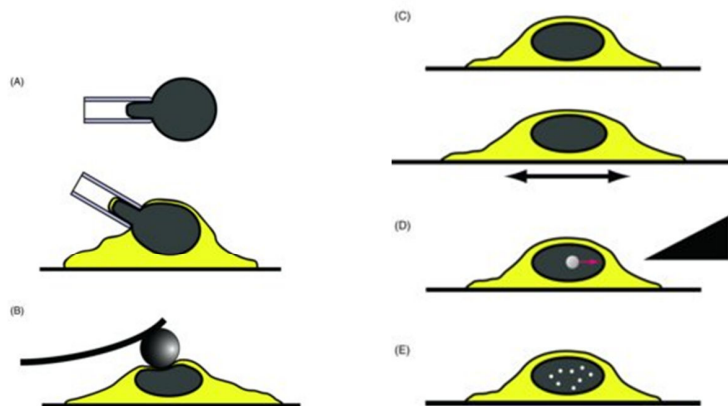
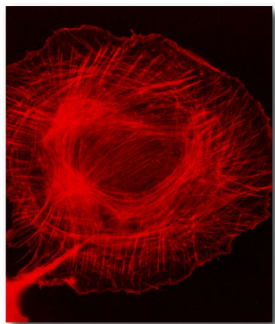


Sejtek rugalmassága

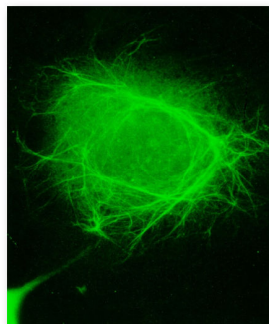


1

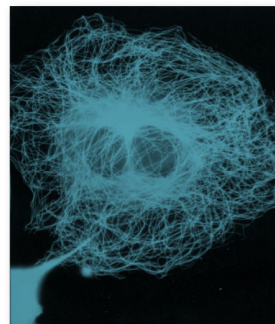
A citoszkeleton filamentumai



Aktin
(rodamin-phalloidin)



Vimentin
(anti-vimentin)



Mikrotubulusok
(GFP-tubulin)

3

Citoszkeleton

Eukariota sejtek dinamikus vázrendszere

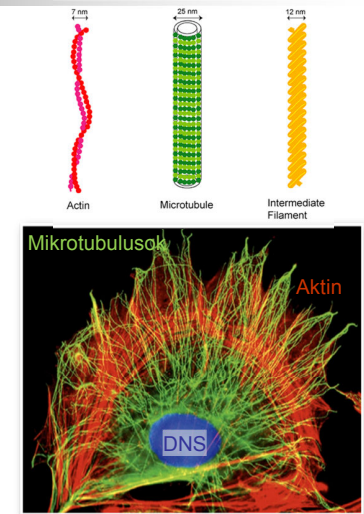
Három fő filamentum-osztály:

- A. Vékony (aktin)
- B. Intermedier
- C. Mikrotubulus

Polimerizáció: monomer alegységekből

Szerep:

- A. Mozgás, alakváltozás
- B. Sejtosztódás
- C. Intracelluláris transzport



2

Polimer mechanika: Hooke-rugalmasság

- A rugóállandó ($D=F/\Delta l$) nem csak anyagfüggő.
- A rugóállandó (D) függ a test alaki paramétereitől, az erő irányától.

Longitudinális merevség:

$$F = E \cdot \frac{A}{l} \Delta l$$

Hajlítómerevség:

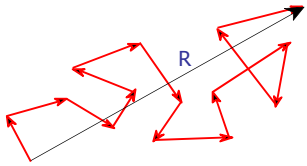
$$F = 3E \cdot \frac{\Theta}{l^3} \cdot s$$

Torziós merevség:

$$M = G \frac{r^4 \pi}{2l} \phi$$

4

Polimer mechanika: „termikus” rugalmasság



elemi vektorokból (N db, irányukat tartó kis egységből) felépülő polimer

$$l_p = \frac{E\Theta}{k_B T}$$

Θ = hajlítási tehetetlenségi nyomaték (körkeresztmetszetű rúd esetén: $\Theta = r^4 \pi / 4$)

Merev lánc

$$l_p \gg L$$



Szemiflexibilis lánc

$$l_p \sim L$$



Flexibilis lánc

$$l_p \ll L$$



l = **korrelációs hossz** (az elemi vektorok átlagos hossza)

$Nl = L$ = **kontúrhossz**

R = **vég-vég távolság**

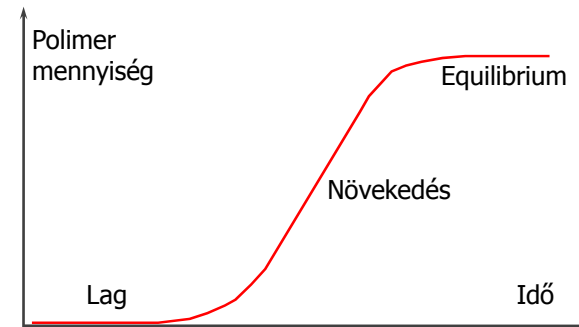
l_p = **perzisztenciahossz** (milyen távolságon belül tartja meg az irányát a molekula)

5

Alegységek összeállásának folyamata

A polimerizáció fázisai:

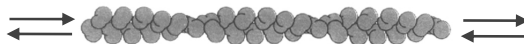
1. Lag fázis: nukleáció
2. Növekedés fázisa
3. Equilibrium (egyensúly) fázisa



6

Polimerizációs egyensúlyok

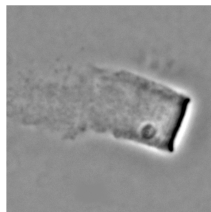
1. valódi equilibrium



2. dinamikus instabilitás: folyamatos, lassú növekedést követő katasztrofikus depolimerizáció



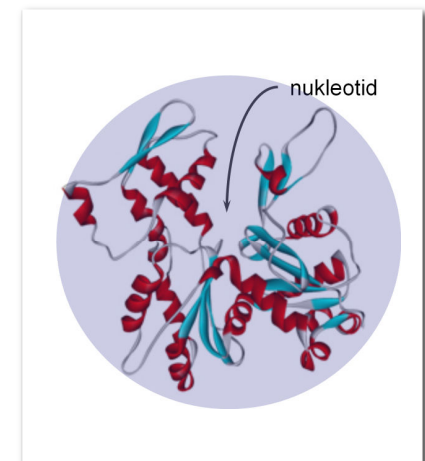
3. Treadmilling: taposómalom



7

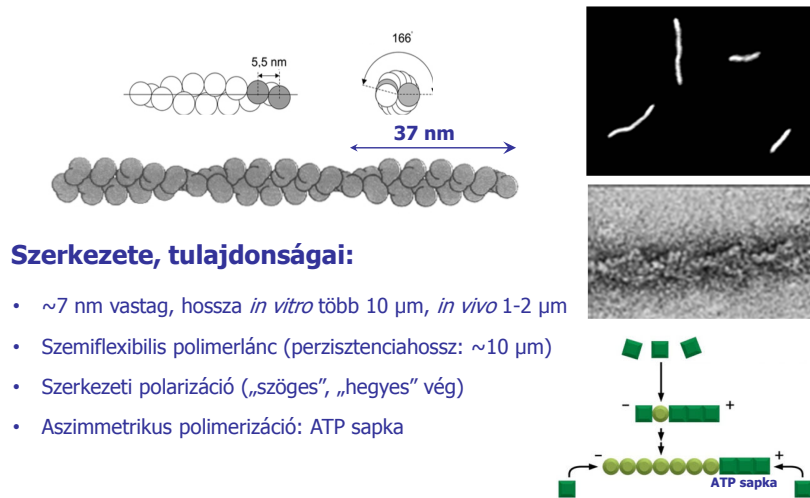
Aktin monomer (G-aktin)

- **aktin:** összfehérje 5%-a (eukarióta sejtekben)
- **alegység:** globuláris (G-) aktin
- 43 kDa,
- 1 molekula kötött adenozin nukleotid (ATP vagy ADP)



8

Aktin filamentum (F-aktin)



Szerkezete, tulajdonságai:

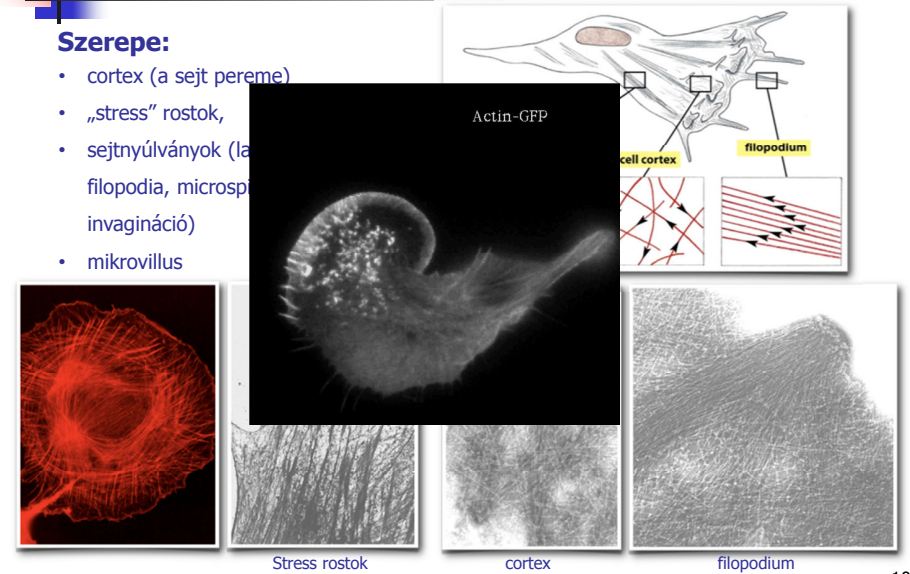
- ~7 nm vastag, hossza *in vitro* több 10 μm , *in vivo* 1-2 μm
- Szemiflexibilis polimerlánc (perzisztenciahossz: ~10 μm)
- Szerkezeti polarizáció („szöges”, „hegyes” vég)
- Aszimmetrikus polimerizáció: ATP sapka

9

Aktin filamentum (F-aktin)

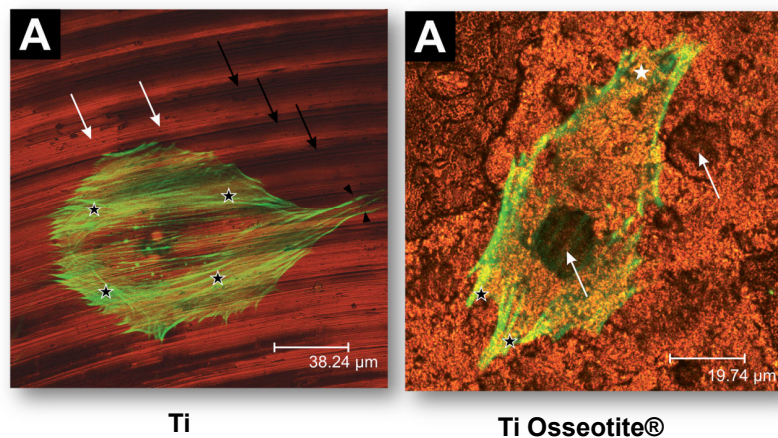
Szerepe:

- cortex (a sejt pereme)
- „stress” rostok,
- sejtnyúlványok (lamellae, filopodia, microspikes, invagináció)
- mikrovillus



10

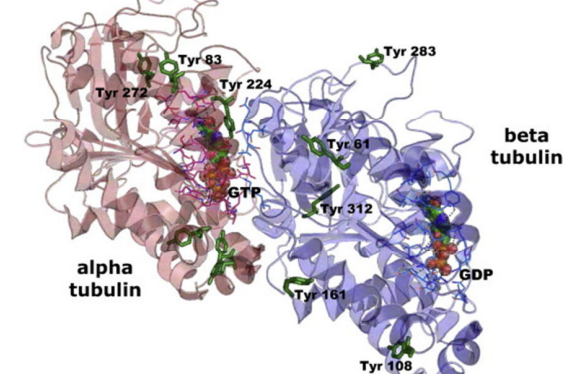
Aktin hálózat Ti implantátumokon



11

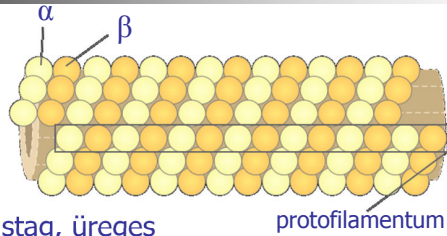
A mikrotubuláris rendszer

- **Alegység:** tubulin
- Idegszövetben az összfehérje 10-20%-a
- α - és β -tubulin
- 1 molekula kötött guanozin nukleotid (GTP vagy GDP)



12

A mikrotubulus



- ~25 nm vastag, üreges
- 13 protofilamentum
- merev polimerlánc (perzisztenciahossz: néhány mm!)
- szerkezeti polarizáció:
 - +vég: polimerizáció gyors, β -alegység által terminált
 - vég: polimerizáció lassú, α -alegység által terminált
- GTP-sapka

13

Intermedier filamentumok

- 8-10 nm átmérő
- kémiaailag ellenálló
- fibrózus monomer, polimerizáció ATP/GTP nélkül
- a szövetspecifikus monomerek egymástól a végeik szerkezetében különböznek:

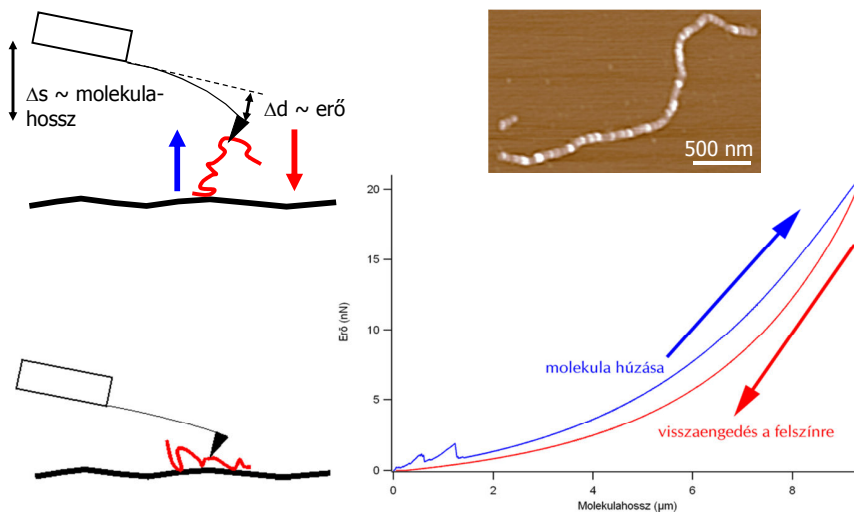
hám	keratinok
izom	dezmin
kötőszövet	vimentin
glia	gliális fibrilláris savanyú fehérje
ideg	neurofilamentum

Intermedier filamentum dimer:



14

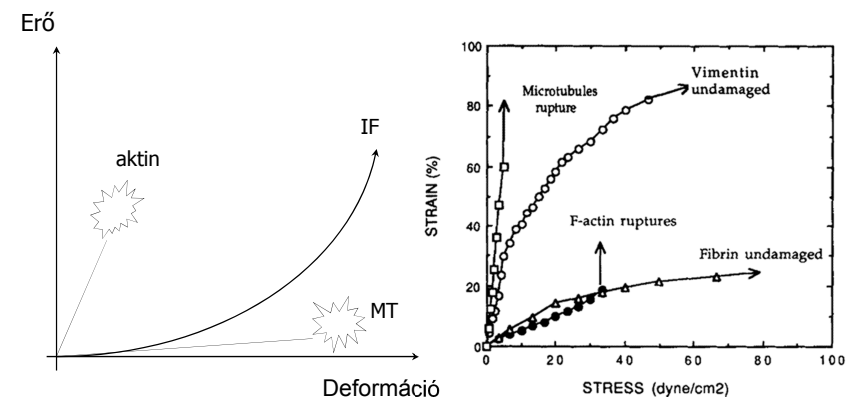
Intermedier filamentum nyújtása (dezmin)



15

Intermedier filamentumok feltételezett szerepe:

mechanikai stabilitás



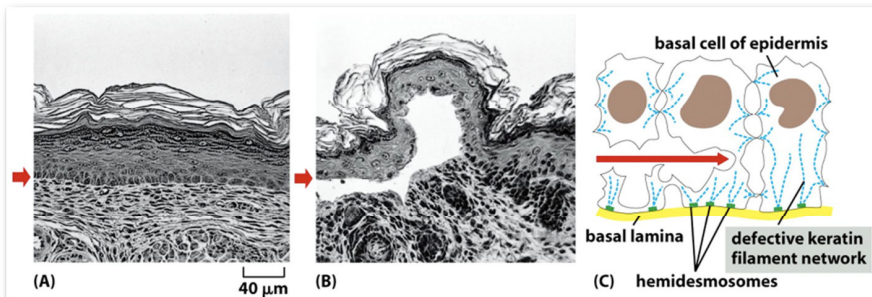
16

Intermediér filamentumok szöveti funkciói

Szöveti mechanikai stabilitás biztosítása

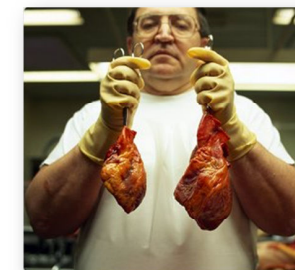
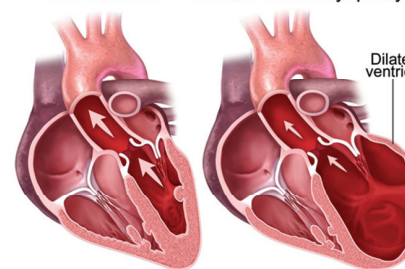
Epiteliális (hám-) sejtekben:

- kórkép: *epidermolysis bullosa simplex*. Enyhe mechanikai hatásra (pl. dörzsölés) fellépő hólyagos hámszétválás.
- oka: mutáció a keratin génben



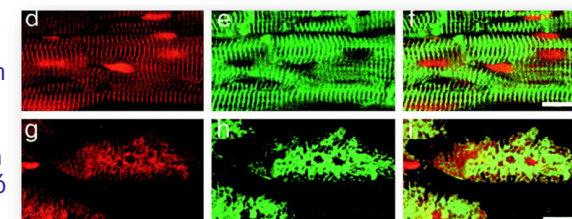
Szívizom-elfajulás dezmin mutáció miatt

Normal Heart Dilated Cardiomyopathy

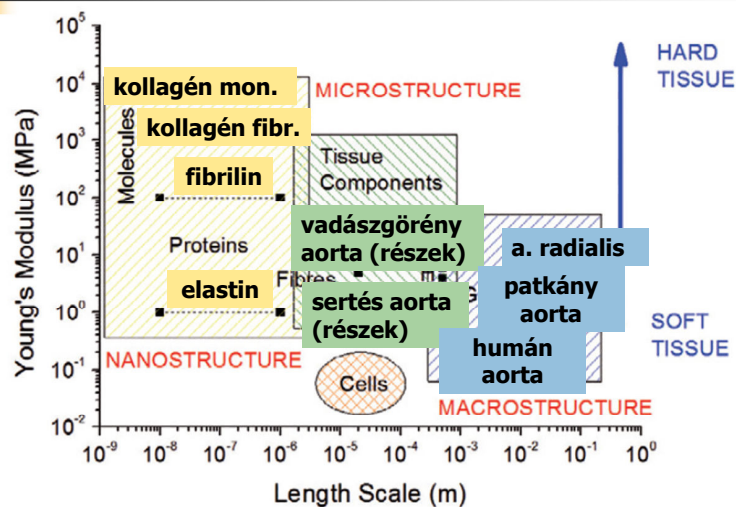


normál szívizom

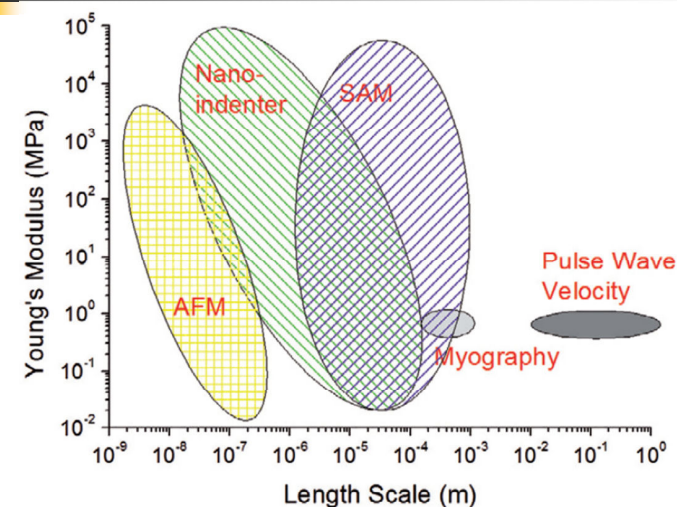
dezmin mutáció



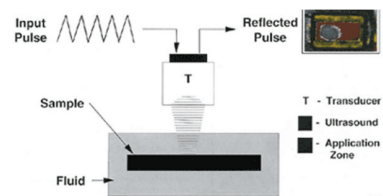
Az „élő anyag” rugalmassága



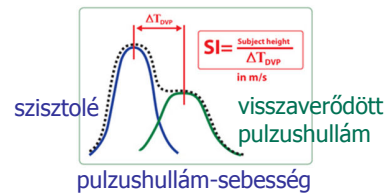
Vizsgálómódszerek



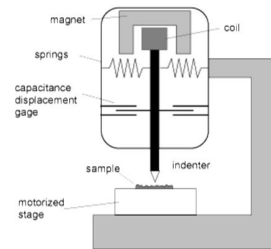
Vizsgálómódszerek



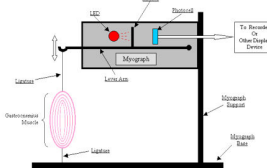
pásztázó akusztikus mikroszkópia (SAM)



pulzushullám-sebesség



nanoindenter



miográf