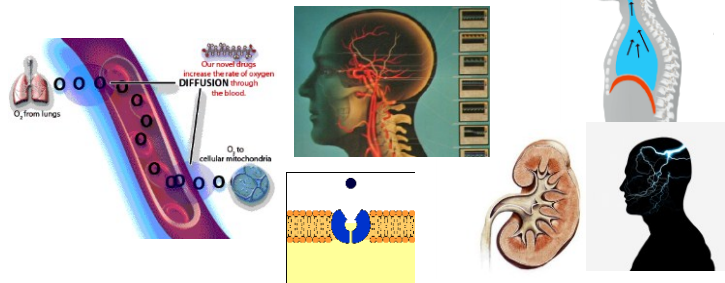


1

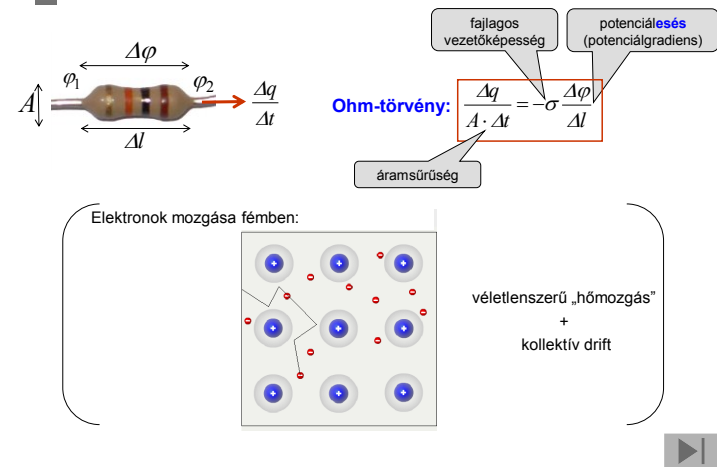
Transzportfolyamatok

- **anyagtranszport** (diffúzió) – Fick 1. törvénye
- **hőtranszport** (hővezetés) – Fourier-törvény
- összefoglalás, általánosítás – Onsager egyenlet



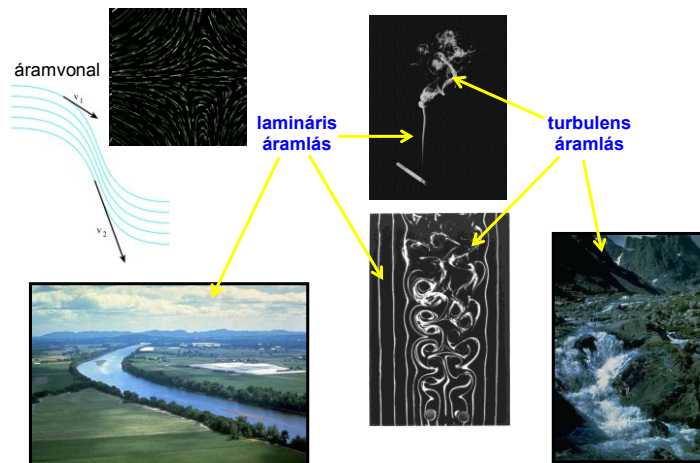
2

Elektromos töltéstranszport

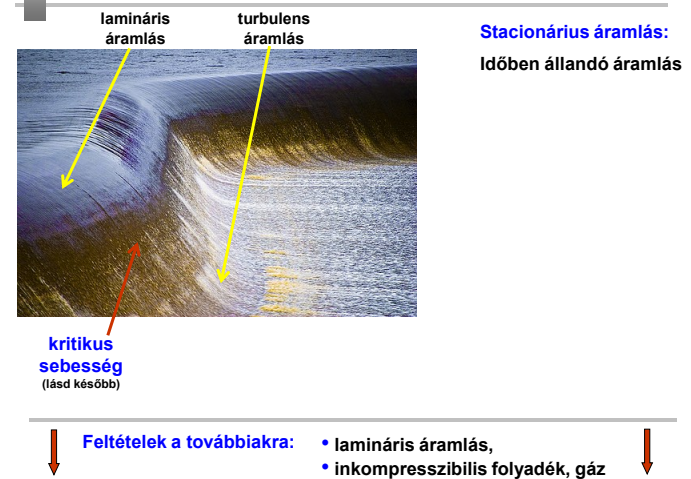


3

Térfogattranszport (áramlás) - alapfogalmak



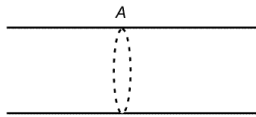
4



5

térfogati áramerősség (I_V): $I_V = \frac{\Delta V}{\Delta t}$ (m³/s, l/perc,...)

térfogati áramsűrűség (J_V): $J_V = \frac{\Delta V}{A \cdot \Delta t}$ (m/s)

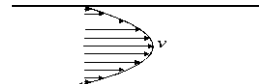


$$I = A \cdot \bar{v} \quad J = \bar{v}$$

ideális folyadék



reális folyadék



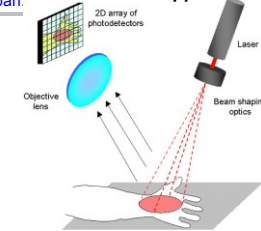
6

Térfogati áramerősség mérése az orvosi gyakorlatban:

Ultraszhang Doppler



Lézer Doppler



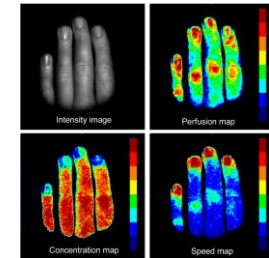
Dilúciós módszerek



- fluoreszcens festék
- radioizotóp
- hideg fiz. sóoldat, ...

a jelző koncentrációja a vérben:

$$c = \frac{\Delta v}{\Delta V} = \frac{\Delta v}{I \cdot \Delta t} \Rightarrow I = \frac{\Delta v}{c \cdot \Delta t}$$



7

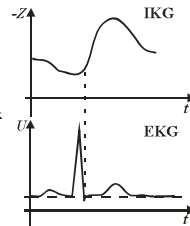
Impedancia módszerek

Impedancia kardiográfia

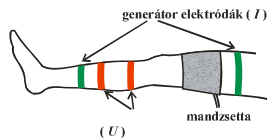


generátor elektródák
($I \sim 2$ mA, 100 kHz)

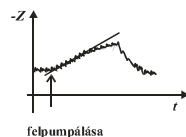
mérő elektródák
(U)



(Impedancia) pletizmográfia



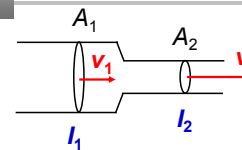
(U)



felpumpálása

8

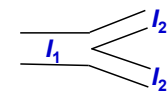
Kontinuitási egyenlet



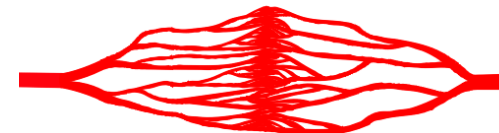
$$I_1 = I_2$$

$$A_1 \cdot \bar{v}_1 = A_2 \cdot \bar{v}_2$$

- lamináris
- inkompresszibilis folyadék
- merev cső vagy stacionárius áramlás



$$I_1 = I_2' + I_2''$$



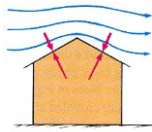
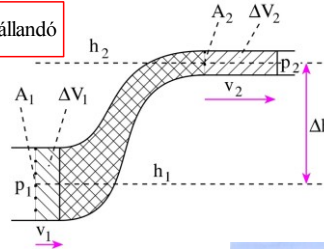
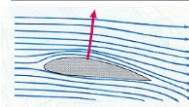
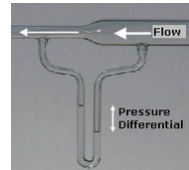
ér	aorta	artériák	arteriolák	kapillárisok	venulák	vénák	Venae cavae
A (cm ²)	4,5	20	400	4500	4000	40	18
v (cm/s)	23	5	0,25	0,022	0,025	2,5	6

9

Bernoulli törvénye

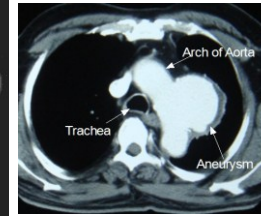
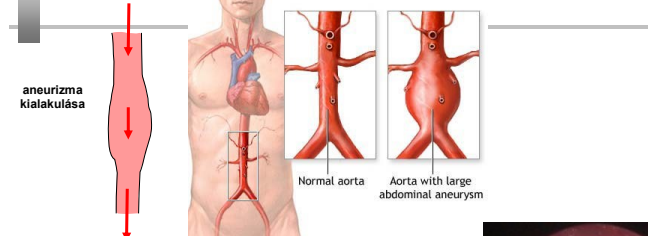
- ideális folyadékra!

$$p + \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 + \rho \cdot g \cdot h = \text{állandó}$$



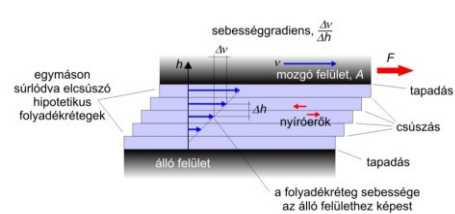
Daniel Bernoulli
1700-1782
matematikus
fizikus
anatómus

10



11

Reális folyadékok - viszkozitás



Newton-féle
súrlódási törvény:

$$F = \eta \cdot A \cdot \frac{\Delta v}{\Delta h}$$

sebességesés
(sebességgradiens)

viszkozitás (belső
súrlódási együttható)
[η] = Pa·s

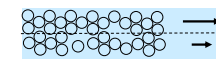
$$[\sigma_{\text{nyíró}} = \eta \cdot \text{sebesség}]$$

12

Rotációs viszkoziméter:

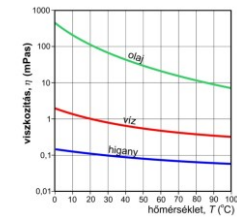


Hőmérséklet hatása
folyadékok viszkozitására:
(részecskék közötti kölcsönhatások)



$$\eta \sim T \cdot e^{\frac{\Delta E}{RT}}$$

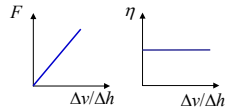
anyag	η (mPa·s) 20 °C
levegő	(101 kPa) 0,019
víz	1
etanol	1,2
vér (37 °C)	2-8
glicerin	1490
méz	2000-14000



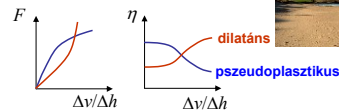
13

Folyadékok típusai

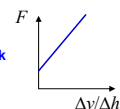
newtoni



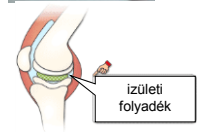
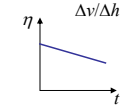
nem newtoni



Bingham-folyadék

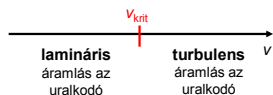


tixotrópia



15

Kritikus sebesség



$$v_{krit} = Re \cdot \frac{\eta}{\rho \cdot r}$$

Reynolds-szám
(sima falú csőre: $Re = 1160$)

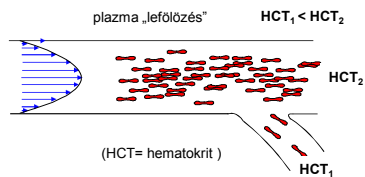
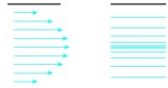


Osborne Reynolds
1842-1912

b

Belső súrlódás néhány következménye

parabolikus sebességprofil



(HCT= hematokrit)

14

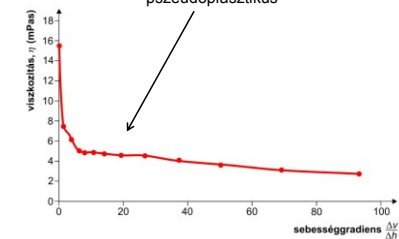
Nyál viszkozitása

A nyál viszkozitása szerepet játszik:

- fogak öntisztulása
- zománc kopása
- remineralizáció
- nyelés
- beszéd

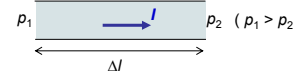
A nyál viszkozitása:

- durván 2-16 mPa·s
- mucinkoncentráció!
- pszeudoplasztikus



16

Hagen–Poiseuille-törvény



$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = - \frac{\pi}{8} \frac{1}{\eta} R^4 \frac{\Delta p}{\Delta l}$$

- lamináris áramlás
- stacionárius áramlás
- inkompresszibilis folyadék
- newtoni folyadék

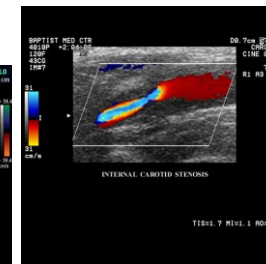
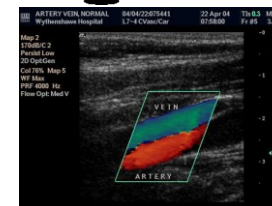


G. H. L. Hagen
1797-1884
mérnök

A törvény alkalmazása a vérkeringésre

Feltételek?

- lamináris áramlás?

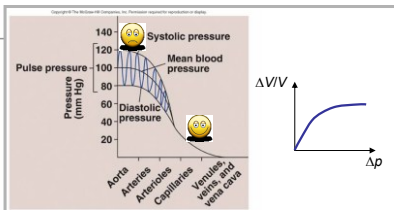


J. L. M. Poiseuille
1799-1869
fiziológus

17

Feltételek?

- stacionárius áramlás?



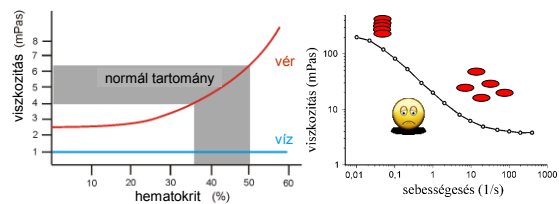
- inkompresszibilis folyadék?



- newtoni folyadék



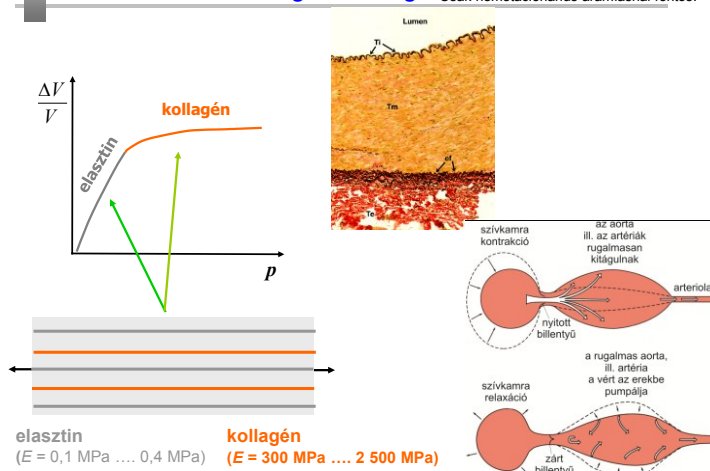
Végeredmény:
csak kvalitatív
alkalmazás!



19

Érfal rugalmassága

Csak nemstacionárius áramlásnál fontos!

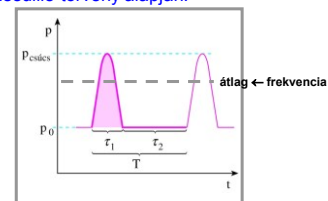


18

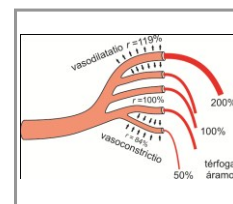
A vérkeringés szabályozása

A Hagen–Poiseuille-törvény alapján:

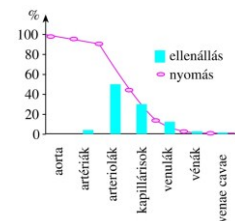
- Δp



- R^4

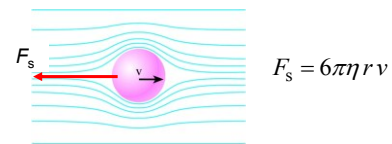


A nagyvérköri ellenállás és
nyomásviszonyok:



20

Stokes-törvény



G. G. Stokes
1819-1903
matematikus
fizikus

A részecske mozgékonyága (u): $u = \frac{v}{F_{\text{mozg}}} \Rightarrow u = \frac{1}{6\pi\eta r} \Rightarrow \text{diffúzió}$