

Jindřich Mourek

Fyziologie

Učebnice pro studenty
zdravotnických oborů

2., doplněné vydání





Poděkování

K realizaci téměř každého díla je v dnešní době třeba několika párů rukou a několika mozků. Rád bych poděkoval recenzentům za jejich pečlivou oponenturu, můj dík patří redaktorkám zdravotnické redakce nakladatelství Grada Publishing za jejich trpělivost, pomoc a vlastní zpracování. Konečně – a nikoliv naposled – bych rád vyjádřil poděkování vedení Zdravotně sociální fakulty Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, jmenovitě prof. MUDr. Miloši Velemínskému, CSc. Ten mne již před několika lety, v roce 2004, inicioval k sepsání učebnice fyziologie, která by plně odpovídala právě potřebám fakulty, které byl tehdy děkanem.

Jindřich Mourek

Fyziologie

Učebnice pro studenty
zdravotnických oborů

2., doplněné vydání

Upozornění pro čtenáře a uživatele této knihy

Všechna práva vyhrazena. Žádná část této tištěné či elektronické knihy nesmí být reprodukována a šířena v papírové, elektronické či jiné podobě bez předchozího písemného souhlasu nakladatele. Neoprávněné užití této knihy bude trestně stíháno.

Prof. MUDr. Jindřich Mourek, DrSc.

FYZIOLOGIE

Učebnice pro studenty zdravotnických oborů

2., doplněné vydání

Recenzenti:

Prof. MUDr. Otomar Kittnar, CSc., MBA

MUDr. Jan Barcal, Ph.D.

© Grada Publishing, a.s., 2012

Cover Design © Grada Publishing, a.s., 2012

Kresba na obálce prof. MUDr. Jindřich Mourek, DrSc.

TIRÁŽ TIŠTĚNÉ PUBLIKACE:

Vydala Grada Publishing, a.s.

U Průhonu 22, Praha 7

jako svou 4740. publikaci

Odpovědná redaktorka Mgr. Helena Vorlová

Ilustrace Kateřina Novotná, obrázky 3.1, 3.2, 3.3, 7.1 a 13.1 dle předloh autora nakreslila Jana Řeháková, DiS.

Sazba a zlom Jan Šístek

Počet stran 224

Vydání první, Praha 2012

Vytiskly Tiskárny Havlíčkův Brod, a.s.

Názvy produktů, firem apod. použité v knize mohou být ochrannými známkami nebo registrovanými ochrannými známkami příslušných vlastníků, což není zvláštním způsobem vyznačeno.

Postupy a příklady v této knize, rovněž tak informace o lécích, jejich formách, dávání a aplikaci jsou sestaveny s nejlepším vědomím autorů. Z jejich praktického uplatnění však pro autory ani pro nakladatelství nevyplyvají žádné právní důsledky.

ISBN 978-80-247-3918-2

ELEKTRONICKÉ PUBLIKACE:

ISBN 978-80-24-7787-23 (pro formát PDF)

ISBN 978-80-24-7787-30 (pro formát EPUB)

Obsah

Předmluva	11
Předmluva ke druhému vydání	13
Seznam zkratek	15
1 Tělní tekutiny	17
1.1 Úvod a historie	17
1.2 Hlavní oddíly tělních tekutin	17
1.3 Krev	19
1.3.1 Červené krvinky – erythrocyty	22
1.3.2 Krevní destičky – trombocyty	25
1.3.3 Krevní skupiny (krevní systémy)	27
1.3.4 Bílé krvinky – leukocyty	29
1.3.5 Obrana organismu – imunita	31
2 Kardiovaskulární systém	35
2.1 Čerpací funkce srdce	35
2.2 Srdeční automacie	35
2.3 Elektrokardiogram	39
2.4 Srdeční revoluce	41
2.4.1 Minutový výdej srdeční	42
2.4.2 Starlingův zákon	42
2.4.3 Koronární oběh	42
2.5 Zevní projevy srdeční činnosti	43
2.6 Řízení činnosti srdce	44
2.7 Krevní oběh	44
2.7.1 Tlak krve, periferní odpor	45
2.7.2 Tvorba tkáňového moku	46
2.7.3 Žilní návrat	47
2.7.4 Řízení krevního oběhu	48
2.7.5 Zvláštnosti průtoku krve v některých orgánech ..	49

3	Fyziologie dýchání	51
3.1	Úvod a význam dýchacích plynů	51
3.2	Dýchací cesty a obranné dýchací reflexy	52
3.3	Ventilace plic	53
3.4	Plicní objemy	54
3.5	Mechanika dýchání	55
3.6	Compliance (poddajnost) plic	57
3.7	Průtok krve plicemi	57
3.8	Difuze plynů v plicích	58
3.9	Transport dýchacích plynů krví	59
3.10	Regulace dýchání	60
3.11	Hypoxie	62
4	Metabolismus – přeměna látek a energií	65
4.1	Přehled a pojmy	65
4.2	Energetický ekvivalent	65
4.3	Osud energie v organismu	67
4.4	Přeměna látek	68
4.5	Funkce jater	73
5	Termoregulace	75
5.1	Stálá tělesná teplota	75
5.2	Tvorba tepla – termogeneze	76
5.3	Ztráty tepla – termolýza	77
5.4	Řízení tělesné teploty	79
6	Racionální výživa	81
6.1	Význam racionální výživy, základní pojmy	81
6.2	Bazální metabolismus	82
6.3	Význam jednotlivých živin v potravě	83
6.3.1	Sacharidy	83
6.3.2	Proteiny	84
6.3.3	Lipidy	85
6.3.4	Minerály a stopové prvky	86
6.3.5	Vitaminy	87
6.4	Poruchy výživy	89
6.5	Zásady racionální výživy	92

7	Funkce gastrointestinálního systému (GIT)	95
7.1	Úvod	95
7.2	Dutina ústní	95
7.3	Žaludek	97
7.4	Regulace sekrece a motility žaludku	99
7.5	Duodenum	101
7.6	Tenké střevo	102
7.7	Tlusté střevo	103
7.8	Defekace – vyprazdňování stolice	104
7.9	Vstřebávání jednotlivých živin v GIT	105
8	Fyziologie vylučování	107
8.1	Homeostáza a renální funkce	107
8.2	Pohyb některých látek v ledvinách	110
8.3	Močové cesty	114
9	Endokrinologie – fyziologie žláz s vnitřní sekrecí	117
9.1	Přehled a základní pojmy	117
9.2	Základní mechanismy působení hormonů	118
9.3	Štítná žláza (tyreoidea)	119
9.4	Příštitná tělíska	120
9.5	Inzulin	121
9.6	Glukagon	122
9.7	Kůra nadledvin	122
9.8	Dřeň nadledvin	124
9.9	Adenohypofýza (hypotalamus)	125
9.10	Neurohypofýza	126
9.11	Stres	127
10	Fyziologie rozmnožování	131
10.1	Úvod	131
10.2	Pohlavní vývoj	131
10.3	Mužský reprodukční systém	133
10.4	Ženský reprodukční systém	135
10.4.1	Menstruační cyklus	136
10.4.2	Pohlavní spojení	137
10.4.3	Těhotenství	138
10.4.4	Porod	139

10.4.5	Laktace	139
10.5	Postnatální péče – péče o potomstvo	140
11	Neurofyziologie	143
11.1	Vymezení pojmu	143
11.2	Neuron	143
11.3	Polarizace membrány	144
11.4	Synapse	145
11.5	Membrána nervové buňky	146
11.6	Vedení vzruchu	147
11.6.1	Přenos informací přes synapsi	148
11.6.2	Reflex	149
11.6.3	Podnět (stimulus)	150
11.7	Neuroglie	151
11.8	Vztahy mezi neurony	152
12	Fyziologie svalstva	155
12.1	Úvod	155
12.2	Příčně pruhovaná svalovina (kosterní)	155
12.2.1	Zevní projevy svalové kontrakce	157
12.2.2	Svalový tonus	158
12.3	Hladká svalovina	159
12.3.1	Zevní projevy aktivity hladké svaloviny	160
13	Motorické funkce	161
13.1	Motorika (hybnost)	161
13.2	Reflexní motorika – svalový tonus	161
13.2.1	Míšní reflexy	162
13.3	Retikulární formace	164
13.4	Význam mozečku	165
13.5	Volní motorika	166
13.5.1	Bazální ganglia	166
13.5.2	Talamus	167
13.5.3	Korový mozeček	167
13.5.4	Mozková kůra	168
13.5.5	Limbecký systém	169
13.5.6	Motorické funkce hlavových nervů	169

14	Fyziologie smyslů	171
14.1	Historie a základní pojmy	171
14.2	Čich	174
14.3	Chut'	175
14.4	Zrak	175
14.5	Sluch	181
14.6	Statokinetické čidlo	184
14.7	Kožní citlivost	185
14.8	Propriorecepce	187
15	Funkční stavy CNS, integrační funkce	189
15.1	Elektroencefalogram	189
15.2	Bdění a spánek	190
15.3	Biorytmy	193
15.4	Integrační funkce CNS	194
15.4.1	Motivace	194
15.4.2	Emoce	195
15.4.3	Paměť	195
15.4.4	Učení	198
15.4.5	Limbický systém	200
15.5	Specifické lidské vlastnosti vázané na CNS	202
15.6	Mozkomíšni mok	203
15.7	Hematoencefalická bariéra	203
15.8	Mozkový metabolismus	204
	Doporučená literatura	205
	Rejstřík	207

Předmluva

Téměř každý autor odborné monografie či vysokoškolské učebnice začíná předmluvu či úvod osvědčeným klišé – že totiž „vychází z potřeby“. Bohužel mě nenapadá nic jiného, a to z jednoduchého důvodu: je to totiž pravda. Během několikaletého přednášení fyziologie studujícím v bakalářském programu jsem zjistil, že spektrum učebních textů je silně omezeno nebo má nevhodnou skladbu. Fyziologie, i když zůstane vždy nosným oborem, představuje totiž něco analogického, jako je matematika či deskriptivní geometrie na gymnáziu. Učí souvislostem, učí kauzalitě, přináší do oboru celistvý pohled, učí propojovat vertikálně jednotlivé oblasti látky a především učí logice, protože její nejpodstatnější jádro tkví v regulačních mechanismech. Navíc, dnešní znalosti již umožňují podstatně více nahlédnout např. do funkcí nervového systému a dát tak pojímům, jako je paměť, emoce, motivace, řeč, myšlení mnohem konkrétnější formu, a zbavit tak tuto oblast balastu psychologizování, planého a diletantského filozofování a amatérizmu.

Tato učebnice je studujícím v bakalářském programu „šitá na tělo“ a je psána tak, aby jim přinesla vše podstatné a důležité, aby ukázala na vazbu s praxí. Studenti musejí nabyt přesvědčení, že studium fyziologie není studium teoretické, ale naopak nanejvýše reálné a bezpodmínečně nutné právě pro následující kliniku a praxi. Látka je v učebnici předkládána klasickým způsobem, tj., řazení jednotlivých kapitol odpovídá předkládání učiva (a problémů) od základního kamene (tekutiny, krev) k finálnímu (regulační mechanismy, analytické a syntetické aktivity mozku). Rozsah jednotlivých kapitol byl zvolen tak, aby pokryl a vysvětlil nejdůležitější fakta a souvislosti způsobem, který omezí memorování a spíše vybidne k aktivnímu přístupu k látce.

Bylo by šťastným závřením studia nikoliv jen nabytí nezbytných vědomostí a znalostí, ale i vznik úcty a pokory k tak složitému a současně odolnému ústrojenství, jako je naše tělo.

Studium má přinášet radost: velkou radost z poznání. Rigorózum není smyslem a účelem studia, je jen jeho doprovodným (byť nutným) fenoménem. Dnešní svět fandí lidem znalým. Parazitizmus v životě a samozřejmě i ve studiu je nejen nemorálnost, ale dokonce hloupost.

Necht' se vám daří!

*Praha, prosinec 2004
prof. MUDr. Jindřich Mourek, DrSc.*

Předmluva ke druhému vydání

Na rozdíl od člověka (a dalších tvorů i věcí), knížka umí – alespoň dočasně – mládnout. Dostáváte druhé vydání, které je „omlazeno“ o nová fakta, nové interpretace a pohledy. Prosím čtenáře, aby si byli vědomi toho, že ani autor nemůže překročit „svůj stín“, tj. míru znalostí k dnešnímu dni. Může se tedy velmi snadno stát, že za dva tři roky se objeví nejen nová fakta, ale i skutečnosti, které nebudou jen doplňovat a rozšiřovat, ale i opravovat(!).

Každé druhé vydání je pro autora učebnice či vědecké monografie velkou satisfakcí a radostí. Ta první kniha totiž nebyla napsána nadarmo.

V předmluvě k prvnímu vydání jsem všem studentům přál především radost z vlastního procesu poznávání. To platí od dob starých Řeků do dnešního dne a bude platit i v dalších staletích. Míra neznámého – a to myslím nyní právě fyziologii či medicínu a biologii obecně – je stále ještě větší než míra poznaného.

Praha, prosinec 2011
prof. MUDr. Jindřich Mourek, DrSc.

Seznam zkratek

AA	kyselina arachidonová
ACTH	adrenokortikotropní hormon
ADH	antidiuretický hormon
ADP	adenosin-difosfát (kyselina adenosin-difosforečná)
ATP	adenosin-trifosfát (kyselina adenosin-trifosforečná)
BM	bazální metabolismus
BMI	body mass index
cAMP	cyklický adenosin-monofosfát
CCK	cholecystokinin
cGMP	cyklický guanosin-monofosfát
ECT	extracelulární tekutina
EDRF	endothelium derived relaxing factor
EEG	elektroencefalografie
EKG	elektrokardiografie
EMG	elektromyografie
EPSP	excitační postsynaptický potenciál
ERV	expirační rezervní objem
FSH	folikuly stimulující hormon
GF	glomerulární filtrace
GH	growth hormone (růstový hormon)
GIP	gastric inhibitory peptid
GIT	gastrointestinální trakt
HEB	hematoencefalická bariéra
HDL	high density lipoproteins (lipoproteidy o vysoké hustotě)
HTK	hematokrit
ICT	intracelulární tekutina
Ig	imunoglobuliny
IPSP	inhibiční postsynaptický potenciál
IRV	inspirační rezervní objem
LDH	low density lipoproteins (lipoproteidy o nízké hustotě)
LH	luteinizační hormon
MSH	melanocyty stimulující hormon
MV	minutový objem
NEMK	neesterifikované mastné kyseliny
NK	natural killer

pasy	parasympatikus
PIH	prolaktin inhibitory hormon
PRL	prolaktin
PTH	parathormon
REM	rapid eye movement
RF	retikulární formace
RDS	respiratory distress syndrom
Rh	Rhesus factor
RV	reziduální objem
SAS	sympatoadrenální systém
SS	somatostatin
STH	somatotropní hormon (růstový)
SWS	slow wave sleep (spánek, charakterizovaný pomalými vlnami)
sy	sympatikus
T4	tyroxin
VIP	vazoaktivní intestinální peptid
VKP	vitální kapacita plic
VLDL	very low density lipoproteins (lipoproteidy o velmi nízké hustotě)
V/Q	ventilačně perfuzní kvocient

1 Tělní tekutiny

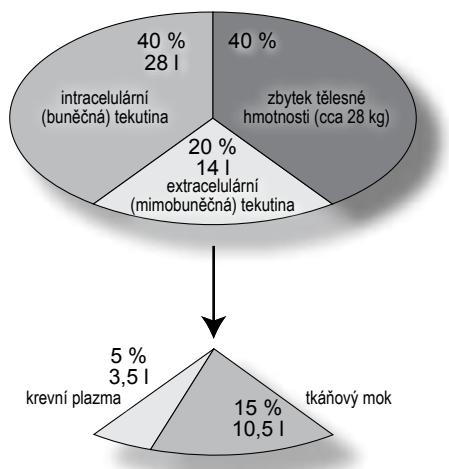
1.1 Úvod a historie

Existence savčí buňky, tkáně, orgánu a tím celého organismu je podmíněna především tzv. stabilitou vnitřního prostředí, přísunem živin a kyslíku a odváděním katabolitů (včetně CO_2). **Stálost vnitřního prostředí (homeostázu)** charakterizoval již v 19. století slavný francouzský fyziolog Claude Bernard jako stabilitu důležitých parametrů, jako je pH, teplota, osmolarita, objem tělesných tekutin, ale také stabilita pO_2 , pCO_2 a hladiny energetických substrátů, např. glukózy. Čím je organismus dokonalejší, tím je také stabilita vnitřního prostředí více kontrolována a regulována. Vnitřní prostředí v sobě tedy zahrnuje i přísun informačních molekul, např. hormonů.

Každá buňka v lidském těle je „obtékána“ tzv. intersticiální tekutinou (tkáňový mok) přinášející shora zmíněné živiny a udržující rovněž zmíněnou stabilitu vnitřního prostředí. Vysoká stabilita širokého spektra komponent vnitřního prostředí je např. naprosto nutná pro aktivitu takových orgánů, jako je mozek a srdeční sval.

1.2 Hlavní oddíly tělních tekutin

Význam tělních tekutin je pro homeostázu vlastně rozhodující. Je proto pochopitelné, že rozdělení tělesných tekutin v lidském těle je významné. Podíl vody na tělesné hmotnosti u dospělého muže vážícího 70 kg je 60 %, tj. 42 litrů. Nazývá se **celková tělesná voda (CTV)**. Tato voda se dále rozděluje na tekutinu v buňkách, tj. **intracelulární (ICT)**, která zaujímá 40 % tělesné hmotnosti, tj. 28 litrů, a na tekutinu mimo buňky, tj. **extracelulární (ECT)** s 20 % tělesné hmotnosti, tj. 14 litrů. Tato ECT se ještě rozděluje do dvou kompartmentů: na krevní plazmu, tj. tekutinu **intravaskulární** (5 % těl. hmot., tj. 3,5 litru), a tekutinu **extravaskulární**, tj. tkáňový mok (15 % těl. hmot., tj. 10,5 litru). Tyto hodnoty jsou ovšem typické pro dospělého muže. Ženy mají většinou podíl vody na tělesné hmotnosti o něco menší (asi o 10 %) než muži, vzhledem k tomu, že mají větší podíl tuku, který je hydrofobní. Rovněž



Obr. 1.1 Optické znázornění rozdělení tekutin v lidském organismu. Celková tělesná voda je u 70kg jedince (bez ohledu na pohlaví) asi 42 l, to je 60 % celkové tělesné hmotnosti.

novorozenci a kojenci vykazují rozdíly. Podíl CTV na tělesné hmotnosti je u nich až 77 % a z toho oddíl ECT je větší než ICT (ICT = 33 %, ECT = 44 %), což je opačné než u dospělého člověka. Rozdělení tekutin v těle znázorňuje obr. 1.1.

Převaha ECT nad ICT u novorozenců a kojenců vysvětluje velmi snadnou dehydrataci (ztrátu tekutin) u těchto dětí např. zvracením, průjmy či nedostatečným příjmem tekutin, což je spojeno s následným těžkým rozvratem vnitřního prostředí a může vést až ke smrti.

Kromě uvedených tekutin existuje ještě tzv. **transcelulární** tekutina, která vznikla na podkladě transportní a sekreční aktivity buněk. K transcelulární tekutině řadíme moč, žaludeční a střevní šťávu, žluč, sliny, komorovou vodu, endolymfu a perilymfu ve vnitřním uchu, synoviální tekutinu v kloubech a mozkomíšni mok.

Látkové složení tělních tekutin podmiňuje vznik osmotických sil, které mají rozhodující význam pro udržení objemu hlavních oddílů CTV.

(Osmolalita tělních tekutin je přibližně 290 mosmol/litr). Tělní tekutiny obsahují:

1. **nízkomolekulární organické látky** (močovina, glukóza, aminokyseliny),
2. **vysokomolekulární organické látky** (bílkoviny) s tzv. onkotickým tlakem (viz dále),
3. **anorganické látky (elektrolyty)** mající největší podíl na osmotické hodnotě tělních tekutin (Na, Cl, K, Ca, Mg, P).

1.3 Krev

Krev je hlavní součástí vnitřního prostředí organismu. Je to **suspenze buněčných elementů**, tj. krevních destiček, červených a bílých krvinek **v krevní plazmě**. Tvoří cca 7 % tělesné hmotnosti, tj. 4,5–5 litrů. Ženy mají o něco méně krve než muži, což je dáno opět větším podílem tukové tkáně u žen (na rozdíl od většího podílu svaloviny u mužů, která je metabolicky aktivnější než tuk).

Krevní plazma je nažloutlá kapalina, obsahující četné anorganické a organické látky. Hodnota pH plazmy (krve) je 7,4 a je poměrně velmi stabilní. Objem plazmy u dospělého člověka je cca 2,8 až 3,5 litrů. Hlavním anorganickým kationtem krevní plazmy je sodík (Na^+), dále draslík (K^+), vápník (Ca^{++}), hořčík (Mg^{++}) a anionty chloru (Cl^-) a bikarbonátu (HCO_3^-). Ze stopových prvků je důležité železo, jód a další (tab. 1.1).

Kalcium má mnohočetný význam. V plazmě je transportováno v několika formách. Je částečně vázáno na plazmatické bílkoviny a asi ve stejném množství je volné (difuzibilní) jako Ca^{2+} ionty, a tedy využitelné.

Z organických látek, které jsou obsaženy v krevní plazmě, jsou na prvním místě **plazmatické bílkoviny**. Jejich množství je 60–80 g/litr, v celé plazmě je jich tedy přibližně 200 g. Dělíme je na **albuminy**, **globuliny** a **fibrinogen**. Albuminy tvoří největší podíl plazmatických bílkovin, asi přes 40 g/l, globuliny celkem asi 26 g/l (z toho imunoglobuliny asi 15–16 g/l) a fibrinogen asi 4 g/l plazmy. Postupem času se ukázalo, že existuje mnoho dalších bílkovinných složek. Většina bílkovin, s výjimkou gama-globulinů (imunoglobulinů), se syntetizuje v játrech. Funkce plazmatických bílkovin můžeme schematicky shrnout do následujících bodů: