

Respirační systém I

(mechanika dýchání, vitální kapacita,
transport plynů)

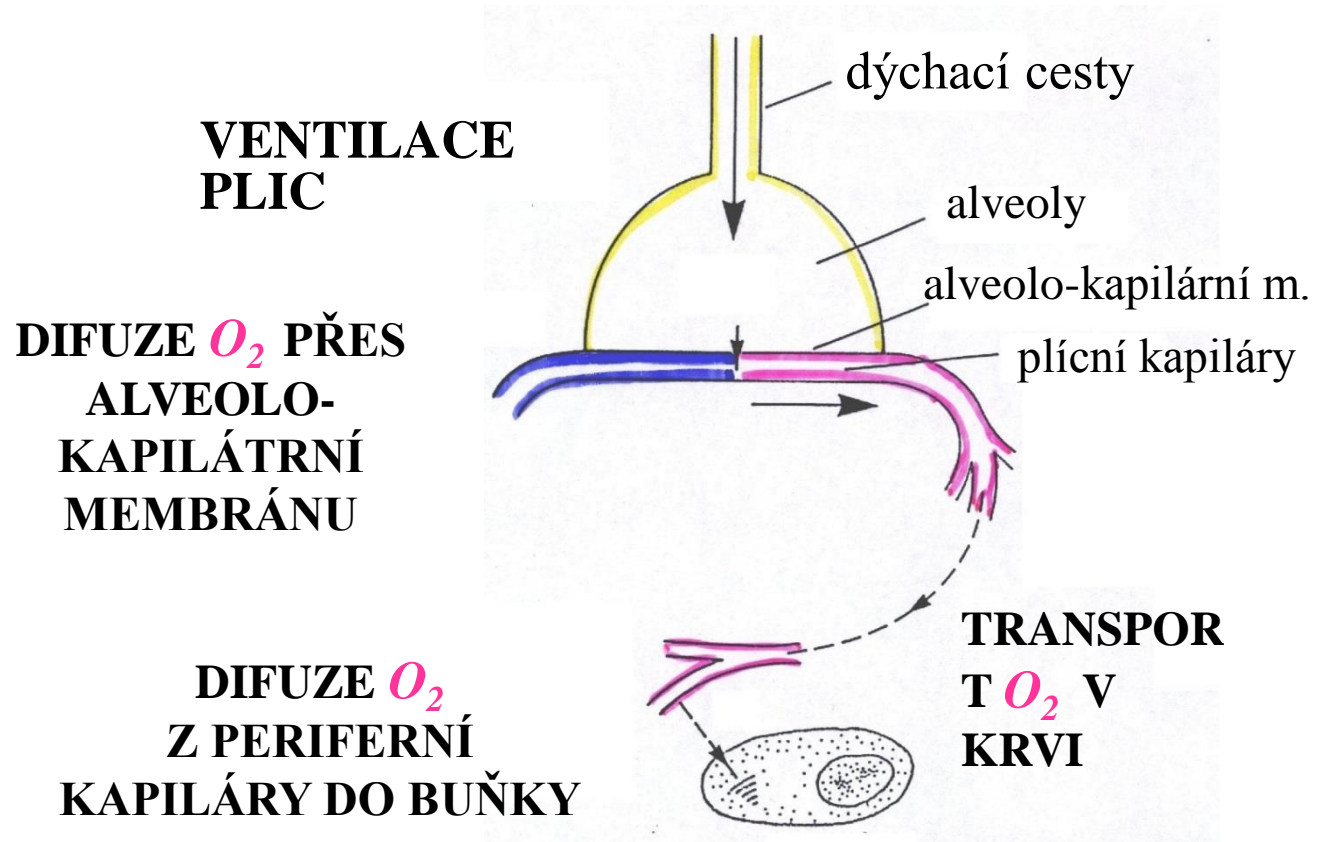
Dýchání

Soubor procesů sloužící k výměně dýchacích a krevních plynů

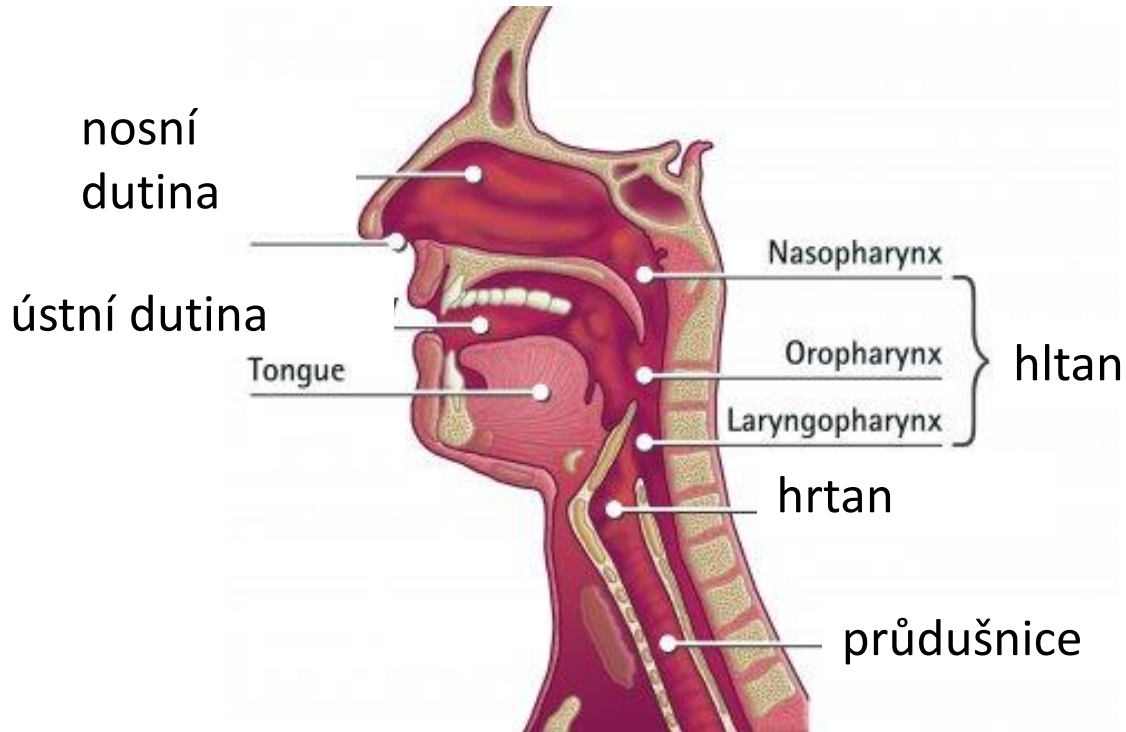
- mezi vnějším prostředním a plicemi – vnější dýchání
- mezi krví a tkání – vnitřní dýchání

Vnější dýchání zahrnuje – ventilaci, distribuci a difuzi plynů

- aby bylo účinné, musí na to navazovat perfúze (prokrvení) plic



Morfologie – horní dýchací cesty



Stavba:

nosní dutina, nosohltan, hrtan, (vedlejší nosní dutiny, ústní dutina)

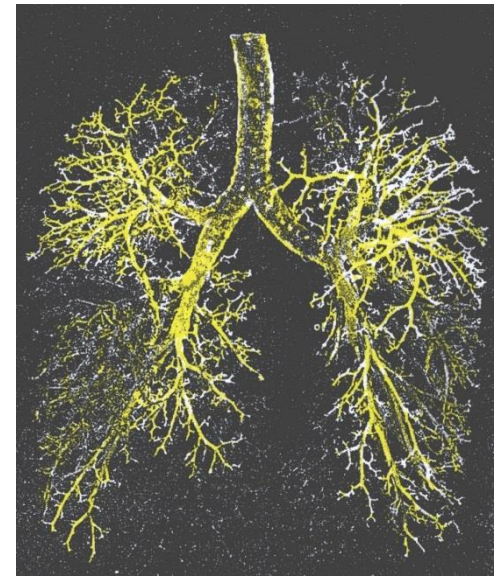
- Bohatě prokrvené a inervované
- **Funkce** senzitivní, ochranná (filtrace, ochranné reflexy), ohřívání a vlhčení vdechovaného vzduchu, hlasová

Morfologie – dýchací cesty

- Průdušnice (trachea) – průřez 2,5 cm²

Dichotonické větvení – jedna průduška se dělí na dvě

- Průdušky (bronchi)
 - 2 hlavní (1. generace dělení)
 - 5 sekundárních (2. generace)
 - 18 terciálních (3. generace)
 - 4. generace průdušek
 -
- Průdušinky (bronchioly)
- Bronchioly terminales (cca 16. generace)
celkový průřez 500 cm²
- Bronchioly respiratory
- alveolární kanálky
- Alveolární kapsy
- Plicní alveoly (22. – 23. generace)



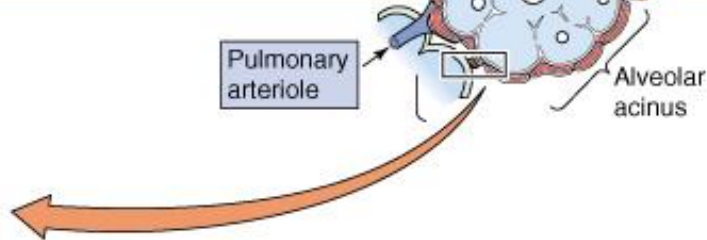
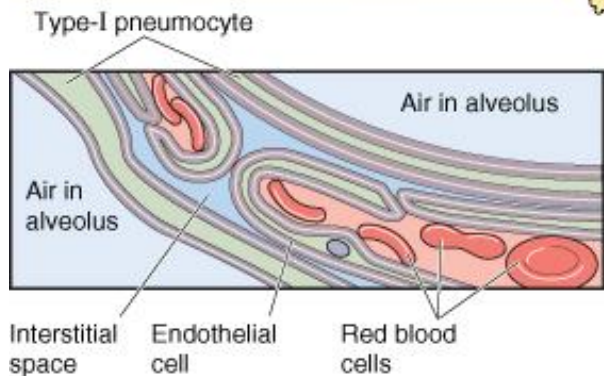
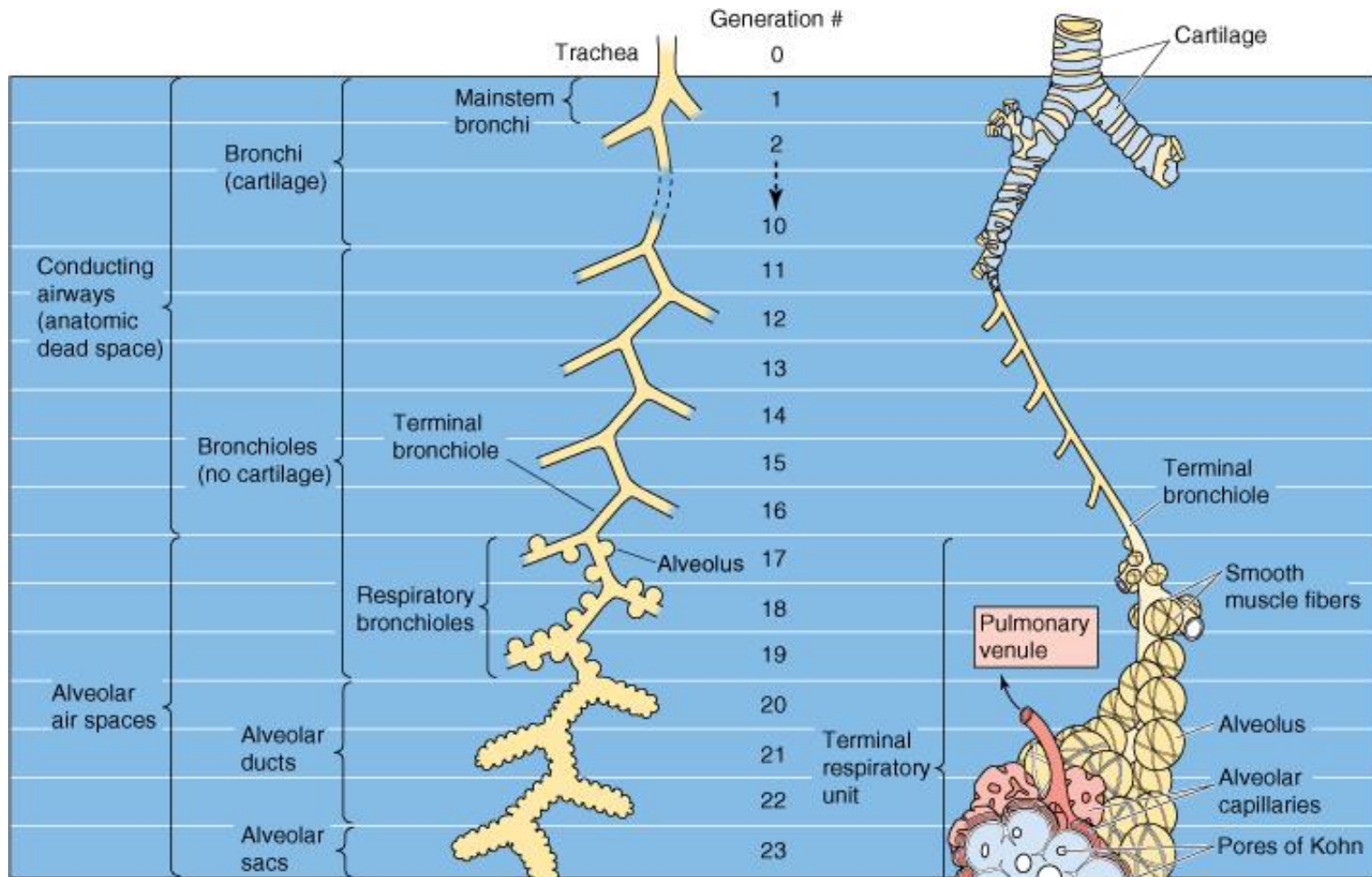
Konduktivní zóna

- transport a úprava
vzduchu (ohřátí,
zvlhčení, čištění)

Asinus, pechodná a respirační zóna

- výměna dýchacích plynů

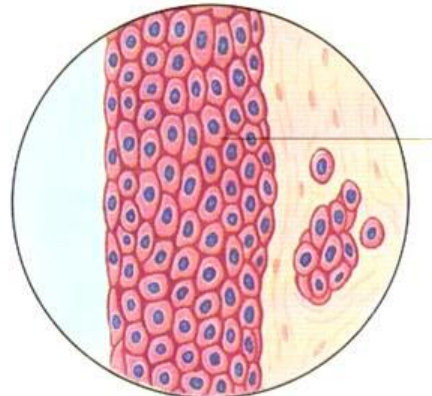
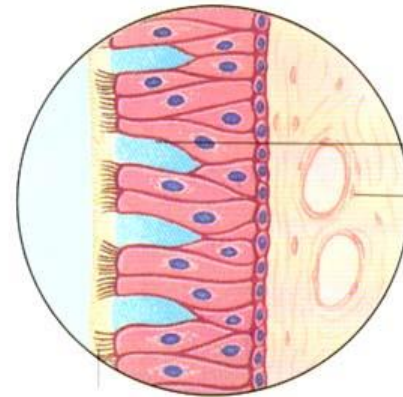
Základní jednotka plicní tkáně: plicní lalůček (acinus)



Dýchací cesty

Dýchací cesty od nosu až k terminálním bronchiolům:

- Mucinózní buňky – tvorba sekretu (vlhčení a mechanická ochrana sliznice, fixace škodlivých látek)
- Řasinkový epitel – posun sekretu směrem k faryngu (při zničeném řasinkovém epitelu se hlen odstraňuje kašlem)

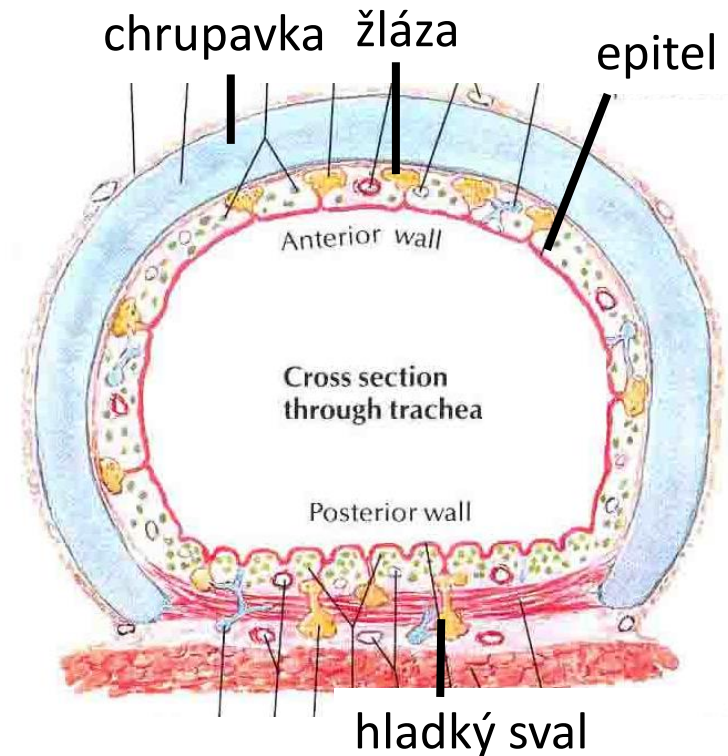


Dýchací cesty

Průdušnice a průdušky

- prstencovitá chrupavka podkovovitého charakteru - výztuha dýchacích cest
- na otevřeném místě chrupavky hladká svalovina - změna průsvitu průdušek

Směrem od průdušnice k malým průduškám klesá podíl chrupavky (průdušinky už jsou bez chrupavky) a roste podíl svaloviny (nejvíce v terminálních průdušinkách)



Odpor dýchacích cest

$$R = \frac{8 \cdot \eta \cdot l}{\pi \cdot r^4}$$

l - délka trubice

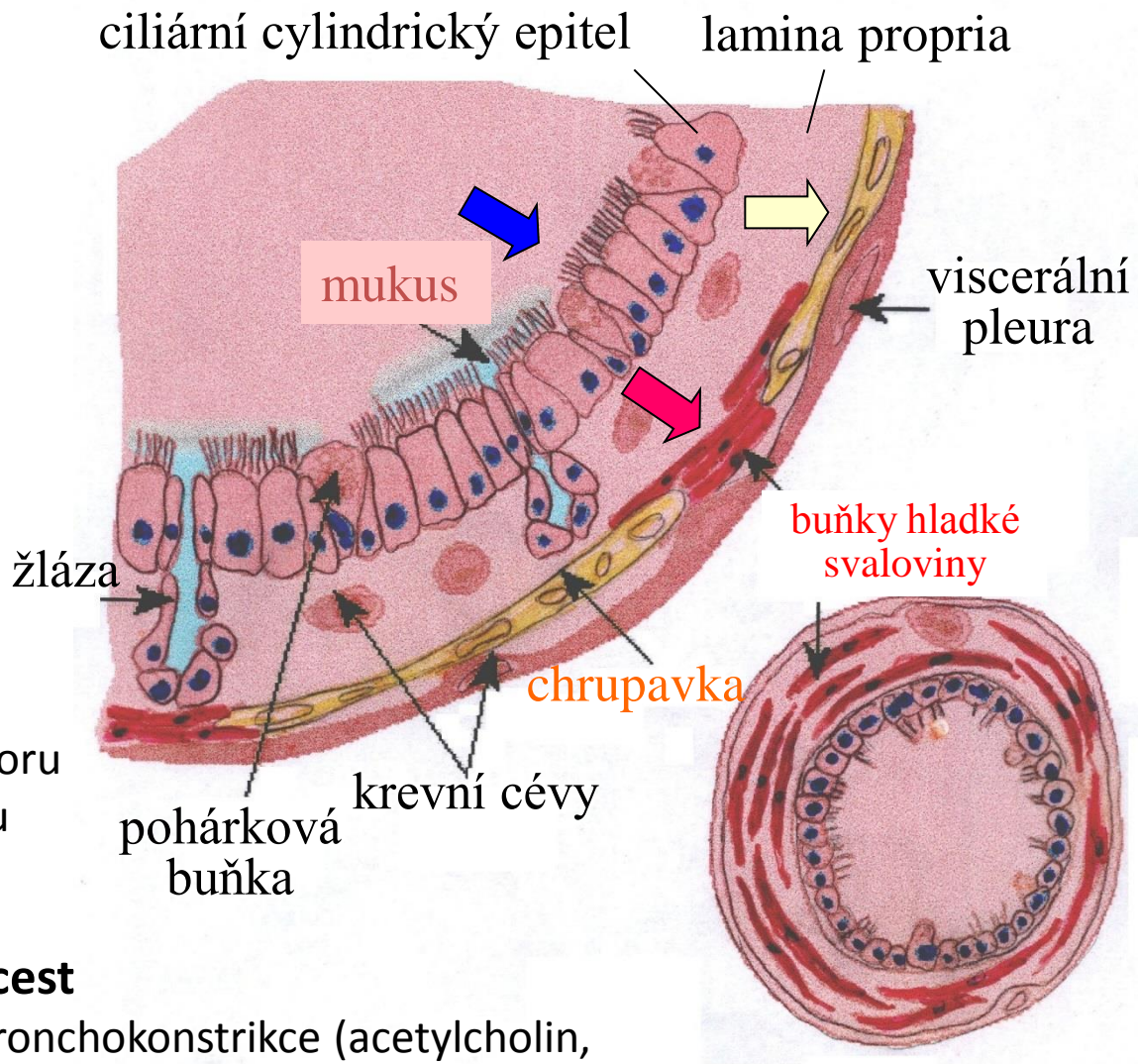
η - viskozita

r - poloměr trubice, má největší vliv na odpor díky 4. mocnině

- bronchokonstrikce – zvýšení odporu
- bronchodilatace – snížení odporu

Hladký sval ve stěně dýchacích cest

- **inervován především vagem** – bronchokonstrikce (acetylcholin, muskarinové receptory)
- Sympatická inervace slabší – adrenalin a noradrenalin – bronchodilatace (beta-receptory)
- Histamin způsobuje bronchokonstrikci (alergická reakce)



Alveolární systém

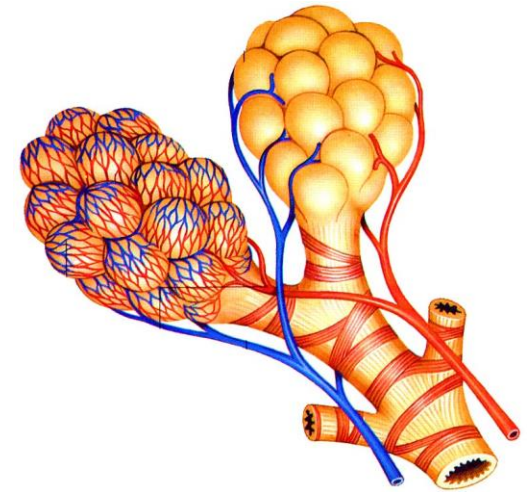
Průměr alveolů: 0,1 – 0,3 mm

Počet alveolů: 300 – 400 milionů

Plocha alveolů: 50 – 100 m²

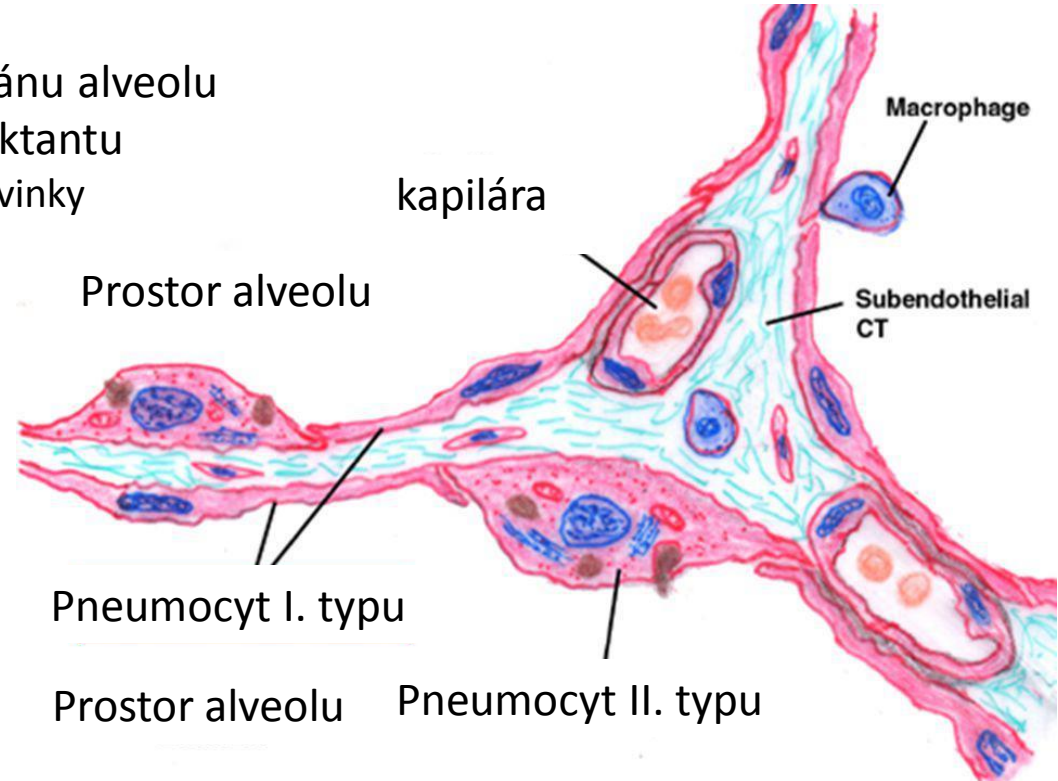
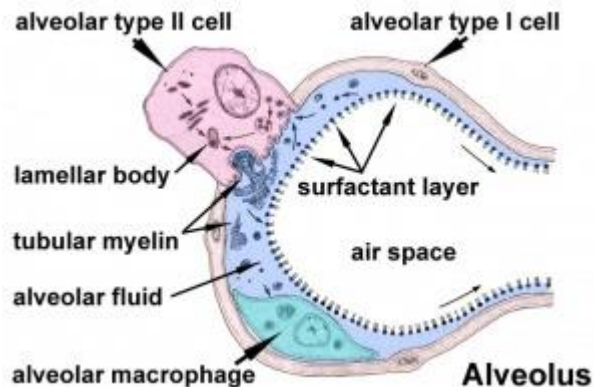
Tloušťka alveolu: desetina μm

→ **Účinná výměna plynů**



Složení alveolu

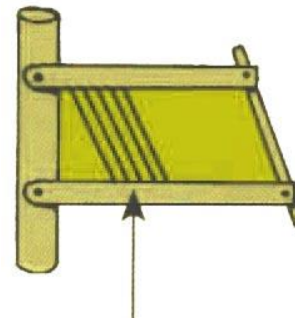
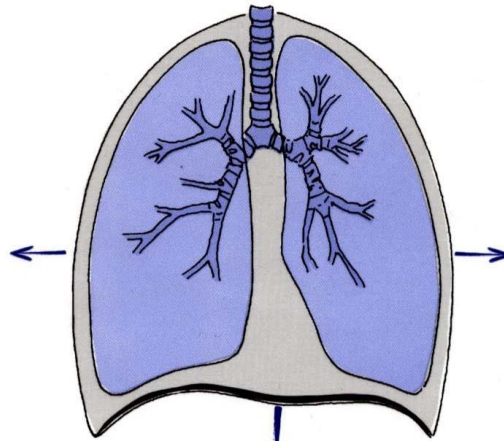
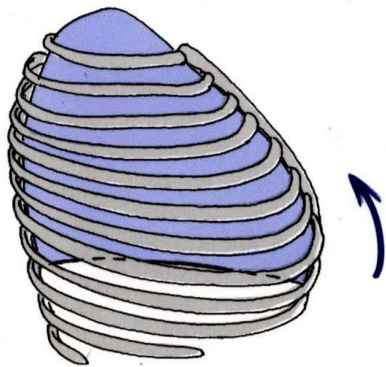
- Pneumocyt I. typu - tvoří membránu alveolu
- Pneumocyt II. typu - tvorba surfaktantu
- Kapiláry – často menší než velikost krvinky
- Makrofágy



Mechanika dýchání

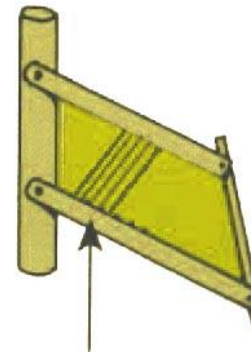
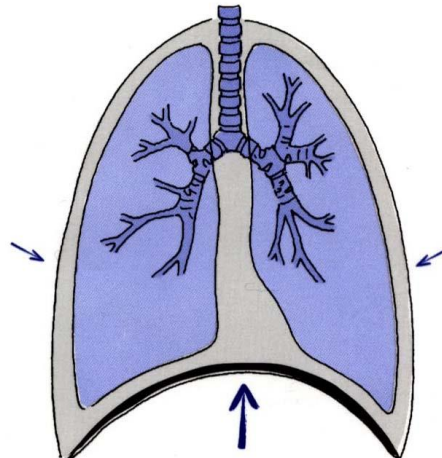
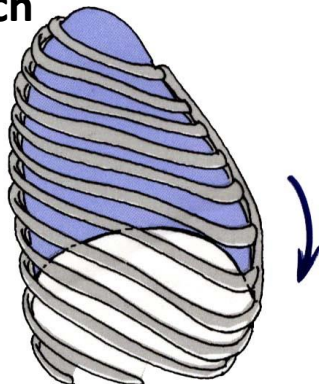
- Hlavní nádechové svaly: bránice (80 % dechové práce), zevní mezižeberní svaly
- Pomocné dýchací svaly: m. sternocleidomastoideus, skupina skalenových svalů
- Výdechové svaly: vnitřní mezižeberní svaly, svaly přední stěny břišní

nádech



Nádech je aktivní

výdech



Klidový výdech pasivní
- elastické vlastnosti plic
a hrudního koše

Usilovný výdech je
aktivní

Mechanika dýchání

inspirační svaly

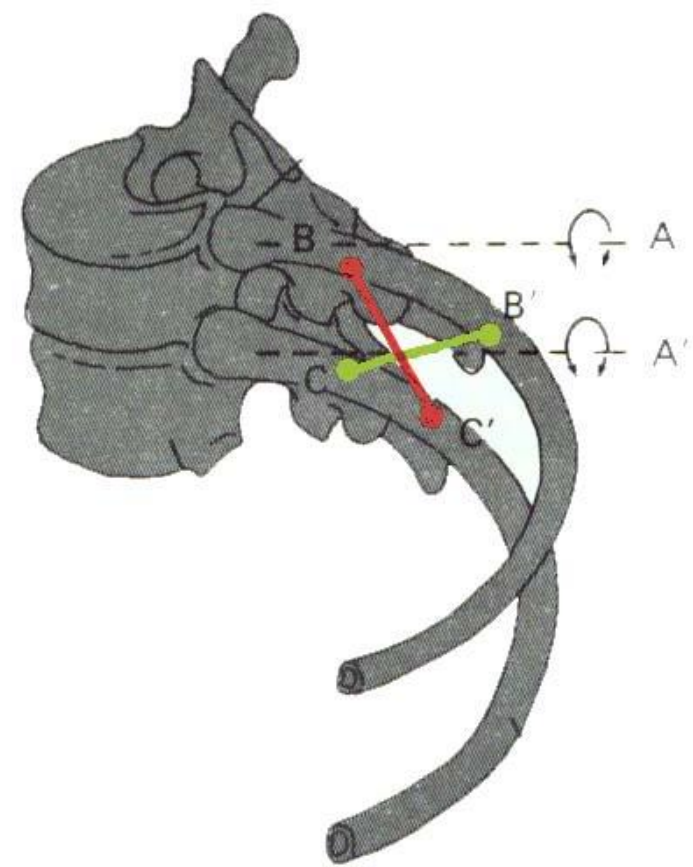
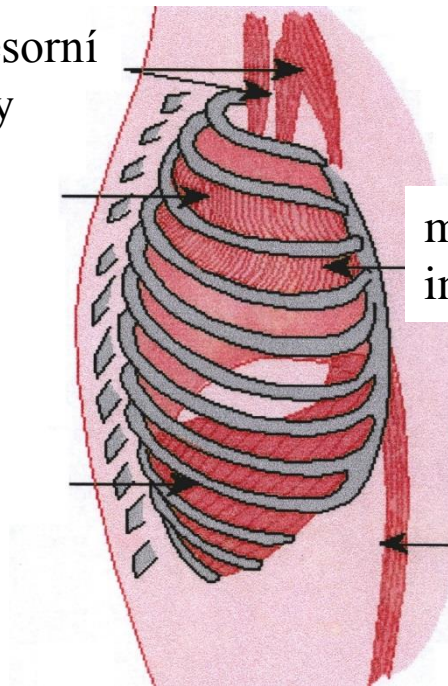
expirační svaly

akcesorní svaly
mm. intercostales ext.

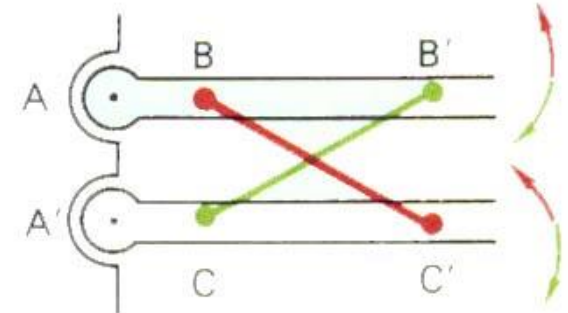
mm. intercostales int.

diafragma

břišní svaly

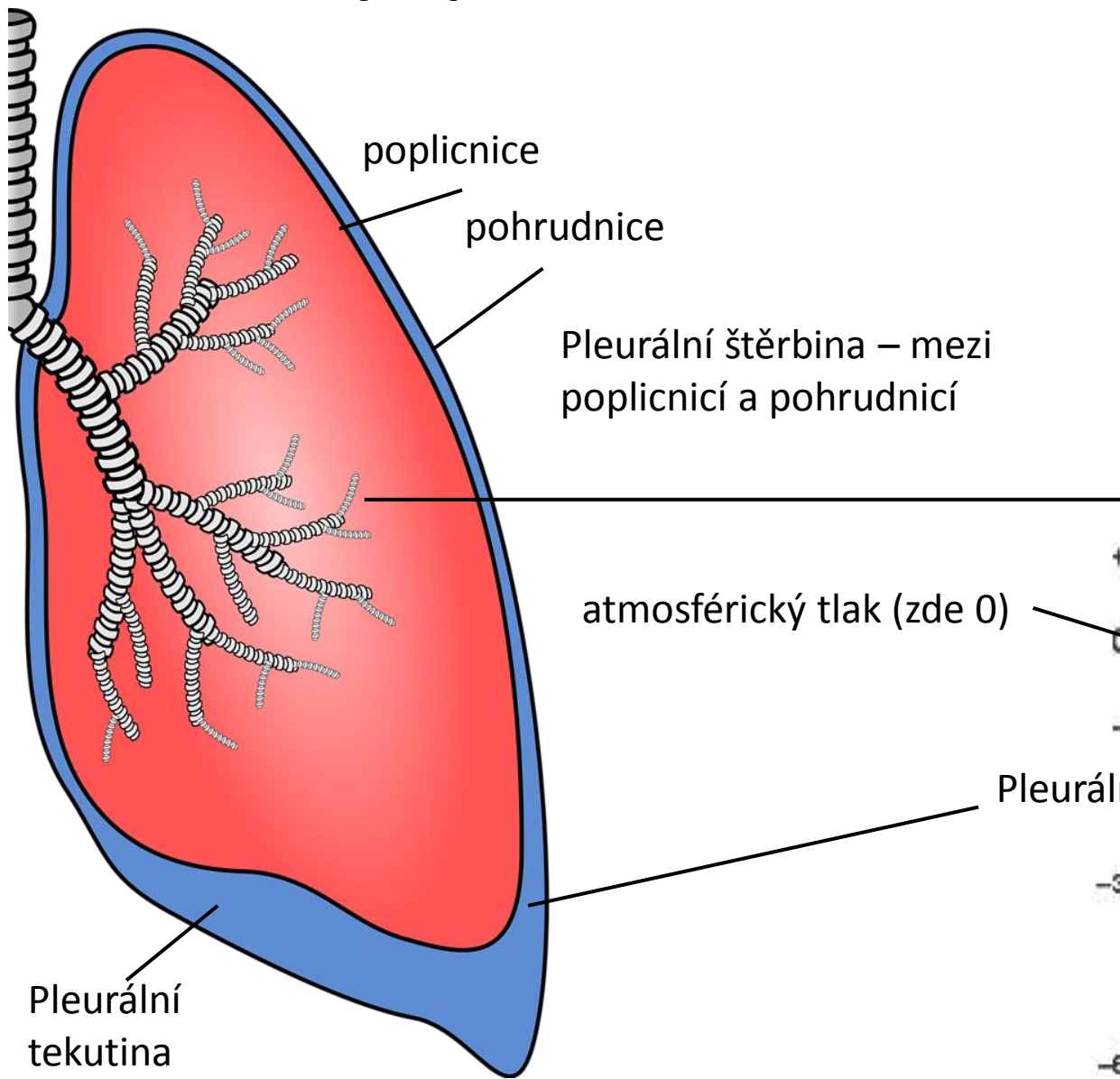


páka $A - B < A' - C'$ → zvedání žeber

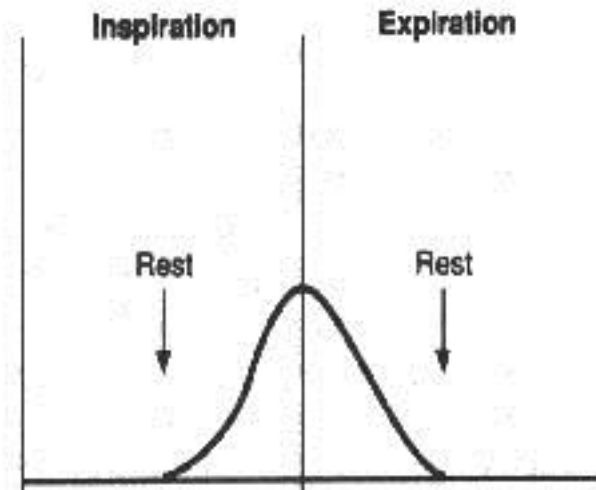


páka $A - B' > A' - C$ → klesání žeber

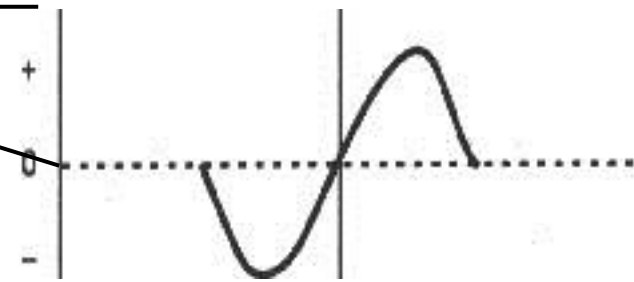
Tlaky v plicích



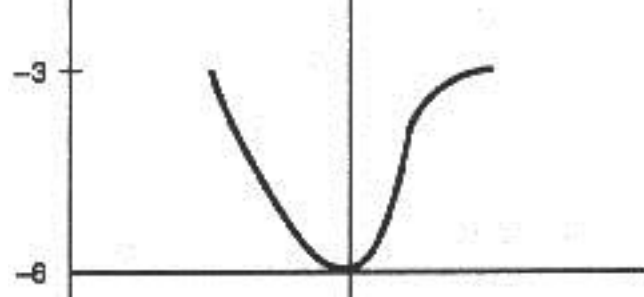
Objem vdechovaného vzduchu



Alveolární (pulmonální) tlak



Pleurální (šterbinový) tlak (vždy záporný)



Elastické vlastnosti plic

Plicní poddajnost (compliance): $C = \frac{\Delta V}{\Delta P}$ **Pozor, elasticita = 1/C**

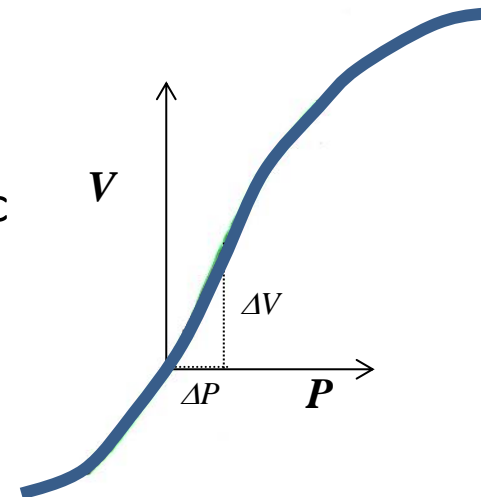
Dostatečná poddajnost usnadňuje nádech. Patologicky zvýšená poddajnost ztěžuje výdech (plicní emfyzém). Nízká poddajnost ztěžuje nádech.

Elasticita plic je dána:

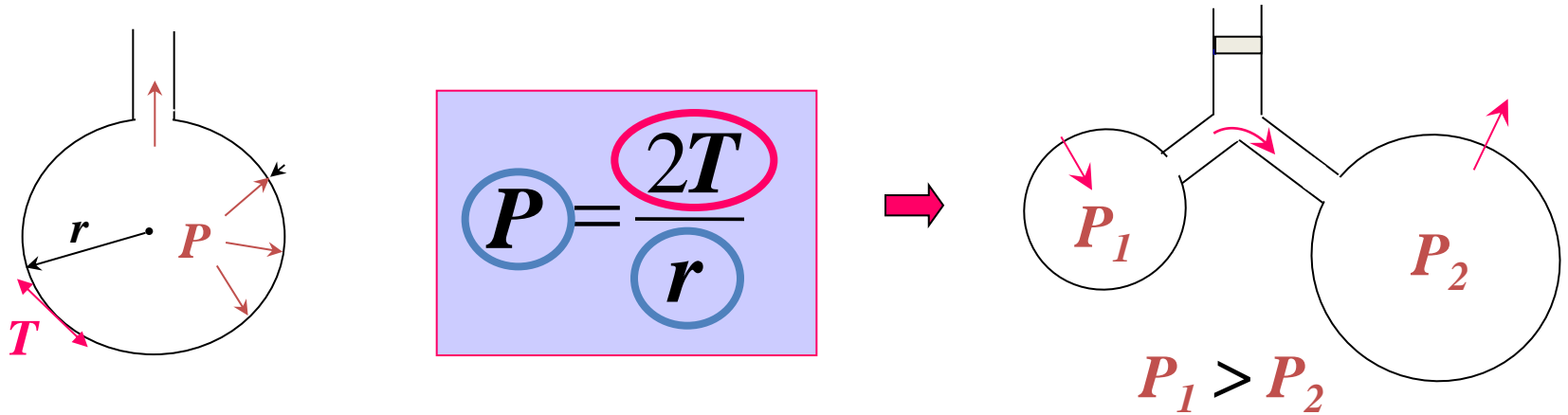
- Vlastní tkáňovou elasticitou (vlákna elastinu a kolagenu)
- Silami povrchového napětí (síly povrchového napětí v alveolech: rozhraní tekutina-vzduch)

Dechová práce (ΔP , ΔV)

- Elastická (65%) – překonání elastických sil hrudníku a plic
- Dynamická práce (35%)
 - překonání odporu dýchacích cest (28%)
 - Překonání tření při vzájemném pohybu neelastických tkání (7%)



Laplaceův zákon



P : tlak v alveolu, T : tenze alveolární stěny, r : poloměr alveolu

Tenze stěny alveolu je určována povrchovým napětím na rozhraní tekutina-vzduch

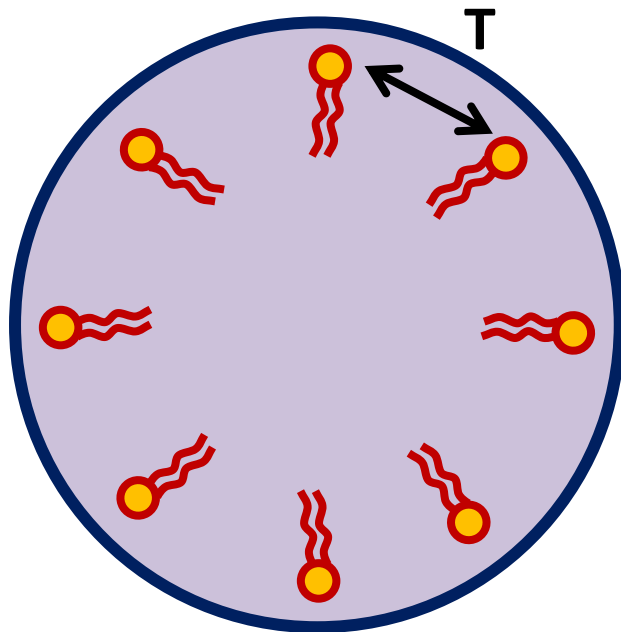
Laplaceův zákon (při konstantní tenzi):

čím větší je poloměr alveolu, tím menší je tlak v alveolu

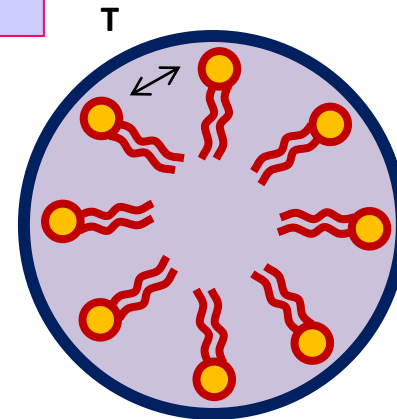
- docházelo by k přesunu vzduchu z menšího alveolu do většího
- kolaps menších alveolů

Plicní surfaktant

- tvořen pneumocytem II. typu
- snižuje povrchové napětí v závislosti na velikosti alveolu - čím menší je alveol, tím nižší je povrchové napětí
- zvyšuje poddajnost plic, snižuje dechovou práci
- fosfolipid (dipalmitoyl fosfatidyl cholin) – hydrofilní a lipofilní část



$$P = \frac{2T}{r}$$



Statické plicní objemy a kapacity

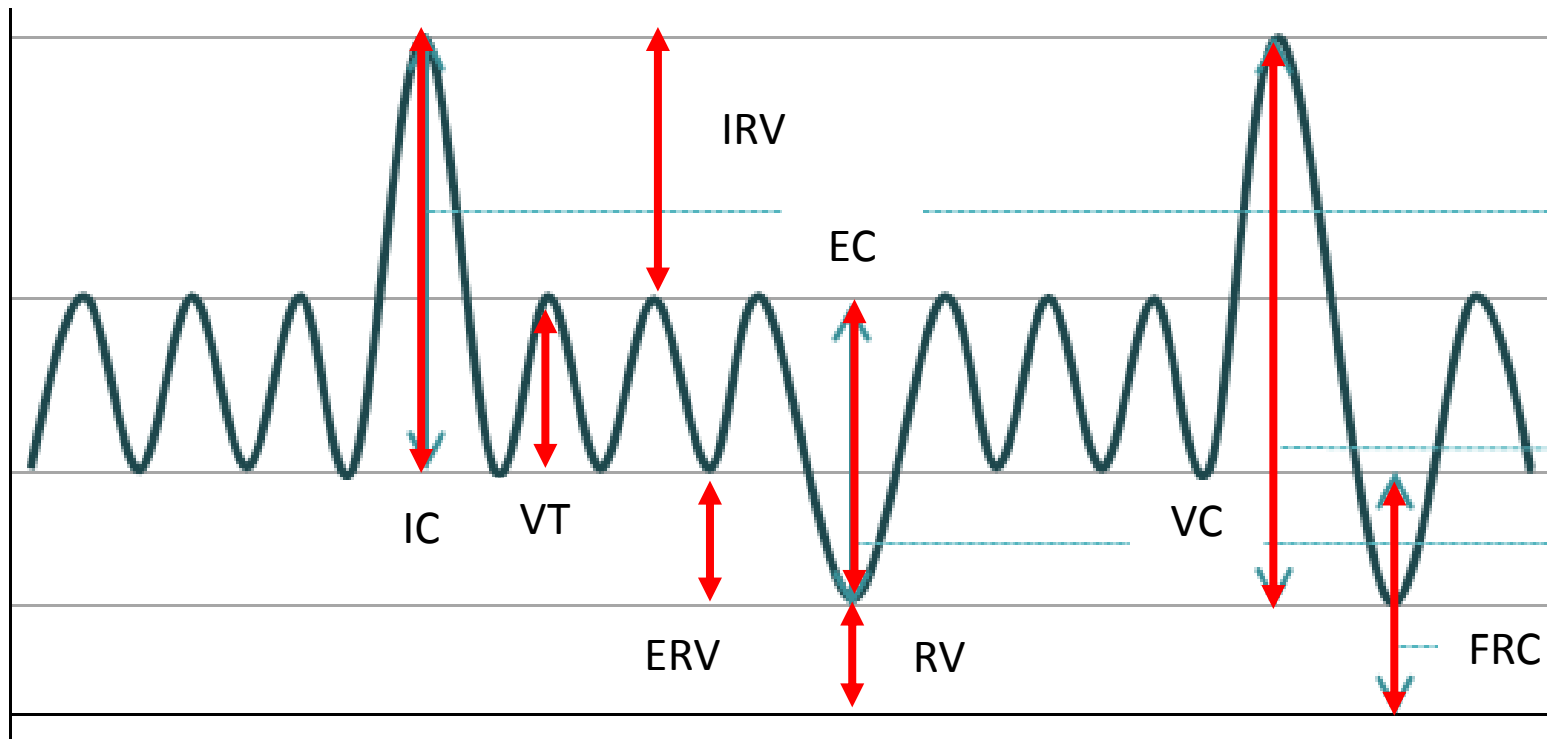
Statické plicní objemy:

- dechový objem VT (0,5 l)
- inspirační rezervní objem IRV (2,5 l)
- expirační rezervní objem ERV (1,5 l)
- reziduální objem RV (1,5 l)

Statické plicní kapacity:

- vitální kapacita plic VC (4,5 l) = IRV+VT+ERV
- celková kapacita plic TC (6 l) = IRV+DV+ERV+RV
- inspirační kapacita IC (3 l) = IRV+DV
- funkční reziduální kapacita FRC (3 l) = ERO+RO

- Závisí na výšce, váze, věku a pohlaví
- Všechny objemy lze měřit spirometricky kromě RV a FRC



Dynamické plicní parametry

- Dechová frekvence f
 - Klidová (12 – 15 dechů za minutu)
 - Maximální
- Minutová ventilace plic
 - Klidová MV (cca 8 l/min)
 - Maximální MMV (až 160 l/min)
 - Dechová rezerva = MMV/MV

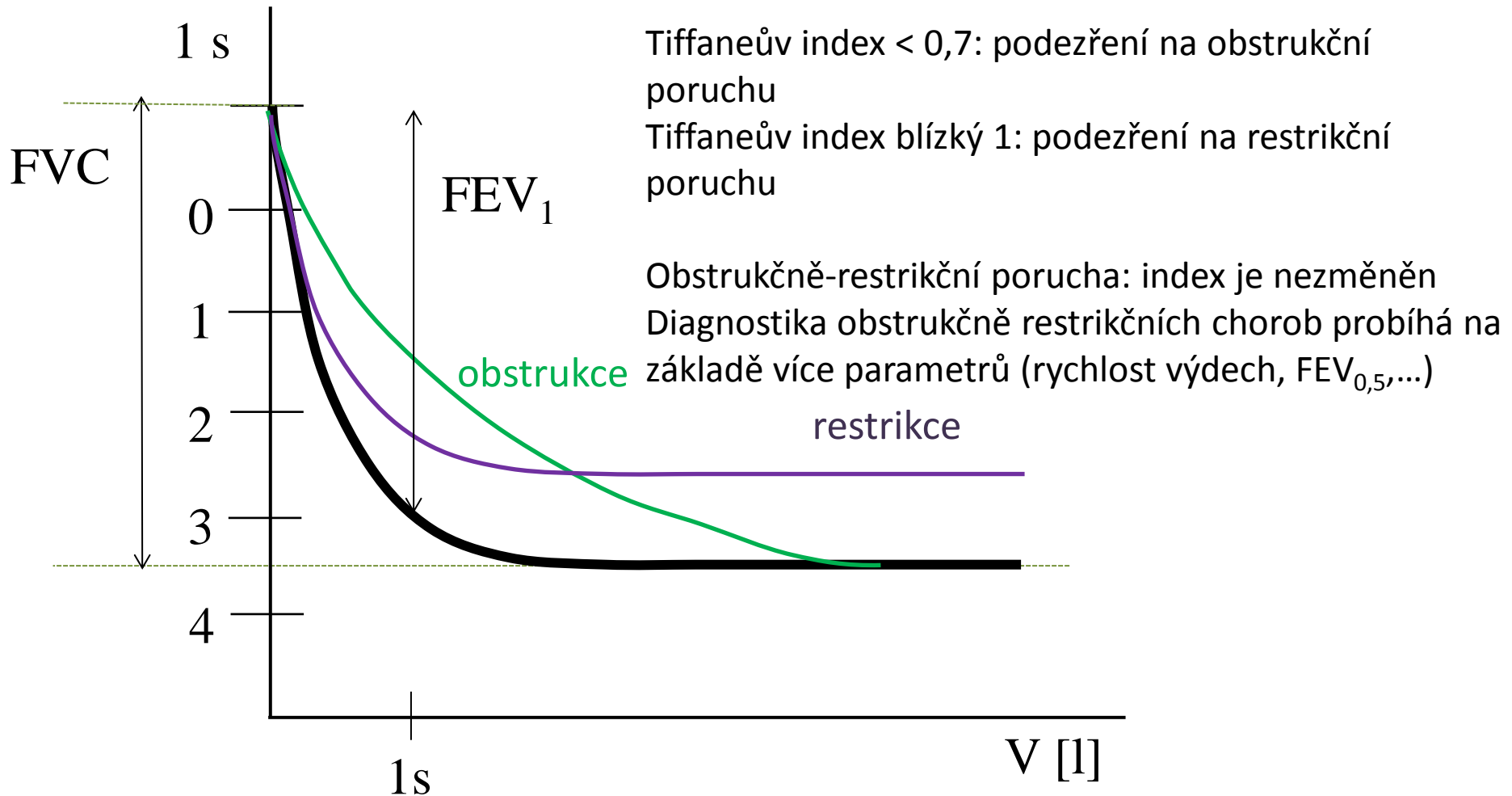
Plicní poruchy

Obstrukce : zvýšený odpor dýchacích cest (astma, bronchitida, otok hlasivek,...)

Restrikce: snížené plicní objemy (nádor, zánět, otoky plic, pneumotorax,...)

Dynamické plicní parametry – usilovný výdech

- Usilovná vitální kapacita FVC
- Absolutní jednosekundová vitální kapacita FEV₁
- Relativní jednosekundová vitální kapacita (Tiffaneův index): $\frac{FEV_1}{FVC} \sim 0,7 - 0,8$



SLOŽENÍ SUCHÉHO ATMOSFERICKÉHO VZDUCHU

O_2	20,98 %	$F_{O_2} \cong 0,21$
N_2	78,06 %	$F_{N_2} \cong 0,78$
CO_2	0,04 %	$F_{CO_2} = 0,0004$

Ostatní složky

BAROMETRICKÝ TLAK VZDUCHU NA ÚROVNI MOŘE
1 atmosféra = 760 mm Hg

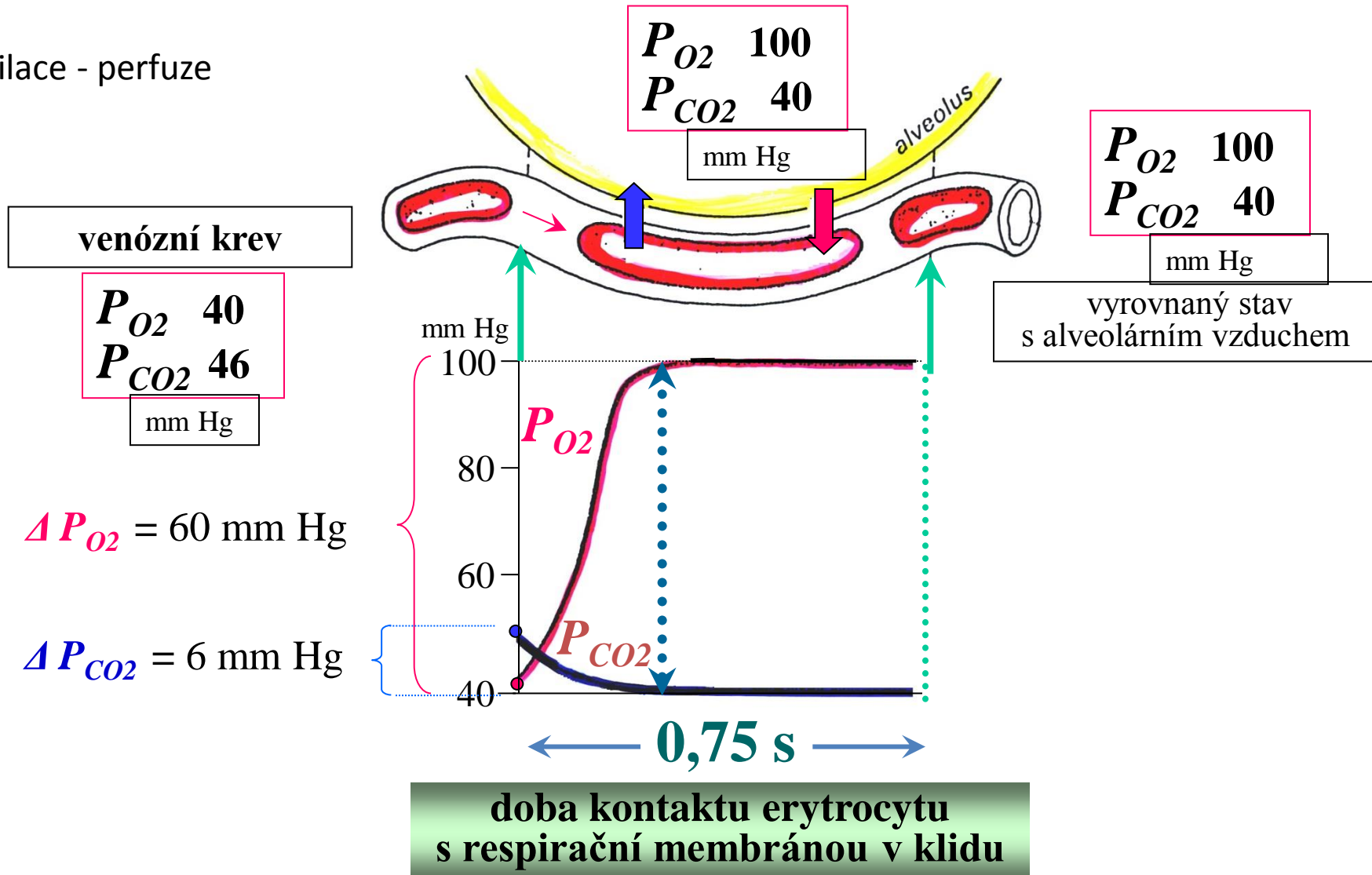
PARCIÁLNÍ TLAKY PLYNŮ SUCHÉHO VZDUCHU NA ÚROVNI MOŘE

$$\begin{aligned} P_{O_2} &= 760 \times 0,21 = \sim 160 \text{ mm Hg} \\ P_{N_2} &= 760 \times 0,78 = \sim 593 \text{ mm Hg} \\ P_{CO_2} &= 760 \times 0,0004 = \sim 0,3 \text{ mm Hg} \end{aligned}$$

1 kPa = 7,5 mm Hg (torr)

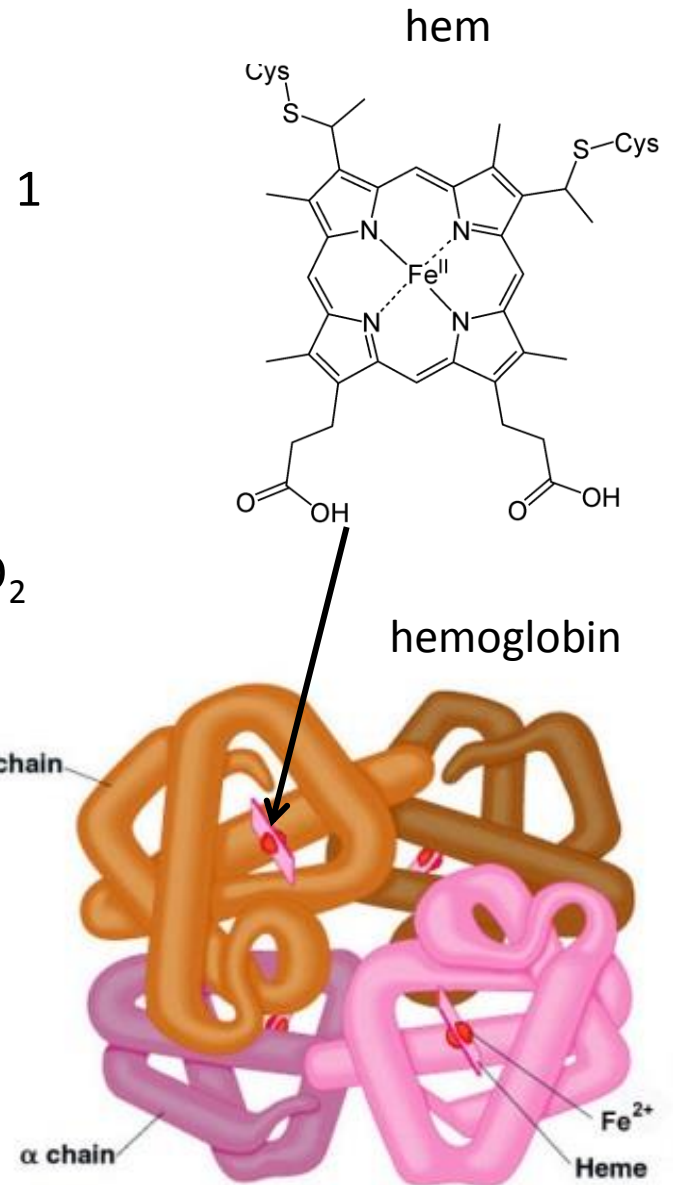
Časový průběh vyrovnávání pO_2 a pCO_2 v kapiláře s alveolárním vzduchem

Ventilace - perfuze

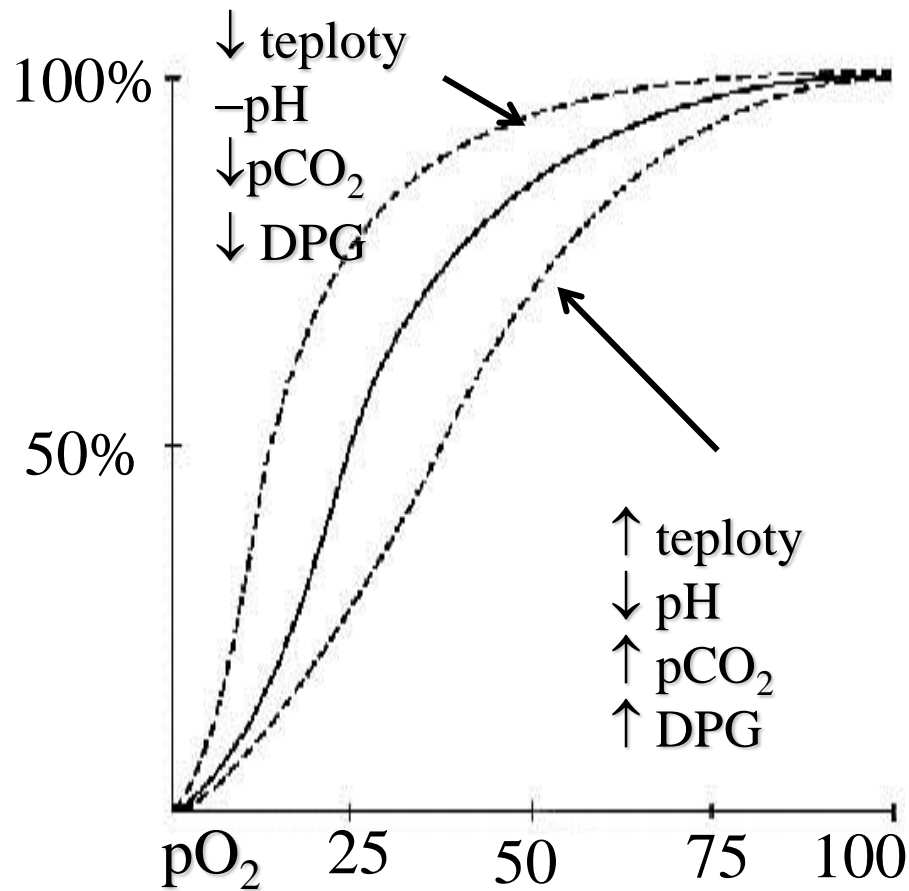


Transport kyslíku

- Většinou chemicky vázaný na hemoglobin (Fe^{2+}): 1 molekula hemoglobinu váže 4 molekuly O_2
- Méně fyzikálně rozpuštěný v plazmě (1,4%)
- Hemoglobin:
 - 2 α , 2 β podjednotky,
 - Každá podjednotka má 1 hem, který váže 1 O_2
→ hemoglobin váže 4 molekuly O_2
- Fetální hemoglobin (2 α , 2 γ , vysoká afinita k O_2)
- Methemoglobin (Fe^{3+})
- Karboxyhemoglobin (otrava CO)
- Karbaminohemoglobin (navázaný CO_2)
- Oxyhemoglobin (navázaný O_2)
- Deoxyhemoglobin (bez navázaného plynu)



Saturace hemoglobinu kyslíkem



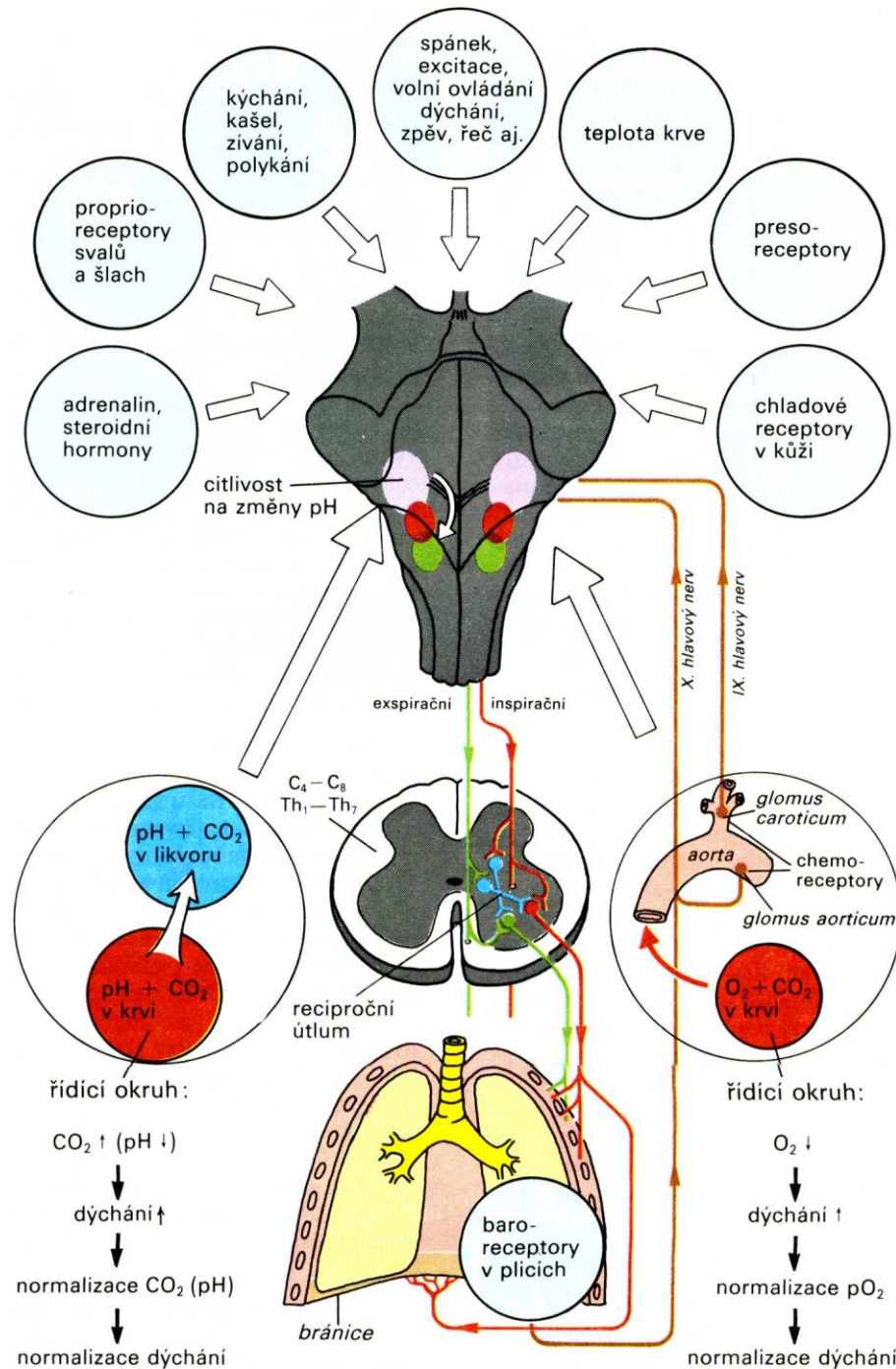
Transport oxidu uhličitého

- fyzikálně rozpuštěný – 5%
- chemicky vázaný – KHCO₃ a NaHCO₃ –75-80%
- vazba na plazmatické bílkoviny – karbaminohemoglobin a karbaminoproteiny – 15-20%
- **v červených krvinkách:** enzym karbondehydrogenáza – urychluje tvorbu a rozklad H₂CO₃



Oxid uhličitý snižuje pH krve, funguje v krvi jako pufr

Regulace dýchání



Hypoxie

nedostatek kyslíku ve tkáních (neplést s ischemií)

(ischemie – nedostatečné prokrvení tkáně – zahrnuje hypoxii, hyperkapnii, nahromadění metabolitů, nedostatek živin,....)

- Hypoxická hypoxie – méně pO₂ v arteriální krvi (menší % kyslíku ve vzduchu, vyšší nadmořská výška, porucha dýchacích svalů, dechového centra, opiáty, porucha ventilace-perfuze, snížená difuze přes alveolární membránu)
- Anemická hypoxie – porucha přenosu kyslíku krví (méně krvinek, méně hemoglobinu, nefunkční hemoglobin, otrava CO)
- Ischemická (cirkulační, stagnační) hypoxie – snížený průtok krve tkání (obstrukce arterie, selhávání srdce)
- Histotoxická hypoxie - porušené využití O₂ buňkami (toxiny, kyanid)

Hyperkapnie a hypokapnie

Hyperkapnie:

- Vyšší pCO₂
- snížené pH krve
- zmatenost, poruchy smyslové ostrosti, nakonec koma s útlumem dýchání a smrt

Hypokapnie:

- Hypoxie mozku díky vazokonstrikci cév - ztráta orientace, závratě, parestézie
- Zvýšené pH, při hyperventilaci – tetanické křeče, ztráta vědomí