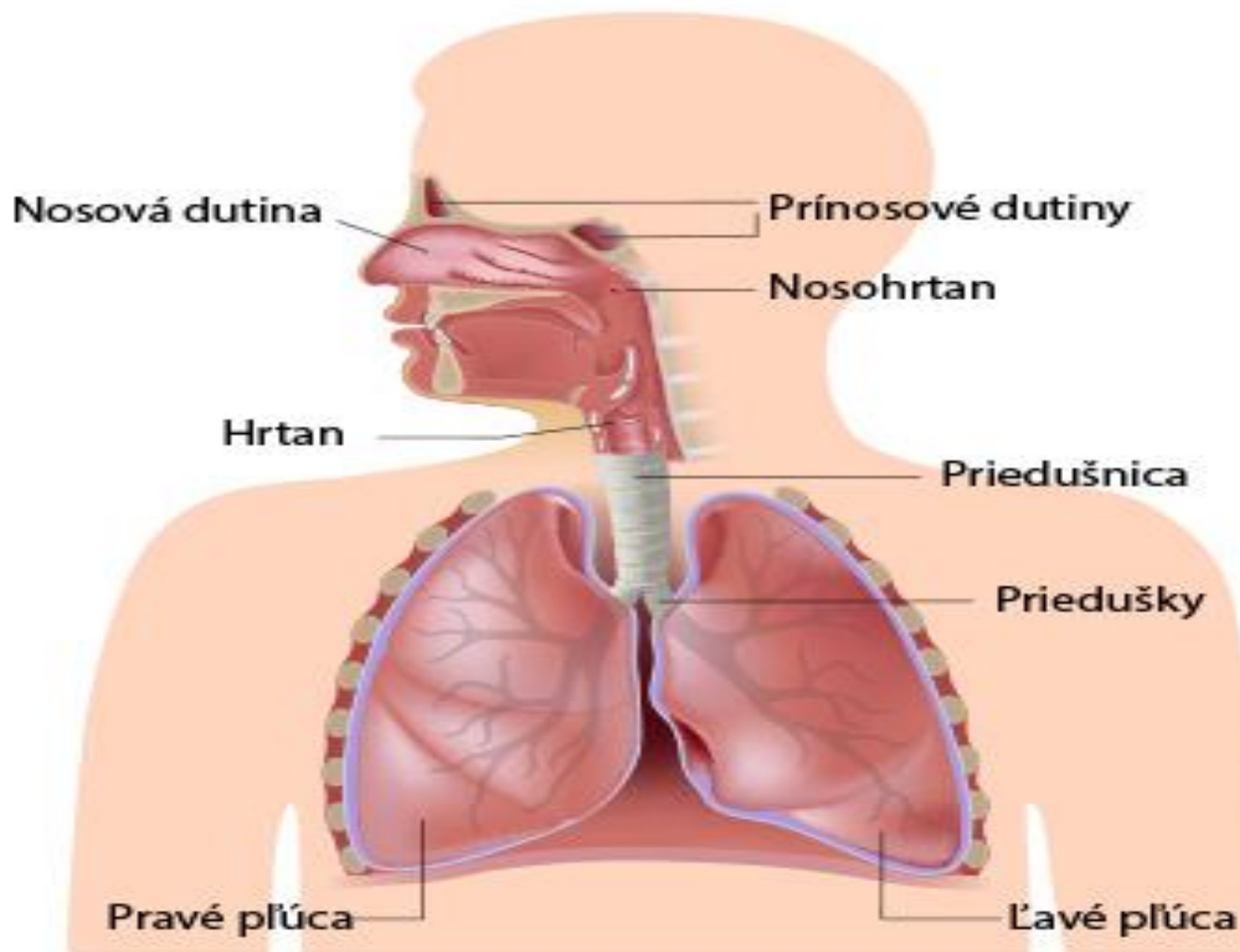


# Respirační systém

# Dýchacia sústava



# Dýchanie

- Základná podmienka zachovania života
- Proces, nevyhnutný pre prežitie
- Prebieha automaticky
  - bez toho, aby sme v pokoji potrebovali vôľové úsilie
  - dýchanie vieme kedykoľvek na chvíľu zastaviť a formovať (hlĺbka a frekvencia)
- Na dýchaní sa podieľa systém:
  - RESPIRAČNÝ SYSTÉM**
  - KARDIOVASKULÁRNY SYSTÉM**
  - KRV**
  - CNS (regulácia)**

# Respiračný systém

- Funkcie dýchacieho systému
- Morfológia dýchacieho systému
- Mechanika dýchania
- Vonkajšie prejavy dýchania
- Povrchové napätie, surfaktant, compliance
- Parametre charakterizujúce ventiláciu
  - Tlaky a objemy v dýchacom systéme
  - Statické a dynamické parametre ventilácie
- Difúzia – prenos dýchacích plynov
- Hypoxia, oxygenoterapia
- Regulácia dýchania

# Funkcie respiračného systému

1. **Výmena dýchacích plynov: prívod  $O_2$  a výdaj  $CO_2$**   
medzi vonkajším prostredím, krvou a tkanivami
2. **Udržanie acidobázickej rovnováhy** - spolu s pufrovacími systémami a obličkami
  - **hyperventilácia** – zvyšuje pH- **alkalóza**
  - **hypoventilácia, apnoe** - znižuje pH – **acidóza**
3. **Vylučovanie prchavých látok** - alkohol, acetón, cesnak
4. **Termoregulácia** - 10%
5. **Tvorba reči a zvukových prejavov**
6. **Emočné prejavy** - plač, smiech, krik
7. **Podiel na venóznom návrate krvi** - negatívny pleurálny tlak zvyšuje venózny návrat krvi (pomocná hrudná pumpa)
8. **Ochranná funkcia** - pred vonkajšími škodlivinami - **kašeľ, kýchanie**
9. **Podiel na brušnom lise** – defekácia, mikcia, pôrod, kašeľ
10. **Čuchová percepcia**
11. **Metabolická a endokrinná funkcia** - surfaktant,
12. **Plúcny rezervoár krvi** - 400ml

# Dýchanie

Súbor procesov

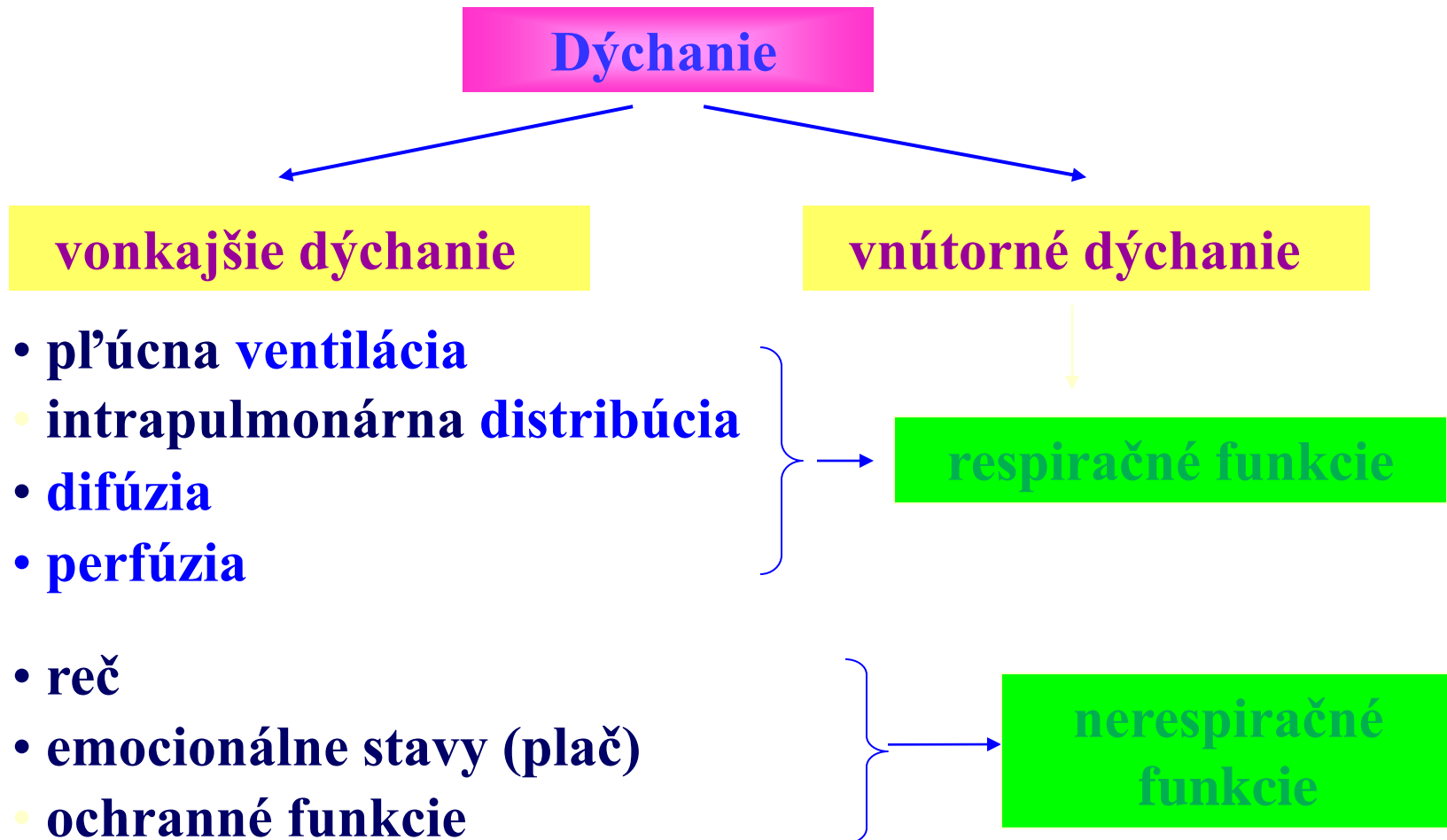
➔ výmena dýchacích a krvných plynov

Rozdelenie:

**vonkajšie dýchanie** - výmena dýchacích plynov medzi vonkajším prostredím a pľúcami

**vnútorné dýchanie** - výmena dýchacích plynov medzi vnútorným prostredím a tkanivami (krvou, intersticiálnou tekutinou a bunkami)

# RESPIRAČNÝ SYSTÉM



- Ventilácia** ▶ cyklická výmena vzduchu v pľúcach počas vdychu (inspíria) a výdychu (expíria), zabezpečená kontrakciou dýchacích svalov
- Distribúcia** ▶ miešanie inšpirovaného vzduchu so vzduchom, ktorý zostal v dýchacích cestách a v pľúcach po výdychu (150 ml = anatomický mŕtvy priestor)
- Difúzia** ▶ prestup  $O_2$  a  $CO_2$  v smere tlakového gradientu cez alveolo-kapilárnu membránu (Fickov zákon)
- Perfúzia** ▶ cirkulácia krvi pľúcny mriežkou

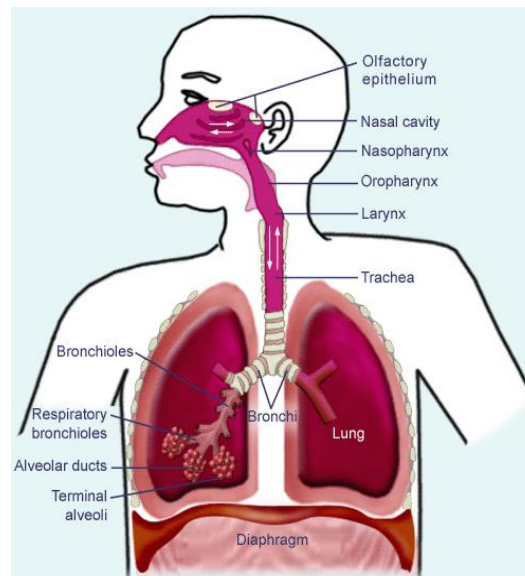


# Dýchacie cesty (konduktívna a respiračná zóna)

## KONDUKTÍVNA ZÓNA

- HDC - nosová dutina, nosohltan a hrtan
- DDC - priedušnica – trachea  
2 priedušky – bronchy  
priedušničky – bronchioly  
terminálne bronchioly

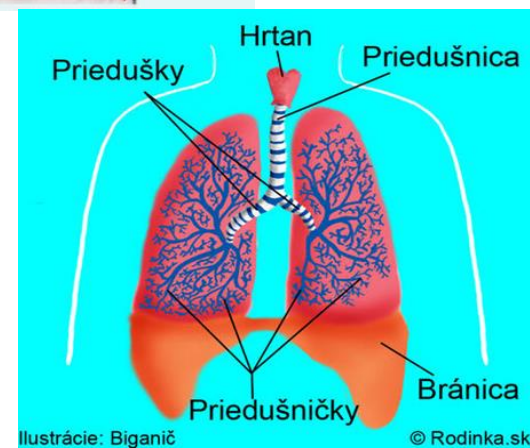
– **vzduch sa transportuje a upravuje**



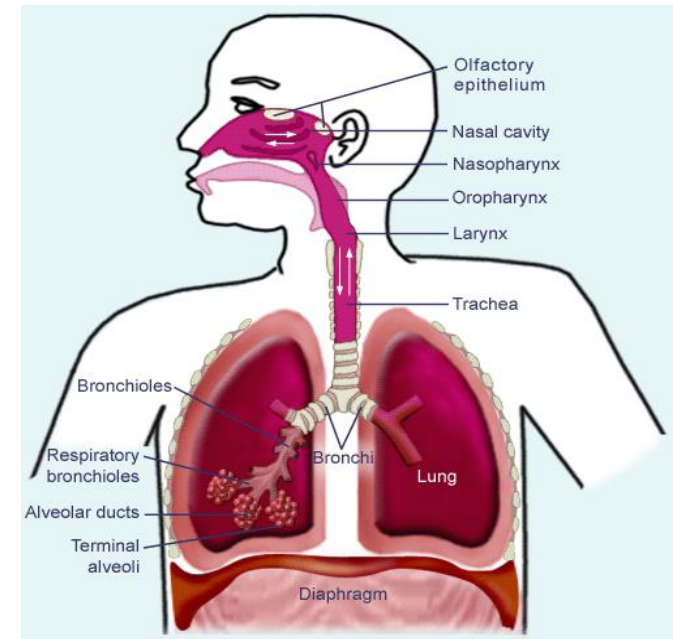
## RESPIRAČNÁ ZÓNA

Pľúcne mechúriky: alveoli pulmonis

- **prebieha výmena dýchacích plynov**

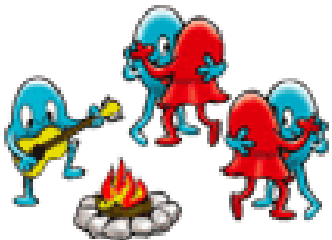


# Dýchacie cesty :



□ **Nerespiračná časť** – **mrtvý priestor**  
**150 ml !!!**

□ **Respiračná časť** – **plúcne mechúriky -  
alveoly**



# RESPIRAČNÝ SYSTÉM

## 1. **Pasívne štruktúry** (hrudník):

Chrupkovité a kostné tkanivo, kostra hrudníka, elastické väzivo,.....

## 2. **Aktívne štruktúry** (pohybové štruktúry) - **dýchacie svaly**:

**bránica**

**interkostálne svaly hrudníka**

**pomocné dýchacie svalstvo**

## 3. **Transportné štruktúry** - krvné elementy – **erytrocyty** – **hemoglobín** – prenáša $O_2$ z pľúc do tkanív

## 4. **Sekrečné štruktúry** - epitelové bunky alveolov - **surfaktant**

# Mechanika dýchania

**Ventilácia – cyklické striedanie dvoch dejov:**

- 1. vdych - inspírium**
- 2. výdych - expírium**

**sú zabezpečované**

**PRÁCOU DÝCHACÍCH SVALOV**

# Inspírium - nádych

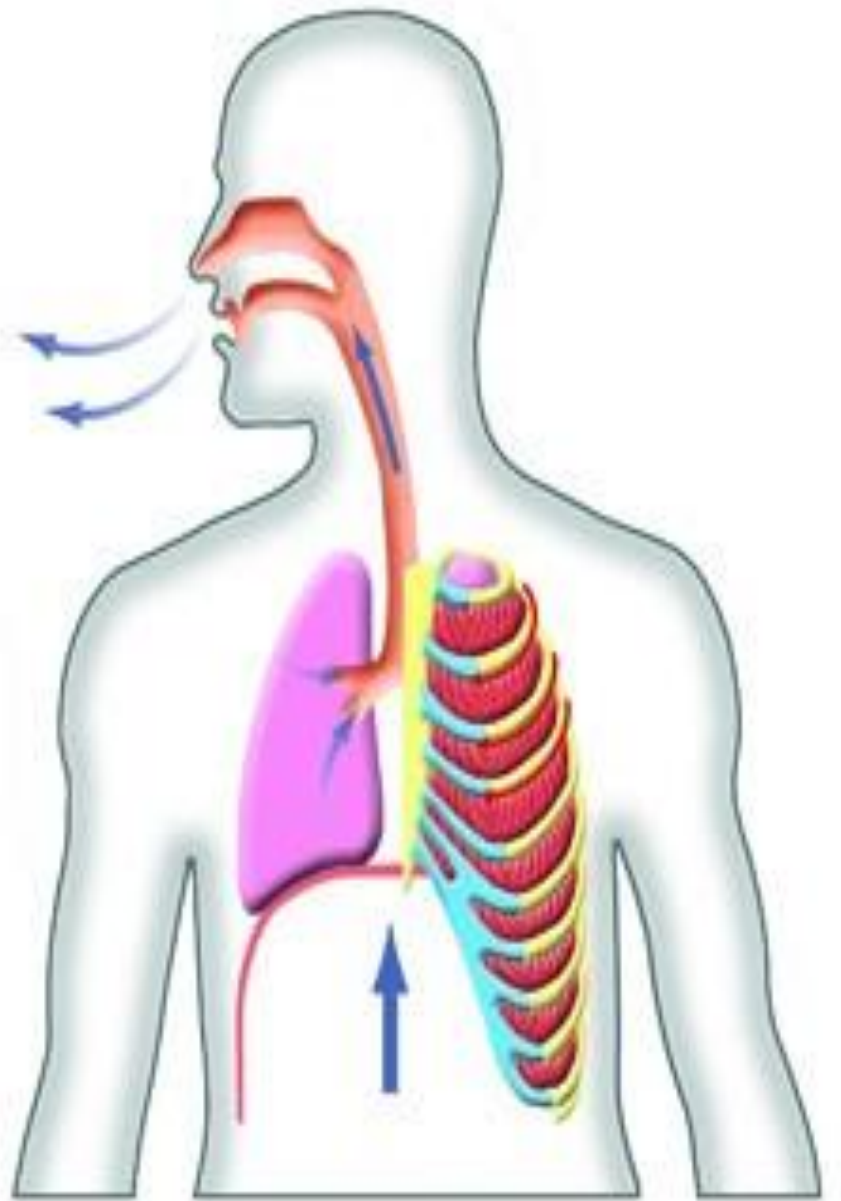
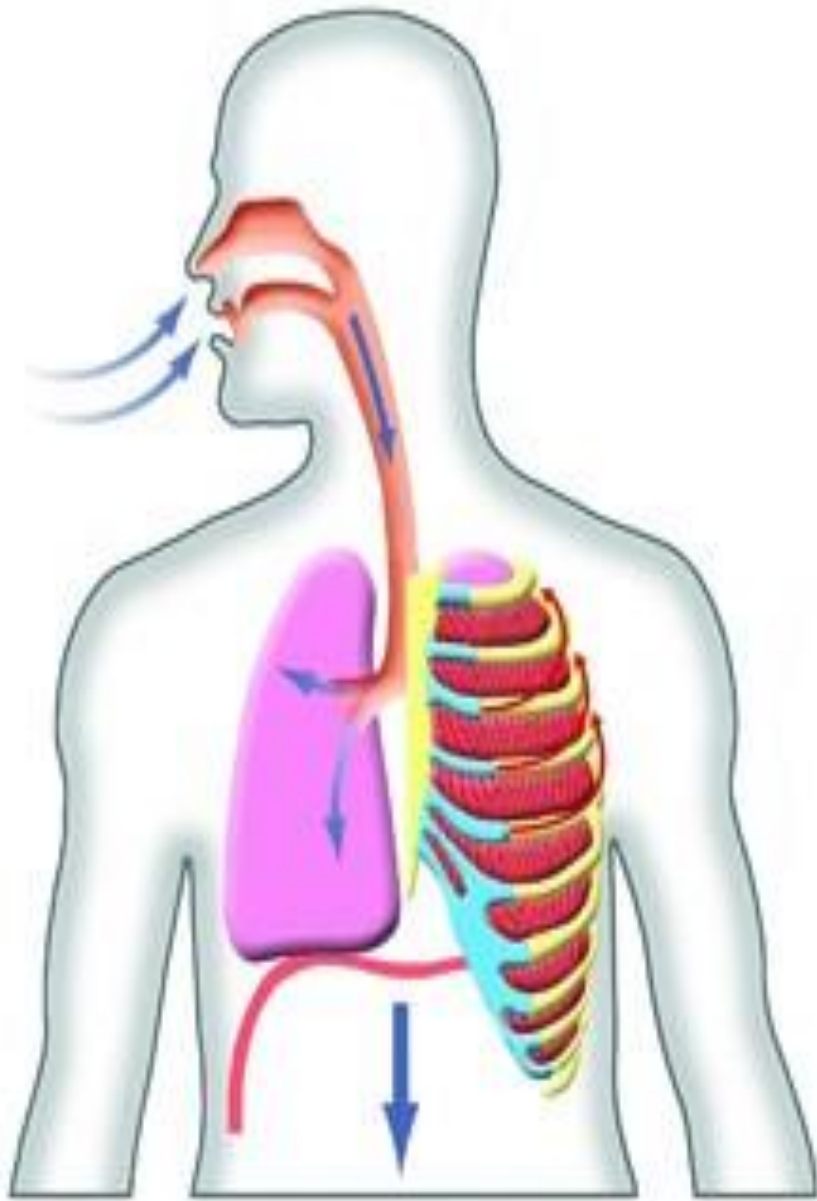
Vždy aktívny dej, ktorý nastáva st'ahom bránice a medzirebrových svalov

- **BRÁNICA – hlavný inspiračný sval**
- **U novorodenca je jediným dýchacím svalom !!!**
- pri kontrakcii sa jej vyklenutá časť sploští, posunie do brušnej dutiny
- pri dychovom objeme 500 ml je posun bránice o 1,5 cm kaudálne
- pri maximálnom vdychu až 10 cm
- pri expíriu sa pasívne vracia do svojej polohy
- pri aktívnom úsilnom výdychu – pri kašli sa presúva bránica vyššie do hrudnej dutiny - vysoký stav bránice
  
- **MEDZIREBROVÉ SVALY**
- **Mm.intercostales externi** - sa pri inspíriu kontrahujú a dvíhajú rebrové oblúky zdola nahor a dopredu
  
- **POMOCNÉ DÝCHACIE SVALY**
- **Mm.scaleni, mm.sternocleidomastoideus, m.pectoralis major, minor** - pri namáhavej práci, šport.výkonoch, zvýšenom odpore

# Exspírium - výdych

## Pasívny dej

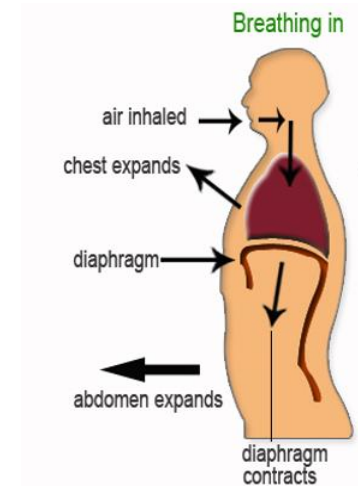
- **Medzirebrové svaly - mm.intercostales interni** – prit'ahujú rebrá k sebe a nadol
- **Pomocné dýchacie svaly –brušné svaly - m.rectus abdominis, m.obliquus ext., int., m.transversus abdominis** - pri aktívnom výdychu (pri námahe, ochoreniach pľúc a ľavej srdcovej komory)



# RESPIRAČNÝ SYSTÉM - mechanika dýchania

## Inspirácia

- **externé interkostálne svaly** sú *aktívne kontrahované*
- **diafragma (bránica)** sa *kontrahuje smerom dole*
- **kapacita hrudníka** sa *zväčšuje*
- **tlak medzi pleurami** sa *redukuje*
- **elastické tkanivo pľúc** sa *nat'ahuje*
- **pľúca expandujú do torakálnej dutiny**
- **tlak vzduchu v alveoloch** je *menší ako atmosférický tlak*
- **vzduch je nasávaný** do alveolov z atmosféry



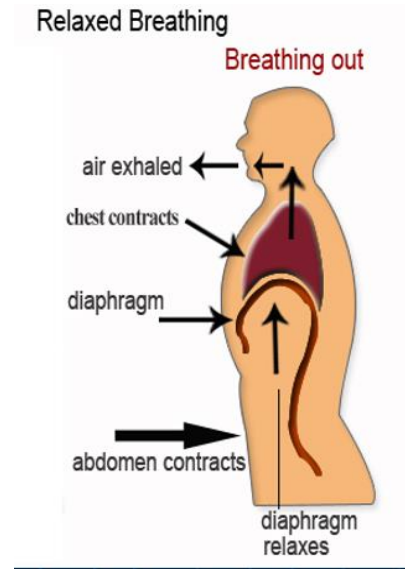


# RESPIRAČNÝ SYSTÉM - *mechanika dýchania*

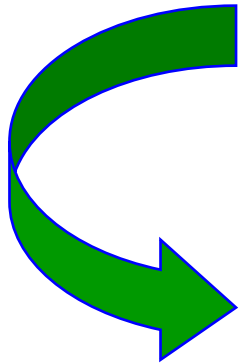
## Expirácia



- **externé interkostálne svaly** *relaxujú*
- **diafragma** *relaxuje*
- **kapacita hrudníka (thorax)** *sa znižuje*
- **tlak medzi pleurami** *sa zvyšuje*
- **elastické tkanivo pľúc** *sa vracia do pôvodnej polohy*
- **tlak vzduchu** v alveoloch je *väčší* ako atmosférický tlak
- **vzduch** je *tlačený* z alveolov do atmosféry



# Ventilácia



rozdiely tlakov vzduchu medzi atmosférou  
a alveolami

- **Inspírium** - objem hrudníka **↑**  
|| **→** klesá intratorakálny tlak  
– vzduch prúdi do pľúc

- **Expírium** - opak

# Hladké svalstvo dýchacích ciest, regulácia

- nachádza sa od trachei, v bronchoch až po respiračné bronchioly
- usporiadané je špirálovite a cirkulárne
- pri pokojnom dýchaní má určitý **svalový tonus**, ktorý spolu s pleurálnym tlakom zabezpečuje aktuálny prievit bronchov
- Kontrakciou svalov sa priedušky (bronchy) zužujú a skracujú

- V inšpiriu sa DC rozširujú a predlžujú  
a v exspíriu sa zužujú a skracujú

□

Dýchacie cesty sú inervované **autonómnym nervovým systémom**

- Tonus hladkých svalov je pod kontrolou **PARASYMPATIKOVÝCH (cholinergných)** a **SYMPATIKOVÝCH (adrenergných )** nervov

- **Stimulácia parasimpatika – BRONCHOKONSTRIKCIA** -  
zúženie bronchov a zvýšenie odporu dýchacích ciest
- P: inervuje dých. cesty vláknami blúdivého nervu **n.vagus (X)**
- postgangiové zakončenia sú cholinergné, mediátorom:  
acetylcholín
  
- Tonickou aktivitou n. X sa udržiava mierny tonus hladkého svalstva
- Pri zvýšenej aktivite v eferentných vláknach n.X sa lúmen zužuje a sťahuje
  
- **Stimulácia sympatika – BRONCHODILATÁCIA** –  
rozšírenie bronchov
- Inhibičná sympatiková inervácia pôsobí proti bronchokonstriččnému vplyvu

# Vonkajšie prejavy dýchania

- Dýchacie pohyby
- pohľad – pravidelnosť dýchania
  - frekvencia dýchania
  - rozsah dýchania
    - u žien prevláda „hrudníkové dýchanie“
    - u mužov sa viac uplatňuje bránica – „abdominálne dýchanie“
- Dýchacie šelesty – alveolárne a bronchiálne dýchanie

# Klinické pojmy charakterizujúce dýchanie

- **Eupnoe** - normálne dýchanie -  $f$  (12-16/min,  $V_T$ :500ml)
- zmena dych. frekvencie - **bradypnoe, tachypnoe**
- zmena dychového objemu - **hypopnoe, hyperpnoe**
- zmena dych.objemu a frekvencie - **hypoventilácia, hyperventilácia**
  
- **Apnoe** - zastavenie dychu na viac ako 10 s – (insp. a exspir.apnoe)
- **Dyspnoe** – „dýchavica“ – subjektívny pocit nedostatku vzduchu
- **Ortopnoe** – zlepšenie dýchania po zmene polohy z ľahu do sedu,
- **Gasping** – lapavé dýchanie s mohutnými inspiračnými pohybmi –  
typické pre začiatok dýchania po narodení  
a pre agonické stavy

# VENTILÁCIA PĽÚC

□ Objem vzduchu vdýchnutého a vydýchnutého za určitú časovú jednotku

□ **Pokojná minútová ventilácia: 5-9 litrov/min**

$$\dot{V} = V_T \cdot \text{frekvencia}$$

$$V_T = 500 \text{ ml}$$

$$f = 10 - 18 \text{ vdychov/ min}$$

**Maximálna min. ventilácia: až do 140 l /min**

pri intenzívnej práci môže dych. objem dosiahnúť hodnotu 3500ml a frekvenciu 40/min

- Výmena plynov prebieha iba v ALVEOLÁCH,  
- do nich prenikne len časť **DYCH.OBJEMU** ( $V_T$ )

||  **ALVEOLÁRNA VENTILÁCIA**

- Zvyšok ostáva v **PRÍVODNÝCH DÝCHACÍCH CESTÁCH** (od nosa až po terminálne bronchioly) - nie sú zásobované pľúcnym obehom  
- neslúžia na vlastnú výmenu plynov

||  **MŔTVY DYCH.PRIESTOR**



# ALVEOLÁRNA VENTILÁCIA

- Objem časti minútovej ventilácie, ktorá sa dostáva do alveol a priamo sa podieľa na výmene plynov

$$\dot{V}_A = (V_T - V_D) \cdot f$$

**Alveolárna ventilácia: 3,5 – 6,3 l/min**

- Za normal.okolností sa prispôsobuje potrebám látkovej premeny

## Alveolárna ventilácia

Dychový objem	Frekvencia dýchania	Minútová ventilácia	Ventilácia mŕtveho priestoru	Alveolárna ventilácia
500 ml	12	6000	$150 \times 12 = 1800$	$350 \times 12 = 4200$
1000 ml	6	6000	$150 \times 6 = 900$	$850 \times 6 = 5100$
200 ml	30	6000	$150 \times 30 = 4500$	$50 \times 30 = 1500$

Pri plytkom dýchaní s menším dychovým objemom a vyššou frekvenciou dýchania je alveolárna ventilácia oveľa nižšia ako pri hlbokom a pomalom dýchaní

# □ MŔTVY DYCH.PRIESTOR:

- Priestor dýchacích ciest, ktoré patria do konduktívnej zóny
- Vzduch v prívodných dýchacích cestách = od nosa až po terminálne bronchioly
- vzduch sa transportuje a neslúži na vlastnú výmenu plynov
- Priestor DC, kde sa vzduch transportuje bez významnej výmeny dýchacích plynov medzi vzduchom a krvou
- **150 ml**
- **Objem dýchacích ciest, kde neprebíha výmena plynov**

# Mŕtvy dýchací priestor

Ventilácia mŕtveho priestoru: **1800 ml/min**

$$\dot{V}_D = V_D \cdot f \quad (150 \times 12)$$

# Význam mŕtveho priestoru

- 1. **prívod vdychovaného vzduchu** - nárazník medzi atmosférou a alveolami
- 2. **zvlhčovanie, predhrievanie** - pri prechode DC sa vzduch nasycuje vodnými parami a zohrieva na telesnú teplotu
- 3. **čistenie vdychovaného vzduchu** - v tomto priestore sa vychytávajú všetky častice s väčším priemerom ako 1  $\mu\text{m}$  ( hlien v nose, hrtane, priedušnici a bronchoch)
- 4. **tvorí časť hlasového aparátu**

# Povrchové napätie

- **Elasticita pľúc závisí od stavu elastických vlákien pľúcneho parenchýmu a od povrchového napätia alveolov**
- **Povrchové napätie:**
  - je na rozhraní alveolárneho vzduchu a tenkej vrstvičky tekutiny vystielajúcej alveoly
  - **bráni rozpínaniu pľúc**
- **Pre alveoly - (sfer.útvary) platí: LAPLACEOV ZÁKON**  
$$(p=2T/r)$$
- **Pri zmenšovaní polomeru (r) alveol, sa zvýši povrchové napätie (T) nad distenč.silami (p) - došlo by k splasnutiu alveol**

# Surfaktant

- Látka lipoproteínového charakteru  
70 - 80% fosfolipidy - fosfatidylcholín, fosfatidylglycerol, 8-10% proteíny)
- Tvorená je alveolárnymi bunkami II. typu – v ER
- Nachádza sa na vnútornom povrchu alveol
- Dostáva sa do kontaktu je na rozhraní - vzduch a tekutina
- **Znižuje povrchové napätie** (zabraňuje splasnutiu alveol)
- (povrchové napätie je nepriamo úmerné koncentrácii surfaktantu)
- **Význam: pri rozvinutí nevzdušných alveol prvými dýchacími pohybmi u novorodenca**
- Nedostatok surfaktantu: u nedonosených detí – splasnutie alveol - RDS syndrom, fajčenie, dlhotrvajúca inhalácia kyslíka

# Nedostatok surfaktantu

## □ 1. IRDS syndróm (respiratory distress syndrome)

Vý: u nezrelých novorodencov

Klinické prejavy: poruchy dýchania, tachypnoe, expiračné stonkanie

Majú zníženú pľúcnu poddajnosť, zvýšená dychová práca, únik proteínov z plazmy do alveol

## □ 2. ARDS syndróm (adult respiratory distress syndrome)

Často je sprievodným znakom multiorgánového zlyhávania na JIS (sepsa, aspirácia obsahu žalúdka s HCl, oxidatívne poškodenia)



# IRDS syndróm


- Ohrození sú novorodenci narodení pred 32. týždňom tehotnosti - v tomto období ešte nie sú bunky produkujúce surfaktant zrelé.
- Negatívny vplyv na tvorbu surfaktantu môžu mať aj pridružené choroby matky (infekcie, cukrovka, vysoký krvný tlak).
- Preto pri nedostatku pľúcneho surfaktantu pľúcne mechúriky kolabujú a nemôžu sa podieľať na výmene dýchacích plynov a tým hrozí udusenie.

# Liečba RDS syndrómu

- prevencia - aplikácie látok urýchľujúcich zrenie pľúcnych buniek a tým aj tvorbu surfaktantu.
- Tieto látky sa podávajú pri hroziacom predčasnom pôrode už v tehotenstve.
- Po pôrode sa ako náhrada používajú rôzne preparáty prirodzených alebo umelo vyrobených surfaktantov, ktoré sa podávajú priamo do pľúc.
- Podporná liečba zahŕňa aplikáciu kyslíka, v najt'ažších formách treba dieťa napojiť na ventilátor.

# Poddajnosť pľúc - compliance



- Poddajnosť pľúc a hrudníka je väčšia, ak na vdýchnutie toho istého objemu vzduchu do pľúc potrebujeme vyvinúť menšiu silu  
- platí pre zdravé - elastické pľúca !!!
  - Pri CHOBPCH, fibróza pľúc, edém pľúc, stáza - (tuhosť pľúc) – znižuje sa compliance (poddajnosť)
- ||  zvyšuje sa sila na prekonanie odporu

# Parametre charakterizujúce ventiláciu

- Dýchacie pohyby
- Tlaky v dýchacom systéme
- Objemy a kapacity pľúc
- Prietoky a odpory DC



# Ventilácia

- Príčinou výmeny vzduchu medzi vonkajším prostredím a alveolárnym vzduchom t.j ventilácie pľúc,  
**sú zmeny vnútrohrudníkového tlaku**
- Sú vyvolané účinkom dýchacích svalov na hrudník a sprostredkované navzájom spojenými pleurami
- Následkom ventilácie vznikajú zmeny tlakov a objemov v DS
- Proti nim pôsobia dýchacie odpory, ktoré závisia od vlastnosti DS a prúdu dýchaného vzduchu v DC

# Mechanizmus ventilácie

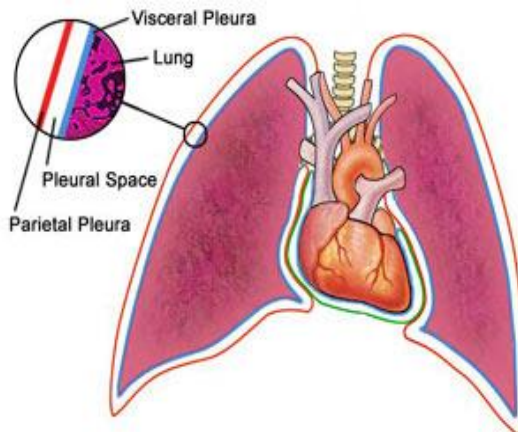
Plúca – uložené v hermeticky uzavretej dutine hrudníka

- Vnútorňý povrch steny hrudníka – pohrudnica → (pleura parietalis)
- Vonkajší povrch plúc – popľúcnica → (pleura pulmonalis)
- Medzi pleurami štrbina 5 – 10 $\mu$ m -

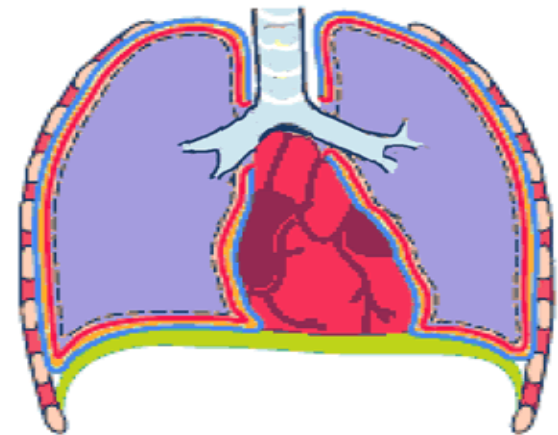
- interpleurálny priestor

interpleurálna tekutina 2 ml

je stále negatívny  
tlak, ktorý  
rozpína plúca



— Pleura parietalis  
— Pleuraspalt  
— Pleura pulmonalis  
- - - Lunge  
— Zwerchfell



# Dýchacie tlaky a dychové objemy

- Ventiláciu vykonávajú dýchacie svaly, kt. ovládajú pohyb hrudníka vytvárajú zmeny tlaku nevyhnutné pre prúdenie vzduchu

## Alveolárny tlak

Tlak vzduchu, prenášaný z pleurálnej štrbiny prostredníctvom viscerálnej pleury do pľúcnych alveolov

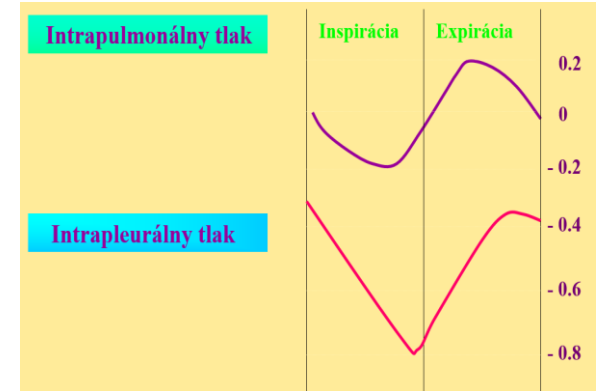
Závisí od fázy dychového cyklu

Počas vdychu je negatívny, vzduch sa nasáva do pľúc

Počas výdychu je pozitívny, vypudzuje vzduch z pľúc

- Pri vdychu vzniká v alveolách podtlak od  $-0,2$  až po  $-0,4$  kPa oproti vonkajšiemu tlaku, čo vyvoláva prúdenie vzduchu
- Pri výdychu vzniká v alveolách pretlak  $0,2$  až  $0,4$  kPa, ktorý vypudzuje vzduch z pľúc

# Interpleurálny tlak P<sub>lp</sub>



## Hodnota interpleurálneho tlaku

**Pokožné inspírium**

**- 0,8 až -1,1 kPa (- 6 až - 8 mmHg)**

**Úsilné inspírium**

**- 4 kPa (- 30 mm Hg)**

**Pokožné expírium**

**- 0,3 kPa (- 2,5 mmHg)**

**Expulzívne procesy –  
kašeľ, kýchanie, pôrod**

**+10 kPa (+80 mm Hg)**



# Alveolárny tlak

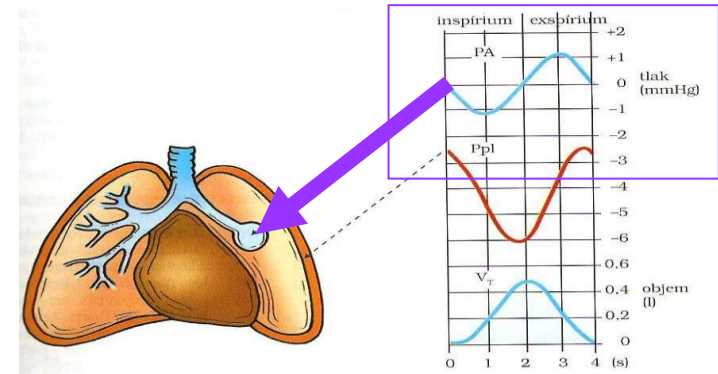
Alveolárny tlak PA - tlak vzduchu, prenášaný z pleurálnej štrbiny prostredníctvom viscerálnej pleury do pľúcnych alveolov

Závisí od fázy dychového cyklu:

Počas vdychu je negatívny, v alveolách vzniká podtlak od -0,2 až po -0,4 kPa  
oproti vonkajšiemu tlaku, čo vyvoláva prúdenie vzduchu

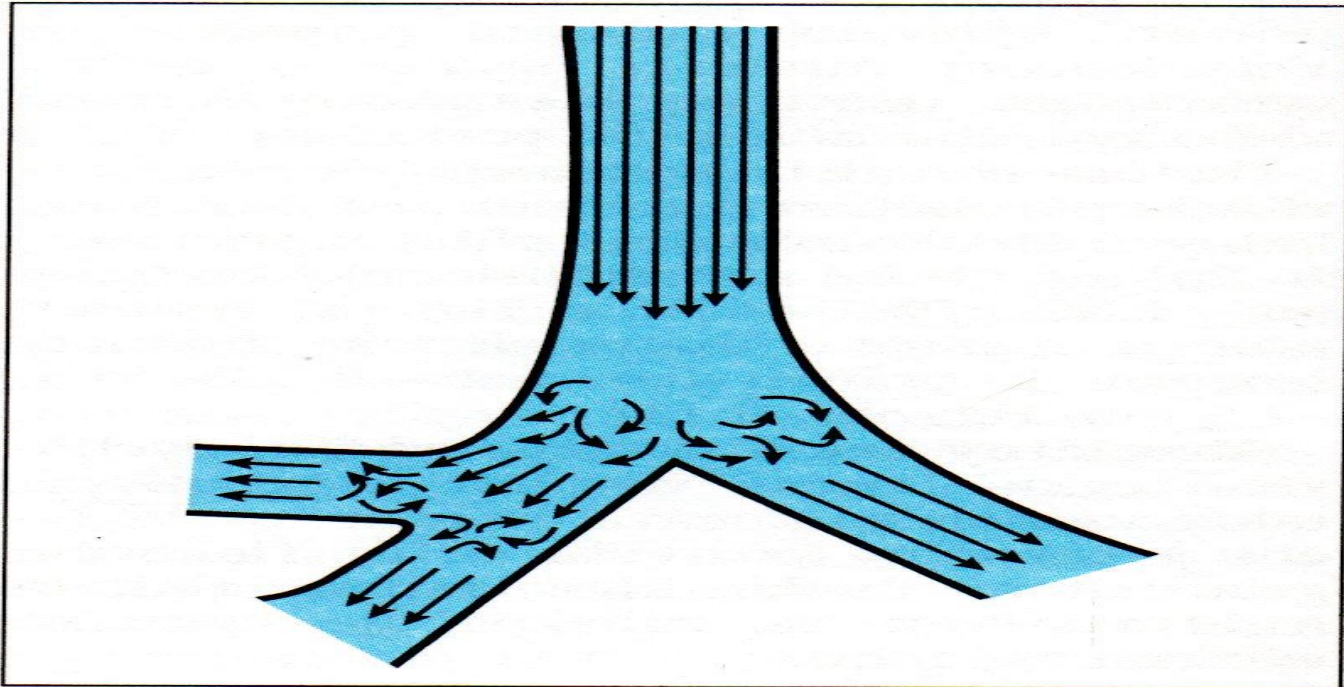
vzduch sa nasáva do pľúc

Počas výdychu je pozitívny, vzniká v alveolách pretlak 0,2 až 0,4 kPa,  
ktorý vypudzuje vzduch z pľúc



# Prúdenie vzduchu v dýchacích cestách

- Laminárne a turbulentné



**Obr. 6.12. Typy prúdenia vzduchu v dýchacích cestách**  
(Upravené podľa Ivanča, 1982)

# Rýchlosť prúdenia a prietok vzduchu v DC

- Rýchlosť prúdenia vzduchu
- Pokojné dýchanie - v priedušnici 2m/s
- Úsilné deje – max.aktivita expir.svalov

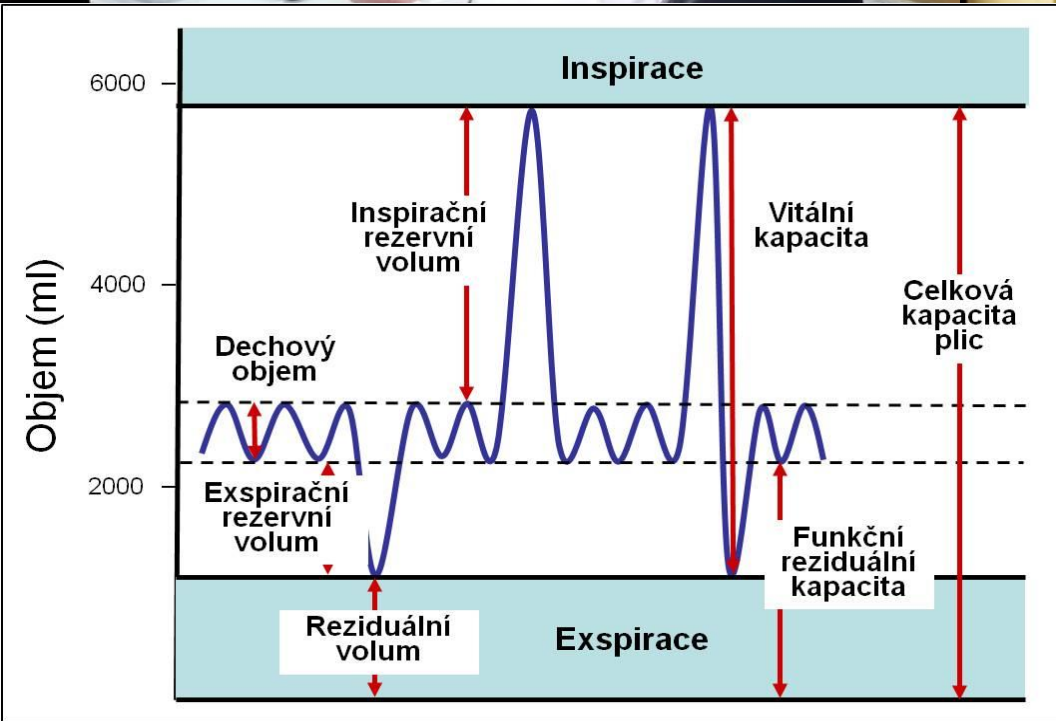
120 -200m/s

Prietok vzduchu v dých.cest. v pokoji 0,5 l/s

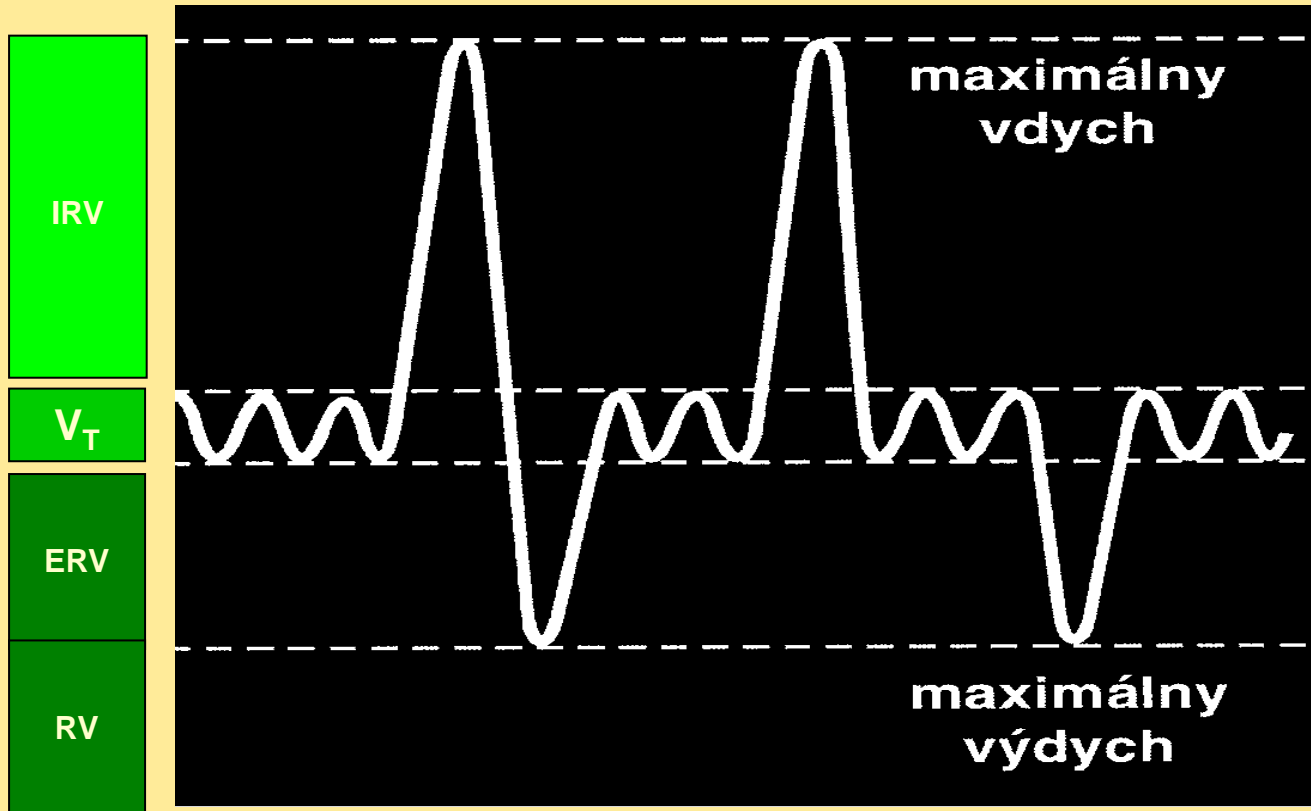
Maximálny prietok vzduchu - **muž 7 – 12 l/s**

- **žena 6,5 – 8 l/s**

**Kašel – až 20 l/s !!!!**



# RESPIRAČNÝ SYSTÉM – dychové objemy



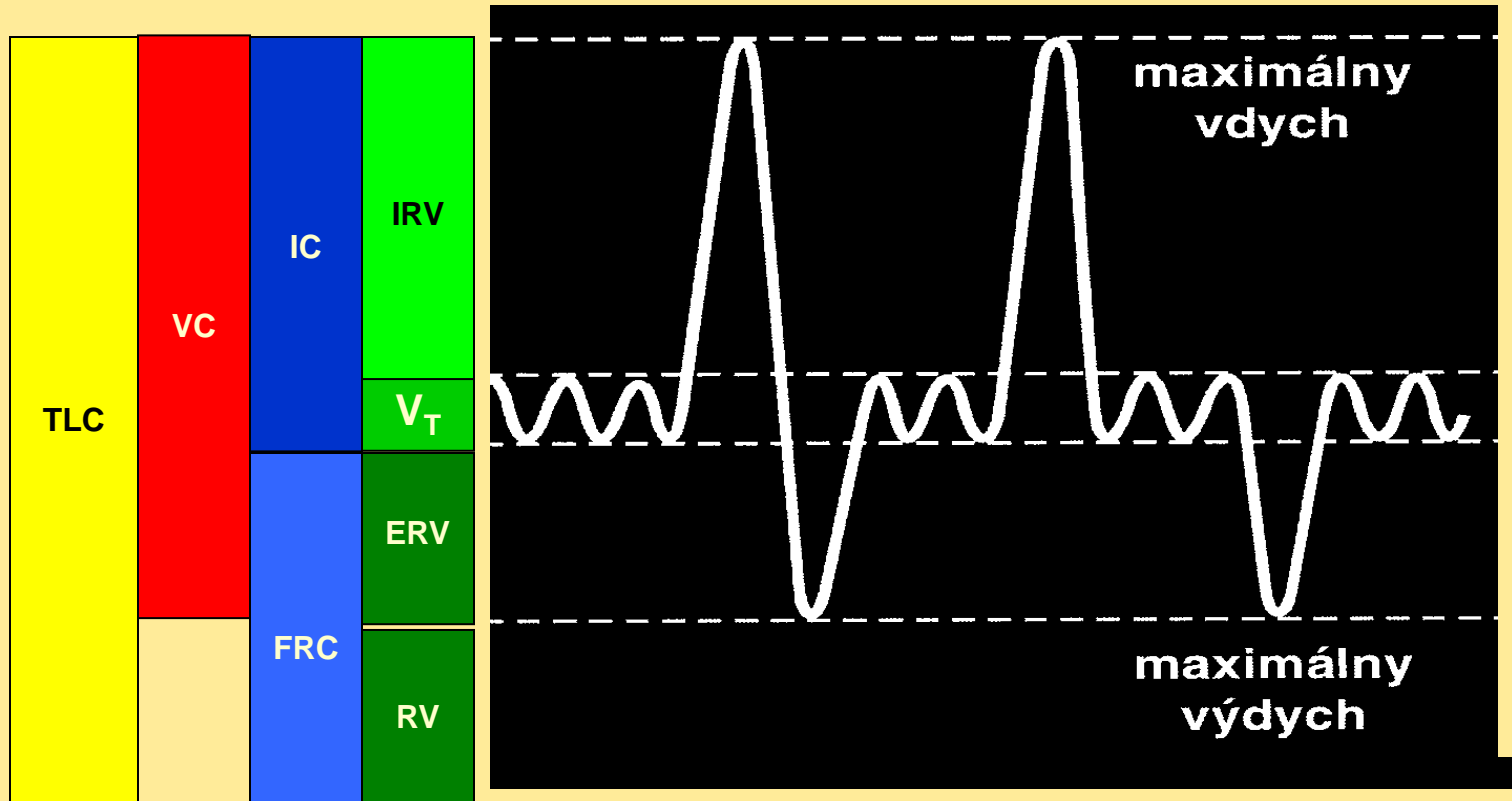
$V_T$  - dychový objem (tidal volume) - 15-18% z VC cca 500 ml

IRV - inspiračný rezervný (reziduálny) objem - 60% z VC cca 2500 ml

ERV - expiračný rezervný (reziduálny) objem - 25% z VC cca 1 000 ml

RV - reziduálny (rezervný) objem - 1000 - 2000 ml

# RESPIRAČNÝ SYSTÉM – dychové objemy



**IC** - inspiračná kapacita – cca 3 800 ml

**FRC** - funkčná reziduálna kapacita – cca 2 300 ml

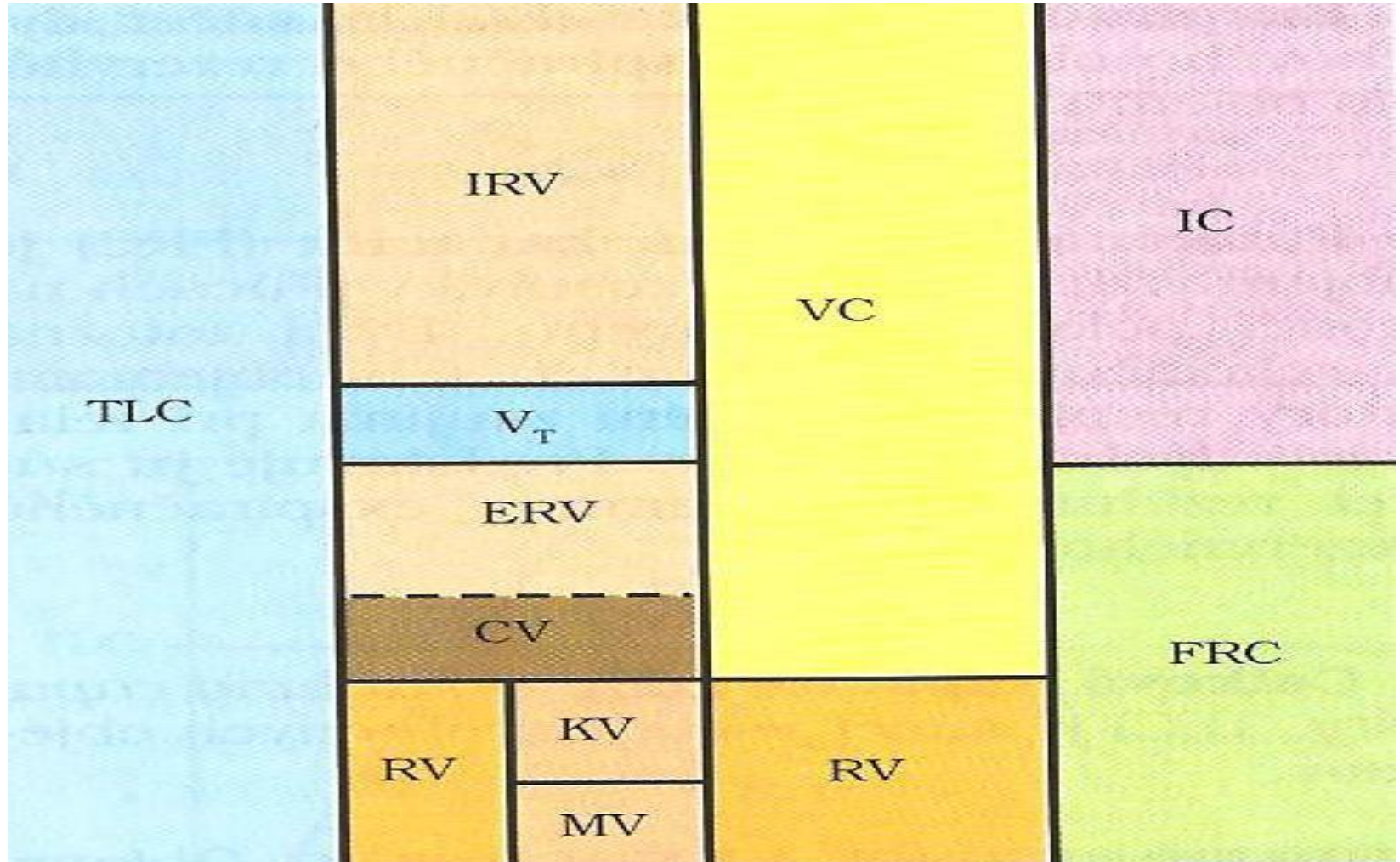
**VC** - vitálna kapacita – cca 4 800 ml

**TLC** - celková pľúcna kapacita – cca 6 000 ml

# *Objemy a kapacity pľúc*

- Vitálna kapacita pľúc     $VC = IRV + V_T + ERV$
- Inspiračná kapacita pľúc     $IC = V_T + IRV$
- Expiračná kapacita pľúc     $EC = V_T + ERV$
- Funkčná reziduálna kapacita     $FRC = RV + ERV$

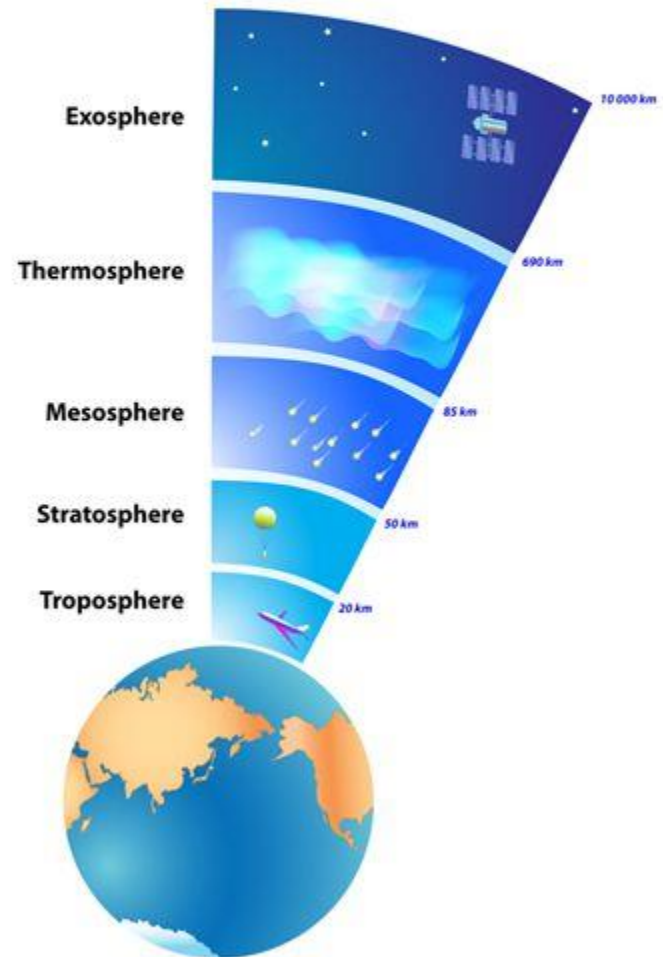
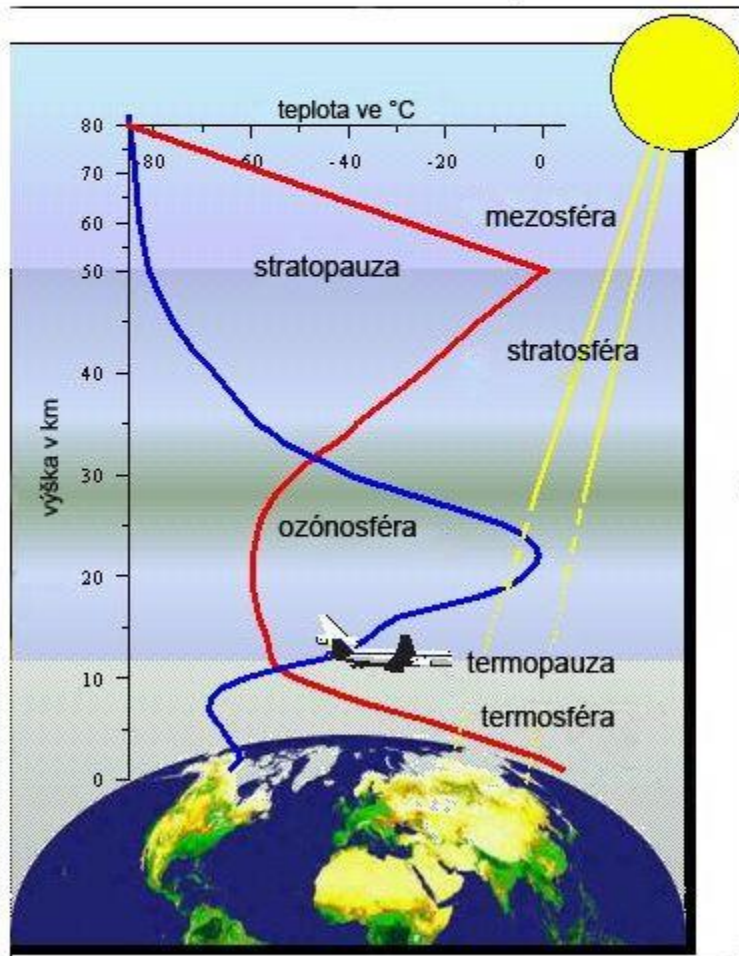
# Statické objemy a kapacity pľúc





# ATMOSFÉRA

## vrstvy atmosféry:



# Atmosferický vzduch

□ Zmes plynov, ktoré bežne dýchame

□ Zloženie : 78% N<sub>2</sub>

21% O<sub>2</sub>

1% inertné plyny

< 0,03 % CO<sub>2</sub>

# Nadmorská výška



- S rastúcou nadmorskou výškou
  - tlak vzduchu ↓ - klesá počet častíc v danom objeme - nemení sa proporcionálne zastúpenie jednotlivých plynov!!!

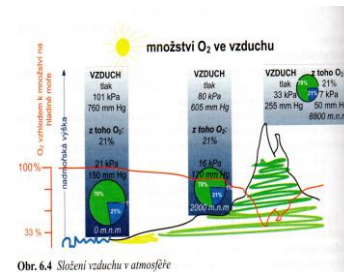
Výška 8800m – je iba 1/3 množstva všetkých plynov

$$pO_2 (8800m) = 50mmHg/7 kPa$$

Hladina mora –  $pO_2 (0m) = 160mmHg/20kPa$



$O_2$  tvorí 21% atmosféry aj vo veľhorách !!



# Difúzia – výmena dých.plynov

## Gas Exchange Between Alveoli and Capillaries

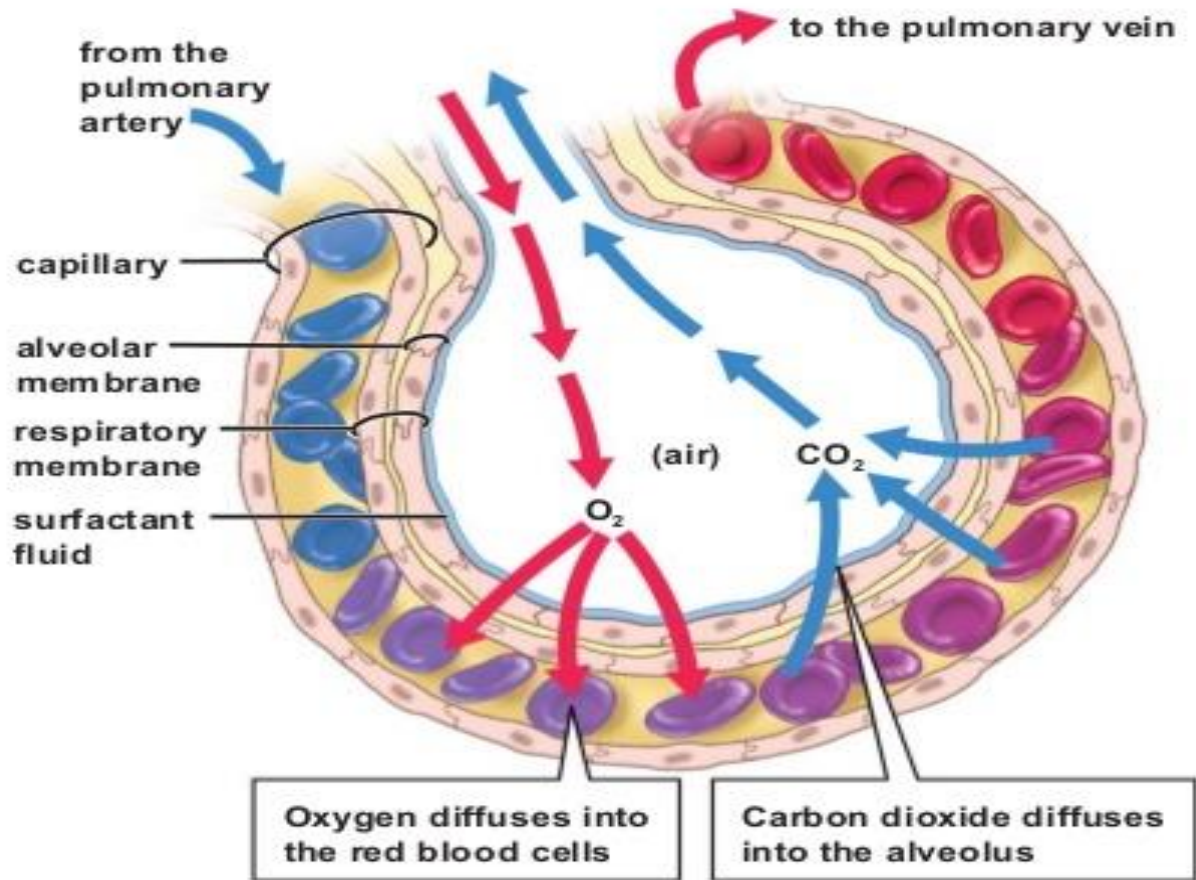
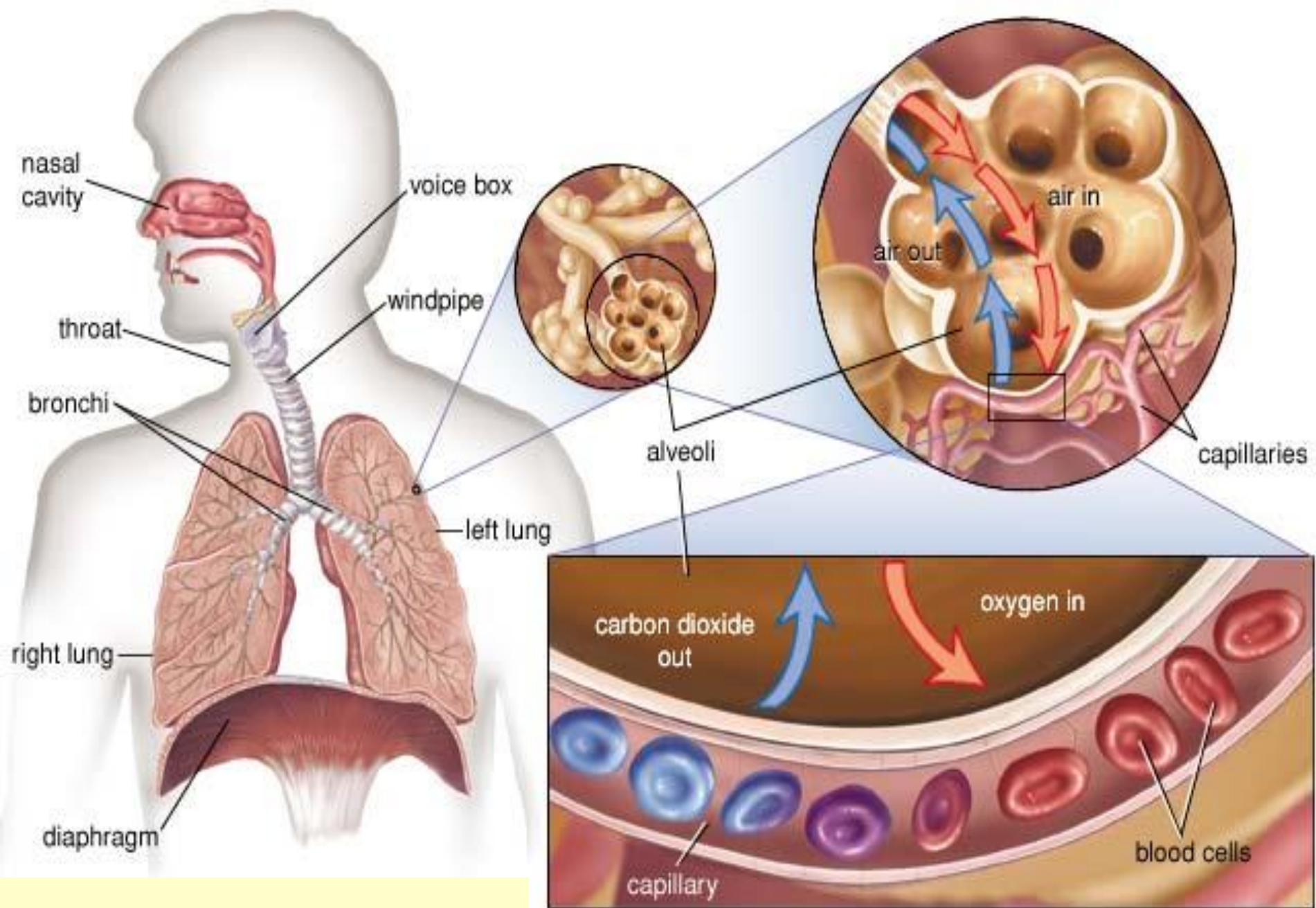


Fig. 33-9

# Výmena dýchacích plynov - DIFÚZIA

- prebieha na základe fyzikálnych zákonov
  
- Významnú úlohu pri difúzii majú:
  - vlastnosti dýchacích plynov  $O_2$  a  $CO_2$
  - rozdiely v ich parciálnych tlakoch na oboch stranách alveolo – kapilárnej membrány
  - plocha, hrúbka a stav tejto membrány



nasal cavity

voice box

throat

windpipe

bronchi

left lung

right lung

diaphragm

alveoli

air in

air out

capillaries

carbon dioxide out

oxygen in

capillary

blood cells

# Daltonov zákon

**určuje parciálne tlaky jednotlivých plynov**

Každý plyn prítomný v zmesi plynov pôsobí tlakom, ktorý zodpovedá jeho objemu a aj percentuálnemu zastúpeniu

# Henryho zákon

- Plyny v kontakte s kvapalinou sa rozpúšťajú podľa Henryho zákona

Platí že : rozpustnosť plynu v kvapaline, je priamo úmerná tlaku plynu nad kvapalinou a nepriamo úmerná molekulovej hmotnosti



# Vlastnosti plynov

- Plyny sa v kontakte s kvapalinou rozpúšťajú (Henryho zákon)
- Rozpustnosť  $\text{CO}_2$  je 23x vyššia ako  $\text{O}_2$  – preto  $\text{CO}_2$  difunduje z krvi do alveol 20x ľahšie ako  $\text{O}_2$  v opačnom smere !
- Plocha difúzie – t.j. plocha alveolokapilárnej membrány v pľúcach dospelého človeka je  $70 \text{ m}^2$
- Hrúbka membrány  $0,6 - 0,8 \text{ um}$
- Molekuly DP musia prejsť cez vrstvu surfaktantu, alveolárny epitel, endotel kapilár a vrstvu plazmy, pri prenose erytrocytom - membránou erytrocytu a intercelulárnou tekutinou erytrocytu

# RESPIRAČNÝ SYSTÉM – DIFÚZIA

## výmena plynov

### Zloženie atmosférického vzduchu

- **20.98% kyslíka - 21 kPa**
- **78.06% dusíka - 79 kPa**
- **0.04% kysličníka uhličitého - 0.04 kPa**
- **0.92% inertných plynov - 0.9 kPa**

# RESPIRAČNÝ SYSTÉM - výmena plynov

**Máme 4 úrovne výmeny plynov:**

- **1. medzi atmosférickým a alveolárnym vzduchom**
- **2. medzi alveolárnym vzduchom a krvou**
- **3. medzi kapilárnou krvou a tkanivovou tekutinou**
- **4. medzi tkanivovou tekutinou a vnútorným prostredím bunky**

# Prenos krvných plynov: O<sub>2</sub>

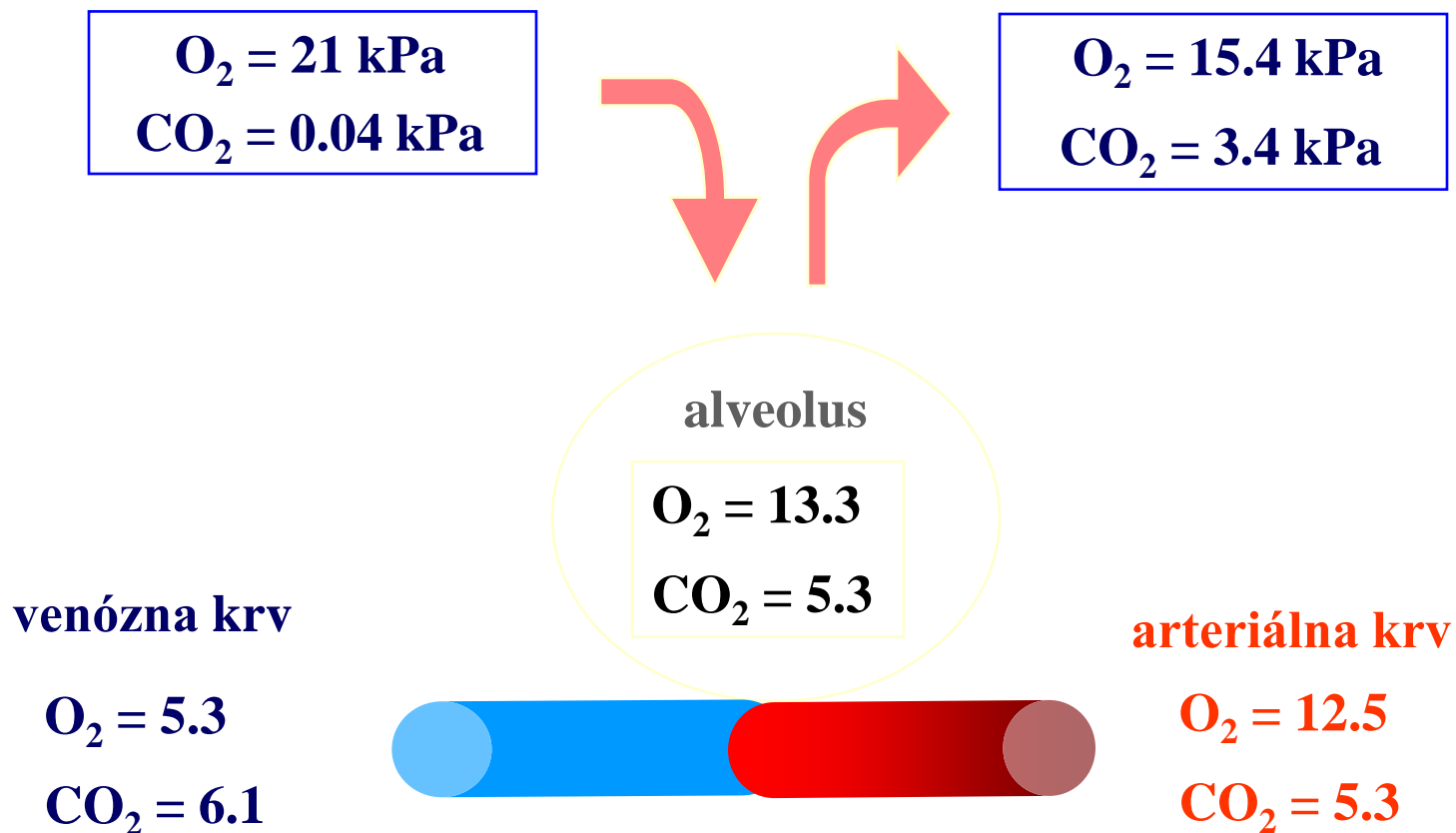
- parc.tlak v atmosfer.vzduchu (**21 kPa**)
- parc.tlak O<sub>2</sub> v alveolárnom vzduchu  
 $p_A \text{ O}_2 = 13,3 \text{ kPa}$  (100 mm Hg)
- arteriálna krv odtekajúca z pľúc má parc.tlak O<sub>2</sub> takmer rovnaký ako parciálny tlak v alveolárnom vzduchu (**12,5 kPa**)
- venózna krv: (**5,3 kPa**)

# Prenos krvných plynov: CO<sub>2</sub>

- parc.tlak v atmosfer.vzduchu (**0,04 kPa**)
- parciálny tlak CO<sub>2</sub> v alveolárnom vzduchu
  - pA CO<sub>2</sub> = **5,3 kPa** (40mm Hg)
- arteriálna krv - (**5,3 kPa**)
- venózna krv – (**6,1 kPa**)

# RESPIRAČNÝ SYSTÉM

- výmena plynov na úrovni 1 a 2



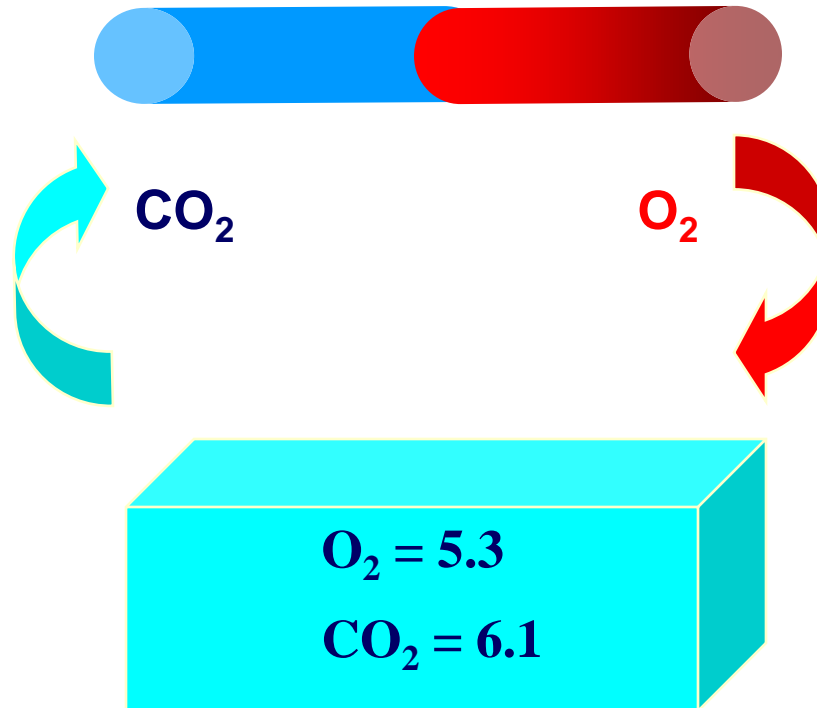
# RESPIRAČNÝ SYSTÉM

- výmena plynov na úrovni 3 a 4

venózná krv

$O_2 = 5.3$

$CO_2 = 6.1$



arteriálna krv

$O_2 = 12.5$

$CO_2 = 5.3$

# TRANSPORT DÝCHACÍCH PLYNOV - O<sub>2</sub>

Kyslík sa do krvi pľúc. kapilár dostáva z alveolárneho vzduchu (pO<sub>2</sub>–13,3 kPa)

Transport kyslíka – uskutočňuje sa arteriálnou krvou do tkanív

1liter krvi môže viazať najviac 200ml kyslíka → kyslíková kapacita krvi

Kyslík sa prenáša krvou v dvoch formách:

- 197 ml - chemicky viazaný - väzba na hemoglobín (HbO<sub>2</sub>) -

- dôležitý pre metabolizmus tkanív,

- 1g Hb viaže 1,34 ml kyslíka - kyslíková kapacita Hb v krvi

- 3 ml - fyzikálne rozpustný v plazme (parciálny tlak) - molekuly O<sub>2</sub> v krvi

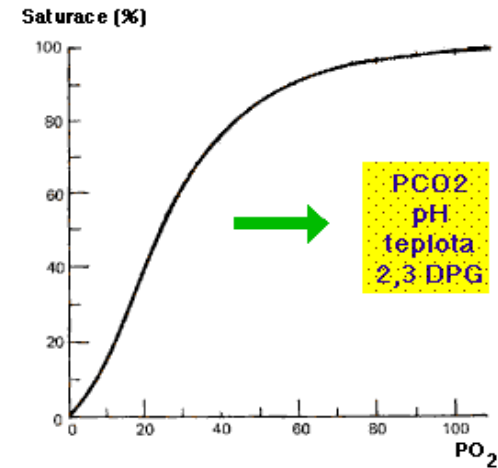
- vytvárajú parciálny tlak O<sub>2</sub> – 12,5 kPa

U mužov (Hb 160 g/l) môže naviazať 214



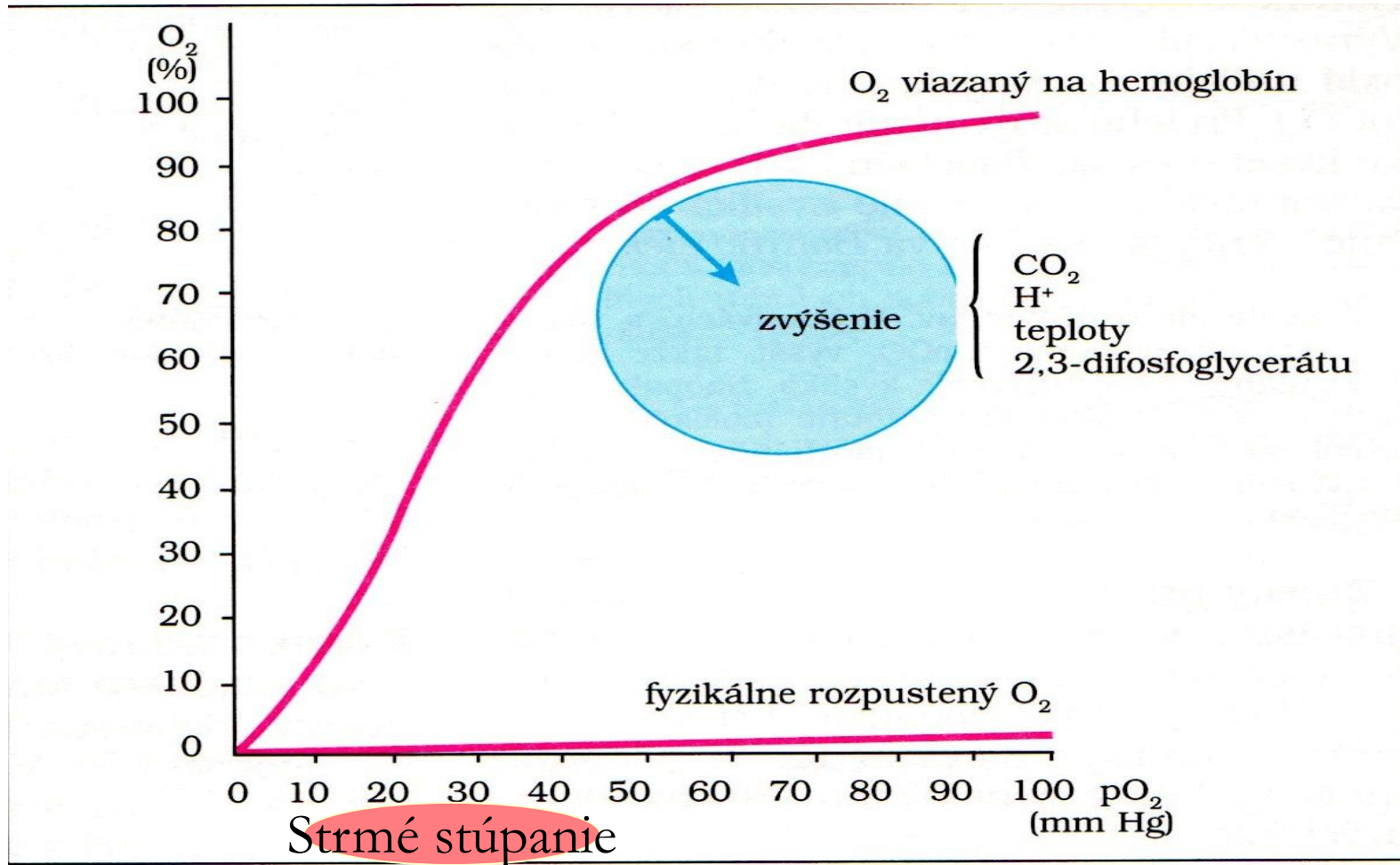
# Väzbová krivka O<sub>2</sub>

- Vyjadruje závislosť väzby kyslíka na hemoglobín
- nemá lineárny priebeh,
- má tvar pretiahnutého písmena S
- V rozsahu 10 – 40 mmHg strmo stúpa
- Krv sa nasycuje O<sub>2</sub> v alveolách takmer úplne (95%)



# Väzbová krivka

- Závislosť väzby O<sub>2</sub> na hemoglobín od pO<sub>2</sub>  
tvar pretiahnutého S



# Fyziologické hodnoty saturácie krvi O<sub>2</sub>

- okolo 96% , u starších jedincov 93%
- pod 85% hyposaturácia



- Ťažká hypoxémia – pod 8-7,3 kPa

# Prenos krvných plynov: CO<sub>2</sub>

- parc.tlak v atmosfer.vzduchu **0,04 kPa**
- parciálny tlak CO<sub>2</sub> v alveolárnom vzduchu  
pA CO<sub>2</sub> = **5,3 kPa** (40mm Hg)
- arteriálna krv - **5,3 kPa**
- venózna krv – **6,1 kPa**

# TRANSPORT CO<sub>2</sub>

prenáša sa krvou v 2 formách

**1. fyzikálne rozpustný v plazme (parciálny tlak) - 5%**

**celkového obsahu CO<sub>2</sub> v krvi**

**30 ml/l v arteriálnej krvi**

**35 ml/l vo venózne krvi**

CO<sub>2</sub> reaguje s H<sub>2</sub>O      H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (kys.uhličitá)

!!! V krvi 1000x viac fyzik.rozpustného CO<sub>2</sub> ako H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

**2. chemicky viazaný**

z H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (kyseliny uhličitej) vzniká v Er kyslý uhličitan draselný KHCO<sub>3</sub>

a v plazme kyslý uhličitan sodný NaHCO<sub>3</sub>

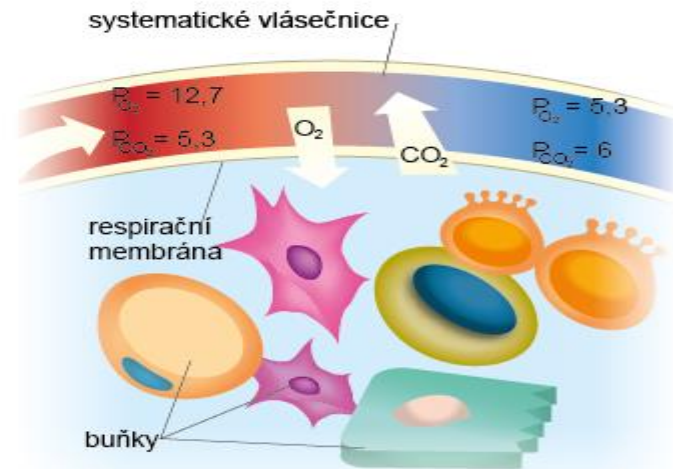
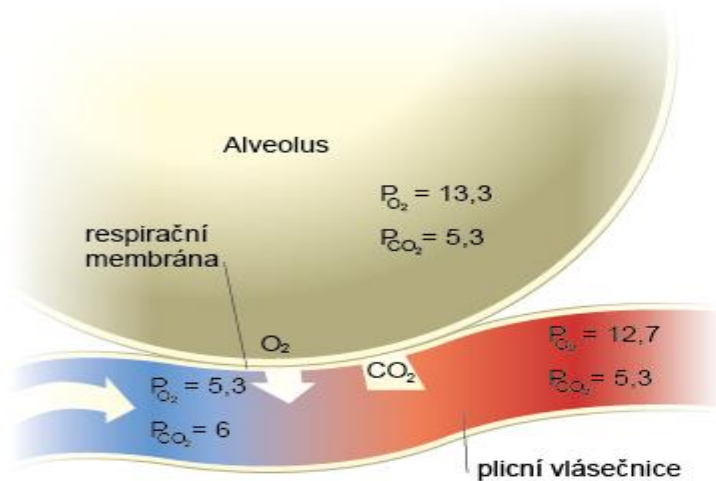
Kyslé uhličitaný prenášajú 75 – 80% CO<sub>2</sub> z tkanív do alveolárneho vzduchu

# Rozdiel tlakov ...

□ pCO<sub>2</sub> venózna krv 6,1kPa

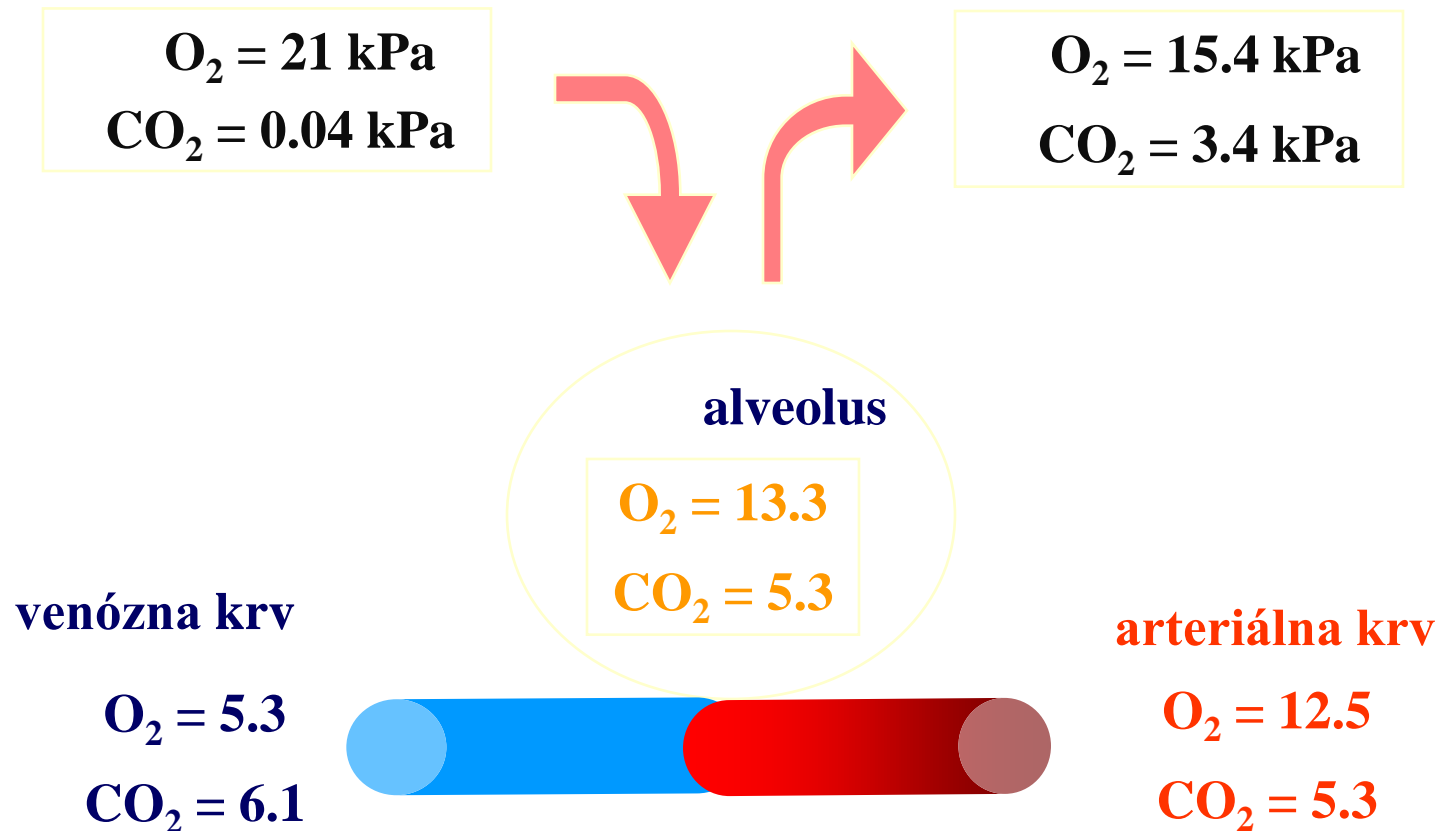
alveolárny vzduch 5,3

CO<sub>2</sub> - uniká do alveolárneho vzduchu



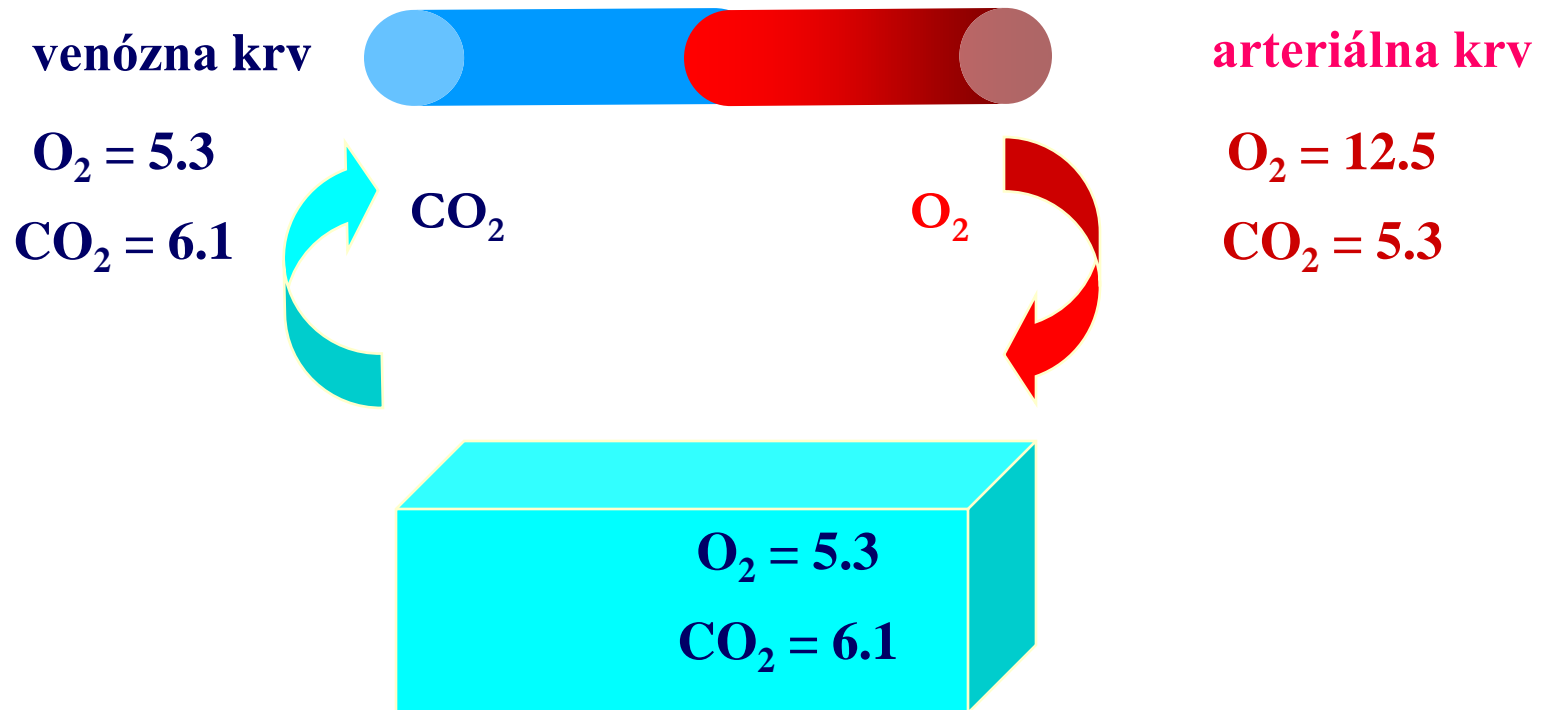
# RESPIRAČNÝ SYSTÉM - výmena plynov

(medzi atmosférickým a alveolárnym vzduchom medzi alveolárnym vzduchom a krvou)



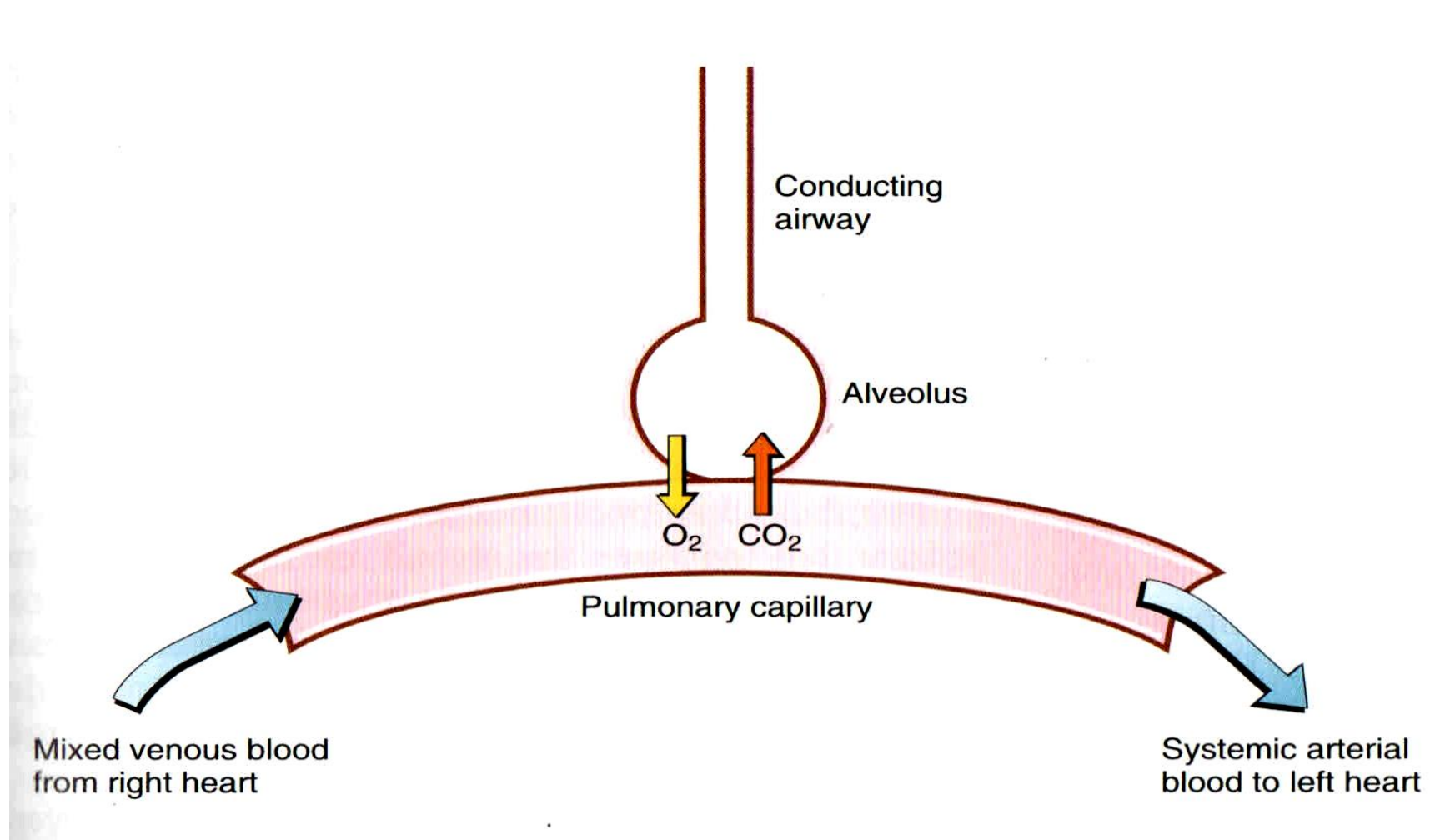
# *RESPIRAČNÝ SYSTÉM - výmena plynov*

*(medzi kapilárnou krvou a tkanivovou tekutinou , medzi tkanivovou tekutinou a vnútorným prostredím bunky)*







*Prenos plynov cez kapilárnu alebo bunkovú membránu sa deje prostredníctvom **jednoduchej difúzie !!!***



# Hypoxia

- Chýbanie alebo nedostatočný prísun  $O_2$ , neschopnosť využiť  $O_2$   hypoxia
- Ak tento stav trvá určitú dobu  funkčné poškodenie buniek a neskôr ich odumretie
- Hypoxia je stav, pri ktorom je oxygenácia na bunkovej úrovni porušená alebo neadekvátne
- **Parciálny tlak  $O_2$  v tkanive býva redukovaný**

# HYPOXÉMIA

□ Znížené nasýtenie artériovej krvi O<sub>2</sub>

Príčiny:

1. znížený parciálny tlak O<sub>2</sub> vo vdychovanom vzduchu – hypoxická hypoxia
2. hypoventilácia (choroby pľúc)
3. porucha difúzie plynov v pľúcach
4. ventilačno - perfúzne poruchy

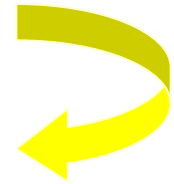
# Hypoxia

## Hypoxia v bunkách :

- Anaeróbne metabolické pochody
- Produkcia kyseliny mliečnej
- Zníženie produkcie ATP v mitochondriách
- Posun pH
- Ireverzibilné zmeny štruktúry buniek

# Liečba kyslíkom

- Hlavná indikácia na liečbu kyslíkom:  
**hypoxia a hypoxémia**



Umelé zvýšenie frakcie  $O_2$  a tým  
aj  $pO_2$  vo vdychovanej zmesi plynov

- Najčastejšia – normobarická aplikácia  
( $O_2$  sa podáva za normál.barometrického tlaku)

# Liečba kyslíkom

- Spôsoby aplikácie:
  - katétrom „kyslíkové okuliare“
  - tvárovou maskou,
  - u novorodenca do inkubátora,
  - endotracheálnou trubicou počas UPV
- 
- Zmes plynov obohatená  $O_2$  musí byť zohriata a dostatočne zvlhčená

# Nepriaznivé účinky oxygenoterapie

## □ **Kyslíkové apnoe**

znížený  $pO_2$  počas hypoxie stimuluje cez periférne chemoreceptory DC – udržiava a zlepšuje spontánne dýchanie,

ak náhle zvýšime  $pO_2$  - po aplikácii kyslíka,  
hrozí zastavenie dýchania

## □ **Dráždenie slizníc suchým a studeným $O_2$**

□ **Pocit tlaku za sternom** - inhalácia 12-24 h,

□ **Zníženie vitálnej kapacity**

# Nepriaznivé účinky oxygenoterapie

- **Sietnica** – zužuje sa lúmen ciev sietnice, edém, krvácanie
- **Mozog** - vazokonstrikcia ciev – znižuje prietok krvi mozgom
- **KVS** – inhaláciu môže sprevádzať bradykardia, vzostup periférnej vaskulárnej rezistencie, zvýšenie TK
- **Vznik voľných radikálov**
- **Nebezpečenstvo výbuchu kyslíka**



# Hyperbarická oxygenácia

- Inhalácia kyslíka zvýšeným tlakom 2-3 atm
- Dosycuje sa Hb a stúpa  $pO_2$  fyzikálne rozpusteného kyslíka v plazme až na 70 ml v litri krvi (pri tlaku 3 atm)
- **Indikácie:**
- Otrava oxidom uhoľnatým, barbiturátmi, kyanidmi a pri methemoglobínemii
- Pri lokálnej hypoxémii až ischemii tkanív pri nehojacich sa defektoch kože – diabetické gangrény, vredy predkolenia

# Regulácia dýchania



# RESPIRAČNÝ SYSTÉM - regulácia dýchania

**4 kontrolné mechanizmy hrajú úlohu v regulácii dýchania a v kompenzácii porúch:**

- 1. Nervové mechanizmy mozgového kmeňa**
- 2. Chemická kontrola**
- 3. Reflexné mechanizmy**
- 4. Suprapontinné mechanizmy**

# 1. Nervová regulácia dýchania

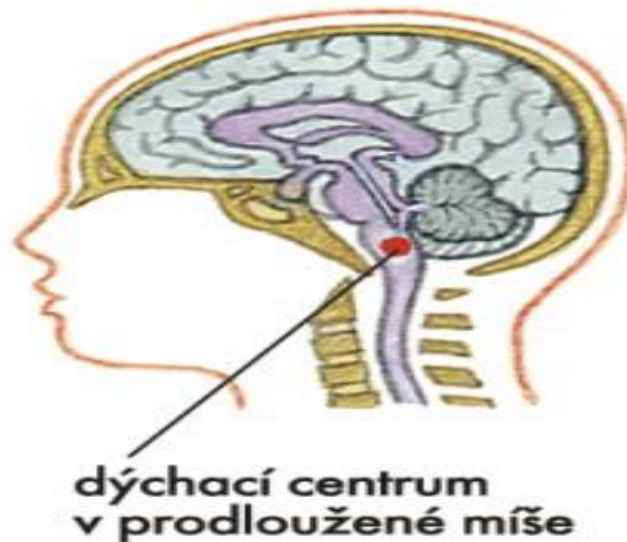
- Slúži na zabezpečenie adekvátneho a efektívneho prísunu  $O_2$  a odvodu  $CO_2$ , ale aj na ochranu a obranu respiračného systému pred škodlivými vplyvmi
- Dýchacie centrum je lokalizované v predĺženej mieche, má 2 časti – inspiračnú a expiračnú časť
- Ide o súbor neurónov, ktoré sú aktívne v príslušnej fáze dychu
- Inspiračné neuróny dýchacieho centra vysielajú impulzy do inspiračných svalov
- Expiračné neuróny neprodukujú pri pokojnom dýchaní spontánne impulzy, ale tieto impulzy sa môžu vyvolávať prostredníctvom aferentných podnetov

# 1. Nervová regulácia dýchania

- Dýchacie centrum → v predĺženej mieche a moste

Skladá sa z **inspiračnej a expiračnej časti**

(súbor neurónov, ktoré sú aktívne v príslušnej fáze dychu)



# RESPIRAČNÝ SYSTÉM - regulácia dýchania

Dýchacie centrá - v predĺženej mieche - 2 skupiny neurónov:

**Dorzálna respiračná skupina** - skladá sa len z inspiračných neurónov - nachádza sa v tr.solitarius

- Má spontánnu aktivitu a tá sa prenáša k hlavným dýchacím svalom
- Jedno z najdôležitejších miest vzniku respiračnej aktivity
- Prepínacia stanica mnohých respiračných reflexov – vysielajú vzruchy k bránici a ďalším inspiračným dýchacím svalom, ale aj k pneumotaxickému centru
- Inspiračné neuróny sa nachádzajú aj na ventrálnej strane PM – celý súbor inspiračných neurónov – generátor centrálnej inspiračnej aktivity (CIA)

# RESPIRAČNÝ SYSTÉM - regulácia dýchania

Ventrálna respiračná skupina – skladá sa z:

## 1. expiračné neuróny - nachádzajú sa v **ncl. retrofacialis**

(súčasť Botzingerovho komplexu)

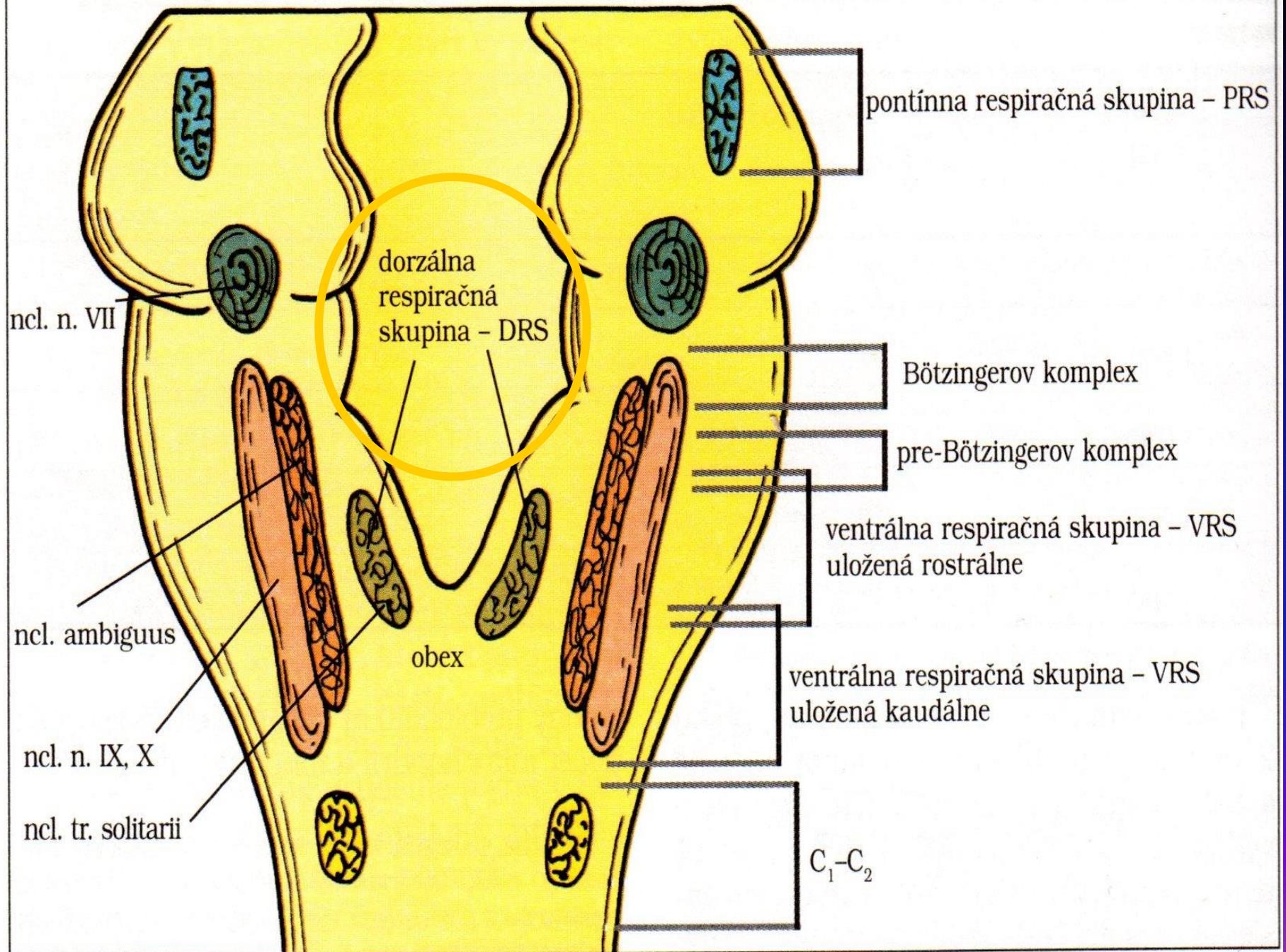
pôsobia ako vypínač inšpiria – inhibujú generátor CIA (inšpiračné neuróny) a sú zároveň generátorom centrálnej expiračnej aktivity CEA pri aktívnom expíriu

## 2. zmiešaná oblasť - **inšpiračné a expiračné neuróny** - nachádza:

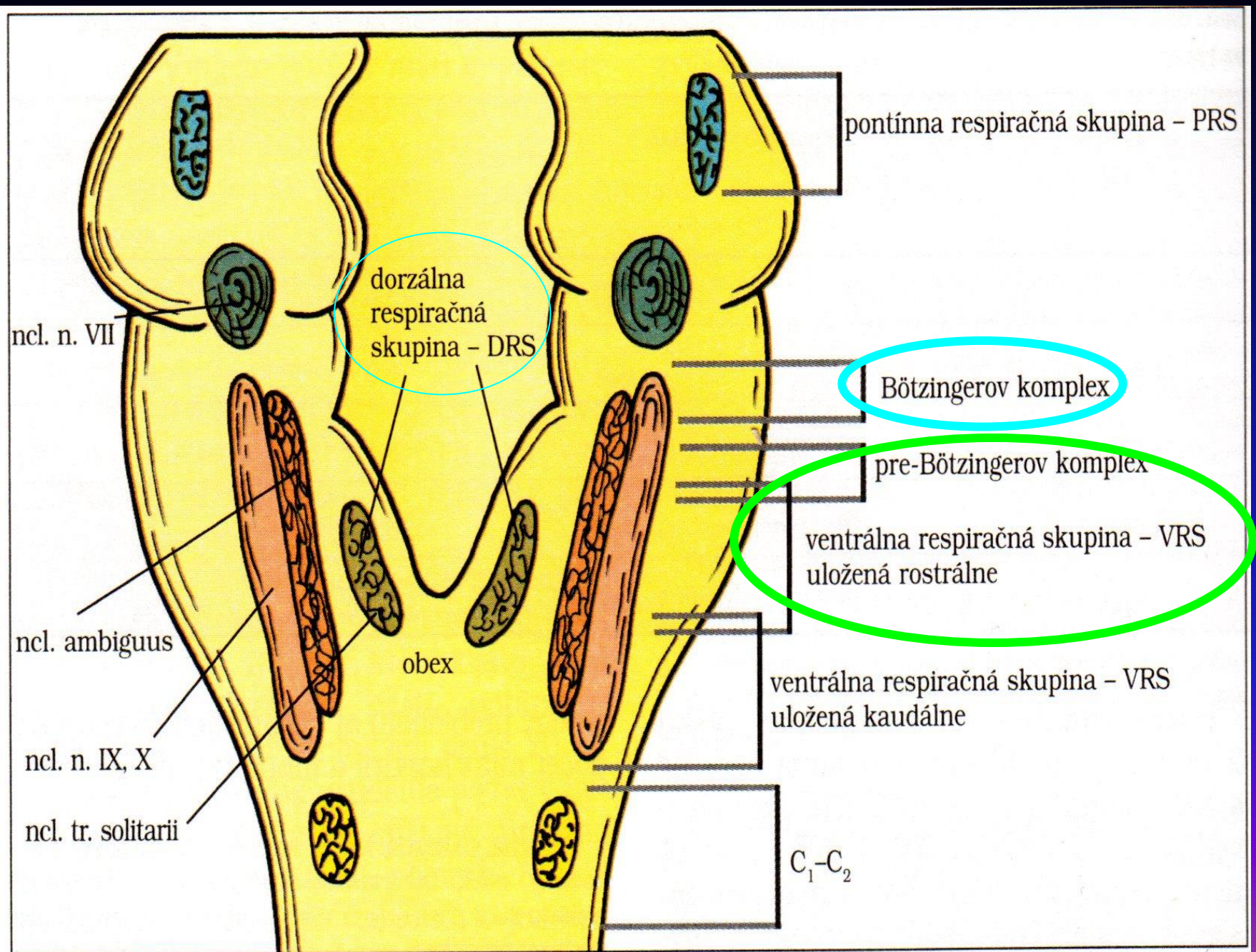
**v ncl. ambiguus** – motoricky inervuje laryngeálne svaly

**v ncl. retroambigualis, ncl. paraambigualis** - zabezpečujú

motorickú inerváciu inšpiračných a expiračných medzirebrových a brušných svalov

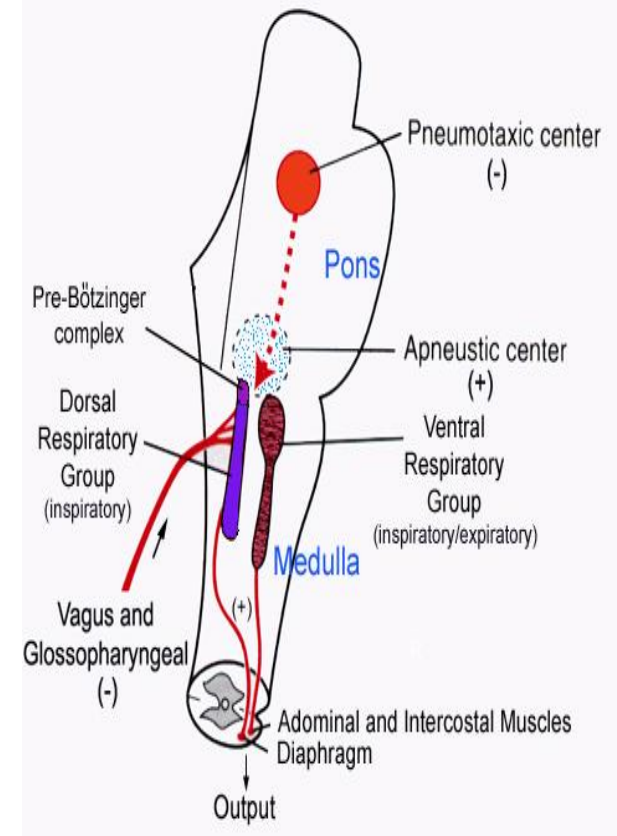






# RESPIRAČNÝ SYSTÉM - regulácia dýchania

- **Apneustické centrum** – (ncl. reticularis)
  - Nachádza sa v dolnej časti mosta
  - Trvalo aktivuje dorzálnu skupinu – stimuluje inspiračné neuróny v PM
  - Typické dýchanie apneusis – charakterizuje dlhotrvajúca kontrakcia inspiračných svalov
- **Pneumotaxické centrum** – (ncl. parabrachialis)
  - Nachádza sa v hornej časti mosta
  - Nadriadené centrum - intermitentne tlmí apneustické centrum, umožňuje striedanie inspiria a expiria



## 2. Chemická regulácia dýchania

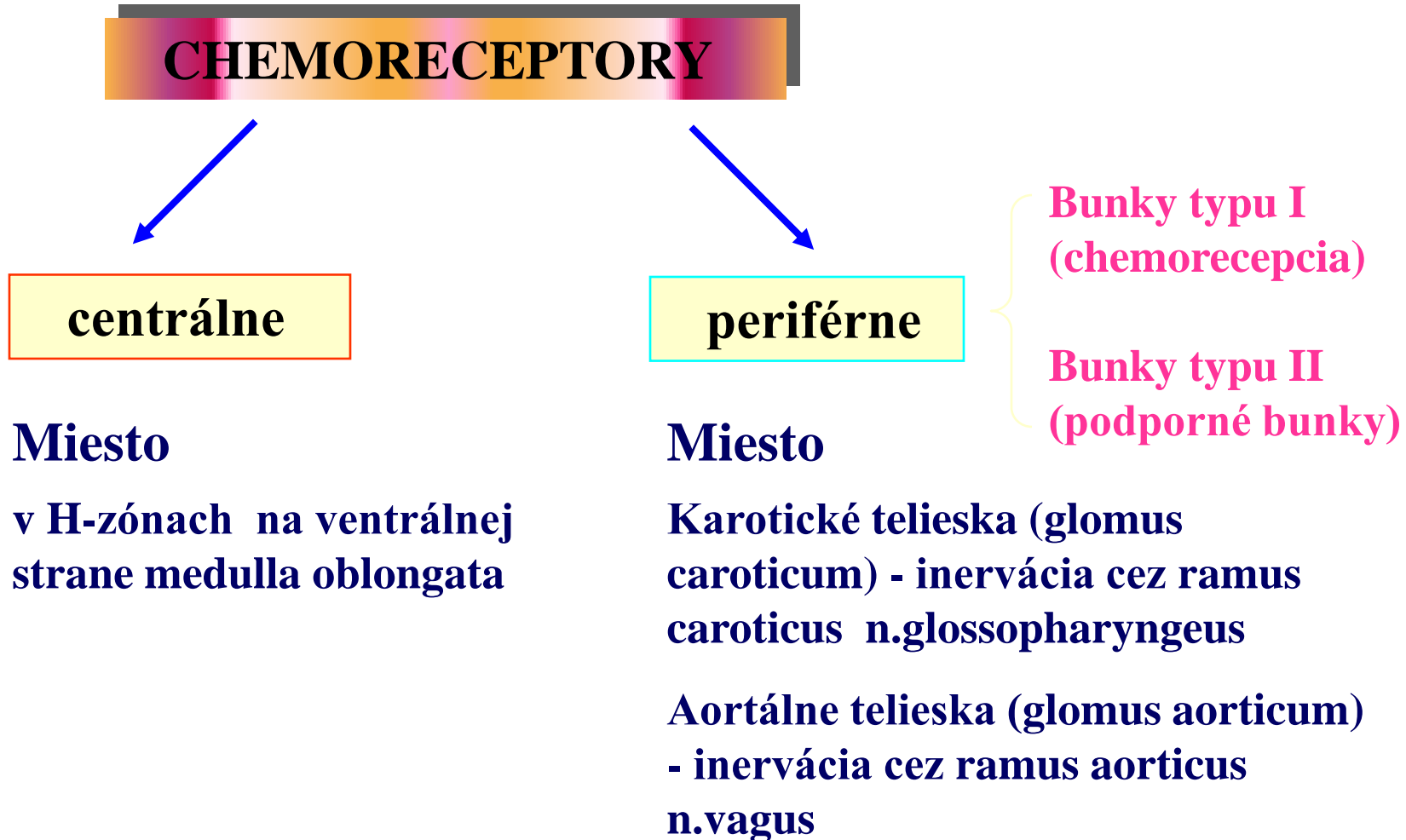
- Úlohou je udržiavať za rozličných okolností hodnoty dýchacích plynov vo fyziologickom rozmedzí
- $O_2$  a  $CO_2$  v krvi registrujú periférne a centrálné chemoreceptory

## 2. Chemická regulácia dýchania

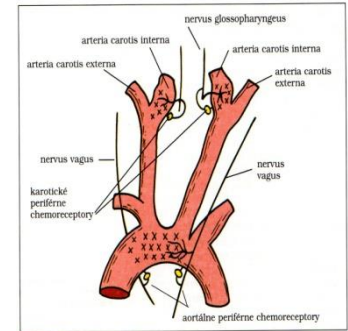
Periférne chemoreceptory – reagujú na zmeny  $p_{aO_2}$  a  $p_{aCO_2}$  – nachádzajú sa v **glomus caroticum** a **glomus aorticum**

- Centrálne chemoreceptory – adekvátny podnet
- zvýšenie  $pCO_2$  a koncentrácie iónov  $H^+$  v mozgovomiechovom moku a intersticiálnej tekutine
  - na zmenu  $pO_2$  nereagujú !!!

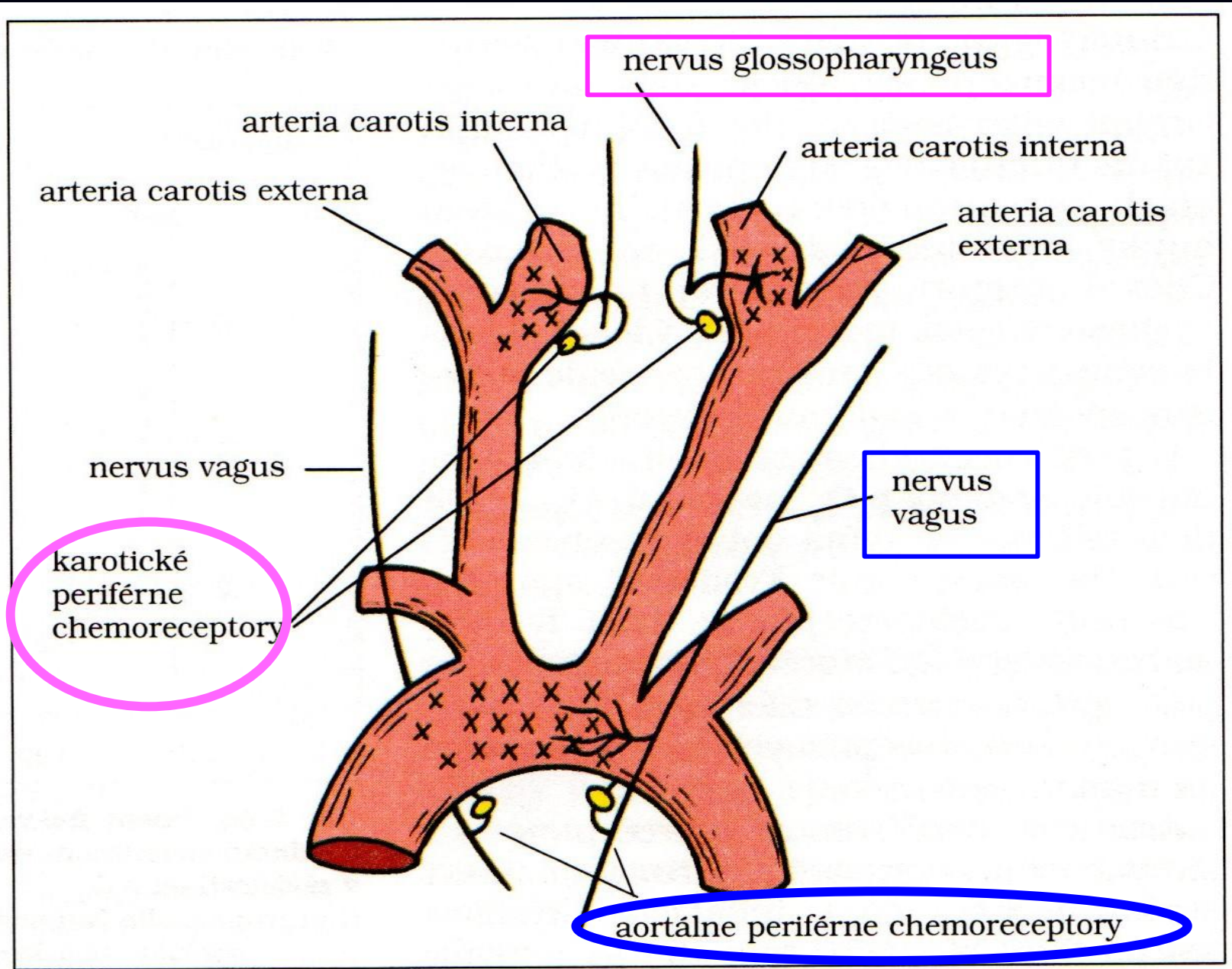
# RESPIRAČNÝ SYSTÉM - chemická kontrola dýchania



# Periférne chemoreceptory



- Najprekrvnejšie orgány organizmu, majú svoj vlastný krvný obeh, aferentnú aj eferentnú inerváciu a skladajú sa z viacerých typov buniek
- **Karotické telieska**
- sú uložené pri rozvetvení karotických tepien
- u dospelého merajú 1-2mm a svoje signály vysielajú cez Heringove nervy – nervi sinu carotici do IX. hlavového nervu a dorzálnej respiračnej skupiny
- **Aortálne telieska**
- nachádzajú sa medzi aortou a pľúcnou tepnou
- Spravidla sú 2-3 a ich aferentné vlákna prebiehajú cez n.X (nervi vagi) tiež do dorzálnej respiračnej skupiny v PM



nervus glossopharyngeus

arteria carotis interna

arteria carotis interna

arteria carotis externa

arteria carotis externa

nervus vagus

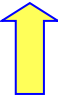

nervus vagus

karotické  
periférne  
chemoreceptory

aortálne periférne chemoreceptory

# Chemická regulácia dýchania

## Artériové periférne chemoreceptory

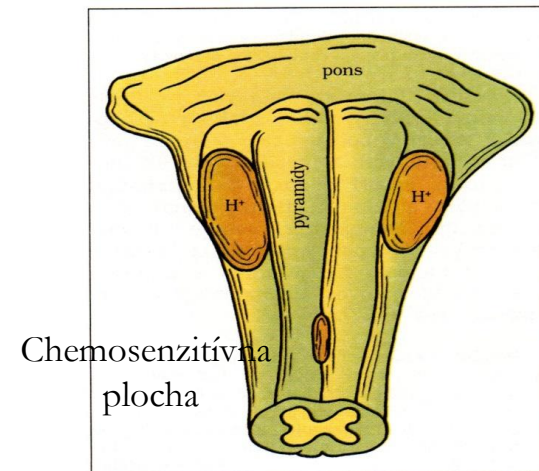
- pri   $p_{aO_2}$  (na 22 kPa -inhaláciou  $O_2$ ) sa aktivita periférnych chemoreceptorov utlmuje
- pri   $p_{aO_2}$  sa vzruchy z periférnych chemoreceptorov stupňujú – stimulácia dých.centra - **hyperventilácia**



# Chemická regulácia dýchania

## □ Centrálny chemoreceptory

- Nachádzajú sa na ventrálnej strane PM
- Adekvátny podnet – zvýšenie  $p\text{CO}_2$  a koncentrácie iónov  $\text{H}^+$  v mozgovomiechovom moku a intersticiálnej tekutine
- na zmenu  $p\text{O}_2$  nereagujú !!!



# RESPIRAČNÝ SYSTÉM - chemická kontrola dýchania

## Centrálne chemoreceptory:

Majú spojenia hlavne s dorzálnou – inspiračnou respiračnou skupinou

- Adekvátny podnet - stimulus - zvýšenie  $p\text{CO}_2$  a koncentrácie iónov  $[\text{H}^+]$ ,
- Na zmenu  $p\text{O}_2$  nereagujú
- reakcia je pomalšia, ale predstavuje až 80% celkovej odpovede zmena vo ventilácii sa prejavuje po 20-30s a vyvoláva dlhšie trvajúcu hyperventiláciu
- kontrola dýchania je hlavne počas spánku

# 3. RESPIRAČNÝ SYSTÉM - reflexná kontrola dýchania

## Pľúcne receptory:

### 1. Pomaly adaptujúce sa receptory (SAR)

Nachádzajú sa v hladkom svalstve priedušnice a priedušiek

Sú inervované silnými myelinizovanými aferentnými vláknami, ktoré vedú vzruchy rýchlosťou 14-59 m/s

Vysielané impulzy postupujú cez n.X do ncl. solitarii – do dýchacieho centra

- Mechanoreceptory - stimulus - nárast pľúcneho objemu sú citlivé na napínanie steny dýchacích ciest vyvolané prívodom dychového objemu – „receptory napätia, inflačné receptory, receptory rozpätia pľúc“
- efferentné impulzy cez n.vagus do respiračného centra, kde inhibujú aktivitu inspiračných neurónov

# RESPIRAČNÝ SYSTÉM - reflexná kontrola dýchania

## 2. Rýchlo adaptujúce sa receptory alebo irritant receptory (RAR)

- Sú to zakončenia tenkých myelinizovaných nervových vlákien, nachádzajú sa pod epitelom a medzi epiteliálnymi bunkami dýchacích ciest
- Tieto vlákna vedú vzruchy s rýchlosťou 16-37 m/s
- reagujú na mechanické podráždenie alebo na chemicky dráždivé látky
- aktivácia spôsobuje kašľanie, bronchokonstrikciu, kýchanie, sekréciu hlienu
- aktivácia v pľúcach môže vyvolať hyperpnoe (prehlbenie dychového objemu)

## 4. Vplyv z CNS

- **Vôľová kontrola** – kortikospinálne dráhy  
(súčasť pyramídovej dráhy v dorzolaterálnej mieche) –  
sú uložené laterálne v mieche, neprebiehajú  
respiračným centrom  
poškodenie: **syndróm automatického dýchania**  
(vôľovo nedokážu ovplyvniť ventiláciu)
- **Automatická kontrola** – bulbospinálne dráhy  
vo ventrolaterálnom povrazci  
poškodenie: **syndróm Ondinovej kliatby**



*Ondina - vodná víla, ktorá zakliala muža kvôli nevere, odňala mu všetky automatické funkcie...aj dýchanie...*

- Kompresia predĺženej miechy patologickým procesom alebo postihnutie bulbospinálnych dráh
- Kongenitálny (vrodený) centrálny hypoventilačný syndróm – primárna alveolárna hypoventilácia
- Poškodenie mozgového kmeňa v oblasti vstupu aferentácie z chemoreceptorov
- **Ľudia s touto chorobou „nesmú zaspáť“ alebo musia spávať pripojení na ventilačné dýchacie systémy**

# Regulácia dýchania

- Do regulácie dýchania pri určitých emocionálnych stavoch sa zapájajú aj **limbické štruktúry**
- zmeny dýchania pri vzrušení spojené s hyperventiláciou, modifikované dýchanie pri plači, smiechu

**Hypotalamus** – centrum riadenia autonómnych funkcií

- zmena aktivity H.  zmeny dýchania

# Ochranné reflexy dýchacích ciest

- Kratschmerov apnoický reflex
- receptory n.trigeminus v sliznici nosa: ochrana respiračných orgánov pred chemickými škodlivinami  
apnoe, laryngokonstrikcia, bronchokonstrikcia
- Ponárací reflex – receptory tváre: chlad apnoe .....
- Laryngálny chemoreflex – apnoe, laryngokonstrikcia, bradykardia... prehltanie



# Obranné reflexy dýchacích ciest

- Kýchanie – mechanické alebo chemické dráždenie sliznice nosa
- Kašlanie – mechanické alebo chemické dráždenie laryngálnej a tracheobronchiálnej sliznice (kašlové receptory-vetvenie dých.ciest)
- Exspiračný reflex – vyvoláme dráždením hlasiviek
- začína bez inspíria – exspiračným nárazom
- zabránenie vpadnutiu cudzích telies v hlasivkách do dých.ciest + odstraňovanie hlienu

*Pekný deň .....*

