

UČEBNÍ TEXTY  
UNIVERZITY KARLOVY

# FYZIOLOGIE DÝCHÁNÍ

**Jana Slavíková  
Jitka Švíglerová**

KAROLINUM

# FYZIOLOGIE DÝCHÁNÍ

Jana Slavíková, Jitka Švíglerová

---

Recenzovali:

prof. MUDr. Martin Vízek, DrSc.

prof. MUDr. Pavel Sobotka, DrSc.

Vydala Univerzita Karlova

Nakladatelství Karolinum

jako učební text pro Lékařskou fakultu UK v Plzni

Praha 2024

Sazba DTP Nakladatelství Karolinum

2. vydání

© Univerzita Karlova, 2024

© Jana Slavíková, Jitka Švíglerová, 2024

ISBN 978-80-246-5867-4

ISBN 978-80-246-5873-5 (pdf)



Univerzita Karlova

Nakladatelství Karolinum

[www.karolinum.cz](http://www.karolinum.cz)

[ebooks@karolinum.cz](mailto:ebooks@karolinum.cz)

# OBSAH

|                                                              |           |
|--------------------------------------------------------------|-----------|
| Předmluva ke 2. vydání .....                                 | 7         |
| <b>1. ÚVOD .....</b>                                         | <b>9</b>  |
| <b>2. ANATOMIE A FUNKCE DÝCHACÍCH CEST .....</b>             | <b>11</b> |
| <b>3. PLICNÍ VENTILACE .....</b>                             | <b>15</b> |
| 3.1 Plicní tlaky .....                                       | 15        |
| 3.2 Výměna vzduchu mezi atmosférou a plicemi .....           | 15        |
| 3.3 Vztah mezi hrudní stěnou a plicemi .....                 | 16        |
| 3.4 Dýchací svaly .....                                      | 17        |
| 3.5 Dechový cyklus .....                                     | 20        |
| 3.6 Poddajnost a smrštivost hrudníku a plic .....            | 22        |
| 3.7 Dechová práce .....                                      | 26        |
| 3.8 Plicní objemy a kapacity .....                           | 29        |
| 3.9 Hodnoty plicní ventilace, typy dýchání .....             | 35        |
| 3.10 Alveolární ventilace .....                              | 35        |
| <b>4. VÝMĚNA PLYNŮ V PLICÍCH A VE TKÁNÍCH .....</b>          | <b>39</b> |
| 4.1 Atmosférický a alveolární vzduch .....                   | 39        |
| 4.2 Krevní oběh v plicích .....                              | 41        |
| 4.2.1 Struktura plicního řečiště .....                       | 42        |
| 4.2.2 Objem krve v plicích .....                             | 43        |
| 4.2.3 Krevní tlak v plicním řečišti .....                    | 44        |
| 4.2.4 Průtok krve plicním řečištěm .....                     | 45        |
| 4.3 Difuze plynů alveolokapilární membránou .....            | 46        |
| 4.3.1 Rozpustnost a molekulová hmotnost $O_2$ a $CO_2$ ..... | 47        |
| 4.3.2 Tlakový gradient .....                                 | 47        |
| 4.3.3 Difuzní plocha .....                                   | 48        |
| 4.3.4 Difuzní dráha .....                                    | 49        |
| 4.4 Regionální rozdíly ventilace a perfuze .....             | 49        |

|                                                                                    |           |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>5. TRANSPORT DÝCHACÍCH PLYNŮ MEZI PLÍCEMI A TKÁNĚMI .....</b>                   | <b>52</b> |
| <b>5.1 Transport kyslíku .....</b>                                                 | <b>52</b> |
| 5.1.1 Formy transportu kyslíku .....                                               | 52        |
| 5.1.2 Vazba kyslíku na hemoglobin .....                                            | 54        |
| 5.1.3 Uvolňování kyslíku z hemoglobinu .....                                       | 55        |
| 5.1.4 Pohyb kyslíku mezi plícemi a tkáněmi .....                                   | 55        |
| 5.1.5 Hemoglobin jako faktor stabilizace $pO_2$ v tkáních .....                    | 57        |
| 5.1.6 Faktory ovlivňující vazebnou křivku hemoglobinu pro kyslík .....             | 58        |
| 5.1.7 Fetální hemoglobin .....                                                     | 60        |
| <b>5.2 Transport oxidu uhličitého .....</b>                                        | <b>60</b> |
| 5.2.1 Difuze oxidu uhličitého z buněk do tkáňových kapilár .....                   | 60        |
| 5.2.2 Formy transportu oxidu uhličitého .....                                      | 61        |
| 5.2.3 Uvolňování oxidu uhličitého z krve v plicích .....                           | 62        |
| 5.2.4 Vazebná křivka oxidu uhličitého .....                                        | 63        |
| 5.2.5 Respirační kvocient .....                                                    | 65        |
| <b>6. REGULACE DÝCHÁNÍ .....</b>                                                   | <b>66</b> |
| <b>6.1 Respirační centra .....</b>                                                 | <b>66</b> |
| 6.1.1 Respirační centra v prodloužené míše .....                                   | 66        |
| 6.1.2 Respirační centra v pontu .....                                              | 68        |
| <b>6.2 Chemická regulace dýchání .....</b>                                         | <b>69</b> |
| 6.2.1 Centrální chemosenzitivní oblast .....                                       | 69        |
| 6.2.2 Periferní chemoreceptory .....                                               | 71        |
| 6.2.3 Společný účinek $pCO_2$ , pH a $pO_2$ na velikost alveolární ventilace ..... | 75        |
| <b>6.3 Ovlivnění dýchání nervovými a dalšími nechemickými vlivy .....</b>          | <b>75</b> |
| 6.3.1 Aferentace z dýchacích cest .....                                            | 75        |
| 6.3.2 Aferentace z baroreceptorů .....                                             | 76        |
| 6.3.3 Aferentace z proprioreceptorů .....                                          | 77        |
| 6.3.4 Ovlivnění z vyšších nervových center .....                                   | 77        |
| 6.3.5 Volní kontrola .....                                                         | 77        |
| 6.3.6 Vliv tělesné teploty .....                                                   | 77        |
| <b>7. NERESPIRAČNÍ FUNKCE PLIC .....</b>                                           | <b>78</b> |
| <b>8. ZMĚNY DÝCHÁNÍ VE ZDRAVÍ A NEMOCI .....</b>                                   | <b>81</b> |
| <b>8.1 Regulace dýchání při svalové práci .....</b>                                | <b>81</b> |
| <b>8.2 Hypoxie .....</b>                                                           | <b>83</b> |
| <b>8.3 Hyperoxie, léčba kyslíkem .....</b>                                         | <b>84</b> |
| 8.3.1 Hyperoxie .....                                                              | 84        |
| 8.3.2 Léčba kyslíkem .....                                                         | 85        |
| <b>8.4 Otrava oxidem uhelnatým .....</b>                                           | <b>86</b> |

|                           |                                              |           |
|---------------------------|----------------------------------------------|-----------|
| <b>8.5</b>                | <b>Hypokapnie.....</b>                       | <b>87</b> |
| <b>8.6</b>                | <b>Hyperkapnie.....</b>                      | <b>87</b> |
| <b>8.7</b>                | <b>Pobyt ve vysoké nadmořské výšce .....</b> | <b>88</b> |
| <b>8.8</b>                | <b>Potápění .....</b>                        | <b>90</b> |
| 8.8.1                     | Rizika potápění .....                        | 91        |
| 8.8.2                     | Nemoc z dekomprese.....                      | 92        |
| <b>Seznam zkratk.....</b> |                                              | <b>94</b> |



# PŘEDMLUVA KE 2. VYDÁNÍ

První vydání učebního textu *Fyziologie dýchání* vyšlo před 12 lety. Za tu dobu jsme na našem pracovišti vyzkoušeli více než 2 500 studujících a postupně jsme zjišťovali, která „respirační“ témata umí lépe, a která jim naopak činí obtíže. Těmito poznatky jsme se řídily při přípravě druhého vydání, ve kterém jsou upraveny zejména ty podkapitoly, které – podle našeho názoru – zasluhovaly srozumitelnější vysvětlení. Doufáme, že se náš záměr povedl.

Části textu tištěné kurzivou obsahují buď patofyziologické, nebo klinické poznámky související s popisovaným tématem.

Děkujeme prof. Martinovi Vízkovi, CSc., z Ústavu patologické fyziologie 2. lékařské fakulty Univerzity Karlovy v Praze a prof. Pavlovi Sobotkovi, DrSc., z Ústavu patologické fyziologie Lékařské fakulty Univerzity Karlovy v Plzni za ochotu, se kterou se ujali recenze textu, za jeho pečlivé posouzení, kritický komentář a doporučené opravy v textu.

Dále chceme poděkovat doc. MUDr. Ladě Eberlové z Ústavu anatomie Lékařské fakulty Univerzity Karlovy v Plzni za cenné rady z oblasti anatomie a paní Ivaně Hajdúkové za výraznou pomoc při přípravě obrazové dokumentace a za její pečlivost a trpělivost, se kterou napomáhala vzniku tohoto učebního materiálu.

Jana Slavíková, Jitka Švíglerová





# 1. ÚVOD

Dýchací systém je v úzkém aktivním spojení se zevním prostředím. Zajišťuje příjem kyslíku z atmosféry a výdej oxidu uhličitého do atmosféry. Jedná se o trvalý děj, který začíná s prvním vdechem novorozence a končí smrtí jedince. Přívod kyslíku do organismu nelze přerušit na dobu delší než několik minut bez závažných následků, neboť zásoby kyslíku, které má organismus k dispozici po přerušení jeho přívodu, nejsou velké. Tvoří je kyslík v respiračních bronchiolích, alveolích, kyslík obsažený v krvi, rozpuštěný v tkáních a kyslík navázaný na myoglobin. Celkově tyto zásoby činí asi 1 l po klidném výdechu a téměř 2 l po hlubokém vdechu. Při klidové spotřebě 250 ml  $O_2$  za 1 minutu představuje toto množství funkční rezervu na dobu asi 4–7 minut.

Člověk si existenci nepatrných zásob kyslíku vůbec neuvědomuje. Stálý přívod kyslíku do organismu je zajišťován zcela automaticky. Fyziologický mechanismus transportu kyslíku udržuje jeho nepřetržitou dodávku tkáním. Ta je neustále upravována bez vědomé kontroly tak, aby odpovídala aktuálním nárokům jednotlivých tkání na spotřebu kyslíku.

Převážná část kyslíku přijatého do organismu se spotřebuje k získávání energie z různých substrátů přijímaných v potravě. Menší část se spotřebuje při biochemických reakcích, při nichž je kyslík použit k syntéze některých látek.

Dýchací systém zajišťuje také tzv. nerespirační funkce. Sem patří např. fonace – vznik zvukového projevu a jeho formování, ochrana a obrana organismu před škodlivinami, čichání, regulace pH a endokrinní a metabolické funkce plic. Kromě toho slouží dýchací systém jako zásobárna krve a podílí se jako pomocný mechanismus na termoregulaci, defekaci a mikci.

## Základní pojmy

K tomu, aby respirační systém mohl plnit svoji základní funkci, tj. dodávat  $O_2$  do tkání a odstraňovat  $CO_2$  z těla, jsou zapotřebí následující procesy:

1. Výměna vzduchu mezi zevním prostředím a plicemi se nazývá **plicní ventilace**. Ta je vždy spojena s přísunem vdechovaného vzduchu do různých částí plic, tj. s intrapulmonální distribucí a se smísením tohoto vzduchu se vzduchem v plicích již přítomným. Tyto procesy zahrnujeme také pod pojem **zevní dýchání**. Fyzikálně-biologickou podstatu této činnosti nazýváme **mechanika dýchání**.
2. Přesun kyslíku z alveolů do krve plicních kapilár a oxidu uhličitého v opačném směru probíhá na základě **difuze**. Jejím předpokladem je, kromě plicní ventilace, průtok krve kapilární sítí opřádající alveoly, tzv. **plicní perfuze**, která je zajišťovaná plicní cirkulací.
3. Další transport krevních plynů zajišťuje systémová cirkulace. Jejich přesun mezi krví, tkáňovým mokem, buňkami a naopak se uskutečňuje opět difuzí. Výměna plynů mezi krví a tkáněmi se označuje **vnitřní dýchání**.
4. **Regulace dýchání** zahrnuje mechanismy zajišťující automatickou mimovolní plicní ventilaci a její přizpůsobení aktuálním požadavkům organismu.