

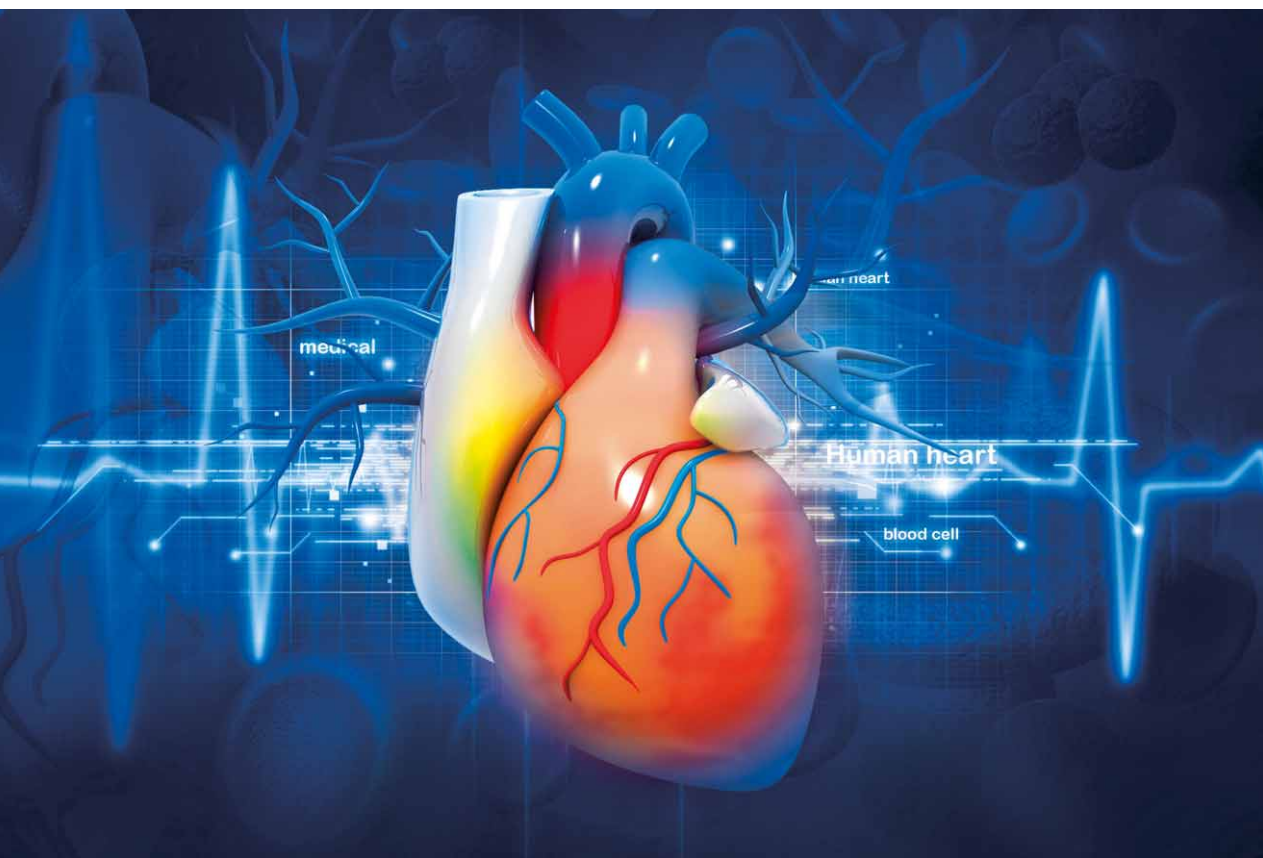
Otomar Kittnar a kolektiv

---

# Lékařská fyziologie

**2., přepracované a doplněné vydání**

---





Otomar Kittnar a kolektiv

---

# Lékařská fyziologie

**2., přepracované a 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. Otomar Kittnar, CSc., MBA a kolektiv**

## **LÉKAŘSKÁ FYZIOLOGIE**

### **2., přepracované a doplněné vydání**

**Pořadatel díla:**

Prof. MUDr. Otomar Kittnar, CSc., MBA

**Autorský kolektiv:**

MUDr. Kateřina Jandová, Ph.D.

Prof. MUDr. Otomar Kittnar, CSc., MBA

MUDr. Eduard Kuriščík, Ph.D.

Prof. MUDr. Miloš Langmeier, DrSc.

Doc. MUDr. Dana Marešová, CSc.

MUDr. Mikuláš Mlček, Ph.D.

Prof. MUDr. Jaromír Mysliveček, Ph.D.

Prof. MUDr. Jaroslav Pokorný, DrSc.

Doc. MUDr. Vladimír Riljak, Ph.D.

†Prof. MUDr. Stanislav Trojan, DrSc.

**Pracoviště autorů:** Univerzita Karlova v Praze, 1. lékařská fakulta, Fyziologický ústav

**Recenze:**

Prof. MUDr. Martin Vízek, CSc.

Vydání odborné knihy schválila Vědecká redakce nakladatelství Grada Publishing, a.s.

© Grada Publishing, a.s., 2020

Cover Photo © depositphotos.com 2020

Cover Design © Grada Publishing, a.s., 2020

Vydala Grada Publishing, a.s.

U Průhonu 22, Praha 7

jako svou 7541. publikaci

Odpovědná redaktorka Mgr. Helena Vorlová

Sazba a zlom Jan Šístek

Obrázky dle předloh autorů překreslili MgA. 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 752

1. vydání, Praha 2011

2. vydání, Praha 2020

Tisk Centrum s.r.o., Moravany

*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.*

ISBN 978-80-271-1431-3 (ePub)

ISBN 978-80-271-1429-0 (pdf)

ISBN 978-80-247-1963-4 (print)

# Obsah

Předmluva .....	9
Předmluva ke druhému vydání .....	11
<b>1 Fyziologické principy (Otomar Kittnar, Miloš Langmeier, Jaromír Mysliveček) ...</b>	<b>13</b>
1.1 Uspořádání lidského těla .....	13
1.1.1 Buňka .....	13
1.1.2 Tkáň, orgán, orgánový systém .....	16
1.1.3 Vnitřní prostředí organismu .....	17
1.2 Homeostáza .....	20
1.2.1 Zpětné vazby .....	21
1.2.2 Regulační obvod .....	23
1.3 Fyziologie buňky .....	30
1.3.1 Buněčné jádro .....	30
1.3.2 Endoplazmatické retikulum .....	33
1.3.3 Golgiho aparát .....	34
1.3.4 Lyzozomy a peroxizomy .....	34
1.3.5 Mitochondrie .....	34
1.3.6 Cytoskelet .....	35
1.3.7 Buněčné membrány .....	36
1.4 Receptory .....	39
1.4.1 Rozdělení receptorů .....	39
1.4.2 Přehled interakce některých signálních molekul s receptory .....	46
1.4.3 Receptorové regulace .....	47
1.5 Celulární transportní systémy .....	50
1.6 Vývoj a obnova tkání .....	55
<b>2 Obecná neurofyziologie (Miloš Langmeier) .....</b>	<b>63</b>
2.1 Reflex .....	63
2.2 Neuron .....	64
2.2.1 Membrána neuronu .....	66
2.2.2 Synapse .....	71
2.2.3 Mediátory .....	75
2.2.4 Nervosvalová ploténka .....	77
2.2.5 Vzájemné vztahy mezi neurony .....	78
2.2.6 Mediátorové systémy .....	81
2.2.7 Wallerova degenerace a regenerace .....	83
2.3 Neuroglie .....	84
<b>3 Fyziologie svalstva (Eduard Kuriščák) .....</b>	<b>87</b>
3.1 Fyziologie kosterní svaloviny .....	87
3.1.1 Makrostruktura kosterní svaloviny .....	87
3.1.2 Mikrostruktura kosterní svaloviny .....	89
3.1.3 Molekulární struktura kontraktilního aparátu .....	91
3.1.4 Molekulární podstata kontrakce .....	92
3.1.5 Spřažení kontrakce a excitace .....	93
3.1.6 Nervosvalová ploténka .....	95
3.1.7 Motorická jednotka, motorická inervace .....	97
3.1.8 Zevní projevy svalové činnosti .....	99
3.1.9 Mechanické vlastnosti kontrakce celého svalu .....	102
3.1.10 Síla kosterního svalu a mechanika pohybu .....	104

3.1.11	Energetika svalové kontrakce	105
3.1.12	Efektivita svalové kontrakce	106
3.1.13	Svalová únava	107
3.1.14	Životní cyklus svalové tkáně	108
3.1.15	Elektromyografie	109
3.2	Hladký sval	109
3.2.1	Struktura hladké svaloviny	110
3.2.2	Kontraktilní mechanismus	111
3.2.3	Řízení kontrakce hladkého svalu	112
3.2.4	Propojení excitace a kontrakce	113
<b>4</b>	<b>Fyziologie krve (<i>Vladimír Riljak</i>)</b>	<b>117</b>
4.1	Obecné vlastnosti krve	117
4.2	Krevní plazma	117
4.2.1	Anorganické složky krevní plazmy	117
4.2.2	Organické složky krevní plazmy	120
4.3	Červené krvinky (erythrocyty, červená krevní tělíska, red blood cells)	124
4.3.1	Morfologie červené krvinky	124
4.3.2	Membrána červených krvinek	125
4.3.3	Kvantitativní parametry červených krvinek	126
4.3.4	Hemoglobin	127
4.3.5	Transport kyslíku	127
4.3.6	Transport oxidu uhličitého	132
4.3.7	Metabolismus červených krvinek a řízení jejich tvorby	135
4.3.8	Metabolismus železa a jeho význam pro červené krvinky	135
4.3.9	Zánik červených krvinek	136
4.3.10	Krevní skupiny	137
4.4	Bílé krvinky	140
4.5	Krevní destičky	141
4.6	Hemostáza – zástava krvácení	142
4.6.1	Vazokonstrikce	142
4.6.2	Reakce destiček	143
4.6.3	Hemokoagulace	144
4.6.4	Odstraňování krevního trombu	149
4.7	Fyziologie sleziny	149
4.7.1	Produkce, uchovávání a destrukce krevních elementů	150
4.7.2	Úloha sleziny v imunitní obraně organismu	150
<b>5</b>	<b>Fyziologie krevního oběhu (<i>Otomar Kittnar</i>)</b>	<b>151</b>
5.1	Funkční organizace srdečně-cévního systému	151
5.1.1	Transportní systémy ve fylogenetickém pohledu	151
5.1.2	Funkční anatomie lidského krevního oběhu	154
5.1.3	Funkční morfologie srdce	155
5.1.4	Přehled funkční morfologie cév	157
5.1.5	Rozložení krve v krevním oběhu	161
5.1.6	Odpor v krevním oběhu	162
5.2	Hemodynamika krevního oběhu	162
5.2.1	Vztah průtoku krve, tlaku krve a periferního odporu	163
5.2.2	Proudění krve	166
5.2.3	Viskozita krve	167
5.3	Obecné uspořádání systémového oběhu	169
5.4	Řídící mechanismy srdečně-cévního systému	169
5.4.1	Místní regulační mechanismy	170
5.4.2	Celkové regulační mechanismy	173
5.4.3	Centra řízení krevního oběhu	182

5.4.4	Interakce místních a celkových regulačních mechanismů	182
5.5	Mechanismy řízení činnosti srdce	184
5.5.1	Minutový srdeční výdej	184
5.6	Arteriální část systémového krevního řečiště	218
5.6.1	Tok krve v tepnách	221
5.6.2	Tlak krve v tepnách	221
5.7	Mikrocirkulace	225
5.7.1	Rozsah plochy určené výměně látek mezi krví a tkáněmi	225
5.7.2	Tvorba tkáňového moku	227
5.8	Lymfatický systém	229
5.9	Venózní část systémového oběhu	230
5.9.1	Tlak krve v žilách	230
5.9.2	Tok krve v žilách	231
5.10	Zvláštnosti průtoku krve v některých orgánech	233
5.10.1	Plicní cirkulace	233
5.10.2	Koronární cirkulace	235
5.10.3	Mozková cirkulace	238
5.10.4	Oběh krve ledvinami	238
5.10.5	Oběh krve splachníkem	239
5.10.6	Oběh krve kosterním svalstvem	241
5.10.7	Oběh krve kůží	242
5.10.8	Fetální cirkulace	242
5.11	Zevní projevy srdeční činnosti	243
5.11.1	Srdeční ozvy	243
5.11.2	Arteriální pulz a venózní pulz	246
5.11.3	Úder srdečního hrotu	246
5.11.4	Echokardiografie	246
5.11.5	Elektrokardiogram	247
<b>6</b>	<b>Fyziologie dýchání (Otomar Kittnar, Mikuláš Mlček)</b>	<b>259</b>
6.1	Význam a funkce dýchacího ústrojí	259
6.2	Funkční morfologie dýchacího ústrojí	263
6.3	Plicní objemy a kapacity	264
6.4	Základní mechanismy respirace	267
6.5	Mechanika dýchání	268
6.6	Perfuze a poměr ventilace perfuze	274
6.7	Transport plynů krví, zásobování tkání	277
6.8	Řízení dýchání	281
6.9	Dýchací systém za nízkého atmosférického tlaku	284
<b>7</b>	<b>Fyziologie trávení a vstřebávání (Kateřina Jandová, Vladimír Riljak, Jaroslav Pokorný)</b>	<b>287</b>
7.1	Sekrece	287
7.1.1	Sekrece slin	288
7.1.2	Žaludeční sekrece	292
7.1.3	Pankreatická šťáva	299
7.1.4	Žluč	306
7.1.5	Střevní šťáva	311
7.1.6	Sekrece v tlustém střevě	312
7.2	Trávení a vstřebávání	312
7.2.1	Trávení sacharidů	314
7.2.2	Vstřebávání sacharidů	315
7.2.3	Trávení tuků	315
7.2.4	Vstřebávání tuků	316
7.2.5	Trávení proteinů	317

7.2.6	Vstřebávání proteinů . . . . .	319
7.2.7	Vstřebávání vody a elektrolytů . . . . .	319
7.2.8	Vstřebávání vitaminů a minerálů . . . . .	320
7.3	Motilita zažívacího traktu . . . . .	321
7.3.1	Funkční morfologie svaloviny zažívacího traktu . . . . .	321
7.3.2	Druhy pohybů gastrointestinálního traktu . . . . .	323
7.3.3	Peristaltická vlna . . . . .	323
7.3.4	Bazální elektrická aktivita . . . . .	324
7.3.5	Migrující motorický komplex . . . . .	325
7.3.6	Význam a funkce svěračů trávicí trubice . . . . .	326
7.3.7	Polykání . . . . .	327
7.3.8	Motilita jícnu . . . . .	328
7.3.9	Motilita žaludku . . . . .	329
7.3.10	Zvracení . . . . .	330
7.3.11	Motilita tenkého střeva . . . . .	330
7.3.12	Motilita tlustého střeva . . . . .	331
7.4	Vylučování . . . . .	331
7.5	Imunitní systém trávicího traktu . . . . .	332
7.6	Řízení funkcí trávicího traktu . . . . .	333
7.6.1	Neuronální řízení . . . . .	334
7.6.2	Humorální řízení . . . . .	336
7.7	Skladování potravy . . . . .	340
7.8	Činnost jednotlivých oddílů trávicího traktu . . . . .	341
7.8.1	Dutina ústní . . . . .	341
7.8.2	Hltan, jícen . . . . .	341
7.8.3	Žaludek . . . . .	341
7.8.4	Duodenum a tenké střevo . . . . .	342
7.8.5	Tlusté střevo . . . . .	342
7.9	Zvláštnosti krevního oběhu v trávicí trubici . . . . .	343
7.10	Játra . . . . .	344
<b>8</b>	<b>Fyziologie vylučování (Otomar Kittnar) . . . . .</b>	<b>347</b>
8.1	Význam a funkce vylučovacího systému . . . . .	347
8.1.1	Vylučovací systém ve fylogenetickém pohledu . . . . .	347
8.1.2	Základní úkoly vylučovací soustavy . . . . .	349
8.2	Funkční morfologie ledvin . . . . .	353
8.2.1	Funkční anatomie ledvin . . . . .	353
8.2.2	Renální cirkulace . . . . .	353
8.2.3	Funkční histologie ledvin . . . . .	355
8.2.4	Inervace ledvin . . . . .	357
8.3	Základní procesy tvorby moči . . . . .	358
8.3.1	Glomerulární filtrace . . . . .	359
8.3.2	Tubulární procesy . . . . .	366
8.4	Regulační funkce ledvin . . . . .	388
8.4.1	Tělesné tekutiny . . . . .	388
8.5	Vývodné cesty močové . . . . .	411
8.5.1	Funkce horních močových cest . . . . .	411
8.5.2	Funkce dolních močových cest . . . . .	412
8.5.3	Definitivní moč a její vlastnosti . . . . .	413
8.6	Základní funkční vyšetření ledvin . . . . .	417
8.6.1	Hodnocení velikosti glomerulární filtrace (GFR) . . . . .	419
8.6.2	Hodnocení průtoku plazmy ledvinou (RPF) . . . . .	420
8.6.3	Vyšetření koncentrační schopnosti ledvin . . . . .	423
8.6.4	Vyšetření acidifikační schopnosti ledvin . . . . .	423



<b>9</b>	<b>Řízení metabolických pochodů v organismu</b> ( <i>Otomar Kittnar</i> )	<b>425</b>
9.1	Klasifikace metabolických reakcí	425
9.2	Řízení chemických reakcí	425
9.3	Řízení metabolických reakcí	430
9.3.1	Období zpracování přijaté potravy	430
9.3.2	Období spotřeby zásob	431
9.4	Energetická bilance organismu	440
<b>10</b>	<b>Termoregulace</b> ( <i>Jaroslav Pokorný</i> )	<b>443</b>
10.1	Výkyvy tělesné teploty	443
10.2	Systém izolace těla	443
10.3	Výměna tepla s prostředím v povrchních vrstvách těla	444
10.4	Termoregulační mechanizmy	445
10.5	Řízení tělesné teploty	447
10.5.1	Termoreceptory	447
10.5.2	Hypotalamická řídicí centra (termostat)	447
10.5.3	Termoregulační efektorové mechanizmy	447
10.6	Horečka	448
<b>11</b>	<b>Fyziologie kůže</b> ( <i>Jaroslav Pokorný</i> )	<b>451</b>
11.1	Stavba kůže	451
11.2	Funkce kůže	454
<b>12</b>	<b>Acidobazická rovnováha</b> ( <i>Otomar Kittnar</i> )	<b>455</b>
12.1	Pufrovací systémy	456
12.2	Respirační kompenzace	458
12.3	Renální kompenzace	460
<b>13</b>	<b>Fyziologie žláz s vnitřní sekrecí</b> ( <i>Dana Marešová</i> )	<b>465</b>
13.1	Obecné mechanizmy humorálních regulací	465
13.1.1	Principy řízení	467
13.1.2	Rozdělení hormonů	468
13.1.3	Tvorba hormonů	469
13.1.4	Receptory	473
13.1.5	Nástup a trvání účinků hormonu	476
13.1.6	Ukončení působení hormonů	476
13.2	Produkce hormonů periferními endokrinními žlázami – hypotalamo-hypofyzární systém	476
13.2.1	Adenohypofýza	478
13.2.2	Neurohypofýza	478
13.2.3	Periferní žlázy řízené hypotalamo-hypofyzární osou	482
13.3	Produkce hormonů endokrinními žlázami – řízení jednoduchou zpětnou vazbou	496
13.3.1	Langerhansovy ostrůvky	496
13.3.2	Řízení kalciofosfátového metabolismu	502
13.4	Nervově řízené uvolňování hormonů	506
13.5	Produkce hormonů neendokrinními typy buněk (tkáňové hormony)	508
13.5.1	Gastrointestinální systém	508
13.5.2	Tuková tkáň	509
13.5.3	Mozek	510
<b>14</b>	<b>Fyziologie reprodukčního systému</b> ( <i>Dana Marešová</i> )	<b>513</b>
14.1	Pohlavní diferenciacce	513
14.1.1	Vývoj gonád	513
14.2	Reprodukční systém muže	515
14.2.1	Tvorba pohlavních buněk – spermatogeneze	515
14.2.2	Sertoliho buňky	517

14.2.3	Produkce pohlavních hormonů – steroidogeneze	518
14.2.4	Biologické účinky androgenů	520
14.2.5	Spermie	521
14.2.6	Ejakulát	522
14.2.7	Pohlavní spojení	522
14.3	Reprodukční systém ženy	523
14.3.1	Vývoj gonád	523
14.3.2	Tvorba pohlavních buněk – oogeneze	523
14.3.3	Produkce pohlavních hormonů	527
14.3.4	Ovariální cyklus	529
14.3.5	Děložní cyklus	531
14.3.6	Pohlavní spojení	531
14.4	Těhotenství	531
14.4.1	Placenta	534
14.4.2	Porod	536
14.4.3	Změny u žen během těhotenství	536
14.4.4	Změny v organismu plodu	538
14.5	Úvod do fyziologie novorozence	539
14.6	Sexuální chování	540
<b>15</b>	<b>Fyziologie centrální nervové soustavy (Miloš Langmeier, Dana Marešová, Jaroslav Pokorný)</b>	<b>543</b>
15.1	Organizace a funkce CNS	543
15.1.1	Vlastnosti CNS	543
15.1.2	Vývoj CNS	544
15.2	Vnitřní prostředí CNS	547
15.2.1	Systém bariér	547
15.2.2	Mozkomíšní mok (cerebrospinální tekutina, likvor)	551
15.2.3	Extracelulární prostor CNS	557
15.2.4	Neuroglie	557
15.2.5	Regulace extracelulární koncentrace kalía	559
15.3	Biologické rytmy	560
15.3.1	Rozdělení biorytmů	560
15.3.2	Nervová složka biorytmů	561
15.3.3	Humorální složka biorytmů	564
15.3.4	Spánek	567
15.4	Integrační funkce centrálního nervového systému	569
15.4.1	Pátevní mícha	569
15.4.2	Mozkový kmen a mezimozek	570
15.4.3	Limbický systém	572
15.4.4	Mozková kůra	572
15.4.5	Bioelektrická aktivita mozku – elektroencefalogram	575
15.4.6	Evokované potenciály (EP)	576
15.5	Fyziologie chování a paměti	577
15.5.1	Mechanismy řídicí chování na základě vrozených informací	578
15.5.2	Mechanismy řídicí chování na základě získaných informací	579
15.5.3	Neuronální mechanismy učení a paměti	585
15.5.4	Specifické rysy nervové činnosti u člověka	586
<b>16</b>	<b>Senzorický nervový systém (Jaroslav Pokorný)</b>	<b>589</b>
16.1	Receptory a senzorické systémy	589
16.2	Buněčné mechanismy senzorických funkcí	590
16.3	Rozdělení receptorů	592
16.3.1	Fotoreceptory	593
16.3.2	Mechanoreceptory	596

16.3.3	Chemoreceptory	597
16.3.4	Termoreceptory	598
16.3.5	Receptory bolesti (nociceptory)	598
16.4	Vnímání vlastního těla	600
16.4.1	Kožní čítí	603
16.4.2	Bolest	606
16.4.3	Vnímání polohy a pohybu	609
16.5	Zrak	615
16.5.1	Optický aparát oka	616
16.5.2	Sítnice	617
16.5.3	Přenos a zpracování zrakové informace	617
16.5.4	Přídavné orgány oka	623
16.6	Sluch	625
16.6.1	Funkce zevního a středního ucha	625
16.6.2	Funkce vnitřního ucha	626
16.6.3	Přenos a zpracování sluchové informace	628
16.7	Chuť a čich	629
16.7.1	Chuť	630
16.7.2	Čich	632
<b>17</b>	<b>Motorický nervový systém (Miloš Langmeier, Stanislav Trojan)</b>	<b>635</b>
17.1	Spinální mícha	636
17.1.1	Monosynaptické reflexy	637
17.1.2	Polysynaptické reflexy	643
17.1.3	Míšní šok	646
17.2	Mozkový kmen	646
17.2.1	Prodloužená mícha	646
17.2.2	Varolův most	646
17.2.3	Střední mozek	647
17.3	Mozeček	652
17.4	Bazální ganglia	655
17.5	Mozková kůra	657
<b>18</b>	<b>Autonomní nervový systém (Jaromír Mysliveček)</b>	<b>661</b>
18.1	Autonomní ústředí	661
18.1.1	Mozkový kmen	661
18.1.2	Hypothalamus	662
18.2	Periferní oddíly	675
18.2.1	Oddíly autonomního nervového systému	677
18.2.2	Sympatikus	677
18.2.3	Parasympatikus	677
18.3	Neurochemie autonomního nervového systému	678
18.4	Enterický nervový systém	683
<b>19</b>	<b>Fyziologie tělesné zátěže (Otomar Kittnar)</b>	<b>685</b>
19.1	Rezervy organismu pro pracující svaly	686
19.2	Začátek svalového výkonu	686
19.2.1	Reakce oběhového systému a energetické zdroje	688
19.2.2	Reakce dýchacího systému	690
19.2.3	Vliv trénovanosti	692
19.2.4	Reakce termoregulačních mechanismů	694
19.3	Tělesná zátěž ve fázi ustáleného stavu	696
19.3.1	Řízení energetického metabolismu	696
19.3.2	Kardiovaskulární systém během ustáleného stavu	697
19.3.3	Respirační systém během ustáleného stavu tělesné zátěže	698

19.3.4	Termoregulační mechanizmy během ustáleného stavu tělesné zátěže .....	700
19.4	Konec ustáleného stavu .....	700
19.5	Únava .....	703
19.6	Pozátěžový stav .....	704
<b>20</b>	<b>Fyziologie imunitního systému (Otomar Kittnar) .....</b>	<b>705</b>
20.1	Funkční morfologie imunitního systému .....	705
20.1.1	Leukocyty .....	705
20.1.2	Lymfatické tkáně .....	706
20.2	Imunitní odpověď .....	706
20.2.1	Nespecifická imunita .....	706
20.2.2	Specifická imunita .....	712
<b>21</b>	<b>Fyziologie stárnutí (Otomar Kittnar, Dana Marešová) .....</b>	<b>719</b>
21.1	Změny v oběhovém systému .....	720
21.2	Změny v dýchacím systému .....	721
21.3	Změny v zažívacím systému .....	722
21.4	Změny ve vylučovacím systému .....	722
21.5	Změny endokrinních funkcí .....	723
21.6	Změny v nervovém systému .....	723
21.7	Změny ve smyslových orgánech .....	724
21.8	Změny v pohybovém ústrojí .....	724
21.9	Změny na kůži .....	724
	<b>Seznam použitých zkratk .....</b>	<b>725</b>
	<b>Rejstřík .....</b>	<b>731</b>
	<b>Souhrn .....</b>	<b>741</b>
	<b>Summary .....</b>	<b>743</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 biomedicinských věd jako biochemií, molekulární biologii, genetikou, imunologií, biofyzikou atd. je přinejmenším neztetelná. Pokud tedy pojmem fyziologii jako jednu z metod poznání v biomedicinských 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 samoúčelné – 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*



## Předmluva ke druhému vydání

Pokrok v klinické medicíně a nové poznatky v oblasti jejích teoretických základů vedou vždy po určité době k nutnosti aktualizovat učební texty z teoretických a preklinických oborů tak, aby přinášely poznatky potřebné k pochopení diagnostického rozhodování a terapeutických postupů v klinice. Naší snahou bylo proto doplnit učebnici právě o takové poznatky a nerozšiřovat při tom celkový rozsah učebnice. To znamenalo pečlivě zvážit jednak to, co je opravdu nutné doplnit, a jednak to, co je možné z učebnice vypustit. Doufáme, že nové vydání bude stejně úspěšné, jako bylo vydání první, a že pomůže studentům medicíny nejen zvládnout zkoušku z fyziologie, ale především odnést si z ní znalosti, které jim v dalším studiu umožní lépe pochopit patologické procesy a postupy klinické medicíny. Obdobně pak bychom tímto rádi dali do rukou mladým lékařům připravujícím se na atestaci texty, které jim pomohou úspěšně zvládnout svůj obor, protože fyziologie je svojí podstatou základem všech klinických oborů.

*Praha, duben 2019*  
*Otomar Kittnar*





# 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. Fázičké 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 fázičké 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

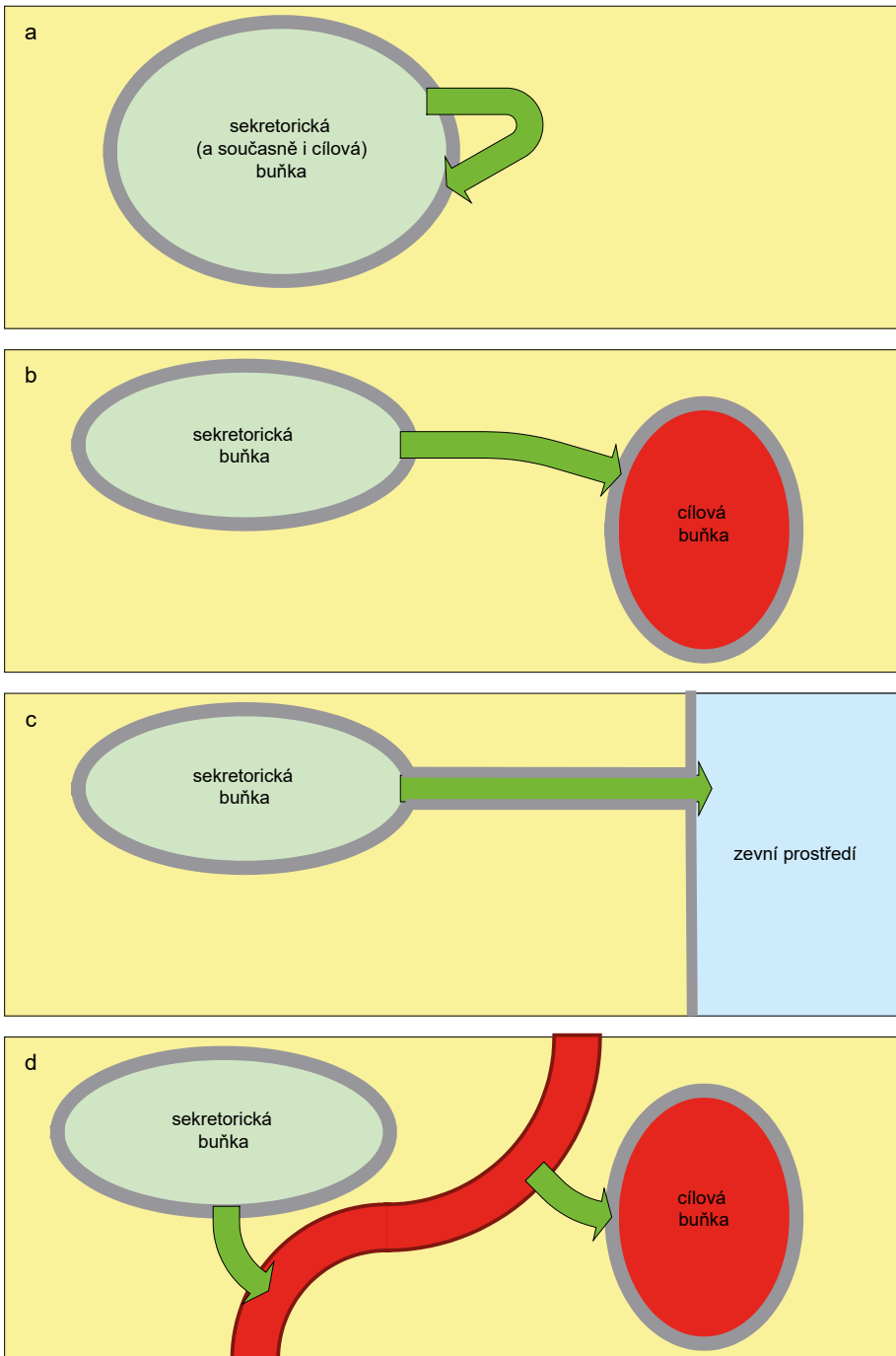
**Neurony** jsou specializovány na získávání, přenos, zpracovávání a ukládání informací. Základní formou informace v nervovém systému je elektrický signál. Některé neurony se specializují na získávání informací o vlastnostech našeho vnějšího i vnitřního prostředí, jejich zakódování do podoby elektrických 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.

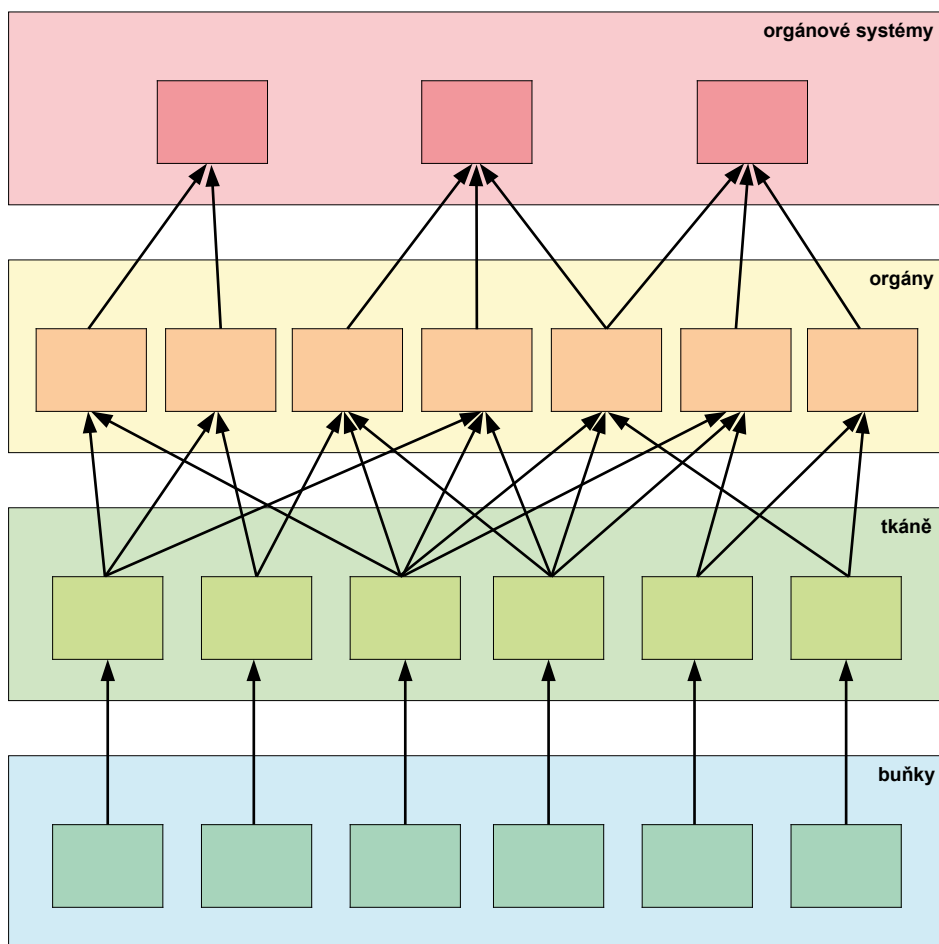


**Obr. 1.1** Sekrece (a) autokrinní – signální látka ovlivňuje buňku, která ji secernuje; (b) parakrinní – signální látka ovlivňuje okolní buňky; (c) exokrinní – signální látka je secernována do zevního prostředí; (d) endokrinní – signální látka je secernována do krevního oběhu, kudy se dostává do vzdálených 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 tkáňe, 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 vzhledem ke své schopnosti produkovat trávicí šťávy (exokrinní funkce pankreatu), ale protože rovněž secernuje několik hormonů, patří také do systému endokrinního (endokrinní funkce pankreatu).

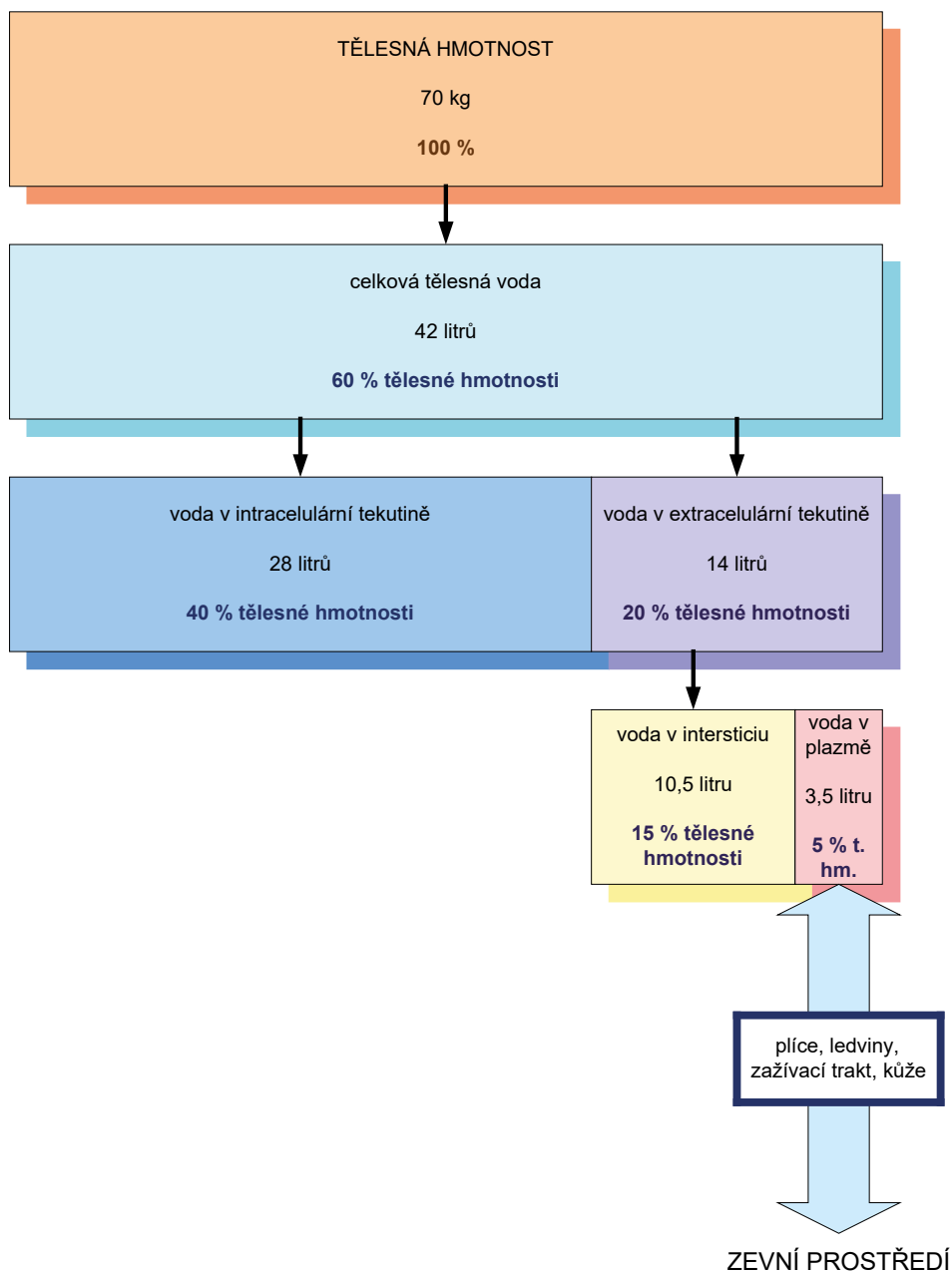
### 1.1.3 Vnitřní prostředí organismu

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

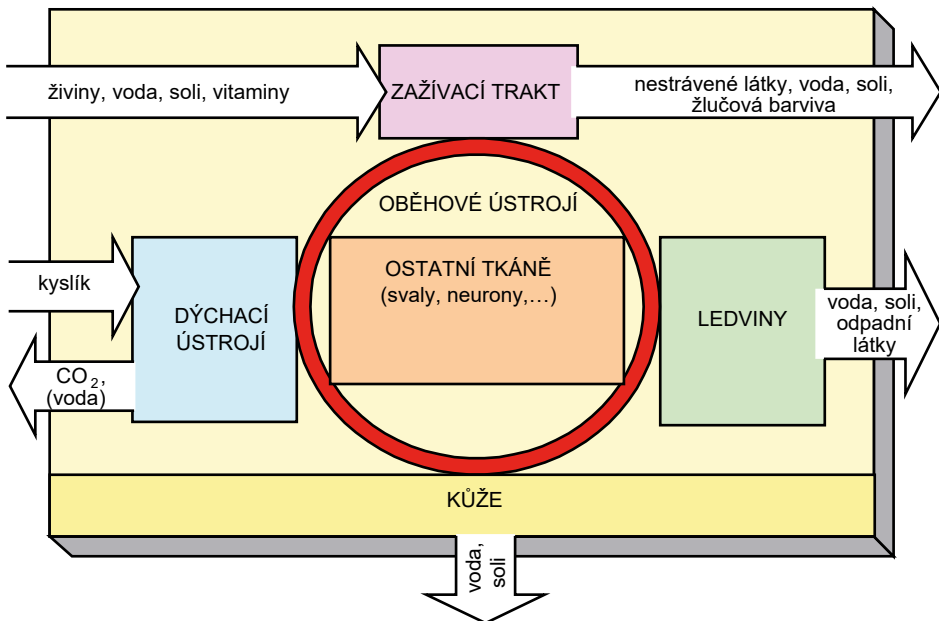
(činí tedy 15 % tělesné hmotnosti); **intravaskulární tekutina** je uvnitř cév krevního oběhu a představuje zbylých 25 % extracelulární tekutiny (tj. 5 % tělesné hmotnosti).

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, představuje vlastně zevní prostředí organismu. V praxi to znamená, že komunikační bariéry mezi vnitřním a zevním prostředím organismu

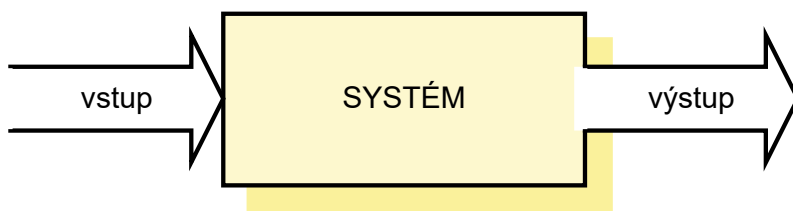


Obr. 1.4 Interakce vnitřního a zevního prostředí

jsou neobyčejně rozsáhlé a mohou tak ohrožovat stálost vlastností prostředí vnitřního. Proto organizmus 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 organizmus dokázal přežít i za různých, často krajně extrémních podmínek: od mrazů Grónska po vedra Rovníkové Guiney, od sucha pouští po absolutní vlhkost deštných pralesů, od modrého světla horských masivů po zelenou temnotu džungle, od pustých lesů po centra velkoměst.

## 1.2 Homeostáza

Zevní prostředí, které nás obklopuje, se svými vlastnostmi výrazně liší od našeho vnitřního prostředí, a proto má tendenci neustále naše vnitřní prostředí narušovat. Živé organizmy 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 organizmus 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

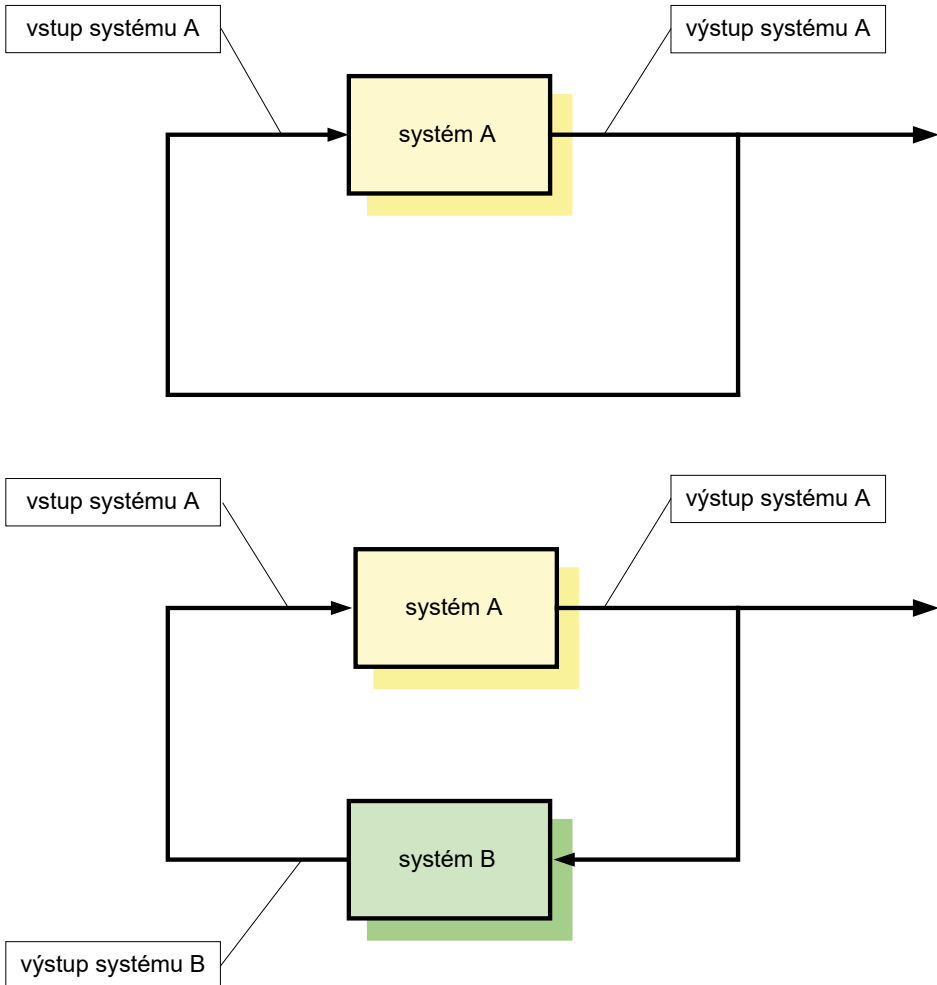
Cílem všech regulačních pochodů v živých systémech je tedy právě udržení stálého vnitřního prostředí navzdory nejrůznějším změnám v prostředí zevním, proto je můžeme nazvat homeostatickými regulačními mechanismy. Homeostatický regulační systém pak definujeme jako **soubor vzájemně funkčně propojených 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 organismu se setkáváme s nepřehlednou řadou regulačních systémů, které jsou velmi složitým způsobem navzájem propojeny a provázány. 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.

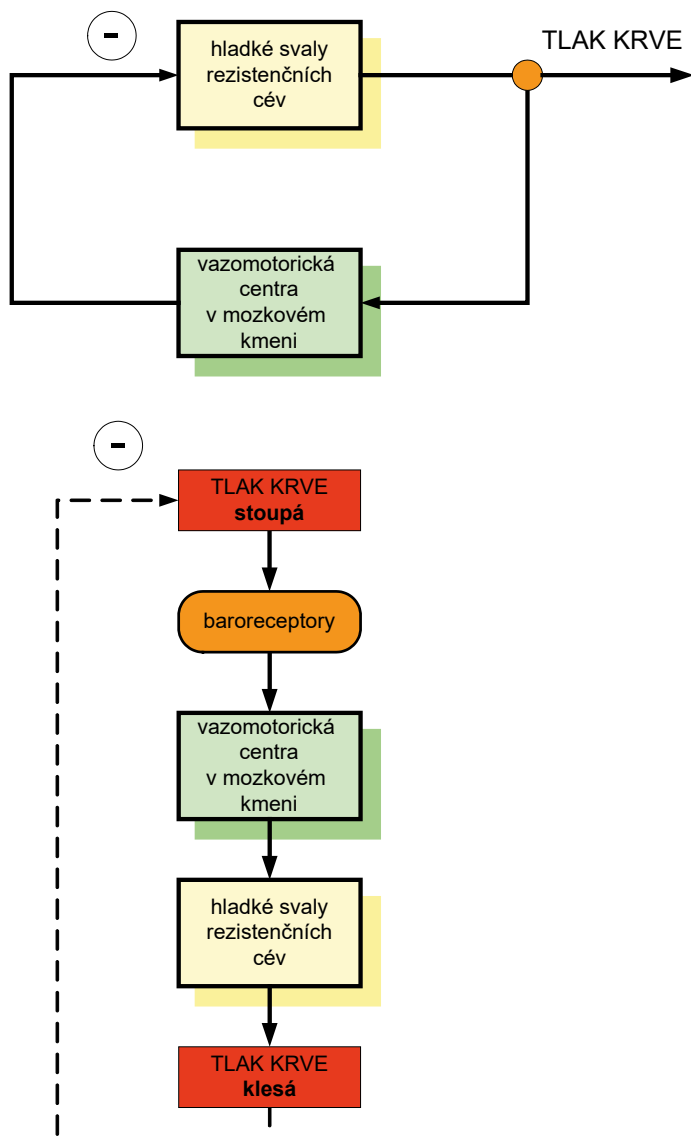
**Záporná zpětná vazba** je základní součástí struktury každé regulace. Její význam spočívá v tom, že kompenzuje výchylky regulovaného systému. To je důsledkem toho, že systém v reakci na změnu určité vlastnosti vnitřního prostředí působí přesně opačnou



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

změnu, tedy postupný návrat k původnímu stavu. 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** odchytku nekompenzuje, 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 systémech, je však nezastupitelná tam, kde potřebujeme, aby malý stimulus



Obr. 1.7 Příklad záporné zpětné vazby

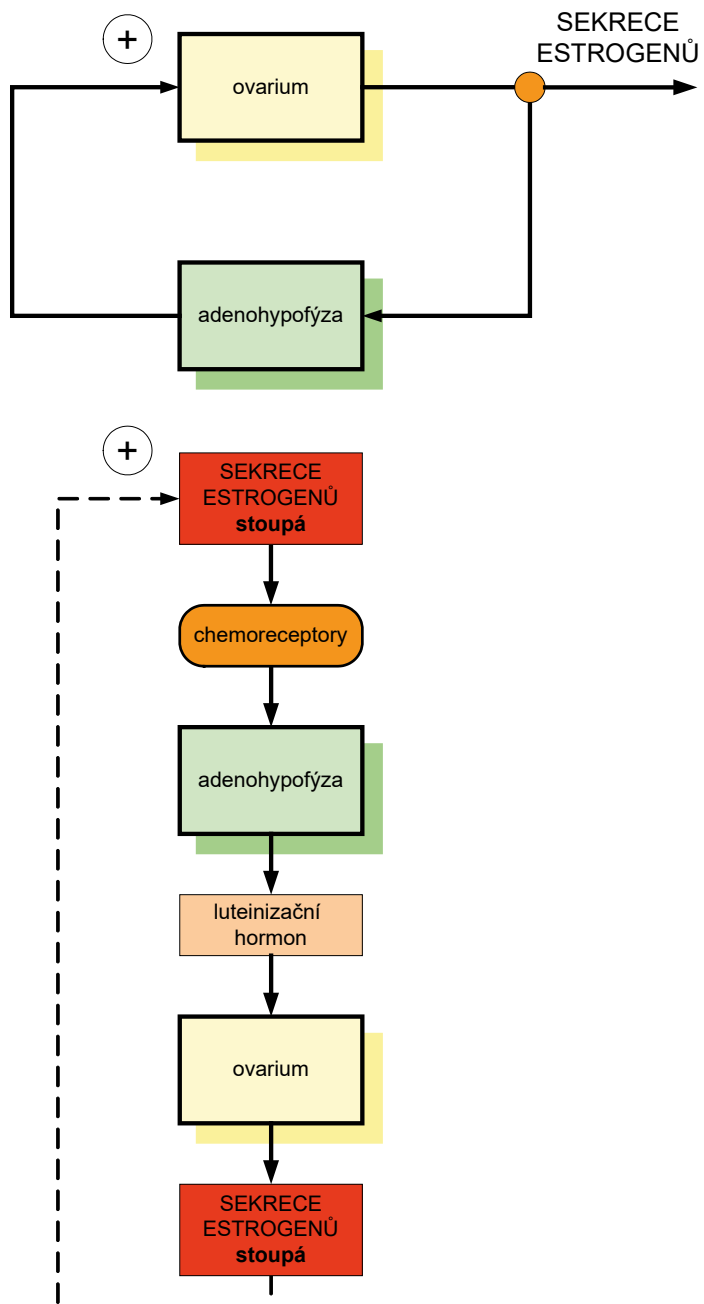
vedl k výrazně rychlé odpovědi. Například elektrické podráždění membrány neuronu vede k lokální změně membránového potenciálu (otevře se jen malé množství rychlých sodíkových kanálů). Čím větší je podráždění, tím více sodíkových kanálů se otevře a nakonec vstup natriových iontů do buňky vede k nové depolarizaci, 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. adeno-hypofýzou): 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

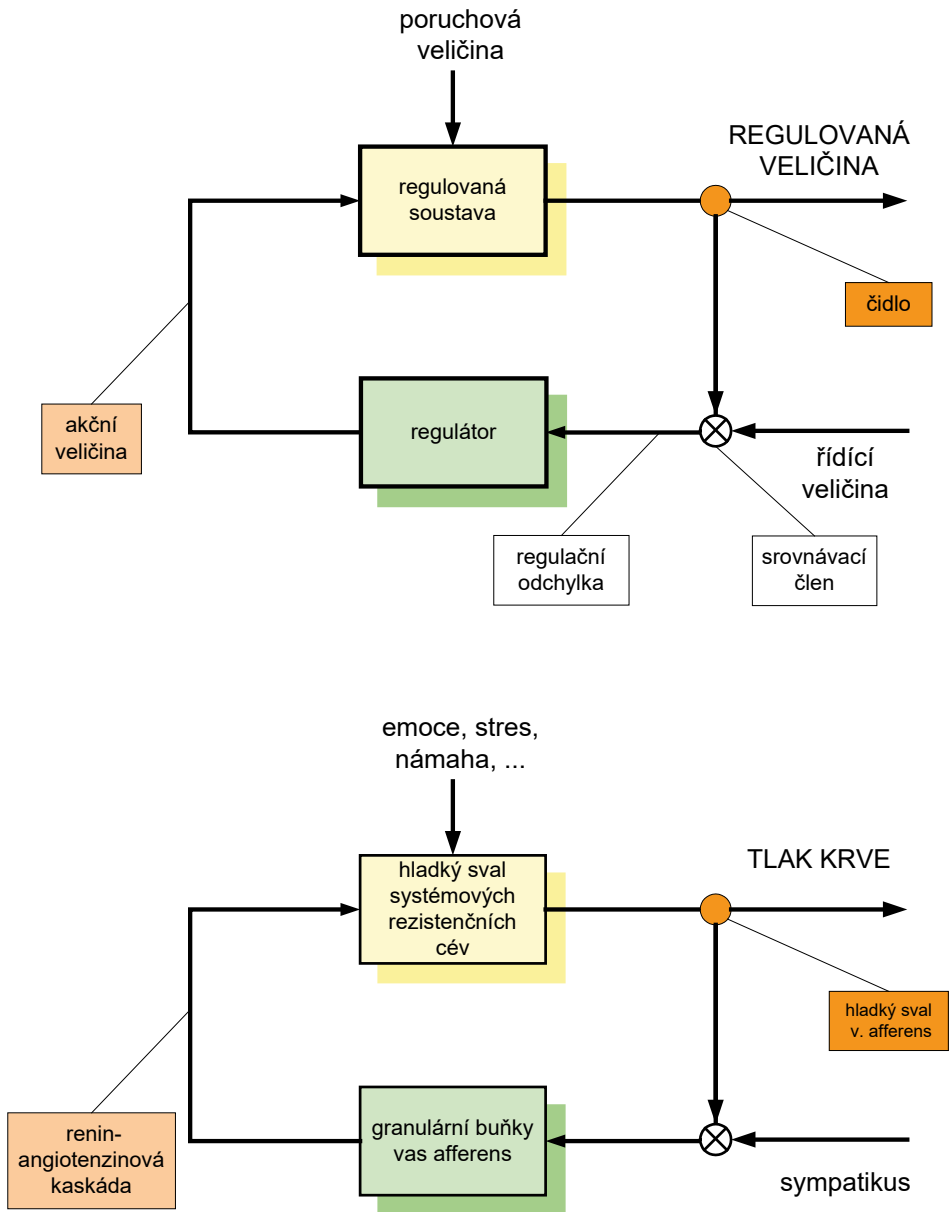
Pro regulační systém existuje určitá charakteristická struktura jeho uspořádání. Záporná zpětná vazba, která propojuje výstup řízeného systému s jeho vstupem, se nazývá **regulační obvod** (obr. 1.9). Řízený systém v regulačním obvodu nazýváme obvykle regulovaná soustava a výstupem regulované soustavy 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 24hodinového, 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 menší odchylce regulované veličiny, která nějakou dobu přetrvává.



Obr. 1.8 Příklad kladné zpětné vazby



Obr. 1.9 Regulační obvod