

# DÝCHACÍ SYSTÉM

# ANATOMIE DÝCHACÍCH CEST

**Dutina nosní**

**Vedlejší dutiny nosní**

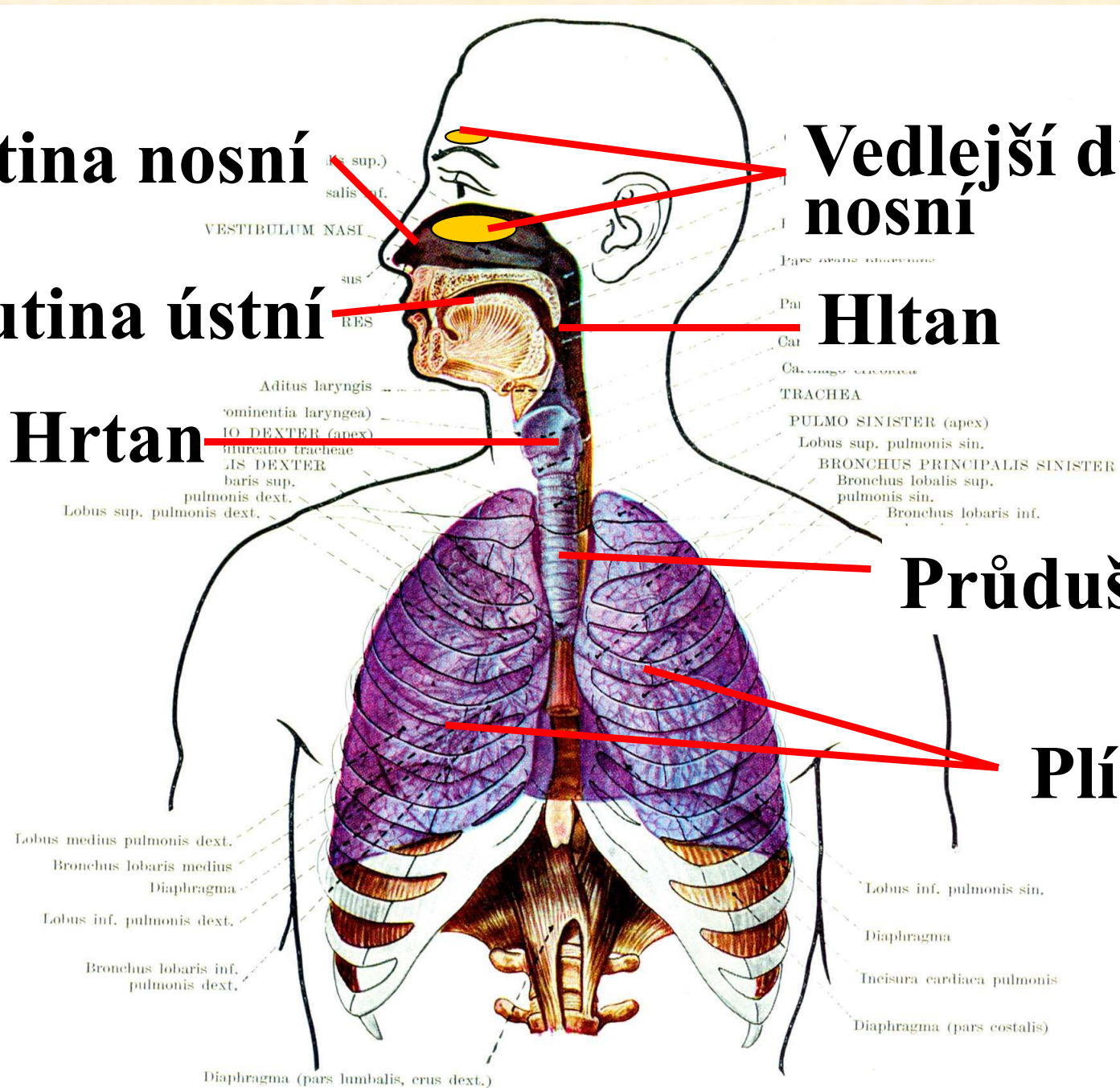
**Dutina ústní**

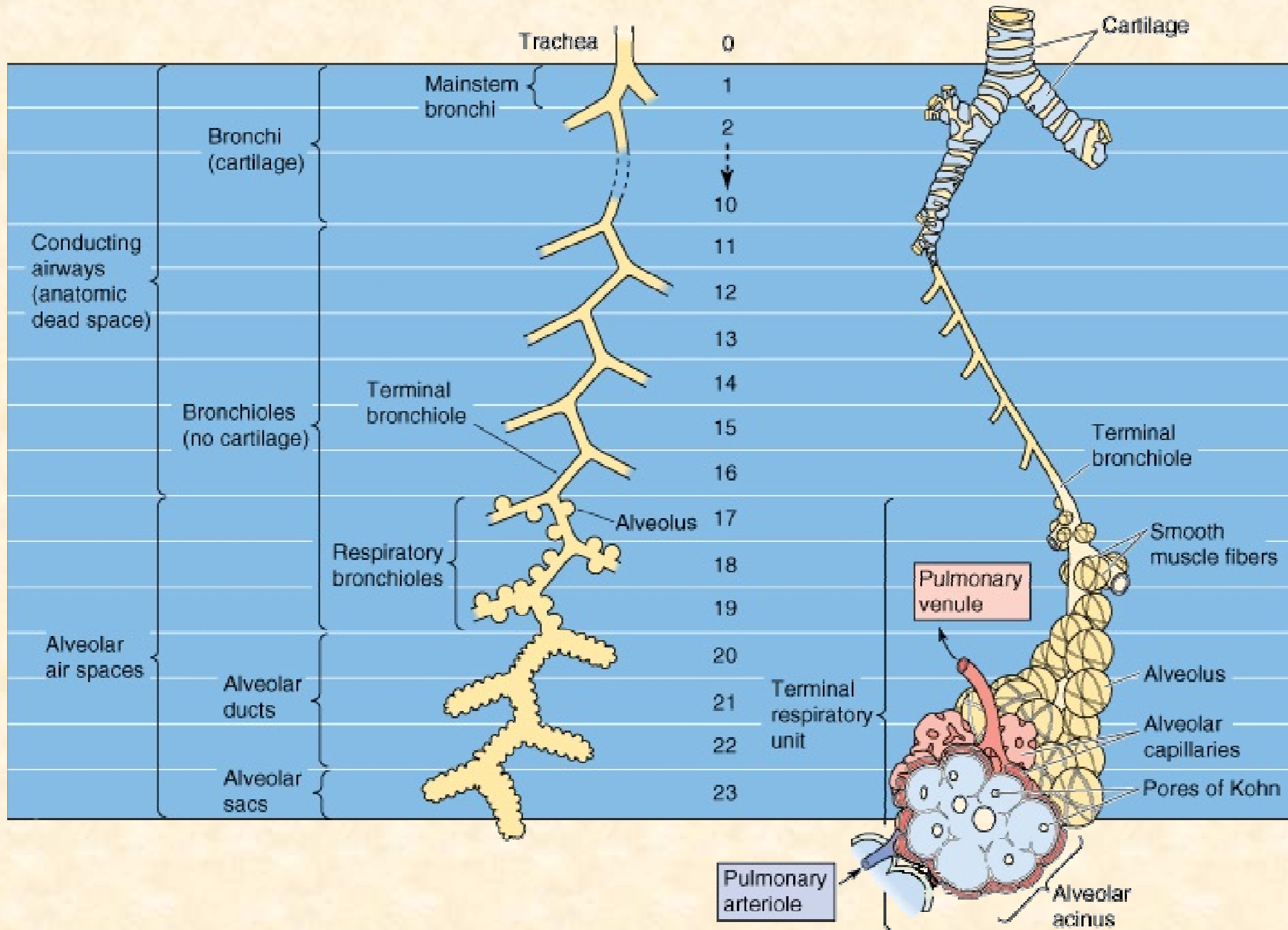
**Hltan**

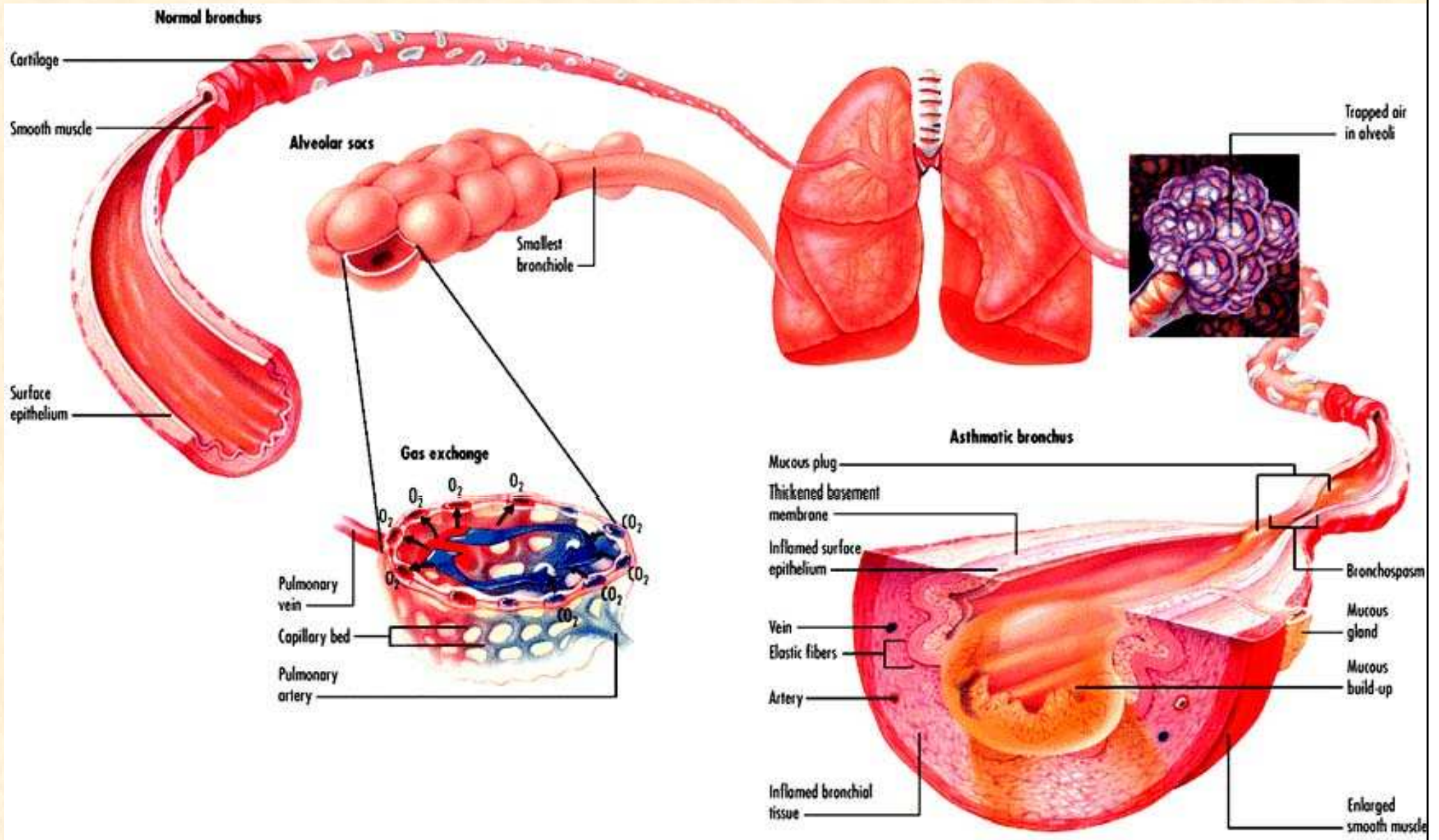
**Hrtan**

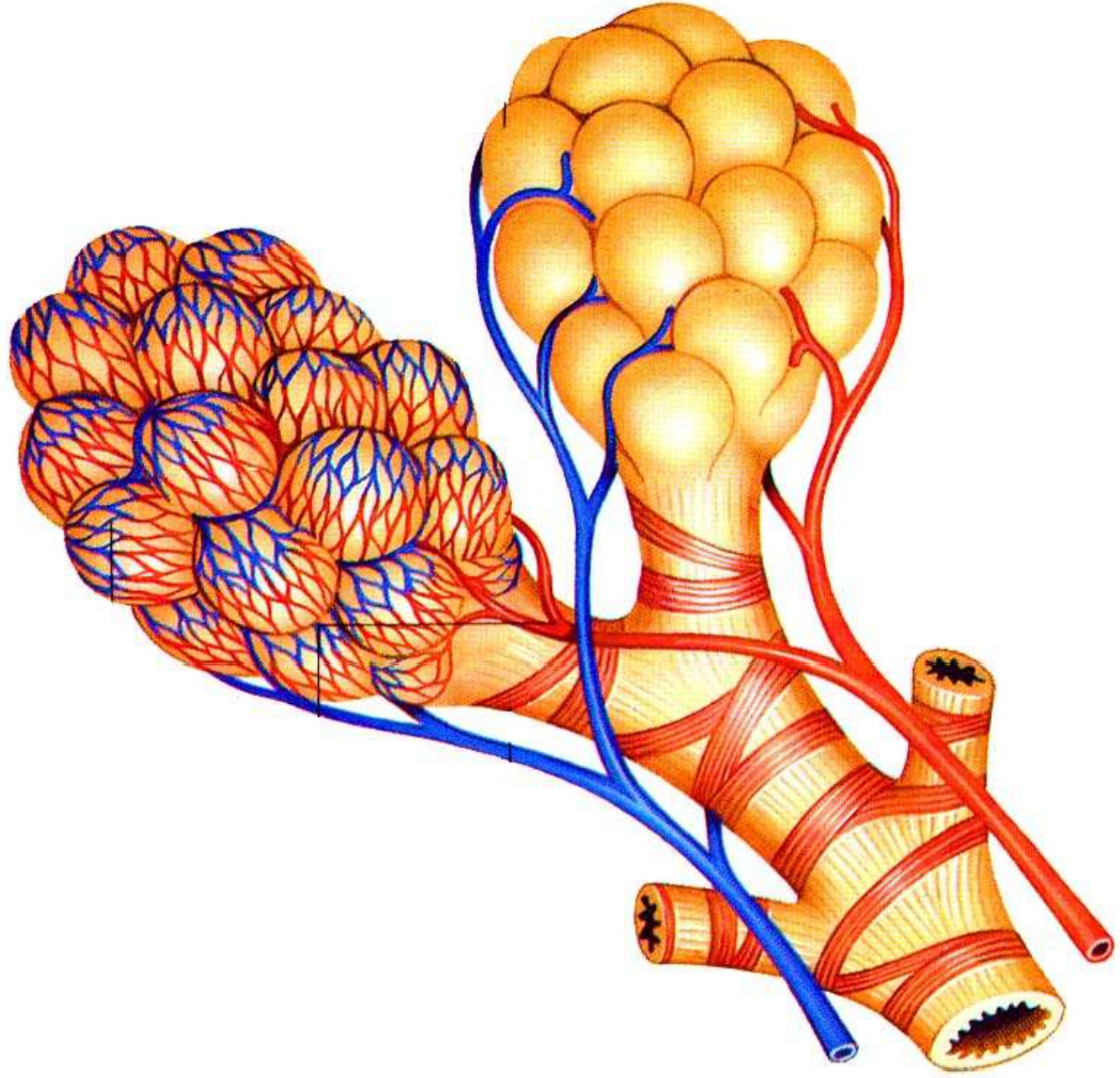
**Průdušnice**

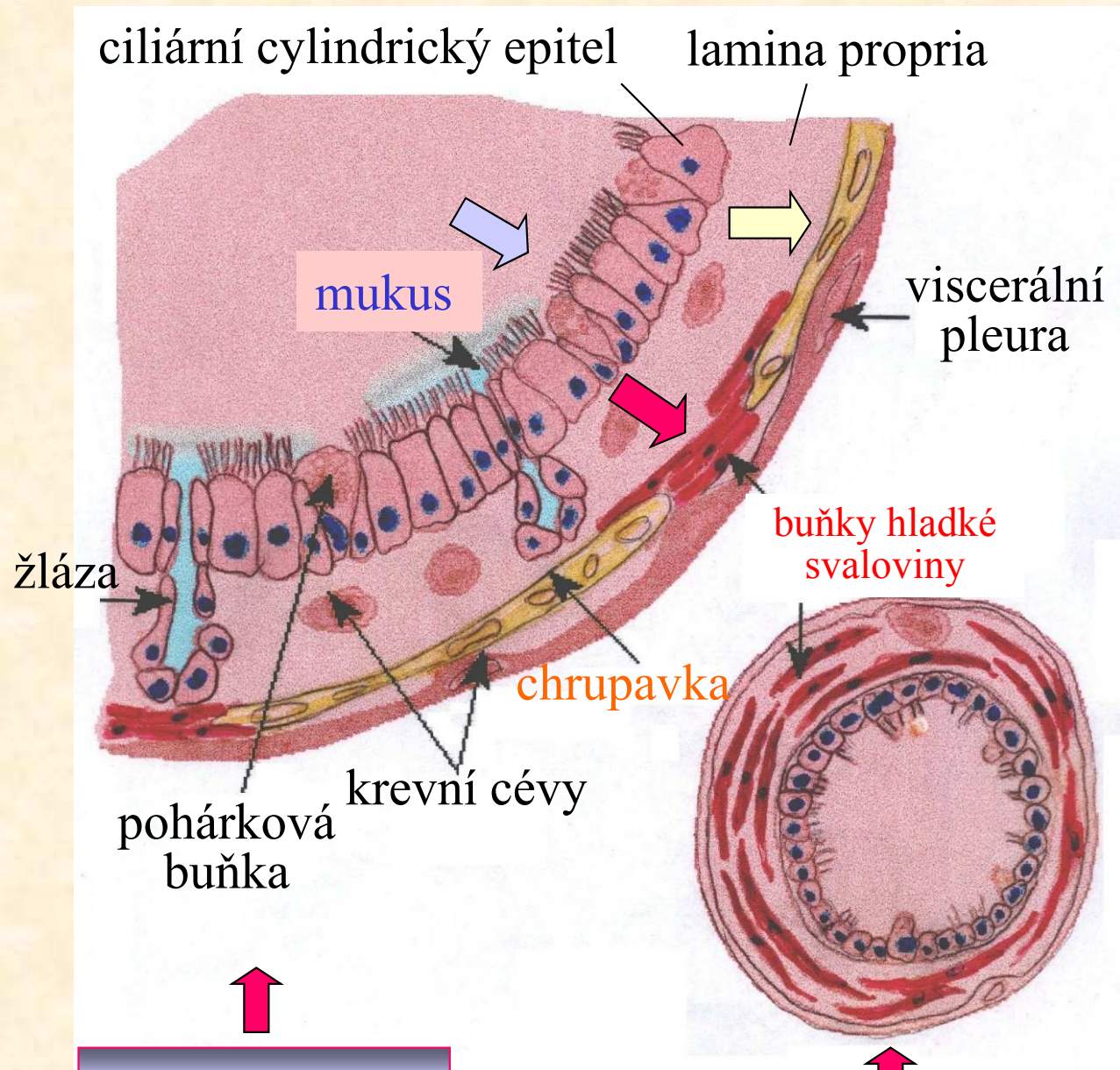
**Plíce**











**AUTONOMNÍ INERVACE  
SVALOVÝCH BUNĚK**

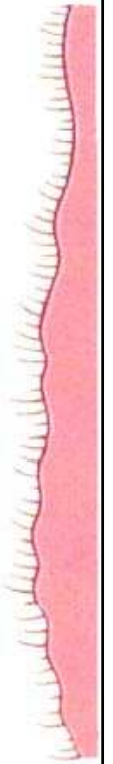
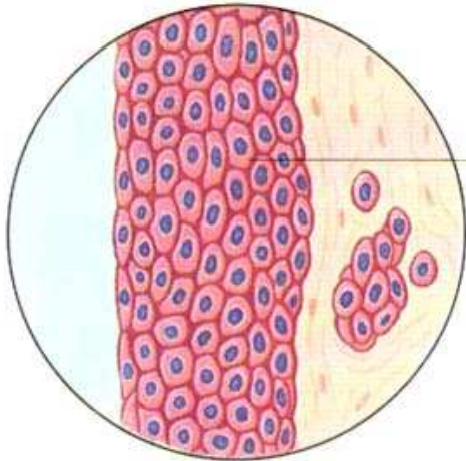
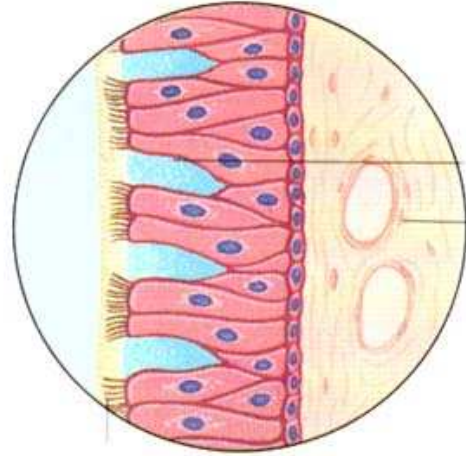
**muskarinové** receptory  
aktivace acetylcholinem  
⇒ **bronchokonstrikce**

**β<sub>2</sub>-adrenergní** receptory  
aktivace noradrenalinem  
⇒ **bronchodilatace**

**BRONCHUS**

**TERMINÁLNÍ  
BRONCHIOLUS**

∅ < 1 mm



# FÁZE TRANSPORTU $O_2$ K BUŇKÁM

VENTILACE PLIC

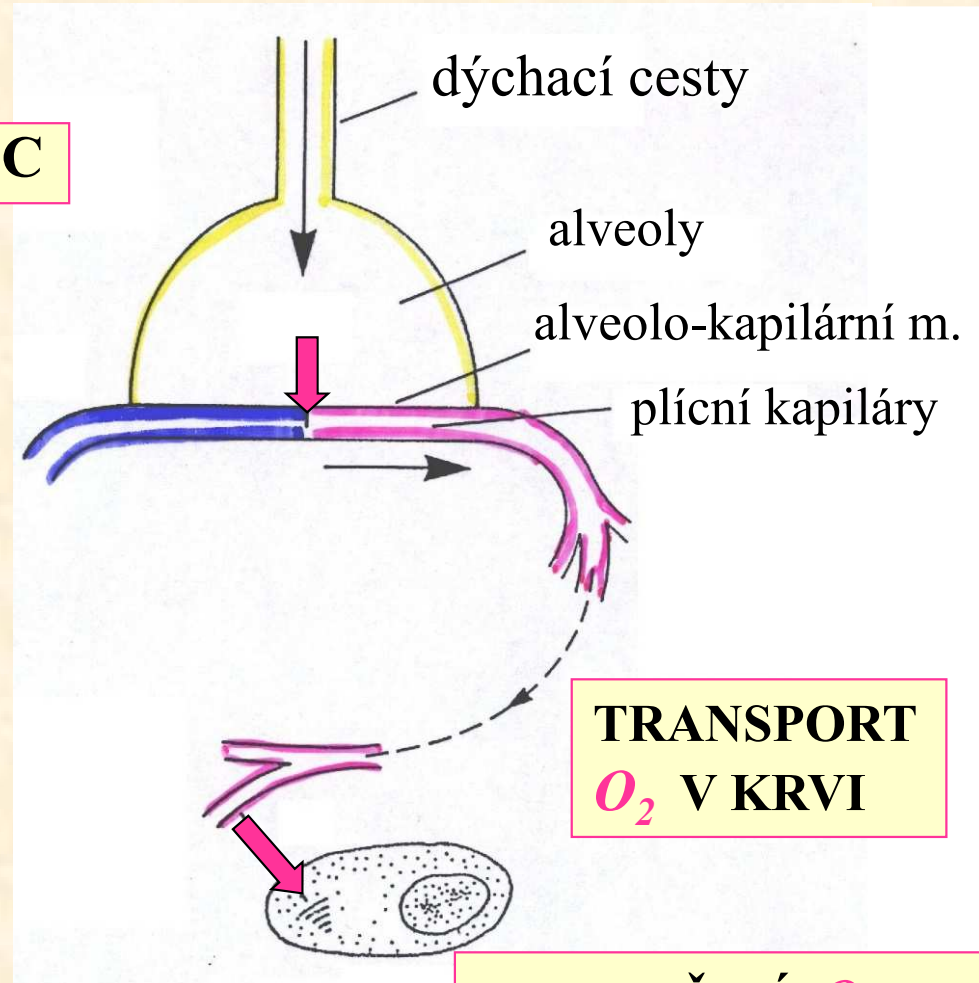
DIFUZE  $O_2$  PŘES  
ALVEOLO-KAPILÁTRNÍ  
MEMBRÁNU

DIFUZE  $O_2$   
Z PERIFERNÍ KAPILÁRY  
DO BUŇKY

V KLIDU

příjem  $O_2$  ~300 ml / min

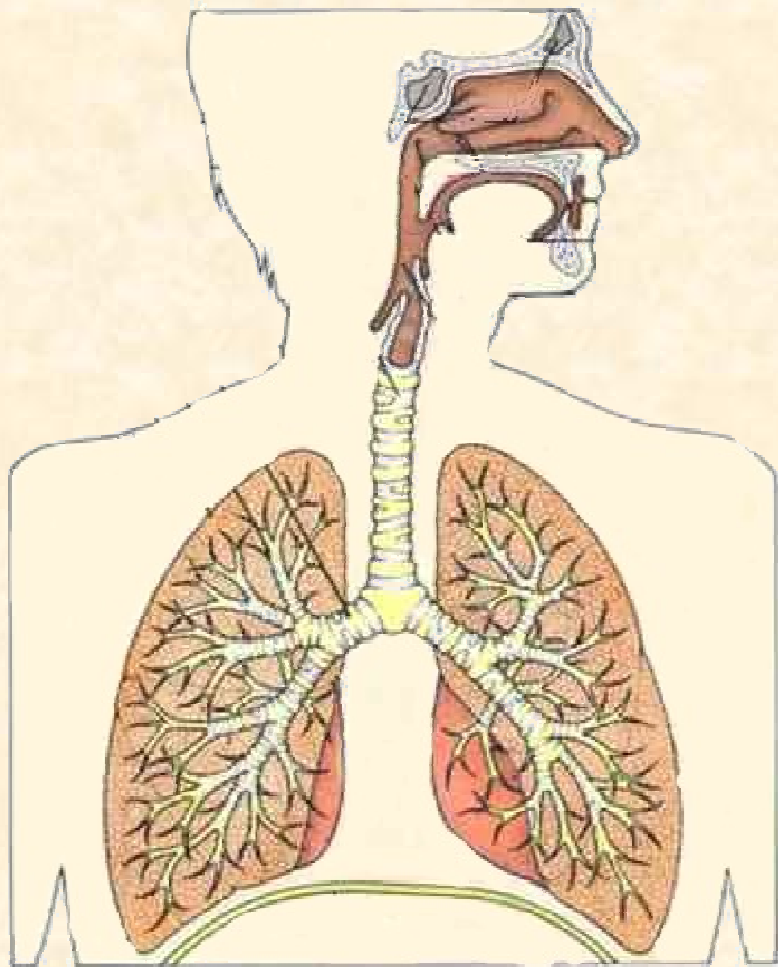
výdej  $CO_2$  ~250 ml / min



VNITŘNÍ DÝCHÁNÍ



Ventilace plic



## Funkce dýchacích cest:

- ✓ zbavování mechanických nečistot – zachycení ve vrstvičce hlenu (řasinky ho pak sunou do faryngu)
- ✓ bariéra proti vniknutí infekce – lymfatická tkáň
- ✓ úprava teploty vdechovaného vzduchu – na tělesnou teplotu, zvlhčení
- ✓ aktivita hl. svaloviny – ovlivňuje plicní ventilaci
- ✓ hlasové vazy → základní tón

# DÝCHACÍ CESTY

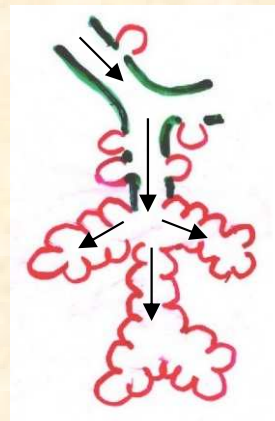
## ANATOMICKÝ MRTVÝ PROSTOR – ZÓNA KONDUKCE



- **NOSNÍ PRŮDUCHY**
- **FARYNX**
- **LARYNX**
- **TRACHEA**
- **BRONCHY**
- **BRONCHIOLY**
- **TERMINÁLNÍ BRONCHIOLY**

Další funkce:

- oteplení vzduchu, očištění, doplnění vodními parami
- reflexní odpovědi na dráždivé podněty
- řeč a zpěv (specifické funkce laryngu)



**ZÓNA  
VÝMĚNY PLYNŮ  
(alveolo-kapilární membána)**

**CELKOVÁ PLOCHA 70 - 100 m<sup>2</sup>**

$V_T$  dechový objem ('*tidal volume*') ~500 ml

$V_A$  alveolární část dechového objemu ~350 ml

$V_D$  část dechového objemu v mrtvém prostoru ('*dead volume*') ~150 ml

$$V_T = V_A + V_D$$

$$f = 12/\text{min}$$

$\dot{V} = V_T \times f$   
**MINUTOVÁ  
VENTILACE PLIC**  
6 l/min

$$\dot{V}_A = V_A \times f$$

**ALVEOLÁRNÍ VENTILACE**

4,2 l/min

$$\dot{V}_D = V_D \times f$$

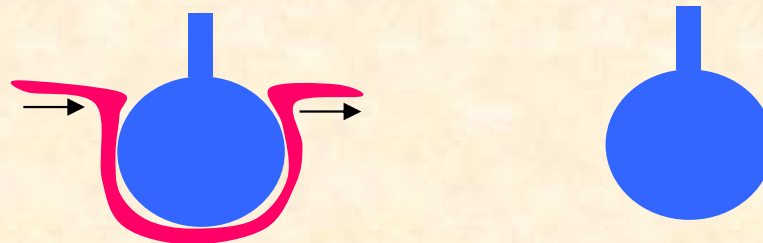
**VENTILACE MRTVÉHO  
PROSTORU**

1,8 l/min

# MRTVÝ PROSTOR

CELKOVÝ OBJEM, VE KTERÉM NEDOCHÁZÍ K VÝMĚNĚ PLYNŮ

- **ANATOMICKÝ mrtvý prostor** - objem dýchacích cest (objem nadechnutého vzduchu, který se ještě nesmíchal s alveolárním vzduchem)
- **ALVEOLÁRNÍ mrtvý prostor** - množství alveolárního vzduchu, které se dostalo do alveol, ale neúčastní se na výměně plynů (nedostatečné prokrvení, stěna nepropustná pro dýchací plyny)
- **FUNKČNÍ (celkový) mrtvý prostor**  
=ANATOMICKÝ + ALVEOLÁRNÍ

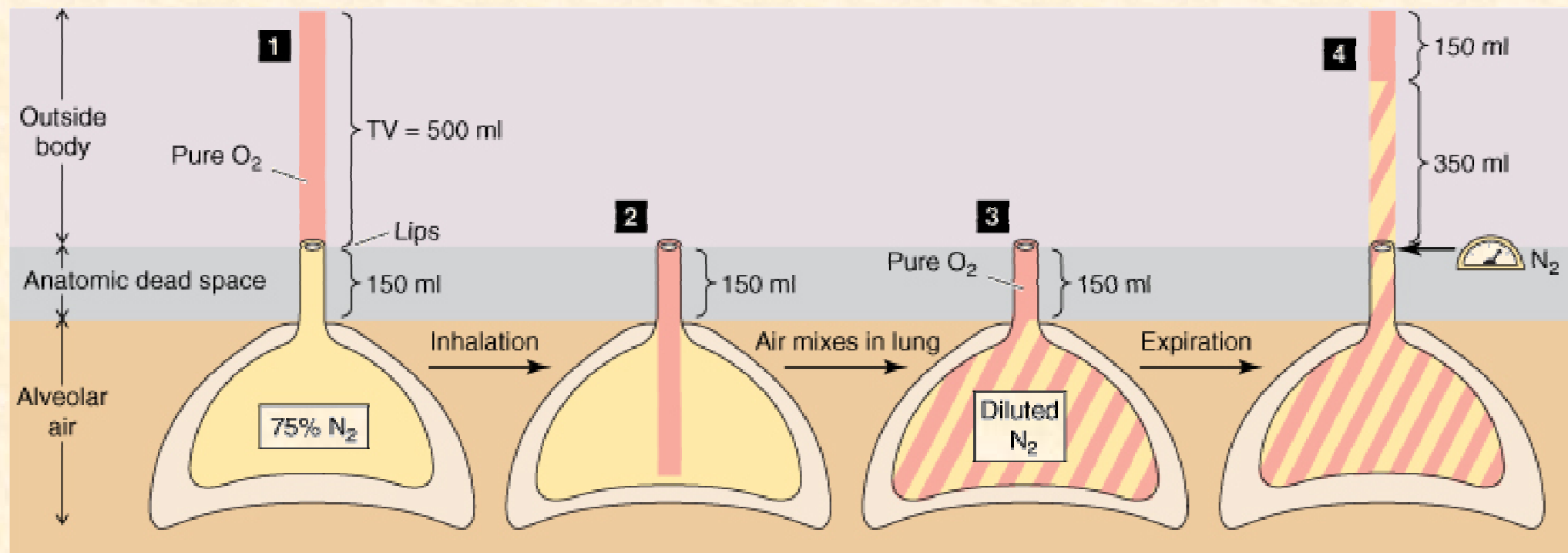


**U ZDRAVÉHO JEDINCE**  
oba dva prostory (jak anatomický, tak funkční) jsou prakticky stejné

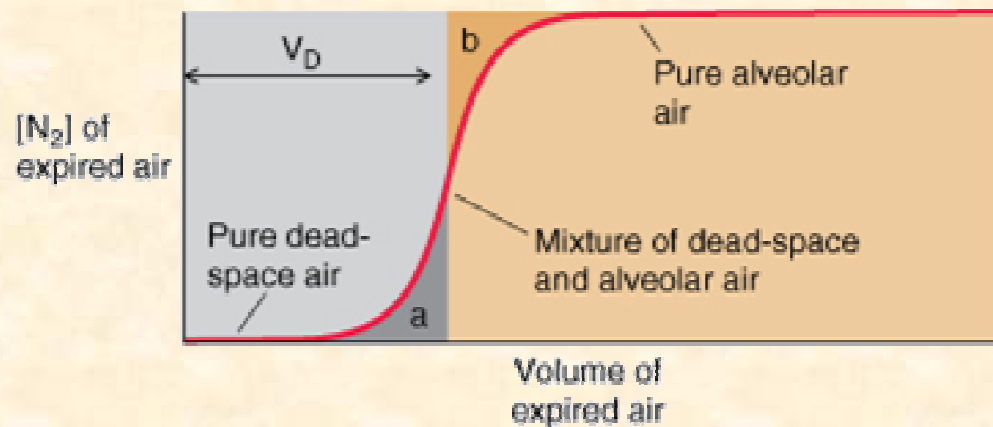
# MRTVÝ PROSTOR – dusíkový test (hluboký nádech čistého O<sub>2</sub>,

následuje pomalý výdech s kontinuálním monitorováním koncentrace dusíku)

## A DILUTION OF INSPIRED 100% O<sub>2</sub>



## C MEASURED [N<sub>2</sub>] PROFILE



Difuze plic

# 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

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

1 kPa = 7,5 mm Hg (torr)



# SLOŽENÍ ALVEOLÁRNÍHO VZDUCHU

parciální tlaky v mm Hg

## INSPIROVANÝ VZDUCH

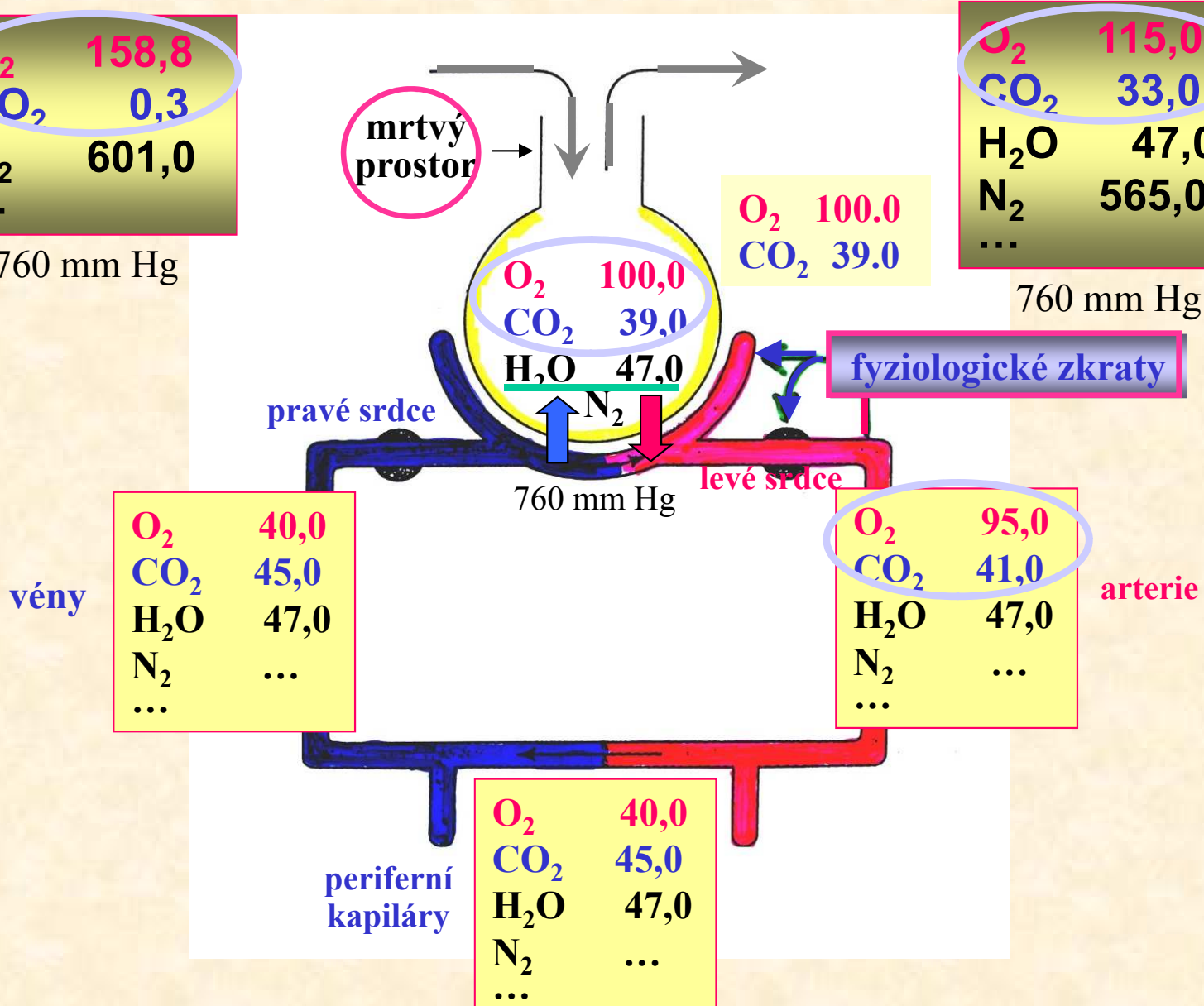
O <sub>2</sub>	158,8
CO <sub>2</sub>	0,3
N <sub>2</sub>	601,0
...	

760 mm Hg

## EXSPIROVANÝ VZDUCH

O <sub>2</sub>	115,0
CO <sub>2</sub>	33,0
H <sub>2</sub> O	47,0
N <sub>2</sub>	565,0
...	

760 mm Hg



mrtvý prostor

O <sub>2</sub>	100,0
CO <sub>2</sub>	39,0

fyziologické zkraty

vény

O <sub>2</sub>	40,0
CO <sub>2</sub>	45,0
H <sub>2</sub> O	47,0
N <sub>2</sub>	...
...	

760 mm Hg

levé srdce

O <sub>2</sub>	95,0
CO <sub>2</sub>	41,0
H <sub>2</sub> O	47,0
N <sub>2</sub>	...
...	

arterie

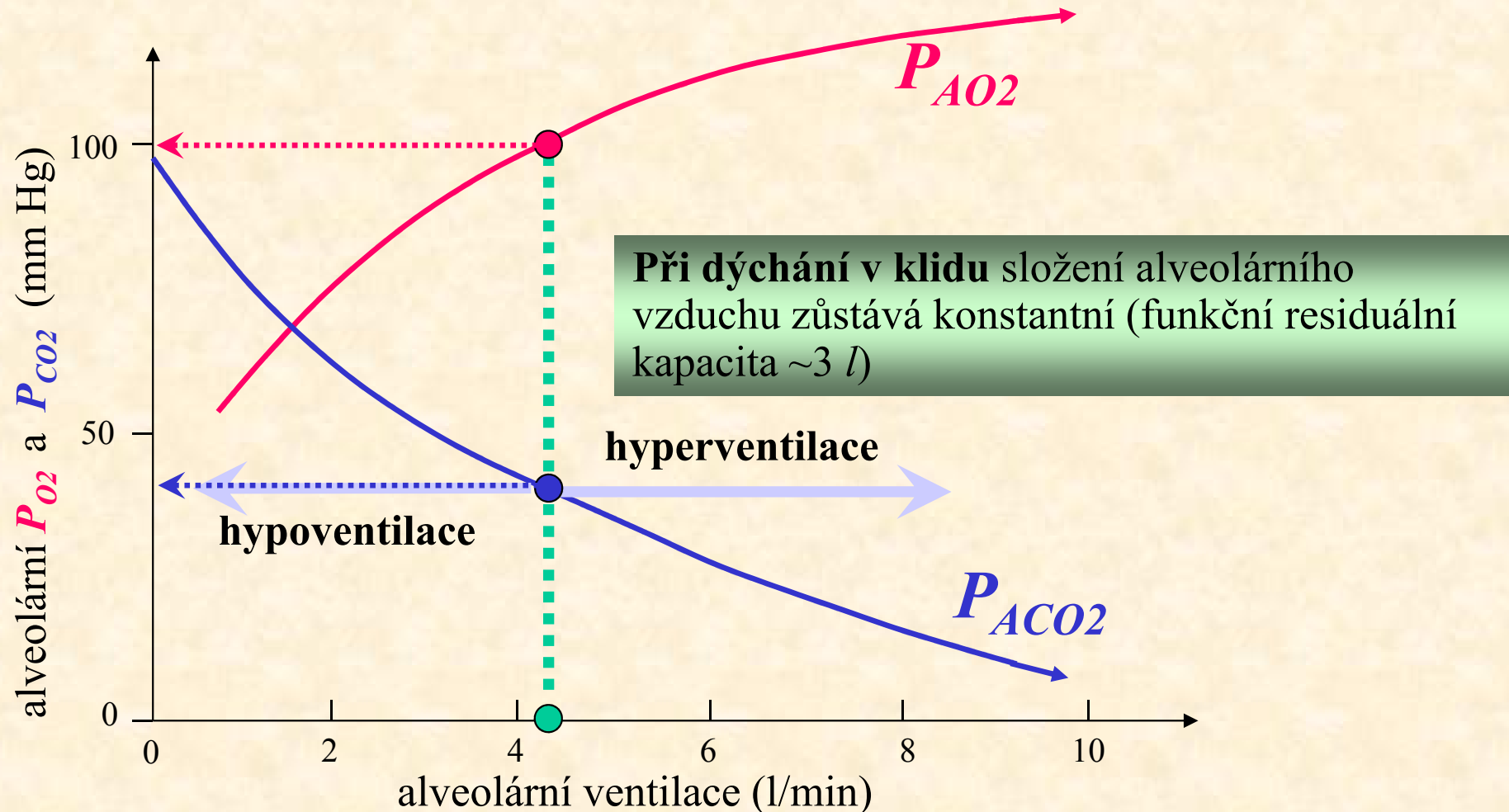
periferní kapiláry

O <sub>2</sub>	40,0
CO <sub>2</sub>	45,0
H <sub>2</sub> O	47,0
N <sub>2</sub>	...
...	

?

?

# Alveolární $P_{O_2}$ a $P_{CO_2}$ při volní hypo- a hyperventilaci

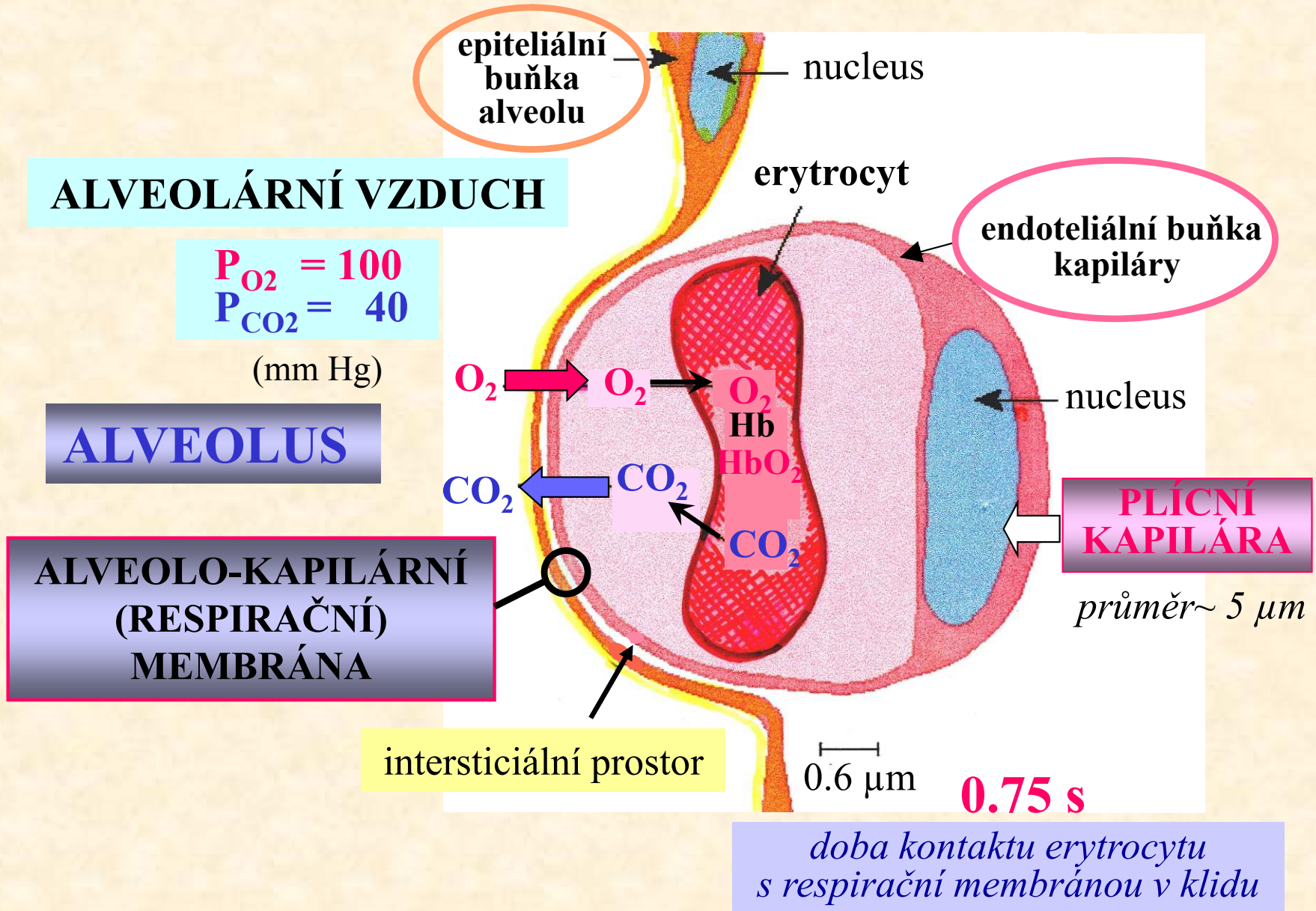


hyperventilace → HYPOKAPNIE → respirační alkalóza

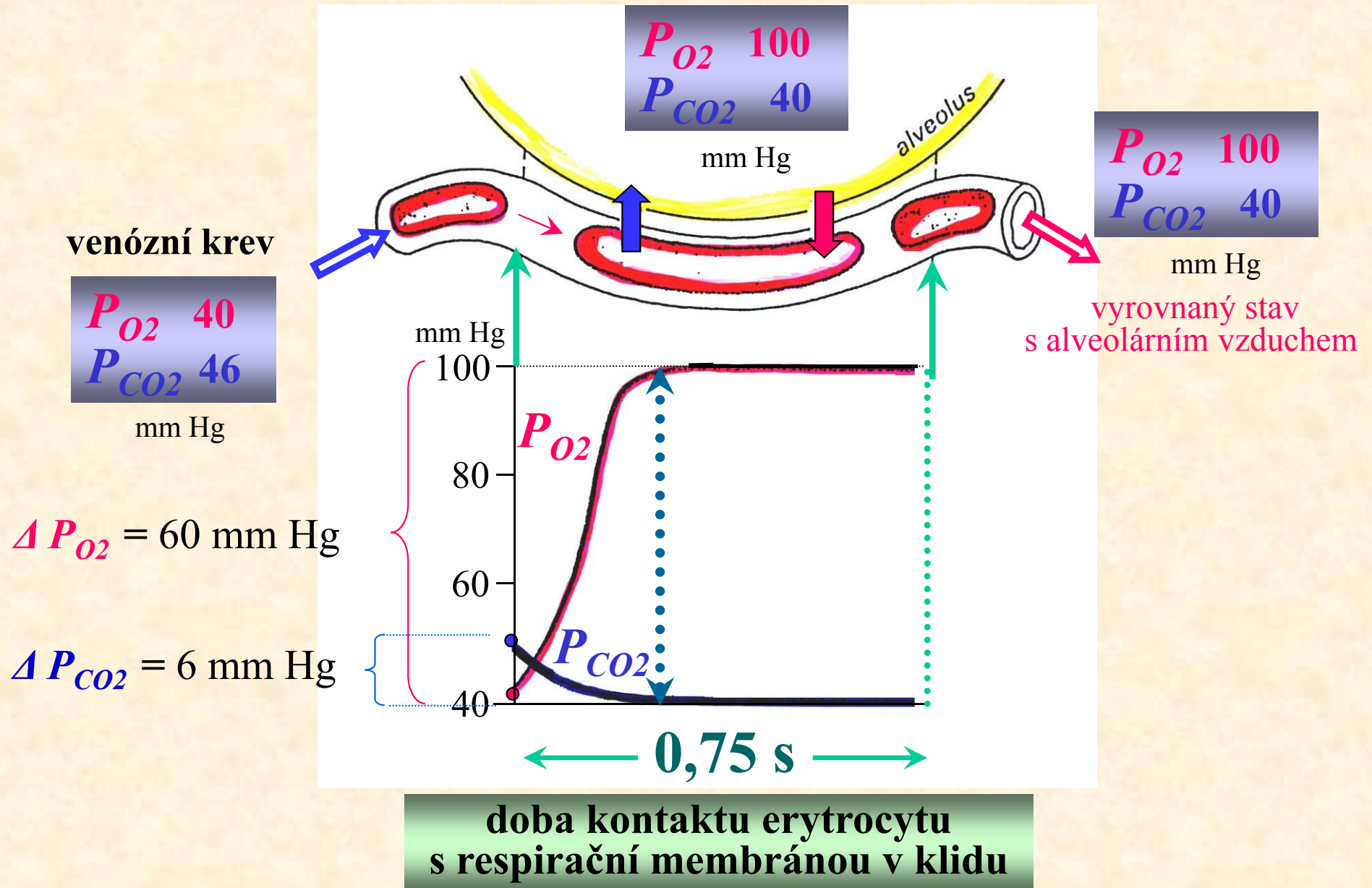
hypoventilace → HYPERKAPNIE → respirační acidóza

# ALVEOLO-KAPILÁRNÍ (RESPIRAČNÍ) MEMBRÁNA

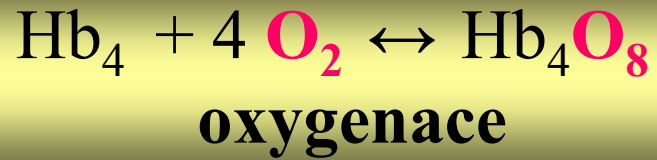
## DIFUZE PLYNŮ



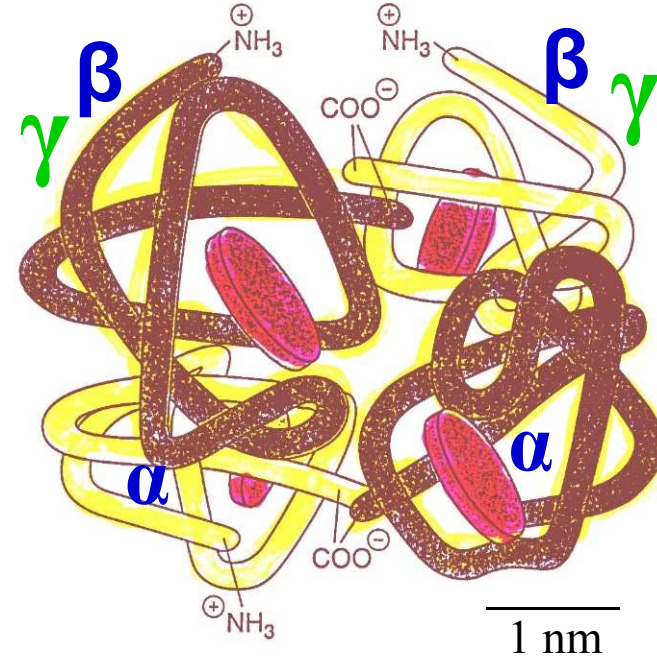
# ČASOVÝ PRŮBĚH VYROVNÁVÁNÍ $P_{O_2}$ A $P_{CO_2}$ V KAPILÁŘE S ALVEOLÁRNÍM VZDUCHEM



# HEMOGLOBIN



tetramer

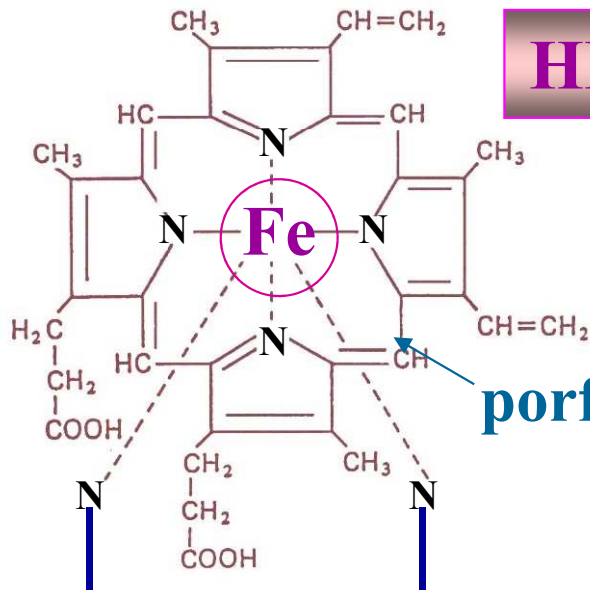


DEOXY

$\text{Fe}^{2+}$

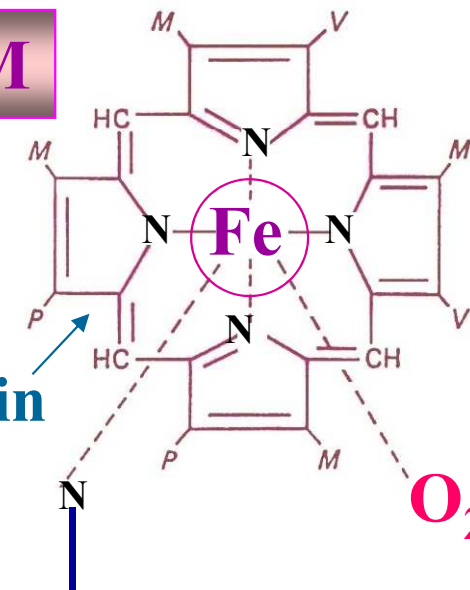
OXY

HEM



porfyrin

polypeptidový řetězec

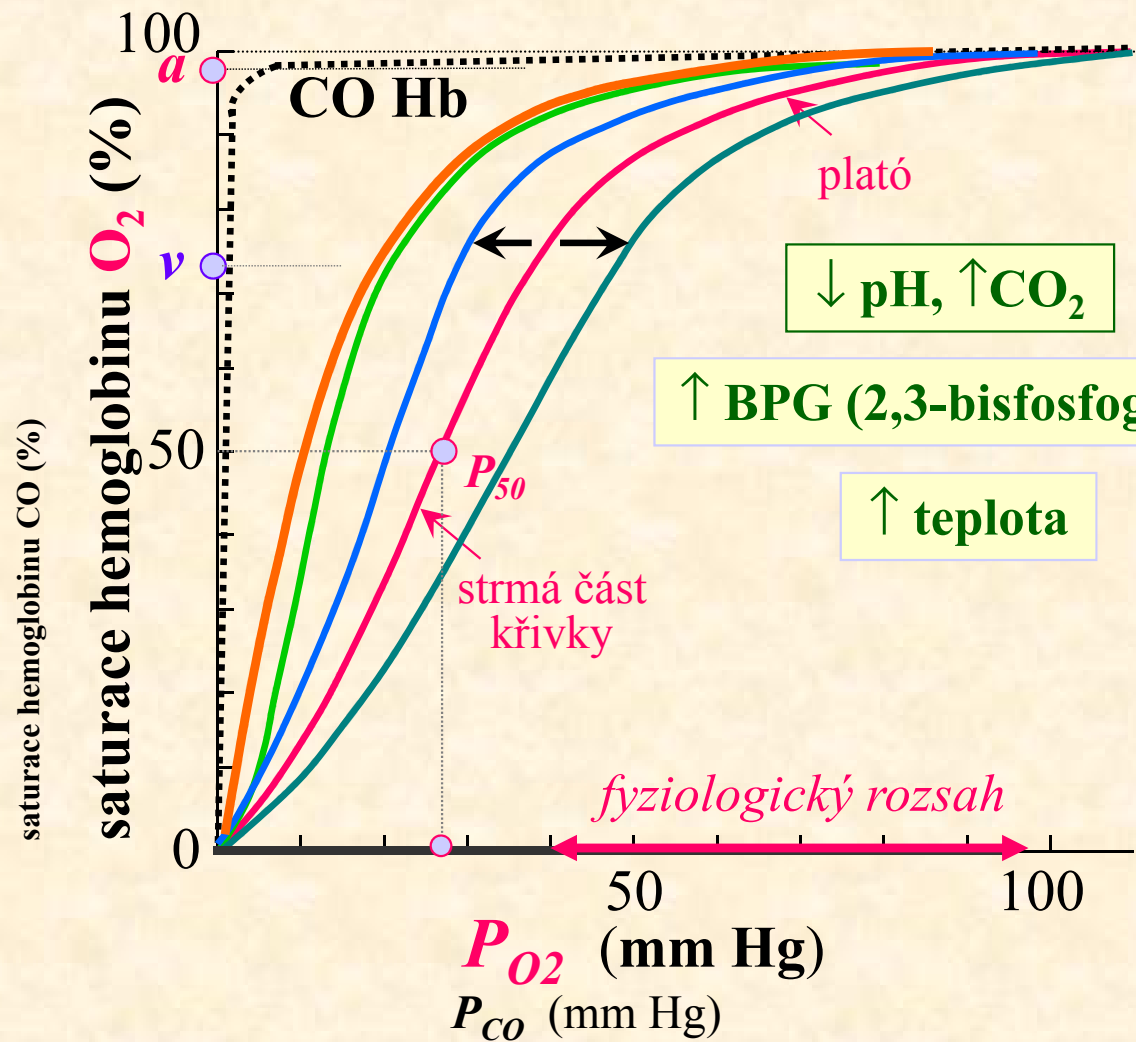


polypeptidový řetězec

fetální Hb

$\text{Fe}^{3+}$  (methemoglobin)  
oxidace

# VAZEBNÁ KŘIVKA O<sub>2</sub> NA HEMOGLOBIN



**BOHRŮV EFEKT**  
↓ pH, ↑ CO<sub>2</sub>

**fetální Hb**

**myoglobin**

**methemoglobin**

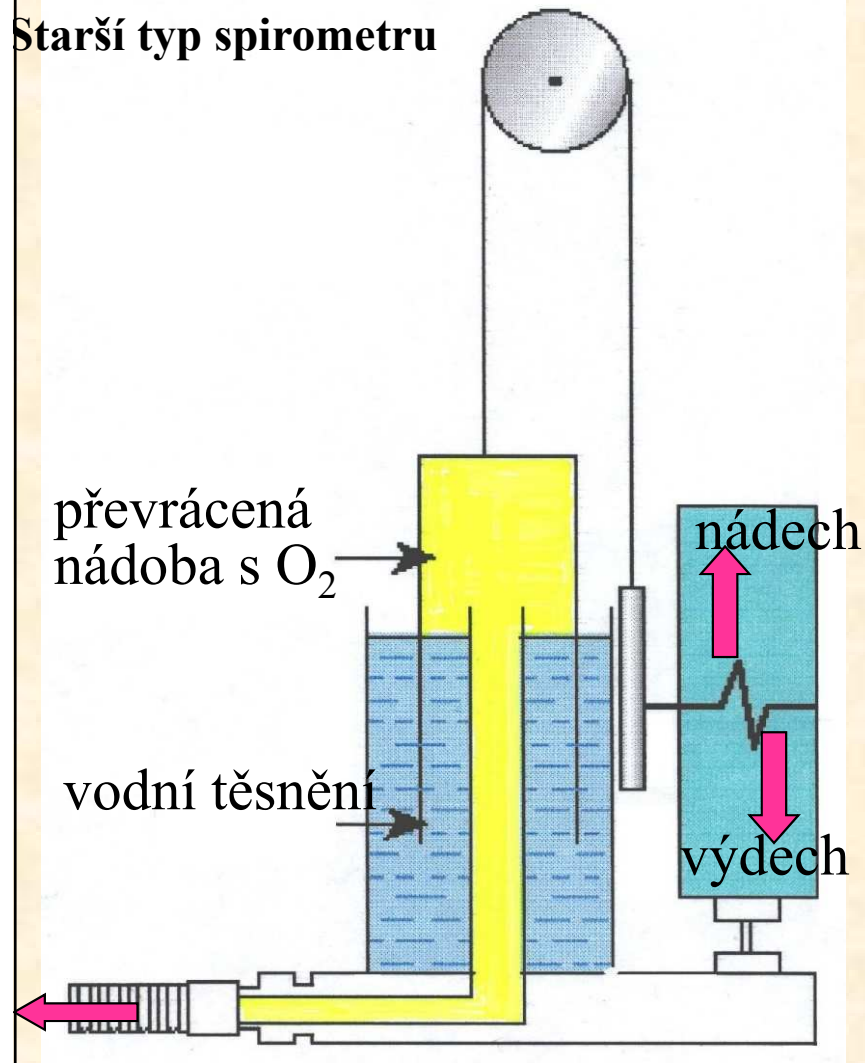
**fyzikálně rozpuštěný O<sub>2</sub> (1.4%)**

# Vyšetřovací metody

# SPIROMETRIE

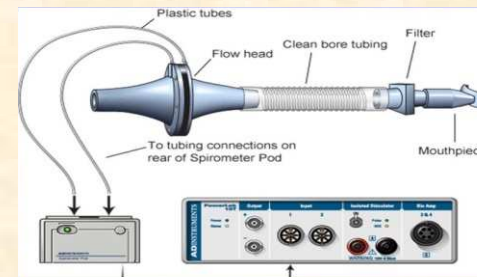
(měření plicních objemů, kapacit - funkční vyšetření plic)

Starší typ spirometru



## Novější typy spirometru

**Principem** je stanovení rychlosti proudění vzduchu z měřených rozdílů tlaků mezi vnitřní a vnější stranou membrány spirometru, objemy jsou dopočítávány (spirometry systému PowerLab).



**Principem** je měření rychlosti proudění vzduchu definovaným průřezem z otáček turbíny a objemy jsou dopočítávány (Cosmed).





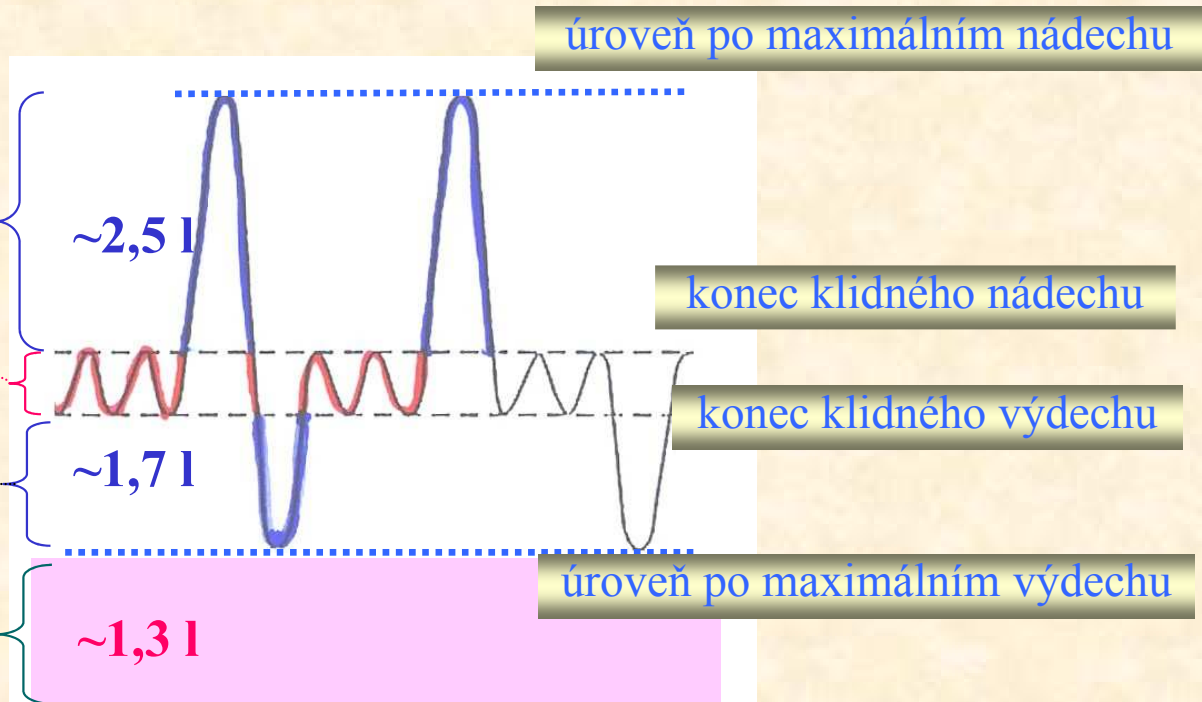
# PLICNÍ OBJEMY

INSPIRAČNÍ  
REZERVNÍ OBJEM  $IRV$

DECHOVÝ OBJEM  $V_T$   
(*tidal volume*)

EXSPIRAČNÍ  
REZERVNÍ OBJEM  $ERV$

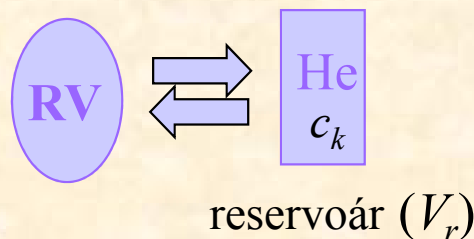
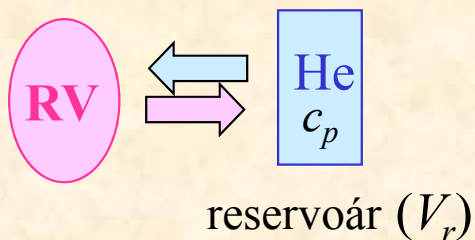
REZIDUÁLNÍ OBJEM  $RV$



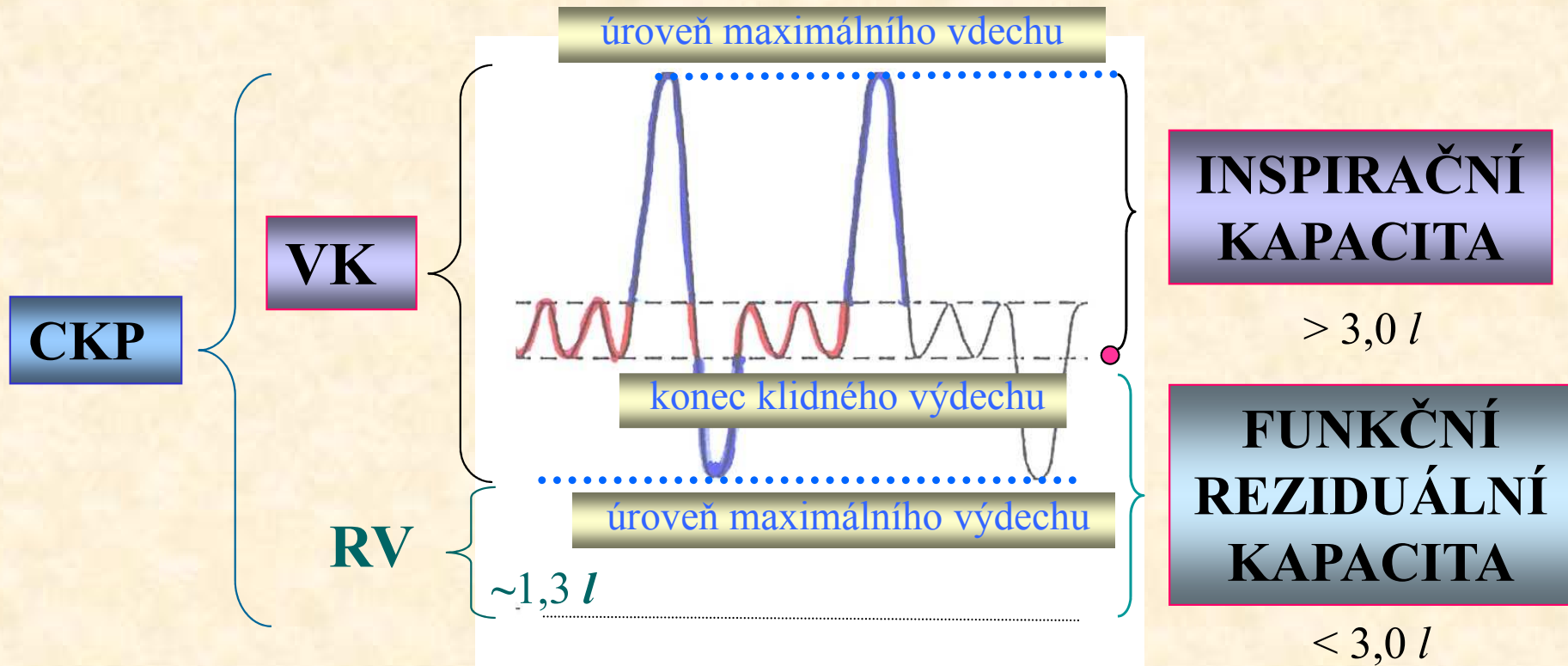
DILUČNÍ METODA  
(metoda zředěného plynu)  
 $He$

Princip metody: **1** Maximální výdech **2** Opakovaný nádech a výdech z a do rezervoáru (známého objemu) s inertním plynem ( $He$ ) známé koncentrace  $c_p$ .  $\Rightarrow$  Složení vzduchu v obou prostorech se vyrovná ( $c_k$ ).

**3** Vypočtení **REZIDUÁLNÍHO OBJEMU** z počáteční a konečné koncentrace  $He$  v rezervoáru ( $c_p, c_k$ ).



$$RV = V_r \frac{c_{pHe} - c_{kHe}}{c_{kHe}}$$



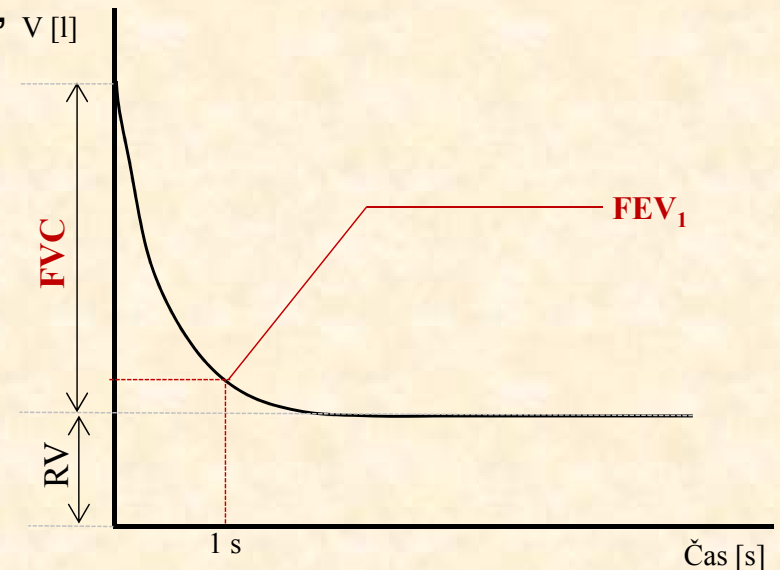
**VK** VITÁLNÍ KAPACITA =  $V_T + IRV + ERV$   $\sim 4,7 \text{ l}$

*VK - největší objem vzduchu, který je možno vydechnout po maximálním nádechu*

**CKP** CELKOVÁ KAPACITA PLIC =  $VK + RV$   $\sim 6,0 \text{ l}$

# VC

- **FVC** – usilovná vitální kapacita; maximální objem vzduchu, který lze po maximálním nádechu prudce vydechnout
- **FEV<sub>1</sub>** – usilovně vydechnutý objem za první sekundu; objem vzduchu vydechnutý s největším úsilím za 1. sekundu po maximální nádechu
- **FEV<sub>1</sub>/FVC (%)** – Tiffeneauův index – kolem 80 %

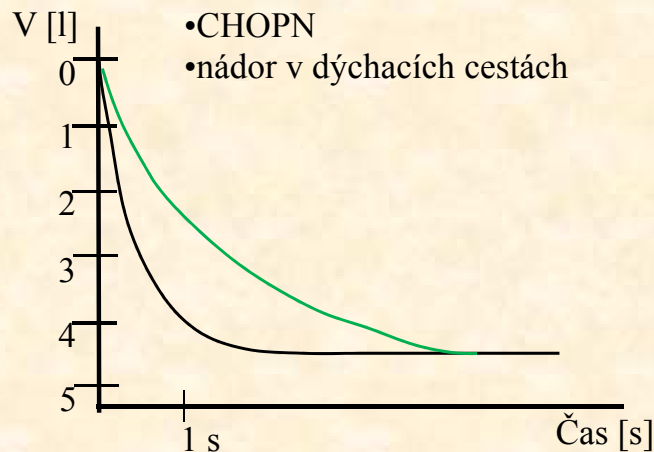


## Obstrukční poruchy plic

FVC=fyziologická hodnota;

FEV<sub>1</sub>=↓)

- tracheální stenóza
- astma bronchitis
- CHOPN
- nádor v dýchacích cestách



## Restrikční poruchy plic

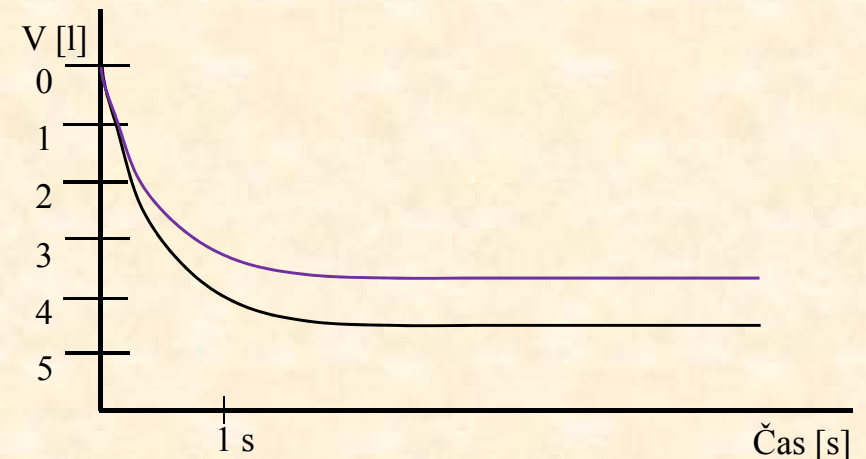
(FVC=↓; FEV<sub>1</sub>= fyziologie)

### pulmonální příčiny

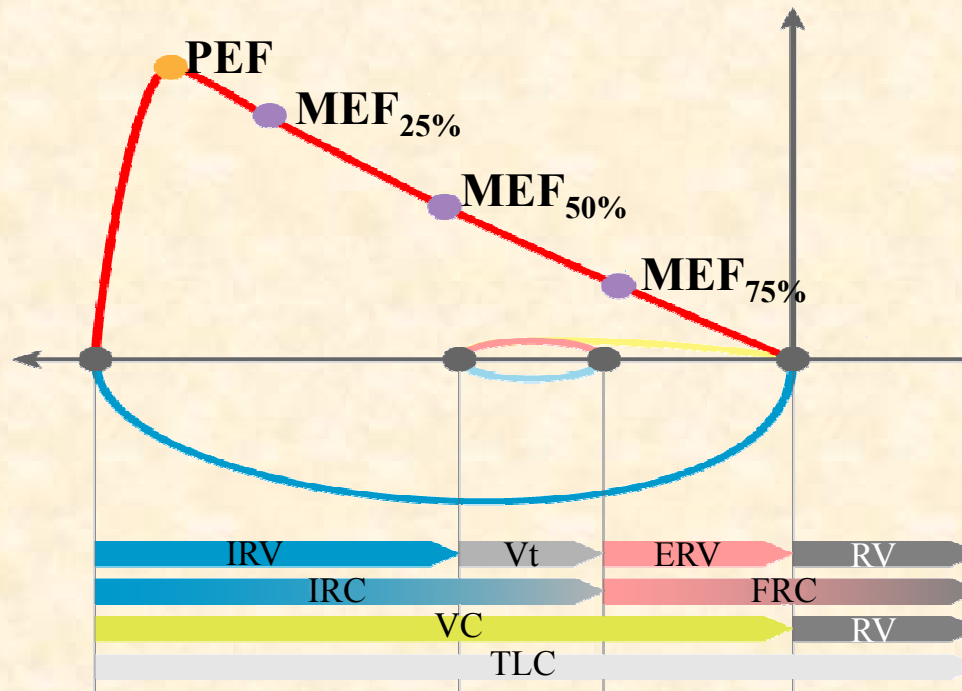
- plicní fibróza
- resekce plic
- plicní edém
- pneumonie

### extrapulmonální příčiny

- ascites
- kyfaskolióza
- popáleniny
- vysoký stav bránice



# ROZEPSANÝ VÝDECH VC – křivka průtok-objem



- **PEF** — vrcholový výdechový průtok; nejvyšší rychlost na vrcholu usilovného výdechu (odpovídá vzduchu v horních DC)
- **MEF** — maximální výdechové průtoky (rychlosti) na různých úrovních FVC, kterou je ještě třeba vydechnout (nejčastěji na 75 %, 50 % a 25 % FVC)

# PNEUMOGRAFIE

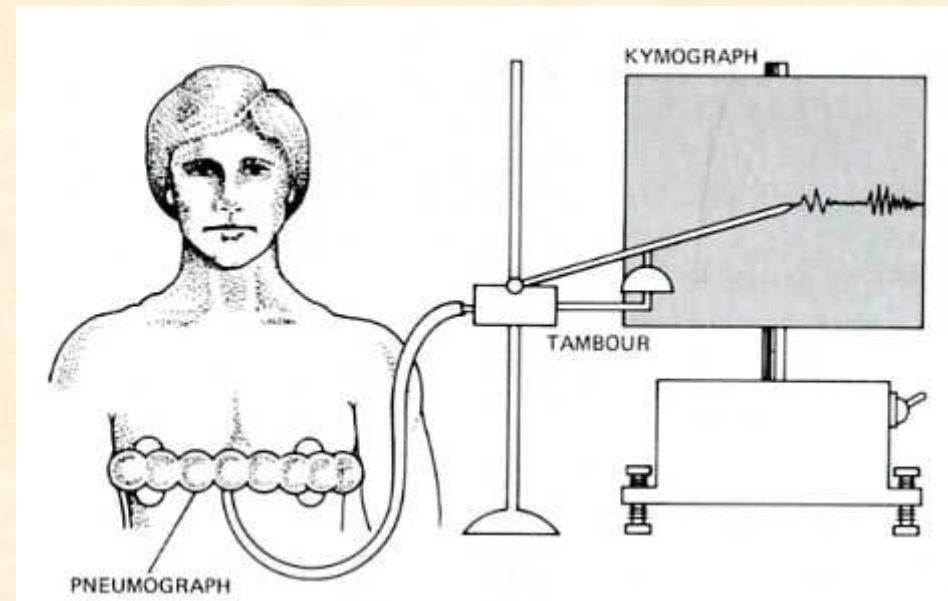
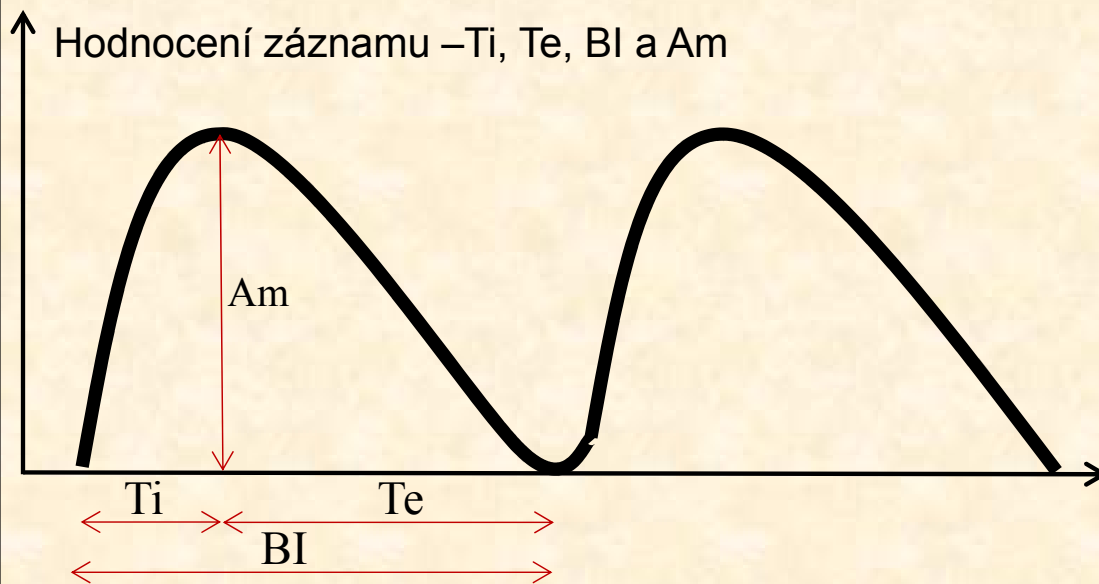
## Princip

Pneumografie je metoda registrace dýchacích pohybů. Používáme:

- snímač (respirační pás) pracující na piezoelektrickém principu (piezoelektrický jev je schopnost krystalu generovat elektrické napětí při jeho deformování)
- respirační pás, na který se přenáší pohyby hrudníku. Polovodičový snímač tlaku registruje změny tlaku v hadici a přenáší tlak na elektrický signál.

Záznam:

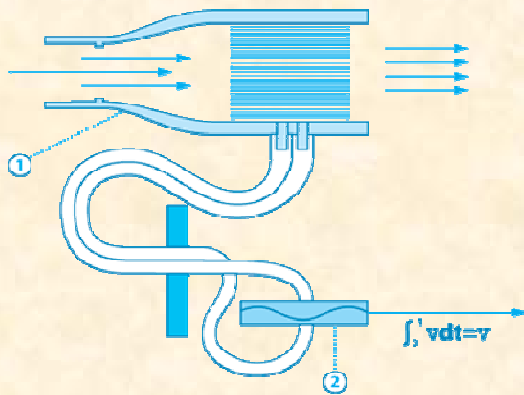
- klidové dýchání
- dýchání po mírné zátěži
- dýchání po intenzivní zátěži



# PNEUMOTACHOGRAFIE

## Princip

**Pneumotachograf** je přístroj tvořený paralelně uspořádanými trubičkami o stejném průměru. Jedna z trubiček má blízko obou svých konců (ústního a vnějšího) odbočky s hadičkami. Ty jsou napojeny na snímač tlaku, který umožňuje měřit rozdíly tlaku vzduchu na začátku a na konci pneumotachografu úměrné rychlosti vdechovaného nebo vydechovaného vzduchu.

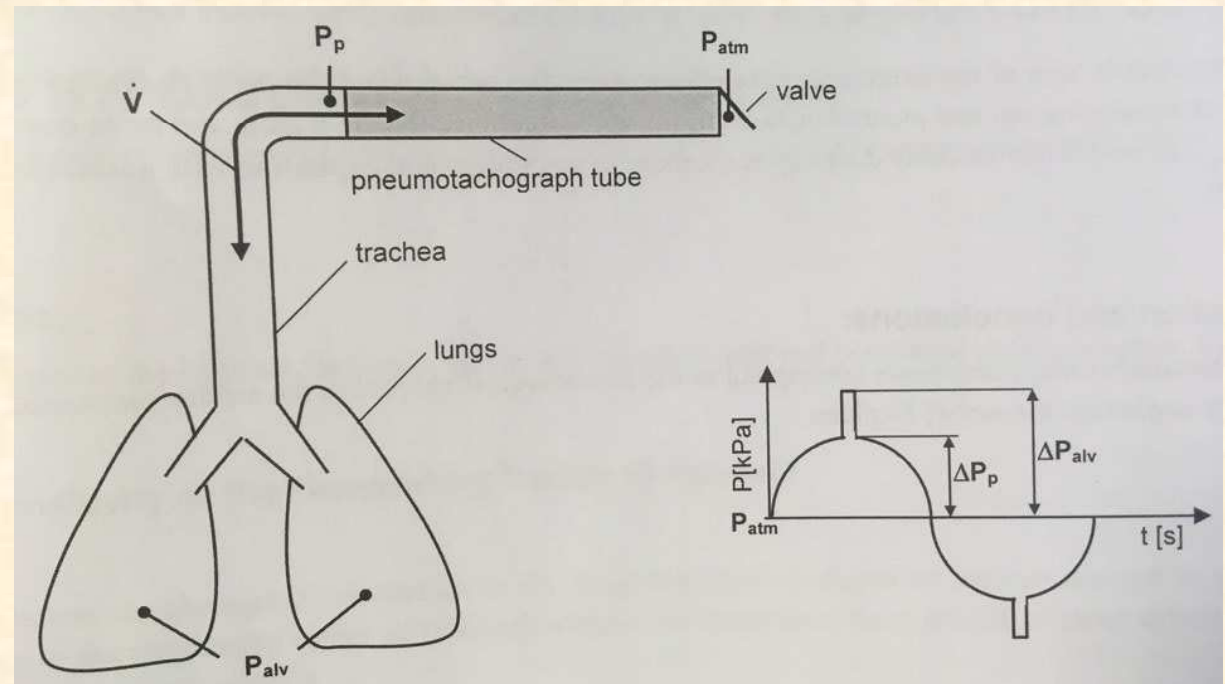


$$\Delta P_p = P_p - P_{atm}$$

$$\Delta P_{alv} = P_{alv} - P_{atm}$$

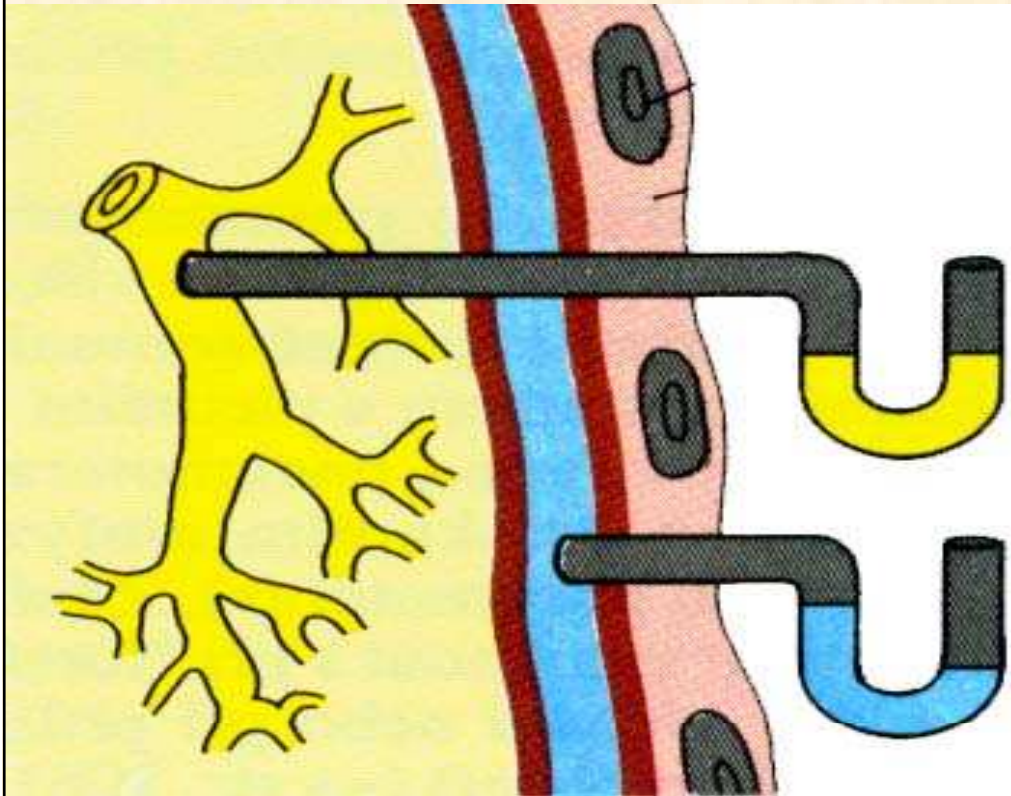
$$\frac{P_p - P_{atm}}{R_p} = \dot{V} = \frac{P_{alv} - P_p}{R_d}$$

$$R_d = R_p \cdot \left( \frac{\Delta P_{alv}}{\Delta P_p} - 1 \right)$$



- **Mechanika dýchání**

# PRŮBĚHY TLAKŮ PŘI KLIDNÉM DÝCHÁNÍ

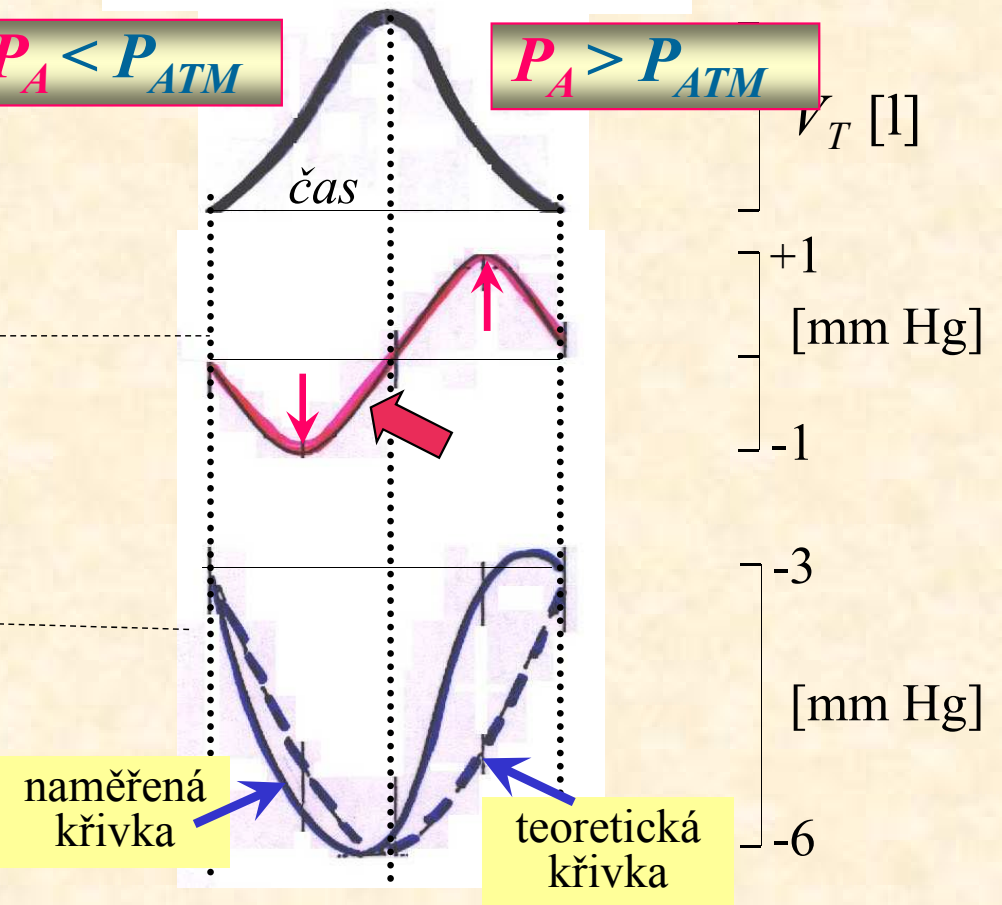


INSP

EXSP

$P_A < P_{ATM}$

$P_A > P_{ATM}$



$P_A$  ALVEOLÁRNÍ (INTRAPULMONÁLNÍ)

$P_{PL}$  INTRAPLEURÁRNÍ (INTRATORAKÁLNÍ)



## NA VENTILACI SE PODÍLÍ

- **AKTIVNÍ SÍLY RESPIRAČNÍCH SVALŮ**
- **PASIVNÍ SÍLY**
  - elasticita plic
  - elasticita hrudníku

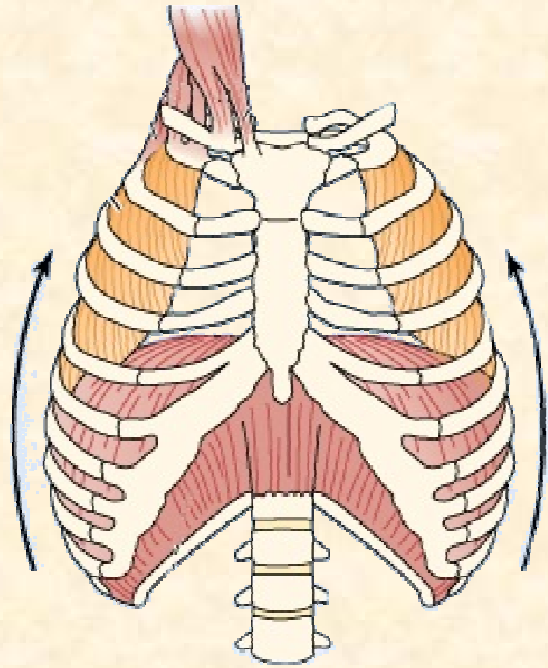
## DÝCHÁNÍ V KLIDU

**VDECH** - **aktivní síly inspiračních svalů převládají**

**VÝDECH** - **pouze pasivní (elastické) síly (plic)**

# DÝCHACÍ SVALY

*Vdechové svaly*



## a) hlavní:

- muscoli intercostales externi
- diaphragma

## b) pomocné:

- muscoli scaleni
- m.serratus anterior, posterior superior
- m.latissimus dorsi
- m.pectoralis major, minor
- m.subclavius
- m.sternocleidomastoideus

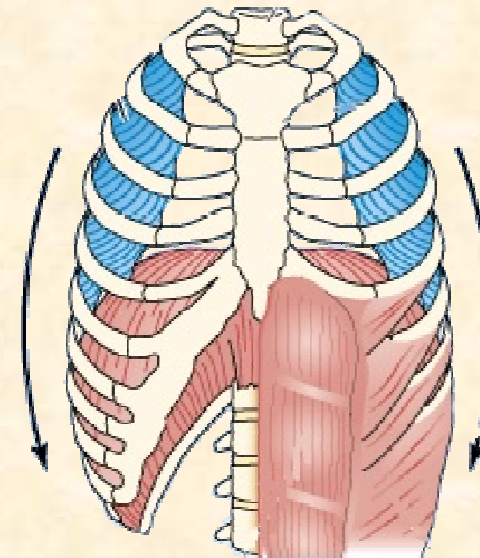
*Výdechové svaly*

## a) hlavní:

- muscoli intercostales interni

## b) pomocné:

- svaly stěny břišní
- m.serratus posterior inferior
- m.quadratus lumborum



## INSPIRAČNÍ SVALY

### Dýchání **V KLIDU**

- *diafragma* ( $\geq 80 \%$ )
- *mm. intercostales ext.* ( $\leq 20 \%$ )

### **USILOVNÉ** dýchání

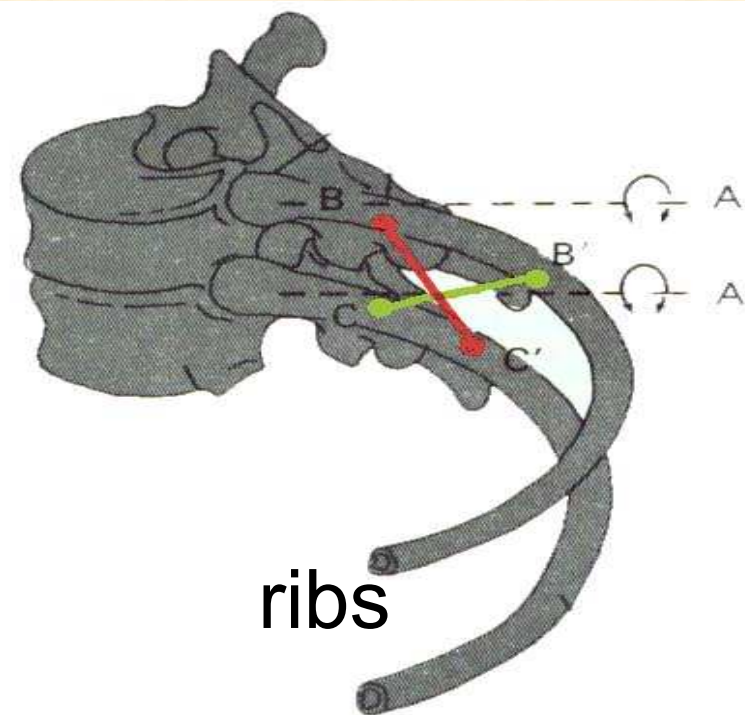
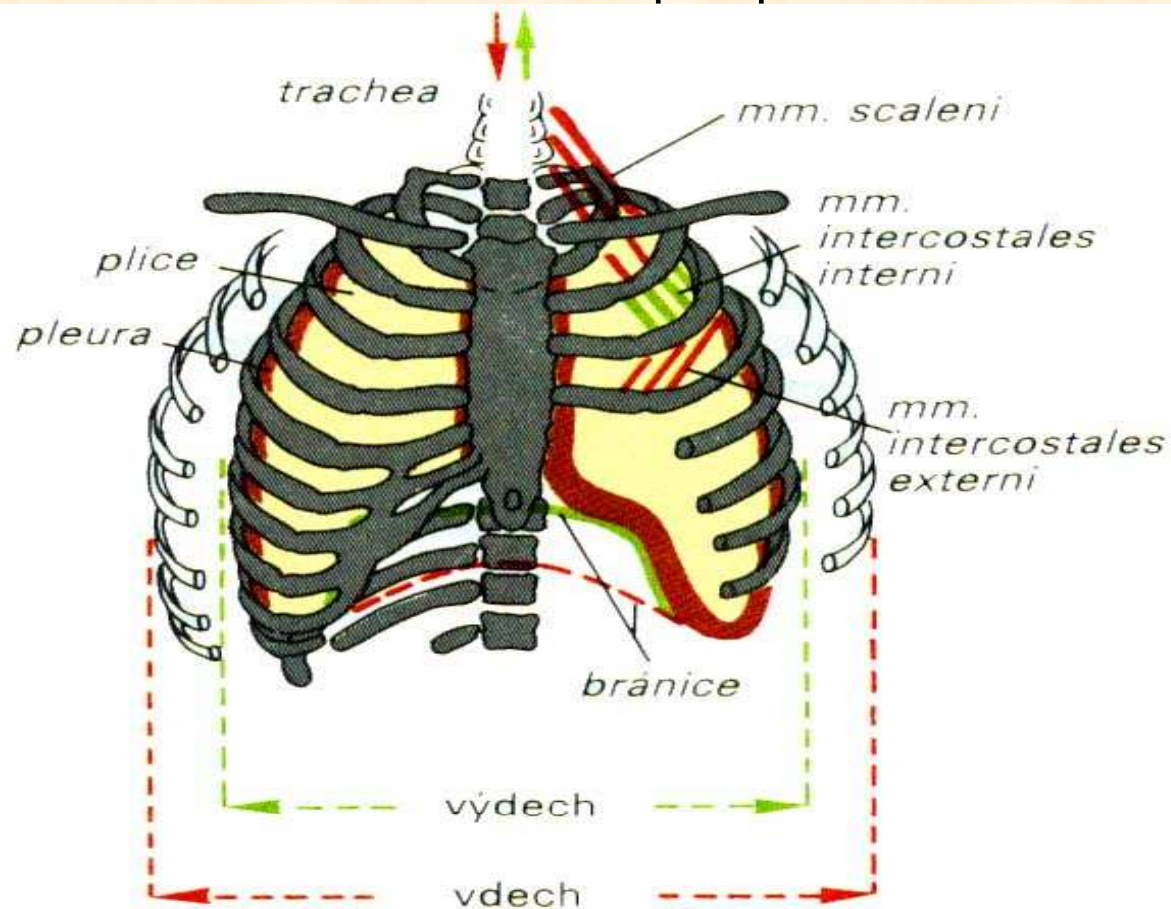
- navíc akcesorní dýchací svaly (*mm. scaleni*)

## EXSPIRAČNÍ SVALY

### Pouze při **USILOVNÉM** dýchání

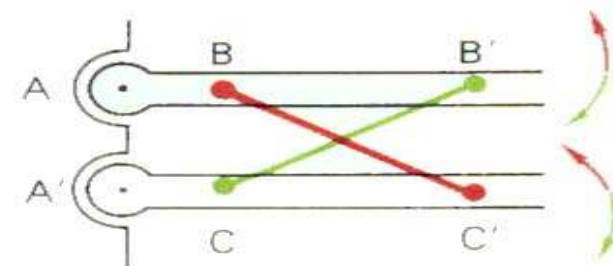
- *mm. intercostales int.*
- svaly přední břišní stěny

## Bucket-handle and water-pump handle effects



ribs

páka  $A - B < A' - C' \rightarrow$  zvedání žeber



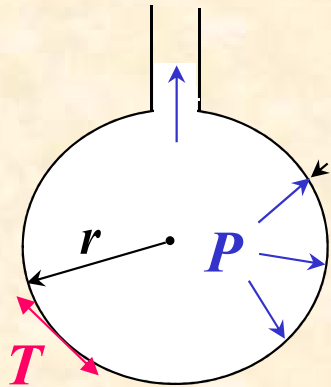
páka  $A - B' > A' - C \rightarrow$  klesání žeber

# Surfaktant

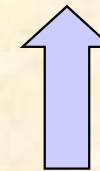
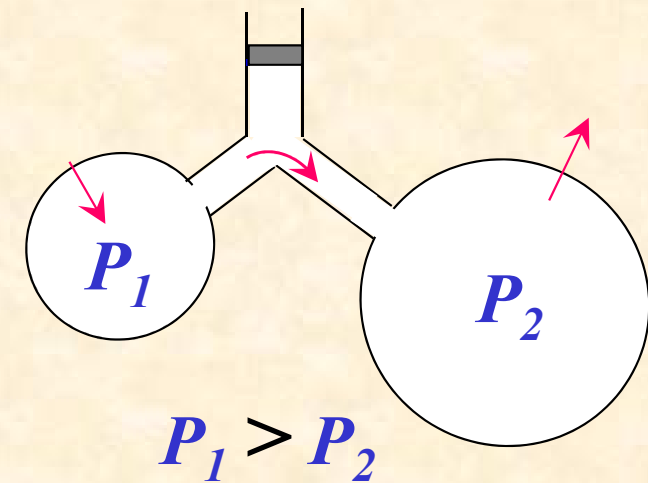
## Laplaceův zákon

# LAPLACEŮV ZÁKON

## sférické struktury



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



***P*** tlak (transmurální  $\Delta P$ )

***r*** radius

***T*** napětí stěny

### PATOLOGIE

- Kolaps alveolu - ATELEKTÁZA
- Další zvětšení objemu alveolu

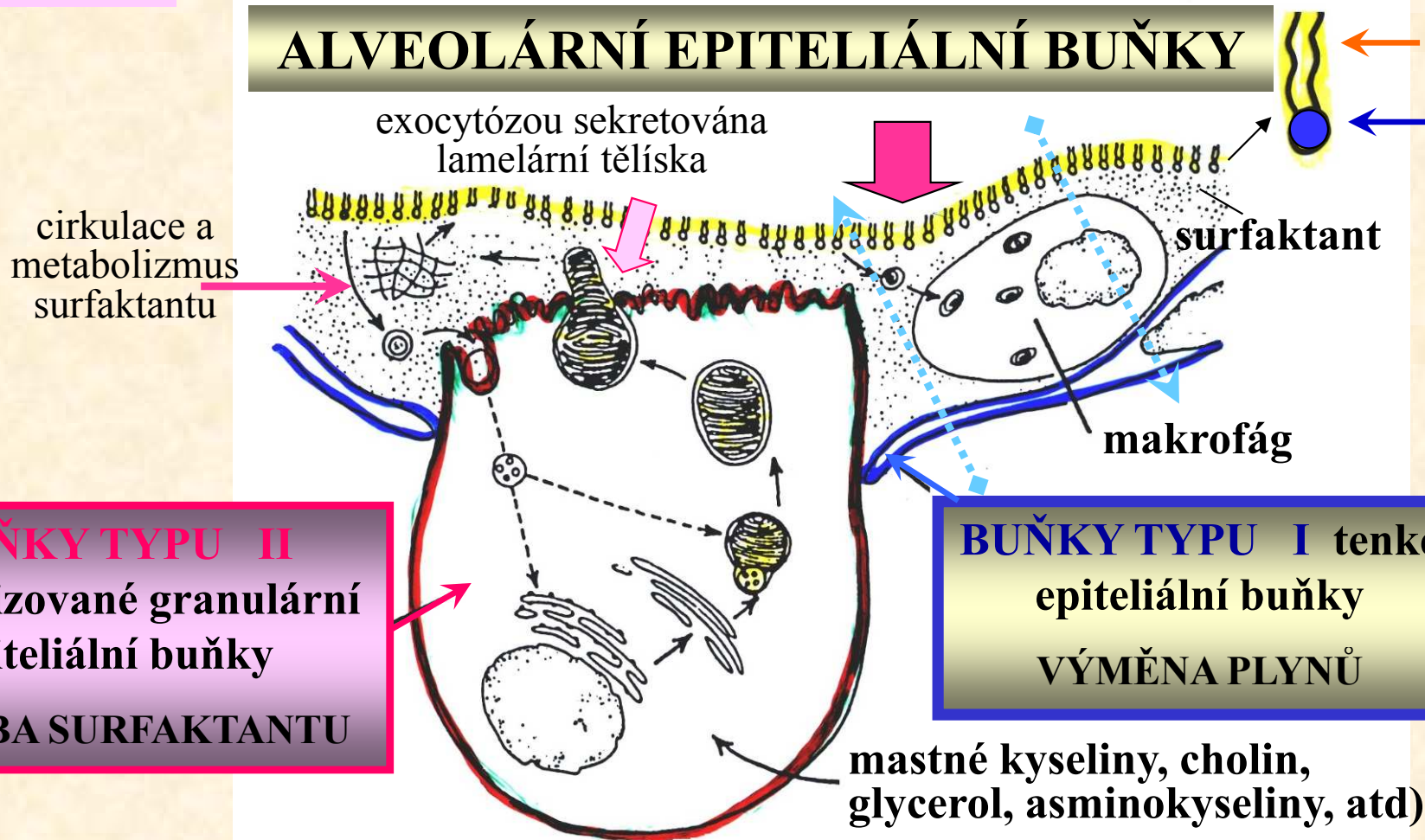
# SURFAKTANT

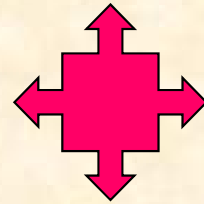
LÁTKA VÝRAZNĚ SNIŽUJÍCÍ  
POVRCHOVÉ NAPĚTÍ

**FOSFOLIPID**  
dipalmitoyl  
fosfatidyl cholin

ÚČINEK HLAVNĚ VE FÁZI VÝDECHU

## ALVEOLÁRNÍ EPITELIÁLNÍ BUŇKY



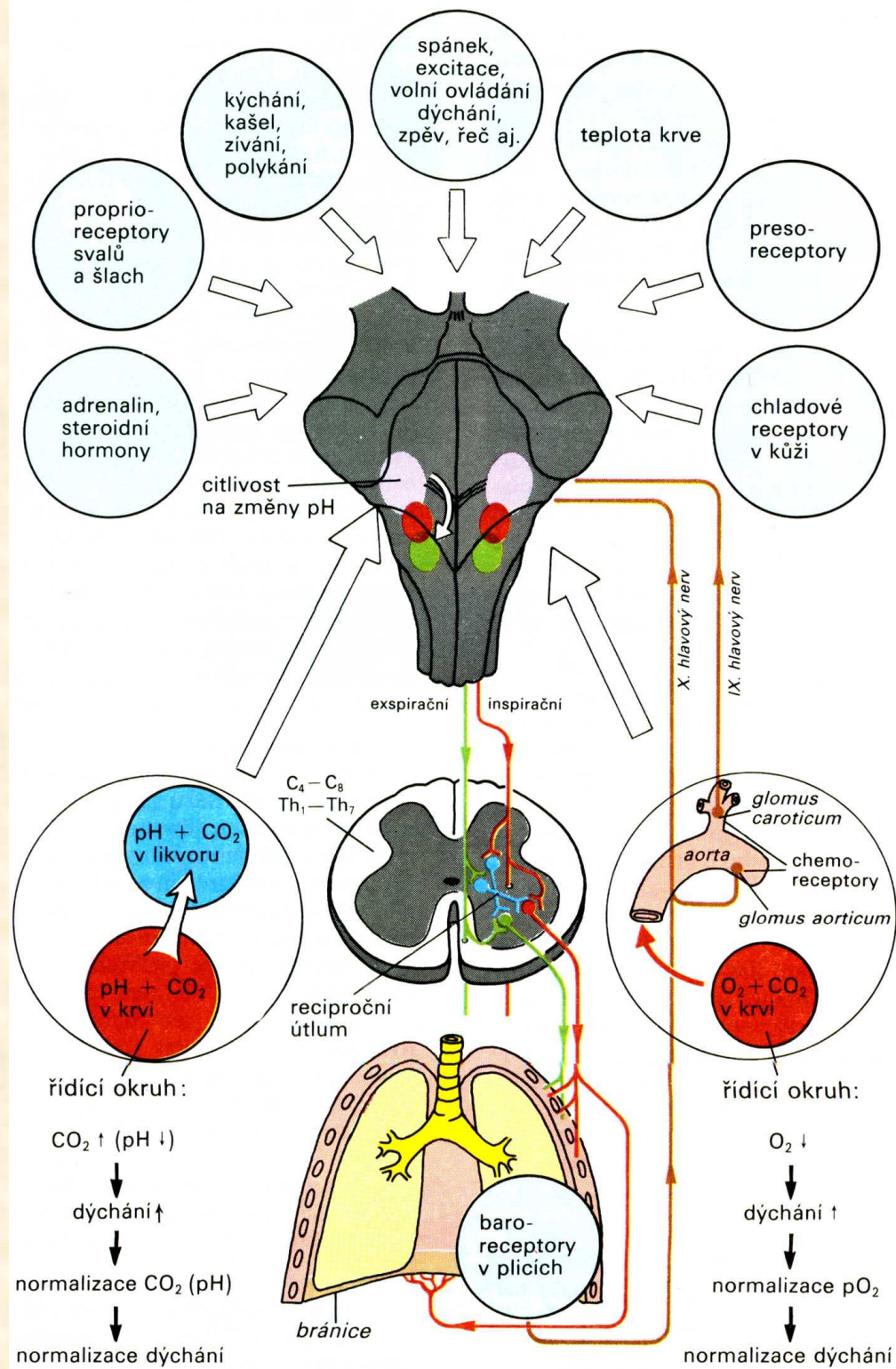




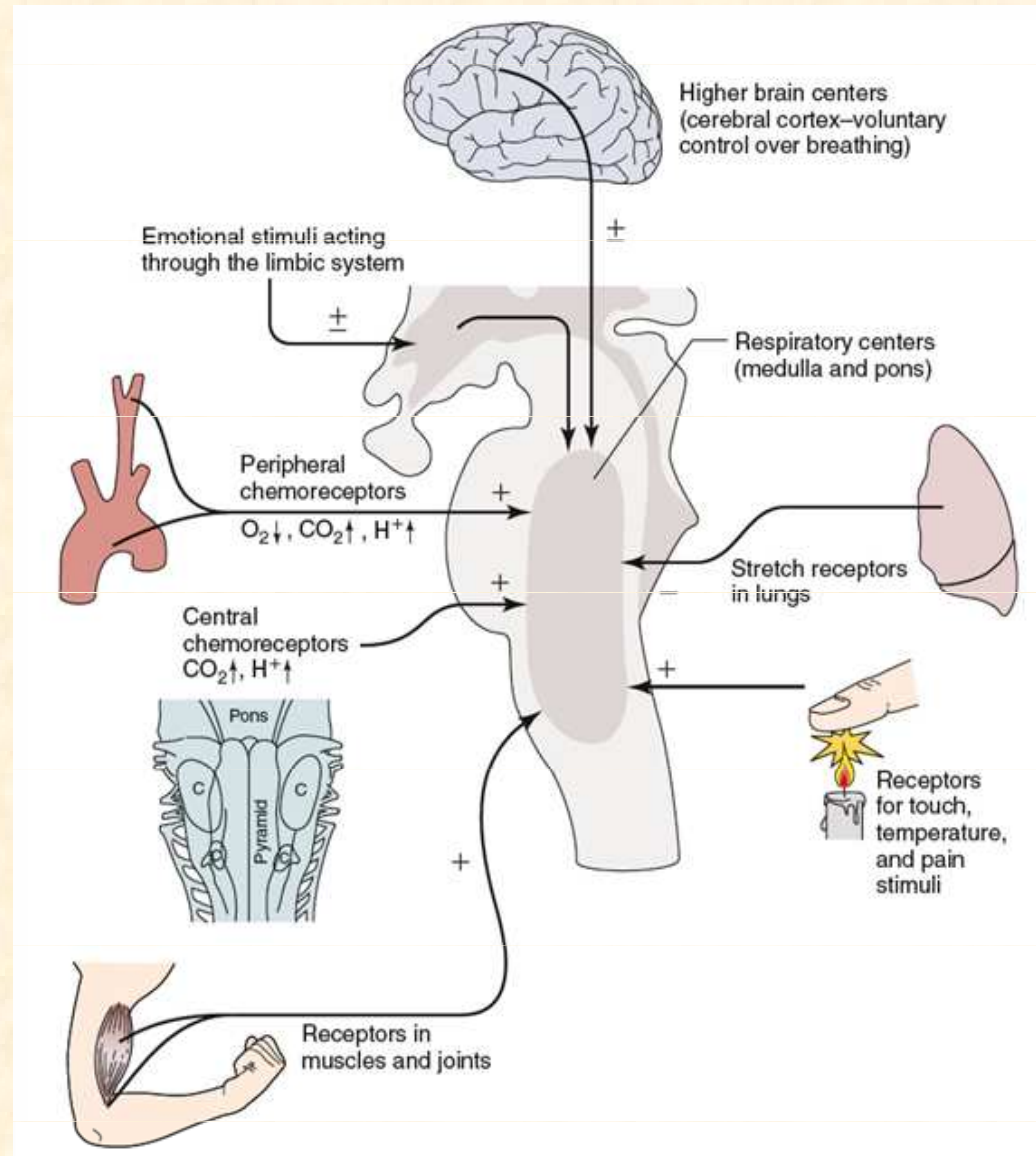
# Regulace dýchání

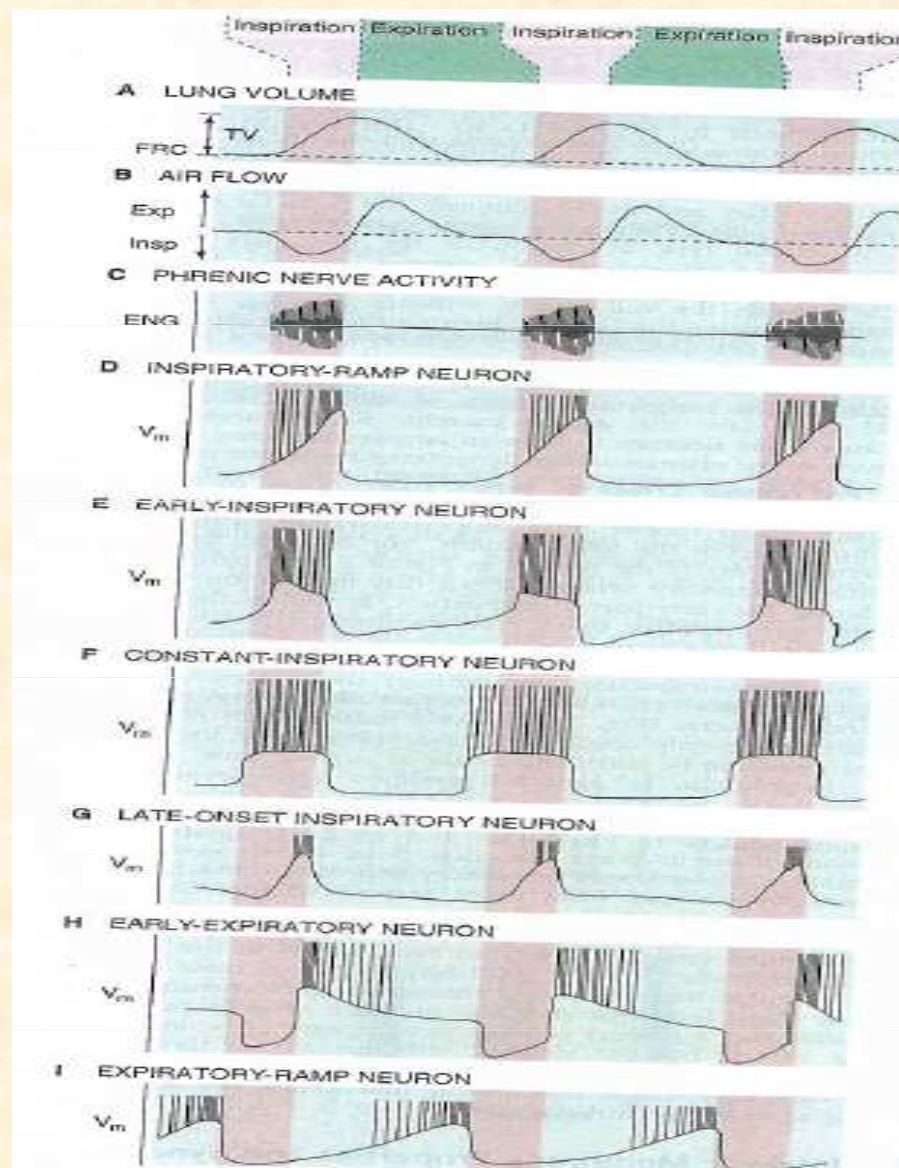
## Nervová regulace

## Chemická regulace



# Regulace dýchání





- **Dýchání je automatický proces, který probíhá mimovolně.**
- **Automaticita dýchání vychází z pravidelné (rytmické) aktivity skupin neuronů anatomicky lokalizovaných v prodloužené míše a její blízkosti.**

- ***Dorzální respirační skupina*** - umístěná bilaterálně na dorzální straně prodloužené míchy, pouze neurony inspirační, vysílající axony k motoneuronům nádechových svalů (bránice, zevní mezižební svaly; jejich aktivace=nádech, při jejich relaxaci=výdech), podílí se na klidovém i usilovném nádechu
- ***Ventrální respirační skupina*** - umístěná na ventrolaterální části prodloužené míchy, horní část: neurony jejichž axony aktivují motoneurony hlavních a pomocných nádechových svalů; dolní část: expirační neurony s inervací výdechových svalů (vnitřní mezižební svaly). Neurony této skupiny jsou v činnosti pouze při usilovném nádechu a výdechu
- ***Pontinní respirační skupina*** – umístěná dorzálně v horní části mostu, podílí se na kontrole frekvence a hloubky dýchání; ovlivňuje činnost respiračních neuronů v prodloužené míše

**Regulovaná veličina:**

## **alveolární ventilace**

**aby v každém okamžiku zajišťovala**

**potřeby organismu pro přísun kyslíku a výdej CO<sub>2</sub>**

(přísun vzduchu do zóny plic, která je v těsném kontaktu s krví –  
terminální respirační jednotka)

Z dechového objemu 500ml přijde do oblasti respirace jen 350ml (dech  
objem-mrtvý prostor)

Alveolární ventilace  $V_A = df * (\text{Dech objem} - \text{Objem mrtvého prostoru})$

$$V_A = 12 * (500 - 150) = 4200 \text{ ml/min}$$

# CHEMORECEPCE

Periferní –

glomus caroticum  
glomus aorticum

(perfuze 2000 ml/100 g tkáně/min)

pO<sub>2</sub>

hypoxie

(pCO<sub>2</sub>

hyperkapnie)

(pH

acidóza)

Centrální (centrální chemosenzitivní oblast – ventrální strana prodloužené míchy)

Zvýšení pCO<sub>2</sub> v krvi – je nejvýznamnější stimul, CO<sub>2</sub> projde rychle HEB

.....zvýšení H<sup>+</sup> intersticiální tekutiny

Snížení pH krve je menším podnětem pro stimulaci dýchání

~~pO<sub>2</sub>~~



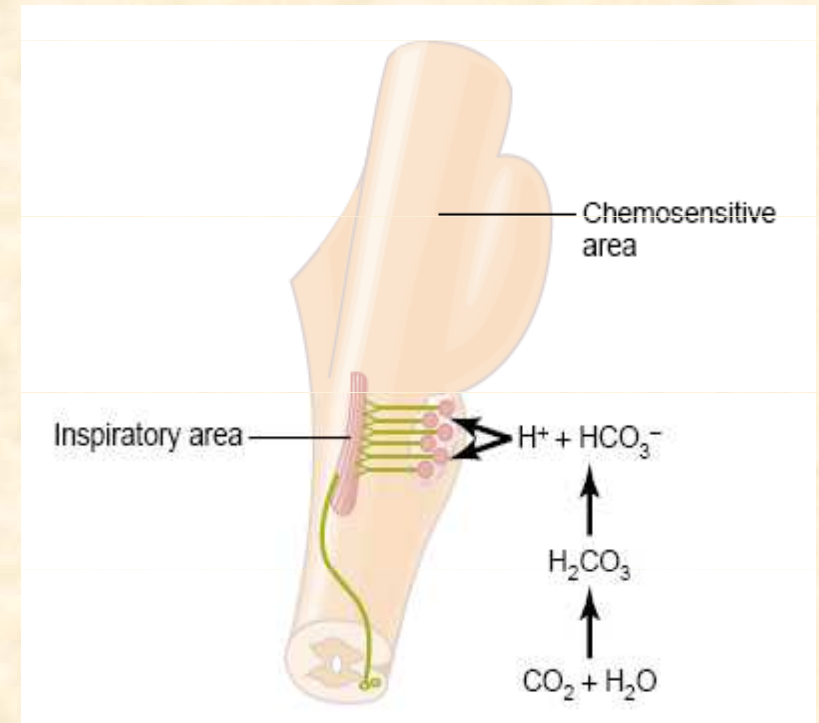
# Chemické faktory ovlivňující dechové centrum:

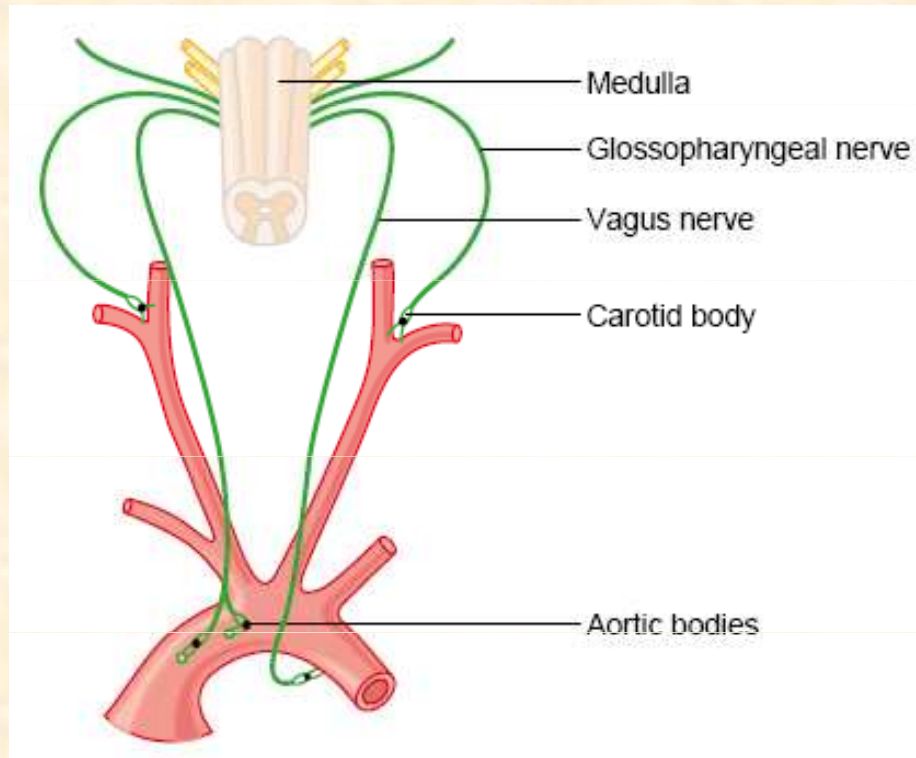
## Centrální chemoreceptory

- na ventrální straně prodloužené míchy

Adekvátní podnět: **zvýšení  $p\text{CO}_2$**  a **koncentrace  $\text{H}^+$**

- centrální chemoreceptor reaguje i na pokles pH z jiných příčin (laktázová acidóza, ketoacidóza)





## Periferní receptory

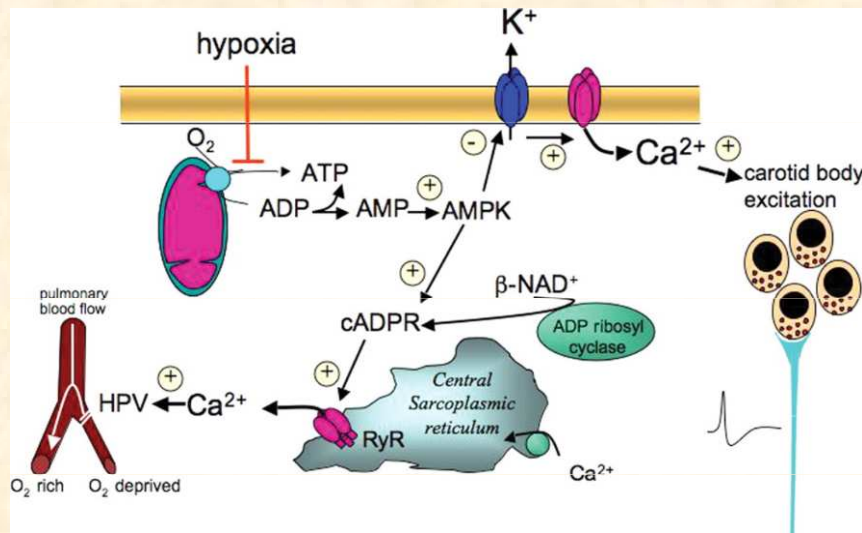
– glomus caroticum, glomus aorticum

(Stimulace dýchání probíhá cestou n. vagus a n. glossopharyngeus).

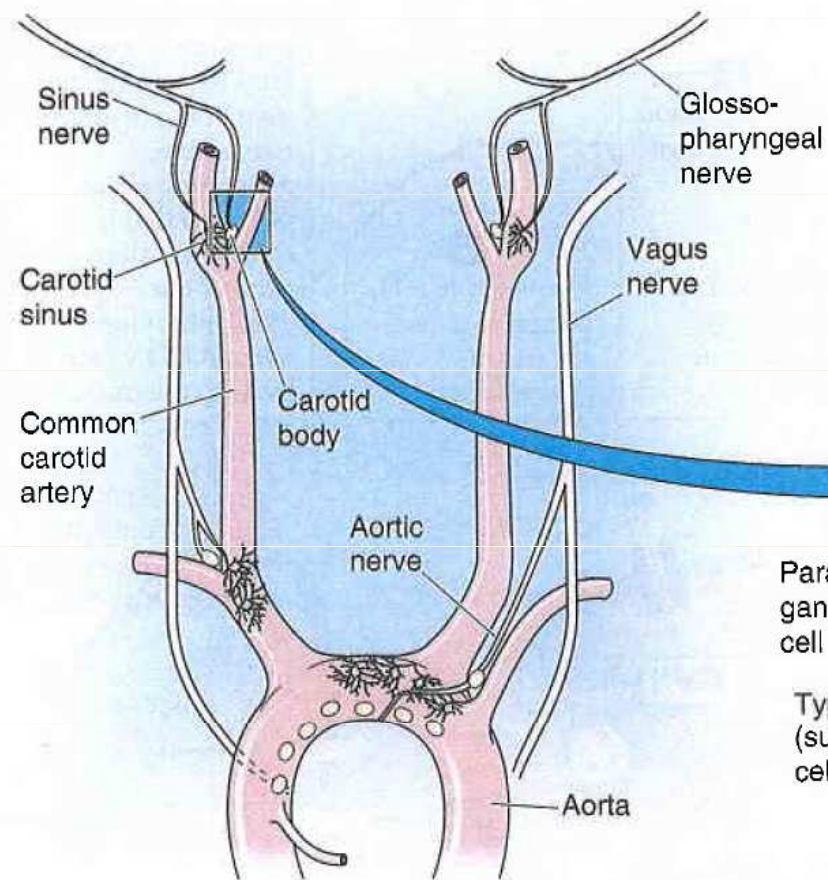
Reagují na **pokles  $pO_2$ , (zvýšení  $pCO_2$  a pH)**. Obzvláště reagují na pokles  $pO_2$  pod fyziologickou hodnotu v arteriální krvi (12,5kPa).

Mechanismus účinku: následkem poklesu tvorby ATP v mitochondriích se depolarizuje membrána receptorů a nastává jejich excitace (zvýšení tvorby vzruchů v aferentních nervech)

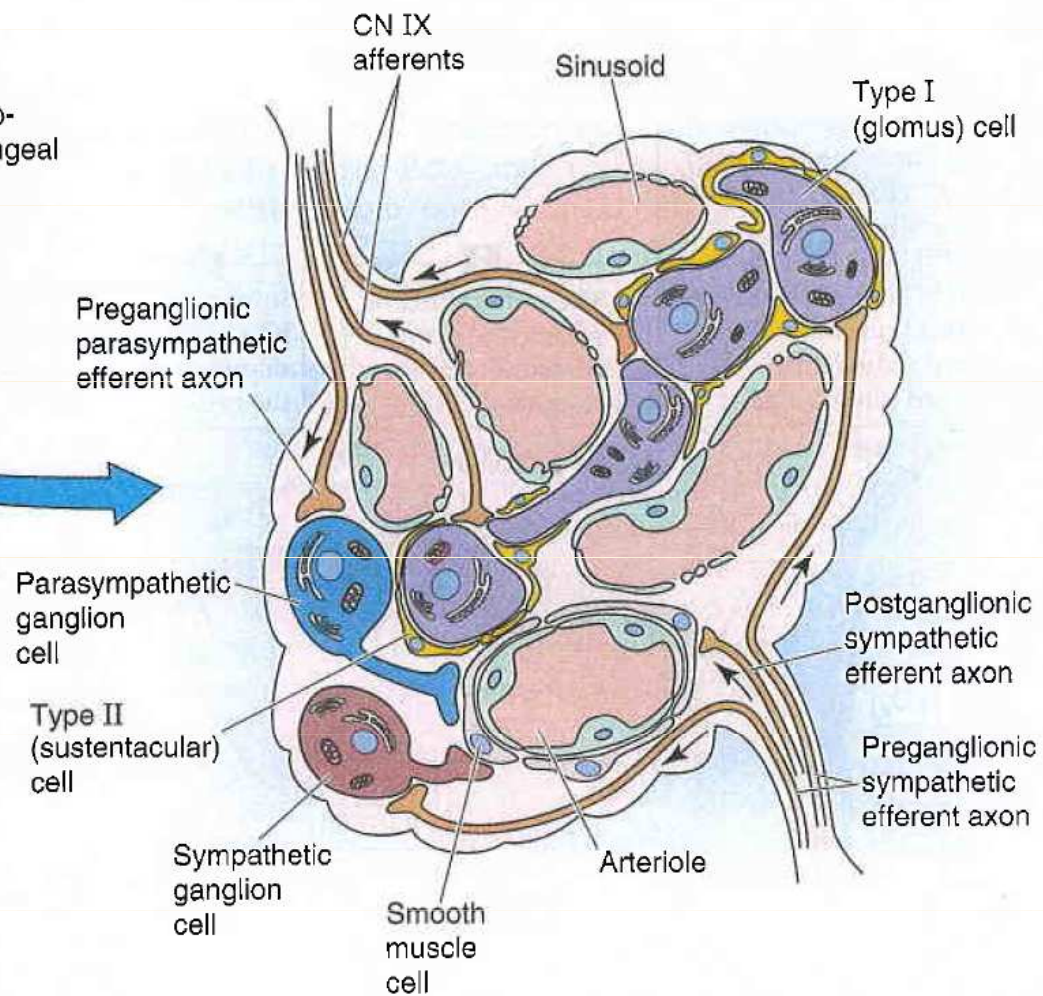
z

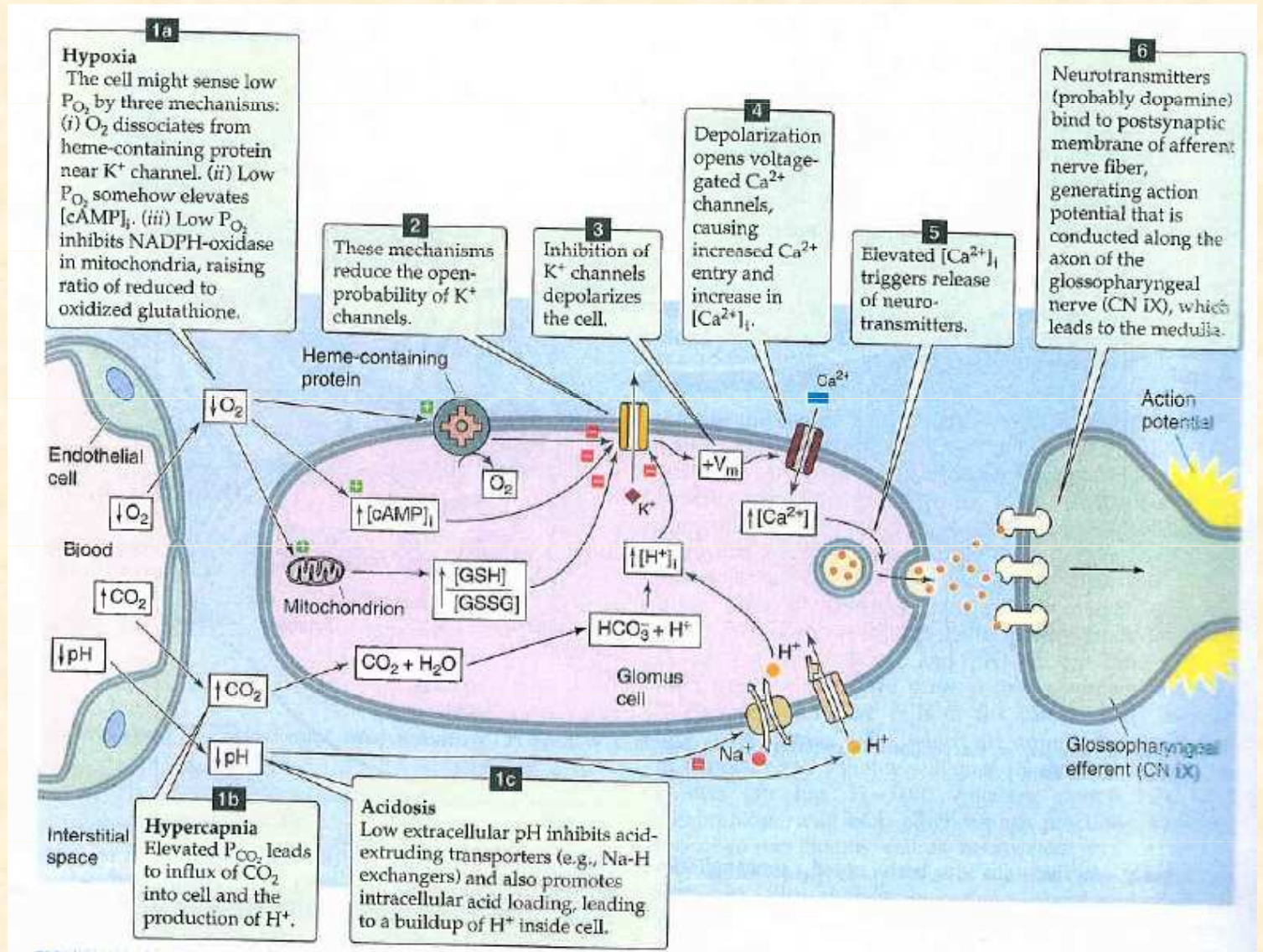


**A LOCATION OF CAROTID AND AORTIC BODIES**



**B MICROSCOPIC ANATOMY OF CAROTID BODY**





# Nechemické vlivy

Různé typy receptorů ve stěnách dýchacích cest

**Dráždivé receptory** ve sliznici dýchacích cest – rychle se adaptující, Stimulovány řadou chemických látek (histamin, serotonin, cigaretový kouř). Společnou odpovědí na podráždění je zvýšená sekrece hlenu, zúžení laryngu a bronchů

**C-receptory** (v blízkosti plicních cév =J receptory)– volná nervová zakončení vagových nemyelinizovaných vláken (typu C) v intersticiu bronchů a alveolů; Podráždění mechanické (zvýšené roztažení plic, zvýšený tlak v plicním oběhu, plicní edém) i chemické; Reflexní odpověď – zrychlené mělké dýchání, bronchokonstrikce, zvýšená produkce hlenu, dráždivý kašel

**Tahové receptory** (stretch receptory) pomalu se adaptující, v hladké svalovině trachei a bronchů; jejich podráždění tlumí aktivitu respiračního centra v mozkovém kmeni – **Hering-Breuerovy reflexy**.

## **Další vlivy:**

**Baroreceptory** – vagové manévry – tlumí i respirační centrum

Podráždění **proprioceptorů svalů a kloubů** při aktivním i pasivním pohybu končetin ovlivňuje činnost respiračních neuronů v mozkovém kmeni (uplatnění pro vzestup plicní ventilace při svalové práci)

Aferentace z **proprioceptorů inspiračních svalů** pomáhá prostřednictvím zpětné vazby přizpůsobit sílu kontrakce těchto svalů aktuálnímu odporu hrudníku a dýchacích cest tak, aby bylo dosaženo požadovaného dechového objemu

## **Vyšší nervová centra**

Limbický systém, hypotalamus – ovlivnění dýchání při silné bolesti či emocích  
Kolaterály kortikospinálních drah=mozková kůra – aktivuje respirační centra při svalové práci

## **Ovlivnění vůlí**

Zadržení dechu při potápění, změnit rytmicitu dýchání při mluvení, zpívání, hře na dechový nástroj.  
Dráhy vycházející z motorické kůry přímo ovlivňují činnost motoneuronů dýchacích svalů = automatická a volní kontrola od sebe odděleny (lze regulovat dýchání vlastní vůlí za fyziologických podmínek, dokud nedojde k výrazným odchylkám  $pO_2$ ,  $pCO_2$ ,  $H^+$  - pak je volní kontrola nahrazena automatickou

## **Vliv tělesné teploty**

nepřímo – přes urychlení metabolismu; přímá stimulace dechového centra zvýšenou teplotou

Šťastné a veselé, nejlépe „fyziologické“ vánoce!

