

# IDEGI SZABÁLYOZÁS és IZOMMŰKÖDÉS

## AZ IDEGSEJT BIOKÉMIAI MŰKÖDÉSE

Az idegrendszer a testtömegnek csak kb. 3 %-a, de az összes energiatermelésnek ~20 %-át veszi igénybe. Ez az energia a kémiai működésre megy el, nincs végtermék.

Az idegsejtek nem egyedül alkotják az agyat, a hajszálereket gliasejtek burkolják (vér-agy-gát, szűrő, a vérben keringő anyagok közül csak azok jutnak el az idegsejtekig, amelyeket a gliasejtek átengednek). Az anyagcserének egy jelentős részét a gliasejtek végzik.

Az idegsejtek csak glükózt vesznek fel, tartalékuk nincs.

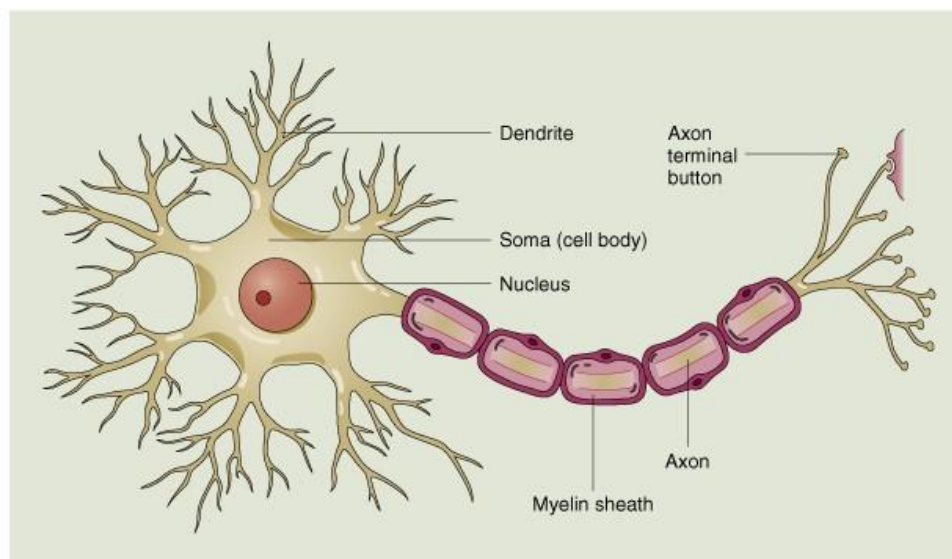


# IDEGSEJTEK

Az idegeket alkotó neuronoknak hosszú nyúlványa van, ez az axon, ez nyúlik a szövetekbe. A rövid nyúlványok a dentritek. Vannak kapcsoló funkciójú idegsejtek, ezeknek nincs hosszú nyúlványuk (nincs axonjuk)

Szenzoros neuronok a perifériákról vezetik a jelet a központ felé.

Motoros neuronok: mozgást irányítják: a központból viszik a perifériára (az izmokba) a jelet.



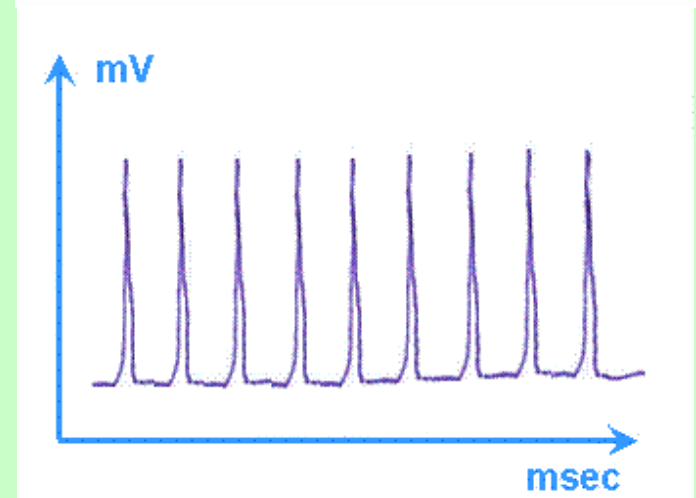
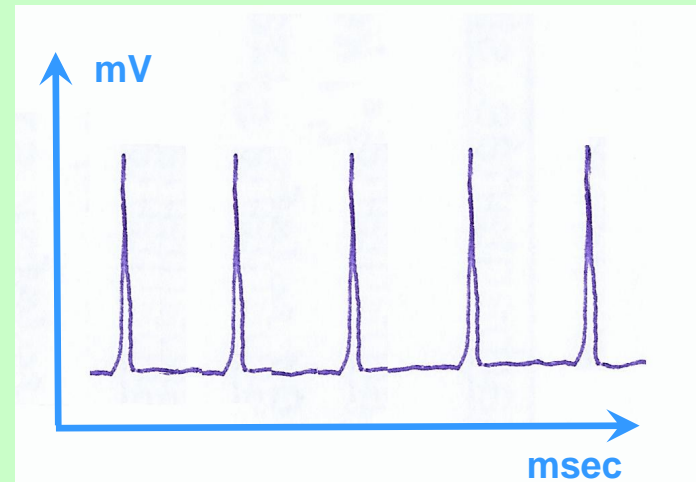
© 2000 John Wiley & Sons, Inc.



# IDEGINGERÜLET

= elektromos impulzus, a feszültsége 100-200 mV, az időtartama 1-2 ms. Erősebb ingerületnél nem a jel nagysága nő, hanem gyakoribbá válik → nem az amplitúdó, hanem a frekvencia változik. A frekvencia hordozza az információt.

(Elektródákkal vizsgálható.)



# ELMÉLETI ALAPOK (egy kis Kémszám)

Kémiai potenciál: azonos anyagi minőségű, de eltérő koncentrációjú oldatok között elektromos potenciálkülönbség lép fel → Nernst potenciál

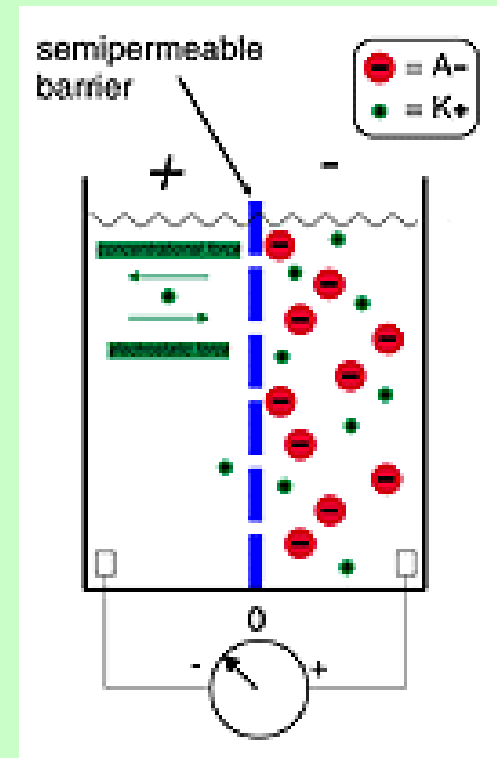
$$E_{ion} = \frac{RT}{ZF} \times \ln \frac{[ion]_o}{[ion]_i}$$

where  $R$  = gas constant

$T$  = temperature

$Z$  = valence

$F$  = Faraday's constant



# NYUGALMI POTENCIÁL

Az idegsejt membránján aszimmetrikus töltésmegoszlás jön létre: a sejt belseje negatív lesz a külső térhez képest. Az egyes ionok koncentrációiból kiszámíthatók a potenciálok.

$$[\text{Na}^+] \quad c_{\text{belső}} = 50; c_{\text{külső}} = 500 \text{ mM}$$

$$[\text{K}^+] \quad c_{\text{belső}} = 400; c_{\text{külső}} = 10 \text{ mM}$$

$$[\text{Cl}^-] \quad c_{\text{belső}} = 100; c_{\text{külső}} = 500 \text{ mM}$$

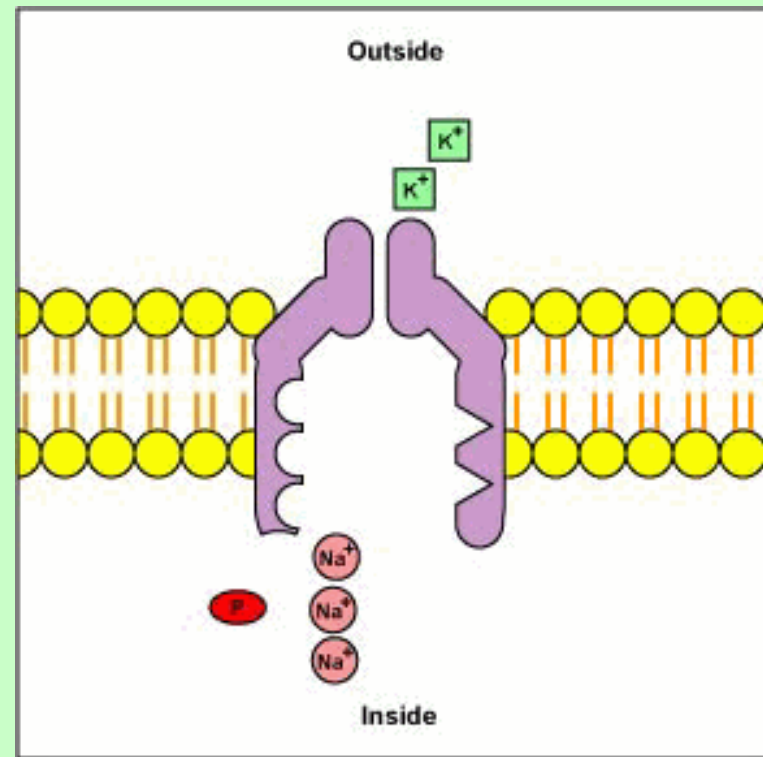
Az eredő nyugalmi potenciál:  
– 50-70 mV



# NÁTRIUM PUMPÁK

A nyugalmi potenciált aktív transzporttal hozzák létre a Na-pumpa transzport-enzimelei. A kálium-nátrium pumpa egy ATP felhasználásával 3 Na<sup>+</sup>-t visz ki a sejtől és 2 K<sup>+</sup>-t hoz be.

Elektrogén Na-pumpa: nem cserél, csak nátrium iont szállít ki a sejtől.

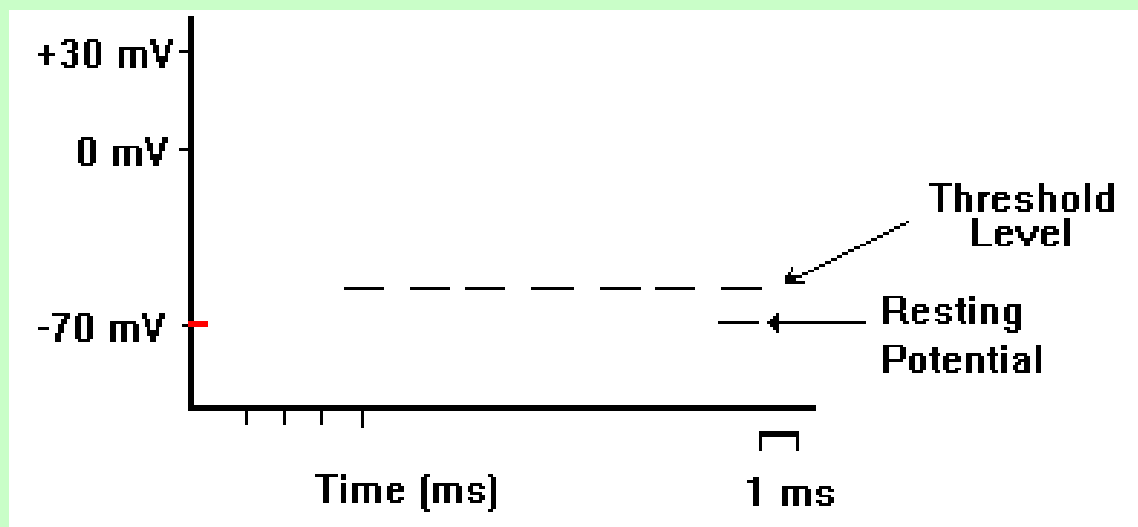


# AKCIÓS POTENCIÁL

Az ingerület nem más, mint a membrán két oldalán kialakuló dinamikus potenciálváltozás = akciós potenciál.

A membrán ioncsatornáit megnyílnak, az ionok passzív transzporttal lépnek át, majd aktívvá vissza.

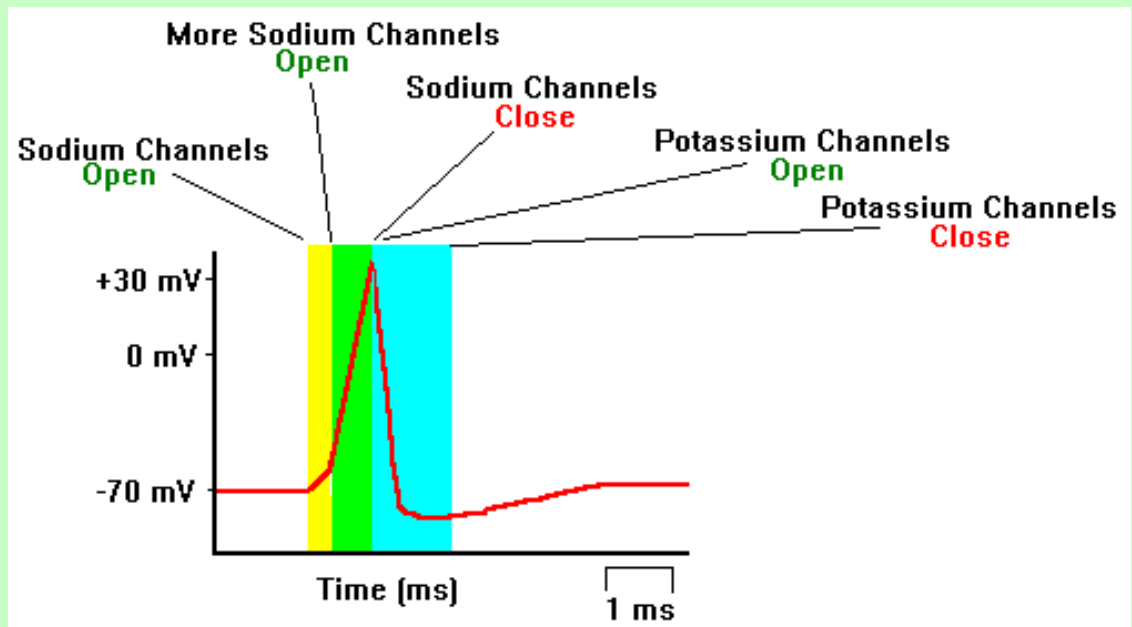
Az indításhoz a potenciálszintet meg kell emelni 5-10 mV-tal (= küszöbérték) Ettől végigmegy a folyamat.



# AKCIÓS POTENCIÁL 2.

Az akciós potenciál szakaszai:

- A küszöbérték elérése után a nátrium-csatornák kinyílnak, a pozitív ionok beáramlása emeli a potenciált
- a kálium-csatornák is kinyílnak, a jel ettől visszafordul
- a nátrium pumpák visszaállítják a nyugalmi potenciált





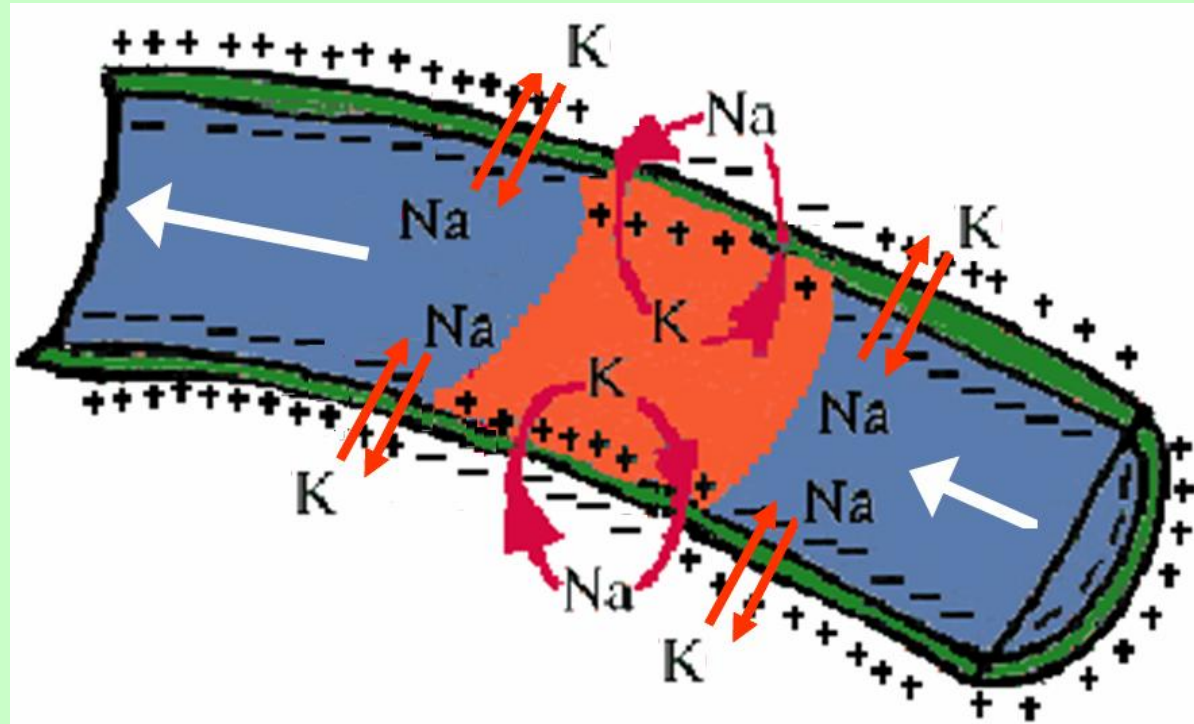
# AKCIÓS POTENCIÁL 3.

Az akciós potenciál mint egy aktív szakasz végigszalad a nyúlvány mentén. Előtte és utána a nátrium pumpák beállítják a nyugalmi potenciált.

Haladási sebessége 1-2 m/sec.

Elhaladás után kb. 5-10 msec-ig nem ingerelhető.

A jel gyengül, csillapodik, de a testméretén belül odaér a szinapszishoz.



# SZINAPSZISOK

= a sejtek ingerületátadó helye, ahol az ingerület egyik sejtről a másik sejtre átadódik. Lehet:

1. Idegsejtről idegsejtre vagy idegsejtről izomsejtre
2. Elektromos vagy kémiai

## Elektromos szinapszis:

Az elektromos feszültség-eltolódás hatására a membrán túloldalán, az érintkező másik idegsejtben depolarizáció jön létre (eléri a küszöbértéket) és ennek hatására ott is elindul a jel.

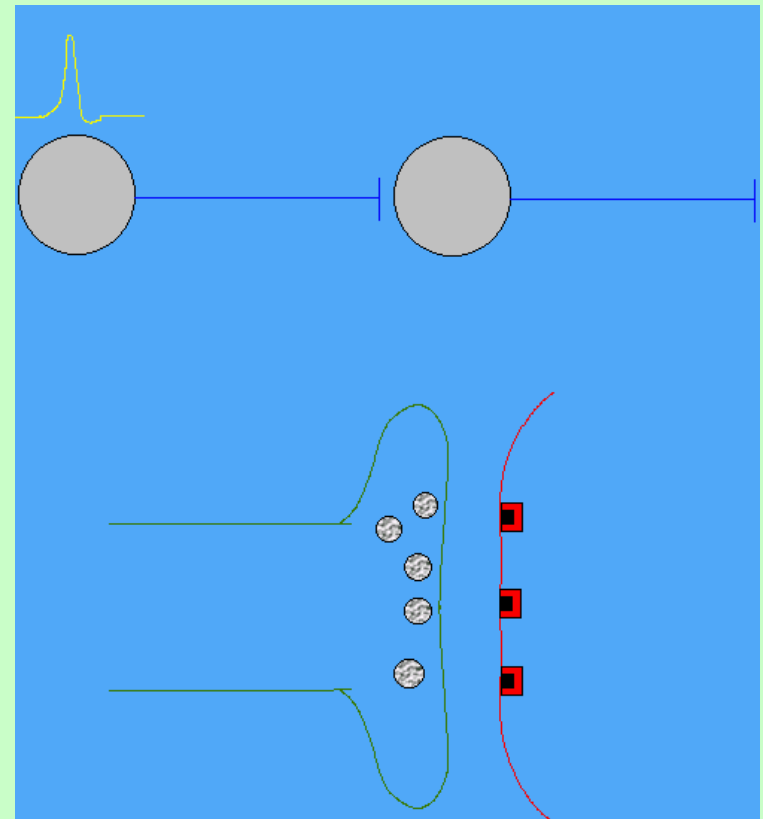
## Kémiai szinapszis:

Kémiai anyagok (neurotranszmitterek) viszik át az ingerületet a másik sejtre

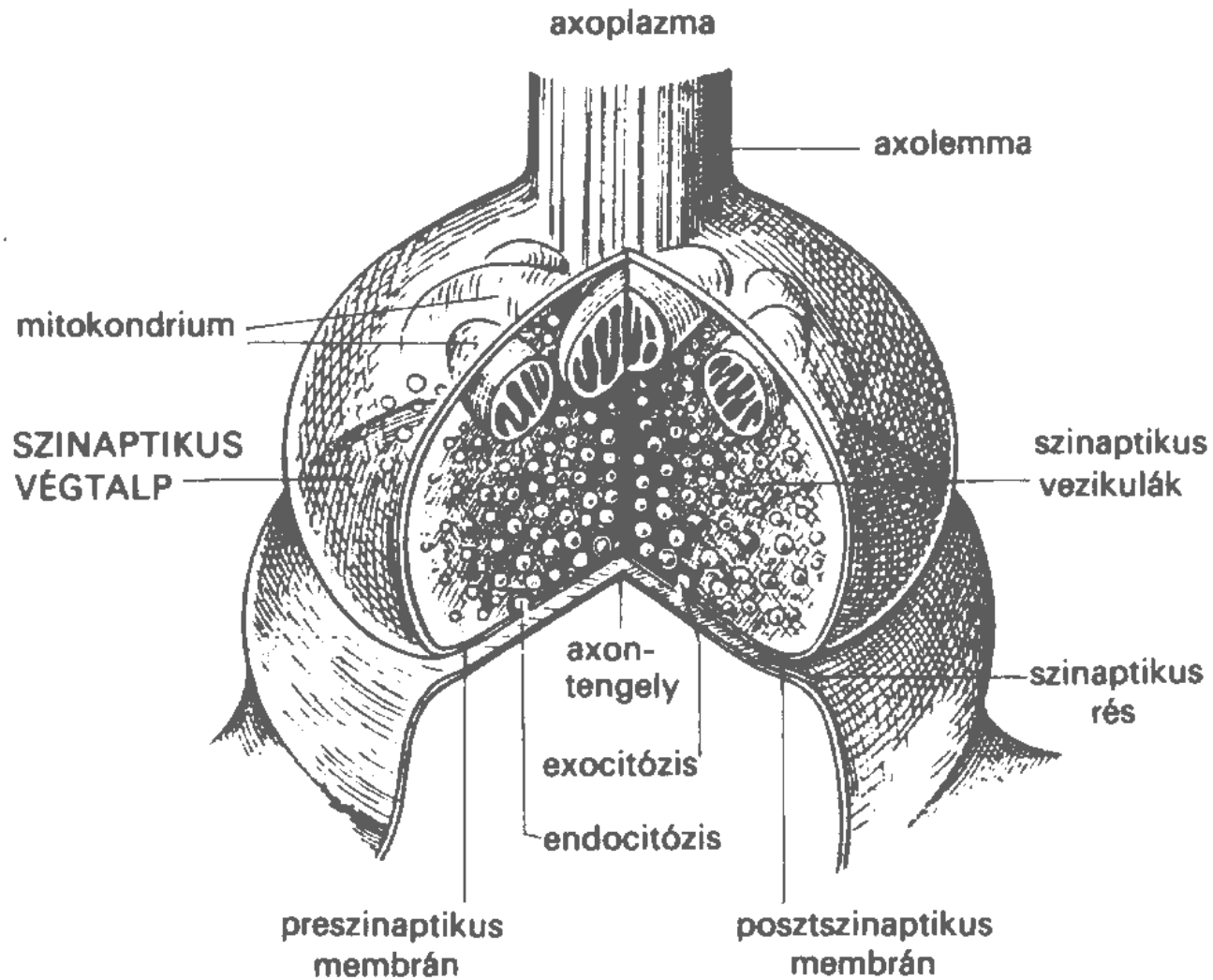


# KÉMIAI SZINAPSZIS

A neurotranszmitter anyagokat a preszinaptikus sejt termeli, és hólyagocskákban tárolja. Az inger hatására néhány hólyagocska kinyílik, az anyag a szinaptikus hézagba kerül, és átviszi az ingerületet a posztzinaptikus sejtre. A fogadó sejten receptorok vannak, melyek megkötik a transzmittereket és a posztzinaptikus sejtben valamilyen hatást váltanak ki.



# KÉMIAI SZINAPSZIS



# KÉMIAI SZINAPSZIS

Gyakori neurotranszmitterek (aminosav származékok):

- Acetilcolin
- Noradrenalin (hormon is, de itt nem jut a vérbe).
- Dopamin
- Szerotonin
- $\gamma$ -amino-vajsav (GABA)

Kolinerg idegrendszer (acetilcolin) = paraszimpatikus  
Adrenerg idegrendszer (noradrenalin) = szimpatikus

A transzmittereket a szinaptikus résből el is kell tüntetni.  
A fogadó oldalon enzimek (pl: acetilcolin–kolinészteráz),  
bontják a kémiai ingerületet vivő anyagokat.



# SZINAPSZISOK

Szinaptikus késés: mekkora késéssel jelenik meg az új jel a beérkezőhöz képest. Az elektromos szinapszisznál nincs szinaptikus késés, a kémiaiainál van:

- 1-2 ms az idegsejteknél,
- 5-10 ms az izomsejteknél

### 3. Egyirányú – kétirányú szinapsziszok

Elektromos szinapszisznál az ingerület átadás lehet kétirányú, míg a kémiai szinapszisznál csak egy irányba mehet.

### 4. Aktiváló – gátló szinapsziszok

A fogadó oldal reakciója szerint a válasz lehet aktiválás vagy gátlás



# AZ IZOMMŰKÖDÉS

Anatómiailag megkülönböztetünk sima és harántcsíkt izomzatot, de az alapstruktúra (szarkomer) azonos.

Sejthártya: sarcolemma; sejtplazma: sarcoplasma

ER: sarcoplasmaticus retikulum (T és L tubulusok)

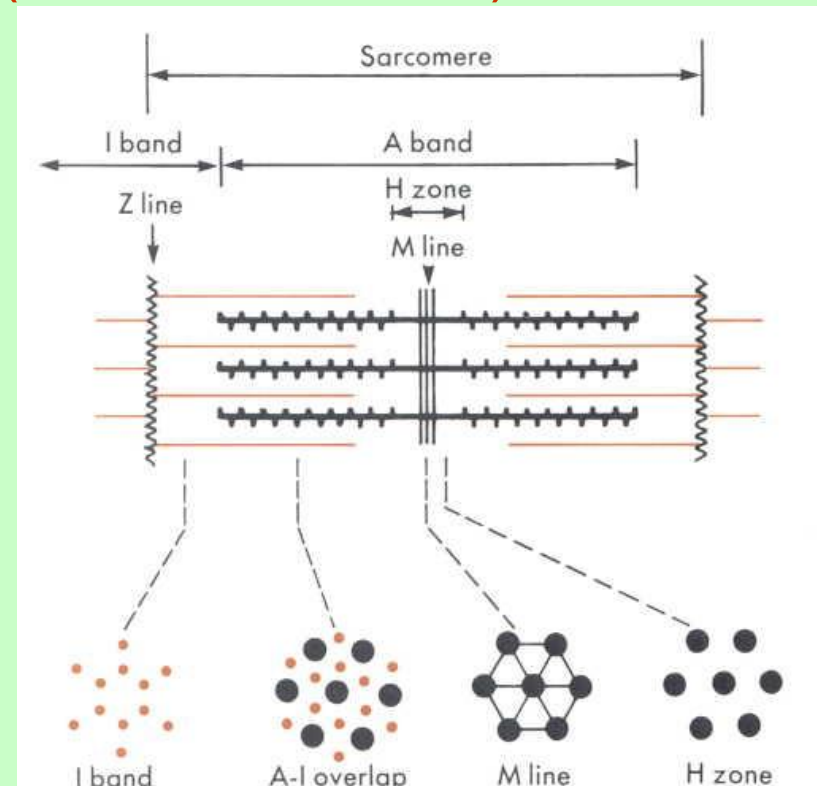
Harántcsíkt izom:

Izomrost: „óriás sejt”

Az összehúzódás irányára merőlegesen Z és M vonalak (inkább síkok) tagolják, párhuzamosan pedig hatszöges elrendezésben vékony és vastag fonalak/ gerendák fut-nak.

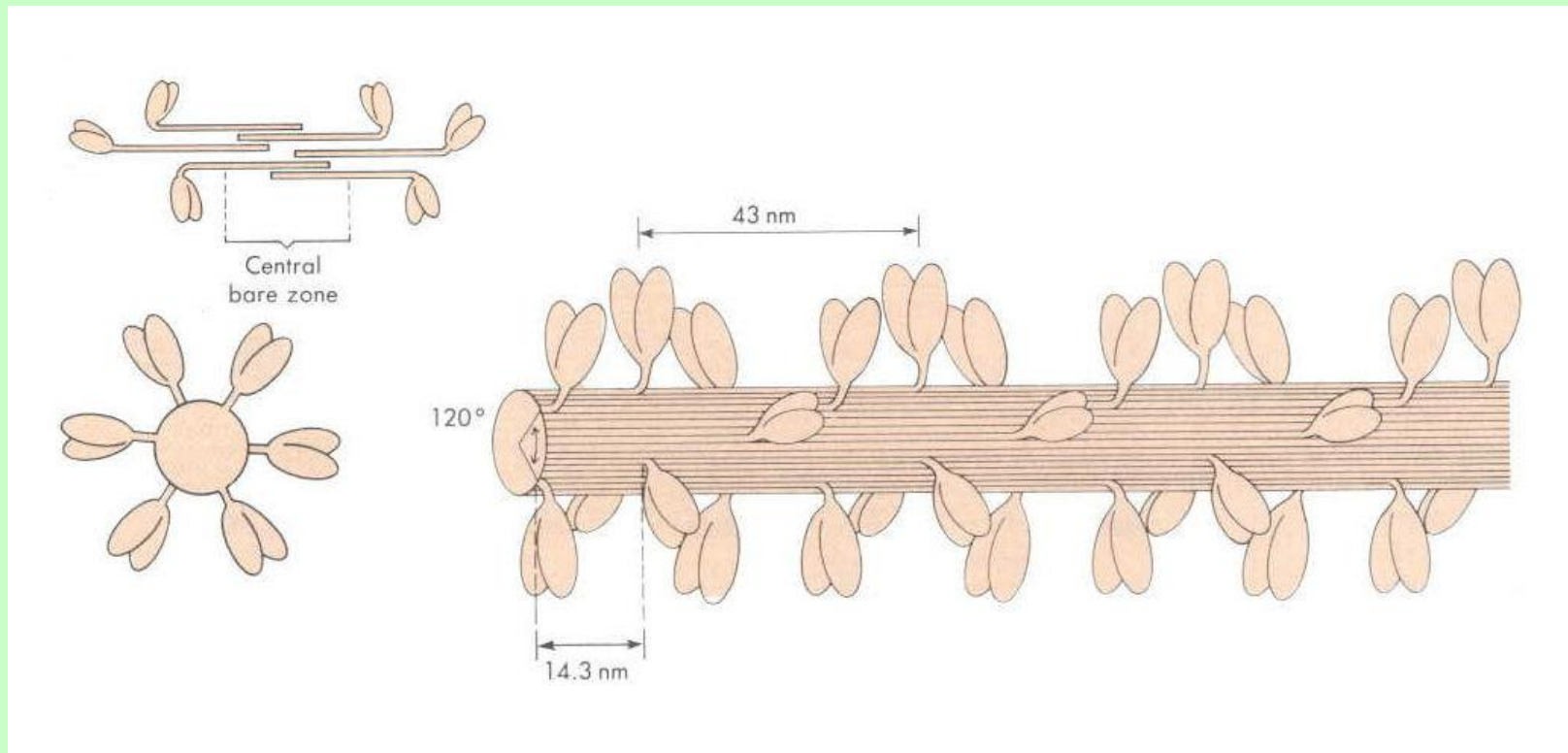
Aktin : miozin = 2 : 1

A sarcoplasmában rácsszerű hálózatozt alkotnak.



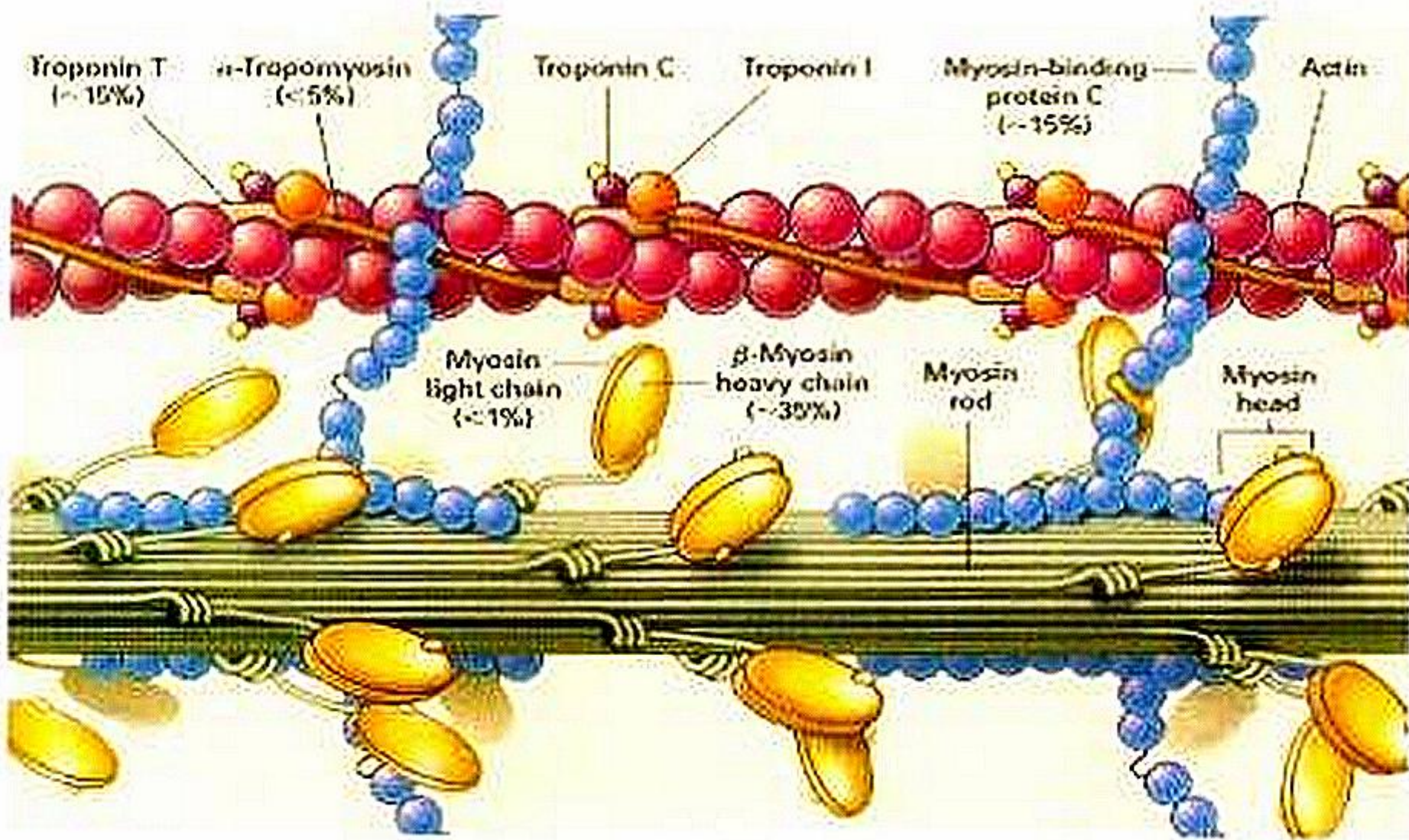
# FINOMSZERKEZET

A miozin „gerenda” sok egyforma „golfütő”szerű alegység-  
ből áll. A fejek szabályos hatszöges elrendezésben állnak.





# FINOMSZERKEZET 2.



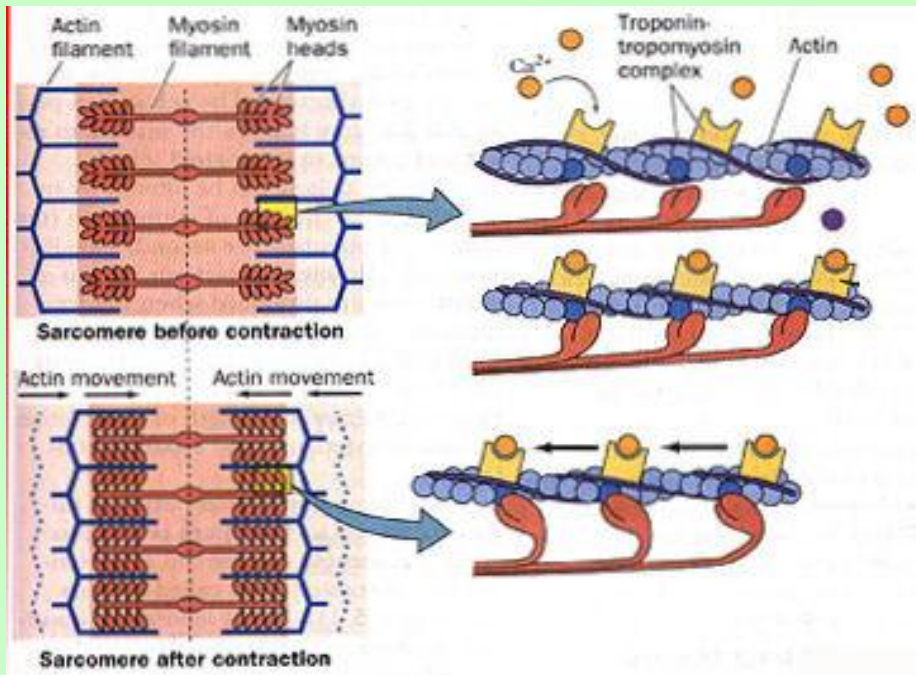
# Izomösszehúzódnás mechanizmusa 1.

- Az izomrostot beidegző sejt axonjának végbunkóiból felszabaduló acetil-kolin (ACh) indítja el akciós potenciál hatására
- Az ACh a posztszinaptikus membrán transzmitter-függő ioncsatornáit megnyitja:  $\text{Na}^+$  áramlik az izomrost plazmájába – akciós potenciál
- Az akciós potenciál továbbterjed az izomrost membránján
- Az ún. T-tubulusok közvetítésével bejut a sejt belsejébe (transzverzális tubulus, ami harántirányú kapcsolatot létesít a filamentumok között)
- T-tubulus átadja az akciós potenciált az L-tubulusnak
- A tubulusokból felszabadul a  $\text{Ca}^{2+}$  és beáramlik a sarcoplasmába



# IZOMÖSSZEHÚZÓDÁS 2.

- A  $\text{Ca}^{2+}$  a troponin-tropomiozin komplex konformációs változásáért felel.
- Kötőhelyei: Troponin-T (tropomiozinhoz rögzíti a troponint); Troponin-C (a troponin molekula  $\text{Ca}^{2+}$  kötőhelye); Troponin-I (aktin kötőhely).
- A beáramló  $\text{Ca}^{2+}$  beköt a C kötőhelyre a tropomiozin elmozdul, ezzel a troponin-I leválik az aktinról: szabaddá válik az aktin kötőhely.



A miozin fejek  $\text{Ca}^{2+}$  jelenlétében és ATP bontással „bólintanak”, ezzel elmozdítják az érintkező aktin fonalakat.

Maguk a molekulák nem rövidülnek meg, hanem elcsúsznak egymás mellett. Nem „rugó”, hanem „teleszkóp”.



# IZOMÖSSZEHÚZÓDÁS 3.

- Az aktin és a miozin összekapcsolódásához nem kell energia.
- A miozin fej elmozdulása energia igényes. A miozin fejben ATPáz enzim található. Az aktin-miozin kötés felbontása is energia igényes.
- A kötés szétbontása után újabb kötést létesít egyre közelebb húzva a két I síkot egymáshoz (egy elmozdulás 10-30 nm-es csúszást jelent)
- A max. összehúzódás a két I sík találkozásáig tart. További nyújtás az izom szakadásához vezet.

## Csúszó filamentum modell (~ teleszkóp)

- A folyamat addig megy, amíg van  $\text{Ca}^{2+}$  és ATP. Az ATP bontás során termelt energia kb. 60%-a hővé alakul az izomműködés során.



# A KALCIUM SZEREPE

A motoros neuron a szinapszison keresztül ingerli az izomsejtet. Ennek szarkoplazmás retikulumából  $\text{Ca}^{2+}$  ionok áramlanak ki, ezek kötődnek a troponinra – létrejön az elmozdulás. Az izom elernyedéséhez az kell, hogy a  $\text{Ca}^{2+}$  leváljon a troponinról, ami az aktin és a miozin közötti kölcsönhatás megszűnéséhez vezet.

Ehhez az kell, hogy a Ca-pumpák aktív transzporttal visszavigyék a  $\text{Ca}^{2+}$  ionokat a citoplasmából a SR-ba (kalszekvesztrin = raktározó fehérje, kb 40  $\text{Ca}^{2+}$  iont képes megkötni).

(Ellési bénulás: nagymérvű vér Ca-szint csökkenés, hullamerevség: ATP bontás elmarad)



# Energetika, oxigén hozzáférés 1.

Energia: ATP-ből (genetikailag meghatározott, limitált) kb. 4 sec

Energia-tartalék: kreatin-foszfát kb. további 4+4 sec

Összesen kb. 10-12 sec-ig szolgáltat energiát: alaktacid (tejsavmentes) szakasz (nincs szükség külső energiára, sem  $O_2$ -re)

Az izom további működéséhez egyéb E-forrás kell: tárolt glikogén – glikolízis az izomsejt citoplazmájában: 2 ATP és piroszőlősav.

Ha nincs elég  $O_2$ , akkor tejsav keletkezik: anaerob-laktacid fázis. Edzettségtől függően 30-180 sec-ig tartható fenn



# Energetika, oxigén hozzáférés 2.

- Ha van elegendő  $O_2$ : a piroszőlősavból acetil-csoport, majd acetil-CoA képződik, ami be tud lépni a citrát ciklusba.
- A terminális oxidáció szintén ATP-t termel.

Az anaerob szakaszban termelődő tejsav az izomsejt citoplazmájából a vérbe jut, azzal a májba, ahol a glükoneogenezis során újra piruváttá vagy glükózzá alakul. Nagy terhelés során növekedhet a vér tejsav szintje. Anaerob izommunka: tejsav (izomláz)

- Aerob-anaerob küszöb: egyéenként változik, a vér laktát szintjéhez köthető (4 mmol/l – 10 mmol/l): 40 sec max. intenzitással
- Aerob kapacitás: a sejtlégzés szintjén kb. 5 perc utántól
- A glikogén raktár jelentős: hosszú ideig képes az aerob munkára

