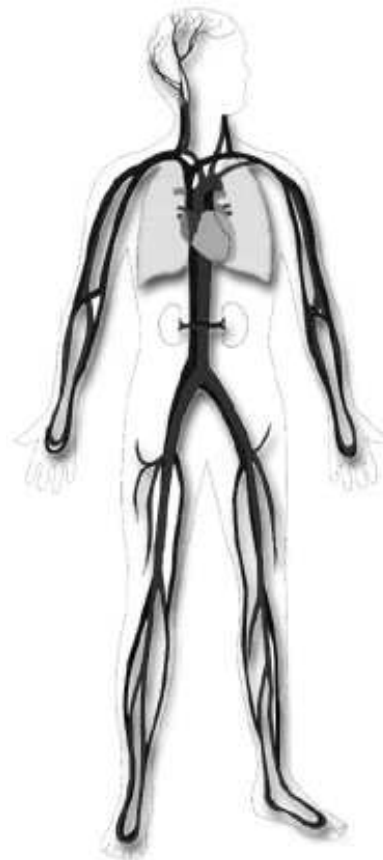
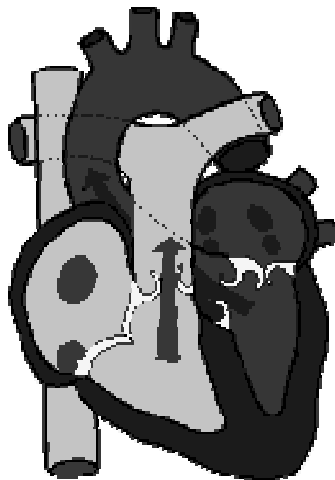
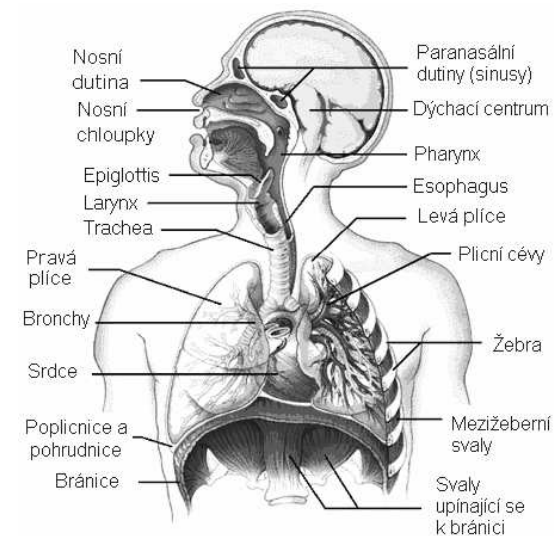


Přednášky z lékařské biofyziky

Masarykova
univerzita v Brně

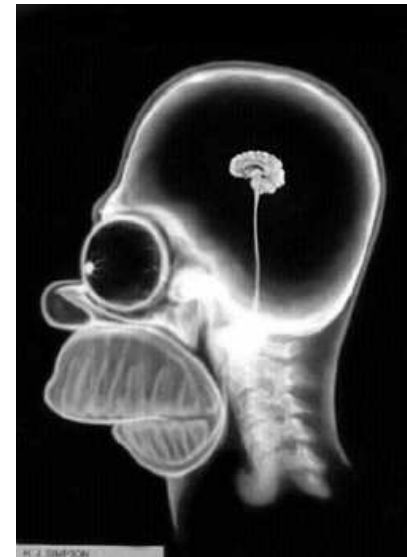


Biofyzika kardio- vaskulárního a respiračního systému



Předpoklady

- Zákony proudění kapalin
- Základní anatomické představy
- Zákony pružnosti
- Viskozita
- Osmotický a onkotický tlak
- Zákony termodynamiky pro izotermický děj
- Difuze
- Rozpouštění plynů

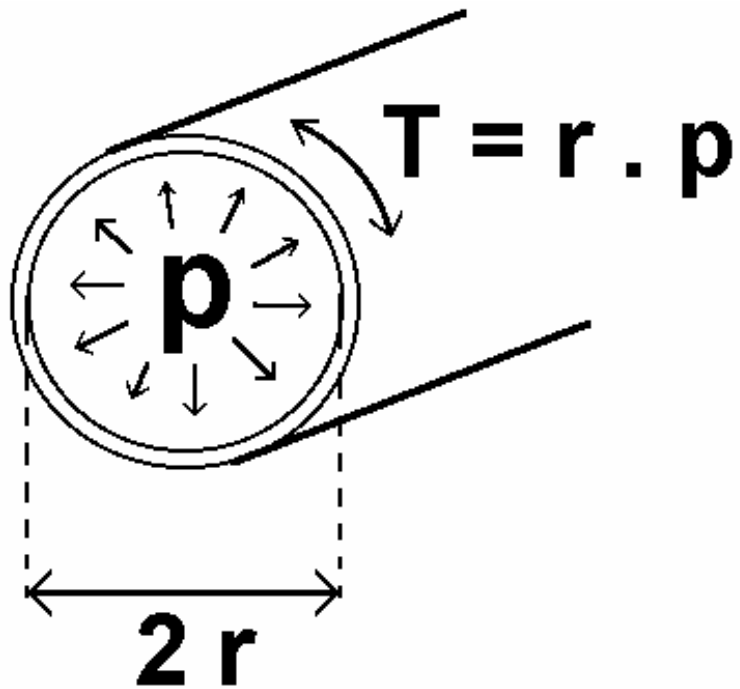


Mechanické vlastnosti kardiovaskulárního systému

Uzavřený oběhový a transportní systém

- Hlavní části:
 - Srdeční sval
 - Uzavřený systém cév
 - Krev
- Hlavní funkce:
 - Dodávání výživy a kyslíku buňkám,
 - Transport hormonů a jiných chemických signálů,
 - Odstraňování odpadních a vedlejších produktů z buněk (tkání)
 - Přenos tepla

Mechanické vlastnosti cév

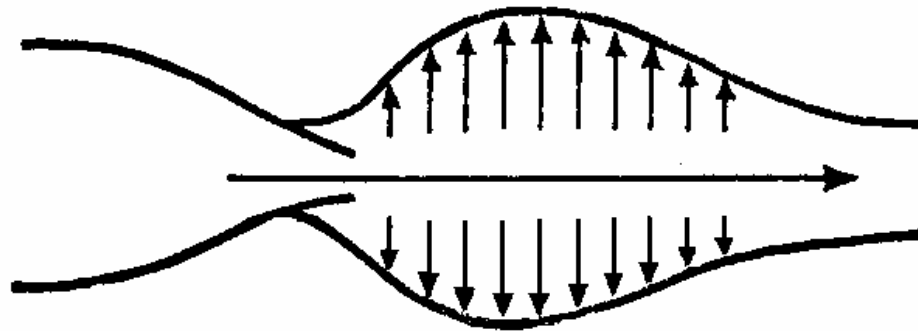


•Laplaceův zákon

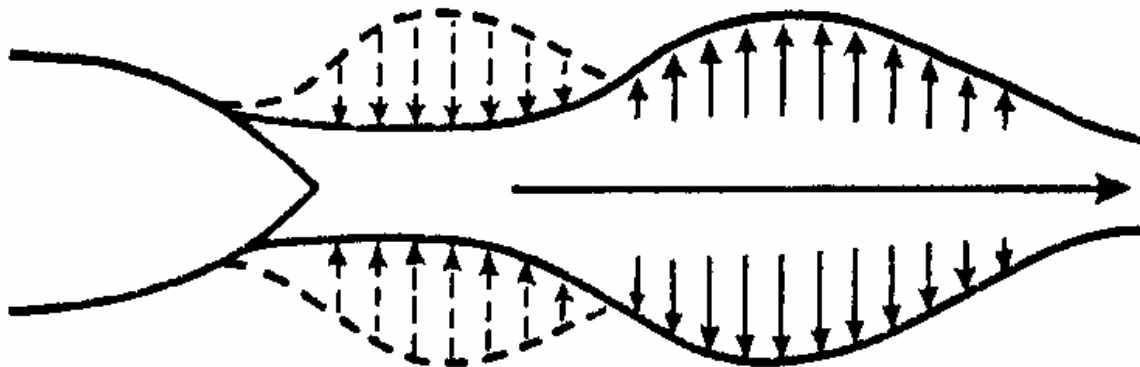
Napětí ve stěnách některých cév:

| céva | r(m) | p(kPa) | T(N.m ⁻¹) |
|-----------|--------------------|--------|-----------------------|
| aorta | 0.012 | 13 | 156 |
| artérie | 0.005 | 12 | 60 |
| kapilára | 6×10^{-6} | 4 | 0.024 |
| véna | 0.005 | 2 | 10 |
| vena cava | 0.015 | 1.3 | 20 |

Pružníkové a muskulární cévy



- Aorta se chová jako typická pružníková céva



Reynoldsovo číslo

- Proudění krve: laminární
- turbulentní
- Reynolds (1883)

- Reynoldsovo číslo:

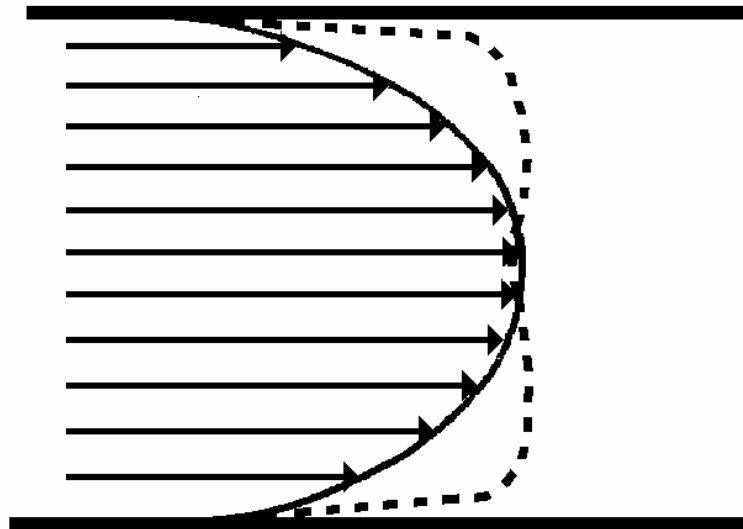
$$R_e = \frac{r \cdot v_s \cdot \rho}{\eta}$$

(ρ – hustota kapaliny, v_s – střední rychlost toku, r – poloměr cévy, η – koeficient dynamické viskozity)

- Kritická rychlost:

$$v_k = \frac{1000\eta}{r \cdot \rho}$$

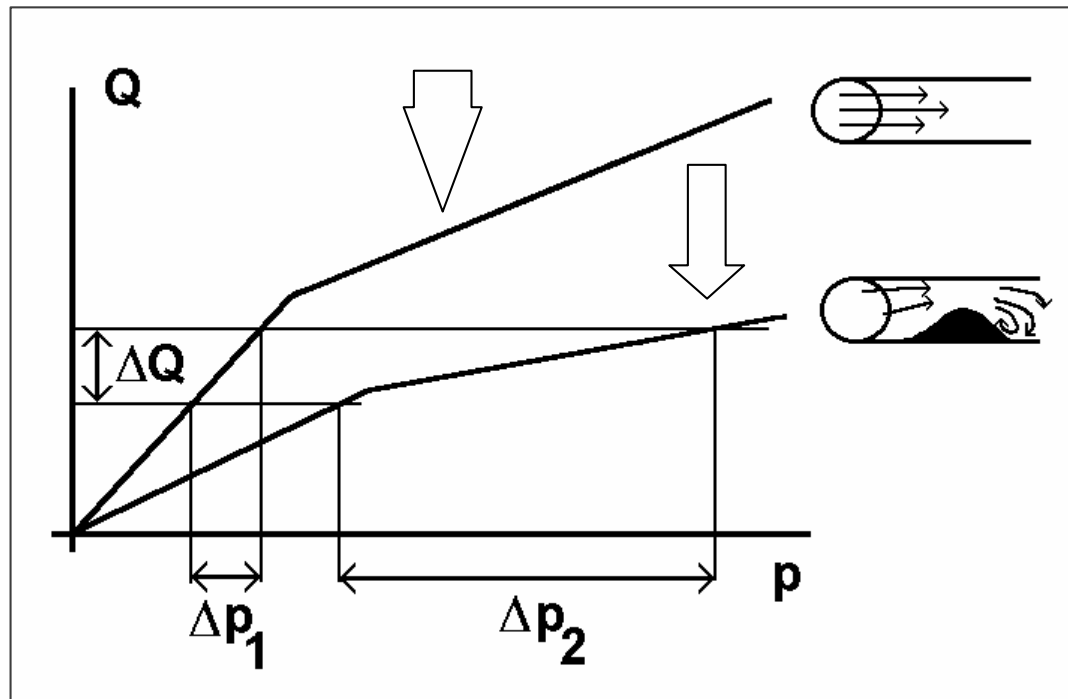
Teoretický a skutečný rychlostní profil toku krve v cévě



- Odchytky od teoretického rychlostního profilu jsou dány především tím, že krev je neneutonská kapalina

- Rychlostní profil se mění v průběhu tepové vlny
- Z jeho tvaru a absolutních hodnot naměřené rychlosti lze získat významné diagnostické informace

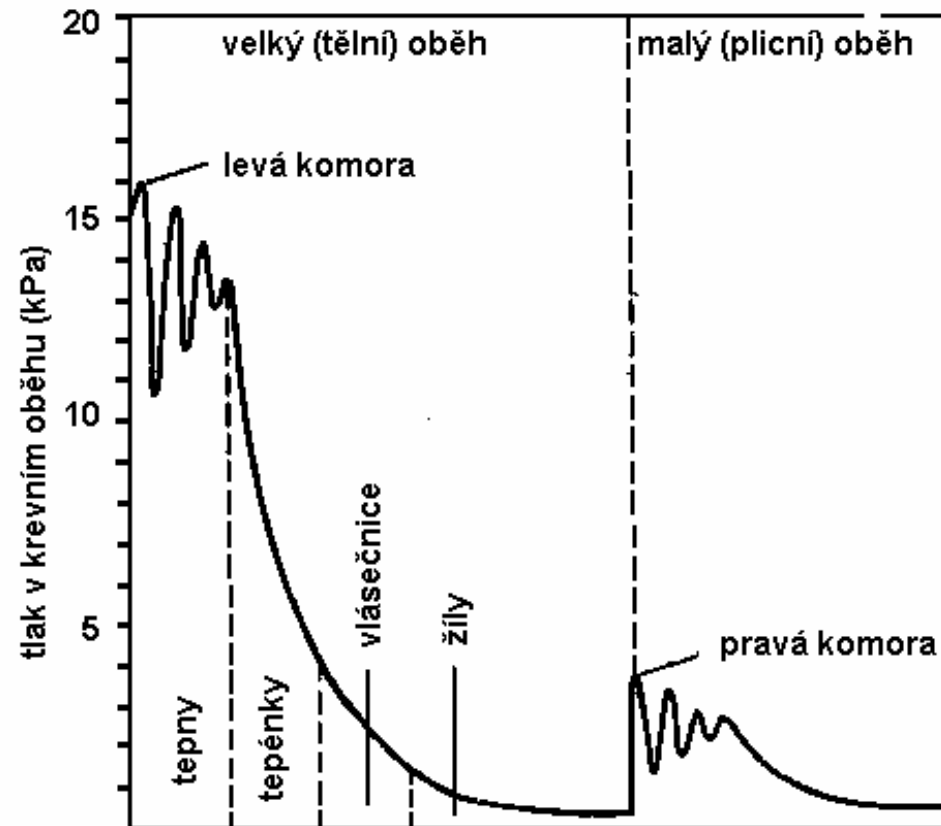
Průtok krve v cévě s překážkou



•Obr. Dle Camerona a kol., 1999

- Horní křivka popisuje průtok krve v cévě bez obstrukce, dolní křivka v cévě aterosklerotickým zúžením.
- Ke stejnému zvýšení průtoku ΔQ je třeba většího zvýšení tlaku Δp .

Tlak v jednotlivých částech krevního oběhu



Periferní odpor cév

- Analogie elektrického odporu ($R = U/I$)
- napětí U odpovídá tlak p
- proudu I odpovídá průtočný objem Q
- $R = \Delta p/Q$
- Vycházíme z Hagen-Poiseuilleova vzorce pro průtočný objem:

$$Q = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8\eta \Delta l} \Rightarrow \frac{\Delta p}{Q} = \frac{8\eta \Delta l}{\pi r^4}$$

Periferní odpor cév

- Podíl jednotlivých úseků krevního oběhu na celkovém periferním odporu:
 - artérie 66 %
 - (z toho arterioly 40 %)
 - kapiláry 27 %
 - vény 7 %
- Při **vasodilataci** R klesá - zátěž srdce se snižuje
- Při **vasokonstrikci** R roste - zátěž srdce se zvyšuje

Mechanický výkon srdce

- Mechanický výkon srdce
(pro tepovou frekvenci 70 min^{-1}) 1,3 W
- Celkový výkon srdce
(za klidových podmínek) 13 W
- Celkový výkon lidského organismu
(v klidu) 115 W

- Pro srdeční sval platí:
mechanická práce: $W = \int p \cdot dV$
práce se koná při vypuzení objemu krve dV proti
vnějšímu tlaku p . Z malé části se mění též v kinetickou
energii krve.
- mechanická účinnost (max. 10 %): $= W/E$

Práce srdce při jedné systole (odhad)

- $p = \text{konst.} \Rightarrow W = p \cdot \Delta V$

- *Levá komora*

- *Pravá komora*

$$p_{\text{stř.}} = 13.3 \text{ kPa}$$

$$p_{\text{stř.}} = 2.7 \text{ kPa}$$

$$\Delta V = 70 \text{ ml}$$

$$\Delta V = 70 \text{ ml}$$

$$W = 0.93 \text{ J}$$

$$W = 0,19 \text{ J}$$

- *Z toho W_k :*

$$= 0.009 \text{ J}$$

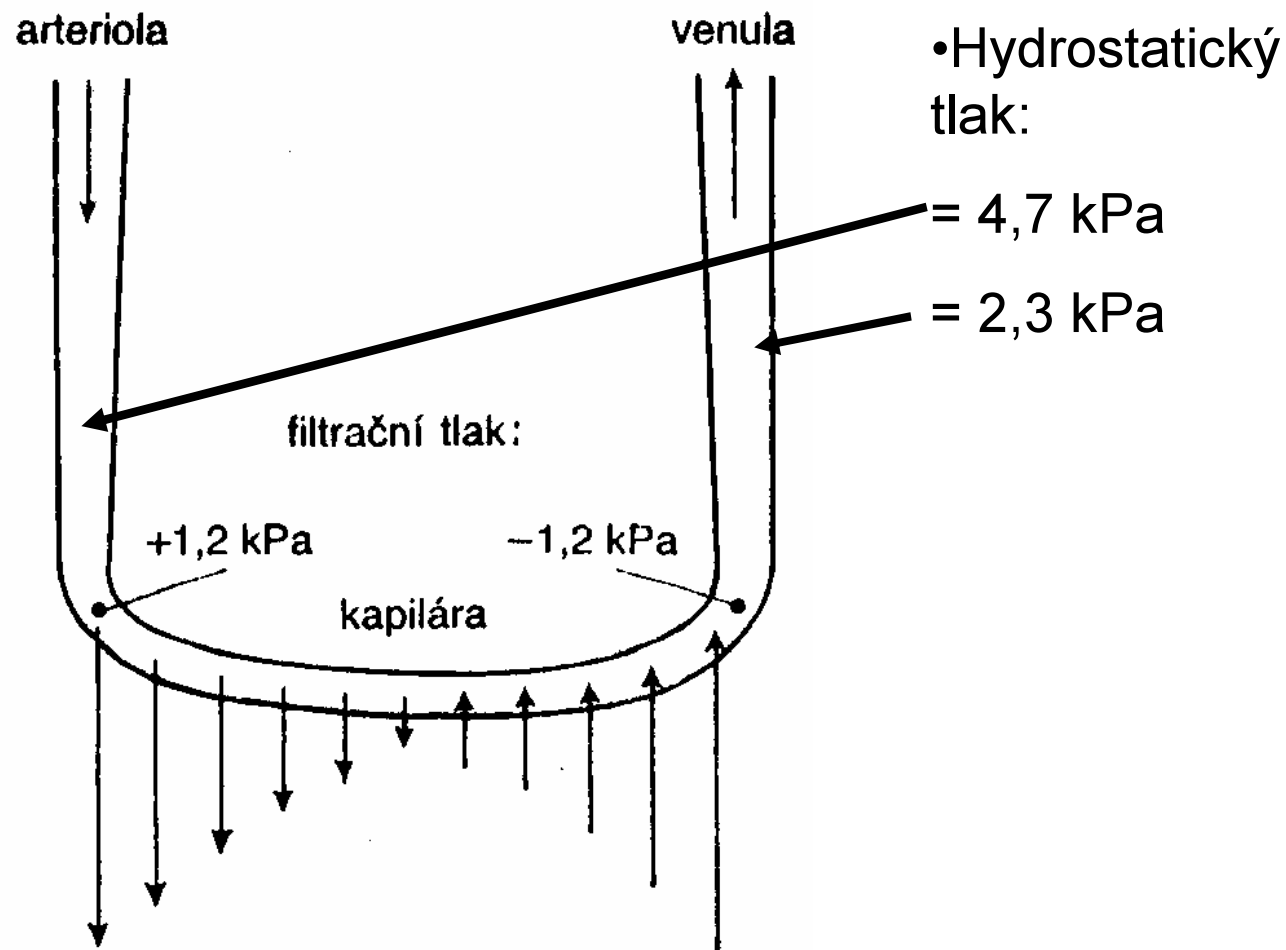
$$= 0,0018 \text{ J}$$

(dle vzorce $1/2 \cdot \rho v^2 \Delta V$, $\rho = 1.06 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$,

$v_{\text{stř.}} = 0.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, resp. $0.22 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)

Filtrační pochody v kapilární kličce

• Onkotický tlak
= 3,5 kPa



!!!!!!!!!!!!



Práce ledvin a glomerulární ultrafiltrace

- Osmotická práce potřebná pro přenesení látky z prostředí o koncentraci C_2 do prostředí o koncentraci C_1 . Jedná se o přenos tělu potřebných látek z primární moči zpět do krve.

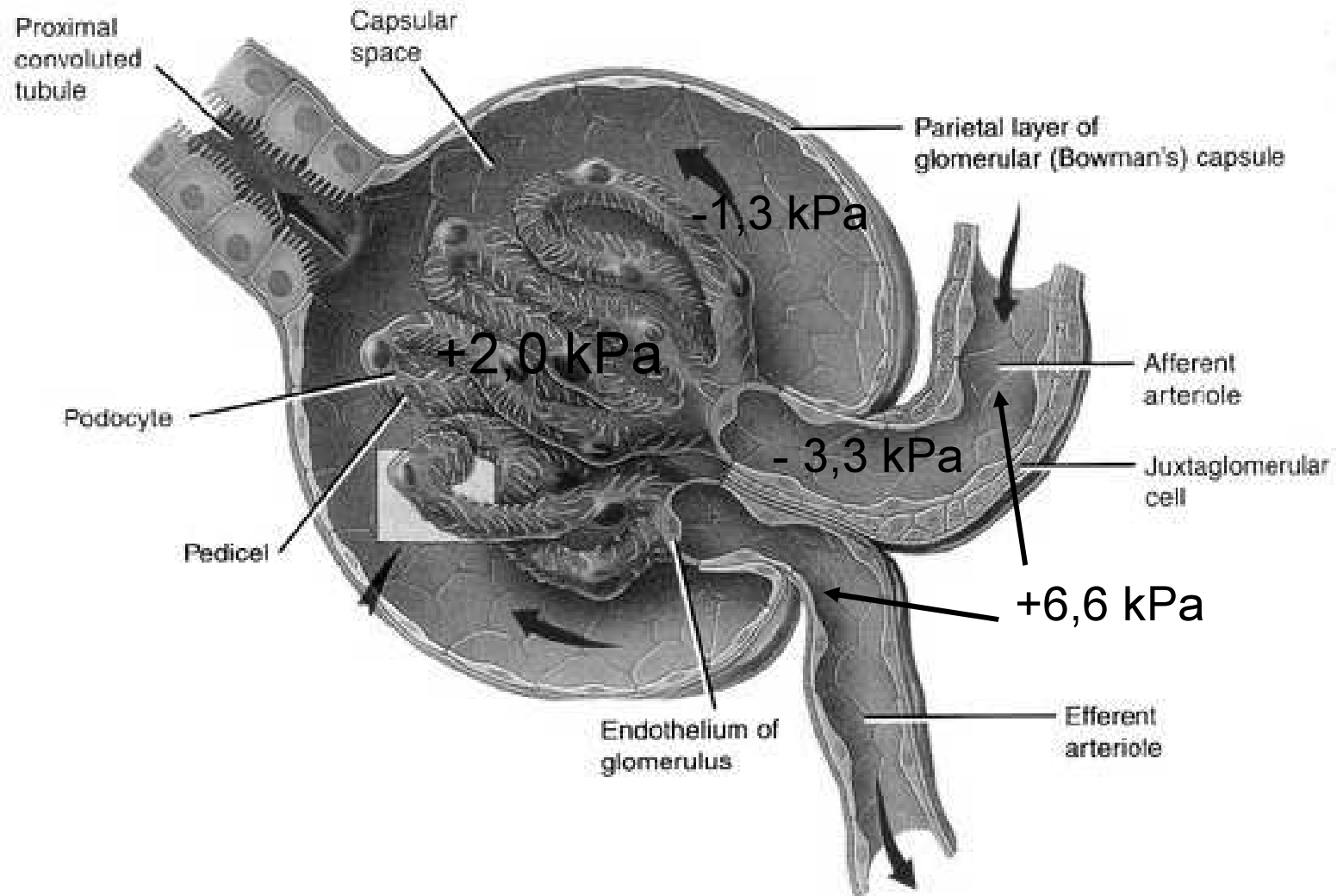
$$W = 2,3 n.R.T.\log C_1/C_2$$

- Glomerulární ultrafiltrace:

Hydrostatický tlak v glomerulárních kapilárách je asi 6,6 kPa (50 mm Hg). Proti tomuto tlaku působí hydrostatický tlak v Bowmanově pouzdře - 1,3 kPa (10 mm Hg) a onkotický tlak plasmatických bílkovin - 3,3 kPa (25 mm Hg), takže výsledný filtrační tlak v glomerulu je za normálních okolností 2 kPa (15 mm Hg).

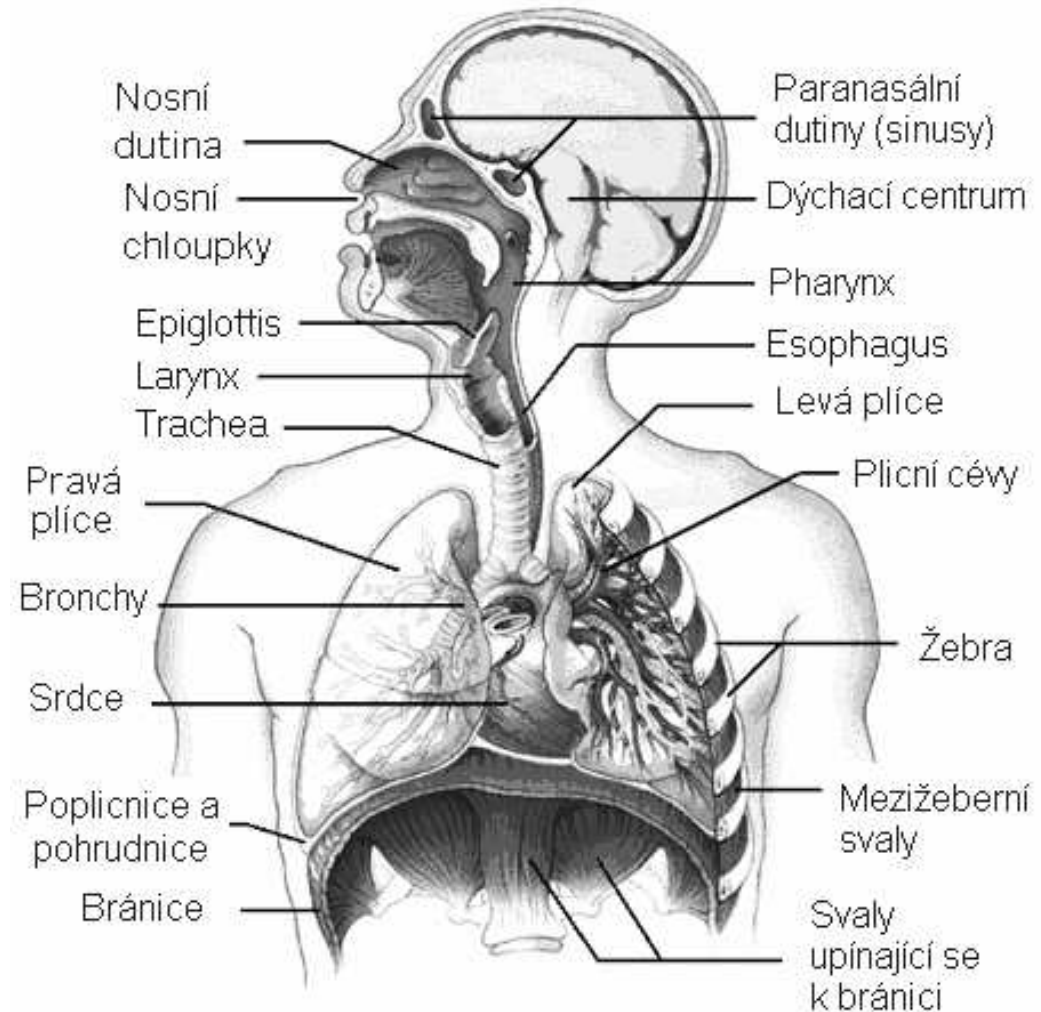
Glomerulus

<http://coe.fgcu.edu/faculty/greenep/kidney/Glomerulus.html>



Ventilační pohyby

- Účastní se především mezižební svaly a bránice
- dýchání hrudní (převažuje u žen) a břišní (převažuje u mužů)



•cfm?article_ID=ZZZ8PPLCGJC&sub_cat=285 18

Dle: http://www.medem.com/MedLB/article_detailb.

Difuze O₂ a CO₂ v plazmě

Bunsenovy koeficienty rozpustnosti (α) pro plyny v krvi o tělesné teplotě. Jednotkou rozpustnosti je (ml plynu při standardní teplotě a tlaku)*(ml krve)⁻¹ *(101.3 kPa)⁻¹

| | |
|-----------------|------------------------------|
| CO ₂ | 0.52 |
| CO | 0.018 |
| N ₂ | (Voda: 0.013; Tuk: 0.065) |
| O ₂ | 0.022 |

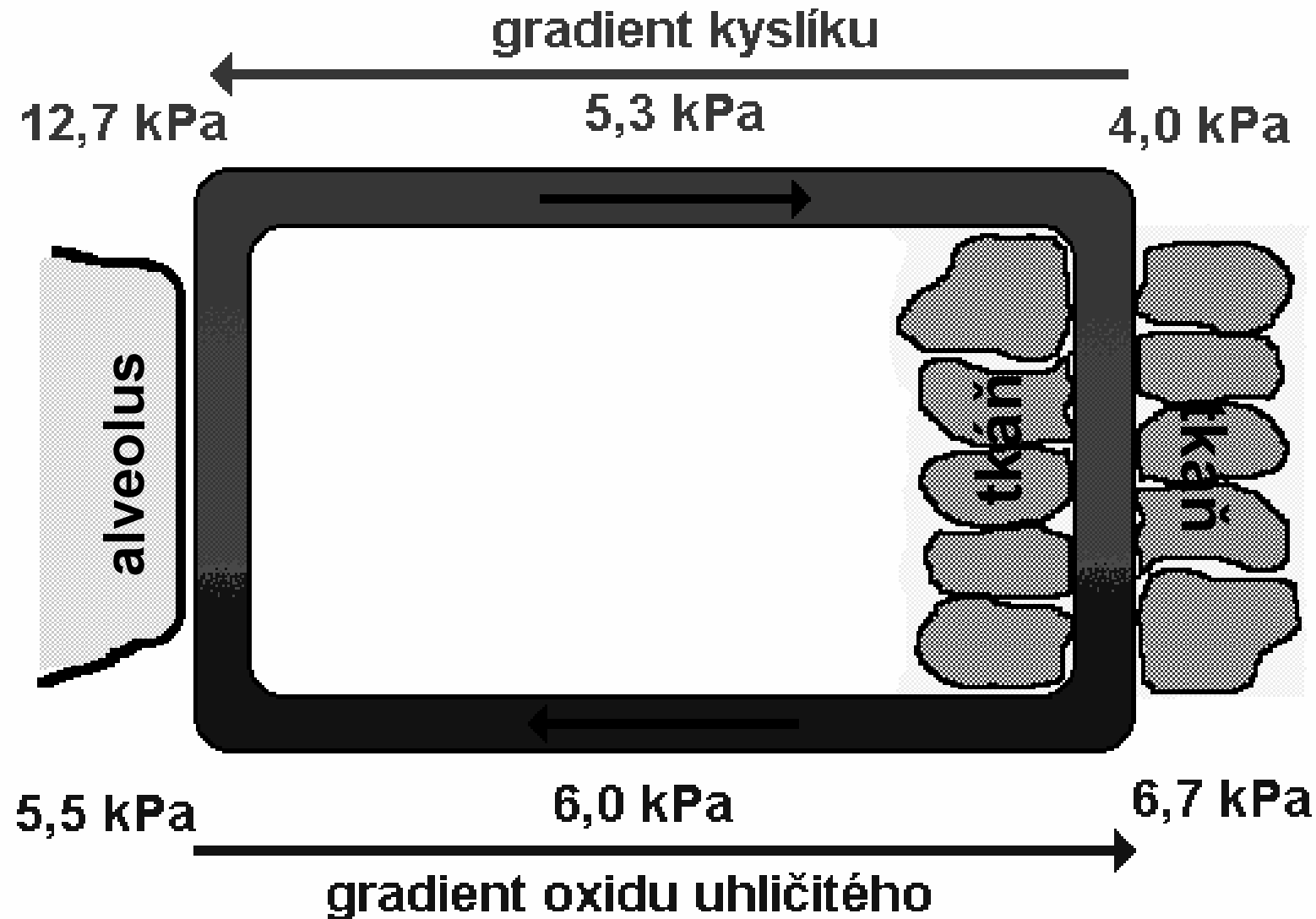
- Molekulové hmotnosti:

$$M_{O_2} = 32$$

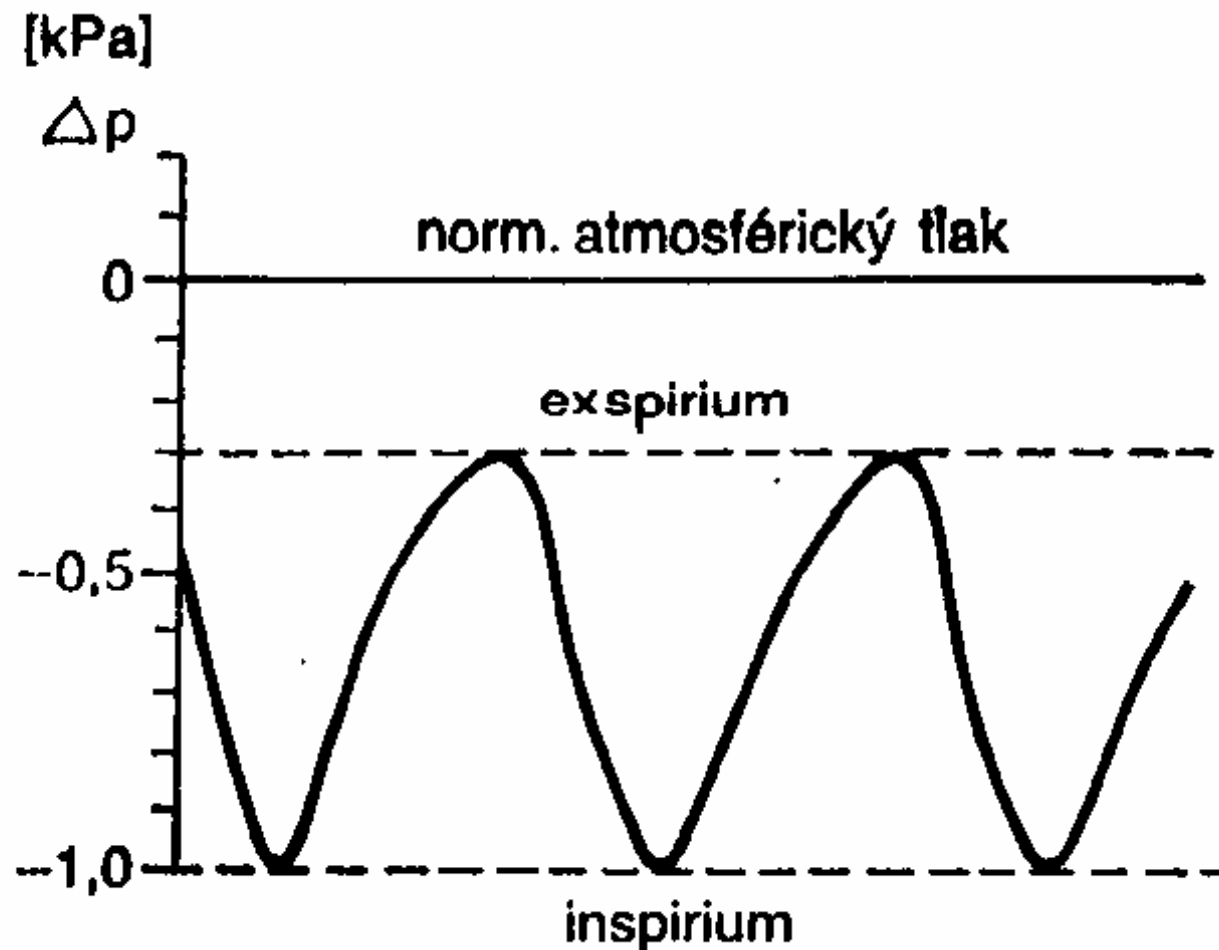
$$M_{CO_2} = 44$$

$$\frac{D_{CO_2}}{D_{O_2}} = \frac{\alpha_{CO_2}}{\alpha_{O_2}} \cdot \sqrt{\frac{M_{O_2}}{M_{CO_2}}} = 20,9$$

Výměna dýchacích plynů



Změny negativního nitrohručního tlaku během dýchání



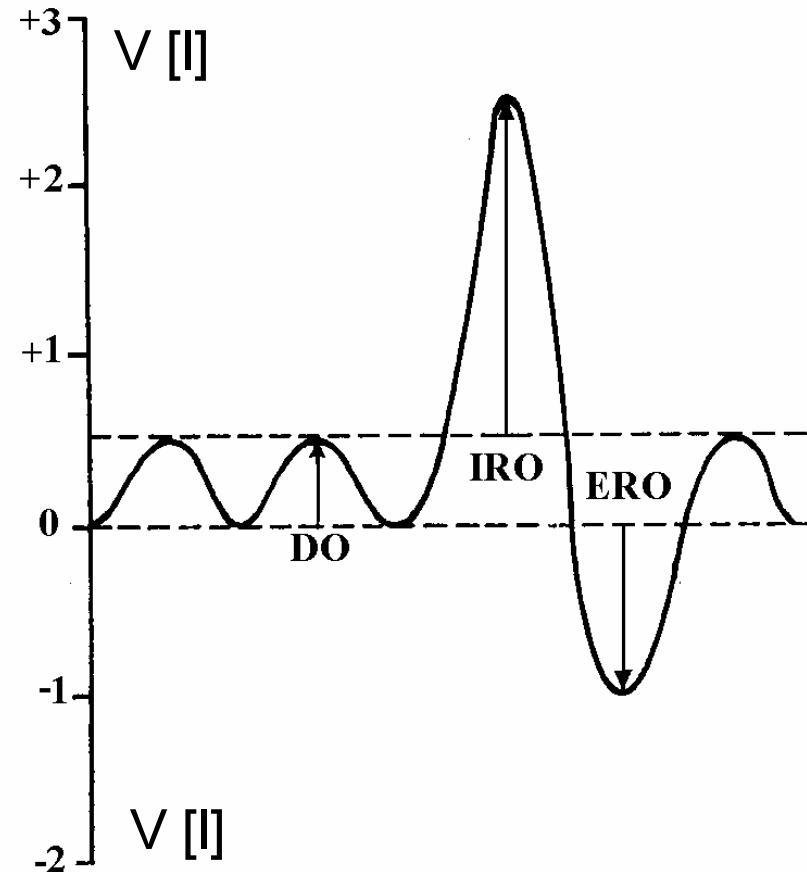
Dechové objemy a kapacity

- vzduch v dýchacích trubicích - mrtvý prostor - 150 ml
- reziduální objem vzduchu v alveolech - RO - 1 l
- expirační rezervní objem - ERO - 1,5 l
- (klidový) dechový objem - DO - 0,5 l
- inspirační rezervní objem - IRO - 2,5 l

- vitální kapacita
 $VK = ERO + DO + IRO$
- funkční reziduální kapacita
 $FRK = RO + ERO$

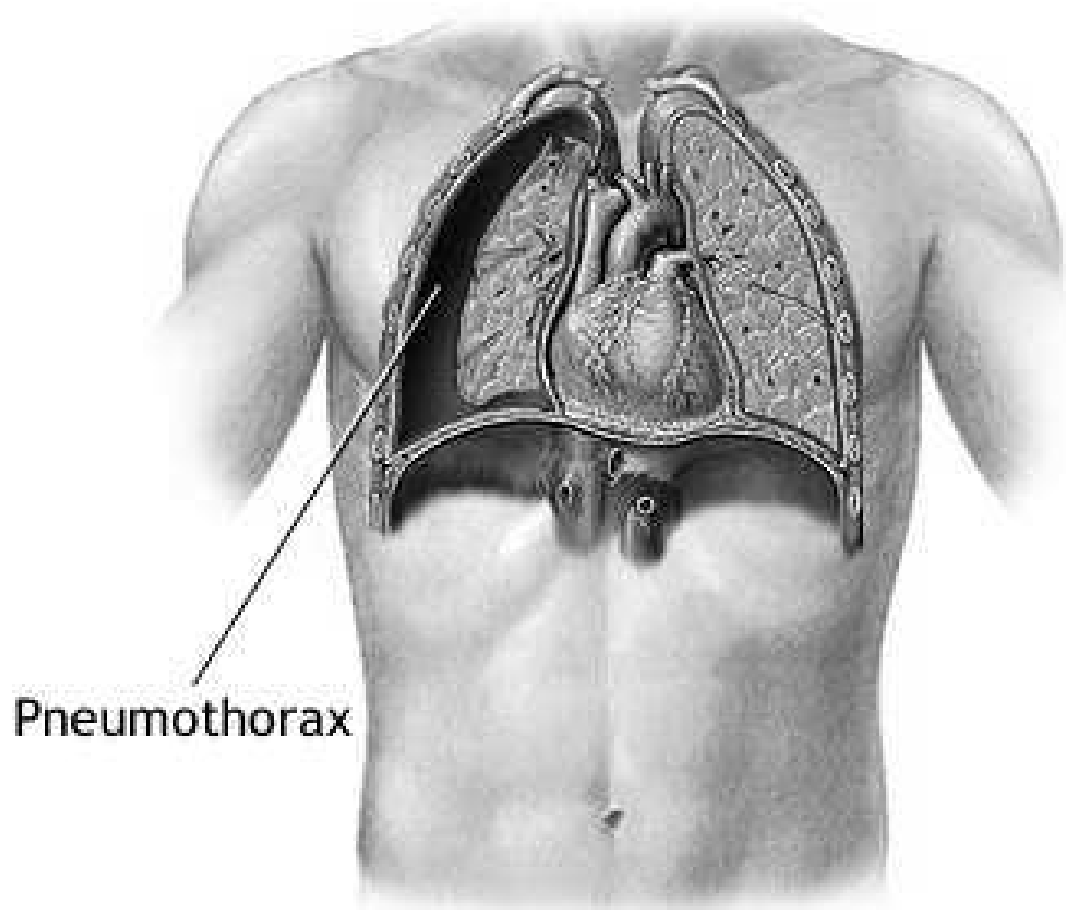
- Mírou ventilace plic je minutový objem

$$MO = DO \cdot f$$



• Idealizovaný spirogram

Pneumothorax



•http://www.pennhealth.com/health/health_info/Surgery/graphics/Pneumothorax_2.jpg

adam.com

Dýchací odpory

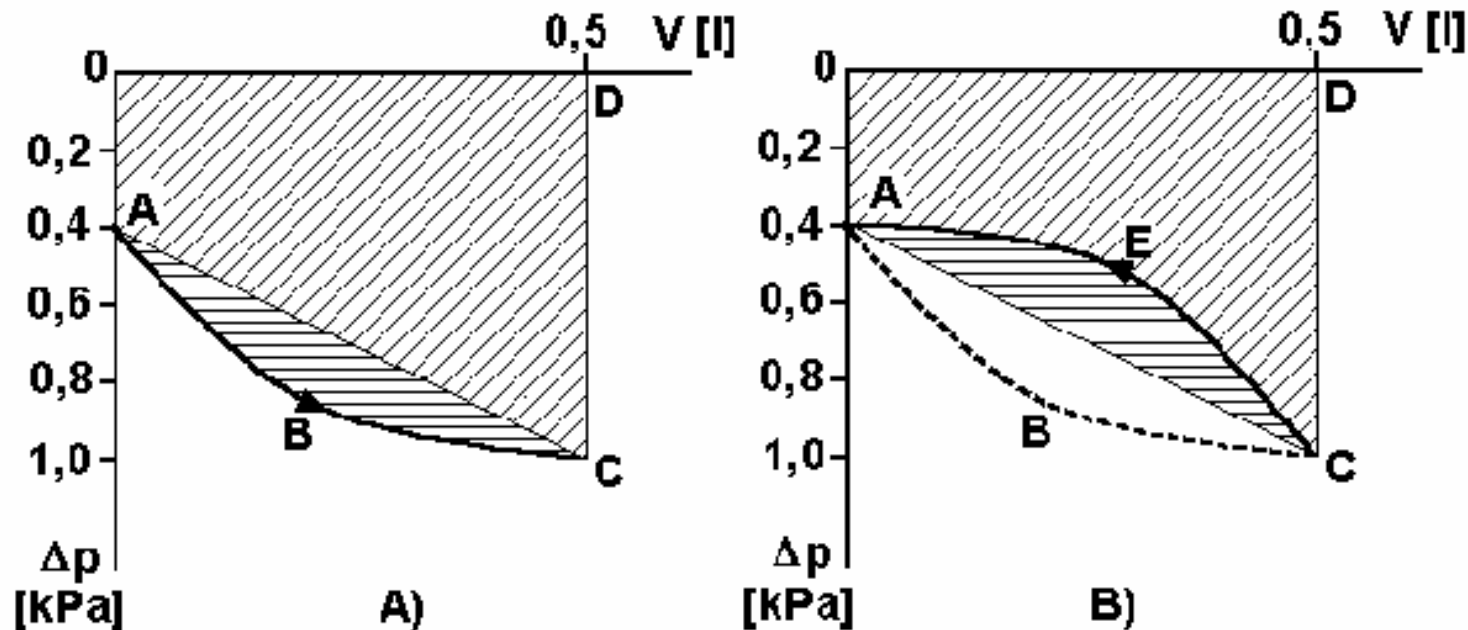
- Elastický odpor plic a hrudníku - dán napětím elastických vláken v plicní tkáni, podobný vliv má povrchové napětí alveolů.
- Neelastický odpor tkání (též tkáňový viskózní odpor). Vzniká třením plicní tkáně, hrudníku, dýchacích svalů a orgánů dutiny hrudní.
- Proudový odpor dýchacích cest - komplex odporů, které kladou vzdušnému proudu dýchací cesty - viskozita, turbulence.

Dýchací práce

- při překonávání souhrnu dýchacích odporů platí:

$$W = p \cdot \Delta V$$

p je rozdíl tlaku nitrohrudního a nitroplicního



- Dýchací práce. A) - při nádechu, B) - při výdechu. Plocha 0ACD0 - elastická práce konaná na úkor energie organismu (při nádechu) nebo pružnými tkáněmi přeměnou potenciální energie (při výdechu). Plocha ABCA je při nádechu aktivní práci proti neelastickému odporu. Plocha ACEA je práci proti neelastickému odporu při výdechu, na úkor potenciální energie nahromaděné při nádechu (podle Pilewského).

Výpočty dýchací práce

při klidovém dýchání:

minutový objem MO = 7 l

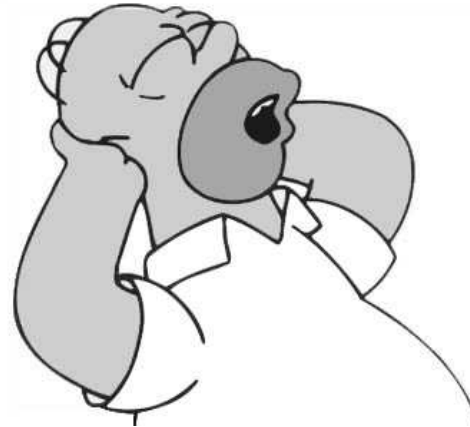
dechová frekvence DF = 14 min⁻¹

tlak p: 0,7 kPa

dechový objem V : 0,5 l (5·10⁻⁴ m³)

práce W = 0,35 J - pro jeden vdech

294 J - za 1 hodinu



při velké zátěži:

MO = 200 l

DF 100 min⁻¹

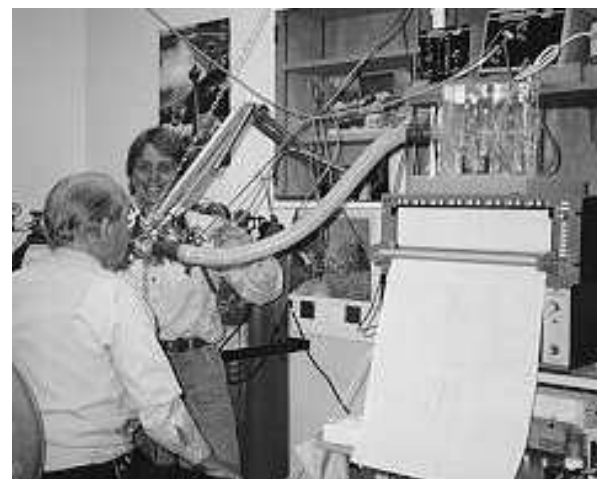
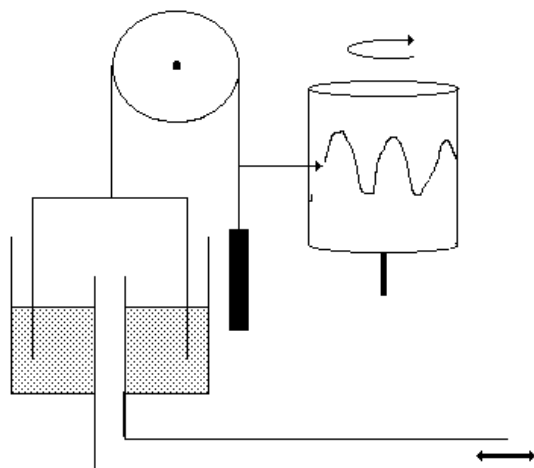
p = 0,7 kPa

V = 2 l (2·10⁻³ m³)

W = 1,4 J - pro jeden vdech

8400 J - za 1 hodinu

Měření dechových objemů - spirografie

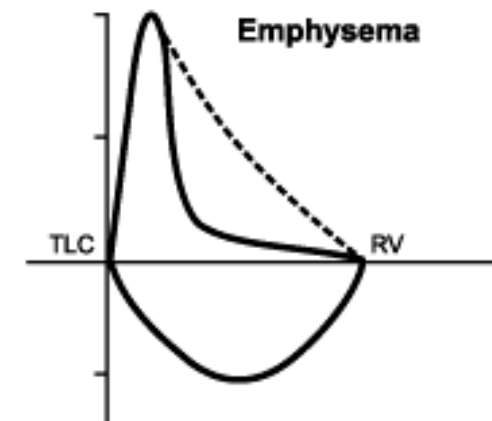
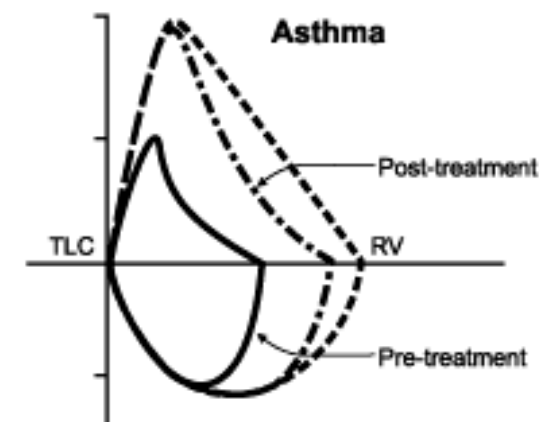
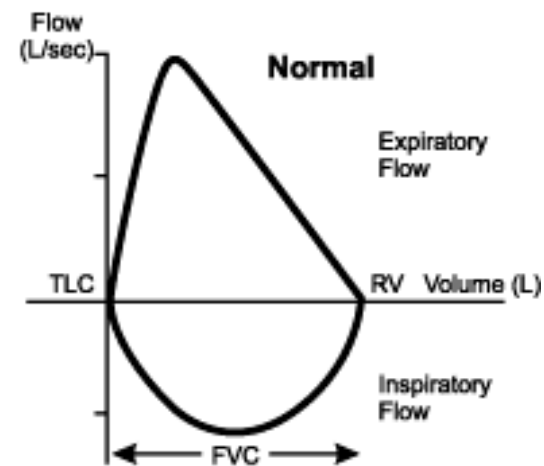
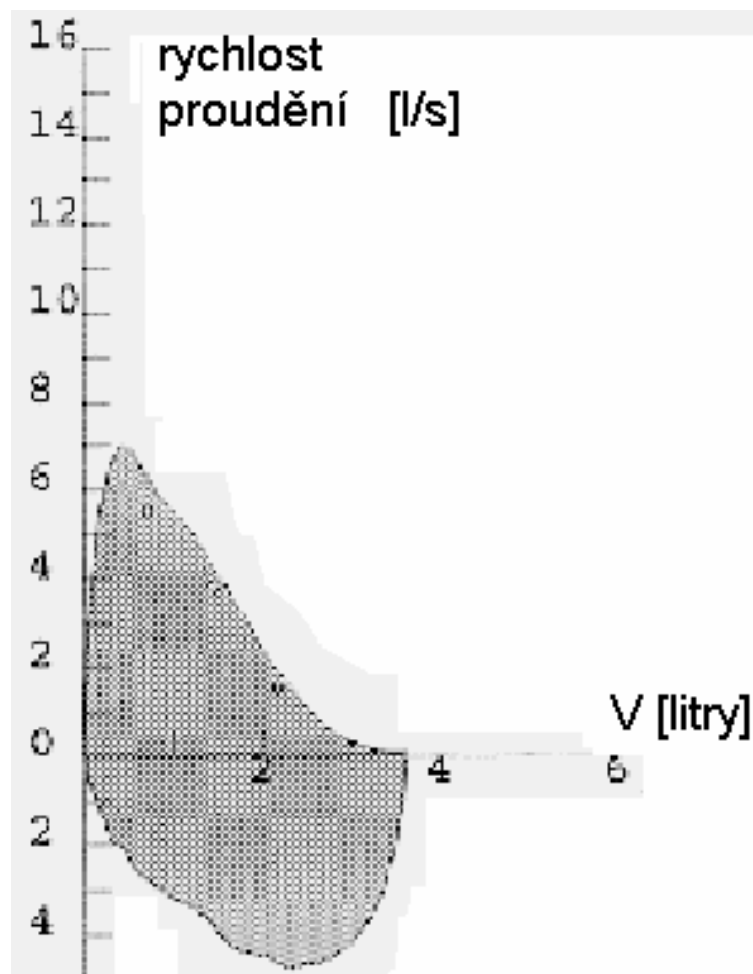


Spirogram

Měříme
závislost
objemu na
čase

nebo

velikosti toku
na dechovém
objemu



Další biofyzikální aspekty dýchání

- Projevy fyzikálních vlastností plic v některých oblastech diagnostiky a terapie:
 - největší plocha kontaktu s vnějším prostředím
 - možnost ovlivnění funkcí organismu prostřednictvím dýchání (hyperventilace)
 - rušivý vliv dýchacích pohybů na diagnostické obrazy
 - negativní kontrast při rtg. vyšetřeních
 - rizika v UZ diagnostice a při litoripsi

Good appetite!

