

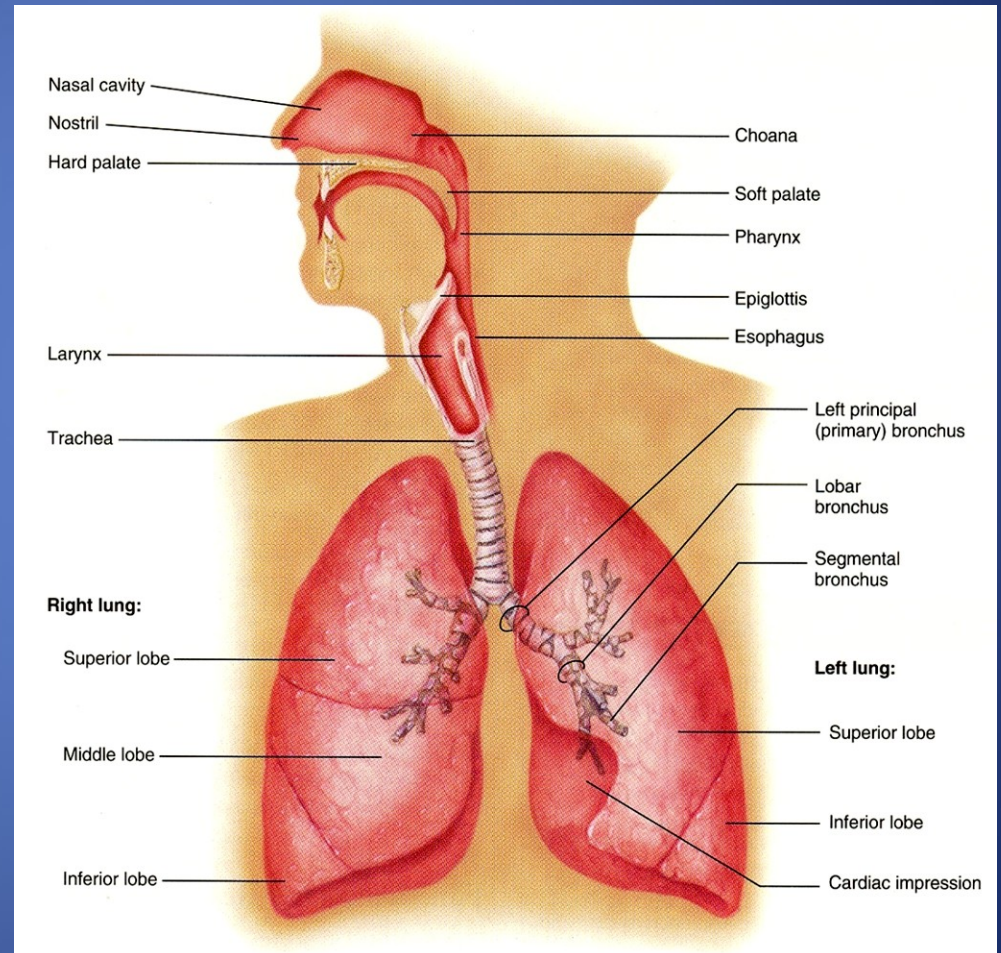
Fyziologie dýchacího systému

MUDr. Kateřina Kapounková

Anatomie dýchacího systému

Dýchací cesty

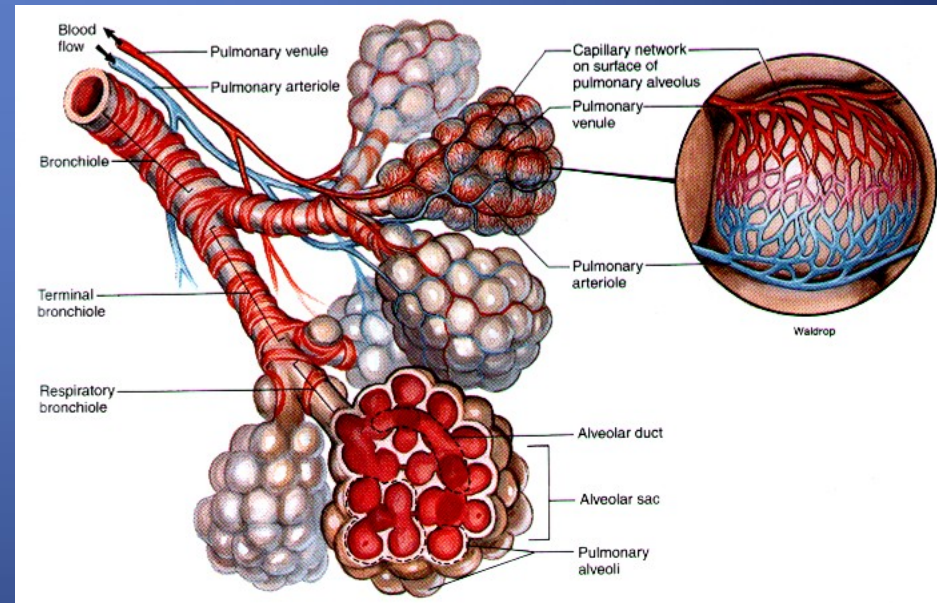
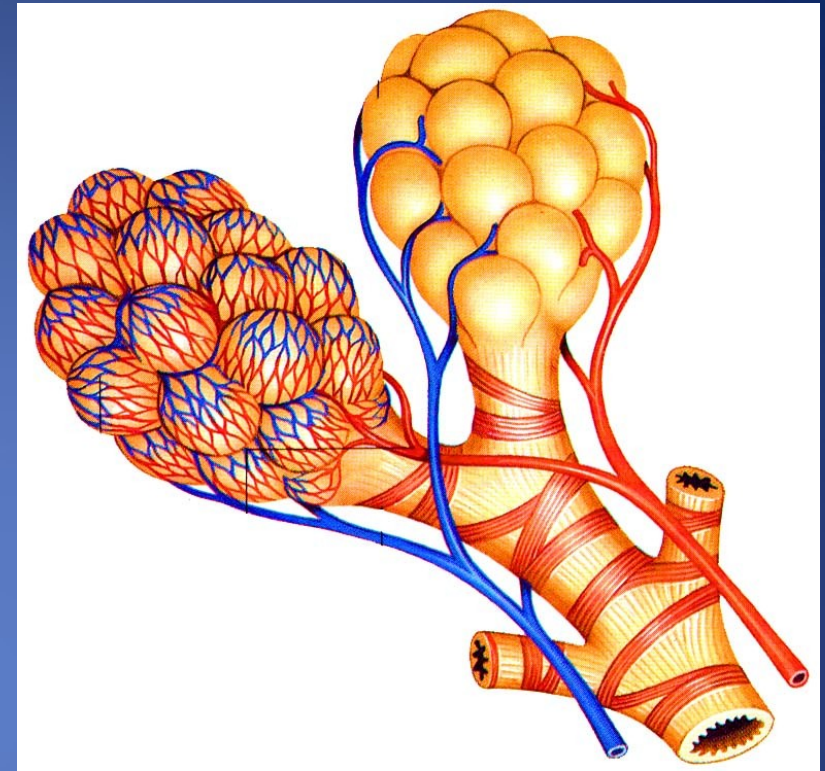
- dutina nosní
- (event.dutina ústní)
- hltan
- hrtan
- trachea
- bronchy
- respirační bronchioly
- alveoly (plicní sklípky)



Obr. č.2

Plicní sklípky alveoly

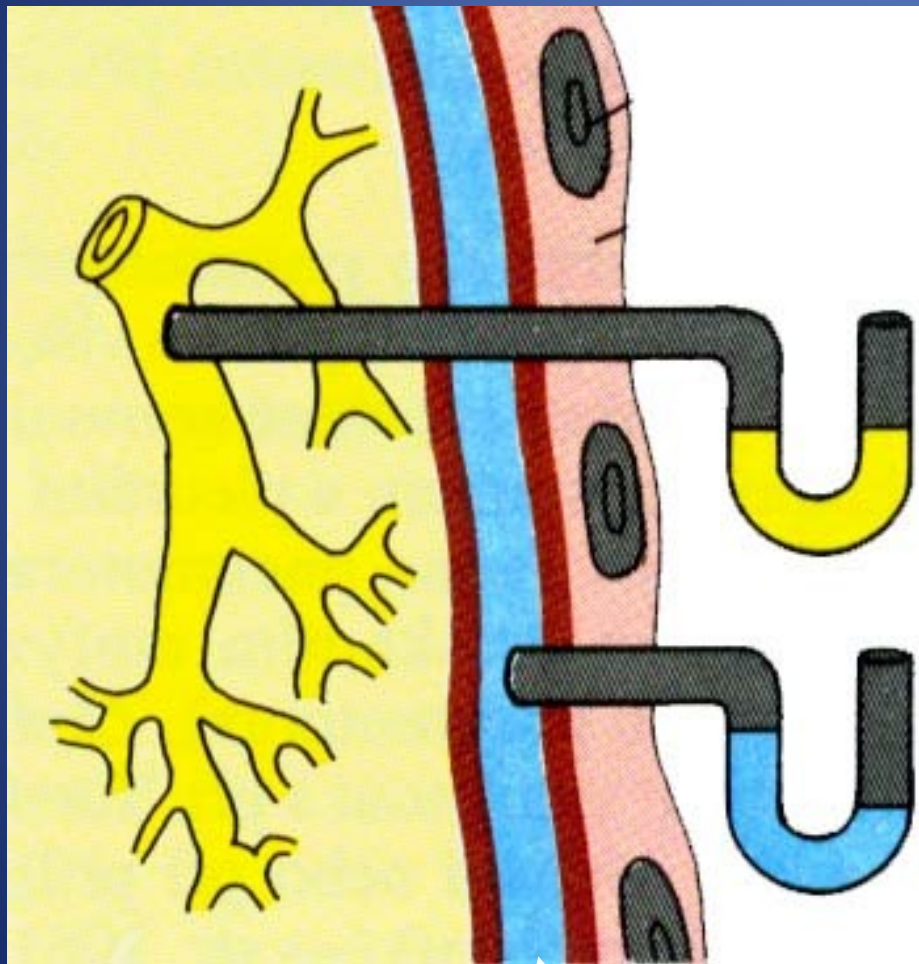
- člověk má asi 300 milionů alveolů
- celková plocha alveolární stěny u dospělého je 70 m²
- alveoly jsou obklopeny plicními kapilárami
- difundování O₂ a CO₂ (mezi krví a vzduchem)



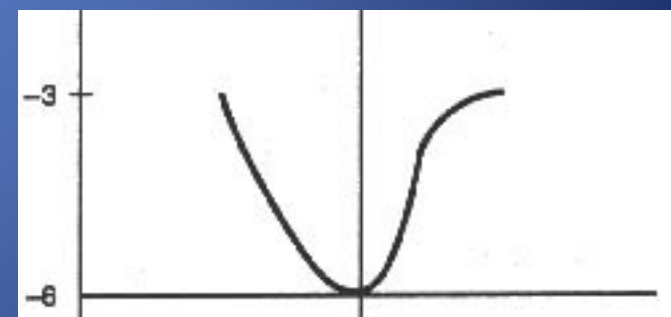
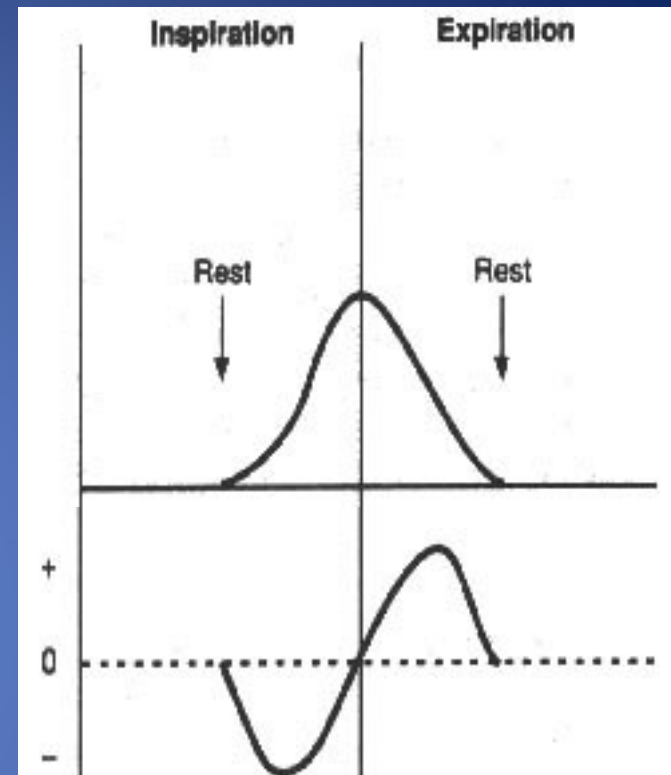
PLEURA

pulmonalis

parietalis

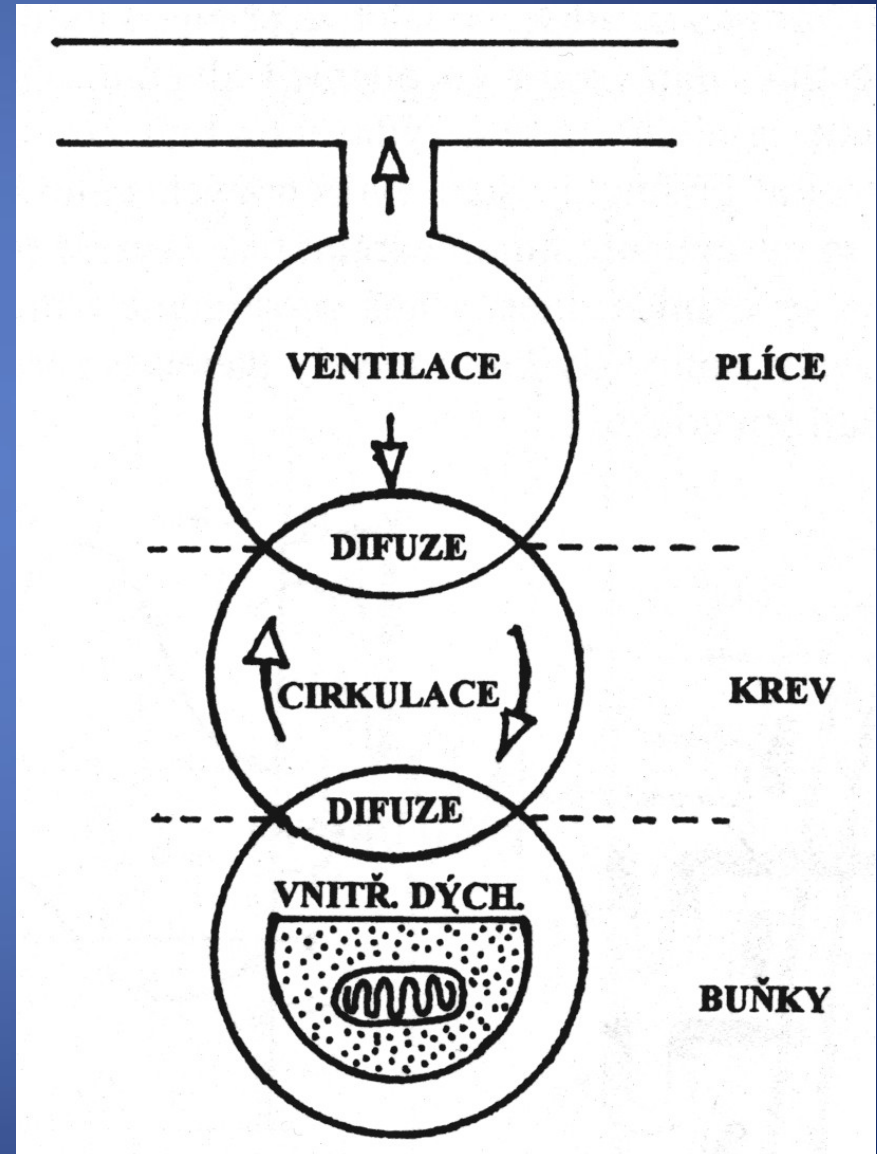


pleurální šterbina



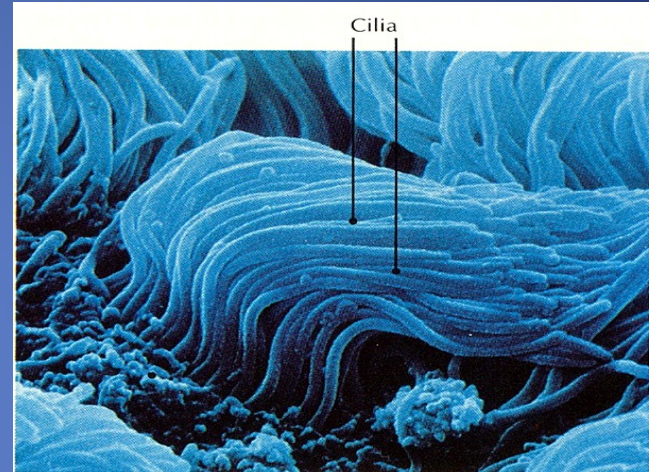
Základní funkce dýchacího systému

- Ventilace = zajišťuje výměnu vzduchu mezi okolní atmosférou a alveoly (**plicními sklípky**)
- 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)



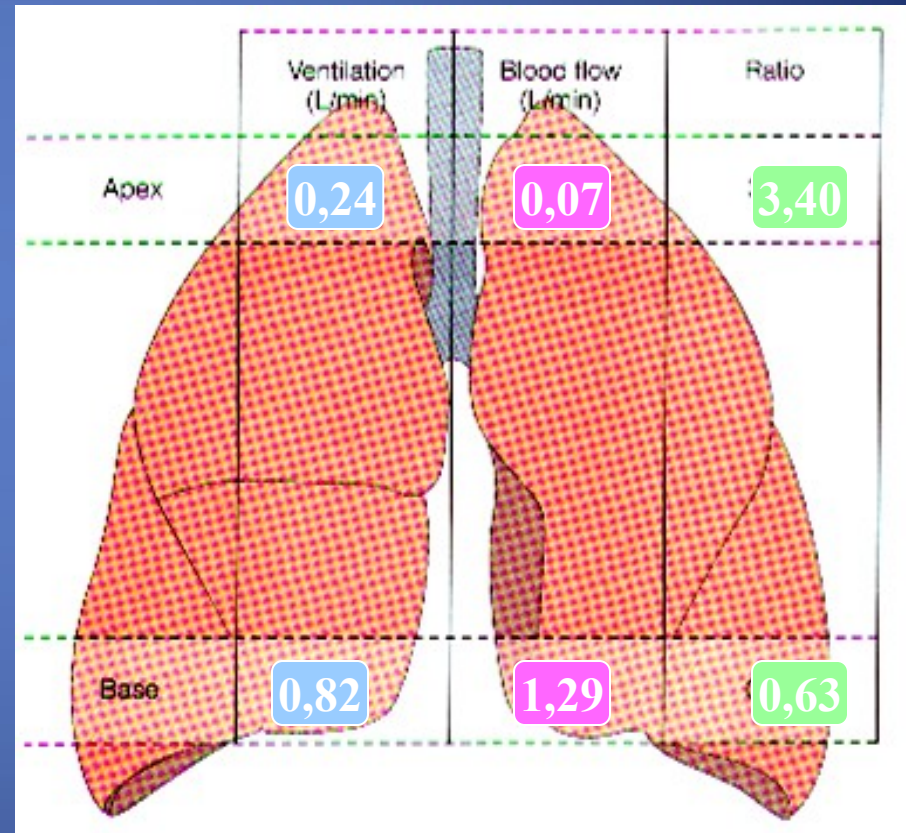
2. lymfatická tkáň – *bariéra proti infekci*
3. *teplota vdechovaného vzduchu + zvlhčení*
4. *hlasové vazy – tvorba hlasu*

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

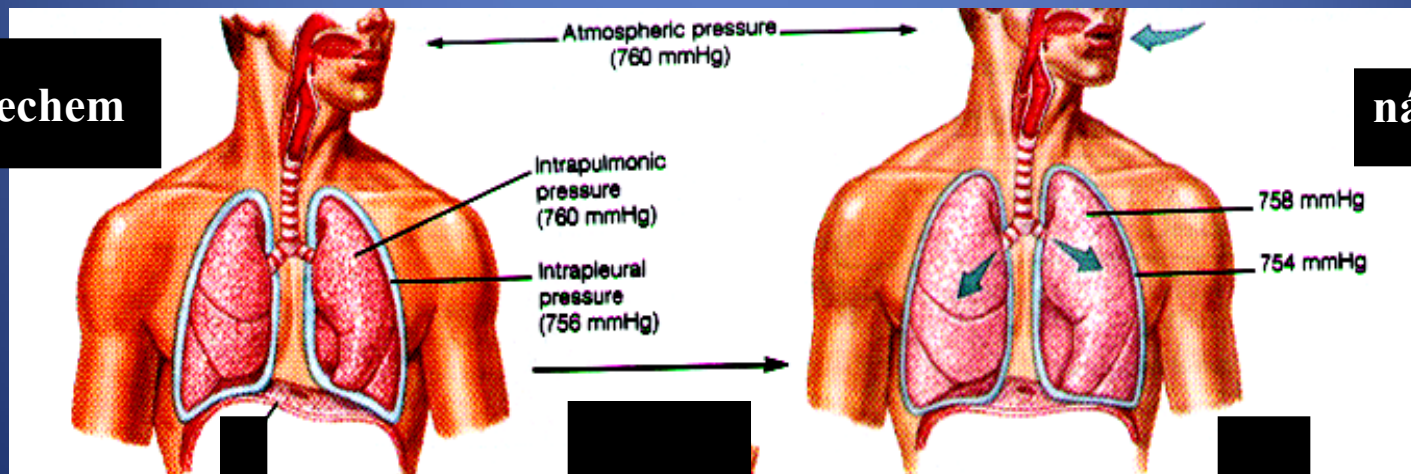
= část respiračního systému, kde nedochází k výměně dýchacích plynů

- 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



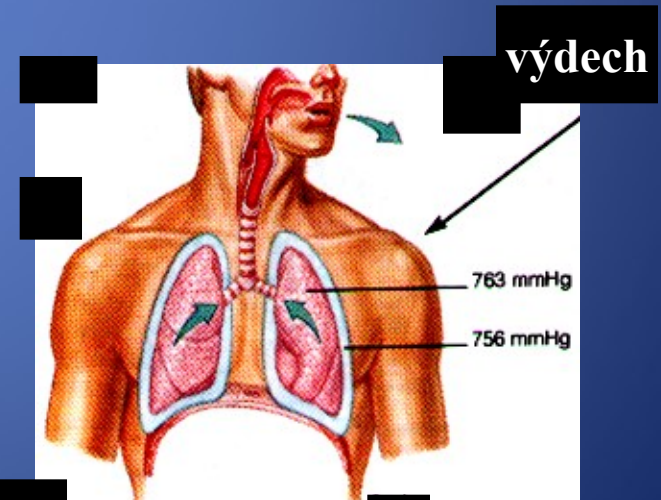
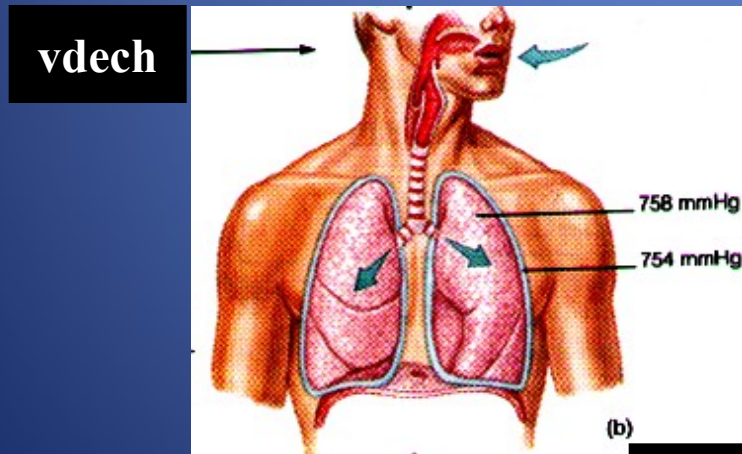
Vdech - inspirium

- *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)*

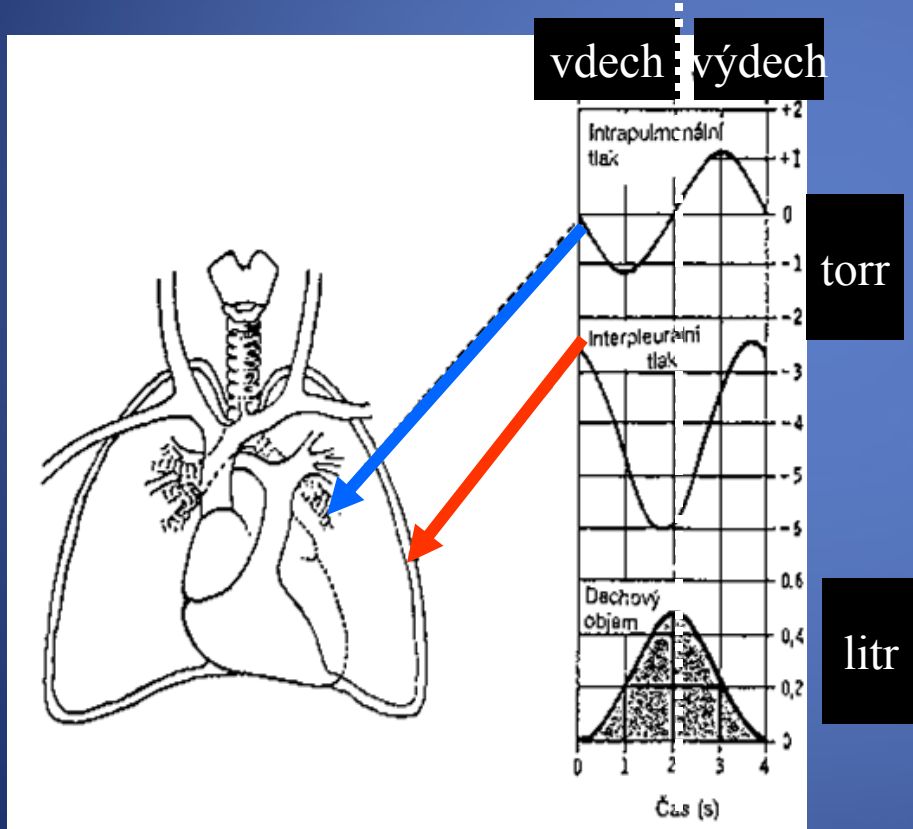


Výdech - exspirium

- 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*



Změny tlaků při klidném dýchání



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

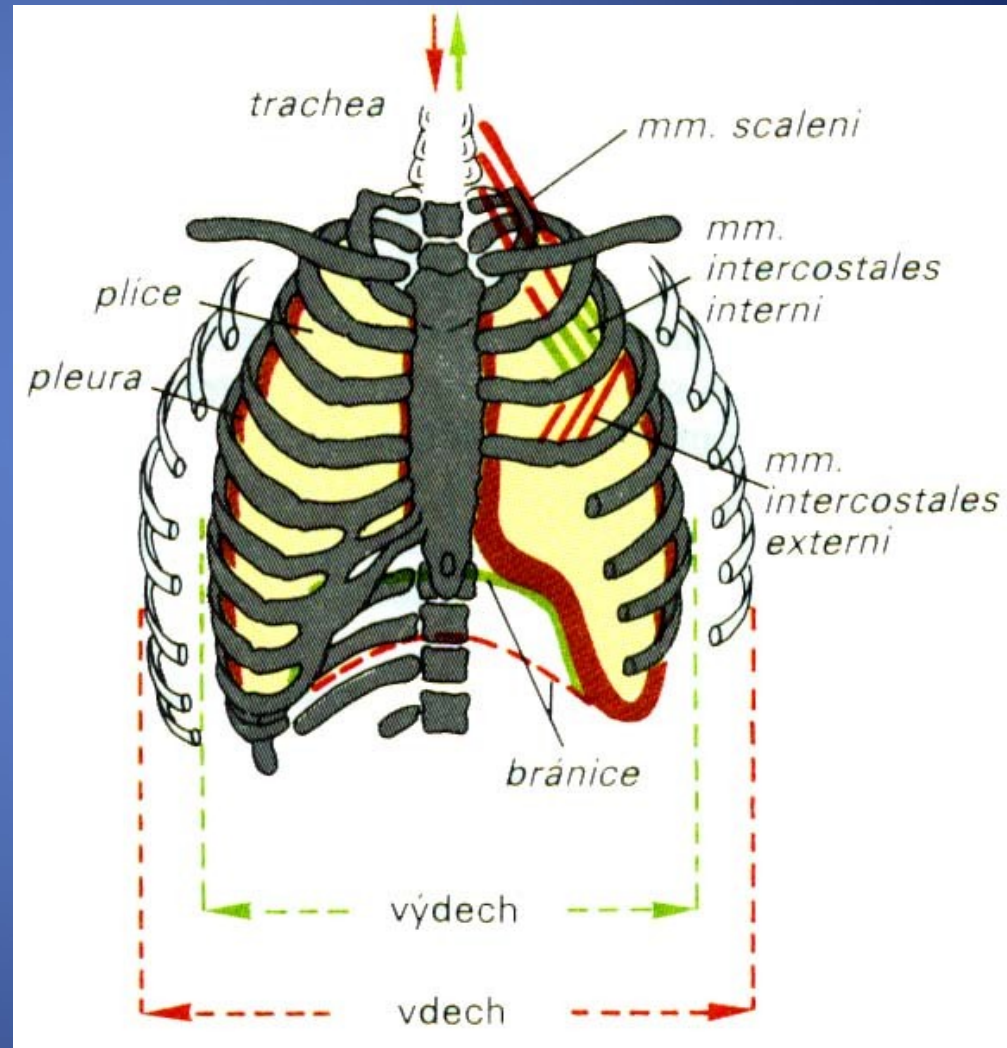
Inspirační a expirační svaly

■ Inspirační svaly:

- *bránice*
- *mm.intercostales ext.*
- *mm.intercostales paraster.*
- *mm.scaleni*
- *mm.pectorales*
- *m.sternocleidiomast.*

■ Expirační 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 plicemi 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*

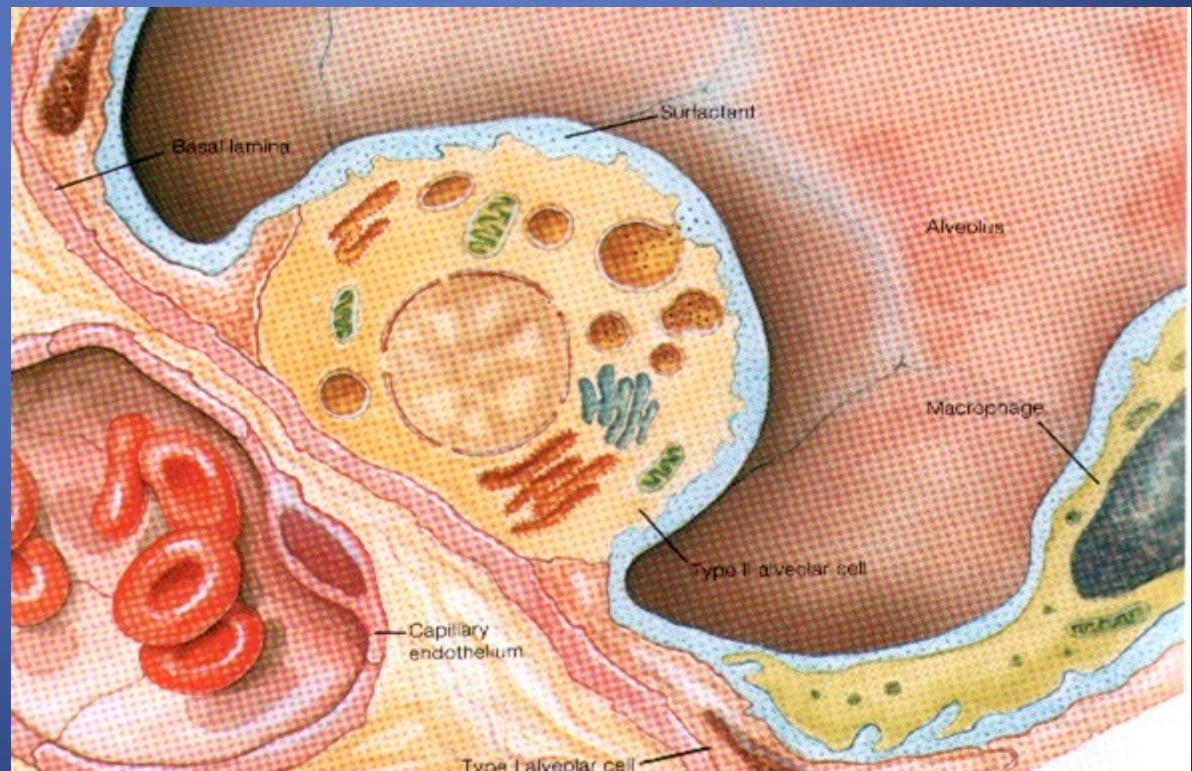
ELASTICKÉ VLASTNOSTI PLIC

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*

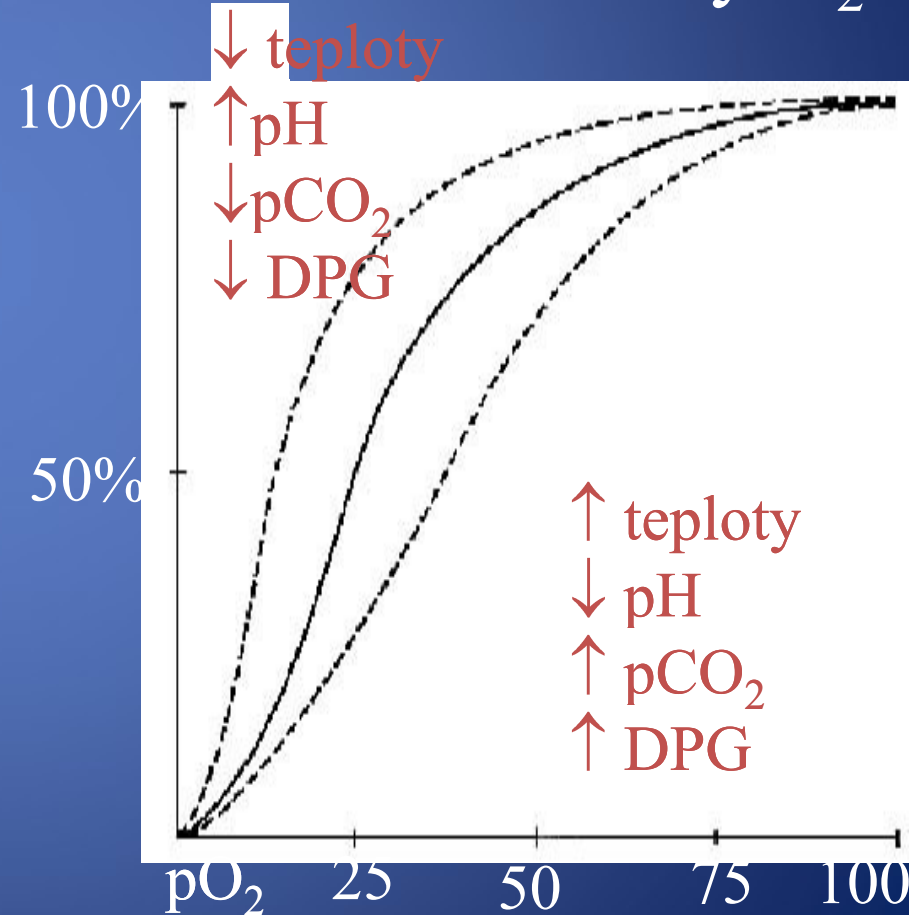
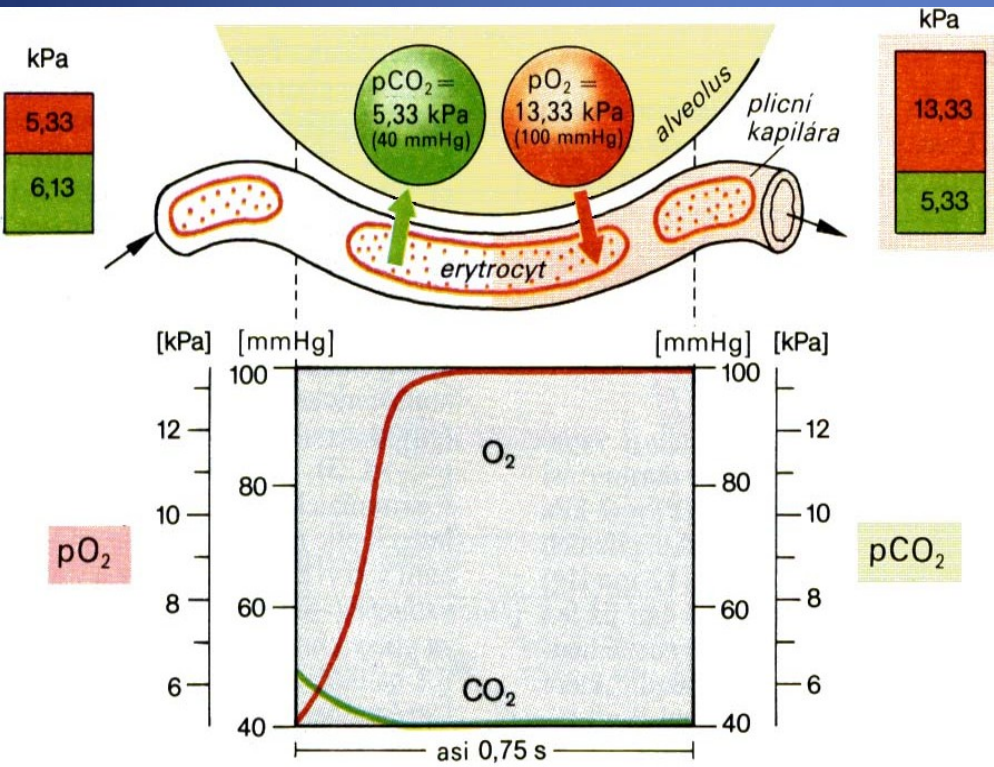
2. Výdech:

- ✓ 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

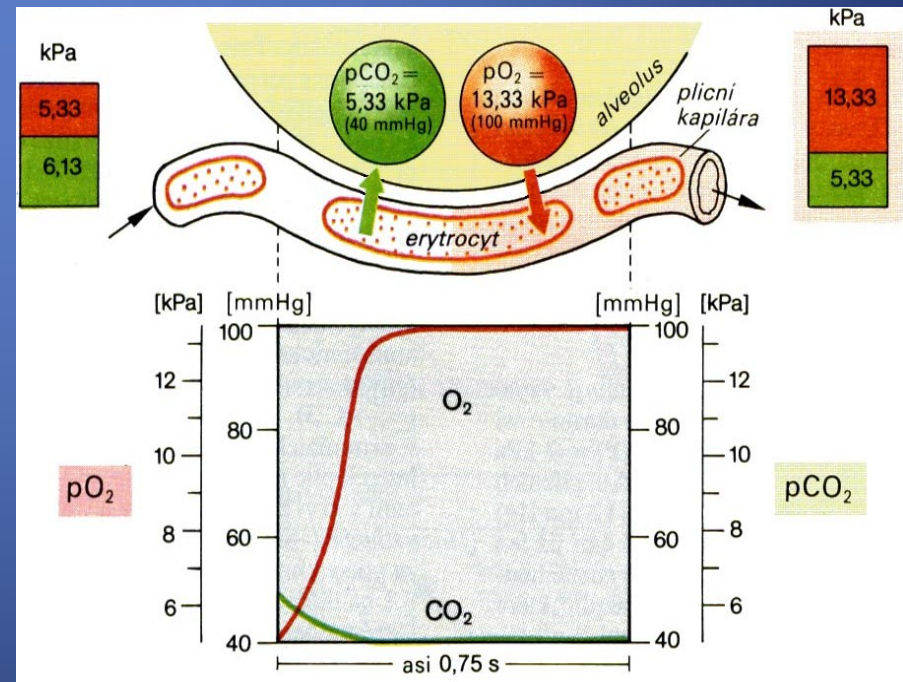
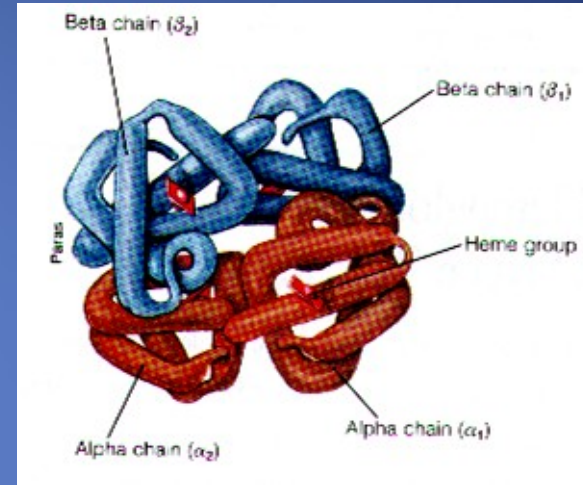
rozpuštěný v plazmě
vazba na hemoglobin (Fe²⁺)

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**)

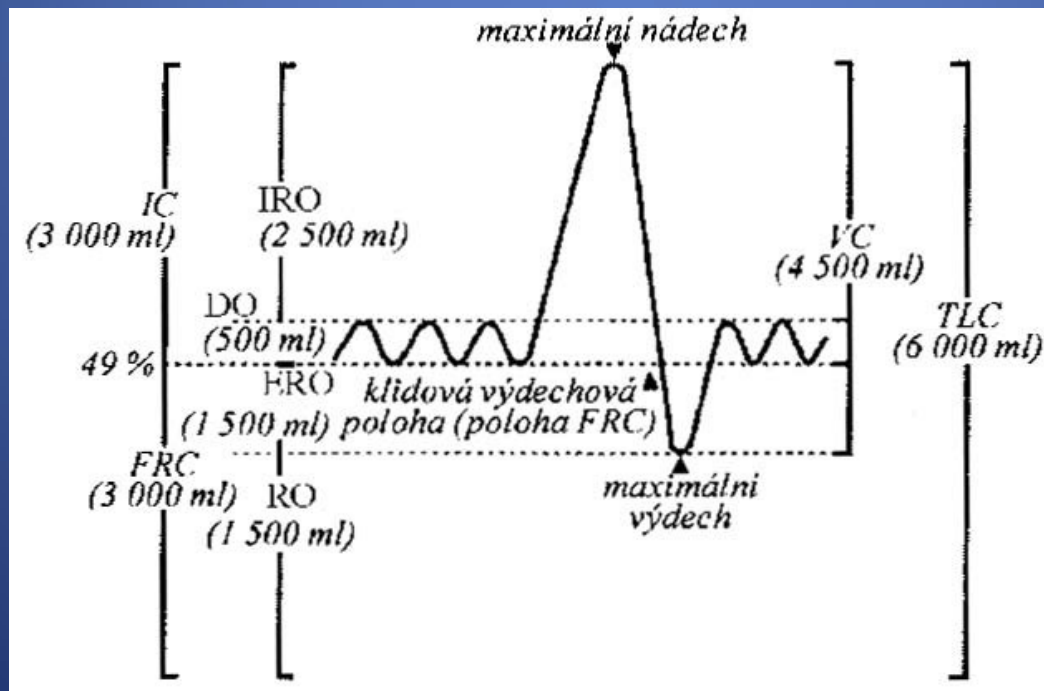
 erythrocyty „nasávají“ vodu (zvětšují svůj objem)

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:

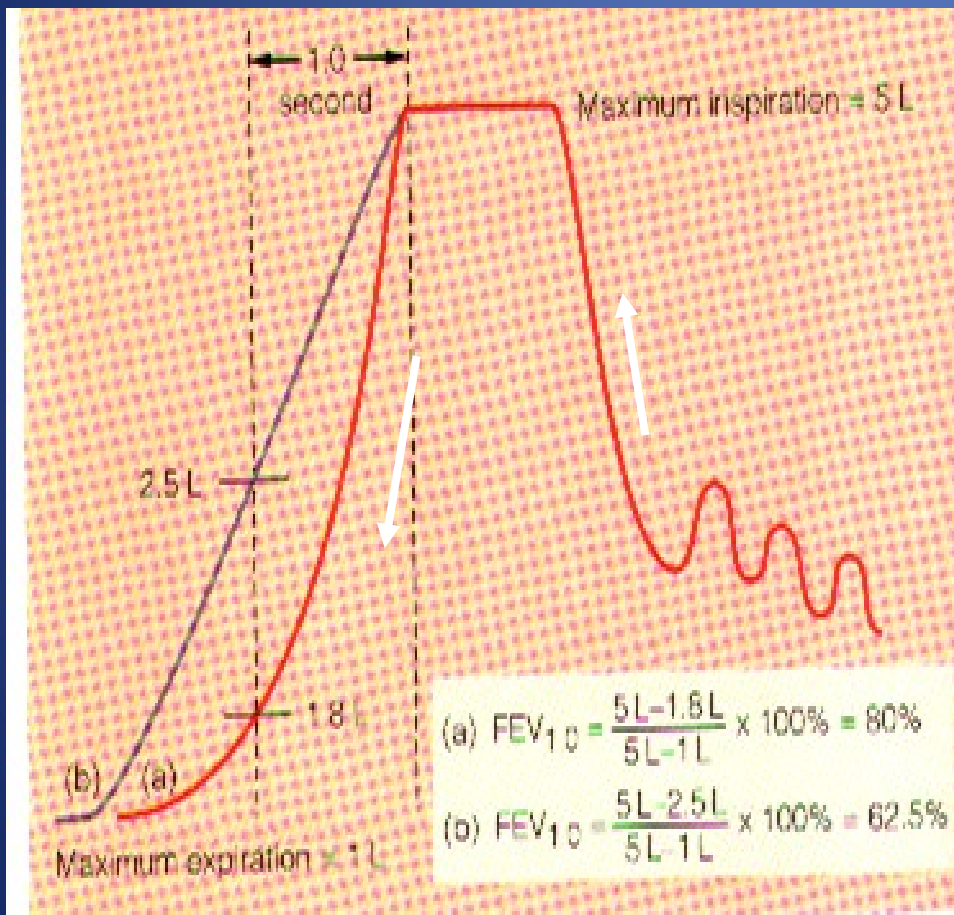
- vitální kapacita plic **VC** (4,5 l) = IRO+DO+ERO
- celková kapacita plic **TC** (6 l) = IRO+DO+ERO+RO
- inspirační kapacita **IC** (3 l) = IRO+DO
- funkční reziduální kapacita **FRC** (3 l) = ERO+RO



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

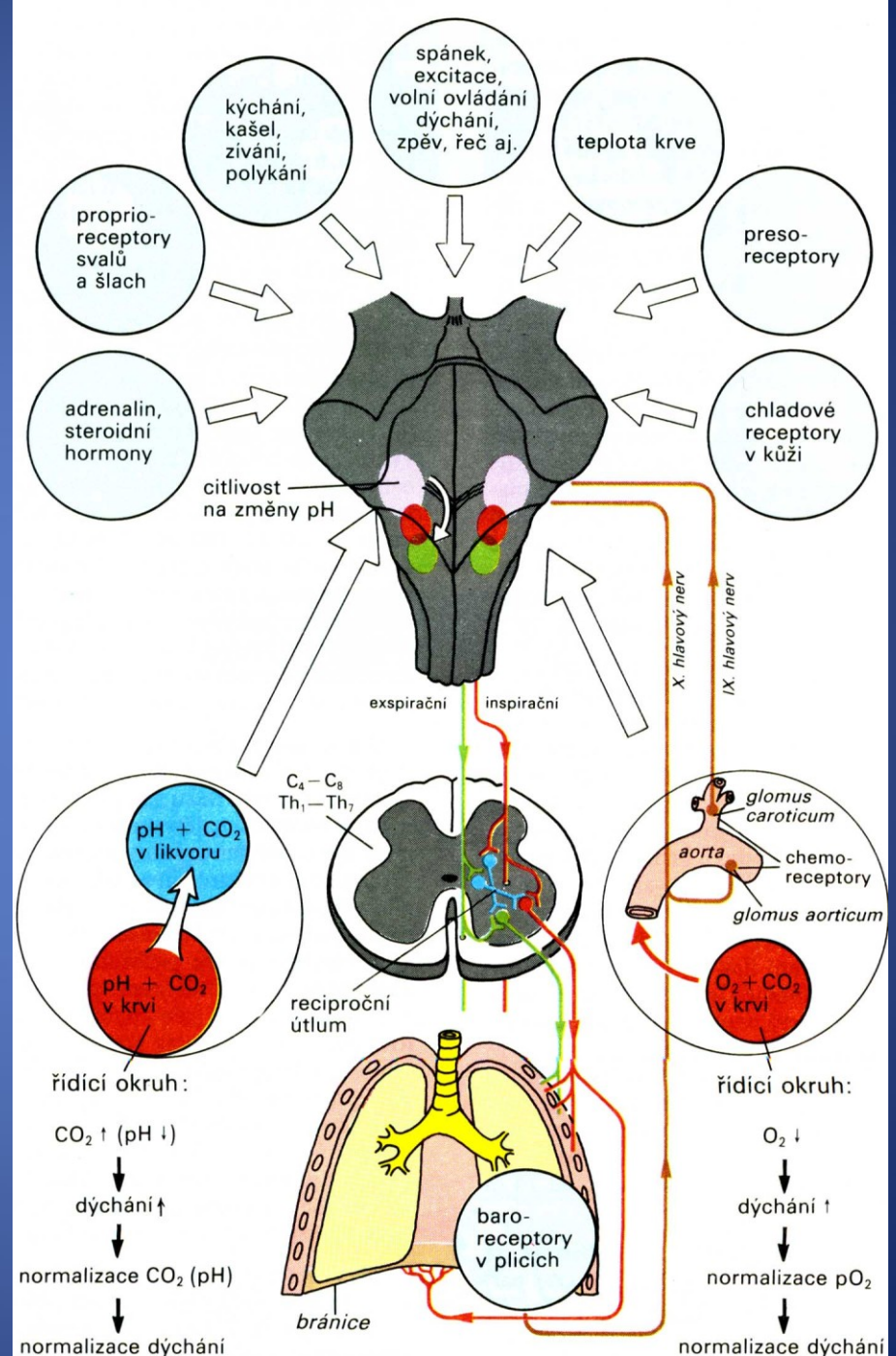
- CNS

- 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
 $\rightarrow \downarrow$ alveolární ventilace $\rightarrow \uparrow$ 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)

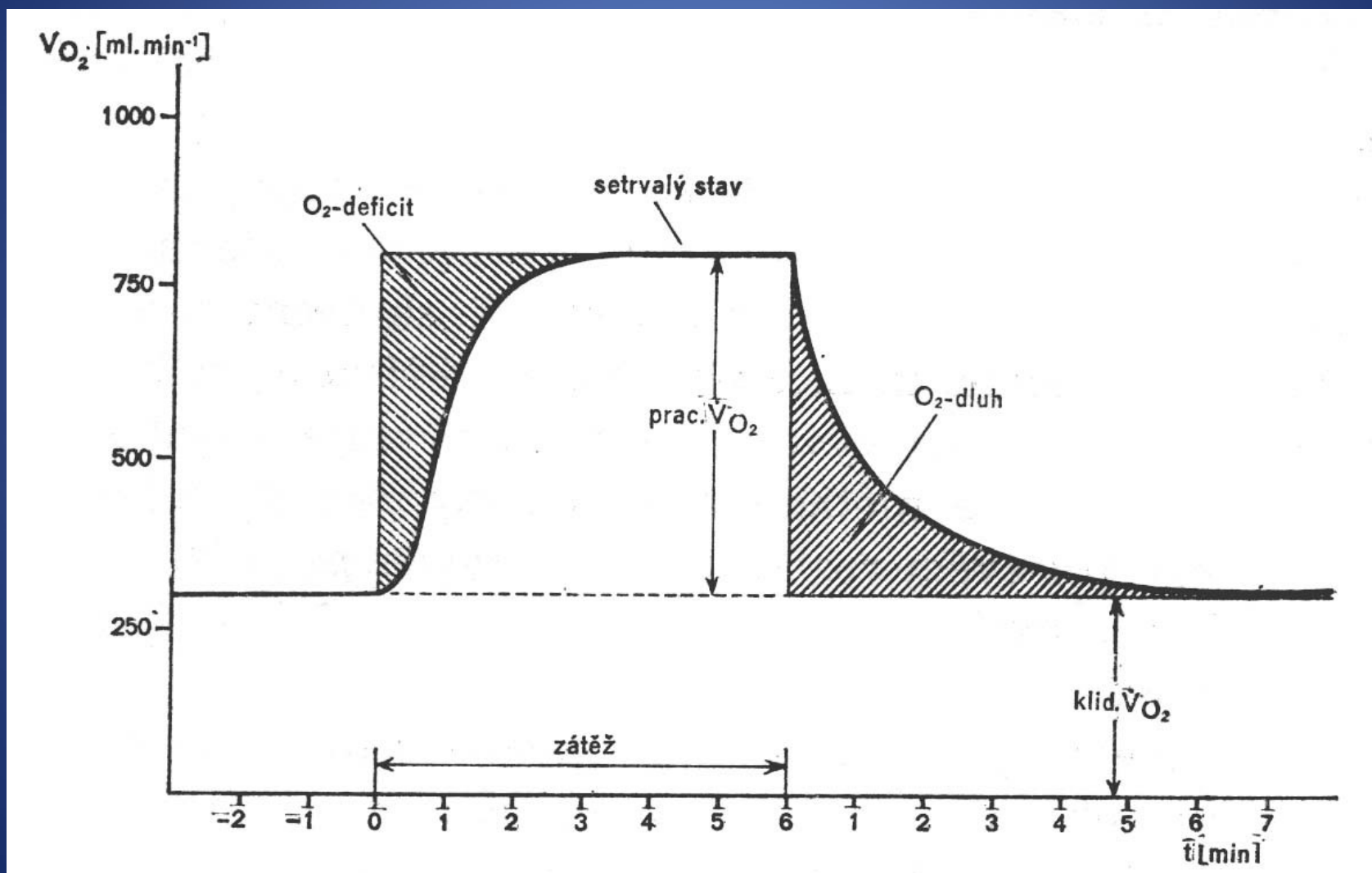
Vitální kapacita (VC)

- 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**

splácení 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_2 max)

- obnova myoglobinu a hemoglobinu

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

Maximální minutová ventilace (MMV)

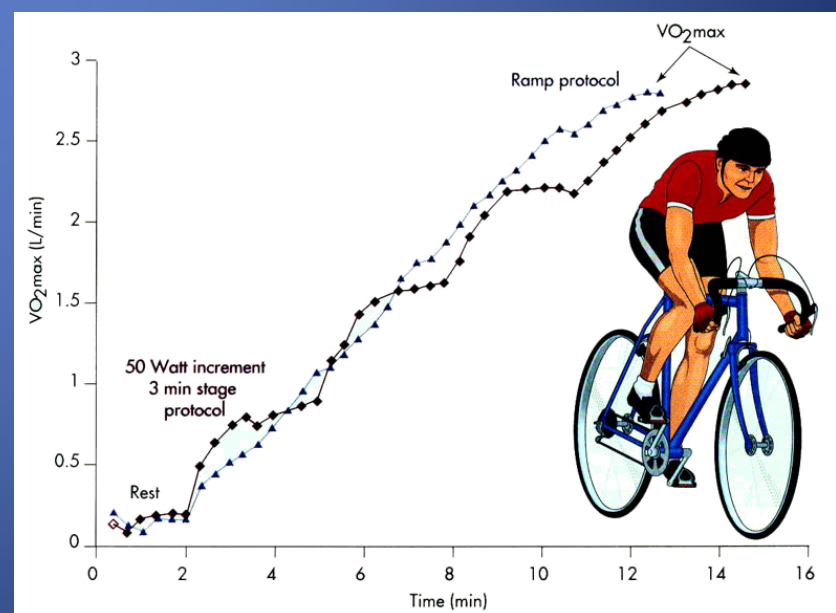
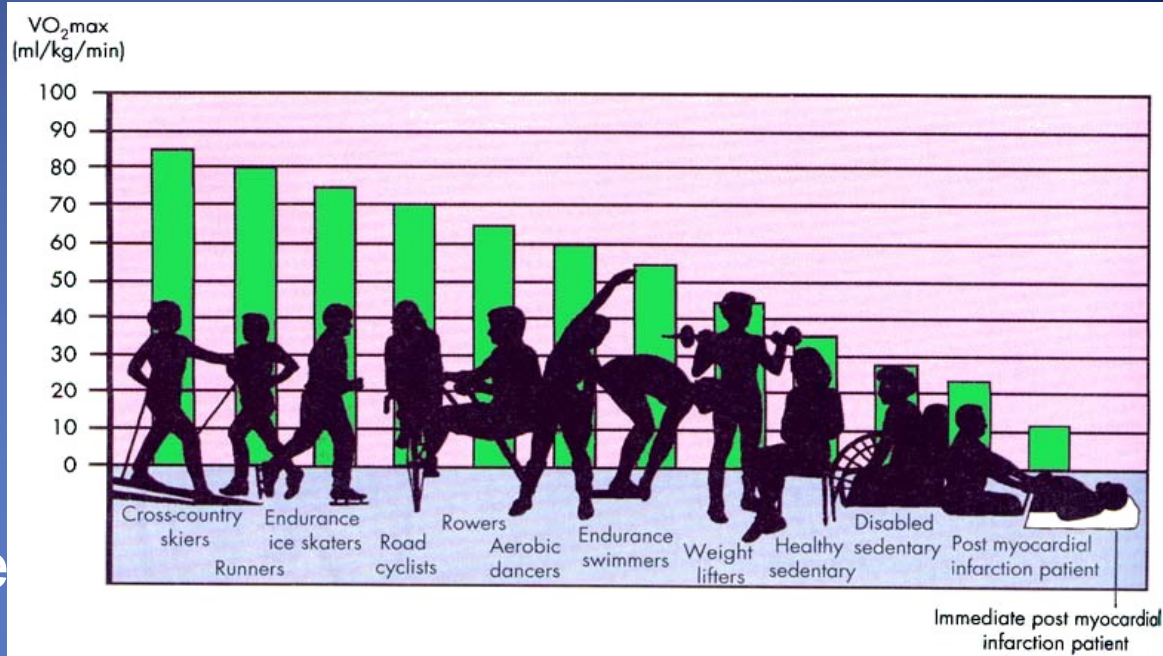
- volní:
 - měřena v klidových podmínkách;
 - muži asi 100-150 l/min,
 - ženy 80-100 l/min
- pracovní:
 - je ↓, asi 80 % volní MMV

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) | VO ₂ max (ml.min ⁻¹ .kg ⁻¹) |
|--------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| MUŽI | | | |
| Lyžovanie-beh | 6,4 | 4,8 | |
| Orientačný beh | 6,1 | 4,6 | |
| Cyklistika cestná | 5,7 | 4,5 | |
| Cyklistika dráhová | 5,4 | 4,2 | |
| Plávanie | 4,8 | 3,7 | |
| Tenis | 4,8 | 3,8 | |
| Futbal | 4,5 | 3,8 | |
| Basketbal | 4,2 | 3,8 | |
| Veslovanie | 4,6 | 3,2 | |
| Lyžovanie-zjazd | 4,8 | 3,1 | |
| Šerm | 4,5 | 3,4 | |
| Hádzaná | 4,3 | 3,4 | |
| Volejbal | 4,4 | 3,2 | |
| ŽENY | | | |
| Lyžovanie-beh | 5,1 | 3,7 | |
| Lyžovanie-zjazd | 4,3 | 2,5 | |
| Tenis | 4,3 | 3,0 | |
| Hádzaná | 4,2 | 3,3 | |
| Basketbal | 4,0 | 3,8 | |
| Veslovanie | 3,9 | 2,5 | |
| Šerm | 3,7 | 2,6 | |
| Gymnastika | 3,3 | 2,1 | |
| Volejbal | 3,6 | 2,6 | |

(Seliger & Bartůněk, 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 $VO_2\text{max}$:

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

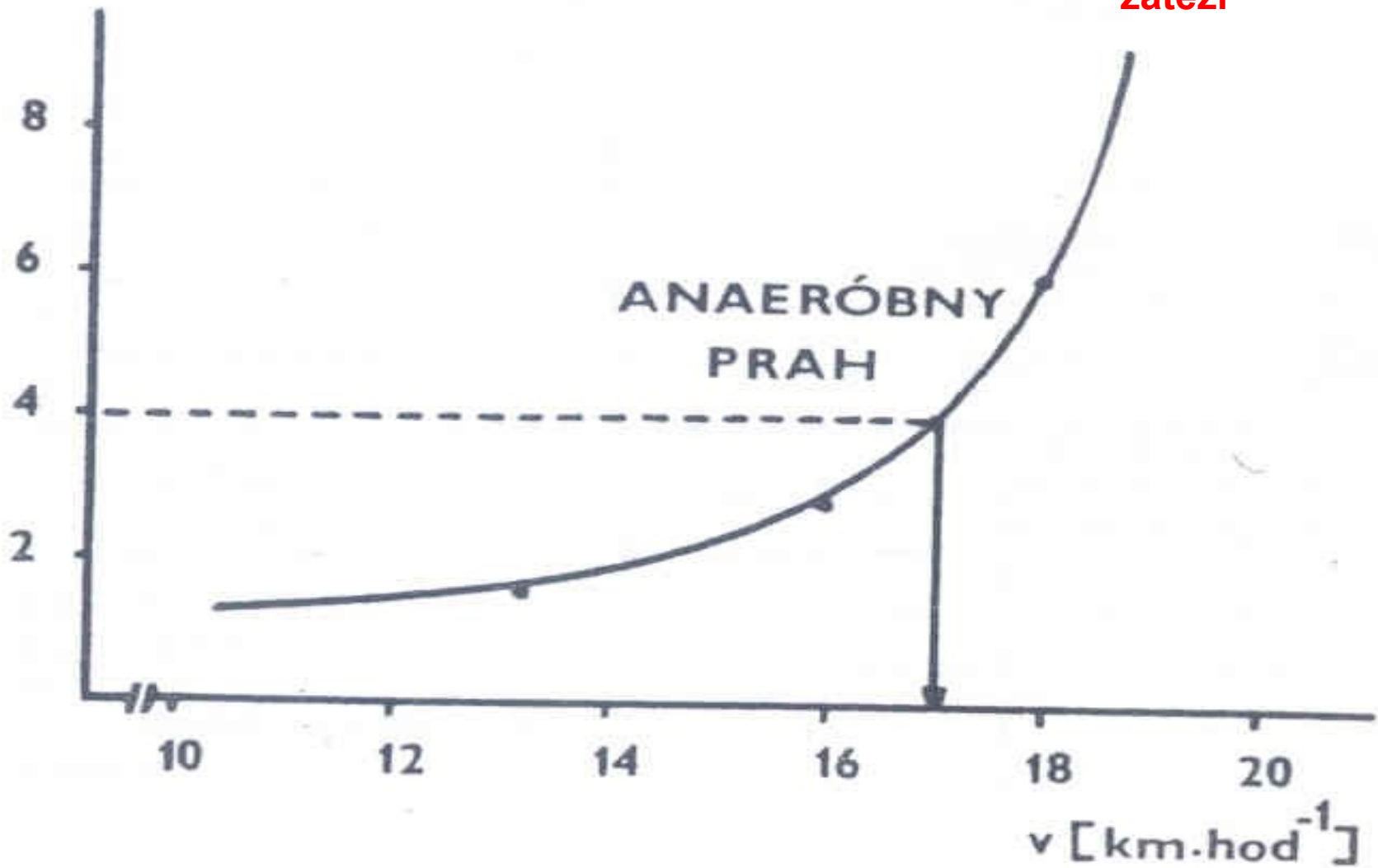
$$\text{AnP} = 35/3,5 + 60$$

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



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

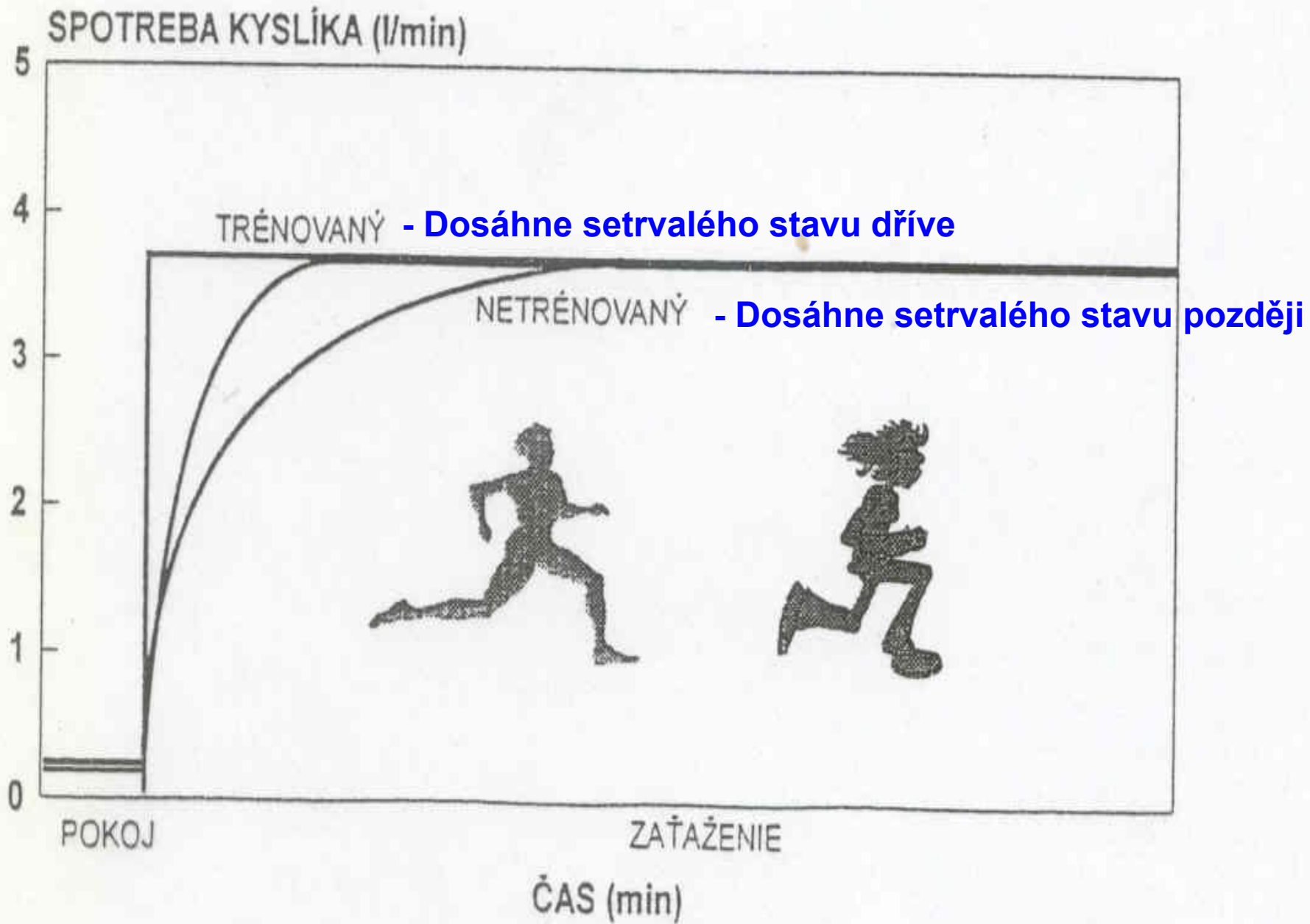
-fáze průvodní = při vlastním výkonu roste DF a ventilace nejdřív rychle (fáze iniciální),
→ zpomalení, → při déletrvající zátěži (více než 40-60s) se může projevit mrtvý bod

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 - nízký arteriálního pO₂

Anemická hypoxie - normální arteriální pO₂, nízký přenášejícího hemoglobinu

Stagnační / ischemická hypoxie/ - nízký 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