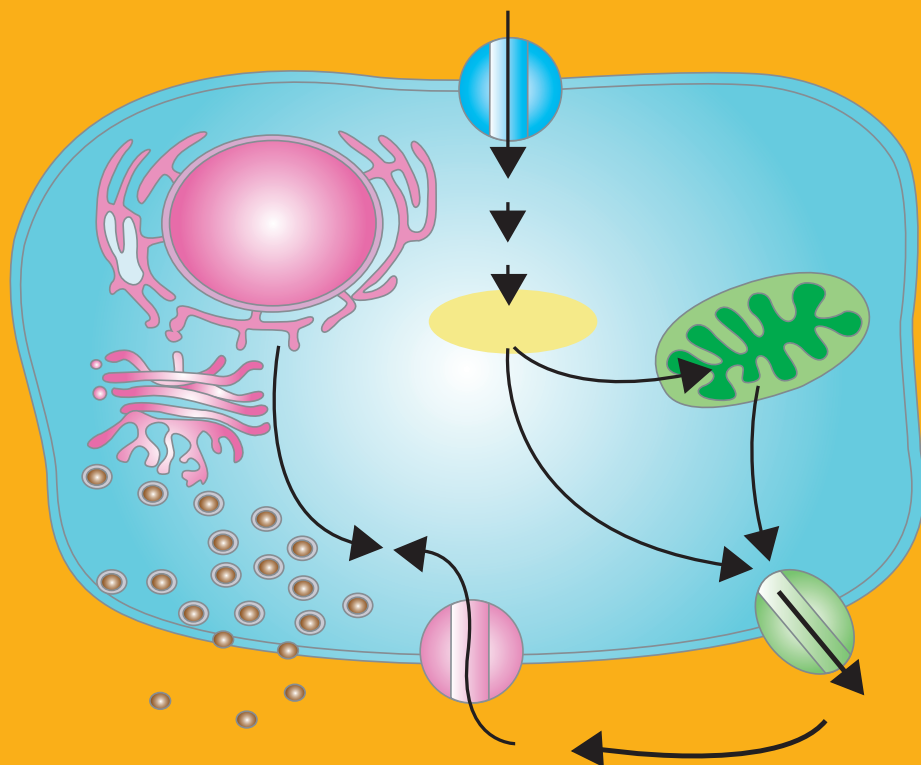


Otomar Kittnar a kolektiv

---

# Lékařská fyziologie

---





Otomar Kittnar a kolektiv

---

# Lékařská fyziologie

---

**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 **restně stíháno**.

**Prof. MUDr. Otomar Kittnar, CSc., MBA a kolektiv**

## LÉKAŘSKÁ FYZIOLOGIE

**Pořadatel díla:**

Prof. MUDr. Otomar Kittnar, CSc., MBA

**Autorský kolektiv:**

MUDr. Kateřina Jandová, PhD., prof. MUDr. Otomar Kittnar, CSc.,  
MUDr. Eduard Kuriščák, PhD., prof. MUDr. Miloš Langmeier, DrSc.,  
doc. MUDr. Dana Marešová, CSc., MUDr. Mikuláš Mlček, PhD.,  
prof. MUDr. Jaromír Mysliveček, PhD., prof. MUDr. Jaroslav Pokorný, DrSc.,  
MUDr. Vladimír Riljak, PhD., †prof. MUDr. Stanislav Trojan, DrSc.

**Pracoviště autorů:**

Univerzita Karlova v Praze, 1. lékařská fakulta, Fyziologický ústav

**Recenze:**

Prof. MUDr. Lubor Vokrouhlický, DrSc.

Prof. MUDr. Martin Vizek, CSc.

© Grada Publishing, a.s., 2011

Cover Design © Grada Publishing, a.s., 2011

Obrázek na obálce dle předlohy překreslil Mgr. Radek Krédl

Vydala Grada Publishing, a.s.

U Průhonu 22, Praha 7

jako svou 4251. publikaci

Odpovědný redaktor Mgr. Jan Lomíček, Ph.D.

Sazba a zlom Jan Šístek

Obrázky dle předloh autorů překreslili Mgr. Radek Krédl (kap. 1, 3, 4, 7, 14, 16 a 21)  
a Jana Řeháková, DiS. (kap. 13, 15 a 18), část obrázků převzata z publikace Miloš Langmeier  
a kol. *Základy lékařské fyziologie*

Schémata a podklady k obrázkům dodali autoři.

Počet stran 800 stran

1. vydání, Praha 2011

Dotisk 2015

Vytiskla tiskárna PBtisk s.r.o., Příbram

*Názvy produktů, firem apod. použité v této knize mohou být ochrannými známkami nebo registrovanými ochrannými známkami příslušných vlastníků, což není zvláštním způsobem vyznačeno. Postupy a příklady v knize, rovněž tak informace o lécích, jejich formách, dávkování a aplikaci jsou sestaveny s nejlepším vědomím autorů. Z jejich praktického uplatnění ale nevyplývají pro autory ani pro nakladatelství žádné právní důsledky.*

*Všechna práva vyhrazena. Tato kniha ani její část nesmějí být žádným způsobem reprodukovány, ukládány či rozšiřovány bez písemného souhlasu nakladatelství.*

ISBN 978-80-247-9528-7 (pdf)

ISBN 978-80-247-3068-4 (print)

# Obsah

<b>Předmluva</b> .....	<b>9</b>
<b>1 Fyziologické principy</b> ( <i>O. Kittnar, M. Langmeier, J. Mysliveček</i> ) .....	<b>11</b>
1.1 Uspořádání lidského těla .....	11
1.1.1 Buňka .....	11
1.1.2 Tkáň, orgán, orgánový systém .....	14
1.1.3 Vnitřní prostředí organismu .....	15
1.2 Homeostáza .....	18
1.2.1 Zpětné vazby .....	19
1.2.2 Regulační obvod .....	21
1.2.3 Ustálený stav .....	28
1.3 Fyziologie buňky .....	32
1.3.1 Buněčné jádro .....	32
1.3.2 Endoplazmatické retikulum .....	35
1.3.3 Golgiho aparát .....	36
1.3.4 Lyzozomy a peroxizomy .....	36
1.3.5 Mitochondrie .....	36
1.3.6 Cytoskelet .....	37
1.3.7 Buněčné membrány .....	38
1.4 Receptory .....	41
1.4.1 Rozdělení receptorů .....	41
1.4.2 Receptory cytoplazmatické .....	41
1.4.3 Receptory membránové .....	44
1.4.4 Přehled interakce některých signálních molekul s receptory .....	50
1.4.5 Receptorové regulace .....	51
1.5 Celulární transportní systémy .....	54
1.6 Vývoj a obnova tkání .....	59
<b>2 Obecná neurofyziologie</b> ( <i>M. Langmeier</i> ) .....	<b>67</b>
2.1 Reflex .....	67
2.2 Neuron .....	68
2.2.1 Membrána neuronu .....	69
2.2.2 Synapse .....	76
2.2.3 Mediátory .....	79
2.2.4 Nervově-svalová ploténka .....	81
2.2.5 Vzájemné vztahy mezi neurony .....	82
2.2.6 Mediátorové systémy .....	85
2.2.7 Wallerova degenerace a regenerace .....	87
2.3 Neuroglie .....	88
2.3.1 Ependymové buňky .....	88
2.3.2 Astrocyty .....	88
2.3.3 Oligodendroglie .....	88
2.3.4 Mikroglie .....	88
2.3.5 Schwannovy buňky .....	89
2.3.6 Satelitní buňky .....	89
2.3.7 Regulace extracelulární koncentrace kalia .....	89
<b>3 Fyziologie svalstva</b> ( <i>E. Kuriščák</i> ) .....	<b>91</b>
3.1 Fyziologie kosterní svaloviny .....	91
3.1.1 Makrostruktura kosterní svaloviny .....	91

3.1.2	Mikrostruktura kosterní svaloviny	93
3.1.3	Molekulární struktura kontraktilního aparátu	95
3.1.4	Molekulární podstata kontrakce	96
3.1.5	Spřažení kontrakce a excitace	97
3.1.6	Nervově-svalová ploténka	99
3.1.7	Motorická jednotka, motorická inervace	101
3.1.8	Zevní projevy svalové činnosti	103
3.1.9	Mechanické vlastnosti kontrakce celého svalu	105
3.1.10	Síla kosterního svalu a mechanika pohybu	108
3.1.11	Energetika svalové kontrakce	109
3.1.12	Efektivita svalové kontrakce	110
3.1.13	Svalová únava	111
3.1.14	Životní cyklus svalové tkáně	112
3.1.15	Elektromyografie	112
3.2	Hladký sval	113
3.2.1	Struktura hladké svaloviny	113
3.2.2	Kontraktilní mechanismus	114
3.2.3	Řízení kontrakce hladkého svalu	115
3.2.4	Propojení excitace a kontrakce	117
<b>4</b>	<b>Fyziologie krve (V. Riljak)</b>	<b>121</b>
4.1	Obecné vlastnosti krve	121
4.2	Krevní plazma	121
4.2.1	Anorganické složky krevní plazmy	121
4.2.2	Organické složky krevní plazmy	124
4.3	Červené krvinky (erytrocyty, červená krevní tělíska, red blood cells)	128
4.3.1	Morfologie červené krvinky	128
4.3.2	Membrána červených krvinek	129
4.3.3	Kvantitativní parametry červených krvinek	130
4.3.4	Hemoglobin	131
4.3.5	Transport kyslíku	132
4.3.6	Transport oxidu uhličitého	136
4.3.7	Metabolizmus červených krvinek a řízení jejich tvorby	139
4.3.8	Metabolizmus železa a jeho význam pro červené krvinky	139
4.3.9	Zánik červených krvinek	140
4.3.10	Krevní skupiny	141
4.4	Bílé krvinky	144
4.4.1	Granulocyty	144
4.4.2	Agranulocyty	145
4.5	Krevní destičky	145
4.6	Hemostáza – zástava krvácení	146
4.6.1	Vazokonstrikce	146
4.6.2	Reakce destiček	148
4.6.3	Hemokoagulace	148
4.6.4	Odstraňování krevního trombu	153
4.7	Fyziologie sleziny	154
4.7.1	Produkce, uchovávání a destrukce krevních elementů	154
4.7.2	Úloha sleziny v imunitní obraně organismu	154
<b>5</b>	<b>Fyziologie krevního oběhu (O. Kittnar)</b>	<b>155</b>
5.1	Funkční organizace srdečně-cévního systému	155
5.1.1	Transportní systémy ve fylogenetickém pohledu	155
5.1.2	Funkční anatomie lidského krevního oběhu	158
5.1.3	Funkční morfologie srdce	159
5.1.4	Přehled funkční morfologie cév	161

5.1.5	Rozložení krve v krevním oběhu	165
5.1.6	Odpor v krevním oběhu	166
5.2	Hemodynamika krevního oběhu	166
5.2.1	Vztah průtoku krve, tlaku krve a periferního odporu	167
5.2.2	Proudění krve	170
5.2.3	Viskozita krve	171
5.3	Obecné uspořádání systémového oběhu	172
5.4	Řídící mechanismy srdečně-cévního systému	173
5.4.1	Místní regulační mechanismy	175
5.4.2	Celkové regulační mechanismy	177
5.4.3	Centra řízení krevního oběhu	186
5.4.4	Interakce místních a celkových regulačních mechanismů	186
5.5	Mechanismy řízení činnosti srdce	188
5.5.1	Minutový srdeční výdej	188
5.5.2	Řízení srdeční frekvence	190
5.5.3	Řízení tepového objemu	205
5.6	Arteriální část systémového krevního řečiště	223
5.6.1	Tok krve v tepnách	223
5.6.2	Tlak krve v tepnách	226
5.7	Mikrocirkulace	228
5.7.1	Rozsah plochy určené výměně látek mezi krví a tkáněmi	230
5.7.2	Tvorba tkáňového moku	230
5.8	Lymfatický systém	233
5.9	Venózní část systémového oběhu	234
5.9.1	Tlak krve v žilách	234
5.9.2	Tok krve v žilách	234
5.10	Zvláštnosti průtoku krve v některých orgánech	237
5.10.1	Plicní cirkulace	237
5.10.2	Koronární cirkulace	239
5.10.3	Mozková cirkulace	241
5.10.4	Oběh krve ledvinami	242
5.10.5	Oběh krve splachnikem	242
5.10.6	Oběh krve kosterním svalstvem	244
5.10.7	Oběh krve kůží	244
5.10.8	Fetální cirkulace	246
5.11	Zevní projevy srdeční činnosti	246
5.11.1	Srdeční ozvy	247
5.11.2	Arteriální pulz a venózní pulz	249
5.11.3	Úder srdečního hrotu	249
5.11.4	Echokardiografie	249
5.11.5	Elektrokardiogram	250
<b>6</b>	<b>Fyziologie dýchání (M. Mlček)</b>	<b>263</b>
6.1	Úvod	263
6.2	Respirace v kostce	264
6.3	Pojmy a principy	268
6.3.1	Dýchací plyny a vzduch	268
6.3.2	Atmosférický vzduch	269
6.3.3	Fyzikální podstata dýchání	271
6.3.4	Množství plynu a standardní podmínky	273
6.3.5	Základní objemy, spirometrie	273
6.3.6	Zkratky a symboly	276
6.4	Zevní dýchání	277
6.4.1	Ventilace	277

6.4.2	Distribuce a dýchací cesty	289
6.4.3	Perfuze a plicní cévní řečiště	291
6.4.4	Plicní difuze	294
6.5	Transport plynů krví, zásobování tkání	297
6.5.1	Transport kyslíku	297
6.5.2	Transport CO <sub>2</sub>	300
6.5.3	Zásobování tkání při změnách metabolismu	302
6.6	Respirace a acidobazická rovnováha	304
6.7	Imunitní dohled v dýchacím traktu	307
6.8	Regulace dýchání	309
<b>7</b>	<b>Fyziologie trávení a vstřebávání (K. Jandová, V. Riljak, J. Pokorný)</b>	<b>315</b>
7.1	Sekrece	315
7.1.1	Sekrece slin	316
7.1.2	Žaludeční sekrece	320
7.1.3	Pankreatická šťáva	327
7.1.4	Žluč	334
7.1.5	Střevní šťáva	339
7.1.6	Sekrece v tlustém střevě	340
7.2	Trávení a vstřebávání	340
7.2.1	Trávení sacharidů	342
7.2.2	Vstřebávání sacharidů	343
7.2.3	Trávení tuků	344
7.2.4	Vstřebávání tuků	345
7.2.5	Trávení proteinů	345
7.2.6	Vstřebávání proteinů	347
7.2.7	Vstřebávání vody a elektrolytů	347
7.2.8	Vstřebávání vitaminů a minerálů	348
7.3	Motilita zažívacího traktu	349
7.3.1	Funkční morfologie svaloviny zažívacího traktu	350
7.3.2	Druhy pohybů gastrointestinálního traktu	351
7.3.3	Peristaltická vlna	352
7.3.4	Bazální elektrická aktivita	352
7.3.5	Migrující motorický komplex	354
7.3.6	Význam a funkce svěračů trávicí trubice	354
7.3.7	Polykání	354
7.3.8	Motilita jícnu	355
7.3.9	Motilita žaludku	357
7.3.10	Zvracení	358
7.3.11	Motilita tenkého střeva	358
7.3.12	Motilita tlustého střeva	359
7.4	Vylučování	359
7.5	Imunitní systém trávicího traktu	360
7.6	Řízení funkcí trávicího traktu	361
7.6.1	Neuronální řízení	362
7.6.2	Humorální řízení	364
7.7	Skladování potravy	368
7.8	Činnost jednotlivých oddílů trávicího traktu	369
7.8.1	Dutina ústní	369
7.8.2	Hltan, jícen	369
7.8.3	Žaludek	369
7.8.4	Duodenum a tenké střevo	370
7.8.5	Tlusté střevo	370
7.8.6	Stolice	370



7.8.7	Bakterie v tračníku	371
7.8.8	Střevní plyny	371
7.9	Zvláštnosti krevního oběhu v trávicí trubici	371
7.10	Játra	372
<b>8</b>	<b>Fyziologie vylučování (O. Kittnar)</b>	<b>377</b>
8.1	Význam a funkce vylučovacího systému	377
8.1.1	Vylučovací systém ve fylogenetickém pohledu	377
8.1.2	Základní úkoly vylučovací soustavy	379
8.2	Funkční morfologie ledvin	383
8.2.1	Funkční anatomie ledvin	383
8.2.2	Renální cirkulace	383
8.2.3	Funkční histologie ledvin	385
8.2.4	Inervace ledvin	387
8.3	Základní procesy tvorby moči	388
8.3.1	Glomerulární filtrace	389
8.3.2	Tubulární procesy	396
8.4	Regulační funkce ledvin	418
8.4.1	Tělesné tekutiny	418
8.5	Vývodné cesty močové	441
8.5.1	Funkce horních močových cest	442
8.5.2	Funkce dolních močových cest	442
8.5.3	Definitivní moč a její vlastnosti	443
8.6	Základní funkční vyšetření ledvin	447
8.6.1	Hodnocení velikosti glomerulární filtrace (GFR)	449
8.6.2	Hodnocení průtoku plazmy ledvinou (RPF)	450
8.6.3	Vyšetření koncentrační schopnosti ledvin	453
8.6.4	Vyšetření acidifikační schopnosti ledvin	453
<b>9</b>	<b>Řízení metabolických pochodů v organismu (O. Kittnar)</b>	<b>455</b>
9.1	Klasifikace metabolických reakcí	455
9.2	Řízení chemických reakcí	455
9.3	Řízení metabolických reakcí	460
9.3.1	Období zpracování přijaté potravy	460
9.3.2	Období spotřeby zásob	461
9.4	Energetická bilance organismu	470
<b>10</b>	<b>Fyziologie kůže (J. Pokorný)</b>	<b>473</b>
10.1	Stavba kůže	473
10.2	Funkce kůže	476
<b>11</b>	<b>Termoregulace (J. Pokorný)</b>	<b>477</b>
11.1	Výkyvy tělesné teploty	477
11.2	Systém izolace těla	477
11.3	Výměna tepla s prostředím v povrchních vrstvách těla	478
11.4	Termoregulační mechanismy	479
11.5	Řízení tělesné teploty	481
11.5.1	Termoreceptory	481
11.5.2	Hypotalamická řídicí centra (termostat)	481
11.5.3	Termoregulační efektorové mechanismy	481
11.6	Horečka	482
<b>12</b>	<b>Acidobazická rovnováha (O. Kittnar)</b>	<b>485</b>
12.1	Pufrovací systémy	486
12.2	Respirační kompenzace	488
12.3	Renální kompenzace	490

<b>13 Fyziologie žláz s vnitřní sekrecí (D. Marešová)</b>	<b>495</b>
13.1 Obecné mechanizmy humorálních regulací	495
13.1.1 Principy řízení	497
13.1.2 Rozdělení hormonů	498
13.1.3 Tvorba hormonů	499
13.1.4 Receptory	503
13.1.5 Nástup a trvání účinků hormonu	506
13.1.6 Ukončení působení hormonů	506
13.2 Produkce hormonů periferními endokrinními žlázami – hypotalamo-hypofyzární systém	506
13.2.1 Adenohypofýza	508
13.2.2 Neurohypofýza	508
13.2.3 Periferní žlázy řízené hypotalamo-hypofyzární osou	512
13.3 Produkce hormonů endokrinními žlázami – řízení jednoduchou zpětnou vazbou	526
13.3.1 Langerhansovy ostrůvky	526
13.3.2 Řízení kalciofosfátového metabolismu	531
13.4 Nervově řízené uvolňování hormonů	536
13.5 Produkce hormonů neendokrinními typy buněk (tkáňové hormony)	538
13.5.1 Gastrointestinální systém	538
13.5.2 Tuková tkáň	538
13.5.3 Mozek	540
<b>14 Fyziologie reprodukčního systému (D. Marešová, O. Kittnar)</b>	<b>543</b>
14.1 Pohlavní diferenciacce	543
14.2 Reprodukční systém muže	545
14.2.1 Tvorba pohlavních buněk – spermatogeneze	545
14.2.2 Sertoliho buňky	547
14.2.3 Produkce pohlavních hormonů – steroidogeneze	548
14.2.4 Biologické účinky androgenů	550
14.2.5 Spermie	551
14.2.6 Ejakulát	552
14.2.7 Pohlavní spojení	552
14.3 Reprodukční systém ženy	553
14.3.1 Vývoj gonád	553
14.3.2 Produkce pohlavních hormonů	557
14.3.3 Ovariální cyklus	559
14.3.4 Děložní cyklus	561
14.3.5 Pohlavní spojení	561
14.4 Těhotenství	561
14.4.1 Placenta	563
14.4.2 Porod	565
14.4.3 Změny u žen během těhotenství	566
14.4.4 Změny v organismu plodu	568
14.5 Úvod do fyziologie novorozence	569
14.6 Sexuální chování	570
14.6.1 Sexuální identifikace	570
14.6.2 Sexuální orientace	570
14.6.3 Sexuální emoce	570
<b>15 Fyziologie centrální nervové soustavy (CNS) (M. Langmeier, D. Marešová, J. Pokorný)</b>	<b>573</b>
15.1 Organizace a funkce CNS	573
15.1.1 Vlastnosti CNS	573
15.1.2 Vývoj CNS	574

15.2	Vnitřní prostředí CNS	577
15.2.1	Hematoencefalická bariéra	577
15.2.2	Mozkomíšňní mok (cerebrospínální tekutina, likvor)	583
15.2.3	Extracelulární prostor CNS	587
15.2.4	Neuroglie	587
15.2.5	Regulace extracelulární koncentrace kalía	589
15.3	Biologické rytmy	591
15.3.1	Rozdělení biorytmů	591
15.3.2	Nervová složka biorytmů	592
15.3.3	Humorální složka biorytmů	595
15.4	Integrační funkce centrálního nervového systému	597
15.4.1	Páteřní mícha	598
15.4.2	Mozkový kmen a mezimozek	598
15.4.3	Limbický systém	600
15.4.4	Mozková kůra	601
15.5	Fyziologie chování a paměti	603
15.5.1	Mechanismy řídící chování na základě vrozených informací	604
15.5.2	Mechanismy řídící chování na základě získaných informací	605
15.5.3	Neuronální mechanismy učení a paměti	611
15.5.4	Specifické rysy nervové činnosti u člověka	612
<b>16</b>	<b>Senzorický nervový systém (J. Pokorný)</b>	<b>615</b>
16.1	Receptory a senzorické systémy	615
16.2	Buněčné mechanismy senzorických funkcí	616
16.3	Rozdělení receptorů	618
16.3.1	Fotoreceptory	619
16.3.2	Mechanoreceptory	622
16.3.3	Chemoreceptory	623
16.3.4	Termoreceptory	624
16.3.5	Receptory bolesti (nociceptory)	624
16.4	Vnímání vlastního těla	625
16.4.1	Kožní čítí	627
16.4.2	Bolest	631
16.4.3	Vnímání polohy a pohybu	635
16.5	Zrak	641
16.5.1	Optický aparát oka	641
16.5.2	Sítnice	643
16.5.3	Přenos a zpracování zrakové informace	643
16.5.4	Přídátné orgány oka	650
16.6	Sluch	651
16.6.1	Funkce zevního a středního ucha	651
16.6.2	Funkce vnitřního ucha	652
16.6.3	Přenos a zpracování sluchové informace	654
16.7	Chuť a čich	655
16.7.1	Chuť	655
16.7.2	Čich	658
<b>17</b>	<b>Motorický nervový systém (M. Langmeier, S. Trojan)</b>	<b>661</b>
17.1	Spinální mícha	662
17.1.1	Monosynaptické reflexy	663
17.1.2	Polysynaptické reflexy	669
17.1.3	Míšňní šok	672
17.2	Mozkový kmen	672
17.2.1	Prodloužená mícha	672
17.2.2	Varolův most	672

17.2.3	Střední mozek	673
17.3	Mozeček	678
17.4	Bazální ganglia	681
17.5	Mozková kůra	683
<b>18</b>	<b>Vegetativní nervový systém (J. Mysliveček)</b>	<b>687</b>
18.1	Autonomní ústředí	687
18.1.1	Mozkový kmen	687
18.1.2	Hypotalamus	688
18.2	Periferní oddíly	701
18.2.1	Oddíly autonomního nervového systému	703
18.2.2	Sympatikus	703
18.2.3	Parasympatikus	704
18.3	Neurochemie autonomního nervového systému	704
18.4	Enterický nervový systém	709
<b>19</b>	<b>Fyziologie tělesné zátěže (O. Kittnar)</b>	<b>713</b>
19.1	Rezervy organismu pro pracující svaly	714
19.2	Začátek svalového výkonu	714
19.2.1	Reakce oběhového systému a energetické zdroje	716
19.2.2	Reakce dýchacího systému	718
19.2.3	Vliv trénovanosti	720
19.2.4	Reakce termoregulačních mechanismů	722
19.3	Tělesná zátěž ve fázi ustáleného stavu	724
19.3.1	Řízení energetického metabolismu	724
19.3.2	Kardiovaskulární systém během ustáleného stavu	725
19.3.3	Respirační systém během ustáleného stavu tělesné zátěže	726
19.3.4	Termoregulační mechanismy během ustáleného stavu tělesné zátěže	728
19.4	Konec ustáleného stavu	728
19.5	Únava	731
19.6	Pozátěžový stav	732
<b>20</b>	<b>Fyziologie imunitního systému (O. Kittnar)</b>	<b>733</b>
20.1	Funkční morfolgie imunitního systému	733
20.1.1	Leukocyty	733
20.1.2	Lymfatické tkáně	734
20.2	Imunitní odpověď	734
20.2.1	Nespecifická imunita	735
20.2.2	Specifická imunita	741
<b>21</b>	<b>Fyziologie životního cyklu (M. Langmeier)</b>	<b>747</b>
21.1	Ontogeneze	747
21.1.1	Ontogeneze nervové buňky	748
21.1.2	Ontogeneze synapse	750
21.1.3	Ontogeneze hematoencefalické bariéry	750
21.1.4	Ontogeneze periferního nervu	751
21.1.5	Ontogeneze motorických funkcí	751
21.1.6	Ontogeneze sensorických funkcí	754
21.2	Stárnutí	757
21.2.1	Stárnutí nervového systému	758
21.2.2	Stárnutí pohybového aparátu	759
21.2.3	Stárnutí transportního systému	759
	<b>Seznam zkratk a značek</b>	<b>761</b>
	<b>Rejstřík</b>	<b>767</b>

## Předmluva

Fyziologie člověka je jedním ze základních lékařských oborů a jako věda zabývající se funkcemi lidského organismu vychází jednak z přirozené potřeby každého myslícího člověka pochopit alespoň základně pochody ve vlastním těle a jednak z potřeby přírodních věd popsat co nejpřesněji podstatu pochodů, které život jedince zajišťují.

Definovat fyziologii jako vědní obor je relativně snadné, obtížnější už je ji poznat, vymezit a porozumět jí. Definice fyziologie je totiž velmi jednoduchá a srozumitelná: zjednodušeně lze říci, že fyziologie člověka je nauka, jejímž cílem je vysvětlit fungování lidského organismu. Na rozdíl od definice je však, podobně jako je tomu i u jiných lékařských oborů, velmi obtížné jednoznačně vymezit skutečnou náplň fyziologie člověka. Hranice mezi fyziologií a řadou dalších biomedicínských věd jako biochemií, molekulární biologii, genetikou, imunologií, biofyzikou atd. je přinejmenším neztřetelná. Pokud tedy pojmem fyziologii jako jednu z metod poznání v biomedicínských vědách, pak ji spíše chápeme jako integrující vysvětlení biochemických, fyzikálních a biologických principů jednotlivých dějů v organismu. Lékařská fyziologie je pak ta část fyziologie člověka, která se zaměřuje na pochopení a výklad funkcí organismu a jeho částí z pohledu lékařství – vybírá a zdůrazňuje tedy ty funkce a pochody lidského těla, jejichž poznání je podstatné pro porozumění dalším preklinickým a klinickým oborům.

Obtížnost fyziologie spočívá především ve skutečnosti, že popis jednotlivých dějů a pochodů na celulární a molekulární úrovni sice vede k pochopení jejich základní podstaty, často ale vede ke ztrátě vnímání jejich úlohy z „nadhledu“ celého organismu. Proto je třeba stále vidět za všemi procesy, které v těle probíhají, jejich smysl v kontextu fungování celého organismu. Tyto procesy v jednotlivých buňkách a tkáních totiž nejsou samoučelné – jejich cílem je především zajistit sobě, ale hlavně ostatním buňkám a tkáním takové podmínky, aby mohly přežívat jak za aktuálních (a někdy i extrémních) podmínek, tak i dlouhodobě, a to nejen z pohledu jedince, ale i celého lidského rodu. To samozřejmě vyžaduje velmi pečlivou a přesnou koordinaci všech pochodů v těle.

Studium fyziologie nevede pouze k odpovědím na otázky, jak tyto pochody probíhají a jak jsou řízeny. Mělo by zájemcům o obor také odhalit, že ne vše je již známo a že studium tak zůstává „nikdy nekončícím příběhem“, který by měl probouzet a rozšiřovat vědecké zájmy studentů a otevírat jim nové pohledy na lidský organismus i podstatu dějů, které v něm probíhají.

Byli bychom proto rádi, kdyby tato kniha sloužila ne jako suchý učební text, který je třeba vstřebat, ale především jako inspirace k hlubšímu zamyšlení nad povahou procesů, které v lidském těle probíhají, nad jejich podstatou a důsledky a také nad způsobem, jakým jsou řízeny.

*Praha, leden 2010*  
autoři



# 1 Fyziologické principy

*Otomar Kittnar, Miloš Langmeier, Jaromír Mysliveček*

## 1.1 Uspořádání lidského těla

Lidský organizmus má neuvěřitelně komplexní a důmyslnou strukturu počínaje umístěním jednotlivých orgánů či tkání a konče chemickým složením buněčných organel. Tato mimořádná složitost však přestává být nepochopitelnou, jestliže si uvědomíme funkční vztahy mezi jednotlivými strukturami. V tom okamžiku se totiž představí lidské tělo v logických souvislostech interakcí vedoucích k udržení celistvosti a životaschopnosti všech struktur od buněčných organel až po celý organizmus.

Můžeme si pro názorný příklad představit činnost v našem životě zcela běžnou – chůzi. Fázické svaly dolních končetin a pletence pánevního zajišťují svými rytmickými kontrakcemi pohyb, jehož rozsah a možnosti jsou dány skeletem a vlastnostmi kloubů zúčastněných na pohybu. Tonické svaly trupu a fázické svaly horních končetin pak pomáhají udržet vzpřímenou polohu a rovnováhu. Svaly ovšem pro svoji činnost nutně potřebují energii. Tu získávají v pochodech buněčného metabolismu, při kterých se spotřebovává kyslík a živiny. Ty se do svalů dostávají díky krevnímu oběhu, který obsahuje tekutinu – krev, jež je mimo jiných funkcí vhodně uzpůsobena pro transport látek. Transport kyslíku je zajišťován červenými krvinkami obsahujícími látku specializovanou pro tuto funkci – hemoglobin. Aby se ale červené krvinky obsahující kyslík a plazma s živinami dostaly k pracujícím svalům, musí rytmicky pracovat srdce, a aby byl kyslík v krevním oběhu neustále doplňován, musí se v plicích procesem dýchání neustále obnovovat vzduch. Živiny se do krevního oběhu dostávají jednak z vlastních zásob a jednak z potravy, kterou však musí pro tyto účely zpracovat a upravit zažívací ústrojí. Toto vše ale musí probíhat v relativně velmi stálých fyzikálních i chemických podmínkách vnitřního prostředí, o což se mimo jiné starají kůže, ledviny a imunitní systém. A konečně celý tento proces musí být mimořádně pečlivě řízen, koordinován a uzpůsoben okamžitým podmínkám vnějšího a vnitřního prostředí. O to se starají nervový a endokrinní systém.

Z uvedeného příkladu je zřejmé, že přestože každá tkáň vykonává své vlastní specifické funkce, jsou ve skutečnosti všechny tyto funkce logicky propojeny a řízeny tak, aby v konečném výsledku splnily společný úkol.

### 1.1.1 Buňka

Základní stavební jednotkou každého živého organismu je buňka. Tuto skutečnost formuloval jako první významný český fyziolog **Jan Evangelista Purkyně** (1787–1869) a tento svůj snad nejvýznamnější objev prezentoval na sjezdu německých přírodovědců a lékařů v pražském Karolinu roku 1837.

V lidském těle je dohromady více než 200 různých druhů buněk, pokud však pomineme histologickou podobu nebo embryologický původ, pak z čistě funkčního hlediska máme ve svém organismu pouze 5 základních typů buněk:

- nervové buňky,
- svalové buňky,
- epitelové buňky,
- buňky pojivových tkání,
- krevní elementy.

**Neurony** jsou specializovány na získávání, přenos, zpracovávání a ukládání informací. Základní formou informace v nervovém systému je elektrický signál. Některé neurony se specializují na získávání informací o vlastnostech našeho vnějšího i vnitřního prostředí, jejich zakódování do podoby elektrických signálů a přenos do integračních center. Jiné neurony naopak přenášejí informaci z integračních center do orgánů a tkání lidského těla a řídí tak jejich činnost. Integrační centra (centrální nervový systém) pak veškeré informace zpracovávají, podle potřeby je ukládají a vypracovávají plán reakce organismu na získané informace včetně programu jeho realizace.

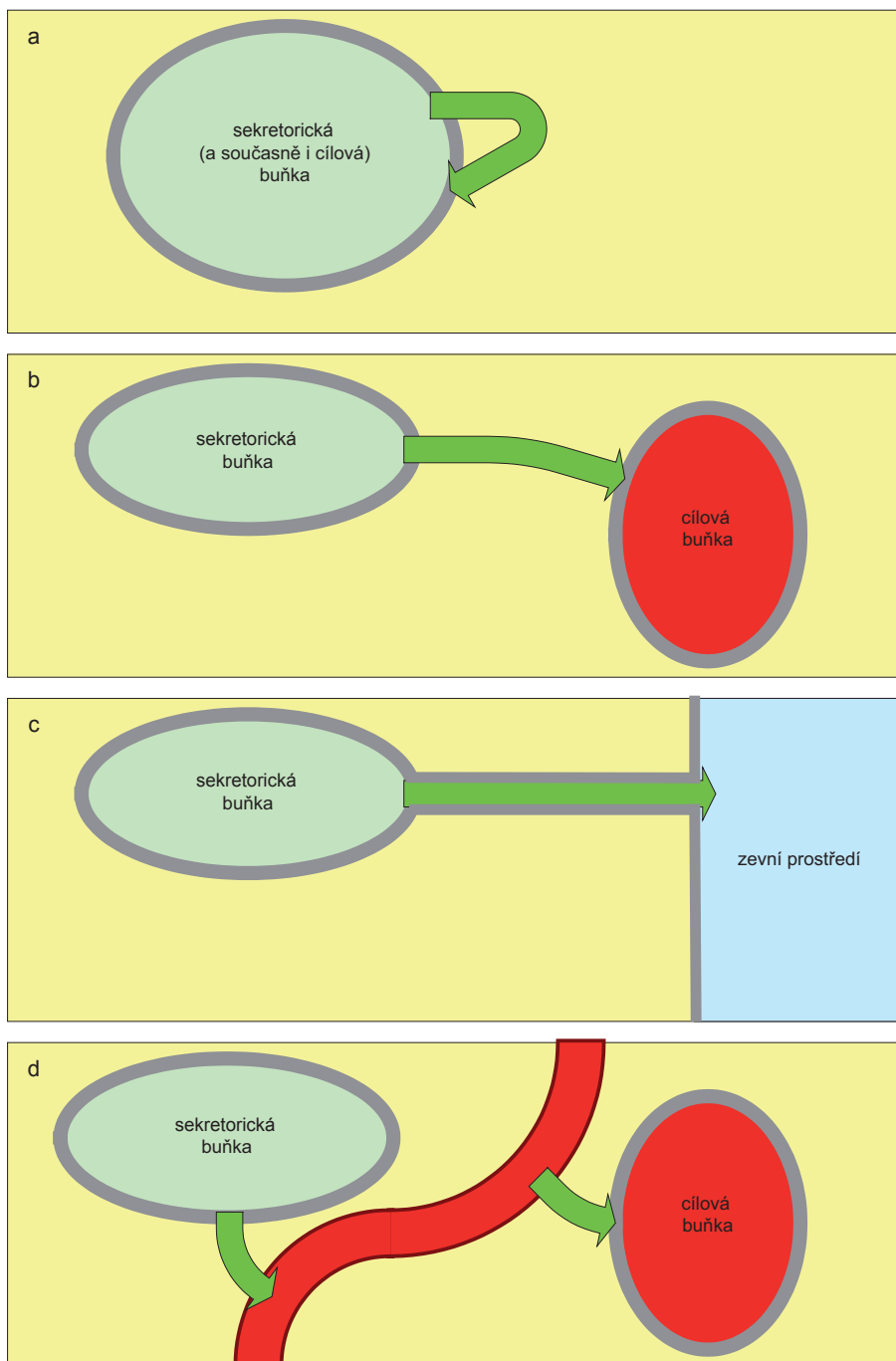
**Svalové buňky** jsou stejně jako neurony dráždivými buňkami, to znamená, že jsou schopny odpovědět na adekvátní podnět elektrickým signálem. Navíc jsou však na rozdíl od neuronů také stažlivými buňkami, tedy buňkami schopnými kontrakce. Jsou proto specializovány na generování mechanické síly a pohybu. Buňky kosterního svalu jsou pod volní kontrolou, zatímco buňky hladkých svalů a buňky srdečního svalu pod volní kontrolou nejsou.

**Epitelové buňky** vytvářejí souvislé plochy sestávající z jedné nebo více buněčných vrstev na tzv. bazální membráně. Jejich úkolem je vytvářet bariéry mezi intersticiální tekutinou (tkáňovým mokem) a buď okolním prostředím, nebo obsahem dutých orgánů (např. krevních cév, močového měchýře, střeva, ledvinných tubulů apod.), a tak pomáhají udržet rozdílné chemické a/nebo fyzikální vlastnosti takto oddělených prostředí. Řada z nich se proto specializuje také na transport různých látek (iontů, vody, organických molekul) z jedné strany epitelové bariéry na druhou. Některé epitelové buňky vytvářejí žlázy (obr. 1.1), které pak syntetizují a secernují látky buď do zevního prostředí (exokrinní žlázy), nebo do vnitřního prostředí (endokrinní, parakrinní a autokrinní žlázy).

**Buňky pojivových tkání** (např. osteocyty, chondrocyty, fibrocyty nebo adipocyty) vytvářejí tkáň, které slouží jako opěrné a zpevňující struktury (např. kosti, chrupavky, bazální membrány apod.), spojují různé orgány a tkáň (např. šlachy a vazy) nebo představují tepelnou či mechanickou izolaci a současně zásobárnu energie (tuková tkáň). Pro většinu z těchto tkání jsou proto důležité jejich mechanické vlastnosti, které jsou určovány složením mezibuněčné hmoty obklopující buňky a obsahem vláknitých proteinů (elastinu a kolagenu) v této hmotě.

**Krevní elementy** mají různé specializace. Leukocyty jsou specializovány na zprostředkování imunitní odpovědi organismu na cizorodé materiály a mikroorganismy. Erytrocyty (bezjaderné buňky) transportují v těle kyslík a částečně také oxid uhličitý. Trombocyty (v podstatě úlomky „mateřské“ buňky) se pak významnou měrou podílejí na pochodech vedoucích k zástavě krvácení.



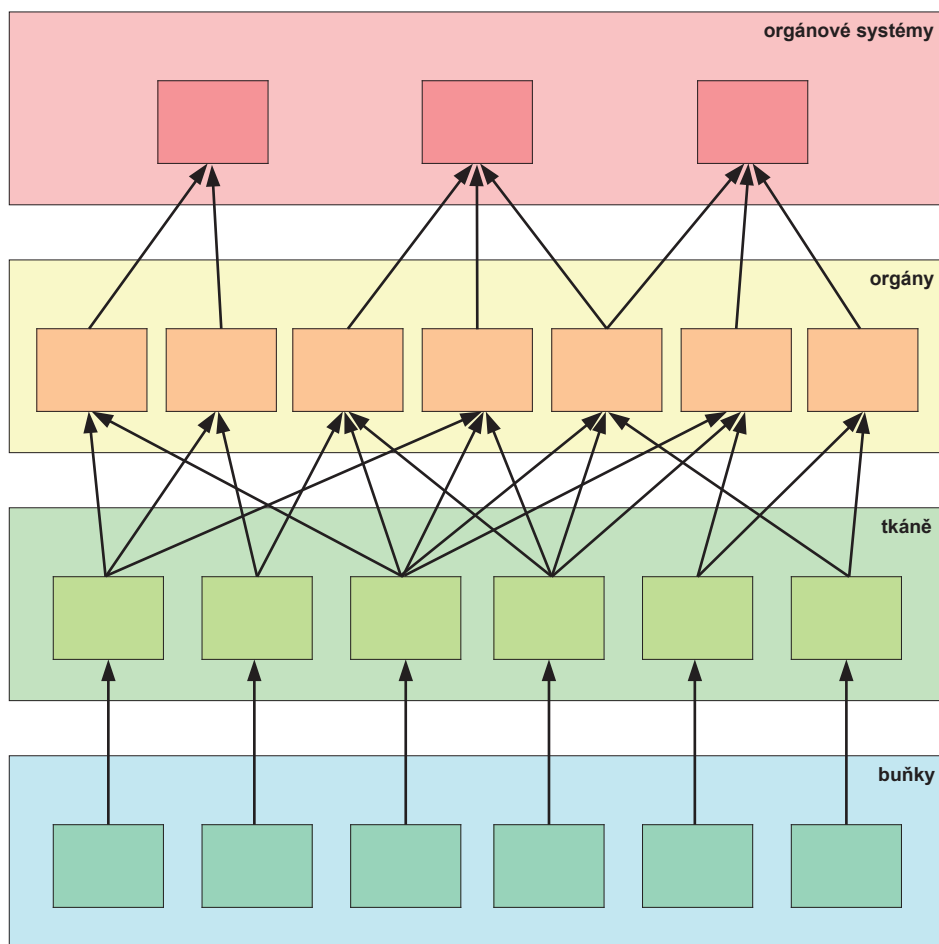


**Obr. 1.1** Sekrece (a) autokrinní – signální látka ovlivňuje buňku, která ji secernuje; (b) parakrinní – signální látka ovlivňuje okolní buňky; (c) exokrinní – signální látka je secernována do zevního prostředí; (d) endokrinní – signální látka je secernována do krevního oběhu, kudy se dostává do vzdálených cílových buněk

### 1.1.2 Tkáň, orgán, orgánový systém

Buňky stejného typu svým seskupením vytvářejí tkáň (např. neurony nervovou tkáň, svalové buňky svalovou tkáň apod.). Tkáň je tak definována jako soubor buněk, které vykonávají stejnou nebo alespoň podobnou funkci, a v případě některých tkání (pojivové tkáň, krev) ještě k buňkám přistupuje další nebuněčný materiál, který vytváří danou tkáň spolu s příslušnými buňkami.

Struktura vytvořená spojením dvou nebo více tkání vykonávající určitou funkci se nazývá orgán. Jako příklad je možné uvést srdce. Srdce je tvořeno převážně svalovou tkání, obsahuje však také epitel (ten tvoří výstelku srdečních dutin), vazivo (z něj jsou mimo jiné vytvořeny srdeční chlopně), nervovou tkáň (v podobě četných nervových zakončení) a tak bychom mohli pokračovat dále (obr. 1.2). Různé orgány jsou pak uspořádány do orgánových systémů: např. vylučovací systém je tvořen ledvinami, močovody, močovým měchýřem a močovou trubicí. Některé orgány ovšem mohou



**Obr. 1.2** Schéma obecného uspořádání lidského organismu

patřit i do více orgánových systémů, např. pankreas patří do zažívacího systému díky své schopnosti produkovat trávicí šťávy (exokrinní funkce pankreatu), ale protože rovněž secernuje několik hormonů, patří také do systému endokrinního (endokrinní funkce pankreatu).

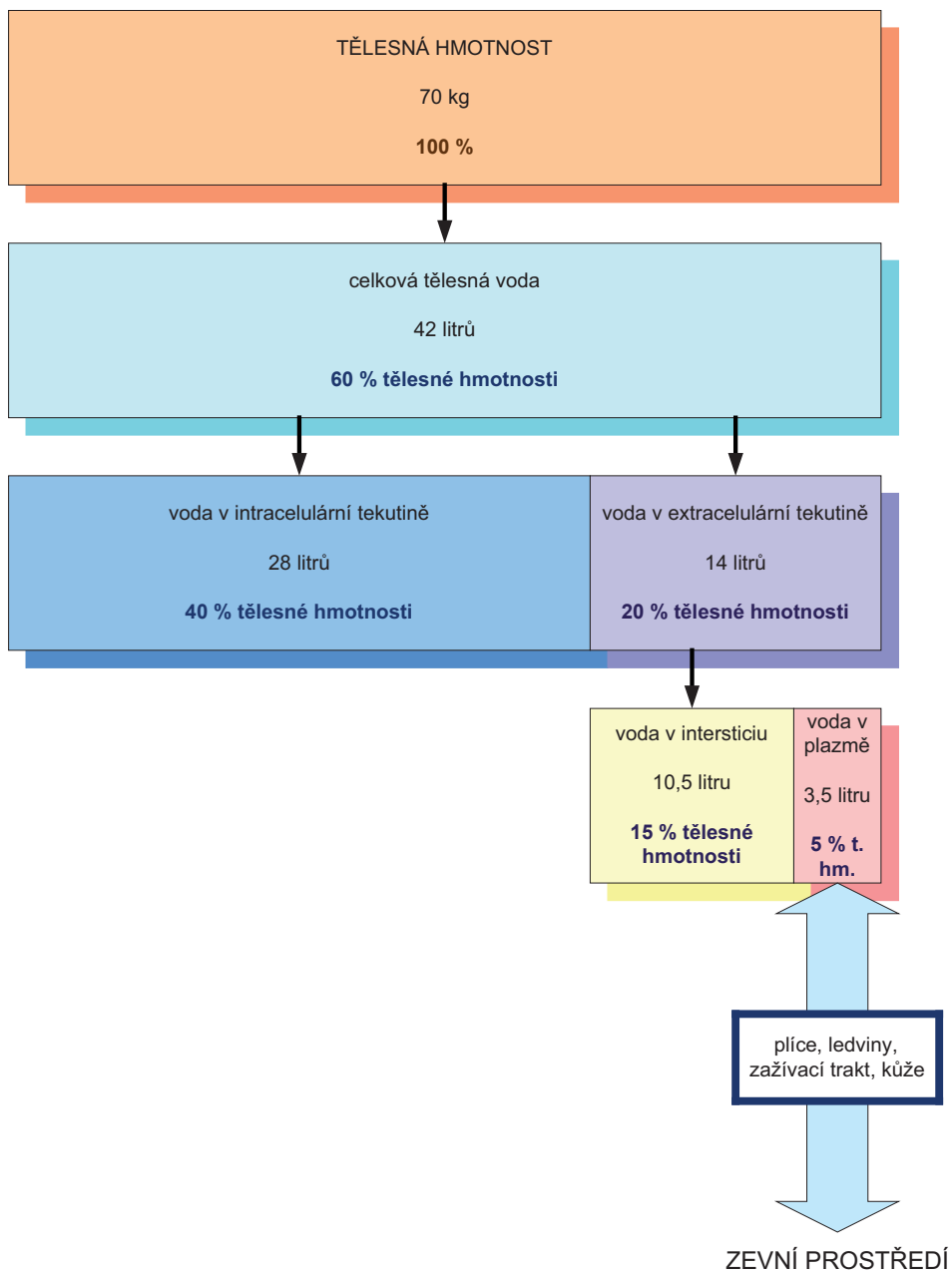
### 1.1.3 Vnitřní prostředí organismu

Vnitřní prostředí organismu je tvořeno vodním roztokem organických a anorganických látek. Množství vody v těle se ovšem mění výrazně s věkem a u dospělých se také mírně liší podle pohlaví (tab. 1.1). U mladého dospělého muže představuje voda přibližně 60 % tělesné hmotnosti (obr. 1.3). Její podíl na tělesné hmotnosti se individuálně liší hlavně podle objemu tukové tkáně v těle: čím více je tukové tkáně, tím menší podíl tělesné hmotnosti připadá na vodu. **Celková tělesná voda** je obsažena ve dvou hlavních kompartmentech: v intracelulární a v extracelulární tekutině.

**Tab. 1.1** Tělesná voda a její rozložení do intracelulárního a extracelulárního kompartmentu v závislosti na věku (hodnoty jsou % tělesné hmotnosti)

věk		celková tělesná voda	extracelulární tekutina	intracelulární tekutina
novorozenec		79,0	44,0	35,0
1–3 měsíce		72,0	32,0	40,0
2–3 roky		63,5	26,7	36,8
3–5 let		62,0	21,0	41,0
5–10 let		61,5	22,0	39,5
10–16 let		58,0	19,0	39,0
20–30 let	muži	58,0	19,0	39,0
	ženy	51,0	17,0	34,0
40–50 let	muži	54,0	18,0	36,0
	ženy	47,0	15,5	31,5
60–70 let	muži	49,0	16,0	33,0
	ženy	47,0	15,5	31,5
nad 80 let	muži	48,0	16,0	32,0
	ženy	48,0	16,0	32,0

Kompartment **intracelulární tekutiny** je představován vodou obsaženou v buňkách a činí asi 40 % tělesné hmotnosti, tedy přibližně 2/3 celkové tělesné vody; kompartment extracelulární tekutiny je představován tělesnou vodou, která je mimo buňky, a činí zbývající třetinu celkové tělesné vody, tedy přibližně 20 % tělesné hmotnosti. **Extracelulární tekutina** je tvořena dvěma kompartmenty: tkáňovým mokem (intersticiální tekutinou) a plazmou (intravaskulární tekutinou). **Intersticiální tekutina** obklopuje buňky různých tkání a představuje 75 % extracelulární tekutiny



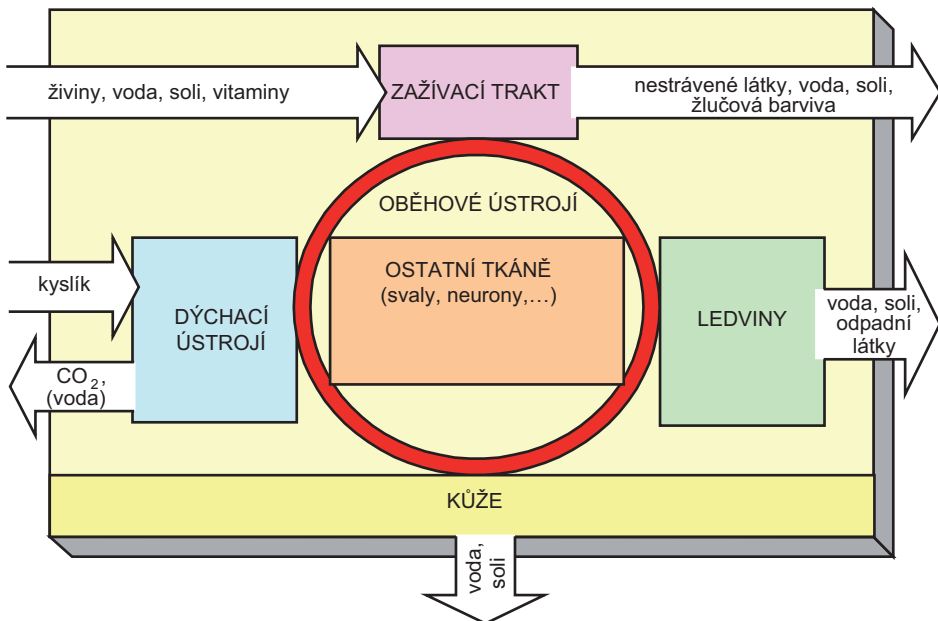
**Obr. 1.3** Rozdělení tělesné vody do jednotlivých kompartmentů

(činí tedy 15 % tělesné hmotnosti); **intravaskulární tekutina** je uvnitř cév krevního oběhu a představuje zbylých 25 % extracelulární tekutiny (tj. 5 % tělesné hmotnosti).

Složení jednotlivých tekutin se ale významně liší, což je dáno propustností bariér, které jednotlivé kompartmenty oddělují od sebe navzájem. Přitom vnitřní prostředí musí být v interakci s prostředím zevním (obr. 1.4). Říkáme, že lidský organizmus je otevřený systém, to znamená, že si vyměňuje hmotu a energii s okolím. I tato výměna látek a energie se musí dít přes bariéry, které chrání vnitřní prostředí organismu před negativními vlivy zevního prostředí. Tyto bariéry jsou tvořeny epitelem, rozdílným podle typu bariéry, v těchto orgánech:

- Kůže (výměna látek se děje především přes kožní žlázky – potní a mazové, výměna energie, v tomto případě hlavně tepelné, celým povrchem).
- Dýchací systém (výměna dýchacích plynů – kyslíku a oxidu uhličitého – a vody se odehrává v plicních alveolech, malé množství látek je ale také vylučováno žlázkami dýchacích cest).
- Trávicí systém (výměna látek se odehrává téměř na celém epitelovém povrchu dutiny trávicího ústrojí).
- Vylučovací systém (výměna látek se děje v ledvinných tubulech od Bowmanova pouzdra až do sběracího kanálku).
- Rozmnožovací ústrojí (výměna látek se odehrává především prostřednictvím žlázek, jako jsou např. vaginální žlázky u žen, nebo prostata u mužů).

Je důležité si uvědomit, že veškerý obsah dutin uvedených orgánů např. zažívacího traktu nebo dýchacích cest a plic představuje vlastně zevní prostředí organismu. V praxi to znamená, že komunikační bariéry mezi vnitřním a zevním prostředím organismu

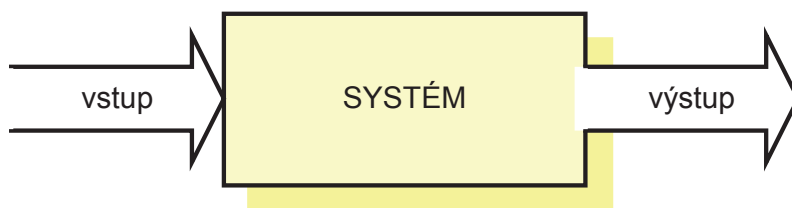


Obr. 1.4 Interakce vnitřního a zevního prostředí

jsou neobyčejně rozsáhlé a mohou tak ohrožovat stálost vlastností prostředí vnitřního. Proto organismus potřebuje řadu mechanismů, které zaručují, že vnitřní prostředí si udrží relativně stálé vlastnosti, tj. chemické složení, osmolaritu, obsah vody, pH, tělesnou teplotu apod. Těto důležité vlastnosti živých systémů se říká homeostáza. Jen díky tomu je možné, aby lidský organismus dokázal přežít i za různých, často krajně extrémních podmínek: od mrazů Grónska po vedra Rovnickové Guineje, od sucha pouští po absolutní vlhkost deštých pralesů, od modrého světla horských masívů po zelenou temnotu džungle, od pustých lesů po centra velkoměst.

## 1.2 Homeostáza

Zevní prostředí, které nás obklopuje, se tedy svými vlastnostmi výrazně liší od našeho vnitřního prostředí, a proto má tendenci neustále naše vnitřní prostředí narušovat. Živé organismy včetně lidského jsou totiž, jak bylo v předchozí kapitole uvedeno, otevřenými systémy (obr. 1.5), které neustále komunikují s okolním prostředím a vyměňují si s ním cestou tzv. vstupů a výstupů hmotu, energii a informace. Přesto je organismus schopen tomuto nebezpečí odolávat a udržovat si poměrně velmi stálé vnitřní prostředí. Významný francouzský fyziolog 19. století **Claude Bernard** (1813–1878) jako první vyslovil myšlenku, že základní podmínkou pro zachování života je udržování stálého vnitřního prostředí (*milieu intérieur*) a že všechny životně důležité pochody, byť často velmi odlišné svými mechanismy, mají jediný účel, a to zajistit stálost „životních podmínek ve vnitřním prostředí“. Pro označení „souboru fyziologických mechanismů, které slouží k obnovení normálního stavu po jeho narušení“, navrhl v roce 1932 americký fyziolog **Walter Bradford Cannon** (1871–1945) termín **homeostáza**.



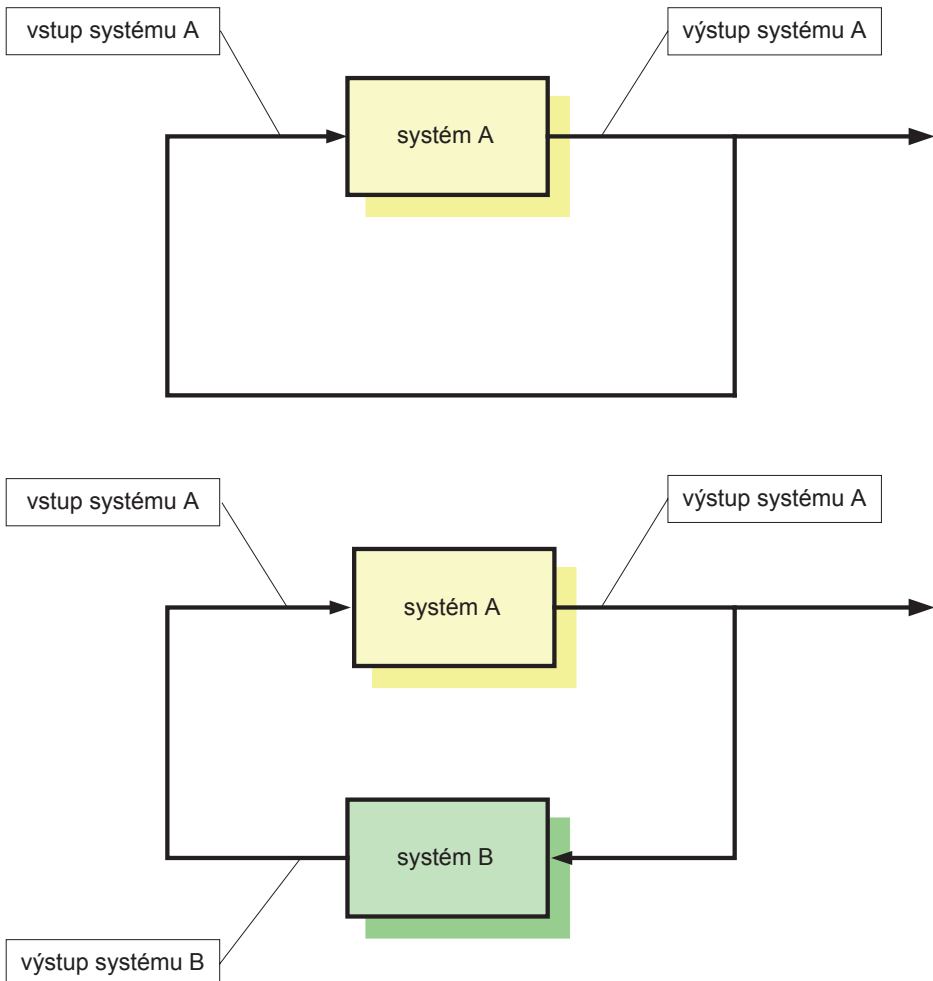
**Obr. 1.5** Otevřený systém

Cílem všech regulačních pochodů v živých systémech je tedy právě udržení stálého vnitřního prostředí navzdory nejrůznějším změnám v prostředí zevním, proto je můžeme nazvat homeostatickými regulačními mechanismy. Homeostatický regulační systém pak definujeme jako **soubor vzájemně funkčně propojených buněk a tkání, které spolupracují na udržení nějaké fyzikální nebo chemické veličiny v úzkém rozmezí** tzv. normálních hodnot. Takovou fyzikální veličinou může být např. teplota těla nebo tlak krve, chemickou třeba koncentrace glukózy nebo jiné látky v plazmě.

## 1.2.1 Zpětné vazby

V lidském organizmu se setkáváme s nepřebernou řadou regulačních systémů, které jsou velmi složitým způsobem navzájem propojeny a provádány. Základem každého regulačního systému, byť sebesložitějšího, je existence záporné zpětné vazby. Obecně lze říci, že zpětná vazba je způsob vzájemné interakce mezi systémy (obr. 1.6). Tato vazba může být přímá (kdy výstup systému působí zpětně jako jeho vlastní vstup – tedy řídí sám sebe) a nepřímá, což je nejčastější případ (výstup jednoho systému působí jako vstup systému druhého a ten zase svým výstupem působí na systém prvý). Zpětná vazba může také být buď kladná, nebo záporná.

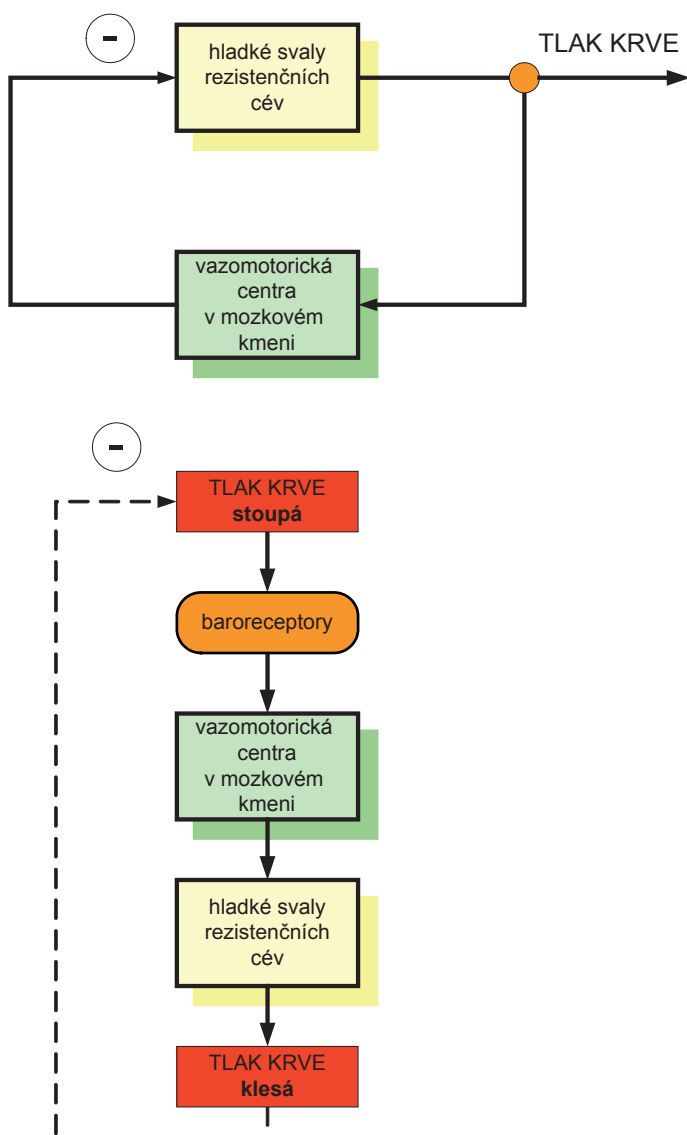
**Záporná zpětná vazba** má mezi vazbami určité mimořádné postavení, je totiž (jak bylo právě řečeno) základní součástí struktury každé regulace. Její význam spočívá v tom, že kompenzuje výchyly regulovaného systému. To je důsledkem toho, že



**Obr. 1.6** Přímá (nahore) a nepřímá (dole) zpětná vazba

system v reakci na změnu určité vlastnosti vnitřního prostředí působí přesně opačnou změnu, než byla ta, která reakci systému vyvolala. Typickým příkladem mohou být baroreceptorové reflexy: vzestup tlaku krve je zaznamenán baroreceptory, informace je předána do vazomotorického centra a to vyvolá cestou vegetativního nervstva periferní vazodilataci, která vrátí hodnotu tlaku krve na původní úroveň (obr. 1.7).

**Kladná zpětná vazba** odchylku nekompensuje, ale naopak ji potencuje, neboť odpověď systému na změnu má stejnou orientaci jako změna, která ji vyvolala. Také kladná zpětná vazba má ve fyziologii svůj význam, přestože není tak častá v biologických



Obr. 1.7 Příklad záporné zpětné vazby



systémech, je však nezastupitelná tam, kde potřebujeme, aby malý stimulus vedl k výrazně rychlé odpovědi. Například elektrické podráždění membrány neuronu vede k lokální změně membránového potenciálu (otevře se jen malé množství rychlých sodíkových kanálů). Čím větší je podráždění, tím více sodíkových kanálů se otevře a nakonec vstup natriových iontů do buňky vede k nové depolarizaci, která otevře další sodíkové kanály. Tak je to stále dokola a celý systém fungující jako kladná zpětná vazba vede k tomu, že se hodnota membránového potenciálu nevrací ke klidové hodnotě, naopak se od ní stále rychleji vzdaluje – nastává depolarizace membrány. Jiným případem kladné zpětné vazby je urychlení produkce estrogenů v ovariu působením luteinizačního hormonu (LH), produkovaného předním lalokem hypofýzy (tzv. adenohypofýzou): v určité fázi ovariálního cyklu estrogeny zvyšují produkci LH. Protože má ale LH za úkol zvyšovat sekreci estrogenů ovariem, znamená to další produkci estrogenů, tím i další zvýšení produkce LH a tak stále dokola. Samozřejmě kladná zpětná vazba musí mít určitou brzdu, která tento „kolotoč“ zastaví, v tomto případě rychle rostoucí produkce LH vyvolá v ovariu ovulaci (což je vlastním cílem této kladné zpětné vazby) a tím celý proces splní svůj úkol a současně se zastaví (obr. 1.8).

## 1.2.2 Regulační obvod

Pro regulační systém existuje určitá charakteristická struktura jeho uspořádání. Záporná zpětná vazba, která propojuje výstup řízeného systému s jeho vstupem, se nazývá **regulační obvod** (obr. 1.9). Řízený systém v regulačním obvodu nazýváme obvykle regulovaná soustava a výstupem regulované soustavy je výstupní veličina, označovaná jako regulovaná veličina (což je fyzikální nebo chemická veličina, jejíž hodnota je udržována v organismu na co nejstálější úrovni). Aby mohla být hodnota této veličiny regulována, musí být známa. Okamžitou hodnotu regulované veličiny zaznamenává čidlo (receptor), které předá informaci o této hodnotě srovnávacímu členu (komparátoru). Srovnávací člen porovná tuto veličinu s požadovanou hodnotou – tedy hodnotou, kterou by v daný okamžik měla regulovaná veličina mít. Informace o rozdílu mezi skutečnou a požadovanou hodnotou regulované veličiny (tzv. regulační odchylka) je jako vstupní veličina předána regulátoru (což je řídicí systém – obvykle určitá struktura nervového systému nebo endokrinní žláza). Regulátor pak ovlivňuje činnost regulované soustavy na základě takto obdržené informace. Na regulovanou soustavu navíc jako její další vstupy působí poruchové veličiny (těmi bývají obvykle vlivy zevního, ale i vnitřního prostředí organismu). Celý systém pak má za úkol prostřednictvím záporné zpětné vazby právě tyto „poruchy“ kompenzovat a minimalizovat rozdíl mezi požadovanou a skutečnou hodnotou regulované veličiny.

Je-li požadovaná hodnota regulované veličiny stálá, hovoříme o regulaci na konstantní hodnotu (např. řízení stálé hodnoty pH), jestliže se v čase mění, jedná se o vlečnou regulaci. Změny požadované hodnoty v čase probíhají obvykle podle přesně daných programů, kterým říkáme **biorytmy** (např. řízení produkce ovariálních hormonů během menstruačního cyklu nebo řízení tělesné teploty během dvacetičtyřhodinového, tzv. cirkadiálního cyklu).

Regulační systémy se ve své účinnosti liší, jejich kompenzační funkce je však vždy zatížena určitou chybou: např. řízení hladiny krevního cukru má za cíl udržet hodnotu glykemie (regulovaná veličina) pokud možno stálou. Přesto po každém jídle nebo při dlouhotrvající intenzivní fyzické zátěži (poruchové vlivy) dojde k větší nebo