

DÝCHACÍ SYSTÉM

ANATOMIE DÝCHACÍCH CEST

Dutina nosní

Dutina ústní

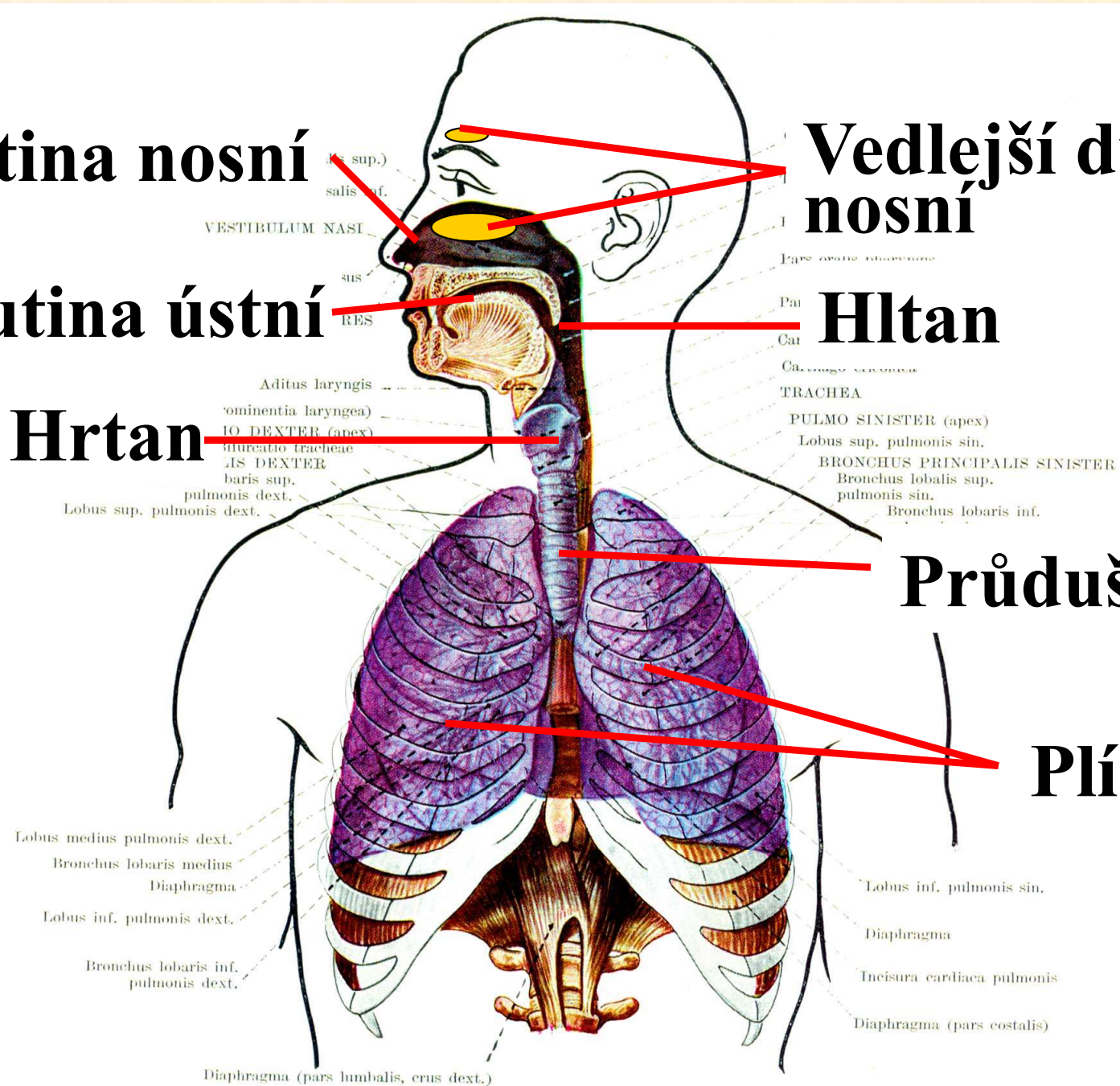
Hrtan

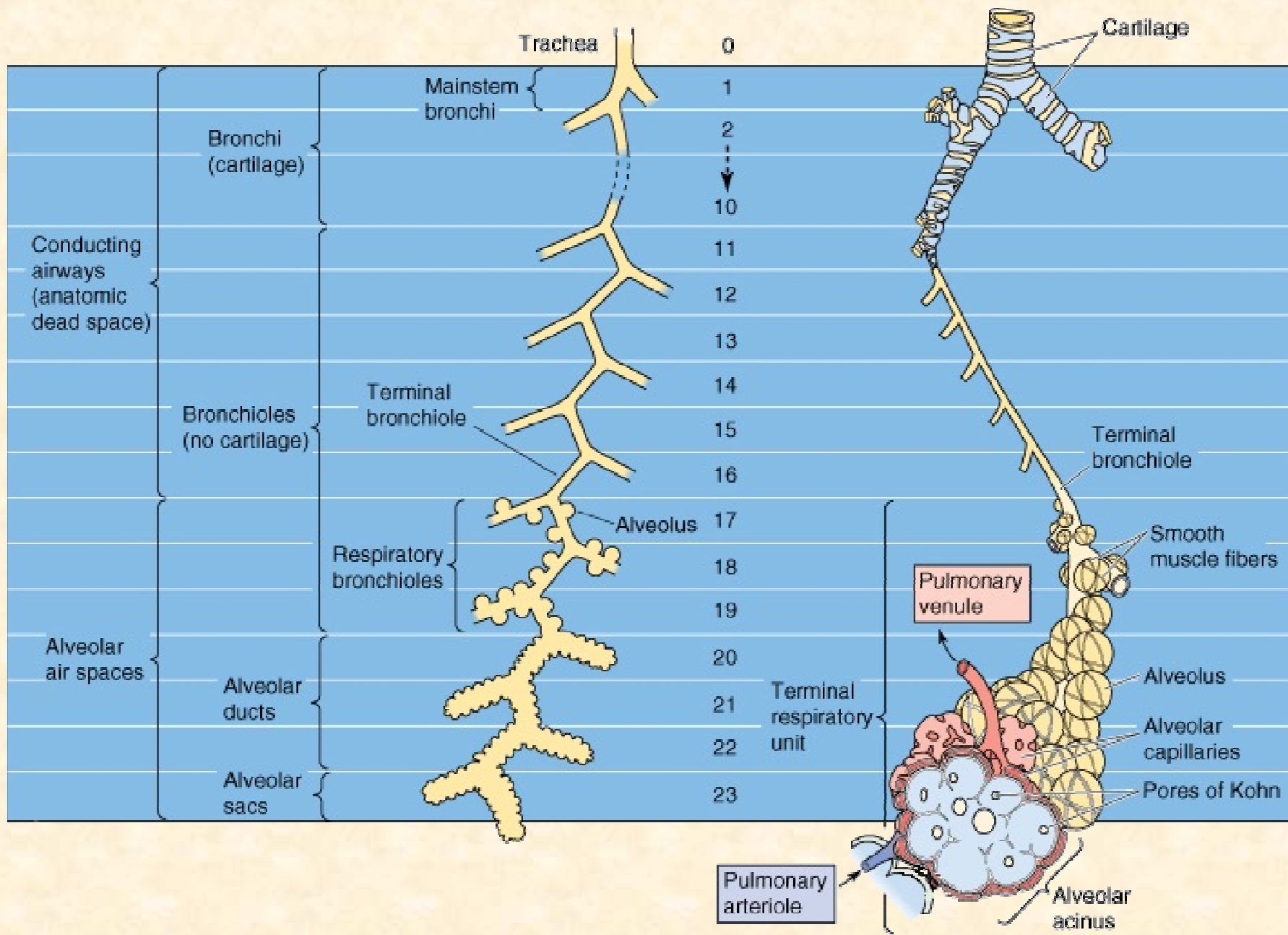
Vedlejší dutiny nosní

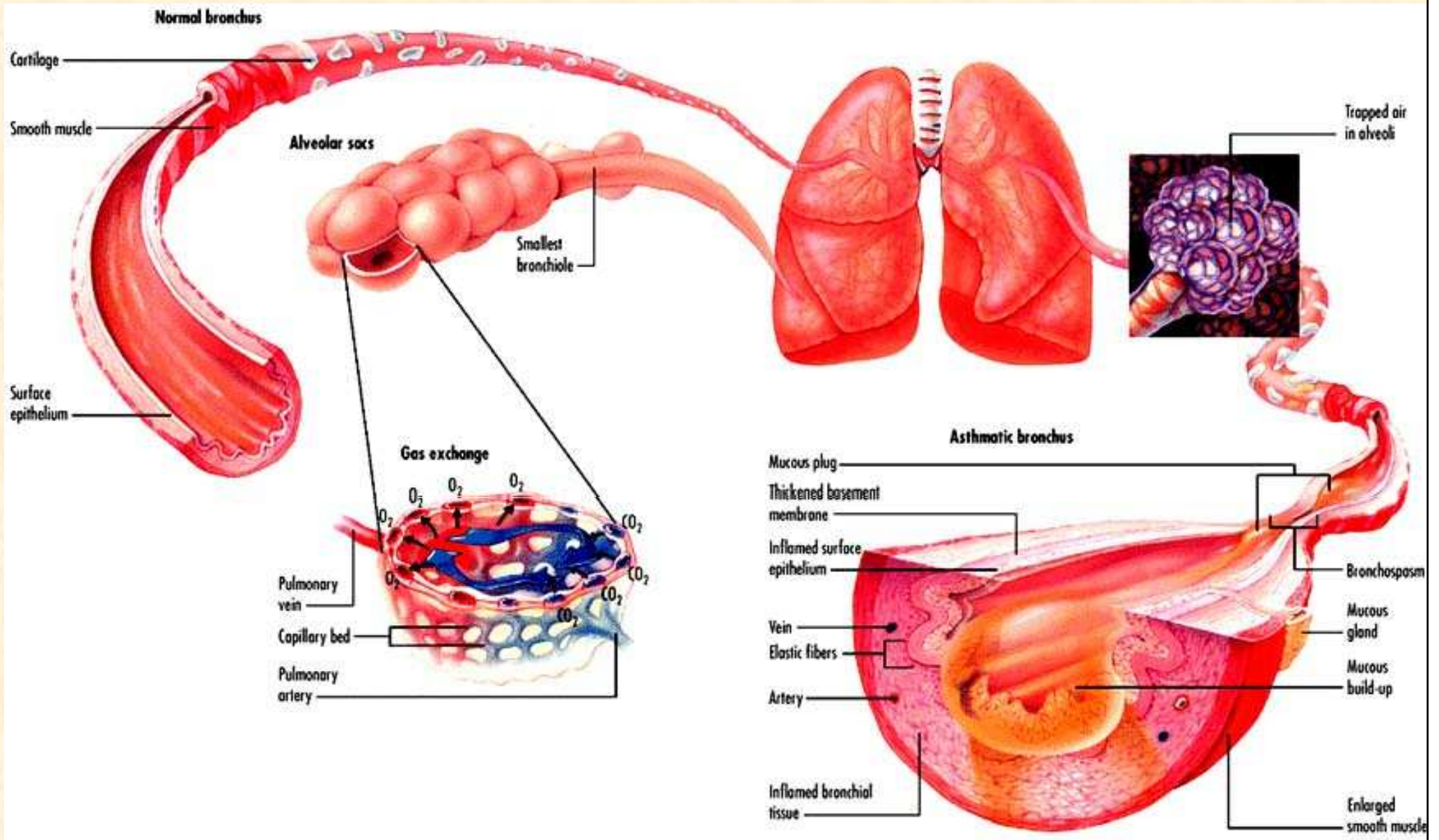
Hltan

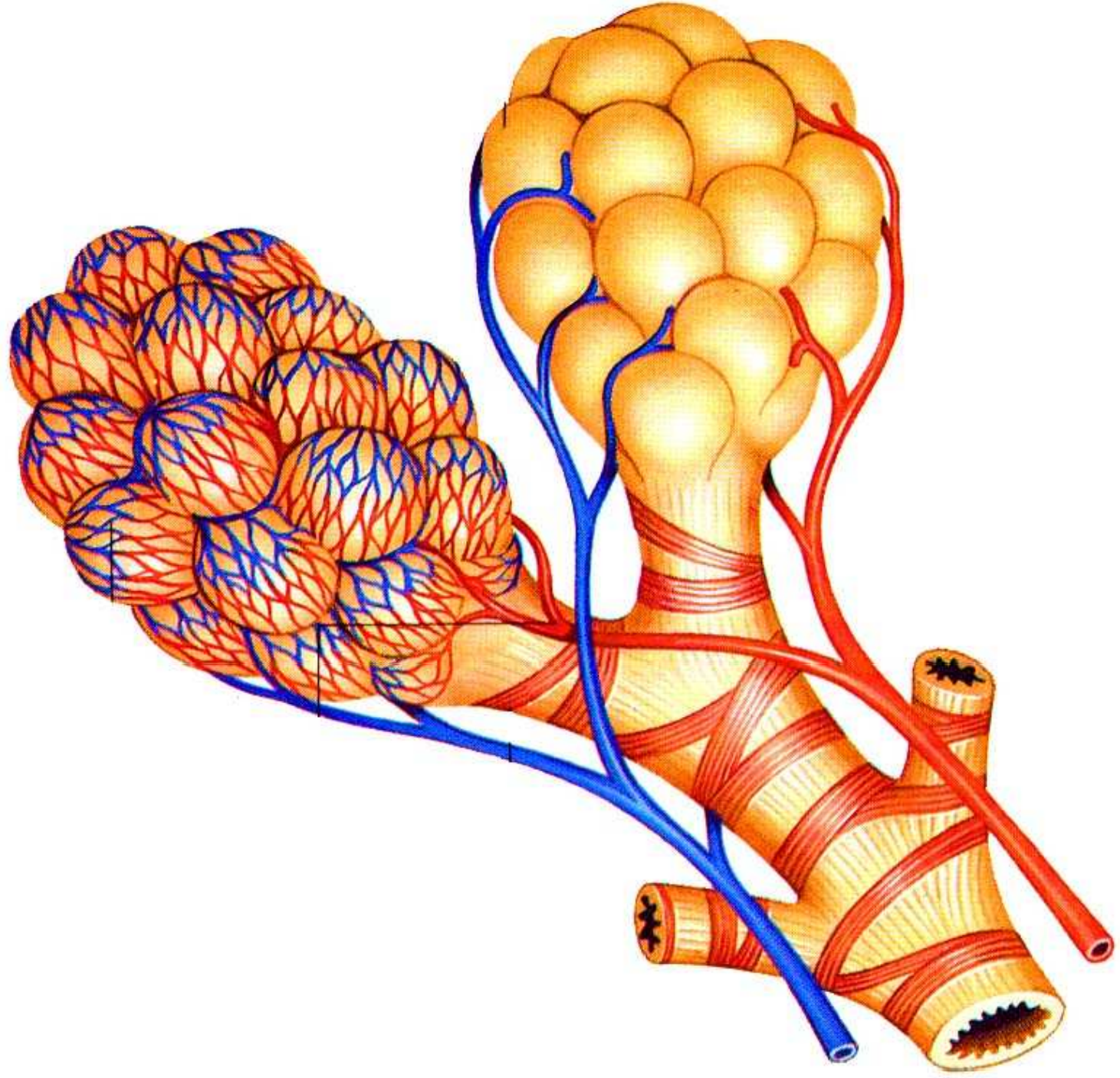
Průdušnice

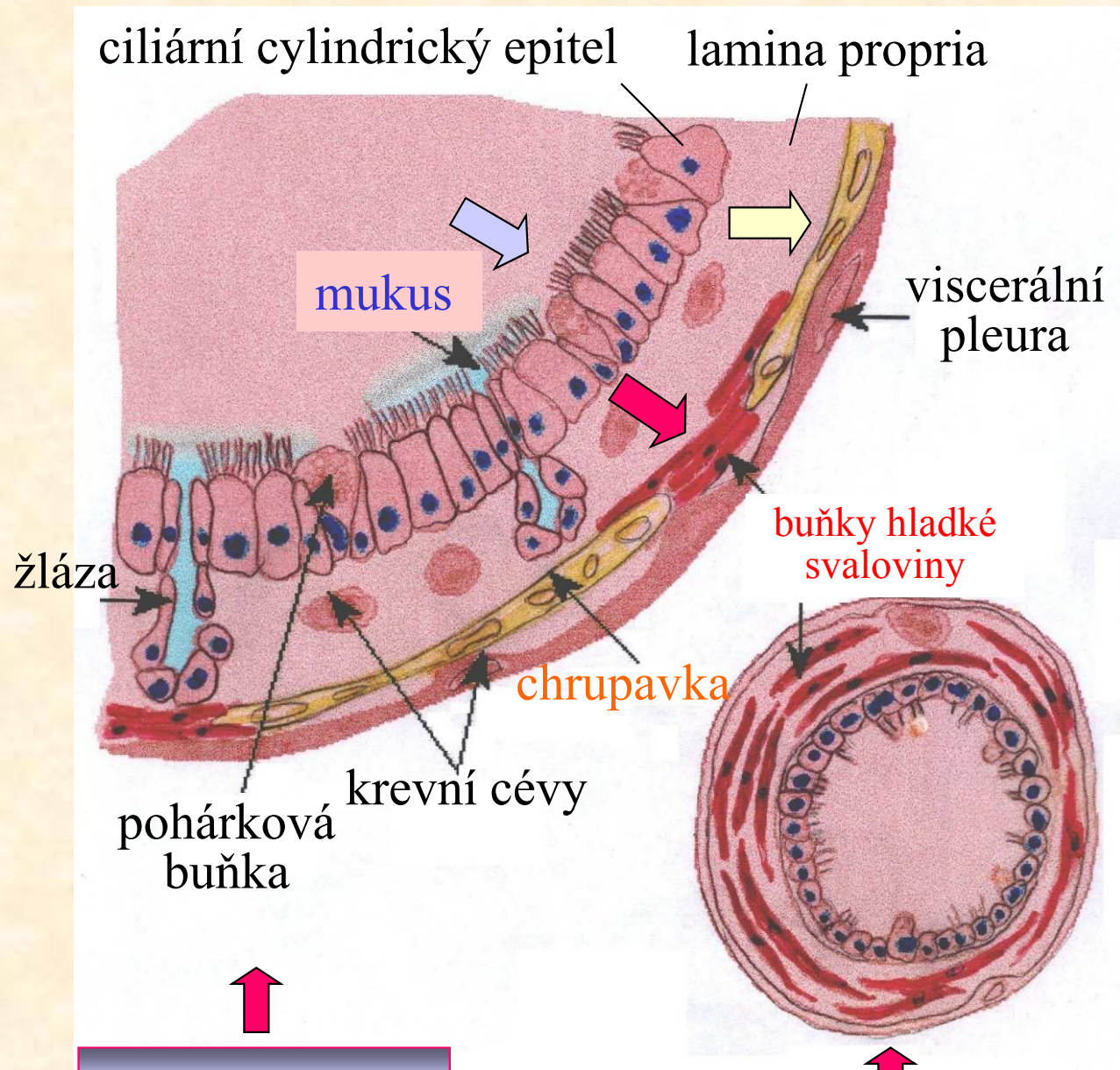
Plíce











**AUTONOMNÍ INERVACE
SVALOVÝCH BUNĚK**

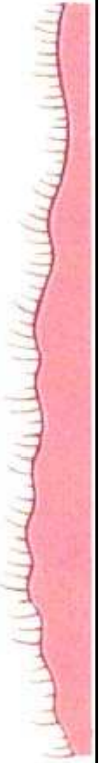
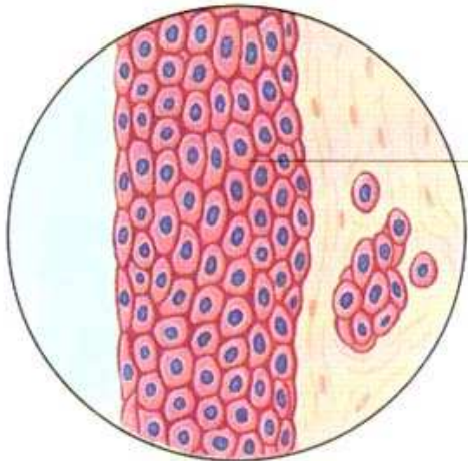
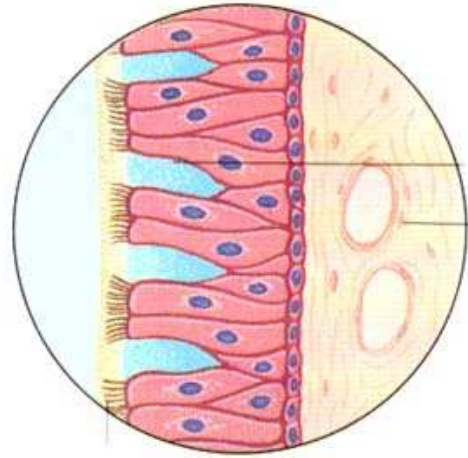
muskarinové receptory
aktivace acetylcholinem
⇒ **bronchokonstrikce**

β₂-adrenergní receptory
aktivace noradrenalinem
⇒ **bronchodilatace**

BRONCHUS

**TERMINÁLNÍ
BRONCHIOLUS**

∅ < 1 mm



FÁZE TRANSPORTU O_2 K BUŇKÁM

VENTILACE PLIC

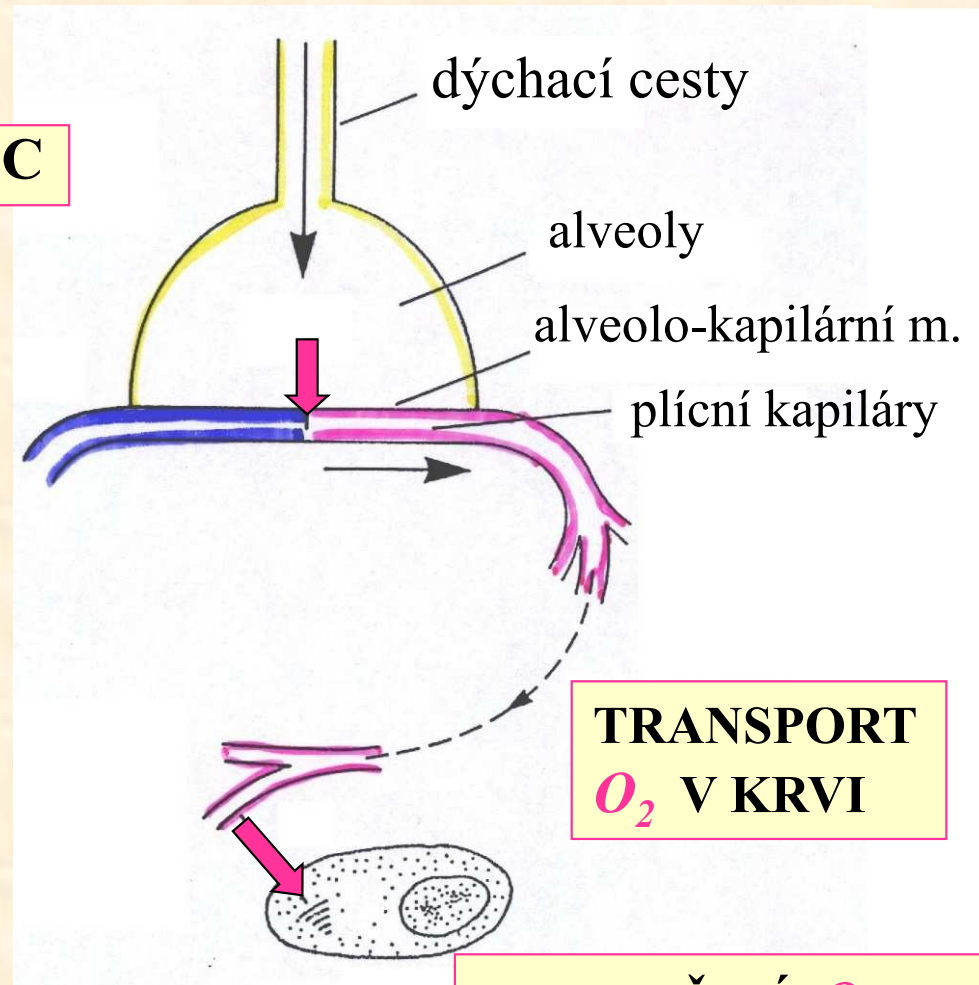
DIFUZE O_2 PŘES
ALVEOLO-KAPILÁTRNÍ
MEMBRÁNU

DIFUZE O_2
Z PERIFERNÍ KAPILÁRY
DO BUŇKY

V KLIDU

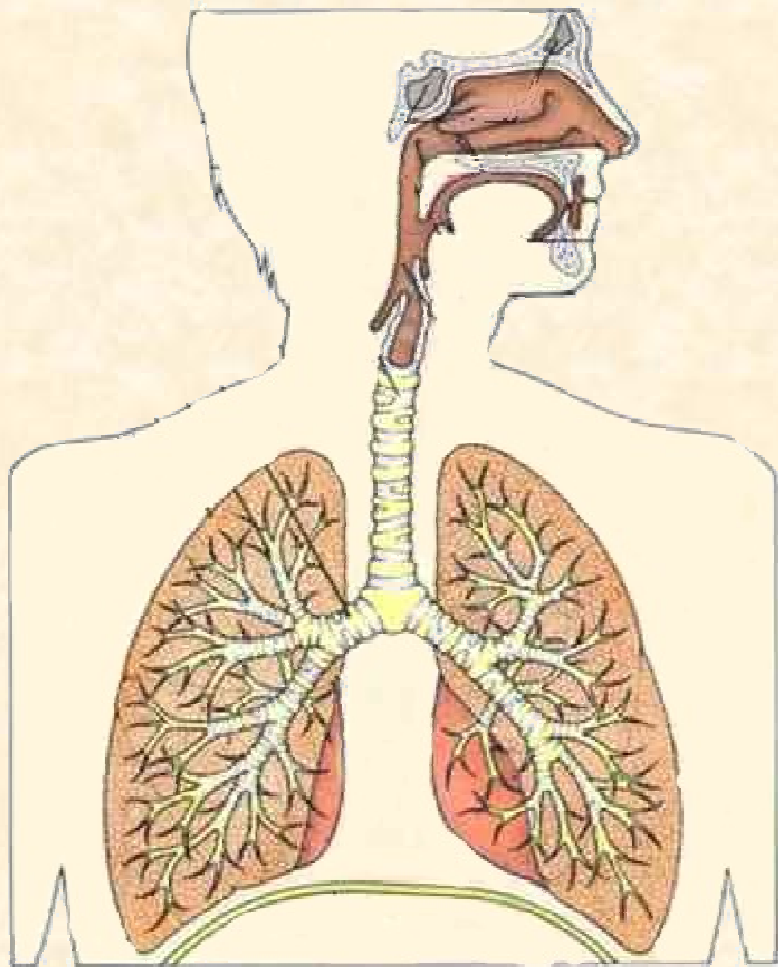
příjem O_2 ~300 ml / min

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

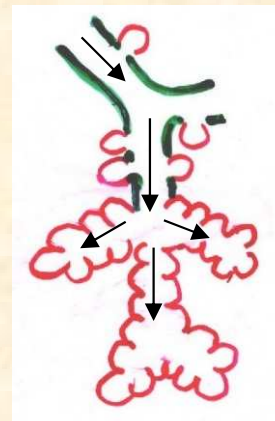
ANATOMICKÝ MRTVÝ PROSTOR – ZÓNA KONDUKCE



- **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 m²

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

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

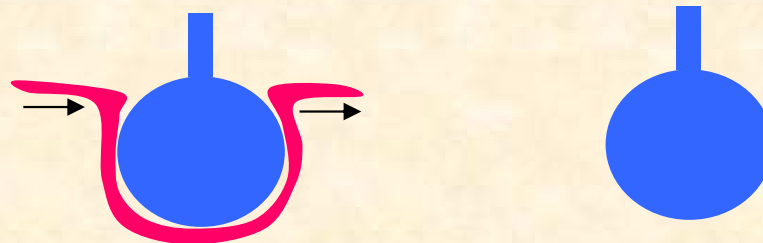
**VENTILACE MRTVÉHO
PROSTORU**

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



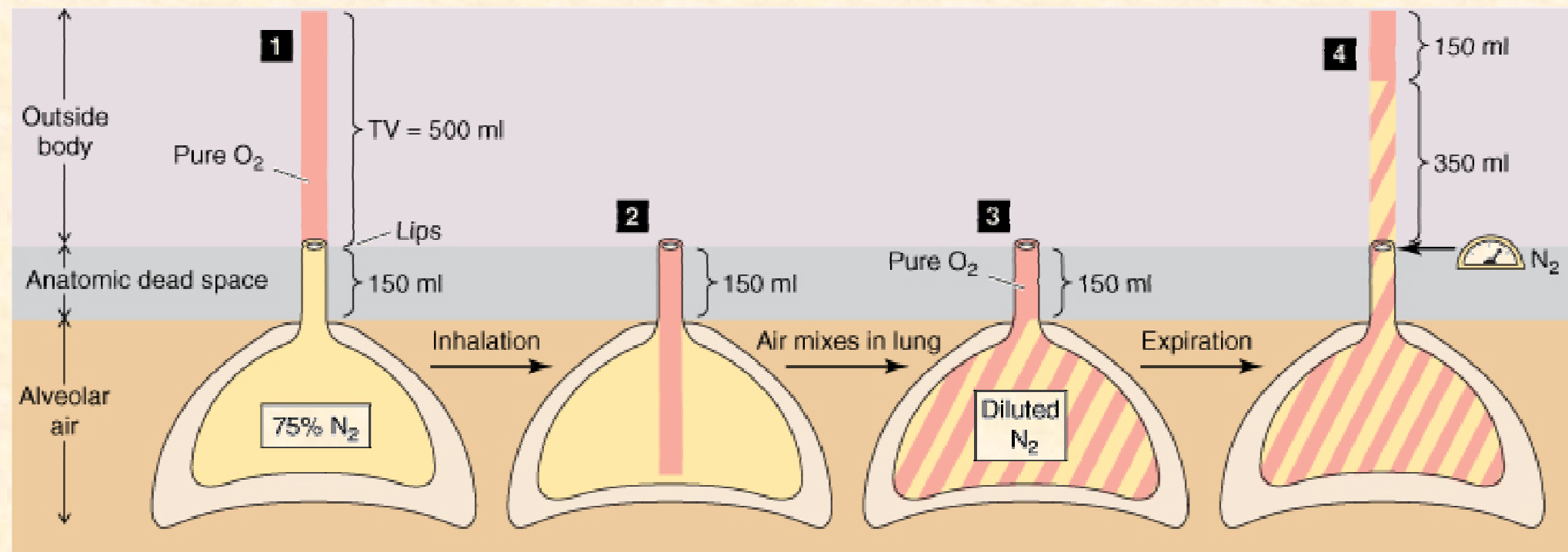
U ZDRAVÉHO JEDINCE
oba dva prostory (jak anatomický, tak funkční) jsou prakticky stejné

MRTVÝ PROSTOR –

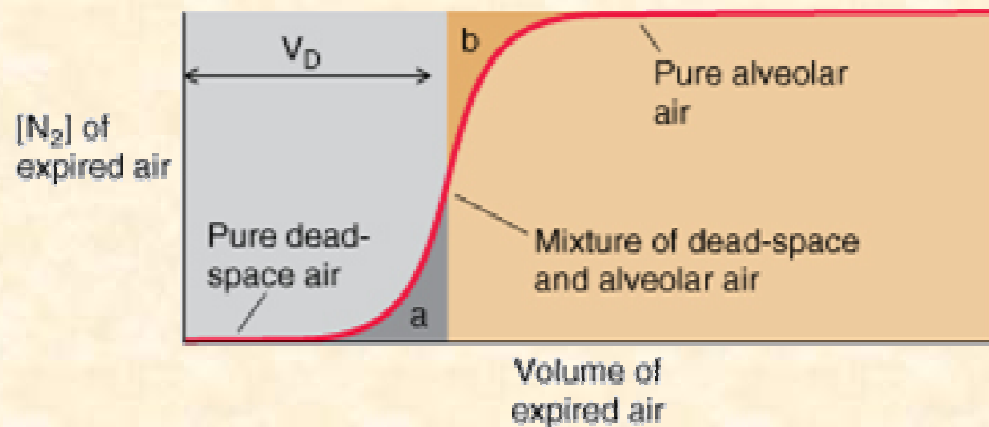
dusíkový test (hluboký nádech čistého O₂, následuje

pomalý výdech s kontinuálním monitorováním koncentrace dusíku)

A DILUTION OF INSPIRED 100% O₂



C MEASURED [N₂] PROFILE



Difuze plic

SLOŽENÍ SUCHÉHO ATMOSFERICKÉHO VZDUCHU

O₂ 20,98 %

N₂ 78,06 %

CO₂ 0,04 %

Ostatní složky

F_{O₂} ≈ 0,21

F_{N₂} ≈ 0,78

F_{CO₂} = 0,0004

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

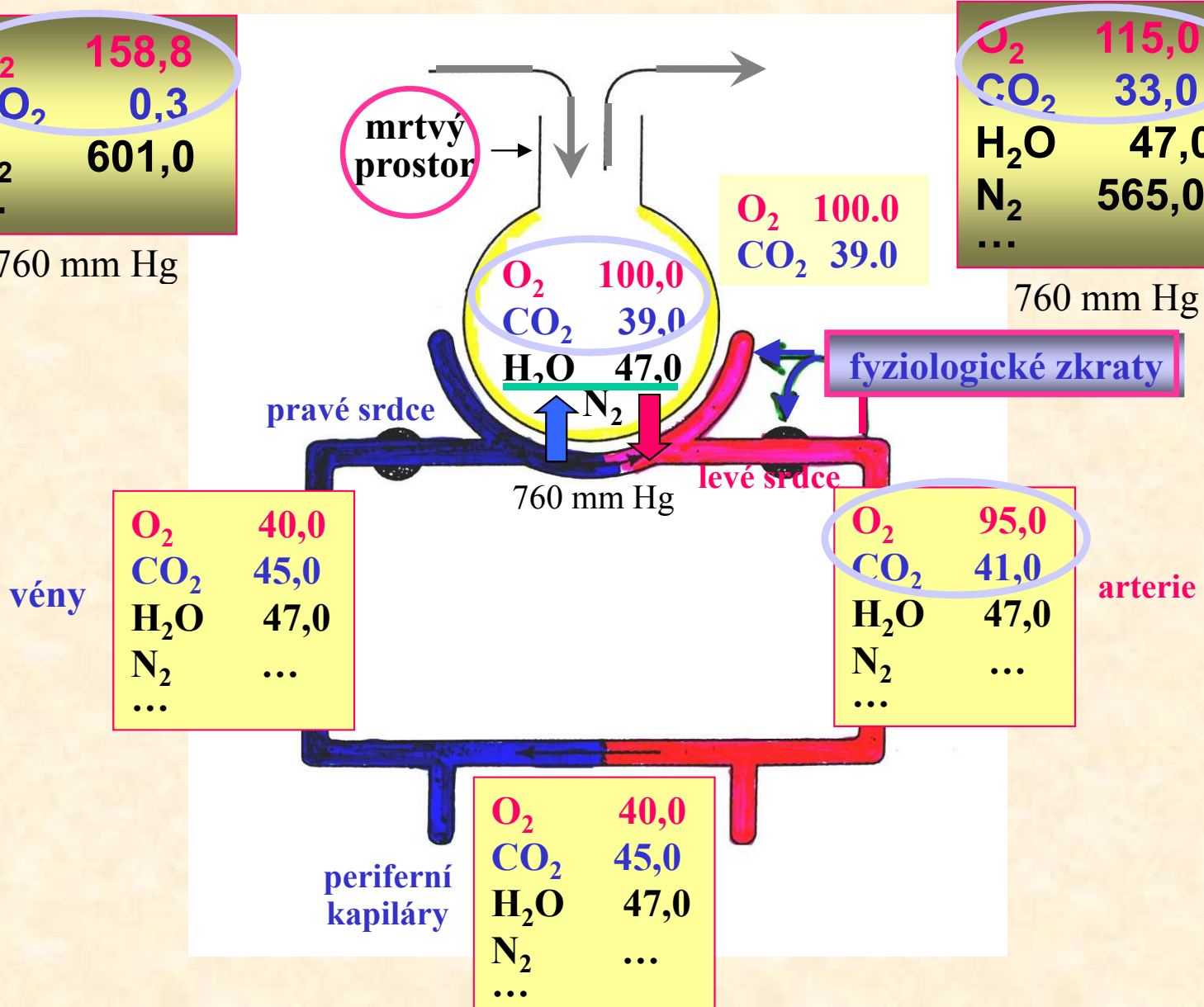
O ₂	158,8
CO ₂	0,3
N ₂	601,0
...	

760 mm Hg

EXSPIROVANÝ VZDUCH

O ₂	115,0
CO ₂	33,0
H ₂ O	47,0
N ₂	565,0
...	

760 mm Hg



mrtvý prostor

O ₂	100,0
CO ₂	39,0

O ₂	100,0
CO ₂	39,0
H ₂ O	47,0
N ₂	...

760 mm Hg

fyziologické zkraty

pravé srdce

levé srdce

vény

O ₂	40,0
CO ₂	45,0
H ₂ O	47,0
N ₂	...
...	

arterie

O ₂	95,0
CO ₂	41,0
H ₂ O	47,0
N ₂	...
...	

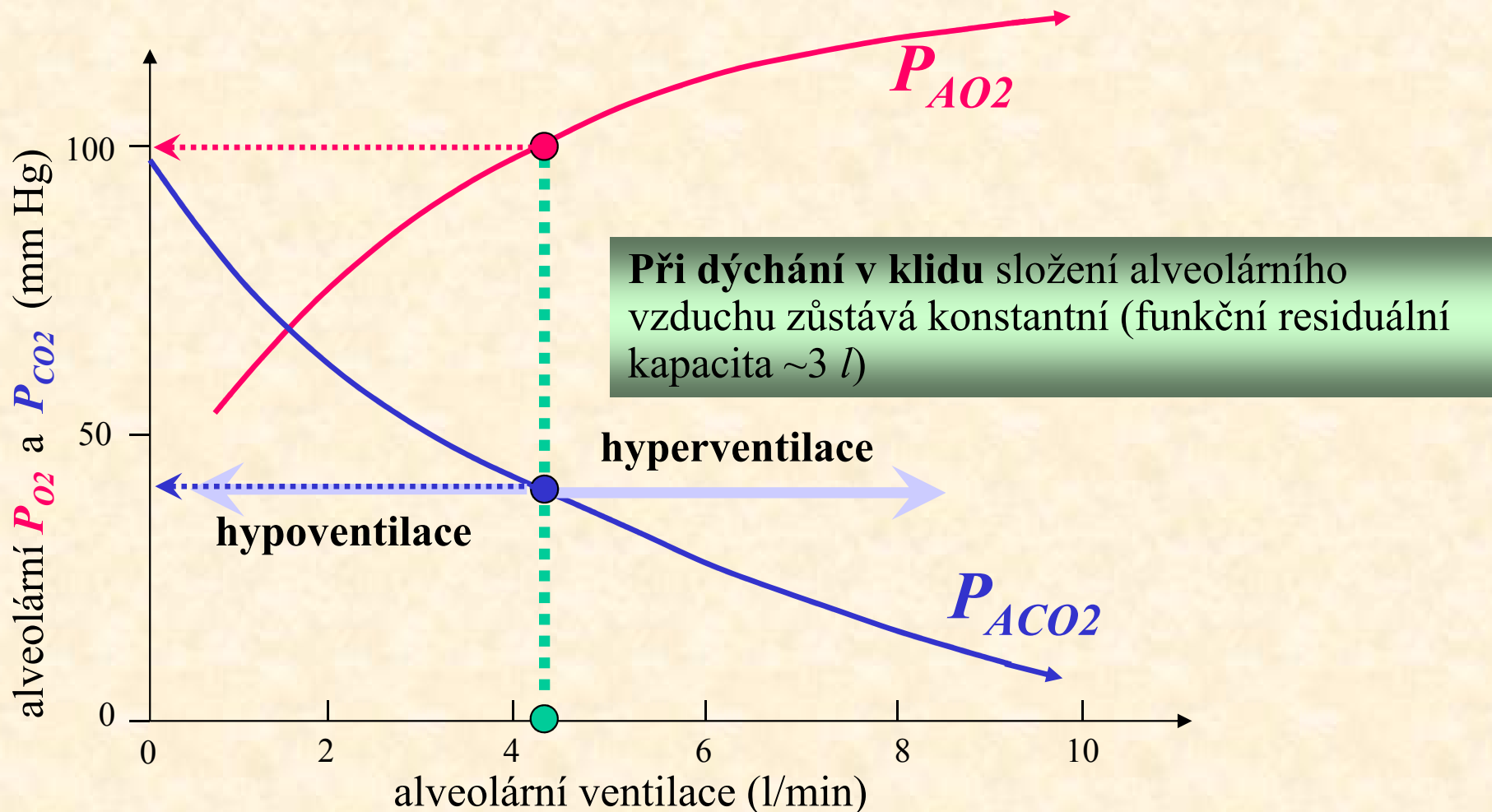
periferní kapiláry

O ₂	40,0
CO ₂	45,0
H ₂ O	47,0
N ₂	...
...	

?

?

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

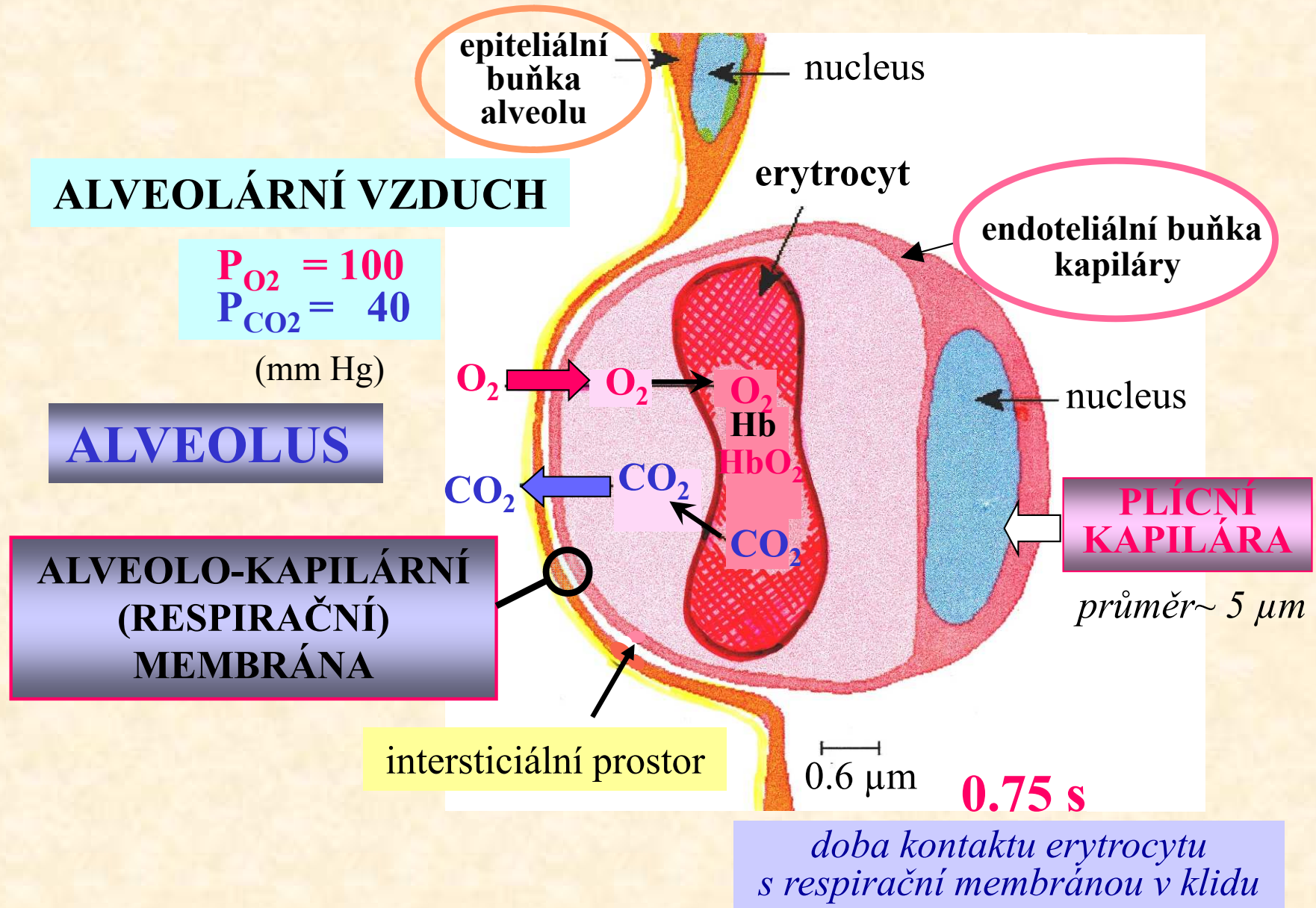


hyperventilace → HYPOKAPNIE → respirační alkalóza

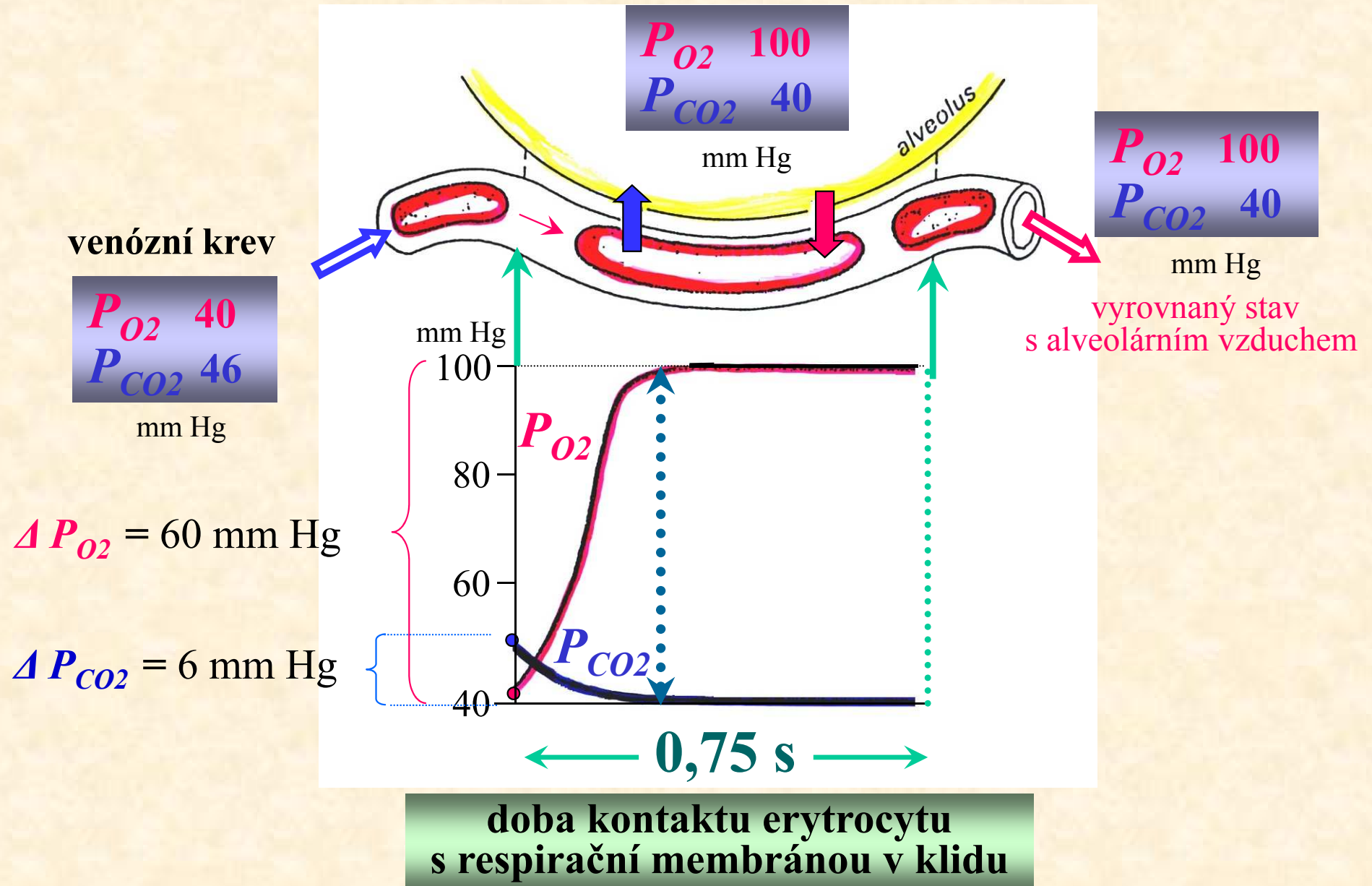
hypoventilace → HYPERKAPNIE → respirační acidóza

ALVEOLO-KAPILÁRNÍ (RESPIRAČNÍ) MEMBRÁNA

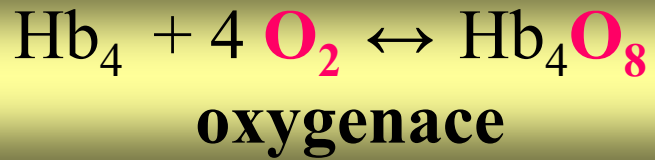
DIFUZE PLYNŮ



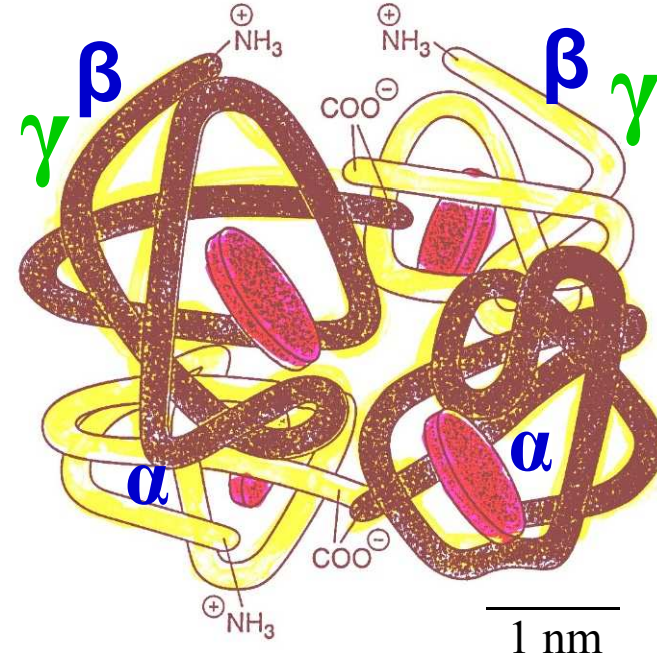
ČASOVÝ PRŮBĚH VYROVNÁVÁNÍ P_{O_2} A P_{CO_2} V KAPILÁŘE S ALVEOLÁRNÍM VZDUCHEM



HEMOGLOBIN



tetramer

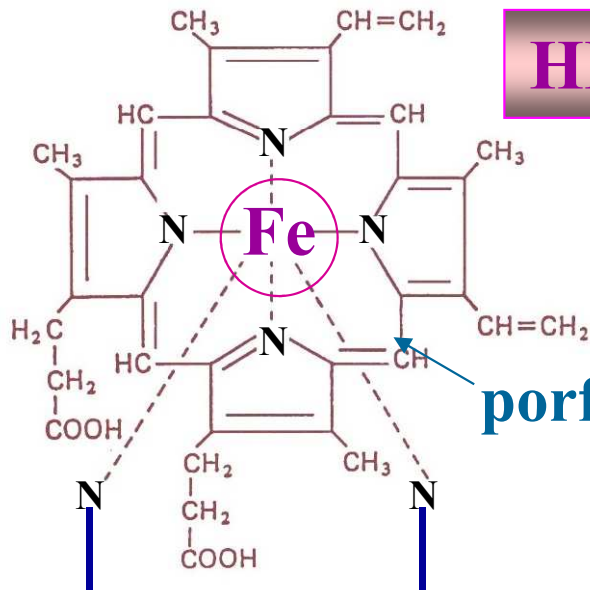


DEOXY

Fe^{2+}

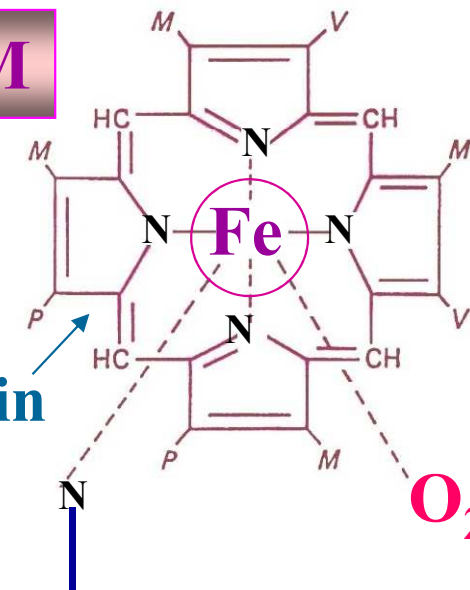
OXY

HEM



porfyrin

polypeptidový řetězec

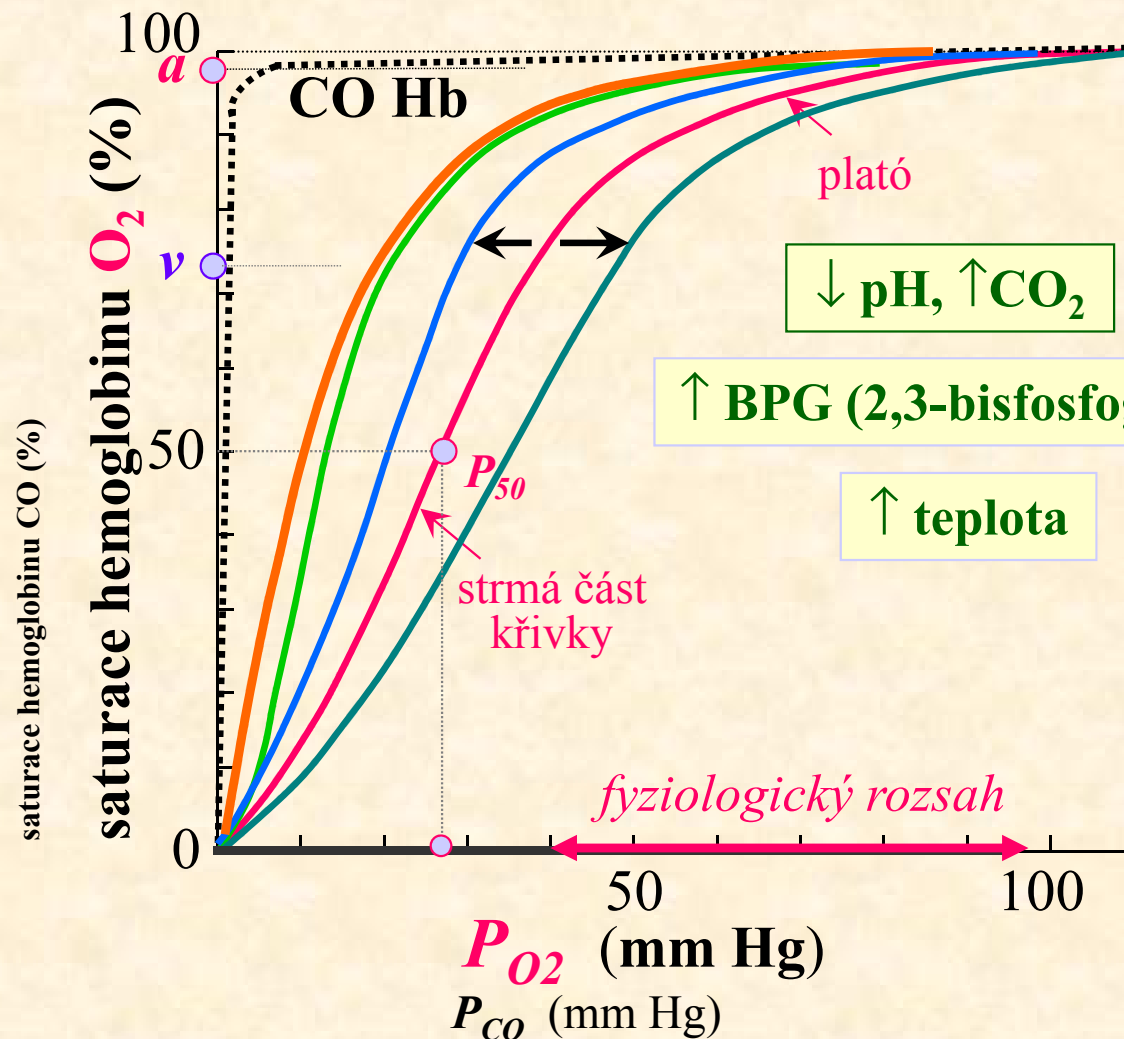


polypeptidový řetězec

fetální Hb

Fe^{3+} (methemoglobin)
oxidace

VAZEBNÁ KŘIVKA O_2 NA HEMOGLOBIN



BOHRŮV EFEKT
 \downarrow pH, \uparrow CO_2

\downarrow pH, \uparrow CO_2

\uparrow BPG (2,3-bisfosfoglycerát)

\uparrow teplota

fetální Hb

myoglobin

methemoglobin

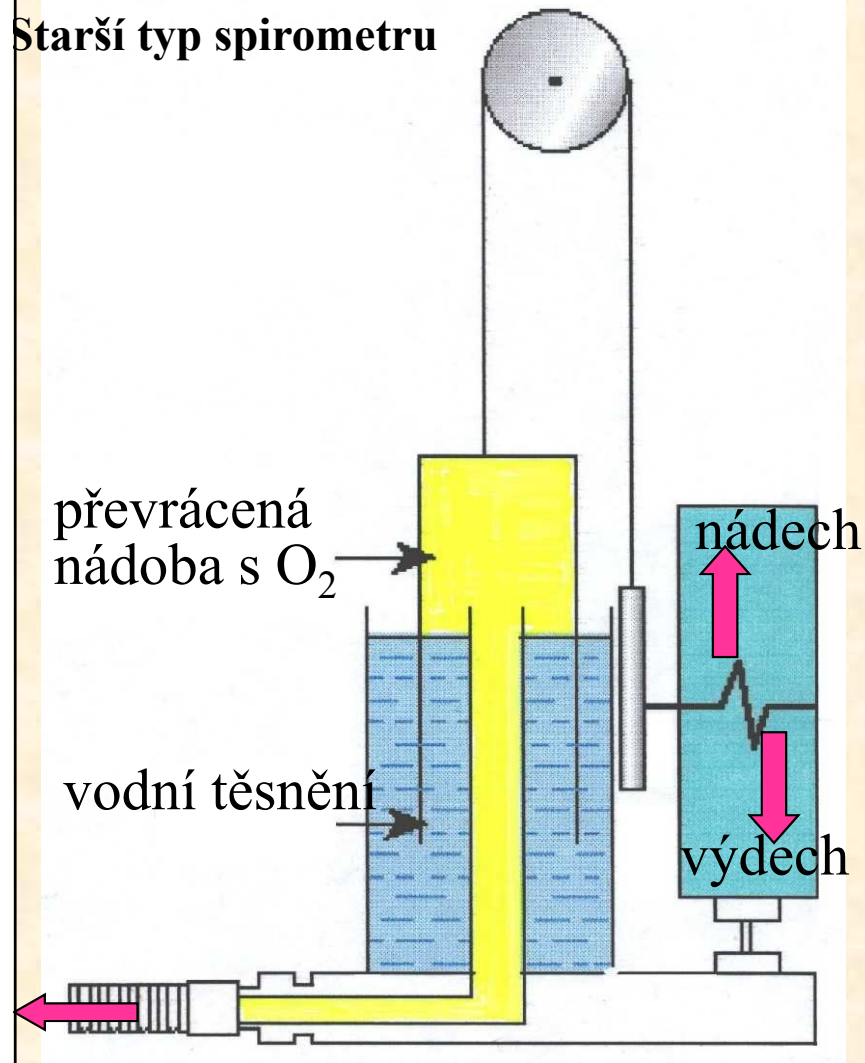
fyzikálně rozpuštěný O_2 (1.4%)

Vyšetřovací metody

SPIROMETRIE

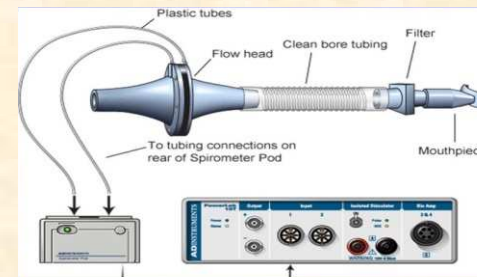
(měření plicních objemů, kapacit - funkční vyšetření plic)

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).



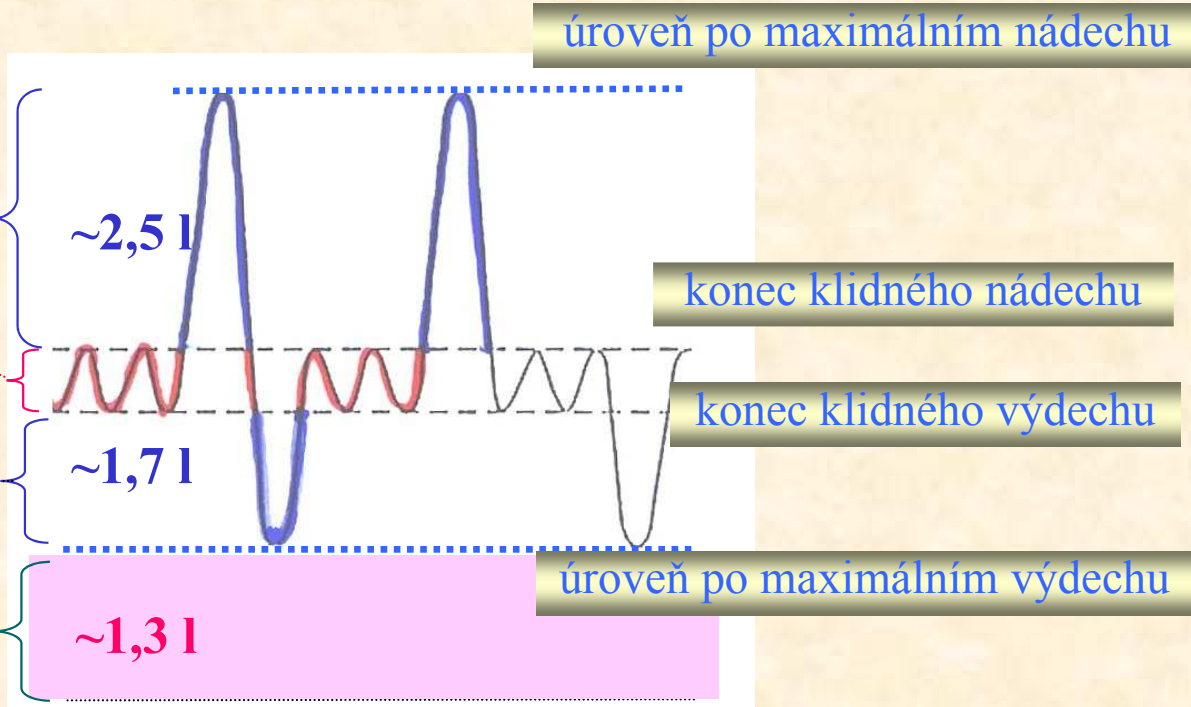
PLICNÍ OBJEMY

INSPIRAČNÍ REZERVNÍ OBJEM IRV

DECHOVÝ OBJEM V_T
(tidal volume)

EXSPIRAČNÍ REZERVNÍ OBJEM ERV

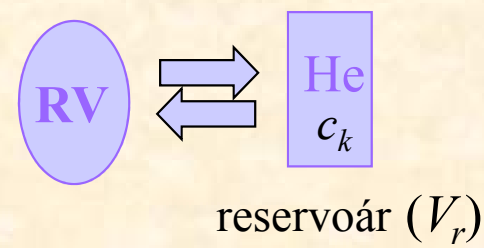
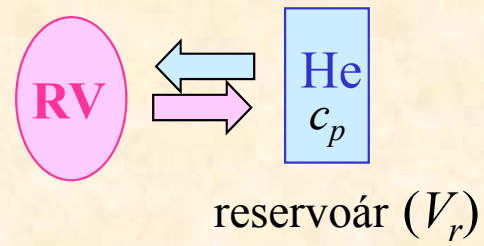
REZIDUÁLNÍ OBJEM RV



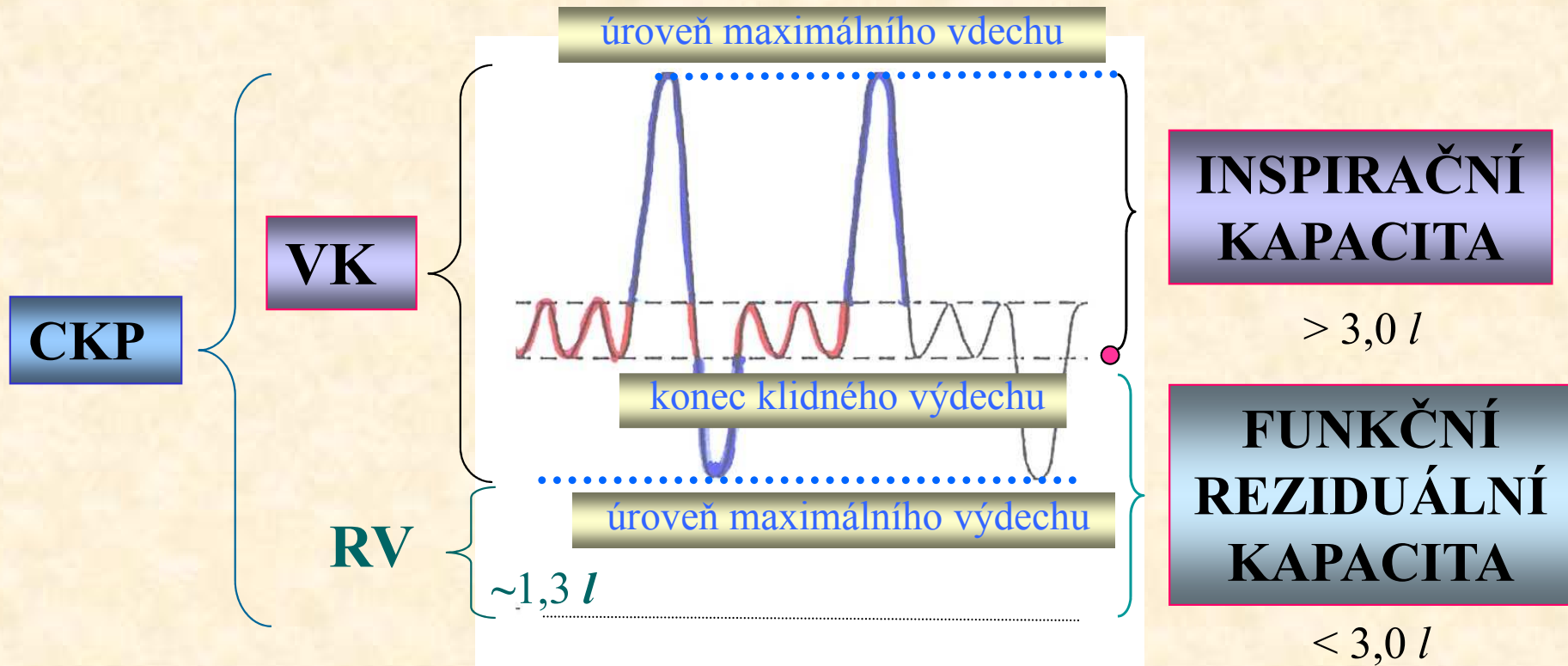
DILUČNÍ METODA
(metoda zředěného plynu)
 He

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 = $V_T + IRV + ERV$** ~ 4,7 l

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

CKP **CELKOVÁ KAPACITA PLIC = VK + RV** ~ 6,0 l

ROZEPŠANÝ VÝDECH VC

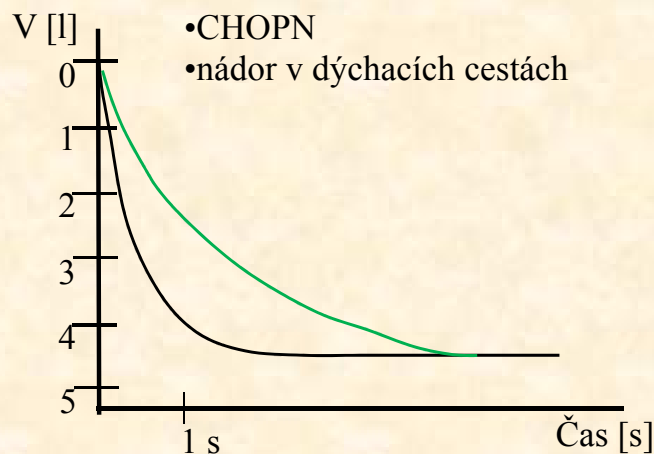
- **FVC** – usilovná vitální kapacita; maximální objem vzduchu, který lze po maximálním nádechu prudce vydechnout
- **FEV₁** – usilovně vydechnutý objem za první sekundu; objem vzduchu vydechnutý s největším úsilím za 1. sekundu po maximální nádechu
- **FEV₁/FVC (%)** – Tiffeneauův index – kolem 80 %

Obstrukční poruchy plic

FVC=fyziologická hodnota;

FEV₁=↓)

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



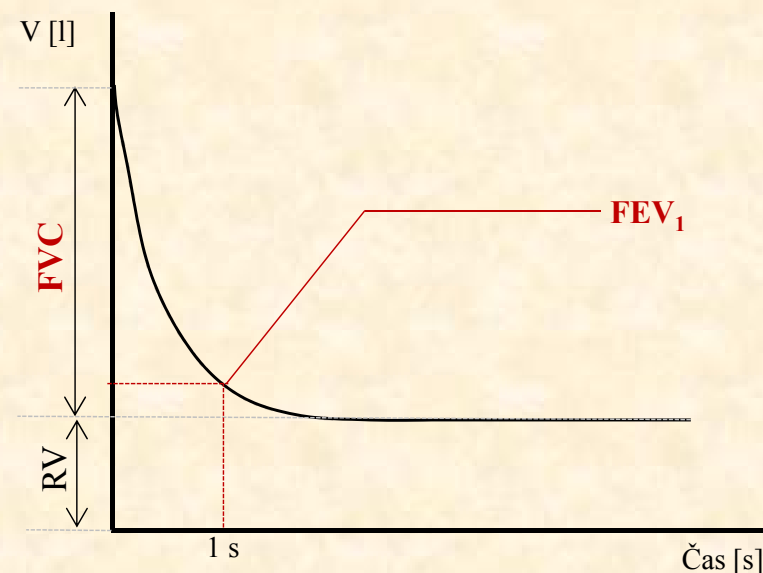
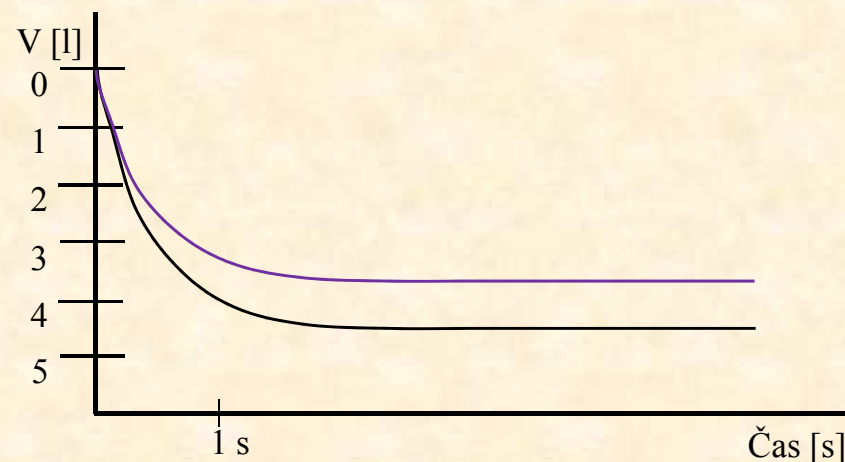
Restrikční poruchy plic

(FVC=↓; FEV₁= fyziologie)

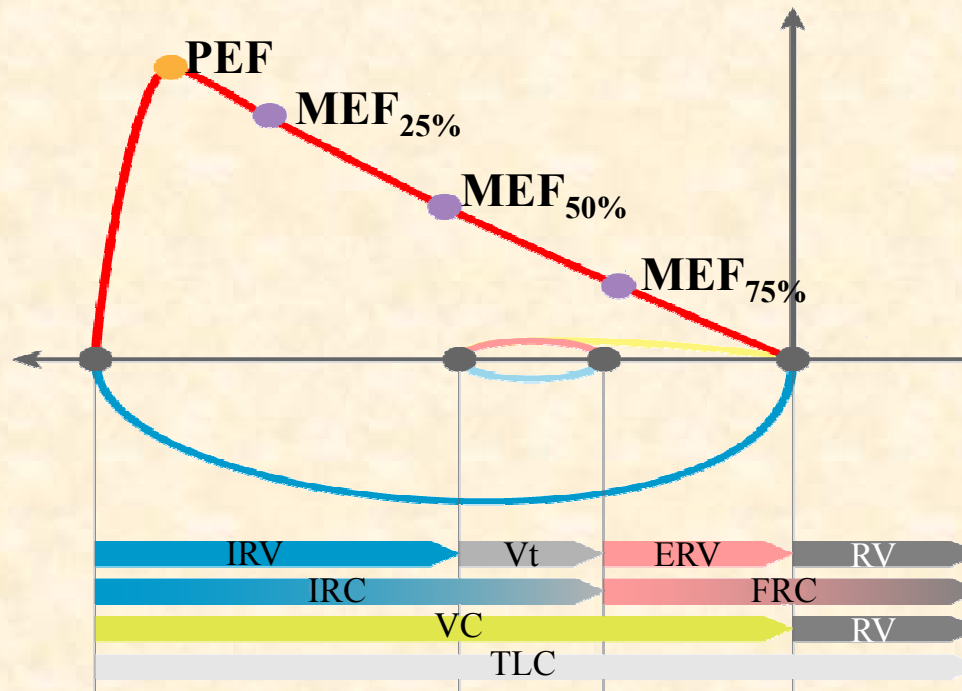
pulmonální příčiny

- plicní fibróza
 - resekce plic
 - plicní edém
 - pneumonie
- ### extrapulmonální příčiny

- ascites
- kyfoslóza
- 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

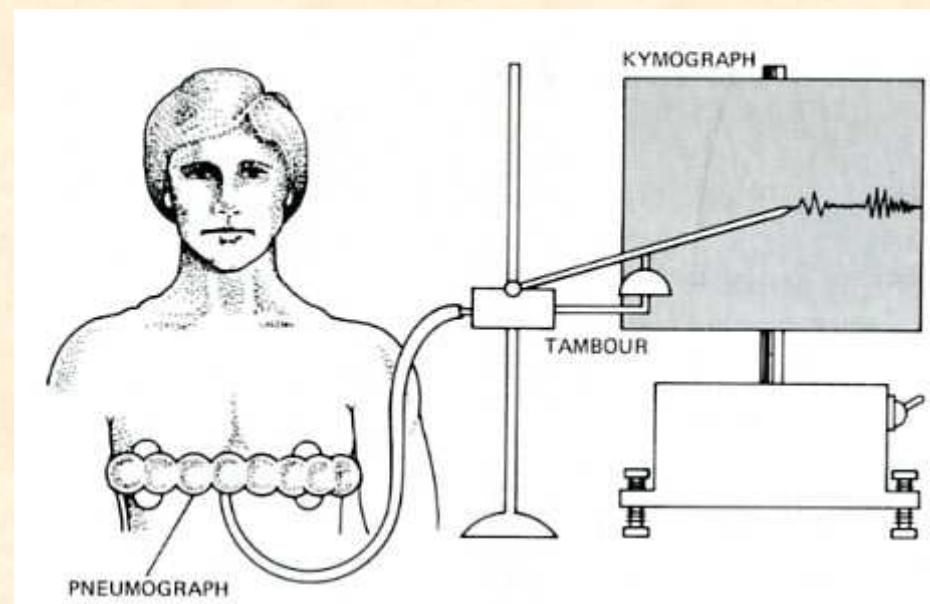
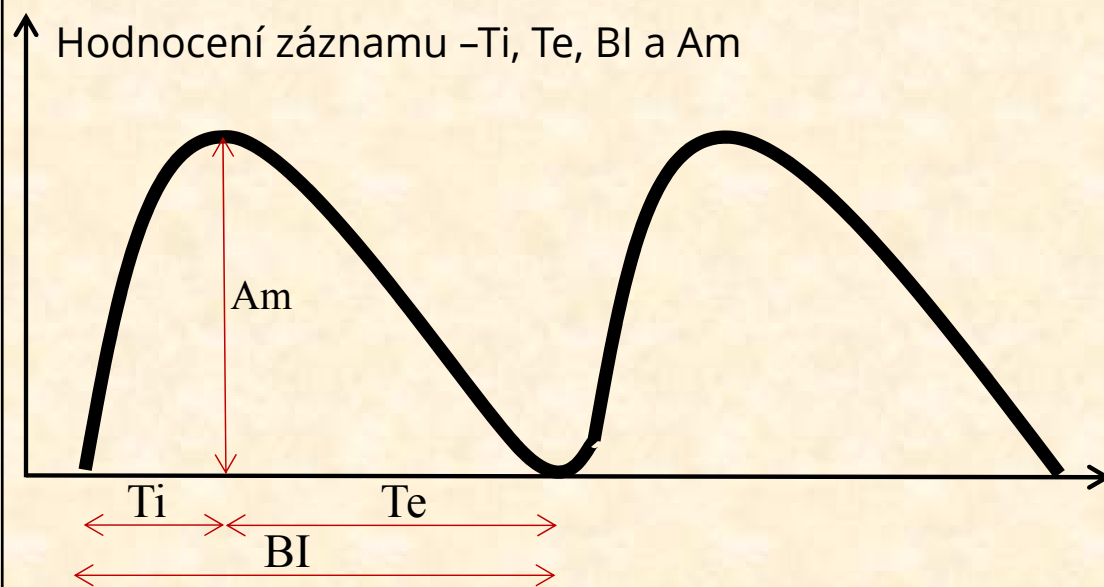
Princip

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:

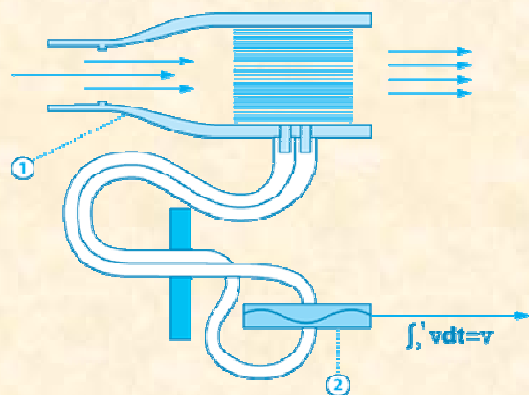
- klidové dýchání
- dýchání po mírné zátěži
- dýchání po intenzivní zátěži



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.

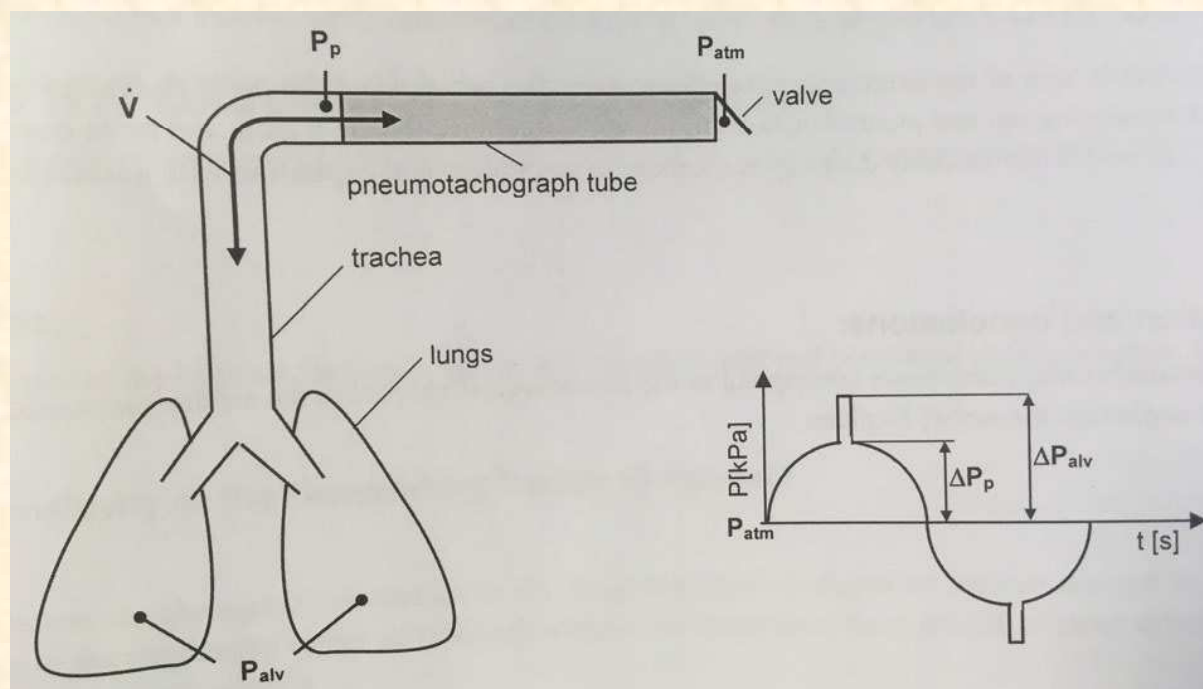


$$\Delta P_p = P_p - P_{atm}$$

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

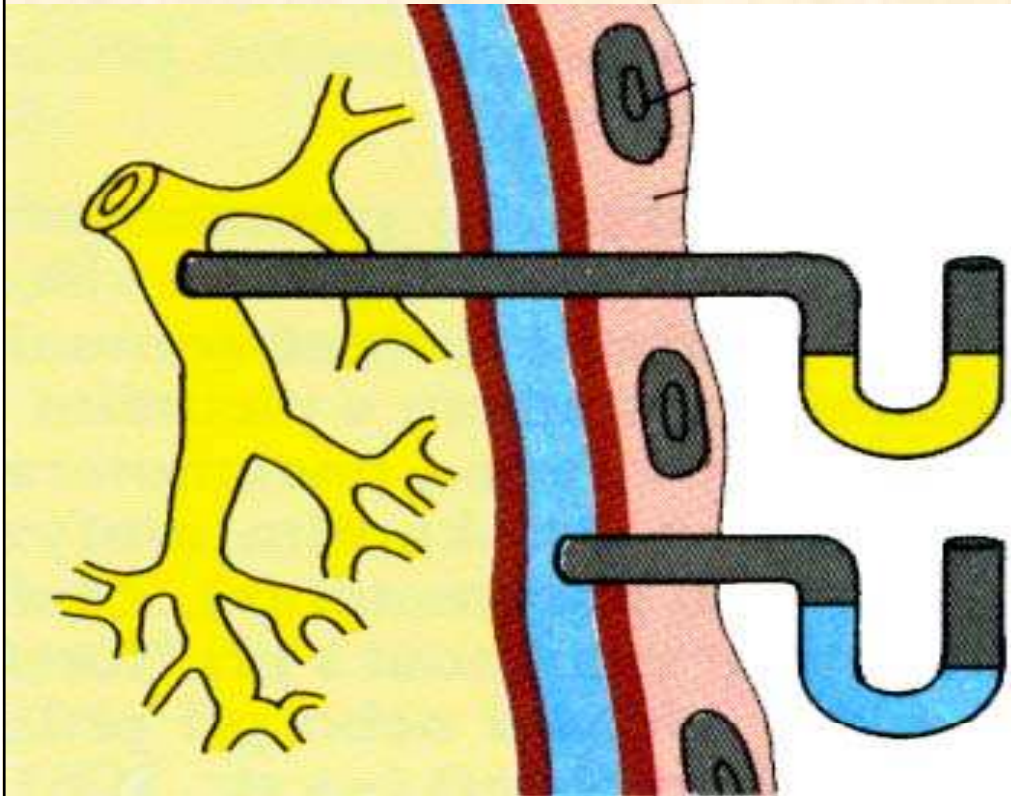
$$\frac{P_p - P_{atm}}{R_p} = \dot{V} = \frac{P_{alv} - P_p}{R_d}$$

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



- **Mechanika dýchání**

PRŮBĚHY TLAKŮ PŘI KLIDNÉM DÝCHÁNÍ

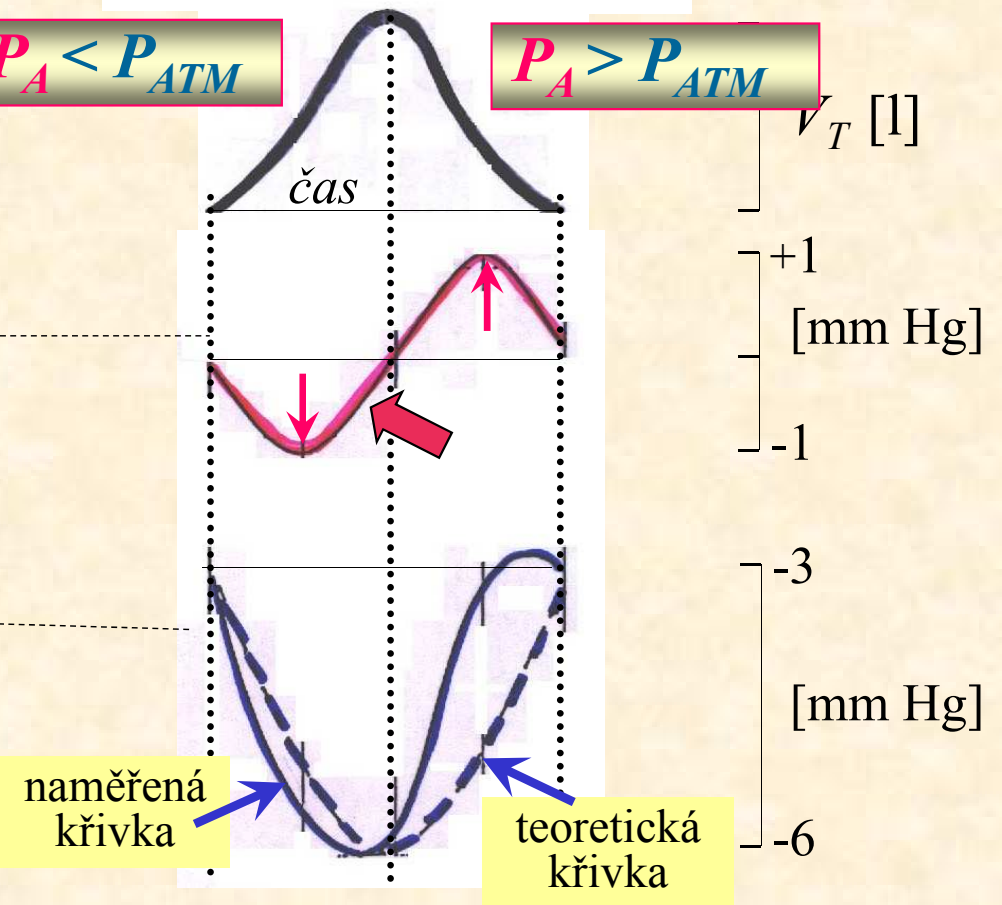


INSP

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

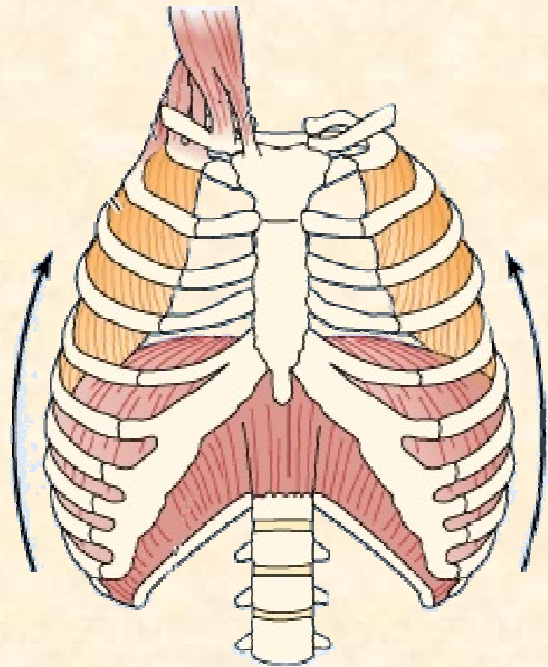
DÝCHÁNÍ V KLIDU

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

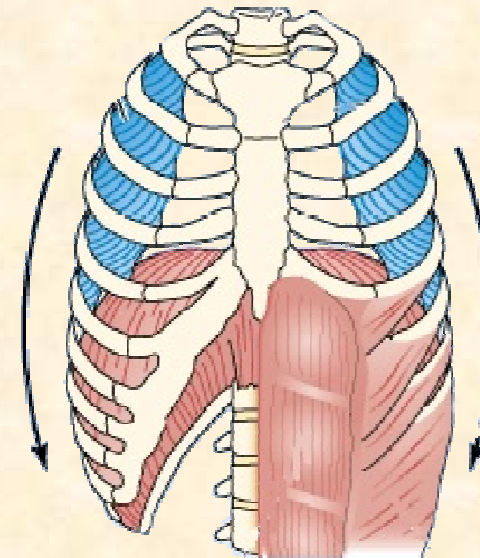
Výdechové svaly

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

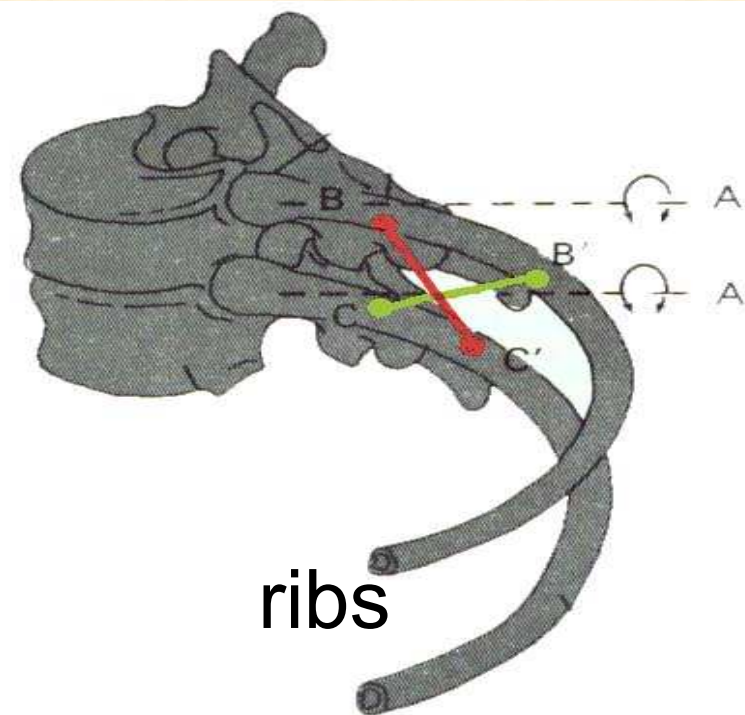
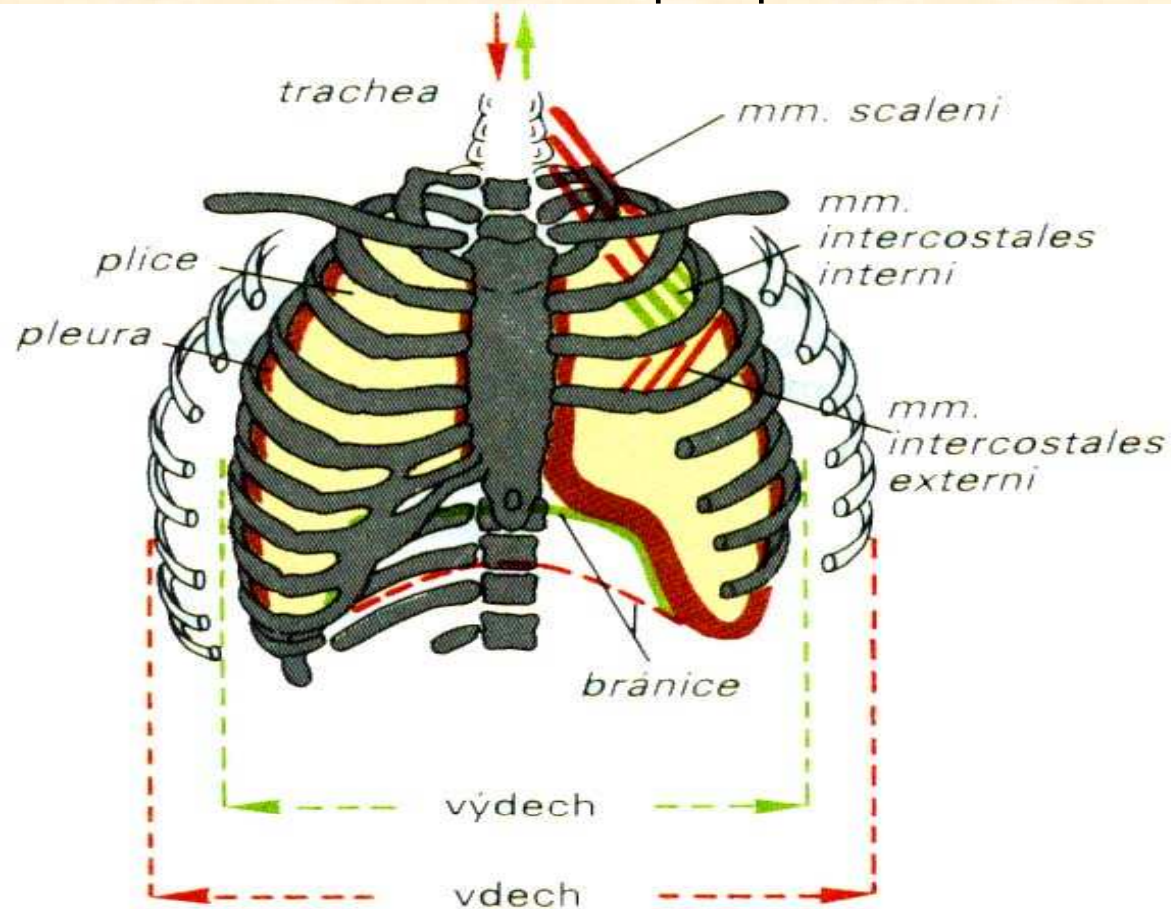
- navíc akcesorní dýchací svaly (*mm. scaleni*)

EXSPIRAČNÍ SVALY

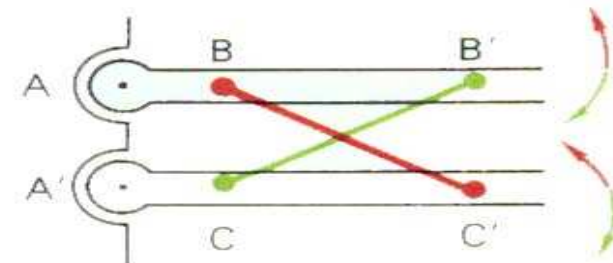
Pouze při **USILOVNÉM** dýchání

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

Bucket-handle and water-pump handle effects



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



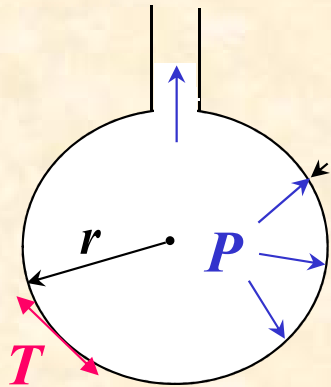
páka $A - B' > A' - C \rightarrow$ klesání žeber

Surfaktant

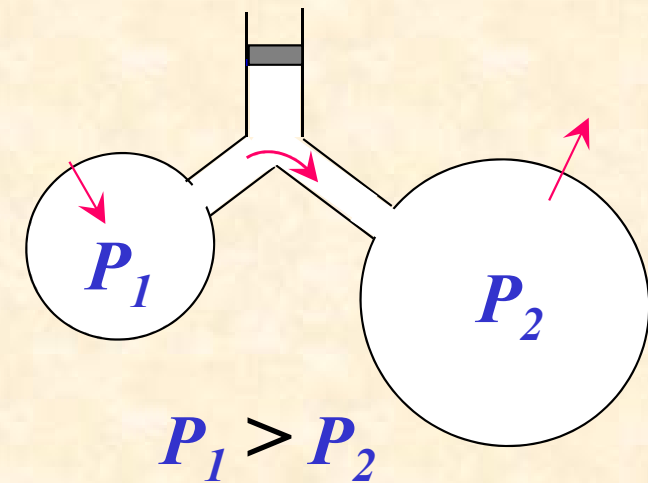
Laplaceův zákon

LAPLACEŮV ZÁKON

sférické struktury



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



P tlak (transmurální ΔP)

r radius

T napětí stěny

PATOLOGIE

- Kolaps alveolu - ATELEKTÁZA
- Další zvětšení objemu alveolu

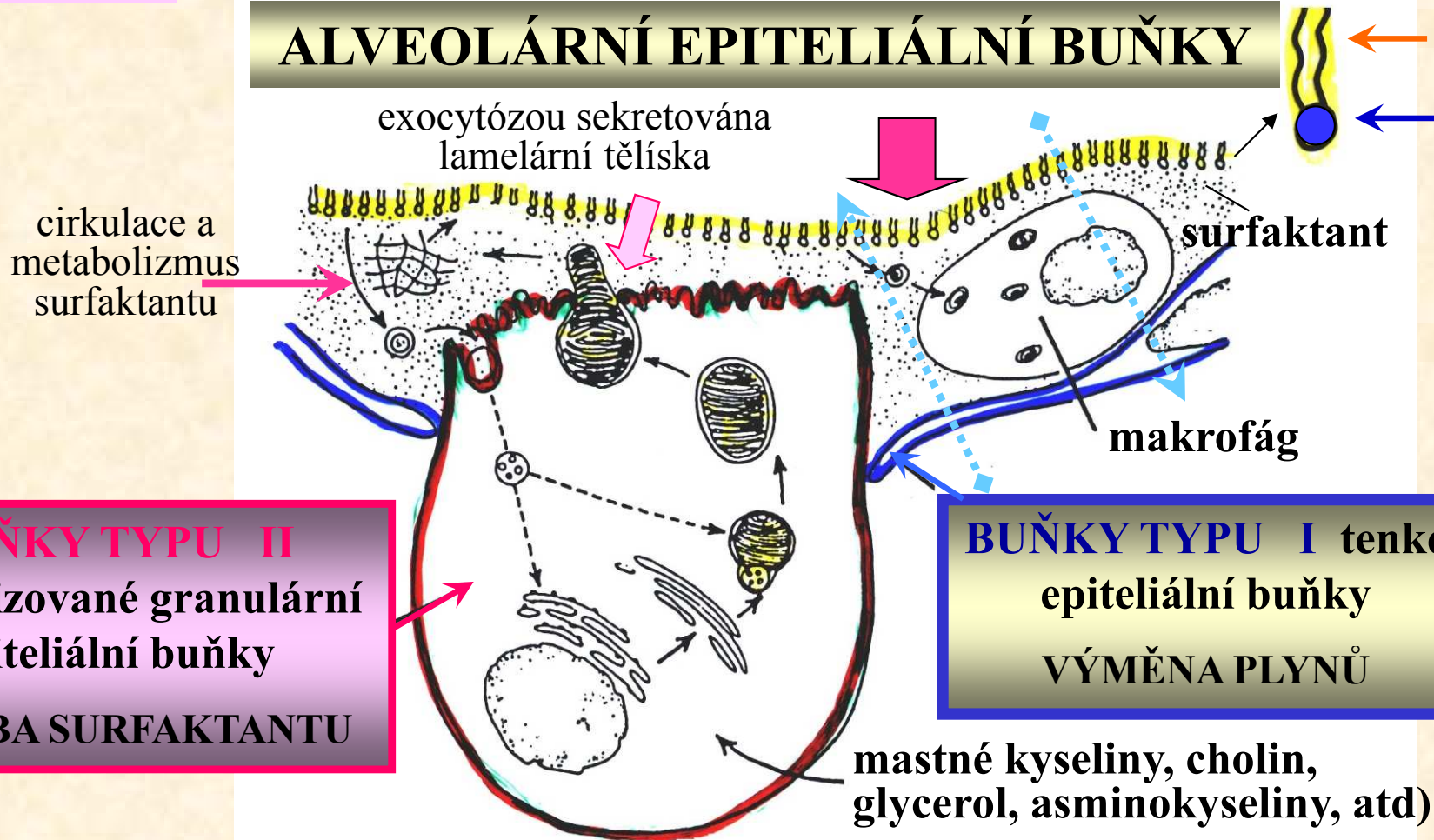
SURFAKTANT

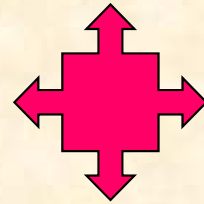
LÁTKA VÝRAZNĚ SNIŽUJÍCÍ
POVRCHOVÉ NAPĚTÍ

FOSFOLIPID
dipalmitoyl
fosfatidyl cholin

ÚČINEK HLAVNĚ VE FÁZI VÝDECHU

ALVEOLÁRNÍ EPITELIÁLNÍ BUŇKY

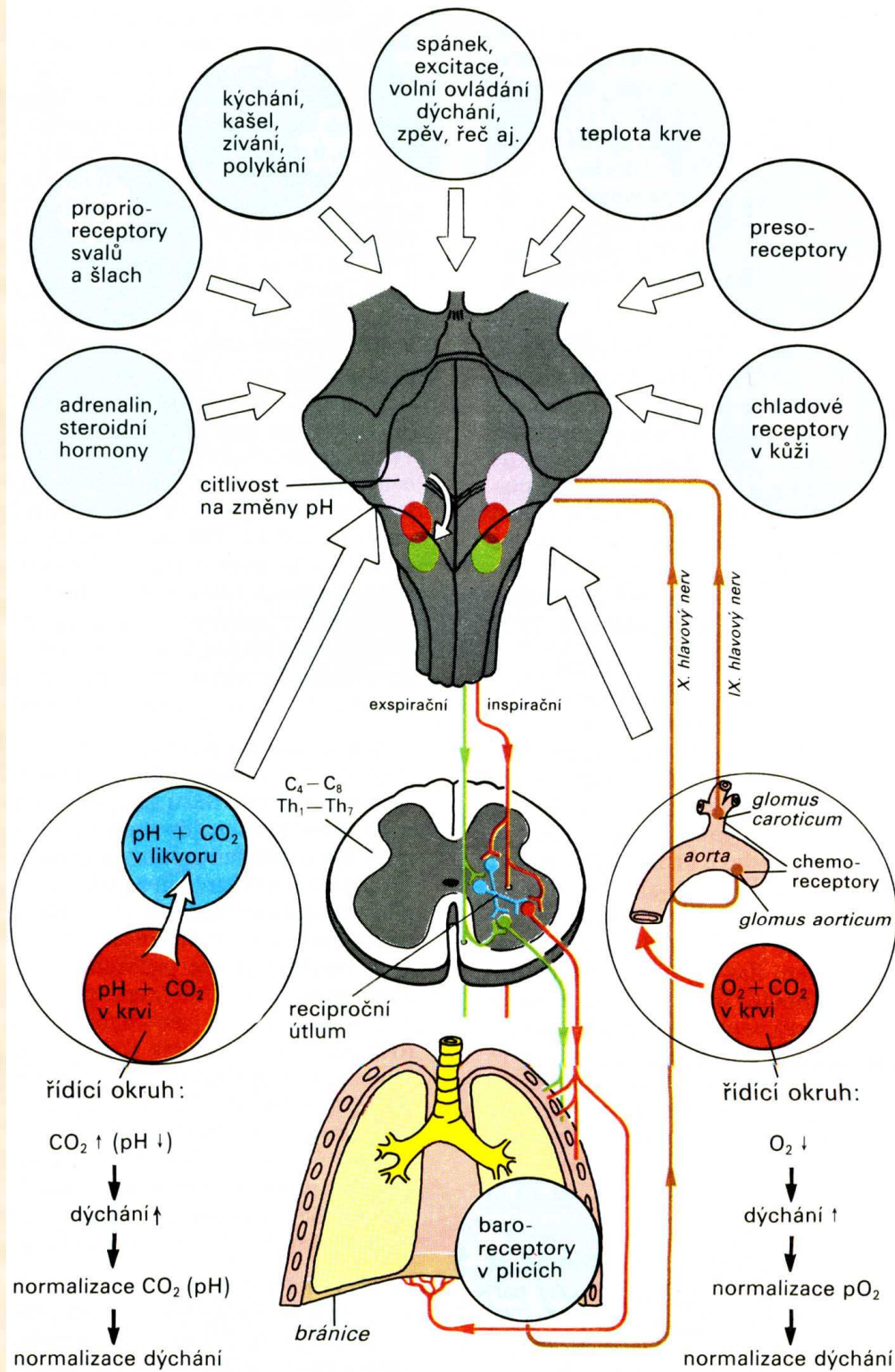




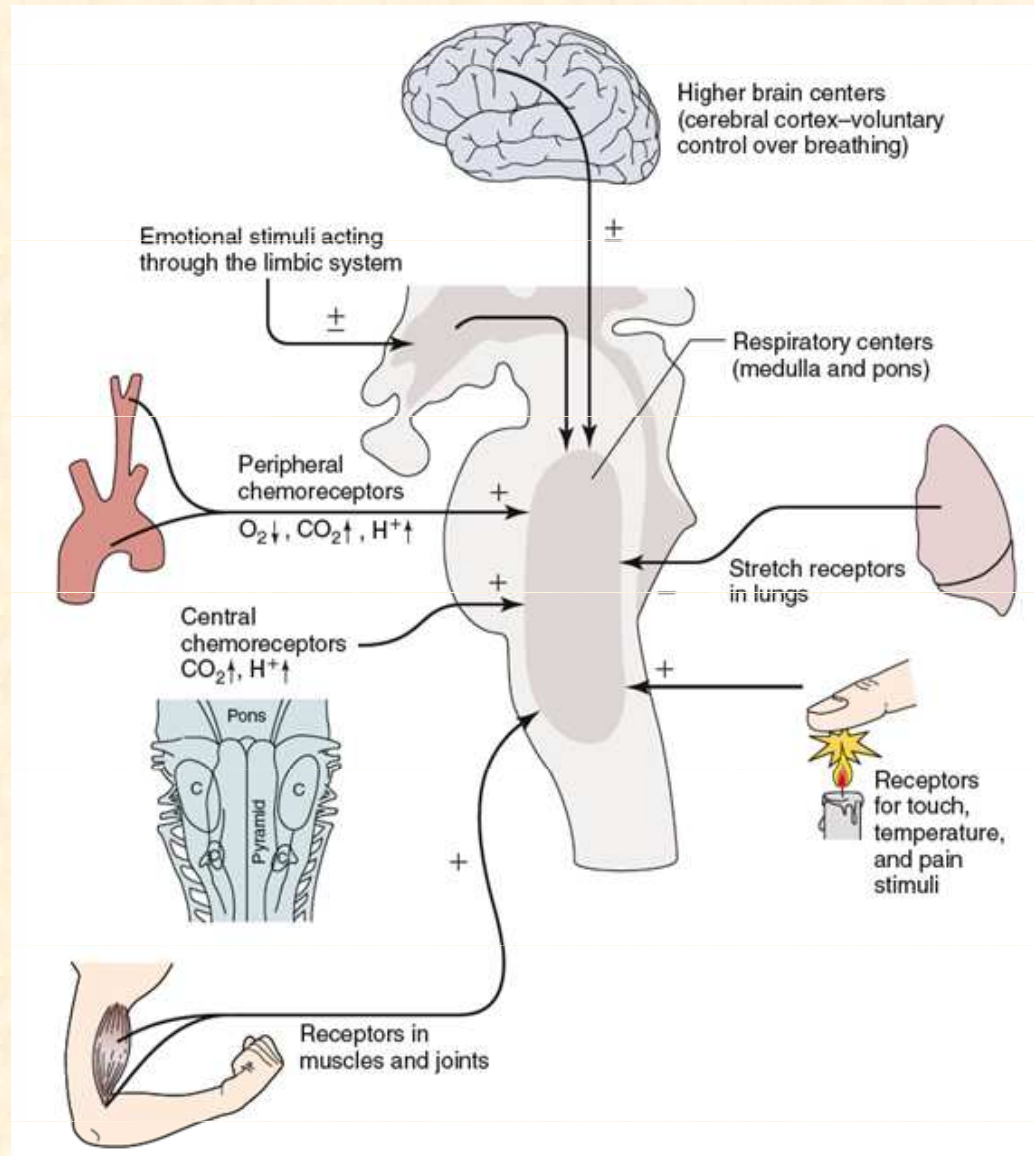
Regulace dýchání

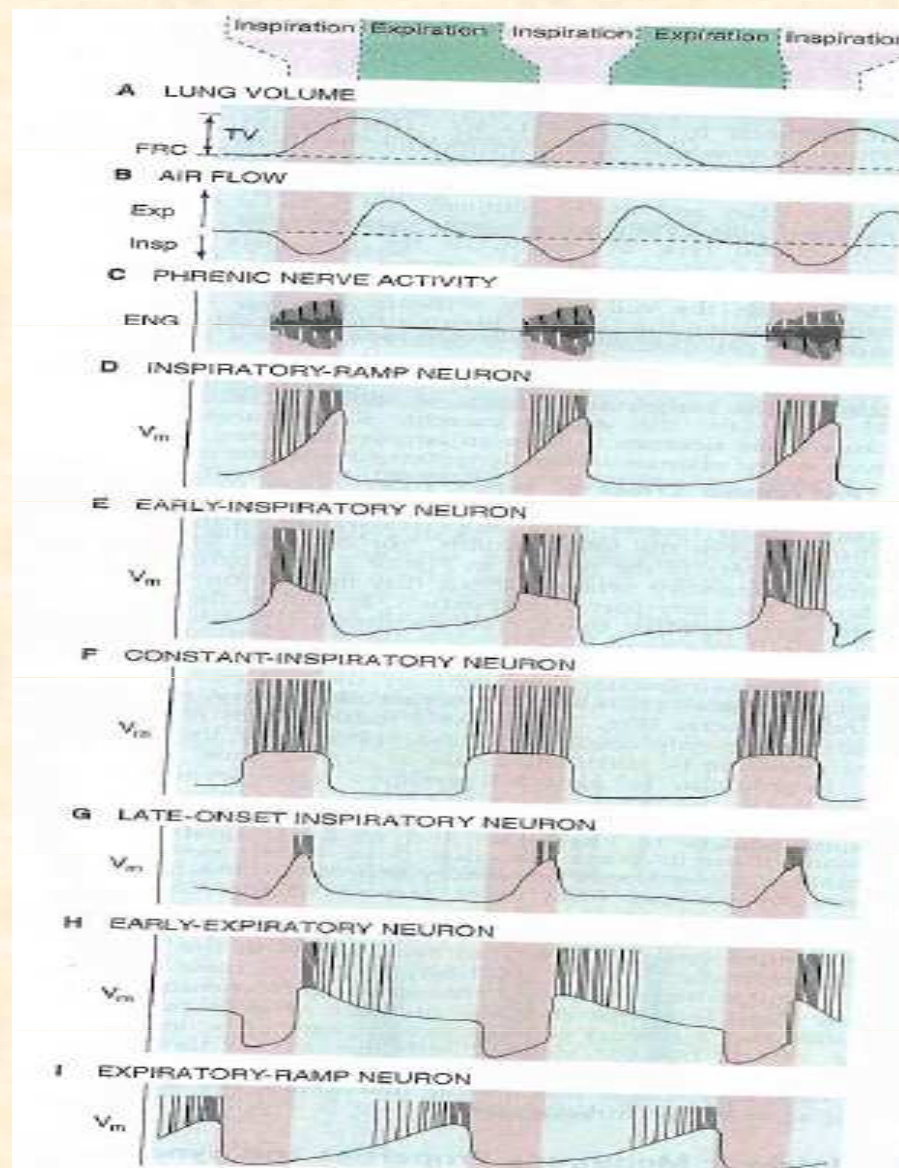
Nervová regulace

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 CO₂**

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

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

CHEMORECEPCE

Periferní – glomus caroticum (perfuze 2000 ml/100 g tkáně/min)
glomus aorticum

pO₂ hypoxie

(pCO₂ hyperkapnie)
(pH acidóza)

Centrální (centrální chemosenzitivní oblast – ventrální strana prodloužené míchy)

Zvýšení pCO₂ v krvi – je nejvýznamnější stimul, CO₂ projde rychle HEB

.....zvýšení H⁺ intersticiální tekutiny (HEB=hematoencefalická bariéra)

Snížení pH krve je menším podnětem pro stimulaci dýchání (protože H⁺ přes HEB procházejí pomaleji)

pCO₂

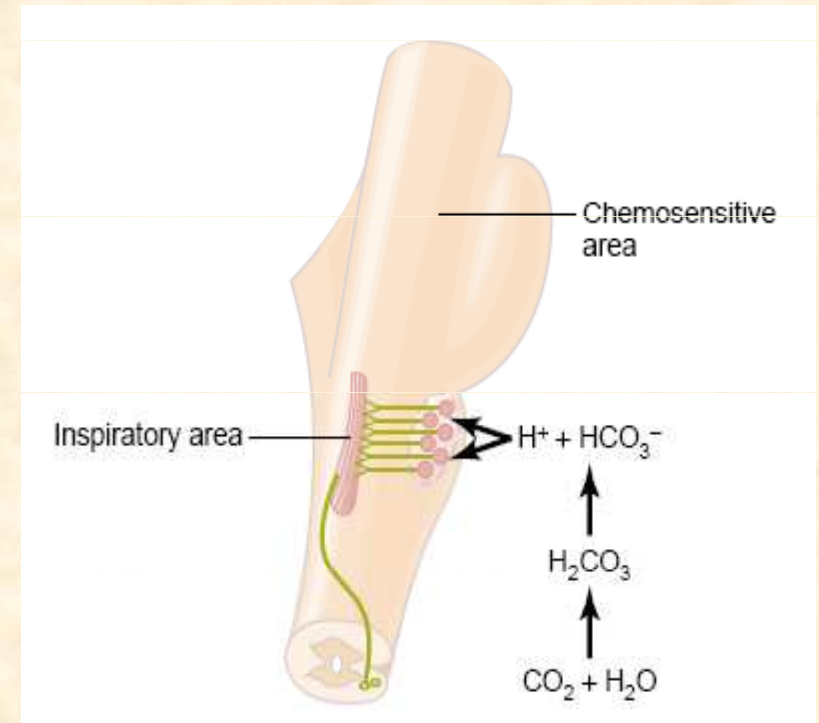
Chemické faktory ovlivňující dechové centrum:

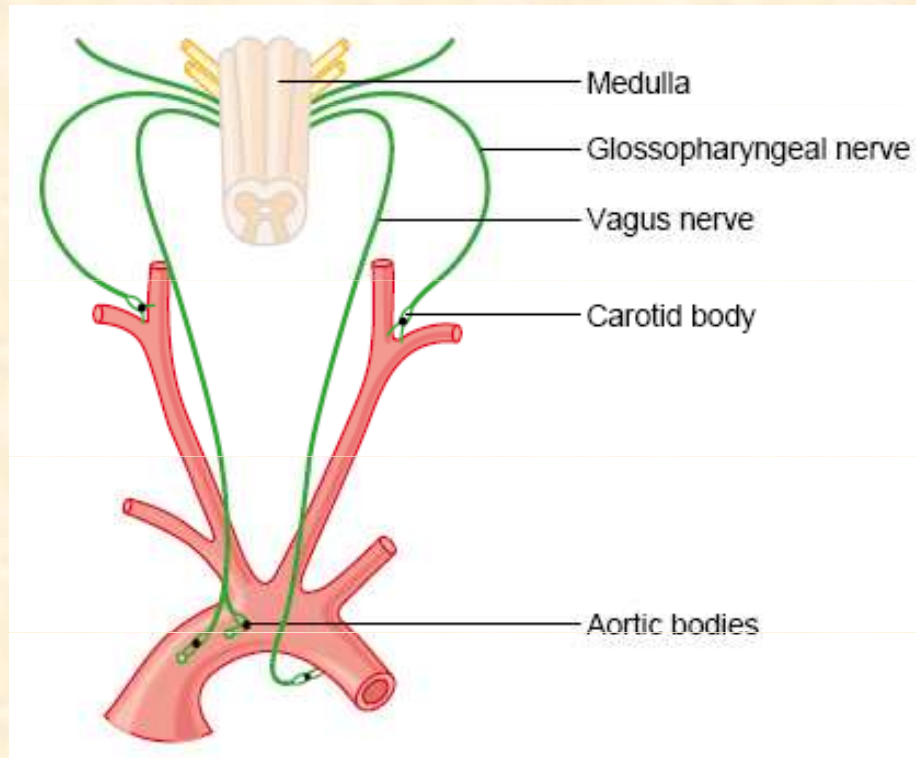
Centrální chemoreceptory

- na ventrální straně prodloužené míchy

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

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



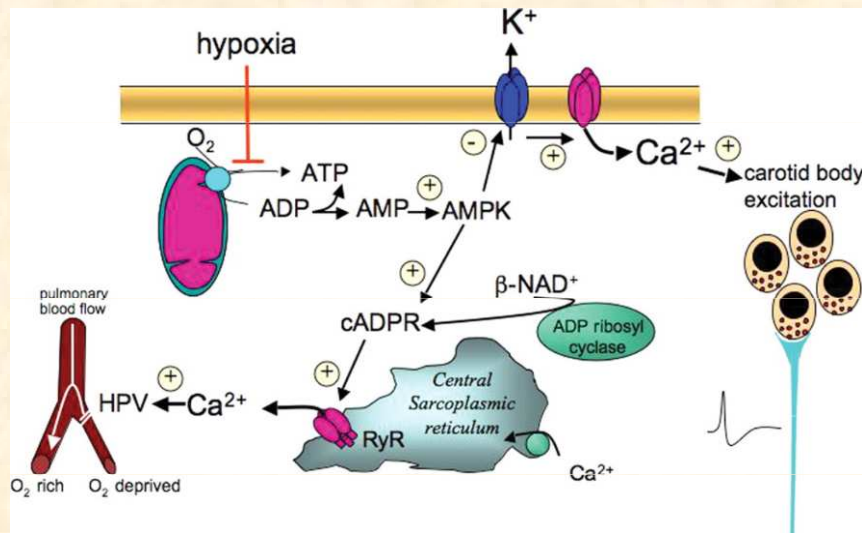


Periferní receptory

– glomus caroticum, glomus aorticum

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

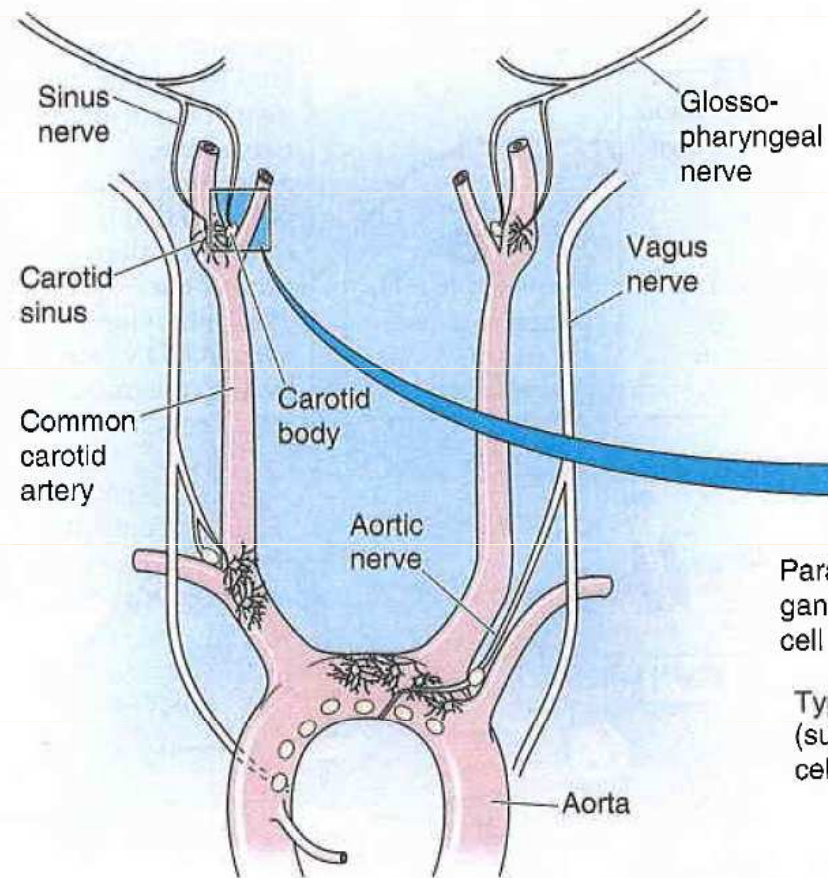
Reagují na **pokles pO_2 , (zvýšení pCO_2 a pH)**. Obzvláště reagují na pokles pO_2 pod fyziologickou hodnotu v arteriální krvi (12,5kPa).



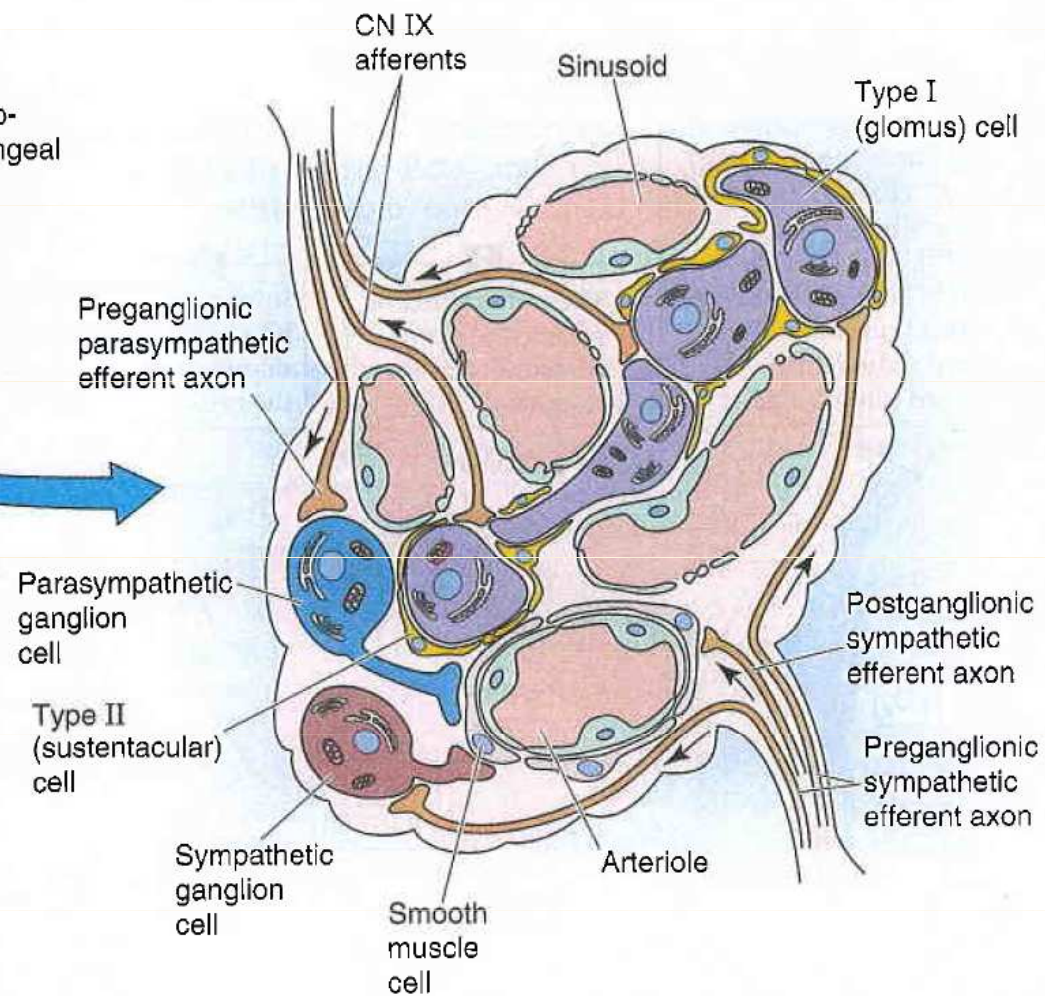
Mechanismus účinku: následkem poklesu tvorby ATP v mitochondriích se depolarizuje membrána receptorů a nastává jejich excitace (zvýšení tvorby vzruchů v aferentních nervech)

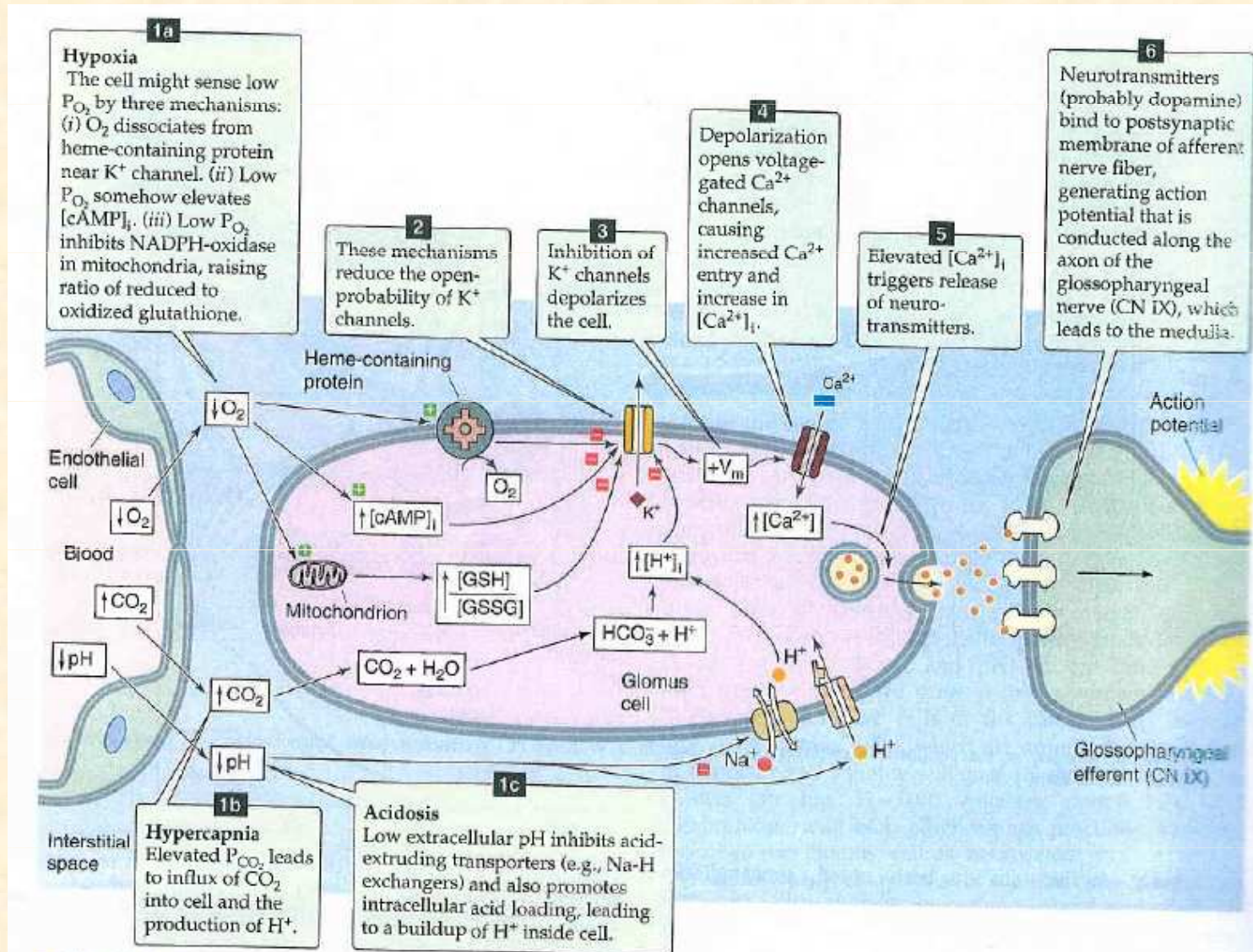
z

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

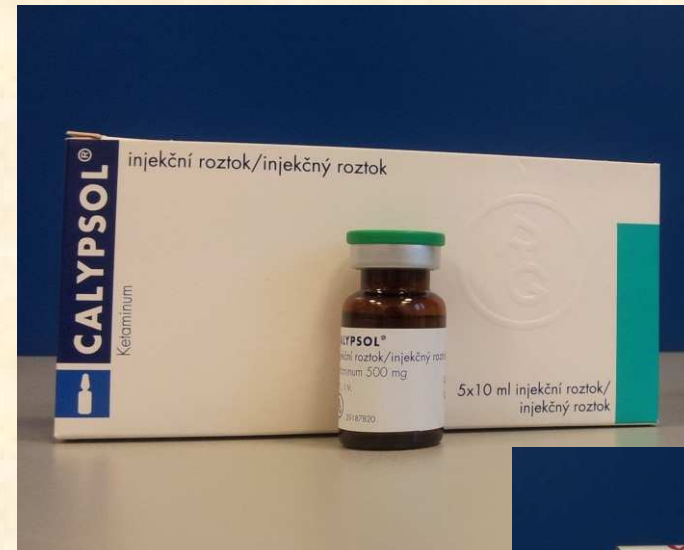
Tahové receptory (stretch receptory) pomalu se adaptující, v hladké svalovině trachei a bronchů; jejich podráždění tlumí aktivitu respiračního centra v mozkovém kmeni – **Hering-Breuerovy reflexy**.

PŘÍPRAVA ZVÍŘETE K EXPERIMENTU - ANESTEZIE

INHALAČNÍ ÚVOD



STŘEDNĚDOBÁ INJEKČNÍ ANESTEZIE (APLIKACE I.M.)



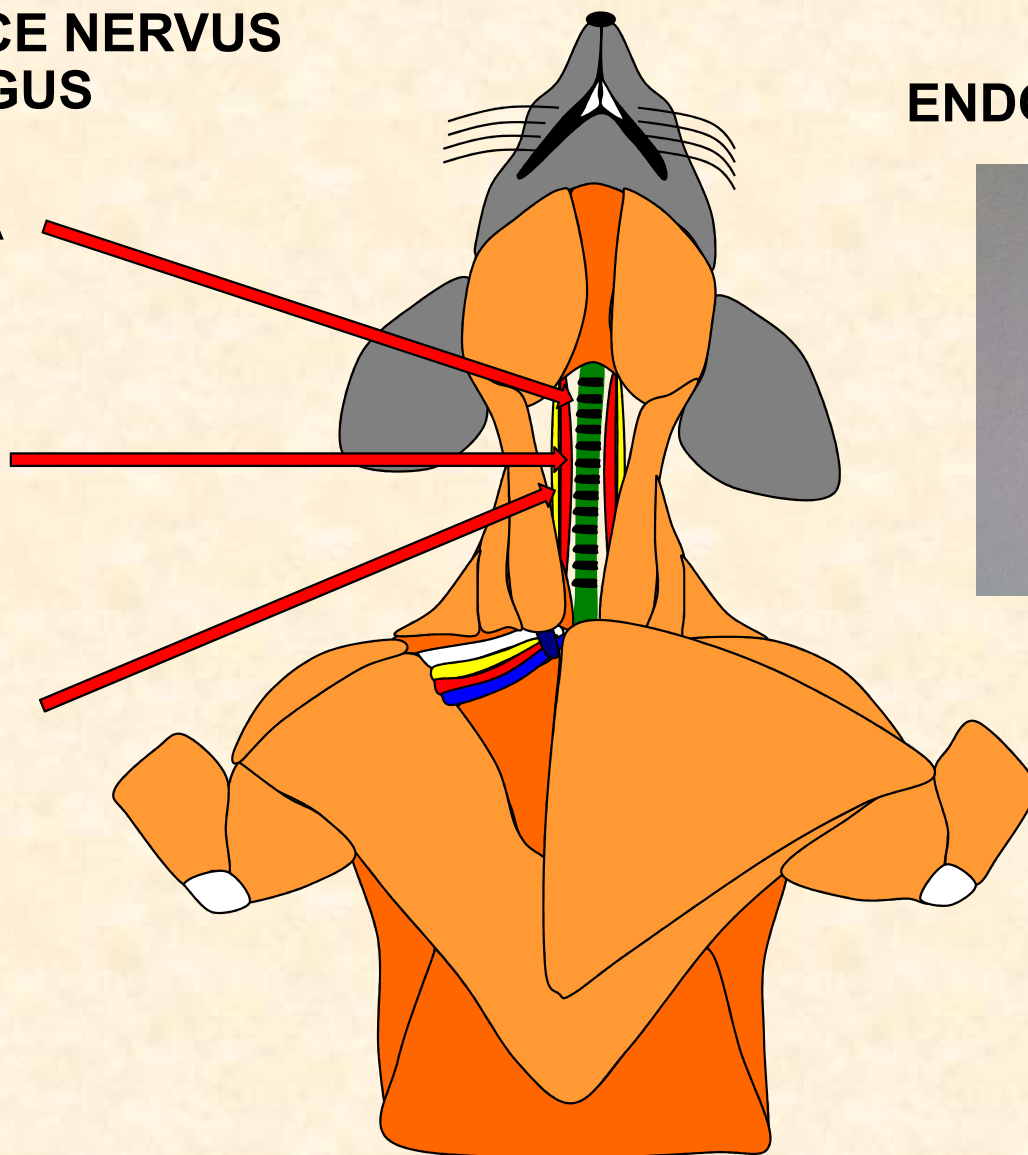
PŘÍPRAVA ZVÍŘETE K EXPERIMENTU

PREPARACE NERVUS
VAGUS

TRACHEA

A. CAROTIS

N. VAGUS



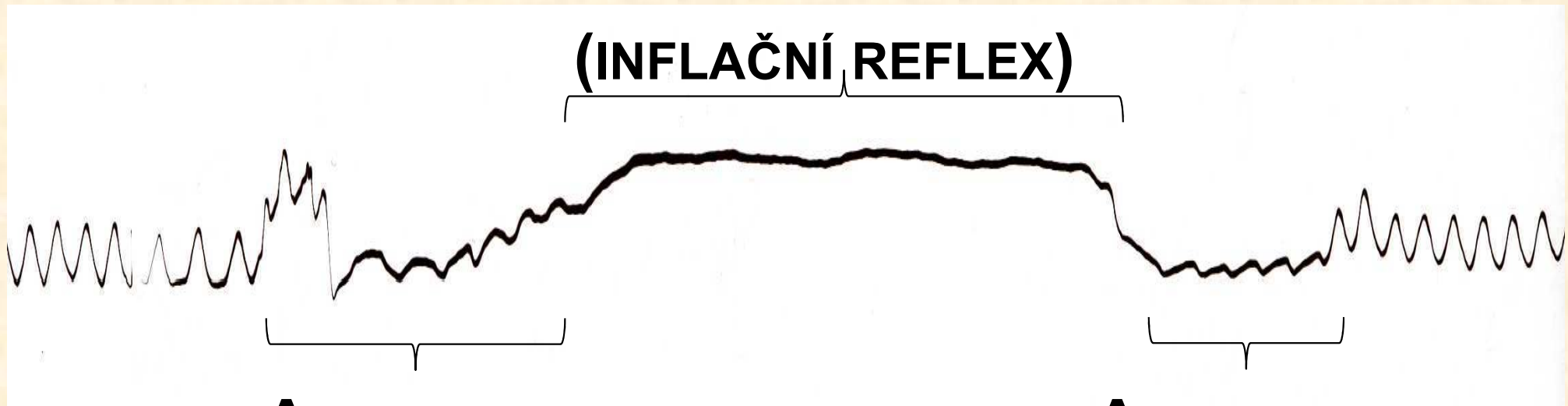
ZAVEDENÍ
ENDOTRACHEÁLNÍ KANYLY



HERING-BREUEROVY REFLEXY

REFLEXNÍ ZÁSTAVA DECHU

(INFLAČNÍ REFLEX)



ARTEFAKTY
(PŘI APLIKACI
PŘETLAKU)

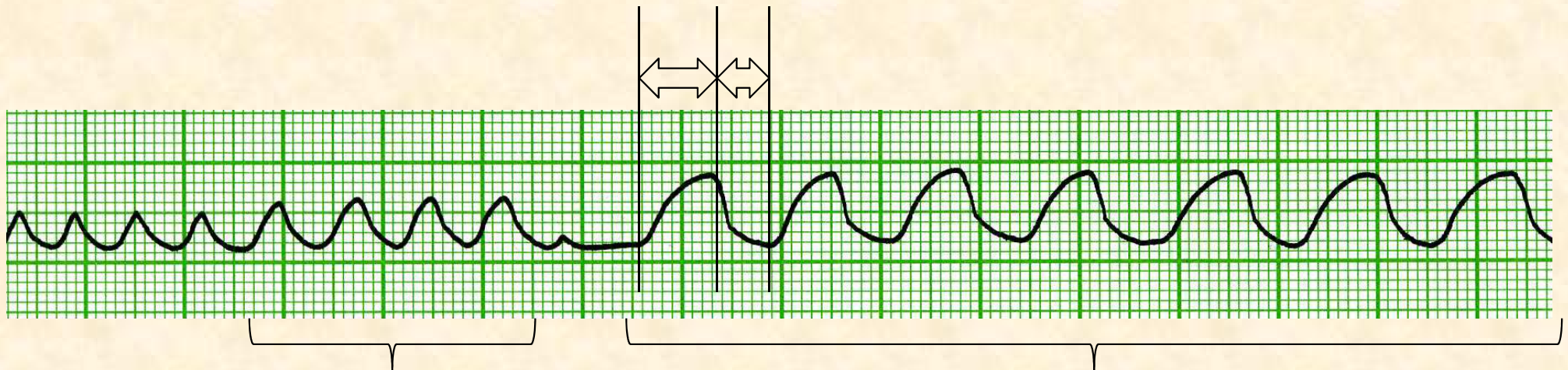
ARTEFAKTY
(PŘI RUŠENÍ PŘETLAKU)

VAGOTOMIE

Pro **důkaz** toho, že informace z mechanoreceptorů o rozepnutí či smrštění plic je vedena cestou nervus vagus, byla **provedena vagotomie**.

Dochází ke **změně charakteru dýchání**: potkan dýchá pravidelné se zpomalenou frekvencí, je prodlouženo inspirium ve vztahu k expiriu, zvětšuje se dechový objem.

NÁDECH VÝDECH



JEDNOSTRANNÁ
VAGOTOMIE

OBOUSTRANNÁ
VAGOTOMIE

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



Hypoxie, hypoxemie

- **Hypoxie** je souhrnný název pro nedostatek kyslíku v těle nebo v jednotlivých tkáních.
- **Hypoxemie** - nedostatek kyslíku v arteriální krvi.
- **Anoxie** - úplný nedostatek kyslíku

Nejčastější typy hypoxií:

1. Hypoxická – fyziologie: při pobytu ve vyšších nadmořských výškách, patologie: hypoventilace při plicních nebo nervosvalových chorobách
2. Transportní (anemická) – snížená transportní kapacita krve pro kyslík (anémie, ztráta krve, otrava CO)
3. Ischemická (stagnační) – omezený průtok krve tkání (srdeční selhání, šokové stavy, uzávěr tepny)
4. Histotoxická – buňky nejsou schopny využít kyslík (otrava kyanidy – poškození dýchacího řetězce)

Hyperkapnie

- **Hyperkapnie** je vzestup koncentrace oxidu uhličitého v krvi nebo ve tkáních, který je způsoben retencí CO_2 v těle
- možné příčiny: celková alveolární hypoventilace (snížená ventilace plic nebo prodloužení mrtvého prostoru)
- mírná hyperkapnie (5 -7 kPa) vyvolá stimulaci dechového centra (terapeutické využití: pneumoxid = směs kyslík + 2-5% CO_2)
- hyperkapnie kolem 10 kPa - narkotický účinek CO_2 – útlum dechového centra (předchází bolest hlavy, zmatenost, dezorientace, pocit dušnosti)
- hyperkapnie nad 12 kPa – výrazný útlum dýchání – kóma až smrt