Respirační systém I

(mechanika dýchání, vitální kapacita, transport plynů)

Dýchání

Soubor procesů sloužící k výměně dýchacích a krevních plynů

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

Vnější dýchání zahrnuje – ventilaci, distribuci a difuzi plynů

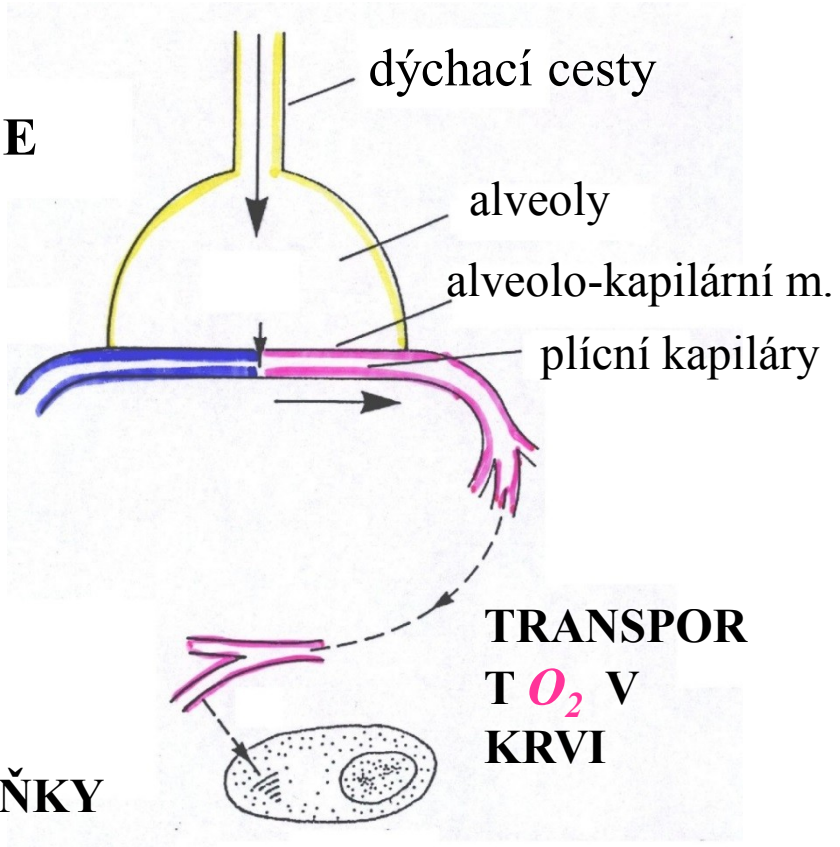
- aby bylo účinné, musí na to navazovat perfúze (prokrvení) plic

VENTILACE PLIC

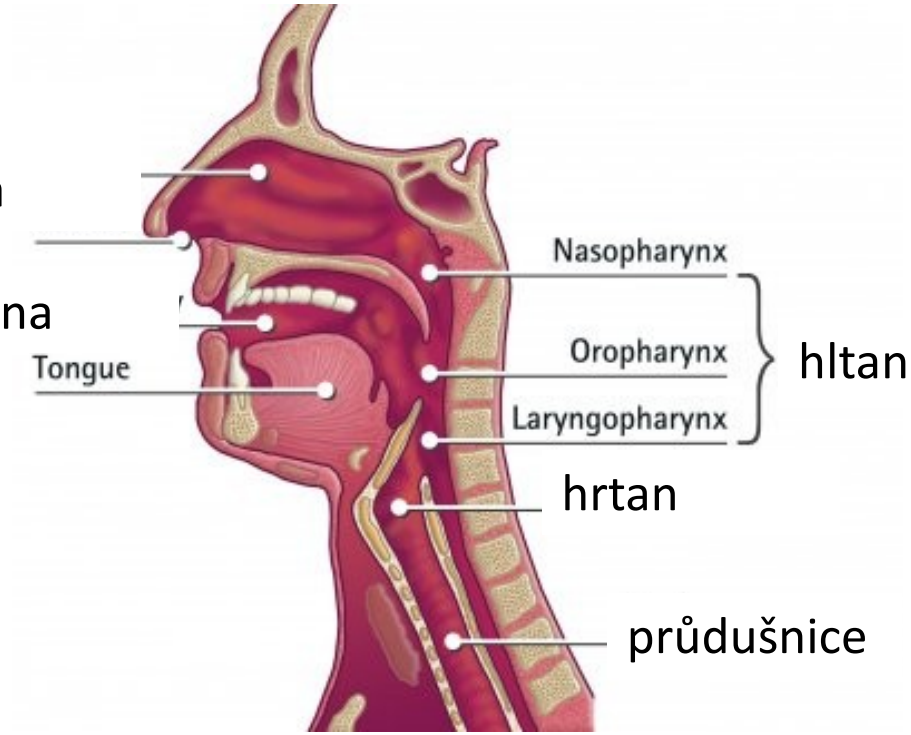
DIFUZE O_2 PŘES ALVEOLO-KAPILÁTRNÍ MEMBRÁNU

DIFUZE O_2 Z PERIFERNÍ KAPILÁRY DO BUŇKY

TRANSPORT O_2 V KRVI



Morfologie – horní dýchací cesty

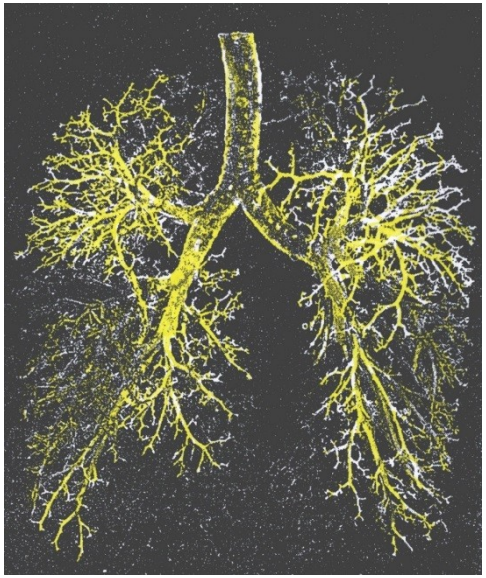


Stavba:
nosní dutina, nosohltan, hrtan, (vedlejší nosní dutiny, ústní dutina)

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

http://zdraviamy.cz/uploads/images/headNeckKey.jpg

Morfologie – dýchací cesty



- Průdušnice (trachea) – průřez 2,5 cm^2

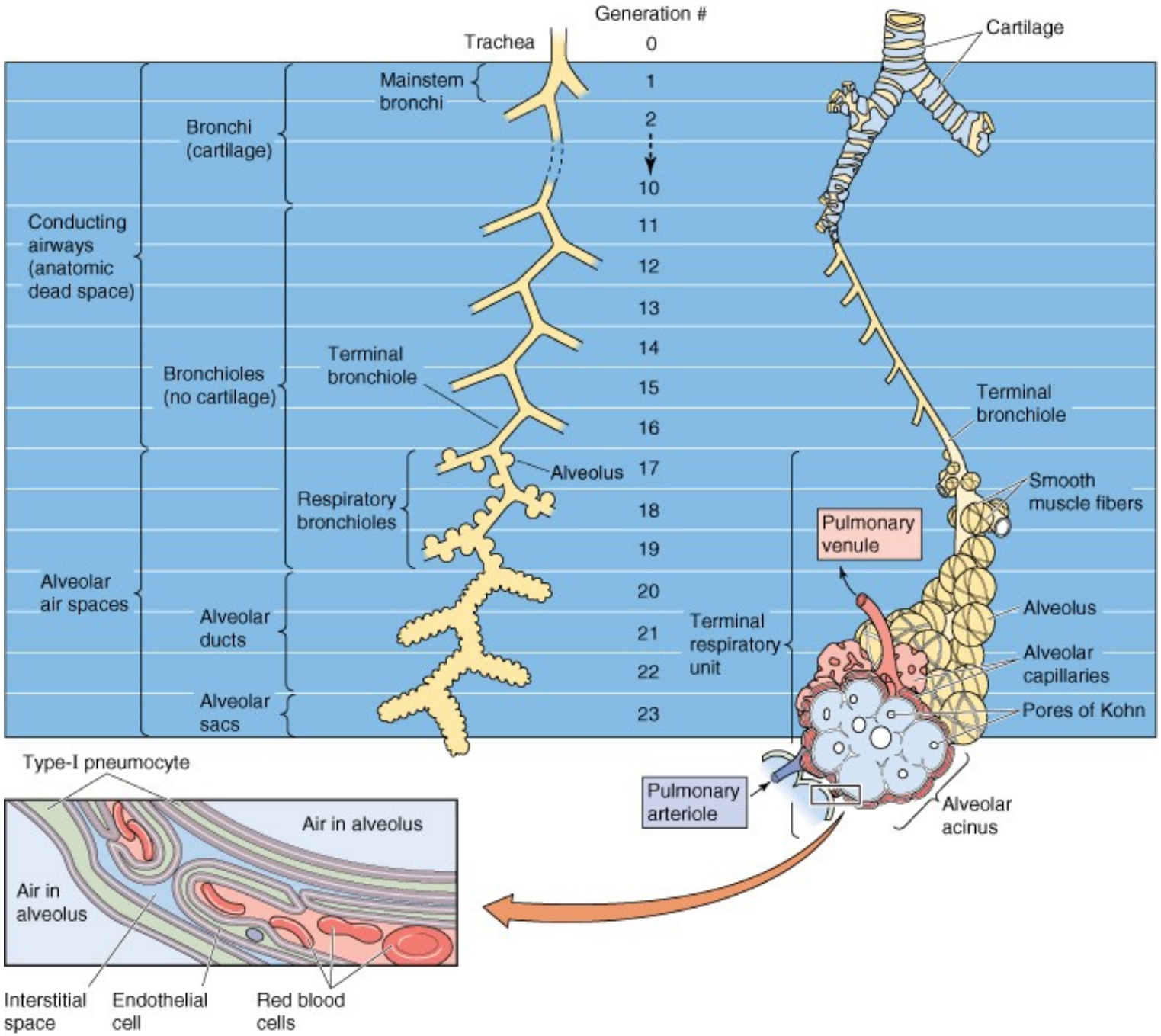
Dichotonické větvení – jedna průduška se dělí na dvě

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

Konduktivní zóna
- transport a úprava vzduchu (ohřátí, zvlhčení, čištěni)

Acinus, přechodná a respirační zóna
- výměna dýchacích plynů

Základní jednotka plicní tkáně: plicní lalůček (acinus)

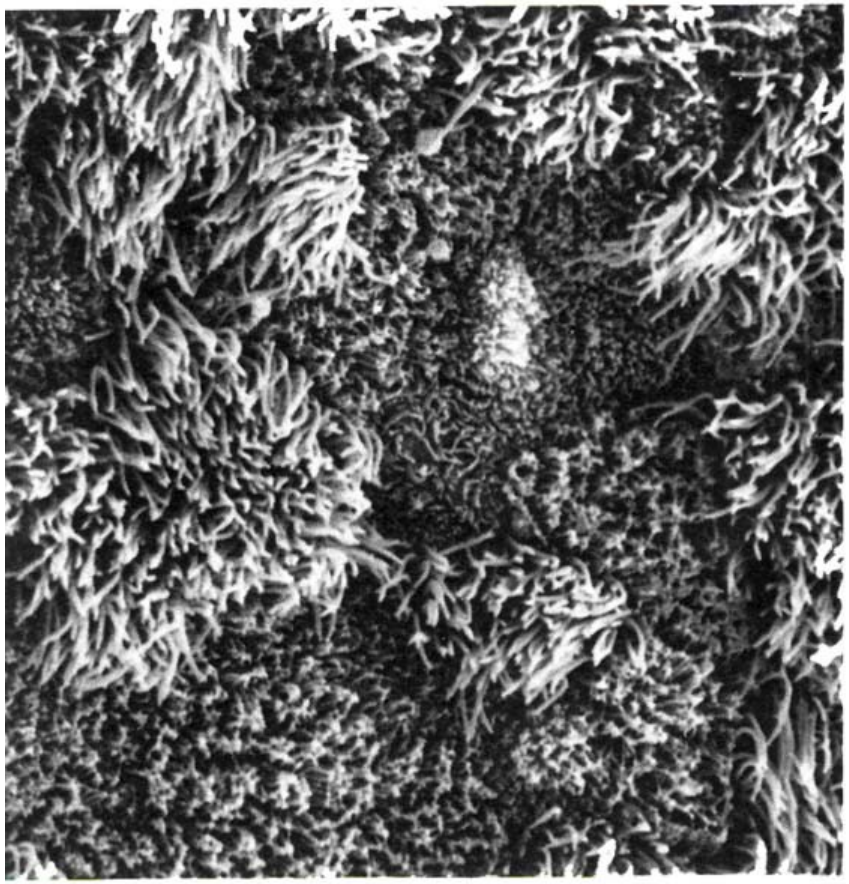


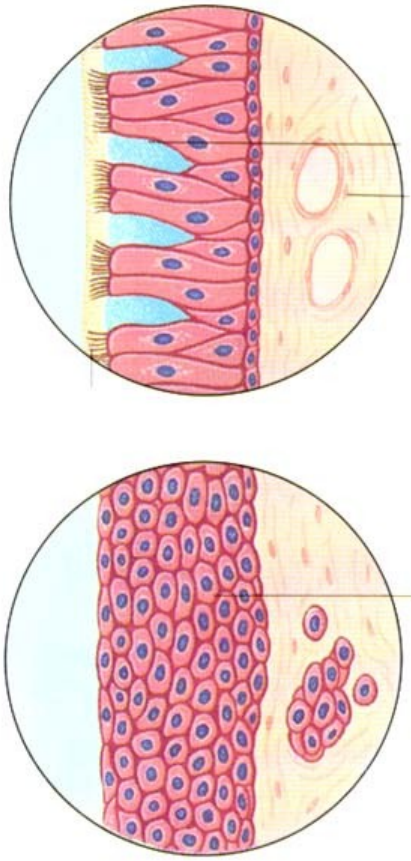
© Elsevier Ltd. Boron & Boulpaep: Medical Physiology, Updated Edition www.studentconsult.com

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)



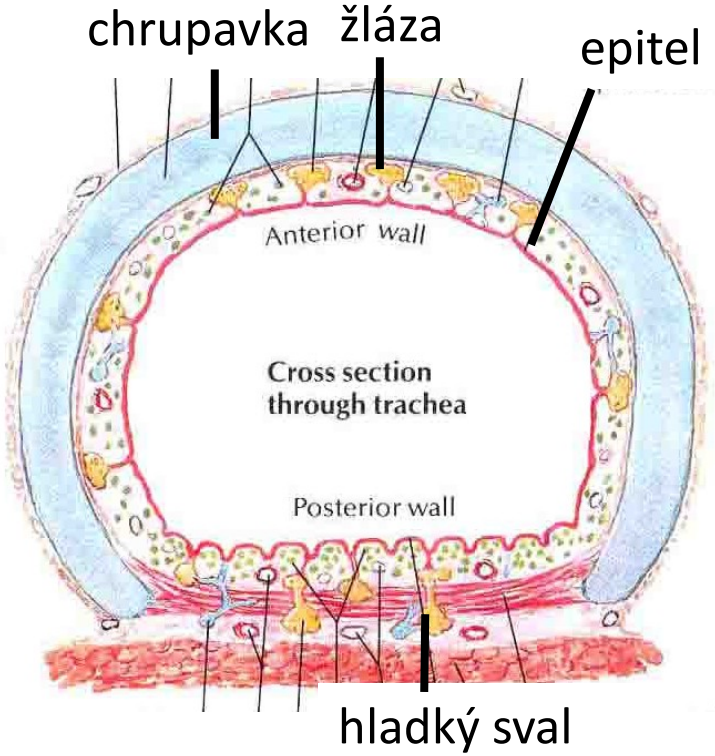


Dýchací cesty

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)

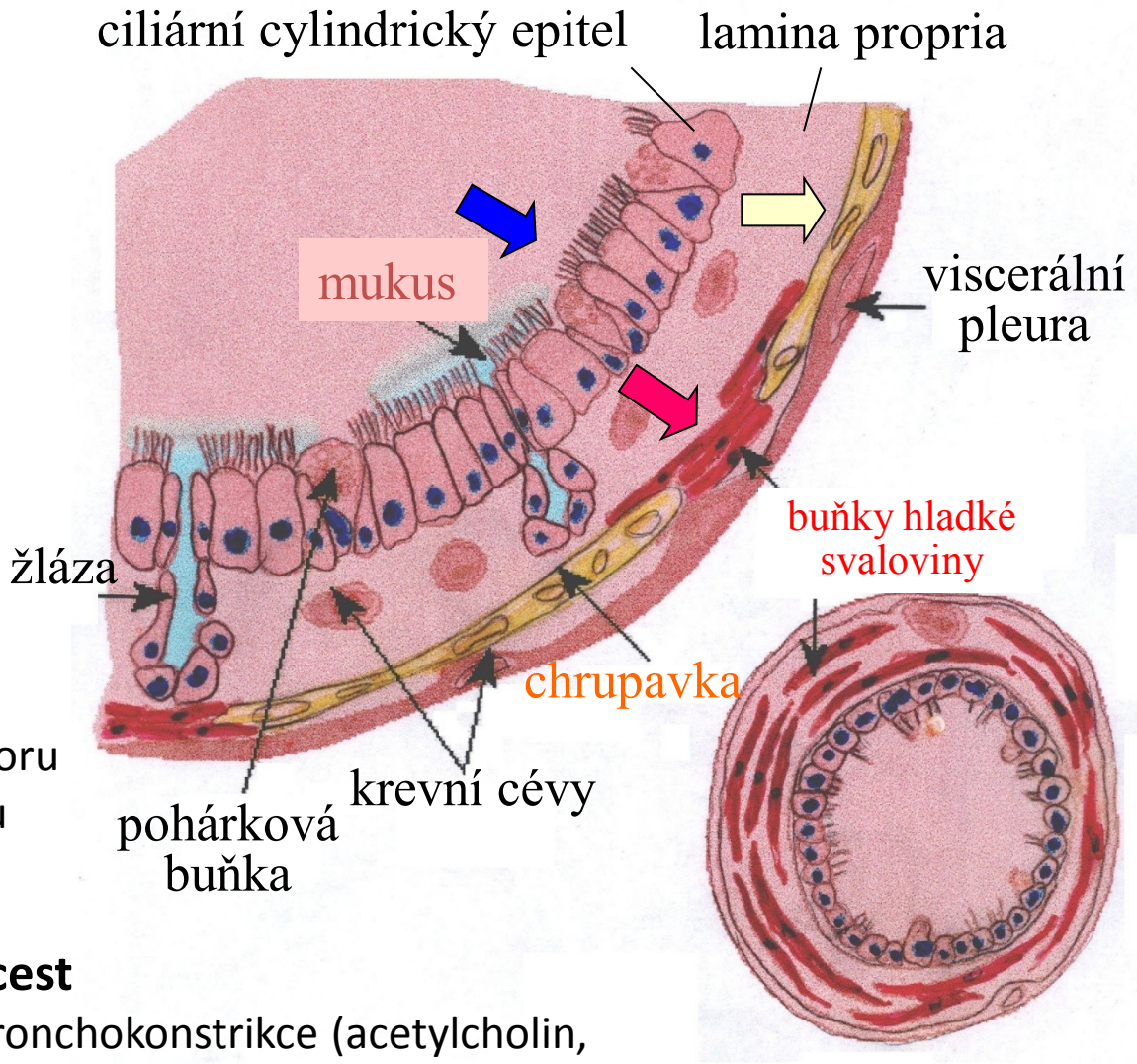


Odpor dýchacích cest

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

l - délka trubice
η - viskozita
r - poloměr trubice, má největší vliv na odpor díky 4. mocnině

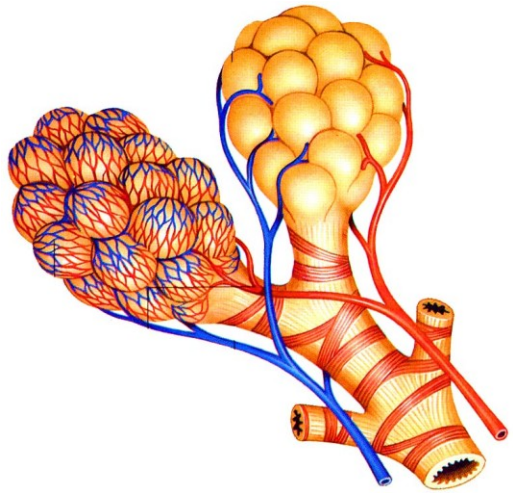
- bronchokonstrikce – zvýšení odporu
- bronchodilatace – snížení odporu



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)

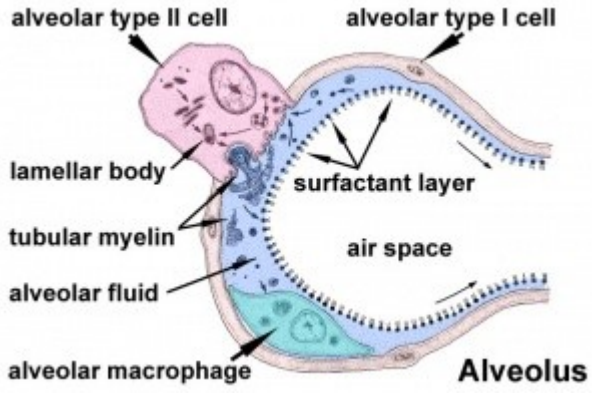
Alveolární systém

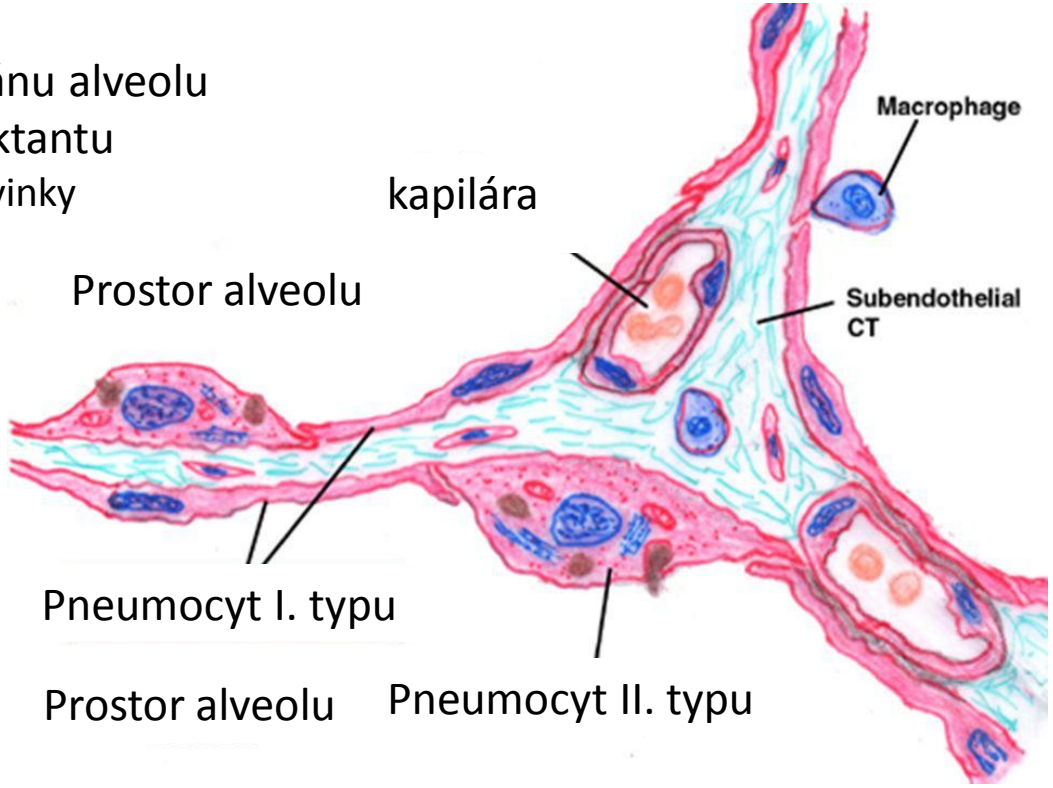


Průměr alveolů: 0,1 – 0,3 mm
Počet alveolů: 300 – 400 milionů
Plocha alveolů: 50 – 100 m^2
Tloušťka alveolu: desetina μm
→ **Účinná výměna plynů**

Složení alveolu

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



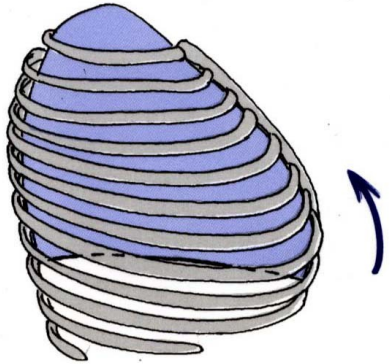


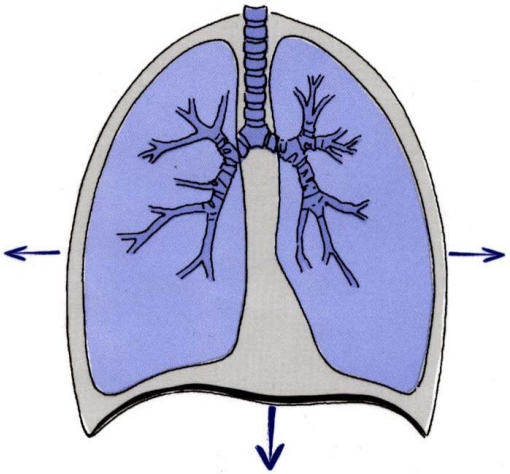
https://embryology.med.unsw.edu.au/embryology/images/thumb/d/d4/Alveolar-sac-01.jpg/300px-Alveolar-sac-01.jpg
http://images.slideplayer.cz/10/2900749/slides/slide_43.jpg

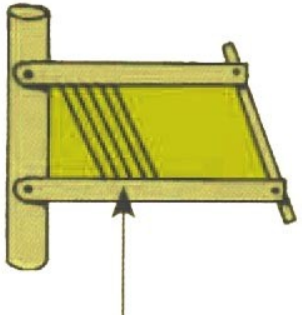
Mechanika dýchání

- 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

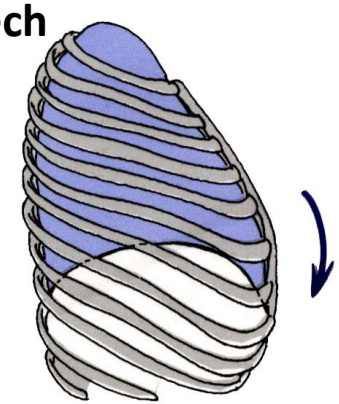


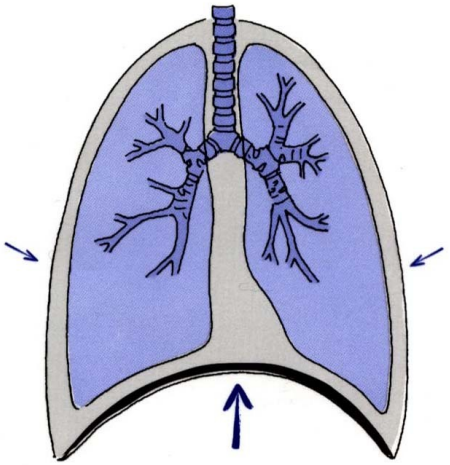


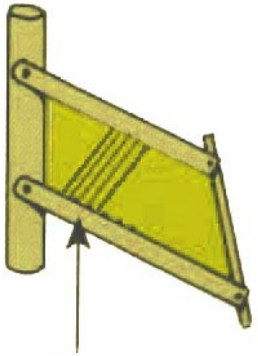


Nádech je aktivní

výdech







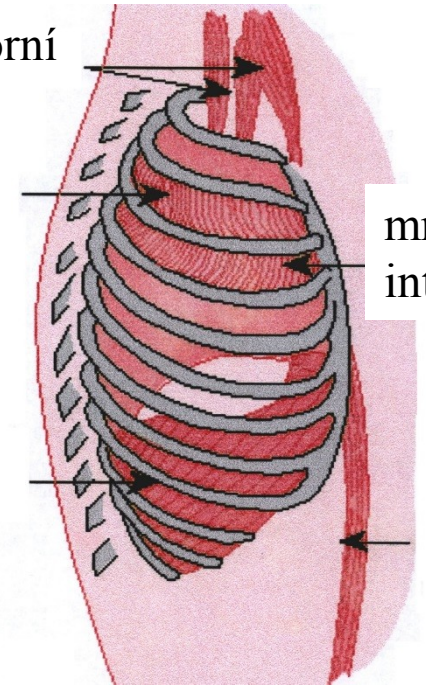
Klidový výdech pasivní
- elastické vlastnosti plic a hrudního koše

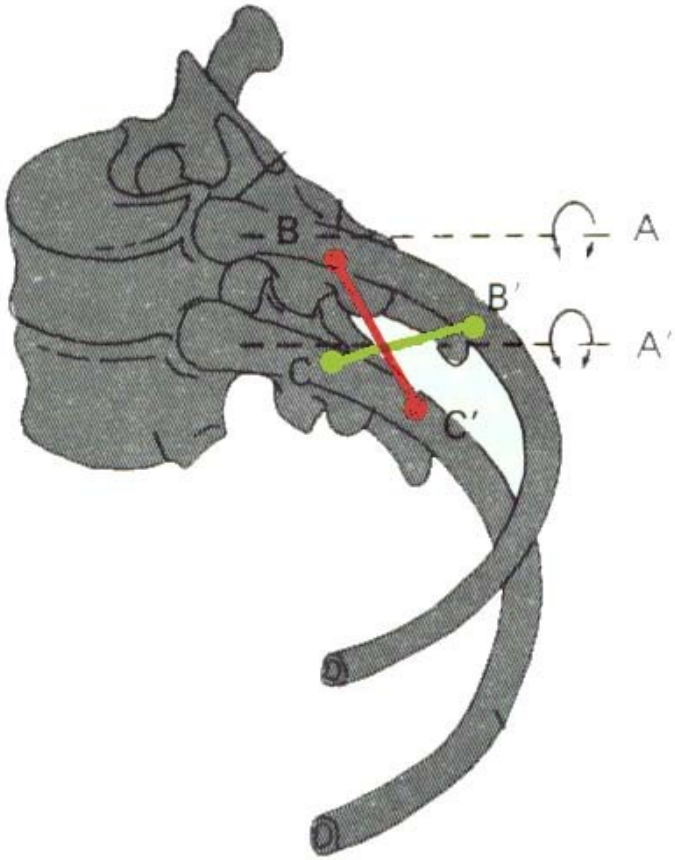
Usilovný výdech je aktivní

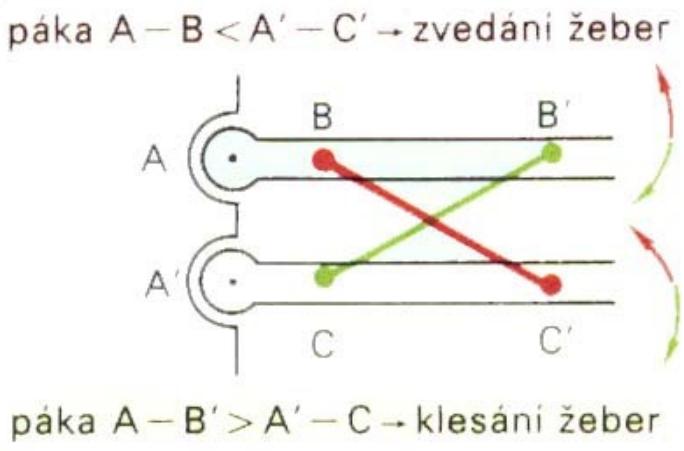
Mechanika dýchání

inspirační svaly

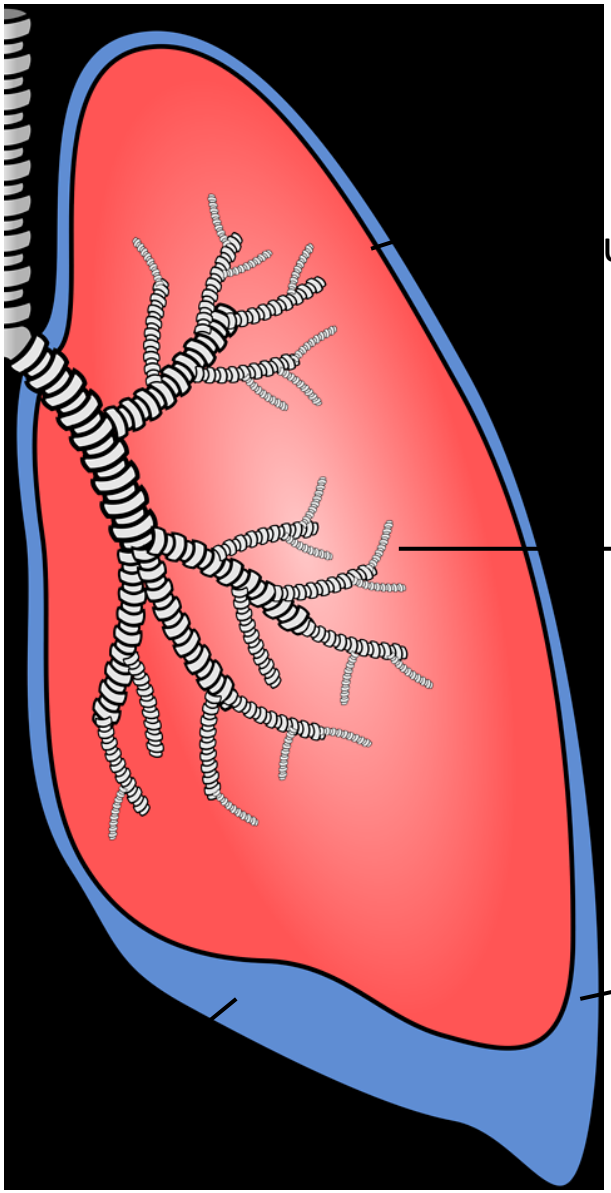
exspirační svaly







Tlaky v plicích

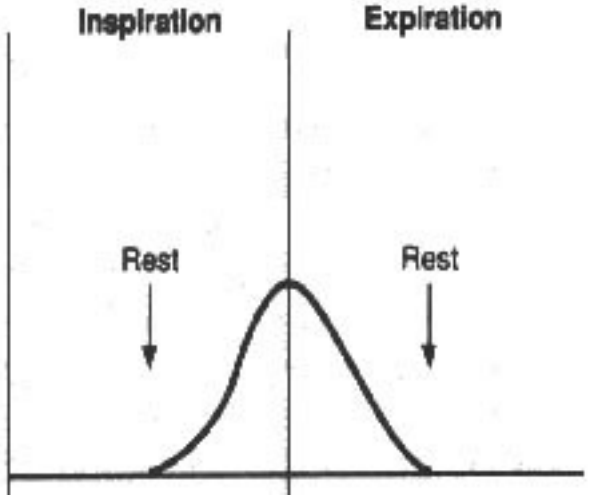


udnice

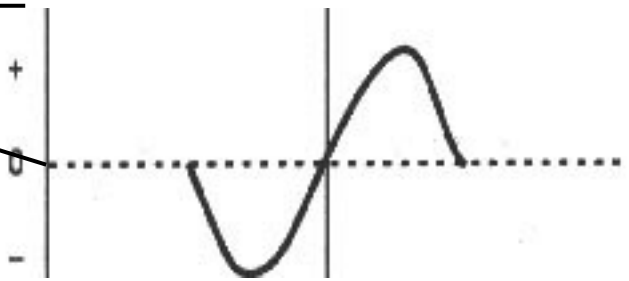
Pleurální štěrbina – mezi poplicnicí a pohrudnicí

atmosférický tlak (zde 0)

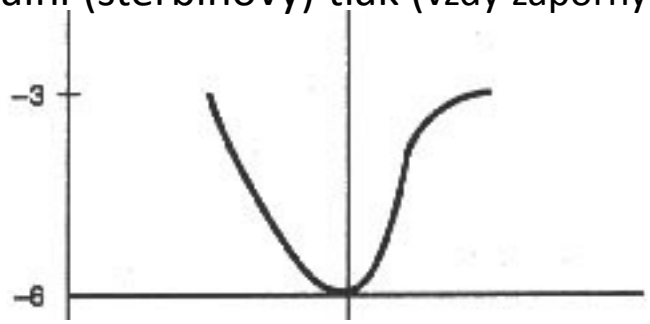
Objem vdechovaného vzduchu



Alveolární (pulmonální) tlak



Pleurální (štěrbinový) tlak (vždy záporný)



http://worldartsme.com/images/happy-lungs-clipart-1.jpg

Elastické vlastnosti plic

Plicní poddajnost (compliance): ——

Pozor, elasticita = 1/C

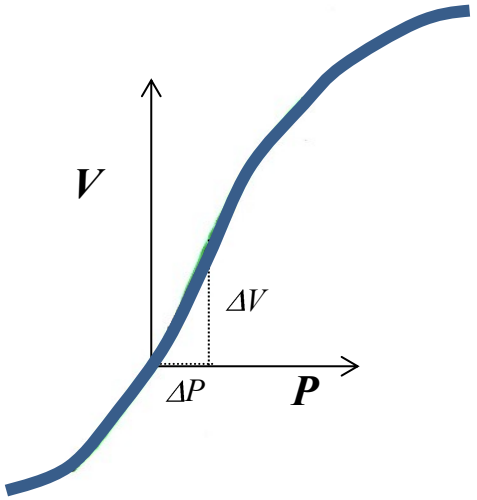
Dostatečná poddajnost usnadňuje nádech. Patologicky zvýšená poddajnost ztěžuje výdech (plicní emfyzém). Nízká poddajnost ztěžuje nádech.

Elasticita plic je dána:

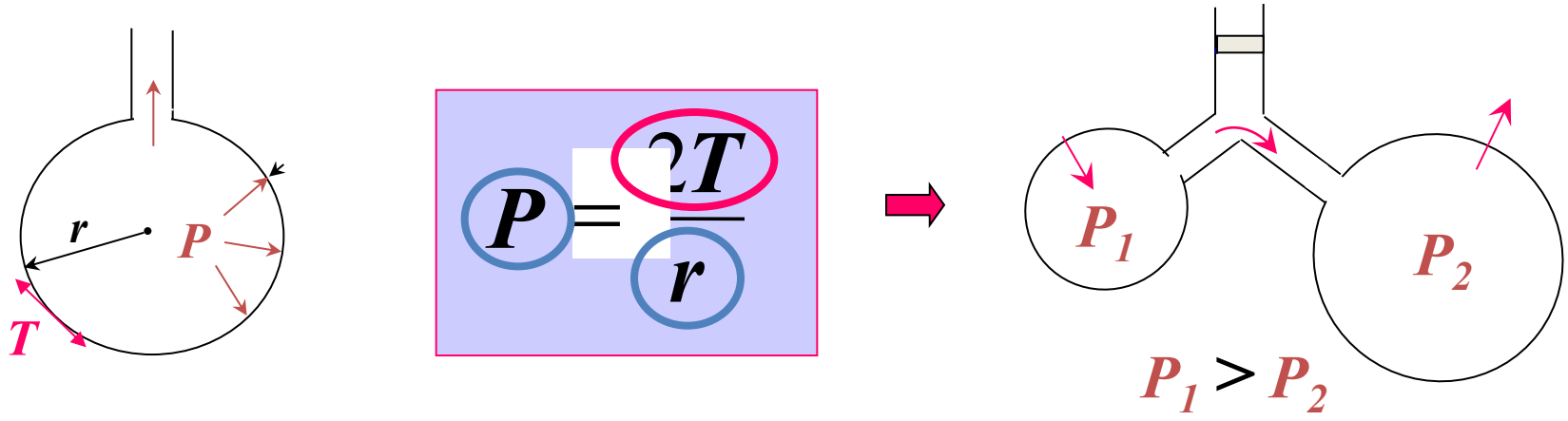
- Vlastní tkáňovou elasticitou (vlákna elastinu a kolagenu)
- Silami povrchového napětí (síly povrchového napětí v alveolech: rozhraní tekutina-vzduch, surfaktantem)

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 neelastickcých 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

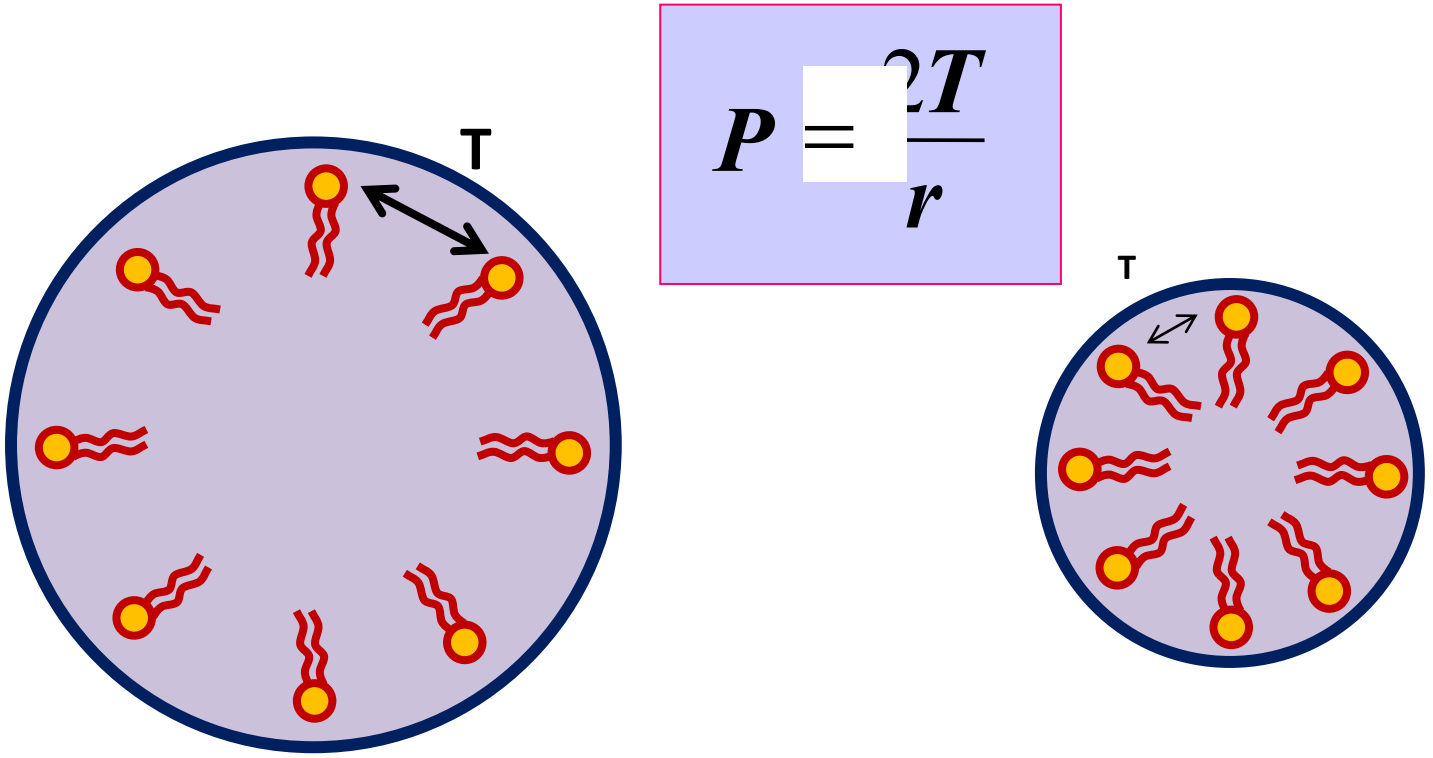
Laplaceův zákon (při konstantní tenzi):
čím větší je poloměr alveolu, tím menší je tlak v alveolu

→ 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



Statické plicní objemy a kapacity

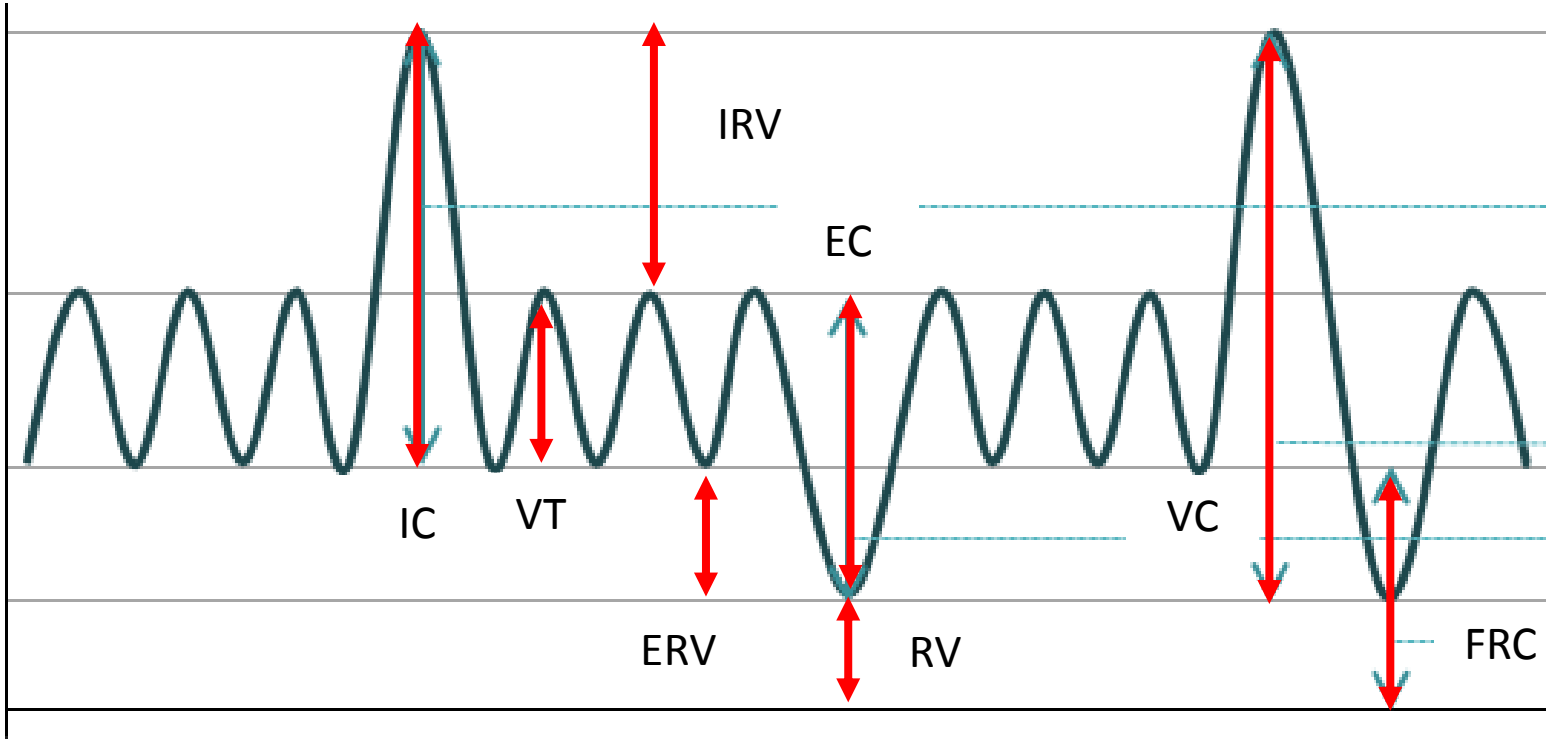
Statické plicní objemy:

- dechový objem VT (0,5 l)
- inspirační rezervní objem IRV (2,5 l)
- exspirační 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

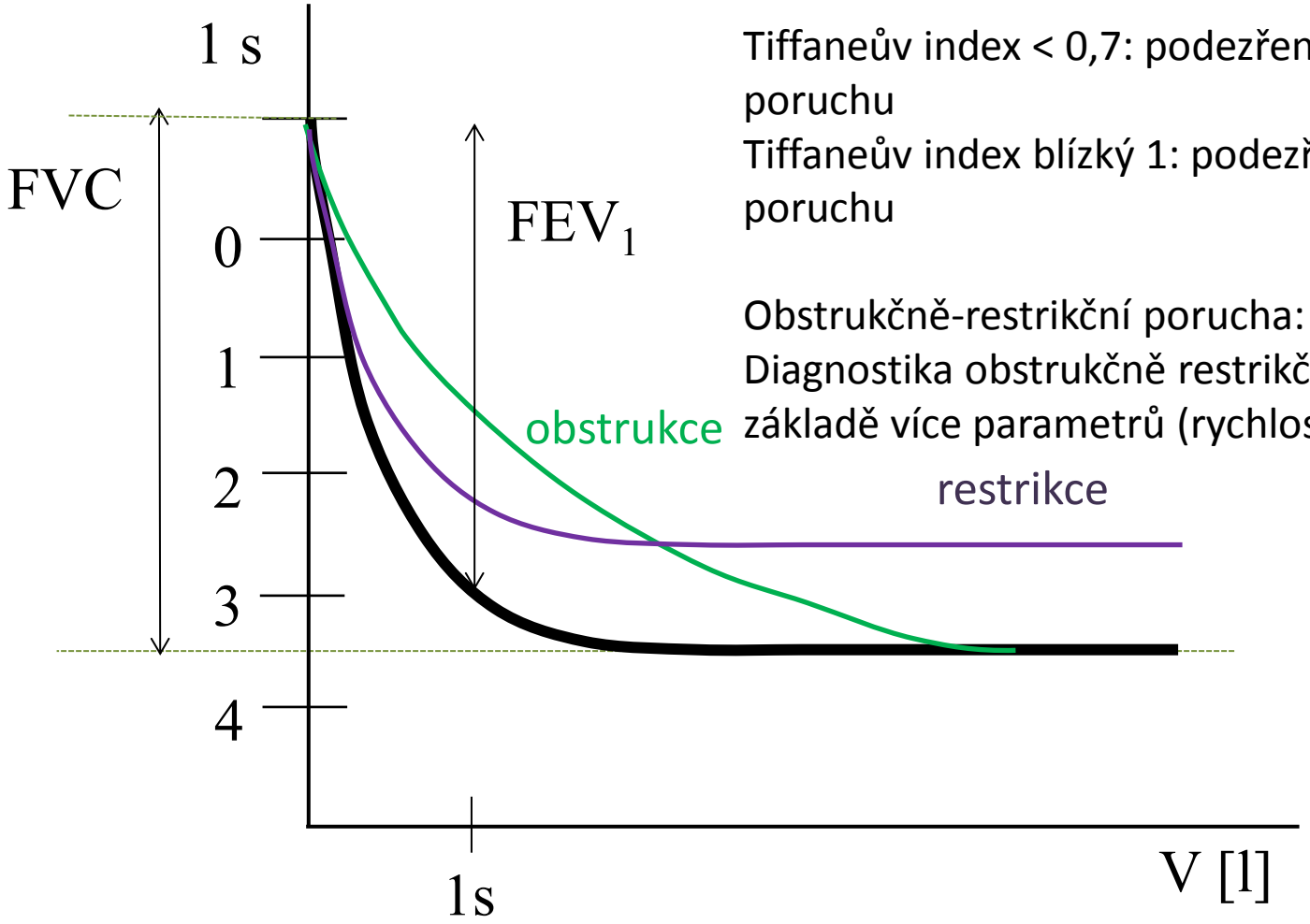
Plicní poruchy

Obstrukce : zvýšený podpor 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 FEV_1
- Relativní jednosekundová vitální kapacita (Tiffaneův index): ——



Tiffaneův index < 0,7: podezření na obstrukční poruchu
Tiffaneův index blízký 1: podezření na restrikční poruchu

Obstrukčně-restrikční porucha: index je nezměněn
Diagnostika obstrukčně restrikčních chorob probíhá na základě více parametrů (rychlost výdech, $FEV_{0,5}$,…)

SLOŽENÍ SUCHÉHO ATMOSFERICKÉHO VZDUCHU

O_2	20,98 %	F_{O2}	≅ 0,21
N_2	78,06 %	F_{N2}	≅ 0,78
CO_2	0,04 %	F_{CO2}	= 0,0004

Ostatní složky

BAROMETRICKÝ TLAK VZDUCHU NA ÚROVNI MOŘE

1 atmosféra = 760 mm Hg

PARCIÁLNÍ TLAKY PLYNŮ SUCHÉHO VZDUCHU NA ÚROVNI MOŘE

P_{O2} = 760 x 0,21 = ~160 mm Hg

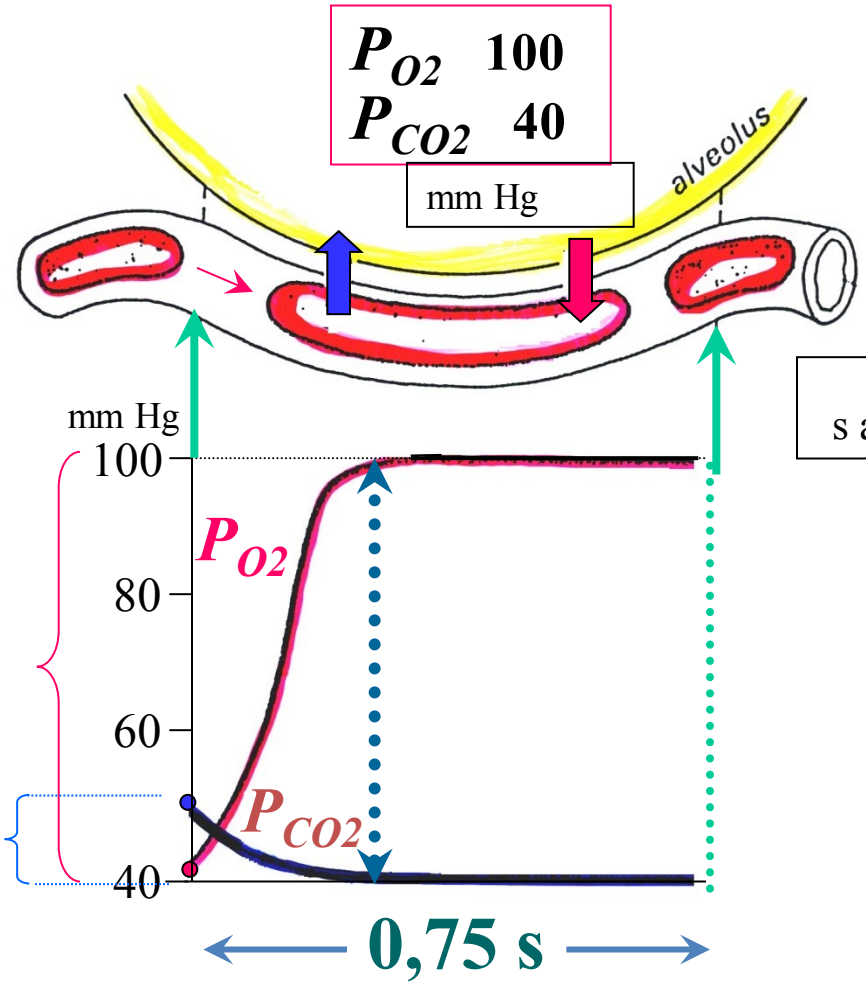
P_{N2} = 760 x 0,78 = ~593 mm Hg

P_{CO2} = 760 x 0,0004 = ~ 0,3 mm Hg

1 *kPa* = 7,5 *mm Hg (torr)*

Časový průběh vyrovnávání pO_2 a pCO_2 v kapiláře s alveolárním vzduchem

Ventilace - perfuze

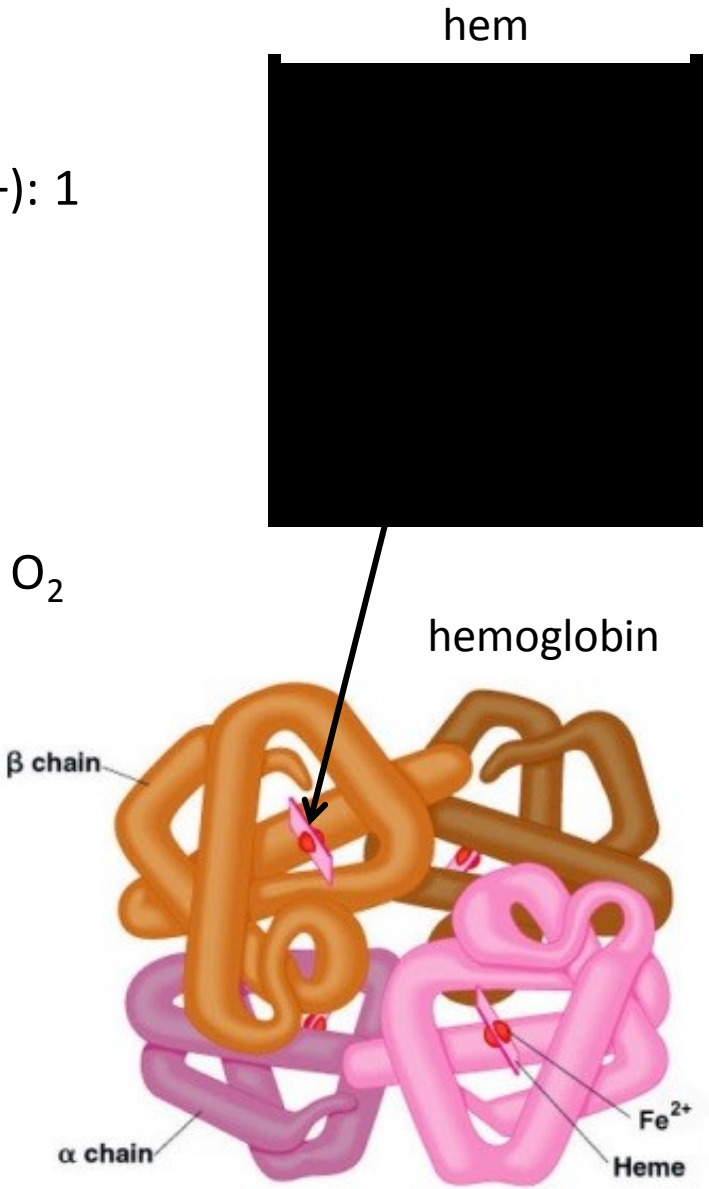


Transport kyslíku

- Většinou chemicky vázaný na hemoglobin (Fe2+): 1 molekula hemoglobinu váže 4 molekuly O_2
- Méně fyzikálně rozpuštěný v plazmě (1,4%)

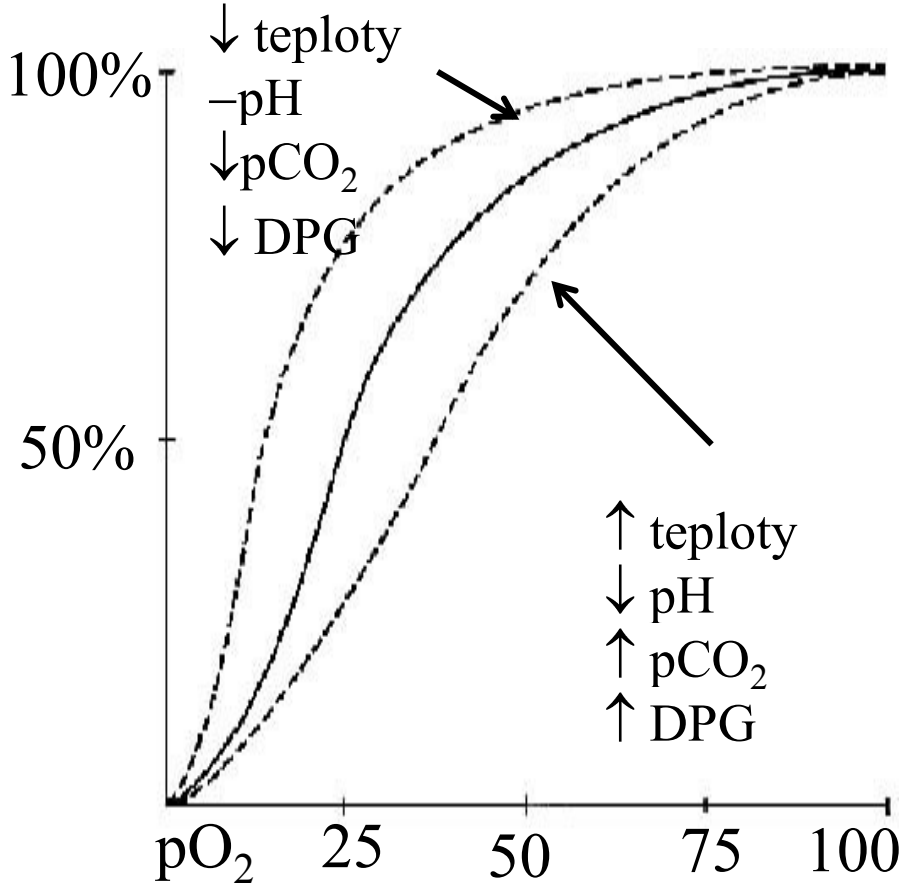
- Hemoglobin:
  - 2 α, 2 β podjednotky,
  - Každá podjednotka má 1 hem, který váže 1 O_2 → hemoglobin váže 4 molekuly O_2

- Fetální hemoglobin (2α, 2γ, vysoká afinita k O_2)
- Methemoglobin (Fe3+)
- Karboxyhemoglobin (otrava CO)
- Karbaminohemoglobin (navázaný CO2)
- Oxyhemoglobin (navázaný O2)
- Deoxyhemoglobin (bez navázaného plynu)



http://themedicalbiochemistrypage.org/images/hemoglobin.jpg

Saturace hemoglobinu kyslíkem



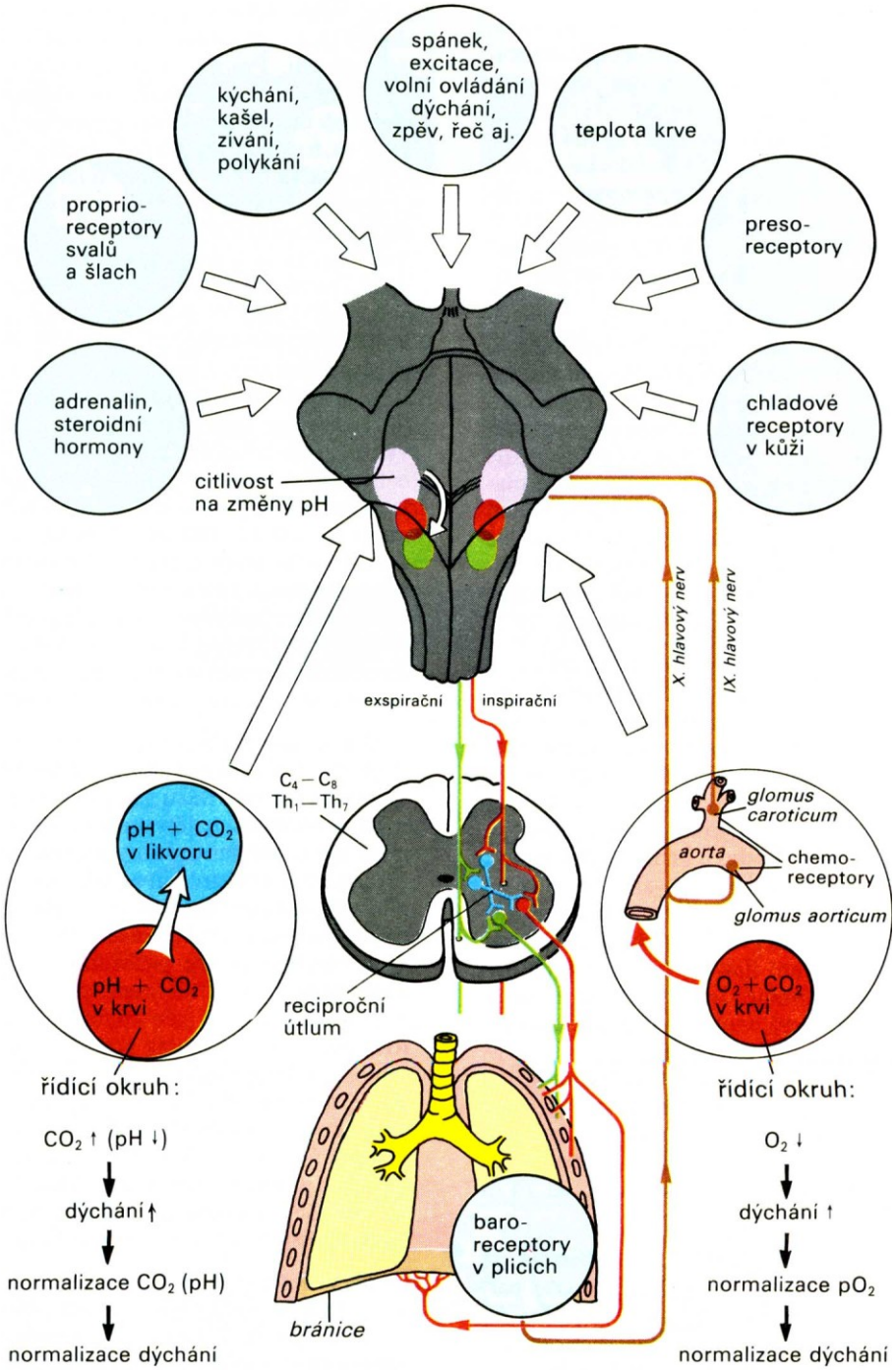
Transport oxidu uhličitého

- 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 H_2CO_3

$$CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3 \rightleftharpoons H^+ + HCO_3^-$$

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, kianid)

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