

Dýchání:

Ventilace, výměna plynů v plicích

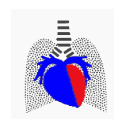
vaclav.hampel@lf2.cuni.cz

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

<http://vh.cuni.cz>



UNIVERZITA KARLOVA
2. lékařská fakulta



„I vytvořil Hospodin Bůh člověka, prach ze země, a **vdechl** mu v chřípí **dech** života. Tak se stal člověk **živým** tvorem.“
(Genesis 2, 7)

„A Hospodin Bůh utvořil z **žebra**, které vzal z člověka, ženu a přivedl ji k němu.“
(Genesis 2, 22)



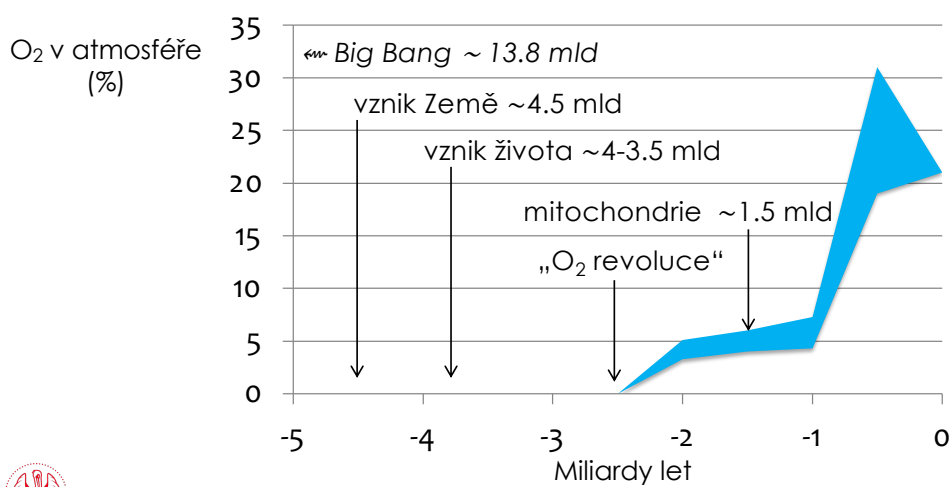
Kyslík

Joseph Priestley 1774

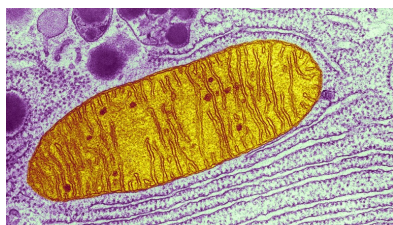
(Antoine Laurent Lavoisier ?)



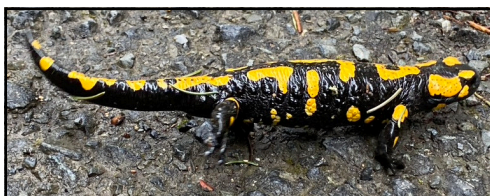
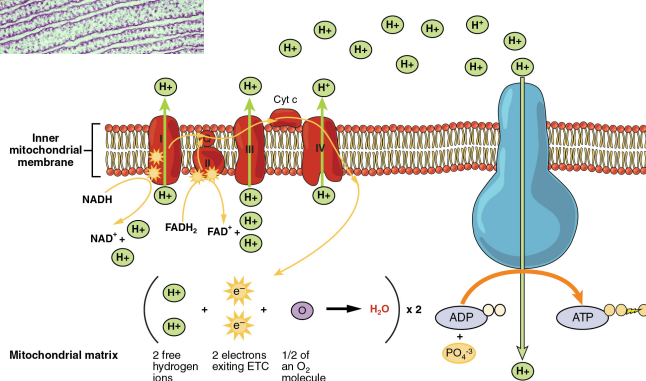
O₂ v atmosféře poměrně nedávno



Mitochondrie



endosymbiosa - 1.5 mld let



Dýchání obratlovců

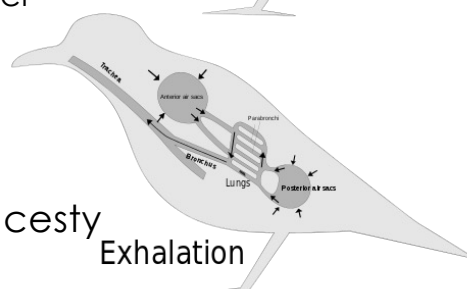
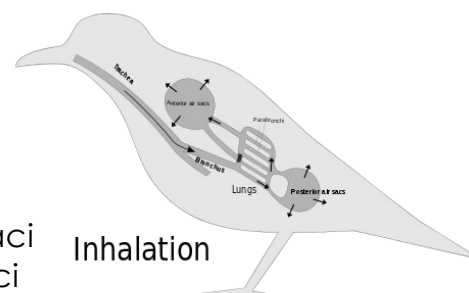
- obojživelníci – „polykání“ vzduchu (přetlak) + kůže



- plazi
 - dinosauři – asi jako dnes ptáci
 - ostatní – podobně jako savci

- ptáci – parabronchy + vzduchové vaky (7-9)

- savci – alveoly + dýchací cesty



Transport plynů v plicích určují

- Plicní ventilace
 - jak se O_2 a CO_2 dostanou k alveolokapilární membráně
 - co určuje množství plynu, které se vymění mezi atmosférou a alveoly
 - mrtvý prostor
 - funkční reziduální kapacita (FRC)
- Plicní difúze
 - určuje přechod O_2 a CO_2 přes alveolokapilární membránu
- Plicní perfúze
 - jak je krev nasycená O_2 , s malým obsahem CO_2 , z plic odváděna do periferních tkání a přiváděna krev venózní
- Poměr mezi plicní ventilací a perfúzí

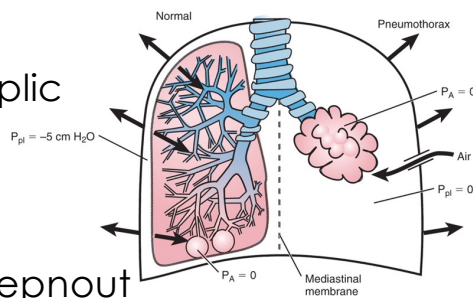


Klidová poloha plic (konec výdechu) = FRC (RV + ERV)

zpětný ráz (elastic recoil) plic

X

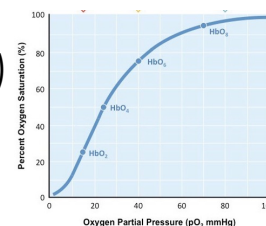
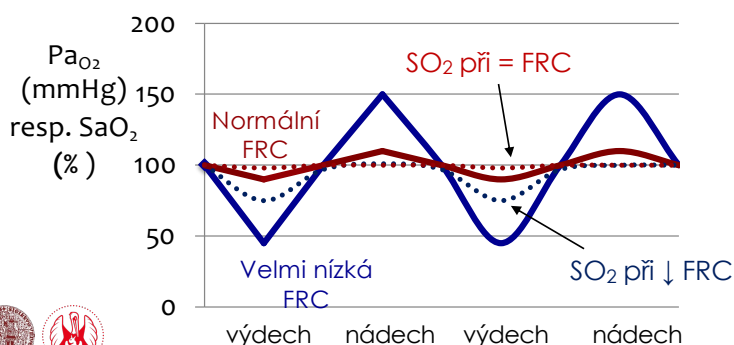
tendence hrudníku se rozepnout



FRC ~ 2 l (vs. 0.5 l dech. objem)

Proč FRC/RV?

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



Proto hyperventilujeme spíše zvýšením inspirace



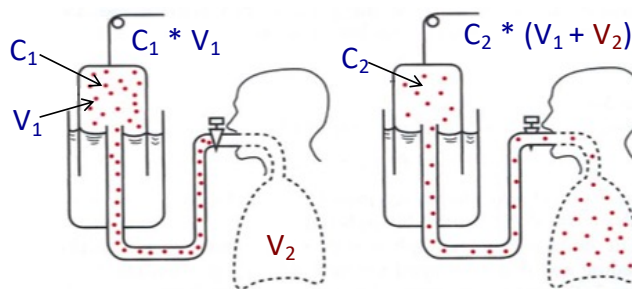
Měření FRC

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

- He diluce

(uzavřená metoda)

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



- vymývání N_2

(otevřená metoda)

- nadechování ze zásoby O_2 , vydechování do spirometru
- množství N_2 : $C_P \times FRC = C_S \times V_S$ (C_P = počáteční, C_S a V_S = ve spirometru)



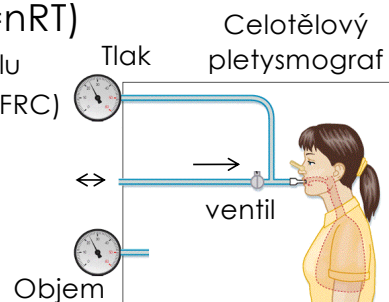
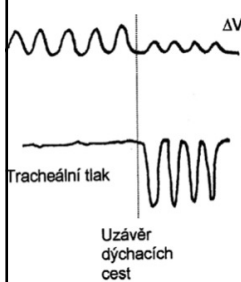
- po klidném výdechu: FRC

- po max. výdechu: RV

Měření FRC - manometrická metoda

■ $P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$ (Boyleův zákon)
(resp. stavová rovnice: $PxV=nRT$)

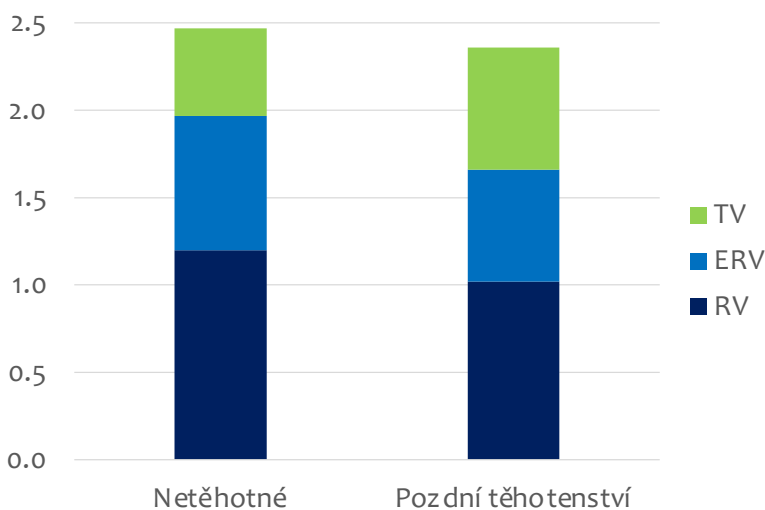
- dýchání zvenku při otevřeném ventilu
- P_1 a V_1 na konci klid. výdechu ($V_1 = \text{FRC}$)
- uzavření ventilu
- malý pokus o nádech ($\rightarrow \Delta V, \Delta P$)
- P_2 a V_2 ($P_1 - \Delta P; V_1 + \Delta V$)
- $P_1 \times \text{FRC} = (P_1 - \Delta P) \times (V_1 + \Delta V)$
- $\text{FRC}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

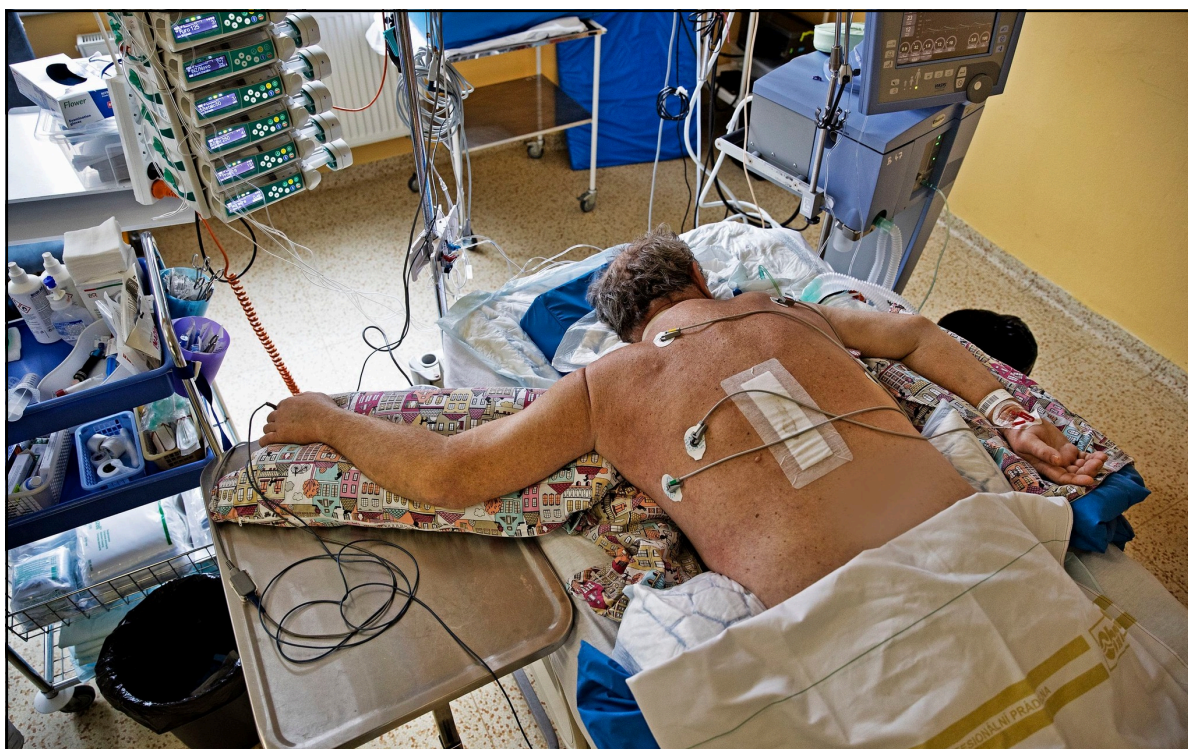
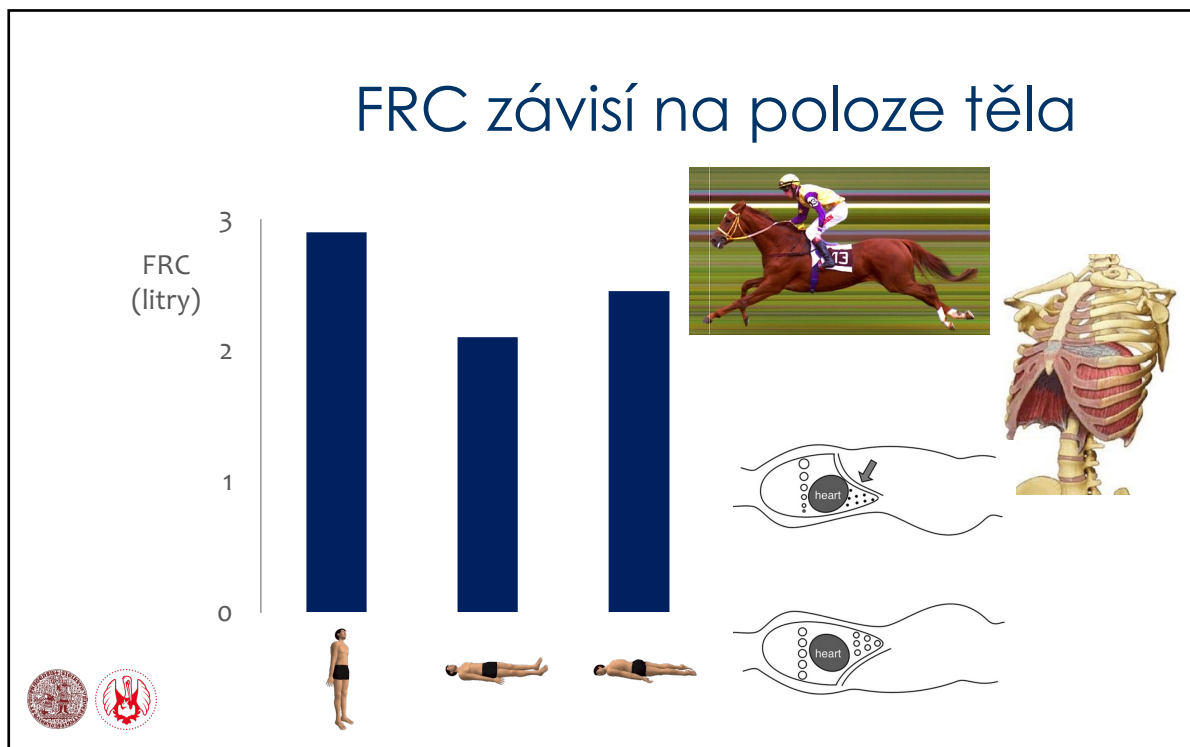


■ po max výdechu: RV

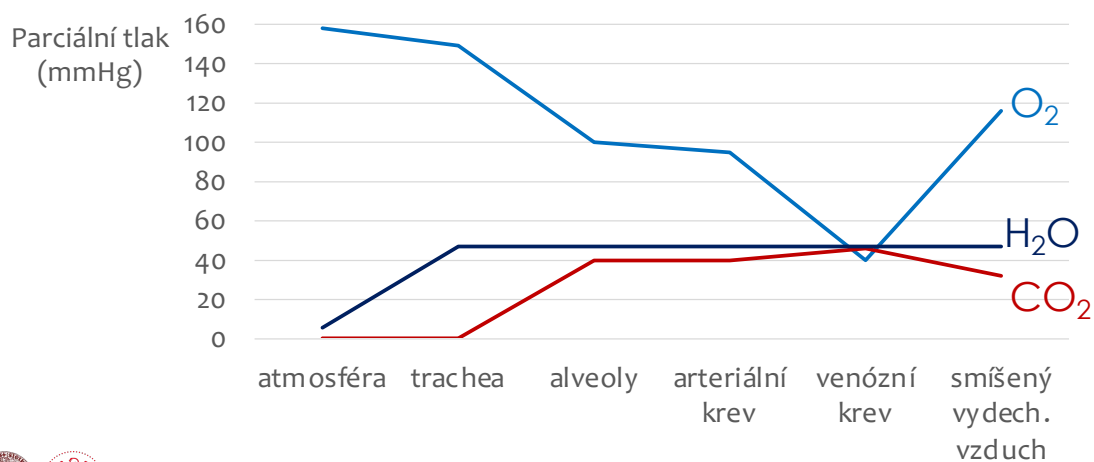


FRC ↓ v těhotenství



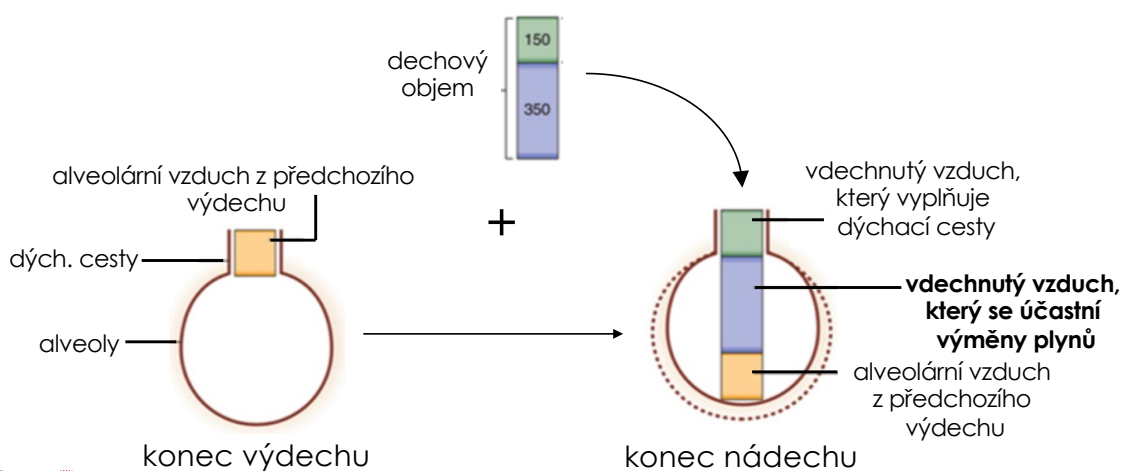


Parciální tlaky v jednotlivých částech respiračního systému



výkyvy během dechového cyklu malé - FRC

Mrtvý prostor



Mrtvý prostor (V_D)

- **objem, který je**
 - ventilovaný,
 - ale neúčastní se výměny plynů

- anatomický
- funkční



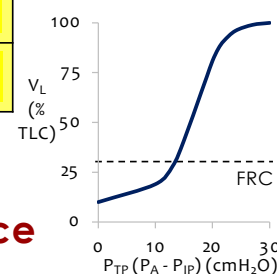
Ventilace anatomického mrtvého prostoru (\dot{V}_D)

- Část minutové ventilace ($\dot{V} = V_T \cdot f$) provětrává jen mrtvý prostor, kde není výměna plynů
 - $\dot{V}_D = V_D \times f$
- Velký V_D omezuje při zachování \dot{V} alveolární ventilaci \dot{V}_A
 - $\dot{V}_E = \dot{V}_D + \dot{V}_A$



Efektivní ventilace závisí na frekvenci a dechovém objemu

Minutová ventilace ml/min	Dechový objem ml	Frekvence c/s	Alveolární ventilace ml/min	Ventilace anat. mrtvého prostoru ml/min	Efektivní ventilace %
8000	500	16			

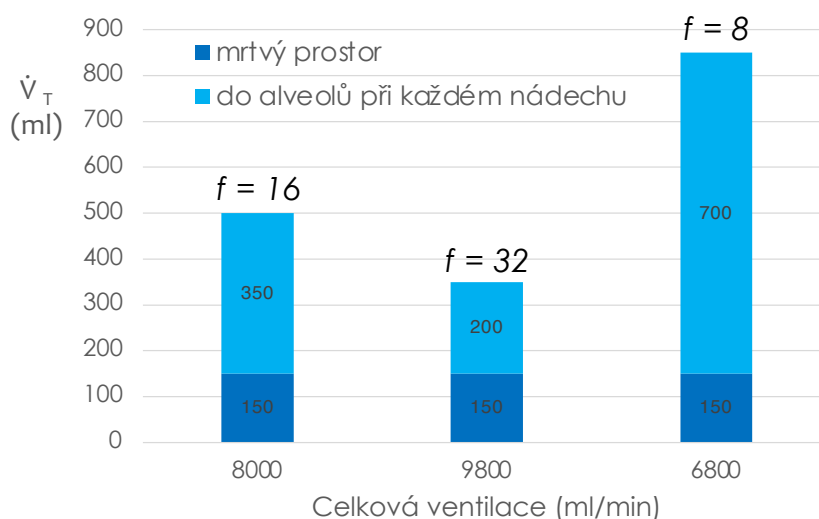


Proč nedýchat minimální frekvencí?



Dechová práce

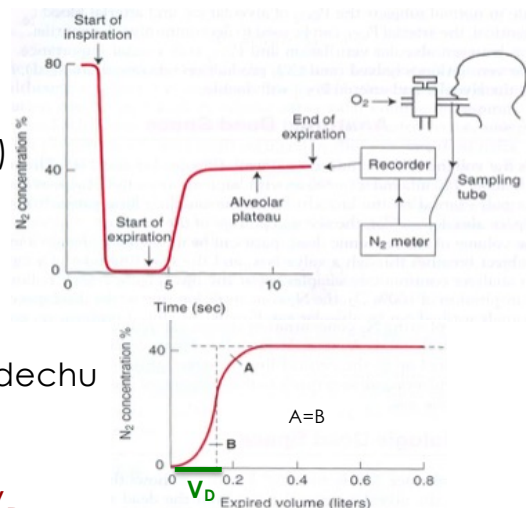
Kalkulačka efektivní ventilace



efektivní ventilace stále 5.6 l/min

Měření objemu V_D : Fowler

- single-breath N_2 washout
 - nádech 100% O_2 (0% N_2)
 - při výdechu nejdřív 0% N_2 z V_D , pak směs
- exhalovaný $[CO_2]$
 - prakticky 0% CO_2 při nádechu



Jen anatomický V_D

Měření mrtvého prostoru: Bohr

smíšený exhalovaný CO_2 (P_{ECO_2}) = CO_2 z V_D + CO_2 z V_A

→ čím $\uparrow V_D$ tím víc CO_2 z V_D (=0) „ředí“ CO_2 z V_A

$V_D/V_T = (P_{ACO_2} - P_{ECO_2}) / P_{ACO_2}$ (Bohrova rovnice)

P_{ACO_2} – konec výdechu (nebo P_{aCO_2})



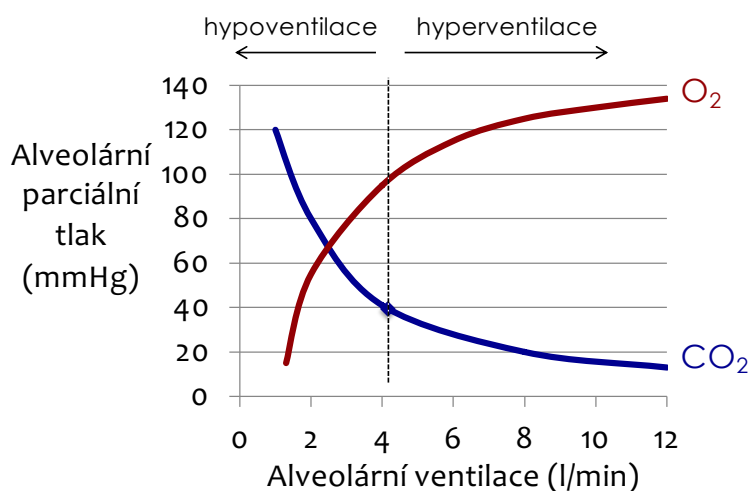
Anatomický i alveolární V_D

Alveolární ventilace musí odstranit všechno CO₂ vytvořený v těle

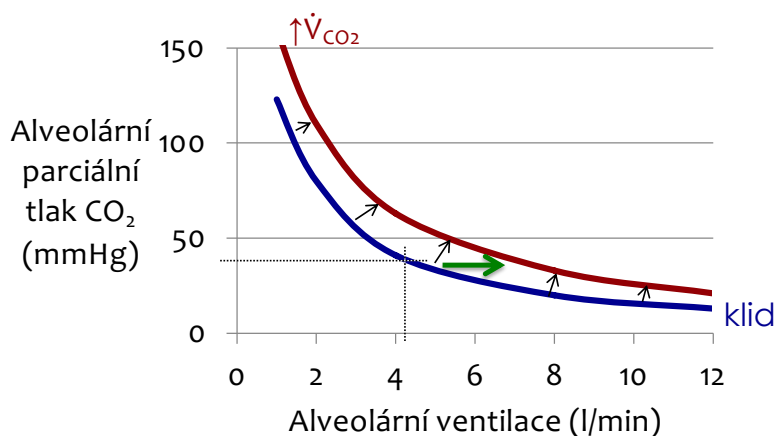
- v klidu $\dot{V}_{CO_2} \sim 200$ ml/min
- $\dot{V}_A \sim 4200$ ml/min (350 x 12)
↓
- 200 ml CO₂ v 4200 ml alveol. plynu → ~5%
- $\dot{V}_A = K \times \dot{V}_{CO_2} / P_{ACO_2}$ (K = 0.863)
(rovnice alveolární ventilace)
- možnost měřit \dot{V}_A ($P_{ACO_2} \sim P_{aCO_2}$)



Alveolární P_{CO₂} nepřímo úměrné alveolární ventilaci (respir. hyperbola)



K udržení P_{ACO_2} při $\uparrow \dot{V}_{CO_2}$ musí $\uparrow \dot{V}_A$



Měření D_L

- CO místo O_2
- D_L podobná O_2 (koeficient)
- $P_{vCO} = 0$
- $D_{LCO} = \dot{V}_{CO} / (P_{ACO} - P_{vCO})$
- úbytek CO z alveolárního vzduch během zadržetí dechu

