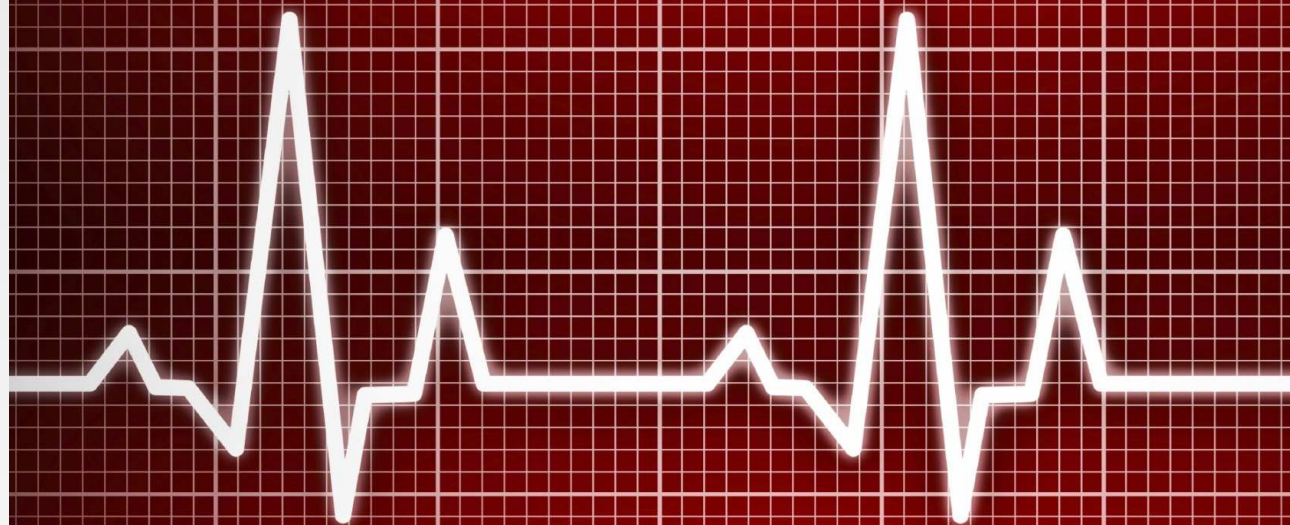
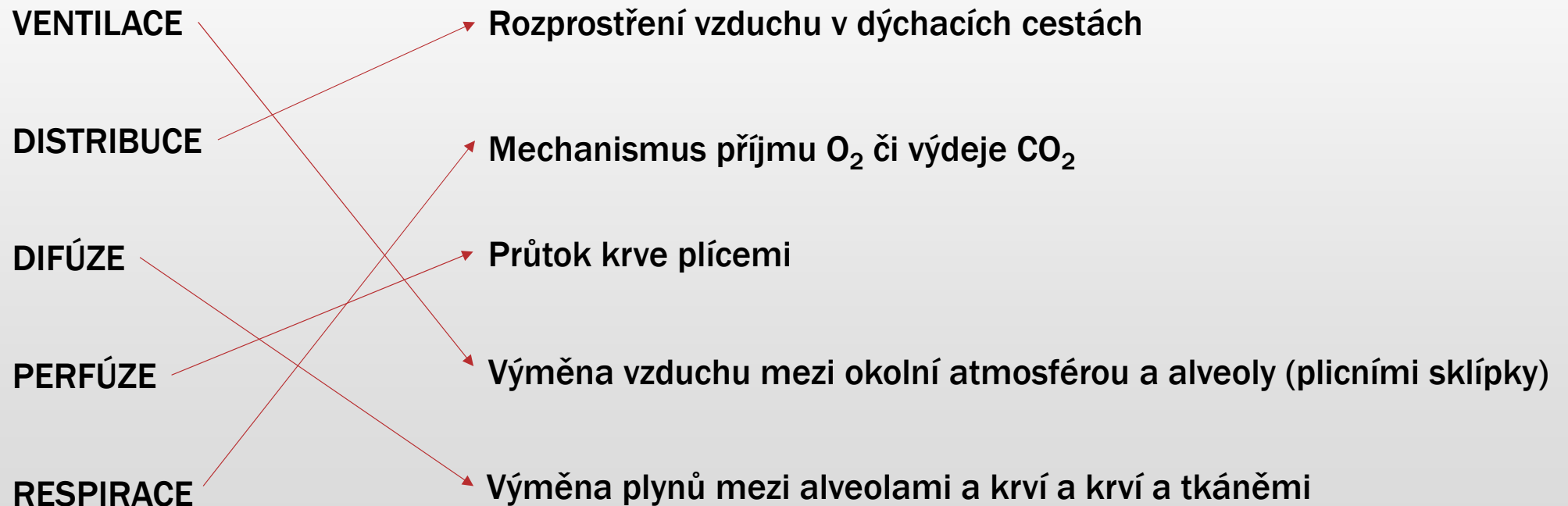


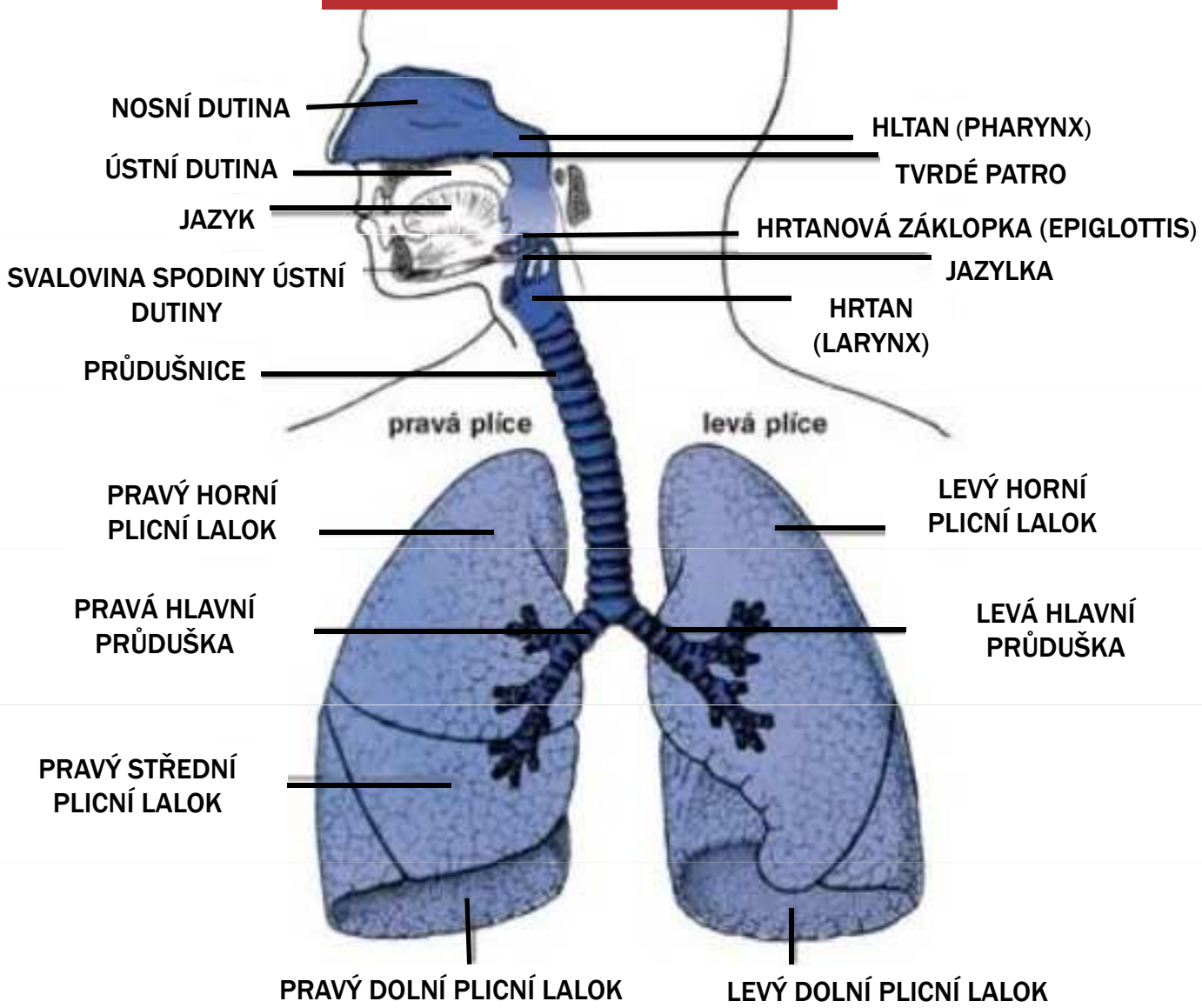
# DÝCHACÍ SYSTÉM



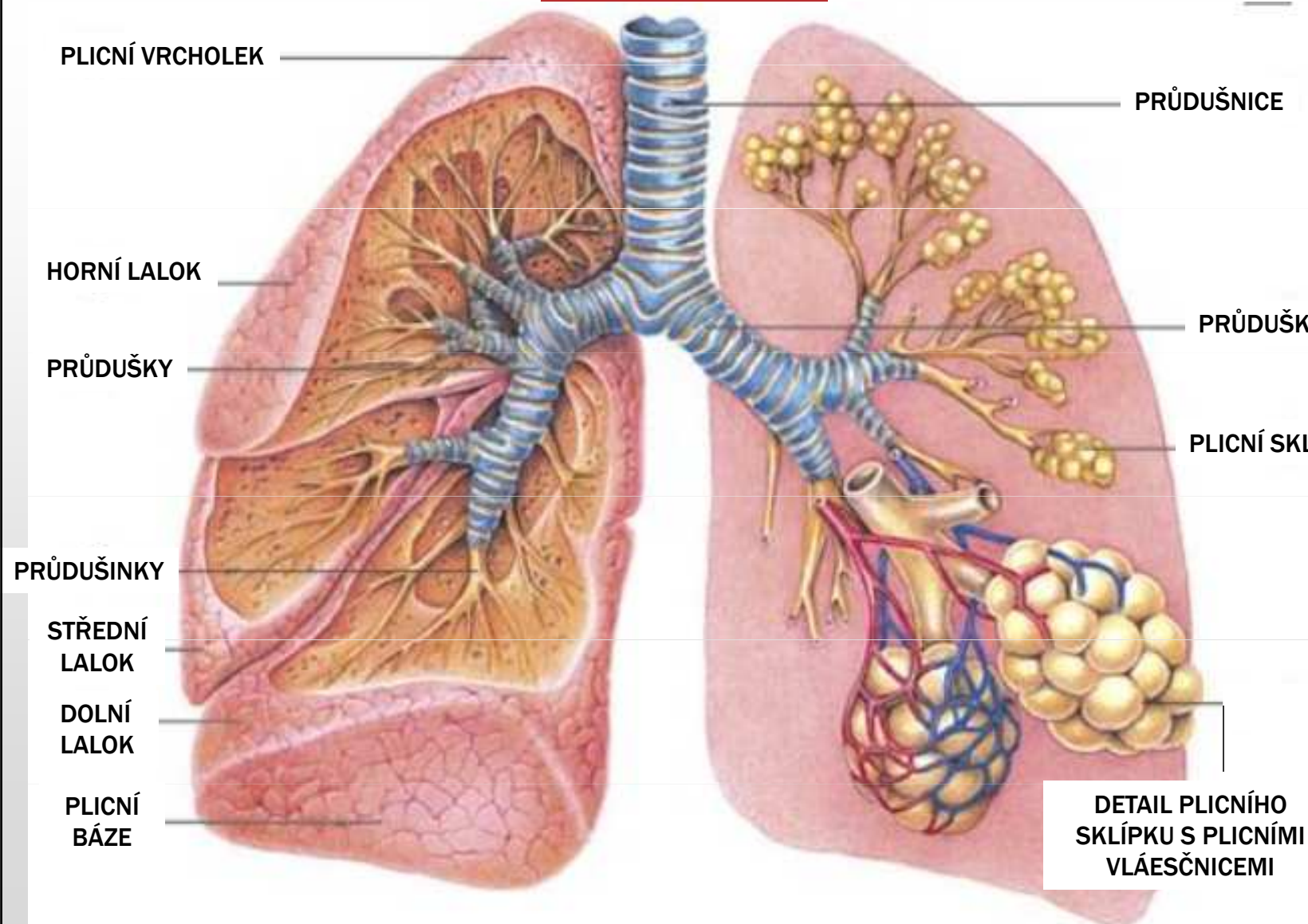
# ZÁKLADNÍ FUNKCE DÝCHACÍHO SYSTÉMU



# DÝCHACÍ SYSTÉM



# STAVBA PLIC



PLICNÍ VRCHOLEK

HORNÍ LALOK

PRŮDUŠKY

PRŮDUŠINKY

STŘEDNÍ LALOK

DOLNÍ LALOK

PLICNÍ BÁZE

PRŮDUŠNICE

PRŮDUŠKY

PLICNÍ SKLÍPKY

DETAIL PLICNÍHO SKLÍPKU S PLICNÍMI VLÁESČNICEMI

HORNÍ LALOK

PRŮDUŠNICE (TRACHEA)

PLICNÍ BÁZE

PLICNÍ SKLÍPKY

PRŮDUŠINKY (BRONCHIOLI)

STŘEDNÍ LALOK

PLICNÍ VRCHOLEK

DETAIL PLICNÍHO SKLÍPKU S PLICNÍMI VLÁESČNICEMI

PRŮDUŠKY (BRONCHI)

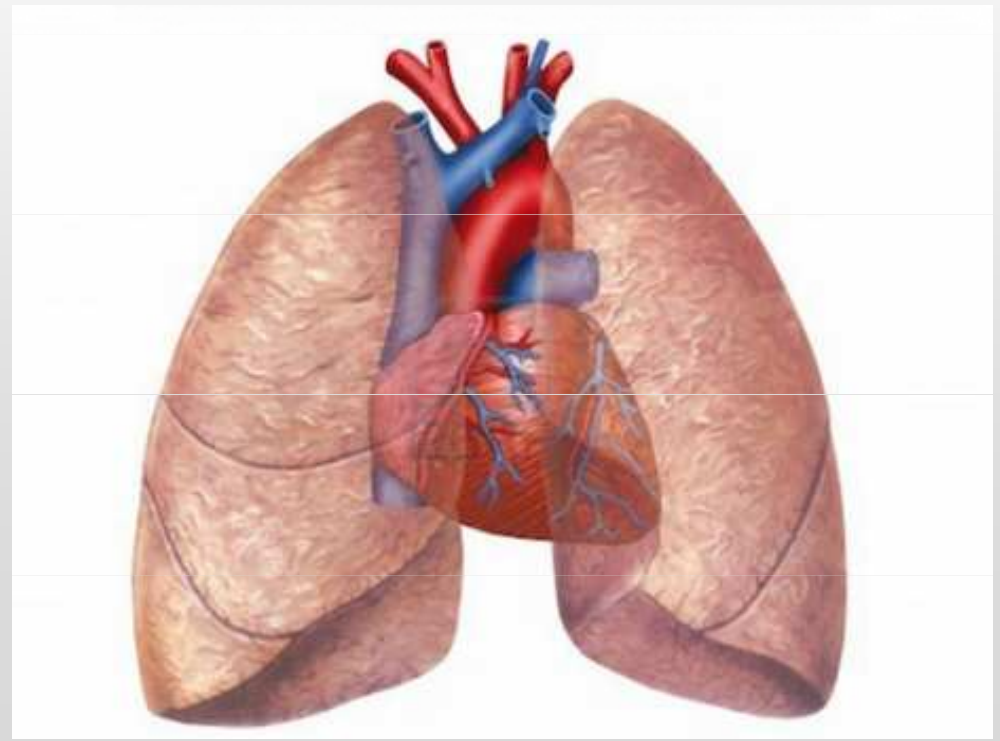
DOLNÍ LALOK

# DÝCHACÍ CESTY

- Horní cesty dýchací – nos, nosní dutiny, hltan
  - V nosní dutině probíhá úprava vzduchu pro dýchací cesty – teplota, zvlhčení
  - Čichová oblast je v horní části nosní dutiny
- Dolní cesty dýchací – hrtan, průdušnice (*trachea*), průdušky (*bronchy*)
  - Hrtan - probíhá dýchání, tvorba hlasu, kašel a napomáhá polykání uzavřením epiglotis

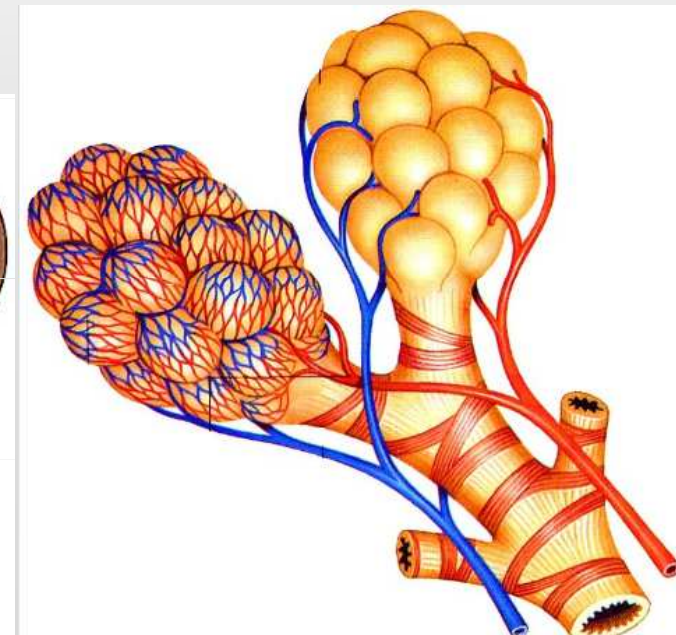
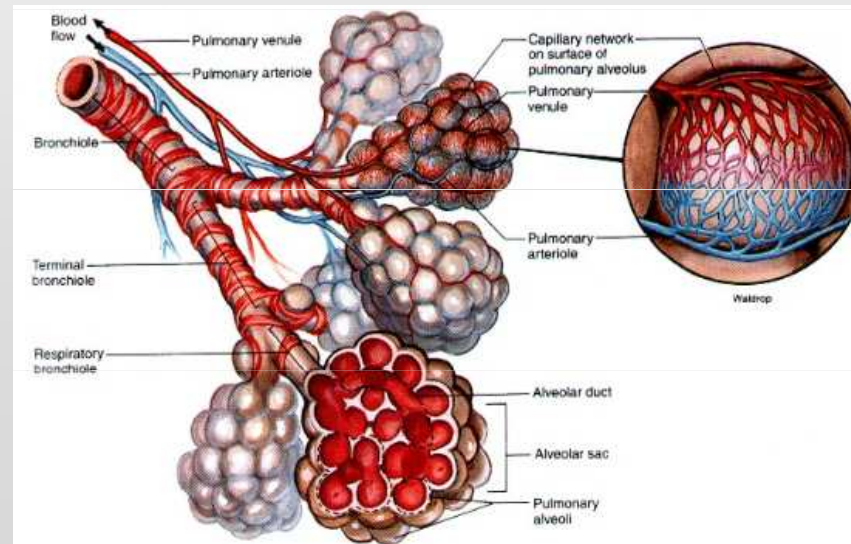
# PLÍCE

- Párový orgán, tvar komolého kužele
- Růžové až šedočerné podle znečištění
- Mají houbovitou konzistenci, jejich hmotnost je cca 750 g
- Pravá plíce větší – 3 laloky, levá 2 laloky, laloky dále rozděleny na segmenty



# PLICNÍ SKLÍPKY – ALVEOLY

- Bohatě zásobeny krví – kapiláry
- Člověk má asi 300 milionů alveolů
- Plocha alveol dospělého jedince zaujímá asi 70 m<sup>2</sup>
- Difundování O<sub>2</sub> a CO<sub>2</sub>



# DÝCHACÍ SYSTÉM – SVALY

- **Inspirační svaly**
  - Bránice – hlavní nádechový sval
  - Vnější mezižební svaly
    - *M. sternocleidomastoideus*
    - *Mm. scaleni*
- **Exspirační svaly**
  - Břišní lis
  - Vnitřní mezižební svaly
  - Bránice – při usilovném výdechu

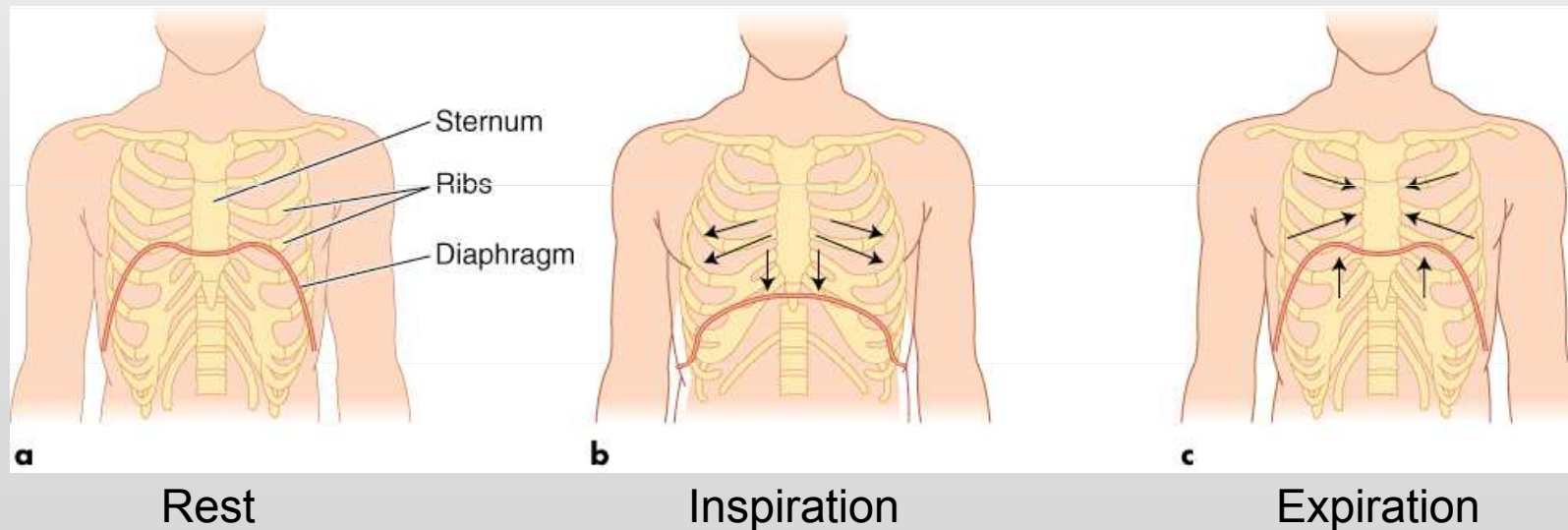


# DÝCHÁNÍ

- **Dech** – zajišťuje dodávku kyslíku a odstraňování oxidu uhličitého z tkání
  - Apnoe = zástava dechu
  - Dyspnoe = dušnost
  - Hyperventilace – zvýšení ventilace, která převyšuje metabolickou potřebu kyslíku
  - Hypoventilace – snížená ventilace
- **Zevní dýchání** – výměna plynů mezi vnějším prostředím a plícemi
  - Plicní ventilace – pohyb vzduchu do a z plic – nádech a výdech
  - Plicní difúze – výměna kyslíku a oxidu uhličitého mezi plícemi a krví
- **Vnitřní dýchání** – výměna plynů na úrovni tkání (mezi krví a tkáněmi)

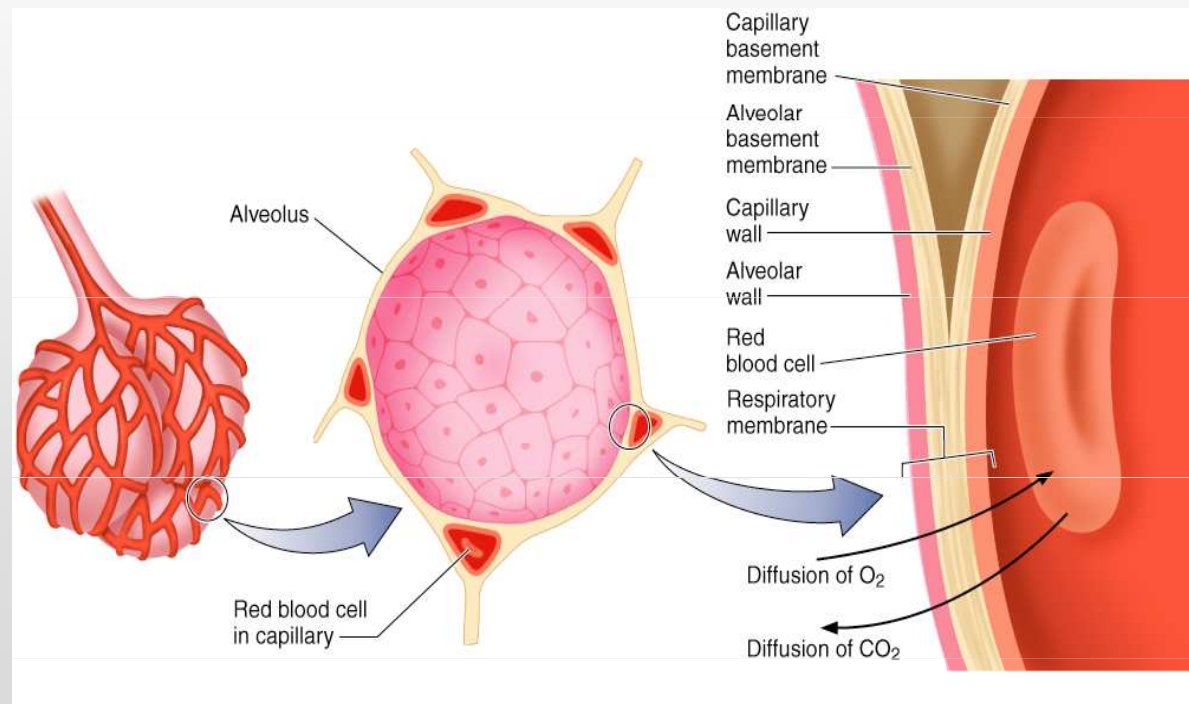
# PLICNÍ VENTILACE

- **Nádech (inspiration)** – aktivní děj za pomoci inspiračních svalů, intrapulmonální i interpleurální tlak klesá, vzduch jde do plic, tlak v dýchacích cestách je negativní
- **Výdech (expiration)** – na konci nádechu vlivem elasticity plic dochází k návratu hrudní stěny zpět do výdechové polohy, čímž je zprostředkován pasivní výdech, tlak v dýchacích cestách se zvyšuje (vzduch proudí ven)



# PLICNÍ DIFÚZE

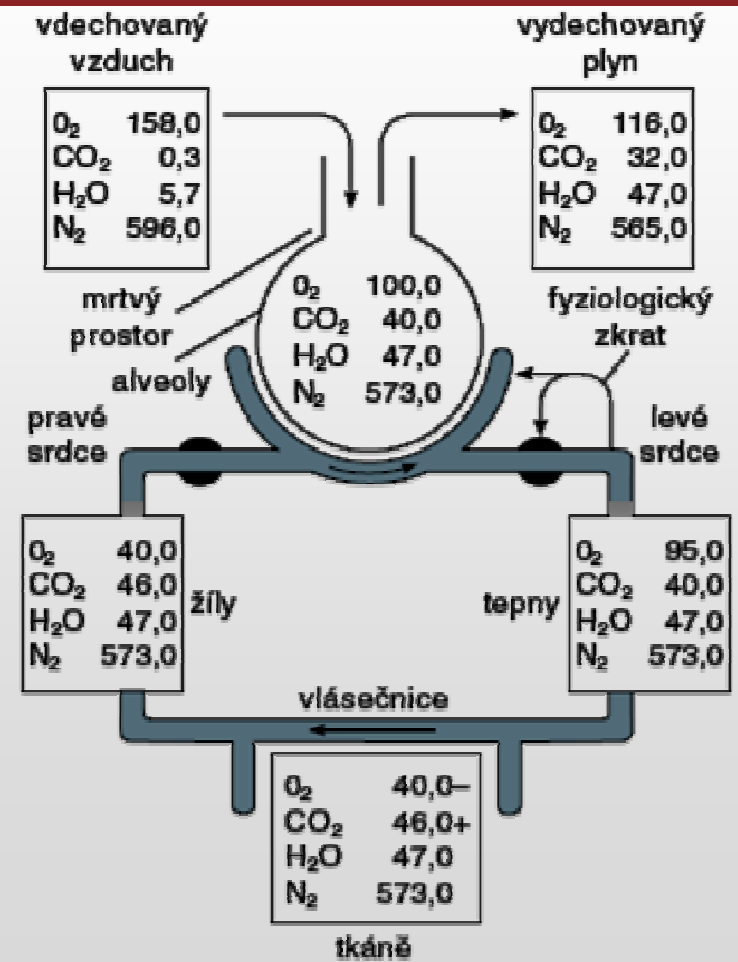
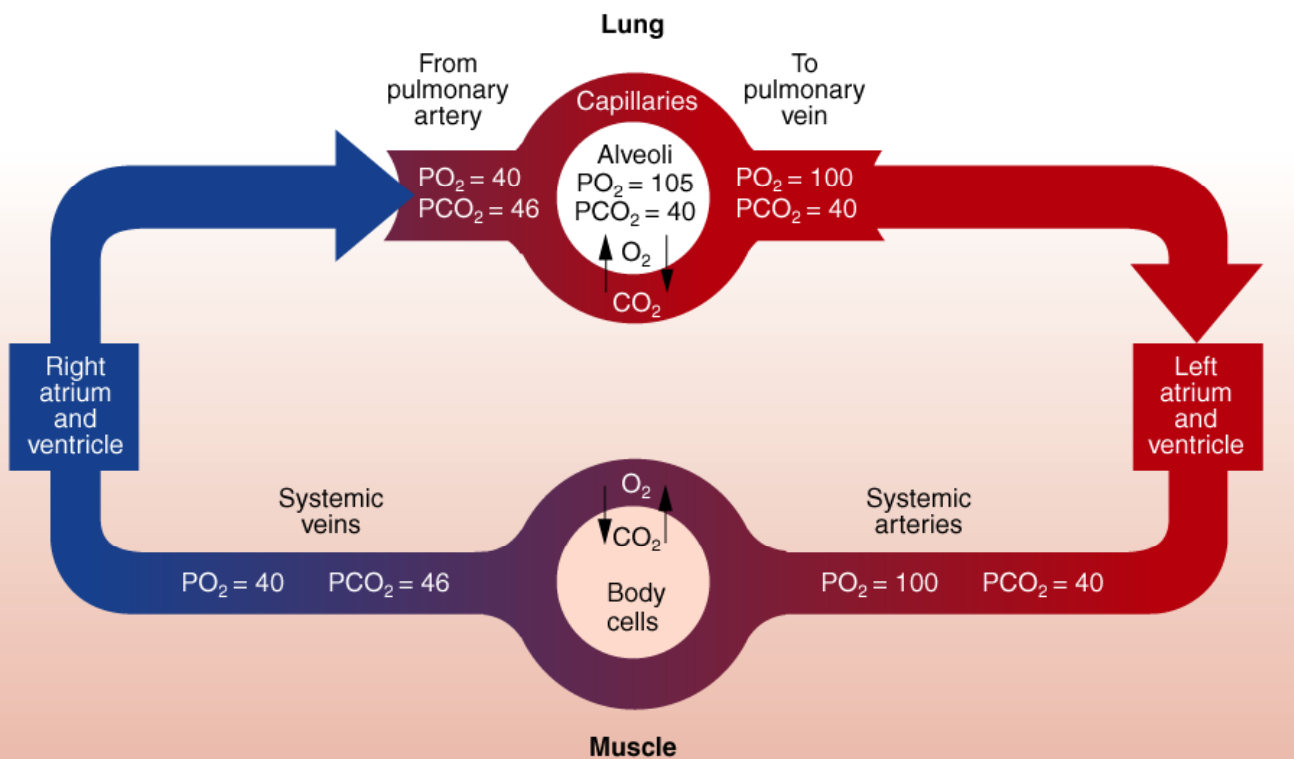
- Závisí na parciálním tlaku a rozpustnosti jednotlivých plynů, teplotě
- Difuze  $O_2$  a  $CO_2$  probíhá na ploše až  $100\text{ m}^2$
- Nasycení krve kyslíkem, který byl vyčerpán pro produkci oxidační energie
- Odstraňování  $CO_2$
- Difuze  $O_2$  a  $CO_2$  přes alveolo-kapilární membránu (= respirační membrána alveolů)



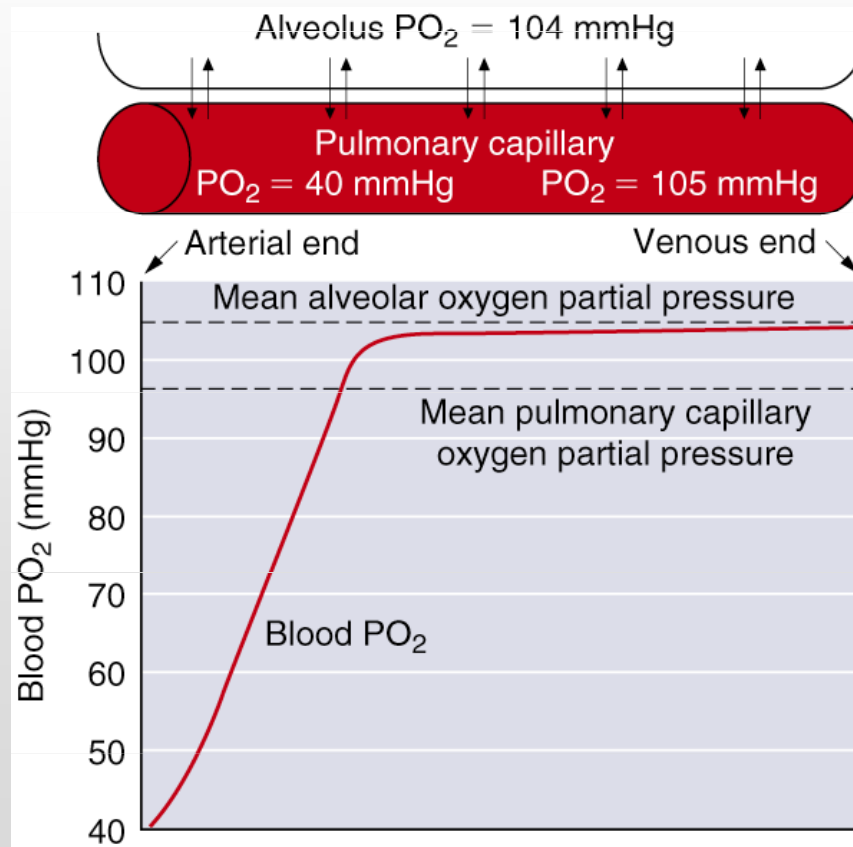
# PARCIÁLNÍ TLAK

- Standardní atmosférický tlak (ve výši hladiny moře) = 760 mmHg (= 1 Torr)
- O<sub>2</sub> tvoří 20,93 % vzduchu; pO<sub>2</sub> = 159,1 mmHg
- CO<sub>2</sub> tvoří přibližně 0,03 %; pCO<sub>2</sub> = 0,2 mmHg
- Rozdíly parciálních tlaků plynů v alveolách a v krvi vytvářejí tlakový gradient a dochází k difúzi plynů přes dýchací membránu
- Čím větší je tlakový gradient, tím rychleji kyslík difunduje

# PARCIÁLNÍ TLAKY O<sub>2</sub> A CO<sub>2</sub>



# PŘECHOD O<sub>2</sub> DO KAPILÁR



# TRANSPORT O<sub>2</sub>

- Rozpuštěný v plazmě
- Vazba na hemoglobin
- Oxyhemoglobin – Hb s navázaným O<sub>2</sub>
- Deoxygenace (redukovaný Hb) – hemoglobin bez kyslíku
- 1 g Hb obsahuje 1,39 ml O<sub>2</sub>
- V krvi: 160 g l/1 u mužů (140 g l/1 u žen) Hb (Fe<sup>2+</sup>)

# TRANSPORT O<sub>2</sub>

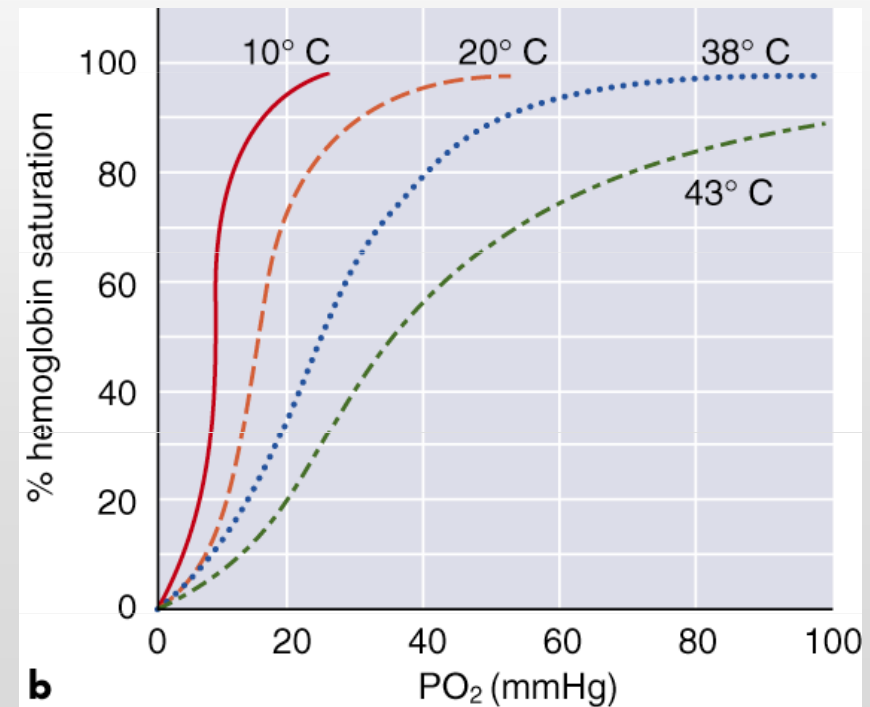
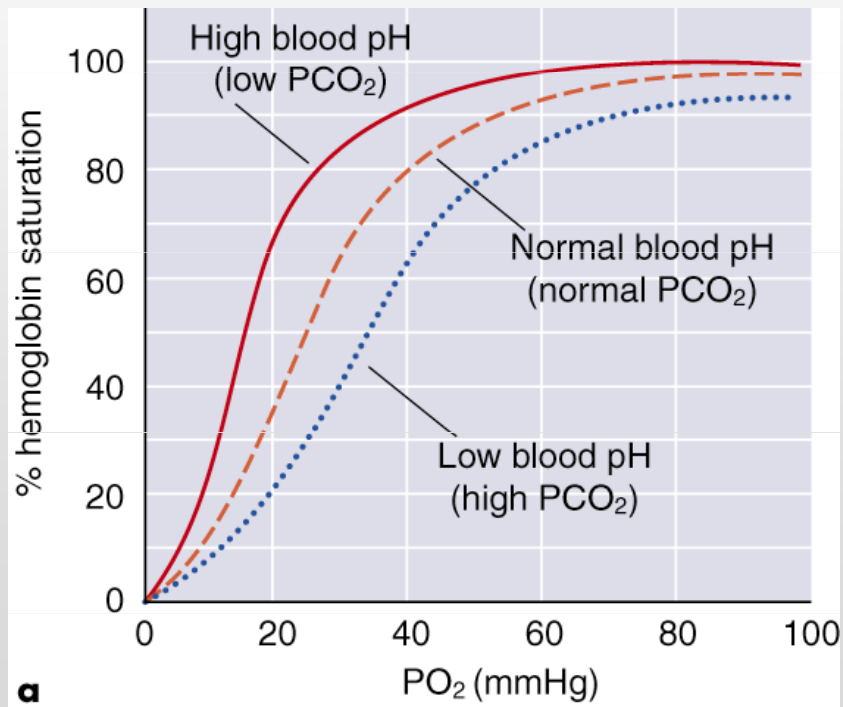
- Koncentrace hemoglobinu do značné míry určuje kapacitu krve přenášející kyslík (> 98 % transportovaného kyslíku)
- Zvýšená kyselost a teplota svalu umožňuje uvolnit více kyslíku
- Cvičení ovlivňuje transport kyslíku ve svalu
- Nízké množství železa vede k anémii, což snižuje schopnost těla přenášet kyslík (častěji u žen než u mužů)



# BOHRŮV EFEKT

- ↓pH - snižuje afinitu Hb k O<sub>2</sub>
- ↑pH - odstranění H<sup>+</sup> z Hb stimuluje vazbu O<sub>2</sub> na Hb

Afinita Hb ke kyslíku stoupá s rostoucím pO<sub>2</sub>

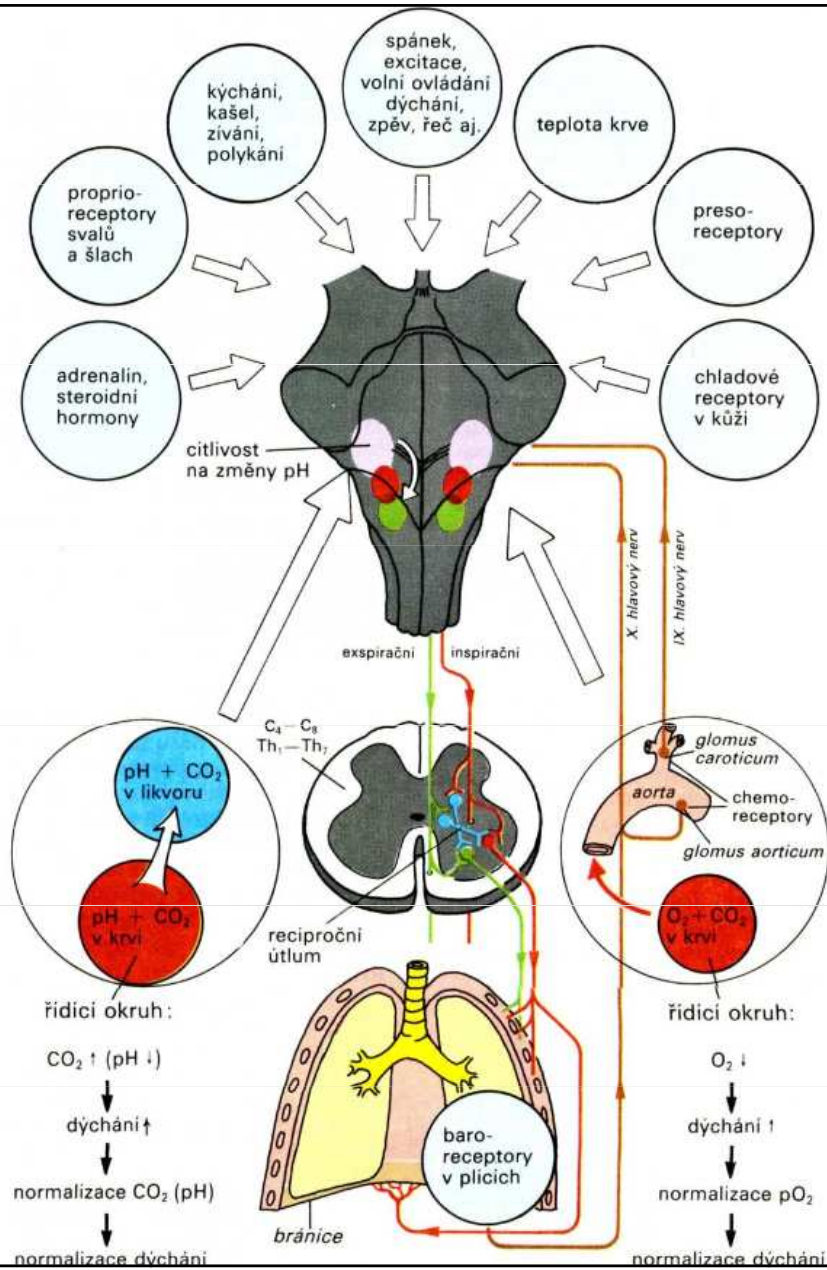


# TRANSPORT CO<sub>2</sub>

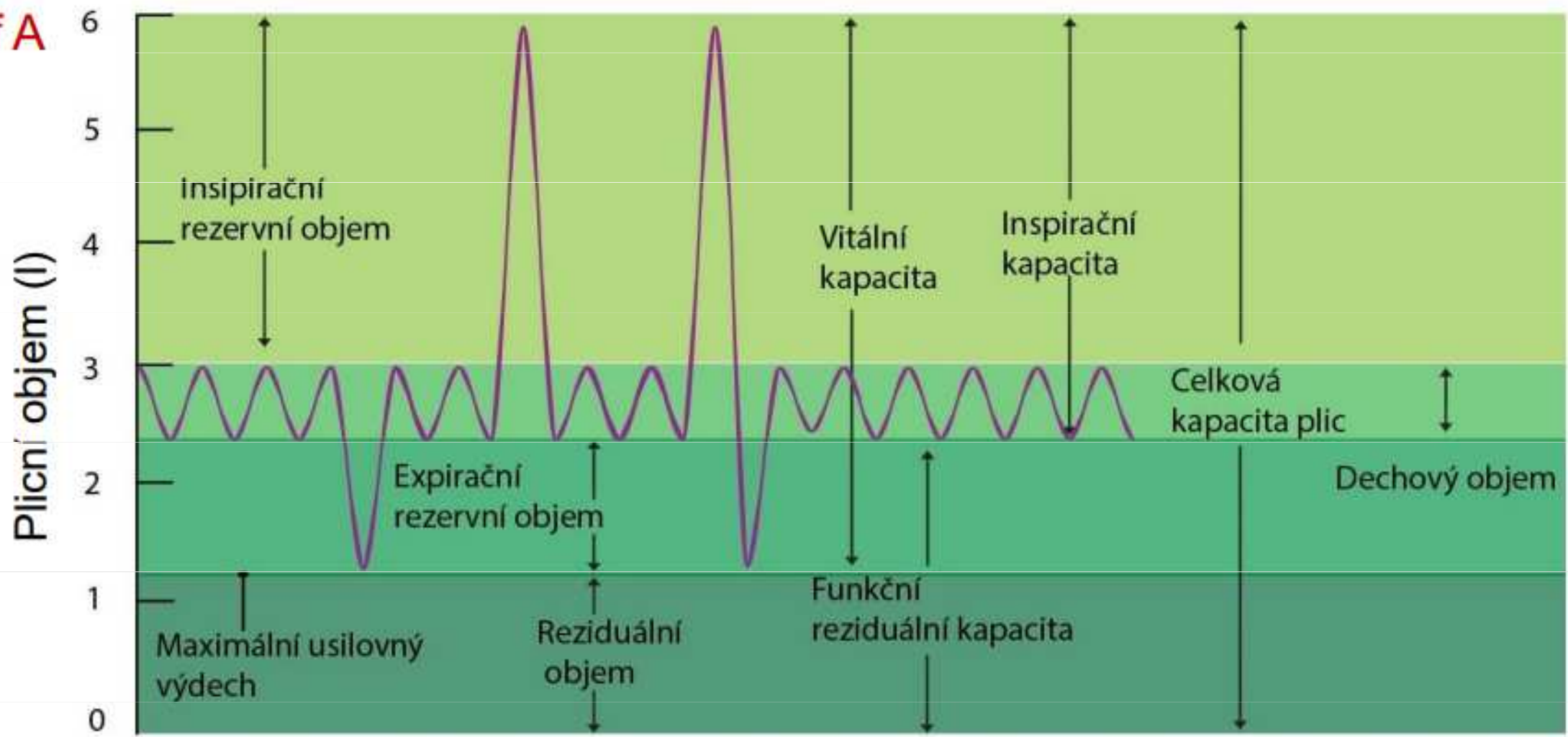
- 12 % je fyzikálně rozpuštěno
- 11 % je karbaminohemoglobin (navázaný na bílkoviny – NH<sub>2</sub> skupiny hemoglobinu)
- 27 % je bikarbonát v erytrocytech
- 50 % je plazmatický bikarbonát

# ŘÍZENÍ DÝCHÁNÍ

- **CNS**
  - Centrum dýchání v prodloužené míše
  - Dýchací svaly inervovány vlákny C4–C8 a Th1–Th7
- **Chemické detekční mechanismy**
  - Centrální chemoreceptory v prodloužené míše, ovlivňovány změnami  $\text{CO}_2$ , resp. změnami pH likvoru
  - Periferní chemoreceptory (*glomus caroticum* a *glomus aorticum*) detekují parciální tlak  $\text{O}_2$



f A



# ZÁKLADNÍ POJMY

## Statické plicní objemy

- Dechový objem (DO)
- Inspirační rezervní objem (IRO)
- Exspirační rezervní objem (ERO)
- Reziduální objem (RO)

## ▶ Dynamické plicní parametry

- Dechová frekvence (DF)
- Minutová ventilace (MV)
- Maximální minutová ventilace (MMV)
- Jednosekundová vitální kapacita (FEV1)

## Statické plicní kapacity

- Vitální kapacita (VC)
- Celková kapacita plic (TC)
- Inspirační kapacita (IC)
- Funkční reziduální kapacita (FRC)

- Všechny plicní parametry jsou ovlivněny výškou, hmotností, stářím, trénovaností, pohlavím a zdravotním stavem
- V praxi se udává absolutní a relativní hodnota

# Statické plicní objemy

## DECHOVÝ OBJEM (DO)

- Objem vzduchu, který vdechneme při klidném nádechu po ukončeném klidovém výdechu
  - Obsahuje i tzv. mrtvý prostor - označuje objem dýchacích cest až po terminální bronchioly. Jeho objem je 150 až 200 ml
- V klidu cca 0,5 l
- Střední výkon asi 1–2 l (30 % VC), těžká práce asi 2–3 l (50 % VC, u trénovaných až 60–70 % VC)

# Statické plicní objemy

## INSPIRAČNÍ A EXPIRAČNÍ REZERVNÍ OBJEM

- Vzduch, který vdechneme/vydechneme pouze při usilovném nádechu/výdechu
- IRO cca 2,5 l
- ERO cca 1,5 l



# Statické plicní objemy

## REZIDUÁLNÍ OBJEM (RO)

- ▶ I přes naši veškerou snahu nejsme schopní úplně vyprázdnit plíce  
⇒ Objem, který zůstává v plicích i přes maximální usilovný výdech
- ▶ U dospělého se jedná o cca 1,2 l

# CELKOVÁ KAPACITA PLIC (TC)

- Cca 6 l
- $TC = IRO + DO + ERO + RO = VC + RO$

# INSPIRAČNÍ KAPACITA (IC)

- ▶ Cca 3 l
- ▶  $IC = IRO + DO$

# FUNKČNÍ REZIDUÁLNÍ KAPACITA (FRC)

- ▶ Cca 3 l
- ▶  $FRC = ERO + RO$

# Dynamické plicní parametry

## DECHOVÁ FREKVENCE (DF)

- Klidová DF 12–18/min
- Zvyšování v průběhu práce je individuální, u žen bývá vyšší
- Lehká práce 20–30/min, těžká 30–40/min, velmi těžká 40–60/min
- U zátěže cyklického charakteru může být vázána na pohyb
- ↑DF může vést ke ↓DO a tím i minutové ventilace

# Dynamické plicní parametry

## MINUTOVÁ VENTILACE (MV; VE)

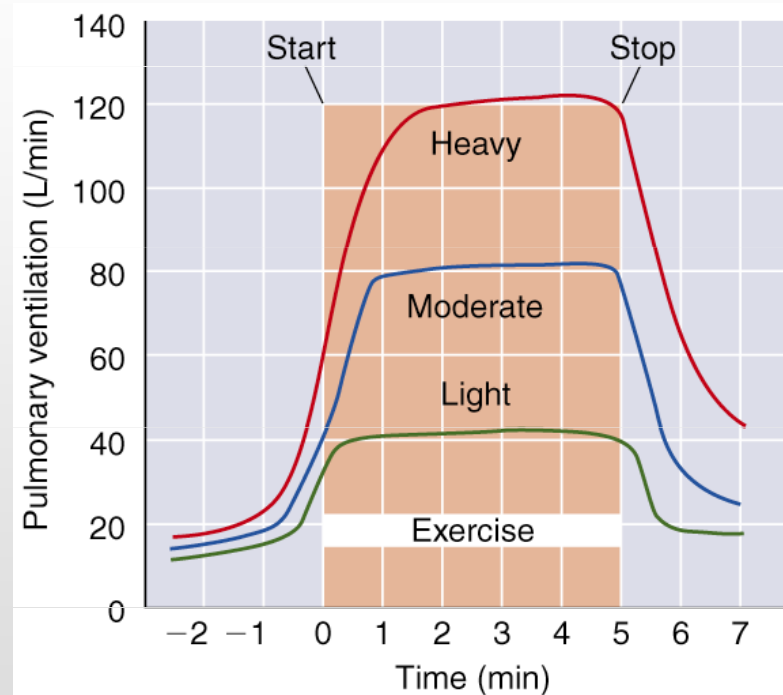
- Dechový objem vynásobený frekvencí dechů za minutu

$$MV (VE) = DF \times DO$$

- V klidu cca 8–10 l u sportující i nespportující populace

- Při zátěži roste až ke 120 l/min, u sportujících až k 180 l/min

- Ihned po skončení zátěže prudce klesá, následně je pak pokles pozvolnější



# Dynamické plicní parametry

## MAXIMÁLNÍ MINUTOVÁ VENTILACE (MVV)

- **Volní:**
  - Měřena v klidových podmínkách, maximální množství vzduchu, které je možné dopravit do plic volným úsilím během 1 min
  - Až 200 l
- **Pracovní:**
  - Je asi o 20 % ↓ než volní

# Dynamické plicní parametry

## JEDNOSEKUNDOVÁ VITÁLNÍ KAPACITA (FEV<sub>1</sub>)

- Objem vzduchu, který je vydechnutý při usilovném výdechu za první sekundu
- Tiffeneauův index je podíl FEV<sub>1</sub> a VC. Pomáhá při diagnostice obstrukční a restriční plicní nemoci. Fyziologická hodnota se udává okolo 80 % (0,8)



# VITÁLNÍ KAPACITA (VC)

- V klidu 3–5 l
- $VC = IRO + DO + ERO$
- Ovlivnitelná předchozí zátěží: při mírné (rozdýchání) se může ↑, při střední se nemění, při vysoké pro únavu dýchacích svalů může i klesnout na 60 % výchozí hodnoty
- Závisí na pohlaví, věku, tělesném povrchu a trénovanosti

# USILOVNÁ VITÁLNÍ KAPACITA (FVC)

- ▶ Maximální objem vzduchu, který lze po maximálním nádechu prudce vydechnout
- ▶ Využití při diagnostice

# FYZIOLOGICKÉ PARAMETRY DÝCHACÍHO SYSTÉMU

- Příjem (spotřeba) kyslíku ( $\dot{V}O_2$ ) = množství kyslíku přijatého organismem za minutu (v ml/min/kg)
- $\dot{V}O_{2max}$  = maximální spotřeba kyslíku
- Výdej oxidu uhličitého ( $\dot{V}CO_2$ ) = množství vydechnutého  $CO_2$  za minutu (v ml/min/kg)
- Poměr respirační výměny / Respirační kvocient (RER/RQ) = poměr mezi vydýchaným  $CO_2$  a přijatým  $O_2$

# FYZIOLOGICKÉ PARAMETRY DÝCHACÍHO SYSTÉMU

- Ventilační ekvivalent pro kyslík ( $VE/VO_2$ ) = množství kyslíku, který přijmeme z 1 litru vzduchu
- Tepový kyslík ( $VO_2/HR$ ) = množství kyslíku, které se do krevního oběhu dostává při jednom srdečním stahu, (v ml)

# ODPOVĚĎ NA ZÁTĚŽ

- **Reaktivní změny – bezprostřední reakce organismu**
  - **Fáze úvodní**
    - ↑ DF a ventilace před výkonem
    - Emoce (více u osob netrénovaných) a podmíněné reflexy (u trénovaných osob)
    - Startovní a předstartovní stavy
  - **Fáze průvodní**
    - Při vlastním výkonu roste DF a ventilace nejdřív rychle (fáze iniciální) → zpomalení → při déletrvající zátěži (více než 40–60s) se může projevit mrtvý bod
  - **Fáze následná**
    - Návrat ventilačních parametrů k výchozím hodnotám, zpočátku rychleji, postupně pomalejší
    - Pozátěžový kyslík (kyslíkový dluh)
- **Adaptační změny – výsledek dlouhodobého opakovaného tréninku**

# ODPOVĚĎ NA ZÁTĚŽ – MRTVÝ BOD

- Subjektivní příznaky = nouze o dech, svalová slabost, bolesti ve svalech, tíha a tuhnutí svalů
- Objektivní příznaky = pokles výkonu, ↓ koordinace, narušená ekonomika dýchání, tzn. ↓ DO a ventilace, ale ↑ DF, ↑ TF, ↑ TK
- Příčina = nedostatečná sladěnost systémů při přechodu neoxidativního metabolismu na oxidativní

# ODPOVĚĎ NA ZÁTĚŽ – DRUHÝ DECH

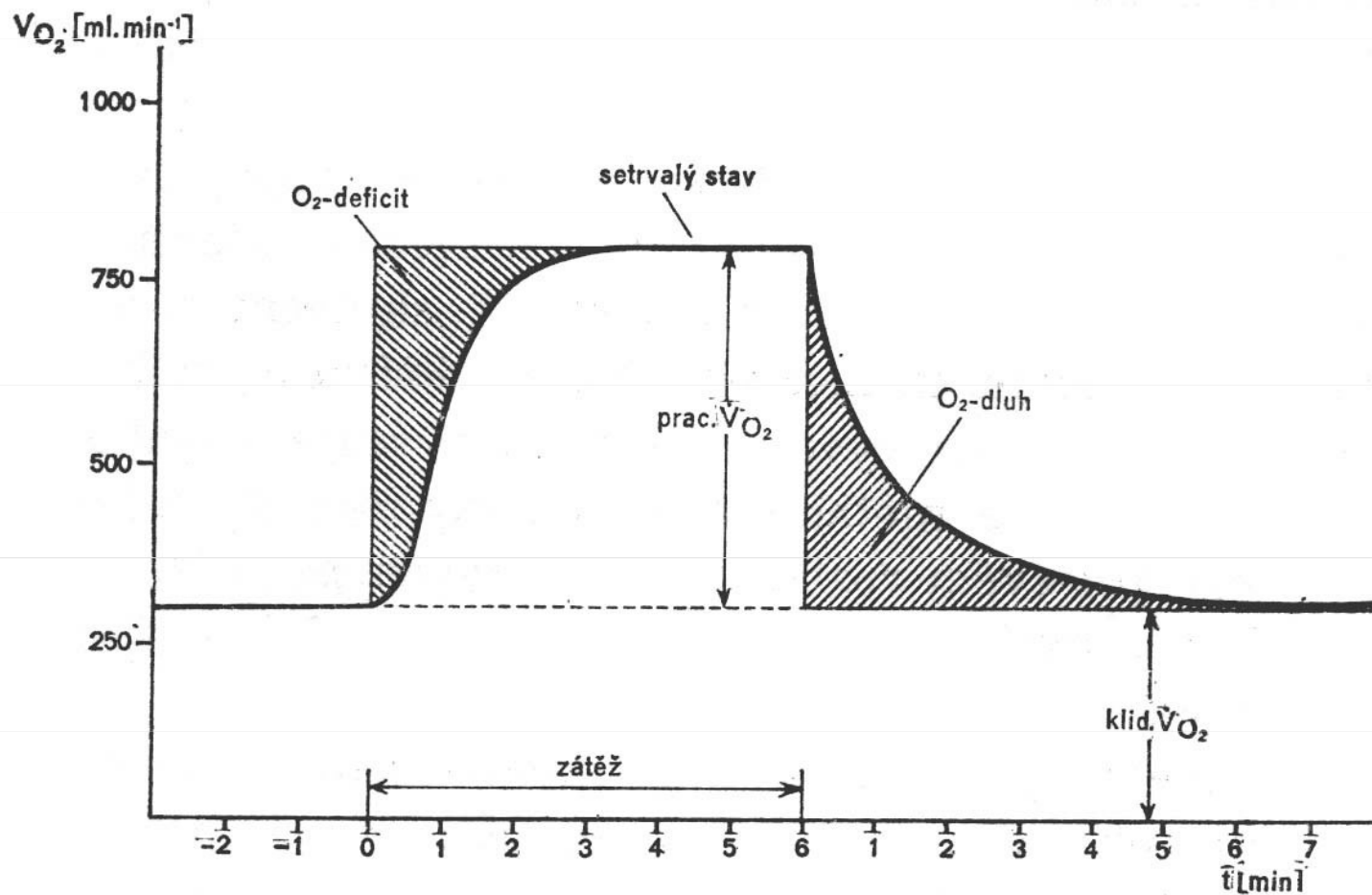
- Jestliže se pokračuje dále, pak příznaky mrtvého bodu mizí → druhý dech, tzn.  $\uparrow DO$ ,  $\downarrow DF$ ,  $\downarrow TF$ ,  $\downarrow TK$
- Rovnovážný stav po 2–3 min méně intenzivní a po 5–6 min intenzivnější práce

# ODPOVĚĎ NA ZÁTĚŽ – KYSLÍKOVÝ DLUH

- ▶ Nedostatečné zásobení pracujících svalů kyslíkem, nepoměr mezi požadavky na  $O_2$  a jeho dodávkou, vede k zapojení anaerobních mechanismů – vznik laktátu  
(↑ H + metabolické acidóza – mrtvý bod)
- ▶ Při zajištění dodávky  $O_2$  – druhý dech
- ▶ Po ukončení zátěže přetrvává zvýšený příjem  $O_2$  = splácení kyslíkového dluhu



# KYSLÍKOVÝ DLUH



# AEROBNÍ A ANAEROBNÍ PRÁH

- **Aerobní práh**

- Maximální intenzita při které přestává „výhradní“ aerobní krytí
- Intenzita, od které se začíná zapojovat anaerobní krytí a tak vzniká laktát
- Hladina laktátu (2 mmol/l krve)

- **Anaerobní práh**

- Maximální intenzita, při které začíná převládat anaerobní krytí
- Intenzita při které dochází k narušení dynamické rovnováhy mezi tvorbou a metabolizací laktátu
- Hladina laktátu (4 mmol/l krve) a vyšší
- Kolem 8 mmol/l krve nemožnost pokračovat (trénování až 30 mmol/l)

# ODPOVĚĎ NA ZÁTĚŽ

- **DF**

- Reakce – při zátěži roste až na 60/min (v klidu 14–16/min)
- Adaptace – v klidu u sportovců klesá (10/min)

- **DO**

- Reakce – při zátěži roste až na 2,5 l (v klidu 0,5 l)
- Adaptace – trénování jedinci v klidu až 1 l a při zátěži až 4 l

- **MV (VE)**

- Reakce – při zatížení až 120 l (v klidu 8–10 l)
- Adaptace – při zatížení až 180 l

- **VC**

- Reakce – přímo v průběhu zátěže se neměří, měří se až po skončení aktivity (ženy v klidu 3–4 l, muži 4–5 l)
- Adaptace – vytrvalostně trénování až 6 l (plavci až 8 l)

# ODPOVĚĎ NA ZÁTĚŽ

- **VO<sub>2</sub>**
  - **Reakce** – se zvýšenou intenzitou roste příjem O<sub>2</sub>, u mužů na 45 ml/min/kg, u žen na 35 ml/min/kg (v klidu 3,5 ml/min/kg)
  - **Adaptace** – u vytrvalostních sportů roste především VO<sub>2</sub>max, u běžkařů až na 90 ml/min/kg oproti běžné populaci, jež má VO<sub>2</sub>max cca 50 ml/min/kg
- **VO<sub>2</sub>/SF**
  - **Reakce** – u běžné populace muži 15–16 ml, ženy 10–11 ml (v klidu 5 ml)
  - **Adaptace** – u trénovaných v zátěži 30–35 ml

# SPIROMETRIE

- Je základní vyšetřovací metodou informující o fyziologických a patofyziologických podmínkách a hodnotách výměny vzduchu mezi zevním prostředím a plícemi
- Základní výsledky vyšetření mohou být získány pomocí jednoduchého spirometru
- **Korekční faktor**
  - BTPS (body temperature, atmospheric pressure, water saturated)

# SPIROMETRIE

- **VC** = množství maximálně vydechnutého vzduchu po předchozím maximálním nádechu
- **FVC** (forced vital capacity) = objem usilovného výdechu („co nejvíce a co nejrychleji“)
- **FEV<sub>1</sub>** (forced exhaled volume) = objem vzduchu při maximálním výdechu během první sekundy po předchozím usilovném nádechu
- **PEF** (peak expiratory flow) = maximální výdechová rychlost
- **FER** (forced expiration ratio) = průchodnost periferních průdušek