

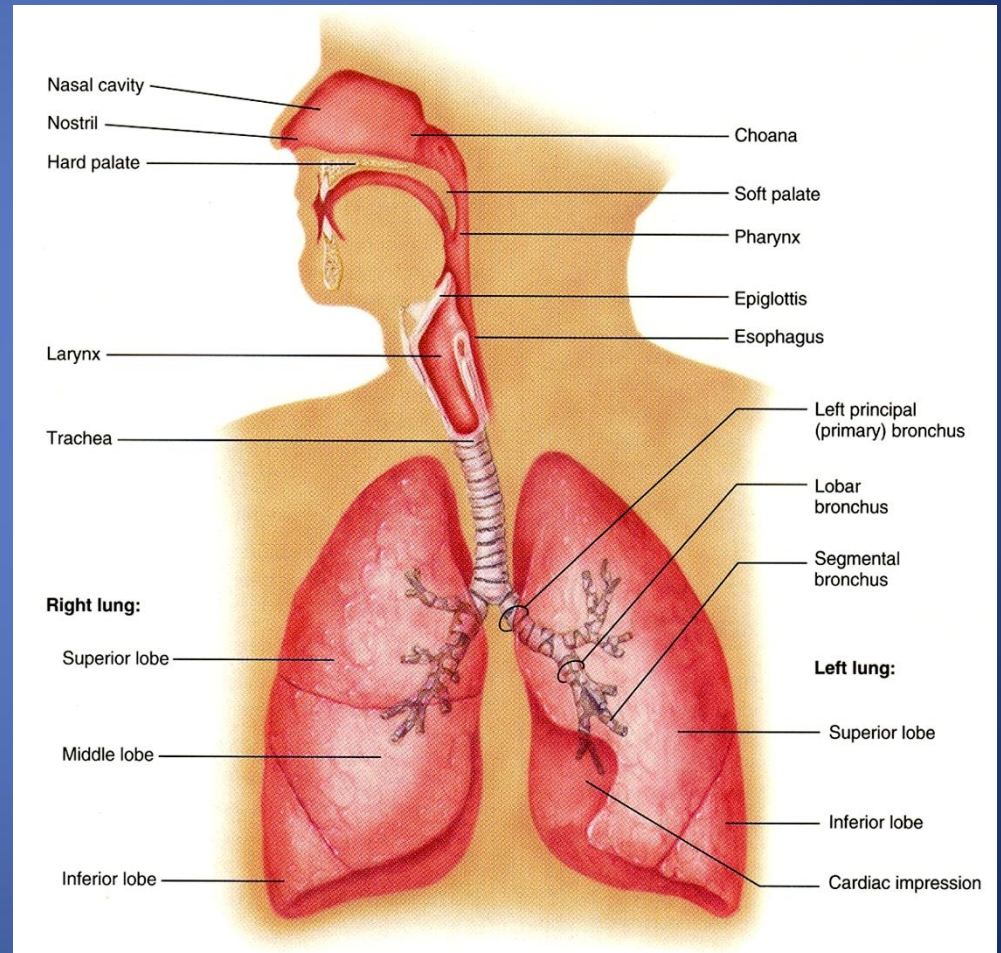
Fyziologie dýchacího systému

MUDr. Kateřina Kapounková

Anatomie dýchacího systému

Dýchací cesty

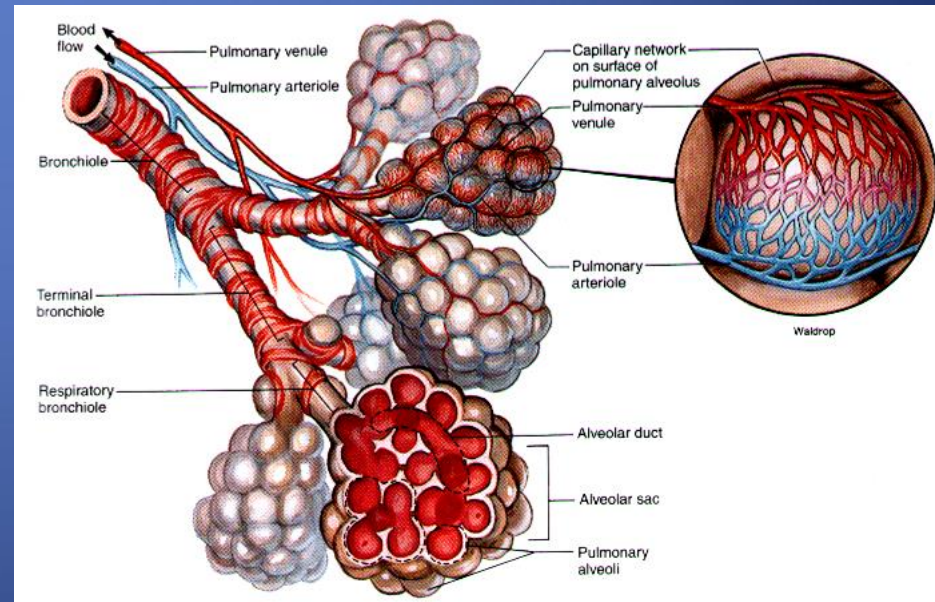
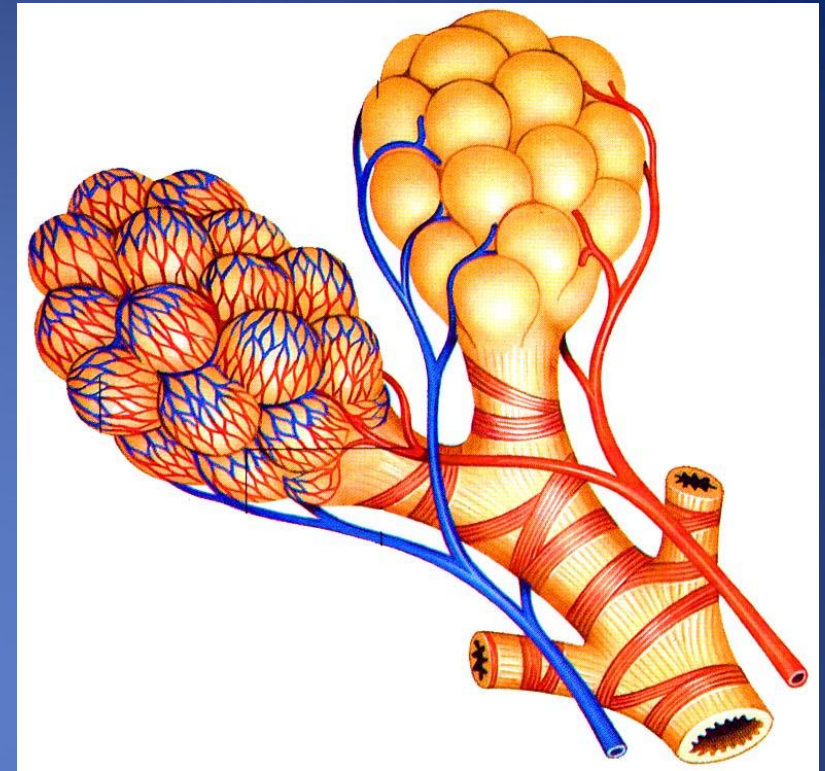
- dutina nosní
- (event.dutina ústní)
- hltan
- hrtan
- trachea
- bronchy
- respirační bronchioly
- alveoly (plicní sklípky)



Obr. č.2

Plicní sklípky alveoly

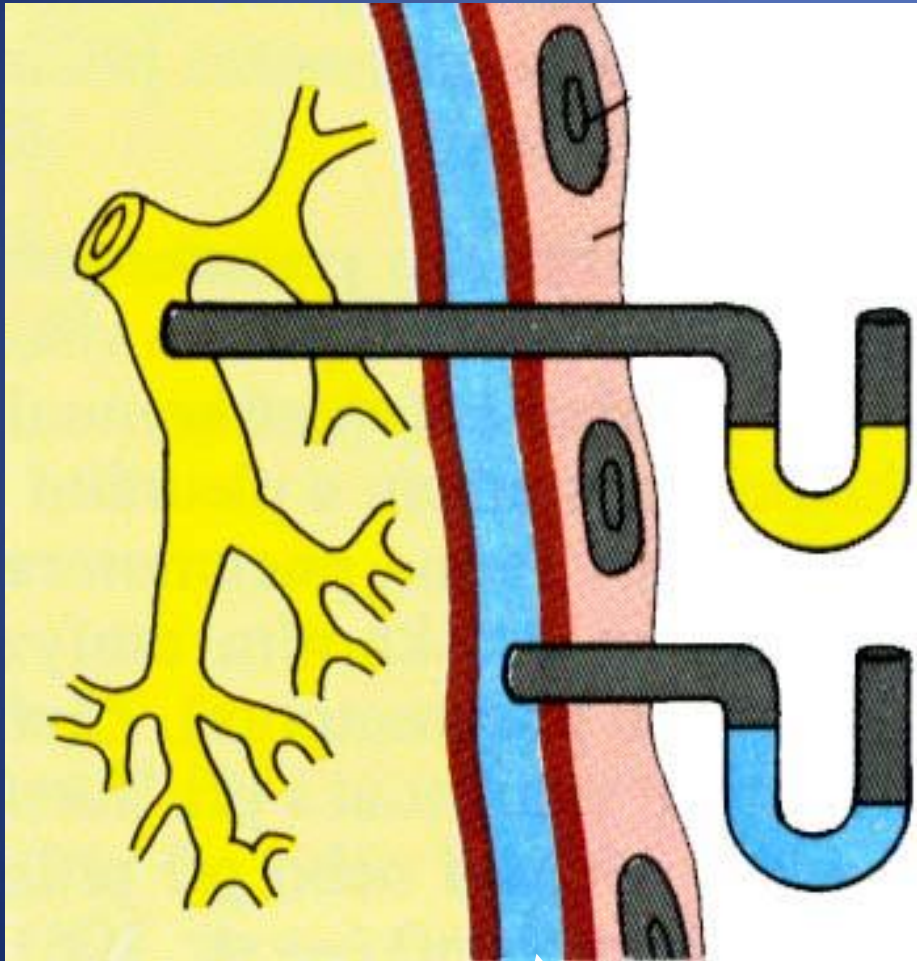
- člověk má asi 300 milionů alveolů
- celková plocha alveolární stěny u dospělého je 70 m²
- alveoly jsou obklopeny plicními kapilárami
- difundování O₂ a CO₂ (mezi krví a vzduchem)



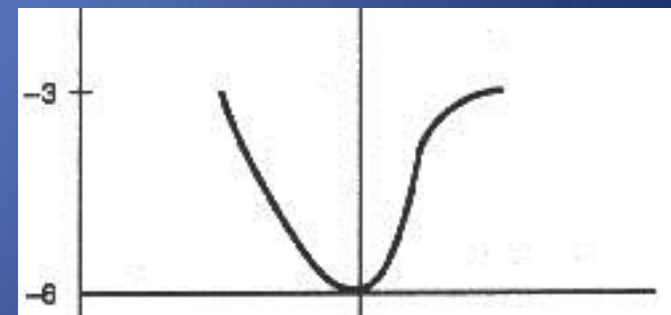
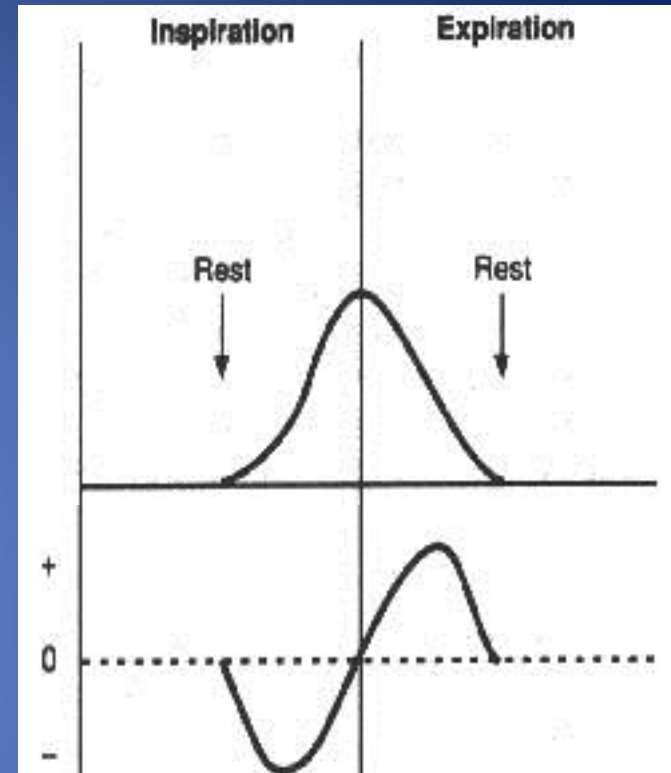
PLEURA

pulmonalis

parietalis

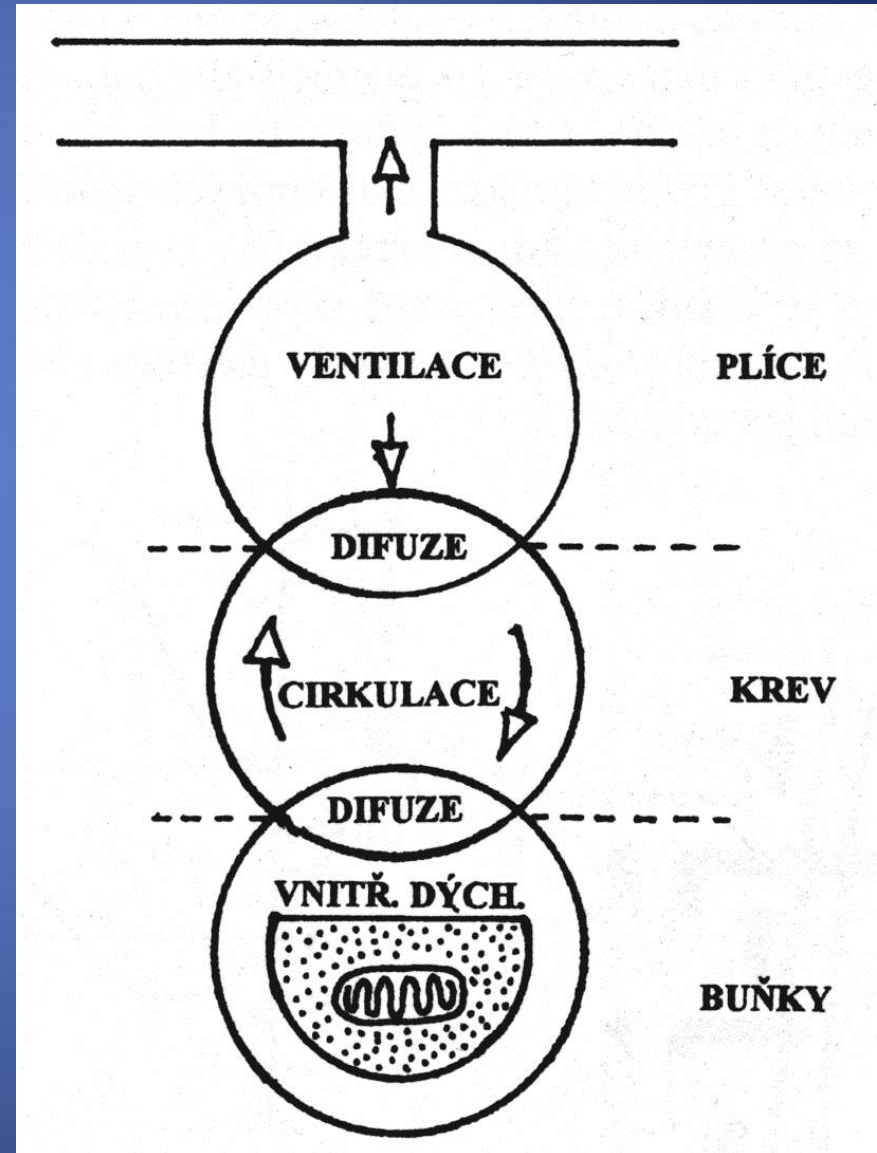


pleurální šterbina



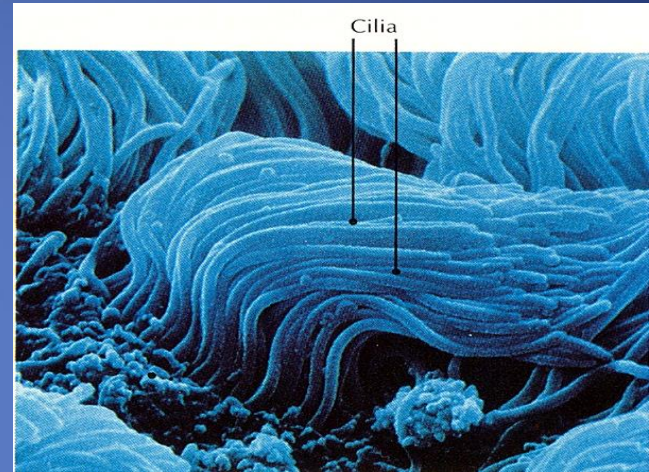
Základní funkce dýchacího systému

- Ventilace = zajišťuje výměnu vzduchu mezi okolní atmosférou a alveoly (**plicními sklípkami**)
- Distribuce = rozdělení vzduchu v dýchacích cestách (nerovnoměrné – dechová cvičení)
- Difúze = výměna plynů alveol.vzduchem a krví a krví a tkání
- Perfúze = průtok krve plicemi
- Respirace = mechanismus příjmu O_2 či výdeje CO_2



Ventilace plic

1. vzduch se v dýchacích cestách zbavuje většiny mechanických nečistot (hlen, řasinky = cilie – posun hlenu do faryngu – vykašlávání)



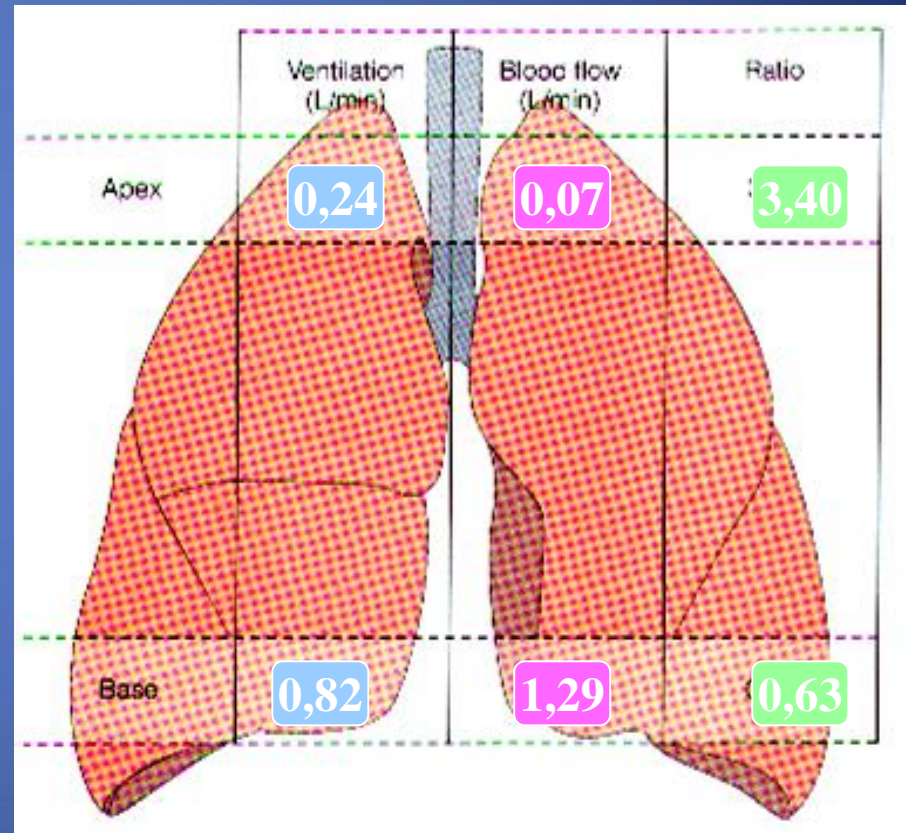
2. lymfatická tkáň – *bariéra proti infekci*
3. *teplota vdechovaného vzduchu + zvlhčení*
4. *hlasové vazy – tvorba hlasu*

Plicní ventilace a průtok krve v různých částech plic

Vzpřímená poloha

v **bázi plic** je větší ventilace a průtok krve než v **hrotech**

- **ventilace** ($\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$) = výměna vzduchu v plicních sklípcích
- **perfúze** ($\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$) = průtok krve plicemi
- **poměr ventilace/perfúze**
(V horních oblastech plic je poměr vysoký = „zbytečná“ ventilace sklípků se sníženým průtokem krve. V dolních partiích plic jsou naopak „méně“ ventilovány jinak dobře prokrveny plicní sklípky)



Průtok krve plícemi -perfúze

- **Plicní oběh** ≡
nízkotlaká část cirkulace
 - pravá srdeční komora - plicnice (plicní tepna) – plicní kapiláry – plicní žíly – levá srdeční síň
 - význam: přesun dýchacích plynů
- **Bronchiální cirkulace**
 - levá srdeční komora - aorta – bronchiální tepny – kapiláry – bronchiální žíly –horní dutá žíla – pravá srdeční síň
 - význam: výživa bronchů a poplicnice

Mrtvý prostor

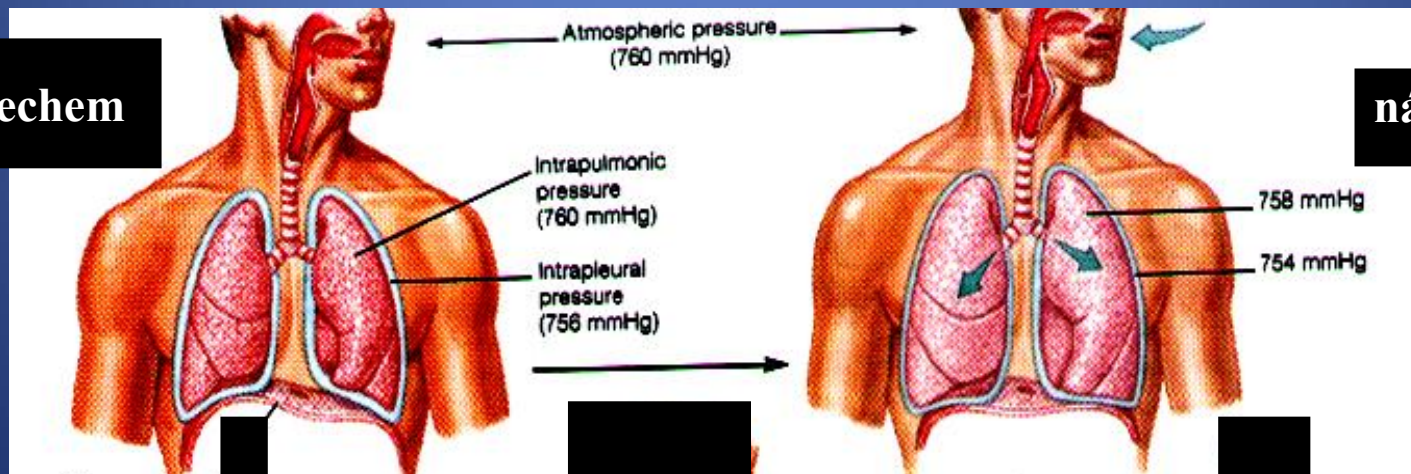
= část respiračního systému, kde nedochází k výměně dýchacích plynů

- Anatomický mrtvý prostor = objem respiračního systému mimo alveoly (u dospělého je 150-200 ml)
- Celkový (fyziologický) mrtvý prostor = objem vzduchu z té části dýchacího systému, kde nedochází k výměně plynů s krví, neúčinná ventilace



Vdech - inspirium

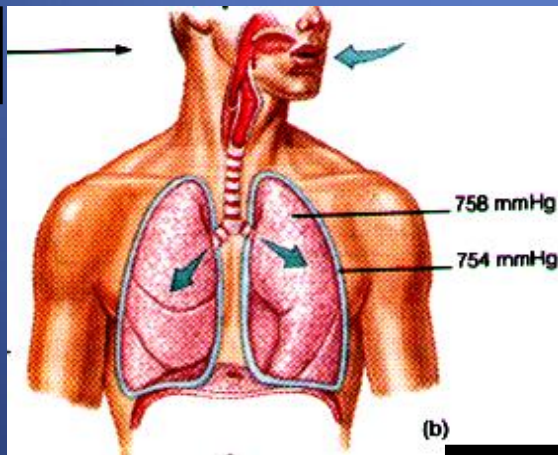
- *děj aktivní - kontrakce inspiračních svalů*
- *intrapulmonální tlak klesá*
- *interpleurální tlak klesá (z $-2,5$ na -6 torrů)*
- *vzduch do plic (tlak v dýchacích cestách je negativní)*



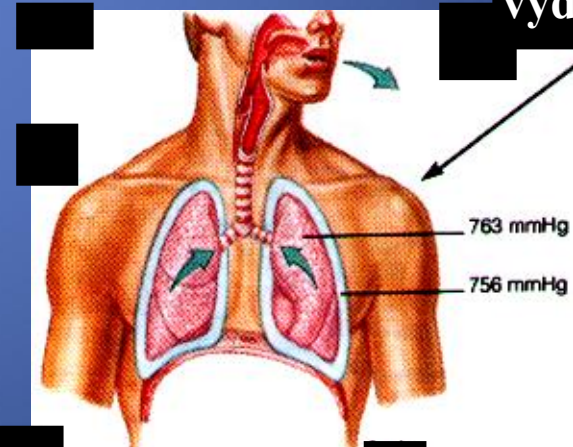
Výdech - exspirium

- po konci vdechu elasticita plic táhne hrudní stěnu zpět do výdechové polohy – *pasivní výdech*
- **tlak v dýchacích cestách se zvýší** – vzduch proudí z plic
- při *usilovném výdechu (aktivní zapojení dýchacích svalů)* – *interpleurální tlak se zvýší na -30 torrů*

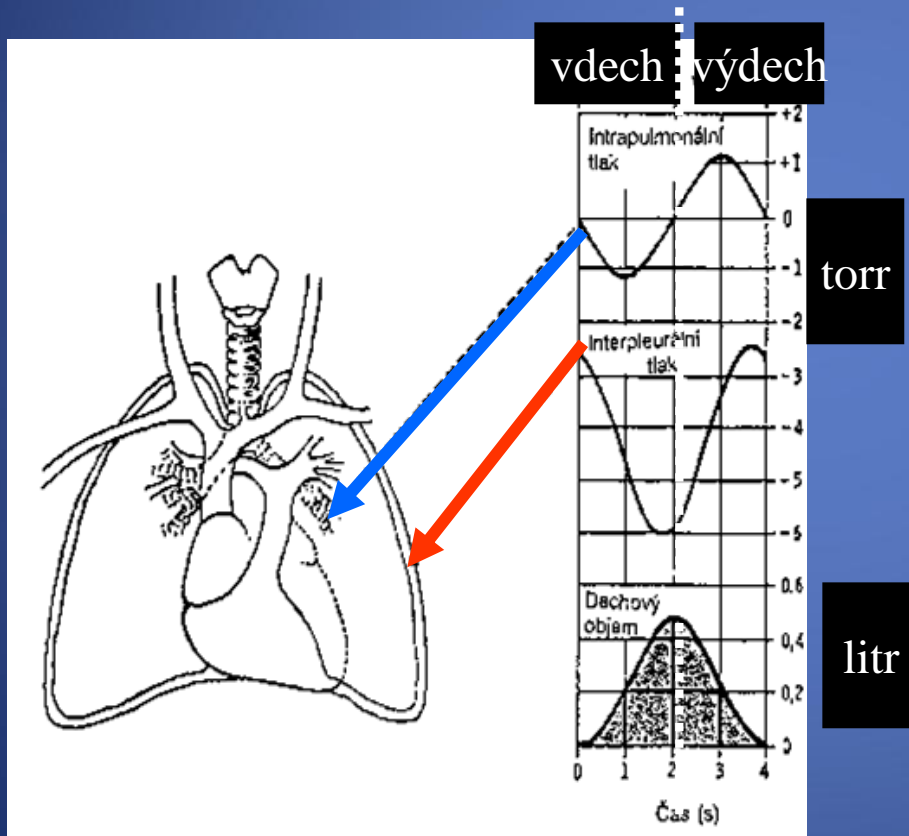
vdech



výdech



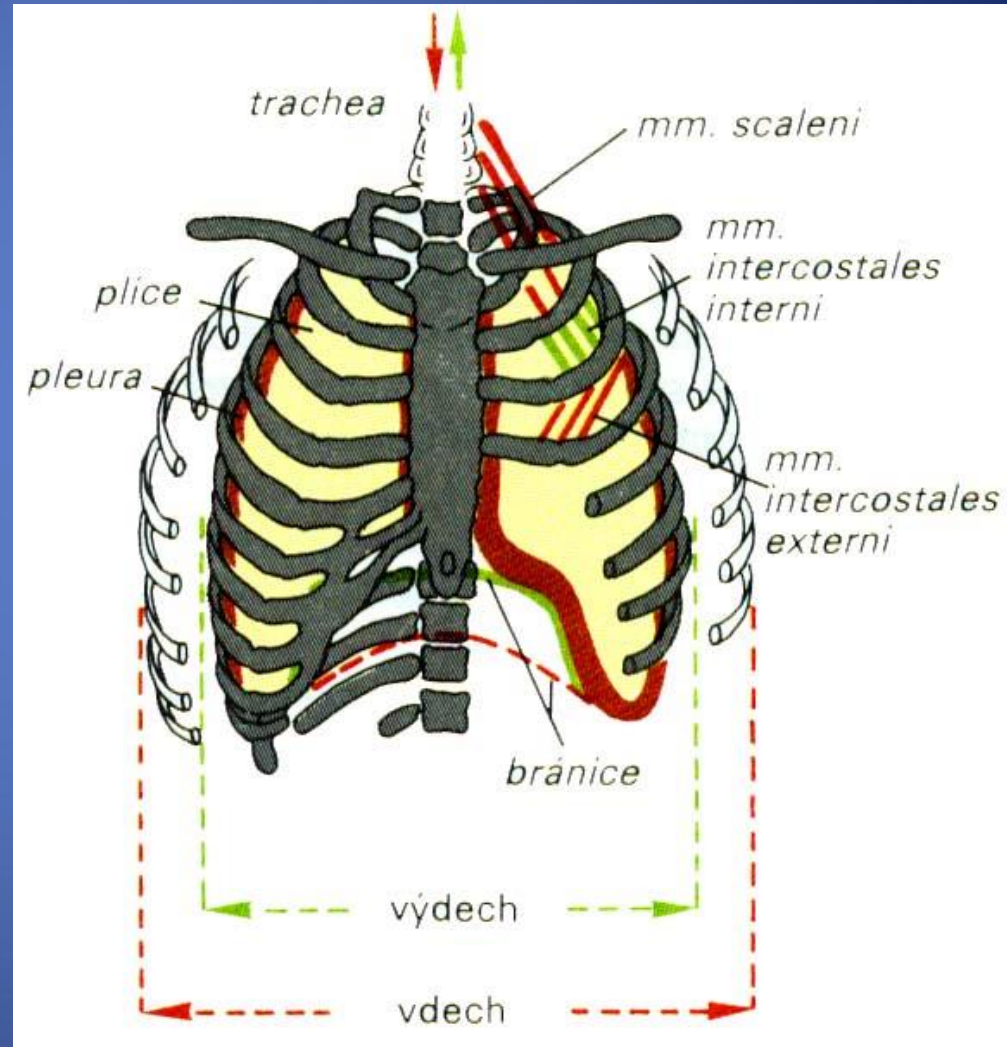
Změny tlaků při klidném dýchání



- **intrapulmonální tlak**
- **interpleurální tlak**
- **dechový objem**

Inspirační a expirační svaly

- Inspirační svaly:
 - bránice
 - *mm.intercostales ext.*
 - *mm.intercostales paraster.*
 - *mm.scaleni*
 - *mm.pectorales*
 - *m.sternocleidiomast.*
- Exspirační svaly:
 - *mm.intercostales int.*
 - břišní lis



Poddajnost plic a hrudníku

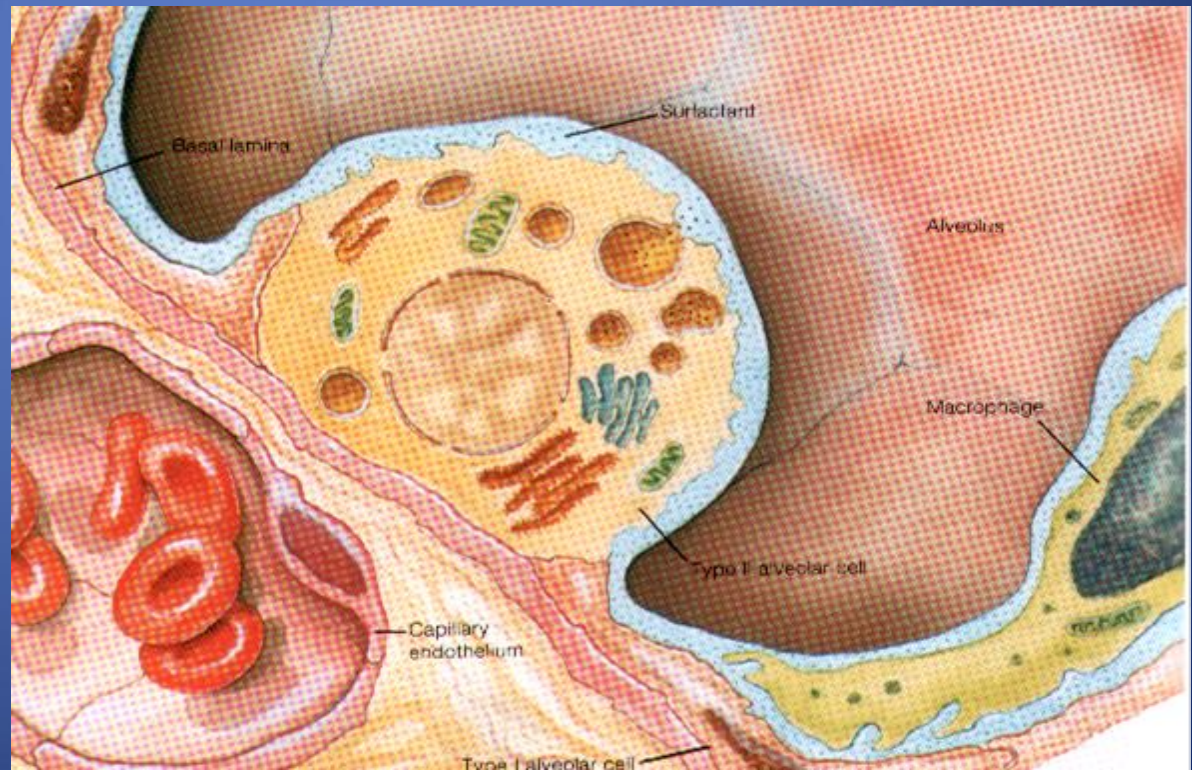
- změny objemu plic *závisí na průtoku vzduchu z a do plic* (otázka tlakových gradientů mezi plícemi a okolní atmosférou)
- změny tlakových gradientů jsou vyvolány *změnami napětí inspiračních a exspiračních svalů*
- vztah mezi silami dýchacích svalů a objemovými změnami plic závisí na **poddajnosti plic a hrudníku a na odporu plic**
- elasticita plic určuje hodnotu plicní poddajnosti = *compliance*

ELASTICKÉ VLASTNOSTI PLIC

Faktory ovlivňující elastické vlastnosti plic:

stavba plic: přítomnost elastických vláken

povrchové napětí alveolu: **SURFAKTANT**- snižuje povrchové napětí



Dechový cyklus z pohledu compliance

1. Nádech:

- ✓ rozpínání hrudníku
→ vytváří se „prostor“ pro rozpínající se plíce
- ✓ interpleurální tlak ↓
- ✓ alveolární tlak ↓
= *vzduch do plic*
- ✓ objem plic a retrakční síla ↑
- ✓ hodnota tlaku v alveolech = hodnotě atmosférického tlaku
= *ukončení nádechu*

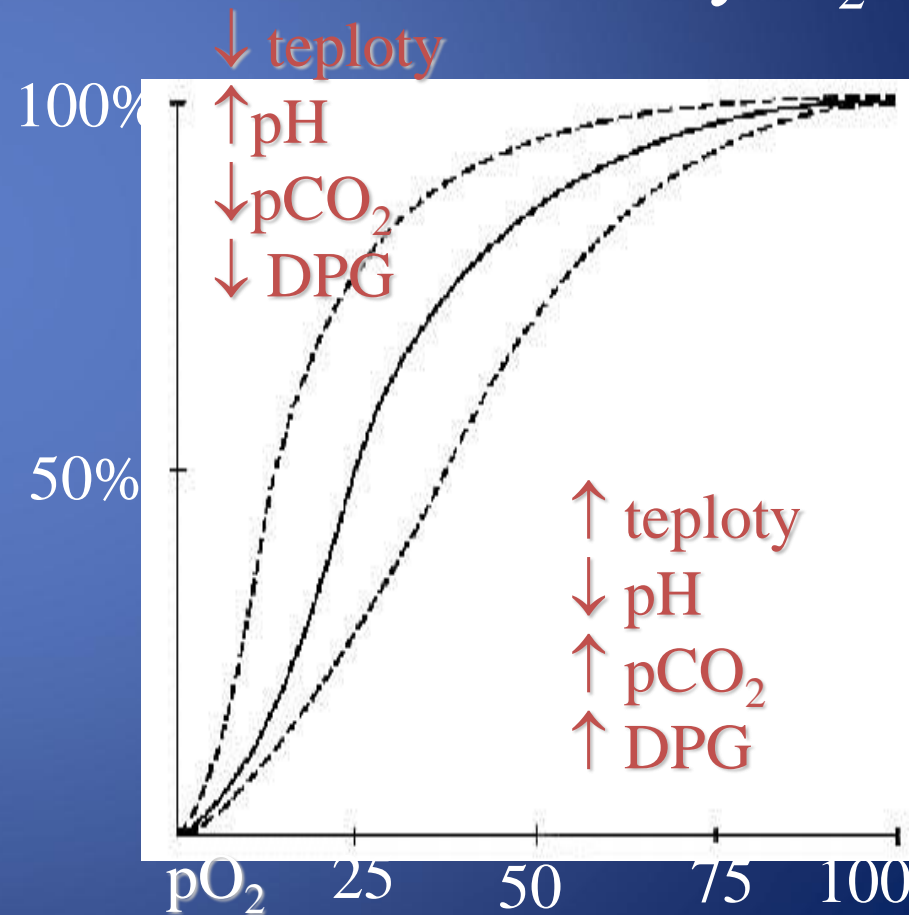
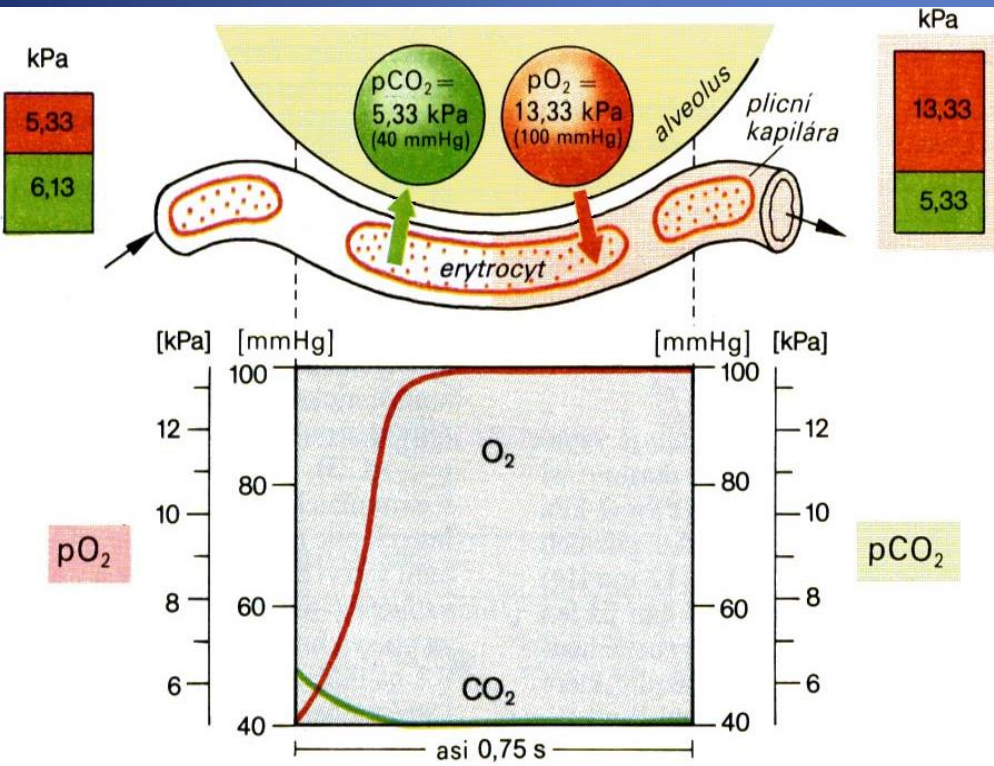
2. Výdech:

- ✓ napětí inspiračních svalů
- ✓ hrudník se zmenšuje
- ✓ interpleurální a alveolární tlak ↑
= *vzduch z plic*
- ✓ retrakční síla plic ↓
- ✓ rovnováha mezi retrakční silou plic a napětím hrudní stěny
= *konec výdechu*

TRANSPORT O₂

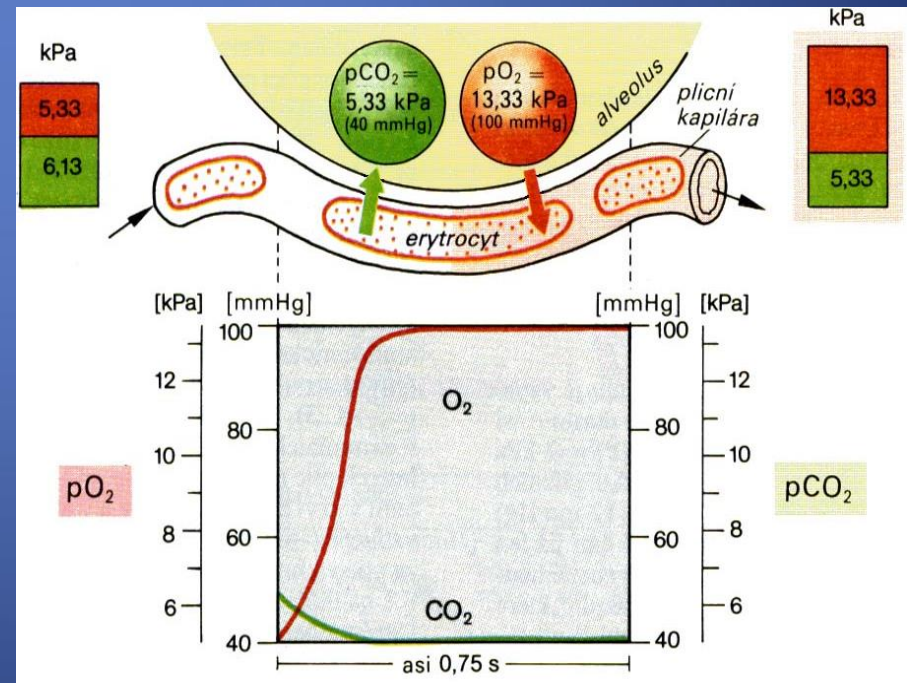
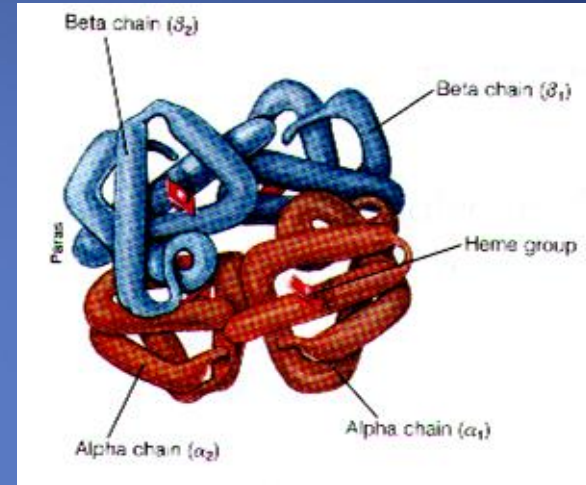
rozpuštěný v plazmě
vazba na hemoglobin (Fe²⁺)

1 molekula hemoglobinu váže 4 molekuly O₂



Transport O₂ krví

- **Hemoglobin (Hb)** = červené krevní barvivo
- Fe²⁺ - každé ze 4 atomů železa váže 1 molekulu O₂
(= *oxygenace* – železo zůstává dvojmocné = Fe²⁺)
- *oxyhemoglobin* (Hb₄O₈) – Hb s navázaným O₂
- *deoxygenace* (redukovaný Hb) – hemoglobin bez kyslíku
- 1 g Hb obsahuje 1,39 ml O₂
- v krvi: 160 g.l⁻¹ u mužů (140 g.l⁻¹ u žen) Hb



Transport CO₂ krví

1. fyzikálně rozpuštěný v plazmě (malý podíl) – 12%

2. difunduje do ery

- vzniká karbaminovazba s Hb a HCO₃

- HCO₃



✓ tato reakce je v plazmě pomalá

✓ je 10 000krát rychlejší v erythrocytech – 27%

✓ membrána erythrocytů je pro HCO₃⁻ propustná

 HCO₃⁻ do plasmy – 50%

✓ za HCO₃⁻ do erythrocytů Cl⁻ (= **chloridový posun**)

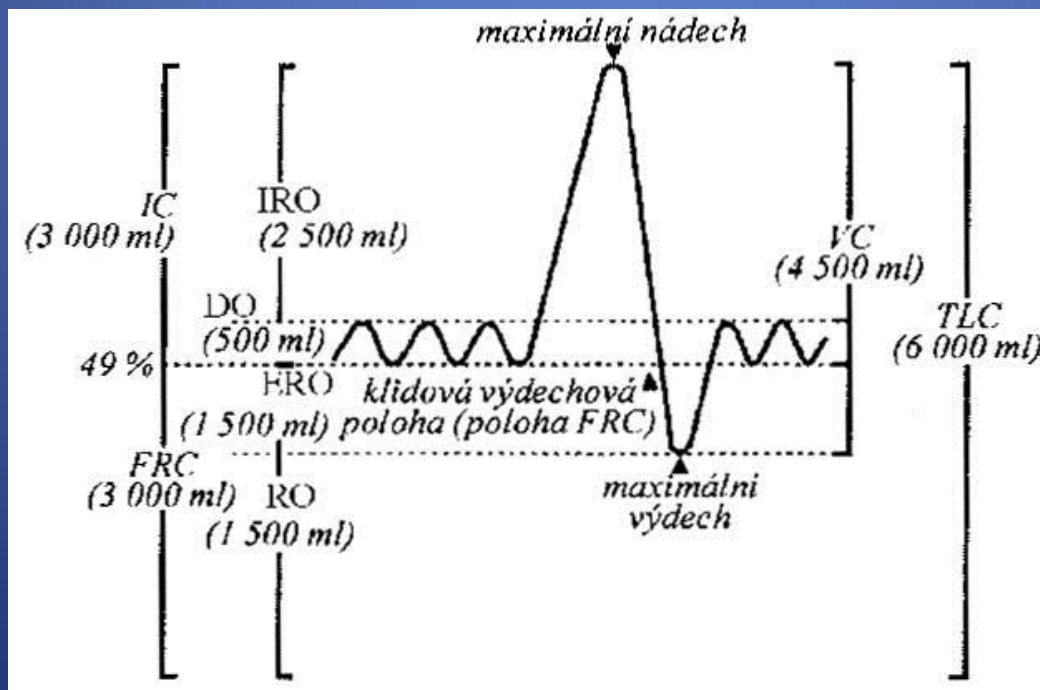
 erythrocyty „nasávají“ vodu (zvětšují svůj objem)

Statické plicní objemy:

- dechový objem **DO** (0,5 l)
- inspirační rezervní objem **IRO** (2,5 l)
- expirační rezervní objem **ERO** (1,5 l)
- reziduální objem **RO** (1,5 l)

Statické plicní kapacity:

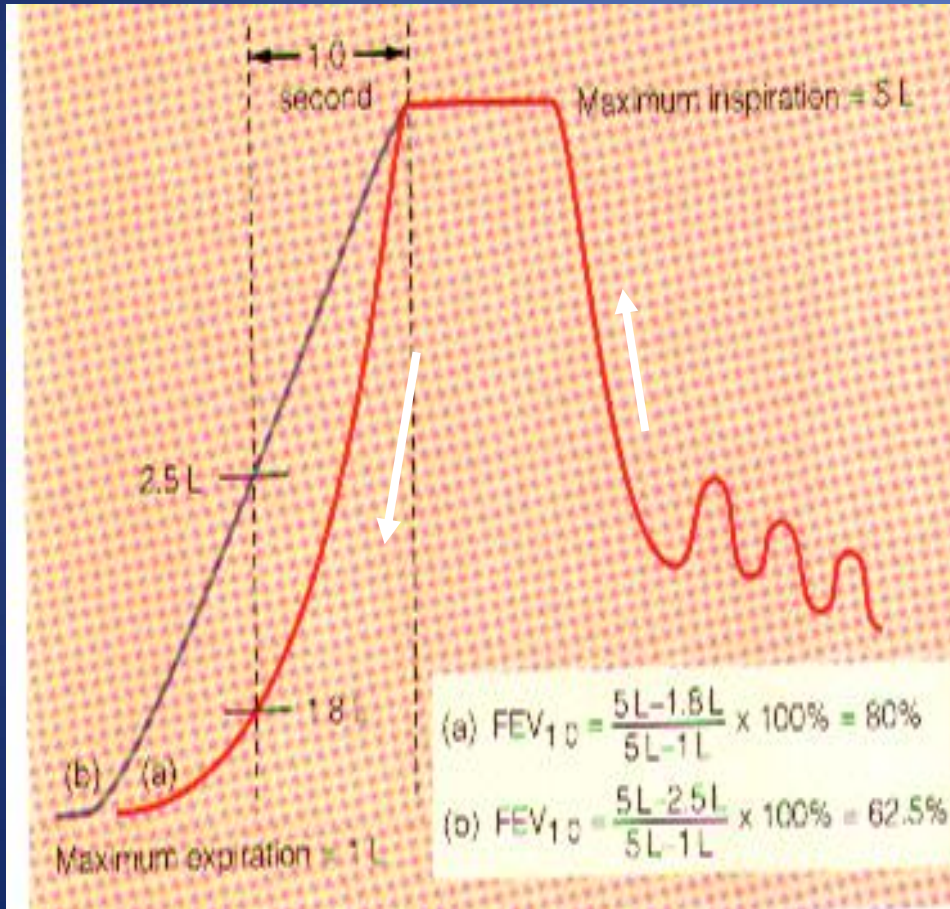
- vitální kapacita plic **VC** (4,5 l) = IRO+DO+ERO
- celková kapacita plic **TC** (6 l) = IRO+DO+ERO+RO
- inspirační kapacita **IC** (3 l) = IRO+DO
- funkční reziduální kapacita **FRC** (3 l) = ERO+RO



Dynamické plicní parametry

- dechová frekvence : f
- minutová ventilace plic : \dot{V} (v klidu 8 l za min)
- maximální minutová ventilace : $MV\dot{V}$
= maximální množství vzduchu, které může být v plicích vyměněno (z plic vydýcháno) za minutu – až $170 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$
- jednosekundová vitální kapacita : FEV_1
= množství vzduchu vydechnuté za 1 sekundu

Jednosekundová vitální kapacita plic



= po maximálním nádechu (↑)
maximální výdech (↓)

FEV 1 = za první sekundu

FEV 2 = za první dvě sekundy

FEV 3 = za první tři sekundy

— u zdravého jedince

— u nemocného s astmatem

FEV 1 = 80% FVC

FEV 2 = 90-95 % FVC

FEV 3 = 99 % FVC

Řízení dýchání

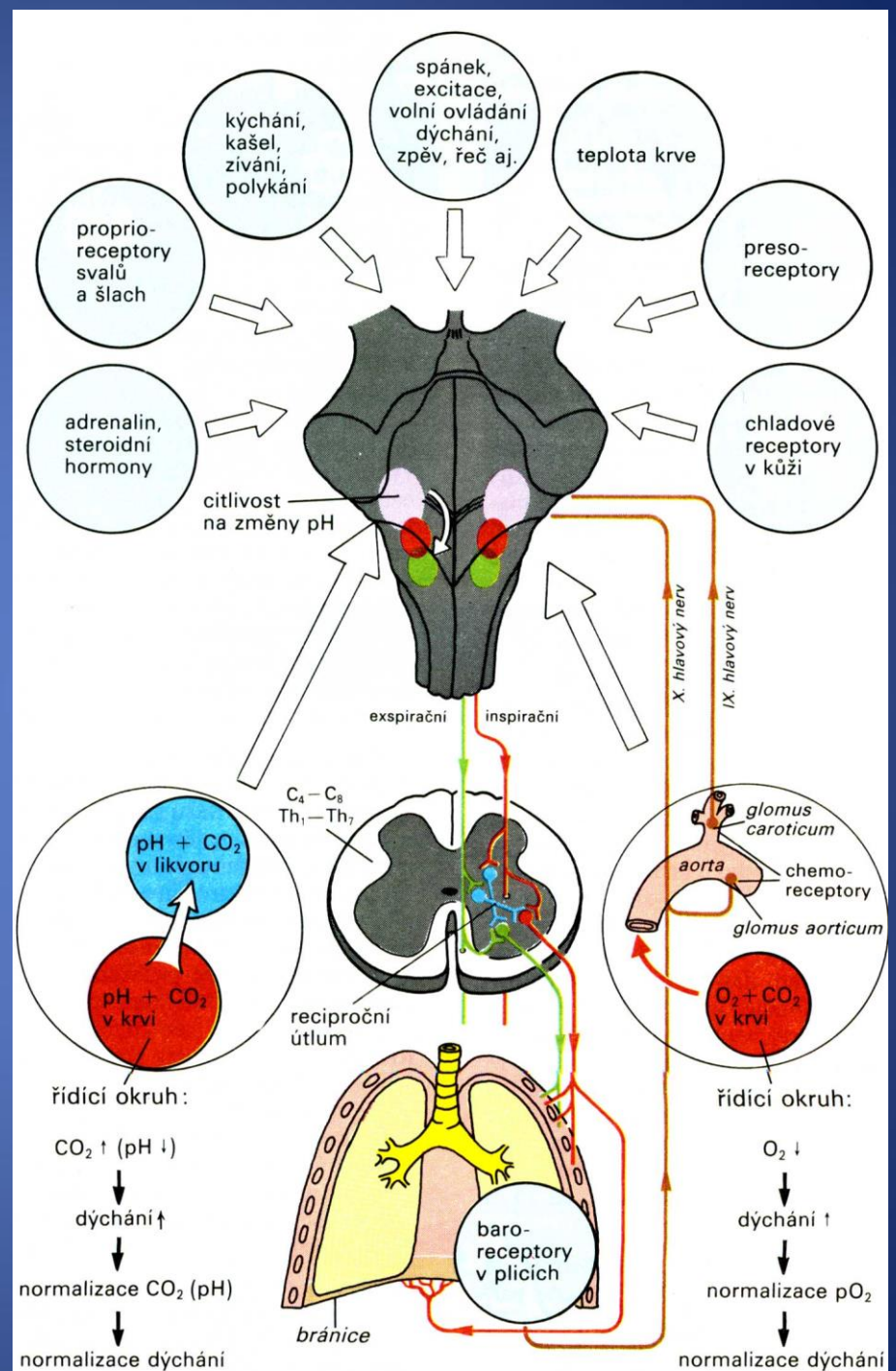
- CNS

- dýchací svaly inervovány vlákny C4-C8 a Th1 –Th7
- **dýchací centrum** v medulla oblongata

Stimulace dýchání:

Chemoreceptory (g.aorticum a caroticum)

Centrální chemoreceptory v prodloužené míše (blízko respiračního centra)



- **Reaktivní změny** – bezprostřední reakce organismu
- **Adaptační změny**- výsledek dlouhodobého opakovaného tréninku

Dechová frekvence (DF)

- zvyšování v průběhu práce je **individuální**, u žen bývá vyšší
- **lehká práce** 20-30/min, **těžká** 30-40/min, **velmi těžká** 40-60/min
- u zátěže cyklického charakteru může být vázána na pohyb
- \uparrow DF může vést ke \downarrow DO a tím i minutové ventilace
→ \downarrow alveolární ventilace → \uparrow fyzilogického (funkčního) mrtvého prostoru

Dechový objem (DO)

- v klidu asi 0.5 l, střední výkon asi 1-2 l (30%VC), těžká práce asi 2-3 l (50%VC, u trénovaných až 60-70%VC)

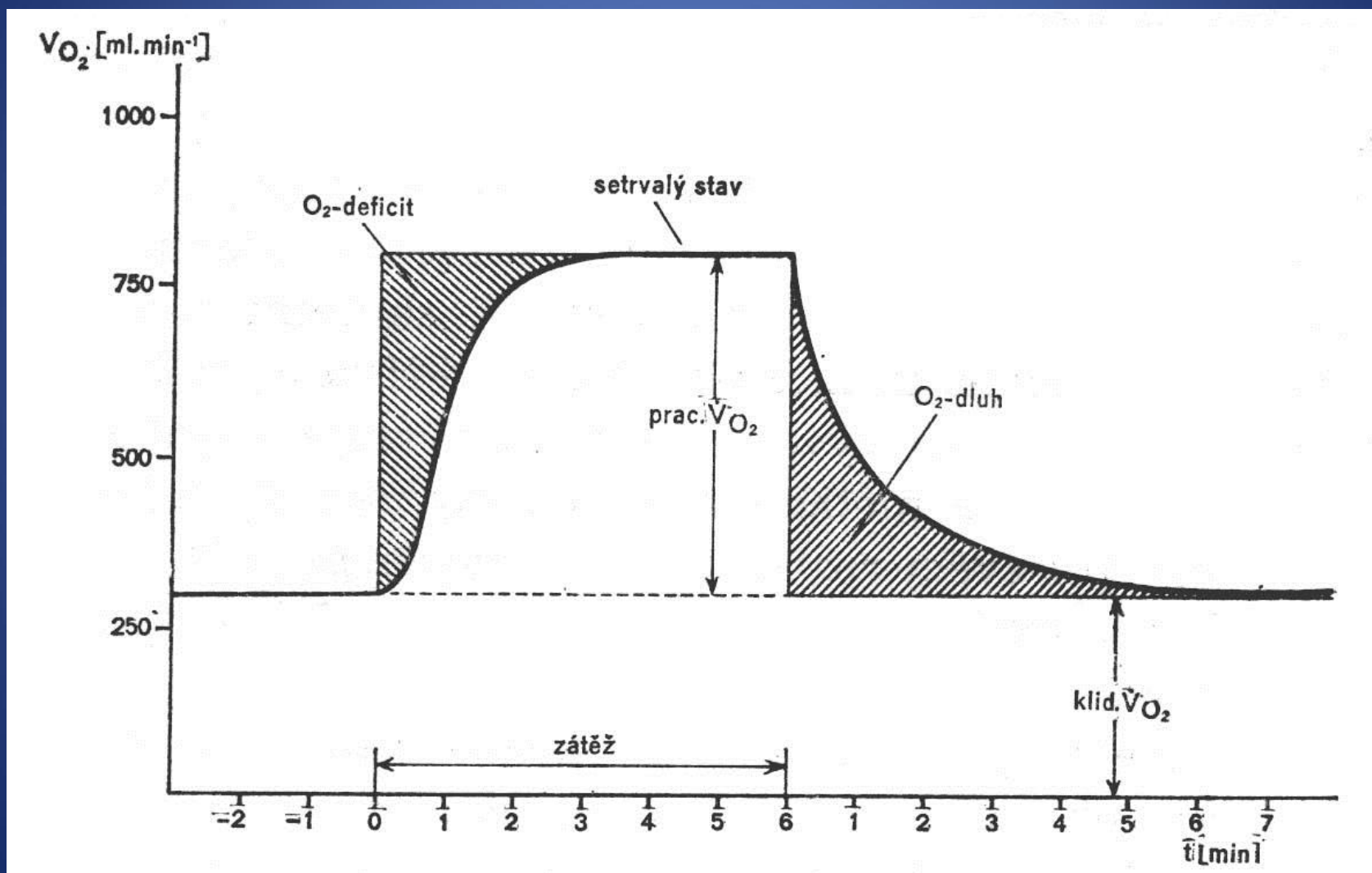
Vitální kapacita (VC)

- je **statický parametr**, ovlivnitelný předchozí zátěží: při mírné (rozdýchání) se může ↑, při střední se nemění, při vysoké pro únavu dýchacích svalů může i klesnout na 60% výchozí hodnoty

Minutová ventilace (MV)

- závisí na pO_2 a pCO_2
- minutová ventilace po skončení práce klesá nejdříve rychle, pak pozvolněji

Pozátěžový kyslík, kyslíkový dluh



- **Kyslíkový dluh**

- nedostatečné zásobení pracujících svalů kyslíkem (pomalejší \uparrow SF a DF)
- nepoměr mezi požadavky na O_2 a jeho dodávkou vede k zapojení anaerobních mechanismů - vznik LAKTÁTU (\uparrow H^+ metabolické acidóza – **mrtvý bod**)
- při zajištění dodávky O_2 – **druhý dech**
- po ukončení zátěže přetrvává zvýšený příjem O_2 = splácení **kyslíkového dluhu**

spláčení kyslíkového dluhu

- obnova ATP a CP

- odstraňování laktátu (oxidace na pyruvát – ve svalech, srdci; resyntéza na glykogen – játra)

 - urychlení vyplavení laktátu ze svalů a lepší prokrvení orgánu metabolizujících laktát

mírnou intenzitou zatížení (50 % VO_2max)

- obnova myoglobinu a hemoglobinu

- velká část do několika minut (do 30 minut), mírný přetrvává až 12-24 hodin

Maximální minutová ventilace (MMV)

- volní:
 - měřena v klidových podmínkách;
muži asi 100-150 l/min,
ženy 80-100 l/min
- pracovní:
 - je ↓, asi 80 % volní MMV

Maximální spotřeba kyslíku

= **max. aerobní výkon**

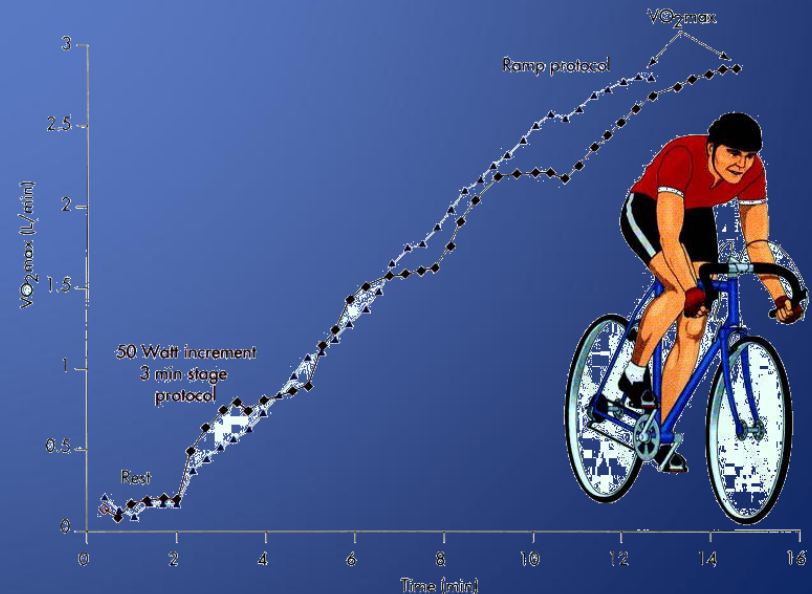
nejvyšší v 18 letech:

muži 46,5 ml/kg/min

ženy 37 ml/kg/min

- postupně klesá s věkem

závisí na: ventilaci,
alveolokapilární difúzi,
transportu oběhovým
systémem, tkáňové difuzi,
buněčné oxidaci



Druh športu	W max (W.kg ⁻¹)	W 170 (W.kg ⁻¹)	ĽO ₂ max (ml.min ⁻¹ .kg ⁻¹)
MUŽI			
Lyžovanie-beh	6,4	4,8	75,3
Orientačný beh	6,1	4,6	71,1
Cyklistika cestná	5,7	4,5	72,9
Cyklistika dráhová	5,4	4,2	61,3
Plávanie	4,8	3,7	61,9
Tenis	4,8	3,8	60,2
Futbal	4,5	3,8	58,8
Basketbal	4,2	3,8	58,3
Veslovanie	4,6	3,2	57,9
Lyžovanie-zjazd	4,8	3,1	56,6
Šerm	4,5	3,4	55,4
Hádzaná	4,3	3,4	54,4
Volejbal	4,4	3,2	53,4
ŽENY			
Lyžovanie-beh	5,1	3,7	62,2
Lyžovanie-zjazd	4,3	2,5	51,8
Tenis	4,3	3,0	53,7
Hádzaná	4,2	3,3	50,1
Basketbal	4,0	3,8	49,9
Veslovanie	3,9	2,5	48,3
Šerm	3,7	2,6	47,2
Gymnastika	3,3	2,1	45,2
Volejbal	3,6	2,6	41,5

(Seliger & Bartůnek, 1978)

Limitující faktory VO_2max

- 1) **Dýchací systém** - není limitujícím faktorem
- 2) **Svalový systém** - je limitujícím faktorem
- 3) **Kardiovaskulární systém** - je rozhodujícím faktorem

AP (aerobní práh)

- maximální intenzita při které přestává „výhradní“ aerobní krytí
- intenzita od které se začíná zapojovat anaerobní krytí a tak vzniká laktát
- hladina laktátu (2 mmol/l krve)

AnP (anaerobní práh)

- maximální intenzita při které začíná převládat anaerobní krytí
- intenzita při které dochází k narušení dynamické rovnováhy mezi tvorbou a metabolizací laktátu
- hladina laktátu (4 mmol/l krve) a začíná se zvyšovat. Kolem 8 mmol/l krve nemožnost pokračovat (trénování až 30 mmol).

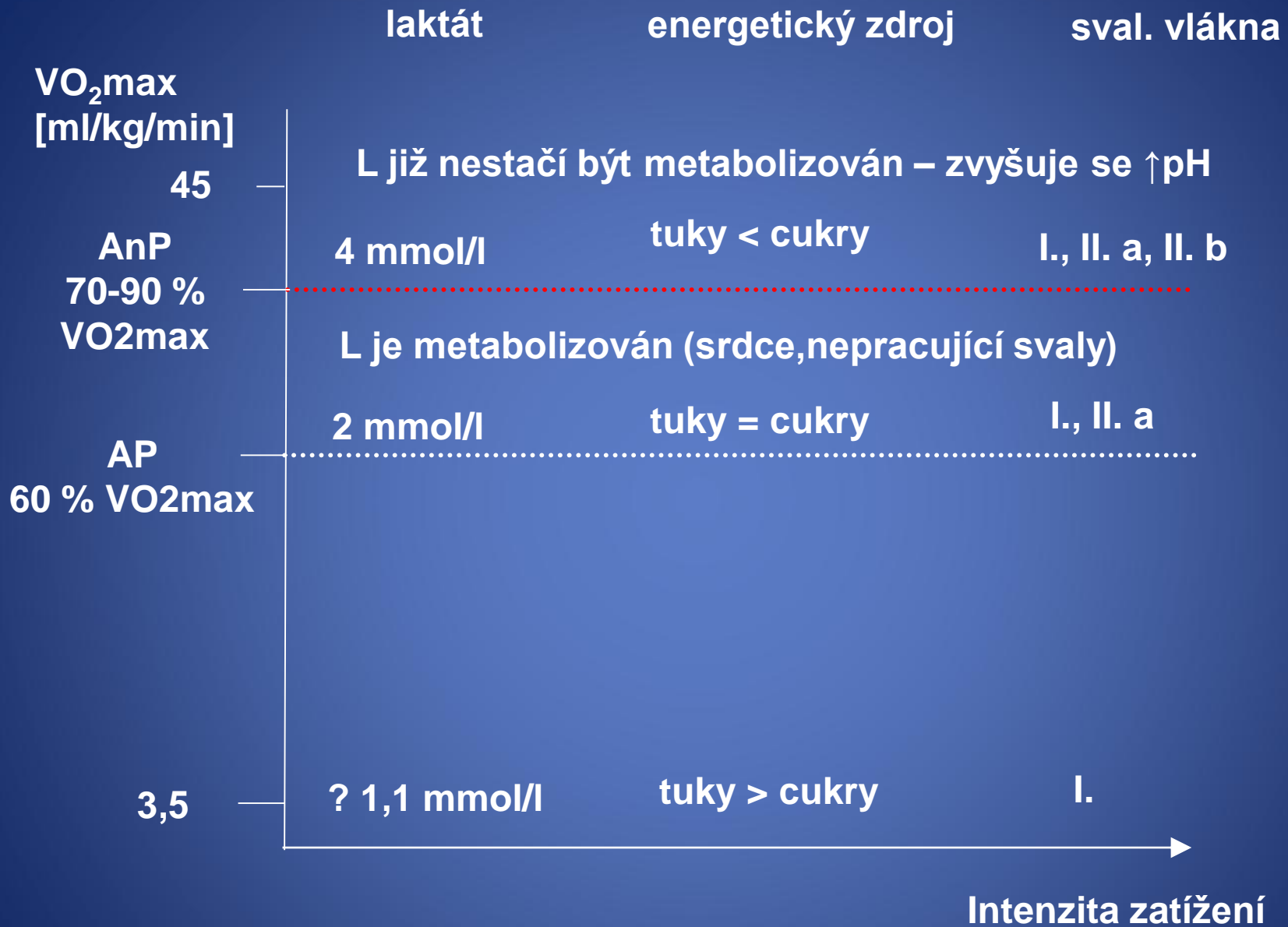
AnP (anaerobní práh)

- může být odhadnut z $VO_2\text{max}$:

$$\text{AnP} = VO_2\text{max}/3,5 + 60$$

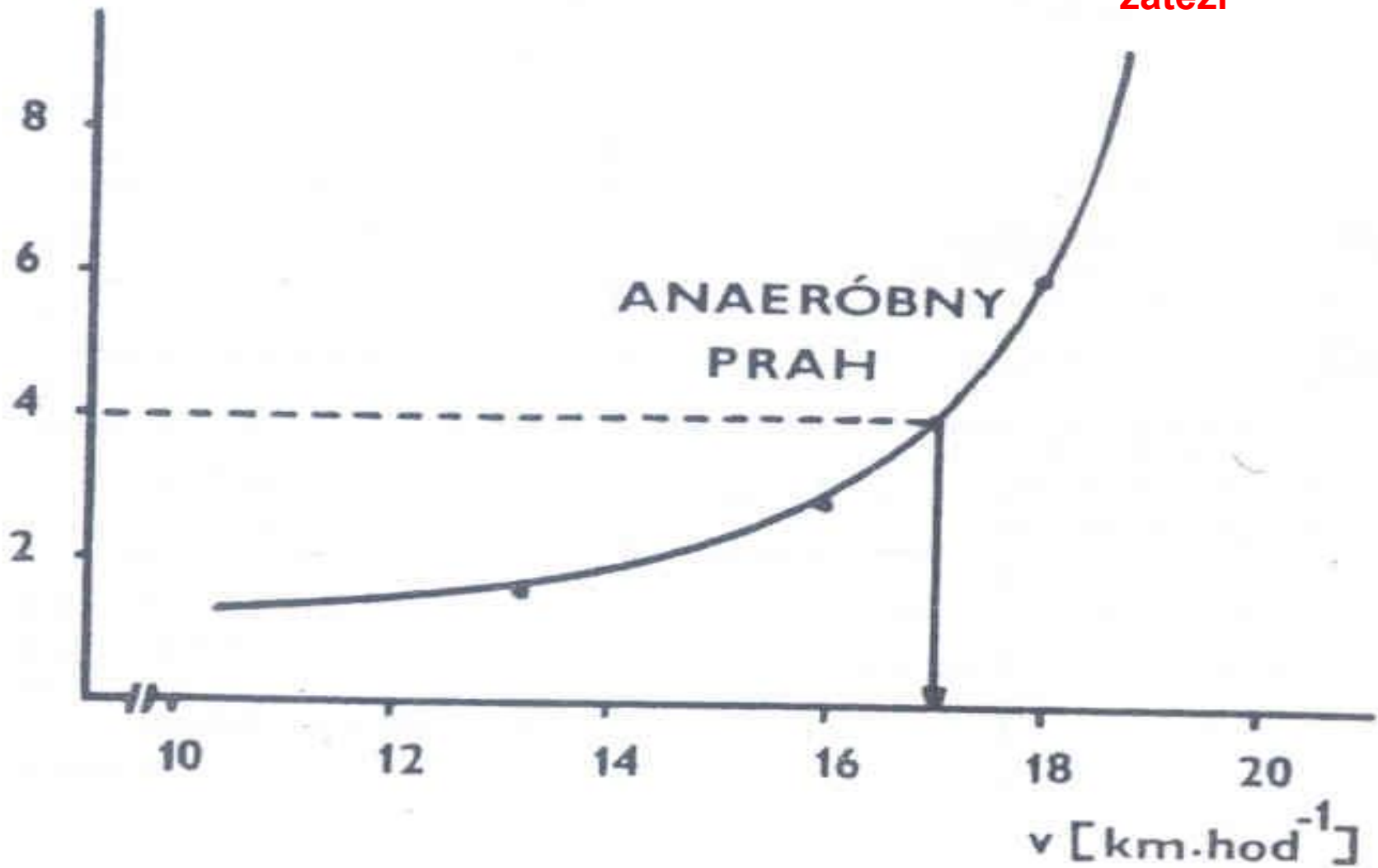
$$\text{AnP} = 35/3,5 + 60$$

$$\text{AnP} = 70 \%VO_2\text{max}$$



LAKTÁT
[mmol.l⁻¹]

Zakyselení organismu a
nemožnost pokračovat dále v
zátěži



Změny reaktivní

-fáze úvodní = ↑ DF a ventilace před výkonem
mechanismus: emoce (více u osob netrénovaných)
a podmíněné reflexy (převládají u trénovaných
osob)

startovní a předstartovní stavy

Změny reaktivní

-fáze průvodní = při vlastním výkonu roste DF a ventilace nejdřív rychle (fáze iniciální),
→ zpomalení, → při déletrvající zátěži (více než 40-60s) se může projevit mrtvý bod

mrtvý bod

- subjektivní příznaky = nouze o dech, svalová slabost, bolesti ve svalech, tíha a tuhnutí svalů
- objektivní příznaky = pokles výkonu,
↓ koordinace, narušená ekonomika dýchání,
tzn. ↓ DO a ventilace, ale ↑ DF,
↑ TF, ↑ TK;
- příčina = nedostatečná sladěnost systémů při přechodu neoxidativního metabolismu na oxidativní

druhý dech

- jestliže se pokračuje dále, pak příznaky mrtvého bodu mizí, → druhý dech, tzn. ↑DO, ↓DF, ↓TF, ↓TK
- rovnovážný stav po 2-3 min méně intenzivní a po 5-6 min intenzivnější práce



Změny reaktivní

-fáze následná = návrat ventilačních parametrů k výchozím hodnotám, zpočátku rychleji, postupně pomalejší

Změny adaptační

- lepší mechanika dýchání
- lepší plicní difúzi
- ↓ DF
- ↑ max. DO (3-5 l)
- ↑ VC ♂ 5-8 l, ♀ 3.5-4.5 l
- ↓ minutovou ventilaci při standardním zatížení, vyšší max. hodnotu ♂ 150-200 l, ♀ 100-130 l
- rychlejší nástup setrvalého stavu
- minimální až nulové projevy mrtvého bodu

HYPOXIE

Hypoxická hypoxie - ↓ arteriálního pO₂

Anemická hypoxie - normální arteriální pO₂, ↓ přenášejícího hemoglobinu

Stagnační / ischemická hypoxie/ - ↓ průtoku, není dodáváno dostatečné množství O₂

Histotoxická hypoxie - dodávka O₂ přiměřená, zábrana využití O₂ buňkami

HYPERKAPNIE - \uparrow CO₂

Deprese CNS - zmatenost, poruchy smyslové ostrosti, nakonec koma s útlumem dýchání a smrt

HYPOKAPNIE - \downarrow CO₂

Hypoxie mozku díky vazokonstrikci cév - ztráta orientace, závratě, parestézie

\uparrow BAROMETRICKÉHO TLAKU

Přetlak 100% kyslíku - dráždění dýchacích cest, svalové záškuby, zvonění v uších, závratě, křeče a koma

Přetlak s N: dusíková narkóza - euforie, snížená výkonnost a intelekt

Přetlak s He: neurotický syndrom - třesy, netečnost, porušení manuální zručnosti, intelekt není porušen