

---

## 9 *Dýchání*

Obsah kapitoly:

**9.1 *Úvod do kapitoly***

**9.2 *Dýchání a výměna plynů***

**9.3 *Dýchací systém***

**9.4 *Plíce***

**9.5 *Regulace dýchání***

***Po přečtení této kapitoly, by si měl znát a umět logicky využít poznatky:***

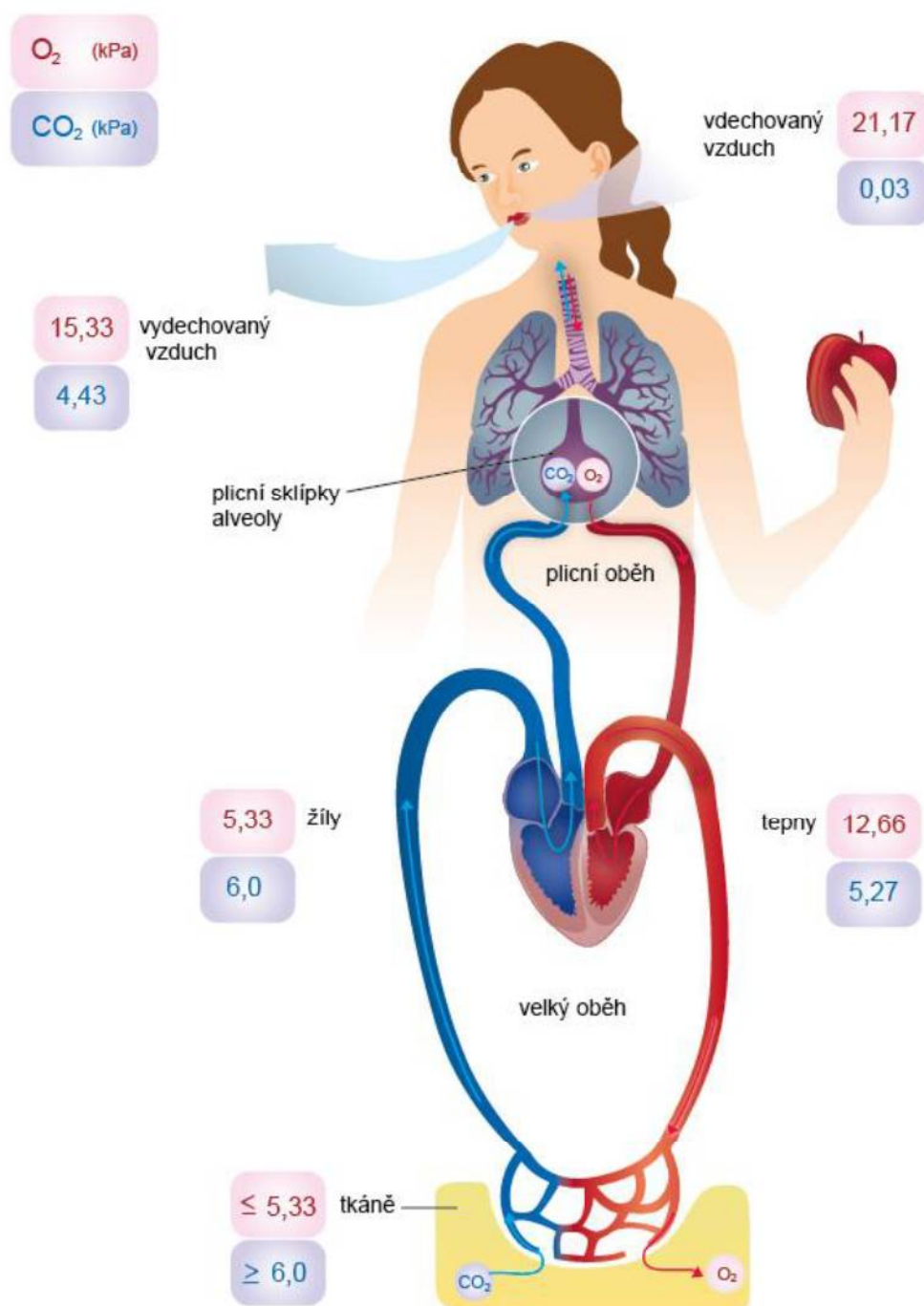
- o dýchání jako celku,
- o fungování plic,
- o ventilaci,
- o regulaci dýchání.

***Klíčová slova:***

Dýchání (ventilace, respirace), plíce, plicní sklípky (alveoly), nádech (inspirace), výdech (expirace), spirometrie, dechová frekvence, dechový objem, minutová ventilace, vitální kapacita plic

## 9.1 Úvod do kapitoly

Látková výměna v buňkách všech tkání lidského organismu probíhá oxidativně (aerobně). Je nutný přísun kyslíku. V metabolismu vzniká oxid uhličitý, kterého se organismus potřebuje zbavit. Kyslík a oxid uhličitý jsou nazývány **dýchacími plyny**. Transportní systém pro dýchací plyny (obr. 58) tvoří dýchací systém (dýchací cesty a plíce), systém krevního oběhu (srdce, cévy, krev) a periferní tkáně (přesuny do buněk a v buňkách).



Obr. 58 Transportní systém dýchacích plynů.

## 9.2 Dýchání a výměna plynů

Pojem **dýchání** (respirace, latinsky respiratio) není vždy používán jednoznačně.

Za **respiraci** se považuje výměna dýchacích plynů člověka se zevním životním prostředím i uvnitř v organismu. Mohou se rozlišovat dvě složky dýchání:

- **Zevní dýchání (plicní ventilace)** – nasávání vzduchu ze zevního prostředí do plic a vytlačení vzduchu z plic do zevního prostředí. To je zabezpečeno **dýchacím systémem**, který tvoří **dýchací cesty a plíce, a orgány pohybuující plícemi - hrudní koš, dýchací svaly**.
- **Vnitřní dýchání (tkáňové)** - výměna dýchacích plynů mezi krví a vzduchem **v plících** a mezi krví a buňkami **v periferních tkáních** (např. nervová tkáň, svalová tkáň).

### Difuze - průnik plynů přes membrány (obr. 59)

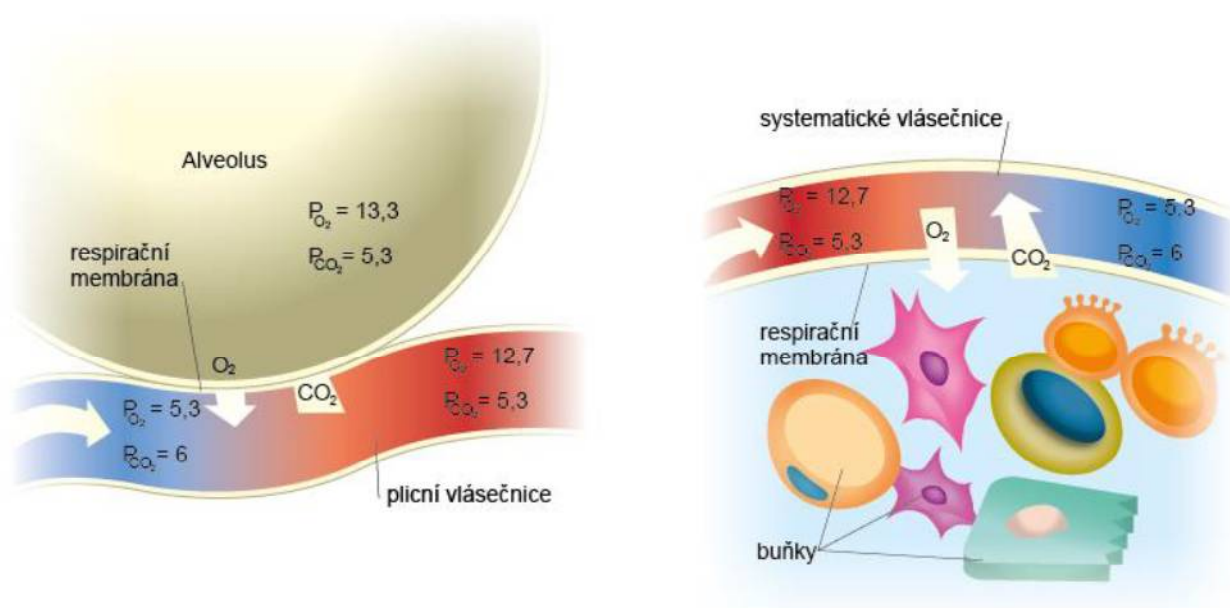
Hlavní hnací silou přesunu plynů přes membrány je, podle Fickova zákona, rozdíl jejich parciálních tlaků v alveolech, erythrocytech a buňkách tkání. Plyny se pohybují z místa jejich většího tlaku do místa jejich menšího tlaku.

#### Difuze plynů v plících

- V nadechnutém vzduchu je větší tlak **kyslíku** (13,3kPa) než v krvi, přitékající do plic (5,3kPa). Proto difunduje ze vzduchu do krve. Ve vydechnutém vzduchu je kyslíku méně než v nadechnutém. V krvi odtékající z plic je  $O_2$  více než v krvi přitékající do plic.
- **Oxid uhličitý** má větší tlak v krvi, která přitéká do plicních sklípků (6,13kPa), než v nadechnutém vzduchu (5,33kPa), proto difunduje z krve do vzduchu. Ve vydechnutém vzduchu je ho pak více než v nadechnutém. V krvi odtékající z plic je  $CO_2$  méně než v krvi přitékající do plic.

#### Difuze plynů ve tkáních

Kyslík přechází z krve do buněk a  $CO_2$  z buněk do krve. Buňky tkání  $O_2$  spotřebovávají a  $CO_2$  produkují.



Obr. 59 Parciální tlaky dýchacích plynů (kPa) v plících a cévách tkání.

---

Legenda:  $\dot{V}$  – minutová ventilace vzduchu,  $\Delta O_2$  - rozdíl objemu  $O_2$  v nadechovaném a vydechovaném vzduchu.

Příklad výpočtu klidového příjmu kyslíku:  $\dot{V}O_2 = 8 \cdot (0,21 - 0,17) = 0,32$

Legenda: Minutová ventilace vzduchu je  $8 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ ; relativní objem  $O_2$  v nadechovaném vzduchu je 0,21 (21%) a ve vydechovaném vzduchu je 0,17 (17%).

### Spotřeba kyslíku

Spotřeba kyslíku je množství  $O_2$ , které organizmus skutečně spotřebuje ve svém tkáňovém metabolismu.

Pokud spotřebu odhadujeme pouze z parametrů měřených ve vstupu do dýchacích cest (na úrovni úst a nosu), pak hovoříme o tzv. **příjmu kyslíku ( $\dot{V}O_2$ )**.

Výpočet příjmu kyslíku za 1 minutu  $\dot{V}O_2$ :

$$\dot{V}O_2 (\text{l} \cdot \text{min}^{-1}) = \dot{V} \cdot \Delta O_2$$

## 9.3 Dýchací cesty

Dýchací cesty jsou soustava trubicovitých orgánů mezi zevním prostředím a plícemi. Proudí jimi nadechovaný a vydechovaný vzduch.

Dýchací cesty mají dvě části:

- **Horní dýchací cesty** začínají nosem a rty, pokračují
  - *nosní dutinou* (lat. *cavum nasi*) a *ústní dutinou* (*cavum oris*),
  - *hltanem* (pharynx).
- **Dolní dýchací cesty** začínají *hrtanem* (*larynx*), pokračují *průdušnicí* (trachea), *průduškami* (bronchi) a *průdušinkami* (bronchioli) a končí v plicích sklípcích (alveoli).

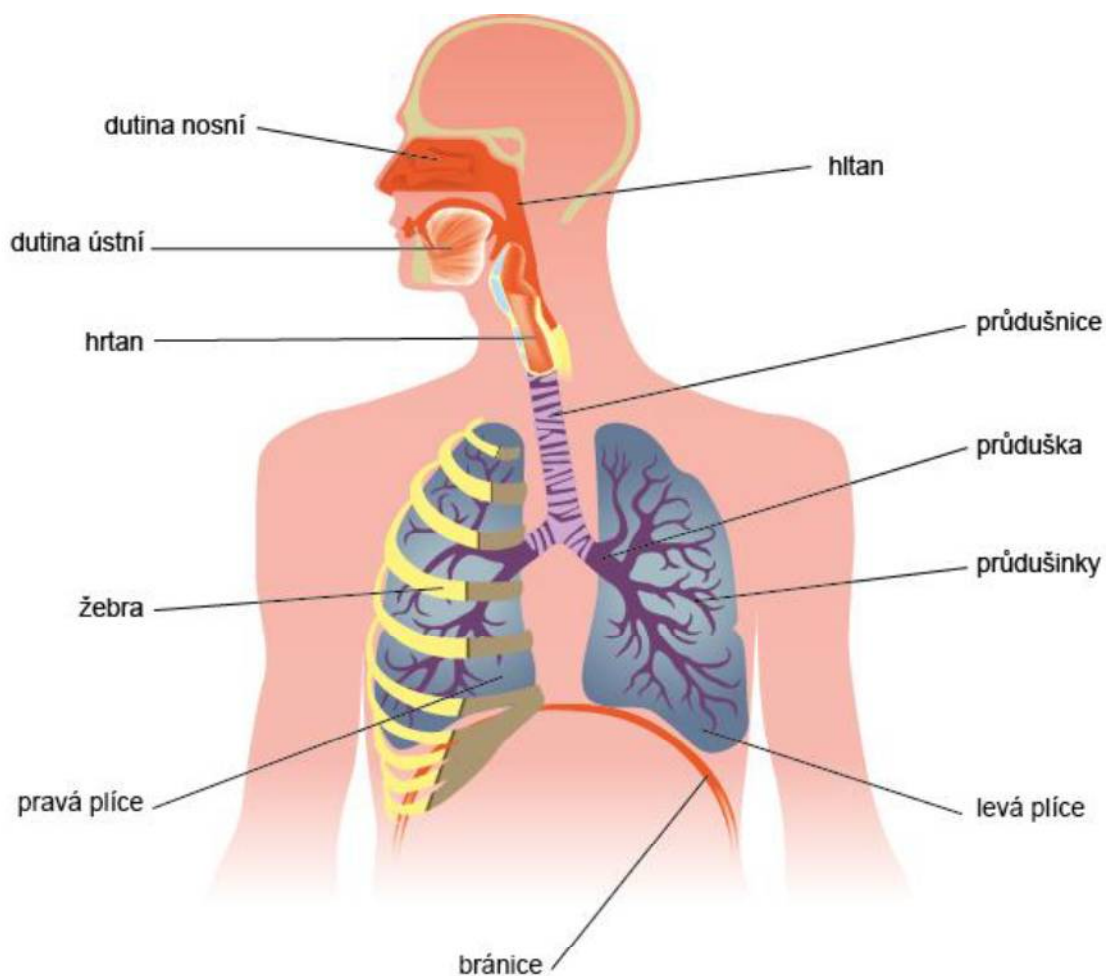
**Stěny dýchacích cest** jsou pevné a pružné. V běžné situaci u zdravého člověka udržují dostatečný příčný rozměr pro proud vzduchu. Vnitřní povrch je vystlán hladkou **sliznicí**, která produkuje **hlen**. Lehké tlakové podráždění sliznice cizím tělískem je vnímáno citlivými **mechanoreceptory**, které mohou spustit *obranný reflex kašle*.

**Nosní dutina** je horizontálně rozdělena třemi **skořepami** (conchi) na **průduchy** (meatus), kde se proud nadechovaného *vzduchu* **přibrzdí** a v kontaktu s prokrvenou a teplou sliznicí **ohřeje**.

**V průduškách** je sliznice opatřena **řasinkami**, posunujícími hlen směrem ven.

Stěny dolních dýchacích cest jsou vyztuženy neuzavřenými **chrupavčitými prstenci**. Vnitřní vrstva stěn dolních dýchacích cest obsahuje také **hladké svaly**, které svojí kontrakcí dovedou průsvit částečně **zúžit** a relaxací jej **rozšířit**.

(Poznámka: Zúžení průdušky = bronchokonstrikce, rozšíření průdušky = bronchodilatace).



Obr. 60 Dýchací cesty a plíce.

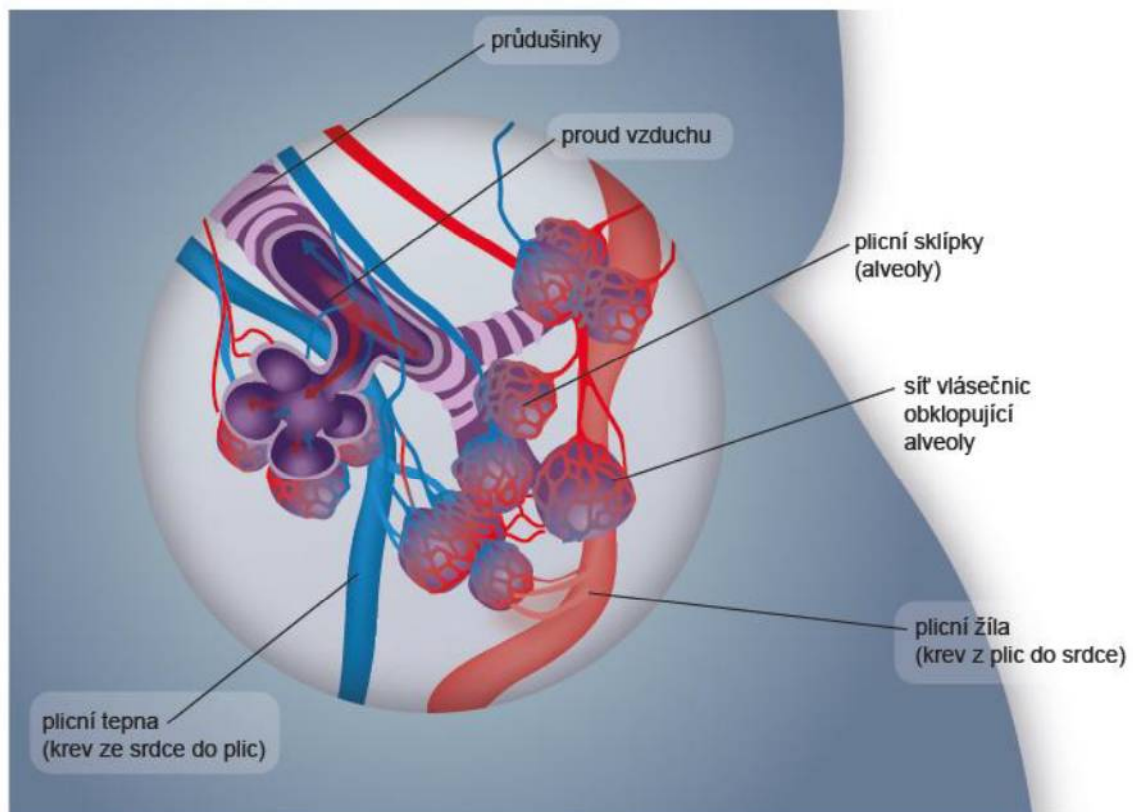
## 9.4 Plíce

Plíce (lat. pulmo) jsou umístěny v hrudním koši. Plíce jsou párový orgán – jsou tvořeny *pravou a levou plící*. Pravá plíce je rozdělena vazivovými přepážkami na tři **laloky**, levá plíce na dva laloky. Laloky jsou rozděleny na ještě menší oddíly.

Podstatnou část plicní tkáně tvoří **plicní sklípky** (alveoli), kde se realizuje hlavní funkce plic - přenos dýchacích plynů mezi vzduchem ze zevního prostředí a krví. Plicní sklípky jsou drobné váčky s tenkou stěnou. Jsou na konci dýchacích cest.

K uskutečnění **respirace v plicích** musí fungovat

- **plicní ventilace** – výměna vzduchu v plicních sklípcích při nádechu a výdechu,
- **plicní perfuze** – přívod krve ke sklípkům (prokrvení plic). Sklípky jsou obaleny hustou sítí drobných vlásečnic. Průtok stejný jako v srdci (kolem 5 l/min).
- **plicní difuze** – přestup dýchacích plynů přes membrány stěn plicních sklípků a vlásečnic. Je zmíněna v 1. podkapitole výše.



Obr. 61 Plicní sklípky.

### Plicní ventilace

Plicní ventilace – výměna vzduchu ve sklípcích – probíhá díky opakovanému střídání nádechu (s rozpínáním plic) a výdechu (se smršťováním plic).

Ventilace je primárně řízena **autonomním nervovým systémem** a funguje bez naší vůle. Může však být naší vůlí modifikována, potlačena nebo zesílena.

### **Mechanismus ventilace**

Pohyby plic rozpínání a smršťování plic jsou možné díky těmto faktům:

- *Mechanická pružnost* plic (elasticita), která je dána vazivovou složkou jejich tkáně. Plíce mají stále tendenci se smršťovat – vyvíjejí retrakční sílu.
- *Uložení a adhezi* plic v pohrudniční dutině, která je vystlána vazivovou blánou pohrudnicí. Plíce svým obalem (poplicnicí) přiléhají těsně k pohrudnici. Mezi pohrudnicí a poplicnicí je pouze nepatrná štěrbiná s pohrudniční tekutinou.

### **Nádech (inspirace)**

Nádech je aktivní děj, vyžadující práci dýchacích svalů. **Hlavní dýchací svaly** roztahují prostor, v němž jsou plíce uloženy (obr. 62):

- **Bránice (diaphragma)**, která je přepážkou mezi hrudní a břišní dutinou se při kontrakci zploští směrem k břichu a tím zvětší prostor v hrudníku;
- **Zevní mezižební svaly** (mm. intercostales externi) zvedají žebra a tím zvětšují objem hrudního koše.

Díky adhezi plic k vnitřní stěně dutiny hrudní jsou plíce roztahovány a vzduch je nasáván do plicních sklípků.

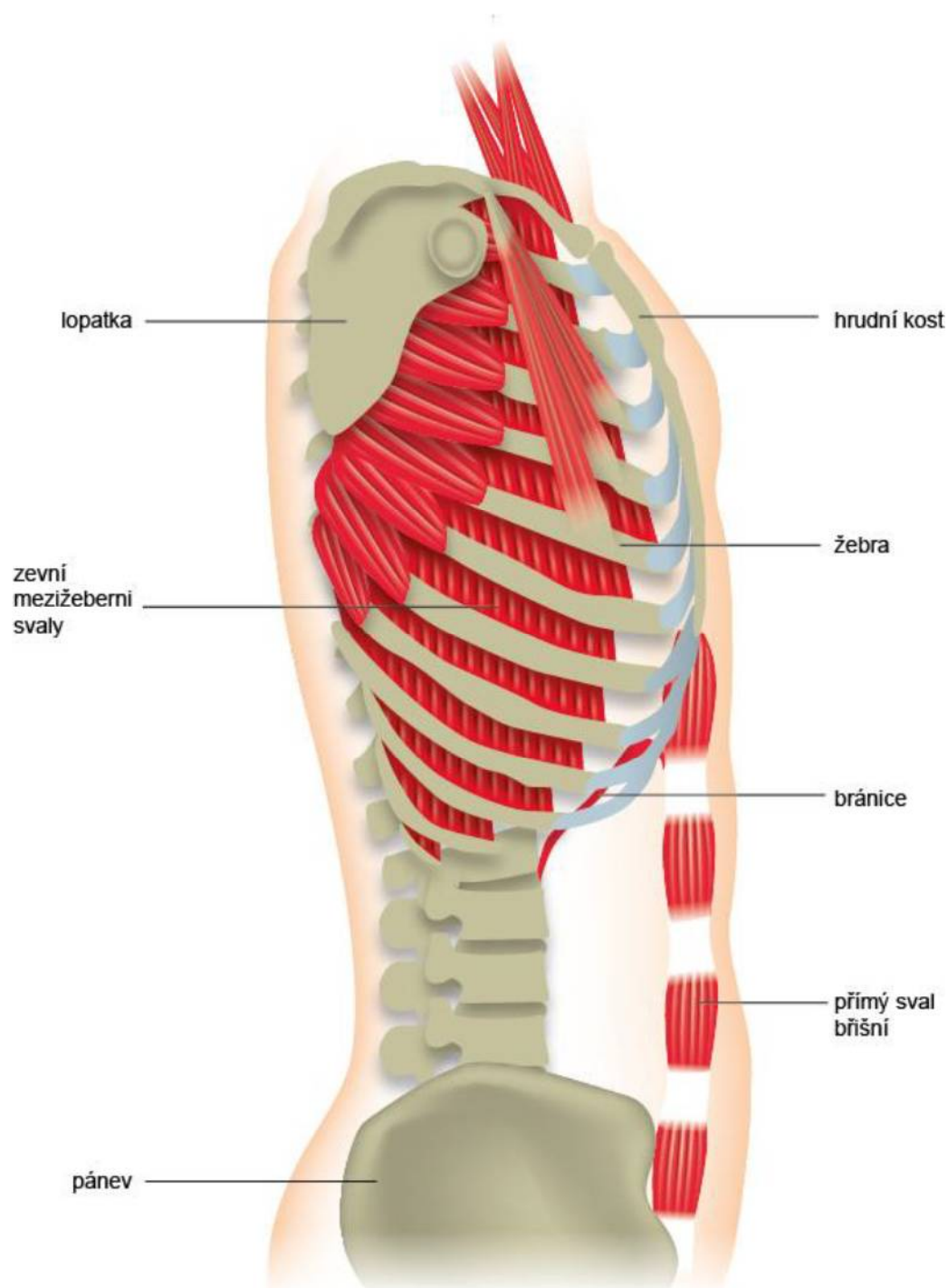
Nádech může být posílen volným úsilím a zapojením pomocných dýchacích svalů (např. svaly kloněné a zdvihač hlavy).



### Výdech (expirace)

Výdech je pasivní děj. Nádechové svaly se uvolní a plíce se mohou spontánně smrštít a vytlačit vzduch ze sklípků.

Výdech může být zesílen aktivní prací výdechových svalů: Zmenšení objemu hrudníku podporuje aktivita vnitřních mezižebních svalů, které stahují žebra dolů a svaly břišní stěny, které vytlačují bránici nahoru.



Obr. 62 Dýchací svaly.

## Spirometrie

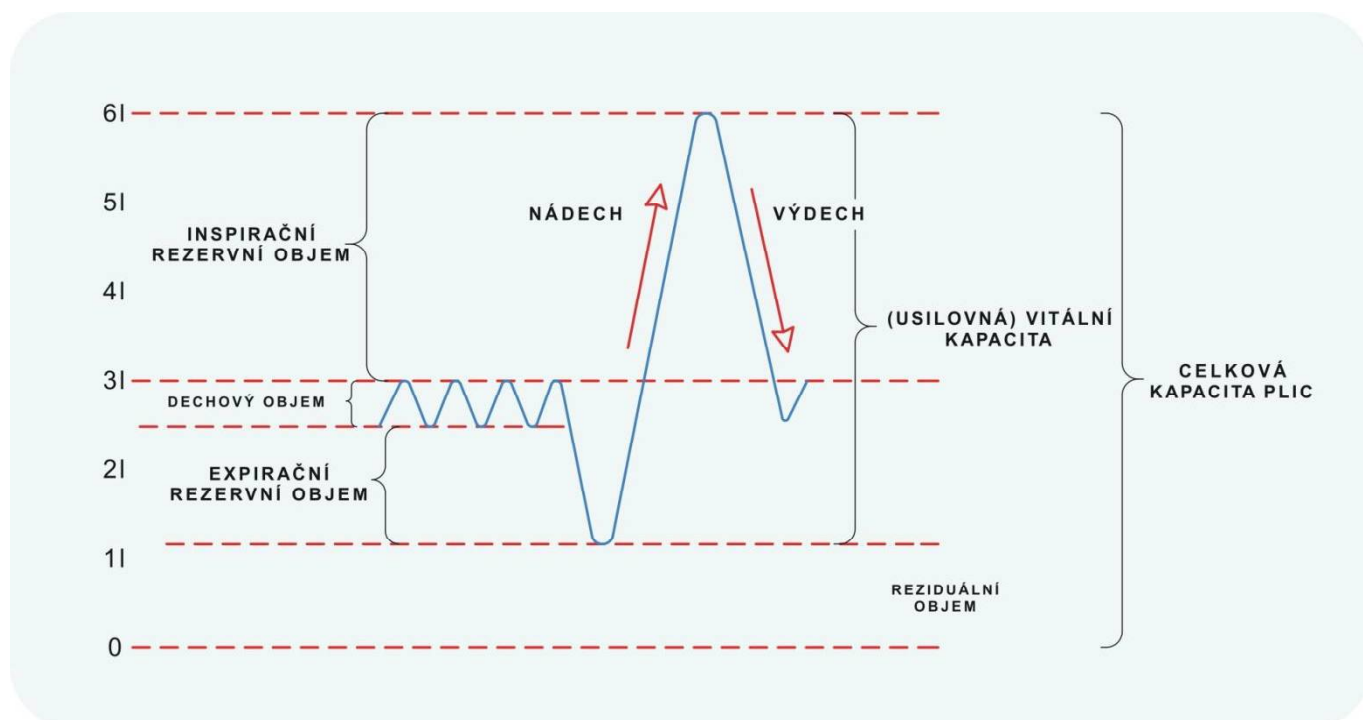
Spirometrie je vyšetřovací metoda poskytující údaje o ventilačních objemech plic.

Mezi základní ventilační parametry patří např.

- **Dechový objem** ( $V_B, V_T, DO$ ; l, ml) = objem vzduchu z jednoho nádechu nebo v jednom výdechu.
- **Dechová frekvence** ( $f_B, DF$ ;  $1 \cdot \text{min}^{-1}$ ) = počet dechů za 1 minutu.
- **Minutová ventilace** ( $\dot{V}, \dot{V}_E, MV$ ;  $1 \cdot \text{min}^{-1}$ ) = objem vzduchu, který prodýcháme (nadechneme nebo vydechneme) za 1 minutu.
- **Vitální kapacita plic** (VC – vital capacity; l, ml), např. výdechová VC (FEVC – forced expiratory vital capacity) = objem vzduchu, který vydechneme s maximálním úsilím po předchozím maximálním nádechu.
- **Maximální výdechová rychlost** (PEF – peak expiratory flow;  $l \cdot s^{-1}$ ) = maximální proud vzduchu, které jsme schopni vyvinout při výdechu.
- **Maximální jednovteřinový výdechový objem** (FEV1 – forced expiratory volume in 1 sec; l, ml) = objem vzduchu, který jsme schopni vydechnout s maximálním úsilím za 1 vteřinu.

Objem vzduchu kolísá v závislosti na atmosférickém tlaku a teplotě. Pro možnost srovnání výsledků spirometrie, provedené v různých atmosférických podmínkách, se změřené objemy přepočítávají korekčním faktorem na standardní podmínky (STPD - standard temperature pressure dry; teplota 0°C, tlak 760mmHg, vlhkost 0%).

Grafické vyjádření základních parametrů vyjadřuje křivka objem/čas a křivka průtok/objem.



Obr. 63 Spirometrie, dechové objemy.



## 9.5 Regulace dýchání

### Řízení difuze plynů

Směr a intenzita difuze plynů podléhá Fickově zákonu o pohybu plynů z místa s jejich větším tlakem do místa s jejich menším tlakem.

### Řízení ventilace plic

Ventilace plic je řízena **dýchacím centrem** v prodloužené a krční míše. Inspirační a expirační nervové buňky (neurony) jsou *generátorem dýchacího rytmu*. Tyto neurony se vzájemně inhibují a střídají v akci.

Dýchací centrum je ovlivněno retikulární formací v prodloužené míše, která dostává informace z periferie a vyšších oblastí mozku (např. z mechanoreceptorů v plicích a chemoreceptorů).

**Zvýšení ventilace** (zvýšení frekvence dýchání a zvětšení dechového objemu) stimuluje např.

- menší množství  $O_2$  ve vnitřním prostředí,
- větší množství  $CO_2$  a  $H^+$  ve vnitřním prostředí,
- adrenalin z nadledvin a sympatikus autonomního nervového systému při psychické a tělesné zátěži,
- zvýšení nebo snížení tělesné teploty,
- volní úsilí.

#### Důležité

- Dýchací (respirační) systém je tvořen dýchacími cestami a plicemi.
- Tento systém zabezpečuje výměnu vzduchu mezi zevním prostředím a lidským organizmem (plicní ventilace, zevní dýchání) a výměnu dýchacích plynů, kyslíku a oxidu uhličitého, mezi vzduchem a krví v plicích (vnitřní dýchání).
- K nádechu (nasávání vzduchu do plic; inspirace) dochází při aktivní práci nádechových svalů - bránice a zevních mezižeberních svalů, které zvětšují objem hrudní dutiny a tím roztahují plíce.
- Výdech (expirace) nastává díky pasivnímu smrštění plic, případně zapojením výdechových svalů.
- Dýchací plyny se přesunují z místa jejich většího tlaku do místa s menším tlakem.
- Dýchací systém se podílí na zabezpečení stálého vnitřního prostředí (homeostázy), včetně acidobazické-rovnováhy.
- Dýchání je řízeno dechovým centrem v prodloužené míše. Základem je střídání nádechu a výdechu. Další modulace dechu je závislá na dráždění periferních a centrálních chemoreceptorů kyslíkem a oxidem uhličitým, což vede k aktivaci sympatiku nebo parasympatiku a následnému zrychlení nebo zpomalení dechu.
- Ventilací funkce plic se měří spirometrií. Mezi hlavní ukazatele patří vitální kapacita plic a objem vzduchu vydechnutý s maximálním úsilím za 1 vteřinu.

---

## **10 Fyziologie vylučování**

Obsah kapitoly:

### **10.1 Úvod do kapitoly**

### **10.2 Regulace objemu vody v těle**

### **10.3 Vnitřní prostředí**

#### **10.3.1 Stabilita homeostázy organismu**

### **10.4 Fyziologie ledvin**

#### **10.4.1 Systém glomerulární filtrace**

#### **10.4.2 Vývodné cesty močové**

### **10.5 Trávicí trakt jako součást vylučovacího systému**

#### **10.5.1 GIT a cyklus vodního hospodářství**

### **10.6 Dýchací trakt jako součást vylučovacího systému**

#### **10.6.1 Vztah plicní ventilace a plicní perfúze**

#### **10.6.2 Regulace dýchání součást systému vylučování a metabolické kompenzace**

### **10.7 Potní žlázy jako systém vylučování**

### **10.8 Příklady regulovaných složek vnitřního prostředí**

#### **Po přečtení této kapitoly bys měl být schopen:**

- aplikovat principy homeostázy do praxe,
- pochopit souvislosti regulace na principu zpětných vazeb,
- znát základní parametry vnitřního prostředí organismu,
- vysvětlit základní principy vylučování vody, iontů a metabolitů vylučovacím systémem,
- vysvětlit mechanismy zpětné absorpce vody a iontů,
- vysvětlit principy neuroendokrinní regulace vylučování.