

Jindřich Mourek

Fyziologie

Učebnice pro studenty
zdravotnických oborů



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**.

Používání elektronické verze knihy je umožněno jen osobě, která ji legálně nabyla a jen pro její osobní a vnitřní potřeby v rozsahu stanoveném autorským zákonem. Elektronická kniha je datový soubor, který lze užívat pouze v takové formě, v jaké jej lze stáhnout s portálu. Jakékoliv neoprávněné užití elektronické knihy nebo její části, spočívající např. v kopírování, úpravách, prodeji, pronajímání, půjčování, sdělování veřejnosti nebo jakémkoliv druhu obchodování nebo neobchodního šíření je zakázáno! Zejména je zakázána jakákoliv konverze datového souboru nebo extrakce části nebo celého textu, umísťování textu na servery, ze kterých je možno tento soubor dále stahovat, přitom není rozhodující, kdo takovéto sdílení umožnil. Je zakázáno sdělování údajů o uživatelském účtu jiným osobám, zasahování do technických prostředků, které chrání elektronickou knihu, případně omezují rozsah jejího užití. Uživatel také není oprávněn jakkoliv testovat, zkoušet či obcházet technické zabezpečení elektronické knihy.



FYZIOLOGIE – učebnice pro studenty zdravotnických oborů

Autor:

Prof. MUDr. Jindřich Mourek, DrSc.

Recenze:

Doc. MUDr. Otto Kittnar, CSc.

Prof. MUDr. Stanislav Trojan, DrSc.

Doc. RNDr. Jitka Koudelová, CSc.

© Grada Publishing, a.s., 2005

Cover Photo © profimedia.cz/CORBIS, 2005

Vydala Grada Publishing, a.s.,

U Průhonu 22, Praha 7

jako svou 2170. publikaci

Odpovědná redaktorka Mgr. Martina Petříková-Bidlová

Ilustrace Kateřina Novotná

Sazba a zlom Jan Šístek

Počet stran 204

Vydání první, Praha 2005

Vytiskly Tiskárny Havlíčkův Brod, a. s.,

Husova 1881, Havlíčkův Brod

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, dávkování a aplikaci jsou sestaveny s nejlepším vědomím autorů. Z jejich praktického uplatnění však pro autory ani pro nakladatelství nevyplynou žádné právní důsledky.

Všechna práva vyhrazena. Tato kniha ani její část nesmí být žádným způsobem reprodukována, ukládána či rozšiřována bez písemného souhlasu nakladatelství.

ISBN 80-247-1190-7 (tištěná verze)

ISBN 978-80-247-6617-1 (elektronická verze ve formátu PDF)©Grada Publishing, a.s. 2011

Obsah

Předmluva	11
Seznam zkratek	13
1 Tělní tekutiny	15
1.1 Úvod a historie	15
1.2 Hlavní oddíly tělních tekutin	15
1.3 Krev	17
1.3.1 Červené krvinky – erytrocyty	19
1.3.2 Krevní destičky – trombocyty	22
1.3.3 Krevní skupiny (krevní systémy)	24
1.3.4 Bílé krvinky – leukocyty	26
1.3.5 Obrana organismu – imunita	28
2 Kardiiovaskulární systém	31
2.1 Čerpací funkce srdce	31
2.2 Srdeční automacie	31
2.3 Elektrokardiogram	35
2.4 Srdeční revoluce	36
2.4.1 Minutový objem srdeční	37
2.4.2 Starlingův zákon	37
2.4.3 Koronární oběh	38
2.5 Zevní projevy srdeční činnosti	38
2.6 Řízení činnosti srdce	39
2.7 Krevní oběh	40
2.7.1 Tlak krve, periferní odpor	40
2.7.2 Tvorba tkáňového moku	41
2.7.3 Žilní návrat	42
2.7.4 Řízení krevního oběhu	43
2.7.5 Zvláštnosti průtoku krve v některých orgánech	44
3 Fyziologie dýchání	47
3.1 Úvod a význam dýchacích plynů	47
3.2 Dýchací cesty a obranné dýchací reflexy	47
3.3 Ventilace plic	49
3.4 Plicní objemy	50

3.5	Mechanika dýchání	51
3.6	Compliance (poddajnost) plic	51
3.7	Průtok krve plicemi	52
3.8	Difuze plynů v plicích	52
3.9	Transport dýchacích plynů krví	53
3.10	Regulace dýchání	55
3.11	Hypoxie	56
4	Metabolismus – přeměna látek a energií	59
4.1	Přehled a pojmy	59
4.2	Energetický ekvivalent	59
4.3	Osud energie v organismu	61
4.4	Přeměna látek	62
4.5	Funkce jater	66
5	Termoregulace	69
5.1	Stálá tělesná teplota	69
5.2	Tvorba tepla – termogeneze	70
5.3	Ztráty tepla – termolýza	71
5.4	Řízení tělesné teploty	72
6	Racionální výživa	75
6.1	Význam racionální výživy, základní pojmy	75
6.2	Bazální metabolismus	76
6.3	Význam jednotlivých živin v potravě	77
6.3.1	Sacharidy	77
6.3.2	Proteiny	77
6.3.3	Lipidy	78
6.3.4	Minerály a stopové prvky	79
6.3.5	Vitaminy	80
6.4	Poruchy výživy	83
8.5	Zásady racionální výživy	85
7	Funkce gastrointestinálního systému (GIT)	87
7.1	Úvod	87
7.2	Dutina ústní	87
7.3	Žaludek	88
7.4	Regulace sekrece a motility žaludku	90
7.5	Duodenum	91
7.6	Tenké střevo	92
7.7	Tlusté střevo	93

7.8 Defekace – vyprazdňování stolice	95
7.9 Vstřebávání jednotlivých živin v GIT	95
8 Fyziologie vylučování	97
8.1 Homeostáza a renální funkce	97
8.2 Pohyb některých látek v ledvinách	99
8.3 Močové cesty	103
9 Endokrinologie – fyziologie žláz s vnitřní sekrecí	105
9.1 Přehled a základní pojmy	105
9.2 Základní mechanismy působení hormonů	105
9.3 Štítná žláza (tyreoidea)	107
9.4 Příštítná tělíska	108
9.5 Inzulin	108
9.6 Glukagon	109
9.7 Kůra nadledvin	110
9.8 Dřeň nadledvin	111
9.9 Adenohypofýza (hypotalamus)	111
9.10 Neurohypofýza	113
9.11 Stres	113
10 Fyziologie rozmnožování	117
10.1 Úvod	117
10.2 Pohlavní vývoj	117
10.3 Mužský reprodukční systém	119
10.4 Ženský reprodukční systém	120
10.4.1 Menstruační cyklus	122
10.4.2 Pohlavní spojení	123
10.4.3 Těhotenství	123
10.4.4 Porod	124
10.4.5 Laktace	125
10.5 Postnatální péče – péče o potomstvo	126
11 Neurofyziologie	129
11.1 Vymezení pojmu	129
11.2 Neuron	129
11.3 Polarizace membrány	130
11.4 Synapse	130
11.5 Membrána nervové buňky	131
11.6 Vedení vzruchu	132
11.6.1 Přenos informací přes synapsi	133

11.6.2	Reflex	135
11.6.3	Podnět (stimulus)	136
11.7	Neuroglie	137
11.8	Vztahy mezi neurony	137
12	Fyziologie svalstva	139
12.1	Úvod	139
12.2	Příčně pruhovaná svalovina (kosterní)	139
12.2.1	Zevní projevy svalové kontrakce	141
12.2.2	Svalový tonus	142
12.3	Hladká svalovina	142
12.3.1	Zevní projevy aktivity hladké svaloviny	143
13	Motorické funkce	145
13.1	Motorika (hybnost)	145
13.2	Reflexní motorika – svalový tonus	145
13.2.1	Míšní reflexy	146
13.3	Retikulární formace	147
13.4	Význam mozečku	149
13.5	Volní motorika	149
13.5.1	Bazální ganglia	149
13.5.2	Talamus	150
13.5.3	Korový mozeček	150
13.5.4	Mozková kůra	151
13.5.5	Limbický systém	152
13.5.6	Motorické funkce hlavových nervů	152
14	Fyziologie smyslů	155
14.1	Historie a základní pojmy	155
14.2	Čich	158
14.3	Chut'	158
14.4	Zrak	159
14.5	Sluch	164
14.6	Statokinetické čidlo	167
14.7	Kožní citlivost	168
14.8	Propriorecepce	170
15	Funkční stavy CNS, integrační funkce	173
15.1	Elektroencefalogram	173
15.2	Bdění a spánek	174
15.3	Biorytmy	176

15.4	Integrační funkce CNS	177
15.4.1	Motivace	178
15.4.2	Emoce	178
15.4.3	Paměť	179
15.4.4	Učení	181
15.4.5	Limbický systém	184
15.5	Specifické lidské vlastnosti vázané na CNS	185
15.6	Mozkomíšní mok	186
15.7	Hematoencefalická bariéra	186
15.8	Mozkový metabolismus	187
Doporučená literatura		189
Rejstřík		191

Děkuji paní MUDr. Věře Špaletové za všestrannou pomoc při zpracování tohoto učebního textu.

Autor

®

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 pojmům, 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 vybídne k aktivnímu přístupu k látce.

Bylo by šťastným završením studia nikoliv jen nabytí nezbytných vědomostí a znalostí, ale i vznik úcty a pokory k tak složitému a současně odolnému ústrojení, 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.

Nechť se vám daří!

*Praha, prosinec 2004
Jindřich Mourek*

Seznam zkratek

AA	kyselina arachidonová
ACTH	adrenokortikotropní hormon
ADH	antidiuretický hormon
ADP	adenosin-difosfát (kyselina adenosin-difosforečná)
ATP	adenosin-trifosfát (kyselina adenosin-trifosforečná)
cAMP	cyklický adenosin-monofosfát
CCK	cholecystokinin
cGMP	cyklický guanosin-monofosfát
BM	bazální metabolismus
BMI	body mass index
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

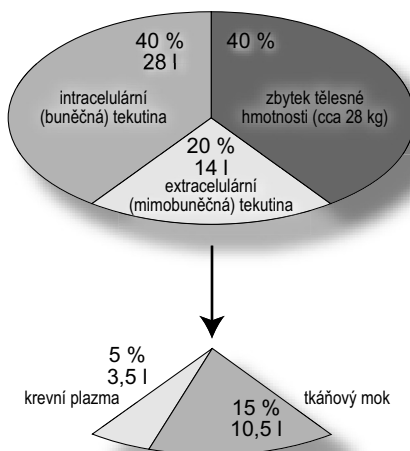
1.1 Úvod a historie

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, izovolumie, 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 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



Obr. 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

= 44 %), což je opačné než u dospělého člověka. Rozdělení tekutin v těle znázorňuje obr. 1.

Převaha ECT nad ICT u novorozenců a kojenců vysvětluje velmi snadnou dehydrataci (ztrátu tekutin) u těchto dětí např. zvracením, průjmey 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 mozkomíšní 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):

Tab. 1 Zastoupení nejdůležitějších prvků v krevní plazmě

Prvek	Koncentrace v plazmě	Fyziologický význam
Sodík (natrium, Na)	137–142 mmol/l	Osmotický tlak, stálost objemu (izovolémie), udržování pH, hlavní kationt ECT
Draslík (kalium, K)	3,8–5,1 mmol/l	Aktivace enzymů, dráždivost nervů a svalů, hlavní kationt ICT
Vápník (calcium, Ca)	2,25–2,75 mmol/l	Srážlivost krve, dráždivost, nervosvalový přenos, svalová kontrakce, činnost srdce, kostní tkáň, atd.
Hořčík (magnesium, Mg)	0,7–1,2 mmol/l	Aktivace enzymů, tlumivé účinky na nervový systém
Chloridy	96–106 mmol/l	Spolu s Na udržuje osmolalitu, stálý objem i pH; žaludeční šťáva
Bikarbonát (HCO_3^-)	24–35 mmol/l	Transport CO_2 , udržování pH
Fosfor (phosphorum, P)	0,6–1,6 mmol/l	Udržuje pH, kostní tkáň

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:

- a) **Podíl na udržování stálého objemu plazmy.** Bílkoviny krevní plazmy tvoří tzv. **onkotický tlak** (což je součást celkového osmotického tlaku krevní plazmy, který je 5150 mm Hg) a jeho hodnota se pohybuje mezi 25–35 mmHg. Jeho výrazné uplatnění je v kapilárách, kde na arteriálním konci krevní tlak převyšuje tento tlak onkotický a tím dochází k filtraci tekutiny z kapilár. Na venózním konci kapilár je však zmíněný onkotický tlak vyšší než krevní a tekutina se zase z intersticia nasává zpět do kapiláry.
- b) **Transportní funkce.** Plazmatické bílkoviny váží a tak transportují např. vitaminy, hormony a některé anorganické látky (železo, měď). Převážná většina lipidů v krevní plazmě je transportována ve vazbě (reverzibilní) na proteiny.
- c) **Udržování pH.** Bílkoviny obsahují jak kyselou složku (COOH), tak i zásadotvornou (NH_2), proto mohou přijímat i odevzdávat vodíkové ionty a fungovat jako nárazník.
- d) Normální hladina plazmatických bílkovin je důležitá pro tzv. **suspenzní stabilitu krve**.
- e) **Obrana organismu.** Na obraně organismu se podílí globulinová složka plazmatických bílkovin, tzv. gama-globuliny (imunoglobuliny = protilátky). Tyto protilátky se vytvářejí ve vlastním imunitním systému (viz dále) a jejich absence znamená snížení imunity.
- f) **Hemokoagulace.** Fibrinogen představuje vysokomolekulární bílkovinu krevní plazmy a tvoří finální složku hemokoagulačního procesu (srážení krve).

Plazma dále přenáší velký počet dalších organických látek. Především je to **glukóza** a její hladina (glykémie) se pohybuje přibližně mezi 3,3 až 6,1 mmol/l. Představuje podstatný a hlavní energetický substrát. Vedle

glukózy je v krvi obsažen ještě např. laktát (0,5–2,2 mmol/l) a další látky glycidového metabolismu. Krevní plazma obsahuje celou řadu dusíkatých látek (močovinu, kyselinu močovou, kreatin, kreatinin, amoniak), které představují vlastně katabolity bílkovinného metabolismu (tzv. nebílkovinný dusík).

Selhání ledvin je charakterizováno právě vzestupem hladin uvedených dusíkatých látek, tzv. urémií.

V plazmě jsou transportovány rovněž **lipidy**. Celková lipémie je v našich střeoevropských poměrech asi 4,0–9,0 g/l. Je závislá na podílu tuků v potravě. Cirkulující tuky mají řadu forem:

- a) **Neesterifikované mastné kyseliny** (NEMK, v anglosaské literatuře se označují FFA, tj. free fatty acids) v množství 0,3–1,0 mmol/l představují důležitý energetický substrát (např. pro srdeční sval). Jejich hladina je silně variabilní, při nedostatku potravy, hladovění a vyčerpání se zvyšuje.
- b) Velmi významným ukazatelem v plazmě je **cholesterol**. I když je to látka, kterou organismus nezbytně potřebuje na stavbu a obnovu buněčných membrán a k syntéze steroidních hormonů, jeho přebytek se ukládá velmi snadno v cévách a stává se podkladem jejich aterosklerotických změn. Hladina cholesterolu v krvi je tedy důležitým prognostickým ukazatelem. U dospělého by neměla přesáhnout 5,2 mmol/l.
- c) Lipidy jsou dále přenášeny ve vazbě na proteiny, tzv. **lipoproteiny**, rozlišené podle denzity na **HDL** (s vysokou denzitou – high density lipoproteins) a **LDL** (s nízkou denzitou – low density lipoproteins). Zvláště HDL jsou významné, protože přenášejí cholesterol z periferie do jater a tak snižují riziko jeho ukládání do cévní stěny. LDL toto ukládání naopak podporují.

V plazmě se také nacházejí barviva, z nichž nejdůležitější je **bilirubin** (žlučové krevní barvivo). Dále hormony, vitamíny, enzymy, popř. další látky, včetně léků.

Hodnoty koncentrací shora uvedených anorganických i organických látek jsou významnými ukazateli homeostázy a jsou proto velmi citlivě regulovány a udržovány.

1.3.1 Červené krvinky – erytrocyty

Červená krvinka (erytrocyt) je bezjaderná buňka, která během svého individuálního vývoje ztratila buněčné jádro. Tato ztráta je naprosto

účelová, protože erytrocyt transportuje dýchací plyny (kyslík a oxid uhličitý) a buněčné jádro má živý metabolismus; proto by významný podíl transportovaného kyslíku spotřebovalo (respektive celá buňka). Erytrocyt má bikonkávní tvar připomínající na podélném řezu cukrářský piškot, což zvětšuje povrch erytrocytu a tím i difuzní plochu pro dýchací plyny. Normocyt (zralá krvinka uvedené velikosti) má průměr 7,4 μm a největší šířka je 2,1 μm . V krvi se objevují v malé míře i větší (makrocyty) a menší (mikrocyty) erytrocyty. Tento jev se nazývá **fyzio-logická anisocytóza**.

Počet červenýchrvinek se liší u mužů a u žen. **Muži mají 4,3–5,3 . 10¹²/litr krve, ženy 3,8–4,8 . 10¹²/l krve**. Tento rozdíl vzniká v pubertě a je podmíněn účinkem pohlavních hormonů.

Bikonkávní tvar, pružná membrána a nepřítomnost jádra dovolují erytrocytům přizpůsobovat se svým tvarem kapilárám, které mají vesměs menší průměr než erytrocyty. Červená krvinka stárne a zaniká rozpadem (hemolýzou) po 90 až 120 dnech života.

Hemolýza je rozpad erytrocytů s vyplavením hemoglobinu. Rozlišujeme jich několik typů:

- a) **osmotická** probíhá v hypertonickém či hypotonickém prostředí,
- b) **chemická** vlivem silných kyselin a zásad, tukovými rozpouštědly, saponiny apod.,
- c) **fyzikální**, způsobena fyzikálními jevy (třepáním, šleháním, ultrazvukem, teplem),
- d) **toxická** je vyvolána jedy (hadí, bakteriální),
- e) **imunologická** vzniká jako důsledek reakce antigen-protilátka např. při inkompatibilitě krevních skupin (viz dále).

Staré krvinky jsou vychytávány ve slezině, játrech či kostní dřeni, kde jsou napadány fagocytyujícími buňkami (makrofágy) a likvidovány.

Hematokritem (HTK) označujeme procentuální zastoupení objemu erytrocytů v celkovém objemu krve. U dospělého zdravého muže je hodnota $\text{HTK} = 44 \pm 5 \%$, u žen $39 \pm 4 \%$. Při pobytu ve vyšší nadmořské výšce se hodnota HTK zvětšuje, protože se zvyšuje počet erytrocytů (a tedy jejich podíl v objemu krve).

Sedimentace erytrocytů je významný test v klinice. Posuzuje stav suspenzní stability krve. Za fyziologických podmínek klesá sloupec erytrocytů vlivem gravitace přibližně o 3–8 mm/hod u mužů, u žen vzhledem k menšímu množství erytrocytů o 6–11 mm/hod. Při zvýšeném množství gama globulinů (protilátek) signalizující většinou bakteriální či virové onemocnění a při zvýšené hladině fibrinofenu se sedimentační rychlost zvyšuje. Fyziologicky stoupá po jídle (zvýšení lipémie), při menstruaci a v těhotenství. Jde o citlivou, ale nespecifickou zkoušku.