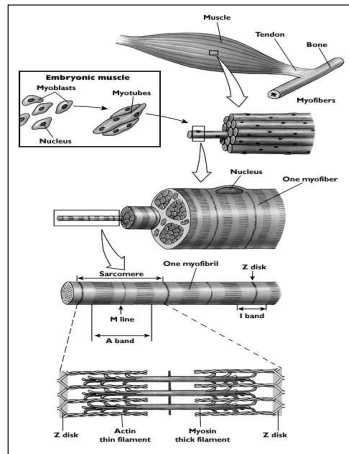


# Izomműködés

## Az izommozgás

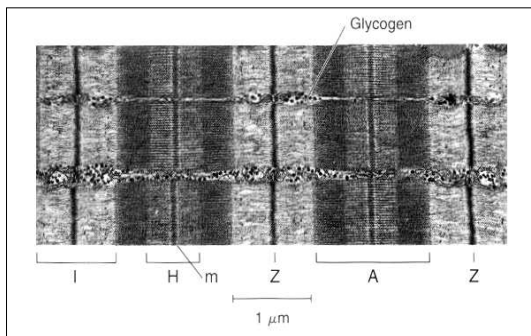
- az állati élet legszembetűnőbb külső jele a mozgás
- amőboid, ostoros ill. csillós és izom-összehúzódással történő mozgás van
- Galenus id. II.sz.d. - az idegekből "animal spirit" folyik az izmokba - azok megduzzadnak és így megrövidülnek
- az 50-es évekig fehérjék spirális rövidülésében látták a mechanizmust
- az EM és egyéb technikák fejlődésének köszönhetően mára ismerjük a mechanizmust
- van sima és harántcsikolt, utóbbin belül váz-, és szívizom
- a mechanizmus mindegyikben azonos

## Az harántcsíkolt izom szerkezete



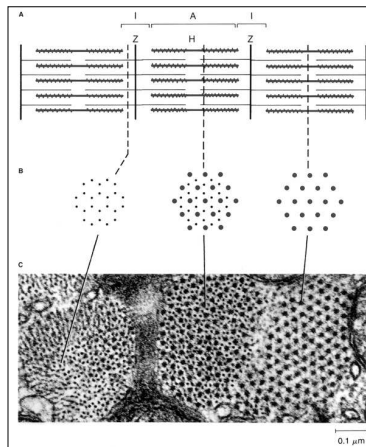
Eckert: Animal Physiology, W.H.Freeman and Co., N.Y.,2000, Fig. 10-1.

## A harántcsíkolt izom EM képe



Eckert: Animal Physiology, W.H.Freeman and Co., N.Y.,2000, Fig. 10-2.

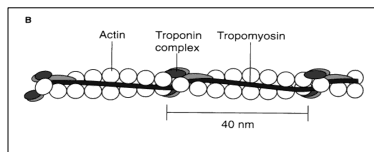
## A szarkomer keresztmetszete



Eckert: Animal Physiology, W.H.Freeman and Co., N.Y., 2000, Fig. 10-3.

## Az aktin filamentum szerkezete

- G-aktin: globuláris, 5,5 nm átmérőjű gömb
- "gyöngysorra" polimerizálódik - két gyöngysor helikális struktúrát alkot - F-aktin
- az F-aktin kb. 1000 nm hosszú, 8 nm vastag, a z-lemezhez ( $\alpha$ -aktinin) kapcsolódik
- a kb. 40 nm hosszú tropomiozin és a vele asszociálódott troponin komplex simul hozzá
- ezeknek az aktin-miozin kapcsolódás szabályozásában van szerepe

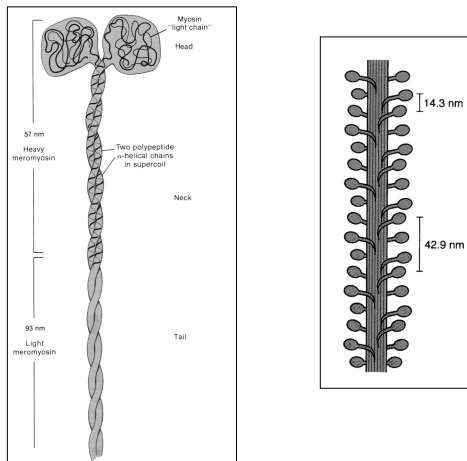


Eckert: Animal Physiology, W.H.Freeman and Co., N.Y., 2000, Fig. 10-5.

## A miozin filamentum


- a miozin molekula két, 150 nm hosszú, 2 nm vastag nehéz láncból áll
- ezek  $\alpha$ -hélixet alkotnak és egymás köré tekerednek
- végükön "fej"-régió
- a fejhez 3-4 (fajspecifikus) könnyű lánc kapcsolódik
- a miozin molekulák vastag filamentummá asszociálódnak
- ennek hossza gerincesekben 1600 nm, vastagsága 12 nm
- a fejek oldalirányban állnak, 9 sorban
- egy szinten 3 fej, szintek távolsága 14,3 nm, 42,9 nm-ként azonos irányultságú fej

## A miozin filamentum szerkezete

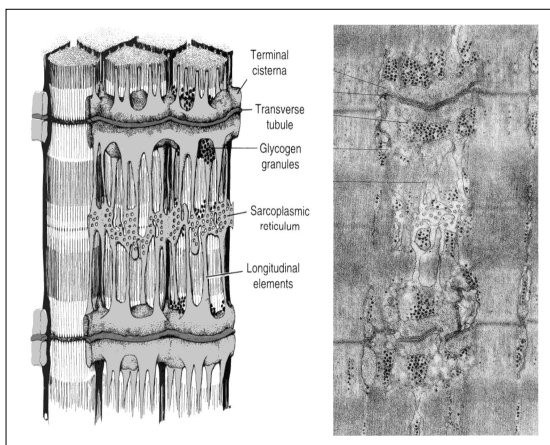


Eckert: Animal Physiology, W.H.Freeman and Co., N.Y., 2000, Fig. 10-4, 6.

## A csúszó filamentum elmélet

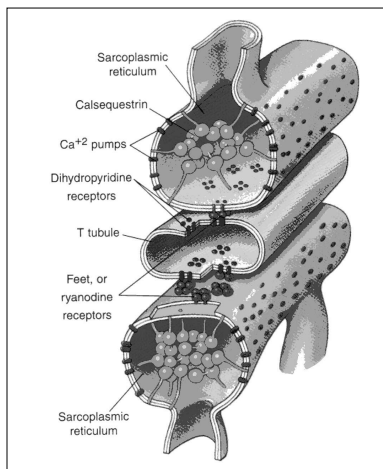
- az A-csík változatlan, míg az I-csík rövidül
- nem változik sem az aktin, sem a miozin filamentumok hossza
- H.E. Huxley és A.F. Huxley egymástól függetlenül állították fel a csúszó filamentum elméletet: az aktin és miozin elcsúszik egymáson
- legjobb bizonyíték a hossz-feszülés viszony, minél nagyobb az átfedés, annál nagyobb feszülés 
- az elcsúszást a filamentumok közötti kereszthidak elmozdulása okozza
- a kontrakciót a SR-ból felszabaduló  $Ca^{++}$  ionok indítják be
- a sejtmembrán ingerületét a z-lemezeknél betüremkedő T-tubulusok juttatják a SR-hez

## Az izomrost tubulus rendszere



Eckert: Animal Physiology, W.H. Freeman and Co., N.Y., 2000, Fig. 10-21.

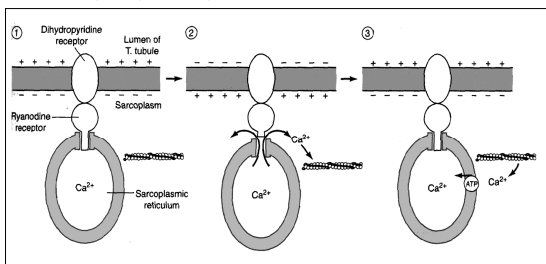
## T-tubulus és az SR kapcsolata



Eckert: Animal Physiology, W.H.Freeman and Co., N.Y.,2000, Fig. 10-25.


## A kalcium felszabadulás módja

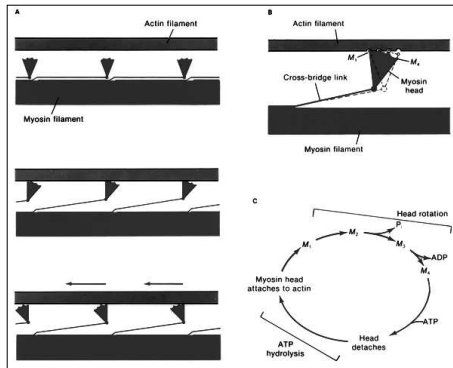
- AP - szarkolemmáról T-tubulusra terjed - feszültségfüggő dihidropiridin receptor konformáció változása - ryanodin receptor elmozdulása v. konformáció változása
- ryanodin receptorok fele szabadon áll - nyitás Ca<sup>++</sup> hatására - trigger Ca<sup>++</sup>
- Ca<sup>++</sup>-pumpa helyreállít



Eckert: Animal Physiology, W.H.Freeman and Co., N.Y.,2000, Fig. 10-4.

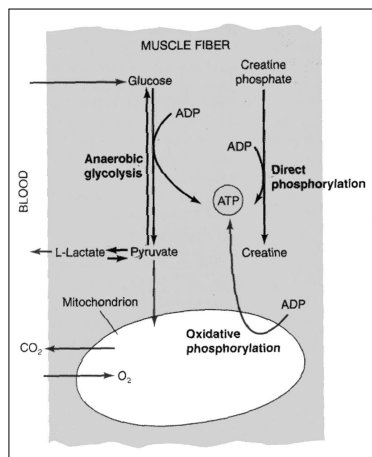
## Az elcsúszás mechanizmusa

- a felszabaduló  $Ca^{++}$  a troponin komplexhez köt, az aktin miozin kötőhelye felszabadul 
- körfolyamat indul be, amíg a  $Ca^{++}$  szint magas, egy ciklus 10 nm elmozdulás



Eckert: Animal Physiology, W.H.Freeman and Co., N.Y., 2000, Fig. 10-11.

## A kontrakció energetikája



Eckert: Animal Physiology, W.H.Freeman and Co., N.Y., 2000, Fig. 10-29.

## Izomrost típusok

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

## Motoros egység

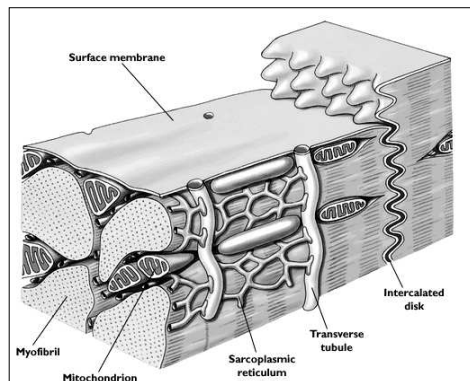
- minden gerinces vázizmot gerincvelői vagy agytörzsi motoneuron idegez be - végső közös út
- egy izomrosthöz egy motoneuron tartozik
- egy motoneuron sok izomrostot láthat el - motoros egység
- 1:1 szinaptikus kapcsolat - 1 AP, 1 rágás
- feszülés szabályozása
  - AP-k frekvenciája - tetanusos összehúzódás
  - recruitment - további motoros egységek bevonása
- a feladattól függően más típusú rostok aktiválódhatnak - egy motoros egység csak egyféle rostból áll
- beidegzés (ill. a használat módja) befolyásolja az izomrost típusát - idegek összecszerélése, birkózó kosárlabdázó izmainak különbsége



## A szívizom

- sok hasonló, sok eltérő vonás a vázizomhoz képest
- automáciás ingerületképzés
- csak diffúz, modulációs beidegzés
- egy sejtmagvú, valódi sejtek
- elektromos szinapszisok - funkcionális szincicium
- AP-n plató, hosszú refrakter stádium
- feszültségfüggő L-típusú  $Ca^{++}$ -csatornák a T-tubulusokon - belépő  $Ca^{++}$  triggereli a  $Ca^{++}$  felszabadulást az SR-ből
- a kétfajta  $Ca^{++}$  jelentősége fajfüggő (pl. béka)
- $Ca^{++}$  eltávolítás:  $Ca^{++}$ -pumpa (SR),  $Na^+/Ca^{++}$  antiport (sejtmembrán) - digitális:  $Na/K$  pompa bénítása - hipopolarizáció és  $Ca^{++}$  növekedés
- $\alpha$ -adrenoreceptor:  $IP_3$  -  $Ca^{++}$  kilépés SR-ből
- $\beta$ -adrenoreceptor: cAMP -  $Ca^{++}$  sejtmembránon át

## A szívizom felépítése

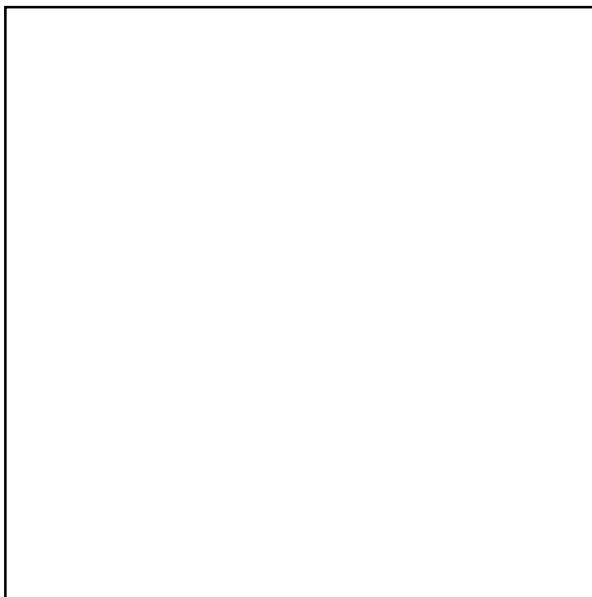


## A simaizom I.

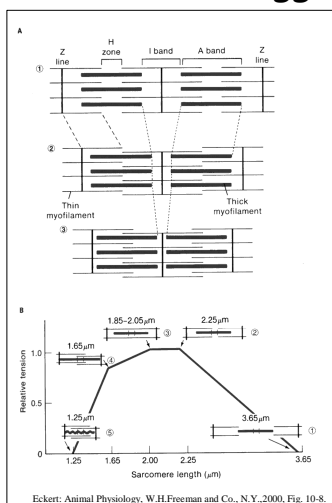
- nincs harántcsíkoltat
- aktin filamentumok a plazma sötét testjeihez, vagy a membránhoz kapcsolódnak
- miozin filamentumok velük párhuzamosan
- **egyegységes simaizom**
  - elektromos szinapszisok - szinkron összehúzódás
  - beidegzés csak a sejtek egy részét modulálja, varikozitásokon át
  - nyújtásra összehúzódás - bazális miogén tónus
  - belső szervek falában (bél, méh, hólyag, stb.)
- **sokegységes simaizom**
  - önálló sejtek külön-külön varikozitással
  - pl. pupilla

## A simaizom II.

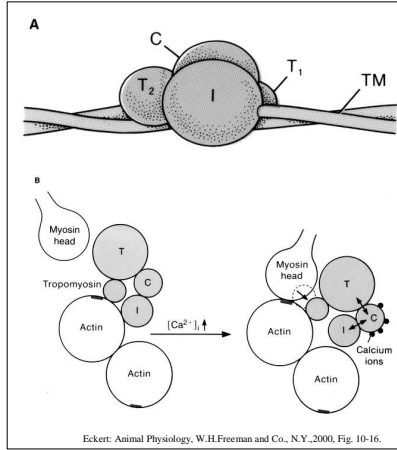
- aktiváció pacemaker sejtek, hormonok, varikozitásból felszabaduló mediátorok hatására
- nincs gyors  $\text{Na}^+$ -csatorna
- AP nem mindig alakul ki, ha kialakul lehet platós, vagy plató nélküli
- kontrakció  $\text{Ca}^{++}$  koncentráció növekedése miatt
- belépés feszültségfüggő és ligandfüggő csatornán, kilépés SR-ből (fejletlen)
- troponin-tropomiozin helyett kaldezmom blokkolja az aktint - Ca-kalmodulin kötés, vagy foszforilálás (PKC) felszabadítja
- miozin könnyű lánc foszforilációja (LC-kináz - Ca/kalmodulin aktiválja) szintén kontrakciót okoz
- könnyű lánc foszforilációja más helyen (PKC) - relaxáció



## A feszülés hosszfüggése



## A troponin szerepe



## Ca<sup>++</sup> szint és kontrakció

