

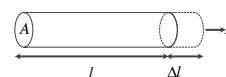
Fogorvosi anyagtan fizikai alapjai Szövetek mechanikai tulajdonságai



1

ISMÉTLÉS

Hooke törvény



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

F = erő

A = keresztmetszeti felület

l = nyugalmi hossz

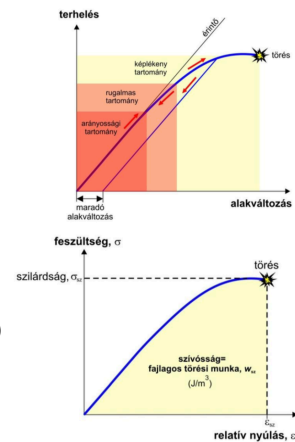
Δl = megnyúlás

F/A = σ = feszültség (N/m² = Pa)

Δl/l = ε = deformáció (dimenzió nélküli)

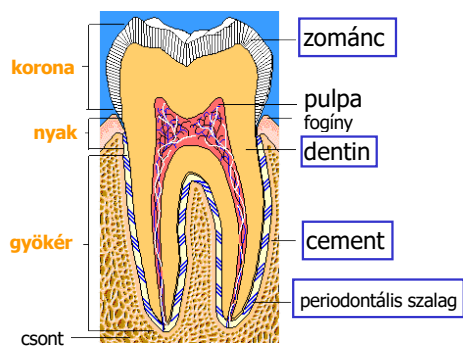
E = σ / ε Young modulus (Pa)

Feszültség – deformáció diagram



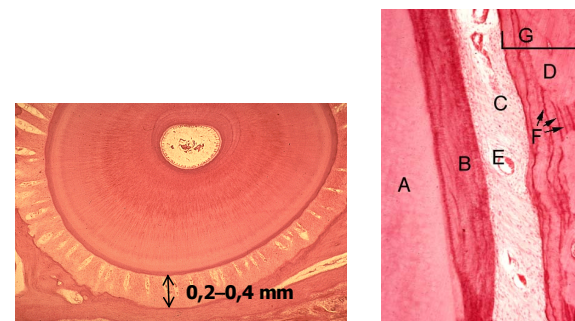
2

A fog szövetei és a fog körüli szövetek



3

Periodontális szalag (ligamentum periodontale)



≈ kollagén

polimer

4

3

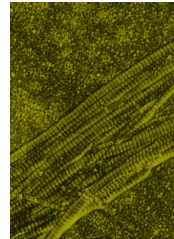
Kollagén

Szerkezeti fehérje, a kötőszövetek legfontosabb fehérjeje, emlősök összefehérje mennyiségének kb. negyedét teszi ki.

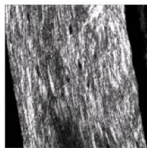
Fontos szerepet játszik a következő szövetekben/szervekben:

- inak, szalagok,
- bőr,
- porc,
- csont,
- fog,
- érfal
- üvegtest,
- szaruhártya,
- stb.

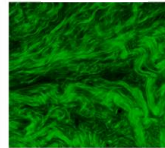
szem



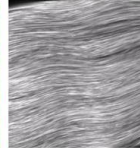
csont



bőr



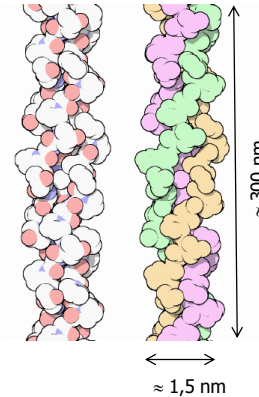
ín



5

5

A kollagén molekula

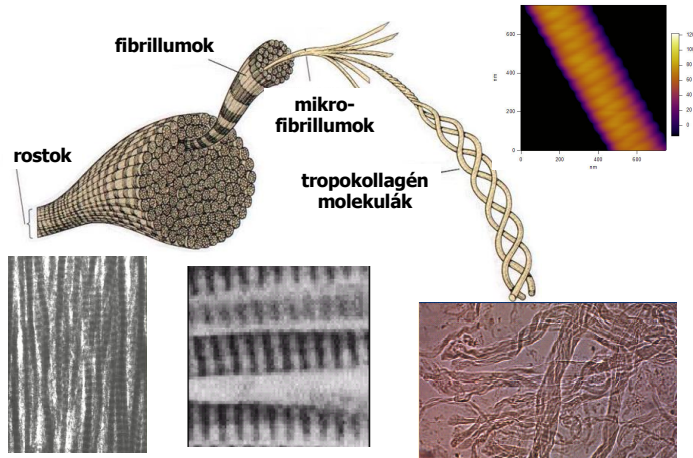


- 1400 aminosav/lánc
- glicin (kb. 1/3),
prolin (kb. 1/10),
hidroxiprolin, ...
- 3 lánc → tripla hélix

6

6

Kollagén molekulák elrendeződése



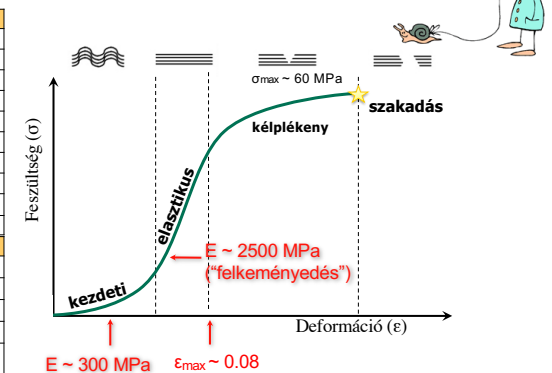
7

7

Kollagénrost nyújtási diagramja

anyag	E (GPa)
fogzománc	≈ 100
dentin	≈ 15
acél	200-230
amalgám	50-60
arany	79
üveg	60-90
kerámia	60-130
porcelán	60-110
PMMA	2,4-3,8
szilikon	≈ 0,0003

anyag	σ _{cs. szakító} (MPa)
fogzománc	≈ 10
dentin	≈ 110
amalgám	30-55
arany	108
Ni-Cr ötvözetek	400-900
üveg	≈ 70
kerámia	5-400
porcelán	≈ 25
PMMA	≈ 50

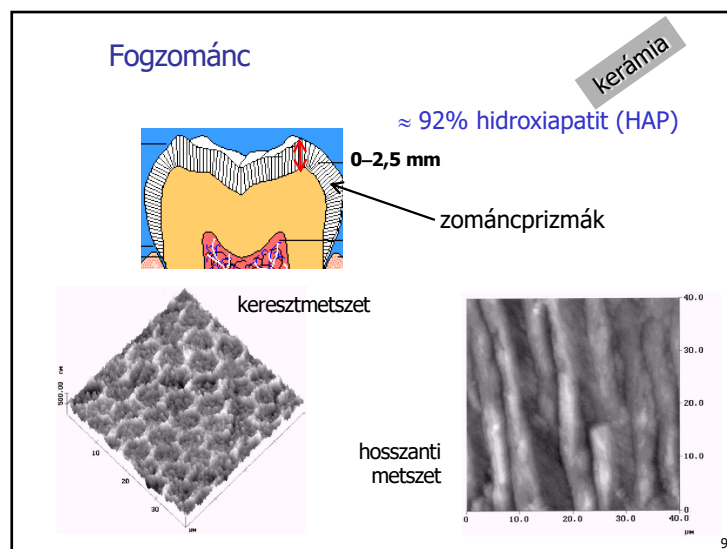


Közepesen rugalmas, viszonylag erős és szívós, de puha!

➡ inak, szalagok, bőr

8

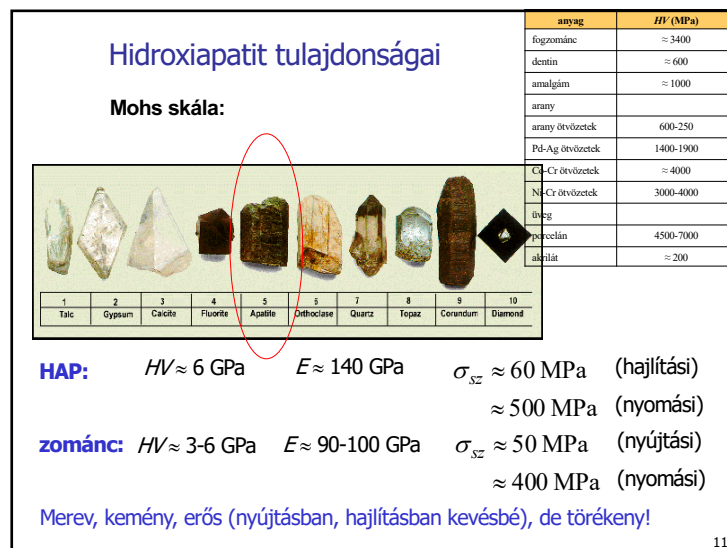
8



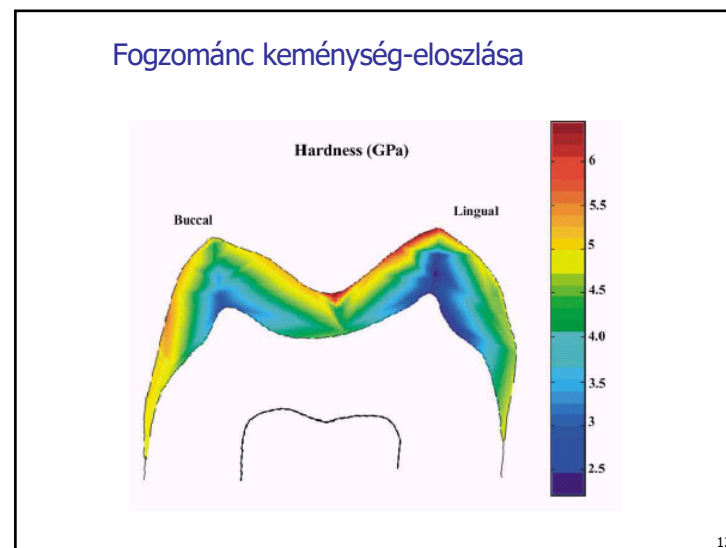
9



10



11



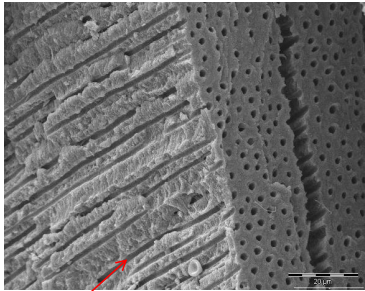
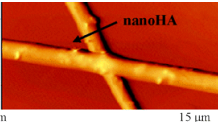
12

Dentin

kompozit

≈ 35% szerves+víz (kollagén!)
≈ 65% HAP

kollagénrostok → mátrix
+
apatitkristályszemcsék

↓

Elég kemény, szilárd,
ugyanakkor rugalmas, szívós!

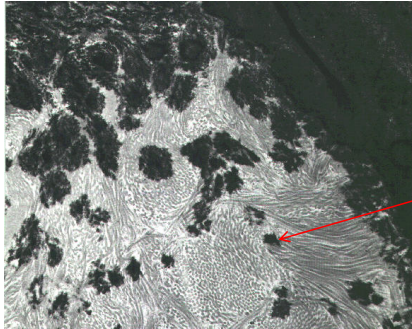
13

13

Cement

kompozit

≈ 50% szerves+víz (kollagén!)
≈ 50% HAP



14

14

Összefoglalás

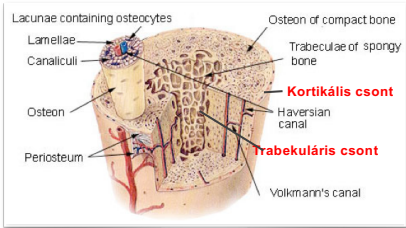
	PDL (≈ kollagén)	dentin (≈ 1/3 kollagén, 2/3 apatit)	zománc (≈ apatit)
merevség (E) (GPa)	0,3–2,5	10–20	90–100
szilárdság (σ_{\max}) (MPa)	60	110 (nyújtás) 300 (nyomás)	50 (nyújtás) 400 (nyomás)
szívósság (kJ/m ²)	1–10	0,5–5	0,1–1
keményység HV (GPa)		0,5–1	3–6

15

15

Csontszövet

Az eltérő belső szerkezete miatt a csőves **csontok keresztmetszetén a Young modulus anizotróp módon oszlik el**. A tömörebb kortikális csontszövet nagyobb Young modulusal rendelkezik a trabekuláris csontszövethez képest.
Young-modulus: 5-20 GPa
Dekalcifikált csont savas kezelés: rugalmas
Szerves anyagától megfosztott (kiégetett) csont: törékeny

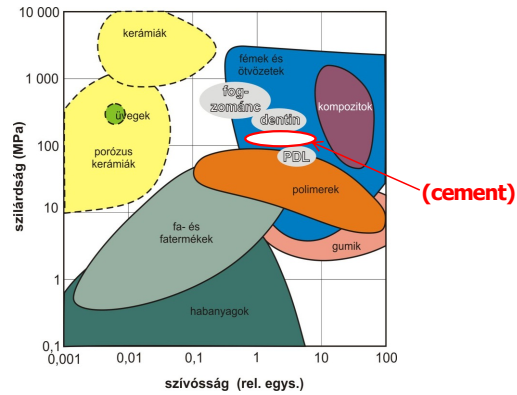


szerves anyag: kollagén
szervetlen anyag: hidroxipatit

16

16

szemléletesen:

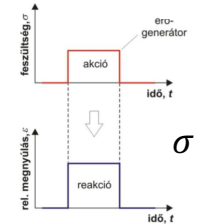
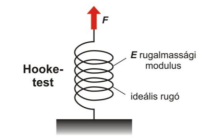


17

17

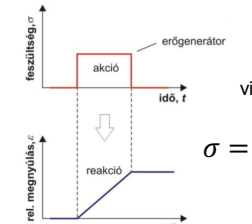
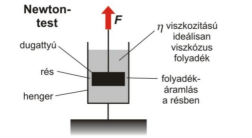
Viszkoelaszticitás

Rugalmas test



$$\sigma = E \varepsilon$$

Viszkózus test

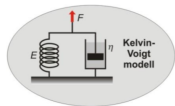


viszkózitás

$$\sigma = \eta \frac{\Delta \varepsilon}{\Delta t}$$

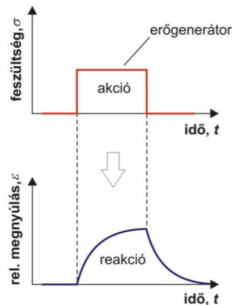
18

Viszkoelaszticitás



A viszkoelaszticitás a viszkózus és elasztikus viselkedés együttes megjelenését jelenti
modell: párhuzamosan kapcsolt rugó és dugattyú (Kelvin-Voigt modell)

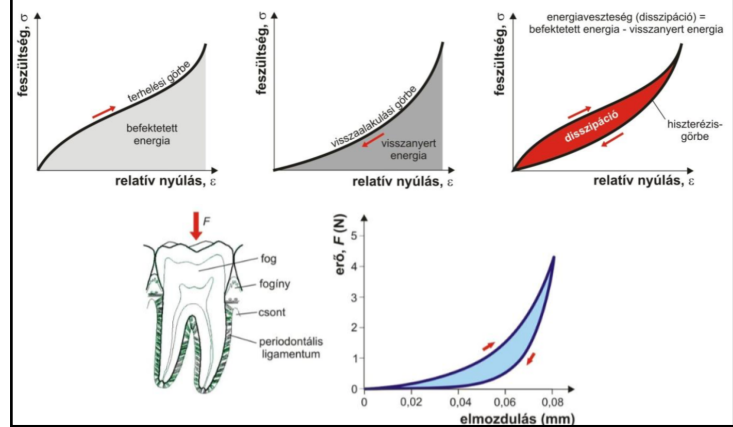
Rugó: ideális rugalmas (Hooke) test
Dugattyú: ideális viszkózus (Newton) test



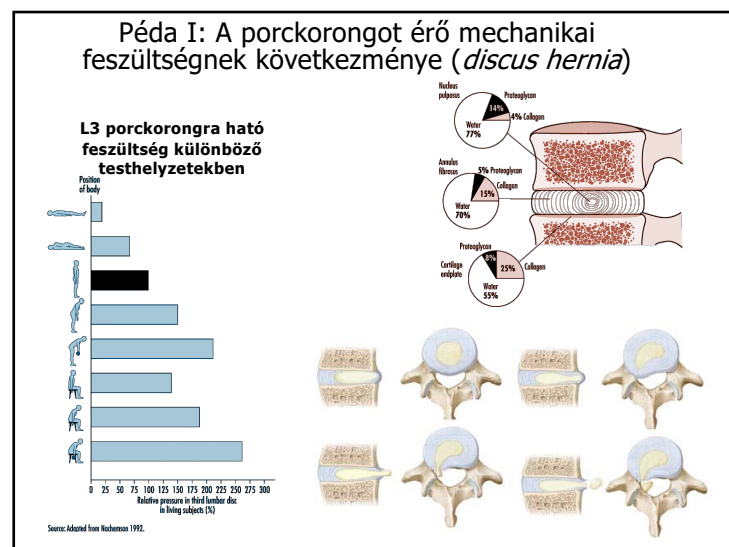
1. Nyújtáskor a rugó nem tud azonnal megnyúlni, a dugattyú nem engedi. A nyúló rugó lassítja a dugattyú mozgását.
2. A nyúlás addig tart, amíg a rugóban növekvő feszültség ki nem egyenlíti az erőgenerátor által a rendszerre
3. A külső feszültség eltűnésekor a rugó igyekszik összehúzódni, de a lengéscsillapító megint csak fokozatosan, egyre lassabb tempóban engedi.

19

Energiaveszteség viszkoelasztikus rendszerben (hiszterézis)



20



21

Implantátum vagy fog?

A különbség a periodontális ligamentum!

PDL hiánya:

- A rágási erők érzékelése csökken
- A viszkoelasztikus csillapítás elvész rágáskor
- Egyes szenzoros funkciók elvesznek
- Az implantátum nem képes mozogni az állkapocson

Az implantátum direkt kontaktusban áll az állkapoccsal

↓

Megnövekedett kompressziós feszültség (rágás)

↓

**Csontvesztés (0.2 mm / év)
Ínyvisszahúzódás**

Implantátum ↔ Gyökérkezelés

22

Biomolekulák nanomechanikája

A biomolekulás rugalmasság alapjai

23

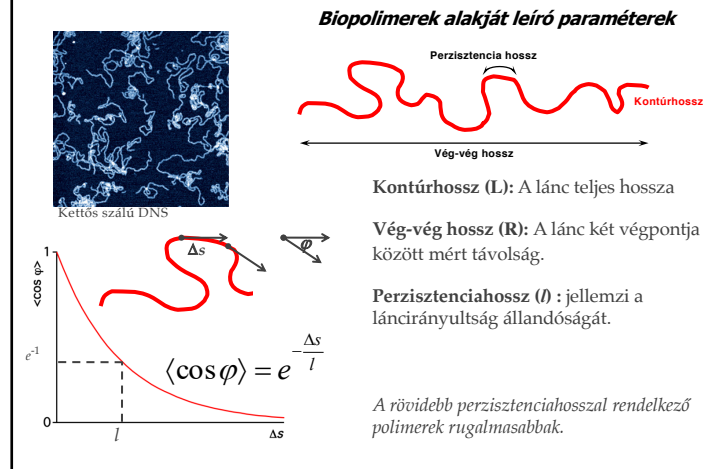
Biomolekulák mint polimerek

A biomolekulák polimerek.
Közös bennük: Lineáris elsődleges szerkezet (fehérje, DNS)
Monomerek között erős kötések (kovalens)
A lánc távoli részei között gyengébb másodlagos kötések

1. Lineáris
DNS, fehérje, cellulóz
2. Elágazó
glikogén
3. Cirkuláris
mt DNS

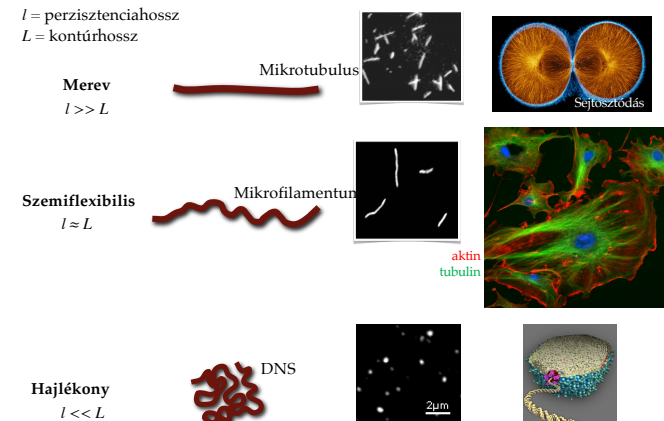
24

Milyen alakúak a biopolimerek?



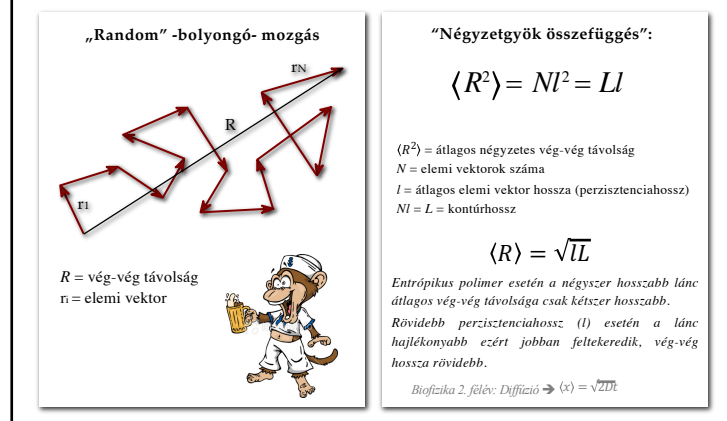
25

Biopolimerek osztályozása hajlékonyságuk alapján



26

A biopolimerek alakja a „bolyongó mozgás” segítségével leírható



27

Rugalmasak-e a biopolimerek?

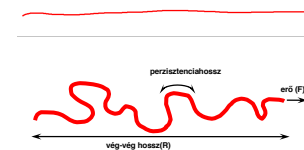
Igen, de nem érvényes Hooke törvénye. Rugalmasságuk nem lineáris.

Entrópiás rugalmasság

Hőmérsékleti energia ($k_B T$) a láncban hajlítómozgásokat gerjeszt

A lánc rendezetlensége (entrópiája) növekszik.

A lánc rövidül

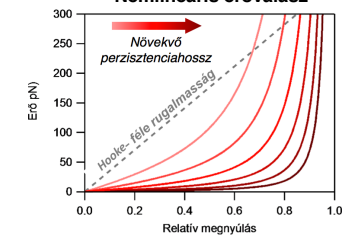


A megrövidült lánc erővel kinyújtható

$$F \sim \frac{k_B T}{l} \cdot \frac{R}{L} + \left(\frac{R}{L} \right)^a$$

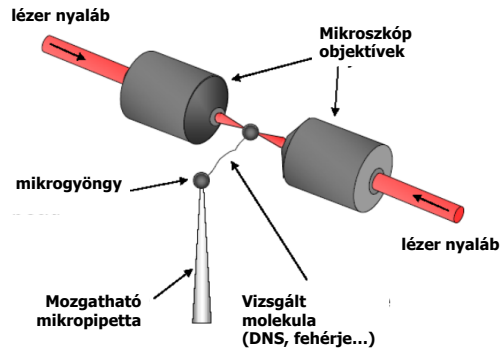
F = erő
 l = perzisztenciahossz
 k_B = Boltzmann állandó
 T = abszolút hőmérséklet
 L = kontúrhossz
 R = vég-vég hossz
 R/L = relatív megnyúlás

Nemlineáris erőválasz



28

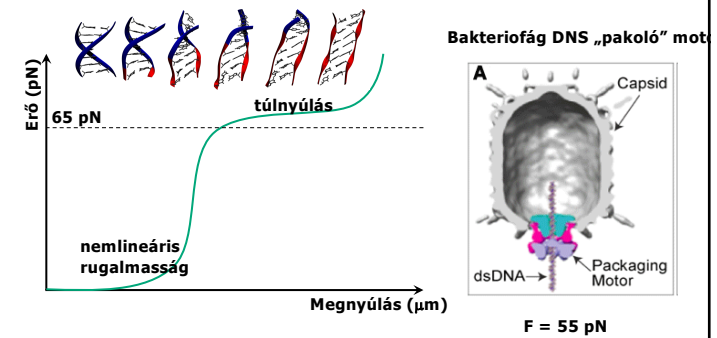
Lehet egyedi molekulákat nyújtani? *a lézercsipesz*



<https://www.youtube.com/watch?v=iu6wFNPXu6>
https://www.youtube.com/watch?v=JdnBmOZ6_s

29

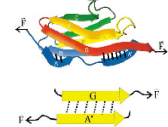
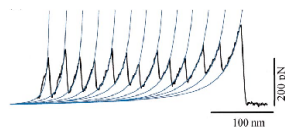
Kettős szálú DNS nyújtása lézercsipeszszel



30

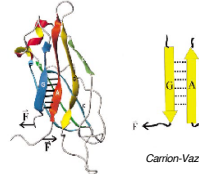
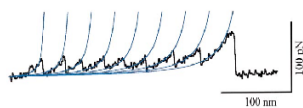
A harmadlagos szerkezet megszabja egy fehérje mechanikai stabilitását

H-hiادak merőlegesek az erőhatás irányára : Nagyfokú stabilitás
 A kitekeredéshez szükséges erő nagyobb mint 200 pN



Carrion-Vazquez et al. 2000

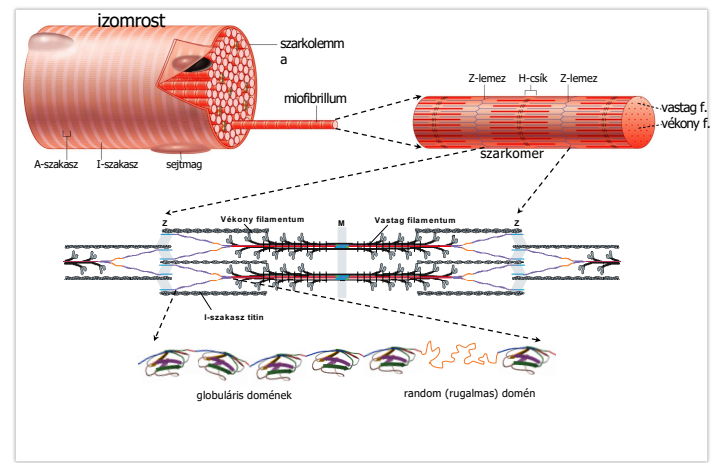
H-hiادak párhuzamosak az erőhatás irányával: Kevésbé stabil
 A kitekeredés már 100 pN alatti erőknél végbemegy



Carrion-Vazquez et al. 2000

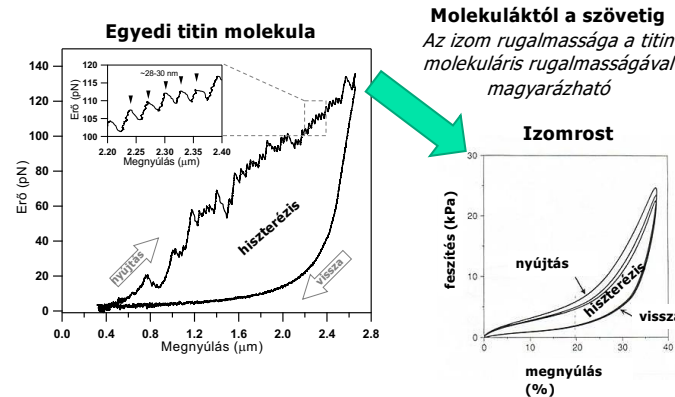
31

Titin: a szarkomer rugalmas filamentuma



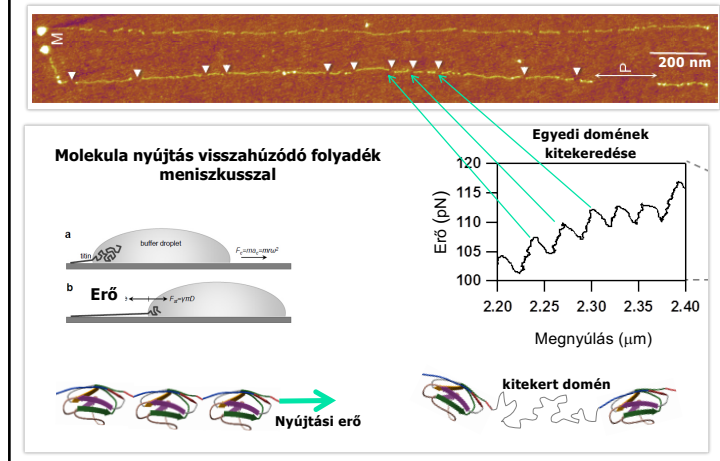
32

A titinmolekula az izom passzív rugalmasságának fő meghatározója



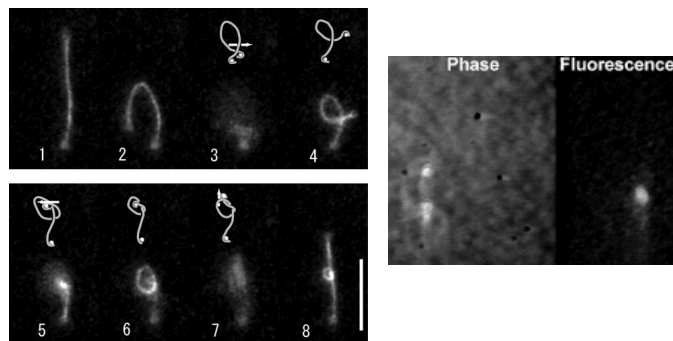
33

Erő hatására hogyan változik a titin szerkezete?



34

Lehet-e csomót köti egy DNS molekulára? *Igen! A DNS rugalmas...*



35

Ellenőrző kérdések

Milyen anyagcsaládhoz hasonlít leginkább a mechanikai tulajdonságai alapján

- az enamel?
- a dentin?
- a periodontális ligamentum?

Állítsa növekvő sorrendbe a fogat alkotó anyagokat, szöveteket az alábbi tulajdonságok szerint:

- merevség
- keménység
- szívósság
- szilárdság

Mi az entrópikus rugalmasság és milyen az erő-megnyúlás görbéje?

Milyen műszerrel lehet megnyújtani egyetlen biopoilmer molekulát?

36

36