

DÝCHACÍ SYSTÉM

PLICNÍ FUNKCE MECHANIKA DÝCHACÍHO SYSTÉMU PŘENOS PLYNŮ

Autor prezentace:

Doc. MUDr. Milena Šimurdová, CSc.

FÁZE TRANSPORTU O_2 K BUŇKÁM

VENTILACE PLIC

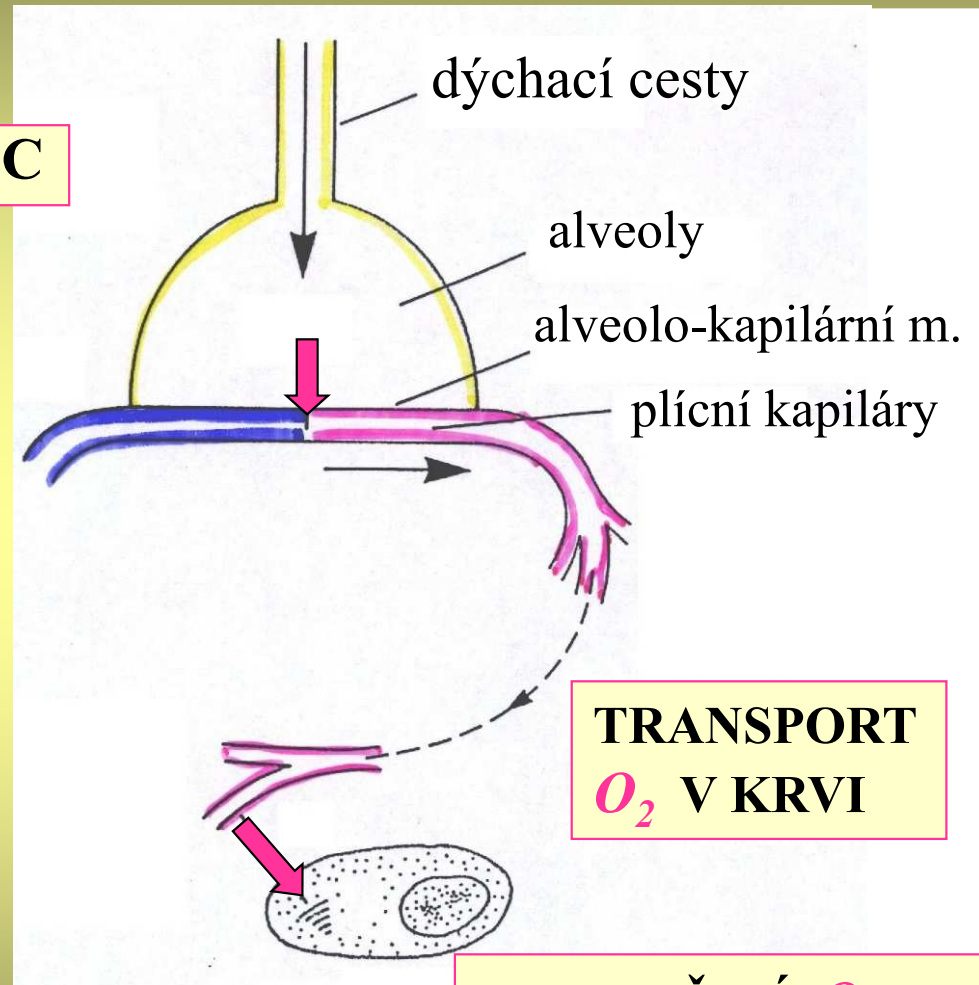
DIFUZE O_2 PŘES
ALVEOLO-KAPILÁTRNÍ
MEMBRÁNU

DIFUZE O_2
Z PERIFERNÍ KAPILÁRY
DO BUŇKY

V KLIDU

příjem O_2 ~300 ml / min

výdej CO_2 ~250 ml / min

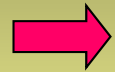


VYUŽITÍ O_2
MITOCHONRIEMI

VNITŘNÍ DÝCHÁNÍ

DÝCHACÍ CESTY

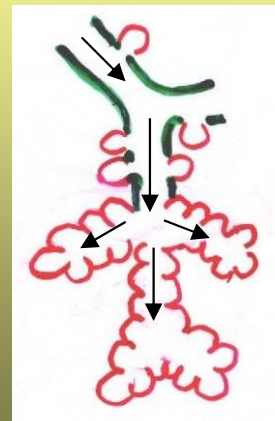
ANATOMICKÝ MRTVÝ PROSTOR – ZÓNA KONDUKCE



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

Další funkce:

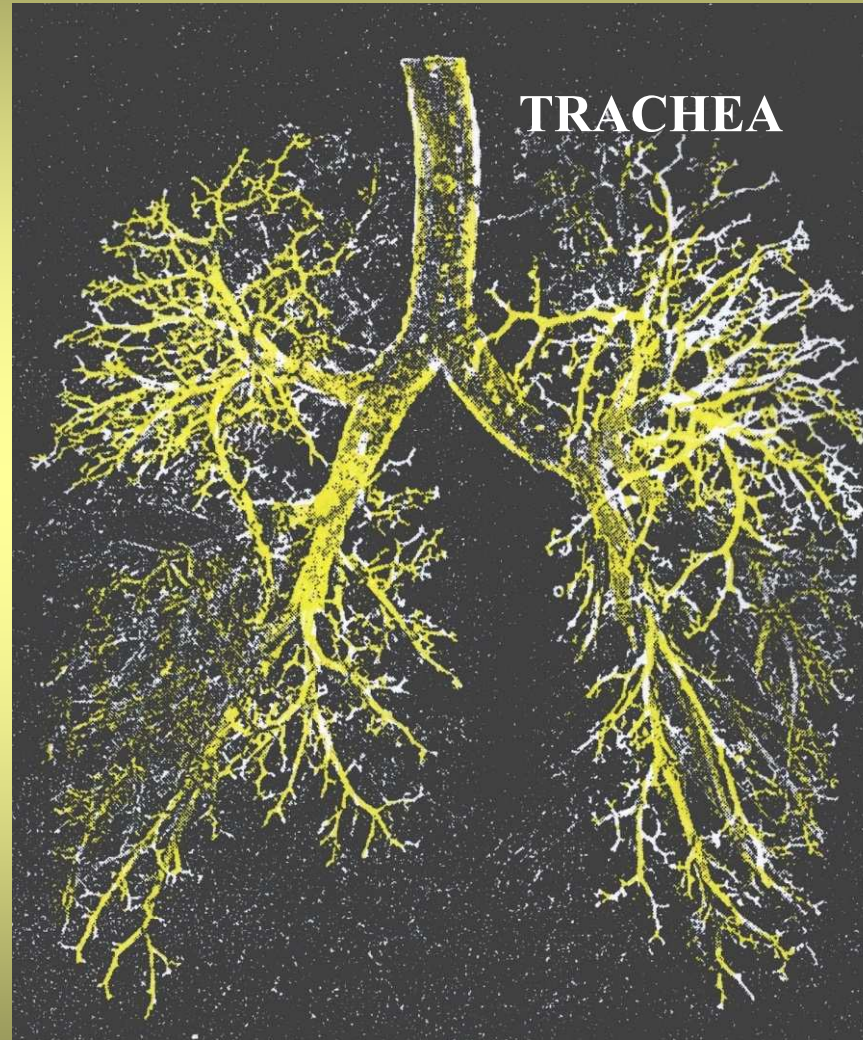
- oteplení vzduchu, očištění, doplnění vodními parami
- reflexní odpovědi na dráždivé podněty
- řeč a zpěv (specifické funkce laryngu)



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

CELKOVÁ PLOCHA 70 - 100 m²

ODLITEK DÝCHACÍCH CEST U ČLOVĚKA

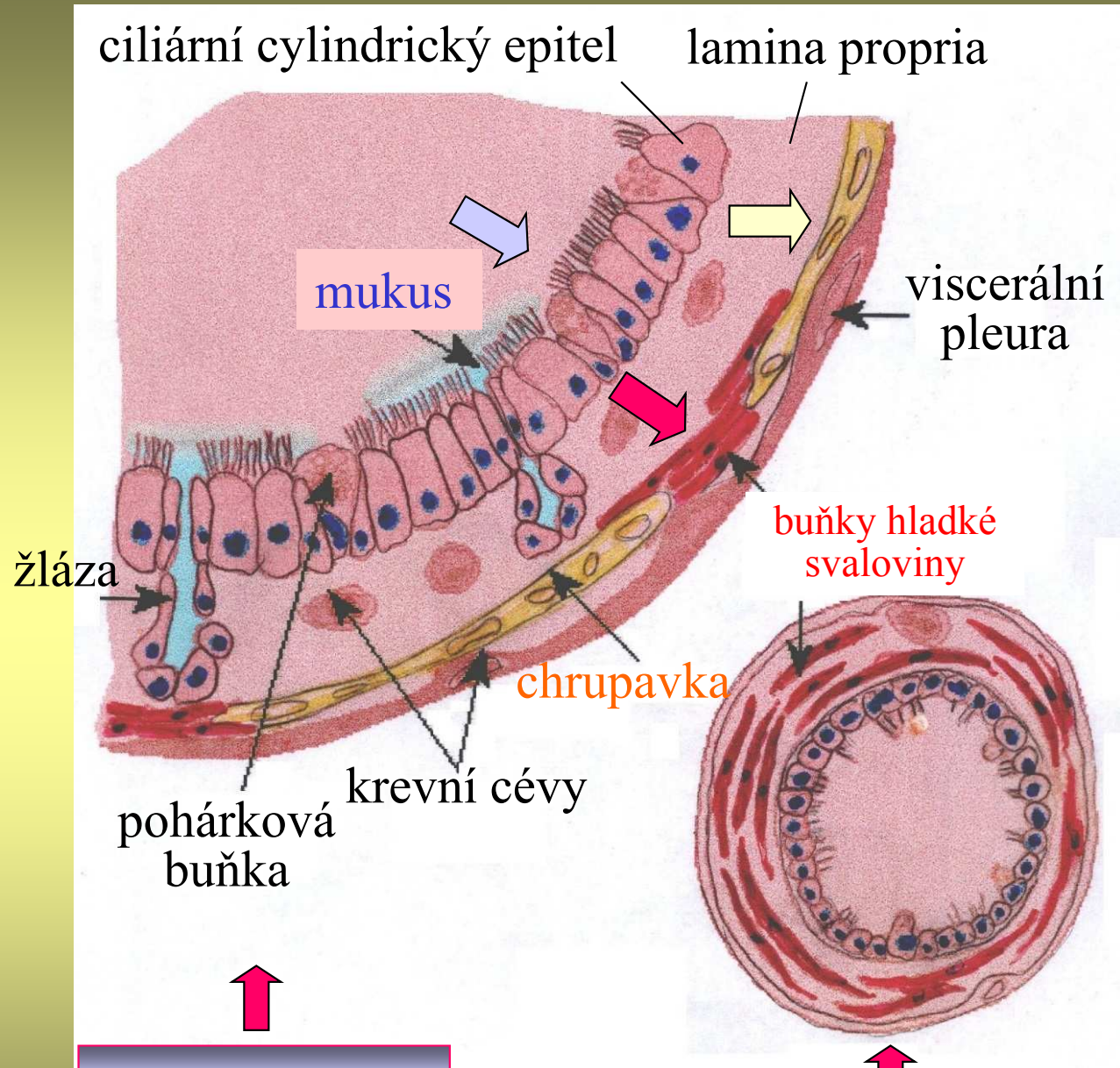


BRONCHY

BRONCHIOLY

**TERMINÁLNÍ
BRONCHIOLY**

AERODYNAMICKÝ ODPOR



BRONCHUS

**TERMINÁLNÍ
BRONCHIOLUS**

**AUTONOMNÍ INERVACE
SVALOVÝCH BUNĚK**

muskarinové receptory
aktivace acetylcholinem
⇒ **bronchokonstrikce**

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

∅ < 1 mm

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**

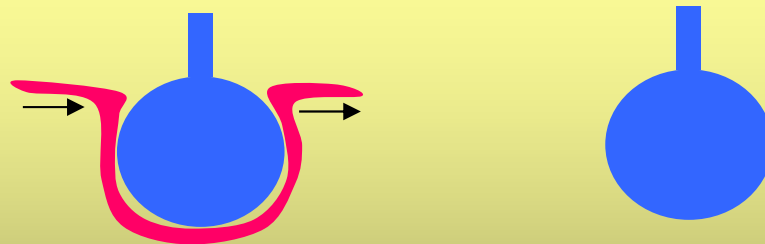
1,8 l/min

MRTVÝ PROSTOR

CELKOVÝ OBJEM, VE KTERÉM NEDOCHÁZÍ K VÝMĚNĚ PLYNŮ

- ANATOMICKÝ mrtvý prostor - objem dýchacích cest
- FUNKČNÍ (celkový) mrtvý prostor

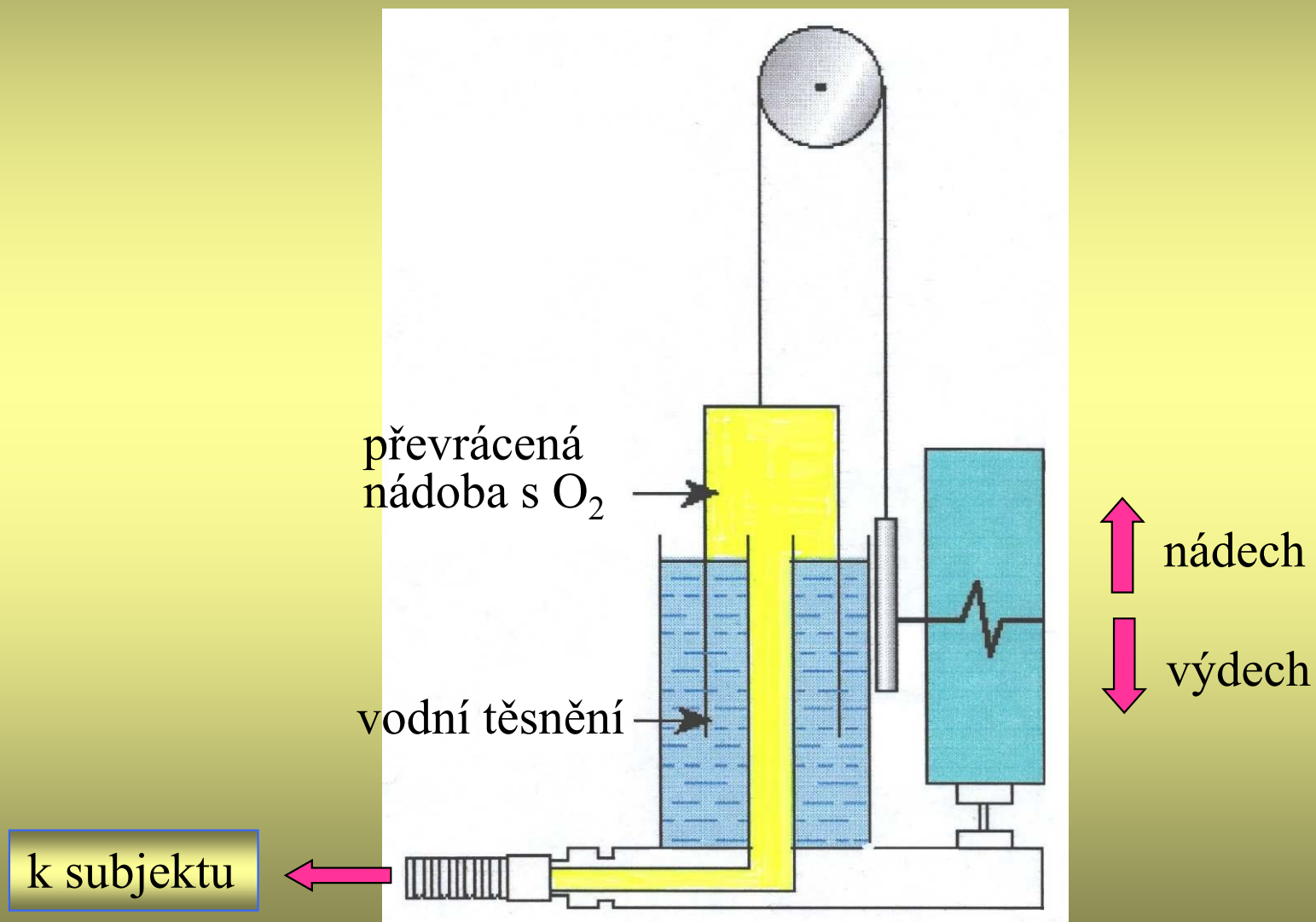
ANATOMICKÝ mrtvý prostor + celkový OBJEM ALVEOLŮ
bez funkčního kapilárního řečiště



U ZDRAVÉHO JEDINCE
oba dva prostory jsou prakticky stejné

SPIROMETRIE

(měření plicních objemů, kapacit, funkčních vyšetření, ...)



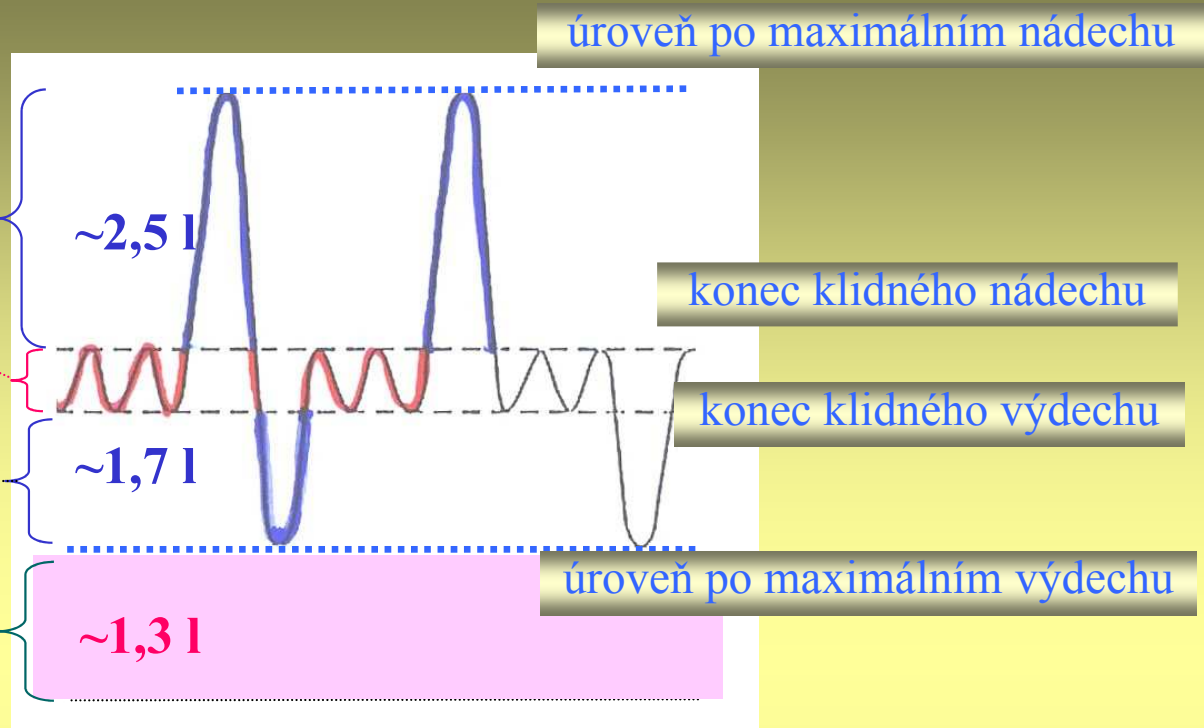
PLÍČNÍ OBJEMY

INSPIRAČNÍ
REZERVNÍ OBJEM IRV

DECHOVÝ OBJEM V_T
(*'tidal volume'*)

EXSPIRAČNÍ
REZERVNÍ OBJEM ERV

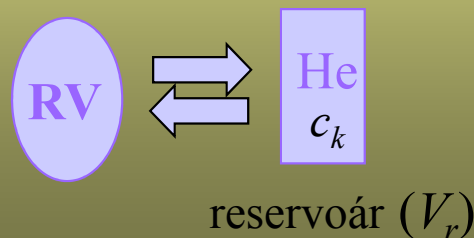
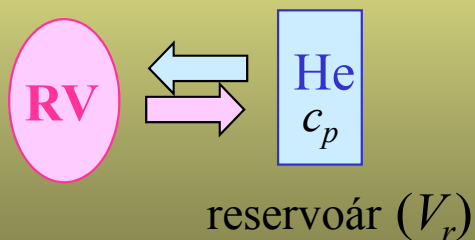
REZIDUÁLNÍ OBJEM RV



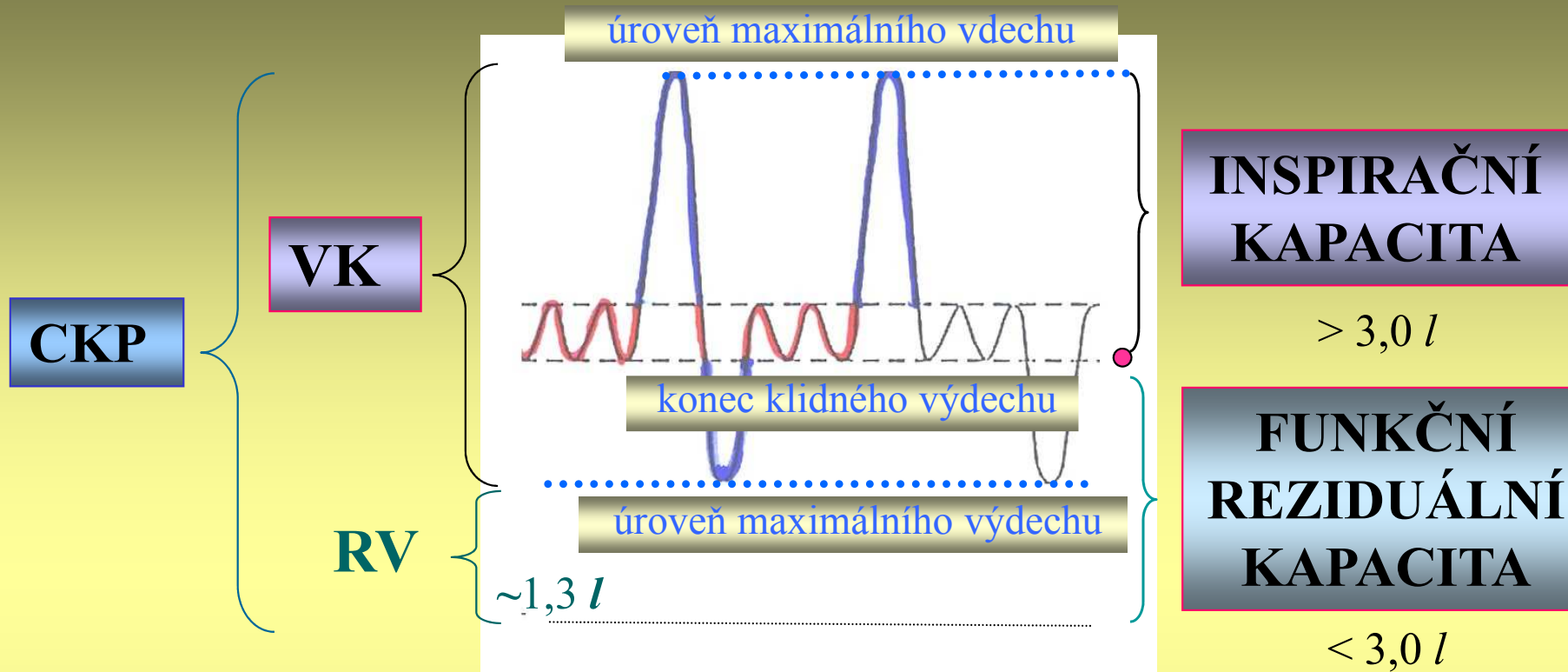
DILUČNÍ METODA
(metoda zředěného plynu)
 He

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).



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



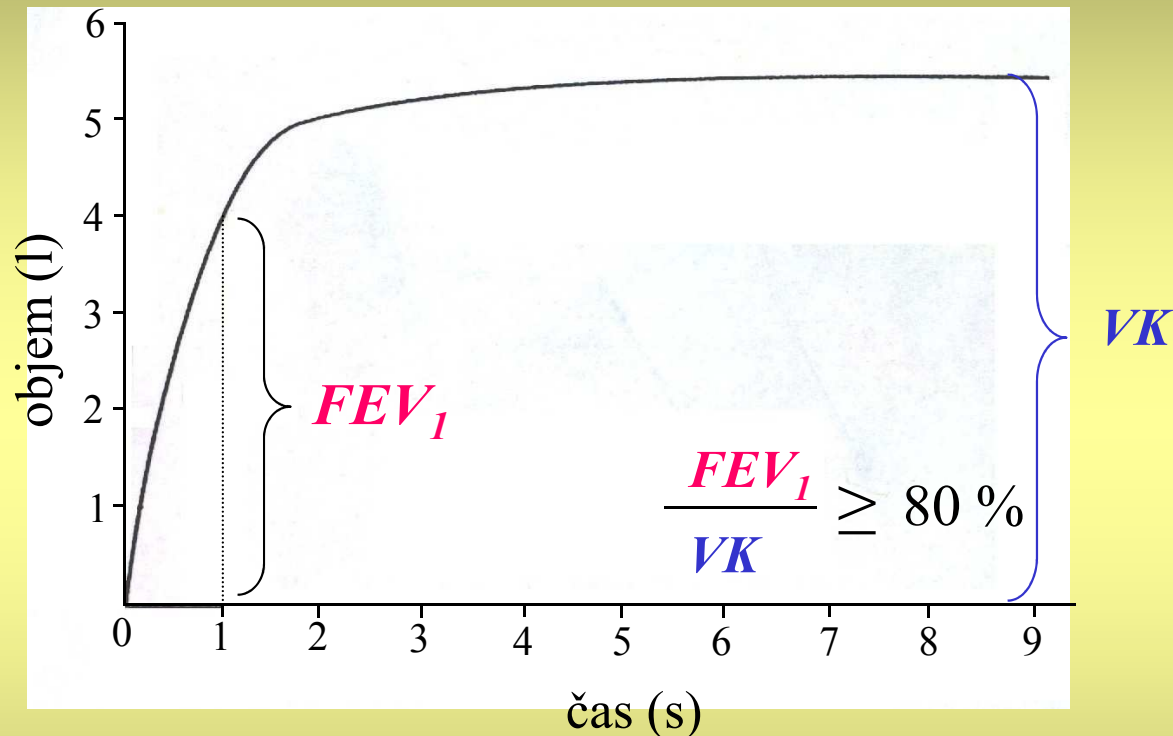
VK VITÁLNÍ KAPACITA = $V_T + IRV + ERV$ $\sim 4,7 l$

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

CKP CELKOVÁ KAPACITA PLIC = $VK + RV$ $\sim 6,0 l$

FUNKČNÍ VYŠETŘENÍ PLIC

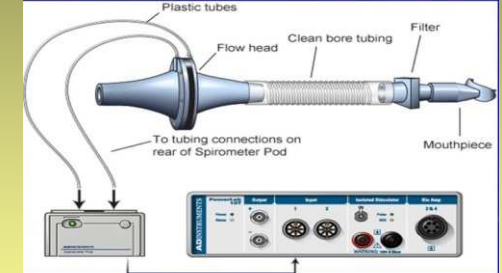
- **VTEŘINOVÁ VITÁLNÍ KAPACITA** (expirační vteřinová *VK*, rozepsaný usilovný výdech *VK*) ***FEV₁*** (*'forced expiratory volume per 1 sec'*)



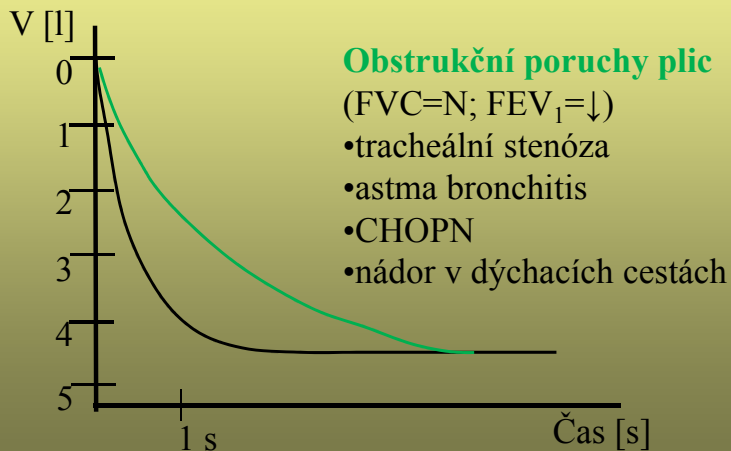
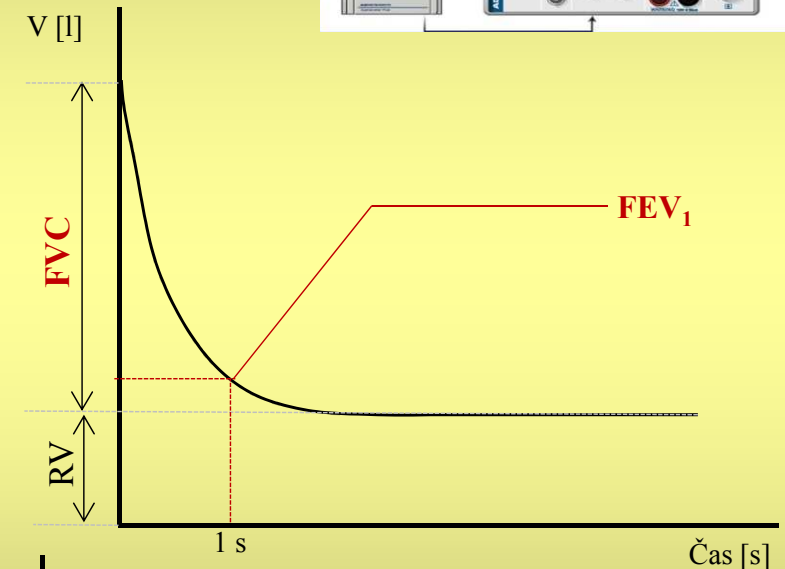
- **KLIDOVÁ MINUTOVÁ VENTILACE** (0,5 l x 12 dechů / min = 6 l/min)
- **MAXIMÁLNÍ VOLNÍ VENTILACE** po dobu 10 s ***MVV*** (125 - 170 l/min)
- **MAXIMÁLNÍ PROUDĚNÍ VYDECHOVANÉHO VZDUCHU *PEFR*** (*'peak expiratory flow rate'*) (~10 l/s)

VC

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



- **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 %



Restrikční poruchy plic

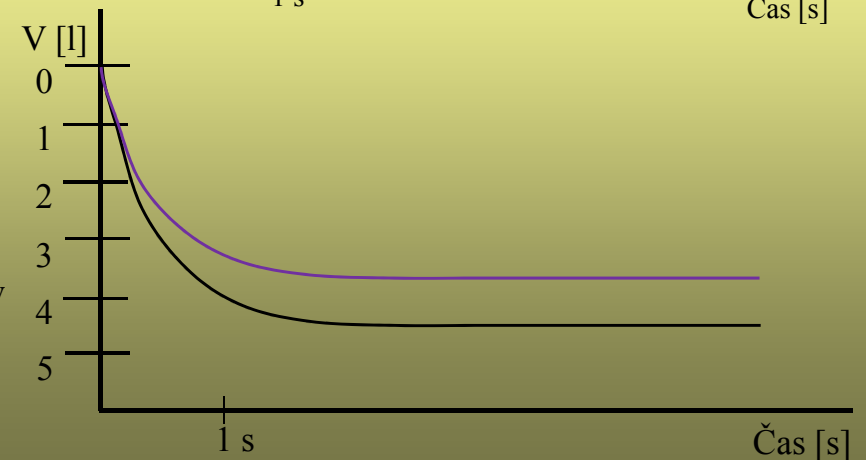
(FVC=↓; FEV₁=N)

pulmonální příčiny

- plicní fibróza
- resekce plic
- plicní edém
- pneumonie

extrapulmonální příčiny

- ascites
- kyfoskolióza
- popáleniny
- vysoký stav bránice

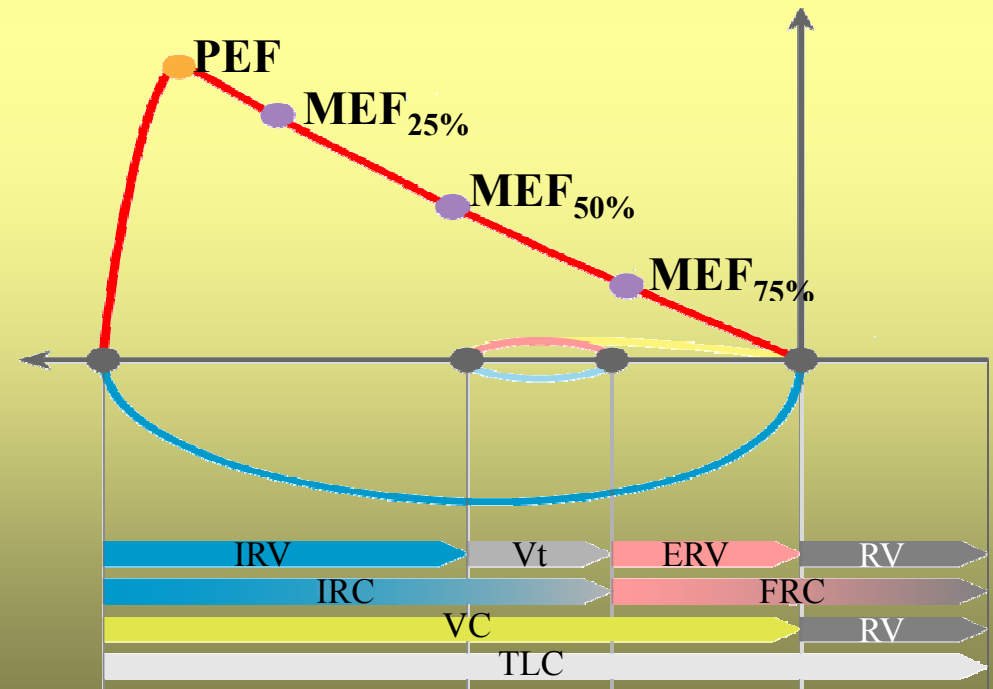


ROZEPSANÝ VÝDECH VC

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



- **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)



$$P \cdot V = konst$$

$$P = \frac{konst}{V}$$

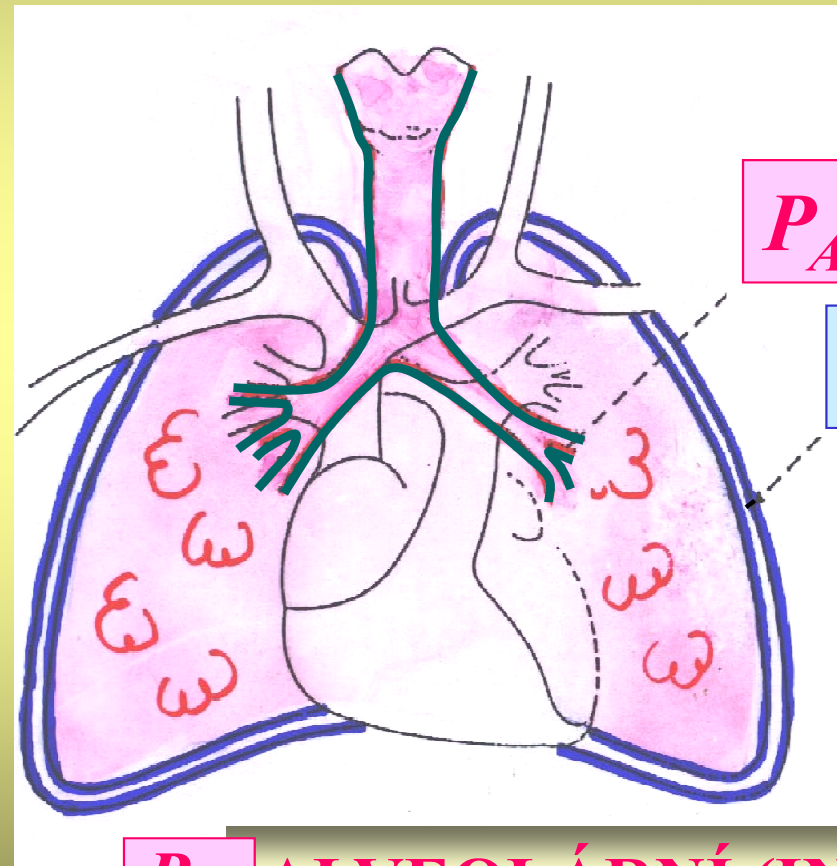
PRŮBĚHY TLAKŮ PŘI KLIDNÉM DÝCHÁNÍ

INSP

EXSP

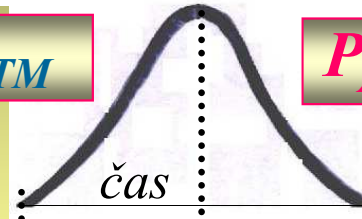
$$P_A < P_{ATM}$$

$$P_A > P_{ATM}$$



P_A

P_{PL}



V_T [l]

+1
[mm Hg]

-1

-3

[mm Hg]

-6

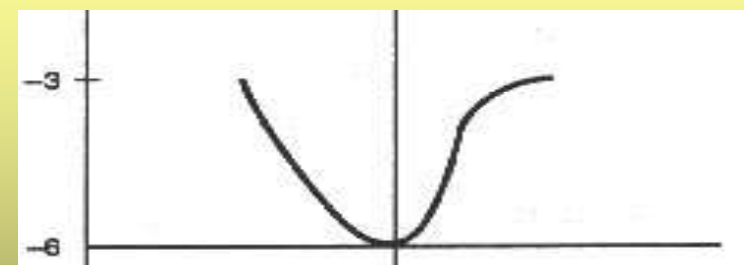
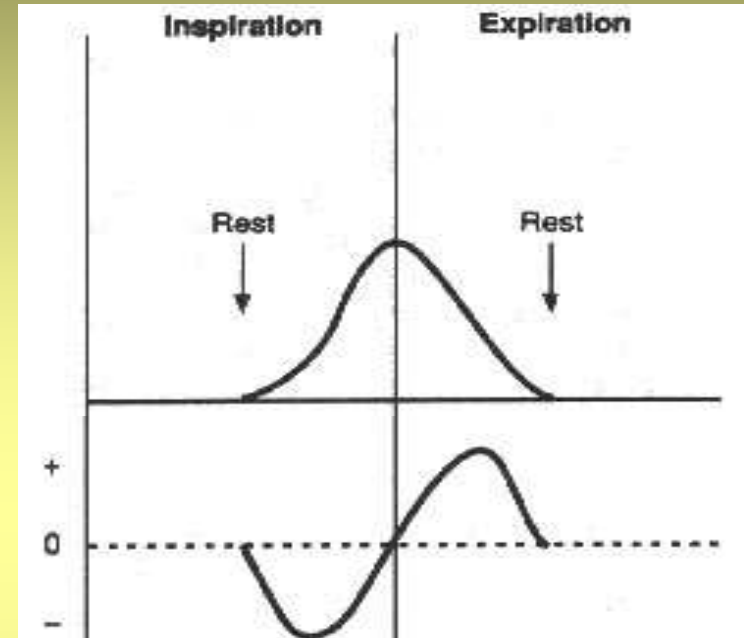
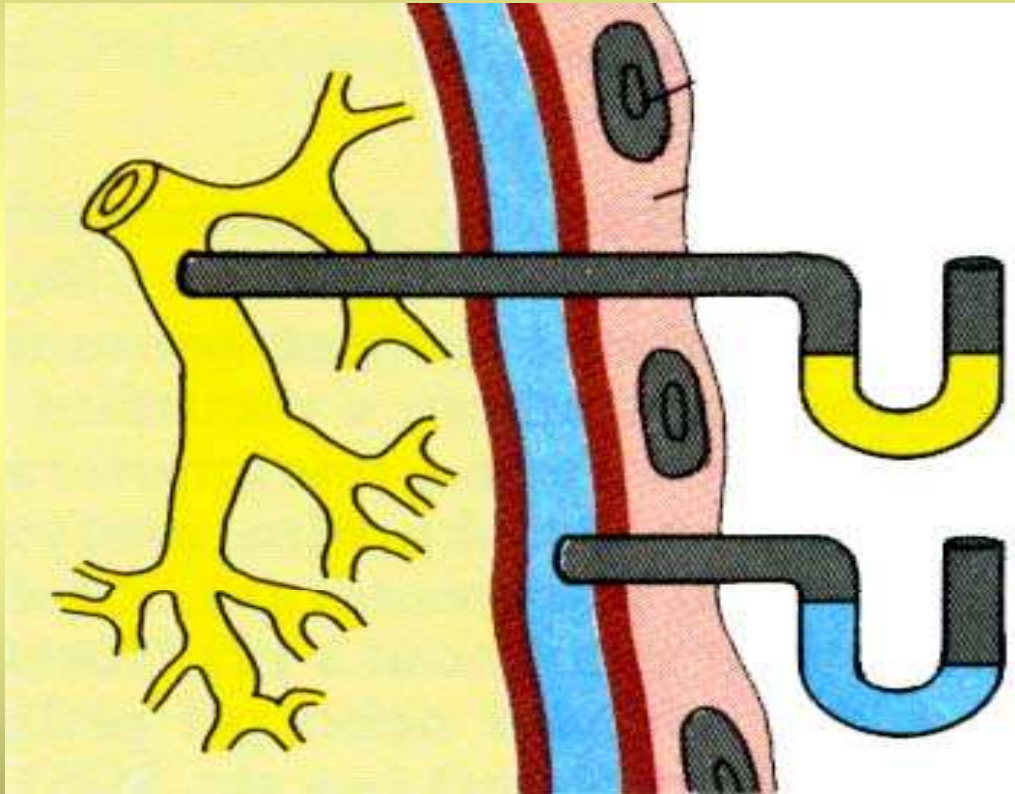
naměřená
křivka

teoretická
křivka

P_A ALVEOLÁRNÍ (INTRAPULMONÁLNÍ)

P_{PL} INTRAPLEURÁRNÍ (INTRATORAKÁLNÍ)

PLEURA
pulmonalis parietalis



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

akcesorní svaly

mm. intercostales ext.

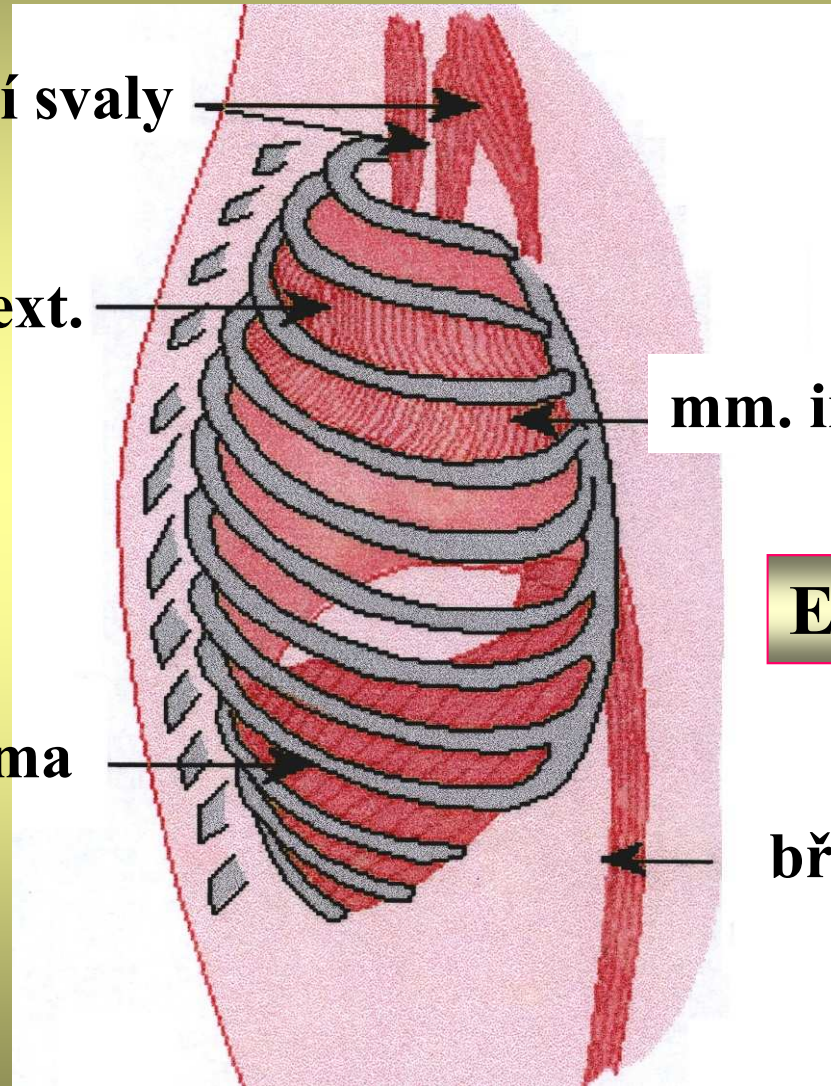
INSPIRAČNÍ

mm. intercostales int.

EXSPIRAČNÍ

diafragma

břišní svaly



INSPIRAČNÍ SVALY

Dýchání **V KLIDU**

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

USILOVNÉ dýchání

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

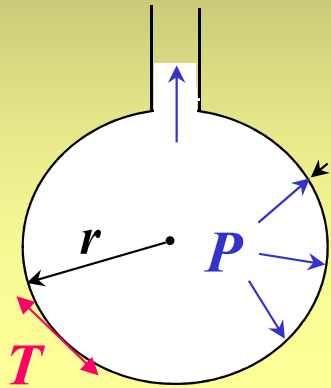
EXSPIRAČNÍ SVALY

Pouze při **USILOVNÉM** dýchání

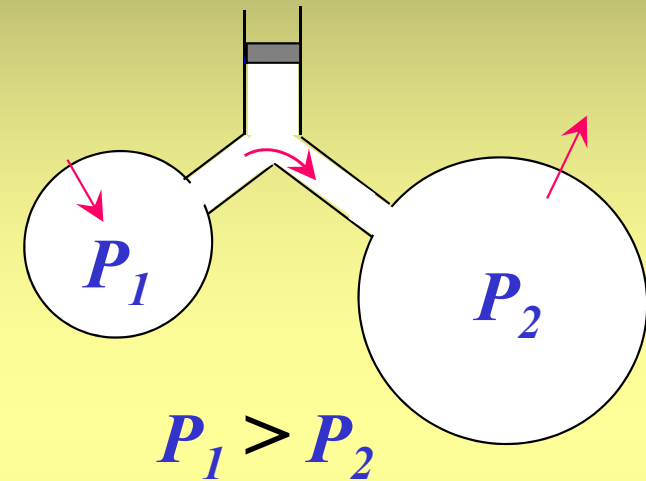
- *mm. intercostales int.*
- svaly přední břišní stěny

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

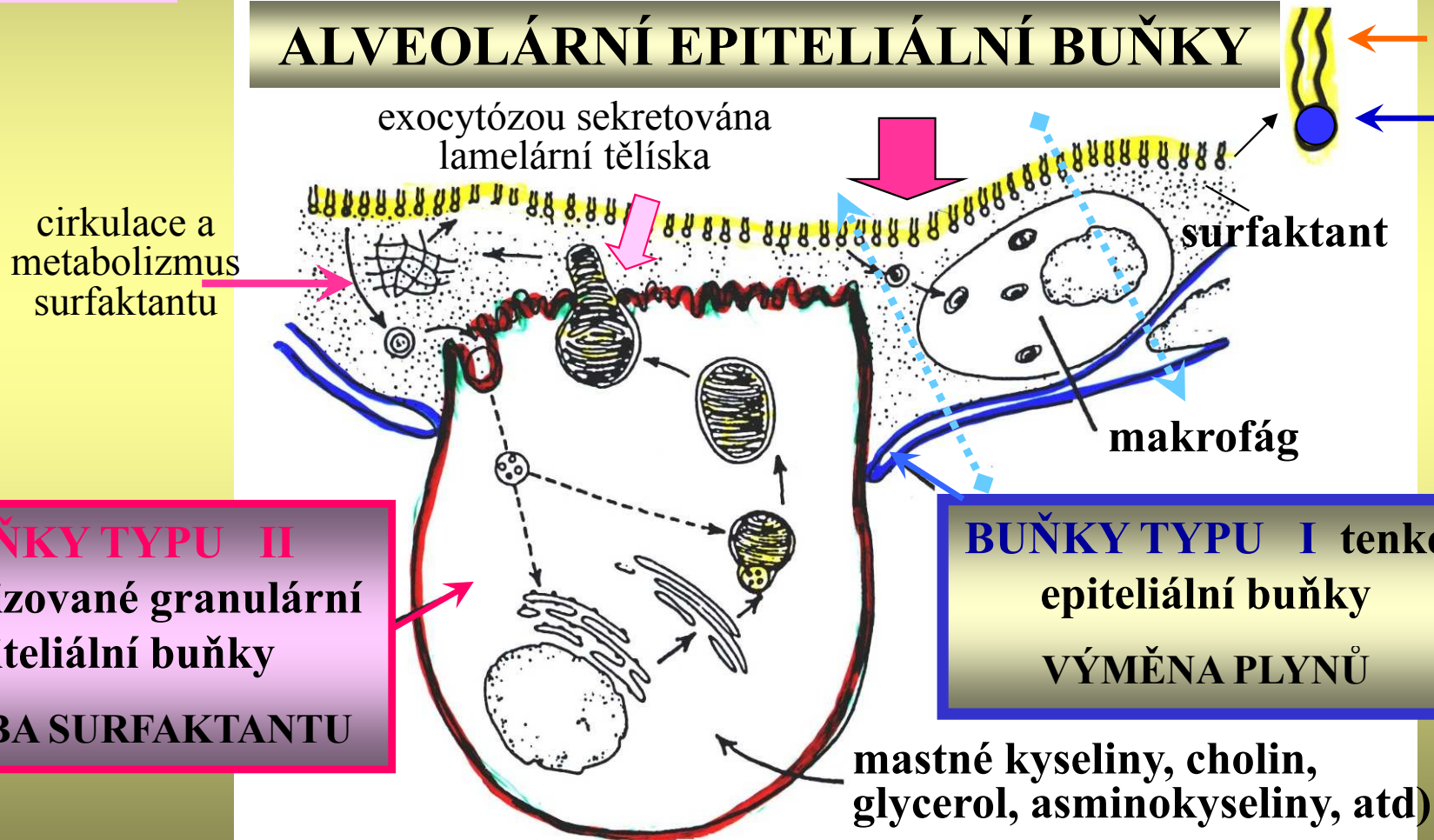
SURFAKTANT

LÁTKA VÝRAZNĚ SNIŽUJÍCÍ
POVRCHOVÉ NAPĚTÍ

FOSFOLIPID
dipalmitoyl
fosfatidyl cholin

ÚČINEK HLAVNĚ VE FÁZI VÝDECHU

ALVEOLÁRNÍ EPITELIÁLNÍ BUŇKY



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

EXSPIROVANÝ VZDUCH

O ₂	158,8
CO ₂	0,3
N ₂	601,0
...	

760 mm Hg

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	...
...	

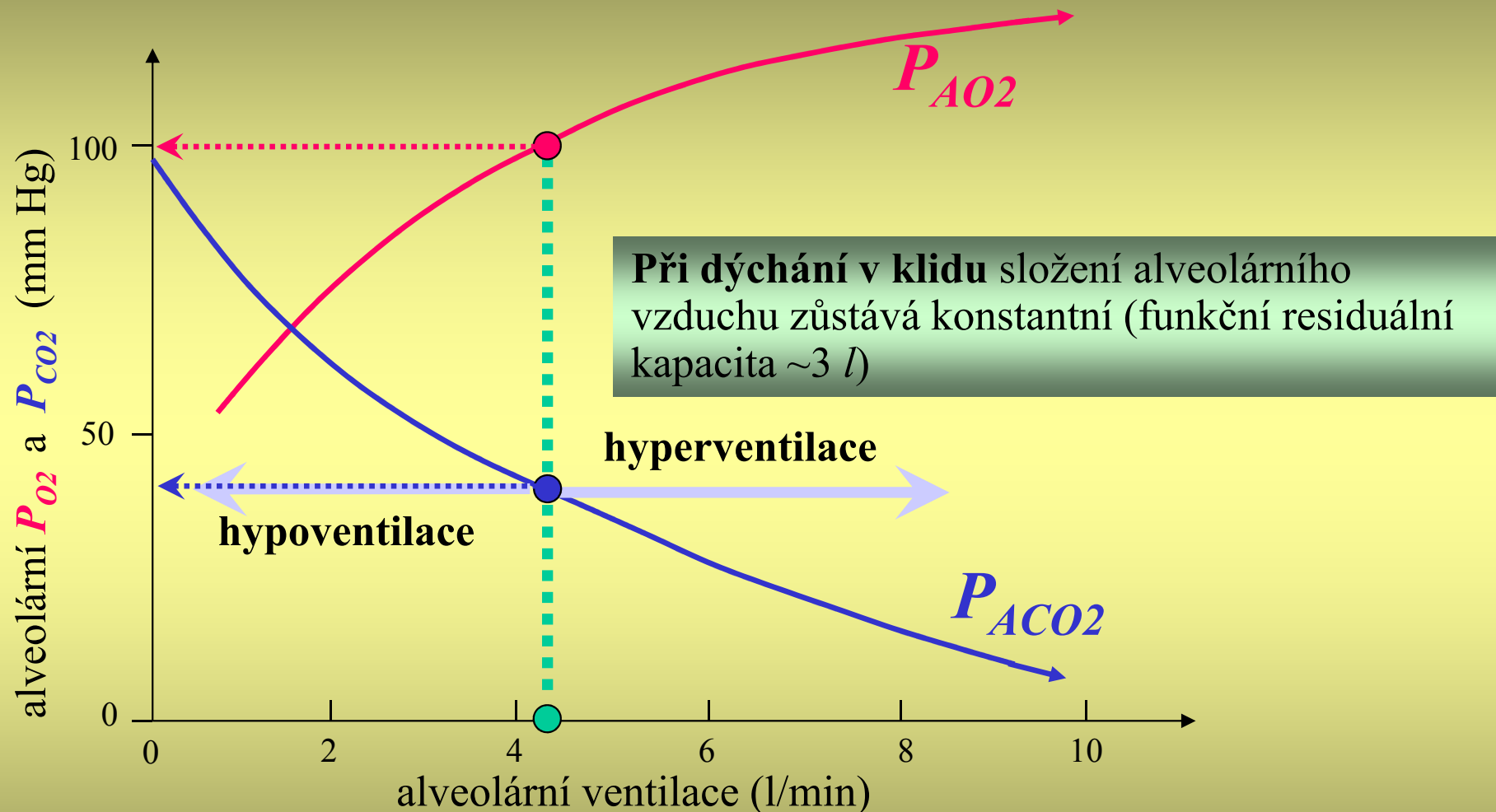
periferní kapiláry

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

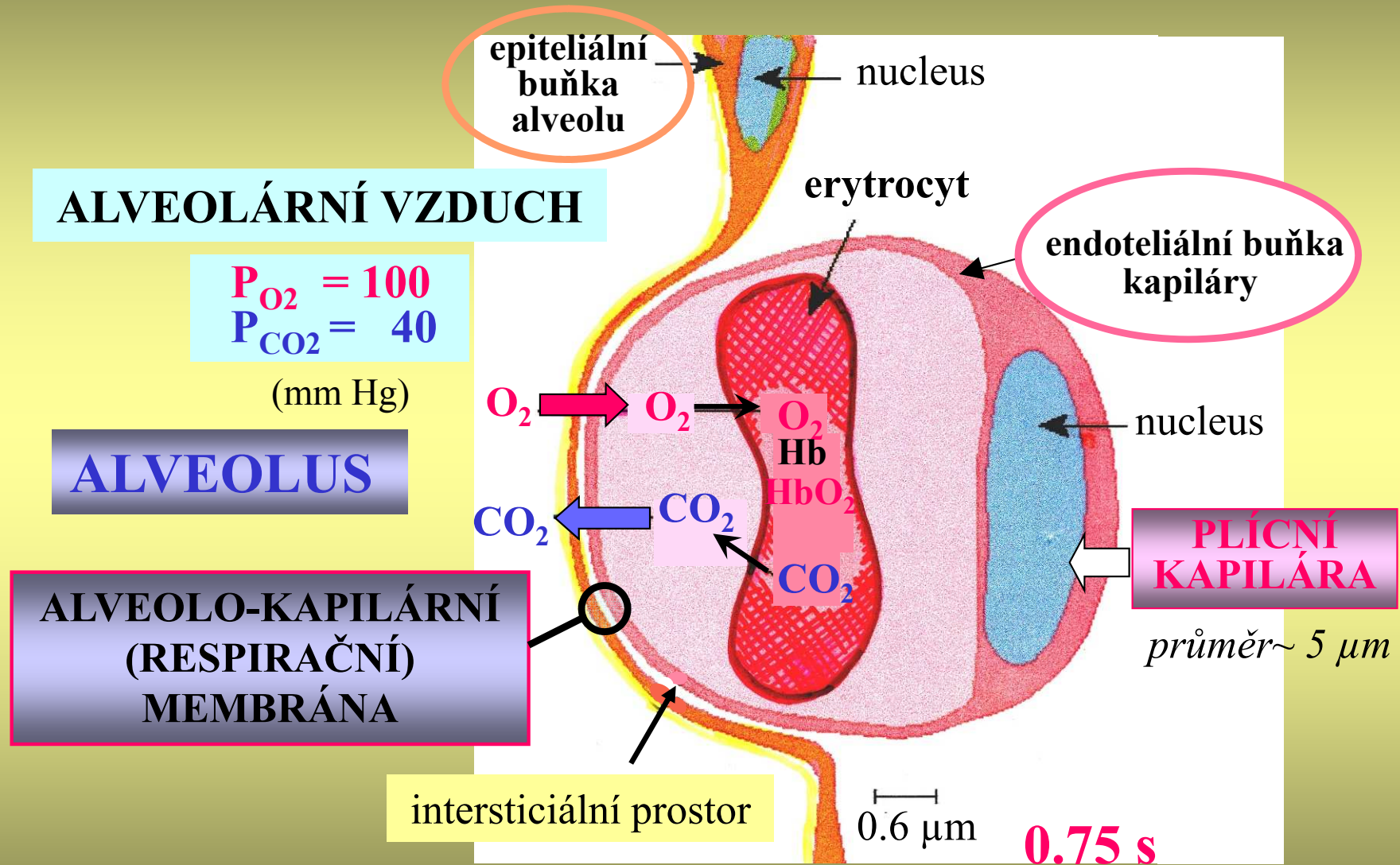


hyperventilace → **HYPOKAPNIE** → respirační alkalóza

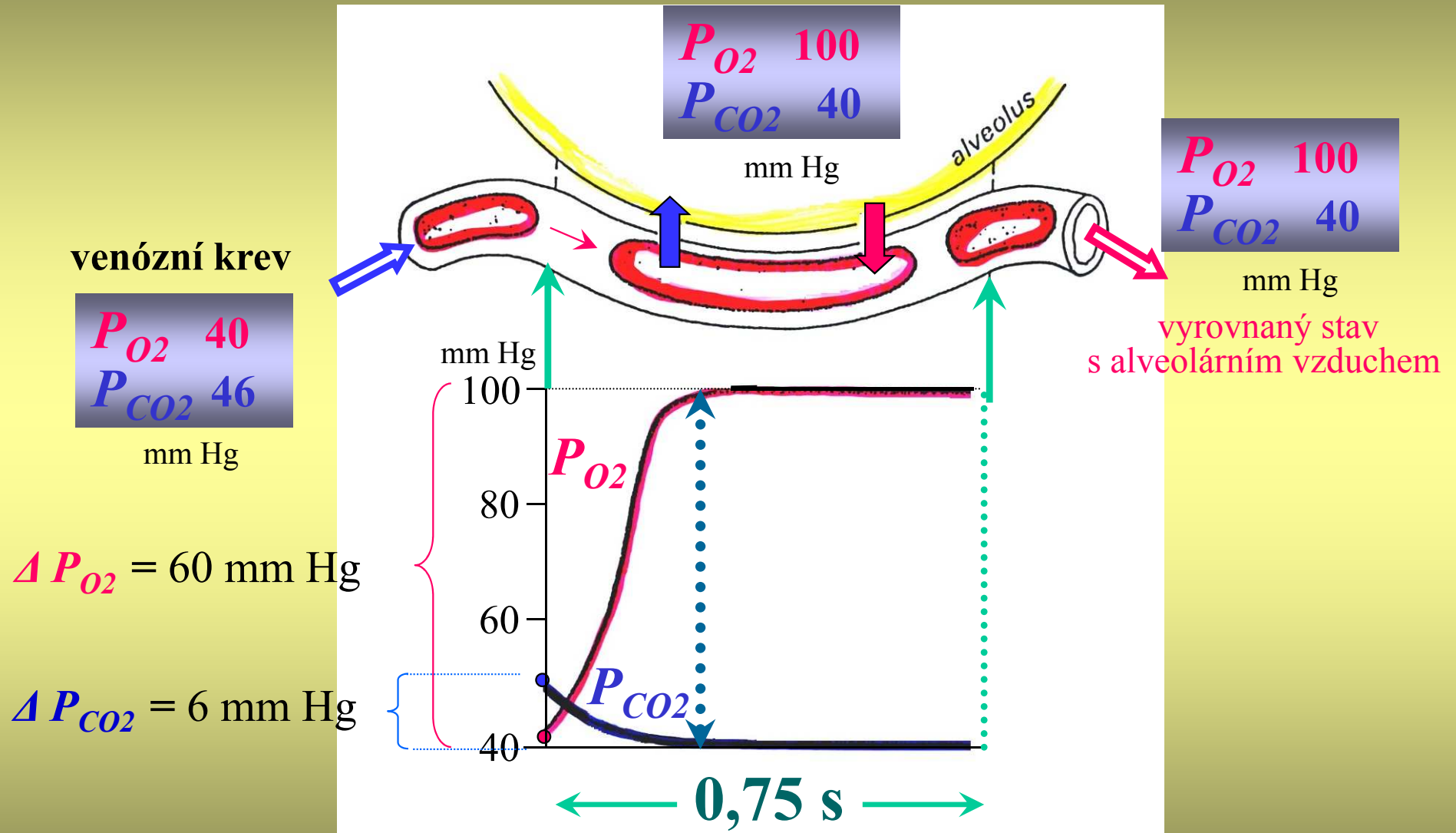
hypoventilace → **HYPERKAPNIE** → respirační acidóza

ALVEOLO-KAPILÁRNÍ (RESPIRAČNÍ) MEMBRÁNA

DIFUZE PLYNŮ

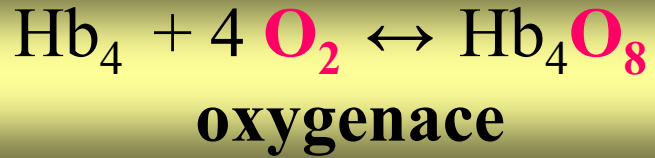


ČASOVÝ PRŮBĚH VYROVNÁVÁNÍ P_{O_2} A P_{CO_2} V KAPILÁŘE S ALVEOLÁRNÍM VZDUCHEM

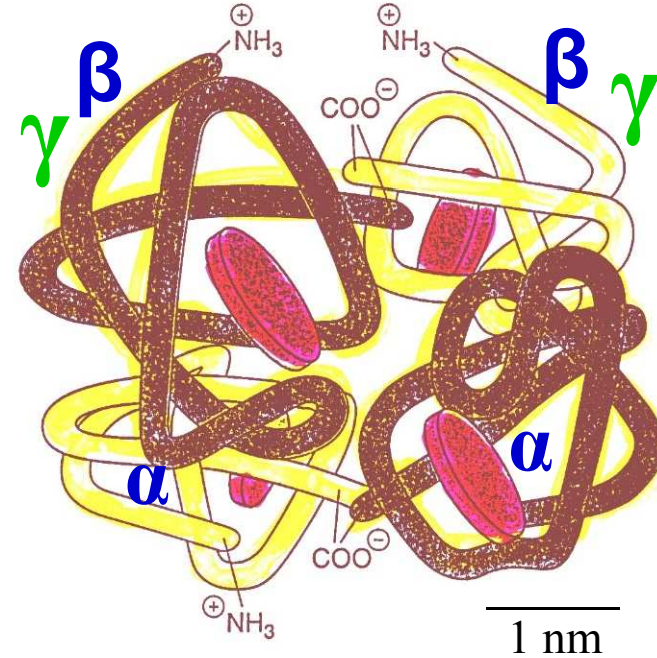


doba kontaktu erythrocytu s respirační membránou v klidu

HEMOGLOBIN



tetramer

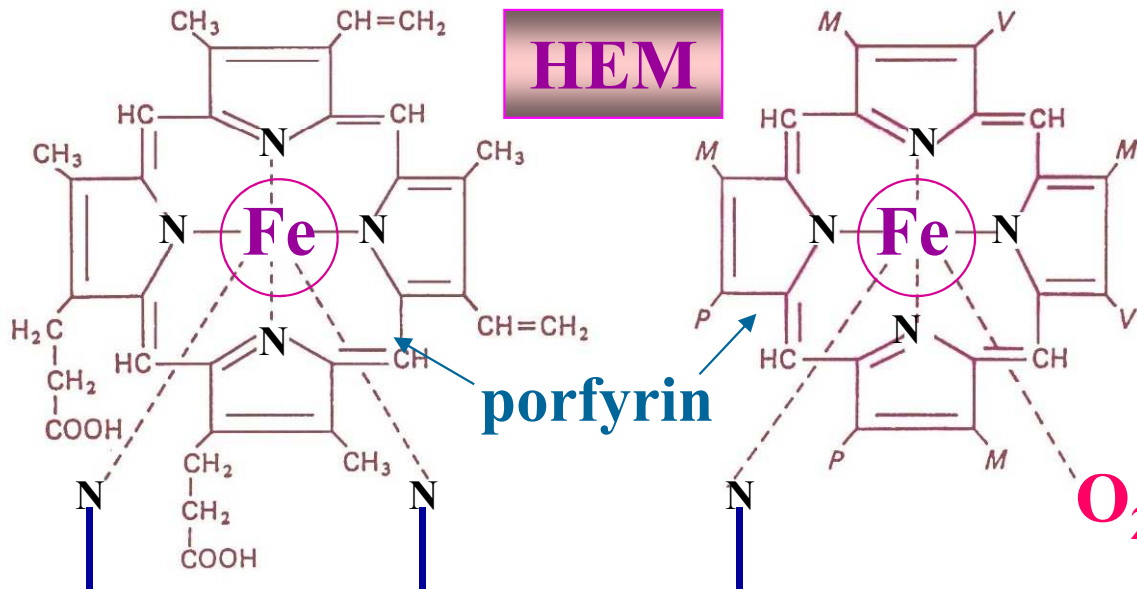


DEOXY

Fe^{2+}

OXY

HEM



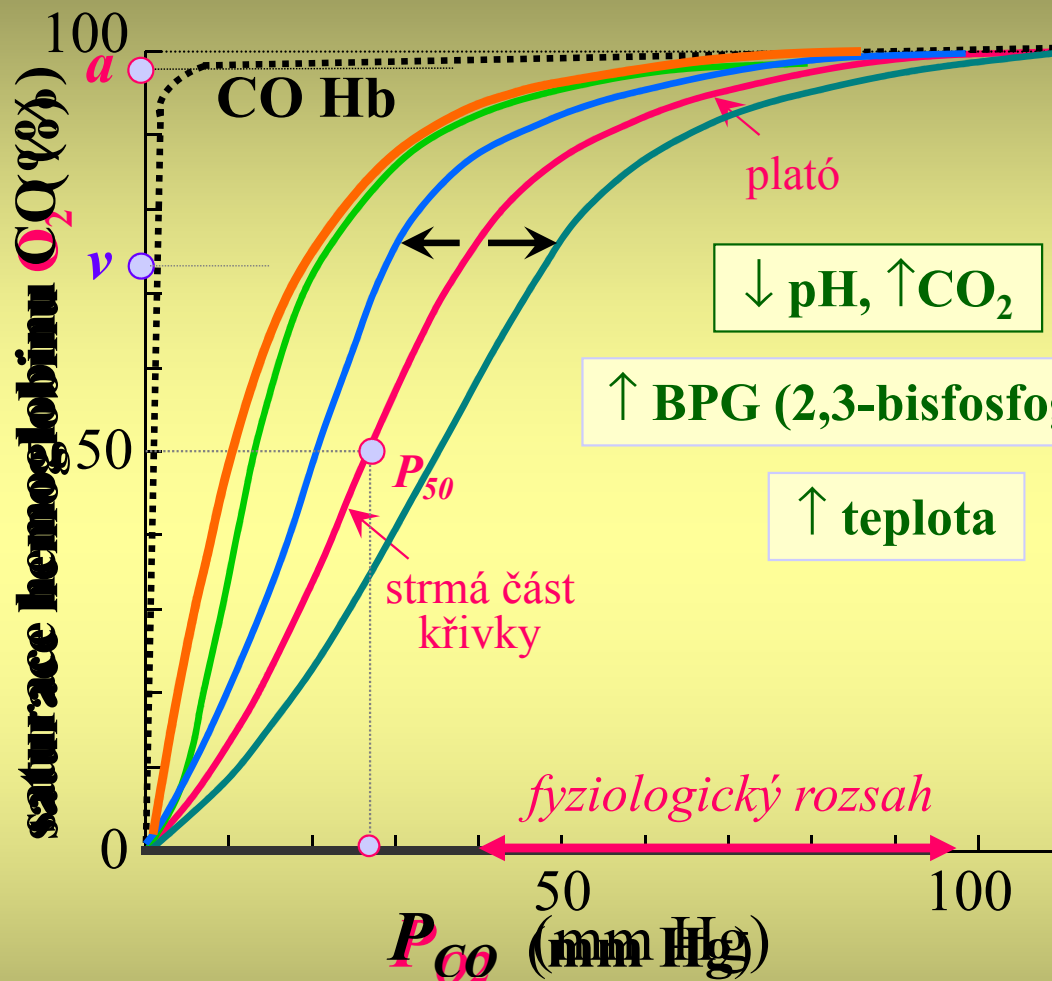
polypeptidový řetězec

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

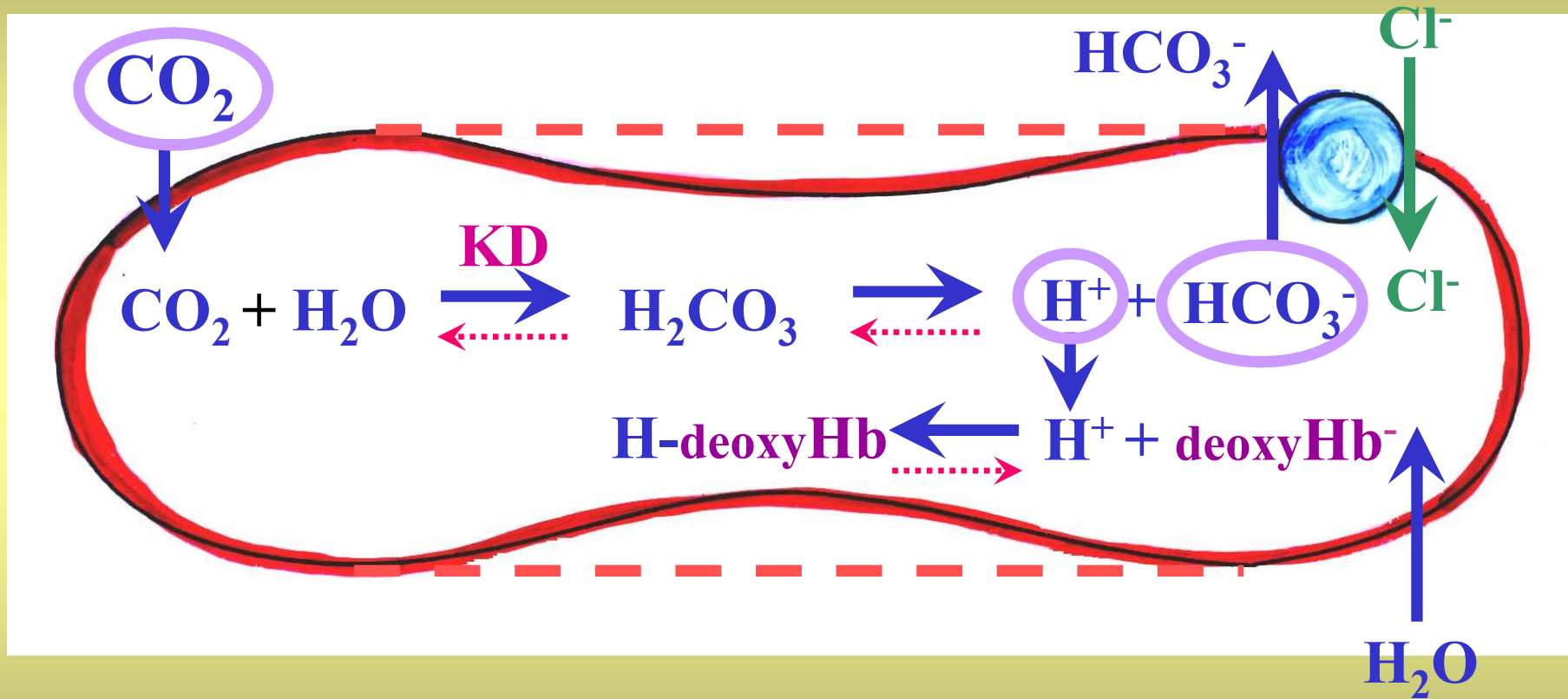
myoglobin

methemoglobin

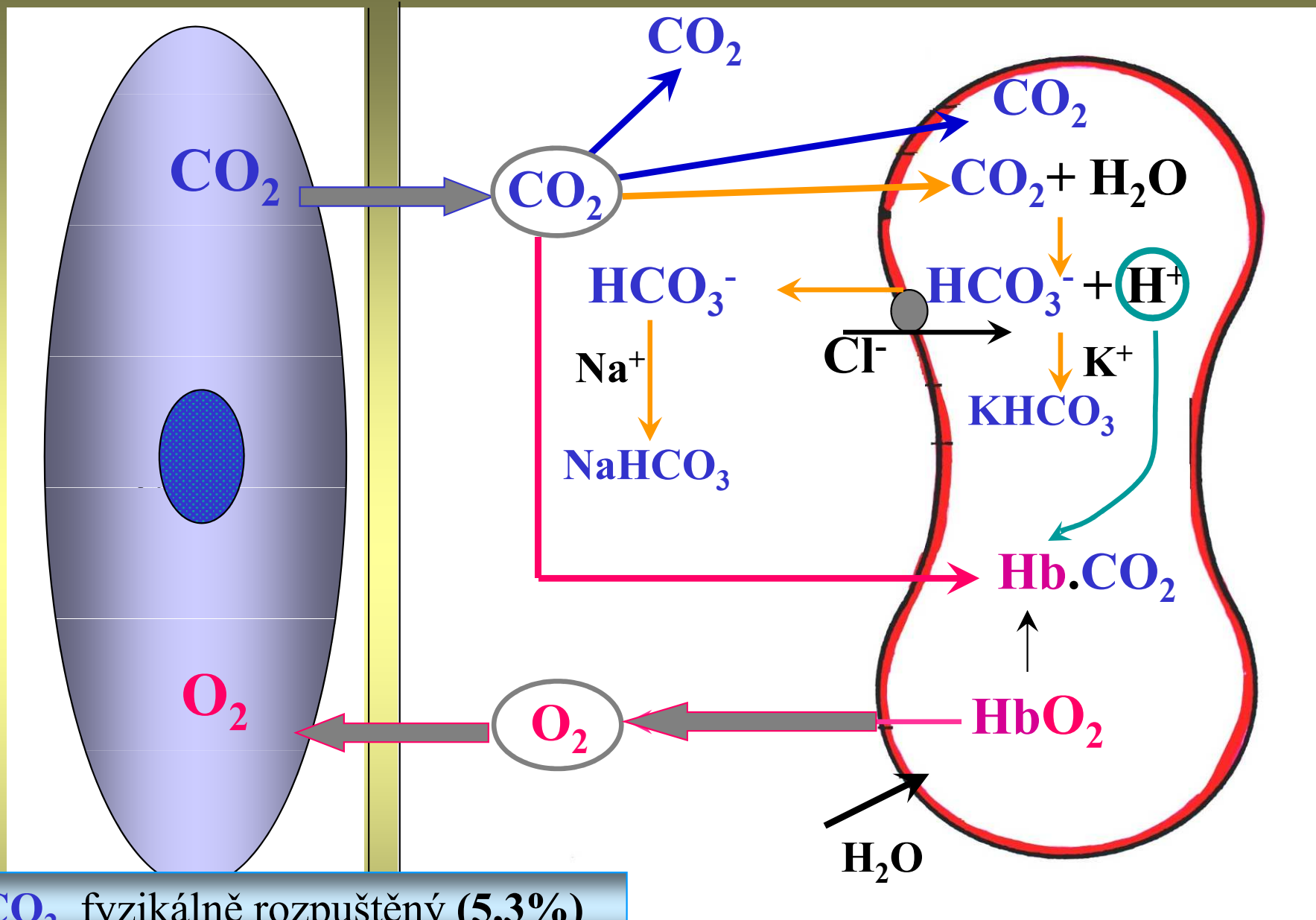
fyzikálně rozpuštěný O_2 (1.4%)

TRANSPORT CO_2

posun Cl^- iontů
Hamburgerův posun



KD – karbonát dehydratáza
(karboanhydráza)



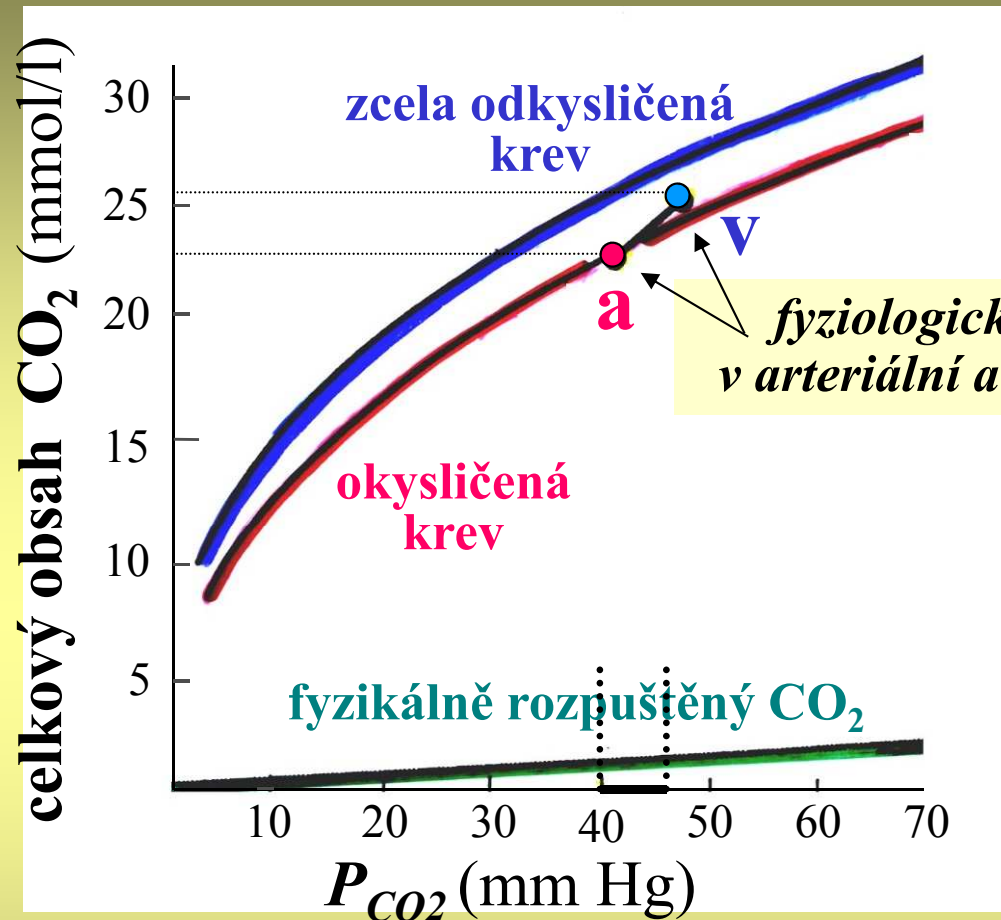
- CO₂ fyzikálně rozpuštěný (5,3%)

- $\text{CO}_2 + \text{Hb-NH}_2 \rightleftharpoons \text{Hb.NHCOO}^-$ (karbamino-Hb) (5,3%)

- $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$ (~89%)

~60% v plasmě, ~29% v erythrocytech

VAZEBNÁ KŘIVKA CO₂



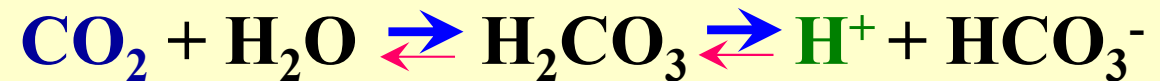
HALDANEŮV EFEKT

?

DEOXY-Hb



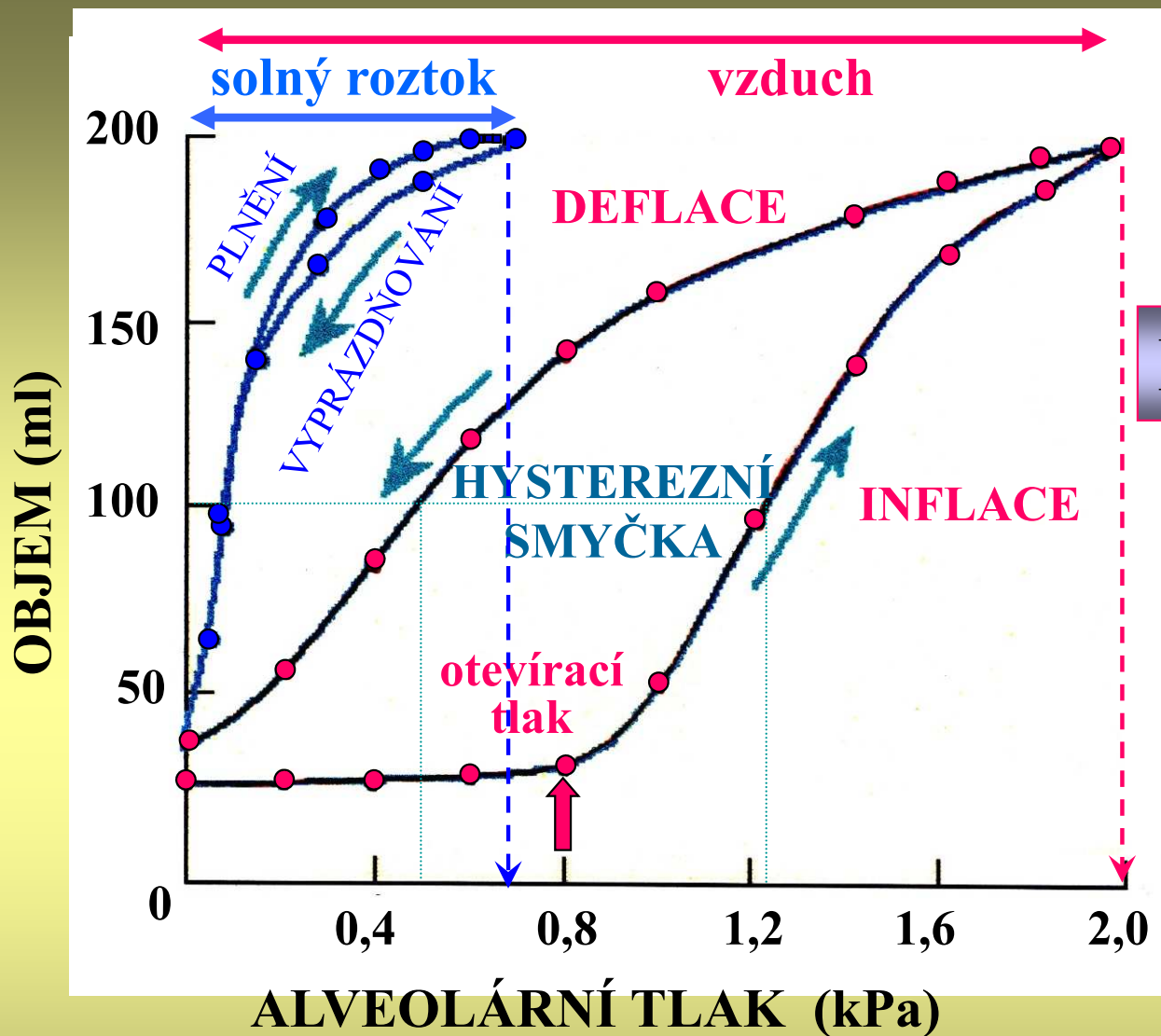
→ v periferních tkáních
← v plicích



TKÁNĚ: DEOXY-Hb snadno váže H⁺ (jako slabší kyselina) ⇒ ↑ množství chemicky vázaného CO₂

PLÍCE: OXY-Hb uvolňuje H⁺ ⇒ ↓ množství chemicky vázaného CO₂





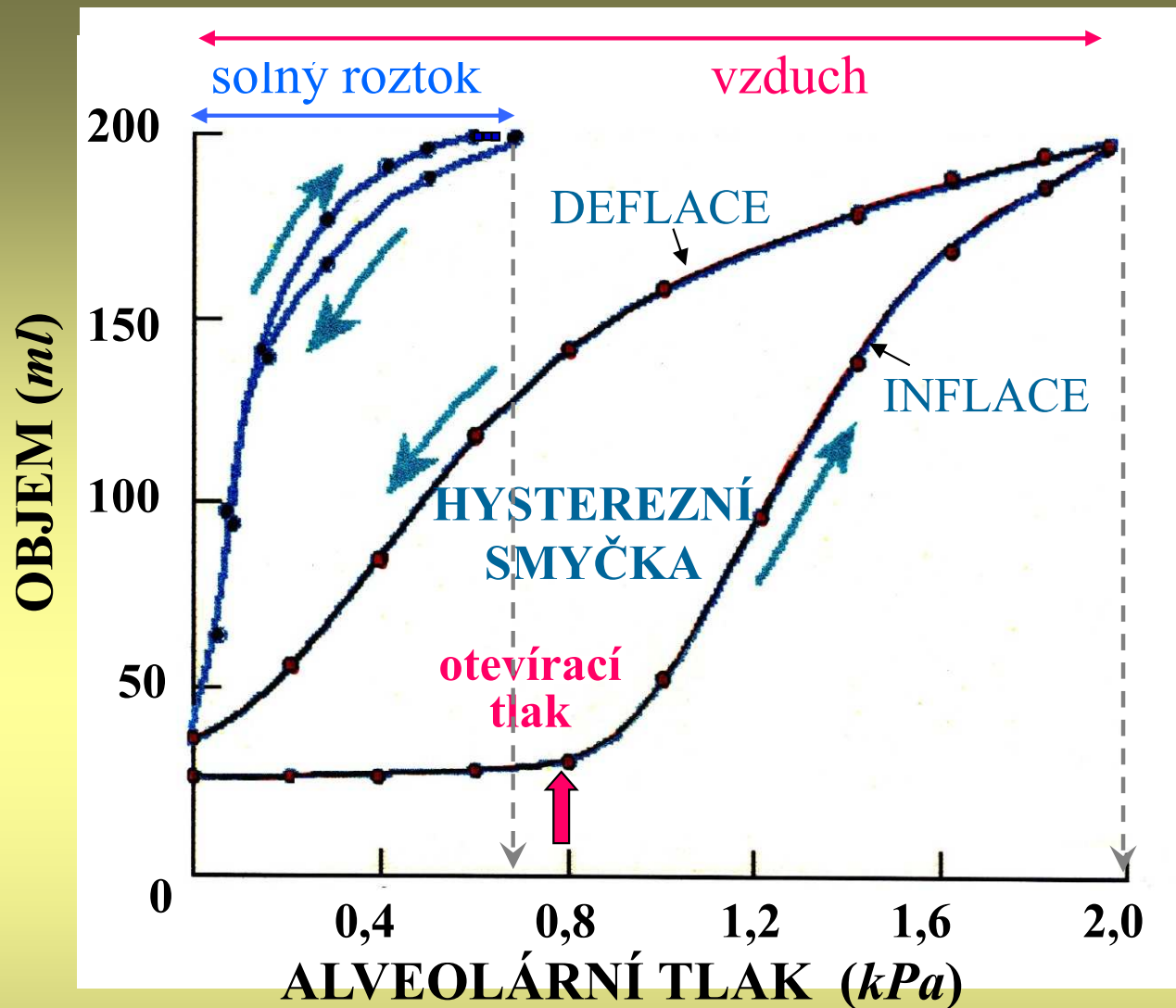
ELASTICITA PLIC

1 kPa = 7,5 mm Hg

ELASTICITA PLIC

VLASTNÍ TKÁŇOVÁ ELASTICITA
(vlákna elastinu a kolagenu)

SÍLY POVRCHOVÉHO NAPĚTÍ
(rozhraní tekutina-vzduch)

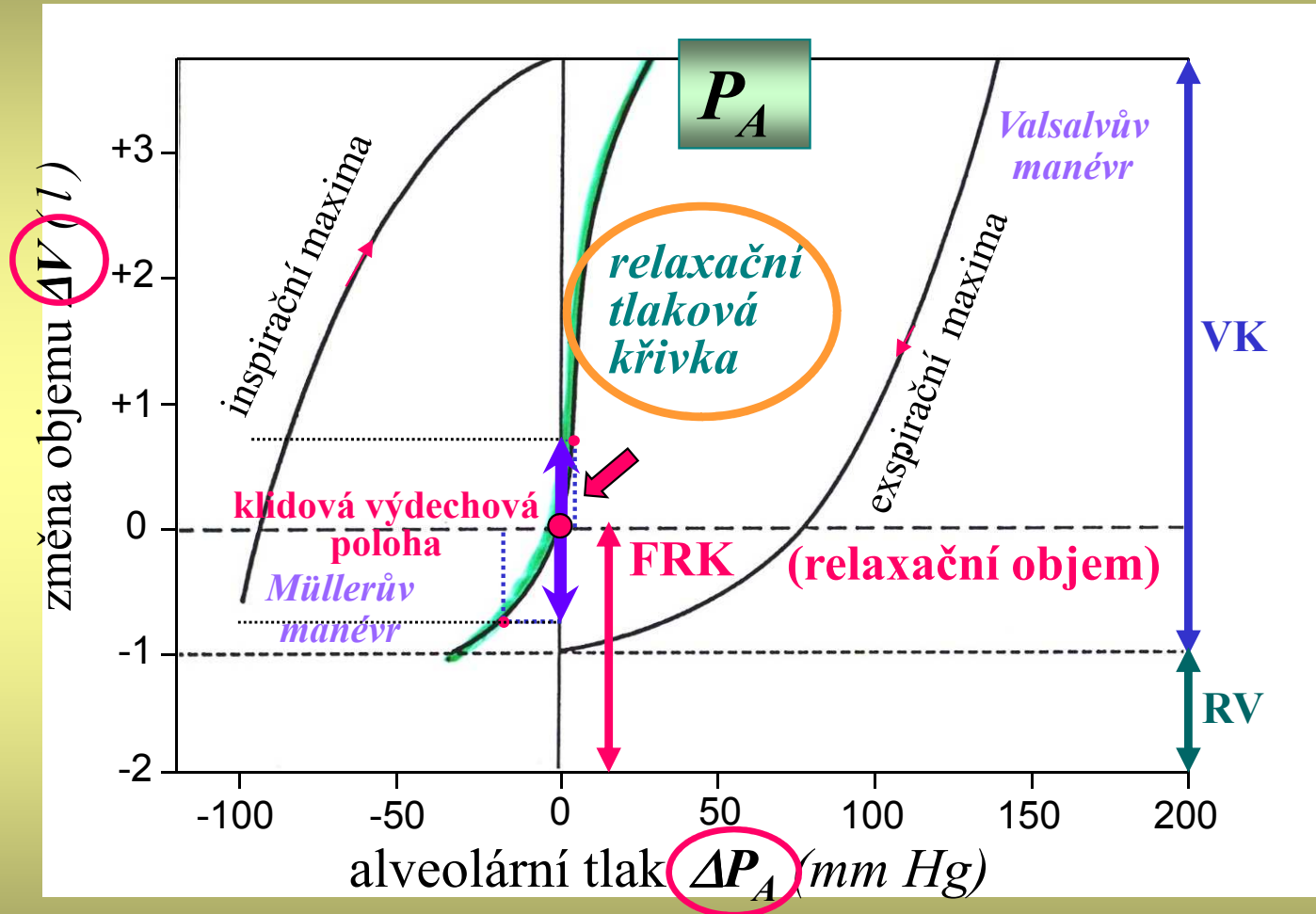


Faktory podílející se na
HYSTEREZNÍ
SMYČCE

- **LAPLACEŮV ZÁKON (otevírací tlak alveolů)**
- **Dynamické změny v hustotě molekul SURFAKTANTU v průběhu inspirace a expirace**

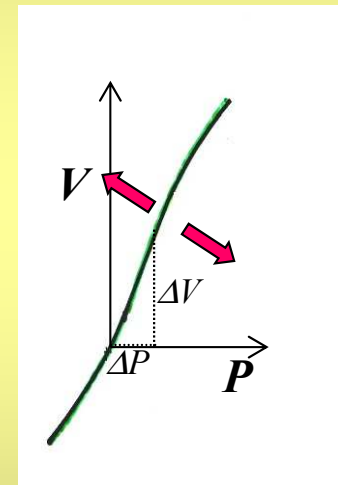
COMPLIANCE (OBJEMOVÁ ROZTAŽITELNOST)

STATICKÉ MĚŘENÍ PŘI UZAVŘENÉM SYSTÉMU



RESPIRAČNÍ SYSTÉM
píče a hrudník

$$C = \frac{\Delta V}{\Delta P}$$



↑ tuhost tkáně
compliance klesá

↓ tuhost tkáně
compliance vzrůstá

CELKOVÁ PRÁCE DÝCHACÍCH SVALŮ PŘI KLIDNÉM DÝCHÁNÍ

ELASTICKÁ PRÁCE (65%)

pro překonání elastických sil hrudníku a plic

DYNAMICKÁ PRÁCE (35%)

- pro překonání odporu dýchacích cest při proudění vzduchu - *aerodynamický odpor* (28%)
- pro překonání tření při vzájemnému pohybu neelastických tkání - *viskózní odpor* (7%)