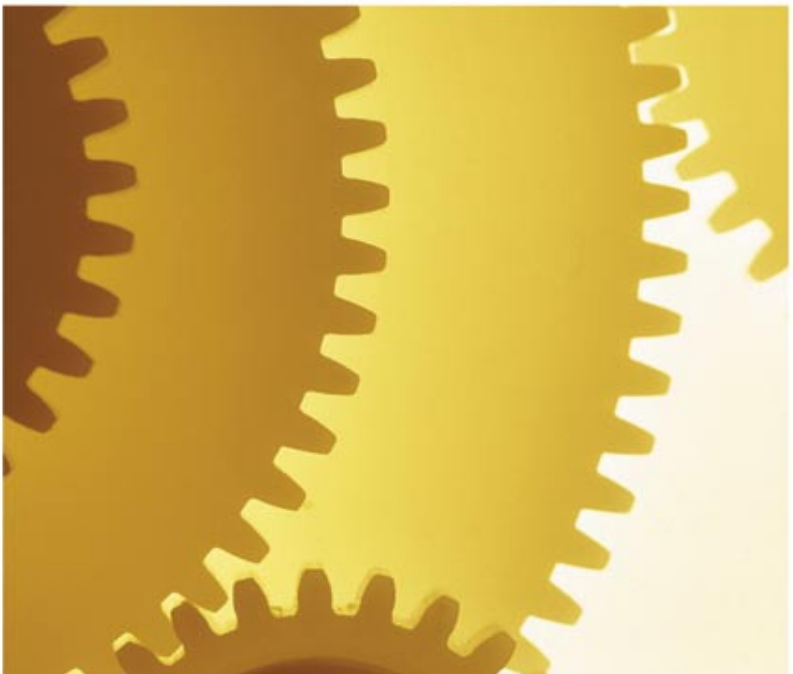
GRADA

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, umisťování 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.

GRADA®

Copyright © Grada Publishing, a.s.

Copyright © Grada Publishing, a.s.

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 nevyplývají 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 organizmu – imunita 28

2 Kardiovaskulární 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 plícemi 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 Metabolizmus – přeměna látek a energií 59
4.1 Přehled a pojmy 59
4.2 Energetický ekvivalent 59
4.3 Osud energie v organizmu 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 metabolizmus 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 mechanizmy působení hormonů 105
9.3 Štítná žláza (tyreoidea) 107
9.4 Příštitná 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 Chuť 158
14.4 Zrak 159
14.5 Sluch 164
14.6 Statokinetické čidlo 167
14.7 Kožní citlivost 168
14.8 Proprioreceptory 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 metabolizmus 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 mechanizmech. 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 nabýt 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 mechanizmy, 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 ústrojenství, jako je naše tělo.

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

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 metabolizmus
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 slep (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

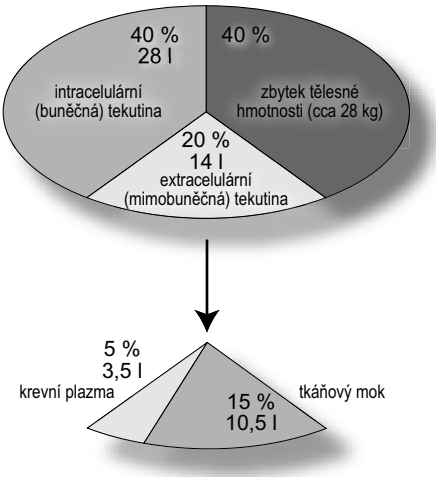
1.1 Úvod a historie

Existence savčí buňky, tkáně, orgánu a tím celého organizmu 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 organizmus 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, průjmy či nedostatečným příjmem tekutin, což je spojeno s následným těžkým rozvratem vnitřního prostředí a může vést až ke smrti.

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