



Fakulta  
tělesné kultury

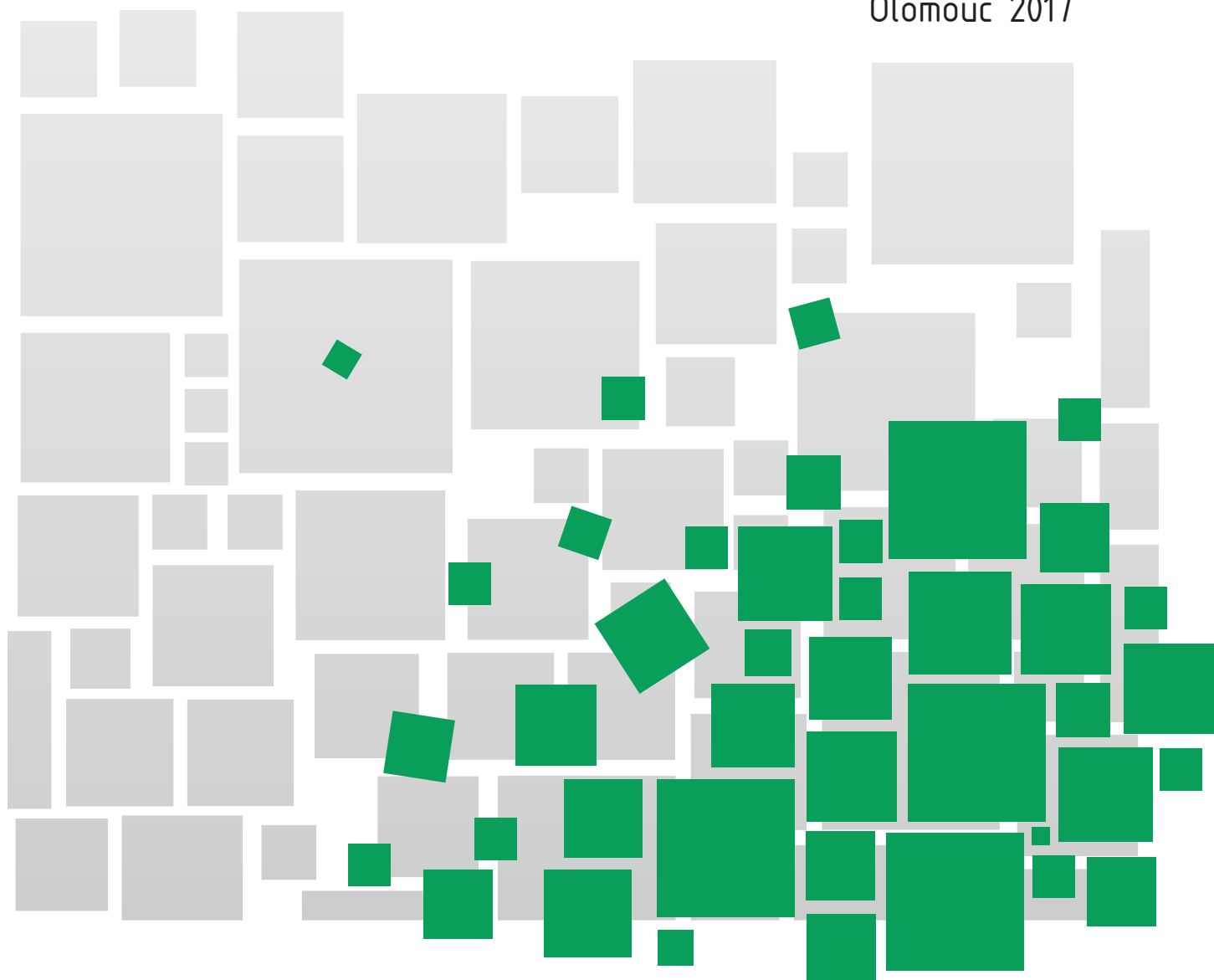
Univerzita Palackého  
v Olomouci

# FYZIOLOGIE PRO TĚLOVÝCHOVNÉ OBORY

(vybrané kapitoly, část I.)

Michal Botek, Filip Neuls,  
Iva Klimešová, Jaroslav Vyhnánek

Olomouc 2017



Univerzita Palackého v Olomouci  
Fakulta tělesné kultury

# **Fyziologie pro tělovýchovné obory** **(vybrané kapitoly, část I.)**

**Michal Botek**  
**Filip Neuls**  
**Iva Klimešová**  
**Jaroslav Vyhnánek**

Olomouc 2017

Recenzenti: doc. MUDr. Dalibor Pastucha, Ph.D., MBA  
PhDr. Dr. Martin Sigmund, Ph.D.

Tato publikace byla zpracována jako součást rozvojového projektu v rámci institucionálního plánu Univerzity Palackého v Olomouci (FRUP) s názvem *Inovace předmětů fyziologie na FTK UP v Olomouci* (FRUP\_2017\_044).

1. vydání

© Michal Botek, Filip Neuls, Iva Klimešová, Jaroslav Vyhnánek, 2017

© Univerzita Palackého v Olomouci, 2017

Neoprávněné užití tohoto díla je porušením autorských práv a může zakládat občanskoprávní, správněprávní, popř. trestněprávní odpovědnost.

ISBN 978-80-244-5307-1 (print)

ISBN 978-80-244-5308-8 (online : PDF)

# Obsah

<b>Seznam nejužívanějších zkratk</b> .....	<b>6</b>
<b>Úvod</b> .....	<b>7</b>
<b>1 Repetitorium (bio)chemie</b> .....	<b>8</b>
1.1 Základní nutrienty.....	9
1.2 Enzymy a koenzymy.....	11
1.3 Vitamíny.....	11
<b>2 Fyziologie buňky</b> .....	<b>13</b>
2.1 Buněčné organely .....	14
2.2 Transport látek přes membránu a buněčná sekrece .....	15
<b>3 Metabolismus: základní pojmy</b> .....	<b>18</b>
3.1 Energetický metabolismus.....	18
<b>4 Bioenergetika svalové činnosti: energetické zdroje a dráhy</b> .....	<b>21</b>
4.1 Energetické zdroje pro svalovou činnost.....	21
4.2 Bioenergetické dráhy.....	21
<b>5 Bioenergetika svalové činnosti: makroergní fosfáty</b> .....	<b>23</b>
5.1 ATP jako zdroj energie pro svalovou kontrakci .....	23
5.2 ATP-CP systém .....	24
<b>6 Bioenergetika svalové činnosti: anaerobní metabolismus sacharidů</b> .....	<b>25</b>
6.1 Anaerobní glyko(geno)lýza .....	25
6.2 Metabolismus laktátu .....	27
6.3 Metabolická acidóza a výkon.....	29
<b>7 Bioenergetika svalové činnosti: aerobní metabolismus sacharidů, Krebsův cyklus, dýchací řetězec</b> .....	<b>30</b>
7.1 Krebsův cyklus.....	31
7.2 Oxidativní fosforylace .....	32
7.3 Oxidační stres.....	33
<b>8 Bioenergetika svalové činnosti: metabolismus tuků</b> .....	<b>34</b>
<b>9 Bioenergetika svalové činnosti: metabolismus bílkovin</b> .....	<b>38</b>
<b>10 Funkční charakteristika transportního systému</b> .....	<b>39</b>
10.1 Dýchací systém .....	39
10.2 Kardiovaskulární systém .....	40
10.3 Reakce transportního systému na dynamickou zátěž .....	42
<b>11 Fyziologie kosterního svalstva</b> .....	<b>44</b>
11.1 Struktura svalového vlákna.....	44
11.2 Svalová kontrakce .....	45
11.3 Typologie svalových vláken.....	49
11.4 Svalová hypertrofie a atrofie .....	51
<b>12 Fyziologie hladkého a srdečního svalstva</b> .....	<b>53</b>
12.1 Hladké svalstvo .....	53
12.2 Myokard.....	53
<b>13 Základy neurofyziologie</b> .....	<b>55</b>
13.1 Funkce jednotlivých částí CNS .....	58
13.2 Autonomní nervový systém.....	61

<b>14 Autonomní nervový systém: spektrální analýza variability srdeční frekvence .....</b>	<b>63</b>
<b>15 Senzorické systémy .....</b>	<b>70</b>
<b>16 Endokrinní systém.....</b>	<b>75</b>
16.1 Hypotalamus.....	76
16.2 Hypofýza .....	76
16.3 Epifýza.....	77
16.4 Štítná žláza .....	78
16.5 Příštítná tělíska .....	78
16.6 Slinivka břišní .....	79
16.7 Dřeň nadledvin.....	79
16.8 Kůra nadledvin .....	80
<b>17 Pohlavní hormony .....</b>	<b>82</b>
<b>18 Metabolismus kostní tkáně .....</b>	<b>84</b>
<b>19 Fyziologie trávení a vstřebávání.....</b>	<b>86</b>
19.1 Vliv tělesného zatížení na funkce trávicího traktu.....	88
<b>20 Homeostáza .....</b>	<b>89</b>
20.1 Acidobazická rovnováha .....	89
20.2 Složení vnitřního prostředí .....	90
20.3 Příjem a výdej vody.....	93
<b>21 Funkce ledvin a fyziologie vylučování .....</b>	<b>95</b>
21.1 Funkce ledvin .....	95
21.2 Řízení činnosti ledvin .....	97
21.3 Funkce ledvin během zátěže.....	98
<b>22 Termoregulace .....</b>	<b>99</b>
<b>23 Reakce organismu na stresový podnět.....</b>	<b>102</b>
<b>24 Zatížení a zatěžování jako adaptační podnět.....</b>	<b>104</b>
24.1 Zatížení a zatěžování.....	104
24.2 Kvantifikace intenzity zatížení .....	104
24.3 Adaptace .....	105
24.4 Detrénink a desadaptace .....	108
<b>25 Únava a zotavení.....</b>	<b>109</b>
25.1 Fyziologická únava .....	109
25.2 Patologická únava .....	111
25.3 Zotavení .....	111
<b>26 Fyziologické determinanty výkonnosti ve vytrvalostních sportech .....</b>	<b>114</b>
<b>27 Fyziologické determinanty výkonnosti v rychlostních a silových sportech.....</b>	<b>122</b>
27.1 Rychlost.....	122
27.2 Síla.....	122
<b>28 Vliv hypoxie na organismus v klidu a během zatížení.....</b>	<b>124</b>
28.1 Fyzikální aspekty přirozené nadmořské výšky .....	125
28.2 Definice a druhy hypoxie .....	126
28.3 Tréninkové modely využívající vyšší nadmořské výšky nebo simulované hypoxie ..	126
28.4 Akutní systémová stresová odezva organismu na hypoxii .....	128
<b>29 Biomedicínská specifika sportu žen .....</b>	<b>132</b>
29.1 Intersexuální diference: morfologicko-funkční aspekt.....	132
29.2 Intersexuální diference: tréninkový a výkonnostní aspekt.....	133
29.3 Specifika gynekologického charakteru .....	136

29.4 Poruchy příjmu potravy .....	140
29.5 Osteoporóza.....	141
29.6 Sportovní triáda .....	141
29.7 Anémie.....	142
<b>30 Fyziologické aspekty stárnutí.....</b>	<b>143</b>
30.1 Morfologicko-funkční změny spojené se stárnutím .....	144
30.2 Zásady kondiční přípravy seniorů .....	146
<b>31 Diagnostika ve sportu a zátěžové testy .....</b>	<b>147</b>
31.1 Vlastnosti zátěžových testů a jejich rozdělení .....	147
31.2 Spiroergometrie.....	148
31.3 Řízení pohybové zátěže .....	149
31.4 Ukazatele ve sportovní diagnostice .....	150
31.5 Funkční zkoušky ve sportovní diagnostice.....	153
<b>32 Sportovní výživa .....</b>	<b>158</b>
32.1 Energetický příjem a výdej.....	158
32.2 Zastoupení základních nutrientů ve stravě .....	160
32.3 Příjem tekutin .....	164
32.4 Nutriční timing .....	167
<b>33 Nutriční doplňky .....</b>	<b>169</b>
<b>34 Doping ve sportu.....</b>	<b>174</b>
34.1 Dopingové látky a metody .....	174
<b>Použitá a doporučená literatura .....</b>	<b>178</b>

## Seznam nejužívanějších zkratek

ADH – antidiuretický hormon  
ADP – adenosindifosfát  
AK – aminokyselina  
ANP – anaerobní práh  
ANS – autonomní nervový systém  
AP – aerobní práh  
ATP – adenosintrifosfát  
CNS – centrální nervový systém  
CoA – koenzym A  
CP – kreatinfosfát  
E – energie  
FAD – flavinadenindinukleotid  
SF – srdeční frekvence  
SF<sub>klid</sub> – klidová srdeční frekvence  
SF<sub>max</sub> – maximální srdeční frekvence  
MK – mastná kyselina  
MSV – minutový objem srdeční (minutový srdeční výdej)  
MTR – maximální tepová rezerva  
NAD – nikotinamidadenindinukleotid  
P<sub>i</sub> – anorganický fosfát  
RAA – systém renin-angiotenzin-aldosteron  
RQ – respirační kvocient  
 $\dot{V}O_2$  – spotřeba kyslíku (za 1 min)  
 $\dot{V}O_{2max}$  – maximální spotřeba kyslíku (za 1 min)  
VSF – variabilita srdeční frekvence

## Úvod

Vážené studentky, vážení studenti,

do rukou se vám dostávají texty první části témat z fyziologie pro tělovýchovné obory na FTK UP v Olomouci. Cílem je nabídnout základní a rozšiřující výukový materiál, který vám bude nápomocen při přípravě na zkoušky z předmětů s náplní fyziologie člověka v bakalářské a magisterské etapě studia. Jde o soubor vybraných kapitol do velké míry reflektujících a doplňujících témata probíraná na přednáškách v denním i v kombinovaném studiu.

Fyziologie je biologický vědní obor, který studuje funkce živých organismů na úrovni buněk, tkání, orgánů, orgánových soustav i organismu jako celku. Pro své poznatky využívá též spřízněných oborů, jako jsou anatomie, cytologie, histologie, biochemie, molekulární biologie nebo patofyziologie. Aplikací obecné fyziologie na pohybujícího se člověka je fyziologie zátěžová. Ta zkoumá organismus jednak z pohledu akutních změn, které nastávají při přechodu z klidového stavu do zatížení, a jednak z pohledu chronického, kdy pravidelně a dlouhodobě trénující jedinec získává určité fyziologické adaptace.

Předkládaná skripta nabízejí poznatky, jejichž nastudování považujeme za nezbytné, a dále některé zajímavosti či informace upotřebitelné v tělovýchovné a tréninkové praxi. Pochopení řady kapitol těchto učebních textů vyžaduje znalosti zejména z oblasti anatomie a obecné fyziologie – v tomto bodě vás odkazujeme na příslušnou literaturu. Úzkou návazností je pak oblast sportovního tréninku, která zátěžové fyziologie hojně využívá při tvorbě tréninkových principů a plánů.

Hodně štěstí při studiu přejí autoři!



# 1 REPETITORIUM (BIO)CHEMIE

---

**Biochemie** se zabývá chemickými pochody v živých organismech. Studuje strukturu a funkce základních stavebních kamenů živé hmoty, tzv. **biomolekul** (sacharidy, lipidy, proteiny, nukleové kyseliny atd.). Veškeré biomolekuly se skládají z tzv. **biogenních prvků**. Ty se podle svého množství v organismu dělí na makrobiogenní, mikrobiogenní a stopové:

- **makrobiogenní** (> 1 %): C, H, O, N, Ca, P;
- **mikrobiogenní** (0,01–1 %): Na, K, S, Cl, Mg;
- **stopové** (< 0,01 %): Fe, Zn, Cu, I, Mn, Mo, Co, Se, Cr, F.

**Tabulka 1**

*Zastoupení jednotlivých prvků v lidském organismu*

Prvek	Zastoupení	Prvek	Zastoupení
Uhlík (C)	50 %	Síra (S)	0,8 %
Kyslík (O)	20 %	Sodík (Na)	0,4 %
Vodík (H)	10 %	Chlor (Cl)	0,4 %
Dusík (N)	8,5 %	Hořčík (Mg)	0,1 %
Vápník (Ca)	4 %	Železo (Fe)	0,01 %
Fosfor (P)	2,5 %	Mangan (Mn)	0,001 %
Draslík (K)	1 %	Jod (I)	0,00005 %

Z těchto prvků se skládají molekuly jednotlivých **sloučenin**. Jejich vlastnosti pak vycházejí ze zastoupení daných prvků a povahy vazeb mezi nimi, stejně jako z interakcí s molekulami jiných sloučenin. Některé sloučeniny jsou označovány jako anorganické, jiné jako organické:

- **anorganické sloučeniny**: obvykle se skládají z atomu nebo skupiny atomů s kladným nábojem (kovu) a atomu nebo skupiny atomů se záporným nábojem (nekovu) – tj. minerály, soli apod.;
- **organické sloučeniny**: obsahují ve své molekule uhlík, ale nepatří sem oxidy uhlíku ( $\text{CO}_2$ , CO), kyselina uhličitá ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), uhličitany a hydrogenuhličitany (soli  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) apod., které se řadí mezi sloučeniny anorganické.

Každý organismus je přirozeně složen jak z látek organických (jednoznačně převažují), tak anorganických. Zjednodušeně můžeme říci, že nám známý život je založen na sloučeninách **uhlíku**.

Atomy či skupiny atomů s elektrickým nábojem se označují jako ionty. **Iont** je tedy elektricky nabitá částice (atom nebo molekula). Atomy v sobě obsahují protony (kladný náboj), neutrony (bez náboje) a elektrony (záporný náboj). Pokud jsou protony a elektrony v rovnováze, částice je elektroneutrální. Jakmile ale protony nebo elektrony převáží, z částice se stává iont s elektrickým nábojem, který iontu dává odlišné vlastnosti oproti elektroneutrální částici:

- **kationt** – kladně nabitá částice; odevzdala elektron ( $e^-$ ) nebo přijala proton ( $p^+$ , někdy značeno jako  $\text{H}^+$ );
- **aniont** – záporně nabitá částice; přijala elektron ( $e^-$ ) či odevzdala proton ( $p^+$ )

Jako jednoduché příklady vzniku iontů lze uvést rozpouštění soli ( $\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$ ) nebo rozklad vody, tzv. *hydrolýzu* ( $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$ ).

## 1.1 Základní nutrienty

Organismus přijímá z vnějšího prostředí (potravou) veškeré látky důležité pro život: základní **živiny** (sacharidy, lipidy a proteiny), **vitamíny**, **minerální látky** a **vodu**. Z těchto látek si různými metabolickými cestami vytváří další látky nezbytné pro chod životních funkcí. Některé látky si organismus neumí vytvořit sám, musí je proto bezpodmínečně přijímat v potravě; jde o tzv. **esenciální látky** (vitamíny, esenciální MK a esenciální AK). Aby mohla fungovat látková přeměna, musí organismus z vnějšího prostředí pomocí dýchání nezbytně přijímat  $\text{O}_2$ , přestože část metabolismu může probíhat i anaerobní cestou.

### Sacharidy

**Sacharidy** (označovány nepřesně též jako karbohydráty, uhlohydráty či uhlovodany) patří mezi základní přirozené látky v rostlinných i živočišných organismech. Přírodní cestou vznikají pomocí sluneční energie z  $\text{H}_2\text{O}$  a  $\text{CO}_2$  v procesu fotosyntézy (v zelených rostlinách, řasách a sinicích). Organismy neschopné fotosyntézy jsou závislé na příjmu sacharidů v potravě. Při nedostatku mohou sacharidy krátkodobě vznikat z AK nebo z glycerolu. Nízkomolekulární sacharidy jsou rozpustné ve vodě a mají více či méně sladkou chuť (označují se jako cukry, glycidy), makromolekulární polysacharidy jsou většinou bez chuti a jsou ve vodě jen omezeně rozpustné (škrob), nebo zcela nerozpustné (celulóza a jiné složky vlákniny). V organismu jsou sacharidy významným zdrojem a zásobou energie (glukóza, glykogen) nebo složkami složitějších biomolekul (nukleových kyselin, hormonů, koenzymů).

Biomolekuly sacharidů se skládají z C, H a O. Základní stavební jednotkou je tzv. *cukerná jednotka* (monosacharid). Rozdělení:

- dle počtu atomů C v cukerné jednotce: triózy (3C), tetriózy (4C), pentózy (5C), hexózy (6C) atd.;
- dle počtu cukerných jednotek: monosacharidy (1), disacharidy (2), oligosacharidy (do 10), polysacharidy (nad 10).

Příklady:

**monosacharidy** – glukóza (6C; „hroznový cukr“, „krevní cukr“), fruktóza (6C; „ovocný cukr“), galaktóza (6C; součást mateřského mléka), ribóza (5C, součást nukleových kyselin, ATP aj.);

**disacharidy** – sacharóza (glukóza + fruktóza; „řepný cukr“), maltóza (glukóza + glukóza, „sladový cukr“), laktóza (glukóza + galaktóza, „mléčný cukr“);

**polysacharidy** – glykogen (až 120.000 molekul glukózy, zásobní polysacharid živočichů), škrob (amylóza + amylopektin, rostlinná zásobní látka), celulóza (stavební polysacharid rostlin, součást vlákniny).

Sacharidy mohou vytvářet i části složitějších molekul, např. *proteoglykany* (vytvářejí síť, vážou vodu, důležité pro metabolismus kostí a hydrataci tkání), *glykoproteiny* (často vytvářeny sliznicemi, např. mucin v trávicím traktu), *glykolipidy* (zejména v buněčných membránách, buněčné receptory, látky pomáhající zakotvit buňku do okolní tkáně).

## Lipidy

**Lipidy** jsou přírodní látky živočišného i rostlinného původu. Mohou být v kapalném nebo pevném skupenství. Chemicky se jedná o estery vyšších karboxylových kyselin (nasyčených i nenasycených), látky skládající se stejně jako sacharidy z C, H a O. Jejich důležitou vlastností je to, že jsou *hydrofobní*, tj. nerozpustné ve vodě. Lipidy mají v organismu následující zásadní funkce:

- součást buněčných membrán (lipidová dvojvrstva),
- zdroj a zásoba energie (např. v adipocytech; lipidy jsou energeticky velmi bohaté),
- ochrana orgánů, tepelná izolace,
- rozpouštědlo (pro vitamíny rozpustné v tucích),
- nezbytné pro tvorbu steroidních hormonů (pohlavní hormony, kortizol, aldosteron),
- signální molekuly.

Příklady jednoduchých lipidů:

**tuky** (též triacylglyceroly, triglyceridy) – v potravě jsou nejběžnější, skládají se z *glycerolu* (3C alkohol) a tří *mastných kyselin* (MK, *fatty acids*), MK mají v řetězci obvykle sudý počet C a dle přítomnosti dvojných vazeb se rozlišují na nasycené (bez dvojných vazeb) a nenasycené (obsahují dvojnou vazbu); mezi esenciální MK (obvykle  $\omega$ -3 a  $\omega$ -6) patří kyselina linolová, linolenová nebo arachidonová – ta je např. důležitá pro syntézu prostaglandinů (hormonům podobných látek s místním účinkem);

**steroly** (např. cholesterol a jeho deriváty) – důležité komponenty membránových lipidů, prekurzory pro steroidní hormony, signální molekuly, žlučové kyseliny aj.

Příklady složených lipidů:

**fosfolipidy** – hlavní součást buněčných membrán s hydrofilní a hydrofobní částí;

**lipoproteiny** – součást membrán, cytoplazmy, krevní plazmy, obsahují fosfolipidy, triglyceridy, cholesterol a jejich funkcí je transport ve vodě nerozpustných lipidů vodním prostředím krve (např. chylomikrony, chylomikronové zbytky, HDL-cholesterol, LDL-cholesterol, VLDL-cholesterol apod.).

## Proteiny

**Proteiny** (bílkoviny) jsou podstatou všech známých organismů. Jde o vysokomolekulární přírodní látky (tzv. *biopolymery*) složené z **aminokyselin** (AK) spojených peptidovou vazbou. Rozlišujeme *oligopeptidy* (2–10 AK), *polypeptidy* (11–100 AK) a *proteiny* (více než 100 AK). Kromě C, H a O obsahují AK navíc N (ve formě tzv. aminoskupiny) a některé i S. Všechny bílkoviny vznikají kombinací 20 (21) biogenních AK na základě přepisu genetické informace (v DNA je obsažen program, „návod“ na tvorbu proteinů). Esenciální AK si lidské tělo nedokáže vytvořit (je jich celkem 8) a musí je proto bezpodmínečně přijímat v potravě. Funkce bílkoviny je dána složením polypeptidového řetězce a jeho strukturou (prostorovým uspořádáním). **Denaturací** se nevratně ztrácí její biologická aktivita (zahřátím, změnou pH).

Dle struktury rozdělujeme proteiny na:

- globulární (mají tvar klubka – albuminy, globuliny),
- fibrilární (vláknité – kolagen, elastin, keratin),
- jednoduché/složené.

Dle funkce pak můžeme rozlišit proteiny:

- stavební či strukturální (tvoří stavební složky buněk, kolagen, elastin, keratin),

- katalytické, řídicí a regulační (enzymy, hormony, receptory),
- transportní (hemoglobin, myoglobin),
- pohybové (aktin, myozin),
- ochranné a obranné (protilátky, imunoglobuliny, fibrin, fibrinogen),
- zásobní, skladovací (transferin, ferritin),
- senzorické (rhodopsin),
- výživové (zdroj hmoty k výstavbě a obnově tkání).

## 1.2 Enzymy a koenzymy

**Enzymy** jsou proteiny s katalytickou aktivitou, tzv. *biokatalyzátory* (běžně mají v názvosloví koncovku *-áza*, výjimkou jsou některé trávicí enzymy). Enzymy určují povahu, směr i rychlost chemických reakcí a řídí většinu biochemických procesů v těle všech živých organismů. Jsou specifické, obvykle katalyzují určitou konkrétní reakci. Bílkovinná složka enzymu se nazývá **apoenzym**, nebílkovinná část je tzv. **kofaktor**. Kofaktor je chemická látka nezbytná pro biologickou aktivitu enzymu. Může být anorganická (např. ionty  $Mg^{2+}$ ,  $Cu^+$ ,  $Fe^{2+}$  aj.) nebo organická, v tom případě hovoříme o **koenzymech**, které často tvoří tzv. *prostetickou skupinu* (koenzym pevně navázaný na apoenzym). Příklady koenzymů:

**Adenosintrifosfát** (ATP) – makroergní fosfát, univerzální buněčný přenašeč energie ( $ATP \rightarrow ADP + P_i + E$ ). Energie (E) se využívá téměř ve všech typech buněčných pochodů, např. při biosyntézách, vnitrobuněčném a membránovém transportu, výrobě proteinů, syntéze RNA, svalové kontrakci apod. ATP se rozkládá hydrolýzou za pomoci enzymu ATPázy, regeneruje (recykluje se) pomocí enzymu myokinázy a energie dodané z enzymaticky řízeného rozpadu jiných energeticky bohatých látek, jako jsou CP, glukóza, glykogen, MK, AK, glycerol, ketolátky aj. ( $ADP + P_i + E \rightarrow ATP$ ).

**Nikotinamidadenindinukleotid** (NAD) – koenzym přítomný ve všech živých organismech, je zapojený v oxidačně-redukčních reakcích. Může existovat v oxidované formě ( $NAD^+$ ) či v redukované formě (NADH) a díky tomu funguje jako přenašeč elektronů ( $e^-$ ) a protonů ( $H^+$ ) v elektronovém transportním řetězci (v mitochondrii). Na oxidaci 1 mol NADH je vázán vznik 3 mol ATP.

**Flavinadenindinukleotid** (FAD) – má podobnou funkci jako NAD, opět může existovat v oxidované (FAD) a v redukované formě ( $FADH_2$ ). Je také schopen přenášet  $e^-$  a  $H^+$  do elektronového transportního řetězce. Na oxidaci 1 mol  $FADH_2$  je vázán vznik 2 mol ATP.

**Koenzym A** (CoA) – funguje jako přenašeč různých skupin (acetylových, acylových aj.) při buněčných oxidacích.

**Koenzym Q10** – významně přispívá k přeměně energie z potravy do chemické energie ATP, slouží i jako antioxidant v mitochondriích a lipidových membránách, brání tyto struktury před volnými radikály.

## 1.3 Vitamíny

**Vitamíny** jsou nízkomolekulární organické látky esenciální pro život (organismus je nedokáže syntetizovat v dostatečném množství). Obvykle vystupují jako katalyzátory biochemických reakcí. V současnosti se uznává 13 vitamínů:

- *rozpustné v tucích*: A, D, E, K,
- *rozpustné ve vodě*: C, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>5</sub>, B<sub>6</sub>, B<sub>7</sub>, B<sub>9</sub>, B<sub>12</sub>.

Funkce vitamínů jsou následující:

- regulátory (podobně jako hormony, např. vitamín D),
- kofaktory (koenzymy) enzymů, části prostetických skupin,
- antioxidanty (vitamín C, E, A, B<sub>3</sub>),
- přenašeče chemických skupin, elektronů apod.

Vitamínů musí být do organismu dodáváno adekvátní množství, jinak může docházet k negativním jevům označovaným jako:

- *avitaminóza* – chorobný stav vyvolaný naprostým nedostatkem určitého vitamínu (nedostatečný přívod potravou, malabsorpce – narušení vstřebávání živin, poškození střevní mikroflóry, porucha endokrinních žláz apod.);
- *hypovitaminóza* – chorobný stav způsobený částečným nedostatkem určitého vitamínu (např. při hladovění, alkoholismu, poruchách vstřebávání);
- *hypervitaminóza* – předávkování nebo otrava vitamíny, onemocnění způsobené přílišným množstvím vitamínů nahromaděných v organismu.

Jako typické příklady poruch spojených s vitamínovým deficitem můžeme uvést zhoršení nočního vidění a vysychání rohovky při nedostatku vitamínu A, nemoc nervového systému při nedostatku B<sub>1</sub> (beri-beri), systémové onemocnění zvané pelagra při nedostatku B<sub>3</sub>, anémii (chudokrevnost) při nedostatku B<sub>12</sub>, kurděje (skorbut) při nedostatku vitamínu C, rachitidu (křivici) při nedostatku vitamínu D nebo zvýšenou krvácivost při nedostatku vitamínu K.

Hypervitaminóza se týká především vitamínů rozpustných v tucích. Dlouhodobá nadměrná koncentrace těchto vitamínů působí toxicky např. na játra. Vitamíny rozpustné ve vodě tělo neuchovává a jejich aktuální přebytek se vylučuje ledvinami (přesto např. nadbytek vitamínu C může mít projímavé účinky).

## 2 FYZIOLOGIE BUŇKY

---

Na celém světě žije obrovské množství rozličných organismů, které však mají společné charakteristiky, z nichž nejvýznamnější je *buněčná organizace jako základ živé hmoty*. U zrodu buněčné teorie a cytologie jako vědního oboru stál český biolog J. E. Purkyně (1787–1869). Mezi další sdílené vlastnosti všech živých organismů patří v zásadě tyto:

- jednotné chemické složení,
- metabolismus,
- homeostáza,
- komunikace s vnějším prostředím,
- rozmnožování,
- dědičnost,
- růst a vývoj,
- pohyb,
- dráždivost,
- adaptace.

**Buňka** je tedy základní stavební a funkční jednotkou živého organismu. Lidské tělo obsahuje cca  $75 \cdot 10^{18}$  buněk. Ty se mohou vyskytovat volně nebo se (obvykleji) spojují do tkání a ty do orgánů či orgánových struktur. **Tkáň** je soubor morfologicky podobných buněk, které plní určitou funkci.

Buňky nikdy nevznikají *de novo*, mohou být vytvořeny pouze dělením *mateřské buňky* na dvě *buňky dceřiné*, popř. splynutím dvou *pohlavních buněk* v jednu *zygotu*. Buňka po svém vzniku prochází fází růstu, popř. proliferace (rychlé množení buněk) a diferenciaci (strukturální a funkční specializace buňky). Poté následuje funkční fáze, kdy buňka v organismu plní své genetické „zadání“, ale v jejímž průběhu i stárne. Konečným stádiem je *buněčná smrt*. Ta nastane přirozeně (fyziologicky) jako tzv. *apoptóza*, tedy smrt řízená aktivací specifického buněčného programu. Odlišným (patologickým) případem je *nekróza* v důsledku např. mechanického narušení integrity cytoplazmatické membrány, porušení vnitřní rovnováhy buňky, enzymatického poškození, rozpadu aj.

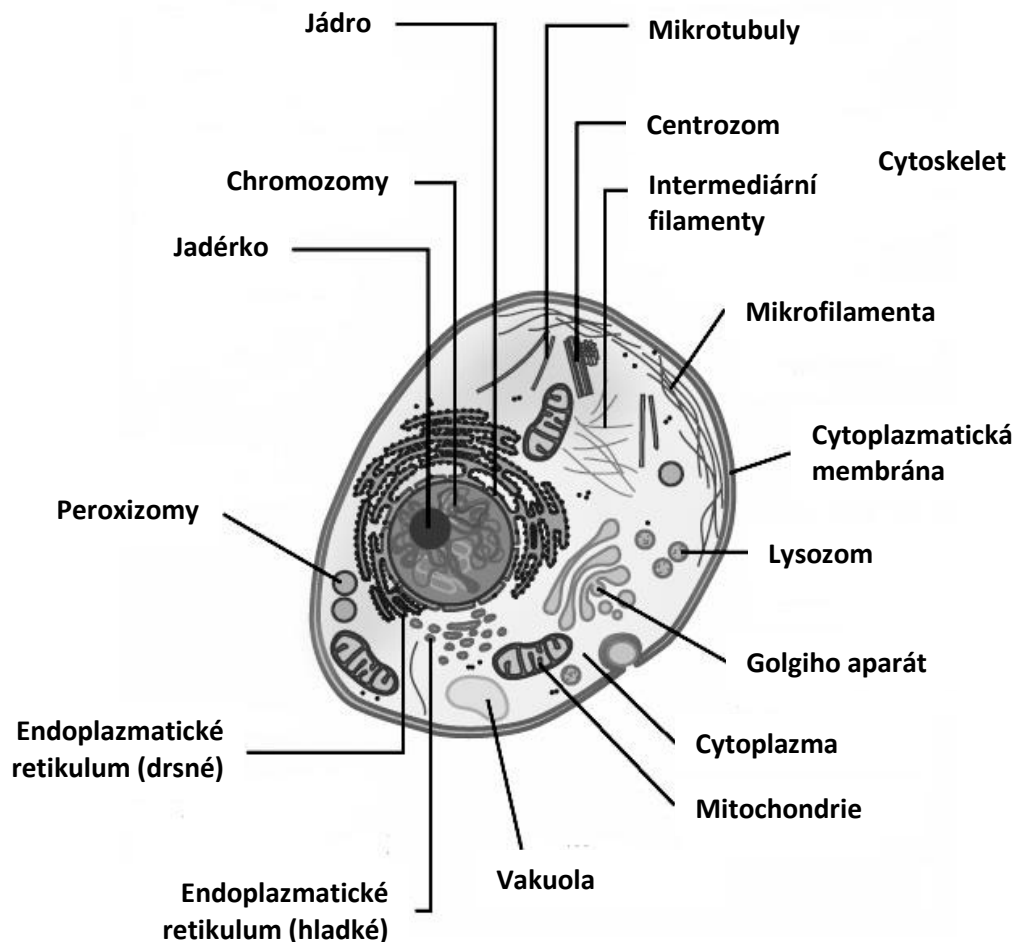
### Typy buněk

V lidském těle existuje přes 200 různých druhů buněk, z funkčního hlediska je ale možné je rozdělit do pěti základních typů:

- *nervové* – schopny získávat, přenášet, zpracovat a ukládat informace;
- *svalové* – specializovány na vytváření kontrakcí, tedy pohyb;
- *epitelové* – tvoří bariéry mezi různými prostředními v těle (kryjí vnější či vnitřní povrchy organismu), jsou základem žláz;
- *pojivové* – tvoří opěrné a zpevňující struktury, spojují orgány a tkáně, zajišťují tepelnou a mechanickou izolaci;
- *krevní elementy* – specializovány na transport dýchacích plynů, imunitu, srážlivost krve aj.

## 2.1 Buněčné organely

Buňky ve své **cytoplazmě** (cytosol, intracelulární tekutina) obsahuje různé buněčné organely s různými funkcemi závislými též na konkrétním typu buňky (genetická informace je ve všech buňkách stejná, v každém typu buňky se ale aktuálně využívá jiná část genů). Buněčné organely jsou obvykle ohraničeny membránou.



**Obrázek 1**

Schéma živočišné buňky (Creative Commons, volná licence, upraveno)

**Jádro.** V buněčném jádře je uložena genetická informace buňky (genom) ve formě chromozomů obsahujících DNA. Chromozomů je u člověka 23 párů (22 párů jsou homologické autozomy, jeden pár je tvořen pohlavními chromozomy X a Y). Součástí jádra je **jadérko**, které se uplatňuje při tvorbě ribozomů.

**Ribozomy.** Účastní se při tvorbě proteinů během procesu, který lze popsat jako „překlad z řeči nukleových kyselin (DNA, RNA) do řeči bílkovin“.

**Endoplazmatické retikulum.** Je tvořeno vzájemně propojenou soustavou membrán, cisteren a kanálků. Může být **granulární** (drsne, s ribozomy – probíhá zde úprava molekul proteinů) a **agranulární** (hladké, bez ribozomů – syntetizuje fosfolipidy, triglyceridy)

a cholesterol, ve svalových buňkách funguje jako zásobárna  $\text{Ca}^{2+}$  iontů – tzv. *sarkoplazmatické retikulum*).

**Golgiho aparát.** Lamely a cisterny úzce navazující na endoplazmatické retikulum, odštěpují transportní vezikuly (váčky) s různým obsahem, který je dále využit v buňce nebo i mimo ni.

**Lysozomy.** Vznikají v Golgiho aparátu a tvoří intracelulární trávicí aparát, rozkládají prakticky všechny makromolekuly.

**Peroxizomy.** Vznikají v endoplazmatickém retikulu, mají za úkol degradaci AK, MK a toxických cizorodých látek.

**Mitochondrie.** Organela specializovaná na buněčné oxidace, na základě kterých dochází k tvorbě ATP, základního energetického přenašeče pro buněčnou práci (blíže viz kapitola 7).

**Cytoskelet.** „Vnitřní kostra“ buňky tvořená sítí mikrofilament, mikrotubulů a dalších struktur s funkcí dynamické organizace cytoplazmy, mechanické opory organel, fixace tvaru buňky, vytváření spojů se sousedními buňkami a nitrobuněčného transportu látek.

**Cytoplazmatická membrána.** Povrchová struktura, která zajišťuje integritu buňky a jejího vnitřního prostředí a komunikaci s vnějším prostředím. Její stavba je dvojrstvou „tekutou mozaikou“ fosfolipidů s částí hydrofilní (směrem vně) a hydrofobní (směrem dovnitř). Na její stavbě se podílejí i glykolipidy, glykoproteiny, cholesterol a dále různé typy integrálních a povrchových proteinů, iontových kanálů, akvaporinů, transportních proteinů, rozeznávacích proteinů či buněčných receptorů.

## 2.2 Transport látek přes membránu a buněčná sekrece

Buňka není uzavřeným systémem, naopak intenzivně komunikuje se svým okolím, což souvisí též s významným množstvím různých látek proudících dovnitř i ven. Pro transport látek přes svou membránu buňka využívá několika mechanismů, které mohou probíhat buď samovolně (fyzikálně-chemickou cestou bez energetických nároků), nebo za spotřeby buněčné energie ve formě ATP.

### Difúze

*Difúze* znamená volný průnik látek podle koncentračního gradientu, tj. z místa vyšší koncentrace látky do místa její nižší koncentrace (*prostá difúze*). Jako příklad lze uvést přenos dýchacích plynů na základě jejich parciálního tlaku (přestup  $\text{O}_2$  z plic do krve a  $\text{CO}_2$  z krve do plic přes alveolokapilární membránu, resp. přestup  $\text{O}_2$  z krve do svalu a  $\text{CO}_2$  ze svalu do krve). Difúze může probíhat i za pomoci transportního proteinu, který naváže difundující látku na jedné straně membrány a přenesení ji na druhou bez energetických nároků (usnadněná či *facilitovaná difúze*), např. inzulinem usnadněná difúze glukózy z krve do buňky.

### Osmóza

*Osmóza* je děj související s přestupem tekutiny (resp. rozpouštědla, obvykle vody) přes semipermeabilní (polopropustnou) membránu směrem vyšší koncentrace osmoticky aktivních látek, zejména iontů (tj. do místa s vyšším osmotickým tlakem). Ztrátou vody se



vnitřní prostředí „zahušťuje“ a roste tak jeho *osmolarita*. Při porovnání osmolarity dvou různých roztoků či prostředí oddělených membránou rozlišujeme:

- *isotonický roztok* (se stejnou koncentrací iontů, u člověka odpovídá koncentraci 0,9% roztoku NaCl, tedy tzv. fyziologický roztok),
- *hypertonický roztok* (s vyšší koncentrací iontů),
- *hypotonický roztok* (s nižší koncentrací iontů).

Ponoříme-li buňku (např. erytrocyt) do hypertonického roztoku, začne rychle ztrácet vodu a zmenšovat svůj objem. V hypotonickém roztoku buňka tekutinu naopak nasává, až dojde k jejímu prasknutí. V obou případech je buňka poškozena.

Příkladem využití osmózy je hormonální regulace vstřebávání vody v ledvinách na základě vstřebávání iontů  $\text{Na}^+$  za působení hormonu aldosteronu. Osmotické zákonitosti taktéž hrají roli při utonutí ve sladké vodě (hypotonická voda se po vdechnutí vstřebá z plic do krve) a ve vodě mořské (hypertonická slaná voda naopak způsobuje přestup tekutiny z krve do plic, vzniká plicní edém).

Jako *onkotický tlak* se označuje osmotický tlak způsobený krevními bílkovinami (koloidně-osmotický tlak bílkovin).

### **Transport iontovými kanály**

Některé ionty a voda obvykle přestupují membránu pomocí „pórů“ uvnitř transportních proteinů, tedy tzv. *iontovými kanály*. Ty mohou být:

- *stále otevřené* (látka přestupuje na základě gradientu),
- *napěťově řízené* (mění svou propustnost na základě změny elektrického potenciálu na membráně, typicky u neuronů),
- *chemicky řízené* (dáno vzájemnou reakcí mezi buněčným receptorem a iontovým kanálem, např. ve smyslu excitace či inhibice),
- *mechanicky řízené* (mechanické podráždění membrány vyvolá změnu propustnosti pro ionty, běžně u mechanoreceptorů),
- *akvaporiny* – kanály specializované na propustnost vody (např. v nefronech ledvin).

### **Spřažený transport**

Opět jde o pasivní děj bez energetických nároků, kdy transport jedné látky je spřažen s transportem látky jiné, který však již energii spotřebovává. Může jít o:

- *symport* – obě látky přecházejí membránu jedním směrem (např. při vstřebávání glukózy v tenkém střevě, kdy glukóza je transportována z lumen střeva do enterocytu proti koncentračnímu gradientu a zároveň je do enterocytu resorbován  $\text{Na}^+$  po koncentračním gradientu);
- *antiport* – látky přecházejí membránu proti sobě (např. antiport iontů  $\text{H}^+$  a  $\text{Na}^+$  jako důležitý homeostatický mechanismus v ledvinách při udržování pH a množství sodíku v těle).

### **Aktivní transport**

Transport proti elektrochemickému gradientu (proti koncentračnímu spádu) vyžaduje energii, jedná se o *aktivní transport*. Typickým příkladem je činnost  *$\text{Na}^+ - \text{K}^+$  pumpy*, která

přispívá ke stabilizaci klidového rozložení iontů na membráně, zejména  $K^+$  jako hlavního intracelulárního (vnitrobuněčného) kationtu a  $Na^+$  jako hlavního extracelulárního (mimobuněčného) kationtu.  $Na^+-K^+$  pumpa transportuje vždy 3 ionty  $Na^+$  ven z buňky a zároveň 2 ionty  $K^+$  do buňky za spotřeby ATP. Pumpa tak udržuje nerovnoměrné rozložení sodíku a draslíku po obou stranách buněčné membrány, což má např. zásadní význam pro vznik a šíření elektrického signálu v nervových a svalových buňkách. Pumpa navíc reguluje objem buňky – bez její funkce by buňky otékaly a mohlo by dojít až k jejich prasknutí. Na činnost pumpy je třeba velkého množství ATP, např. u nervových buněk může pumpa spotřebovat až 70 % jejich energie. Postupné zpomalování činnosti  $Na^+-K^+$  pumpy vlivem zhoršující se dostupnosti ATP při stárnutí je také jedním z důvodů poklesu bazálního metabolismu s věkem.

### **Endocytóza a exocytóza**

K membránovému přenosu velkých molekul a částic, které nemohou pronikat membránou ani kanály (např. cholesterol, proteiny), buňka využívá *endocytózy* (směrem dovnitř) a *exocytózy* (směrem ven) za tvorby tzv. transportních vezikul. Takto jsou pohlcovány i odumřelé buňky či bakterie (*fagocytóza*), popř. uvolňovány tekuté kapénky (*pinocytóza*).

### **Buněčná sekrece**

U jednobuněčného organismu všechny funkce vykonává jediná buňka, transportní a komunikační vzdálenosti jsou tedy minimální. U mnohobuněčného organismu ale dochází ke specializaci buněk ve tkáních a orgánech, vyvstává tudíž potřeba komunikace a transportu látek nejen mezi sousedními buňkami, ale i mezi buňkami v organismu dosti vzdálenými. Jeden ze způsobů mezibuněčné komunikace představují různé signální molekuly (např. hormony). Můžeme rozlišovat několik typů buněčné sekrece:

- *autokrinní* – signální látka ovlivňuje tutéž buňku, která ji vylučuje (secernuje);
- *parakrinní* – signální látka ovlivňuje bezprostřední okolí buňky;
- *exokrinní* – (signální) látka je secernována do zevního prostředí;
- *endokrinní* – signální látka je secernována do krevního oběhu, kudy se dostává do vzdálených cílových buněk.