

# Izomműködés.

Harántcsíktolt izom. Simaizom és simaizom-alapú szervek biofizikája.

**Hirdetés D.R. Wilkie professzor előadására a londoni Villamosmérnöki Intézetben. A téma: izom.**

**Kapható: LINEÁRIS MOTOR.** Kitartó és megbízható. A kivitelezés hosszantartó és világméretű próbaüzem során optimalizálódott. Minden típus gazdaságos, üzemanyagcella típusú emergiaátalakítót használ, mely a rendelkezésre álló üzemanyagok széles skálájával működtethető. Alacsony készenléti teljesítmény, azonban kapcsolás után milliszekundumok alatt akár 1 KW/kg csúcsteljesítmény elérésére képes. A moduláris konstrukció és a rendelkezésre álló számos alegység különleges, gyakran megoldhatatlannak látszó mechanikai igények kivitelezését teszi lehetővé.

**Választható két különböző szabályozó rendszerrel:**

**1. Külső kapcsolású üzem mód.** Sokoldalú, általános célú egységek. Digitálisan kontrollált pJ impulzusok. Az alacsony beviteli energia ellenére nagyon magas jel/zaj viszony. Erősítés cca  $10^6$ . Mechanikai paraméterek (1 cm-es modulok esetében): maximális sebesség 0,1 - 100 mm/s között tetszés szerint állítható. Kifejtett mechanikai feszülés  $2-5 \times 10^{-5} \text{ Nm}^{-2}$ .

**2. Autonóm üzem mód beépített oszcillátorokkal.** Különösen alkalmas pumpálási funkciókra. Különböző frekvenciájú és mechanikai impedanciájú modulok állnak rendelkezésre az alábbi, célirányos felhasználásokra:

a. **Szilárd anyagok és sűrű szuszpenziók** továbbítása (0,01 - 1,0 Hz).

b. **Folyadékok továbbítása** (0,5-5 Hz): élettartam  $2,6 \times 10^9$  ciklus (típusos),  $3,6 \times 10^9$  (maximális), a frekvenciától függetlenül.

c. **Gázok továbbítása** (50-1000 Hz).

Számos különböző, opcionális extra áll rendelkezésre, pl. beépített szervó (hosszúság- illetve sebesség-visszacsatolás) finom kontroll igénye esetén. Oxigén direkt pumpálása. Hőgenerálás. Stb, stb.

**Ehető! Finom!**

(Forrás: Leninger, A.L. Biochemistry 2nd ed. Worthington Publishers, New York, 1975)

## Izom

Mozgásra, mozgatásra  
specializálódott sejt illetve szövet.

Csak húzni képes, tolni nem (...).

## Izomkutatás: Hungarikum



Szent-Györgyi Albert  
Akto-miozin precipitátum



Straub F. Brunó  
aktin



Szent-Györgyi András  
Simaizom miozin



Gergely János  
Ca szabályozás

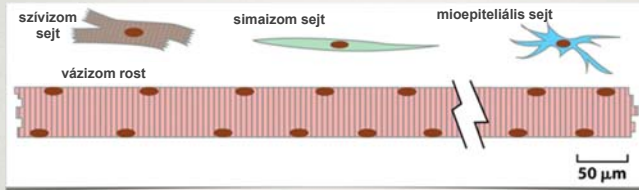


Bárány Katalin és Mihály  
Miozin izoformák  
és összehúzóási sebesség

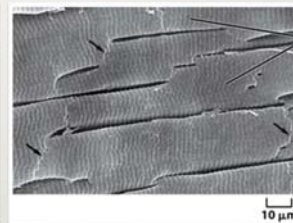
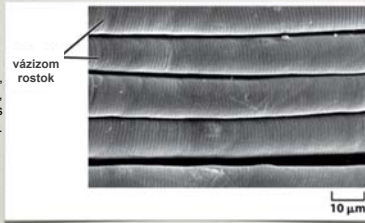


Guba Ferenc  
fibrillin

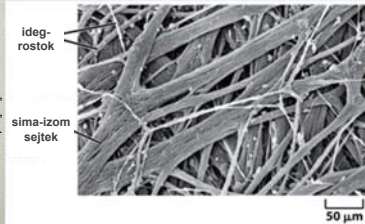
# Izomtípusok



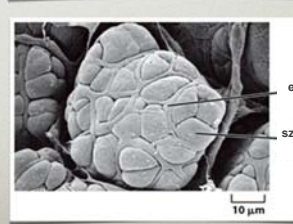
Több cm hosszú, ~100 µm vastag, multinukleáris (syncytium).



Szívben, mononukleáris sejt. Funkcionális syncytium. Autonóm működés.

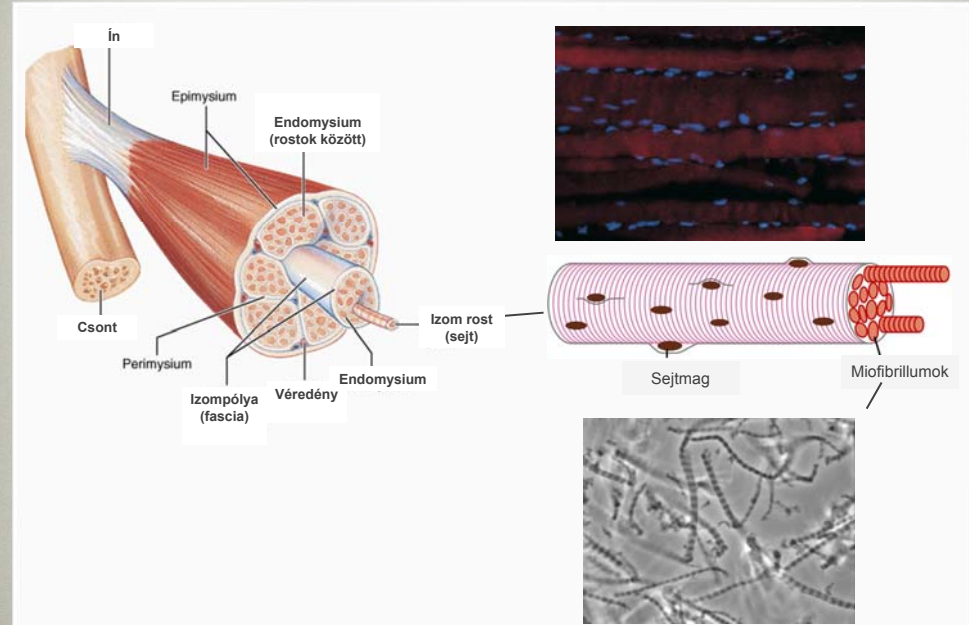


Zsigerekben, mononukleáris, orsó alakú sejt.



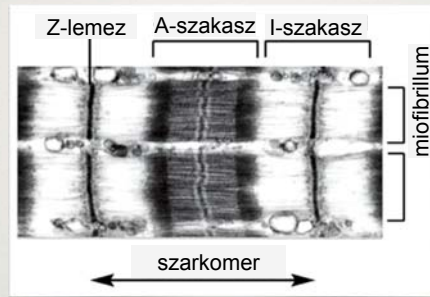
Epiteliális sejt, szöveti kontrakcióért felelős (iris, mirigyexcretio).

# Harántcsíkolt izom



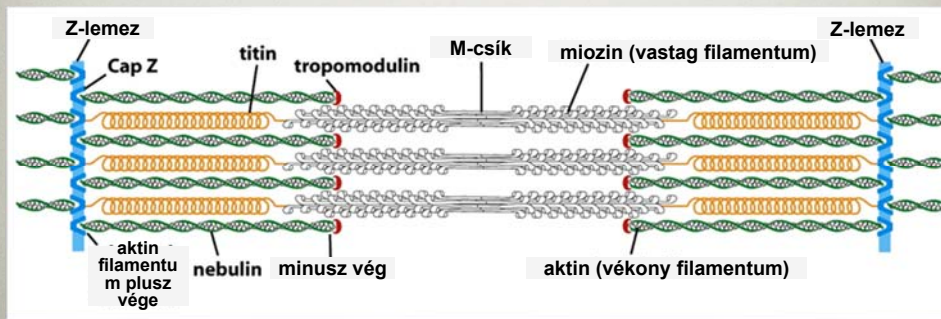
# A szarkomer

sarcos: hús (Gr)  
mera: egység  
a harántcsíkolt izom legkisebb szerkezeti és funkcionális egysége

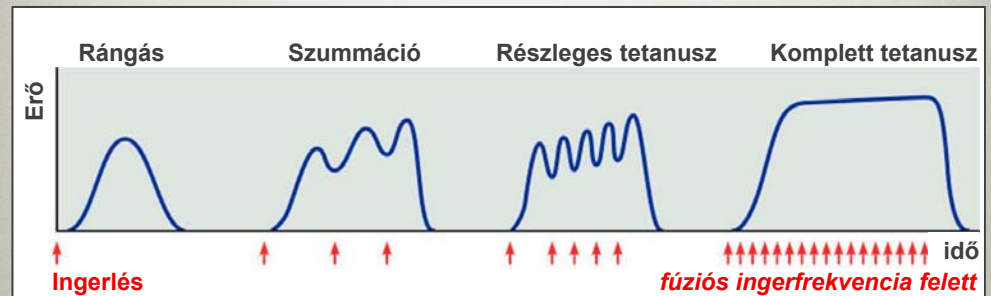


A-szakasz: Anizotróp  
Vastag filamentumok (miozin II.)

I-szakasz: Izotróp  
Vékony filamentumok (aktin, tropomiozin, troponin)



# Az Izomműködés alapjelenségei I.



Egyszeri ingerlés egy összehúzóási választ – **egy rángást** – vált ki (összehúzóadás – elernyedés).

Egy ingersorozat fokozza az összehúzóási erőt, mert a következő inger még részlegesen kontrahált állapotban éri az izmot, így a rángások összeadódnak - **szummáció**.

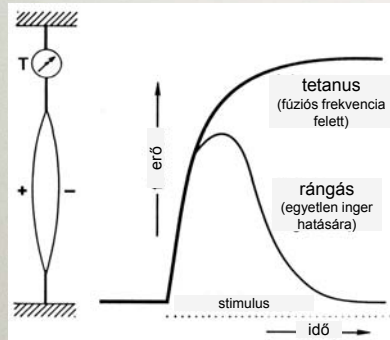
Fúziós frekvencia feletti ingersűrűség esetén a relaxáció gátolt, így az izom állandó tónusba kerül - **tetanusz**.



## Az Izomműködés alapjelenségei II.

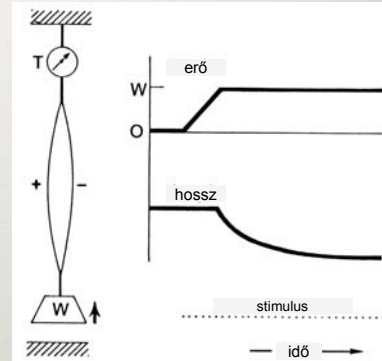
### 1. Izometriás kontrakció

Az izom nem rövidül (vagy nem képes rövidülni), de kifejtett erő növekszik.



### 2. Izotóniás kontrakció

A kifejtett erő állandó, miközben az izom rövidül.



A kettő keveréke: auxotoniás kontrakció (rövidülés és erőkifejtés egyszerre)

## Az Izomműködés alapjelenségei III.

### 1. Munka, Teljesítmény

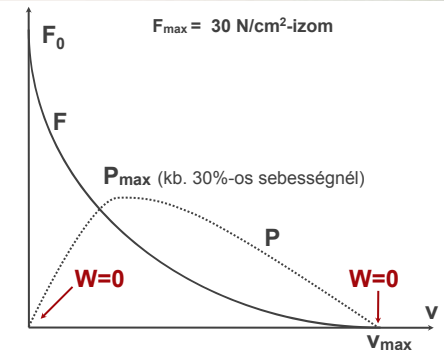
$$W = F \cdot s$$

Ha  $v=0$  akkor  $F=\text{maximum}$   
maximális izometriás erő ( $F_0$ )

Ha  $v=\text{maximum}$  akkor  $F=0$

$$P = F \cdot \frac{s}{t} = F \cdot v$$

### 2. Erő-sebesség összefüggés



**Hill egyenlet:**

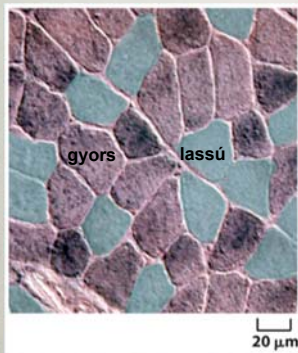
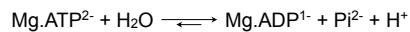
$$(F + a)(v + b) = (F_0 + a)b$$

$F$ : erő,  $v$ : rövidülési sebesség  
 $a$  és  $b$ : konstansok,  
 $F_0$ : maximális izometriás erő

$$v_{\max} = \frac{bF_0}{a}$$

## Az izom energetikája I.

Energia forrása:



### I-es típusú rostok

- \* sok mitokondrium
- \* ATP képzés sejtlegzéssel
- \* lassú fáradás
- \* mioglobinban gazdag: "vörös izom"
- \* kis átmérőjű, lassú idegrostok aktiválják
- \* lassú izomrost
- \* testtartó izmokban dominálnak

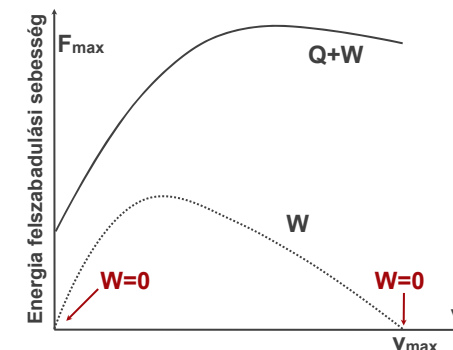
### II-es típusú rostok

- \* kevés mitokondrium
- \* glikogénben gazdag
- \* ATP képzés glikolízissal
- \* gyors fáradás a felszaporodó laktát miatt
- \* mioglobinban szegény: "fehér izom"
- \* nagy átmérőjű, gyors neuronok aktiválják
- \* gyors izomrost
- \* gyors működésű izmokban dominálnak

## Az izom energetikája II.

### A Fenn-féle effektus

A hőfelszabadulás megnő ha az izom mechanikai munkát végez.  
A hőfelszabadulás gyorsul a kontrakció sebességének növekedésével.



# Az izomösszehúzódás mechanizmusai

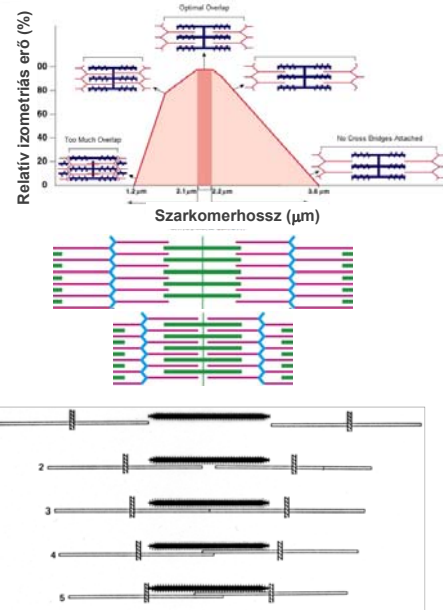
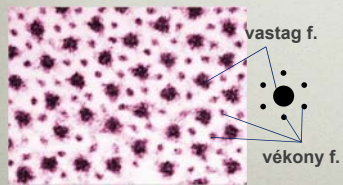
Fenomenológiai mechanizmus:

A csúszó filamentum modell



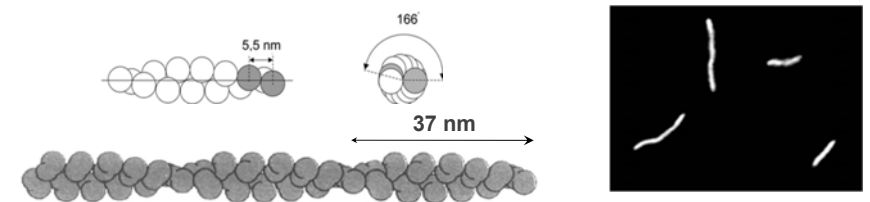
Andrew F. Huxley, Jean Hanson, Hugh E. Huxley

Szarkomer keresztmetszet



Az izomösszehúzódás molekuláris mechanizmusai  
ciklikus, ATP-függ aktin-miozin kölcsönhatás

## Az aktin filamentum



~7 nm vastag, hossza *in vitro* több 10 μm, *in vivo* 1-2 μm

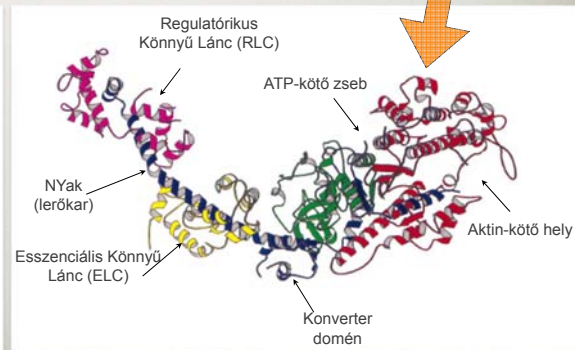
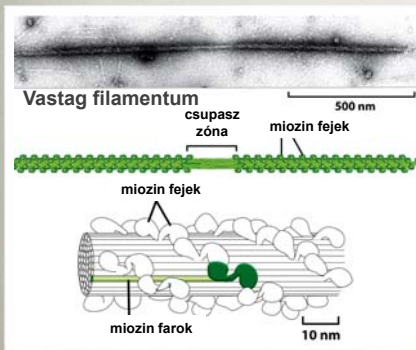
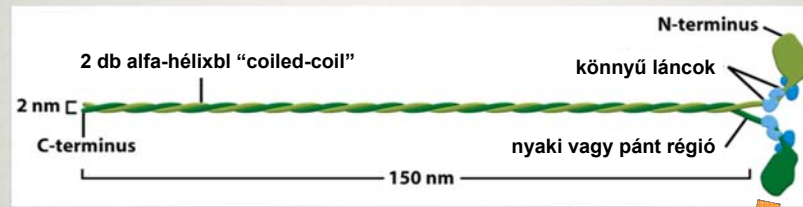
Jobbmenetes dupla helix. Szerkezetileg polarizált

Szemiflexibilis polimerlánc (perzisztenciahossz: ~10 μm)

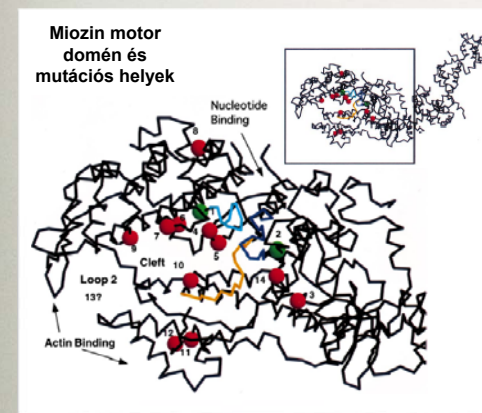
Szakítószilárdság: kb. 120 pN (N.B.: izometriás körülmények között akár 150 pN erő is hathat a filamentumra)

Aktin filamentumok száma az izomban:  $2 \times 10^{11}/\text{cm}^2$ -izomkeresztmetszet

## A miozin II



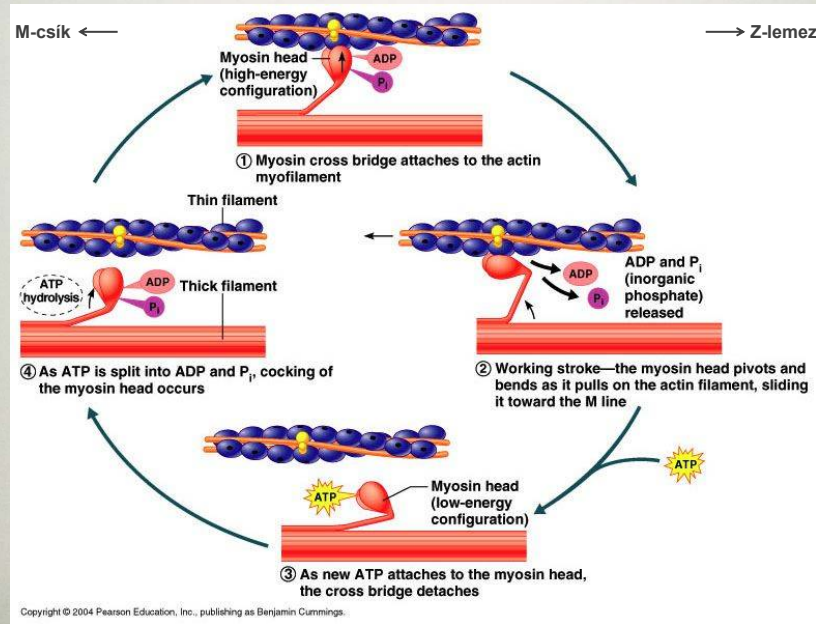
## Miozin mutáció - patológia



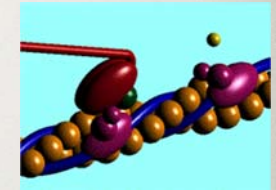
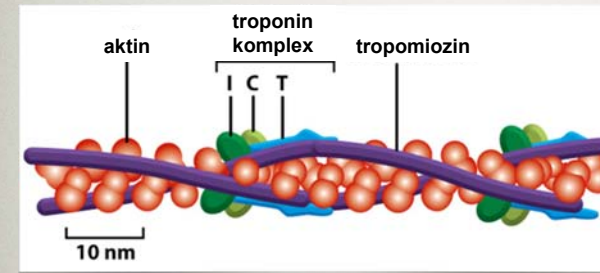
Arg403Gln pontmutáció: hipertófiás kardiomiopátia



# A miozin "cross-bridge" ciklus

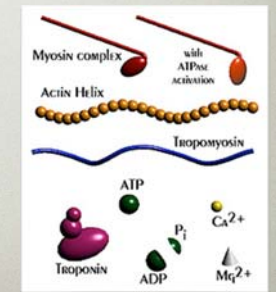


# Kontrakciószabályozás a harántcsíkolt izomban

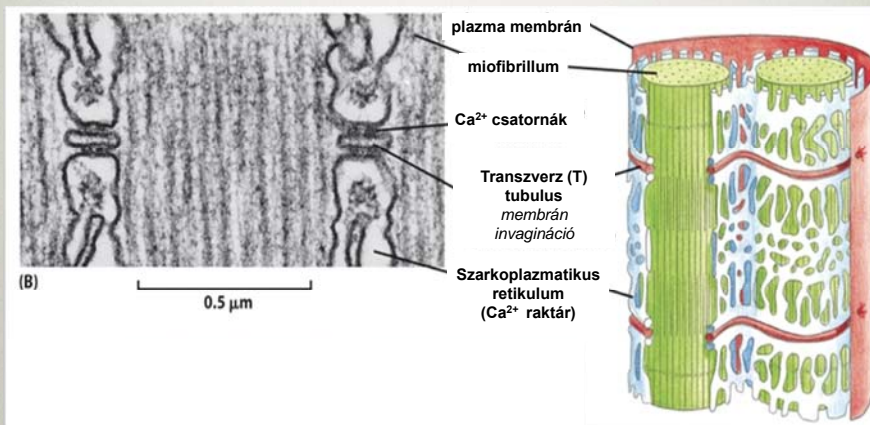


**Tropomiozin:** Blokkolja a miozin-kötő helyeket az aktin filamentumon.

**Troponin komplex:** 3 alegység, (C, T, I)  
Troponin C szabad Ca<sup>2+</sup>-ot köt, majd a tropomiozin konformációs változását okozza, így a miozin-kötő helyek felszabadulnak.

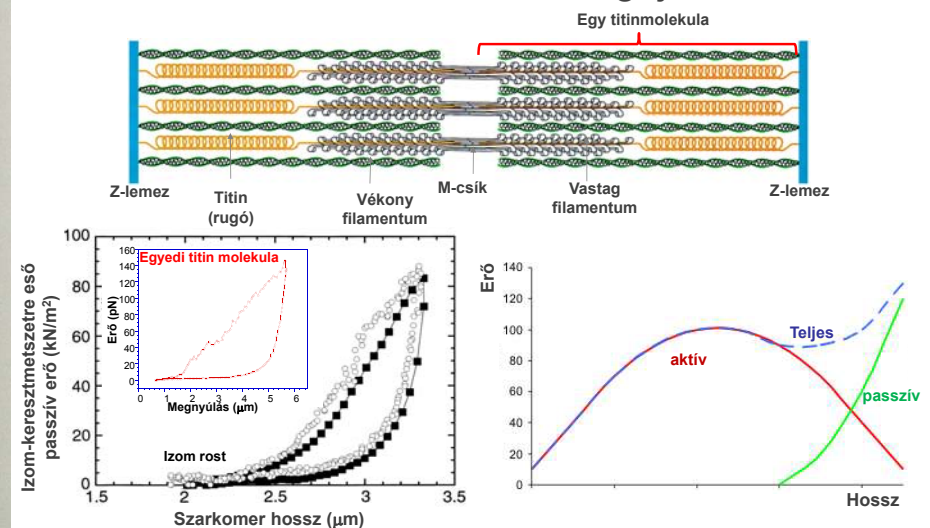


# Excitáció-kontrakció csatolás

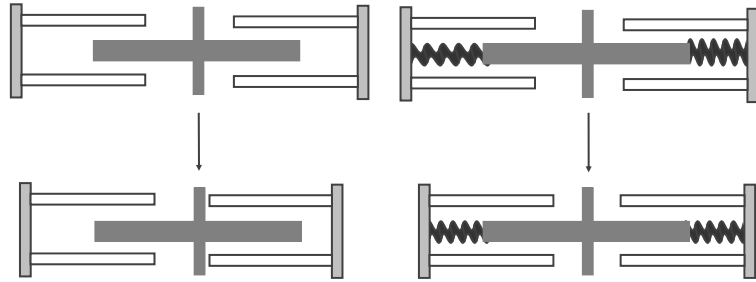


# A harántcsíkolt izom rugalmassága

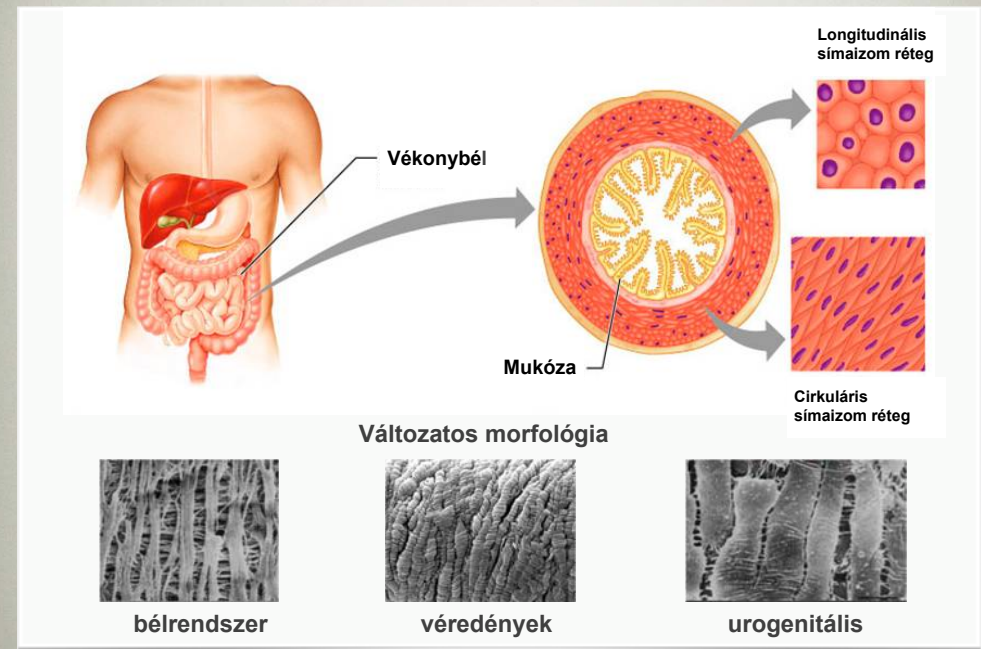
## Titin: a szarkomer rugója



## A titin szerepe: A szakasz szimmetria fenntartása



## Simaizom

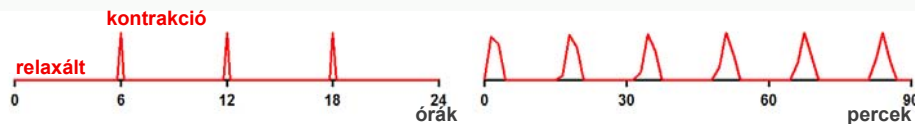


## Simaizmok osztályozása

**Fázisos:** Általában relaxált, periodikusan összehúzódik.

Húgyhólyag (néhányszor naponta)

Bélrendszer (néhányszor óránként)

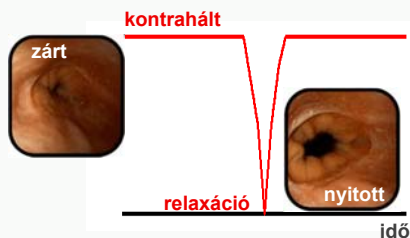


**Tónusos:** Folyamatosan kontrahált, csak rövid időre relaxál.

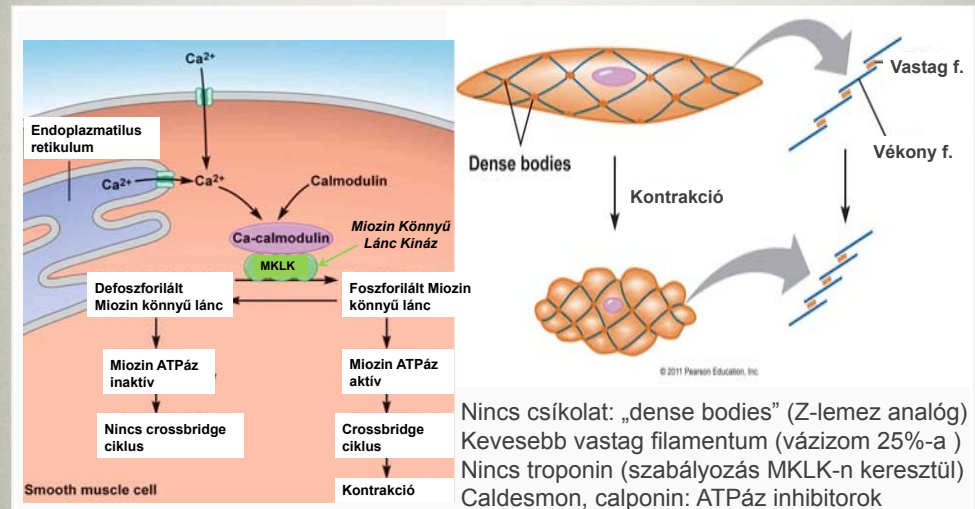
alsó nyelőcső sphincter

erek simaizmai

fenntartja és szabályozza az értónust



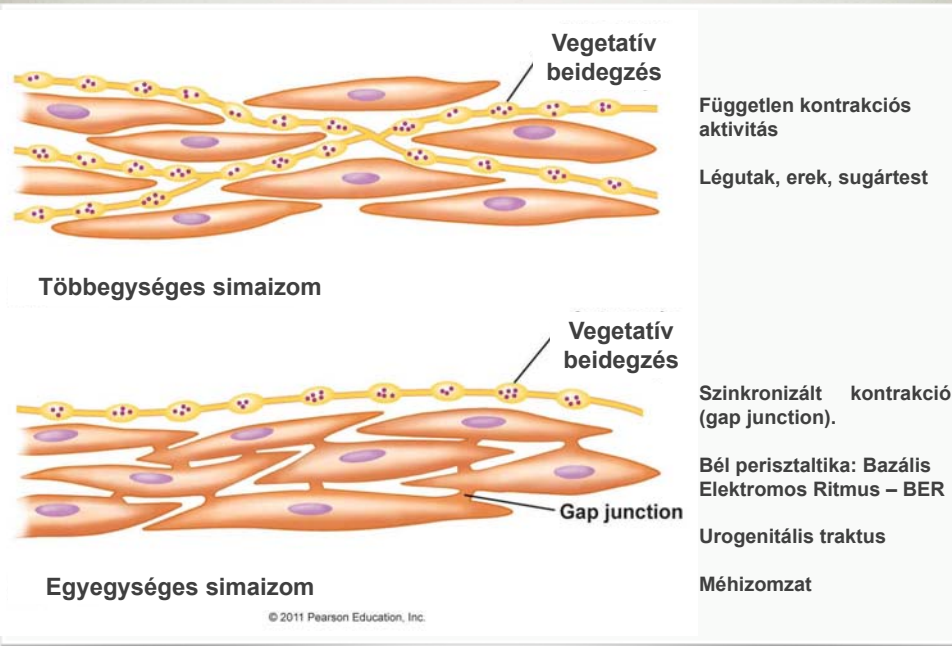
## Simaizom összehúzódás



Dezmin: A simaizom fő intermedier filamentuma.

Simaizom miozin: alacsonyabb aktin affinitás, foszforilációs szabályozás.

# Simaizom összehúzódása



## A simaizom energetikája

**Energiaforrás**

$$\text{Mg.ATP}^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Mg.ADP}^{1-} + \text{P}_i^{2-} + \text{H}^+$$

Harántcsíkolt izom	Simaizom
1 ATP „crossbridge”-ciklusonként (miozin ATPáz)	1 ATP „crossbridge”-ciklusonként (miozin ATPáz)
	~ 1 ATP „crossbridge”-ciklusonként (miozin könnyű lánc kináz)

Simaizom több ATP-t használ mint a harántcsíkolt?

**ATPáz aktivitása és mechanikai ciklusa jelentősen lassabb**, így kevesebb „crossbridge” képződik egységnyi idő alatt.

A simaizom képes hosszú vagy akár extrém hosszú kontrakciókat fenntartani alacsony ATP felhasználás mellett.