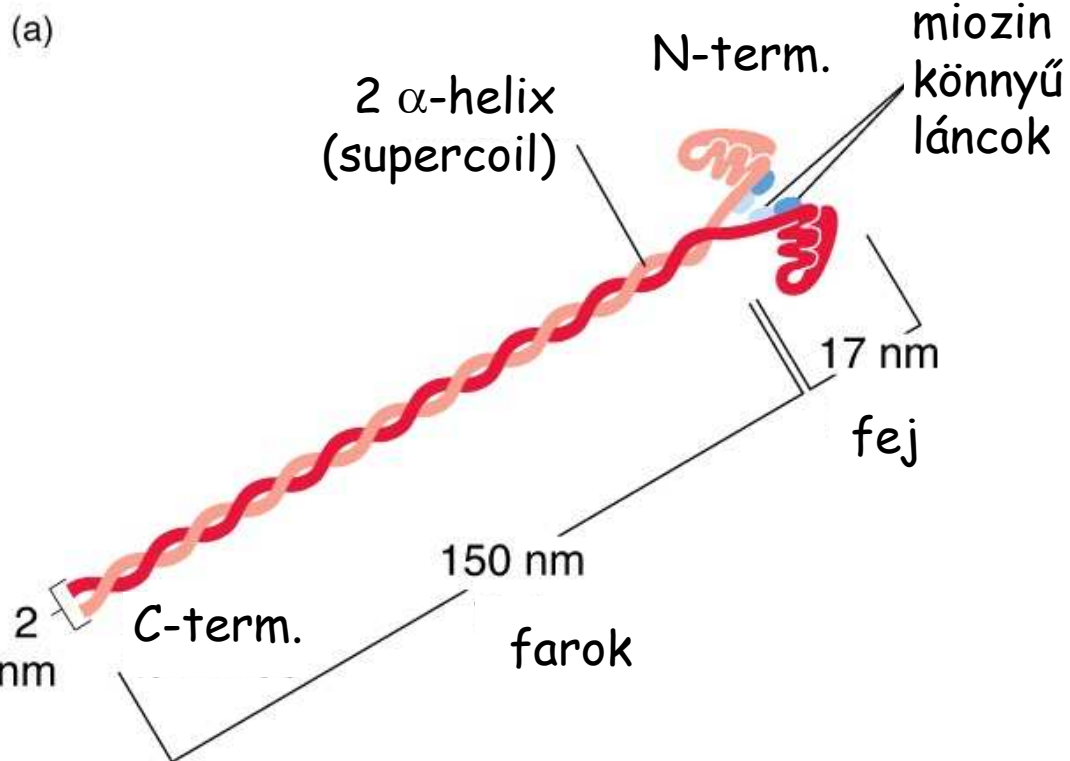
Az aktin filamentum

- G-aktin: globuláris, 5,5 nm átmérőjű; "gyöngysorra" polimerizálódik
- F-aktin: 2 "gyöngysor" helikális struktúrája
 - 1000 nm hosszú, kb. 8 nm vastag; z-lemezhez (α-aktinin) kapcsolódik
 - 40 nm hosszú tropomiozin és a vele asszociálódott troponin komplex simul hozzá - szabályozás



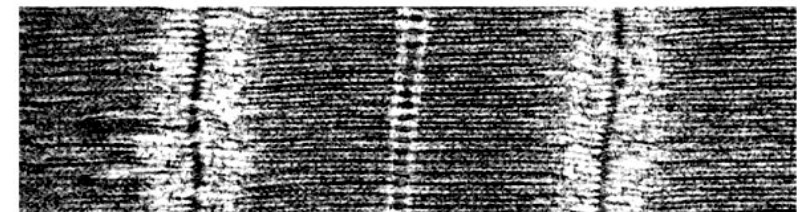
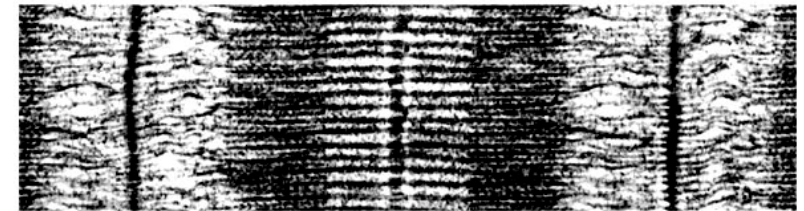
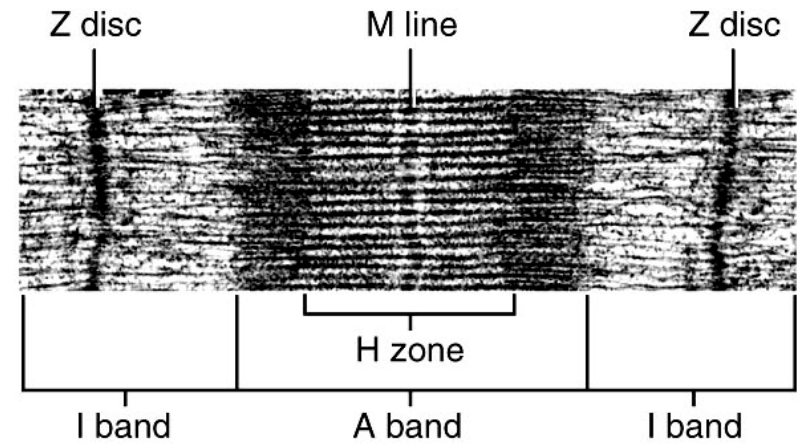
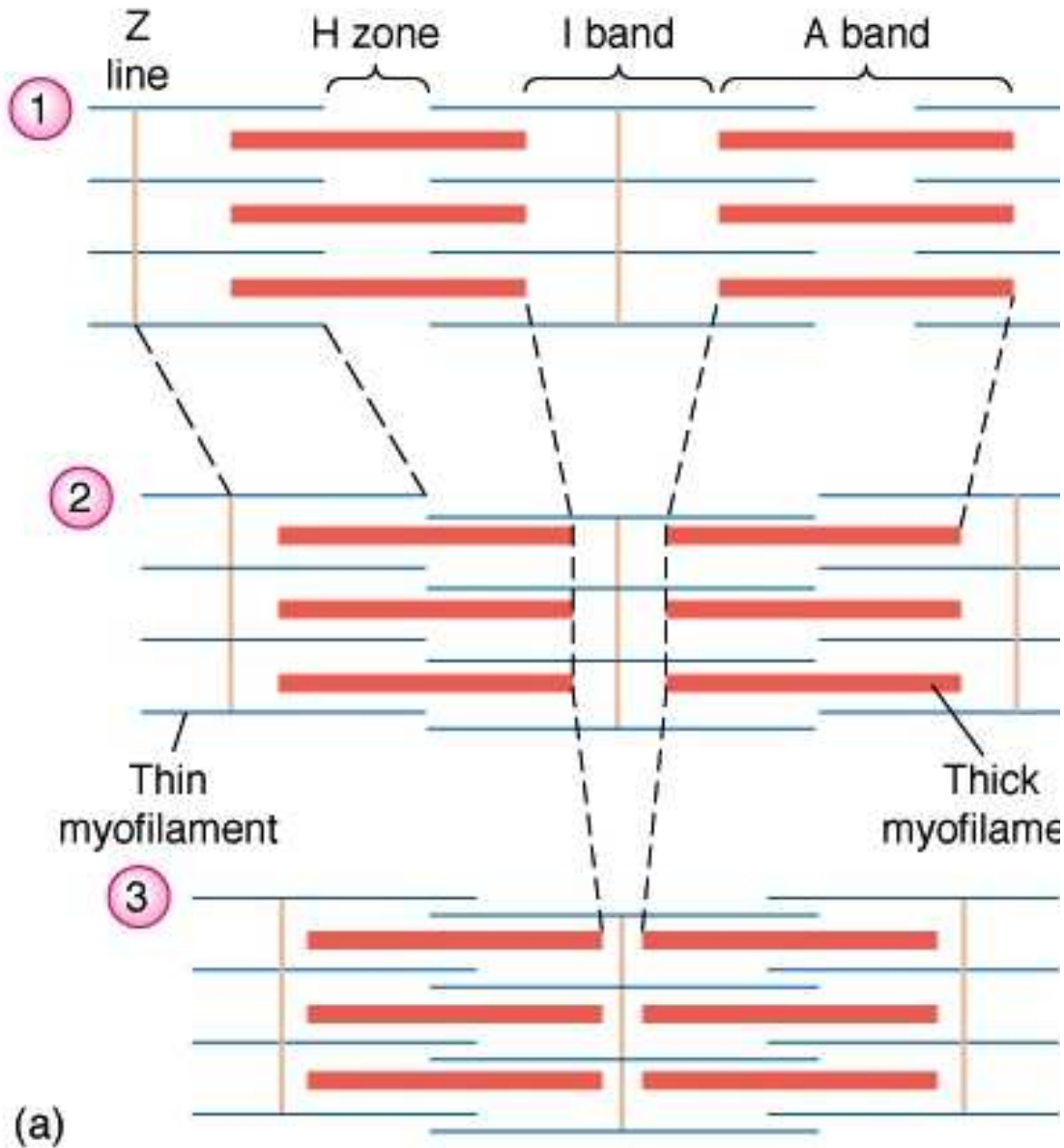
A miozin filamentum

- a miozin molekula 2 db 150 nm hosszú, 2 nm vastag nehéz lánc; α -hélix egymás köré tekeredve
- "fej" régió: 3-4 fajspecifikus könnyű lánc
- vastag filamentummá asszociálódnak; gerincesekben 1600 nm hosszú, 12 nm vastag
- "fejek" oldalirányba, 9 sorban állnak



Az izomösszehúzódás I.

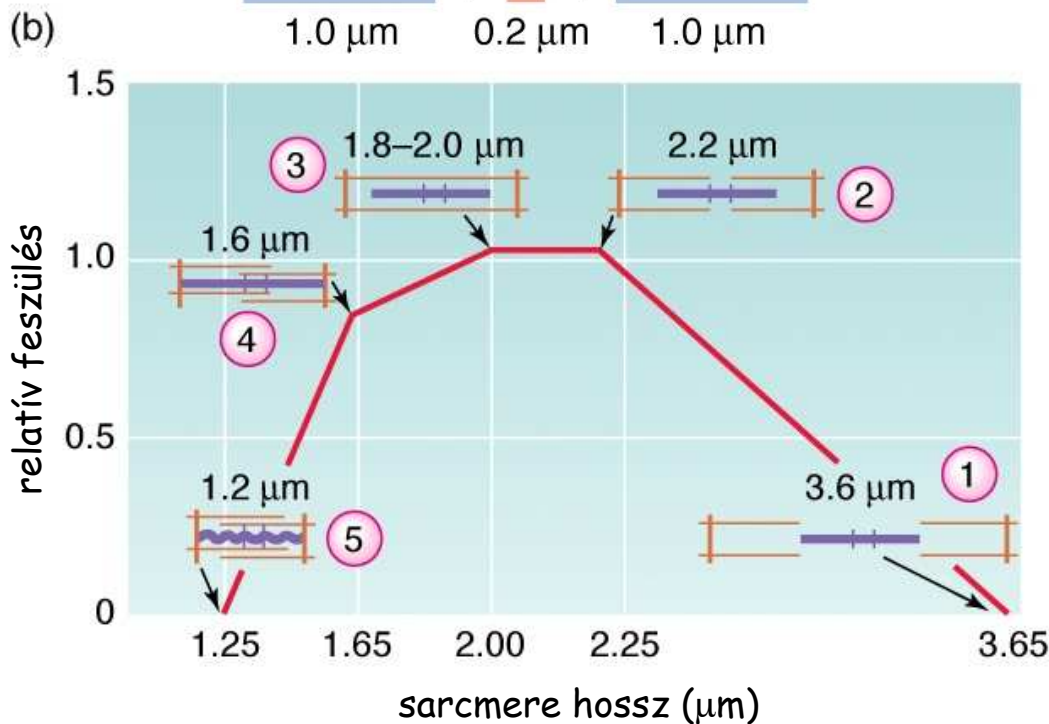
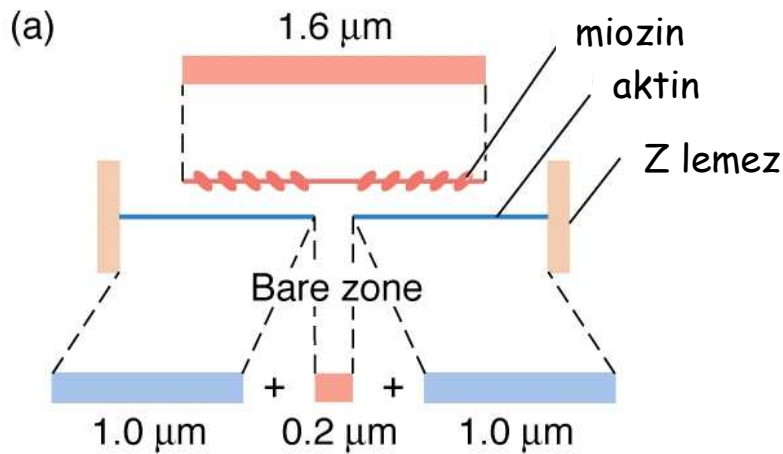
- az A csík változatlan, míg az I csík rövidül



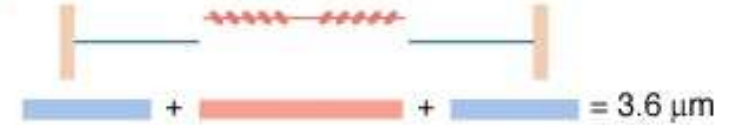
(a)

Az izomösszehúzódás II.

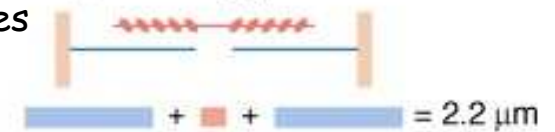
- Huxley; hossz-feszülés viszony: az izom elő-feszítettsége (bizonyos határok között) növeli a kontrakció erejét



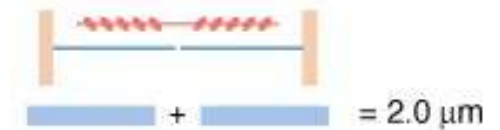
① kinyújtott sarcomera, nincs átfedés



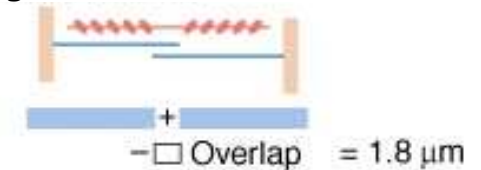
② max. átfedés, további összehúzódás még lehetséges



③ max. átfedés, nincs további összehúzódás



④ keresztkötés gátolt



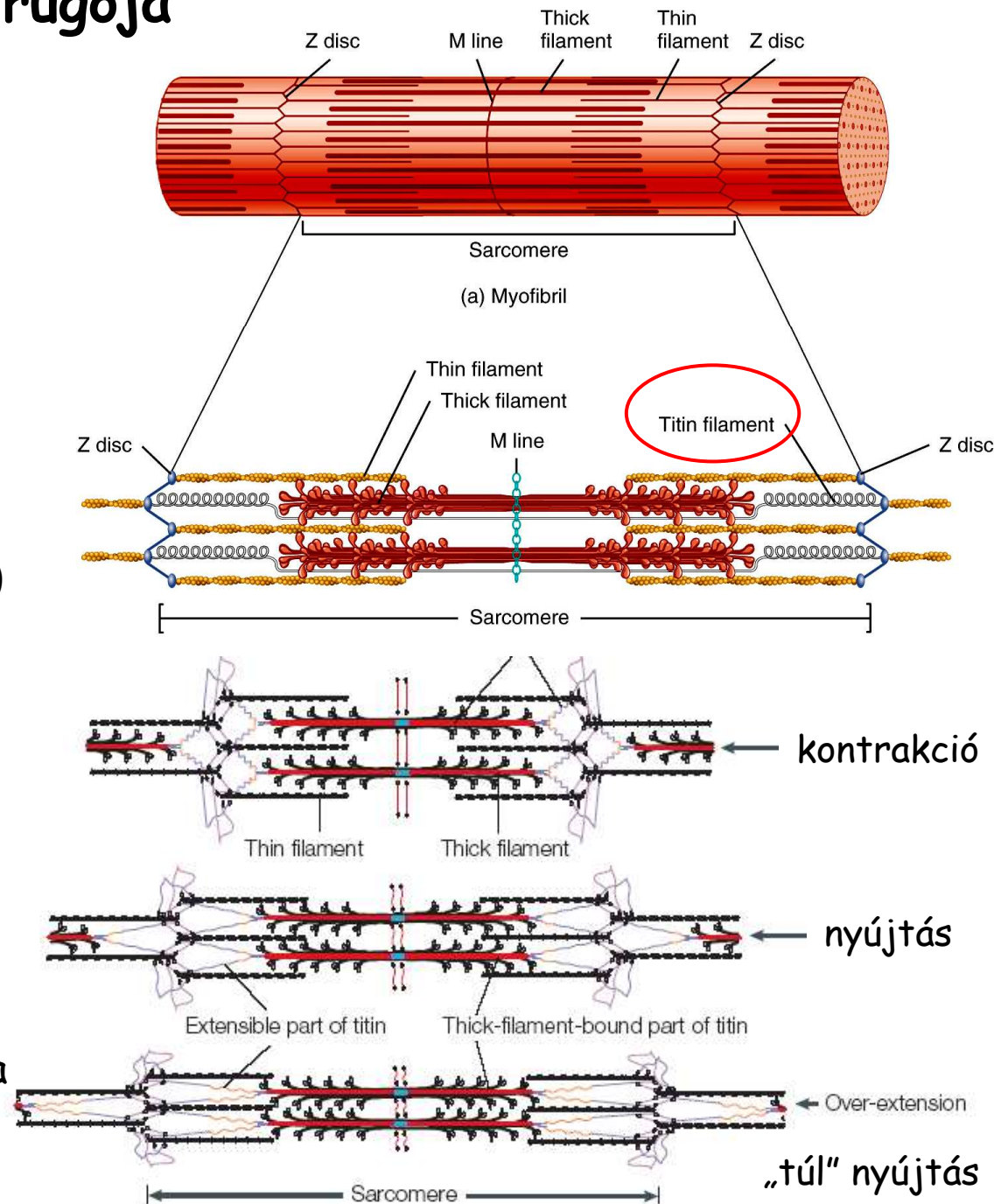
⑤ rövidülés gátolt



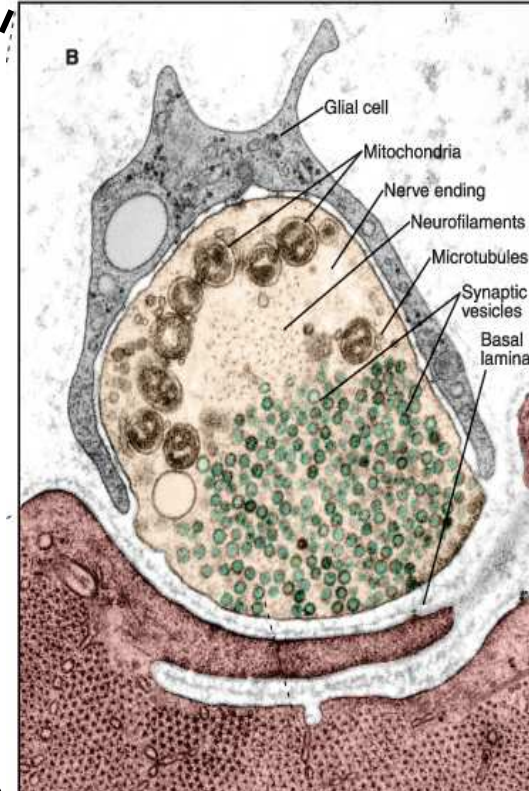
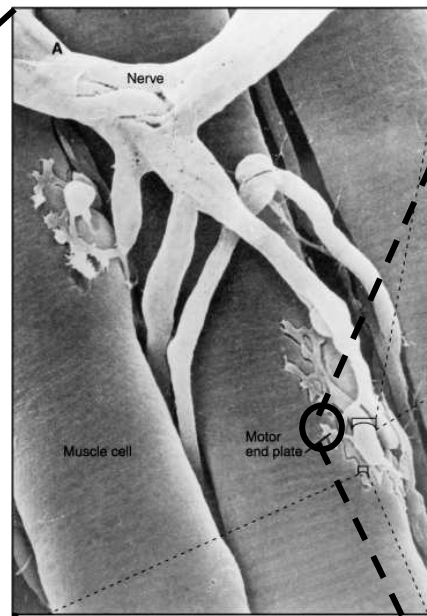
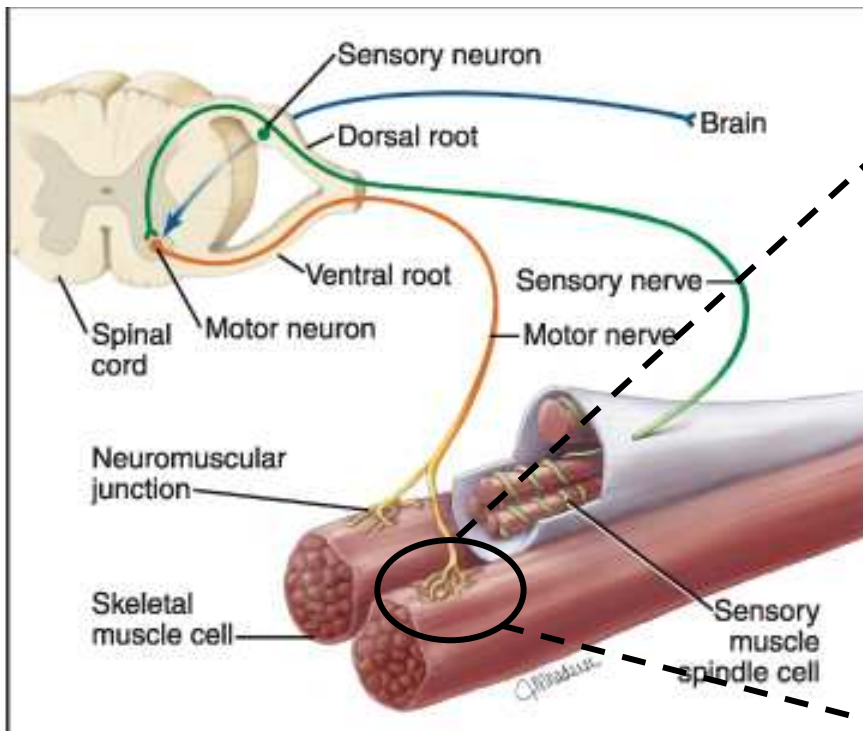
(b)

A titin: a szarkomera "rugója"

- harántcsíkolt izomban nagy mennyiségben
- legnagyobb fehérje: 4MDa, 1 μm hosszú, 3-4 nm vastag, rugalmas molekula (fél szarkomérát átéri!)
- M vonal: C-term. rögzítés
- A vonal: vastag filamentumok „gerincét” alkotja (hajlékonyság)
- I vonal: konformáció-változás, elasztikus szerkezet; vastag és vékony filamentumok összetartása
- Z vonal: N-term. rögzítés
- fejlődés során az aktin-miozin összerendeződését és a nyugalmi hosszt, érett izomban a rugalmasságot és a hossz-változást szabályozza



Az ideg-izom szinapszis



Az ingerület-átvitel

beidegző motoneuronon akciós potenciál \Rightarrow

végbunkóban feszültségfüggő Ca^{2+} csatornák nyílnak \Rightarrow

$[Ca^{2+}]_{IC}$ nő, vezikulák-ból ACh ürülés \Rightarrow

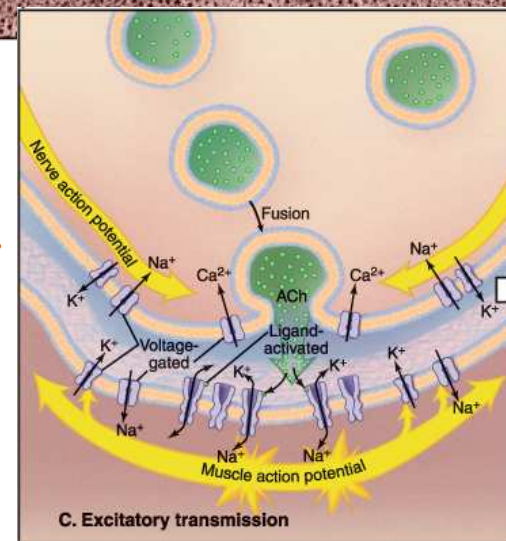
ACh izomsejt membránján nAChR-hoz köt \Rightarrow

ionotrop R: lokális Na^+ beáramlás, EPSP kialakulás \Rightarrow

EPSP elegendő mértéke esetén AP az izomsejt membránján \Rightarrow

$[Ca^{2+}]_{IC}$ nő az izomsejtben \Rightarrow

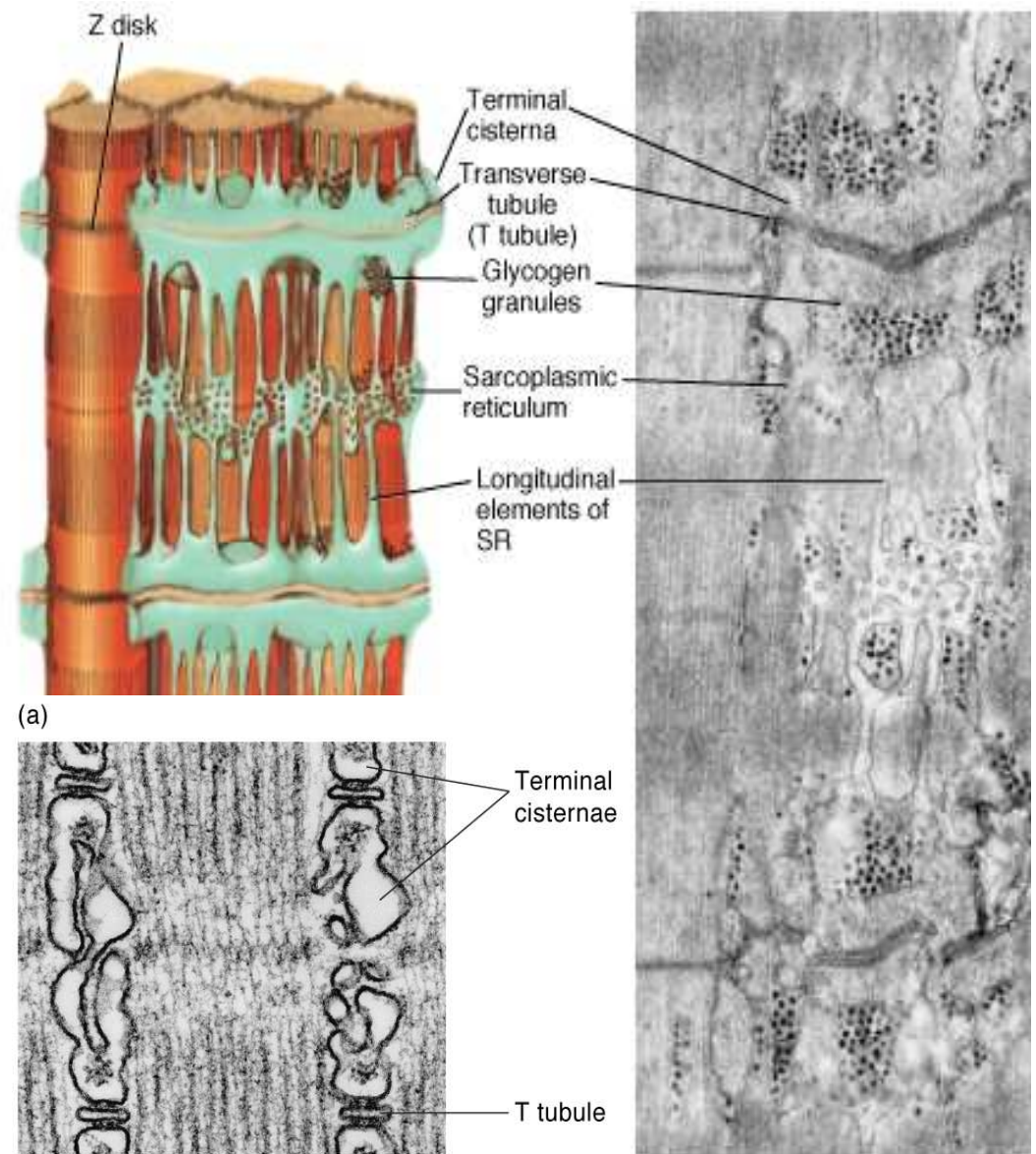
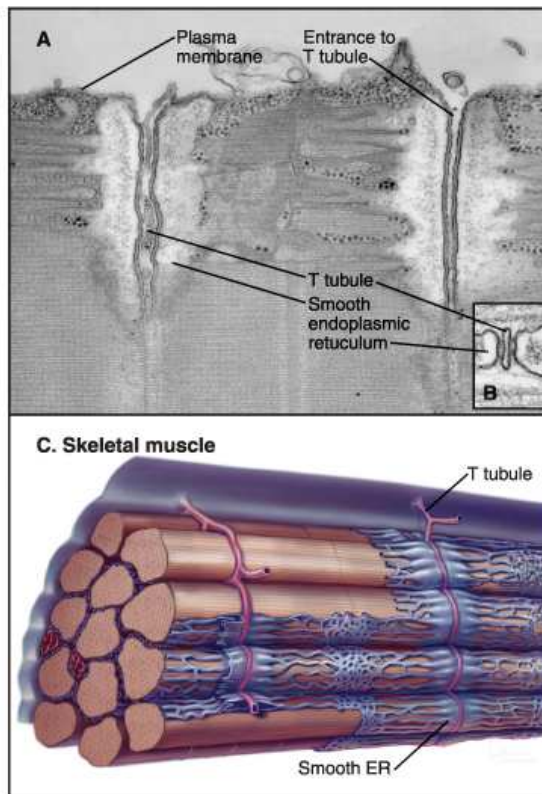
izomösszehúzódás



C. Excitatory transmission

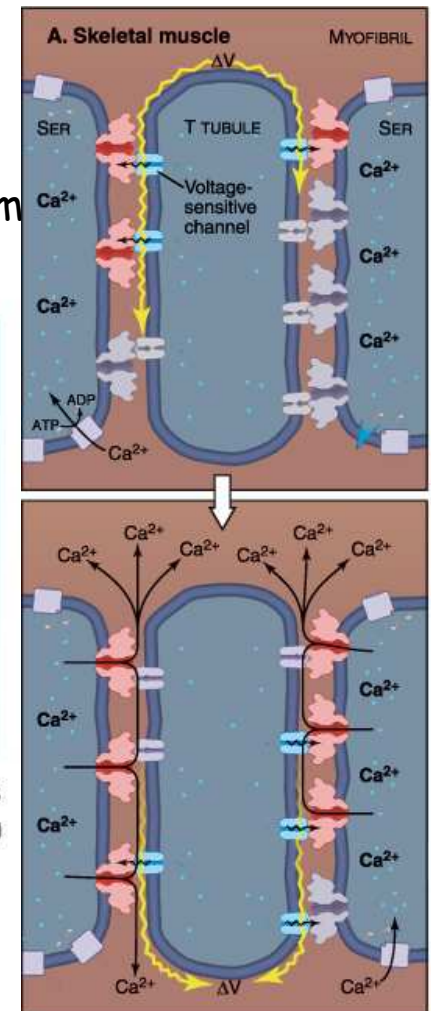
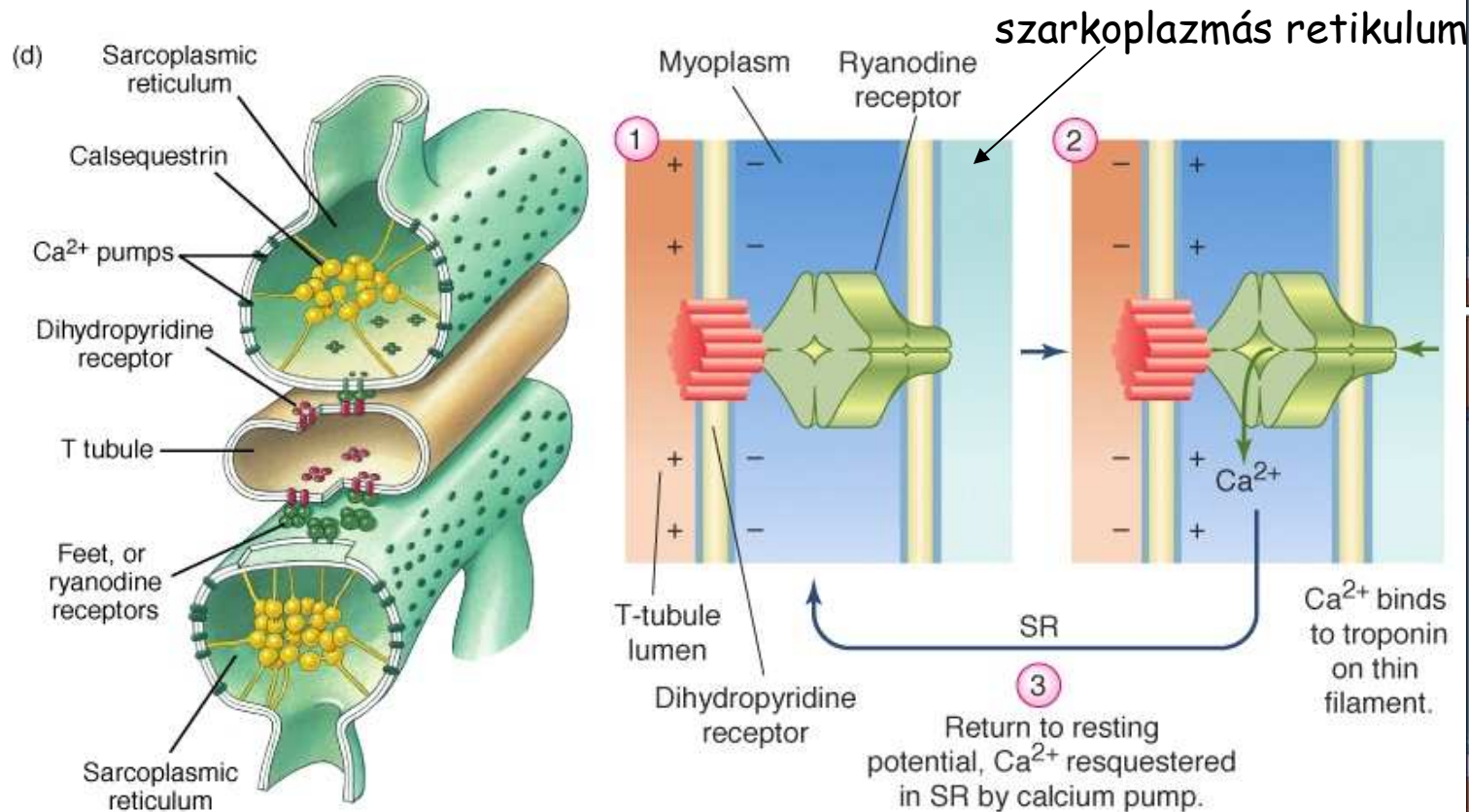
A Ca^{2+} felszabadulás módja a vázizomban I.

- a sejtmembrán ingerületét a z-lemezeknél betüremkedő **T-tubulusok** juttatják el a **SR**-hoz
- a kontrakciót a szarkoplazmás retikulumból (SR) felszabaduló Ca^{2+} ionok indítják be



A Ca^{2+} felszabadulás módja a vázizomban II.

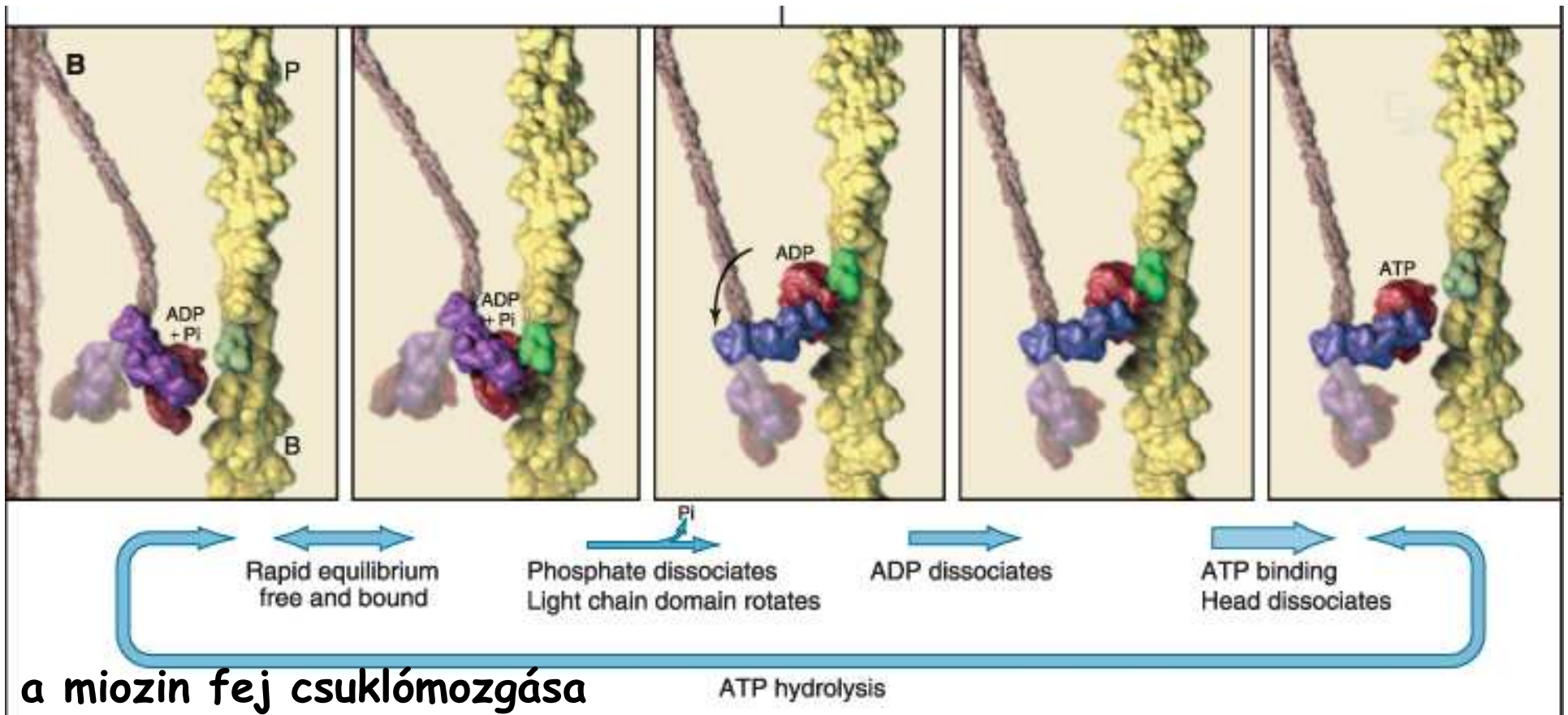
- AP \rightarrow szarkolemmáról T-tubulusra terjed \rightarrow feszültség-függő **dihidropiridin receptor** konformációváltozása \rightarrow **ryanodin receptor** konformációváltozása vagy elmozdulása (triádok) \rightarrow a SR-ból Ca^{2+} beáramlás a mioplazmába \rightarrow troponin aktiválódása, kontrakció \rightarrow Ca^{2+} visszapumpálása Ca^{2+} pumpákkal



A csúszó filamentum elmélet I.

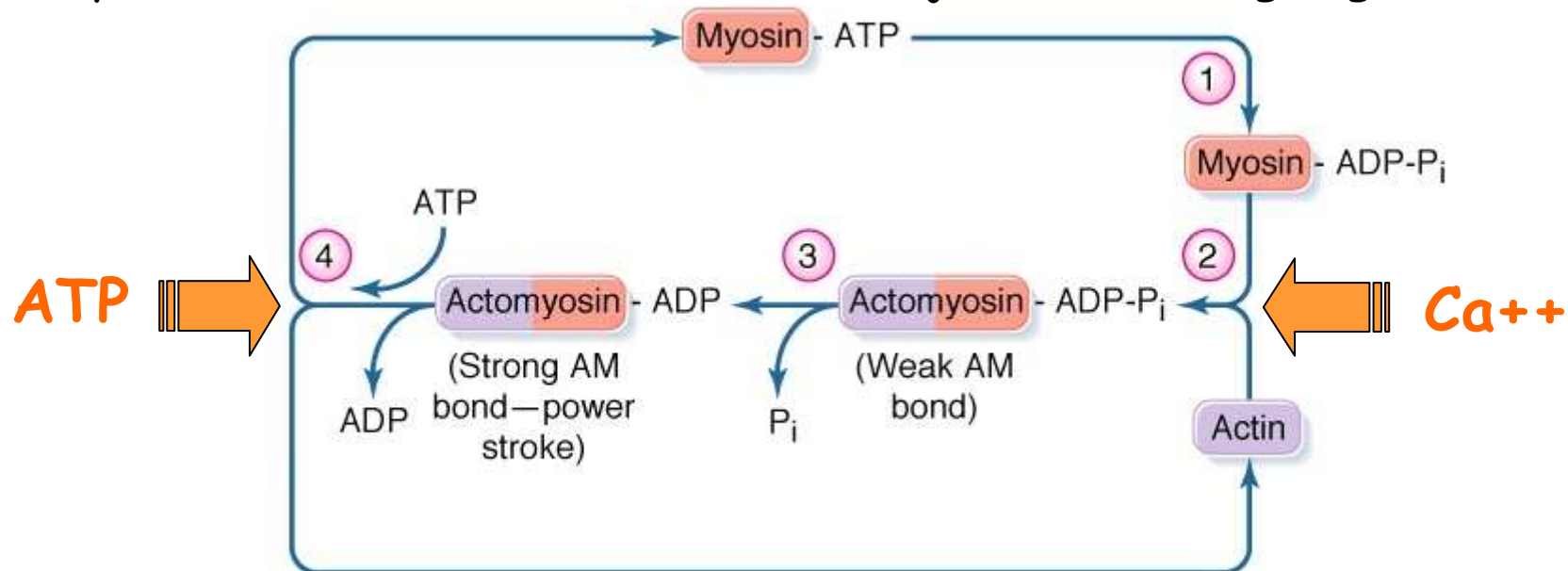
• magas Ca^{++} szint alatt körfolyamat, 1 ciklus 10 nm-es elmozdulás

Ca^{++} szint emelkedés \Rightarrow troponin disszociál \Rightarrow miozin kötőhely szabad \Rightarrow miozin-ADP+ P_i aktinhoz köt \Rightarrow P_i disszociál \Rightarrow miozin-ADP „csuklómozgás” \Rightarrow elmozdulás \Rightarrow **ATP kötés** \Rightarrow miozin-ATP disszociál \Rightarrow miozin-ADP+ P_i



A csúszó filamentum elmélet II.

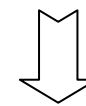
- alacsony Ca^{2+} szint: aktinon a tropomiozin fedi a miozin kötőhelyét; ATP-kötött miozin-fej szabadon
- magas Ca^{++} szint: troponin aktiválás - miozin kötőhely felszabadul
- $ADP-P_i$ aktomiozin gyenge kötés (2), P_i disszociálás - újabb konformációváltozás („power stroke”), erős aktinkötés, elmozdulás (3)
- ADP disszociálás: miozin aktinhoz rögzített, amíg újabb ATP-t nem köt (4)
- hullamerevség (rigor mortis): magas intracelluláris Ca^{++} mellett és ATP hiányában az aktin-miozin kötés a fehérjék lebomlásáig rögzül



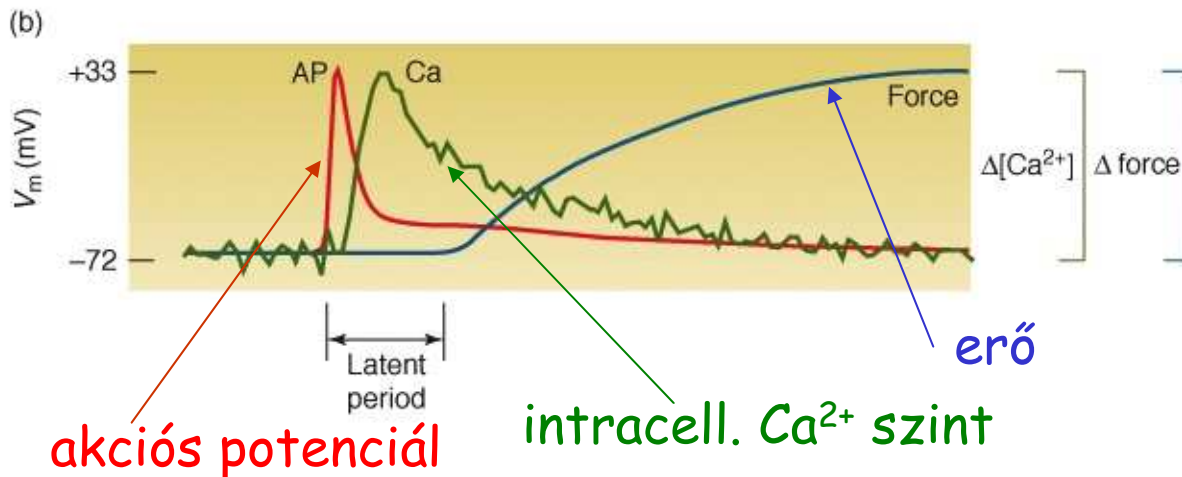
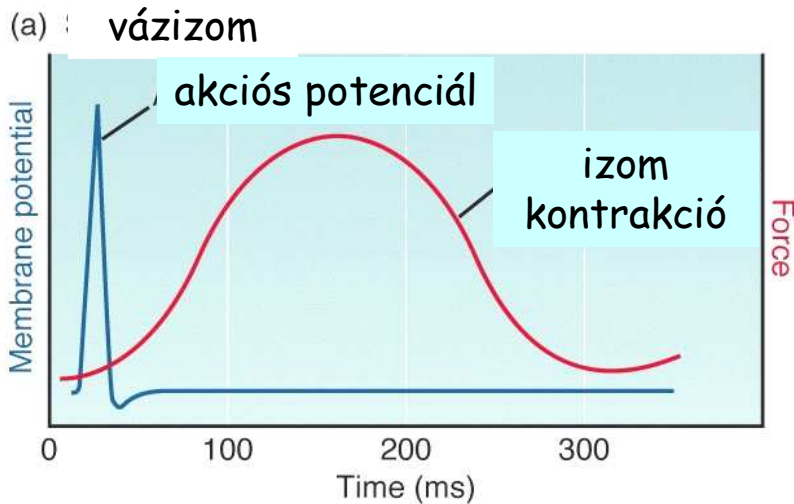
Az akciós potenciál és az izomkontrakció időbeli lefutása a vázizomban

időbeli késleltetés:

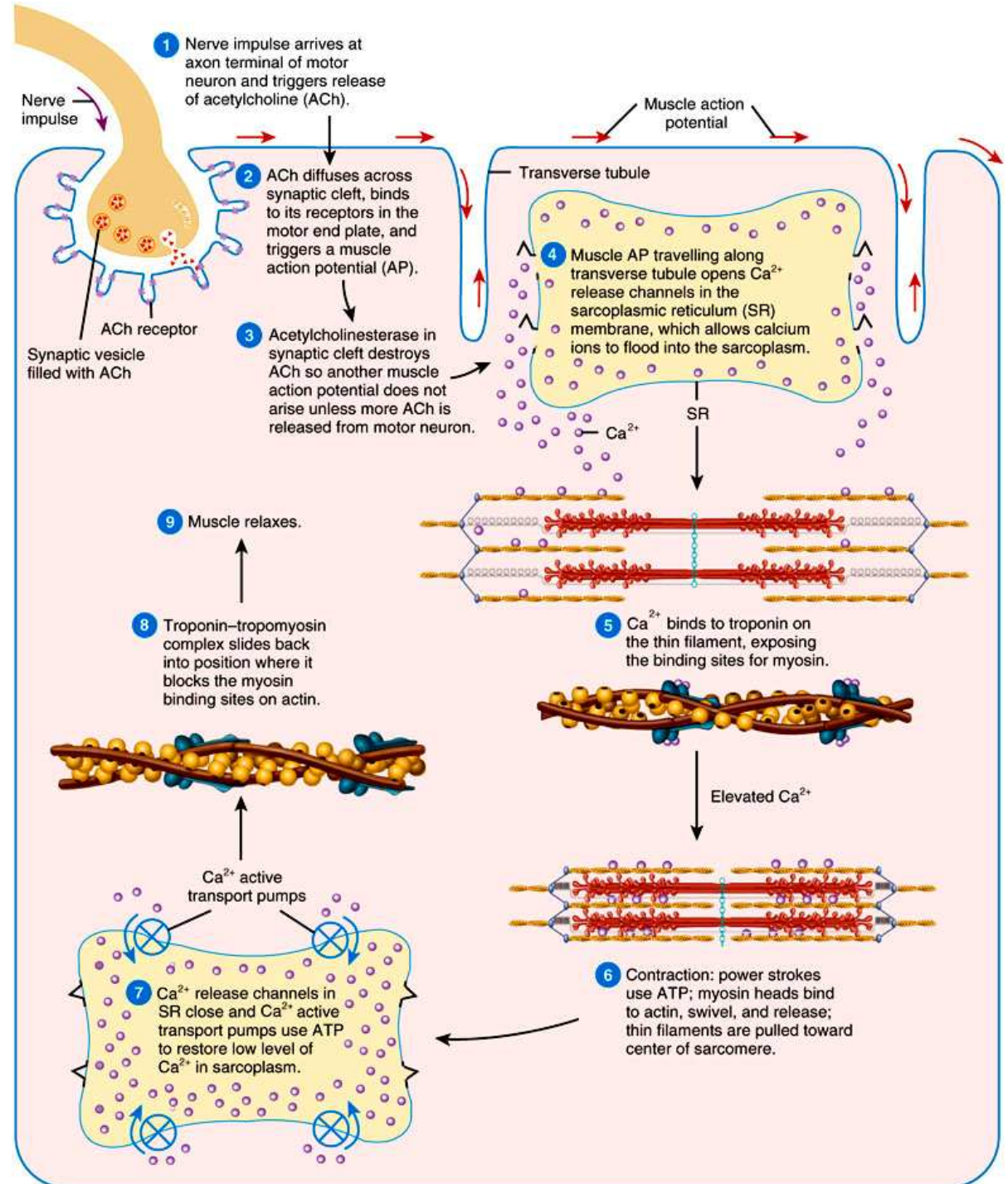
1. akciós potenciál (~1-5 ms)
2. intracelluláris Ca^{2+} szint emelkedés (~5-20 ms)
 - visszaállítását Ca^{2+} pumpák végzik
3. egyedi rángás, izomkontrakció (~100-300 ms)
 - a kialakuló erő nagysága a Ca^{2+} szint változásokat követi



izomösszehúzódnás
összegződése



Az izomkontrakció lejátszódása a vázizomban (összefoglalás)

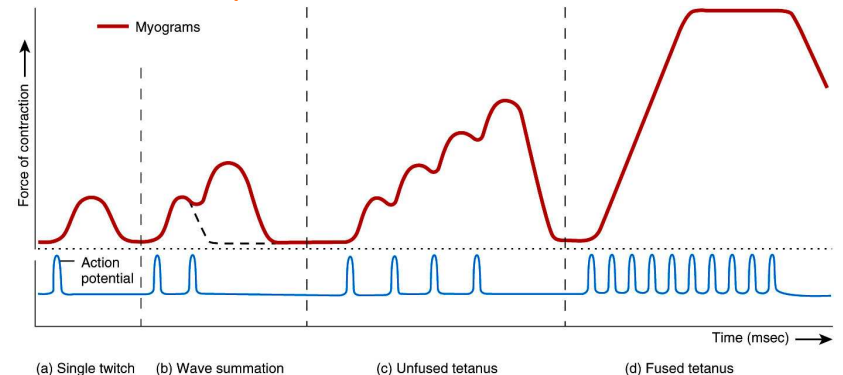


Az izomkontrakció szummációja

- többszörös inger a beidegző motoneuronon \Rightarrow gyakori AP az izomsejten \Rightarrow összeadódó intracelluláris Ca^{2+} szint emelkedés \Rightarrow egyre nagyobb mértékű izomösszehúzódás

- ha van idő az egyes összehúzódások között: **inkomplett tetanusz** (részleges elernyedés)

- ha nincs idő az egyes összehúzódások között: **komplett tetanusz** (görcsös összehúzódás)



- a vázizom normális működése alatt is!

- izomban kontraktilis és elasztikus elemek is vannak; az összehúzódás lehet

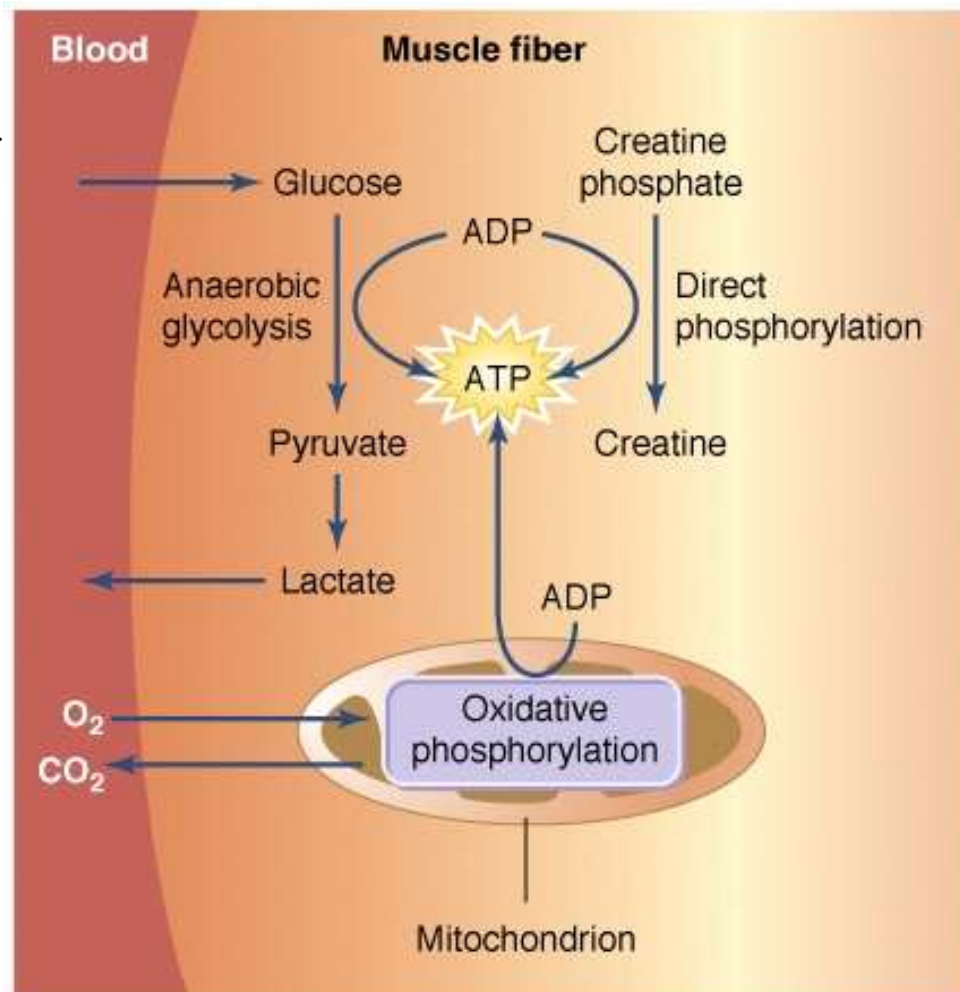
izometriás: azonos hossz mellett növekvő feszülés

izotóniás: azonos feszítettség csökkenő hossz mellett

A kontrakció energetikája

fő energiaigény:

- miozin ATPáz aktivitása
- Ca^{2+} pumpák (intracelluláris Ca^{2+} szint visszaállítása)
- **kreatin-foszfát** (rövid ideig)
- **aerob glikolízis**: szabad zsírsavak és glükóz oxidatív lebontása (nyugalomban és kisebb munkavégzésnél)
- **anaerob glikolízis**: piruvátból tejsav (intenzív munkavégzés; izomláz; O_2 - adósság)
- ATP, foszfokreatin-raktár kimerülése: Id. hullamerevség



Vázizomrost típusok

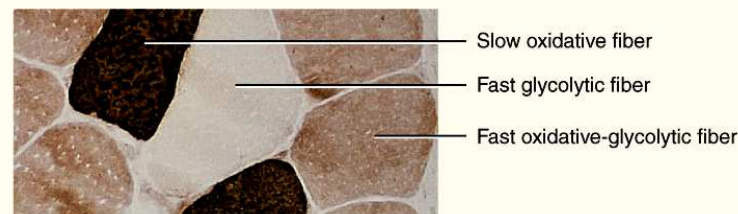
I. tónusos rostok

- igen lassú kontrakció, rángás nincs
- nincs AP, de a motoneuron az izomroston rengeteg szinapszist ad
- miozin keresztköti ciklus igen lassú: lassú összehúzóási sebesség de hatékony izometriás összehúzóás
- kétélű, hüllő, madár: testtartási izmok; emlős: izomorsó és extraokuláris rostok

II. fázisos (twitch, rángási) rostok

- I. típus: lassú rángás és lassú fáradás; lassú, oxidatív (SO)
 - "vörös" izmok; sok mioglobin és mitokondrium, jó vérellátás; kitartó
 - emlős testtartás
- IIa típus: gyors rángás, oxidatív (FO)
 - gyors kontrakció, lassú fáradás: ez is "vörös" izom, sok mioglobin és mitokondrium, jó vérellátás; kitartó
 - vadon élő madarak repülő (mell)izmai
- IIb típus: gyors rángás, glikolitikus (FOG)
 - igen gyors, de gyorsan is fárad; "fehér" izmok
 - baromfi mellizom, kétélűek, hüllők
- egy izomkötegben keverve is! (ld. a motoros egységnél)

A fázisos izomrostok típusai



felépítés

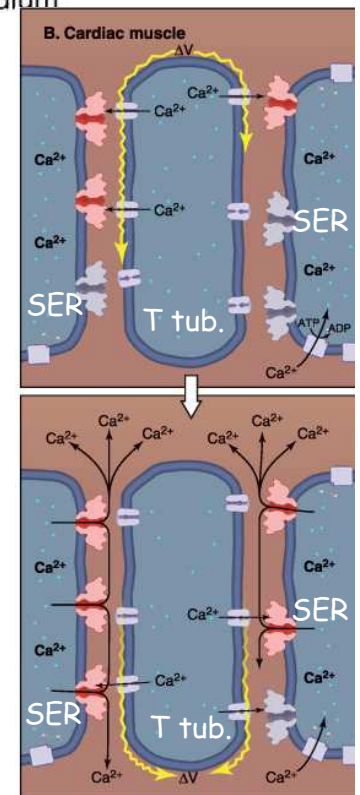
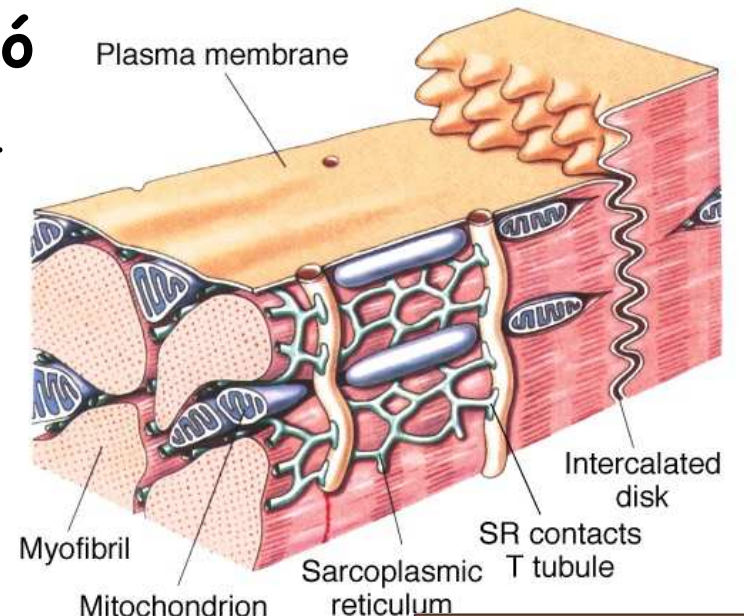
| | lassú, oxidatív (SO) | gyors oxidatív-glikolitikus (FOG) | gyors glikolitikus (FG) |
|--------------------|----------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| rostátmérő | legkisebb | közepes | legnagyobb |
| mioglobín tartalom | sok | sok | kevés |
| mitokondrium | sok | sok | kevés |
| kapillárisok | sok | sok | kevés |
| szín | vörös | vörös-rózsaszín | fehér |

működés

| | | | |
|-------------------------------|--|---|--|
| ATP termelés mértéke és módja | aerob sejtlégzés, nagy kapacitás | aerob/anaerob glikolízis; közepes kapacitás | anaerob glikolízis, alacsony kapacitás |
| miozin ATPáz aktivitás | lassú | gyors | gyors |
| kontrakció sebessége | lassú | gyors | gyors |
| fáradás sebessége | lassú | közepes | gyors |
| kreatinin kináz | legkevesebb | közepes | legtöbb |
| glikogén raktárak | legkevesebb | közepes | sok |
| toborzási sorrend | első | második | harmadik |
| főbb funkció | testtartás, tartós munkavégzés (aerob) | mozgás, futás | rövid távú, intenzív munkavégzés |
| pozíció | nyak, törzs testtartási izmok | alsó végtag izmok | felső végtag izmok |

A szívizom specialitásai: kontrakció

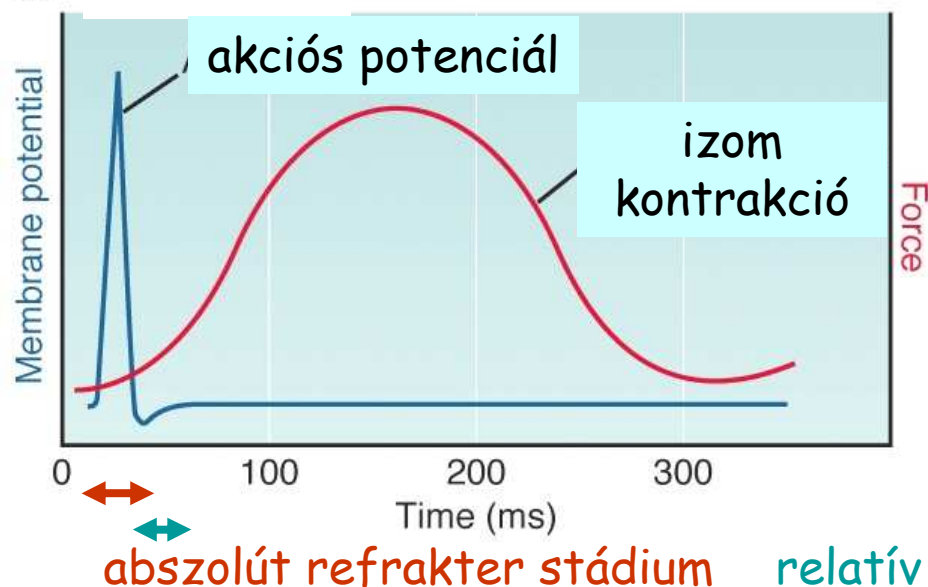
- egy sejtmagvú, "valódi" sejtek; harántcsíkolt
- elektromos szinapszis = gap junction; funkcionális szincícium
- szarkoplazmás retikulum (SR) kevésbé, T tubulus jobban fejlett, mint vázizomban
- pacemaker sejtekből kiinduló AP a munkaizomrost membránjára átkerül -> T-tubulusokon feszültség-függő Ca^{2+} csatornák -> az extracelluláris térből beáramló Ca^{2+} indítja be a SR-ból történő Ca^{2+} kiáramlást (a "kétféle" eredetű Ca^{2+} jelentősége fajfüggő)
- Ca^{2+} eltávolítás: Ca^{2+} pumpa (SR); $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ antiport (sejtmembrán)
- digitális: Na/K pumpa bénítása - hipopolarizáció és Ca^{2+} növekedés
- az aktin/miozin kontrakció mechanizmusa a vázizomhoz hasonló



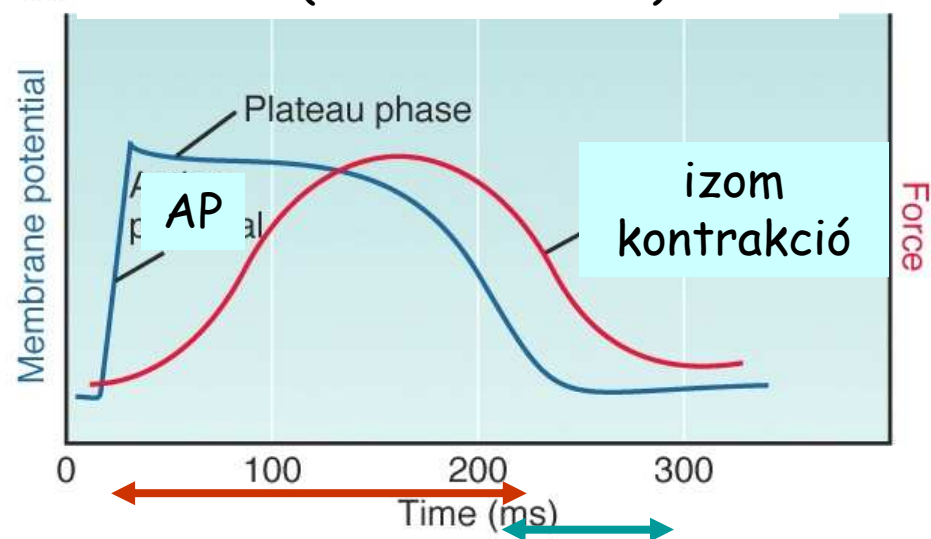
A szívizom specialitásai: akciós potenciál

- vázizomhoz képest sok hasonló, de sok eltérő vonás is
- lassú kontrakció: hosszú refrakter stádium; nem tetanizálható

(a) vázizom



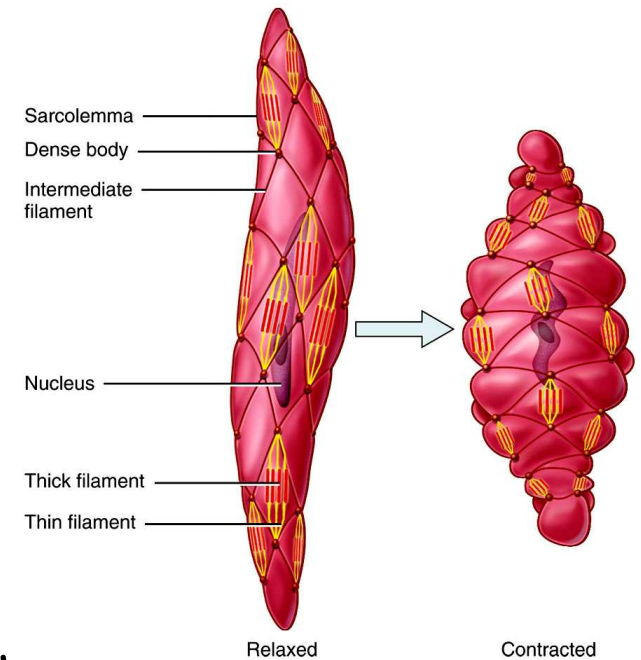
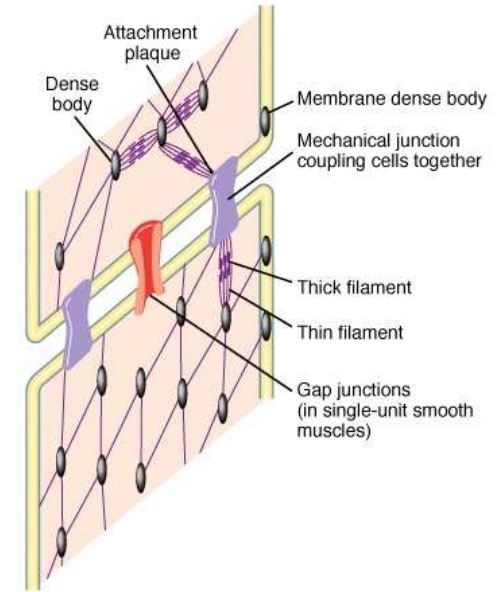
(b) szívizom (munkaizomrost)



- kétféle izomtípus: munkaizomrostokban és a ritmus-generáló sejtekben eltérő mechanizmusú az akciós potenciál kialakulása (ld. szívműködés fejezet)

A simaizom specialitásai

- nem harántcsíkolt; aktin filamentumok a plazma sötét testjeihez vagy a membránhoz kapcsolódnak; miozin filamentumok aktinnal párhuzamosan
- rés kapcsolatok csak az ún. *egységés simaizomban*
- tropomiozin van, de troponin helyett Ca-kalmodulin kötés (kaldezmon)
- szarkoplazmás retikulum (SR) gyengén fejlett; kevesebb mitokondrium, inkább glikolitikus; ált. nagyon lassú kontrakció
- Ca^{2+} ECF-ből és SR-ból is belép feszültség- és ligandfüggő csatornákon át; eltávolítás SR felé
- aktiváció pacemaker sejtek, hormonok, varikozitásokból felszabaduló mediátorok hatására
- **nincs gyors Na^+ csatorna, AP nem mindig alakul ki; kontrakció Ca^{2+} szint növekedése miatt**

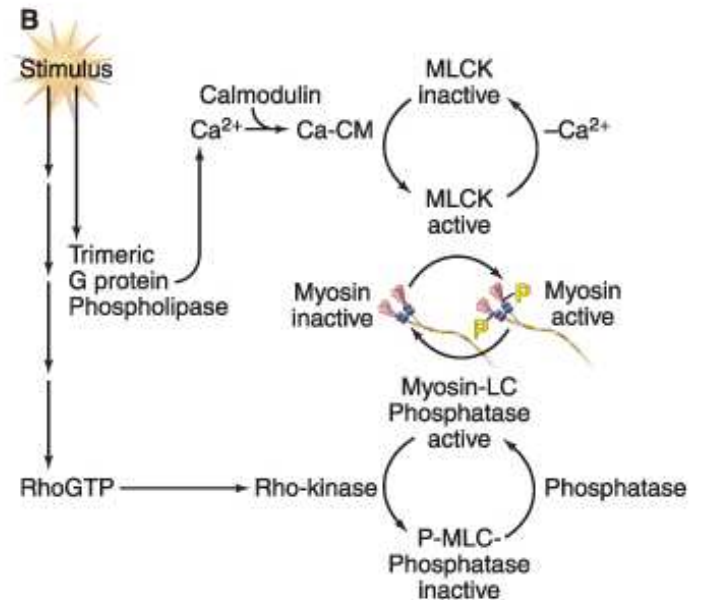
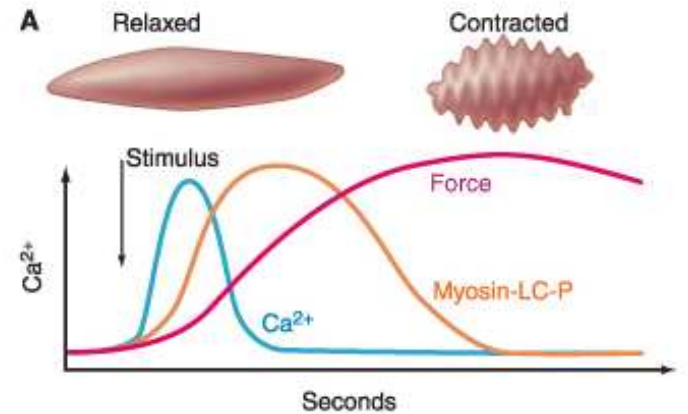


A simaizom kontrakciója I.

- kontrakció szabályozása aktin és miozin filamentumokon keresztül is; Ca^{2+} és foszforiláció (ATP) függő

1. a kontrakció szabályozása miozin filamentumokon

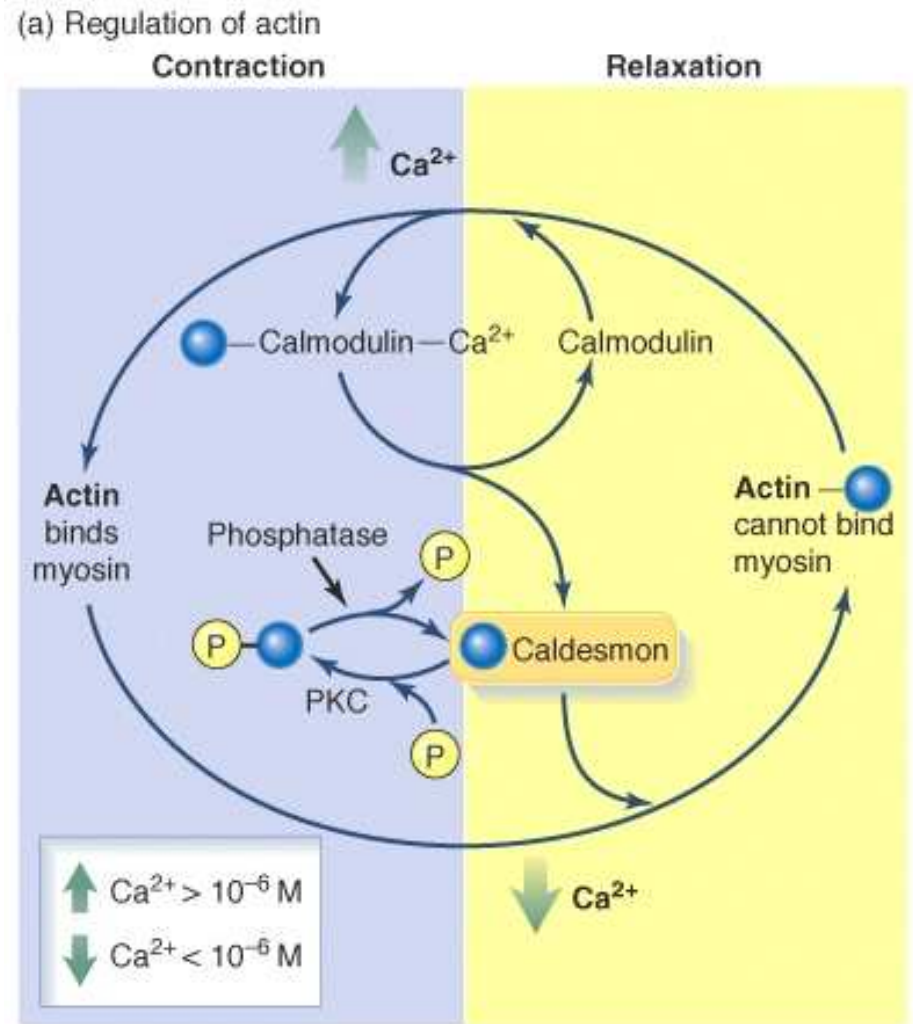
- a kontrakciót elsődlegesen a **miozin könnyűlánc-kináz (MLCK)** aktivitása, azaz a miozin könnyű láncának (MLC) (de)foszforilált állapota szabályozza
- **intracell. Ca^{2+} emelkedés** - Ca-calmodulin komplex kialakul és MLCK-t aktiválja - miozin könnyű lánc foszforiláció - kontrakció
- egyéb stimulusok a miozin könnyű lánc foszfatázt (MLCP) foszforilálva gátolják annak működését - MLC tovább marad foszforilált, kontrakció



A simaizom kontrakciója II.

2. a kontrakció szabályozása aktin filamentumokon

- **kaldezmon**: aktomiozin ATP-áz aktivitását gátolja
- troponin helyett **kaldezmon** blokkolja az aktin-miozin kötést: Ca-kalmodulin kötés vagy PKC foszforiláció felszabadítja
- intracell. Ca^{2+} növekedés - aktin kötőhely felszabadul
- **reteszelt (latch) állapot (tónusos kontrakció)**: az aktin-miozin kötés fenntartási fázisa; alacsonyabb Ca^{++} szint mellett is hosszan fennáll, bár a könnyű lánc foszforiláltsági foka alacsony (lassú ciklusok)
- méhizomzat: terhesség alatt sok kaldezmon, de vajúráskor lecsökken a mennyisége



A simaizom típusai

- rövid távon magasabb, de hosszabb távon alacsonyabb ATP-igény a kontrakcióhoz, mint a vázizomnál

1. működés szerint

- fázisos

alap állapotban relaxált, az üreges szerv térfogatnövekedésére (ingerre) húzódik össze (nyelőcső, húgyhólyag); ált. AP-ra húzódik össze

- tónusos

ált. kontrahált (záróizmok, légutak, erek); nem AP-függő; alacsony energia-igény

2. funkció szerint

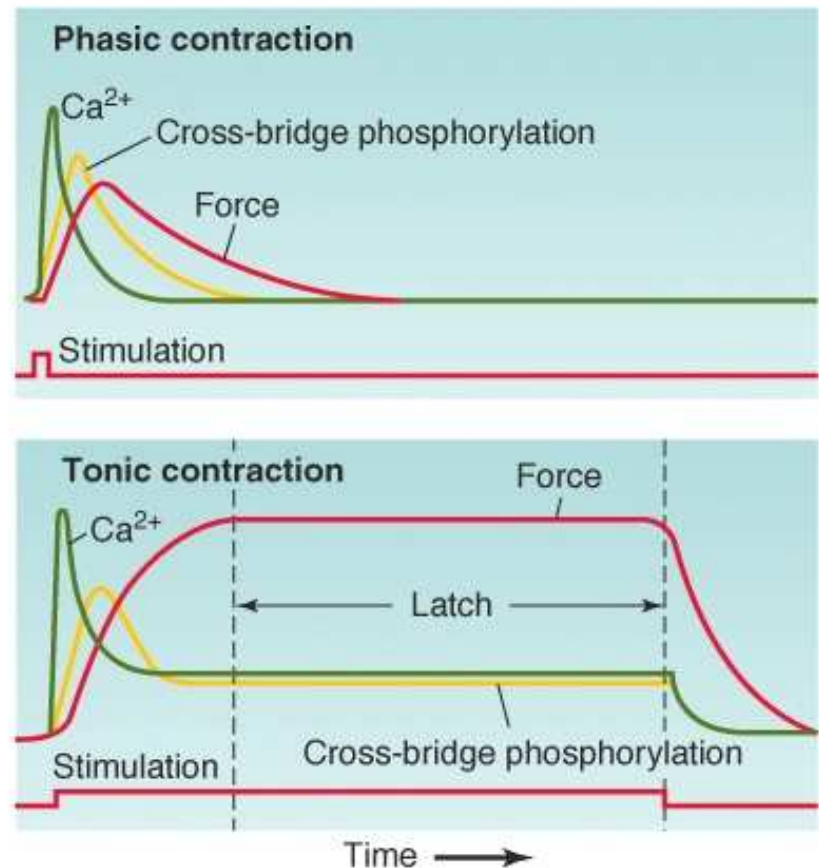
- motilitás biztosítása

(zsigerek)

- üreges szerv alakjának, térfogatának biztosítása

(húgyhólyag)

(a) Vertebrate smooth muscle



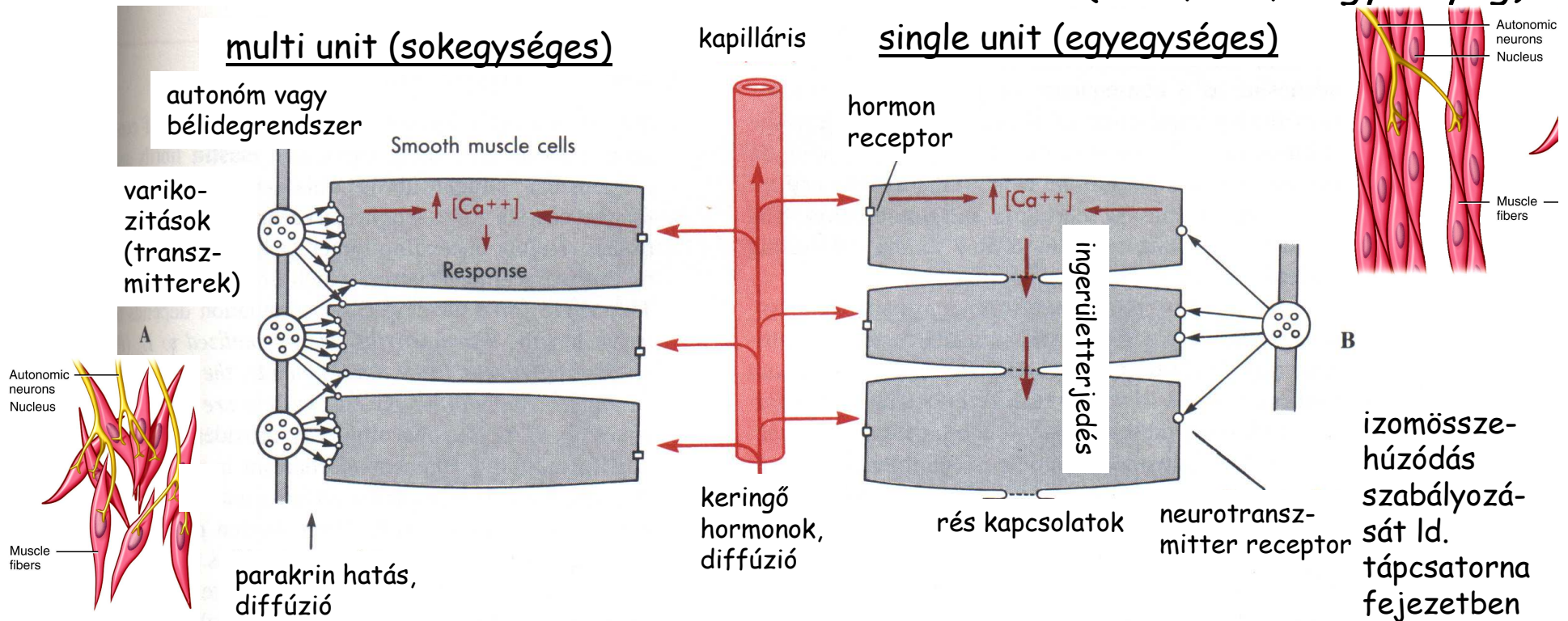
3. működés/felépítés szerint

multi unit (sokegységes)

- önálló sejtek külön-külön varikozitásokkal
- külső és hormonális beidegzés
- pl. pupilla - iris izmai; vas deferens

single unit (egyegetéses)

- elektromos szinapszis (gap junction) - szinkron összehúzódás
- beidegzés csak a sejtek egy részét modulálja
- nyújtásra összehúzódás - bazális miogén tónus
- belső szervek falában (méh, bél, húgyhólyag)



A mozgatórendszer és szabályozása

végző közös út (Sherrington): a végrehajtó szerveket csak a motoneuronon keresztül lehet elérni, az integráció itt vagy ennél magasabb szinten zajlik le (az idegrendszer „kimenete”)

szomatomotoros rendszer:

- a végző közös út a **gerincvelő mellső szarvában lévő mozgóneuron** és az **agytörzsi motoros agyidegmagvak** sejtjei - ezek idegeznek be minden gerinces vázizmot
- a rostok **közvetlenül** érik el az izmokat

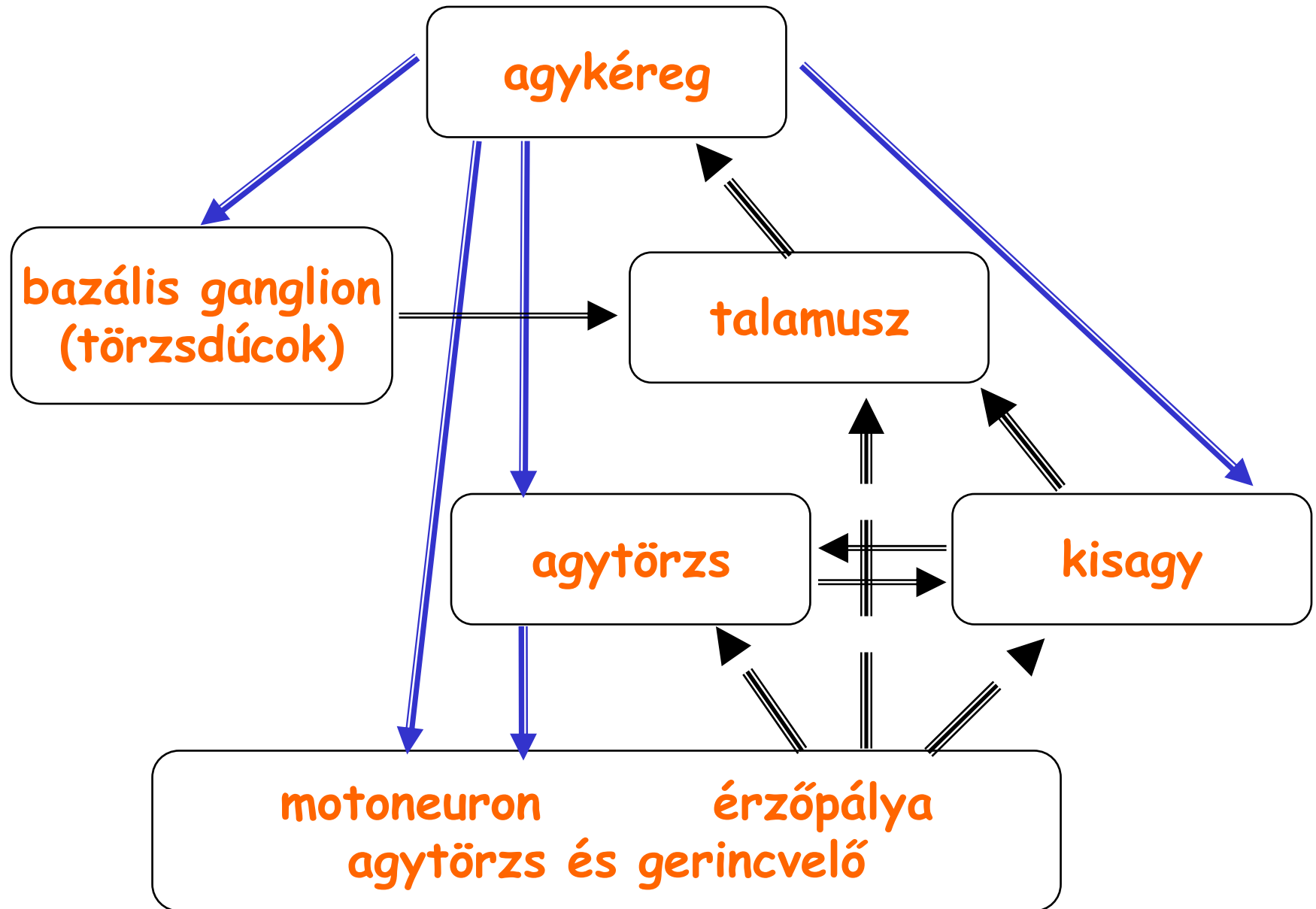
visceromotoros rendszer:

- a végző közös út a **gerincvelő laterális szarvában lévő motoneuron** és az **agytörzsi motoros vegetatív magvak**
- a rostok **átkapcsolódva** jutnak el a simaizmokhoz és a mirigyekhez

szenzomotoros rendszer: azon területek összessége, melyek ingerlése mozgást vált ki - a mozgató rendszer a szomatoszenzoros bemenetekkel együtt

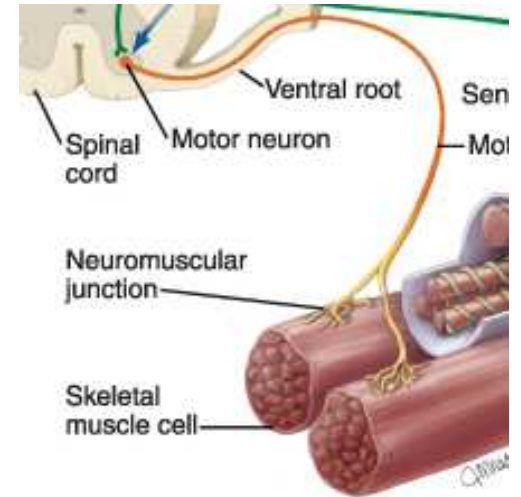
- több szintű szabályozás, de a **szomatotópia** (testtáj-szerinti reprezentáció) minden szinten érvényesül

A mozgatórendszer felépítése



A motoros egység

- egy izomrosthoz egy motoneuron tartozik, de egy motoneuron több izomrostot láthat el - szinkronizált működés
- 1:1 szinaptikus kapcsolat: 1 AP - 1 rángás
- beidegzési arány változó: külső szemizom-10; kéz-100; láb-2000 izomrost/motoneuron
- egy motoros egység egyféle rostból áll, de egy izomrostot (mind beidegzési arány, mind ingerküszöb szerint) többféle motoros egység építhet fel
- az izomfeszülés szabályozása, a gradálható izommozgás alapja:
 - az ingerlés **frekvenciájának** változtatása - tetanuszos összehúzódás mértékének/időtartamának beállítása
 - **recruitment** („toborzás”) - további motoros egységek bevonása; a feladattól függően más-más típusú rostok aktiválódhatnak

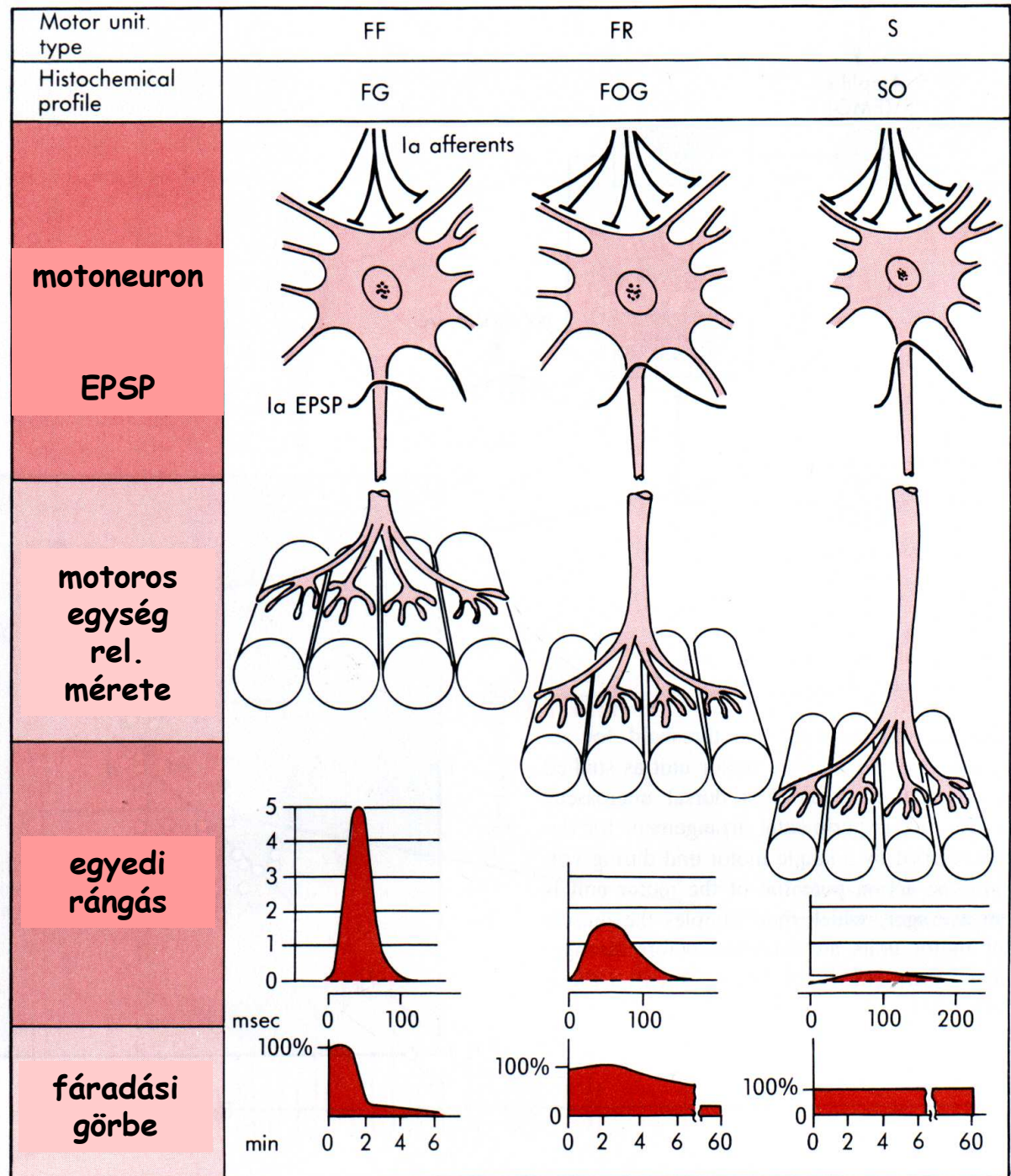


A motoros egység típusai

FF: gyors, gyorsan fáradó,
IIb
gyors glikolitikus (FG)

FR: gyors, lassan fáradó;
IIa
gyors oxidatív-
glikolitikus (FOG)

S: lassú, kitartó, I
lassú oxidatív (SO)



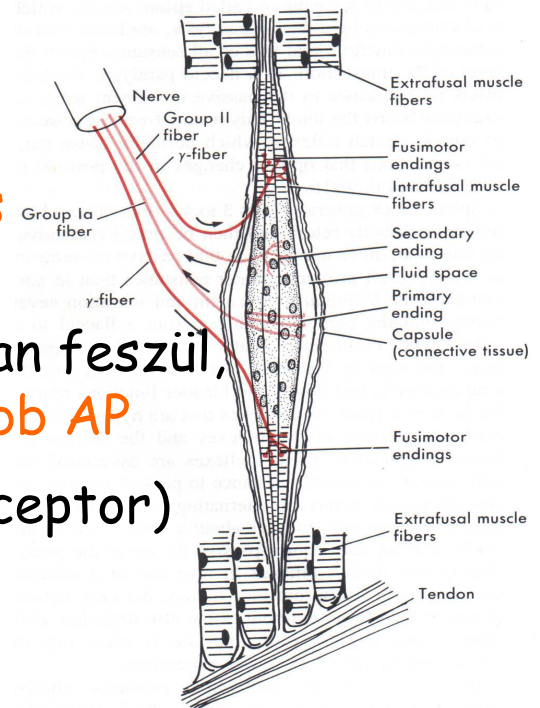
A mozgásszabályozás szintjei

izomorsó, ínorsó, ízületi receptorok:

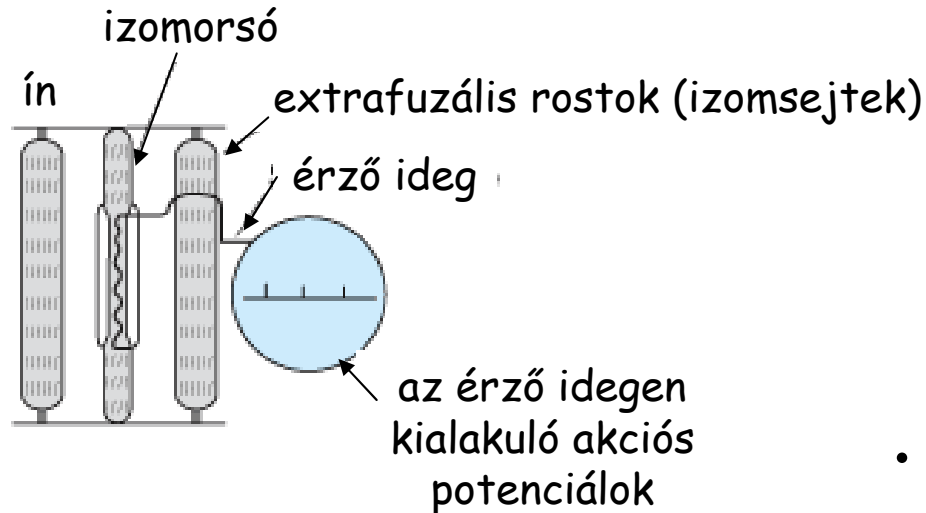
- ingerületük nem tudatosul, de gerincvelői reflexeket indítanak és a mozgatórendszer aktiválását is befolyásolják
- proprioceptív szervek (szervezetben belüli inger érzékelése)

Az izomorsó I.

- munkaizomzat rostjai (=extrafuzális rostok) közötti párhuzamos, módosult izomrostok
- 4-10 mm hosszú, tokba zárt; belsejében **intrafuzális** rostok (magzsák vagy maglánc receptorok)
- **feszítettséget (= izom hossza) érzékel** - minél jobban feszül, annál nagyobb receptorpotenciál alakul ki -> **gyakoribb AP**
- afferens rostok: primer végződés (annulospirális receptor)
 - Ia /II afferens rostok gerincvelő hátsó szarvába
- beidegzés: **γ -efferens axonok** (fuzimotor rendszer)
 - speciális motoneuronok, gv. mellső szarvában
 - az intrafuzális rostok két végét idegzik be: kontraktilis elemek itt találhatóak -> az izomorsó feszítettségét (érzékenységét) közvetlenül szabályozza



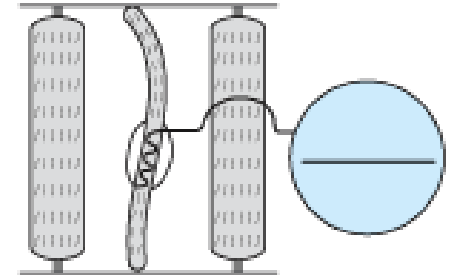
az izom nyugalomban



- "alap" AP az afferensen

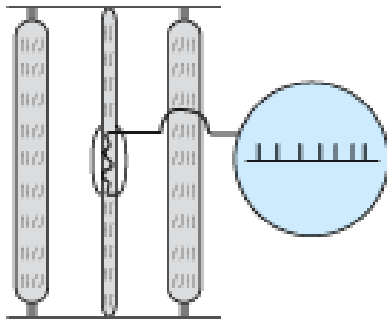
Az izomorsó működése

az izom kontrakciója



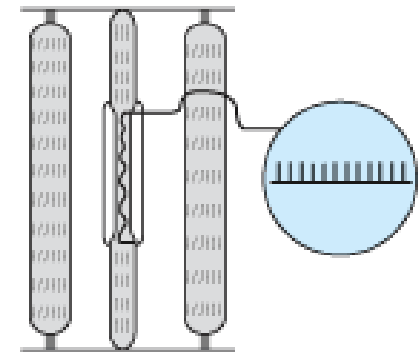
- extrafuzális rostok rövidülnek -> izomorsó elernyed -> nincs AP

az izom megnyújtva



- izomfeszülés -> izomorsó is megnyúlik
- fokozott AP -> reflexes izomrelaxáció

γ -efferens aktiváció



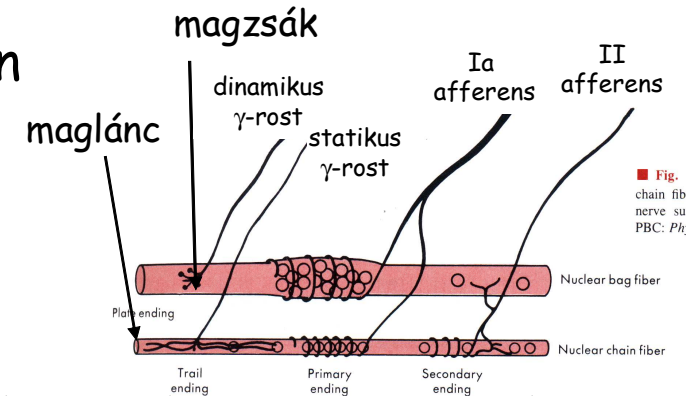
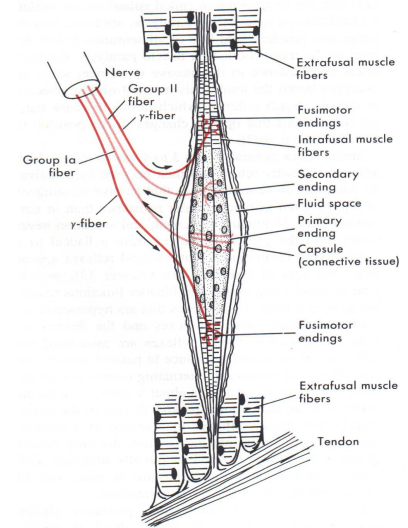
- izomorsó megfeszítve -> érzékenyebbé válik -> fokozott AP

Az izomorsó II.

- az extrafuzális (munkaizom) rostok összehúzódására az intrafuzálisak ellazulnak; passzív megnyúlás esetén az intrafuzális rostok is megfeszülnek (γ -efferenciáció)-**feedback reguláció** az izomhossz fenntartására

- izomhossz fenntartása:

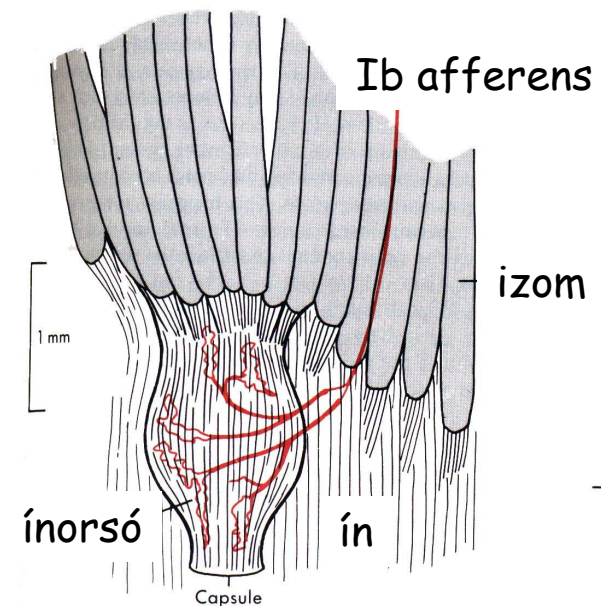
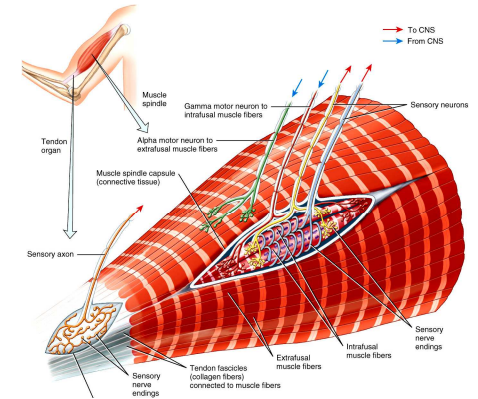
- izom passzívan megnyúlik \rightarrow izomorsó megnyúlik \rightarrow afferens AP frekvencia nő \rightarrow direkt motoneuron aktiváció a gerincvelőben \rightarrow reflexes extrafuzális rost kontrakció;
- izom aktívan összehúzódik \rightarrow izomorsó elernyed \rightarrow γ -efferenciáció változatlansága mellett nincs afferens AP \rightarrow izom relaxáció



- afferens és efferens rostok egyszerre aktiválódnak, így az izomorsó érzékenysége állandó
- **dinamikus válasz**: magzsák receptorok; az izom nyúlása alatt gyorsabb, tartós feszítettség esetén lassabb AP sorozatok
- **statikus válasz**: magzsák és maglánc receptorok is; tartós feszítettség esetén gyors AP sorozatok
- csökkenti a feedback szabályozás „késése” miatti oszcillációt

Az ínorsó

- egy pontig minél jobban feszül az izom, annál jobban kontrahál (ld. izomorsó) - a túlzott feszítés azonban elernyedést idéz elő
- **Golgi-féle ínorsó: az ínban kialakuló erőről** ad információt
- az izmokkal "sorosan" kapcsolt: az izom kontraktilis szakasza és az ín határán
- ~1 mm-es, tokba zárt képződmény
- az izom aktív feszülésére érzékenyebb, de a passzív nyújtásra is reagál
- Ib afferensek a kollagén rostok körül; feszülésre deformálódnak -> afferens ingerület a gerincvelőbe -> gv-i gátló interneuron aktivációja -> IPSP (gátlás) az adott izmot beidegző motoneuronon és az antagonista izom aktivációja -> **adott izom relaxációja mellett ellenoldali izom kontrakció** -> testtartás megőrzése

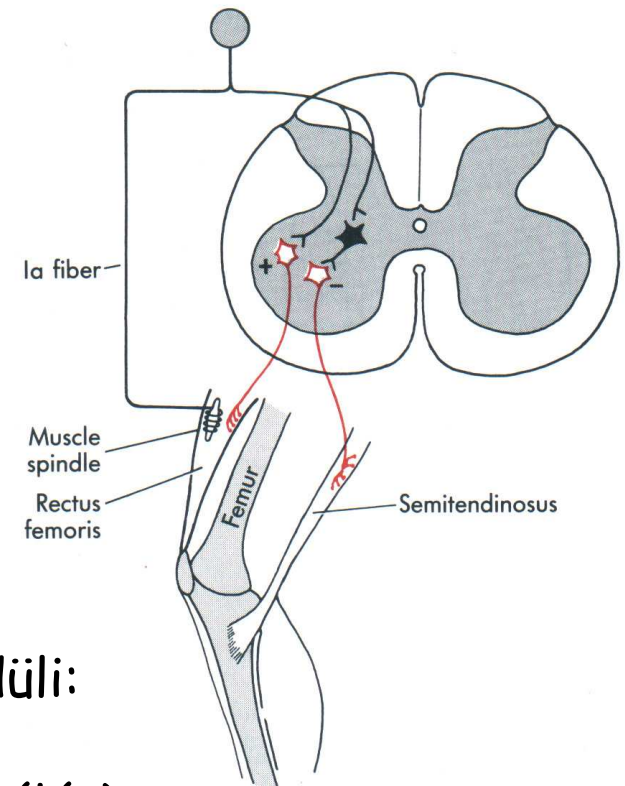


A gerincvelői reflexek I.

- a mozgásszabályozás hierarchiájának legalsó szintje

A miotaktikus (monoszinaptikus, nyújtási v. feszítési) reflex

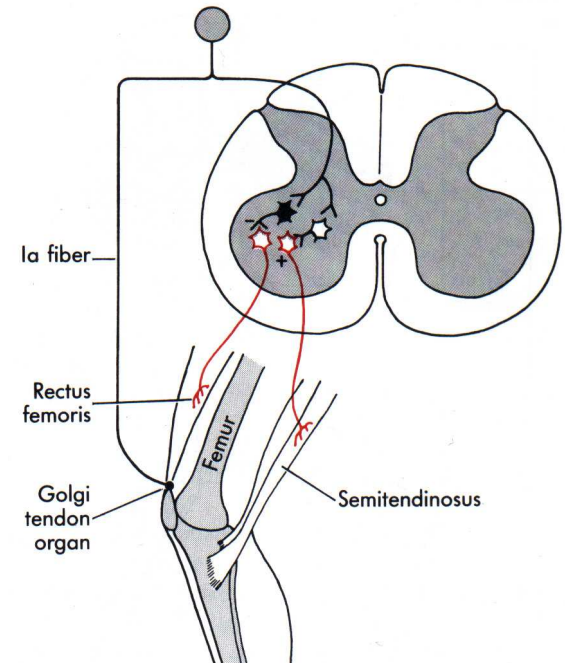
- saját (proprioceptív) reflexív: **izomorsó afferensei ugyanazon izom motoneuronjain végződnek**
- reciprok innerváció: azonos szelvényben; antagonistá izomrostok gátlása;
- **izomorsó nyújtására reflexes összehúzódás** (patella reflex, Achilles ín reflex)
- az izomtónus (passzív mozgással szembeni ellenállás) szabályozásában fontos, de nem egyedüli: magasabb központok a motoneuronok érzékenységének beállításával modulálják (facilitálás)
- antigravitációs hatás extenzorokon (lajhárban inkább flexorokon)
- az Ia afferens kollaterálisa a spinocerebelláris pályára csatlakozik



A gerincvelői reflexek II.

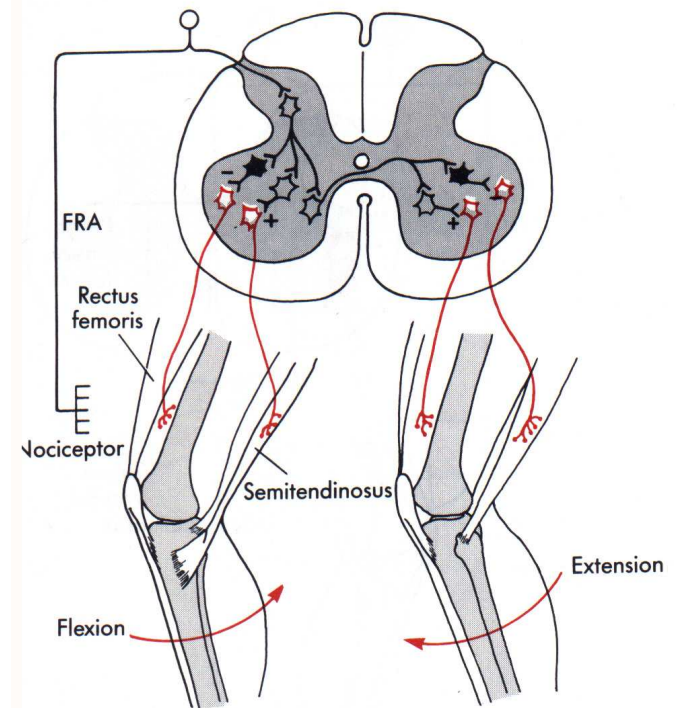
Az inverz miotaktikus reflex

- **ínorsóból** indul
- az afferens Ia rostok gátló interneuronokon át az azonos oldali motoneuront, serkentő interneuronokon át az antagonistá izmot érik el
- **miotaktikus reflexív kiegészítése**: ín feszülése csökken -> kisebb gátlás -> összehúzódás

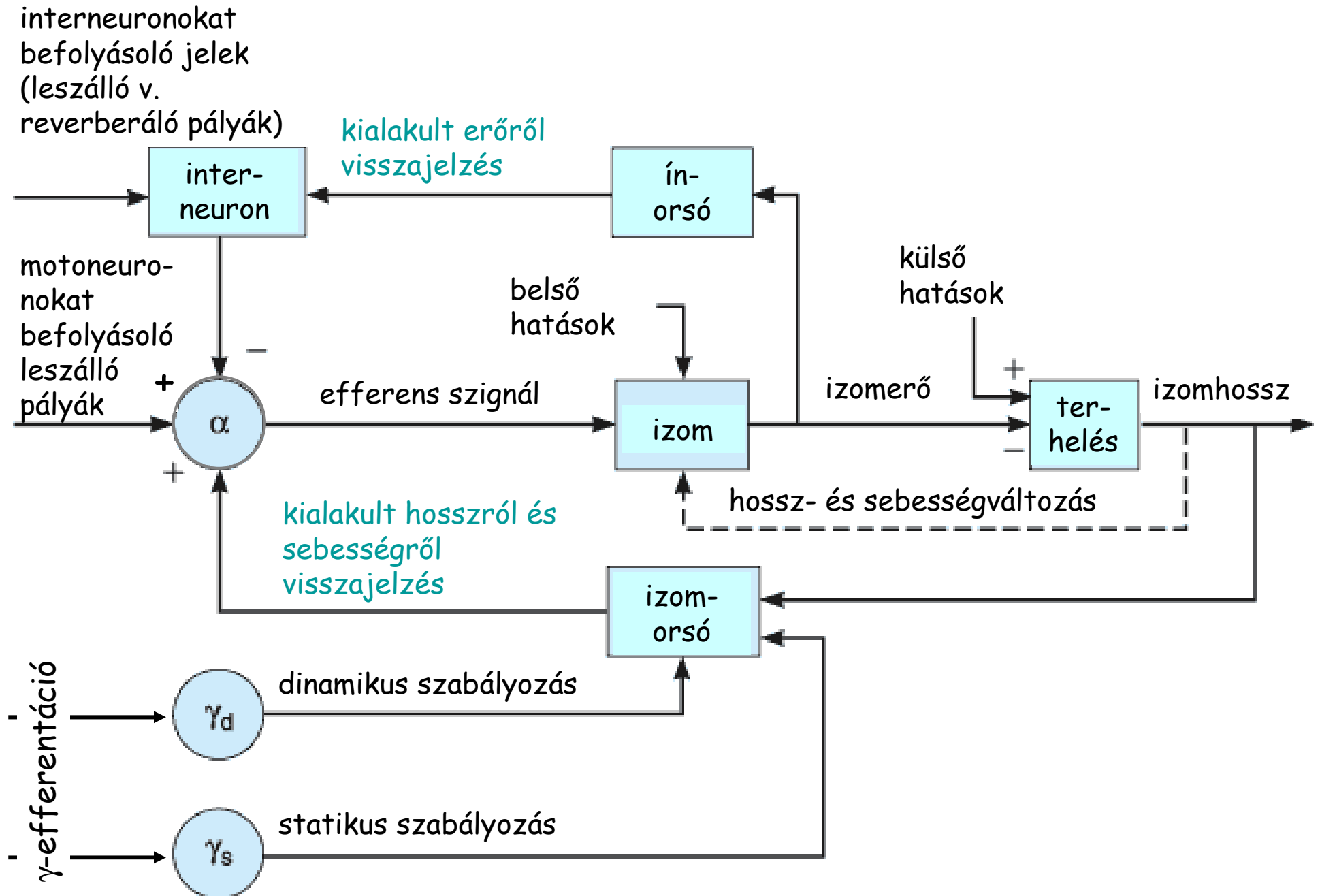


A flexor (hajlító v. poliszinaptikus) reflex

- **nociceptorokból** indul; funkciója a végtag eltávolítása a fájdalmas ingertől
- poliszinaptikus: az antagonistá izmok feszítése mellett keresztezett extenzor reflexet is kivált
- interszegmentális, sok izomcsoport

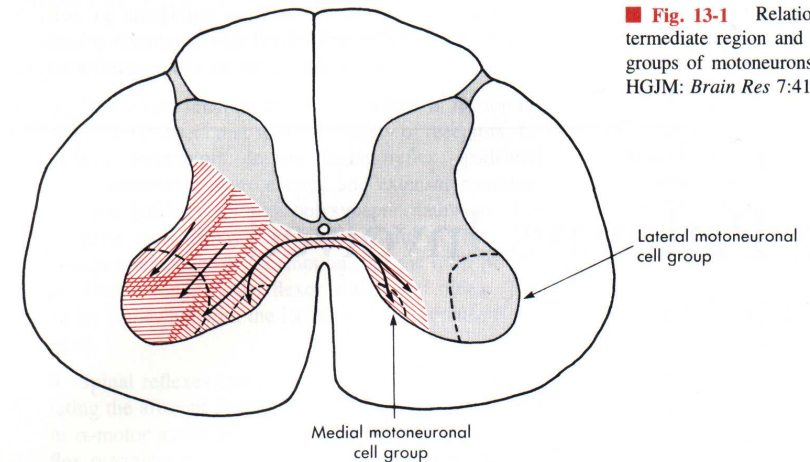


A periférás izomműködés szabályozása



A gerincvelői szerveződés I.

- a motoneuronok elhelyezkedése szomatotópiás:
 - proximális izmok motoneuronjai mediálisan,
 - disztálisoké laterálisan;
 - extenzorok ventrálisan,
 - flexorok dorzálisan



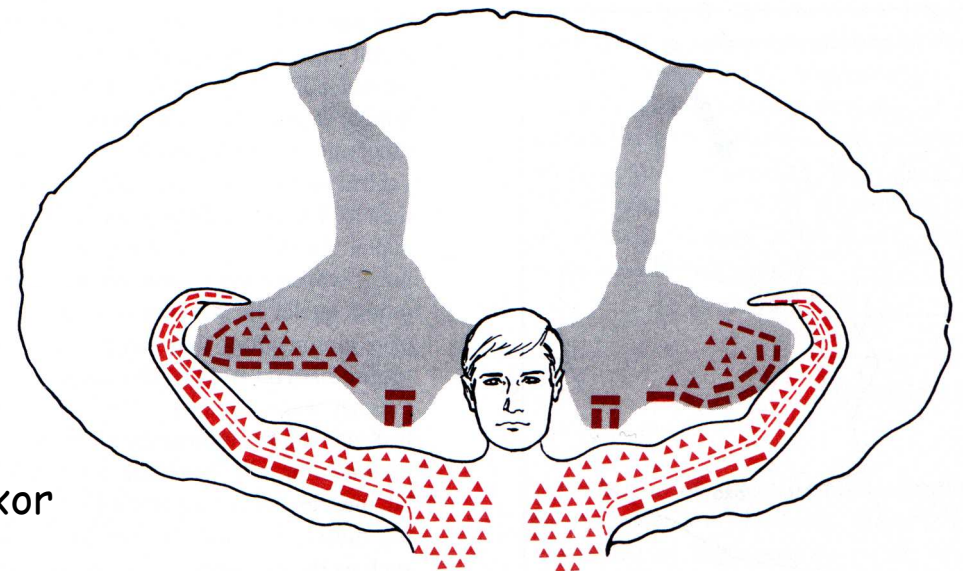
- a testtengelyi törzsizmokat beidegző motoneuronok a legmediálisabban



mindkét oldali interneuronoktól kapnak bemenetet



bilaterális testtartás szabályozás



extenzor motoneuron: négyszöggel; flexor motoneuron: háromszöggel jelzett

A gerincvelői szerveződés II.

- 1 izom motoneuronjai 1-4 szegmensre terjednek ki (motoneuron pool)
- 1-1 reflex a motoros egységeknek csak egy részét aktiválja (frakcionálási elv)
- a reflexek és az akaratlagos mozgások egyre több motoros egység bevonásával gradálhatóak (recruitment)
 - belépés a **méret elv** szerint - először a kis egységek;
 - a legnagyobb motoros egységek gyors glikolitikusak - csak ha nagyon kell, akkor aktiválódnak (rövid ideig tartó, nagy erő kifejtés, pl. ugrás esetén)
- a recruitment mellett az **AP frekvencia** is nő; akaratlagos mozgás esetén 8-25 Hz, inkomplett tetanusz, de aszinkron módon a motoros egységekben
- gerincvelő átmetszése: **spinális sokk**, reflexek átmenetileg gátoltak, majd az ingerküszöb nagyon lecsökken; időtartama a kefalizáció fokától függ
- γ -efferens motoneuronok szabályozása: gerincvelői leszálló pályák
 - az izomorsó érzékenységet és a reflex-válasz küszöbét szabályozzák
 - testtartás szabályozása (egyéb befolyás: izgalom, fájdalmas bőringerek, stb)

Mozgásszabályozás gerincvelői szinten: motoros sztereotípiák

- egyszerűbb mozgásformák irányítása a gerincvelőben, interszegmentálisan
- **utóleadás, reverberáló körök**: a motoros reakció tovább tart, mint a reflexet kiváltó/fenntartó ingerlés; önmagukra visszacsatoló lokális interneuron hálózatok
- **központi ritmusgenerátor** hozza létre a proprioceptív receptorok visszajelzése nélkül
 - alapja a kölcsönös gátlás, az adaptáció;
 - a mezencefalikus lokomotoros központ indítja be és irányítja normálisan
- vakaródzási reflex: ritmikusan alternáló mozgások, a frekvencia az inger nagyságától független, csak a hossza változik, az ingerelt területre specifikus
- járás: hasonló központi szerveződés, de a proprioceptorok visszajelzése és a leszálló hatások a frekvenciát befolyásolják

Mozgásszabályozás agytörzsi szinten: a testtartás agytörzsi reflexei

- az antigravitációs izmok tónusát agytörzsi magcsoportok szabályozzák (normál esetben a γ efferens motoneuronok aktiválása)
 - **vestibuláris magvak** (n. vestibularis); **Deiters mag** (n. vestibularis lateralis)
 - tr. vestibulospinalis lat. az α és γ motoneuronokon, a mellső szarvban végződik, serkentő hatású (kisagy, felsőbb motoros központok ezt ellensúlyozzák)
 - **híd-beli formatio reticularis**
 - tr. reticulospinalis med. a mellső szarvban, a törzsizomzatot és a végtagok extenzor izmait beidegző α és γ motoneuronokon végződik, serkentő hatású
- **izomtónus, testtartás agytörzsi szabályozása**: intra- és extrafuzális rostokat egyszerre serkent (γ -efferentáció) -> extenzorok fokozott tónusa
- félkörös ívjárat afferensei: **nyakizmok és külső szemizmok irányítása**
 - **vestibuláris magvak** (n. vestibularismedialis és superior)
 - vestibulookuláris reflex (III., IV. és VI. agyideg magvakhoz fut)
 - rövid pálya, gyors reakcióidő

A testtartás magasabb szintű szabályozása

- emberben az agytörzsi serkentő hatást alapvetően az **agykérgi gátlás** ellensúlyozza:
 - **dekortikációs rigiditás**; alsó végtag extenzorainak tónusa mellett a felső végtag flexor tónusa dominál (A-C ábra)
- emlősökben a **rubrospinalis pálya** is gátló szabályozást ad:
 - **decerebrációs rigiditás**: n. ruber és Deiters mag közötti átmetszés; maximálisan fokozott extenzor tónus - reflexív megszakításával megszűnik (D ábra)
 - főemlősökben ez csak a nyaki szegmensekig hat
- **kisagy**: gátló efferensek, ellensúlyozó hatás

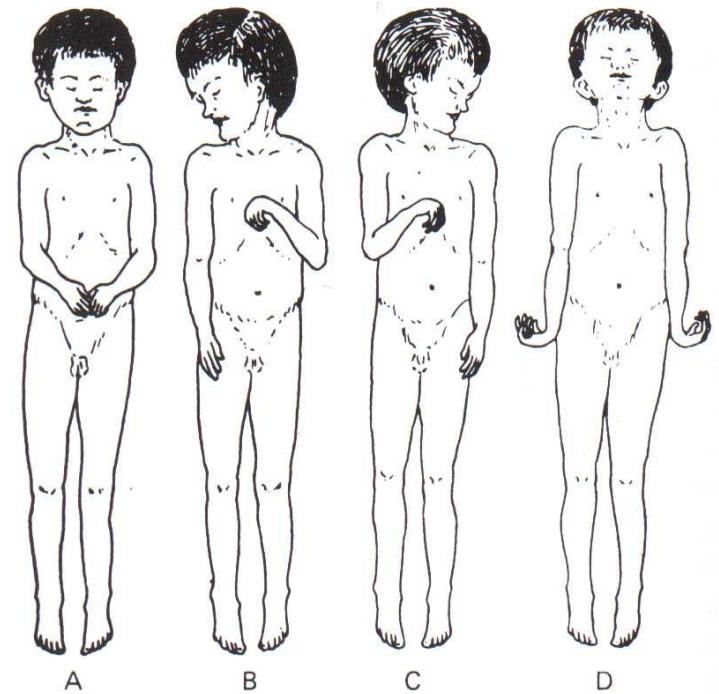
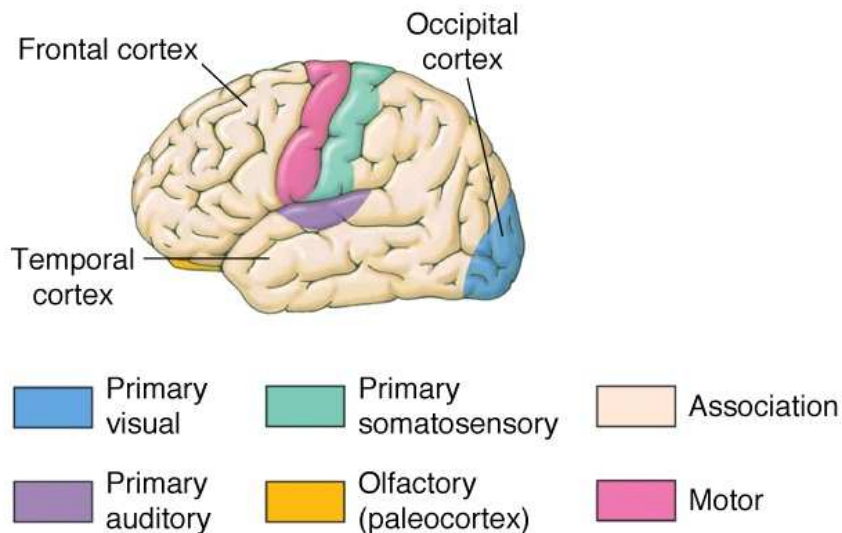


Figure 12-7. Human decorticate rigidity (**A-C**) and true decerebrate rigidity (**D**). In **A** the patient is lying supine with the head unturned. In **B** and **C**, the tonic neck reflex patterns produced by turning of the head to the right or left are shown. (Reproduced, with permission, from Fulton JF [editor]: *Textbook of Physiology*, 17th ed. Saunders, 1955.)

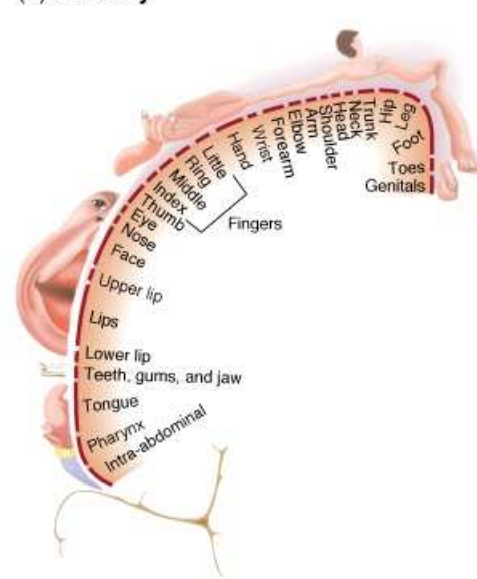
Az akaratlagos mozgások: szabályozás agykérgi szinten

- szerveződése igazán nem ismert, a funkcióra ált. sérülések és kísérletek alapján lehet következtetni
- az izomtónus szabályozása adja a háttérrel az akaratlagos mozgás kivitelezéséhez is
- tanulás és mozgás során automatikussá válhat
- **primer motoros area**: Brodmann 4. - gyrus precentralis
 - szomatotópia; ellenoldali testfél izommovgásainak kivitelezése

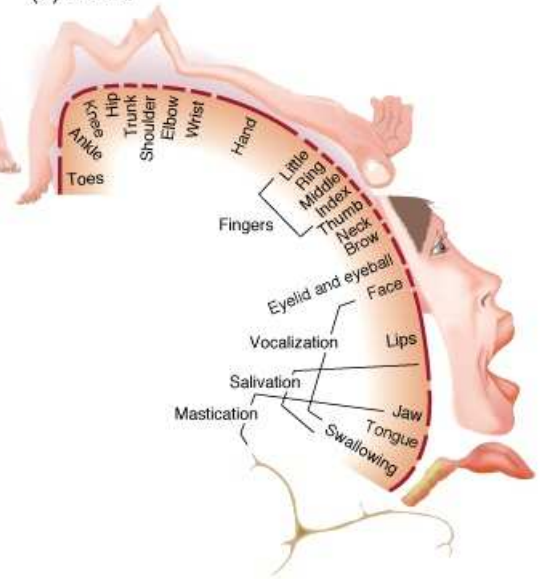
(d) Human



(a) Sensory



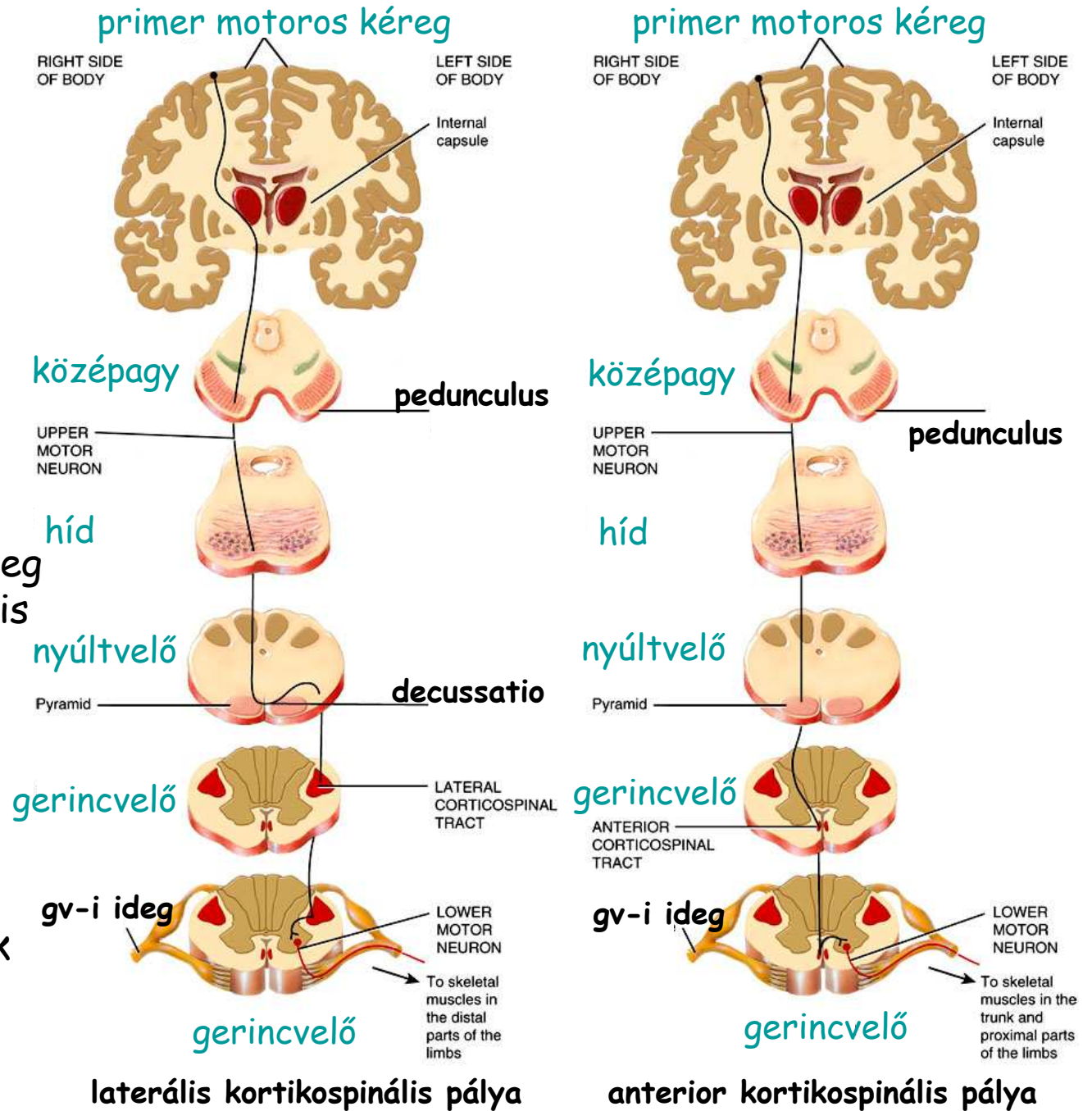
(b) Motor



- **premotor area**: Br. 6., a primer előtt
 - mozgás előkészítése (premotor kéreg) és eltervezése (szuplementer motoros area)

kortikospinális (régebben piramis) pálya

- Br4, 6, de más kérgi terület is aktiválja, de csak nagyobb közvetlen ingerlés esetén
- átkereszteződés nyúltvelőben (80%)
- közvetlen végződés α -motoneuronokon, közvetett végződés interneuronokon
- a terület bemeneteit főleg a thalamusz ventrolaterális (VL) magjából és a szenzomotoros kéregből kapja
- a VL a kisagyból és a putamenből szállít információkat, ezek közvetlenül nem vetülnek
- agykéreg - thalamusz kapcsolat kétirányú



Mozgásszabályozás a kisagyban I.

- a motoros működések koordinációja
- sérülésekor a mozgáskoordináció, az eltervezett mozgások kivitelezése, tanulása és rögzülése vesz el
- moduláris szerkezet; nagyobb felszín és több idegsejt, mint a kéregben
 - **Purkinje sejtek**: egyetlen, gátló kimenet; mély kisagyi magvakhoz, majd a ventrolaterális talamuszba vetülnek
 - sokfajta serkentő és gátló **interneuron** (Golgi, csillag-, kosár-, szemcsesejt)
 - bemenet: **kúszó rostok** (nyúltvelő n. olivából) és **moharostok** (gv, agytörzsi magvak)
- többszörös, szomatotópiás reprezentáció a kéregben és a mély kisagyi magvakban is
- kapcsolatok, törzsfejlődés alapján 3 rész
 - **vestibulocerebellum (archeocerebellum)**
 - legősibb, kaudális rész; flocculus és nodulus
 - közvetlen bemenet a félkörös ívjáratokból és az otolithból
 - **szemmozgások koordinációja, fej reflexes mozgása, egyensúly megtartása**

Mozgákszabályozás a kisagyban II.

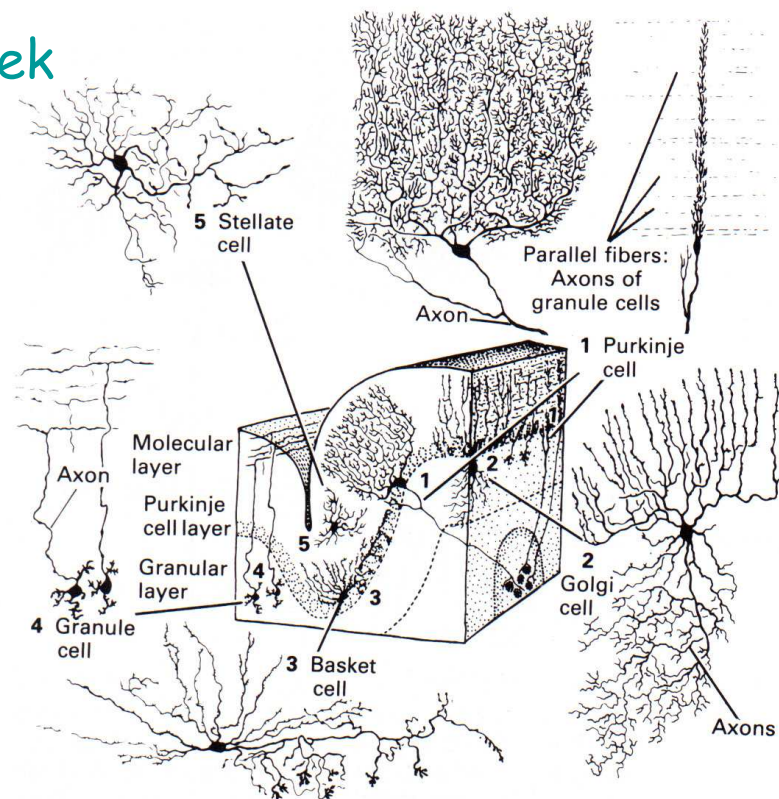
• spinocerebellum (paleocerebellum)

- középső rész: vermis, féltekék centrális és intermedier része
- bemenet a szenzoros afferensekből (dorzális spinocerebelláris pálya) - végbement változások információi (külső visszacsatolás)
- bemenet az interneuronokból (ventrális spinocerebelláris pálya) - leszálló parancsok (belső visszacsatolás) és végbement változások információi

- ellenőrzi, hogy a mozgások a tervezettnek megfelelőek-e; izomtónus szabályozása

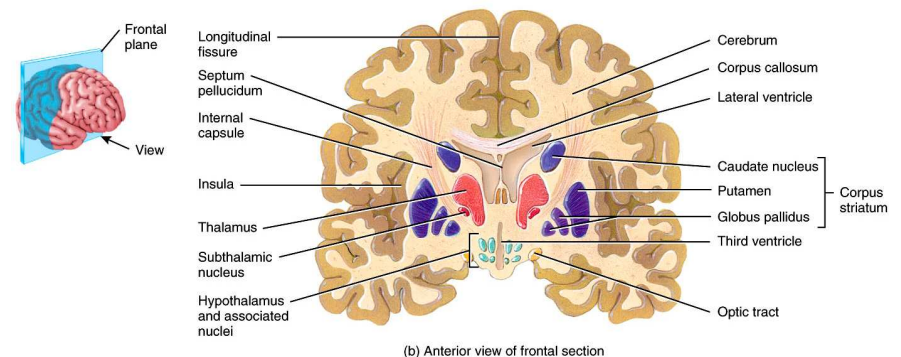
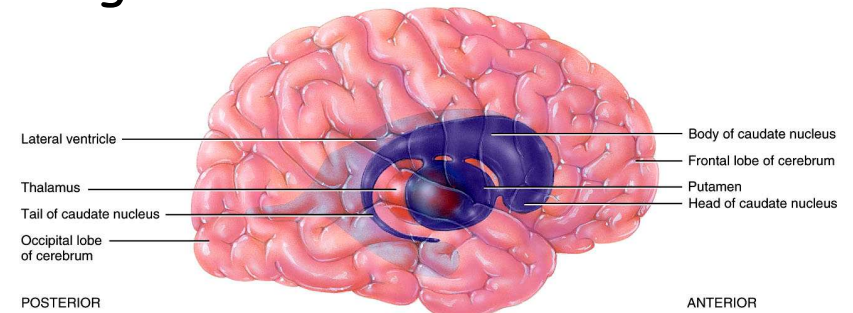
• cerebrocerebellum (neocerebellum)



- féltekék laterális része
- bemenet a n. ruberből és a kéregből a hídon át
- kimenet: n. dentatus, thalamusz, kéreg
- mozgások elindítása, leállítása, megtanulása; hiányában a mozgás túllő a célon

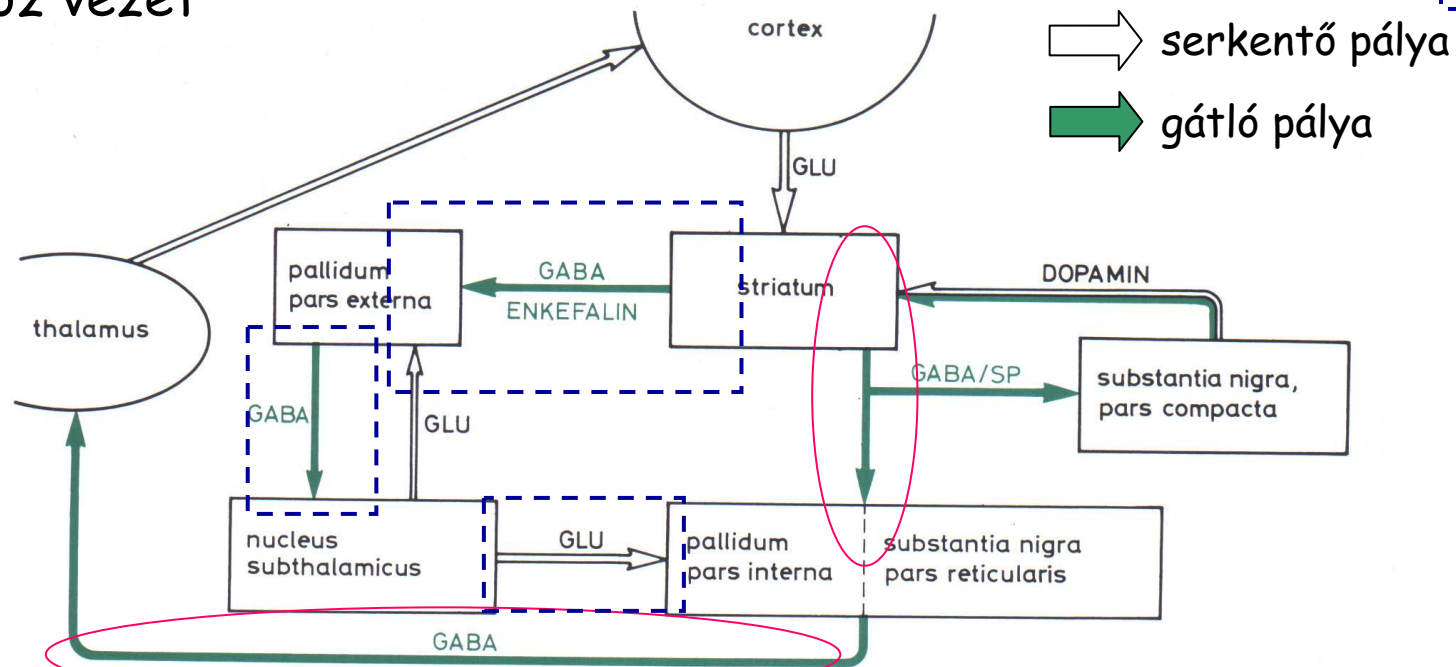


A bazális ganglionok (törzsdúcok)

- részei: **neostriátum** (n. caudatus + putamen), **globus pallidus** v. pallidum, **substantia nigra** (pars compacta, pars reticularis), **n. subthalamicus**
- főbb funkció: mozgások és izomtónus szabályozása
- legfőbb bemenet a neostriátum, kimenet a talamuszon át jut vissza a kéregbe
- kérgi sejtek előtt nem aktiválódik, így a mozgás indításában nincs szerepük
- a mozgatókéreg működését a talamuszon keresztüli többszörös (gátló) körökön keresztül módosítják (gátlás gátlása - diszinhibíció)



- **közvetlen pálya** - thalamusz "megnyitása" a kéreg felé
diszinhibíció: a kéregből jövő aktiváló neuront két gátló követi -  gátlásfelfüggesztés
- **közvetett pálya**: további gátló neuron, így végső soron a thalamusz gátlásához vezet 



- Parkinson kór: nyugalmi tremor, mozgásszegénység; subst. nigra dopaminerg sejtjeinek pusztulása; a striatum felszabadul a gátlás alól - jobban gátolja a GP-t és a subst. nigrát - thalamusz felszabadul a gátlás alól
- Huntington-chorea: rángatódzás, nagy, akaratlan mozdulatok; neostriátum kolinerg és GABAerg sejtjei pusztulnak; genetikailag öröklött; striatum kimenete csökken, thalamusz magjai gátlás alá kerülnek

Ábrák

Az ingerület-átvitel az ideg-izom szinapszisban

beidegző motoneuronon akciós potenciál →

végbunkóban feszültség-
függő Ca^{2+} csatornák nyílnak →

$[\text{Ca}^{2+}]_{\text{IC}}$ nő, vezikulák-
ból ACh ürülés →

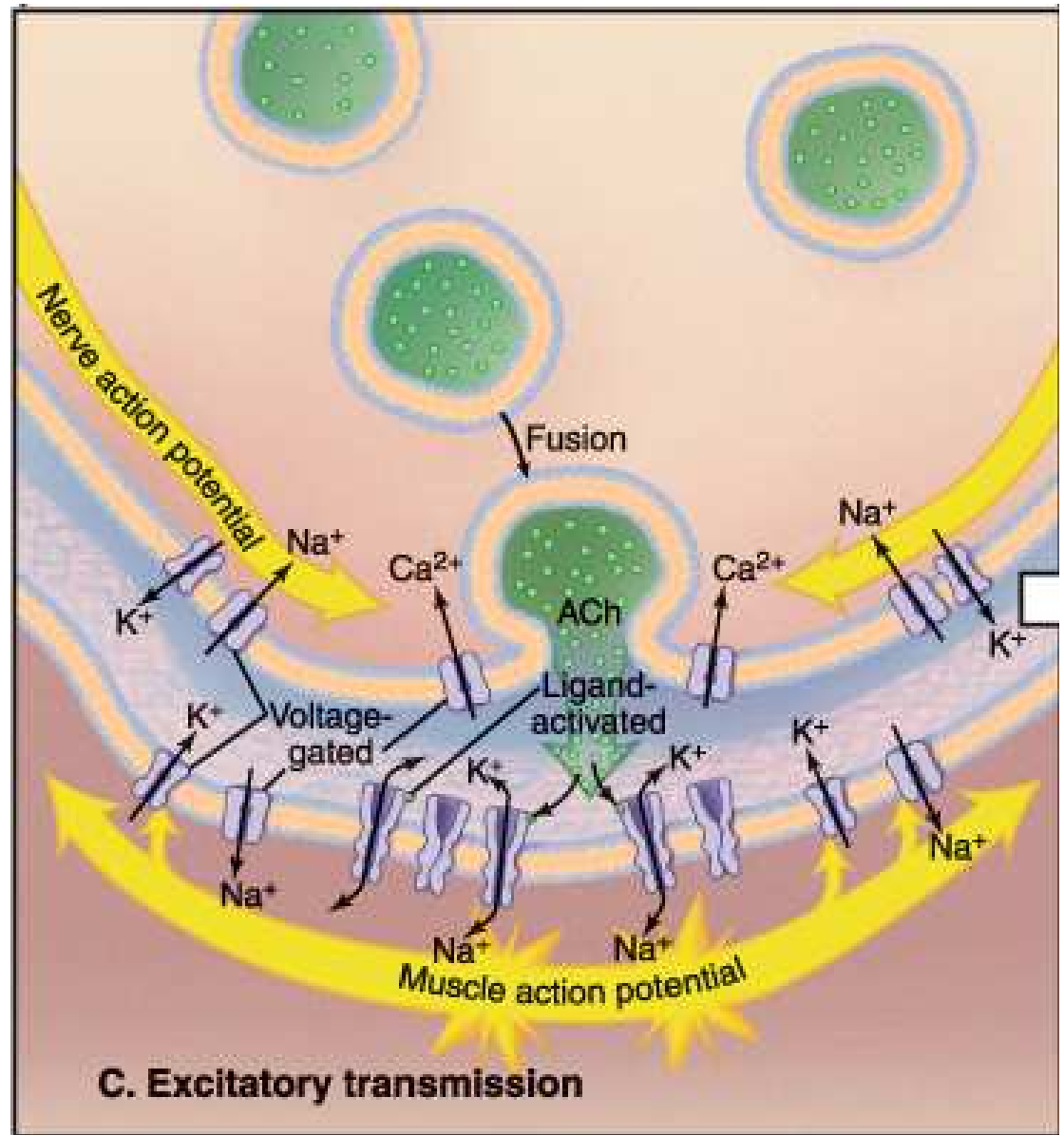
ACh izomsejt membránján
nAChR-hoz köt →

ionotrop R: lokális Na^+
beáramlás, EPSP kialakulás →

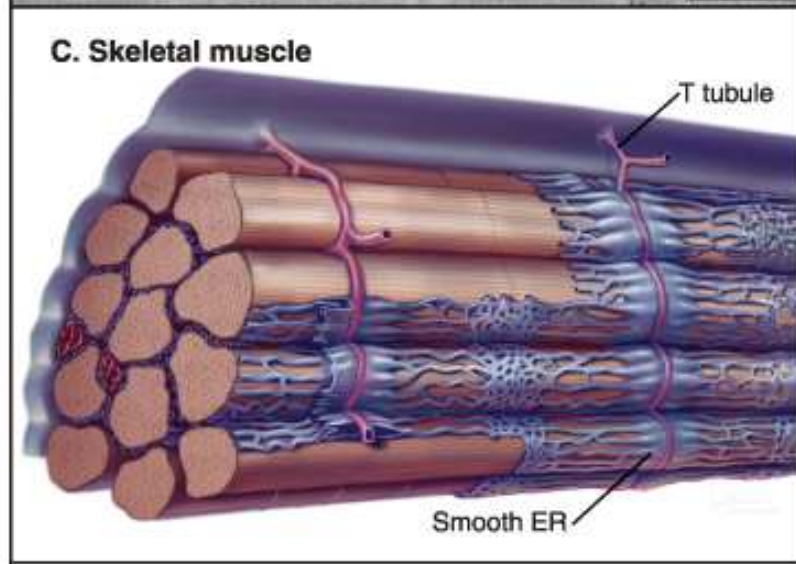
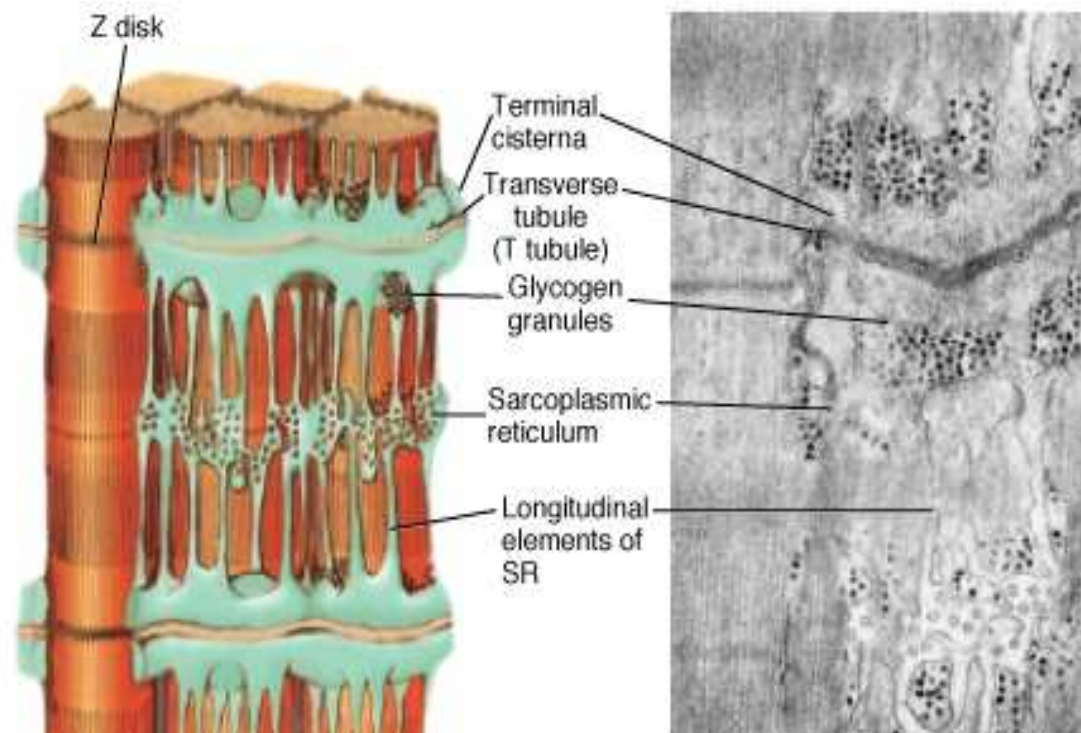
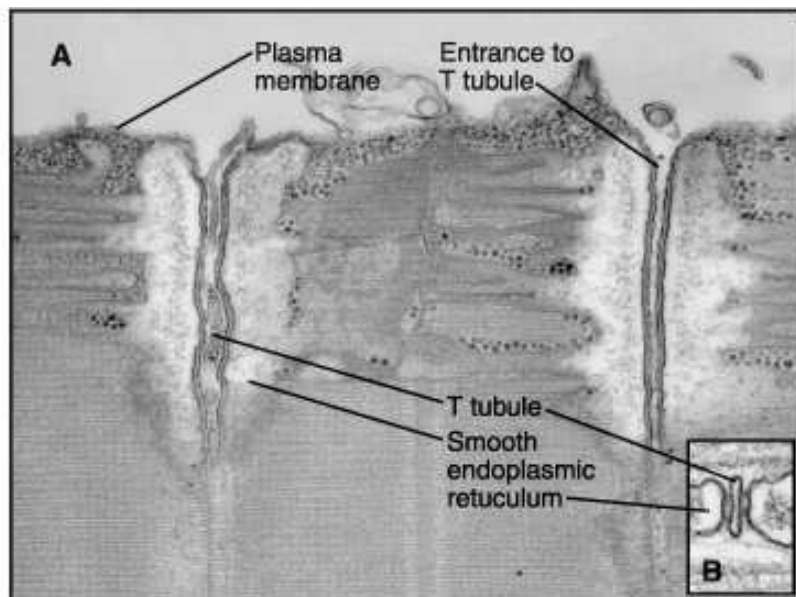
EPSP elegendő mértéke
esetén AP az izomsejt →

$[\text{Ca}^{2+}]_{\text{IC}}$ nő az
izomsejtben →

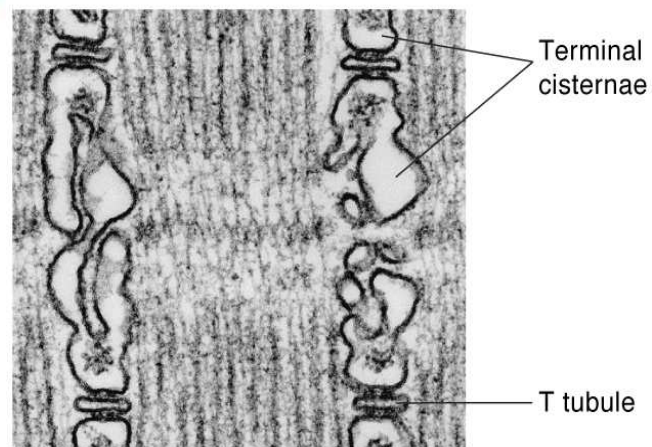
izomösszehúzódnás



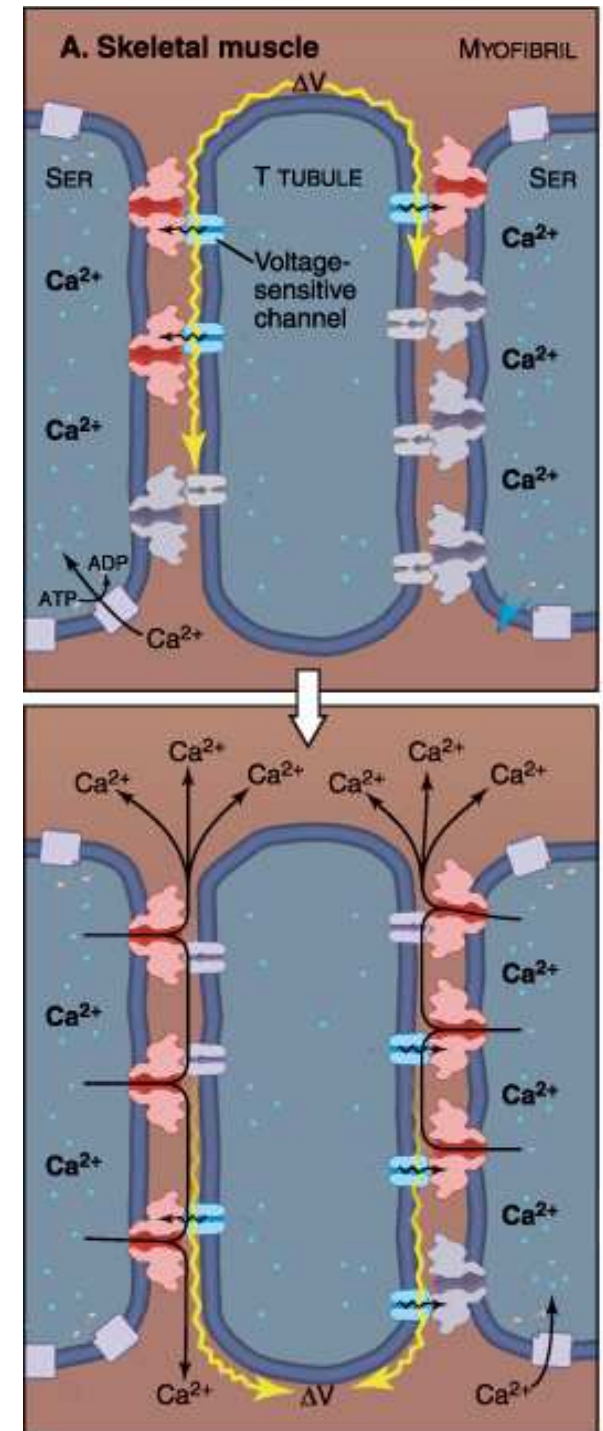
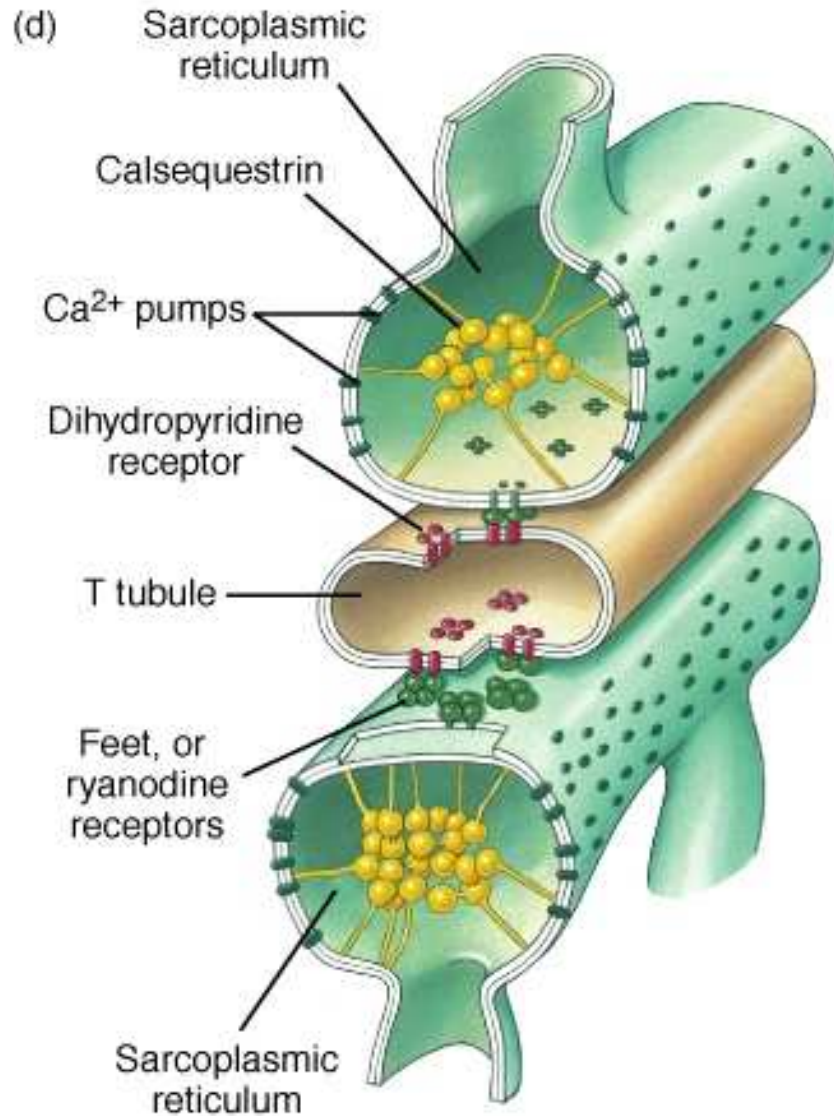
A T-tubulus-rendszer a vázizomban



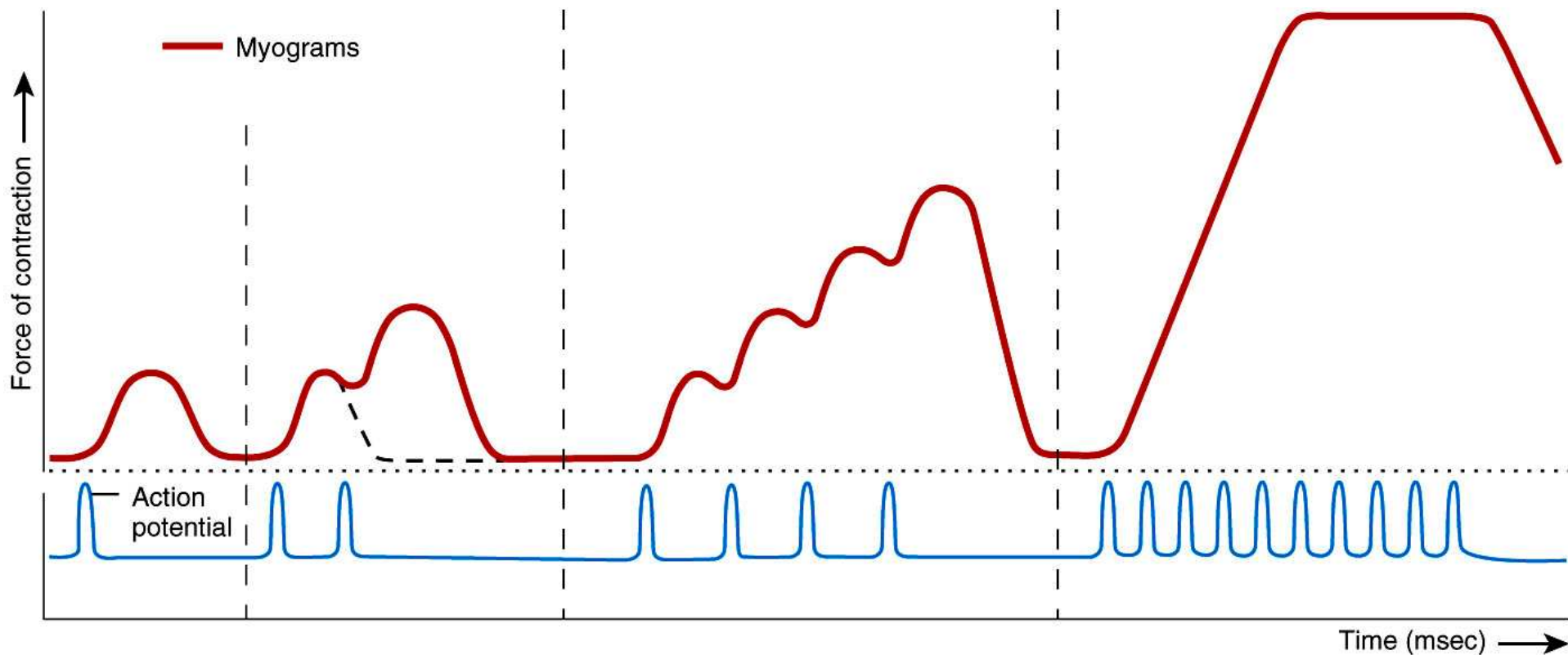
(a)



A Ca^{2+} felszabadulás módja a vázizomban



Ingersorozatok és az izomösszehúzóds ereje (tetániás rángás)



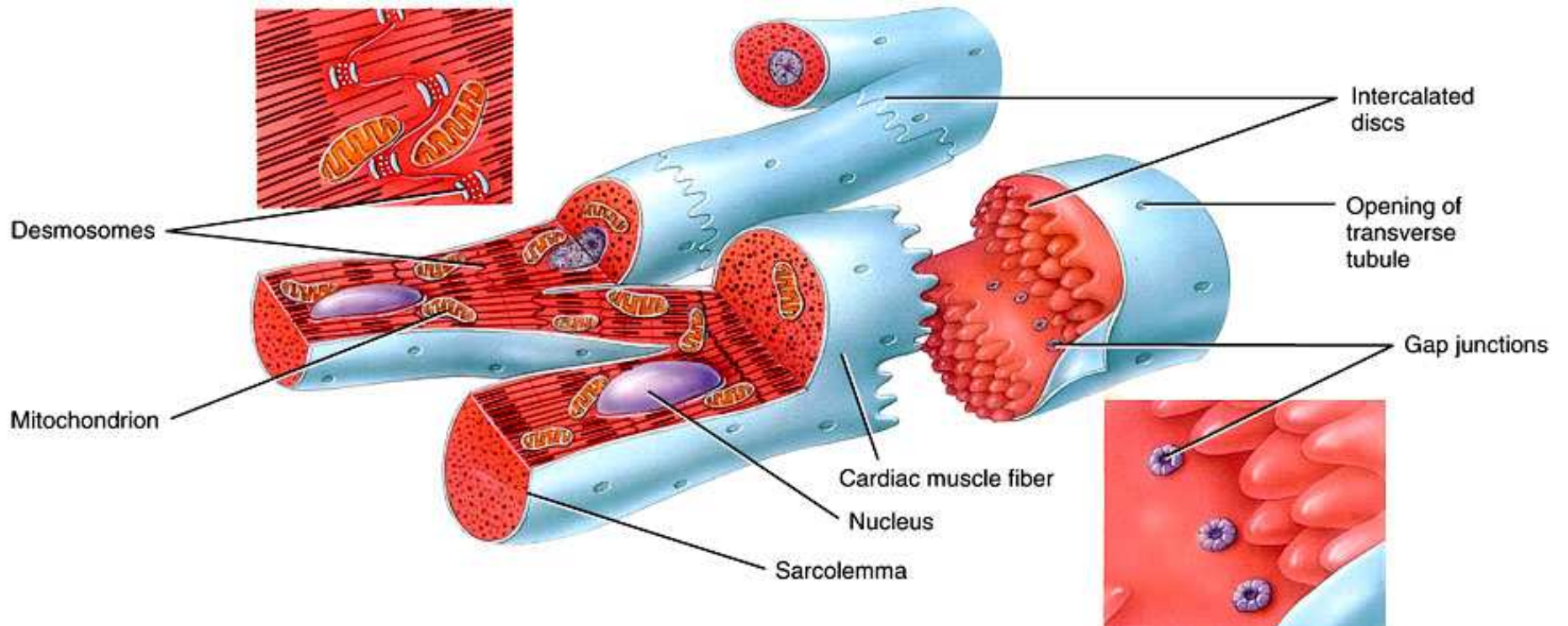
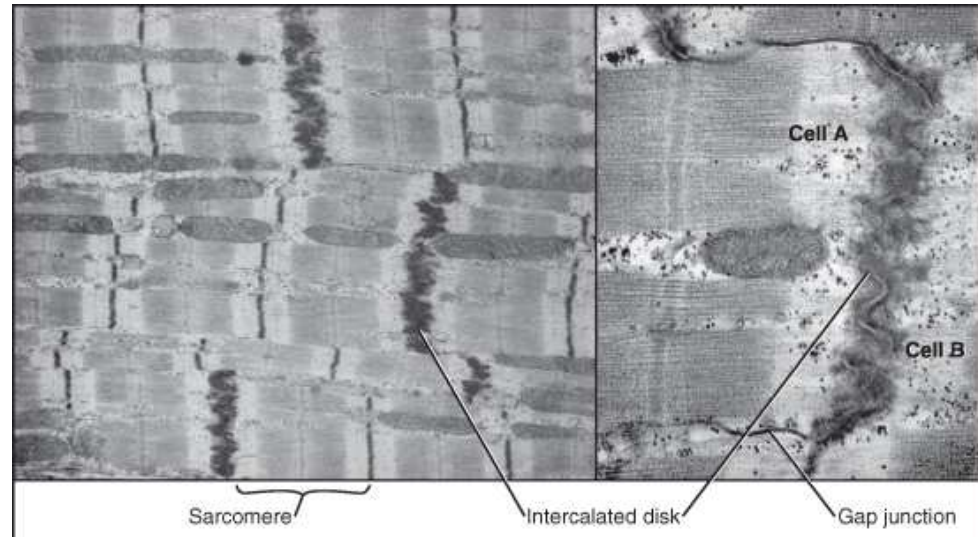
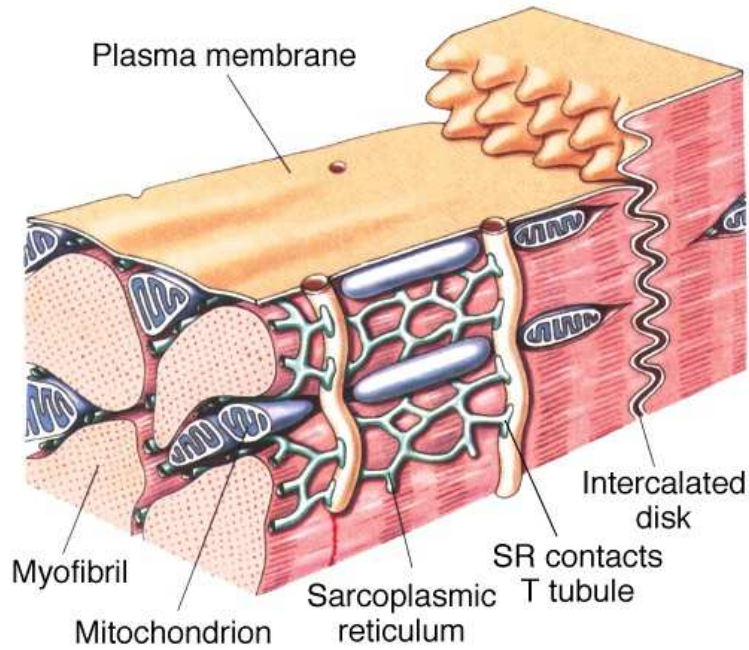
**egyedi
rángás**

**egyedi rángások
szuperponálódása**

inkomplett tetániás rángás

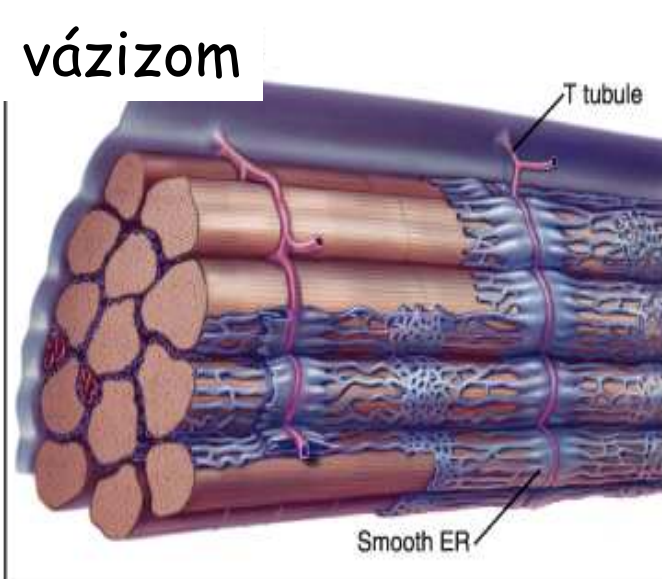
komplett tetániás rángás

A szívizom felépítése

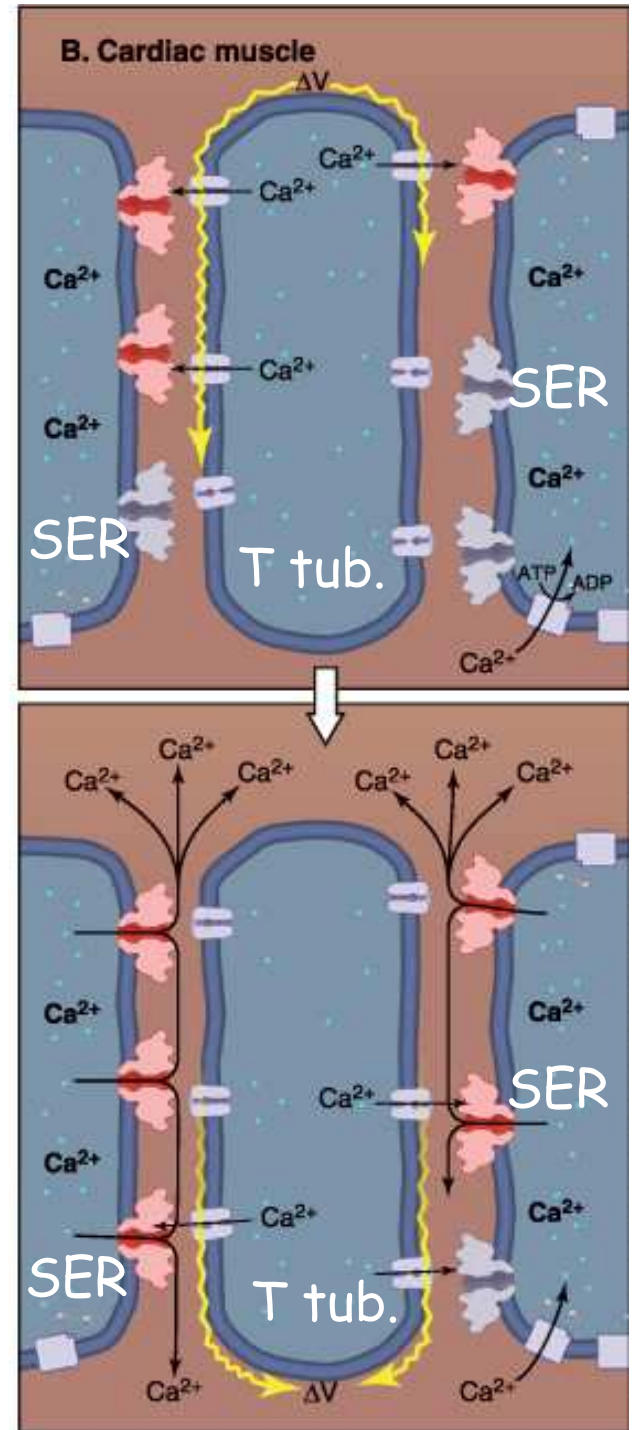
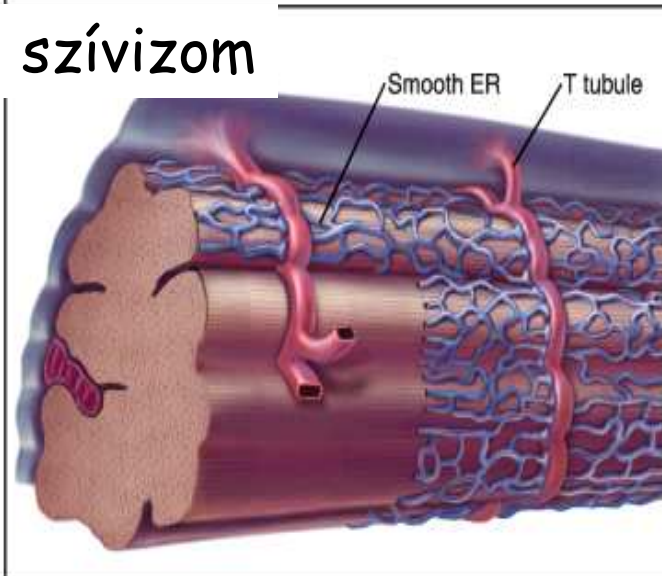


A szívizom specialitásai: az intracelluláris Ca^{2+} szint emelkedése

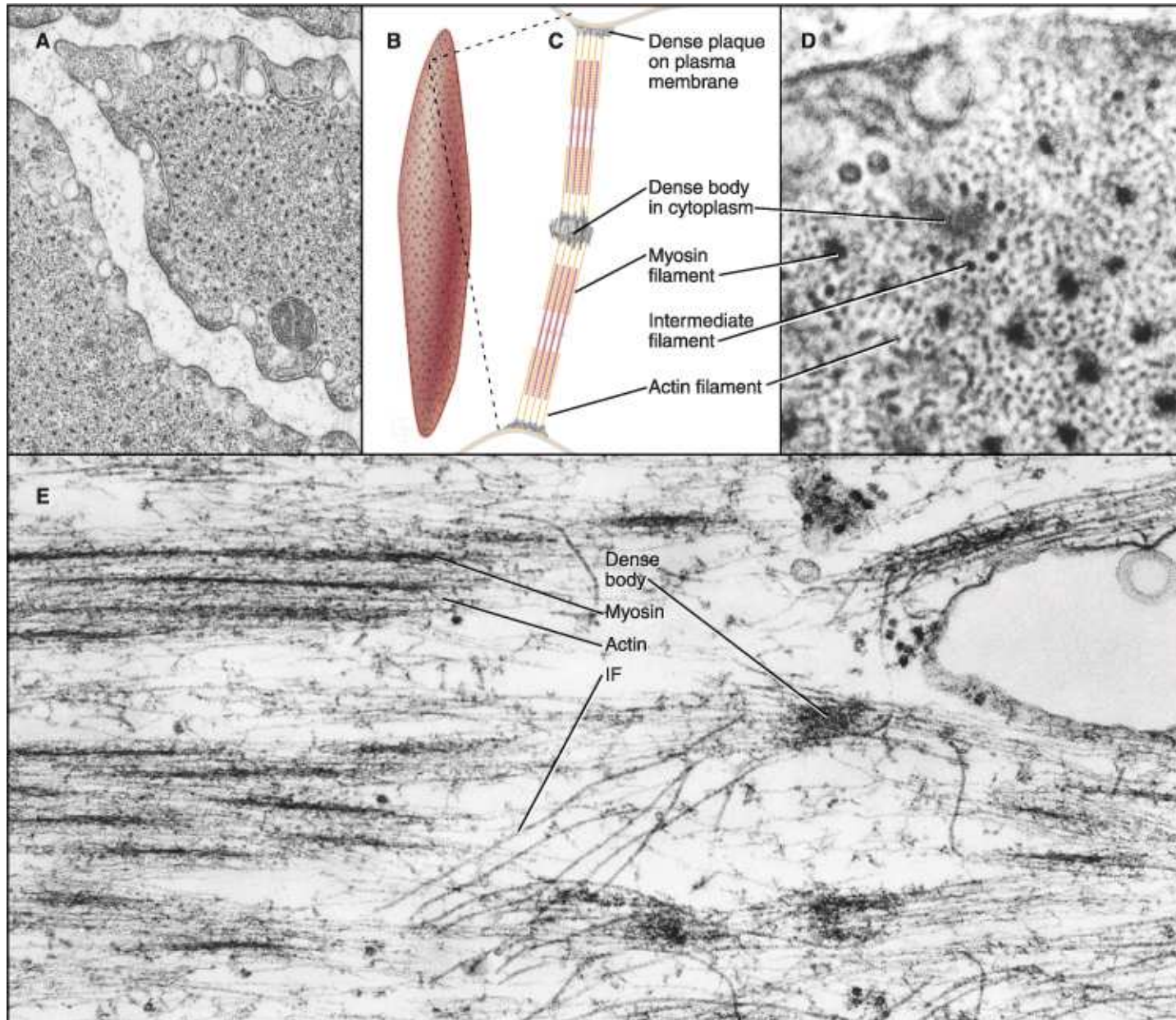
vázizom



szívizom



A simaizom felépítése



A simaizom felépítése és kontrakciója

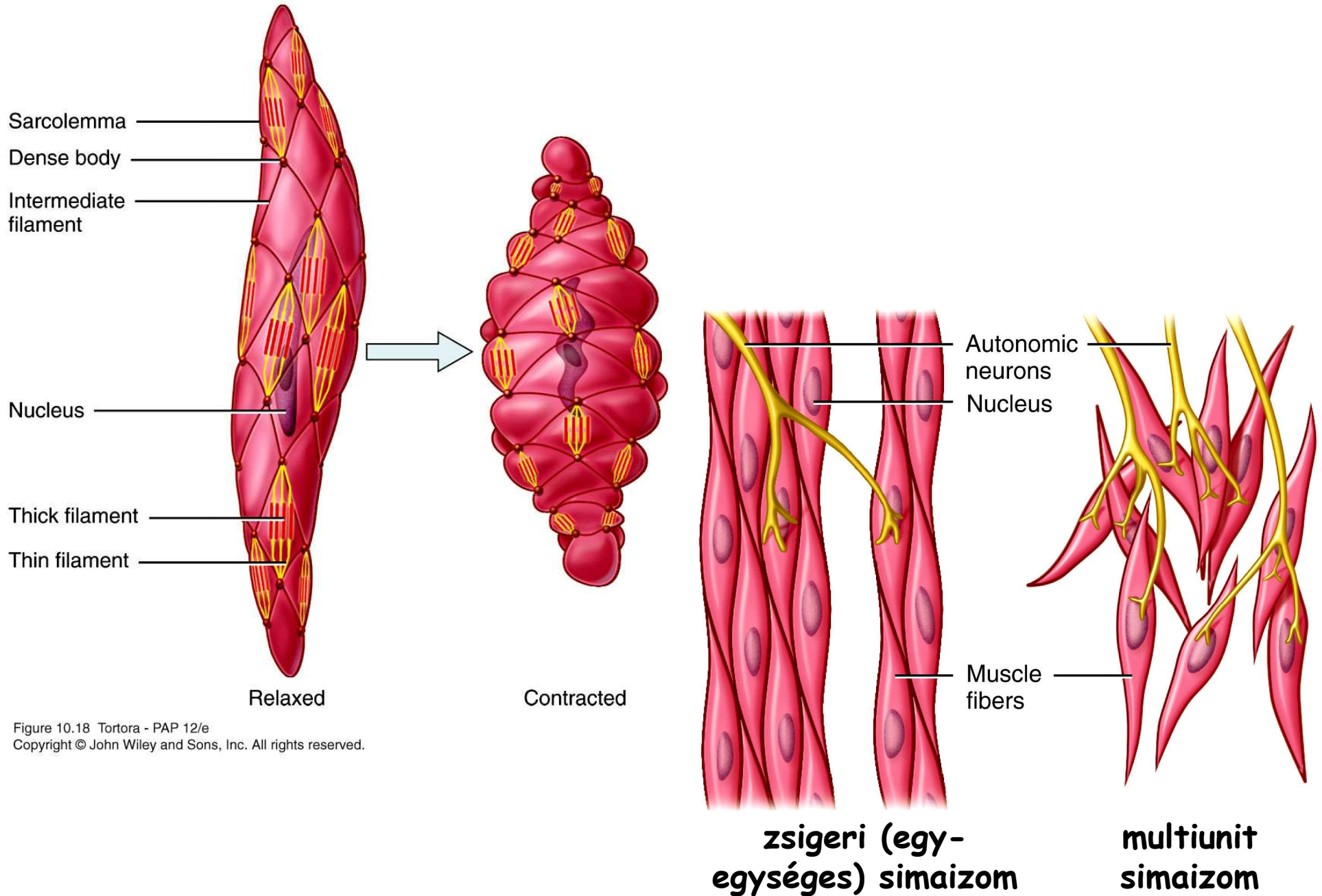
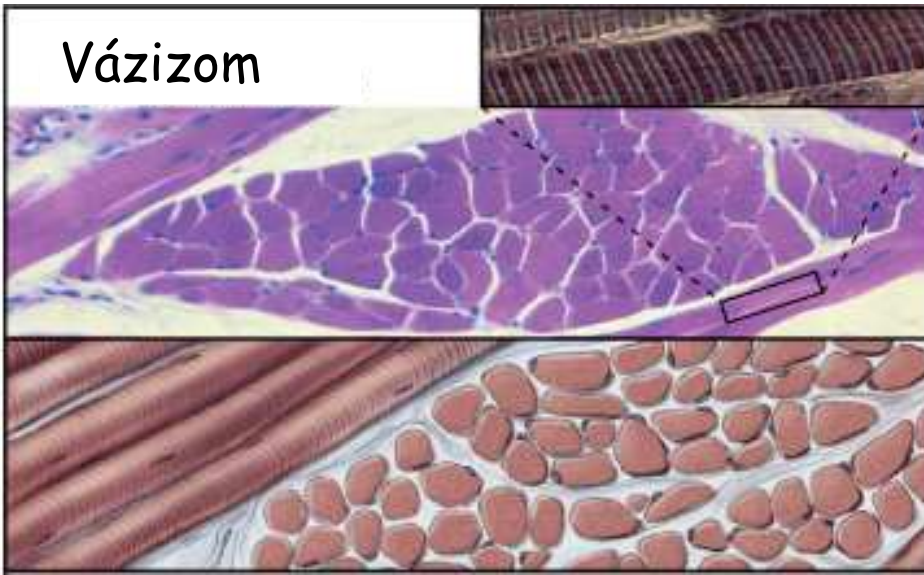


Figure 10.18 Tortora - PAP 12/e
Copyright © John Wiley and Sons, Inc. All rights reserved.

Az izomszövet típusai

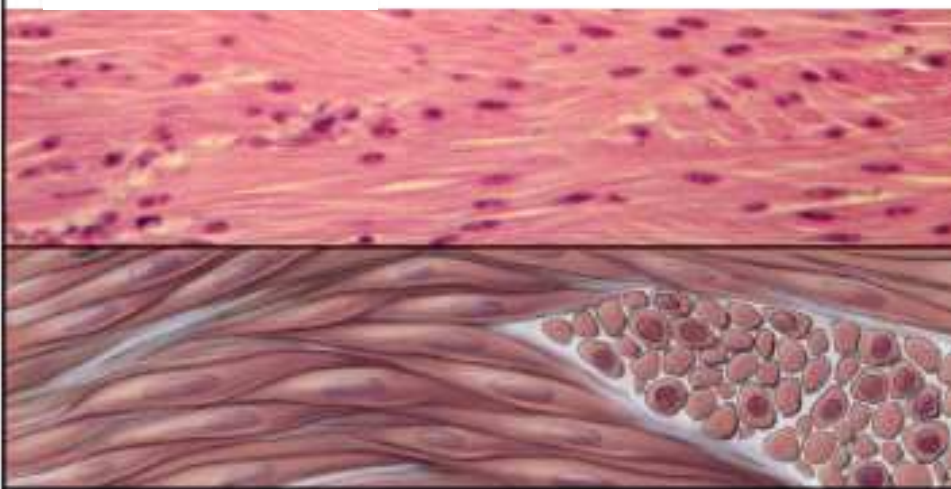
Vázizom



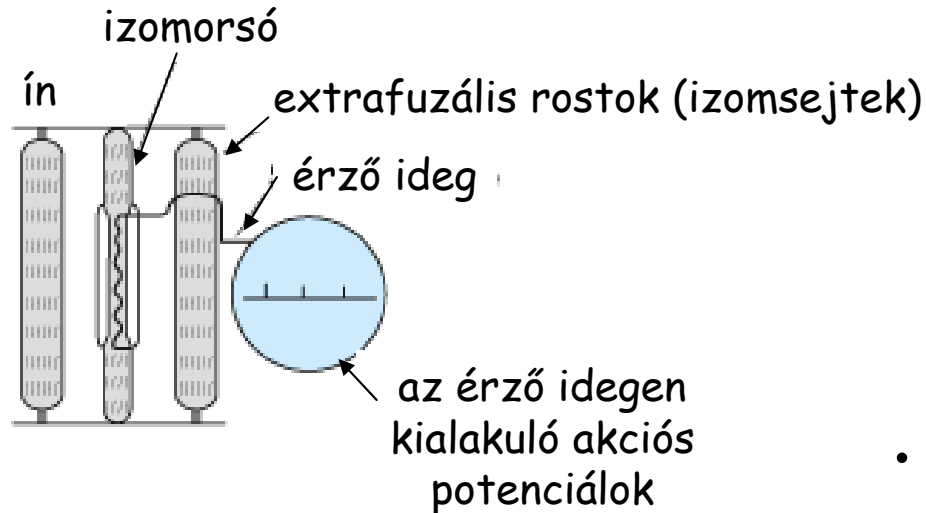
Szívizom



Simaizom



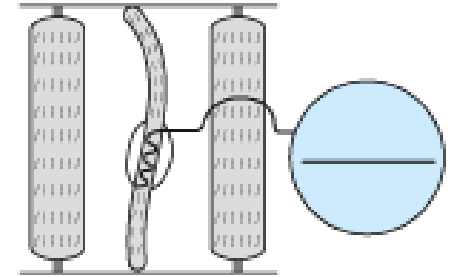
az izom nyugalomban



- "alap" AP az afferensen

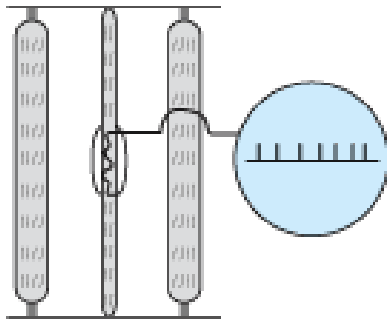
Az izomorsó működése

az izom kontrakciója



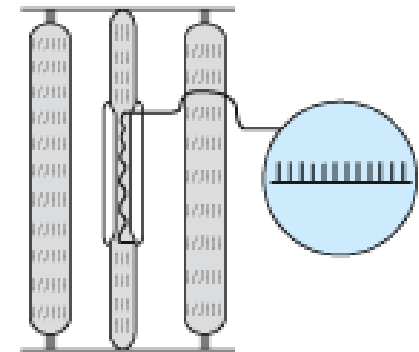
- extrafuzális rostok rövidülnek -> izomorsó elernyed -> nincs AP

az izom megnyújtva



- izomfeszülés -> izomorsó is megnyúlik
- fokozott AP -> reflexes izomrelaxáció

γ -efferens aktiváció



- izomorsó megfeszítve -> érzékenyebbé válik -> fokozott AP

Az izomorsó

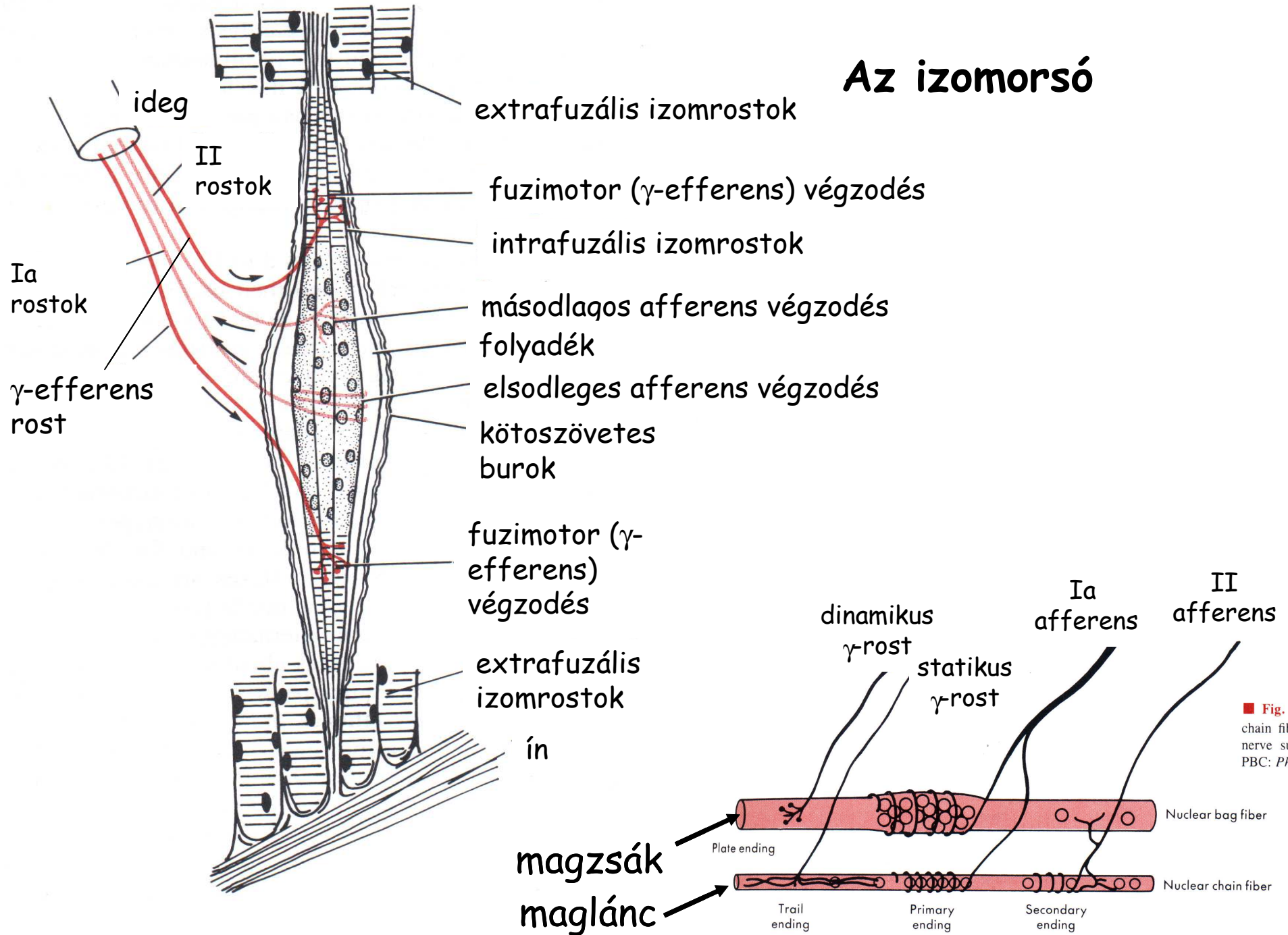
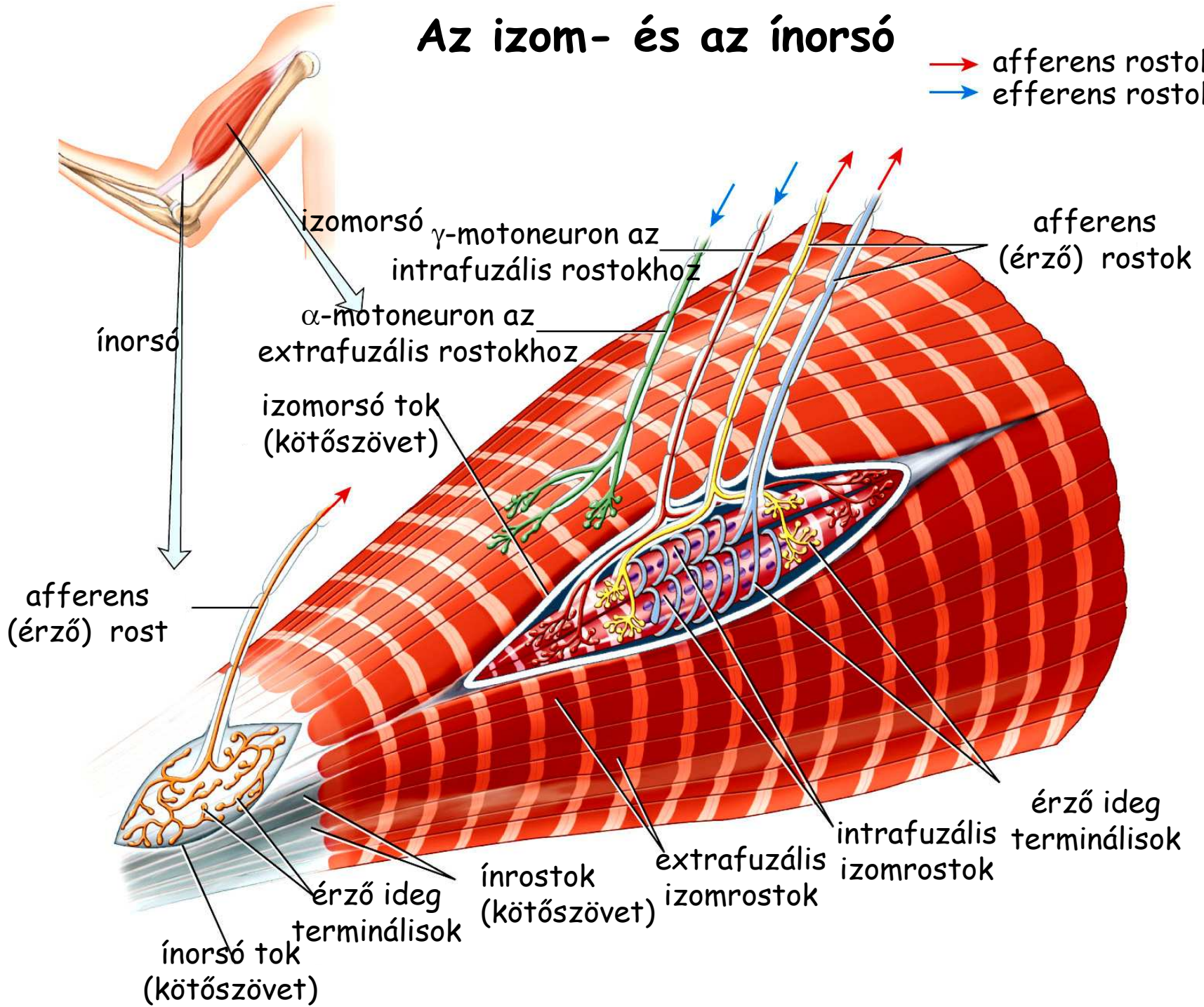


Fig. chain fib nerve su PBC: Ph

Az izom- és az ínorsó

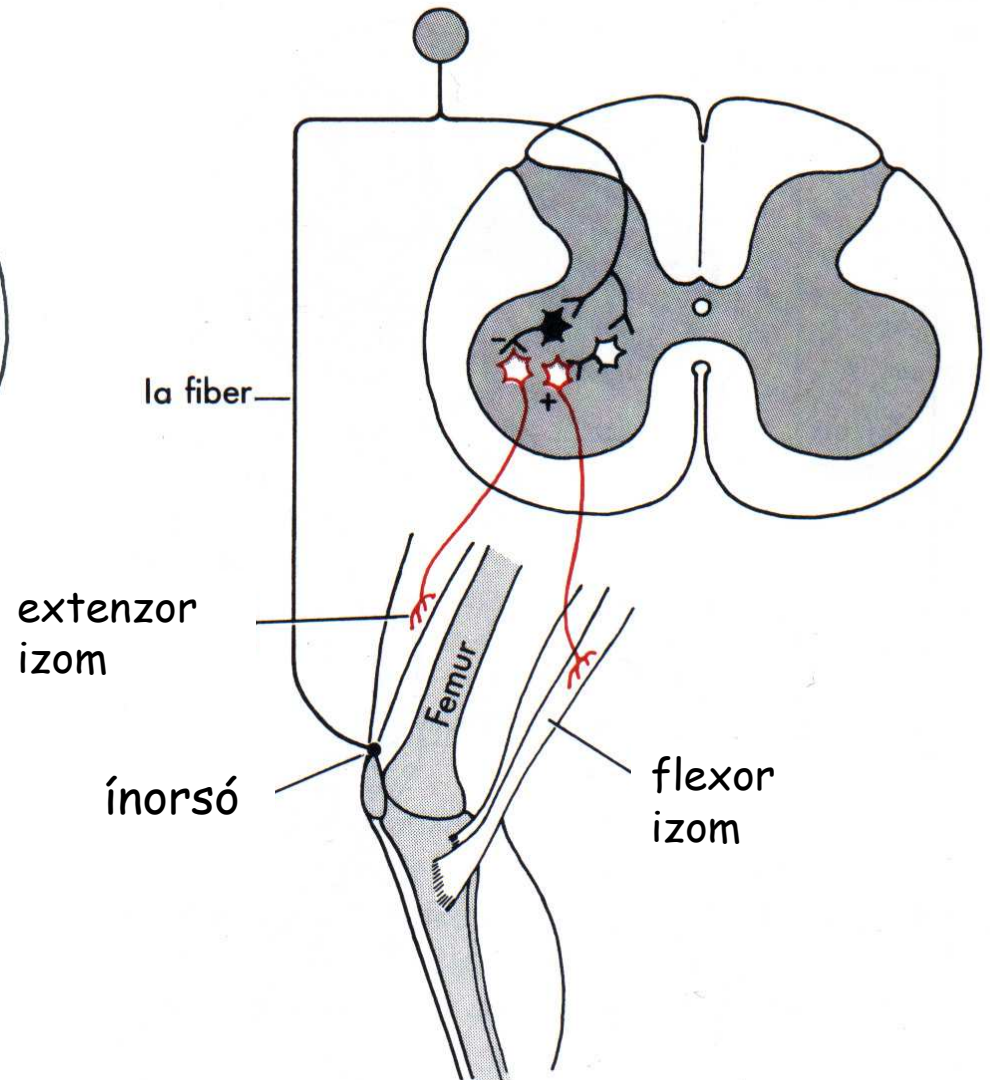
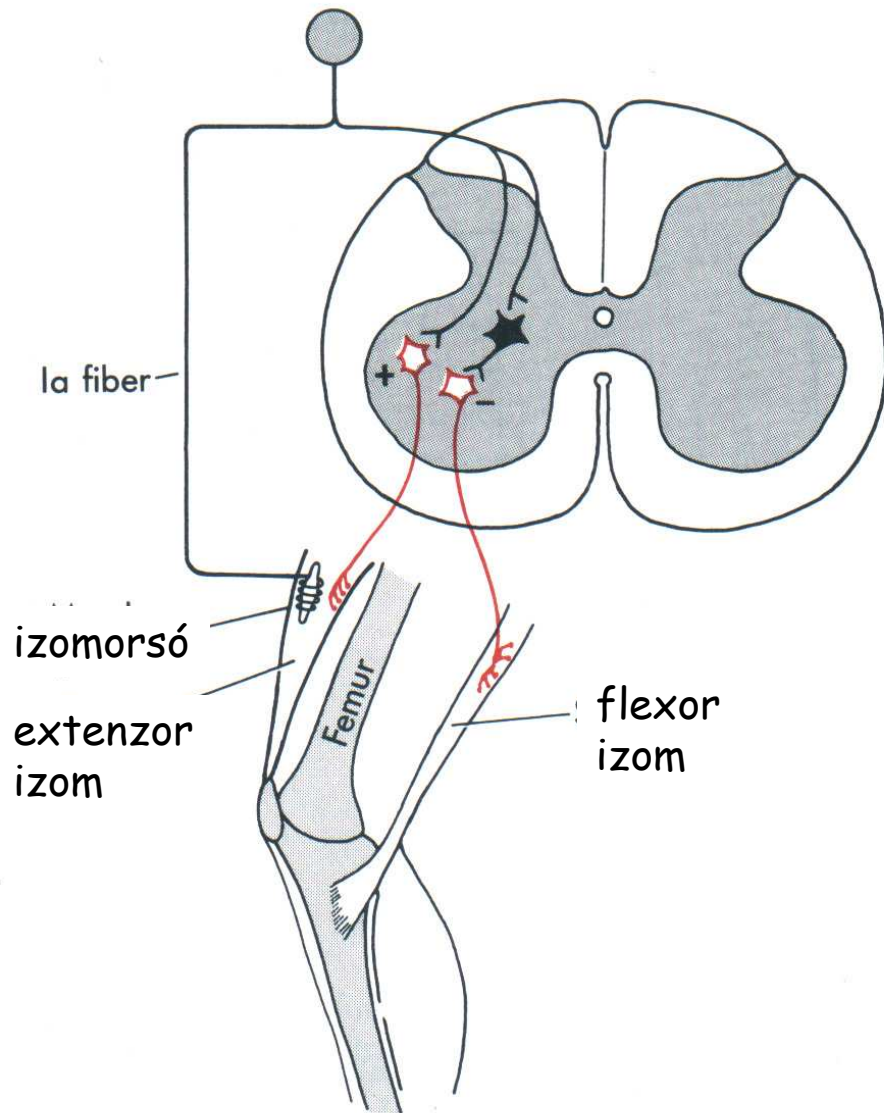
→ afferens rostok
→ efferens rostok



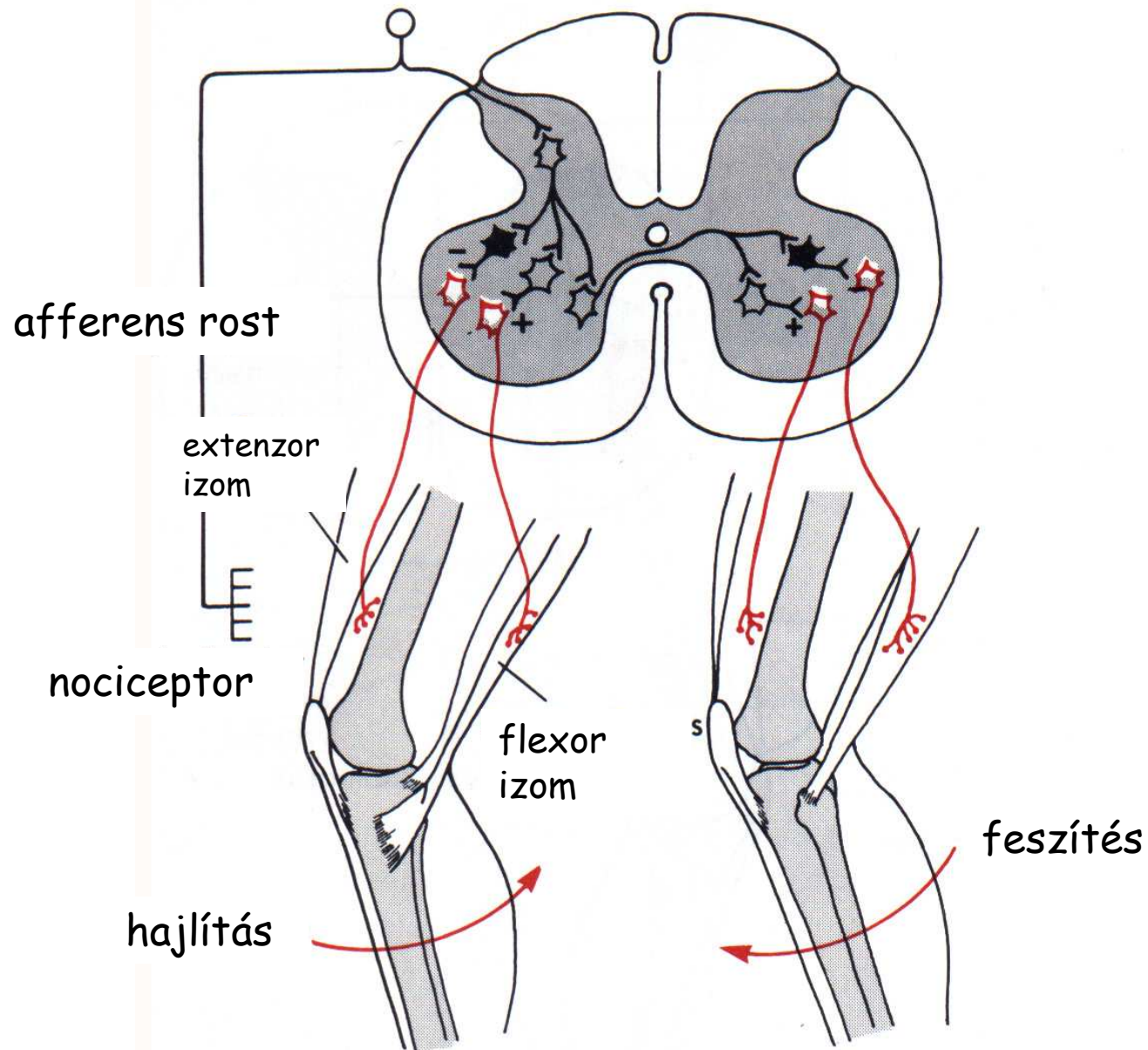
A gerincvelői reflexek

A miotaktikus (monoszinzaptikus, nyújtási v. feszítési) reflex

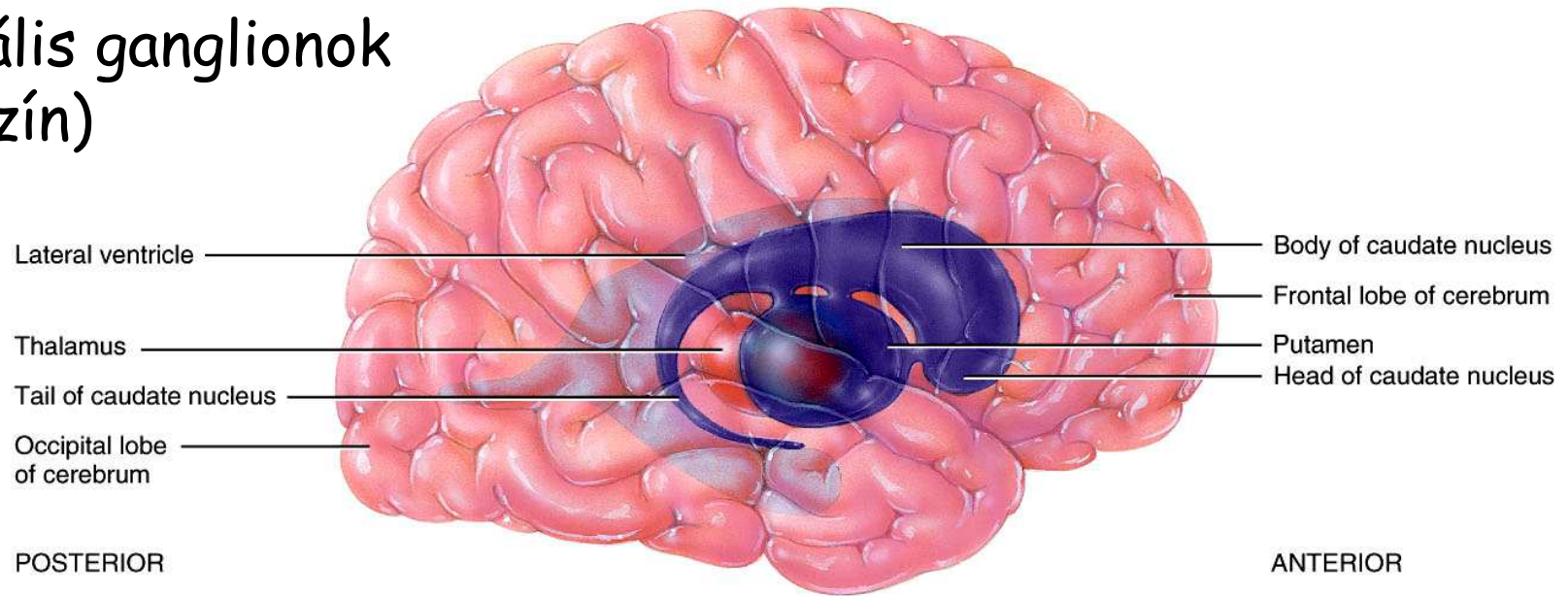
Az inverz miotaktikus reflex



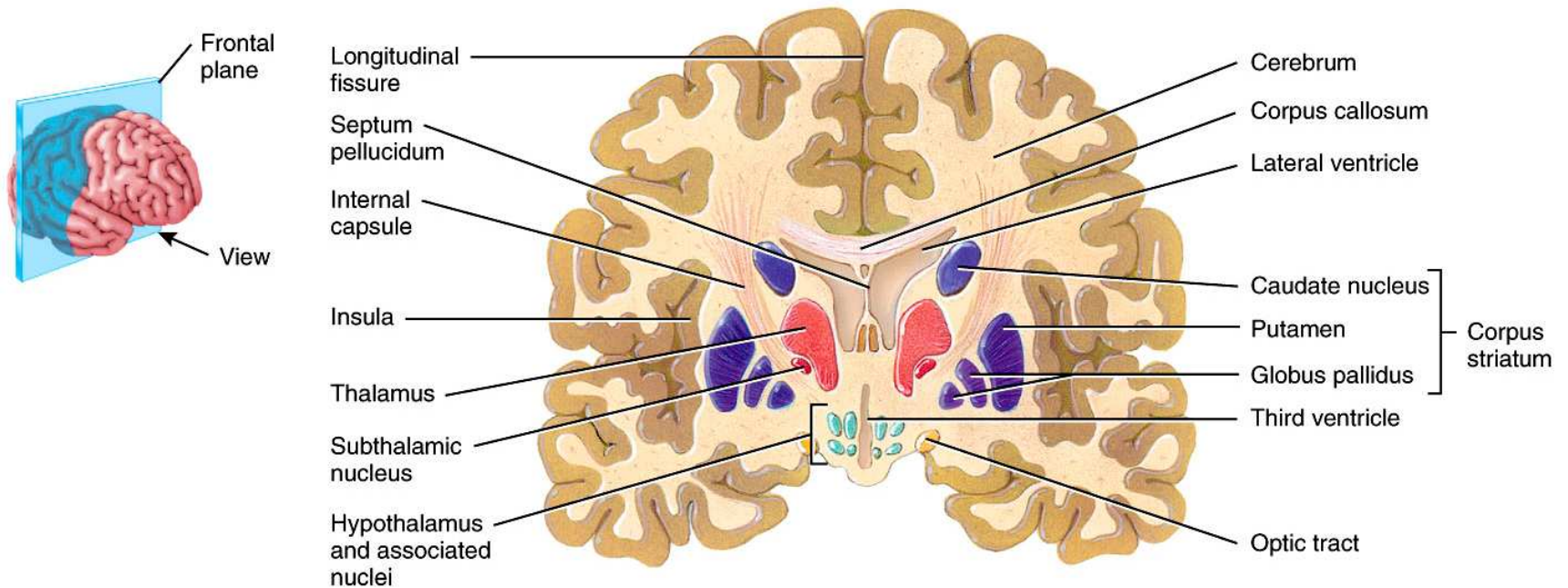
A flexor (poliszinaptikus) reflex



A bazális ganglionok (kék szín)



(a) Lateral view of right side of brain



(b) Anterior view of frontal section