

DÝCHACÍ SYSTÉM

ANATOMIE DÝCHACÍCH CEST

Dutina nosní

Dutina ústní

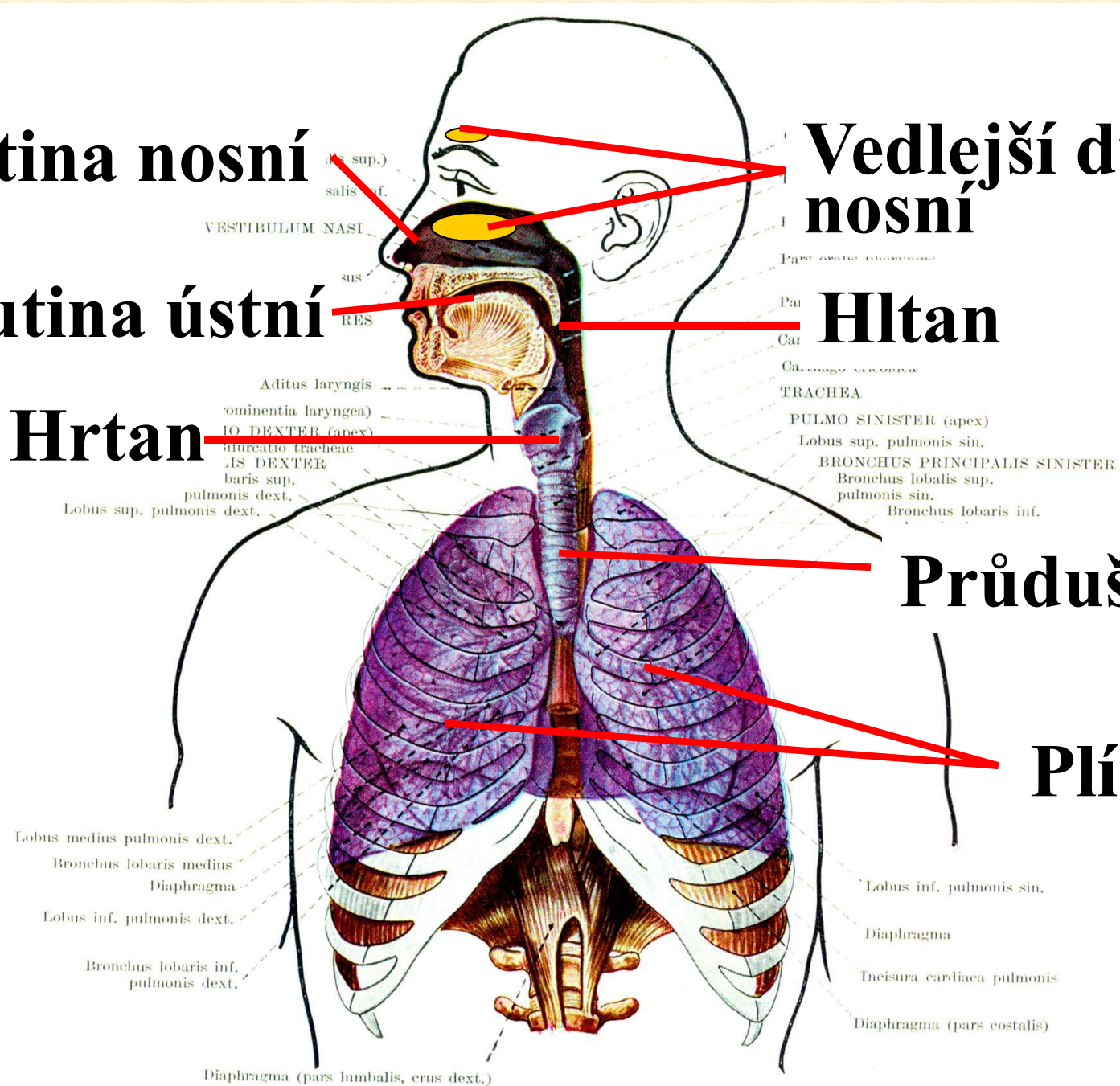
Hrtan

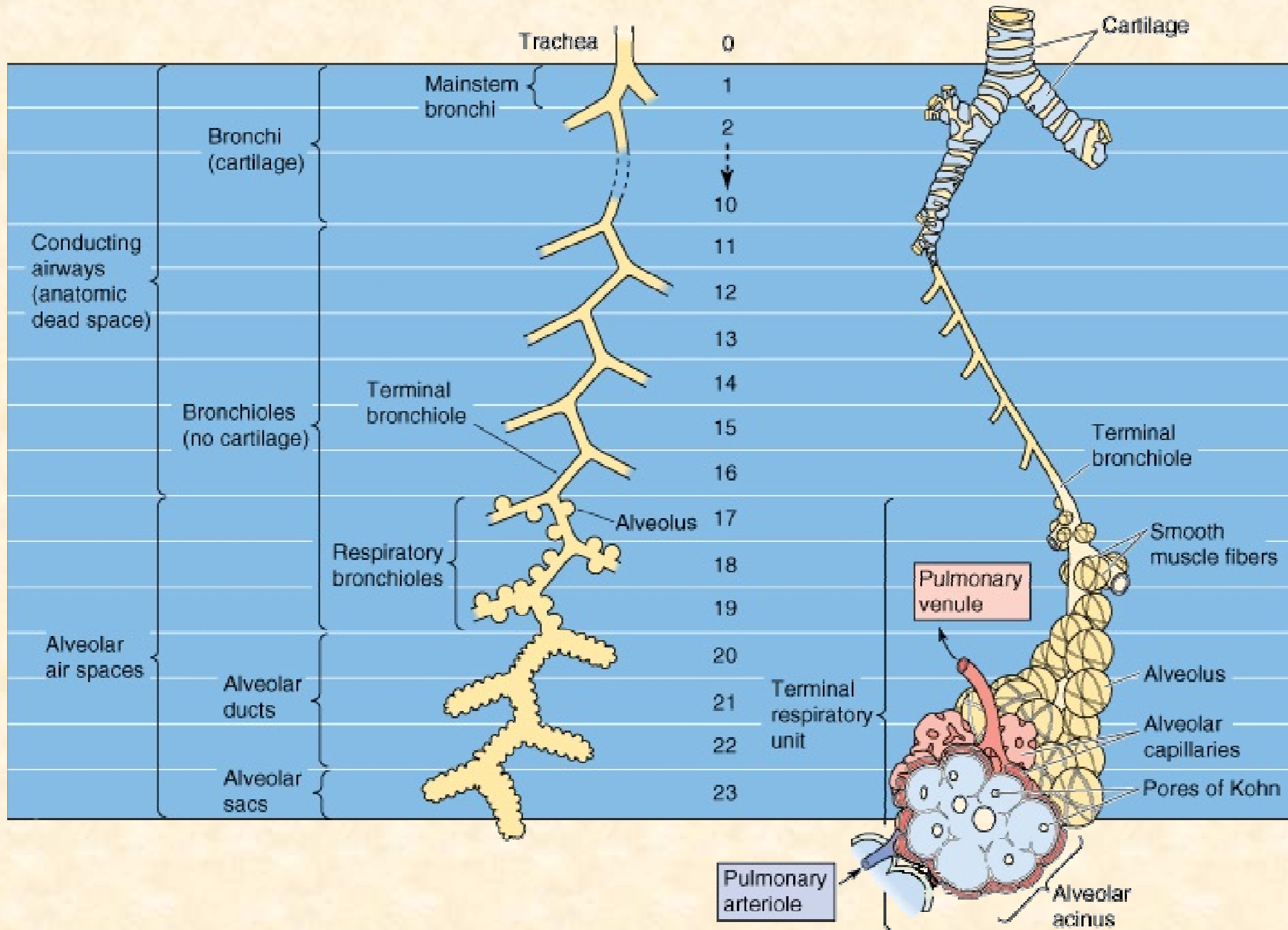
Vedlejší dutiny nosní

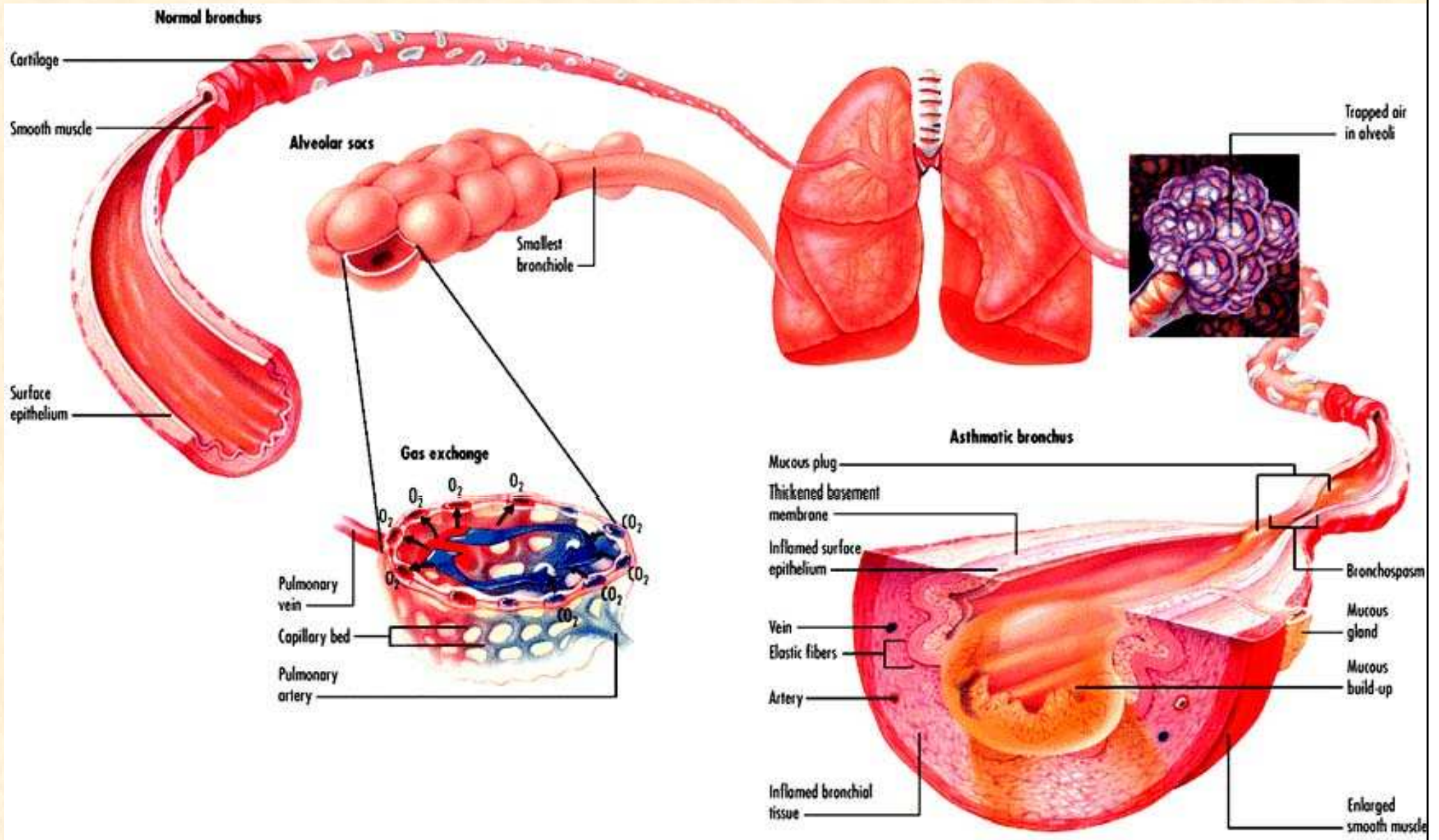
Hltan

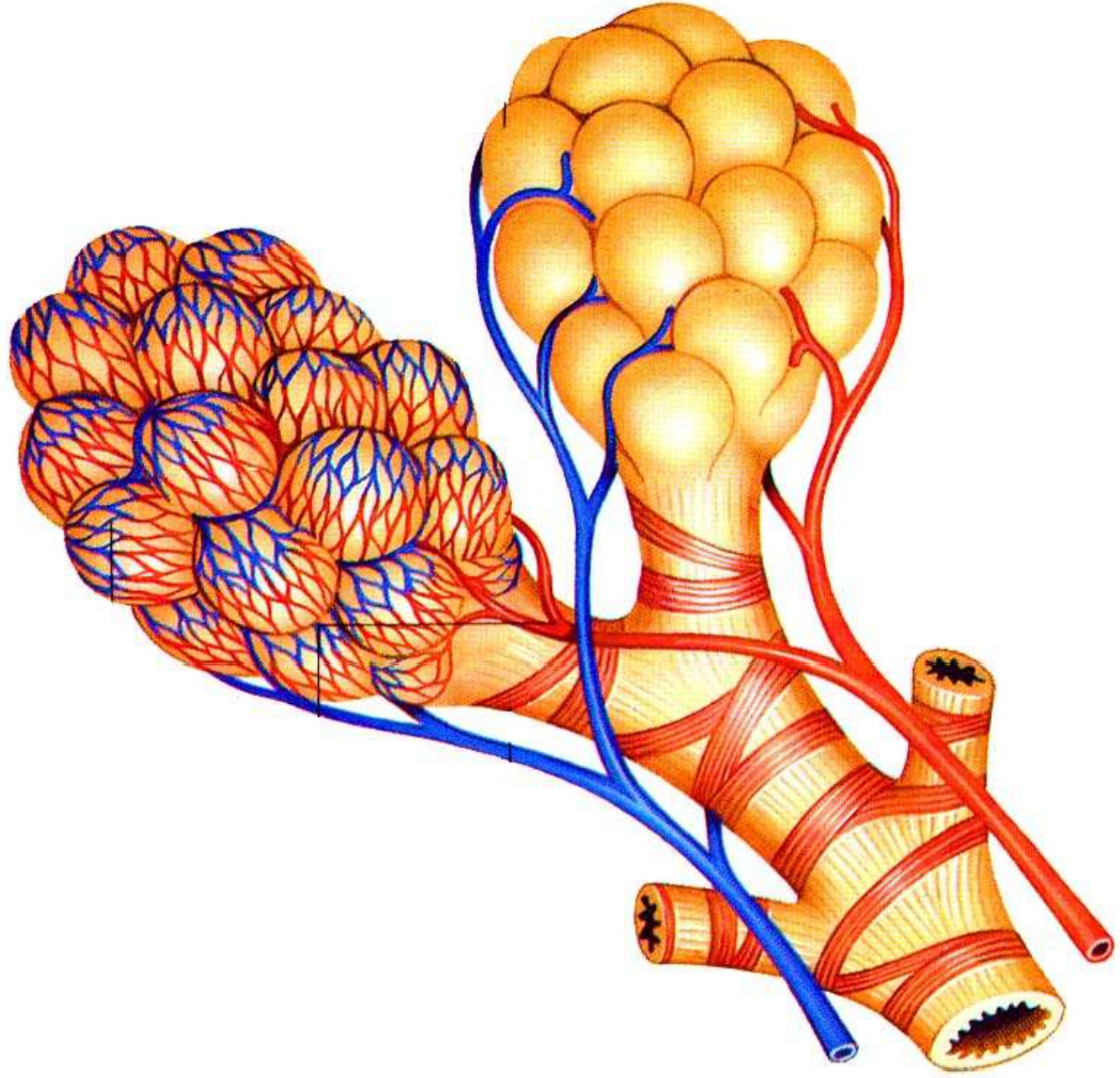
Průdušnice

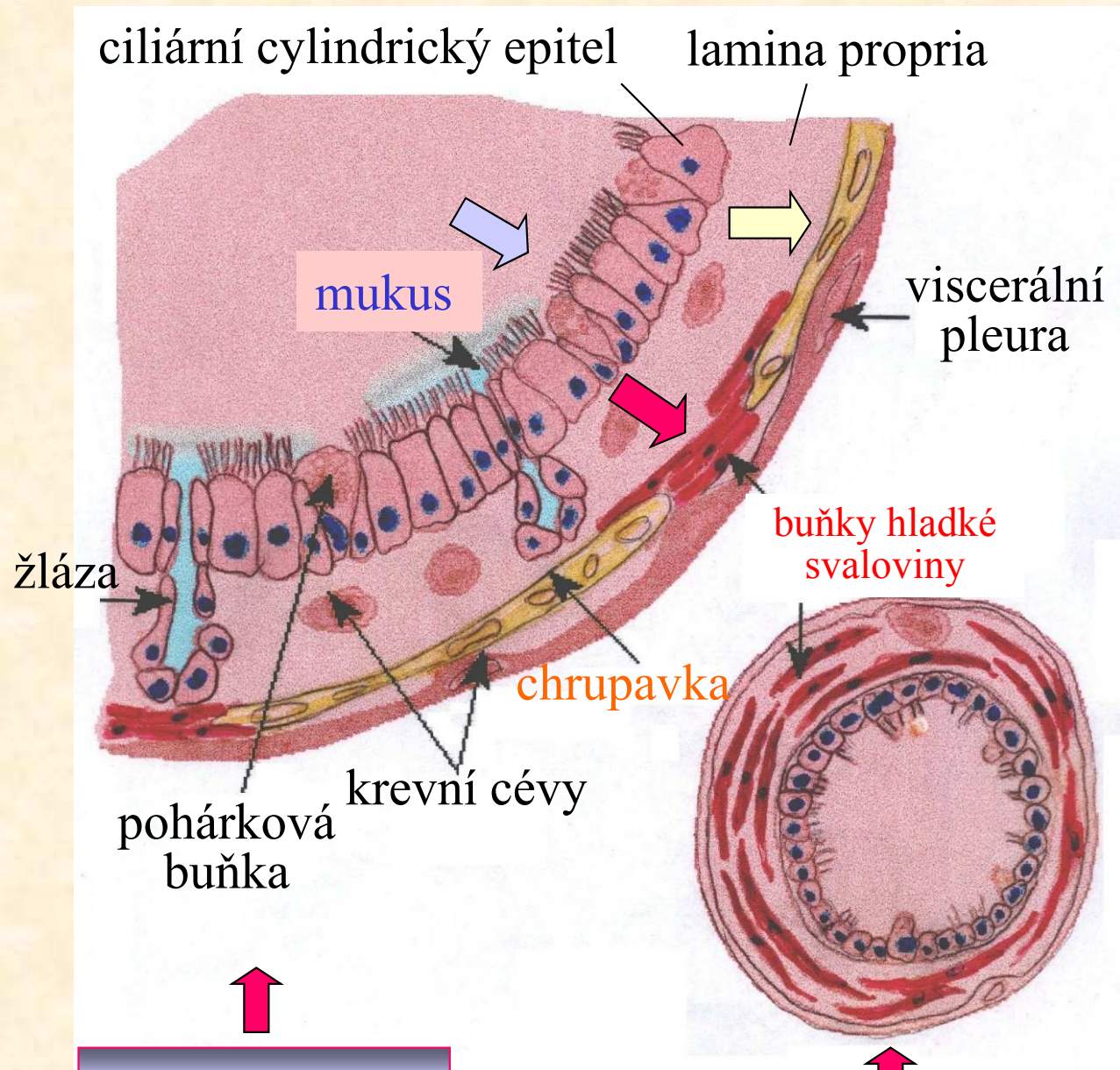
Plíce











**AUTONOMNÍ INERVACE
SVALOVÝCH BUNĚK**

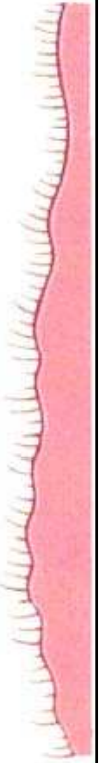
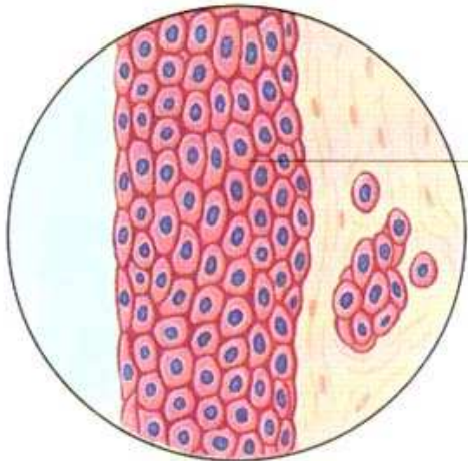
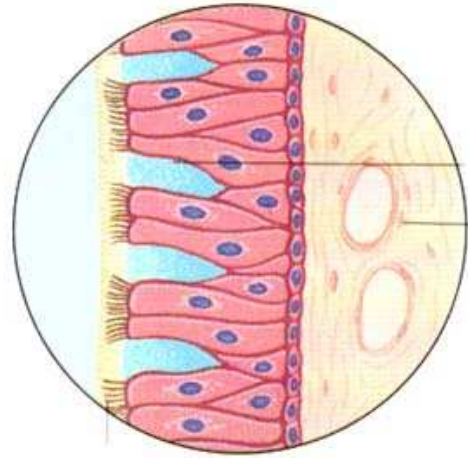
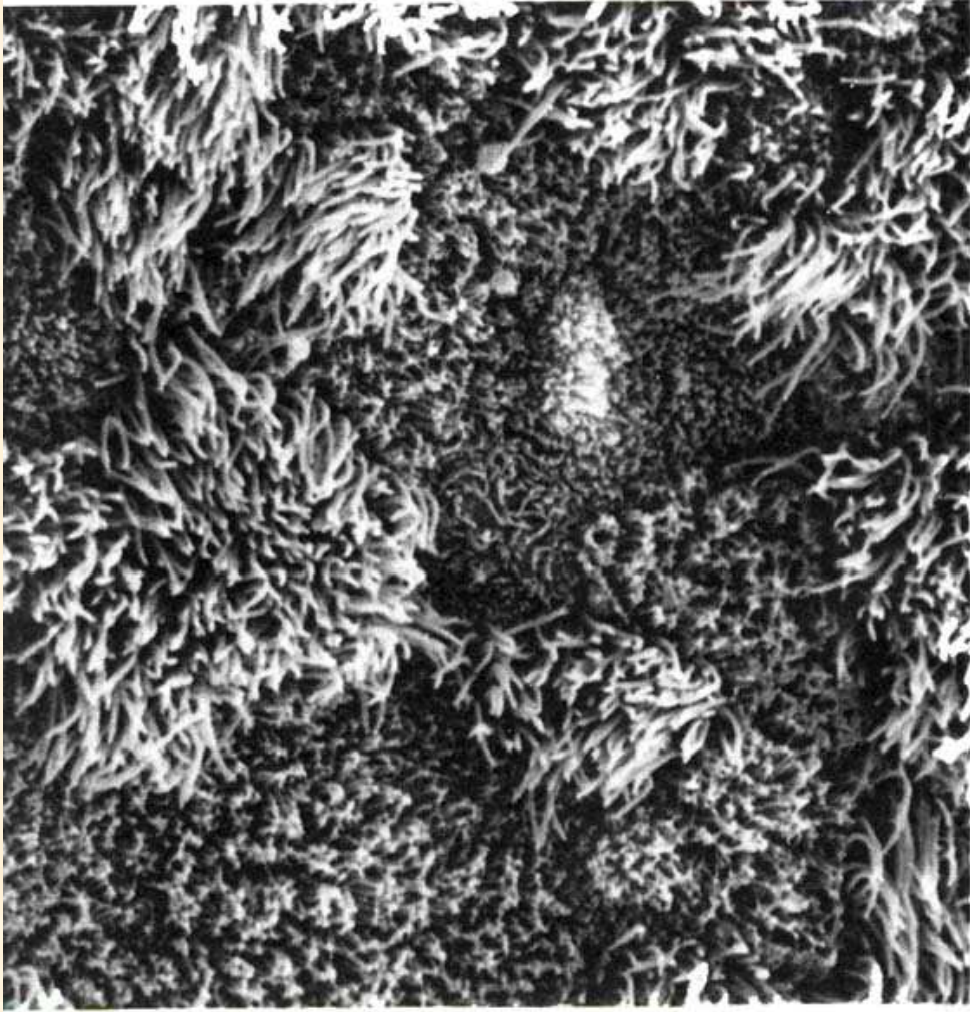
muskarinové receptory
aktivace acetylcholinem
⇒ **bronchokonstrikce**

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

BRONCHUS

**TERMINÁLNÍ
BRONCHIOLUS**

∅ < 1 mm



FÁZE TRANSPORTU O_2 K BUŇKÁM

VENTILACE PLIC

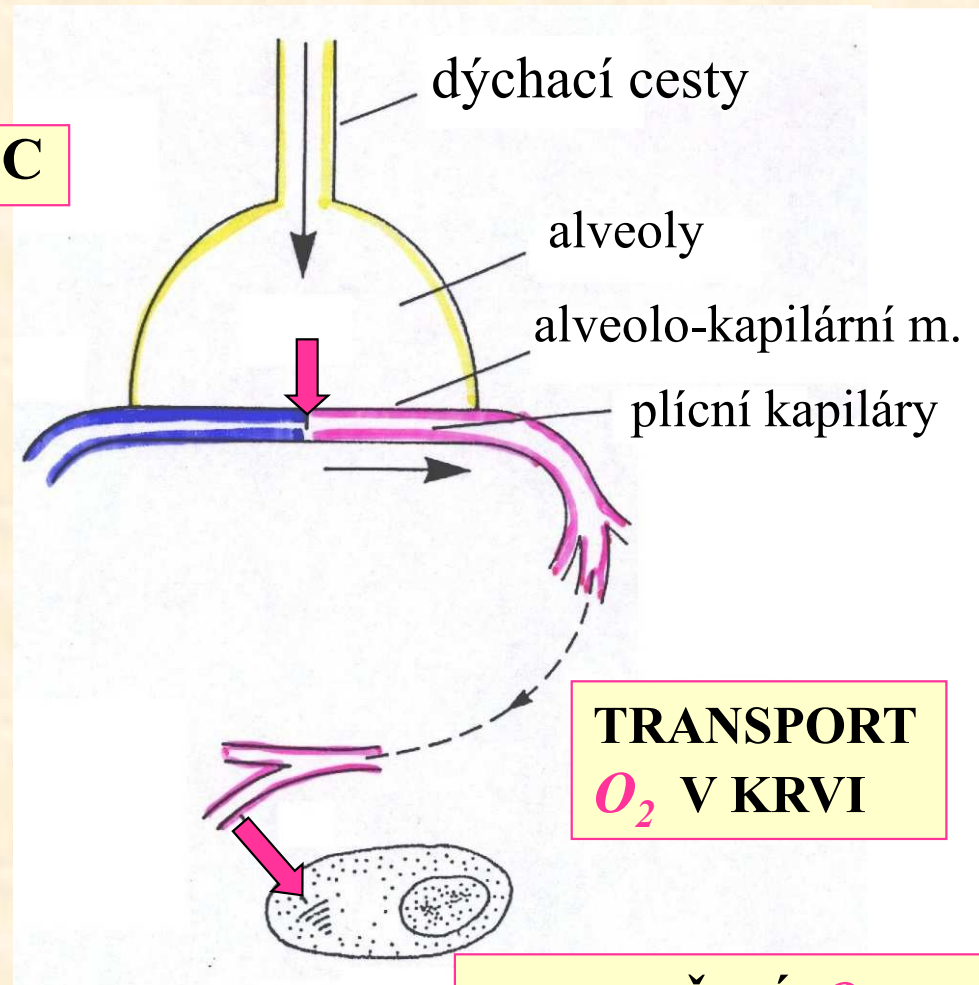
DIFUZE O_2 PŘES
ALVEOLO-KAPILÁTRNÍ
MEMBRÁNU

DIFUZE O_2
Z PERIFERNÍ KAPILÁRY
DO BUŇKY

V KLIDU

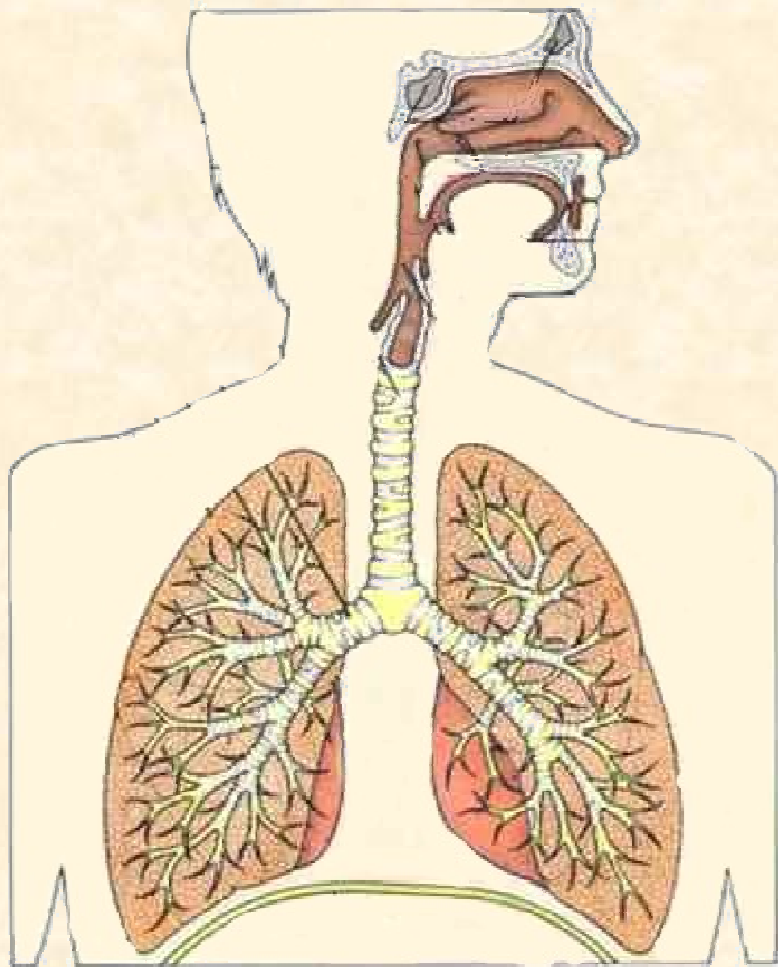
příjem O_2 ~300 ml / min

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

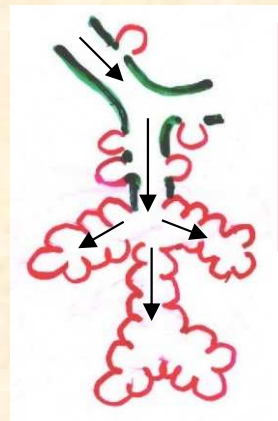
ANATOMICKÝ MRTVÝ PROSTOR – ZÓNA KONDUKCE



- **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

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

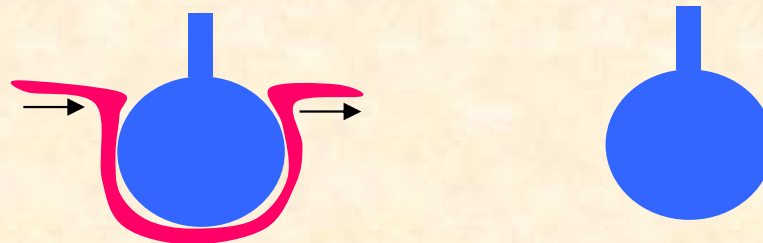
**VENTILACE MRTVÉHO
PROSTORU**

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

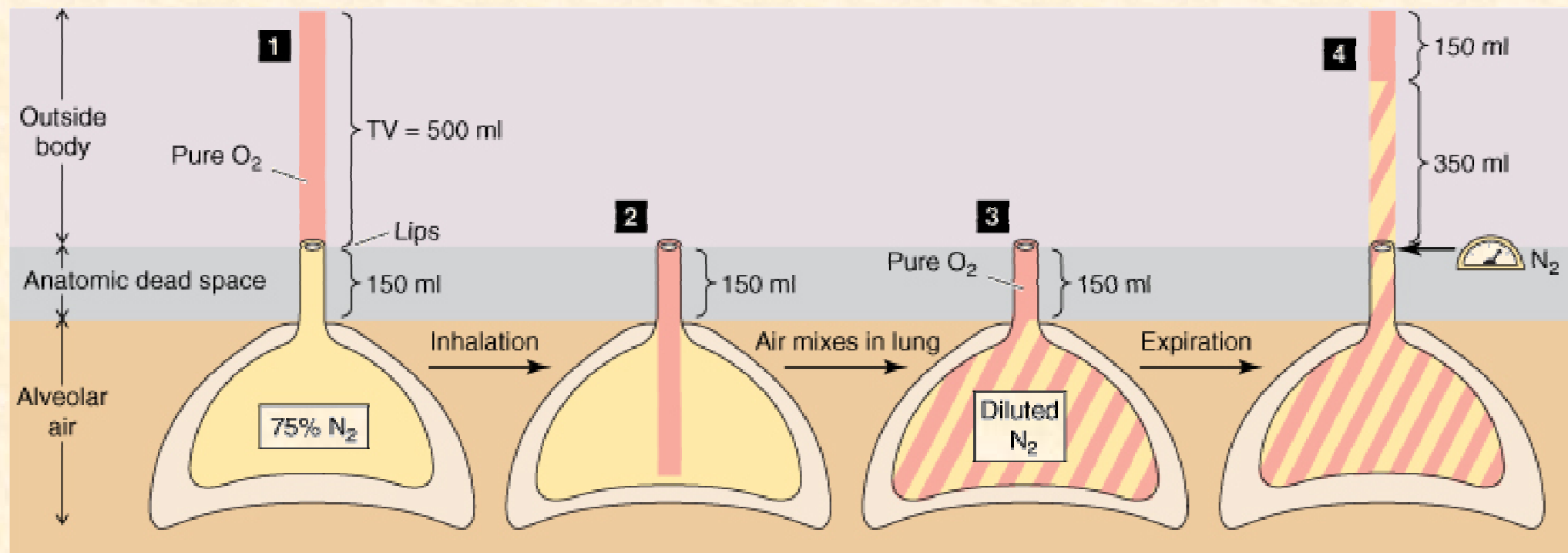


U ZDRAVÉHO JEDINCE
oba dva prostory (jak anatomický, tak funkční) jsou prakticky stejné

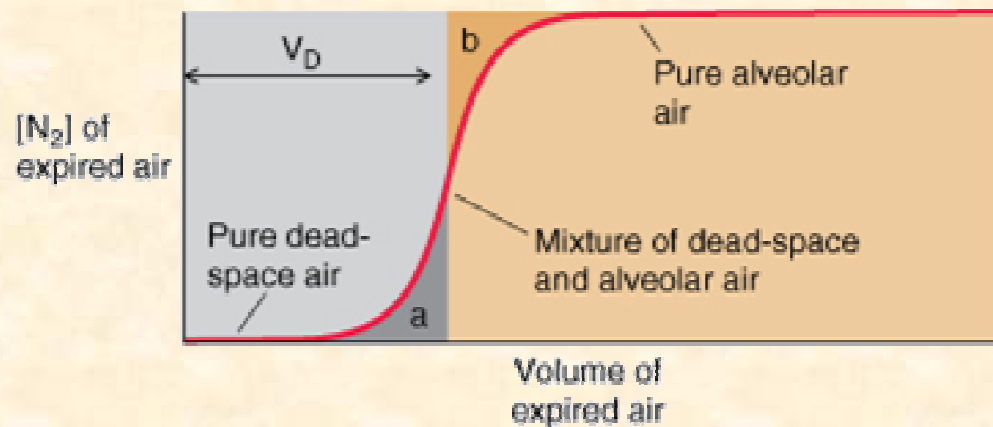
MRTVÝ PROSTOR – dusíkový test (hluboký nádech čistého O₂,

následuje pomalý výdech s kontinuálním monitorováním koncentrace dusíku)

A DILUTION OF INSPIRED 100% O₂



C MEASURED [N₂] PROFILE



Difuze plic

SLOŽENÍ SUCHÉHO ATMOSFERICKÉHO VZDUCHU

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

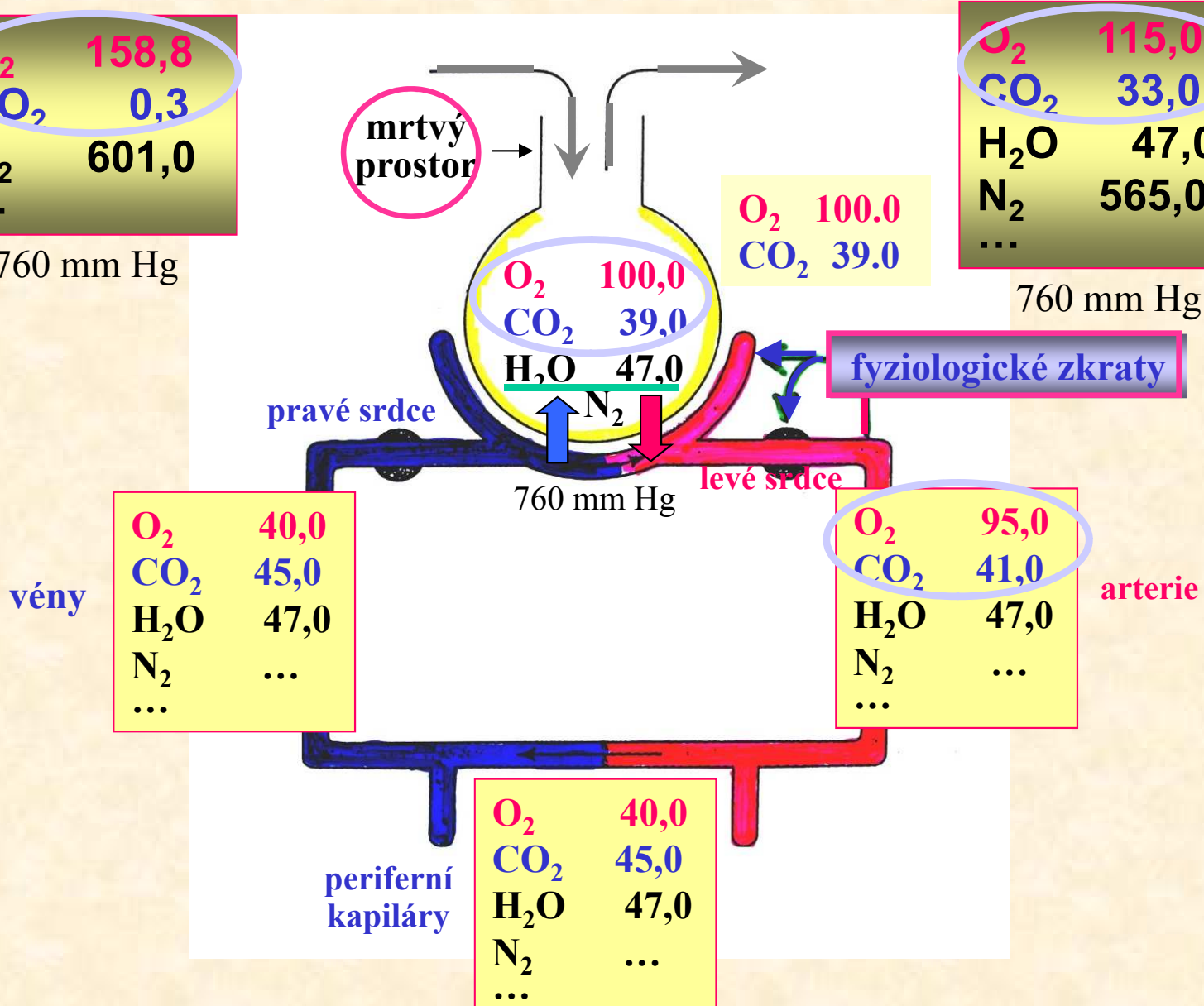
O ₂	158,8
CO ₂	0,3
N ₂	601,0
...	

760 mm Hg

EXSPIROVANÝ VZDUCH

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

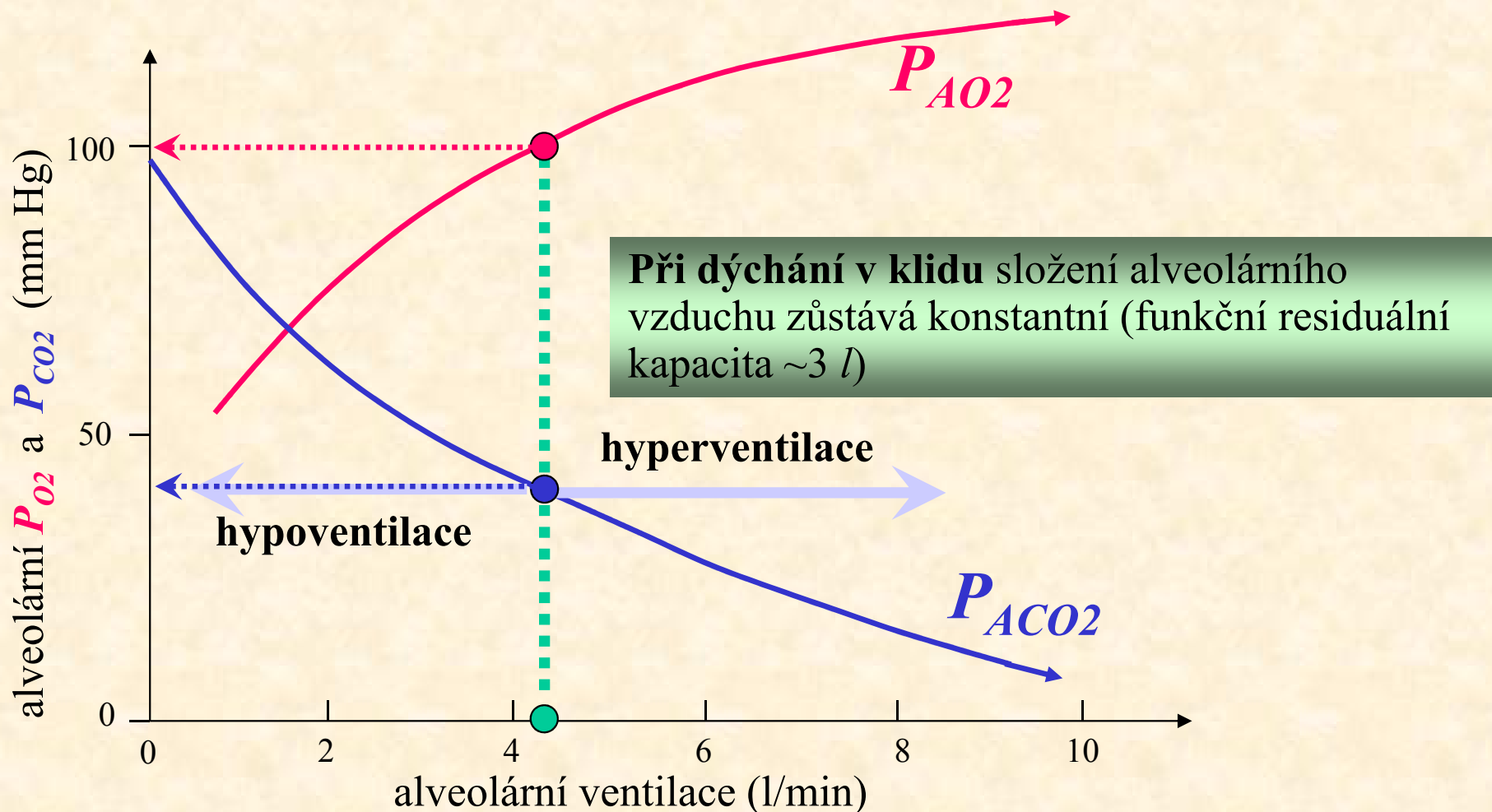
760 mm Hg



?

?

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

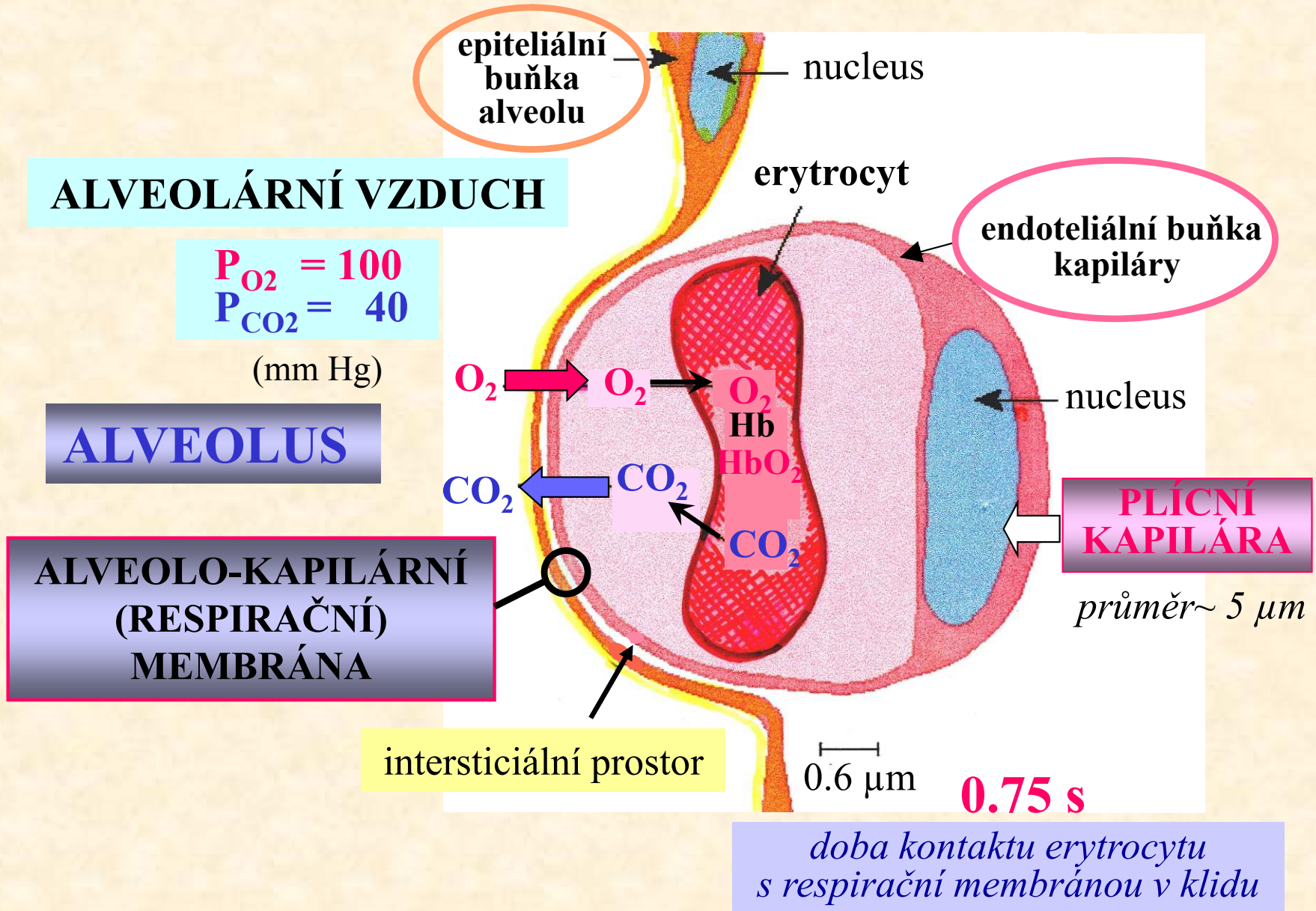


hyperventilace → HYPOKAPNIE → respirační alkalóza

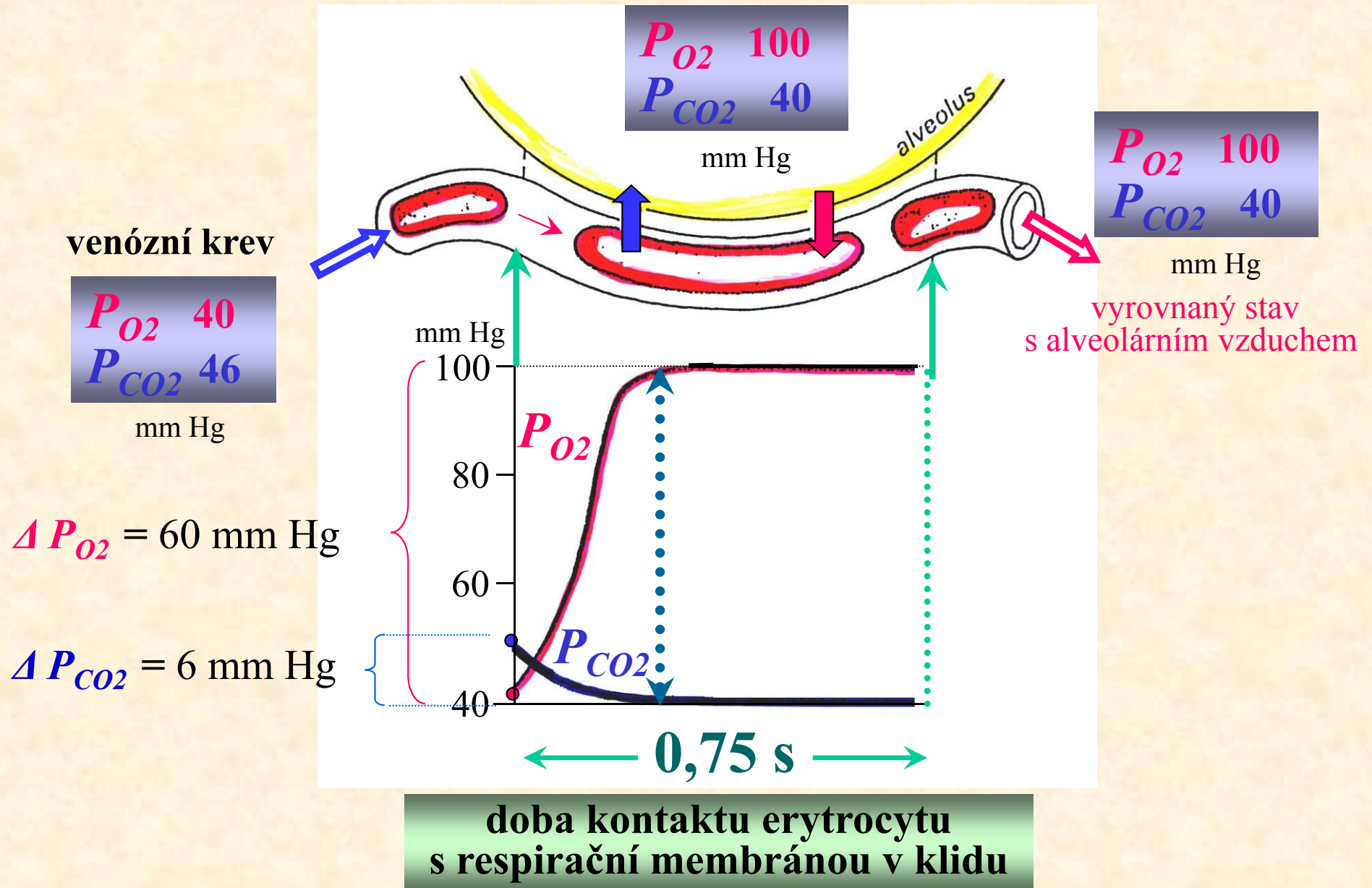
hypoventilace → HYPERKAPNIE → respirační acidóza

ALVEOLO-KAPILÁRNÍ (RESPIRAČNÍ) MEMBRÁNA

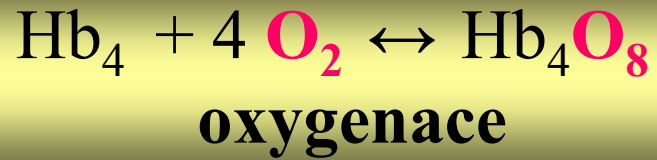
DIFUZE PLYNŮ



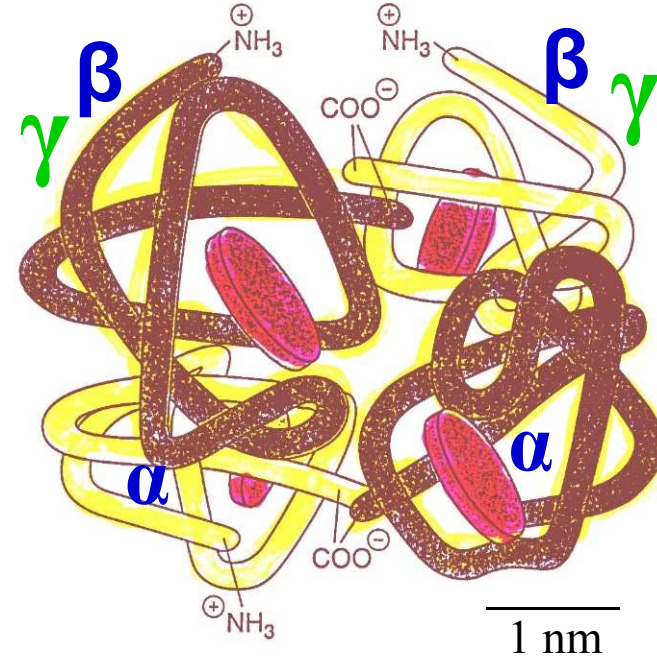
ČASOVÝ PRŮBĚH VYROVNÁVÁNÍ P_{O_2} A P_{CO_2} V KAPILÁŘE S ALVEOLÁRNÍM VZDUCHEM



HEMOGLOBIN



tetramer

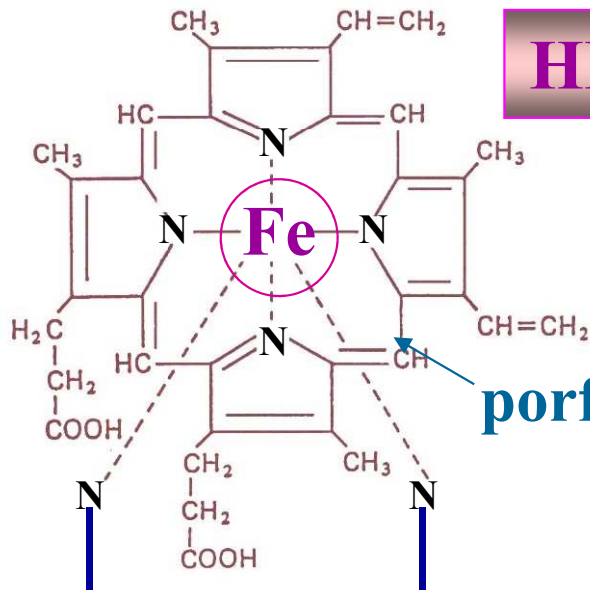


DEOXY

Fe^{2+}

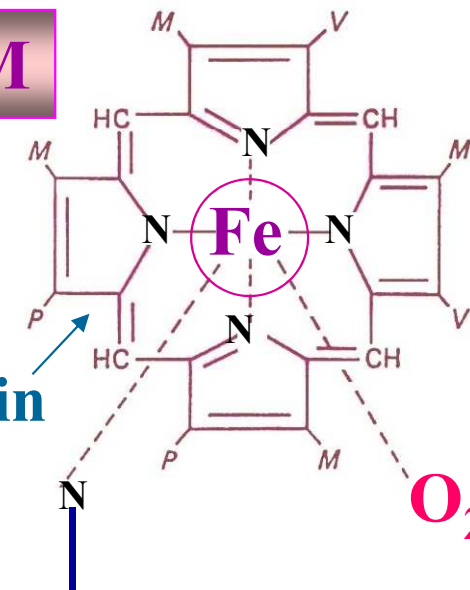
OXY

HEM



porfyrin

polypeptidový řetězec

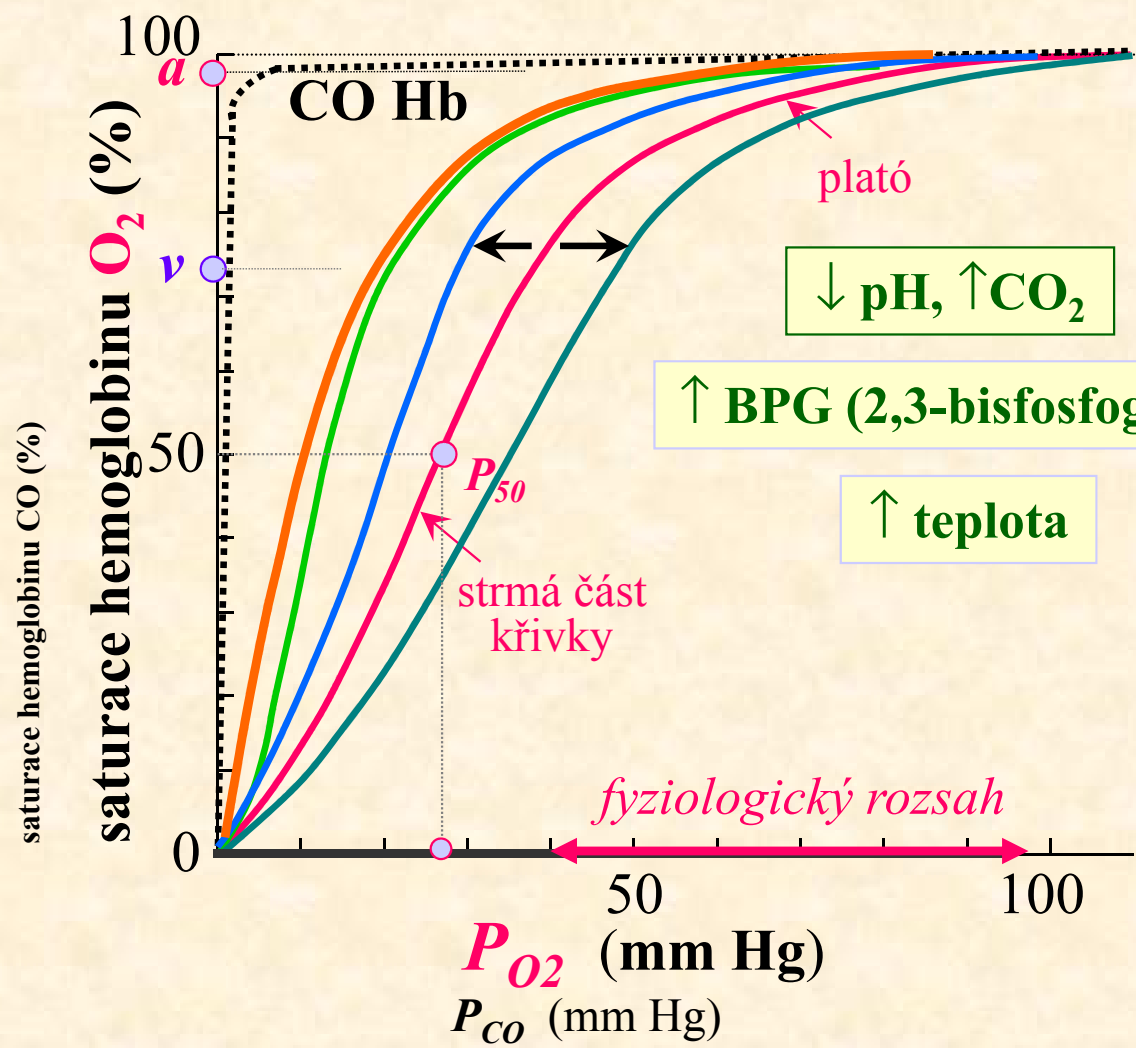


polypeptidový řetězec

fetální Hb

Fe^{3+} (methemoglobin)
oxidace

VAZEBNÁ KŘIVKA O₂ NA HEMOGLOBIN



BOHRŮV EFEKT
↓ pH, ↑ CO₂

fetální Hb

myoglobin

methemoglobin

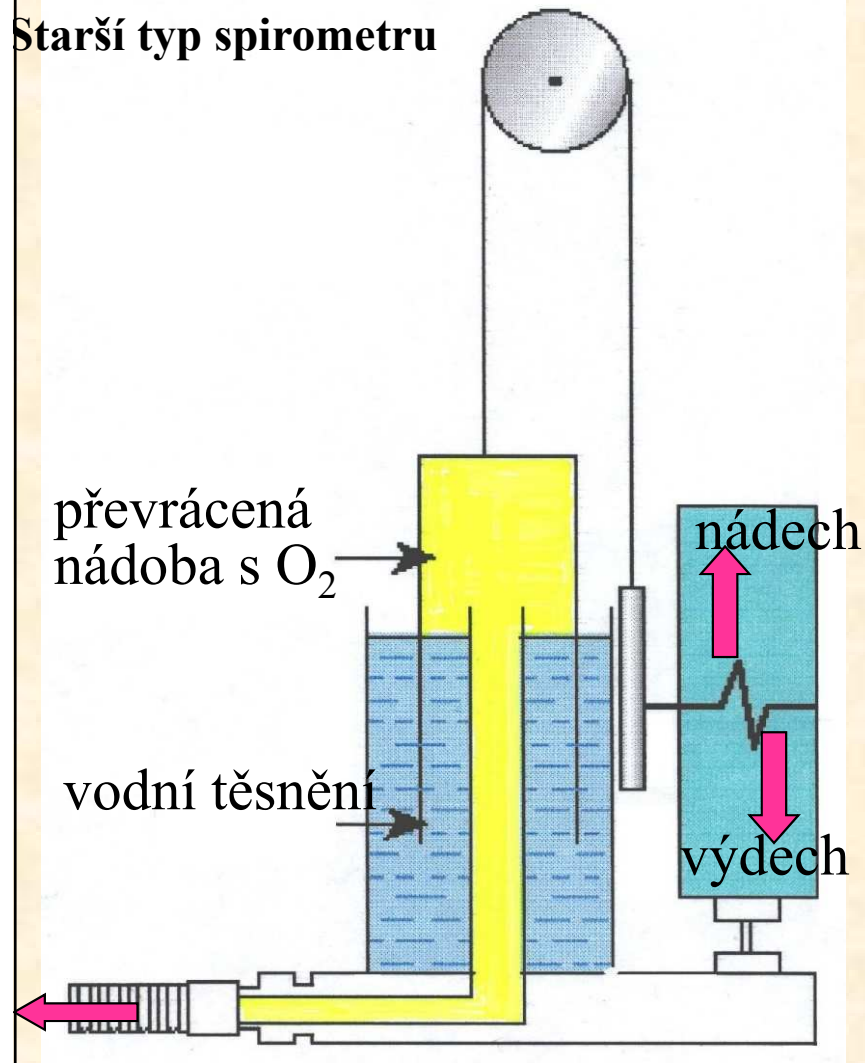
fyzikálně rozpuštěný O₂ (1.4%)

Vyšetřovací metody

SPIROMETRIE

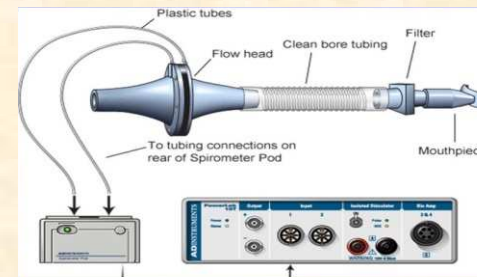
(měření plicních objemů, kapacit - funkční vyšetření plic)

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).



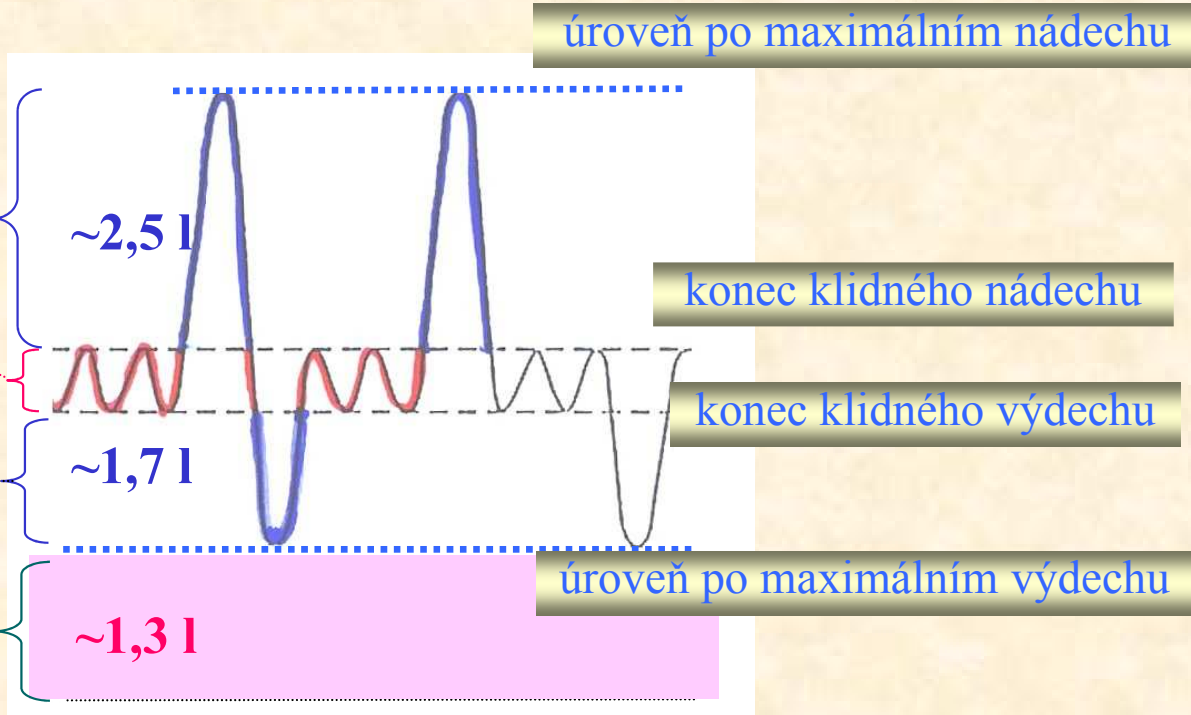
PLICNÍ OBJEMY

INSPIRAČNÍ REZERVNÍ OBJEM IRV

DECHOVÝ OBJEM V_T
(tidal volume)

EXSPIRAČNÍ REZERVNÍ OBJEM ERV

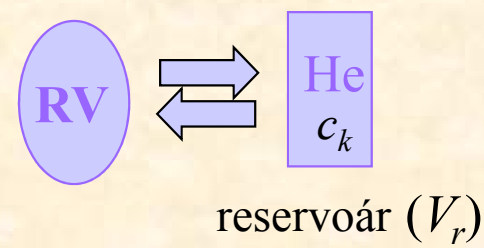
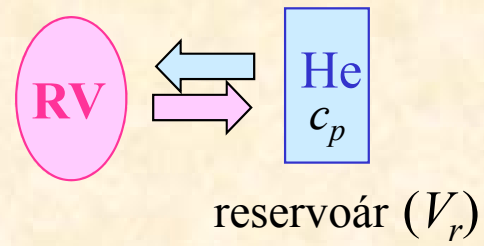
REZIDUÁLNÍ OBJEM RV



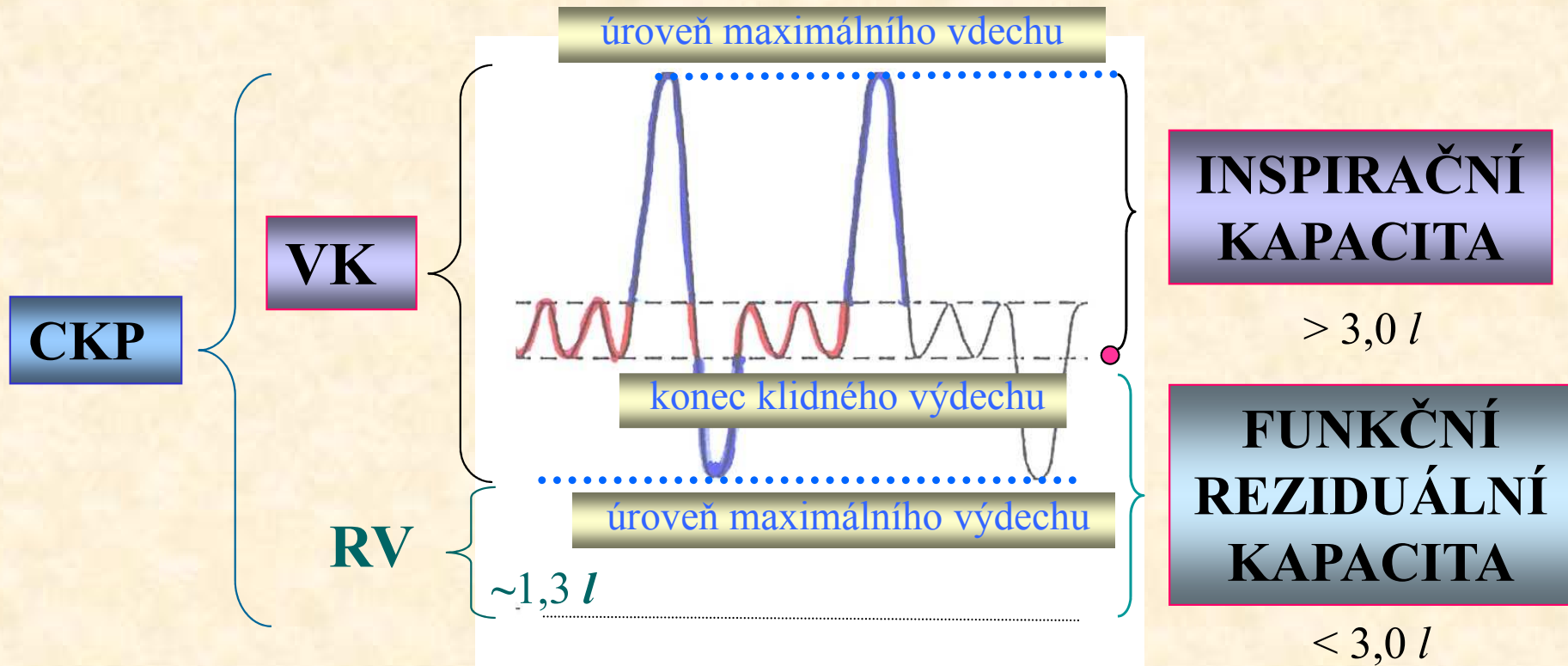
DILUČNÍ METODA
(metoda zředěného plynu)
He

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).



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



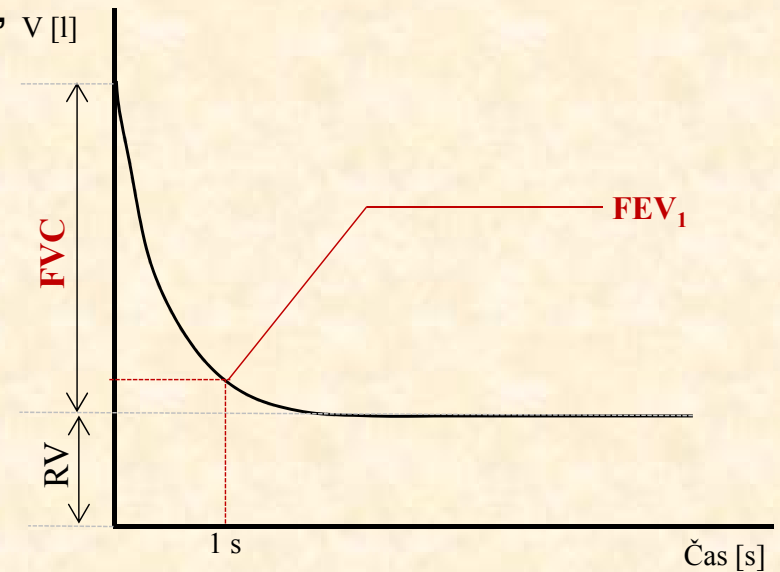
VK VITÁLNÍ KAPACITA = $V_T + IRV + ERV$ $\sim 4,7 \text{ l}$

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
- **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 %

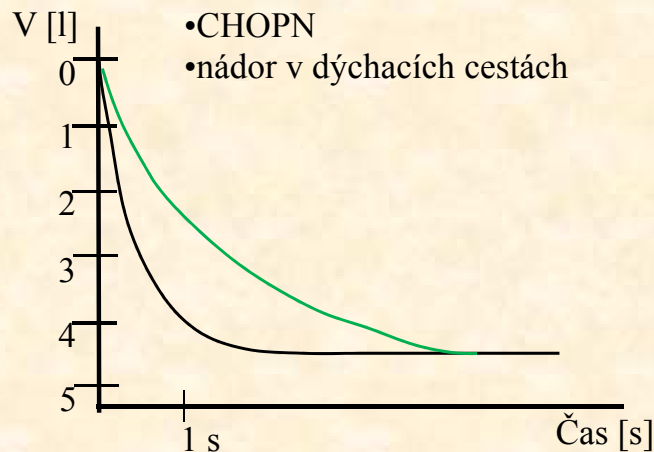


Obstrukční poruchy plic

FVC=fyziologická hodnota;

FEV₁=↓)

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



Restrikční poruchy plic

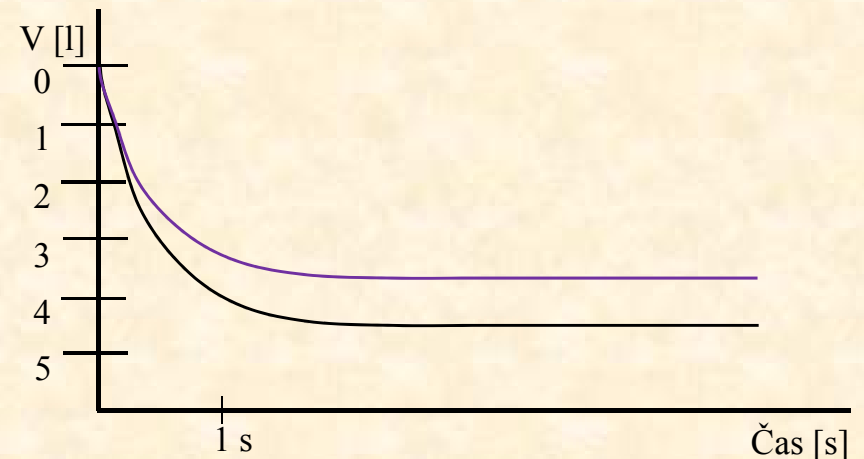
(FVC=↓; FEV₁= fyziologie)

pulmonální příčiny

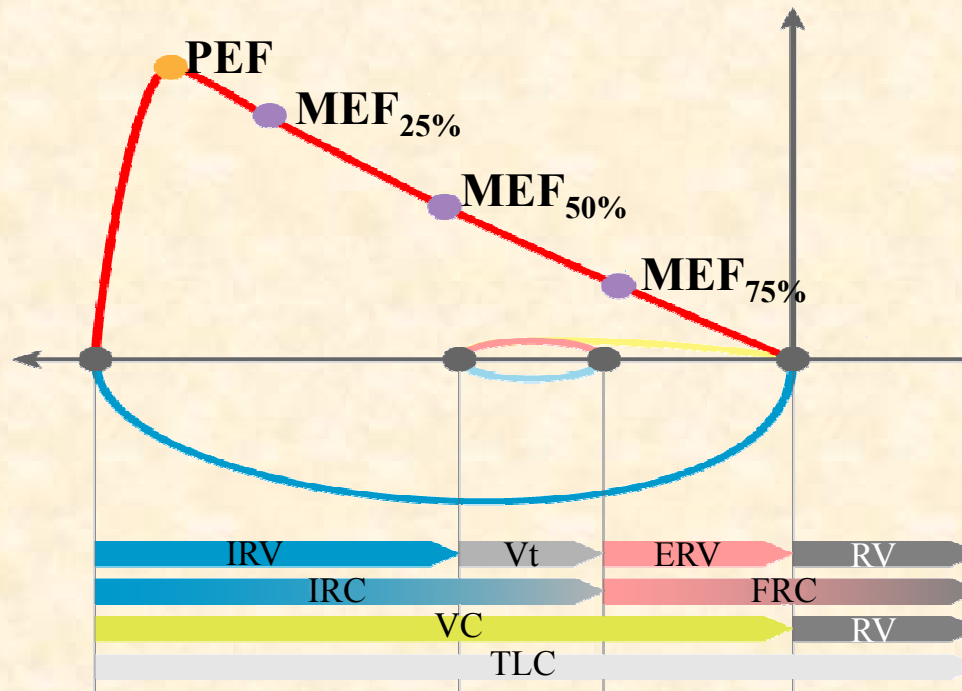
- plicní fibróza
- resekce plic
- plicní edém
- pneumonie

extrapulmonální příčiny

- ascites
- 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

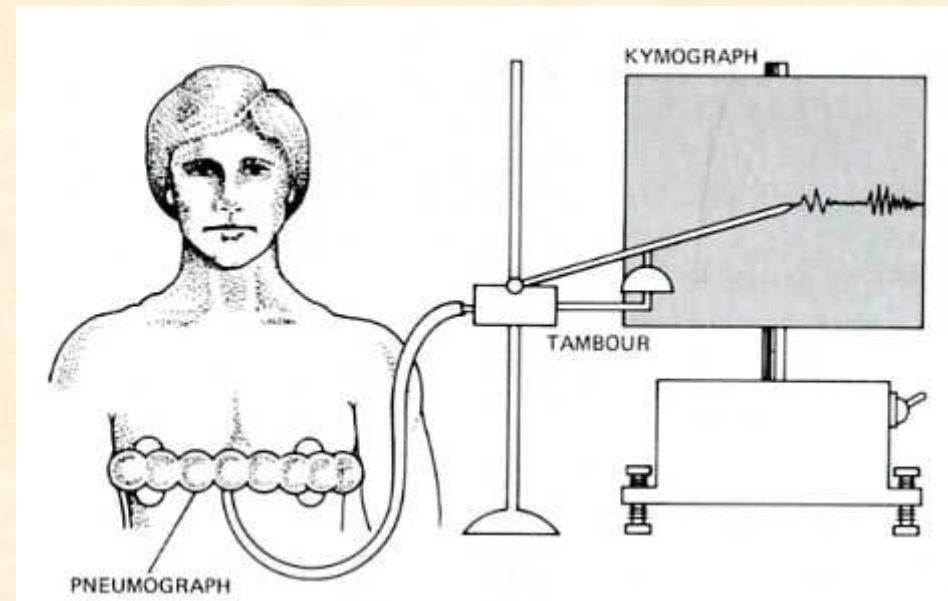
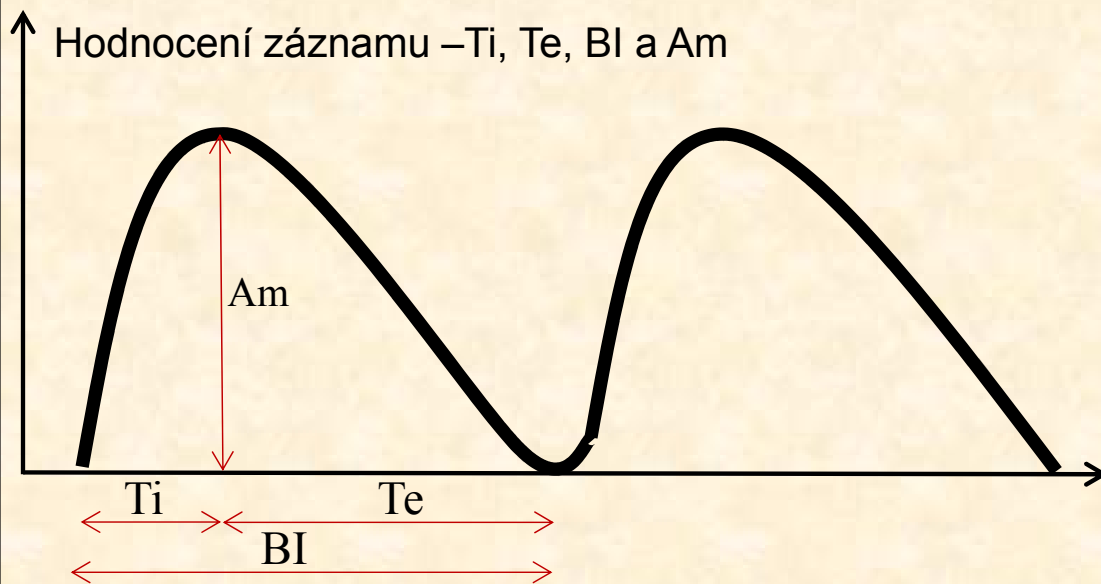
Princip

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:

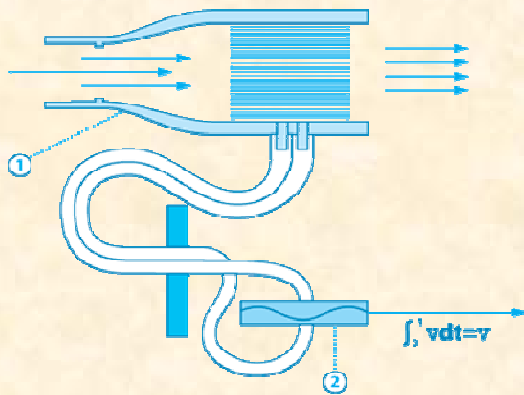
- klidové dýchání
- dýchání po mírné zátěži
- dýchání po intenzivní zátěži



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.

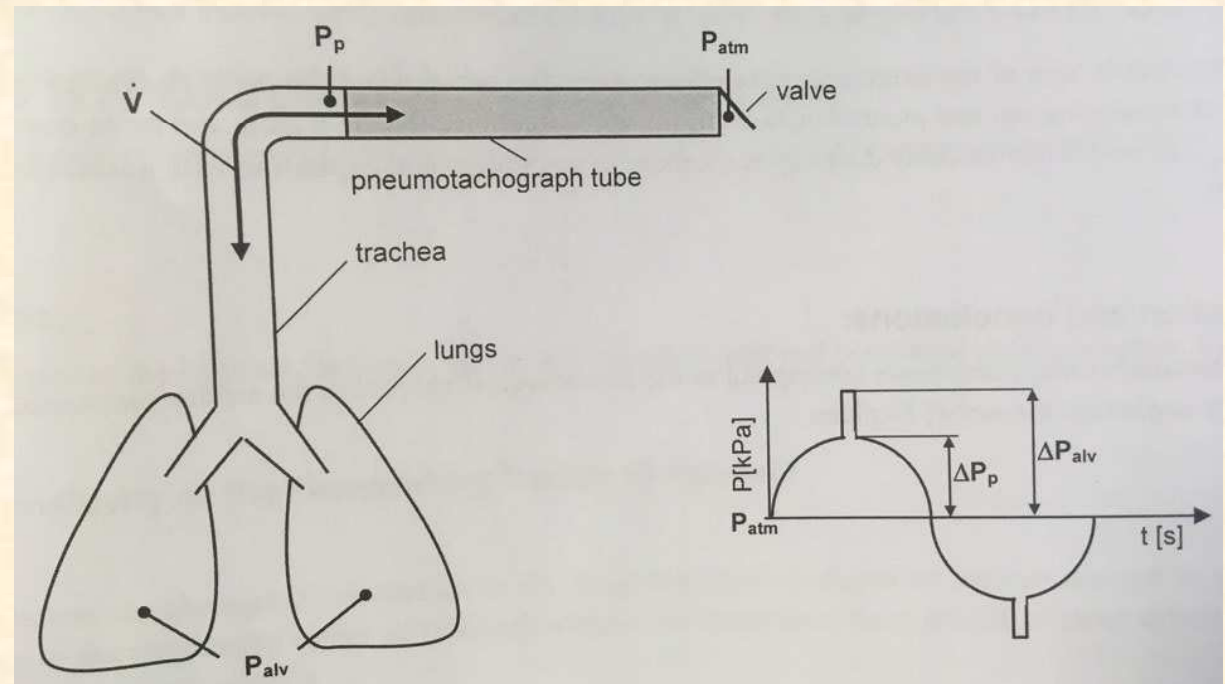


$$\Delta P_p = P_p - P_{atm}$$

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

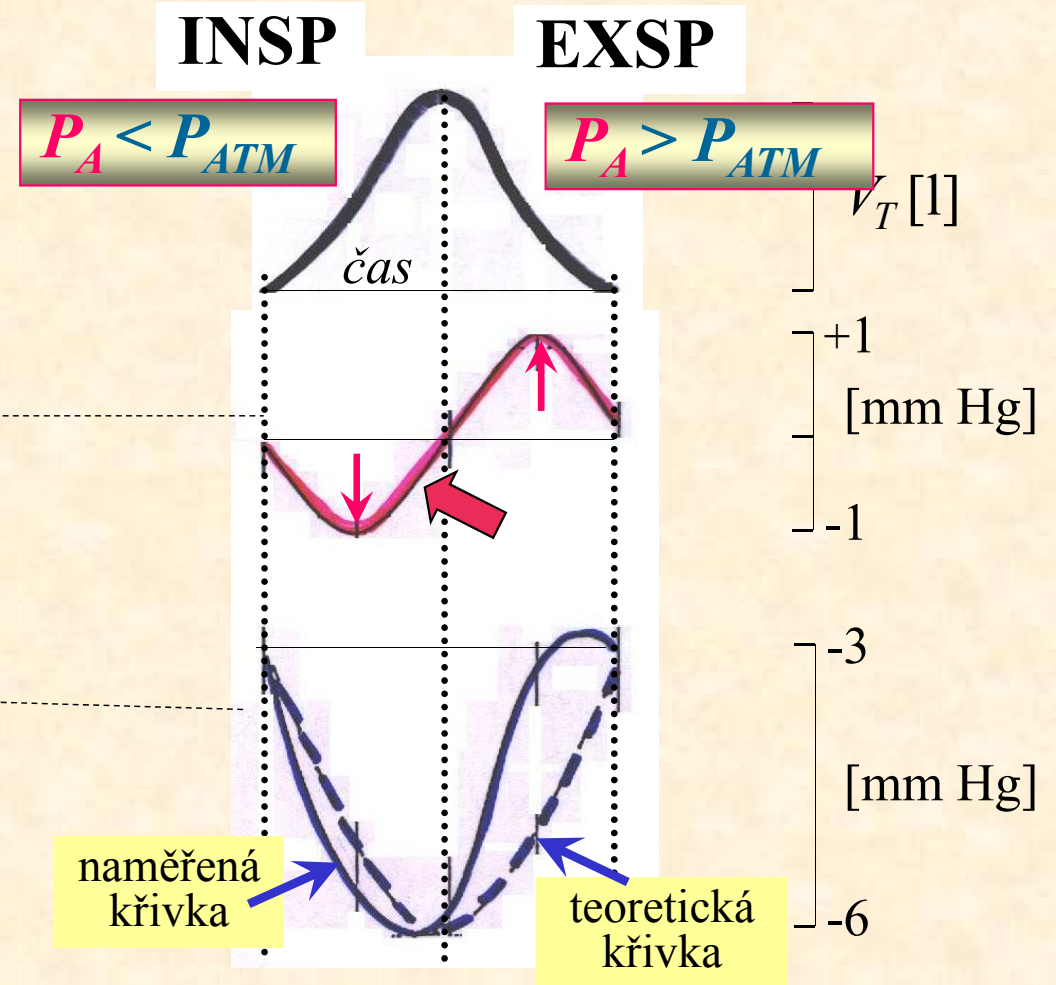
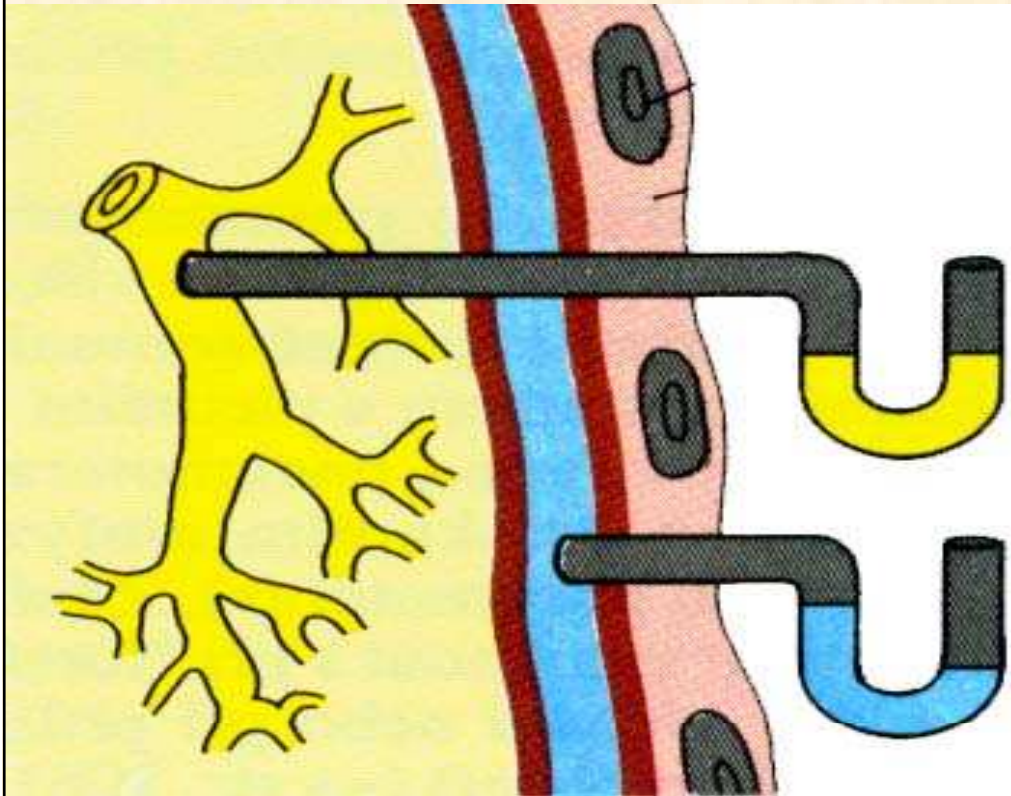
$$\frac{P_p - P_{atm}}{R_p} = \dot{V} = \frac{P_{alv} - P_p}{R_d}$$

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



- **Mechanika dýchání**

PRŮBĚHY TLAKŮ PŘI KLIDNÉM DÝCHÁNÍ



P_A ALVEOLÁRNÍ (INTRAPULMONÁLNÍ)

P_{PL} INTRAPLEURÁRNÍ (INTRATORAKÁLNÍ)

NA VENTILACI SE PODÍLÍ

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

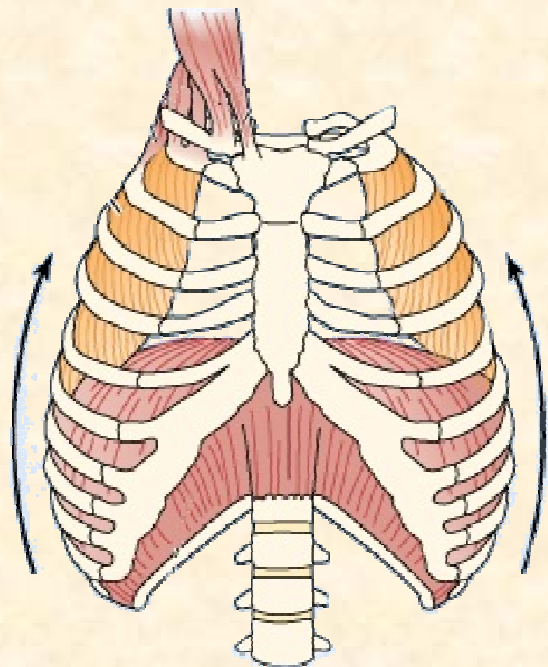
DÝCHÁNÍ V KLIDU

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

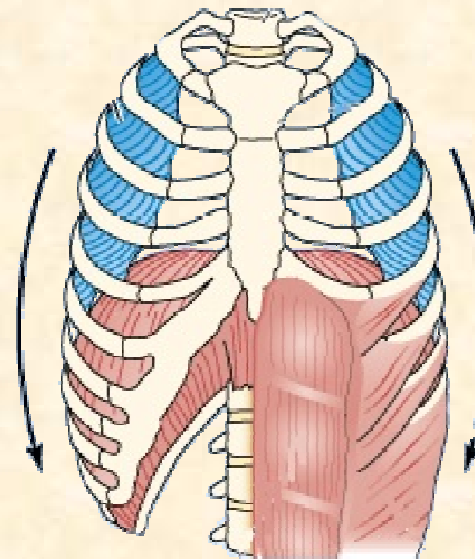
Výdechové svaly

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

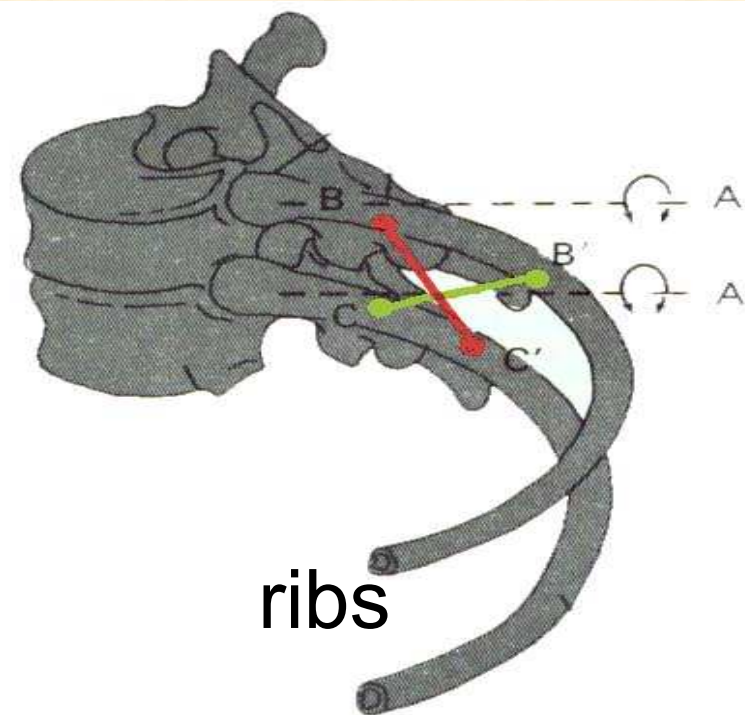
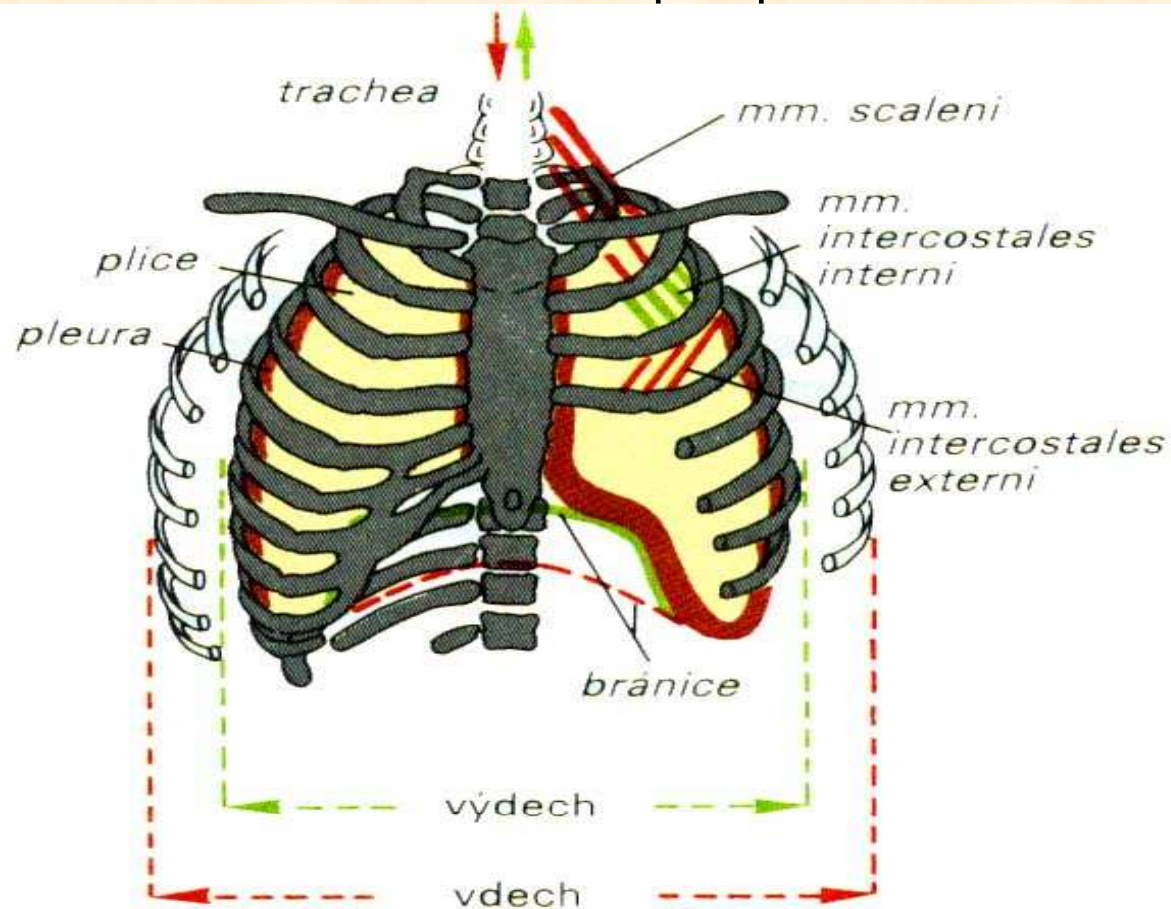
- navíc akcesorní dýchací svaly (*mm. scaleni*)

EXSPIRAČNÍ SVALY

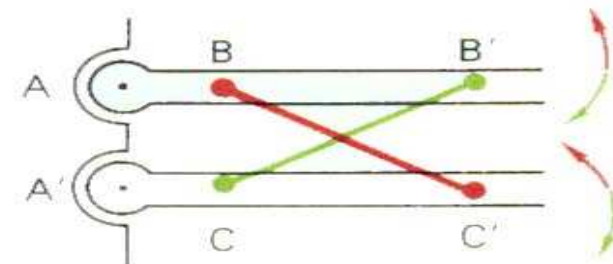
Pouze při **USILOVNÉM** dýchání

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

Bucket-handle and water-pump handle effects



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



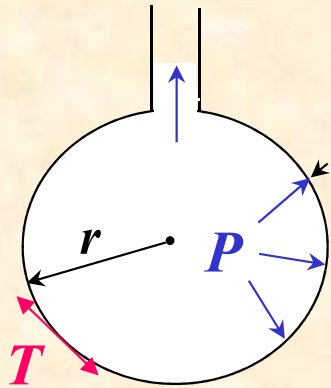
páka $A - B' > A' - C \rightarrow$ klesání žeber

Surfaktant

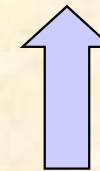
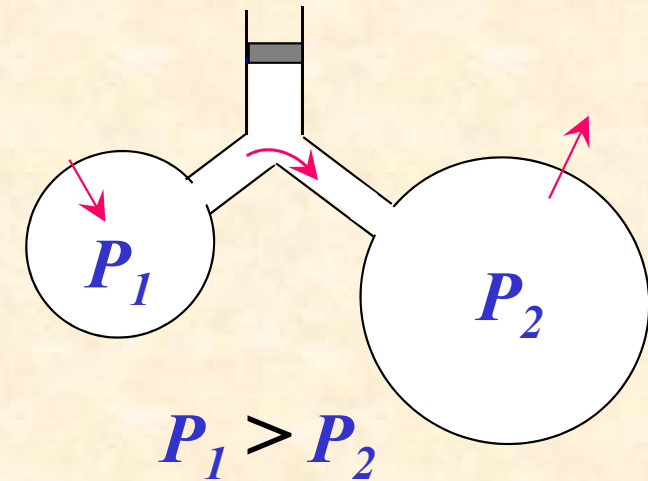
Laplaceův zákon

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

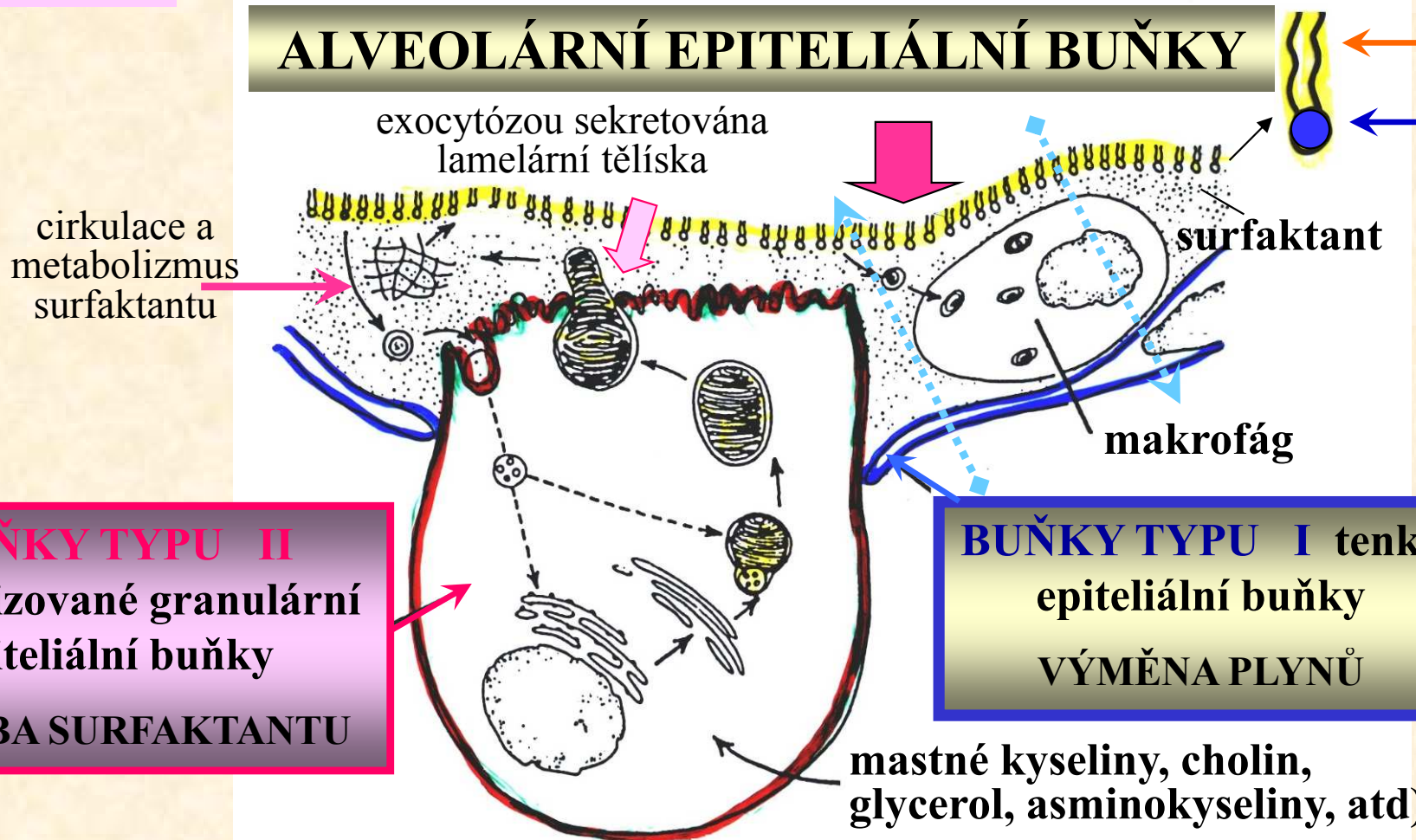
SURFAKTANT

LÁTKA VÝRAZNĚ SNIŽUJÍCÍ
POVRCHOVÉ NAPĚTÍ

FOSFOLIPID
dipalmitoyl
fosfatidyl cholin

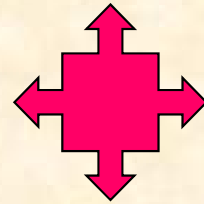
ÚČINEK HLAVNĚ VE FÁZI VÝDECHU

ALVEOLÁRNÍ EPITELIÁLNÍ BUŇKY



BUŇKY TYPU II
specializované granulórní
epiteliální buňky
TVORBA SURFAKTANTU

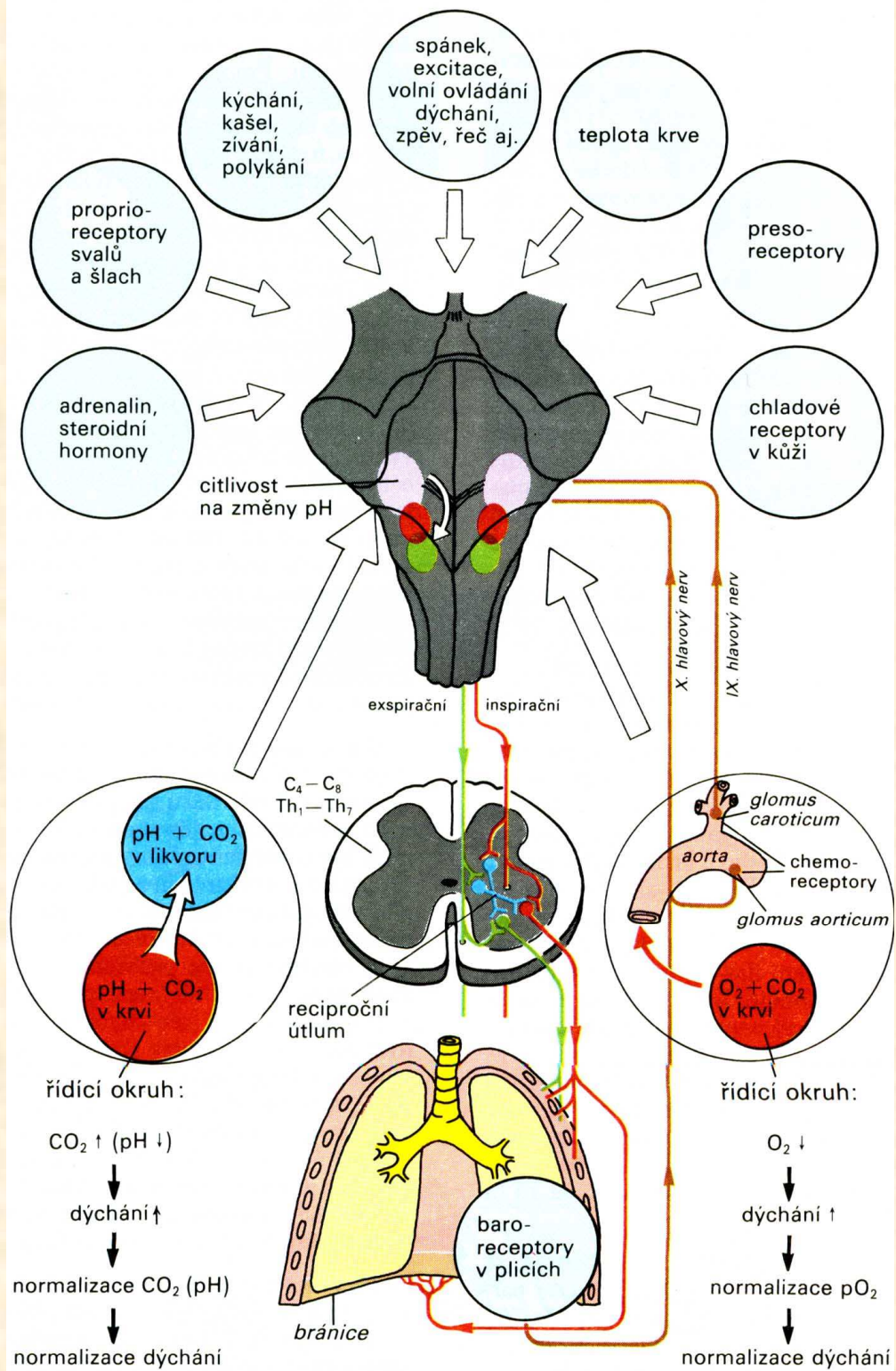
BUŇKY TYPU I tenké
epiteliální buňky
VÝMĚNA PLYNŮ



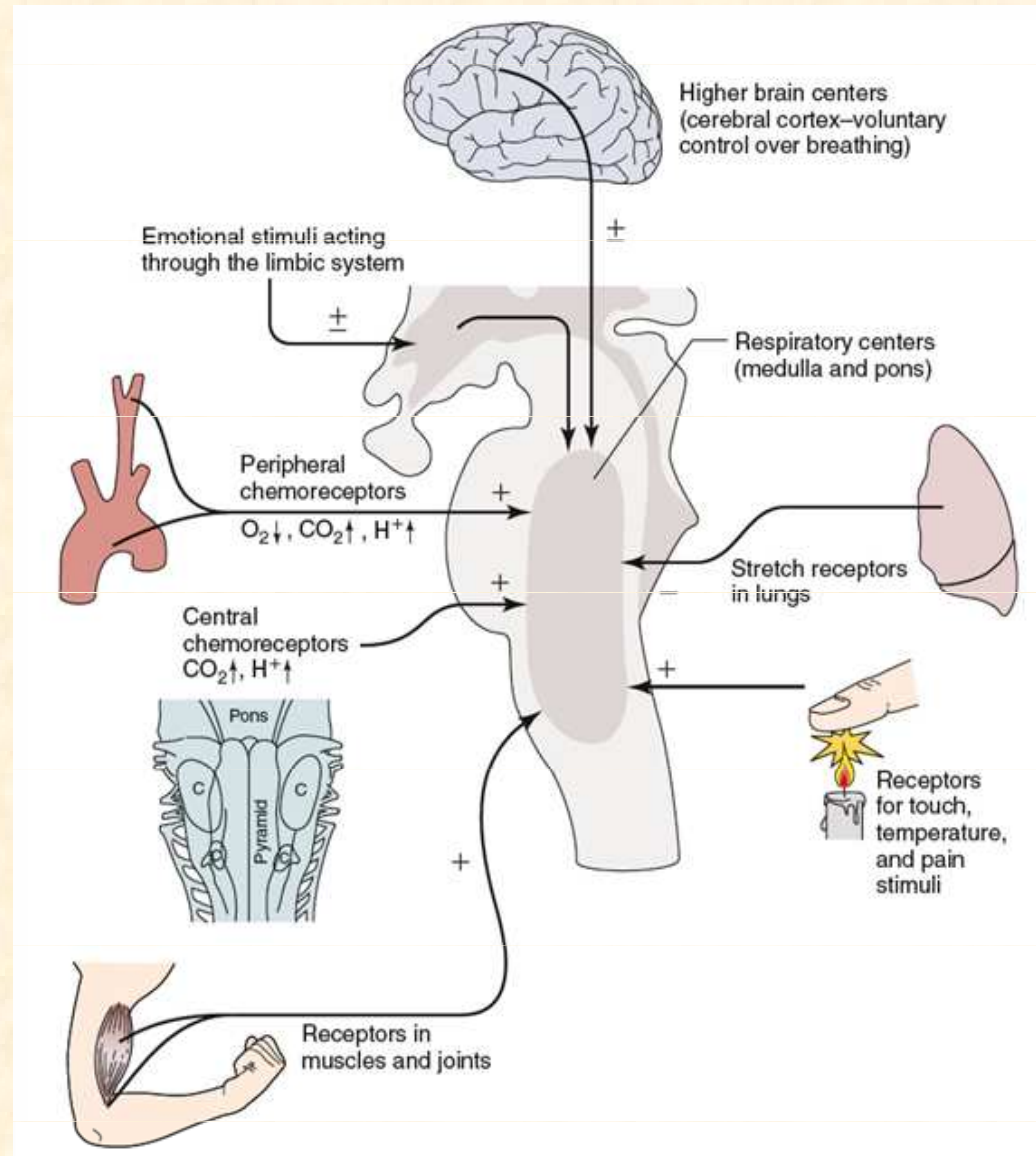
Regulace dýchání

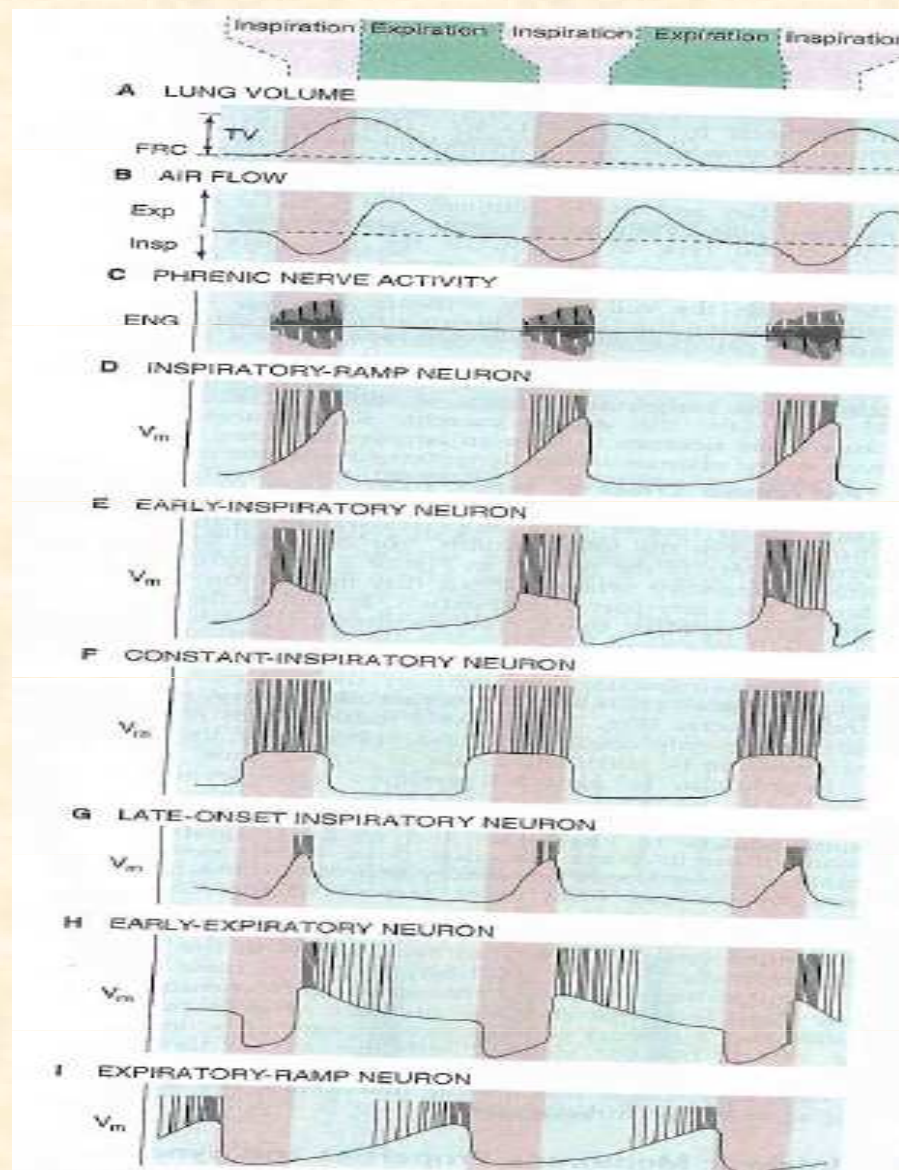
Nervová regulace

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

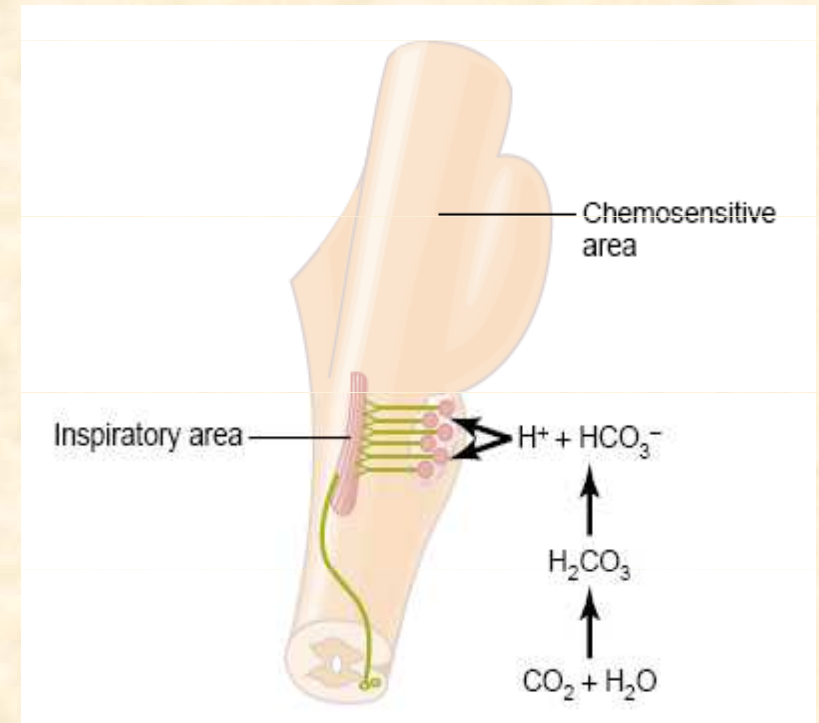
Chemické faktory ovlivňující dechové centrum:

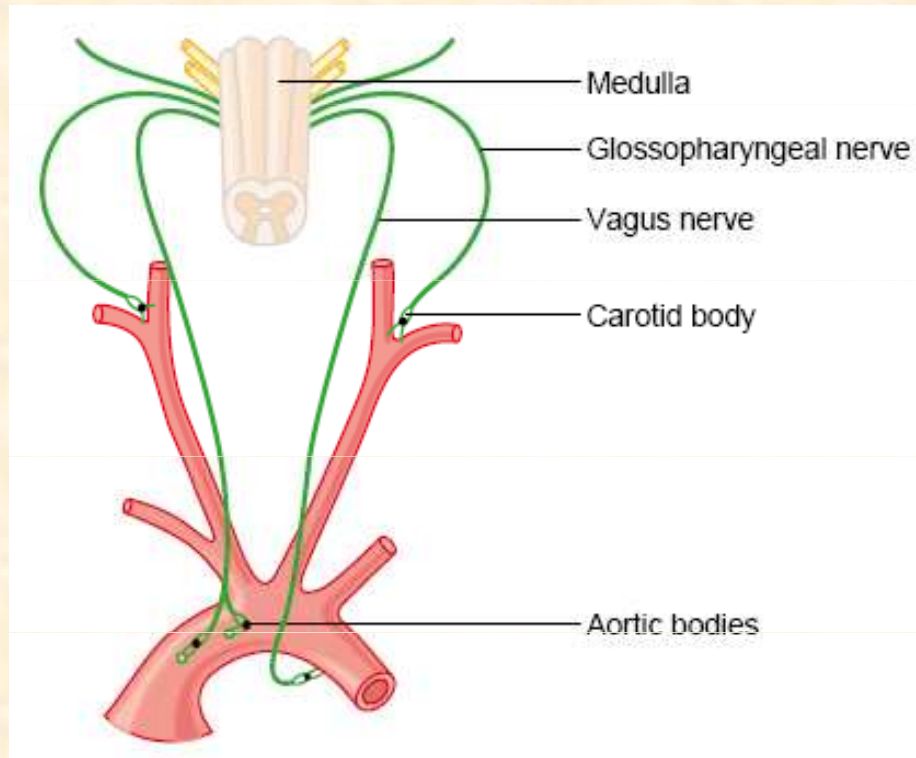
Centrální chemoreceptory

- 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)



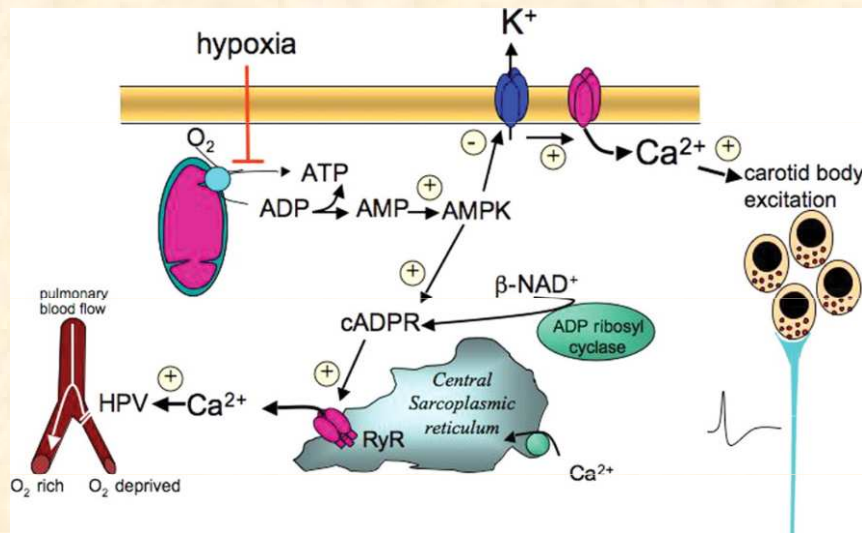


Periferní receptory

– glomus caroticum, glomus aorticum

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

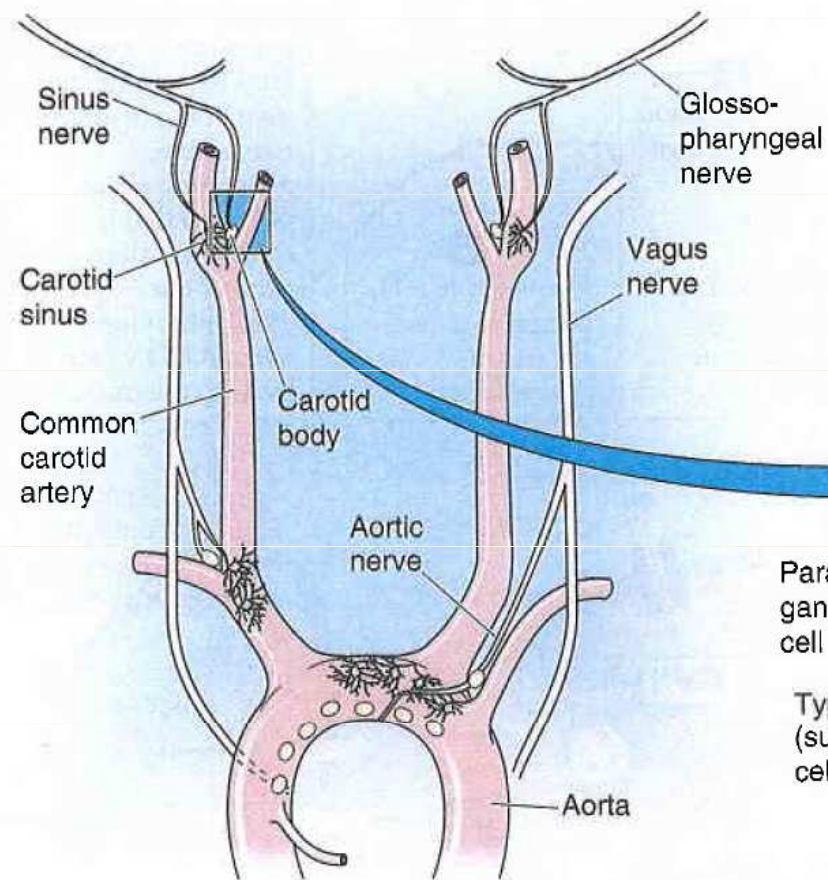
Reagují na **pokles pO_2 , (zvýšení pCO_2 a pH)**. Obzvláště reagují na pokles pO_2 pod fyziologickou hodnotu v arteriální krvi (12,5kPa).



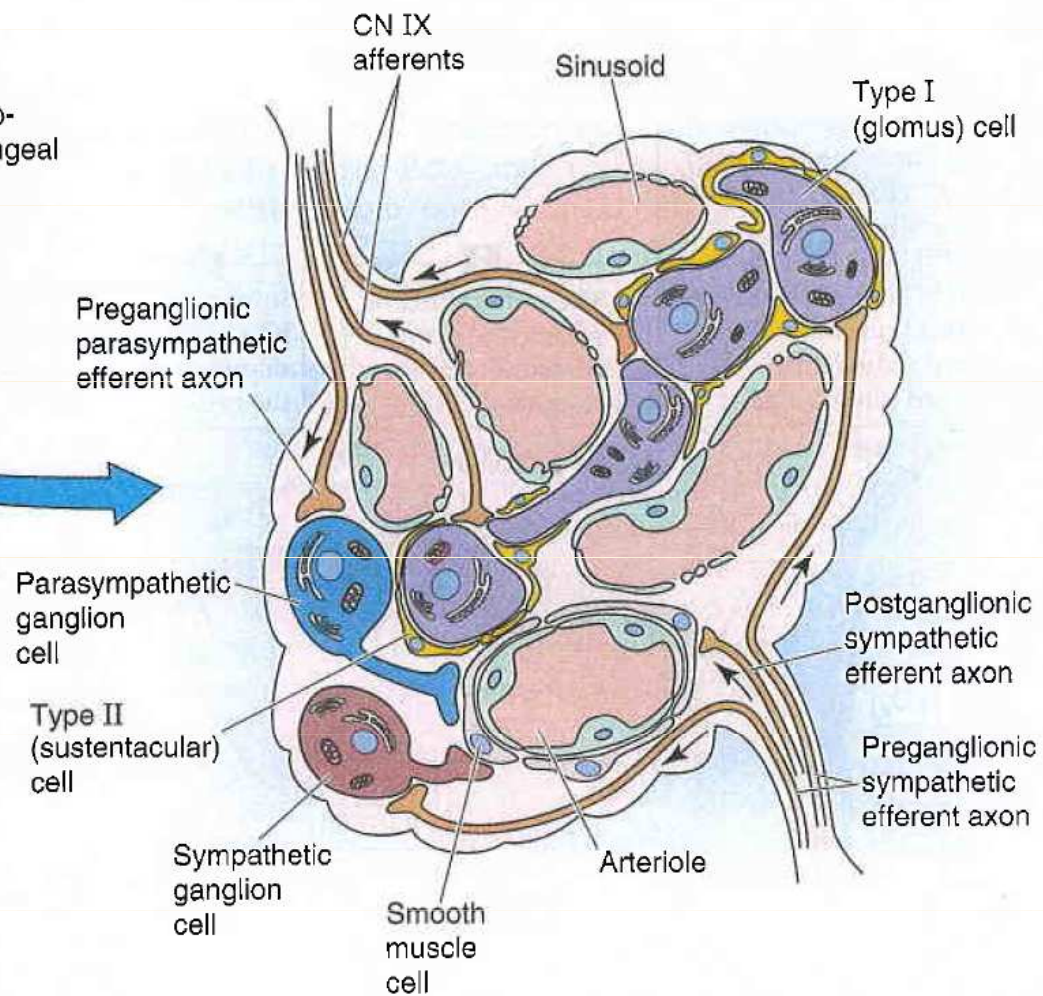
Mechanismus účinku: následkem poklesu tvorby ATP v mitochondriích se depolarizuje membrána receptorů a nastává jejich excitace (zvýšení tvorby vzruchů v aferentních nervech)

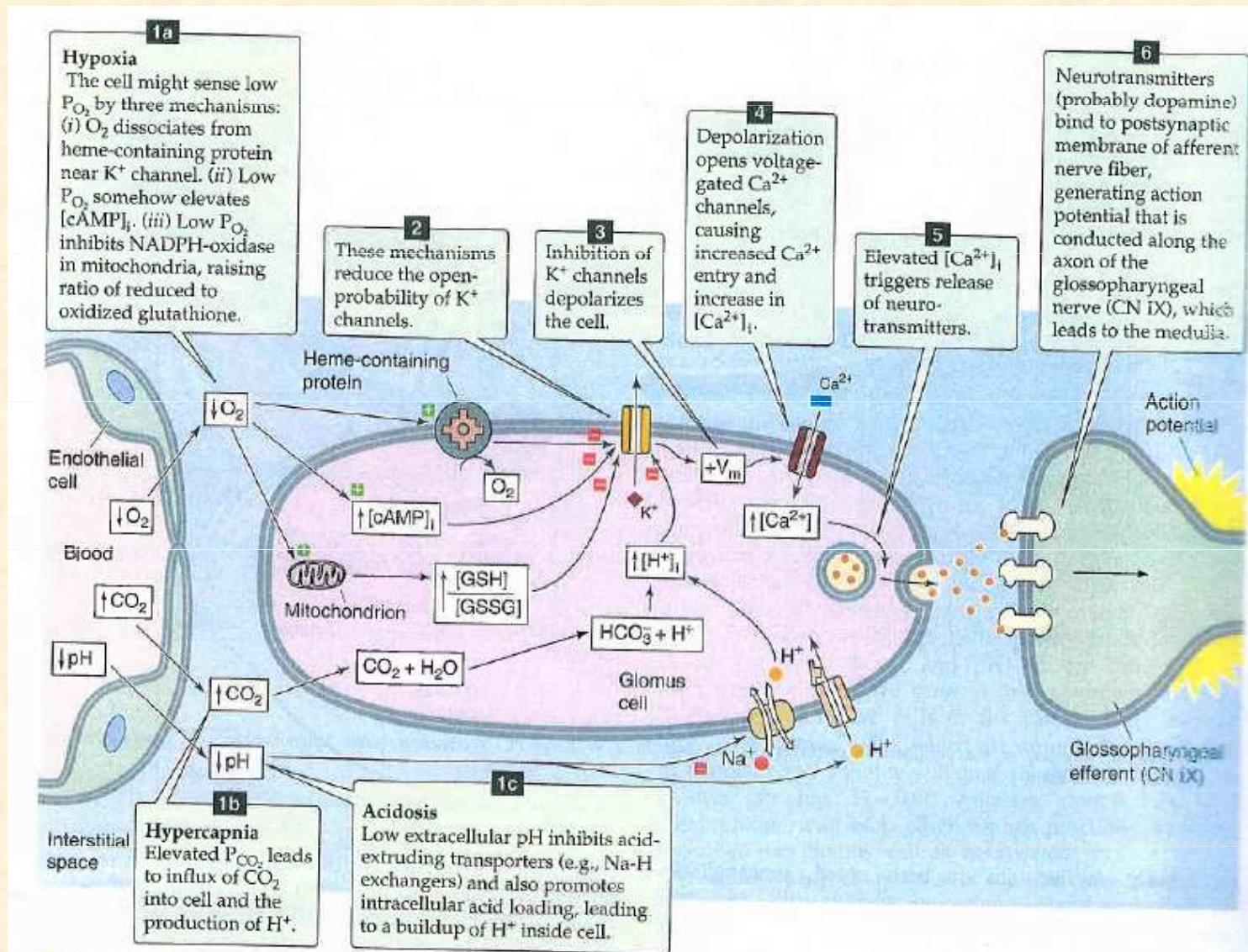
z

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

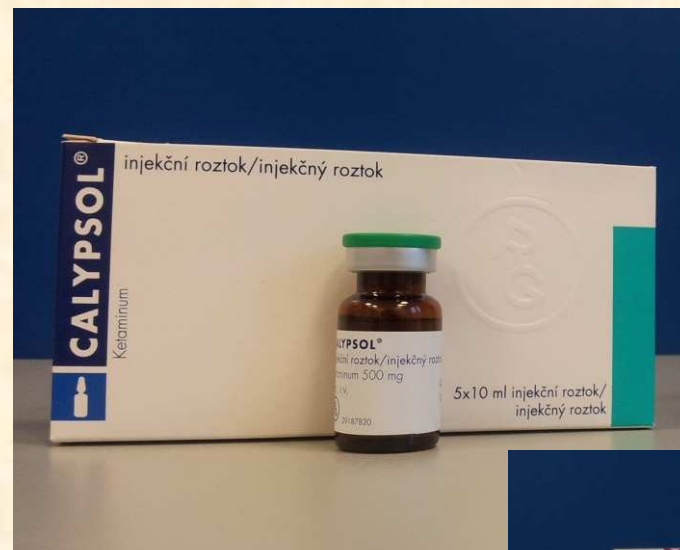
Tahové receptory (stretch receptory) pomalu se adaptující, v hladké svalovině trachei a bronchů; jejich podráždění tlumí aktivitu respiračního centra v mozkovém kmeni – **Hering-Breuerovy reflexy**.

PŘÍPRAVA ZVÍŘETE K EXPERIMENTU - ANESTEZIE

INHALAČNÍ ÚVOD



STŘEDNĚDOBÁ INJEKČNÍ ANESTEZIE (APLIKACE I.M.)



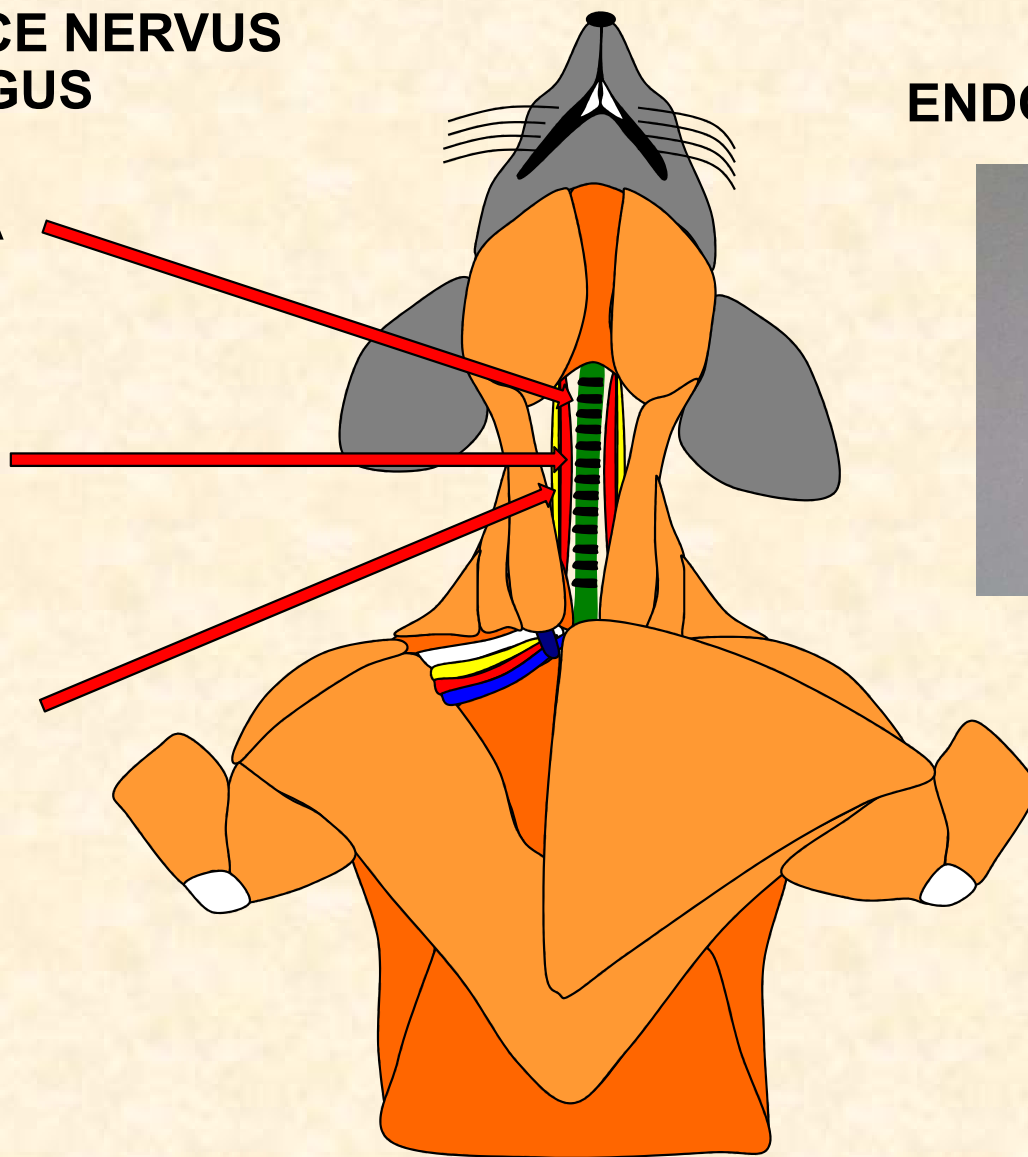
PŘÍPRAVA ZVÍŘETE K EXPERIMENTU

PREPARACE NERVUS
VAGUS

TRACHEA

A. CAROTIS

N. VAGUS



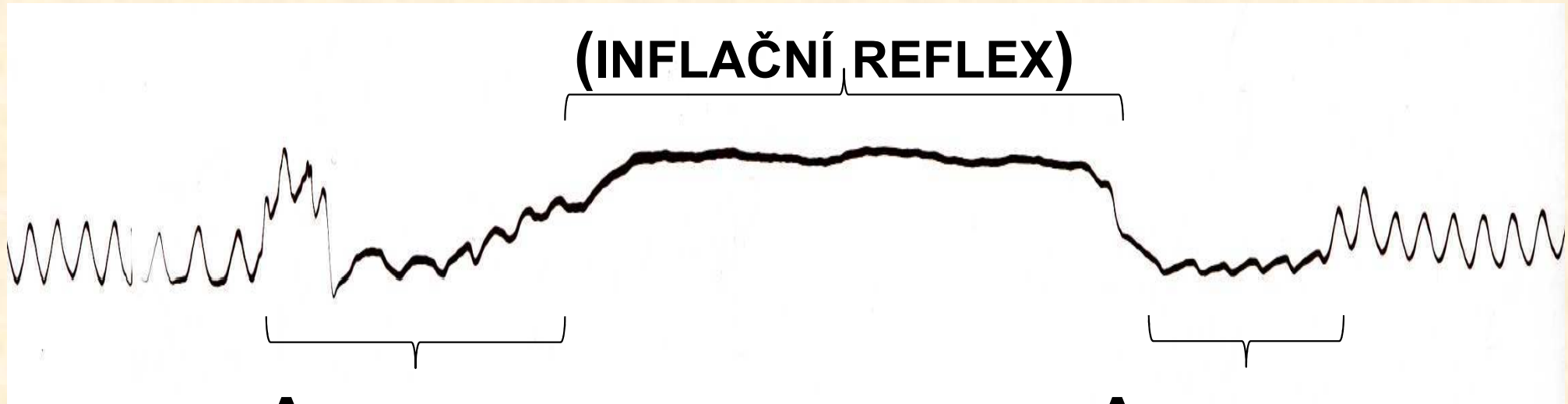
ZAVEDENÍ
ENDOTRACHEÁLNÍ KANYLY



HERING-BREUEROVY REFLEXY

REFLEXNÍ ZÁSTAVA DECHU

(INFLAČNÍ REFLEX)



ARTEFAKTY
(PŘI APLIKACI
PŘETLAKU)

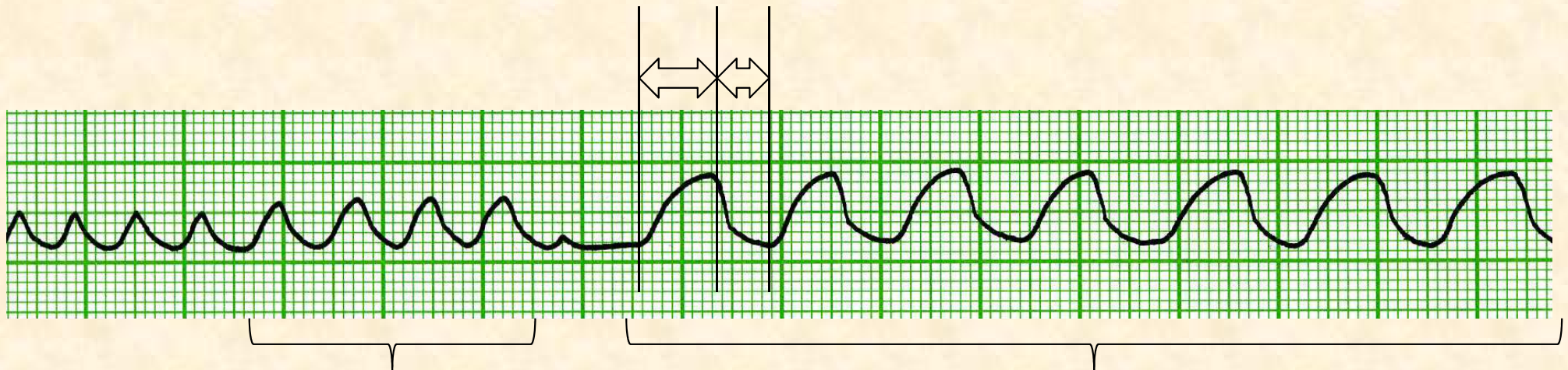
ARTEFAKTY
(PŘI RUŠENÍ PŘETLAKU)

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