

A LÉGZÉS BIOFIZIKÁJA

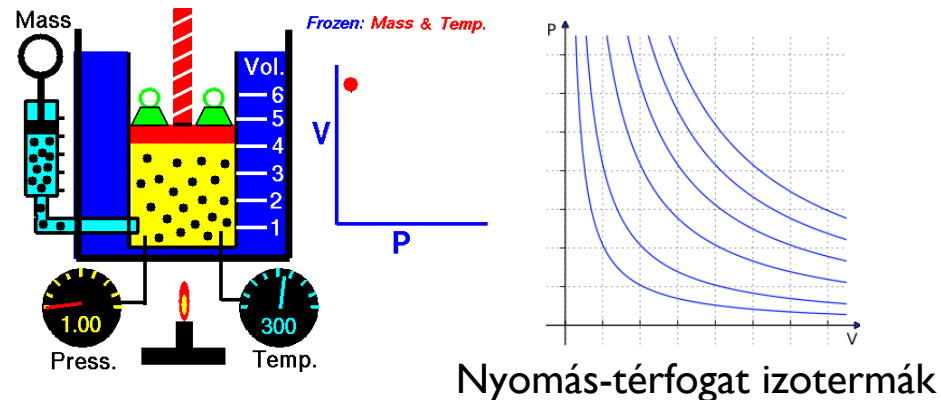
KELLERMAYER MIKLÓS

Légzésbiofizika története

- Aristoteles (300 BC): a légzés hűti a szívet és a vért
- Galenus (170 BC): a légzés valamit hozzátesz a vérhez (“*spiritus vitalis*”)
- Leonardo da Vinci (1452-1519): a levegő felfrissülésétől elzárt kamrába zárt állatok elpusztulnak.
- Vesalius (1543): az emlősállat elpusztul, ha mellkasát felnyitjuk; azonban ha tüdejét ekkor ritmusosan felfújjuk, életben marad.
- Gáztörvények (17-18. sz., Clausius, Clapeyron, Boyle, Mariotte, Gay-Lussac, Charles)
- Black (1754): széndioxid felfedezése. Priestley (1771): oxigén felfedezése
- “Vérgázok”: Magnus (1837), Haldane (1900)
- Surfactant: Neergaard (1920-es évek), Pattle és Clements (1950-es évek)

Releváns fizikai és fizikai-kémiai törvények

1. Egyetemes gáztörvény (Clausius-Clapeyron, Boyle-Mariotte, Charles törvények alapján): Összefüggés az ideális gáz nyomása, térfogata, hőmérséklete és mennyisége között.



$$PV = nRT$$

P = nyomás (Pa)
 V = térfogat (m^3)
 n = anyagmennyiség (moles)
 R = gázállandó ($8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$)
 T = abszolút hőmérséklet (K)

2. Dalton-törvény (John Dalton, 1801): Egy nemreaktív gázkeverék teljes nyomása egyenlő az egyes gázok parciális nyomásainak összegével.

$$P_{total} = \sum_{i=1}^n p_i$$

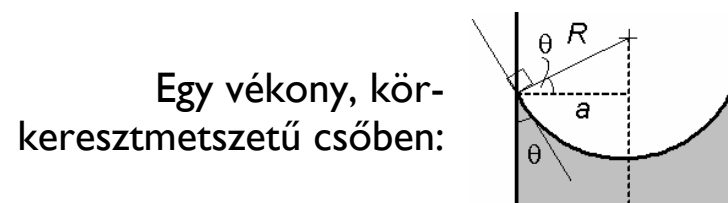
p_i = i -edik gáz parciális nyomása
 n = gázok száma a keverékben
[$p_i = P_{total} \times r$; r = gáz részaránya a keverékben]

3. Henry-törvény (William Henry, 1803): Állandó hőmérsékleten egy adott gáz folyadékban oldott mennyisége egyenesen arányos ugyanazon, a folyadékban egyensúlyban levő gáz parciális nyomásával.

$$p = k_H c$$

p = parciális nyomás (Pa; atm)
 k_H = Henry-állandó (l.atm/mol)
 c = oldott gáz koncentrációja (mol/l)

4. Young-Laplace egyenlet: Leírja két sztatikus folyadék (pl. levegő, víz) határfelületén fellépő kapilláris nyomáskülönbséget a felületi feszültség függvényében.

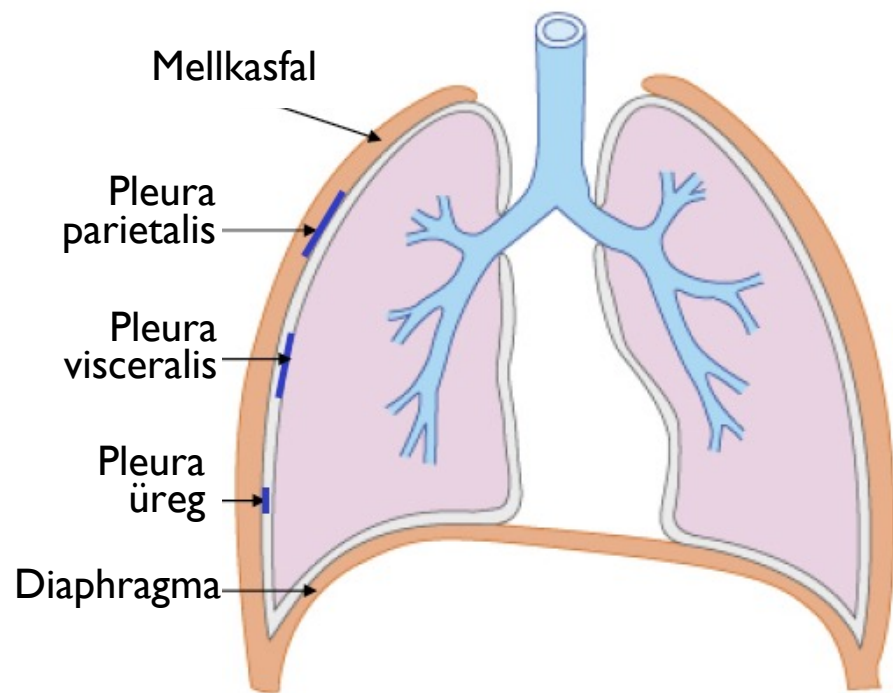


$$\Delta p = \frac{2\gamma}{R}$$

p = nyomás (Nm^{-2})
 γ = felületi feszültség (Nm^{-1} ; Jm^{-2})
 R = görbületi sugár (m)

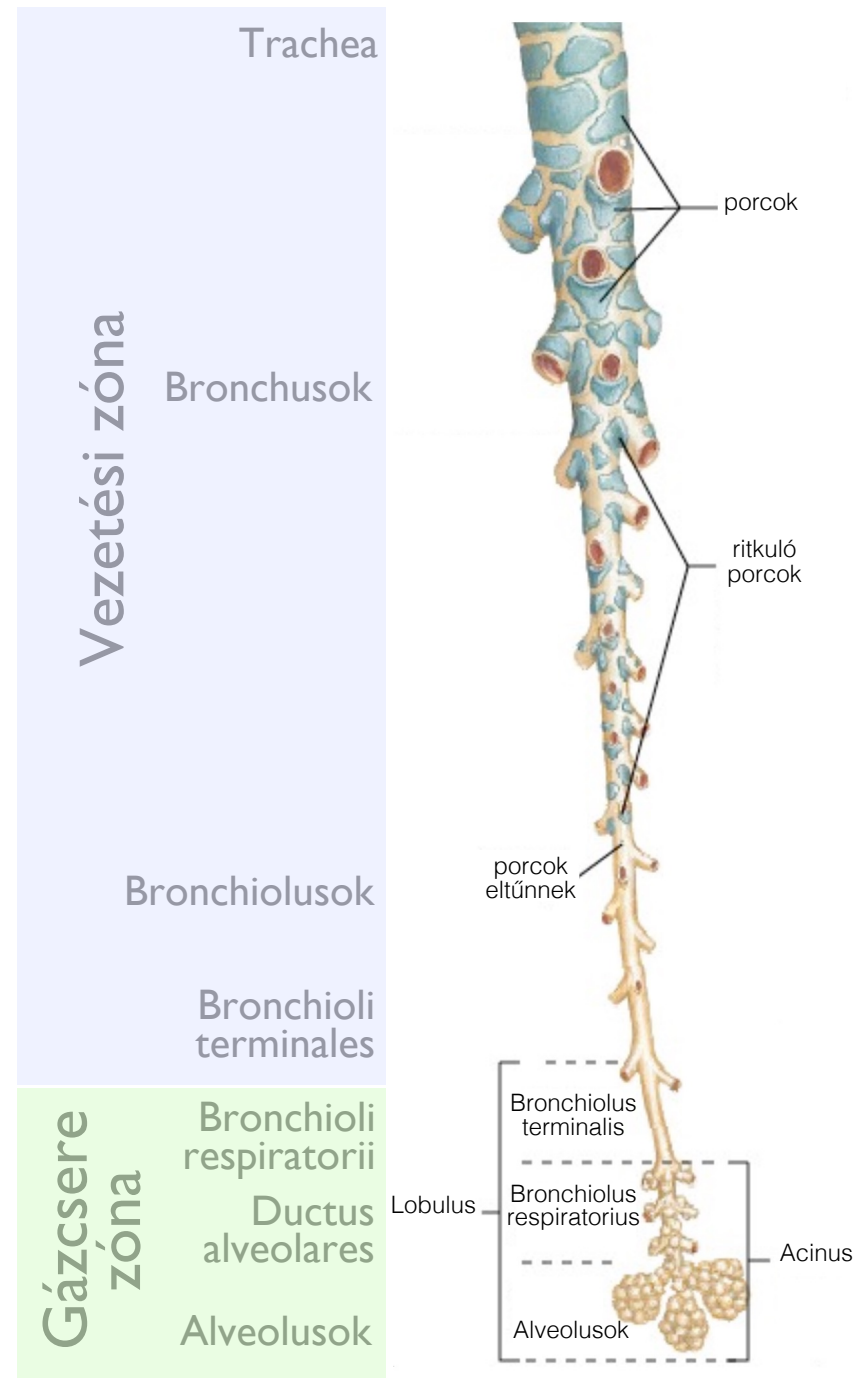
Egyszerűsített légzőrendszer

1. Doboz



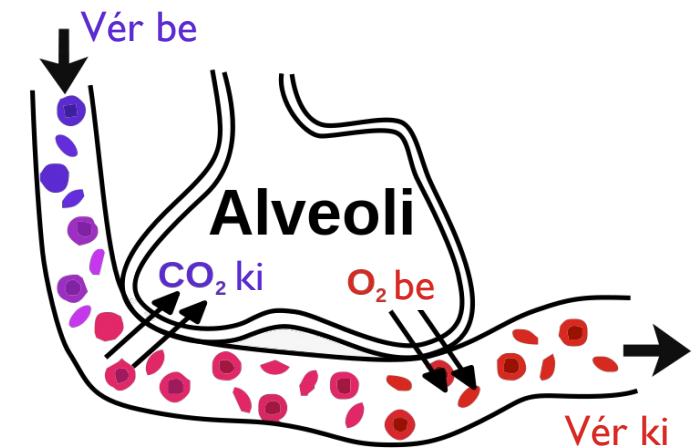
- Intrapulmonáris nyomás (P_{pulm}): atmoszferikus nyomás körül ingadozik
- Mellűri vagy intrapleurális nyomás (P_{pl}): “negatív” (szubatmoszferikus; az atmoszferikus nyomás, az adhézíós és szöveti kontrakciós egyensúlya alakítja ki)
- Transzmurális (transpulmonáris) nyomás (P_{tm}): a mellkasfal két oldala közötti nyomás
- **Pneumothorax!**

2. Csőrendszer



- 23-25 dichotom faágyszerű kettéoszlás
- Gáz (mint folyadék) áramlási szabályai (Hagen-Poiseuille!)

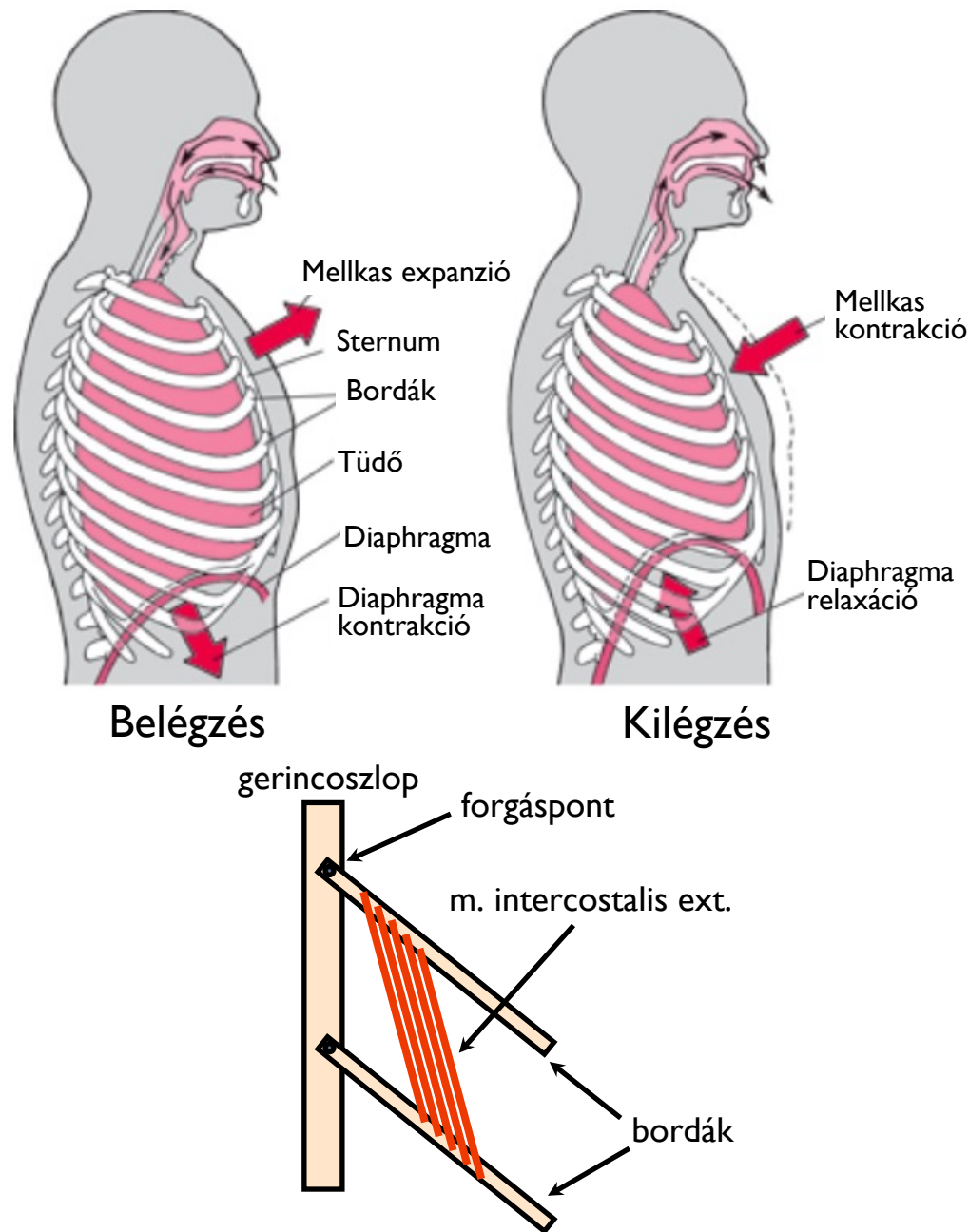
3. Gázcsere felület



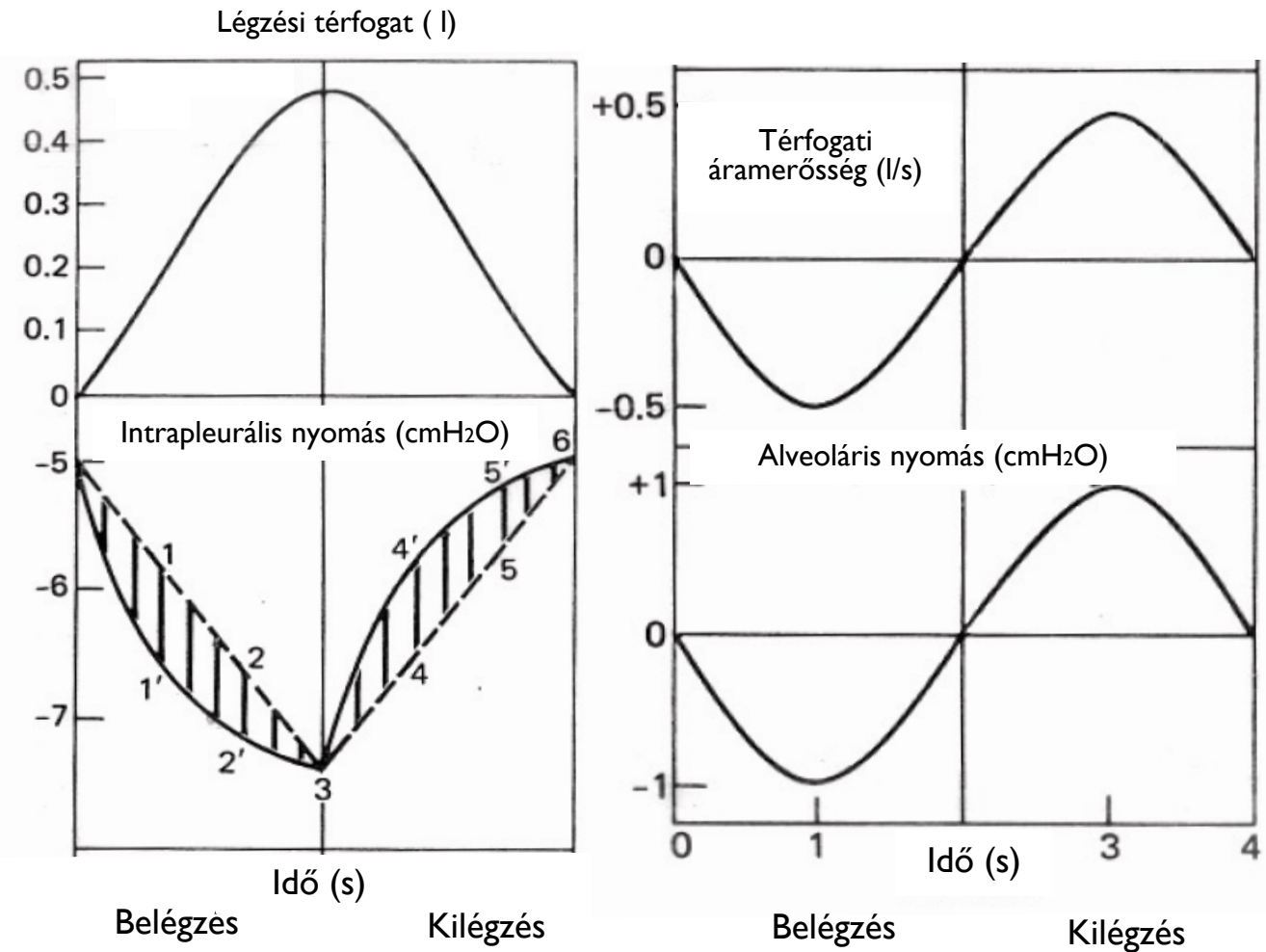
- Alveolus: nyitott termodinamikai rendszer
- A gázcsere felületét alakítják ki.
- Számuk: ~300 millió (N.B.: $2^{25}=33,554,432$)
- Méret ($d \sim 200 \mu m$), felület ($5 \times 10^{-7} m^2/\text{alveolus}$)
- Teljes alveoláris felület: $\sim 100 m^2$
- Alveolus fal ($\sim 0.5 \mu m$): alveolaris epithelium ($\sim 0.2 \mu m$) membrana basalis ($\sim 0.1 \mu m$) kapilláris endothelium ($\sim 0.2 \mu m$)
- Gázcsere hajtóereje: diffúzió (Fick törvényei!)
- A gázterek parciális nyomásai igyekeznek kiegyenlítődni a vérplazma gázok tenzióival.

A légzési ciklus

I. Mechanikai vezérlés



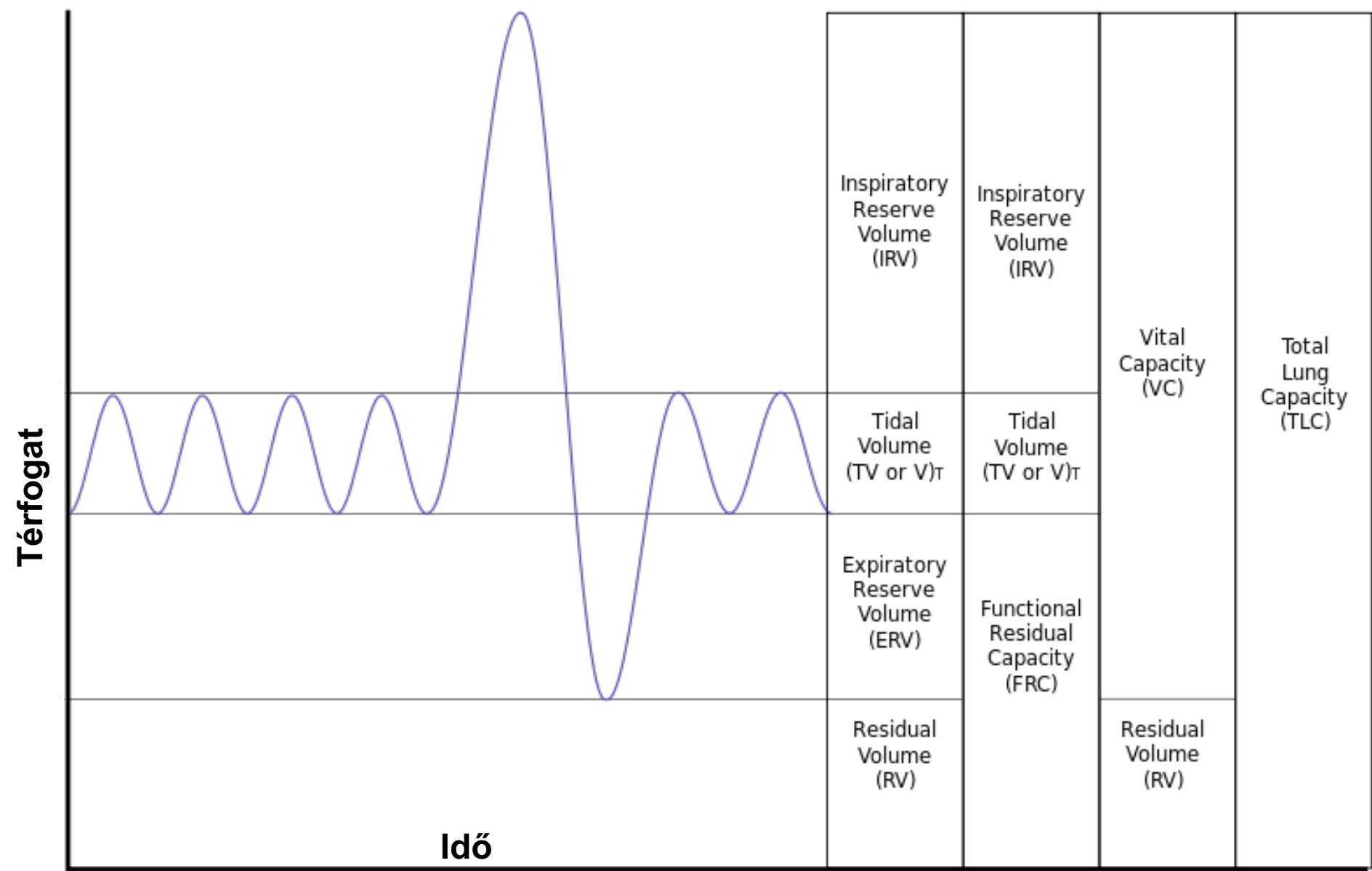
2. Fizikai paraméterek változásai



- Eupnoe: nyugodt légzés (14-16/min)
- Polypnoe, tachypnoe: légvételek száma > 16/min
- Dyspnoe: nehézlégzés

$$1 \text{ cmH}_2\text{O} = 0.1 \text{ kPa} = 0.7 \text{ mmHg}$$

Légzési térfogatok és kapacitások

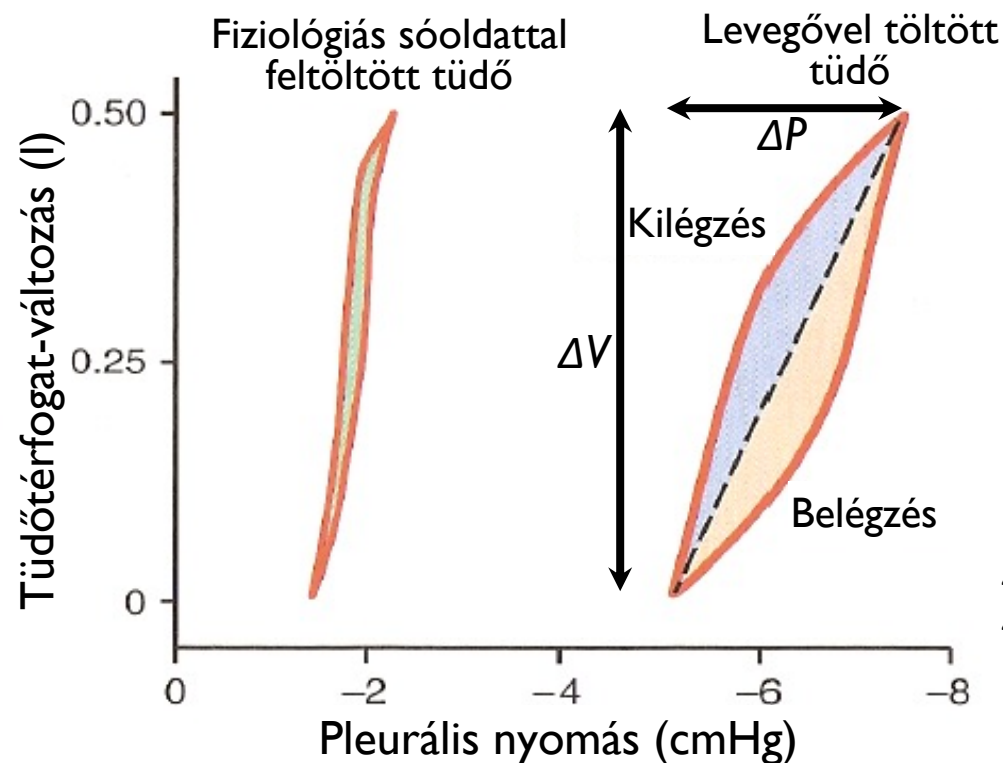


Térfogat (l)	Férfi	Nő
Belégzési rezerv	3.3	1.9
Respirációs térfogat ("tidal volume")	0.5	0.5
Kilégzési rezerv	1	0.7
Residuális térfogat	1.2	1.1
Vitálkapacitás	4.8	3.1
Funkcionális reziduális kapacitás	2.2	1.8
Teljes tüdőkapacitás	6	4.2

Kapacitás: térfogatok összege

A légzési ciklus eseményei

I. A tüdő ciklikusan tágul-összehúzódik



Compliance
("nyúlékonyság",
"disztenzibilitás")

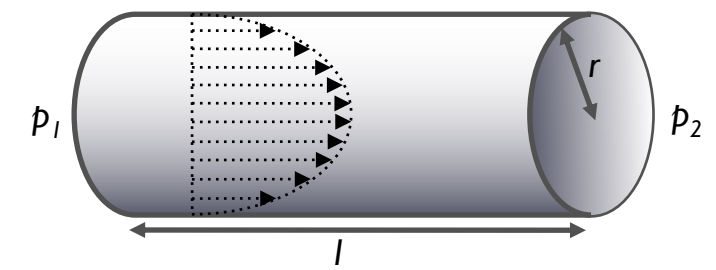
$$C = \frac{\Delta V}{\Delta P}$$

C = compliance (mN⁻¹; N.B.: a rugóállandó reciproka)
ΔP = nyomásváltozás (Pa, Nm⁻²)
ΔV = térfogatváltozás (m³)

Tüdő surfactant

- Felületaktív lipoprotein komplex (foszfolipoprotein), II. típusú alveoláris sejtek termelik (a 20. gesztációs héttől).
- 90% foszfolipid, 10 % fehérje ("surfactant protein" SP-A, SP-B, SP-C, SP-D)
- Szerepe: a felületi feszültséget csökkenti.
- Hatása: minél kisebb a felületi feszültség, annál kisebb nyomáskülönbség elegendő ahhoz, hogy az alveolusok nyitott állapotban maradjanak (Young-Laplace egyenlet!).
- **Restriktív tüdőbetegségek:** a tüdő compliance csökkent (fibrózis, csökkent surfactans termelés, stb.).

2. A légutakban gáz áramlik



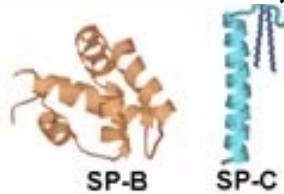
Hagen-Poiseuille törvény

$$\frac{V}{t} = \frac{\pi r^4}{8\eta} \frac{dp}{dl}$$

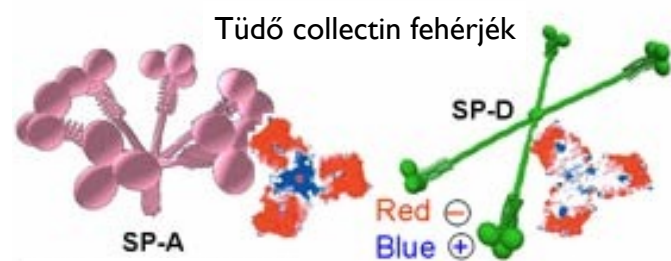
V = térfogat
t = idő
(V/t = Q = térfogati áramerősség)
r = cső sugara
η = viszkozitás
p = nyomás
l = cső hossza
(dp/dl = nyomásgradiens, fenntartója p₁-p₂)

- Normális légzés (eupnoe): lamináris áramlás.
- Tachypnoe, pathologia: turbulens áramlás.
- **Obstruktív tüdőbetegségek:** pulmonáris légáramlási sebesség csökkent (COPD - "chronic obstructive pulmonary disease").

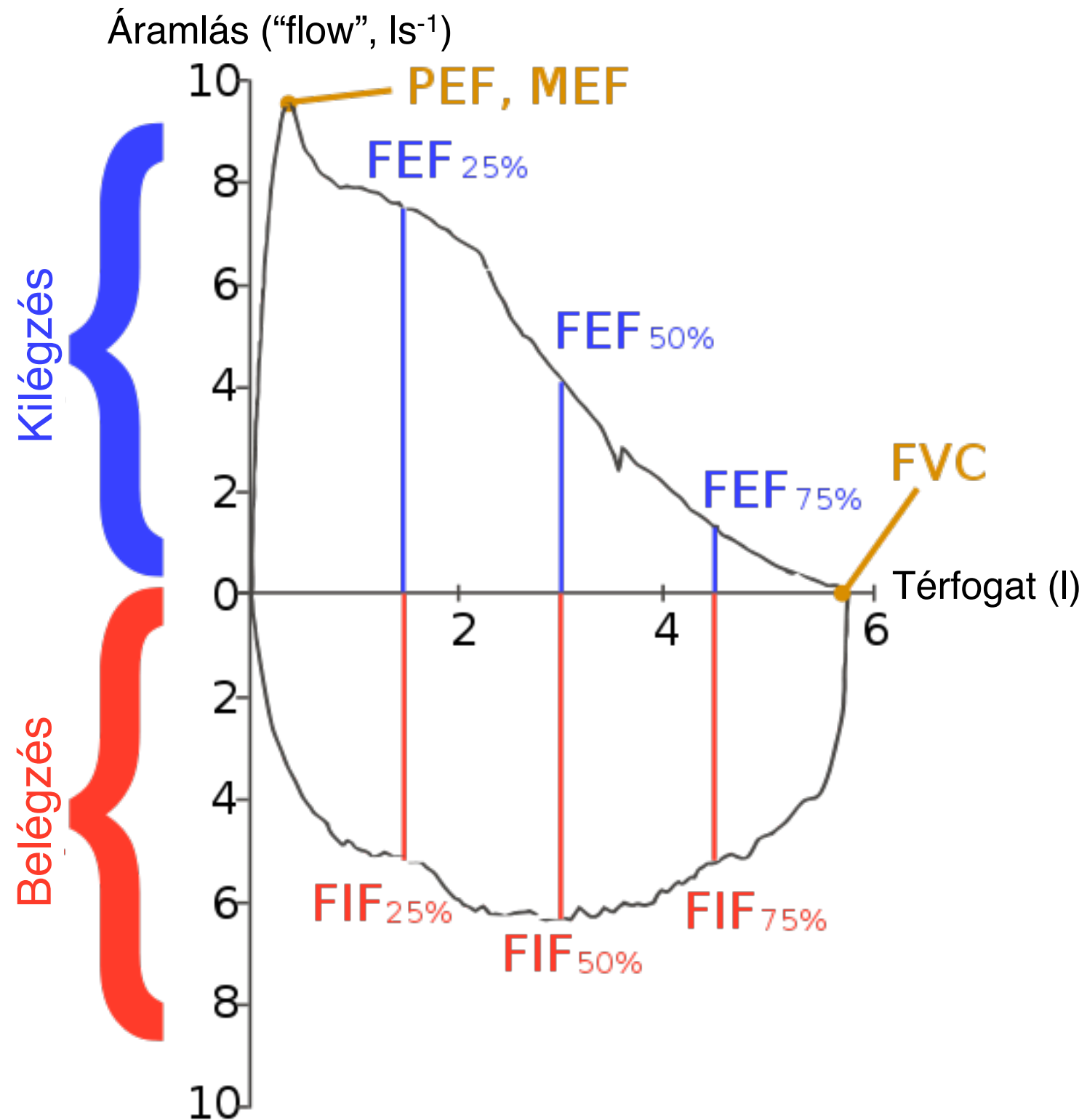
Kis hidrofób fehérjék



Tüdő collectin fehérjék



A légzés dinamikus analízise



Spirometria:

- PEF, MEF: peak expiratory flow, maximal expiratory flow
- FEF: forced expiratory flow
- FIF: forced inspiratory flow
- FVC: forced vital capacity

Légzési munka

- Átlagos transzmurális nyomás ellenében végzett térfogatváltozás
- Légzési perctérfogat = 7 l
- Légzési frekvencia = 14/min
- Nyomás (P_{tm}) = 0.7 kPa
- Respirációs térfogat (V) = 0.5 l ($5 \times 10^{-4} \text{ m}^3$)
- Munka (W) = $P_{tm} \times V = 0.35 \text{ J/belégzés}$ (294 J/h)
- Nagy megterhelésnél elérhet 8400 J/h értéket is

A FIZIKÁLIS VIZSGÁLAT BIOFIZIKAI ALAPJAI

Fizikális vizsgálat

- Megtekintés (inspectio)
- Tapintás (palpatio)
- Kopogtatás (percussio)
- Hallgatózás (auscultatio)

Megtekintés (Inspectio)

Mi ez?

A beteg vizuális vizsgálata

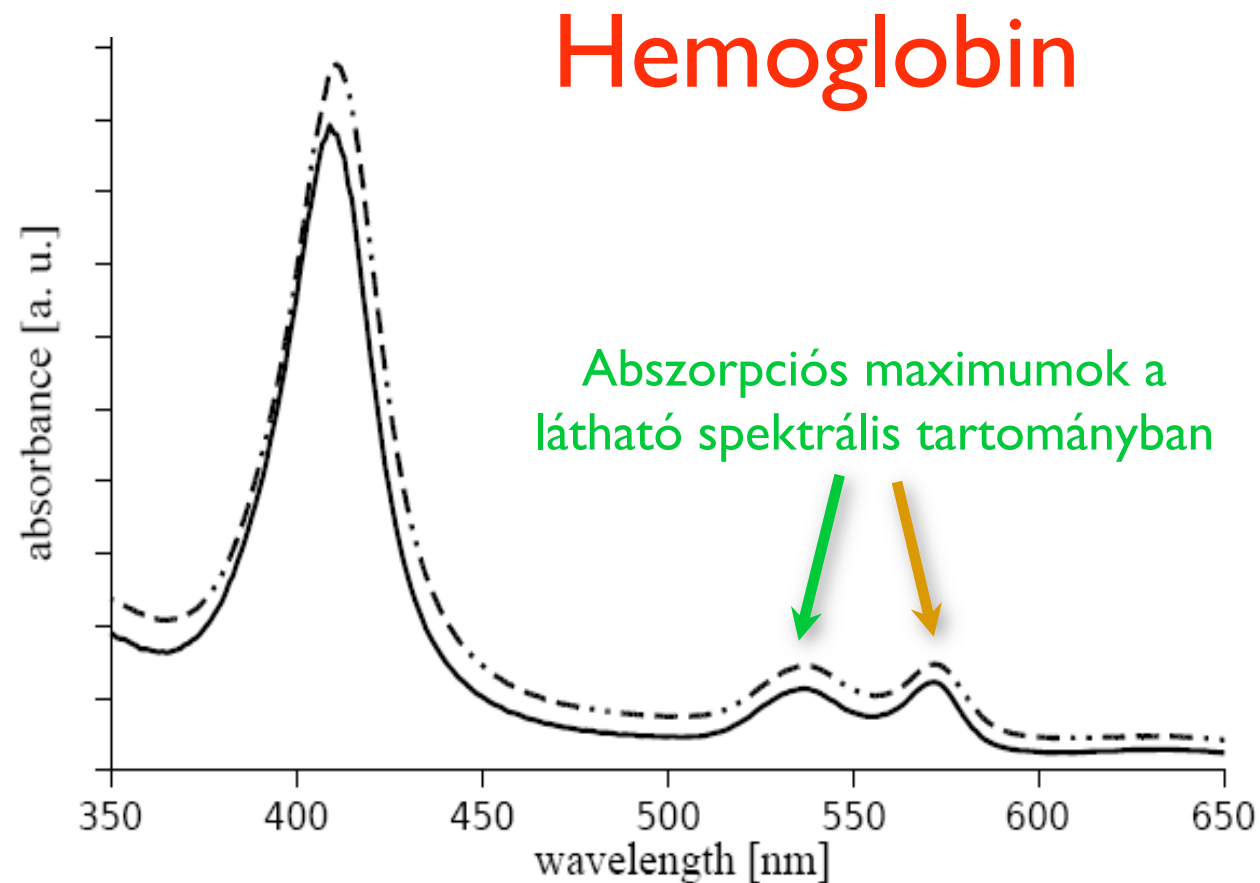
Mit vizualizálunk?

Viselkedés, morfológia, szerkezet, ***szín***

Kapcsolat a biofizikával:

Abszorpciós spektroszkópia

Fényabszorpció



$$J = J_0 e^{-\mu x}$$

$$\lg \frac{J_0}{J} = \mu x \lg e$$

$$\lg \frac{J_0}{J} \approx \mu$$

abszorbancia, optikai sűrűség

$$\lg \frac{J_0}{J} = \varepsilon_{\lambda} c x$$

Lambert-Beer törvény

ε_{λ} = moláris extinkciós együttható

c = koncentráció

Példák



Cyanosis (plazma
dezoxihemoglobin
megemelkedett)



Icterus (sárgaság,
hyperbilirubinaemia)



Erythema
(bőrpír)

Tapintás (palpatio)

Mi ez?

A beteg vizsgálata közvetlen, kézzel történő tapogatás révén

Mit tapintunk?

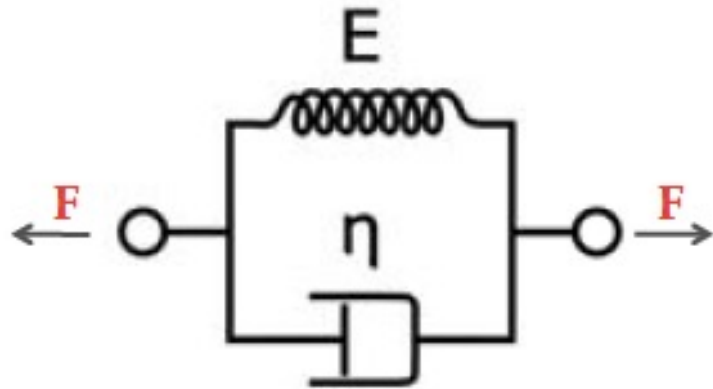
Méret, alak, lokalizáció, *rugalmasság*,
viszkozitás

Kapcsolat a biofizikával:

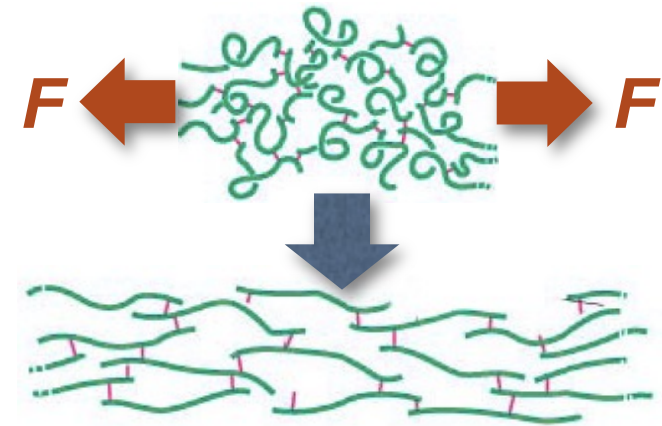
Biomechanika

Viszkoelaszticitás

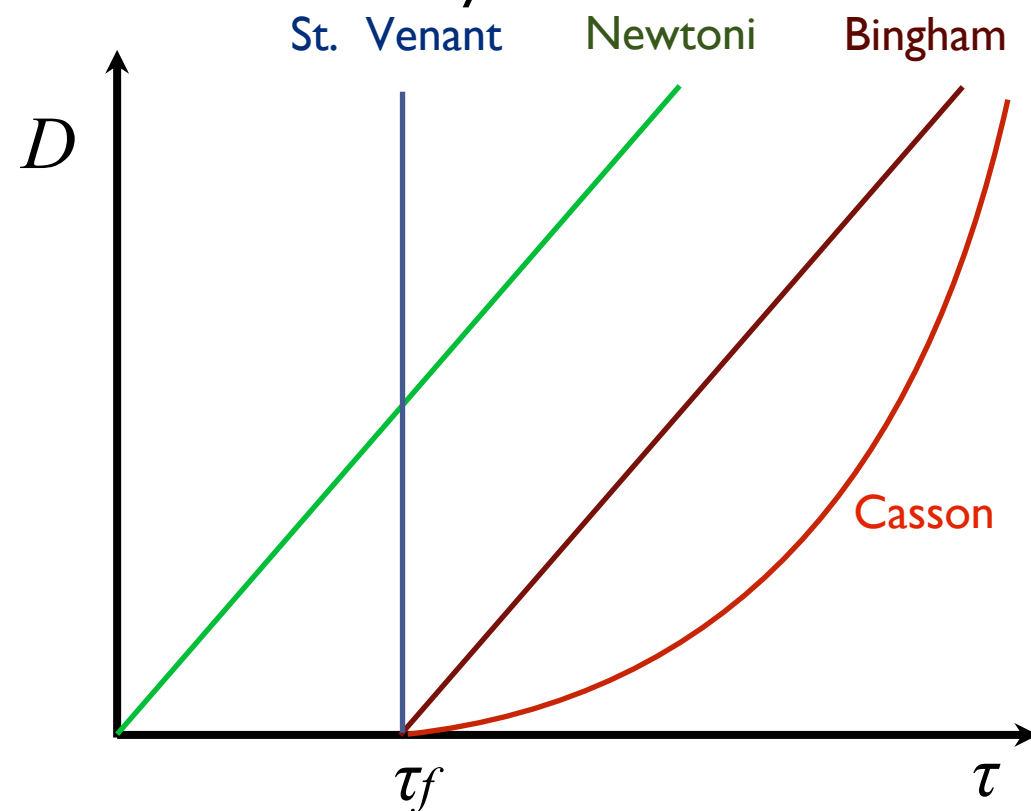
Rugó-dugattyú model



Egyszerűsített mechanizmus



Sebesség-grádiens a nyírófeszültség függvényében newtoni és nem-newtoni folyadékokban



Példa: oedema (ujjbenyomatot tartó, tésztatapintat)

Kopogtatás (percussio)

Mi ez?

A beteg vizsgálata éles, rövid, lokális ütések, koppantások segítségével

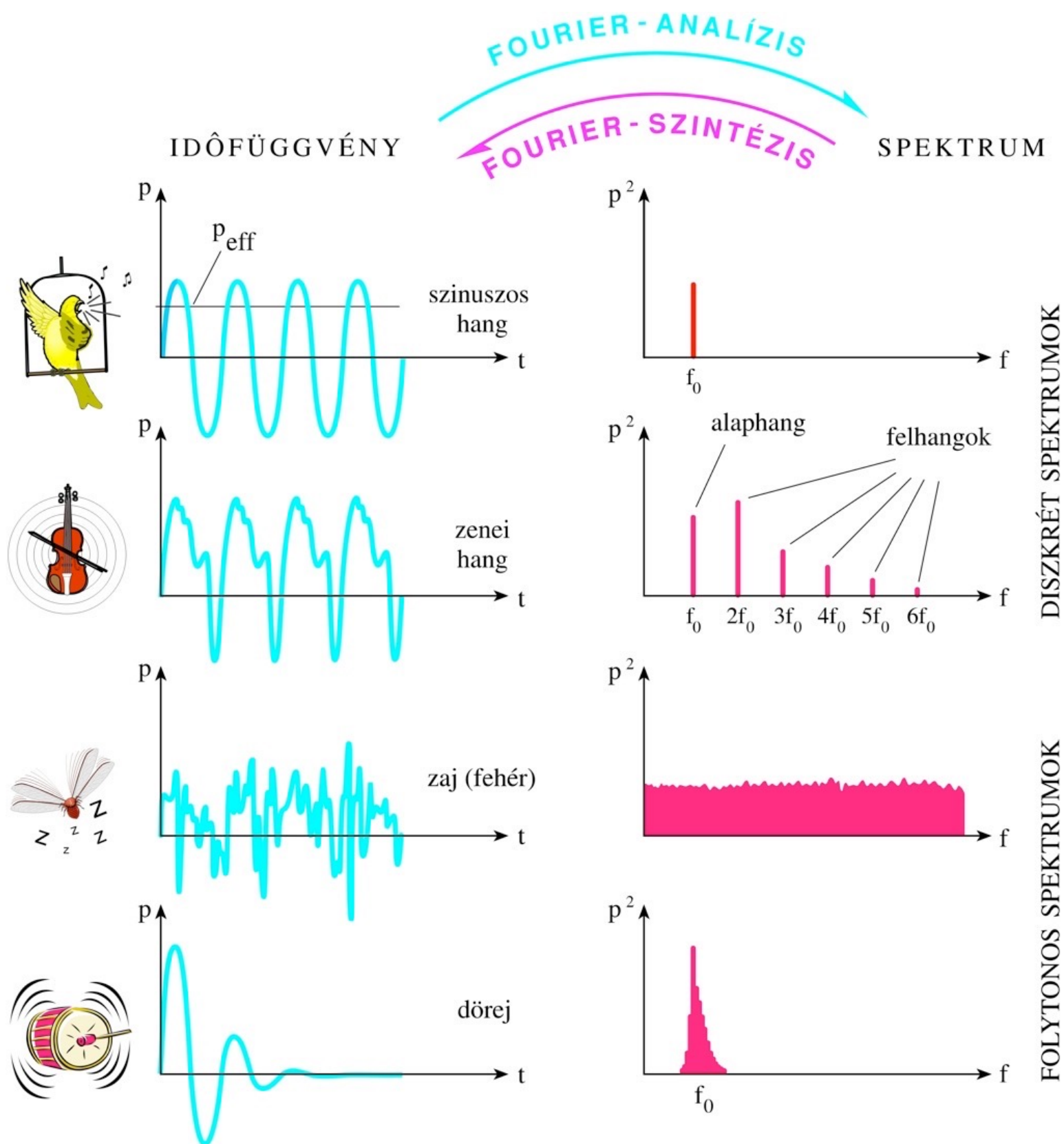
Mit kopogtatunk?

Anyagi tartalom, alak, határok

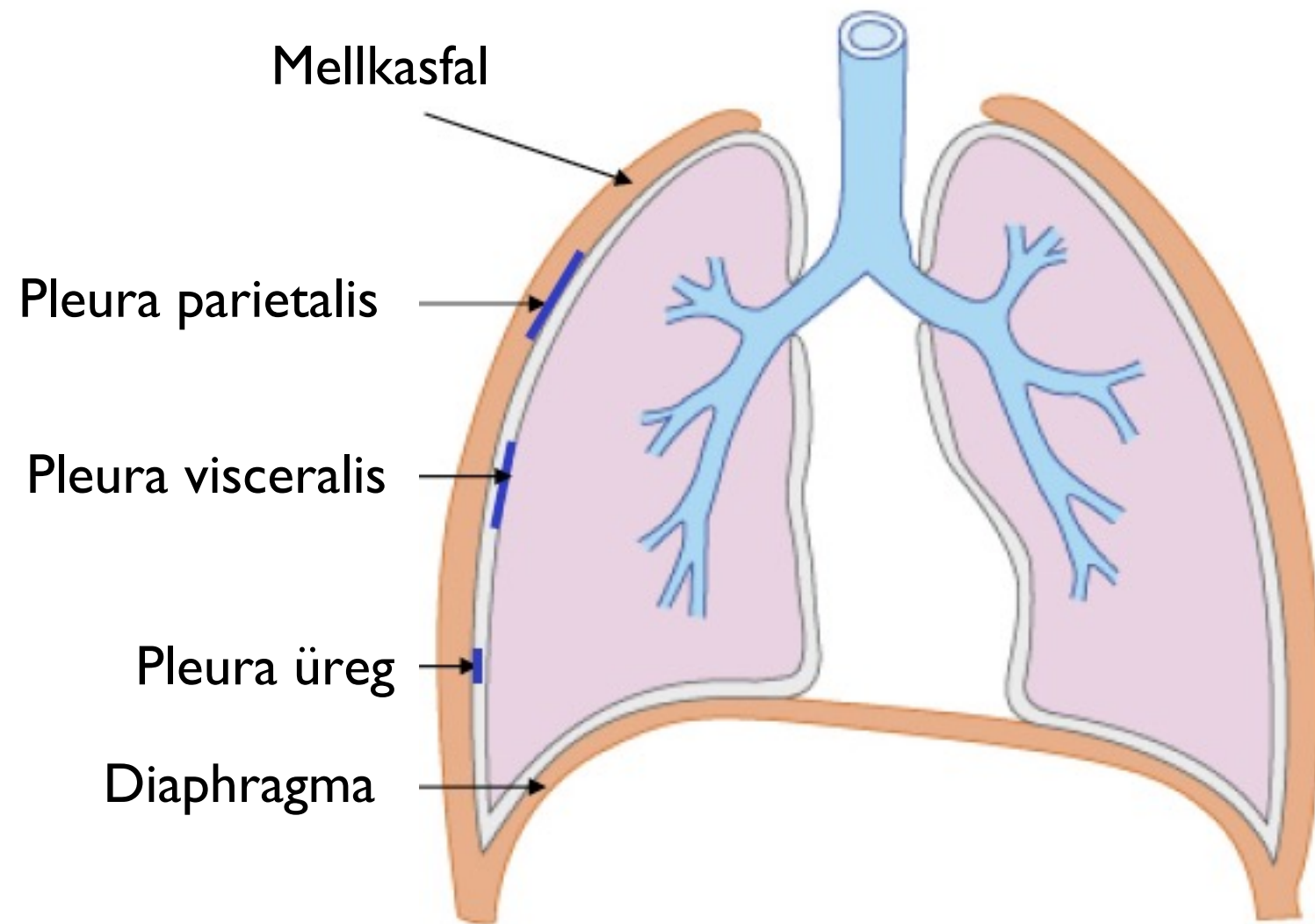
Kapcsolat a biofizikával:

Hang generálása, terjedése és detektálása

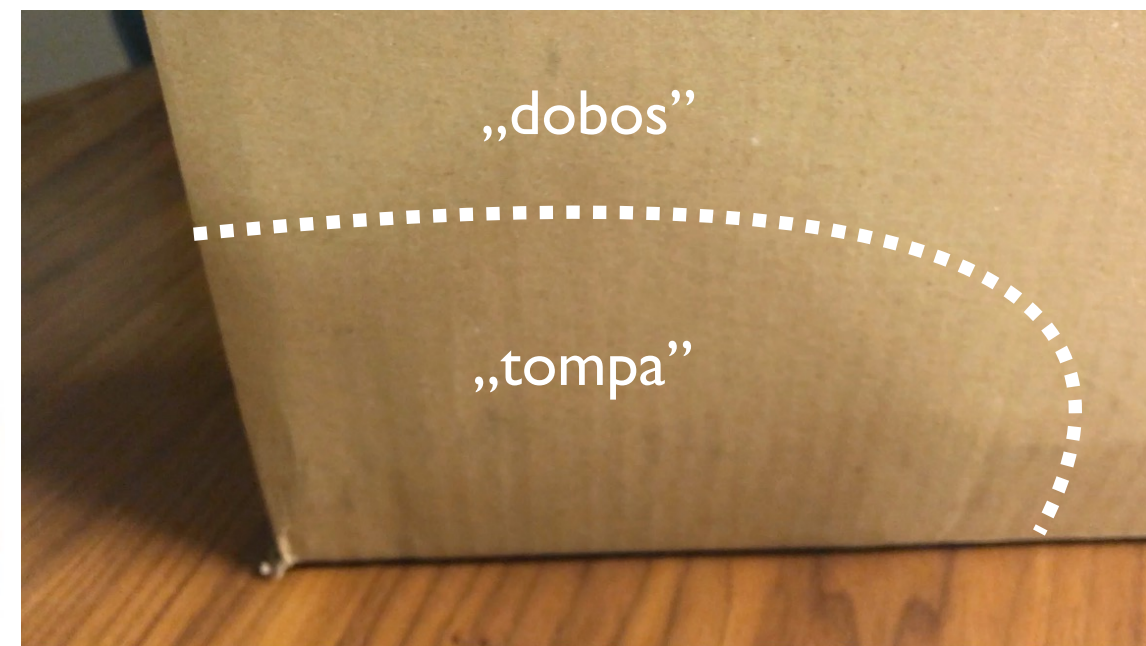
Hangok és spektrumaik



A légzőrendszer mint doboz



1. Tompa (izom, máj)
2. Éles nem dobos (tüdő)
3. Dobos (üreg)



A rekesz, szív, máj (és más parenchymás szervek) határait detektálhatjuk kopogtatással.

Hallgatózás (auscultatio)

Mi ez?

Beteg vizsgálata a benne keletkezett hangok és zörejek meghallgatásával (sztetoszkóppal)

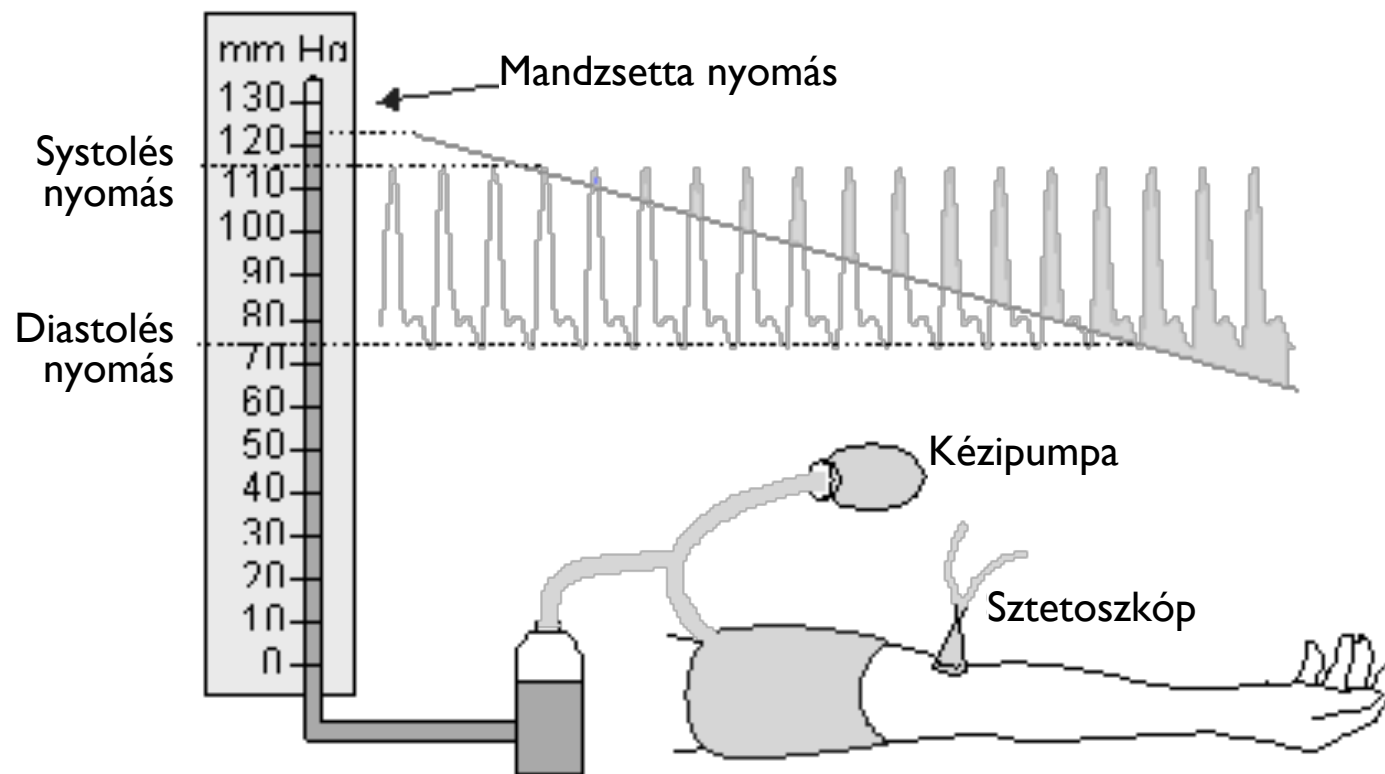
Mit hallgatunk?

Hangosság, hangmagasság, hangszín, időtartam, időbeli változás (ritmus)

Kapcsolat a biofizikával:

Hang generálása és terjedése, folyadékáramlás, turbulencia

Korotkow-féle hang



1. toppanás
2. surranás
3. koppanás
4. tompulás

Reynolds-szám:

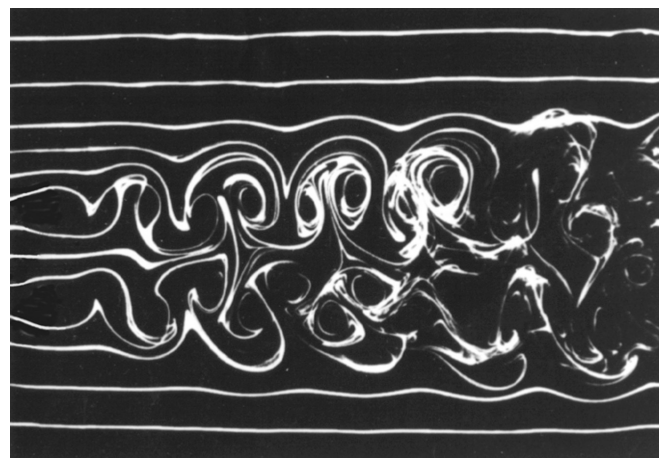
$$R = \frac{vr\rho}{\eta}$$

v =áramlási sebesség (m/s)

r =cső sugara (m)

ρ =sűrűség (kg/m³)

η =viszkozitás (Ns/m²)



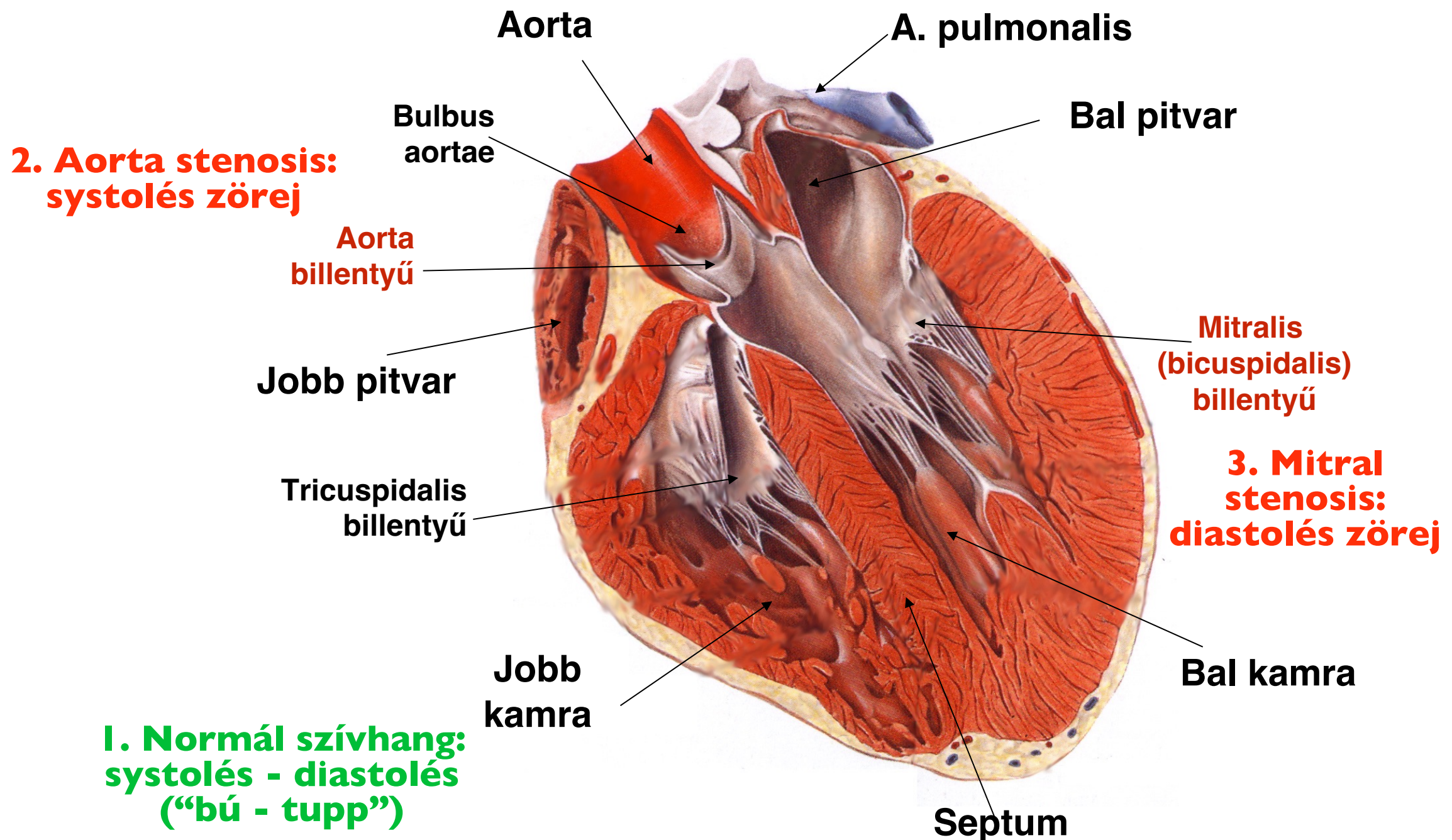
Turbulens áramlás ($R > \sim 1160$)
hangeffektussal jár

- Ér szűkítése mandzsettával - áramlási sebesség megnő a kontinuitási egyenlet alapján
- Ha az áramlási sebesség meghaladja a kritikus sebességet, turbulencia és következményes hangeffektus lép fel

Szívhangok és zörejek

Forrás: mechanikai vibráció (pl. billentyű záródás), turbulens áramlás

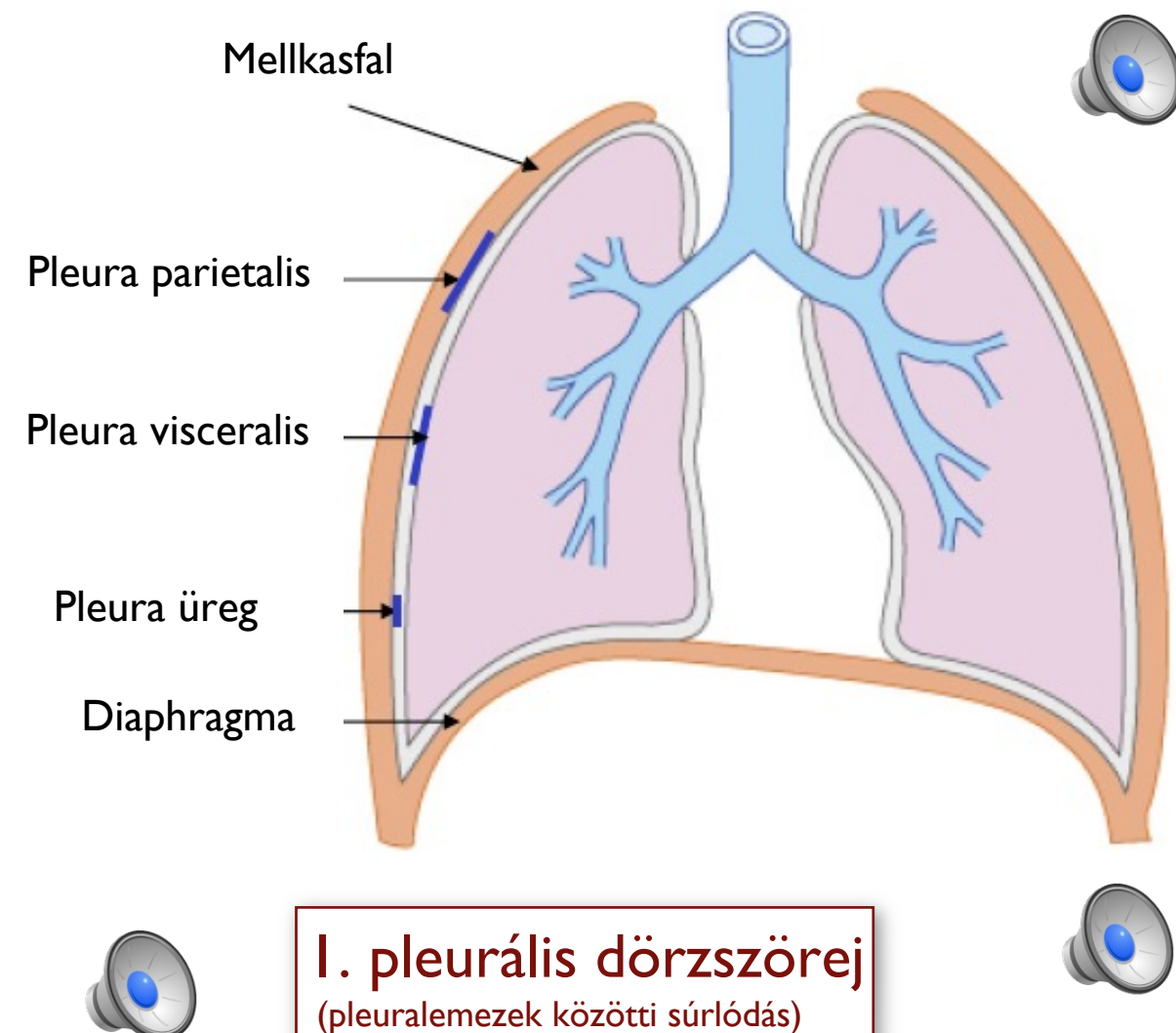
Vezetődés: vérrel telt üregek irányába



Légzési hangok

Forrás és mechanizmus:

- 1.mechanikai vibráció (dörzsölés - zaj)
- 2.mechanikai rezonancia (orgonasíp - “zenei” hang)
- 3.buborékáramlás folyadékban



Tracheobronchialis hangok

Vezetési zóna

Trachea
Bronchusok
Bronchiolusok
Bronchioli terminales

2. sípolás, stridor
(légúti obstrukció)

Gázcsere zóna

Vesicularis hangok

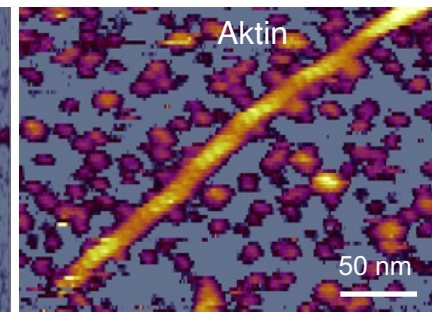
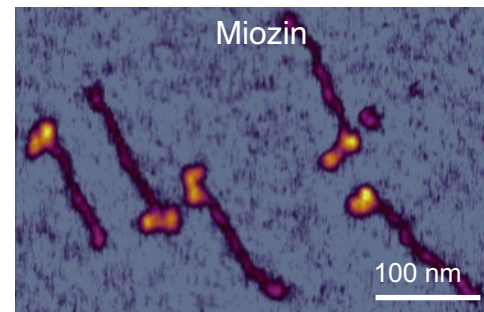
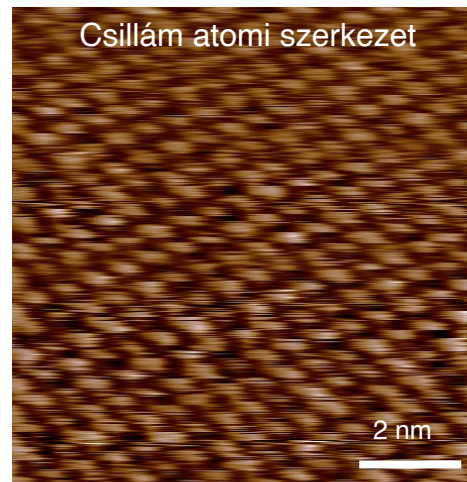
Bronchioli respiratori
Ductus alveolares
Alveolusok

3. szörcszörej
(apró-, közép-, nagyhólyagú;
csöveken történő átbuborékolás)
-crepitatio
(alveolus nyílás-záródás)

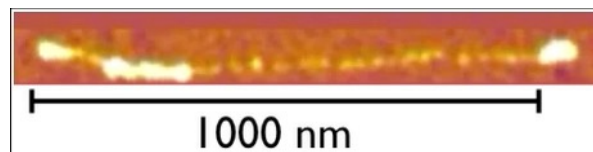
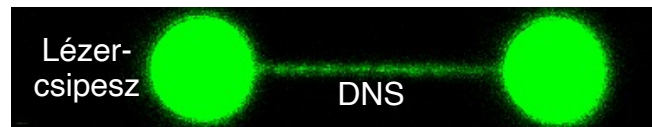
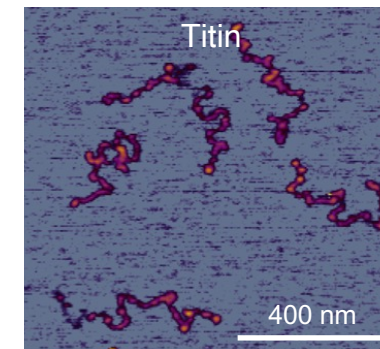
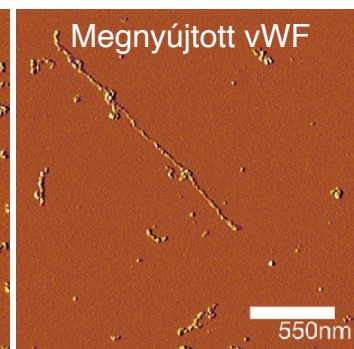
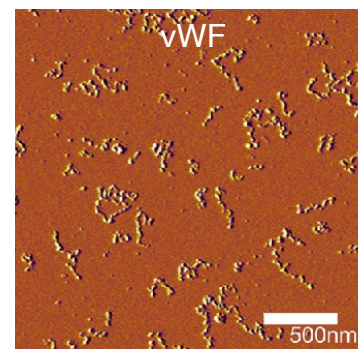


Kutatások a Biofizikai és Sugárbiológiai Intézetben

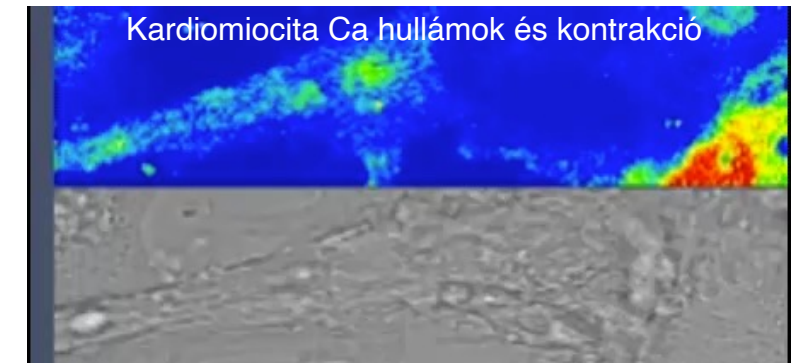
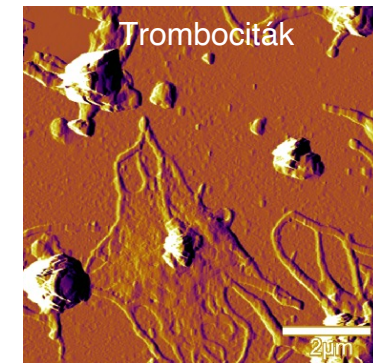
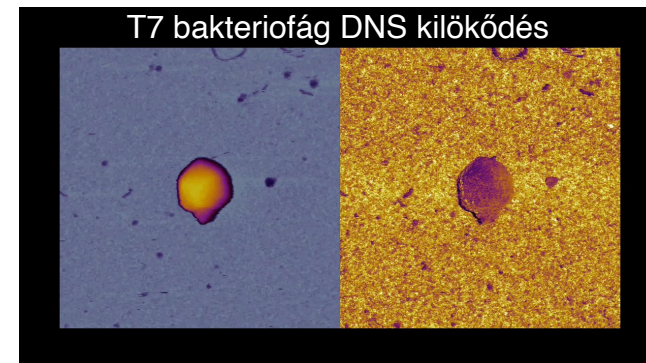
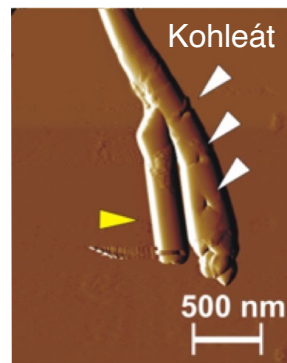
Atomoktól és molekuláktól...



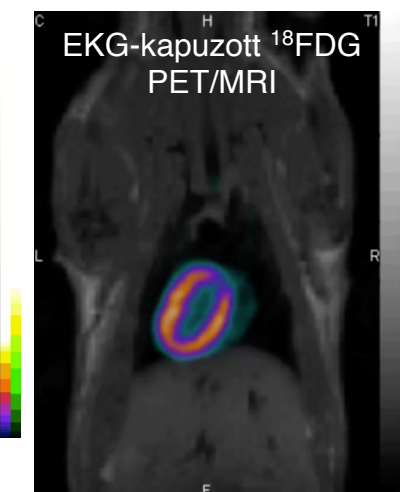
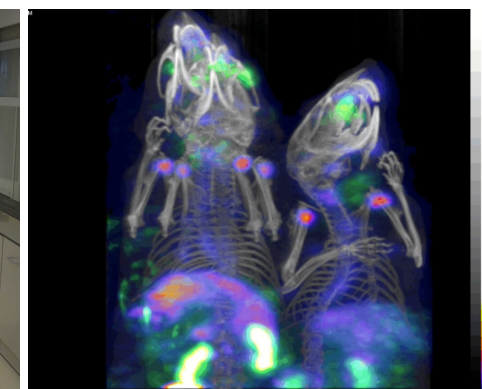
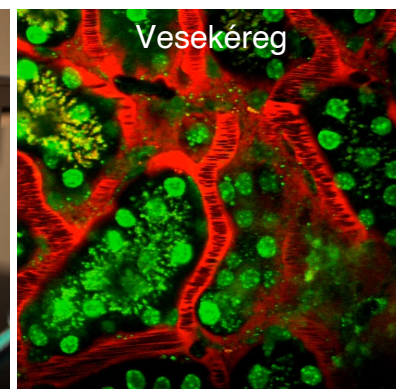
In vitro
aktomiozin
motilitás



...szupra-
molekuláris
és sejtes
rendszeren
át...



...az élő
organizmusig



^{99m}Tc -DTPA: BBB - **kék/vörös**
 ^{201}Tl -DDC: perfúzió - **zöld**

OMHV



<https://feedback.semmelweis.hu/feedback/index.php?feedback-qr=CUUQ5GEJILIOB8MA>