

Kurz: Patofyziológia 2
Špeciálna patofyziológia
2004-2022

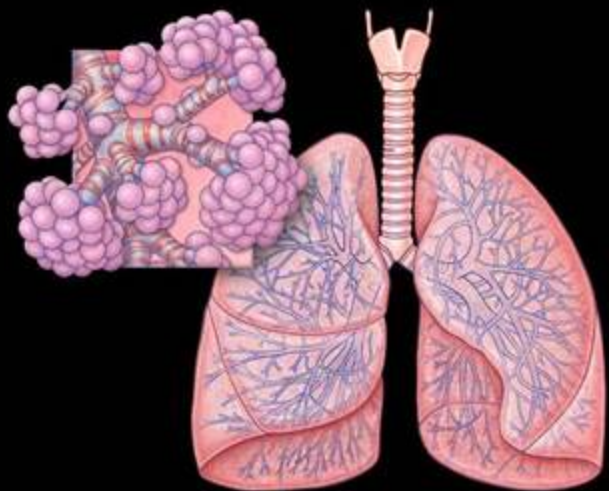


Respiračný systém 1

Roman Beňačka, MD, PhD

Ústav Patofyziológie, Lekárska fakulta

Universita P.J. Šafárika, Košice



Základy fyziológie dýchania

Úlohy dýchania

• Výmena dýchacích plynov

- vdychovanie O_2 do organizmu a vydychovanie CO_2 (čo je prioritné ?)
- v kľude človek nevníma ani slabšiu hypoxiu (fajčiari); ale už mierna kumulácia CO_2 vyvoláva hyperpnoe; náhly pokles O_2 -> bezvedomie

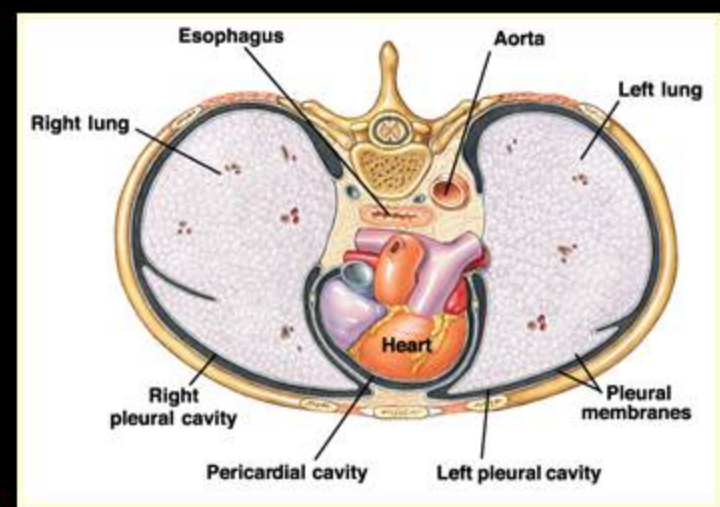
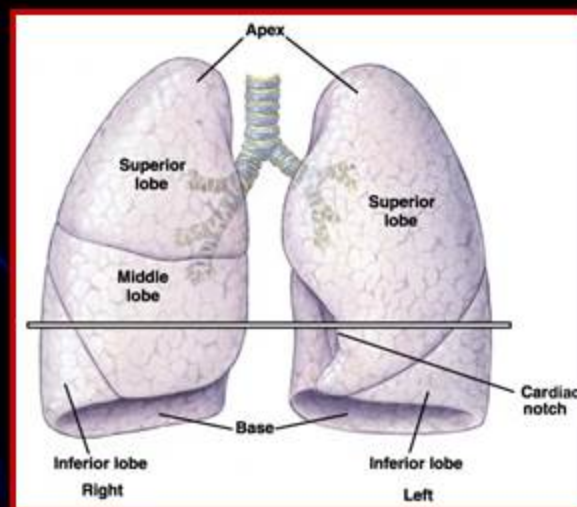
• Regulácia vody v tele

- vydychovanie H_2O (2.miesto po obličkách aj u človeka, kde sa voda významne stráca potením)

• Regulácia vnútorného prostredia - pH (zásadný význam)

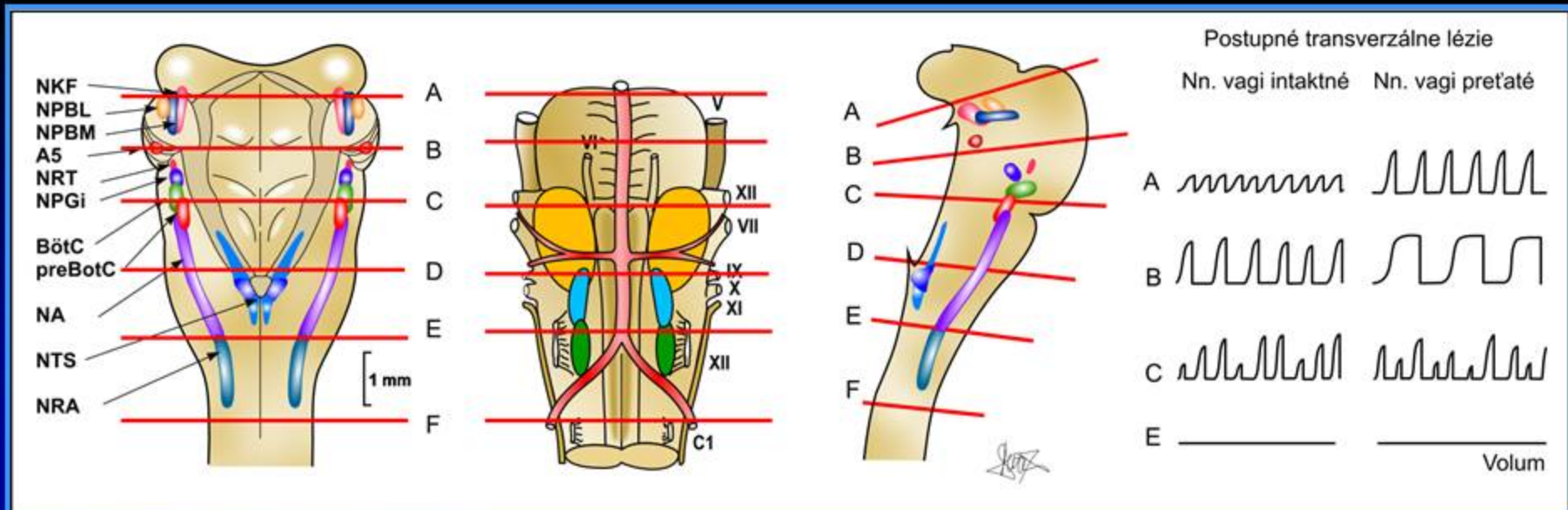
- vydychovanie kyselín vo forme $CO_2 \leftarrow H_2CO_3 \leftarrow H^+ + HCO_3^-$

• Získaná imunitná odpoveď – najväčšia prezentačná oblasť pre antigény, chemické látky a patogény z okolia (kvapôčková infekcia, vírenie prachu) opomínaný význam



KLASICKÉ POZNATKY Z PRAXE A EXPERIMENTÁLNE ZISTENIA

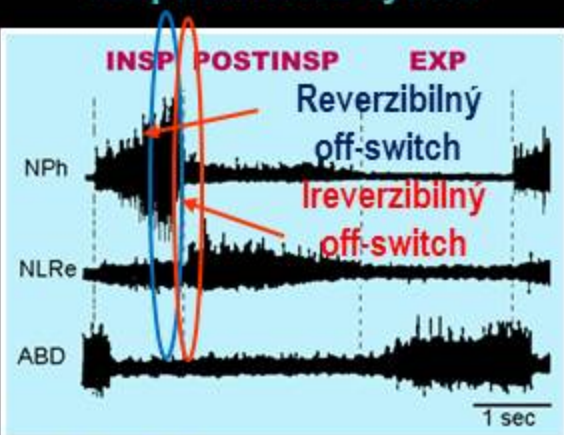
- Respirácia je síce vitálna ale **skeletomotorická funkcia** → mimoriadna variabilita vzoru participuje na stabilizácii trupu (nervosvalové ochorenia)
- Bazálna respiračná eurpnická rytmogénéza prebieha v kaudálnom kmeni – **ventrolaterálna rostrálna predĺžená miecha**; nezávislé generátory rytmu a vzoru
- Modulácia respirácie afrentnými podnetmi: **dorzálna medulla, rostrálny most**
- Modulácia respirácie **vo vzťahu k bdelosti, spánku**: **kaudálny most**;
- Behaviorálne vplyvy: **mezencafaická, cerebelárna diencefalická, kortikálna úroveň**
- Tonický a fázický vplyv **chemorecepce a tzv. bdelostného stimulu**



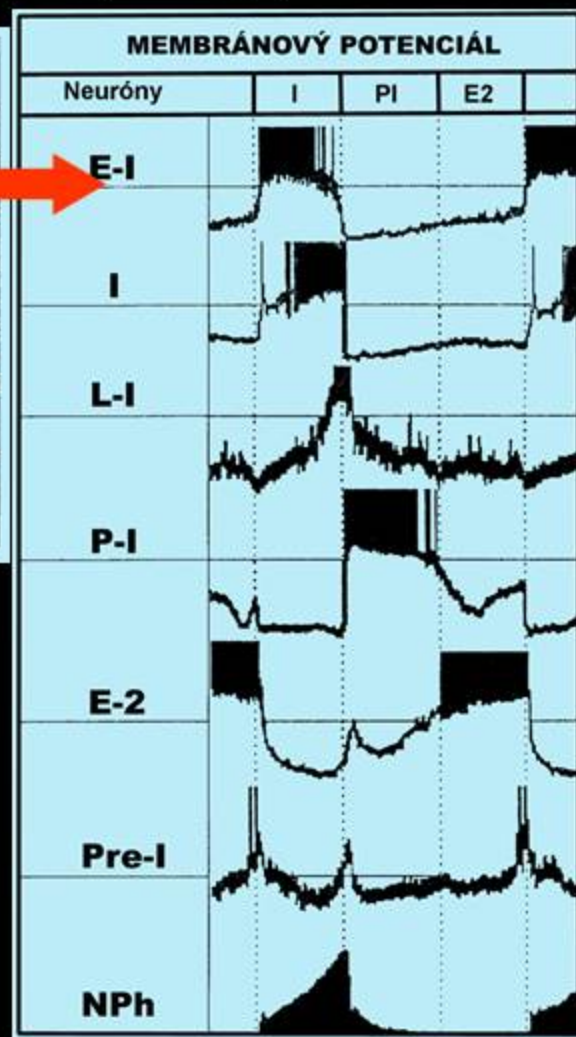
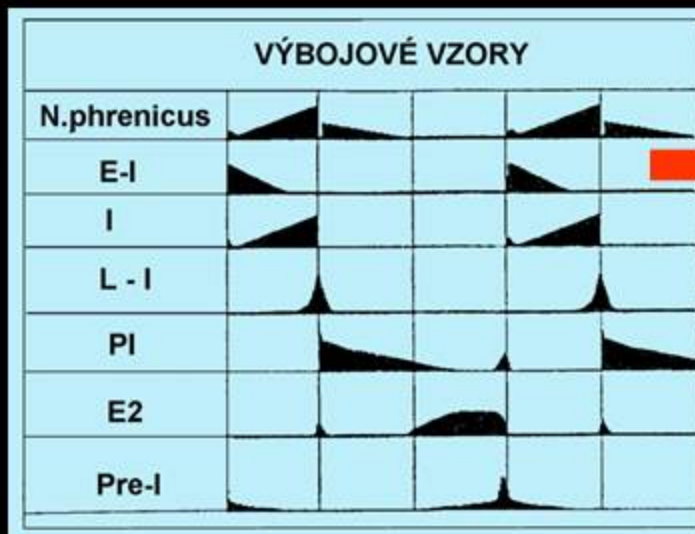
NORMÁLNY EUPNOICKÝ VZOR

3- fázový vzor

Neuromuskulárne fázy
respiračného rytmu



- 2 ventilačné fázy inšpirium - expírium
- 3 neuromuskulárne fázy nádyh – zadržanie dychu - výdych

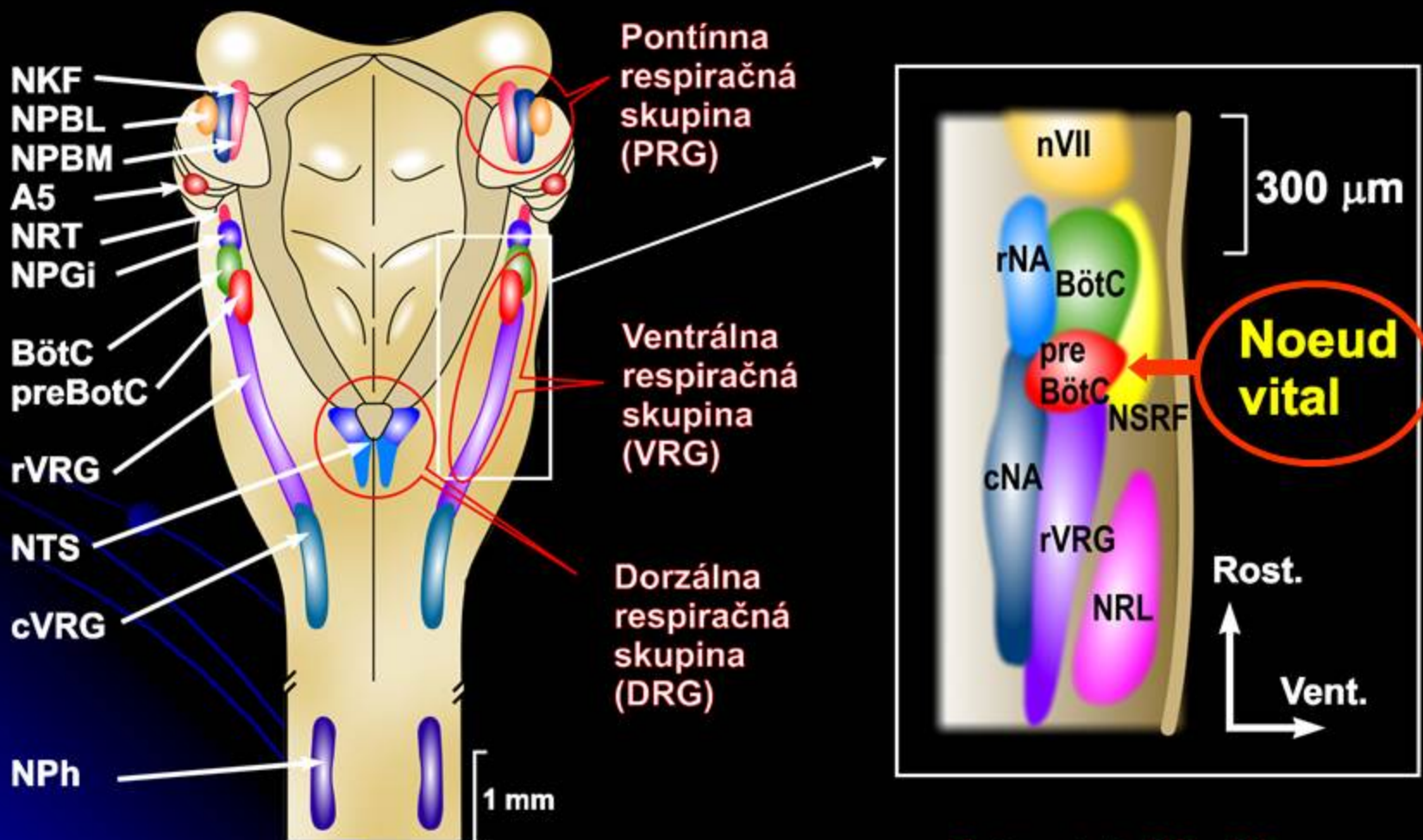


- Nádyh - svah (I1) a modifikovateľná časť (I2)
- Zadržanie dychu (larynx) – uzáver; náplň pľúc (E1)
- Výdych – aj spevnenie brucha a hrudníka (E2) 0

Fázovo-aktivované neuronálne typy

- E-I včasné inšpiračné neuróny
- I (I-ramp, I-all) inšpiračné neuróny
- L-I neskoré inšpiračné neuróny
- P-I post-inšpiračné neuróny
- E2 neuróny aktívneho expíria
- Pre-I pre-inšpiračné neuróny

Kmeňová regulácia dýchania



Richter et al. 1993, 1997

Rekling a Feldman: Annu. Rev. Physiol., 60,1998

MODELY RESPIRAČNEJ RYTMOGENÉZY



Neuronálna sieť

- synapticky pospájané neuróny
- bez pacemakera

- *Richter et al. (1989)*
- *Richtera Ramirez (1998)*
- *Rybak et al. (1997)*
- *Lindsey et al. (2000)*



Pacemaker

- neuróny s pacemakerovými vlastnosťami

- *Smith et al. (1993)*
- *Butera et al. (1999)*



Hybridný systém

- pacemaker tvorí rytmus
- synaptická sieť adaptuje výstup

- *Smith (1997)*
- *Matsugu et al. (1998)*
- *Smith et. al. (2000)*

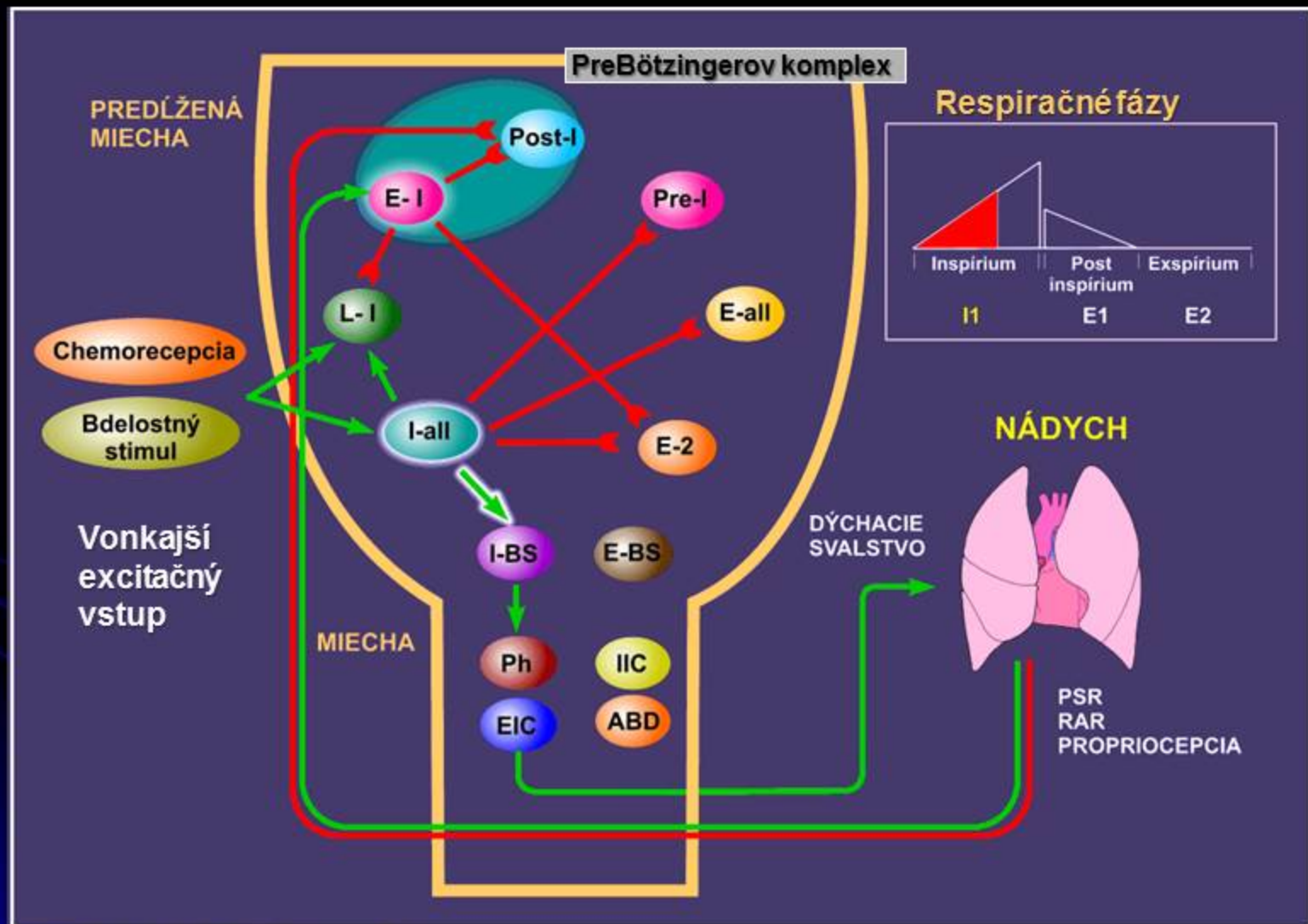


Hierarchická aregulácia

- stavovo- závislé prepínanie sieť alebo hybridný systém

- *Rybak et al. (2001)*
- *Patton et al. (2002)*

1. Excitačný vstup modulovaný inhibičnými synaptickými väzbami



2. Pacemaker v pre-Bötzingerovom komplexe

preBotC neuróny miesto tvorby respiračného rytmu cicavcov a chemorecepcie

Typ 1: N. rytmogénne (excitačné) (neurokinín receptor 1 pre SP) μ -opiát (+) senzitivne, tvorba PPE(-) (proenkefalín) menšie rostrálne, propriobulbárne (pre Insp) (Guyenet 2002)

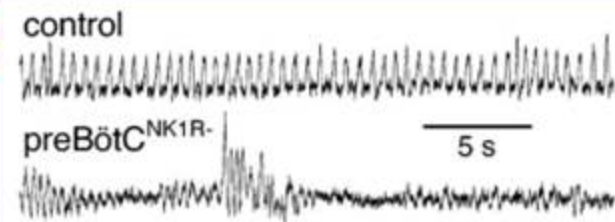
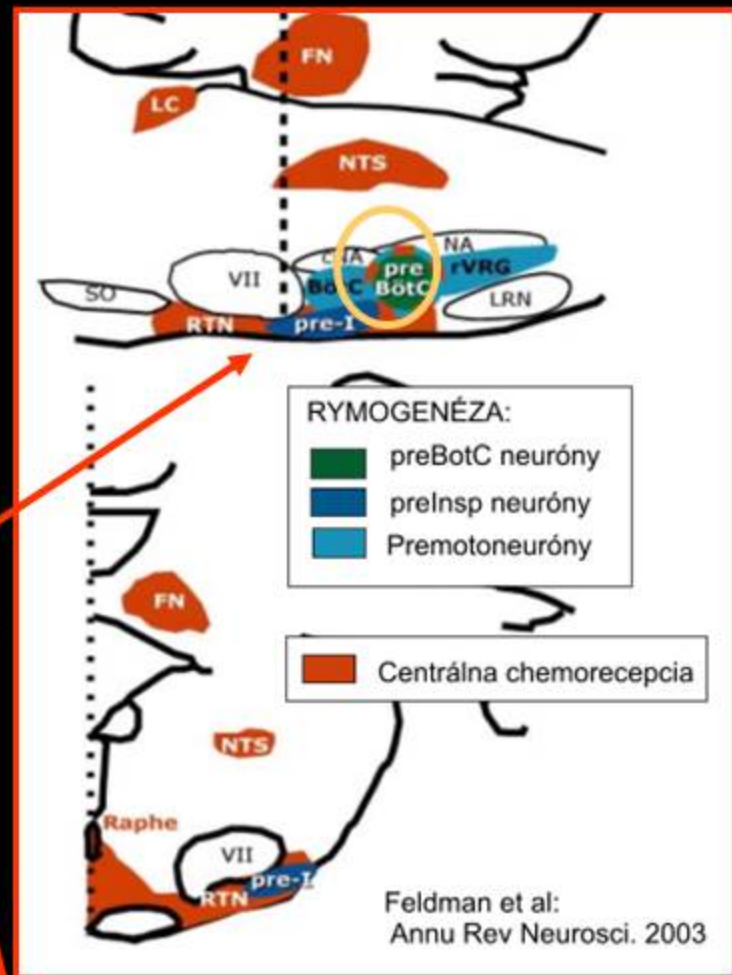
Typ 2: Sledovače, amplifikátory receptory: NK1R(+), μ -opiát (-); tvorba PPE(+) (rôzne vzory) - väčšie, kaudálne, bulbospinálne, I-AUG (Gray et al. 2001)

Typ 3: nonNK1R

Pacemakery v preBötC - persistentný sodíkový kanál (INaP) (Del Negro et al. 2001, Rekling & Feldman 1998)

Cd^{2+} -senzitivne/hypoxia-senzitivne/riluzole-insenzitivne (Thoby-Brisson & Ramirez 2000)

Cd^{2+} -insenzitivne/hypoxia-insenzitivne/riluzole-sensitive zodpovedné za gasping (Ramirez et al. 2002)

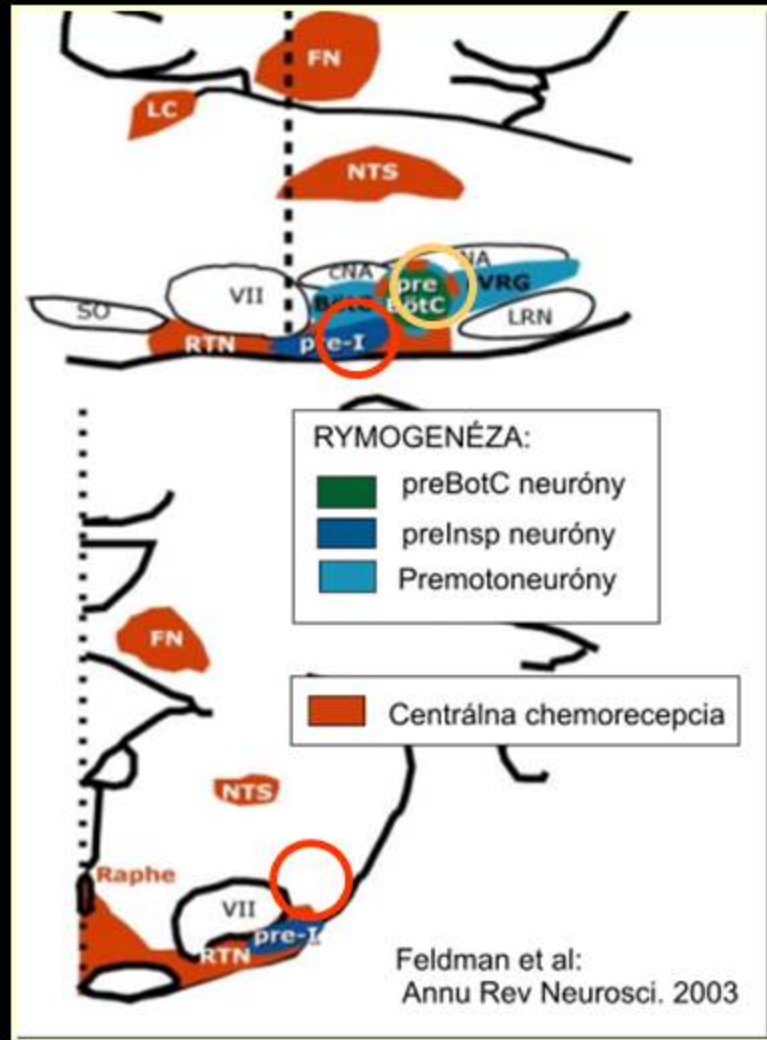
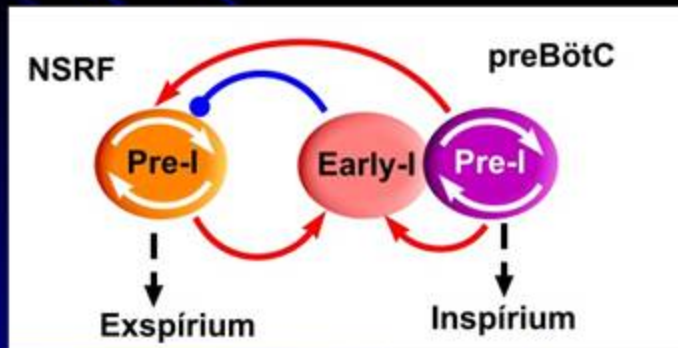


Ataktické dýchanie - deštrukcia NK1R+ buniek v preBot. (Gray et al. 2001, Wang et al. 2002)

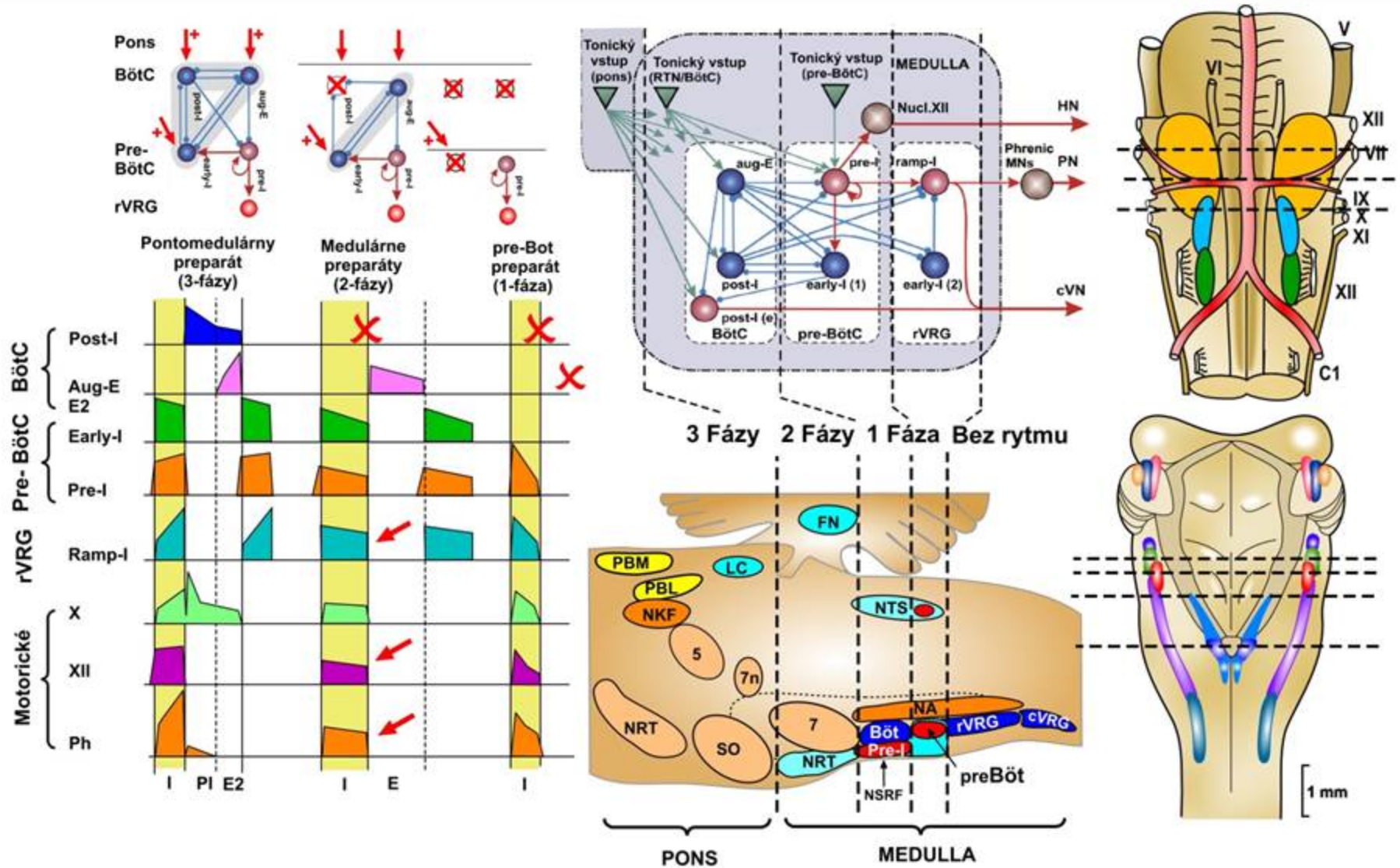
3. Duálny generátor rytmu

Parafaciálna respiračná skupina (pFRG)

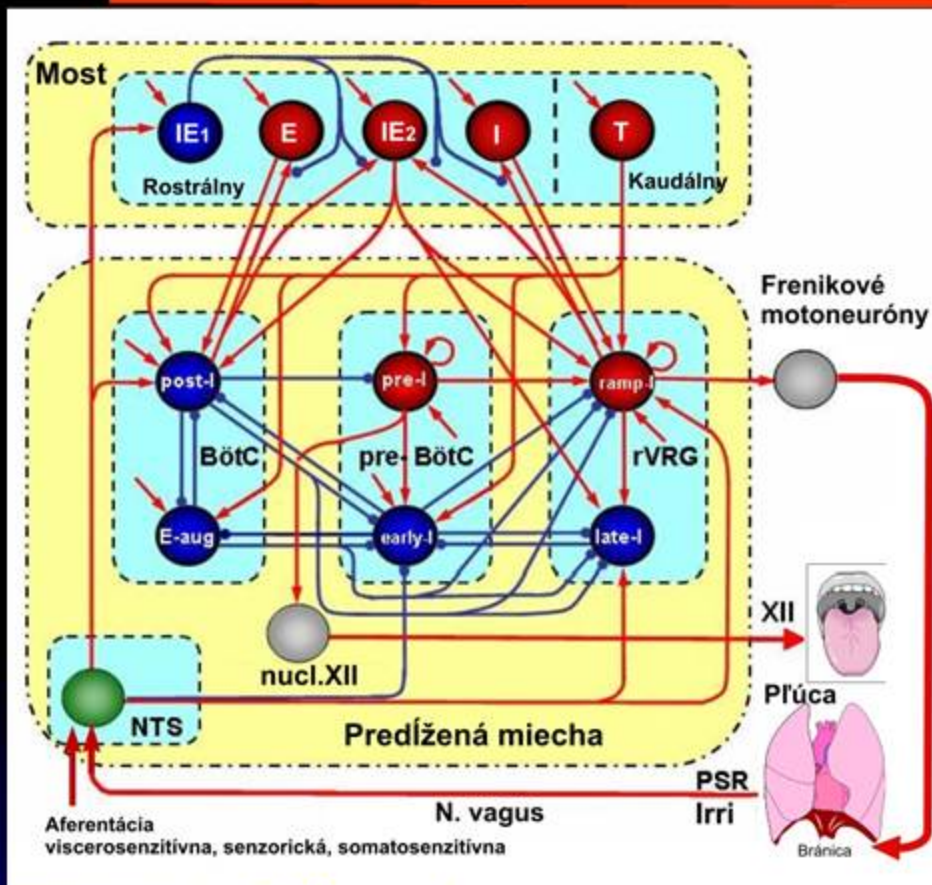
- ventrálne a rostrálne od preBötC pri ventrálnom povrchu **nuc. subretrofacialis**
pre-I/ post-I (expiračná aktivita)
- μ -opiát insenzitívne pacemakery (*Onimaru a Homma 1988*) (nie sú suprimované anestéziou) (*Ballayni et al. 1999*)
- kandidát na alternatívny rytmus zdroj expiračnej aktivity: abdominálne svaly, faciálne, faryngeálne
- **pre - BötC** riadi inšpirium; **pFRG** riadi expirium
(*Janczewski & Feldman, 2006*)



4. Ponto-medulárna regulácia

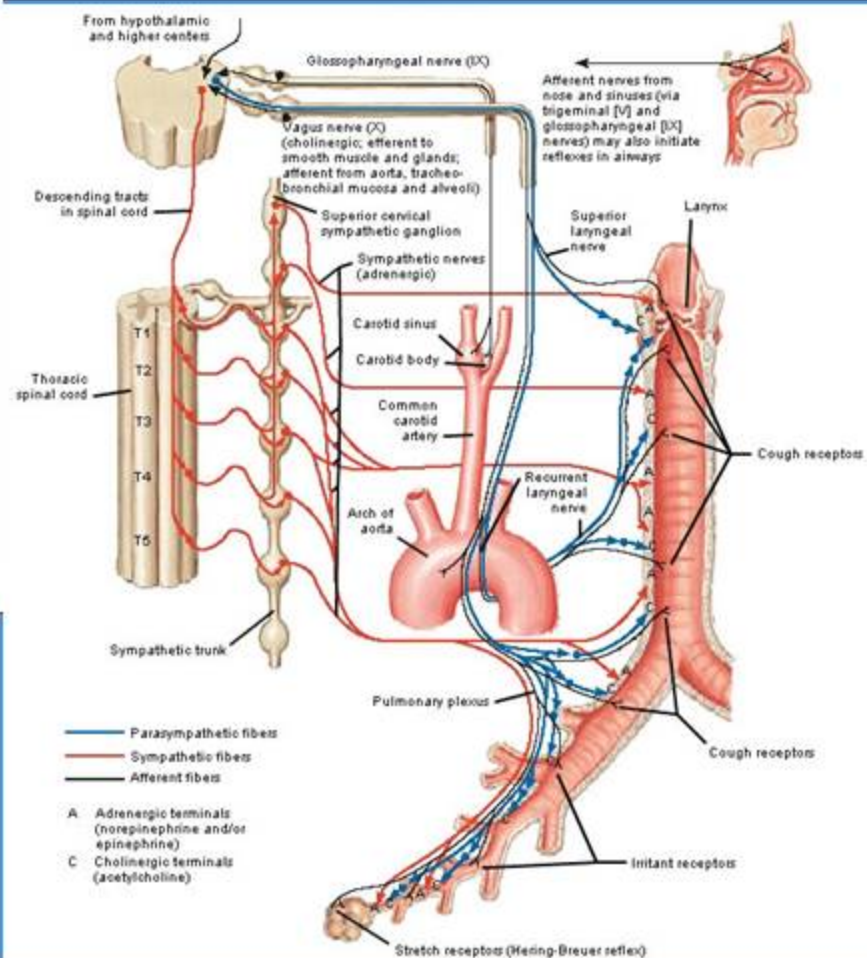


5. Excitácia a aferentný feedback



Inervácia:

- n. V, n. IX, n. X a jeho vetvy n. laryng. rec. a laryng. sup.
- cervikálny a hrudný sympatikus

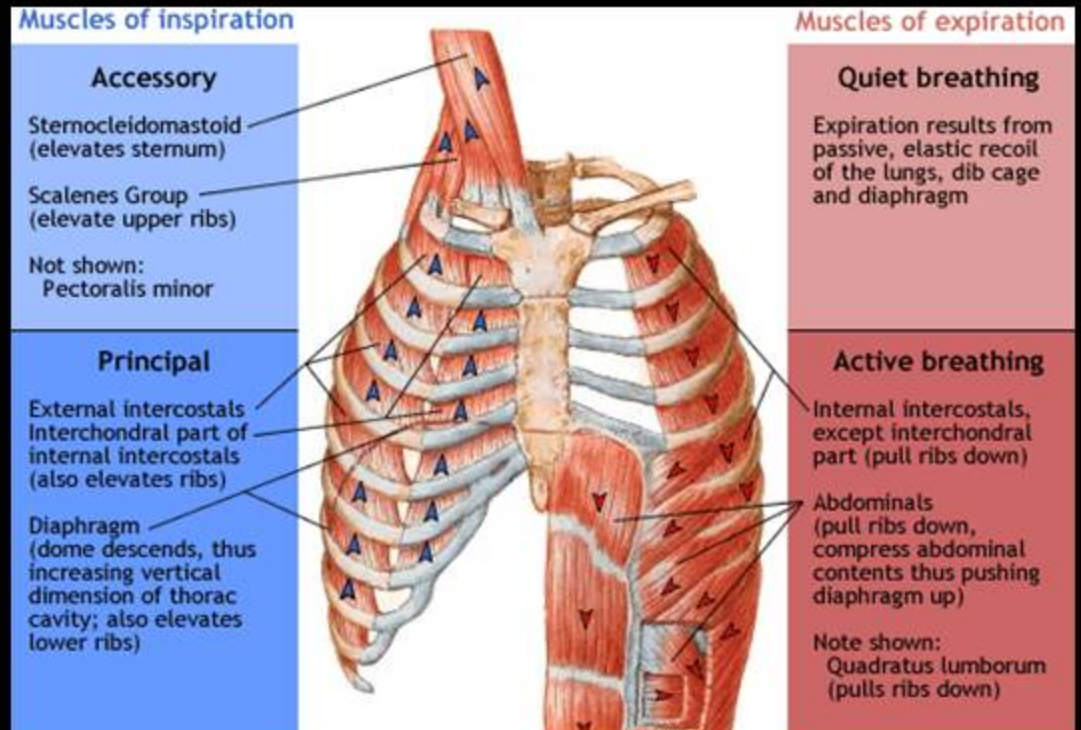
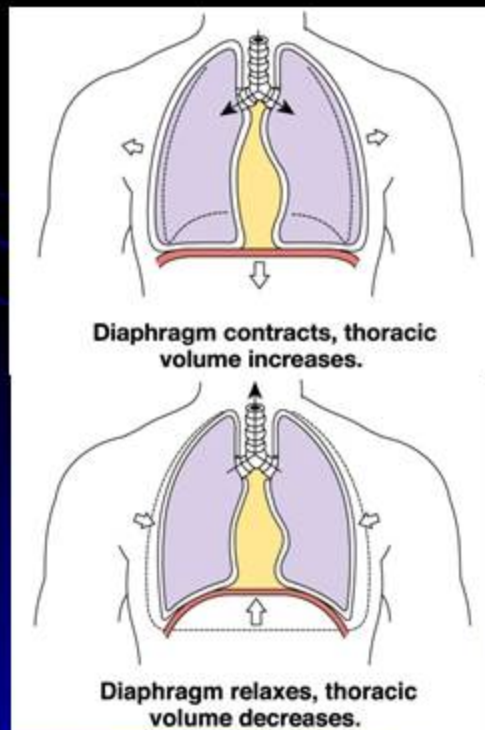


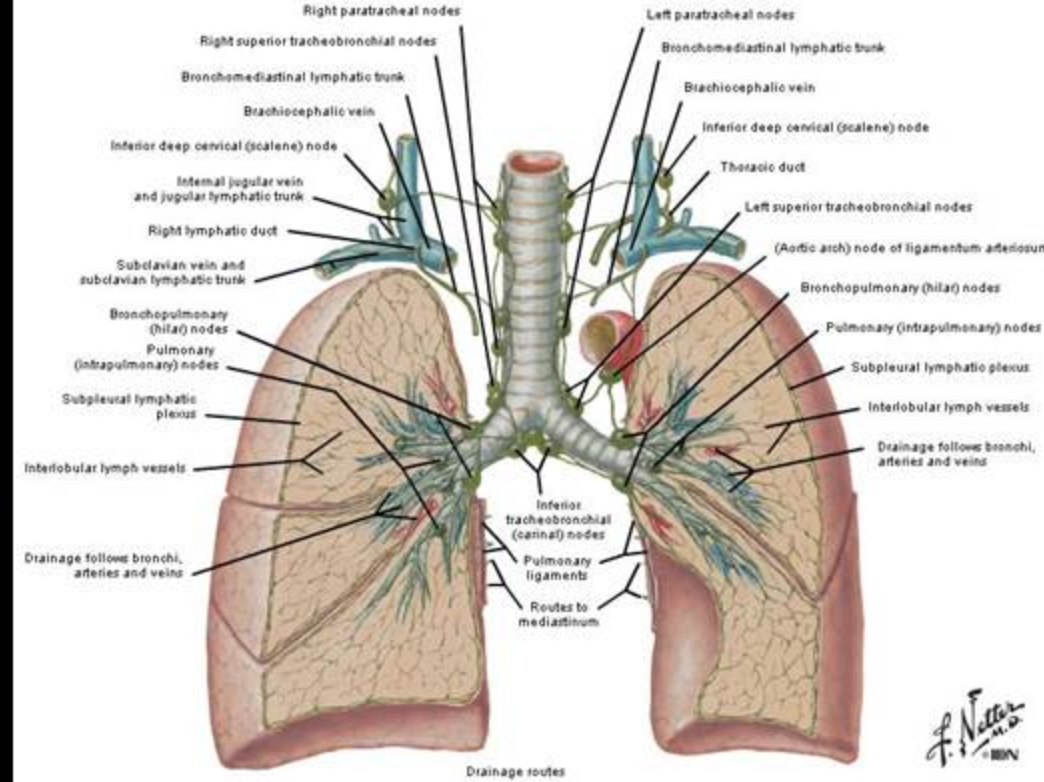
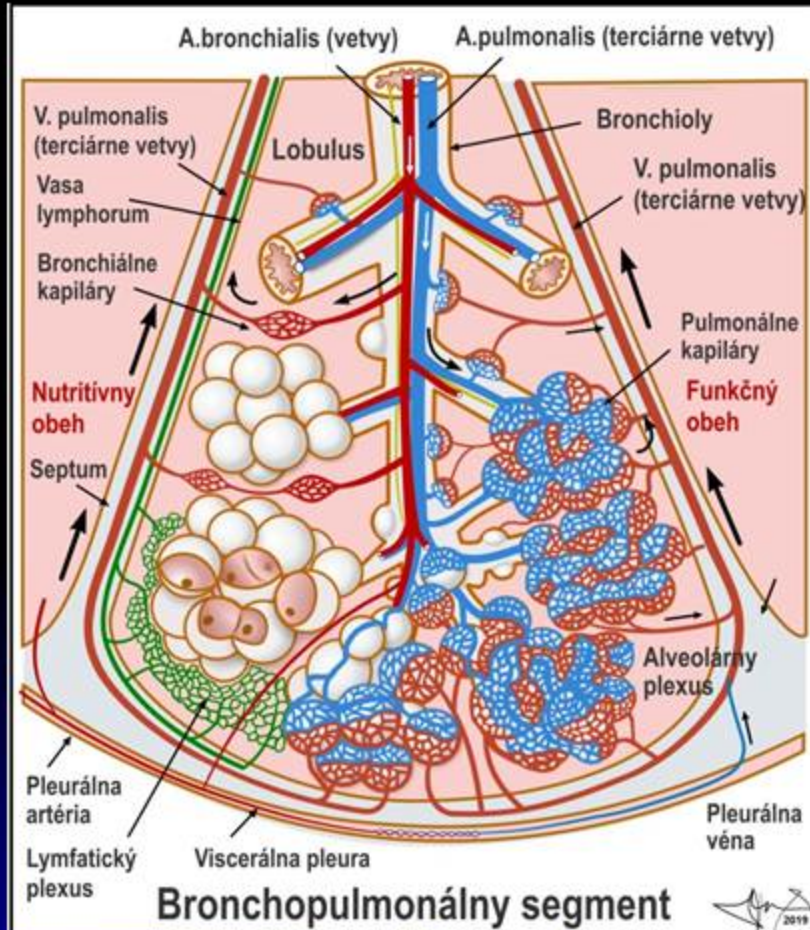
Aferentácia:

- Pľúca: mechanoreceptory: PSR (rec. rozpätia pľúc, IRR (dráždivé rec.), J-rec., polymod. chemorec., nociceptory,
- Proprioreceptory: svaly, kĺby, hrudný kôš
- HDD: mechano-, chemo-receptory,

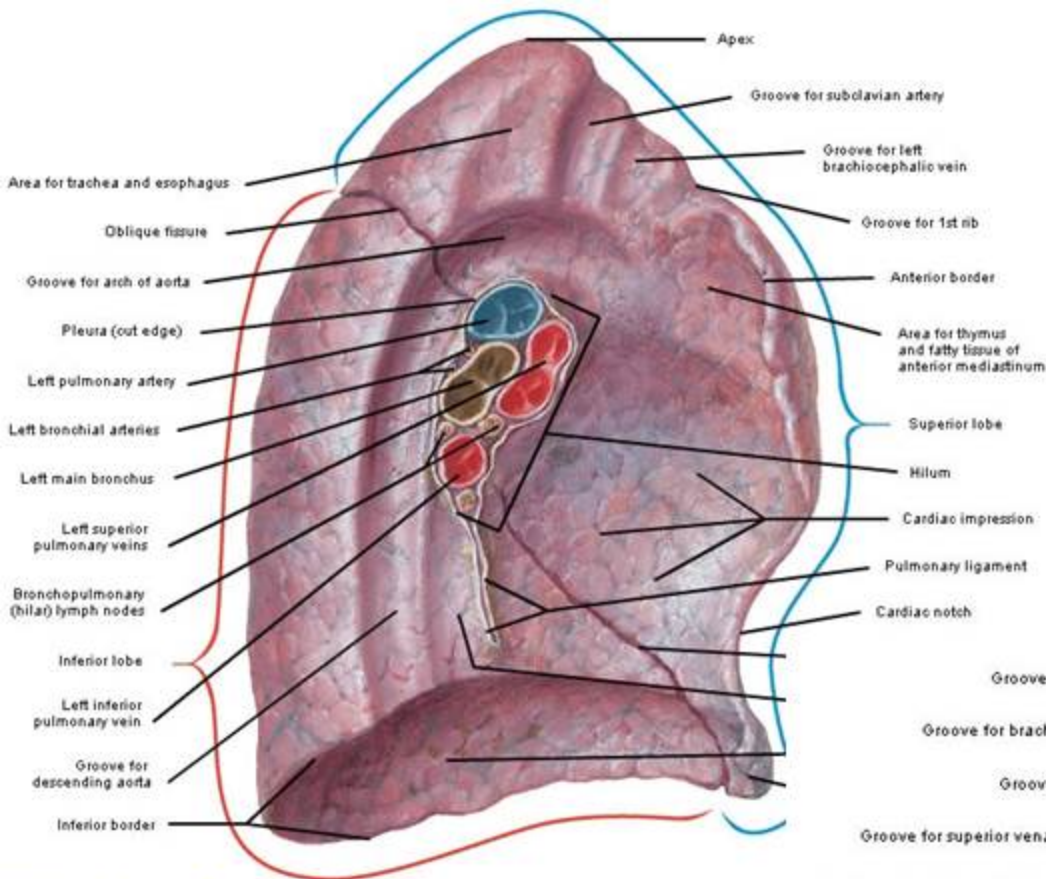
Dýchanie - svalstvo

- Dýchanie je vitálna ale nie vegetatívna funkcia; umožňujú ho periodické pohyby **priečne pruhovalých svalov** – hlavné svaly –pumpa = bránica (nenahraditeľná); pomocné svaly = akcesórne (svaly krky, hrudníka, brucha)
- **Bránica** ← n phrenicus (C4-C6), Interkostálne svaly inspiračné (externi), expiračné (interni)
- Ochorenia postihujúce skeletálne svaly postihujú aj dýchanie → (poruchy neuromuskulárneho prenosu – myastenia gravis, účinok myorelaxancií, poruchy svalov - myopatie, neuromuskulárna paralýza – sy. dolného motoneurónu



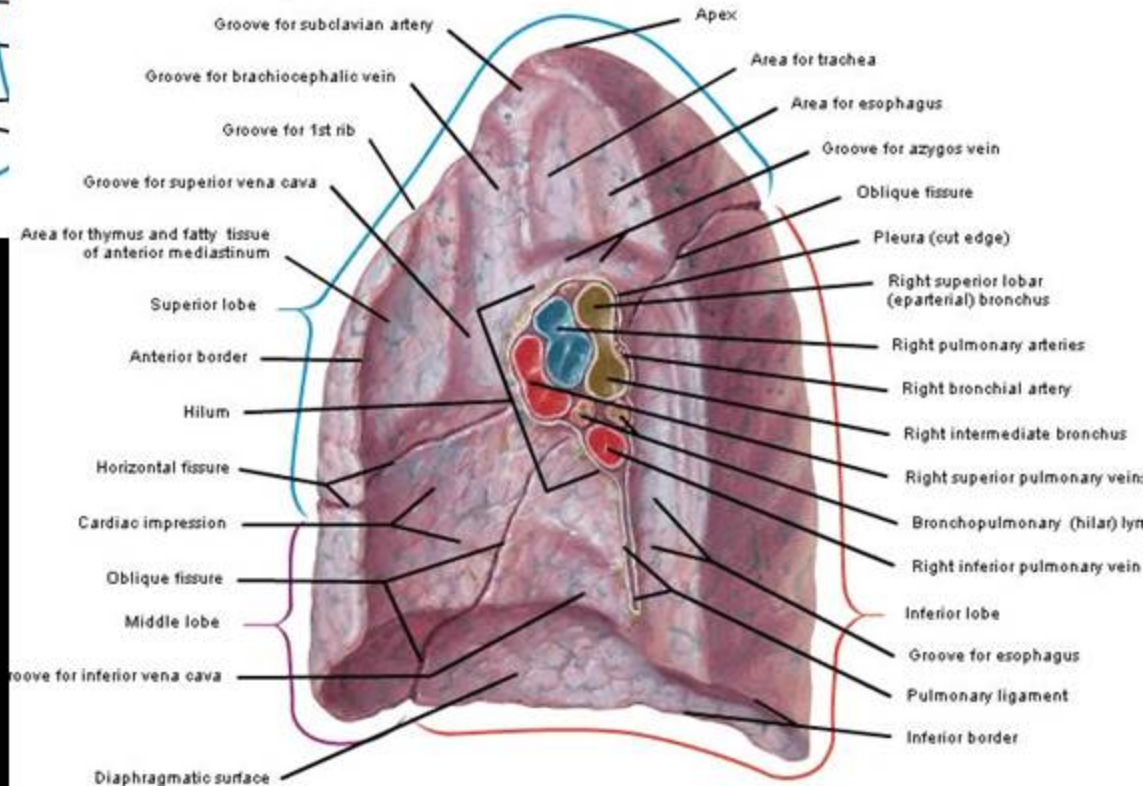


- pľúca majú výdatnú lymfatickú drenáž, ktorá pomáha odsávať možný transudát;
- množstvo peribronchiálnych a paratracheálnych lymf. uzlín je bariérou pre šírenie patogénov i bránou pre výskolenie imunokompetentných buniek

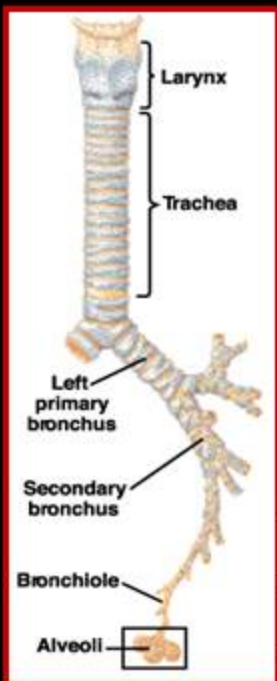
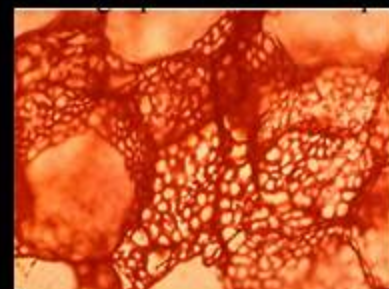


Elasticita (recoil)- tendencia k návratu do kludového objemu účinkom elastickej stromy pľúc, elastickým komponentom resp. svalov (diaphragmy)

Kompliance (distenzibilita) – tendencia pľúc k expanzii pleurálnym podtlakom; podporovaná je účinkom surfactantu – zabraňuje kolapsu alveol

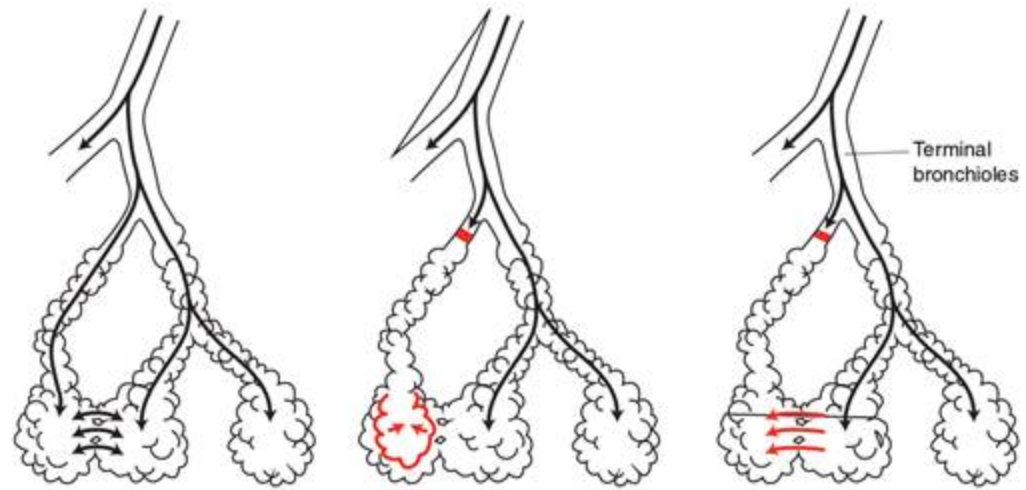
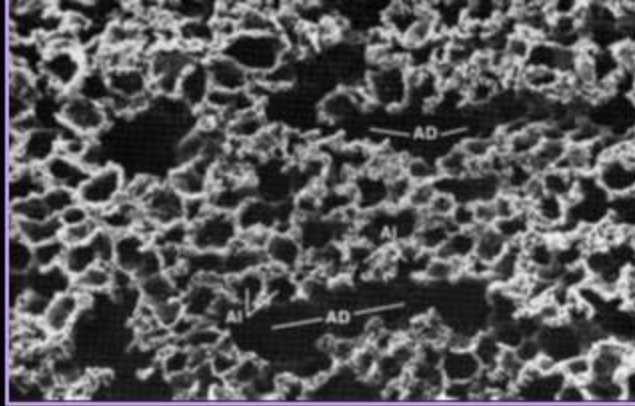


- Alveolárna difúzna plocha - 300 mil.; 70-130 m² (tenisový kurt)
- Perfúzna redundancia – 1000 kapilár /1 alveol (výmena plynov i pri slabej ventilácii a tachypnoe)



	Name	Division	Diameter (mm)	How many?	Cross-sectional area (cm)
Conducting system	Trachea	0	15-22	1	2.5
	Primary bronchi	1	10-15	2	↓
		2	1-10	4	
		3			
		4			
		5			
6-11	1 x 10 ⁴				
Exchange surface	Bronchioles	12-23	0.5-1	2 x 10 ⁴ ↓ 8 x 10 ⁷	100 ↓ 5 x 10 ³
	Alveoli	24	0.3	3-6 x 10 ⁸	>1 x 10 ⁶

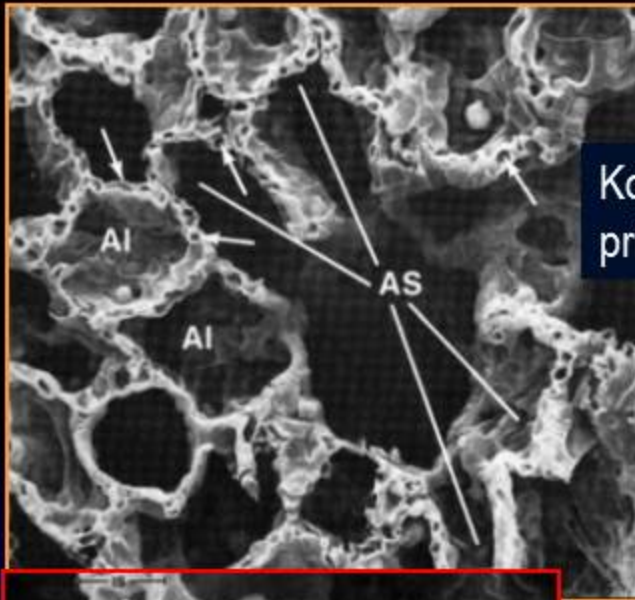




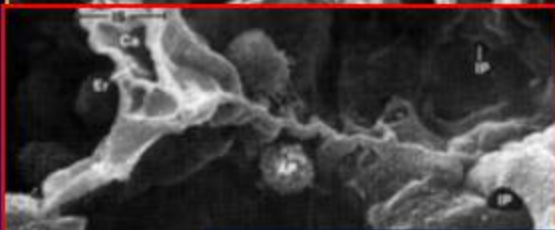
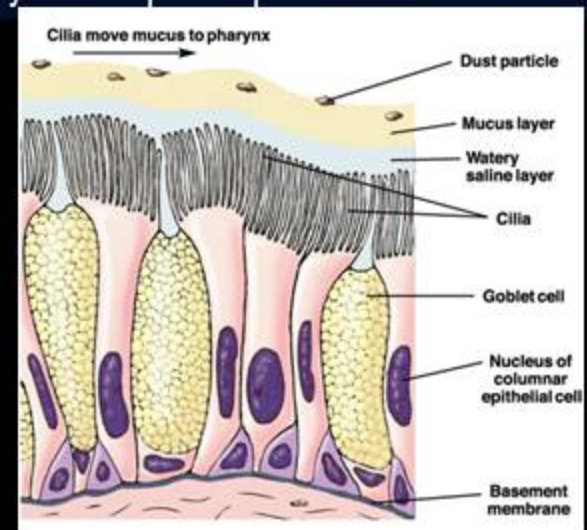
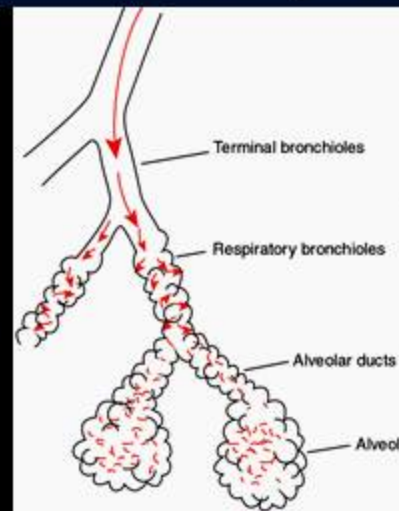
A Normal ventilation

B Blockage leading to potential collapse of alveoli

C Collateral flow through pores of Kohn works against

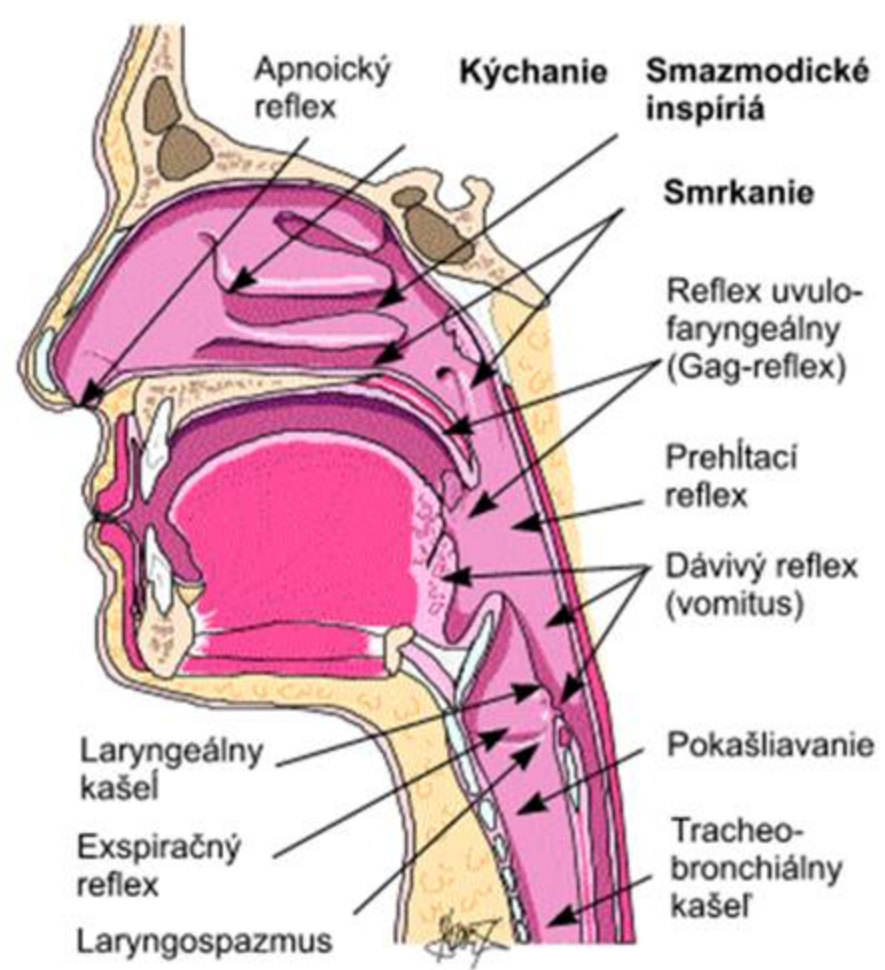
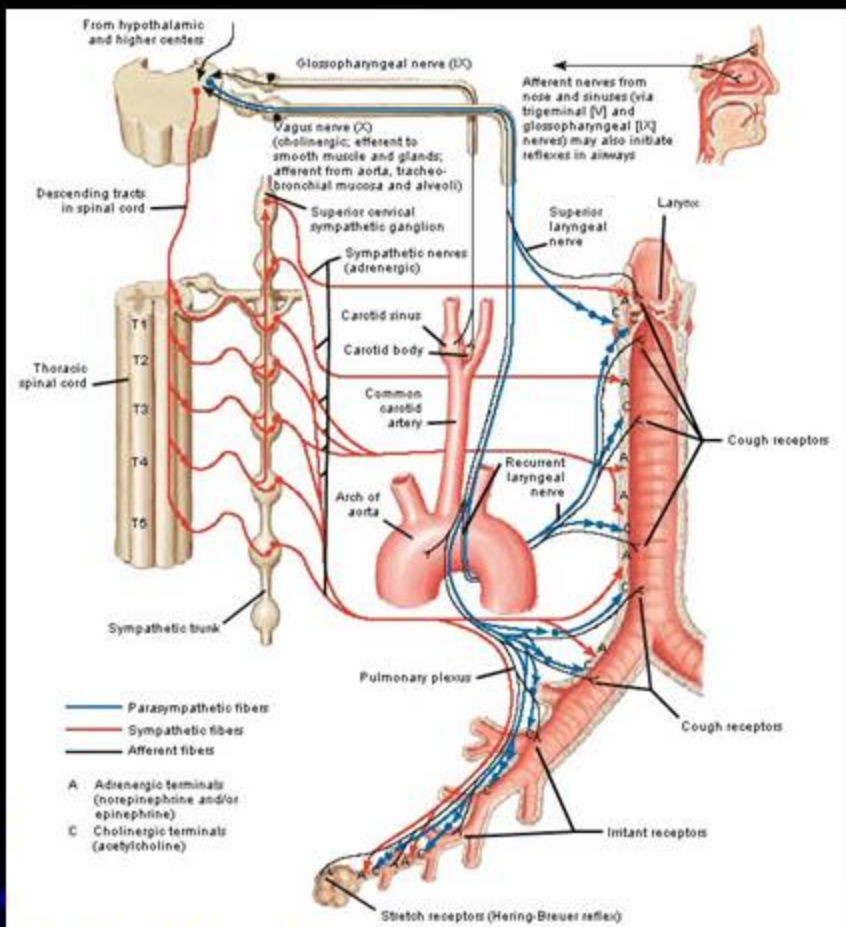


Kohnove póry – spojenie dovoľujúce priechod medzi alveolárnymi priestormi.. Ochrana pred alvolárnym kolapsom pod miestom obštrukcie



Prechodová oblasť pľúc = vzduchová turbuklencia pri prechode z terminálnych bronchiolov do oblasti alvolárných duktov a alvolárných terminálov – výrazný pokles rýchlosti prúdu, depozícia mikropartikúl

- Sy. lenivých cílí (vrodená porucha), Cystická fibróza (AR, Cl transportér)
- Fajčenie, dráždivé plyny, profesionálne zaprášenie

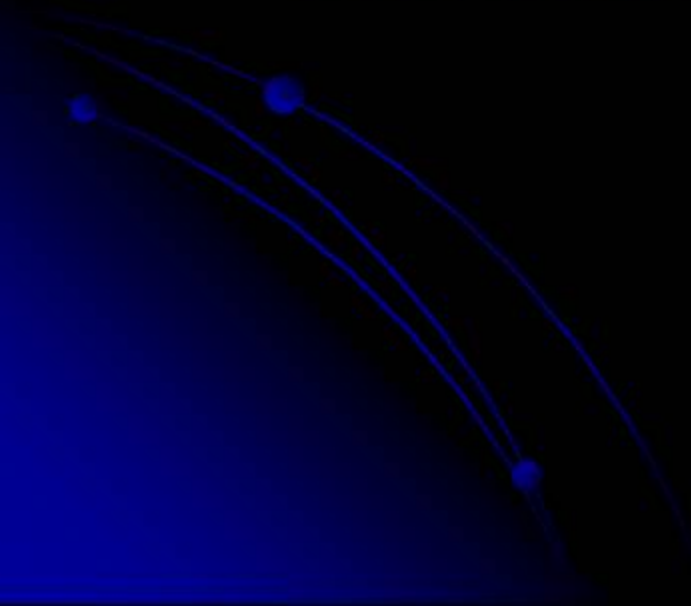


Inervácia: - n. V, n. IX, n. X a jeho vetvy n. laryng. rec. a laryng. sup.; cervikálny a hrudný sympatikus

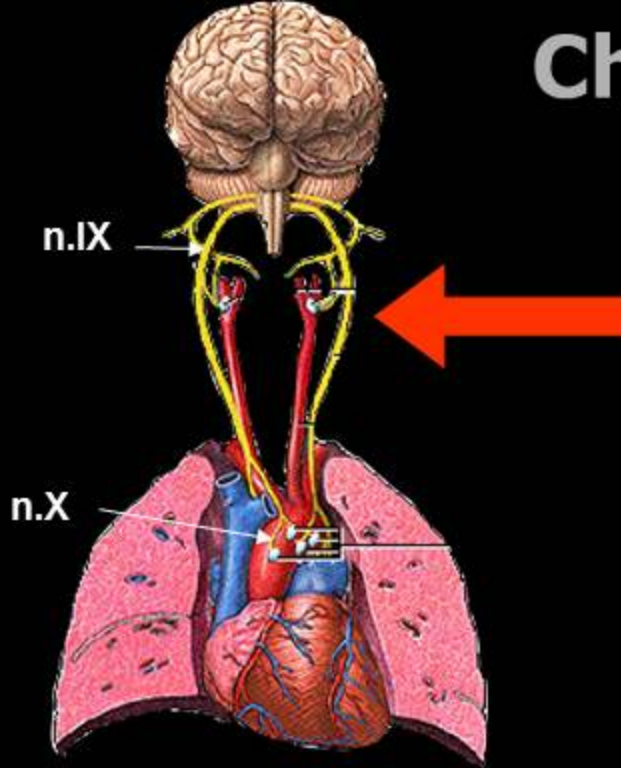
Aferentácia: - receptory rozpätia pľúc, Dráždivé receptory, J- receptory, Nociceptory, mechanoreceptory, polymodálne chemoreceptory, pH-receptory

- Smrkanie, kýchanie,
- Posmrkávanie
- Pokašliavanie - priedušnica, hrtan
- Kašeľ laryngeálny
- Kašeľ tracheo-bronchiálny

Chemorecepcia a acidobázická regulácia



Chemorecepcia pri regulácii dýchania



Periférne O₂-receptívne mechanizmy

- karotické receptory (pO₂, pCO₂, pH)
prietok 2l/min/100 g; stimulácia pri P_aO₂ <60 mmH
aditivneacidóza a hyperkapnia
- aortálne receptory (pO₂, pCO₂)
- arteriálne O₂ senzory (pO₂, pH)
- pulmonálne senzory (pO₂, pH)

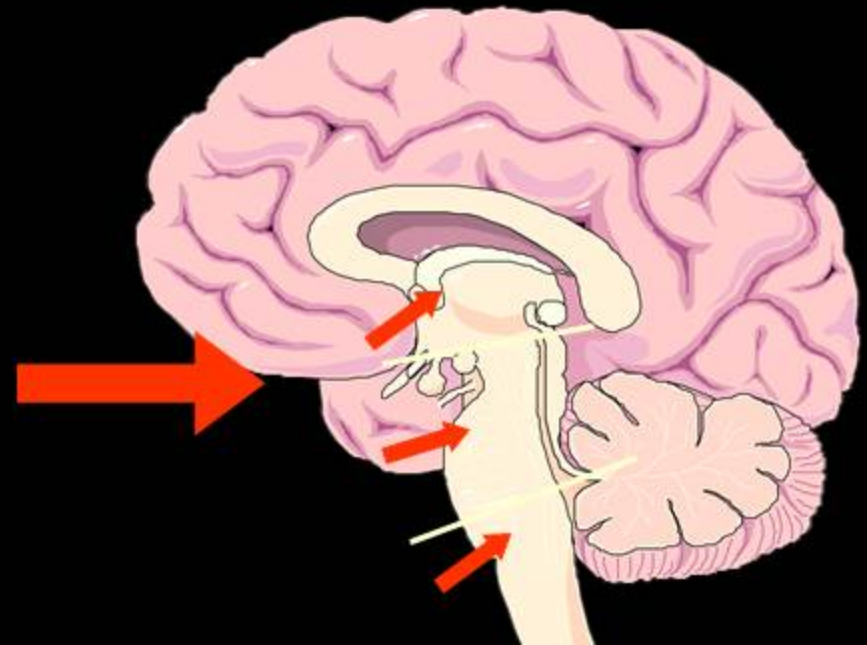
diencefalické štruktúry *Tenney a Ou (1976) Horn a Waldrop (1997)*

chemosenzitívne neuróny laterálnej RF medulla obl. (O₂, ?pH) *Arita et al. (1988)*

RF kaudálnej a rostrálnej časti mosta *St.John (1977), Edelman et. al (1991)*

nucl. raphe *Millhorn et al. (1980,1984)*

PreBötzingero *Solomon et al. (2000)*



CO₂ - CHEMORECEPCIA

- CO₂ má zásadný význam pre udržanie dýchania -20- 25 mmHg.
- CO₂ stimuluje respiráciu asi do 60% max. voluntárnej hyperventilácie

•Centrálny systém (70-80% odpovede)

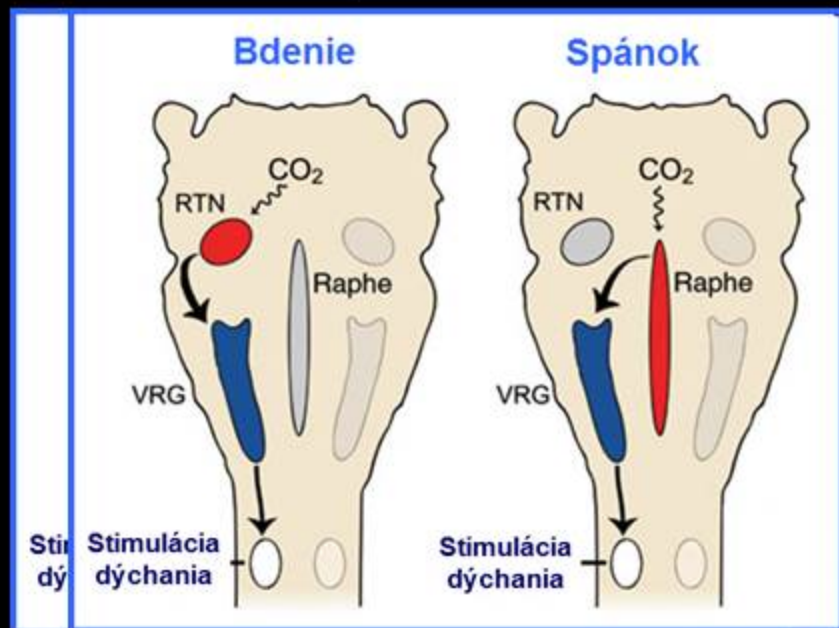
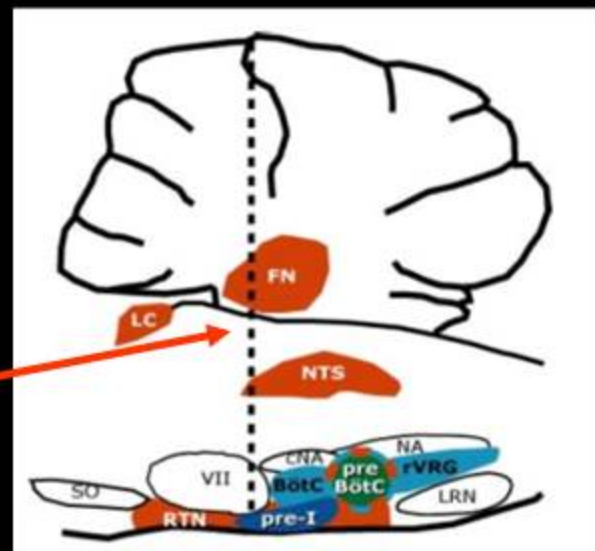
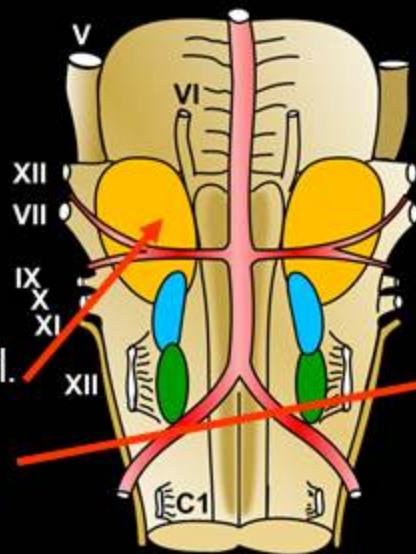
-distribúovaný VLM, nucl. raphe (5-HT), nucl. retrotrapezoideus, locus coeruleus, RVLM, preBot, nucl. fastigii cerebelli - **permanentná tonická stimulácia** (apnoický prah 20-25 mmHg)

detekcia interstiálneho pH pH senzitivne proteíny

•Periférna recepcia (20-30% odpovede)

-karotické chemisenzory (delekcia CO₂ + pH), stav alveolárnej ventilácie, karbémia, systémového metabolizmu - **rýchla fázická stimulácia pri náhlych zmenách CO₂**; tonická stimulácia pri normálnom CO₂ a pH

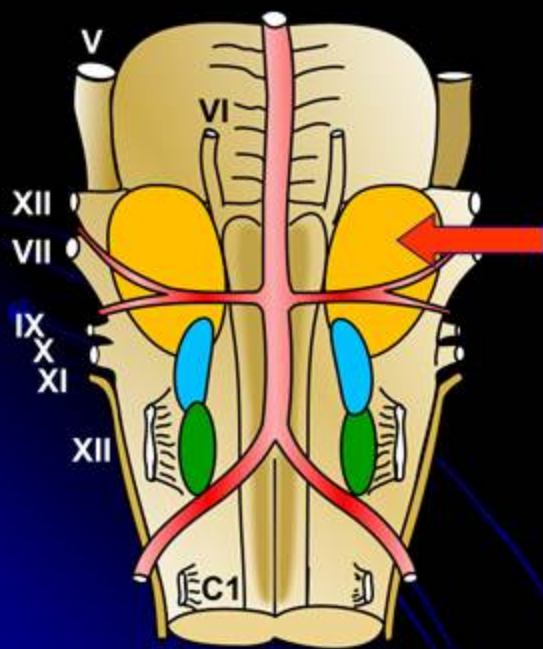
-(Nattie 2006)



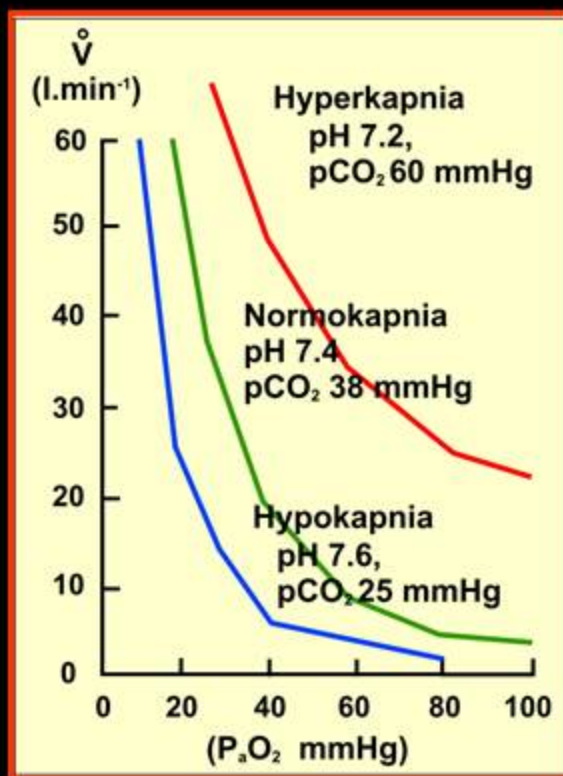
Ovplyvnenie dýchania cestou CO₂

- CO₂ má zásadný význam pre udržanie dýchania – pokles pod 20 mmHg vedie k apnoe (receptory v predĺženej mieche),
- Hypoxia stimuluje dýchanie pri poklese pod 60 mmHg.

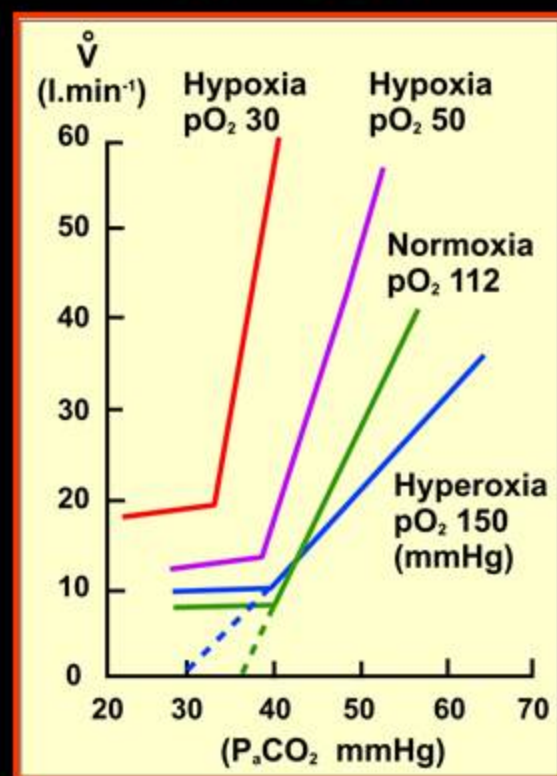
Centrálne pH/CO₂ – senzitivne mechanizmy



CO₂ → O₂

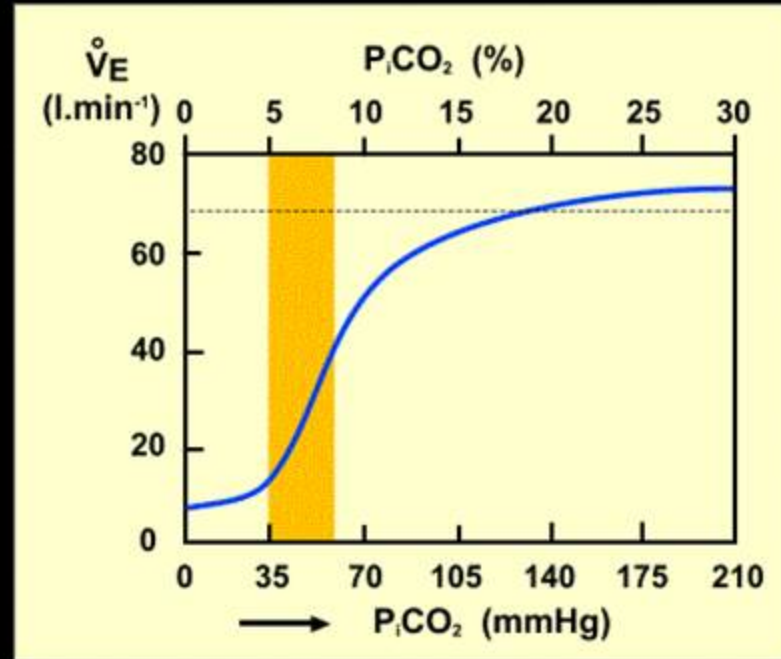
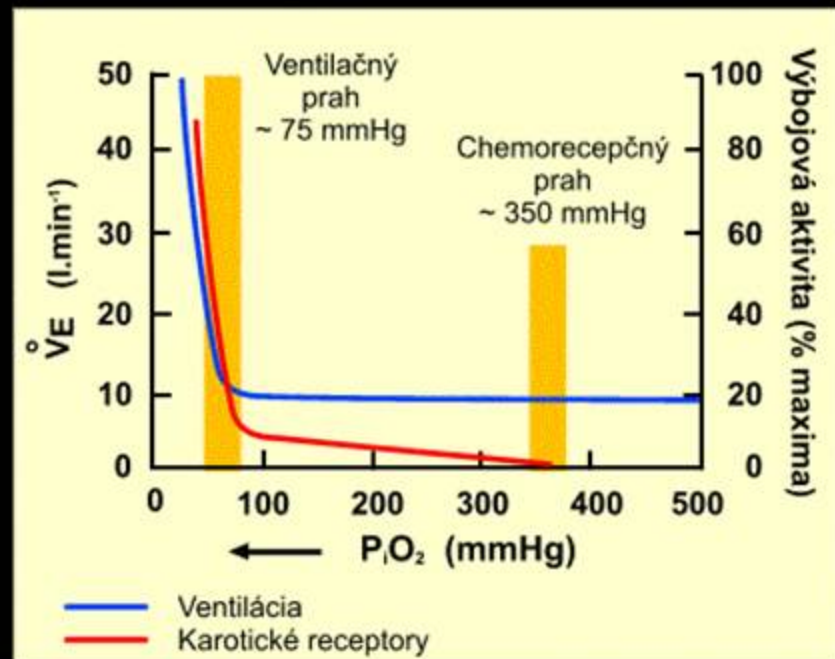


O₂ → CO₂



Millhorn a Eldridge (1986), Schlaefke (1987), Nattie (1998)

Závislosť dýchania od O₂ a CO₂

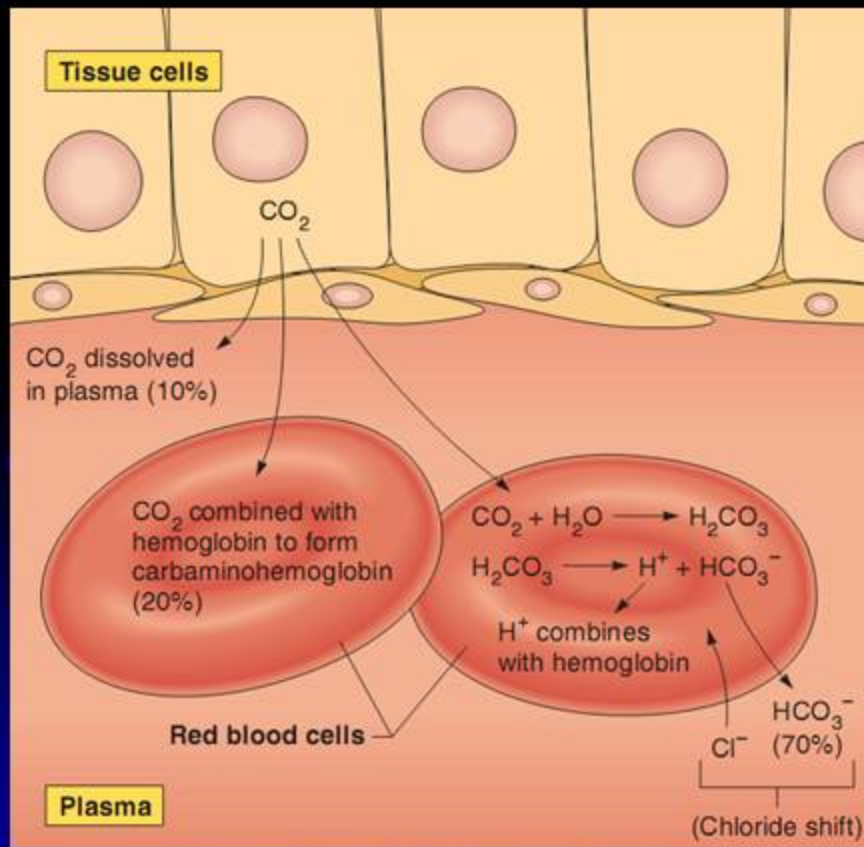


- Minutový objem je hyperbolickou funkciou vdychovaného O₂
- Ventilačný prah O₂ odpovede - strmý nárast ventilácie s poklesom O₂ (PaO₂ ~ 70 mmHg)
- O₂ - chemorecepčný prah: začiatok aktivácie chemoreceptorov, bez ventilačnej odpovede (PaO₂ ~ 95 mm Hg)

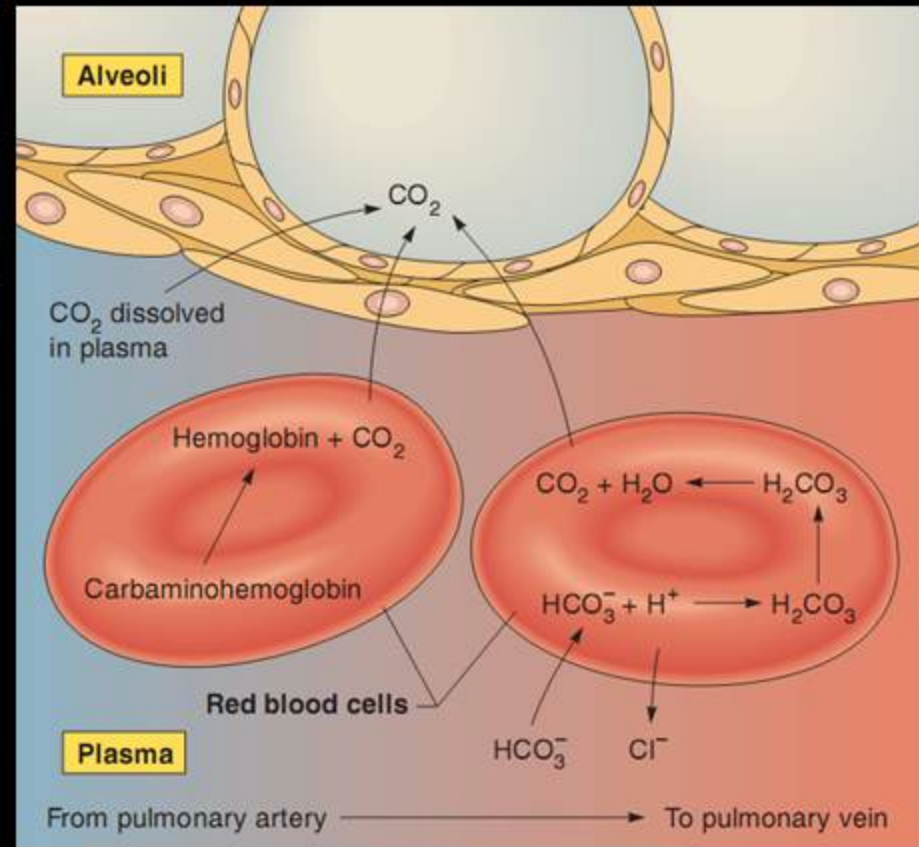
- Minutový objem je sigmoidálnou funkciou vdychovaného CO₂
- CO₂ dokáže stimulovať respiráciu asi do 60% maximálnej vountárnej hyperventilácie
- CO₂ senzitivita = strmý nárast v rozsahu 5%-7% PiCO₂ (6 l.min⁻¹ na 1% CO₂); senzitivita na CO₂ sa znižuje v spánku

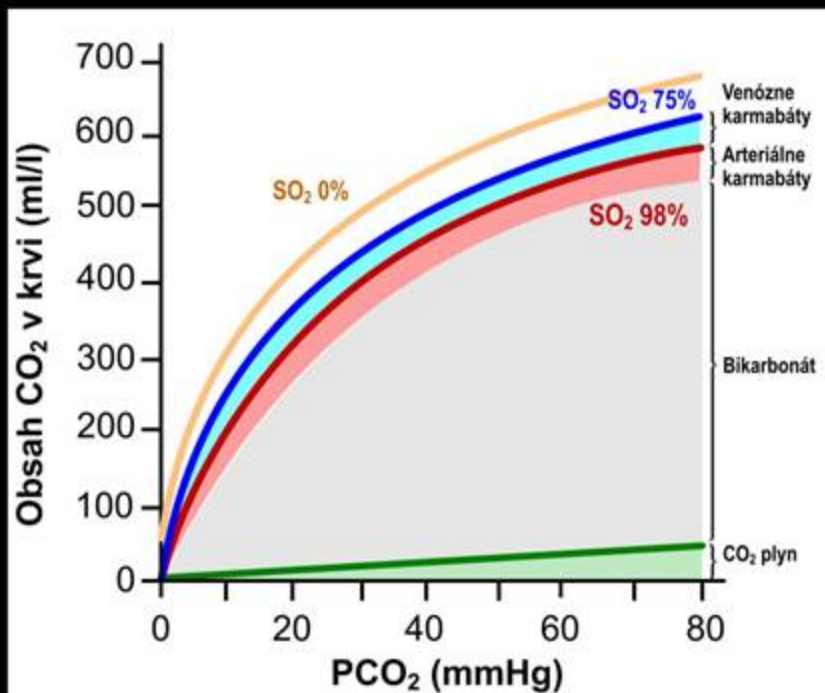
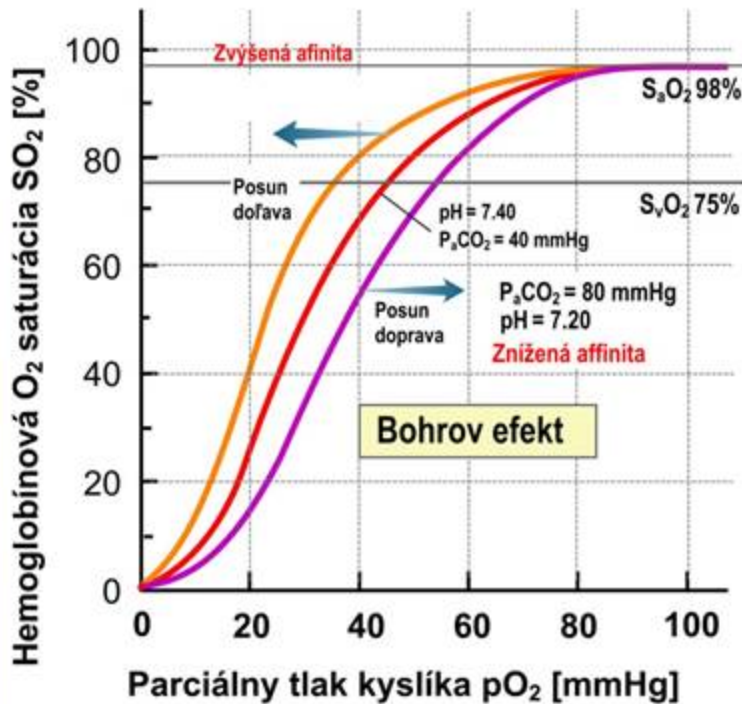
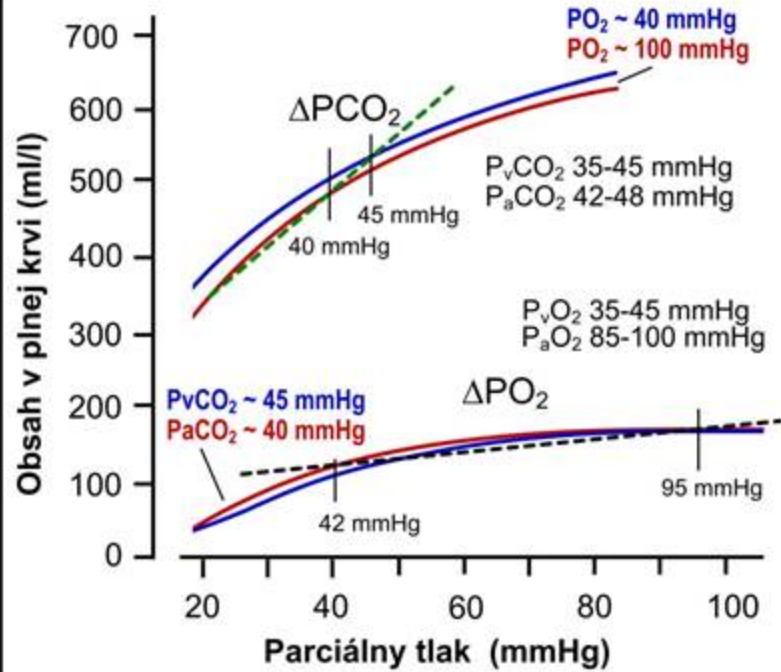
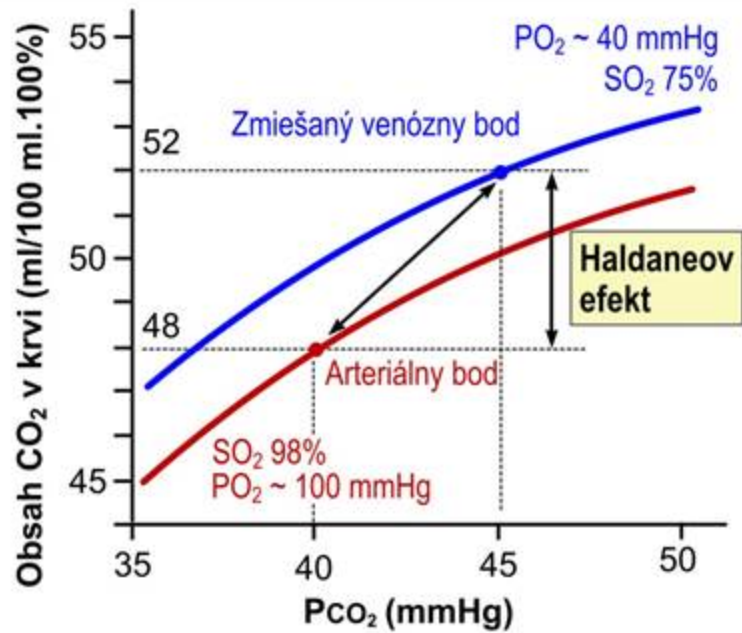
Úloha dýchania v acido-bázickej rovnováhe

Transport CO_2 z tkanív do krvi



Transport CO_2 z krvi do pľúc





Poruchy respiračného rytmu - Dysrytmie



Adaptívne a kompenzačné zmeny dýchania

EUPNOE (NORMOPNOE) 12- 20 d/min



dospelý 12-20 c/min,
dieťa 15-30 c/min
novorodenec 25-50 c/min

1. NOMOMORFNÉ ZMENY

TACHYPNOE (> 20 c/min)



- Lieky spôsobujúce respir. útlm, intoxikácie
- Panika, bolesť, metab. alkalóza

BRADYPNOE (< 10-12 c/min)



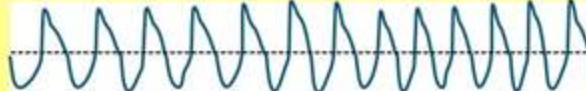
- Lieky spôsobujúce respir. útlm (morfín)

HYPOPNOE (< 6l/min), HYPOVENTILÁCIA



- Lieky, sedatíva, barbituráty, opiáty
- Ochorenia CNS

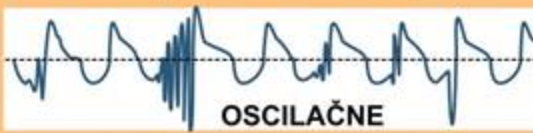
HYPERPNOE (> 8l/min), HYPERVENTILÁCIA



- pulmonálne patologické zmeny;
- difúzne supratentoriálne metabol. vplyvy

2. HETEROMORFNÉ ZMENY

**PREHLBENÉ DYCHY (NÁDYCHY)
(VZDYCHY, OSCILÁCIE, ZÍVANIE)**



- hypoxia, antiatelektatické, dysbal, vent/perf.

HYPOVENTILAČNÉ

SHALLOW BREATHING (PLYTKÉ)



- medulárne tegmentum, laterálna medulla

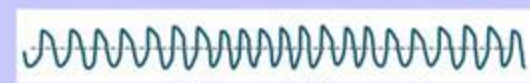
CENTRÁLNA HYPOVENTILÁCIA (CNHy)



- medulárne tegmentum, laterálna medulla,
- medulárny infarkt (Wallenbergov sy.) a pod

3. PRAVIDELNÉ NEAPNOICKÉ HYPERVENTILAČNÉ

**CENTRÁLNA NEUROGÉNNA
HYPERVENTILÁCIA (CNH) (> 40 c/min)**



- mezencephalon, rostrálny most

OBŠTRUKTÍVNE (AIR- TRAPPING)



- CHOBPCH, astma a pod.

ACIDOTICKÉ (KOMPENZAČNÉ)



- laktát, ketolátky, renálna acidóza

KUSSMAULOVE DÝCHANIE

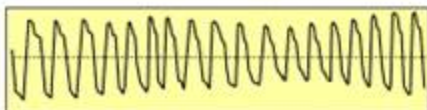
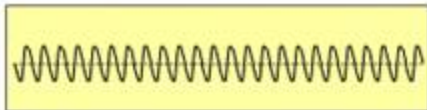


- medulárne tegmentum, laterálna medulla

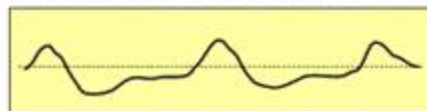
↓ Insp.

Poruchy respiračného rytmu

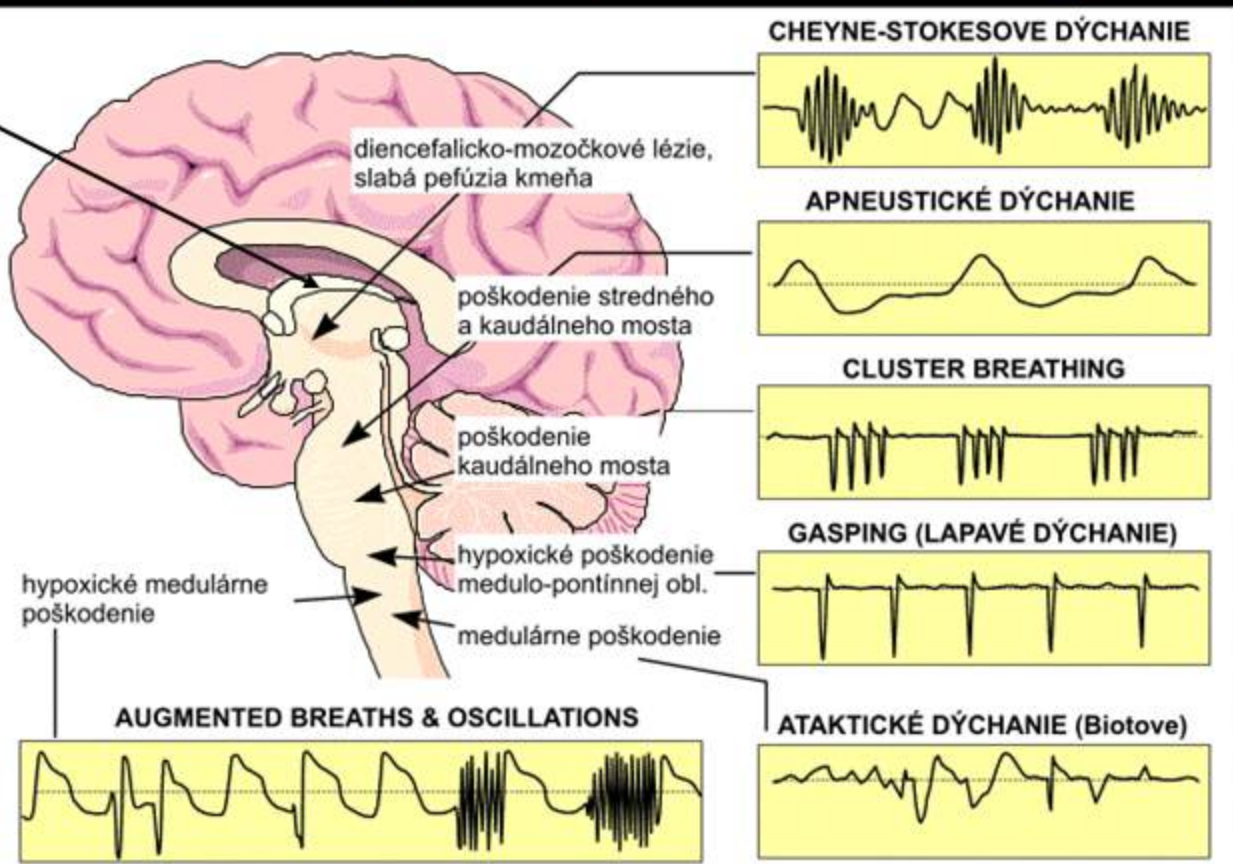
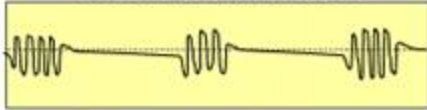
CNH (CENTRÁLNA HYPERVENTILÁCIA)



APNEUSTICKÉ DÝCHANIE



CLUSTER BREATHING



Poruchy rytmu modifikujúce eupnoické dychy

- Prehĺbené dychy (vzdychy) (augmented breaths)
- Oscilačné dychy (end-inspiratory oscillations)
- Dychy s post-inspiračným tonusom

Periodické rytmy non-eupnoického typu

- Cheyneove - Stokesove dýchanie
- Lapavé dychy (gaspings)
- Biotove dýchanie (cluster breathing)
- Apneustické dýchanie

CHEYNEHO - STOKESOVE DÝCHANIE

Definícia: Periodické dýchanie (cyklus 30 s – 2 min) kombinujúce hyperpnoické dychy s kreščendo a dekreščendo vzorom s apnoe

Pričiny:

1. Systémové : 25% kongestívne zlyhanie srdca, bronchopneumónia, renálne zlyhanie (urémia), intoxikácia: CO, morfin

2. Cerebrálne: cerebrálne poškodenie (unilaterálne, obvykle bilaterálne supratentoriálne; globálna ischemická CMP, encefalopatia, cerebrálne krvácanie, traumy a tumory mozgu, intrakraniálna hypertenzia, toxická metabolická encefalopatia,

3. Kompenzačné a iné: pri spánku (zaspávanie, NREM 1-2), spánok vo vysokej nadmorskej výške, horská choroba, spánkové apnoe a iné spánkové poruchy dýchania

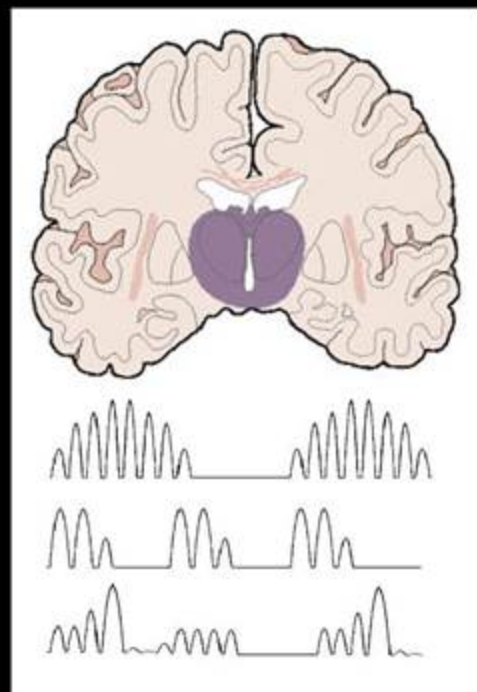
- *Cheyne, J. : A case of apoplexy in which the fleshy part of the heart was converted into fat. Dublin Hospital Reports, 1818, 2: 216-223.*
- *Stokes W.: "Fatty degeneration of the heart." In his: The Diseases of the Heart and Aorta Dublin, by alok mishra pp. 320–327, 1854*



John Cheyne
(1773-1836)

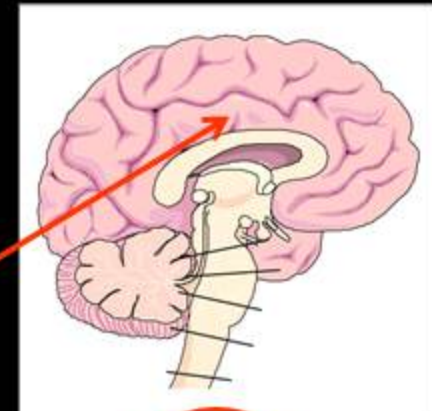
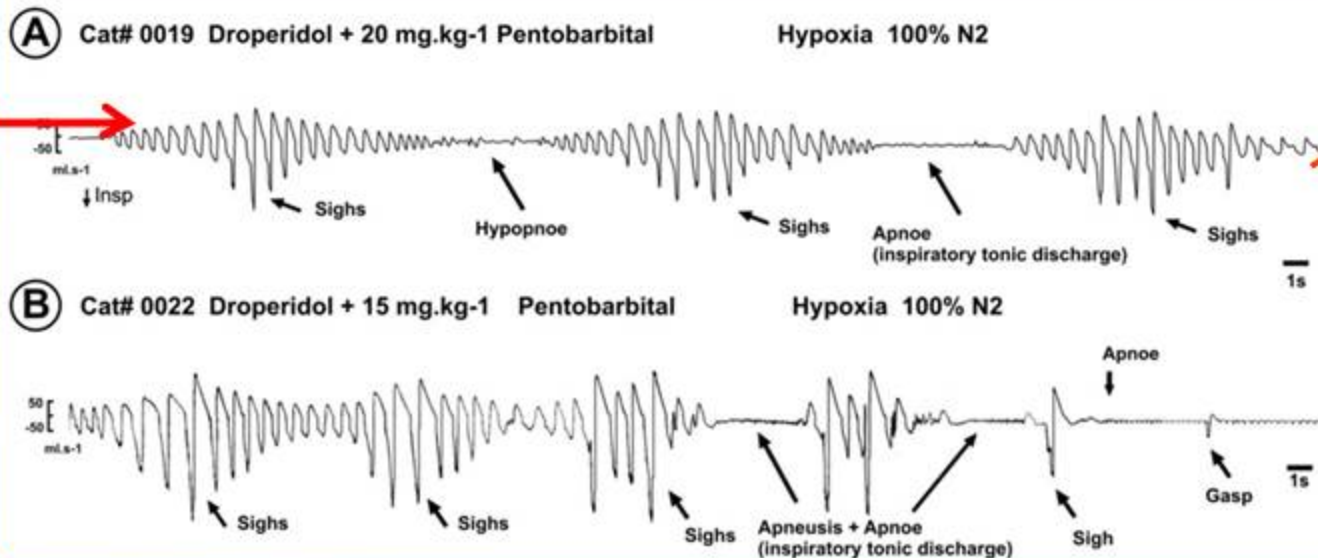


William Stokes
(1804 – 1878)



VARIANTY CHEYNE - STOKESOVEHO DÝCHANIA

- **Cheyne- Stokes - "cluster breathing" variant:** nie sú natoľko výrazné krešcendo/ dekrešcendo zmeny hypopnoe, menej dychov, dlhšie pauzy apnoe
- **Cheyne–Stokes variant (Periodické dýchanie) :** CSD s hypopnoe
- Experimentálne CSD u mačky v pertobarbitalovej anestézii a servorespirácii: hypoxia a vyradenie CO_2 pH stimulácie:
Cherniack ,NS, von Euler C, Homma I, Kao FF.: Experimentally induced Cheyne-Stokes breathing. Respir Physiol. 37(2):185-200,1979
- Experimentálne CSD u mačky pri anoxickej hypoxia po použití Droperidolu (D2- antidopaminergný)
Beňačka, R. et al.: Periodické a aperiodické formy dýchania počas akútnej experimentálnej hypoxie. In: Patofyziológia 2010, Ed. Beňačka, R. LF UPJŠ Košice, s.89-- 92



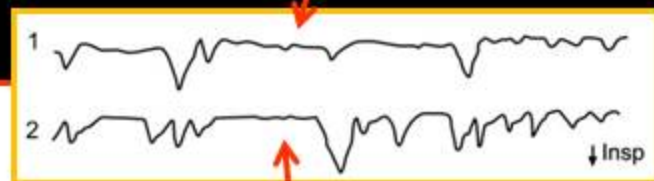
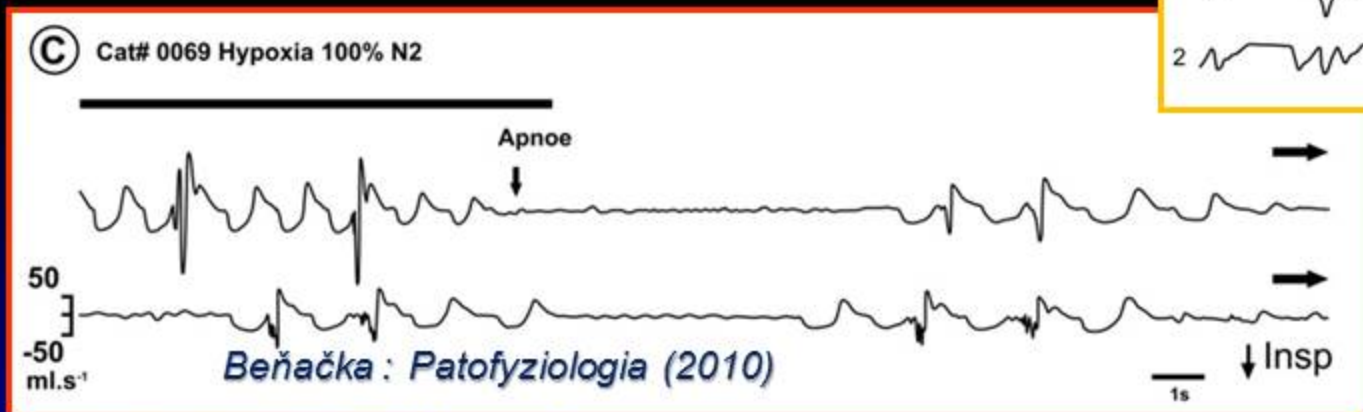
CO_2 senzitivita;

BIOTOVE DÝCHANIE (BIOT BREATHING)

- Synonymá: ?? ataktické dýchanie, (Biot breathing, Biot sign, respiratory ataxia) dýchanie pri tuberkulóznej meningitíde
- Definícia: úplne nepravidelný dychový rytmus malé série dychov per-manentne variabilnej frekvencie a hĺbky (úsilné dychy, vzdychy alebo ploché dychy) prerušovanými pauzami apnoe
- Historicky najmenej presne definovaná forma dychového vzoru. Často stotožňovaná s "cluster breathing" (CB),
- Pričiny: a) Lézie respiračných štruktúr v mozgovom kmeni siahajúce od dorzomediálnej medully k obexu; b) pontomedulárny región c) !! bihemisferické poškodenie (meningitída)



Camille Biot



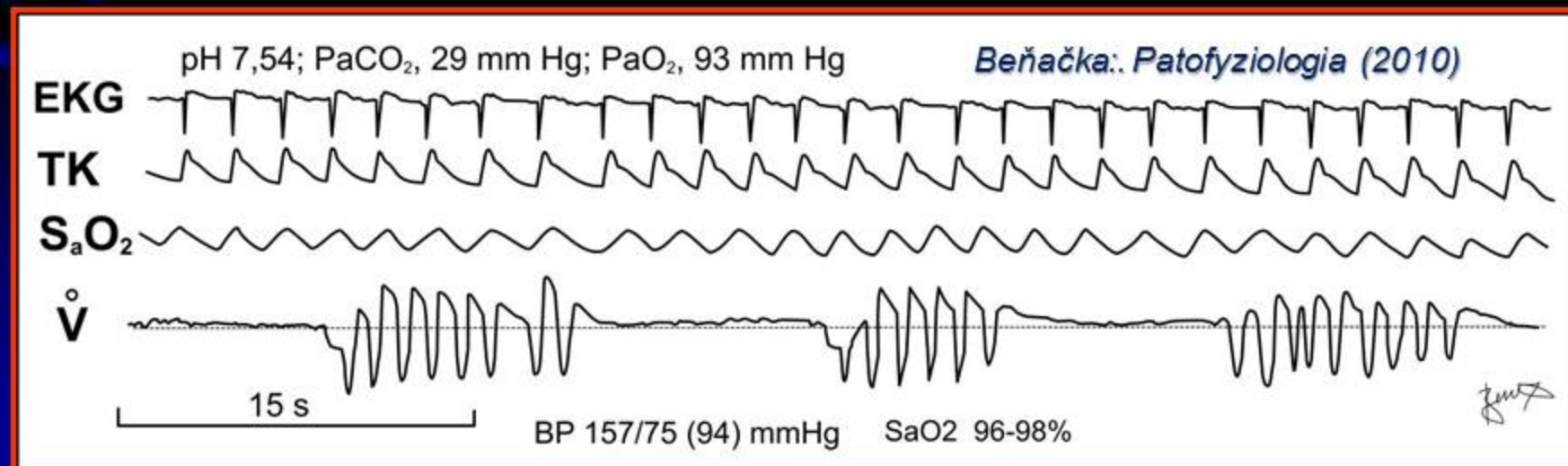
Biot, M.C.: Contribution a l'etude du phenomene respiratoire de Cheyne-Stokes. Lyon Med 1876; 23517- 528, 561-567

Webber, C.L., Jr., Speck, D.F.: Experimental Biot periodic breathing in cats: effects of changes in P_{IO2} and P_{iCO2}. Respir Physiol 1981;46327- 344

DYCHOVÉ EPIZÓDY (CLUSTER BREATHING)

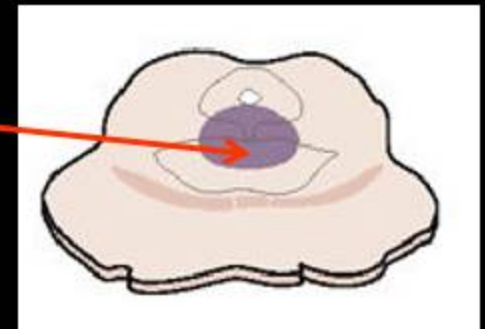
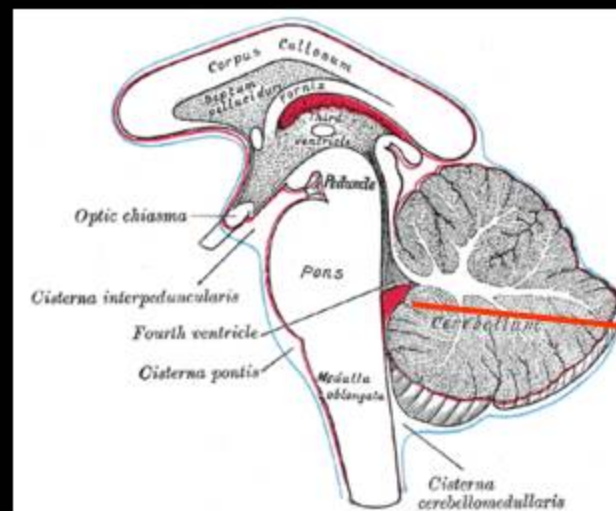
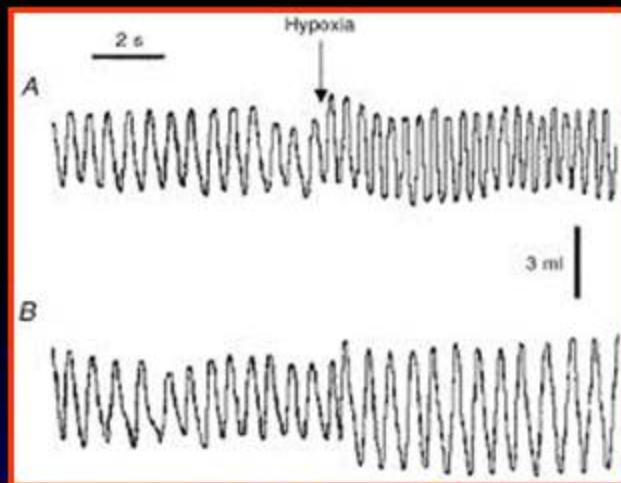
- Synonymá: ?? episodic breathing, Biotove dýchanie, nested breathing
- Definícia: tzv. periodický typ dýchania s tesne zoskupnými skupinami (hniezdami) dychov (4-7), ktoré sú nasedované (oddelené) periódami apnoe; dychy v skupinách majú relatívne podobnú, pravidlenejšiu dĺžku trvania a amplitúdu
- Pričiny:
 - a) **Kmeň:** lézia kaudálneho mosta/ vysoké medulárne lézie, cerebelárne krvácanie s kompresiou kmeňa, Shy-Dragerov syndróm, anoxická encefalopatia,
 - b) **Kortikálne:** MRI potvrdená kortikálna laminárna nekróza po ischemizujúcom vazospazme (a. cerebri media) u pacienta po subarachnoidálnom krvácaní

Freeman, W.D., Sen, S., Roy, T.K., Wijdicks, E. F. M.: Cluster breathing associated with bihemispheric Infarction and Sparing of the Brainstem. Arch Neurol., 63(10): 1487-1490, 2006



CENTRÁLNA NEUROGÉNNÁ HYPERVENTILÁCIA

- **Definícia:** udržiavané rýchle a pomerne pravidelné hlboké hyperpnoe (> 25 c/min) s následnou hypokarbémiou (Plum a Swanson 1959)
- **Pričiny:** lézia centrálného mediálneho tegmenta mosta; zakrvácanie, nádory mozgu (astrocytóm, meduloblastóm, gliómy), metastatické nádory (rôzne); prerušenie descendných dráh inhibičných z mezencefa (?)

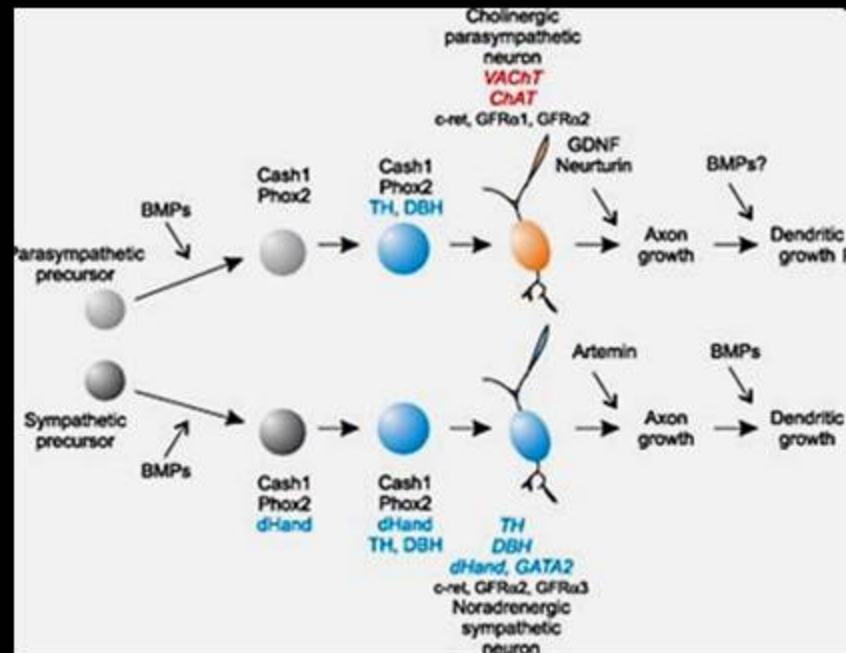
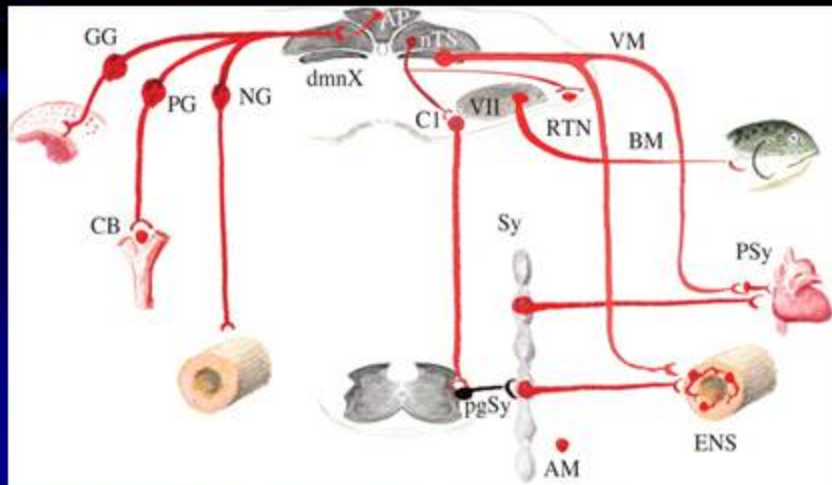


Tarulli, Andrew W.; Lim, C; Bui, JD; Saper, CB; Alexander, MP.: Central Neurogenic Hyperventilation: A Case Report and Discussion of Pathophysiology". *Archives of Neurology* 62(10): 1632–1634, 2005

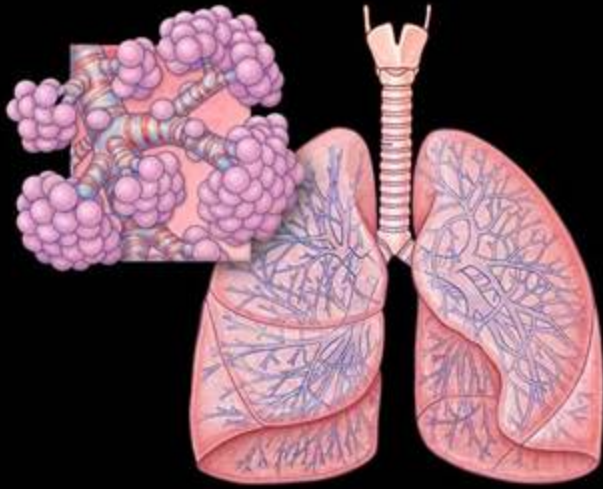
Takahashi, M.; Tsunemi, T.; Miyayosi, T.; Mizusawa, H.: Reversible central neurogenic hyperventilation in an awake patient with multiple sclerosis". *Journal of Neurology* 254 (12): 1763–1764, 2007

CENTRÁLNA NEUROGÉNNÁ HYPOVENTILÁCIA

- **Kongenitálny centrálny hypoventilačný syndróm (CCHS) Ondinina kliadba** : zastavenie respirácie počas spánku niekedy pri bdení (Stornetta et al. 2006)
- **Neurokristopatia**: neuroblastóm, nádory sympatikových ganglií, Hirschsprungova choroba, dysfágia, dysgenéza katecholaminergných a serotonergných štruktúr, ANS
- Gén PHOX2B (Ch4) traskripčný faktor (**Paired-like homeobox 2b**)
- Oblasti exprimujúce Phox2b: vo väčšine v neurónoch kontrolujúcich dýchanie a viscerálne funkcie (kardiovaskulárne, digestívne, respiračné),



Myši s mutáciou (Phox2b 27Ala/+) majú až 85% redukciu NRT; úplna strata centrálnej chemorepcie



Respiračné poruchy podľa funkcie

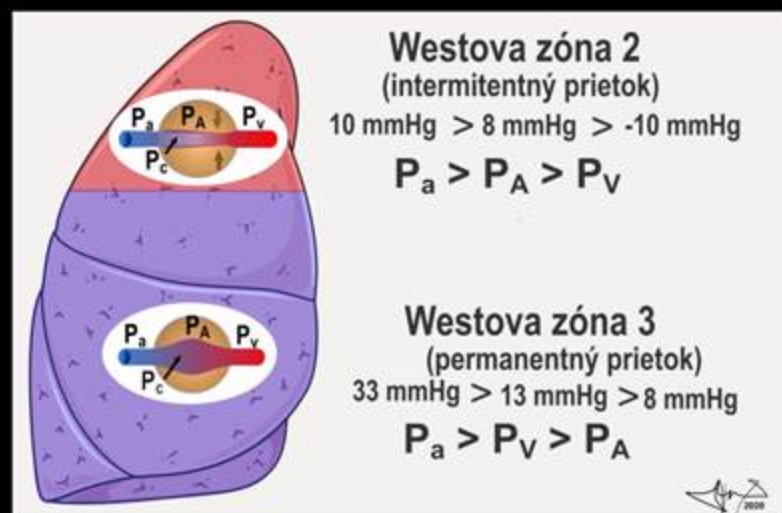
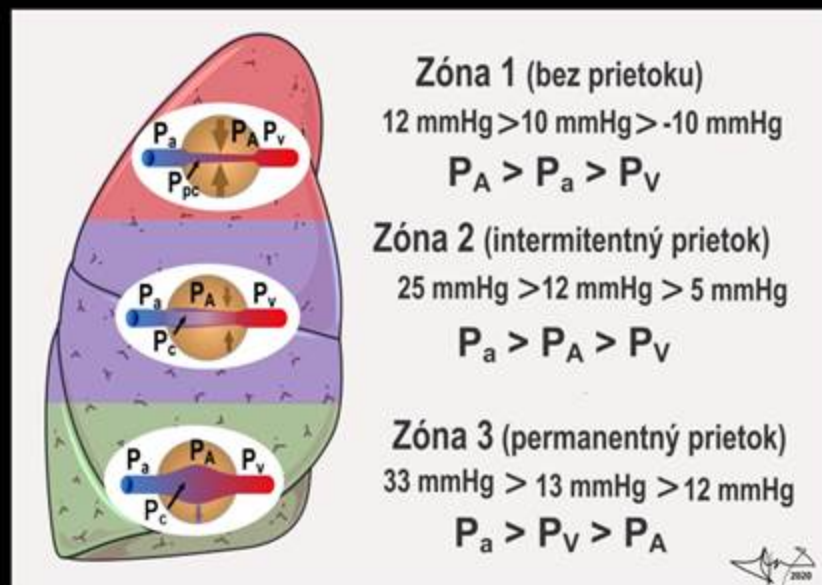
Westove zóny

Vonkajšie dýchanie:

- a) ventilácia pľúc a distribúcia vzduchu v pľúcach
- d) difúzia plynov cez alveolo-kapilárnu membránu
- c) perfúzia pľúc a distribúcia krvi v pľúcach

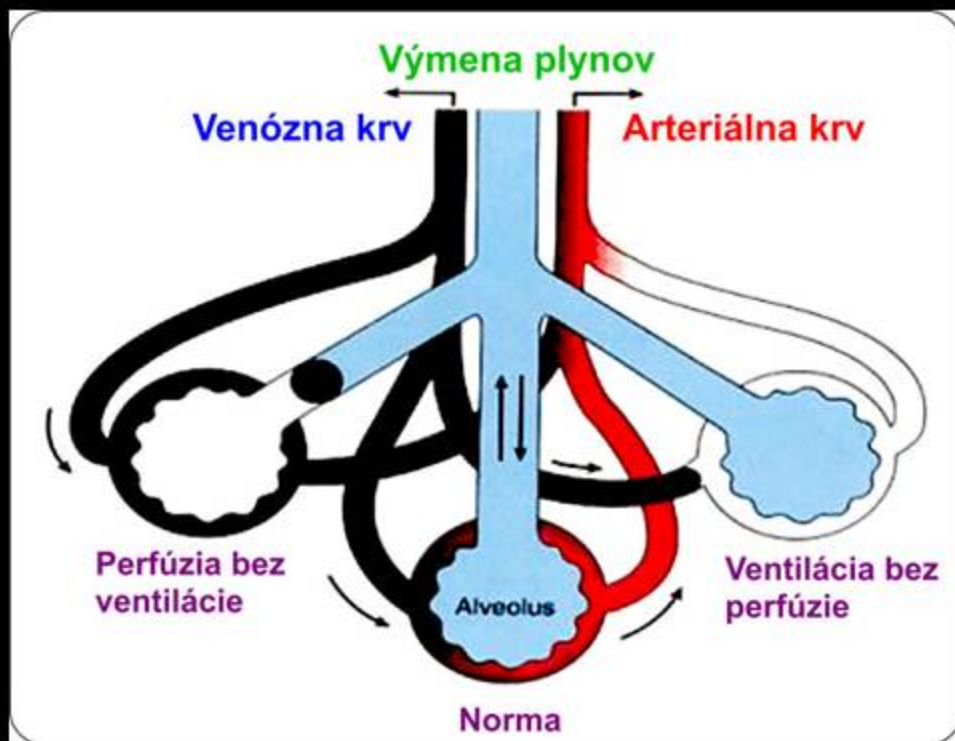
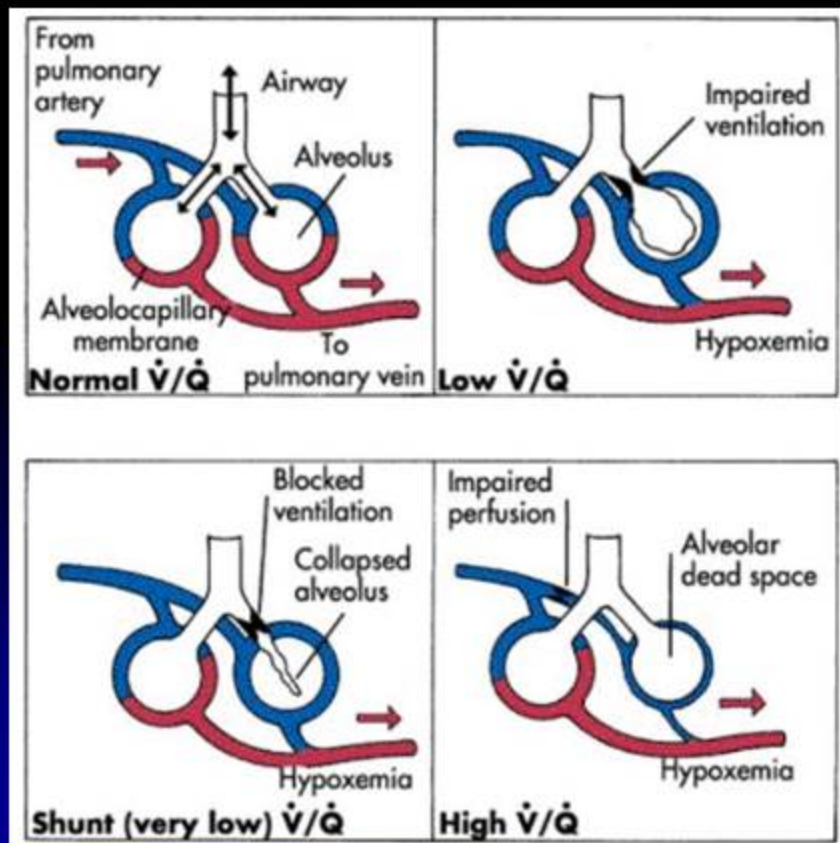
Ventilačno-perfúzne pomery v alveoloch

- V stojacej, ležiacej polohe, sede – existujú odlišnosti v dychových objemoch i perfúzii jednotlivých oblastí pľúc
- Geometria pľúc – ženy sudkovitý hrudník – stred (rastúci plod); muži trojuholníkový hrudník - bázy
- Dolné č. pľúc - veľmi dobre perfundované z a. pulmonalis (+ 9 mmHg); tendencia k úniku tekutiny; dýchanie u mužov
- Stredné č. pľúc – optimálne ventilované (ženy); pomerne dobre perfundované
- Horné č. pľúc – málo perfudované; normálne málo ventilované (→ ortopnoe; hlboký dych)



Ventilačno perfúzne pomery

- Ventilačno-perfúzne pomery (V/Q) – optimálne ~ 1 (100%)
- Nervovo-humorálna autoregulácia
- Lokálna chemoregulácia
- $\uparrow V/Q$ - **Ventilačný shunt** – dýchanie do neperfundovaných polí pľúc
- $\downarrow V/Q$ - **Cirkulačný shunt** – dýchanie do neventilovaných polí pľúc



Rôzne poruchy ovplyvňujúce respiráciu

Ventilácia

Distribúcia

Perfúzia

Difúzia

Pulmonálna artéria
 PO_2 20-40 mmHg
 PCO_2 45 mmHg

CO_2 O_2

Atmosféra
 PO_2 159 mmHg
 PCO_2 0,3 mmHg

Alveoly
 P_{AO_2} 105-110 mmHg
 P_{ACO_2} 35 mmHg

1

2

3

4

5

1. Ventilačná porucha
2. Perfúzna porucha
3. Difúzna porucha
4. Kombinovaný defekt
5. Norma

Pulmonálne vény
 PO_2 100 mmHg
 PCO_2 40 mmHg

Poruchy distribúcie

Obmedzená perfúzia ventilovaných častí

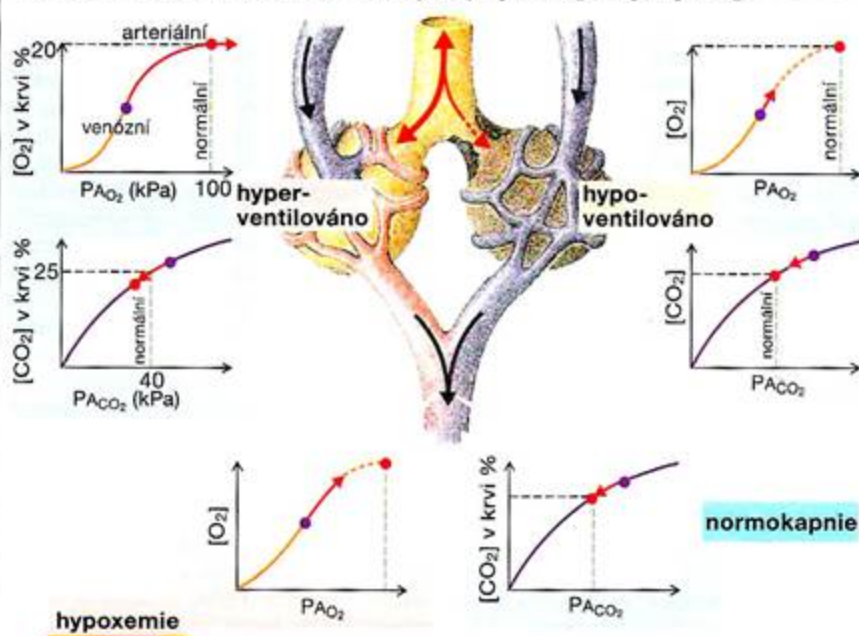
- Makroembólia pľúc (dolné končatiny, pelvis)
- Mikroembolizácia (lokálne zápaly)
- Pľúcna fibróza (odtláčenie ciev tkanivom)
- Funkčné skraty (medzi A-V)
- Zväčšenie funkčného mŕtveho priestoru
- Kompenzované prehĺbeným dýchaním

Obmedzená ventilácia perfundovaných častí

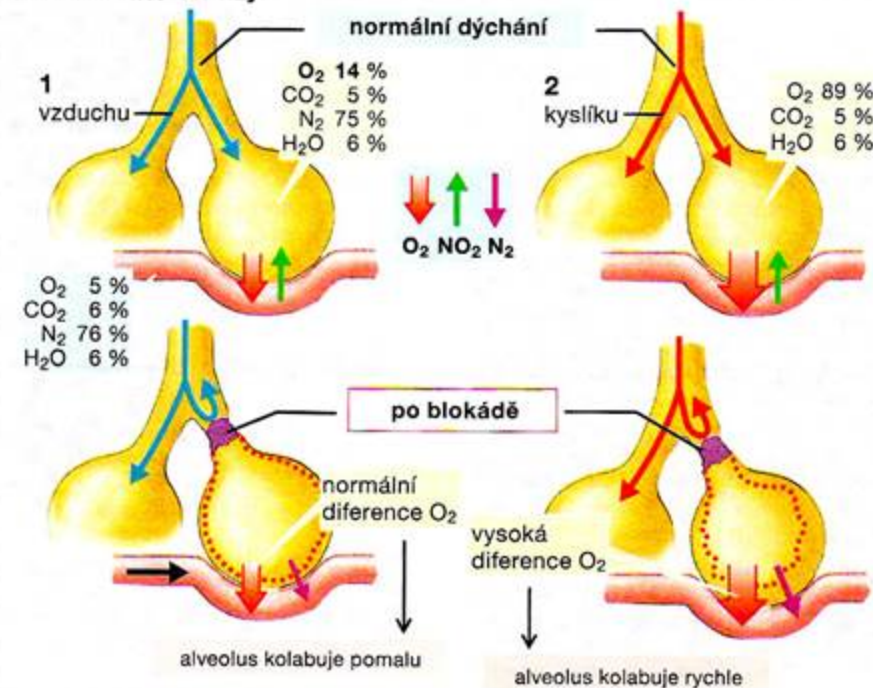
- Centrálna porucha dýchania – apnoe (toxické, spánkové a pod.) ochrnutie bránice
- Astma, chronická bronchitída, emfyzém,
- Bronchiolitída, Zrasty pleurálne
- Nádory – uzatvorenie lumenu
- Funkčné arteriovenózne skraty, hypoxémia
- Hyperventilačná hypokarbémia

Atektáza – dýchanie O_2 uľahčuje vznik lebo nedochádzak ku konstrikcii prívodných ciev

A. Dúšledky poruch distribúcie pro příjem O_2 a výdej CO_2



B. Vznik atelektázy



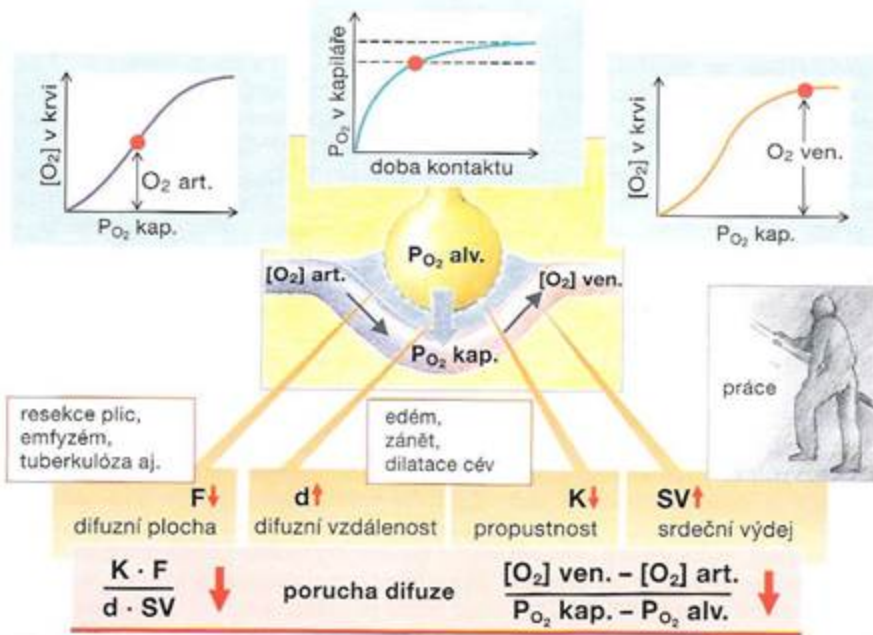
Poruchy difúzie

Výmena plynov sa znižuje pri poklese veľkosti difúznej plochy, predĺžení difúznej vzdialenosti, poklesu priepustnosti pre difundované látky, s nárastom srdcového výdaja (nárastom rýchlosti perfúzie). Difúzia CO₂ je vyššia ako O₂.

Poruchy:

- Resekcia pľúc (plocha)
- Emfyzém (plocha, vzdialenosť)
- Pneumónia (vzdialenosť)
- Edém pľúc (vzdialenosť, priepustnosť)
- Ľavostranné zlyhanie srdca (srdc. Výdaj)
- Fibrotické zmeny v pľúcach (zaprášenie pľúc, silikóza, pneumokoniózy (priepustnosť))

A. Vznik poruch difúzie



B. Porucha difúzie: koncentrace CO₂ a HbO₂ v krvi

