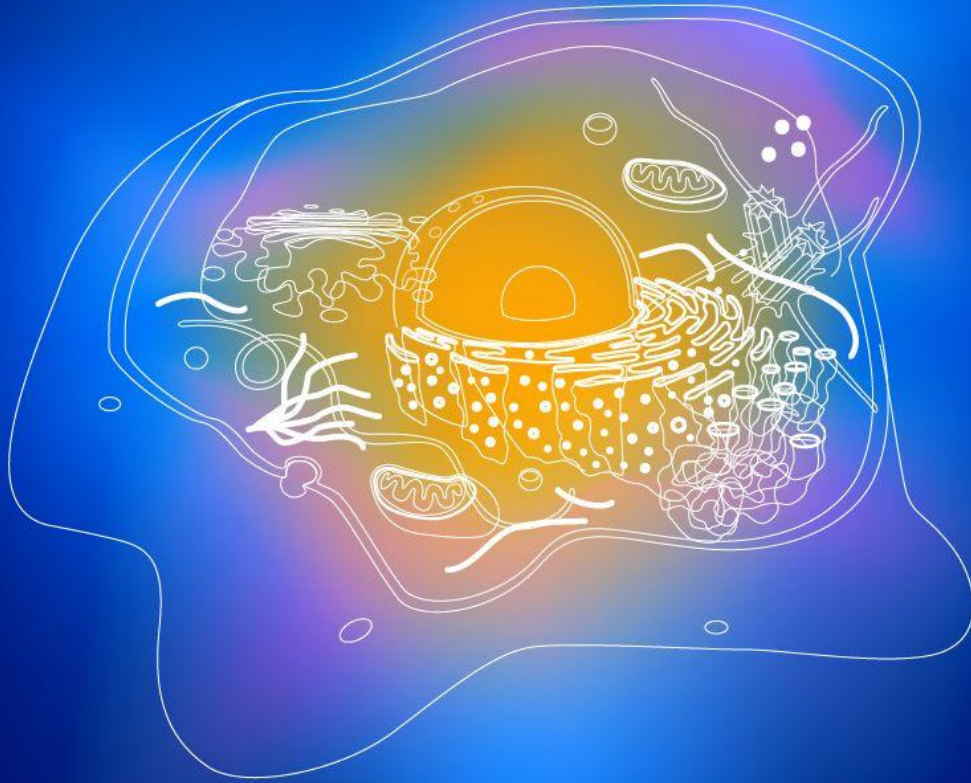


FYZIOLOGIE ČLOVĚKA

pro studenty bakalářských oborů Tělesné výchovy



Mgr. Martina Bernaciková, Ph.D.
MUDr. Kateřina Kapounková, Ph.D.
prof. MUDr. Jan Novotný, CSc.
prof. MUDr. Jindřich Vomela, CSc., LL.M.
MUDr. Naděžda Vomelová

Fakulta sportovních studií, Masarykova Univerzita
BRNO 2014

FYZIOLOGIE ČLOVĚKA

pro studenty bakalářských oborů Tělesné výchovy

Vedoucí autorského kolektivu:

Mgr. Martina Bernaciková, Ph.D.

Autorský kolektiv:

Mgr. Martina Bernaciková, Ph.D. (kap. 1, 5, 11)

MUDr. Kateřina Kapounková, Ph.D. (kap. 3, 4, 13)

prof. MUDr. Jan Novotný, CSc. (kap. 2, 7, 8, 9)

prof. MUDr. Jindřich Vomela, CSc., LL.M. (kap. 6, 10, 12, 14)

MUDr. Naděžda Vomelová (kap. 6, 10, 12, 14)

Ilustrace:

MgA Lenka Žampachová

Ing. Stanislav Bernacik

Recenze:

PhDr. Renata Malátová, Ph.D.

MUDr. Jana Novotná

Fakulta sportovních studií, Masarykova Univerzita

BRNO 2014

Předmluva

Tato skripta vznikla v rámci projektu Fondu rozvoje Masarykovy univerzity (MUNI/FR/0159/2014). Materiál byl vytvořen jako výuková pomůcka pro studenty oboru Animátor sportovních aktivit (ASAK) a obor Tělesná výchova a sport (směr Trenérství, Sebeobrana bezpečnostních složek, Rozhodčí hokeje, Rozhodčí fotbalu) v rámci předmětu Fyziologie. Tento materiál vnímáme především jako vhodnou pomůcku pro samostudium při přípravě na závěrečnou zkoušku.

Fyziologie člověka je vědní obor zabývající se poznáním tělesných funkcí člověka a jejich částí. Jejím úkolem je poznat a pochopit podstatu funkčních pochodů, ke kterým v lidském těle dochází, a stanovit jejich příčiny. Tento přírodovědný obor se taktéž snaží odhalit vzájemné souvislosti a závislosti mezi funkcemi jednotlivých orgánových systémů.

Porozumění Anatomie a Fyziologie je nezbytnou podmínkou pro pochopení základních pochodů v lidském těle, které nastávají nejen během každodenních činností, ale i při provozování pohybových aktivit.

Pro lepší pochopení základních principů o fungování našeho těla, jsme do skript vložili několik názorných obrázků a schémat.

Tyto texty vznikaly pod rukama vysokoškolských učitelů, kteří na naší fakultě učí lékařsko-biologické předměty a znají souvislosti mezi Fyziologií a dalšími předměty, vyučovanými na naší fakultě. Respektive, znají jednotlivé profily absolventů a vědí, co je pro naše studenty více a méně důležité.

Tímto přiznáváme, že jsme si vědomi, že tento materiál nemůže pokrývat více než naprostý základ oboru potřebný k potřebám našich studentů. I tak jsme se snažili do skript vnést něco „navíc“ (psáno kurzívou). Na začátku každá kapitola obsahuje její obsah a text toho, co by student měl po přečtení kapitoly být schopen pochopit/naučit se/objasnit si. Stejně tak, na první stránce každé kapitoly studenti naleznou klíčová slova, která jsou důležitá pro danou kapitolu. A v samotném závěru je odstavec se zopakováním toho nejdůležitějšího z každé kapitoly.

Martina Bernaciková

OBSAH SKRIPT:

1	<i>Fyziologie buňky (Martina Bernaciková)</i>	11
1.1	<i>Úvod do kapitoly</i>	12
1.2	<i>Struktura a funkce buněk</i>	12
1.3	<i>Transportní buněčné prostory a mechanismy přenosu látek</i>	15
1.4	<i>Výměna informace, komunikace mezi buňkami</i>	16
2	<i>Homeostáza vnitřního prostředí (Jan Novotný)</i>	17
2.1	<i>Úvod do kapitoly</i>	18
2.2	<i>Vnitřního prostředí a jeho součásti</i>	20
2.3	<i>Acido-bazická rovnováha</i>	20
2.4	<i>Oxidační látky, oxidační stres</i>	21
2.5	<i>Teplota</i>	23
2.6	<i>Nervově-endokrinní a látková regulace</i>	24
2.7	<i>Transportní systémy</i>	26
2.8	<i>Význam ledvin</i>	26
3	<i>Nervová soustava (Kateřina Kapounková)</i>	28
3.1	<i>Úvod do kapitoly</i>	29
3.2	<i>Stavba nervového systému</i>	29
3.2.1	<i>Vzruch a synapse</i>	32
3.2.2	<i>Glie</i>	33
3.2.3	<i>Hematoencefalická bariéra</i>	35
3.3	<i>Reflex</i>	36
3.4	<i>Stavba centrálního nervového systému</i>	37
3.4.1	<i>Páteřní mícha</i>	38

3.4.2	<i>Mozkový kmen</i>	39
3.4.3	<i>Mezimozek</i>	40
3.4.4	<i>Velký mozek</i>	42
3.4.5	<i>Mozeček</i>	46
3.5	<i>Bdění a spánek</i>	47
3.6	<i>Periferní nervový systém</i>	47
3.6.1	<i>Hlavové nervy</i>	47
3.6.2	<i>Autonomní (vegetativní) systém</i>	49
3.6.3	<i>Motorické funkce</i>	50
3.6.4	<i>Senzorické funkce</i>	52
4	<i>Endokrinní systém (Kateřina Kapounková)</i>	56
4.1	<i>Úvod do kapitoly</i>	57
4.2	<i>Hormony</i>	57
4.2.1	<i>Účinky hormonů</i>	57
4.3	<i>Řízení endokrinní sekrece</i>	59
4.3.1	<i>Řízení složitou vazbou</i>	61
4.3.2	<i>Řízení jednoduchou vazbou</i>	67
4.3.3	<i>Nervově řízené uvolňování hormonů</i>	69
4.3.4	<i>Produkce hormonů jinými typy buněk</i>	69

5	<i>Svaly (Martina Bernaciková)</i>	71
5.1	<i>Úvod do kapitoly</i>	72
5.2	<i>Hladké svaly</i>	72
5.3	<i>Srdeční sval</i>	72
5.4	<i>Příčně pruhované svaly</i>	73
5.4.1	<i>Typy svalových vláken</i>	75
5.4.2	<i>Nervosvalový přenos a kontrakce kosterního svalu</i>	76
5.4.3	<i>Energetika svalové práce</i>	78
5.4.4	<i>Druhy svalové kontrakce</i>	83
5.4.5	<i>Svalová únava a svalové přetížení</i>	83
6	<i>Trávení a metabolismus (Naděžda Vomelová, Jindřich Vomela)</i>	84
6.1	<i>Úvod do kapitoly</i>	85
6.2	<i>Trávicí systém (GIT)</i>	85
6.2.1	<i>Dutina ústní a jícn</i>	89
6.2.2	<i>Žaludek</i>	90
6.2.3	<i>Role tenkého střeva v procesu trávení</i>	91
6.2.4	<i>Role tlustého střeva v procesu trávení</i>	93
6.2.5	<i>Játra (hepar)</i>	95
6.2.6	<i>Slinivka břišní (pankreas)</i>	98
6.3	<i>Metabolismus</i>	98
6.3.1	<i>Základní zdroje pro metabolické procesy</i>	99
6.3.2	<i>Metabolismus jednotlivých složek potravy</i>	100

7	<i>Tělní tekutiny (Jan Novotný)</i>	105
	7.1 <i>Úvod do kapitoly</i>	106
	7.2 <i>Extracelulární tekutina</i>	108
	7.3 <i>Krev</i>	110
	7.4 <i>Lymfa</i>	114
8	<i>Krevní oběh (Jan Novotný)</i>	117
	8.1 <i>Úvod do kapitoly</i>	118
	8.2 <i>Přehled funkcí krevního oběhu</i>	120
	8.3 <i>Krevní cévy</i>	120
	8.4 <i>Srdce</i>	123
	8.4.1 <i>Funkční morfologie srdce</i>	123
	8.4.2 <i>Převodní systém srdeční</i>	126
	8.4.3 <i>Směr proudění krve srdcem</i>	126
	8.4.4 <i>Srdeční pracovní cyklus (srdeční revoluce)</i>	127
	8.4.5 <i>Echokardiografie (ECHO, (ultra)sonografie srdce)</i>	127
	8.4.6 <i>Elektrokardiografie a elektrokardiogram (EKG)</i>	128
	8.5 <i>Krevní průtok tělesnými orgány</i>	128
	8.6 <i>Řízení krevního oběhu</i>	129

9	<i>Dýchání (Jan Novotný)</i>	132
	9.1 <i>Úvod do kapitoly</i>	133
	9.2 <i>Dýchání a výměna plynů</i>	134
	9.3 <i>Dýchací cesty</i>	135
	9.4 <i>Plíce</i>	136
	9.5 <i>Regulace dýchání</i>	140
10	<i>Fyziologie vylučování (Jindřich Vomela, Naděžda Vomelová)</i>	141
	10.1 <i>Úvod do kapitoly</i>	142
	10.2 <i>Regulace objemu vody v lidském těle</i>	142
	10.3 <i>Vnitřní prostředí</i>	143
	10.3.1 <i>Stabilita homeostázy organismu</i>	143
	10.4 <i>Fyziologie ledvin</i>	144
	10.4.1 <i>Systém glomerulární filtrace</i>	145
	10.4.2 <i>Vývodné cesty močové</i>	148
	10.5 <i>Trávicí trakt jako součást vylučovacího systému</i>	149
	10.5.1 <i>GIT a cyklus vodního hospodářství</i>	150
	10.6 <i>Dýchací trakt jako součást vylučovacího systému</i>	151
	10.6.1 <i>Vztah plicní ventilace a plicní perfúze</i>	151
	10.6.2 <i>Regulace dýchání součást systému vylučování a metabolické kompenzace</i>	152
	10.7 <i>Potní žlázy jako systém vylučování</i>	155
	10.8 <i>Příklady regulovaných složek vnitřního prostředí</i>	157

11	<i>Termoregulace (Martina Bernaciková)</i>	161
11.1	<i>Úvod do kapitoly</i>	162
11.2	<i>Teplo (reakce a adaptace)</i>	164
11.3	<i>Chlad (reakce a adaptace)</i>	167
12	<i>Fyziologie smyslů (Naděžda Vomelová, Jindřich Vomela)</i>	171
12.1	<i>Úvod do kapitoly</i>	172
12.2	<i>Systém receptorů</i>	173
12.3	<i>Receptory kůže</i>	174
12.4	<i>Zrak – fyziologie zrakového ústrojí</i>	175
12.4.1	<i>Receptory zraku</i>	177
12.4.2	<i>Porovnání očních tyčinek a čípků</i>	177
12.4.3	<i>Doplňující systémy zrakového ústrojí</i>	177
12.5	<i>Sluch – fyziologie sluchového ústrojí</i>	178
12.5.1	<i>Zevní ucho</i>	179
12.5.2	<i>Střední ucho</i>	179
12.5.3	<i>Vnitřní ucho</i>	179
12.6	<i>Čich – fyziologie čichového ústrojí</i>	181
12.6.1	<i>Čich, emoce a paměť</i>	182
12.7	<i>Chuť – fyziologie chuťového ústrojí</i>	183

13	<i>Imunitní systém (Kateřina Kapounková)</i>	186
	13.1 <i>Úvod do kapitoly</i>	187
	13.2 <i>Struktury imunitního systému</i>	187
	13.3 <i>Nespecifická imunita</i>	188
	13.4 <i>Specifická imunita</i>	189
	13.4.1 <i>Humorální imunita</i>	189
	13.4.2 <i>Buněčná imunita</i>	190
	13.5 <i>Průběh specifické imunitní reakce</i>	190
14	<i>Fyziologie reprodukce a těhotenství (Naděžda Vomelová, J. Vomela)</i>	194
	14.1 <i>Úvod do kapitoly</i>	195
	14.2 <i>Základní formy reprodukce</i>	195
	14.3 <i>Nosič genetické informace – DNA</i>	196
	14.4 <i>Pohlavní orgány</i>	197
	14.5 <i>Fyziologie pohlavního vývoje a reprodukce u mužů</i>	200
	14.6 <i>Fyziologie pohlavního vývoje a reprodukce u žen</i>	202
	14.6.1 <i>Menstruační cyklus</i>	203
	14.6.2 <i>Fyziologie těhotenství</i>	204
	14.7 <i>Somatopauza</i>	207
	14.7.1 <i>Klimakterium</i>	208
	14.7.2 <i>Somatopauza – věkový faktor a jeho projevy</i>	209

1 *Fyziologie buňky*

Obsah kapitoly:

1.1 *Úvod do kapitoly*

1.2 *Struktura a funkce buněk*

1.3 *Transportní buněčné prostory a mechanismy přenosu látek*

1.4 *Výměna informace, komunikace mezi buňkami*

Po přečtení této kapitoly, by si měl být schopný:

- popsat strukturu/složení buněk,
- znát funkce jednotlivých buněčných organel,
- pochopit funkci buněčné membrány,
- vysvětlit principy základních transportních mechanismů v buňce,
- uvědomit si, jak buňka komunikuje s vnějším prostředím (ostatními buňkami).

Klíčová slova:

plazmatická membrána, jádro, endoplazmatické retikulum, mitochondrie, difuze, iontové kanály, transport, klidový membránový potenciál, přenašeč - mediátor (neurotransmitér)

1.1 Úvod do kapitoly

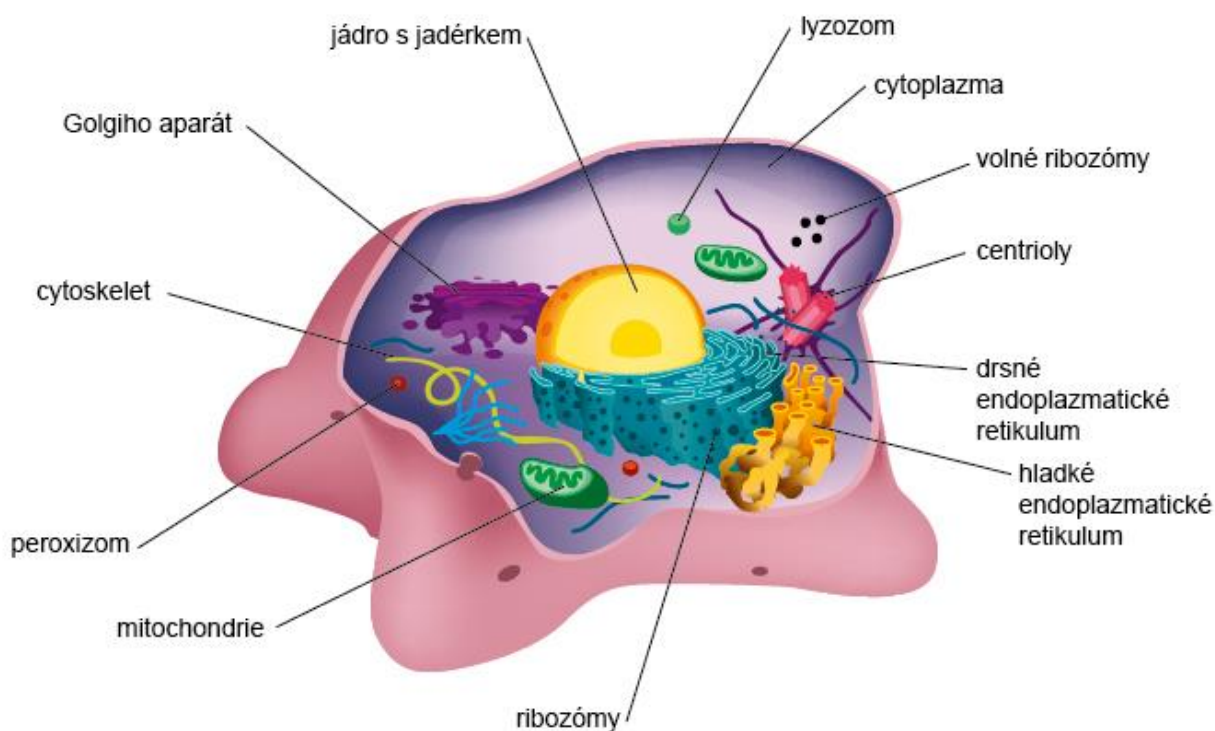
Při studiu lidského těla považujeme za základní to hledisko, které vychází z buněčné podstaty životních dějů. Životní funkce jsou tedy založeny především na souboru biofyzikálních, biochemických a fyziologických procesů, které vykonávají tělní buňky. Buňka jako základní strukturální a funkční jednotka dovede přijímat potřebné živiny z okolního prostředí, odvádět zplodiny svého metabolismu, a tím udržovat svou strukturu i specifické funkce. Buňky sdružené k zajišťování určitých funkcí vytvářejí tkáně (např. tkáň epitelální). Tkáně pak tvoří vyšší funkční celky – orgány. Skupiny orgánů jsou následně spojeny do orgánové – tělesné soustavy.

Pro studium jednotlivých orgánových soustav, je třeba nejprve pochopit buněčnou fyziologii.

1.2 Struktura a funkce buněk

Lidské tělo obsahuje více než 100 miliard buněk, mikroskopických struktur, které měří v průměru jen setinu milimetru. Buňky lidského organismu se navzájem odlišují tvarem, velikostí a složením, podle toho, jakou mají funkci. Např. svalové buňky jsou dlouhé a tenké, mohou se kontrahovat a extrahovat, čímž umožňují pohyb člověka.

K zajištění základních funkcí si buňky během vývoje vytvořily specifické struktury zvané buněčné organely (Obr. 1). Součástí buňky jsou buněčná membrána, cytosol (čirá cytoplazma) a v ní uložené subcelární struktury s vlastním membránovým ohraničením - již zmiňované buněčné organely. Genetický materiál je soustředěn v jádru buňky, trávicí enzymy v lysosomech, oxidativní produkce ATP probíhá v mitochondriích.



Obr. 1. Buňka a její nejdůležitější organely.

Plazmatická membrána

Plazmatická membrána odděluje buňku od zevního prostředí, ohraničuje její tělo i výběžky a chrání ji před vnějšími vlivy. Tvoří ji lipidová dvojitá vrstva a je hladká nebo s hlubokými záhyby. Podle typu buňky obsahuje různý podíl fosfolipidů, cholesterol a glykolipidy.

Je ale také aktivní součástí buňky, která zajišťuje její soudržnost. Buněčná membrána je polopropustná, tzv. semipermeabilní. Její propustnost se mění například pro malé anorganické ionty s hodnotou membránového potenciálu. Významně se podílí na udržování metabolické rovnováhy buňky.

Hlavní funkce buněčných membrán

- ohraničují buňky a buněčné organely
- udržují koncentrační a elektrochemické gradienty
- zajišťují transport živin a produktů buněčného metabolismu
- jsou nositeli antigenů
- izolují v ohraničených vezikulách biologicky silně účinné látky (enzymy, mediátory)
- umožňují vznik vzruchu a jeho vedení v nervových a svalových buňkách

Jádro

Většina buněk obsahuje jádro (nucleus), ale existují i buňky bezjaderné (např. erytrocyty). Neurony naopak ztratily schopnost používat genetickou informaci jádra a v dospělosti se dělit.

V jádře buňky je uložena genetická informace buňky. Nucleus obaluje jaderná membrána, která obsahuje tekutinu (karyolymfu), jadérko (nucleolus) a chromatin. Jaderná membrána místy přechází do endoplazmatického retikula buňky a jsou na ni lokalizovány ribozomy. Toto uspořádání umožňuje transport genetické informace do cytoplazmy. Základní složkou chromatinu je komplex deoxyribonukleová kyselina (DNA) - protein. Dvojité šroubovice DNA jsou složeny do chromozomů, které jsou nositeli genetické informace. Člověk má 46 chromozomů a to 22 autozomálních párů a 2 chromozomy X (žena), resp. 1 chromozom X a jeden Y (muž). Chromozomy mají dvě základní funkce: řídí metabolické a diferenační pochody v buňce a připravují se na další dělení replikaci své hmoty.

DNA se skládá z řetězce třídílných molekul, nukleotidů, které obsahují vždy pentózu (deoxiribozu), fosfát a bázi: adenin (A), guanin (G), thymin (T) nebo cytosin (C).

Jadérko tvoří část chromatinu, který syntetizuje ribozomální ribonukleové kyseliny (rRNA), na které se mohou navazovat ribozomální proteiny.

Ribozomy

Ribozomy buď volně plavou v cytosolu, nebo jsou vázány na cytosolovou stranu endoplazmatického retikula. Každý ribozom představuje složitý komplex více než sta molekul, který se posunuje po vlákně – řetězci RNA a podle zapsané informace syntetizuje peptidový řetězec.

Endoplazmatické retikulum

Endoplazmatické retikulum (ER) tvoří soustava tubulů, cisteren, lamel a váčků. Vnitřní prostor vyplňuje endoplazmatická matrix. Rozlišujeme granulární (hrubé) a agranulární (hladké) endoplazmatické retikulum. Toto dělení je dle přítomnosti či nepřítomnosti na povrch vázaných ribozomů.

Granulární ER má na svém endoplazmatickém povrchu vázány četné ribozomy a polyribozomy, ve kterých probíhá proteosyntéza. Agranulární ER nemá na svém povrchu navázány ribozomy a podílejí se na syntéze lipidů (především fosfolipidů a cholesterolu). Schopností tohoto ER je také koncentrovat Ca^{2+}

ionty a udržovat jejich homeostázu. Což je důležité pro svalovou kontrakci a činnost nervových buněk. Agranulární retikulum se v kosterních svalech a srdečním svalu nazývá sarkoplazmatické retikulum. U endokrinních buněk jsou v endoplazmatickém retikulu syntetizovány hormony.

Golgiho aparát

Funkčně je endoplazmatické retikulum spojeno s činností Golgiho komplexu (aparátu), který se podílí na definitivní úpravě látek tvořených v buňce a na jejich skladování.

Lysozomy

Lysozomy jsou drobné vakuoly obsahující enzymy důležité pro štěpení látek. Tím se podílejí na získávání látek nutných pro metabolismus buňky a na obraně organismu proti cizorodým částicím, které mohou do buňky proniknout.

Peroxisomy

Peroxisomy jsou dalším typem organel obsahující enzymy, které se mimo jiné podílejí na odbourávání alkoholu v jaterních buňkách.

Mitochondrie

Mitochondrie jsou přítomny ve všech buňkách a mají nejčastěji válcovitý nebo eliptický tvar. V mitochondriích dochází k oxidaci sacharidů a lipidů na CO₂ a H₂O za spotřeby O₂. Probíhá zde taktéž cyklus kyseliny citronové, dýchací řetězec a s tím spojena tvorba adenosintrifosfátu (ATP). Počet mitochondrií v jedné buňce je značně rozdílný a závisí na množství energie, které buňka potřebuje, aby mohla vykonávat svoji specifickou funkci. Velký počet mitochondrií najdeme např. v jaterních buňkách, ty jsou bohaté na intenzivní metabolické a transportní procesy. Mitochondrie obklopuje hladká vnější a vnitřní membrána, jejíž plocha je zvětšena hlubokými záhyby (kristy) a má důležité transportní funkce. Obsahují enzymy, které představují základní energetické vybavení buňky. Vnitřní prostor mitochondrií je vyplněn gelovitou mitochondriální matrix. Matrix obsahuje mimo jiné mitochondriální DNA, která také slouží pro autonomní dělení mitochondrie.

Centrioly

Jedná se o cylindrická tělíška uložená v cytoplazmě blízko jádra. Centrioly jsou nezbytné pro buněčné dělení. Buňky jsou schopné přímého dělení, tzv. amitózy (pouhé rozdělení buněk), nebo nepřímého dělení, tzv. mitózy. Při mitotickém dělení se genetický materiál buňky po předchozím zdvojení rovnoměrně rozdělí do buněk dceřiných. Zvláštním typem dělení je pak meióza, při které se snižuje počet chromozomů v buňce na polovinu. K tomu dochází při vzniku pohlavních buněk.

Cytoskelet

Cytoskelet buňky tvoří systém mikrotubulů, mikrofilament, intermediálních filament a mikrotrabekulů. Cytoskelet umožňuje buňce zaujmout různé tvary, cíleně se pohybovat a být vodítkem pro intracelulární transporty. Tento systém v buňce zajišťuje dynamickou organizaci cytoplazmy a přenos některých informací tělem buňky (např. tlak, pohyb).

Mikrotubuly jsou dlouhé duté struktury tvořeny dvěma lobulárními proteinovými podjednotkami, α - a β -tubulinem. Mikrotubuly jsou dynamickou součástí buněčného skeletu, protože se konstantě skládají a rozkládají. Fungují vlastně jako transportní dráhy, které např. pro mitochondrie zprostředkovávají pohyb z jedné části buňky do druhé.

Mikrofilamenta jsou jemná proteinová vlákna. Některá buněčná filamenta jsou kontraktilní. Například aktinová filamenta, která jsou zodpovědná za motilitu buňky. Myofilamenta tvoří morfologický podklad svalové kontrakce.

1.3 Transportní buněčné prostory a mechanismy přenosu látek

Buněčná membrána odděluje dvě kapalné fáze, které obsahují různé složky a umožňuje přechod látek, z jedné strany membrány na druhou.

Rozlišujeme pět základních transportních mechanismů:

- prostá difuze
- přestup iontovými kanály
- spřažený transport
- aktivní transport
- endocytóza a exocytóza

Prostá difuze

Tento transportní systém v buňce umožňuje přecházení především látek rozpustných v tucích. Jedná se např. o steroidy a steroidní hormony. Prostou difuzí jsme schopni také vstřebávat aspirin a lokální anestetika. Tímto mechanismem buňkami prochází O_2 , CO_2 a částečně H_2O . Tento děj nevyžaduje energii.

Přestup iontovými kanály

Iontové kanály jsou tvořeny transportními proteiny, které prochází lipidovou dvouvrstvou v cytoplazmatické membráně. Těmito kanály za určitých okolností může procházet voda a ionty (např. Na^+ , K^+ , Cl^- ze zevního prostředí buňky do jejího vnitřního prostředí a naopak.

Spřažený transport

Tento transportní systém je sám o sobě pasivní, ale je spřažen s jiným aktivním systémem, který energii spotřebovává. Spřažený transport dvou látek stejným směrem je označován jako symport, transport opačným směrem jako antiport.

Aktivní transport

Tento transportní systém vyžadující energii zajišťuje přestup proti koncentračnímu gradientu a látek v lipidech nerozpustných. Na aktivním transportu se podílí mnoho bílkovin ve formě enzymů. Nejznámější je tzv. **sodíko-draslíková pumpa** (Na^+K^+ -ATPáza – ATPáza = adenosintrifosfátáza), která přečerpává sodíkové ionty z intracelulárního prostředí proti koncentračnímu gradientu do prostředí extracelulárního a opačným směrem draslíkové ionty. Sodíko-draslíková pumpa je přítomna ve všech buněčných membránách. Přispívá ke stabilizaci klidového rozložení iontů, a tím ke stabilizaci klidového membránového potenciálu. Přenos iontů probíhá prostřednictvím membránového proteinu, který má ATPázovou aktivitu. Dalším typem aktivního transportu v buňkách je Mg^{2+} -ATPáza v mitochondriích a Ca^{2+} -ATPáza ve svalových vláknech.

Endocytóza a exocytóza

Velká řada látek nedokáže pronikat do buňky lipidovou vrstvou a ani procházet transportními proteiny (kanály). Např. proteiny a cholesterol prostupují plazmatickou membránou za pomoci transportních

váčeků. Při endocytóze se membrána vchlípí dovnitř a přitom uzavře obsah mimobuněčné tekutiny do nitra buňky. Při exocytóze membrána buněčné transportní vezikuly při kontaktu s buněčnou membránou vzájemně splyne a obsah vezikuly se ocitne v mimobuněčném prostoru.

1.4 Výměna informace, komunikace mezi buňkami

Každá buňka reguluje své funkce také na základě vnějších podmínek a požadavků ostatních buněk v organismu. Za klidových podmínek převažují ionty sodíku (Na^+) a chloridů (Cl^-) vně membrány (extracelulárně), ionty draslíku (K^+) a molekuly bílkovin uvnitř buňky (intracelulárně). Vzhledem k nábojům, které ionty nesou, a vzhledem k rozdílné propustnosti membrány se vytváří klidový membránový potenciál. Velikost membránového potenciálu se u různých typů buněk liší (od -30 mV do -90 mV).

Změna membránového potenciálu ovlivňuje zavírání a otvírání kanálů. Zároveň aktivuje membránové pumpy. Např. pro nervové buňky slouží změny hodnot membránového potenciálu jako informace, které jsou zpracovány a následně předány dál. Informace z extracelulárního prostoru se také předávají pomocí zvláštních látek, tzv. poslů, které se vážou na specifická místa ukrytá na plazmatické membráně – tj. receptory. Mezi neurony, neuronem a svalovou buňkou řídí přenos tzv. synaptické přenašeče (neurotransmitéry). Dalšími látkami (posly) jsou látky s vlastním účinkem (např. histamin, růstové faktory) a hormony, které jsou transportovány krví do celého organismu.

Důležité

- Základní stavební jednotkou lidského organismu je buňka.
- Většina lidských buněk obsahuje: plazmatickou membránu, jádro s jadérkem, mitochondrie, endoplazmatické retikulum, Golgiho aparát, centrioly a cytoskelet s mikrotubuly a mikrofilamenty.
- V jádře je uložena genetická informace buňky.
- Rozlišujeme 5 základních transportních mechanismů: prostá difuze, přestup iontovými kanály, spřažený transport, aktivní transport, endocytóza a exocytóza.
- Sodíko-draslíková pumpa je nejčastějším typem přestupu iontovými kanály.

2 Homeostáza vnitřního prostředí

Obsah kapitoly:

- 2.1 Úvod do kapitoly
- 2.2 Vnitřního prostředí a jeho součásti
- 2.3 Acido-bazická rovnováha
- 2.4 Oxidační látky, oxidační stres
- 2.5 Teplota
- 2.6 Nervově-endokrinní a látková regulace
- 2.7 Transportní systémy
- 2.8 Význam ledvin

Po přečtení této kapitoly, by si měl znát a umět logicky využít poznatky

- o homeostáze v lidském organizmu,
- o významu a obsahu tekutin ve vnitřním prostředí člověka a jejich regulaci,
- o významu regulace přísunu zdrojů energie, metabolismu a odstraňování jeho nadbytečných produktů,
- o významu a mechanismech regulace tělesné teploty,
- o podstatě acidobazické rovnováhy, o jejím významu a regulaci,
- o podstatě, vzniku a důsledcích oxidačního stresu a mechanismech jeho eliminace,
- o principech řízení homeostatických mechanismů nervově–endokrinním systémem,
- o důležitých rolích krevního oběhu, transportního systému pro kyslík a ledvin v udržení homeostázy.

Klíčová slova:

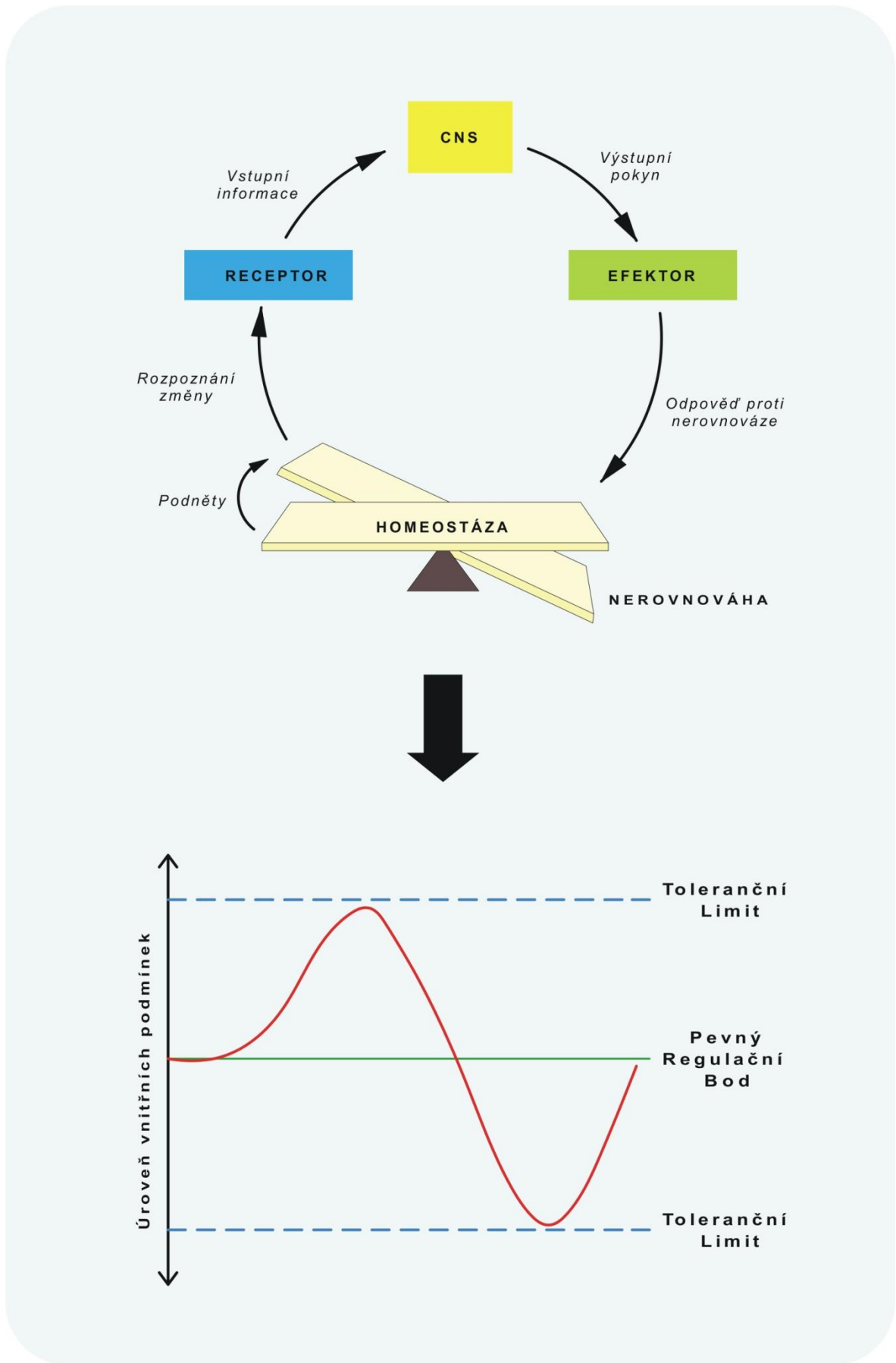
Homeostáza, biorytmy, acidobazická rovnováha, oxidační stres, neuroendokrinní regulace, zpětnovazebná regulace.

2.1 Úvod do kapitoly

Homeostáza je **stálost** ve vnitřním prostředí organismu člověka (řecky *homo*s = stejný, *stasis* = stav). Vnitřním prostředím je veškerý vnitrobuněčný a mimobuněčný prostor, který je vyplněn tekutinou obsahující mnoho rozmanitých látek nutných pro činnost buněk (voda, zdroje energie, kyslík, stavební látky, chemické katalyzátory, minerální látky a jiné). **Přežití buněk je možné pouze v prostředí s určitou fyzikální a chemickou stabilitou** (teplota, tlak, chemické složení, prostupnost atd.).

Organismus se snaží udržet v úzkých mezích podmínky pro strukturu a funkce svých buněk a tkání (např. nervová, svalová), orgánů (např. srdce a mozek) a orgánových systémů (např. oběhový systém). Tím se **zajišťuje přežití jedince v neustále se měnícím prostředí, které je zdrojem zátěže - stresu** (pracovní zátěž a odpočinek, horko a chlad, sucho a vlhko, nízký a vysoký atmosférický tlak atd.). Určitou prioritu v hierarchii ochrany lidských orgánů a systémů má centrální nervový systém (mozek) a transportní systém (srdce a krevní oběh).

K udržení stálého prostředí organismus používá princip **negativní zpětné vazby**. Například při zvýšení teploty vnitřního prostředí aktivizuje mechanismy k ochlazení (snížení aktivity energetického metabolismu) a při ochlazení naopak k zahřívání (zvýšení aktivity energetického metabolismu). Tím dochází k neustálému, pokud možno co nejmenšímu, kolísání stavu vnitřního prostředí.



Obr. 2 Negativní zpětná vazba.

Pravidelně kolísajícím (oscilujícím) stavům v živém organismu se říká **biorytmy**. Kromě kolísání stavu vnitřního prostředí (výchylek homeostázy) jsou popisovány také rytmické změny dýchání, srdeční činnosti, aktivity žláz s vnitřní sekrecí a jiné.

Více informací o funkcích vnitřních orgánů, které jsou nositeli mechanismů zajišťujících homeostázu je uvedeno v příslušných kapitolách.

2.2 Vnitřní prostředí a jeho součásti

Vnitřní prostředí lidského organismu jsou všechny látky v **prostoru uvnitř buněk (intracelulární) i mimo buňky (extracelulární)**. Tento prostor je bezprostředním životním prostředím pro buňky.

Součástí extracelulárního prostoru je

- **těsný prostor mezi buňkami (intercelulární),**
- **vnitřní prostor dutin orgánů** nervové soustavy (mozkové komory a míšňní kanál), trávicí soustavy (jícen, žaludek, střevo, žlučovody a žlučník), ledvin (pánvičky, močovody a močová roura) a dýchacího a oběhového systému (dýchací cesty a plicní sklípky, srdeční dutiny a cévy) a také prostor mezi orgány trupu (hrudní a břišní dutina), v končetinách (např. kloubní dutiny) a hlavě (např. epidurální prostor).

Součástmi vnitřního prostředí jsou **voda, zdroje energie** (např. glukóza), **stavební látky** (např. bílkovin), **kyslík, minerály** (např. Na^+ , K^+ , Mg^+) a **další látky** (např. enzymy, vitaminy). Jejich stabilní množství je zabezpečováno kontrolou jejich příjmu, zpracování a výdeje. V průběhu času je tak udržována jejich dynamická rovnováha.

Na zajištění stability vnitřního prostředí se podílejí všechny fyziologické soustavy, např. kůže, trávicí dýchací soustava a ledviny. Tyto orgány jsou řízeny nervovou a endokrinní soustavou a podporovány krevním a lymfatickým oběhem a dalšími systémy.

2.3 Acido-bazická rovnováha

V důsledku příjmu potravy a nápojů, metabolismu a výdejem látek ve střevě a ledvinách se mění **poměr kyselých (zdrojů vodíkových kationtů H^+) a zásaditých látek (bazí - zdrojů hydroxylových aniontů OH^-)** ve vnitřním prostředí.

Poznámka: Významným zdrojem H^+ je např. rozpad adenosin-tri-fosfátu (ATP) nebo kyselina mléčná při intenzivní svalové práci. Laktát, sůl kyseliny mléčné, je látka mírně zásaditá.

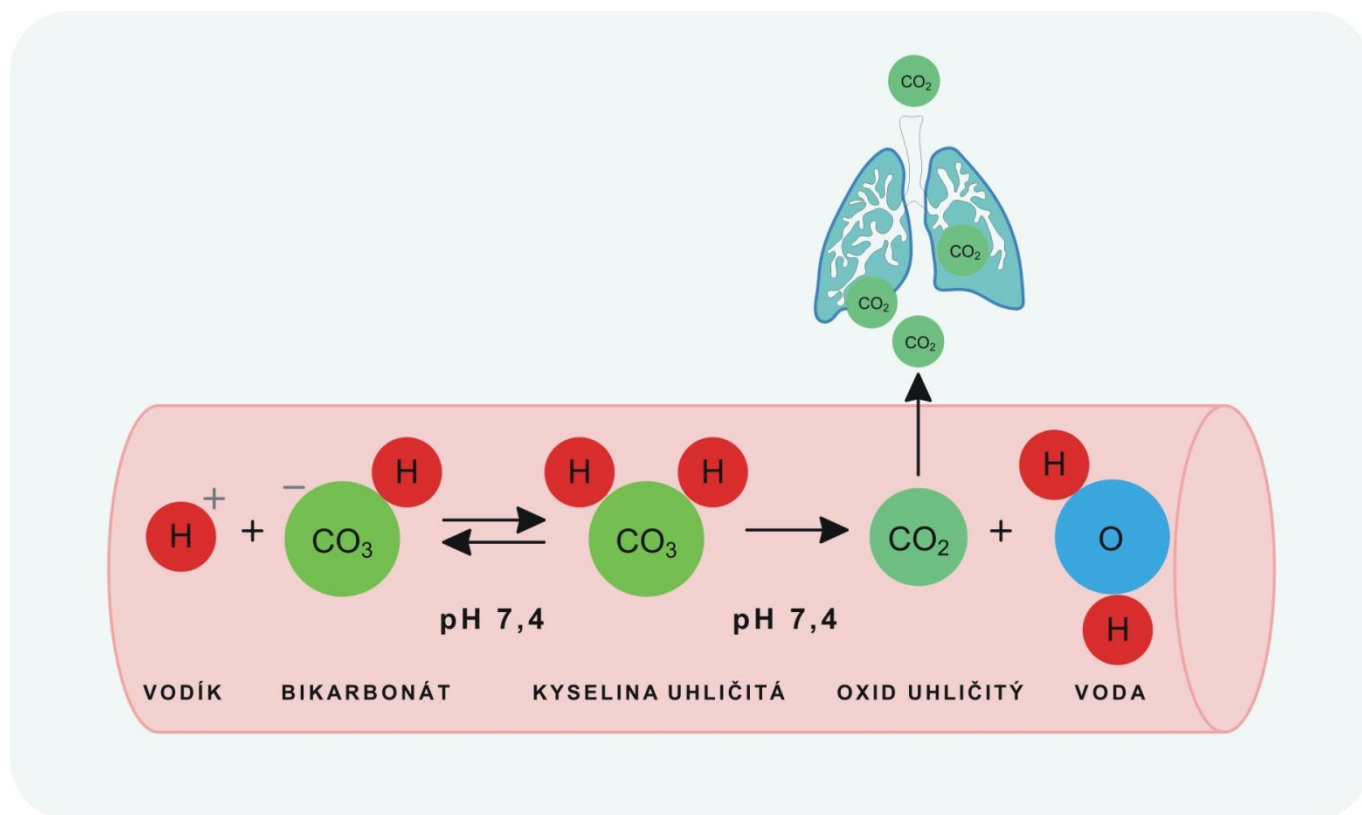
Buňky mohou dobře fungovat v prostředí se stálým množstvím H^+ a jeho poměru k OH^- . V krvi je u zdravého člověka v tělesném klidu slabě zásadité prostředí, kdy je **pH** kolem 7,4 (pH je záporný desítkový logaritmus koncentrace vodíkových kationtů).

Stavu s vyšším množstvím H^+ ($\text{pH} < 7,3$) se říká **acidóza** - kyselé prostředí.

Stavu s nižším množstvím H^+ ($\text{pH} > 7,5$) se říká **alkalóza** - zásadité prostředí.

K udržování stálé acido-bazické rovnováhy má organismus **kompensační** (pufrovací) **mechanizmy**. Velkou pufrovací kapacitu má systém hydrogenkarbonát (bikarbonát) a oxid uhličitý“ (HCO_3^- a CO_2). Jeho

činnost je ovlivňována činností jater a ledvin a dýcháním. Pufrovací schopnosti má také hemoglobin v červených krvinkách.

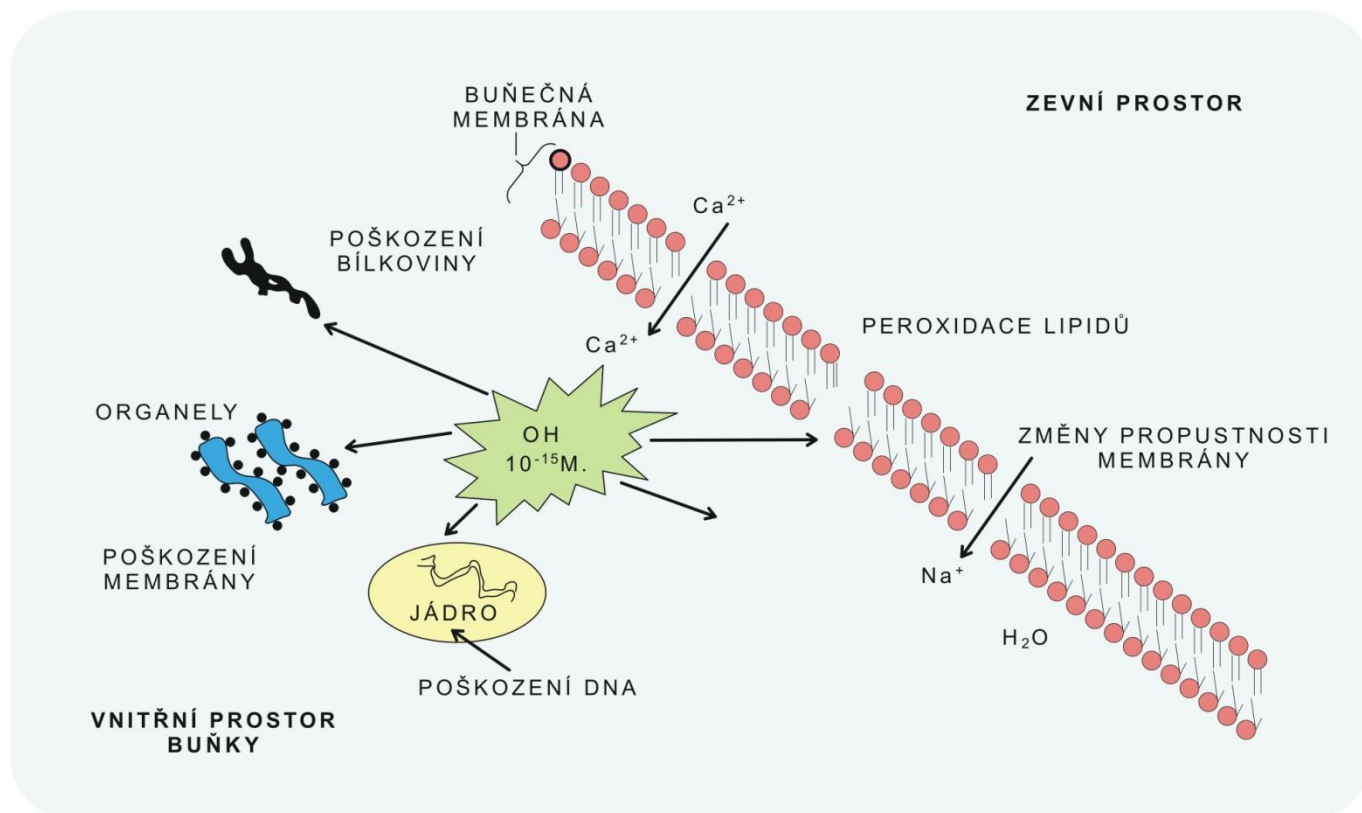


Obr. 3 Bikarbonátový pufrovací systém acido-bazické rovnováhy.

2.4 Oxidační látky, oxidační stres

V mitochondriích buněk, kde neustále probíhají oxido-redukční děje v rámci metabolismu, vznikají **vysoce reaktivní formy kyslíku a dusíku** (RONS – reactive oxygen and nitrogen species) s vysokým oxidačním potenciálem.

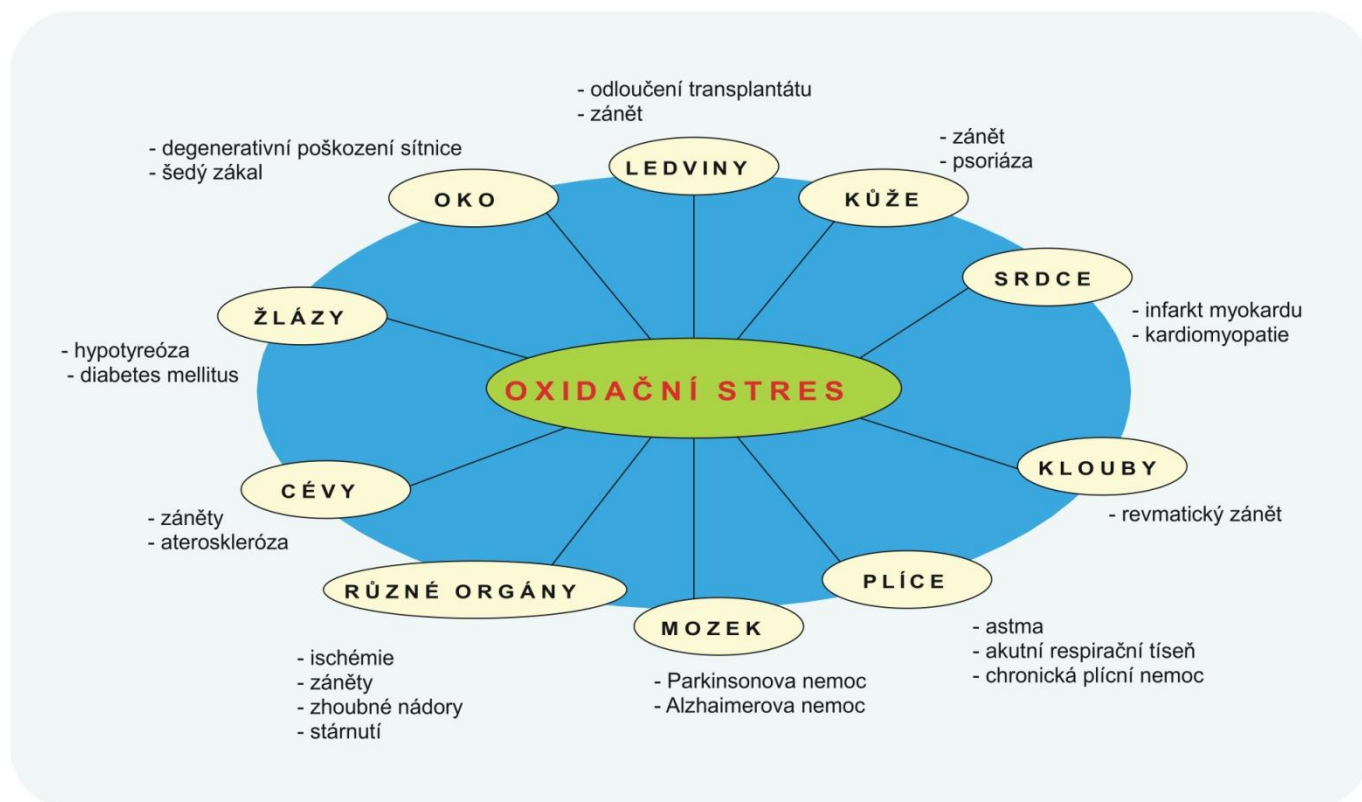
Nahromadění těchto látek je pro organizmus **oxidačním stresem**. Větší množství jich vzniká při intenzivní svalové práci nebo vlivem ultrafialového záření a toxických látek (cigaretový kouř, smog). V organizmu dovedou ničit mikroorganismy (viry a bakterie), ale také způsobovat defekty membrán buněk (oxidací lipidů a proteinů, z nichž jsou membrány stavěny). Tak poškozují buněčné organely, jádra, DNA, a po vycestování krevním řečištěm i ostatní buňky v těle (erythrocyty, myocyty, žlázy s vnitřní sekrecí atd.).



Obr. 4 Poškození membrán oxidačními látkami.

Organismus likviduje oxidační radikály **antioxidačními systémy** a látkami, např. superoxid-dizmutáza, kataláza, kyselina močová, bilirubin. V potravě nebo výživových doplncích může člověk získat další **antioxidancia** - látky, které RONS likvidují, např. vitaminy E, C, A, koenzym Q10.

Oxidační látky, tím že ničí strukturu buněk, se podílejí na vzniku mnoha onemocnění (obr. 5).



Obr. 5 Oxidační stres a vznik onemocnění.

2.5 Teplota

Příznivá teplota pro život buněk je kolem 37°C. Při příliš vysoké nebo příliš nízké teplotě těla dochází ke koloidně-osmotickým a hydrodynamickým změnám i ke změnám struktur a vlastností organických látek a vody. To vede k poruchám transportu a metabolismu vody a dalších látek.

Termoregulační systém udržuje kolísání teploty v rozmezí $\pm 0,6$ °C. Podchlazení je označováno za hypotermii (teplota tělního jádra přibližně pod 35°C) a přehřátí za hypertermii (přibližně nad 40°C).

Hypertermie

Zdrojem tepla a příčinou zvýšení teploty je teplé vnější prostředí, jídlo a nápoje a intenzivnější metabolismus, především při svalové práci.

Mechanismy, kterými se organizmus zbavuje nadbytečného tepla:

- Přesunem tepla do kůže (větší prokrvení kůže – kožní vazodilatace) a jeho **sálání tepla do chladnějšího vnějšího prostředí**.
- V chladnější vodě se uplatňuje i **vedení tepla** (kondukce).
- Kůže tvoří pot a jeho **odpařováním** (evaporace) se ochlazuje.

Hypotermie

Příčinou ochlazování vnitřního prostředí je chladné vnější prostředí, jídlo a nápoje a nižší metabolická aktivita.

Mechanismy, bránící podchlazení:

- **Zvýšení obrátu energetického metabolismu** ve svalech vědomou činností nebo samovolným třesem.
- Termogenní aktivitu projevuje také **hnědá tuková tkáň**, která je umístěna v oblastech kolem klíčních kostí a podél páteře.

Další prostředky, kterými se člověk brání podchlazení:

- Izolace vhodným oblečením.
- Příjem tepelné energie z teplého prostředí (vzduch, voda), jídla a nápojů.
- Termogenní účinek potravy, který spočívá ve zvýšení metabolismu, především v trávicí soustavě.

Proudění vzduchu nebo vody ve vnějším prostředí zesiluje jejich ochlazovací nebo ohřívací účinek.

Vyšší vlhkost teplého vzduchu zesiluje jeho ohřívací účinek, protože omezuje odpařování potu a tím ochlazování kůže. Naopak vyšší vlhkost studeného vzduchu zesiluje jeho ochlazovací účinek.

Více najdete v kapitole 11. Termoregulace.

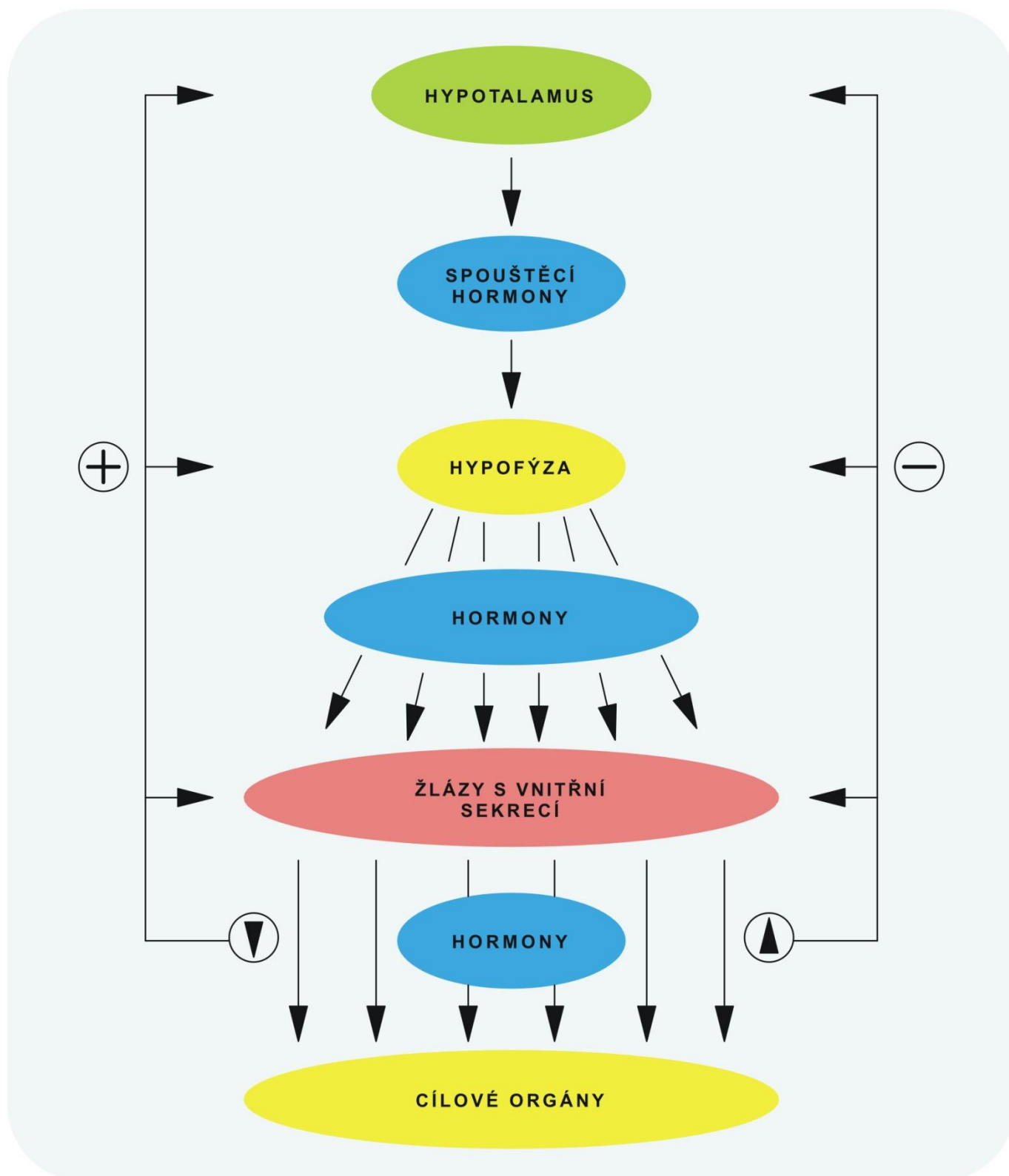
2.6 Nervově-endokrinní a látková regulace

Vnitřní orgány (např. trávicí soustavy, krevního oběhu, dýchání), jež jsou nositeli mechanismů, které se podílejí na udržení homeostázy, podléhají třístupňovému řízení:

- Autonomní nervový systém (sympatikus a parasympatikus), jehož mediátory jsou adrenalin, noradrenalin a acetylcholin.
- Systém žláz s vnitřní sekrecí (např. štítná žláza, slinivka břišní), jejichž mediátory jsou hormony (např. tetrajód-thyronin, inzulín).
- Působením látek (např. K^+ , Na^+) přímo na buňky.

Nejvyšší jednotkou regulačního nervově-endokrinního systému je hypotalamus s hypofýzou, jejíž hormony řídí činnost většiny žláz s vnitřní sekrecí. Tento systém pracuje na principu trojnásobné negativní zpětné vazby: Větší množství určitého hormonu v těle indukuje snížení jeho vlastní produkce příslušnou žlázou i snížení aktivity příslušných nadřazených center v hypofýze a hypotalamu.

Více najdete v kapitolách 3. Nervová soustava a 4. Hormonální systém.



Obr. 6 Nervově-endokrinní regulační systém.

2.7 Transportní systémy

Krevní oběh

Krevní oběh (krevní cévy a srdce) je velmi důležitým transportním systémem: Přináší vstřebané látky z trávicí roury do jater (střeva, játra). Přenáší substráty a produkty metabolismu mezi orgány a tkáněmi, např. zdroje energie z jater ke svalům a laktát ze svalů do jater k dalšímu zpracování. Přenáší vodu, minerály i bílkoviny, hormony a další látky po celém těle, do všech tkání a orgánů, včetně ledvin.

Podmínkou správného fungování krevního oběhu je

- dostatečný objem a tlak tekuté složky krve – plazmy, jejíž hlavní součástí je voda,
- fyzikálně - mechanické vlastnosti proudící krve (hemodynamické a reologické vlastnosti krve), které závisejí především na hustotě a složení krve, ale také na vlastnostech cév,
- dobrá schopnost srdce jako pumpy,
- řízení autonomním nervovým systémem.

Více najdete v kapitolách 8. Krevní oběh a 7. Tělní tekutiny.

Transportní systém pro kyslík

Kyslík je odebírán z nadechovaného vzduchu, přenášen do krve a předáván cílovým tkáním. Takže součástí tohoto transportního systému jsou

- dýchací soustava (dýchací cesty a plíce),
- krevní oběh (cévy a srdce) a
- periferní tkáně (nervová, svalová atd.).

Kyslík je v krvi částečně vázán na hemoglobin v erythrocytech a částečně rozpuštěn v plazmě.

Transportní systém pro oxid uhličitý

Oxid uhličitý je přenášen z periferních tkání krví a dýchacími cestami ven z organismu. V krvi je, ve srovnání s kyslíkem, větší podíl rozpuštěného CO_2 . Oxid uhličitý, který difunduje do erythrocytů, se rychle hydratuje na kyselinu uhličitou (H_2CO_3). Ta je zdrojem hydrogenkarbonátu (HCO_3^-). Oxid uhličitý je tak součástí regulačního systému acido-bazické rovnováhy.

Další informace jsou v kapitole 9. Dýchání.

2.8 Význam ledvin

Ledviny mají pro udržení homeostázy mimořádný význam:

- kontrolují vylučování vody a minerálů z těla - **udržují stálý objem a osmolalitu extracelulární tekutiny** (poměr vody a látek v ní obsažených).
- podílejí se na **udržení acido-bazické rovnováhy** – podle potřeby mění množství vylučování vodíkových protonů H^+ a hydrogenkarbonátových aniontů HCO_3^- .
- podle potřeby vylučují nebo zadržují produkty metabolismu, např. močovinu a kyselinu močovou.
- reagují na výkyvy množství kyslíku v těle a podle potřeby tvoří hormon **erythropoetin**, který stimuluje tvorbu červených krvinek ve dřeni kostí.

Více najdete v kapitole 10. Vylučování.

Důležité

- Stabilní vnitřní prostředí je důležité pro existenci a činnost všech buněk a tkání v těle, všech orgánů a systémů.
- Buňky potřebují stálý přísun energie, kyslíku, přiměřené množství vody a iontů, odsun produktů metabolismu, acido-bazickou rovnováhu, teplotu atd.
- Regulační mechanismy reagují na výchyly v tomto prostředí a kompenzují je tak, že dochází k neustálým oscilacím ukazatelů vnitřního prostředí kolem střední (optimální) hodnoty.
- Na regulaci se podílejí společně všechny soustavy. Snad výjimečné postavení má koordinující nervově-hormonální soustava.

3 Nervová soustava

Obsah kapitoly

- 3.1 Úvod do kapitoly**
- 3.2 Stavba nervového systému**
 - 3.2.1 Vzruch a synapse**
 - 3.2.2 Glie**
 - 3.2.3 Hematoencefalická bariéra**
- 3.3 Reflex**
- 3.4 Stavba centrálního nervového systému**
 - 3.4.1 Páteřní mícha**
 - 3.4.2 Mozkový kmen**
 - 3.4.3 Mezimozek**
 - 3.4.4 Velký mozek**
 - 3.4.5 Mozeček**
- 3.5 Bdění a spánek**
- 3.6 Periferní nervový systém**
 - 3.6.1 Hlavové nervy**
 - 3.6.2 Autonomní nervový systém**
 - 3.6.3 Motorické funkce**
 - 3.6.4 Senzorické funkce**

Po přečtení kapitoly by měl student:

- pochopit základní funkce NS v řízení organismu,
- popsat funkce nervové buňky a glií,
- vysvětlit práci jednotlivých oddílů nervové soustavy,
- uvědomit si, jak nervový systém reaguje na zatížení.

Klíčová slova:

Plasticita, receptory, senzory, interneurony, glie, neuron, axony, dendrity, myelin, Ranvierovy zářezy, vzruch, synapse, mediátor, acetylcholin, dopamin, GABA, mozkomíšní mok (likvor), reflex, kořeny míšni, mozkový kmen, prodloužená mícha, Varolův most, střední mozek, mezimozek, talamus, hypotalamus, velký mozek, bazální ganglia, mozeček, mozková kůra, hlavové nervy, sympatikus, parasympatikus, pyramidová dráha, extrapyramidová dráha.

3.1 Úvod do kapitoly

V lidském organismu musí být všechny orgány a specializované buněčné skupiny koordinovány a integrovány. Na této činnosti se podílí spolu s hormony **nervový systém (NS)**. Při obraně organismu slouží k předávání informací imunitní systém.

Z hlediska hierarchie stojí CNS (centrální nervový systém) nejnvýše. Řídí a zasahuje do funkce všech orgánů a koordinuje jejich činnost. Základní funkce nervové tkáně jsou:

- **Senzorická** – zajišťují smysly
- **Analytická** – vjemy, počítky
- **Asociační a integrační**- nové + minulé informace – paměťové stopy
- **Výkonná** (výstupní) – somatická, autonomní

Další specifickou vlastností CNS je její **identita**. Přestože je funkce CNS založena na přesných principech, výsledná činnost CNS každého jedince je naprosto unikátní a jedinečná. Tato vlastnost je v přímém vztahu s další vlastností a to **plasticitou**. Jako plasticita CNS je označována jedna z funkčních změn, která je zodpovědná za přizpůsobení se změnám vnějšího prostředí (adaptace). Za druhý projev plasticity jsou považovány funkční změny a jejich reverzibilita v závislosti na zátěži systému.

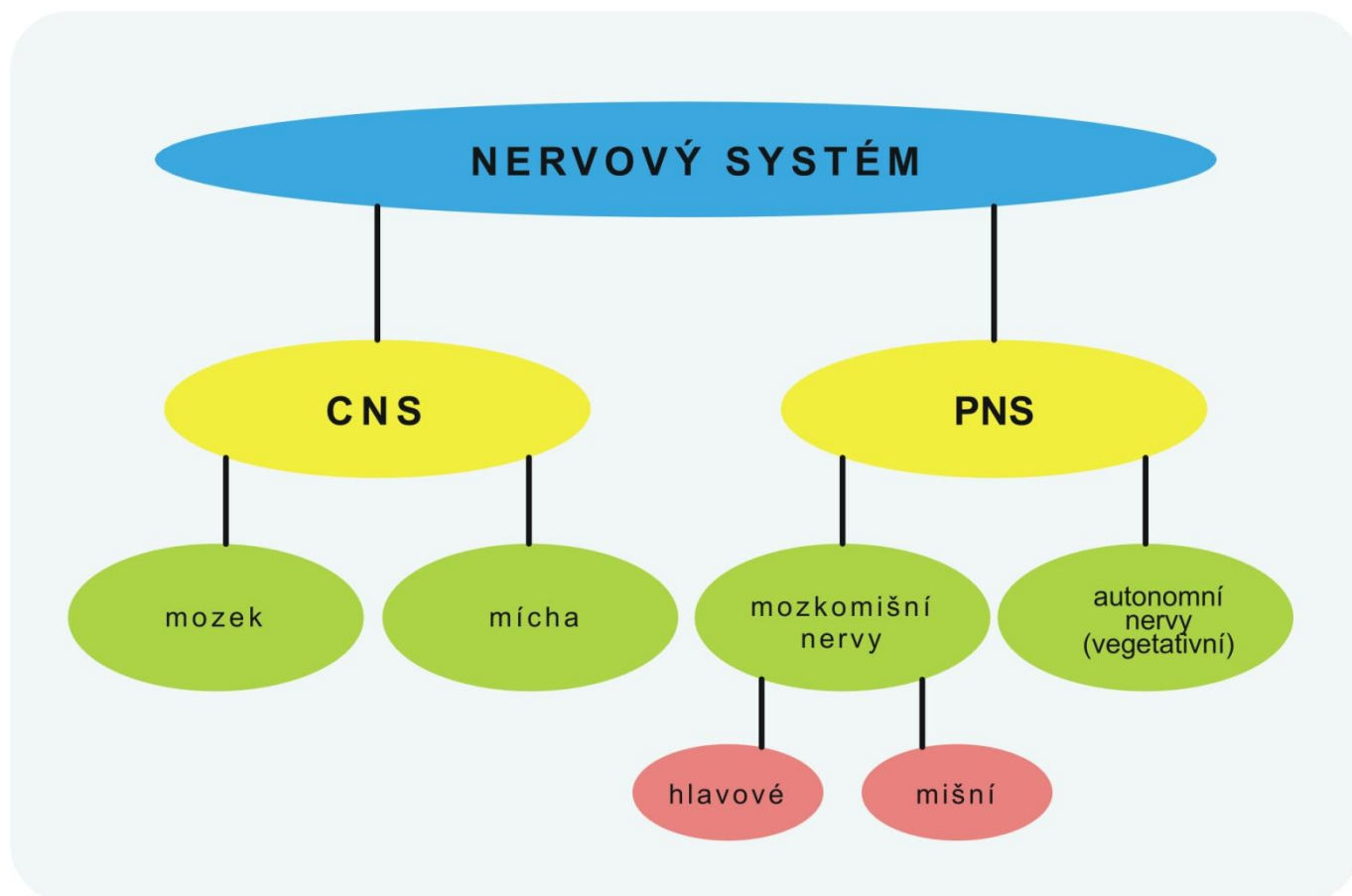
Mezi další specifika CNS je nemožnost regenerace neuronů. Po narození sice dochází k dalšímu vývoji struktur a funkce neuronů včetně větvení výběžků a ke změnám jejich zapojení, jejich počet je však konečný. Zaniklé neurony mohou být nahrazeny pouze neuroglíí. Pokud dojde k zániku neuronů, jde o nevratný (ireversibilní) stav. Reparace je možná jen při částečném poškození.

Vztah mezi NS a hormony je velice blízký, protože některé hormony přímo ovlivňují centrální nervový systém (CNS) a naopak, některé mediátory (transmitery) CNS mají hormonální povahu.

Nervový a hormonální systém řídí a reguluje pohyb, cití, smysly.

3.2 Stavba nervového systému

Z hlediska anatomického se nervový systém (NS) dělí na centrální (CNS) a periferní. CNS tvoří mozek a mícha, periferní nervový systém (PNS) pak mozkomíšni a vegetativní nervy (viz obr. 7)



Obr. 7 Dělení nervového systému.

Somatický systém je tvořen strukturami zajišťujícími aferentní (dostředivé) senzitivní a sensorické informace (hmat, polohocit, bolest, sluch, zrak,...) a eferentní (odstředivou) kontrolu motoriky kosterních svalů. Autonomní systém zahrnuje veškeré informace z oblasti viscerálních orgánů a zároveň kontroluje činnost hladkých svalů, srdce a exkretorických žláz.

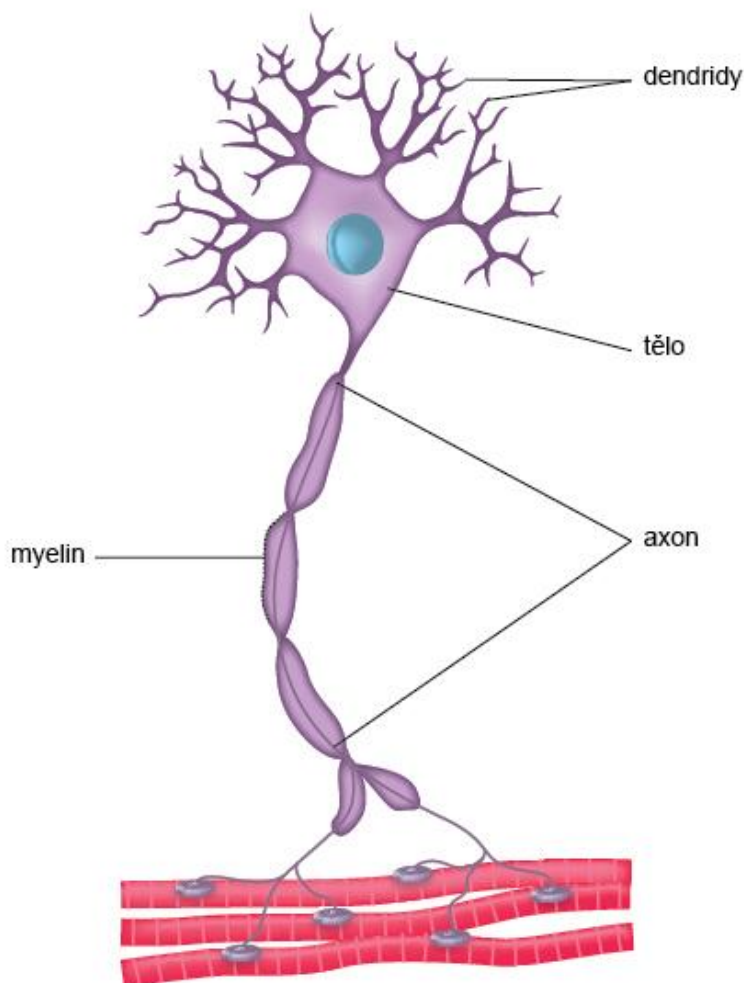
Vývoj CNS

Je zahájen prenatálním vývojem a vyvíjí se z trubicové nervové soustavy, která po narození zůstává zachována ve spinální míše. Hlavní oddíly mozku – rombencefalón, mezencefalón a proencefalón - se postupně vyvíjejí ze tří primárních mozkových váčků. Základy spinálních ganglií a ganglií některých hlavových nervů vznikají z tzv. gangliové lišty, která je zároveň i zdrojem Schwannových buněk, melanocytů a buněk měkkých mozkových plen (pia mater, arachnoidea).

Nervový systém je tvořen buňkami. Mezi buňky NS řadíme:

- **receptory, senzory**, přizpůsobené na příjem podnětů
- **interneurony**, určené ke zpracování přijatých informací, zajištění kontaktu a odevzdání informací v síti NS
- nervové buňky (**neurony**)
- a podpůrné nebo jinak funkčně specializované buňky (**glie**, satelitní buňky).

Základní anatomickou jednotkou nervové soustavy je neuron. Neuron je tvořen buněčným tělem (soma), ze kterého vystupují výběžky. Výběžek vedoucí vzruch směrem od buňky se nazývá neurit (axon) a řada menších výběžků vedoucích informace naopak do buňky dendrity (obr. 8).



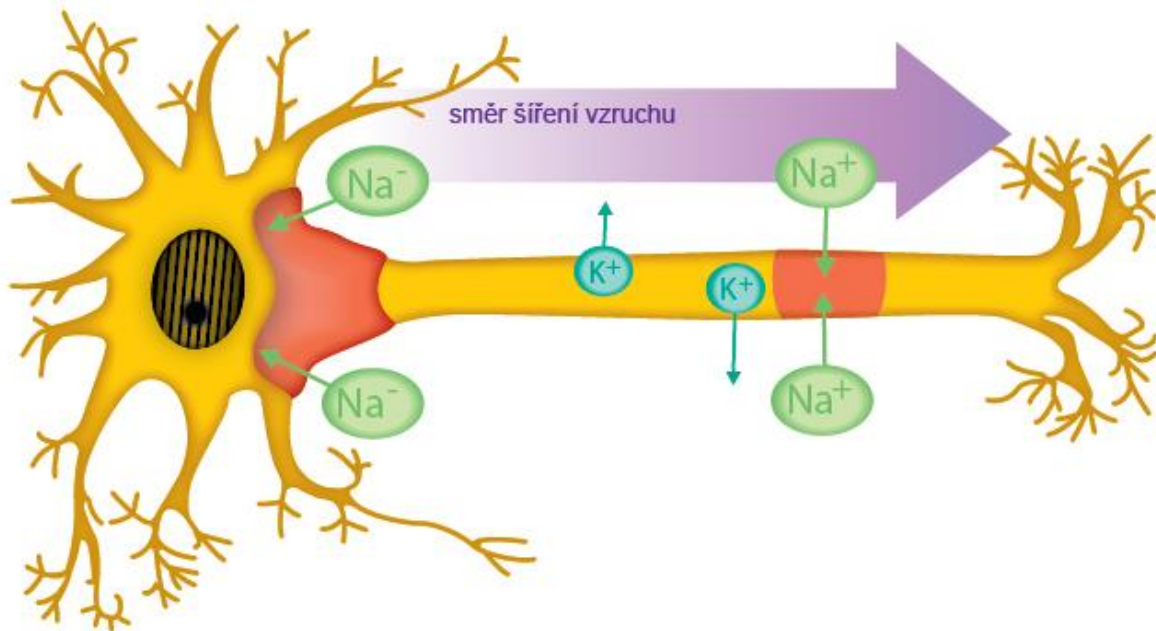
Obr. 8 Neuron.

Ve většině případů jsou axony pokryty po celém svém průběhu myelinovou pochvou. Myelinová pochva se podílí na rychlosti přenosu vzruchů. Čím je nervové vlákno a myelinová pochva silnější, tím rychleji dokáže axon vést vzruch. Myelinová pochva nepokrývá výběžek souvisle, ale je přerušována Ranvierovými zářezy. Myelinizace u člověka začíná v prvním trimestru těhotenství ve spinální míše a pokračuje směrem k mozku, dokončena je po druhém roce postnatálního vývoje. Vzruch u myelinizovaných vláken je veden saltatorně, to znamená, že přeskakuje značné úseky nervového vlákna.

Neuron je vysoce specializovanou buňkou, která je schopna přijmout určité formy signálů, odpovědět a vytvářet specifické funkční spojení (synapse) s ostatními neurony, efektory či receptory. Nervové buňky v CNS vytváří složitou a vzájemně komplikovaně propojenou prostorovou síť.

3.2.1 Vzruch a synapse

Vzruch (impuls) je projevem činnosti nervové buňky. Vzruchy se vytváří v neuronech a jsou odváděny axony buď k dendritům nebo k tělům dalších neuronů, nebo přímo k periferním zakončením ve výkonném orgánu. Vzruchy se po nervových vláknech šíří různou rychlostí. Nejrychleji k tomu dochází v tlustých myelinových vláknech. Základním projevem průchodu vzruchů nervem jsou bioelektrické (akční) potenciály. Vlastním podkladem postupu vzruchu po nervovém vláknu jsou chemické iontové změny na nervové membráně. U nečinného vlákna je uspořádání takové, že koncentrace draslíku uvnitř je asi 20x vyšší než vně, kde je zase mnohonásobně vyšší koncentrace sodíku. Toto nakupení iontů a jejich vzájemná rovnováha je za klidu udržována klidovým metabolismem nervového vlákna. V okamžiku podráždění se rovnováha porušuje. Sodík vstupuje iontovými kanály dovnitř nervu, zatímco draslík z nervu svými kanály vystupuje. Po proběhnutí vzruchu obnovuje metabolická pumpa původní rozložení iontů (obr. 9).

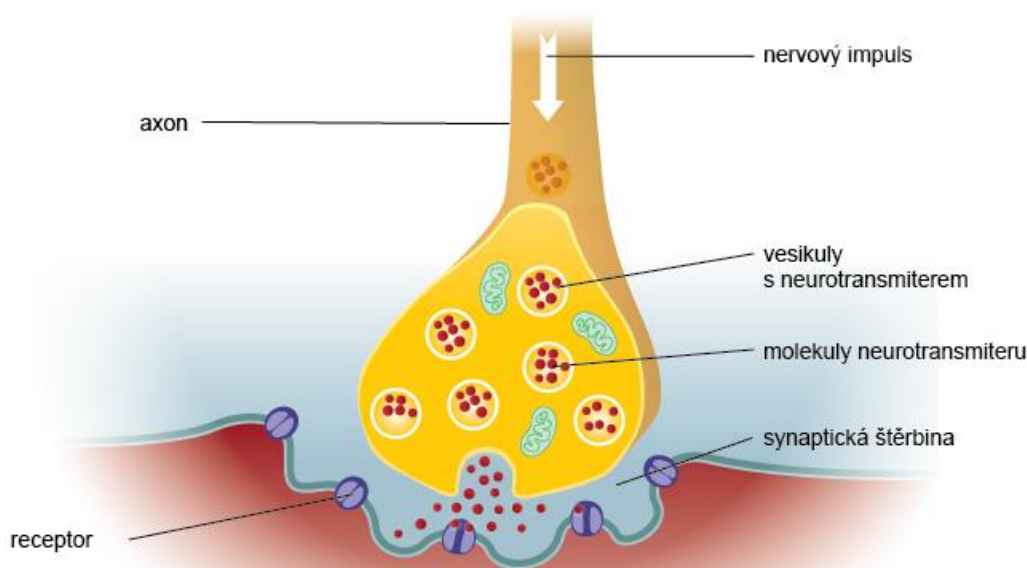


Obr. 9. Vedení vzruchu.

Synapse je specializovaný mezibuněčný kontakt. Většina synapsí v CNS jsou synapse chemické. Přenos signálů závisí na mediátorech v presynaptické části (synaptických váčcích) a různých typech receptorů v postsynaptické části. Přenos signálu je pak realizován chemickými substancemi (mediátory, neurotransmitery), které se uvolňují ze synaptických váčků a vážou se na receptory postsynaptické části. Tyto synapse mohou být jak excitační tak inhibiční.

Synapsi tedy tvoří (obr. 10):

- **presynaptický útvar** - vakovité rozšíření axonu s mitochondriemi a váčky s mediátorem
- **synaptická štěrbin**
- **postsynaptický útvar**



Obr. 10 Synapse.

Mediátory (transmitery, přenašeče) jsou specifické látky, které zajišťují cíleně převod nervové aktivity humorální cestou. Mezi mediátory řadíme acetylcholin, dopamin, noradrenalin, adrenalin, serotonin, histamin, kyselinu γ -aminomáselnou (GABA), glycin a neuropeptidy, kterých je v současnosti známa celá řada.

Mimo tyto klasické mediátory byla v poslední době popsána i celá řada látek, které se nepodílí na přenosu, nejsou tedy klasickými mediátory, ale ovlivňují citlivost receptoru na postsynaptické membráně k vlastnímu mediátoru. Jsou označovány jako neuromodulátory a patří mezi ně například endorfiny, enkefaliny nebo prostaglandiny. Také je v posledních letech diskutována otázka oxidu dusnatého (NO) nebo i oxidu uhelnatého (CO).

3.2.2 Glie

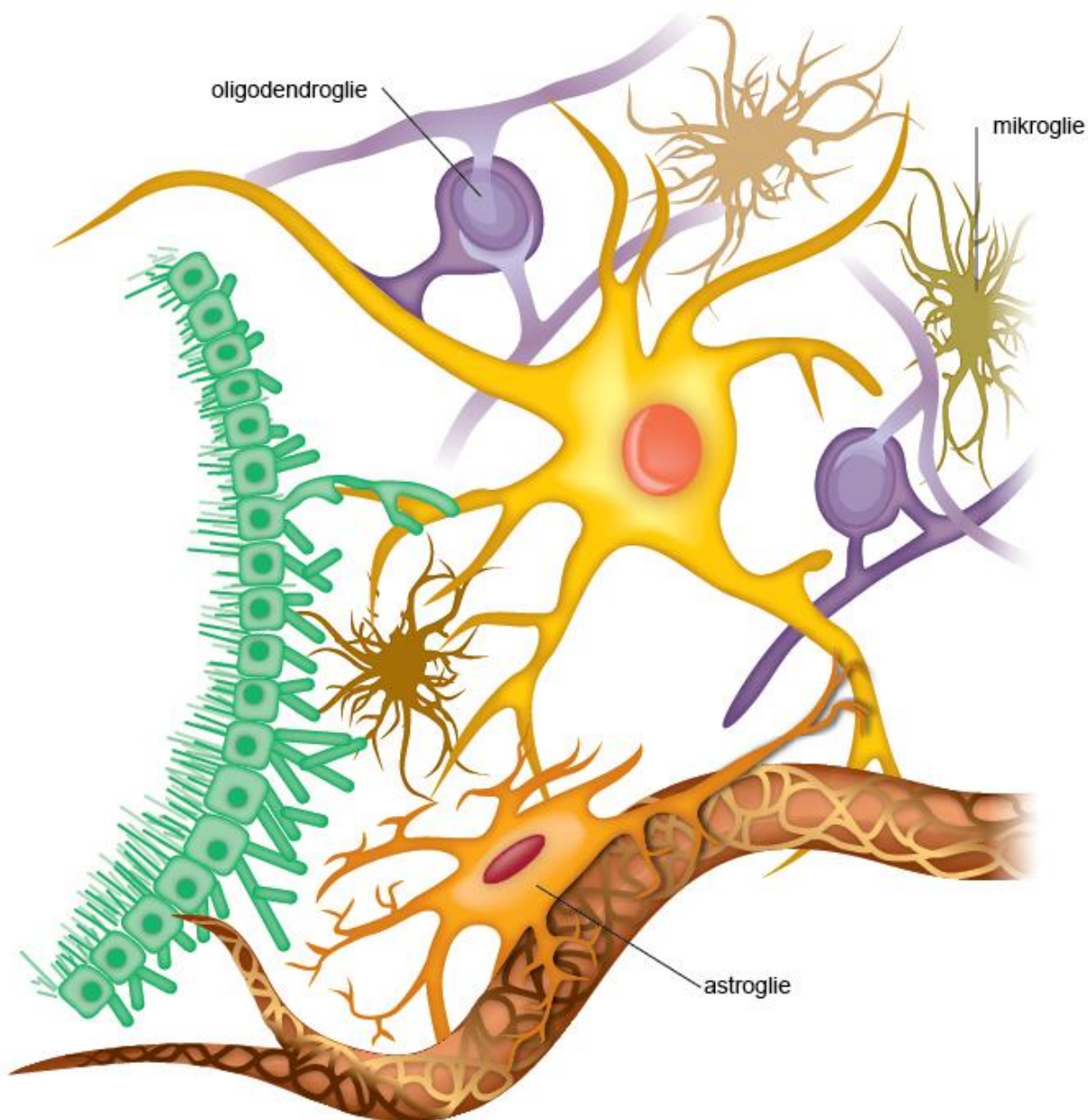
Kromě neuronů, kterých je v CNS okolo 10^{11} se skládá nervová tkáň z gliálních (podpůrných) buněk, kterých je 10x více. Kromě podpůrné funkce zajišťují i výživu nervových buněk, chrání nervové buňky, vytvářejí myelin a fagocytují poškozené neurony. Mezi gliové buňky řadíme **oligodendrocyty**, **astrocyty**, **ependymové buňky** a **mikroglie**.

Ependymové buňky patří mezi fylogeneticky nejstarší a tvoří výstelku dutin CNS. Pohyb řasinek ependymu je jedním z mechanismů vedoucím k pohybu **mozkomíšního moku (likvoru)**.

Astrocyty jsou rozvětvené hvězdicovité buňky s dlouhými výběžky. Jsou orientovány tak, že se jedním z výběžků dotýkají neuronu a druhým naléhají na stěnu kapilár. Mají funkci jak podpůrnou, tak výživnou a podílí se na vytvoření hematoencefalické bariéry.

Oligodendrocyty v CNS obklopují výběžky neuronů a vytvářejí myelinovou pochvu axonů. V PNS jejich funkci zastávají Schwannovy buňky.

Mikroglie jsou nejmenšími gliovými elementy v CNS. Vykazují výraznou pohyblivost a jsou schopny fagocytózy. V CNS se podílí na obranných a úklidových akcích za patologických stavů. Schwannovy buňky jsou základním typem neuroglie v PNS. Jejich funkce je blízká oligodendrocytům v CNS (obr. 11).



Obr. 11 Glie.

Funkci glií lze shrnout:

1. zásobárna energie

Za fyziologických podmínek je energie získávána téměř výlučně oxidací glukózy, která volně difunduje přes hematoencefalickou bariéru. Zatímco neurony jsou závislé pouze na glukóze, eventuálně pyruvátu, gliové buňky mohou využívat i jiných zdrojů (mastné kyseliny).

2. imunitní systém nervového systému

Za patologických podmínek při zánětu, poranění, virových a bakteriálních infekcí, autoimunitních a neurodegenerativních onemocnění hrají úlohu nejen mikroglie, ale i astrocyty. Jsou schopné vytlačovat antigeny, produkovat cytokiny, uvolňovat enzymy a fagocytovat škodlivé látky.

3.2.1 Hematoencefalická bariéra

Aby mohla být zajištěna plná funkce neuronů, je nutné je chránit před poškozením. Neuronů musí být izolovány od nežádoucích elektrických signálů, musí být pro ně zajištěn přísun energie pro metabolické procesy a tvorbu vzruchů. Toto je zajištěno pomocí již dříve zmíněných neuroglií, mozkomíšním mokem a hematoencefalickou bariérou.

Hematoencefalická bariéra reguluje přesun látek z krve do tkáně CNS, z krve do mozkomíšního moku (likvoru), z likvoru do nervové tkáně a opačně z mozku do krve. Morfologicky je tvořena strukturou endotelových buněk mozkových kapilár a systémem astrocytů. Přenos látek přes struktury hematoencefalické bariéry jsou zajišťovány pomocí několika transportních mechanismů. Pasivně prostou difuzí prostupují látky lipoidní, některé malé neutrální molekuly jako CO₂, voda a O₂. Dalším transportem je aktivní transport, který má svoje specifika. Poslední možností je enzymatický systém. Transport některých biologicky aktivních látek jako serotonin a acetylcholin je částečně blokován enzymy endotelových buněk. Tato enzymatická bariéra funguje velmi efektivně. Systém hematoencefalické bariéry je výsledkem celkové interakce mezi nervovou tkání a krví respektive likvorem.

Kromě hematoencefalické bariéry bývá rovněž definována bariéra hematolikvorová (krev → likvor), popřípadě bariéra likvoroencefalická (likvor → tkáň CNS).

Centrální nervový systém je obklopen **třemi obaly**. Pod **tvrdou plenou** (dura mater) je subdurální prostor obsahující velmi malé množství tkáňové tekutiny. Tento prostor je zevnitř ohraničen **pavoučnicí** (arachnoidea). Mezi arachnoideou a třetí vnitřní **měkkou plenou** (pia mater) je rozložen subarachnoidální prostor obsahující mozkomíšní mok a cévy, které se zde větví.

*Většina **likvoru** je tvořena v choroideálním plexu v postranních komorách a třetí komoře. Odsud se dostává do čtvrté komory. Ze čtvrté komory proudí likvor přes cisterny při bázi mozku do subarachnoidálního prostoru na povrchu mozku a míchy. Likvor se tvoří neustále v množství 0,5 ml/min, tj. 720 ml/24 hod. Vzhledem k tomu že celkové množství likvoru je tvořeno asi 120 ml, musí být veškerý likvor obměněn během asi 4-6 hodin.*

Normální likvor je čirá a bezbarvá tekutina o specifické hmotnosti 1003 -1008. Za fyziologických podmínek obsahuje málo buněk. Hodnota pH je přibližně 7,33. Mozkomíšní mok obsahuje méně bílkovin než krevní plazma. Též lipidů je výrazně oproti plazmě méně, asi 300x. Normální hladina glukózy je u dospělého člověka o něco nižší než hladina glykémie nalačno. Oproti tomu koncentrace chloridů a magnézia je výrazně vyšší, tím je likvor hypertoničtější než plazma. Obsah kalcia je ale nižší (tab. 1).

Tab. 1 Rozdíly ve složení plazmy a likvoru.

<i>látka</i>	<i>plazma (mmol/l)</i>	<i>likvor (mmol/l)</i>
Na⁺	137 -147	141 -152
K⁺	3,8 -5,1	2 -3
Mg⁺⁺	0,7 -1,3	2,2 – 2,5
Ca⁺⁺	2,25 – 2,75	1,1 – 1,3
Cl	98 -106	123 - 128
Celková bílkovina g/l	60 -80	0,2 – 0,4
Glukóza	3,6 – 5,6	2,5 – 4,5
laktát	0,55 – 2,22	0,55 – 2,22
urea	3,2 -6,1	2 -7
Celkové lipidy g/l	4 -9	0,01 – 0,03

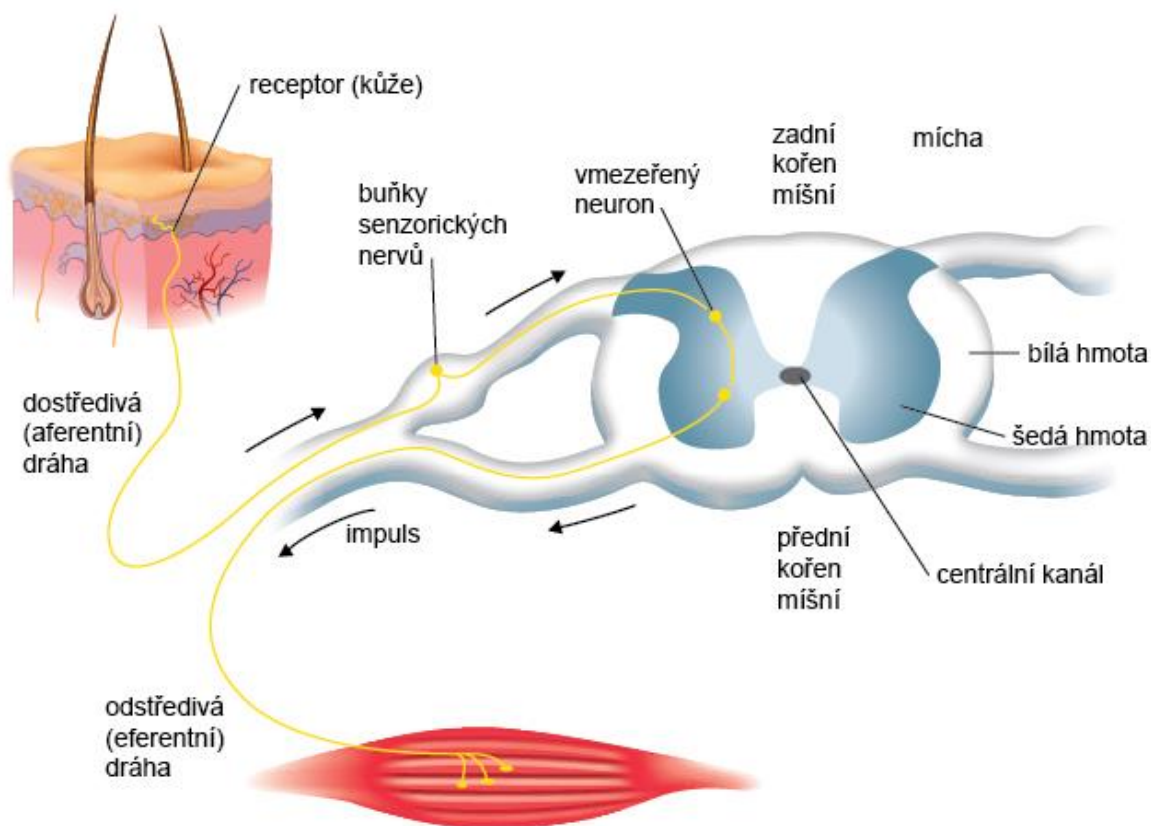
Likvor zastává ochrannou funkci. Slouží jako polštář mezi měkkou tkání mozku a tvrdou kalvou. Likvor také nadnáší mozek, rozkládá jeho váhu a tlumí a distribuuje sílu případného úderu do hlavy. Specializace NS je příčinou odlišností intenzity metabolismu a metabolických pochodů. Vyznačuje se především **velkou intenzitou metabolismu**. Podíl mozku na bazálním metabolismu činí 20%, i když jeho hmota tvoří pouhých 2% celkové hmotnosti těla. **Hlavním energetickým zdrojem je glukóza**, dalším zdrojem je **pyruvát**. Ostatní zdroje mohou být zdrojem za předpokladu, že se předtím metabolizovaly na glukózu. Metabolismus CNS je převážně aerobní. Makroergní fosfáty jsou syntetizovány v 97% v mitochondriích a jen 3% metabolismu tvoří anaerobní glykolýza. NS se vyznačuje také velkou proteosyntézou a značnou citlivostí k hypoxii (nedostatek kyslíku). Neurony patří mezi nejcitlivější buňky organismu. Hranicí pro ireverzibilní poškození je průtok 2 ml/100mg/min, kdy odumírání začíná již během několika vteřin nebo úplné zastavení na dobu 4 -5 min.

3.3 Reflex

Základní funkční jednotkou nervové soustavy je **reflex**. Reflex je odpověď organismu na dráždění receptorů pomocí CNS.

Reflex je determinován podnětem (zevním, vnitřním) a je určen reflexním obloukem. Složení reflexního oblouku (obr. 12):

- receptor
- aferentní = dostředivá dráha
- centrum
- eferentní = odstředivá dráha



Obr. 12 Reflexní oblouk.

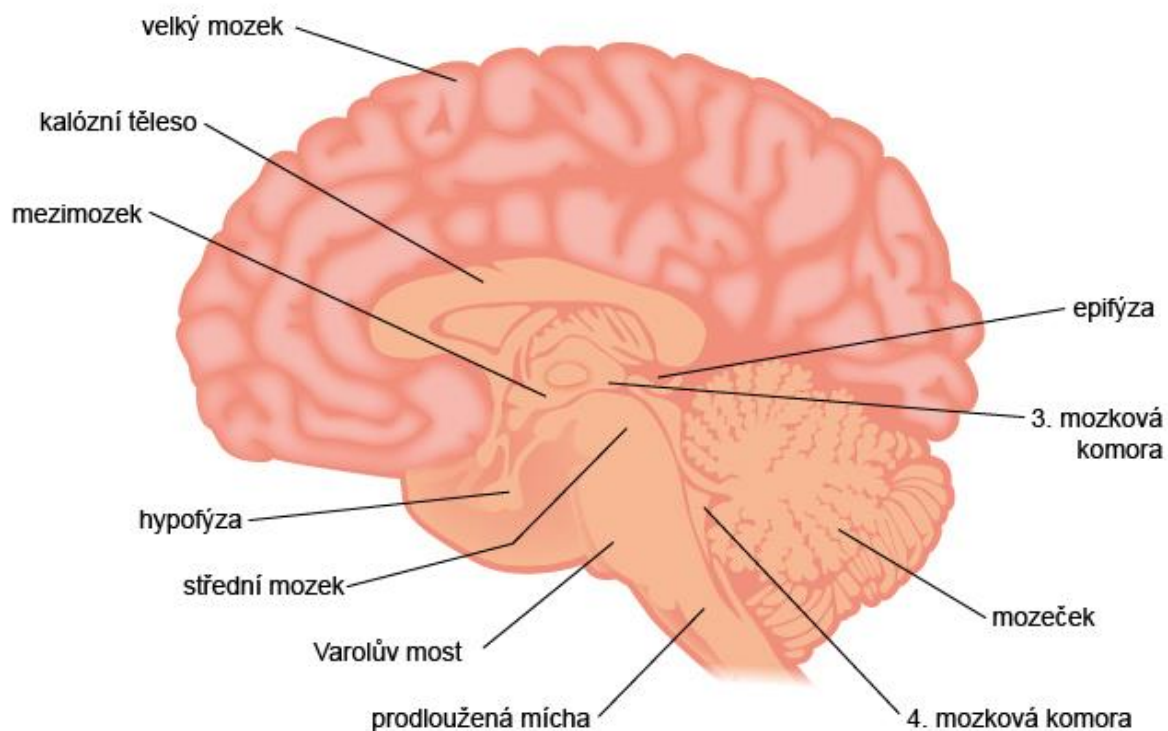
Reflexy klasifikujeme podle:

- A. **receptorů**: exteroceptivní, interoceptivní a proprioceptivní
- B. **podle centra**: centrální (míšň a mozkové) a extracentrální (axonové a gangliové)
- C. **efektoru**: somatické a autonomní
- D. **podmínek a pevnosti spojení**: reflexy nepodmíněné (vrozené) a podmíněné (získané)
- E. **počtu synapsí**: monosynaptické a polysynaptické

3.4 Stavba centrálního nervového systému

CNS se skládá z **mozku** (encephalon, cerebrum) a **páteřní míchy** (medulla spinalis).

Mozek je tvořen **prodlouženou míchou, mostem, mozečkem, středním mozkiem, mezimozkem a velkým mozkiem** (obr. 13).



Obr. 13 Stavba mozku.

3.4.1 Páteřní mícha

Vyplňuje páteřní kanál od prvního krčního obratle až ke druhému bedernímu obratli. Jedná se o **nejnižší reflexní centrum**, které je podřízeno vyšším mozkovým etážím a zároveň i místo **přechodu nervových drah**.

Šedá hmota míšní, která je tvořena těly nervových buněk, má na příčném řezu tvar písmene H. Z buněk předních rohů míšních vycházejí eferentní motorická vlákna, jdoucí ke svalům. Zadními kořeny míšními naopak do míchy vstupují senzitivní vlákna z periferie. Před výstupem z páteře se přední a zadní kořeny míšní spojují v **míšní nervy** (obr. 14).

Bílá hmota míšní je naopak tvořena nervovými vlákny, která spojují míchu s vyššími mozkovými etážemi. Toto spojení je označováno jako **nervové dráhy**.

Rozlišujeme dva typy nervových drah:

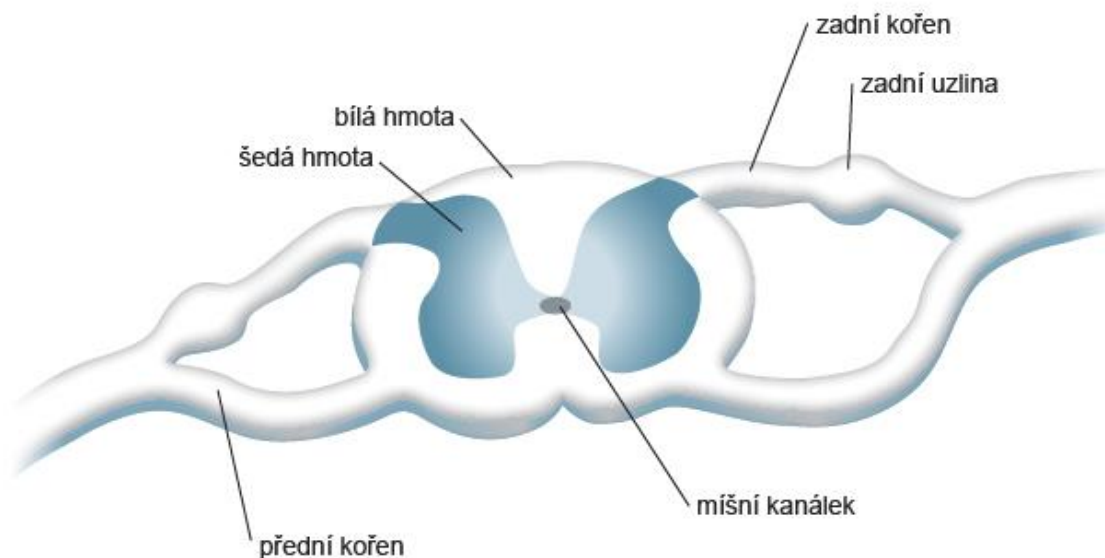
A, **descendentní** (sestupné) – motorické dráhy (pyramidové a extrapyramidové)

B, **ascendentní** (vzestupné) – senzitivní dráhy: z receptorů na bolest, dotyk, teplo, chlad (kožní cití), z proprioreceptorů (hluboké cití)

Poranění míchy vyvolá míšní šok a útlum činnosti spinální míchy. Komplikace po přerušení míchy závisí na výši a rozsahu léze (lat. laesio – poškození, postižení, porucha). Poškození míchy (paralýza) se může projevit jako monoplegie, paraplegie, hemiplegie a quadruplegie.

Z míchy vystupuje 31 párů míšních nervů (8 krčních, 12 hrudních, 5 bederních, 5 křížových a 1 pár kostrční). Míšní nerv má 2 části:

-
- A. **přední kořen**, který obsahuje eferentní, odstředivá, motorická vlákna
B. **zadní kořen**, který obsahuje vlákna dostředivá, aferentní, senzitivní (obr. 14)



Obr. 14 Řez míchou.

Míšň reflexy

A. proprioreceptivní reflexy:

- **napínací reflex** (myotatický), který je vyvolán podrážděním svalových vřetének při lehkém protažení svalu. Ke kontrakci svalu může dojít přímo aktivací α -motoneuronu nebo nepřímo aktivací γ -motoneuronu. Uplatňuje se systém gama klíčky
- **šlachový reflex** (antimyotatický) nastává při podráždění Golgiho tělísek tahem během svalové kontrakce

Pozn. Propriorecepce je schopnost nervového systému zaznamenávat změny vznikající ve svalech a uvnitř těla pohybem a svalovou činností („polohocit“).

B. exteroceptivní reflexy:

- **extenzorový reflex**, který je vyvolán dotykovým stimulem
- **flexorový reflex** nastává při podráždění receptorů pro bolest. Jedná se o obranné reflexy na stejné straně těla
- **zkřížený extenzorový reflex**, jde o obranný, kontralaterální a polysegmentární reflex

3.4.2 Mozkový kmen

Mozkový kmen tvoří **prodloužená mícha** (medulla oblongata), **Varolův most** (pons Varoli) a **střední mozek** (mezenkephalon).

Prodloužená mícha

Prodloužená mícha je pokračováním páteřní míchy. Její součástí jsou pyramidy, ve kterých dochází ke křížení nervových drah. Prochází jí jak aferentní, tak eferentní nervové dráhy. Součástí prodloužené míchy jsou i centra nutných nepodmíněných reflexů, které se účastní na řízení dýchání, činnosti srdce a cév, souhry motility a sekrece v trávicím ústrojí, koordinace při sexuálních funkcích. Také je centrem obranných reflexů, jako je kašel kýchání, polykání, zvracení a očních reflexů. V této oblasti najdeme i jádra VII. – XII. hlavového nervu.

Varolův most

Je místem, kterým opět procházejí nervové dráhy spojující míchu, mozeček a vyšší etáže mozku. Najdeme zde jádra V. a VI. hlavového nervu. Most se podílí na řízení motoriky a smyslové analýze. Jeho spojení s mozečkem je významné pro regulaci pohybu a postoje.

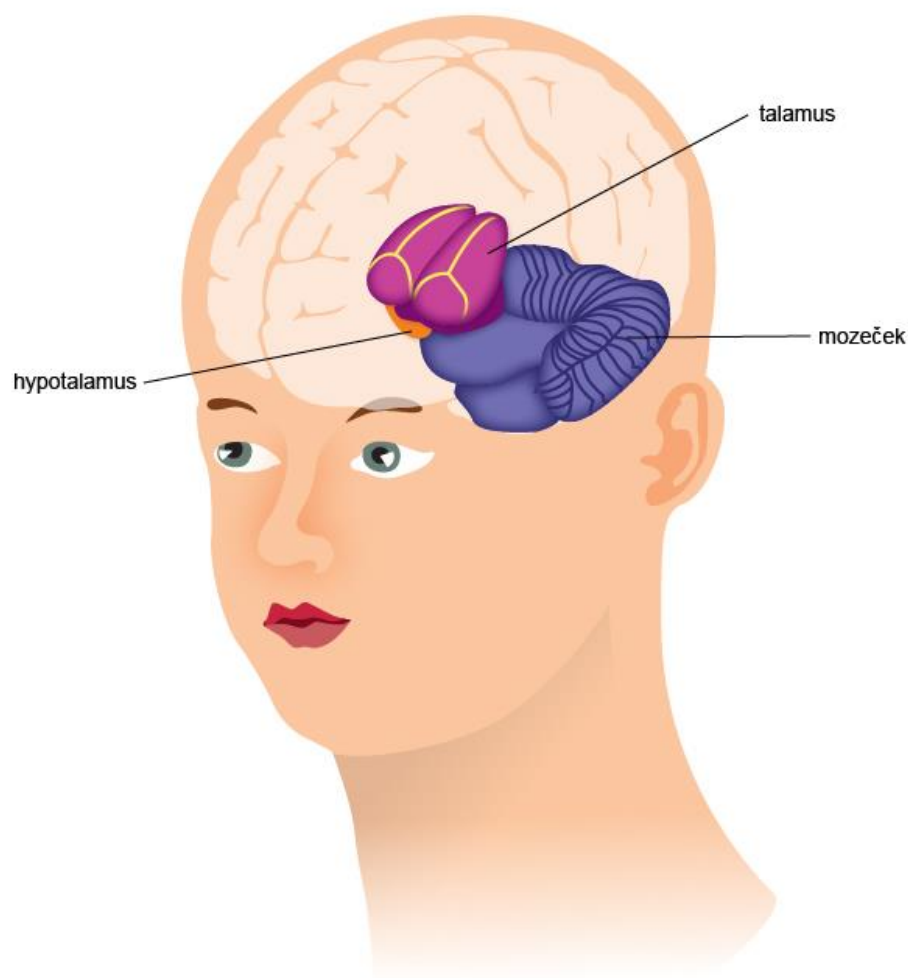
Střední mozek

Je nejmenší součástí mozkového kmene. Zahrnuje čtverohrbol s horními a dolními hrboly (*tectum a tegmentum*). Střední mozek je zapojen do funkcí, jako je zrak, sluch, pohyby očí a těla. Je v něm uloženo ústředí III. a IV. mozkového nervu.

Retikulární formace (RF) je systém zahrnující shluky nervových buněk mezi nervovými vlákny v mozkovém kmeni hypotalamu a talamu. Hlavní funkcí RF je zabezpečení koordinace somatických a autonomních funkcí. RF je spojena nervovými vlákny s mozečkem, středním mozkem, mezimozkem, bazálními ganglii a mozkovou kůrou. Propojení s vyššími centry zajišťuje stav bdělosti – aktivuje mozkovou kůru. Při poruše dochází ke zhoršení učení a paměti. Propojení s nižšími centry zajišťuje souhru činnosti posturálních svalů.

3.4.3 Mezimozek (diencephalon)

Je tvořen **talamem, epitalamem a hypotalamem** (obr. 15).



Obr. 15 Skladba mezimozku.

Epitalamus

K epitalamu se řadí šišinka (epifyza) a jádra. Šišinka je neuroendokrinní žláza produkující melatonin. Výdej melatoninu se v průběhu dne mění, stoupá večer, vrcholu dosahuje kolem půlnoci a k ránu klesá. Rozdíl mezi maximem a minimem je víc než desetinásobný. Buňky celého lidského těla mají receptor na melatonin a podle změn jeho koncentrace v krvi jsou synchronizovány se světelným režimem prostředí. Kromě tohoto působení má melatonin vliv na vývoj reprodukčních orgánů, ovlivňuje plodnost a snad zasahuje i do procesu paměti a učení. Po narození je hladina melatoninu nízká a zřetelný cirkadiánní rytmus se objevuje až ve 2 měsících věku dítěte. K významnějšímu poklesu produkce melatoninu nastává ve stáří a snižuje se rozdíl mezi minimem a maximem tvorby melatoninu, což má za následek poruchu rytmu střídání bdění a spánku a dochází k fragmentaci spánku.

Talamus představuje hlavní přepojovací centrum informací z periferie. Činnost talamu je podřízena mozkové kůře a zajišťuje stav bdělosti. Další funkcí talamu je ovlivnění stoje a chůze díky tomu, že zajišťuje převod vzruchů z mozečku do mozkové kůře. Je také součástí limbického systému a tím se účastní na vegetativních reakcích. Uspořádání talamu (talamická jádra) je velmi komplikované a strukturální členění neodpovídá funkčnímu.

Při poruše talamu se snižuje práh pro vnímání bolesti – vzniká tzv. talamická bolest.

Hypotalamus tvoří přední stěnu mezimozku a dno 3. komory. Je spojen s hypofýzou. Hlavní funkcí hypotalamu je:

- A. regulace příjmu potravy založená na existenci dvou center: centra sytosti a centra hladu. S „pocitem hladu“ jsou spojeny i vegetativní projevy jako sekrece žaludeční šťávy a hladové kontrakce žaludku. Tyto struktury jsou ovlivňovány hormony z periferie (ghrelin, peptid YY, leptin, inzulin)
- B. centrum žízně
- C. část hypotalamu je zodpovědná za sexuální chování. *Při poškození této části u žen může dojít k poruše menstruačního cyklu a ovulace.*
- D. jsou zde secernovány hormony: vasopresin (antidiuretický hormon – ADH) a oxytocin
- E. řízení vegetativního nervstva a komplexní stresové reakce
- F. udržení termoregulace (s centrem pro tvorbu a výdej tepla)
- G. účast na emočních stavech
- H. řízení cirkadiálních rytmů – „biologických hodin“

Limbecký systém

Nejedná se o jednu oblast mozku, ale o vzájemně propojenou skupinu mozkových korových a podkorových center. Část korová zahrnuje bulbus olfaktorius, hippocampus, gyrus dentatus a gyrus cinguli. Podkorová část je tvořena amygdalou, částí hypotalamu, talamu a epitalamu. Limbecký systém tvoří funkční celek, nicméně jeho jednotlivé části mají svoji specifiku. Hipokampus vývojově patří k čichovému analyzátoru a tvořila se zde závažná rozhodnutí o chování jedince. Má také význam pro výběr a ukládání některých informací do dlouhodobé paměti. Amygdala se podílí na vzniku emočních reakcí, zvláště při spojení se sexuální aktivitou. Byl prokázán i její vztah k agresivnímu chování. Hypotalamus kromě řízení základních tělesných funkcí má i vztah k jejímu emočnímu doprovodu.

3.4.4 Velký mozek (telencefalon)

Jedná se o největší a fylogeneticky nejmladší strukturu CNS. Do telencefala řadíme: **mozkovou kůru a corpus callosum, bazální ganglia** a část **limbeckého systému**.

Bazální ganglia

Jedná se o skupinu podkorových jader, které jsou nakupeny v podkorové šedi a jsou zapojené do řady funkcí: motorických, asociačních a paměťových. Jedná se o striatum (nukleus caudatus, putamen a přední septum), globus pallidus, substantia nigra a subtalamické jádro. Jádra mají tlumivou funkci, zajišťující pružnost a vláčnost pohybu. Striátum se účastní na řízení celkových pohybů, pallidum reguluje svalový tonus. Bazální ganglia tedy upravují informace z primární motorické oblasti dříve, než vzruch dospěje k míšním motoneuronům.

Mediátory v bazálních gangliích jsou dopamin, acetylcholin a GABA.

Při snížené tvorbě dopaminu vzniká hypertonickohypokinetický syndrom (Parkinsonův syndrom). Projevuje se zvýšením aktivity neuronů nepřímé (extrapyramidové) dráhy. Výsledkem je poškození zahájení pohybu (akineze), snížení rozsahu pohybů a jejich rychlosti (bradykineze). Omezují se sdružené pohyby, snižuje se mimika. Zvýšené svalové napětí, je příčinou zvýšené svalové rigidity. Často je přítomen klidový třes. Při porušení nepřímé dráhy, a tím i poklesu inhibičního působení talamu na mozkovou kůru vzniká hyperkinetický syndrom, projevující se mimovolními pohyby nejčastěji při zahájení volní motorické aktivity a snížením svalového napětí (například chorea, atetóza, balismus, myoklonie).

Mozková kůra (cortex cerebri)

Z morfologického hlediska se člení na 6 vrstev. Mozková kůra je nejvyšším integračním ústředím, kde dochází ke zpracování všech informací. Reguluje vztah organismu k prostředí, koordinuje vstupní a výstupní systémy, umožňuje vznik dočasných spojení a uchování informací formou učení a paměti. Funkce mozkové kůry je asymetrická, kdy existuje různá dominance určité funkční oblasti. Pravá hemisféra spíše zajišťuje prostorovou orientaci, citivost, představitivost, hudebnost, apod. Levá pak řídí řeč, psaní, počítání.

Při poškození mozkové kůry dochází ke ztrátě podmíněných reflexů, zachovány jsou jen nepodmíněné. U těžšího poškození může dojít dekortikační rigiditě (postižený má horní končetiny ve flexi a dolní končetiny v extenzi).

Analytická a integrační činnost umožňuje přísun informací z periferie prostřednictvím analyzátorů porovnávat s informacemi uloženými v paměti, a tak neustále modifikovat výstupní informace z motorických oblastí mozkové kůry.

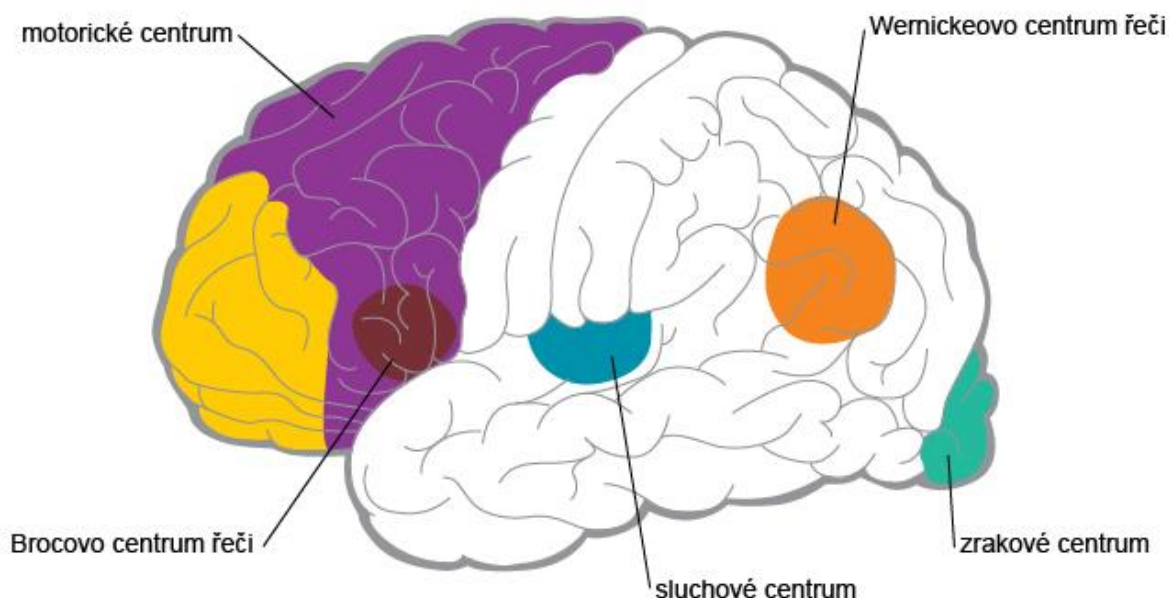
Z funkčního hlediska se mozková kůra dělí na primární senzorické a primární motorické oblasti a na tyto oblasti navazují sekundární, asociační oblasti. Tyto oblasti jsou navzájem propojeny. Jedním ze základních dělení je i Brodmanovo dělení mozkové kůry. Jedná se o 51 areí, i když vzhledem k vysoké plasticitě CNS jde spíše o orientační dělení (tab. 2).

Tab. 2 Brodmannovo dělení mozkové kůry.

oblast	AREAE	FUNKCE
Postcentralis	1,2,3,43,(2s)	somatosenzorická, chuťová
Praecentralis	4,6, (4s)	motorická
Frontalis	8,9,10,11,44, 45,46,47, (8s)	asociační
Insularis	13,14,15,16	integrační
Temporalis	20,21,22,36,37,38,41,42,52	sluchová
Parietalis	5,7,39,40	asociační
Occipitalis	17,18,19,(19s)	zraková
Cingularis	23,24,31,32,33	mimovolní
Retrosplenialis	26,29,30	mimovolní
Hippocampica	27,28,34,35,48,51	čich (34), mimovolní paměť
Olfactoria	area olfactoria trigonum olfactorium	čichová

Somatomotorická oblast je uložena v gyrus precentralis v čelním (frontálním) laloku. Senzorickou oblast zabezpečuje gyrus postcentrális temenního (parietálního) laloku. Zraková oblast je v oblasti týlního (okcipitálního) laloku. Sluchovou oblast reprezentují Heschlovy závitky ve spánkovém (temporálním) laloku. Velký význam pro rozvoj funkcí spojených s lidskou řečí umožňují specifické aree jako Brodmanovo

motorické centrum řeči, uložené v zadní části gyrus frontalis a Wernickeovo sensorické centrum uložené na rozhraní temporálního, parietálního a okcipitálního laloku. Čichová oblast je v oblasti prefrontální a je spojena četnými drahami s ostatními asociačními oblastmi mozkové kůry, thalamelem a limbickým systémem. Prefrontální oblasti jsou zapojeny do řízení chování na základě výběru určitých vzorců chování (obr. 16).



Obr. 16 Mozková mapa projekčních center.

U člověka při poškození v prefrontální oblasti dochází k horší fixaci a vybavování paměťových stop, poruše vegetativních složek emočních reakcí, poruchám chování, rozvratu osobnosti. Poškození temporálních struktur se projeví nejčastěji v některé ze tří základních forem: agnozii, apraxii, afázií. Agnozie je neschopnost rozeznat jednotlivé předměty. Existují čtyři typy agnozie – taktilní, sluchová, zraková a autotopognozie (porucha rozeznávání částí vlastního těla). Apraxie je neschopnost provádět jemné, cílené volní pohyby. Afázie zahrnuje poruchy řeči. Motorická (expresivní) afázie je neschopnost mluvit a vzniká při poruše Brocova centra. Zvláštní formou motorické afázie je neschopnost psát- agrafie. Při postižení Wernickeova centra řeči vzniká sensorická (recepční) afázie, kdy postižený nerozumí mluvenému slovu.

Živé organismy mají schopnost přizpůsobit své životní projevy změnám zevního a vnitřního prostředí. Všechny řídicí mechanismy, které to zajišťují, využívají informace uložené v mozku cestou genetickou (vrozené), ale i informace získané v průběhu života. Stavba CNS, vzájemná propojení neuronů i celých oddílů mozku, má vliv na některé vrozené mechanismy adaptace. Jsou to nepodmíněné reflexy, motivace, emoce a instinkty. Naproti tomu učení a paměť jsou podkladem schopnosti ukládat a následně využívat informace získané v průběhu života. Schopnost uložit a uchovávat informace je také jedním z projevů plasticity CNS. Podmínkou pro využití všech mechanismů, které zajišťují změny v chování je dostatečná úroveň bdělosti a pozornosti. Někdy také hovoříme o řízení volní a mimovolní činnosti.

Mimovolní chování je založeno na vrozených informacích a základními projevy jsou:

A. **nepodmíněné reflexy** (proprio a exteroceptivní)

B. **motivace**

C. **emoce**, umožňující citový život

D. **instinkty** (pudy), složitý systém nepodmíněných reflexů, které se nejvíce projeví ve stavu ohrožení

Nepodmíněné reflexy

Patří k nim somatické a autonomní reflexy a další jednoduché odpovědi organismu, které se uskutečňují prostřednictvím vrozených spojů NS. Příkladem je sací reflex novorozenců.

Motivace

Jedná se o ovlivnění chování informacemi z vnějšího prostředí. Vlivem nedostatku nebo přebytku některé látky se spouští programy chování, které se snaží tuto odchylku vyrovnat. Někdy je tento typ motivace označován jako drive (pohnutka). Vše je řízeno z hypotalamu. Jedná se pudovou reakci na základní potřeby (nedostatek O₂, žízeň, hlad).

Emoce

Označuje tak citové zabarvení činnosti, popřípadě psychický stav, který může částečně ovlivňovat jednání jedince. Emoce jsou ovlivňovány vegetativním nervovým systémem, ale i endokrinním systémem. Řízení emocí je z oblasti limbického systému.

Instinkty

Jedná se o komplexní nepodmíněné reflexy ovládající složité formy činnosti. Umožňují jedinci jednat i bez využití individuálních zkušeností. Jedná se především o situace, které jsou kritické z pohledu zachování rodu a jedince. Uplatňují se u řízení rozmnožování, péče o potomstvo, obrany proti nepřítelům nebo získávání potravy.

Volní integrační činnost je základem činnosti mozkové kůry v součinnosti s ostatními strukturami CNS.

Volní činnost zahrnuje:

A. **komplex získaných reflexů**

B. **řízení úmyslných pohybů**- pohybové vzorce (dynamický stereotyp) pomocí řetězce podmíněných reflexů

C. **abstraktní myšlení**

D. **řeč**, komunikace slovem a písmem

E. **učení a paměť**

Podmíněné (získané) reflexy

Jedná se o vazbu nepodmíněného reflexu na nový typ podnětu. Zatímco u nepodmíněného reflexu, vyvolává podnět vždy stejný typ odpovědi, u podmíněného reflexu může jeden podnět vybavovat různé typy reakcí.

Učení

Základem je schopnost uskladňování informací. Z neurofyziologického hlediska dochází k vytváření nových synapsí.

Paměť

Je to schopnost organismu ukládat, uchovávat a vybavovat si informace. Paměť je lokalizována do struktur: amygdala, hippokampus, spodina čelních laloků, hypotalamus, talamus, mozeček. Paměťové stopy nazýváme **engramy**. Rozlišujeme krátkodobou, střednědobou a dlouhodobou paměť.

U krátkodobé paměti, která trvá sekundy, až minuty se jedná o změny elektrické aktivity. Střednědobá paměť zahrnuje informace uchovávané po dobu minut až hodin a většinou vymizí spontánně nebo dojde k přesunutí do dlouhodobé paměti. Dlouhodobá paměť trvá několik dní až let, popřípadě dojde k trvalému uložení informace na podkladě metabolických změn v proteinech.

Podle obsahu dělíme paměť na:

A, deklarativní, zahrnující pojmovou, dějovou a rozpoznávací paměť

B, nedeklarativní (procedurální), která obsahuje paměť motorickou (programy jednotlivých pohybů) a senzorickou (vizuální, akustická, hudební).

Při ztrátě paměti hovoříme o amnézii. Většinou ji předchází zranění. Amnézii však může způsobit intoxikace některými látkami ("alkoholové okénko") a některé choroby jako například demence. Vyskytuje se ale i při některých neurotických obtížích. Rozlišujeme tři druhy amnézie:

- **anterográdní** - jedná se o neschopnost vstřípit si do paměti jakékoliv nové informace a zážitky po spouštěčím stimulu
- **retrográdní** - neschopnost vybavit si poznatky a zážitky uchované před vznikem amnézie před spouštěčím stimulem
- **dětská** - neschopnost vybavit si vzpomínky na první roky života.

3.4.5 Mozeček (cerebellum)

Jedná se o fylogeneticky nejednotnou strukturu složenou z:

1. **vestibulární mozeček** - archicerebellum (řízení postoje a rovnováhy)
2. **spinální mozeček** - paleocerebellum (korekce svalového napětí)
3. **korový mozeček** - neocerebellum (podíl na koordinaci)

Z morfologického hlediska se mozeček dělí na **vermis** a dvě **hemisféry**. Mediátorem je gamaaminomáselná kyselina (GABA). Hlavní funkcí mozečku je integrace a koordinace mimovolní a volní hybnosti. Informace do mozečku přichází z oblasti kůry, bazálních ganglií, retikulární formace, statokinetického čidla, proprioreceptorů a exteroceptorů. Mozeček zajišťuje vzpřímenou polohu těla, reguluje svalový tonus a koriguje úmyslné pohyby. Činnost mozečku má základní význam pro plynulé, cílené a přiměřené provádění všech úmyslných pohybů.

Při postižení mozečku dochází k poruchám rovnováhy, svalového napětí, koordinace. Rozeznáváme paleocerebellární syndrom, charakterizovaný poruchou stoje a chůze, snížením svalového napětí a rychlou unavitelností svalů. U neocerebellárního syndromu naopak dochází k poruše koordinace pohybů (ataxií), dysmetrii, neschopnosti rychle střídát antagonistické pohyby (adiadochokinéza), může se objevit třes při cíleném pohybu (intenční tremor, porucha koordinace řeči (dysartrie) a i patologické trhavé pohyby očních bulbů (nystagmus).

3.5 *Bdění a spánek*

Střídání bdění a spánku patří mezi jeden z biologických dějů, které se pravidelně opakují. Nejde však o děje vzájemně protichůdné, ale spánek je třeba chápat jako nezbytnou součást fungování NS. Spánek je projevem útlumu v CNS, který zasahuje korová a některá podkorová centra. **Bdělost** se označuje jako **vigilita**. Bdění zajišťuje retikulární formace, střední mozek, mezimozek, limbický systém a hypotalamus.

Rozlišujeme spánek:

- fyziologický
- hypnotický
- narkotický
- patologický (narkolepsie, náměsíčnost- somnambulismus)

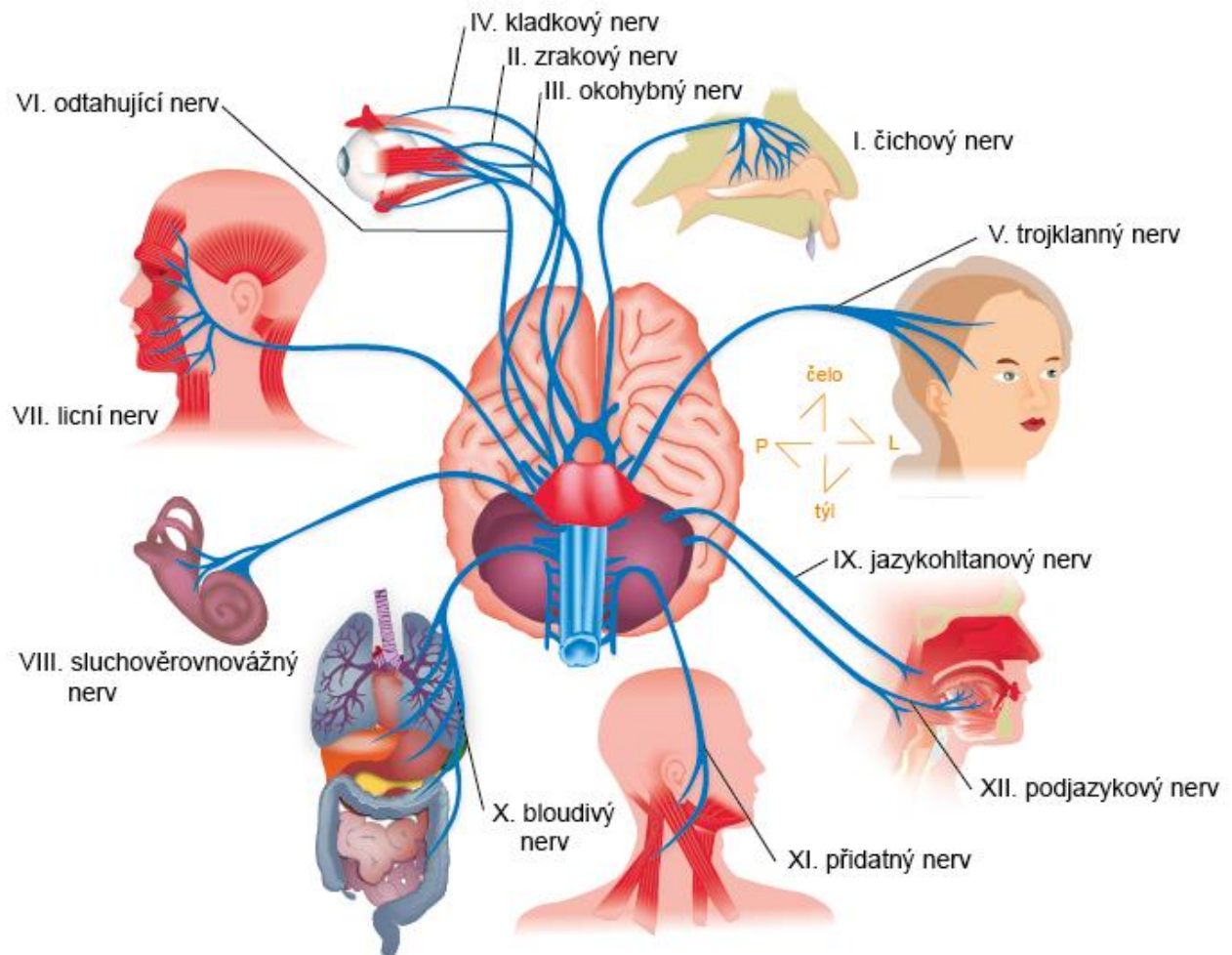
V období fyziologického spánku dochází ke střídání fází pomalého spánku (NREM) a rychlého, paradoxního (REM) spánku, který se projevuje rychlými pohyby očních bulbů, a zdají se sny. Představuje asi 10-20% celkového spánku.

3.6 *Periferní nervový systém*

Periferní nervová soustava je část nervové soustavy nalézající se mimo centrální nervovou soustavu (mozek a mícha). Dělí se na **mozkomíšní** a **vegetativní nervy**. Mozkomíšní nervy pak můžeme ještě rozdělit na hlavové nervy a nervy míšní.

3.6.1 *Hlavové nervy*

Existuje **12 hlavových nervů**, obsahujících motorické, senzorické i autonomní neurony. Mezi hlavové nervy patří: čichový (olfactorius), zrakový (opticus), okohybný (oculomotorius), kladkový (trochlearis), trojklanný (trigeminus), odtahující (abducens), lícní (facialis), sluchověrovnovážný (vestibulocochlearis), jazykohltanový (glossopharyngeus), bloudivý (vagus), přídatný (accessorius) a podjazykový (hypoglossus)- obr. 17, tab. 3.



Obr. 17 Hlavové nervy.

Tab. 3 Základní funkce hlavových nervů.

Hlavový nerv		Senzorická funkce	Motorická funkce	Vegetativní funkce
I	Nervus olfactorius	čichové informace	-	-
II	Nervus opticus	zrakové informace	-	-
III	Nervus oculomotorius	-	inervuje okoohybné svaly a zvedáč horního víčka	inervuje m. sphincter pupillae- mióza a m. ciliaris - akomodace
IV	Nervus trochlearis	-	inervuje okoohybné svaly	-
V	Nervus trigeminus	inervuje celý obličej, dutinu ústní: tvrdé a měkké patro, přední dvě třetiny jazyka, všechny zuby a nosní dutinu, celý obsah orbity, část ušního boltce.	inervuje žvýkácí svaly	-

VI	Nervus abducens	-	inervuje okohybné svaly	-
VII	Nervus facialis	inervace předních 2/3 jazyka a malý okrsek ušního boltce	Inervuje mimické svaly	inervuje slznou žlázu a slinnou podčelistní a podjazykovou žlázu
VIII	Nervus vestibulocochlearis	informace sluchové a z čidla rovnováhy	-	-
IX	Nervus glossopharyngeus	inervace zadní třetinu jazyka, hltan, mandle	inervuje svalstvo hltanu	inervuje příušní slinnou žlázu
X	Nervus vagus	inervace ze srdce, plic, většiny břišních orgánů	podílí se na inervaci svalů hltanu, hrtanu a měkkého patra, žaludek, střevo, játra, slinivku břišní	inervace hrudních a břišních orgánů
XI	Nervus accesorius	-	inervuje kývač a trapézový sval	-
XII	Nervus hypoglossus	-	inervuje svaly jazyka	-

3.6.2 Autonomní (vegetativní) systém

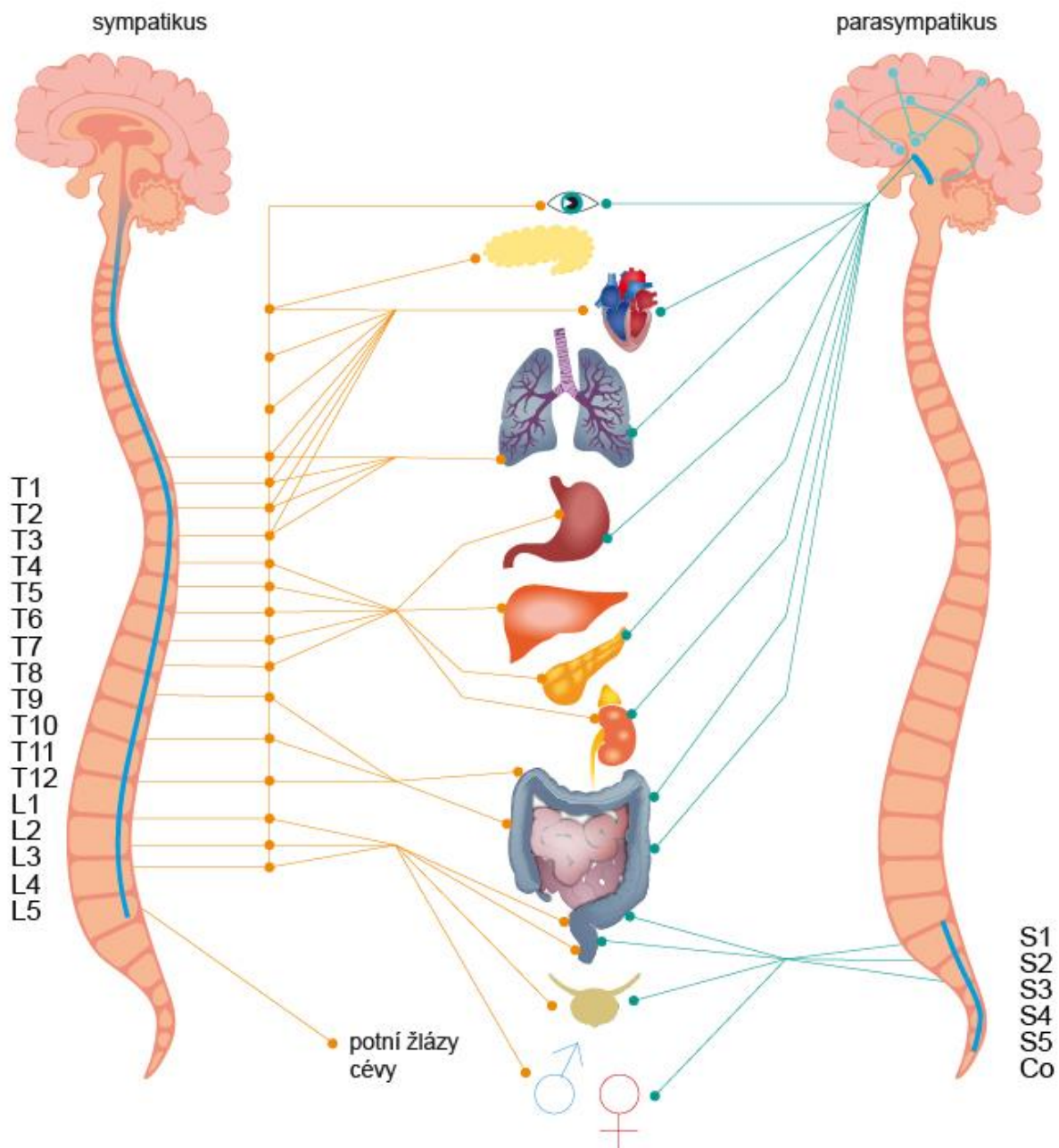
Ústředním řídicím orgánem je **hypotalamus**. Tento systém řídí veškerou činnost útrobních orgánů, všech žláz, činnost cév a hladkého svalstva. Dělí se na **sympatikus** a **parasympatikus**.

Sympatická část je uložena thorakolumbálně nervy vystupující z páteřní míchy předními kořeny. Zvláštní uspořádání má sympatická inervace oblasti hlavy.

Parasympatikus se dělí na část **hlavovou** zajišťovanou vlákny hlavových nervů III., VII., IX., X. a část **sakrální**. Mediátorem parasympatiku je acetylcholin u sympatiku se jedná o acetylcholin a noradrenalin. Účinky obou systémů jsou velmi často protichůdné (tab. 4, obr. 18).

Tab. 4 Účinky sympatiku a parasympatiku na vybrané struktury.

	sympatikus	parasympatikus
oko	mydriáza (rozšíření zornice)	mióza (zúžení zornice)
srdce	zrychlení činnosti	zpomalení činnosti
artérie	konstrikce i dilatace	-
žíly	konstrikce i dilatace	-
plíce	relaxace svalů	stah svalů



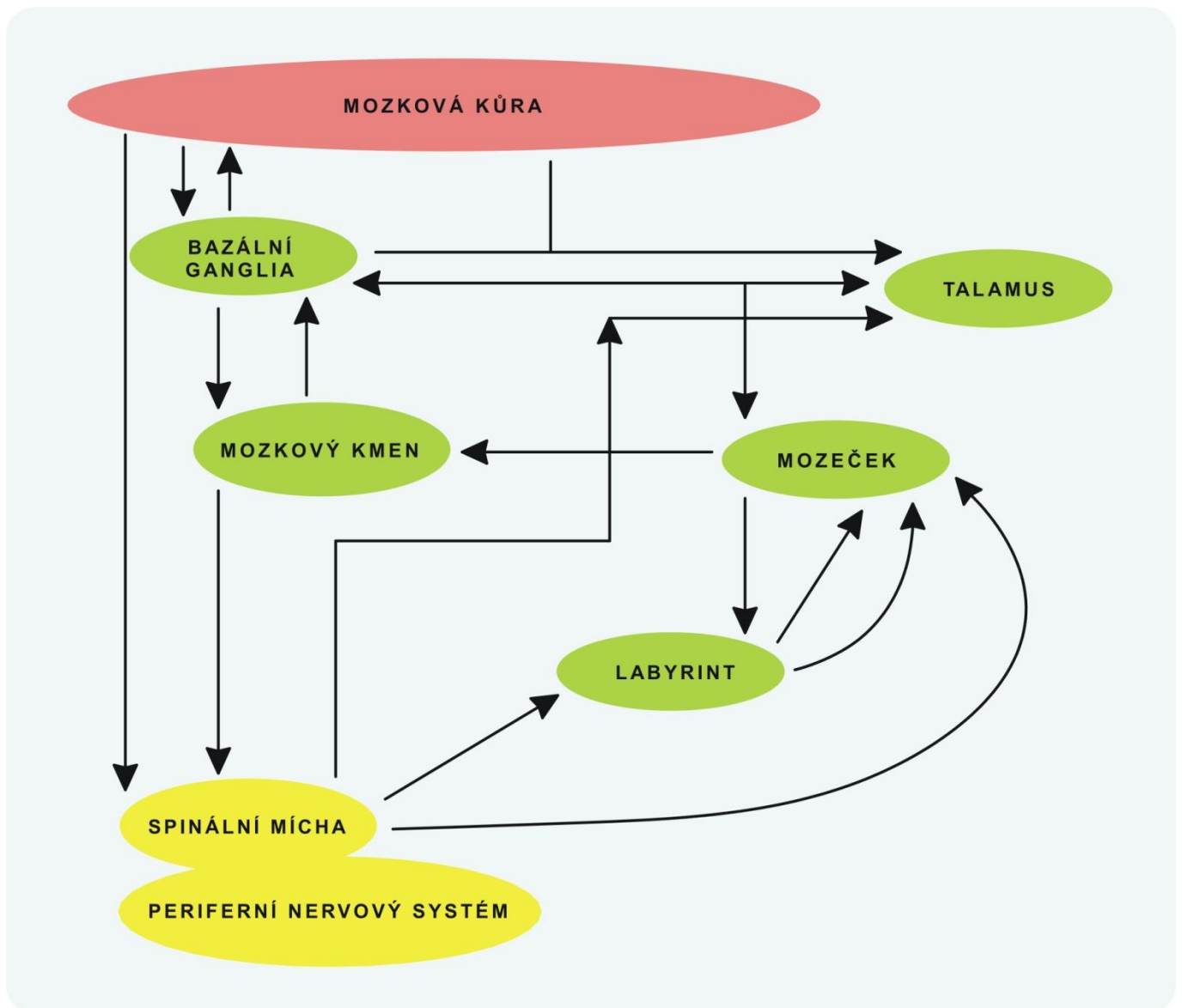
Obr. 18 Řízení autonomního systému.

3.6.3 Motorické funkce

Na řízení motoriky se u člověka podílejí téměř všechny oddíly CNS. U člověka je také motorická funkce spojena s činností psychickou, ale rozlišujeme motorickou aktivitu volní a mimovolní. Během realizace pohybu jsou obě aktivity kombinovány. Pohyb můžeme rozdělit na složku:

- kinetickou volní
- kinetickou mimovolní
- statickou mimovolní

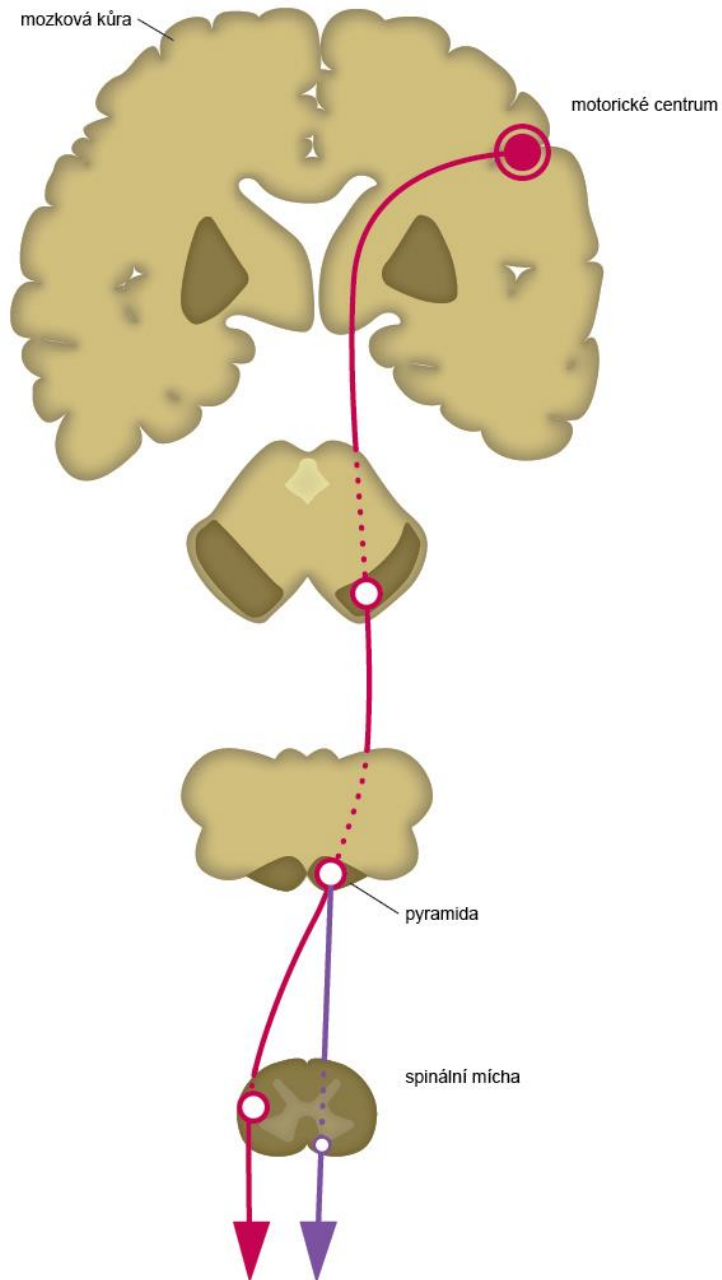
Na řízení a realizaci pohybu se podílí **spinální mícha, mozkový kmen, mozeček, bazální ganglia a kůra mozková (neokortex)** - obr. 19



Obr. 19 Řízení motoriky.

Na řízení pohybu se podílejí dva typy nervových drah:

A. **pyramidová dráha**, vysílající impulzy z oblasti mozkové kůry z gyrus precentralis – Brodmanova area 4, premotorické oblasti čelního laloku, z gyrus postcentralis a částečně i z temenního, tylního a spánkového laloku. Vlákna s v průběhu kříží v tzv. decussatio pyramidum a pokračují spinální míchou, kde končí na α -motoneuronech předních rohů míšních. Pohyby zajišťované pyramidovou dráhou jsou rychlé, přesné (obr. 20).



Obr. 20 Pyramidová dráha.

B. **extrapyramidové dráhy**, které mají začátek v korové oblasti (premotorická oblast čelního laloku), v bazálních gangliích, thalamu, středním mozku a retikulární formaci. Pohyby zajišťované extrapyramidovou drahou jsou hrubé, pomalé.

3.6.4 Senzorické funkce

Smyslové informace začínají v čidlech (receptorech). Podněty zvenčí působí přes exteroceptory, podněty uvnitř organismu působí prostřednictvím interoceptorů. Všechny receptory jsou drážděny jen

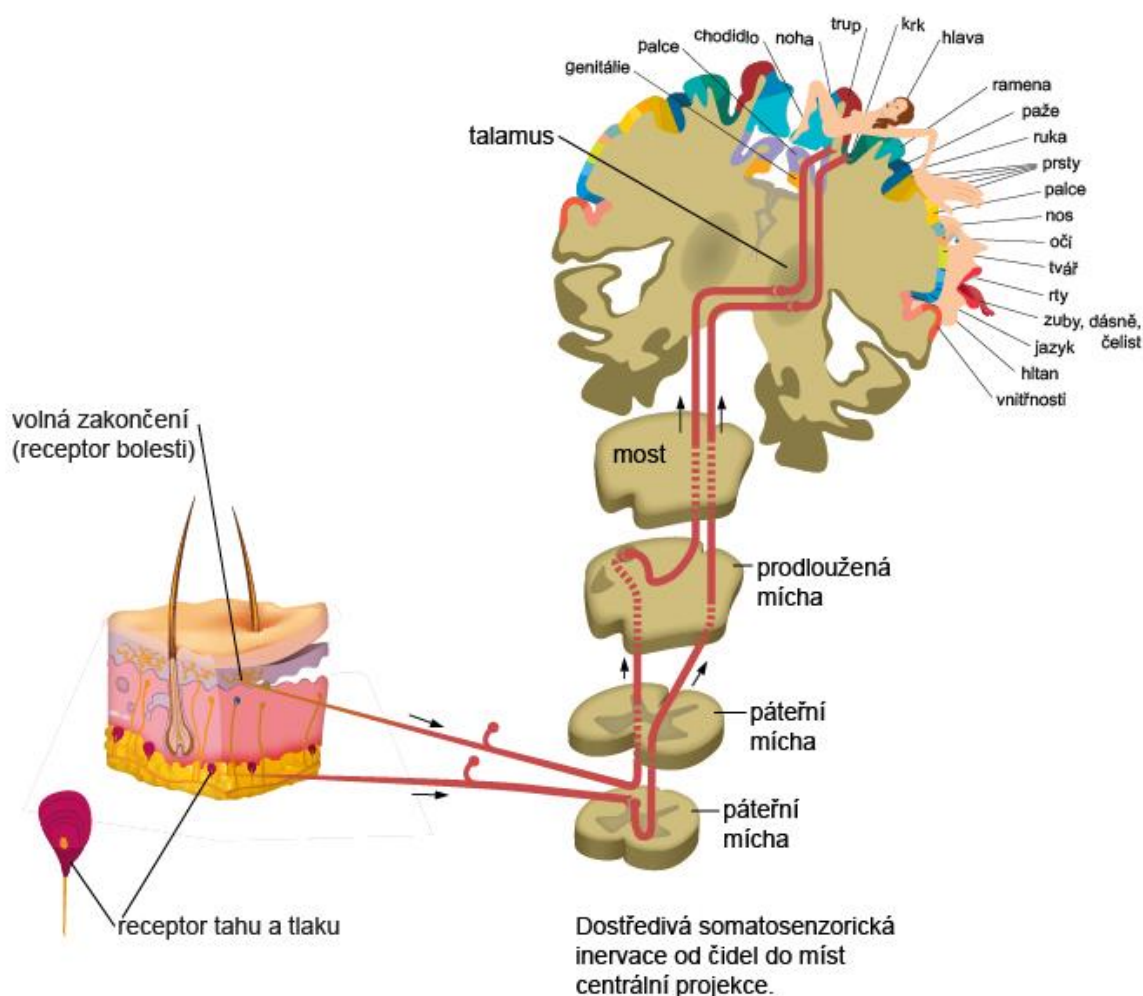
při určité intenzitě působícího podnětu, hovoříme o **prahovém podnětu**. Tyto informace se prostřednictvím senzitivních nervů dostávají do CNS, kde jsou analyzovány.

Mechanické podněty jsou přiváděny prostřednictvím **mechanoreceptorů**, které se vyskytují jako čidla doteku a tlaku. Jsou uloženy v kůži. Nejvíce dotykových receptorů je na špičce jazyka, bříškách prstů a dlaních, zatímco nejméně je na stehnech a zádech. Dalšími typy mechanoreceptorů jsou čidla hlubokého cití ve svalech, šlachách a kloubech. Další zaznamenávají tlak v močovém měchýři, trávicím traktu, cévách.

Dalšími typy receptorů jsou **chemoreceptory**, které reagují na přítomnost určité chemické látky. Tento typ receptorů je součástí vnímání chuti a čichem, také ale jsou základem měření složení vnitřního prostředí například koncentrace CO₂ a O₂ nebo glukózy v krvi.

Termoreceptory podávají informace o teplotě kůže. Chladové receptory, kterých je na povrchu kůže okolo 250 000 jsou maximálně aktivovány teplotou 23-28°C, receptory pro teplo reagují nejvíce v rozmezí 38 -43°C. Tepelných receptorů je méně než chladových, asi okolo jen 30 000.

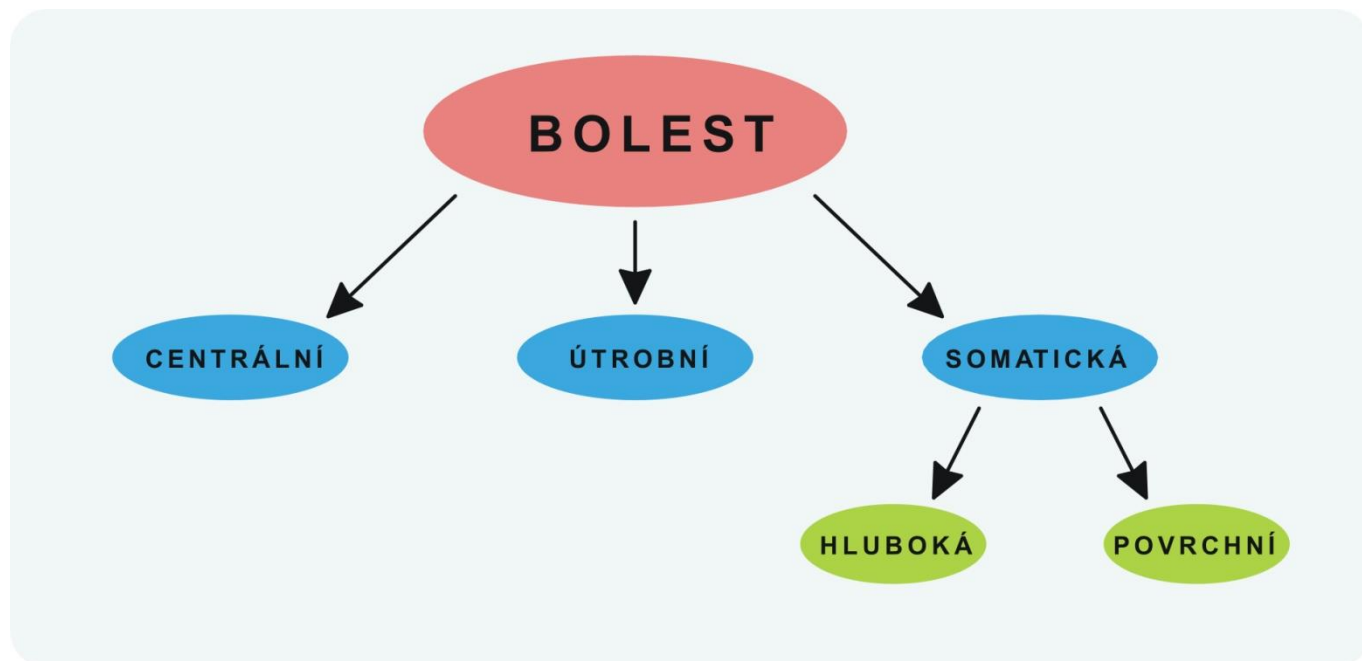
Povrchové cití je zajištěno systémem receptorů na dotyk, tlak, teplo, chlad a bolest (obr. 21).



Obr. 21 Senzitivní systém.

Vnímání bolesti je založeno na dráždění specifických receptorů (algoreceptorů) či nespecifických receptorů: mechanosenzitivních (tlak, spasmus hladkých svalů), chemosenzitivních (serotonin, prostaglandin,...) a mechanotermických (teploty nad 40°C a pod 10°C).

Dělení bolesti z fyziologického hlediska (obr. 22):



Obr. 22 Dělení bolesti.

Mezi poruchy čítí řadíme:

- *hyperestézii, zvýšenou citlivost na mechanické a termické podněty*
- *hypoanalgezií, sníženou citlivost*
- *analgezií, ztracenou citlivost*

Vnímání polohy a pohybu vlastního těla (**propriocepce**) je založeno na souhře řady receptorových systémů. Čidla jsou uložena v kloubech, šlachách a svalech, a také v polokruhovitých kanálcích vnitřního ucha.

Další vedení sensorických podnětů je zajištěno ze zrakového, chuťového, sluchového, vestibulárního a čichového analyzátoru (viz kapitola 12).

Důležité

- Nervový systém je tvořen nervovými buňkami a podpůrnými buňkami (glie).
- Nervový systém dělíme na CNS (mozek a mícha) a PNS (mozkomíšní a vegetativní nervy).
- Základní funkční jednotkou je reflex.
- Projevem činnosti nervové buňky je vzruch.
- Mezibuněčný kontakt zajišťují synapse. Mediátory synapsí jsou acetylcholin, dopamin, GABA, adrenalin, serotonin, a další.
- Obranu a přesun látek mezi krví a mozkovou tkání zajišťuje hematoencefalická bariéra.
- NS zastává sensorické, analytické, asociační, integrační a výkonné funkce v organismu. Sensorické funkce zajišťují smysly a senzitivní nervová vlákna. Výkonné funkce jsou zajištěny somatickým a autonomním nervovým systémem.
- Zdrojem energie pro mozkovou buňku je glukóza.

4 Endokrinní systém

Obsah kapitoly:

4.1 Úvod do kapitoly

4.2 Hormony

4.2.1 Účinky hormonů

4.3 Řízení endokrinní sekrece

4.3.1 Řízení složitou vazbou

4.3.2 Řízení jednoduchou vazbou

4.3.3 Nervově řízené uvolňování hormonů

4.3.4 Produkce hormonů jinými typy buněk

Po přečtení této kapitoly, by si měl být schopný:

- popsat typy působení hormonů na cílové buňky,
- pochopit funkci endokrinního systému v organismu a popsat jeho podíl na řízení,
- pochopit princip řízení složitou vazbou a vzájemné propojení žláz s vnitřní sekrecí,
- pochopit princip řízení jednoduchou vazbou,
- uvědomit si, že existují hormony, které jsou produkovány jinými typy tkáně.

Klíčová slova:

Hormon, endokrinní, negativní a pozitivní zpětná vazba, oxytocin, vasopresin, hypofýza, růstový hormon, ACTH, TSH, FSH, LH, PRL, štítná žláza, T3, T4, kalcitonin, glukokortikoidy, mineralkortikoidy, androgeny, estrogeny, progesteron, testosteron, Langerhansovy ostrůvky, inzulin, glukagon, somatostatin, parathormon, endorfiny, leptin, erythropoetin, gastrin, renin, kalcitriol.

4.1 Úvod do kapitoly

Regulační funkci v organismu zastávají tři systémy – nervový, **humorální** a imunitní. Všechny tři systémy se navzájem ovlivňují a jejich činnost tedy není zcela samostatná. Humorální systém se pak především podílí na koordinaci činnosti buněk, orgánů i celých systémů prostřednictvím specializovaných chemických látek – **hormonů**.

Endokrinní systém oproti nervovému je **zpětnovazebný, pomalejší**, ale představuje trvalejší formu regulace. Je méně specifický a má účinky jak celkové na růst, vývoj, metabolismus, sexuální funkce, tak i účinky místní.

4.2 Hormony

Hormony jsou charakterizovány jako specializované, vysoce účinné organické molekuly produkované endokrinními buňkami na specifické podněty a působící na cílové buňky.

Chemické signály mohou působit:

- místně na sousední buňky, pak hovoříme o **parakrinním** působení, nebo mohou působit na vlastní buňku, pak se jedná o **autokrinní** signály
- u **endokrinního** způsobu je hormon uvolněn z endokrinní žlázy a dopravován k cílovým buňkám krví
- na **neurokrinní** regulaci se podílí i neurony produkující hormony, které jsou axonálním transportem dopravovány do terminální části neuritu a odsud vyplaveny do krve

Z toho je jasné, že některé hormony jsou uvolňovány ze žláz s vnitřní sekrecí, ale řada je jich secernována z tkání, které mají primárně jinou funkci.

Účinek hormonů je závislý na **receptorech** cílových buněk. Jakmile se vytvoří komplex hormon – receptor, tak je spuštěna kaskáda následných biologických kroků v buňce (například tvorba specifických proteinů).

Molekuly hormonů mohou mít rozličnou chemickou strukturu:

- **peptidy** (somatostatin, oxytocin, parathormon, gastrin, sekretin, inzulin, glukagon)
- **deriváty aminokyselin** (adrenalin, noradrenalin)
- **steroidy** (glukokortikoidy, mineralkortikoidy, estrogeny, androgeny, gestageny)

Peptidové hormony se vytvářejí postupně úpravou prohormonů v endoplazmatickém retikulu a Golgiho aparátu. Jsou skladovány formou sekrečních granul a do extracelulární tekutiny (ECT) jsou secernovány exocytózou. Výchozí látkou pro steroidní hormony je cholesterol. Zdrojem cholesterolu jsou zásoby tuku v buňce. Vytvořené hormony se nemohou skladovat (jsou lipofilní) a proto se do ECT vyplavují kontinuálně.

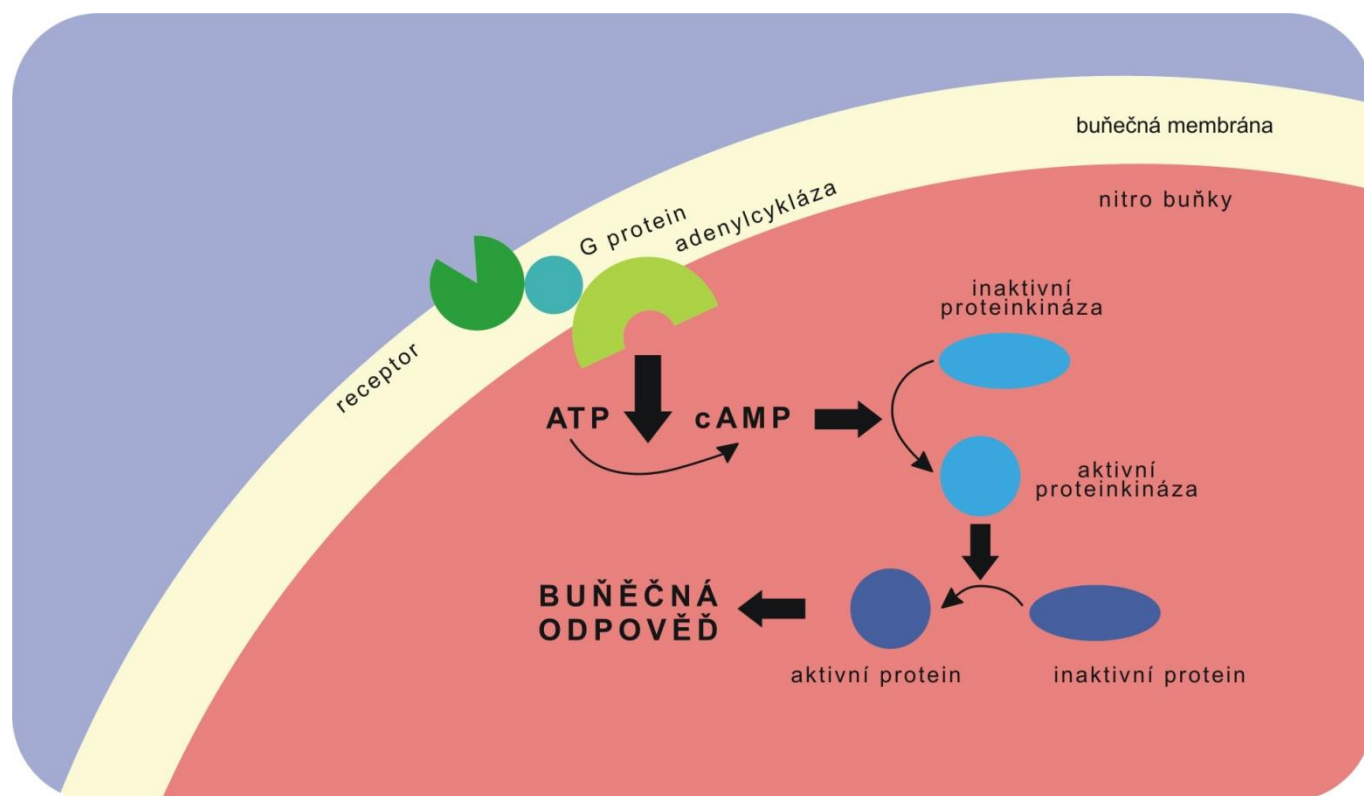
4.2.1 Účinky hormonů

Účinky hormonů jsou buď:

- **lokální** na cílenou tkáň (příkladem je působení antidiuretického hormonu)
- **celkové** působící na všechny buňky v těle (příkladem je somatotropní hormon, hormony štítné žlázy)

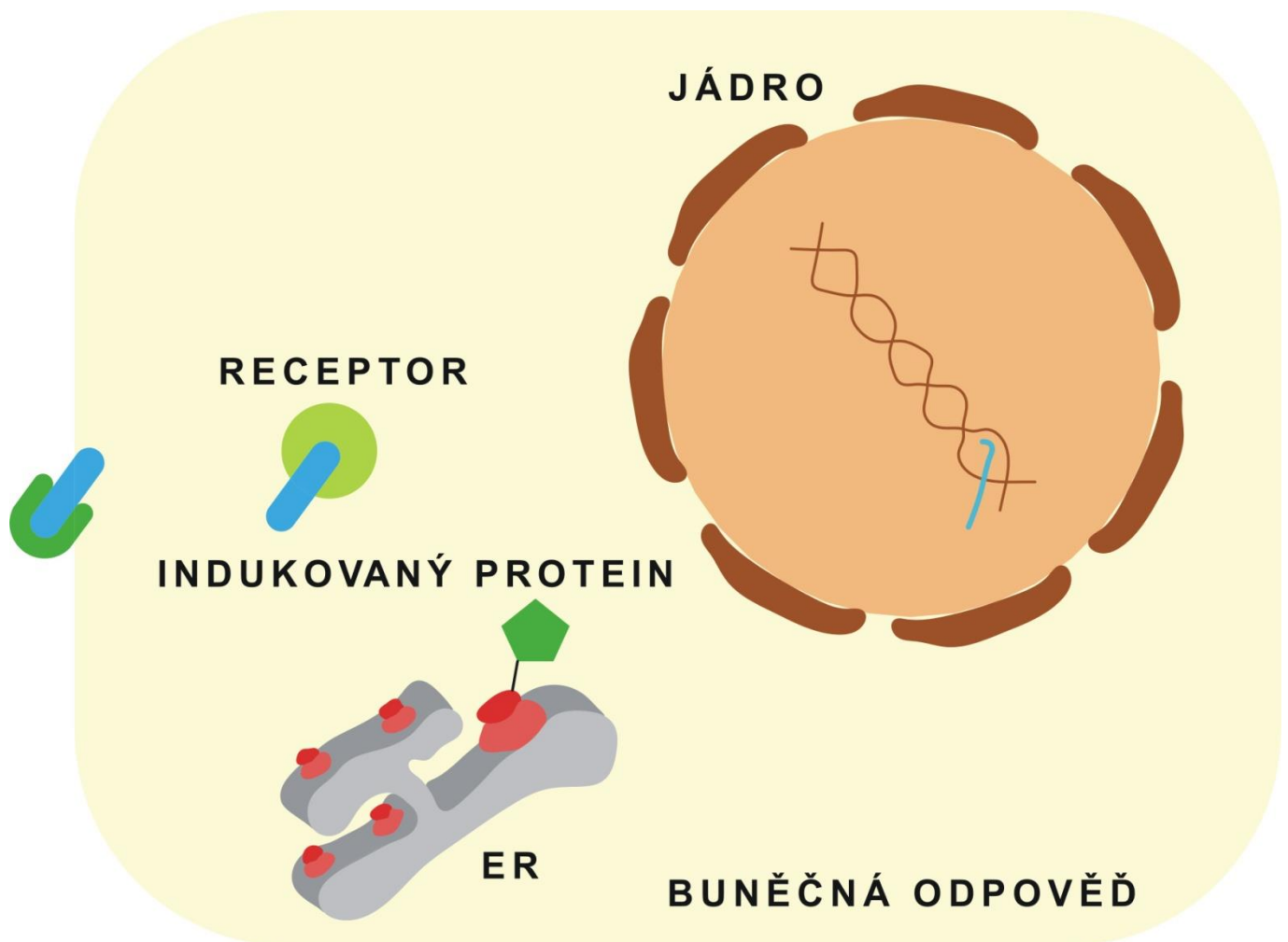
Receptory pro hormony jsou uloženy buď:

A. **v buněčné membráně**, kde se na ně váží především peptidové hormony. Při navázání na receptor dojde k uvolnění **adenylátcyklázy** a aktivaci proteinkinázy. Výsledným efektem je ovlivnění funkcí buňky (sekrece, syntéza bílkovin, propustnost membrány) - obr. 23.



Obr. 23 Mechanismus působení peptidických hormonů.

B. **přímo v buňce** (steroidní hormony), kde se naváží na intracelulární receptor v jádře, kde modifikují genovou transkripci a tím ovlivňují další funkce buňky (obr. 24).



Obr. 24 Mechanismus působení steroidních hormonů.

Některé **endokrinní poruchy** jsou způsobeny nedostatkem receptorů pro daný hormon. Tkáně jsou pak na tento hormon necitlivé, i když je hladina hormonu v organismu při těchto chorobách normální nebo dokonce zvýšená. Příznaky jsou podobné jako při nedostatku hormonu (např. diabetes mellitus II. typu).

Hormony mohou působit spolu s dalšími jako:

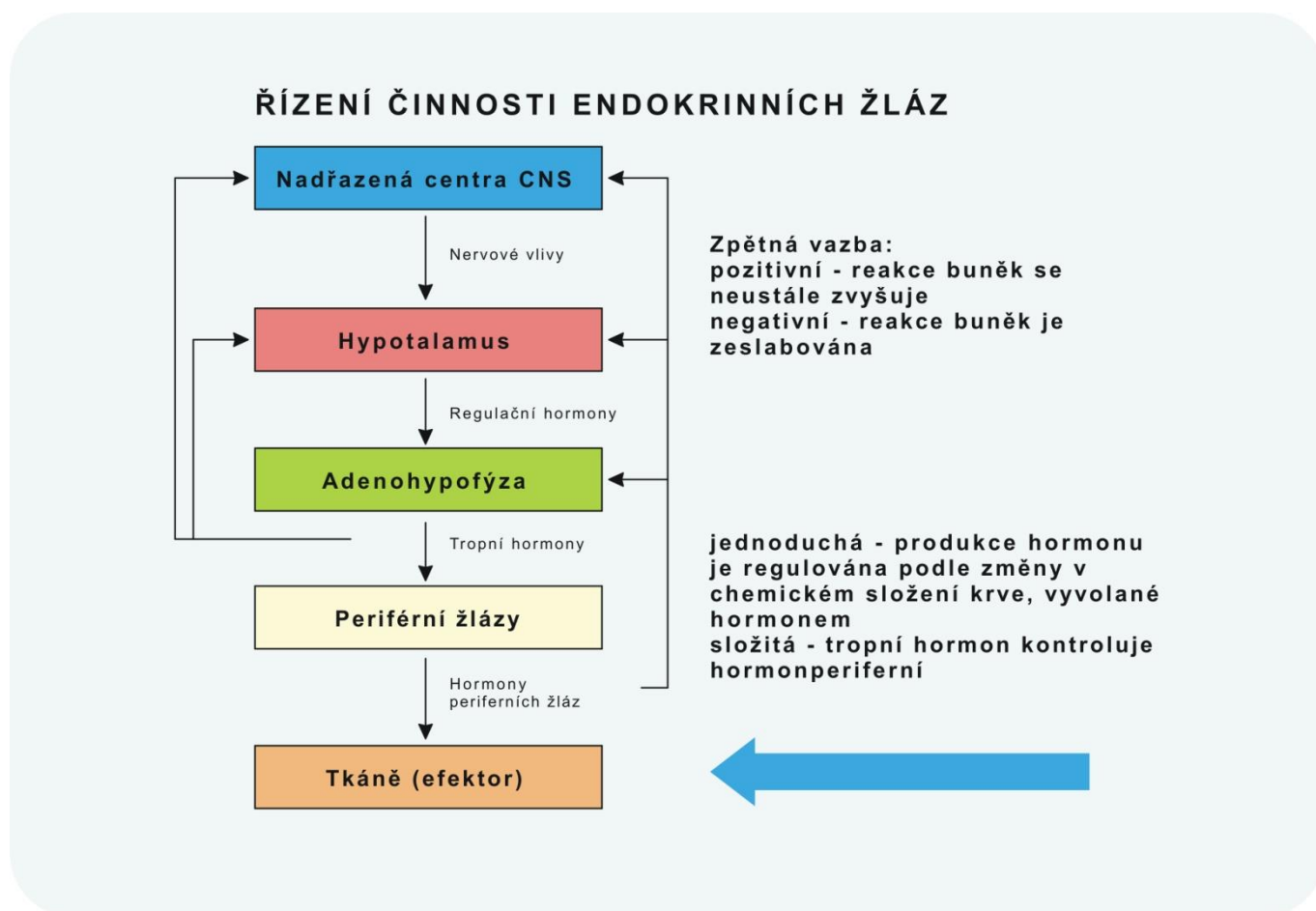
- **synergisté:** příkladem je spolupůsobení při tvorbě mléka (estrogeny, progesteron, prolaktin, oxytocin)
- **antagonisté:** příkladem je udržení hladiny kalcémie (parathormon, kalcitriol: kalcitonin)

Ukončení působení hormonů je po jejich metabolizování se v játrech, popřípadě v ledvinách a metabolity jsou vyloučeny močí.

4.3 Řízení endokrinní sekrece

Endokrinní sekrece může být řízena pomocí nervového systému, jiných endokrinních žláz nebo přímo hladinou metabolitů v krvi. Společným rysem mechanismů řízení hormonální činnosti je využití **negativní**

zpětné vazby. To znamená, že většina hormonů zpětně tlumí svoji tvorbu. Méně častým případem, který vidíme jen u reprodukčních funkcí je využití **pozitivní zpětné vazby**, která podporuje další produkci hormonů (obr. 25).



Obr. 25 Řízení činnosti endokrinních žláz.

Endokrinní systém řídí především:

- **homeostázu**
- **reprodukcí**
- **růst a vývoj**
- **metabolismus**

Tvorba hormonů periferními endokrinními žlázami pomocí:

- A. **složitě zpětné vazby**, kdy je tvorba řízena komplexní zpětnou vazbou (negativní nebo pozitivní) a jejími základními členy jsou hypotalamus, adenohypofýza a příslušná periferní endokrinní žláza
- B. **jednoduché zpětné vazby**, kdy produkci hormonu kontroluje jen příslušný metabolit.

4.3.1 Řízení složitou vazbou

V tomto případě je tvorba hormonů řízena složitou zpětnou vazbou a jejími základními články jsou **hypotalamus, adenohipofýza a příslušná periferní žláza s vnitřní sekrecí** nebo přímo tkáň s receptory.

Hypotalamus

Endokrinní část hypotalamu je zajišťována tvorbou:

- **liberinů**, což jsou spouštěcí hormony
- **statinů**, které naopak zabezpečují inhibici
- **oxytocin**
- **antidiuretický hormon – ADH** (vasopresin)

Oxytocin a ADH jsou neurosekrecí secernovány do neurohypofýzy, kde se skladují.

Hypofýza

Jedná se o žlázu s vnitřní sekrecí uloženou na bázi mozku nedaleko Tureckého sedla. Tvoří ji dvě základní části:

- **adenohipofýza**, spojená s hypotalamem portálním krevním oběhem
- **neurohipofýza**, spojená s hypotalamem prostřednictvím nervových vláken

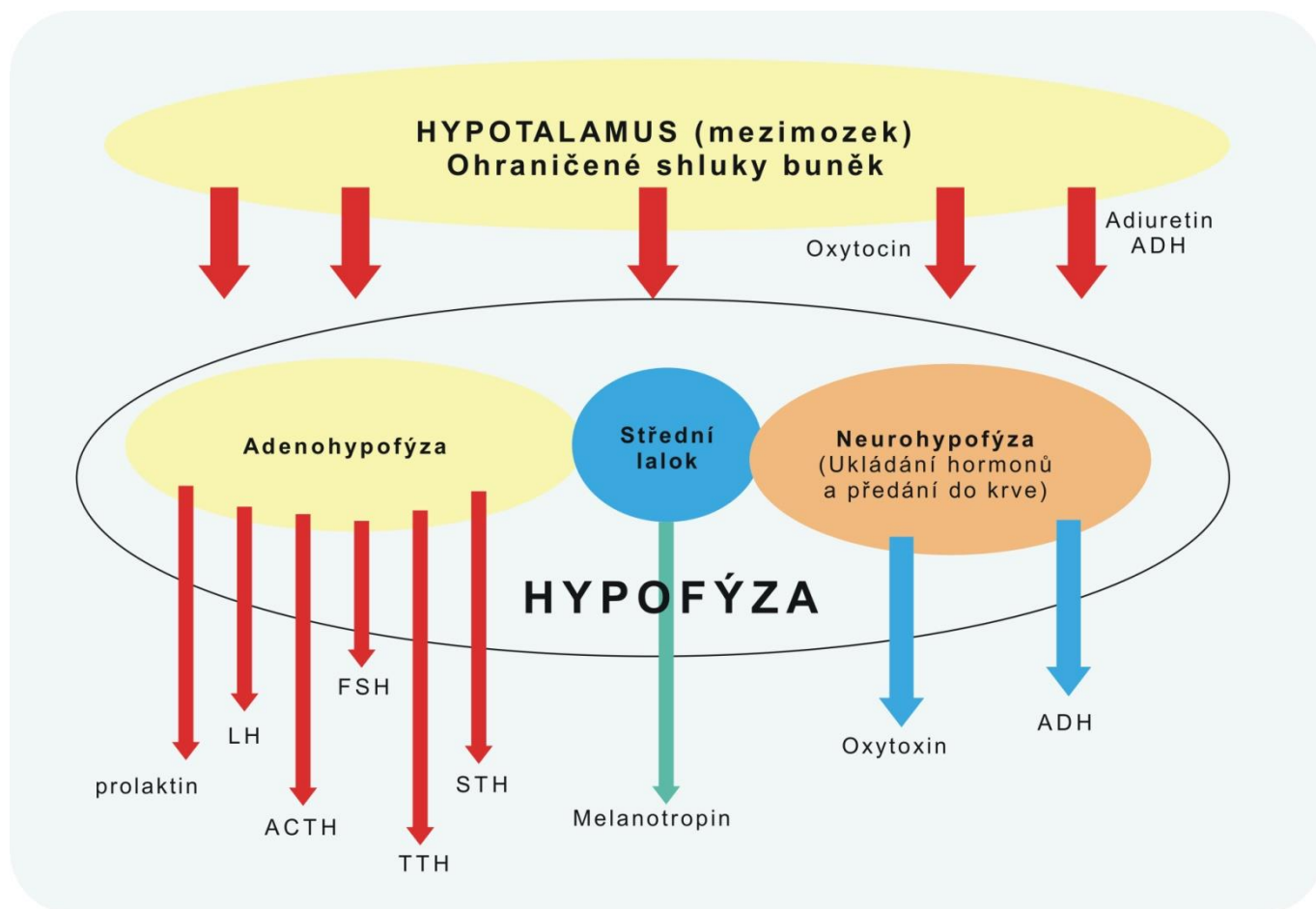
Hormony adenohipofýzy jsou:

- **růstový hormon (STH)**: Sekrece hormonu má cirkadiánní charakter s nejvyšší produkcí v noci. STH zajišťuje během vývoje organismu růst působením na chrupavky a na metabolismus proteinů (proteoanabolický účinek). Má katabolický účinek na tukovou tkáň (lipolýza).

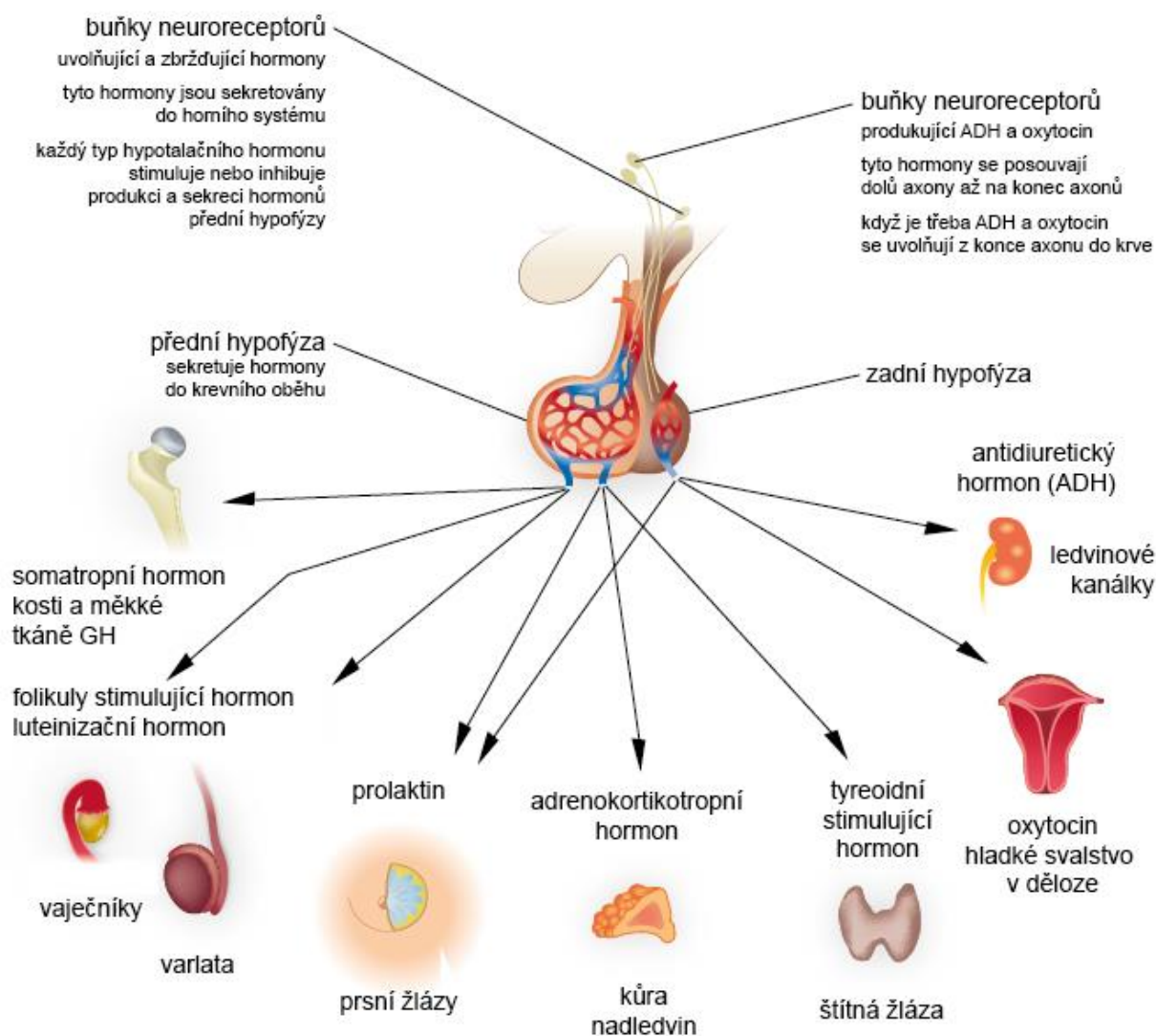
Nedostatek růstového hormonu během vývoje vede k nedostatečnému růstu (nanismu). Naopak nadbytek v období vývoje se projeví gigantismem, po ukončení růstu dojde jen ke zvětšování konečných (akrálních částí těla) jako jsou boltce, kosti obličeje, ruce, nohy. Tento stav nazýváme akromegálie.

- **adrenokortikotropní hormon (ACTH)** - stimuluje sekreci glukokortikoidů a v menší míře i mineralkortikoidů
- **tyreotropní hormon (TSH)** - působí na sekreci hormonů štítné žlázy
- **folikulostimulační hormon (FSH)** - působí na růst folikulů ve vaječníku a zrání spermií
- **luteinizační hormon (LH)** - nutný k produkci **estrogenů** ve vaječnících nebo **testosteronu** ve varlatech
- **prolaktin (PRL)** - u žen stimuluje laktaci po porodu, u mužů působí jako přídatný růstový faktor pro prostatu.

Tropní hormony adenohipofýzy (TSH, ACTH, FSH a LH) se tvoří vlivem liberinů tvořících se v hypotalamu a působí na činnost štítné žlázy, kůry nadledvin a gonád (vaječníků a varlat) – obr. 26 a 27.



Obr. 26 Schéma působení hypotalamu a hypofýzy.



Obr. 27 Působení hypofýzy na další endokrinní žlázy.

Štítná žláza

Hormony štítné žlázy jsou produkovány folikulárními buňkami a jsou závislé na přívodu jódu z krve. Podnět pro produkci hormonů štítné žlázy dává TSH (tyreotropní hormon) produkováný adenohypofýzou.

Hormony štítné žlázy jsou:

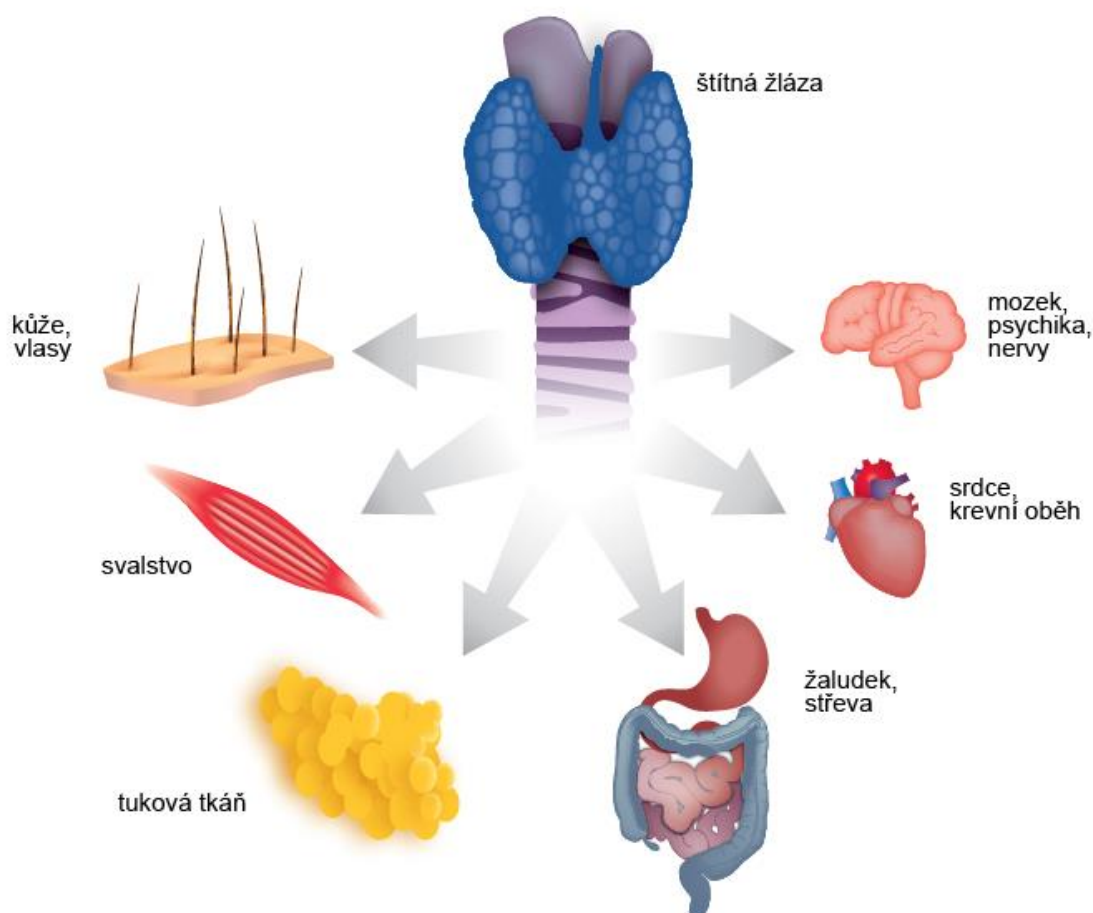
- **T3 (trijódtyronin)**
- **T4 (tyroxin, tetrajódtyronin)**

Hlavními účinky těchto hormonů je zvýšení metabolické aktivity buněk. Zvyšují srdeční frekvenci a sílu stahů srdečního svalu, regulují růst celého těla. Také působí v prenatálním období a v prvních 6 měsících postnatálního vývoje na vývin mozku.

Nedostatek hormonů štítné žlázy v tomto období může vést ke kretenismu. U dospělého člověka nedostatek hormonů vede k rozvoji myxedému. Je to spojeno s důsledky sníženého metabolismu, ovlivnění nervových funkcí a formě zpomalených reflexů a řeči. Naopak hyperfunkce buněk štítné

žlázy vede k rozvoji **hypertyreózy** a je nejčastějším důsledkem tzv. Gravesovy-Basedowovy choroby, která se projevuje zvýšeným metabolismem, poklesem hmotnosti, tachykardií (zvýšenou klidovou srdeční frekvencí) zvýšenou produkcí tepla, zvýšeným pocením. Také je přítomna vyšší dráždivost nervového systému, což se může projevit třesem, objevuje se exoftalmus (protruze očních bulbů) a často je štítná žláza zvětšena (struma) – obr. 28.

- **Kalcitonin:** je produkován parafolikulárními buňkami štítné žlázy. Na rozdíl ale od T3 a T4 je jeho vylučování řízeno **pouze jednoduchou vazbou** a řídí se podle hladiny vápníku v krvi. Vyplavování kalcitoninu nastane, jakmile se objeví hyperkalcémie. Hormon pak působí na snižování hladiny vápníku v krvi jeho zvýšenou absorpcí kostmi.



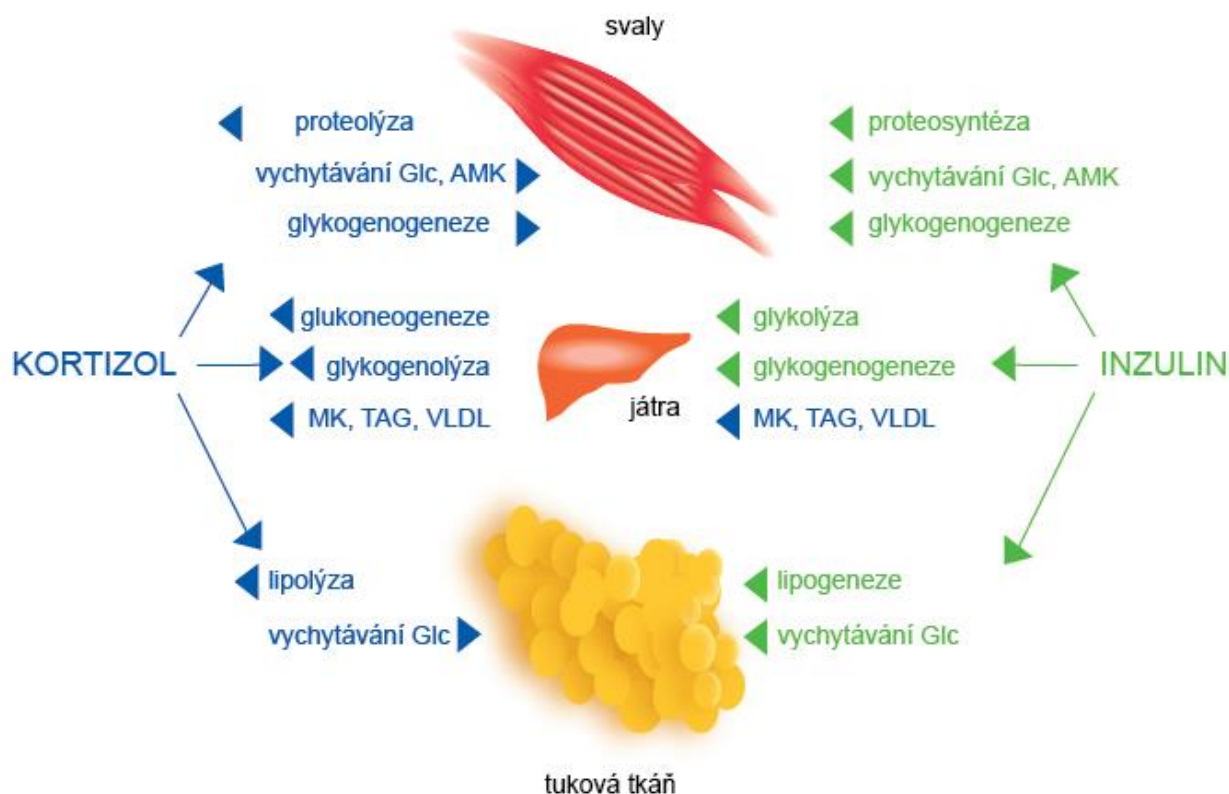
Obr. 28 Vliv narušené funkce štítné žlázy na ostatní orgány.

Kůra nadledvin

Nadledviny jsou uloženy v tukovém pouzdře na horních pólech ledvin. Hormony kůry nadledvin jsou steroidního původu. Hormony tvořené v kůře nadledvin jsou:

- **Glukokortikoidy**, hlavním hormonem je **kortizol**. Receptory pro glukokortikoidy mají všechny buňky v těle. Hlavním účinkem je ovlivnění metabolismu sacharidů a proteinů. Zvyšují koncentraci glukózy v krevní plazmě působením na glukoneogenezi a podporují tvorbu

glykogenu. Působí proteokatabolicky a zvyšují lipolýzu. Také mají protizánětlivé a protialergické účinky (obr. 29).



Obr. 29 Vliv kortizolu a inzulínu na metabolismus.

Legenda: Glc = glykogen, AMK = aminokyseliny, MK = mastné kyseliny, TAG = triacylglyceroly, VLDL = (very low density lipids): lipoproteiny o velmi nízké hustotě.

Vysoké dávky se používají v terapii u specifických zánětů. Proteokatabolický účinek glukokortikoidů snižuje činnost imunitního systému a navozuje rozpad pojivové tkáně. Zvýšená produkce glukokortikoidů se objevuje u Cushingovy choroby, projevující se měsíčkovitým obličejem, obezitou zaměřenou na oblast trupu, hypertenzí, hyperglykemií, slabostí, špatným hojením ran a osteoporózou.

- **Mineralokortikoidy**, hlavním hormonem je **aldosteron**. Působí v oblasti distálního tubulu a sběrných kanálků v ledvinách a potních žlázách na zpětnou resorpci sodíku výměnou za draslík. Tím se zvyšuje osmotický tlak vody a dojde k vzestupu extracelulární tekutiny.

Vysoká sekrece aldosteronu vede k **hyperaldosteronismu**, který se projevuje zvýšením sodíku a snížením draslíku v krevní plazmě a vysokým krevním tlakem (hypertenze).

- **Androgeny**, hlavními androgeny jsou dehydroepiandrosteron a androstendion, který se v cílových buňkách mění na testosteron a dihydrotestosteron. Androgeny v organismu působí

proteoanabolicky, mají vliv na vznik sekundárních pohlavních znaků. V prenatálním období vývoje u mužů ovlivňují vývoj reprodukčního systému.

Zvýšená sekrece androgenů vede ke vzniku Frölichova syndromu, což znamená maskulinizaci u žen a u chlapců v době vývoje způsobuje pubertas praecox (předčasnou pubertu).

Vaječníky

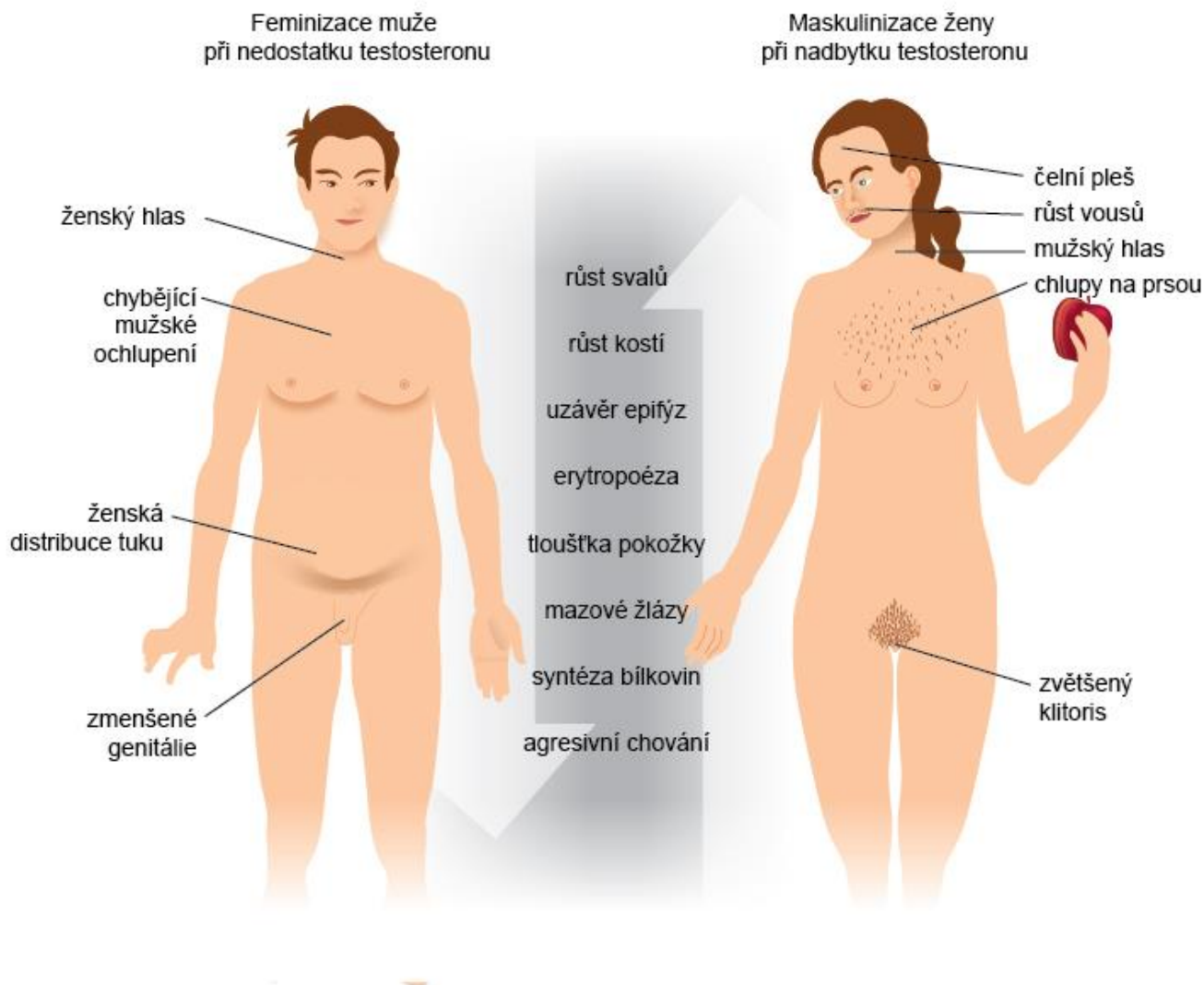
Jsou zde produkovány pohlavní hormony **estrogeny** a **progesteron**. Produkce je řízena z hypofýzy. Estrogeny **estron** a **estradiol** jsou produkovány folikulárními buňkami.

- **Estrogeny:** v pubertě navozují růst dělohy a pochvy, zvyšují proliferaci vývodů mléčné žlázy. Ovlivňují rozvoj druhotných pohlavních znaků- distribuce pubického ochlupení, menší ochlupení po těle, změny konfigurace kostí (širší pánev), distribuce tuku (prsá, hýždě). Snižují plazmatickou hladinu cholesterolu, vyvolává vazodilataci (má to protektivní vliv na kardiogenní poruchy). Zvyšují kontraktilitu svaloviny dělohy (potencují účinek oxytocinu), snižují produkci erythropoetinu, navozují proliferační fázi menstruačního cyklu.
- **Progesteron:** je produkován buňkami žlutého tělíska, popřípadě v období těhotenství i placentou. Hlavním biologickým účinkem je udržení těhotenství a příprava mléčné žlázy na laktaci. Děje se tak, že v prsní žláze podporuje růst lobulů a alveolů a snižuje dráždivost děložní svaloviny. Také řídí sekreční fázi menstruačního cyklu.

Varlata

Hlavním hormonem je **testosteron**, který je produkován Leydigovými buňkami. Výchozí látkou pro tvorbu je cholesterol.

- **Testosteron:** ovlivňuje sexuální funkce a chování. Má vliv na druhotné pohlavní znaky- růst mužského typu ochlupení, růst vousů, rozšíření hrtanu, což má vliv na výšku hlasu. V pubertě navozuje růst zevního genitálu (penisu, varlat a šourku). Také v tomto období spolu s růstovým hormonem urychlují tělesný růst. Prenatálně stimuluje diferenciaci a růst vnitřního mužského reprodukčního systému a sestup varlat do šourku. Celkově působí anabolicky (zvyšuje proteosyntézu), což je podkladem svalové hypertrofie. Stimuluje produkci erythropoetinu (obr. 30).



Obr. 30 Působení testosteronu.

4.3.2 Řízení jednoduchou vazbou

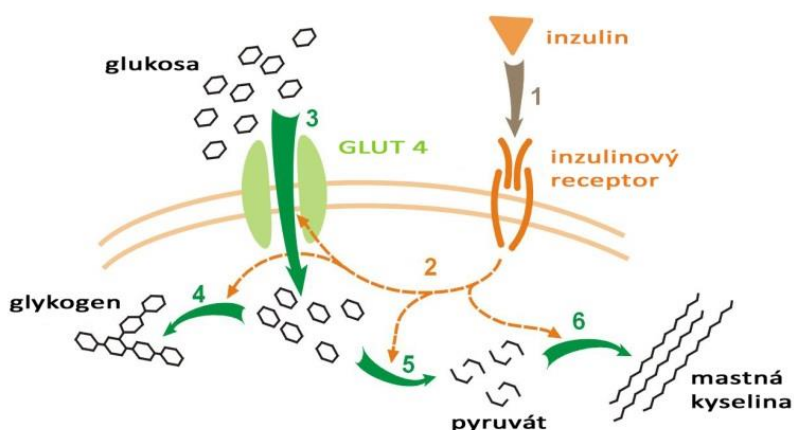
Mezi nejdůležitější endokrinní tkáně, které jsou řízeny jednoduchou vazbou, patří **Langerhansovy buňky** slinivky břišní (pankreatu), **parafolikulární buňky** štítné žlázy produkující kalcitonin a **příštítná tělíska**.

Langerhansovy ostrůvky

Jsou zde produkovány 4 hormony peptidové povahy:

- **Inzulín:** je secernován z B-buněk a jeho produkce je řízena hladinou glukózy v krvi. Účinky inzulínu můžeme rozdělit na rychlé, které se projeví během několika vteřin, kdy umožní vstup glukózy do buněk. Střednědobé účinky se projeví v minutách – stoupá proteosyntéza a aktivují se glykolytické enzymy. Až po několika hodinách se projeví dlouhodobé účinky, kdy se zvyšuje tvorba enzymů pro lipogenezi. Hlavním účinkem inzulínu je snižování hladiny glukózy v krvi, tím že se naváže na receptory cílových buněk (GLUT-4 a GLUT-1), a umožní přestup glukózy přes plazmatickou membránu.

Nedostatek inzulínu nebo rezistence jeho receptorů v buněčných membránách vede k rozvoji onemocnění (**diabetes mellitus**), jehož hlavními projevy jsou vysoká hladina glukózy v krvi (*hyperglykémie*, zvýšené močení (*polyurie*), nadměrná žízeň (*polydipsie*), vzniká *ketóza*. I nadbytek inzulínu může vyvolat vážné zdravotní problémy jako je *hypoglykémie* (pokles hladiny glukózy v krvi). Důsledkem *hypoglykémie* je snížená činnost nervových buněk, projevující se únavou, zmateností, křečemi a někdy může nastat i kóma (obr. 31).



Obr. 31 Inzulínové receptory.

- **Glukagon:** Je tvořen A-buňkami Langerhansových ostrůvků. Podnětem pro produkci glukagonu jsou hypoglykémie, stres a působení sympatiku. Hlavním biologickým účinkem glukagonu je zvýšení hladiny glukózy v krvi. Děje se tak, že v játrech navozuje glykogenolýzu, zvyšuje glukoneogenezi a zvyšuje lipolýzu, čímž šetří glukózu pro nervové buňky.

Inzulín i glukagon jsou hormony, které se navzájem ovlivňují.

- **Somatostatin:** je produkován D-buňkami Langerhansových ostrůvků. Má vliv na sekreci glukagonu a inzulínu – tlumí jejich produkci.
- **Pankreatický polypeptid:** Jeho funkce zatím není přesně objasněna.

Příštítná tělíska

Jsou uložena na dolních pólech štítné žlázy. Produkuje hormon:

- **Parathormon:** jeho hlavním biologickým účinkem je zvyšování hladiny vápníku a fosforu v krvi. Je antagonistou kalcitoninu. Zvyšuje aktivitu kostních buněk (osteoklastů), působí na uvolňování vápníku a fosforu z kostí.

Na metabolismu vápníku se kromě parathormonu a kalcitoninu podílí i **kalcitriol**. Kalcitriol vzniká postupnou přeměnou provitaminu D₃ uloženého v kůži. Působením UV záření vzniká cholekalciferol, který po transportu do jater a následně do proximálních tubulů glomerulů je přeměněn na aktivní kalcitriol. Účinkem kalcitriolu je zvýšená resorpce vápníku ve střevě a ledvinách, také stimuluje osteoklasty. Nedostatek produkce parathormonu se projevuje tetanií (křečemi).

4.3.3 Nervově řízené uvolňování hormonů

Hypotalamus - neurohypofýza

Hormony jsou tvořeny v hypotalamu a uloženy v neurohypofýze:

- **Oxytocin:** u žen působí na ejekci mléka kontrakcí myoepiteliálních buněk (podobné hladkému svalstvu, vystylají vývody mléčné žlázy). Také má vliv na stah dělohy (porod, pohlavní styk). U mužů působí na ejakulaci.

Sekrece oxytocinu se zvyšuje při stresech a snižuje vlivem alkoholu.

- **Antidiuretický hormon (vasopresin):** zvyšuje propustnost tlusté části vzestupného raménka Henleovy klíčky a sběrných kanálků ledvin pro vodu, působí na zadržování vody v organismu, a tím ovlivňuje množství moči (diurézu). Ve velkých dávkách způsobuje vazokonstrikci (například při krvácení) a má vliv na zvyšování krevního tlaku. Snižuje ztráty vody kůží ovlivňováním potních žláz.

Na zvýšení sekrece vasopresinu má vliv zvýšený osmotický tlak krevní plazmy, snížení objemu mimobuněčné tekutiny, bolest, emoce, stres, fyzická námaha, nechutenství, zvracení, stání a nikotin. Naopak snížení sekrece vasopresinu způsobuje snížený osmotický tlak krevní plazmy, zvýšený objem mimobuněčné tekutiny a alkohol.

Dřen nadledvin

Produkuje dva hormony, nazývané katecholaminy:

- **Adrenalin a noradrenalin,** které jsou uvolňovány do krevní plazmy po stimulaci sympatikem, bývá to v poplachových situacích. Receptory pro katecholaminy jsou téměř ve všech buňkách organismu. Nástup účinků je velmi rychlý, ale krátkodobý. Hormony mají ve tkáních stejný vliv jako dráždění sympatického nervstva. Hlavním účinkem adrenalinu a noradrenalinu je metabolický vliv, projevující se zvýšenou hladinou glykemie zajišťovaný glykogenolýzou v játrech a kosterním svalu, mobilizace volných mastných kyselin (lipolýzou). Na srdce působí zvyšováním síly a rychlosti kontrakce. Tyto děje jsou potřebné pro zvýšenou fyzickou činnost. Také se vyskytuje působení na CNS, kdy katecholaminy zvyšují bdělost a adrenalin navíc má vliv na vznik úzkosti a strachu.

Feochromocytom je nádor dřeně nadledvin, který způsobuje nadměrnou produkci katecholaminů. Projevem tohoto nádoru je vysoký krevní tlak.

4.3.4 Produkce hormonů jinými typy buněk

Jedná se o hormony, které jsou produkovány tkáněmi, jejichž primární funkce není endokrinní. Příkladem jsou:

- **Endorfiny a enkefaliny:** opiové neuropeptidy produkovány v některých částech mozku. Působí analgeticky, antidepresivně, proti úzkosti (anxiolyticky).

-
- **Leptin:** hormon produkovaný tukovou tkání. Působí prostřednictvím receptorů v hypotalamu. Navozuje pocit sytosti. Nedostatek leptinu nebo poškození jeho receptorů vyvolává obezitu. Má anorexigenní účinek (snižuje pocit hladu), potencuje účinek inzulínu, snižuje ukládání tuků, působí protizánětlivě.
 - **Adiponektin:** *polypeptid produkovaný buňkami tukové tkáně. Při redukci hmotnosti se zvyšuje jeho hladina v krvi. Reguluje metabolismus glukózy, zvyšuje katabolismus lipidů ve svalech a játrech.*
 - **Atriální natriuretický faktor (ANF):** produkován buňkami myokardu. Zvyšuje vylučování sodíku v ledvinách (je antagonistou aldosteronu).
 - **Gastrin a histamin:** produkovány trávicím systémem. Hlavním úkolem je zvyšování žaludeční šťávy.
 - **Somatostatin:** produkován také buňkami uloženými ve stěně trávicího systému. Tlumí sekreci a motilitu žaludku.
 - **Erythropoetin (EPO):** je tvořen v ledvinách, malé množství v játrech. Reguluje a řídí tvorbu červených krvinek.
 - **Renin:** produkovaný buňkami ledvin. Mění angiotenzinogen na účinnou látku angiotenzin, která má silný vazokonstrikční účinek.
 - **Kalcitriol (viz výše).**

Důležité

- Endokrinní systém zastává regulační funkci v organismu prostřednictvím chemických působků (hormonů).
- Hormony mají rozličnou chemickou strukturu, díky níž regulují pochody v buňce působením na její membráně (peptidové hormony) nebo přímo v jádře (steroidní hormony).
- Endokrinní sekrece je řízena buď složitou, nebo jednoduchou vazbou.
- Za žlázu nadřazenou ostatním je považována adenohipofýza.

5 Svaly

Obsah kapitoly:

5.1 Úvod do kapitoly

5.2 Hladké svaly

5.3 Srdeční sval

5.4 Příčně pruhované svaly

5.4.1 Typy svalových vláken

5.4.2 Nervosvalový přenos a kontrakce kosterního svalu

5.4.3 Energetika svalové práce

5.4.4 Druhy svalové kontrakce

5.4.5 Svalová únava a svalové přetížení

Po přečtení této kapitoly, by si měl být schopný:

- popsat strukturu kosterního svalu,
- znát jednotlivé typy svalových vláken,
- pochopit princip svalové kontrakce,
- vysvětlit základní procesy resyntézy ATP,
- uvědomit si, jak sval reaguje na nepřiměřené zatížení.

Klíčová slova:

Svalové vlákno, myofibrila, sarkomera, myofilamenta, aktin, myozin, sarkoplazmatické retikulum, stah příčně pruhovaného svalu, akční potenciál, rychlá svalová vlákna (IIa, IIx), pomalá svalová vlákna (I), motorická jednotka, nervosvalová ploténka, kontrakce, svalová únava, adenosintrifosfát (ATP), kreatinfosfát (CP), anaerobní glykolýza, glykogen, laktát, oxidativní fosforylace, volné mastné kyseliny, respirační kvocient.

5.1 Úvod do kapitoly

Lokomoce člověka je umožněna prostřednictvím kosterního (příčně pruhovaného) svalstva. Pohybovou aktivitu související s činností vnitřních orgánů zajišťuje svalstvo hladké. Pohyb krve v cévní soustavě je zprostředkován pomocí srdeční svaloviny (srdce), která má některé vlastnosti kosterního svalu a některé vlastnosti hladkého svalu.

Pohyb je jednou z nejzákladnějších vlastností člověka. Je založen na schopnosti svalových buněk se zkracovat, tuto vlastnost nazýváme kontraktilitou. Svaly jsou aktivní částí pohybového aparátu, kosti pasivní. Svaly mohou pohybovat kostrou díky jejich úponům na kosti a kloubům mezi kostmi.

Svalová tkáň je tvořena svalovými buňkami. Schopnost svalových buněk se kontrahovat a vytvářet mechanické napětí je dána přítomností zvláštních bílkovinných molekul, nazývaných kontraktilní bílkoviny. Ty přeměňují chemickou energii uloženou v molekulách ATP na mechanickou práci. Kontraktilními bílkovinami jsou aktin a myozin a jsou přítomny ve všech typech svalové tkáně. Ale jsou jinak organizované v kosterním, srdečním a hladkém svalu.

Pro studium pohybu člověka je třeba nejprve pochopit fyziologii pohybového systému a to především fyziologii příčně pruhovaného svalu.

5.2 Hladké svaly

Hladké svaly jsou aktivní složkou mnoha důležitých vnitřních orgánů (žaludek, střeva, cévy, močový měchýř ad.). Buňky hladkých svalů mají vřetenovitý tvar a jsou podstatně menší než buňky kosterních svalů. Každá svalová buňka obsahuje jedno jádro, které leží přibližně uprostřed buňky. Stejně jako v kosterním svalu i v hladkých svalech jsou přítomna vlákna (filamenta) kontraktilních bílkovin - aktin a myozin. Aktinových filament je asi desetkrát více než filament myozinových. Filamenta hladkých svalů jsou organizována tak, že sval nejeví příčné pruhování jako kosterní svaly. Kontrakce hladkého svalstva je pomalá, asi 20 – 20 000x menší než u kosterních svalů. Funkce velké části hladkých svalů spočívá pouze v udržování nebo změně napětí ve stěnách útrobních orgánů nebo v zúžení trubicovitých orgánů (plíce, průdušky ad.). Hladké svaly jsou inervovány vegetativními (autonomními) nervy, proto je nemůžeme naší vůlí ovládat. Jejich činnost ovlivňují také hormony.

5.3 Srdeční sval

Srdeční sval neboli **myokard**, funguje jako pumpa, která přečerpává krev v krevním oběhu a tím umožňuje okysličovat potřebné tkáně. Tato činnost je umožněna díky pravidelné kontrakci srdečních síní a komor.

Struktura srdečního svalu je podobná struktuře kosterního svalu (viz. dále). Specializované svalové buňky (myocyty) jsou zde uspořádány nepravidelně. Myocyty jsou jednojaderné a obsahují velké množství mitochondrií. Funkčnost srdečního svalu je závislá na synchronizované kontrakci všech kardiomyocytů. Buňky myokardu na rozdíl od kosterního svalu jsou schopny generovat vlastní rytmickou aktivitu.

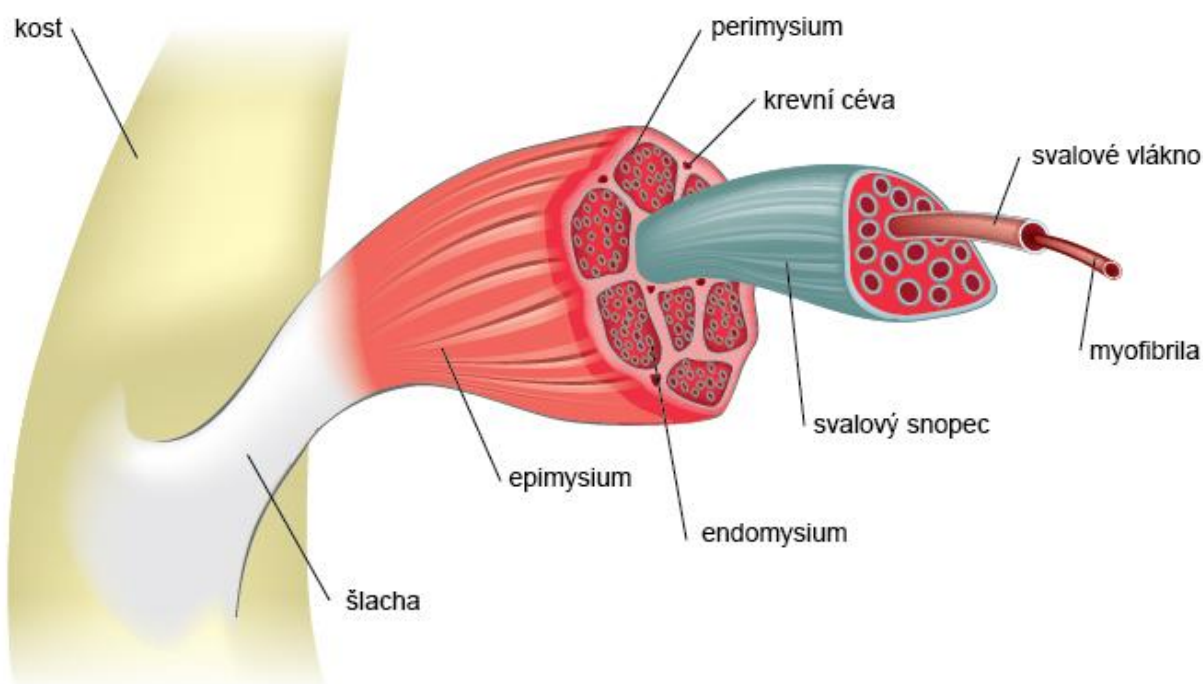
Synchronizovanou činnost myocytů zajišťují specializovaná spojení sousedních buněk, tzv. interkalární disky. Díky těmto diskům dochází v srdeční svalovině k jednoduchému a rychlému přenosu akčního potenciálu. Svalová kontrakce srdečního svalu je, stejně jako u kosterního svalu, zahájena vzestupem intercelulární hladiny Ca^{2+} . Liší se však mechanismus, který tomuto vzestupu předchází.

Více o funkci srdce v kapitole KREVNÍ OBĚH.

5.4 Příčně pruhované svaly

Kosterní svaly tvoří 40 – 50 % celkové hmotnosti. Sval je složen ze svalových snopců, které obsahují velké množství svalových vláken (buněk) válcovitého tvaru (obr. 32). Svalové vlákno má průměr 10-100 μm a délku až 30 cm. Svalová vlákna obsahují větší počet jader a různé množství mitochondrií podle toho, jaký druh činnosti sval vykonává. Svalové vlákno ohraničuje **sarkolema** (plazmatická membrána svalové buňky), která má na povrchu plášť tvořený vrstvou polysacharidů a kolagenních vláken, přecházejících ve šlachu. Sarkolema se místy vchlipuje a tvoří **transverzální tubuly** (T-tubuly), které umožňují rychlejší přenos akčního potenciálu dovnitř buněk. Vlastním kontraktilem aparát buňky jsou dlouhá vlákna, tzv. **myofibrily**. Myofibrily jsou tvořeny kontraktilem bílkovinami **aktinem** a **myozinem**. Jedna myofibrila obsahuje přibližně 1 500 aktinových vláken a 3 000 vláken myozinových. Jsou uloženy v **sarkoplazmě** (cytoplazmě svalové buňky).

Kromě kontraktilem a regulačních bílkovin (aktin, myozin, tropomyozin, troponin), svalové vlákno také obsahuje specifickou bílkovinu – **myoglobin**. Myoglobin slouží jako intracelulární zásoba kyslíku v období svalové práce, v okamžiku, kdy se zhoršuje zásobování svalu okysličenou krví.

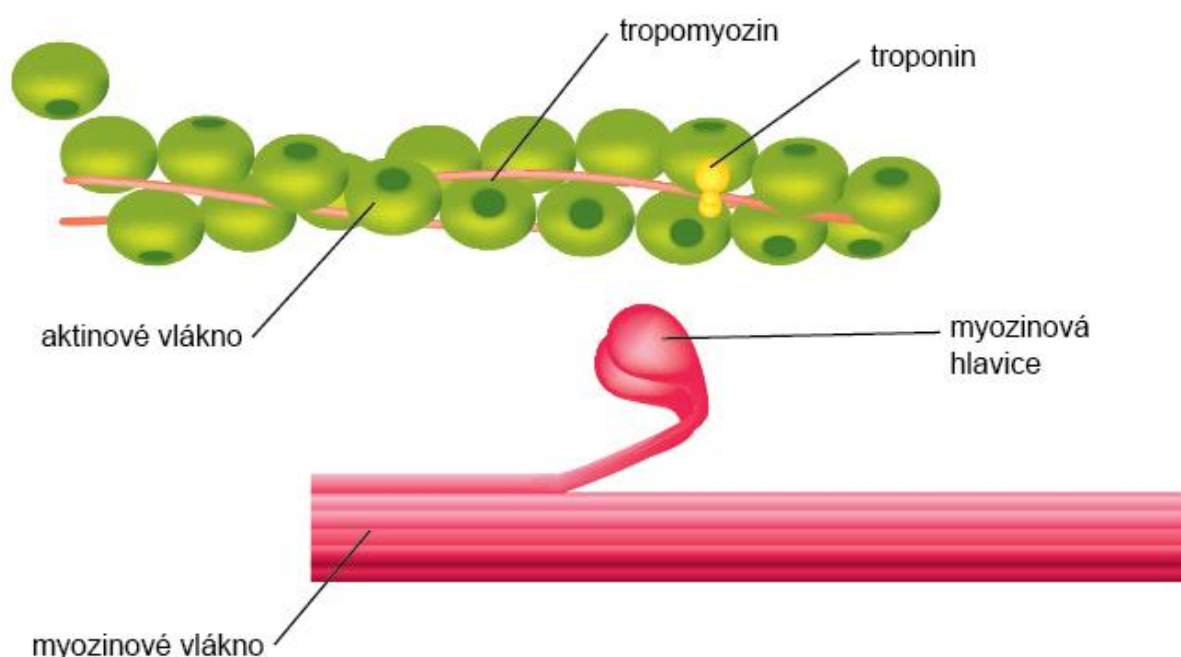


Obr. 32 Struktura kosterního svalu.

Funkční jednotkou příčně pruhovaného svalu je **sarkomera**.

Jednotlivé sarkomery jsou odděleny **Z disky**, na podélném průřezu jsou pak vidět jako **Z linie**. Do těchto linií jsou připojena tenká filamenta aktinu. Jako **proužek I** je označován úsek od linie Z k začátku tlustých filament myozinu. Oblast myozinových filament tvoří **proužek A**.

Tenká filamenta jsou tvořena dvěma vzájemně obtočenými aktinovými řetězci, mezi nimiž jsou vlákna tropomyozinu a molekuly troponinu. Na aktinových řetězcích jsou vazebná místa pro myozin. Tlustá filamenta jsou tvořena z myozinových molekul. Každá molekula má tvar golfové hole. Hlava myozinové molekuly má ATPázovou aktivitu (obr. 33).



Obr. 33 Aktinové a myozinové vlákno.

Svaly se upínají na kosti pomocí šlach. Vazivovou tkáň šlach tvoří vazivové buňky (fibroblasty a fibrocyty) a mezibuněčná hmota. Kloubní vazy tvoří kolagenní vlákna s malým množstvím elastických vláken. Hlavní funkcí vazů je stabilizace a fixace kloubů. Fyziologické prodloužení vazů v kloubech zodpovídá biomechanickým vlastnostem kolagenních vazů. Vhodným cvičením lze tedy zlepšit rozsah v daném kloubu. Podobné složení mají také šlachy, které se ale stavbou už více podobají svalům. Šlachy vykazují velkou pevnost, ale částečně jsou i pružné (šlacha se může prodloužit asi o 4% své délky). Zjednodušeně bychom mohli říci, že na mikroskopické úrovni přechod svalu do šlachy je přechod svalového vaziva do šlachového vaziva. Přechod šlachy do kosti se nazývá začátkem svalu (origo) a úpon svalu (insertio). Šlachy obsahují šlachová tělíska, která jsou zapojena se svalovými vlákny v sérii. Jsou aktivována při svalové kontrakci, kdy dochází k napnutí šlachy. Aktivována jsou taktéž při zvýšeném svalovém napětí. Informace ze šlachových tělísek působí útlum alfa-motoneuronů příslušného svalu, tím chrání sval i šlachu před přetížením. Stejnou funkci mají pak ve svalích svalová vřeténka, která reagují na protažení svalu. Čím více je sval protažen, tím více svalových vřetének je drážděno. Svalová vřeténka informují CNS

o rychlých (fázických) změnách délky svalu při pohybu a při udržování polohy o změnách dlouhodobých (tonických).

5.4.1 Typy svalových vláken

Kosterní svaly, resp. svalová vlákna je možno rozdělit do dvou, resp. tří typů:

- pomalá svalová vlákna – typ I
- rychlá svalová vlákna – typ II (IIa a IIx)

Pomalá svalová vlákna (typ I), jsou také označována jako červená svalová vlákna. Obsahují velké množství myoglobinu (bílkoviny vážící ve svalu kyslík), který je červený. Z anglického názvu SO (slow oxidative = pomalé oxidativní vlákno) vyplývá, že pracují oxidativním (aerobním) způsobem, neboli k resyntéze ATP dochází za přítomnosti přístupu kyslíku. To je umožněno velkým počtem mitochondrií a bohatým prokrvením svalu. Aerobní metabolismus svalu je energeticky výhodnější než anaerobní, takže pomalá svalová vlákna šetří energii a pracují relativně pomalu, ale za to se méně unaví.

Rychlá svalová vlákna (IIx), jsou také označována jako bílá svalová vlákna. Naproti pomalým svalovým vláknům obsahují menší množství myoglobinu a jsou méně prokrvené. Z anglického názvu FG (fast glycolytic = rychlé glykolytické vlákno), vyplývá, že pracují neoxidativním (anaerobním) způsobem, neboli k resyntéze ATP dochází bez přístupu kyslíku. Mají proto velké množství glykolytických enzymů. Díky tomu jsou schopna rychlých pohybů a silných kontrakcí. Jejich nevýhodou je snadno se dostavující únava.

Rychlá svalová vlákna (IIa), jsou také označována jako rychlá červená svalová vlákna. Často jsou v češtině taktéž označována jako vlákna smíšená. Mají některé vlastnosti jako vlákna typu I a jiné vlastnosti jako vlákna typu IIx. Stejně tak to vyplývá i z jejich anglického názvu FOG (fast oxidative glycolytic = rychlé oxidativní glykolytické vlákno). Pracují oxidativním i neoxidativním způsobem.

Základní vlastnosti svalových vláken jsou pro přehlednost prezentovány v tab. 5.

Tab. 5 Základní vlastnosti svalových vláken (upraveno dle Hamar & Lipková 1998).

vlastnosti	typ I	typ IIa	typ IIx
rychlost kontrakce	POMALÁ	RYCHLÁ	RYCHLÁ
síla kontrakce	NÍZKÁ	STŘEDNÍ	VYSOKÁ
odolnost vůči únavě	ODOLNÁ	ODOLNÁ	UNAVITELNÁ
metabolismus	OXIDATIVNÍ	OXIDATIVNÍ A GLYKOLYTICKÝ	GLYKOLYTICKÝ
obsah glykogenu	NÍZKÝ	VYSOKÝ	VYSOKÝ
hustota mitochondrií	VYSOKÁ	STŘEDNÍ	NÍZKÁ
hustota kapilár	VYSOKÁ	STŘEDNÍ	NÍZKÁ
aktivita ATPázy	NÍZKÁ	VYSOKÁ	VYSOKÁ
glykolytická kapacita	NÍZKÁ	VYSOKÁ	VYSOKÁ
průměr vlákna	MALÝ	STŘEDNÍ	VELKÝ

Poznámka: Ve starší literatuře jsou vlákna IIx označována jako IIb.

Při zatížení se aktivují jednotlivé typy svalových vláken podle intenzity svalové kontrakce. Při nižší intenzitě zatížení se aktivují téměř výlučně pomalá svalová vlákna. Se vzrůstající intenzitou kontrakce se postupně aktivují i rychlá vlákna, nejprve rychlá oxidativní vlákna a nakonec i vlákna rychlá glykolytická.

Většina kosterních svalů v těle obsahuje všechna výše zmiňovaná svalová vlákna. Některé svaly však mají výraznou převahu vláken určitého typu, např. posturální svaly obsahují více pomalých vláken. Zastoupení jednotlivých typů svalových vláken je dáno geneticky. Podíl svalových vláken u průměrného člověka je 50:50 (typ vláken I vs typ vláken II).

K diagnostice zastoupení jednotlivých svalových vláken ve svalech se pro vědecké účely využívá svalové biopsie. Část svalové tkáně se vyjme speciální dutou jehlou (většinou z m. vastus lateralis). Vzorek se zmrazí, nařeže a zkoumá pod mikroskopem.

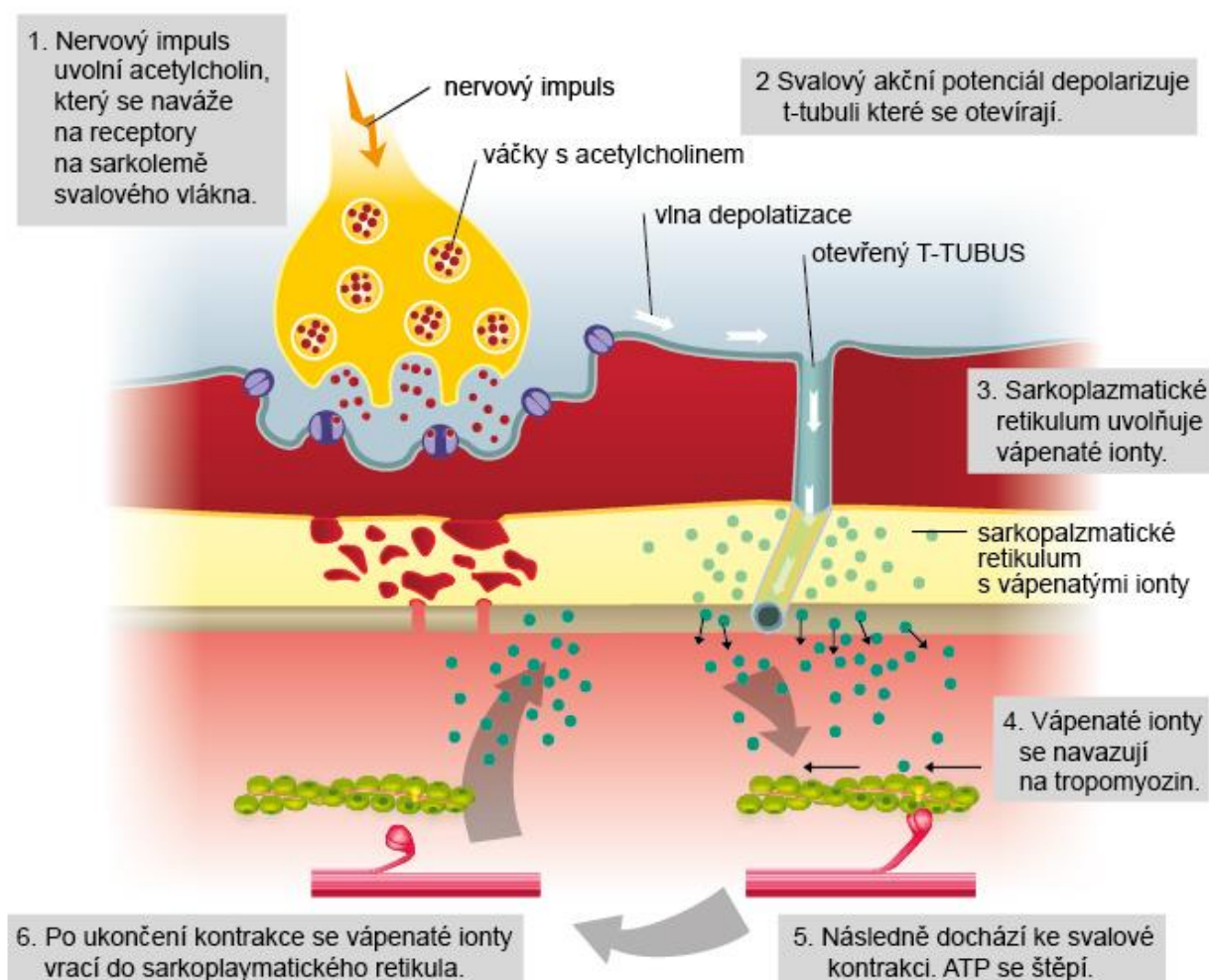
5.4.2 Nervosvalový přenos a kontrakce kosterního svalu

Pro vyvolání kontrakce kosterních svalů je nezbytná aktivita CNS. Neurony, které inervují kosterní svaly, se nazývají **motoneurony**. K přenosu excitačních impulzů z motoneuronů na sval dochází v **motorické ploténce**. Tím dochází k aktivaci a následně kontrakci svalu.

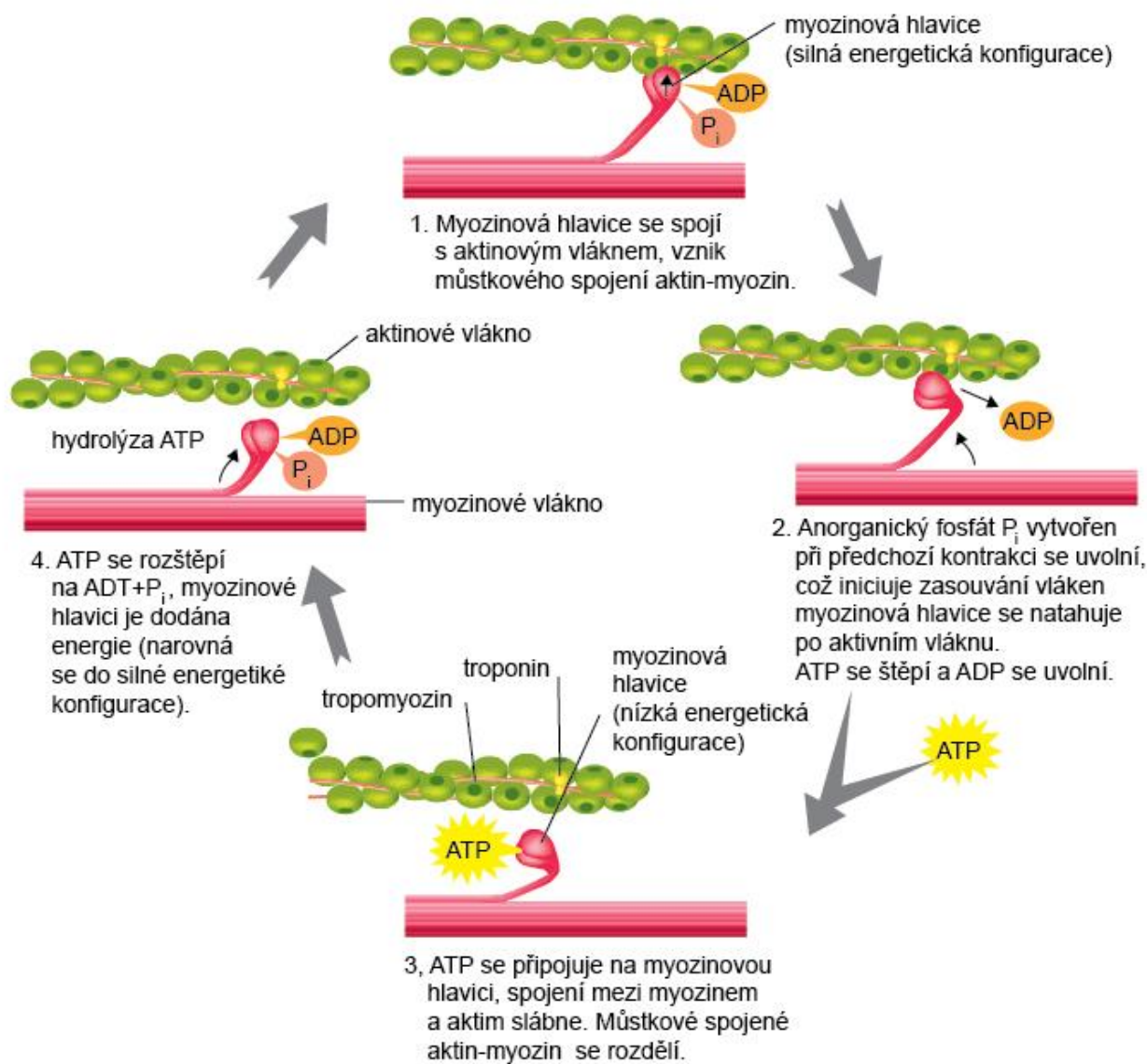
V zakončení motoneuronu se nachází velké množství vezikul s neurotransmiterem **acetylcholinem**. Při průchodu akčního potenciálu nervovým vláknem se váčky otevřou do synaptické štěrbině. Acetylcholin se vyplaví a naváže se na postsynaptické receptory. Toto navázání mediátoru na receptor způsobí

v postsynaptické membráně otevření kanálů pro sodíkové ionty, a vyvolá tak vznik akčního potenciálu na svalové buňce. Tento potenciál se následně šíří po celé svalové buňce. T-tubuly jej odvádějí k hlubším strukturám svalové buňky tak, že cisterny sarkoplazmatického retikula jsou aktivovány v podstatě najednou (obr. 34).

Po aktivaci sarkoplazmatického retikula se do sarkoplazmy uvolní **ionty Ca^{2+}** , které se poté navážou na troponin, a tím zahájí proces svalové kontrakce. Pro posun filament ve svalovém vlákně, a tedy ke vzniku svalové kontrakce, je zapotřebí energie. Tato energie je ve svazech ukryta v podobě **adenosintrifosfátu**, neboli **ATP**. Molekuly ATP se vážou na hlavy myozinu, které mají ATPázovou aktivitu. V okamžiku napojení myozinové hlavičky na aktinové vlákno se ATP rozštěpí na $\text{ADP} + \text{P}_i$ a myozinové hlavičky se připojí k aktinovému vláknu a sklopí o 40° , což má za následek, že aktinová a myozinová vlákna se vůči sobě posunou (obr. 35). S vazbou a rozpadem další molekuly ATP se hlavičky myozinu uvolní od aktinu a vrátí do původní polohy. Zhruba po jedné minutě se vápenaté ionty aktivně pumpují zpět do sarkoplazmatického retikula, zde jsou uskladněny do příchodu dalšího akčního potenciálu.



Obr. 34 Nervosvalový přenos.



Obr. 35 Svalová kontrakce.

5.4.3 Energetika svalové práce

Z metabolického hlediska můžeme lidský organizmus chápat jako dynamický systém, ve kterém probíhá stálá výměna hmoty a energie s vnějším prostředím. Přísun energie je diskontinuální proces (po dávkách), zatímco výdej energie je kontinuálním dějem, jehož intenzita kolísá v širokém rozpětí. Rozdílný charakter přísunu a spotřeby energie vyžaduje tvorbu rezerv, představujících stále dosažitelný energetický zdroj pro metabolické děje (viz. dále).

Ve svalu se chemická energie mění přímo na mechanickou (pohybovou) energii. Většina chemické energie (asi 80 %) se však mění na teplo.

Jak už bylo psáno výše, svalová kontrakce využívá jako přímý zdroj energie **adenosintrifosfát (ATP)**. ATP je nukleotid složený z adenosinu a z trojice fosfátů (obr. 36), často je označován jako makroergní sloučenina. Potřebnou energii pro svalovou kontrakci získáváme hydrolyzou ATP (obr. 37).

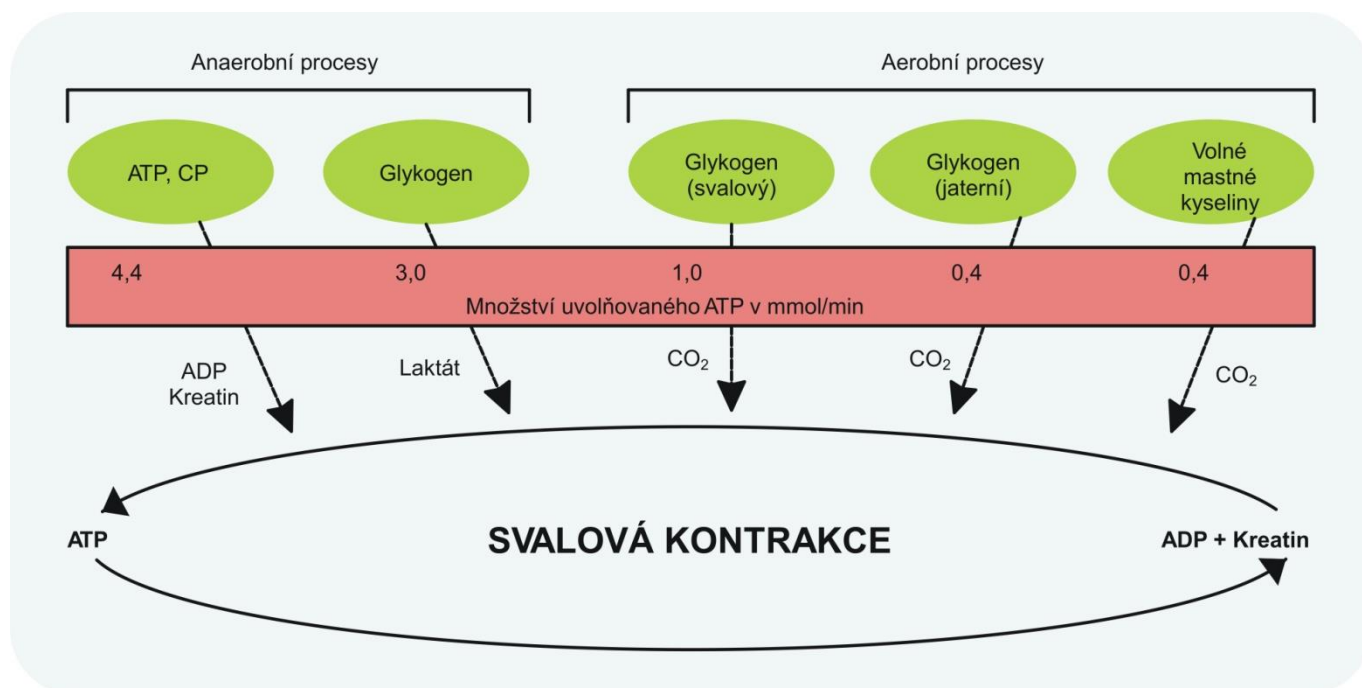


Obr. 36 Zjednodušené schéma ATP.



Obr. 37 Zjednodušené schéma štěpení ATP.

Ovšem zásoba ATP je ve svalových buňkách omezená. Běžec na 100 m by se s ní dostal jen na 10-20 m daleko. Proto je třeba, aby ve svalových buňkách docházelo neustále k obnově (resyntéze) ATP z dalších zdrojů, z metabolismu sacharidů a lipidů (obr. 38).



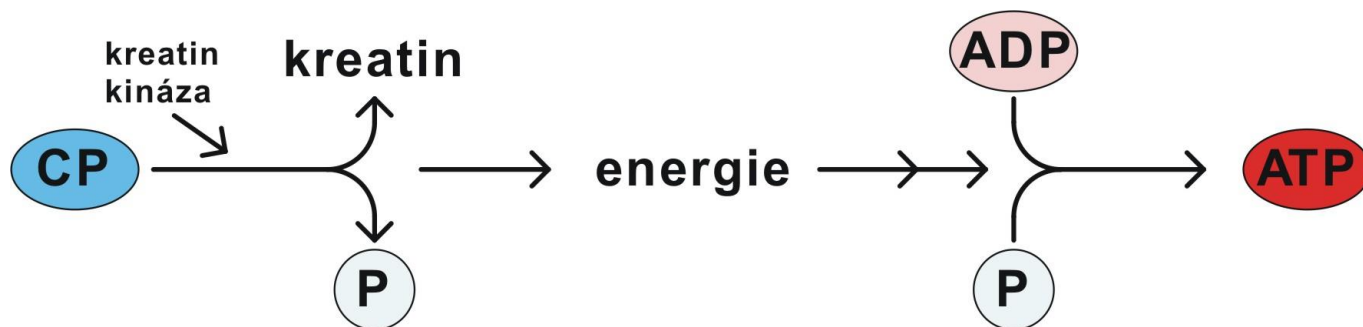
Obr. 38 Jednotlivé energetické systémy svalové kontrakce.

K resyntéze ATP ve svalu dochází:

- štěpením kreatinfosfátu (CP)
- anaerobní glykolýzou
- aerobní oxidací glukózy a mastných kyselin

Štěpení kreatinfosfátu

ATP se resyntetizuje z ADP přidáním fosfátu. Část energie nutné pro tuto reakci je dodávána rozkládáním glukózy na CO_2 a H_2O . Ve svalu je přítomna další energeticky bohatá sloučenina fosforu, tzv. **kreatinfosfát (CP)**, která může po krátkou dobu dodávat potřebnou energii pro svalovou kontrakci. Kreatinfosfát je hydrolyzován na kreatin, fosfát a energii. Volný fosfát a energie jsou použity na syntézu ATP (obr. 39).



Obr. 39 Zjednodušené schéma štěpení kreatinfosfátu.

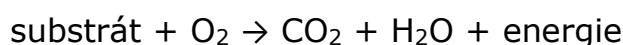
Anaerobní glykolýza

Anaerobní glykolýza nastupuje po štěpení kreatinfosfátu. Ve svalu uložený glykogen je odbouráván přes glukózo-6-fosfát na kyselinu mléčnou neboli laktát (obr. 40). Při lehké intenzitě zatížení je laktát metabolizován v srdci a játrech. A přibližně po minutě je anaerobní glykolýza vystřídána aerobním odbouráváním glukózy a mastných kyselin. Při vyšší intenzitě zatížení dále probíhá anaerobní glykolýza, s tím rozdílem, že nyní je přednostně odbourávána glukóza z krevního řečiště.

Zdrojem a podstatou acidózy ve vnitřním prostředí při cvičení není laktát, ale především vodíkové kationty (H^+), které se uvolňují při rozpadu ATP, a částečně také z kyseliny mléčné, která se rozpadá na H^+ a laktát (sůl kyseliny mléčné). (Laktát sám o sobě je spíše mírně zásaditý.) Hromadění laktátu a acidóza jsou příčinou kyslíkového dluhu a únavy. Kdyby se kyselina mléčná ze svalu neodstraňovala, zvýšení koncentrace iontů H^+ by inhibovalo tvorbu kyseliny mléčné a tedy i proces glykolýzy, čímž by se zpomalilo uvolňování energie. Celkové množství energie, které organismus dokáže uvolnit během anaerobní glykolýzy, je limitované schopností tolerovat kyselé prostředí ve svalových buňkách, schopností vázat a metabolizovat vznikající kyselé látky.

Aerobní oxidace glukózy a mastných kyselin

S postupným prodlužováním zatěže se zvyšuje podíl aerobních pochodů. Dochází k oxidaci glukózy a volných mastných kyselin. Podstatu aerobního uvolňování energie tvoří spalování uhlíku a vodíku na oxid uhličitý (CO_2) a vodu (H_2O), které je možné vyjádřit touto všeobecnou oxidační reakcí (obr. 39):

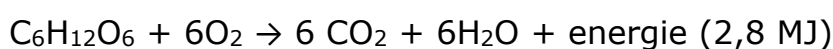


V lidském těle však tato uvedená reakce probíhá několika mezistupni, které tvoří předpoklad postupného štěpení a oxidaci živin za současné tvorby energie a její dočasné uskladňování ve formě ATP. Z pohledu plynulého uvolňování energie, má důležitý význam dýchací řetězec. Tento enzymatický systém

zabezpečuje, že konečné reakce energetického metabolismu probíhají přes několik mezistupňů a nepůsobí explozivně. Při každé z nich se část energie akumuluje do makroenergetické vazby ATP. Spojení procesů dýchacího řetězce a obnovy ATP a ADP se označuje jako **oxidativní fosforylace**.

Pokud jsou zdrojem energie pro aerobní resyntézu ATP sacharidy, první fáze aerobního odbourávání glukózy, resp. glykogenu až po kyselinu pyrohroznovou je totožná s anaerobní glykolýzou. Při nedostatku kyslíku nebo při příliš vysoké potřebě energie v pracujících svalech se pyruvát redukuje na laktát, za aerobních podmínek se v procesu oxidativní dekarboxylace mění na acetylkoenzym A, který je základním substrátem cyklu kyseliny citronové (Krebsův cyklus). V něm dochází ke konečnému uvolnění energie. Laktát je také zdrojem energie v pracujících svalech. Kromě toho dochází také k recyklaci glukózy z laktátu v játrech (Coriho cyklus).

Souhrnná rovnice oxidace glukózy:



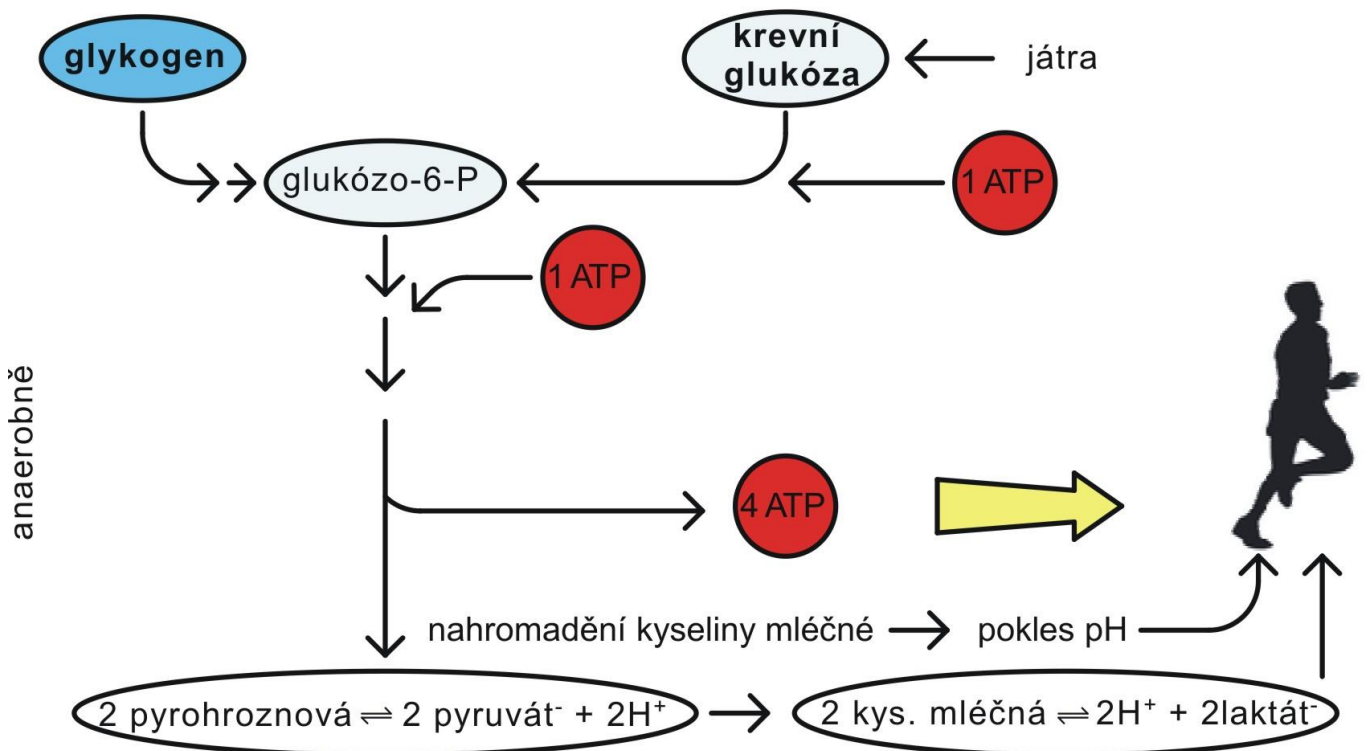
Poměr vytvořeného oxidu uhličitého a spotřebovaného kyslíku se označuje jako **respirační kvocient**. Při spalování sacharidů je tento poměr v rovnováze, tedy respirační kvocient rovná se 1.

Lipidy na rozdíl od sacharidů, představují prakticky téměř neomezený zdroj energie pro svalovou práci. Do svalových buněk se dostávají v podobě volných mastných kyselin a jejich spalování také probíhá v procesu β -oxidace a Krebsově cyklu. Při β -oxidaci a v dýchacím řetězci se z dlouhé molekuly mastné kyseliny postupně odštěpují radikály acetylkoenzymu A. Lipidy v lidském těle představují heterogenní směs triglyceridů, sloučenin mastných kyselin, navázaných na glycerol. Při spalování tuků se vytváří méně oxidu uhličitého než spotřebovaného kyslíku, takže respirační kvocient má hodnotu 0,7.

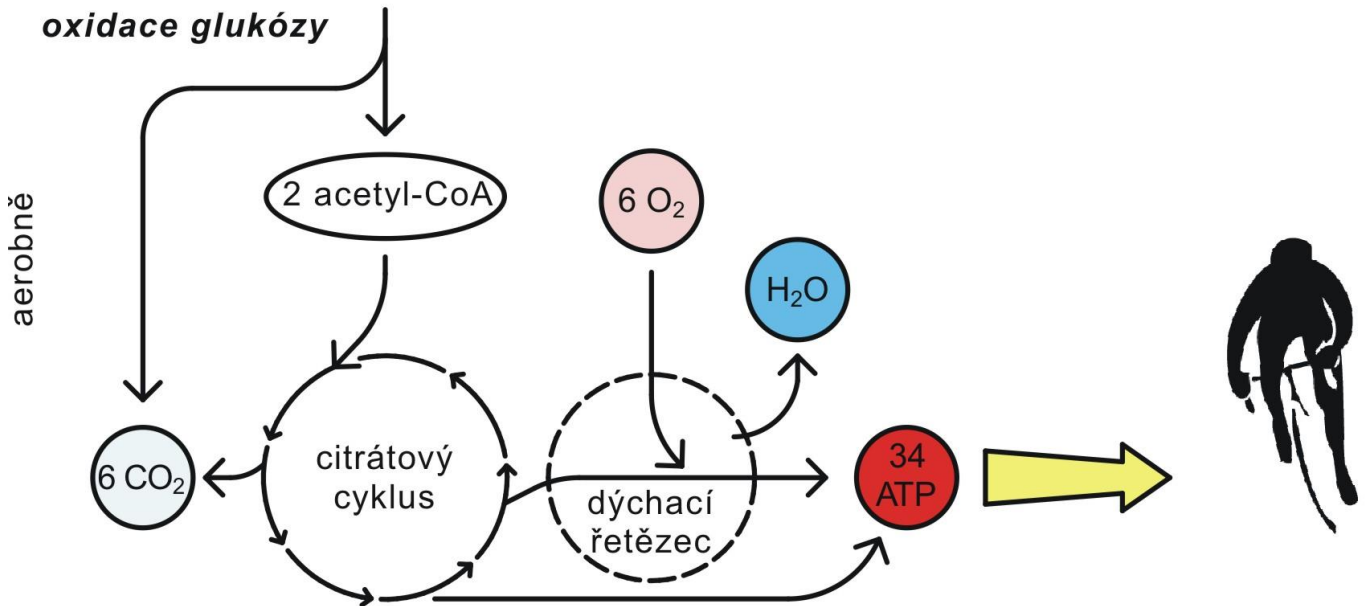
Tuky mají vysokou energetickou hodnotu. Spálením 1 kg tuku získá organismus 37,7 kJ, což dvojnásobně převyšuje množství energie vznikajícím při spalování cukrů.

Tvorba energie z tuků je však náročnější na kyslík. Při využití 1 l kyslíku se spálením tuků získá jen 19,7 kJ, tj. asi o 8 % méně jako při resyntéze ATP z cukrů. Při stejném množství kyslíku se při utilizaci tuků uvolní méně energie, což znamená i nižší intenzitu tělesného zatížení, vyždřenou nap. rychlostí běhu.

anaerobní glykolýza



oxidace glukózy



Obr. 40 Zjednodušené schéma metabolismu svalu.

5.4.4 Druhy svalové kontrakce

V praxi lze definovat různé druhy svalové kontrakce, resp. jsme schopni definovat, jaký typ svalové kontrakce při konkrétním stahu převažuje. Krajními, v teorii často uváděnými typy kontrakce, jsou **izometrická** a **izotonická kontrakce**, vedle koncentrické práce svalů (zkrácení) existuje i excentrická práce (s prodloužením) např. u m. quadriceps femoris při chůzi s kopce, při dřepu apod. Pohyby člověka jsou prováděny kontrakcemi svalů s různou mírou napětí a zkrácení nebo prodloužení a jejich různých kombinací.

Při izometrické kontrakci (z lat. izo = stejný, metrie = svalová délka) se sval nezkracuje a pouze roste jeho napětí. Při izotonické kontrakci (z lat. izo=stejný, tonus=svalové napětí) se nemění napětí svalů, ale mění se jeho délka. Více o typech svalových kontrakcí ve skriptech Praktická cvičení z fyziologie.

5.4.5 Svalová únava a svalové přetížení

Ke svalové únavě dochází především při vyčerpání energetických zásob a nahromaděním metabolických produktů v pracujících svalech.

Velké a neobvyklé tělesné zatížení vyvolává svalovou bolest (tzv. namožení svalů), která vzniká mikrotraumaty ve svalech (trhliny v Z-ploténkách, mechanické poškození myofibril). Následuje otok a bolest, což jsou typické příznaky (mikro)zánětu. Tento stav je taktéž nazýván jako svalová horečka. Vzniká především při excentrických kontrakcích ve svalech (např. běh z kopce, běh se zatížením, trénink ve ztíženém prostředí – písek apod.). Svalová horečka se projevuje po skončení tréninku a zhoršuje se během několika hodin, největší bolest obvykle pociťujeme druhý den, kdy se přetížené svaly po nočním spánku těžko rozhýbávají. Postižený cítí svalovou bolest a otok a často i zvýšení teploty v místech přetížených svalů (odtud název svalová horečka). Potíže se zvyrazňují při dalších kontrakcích. Příznaky mizí do 2-3 dnů.

Důležité

- Kosterní svaly jsou tvořeny svalovými buňkami (svalovými vlákny) a obsahují kontraktilní bílkoviny **aktin** a **myozin**.
- Svalová vlákna elementárně dělíme na **pomalá (typ I)** a **rychlá svalová vlákna (typ IIa a typ IIx)**. Liší se základními vlastnostmi. Zatím co pomalá vlákna jsou téměř neunavitelná a pracují oxidativně, rychlá vlákna se unaví rychleji a pracují především neoxidativním způsobem.
- Místo nervosvalového spojení se nazývá **motorická ploténka**. Ke svalové kontrakci je nutný zdroj energie **adenosin trifosfát (ATP)**.
- K resyntéze ATP dochází štěpením kreatinfosfátu (**CP**), **anaerobní glykolýzou** a **oxidací glukózy, mastných kyselin** a laktátu.

6 Trávení a metabolismus

Obsah kapitoly

6.1 Úvod do kapitoly o trávení a metabolismu

6.2 Trávicí systém (GIT)

6.2.1 Dutina ústní a jícen

6.2.2 Žaludek

6.2.3 Role tenkého střeva v procesu trávení

6.2.4 Role tlustého střeva v procesu trávení

6.2.5 Játra (hepar)

6.2.6 Slinivka břišní (pankreas)

6.3 Metabolismus

6.3.1 Základní zdroje pro metabolické procesy

6.3.2 Metabolismus jednotlivých složek potravy

Po přečtení této kapitoly bys měl být schopen vysvětlit:

- principy látkové výměny v lidském organismu,
- základní principy a pochody trávení,
- složení a funkce GIT (gastrointestinální trakt),
- základy vnitřního prostředí lidského organismu a principy regulačních mechanismů,
- principy zpětných vazeb,
- principy metabolismu.

Klíčová slova: trávicí systém (gastrointestinální trakt = GIT), složení GIT (dutina ústní, jícen, žaludek, tenké střevo, dvanáctník, tlusté střevo, játra, slinivka břišní, žlučník), sliny (ptyalin), žaludeční šťáva (pepsin, HCL), metabolismus, sacharidy, proteiny (= bílkoviny), lipidy (= tuky), polysacharidy, monosacharidy, glukóza, glykogen, aminokyseliny, mastné kyseliny, inzulin, glukagon

6.1 Úvod do kapitoly

Veškerá existence živých organismů je postavena na využívání a přeměně energie. Každý biologický druh má geneticky zakódovanou schopnost, využívat jako potravu energetických zdrojů dostupných v jeho okolí. Jde o základní předpoklad existence druhu. Využití přijaté potravy umožňují metabolické procesy, které probíhají uvnitř živého organismu. Schematicky si je můžeme rozdělit na pochody, které probíhají při trávení potravy uvnitř trávicího traktu, ve kterém se složité organické látky (sacharidy, proteiny a lipidy), štěpí na látky jednodušší, které jsou schopny projít bariérou stěvné sliznice a jsou v organismu jedince metabolizovány pochody jednak anabolickými, jednak katabolickými. Právě schopnost metabolických pochodů je jedním ze základních atributů zachování života.

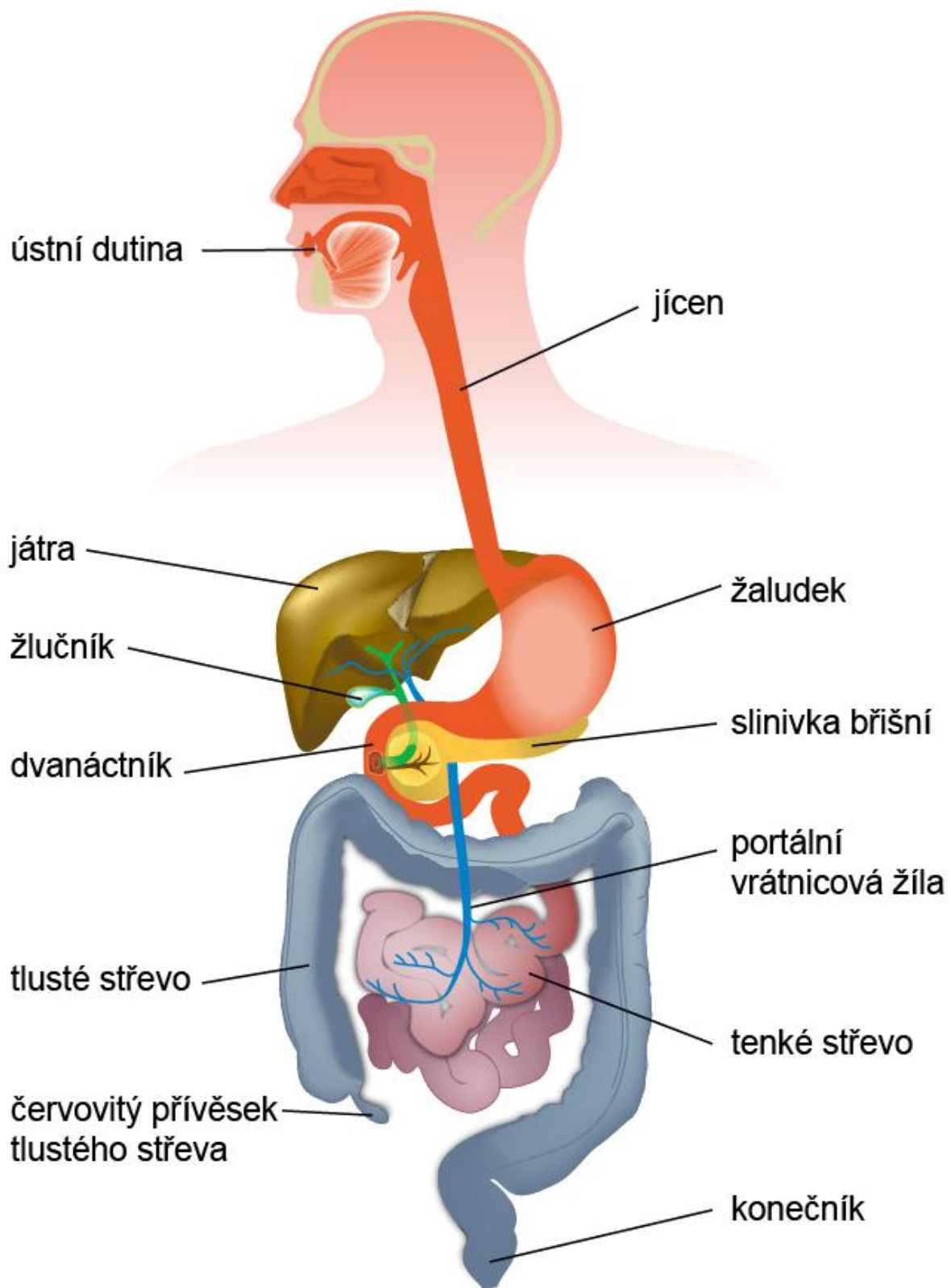
Evoluční vývoj postavil člověka na pomyslný vrchol jedné větve systému využívání energie v biosféře. Důsledkem tohoto vývoje je u člověka geneticky zakódované schéma orgánů, systémů, i regulace metabolických pochodů k přežití.

Náš život je zcela závislý na využívání některých organických sloučenin (se kterými se setkáváme v našem vnějším prostředí) jako zdrojů potravy. Nezbytné pro život jsou však samozřejmě i další látky (např. minerály, vitamíny, bílkoviny, některé stopové prvky atd.), které naše tělo rovněž nezbytně potřebuje ke svému vývoji, funkci a k reprodukci. Samozřejmostí pak jsou i podmínky vnějšího prostředí, které nám umožňují život (vnější teplota, voda, sluneční záření atd.).

Text této kapitoly předkládá pouze základní informace, které se týkají základů trávení a metabolických principů. Nezbytným předpokladem k porozumění textu jsou znalosti z oblasti biologie, biochemie (na úrovni střední školy) a anatomie (získané v prvním ročníku fakulty). Samozřejmostí je pochopení principů homeostázy a autoregulace (viz další kapitoly těchto skript).

6.2 Trávicí systém (GIT)

Umožňuje – řadou pochodů – přeměnu naší stravy na jednodušší látky, které je organismus schopen (za určitých okolností) vstřebat stěnou trávicího traktu. (Jde o velmi složité a navazující pochody, jejichž výsledkem je přesun vody, minerálů, vitamínů a živin (a dalších látek) z trávicí trubice do krevních a lymfatických cév našeho těla. (Anatomie trávicího systému viz předmět ANATOMIE).



Obr. 41 Trávicí systém.

Základní funkce GIT:

- příjem a transport přijaté potravy;
- zpracování potravy;
- resorpce složek potravy;
- podíl na ochraně vnitřního prostředí;
 - udržení pH uvnitř GIT, tvorba protilátek, vyvážený vztah bakterií v tlustém střevu aj.
- úprava nestrávených zbytků potravy;
- vyloučení nestrávené potravy;
- regulace vnitřního prostředí;
- tvorba/odbourání některých látek;

Schematické členění GIT:

- horní etáž: dutina ústní, jícen, žaludek;
- dolní etáž: tenké střevo, tlusté střevo a konečník;
- orgány související s trávením.

Pozn.: K doplnění anatomických informací o GIT odkazují na předmět ANATOMIE ČLOVĚKA. Především doporučuji zaměřit se na pasáže týkající se:

- *vrstev GIT (sliznice, svaly);*
- *GIT a imunitní systém*
- *GIT a cévní zásobení;*
- *inervace GIT.*

Funkční pohled na GIT:

- motilita GIT;
- sekreční činnost GIT.

Na GIT můžeme (zjednodušeně) pohlížet jako na funkční systém, který během našeho života nepřetržitě pracuje jako „*kontinuálně fungující automatizovaná linka*“, s řadou „*dodavatelů, subdodavatelů a spolupracovníků*“ (za těmito příklady je třeba vidět orgány lidského těla a jejich působky, které se na metabolických procesech podílejí). Trávení potravy probíhá v GIT, jehož každý úsek je vysoce specializovaným orgánem, jehož funkce je regulována:

- zpětnými (vzájemnými) vazbami mezi orgány GIT;
- systémem nervovým (CNS, periferní, i vegetativní nervy);
- systémem hormonálních regulací.

Pasáže trávicím traktem

Hlavní rolí GIT je získat – co nejefektivněji – z naší potravy co největší množství látek potřebných ke správné funkci organismu: především vodu, minerály, vitamíny a živiny (bílkoviny, tuky a cukry) jako zdroje energie a stavebních prvků. K tomu, aby náš organismus tyto látky (potravu) mohl využít, slouží trávicí systém. Některé funkce trávicího systému:

- mechanicky posouvá potravu od úst až ke konečníku;
- přijatou potravu ve svých oddílech chemicky rozkládá;
- umožňuje aktivní resorpci živin (získaných z natrávené potravy) sliznicí trávicí trubice do našeho krevního a mízního řečiště;
- podílí se na tvorbě řady látek, které aktivně ovlivňují funkci dalších orgánů (hormony a další působky, imunitní složky);
- je významným homeostaticky působícím prvkem;
- funguje i jako bariéra mezi světem vnějším a našim vnitřním prostředím.

Požitá potrava je v GIT posouvána aktivními pohyby trávicí trubice (peristaltikou). Vůlí můžeme ovlivnit pouze pohyb potravy v ústech. V dalších úsecích GIT jde o pohyb peristaltický, umožněný stahy hladké svaloviny ve stěně GIT. Aktivitu hladké svaloviny určují v celém těle především vegetativní nervy systémem receptorů a zpětných vazeb. O této problematice podrobněji pojednávají kapitoly zabývající se svalovinou, CNS a jsou dále v tomto textu.

V souvislosti s trávením je třeba si dále uvědomit ještě některá základní fakta:

- prostředí, ve kterém žijeme (biosféra) je osídleno i jinými organismy, které jsou schopny ohrožit naši existenci (např. bakterie, viry a někteří paraziti); pokud dojde k jejich proniknutí do našeho „vnitřního prostředí“ (a k tomu bohužel často dochází) znamená tato situace obvykle rozvoj chorobného stavu a tím i ohrožení existence napadeného jedince;
- GIT – má-li plnit dobře svoji funkci, musí proto působit jako bariéra, která omezí riziko kolonizace našeho vnitřního prostředí jinými – vůči nám nepřátelskými – organismy;
- aby mohl náš organismus využít potravu, musí GIT velmi složitými pochody rozložit potravu na jednodušší (pro nás vstřebatelné) látky;
- potrava prochází z úst (za normálních okolností) celým GIT; pohyb potravy zajišťuje aktivita GIT – hovoříme o motilitě; rychlost pasáže potravy ovlivňuje celá řada okolností.

6.2.1 Dutina ústní a jícen

V textu záměrně pomíjíme proces vyhledávání potravy, který je složitou kombinací instinktů a získaných zkušeností. I pouhý pohled (vůně, slovní popis jídla, zvuky, které s jídlem spojujeme) na pokrm navozuje v našem CNS asociace, které spouštějí trávící pochody (I. P. Pavlov a pokusy na psech s podáváním potravy – podmíněné reflexy). *Představíme-li si např. manipulaci s rozkrojeným citronem, pak již tato pouhá představa (signál) vyvolá zvýšenou produkci slin – což je již známkou startovací přípravy GIT. Zvýšení produkce slin totiž spouští celou řadu dalších pochodů GIT.*

Významnou rolí dutiny ústní je rozmělnění potravy a promíchání se **slinami**, které plní:

- roli mechanickou (*suché sousto se obtížně polyká*) – v ústech a následně v jícnu;
- enzym **ptyalin** (obsažený ve slinách) spouští chemické štěpení některých cukrů.
- Produkci slin zajišťují slinné žlázy, jejichž produkce kolísá od 600 až po 1500 ml (*v závislosti na věku a velikosti jedince a dalších faktorech – např. hydratace*). Sekreci slin regulují zejména nervový a hormonální systém. Dokud CNS nespustí asociace spojené s potravou, je tvorba slin minimální. Zvýšení činnosti slinných žláz usnadní mechanického zpracování potravy v ústech na taková sousta, která projdou jícnem.
- *Sliny obsahují vodu (99 % obsahu), a: mucin (hlen), proteiny, enzymy (ptyalin, lysozomy a lipáza), některé imunoglobuliny (IgA) a minerály (především Na, Cl, K).*

Úloha slin:

- zvlhčení a lubrikace dutiny ústní (což při jídle usnadní rozmělnění a polknutí sousta);
- usnadňují vnímání chuti;
- enzym **ptyalin** je trávící ferment, který zahajuje štěpení škrobů na oligosacharidy);
- ochranná role pro sliznici dutiny ústní (konstantní podmínky, baktericidní vlivy, odstraňování zbytků potravy a bakterií);
- protektivní vliv na sklovinu (prevence zubního kazu).

Shrnutí: **role dutiny ústní spočívá: nejdříve v oddělení přiměřeného sousta potravy => jeho příprava k polknutí + zahájení procesu fermentace. Chuťové receptory určují (spolu s čichem a zrakem), zda je naše potrava žádaná a vhodná. V dutině ústní se spouští reflex polykacího aktu, který má několik fází:**

- **polykací fáze dutiny ústní:** (*je popsána výše*): jde o jedinou fázi pasáže GIT, kterou jsme částečně schopni ovlivnit svým vědomím (*rychlost posunu sousta jazykem směrem k hltanu*);
- **polykací fáze hltanu:** *sousto / tekutina se ocitne v ústí hltanu, kde podráždí taktilní slizniční receptory => spuštění koordinovaného motorického polykacího aktu, během kterého dochází:*
 - ke změně polohy měkkého patra;
 - k uzavření epiglotis (*hrtanové záklopy*) a sevření hlasivek: *obojí zabrání vniknutí sousta do dýchacích cest*);
 - ke zvednutí hrtanu a uvolnění systém svěračů hltanu a horního úseku jícnu, což spouští tzv. *peristaltickou vlnu*.

Řízení této části polykacího aktu zajišťuje tzv. polykací centrum uložené především v prodloužené míše. Polykací hltanová fáze trvá asi 1 sekundu.

Jícen slouží jako transportní orgán pro potravu, který zajišťuje její přesun z dutiny ústní do žaludku, tzv. Polknutí sousta je složitý děj, při kterém je potrava posunována peristaltickými stahy jícnu. Svojí vůlí ovlivňujeme pouze pohyb sousta v ústech, dále jde již o reflektorický děj řízený vegetativním systémem. *Posun sousta v jícnu je dán aktivními stahy jícnu – peristaltikou, kterou spouští podráždění kořene jazyka a končí otevření přechodu jícnu do žaludku. Na posunu sousta se podílí i gravitace, ale peristaltika jícnu umožní polknout sousto jak ve stavu beztláče, tak i navzdory gravitaci.*

Jícen však má – mimo posun sousta – i další významné „povinnosti“: funguje (stejně jako celý GIT) jako bariéra proti infekčním rizikům obsaženým v potravě a zabraňuje (za normálních okolností) návrat potravy natrávené v žaludku zpět do jícnu a dutiny ústní (význam této role dále v textu).

6.2.2 Žaludek

Žaludek je orgánem, který dokáže přijatou potravu mechanicky (peristaltickými vlnami) a chemicky (**trávicími šťávami** obsahujícími mj. **HCl** a enzym **pepsin**) zpracovat (z prvního pohledu na velmi nevhlednou a nevábně páchnoucí kaši).

Poměry v žaludku závisí především na jeho náplni. Žaludek dospělého člověka pojme objem cca 1500 ml potravy. Prázdný žaludek téměř neprodukuje HCl. Po požití potravy nepozorujeme 30-60 minut žádný žaludeční pohyb. Jde o dobu, kdy upravuje žaludeční sliznice žaludeční obsah (vodou a trávicími enzymy).

Žaludek vyprodukuje za 24 hodin asi 2000-3000 ml žaludečních šťáv. Objem a složení žaludeční sekrece je významně ovlivněn příjmem potravy. Je-li žaludek prázdný, produkuje sliznice minimum žaludeční šťávy a její pH je téměř neutrální. Po jídle se aktivita žaludeční sliznice mění kvantitativně, i kvalitativně: vysoká produkce HCl (výrazně kyselé pH) a pepsinu.

Žaludeční činnost je řízena nervovým systémem, převážně vegetativní inervací, méně humorální aktivitou tzv. gastrinu (hormon produkovaný buňkami žaludeční sliznice).

Role HCl v žaludku:

- aktivuje pepsinogen (proenzym) na pepsin a umožňuje funkci pepsinu (kyselé prostředí);
- podílí se na denaturaci bílkovin v potravě;
- má baktericidní účinky (ochrana organismu);
- zlepšuje resorpci železa (změnou Fe^3 na Fe^2) a kalcia (změnou CaCO_3 na CaCl_2).

Žaludeční sliznice produkuje i tzv. „vnitřní faktor“, který je nezbytný pro vstřebávání vitamínu B₁₂ (nezbytný pro tvorbu erytrocytů).

Hlavní funkcí žaludku je zpracování potravy, která v něm setrvává obvykle několik hodin (záleží na složení stravy aj. faktorech). Žaludek umí (zpětnými vazbami) upravit: objem a pH sekrece, dobu pobytu potravy v žaludku a rychlost vyprázdnění obsahu žaludku.

Významná je i další role žaludeční sliznice – produkce ochranného slizu, který v podobě poměrně pevně lepícího filmu chrání žaludeční sliznici před působením trávicích šťáv (HCl a pepsin). Při porušení vrstvy tohoto ochranného filmu dochází k tvorbě žaludečních vředů.

V žaludku se trávením štěpí strava na jednodušší látky. Vstřebávají se zde však z potravy i některé látky – např. alkohol. Potrava setrvává v žaludku za normálních okolností až několik hodin (mj. i dle svého složení).

Kyselé prostředí žaludku a zde přítomné trávicí enzymy rozkládají potravu, ale současně likvidují mikroorganismy (bakterie a viry).

Na trávení žaludečního obsahu má vliv:

- teplota žaludku – odpovídá teplotě tělesného jádra;
- charakter přijaté potravy (nejpomaleji se tráví jídlo s vyšším obsahem tuků);
- produkce HCl a pepsinu sliznicí žaludku;
- promíchávání žaludečního obsahu (žaludeční peristaltika);

Vyprázdnění žaludku je aktivní děj, při kterém se vyprazdňuje natrávený, kyselý žaludeční obsah do duodena. Rychlost vyprázdnění žaludku ovlivňuje celá řada dalších faktorů.

6.2.3 Role tenkého střeva v procesu trávení

Tenké střevo má délku kolem 5 m. Je multifunkčním a nenahraditelným orgánem. Zjednodušeně: zajišťuje další natrávení potravy a následně vstřebání organických a dalších látek sliznicí tenkého střeva, která umožňuje přestup živin (aminokyselin, jednoduchých cukrů a mastných kyselin) a dalších látek do krevních a mízních cév organismu. Během trávení potravy v tenkém střevu toto pracuje následujícím způsobem: sekreci cca 2000 ml alkalické šťávy (voda, ionty a intestinální enzymy) a sliznici chránícího hlenu;

- produkce cca 2000 ml/24 hod. alkalické šťávy (voda, hlen, ionty a intestinální enzymy);
- pokračují trávicí pochody, které začaly již v dutině ústní a v žaludku;
- posouvá střevní obsah do tlustého střeva;
- dochází k resorpci jednotlivých základních složek potravy, zpracovaných na jednoduché látky (jednoduché cukry, aminokyseliny a mastné kyseliny), dále minerálů, vitaminů a částečně i vody; pozn.: resorpční plocha tenkého střeva (jeho délka je kolem 5 m) činí cca 250 m² (!);
- zajišťuje i endokrinní sekreci;
- působí jako imunitní bariéra.

Anatomicky dělíme tenké střevo na dvanáctník (duodenum), lačník (jejunum) a kyčelník (ileum).

Dvanáctník (duodenum) je poměrně krátkým úsekem GIT (*dlouhým 12 palců*). Přichází do něj rozmělněná a natrávená žaludeční kaše s velmi kyselým pH – což je pro činnost dalších úseků GIT nevhodné. Proto začíná v duodenu mj. i proces alkalizace natrávené potravy. Změnu pH potravy z kyselých hodnot na zásadité zajišťuje v duodenu především žluč a pankreatická šťáva a sekrece buněk duodena a dalších úseků tenkého střeva.

Evakuace potravy ze žaludku do duodena probíhá pozvolna. Znovu připomínám principy regulace, které neustále probíhají v organismu systémem receptorů a zpětných vazeb. Toto platí i při trávení: princip regulace, časování a posloupnost všech pochodů trávení v GIT. Např. činnost žaludku po vydatném jídle vede k výraznému prokrvení trávicího traktu => změna v distribuci tekutin v organismu => často i určitá malátnost. Obráceně – při stresu se mění distribuce krve v neprospěch trávicího traktu.

V tenkém střevu se potrava dále štěpí a vstřebávají se z ní jednotlivé látky a živiny v té nejjednodušší podobě: složité sacharidy v podobě glukózy (převážně), bílkoviny jako aminokyseliny a tuky jako molekuly mastných kyselin. Jiná forma resorpce těchto látek není za fyziologických podmínek možná.

Potrava se v tenkém střevu aktivně posouvá peristaltickými vlnami, jejich rychlost je dána typem potravy, habitem jedince (případně obsahem dalších látek v potravě a zdravotním stavem jedince). Obsah tenkého střeva má za normálních okolností poměrně konstantní parametry (pH, osmolalitu apod.). Mimo živiny se v tenkém střevu vstřebávají i některé další látky (minerály, vitamíny aj.).

Trávení – stručný přehled

Trávení a resorpce lipidů je zajištěna především v tenkém střevu, především účinkem pankreatické lipázy, která je aktivována látkami obsaženými ve žluči. Dochází k hydrolýze tuku, při čemž jsou odštěpeny molekuly mastných kyselin (mastné kyseliny jsou ve vodě nerozpustné, proto nejsou schopny resorpce, kterou jim však umožní vytvoření chemicky volná vazba mastné kyseliny a látek obsažených ve žluči. Tento komplex se může projít přes buňky tenkého střeva a dostává se do jater, která jsou významným orgánem mj. i na zpracovávání lipidů, proteinů a sacharidů.

Tuk vstřebaný buňkami tenkého střeva (cestou krevní a lymfatickou) je v organismu buď kompletně oxidován (příčemž se uvolňuje energie, voda a CO₂: 1 g tuku = 9,4 kcal), nebo se ukládá v tukových buňkách jako rezerva, která (na rozdíl od glycidů) může dosáhnout až desítek kg (lidské tělo má – za fyziologických podmínek – asi 10 % své hmotnosti uloženo v tucích). Je proto logické, že zpracování tuku a jeho využití/ ukládání v organismu je významné z celé řady aspektů (tuková rezerva, optimální hmotnost, tvorba tukových buněk, i role některých působků, majících vliv na ukládání tuků v organismu.

Trávení a resorpce sacharidů. Základními sacharidy naší potravě jsou složité cukry (*polysacharidy, disacharidy, pentózy a méně monosacharidy*). Jde tedy o látky, které náš organismus není schopen – bez zpracování v trávicím traktu vstřebat.

Trávení sacharidů začíná již v dutině ústní, kdy je sousto jednak rozmělněno, jednak promícháno se slinami, které obsahují trávicí ferment **ptyalin** (jeho role však není příliš významná, protože jeho aktivitu zastavuje vyšší kyselost žaludečního obsahu). Nejvýznamnější fáze trávení sacharidů však probíhá v duodenu, kam přichází natrávený žaludeční obsah, vlivem pankreatické amylázy, za současného působení solí žlučových kyselin, obsažených ve žluči. Konečným produktem trávicích pochodů GIT jsou tzv. monosacharidy (převážně glukóza, které jsou resorbovány buňkami sliznice tenkého střeva (prostou difúzí a aktivním vstřebáním). Sacharidy, které byly vstřebány ze střeva, jdou cestou portálního řečiště přímo do jater. Jaterní buňky zajišťují jejich další prvotní zpracování.

Protože hladina glukózy v krvi je za normálních podmínek regulována působením **inzulinu** (pankreatický hormon) je glukóza dále zpracována:

- jako okamžitý zdroj energie (1 g glukózy poskytne cca 4 kcal);
- nebo je uložena jako pohotovostní glycidová rezerva v podobě **glykogenu** do jater (cca 100 g) a v kosterních svalech (cca 400 g); pozn. Glykogen/glukóza se mohou tvořit i z jiných metabolitů (kyselina mléčná, pyrohroznová, z glycerolu, ale i z aminokyselin a tuků);
- nebo je (je-li přísun sacharidů v potravě vysoký) přeměněna na tuk, který je uložen do tukových rezerv.

Využití glukózy v našem organismu je velmi složitý děj, protože aby byla glukóza v těle využita, musí být nejdříve zpracována a přeměněna na metabolit s větším obsahem energie, přičemž metabolické cesty zpracování jak glukózy, tak glykogenu jsou částečně společné.

Hladina glukózy v krvi je regulována na principu zpětných vazeb, pomocí inzulínu (snižuje hladinu glukózy v krevním séru, podporuje glykogenezi – tvorbu glykogenu). Opačný směr této reakce – tj. tvorbu glukózy z glykogenu zajišťuje další hormon pankreatu – glukagon, který spouští jaterní glykogenolýzu – tj. tvorbu glukózy z glykogenu.

Opakem glykogeneze je glukoneogeneze – tvorba glukózy z jiných zdrojů energie (proteiny, lipidy).

Trávení a resorpce proteinů. Bílkoviny jsou tvořeny řetězci aminokyselin, kde vazbu aminokyselin zajišťují peptidové řetězce – jde tedy o tzv. polypeptidy. V trávicím traktu se působením enzymů štěpí peptidové vazby. Hovoříme obvykle o tzv. hydrolýze. K hydrolýze dochází v žaludku vlivem působení pepsinu v kyselém prostředí, pokračuje v duodenu účinkem trypsinu a chymotrypsinu (tzv. proteáz, produkovaných v pankreatu a aktivovaných za přítomnosti žluče v duodenu). Aminokyseliny uvolněné hydrolýzou prostupují velmi rychle přes sliznici tenkého střeva do portálního řečiště a kolují v krevním oběhu, odkud jsou průběžně využívány jak v anabolických, tak katabolických dějích organismu – hovoříme o „neustále přeměně aminokyselin“. Mohou být využity jako zdroj energie anebo jako stavení kameny pro tvorbu nových buněk. Pokud je příjem bílkovin v potravě vyvážený, hovoříme o tzv. „dusíkové rovnováze“.

Významnou roli hrají tzv. „esenciální aminokyseliny“, které jsou pro stavbu tkání nebytné, ale tělo si je nedokáže vytvořit z aminokyselin běžně kolujících v krevní plasmě.

Hladovění. Pokud dojde k tzv. hladovění organismu, využívá tento k zajištění energetických potřeb svých vlastních tkání. Nejdříve je odbouráván jaterní glykogen, následně tuková rezerva. Bílkoviny se nejdříve odbourávají poměrně pozvolna, k jejich největšímu úbytku dochází až po vyčerpání tukových rezerv.

Organismus reaguje na hladovění i dalšími způsoby (snížení bazálního metabolismu, teploty a aktivit). Není-li stav řešen, člověk umírá.

6.2.4 Role tlustého střeva v procesu trávení

Tlusté střevo dělíme anatomicky na několik částí (*caecum, colon ascendens, colon transversum, colon descendens, sigma a rectum*). Tlusté střevo plní několik funkcí:

- sekreční činnost: ochranný slizniční hlen + elektrolyty + voda;
- resorpční: voda, elektrolyty a další látky (některé vitaminy, léky aj.), nevstřebává živiny;
- působí jako bariéra oddělující lumen střeva od extraintestinálního (nitrobřišního) prostoru;
- pohyb, formování, skladování a evakuace stolice;
- udržuje podmínky pro existenci některých bakterií (převážně anaerobních, kvasných a hnilobných), nezbytných pro správnou funkci střeva (dochází zde k tvorbě některých vitaminů, z nichž nejvýznamnější je vitamin K);
- reguluje tvorbu a resorpci krevních plynů.

Stolice obsahuje za normálních okolností asi 75 % vody (její podíl se běžně mění), zbývající složky jsou pevným obsahem, přičemž převážná většina pevného obsahu jsou mrtvé bakterie z tlustého střeva, zbytek pak jsou nestravitelné zbytky stravy.

Činnost tlustého střeva je regulována na neuroendokrinních principech, opět se zde setkáváme s principy zpětné vazby.

Přechod potravy z terminálního ilea do caeca (přes tzv. Bauhinskou chlopeň) znamená opět určité změny režimu. Obsah tenkého střeva je (za normálních okolností) takřka prostý mikroorganismů. Tlusté střevo je naopak mikroorganismy kolonizováno. Dokonce bychom mohli říci, že je „programově kolonizováno“ některými bakteriemi, se kterými žije náš organismus v určité symbióze (tvorba vitamínu K, který potřebujeme ke správné funkci krevního srážení).

Dalším projevem symbiózy našeho těla s bakteriemi obsaženými v tlustém střevu je rozkládání zbytků potravy, vytváření optimálního pH střevního obsahu, aby vyhovovalo našemu organismu. Ve střevu proto přežívají především ty bakterie, které nás (pokud nedojde ke změně podmínek) neohrožují. Ke změně podmínek může dojít jednak poruchou střevní činnosti anebo vstupem jiného typu mikroflóry, která pozmění poměry v GIT (např. průjmová onemocnění). GIT také významně ovlivňuje i naši imunitu.

Pro přežití člověka jako biologického druhu jsou významné – v souvislosti s GIT ještě další skutečnosti: zahuštění stolice (vstřebání vody v tlustém střevu snižuje nároky našeho těla na příjem tekutin). Ještě před vstupem do tlustého střeva je střevní obsah tekutý (pokud stolice takto odcházela z našeho těla, ztratili bychom několik litrů vody denně. Lidé s odstraněným tlustým střevem (pro nemoc) jsou snáze ohroženi dehydratací a ztrátou minerálů. Shrnutí: tlusté střevo a jeho komplexní funkce jsou pro všechny savce významnou evoluční výhodou.

Defekace (vyprazdňování)

Za evoluční výhodu můžeme počítat i funkci konečné části tlustého střeva – sigmatu a rekta. Tyto úseky GIT dokončují trávení, shromažďují a konečně umožňují odstranění nestrávených zbytků stravy a bakterií obsažených v tlustém střevu. Jde o proces defekace, který je (za normálních okolností) jediným dějem trávení, který lze v určité fázi ovlivnit vůlí – za fyziologické situace lze odchod stolice „*naplánovat*“ (nejde tedy obvykle o tzv. „spontánní odchod stolice“).

Defekace je složitou souhrou pochodů řízených CNS, z nichž pouze některé lze ovlivnit vůlí. Malé dítě nemá vytvořeny právě ty funkce, kterými lze odchod stolice ovládnout. Právě odchod stolice představuje souhrn zpětných vazeb vytvořených mezi receptory ve střevu a řídicími centry v CNS.

Sigma (esovitá klička) zpomalí pasáž stolice a aktivně dopravuje stolicí do rekta (konečníku). Rektum je po větší část dne prázdné, plní se až po uvolnění tzv. vnitřního svěrače konečníku (*hladká svalovina, inervovaná vegetativním nervovým systémem – sympatikus snižuje intenzitu a frekvenci peristaltických vln tračníku a zvyšuje tonus vnitřního análního svěrače, parasympatikus zvyšuje intenzitu a frekvenci střevní peristaltiky a snižuje tonus vnitřního svěrače konečníku*).

Významnou roli v defekaci hraje tzv. defekační reflex, který je spouštěn podrážděním baroreceptorů ve stěně konečníku.

Do kapitoly fyziologie trávení patří i popis činnosti orgánů, které se podílejí na trávicích pochodech – játra (hepar) a slinivka břišní (pankreas) – viz dále v textu.

6.2.5 Játra (hepar)

Anatomie a funkce jater. Největší žláza těla (cca 1500 g) je uložena pod pravou bránicí. Jde o orgán nezbytný („metabolická továrna“) k životu – regulující mj. řadu homeostatických funkcí: metabolických, sekrečních, detoxikačních a exkretčních. Játra jsou i zásobárnou řady látek nezbytných pro organismus (např. glykogen). Bez fungujících jater dojde k rozvratu tělesných funkcí asi za 6 hodin. Základní stavební jednotkou jater je jaterní buňka (**hepatocyt**) která:

- má významný podíl při tzv. „deaminaci aminokyselin“ (tento pochod umožňuje energetické využití aminokyselin v citrátovém cyklu a konverzi aminokyselin na tuky a sacharidy;
- tvoří imunoglobuliny (protilátky) a další bílkovinné substance plasmy
- při nedostatku glukózy (a při poklesu zásob glykogenu) – vytvářejí glukózu z jiných zdrojů energie – glukoneogeneze (primárním spouštěčem glukoneogeneze jsou především glukokortikoidy);
- jsou schopny tvořit glukózu i z jiných jednoduchých sacharidů;
- hepatocyty se spojují a tvoří vyšší okrsky (segmenty, laloky).

Játra mají krevní zásobení (průtok krve játry je asi 1500 ml/min.) dvěma okruhy:

- *arteria hepatica communis* – (nutriční krevní zásobení – cca 500ml/min.) – přivádí arteriální krev satureovanou kyslíkem (kyslík je nezbytnou součástí většiny metabolických procesů);
- *vena portae* (funkční krevní zásobení – cca 1000 ml/min.) přivádí žilní krev (z tzv. nepárových orgánů dutiny břišní: žaludek, tenké a tlusté střevo, rektum, pankreas, slezina); jde o krev, ve které jsou obsaženy látky, které prošly střevní sliznicí GIT.

Krev opouští játra cestou jaterních žil, které ústí do v. cava inferior. Obsahuje produkty metabolických pochodů, které v hepatocytech proběhly. Dále z jater odcházejí metabolity i cestou lymfatického řečiště a žlučovými cestami.

Více o anatomii jater – viz předmět ANATOMIE ČLOVĚKA.

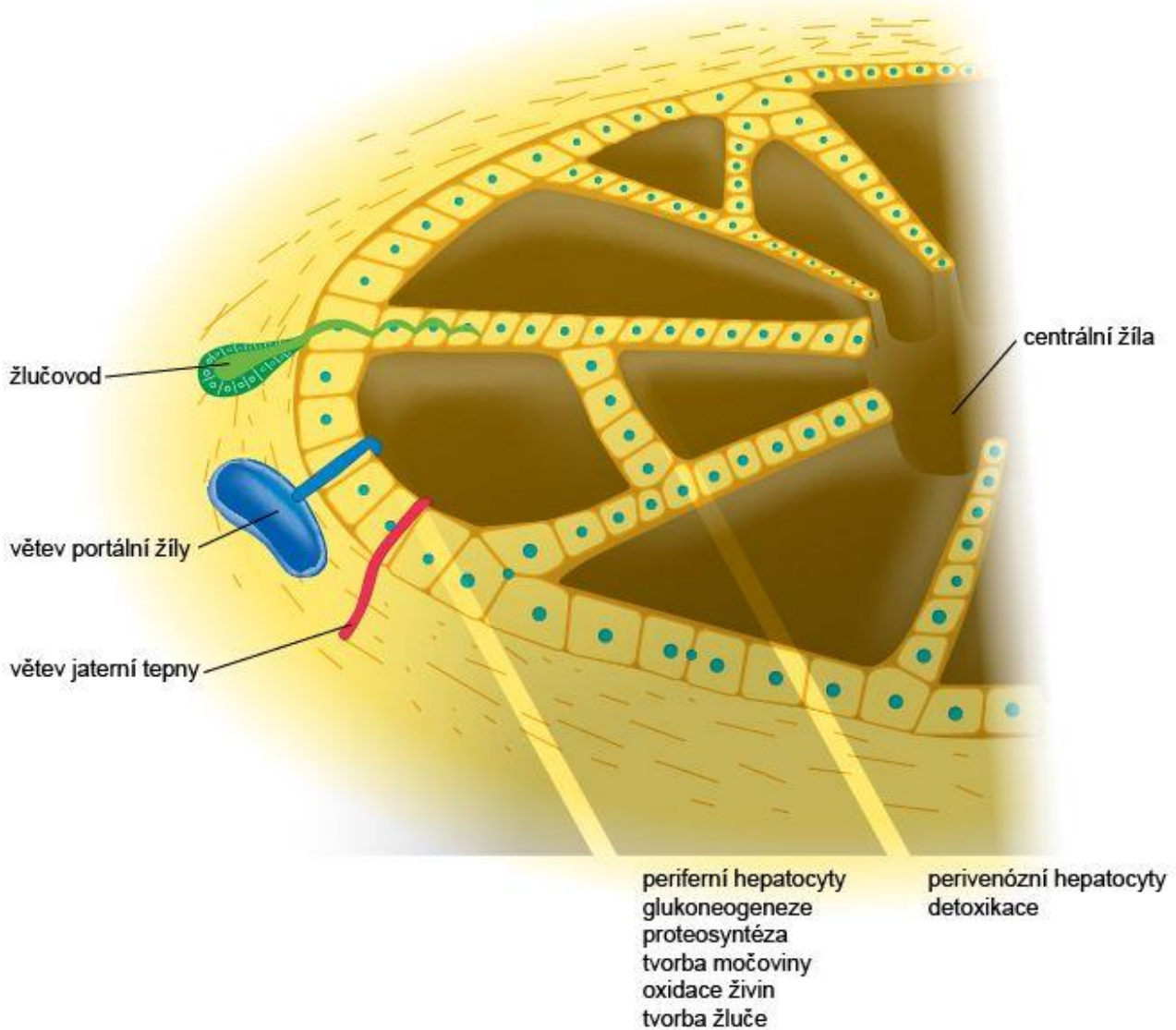
Funkce jater

Játra jsou pro náš organismus zcela nezbytným orgánem. Pro pochopení jejich funkcí a pro přehlednost, si můžeme jejich činnost rozdělit na dvě oblasti: vnitřně a zevně sekretorickou.

Vnitřně sekretorická funkce jater

- **metabolismus tuků**
- **metabolismus bílkovin**
- **metabolismus sacharidů a jejich ukládání jako rezerva:**
 - hladina glukózy (tvoří většinu plazmatických monosacharidů) je za normálních okolností udržována ve standardizovaném rozmezí (viz kapitola HOMEOSTÁZA);
 - při nadbytku glukózy v séru (hyperglykémii) aktivně vstupuje do regulace glukózy **inzulin** (hormon produkováný buňkami pankreatu), který stimuluje hepatocyty k tvorbě glykogenu z přebytečné – „nadnormativní“ glukózy;
 - glykogen je ukládán (játra a svaly) jako **glykemická pohotovostní rezerva**;
 - při poklesu hladiny glukózy (hypoglykémii) slouží glykogen jako pohotovostní rezerva tělesného cukru, ze které se glykogenolýzou doplňuje glukóza v séru na normativní hodnoty; **glykogenolýzu** spouští katecholaminy a **glukagon**;

-
- **endokrinní funkce:**
 - se podílejí (z 15-20 %) na produkci erythropoetinu a na metabolismu vitamínu D;
 - umožňují konverzi tyroxinu na trijodtyronin;
 - **detoxikační činnost hepatocytů:**
 - přeměnou/ vyloučením některých látek: alkohol, léky, některé toxiny, cholesterol, bilirubin, některé hormony – steroidy, katecholaminy) chrání organismus;
 - záchyt a odbourání poškozených a starých erytrocytů (tvorba bilirubinu);
 - eliminace některých metabolických produktů do žluči, nebo cestou krevního řečiště do ledvin – např.: *amoniak (vzniká v játrech při procesu deaminace a v tlustém střevě při činnosti některých bakterií) obsažený v krevním séru působí toxicky na buňky CNS (hovoříme o jaterní encefalopatii – hepatocyty přeměňují amoniak na ureu;*
 - Kupfferovy bb. zajišťují fagocytózou likvidaci bakterií, které přestoupily přes stěnu trávicí trubice do řečiště v. portae.
 - **rezervní a zásobní funkce jater:**
 - játra obsahují za normálního stavu asi 500 ml krve, ale při žilním přetlaku pojmu navíc dalších 400 ml krve; naopak při vazokonstrikci předají do krevního oběhu až 200 ml krve (šokové stavy aj.);
 - rezerva glukózy (viz výše);
 - v jaterní tkáni jsou zásoby vitamínů A, D (až na několik měsíců) a B₁₂ (až na několik let); obdobně je zde skladováno Fe a zásoby Cu;
 - **hemokoagulace a imunitní funkce jater:**
 - v játrech vzniká většina koagulačních faktorů, které se uplatňují v procesu krevního srážení a řada imunoglobulinů;
 - **termoregulace:** při většině chemických reakcí vytvářejí játra (jako vedlejší odpadní produkt) teplo (teplota krve v jaterních žilách je kolem 40°C).



Obr. 42 Schéma metabolismu hepatocytu.

Zevně sekreční činnost jater

Hepatocyty produkují žluč, která je odváděna do nitrojaterních žlučových cest, mimo játra pak je součástí žlučových cest i žlučník. V konečném úseku ústí ductus choledochus (poslední úsek žlučových cest) do duodena (podrobněji viz předmět ANATOMIE ČLOVĚKA). *Pro pochopení funkce žlučníku (vesica felleae) je třeba si uvědomit, že žlučový vývod ze žlučníku (ductus cysticus) je cestou, kterou žluč (cestou hlavního žlučovodu) do žlučníku vstupuje, ale je z něj i odváděna.*

Ve žlučníku se extrahuje ze žluče voda (až 90 % objemu). Koncentrovaná žluč je ze žlučníku – po požití potravy – vypuzena. *Žluč obsahuje vodu, elektrolyty, soli žlučových kyselin, bilirubin, cholesterol, lecitin a některé mastné kyseliny.*

6.2.6 Slinivka břišní (pankreas)

Slinivka břišní je tzv. retroperitoneální orgán, se dvojitým typem sekrece:

- *endokrinní (inzulin a glukagon) – do krevního řečiště, kde se podílí na regulaci hladiny glukózy – viz. výše;*
- *exokrinní (pankreatické trávicí fermenty) vylučovaná pankreatickým vývodem do duodena.*

Pankreatická exokrinní sekrece se podílí na trávení. Její produkci řídí: vegetativní nervový systém a humorální sekrece. Regulace tvorby pankreatické šťávy je složitým dějem na principu zpětných vazeb. Objem denní produkce pankreatické šťávy je 1500-2000 ml.

Pankreatická šťáva obsahuje neaktivní proenzymy (*neaktivní proto, aby nedošlo k autolýze = natrávení pankreatu*); *k aktivaci proenzymů na aktivní enzymy dochází až v tenkém střevu, působením látek obsažených ve střevním obsahu. Aktivované trávicí fermenty zajišťují:*

- proteolýzu (trávení proteinů);
- lipolýzu (trávení lipidů) – fermenty lipáza a cholesterolesteráza;
- amylolýzu (trávení sacharidů);
- nukleolýzu (štěpení nukleových kyselin).

Pankreatická šťáva dále obsahuje bikarbonáty, které pomáhají alkalizovat prostředí tenkého střeva.

6.3 Metabolismus (z řečtiny: meta – přes, balló – házím) neboli látková přeměna.

Jde o pojem látkové a energetické výměny, který definuje příjem, zpracování a využití živin od úrovně buňky, až po složité biologické systémy – organismy. Jde o soubor biochemických (enzymatických) reakcí potřebných k přeměně látek a energií uvnitř živého organismu, které slouží k tvorbě využitelné energie a tvorbě látek potřebných pro život a veškerou činnost organismu.

Podle směru probíhající metabolické změny, které se dějí s komplexní organickou molekulou, rozeznáváme v buňce proces:

- **stavební – anabolický (biosyntetický) proces; pro anabolismus je charakteristické, že při této metabolické reakci:**
 - dochází k tvorbě látek, při které se energie spotřebovává;
 - nabídka substrátů je vyšší než jejich okamžitá potřeba;
 - vytvářejí se energetické rezervy;
 - dochází k obnově a novotvorbě tkání;
 - anabolické děje převažují v situacích, kdy je tělesná aktivita omezena:
- **rozkladový – katabolický proces; katabolismus je rozklad látek za současného uvolnění energie; převahu katabolismu pozorujeme obvykle v následujících situacích, kdy:**
 - organismus ztratil své rezervy glykogenu;
 - nastupuje mobilizace nesacharidových zdrojů energie (tuků a bílkovin);
 - je vyšší aktivita sympatiku;
 - došlo ke zvýšení tělesné aktivity;
 - je třeba udržet životní funkce.

Za normálních okolností jsou anabolické a katabolické procesy v organismu obvykle v rovnováze.

Některé pojmy:

- **anabolismus** = syntéza složitějších látek z jednoduchých, spotřeba energie;
- **katabolismus** = rozklad složitých látek na jednodušší, energie vzniká;
- **esenciální látky: jde** o látky, které si tělo neumí samo vyrobit, musí je přijímat v potravě;
- **metabolismus bazální** (základní, klidový): množství energie potřebné k udržení základních životních funkcí při optimální teplotě a v klidu (v průměru: muži 6 800 kJ, ženy 5 600 kJ); pod tímto pojmem vnímáme základní procesy látkové přeměny u teplotně stabilních organismů; při měření hodnot bazálního metabolismu máme přesně stanovené podmínky: klidový režim, na lačno, při fyziologické teplotě těla a neutrální teplotě okolí (kdy nejsou zapojeny termoregulační mechanismy organismu) aj.
- **metabolismus (pracovní) celkový**: pod který zahrnujeme všechny biochemické (enzymatické) procesy uvnitř složitěho biologického systému – organismu (u člověka 12–20 000 kJ/den);
- **metabolismus buněčný**: zahrnuje všechny biochemické (enzymatické) procesy uvnitř buňky;
- **metabolismus primární**: zahrnuje základní chemické přeměny, na kterých závisí život a růst každého většiny živých organismů (savců) – metabolismus sacharidů, tuků a bílkovin;
- **metabolismus sekundární**: zahrnuje chemické procesy specifické pro jednotlivé skupiny organismů; jde o enzymatické reakce, při kterých organismus produkuje/odbourává určité specifické – obvykle nebílkovinné – chemické látky (hormony, imunitní látky, pigmenty aj.);
- **metabolity**: látky vznikající při metabolické reakci – produkty látkové přeměny, které mohou být v organismu využity, ale i látky které organismus již nezpracuje a jsou vyloučeny.

Při definování metabolismu pracujeme ještě s dalšími pojmy (někdy hovoříme o různých metabolických úrovních – drahách); jde o procesy, které jsou pro všechny živé organismy, anebo alespoň pro jejich velkou skupinu, přibližně podobné.

Bazální metabolismus. Hodnota bazálního metabolismu závisí především na věku, pohlaví a velikosti těla a případných patologických stavech. Bazální metabolismus lze stanovit:

- pomocí nepřímé kalorimetrie;
- odhadnout výpočtem (u dospělého člověka) v jednotkách megajoulů (MJ) pomocí empirického vzorce: $MB \text{ (v MJ)} = \text{hmotnost (v kg)} \times 0,1$;
- pomocí měření tzv. **bioimpedance** (vodivosti/odporu tkání).

6.3.1 Základní zdroje pro metabolické procesy

Lidé stejně jako savci využívají jako energetické zdroje látky (živiny) obsažené v potravě. Živiny jsou rozkládány trávením (mechanickými a enzymatickými procesy) na látky jednodušší, které jsou schopny prostoupit sliznicí trávicího traktu a vstřebat se do krevního a lymfatického řečiště. Jako základní živiny slouží:

- „cukry“ (sacharidy): štěpí se na jednoduché cukry (monosacharidy) – nejvýznamnější **glukóza**;
- tuky (lipidy): štěpí se na **mastné kyseliny** a **glycerol**;
- bílkoviny (proteiny): štěpí se na **aminokyseliny**.

Tyto trávením vzniknuvší jednoduché nutriční látky, přestupují přes střevní sliznici a uvnitř organismu vstupují do složitých transformačních procesů intermediárního metabolismu, při kterém dochází (dalšími

enzymatickými reakcemi) k přeměně energie na především na adenosintrifosfát (ATP), který slouží jako využitelný zdroj pro buňky organismu.

Základním procesem, který směřuje k získání energie produkcí ATP z glukózy, je tzv. glykolýza (postupné štěpení molekul glukózy), která nejdříve začíná tvorbou pyruvátu – kyselina pyrohroznová); přítomnost kyslíku pak určuje další průběh glykolýzy, která může probíhat formou:

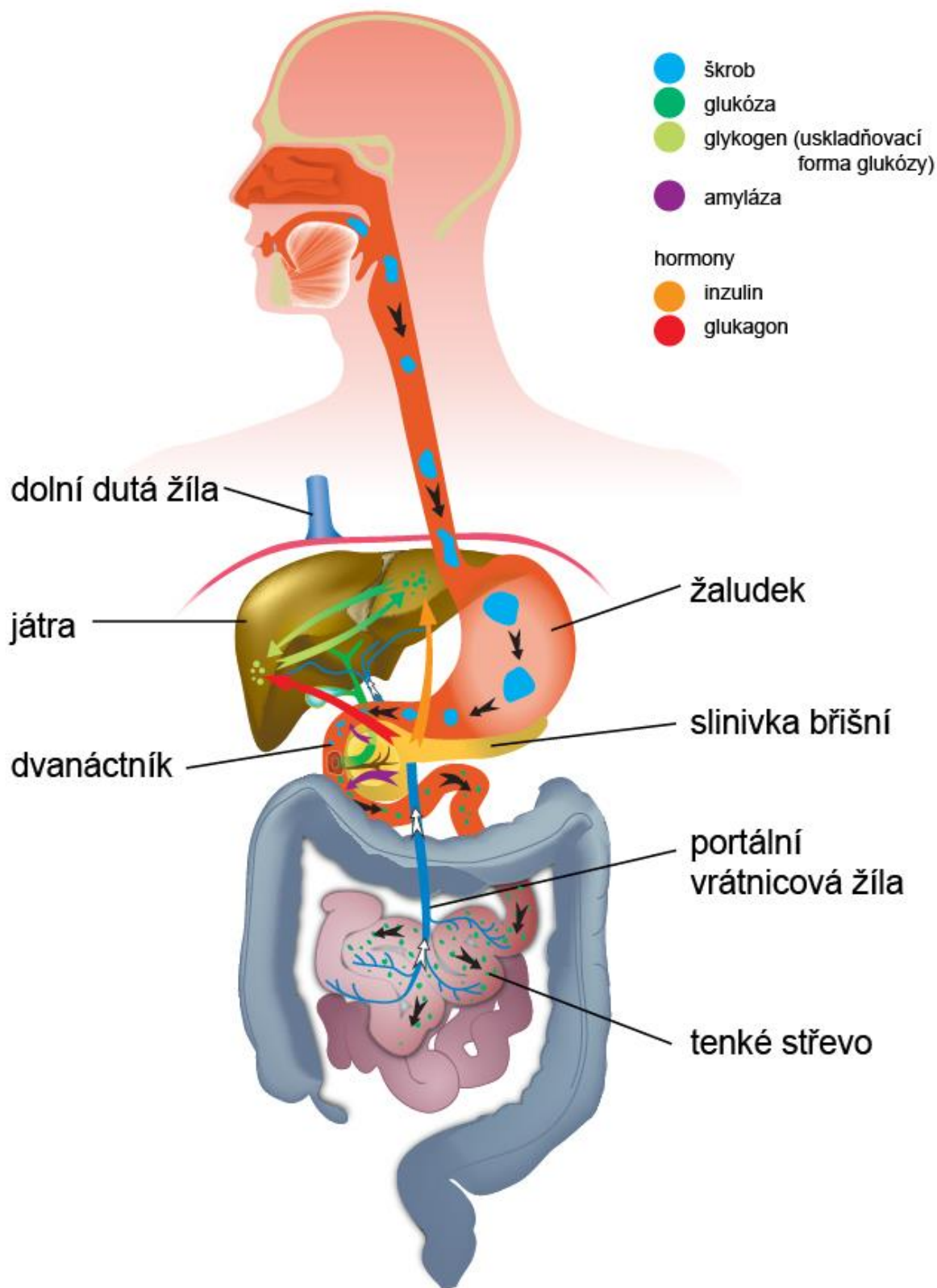
- aerobní (při dostatku kyslíku, který je do tkání přenesen transportními systémy – především hemoglobinem): kyselina pyrohroznová se mění na acetylkoenzym A, který vstupuje do cyklu chemických reakcí kyseliny citrónové – Krebsův cyklus (kompletní oxidace acetylkoenzymu A), kdy z jedné molekuly glukózy vzniká 36 molekul ATP; vedlejším produktem je CO₂ a voda;
- anaerobní (při nedostatku kyslíku): kyselina pyrohroznová se mění na kyselinu mléčnou => sůl kyseliny mléčné (laktát) => 2 molekuly ATP.

6.3.2 Metabolismus jednotlivých složek potravy

SACHARIDY – v potravě jsou obsaženy převážně polysacharidy, které jsou při trávení rozloženy na jednoduché sacharidy (převážně glukóza), které slouží jako okamžitý zdroj produkce energie pro buňky.

Glukóza – stručné informace (uvedené hodnoty platí pro průměrného dospělého člověka):

- stálá hladina glukózy v krvi: 4,4–6,7 mmol/l;
- při zvýšení na 10 mmol/l se glukóza objevuje v moči (glykosurie) – glukóza se v ledvinách chová jako typická „prahová“ látka;
 - za běžných podmínek je glukóza vstřebaná z potravy využita: denní potřeba glukózy: minimálně 160 g, optimum 300–500 g (mozek 120 g, svaly v klidu 30–100 g);
 - odbourává se štěpením (spalováním) na oxid uhličitý a vodu – 50-60 %;
 - slouží mj. k:
 - tvorbě energetických rezerv – přestavba na tuk – 30–40 %;
 - syntéze glykogenu – 5 %;



Obr. 43 Metabolismus škrobu.

TUKY – vnímáme jako energetickou rezervu. Jejich zásoba (dospělý, zdravý člověk má asi 10 kg tuků) stačí na 1 měsíc. Z trávicího traktu se vstřebávají převážně ve formě mastných kyselin. Stručná informace:

- **obsah cholesterolu** v krevním séru – do 5,18 mmol/l, patologické hodnoty přes 6,18 mmol/l;
- **význam tuků:**
 - umožňují vitamínům A, D, E, K (lipofilní, rozpustné v tucích) vstup do těla;
 - *přivádějí esenciální mastné kyseliny;*
 - *energetická zásoba (v podkoží je uloženo asi 90 % celkového objemu tuku);*
 - *součást buněčných membrán (cholesterol);*
- **tuky jsou sloučeniny trojsytného alkoholu glycerolu s mastnými kyselinami (MK):**
 - *glycerol + 3 molekuly MK => triacylglycerol (neutrální tuk);*
 - *glycerol + 2 molekuly MK + kyselina fosforečná => fosfolipidy;*
 - *tvorba MK: z glukózy v játrech a v tukové tkáni;*
 - **nasycené MK (jednoduché vazby):**
 - tělo si je dokáže vyrobit samo (z cukrů a tuků živočišného původu);
 - místo tvorby – játra, tuková tkáň;
 - **nenasycené MK (dvojnásobné vazby) – esenciální MK si tělo samo vytvořit nedokáže (jsou obsaženy v potravě rostliny, ryby aj.):**
 - rostl. – k. linolová, k. linolenová, k. arachidonová
 - ryby – k. likozapentaneová, k. dokozahehexanová
- transport tuků (**samostatné tuky nejsou rozpustné ve vodě**) lymfou a krví; hustota částic je závislá na množství bílkoviny v ní obsažené:
 - *vazba na albuminy krevní plazmy – lipoproteiny;*
 - *vazba na fosfolipidy – cholesterol – slučují se s vodou – transport*
- **VLDL** (very low density lipids): lipoproteiny o velmi nízké hustotě: *přenos neutrálního tuku z jater do tkání – „zlé“*
- **LDL** (low density lipids): lipoproteiny o nízké hustotě: *přenášejí cholesterol z míst jeho vstřebávání a tvorby v játrech do tkání – „zlé“*
- **HDL** (high density lipids): lipoproteiny o vysoké hustotě => *přenos cholesterolu z tkání do jater, kde je vylučován do žluči – „hodné“*
- **cholesterol:** součást buněčných membrán, nutný k tvorbě žlučových kyselin a některých hormonů, *celkový obsah v těle je asi 100 g.*

Při některých patologických stavech může dojít k významné redukci tukové tkáně: až o 95-97 % (*hladovění, podvýživa kvantitativní/kvalitativní, mentální anorexie/bulimie aj.*).

BÍLKOVINY – základní stavební látky našeho organismu

- v lidském těle je cca 20 základních aminokyselin;
- *neustálá obnova (syntéza/resyntéza) bílkovin v lidském těle (u dospělého člověka denně asi 250–500 g); při odbourávání část aminokyselin:*
 - *ztratí aminovou skupinu (deaminace) => amoniak => poté močovina (asi 20–30 g/den);*
 - *se rozpadá: vazba uvolněného dusíku do molekuly močoviny;*
 - *se přeměňuje: bílkoviny buněčného jádra: puriny (součást nukleových kyselin – z masa) se přeměňují na kyselinu močovou (0,25 g/den), která je ve vodě hůře rozpustná; tento stav vede k chorobě: tzv. dna (pakostnice);*
- *nedostatek plnohodnotných bílkovin v potravě vede k hypoproteinemii s těžkými nutričními, a dalšími následky v podobě kvalitativní, i kvantitativní podvýživy se všemi důsledky.*

Zcela nezbytnou součástí ke správnému průběhu metabolických pochodů v našem organismu jsou (mimo základní složky potravy – cukry, tuky a bílkoviny) ještě některé další látky, které vnímáme jako nezbytné součásti tzv. **racionální nutrice**.

Optimální skladba racionálního jídelníčku, by měla obsahovat nezbytné složky potravy:

- živiny (cukry, tuky, bílkoviny);
- cukry 60 %, tuky 25 %, bílkoviny 15 % z celkového denního příjmu potravy, přičemž: potřeba bílkovin činí 1g/1kg hmotnosti těla (u dětí, těhotných, podvyživených a těžce pracujících – aktivních sportovců s přiměřenou korekcí >);
- racionální složení jídelníčku – příjem bílkovin: rostlinné × živočišné bílkoviny v optimálním poměru (přísné vegetariánství u dětí a těhotných je nevhodné – rostlinná strava neobsahuje esenciální aminokyseliny(!));
- dostatek vody – za normálních okolností u dospělého člověka dávka 1500-2500 ml;
- vitamíny (látky, které se účastní/spouštějí/ jsou nezbytné pro řadu metabolických reakcí – nejčastěji jako koenzymy; rozeznáváme vitamíny, které jsou ve vodě:
 - rozpustné ve vodě => lehce se uvolňují z potravy při jejím zpracování a vstřebávají se snadno střevní sliznicí střeva do krve; jde o vitamíny komplexu B a dále vitamín C;
 - nerozpustné ve vodě – rozpustné v tucích => pro jejich resorpci je nezbytná účast lipidů – vitamíny A, D, E, K;
 - Doporučené dávky vitamínů jsou součástí všech nutričních tabulek; je třeba dávat pozor jak na skrytou vitamínovou depleci, tak na stavy předávkování vitamíny.
- minerální látky:
 - *vápník: 1–1,5 kg, z toho 99 % v kostech a zubech; informace k vápníku:*
 - *vázán na endoplazmatické retikulum*
 - *aktivace svalového stahu*
 - *přenos nervového podráždění*
 - *syntéza bílkovin*
 - *ovlivňuje propustnost buněčných membrán*
 - *(nedostatek) křeče, svalové záškuby, osteoporóza*
 - *potřeba – cca 0,8 g/den*
 - *sodík: váže na sebe vodu; informace k sodíku:*
 - *udržuje objem extracelulární tekutiny;*
 - *podílí se na dráždivosti tkání;*
 - *udržuje membránový potenciál;*
 - *funkce při přenosu nervového podráždění;*
 - *nechutenství, zvracení, svalová slabost, křeče, poruchy vědomí;*
 - *potřeba: 3–4 g/den;*
 - *draslík: pro normální činnost buněk, nezbytný pro srdce a plíce; informace k draslíku:*
 - *aktivuje enzymy;*
 - *udržuje membránový potenciál;*
 - *prevence aterosklerózy a hypertenze;*
 - *snížený svalový tonus, dráždivost až ochrnutí, spavost, zácpa, nízký TK, arytmie až zástava;*
 - *potřeba: 2–4 g/den;*
 - *fosfor: všude v těle jako součást kys. fosforečné (600 g v kostech v kombinaci s Ca):*
 - *ovlivňuje činnost NS, kosterní a srdeční svaloviny, metabolismus všech živin;*
 - *přeměna a přenos energie (ATP);*
 - *součást enzymů, fosfolipidy, nukleových kyselin;*

- celková slabost, nevolnost, zvracení, arytmie, poruchy dýchání;
- potřeba: 0,9 g/den;
- hořčík: v kostech spolu s Ca a P (50–70 % Mg):
 - aktivace enzymů – přenos energie;
 - normální funkce nervové soustavy a srdce;
 - vasodilatační schopnost;
 - arytmie, zvýšená svalová dráždivost, křeče, svalový třes, deprese, zmatenost, zvýšení TF;
 - potřeba: 0,25 g/den;
- **stopové prvky** (standardní hodnoty v lidském organismu):
 - železo: 15 mg /den muži, 18 mg/den ženy; nedostatek => anémie, oslabení imunity;
 - zinek: 3,3–5 mg/den (maso, mouka); nedostatek => anémie, nehojení ran, ztráta vlasů, porucha růstu a reprodukce;
 - měď: 0,5–1,5 mg/den (luštěniny, játra, maso, zelí, kakao); nedostatek => poruchy erytropoézy;
 - jód: 0,1–0,2 mg/den (mořské ryby, jod); nedostatek => struma, poruchy CNS
 - mangan: 0,3–0,8 mg/den (zelenina, ořechy, játra, ledviny); nedostatek => svalová ochablost (ataxie), poruchy růstu, křeče, poruchy metabolismu tuků;
 - kobalt: < 1 mg/den (luštěniny, kořenová zelenina, ořechy); nedostatek => porucha krvetvorby (součást kobalamínu);
 - selen: 40–200 mg/den (játra, maso, med, celozrnné pečivo); nedostatek => zvýšené toxické účinky kyslíku, rtuti a kadmia;
 - fluór: 10–15 mg/den (pitná voda; nedostatek => zvýšený výskyt zubního kazu; při překročení norm. hodnot: skvrnitá zubní sklovina, poruchy vývoje kostí;
 - vanad – luštěniny, ovoce, zelenina, ořechy, oleje; nedostatek => hypercholesterolémie, porucha tvorby zubní a kostní tkáně;
 - chróm (má antioxidační účinky) – (v běžné potravě); nedostatek => ataxie, hyperlipemie, zvýšená potřeba inzulínu;

Důležité

- Život v biosféře je postaven na principu metabolismu.
- Regulace trávení probíhá na principech zpětných vazeb.
- Trávicí trakt člověka je evoluční výhodou.
- Role trávicího traktu je multifunkční.
- HCl – role trávicí a ochranná.
- Játra a pankreas jako multifunkční orgány.
- Funkce jater a pankreatu.
- Principy metabolických pochodů a jejich regulace.
- Základní zdroje pro metabolické procesy.
- Metabolismus jednotlivých složek potravy.
- Optimální skladba stravy.
- Význam vitaminů, stopových prvků.

7 Tělní tekutiny

Obsah kapitoly:

7.1 Úvod do kapitoly

7.2 Extracelulární tekutina

7.3 Krev

7.4 Lymfa

Po přečtení této kapitoly, by si měl znát a umět logicky využít poznatky:

- o významu a obsahu tekutin v tkáních i mimo tkáně,
- o významu a obsahu krve a lymfy,
- o základech regulace množství tekutin.

Klíčová slova:

Tělní tekutiny (intracelulární tekutina, extracelulární tekutina), voda, krev, krevní plazma, krevní elementy (erythrocyty, leukocyty, trombocyty), krevní skupiny (0, A, B, AB), lymfa

7.1 Úvod do kapitoly

Tělní tekutiny jsou médiem mnoha důležitých látek v lidském těle. Kapalně skupenství a objem tekutin umožňuje přesuny vody a v ní obsažených látek uvnitř, dovnitř a ven z buněk, tkání a orgánů.

Základem obsahu tekutin organismu je voda. V ní jsou rozpuštěny, vázány nebo volně uloženy zdroje energie (např. glukóza), stavební látky (např. bílkoviny), minerální látky, produkty metabolismu, mediátory regulačních systémů (např. hormony) a imunity (protilátky), dýchací plyny a další látky.

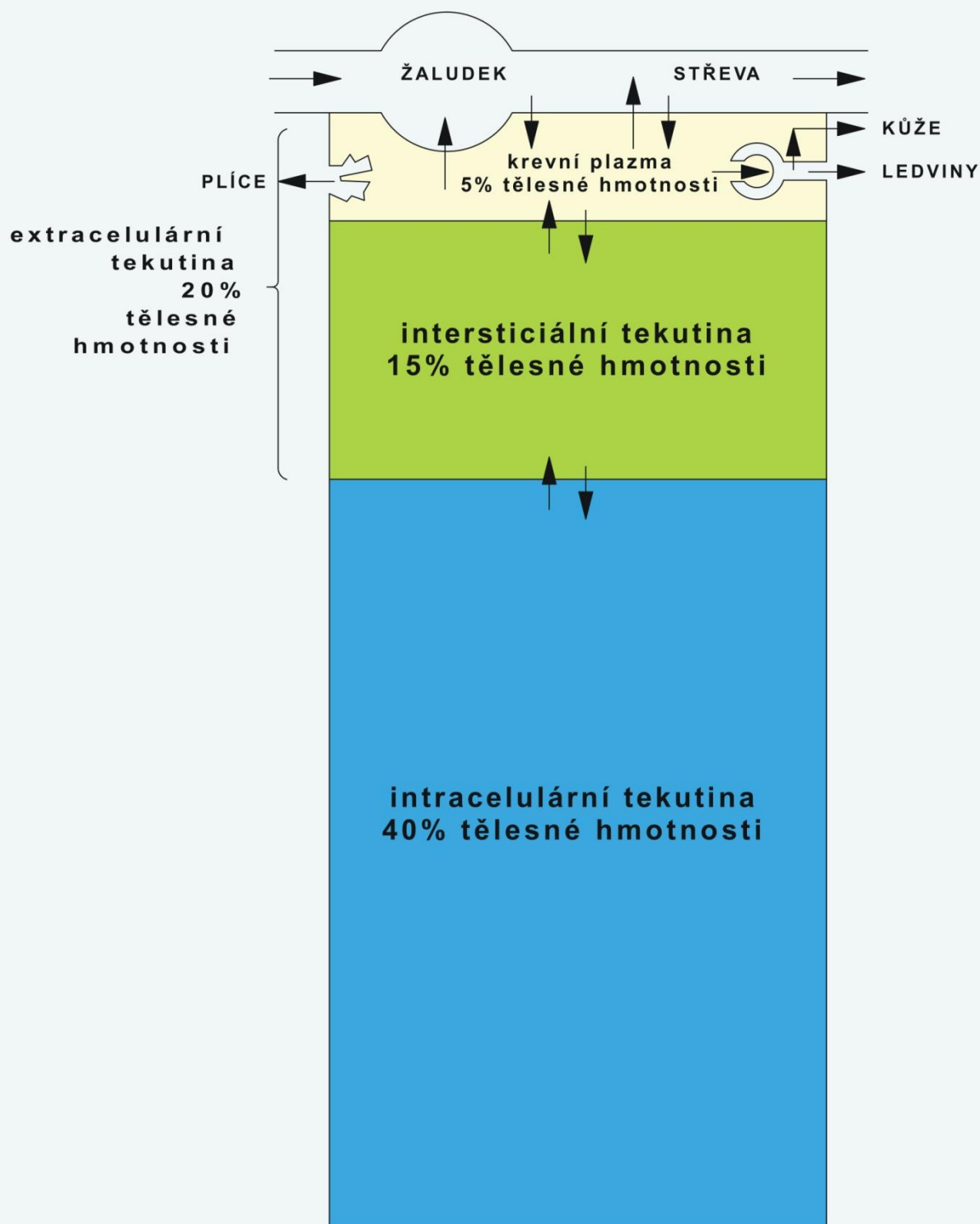
Tekutiny vyplňují vnitřní prostředí organismu a podle vymezených prostorů je lze rozdělit (obr. 44) na

- tekutiny uvnitř v buňkách - **intracelulární** (ICT) a
- tekutiny mimo buňky – **extracelulární** (ECT). Mezi extracelulární tekutiny patří také krev a lymfa.

Lze také hovořit o tekutinách tkáňových a mimotkáňových:

- Tkáňové tekutiny tvoří intracelulární a mezibuněčné (intersticiální) tekutiny.
- Mimotkáňové tekutiny jsou tvořeny krví a lymfou a tekutinami dutých orgánů.

Z výměnných cév krevního oběhu (kapiláry a postkapiláry) je filtrováno přibližně 20 l tekutin denně do intersticia (do tkání). Z toho asi 18 l se vrací žilami do krve přímo a zbylé 2 l oklikou přes lymfatický systém.



Obr. 44 Rozdělení tělních tekutin.

Rozhraní mezi jednotlivými oddíly tekutin tvoří polopropustné membrány buněk. Póry v membránách štěrbinami mezi buňkami dobře prochází voda, ionty a menší organické látky. Membrány nejsou pasivně propustné pro krvinky a větší molekuly bílkovin.

Přenos látek mezi buněčnou, mezibuněčnou a mimobuněčnou tekutinou zabezpečují různé mechanismy od pasivního přechodu, závislejícím na hydrostatickém tlaku a koncentračním spádu, až po aktivní transport za spotřeby energie.

7.2 Extracelulární tekutina (ECT)

Rozmístění ECT

Extracelulární tekutinu tvoří

- tkáňová tekutina mezibuněčná (intersticiální),
- tekutina v prostorách dutin orgánů trávicí soustavy (tekutina v jícnu, žaludku, střevě, žlučovodech a žlučníku),
- ledvin (moč v pánvičkách, močovodech a močové rouře),
- dýchací soustavy (hlen na povrchu sliznic dýchacích cest a plicních sklípků),
- oběhové soustavy (krev v srdečních dutinách a cévách) a
- prostor mezi orgány trupu (hrudní a břišní dutina),
- v končetinách (např. synoviální tekutina v kloubních štěrbinách).

Vlastnosti ECT

Stálost „vnitřního moře“ ECT je životně důležitá pro existenci a fungování všech buněk.

Organismus se snaží udržet, především pomocí ledvin a plic, potřebné vlastnosti extracelulární tekutiny

- *osmolalitu* (chemické napětí - tonicita),
- *objem* a
- *specifické iontové složení*.

Poznámky:

Osmolalita je množství osmoticky aktivních látek v jednotce hmotnosti rozpouštědla.

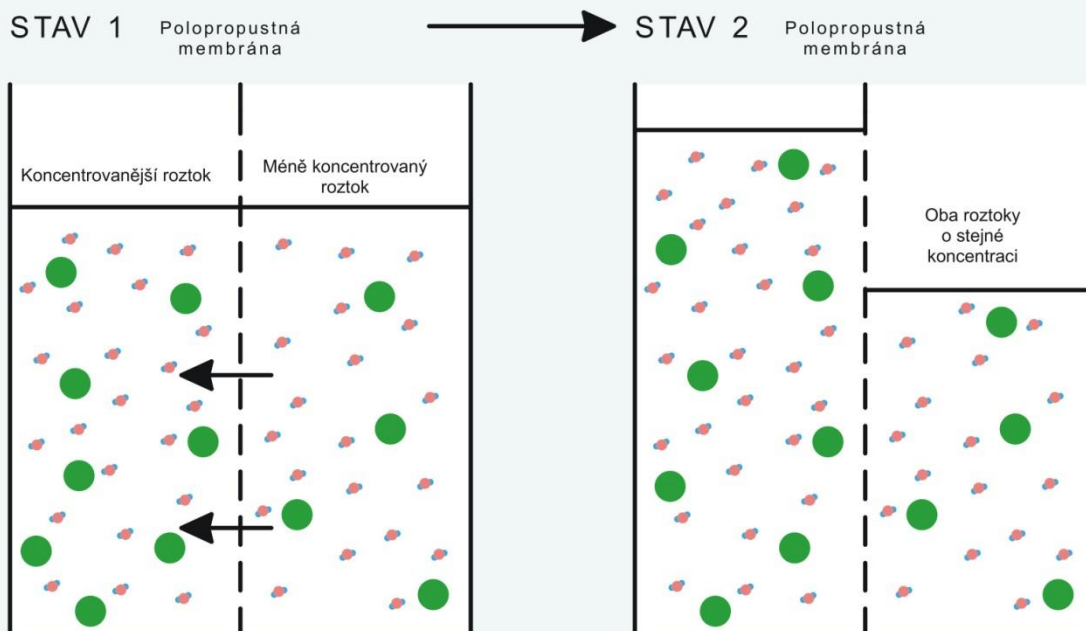
Osmóza je typ pasivního transportu, při kterém přestupuje voda přes polopropustnou membránu z prostoru s méně koncentrovaným roztokem do prostoru s více koncentrovaným roztokem.

OSMÓZA

● Rozpuštěná látka

● Rozpouštědlo

← Směr difuze rozpouštědla (vlastní osmóza)



Obr. 45 Osmóza.

Změny osmolality ECT a mechanismy její ochrany

U zdravého člověka kolísá osmolalita plazmy mezi 280 a 295 mosm.l⁻¹.

a) **V případě zvýšené osmolality** (při zvýšeném příjmu a koncentraci látek, ztrátách a nedostatku vody)

- se objevuje *pocit žízně, který nutí člověka přijmout tekutiny.*
- Současně dochází k aktivaci neurohormonálního systému *hypotalamus* → *hypofýza* (ADH – antidiuretický hormon) → *zadržování vody v ledvinách* s následným udržením objemu krevní plazmy a dalších tekutin. (Tvoří se méně moči a je více koncentrovaná.)

b) **Při snížené osmolalitě** (např. v důsledku nadměrného příjmu vody a ztrát iontů) klesá sekrece ADH a v ledvinách se uvolňuje více vody z krve do moči. (Tvoří se více moči a je méně koncentrovaná.)

Zmenšení objemu ECT a mechanismy jeho ochrany

Zmenšení objemu ECT (hypovolémie, hypohydratace, dehydratace) může být způsobeno průjmy, zvracením, zvýšeným močením a pocením, krvácením. Klesá krevní tlak. Pro udržení objemu se uvolňuje mineralokortikoid *aldosteron, hormon kůry nadledvin, který stimuluje zadržování sodíku a vody v ledvinách.*

Vybrané ionty ECT a mechanismy jejich regulace

- Sodík **Na⁺**: V případě jeho nedostatku *nervově-hormonální systém hypotalamus* → *hypofýza* (*ACTH - adrenokortikotropní hormon*) → *kůra nadledvin* → *aldosteron* → *zadržování sodíku*

v ledvinách. Tubulární reabsorpci Na^+ v ledvinách ovlivňují i další hormony, např. kůry nadledvin, natriuretický faktor srdečních síní, angiotenzin II.

- Draslík K^+ : Regulace jeho výdeje a reabsorpce v tubulech ledvin se odvíjejí od jeho aktuálních koncentrací v ledvinách a změn koncentrací Na^+ a H^+ . (Více je v kapitole o ledvinách.)
- Vápník Ca^{2+} :
 - V případě snížení koncentrace Ca^{2+} v plazmě *příštítná tělíska* uvolňují *parathormon*, který aktivuje kostní buňky (osteoklasty) k odbourávání kostní tkáně, z níž se uvolňuje Ca^{2+} . Parathormon nepřímo podporuje resorpci vápníku ve střevě a ledvinách.
 - V případě zvýšení koncentrace Ca^{2+} v plazmě se uvolňuje *calcitonin*, hormon C-buněk štítné žlázy, který tlumí aktivitu osteoklastů, a tím podporuje zadržování Ca^{2+} v kostech.
 - V kůži vzniká, vlivem ultrafialového záření, *calcitriol*, který stimuluje resorpci Ca^{2+} ve střevě a mineralizaci skeletu.

7.3 Krev

Krev je složitá tekutina ve vnitřním prostoru krevního oběhu (krevních cév a srdce).

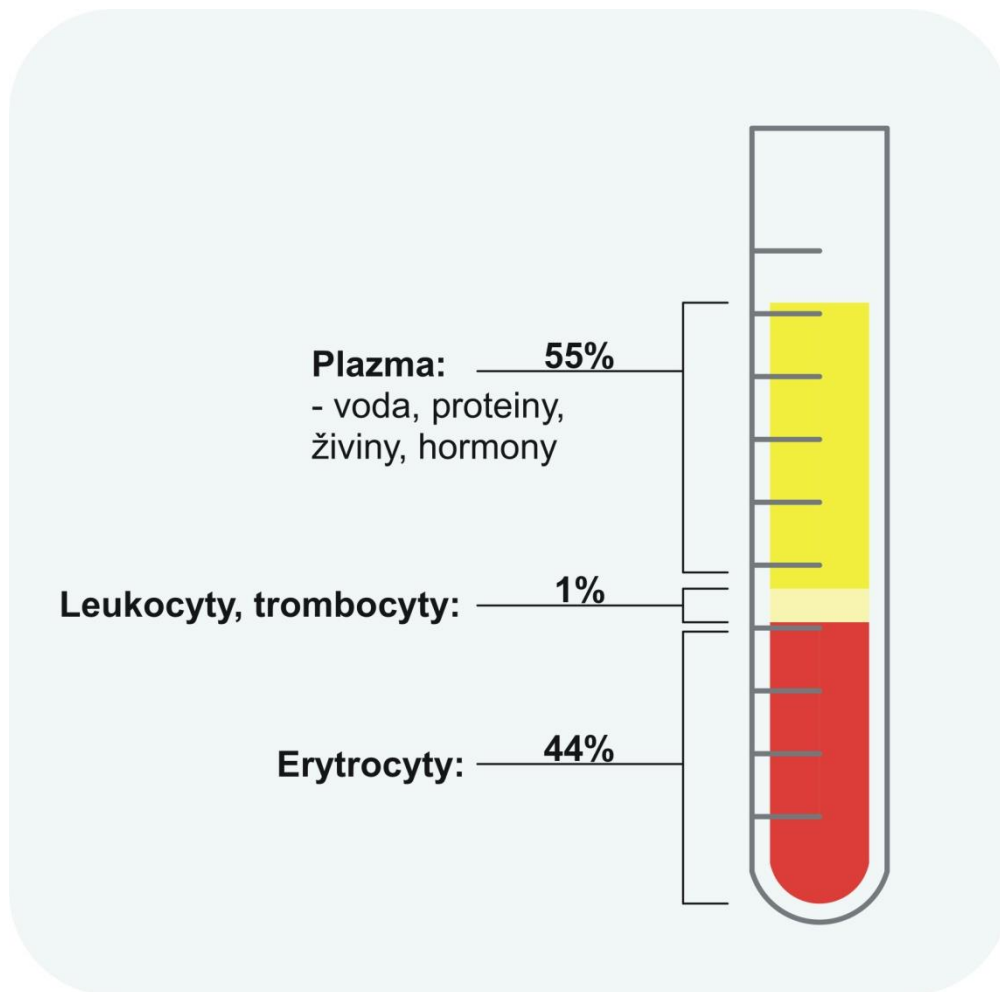
Celkový objem krve je dán součtem objemů krevních tělísek a krevní plazmy. U dospělého člověka je v průměru 3,6 l u žen a 4,5 l u mužů.

Složení a funkce krve (obr. 46)

- **Krevní plazma** je tekutou složkou krve. Obsahuje a po celém těle přenáší v ní rozpuštěné látky:
 - dýchací plyny,
 - stavební a energetické substráty - proteiny, lipidy, sacharidy, produkty metabolismu,
 - signální látky – hormony,
 - součásti látkové imunity (protilátky aj.),
 - bílkoviny systému pro a proti srážení krve,
 - látky pro udržení acido-bazické rovnováhy,
 - další nezbytné látky - vitaminy, minerály atd.
- **Krevní tělíska** (krvinky, krevní elementy):
 - Červené krvinky – *Erythrocyty (Ery)*. Obsahují hemoglobin, ve kterém přenášejí dýchací plyny (O_2 a částečně CO_2) a podílejí se na udržení acido-bazické rovnováhy.
 - Bílé krvinky – *Leukocyty (Leu)* jsou podstatnou součástí imunitního systému. Rozoznáváme neutrofilní, eozinofilní a bazofilní *granulocyty*, *monocyty* a *lymfocyty*.
 - Krevní destičky – *Trombocyty (Tro)*. Mají úlohu ve srážení krve.

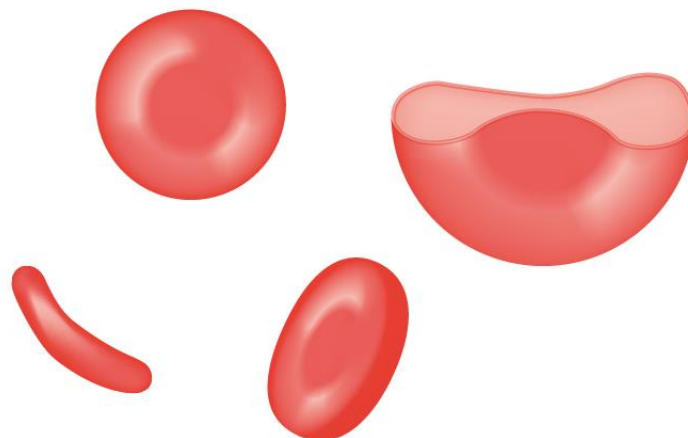
Podíl mezi objemem krevních tělísek a objemem krevní plazmy se nazývá **hematokrit** (Hct) – obr. 45, tab. 6. U žen hematokrit 37 - 47%, u mužů 42 - 52%.

Krev přenáší teplo. Podílí se na termoregulaci.



Obr. 46 Objemový podíl složení krve.

Erytrocyty (obr. 47, tab. 6) vznikají z prekurzorů v červené kostní dřeni, kde je jejich tvorba stimulována hormonem ledvin – *erythropoetinem*. Zvýšená tvorba a uvolňování erythropoetinu je reakcí na nižší množství kyslíku v krvi s cílem zvýšit kapacitu pro přenos kyslíku hemoglobinem v erytrocytech. Doba života erytrocytů je kolem 120 dnů. Staré erytrocyty jsou destruovány ve slezině a jejich zbytky likvidovány ve slezině, játrech a kostní dřeni. (Více je v kapitole o dýchání.)



Obr. 47 Erytrocyty.

Leukocyty (obr. 48, tab. 6) vznikají jak v kostní dřeni, tak v brzlíku (thymu), ve slezině a v mízních uzlinách. Jejich tvorba, diferenciaci a přesuny jsou odezvou na přítomnost cizorodých látek a mikroorganismů, které se snaží zlikvidovat. (Více je v kapitole o imunitním systému.)



Obr. 48 Leukocyty.

Trombocyty jsou vlastně úlomky buněk, které vznikají v kostní dřeni za stimulace hormonem z jater - trombopoetinem. Mají důležitou roli ve srážlivosti krve.

Železo (Fe)

Dvě třetiny z celkového množství Fe jsou vázány na hemoglobin v Ery, ¼ tvoří zásobní železo (ferritin a hemosiderin) a zbytek je funkční železo v myoglobinu, enzimech apod.

Ke ztrátám dochází u žen při menstruacích, v těhotenství a při porodu. Další příčinou je krvácení.

Příjem železa se děje jeho vstřebáváním především ve dvanáctníku (duodenu). Je regulován množstvím železa v krvi a ovlivněn množstvím v potravě a nápojích. Denní příjem Fe by měl být mezi 10 – 20 mg; nejvíce u žen, méně u dětí a nejméně u mužů. Hlavním zdrojem jsou maso a ryby. Nedostatek železa tlumí syntézu hemoglobinu.

Tab. 6 Průměrné hodnoty hematokritu a vybraných složek krve dospělých osob.

	♂	♀
Hematokrit	0,40 – 0,54	0,37 – 0,47
Počet erytrocytů ($10^{12} \cdot l^{-1}$ krve = $10^6 \cdot \mu l^{-1}$ krve)	4,6 – 5,9	4,2 – 5,4
Koncentrace hemoglobinu ($g \cdot l^{-1}$ krve)	140 - 180	120 - 160
Celkové množství Fe v těle (g)	5	2
Počet leukocytů ($10^9 \cdot l^{-1}$ krve = $10^3 \cdot \mu l^{-1}$ krve)	3 – 11 (z toho 63% granulocyty, 31% lymfocyty, 6% monocyty)	
Počet trombocytů ($10^9 \cdot l^{-1}$ krve = $10^3 \cdot \mu l^{-1}$ krve)	170 - 360	180 - 400
Plazmatické bílkoviny ($g \cdot l^{-1}$ séra)	66 – 85 (z toho 55-64% albuminu)	

Reologické vlastnosti krve

- **Viskozita** (vnitřní třecí síla/odpor tekutiny při jejích pohybech) se zvětšuje s vyšším hematokritem a snižuje s narůstající rychlostí proudění krve.
- **Dostatečná průchodnost krve** (průtok) cévami. Nejmenší kapiláry mají průměr pod 5 μm . Průchodnost je podmíněna relativně nízkou viskozitou krve, která je umožněna *flexibilitou tvaru malých bezjaderných Ery*. Tato viskozita je asi jen 2x větší než viskozita krevní plazmy. Průchodnost drobnými cévami podporuje skutečnost, že *elementy jsou unášeny ve středním proudu*, uprostřed průsvitu cév.

Krevní skupiny

Membrány červených i bílých krvinek obsahují antigeny krevních skupin – **aglutinogeny**.

Současně u lidí existují v krevní plazmě protilátky proti cizím aglutinogenům – **aglutininy**.

Nejvýznamnější jsou antigeny a protilátky **AB**, kde je krevní skupina určena právě přítomným aglutinogenem.

Dalším systémem krevních skupin je např. systém rhesus faktor (**Rh**), který je dán přítomností (Rh^+) nebo nepřítomností (Rh^-) určitých znaků na povrchu erytrocytů.

Inkompatibilita krve v systému ABO

K inkompatibilitě (nesnášenlivosti) dochází v případě setkání krvinek s protilátkou proti jejímu antigenu.

Např. při kontaktu krvinky nesoucí antigen „A“ s protilátkou „anti-A“. Pak dojde ke shlukování napadených krvinek (aglutinaci) a jejich rozpadu (hemolýza) – tab. 7.

Tab. 7 Inkompatibilita krevních skupin v systému ABO.

Vysvětlivky: Šedá políčka – inkompatibilní kombinace krevních skupin (dochází k aglutinaci); bílá políčka – kompatibilní kombinace krevních skupin (nedochází k aglutinaci).

		Krevní skupiny			
		0	A	B	AB
		s protilátkami v krevní plazmě			
		anti-A anti-B	anti-A	anti-B	
Krevní skupiny (antigen na erytrocytu)	0				
	A				
	B				
	AB				

Krevní srážlivost (koagulace) a fibrinolýza

Krevní srážlivost je mechanismus **ochrany proti krvácení**, kterého se účastní *krevní destičky (Trombocyty), plazmatické faktory a cévní stěna*. Koagulačních faktorů v destičkách a plazmě je velké množství. Patří mezi ně i vitamin K a ionty vápníku Ca^{2+} .

Při koagulaci dochází k přilepení (adheze) trombocytů k cévní stěně, k jejich dalšímu shlukování (agregace) a vytvoření krevní sraženiny (**trombus**), která ucpe otvor. Takto vytvořená zátka je zpevněna a fixována pomocí bílkovinné hmoty (**fibrin**).

Fibrinolýza, při níž dochází k rozpuštění fibrinu, je mechanismus **pro rozpuštění krevní sraženiny** a obnovení krevního průtoku.

7.4 Lymfa

Lymfa (tkáňový mok, míza) je tekutina v dutém systému lymfatických cév a uzlin.

Obsah lymfy

- Z periferních tkání do lymfy proniká voda a bílkoviny.
- Ze střev se do lymfy dostávají ve vodě nerozpustné lipidy.
- Významnou součástí lymfatické tekutiny jsou elementy imunitního systému – lymfocyty.
- Lymfa obsahuje srážlivé faktory.

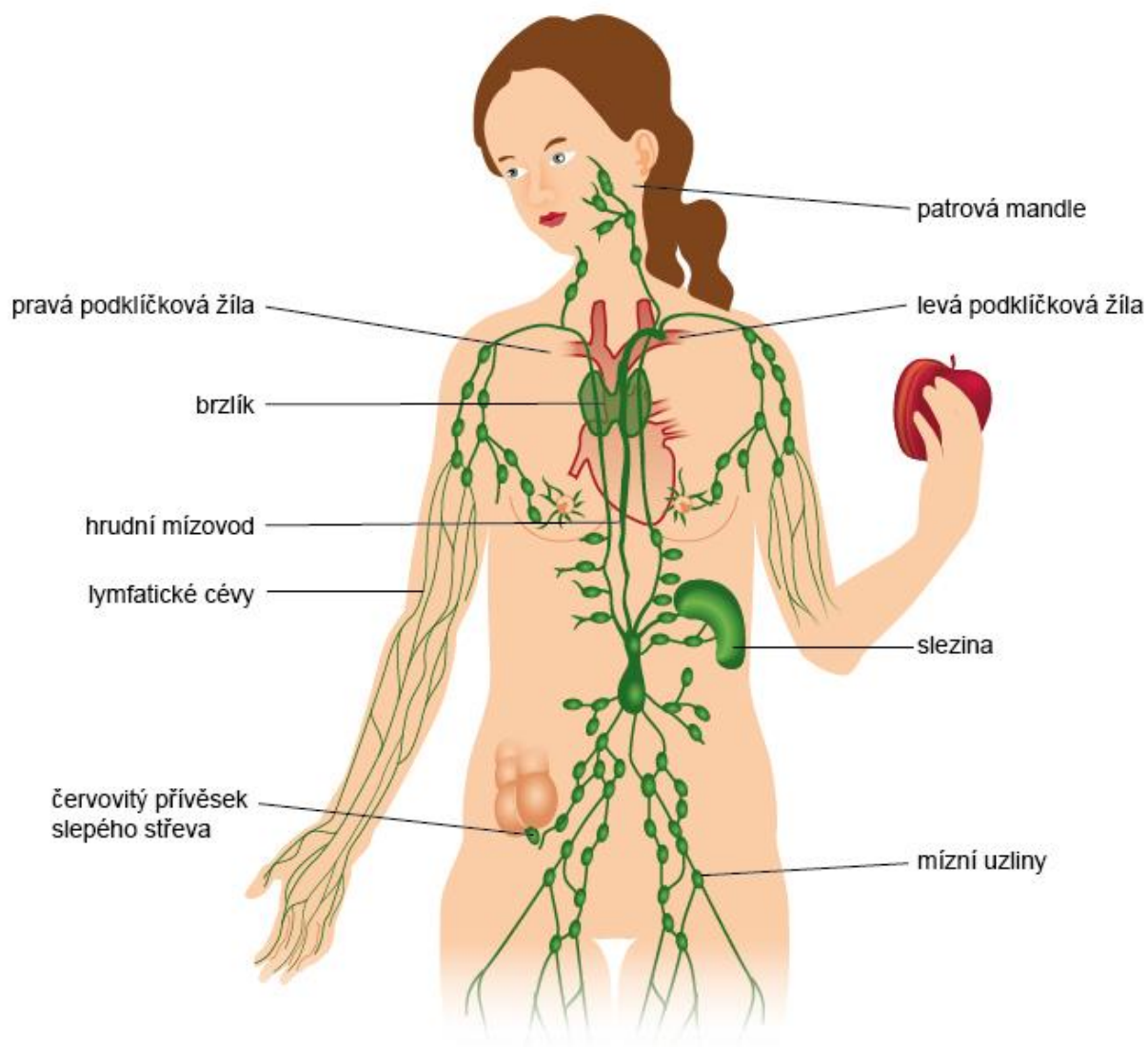
Lymfatické cévy a uzliny

- Na začátku lymfatického systému, v periferních tkáních, jsou nejdrobnější mízní cévy.
- Drobnější cévy se spojují ve větší cévy. Tyto cévy vytvářejí síť a v jejich průběhu jsou umístěny mízní uzliny. Orgány končetin, břišní a hrudní dutiny, krku i hlavy mají své příslušné spádové sítě a uzliny.
- Z nich je lymfa odváděna do dvou velkých koncových kmenů, které ústí do velkých žil (podklíčkové žíly).

Lymfatický systém

Lymfatický systém je tvořen lymfoidními orgány, obsahujícími hojně lymfocyty: Brzlík (thymus), kostní dřeň (medulla ossium), lymfatické uzliny (lymphonodi), slezina (lien), lymfoidní tkáň sliznic (např. hltanu) a mandle (tonzila; patrová a jazyková), červovitý výběžek slepého střeva (appendix).

V tomto systému dochází k množení, diferenciaci a zrání lymfocytů a k imunitním procesům.



Obr. 49 Lymfatický systém.

Důležité

- Voda tvoří většinu hmoty těla. Jsou v ní rozpuštěny různé organické a anorganické látky.
- Tekutý obsah buněk je prostředím, ve kterém jsou uloženy a fungují buněčné organely.
- Tekutiny v mimobuněčném prostoru (krev, lymfa, moč atd.) jsou prostředím pro důležité látky i buňky (kyslík, bílkoviny, protilátky, hormony, ionty, erytrocyty, leukocyty atd.).
- Voda a látky tekutin mají tendenci se pasivně přesunovat (i přes membrány) tak, aby byla všude stejná koncentrace látek (z místa větší koncentrace do místa s menší koncentrací).
- Krev je přenašečem kyslíku a oxidu uhličitého a dalších látek po celém těle.
- Lymfa absorbuje hůře rozpustné látky z periferních tkání, protéká mízními cévami a vtéká do krevního řečiště. Je součástí imunitního systému.
- Tekutiny pasivně a okamžitě přizpůsobují svůj tvar a velikost a lze je lehce rozdělit a pohybovat jimi. Srdce pumpuje krev do celého těla.

8 Krevní oběh

Obsah kapitoly:

8.1 Úvod do kapitoly

8.2 Přehled funkcí krevního oběhu

8.3 Krevní cévy

8.4 Srdce

8.4.1 Funkční morfologie srdce

8.4.2 Převodní systém srdeční

8.4.3 Směr proudění krve srdcem

8.4.4 Srdeční revoluce

8.4.5 Echokardiografie (ECHO, (ultra)sonografie srdce)

8.4.6 Elektrokardiografie a elektrokardiogram (EKG)

8.5 Krevní průtok tělesnými orgány

8.6 Řízení krevního oběhu

Po přečtení této kapitoly, by si měl znát a umět logicky využít poznatky:

- o funkcích krevního oběhu jako celku,
- fungování krevních cév a srdce,
- zajištění krevního průtoku, tlaku a jejich regulaci.

Klíčová slova:

Krevní oběh, krevní cévy (tepny, žíly, vlásečnice), srdce (komory, síně), koronární tepny, srdeční chlopně, síňový uzel (sinoatriální), síňokomorový uzel (atrioventrikulární), systola, diastola, minutový objem srdeční, systolický objem, srdeční frekvence, echokardiografie (EKG), krevní tlak

8.1 Úvod do kapitoly

Krevní oběh má mimořádně důležitou úlohu pro udržení života člověka.

Distribuuje krev a v ní obsažené látky do všech periferních tkání. Je vlastně téměř univerzálním transportním systémem mezi tkáněmi a orgány, které tyto látky přijímají ze zevního prostředí a vydávají ven z těla, nebo si je mezi sebou vyměňují. (Viz také kapitola 2. Homeostáza vnitřního prostředí.)

Krvi, lymfě a lymfatickému oběhovému systému jsou věnovány odstavce v kapitole 7. Tělní tekutiny.

Součásti krevního běhu

Krevní oběh zajišťuje systém trubic různého průměru – **cévy** (lat. vasa). Tekutý obsah tohoto systému - **krev** (řec. haema) – uvádí do pohybu velmi výkonná pumpa - **srdce**. (lat. cor).

Přehled oběhu krve

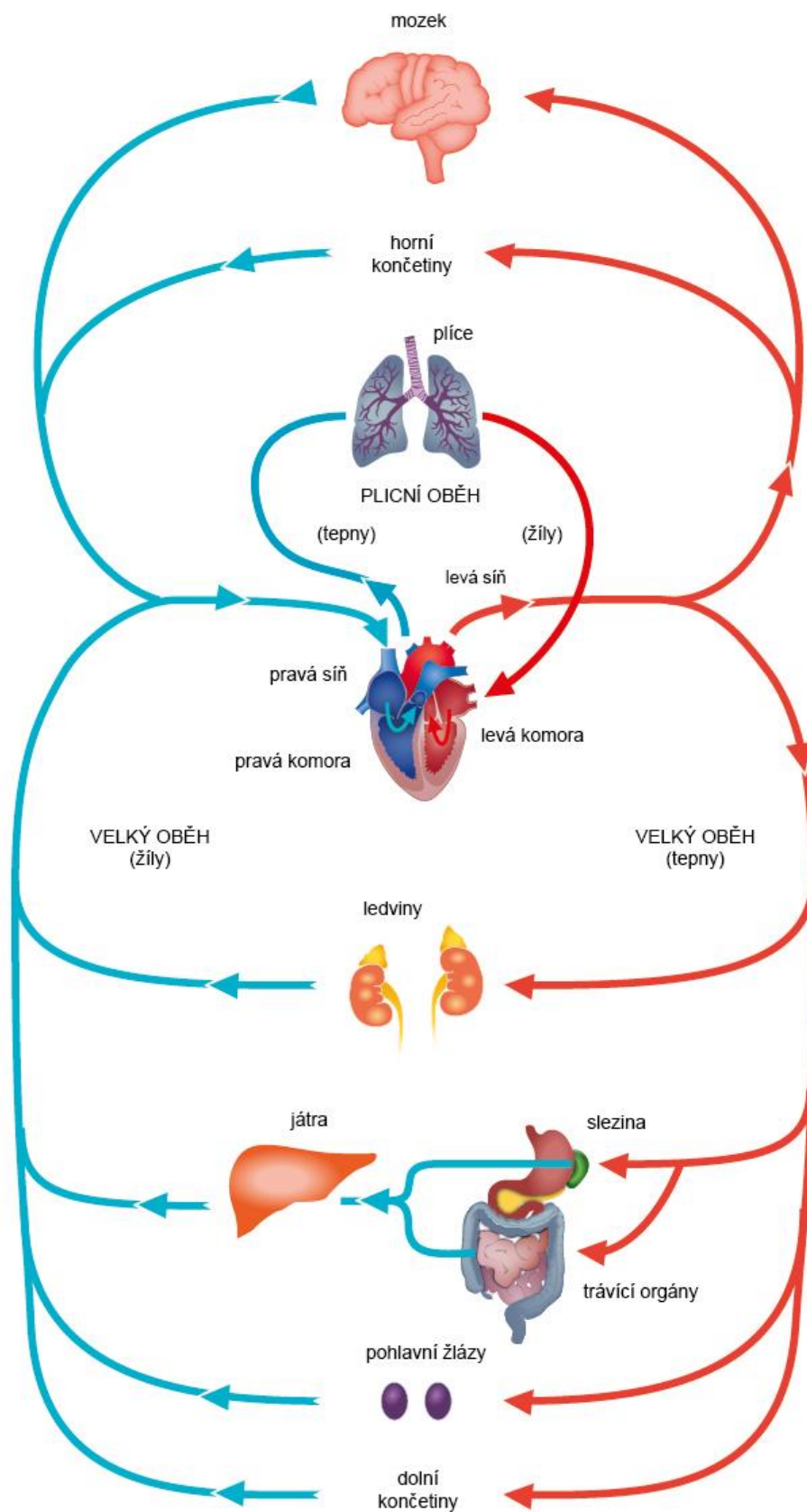
1. Krev začíná proudit v pohonné jednotce - **srdci**.
2. Od srdce k periferním tkáním vedou krev **tepny**.
3. Ve tkáních jsou **vlásečnice**, kde dochází k výměně látek mezi krví a tkáněmi.
4. Od tkání zpět k srdci vedou krev **žíly**.

Velký a malý krevní oběh

Celý tělní oběh tvoří dva zvláštní oddíly (obr. 50):

- **Velký krevní oběh**, rozvádějící krev po všech tkáních. V tomto oběhu je v tepnách více O₂ a méně CO₂ než v žilách.
- **Malý (plicní) krevní oběh** je speciální. Přivádí krev k plicním sklípkům, kde dochází k výměně kyslíku a oxidu uhličitého se vzduchem ze zevního prostředí.

Velký a plicní oběh na sebe navazují (v srdci). Protéká jimi stejné množství krve.



Obr. 50 Velký a malý (plicní) krevní oběh.

8.2 Přehled funkcí krevního oběhu

Krevní oběh ovlivňuje činnost všech tělních tkání, orgánů a soustav, protože jim přináší nezbytné látky - vodu, zdroje energie a kyslík a další.

- **Transport** vody, látek a energie po celém těle:
 - Přenáší vodu, živiny a další látky z trávicí roury (žaludek, dvanáctník, tenké a tlusté střevo) do jater a ostatních orgánů k jejich dalšímu zpracování.
 - Krevní oběh přináší buňkám energii.
 - Přenáší zmíněné důležité látky mezi jednotlivými orgány v těle.
 - Odvádí produkty metabolismu a odpadní látky do ledvin, kde jsou vylučovány ven z těla. (Viz také kapitoly 10. Vylučování a 7. Tělní tekutiny.)
 - Je součástí transportního systému pro dýchací plyny: Přebírá v plicích kyslík a předává jim oxid uhličitý. Tyto plyny přenáší mezi plicemi a periferními tkáněmi, s nimiž si tyto plyny také vyměňuje. (Viz také kapitola 9. Dýchání)
 - Přijímá obsah lymfatického systému z mizních kmenů a přenáší jej k jiným orgánům. (Viz také kapitola 7. Tělní tekutiny)
 - Přenáší tepelnou energii mezi centrálními částmi těla, svaly a povrchovými částmi těla (kůže).

- Podíl na **udržení stálosti vnitřního prostředí** (homeostáze):
 - udržení zdrojů energie,
 - udržení teploty,
 - udržení acidobazické rovnováhy,
 - udržení iontové rovnováhy,(Viz také kapitola 2. Homeostáza vnitřního prostředí.)

- Podíl na **řídících funkcích**:
 - Přenáší pokyny z řídících center k podřízeným orgánům, např. hormony hypofýzy ke žlázám s vnitřní sekrecí.
 - Informuje řídící centra o stavu a funkcích podřízených orgánů, např. nižší krevní koncentrace hormonu podřízené žlázy je signálem pro aktivitu nadřízeného centra. (Viz také kapitoly 3. Nervová soustava a 4. Hormonální soustava.)

- Podíl na **odolnosti organismu vůči cizím látkám a infekci** (imunitě)
 - Bílé krvinky (leukocyty), které jsou součástí krve, mají na starosti mechanismy buněčné i látkové imunity. Krevní plazma obsahuje protilátky. Krví jsou také přenášeny signální látky imunitního systému atd. (Viz také kapitoly 7. Tělní tekutiny a 13. Imunitní systém)

8.3 Krevní cévy

Krevní cévy jsou *trubicovité orgány, kterými proudí krev*.

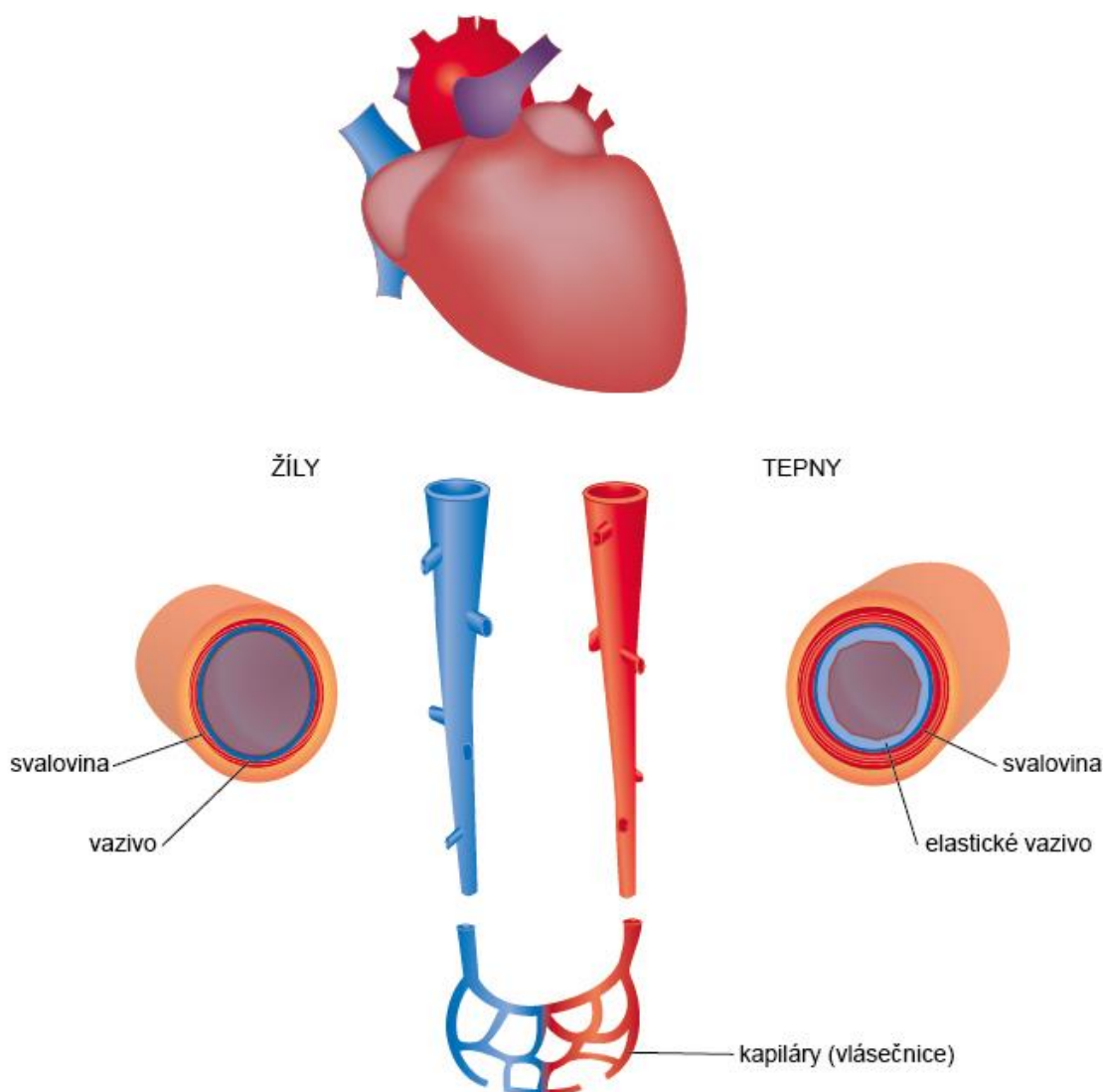
Cévy mají určité **vlastnosti**, aby byl zajištěn správný proud a tlak krve ve všech částech krevního oběhu a umožněn přestup vody, látek a elementů v periferních tkáních:

➤ **Základní příčný rozměr cév (průměr):**

- Blíže k srdci je průměr větší a k periférii menší.
- Drobné přívodné cévy (tepénky, prekapiláry) mají **schopnost aktivně měnit svůj průměr** zúžením (vazokonstrikce) nebo roztažením (vazodilatace).

➤ **Cévní stěny** mají určité fyzikální vlastnosti:

- **Pevnost** (rigidita), **pružnost** (elastičita): Tepny mají větší pevnost a pružnost než žíly.
- **Prostupnost**: Velké, střední a malé cévy jsou kompaktní, neprůchodné. Nejdrobnější cévy v periferních tkáních (kapiláry a postkapilární venuly) mají ve stěnách póry a jsou částečně prostupné.



Obr. 51 Krevní cévy.

Tepny (artérie, lat. arteriae), **tepénky** (arterioly)

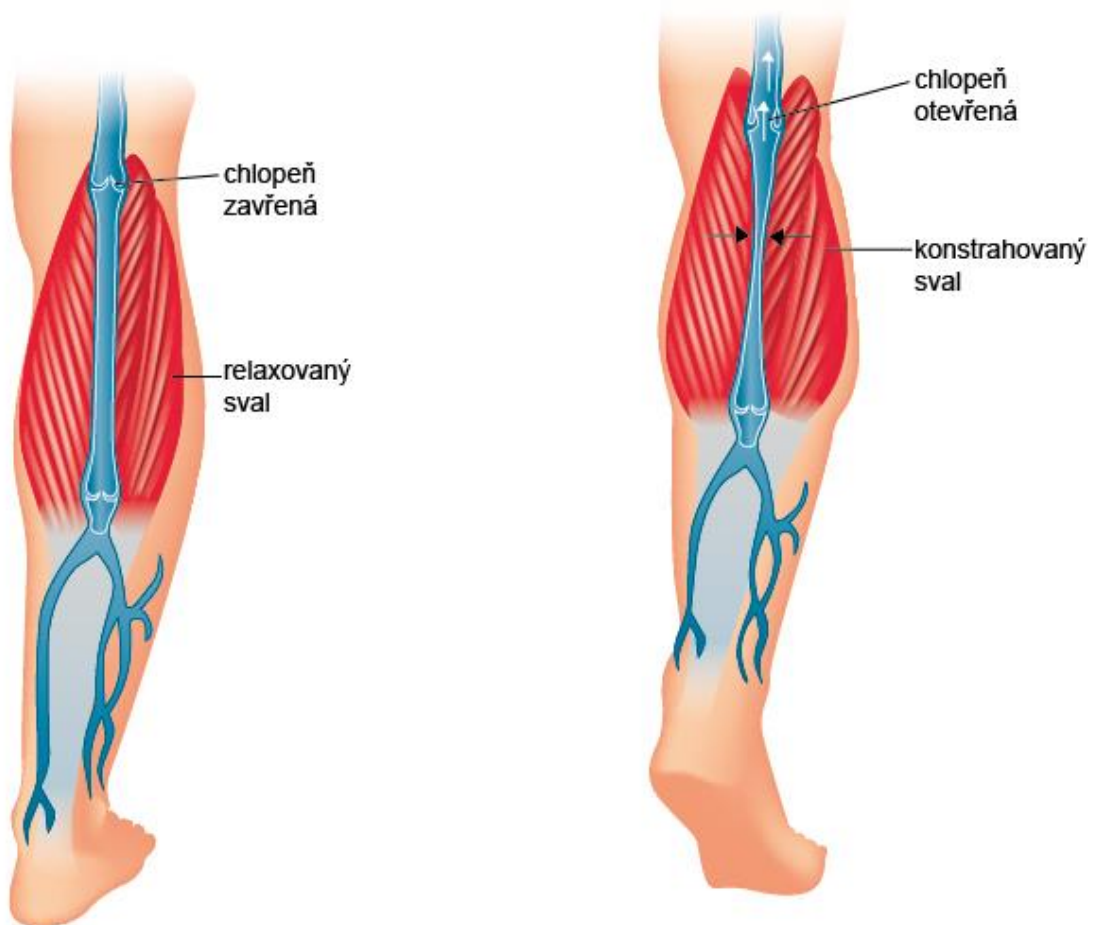
- Tepny jsou cévy bezprostředně navazující na srdce. Vedou krev od srdce k periferním tkáním (k orgánům), ve velkém i plicním oběhu.
- Díky jejich pružnosti vzniká při vypuzení krve ze srdce tepová (pulzní) vlna, která se rychle šíří, a také slábne, směrem k periférii.
- Tepny se od srdce k periférii postupně zužují.
- Ve velkém oběhu udržují dostatečný tlak (periferní rezistence) vůči krvi a srdci a tím podporují přestup vody a látek z krve (z cév) do buněk (do tkání).
- Ve stěnách tepen je mohutnější vazivová vrstva, která ji činí pevnější a pružnější.
- Ve stěnách tepen je uložena příčná vrstva hladké svaloviny, která svojí kontrakcí zmenší průměr tepny a tedy i průtok krve.

Vlásečnice (kapiláry, lat. capillares)

- Vlásačnice jsou nejdrobnější cévy oběhového systému v prostoru periferních tkání, s nimiž si vyměňují vodu a další látky.
- Vlásačnice mají nejmenší průměr, nejtenčí stěnu, mají póry a jsou polopropustné.

Žíly (vény, lat. venae), **žilky** (venuly)

- Žíly odvádějí krev z periferních tkání (od orgánů) k srdci, ve velkém i plicním oběhu.
- Střední a velké žíly mají ve svém průběhu poloměsíčitě chlopně, které brání zpětnému toku krve. Dovolují tok krve pouze směrem k srdci. V končetinách kontrakce svalů stlačují žíly a „pumpují“ tak krev směrem k srdci.
- V žilách je nízký krevní tlak, který od periférie k srdci ještě klesá a v blízkosti srdce je i negativní tlak (podtlak). Krev je zde srdcem nasávána.
- Periferní drobné žíly mají malý průměr a směrem k srdci jsou širší. Žíly nemají svalovou vrstvu a nedokáží měnit svůj průsvit.
- Ve stěnách žil je slabší vrstva vaziva. Proto mají menší pevnost a pružnost. Méně odolávají hydrostatickému tlaku krve.
- Nejdrobnější žilky (postkapilární venuly) jsou porézní - částečně prostupné. Malé a velké žíly jsou téměř nepropustné.
- V končetinách je povrchový a hluboký žilní systém. Povrchové žíly, prostřednictvím spojek, ústí do hlubokého systému.
- V žilách je celkově větší objem krve než v tepnách; žilní řečiště je určitým krevním rezervoárem.



Obr. 52 Žilní chlopně a svalová pumpa.

8.4 Srdce

Srdce je zvláštní svalnatý orgán, který funguje jako pumpa. Pohání krev v krevním oběhu. Při svém každém smrštění (kontrakce, systola) vypuzuje krev do navazujících největších tepen velkého i plicního oběhu. Při svém uvolnění (relaxace, diastola) nasává krev z velkých žil, z velkého i plicního oběhu.

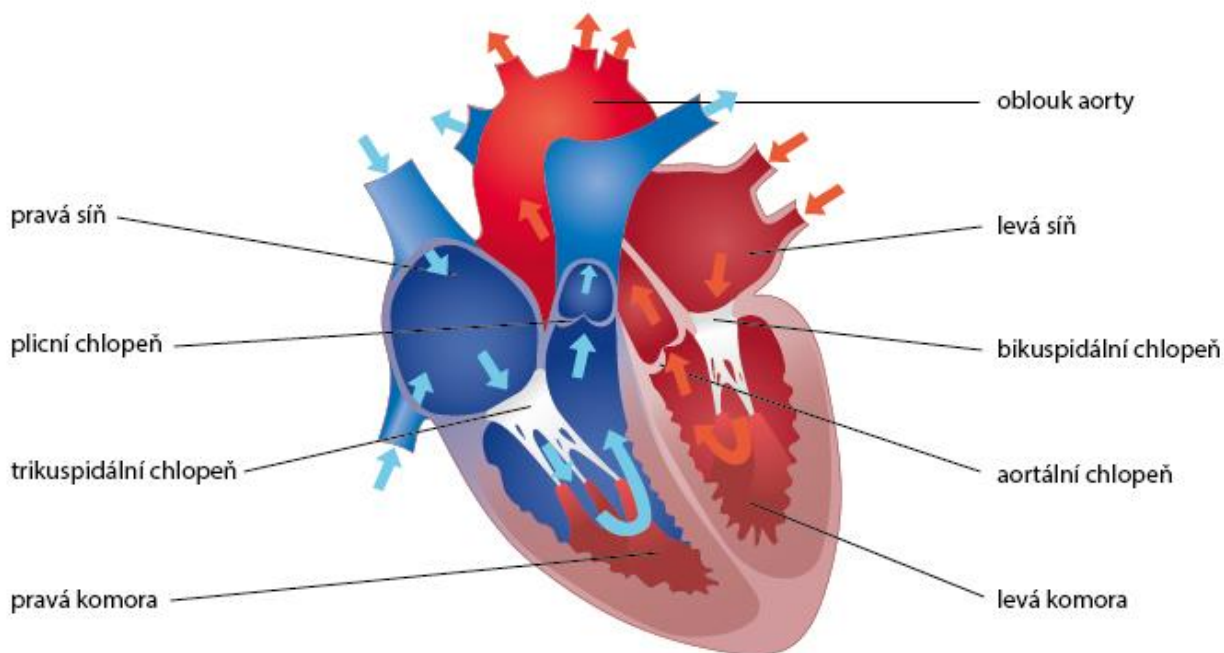
Aktivita srdce odpovídá nárokům periferních tkání na dodávku kyslíku, energie atd. Srdce je řízeno autonomním nervovým systémem.

8.4.1 Funkční morfologie srdce

Stavba a součásti srdce

- Srdce je tvořeno svalovinou – **myokardem**.
- Uvnitř srdce jsou **4 dutiny**: Pravá síň s navazující pravou komorou, levá síň s levou komorou. Mezi všemi dutinami jsou **přepážky**: 1 mezisíňová, 1 mezikomorová a síňokomorová pravá a levá.

- Ve vstupech a výstupech komor jsou umístěny **chlopně**, jejichž základ má oporu ve speciálních vazivových prstencích.
- Vnitřní stěnu srdce tvoří tenká vrstva slizničních buněk (nitroblána, **endokard**).
- Zevní stěna je tvořena serózní blánou (**epikard**).
- Srdce je uloženo v tekutém prostředí dutiny zvláštního vazivového vaku (osrdečník, **perikard**).
- Srdce má pro svoje vlastní zásobování zvláštní krevní oběh: **koronární tepny a srdeční žíly**.
- Elektrický potenciál, který stimuluje kontrakce srdeční svaloviny, se šíří z **převodního systému srdečního**.



Obr. 53 Srdeční oddíly, srdeční chlopně a směr toku krve.

Myokard je zvláštní příčně pruhovaná svalová tkáň, která tvoří podstatnou část srdce.

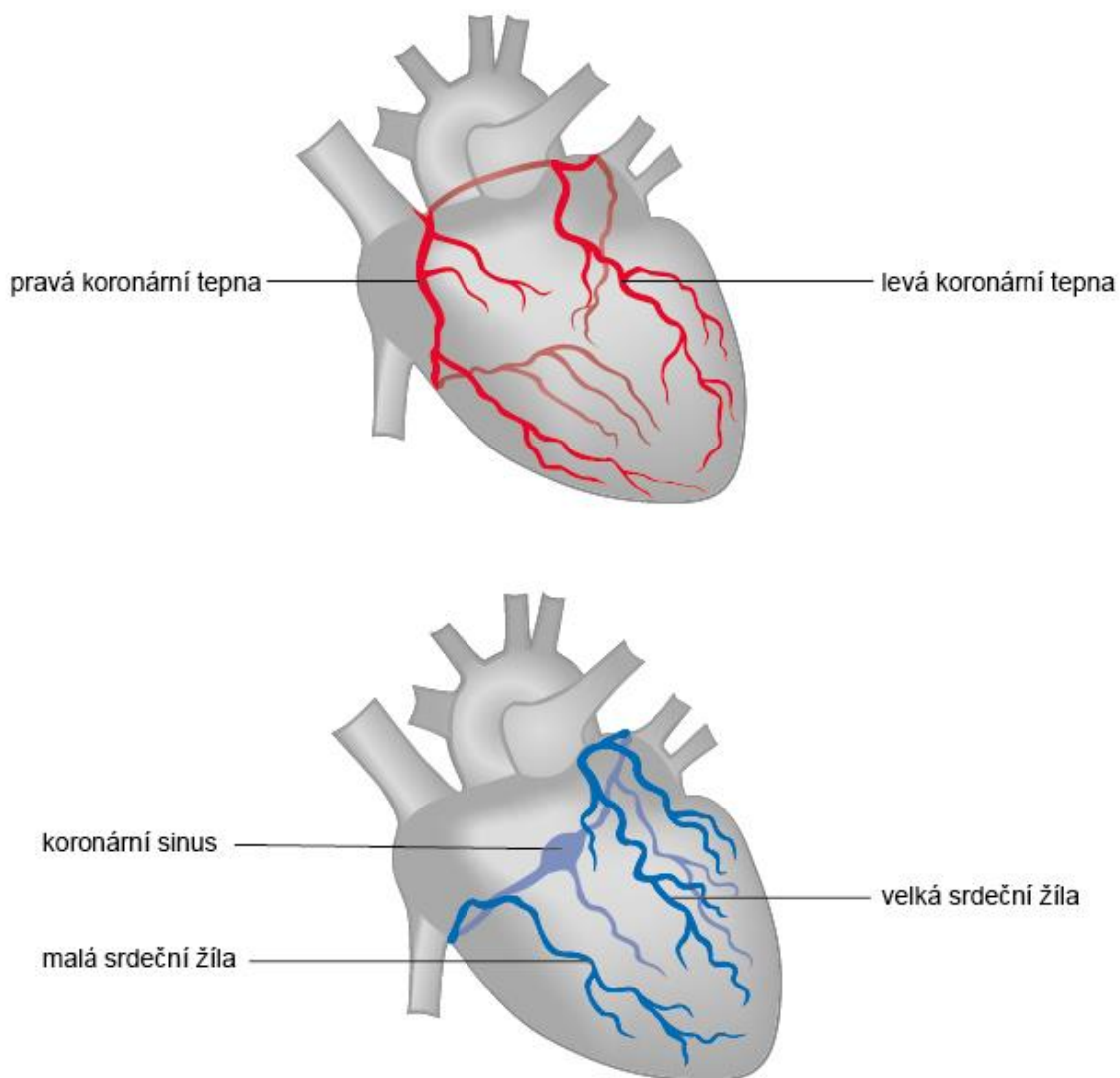
- Buňky myokardu (srdeční myocyty) jsou vzájemně propleteny, vytvářejí síť - syncytium.
- Při své aktivitě zpracovávají zdroje energie (mastné kyseliny, glukóza, laktát, aminokyseliny) **oxidativně** (aerobně), tj. za spotřeby O₂.
- Myokard má schopnost
 - reagovat na podráždění elektrickým impulzem z převodního systému srdečního (**dráždivost**),
 - šířit elektrický potenciál dále po svých buňkách (**vodivost**),
 - vytvořit vlastní elektrický impuls (**automacie**).
- Myokard je schopen stažení - **kontrakce** po podráždění elektrickým potenciálem a následného uvolnění - **relaxace**.

Koronární tepny a srdeční žíly.

- **Koronární tepny** přivádějí krev se zdroji energie a kyslíkem k pracující tkáni myokardu (ne do dutin srdce). Jsou dvě: Pravá a levá koronární tepna. Jejich začátek je těsně nad výstupem srdečnice (aorty) z levé komory. Tyto tepny se rozvětvují tak, že pravá tepna vyživuje oblast pravé a zadní části myokardu a levá tepna oblast levé a přední části myokardu.

-
- **Srdeční žíly** odvádějí krev z tkáně myokardu. Žíly se spojují ve větší, z nichž většina přechází v největší žílu (sinus coronarius), která ústí do pravé síně. Některé žíly stěny pravé komory a další drobné žilky mohou ústít do pravé síně samostatně.

Tyto tepny i žíly mají vlnkovitý průběh, aby mohly měnit svoji délku při kontrakcích a relaxacích myokardu.



Obr. 54 Koronární tepny a srdeční žíly.

Srdeční chlopně

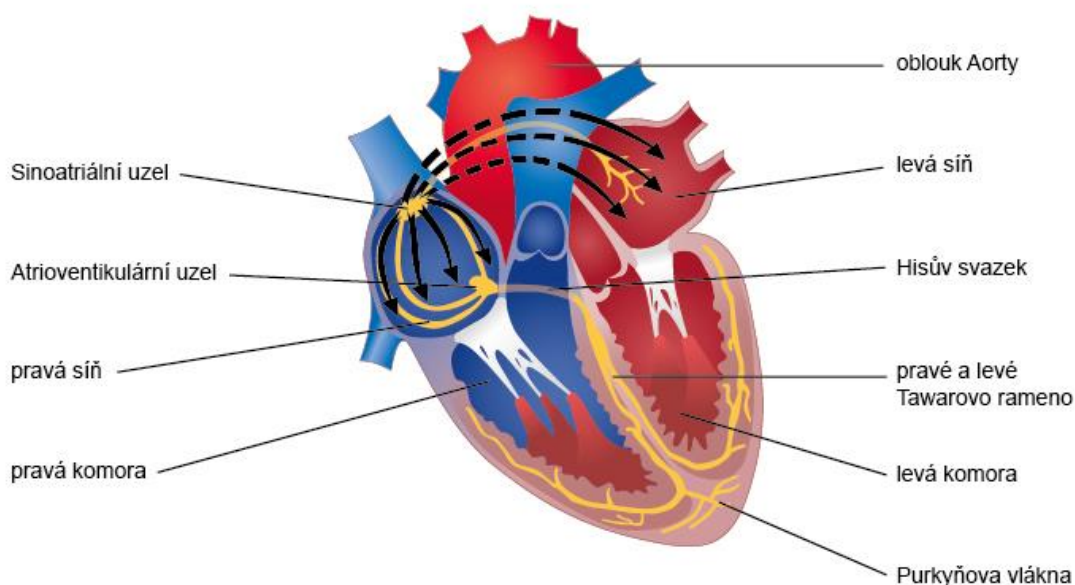
Chlopně brání zpětnému toku krve - umožňují krvi proudit pouze jedním směrem: Ze síní do komor a z komor do tepen. (obr. 53)

- Na rozhraní síní a komor jsou chlopně cípaté – vpravo trojcípá (valva tricuspidalis), vlevo dvojcípá (valva bicuspidalis = valva mitralis).
- Při odstupech velkých tepen ze srdečních komor jsou chlopně poloměsíčitě – vpravo plicní (valva trunci pulmonalis) a vlevo aortální (valva aortae).

8.4.2 Srdeční převodní systém

Převodní systém je tvořen shluky a svazky specializovaných srdečních buněk, v nichž se elektrický akční potenciál šíří velmi rychle („bleskově“) po myokardu. Je také schopen vytvářet vlastní elektrický impulz (automacie). Jeho součásti si impulz předávají v tomto pořadí:

1. **Síňový uzel** (SA uzel - sinus atrialis; také sinusový či sinoatriální) je v blízkosti horní duté žíly. Na něm končí nervy přinášející impulzy z řídicích center.
2. Ze síňového uzlu se podráždění šíří **internodálními síňovými spoji** směrem k síňokomorové přepážce až dosáhne síňokomorového uzlu.
3. **Síňokomorový uzel** (AV uzel - sinus atriventricularis; atrioventrikulární) je umístěn v pravé síni a těsně naléhá na síňokomorovou přepážku. Přebírá podráždění ze síní a předá jej na Hisův svazek.
4. **Hisův svazek** je krátký. Přenáší impulz skrze síňokomorovou přepážku a hned za ní jej předává Tawarovým raménkům.
5. **Tawarova raménka** (pravé a levé) jsou umístěna v mezikomorové přepážce. Levé raménko se ještě větví na přední a zadní větev. Tyto svazky přenášejí impulz dále na Purkyňova vlákna.
6. **Purkyňova vlákna** jsou drobnější svazky a rozbíhají se z mezikomorové přepážky po obou komorách. Jsou posledním částí převodního systému. Předávají impulz přímo svalovým buňkám.



Obr. 55 Převodní systém srdeční.

8.4.3 Směr proudění krve srdcem

Krev proudí současně pravým i levým srdcem. V srdci na sebe navazuje velký a plicní (malý) krevní oběh. Krev se dostává z velkých žil do síní, pak skrze cípate chlopně v síňokomorové přepážce do komor a přes poloměsíčitě chlopně ven ze srdce do přiléhajících velkých tepen (obr. 53):

- a) (velký oběh → Horní a Dolní dutá žíla) → **Pravá síň** → **Trojcípá chlopeň** → **Pravá komora** → **Plicní chlopeň** → (plicní tepna → plicní oběh).
- b) (plicní oběh → Plicní žíly) → **Levá síň** → **Dvojcípá chlopeň** → **Levá komora** → **Aortální chlopeň** → (Aorta → velký oběh).

8.4.4 Srdeční pracovní cyklus (srdeční revoluce)

Srdeční stahy (systoly) a uvolnění (diastoly) probíhají v určitém časovém sledu:

- **Systola** je fáze srdeční činnosti, při níž dochází ke kontrakci myokardu, prudce se zmenší objem srdečních dutin a krev je z nich vypuzována.
- Systola komor má dvě podfáze:
 - Fáze napínací (izovolemická), kdy již dochází ke kontrakci myokardu, ale ještě nedochází ke zmenšení objemu komory a vypuzování krve z komory.
 - Fáze vypuzovací, kdy ještě probíhá kontrakce myokardu a již dochází ke zmenšení objemu komory s vypuzování krve z ní.
- **Diastola** je fáze srdeční činnosti, při níž se uvolňuje myokard a dochází opět ke zvětšení objemu srdeční dutiny a jejímu naplňování krví. Rozeznáváme diastolu síní a diastolu komor. Diastola síní krátce předchází diastole komor.
- Diastola komor má dvě podfáze:
 - Fáze izovolemické relaxace, kdy sice již dochází k relaxaci myokardu, ale ještě ne ke zvětšení objemu komory.
 - Fáze pasivního plnění komor, kdy ještě probíhá relaxace myokardu a již dochází ke zvětšení objemu komor a jejímu pasivnímu plnění krví.
 - **Načasování a sled systol a diastol síní a komor** umožňuje přesun krve ze síní do komor:
- Systola síní → systola komor → diastola síní → diastola komor.

Srdce jako pumpa

- a) Objem levé komory na konci její diastoly je u dospělého člověka kolem 120 ml (enddiastolický objem - EDV).
- b) Klidový objem levé komory na konci její systoly je kolem 50 ml (endsystolický reziduální objem - ESV).
- c) To znamená, že při tělesném klidu jednou systolou levé komory je do aorty a velkého oběhu vypuzeno asi 80 ml krve (**systolický objem – Q_s** nebo SV).
- d) Když takových systol proběhne 60 za 1 minutu, znamená to, že srdce napumpuje 4800 ml krve za minutu do velkého krevního oběhu (**minutový objem srdeční – Q** nebo MV). To je neuvěřitelných 288 l za hodinu, 6912 l za den, 207,3 tisíc litrů za měsíc, 2,488 miliónů litrů za rok a 1866 miliónů litrů za 75 let!

8.4.5 Echokardiografie (ECHO, (ultra)sonografie srdce)

Echokardiografie je metoda pro zobrazení velikosti, tvaru, struktury a pohybů srdce jako celku i jeho částí (stěn dutin, přepážek, chlopní). Princip metody spočívá v detekci odrazů **ultrazvukových vln** od měkkých tkání. Sonda na povrchu kůže hrudníku současně vysílá i přijímá odražený ultrazvuk.

Echokardiografie

- umožňuje měření **rozměrů srdce** (např. šířky a délky dutin, šířky stěn a přepážek) a výpočet **objemů dutin**,
- **výpočet funkčních ukazatelů**, např. **ejekční frakce (EF)**.

EF vyjadřuje poměr (%) objemu krve vypuzené jednou systolou k objemu krve, jaký byl v komoře před jejím vypuzováním:

EF (%) = $[(EDV - ESV) / (EDV)] \times 100$. Při výše uvedených objemech to je 67%.

8.4.6 Elektrokardiografie a elektrokardiogram (EKG)

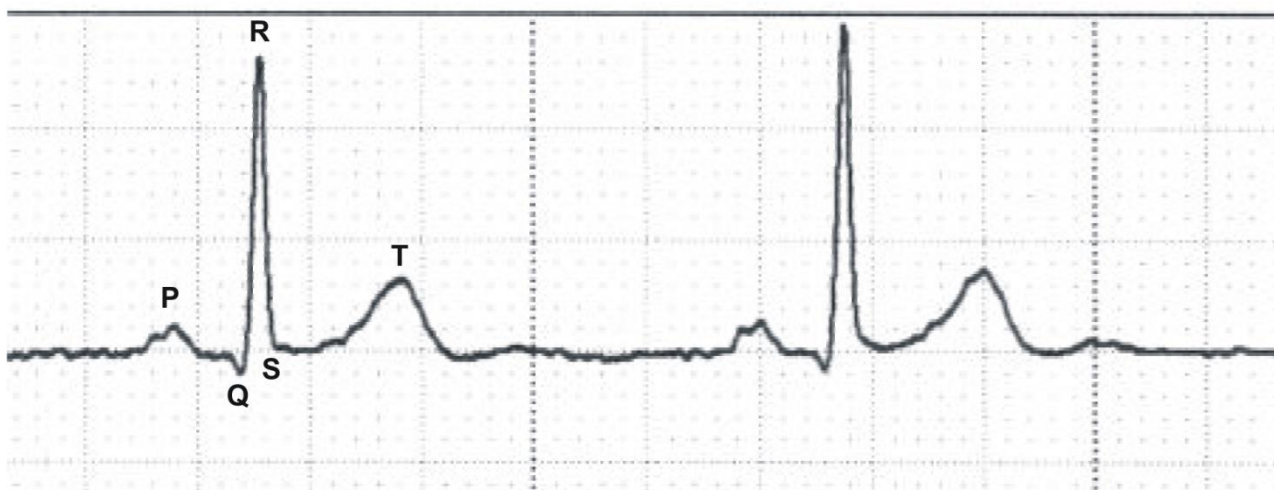
EKG umožňuje sledovat a hodnotit elektrickou aktivitu srdce, funkce převodního systému srdečního a nepřímo odhadovat velikost, tvar a prokrvení myokardu.

EKG je grafické zobrazení elektrických akčních potenciálů srdce v průběhu času. Potenciály jsou snímány elektrodami na kůži, zesilovány, zobrazeny na displeji a podle potřeby uloženy do paměti a vytištěny (elektrokardiogram). K získání standardního 12 svodového EKG je zapotřebí přiložit 10 elektrod (4 končetinové a 5 hrudních).

V EKG je na ose x rychlost posunu papíru v čase (většinou 25mm/sec), na ose y je elektrický potenciál (většinou 10 mm odpovídá potenciálu 1 mV).

Na EKG rozlišujeme rychlé kmity (Q, R, S), pomalejší vlny (P, T, U):

- **Vlna P** je obrazem pomalejšího šíření elektrického akčního potenciálu v síních (depolarizace síní).
- **Komplex kmitů QRS** zobrazuje rychlé šíření elektrického akčního potenciálu v komorách (fáze depolarizace komor).
- **Vlna T** je výrazem pomalejšího návratu komor k elektrickému klidovému stavu (repolarizace komor).



Obr. 56 Elektrokardiogram.

8.5 Krevní průtok tělesnými orgány

Průtok krve jednotlivými orgány závisí na velikosti a důležitosti orgánu a jeho aktuální potřebě (tab. 8).

Tab. 8 Přibližný podíl (%) z celkového minutového objemu srdečního (Q) v tělesném klidu (při Q 5,6 l.min⁻¹ a tělesné hmotnosti 70 kg).

Orgán	Podíl z Q (%)
mozek	13
koronární tepny	4
ledviny	20-25
kůže	10

trávicí soustava, vč. jater	24
svaly	21
pľíce - plicní oběh	100

8.6 Řízení krevního oběhu

Potřebný tlak krve v krevním řečišti a průtok krve tkáněmi je řízen mechanizmy na dvou úrovních:

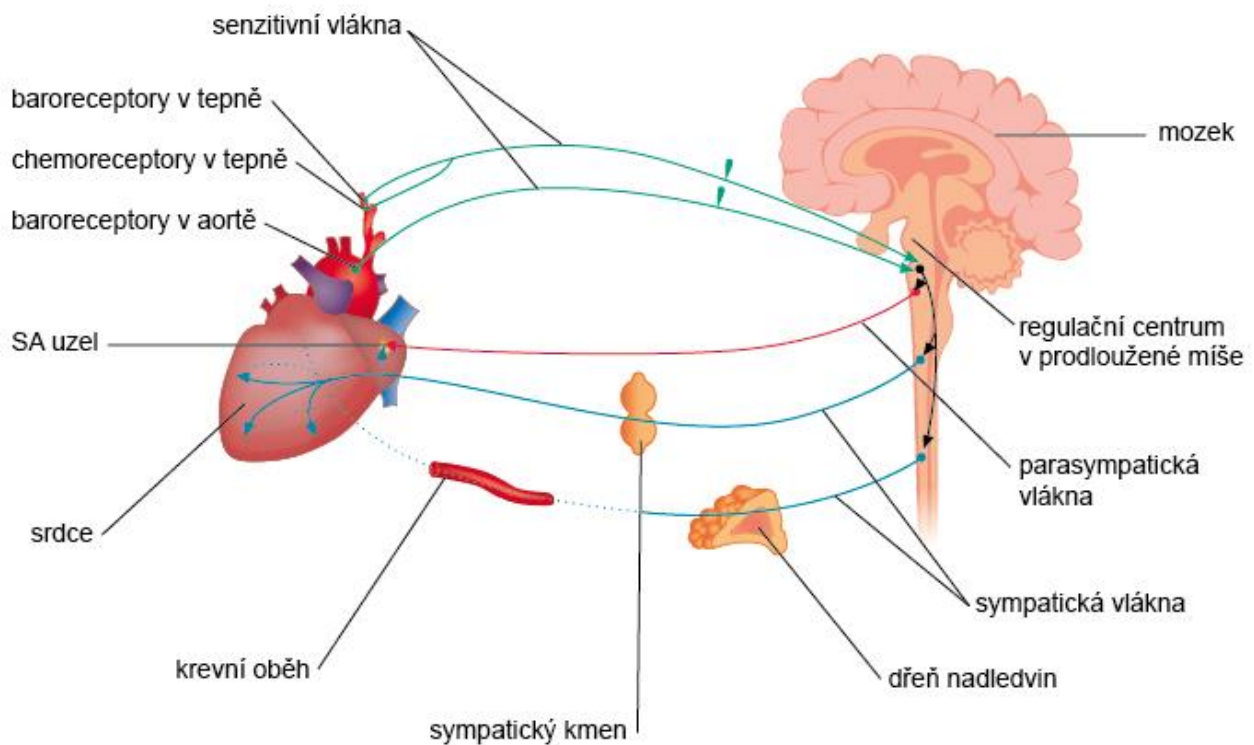
- změnou **průměru cév** tepenného řečiště, které přivádí krev ke tkáním (relaxace hladkých svalů ve stěnách cév),
- **činností srdce** jako pumpy.

Průměr cév tepenného řečiště ovlivňují:

- **látky ve tkáni** (metabolická autoregulace) - např. vyšší tkáňová koncentrace H^+ , K^+ , NO a CO_2 nebo menší množství O_2 způsobují roztažení cév (vasodilataci), které zásobují tkáň.
- **hormony z endokrinních žláz** - např. antidiuretický hormon v ledvinách indukuje zúžení cév (vasokonstrikci), adrenalin indukuje ve svalech vasodilataci a ve střevech vasokonstrikci (Odlišnou reakci zajišťují odlišné receptory ve tkáních.);
- dvě větve **autonomního nervového systému**
 - *sympatikus* (s mediátory adrenalin a noradrenalin), např. indukuje ve svalech vasodilataci a ve střevech vasokonstrikci,
 - *parasymptikus* (s mediátorem acetylcholin), např. indukuje ve svalech zúžení a ve střevech rozšíření cév.

Řízení činnosti srdce

- Srdce je bezprostředně řízeno dvěma složkami **autonomního nervového systému** (ANS) sympatikem a parasymptikem. *Centra* ANS jsou uložena v prodloužené míše. Zpracovávají informace z *tlakových, tahových a chemických receptorů*, umístěných v cévách a srdci. ANS dává pokyny síňovému uzlu, na začátku převodního systému srdce, prostřednictvím *srdečních nervů*.
 - Aktivita **sympatiku** vede ke zrychlení činnosti srdce (zvýšení frekvence) a zesílení jeho stahů;
 - aktivita **parasymptiku** má opačný účinek než sympatikus.
- Myokard reaguje na přítomnost **hormonů**, např. adrenalin zvyšuje srdeční frekvenci a zesiluje jeho stahy.



Obr. 57 Řízení srdce.

Regulace krevního tlaku (TK)

- **V tělesném klidu** kolísá krevní tlak kolem své střední hodnoty. Tlakové a tahové receptory ve velkých tepnách, žilách i v síních a komorách srdce informují o zvýšení nebo snížení tlaku řídící centrum v prodloužené míše mozku.
 - V případě **vyššího tlaku** v aortě, krkavici a levé komoře srdce je tlumena aktivita sympatiku ANS a tím vydám pokyn cévám k roztažení. Vedle toho je aktivován parasympatikus, který přenáší srdci pokyn, aby zpomalilo svoji práci a snížilo svůj výkon pumpy.
 - V případě **nižšího tlaku** v srdečních síních a v žilách je v centru ANS aktivován sympatikus. Ten stimuluje srdce k rychlejší práci a zesílení stahů.
- **Při tělesném pohybu**, při svalové práci, je vysoce aktivní sympatická část ANS a nadledviny. Přenašeči pokynů (mediátory) nervů sympatiku jsou stejné jako hormony nadledvin (katecholaminy: adrenalin a noradrenalin). Obě tyto větve řízení reakce na zátěž (nervová a hormonální) vedou k výraznému zvýšení krevního tlaku, aby bylo zajištěno větší prokrvení svalů.

Důležité

- Srdce, jako dvojcestná pulzní pumpa, tlačí krev tepnami do celého těla k periferním tkáním. Zde se krev pohybuje pomalu vlásečnicemi, vyměňuje si vodu a jiné látky s buňkami. Zpět přitéká krev žilami a je nasávána do srdce.
- Krevní oběh má dvě části: Velkým oběhem krev proudí z levé komory srdce srdečnicí a navazujícími tepnami do periferních orgánů a zpět se vrací horní a dolní dutou žílou zpět do pravé síně srdce. Malým (plicním) oběhem proudí krev z pravé komory srdce tepnami do plic, kde se obohacuje kyslíkem a předává oxid uhličitý, a zpět se vrací přes plicní žíly do levé síně srdce.
- Chlopně v srdci, i chlopně v žilách končetin, umožňují pouze jednosměrný proud krve.
- Pracovní kontrakce srdeční svaloviny (systola), při níž je krev vypuzována ze srdce, se střídá s uvolněním myokardu (diastola), kdy je krev do srdce nasávána.
- Činnost srdce je řízena autonomním nervovým systémem (ANS) podle potřeb organismu: Sympatikus zrychluje a zesiluje stahy myokardu; parasympatikus má opačný účinek.
- Srdce má svůj vlastní (koronární) krevní oběh, který přináší zdroje energie a kyslík pro myokard.
- Průtok krve orgány je regulován rozšířením nebo zúžením přírodních tepen. Relaxace nebo kontrakce hladké svaloviny ve stěnách těchto tepen závisí na typu receptorů citlivých na mediátory ANS a jiné látky. Tím je zabezpečována redistribuce krve v těle podle potřeb.
- Proudící krví se přenáší voda, mnoho důležitých látek i buněk, nezbytných pro existenci a funkce všech orgánů lidského těla.
- Krevní oběh je součástí mechanismů zabezpečujících stálé vnitřní prostředí (homeostázu), přenáší řadu signálních látek (hormony atd.).
- Proudící krev přenáší teplo po těle. Změny průtoku krve kůží zvyšují nebo snižují přenos tepla do zevního prostředí.

9 *Dýchání*

Obsah kapitoly:

9.1 *Úvod do kapitoly*

9.2 *Dýchání a výměna plynů*

9.3 *Dýchací systém*

9.4 *Plíce*

9.5 *Regulace dýchání*

Po přečtení této kapitoly, by si měl znát a umět logicky využít poznatky:

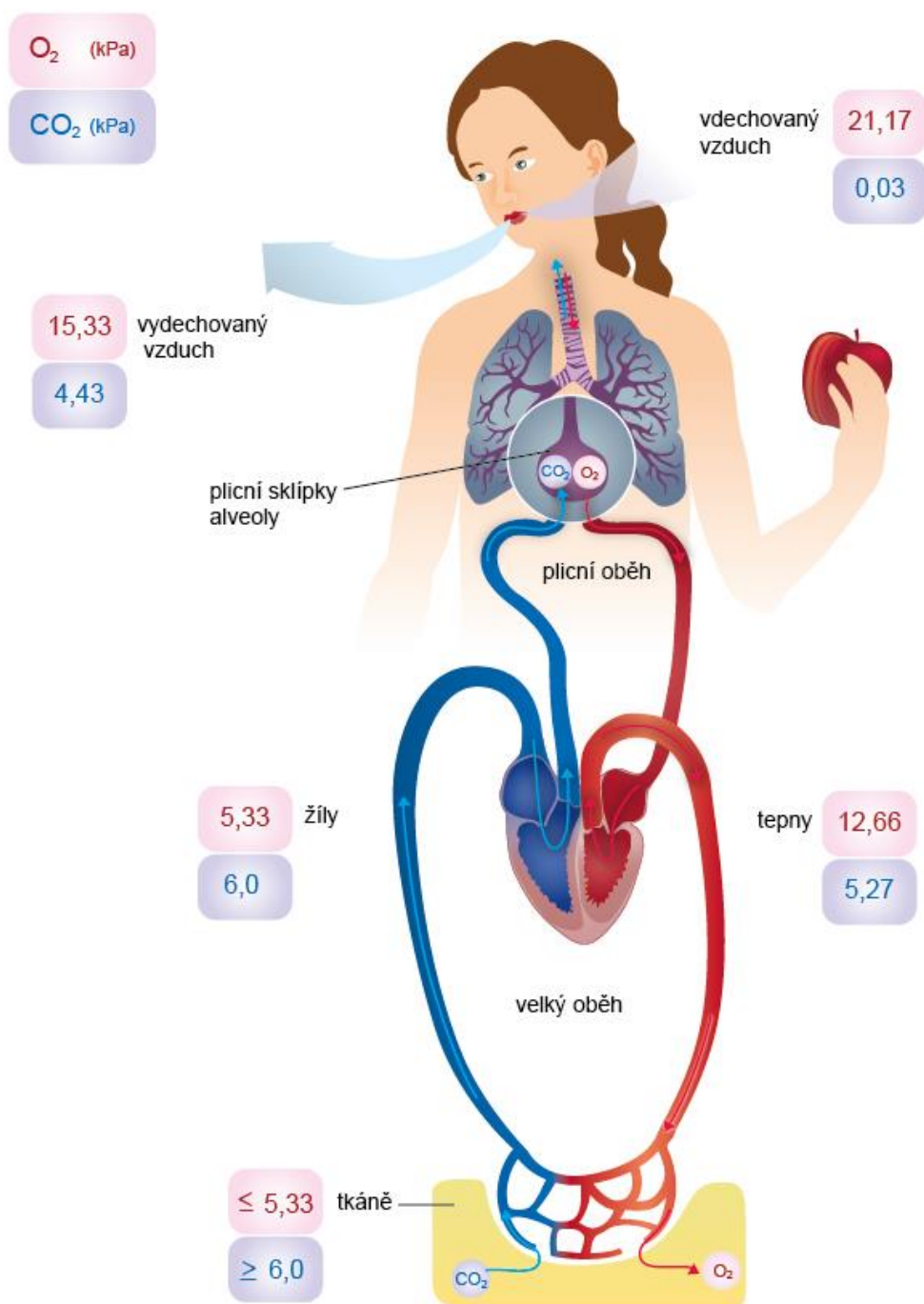
- o dýchání jako celku,
- o fungování plic,
- o ventilaci,
- o regulaci dýchání.

Klíčová slova:

Dýchání (ventilace, respirace), plíce, plicní sklípky (alveoly), nádech (inspirace), výdech (expirace), spirometrie, dechová frekvence, dechový objem, minutová ventilace, vitální kapacita plic

9.1 Úvod do kapitoly

Látková výměna v buňkách všech tkání lidského organismu probíhá oxidativně (aerobně). Je nutný přísun kyslíku. V metabolismu vzniká oxid uhličitý, kterého se organismus potřebuje zbavit. Kyslík a oxid uhličitý jsou nazývány **dýchacími plyny**. Transportní systém pro dýchací plyny (obr. 58) tvoří dýchací systém (dýchací cesty a plíce), systém krevního oběhu (srdce, cévy, krev) a periferní tkáně (přesuny do buněk a v buňkách).



Obr. 58 Transportní systém dýchacích plynů.

9.2 Dýchání a výměna plynů

Pojem **dýchání** (respirace, latinsky respiratio) není vždy používán jednoznačně.

Za **respiraci** se považuje výměna dýchacích plynů člověka se zevním životním prostředím i uvnitř v organismu. Mohou se rozlišovat dvě složky dýchání:

- **Zevní dýchání (plicní ventilace)** – nasávání vzduchu ze zevního prostředí do plic a vytlačení vzduchu z plic do zevního prostředí. To je zabezpečeno **dýchacím systémem**, který tvoří **dýchací cesty a plíce, a orgány pohybuující plícemi - hrudní koš, dýchací svaly**.
- **Vnitřní dýchání (tkáňové)** - výměna dýchacích plynů mezi krví a vzduchem **v plících** a mezi krví a buňkami **v periferních tkáních** (např. nervová tkáň, svalová tkáň).

Difuze - průnik plynů přes membrány (obr. 59)

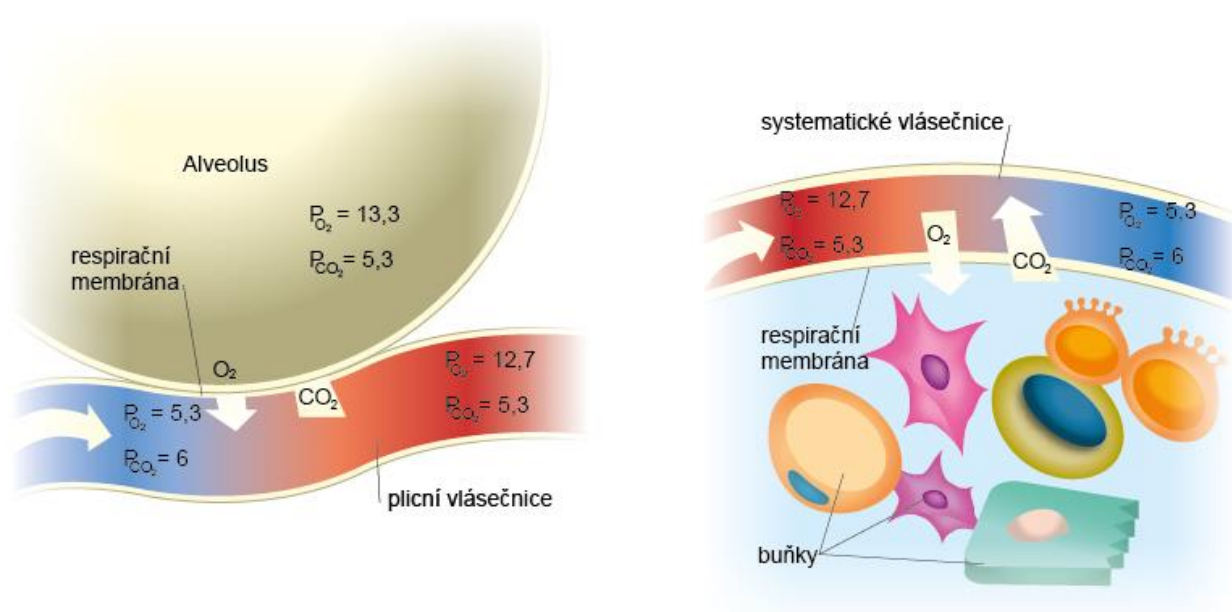
Hlavní hnací silou přesunu plynů přes membrány je, podle Fickova zákona, rozdíl jejich parciálních tlaků v alveolech, erythrocytech a buňkách tkání. Plyny se pohybují z místa jejich většího tlaku do místa jejich menšího tlaku.

Difuze plynů v plících

- V nadechnutém vzduchu je větší tlak **kyslíku** (13,3kPa) než v krvi, přitékající do plic (5,3kPa). Proto difunduje ze vzduchu do krve. Ve vydechnutém vzduchu je kyslíku méně než v nadechnutém. V krvi odtékající z plic je O_2 více než v krvi přitékající do plic.
- **Oxid uhličitý** má větší tlak v krvi, která přitéká do plicních sklípků (6,13kPa), než v nadechnutém vzduchu (5,33kPa), proto difunduje z krve do vzduchu. Ve vydechnutém vzduchu je ho pak více než v nadechnutém. V krvi odtékající z plic je CO_2 méně než v krvi přitékající do plic.

Difuze plynů ve tkáních

Kyslík přechází z krve do buněk a CO_2 z buněk do krve. Buňky tkání O_2 spotřebovávají a CO_2 produkují.



Obr. 59 Parciální tlaky dýchacích plynů (kPa) v plících a cévách tkání.

Legenda: \dot{V} – minutová ventilace vzduchu, ΔO_2 - rozdíl objemu O_2 v nadechovaném a vydechovaném vzduchu.

Příklad výpočtu klidového příjmu kyslíku: $\dot{V}O_2 = 8 \cdot (0,21 - 0,17) = 0,32$

Legenda: Minutová ventilace vzduchu je $8 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$; relativní objem O_2 v nadechovaném vzduchu je 0,21 (21%) a ve vydechovaném vzduchu je 0,17 (17%).

Spotřeba kyslíku

Spotřeba kyslíku je množství O_2 , které organismus skutečně spotřebuje ve svém tkáňovém metabolismu.

Pokud spotřebu odhadujeme pouze z parametrů měřených ve vstupu do dýchacích cest (na úrovni úst a nosu), pak hovoříme o tzv. **příjmu kyslíku ($\dot{V}O_2$)**.

Výpočet příjmu kyslíku za 1 minutu $\dot{V}O_2$:

$$\dot{V}O_2 (\text{l} \cdot \text{min}^{-1}) = \dot{V} \cdot \Delta O_2$$

9.3 Dýchací cesty

Dýchací cesty jsou soustava trubicovitých orgánů mezi zevním prostředím a plicemi. Proudí jimi nadechovaný a vydechovaný vzduch.

Dýchací cesty mají dvě části:

- **Horní dýchací cesty** začínají nosem a rty, pokračují
 - *nosní dutinou* (lat. *cavum nasi*) a *ústní dutinou* (*cavum oris*),
 - *hltanem* (*pharynx*).
- **Dolní dýchací cesty** začínají *hrtanem* (*larynx*), pokračují *průdušnicí* (*trachea*), *průduškami* (*bronchi*) a *průdušinkami* (*bronchioli*) a končí v plicích sklípcích (*alveoli*).

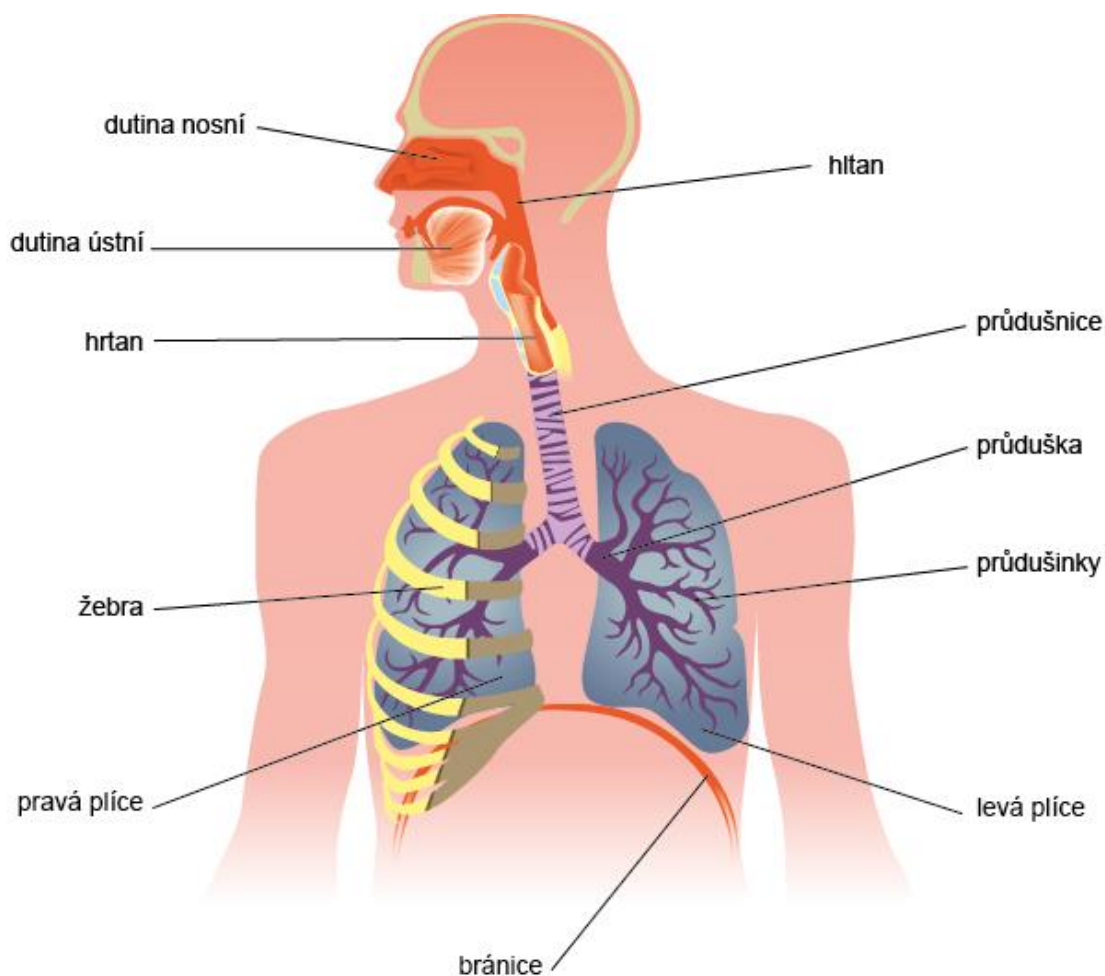
Stěny dýchacích cest jsou pevné a pružné. V běžné situaci u zdravého člověka udržují dostatečný příčný rozměr pro proud vzduchu. Vnitřní povrch je vystlán hladkou **sliznicí**, která produkuje **hlen**. Lehké tlakové podráždění sliznice cizím tělískem je vnímáno citlivými **mechanoreceptory**, které mohou spustit *obranný reflex kašle*.

Nosní dutina je horizontálně rozdělena třemi **skořepami** (*conchi*) na **průduchy** (*meatus*), kde se proud nadechovaného *vzduchu přibrzdí* a v kontaktu s prokrvenou a teplou sliznicí *ohřeje*.

V průduškách je sliznice opatřena **řasinkami**, posunujícími hlen směrem ven.

Stěny dolních dýchacích cest jsou vyztuženy neuzavřenými **chrupavčitými prstenci**. Vnitřní vrstva stěn dolních dýchacích cest obsahuje také **hladké svaly**, které svojí kontrakcí dovedou průsvit částečně *zúžit* a relaxací jej *rozšířit*.

(Poznámka: Zúžení průdušky = bronchokonstrikce, rozšíření průdušky = bronchodilatace).



Obr. 60 Dýchací cesty a plíce.

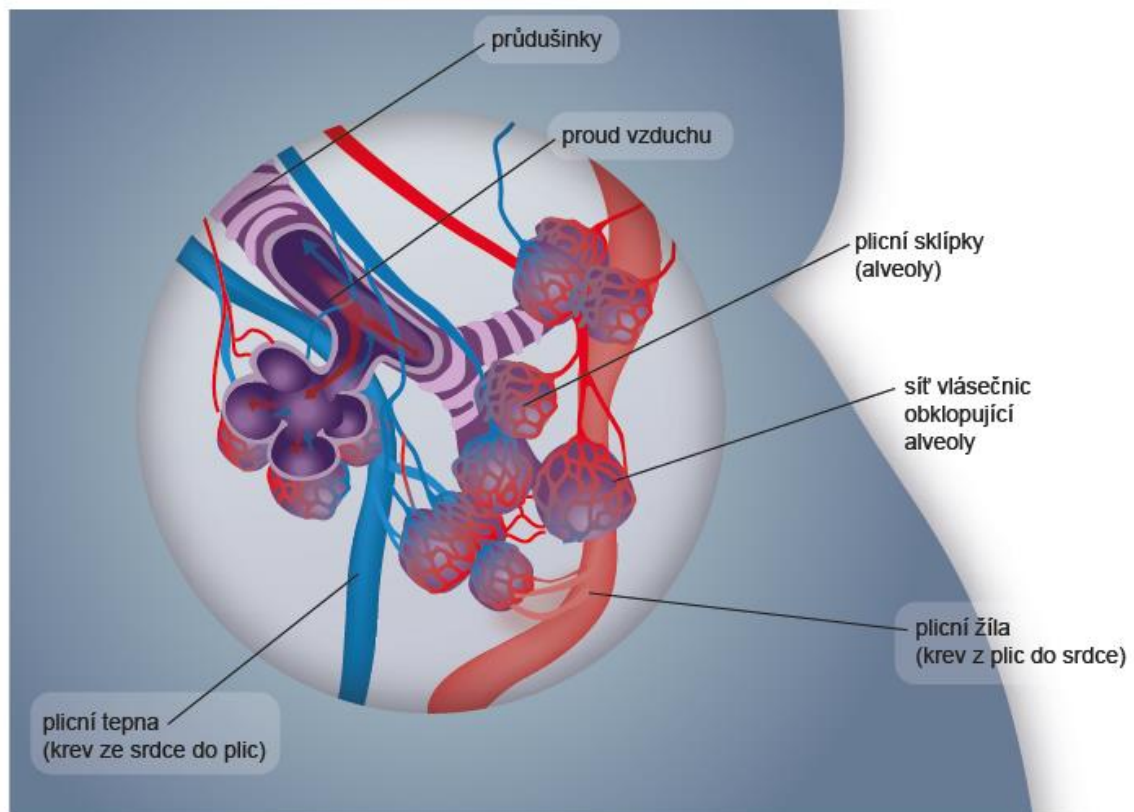
9.4 Plíce

Plíce (lat. pulmo) jsou umístěny v hrudním koši. Plíce jsou párový orgán – jsou tvořeny *pravou a levou plící*. Pravá plíce je rozdělena vazivovými přepážkami na tři **laloky**, levá plíce na dva laloky. Laloky jsou rozděleny na ještě menší oddíly.

Podstatnou část plicní tkáně tvoří **plicní sklípky** (alveoli), kde se realizuje hlavní funkce plic - přenos dýchacích plynů mezi vzduchem ze zevního prostředí a krví. Plicní sklípky jsou drobné váčky s tenkou stěnou. Jsou na konci dýchacích cest.

K uskutečnění **respirace v plicích** musí fungovat

- **plicní ventilace** – výměna vzduchu v plicních sklípcích při nádechu a výdechu,
- **plicní perfuze** – přívod krve ke sklípkům (prokrvení plic). Sklípky jsou obaleny hustou sítí drobných vlásečnic. Průtok stejný jako v srdci (kolem 5 l/min).
- **plicní difuze** – přestup dýchacích plynů přes membrány stěn plicních sklípků a vlásečnic. Je zmíněna v 1. podkapitole výše.



Obr. 61 Plicní sklípky.

Plicní ventilace

Plicní ventilace – výměna vzduchu ve sklípcích – probíhá díky opakovanému střídání nádechu (s rozpínáním plic) a výdechu (se smršťováním plic).

Ventilace je primárně řízena **autonomním nervovým systémem** a funguje bez naší vůle. Může však být naší vůlí modifikována, potlačena nebo zesílena.

Mechanismus ventilace

Pohyby plic rozpínání a smršťování plic jsou možné díky těmto faktům:

- *Mechanická pružnost* plic (elasticita), která je dána vazivovou složkou jejich tkáně. Plíce mají stále tendenci se smršťovat – vyvíjejí retrakční sílu.
- *Uložení a adhezi* plic v pohrudniční dutině, která je vystlána vazivovou blánou pohrudnicí. Plíce svým obalem (poplicnicí) přiléhají těsně k pohrudnici. Mezi pohrudnicí a poplicnicí je pouze nepatrná štěrbina s pohrudniční tekutinou.

Nádech (inspirace)

Nádech je aktivní děj, vyžadující práci dýchacích svalů. **Hlavní dýchací svaly** roztahují prostor, v němž jsou plíce uloženy (obr. 62):

- **Bránice (diaphragma)**, která je přepážkou mezi hrudní a břišní dutinou se při kontrakci zploští směrem k břichu a tím zvětší prostor v hrudníku;
- **Zevní mezižební svaly** (mm. intercostales externi) zvedají žebra a tím zvětšují objem hrudního koše.

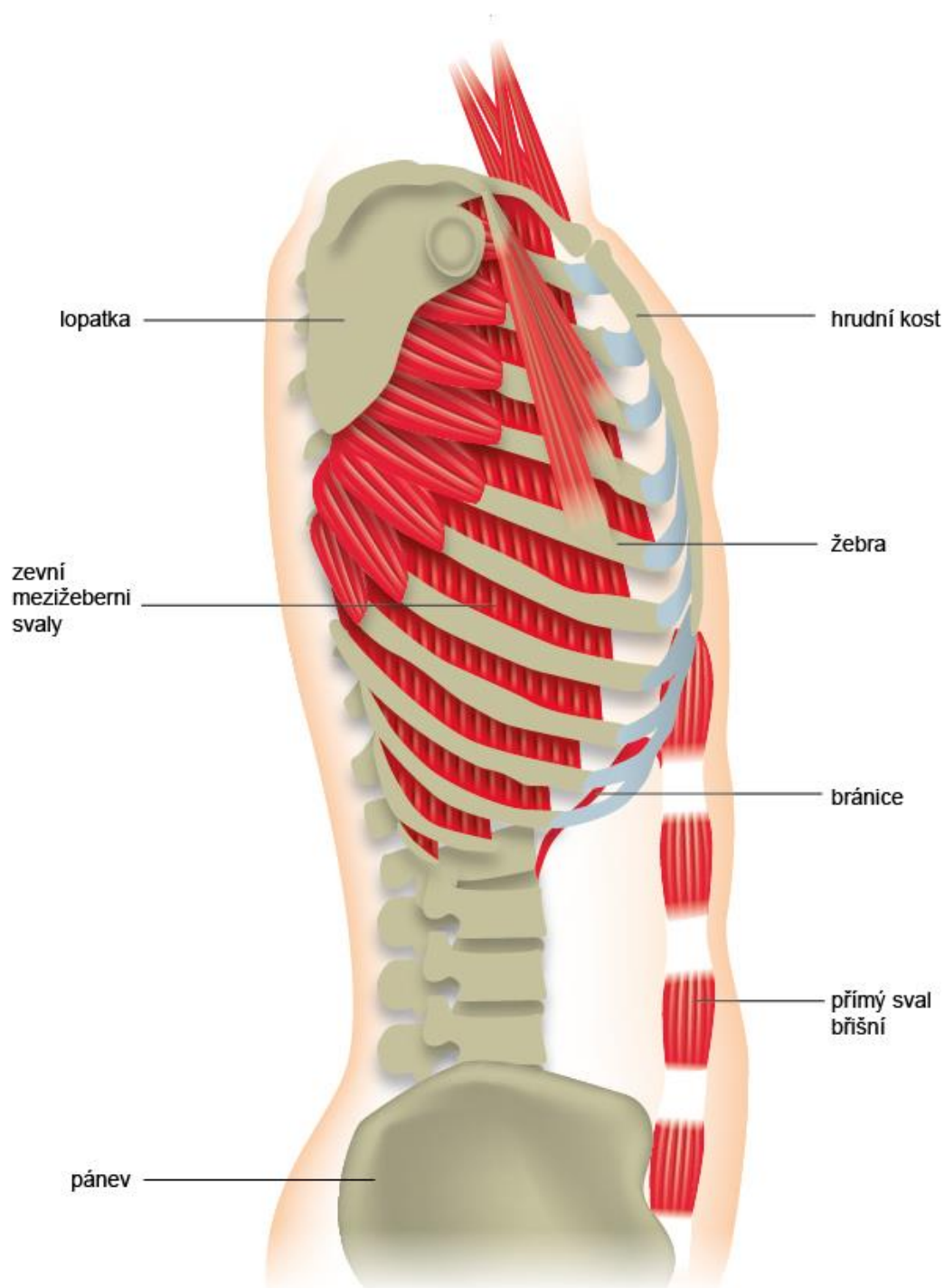
Díky adhezi plic k vnitřní stěně dutiny hrudní jsou plíce roztahovány a vzduch je nasáván do plicních sklípků.

Nádech může být posílen volným úsilím a zapojením pomocných dýchacích svalů (např. svaly kloněné a zdvihač hlavy).

Výdech (expirace)

Výdech je pasivní děj. Nádechové svaly se uvolní a plíce se mohou spontánně smrštít a vytlačit vzduch ze sklípků.

Výdech může být zesílen aktivní prací výdechových svalů: Zmenšení objemu hrudníku podporuje aktivita vnitřních mezižebních svalů, které stahují žebra dolů a svaly břišní stěny, které vytlačují bránici nahoru.



Obr. 62 Dýchací svaly.

Spirometrie

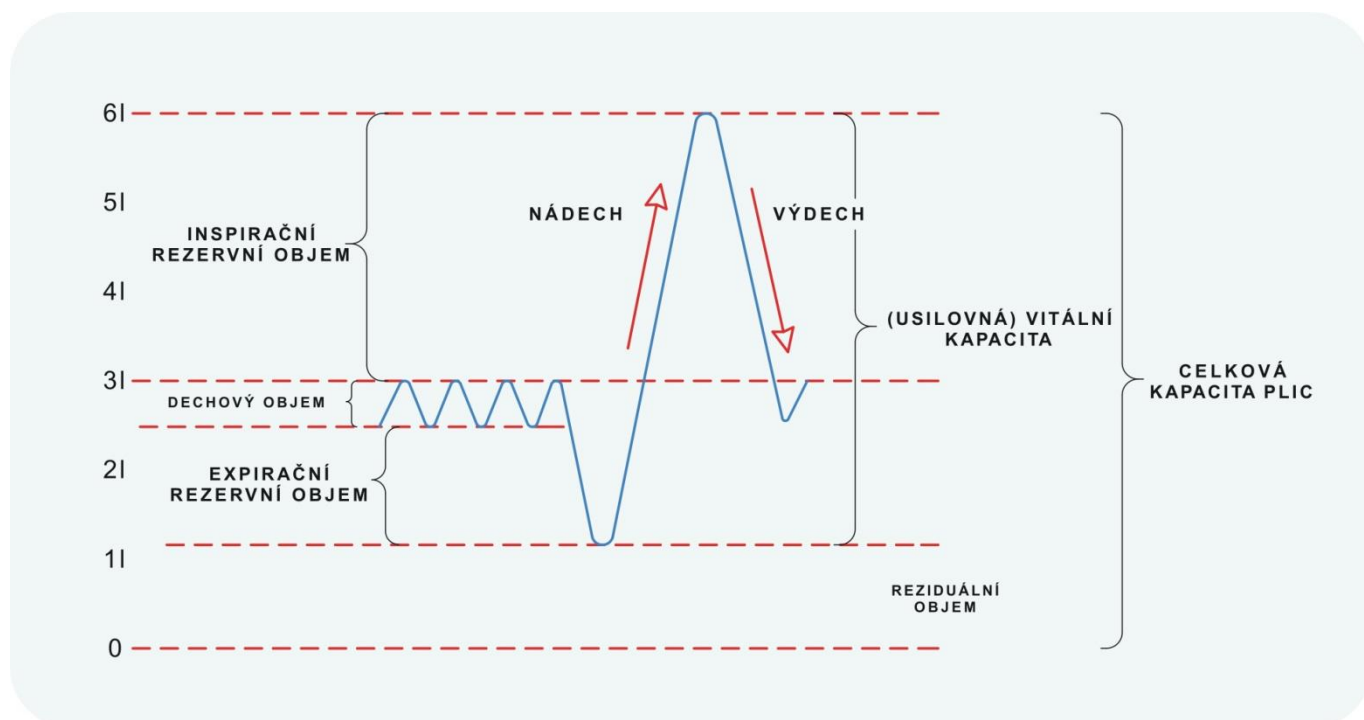
Spirometrie je vyšetřovací metoda poskytující údaje o ventilačních objemech plic.

Mezi základní ventilační parametry patří např.

- **Dechový objem** (V_B, V_T, DO ; l, ml) = objem vzduchu z jednoho nádechu nebo v jednom výdechu.
- **Dechová frekvence** (f_B, DF ; $1 \cdot \text{min}^{-1}$) = počet dechů za 1 minutu.
- **Minutová ventilace** (\dot{V}, \dot{V}_E, MV ; $1 \cdot \text{min}^{-1}$) = objem vzduchu, který prodýcháme (nadechneme nebo vydechneme) za 1 minutu.
- **Vitální kapacita plic** (VC – vital capacity; l, ml), např. výdechová VC (FEVC – forced expiratory vital capacity) = objem vzduchu, který vydechneme s maximálním úsilím po předchozím maximálním nádechu.
- **Maximální výdechová rychlost** (PEF – peak expiratory flow; $l \cdot s^{-1}$) = maximální proud vzduchu, které jsme schopni vyvinout při výdechu.
- **Maximální jednovteřinový výdechový objem** (FEV1 – forced expiratory volume in 1 sec; l, ml) = objem vzduchu, který jsme schopni vydechnout s maximálním úsilím za 1 vteřinu.

Objem vzduchu kolísá v závislosti na atmosférickém tlaku a teplotě. Pro možnost srovnání výsledků spirometrie, provedené v různých atmosférických podmínkách, se změřené objemy přepočítávají korekčním faktorem na standardní podmínky (STPD - standard temperature pressure dry; teplota 0°C , tlak 760mmHg, vlhkost 0%).

Grafické vyjádření základních parametrů vyjadřuje křivka objem/čas a křivka průtok/objem.



Obr. 63 Spirometrie, dechové objemy.

9.5 Regulace dýchání

Řízení difuze plynů

Směr a intenzita difuze plynů podléhá Fickově zákonu o pohybu plynů z místa s jejich větším tlakem do místa s jejich menším tlakem.

Řízení ventilace plic

Ventilace plic je řízena **dýchacím centrem** v prodloužené a krční míše. Inspirační a expirační nervové buňky (neurony) jsou *generátorem dýchacího rytmu*. Tyto neurony se vzájemně inhibují a střídají v akci.

Dýchací centrum je ovlivněno retikulární formací v prodloužené míše, která dostává informace z periferie a vyšších oblastí mozku (např. z mechanoreceptorů v plicích a chemoreceptorů).

Zvýšení ventilace (zvýšení frekvence dýchání a zvětšení dechového objemu) stimuluje např.

- menší množství O₂ ve vnitřním prostředí,
- větší množství CO₂ a H⁺ ve vnitřním prostředí,
- adrenalin z nadledvin a sympatikus autonomního nervového systému při psychické a tělesné zátěži,
- zvýšení nebo snížení tělesné teploty,
- volní úsilí.

Důležité

- Dýchací (respirační) systém je tvořen dýchacími cestami a plicemi.
- Tento systém zabezpečuje výměnu vzduchu mezi zevním prostředím a lidským organizmem (plicní ventilace, zevní dýchání) a výměnu dýchacích plynů, kyslíku a oxidu uhličitého, mezi vzduchem a krví v plicích (vnitřní dýchání).
- K nádechu (nasávání vzduchu do plic; inspirace) dochází při aktivní práci nádechových svalů - bránice a zevních mezižeberních svalů, které zvětšují objem hrudní dutiny a tím roztahují plíce.
- Výdech (expirace) nastává díky pasivnímu smrštění plic, případně zapojením výdechových svalů.
- Dýchací plyny se přesunují z místa jejich většího tlaku do místa s menším tlakem.
- Dýchací systém se podílí na zabezpečení stálého vnitřního prostředí (homeostázy), včetně acidobazické-rovnováhy.
- Dýchání je řízeno dechovým centrem v prodloužené míše. Základem je střídání nádechu a výdechu. Další modulace dechu je závislá na dráždění periferních a centrálních chemoreceptorů kyslíkem a oxidem uhličitým, což vede k aktivaci sympatiku nebo parasympatiku a následnému zrychlení nebo zpomalení dechu.
- Ventilací funkce plic se měří spirometrií. Mezi hlavní ukazatele patří vitální kapacita plic a objem vzduchu vydechnutý s maximálním úsilím za 1 vteřinu.

10 Fyziologie vylučování

Obsah kapitoly:

10.1 Úvod do kapitoly

10.2 Regulace objemu vody v těle

10.3 Vnitřní prostředí

10.3.1 Stabilita homeostázy organismu

10.4 Fyziologie ledvin

10.4.1 Systém glomerulární filtrace

10.4.2 Vývodné cesty močové

10.5 Trávicí trakt jako součást vylučovacího systému

10.5.1 GIT a cyklus vodního hospodářství

10.6 Dýchací trakt jako součást vylučovacího systému

10.6.1 Vztah plicní ventilace a plicní perfúze

10.6.2 Regulace dýchání součást systému vylučování a metabolické kompenzace

10.7 Potní žlázy jako systém vylučování

10.8 Příklady regulovaných složek vnitřního prostředí

Po přečtení této kapitoly bys měl být schopen:

- aplikovat principy homeostázy do praxe,
- pochopit souvislosti regulace na principu zpětných vazeb,
- znát základní parametry vnitřního prostředí organismu,
- vysvětlit základní principy vylučování vody, iontů a metabolitů vylučovacím systémem,
- vysvětlit mechanismy zpětné absorpce vody a iontů,
- vysvětlit principy neuroendokrinní regulace vylučování.

Klíčová slova:

Homeostáza, metabolismus, vnitřní prostředí, extracelulární a intracelulární tekutina, zpětné vazby, hormony, neuroendokrinní systém a regulace, regulace pH, osmolalita, acidobazická rovnováha, vylučovací systém, chemická regulace dýchání, vegetativní nervový systém.

10.1 Úvod do kapitoly

V kapitole **Homeostáza** jsou uvedeny základní předpoklady pro udržení základních normativních podmínek vnitřního prostředí. Předpokladem porozumění témat řešených v této kapitole je znalost principů homeostázy – odkazují proto na tuto problematiku.

Nezbytnou součástí všech metabolických pochodů v organismu je (v rámci homeostatických principů), i odstranění (*exkrece*) všech metabolitů, které již nelze vlastními metabolickými procesy organismu odbourat/přestavět či jinak v organismu využít. Hovoříme o systému (soustavě) vylučování. Cesty vylučování metabolitů z lidského organismu jsou:

- **močí**
- **stolicí**
- **potem**
- **dýcháním.**

Funkce všech výše uvedených systémů lidského těla, které se podílejí na vylučování vody a dalších látek jsou vzájemně koordinovány velmi složitými mechanismy pracujícími mj. i na principu homeostázy. V dalším textu budou probrány pouze základní principy regulace a dále funkce možných způsobů exkrece metabolitů, vody a dalších látek z těla a regulace těchto procesů.

10.2 Regulace objemu vody v lidském těle

Předpokladem správné funkce organismu je relativní stálost **vnitřního prostředí** – při udržení parametrů homeostatických hodnot. Základem vnitřního prostředí je voda – lidské tělo obsahuje kolem 70 % vody. Obsah vody v jednotlivých orgánech (tkáních) je odlišný: šedá hmota mozková – až 85 % vody, tuková tkáň pouze 25 %, krev obsahuje kolem 80 % vody.

Množství vody v organismu kolísá v určitém rozmezí. Náš organismus však disponuje potřebnými regulačními mechanismy, které zahájí (na principu zpětných vazeb) jak regulační (např. zvýšené vylučování vody), tak signální opatření (pocit žízně), která nás vedou k získávání vody – tělo signalizuje potřebu vody. Množství vody, které potom vypijeme, závisí na množství vody, které tělo ztratilo.

Centrum pro „*pocit žízně*“ je uloženo v jednom z nejstarších center mozku (hypotalamu) – v jakémsi kontrolním ústředí vegetativního NS. Některé buňky hypotalamu vnímají (prostřednictvím receptorů) objem vody v krvi a okamžitě reagují na pokles objemu vody vůči v obsahu solí a jiných látek, které se nacházejí v extracelulární tekutině. Na základě těchto signálů spouští regulační centrum (cestou neuroendokrinní regulace) produkci hormonů stimulující ledviny k zadržování vody.

Normální funkce buněk závisí na neměnnosti prostředí (*v určitém rozmezí*). Tuto neměnnost (homeostázu) zajišťuje celá řada regulačních mechanismů mj. prostřednictvím pufrovacích schopností

tělesných tekutin a dále cestou reakcí ledvin a respiračního systému. Oba orgány (ledviny a plíce) tak reagují na nadbytek kyselin nebo zásad – tedy na pH. (*Pufrovací systém = nárazníkový systém vyrovnávající poměry kyselin a zásad – slouží k udržení pH.*)

Většina regulačních mechanismů pracuje na principu negativní zpětné vazby. Odchyly od normálního ustáleného (homeostatického) stavu jsou zaznamenány receptory, jejichž signály pak v rámci zpětné vazby spouštějí regulační/kompenzační změny, které trvají až do opětového ustavení původního, homeostatického stavu.

10.3 Vnitřní prostředí

Lidský organismus (každá jeho buňka a každý orgán lidského těla) potřebuje mít – v rámci homeostázy – relativně stálé životní podmínky. Hovoříme o vnitřním prostředí a o jeho stabilitě – homeostáze. Stabilitu vnitřního prostředí udržují některé parametry:

- pH;
- iontové složení;
- osmolalitu, tj. koncentraci osmoticky aktivních (rozpuštěných, difuzibilních) látek;
- koncentrace významných látek (kyslíku, živin, katabolitů, regulačních látek).

10.3.1 Stabilitu homeostázy organismu – cestou neuroendokrinní regulace – zajišťují

- pufrovací systémy tělních tekutin;
- funkce orgánů regulujících pH;
- funkce orgánů regulujících příjem / výdej iontů a osmoticky aktivních látek;
- správná funkce řídicích orgánů (CNS a hormonální systém).

Univerzálním prostředím našeho organismu a většiny biologických procesů v něm je voda. Mužské tělo má více vody než ženy, děti pak mají procentuální podíl vody v organismu nejvyšší. Rozložení vody v organismu (v % celkové hmotnosti těla):

- celková tělesná voda (CVT): 45-75 % (dle pohlaví, věku a stavu hydratace);
- intracelulární tekutina (ICT): 55 % CVT;
- extracelulární tekutina (ECT): 45 % CVT:
 - *krevní plasma: 7,5 % CVT;*
 - *lymfa a tkáňový mok: 20 % CVT;*
 - *vazivové a chrupavčité tkáně: 7,5 % CVT;*
 - *skelet: 7,5 % CVT;*
 - *transcelulární tekutiny: 2,5 % CVT (část ECT, která se tvoří transportní a sekreční aktivitou buněk): nitrooční tekutina, tekutina vnitřního ucha, mozkomíšní mok atd.*

Voda je nosičem látek, které jsou v ní rozpuštěny v podobě:

- krystaloidní povahy:
 - *anorganické látky (elektrolyty);*
 - *nízkomolekulární organické látky – močovina, glukóza aj.;*
- koloidní povahy (vysokomolekulární organické látky) – bílkoviny.

Voda se významně podílí na udržení stability vnitřního prostředí. Každá buňka našeho těla obsahuje intracelulární tekutinu a každou buňku obklopuje a omývá extracelulární tekutina. Buňky přijímají z extracelulární tekutiny živiny a ionty a vylučují do ní zplodiny, které vznikají při metabolismu buňky. Extracelulární tekutina je tedy opět významným prvkem udržujícím relativní stálost homeostázy.

Regulace pH v organismu je opět nezbytná pro zachování homeostázy – při metabolických procesech se tvoří v organismu především kyselé metabolické produkty. Regulace pH pak probíhá dvěma způsoby:

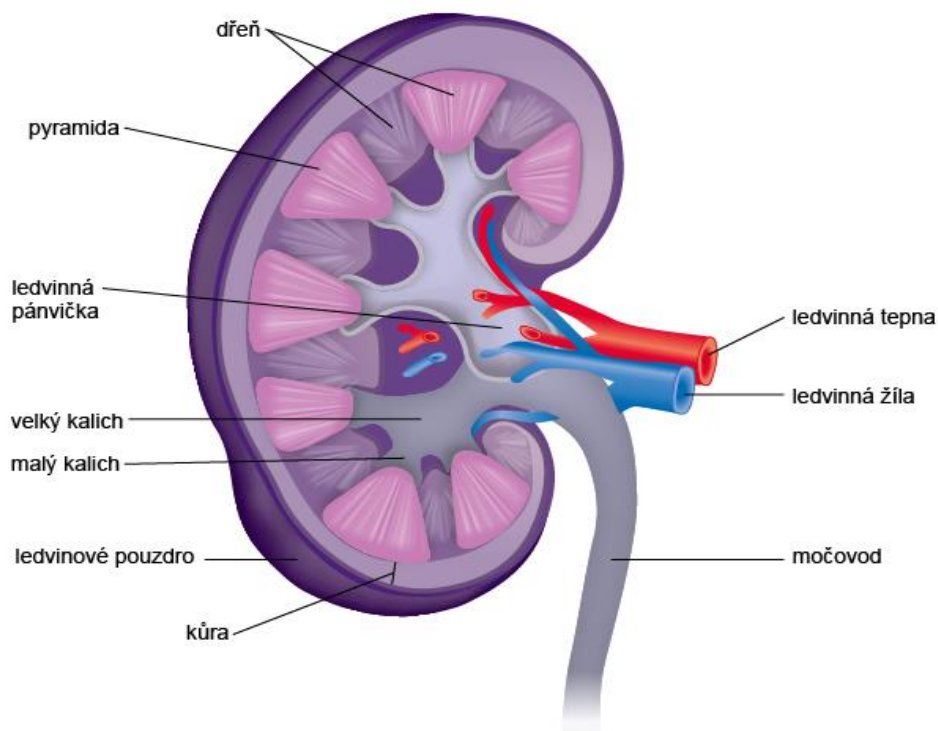
- chemicky (pufrovacím mechanismem) – zde fungují následující systémy:
 - *bikarbonátový;*
 - *hemoglobinový;*
 - *proteinový;*
 - *fosfátový;*
- činností orgánů: především funkcemi plic, ledvin a trávicího systému.

Orgány regulující pH – udržení acidobazické rovnováhy (ABR):

- **plíce** – *odstraňují z organismu CO₂ dýcháním;*
- **ledviny** – *je v nich přítomen enzym karboanhydráza – má podíl na syntéze kyseliny uhličité => vzniká vodíkový kationt, který je protonovou pumpou přečerpán do tubulární tekutiny a následně přestupuje do moči, kterou je pak vyloučen;*
 - *stabilní pH moči zajišťuje fosfátový pufr a dále vazba protonů na amoniak (který vzniká z glutaminu) => amonný kationt je lépe rozpustný ve vodě, proto je vyloučen močí;*
- **trávicí soustava** – *ovlivňuje pH žaludeční sekrecí a v opačné hodnotě sekrecí alkalických šťáv v tenkém střevu;*
 - *za normálních okolností jsou tyto děje v rovnováze a nejsou využívány ke kompenzaci poruch acidobazické rovnováhy (ABR);*
 - *naopak velká ztráta těchto šťáv trávicího traktu (zvracení, průjem) vede k poruchám ABR;*
- **kůže** – *výdej vody a iontů kůže.*

10.4 Fyziologie ledvin

Ledviny (ren, nebo nephros) – párový orgán, každá ledvina je uložena v retroperitoneu po stranách páteře. Na další anatomický popis odkazují na předmět ANATOMIE. Základní stavbu ledviny připomínáme na následujícím obrázku.



Obr. 64 Stavba ledviny.

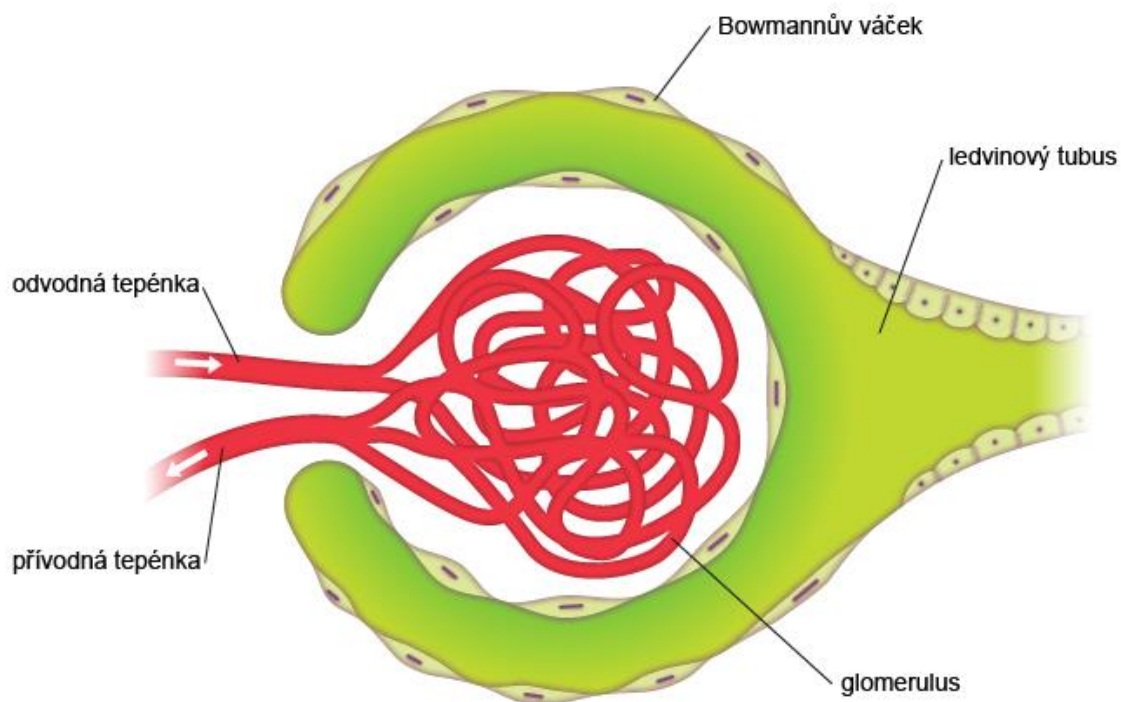
Prokrvení ledvin zajišťují renální arterie s průměrným průtokem mezi 70-90 litry krve za každou hodinu, což představuje cca 25 % klidového srdečního výdeje. Z toho vyplývá, že ledviny jsou orgány s velkým průtokem arteriální krve. Jde o orgány – funkčně nepostradatelné a nezbytné. Ledviny totiž zajišťují:

- stabilitu vnitřního prostředí – v rozmezí homeostatických hodnot extracelulární tekutiny;
- exkreci:
 - *metabolických zplodin, které organismus nedokáže svým metabolismem odbourat;*
 - *látky, které se vnitřním prostředím standardně vyskytují, ale jejich množství / koncentrace / apod. převyšují hodnoty standardu – prahu: voda, ionty, hormony, vitaminy aj.;*
 - *některé cizorodé látky (např. léky aj.), jejichž koncentrace překročí spádovou hladinu;*
- produkci hormonů (renin, erythropoetin) a aktivaci vitamínu D;
- regulaci:
 - *krevního tlaku;*
 - *stálého objemu a složení extracelulární tekutiny.*

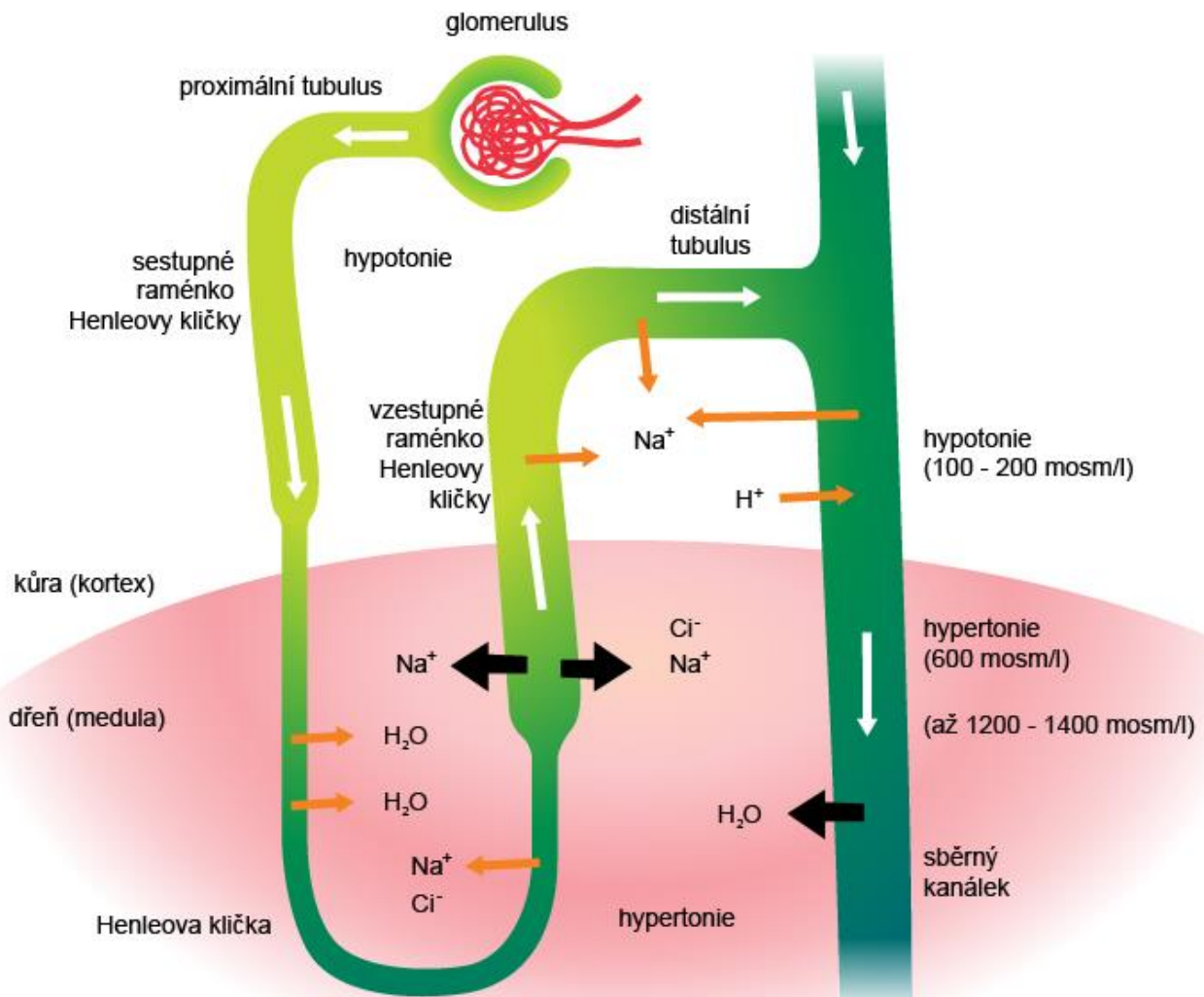
10.4.1 Systém glomerulární filtrace

- Základní struktura ledvin: funkční jednotka ledviny je tzv. **nefron**, ve kterém se ultrafiltrací tvoří moč (složení glomerulu – viz anatomie).

- Každý nefron obsahuje **glomerulus**, jehož systém umožňuje přestup vody a v ní rozpustných látek do tzv. **proximálního tubulu**, do kterého přestupuje tzv. **primární moč – izoosmotická tekutina**. Glomerulus obaluje zvláštní membrána, tzv. **Bowmanovo pouzdro**.
- Na primární tubulus navazuje tzv. **Henleova klička**, která ústí do **distálního tubulu** (do kterého přitéká hypotonická tekutina), ve kterém probíhá výběrová (fakultativní) resorpce vody a některých iontů – pod vlivem hormonů (aldosteron, antidiuretický hormon) a díky tzv. protiproudovému uspořádání ledvinných kanálků; následují **sběrné kanálky**, které upravují tubulární tekutinu na definitivní moč.



Obr. 65 Systém glomerulární filtrace.



Obr. 66 Schéma nefronu a vznik moči.

Některé základní údaje o ledvinách:

- průtok krve ledvinami: cca 1800 l/24 hod.;
- produkce ultrafiltrátu (primární moči): 175-185 l/24 hod.;
- produkce definitivní moči: 1500-2000 ml/24 hod.;
- hmotnost jedné ledviny: cca 150 g;
- resorpce vody a iontů v tubulech probíhá jak pasivně, tak aktivně;
- glukóza je tzv. „látkou prahovou“ tzn., že až do překročení tzv. „ledvinného prahu pro glukózu“ se glukóza do definitivní moči nevyučuje; po překročení tohoto prahu (při glykemii 9-10 mmol/l) přestupuje glukóza do moči = glykosurie;
- na řezu ledviny je patrna tzv.:
 - kůra – obsahuje glomeruly, proximální a distální tubulus;
 - dřeň – ve které je tzv. Henleova klička.

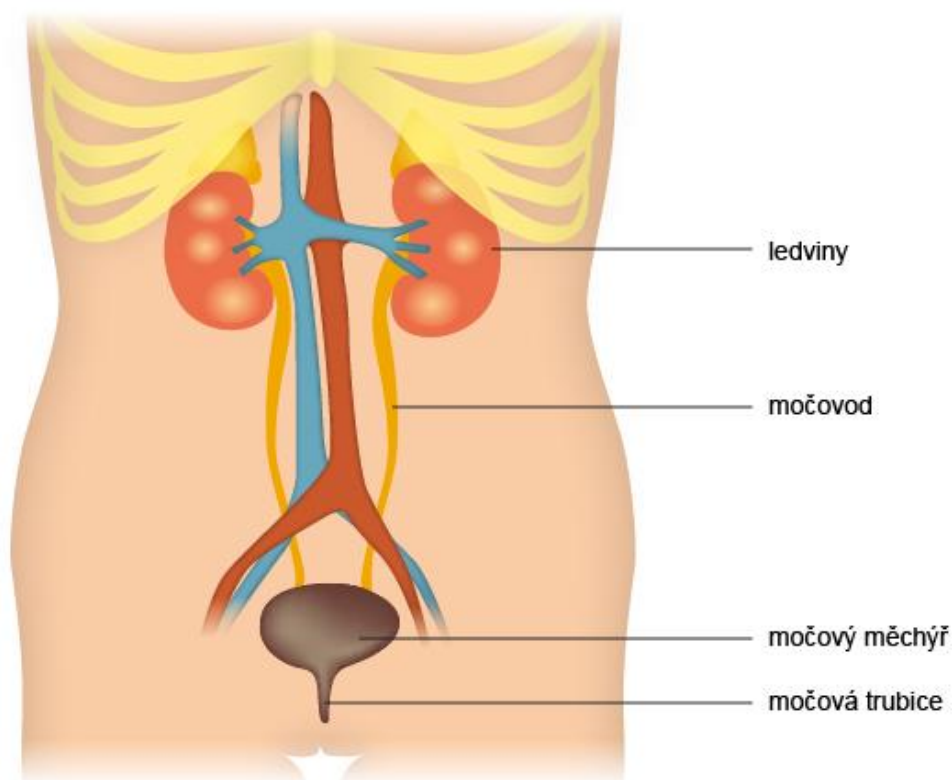
Definitivní moč a její vyloučení

Produkce tzv. **definitivní moči** (vytéká ze sběrných kanálek), představuje cca 1500-2000 ml/24 hod. Hovoříme o **denní diuréze** (diuréza = produkce moči). Objem moči kolísá za fyziologických podmínek:

-
- zvýšení denní diurézy nad 2500-3000 ml/24 hod. = **polyurie**;
 - snížení denní diurézy, hovoříme o tzv. **oligurii**;
 - snížení objemu produkované moči pod 50-500 ml hodnotíme jako **anurii**.

Fyziologické parametry definitivní moči:

- nažloutlé zbarvení působí urochrom (jiné odstíny jsou při patologických stavech);
- pH: 7,5-7; specifická hmotnost moči: 1003-1038 kg/m³;
- bez přítomnosti glukózy, bílkovin a bez produktů metabolismu/toxických látek.



Obr. 67 Základní stavba močového systému.

10.4.2 Vývodné cesty močové slouží pouze k odvodu moči:

- močovod – ureter (párový orgán) – odvádí moč z každé ledviny separovaně; jde o aktivní děj využívající peristaltiky močovodu, kterou zajišťuje hladká svalovina;
- močový měchýř – vesicica urinaria – slouží jako rezervoár moči (kapacita je individuální, závisí na věku, habitu a dalších parametrech); je schopen aktivního stahu; od močové trubice je oddělen svěrači, které zajišťují tzv. močovou kontinenci;
- dolní cesty močové (močová trubice) – uretra – odlišná délka a další parametry u mužů a u žen.

Několik poznámek k funkci ledvin v bodech:

- ledviny jsou nezbytnou součástí lidského těla – ztráta jejich funkce vede (bez další léčby – dialýza, transplantace) k metabolickému rozvratu během několika dnů s následkem smrti;
- kapacita ledvin je „*předimenzovaná*“, při poškození ledviny vystačíme (pokud nejsme vystavení větší zátěži) cca s 25 % ledvinného parenchymu (= 1/2 jedné ledviny);
- vývoj ledvin pokračuje po narození u malých dětí – novorozenec ještě nemá schopnost koncentrovat moč => při ztrátách tekutin (průjmem, zvracením) se velmi snadno dehydratuje;
- staří lidé jsou ohroženi dehydratací nejčastěji ze dvou příčin:
 - vlivem patologických stavů postihujících ledviny mívají sníženu filtrační kapacitu ledvin;
 - velmi často trpí ztrátou pocitu žízně;
 - jejich močové potíže (inkontinence, malá kapacita močového měchýře, imperativní nucení na mikci aj.) je vedou k vědomému omezování příjmu tekutin;

u většiny dospělých a zdravých osob zcela dostačuje – za normálních podmínek – k pokrytí denního příjmu tekutin cca 1500-2000 ml vody(!). Tzv. „*doporučení zvýšeného*“ pitného režimu (např. tzv. „*detoxikace*) aj.) nemají žádnou logiku a znamenají zvýšenou zátěž organismu.

Výjimkou jsou patologické a extrémní stavy, kdy mj. dochází:

- ke ztrátě vody (průjem, zvracení, pocení, vysoké teploty, při horečce apod.);
- k retenci vody – např. poruchy funkce ledvin, onemocnění kardiovaskulární aj.;
- tzv. pitný režim je proto – při onemocnění a v extrémních podmínkách – třeba přizpůsobit věku konkrétní osoby, jejímu zdravotnímu stavu a zátěži organismu v daném okamžiku;
- díky homeostatickým mechanismům je naprostým nesmyslem *režim průběžného popíjení vody* např. v průběhu vyučovací hodiny (45 min.), za předpokladu, že bude příjem tekutin rozložen pravidelně v průběhu dne (většina lidí během spánku také nepřijímá tekutiny(!));
- **dehydratace** – ztráta/ nedostatek vody v (jinak zdravém) organismu:
 - při ztrátě vody v množství menším než 2 % tělesné hmotnosti vnímáme (za normálních okolností) pocit žízně; někdy můžeme pozorovat i sníženou fyzickou výkonnost;
 - při ztrátě 6-8 % vody nastupují závratě, bolesti hlavy; někdy můžeme pozorovat i snížené smyslové vnímání a zpomalené reakce;
 - při 10% ztrátě vody již dochází k halucinacím a poruchám polykání;
 - ztráta vody odpovídající 10-20 % tělesné hmotnosti je již životu nebezpečná.

Pozn.: Až do určitého okamžiku je náš organismus schopen nedostatek vody (dehydrataci) kompenzovat regulačními mechanismy => nepozorujeme žádnou poruchu funkcí. Větší dehydratace (mimo rozmezí mantinelů homeostázy), hrozí omezení/ porucha funkce organismu. Naše tělo pak vysílá varovné signály (např. při dehydrataci – pocit žízně)- symptomy dehydratace a žízně. Řešením je zvýšení příjmu vody. Rizikem jsou však některé drogy. Nebezpečná je i dehydratace vyčerpaných a starých osob a u malých dětí.

10.5 Trávicí trakt jako součást vylučovacího systému

U převážné většiny orgánů / systémů lidského těla můžeme říci, že jejich funkce je pro organismus nepostradatelná a že by bez jejich činnosti organismus přestal fungovat. Mnoho orgánů má přitom více funkcí (vnitřní ucho: sluch a zajištění rovnováhy; pankreas: vnitřní, ale i zevní sekrece, játra: produkce celé řady působků v rámci vnitřní / zevní sekrece, metabolismus, exkrece aj.). Mezi tyto „*multifunkční*“ systémy patří i **trávicí trakt** (gastrointestinální trakt – GIT).

GIT tvoří soustava orgánů, které však mají často více rolí. Jako celek pak zajišťuje především: přijímání, zpracování (*rozmělnění, natrávení aj.*), vstřebání, ale i další úpravu potravy a látek v ní obsažených, které procházejí GIT (viz příslušná kapitola). Trávicí trakt však zajišťuje i další významné funkce: GIT má velký podíl na regulačních homeostatických mechanismech u všech savců.

K přijaté potravě jsou, v určitých úsecích GIT, přidávány – v rámci trávení – další látky (produkty žláz s vnější sekrecí). V trávicím traktu zůstávají nevstřebány některé součásti potravy, které GIT neumí zpracovat (např. celulóza), dále GIT obsahuje některé metabolity, které organismus není schopen „recyklovat“ (a je třeba je proto vyloučit). Významná role GIT je i ve spoluúčasti na homeostatických pochodech a regulacích organismu.

10.5.1 GIT a cyklus vodního hospodářství organismu

Ústy přijmeme za normálních okolností potravu, jejíž nezbytnou součástí je i obvykle voda. Denní příjem vody v potravě dospělého člověka by se měl (za fyziologických podmínek a bez přítomnosti extrémní zátěže) pohybovat kolem ± 2000 ml. Voda přijatá v potravě se v našem těle stává součástí koloběhu tekutin, v rámci kterého dochází mj. k jejímu přestupu z GIT do lymfy, plasmy, dále extra / intracelulární tekutiny, i do celé řady sekretů.

Potrava (chymus = trávenina) postupuje přes žaludek do tenkého střeva, kde mj. probíhá nejvýznamnější fáze resorpce látek z potravy. Dalším úsekem GIT je tlusté střevo (colon), do kterého prochází z tenkého střeva (v průběhu 24 hodin) cca 1500-3000 ml tráveniny (*převážně vody, z iontů je v ní obsahově nejvýznamnější sodík – 120 mmol*).

V tlustém střevu se trávenina posouvá od caeca ke konečníku cca 24 hodin. Během této doby dochází zejména ke vstřebávání vody. Stolice se tak zahušťuje a obsahuje nevstřebatelné součásti potravy a odumřelé bakterie obsažené v tlustém střevu (viz dále v textu). Během pohybu stolice v tlustém střevu je resorpce vody tak účinná, že konečníkem vylučujeme cca 20-200 ml vody (za fyziologických podmínek) a méně než 25 mmol sodíku. Hlavní funkcí tlustého střeva je tedy vstřebávání vody a iontů, dále dočasné skladování zbytků chymu, ze kterého vzniká formovaná stolice.

Tlusté střevo je osídleno populací různých bakterií, které jsou schopné štěpit pouze část rostlinné vlákniny. Činností bakterií v tlustém střevu vznikají vitaminy K, thiamin (B1), riboflavin (B2), ale také střevní plyny složené z CO₂, vodíku, sirovodíku a metanu. Trávenina přicházející z tenkého střeva obsahuje již nestravitelné a nevstřebatelné součásti potravy, dále součásti trávicích šťáv a žlučová barviva, kyseliny a zbytky trávicích enzymů. Bakterie obsažené v tlustém střevu jsou – po ukončení své existence – vyloučeny konečníkem a obvykle představují (při vyvážené stravě) 30% pevné části stolice.

Při postupu tlustým střevem se stolice zahušťuje (resorpcí vody a iontů) a formuje se. Po vstupu do ampuly rekta (konečníku) pak vyvolává defekační pocity, přičemž naplnění rekta objemem 100-250 ml vede k reflexní reakci – otevření – vnitřního svěrače konečníků, což vede k pocitu nucení na stolicí. Denně se (za normálních podmínek) vyloučí 100 – 300 g stolice v závislosti na charakteru stravy.

Budeme-li pohlížet na GIT jako na součást vylučovacího systému, pak musíme konstatovat, že se velmi významně podílí i na regulaci pohybu / objemu vody a dalších látek, které přestupují do tělesných tekutin. GIT tak významně reguluje vnitřní prostředí našeho organismu a udržuje jeho stabilitu.

Př.:

- **průjem** – dochází k významným ztrátám vody, iontů a dalších látek (které by byly jinak reabsorbovány sliznicí GIT). Tento stav vede k rozvoji dalších závažných patologií. *Pokud nedojde k včasné úpravě poměrů v GIT, a když organismus není schopen kompenzovat důsledky tohoto patologického stavu => organismus strádá a hrozí selhání životních funkcí;*
- **zástava střevní peristaltiky** – ileosní stavy („*zauzlení střev*“), vedou k rozvratu metabolismu a homeostázy; nejsou-li vyřešeny => **organismus strádá a hrozí selhání životních funkcí;**

10.6 Dýchací trakt jako součást vylučovacího systému

Hlavní role dýchacího systému spočívá v bezpečném zajištění výměny dvou plynů v našem organismu: kyslíku (který je nezbytnou součástí všech oxidačních metabolických procesů) a CO₂, který je jedním z těch metabolických produktů, které sice náš organismus nedokáže zpracovat, ale který má přesto nenahraditelnou roli v udržení / a v regulaci hodnot pH tělesných tekutin. Mj. i díky CO₂ je naše tělo schopno udržet pH tělesných tekutin v mantinelech homeostatických parametrů – což je nezbytné pro činnost jednotlivých buněk a orgánů našeho celého těla.

Nelze však opomenout i další role orgánů dýchacího traktu, nezbytné pro náš organismus („*limitovaná*“ očista vdechovaného vzduchu od mechanických součástí – prach, zvlhčení a ohřev vzduchu) a samozřejmě výměna plynů. Princip výměny plynů a další funkce orgánů dýchacího traktu jsou popsány v samostatné kapitole (odkazují na tento text a dále na předmět ANATOMIE).

10.6.1 Vztah plicní ventilace a plicní perfúze

Ventilace (objem plynu, který je za danou časovou jednotku vdechnut a vydechnut) a perfúze (objem krve, která proteče ve stejném čase plicním řečištěm) představují ve vzájemném vztahu komplexní údaj, který má v daném čase a za daných podmínek charakteristické hodnoty, které zásadně ovlivňují účinnost a rychlost výměny plynů v plicích. Na výsledek tohoto vztahu mají vliv poměry distribuce plynů v dýchacích sklípcích, tak v distribuci krve plicním řečištěm. Jde o významný údaj o ventilaci konkrétní osoby.

Výměna (difúze) plynu mezi prostorem plicního sklípku (alveolus) a molekulou hemoglobinu (vázanou na erytrocyt) probíhá mechanismem rozdílu parciálních tlaků plynů v obou prostředích:

- v alveolech jsou průměrné hodnoty p_{aO_2} 13,33 kPa (100 mm Hg), hodnoty p_{aCO_2} 5,33 kPa (40 mm Hg);
- v žilní krvi (na úrovni a. pulmonalis) jsou hodnoty p_{aO_2} 5,33 kPa (40 mm Hg), hodnoty p_{aCO_2} jsou 6,13 kPa (60 mm Hg).

Tlakový spád mezi hodnotami plynů v obou prostředích je pro výměnu plynů dostačující, navíc, CO₂ přestupuje mnohem rychleji než O₂.

Vztah mezi ventilací a plicní perfúzí se standardně uvádí jako ventilačně-perfúzní poměr: V/Q. Celkový poměr V/Q je u vzpřímeného člověka (poloha vyšetřované osoby je pro hodnotu V/Q významná) v klidu 0,8. Pozor: celkově však nejsou ventilačně-perfúzní poměry v plicích uniformní!

Pohyb O_2 a CO_2 mezi alveolem a molekulou hemoglobinu (obsaženou v erytrocytech) probíhá v obou směrech prostou difúzí – což je v plicích trvale dynamický proces: krev neustále obtékající plicní sklípky je chudá na O_2 a bohatá na CO_2 . Významný je tzv. difúzní gradient: ventilačně - perfúzní poměry v plicích totiž nejsou standardně uniformní!

➤ O_2 :

- je chemicky vázán na hemoglobin;
- je fyzikálně rozpuštěn v plazmě;
- v 1 l arteriální krve je obsaženo 200 ml O_2 , z toho 197 ml je chemicky vázáno na hemoglobin a 3 ml připadají na fyzikálně rozpuštěný O_2 ;
- fyzikálně rozpuštěný O_2 podmiňuje parciální tlak a tím umožňuje difúzi;

➤ CO_2 :

- je chemicky vázán ve formě bikarbonátů a karbaminohemoglobinu;
- je fyzikálně rozpuštěn v plazmě;
- v 1 l venózní krve je cca 520 ml CO_2 vázáno chemicky, zbytek – cca 27 ml je fyzikálně rozpuštěn v plazmě).

10.6.2 Regulace dýchání – součást systému vylučování a metabolické kompenzace

Řízení dýchání je zajištěno komplexně:

- modulovanou aktivitou dechového centra, které je součástí mozkového kmene;
- chemickými detekčními a reflexními mechanismy;
- dalšími, tzv. ovlivnitelnými mechanismy, které jsou nadřazeny mozkovému kmeni (např. kůra mozková).

Dechové centrum tvoří komplexní síť neuronů prodloužené míchy a pontu, vytvářející rytmické impulzy. Toto centrum zajišťuje automatické dýchání.

Základní spotřeba O_2 je u dospělého člověka cca 250 ml/min., minutová produkce CO_2 pohybuje kolem 200 ml/min. (u patologických stavů je produkce CO_2 významně zvýšena).

Chemická regulace dýchání

Chemické detekční mechanismy zahrnují soustavu periferních a centrálních chemoreceptorů:

- **periferní chemoreceptory** v glomus caroticum a ve stěně aortálního oblouku „referují“ dechovému centru o nástupu hypoxie; reagují na poklesu PaO_2 pod 8 kPa. (reagují na parciální tlak, nikoliv na obsah O_2 v krvi; pozn.: pozor při intoxikaci CO nedochází ke stimulaci dechového centra, parciální tlak O_2 je stále vysoký, pouze klesá transportní kapacita krve.
- **centrální chemoreceptory** jsou lokalizovány v prodloužené míše a regulují dýchání dle tenze CO_2 a podle hodnoty pH v arteriální krvi protékající mozkovým kmenem; proto mírná a stálá automatická stimulace dechového centra funguje i za normálních okolností.

Pozn.: Zvýšení hodnoty CO_2 v krvi zvyšuje (za normálních okolností) plicní ventilaci. S věkem a dále ve spánku tato forma odpovědi poněkud klesá.

Poruchy dechového cyklu – vybrané pojmy:

- *tachypnoe a polypnoe*: zvýšení dechové frekvence;
- *hyperventilace / hyperpnoe*: zvýšené dýchání s / bez urychlení dechové frekvence (obvykle vede k hypokapnii = nižší obsah CO₂ v krvi => nižší hodnota pH krve);
- *hypoventilace*: snížená minutová ventilace (obvykle vede k hyperkapnii = vyšší obsah CO₂ v krvi => vyšší hodnota pH krve);
- *apnoe*: zástava dýchání v expiriu;
- *apneuze*: zástava dýchání v inspiriu;
- *gaspung*: lapavé dýchání;
- *Kussmaulovo dýchání*: hyperpnoe při metabolické acidóze;
- *Cheneovo a Stokesovo dýchání*: periodické dýchání;
- *Biotovo dýchání*: oběhová příčina: cyklus delší 45 sec.;
- *porucha dechového centra (i po léčích)*: cyklus dýchání do 45 sec;
- *lapavé dýchání s apnoickými pauzami*: při lézi CNS.

Mechanismus kompenzatorního dýchání. Energetické nároky na maximální expirium jsou poměrně velké a doba potřebná pro tuto fázi dechového cyklu je poměrně dlouhá. Při velké zátěži je právě tato doba nevýhodná pro zajištění vyšší oxygenace organismu. Organismus si proto volí efektivnější řešení – zvýšení dechové frekvence – tachypnoi – s nepatrným prohloubením dýchání (povrchní a mělké dýchání je neefektivní).

Parametry acidobazické rovnováhy (vztah mezi složením pufu a jeho kyselostí). Některé bazální údaje týkající homeostázy lidského organismu v tělesném klidu:

- **fyzilogické rozmezí pH: 7,4 ±0,04**
- **pCO₂ (parciální tlak CO₂) : 5,35±05 kPa (v arteriální krvi)**
- **Base excess (BE): +2,5 až -2,5 mmol·l⁻¹ (BE = úbytek zásaditých látek, kterými je kompenzována acidóza)**
- **pO₂ (parciální tlak O₂) : posouzení tkáňové hypoxie, normální hodnoty 9,3–15,5 kPa**
- **Buffer base séra (BBS): vztah mezi hlavními kationty a Cl**

Výkyvy a patologické stavy – poruchy acidobazické rovnováhy:

- **metabolická acidóza** – je patologický stav různého původu (např. při diabetes mellitus, uremii, zvýšené fyzické zátěži – anaerobní cyklus aj.), při kterém dochází (vlivem kyselého pH ve tkáních) ke stimulaci receptorů dýchání => stimulace dýchání => snížení P_{CO2} => pokles koncentrace H⁺ v krvi a ve tkáních;
- **metabolická alkalóza** – je patologický stav různé etiologie (např. při dlouhodobém zvracení => ztráty HCl), což vyvolává ztráty HCl => zásaditější pH tkání organismu. Při metabolické alkalóze dochází k útlumu dýchání => zvýšení arteriálního P_{CO2} => zvýšení koncentrace H⁺ => normalizace pH tkáně;
- **respirační acidóza** – nerovnováha mezi produkcí CO₂ tkáněmi a jeho vylučováním (rozlišujeme akutní a chronický stav);
- **respirační alkalóza** – produkce oxidu uhličitého ve tkáních je relativně konstantní, ale dochází ke zvýšenému vylučování CO₂ dýcháním (obvykle hyperventilací) => pokles pCO₂ (i koncentrace H₂CO₃ ve tkáních => vychýlení poměru acidobazické rovnováhy;

-
- **hyperkapnie:** hromadění CO₂ v organismu (nedostatečným vylučováním (poruchy metabolismu nebo nedostatečnou plicní ventilací /výměnou plynů):
 - symptomy: bolesti hlavy, ospalost, poruchy psychiky, komatosní stavy, až možnost úmrtí; reakce dechového centra
 - reakce organismu: kompenzatorní zvýšení plicní ventilace /výměny plynů (hyperventilace, tachypnoe, tachykardie, zvýšení krevního tlaku);
 - **hypokapnie:** nedostatek CO₂ v těle (nadměrným vylučováním (poruchy metabolismu, nebo nadměrná plicní ventilace / výměna plynů):
 - **symptomy:** poruchy psychiky a orientace, závratě, parestázie;
 - **reakce organismu:** pokles krevního tlaku, mdloby, omezení reflektorického dýchání.

Korekce / kompenzace výchylek acidobazické rovnováhy (ABR)

Dojde-li z jakéhokoliv důvodu k poruše ABR, aktivuje organismus kompenzatorní mechanismy, kterými usiluje o udržení hodnoty pH vnitřního prostředí tkání organismu v rozmezí homeostatické hodnoty. Jde o princip zpětné vazby, kdy organismus aktivuje při poklesu určité funkce kompenzatorně vzestup jiné funkce a obráceně. Fakticky tak bojuje „*vůči původní poruše ABR další poruchou na jiné úrovni*“, která vychyluje pH opačným směrem. Rozlišujeme dvě skupiny takových mechanismů.

Rozvinutí korekčních a kompenzačních mechanismů ABR vyžaduje určitý čas. Ke změně respirace dochází téměř okamžitě po vzniku poruchy ABR. Respirační kompenzační mechanismy se ihned zvyšují, maxima dosáhnou asi za 12 – 24 hodin. Kompenzace a korekce poruchy ABR na úrovni ledvin jsou oproti respiračním mnohem pomalejší – jde o regulaci transportních mechanismy, což často vyžaduje syntézu proteinů. Maxima změn dosahují ledvinné kompenzační mechanismy až za pět dnů. **Naše tělo proto využívá při řešení akutní poruchy ABR prioritně respirační systém.**

Příkladem je:

- kompenzace metabolické acidózy při extrémní fyzické zátěži, kdy ve svalové tkáni přetrvává zvýšená hodnota laktátů;
- nebo aklimatizace na vysokohorské podmínky, kdy organismus řeší pomocí hyperventilace tkáňovou hypoxii (při sníženém obsahu O₂ ve vdechovaném vzduchu se ventilace zvyšuje).
 - Jde tedy o akutní reakci, která však (díky nízkému parciálnímu tlaku O₂ řeší nedostatečnou saturaci tkání pouze částečně), hyperventilace však vede k respirační alkalóze, kterou organismus – v rámci korekce ABR kompenzuje „*přeregulací činnosti ledvin do tzv. metabolické acidózy*“. Protože toto „*přenastavení*“ ledvinných funkcí je pomalejší (cca s pětidenním prodlením), musíme počítat po tuto dobu s projevy vysokohorské nemoci (poruchy vědomí, otok mozku, otok plic, tachykardie, tachypnoe, únavnost).

Vysokohorská aklimatizace a chemická regulace dýchání

Vysokohorská aklimatizace a chemická regulace dýchání (mimo kompenzatorní hyperventilaci s tachypnoí) spočívá v:

- „*přeregulací činnosti ledvin do tzv. metabolické acidózy*“ (cca pět dnů – změny lze urychlit zvýšeným příjmem tekutin a iontovou korekcí);

-
- stimulaci produkce erythropoetinu => zvýšení erythropoezy => zvýšení počtu erytrocytů => větší přísun kyslíku do tkání => úprava tkáňové hypoxie => normalizace metabolických pochodů tkání => postupné odbourání kompenzatorní metabolické acidózy => pokles dechové frekvence.

10.7 Potní žlázy jako systém vylučování

Systém potních žláz je, stejně jako mnohé orgány / systémy lidského těla, tzv. multifunkční. Jejich role se sice v průběhu vývoje člověka vyvíjela (v důsledku toho některé jejich funkce nemají takovou roli/význam jako u našich prapra...předků. Někdy jsou produkty potních žláz vnímány jako obtěžující a proto v tzv. „civilizované západní společnosti“ nevhodné a špatně akceptované (pach při pocení, sekrece apokrinních žláz aj.). Proto v kterékoliv encyklopedii /na internetu najdete spoustu informací řešících problémy spojené s pocením. Role potu a jeho význam je však stále velmi významný. V tomto textu se budeme zabývat systémem potních žláz jako součástí systému vylučování.

Pocení je regulováno neuroendokrinním systémem, především cestou vegetativního nervového systému. Protože se na sekreci potu podílejí dva typy potních žláz (ekrinní a apokrinní) jejichž funkce se nejenom podstatně liší, ale které mají i odlišné složení sekrece, je logické, že produkce potu (množství a složení) se bude lišit v závislosti na zevních a vnitřních faktorech a bude různá u různých osob. Pocení je (navzdory negativnímu pohledu), i pro člověka dnešní doby, nezbytným a mnohdy výhodným dějem.

Pot vzniká nezávisle na naší vůli, tělesné /venkovní teplotě a je pro člověka nezbytný. Víme, že jeho sekreci ovlivňuje zdravotní stav, stres, emoce. Jsou situace, při kterých je sekrece potu vyšší (někdy až velmi vysoká). Vnímáme, že je přirozené se více potit v teple /horku, při vyšší tělesné námaze, při horečce, při psychické zátěži (nervozita, zlost, rozpaky, strach aj.), ale i při některých patologických stavech (tehdy hovoříme o hypersekreci – hyperhidróze.

Při pocení se tělo ochlazuje a vyměšuje potem, mimo vodu i řadu dalších látek. (Vnímáme i tzv. lokální hyperhidrózu (nadměrnou sekreci potních žláz určité oblasti – často dlaně, podpaží, chodidla aj.).

Dalšími faktory, stimulující sekreci potu, jsou i některá jídla (kořeněná), nápoje, kofein, nikotin, ale i některé léky. Je důležité rozlišovat mezi nadměrným pocením primárním (které je vrozené a hraje v něj roli dědičnost) a sekundárním (které je pouze projevem jiného onemocnění či některých fyziologických jevů). Na regulaci primárního pocení se podílí tělesná teplota – je pro člověka nezbytné.

Sekundární pocení může zapříčinit např. horečka, chronické infekce, menopauza, menstruace, nadprodukce hormonů štítné žlázy, nádory, obezita, oblékání aj.

Při fyzické zátěži se vytváří se v našem organismu teplo, které je třeba v případě potřeby – v rámci zachování homeostatických mantinelů – eliminovat. Na ochlazení našeho organismu se proto podílí celá řada regulačních mechanismů a pot je pouze jedním řady faktorů, přesto je v určité situaci nezbytný. Pot jednak vyvolává na kůži chladící efekt, ale především - vlhká kůže lépe předává teplo a zvyšuje ochlazení tělesného povrchu. **Pocení označujeme také pojmy jako: *hidróza (hidrosis), diaforéza, sudatio, perspiratio, nebo transpiratio.***

Potní žlázy jsou uloženy v kůži (konkrétně ve škáře = vrstva kůže):

- funkce potních žláz: termoregulační, exkreační;
- potní žlázy jsou bohatě vaskularizovány;
- jejich počet: cca 2-3 milióny;
- jako stočené klubíčko, z něho vychází trubicovitý vývod, ústí na povrchu kůže tzv. póry, které jsou vystlány epidermálními buňkami;
- póry jsou téměř všude na těle (nejvíce čelo, v podpaží, dlaně, chodidla, oblast hrudníku; chybí na okraji rtů);
- pot se odpařuje tehdy, je-li dostatečně teplo a při dostatečné hydrataci organismu.

Tab. 9 Rozdíly mezi potními žlázami.

	ekrinní žlázy	apokrinní žlázy
funkce	termoregulační, vylučovací	„pachové žlázy“
konzistence	vodnatá	lepkavá
barva	čirá	mléčně bílá
složení	voda + soli, stopové prvky, urea	voda + tuky a bílkoviny feromony

Pot (hidros) je vodnatý produkt **ekrinních a apokrinních kožních žláz**, ve kterém jsou rozpuštěny: NaCl (nejvíce), močovina, kyselina močová, kyselina mléčná (účinky baktericidní), mastné kyseliny, některé aminokyseliny, kreatinin => pot má kyselou reakci. Oba typy žláz mají zcela odlišnou sekreci, funkci a produkují zcela odlišný typ potu se zcela odlišnou rolí.

Stručná fakta o potu:

- pot zvlhčuje a ochlazuje pokožku (po odpaření H₂O);
- pot na těle působí jako ochranný filtr proti UV záření;
- produkce potu: v rozmezí cca 0,5-10 l potu/den (dle teploty a tělesné námahy);
- tvorbu potu lze navodit podáváním potopudných látek (bez černý);
- vylučování potu je řízeno vegetativním NS, dále podněty z hypotalamu (aktivace potních žláz při přehřívání organismu a při psychické zátěži); se zvyšuje též po nervovém (citovém) vzrušení;

Ekrinní potní žlázy fungují už od útlého věku a jejich sekret pomáhá (v případě nutnosti ochladit povrch kůže. Tímto mechanismem se potní žlázy mj. významně podílejí i na termoregulaci celého organismu. Pot ekrinních žláz obsahuje kromě vody také (dle situace a stavu organismu) různé množství iontů (natria, kalia, chloru, magnesia). Složení potu ekrinních žláz je však ovlivňováno celou řadou faktorů – je proto velmi individuální.

Apokrinní potní žlázy jsou specifické potní žlázy, vždy související s vlasovými folikly. U člověka se vyskytují pouze v některých tělních krajinách (axilla, dvorec prsní bradavky, kůže velkých stydkých pysků, perinea a okolí řitě, při volném okraji očních víček, ve vestibulum nasi, a v zevním zvukovodu. Jejich činnost se spouští v pubertě, produkují specifické aromatické látky (feromony), odlišné u obou pohlaví.

Apokrinní žlázy se podobně jako ekrinní potní žlázy skládají ze sekrečního oddílu a vývodu, který je stejně jako u ekrinních potních žláz vystlán epitelem. Apokrinní žlázy ústí spolu s vývodem mazové žlázy.

Produktem apokrinních žláz není pot v pravém slova smyslu, nýbrž vazký sekret bohatý na bílkoviny. Přítomnost proteinové složky v sekretu podmiňuje jak aroma typické pro jednotlivé žlázy, tak i pachy charakteristické pro určitá individua nebo pro příslušníky určitého genotypu (platí zejména o axilárních žlázách, které produkují mléčně zbarvený sekret, obsahující kromě bílkovin a organických látek i malé množství steroidů). Je o prostředí, které je ideální živnou půdou pro bakterie na povrchu kůže. Při rozkladu potu vznikají v těchto oblastech další sloučeniny – aromatické látky, které jsou příčinou specifického tělesného oděru každého jedince.

Přestože sekrece **apokrinních žláz u lidí není příliš významná, podstupují u žen** apokrinní žlázy podpaží a oblasti genitálu během menstruačního cyklu cyklické změny.

Mazové žlázy: produkují maz, jejich vývody ústí do vlasové pochvy, kudy se dostává na povrch kůže:

- jsou na celém těle, kromě míst, kde nejsou chlupy (dlaně, chodidla, rty);
- funkce a složení mazu:
 - obsahuje tuk, bílkoviny, soli; vyloučí se ho obvykle cca 1-2 g/den;
 - udržuje pH kůže, kterou zvláčňuje a mastí;
 - je ochranou před promáčením a vysycháním;
 - zabraňuje lámavosti vlasů;
 - pokožku činí vláčnou a hebkou tím, že potahuje odumřelé keratinové zrohovatělé buňky;
 - zadržuje vlhkost => lesklé vlasy a vousy;
 - baktericidní efekt – „zabíjí“ škodlivé bakterie;
 - zvyšuje izolační vlastnosti ochlupení atd.

Některá fakta o potních žlázách – souhrn:

- máme asi 3 miliony potních žláz;
- až 99 % potu tvoří voda, ve které jsou rozpuštěny Na, Cl, L, Mg, další soli, laktát, aminokyseliny a urea;
- čerstvý sekret **ekrinních** potních žláz nepáchne – zapáchá až působením bakterií, které produkují např. kyselinu máselnou a mravenčí;
- sekret **apokrinních** potních žláz má svůj oděr, který je ovlivněn řadou faktorů;
- je rozšířeným omylem, že pocením se dá zhubnout; jde však o chybnou premisu: při vyšší fyzické aktivitě hubneme pouze zvýšenou zátěží; pocení je pouze doprovodným termoregulačním jevem, který však neznamená váhový úbytek, ale je pouze dokladem zvýšené fyzické aktivity;
- standardní produkce potu (za fyziologických podmínek) je mezi 50-500 ml;
- sekreci potu ovlivní i fyzický výkon (člověk vážící 70 kg může vypotit za hodinu fyzické námahy až 1000 ml);
- pocení je podmíněno i geneticky; Asiaté se potí méně než Evropané a obyvatelé Severní Ameriky;
- lidé s nadváhou s většinou potí více než hubení, (tuk je mj. výborný izolant – pomáhá zadržovat teplo).

10.8 Příklady regulovaných složek vnitřního prostředí

- **Osmolalita:** fyziologická hodnota – 280-300 mosm/l: je odrazem celkové koncentrace elektrolytů (především Na, K, Cl) a některých solubilních látek (glukóza, urea aj.);

-
- *osmolalitu zvyšují: retence Na (vlivem aldosteronu), zahuštění plazmy při deficitu antidiuretického hormonu (diabetes insipidus), hyperglykemie při deficitu inzulínu (diabetes mellitus) dehydratace, aj.;*
 - *osmolalitu snižuje: ztráty sodíku, snížená hladina aldosteronu, retence vody (diluční hyponatremie aj.*
 - **ABR** (acidobazická rovnováha séra): fyziologická hodnota – pH 7,36-7,44; 145-160 mmol/l (bikarbonát 24-35 mmol/l),;
 - Na udržování pH se podílí hlavně bikarbonát; příčinou změny pH mohou být:
 - **respirační acidóza** (anebo) **alkalóza** – *retence (anebo) deplece (nedostatek) CO₂;*
 - **metabolická acidóza** – *deficit inzulínu => vznik ketoláték při: tyreotoxikóze, hladovění, poškození funkce ledvin aj.;*
 - **metabolická alkalóza** – *při používání diuretik a při hyperaldosteronismu.*

 - **NATREMIE** (hladina natria v séru): 130-148mmol/l (sodík je hlavním kationtem plazmy); podílí se na regulaci a udržování:
 - *ABR;*
 - *objemu plazmy;*
 - *membránového potenciálu;*
 - Hladinu natria:
 - *zvyšuje: aldosteron, kortizol;*
 - *snižuje: ANP, osmotická diuréza, diluce plazmy.*
 - **KALIEMIE** (hladina kalía v séru: 3,8-5,1 mmol/l; draslík je hlavní kationt ICT, nezbytný pro činnost nervových a svalových buněk:
 - *nedostatek kalía => svalová slabost až obrny, srdeční arytmie, dysfunkce ledvinných tubulů, mentální změny`*
 - *nadbytek kalía K=> srdeční arytmie až srdeční zástava (kaliová smrt) – ovlivňuje činnost převodního systému srdečního.*
 - **KALCEMIE** (hladina kalcia v séru): 2,25-2,75 mmol/l (ionizovaný vápník – cca 1,1 mmol/l) = stavební složka kostí a zubů; nepostradatelný pro:
 - *všechny buňky (natriová a kalciová pumpa);*
 - *normální nervosvalovou dráždivost;*
 - *koagulaci (srážení) krve;*
 - *kontrakci bílkovin.*
 - Hladinu Ca v séru:
 - *zvyšují: parathormon (produkt příštítných tělísek), který uvolňuje vápník z kostí a kalcitriol (metabolit vitamínu D), který mj. zvyšuje resorpci Ca ve střevě);*
 - *Ca snižuje kalcitonin, který zajišťuje ukládání Ca do kostí.*

 - **FOSFATEMIE** (hladina fosforu v séru): cca 1 mmol/l) – stavební součást kostí a zubů, podílí se na fosforylačních reakcích, je obsažen v nukleové kyselině. Hladinu fosfátu:
 - *zvyšuje: kalcitriol;*
 - *snižuje parathormon a kalcitonin.*

 - **CHOLESTEROLEMIE** (hladina cholesterolu v séru): 4-6 mmol/l (podle věku), nezbytný pro buněčné membrány, substrát pro tvorbu steroidních hormonů; zvýšená hladina cholesterolu je spojována se vznikem aterosklerózy – velmi často jde o kombinaci genetických dispozic a životního stylu. Hladinu cholesterolu:
-

- *zvysuje: hypotyreóza a diabetes mellitus, dále androgeny a gestageny, tyroxin, trijodtyronin;*
- *snižuje: pokoušíme se o snížení hladiny cholesterolu obvykle souborem opatření (dietní a pohybové režimy – obecně životní styl), v některých případech i farmakologicky.*
- **PROTEINEMIE** (hladina bílkovin v séru): 64-82 g/l; bílkoviny jsou nezbytnou složkou všech tkání těla, hormonů, enzymů atd.; největší podíl krevních bílkovin jde na vrub albuminu: 35-53 g/l; hladinu bílkovin v krevním séru (a v organismu) ovlivňuje řada faktorů:
 - *význam má přísun bílkovin v potravě (podklady pro proteosyntézu) - **anabolismus**;*
 - *při nedostatku živin a tělesné inaktivitě dochází k odbourávání tělesných bílkovin – **katabolismus**.*

Dále se na hospodaření s bílkoviny podílejí:

- *proteosyntézu zvyšují (**anabolismus**): androgeny, estrogeny, růstový hormon, růstové faktory a tyroxin (ve fyziologické koncentraci);*
- *proteosyntézu snižují (**katabolismus**): tyroxin a trijodtyronin (při vyšších koncentracích), kortizol (inhibuje proteosyntézu) a vyvolává proteokatabolismus v tkáních imunitního systému.*
- **GLYKÉMIE** (hladina krevního cukru): 3,9-6,7 mmol/l); glukóza – základní zdroj energie pro organismus;
- *hladinu glukózy zvyšují: glukagon, kortizol, adrenalin, STH, somatoliberin – nepřímo.*
- *hladinu glukózy snižuje: inzulin.*
- **KLIDOVÝ BAZÁLNÍ METABOLISMUS** (dospělý člověk cca 70 kg): 1800 kcal/den (7600 kJ/den);
 - ***metabolismus zvyšují:** zvýšená produkce hormonů – T4, T3, adrenalin, noradrenalin, glukagon, kortizol;*
 - ***metabolismus snižují:** inzulin, deficit tyroxinu a jeho tkáňová přeměna na reverzní trijodtyronin (inaktivní) při hladovění a febrilních a katabolických stavech, horečce.*

➤ **KREVNÍ TLAK**

Udržení vnitřního prostředí napomáhá i transport a distribuce tělesných tekutin v těle.

Významnou roli má v tomto směru hodnota krevního tlaku (TK). Rozlišujeme krevní tlak v tepenném systému (tzv. arteriální TK) a v žilním systému (tzv. centrální žilní TK).

TK arteriální: můžeme standardně hodnotit mj. mi neinvazivním monitorováním (měřením).

Průměrná hodnota arteriálního TK): 120/80 mm Hg;

- *hodnotu TK zvyšují: angiotenzin, endotelin, adrenalin, noradrenalin, aldosteron, glukokortikoidy a fyzická zátěž;*
- *hodnotu TK snižují: ANP, EDRF – endotelový relaxační faktor, kininy.*

Hodnotu centrálního žilního TK obvykle zjišťujeme invazivní technikou a udáváme ji v cm vodního sloupce. Jde o měření speciálním katetrem zavedeným do oblasti pravé síně srdeční. Tyto hodnoty se pohybují kolem 0 cm H₂O sloupce vody. Centrální žilní tlak ovlivňuje celá řada faktorů – více v kapitole **KREVNÍ OBĚH**.

Důležité

- Žádný biologický organismus by nebyl schopen existence bez dodržení homeostázy.
- Homeostatické parametry regulují zpětné vazby neuroendokrinního systému.
- Kompenzatorní mechanismy regulace vnitřního prostředí dýcháním jsou rychlejší než kompenzační systémy ledvin.
- Základní poruchy acidobazické rovnováhy.
- Mechanismy korekce výkyvů acidobazické rovnováhy.
- Kompenzační mechanismy vysokohorské nemoci.
- Složky vylučovacího systému.
- Primární a sekundární moč: resorpce vody a iontů v ledvinách.
- Orgány regulující pH v lidském těle.
- Role vody v lidském těle.
- Regulace objemu vody a rozložení vody v lidském těle.
- Vnitřní prostředí.

11 Termoregulace

Obsah kapitoly

11.1 Úvod do kapitoly

11.2 Teplo (reakce a adaptace)

11.3 Chlad (reakce a adaptace)

Po přečtení této kapitoly, by si měl znát a umět logicky využít poznatky:

- o termoregulaci v lidském těle,
- o mechanismech výdeje přebytečného tepla,
- o mechanismech, které zvyšují tělní teplotu.

Klíčová slova:

termoregulace, hypotalamus, hypertermie, hypotermie, pocení (hidróza), piloerекce, třes

11.1 Úvod do kapitoly

Lidské tělo si za normálních podmínek udržuje konstantní teplotu 35,8-37°C. Pro svlečeného člověka v klidových podmínkách je ideální teplota vzduchu 28°C. Během zatížení větší intenzitou a v extrémních zevních podmínkách tělesná teplota stoupá.

Termoregulace je schopnost organismu udržovat stálou optimální tělesnou teplotu. Na teplotě těla závisí všechny biochemické pochody, ke kterým v našem organismu dochází. Metabolické pochody se zrychlují nebo zpomalují podle toho, jestli se teplota zvyšuje, nebo snižuje. Termoregulace nastupuje až po přestoupení hranic tělesné pohody. Centrálním orgánem, který reguluje tělesnou teplotu a funguje jako termostat, je **hypotalamus**. V kůži máme uloženy povrchové termoreceptory (tepelné senzory), které jsou propojeny s termoreceptory v hypotalamu, které snižují nebo zvyšují teplotu organismu prostřednictvím reflexů. Pro zaregistrování chladu má člověk 250 tisíc termoreceptorů a pro teplo 30 tisíc.

Termoreceptory:

- periferní (kožní)
- centrální (v hypotalamu)

- tepelné (asi 30 000)
- chladové (asi 250 000)

Teplota slupky a jádra

Teplota těla kolísá v závislosti na aktivitě a stavu organismu, na teplotě, vlhkosti a proudění vzduchu v okolí a na oblečení.

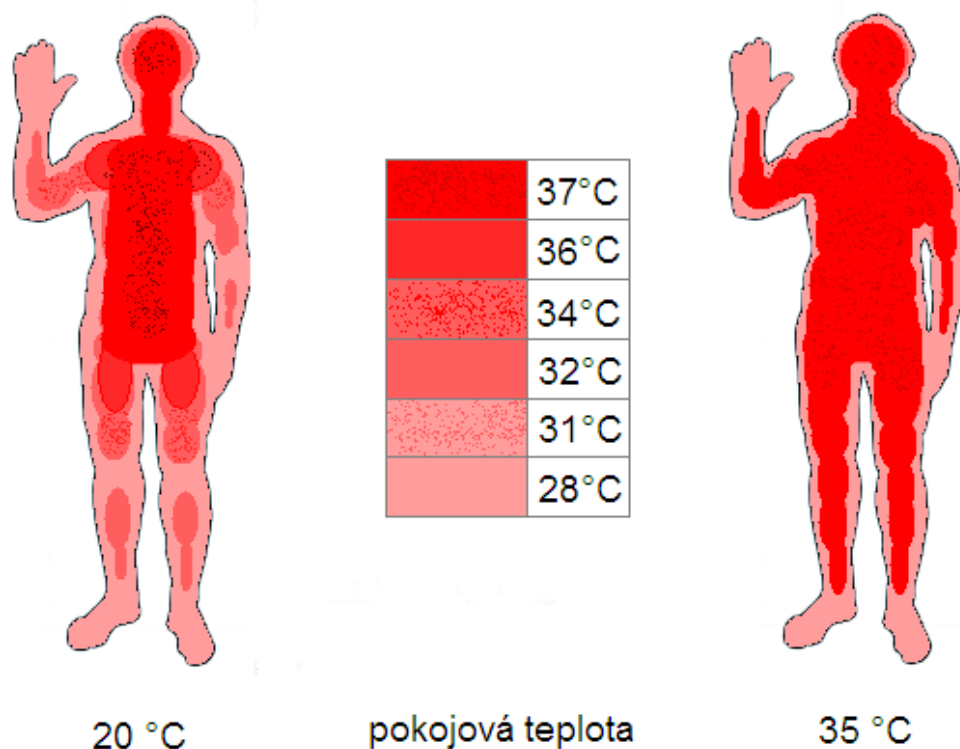
Lidské tělo se z pohledu termoregulace skládá ze dvou úzce propojených složek: tepelného jádra a tepelné slupky.

Jádro tvoří všechny orgány s vysokou látkovou přeměnou, tzn. vnitřní orgány krajiny hrudní, břišní, lebeční a proximálněji nejhloběji uložených částí končetin. Jádro je hlavním producentem tepla při v tělesném klidu (asi 70%) a jeho teplota se pohybuje mezi 35,0 – 37,3°C.

Tepelná slupka je povrchovou vrstvou a bývá různě široká dle tělesného typu. Slupku tvoří kůže, podkoží, tuková vrstva v podkoží a končetiny. Slupka má nestálou teplotu, která se mění vlivem okolí a je nižší oproti jádru.

U zdravého jedince je ideální hodnota rozdílu teploty mezi slupkou a jádrem 4°C. Kůže má tedy teplotu okolo 33°C.

Teplotní zóny jsou znázorněny na následujícím obrázku (obr. 68).



Obr. 68 Teplotní zóny těla.

Kolísání tělesné teploty

Normální tělesná teplota u člověka kolísá během dne v rozmezí o 0,5-0,7°C. Nejnižší teplota je ve spánku a přes den okolo šesté hodiny ráno, nejvyšší je na večer. Teplota stoupá při tělesném zatížení, teplo je produkováno svalovou činností – zvýšení metabolismu. Zvýšení teploty ovlivňuje také sekrece některých hormonů (progesteron, růstový hormon, testosteron, adrenalin a noradrenalin).

Tvorba a výdej tepla

Lidský organismus se snaží svoji teplotu udržovat neustále v rovnováze (viz. homeostáza). Dosahuje toho, tvorbou či výdejem tepla, podle toho v jakém teplotním prostředí se nachází, anebo zda je zrovna vykonávána fyzická aktivita ap.

Teplo se v organismu tvoří při svalové práci, zpracovávání potravy a při všech životně důležitých pochodech, které se podílejí na bazálním metabolismu. Organismus vydává teplo vyzařováním, vedením a vypařováním vody v dýchacích cestách a z povrchu kůže. Malé množství tepla odchází z těla také s močí a se stolicí.

Termoneutrální zóna = teplota okolí při níž není potřeba k udržování žádoucí teploty těla termoregulačních mechanismů (je nižší než teplota těla kvůli bazálnímu metabolismu).

Termoregulační chování

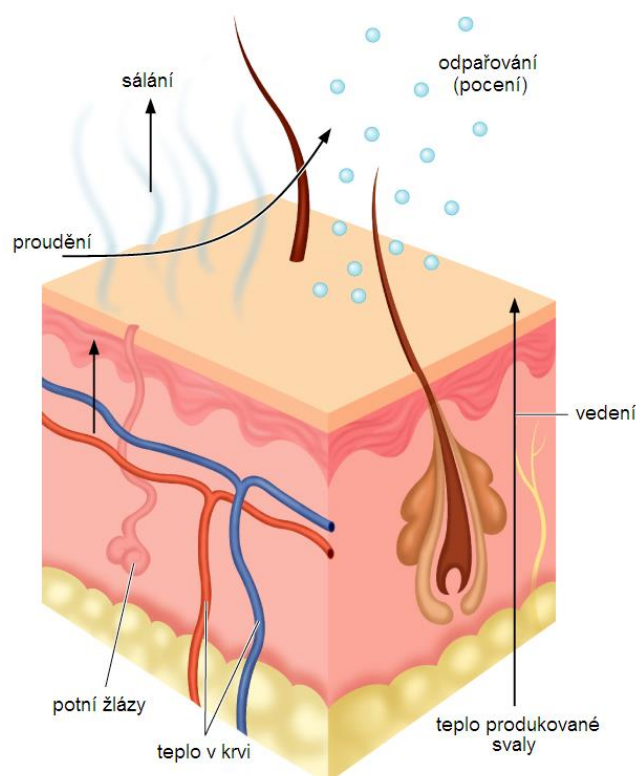
Termoregulační chování je u člověka nejúčinnějším mechanismem, který zabraňuje ztrátám tepla (oblékání, ukrytí se v závětrí nebo v místnostech, topení). Požití alkoholu zvýší sice momentální pocit tepla, protože způsobí vazodilataci cév, ale je však nebezpečné napít se alkoholu před odchodem do

chladného prostředí. Vazodilatace totiž urychluje ztráty tepla a může dojít k podchlazení organismu a ke zmrznutí.

11.2 Tepla (reakce a adaptace)

Tvorba tepla probíhá hlavně v jádře, a to především v játrech a svalech. Při zátěži se teplo vytváří až ze 70% ve svalech a 30% v ostatních orgánech.

Následující obrázek (obr. 69) seznamuje se základními mechanismy výdeje tepla.



Obr. 69 Mechanismy výdeje tepla.

Mechanismy aktivované teplem dle Ganonga (2005):

Zvýšení výdeje tepla:

- kožní vazodilatací
- pocením
- intenzivnějším dýcháním

Snížení výdeje tepla:

- nechutenstvím
- apatií a nečinností

Pocení – hydróza

Evaporace potu (odpařování potu) je nejúčinnějším mechanismem výdeje tepla během fyzického zatížení, potem se ztrácí z těla až 80% tepla. Zatímco v klidu je to okolo 10%. Jedná se o jediný způsob

výdeje tepla, jestliže teplota okolí je vyšší než teplota těla. Pocením se odpařuje pot vyloučený na kůži, kde odebírá z povrchu kůže určité množství tepla. Tento mechanismus je během fyzického zatížení spouštěn adrenalinem, v klidu jsou potní žlázy inervovány sympatickými cholinergními nervovými vlákny. Ochladí se krev v podkoží a proudí do hlubších tkání. Tento způsob výdeje tepla je závislý na vlhkosti vzduchu v prostředí, kde se nacházíme. Pot se rychleji odpařuje v suchém vzduchu než ve vlhkém vzduchu téže teploty. V tropických pralesích s 90% vlhkostí se už pot neodpařuje. Ve vlhkém prostředí pot stéká po kůži a ochlazování není příliš účinné – důležitý význam má výběr vhodného oděvu, který by neměl bránit odpařování potu!!!

Pot je produktem potních žláz, tvoří se filtrací plazmy. Potních žláz máme okolo 2,5 milionu, asi 200 na 1mm² na dlani a 10-20 na 1mm² na trupu. Pot tvoří z největší části voda a dále obsahuje ionty (Na⁺, K⁺ a Cl⁻), kyselinu mléčnou a močovinu. Při vydatném pocení pot obsahuje významně více sodíku a chloridů (u trénovaných jsou ztráty těchto minerálů menší). Při velké zátěži v horku může tělo ztrácet až 1 litr potu za hod na 1m² tělesného povrchu. Pokud nejsou ztráty tekutin adekvátně nahrazeny, může dojít k dehydrataci organismu až k ohrožení základních životních funkcí.

Evaporací se z těla ztrácí voda a ionty (denní ztráta soli je asi 15-30g). Po 1-6 týdnech pobytu v horkém prostředí se zvyšuje sekrece potu na 2-3 litry za hodinu, což může zvýšit odvod tepla až 10x. Vlivem adaptace organismu na teplo se sice zvýší ztráty vody, ale působením aldosteronu se naopak sníží ztráty soli na 3-5g na den.

Horečka

Horečka je fyziologická reakce organismu na změněné nastavení centra pro regulaci teploty v hypotalamu. Vlivem poškození mozku nebo vlivem vnitřních či bakteriálních projevů začne termoregulační centrum rozeznávat normální teplotu jako příliš nízkou a zapojí mechanismy vedoucí k jejímu zvýšení. Nemocný cítí chlad a začne se třást (zimnice). Po vyrovnání teplot zvýšená teplota má příznivý vliv na imunitní děje: urychluje migraci buněk, zrychluje jejich dělení a tvorbu protilátek. Horečka by se neměla potlačovat, pokud není příliš vysoká, netrvá dlouho a nevyčerpává nemocného. Vysoká horečka pak totiž už ohrožuje pacienta vyčerpáním energetických zdrojů, dehydratací a horečka nad 42°C už i denaturací bílkovin v těle.

Hypertermie (přehřátí organismu)

K přehřátí organismu může dojít při velké zátěži organismu pohybovou aktivitou nebo těžkou prací v horkém počasí, ale také na koncertech apod. Jedná se o stav organismu, kdy mechanismy zajišťující termoregulaci nezvládají situaci nebo z nějakého důvodu nefungují. Hypotalamus se začne přehřívat a tím ztrácí schopnost regulovat teplotu. K příznakům hypertermie patří zástava pocení, horká a suchá kůže, tachykardie a tachypnoe, zmatenost, malátnost a bezvědomí. Přehřátí více hrozí osobám vyššího věku nebo lidem s kardiovaskulárním onemocněním. Pozor také na obézní jedince (mají ztížený odvod tepla kvůli větší izolaci způsobenou tukovou tkání a relativně menšímu povrchu těla) a děti.

Reakce kardiovaskulárního systému na teplo

V horku je více namáhán kardiovaskulární systém. Kvůli transportu tepla ze svalů do povrchových oblastí těla dochází ke zvýšení minutového objemu srdce (Q), většího prokrvení kůže a podkoží. Ta je kompenzována snížením prokrvení v jiných oblastech (trávicí a vylučovací systém). Zvyšuje se srdeční frekvence (SF) ve srovnání se zátěží v chladném prostředí.

Prevence přehřátí

K prevenci přehřátí patří snížení intenzity zatížení. Důležité jsou pauzy během výkonu ve stínu. Pokud to jde tak v teplém prostředí vykonávat fyzickou zátěž v ranních a večerních hodinách, kdy je méně teplo. Důležitá je volba vhodného oblečení pro vykonávání práce v horkém prostředí. Vhodný je vzdušný lehký oděv, který odvádí snáze pot z povrchu kůže.

Poškození organismu při zátěži v horku

Vlivem vysoké teploty na organismus vznikají křeče ve svalích, což je způsobeno ztrátou tekutin a minerálů. Vyčerpáním z horka dochází k poklesu výkonnosti, zpomalení tempa, žízní, zhoršení koordinace pohybů a pocitu únavy. Příznaky přehřátí jsou dále dušnost, závratě, nauzea, zvracení, mdloby, hypotenze, tachykardie. U neaklimatizovaných osob nebo u lidí, kteří jsou ve špatné fyzické kondici, může nastat tento stav již při tělesné teplotě 39°C.



Obr. 70 Varovné signály a zdravotní problémy přehřátí.

První pomoc:

- klid v chladném prostředí,
- pokud je postižený při vědomí, podáváme chladné nápoje s minerály,
- při ztrátě vědomí okamžitě voláme 155 a postupujeme jako při první pomoci v bezvědomí.

Adaptace na teplo

Opakovaná zátěž v horku působí zlepšení schopnosti organismu odvádět teplo z těla a snižuje nebezpečí vyčerpání z horka a selhání termoregulace. Adaptace spočívá v přizpůsobení pocení a krevního oběhu. Aklimatizované osoby se při zátěži začínají potit dříve, čímž se snižuje kožní teplota. Větší tepelné ztráty v horku umožňují adaptovaným osobám přesunout více krve k pracujícím svalům. Adaptovaní k horku mají při stejné fyzické zátěži nižší tělesnou teplotu a nižší srdeční frekvenci (SF) než neaklimatizovaní.

11.3 Chlad (reakce a adaptace)

Mezi chladové stresory řadíme studenou vodu a vzduch.

Mechanismy aktivované chladem dle Ganonga (2005):

Zvýšení produkce tepla:

- svalovým třesem
- hladem
- zvýšením volní aktivity
- zvýšením sekrece noradrenalinu a adrenalinu

Snížení ztrát tepla:

- kožní vazokonstrikcí
- stočením se do klubíčka
- zježením chlupů (piloerekce)

Třes

Třes je hlavním mechanismem obrany proti chladu. Třes je způsoben nesynchronizovanými rytmickými záškuby svalů, které nevedou ke změně polohy. Tato vznikající svalová aktivita je pravděpodobně důsledkem reflexního mechanismu svalového vřetenka. Třes zvyšuje produkci tepla v organismu až trojnásobně. Zároveň s tím se snižuje prokrvení kůže, zatímco svaly jsou více prokrveny.

Netřesová termogeneze

Za netřesovou termogenezi je zodpovědný účinek adrenalinu a noradrenalinu ze sympatiku v hnědé tukové tkáni (především u novorozenců, méně u dospělých) a snad i bílé tukové tkáni a částečně v kosterních svalech (u dospělých). Tímto mechanismem dochází k produkci tepla asi dvojnásobně. Tyroxin také zvyšuje tvorbu tepla a to o 50% ve všech orgánech. Ale tento způsob tvorby tepla se aktivuje až po několika týdnech v chladném prostředí.

Hypotermie (podchlazení)

K podchlazení organismu dochází, jakmile teplota jádra klesne pod 35°C. V první fázi tělo reaguje na hypotermii snahou zastavit pokles teploty třesem, vazokonstrikcí cév a zrychlením srdeční frekvence (SF). Jakmile se teplota jádra nachází okolo 30°C upadá postižený do bezvědomí. Se snižováním teploty se snižuje bazální metabolismus, při teplotě těla 28°C je bazální metabolismus přibližně na polovině normální hodnoty. Řízená hypotermie je využívána při operacích srdce a mozku.

Adaptace na chlad

Mezinárodní komise pro termální fyziologii rozdělila chladové adaptace do 4 skupin:

- genetická (jedinci žijící v chladnějším podnebí z pohledu evoluce, jsou schopni spát v chladu méně oblečení a přikryti než střeoevropané)
- aklimatizace (získané modifikace v reakci na komplex zevních faktorů, jako jsou sezónní a klimatické změny)
- aklimace (získané modifikace v reakci na jediný faktor prostředí (např. chladu))
- habitace (přivykání) – zmenšení reakcí nebo citlivosti po opakovaném chladovém podnětu

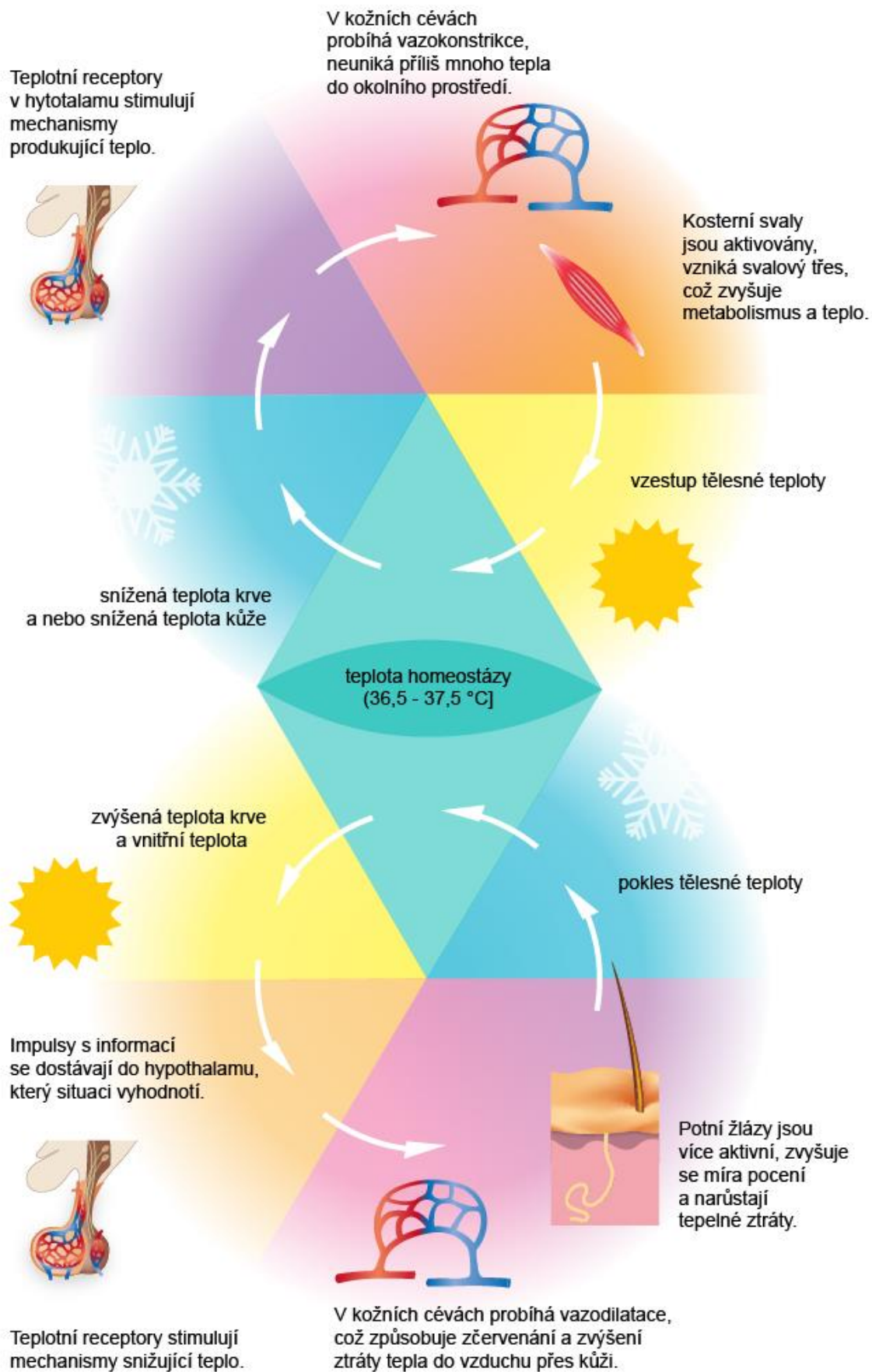
Otužování

Otužování je činnost, jejímž výsledkem má být schopnost organismu správně a pohotově reagovat na klimatické výkyvy zevního prostředí. Mezi běžné prostředky otužování řadíme mytí a sprchování studenou vodou, saunování, nepřetápění obydlí a nenošení příliš teplého oblečení. Nejúčinnější je otužování vodou.

Tato metoda slouží také k posílení imunitního systému, pomáhá při prevenci nachlazení, běžných nemocí, ale i zánětů dýchacích cest.

Otužování vodou

„Obvykle se začíná s omýváním obličeje, předloktí, horní poloviny těla a nohou studenou vodou nejlépe ráno. Začínáme s teplotou vody, která je člověku příjemná a postupem ji snižujeme. Když si tělo zvykne na omývání, můžeme přejít ke sprchování studenou vodou. Ze začátku se stačí sprchovat 10s, v dalších dnech čas prodlužujeme. Vždy musí následovat rychlé osušení a masáž kůže ručníkem až do obnovení pocitu tepelné pohody. Sprchování teplou vodou naopak ruší účinek otužování, proto by po teplé sprše měla ještě následovat opláchnutí studenou vodou.“ (Máček, Radvanský 2011)



Obr. 71 Reakce organismu na teplo a chlad.

Důležité

- Lidský organismus se snaží svoji teplotu udržovat neustále v rovnováze. Termoregulace je schopnost organismu udržovat stálou optimální tělesnou teplotu (35,8-37°C).
- Centrálním orgánem, který reguluje tělesnou teplotu a funguje jako termostat, je **hypotalamus**. Na kůži pak máme uloženy povrchové termoreceptory (tepelné senzory), které jsou propojeny s termoreceptory v hypotalamu, které snižují nebo zvyšují teplotu organismu prostřednictvím reflexů.
- Pocení (hidróza) je nejúčinnějším mechanismem výdeje tepla během fyzického zatížení. Pot je produktem potních žláz, tvoří se filtrací plazmy. Pot tvoří z největší části voda a dále obsahuje ionty (Na^+ , K^+ a Cl^-), kyselinu mléčnou a močovinu.
- **Hypertermie** = přehřátí organismu. Jedná se o stav organismu, kdy mechanismy zajišťující termoregulaci nezvládají situaci nebo z nějakého důvodu nefungují. Hypotalamus se začne přehřívat a tím ztrácí schopnost regulovat teplotu. K příznakům hypertermie patří zástava pocení, horká a suchá kůže, tachykardie a tachypnoe, zmatenost, malátnost a bezvědomí.
- Třes je hlavním mechanismem obrany proti chladu.
- **Hypotermie**=podchlazení organismu. K podchlazení organismu dochází, jakmile teplota jádra klesne pod 35°C.

12 Fyziologie smyslů

Obsah kapitoly:

12.1 Úvod do kapitoly

12.2 Systém receptorů

12.3 Receptory kůže

12.4 Zrak – fyziologie zrakového ústrojí

12.4.1 Receptory zraku

12.4.2 Porovnání očních tyčinek a čípků

12.4.3 Doplnující systémy zrakového ústrojí

12.5 Sluch – fyziologie sluchového ústrojí

12.5.1 Zevní ucho

12.5.2 Střední ucho

12.5.3 Vnitřní ucho

12.6 Čich – fyziologie čichového ústrojí

12.6.1 Čich, emoce a paměť

12.7 Chuť – fyziologie chuťového ústrojí

Po přečtení této kapitoly, bys měl být schopen:

- pochopit principy vnímání zevních podnětů a jejich zpracování,
- význam smyslů pro život,
- systém, typy a funkce receptorů,
- princip zpětných vazeb a neuroendokrinních regulací.

Klíčová slova:

Nervový systém (NS), vegetativní nervový systém, centrální nervový systém (CNS), smysly, receptory, zrak, sluch, chuť, čich, hmatové a polohové cití, proprioreceptory.

12.1 Úvod do kapitoly

Každý živý organismus potřebuje ke své existenci regulační a řídicí mechanismy. Jejich funkce se výrazně podílí na funkcích organismu na principech zpětné vazby, při kterých organismus vyhodnocuje cestou CNS získané informace a na tyto informace reaguje. Na získávání těchto informací a na jejich vyhodnocení má člověk (stejně jako řada dalších živočichů) vyvinuty smysly. Smyslové orgány získávají a následně zpracovávají informace z našeho prostředí a poskytují nám tak jeho „plastický“ obraz (většinou komplexní vjem – obraz, vůně, ale např. i sluchový vjem, se spojí do celkového obrazu vnímání).

Člověk je schopen vnímat a pomocí zpětné vazby reagovat na podněty z našeho prostředí (jednak uvnitř našeho těla – viz závěrečná část této kapitoly – **proprioceptory**), jednak z našeho vnějšího prostředí. Informace z vnějšího prostředí zaznamenáváme prostřednictvím pěti základních smyslů: zrak, sluch, čich, chuť a hmat. Informace:

- **získáváme** prostřednictvím periferních receptorů;
- **přenášíme** prostřednictvím specializovaných nervových drah do CNS (dostředivé dráhy);
- **vyhodnocujeme** v CNS ve specializovaných centrech.

Informace získané smyslovými orgány, přenesené do CNS (kde jsou zpracovány) spouštějí adekvátní reakci, přičemž mozek vyhodnocuje informace získané smysly do kompaktního celku. Například jídlo dokáže člověk vnímat zrakem, čichem, chutí a v některých případech i taktilně. Komplexní vyhodnocení pak znamená, že i když by nám smysly přinesly o jídle několik lákavých informací, bude-li jedna jediná nepříznivá, ovlivní naše rozhodování (pach místo vůně, špatný vzhled apod.). Obdobně si můžeme dosadit do našeho rozhodování i jiné kvality podnětů, které vnímáme.

Za určitých okolností nám pro rozhodující informaci stačí vjem jednoho ze smyslů, který v daném okamžiku preferujeme: např. potmě sluch a hmat. Výběr a preference (případně potlačení) informace získané pomocí smyslů, řeší CNS, který tuto informaci zpracovává a vyhodnotí. Významné informace o reakci CNS na získané informace nám v poslední době podává funkční (dynamická) magnetická rezonance mozku – viz dále v textu.

Doplňující poznámky

- *Víme, že při poruše jednoho ze smyslů preferuje postižený jedinec zbývající smysly (slepec zvuk, neslyšící zrak atd.); dochází ke kompenzatorní reakci, která spočívá v lepším využití ostatních smyslů. Setkáváme se i s tím, že chce-li některý jedinec více využít vnímání některým smyslem, snaží se potlačit informace ostatních smyslů (aby nerozptylovaly) – při prožitku hudby zavíráme oči, naopak při maximálním soustředění se na zrakové vjemy (a jejich zpracování) – si někdo ucpává uši.*
- **Funkční magnetická rezonance (fMRI)** je moderní neinvazivní zobrazovací metodou, kterou zjišťujeme nepřímou odezvu CNS na některé vnější a vnitřní podněty; pomocí **fMRI** vizualizujeme nepřímou aktivitu CNS (mj. mechanismy vnímání/myšlení/řízení (motoriky, myšlení a jiných reakcí) měřením místních změn perfúze a hodnot oxyhemoglobinu v CNS. **fMRI** má relativně vysokou prostorovou rozlišovací schopnost (milimetry), při nižším a omezeném rozlišení v čase (**fMRI** je ve srovnání s EEG – elektroencefalografie) či MEG – magnetoencefalografie) má však omezené možnosti. **fMRI** má uplatnění zejména v neurofyzilogii, umožňuje však i diagnostiku některých neurologických, i psychiatrických onemocnění. Lze říci, že má před sebou ještě obrovské možnosti rozvoje

12.2 Systém receptorů

Významnou roli hrají **receptory** (snímače – senzory), pomocí kterých získává organismus významnou část potřebných informací. Hovoříme o **smyslovém ústrojí**, činnost smyslů pak nazýváme **smyslové vnímání**.

Velmi obtížně se dá říci, který ze smyslů je snáze postradatelný než smysly ostatní. Smysly nám umožňují nejenom orientaci a schopnost přežití, ale fungují i jako významné prvky umožňující tzv. socializační adaptaci a sociální zařazení jedince. Role jednotlivých smyslů jsou obvykle proporcionálně vyváženy, přesto se však setkáváme u některých lidí s výrazněji vyvinutým vnímáním našeho okolí určitým smyslem. Známe jedince s absolutním sluchem, vynikajícím zrakem, či čichem.

Porušení proporcionality smyslového vnímání pozorujeme u osob, které v důsledku patologického stavu (chyba vývoje, onemocnění, úraz) přišli o některý ze svých smyslů. Je objektivně prokázáno, že člověk s takovou poruchou smyslového vnímání více využívá některý ze smyslů zbývajících (nevidomý sluch, neslyšící zrak apod.). Příčina patologického stavu může být:

- periferní:
 - o na úrovni receptoru;
 - o přenosu informace (zrakový nerv, sluchový nerv atd.).

Vznikne-li takový stav již v dětství (nebo trvá-li delší dobu) pozorujeme (při pokusu odstranit patologickou příčinu a obnovit funkci systému), že výsledek není adekvátní – příslušná oblast CNS byla využita k jiné činnosti.

- centrální (v příslušné oblasti CNS).

I ze stručného úvodu vyplývá, že receptory mají významnou roli při vnímání podnětů z našeho prostředí.

Rozdělení receptorů

- podle polohy podnětu vůči tělu:

- EXTERORECEPTORY - reagující na podněty ze zevního prostředí
Mezi exteroceptory patří např.
 - TELERECTORY reagující na podněty v dálce, bez přímého kontaktu (oko - senzor zraku, ucho senzor sluchu)
 - TAKTILNÍ RECEPTORY – receptory v kontaktu s podnětem (kožní dotykové receptory)
- INTERORECEPTORY - reagující na podněty z vnitřního prostředí těla
Mezi interoreceptory patří např.
 - PROPRIORECEPTORY – mechanické receptory kloubů, šlach, svalů a kůže informující o stavu pohybového aparátu
 - STATOKINETICKÉ (ROVNOVÁŽNÉ) ÚSTROJÍ reagující na polohu a pohyb hlavy v gravitačním poli
 - ÚTROBNÍ RECEPTORY (VISCERÁLNÍ) – jsou součástí vnitřních orgánůProprioreceptory a rovnovážné ústrojí se podílejí na polohocitu (statestézii) a pohybecitu (kinestézii) – vnímání polohy a pohybu hlavy a těla v prostoru a gravitačním poli.

- podle citlivosti na určitý fyzikálně-chemický druh podnětu

- MECHANORECEPTORY – reagující na mechanický tlak, tah, torzi, úder atd. (kožní receptory dotyku, hmatu; receptory v kloubních pouzdech, šlachách a svalech)
- CHEMORECEPTORY – reagující na přítomnost určitých chemických molekul (receptory čichu v nosní dutině, receptory chuti v ústní dutině)
- TERMORECEPTORY – reagují na teplo

-
- CHLADOVÉ RECEPTORY – reagují na chlad
 - RECEPTORY BOLESTI – reagují na chemické podněty z poškozených buněk

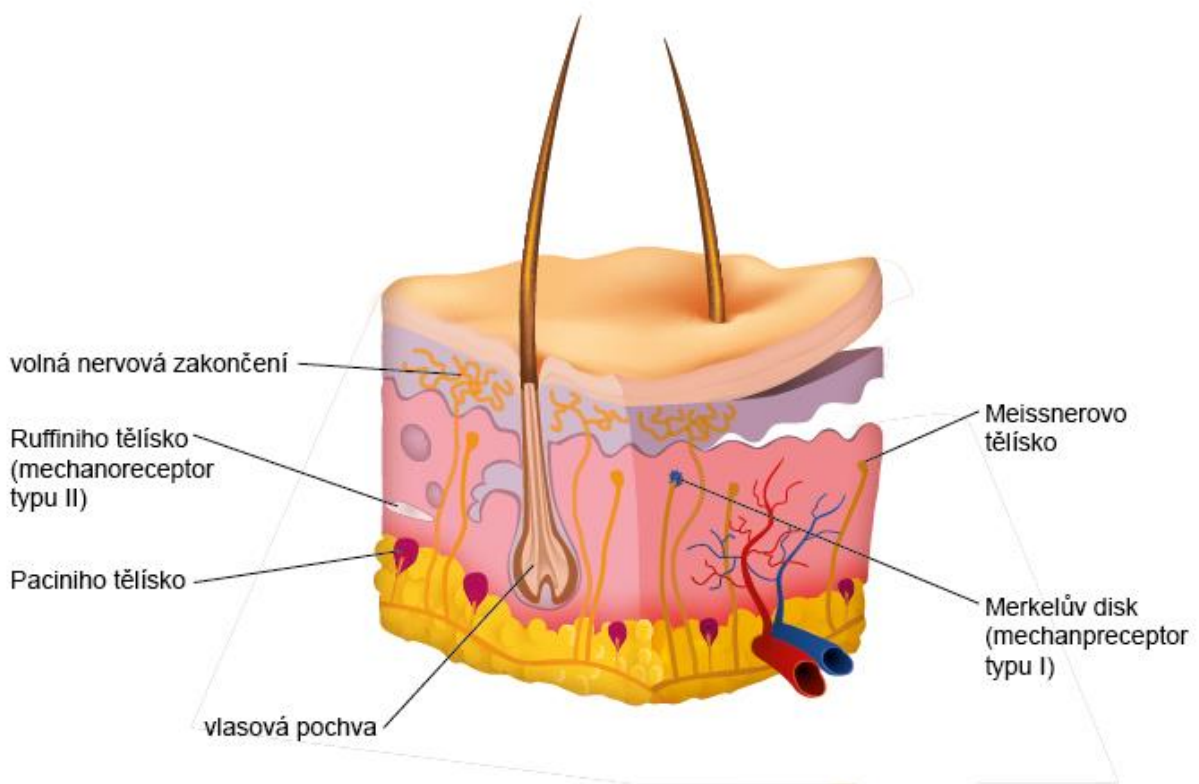
Proprioceptory s různou rychlostí adaptace:

- s pomalou adaptací – reagují na trvalý podnět: podávají informace statické – signalizují polohu kloubních segmentů – fungují jako goniometr;
- s rychlou adaptací – reagují na pohybující se podnět – reagují na změnu rychlosti pohybu v kloubu – podávají informace akcelerometrické (dynamické) a působí jako tachometr.

Všechny proprioceptivní údaje svalových, šlachových nebo kloubních receptorů jsou součástí zpětnovazebních informací (feed back) o průběžném stavu pohybového segmentu, které jsou nutné pro řízení průběhu pohybu. Současně ale slouží k přednastavení dráždivosti (feed forward).

12.3 Receptory kůže

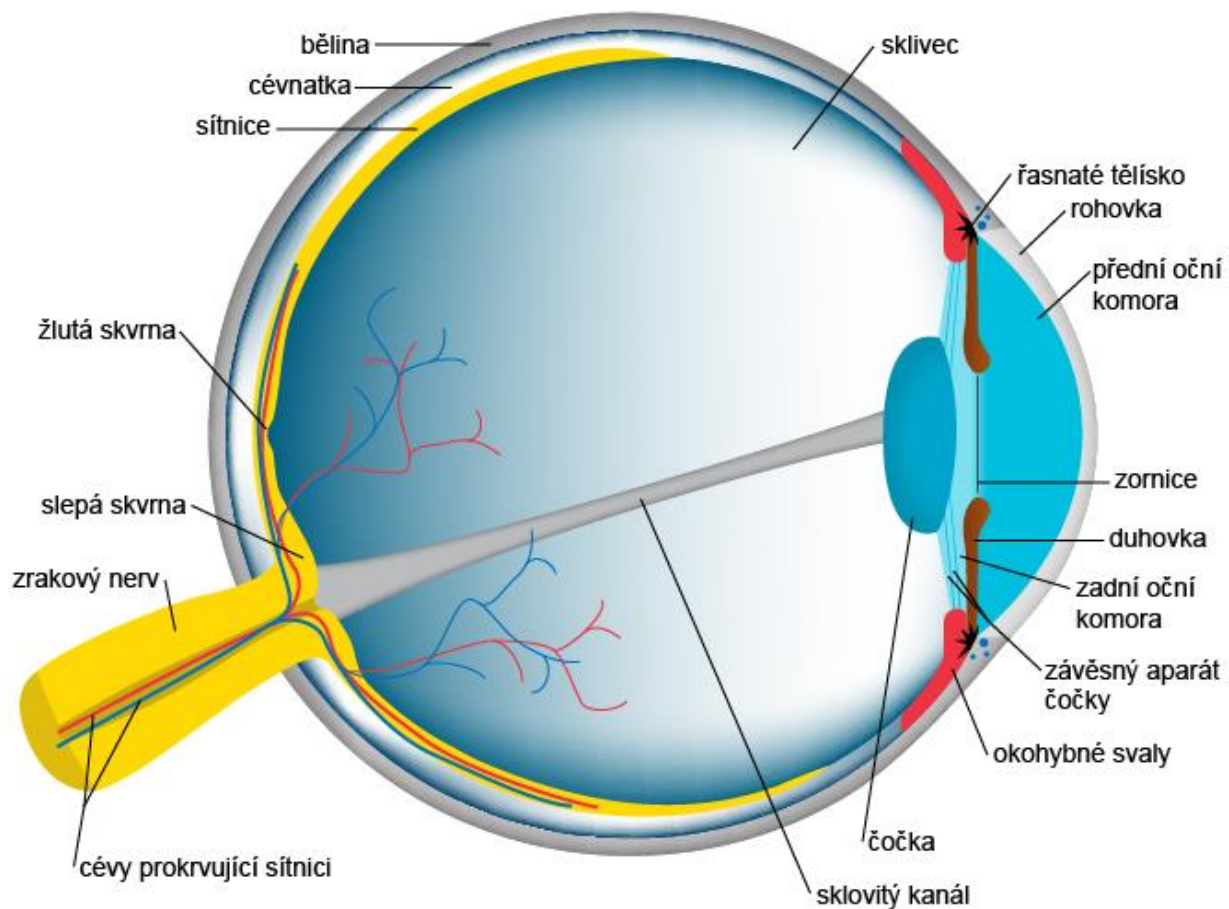
Kůže jako nosič smyslových orgánů je mimořádně významným orgánem. Pro její schopnosti o ní hovoříme jako o orgánu multifunkčním. Zde se zaměříme na kůži jako na nosič smyslových orgánů. Pro vnímání taktilních podnětů jsou v kůži receptory pro dotyk, tlak, vibrace a „lechtání“ a pro bolest, kterou vnímáme při nepřiměřené stimulaci taktilních receptorů. Dalšími receptory v kůži jsou termoreceptory (teplo a chlad a bolestivé teplo a chlad. Zóny taktilních a termoreceptorů se často překrývají. Rozmístění receptorů velmi často určuje i jejich hustotu (vysoký počet taktilních a termoreceptorů v oblasti senzitivních zón (ruce, obličej apod.) a méně citlivých zón (hýždě, záda aj.). S ohledem na rozsah rozložení a na počet receptorů somatoviscerálního sensorického systému na ploše těla zabezpečuje přenos těchto informací velký počet dostředivých nervových drah. Popis této problematiky jde – přes její velký význam – přes možnosti těchto textů.



Obr. 72 Kůže s receptory.

12.4 Zrak – fyziologie zrakového ústrojí

Umožňuje vnímání světla, jeho intenzity, barev a monitorování pohybu, prostorových změn a dalších situací, které člověk může zaznamenat v barevném spektru, dané intenzitě světla a díky rychlostní schopnosti vnímání našeho okolí. Vnímáme světlo v rozmezí 400-750 nm. Rozlišujeme optický systém a pomocný systém zraku.



Obr. 73 Stavba oka.

Optický systém zrakového ústrojí (viz anatomické schéma – sestává z oční koule /bulbus oculi/: sestává z rohovky, čočky, komorové vody a sklívce) umožňuje dopad světla na fotoreceptory, kde se mění na elektrický potenciál, který je prostřednictvím zrakového nervu (nervus opticus – dráha dostředivá), který je součástí CNS (tzn., že mj. není schopen regenerace) přenesen do příslušné arey zrakového centra v mozku, kde jsou zpracovány.

Optický systém umožňuje pomocí svalů v duhovce regulovat průměr rohovky a tím i osvit sítnice, pomocí čočky zaostřit obraz promítaný na sítnici a pomocí očních svalů natočit oko potřebným směrem – aniž by (až do určitého úhlu bylo třeba otáčet celou hlavou).

Optický systém umožňuje prostorové (binokulární stereoskopické vidění) díky koordinovanému pohybu očních svalů a díky zpracování obrazu obou očí ve zrakovém centru.

Oko je tedy složitý párový orgán, který má celou řadu funkcí, které jsou všechny podřízeny tomu, aby receptory, které jsou uloženy v sítnici oka, měly optimální podmínky pro snímání podnětů vizuálních, které zrakové buňky (tyčinky a čípky) převádí do elektrických potenciálů.

12.4.1 Receptory zraku jsou uloženy v sítnici oka – vyjma tzv. slepé skvrny

- **Oční tyčinky** – fotoreceptorické buňky (pojmenované podle svého tvaru) – umožňují vnímání kontrastů (černobílé vidění) i při velmi nízké intenzitě osvětlení; svým počtem – 120-130 milionů zaujímají cca 95 % plochy sítnice, po které jsou prakticky rovnoměrně rozmístěny – vyjma tzv. žluté skvrny – fovea centralis (která v každém oku soustředí na ploše cca 5 % plochy sítnice maximum očních tyčinek).
Pro zpracování informací zaznamenaných očními tyčinkami má zrakové centrum CNS „vyčleněnu“ kapacitu cca 5 % zrakového centra.
I když poskytují tyčinky pouze černobílé vidění, je jejich role v přijímání informací zrakovými smysly nenahraditelná.
- **Oční čípky** – fotoreceptorické buňky (pojmenované podle tvaru) – umožňují barevné vidění, které je velkou výhodou fylogenetického vývoje – jsou soustředěny ve žluté skvrně – viz výše; hovořit o podrobnostech tohoto vývoje je mimo rámec těchto textů.
V lidském oku se vyskytují tři typy očních čípků (trichromatické vidění světla) – každý typ reaguje na jinou část světelného spektra (zelenou, modrou a červenou).
V sítnici člověka máme asi 6 milionů čípků (5 % z celkového počtu fotoreceptorů) – zpracování informace „barevného vidění“ však zabírá cca 95 % kapacity zrakového centra CNS.

12.4.2 Porovnání očních tyčinek a čípků

Oba systémy fotoreceptorů jsou pro zrakové vnímání světa velmi cenné a vzájemně se doplňují:

- Černobílé vidění (systém tyčinek) – nám zajišťuje vidění i za šera a také tzv. vidění periferní; i když je tyčinek asi dvacetkrát více než čípků, je ke zpracování informací, které nám přinášejí třeba pouze 5 % kapacity zrakového centra – rychlé zpracování jednodušší informace.
- Barevné vidění – zajišťuje systém čípků – umožňuje (při dobrém osvětlení) barevné vidění okolí; i když počet čípků obnáší pouze necelých 9 % ze všech fotoreceptorů (a zaujímá cca 5 % sítnice), potřebuje ke svému zpracování až 95 % kapacity zrakového centra => zpracování informace z čípků je pro CNS výrazně složitější.

Závěr porovnání: vybavení oka systémem pro černobílé a barevné vidění je nesmírnou výhodou:

- chybění černobílého vidění = ztráta periferního vidění a šeroslepoty => velká životní nevýhoda;
- chybění barevného vidění = kvalitativní nevýhoda pro přežití.

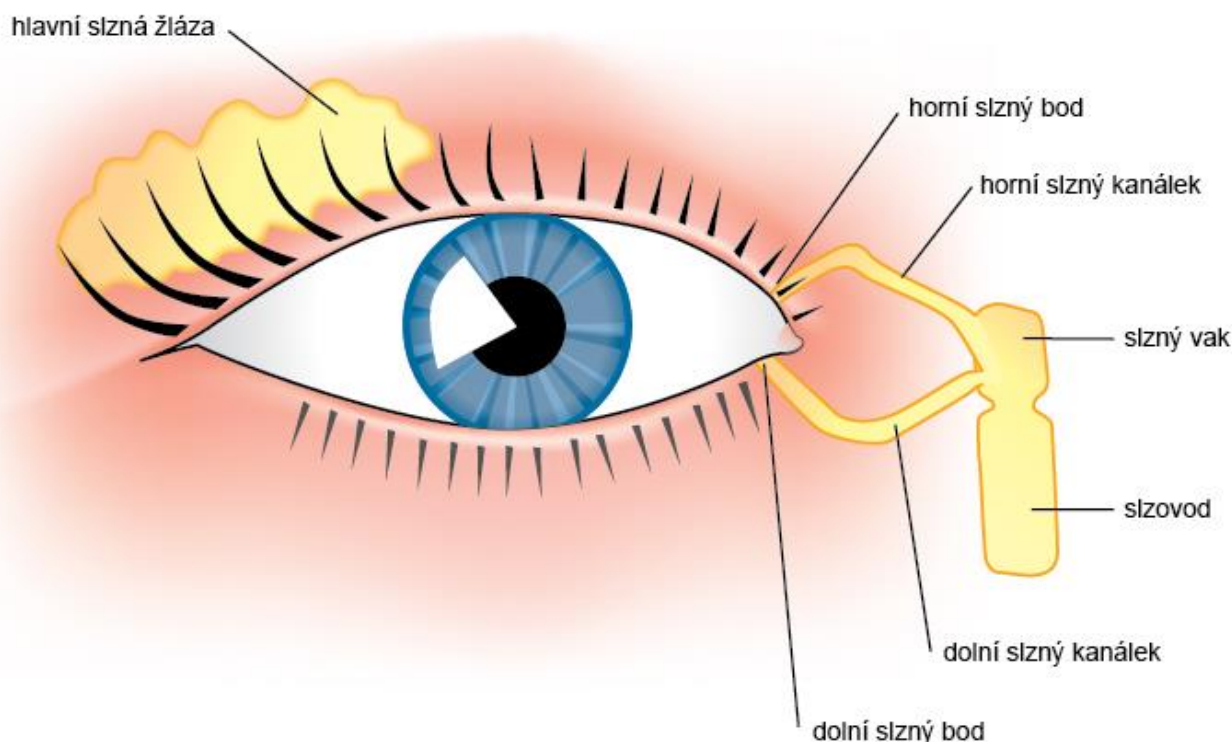
Pozn.: Pokud bychom chtěli nahradit oční tyčinky čípky tak, aby zůstal zachován stávající počet fotoreceptorů, musela by se kapacita zrakového centra CNS zvětšit cca o 2000 %. Zpracování takové zrakové informace by se v tomto případě velmi zpomalilo a navíc by významně zatížilo kapacitu CNS. Reakční doba na zrakové podněty by se tak neúměrně prodloužila; takový druh by v biosféře velmi pravděpodobně rychle vyhynul.

12.4.3 Doplnující systémy zrakového ústrojí

Zrakové ústrojí je dále doplněno o některé přídatné systémy, které buď oko:

- chrání (oční víčka, řasy, systém produkce slz, které zvlhčují oko, ale i systém regulující míru osvětlení sítnice (mj. i ochrana sítnice před jejím poškozením);

- nebo umožňují/ usnadňují jeho funkci – okohybné svaly aj.



Obr. 74 Slzné kanálky oka.

12.5 Sluch – fyziologie sluchového ústrojí

Umožňuje vnímání a rozlišení tónů (zvuků, šelestů), jejich intenzity, prostorového uložení a dalších situací, které je člověk schopen zaznamenat ve zvukovém spektru a dané intenzitě zvuku.

Zvuk je mechanické vlnění /kmitání pružného prostředí (vzduch, kapaliny, i pevné látky), které je schopno mj. vyvolat tzv. „zvukový vjem“. Děje, které jsou spojeny se vznikem zvuku, s jeho šířením a vnímáním jsou děje akustické. Subjektivně vnímáme/hodnotíme na zvuku: jeho sílu, výšku a barvu. Dále hovoříme o tzv. akustickém tlaku, kmitočtu a o kmitočtovém složení zvuku.

Člověk vnímá jen určité zvukové frekvence (v rozsahu 16-20000 Hz). Frekvence < 16 Hz označujeme jako infrazvuk (schopnost vnímat tyto frekvence mají např. sloni), frekvence > 20000 Hz označujeme jako ultrazvuk (s jeho pomocí se orientují netopýři). Jak infrazvuk, tak ultrazvuk jsou využívány v technice, člověk je však není schopen vnímat. Kvalita a intenzita vnímání zvuku je u každého jedince individuální.

Schopnost vnímat zvuk a jeho další kvality kolísá – hovoříme o tzv. sluchovém prahu, který se obvykle s věkem zvyšuje (zhoršuje). Sluchový práh zvyšuje i pobyt v hlučném prostředí a některé choroby sluchu. Pro objektivizaci užíváme dvou systémů – hodnocení subjektivní hladiny hlasitosti ve fónách (Ph) a objektivním měřením v decibelech (dB). K porovnání hodnot obou stupnic je třeba přepočtu.

Sluchové ústrojí sestává z ucha (párový orgán). Ucho (členíme na zevní, střední a vnitřní) snímá zvukové podněty, které jsou ve středním uchu zaznamenány a přeneseny do vnitřního ucha, kde jsou převedeny z

vln zvukových na elektrické potenciály, které jsou sluchovým nervem (párový orgán, dráha dostředivá) přeneseny do sluchového centra v CNS, kde jsou zpracovány.

Poruchy sluchu – snížení/ztráta, nebo přítomnost „pazvuků“ – různých šelestů, významně hendikepují každého jedince jak v běžném životě, tak i poruchou sociálních vazeb (ztráta komunikace) aj.

12.5.1 Zevní ucho

Slouží k „mechanickému“ zpracování zvukové informace: je uzpůsobeno svým tvarem k zachycení zvukových vln a k jejich přenosu zvukovodem na bubínek, který zvuková/tlaková vlna rozkmitá. Pohyb bubínku přenáší tři kůstky: kladívko (*malleus*), kovadlinka (*incus*) a třmínek (*stapes*) na oválné okénko, které odděluje zevní a střední ucho.

12.5.2 Střední ucho

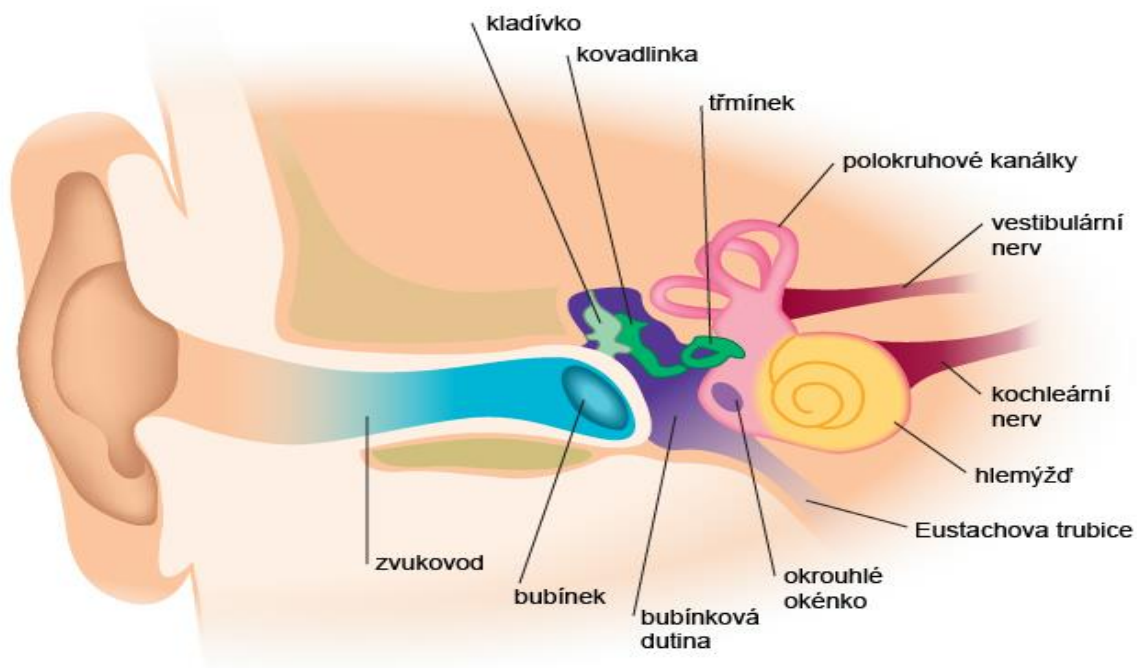
Sestává mj. ze systému vzduchem vyplněných dutin vystlaných sliznicí:

- dutiny bubínku (*cavum tympani*) je vyplněná vzduchem, ohraničená lebkou;
- sluchových kůstek (*ossicula auditus*) jde o tři kůstky: kladívko (*malleus*), kovadlinku (*incus*) a třmínek (*stapes*), které jsou uloženy v bubínkové dutině a jsou napojeny na bubínek; přenášejí zvuk postupně tlakovou vlnu od bubínku na oválné okénko (*foramen ovale*) do vnitřního ucha;
- Eustachova trubice (*tuba auditiva*) spojuje bubínkovou dutinu a nosohltan => vyrovnává tlak ve středním uchu s tlakem v okolním prostředí a pomáhá čistit středouší.

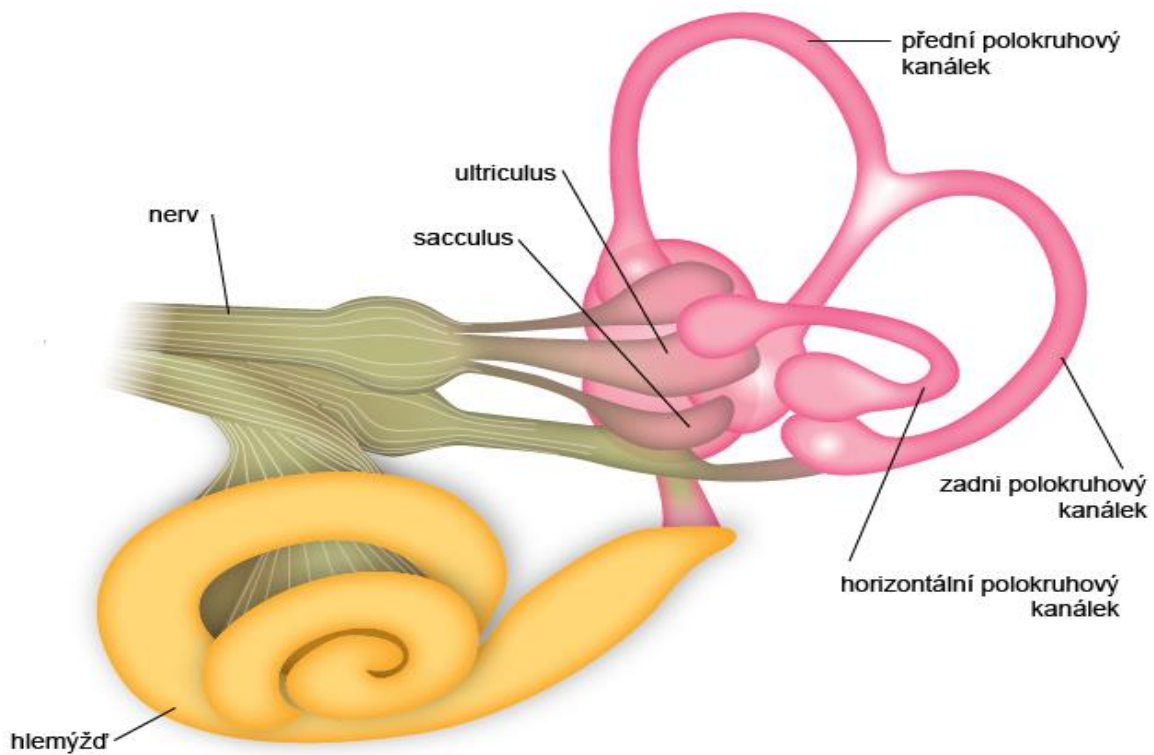
12.5.3 Vnitřní ucho má dvě funkce

- **Funkce sluchová:** prostřednictvím tekutiny (*perilymfa*) obsažené v dutině vnitřního ucha je tlaková vlna přenesena na složitý systém sluchových receptorů (Cortiho orgán), které převádějí mechanickou energii na elektrické potenciály, které jsou dále přeneseny pomocí sluchového nervu (*dostředivá dráha*) do sluchového centra CNS, kde jsou zpracovány a vyhodnoceny;
- **Funkce statokinetická:** zajišťuje ji vestibulární sensorický aparát, který reaguje (systémem proprioreceptorů tvořících součást rovnovážného ústrojí) na pohyby tekutiny (*endolymfa*) přenášejících se na vnitřní ucho při pohybech hlavy a těla. Statokinetický systém reaguje i na vnímání zrakových podnětů a na gravitaci; výsledkem jsou tzv. labyrintové reflexy (*rozlišujeme statické – posturální /postojové a vzpřimovací/ a statokinetické – které se objevují během pohybů, případně pohyby samy vyvolávají*):
 - vestibulookulární (statokinetický) reflex – nastupuje při pohybech hlavy a umožňuje „stabilitu a fixaci obrazu“, i při prudkých pohybech hlavy;
 - vestibulární nystagmus – nastupuje při otáčení.

Porucha vestibulárního aparátu znamená významnou invalidizaci takto postižených lidí. Vnímáme proto tyto stavy jako velmi závažnou poruchu.



Obr. 75 Stavba vnitřního ucha.



Obr. 76 Vestibulární aparát

12.6 Čich – fyziologie čichového ústrojí

Čich je jedním ze základních smyslů člověka, kterým přijímáme významné informace z vnějšího prostředí. Jde o vůně a pachy (chemikálie rozptýlené v plynech), které vnímáme i ve velmi nízkých koncentracích prostřednictvím olfaktorického systému.

Můžeme se domnívat, že čichové chemoreceptory patří k jedněm z nejstarších smyslů ve vývoji druhů. Nejdůležitějším úkolem čichového ústrojí je informovat o okolním zevním světě a varovat před nebezpečím.

Čichové receptory přijímají podněty vyvolané chemickými látkami obsaženými ve vnějším prostředí – ve vzduchu rozptýlené molekuly, které přicházejí do kontaktu s čichovou sliznicí nosní dutiny. Záleží na koncentraci a chemické struktuře dané látky. Není přesně vysvětleno, jak nepatrné množství chemických látek, „*kteří nám voní*“, uvede do činnosti čichové buňky. Přesný mechanismus vnímání čichu na molekulární úrovni je stále velmi nejasný. To jak mohou smyslové buňky určit tisíce různých vůní a rozlišit nepatrné rozdíly mezi nimi, je zcela velkou záhadou. Předpokládáme, že se pachové látky obsažené ve vzduchu, který prochází čichovou zónou, naváží na řasinky chemoreceptorů, které reagují tvorbou elektrických potenciálů.

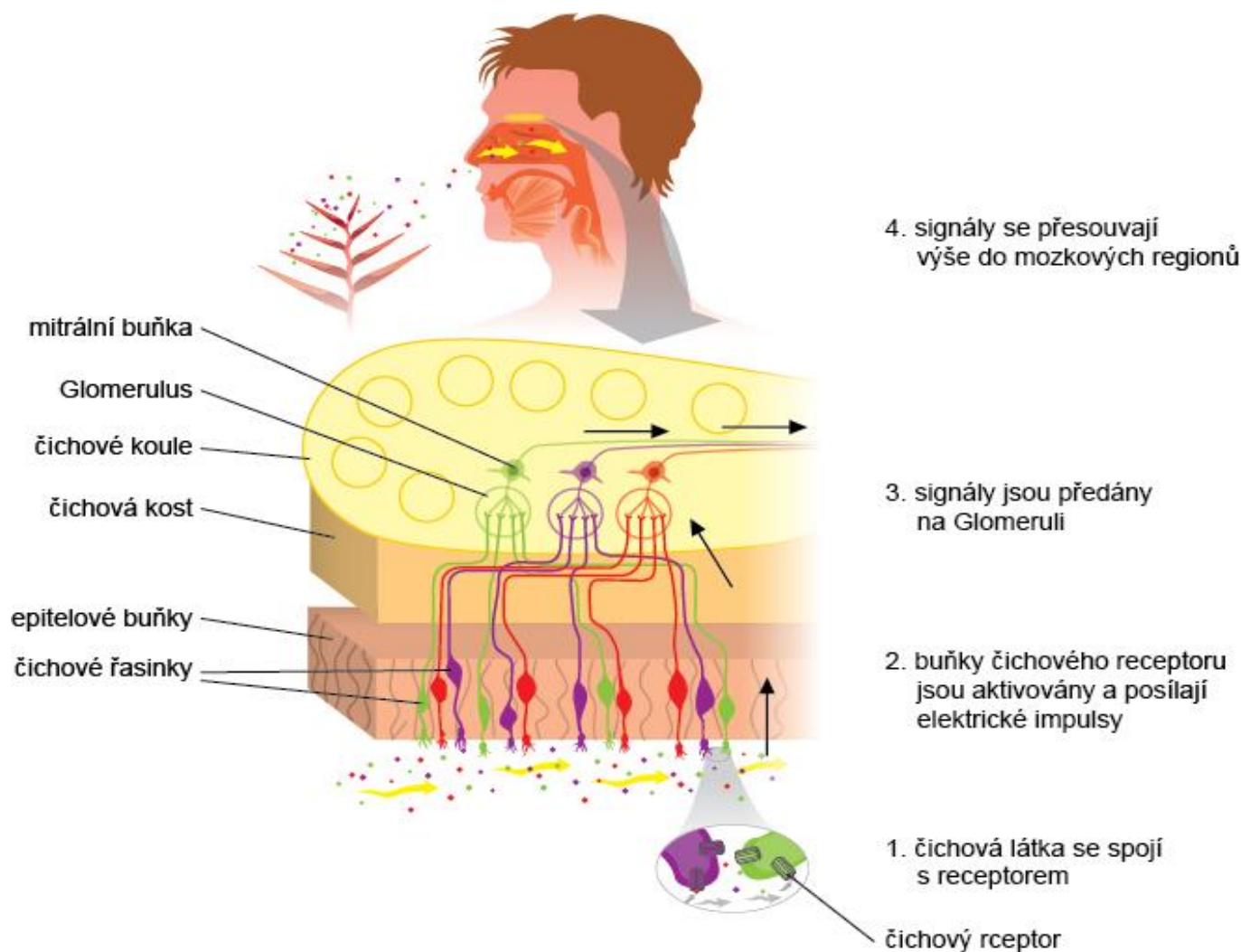
Vzruchy postupují z čichových receptorů cestou nervus olfactorius do čichového centra a dále do párové struktury mozku (*bulbus olfactorius*). Zde jsou zpracovávány a předány nervovými drahami do mozkové kůry, kde je informace vyhodnocena a rozpoznána vůně /pach se stává vědomým faktem. Víme také, že vlhkost zvyšuje intenzitu vnímání vůně nebo zápachu. Tohoto principu je využito např. v potravinářství, ale i při užívání parfémů.

Čich úzce souvisí s chutí (receptory jsou si podobné). Citlivost čichu je mj. dána počtem čichových buněk – receptorů. Během vývoje si čich udržel své spojení s částí mozku, která se stala řídicím centrem pro naše emocionální odpovědi, těsně spojující vůně s našimi emocemi.

U člověka se čich v průběhu fylogenetického vývoje výrazně zredukoval (člověk má čichové receptory cca na 40 mm², pes má tuto plochu až pětikrát větší). Poruchy čichu se nazývají dysosmie a mohou být různého původu a trvání. K poruchám čichu řadíme snížení (hyposmie) a úplnou ztrátu (anosmie) čichového vjemu. Dysosmie jsou zánikovým jevem a jsou způsobeny poruchou receptce nebo nervových vláken čichového nervu. Ztráta čichu (např. přechodně při infekci) je pro člověka velkým hendikepem.

Čich obvykle bývá u člověka podceňován. Ze všech našich smyslů je vnímání čichu pravděpodobně nejstarší a přitom nejméně prozkoumané. Těsné spojení vnímání chuti a čichu je něco, o čem zatím mnoho nevíme. Obvykle však např. při nachlazení, zjistíme, že necítíme, ale také nevnímáme chuť jídla.

Do popředí jsou obvykle z našich smyslů stavěny: zrak, sluch, hmat, ale na čich se jaks zapomíná. Přitom právě tento smysl nám pomáhá určovat a hodnotit potravu, kterou jíme, spoluurčuje její chuť. Většina živočichů potravu vyhledává především čichem. Čich je životně důležitý i z jiných důvodů. Umožňuje nám zachytit i signály hrožícího nebezpečí (požár, unikající toxické látky, pach hniloby, feromony aj.). Čich také dokáže věrněji než ostatní smysly vyvolat vzpomínky a vnést do nich emoce.



Obr. 77 Čich

12.6.1 Čich, emoce a paměť

Víme, že část mozku (ve která probíhá analýza informací z čichových chemoreceptorů) je těsně spojena s tzv. limbickým systémem (část mozku „ovládající“ emoce, nálady a jejich uložení v paměti). Pro limbický systém někdy užíváme termín „primitivní“ mozek. Víme, že vůně/pachy mají pro člověka velmi silný emocionální význam. Tento fakt souvisí právě s funkcí limbického systému. Máme totiž tendenci si pamatovat vjemy se zvláště emocionálním významem.

Vnímání čichových vjemů hraje důležitou roli nejenom při hledání potravy a při vyhodnocení její kvality, dále víme, že se podílí i na tzv. sexuální apetenci (*přitažlivosti*) a to navzdory tomu, že u člověka došlo během evoluce ke snížení významu této funkce čichu. Cestou olfaktorického systému přijímáme také informace nesené některými chemickými látkami, i když mnohdy nevnímáme ani jejich pach. Příkladem těchto látek jsou např. tzv. feromony.

Feromon (z řečtiny: *pherein*=přenášet a *hormon*=stimulovat) vnímáme jako tzv. substance, které vylučuje konkrétní jedinec /biologický druh a které je schopen vnímat /přijímat jedincem stejného biologického druhu (obvykle opačného pohlaví). Zachycení feromonové informace je obvykle spouštěcím faktorem určité reakce. Obecně: feromon je látka produkovaná jedním organismem, která umožňuje reakci druhého organismu cestou komunikace uvnitř stejného druhu.

Feromony jsou přírodní chemické látky, které produkují jak lidé, tak i zvířata. Na rozdíl od běžných vůní je nelze zaznamenat čichovými žlázami v nose, ale orgánem ležícím na patře u ústí nosní a ústní dutiny (tzv. vomeronasální orgán), který se vyvinul u *obojživelníků, plazů a u většiny savců a který pomáhá feromony detekovat*. Feromony dělíme do čtyř tříd. U živočichů řídí řadu funkcí (např. rozmnožovacích) a vyvolávají řadu jevů, z nichž lze některé pozorovat i u člověka (velmi pravděpodobně ovlivňují hladiny hormonů: změny menstruačního cyklu u žen), autonomní nervový systém a pozměňují psychický stav.

Možná by toto podvědomé přijímání informací přenášených feromony mohlo souviset i s tzv. „šestým smyslem a intuicí člověka“, o kterých se někdy hovoří. Možná nám tyto chemické látky – prostřednictvím podvědomého olfaktorického vjemu – poskytují údaje, na základě kterých se někdy určitým způsobem rozhodujeme, aniž bychom k tomu měli pádný racionální důvod.

12.7 Chuť – fyziologie chuťového ústrojí

Vnímání chuti je nejméně dokonalým smyslem. Ze všech smyslů nám chuť přináší nejméně informací o okolním světě. Chuť zabarvuje čtyři základní chutě (sladké, slané, hořké, kyselé), které naše chuťové pohárky mohou rozeznat. Výsadní roli má chuť při výběru a hodnocení jídel a nápojů, ale i v této roli významně vypomáhá chuti mnohem citlivější čich. Proto ztráta vnímání chuti z jakéhokoliv důvodu je menším problémem než ztráta čichu (viz pasáž textu o fyziologii čichu).

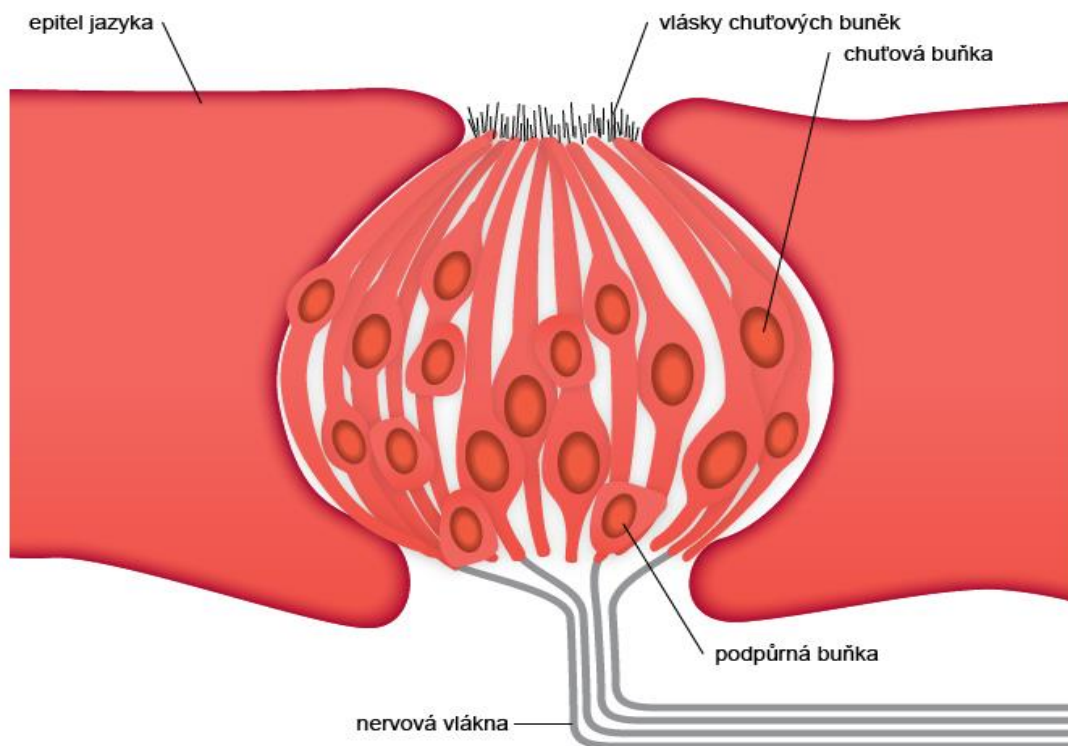
Stejně jako u čichu je mechanismus vnímání chuti spuštěn chemickým složením látek v potravě a nápojích. Chemické částice jsou zachyceny v ústech a přeměněny na nervové impulsy, které jsou přenášeny nervy do mozku, kde jsou později vyhodnoceny.

Chuťové pohárky. Základní strukturou orgánu chuti jsou tzv. chuťové pohárky, které jsou uloženy převážně v malých výčnělcích povrchu jazyka v tzv. papílách. Chuťový pohárek obsahuje skupinu smyslových buněk s jemnými výběžky (mikroklky) – chuťovými chemoreceptory, které reagují na přítomnost molekul chemických látek obsažených v tekutinách, případně rozpouštěných slinami.

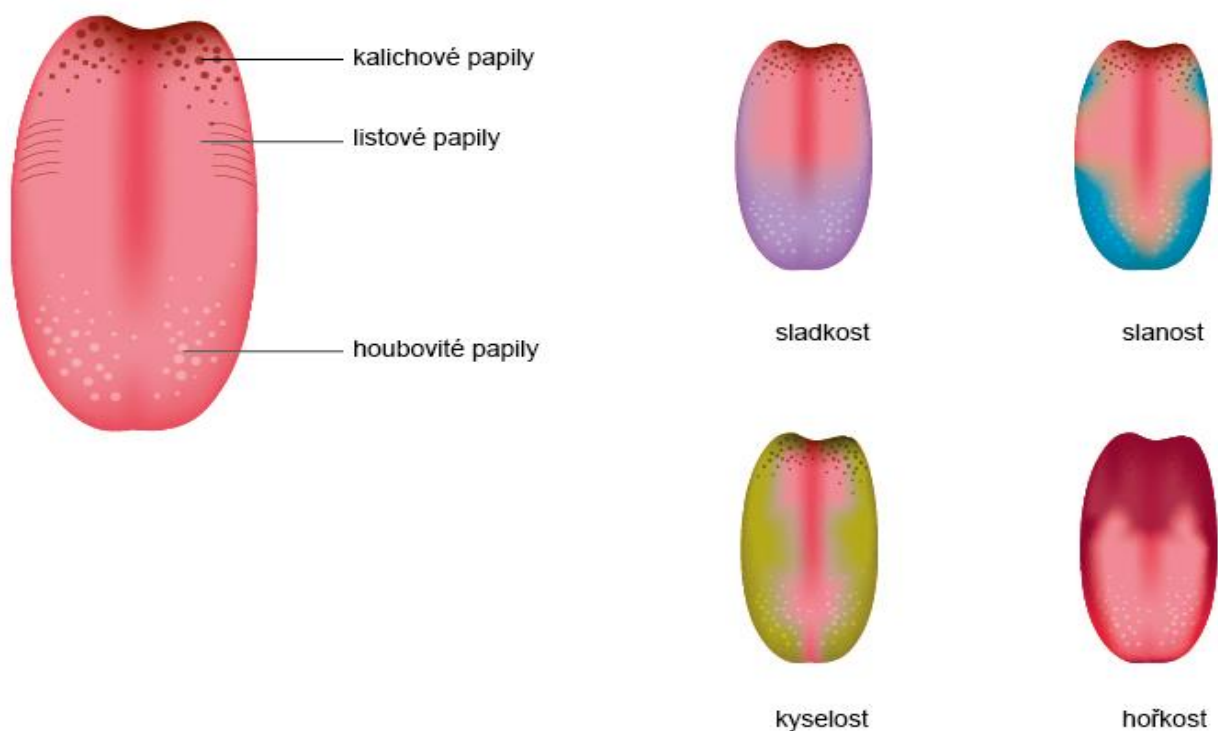
Na rozdíl od stamilionů fotoreceptorů, milionů čichových chemoreceptorů disponujeme pouze 9000 chuťovými pohárky s cca půl milionem chuťových receptorů (z nichž některé jsou i mimo horní plochy jazyka – na patře a dokonce i v hltanu). V chuťových chemoreceptorech dochází k chemo-elektrické reakci. Jak reagují chuťové pohárky na chemikálie v potravě a jak vysílají nervové impulzy do mozku, není plně objasněno, víme však, že chceme-li vnímat chuť potravy, musí být tyto látky v kapalné formě. Suchá strava dává velmi malý okamžitý vjem chuti a její chuť je zvýrazněna až po rozpuštění ve slinách.

Chuťové buňky rozlišují čtyři základní chutě: sladkou, kyselou, slanou a hořkou, které jsou pro jednotlivé chutě rozmístěny difúzně v různých částech jazyka. Chuťové pohárky, které reagují na sladké, jsou na převážně špičce jazyka, ty, které reagují na slané, kyselé a hořké, jsou ve velké většině umístěny na

jazyku směrem dozadu. Elektrický potenciál vznikající v chuťových receptorech se přenáší dostředivou troj neuronovou dráhou.



Obr. 78 Chuťový pohárek.



Obr. 79 Chutě.

Analýza chuti. Nervy přenášející chuťové impulsy z jazyka (faciální a glosofaryngeální nerv) jdou cestou specializovaných buněk mozkového kmene, postupně přes thalamus do chuťového korového centra, které se podílí na aktuálním vědomém vnímání chuti.

Mozek získává i jiné vjemy z jazyka (např. strukturu a teplotu). Tyto vjemy se mísí s dalšími chuťovými vjemy jak z jazyka, tak čichovými, tak vzniká chuť, která nám umožňuje vnímat tento pocit vjemů (který vnímáme jako celek) při jídle.

Důležité

- Ačkoliv hovoříme obvykle o pěti smyslech, máme jich – díky proprioreceptorům podstatně více.
- Některé orgány jsou tzv. multifunkční.
- Je třeba si uvědomit, že vjemy získáváme z jednotlivých orgánů izolovaně, ale CNS je pro nás zpracovává do komplexní informace.
- Mapování reakce CNS na vnitřní a vnější podněty se výrazně rozvíjí.

13 Imunitní systém

Obsah kapitoly:

13.1 Úvod do kapitoly

13.2 Struktury imunitního systému

13.3 Nespecifická imunita

13.4 Specifická imunita

13.4.1 Humorální imunita

13.4.2 Buněčná imunita

13.5 Průběh specifické imunitní reakce

Po přečtení této kapitoly, by si měl být schopný:

- popsat struktury imunitního systému (imunitní buňky a imunitní orgány),
- znát základní rozdělení typů imunity na nespecifickou a specifickou,
- pochopit princip specifické imunity,
- vysvětlit průběh imunitní reakce jako celku.

Klíčová slova:

Imunita, imunocyty, kmenové buňky, nespecifická imunita, zánět, fagocytóza, chemotaxe, specifická imunita, T lymfocyty, B lymfocyty, plazmatické buňky, humorální imunita, buněčná imunita, cytokiny, cytotoxické buňky, neutralizace, aktivace komplementu, antigen, paměťové buňky, primární a sekundární imunitní reakce, získaná imunita, vakcinace.

13.1 Úvod do kapitoly

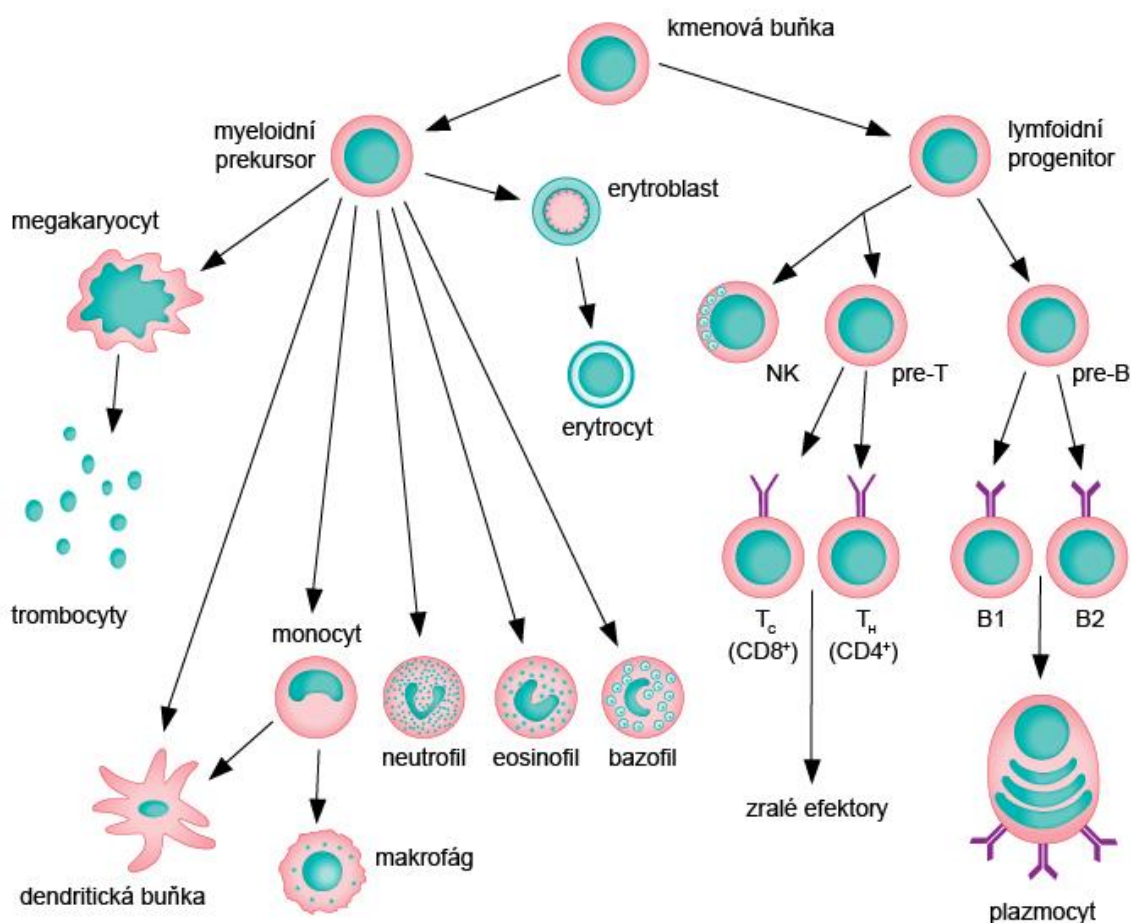
Imunitní systém se spolu s nervovým a humorálním podílí na řízení organismu a udržení vnitřního prostředí. Podléhá pod oba systémy a v organismu zajišťuje obranu proti nebezpečným činitelům (mikroby, nádorové buňky).

Pojem **imunita** zahrnuje řadu mechanismů a jejich schopnost chránit organismus rozpoznáním a likvidací škodlivých cizorodých látek, ale také nepotřebných součástí vlastního těla.

13.2 Struktury imunitního systému

Strukturami imunitního systému (IS) jsou:

- **Imunitní buňky (imunocyty)**, které volně migrují skoro všemi tkáněmi, krví a mizou. Mají rozmanitou strukturu a funkci, ale některé vlastnosti mají společné. Jednou ze společných vlastností je společný původ. Všechny imunocyty se vyvíjejí z pluripotentních kmenových buněk v kostní dřeni (obr. 80).



Obr. 80 Vývoj krevních elementů z kmenové buňky.

Kmenové buňky jsou základem transplantace kostní dřeně. Dalším zdrojem kmenových buněk je pupečnicková krev novorozence, z ní lze buňky izolovat a hluboce zmrazené uchovat pro případné další použití. Dnes vznikají banky těchto buněk, do nichž se izolované buňky po porodu ukládají.

- **Imunitní orgány**, které si můžeme představit jako anatomicky definovaná místa pravidelného výskytu imunocytů. Rozeznáváme dva druhy s rozdílným posláním:

A. primární lymfatické orgány, kde buňky imunitního systému vznikají (kostní dřeň) a dozrávají (kostní dřeň a thymus)

B. sekundární lymfatické orgány, které jsou osídleny zralými imunocyty. Patří sem mízní uzliny, slezina, Peyerovy pláty ve střevě, shluky lymfoidní tkáně ve sliznici úst, mandle (tonzily)

Imunitní mechanismy, které má organismus k dispozici se dělí na specifické a nespecifické podle imunitní odpovědi. Mechanismy **nespecifické imunity** slouží k obraně organismu proti škodlivým látkám bez ohledu na jejich identifikaci, tyto mechanismy se také podílejí například na čištění a hojení ran.

Specifická imunita představuje vysoce výběrovou (selektivní) reakci zaměřenou na konkrétní škodlivou látku.

13.3 Nespecifická imunita

Někdy nazývaná imunitou vrozenou. Zahrnuje přirozenou obranu proti patogenům. Jedním z mechanismů nespecifické imunity je i **fagocytóza**.

Nespecifickou imunitu zajišťuje:

- **Kůže a sliznice** pomocí chemické a mechanické obrany. Chemickou obranu zajišťuje nejen kyselé pH kůže (4,5 -6), které brání v pomnožení mikroorganismů, ale tvoří se zde i protilátky a cytokiny. Mechanickou obranu zajišťuje neporušenost kožního a slizničního povrchu, působení hlenu, řasinkového epitelu, slz a slin.
- **Leukocyty** - neutrofilů, makrofágů a další fagocytující buňky
- **Zánět** se svými základními procesy, což je:
 - A. **fagocytóza** cizorodých materiálů makrofágy v místě zánětu
 - B. **vazodilatace** a **zvýšená propustnost kapilár** v místě zánětu
 - C. **migrace leukocytů** do místa zánětu

Fagocytóza

Jedná se o **komplexní imunologický děj**, na němž se podílí více složek imunitního systému. Schopnost fagocytózy mají **neutrofilů**, které jsou v krvi a během zánětu vycestovávají do postižené tkáně, **monocyty**, které přestupují z krve do tkáně a zde se mění na tkáňové makrofágy a **dendritické buňky**, které také vznikají z monocytů a usazují se v tkáních (příkladem jsou Langerhansovy buňky v kůži).

Fagocytóza se skládá ze 4 kroků:

- **Zachycení cizorodého materiálu**. Tento krok zahrnuje rozpoznání cizorodého materiálu. Následuje pohyb fagocytu pomocí **chemotaxe** k cizorodé látce jeho přichycení se na ní (adheze).
- **Ingesce (pohlcení částice)**. Po zachycení cizorodé látky dojde procesem endocytóza k jejímu pohlcení
- **Degradace**. Vznikají vezikuly zvané lysozomy, a v nich dochází k degradaci cizorodé látky

-
- **Exocytóza.** Po degradaci jsou aminokyseliny a další produkty degradace cizorodého materiálu vyloučeny z buňky pomocí exocytózy.

Fagocyty také působí na ostatní buňky imunitního systému i jiných struktur svými **cytokiny**. Příkladem cytokinů jsou mj. interleukin 1 (IL-1), tumor nekrotizující faktor alfa (TNF α) a interleukin 12 (IL-12). Tyto cytokiny podporují zánět. IL-1 je i endogenním pyrogenem, který aktivuje termoregulační centrum v hypotalamu k nastavení vyšší teploty organismu, a tak dochází k dalšímu zabraňování rozvoji infekce. Kromě toho mají další funkce, například stimulují jaterní buňky k produkci takzvaných **proteinů akutní fáze**, které mají antibakteriální a protizánětlivý účinek. Typickým představitelem je C-reaktivní protein (CRP).

Je důležité se ještě zmínit o **interleukinech**, což jsou proteiny vylučované buňkami organismu, které jsou napadeny virem. Jedná se o signál pro ostatní buňky, že je třeba se bránit virům.

13.4 Specifická imunita

Tento proces v organismu **nastupuje pomaleji** než imunita nespecifická, ale má vysokou účinnost. Jedná se o **imunitu získanou** a principem je **reakce antigenu s obranným systémem T a B lymfocytů a s tvorbou protilátek**.

Podstatou je skutečnost, že organismus je schopen rozeznat vlastní a cizorodé látky (antigeny). Za některých patologických stavů však tato rozpoznávací schopnost je narušena a organismus může začít tvořit protilátky proti vlastní tkáni. Toto je příčina vzniku autoimunitních onemocnění (revmatoidní artritida, kolagenózy, ulcerativní kolitida, a další).

B lymfocyty zajišťují tzv. **humorální imunitu**, která spočívá v tom, že se lymfocyty transformují v **plazmatické buňky**, které vypouští specifické **protilátky**. Tyto protilátky kolují v krvi a lymfě. T lymfocyty se naopak přeměňují v **cytotoxické T-buňky**, které se vážou přímo cizorodé buňky v těle a následně je likvidují. Této imunitě se říká **buněčná**.

13.4.1 Humorální imunita

Humorální typ imunity zajišťují B lymfocyty. B lymfocyty přeměněné na plazmatické buňky začnou produkovat **specifické protilátky**.

Protilátky jsou bílkovinné molekuly a na likvidaci antigenu se podílí různými způsoby:

- **Neutralizací.** Pouhé navázání protilátky na antigen znemožní jeho patogenní působení v organismu.
- **Opsonizace.** Jedná se o proces urychlující fagocytózu cizorodých látek. Toto vlastnost mají některé IgG protilátky.
- **Aktivace komplementu** jehož cílem je likvidace cizorodé látky (dojde ke spuštění kaskády enzymů, které mají za úkol rozklad buněk).

Rozeznáváme **5 tříd protilátek** (IgM, IgG, IgA, IgD, IgE). Protilátky jsou nenahraditelným diagnostickým nástrojem v mnoha medicínských oborech. Jedná se o využití reakce antigen-protilátka. Někdy se hledají jen protilátky, což znamená, že se osoba setkala v minulosti s daným antigenem, který vyvolal specifickou

protilátkovou odpověď. Jde o důkaz nepřímý, který neprokáže přítomnost mikroorganismu v těle. Tohoto způsobu se využívá u onemocnění, kde přímý důkaz není možný (příkladem je AIDS, toxoplazmóza). Při zjišťování protilátek lze také určit, zda k infekci došlo nedávno, to se projeví na vysoké hladině protilátek typu IgM (zvýšení minimálně 4x) nebo osoba přišla s antigenem do kontaktu v minulosti, pak jsou zvýšené protilátky IgG.

13.4.2 Buněčná imunita

Buněčná imunita je zajištěna pomocí T lymfocytů. Přibližně polovina lymfocytů v průběhu vývoje migruje do thymu a zde dozrává (od toho název T lymfocyty). Na rozdíl od B lymfocytů, které působí na antigeny protilátkami, potřebují T lymfocyty ke své imunitní funkci přímý kontakt s infikovanou nebo jinak poškozenou buňkou. Rozeznáváme tyto typy T lymfocytů:

- pomocné
- cytotoxické
- supresorové

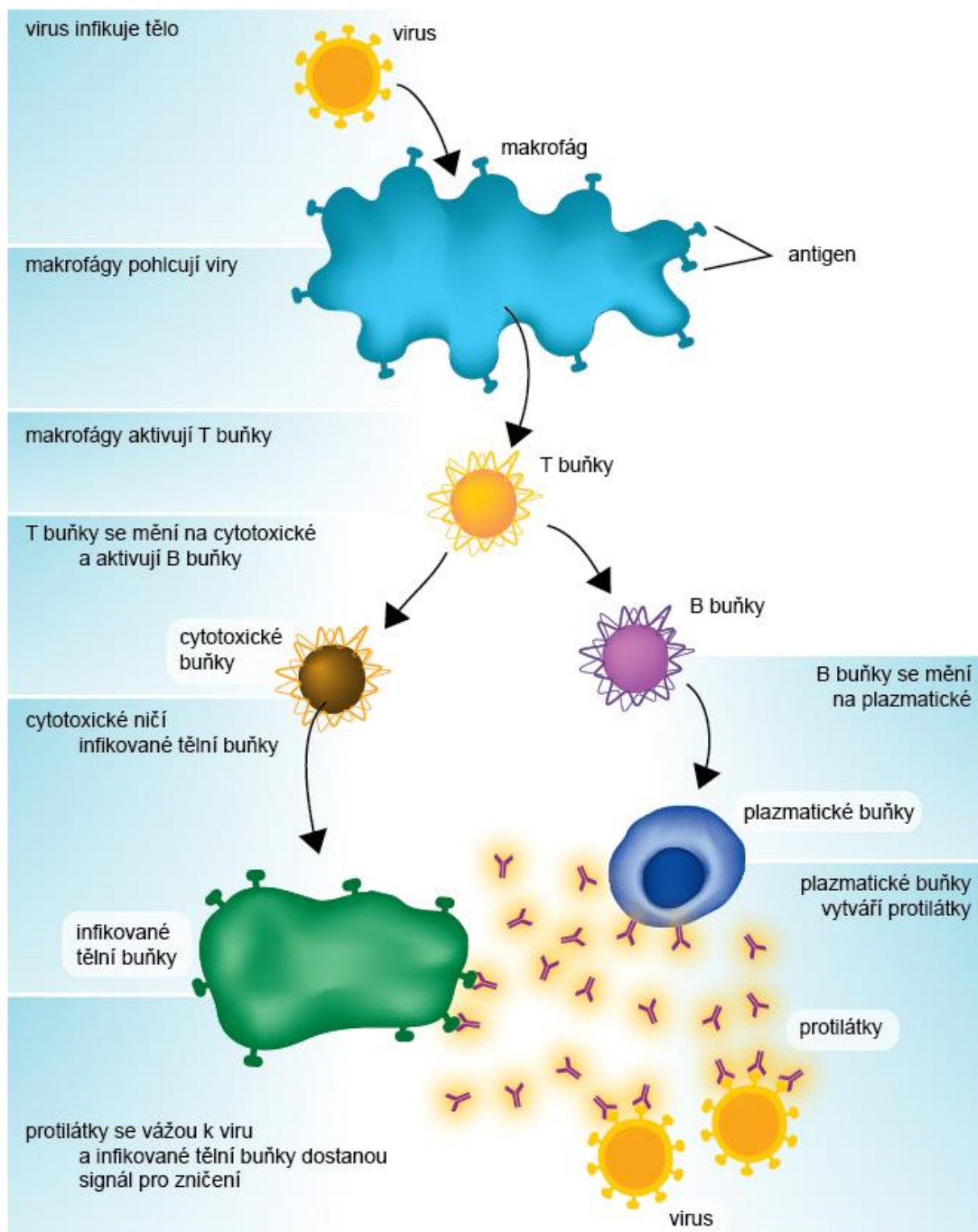
Pomocné T lymfocyty produkují **cytokiny**, které pak ovlivňují aktivitu lymfocytů jak T, tak i B. Kromě toho i zvyšují aktivitu makrofágů.

Cytotoxické (zabíjäcké) T lymfocyty jsou přímo zodpovědné za buněčnou aktivitu tím, že **likvidují buňky napadené patogeny** (např.viry) nebo nádorové buňky, či jiné abnormální buňky.

Supresorové T lymfocyty produkují **cytokiny**, které ale naopak potlačují aktivitu ostatních lymfocytů.

13.5 Průběh specifické imunitní reakce

Na procesu specifické imunity se neoddělitelně podílí jak buněčná, tak i humorální odpověď organismu (obr. 81).



Obr. 81 Specifická imunitní reakce organismu.

Specifickou imunitní reakci lze rozdělit na:

- primární imunitní odpověď, kdy organismus reaguje na první kontakt s antigenem
- sekundární imunitní odpověď, která následuje po opakovaném setkání organismu s antigenem

Při prvním kontaktu s **antigenem**, což je cizorodá nebo abnormální molekula bílkovinné nebo sacharidové povahy uložená ve stěně bakterií, plísni, parazitů, nádorových a dalších cizorodých buněk nebo virových částí nastává **primární imunitní odpověď**. U této reakce dochází k diferenciaci a proliferaci lymfocytů, které obsahují specifické receptory pro daný antigen. Vznikají tzv. **efektorové buňky**, což znamená, že z B lymfocytů vzniknou buňky plazmatické a z T lymfocytů buňky cytotoxické. Tento proces trvá obvykle asi 2 týdny. Kromě efektorových buněk, ale vznikají i **buňky paměťové**, které pak po řadu let nesou na svém povrchu receptory specifické pro antigen, s nímž se setkaly. Při opakovaném setkání se stejným antigenem se paměťové buňky dokážou proliferovat a diferencovat na efektorové buňky daleko rychleji (2-7 dní). Navíc tato imunitní reakce je mohutnější a přetrvává déle. Díky tomu se při této **sekundární imunitní reakci** nestihnou choroboplodné zárodky rozmnožit a organismus ne onemocní. Hovoříme o **získané imunitě**.

Uvedený mechanismus je využíván ve **vakcinační praxi**. Vhodně zvoleným imunizačním schématem lze dosáhnout i celoživotní imunity srovnatelné s imunitou po prodělaném infekčním onemocnění. Důvodem proč se některé infekce opakují, je proměnlivost antigenní výbavy viru (např. virus chřipky).

Alergie představuje změněnou až neúměrnou reakci imunitního systému na běžný zevní podnět. Na povrchu T lymfocytů jsou receptory, které váží antigen a setkání s antigenem, jak již bylo zmíněno, vyvolá primární reakci. Dochází k tvorbě protilátek. U alergické reakce však imunologická odpověď lymfocytů je značně zvýšena a projeví se hyperimunizací se 2. fázemi odpovědi:

1. fáze – reakce antigen-protilátka
2. fáze – uvolnění mediátorů (histamin, serotonin, bradykinin)(Bartůňková, 2010).

Imunizace

Jedná se o způsob získávání protilátek. Imunizace může být:

- A. **aktivní**, přirozená při prodělaní choroby nebo umělá vytvořená pomocí očkování
- B. **pasivní**, přirozená (přenesená z matky na plod) nebo umělá, při aplikaci séra po hadím uštknutí (tabulka 10)

Tab. 10 Rozdíly mezi aktivní a pasivní imunizací.

	imunizace	
	aktivní	pasivní
aplikace	antigenů	protilátek
	mrtvé či poškozené	

Imunosuprese znamená útlum imunitní odpovědi vlivem různých dějů (stresem, ale i cíleně u pacientů před transplantací).

Imunoterapie je léčba cytokininy jako jsou interleukin, interferon.

Důležité

- Imunitní systém se podílí na řízení organismu.
- Mezi základní struktury IS patří **imunitní buňky** a **imunitní orgány**.
- Imunitní mechanismy jsou zabezpečovány pomocí nespecifické a specifické imunity.
- **Nespecifická imunita** je pouze vrozená a jedním z jejích mechanismů je **fagocytóza**.
- **Specifická imunita** je zajištěna pomocí **T a B lymfocytů**.
- Humorální imunitu zajišťují B lymfocyty po přeměně na efektorové buňky (plazmatické buňky), které produkují protilátky.
- Buněčnou imunitu zajišťují T lymfocyty po přeměně na efektorové buňky (pomocné, cytotoxické a supresorové buňky), vylučující cytokiny.
- Imunitní odpověď se dělí podle kontaktu s antigenem na primární a sekundární.

14 Fyziologie reprodukce a těhotenství

Obsah kapitoly:

14.1 Úvod do kapitoly

14.2 Základní formy reprodukce

14.3 Nosič genetické informace

14.4 Pohlavní orgány

14.5 Fyziologie pohlavního vývoje a reprodukce u mužů

14.6 Fyziologie pohlavního vývoje a reprodukce u žen

14.6.1 Menstruační cyklus

14.6.2 Fyziologie těhotenství

14.7 Somatopauza

14.7.1 Klimakterium

14.7.2 Somatopauza – věkový faktor a jeho projevy

Po přečtení této kapitoly, bys měl pochopit fyziologickou roli princip a regulaci:

- jednotlivých životních fází: dětství, puberty, sexuální zralosti, stáří;
- genetické reprodukce,
- sexuálního vývoje,
- menstruačního cyklu,
- pohlavního aktu a oplodnění,
- těhotenství, porodu a kojení,
- stárnutí a somatopauzy.

Klíčová slova:

rozmnožování (reprodukce), neuroendokrinní regulace, pohlavní rozmnožování, puberta, menstruační cyklus, oplodnění, klimakterium, somatopauza, andropauza.

14.1 Úvod do kapitoly

Život je zvláštní forma existence hmoty. Pokud chceme život charakterizovat stručně a několika základními vlastnostmi, pak mezi ně musíme prioritně řadit:

- schopnost látkové výměny (metabolismus);
- dráždivost;
- dědičnost znaků;
- **rozmnožování (reprodukcí);**
- vývoj (evoluci):
 - přizpůsobením (adaptací);
 - přírodním výběrem;
 - snášenlivostí (tolerancí);
 - konvergenci a divergenci.

Předmětem této kapitoly jsou základní informace spojené s reprodukcí u člověka.

Principy a formy reprodukce

Základem reprodukce v biosféře je předání genetické informace novému organismu. Jde o jeden ze základních principů existence a zachování života biosféry. V přírodě známe dvě základní reprodukční schémata, při kterých se předává genetická informace, podle které se utváří nový organismus - jedinec. Nosičem všech genetických informací je DNA. Genetická informace se může:

- replikovat (kopírovat - opisovat) - při nepohlavní formě reprodukce;
- kombinovat (při replikaci dochází ke kombinování genetické informace od dvou jedinců) - jde o princip reprodukce např. u savců - viz dále v textu.

14.2 Základní formy reprodukce

- **Nepohlavní forma reprodukce:** *obvyklá u bakterií – prostým rozdělením – replikací (kopírování) jediné mateřské buňky vznikají dvě zcela identické buňky dceřiné, které obsahují stejnou genetickou informaci jako jejich mateřská buňka). Vzniká tak zcela identický jedinec se stejnými vlastnostmi, jako měla buňka mateřská.*
Pokud dceřiná buňka získá odlišnou vlastnost, jde o náhodnou mutaci (poruchu replikace DNA).
- **Pohlavní:**
 - je obvyklé u vyšších forem života (mj. u savců včetně lidí) – jde o velmi složitý proces, při kterém dochází ke spojení spermie a vajíčka – oplodnění, čímž dojde k promíšení genetických informací => vzniká nový organismus, který získal genetickou informaci z obou pohlavních buněk (došlo k přepisu vždy části genetické informace z jedné, i druhé rodičovské informace);
 - genetický materiál je uložen ve speciálních pohlavních buňkách – gametách (u mužů ve spermiích, u žen ve vajíčku);
 - aby se reprodukce úspěšně realizovala, musí mj. dojít ke spojení (velmi komplikovanému a pro organismus i energeticky náročnému) jak obou jedinců, tak i jejich genetického materiálu obsaženého v gametách;

-
- pohlavní rozmnožování vyžaduje odlišné pohlavní orgány: samčí (mužské) a samičí (ženské).

14.3 Nosič genetické informace – DNA

Genetická informace je uložena v deoxyribonukleové kyselině (DNA / DNK). Její zjednodušenou podobu obvykle představuje model tzv. šroubovice DNA, který si představujeme jako vlákno (stočené do spirály), které je nosičem, na kterém je zapsána celá genetická informace v jedné dlouhé větě „*abecedou, která se skládá ze čtyř písmen (bází)*“. Baze a jejich pořadí určuje konkrétní genetickou informaci.

Celá genetická informace buňky (organismu) je obsažena přibližně v milionech „*písmen*“ – bází (např. u bakterií je celá genetická informace uložena v jediném DNA vlákně), informace pro lidskou buňku je uložena v textu mnoha miliard bází. Každý dědičný faktor (gen) je určen konkrétními bazemi a jejich pořadím. Porucha (mutace) pořadí (nebo ztráta / záměna části informace) na úrovni baze, představuje chybnou genetickou informaci se všemi důsledky chybného vývoje, včetně zániku buňky (organismu).

Jádro lidské buňky má průměr asi 5-8 μm a obsahuje DNA v o délce asi 2 metrů (pokud bychom tuto buňku zvětšili do rozměru 1 mm, byla by délka vlákna DNA asi 2 km). Takto dlouhý text genetické informace obsažený na vlákně buněčné DNA by byl velmi zranitelný (což by přinášelo vícebuněčným organismům evoluční nevýhodu v podobě vysokého rizika textové poruchy při transkripci genetické informace). Jako významný ochranný mechanismus proto vnímáme rozdělení genetické informace buňky do několika menších vláken tak, aby skladba těchto vláken tvořila tzv. **chromosom** – soubor určitých informací. Tento způsob také umožňuje, aby se celá genetická informace vešla do jádra buňky a aby mohla být snadno rozdělena mezi obě dceřiné buňky vznikající při buněčném dělení.

Přenos genetické informace pohlavním rozmnožováním je pro každý biologický druh obrovskou přírodní konkurenční výhodou, která mj. umožnila evoluci!

Běžné buňky jsou v běžném vícebuněčném organismu tzv. diploidní = všechny chromosomy jsou v párech – každý chromosom se v buňce vyskytuje dvakrát. Počet chromosomů v jedné buňce se označuje jako karyotyp, přičemž, každý biologický druh má svůj konkrétní karyotyp: počet, tvar a velikost chromosomů. Tento poznatek se proto používá při rozlišování organismů – slouží jako tzv. druhový znak.

V souvislosti s genetikou se setkáváme s některými základními pojmy:

- **chromosom** je specifická buněčná struktura skládající se především z DNA; je nositelem genetické informace;
- **karyotyp** je soubor všech chromosomů v buněčném jádru;
- **genetická výbava** jedince je (s výjimkou gamet) vždy diploidní;
- **gen** je základní jednotka genetické informace (základní jednotka dědičnosti):
 - je to konkrétní úsek DNA;
 - jeden gen může podmiňovat vytvoření jednoho konkrétního;
- **alela** – konkrétní forma genů;
- **genom** je souhrn veškeré genetické informace (především sekvencí DNA) v buněčném jádru:
 - zahrnuje všechny geny;
 - je schopen variability;
- **lidský genom** tvoří soubor veškeré DNA v buněčném jádru každé lidské buňky:.

-
- má přibližně 18-25 tisíc genů;
 - je uložen na 46 chromosomech (pro představu – k přepisu informace v nich uložené, bychom potřebovali více než tisíc velmi objemných knih);
 - **genotyp** znamená jedinečnou informaci (veškerou genetickou charakteristiku) o genetické konstituci konkrétní **buňky /organismu /jedince**:
 - v užším pojetí je dvojice alel téhož genu, kdy jedna alela z dvojice je původem z matky a druhá původem z otce.

Karyotyp a lidská buňka

Lidská buňka (vyjma buněk pohlavních) obsahuje:

- **soubor celkem 23 párů chromosomů**;
 - z toho **22 párů tzv. homologních chromosomů** (*jeden pár obsahuje vždy dva chromosomy, které nesou konkrétní informaci, přičemž jeden chromosom je od matky a jeden od otce; Každý pár homologních chromosomů je nositelem homologní genetické informace*);
 - **1 pár chromosomů nehomologních (nepárových), který je tvořen**:
 - 1 chromosomem **X** – ženský pohlavní chromosom;
 - 1 chromosomem **Y** – mužský pohlavní chromosom.

Pohlavní buňka (gameta) je – co se týká složení buněčného jádra výjimkou! Její buněčné jádro **neobsahuje** „zdvojené“ chromosomy: obsahuje z každého páru homologních chromosomů pouze jediný(!) kus a dále pouze jediný(!) kus nepárového (pohlavního) chromosomu (místo dvou párových).

Gamety - pohlavní buňky vznikají zvláštním způsobem dělení, ve skutečnosti jde o dvě, ihned po sobě následující buněčná dělení). Gameta tedy obsahuje pouze 23 chromosomů, z nichž jeden je tzv. pohlavní:

- u ženy obsahuje každá gameta chromosom **X**;
- u muže obsahuje polovina gamet chromosom **X** a polovina chromosom **Y**.

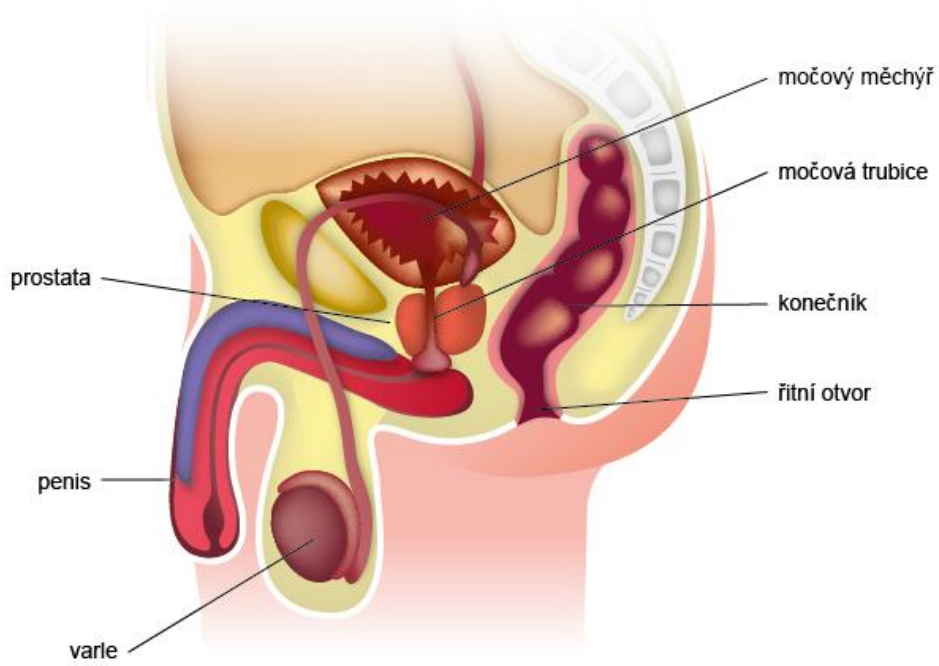
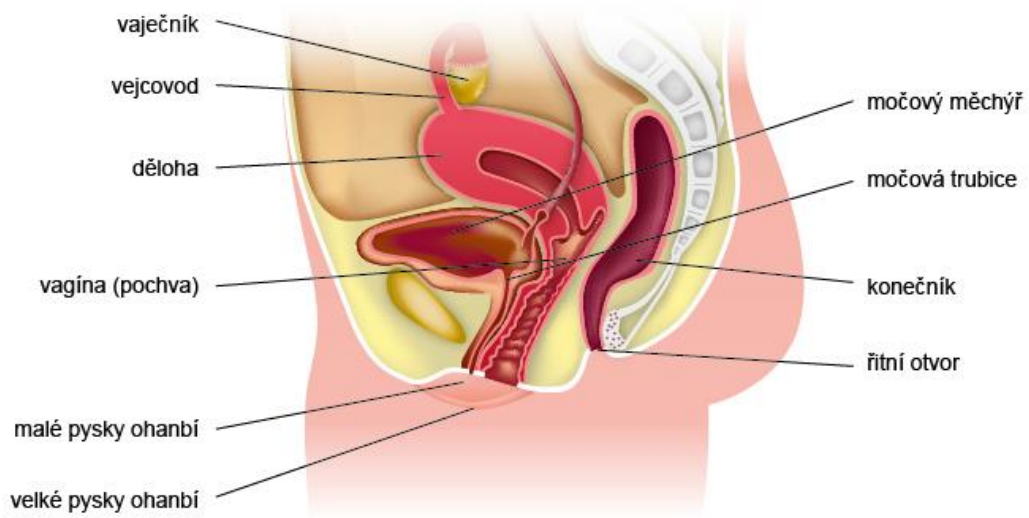
14.4 Pohlavní orgány (odlišnost pohlavních orgánů zajišťuje reprodukci)

Pohlavní orgány člověka zajišťují svoji odlišností základní reprodukční funkci – produkci pohlavních buněk avšak v ostatních činnostech se logicky významně liší. U mužů jsou pohlavní orgány uzpůsobeny k tvorbě spermií, jejich následnému uvolnění a dopravě do pohlavních orgánů opačného pohlaví, zatímco u žen má činnost reprodukčních orgánů (mimo tvorbu vajíček) za cíl vytvořit optimální prostředí, které umožní oplodnění a další vývoj vajíčka (těhotenství).

Regulační mechanismy pohlavního vývoje

K profilaci pohlaví dochází v okamžiku spojení vajíčka a spermie. Každá z těchto dvou gamet je vybavena sadou 23 chromosomů, které jsou v ostatních lidských buňkách v tzv. homologních párech (22 párů) a jedním chromosomem pohlavním (X – ženský chromosom, Y – mužský chromosom).

Mužský Y chromosom je obsažen pouze v polovině mužských gamet – ve spermích (druhá polovina spermií obsahuje chromosom Y). Pohlaví dítěte tedy určuje, zda vajíčko oplodní spermie s Y (vzniká mužský zárodek), nebo spermie s X chromosomem (vzniká ženský zárodek). Záleží tedy na tom, jaký pohlavní chromozom obsahuje mužská gameta. Již v okamžiku oplodnění vajíčka je tedy určeno, zda se zárodek bude vyvíjet s kombinací pohlavních hormonů **XX – žena**, anebo s kombinací **XY – muž**. Při normálním průběhu těhotenství se budou – vlivem výše uvedené kombinace pohlavních hormonů mj. odlišně vyvíjet pohlavní orgány muže a pohlavní orgány ženy.



Obr. 82 Pohlavní orgány ženy a muže.

Kombinace pohlavních chromosomů však ovlivní i jiné struktury a funkce lidského těla v dalším průběhu života – tvorbu hormonů, muskulaturu a kostru tak, že lze již z pouhého morfologického uspořádání rozpoznat pohlaví jedince.

Významná profilace pohlavní orientace nastává v období dospívání – puberty. Během puberty se tak nejenom zvýrazní pohlavní rozdíly, ale nastupuje období, kdy je konkrétní jedinec schopen reprodukce. Nástup puberty zahajuje produkce pohlavních hormonů, přičemž primárním stimulem k produkci pohlavních hormonů je luteinizační hormon (produkovan hypofýzou na popud hypotalamu). Jde tedy o velmi složitou neuroendokrinní regulaci s celou řadou zpětných vazeb. Během puberty se také dokončí tělesný růst orientovaný ve směru daném orientací chromosomální výbavy.

14.5 Fyziologie pohlavního vývoje a reprodukce u mužů

Puberta u mužů. Důsledkem neuroendokrinních regulačních změn je u fenotypu s chromosomální výbavou XY rozvoj maskulinních změn. Regulaci zajišťuje endokrinní systém, který spouští u mužů (na základě produkce luteinizačního hormonu - viz výše) tvorbu androgenních hormonů – především testosteronu produkovaného zejména ve varlatech, jeho prekurzor pak z menší části i v nadledvinách.

Zvýšení hladiny testosteronu pak ovlivní i další rozvoj jedince – hovoříme o vývoji mužského fenotypu – zejména ve směru rozvoje, zvýraznění a případně stimulace:

- pohlavního ústrojí;
- spermiogenezy (závěrečná vývojová etapa vyžrávání spermií);
- sekundárních pohlavních znaků;
- anabolických reakcí;
- psychické reakce (bojovnost, agresivita);
- libido);
- schopnost erekce a ejakulace;
- ukončení kostního růstu.

Erekce a ejakulace. Jde o genitální reflexy komplexní neuroendokrinní regulace, na kterých se podílí CNS (libido, sexuální apetence/ preference) pod vlivem endokrinního systému. Někdy hovoříme o komplexu sexuálního reakčního cyklu, jehož jednotlivými fázemi jsou u muže: erekce, ejakulace a orgasmus.

Nástup **erekce** (ztopoření penisu) zajišťuje CNS (libido, sexuální apetence / preference) pod vlivem endokrinního systému; vlastní mechanismus erekce pak spouští autonomní vegetativní nervový systém (parasymptikus) dilatací přírodních arteriol topořivých tělísek penisu (corpora cavernosa penis). Intenzita a trvání erekce je velmi složitým dějem, na kterém se podílí více faktorů (mimo výše uvedené i hormonální vybavenost, psychika, sexuální apetence, zdravotní stav, tělesná kondice aj.). Schopnost, kvalita a doba erekce se s věkem obvykle snižuje.

Ejakulace je další fází mužské pohlavní aktivity. Obvykle navazuje na předcházející erekci. Opět jde o složitý neuroendokrinní mechanismus, pro který je však – na rozdíl od erekce – typické, že při ejakulaci významně převyšuje činnost sympatické části autonomního vegetativního systému.

Schematicky lze ejakulaci rozdělit na dvě základní fáze:

-
- **emisi ejakulátu** – vypuzení sekretu z nadvarlat do chámovodů do prostatické části močové trubice (kontrakcí hladkého svalstva chámovodů a semenných váčků); současně dojde i k vyprázdnění prostatických žlázek;
 - **ejakulace:**
 - rytmické stahy hladkého svalstva močové trubice, i příčně pruhovaného kosterního svalstva pánevního dna atd.;
 - uzavření vnitřního svěrače močového měchýře;
 - + doprovodné příznaky zvýšené činnosti sympatiku – zvýšení kardiovaskulárního výkonu (tepové a dechové frekvence, systolického objemu, krevního tlaku), svalového napětí aj.;
 - **ejakulát** – obsahuje především spermie a další podpůrné látky pro spermie a jejich pohyb: (fruktóza, vitamin C aj.), dále látky umožňující oplození (prostaglandiny); má optimální – mírně zásadité pH (nezbytné pro spermie).

Po ejakulaci obvykle navazuje **orgasmus** (vyvrcholení) – tzv. plateau /plató/ fáze sexuálního reakčního cyklu. O orgasmu (orgastickém vzrušení) hovoříme u obou pohlaví. Jde o stav vyznačující se intenzivní fyzickou rozkoší, regulovanou a kontrolovanou autonomním vegetativním nervovým systémem.

Orgasmus se vyznačuje opět komplexní reakcí. Je doprovázen rychlými cykly kontrakcí svalů skupiny pánevního dna, kolem pohlavních orgánů a análního otvoru.

Orgasmus je u mužů, i u žen často provázen dalšími mimovolnými reakcemi (např. se svalovou křečí různých částí těla, i zvukovými projevy).

Orgasmus je vrcholnou částí sexuálního aktu, jehož průběh může výrazně napomoci k oplodnění vajíčka. Orgastické stahy svalů pánevního dna:

- zvyšující u muže energii/ rychlost ejakulace;
- zajišťují u ženy snazší a rychlejší pohyb spermií z vaginy do dělohy, ze které mohou být nasáty zvýšeným pod tlakem do vejcovodů – nejbliže k uvolněnému vajíčku.

Orgasmus je obvykle následován větší, či menší únavou a zklidněním (vlivem hormonu **prolaktinu**). Prolaktin je typickou odezvou neuroendokrinního systému. Pozorujeme reakci typickou po uvolnění **endorfinů**. Současně odeznívá zvýšené napětí sympatiku, což má často za důsledek pocit hladu a žízně.

Průběh orgasmu má jak u ženy, tak u muže prakticky obdobný mechanismus – ne však vždy stejný průběh. Fáze orgasmu nemusí vždy proběhnout – zejména u žen se setkáváme i tzv. anorgastickým průběhem sexuálního aktu.

Mnoho informací z oblasti lidské sexuality jako součásti reprodukce bylo ještě koncem první poloviny dvacátého století neznámo. Doslova revoluční byly proto v té době práce autorské (i partnerské) dvojice W. H. Masterse a V. E. Johnsonové. Mnoho dnešních výzkumů staví především na těchto základech.

Mimo bádání v oblasti hormonálních a farmakologických působků jsou pro nás převratné informace získané pomocí neinvazivních zobrazovacích metod: technikou funkční (dynamické) magnetické resonance (MR), pomocí které lze zjistit probíhající změny v mozku – v tomto případě během sexuálního aktu – zejména pak při orgasmu (viz kapitola Smysly). Použité techniky využívají mimo magnetické resonance i pozitronovou emisní tomografii (PET). Tyto výzkumy stále pokračují a jejich dosavadní výsledky prokazují, že:

- ženské i mužské mozky se v průběhu orgasmu chovají téměř stejně;
- orgasmus vyvolává v rozsáhlých oblastech mozkové kůry dočasný útlum mozkové aktivity.

Obecně lze říci, že pohlavní vzrušení (pro orgasmus to platí ještě více) je téměř vždy velmi příjemné a uspokojivé (často se užívá i francouzský termín: „*la petite mort*“ - „malá smrt“). Jde u různých lidí o různý počet probíhajících vln sexuální rozkoše.

14.6 Fyziologie pohlavního vývoje a reprodukce u žen

Puberta u žen. U žen je puberta důsledkem neuroendokrinních regulačních změn odpovídajících ženskému fenotypu (chromozomální výbava **XX**), které vedou ke spuštění rozvoje feminizačních znaků tělesných a psychických. Regulaci těchto dějů zajišťuje endokrinní systém, který spouští u žen (na základě produkce luteinizačního hormonu – viz výše) – tvorbu hormonů – estrogenního typu (estradiol, estriol, estron) dále progesteron. Estrogeny se tvoří především ve vaječnících, nadledvinách, ale mohou vznikat i v játrech a v tuku. Během těhotenství se pak tvoří i v placentě.

Ženy jsou schopny produkovat i malá množství androgenů – především testosteronu, který je produkován v podobě prekurzoru v nadledvinách.

Hladina estrogenů fyziologicky ovlivňuje další rozvoj jedince – hovoříme o vývoji ženského fenotypu – zejména ve směru rozvoje, zvýraznění a případně stimulace:

- pohlavního ústrojí;
- spuštění menstruačního cyklu;
- sekundárních pohlavních znaků;
- dráždivosti dělohy a motility ovarií;
- rozvoj mléčných žláz;
- změny vaginální výstelky a tvorbu kyselého pH ve vagině (významný protiinfekční faktor);
- predilekčního ukládání (a tvorby) tuků;
- metabolické efekty (vliv na cholesterol, retenci vody a solí);
- psychické reakce (stimulace sexuální aktivity a libida, formování ženského chování, tonus parasymptiku);
- schopnost erekce a ejakulace;
- a ukončení kostního růstu.

Estrogeny mohou působit pouze tehdy, pokud mají v tzv. cílových orgánech příslušné receptory. Jejich produkci spouští tzv. folikulostimulační hormon, který je produkován hypofýzou (z popudu buněk hypotalamu). Pozn.: tak jako ženský organismus produkuje malá množství androgenů, produkuje i mužský organismus menší množství estrogenních hormonů.

Dalším významným ženským hormonem je **progesteron** – jde o hormon tzv. gestačního typu, produkováný zejména ve druhé fázi menstruačního cyklu a během gravidity – je protipólem estrogenů (snižuje citlivost estradiolových receptorů). Je významným hormonem orientovaným po oplození vajíčka k jeho uchránění a k zajištění průběhu gravidity:

- připravuje sliznici dělohy k uložení (nidaci vajíčka);
- snižuje pohotovost ženského organismu k dalšímu oplodnění útlumem řady reakcí (snižuje sexuální apetenci, snižuje stažlivost dělohy, je antagonistou androgenů, působí na růst prsů a jejich přípravu na kojení, stimuluje respiraci, zvyšuje vylučování iontů N a Cl močí.

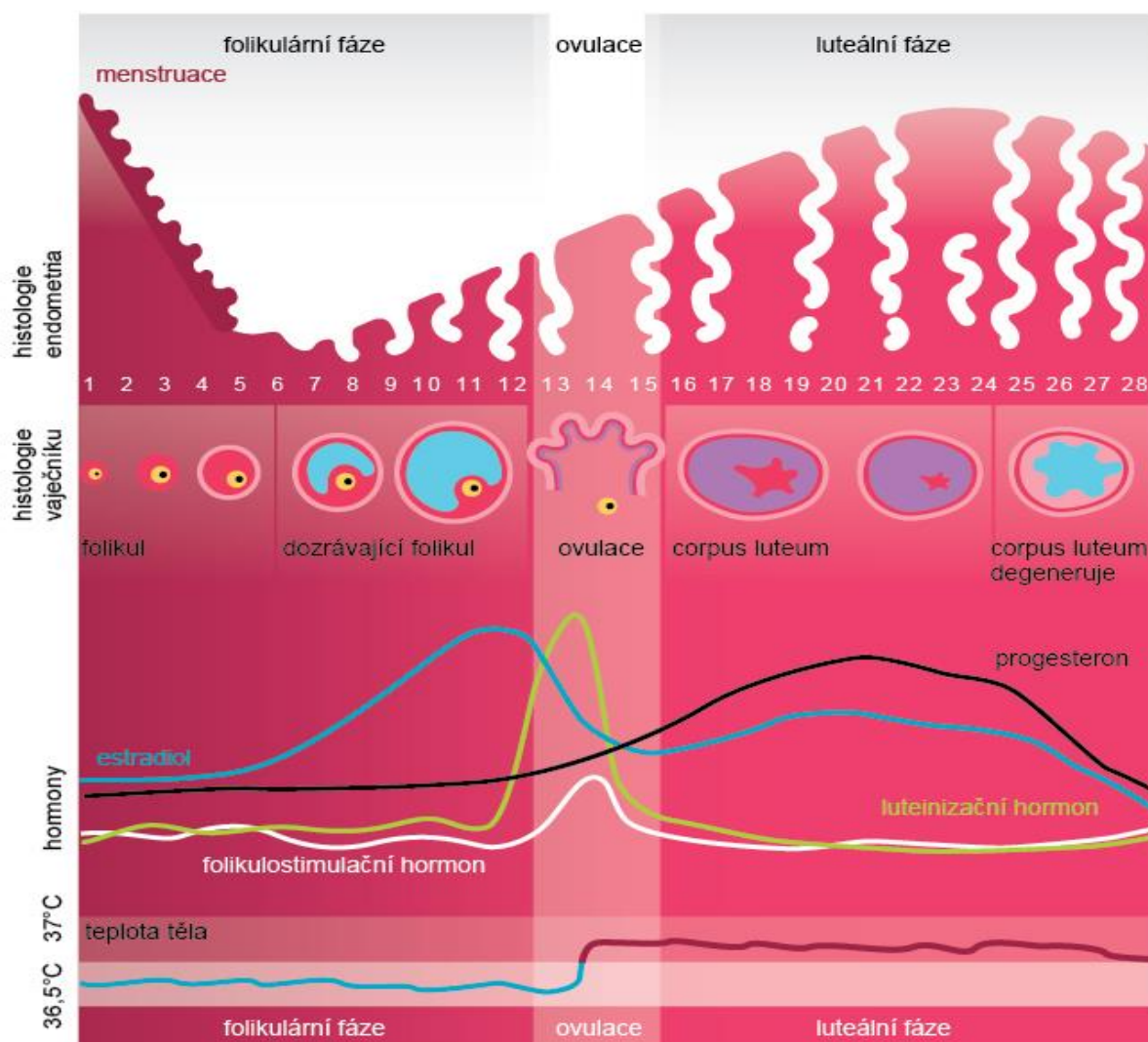
14.6.1 Menstruační cyklus

Období tzv. plodnosti je u ženy provázeno menstruačním cyklem. Pod tento pojem zahrnujeme více méně pravidelné (cyklické) změny, které se u fertillní (plodné) ženy střídají zhruba po 28 dnech. Jednotlivé – pravidelně se opakující – fáze menstruačního cyklu probíhají (pod vlivem neuroendokrinních změn) především hormony typu estrogenů, které se uplatňují v první fázi menstruačního cyklu a dále progesteron, který ovlivňuje ženský organismus ve druhé fázi menstruačního cyklu. Předělem těchto dvou fází menstruačního cyklu je zhruba 14. den, kdy dochází k tzv. **ovulaci** – uvolnění zralého vajíčka v jednom z vaječnicků. Ovulaci spouští další hypofyzární hormon – tzv. **luteinizační**.

Pokud dojde v průběhu druhé poloviny menstruačního cyklu (po ovulaci) k oplození vajíčka, okamžitě následuje další zvýšení hladiny progesteronu, který má zajistit zachování oplozeného vajíčka a startuje další fáze nastupujícího těhotenství (viz dále). Nedojde-li v té době k oplodnění uvolněného vajíčka, dochází k jeho odumření => poklesne hladina progesteronu a vlivem komplexu hormonálních změn se odloučí děložní sliznice => dochází ke krvácení – hovoříme o **menstruační fázi**, kterou se spouští nástup dalšího menstruačního cyklu.

Pozn.: „*funkční období*“ s možností oplodnění zralého vajíčka, uvolněného z vaječnicku je limitováno 12-20 hodinami, „*životnost spermie*“ je obvykle 24-48 hodin. Z těchto údajů je zřejmé, že k oplodnění vajíčka dochází obvykle již během jeho cesty vejcovodem do dělohy.

Na menstruační fázi navazuje (pokud nedošlo k oplodnění vajíčka) **fáze proliferační** (příprava nové děložní sliznice, zrání nového vajíčka) – vlivem estrogenů. Uvolněním vajíčka začíná **fáze ovulační**, na kterou navazuje **fáze sekreční** – období, kdy jsou nejlepší podmínky oplodnění – početí.



Obr. 83 Menstruační cyklus.

Vaječníky mají základ cca 400-500 vajíček. Během pohlavního života ženy se jich uvolní různý počet, který kolísá v závislosti na nástupu menstruačního cyklu, počtu těhotenství a nástupu **klimakteria**, kdy v důsledku hormonálních změn se zastaví dozrívání vajíček v ovariích. V důsledku toho končí plodné období ženy a nastupuje tzv. klimakterium – viz dále v textu.

14.6.2 Fyziologie těhotenství

V dalším textu se budeme zabývat výhradně tzv. fyziologickým průběhem těhotenství (gravidity). Tato poznámka je nezbytná, protože právě tato oblast lidské reprodukce je předmětem velmi intenzivního bádání v celé řadě vědeckých disciplín: od věd etických, sociálních, teologických, právních aj. (vznik života, kdy lze lidský zárodek považovat za lidskou bytost, právo na život, jak postupovat při diagnostice vrozených vad během těhotenství aj.), až po řadu konzervativních, i intervenčních medicínských postupů (asistovaná reprodukce, genetické modulace, výběr a selekce pohlaví, průběh a vedení porodu atd.).

Předpokladem vzniku nového jedince pohlavním rozmnožováním je prioritně spojení dvou gamet opačného pohlaví => vzniká oplodněné vajíčko (k oplodnění vajíčka dochází obvykle již ve vejcovodu). V oplodněném vajíčku splývají buněčná jádra spermie a vajíčka => vzniká plnohodnotná diploidní buňka disponující standardním počtem 23 párů chromosomů (22 homologních a jedním párem pohlavních chromosomů). Tento děj je dalším předpokladem rozvoje těhotenství: další nezbytné fáze rozvoje oplodněného vajíčka (u kterého je již určeno pohlaví vyvíjejícího se jedince). Pohlaví budoucího jedince určuje pohlavní chromosom obsažený ve spermii (**X** – určuje ženské pohlaví, **Y** – určuje mužské pohlaví).

Okamžikem úspěšného spojení dvou gamet (vajíčka a spermie) začíná období (272-280 dnů; 40 týdnů) těhotenství, během kterého se bude (při fyziologickém průběhu těhotenství) vyvíjet oplozené vajíčko v nového jedince. Během tohoto období prodělává oplodněné vajíčko doslova bouřlivý vývoj, na jehož konci je porod nového člověka, jehož genotyp je složen (zatím nám neznámým výběrem) z genetických informací uložených ve dvou gametách (mateřské a otcovské), které se při oplodnění vajíčka spojily. Neméně bouřlivý průběh mají i změny, které v průběhu těhotenství prodělává i organismus matky. V dalším textu se proto budeme snažit postavit vedle sebe ty změny, které souběžně probíhají v organismu těhotné ženy a v organismu vyvíjejícího se dítěte. S ohledem na potřeby tohoto textu však půjde pouze o velmi stručný a suchý výčet informací.

Období těhotenství dělíme na tři fáze – trimestry (období tří kalendářních měsíců)

Pro I. trimestr jsou typické změny:

- **Vajíčko** – buněčné změny probíhají ihned po oplodnění. Vajíčko se v té době obvykle nachází ještě ve vejcovodu a jeho výživa vajíčka je zajištěna ze žloutkového vaku vajíčka. Vajíčko obsahuje dvě prvojádra (otce a matky – v každém 22+1 chromosom), která splynou, takže máme již buňku, jejíž buněčné jádro obsahuje 22 párů homologních a 1 pár chromosomů pohlavních. Takto to buňka se počíná dělit na buňky dceřiné. Oplozené vajíčko dále putuje vejcovodem (tato fáze trvá kolem 3-5 dnů a je umožněna aktivním pohybem řasinek sliznice vejcovodu).
- **Organismus matky** prodělává hormonální změny (žluté tělísko produkuje v – tzv. proliferační fázi hormon progesteron, který připravuje sliznici na přijetí vajíčka a brání zrání dalších vajíček).
- **Vajíčko** dorazí po 3-5 dnech od oplození vajíčko do dělohy. Během své cesty v něm proběhlo již několik fází buněčného dělení, takže jde již o vícebuněčný organismus – **blastula**. Během I. trimestru je největší riziko vzniku závažných genetických malformací (vlivem vnitřních a vnějších faktorů)
- Děložní sliznice je – díky hormonální modulaci – kyprá a je připravena k uložení vajíčka (jde o tzv. fázi sekreční) a k zajištění jeho výživy. V této době již lze určit (pomocí testů na progesteron) těhotenství.
- **Placenta** - buňky dělohy se začínají spojovat s obalem blastuly – vzniká základ tzv. **placenty** (plodový koláč), která bude během těhotenství tvořit spojovací a přechodný systém mezi matkou a dítětem (ke konci těhotenství váží až 500 g a její složení je naprosto unikátní. Základní informace o placentě:
 - má dva systémy krevní cirkulace – oddělené vzájemně stěnou klků, aniž by se krev jednoho systému mísila s krví druhého systému následujícím způsobem:
 - placentární krevní oběh matky, kterým je přiváděna do placenty arteriální krev matky, ze kterého přestupují přes membrány klků veškeré látky, které plod potřebuje;
 - placentární krevní oběh plodu, do kterého je - opět přes membrány klků - zajištěn od matky jak přísun látek potřebných pro výživu plodu, tak - opět přes membrány klků - přestup metabolitů z plodu do krevního oběhu matky;
 - spojení krevního oběhu plodu s placentou zajišťují tepna a žíly pupečníku plodu.

Placenta má tři, velmi důležité funkce:

- výživu – cestou placentárních oběhů přestupují do krevního oběhu plodu: kyslík, ionty, glukóza, aminokyseliny, stopové prvky, hormony, vitaminy, protilátky (přítomné v těle matky) atd.; přestupují však i látky jiné (pokud jsou v těle matky přítomny) – toxiny, drogy, léky aj.;
- zajišťuje ochrannou bariéru před řadou látek, které by mohly poškodit jak matku, tak dítě (např. dítě a matka mohou mít různé krevní skupiny), infekce atd.;
- zajišťuje vnitřně sekretorickou produkci:
 - od 9. dne gravidity choriový gonadotropin;
 - progesteron a estrogeny (od 2. měsíce) aj.

Prvý trimestr gravidity je provázen riziky jak pro matku (spojenými s oplodněním, nidací (uložení) vejce v děloze, tvorbou placenty aj.), tak pro plod (jde o období formování základu orgánů dítěte=>v toto době je vysoké riziko vzniku těžkých mutací. Po vždy třech měsících pak navazují II. a dále III. trimestr. Tato období již obvykle pobíhají v klidu. Dalším dějem je pak až spouštění vlastního porodu – viz dále v textu.

Vývoj plodu

Fyziologický vývoj oplodněného vajíčka = obvykle době těhotenství:

- fáze embryonální (do 6. týdne gravidity), ve které se jak mužské, tak ženské embryo vyvíjejí stejně;
- v 7. týdnu začíná pohlavní diferenciací; hovoříme o plodu (fetus), jeho organismus produkuje vlastní pohlavní hormony (mužský zárodek androgeny, ženský zárodek estrogeny);
- během těhotenství je dítě v děloze uloženo v tzv. plodovém vaku a „plave“ v plodové vodě;
- srdeční ozvy plodu zaznamenáme od počátku těhotenství, pohyby plodu začínají 18.-20. týdnem;
- vývoj orgánů plodu končí 28. týdnem – v té době lze již při předčasném porodu dítě zachránit;
- těhotenství končí kolem 40. týdne spontánním porodem vaginální cestou.

V děloze se často vyvíjí i více zárodků současně (např. dvojčat se rodí v populaci asi 1 %).

Porod

Porod je závěrečnou fází těhotenství a je (stejně jako oplodnění a vývoj plodu) složitý děj. Spouštěcím dějem porodu není jenom velikost nebo váha plodu (mezi 2-4 kg a kolem 50 cm), který začíná tlačit na porodní cesty. Bezprostředním impulsem jsou však opět změny hormonální: klesá hladina progesteronu a zvyšuje se hladina estrogenů v krevním oběhu matky. Vlastní porod pak spouští hormon hypofýzy – oxytocin, který vyvolává děložní stahy (kontrakce), v důsledku kterých se otevírají porodní cesty; po určité době praskají plodové obaly a plod se rodí cestou vaginální.

Po porození dítěte je třeba podvázat pupečník plodu. Nastupují poslední fáze porodu: – vyloučení placenty, retrakce (stažení – zmenšení) dělohy a postupná tvorba nové slizniční vrstvy uvnitř dělohy.

Neuroendokrinní změny provázejí i období poporodní. Velký význam zde hraje i laktace.

Výživa dítěte po porodu

Přestože má lidské novorozeně již vyvinuty základní životní funkce a je samostatný organismus, není poměrně dlouho (na rozdíl od celé řady savců, jejichž mláďata jsou poměrně krátce po porodu schopna pohybu a jejichž další vývoj probíhá velmi rychle) po porodu schopné aktivit, které by mu umožnily bez mateřské péče (nebo její náhrady) přežít. Součástí této péče je i zajištění výživy novorozence.

Kojení

Prsní žláza je specializovaný orgán určený prioritně k výživě novorozených dětí. Jde o specializovanou žlázu, jejíž vývoj, i další funkce jsou ovlivněny hormony. Laktaci (produkci mléka) spouští hormonální stimulace. Po porodu má dítě v mateřském mléce zajištěny prakticky všechny nezbytné složky k dalšímu vývoji. Při ukončení kojení se snižuje i hormonální stimulace a mléčná sekrece ustává.

Pozn.: Prsy mají roli i v sexuální apetenci – coby erotogenní zóna. Sexuální roli zprostředkovanou uměním však přiřknul prsům až člověk v určité fázi svého vývoje.

14.7 Somatopauza

Endokrinní soustava prochází v průběhu života mnoha změnami, které považujeme za fyziologické. Hladiny hormonů mají v průběhu lidského života výkyvy (některé nápadně klesají, jiné stoupají), jiné se ale nemění (např. kortizol nebo estrogeny u mužů). Mění se také charakter jak hormonální sekrece, tak reakce receptorů.

Posuny hladin hormonů zapříčiněné věkem, mají za následek fyziologické orgánové a funkční změny (standardní životní fáze). V určitém věku proto dochází u člověka k postupnému snižování reprodukčních schopností, které pokračuje až k jejich úplné ztrátě - **somatopauze**. Jde o období projevující se zejména relativním hypogonadismem (u mužů hypovirilizací), osteoporózou, oslabením svalstva a síly, poruchami příjmu potravy, metabolismu (obecně, zejména pak glycidů), obezitou a endokrinně modifikovanými kardiovaskulárními poruchami (hypertenze), i změněnou stresovou reakcí. Zatímco hladina testosteronu klesá během života u mužů postupně s věkem (pomalu a s individuálními rozdíly), nastává pokles tvorby estrogenů u žen poměrně rychle (většinou během roku po menopauze).

Pod pojem **somatopauza** řadíme tedy obecně **fáze stárnutí organismu, za kterými stojí především neuroendokrinní změny**, které se týkají sekrece a účinku celé řady hormonů (samozřejmě odlišně dle pohlaví): *růstového hormonu, dehydroepiandrosteronu (DHEA), melanotoninu, hormonů štítné žlázy, testosteronu, leptinu a dalších působků*.

O některých faktorech spojených s procesem stárnutí již máme komplexnější informace, přesto však stále neznáme možnosti jak ovlivnit tyto změny komplexně. Tato problematika se dotýká celé řady vědních oborů (lékařství, společenské a sociální vědy, právo aj.).

14.7.1 Klimakterium (přechod, klimax)

Jde o přirozený děj zahájený neuroendokrinními změnami, které navozují vyhasínání funkcí spojených s možností / schopností reprodukce. Jde o další životní fázi, kterou prochází člověk fyziologicky obvykle po dosažení určitého věku (u žen obvykle 45-55 let, u mužů 50-?), která je podmíněna celou řadou faktorů (genetické dispozice, způsob života – vlivy geografické, ale i operace, léky, toxiny aj.). Vyjmenované faktory (a jejich kombinace) tak podmiňují odlišnost jak času nástupu, tak i průběhu tzv. přechodu. Pojem **klimakterium** je standardně spojován se ženským pohlavím (u žen jsou totiž projevy klimakteria nejvýraznější), avšak tento stav postihuje i muže. Konečným důsledkem klimakteria je ztráta reprodukčních schopností daného jedince.

Klimakterium u ženy

Nejnápadnější známkou nastupujícího přechodu je u žen (do té doby plně fertálních) nástup změn, které vedou v konečné fázi až ke ztrátě menstruačního cyklu. Jde obvykle o celý soubor příznaků, potíží a změn (více, či méně výrazných), které předcházejí s určitým předstihem poslednímu menstruačnímu cyklu.

Celý děj je spuštěn z CN: neuroendokrinní změny, které vedou k útlumu činnosti vaječnicků => snížení produkce dvou základních ženských hormonů (estrogenů a progesteronu) => změny menstruačního cyklu, až jeho úplná zástava. Žena tak není již (v důsledku těchto změn) schopna fyziologicky otěhotnět (*menstruační cyklus však můžeme obnovit nefyziologicky hormonální – obvykle iatrogení) cestou*).

Klimakterium obvykle předcházejí /provázejí i další projevy, proto hovoříme o klimakterických příznacích / potížích – obvykle v podobě změn:

- metabolických: *poruchy termoregulace, návaly horka, vyšší potivost, změny ukládání tuku a cholesterolu (=> nadváha), úbytek vody ve tkáních, úbytek svalové hmoty aj.*;
- psychických: *poruchy spánku, nervová labilita a změny nálad, nesoustředěnost, deprese atd.*;
- sexuální apetence;
- oběhových;
- termoregulačních;
- ukládání vápníku => riziko osteoporózy aj.

K potlačení těchto příznaků a zdravotních problémů se u žen používají léky, které dodávají organismu chybějící hormony (estrogeny). Po ukončení klimakterických změn nastupuje u ženy období, které označujeme termínem **menopauza**.

Pozn.: *Pokud jsou ženám odstraněny ve fertálním období vaječnický, je tímto výkonem náhle (ze dne na den) navozena menopauza (je přeskočeno klimakterium) a potíže přechodu se projeví dramaticky náhle (hormonální hladiny neklesají postupně, ale rychle a razantně). Čím mladší žena tuto operaci podstoupí, tím jsou potíže výraznější. Prakticky ihned tak nastupuje tzv. **menopauza** – viz dále v textu.*

Klimakterium u muže

Mužský klimakterický syndrom je charakterizován vcelku nespecifickými příznaky, které není jednoduché odlišit od změn obecně spojovaných s věkem. V těchto příznacích většinou dominují nespecifické potíže: nejčastěji psychického rázu (deprese, poruchy paměti), méně často pokles libida a erektilní dysfunkce.

Padesát procent mužů starších padesáti let má nižší hladinu testosteronu. Tato skutečnost bývá spojována s tělesnými i psychickými symptomy, ale i se změnami metabolickými (obezita a zhoršení dalších parametrů kardiovaskulárního rizika, pokles svalového objemu a kostní hmoty aj.).

U mužů není (na rozdíl od žen) nástup klimakteria a přechod do **andropauzy** tak jednoznačný. Proto probíráme problematiku mužského klimakteria, i andropauzy v dalším textu komplexně.

14.7.2 Somatopauza – věkový faktor a jeho projevy

Hormonální změny navozující somatopauzu jsou přímo/nepřímo spojeny se změnami složení těla – jako např.:

- *distribucí tuku (viscerální obezita);*
- *svalovou slabostí;*
- *osteoporózou;*
- *inkontinencí moče;*
- *oslabením kognitivních funkcí;*
- *poklesem fyzické výkonnosti;*
- *poruchami psychiky (snížením pocitu spokojenosti, depresi a sexuální dysfunkcí).*

Značná část těchto změn vede u obou pohlaví ke ztrátě soběstačnosti, k nepohyblivosti nebo k nutnosti dohledu nad takto postiženými osobami a stává se těžkou zátěží nejbližšího pacientova okolí i celospolečenským problémem. Komplexně hovoříme o změnách spojených se stárnutím. Výraznými známkami těchto změn jsou doprovázeny jak: **klimakterium**, tak **menopauza / andropauza**.

Menopauza

Jde o životní období, které pozorujeme u ženy a které navazuje na předcházející klimakterium. Menopauza začíná poslední fyziologickou menstruací v životě ženy. Jde o stav známý zcela přesně definovaný (včetně etiologie a příznaků, které období kolem menopauzy provázejí). Je spojena s poklesem pohlavních hormonů (progesteronu a estrogenů). Menopauza (stejně jako klimakterium) je zapříčiněna mechanismy, které jsou vcelku dobře známy.

Pozn.: Je třeba u starších jedinců rozlišovat stavy projevů fyziologického stáří, nástup somatopauzy, dále některé choroby stáří postihující fyzickou, či psychickou výkonnost (stařeckou demenci, Alzheimerovu chorobu aj.) a kombinaci všech těchto stavů.

Andropauza

Termín **andropauza** se objevuje v posledních letech a odpovídá ekvivalentu ženského klimakterického syndromu / menopauzy. U mužů jde o poněkud významově (v projevech a v podstatě) odlišný děj než je menopauza žen. Andropauza neoznačuje nic „posledního“ v životě muže, ale popisuje postupný proces

pokračujícího stárnutí, který je někdy označován jako mužské klimakterium. Pojem mužská menopauza, vyskytující se v občas v literatuře, není proto zcela vhodným a zejména výstižným označením.

Definovat andropauzu je poměrně obtížné. Byly proto stanoveny známky, které lze považovat za možné příznaky tzv. androgenního deficitu – patří k nim zejména:

- tři sexuální symptomy (poruchy erekce, snížení libida a ranní erekce),
- tři tělesné symptomy (neschopnosti):
 - *neschopnost výraznější fyzické aktivity: běhu, absolvování námahových činností aj.;*
 - *neschopnost ujít více než 1 km;*
 - *neschopnost klečet a shýbat se;*
- tři psychologické symptomy (úbytek psychické energie, sklíčenost a únava);

Některé další symptom již nejsou typické pro andropauzu / menopauzu (špatná koncentrace poruchy spánku, pocity méněcennosti, nervozita a úzkost). Vnímáme je proto jako doprovodné známky senia.

V obrazu klimakterického syndromu u muže dominují symptomy sexuální, z nichž muži nepříznivě vnímají především poruchy erekce. Všechny tyto příznaky však obvykle provázejí tzv. nastupující hypogonadismus, definovaný nejméně třemi sexuálními symptomy (pokles počtu ranních erekcí, snížení frekvence sexuálních myšlenek a erektilní dysfunkce), spojené s nízkou hladinou testosteronu v krvi.

Faktem je, že jak somatopauza, tak menopauza /andropauza jsou fyziologickými ději, které provázejí lidskou populaci. Je třeba s nimi jak počítat, tak na ně adekvátně reagovat v celé řadě oblastí.

Důležité

- Reprodukční mechanismy zajišťují u člověka optimální podmínky k přenosu genetické informace.
- Pohlavní vývoj člověka probíhá prakticky po celý jeho život: tj. od dětství až po somatopauzu.
- Stabilitu pohlavního vývoje a reprodukce zajišťuje neuroendokrinní systém.

Literatura

- Ambler, Z. (2011). *Základy neurologie* (7th ed.). Praha: Galén.
- Bartůňková, S. (2010). *Fyziologie člověka a tělesných cvičení: učební texty pro studenty fyzioterapie a studia tělesná a pracovní výchova zdravotně postižených* (2nd ed.). Praha: Univerzita Karlova.
- Ferenčík, M., Rovenský, J., & Mařha, V. (2004). *Ilustrovaný imunologický slovník*. Praha: Galén.
- Ganong, W., F. (1995). *Přehled lékařské fyziologie*. Jinočany: H&H.
- Ganong, W., F. (2005). *Přehled lékařské fyziologie* (20nd ed.). Praha: Galén.
- Hamár, D. & Lipková, J. (1998). *Fysiológia telesných cvičení*. Bratislava: Univerzita Komenského.
- Hampl, V. *Fyziologie extrémních stavů* [online]. Praha: Karlova Univerzita, [cit. 2011-11-18]. Dostupné z WWW: <http://fyziologie.lf2.cuni.cz/hampl/teach_mat/extremy/index.htm>.
- Kábrt, J. & Kábrt, J jr. (2001). *Lexicon medicorum*. Praha: Galén.
- Kittnar, O. & Mlček, M. (2009). *Atlas fyziologických regulací*. Praha: Grada.
- Kittnar, O., Jandová, K., Kuriščák, E., Langmeier, M., Marešová, D., Mlček, M.,...Trojan, S. (2011). *Lékařská fyziologie*. Praha: Grada.
- Langmeier, M., Kittnar, O., Marešová, D. & Pokorný, J. (2009). *Základy lékařské fyziologie*. Praha: Grada.
- Máček, M. & Radvanský, J. (2011). *Fyziologie a klinické aspekty pohybové aktivity*. Praha: Galen.
- McKinley, M., O'Loughlin, V. & Bidle, T. (2012). *Anatomy & physiology: an integrative approach*. McGraw-Hill.
- Mourek, J. (2012). *Fyziologie: učebnice pro studenty zdravotnických oborů* (2nd ed.). Praha: Grada.
- Mysliveček, J. a kol. (2009). *Základy neurověd* (2nd ed.). Praha: Triton.
- Netter, F., H. (2005). *Anatomický atlas člověka* (3rd ed.). Praha: Grada/Avicenum.
- Novotný, I. & Hruška, M. (2002). *Biologie člověka: pro gymnázia*. Praha: Fortuna.
- Petráček, V., Kraus, J., Buchtelová, R., Confotriová, H., Červená, V., Hovorková, M.,...Ungermann, V. (2001). *Akademický slovník cizích slov*. Praha: Academia.
- Rokyta, R., Bernášková, K., Kříž, N., Myslivečková, J., Paul, T., Rokyta, R.,...Yamamoto, A. (2000). *Fyziologie pro bakalářská studia v medicíně, přírodovědných a tělovýchovných oborech*. Praha: ISV.
- Silbernagl, S., Despopoulos, A., Gay, R. & Rothenburger, A. (2004). *Atlas fyziologie člověka* (3rd ed.). Praha: Grada/Avicenum.
- Trojan, S. (1997). *Tělověda* (6th ed.). Praha: Grada.
- Turecký, I. (1991) *Biochémiu svalů a svalové práce – vybrané kapitoly z funkční biochemie*. Bratislava: Asklepios.
- Vokurka, M., Hugo, J., Broulík, P., Brůnová, B., Černý, M., Doležal, T.,...Doskočil, M. (2004). *Velký lékařský slovník*. 4th ed. Praha: Jessenius/Maxdorf.
- Vokurka, M., Hugo, J., Faziková, D., Presl, J. (2004). *Praktický slovník medicíny*. 7th ed.. Praha: Maxdorf.
- Ward, J. & Linden, R. (2010). *Základy fyziologie*. Praha: Galén.
- Wilmore, J., H., Costill, D., L. & Kenney, W., L. (2008). *Physiology of Sport and Exercise*. Champaign (USA): Human Kinetics.