



Dýchání

Mechanika plicní ventilace

vaclav.hampl@lf2.cuni.cz



<http://fyziologie.lf2.cuni.cz/>



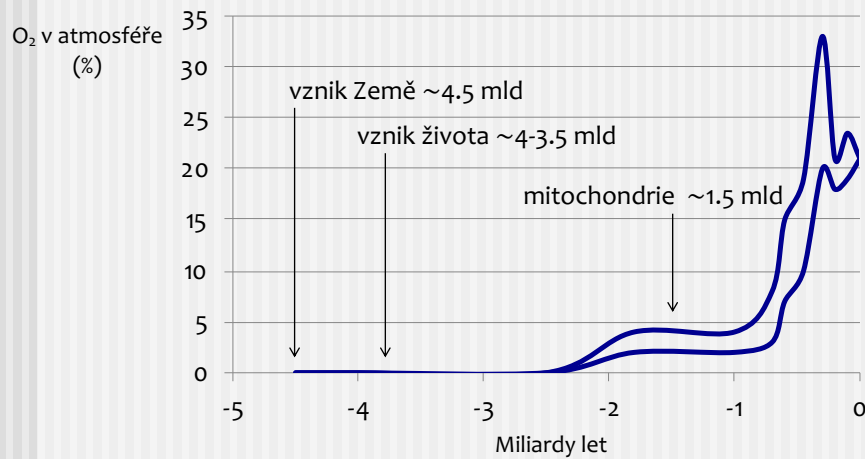
Kyslík

Joseph Priestley 1774

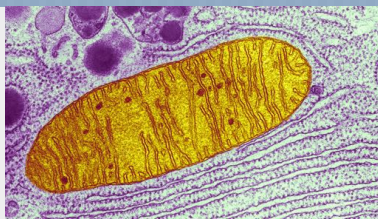
Antoine Laurent Lavoisier



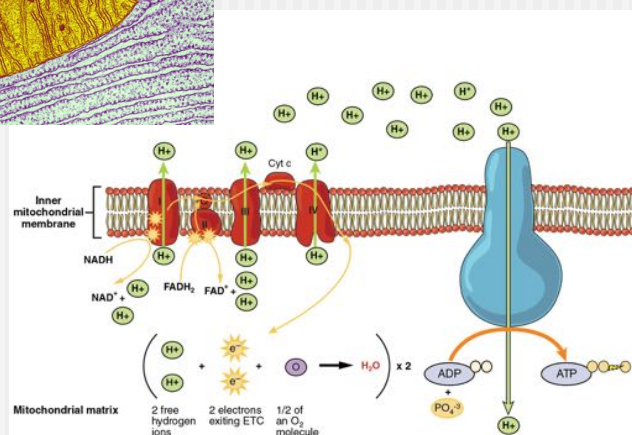
O₂ v atmosféře poměrně nedávno



Mitochondrie



endosymbiosa -1.5 mld let

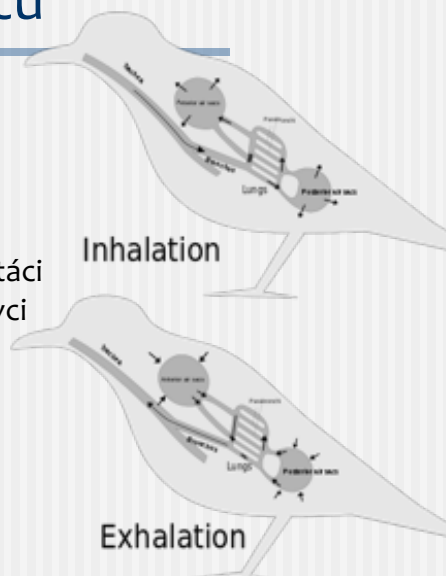


Transport O₂ (a CO₂)

- malé organismy – **difuse**
 - krátká difusní dráha
 - velká plocha vzhledem k objemu
- větší organismy – difuze + vedení (**kondukce**)
- kondukce u vodních organismů – přivádění vody k difusnímu povrchu (O₂ ve vodě << ve vzduchu)
- kondukce u suchozemských obratlovců:
 - dýchání
 - cirkulace

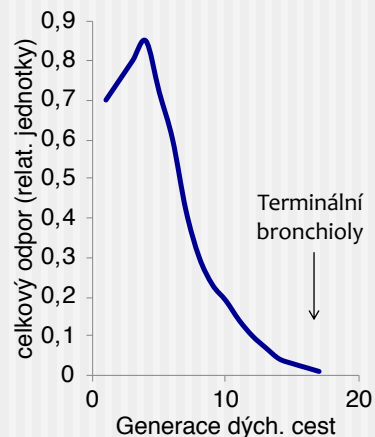
Dýchání obratlovců

- obojživelníci – „polykání“ vzduchu (přetlak) + kůže
- plazi
 - dinosauři – asi jako dnes ptáci
 - ostatní – podobně jako savci
- ptáci – parabronchy + vzduchové vaky (7-9)
- savci - alveoly



Dýchání u savců

- větví se dýchací cesty (celkový odpor ↓)
- alveoly (velký povrch)
- difuze (krátká difusní dráha)
- perfuse
- nádech aktivní (podtlak)
 - bránice, vnější mezižeburní svaly
- klidový výdech pasivní
 - váha hrudníku, elasticita plic



Klidová poloha plic (konec výdechu)

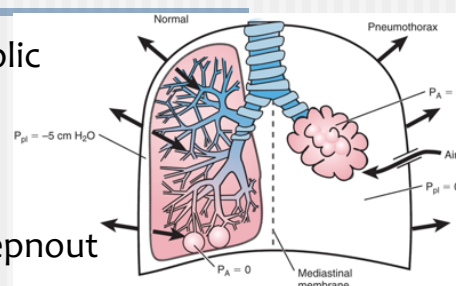
zpětný ráz (elastic recoil) plic

X

tendence hrudníku se rozepnout

↓

mírný podtlak v interpleurálním prostoru ($P_{IP} < P_B$)
 ($P_{IP} \sim -5 \text{ cmH}_2\text{O}$) ($1 \text{ cmH}_2\text{O} \sim 0.75 \text{ mmHg}$)



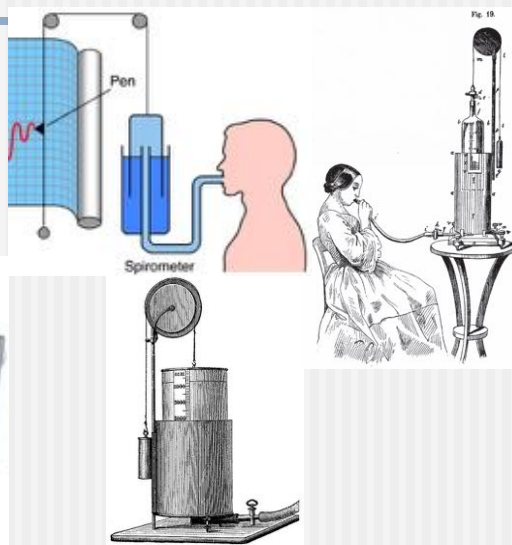
Interpleurální prostor

- tenounký
- vyplněný tekutinou (~8-10 ml)
 - nestlačitelnost – přenos tlaků
- tlak se měří v jícnu
- ze savců chybí jen u slonů (pleury spojeny řídkým vazivem)

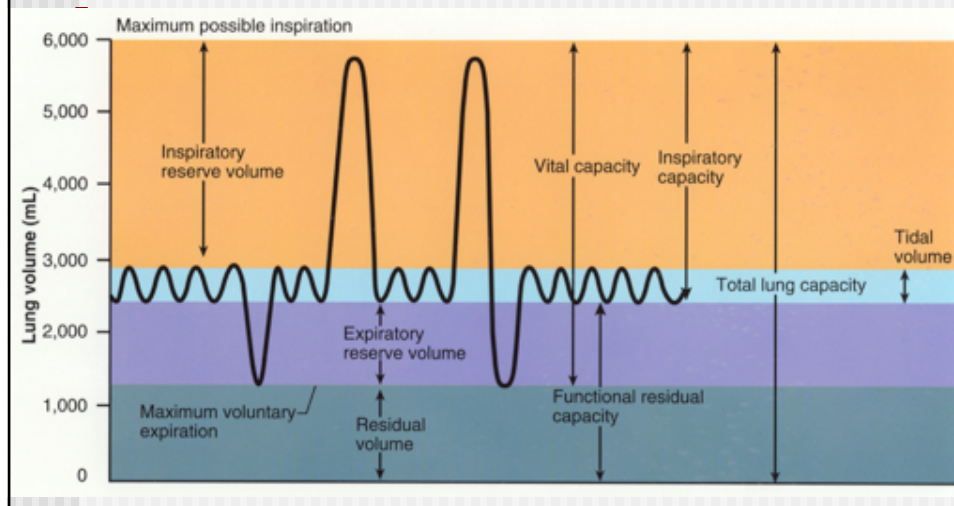


Spirometrie

- Dechové objemy a kapacity
 - $V_T \sim 0.5 \text{ l}$
 - $IRV \sim 2.5 \text{ l}$
 - $ERV \sim 1.5 \text{ l}$
 - $RV < 2 \text{ l}$
 - TLC, VLC, FRC
- Rychlosti dechového proudu

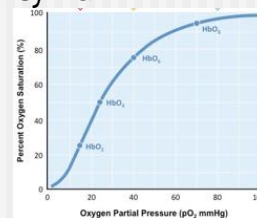
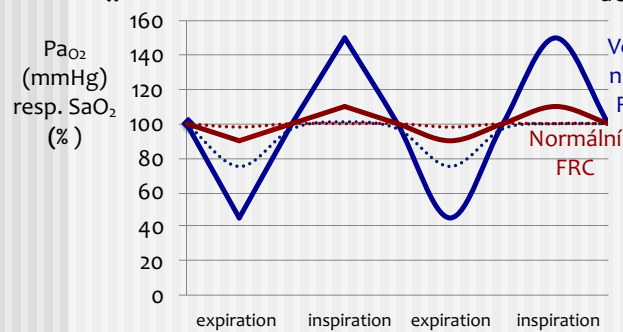


Dechové objemy



Proč RV?

- brání kolapsu dých. cest a alveolů (→ poddajnost)
- vyrovnává výkyvy v P_{aO_2} během dech. cyklu (perfuse stálá → relat. stabilní P_{aO_2})



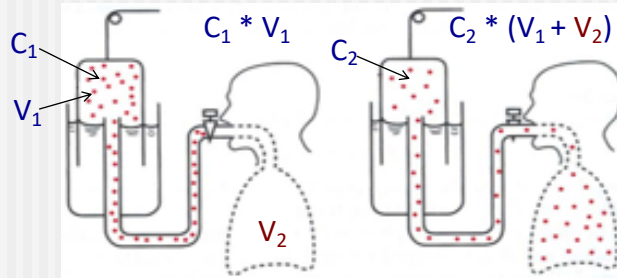
- Proto hyperventilujeme spíše zvýšením inspirace
- Air-trapping (vzduch v plicích i při $P=0$) - větší AW kolabují při vyšším tlaku než menší)

Měření FRC

■ $c_1 \times V_1 = c_2 \times V_2$ (= množství)

■ He diluce

- dýchání z a do pytle se známou počáteční [He]



■ vymývání N2

- dýchání ze zásoby O₂, vydechování do prázdného pytle

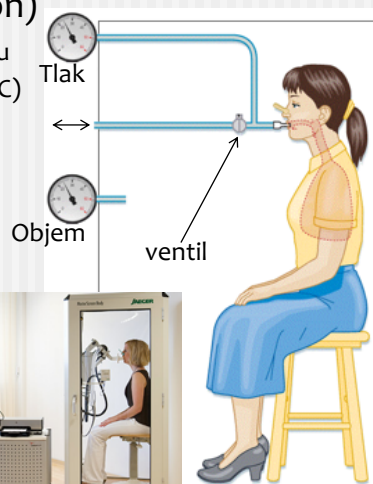
■ po klidném výdechu: FRC

■ po max výdechu: RV

Měření FRC - pletysmograf

■ $P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$ (Boyleův zákon)

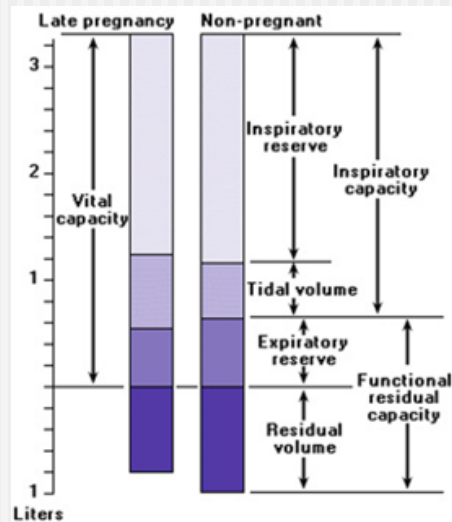
- dýchání zvenku při otevřeném ventilu
- P_1 a V_1 na konci klid. výdechu ($V_1 = \text{FRC}$)
- uzavření ventilu
- malý pokus o nádech ($\rightarrow \Delta V, \Delta P$)
- P_2 a V_2 ($P_1 - \Delta P$; $V_1 + \Delta V$)
- $P_1 \times \text{FRC} = (P_1 - \Delta P) \times (V_1 + \Delta V)$
- $\text{FRC} = \Delta V \times [(P_1 - \Delta P) / \Delta P]$



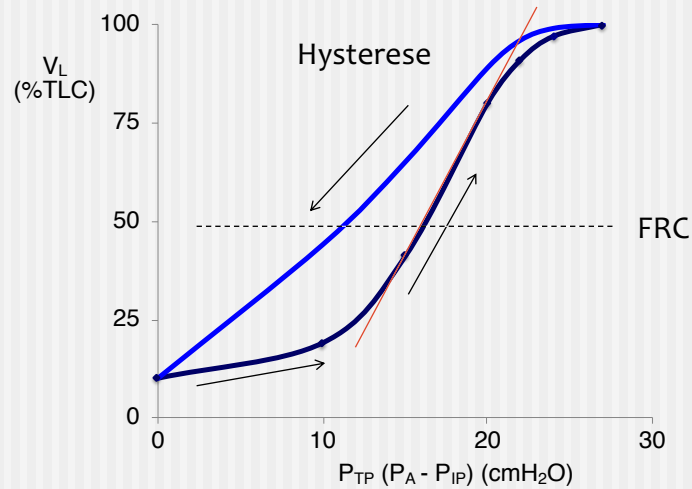
■ po max výdechu: RV



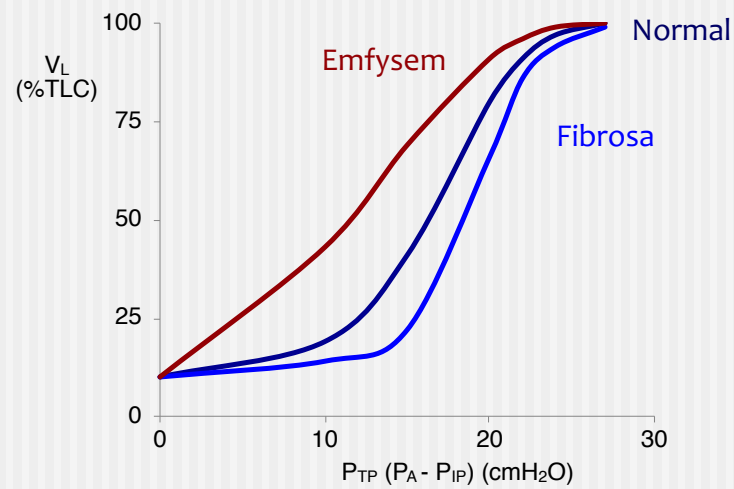
FRC ↓ v těhotenství



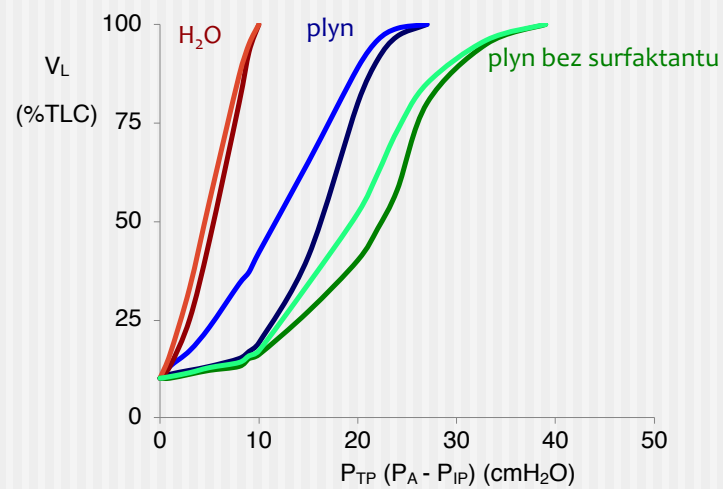
Statická poddajnost (compliance)



Statická poddajnost (compliance)

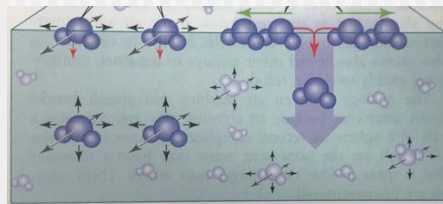


Statická poddajnost a povrchové napětí



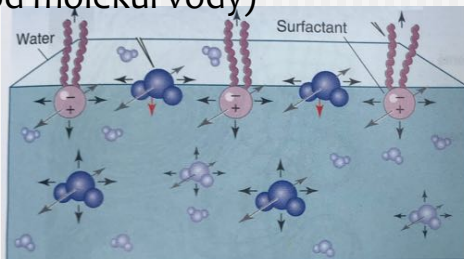
Povrchové napětí

- uvnitř vody na sebe molekuly působí stejně ve všech směrech – vynuluje se to
- na povrchu jen zespodu a z boku – vtahování dovnitř → laterální tah
- na povrchu bubliny jako svěrací kazajka – zvyšuje tlak uvnitř, to brání dalšímu ↓r
- LaPlaceův zákon: $P = 2T/r$
- proto se menší bublina přelije do větší ($T_1/r_1 = T_2/r_2$)



Surfaktant: Alveolární buňky II. typu

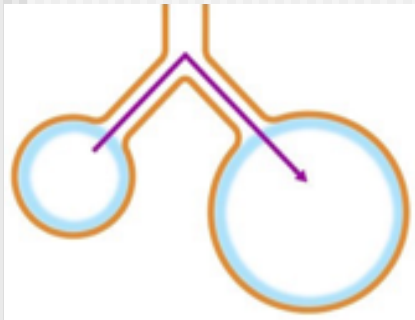
- amfifilní - hydrofobní & hydrofilní skupiny
- hydrofobní skupiny vyčnívají z vodné fáze – táhnou i ven (na rozdíl od molekul vody)
- proteiny ~10%
 - plasmatické (1/2)
 - apolipoproteiny (surfaktantové proteiny SP-A, SP-B, SP-C, SP-D)
- 85% lipidů jsou fosfatidylcholiny
 - nejvíc dipalmitoylfosfatidylcholin (DPPC)
 - fosfatidylglycerol - 11% lipidů



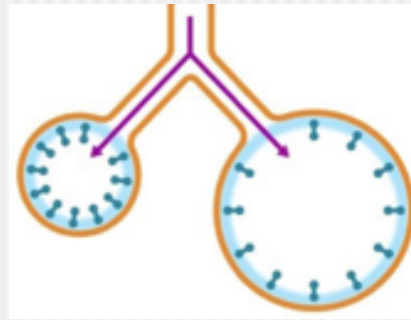
Surfaktant brání kolapsu alveolů

$$P = 2T/r \rightarrow T_1/r_1 = T_2/r_2$$

bez surfaktantu

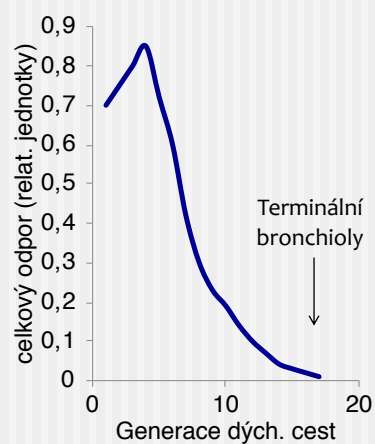


se surfaktantem

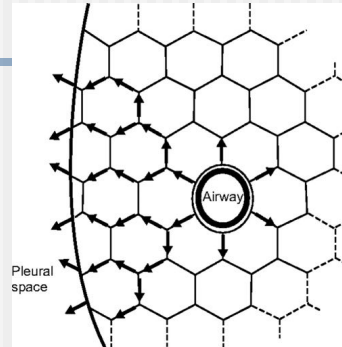
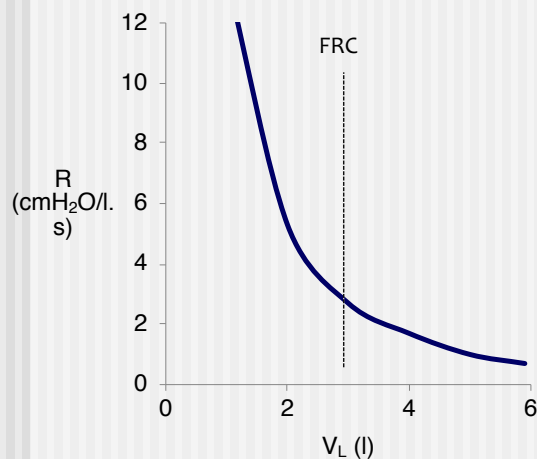


Odpor dýchacích cest

- $\dot{V} = (P_A - P_B)/R$
- $R = (8/\pi) \times (v \times l)/r^4$
(Hagen-Poiseulle)
- $R = (P_A - P_B)/\dot{V}$
= odpor dých. cest
(+20% je odpor tkáně - frikce plic. a hrudní tkáně, když se vůči sobě pohybují)



Odpor dých. cest závisí na objemu plic



$\uparrow r$ dých. cest při $\uparrow V_L$
(provázanost tkáně)

$\uparrow R$ při výdechu
(kolaps bronchiol)

Regulace odporu dých. cest

- vagus – bronchokonstrikce
- sympatikus – β_2 dilatace (NA slabý agonista, adrenalin silný agonista)
- histamin - bronchokonstrikce

Statická a dynamická složka P_{IP}

- $P_{TP} = P_A - P_{IP}$
- $P_{IP} = P_A - P_{TP}$
- P_{TP} určuje V_L (spolu s poddajností - statická složka)
- P_A určuje Q (s odporem a P_B - dynamická složka)

Energie ΔP_{IP} investována:

- zčásti a přechodně do P_A (\rightarrow flow)
- zbytek do P_{TP} ($\rightarrow \uparrow V_L$)

