

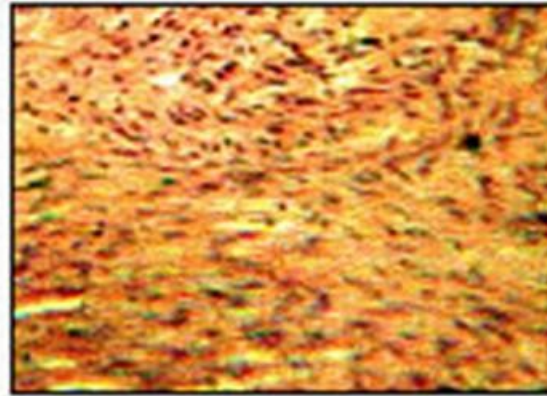
Izomműködés

- Sima izom
- Szívizom
- Vázizom

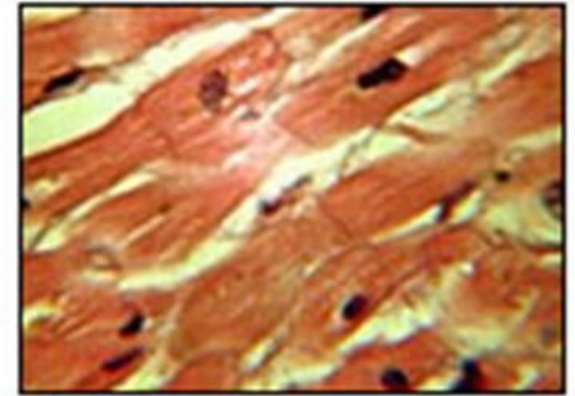
- Közös: Aktin – Miozin – ATP felhasználás
- Sok – sok különbség (kontraktilis elemek elrendezése, ioncsatornák, nyugalmi membrán potenciál, akciós potenciál, receptorok, jelátvitel, kontrakció mechanizmusa)



Skeletal muscle

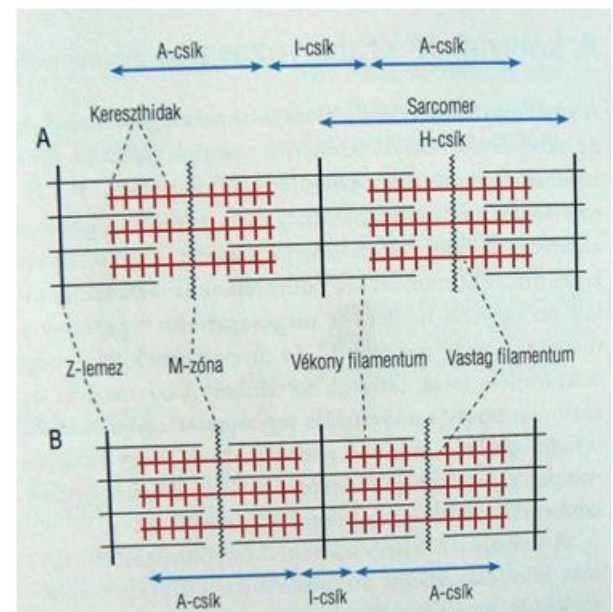
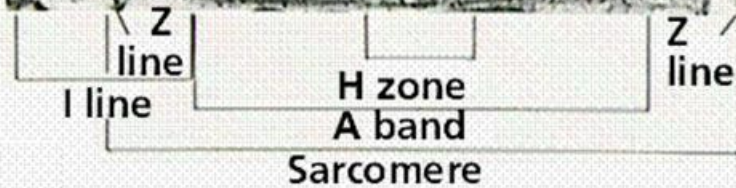
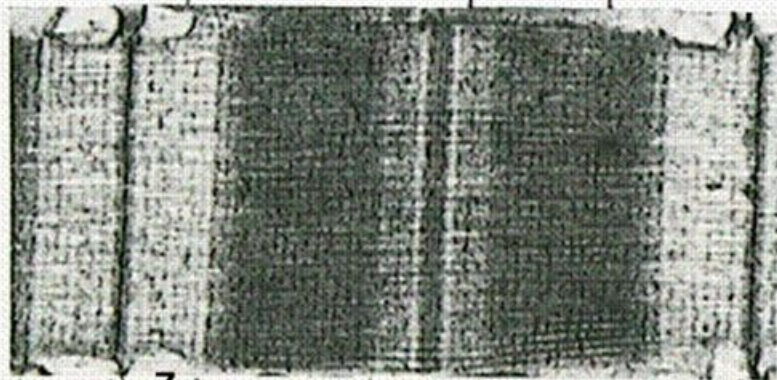
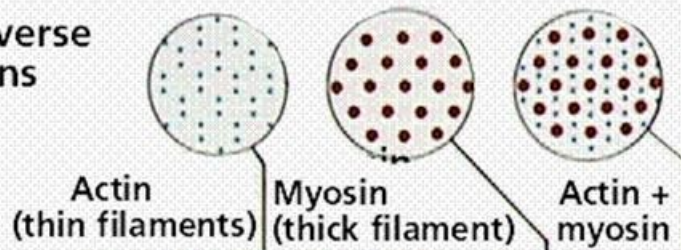


Smooth muscle



Cardiac muscle

Transverse sections

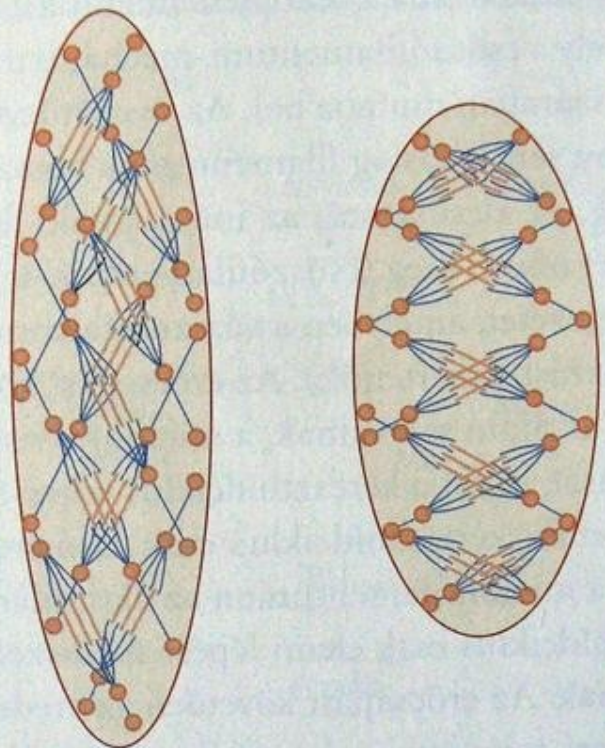


8-3. ábra

A sarcomer vázlatos szerkezete

A) Nyugalmi állapotban

B) Kontrakció alatt



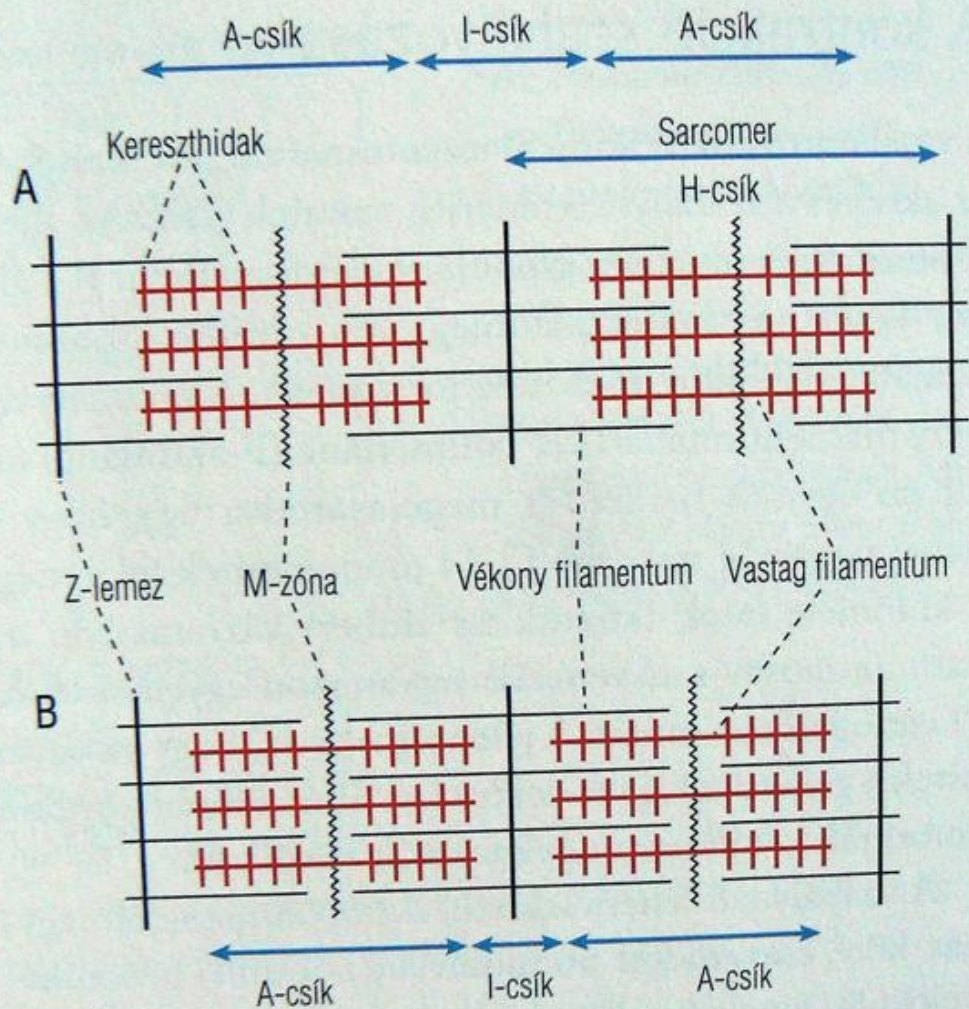
Ellazult állapot

Összehúzódott állapot

7-1. ábra

A simaizomsejtek összehúzódás alatti alakváltozása

A vékony és vastag filamentumaival ábrázolt simaizomsejt ellazult (bal oldal) és összehúzódott (jobb oldal) állapotban



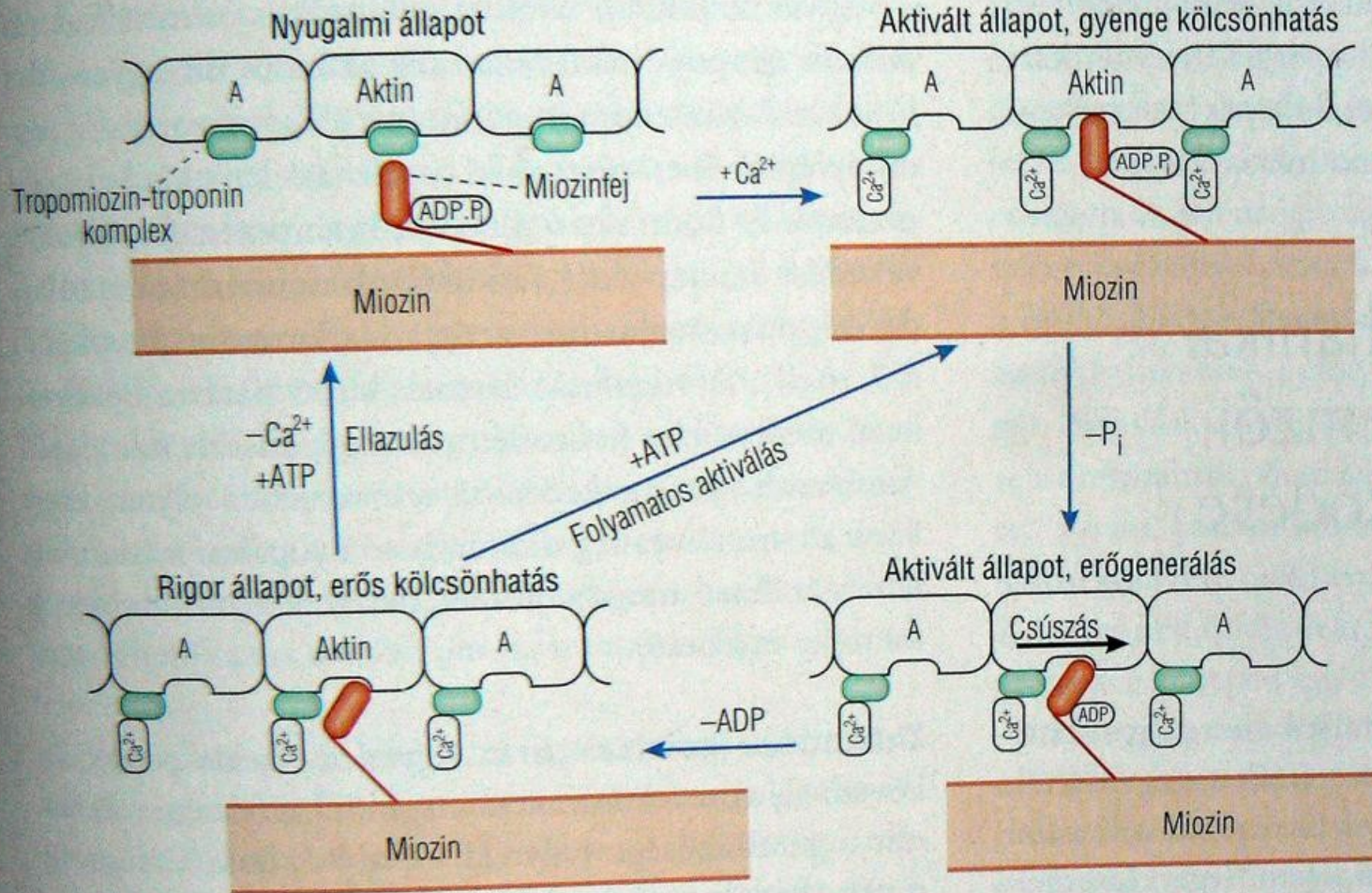
8-3. ábra

A sarcomer vázlatos szerkezete

A) Nyugalmi állapotban

B) Kontrakció alatt

Csúszó filamentum modell – váziomra. Simaizomra egy kicsit más



8-4. ábra

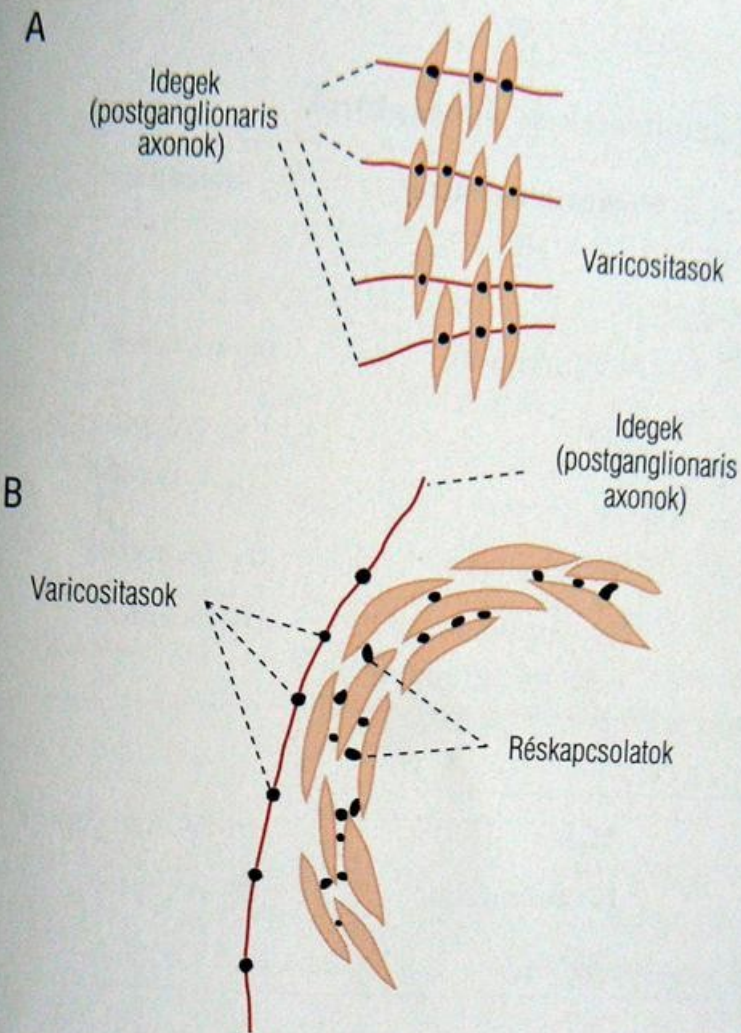
Az aktin, miozinefej és ATP kontrakciós ciklus alatti kölcsönhatásának vázlata

Fiziológiai körülmények között (ATP jelenlétében) a rigor állapot csak igen rövid ideig, átmenetként állhat fent, a sémában való szerepeltetése didaktikailag indokolt az ATP-hiányra jellemző állapot szemléltetése érdekében

A simaizmok és a vázizmok egyes tulajdonságainak összehasonlítása

	Egyegységes simaizom	Többegységes simaizom	Vázizom
Méretek	Átmérő: 2–10 μm Hossz: 100–500 μm		Átmérő: 10–100 μm Hossz: 1000–40 000 μm
Nyugalmi membránpotenciál	–40 és –70 mV között, (stabil vagy instabil)		–90 mV, stabil
Akciós potenciál időtartama	≥ 100 ms (ha van akciós potenciál)		4–6 ms
Akciós potenciál mechanizmusa	Ca^{2+} -beáramlás (ha van akciós potenciál)		Na^{+} -beáramlás (spike)
Membrán ioncsatornák	Feszültségfüggő Ca^{2+} -csatornák Receptor-operált Ca^{2+} -csatornák Raktárártól függő Ca^{2+} -csatornák Különböző K^{+} -csatornák Esetenként Na^{+} -csatornák		a) Neuromuscularis junctio: n-ACh-receptor ioncsatorna b) Sarcolemma: gyors Na^{+} -csatorna, feszültségfüggő K^{+} -csatorna
Szomatomotor aktiváló beidegzés		Nincs	Obligát
Autonóm aktiváló beidegzés	Lehetséges		Nem szükséges
Gátló beidegzés	Lehetséges	Nincs	Nincs
Vékony filamentumok rögzítése		Sarcolemma „sötét sávok” Myoplasma „sötét testek”	Z-korong
Vékony : vastag filamentum arány*		13 : 1	2 : 1
Vastag filamentum szabályozás		Esszenciális	Nincs
Vékony filamentum szabályozás		Járulékos	Esszenciális
Ca^{2+} -jel forrása		a) Extracelluláris tér b) Sarcoplasma-reticulum	Sarcoplasma-reticulum

* Az adatok forrása A. O. Somlyo és A. V. Somlyo: *Smooth muscle structure and function*. In: *The Heart and Cardiovascular System*. Raven Press, New York, 1992.

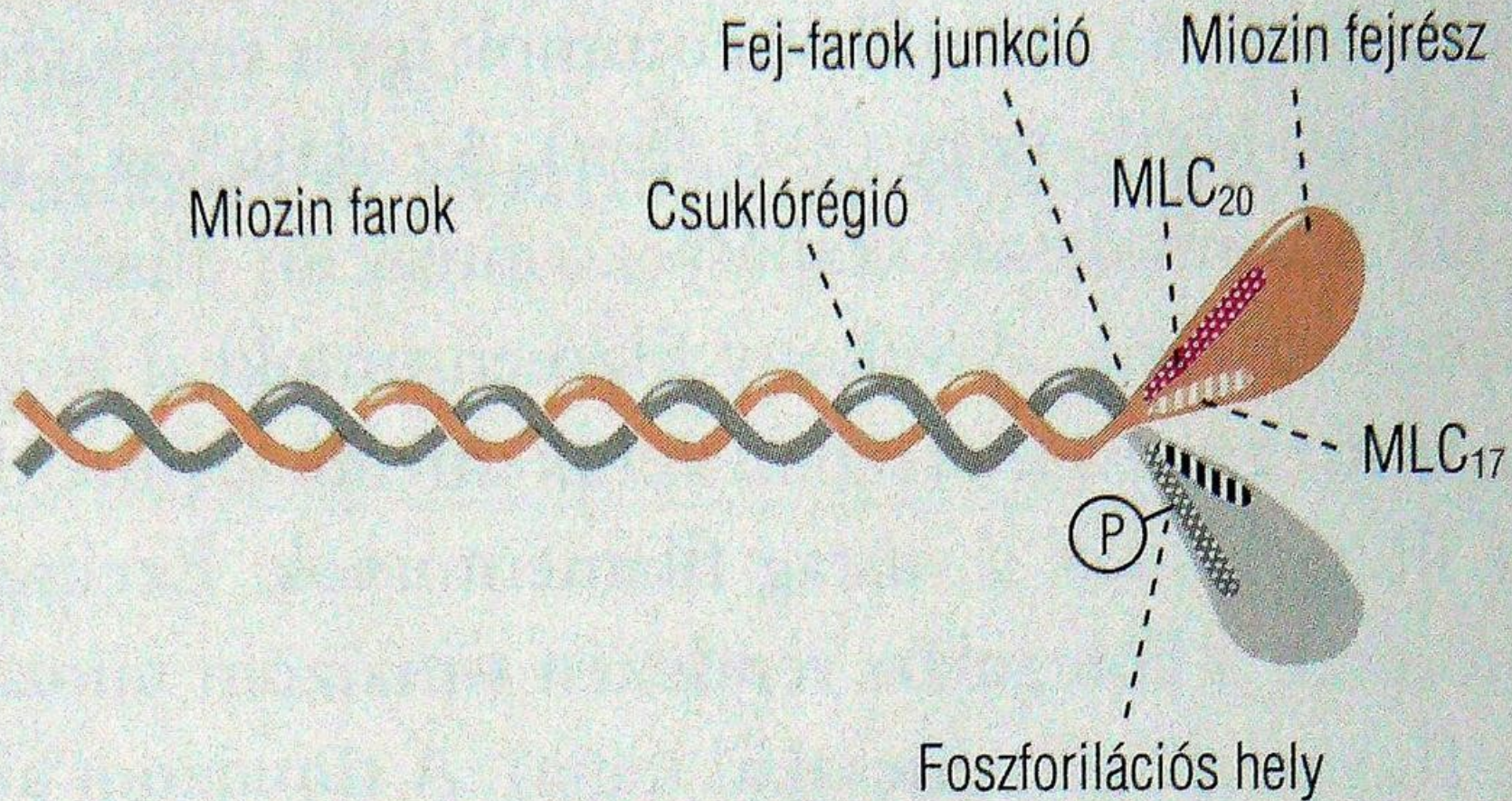


7-6. ábra

A többegységes és az egyegységes simaizmok beidegzésének vázlata

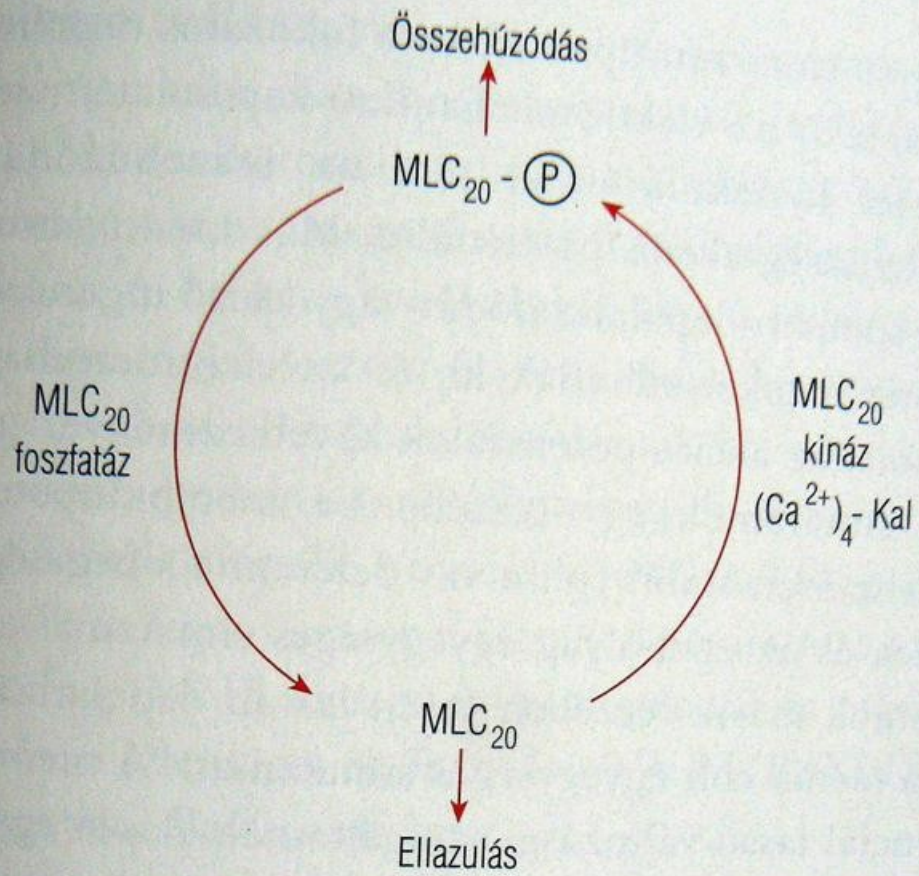
A) Többegységes simaizom

B) Egyegységes simaizom



7-2. ábra

A simaizom-miozinmolekula vázlatos szerkezete

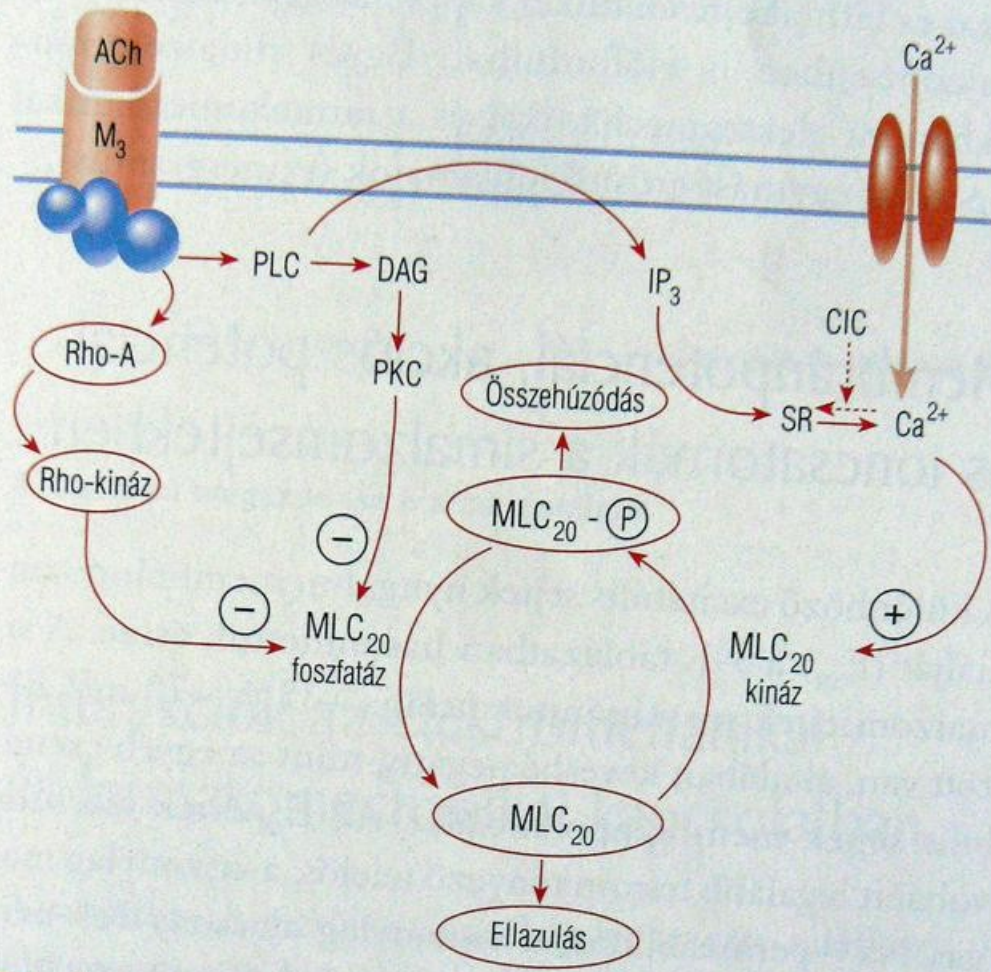


$$\frac{\text{MLC}_{20} - \text{kináz aktivitás}}{\text{MLC}_{20} - \text{foszfatáz aktivitás}} = \text{MLC}_{20} - (\text{P})$$

7-3. ábra

A simaizom-összehúzódás szabályozása

MLC: miozin könnyű lánc

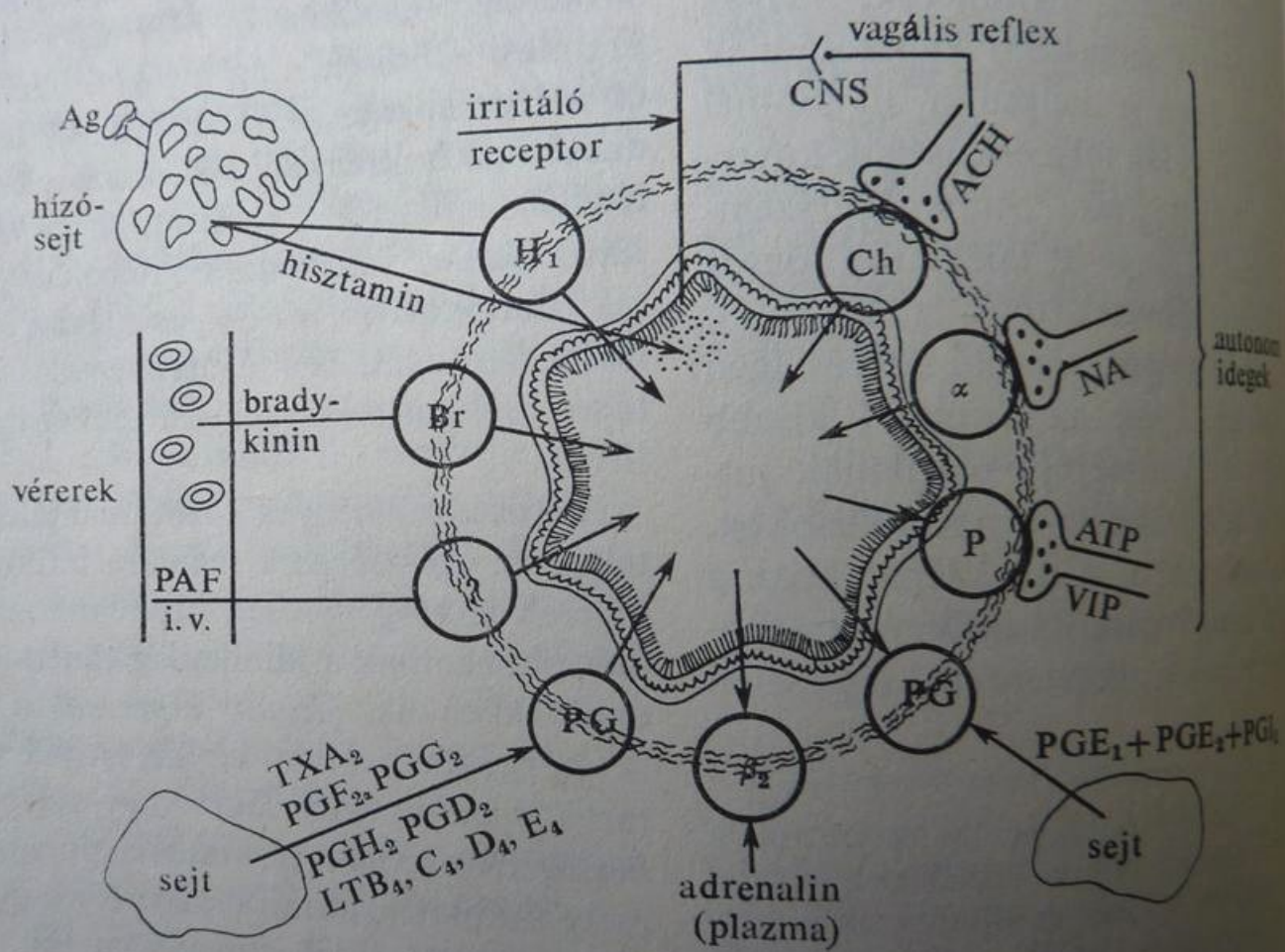


7-4. ábra

A simaizom-összehúzódáshoz és -ellazuláshoz vezető folyamatok

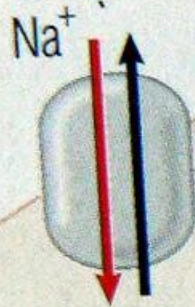
CIC: Ca²⁺-indukált Ca²⁺-felszabadulás; DAG: diacil-glicerin;
 IP₃: inozitol-1,4,5-triszfoszfát; MLC: miozin könnyű lánc;
 PKC: proteinkináz C; PLC: foszfolipáz C; SR: sarcoplasma-reticulum

déka a tracheobronchialis...
 eliminációja a hengerhám csillóinak orális irányba...
 mozgása révén valósul meg (mukociliáris clea-
 lényegében azt mutatják, hogy a hám

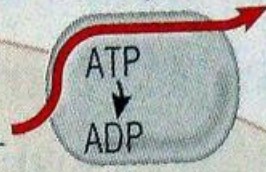


X/2. ábra. A bronchiális simaizomtónus szabályozása (Hutás után módosítva)
 A középpont felé mutató nyilak a bronchuskonstriktor, a kifelé mutató nyilak a hörgőrelaxáló hatást
 mutatják. Az ábra magyarázatát részletesen lásd a szövegben

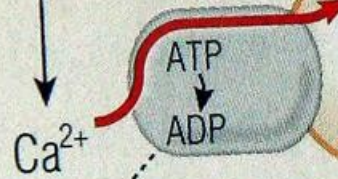
$\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ -kicserélő



Sarcolemma Ca^{2+} -pumpája



$[\text{Ca}^{2+}] \downarrow$



Ca^{2+} -kötő
fehérjék

SR Ca^{2+} -pumpája

Sarcoplasma-reticulum (SR)

7-5. ábra

A Ca^{2+} -jel megszűnése a simaizomban

7-2. táblázat

A többegységes simaizmok beidegzése, a transzmitterek és a receptorok

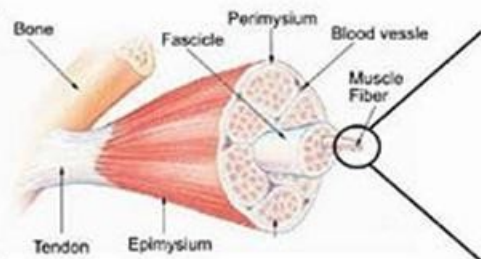
Izom	Beidegzés	Neurotranszmitter(ek)	Receptor(ok)
M. sphincter pupillae M. ciliaris	Paraszimpatikus	ACh	m-ACh-receptor
M. dilatator pupillae	Szimpatikus	Noradrenalin	α_1 -receptor
Vas deferens simaizomzata*	Szimpatikus	a) Noradrenalin b) ATP	α_1 -receptor P_{2x} -receptor
Piloerector izmok	Szimpatikus	Noradrenalin	α_1 -receptor
Legnagyobb artériák és vénák	Szimpatikus	Noradrenalin	α_1 -receptor

* A vas deferens simaizomzatát beidegző szimpatikus idegekben a noradrenalin és az ATP kotranszmitterként, kolokalizáltan szerepel

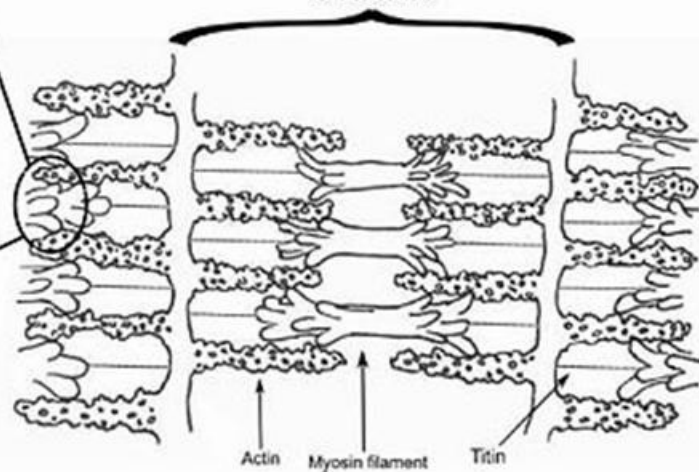
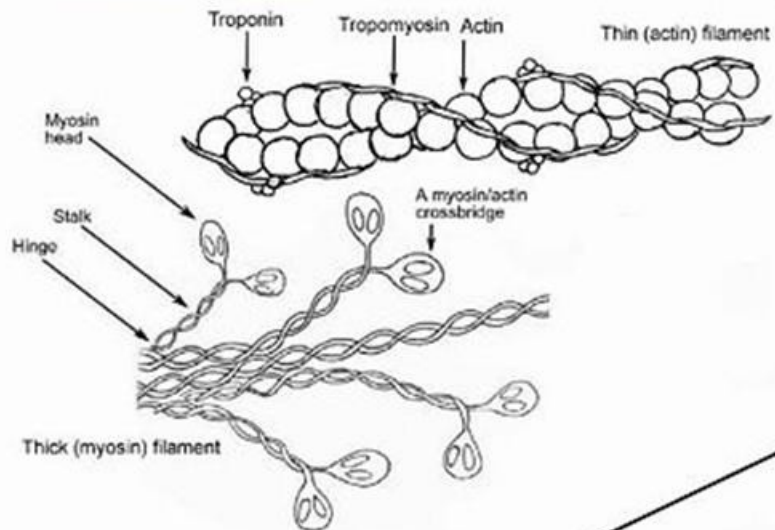
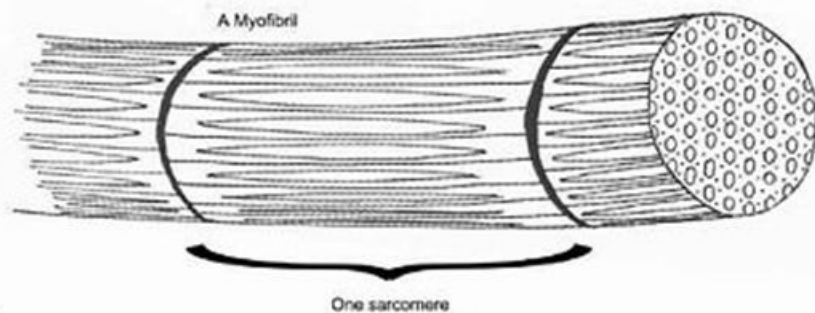
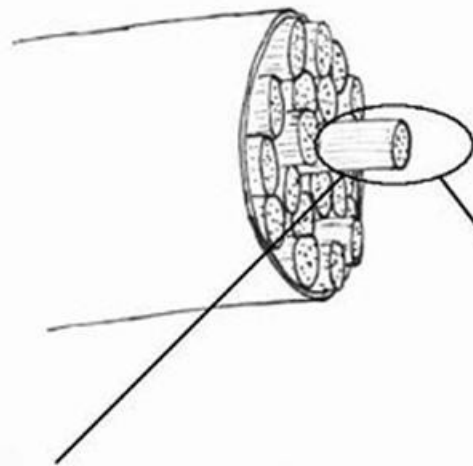
Az egyes szervek egységese simaizomzatának beidegzése, a transzmitterek és a receptorok

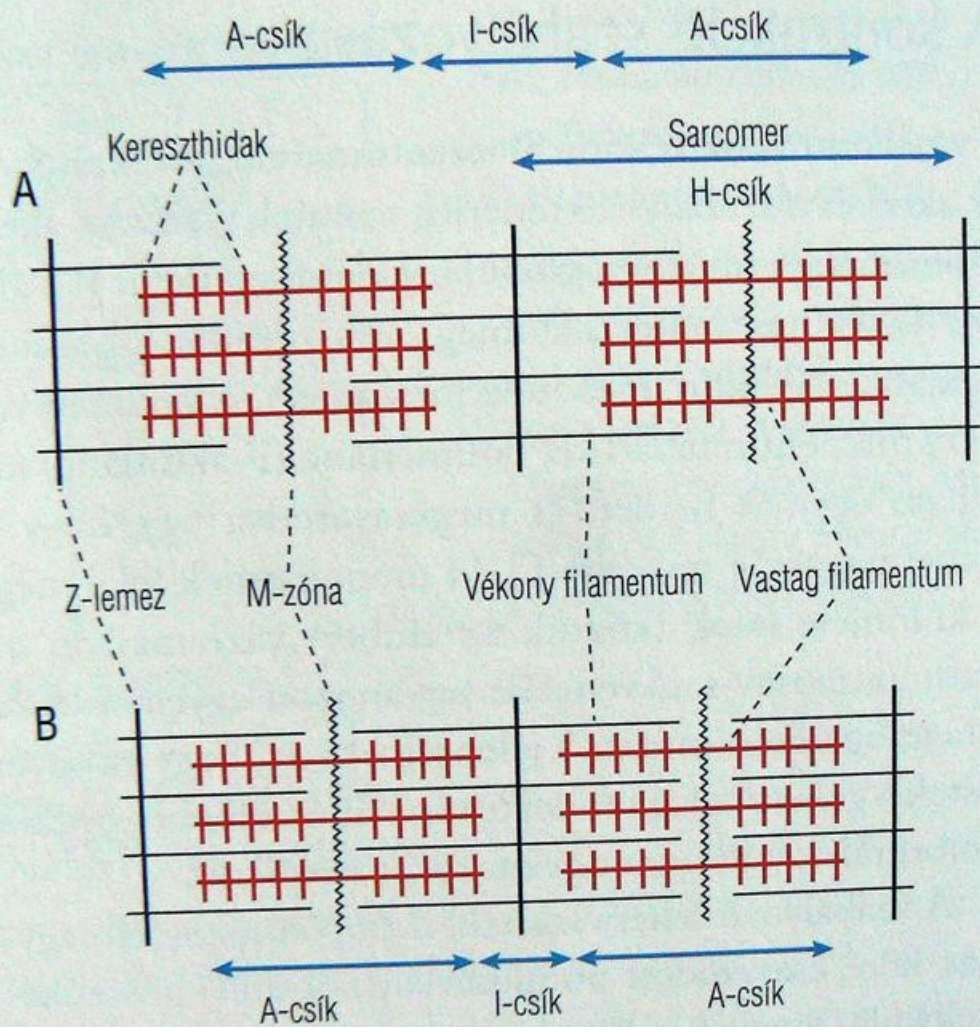
Szerv, ill. szervrendszer	Beidegzés	Hatás	Neurotranszmitter	Receptor
<i>Érrendszer</i>				
Általában	Szimpatikus	Összehúzóadás	Noradrenalin	α_1 -receptor
Egyes helyeken	Szimpatikus	Összehúzóadás	ATP	P_{2x} -receptor P_{2y} -receptor
Vázizomerek	Szimpatikus (Szimpatikus?)	Összehúzóadás Ellazulás	Noradrenalin (Noradrenalin?) Keringő adrenalin	α_1 -receptor β_2 -receptor
<i>Légutak</i>				
Bronchusizomzat	Paraszimpatikus	Összehúzóadás	ACh	m-ACh-receptor
	Szimpatikus	Ellazulás	Noradrenalin	β_2 -receptor
	?	Ellazulás	NO	–
<i>Húgyutak</i>				
Húgyhólyag	Paraszimpatikus	Összehúzóadás	ACh	m-ACh-receptor
Urethra belső sphincter	Szimpatikus	Összehúzóadás	Noradrenalin	α_1 -receptor
<i>Gyomor-bél rendszer</i>				
Proximalis gyomor	Paraszimpatikus	Ellazulás	VIP / NO	?
Distalis gyomor	Paraszimpatikus	Összehúzóadás	ACh	m-ACh-receptor
Vékonybél, körkörös izomzat	Enteralis idegrendszer	a) Ellazulás	VIP / NO	
		b) Összehúzóadás	ACh, tachikininek	m-ACh-receptor TK-receptor
Vékonybél, hosszanti izomzat	Enteralis idegrendszer	Összehúzóadás	ACh	m-ACh-receptor
Sphincterek	Szimpatikus	Összehúzóadás	Noradrenalin	α_1 -receptor

noradrenalin: ez α_1 -receptorokon keresztül eléri az izomszövetet



Muscle Fiber (single cell, multi-nuclear)



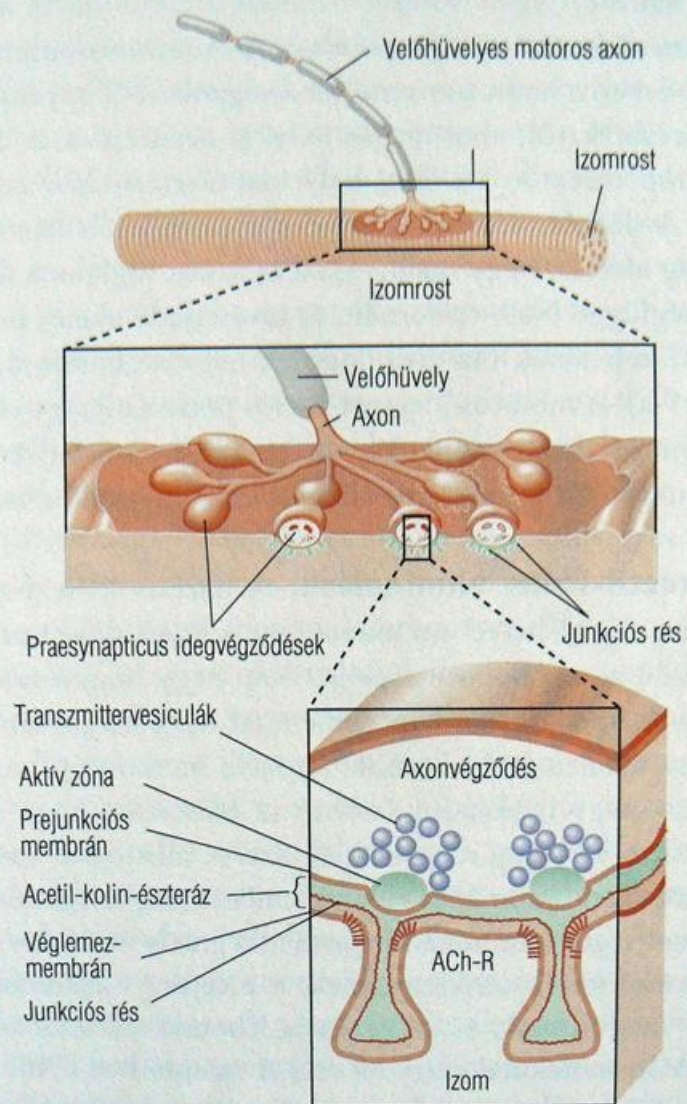


8-3. ábra

A sarcomer vázlatos szerkezete

A) Nyugalmi állapotban

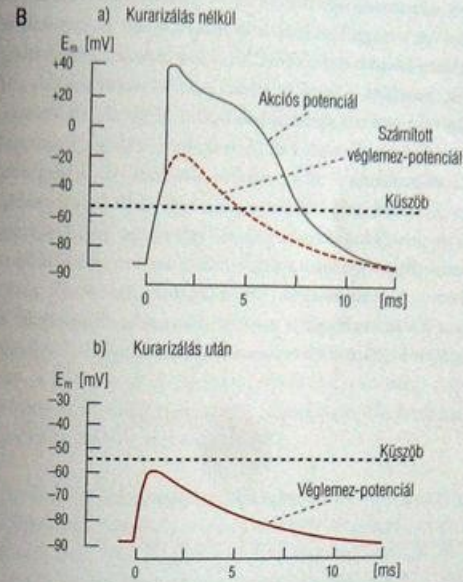
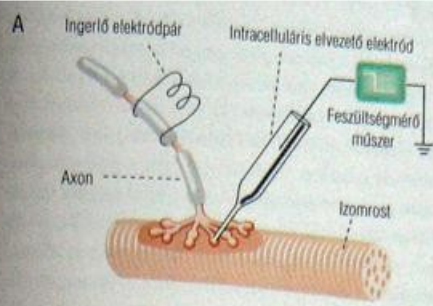
B) Kontrakció alatt



6-16. ábra

A békavázizom neuromuscularis synapsisa

Kuffler S. et al: „From Neuron to Brain”, 2. kiadás, Sinauer Associates, Sunderland, Mass. 1984. alapján

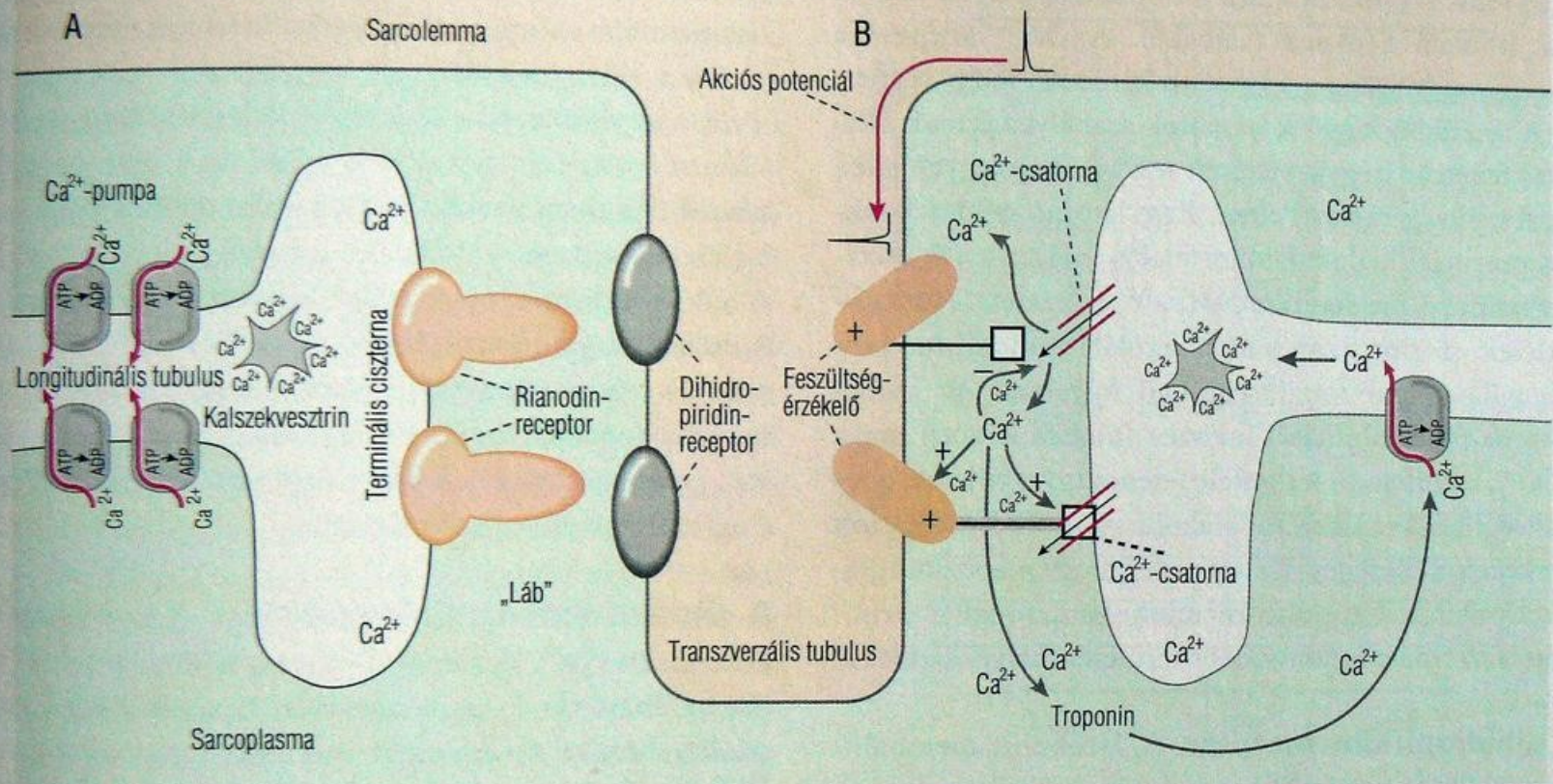


6-17. ábra

Véglemez-potenciál és regisztrálása

- A)** A kísérleti elrendezés. Az intracelluláris elvezető elektród a véglemez alatt foglal helyet, és a membránpotenciál változásait regisztrálja. Az ingerlő elektród extracellulárisan, a motoros axonon van.
- B)** A felső regisztrátum (a görbe) a kurarizálás nélküli potenciálváltozásokat mutatja (fekete vonal). A véglemez-potenciál közvetlenül az izomrost akciós potenciáljában folytatódik. A szaggatott (színes) vonal az extrapolálással számított véglemez-potenciál. Az izomrost ingerküszöbét a szaggatott vízszintes vonal jelzi. A véglemez-potenciál meghaladja a küszöbértéket.

Az alsó, (b) görbén részlegesen kurarizált preparátum membránpotenciál-változása látható. A véglemez-potenciál nem érte el az izom küszöbértékét, nem váltott ki akciós potenciált; a görbe így a csökkent mértékű véglemez-potenciálnak felel meg.

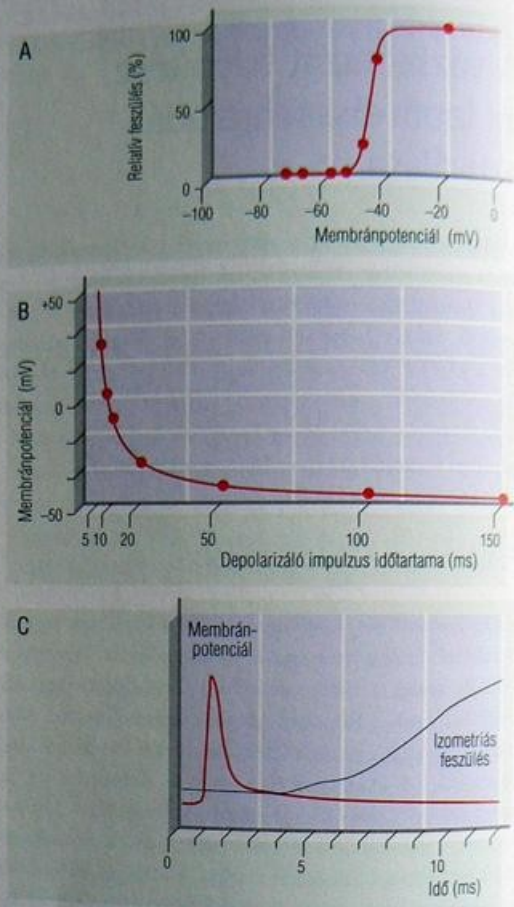


8-2. ábra

A triád szerkezete és a Ca^{2+} -felszabadulás szabályozása

A) A triád felépítésében részt vevő legfontosabb szerkezeti elemek

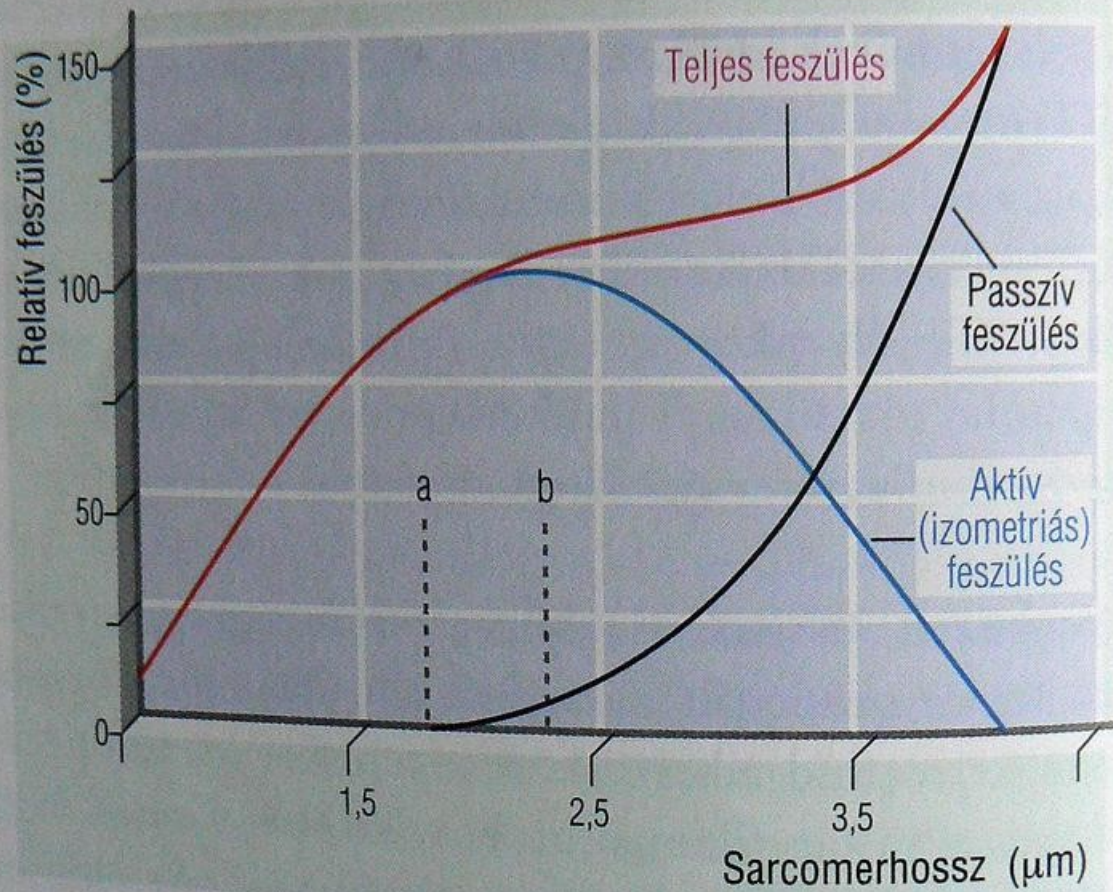
B) A T-tubulus és a terminális cisztterna közötti információátadás mechanikus modellje. Az akciós potenciál miatt bekövetkező elektromos térerőváltozás létrehozza a feszültségérzékelők elmozdulását, ami viszont előidézi a rianodinérzékeny Ca^{2+} -csatornák megnyílását. A kilépő Ca^{2+} koncentrációban elősegíti a szomszédos, még nem aktivált rianodinreceptorok megnyílását (pozitív feed-back, Ca^{2+} -indukált Ca^{2+} -felszabadulás), nagyobb koncentrációban pedig előidézhetheti a korábban megnyílt csatornák inaktivációját. Pozitív feed-back szabályozást jelenthet a feszültségérzékelők elmozdulásának befolyásolása is. A kilépett Ca^{2+} a kontrakció aktiválása (troponinhoz való kötődés) után az SR Ca^{2+} -pumpja révén visszajut a longitudinális tubulusokba, illetve a terminális cisztternákba



8-1. ábra

A vázizom-kontrakció membránpotenciál-függése

- A) Izolált vázizomroston feszültségbeállítási elrendezésben mért izometriás kontrakciók. Az ábra az egyes értékeket a -20 mV-nál mért legnagyobb feszülés %-ában adja meg
- B) Feszültségbeállítási körülmények között különböző időtartamú impulzusokat alkalmazva azt határozták meg, hogy milyen membránpotenciál-értékre kell depolarizálni az izolált vázizomrostot a mechanikai válasz megjelenéséhez (azaz a kontrakciós küszöb eléréséhez). Ebben az esetben tehát az izometriás feszülés nagysága mindig egyforma, a kontrakció megjelenéséhez azonban nagyobb depolarizáció esetén rövidebb idő is elegendő
- C) Izolált harántcsíkolt izomrost felszíni akciós potenciáljának időbeli lezajlása és a kiváltott rángás megjelenése (két eltérő időskálán)

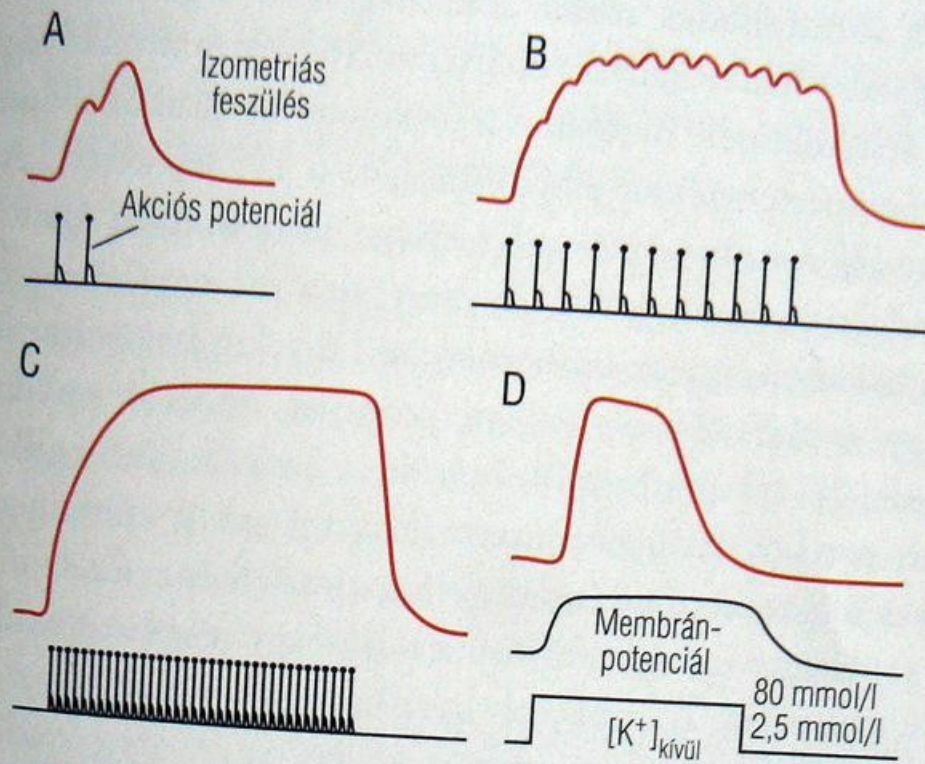


8-5. ábra

A vázizomrost hossza és feszülése közötti összefüggés

A feszülésértékeket az izometriás feszülés maximumának %-ában adtuk meg

a: egyensúlyi hossz; b: nyugalmi hossz



8-6. ábra

A vázizom kontrakciójának különböző formái

- A) Szuperpozíció
- B) Inkomplett tetanusz
- C) Komplett tetanusz
- D) K^+ -kontraktúra

Valamennyi ábrarészen a membránpotenciál változását az alsó görbe tükrözi, míg a felső görbék az izometriás körülmények között regisztrált mechanikai választ jelzik. A D ábrarészen a K^+ -koncentráció változását a legalsó séma illusztrálja