

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

ebooks@karolinum.cz

OBSAH

Předmluva ke 2. vydání	7
1. ÚVOD	9
2. ANATOMIE A FUNKCE DÝCHACÍCH CEST	11
3. PLICNÍ VENTILACE	15
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
4. VÝMĚNA PLYNŮ V PLICÍCH A VE TKÁNÍCH	39
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

5.	TRANSPORT DÝCHACÍCH PLYNŮ MEZI PLÍCEMI A TKÁNĚMI	52
5.1	Transport kyslíku	52
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
5.2	Transport oxidu uhličitého	60
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
6.	REGULACE DÝCHÁNÍ	66
6.1	Respirační centra	66
6.1.1	Respirační centra v prodloužené míše	66
6.1.2	Respirační centra v pontu	68
6.2	Chemická regulace dýchání	69
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
6.3	Ovlivnění dýchání nervovými a dalšími nechemickými vlivy	75
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
7.	NERESPIRAČNÍ FUNKCE PLIC	78
8.	ZMĚNY DÝCHÁNÍ VE ZDRAVÍ A NEMOCI	81
8.1	Regulace dýchání při svalové práci	81
8.2	Hypoxie	83
8.3	Hyperoxie, léčba kyslíkem	84
8.3.1	Hyperoxie	84
8.3.2	Léčba kyslíkem	85
8.4	Otrava oxidem uhelnatým	86

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

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 řídili 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, alveolech, 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 O₂ 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.