

doc. MUDr. Eva Kohlíková, CSc.

FYZIOLOGIE ČLOVĚKA

Učební texty pro trenérskou školu
FTVS UK v Praze



PRAHA 2004

OBSAH

Katedra fyziologie a biochemie
Fakulta tělesné výchovy a sportu
Univerzita Karlova

Vedoucí katedry: doc. MUDr. Jana Vránová, CSc.

1. OBECNÁ FYZIOLOGIE	11
1.1 Buňka	11
1.2 Transport látek přes buněčnou membránu	13
1.3 Iontové kanály	14
1.4 Složení lidského těla	15
2. KREV	17
2.1 Základní funkce krve	17
2.2 Složení krve	17
2.3 Zástava krvácení, srážení krve	21
2.4 Krevní skupiny, systém Rh	22
2.5 Vybrané vyšetřovací metody krve	23
3. TKÁŇOVÝ MOK A MÍZA	25
3.1 Tkáňový mok	25
3.2 Mízní systém	26
4. IMUNITNÍ SYSTÉM	27
5. SRDEČNĚ-CÉVNÍ SYSTÉM	29
5.1 Srdce	29
5.2 Elektrická aktivita srdce	30
5.3 Srdeční revoluce	31
5.4 Srdeční výdej	33
5.5 Srdeční frekvence, tepová frekvence	34
5.6 Elektrokardiogram (EKG)	34
5.7 Energetika srdeční práce	35
5.8 Krevní oběh	36

5.9	Krevní tlak – TK	38	10.1.2	Řízení funkce ledvin	75
5.10	Řízení činnosti srdece a cév	38	10.2	Vývodné močové cesty	76
6. DÝCHACÍ SYSTÉM		39	11. ŽLÁZY S VNITŘNÍ SEKRECÍ		77
6.1	Dýchací cesty	39	11.1	Hypotalamus	78
6.2	Mechanika dýchání	40	11.2	Hypofýza	78
6.3	Formy dýchání	42	11.3	Štítná žláza	79
6.4	Typy dýchání podle velikosti dechového objemu a dechové frekvence	43	11.4	Příštitná tělíska	80
6.5	Základní funkce dýchacího systému	44	11.5	Slinivka břišní	80
6.5.1	Ventilace	45	11.6	Nadledvinky	81
6.5.2	Distribuce	47	11.7	Ledviny jako žláza s vnitřní sekrecí	81
6.5.3	Difúze plynů (O_2 a CO_2)	48	11.8	Reprodukční systém muže	82
6.5.4	Perfúze krve plícemi	48	11.9	Reprodukční systém žen	82
6.6	Regulace dýchání	49	12. OBECNÁ FYZIOLOGIE NERVŮ		85
7. TRÁVENÍ A VSTŘEBÁVÁNÍ		51	12.1	Nerv-dráždivá tkán	85
7.1	Dutina ústní	52	12.1.1	Podnět-stimulus	86
7.2	Žaludek	52	12.1.2	Podráždění-excitace	86
7.3	Tenké a tlusté střevo	53	12.1.3	Vzruch – klidový a akční potenciál	86
7.4	Játra	55	12.1.4	Vedení vzruchu	89
8. ENERGETICKÁ BILANCE, METABOLISMUS A VÝŽIVA		59	12.2	Glie	91
8.1	Zdroje energie	60	12.3	Funkční projevy nervového systému	91
8.2	Metabolismus	60	12.4	Synaptický přenos	93
8.2.1	Bazální metabolismus (BM)	62	13. FYZIOLOGIE SVALŮ		97
8.2.2	Klidový metabolismus (KM)	63	13.1	Základní charakteristiky hladkého, srdečního a kosterního svalu	97
8.2.3	Pracovní metabolismus (PM)	63	13.2	Hladký sval	98
8.3	Fiziologie výživy	63	13.3	Srdeční sval	99
9. TERMOREGULACE		67	13.4	Kosterní sval	99
9.1	Tvorba tepla	67	13.4.1	Vztah mezi podrážděním a následnou kontrakci	100
9.2	Ztráty tepla	68	13.4.2	Elektrická a iontová charakteristika stahu kosterního svalu	100
9.3	Řízení tělesné teploty	69	13.4.3	Molekulární podstata svalové kontrakce	101
10. ZEVNÍ SEKRECE – LEDVINY A VYLUČOVACÍ SYSTÉM		71	13.4.4	Typy svalových kontraktcí	102
10.1	Ledviny	71	13.4.5	Zdroje energie a metabolismus kosterního svalu	102
10.1.1	Nefron	72	13.4.6	Typy svalových vláken kosterního svalu	104
			13.4.7	Řízení činnosti svalu	105

14. KOSTI	109	16.4.4 Hypotalamus	131
14.1 Kostní buňky	109	16.5 Velký mozek	132
14.2 Růst kostí	110	16.5.1 Bazální ganglia	132
14.3 Tvorba a resorpce kostí	110	16.5.2 Limbický systém (allocortex)	132
15. SENZORICKÉ FUNKCE	111	16.5.3 Kúra velkého mozku	133
15.1 Somatoviscerální citlivost	111	16.6 Autonomní (vegetativní) nervový systém	134
15.1.1 Kožní smysly	112	16.7 Funkční stavy centrálního nervového systému	136
15.1.2 Hluboká citlivost – propriocepce	112	16.7.1 Bdění (vigilita)	137
15.1.3 Bolest	113	16.7.2 Spánek	137
15.2 Zrak	115	17. FYZIOLOGIE CHOVÁNÍ A PAMĚTI	139
15.2.1 Zraková ostrost (visus)	116	17.1 Chování a genetická dispozice	139
15.2.2 Akomodace	116	17.2 Chování a získané informace	140
15.2.3 Adaptace na tmu	116	17.2.1 Učení	140
15.2.4 Prostorové vidění	117	17.2.2 Paměť	142
15.2.5 Barevné vidění	117	17.2.3 Útlum a jeho druhy	143
15.3 Sluch	117	18. BIORYTMY	145
15.3.1 Převod zvuku	118	19. VŠEOBECNÝ ADAPTAČNÍ SYDROM – STRES	147
15.4 Rovnovážné ústrojí	118	19.1 Stresory	148
15.4.1 Úkoly vestibulárního systému	118	19.2 Všeobecný adaptační syndrom	149
15.4.2 Vestibulární dráhy	119	19.3 Metabolická reakce u stresu	150
15.4.3 Labyrintové reflexy	119	19.4 Vliv stresu na obranyschopnost (imunitu)	151
15.5 Chemické smysly – čich a chuf	119	19.5 Srdečně-cévní systém a stres	151
15.5.1 Čich	119	19.6 Nervový systém a stres	152
15.5.2 Chut	120	19.7 Dýchací systém a stres	152
16. CENTRÁLNÍ NERVOVÝ SYSTÉM	123	19.8 Stres a sexuální funkce	152
16.1 Mícha	124	20. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK	155
16.2 Mozkový kmen	126	20.1 Seznam obrázků	155
16.2.1 Prodloužená mícha	126	20.2 Seznam tabulek	157
16.2.2 Varolův most	126	21. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	159
16.2.3 Střední mozek	127	22. SEZNAM HLAVNÍ POUŽITÉ LITERATURY	161
16.2.4 Retikulární formace mozkového kmene	127		
16.3 Mozeček	128		
16.4 Mezimozek	129		
16.4.1 Talamus	129		
16.4.2 Subtalamus	130		
16.4.3 Epitalamus	130		

PŘEDMLUVA

Fyziologie jako věda o funkci živých organismů má důležité postavení nejen v lékařských vědách, ale ve všech oborech, které se profesionálně či amatérsky zabývají lidskou činností v širokém slova smyslu. Cílem tohoto textu je podat základní fyziologické poznatky potřebné pro studenty distančního studia trenérského směru. Nejde jen o popis činnosti jednotlivých orgánů, ale i jejich řízení a to včetně základních biochemických dějů v buňkách a tkáních až po složité vztahy mezi člověkem a prostředím. Vzhledem k budoucí profilizaci trenérů je text podrobněji zaměřen na problematiku nervového, nervosvalového a svalového systému, včetně základní charakteristiky stresu a možnosti adaptace.

Stručnější text je průběžně kombinován s obrázky a pro přehlednost některých složitých dějů i jednoduššími tabulkami. Předpokladem jeho úspěšnosti jako studijního materiálu je další rozšíření o nové poznatky či znalosti.

doc. MUDr. E. Kohlíková, CSc.

1. OBECNÁ FYZIOLOGIE

Obecná fyziologie se zabývá vlastnostmi živých organismů, tedy výměnou látek se zevním prostředím – metabolismem a regulacemi, zajišťujícími homeostázu = stálost vnitřního prostředí.

1.1 BUŇKA

Buňka je nejmenší jednotka živého organismu schopná nezávislé existence. Obsahuje organely, které mají specifické funkce.

1. buněčné jádro

Buněčné jádro je v buňkách, které obvykle jsou schopny se dělit. V jádře je jako DNA (desoxyribonukleová kyselina) uložena genetická informace, která jednak řídí vlastní funkce buňky, jednak umožňuje dělení buněk a tak vytváření nových částí orgánů nebo systémů. V rámci pohlavních buněk se uplatňuje na vytvoření genetického základu nového jedince.

2. jadérko

Jadérko, které nemá membránu, obsahuje RNA (ribonukleovou kyselinu) a bílkoviny. Účastní se spolu s jádrem a ribosomy složitých buněčných procesů.

3. ribosomy

Ribosomy představují složitý komplex, který umožňuje tvorbu vlastních bílkovin.

4. endoplazmatické retikulum

Jedná se o soustavu cisteren, tubulů a váčků, které spolu s ribosomy syntetizují nejen bílkoviny, ale i lipidy – především fosfolipidy a cholesterol.

5. Golgiho aparát

Golgiho aparát je tvořen lamelami a cisternami. Dochází v něm ke tvorbě polysacharidů a pokračuje zde syntéza glykoproteinů.

6. lysozomy

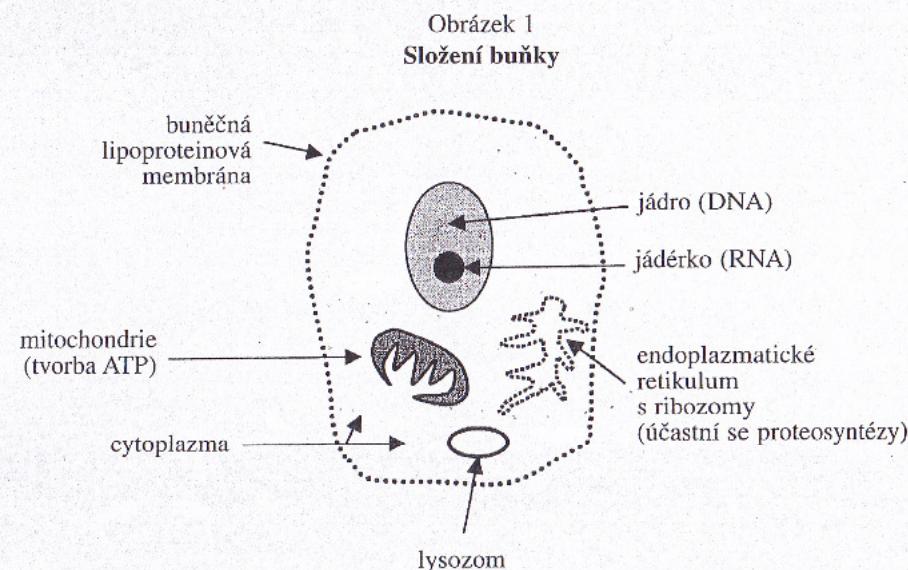
Lysozomy představují nitrobuněčný „trávicí aparát“. Jsou to kulaté organely, které obsahují kyselé hydrolázy, jež jsou schopny štěpit prakticky všechny makromolekuly.

7. mitochondrie

Mitochondrie jsou membránou ohraničené organely, které jsou prakticky ve všech buňkách. Zachycují energii uvolněnou oxidačními procesy, kdy se tvoří ATP (adenosintrifosfát). Podle množství energie, kterou buňka potřebuje, může být v jedné buňce od několika set až po mnoho tisíc těchto mitochondrií.

8. buněčná membrána

Buněčná (lipoproteinová) membrána ohraničuje tělo buňky včetně jejích výběžků a zajišťuje tak integritu buňky jako základní jednotky tkáně. Chrání ji před zevními vlivy a účastní se na udržení tvaru buňky. Svými strukturami se podílí na udržování složení nitrobuněčného a přeneseně i mimo-buněčného prostředí.



Buňky mají podle vnitřní struktury i následného řízení své činnosti specifické funkce.

- sekrece** – kdy například buňky žláz s vnitřní sekrecí tvoří hormony,
- stažlivost** – svalová buňka kosterního, srdečního i hladkého svalu má schopnost se stahovat (kontrahovat),
- vodivost** – nervová buňka je schopna vést podráždění,
- přenos genetické informace** – příkladem jsou pohlavní buňky – vajíčko a spermie,
- přenos kyslíku** – ten je v krvi zajišťován červenými krvinkami, resp. jejich krevním barvivem hemoglobinem.

1.2 TRANSPORT LÁTEK PŘES BUNĚČNOU MEMBRÁNU

plazmatická membrána ohraničuje tělo buňky a zajišťuje její integritu. Podílí se nejen na udržení jejího tvaru, ale chrání ji i před zevními vlivy. Kromě plazmatické membrány na povrchu buňky, jsou také buněčné organely ohraničeny membránami. Všechny látky – ať potřebné pro buňku či v ní metabolickou cestou vzniklé – jsou transportovány do buňky či z buňky ven následně uvedenými transportními mechanismy:

- **pasivní přenos látek**

Pasivní transport nevyžaduje pro svoji funkci vlastní přísun energie.

1. Difúze

- prostá difúze přes lipidovou vrstvu**

je jedná se o vyrovnání koncentračních rozdílů určitých látek rozpustných v tucích, některých malých neutrálních molekul (O_2 a CO_2) a někdy i vody

- difúze membránovými pory**

většina látek (ionty a voda) prostupují přes membránu pory, což jsou vodou naplněné kanály, kterým mohou pronikat malé molekuly podle koncentračního nebo elektrického rozdílu lipidovou membránou

2. Spřažený transport

je sice sám o sobě pasivní (nepotřebuje vlastní energii), ale je spojen s jiným energii spotřebovávajícím systémem (například v ledvinách je voda pasivně vstřebávána po předchozím aktivním vstřebáním sodíku)

• aktivní přenos látek

Tento přenos probíhá proti elektrochemickému gradientu, vyžaduje tedy příspun energie ve formě ATP. Příkladem je Na^+ - K^+ pumpa, kdy transport 3 molekul Na^+ iontů z buňky ven je sledován přesunem 2 molekul K^+ iontu do buňky.

• endocytóza a exocytóza

endocytóza

Endocytóza je proces, kdy se plazmatická membrána vchlípí dovnitř buňky a vtahuje tak mimobuněčnou tekutinu a další látky do buňky. Transport pevných látek do buňky se nazývá *fagocytóza*, transport rozpuštěných látek do buňky se nazývá *pinocytóza*.

exocytóza

Exocytóza je charakteristická tvorbou buněčných vakuol (dutinek), které potom uvolňují svůj obsah do mimobuněčného prostředí (např. hormony).

osmotický tlak = tlakový rozdíl mezi plazmou a vodou na ideálně polopropustné membráně

onkotický tlak (též koloidně osmotický tlak) = je vytvářen plazmatickými bílkovinami oproti mezibuněčnému prostoru

1.3 IONTOVÉ KANÁLY

Plazmatická membrána obsahuje iontové kanály, kterými proudí nejen ionty, ale například i voda, aminokyseliny a další látky. Podle toho, jak jsou tyto kanály řízeny, se dělí na:

- a) stále otevřené iontové kanály
- b) iontové kanály řízené napětím
- c) iontové kanály řízené chemicky (receptory)
- d) iontové kanály řízené chemicky i napětím
- e) iontové kanály řízené mechanicky

a) stále otevřené iontové kanály

Tyto kanály představují určité pory v buněčné membráně, které jsou naplněné vodou a kterými difundují ionty, voda, aminokyseliny, nukleotidy a další látky. Pohyb látek je podle koncentračního gradientu, tedy z prostředí s nižší koncentrací do prostředí s vyšší koncentrací dané látky.

b) iontové kanály řízené napětím

Pro řízené kanály obecně platí, že musí dojít k takové změně struktury kanálu, aby tento se stal propustným pro příslušné ionty. Kanály řízené napětím mění svoji propustnost díky změně elektrického potenciálu na buněčné membráně. Takto jsou řízeny některé přesuny iontů Na^+ , K^+ , Ca^{2+} a Cl^- .

c) iontové kanály řízené chemicky (receptory)

Změna propustnosti iontového kanálu řízeného chemicky je vyvolána reakcí mezi receptorem a iontovým kanálem. Po aktivaci receptoru dochází k přesunu jednoho nebo více druhů iontů kanálem ve směru jejich koncentračního a elektrického gradientu. Tyto kanály jsou například součástí postsynaptických receptorů.

d) iontové kanály řízené chemicky i napětím

Tyto kanály se otevírají vlivem depolarizace membrány, ale doba jejich otevření závisí na ovlivnění receptorů. Objevují se například v srdečním svalu.

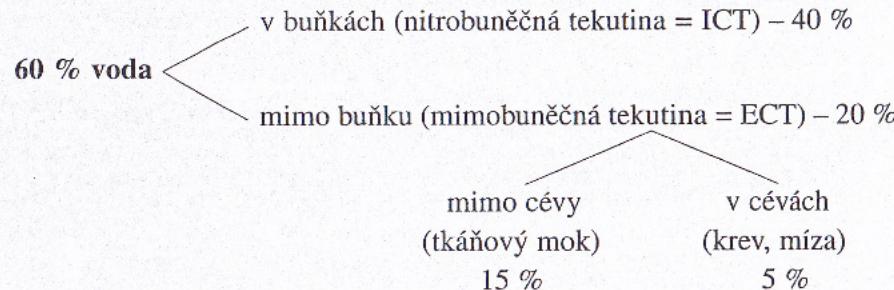
e) iontové kanály řízené mechanicky

Mechanicky řízené kanály jsou součástí mechanoreceptorů. Jsou citlivé na „napnutí“ cytoskeletu. Natažení buněčné membrány přímo mechanicky otevírá iontový kanál. Například při vychýlení „vlásků“ receptorů vestibulárního aparátu se otevřou mechanicky řízené iontové kanály pro K^+ , což vede ke změně membránového potenciálu.

1.4 SLOŽENÍ LIDSKÉHO TĚLA

Hlavní součástí vnitřního prostředí organismu je voda, jejíž množství závisí na věku, hmotnosti a pohlaví jedince. Individuálně fyziologicky kolísá množství vody v těle především podle příjmu a výdeje tekutin. Celkové množství tělesné vody u novorozenců činí okolo 77 %. U dospělého člověka se pohybuje mezi 50 % (u žen) – 60 % (u mužů), přičemž s věkem procentuální zastoupení vody v těle postupně klesá.

Voda je v organismu uložena jednak v buňkách (nitrobuněčná tekutina = intracelulární tekutina = ICT), jednak mimo buňky (mimobuněčná tekutina = extracelulární tekutina = ECT). Mimobuněčná tekutina zahrnuje jednak vodu v cévách, tedy krev a mízu, jednak mimo cévy, což je tkáňový mok.



20 % bílkoviny

Přibližně 20 % lidského těla je tvořeno bílkovinami, které jsou nejvíce obsaženy ve svalech, kůži, játrech, slezině, krvi, ale i v kostech a nejméně v tukovém vazivu. Jednoduché bílkoviny se v krvi účastní srážení krve (např. fibrinogen), albuminy se podílejí na udržení objemu vody v krvi, ke složitým bílkovinám patří protilátky (imunoglobuliny), některé bílkovinové hormony a lipoproteiny.

14 % tuky

Další složkou lidského těla jsou tuky, které tvoří asi 14 % tělesné hmotnosti (může se zvýšit až na 25 %). Jsou součástí každé buněčné struktury, patří k významným energetickým rezervám, tvoří mechanickou a tepelnou ochranu organismu. Chemické složky tuku jsou součástí některých hormonů (například steroidních hormonů). Bez určitého podílu tukových rezerv na celkové hmotnosti těla by nebyl zahájen menstruační cyklus u dívek.

1 % cukru

Hlavním produktem trávení cukru je glukóza, která může být v buňkách přeměněna na zásobní glykogen, nebo využita jako makroergní substrát pro tvorbu ATP. Některé další sacharidy mají vysoce specifické funkce v životních pochodech: například ribóza je součástí nukleových kyselin, koenzymů a flavoproteinů, galaktóza se tvoří v mléčné žláze, mannóza je součástí albuminů a globulinů.

5 % anorganických látek

Část anorganických látek je volně rozpuštěna nebo navázána na nosiče v tělních tekutinách, z větší části jsou zastoupeny nerozpustné anorganické látky v kostech a v zubech. Organismus obsahuje větší množství prvků v anorganických sloučeninách ve formě disociovaných iontů (biogenní prvky). Jedná se o sodík, draslík, vápník, hořčík, železo, chlór, jód, fluór, fosfor, síru a řadu dalších stopových prvků.

2. KREV

Krev tím, že „spojuje“ všechny orgány a tkáně v těle jako pohyblivá složka, je jednou z hlavních součástí lidského organismu. U dospělého jedince tvoří krev 7–10 % jeho celkové tělesné hmotnosti, což odpovídá 4,5–6 litrům krve. Ženy mají o něco méně krve (v porovnání s tělesnou hmotností) než muži. Krev se neustále obnovuje, takže například celkové množství červených krvinek se obnoví průměrně 3x za rok.

2.1 ZÁKLADNÍ FUNKCE KRVE

Základními funkcemi krve jsou:

1. Transportní funkce (krví se přenášejí dýchací plyny, živiny, organické a anorganické látky, odpadní metabolismu, hormony, vitamíny, teplo)
2. Obranná funkce (složky krve zabezpečují nespecifickou a specifickou obranyschopnost a dále zajišťují proces srážení krve)
3. Regulativní funkce (krev svým složením udržuje určitou stálost vnitřního prostředí)

2.2 SLOŽENÍ KRVE

Krev je suspenzí krvních tělísek (červených a bílých krvinek a krvních destiček) v tekuté části krve (krevní plazmě).

a) Krevní tělíska

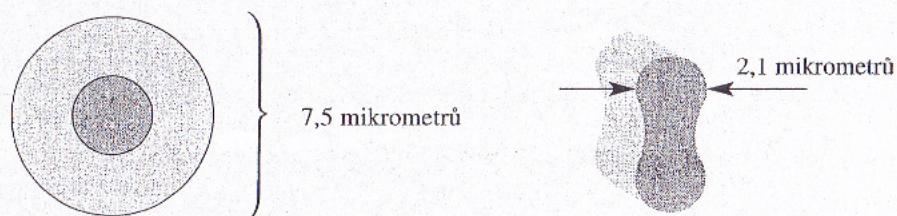
Červené krvinky = erytrocyty

Červených krvinek je $4\text{--}5 \cdot 10^{12}$ v 1 litru krve. Na rozdíl od jiných buněk nemají buněčné jádro a nemohou se tedy dále dělit v periferní krvi. Mají bikonkávní tvar. Každá lidská červená krvinka má kolem 7,5 mikrometrů

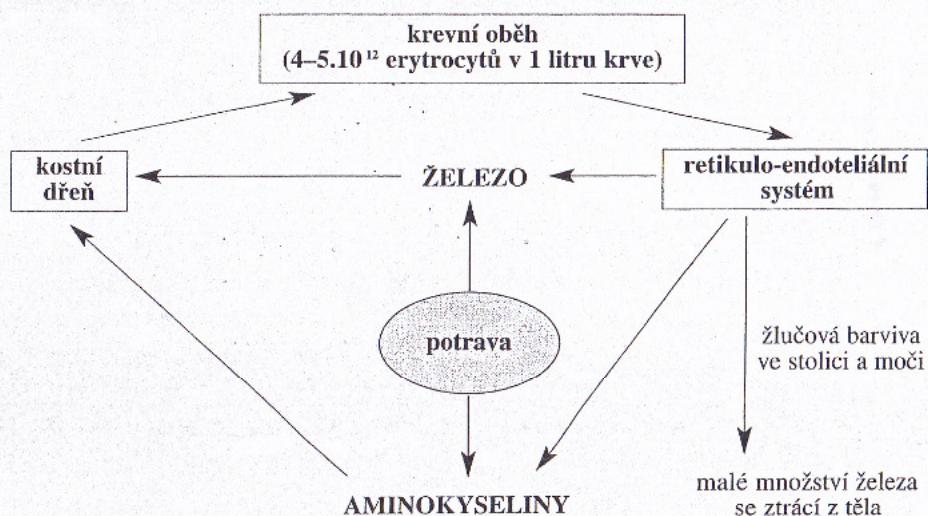
v průměru a je asi 2,1 mikrometry tlustá. Nejdůležitější složkou erytrocytů je červené krevní barvivo – hemoglobin, který obsahuje Fe^{2+} . Na hemoglobin se váže jednak kyslík (O_2), který je tak přenášen z plic ke všem buňkám lidského organismu, jednak částečně i oxid uhličitý (CO_2), který vznikl metabolicky v buňkách a je naopak přenášen do plic, aby byl vydýchán.

Červené krvinky se v dospělosti tvoří v červené kostní dřeni a žijí v krvi zhruba 120 dní. Poté jsou vychytávány nejvíce ve slezině a dále odbourávány. Tvorba erytrocytů v kostní dřeni je řízena hormonem erythropoetinem, který se tvoří především v ledvinách. Podnětem pro jeho tvorbu je nedostatek kyslíku v krvi protékající ledvinami.

Obrázek 2
Červená krvinka – předozadní a boční pohled



Obrázek 3
Tvorba a rozpad červených krvinek



Hemoglobin se skládá z hemu a globinu. Hem je komplex obsahující dvojmocné železo. Každý ze 4 atomů železa může vratně vázat jednu molekulu kyslíku. Protože i poté zůstává železo dvojmocné, jde o reakci **oxygenační** a **ne oxidační**. Reakce je velmi rychlá, proběhne za dobu kratší než 0,01 sekundy. Stejně rychle proběhne i odevzdání kyslíku do tkání. Pokud je krev plně nasycena kyslíkem, obsahuje každý gram hemoglobinu 1,34 ml O_2 . Zatímco tepenná krve je nasycena z 97 % O_2 , žilní krev zhruba ze 75 %. Z každých 100 ml krve odčerpají tkáně v klidu asi 4,6 ml O_2 . **Disociační křivka oxyhemoglobinu** je křivka udávající do vztahu procento nasycení hemoglobinu, který je schopen přenášet kyslík, k parciálnímu tlaku kyslíku. Tuto křivku výrazně ovlivňují pH krve, teplota a koncentrace 2,3-difosfoglycerátu. Vzestup **teploty** nebo pokles **pH krve** (acidémie) vedou k tomu, že je potřeba vyššího parciálního tlaku kyslíku, aby hemoglobin vázel dané množství kyslíku. Naopak pokles teploty nebo vzestup **pH krve** (alkalémie) se projeví tím, že stačí nižší parciální tlak O_2 k navázání daného množství kyslíku na hemoglobin. V červených krvinkách se hojně vyskytuje 2,3-difosfoglycerát, který je metabolickým produktem glykolýzy. Vzestup jeho tvorby v erytrocytech vede k tomu, že se z krvinek uvolní více O_2 ve tkáních (disociační křivka se posouvá doprava). K tomu dochází při tělesné aktivitě či pobytu ve vysokohorských podmírkách.

Bílé krvinky = leukocyty

Bílých krvinek je $4-10 \cdot 10^9$ v 1 litru krve. Podle toho, zda obsahují granula v cytoplazmě, se dělí bílé krvinky na **granulocyty** (obsahují granula) a **agranulocyty** (ty granula neobsahují). **Granulocyty** se dále dělí podle barvitelnosti granul na neutrofilní granulocyty, eosinofilní granulocyty a bazofilní granulocyty. **Agranulocyty** se dělí na lymfocyty a monocyty. Všechny bílé krvinky obsahují jádro.

Hlavním úkolem bílých krvinek je obrana organismu proti infekci (fagocytóza – pohlcování mikroorganismů, tvorba vlastních protilátek) a před nádory.

Tvoří se obvykle v kostní dřeni, ale jejich struktura a funkce mohou být modifikovány například brzlíkem (lymfocyty). Žijí různě dlouhou dobu – od několika dnů (neutrofily) až po desítky let (lymfocyty).

Tabulka 1
Typy bílých krvinek a jejich procentuální výskyt v krvi

Typy bílých krvinek	Celkový počet v 1 litru krve	% celkového počtu bílých krvinek
Celkem leukocytů	$4\text{--}11 \cdot 10^9$ v 1 litru krve	100 %
Granulocyty		
Neutrofily	$3\text{--}6 \cdot 10^9$ v 1 litru krve	50–70 %
Eosinofily	$0,15\text{--}0,3 \cdot 10^9$ v 1 litru krve	1–4 %
Basofily	$0\text{--}0,1 \cdot 10^9$ v 1 litru krve	0,4 %
Lymfocyty	$1,5\text{--}4 \cdot 10^9$ v 1 litru krve	20–40 %
Monocyty	$0,3\text{--}0,6 \cdot 10^9$ v 1 litru krve	2–8 %

Krevní destičky = trombocyty

Krevních destiček je $150\text{--}300 \cdot 10^9$ v 1 litru krve. Nemají jádro a jsou bezbarvé. Účastní se srážení krve, čímž chrání jedince před její ztrátou. Krevní destičky žijí 9–12 dní a tvoří se v kostní dřeni. Jejich tvorba je řízena hormonem trombopoetinem, který se syntetizuje v ledvinách.

b) Krevní plazma

Krevní plazma je složka krve **bez krevních tělisek**. Má nažloutlou barvu a obsahuje bílkoviny, elektrolyty a malé organické molekuly. Je slabě zásaditá – pH je 7,4. U dospělého člověka činí objem plazmy asi 5% jeho tělesné hmotnosti, což odpovídá 2,5–3,5 litrům. **Sérum** je plazma po vysrážení fibrinu.

Složení krevní plazmy:

- krevní plazma obsahuje 91 % **vody** a 8–9 % **rozpuštěných látak**

• organické látky

Organickými látkami jsou cukry (glukóza), tuky (cholesterol, triacylglyceroly, volné mastné kyseliny), bílkoviny (albuminy – zajišťují onkotický tlak krve, globuliny – jsou přenašeči železa, lipidů, imunoglobuliny jsou protilátky, fibrinogen – účastní se srážení krve), aminokyseliny, hormony a vitamíny.

• anorganické látky

Anorganickými látkami jsou ionty (cationty – Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , anionty – Cl^- , PO_4^{2-} , HCO_3^-).

• katabolity

Katabolity vznikají v buňkách metabolickými pochody. Jedná se především o močovinu (vzniká při odbourávání aminokyselin), kyselinu močovou (je metabolitem při odbourávání purinových bazí), laktát (vzniká anaerobní glykolýzou) a ketolátky (vznikají při zvýšeném odbourávání mastných kyselin).

• nárazníkové systémy

pH, které je definováno jako koncentrace vodíkových iontů, je normálně udržováno v úzkém rozmezí. Fyziologická hodnota pH tepenné krve je 7,4. pH v těle je stabilizováno nárazníkovou kapacitou tělesných tekutin. Nárazník je látka schopná vázat nebo uvolňovat vodíkové ionty a tím udržovat relativně stálou hodnotu pH. Těmito nárazníky jsou kyselina uhličitá, plazmatické bílkoviny a bílkoviny v buňkách. V udržování určité stability vnitřního prostředí se regulačně účastní dýchání a tvorba moči. Pokles pH krve pod 7,36 se označuje jako **acidóza** (dochází k ní při zvýšené tvorbě kyselých metabolitů – například kyseliny mléčné), naopak vzestup nad 7,44 **alkalóza**. Hranice pH tepenné krve slučitelné se životem jsou 7,0–7,8.

2.3 ZÁSTAVA KRVÁCENÍ, SRÁŽENÍ KRVE

Zástava krvácení

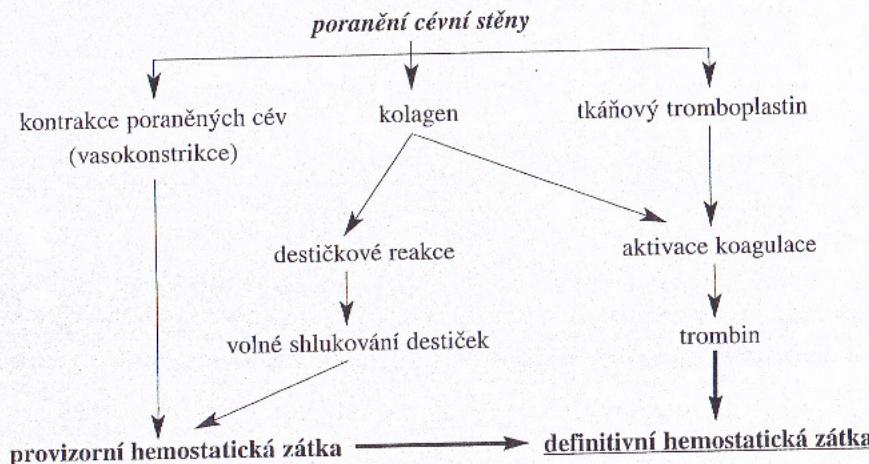
Po poranění s poškozením malých cév (projeví se drobným krvácením) následuje stažení cévy v místě poranění (= vasokonstrikce – trvá 5–20 minut). Během této doby se musí v místě poraněné cévy nejprve vytvořit zátka z krevních destiček. Tato dočasná zátka se přemění díky fibrinu na definitivní sraženinu (tento poslední proces se nazývá srážení krve).

Srážení krve

Základní reakcí během srážení krve je přeměna rozpustné plazmatické bílkoviny fibrinogenu na nerozpustný fibrin. Pro vznik fibrinových vláken jsou třeba tzv. koagulační faktory (označují se faktor I. – faktor XIII.) a Ca^{2+} ionty. Zpočátku tvoří fibrin síť jednotlivých vláken. Tato síť je postupně přeměněna na hustý a pevný agregát. Síť fibrinových vláken zpevňuje již dříve vytvořený destičkový trombus a vytvoří „definitivní“ hemostatickou zátku. Do fibrinové sítě se zachycují navíc krvinky.

Po určité době, když krevní srazenina splnila svoji hemostatickou (protikrvácivou) funkci, je fibrinová usazenina odstraněna tím, že je fibrin štěpen plazminem na degradační produkty.

Obrázek 4
Reakce podílející se na zástavě krvácení



2.4 KREVNÍ SKUPINY, SYSTÉM Rh

Krevní skupiny

Membrány lidských krvinek obsahují **antigeny krevních skupin**, které se nazývají **aglutinogeny**. Nejdůležitější z nich jsou antigeny A a antigeny B, které se dědí z rodičů na děti. Tyto antigeny také určují typ krevní skupiny. Jedinci s krevní skupinou A mají antigen A, jedinci s krevní skupinou B mají antigen B, jedinci s krevní skupinou AB mají oba antigeny a jedinci s krevní skupinou nula (0) nemají žádný z těchto antigenů.

Také dědičně je zajištěno to, že v krevní plazmě jsou **protilátky proti antigenům krevních skupin**, které se označují **aglutininy**. Protilátky proti antigenu A se označují aglutininy anti-A, protilátky proti antigenu B se označují aglutininy anti-B. Pokud by u jedince s krevní skupinou A, tedy majícího aglutinogen A, byly současně protilátky aglutininy anti-A, navázaly by tyto protilátky na odpovídající aglutinogen A a výslednou reakcí by byl rozpad červených krvinek, který by mohl vést až ke smrti. Proto v krevní plazmě jednoho člověka nejsou aglutininy proti vlastním aglutinogenům,

ale aglutininy proti druhému aglutinogenu. Například jedinec s krevní skupinou A, mající aglutinogen A, má v plazmě aglutinin anti-B, s krevní skupinou B má aglutinin anti-A atd.

Tabulka 2
Charakteristika a výskyt krevních skupin

krevní skupina	výskyt u obyvatelstva (%)	antigen = aglutinogen (na červených krvinkách)	protilátky = aglutinin (v krevní plazmě)
0 (nula)	38	–	anti-A, anti-B
A	42	A	anti-B
B	14	B	anti-A
AB	6	A, B	–

Systém Rh

Krevní systém Rh (rhesus faktor) zahrnuje výskyt dalších antigenů na krvinkách, z nichž přítomnost **antigenu D** se označuje jako Rh-positivní (Rh^+), což je asi 85 % populace, neprítomnost tohoto antigenu jako Rh negativní (Rh^-) – zhruba u 15 % populace.

Na rozdíl od krevních skupin, kde protilátky anti-A a anti-B se dědí, **protilátky anti-D** vznikají pouze tehdy, pokud se do krve jedince Rh^+ dostanou krvinky, mající antigen D. Člověk tedy nemá geneticky dánou jejich tvorbu, ale vytváří si je teprve až po setkání se s krvinkami, majícími antigen D. Přičinou může být transfuze krve Rh^+ pacientovi, který má sám krev Rh^+ , nebo přestup protilátek anti-D přes placentu z matky, která je Rh^- ale má vytvořené již protilátky proti antigenu D, do plodu, který má antigen D, je tedy Rh^+ . V obou případech dochází k rozpadu červených krvinek, který může být až smrtelný.

2.5 VYBRANÉ VYŠETŘOVACÍ METODY KRVE

Sedimentace

Nesrážlivá krev (musí se z ní vychytat Ca^{2+}) se dá do standardizované zkumavky (rourky) a nechá se v ní po dobu 1–2 hodin. Během této doby krevní tělíska (krvinky a krevní destičky) volně sedimentují – tedy klesají ke dnu zkumavky. Fyziologicky u mužů klesne za 1 hodinu sediment

o 1–3 mm, u žen o 4–7 mm. Zvýšené hodnoty (až 40–100 mm za hodinu) bývají při zánětech nebo nádorovém procesu.

Hematokrit

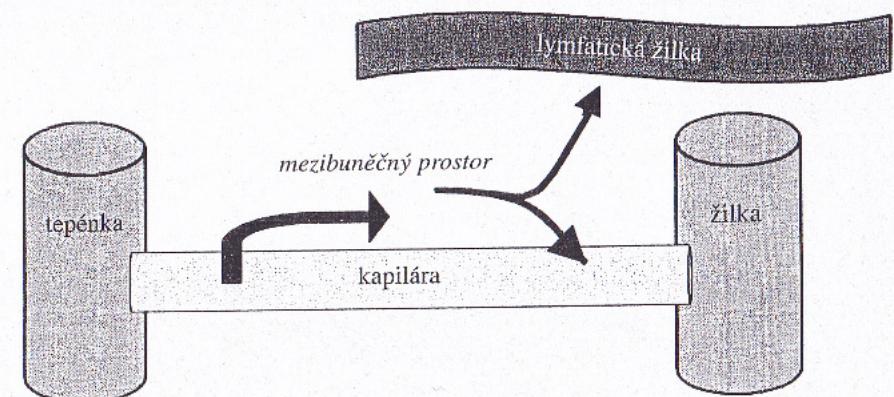
Je to hodnota, udávající podíl erytrocytů na objemu krve. Provádí se tak, že se nechá krev zcentrifugovat, a poté se odečte podíl všech krvinek k tekuté složce krve. U mužů jsou krvinky ze 42–52 % zastoupeny v krvi, u žen ze 37–47 %. Hematokrit má tedy hodnotu u mužů 0,42–0,52 a u žen 0,37–0,47. Hodnota hematokritu stoupá při zahušťování krve, ke kterému dochází například při velkém pocení, nedostatečném příjmu tekutin, značných ztrátách vody močí apod.

3. TKÁŇOVÝ MOK, MÍZNÍ SYSTÉM

3.1 TKÁŇOVÝ MOK

Na výměně vody, látok a plynů mezi krevní plazmou a mezibuněčným prostorem se podílí jednak difúze, tedy průnik jednotlivých složek z kapiláry do mezibuněčného prostoru, a jednak filtrace a zpětné vstřebávání, mající význam pro tvorbu tkáňového moku. Na začátku krevní kapiláry převažuje filtrace – tvoří se zde tkáňový mok, do kterého z krve přechází živiny a kyslík, potřebné pro zajištění látkové výměny v buňkách. Na konci krevní kapiláry se pouze část tkáňového moku opět vstřebává do krve spolu s odpadními látkami metabolismu buněk a zbývající část moku je odváděna lymfatickými cévami.

Obrázek 5
Pohyb tekutiny mezi kapilárou a mezibuněčným prostorem



3.2 MÍZNÍ SYSTÉM

Mízní cévy představují podpůrný drenážní systém, kterým proudí míza (= lymfa). Míza je tkáňový mok, který vstoupil do mízních cév. Složení mízy je obdobné jako krevní plazmy. Hlavní funkcí mízního systému, který se skládá z mízních cév a mízních (lymfatických) uzlin, je odvádění z mimo-buněčného prostoru do krve přebytečné tekutiny, bílkovin, transport tuků, ale i bakterií, toxinů, alergenů a dalších metabolických látek. V lymfatických uzlinách jsou zachycovány a fagocytovány cizorodé částice jako prachové částice, bakterie či rakovinné buňky.

4. IMUNITNÍ SYSTÉM

Základní vlastností imunitního systému je schopnost rozlišovat mezi tzv. „**vlastním**“, tedy buňkami a molekulami vlastního organismu, a „**cizím**“, tj. látkami či buňkami cizorodými. Jako „cizi“ ale hodnotí imunitní systém i pozměněné vlastní buňky, například napadené infekcí či odumřelé. Tyto „cizi“ složky musí imunitní systém nejen rozpoznat, ale destruovat a vyloučit z daného orgánu (systému) či celého organismu.

Imunita zahrnuje dvě části obranyschopnosti, a to nespecifickou (vrozenou, přirozenou) imunitu a specifickou (adaptivní, získanou) imunitu.

- **nespecifická imunita**

K nespecifické imunitě se řadí takové mechanismy organismu, které nerozeznávají specificky antigen, nejsou závislé na předchozím setkání s ním a nevytvářejí tzv. imunologickou paměť.

Účinnou bariéru proti pronikání cizorodých látek tvoří *neporušená kůže* a *sliznice*. Ve slinách, slzách a ve střevní stěně je enzym lysozym, který rozrušuje stěnu bakterií. V žaludeční štávě je kyselina chlorovodíková, jejíž nízké pH buď zastavuje množení bakterií, kvasinek a plísní, nebo je i ničí.

Další částí nespecifické imunity je *fagocytóza* – pohlcování a následné zničení mikrobů bílými krvinkami (neutrofily a monocyty). Toto pohlcování usnadňuje *komplement*, což je soubor plazmatických bílkovin a glykoproteinů.

- **specifická imunita**

Zatímco nespecifická imunita chrání jedince již v prvních hodinách a dnech po napadení infekcí, se kterou se člověk ještě nesetkal, vysoce účelné – tedy specifické mechanismy obrany proti cizorodým složkám se rozvíjejí teprve s určitým časovým zpožděním. Na rozdíl od nespecifických mechanismů následně specifické odpovědi účinkují cíleně a přesně například proti jednotlivým konkrétním mikroorganismům. Následně se vytváří

imunologická paměť, která urychluje odpověď imunitního systému při dalším setkání se se stejným mikroorganismem.

Antigen je látka, kterou je schopen imunitní systém rozpozнат a která vyvolá v organismu imunitní reakci.

Specifická imunita se dělí na :

- a) látkovou (humorální), která spočívá ve tvorbě protilátek, jež cirkuluují v krvi a jsou schopny navázat se se specifickým antigenem. Protilátky tvoří B-lymfocyty.
- b) buněčně zprostředkovaná je zajišťována T-lymfocyty, které samy netvoří protilátky, ale účastní se řízení tvorby protilátek B-lymfocyty a ničení cizorodých buněk.

5. SRDEČNĚ-CÉVNÍ SYSTÉM

Oběhová soustava je transportním systémem, kterým se dodává kyslík a látky vstřebané v zažívacím ústrojí tkáním a z nich se naopak odvádí CO_2 do plic a další metabolické produkty do ledvin, kůže či zažívacího traktu. Jako nosič slouží krev, která proudí uzavřeným systémem cév a srdečem.

Srdce, které se skládá z pravé síně a pravé komory a levé síně a levé komory, působí jako čerpadlo, nasávající krev ze žilního systému a přečerpávající ji do tepen.

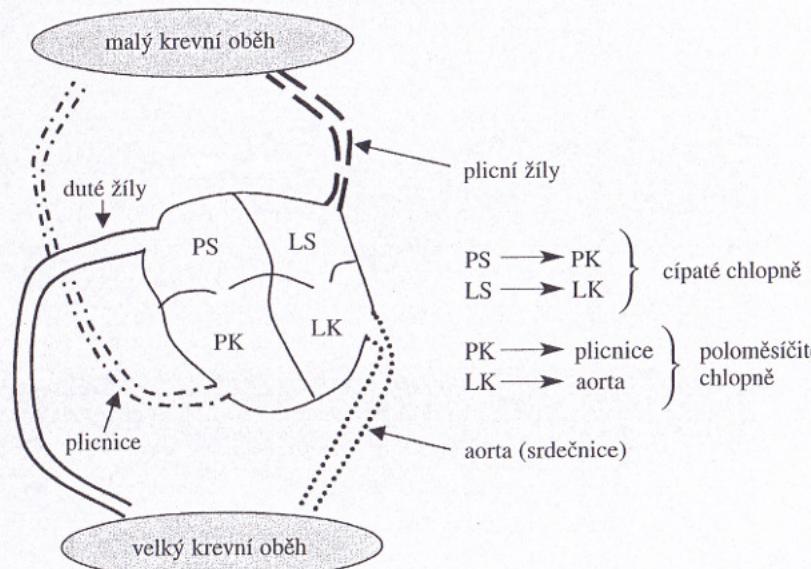
5.1 SRDCE

srdeční čerpadlo

nasává krev ze žil (podtlaková část)
vhání krev do tepen (přetlaková část)

Krev přitékající horní a dolní dutou žílou do pravé síně (PS) (viz obrázek 6 na následující straně) je dále přečerpána do pravé komory (PK), přičemž mezi pravou síní a pravou komorou je trojcípá chlopeň. Z pravé komory teče krev plicníci do plic (malý krevní oběh). Mezi pravou komorou a plicníci se nalézá poloměsíčitá chlopeň. Okysličená krev se z plic vrací cestou plicních žil do levé síně (LS) a z ní do levé komory (LK). Mezi levou síní a levou komorou je také cípatá chlopeň a sice dvojcípá. Z levé komory je potom krev pumpována do velkého krevního oběhu aortou (srdečníci). Opět mezi levou komorou a aortou se nalézá poloměsíčitá chlopeň.

Obrázek 6
Jednotlivé oddíly srdece



5.2 ELEKTRICKÁ AKTIVITA SRDCE

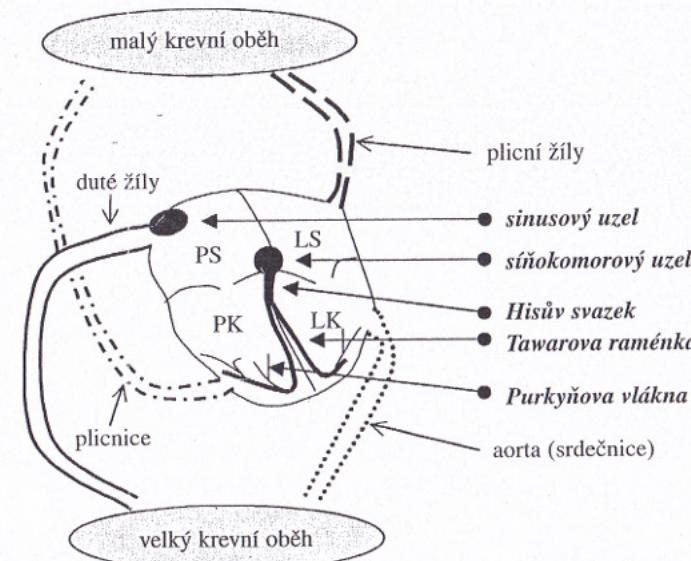
Funkční jednotkou srdeční svaloviny je srdeční svalové vlákno, které je schopno odpovídat na elektrický podnět vztuchem a následně kontrakcí. Část srdečních vláken, která má schopnost samovolně tvořit vztuchy ale sama se tato vlákna nestahují, se nazývá **převodní systém srdce**. Převodní systém srdce se skládá z následujících částí:

1. **sinusový uzel** – nalézá se v pravé síni. V něm se fyziologicky tvoří vztuchy, které se šíří do pravé i levé srdeční síně. Udává srdeční frekvenci zhruba 70 tepů za minutu.
2. **síňokomorový uzel** – je uložen mezi síněmi a komorami a fyziologicky převádí vztuch ze síní na komory. Pokud se neuplatní sinusový uzel jako zdroj vztachu, je schopen částečně převzít jeho funkci. Udává však nižší srdeční frekvenci (40–45 tepů za minutu).
3. **Hisův svazek** – vede vztuch ze síňokomorového uzlu dál do komor,

přičemž anatomicky se nalézá v přepážce mezi pravou komorou a levou komorou

4. **Tawarova raménka** – vznikají rozdelením Hisova svazku, levé raménko vede vztuchy do levé srdeční komory, pravé raménko do pravé srdeční komory
5. **Purkyňova vlákna** – jsou poslední částí následného větvení převodních vláken v srdečních komorách

Obrázek 7
Převodní systém srdce



5.3 SRDEČNÍ REVOLUCE

Elektrické děje v srdci spouštějí jeho mechanickou činnost. Vztuch, který vznikl v sinusovém uzlu a šířil se ostatními částmi převodního systému, je převeden (prostřednictvím Ca^{2+} iontů) na stah srdečních svalových vláken (myokardu). Výsledkem je kontrakce (**systola**) srdeční síně nebo komory, během níž je krev vypuzována do dalších částí srdce či cévního systému. Poté následuje uvolnění – relaxace (**diastola**) těchto částí, během níž naopak

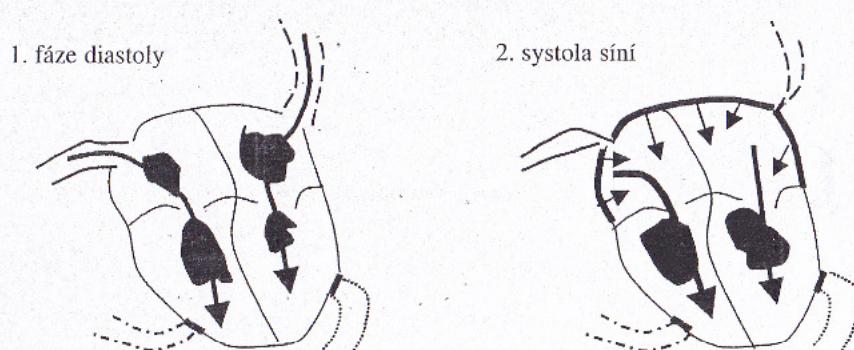
krev do síní nebo komor přítéká. Aby mohlo docházet k rytmickému střídání stahů (systol) a uvolnění (diastol) síní a komor a tím k přečerpání krve ze žilního do tepenného systému, musí také správně fungovat srdeční chlopň.

V průběhu *diastoly* jsou chlopň (trojcípá a dvojcípá) mezi síněmi a komorami otevřeny a krev přitékající do srdce plní síně a komory. Aby krev pasivně neprotékala dál, musí být uzavřeny poloměsíčité chlopň, které jsou mezi komorami a cévami z nich vystupujícími (plícnici a aortou). Jak se komory postupně rozpínají přitékající krví, rychlosť jejich plnění klesá a cípy chlopňí, které jsou mezi síněmi a komorami se postupně přivírají.

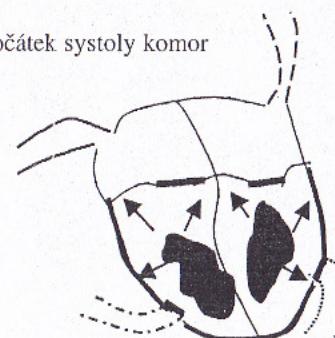
Následuje stah – *systola síní*, během níž se vžene do komor ještě určité množství krve.

Na začátku stahu – *systoly komor* se zcela uzavřou chlopň mezi síněmi a komorami. Srdeční sval svým stahem stlačuje krev v komorách, což se projeví prudkým zvýšením nitrokomorového tlaku. Jakmile tento tlak převýší u pravé komory tlak v plícnici (10 mmHg), u levé komory tlak v aortě (80 mmHg), otevřou se poloměsíčité chlopň a krev je vypuzována z komor do následného cévního systému. Poté, co srdeční sval komor dosáhl vrcholu kontrakce, nitrokomorový tlak začne prudce klesat. Dochází k uzavírání poloměsíčitých chlopňí. Tlak v komorách klesá až pod hodnoty tlaku v síních, což vede k otevření chlopňí mezi síněmi a komorami. Tento stav umožní nové plnění komor krví. Celý cyklus se opakuje.

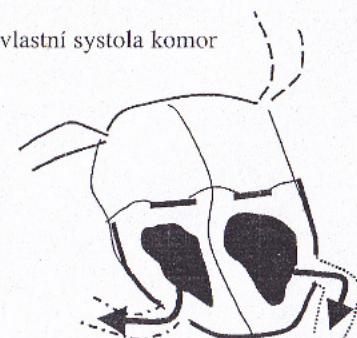
Obrázek 8
Srdeční revoluce



3. počátek systoly komor



4. vlastní systola komor



5.4 SRDEČNÍ VÝDEJ

Srdeční výdej je množství krve, které srdce přečerpá za určitou časovou jednotku. Jedním stahem srdce přečerpá u dospělého jedince kolem 70 ml krve, což se označuje jako **systolický výdej** (Q_S). Množství krve přečerpané za jednu minutu se označuje termínem **minutový srdeční výdej** (Q) a činí zhruba 5 litrů. Dá se vypočítat tak, že se systolický výdej násobí počtem srdečních stahů za jednu minutu :

$$\text{minutový srdeční výdej } (Q) = \text{systolický výdej } (Q_S) \times \text{srdeční frekvence } (SF)$$

$$5 \text{ litrů} \quad = \quad 70 \text{ ml} \quad \times \quad 70 \text{ tepů.min.}^{-1}$$

Srdeční výdej se fyziologicky zvyšuje při úzkosti či vzrušení (o 50 % až 100 %), po příjmu potravy (o 30 %), při fyzické zátěži (až o 700 %), v pobytu v prostředí s vysokou okolní teplotou, při těhotenství, či „adrenalinových“ stavech. K jeho poklesu dochází naopak při přechodu z leže do stoje (o 20 % až 30%) a při nepřiměřeně vysoké tepové frekvenci. Při srdeční frekvenci 180 až 220 tepů za minutu nedochází totiž jen ke zrychlení činnosti srdce, ale současně se mění poměr trvání systoly a diastoly. Zatímco fáze kontrakce srdce (systola) se časově příliš nemění, zkracuje se doba trvání diastoly – tedy plnění srdce krví. Výsledkem je snížení množství krve v srdci, které je z něho vypuzováno do dalších cévních systémů. I přes vysokou hodnotu srdeční frekvence díky sníženému systolickému výdeji může klesat minutový srdeční výdej, což se projeví rychlým rozvojem únavy s nutností ukončit danou aktivitu.

5.5 SRDEČNÍ FREKVENCE, TEPOVÁ FREKVENCE

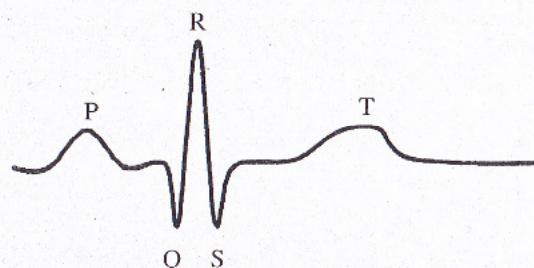
Srdeční frekvence (SF) je frekvence srdce měřená přímo na něm nebo pomocí přístrojů, jako je EKG či Sport-tester. **Tepová frekvence (TF)** označuje výsledek aktivity srdce, kdy se pohmatem (palpačně) na tepně zápěstí, vřetenní či spánkové stanovuje počet tepových vln jako projevu srdeční činnosti. V trenérské praxi bývá nešvarem informativně hodnotit změny tepu pohmatem krkavic. V karotickém sinu jsou však uloženy baroreceptory, tedy receptory citlivé na změnu tlaku. Při jejich podráždění, které může být vyvoláno i sítlačením krkavice, nastává reflexně zpomalení frekvence v průměru o 5–6 tepů za minutu, u citlivých jedinců až o 10 tepů za minutu.

Hodnota tepové frekvence závisí na věku (u novorozence je okolo 120 tepů za minutu, u dospělého 70 tepů za minutu) a velmi významně na aktivitě sympatoadrenálního systému (zvyšuje TF nad 80 tepů za minutu) a parasympatiku (snižuje TF pod 60 tepů za minutu). Takto se projevují fyzická a psychická zátěž (emoce), změna teploty okolí nebo i vlastního těla (horečka), vysoká nadmořská výška (hypoxie), nedostatek spánku, únava (může být projevem přetrénování nebo přepětí), ale i příjem kofeinu, alkoholu či podpůrných látek (např. efedrinu).

5.6 ELEKTROKARDIOGRAM (EKG)

EKG je záznam elektrických potenciálů vznikajících v srdeci a snímaných nejčastěji s povrchu kůže. Pro jeho zaznamenání se používají různé svody (bipolární a unipolární), které se snímají ze standardizovaných míst těla.

Obrázek 9
Základní křivka EKG



Základní křivka se skládá z následujících částí:

Vlna P je způsobena depolarizací síní, *komplex kmitů QRS* depolarizací komor a *úsek ST* s *vlnou T* repolarizací komor.

Podobně jako u nervové buňky nebo kosterního svalu začíná akční potenciál srdečního svalového vlákna rychlou změnou membránového potenciálu (-90 mV až na hodnotu $+20 \text{ až } +30 \text{ mV}$). Tato fáze, která se označuje jako depolarizace, je důsledkem proudu sodíkových iontů směřujícího dovnitř buňky a proudu draslíkových iontů, směřujícího z buňky ven. V této fázi jsou buňky nedrážditelné. Po té nastupuje fáze repolarizace, kdy se iontové poměry v buňce vrátí do původního stavu. Po navrácení se koncentrace těchto iontů v buňce na původní koncentraci se buňka stává opět schopná být podrážděna.

5.7 ENERGETIKA SRDEČNÍ PRÁCE

Bezprostředním zdrojem energie pro kontrakci srdečního svalu je ATP, jehož resyntéza probíhá výhradně aerobně. V srdeci je proto vysoká spotřeba kyslíku. Ve spotřebě živin mají důležitý podíl volné mastné kyseliny a kyselina mléčná, což má význam především při fyzické zátěži, kdy kosterní svaly přecházejí na anaerobní glykolýzu se zvýšenou tvorbou kyseliny mléčné.

Tabulka 3
Energetické zdroje srdece

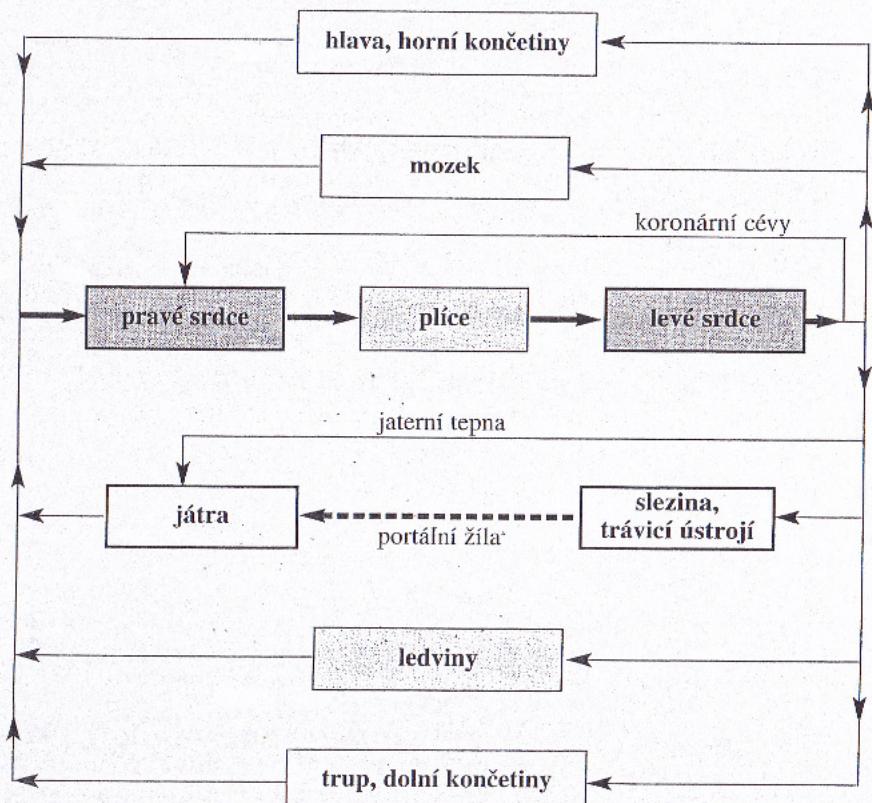
zdroje energie	v tělesném klidu	při tělesné zátěži
volné mastné kyseliny	34 %	21 %
glukóza	31 %	16 %
laktát	28 %	61 %
aminokyseliny, ketolátky	7 %	2 %

5.8 KREVNÍ OBĚH

Srdce spolu s cévami vytváří krevní oběh, který má především transportní funkci. Krev je poháněna do dvou krevních oběhů : **systémového oběhu**, který začíná v levé komoře a končí v pravé síní, a **plicního oběhu**, začínajícího v pravé komoře a končícího v levé síní.

Cévami, které tvoří krevní oběh, jsou velké a střední tepny, zajišťující rychlý transport krve do periferie, malé tepny a tepénky, regulující přítok krve k orgánům a tkáním (jsou schopny se stáhnout = vasokonstrikce, nebo naopak uvolnit = vasodilatace), dále vlásečnice (kapiláry), zajišťující výměnu živin, metabolitů a krevních plynů mezi krví a tkáněmi, a žily, převádějící krev zpět k srdeci.

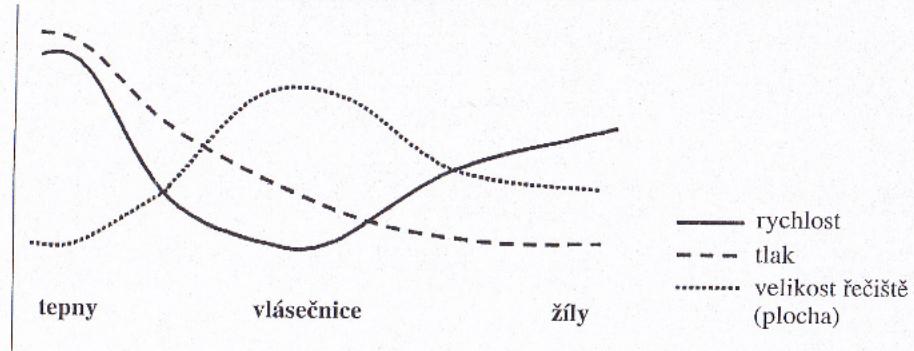
Obrázek 10
Schéma krevního oběhu u dospělého člověka



Stěny **aorty** a dalších velkých **tepen (arterií)** mají relativně velké množství elastické tkáně. Napínají se v systole a stahují se v diastole zpět okolo krve. Tepny končí jako **tepénky (arterioly)**, které obsahují mnohem méně elastické tkáně, ale mnohem více hladké svaloviny. Svalovina je inervovaná sympatickými a parasympatickými nervovými vlákny, které mohou vyvolat zúžení (vasokonstrikci) nebo rozšíření (vasodilataci) tepének. Tepénky přecházejí do **vlásečnic (kapilár)**, které mají průměr okolo 6 mikrometrů, tedy právě dostačující, aby dovolily červeným krvinkám se protlačit „v zástupu“. Z kapilár se poté sbírají **žilky (venuly)**, jejichž stěna je o něco silnější než kapilární, a které jsou snadno roztažitelné. Mají mnohem méně svaloviny než tepénky. Ze žilek se postupně sbírá krev do větších žil. Končetinové **žily (vény)** mají chlopň, které jim usnadňují posun krve směrem k srdeci. Chlopň však nejsou ve velmi malých žilách, ve velkých žilách a v žilách mozku a vnitřních orgánů.

Zatímco v tepnách je mnohem vyšší tlak a rychlosť průtoku krve v porovnání s kapilárami a žilami, největší plochu zaujímá kapilární cévní řečiště.

Obrázek 11
Vztahy mezi rychlosťí, tlakem a velikostí řečiště krevního oběhu



Při mnohých fyziologických procesech se mění prokrvení jednotlivých orgánů a systémů podle potřeb organismu. Zvýšený průtok krve kosterními svaly je při fyzické zátěži (v klidu je jen 5 % z celkového objemu krve), zažívacím traktem při trávení a kůži například při pobytu v prostředí s vyšší teplotou.

5.9 KREVNÍ TLAK – TK

Krevní tlak v pažní tepně měřený u dospělého mladého a zdravého jedince vsedě činí 120/80 torrů (= 16/10 kPa). Je výsledkem činnosti srdce, množstvím a složením přečerpané krve, pružnosti velkých tepen a periferním odporem malých tepen.

5.10 ŘÍZENÍ ČINNOSTI SRDCE A TEPEŇ

Srdeční činnost je řízena vlivy nervovými, humorálními a buněčnými. Nervová centra, která jsou umístěna v prodloužené míše a ve Varolově mostu, působí na srdce prostřednictvím sympatických a parasympatických nervů. Sympatikus zrychluje srdeční frekvenci, zvyšuje sílu srdeční kontrakce, zrychluje síňokomorový převod a zvyšuje vzrůstnost srdečního svalu. Parasympatikus působí na srdce opačně. Podobně jako sympathikus působí i vyplavený hormon adrenalin, pro nějž mají srdeční buňky receptory.

Řízení **krevního oběhu** musí uspokojit jednak různé potřeby prokrvení jednotlivých tkání a orgánů, jednak neustálý tok krve správným směrem. K místním regulačním mechanismům patří některé metabolismy (CO_2 , kysele mléčná), které svou přítomností zvyšují průtok krve daným orgánem. Nervovými mechanismy řízení je sympathikus, jehož aktivita vede k vaskonstrukci (zúžení cév), a parasympatikus, který působí spíše vasodilatací (rozšíření cév). Tyto činnosti jsou řízeny z prodloužené míchy, kde je centrum kardioexcitační a kardioinhibiční (dráždí a tlumí srdeční aktivitu) a centrum vasomotorické, ovlivňující svalovinu cév. Kromě těchto mechanismů existuje ještě řada dalších krátkodobě působících regulací.

6. DÝCHACÍ SYSTÉM

Živé organismy potřebují energii k zajišťování aktivního transportu látek přes membrány, dále k pohybu, pro tvorbu vlastních látek a produkci tepla. Tuto energii získávají většinou oxidací cukrů, tuků a aminokyselin. Chemická energie se z těchto živin uvolňuje sériemi reakcí, při kterých se kyslík, který je přijímán z okolí, spotřebovává a vzniká oxid uhličitý, který se do okolí uvolňuje.

Dýchací systém se skládá z plic, které zajišťují výměnu plynů, a z pump, která plíce ventiluje. Tato pumpa se skládá z hrudní stěny, dýchacích svalů a oblasti mozku, regulující činnost dýchacích svalů.

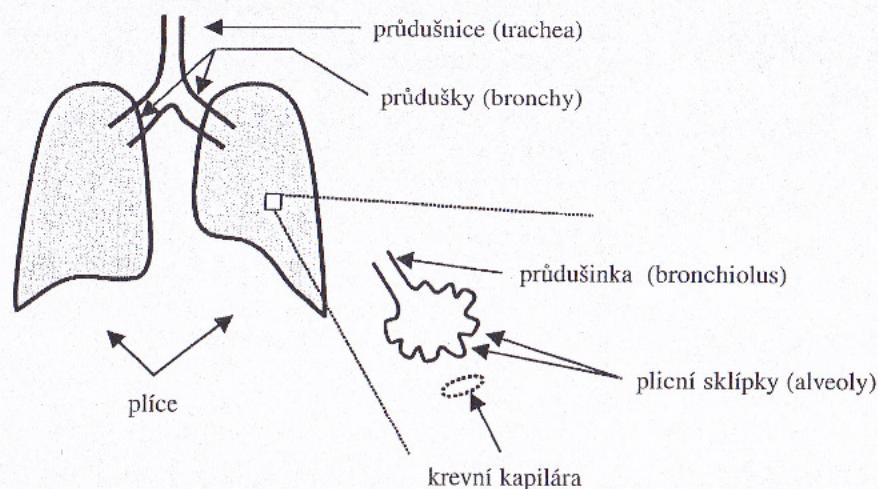
6.1 DÝCHACÍ CESTY

Vdechnutý vzduch projde dutinou nosní a hltanem, kde je ohřátý a nasycený vodními parami. Dále pokračuje průdušnicí a průduškami až k průdušinkám a plicním sklípkům. Člověk má asi 300 milionů plicních sklípků s celkovou plochou zhruba 70 m^2 .

dutina nosní (dochází ke zvlhčení a ohřátí vzduchu, zachycení cizích částic na sliznici)

dutina ústní (její využití při dýchání je především v průběhu fyzické i psychické zátěže, při stresu, emocích apod.)

Obrázek 12
Schéma dýchacího systému



6.2 MECHANIKA DÝCHÁNÍ

Plíce i hrudník jsou elastické. Protože mezi plíцemi a hrudní stěnou je velmi tenká vrstva tekutiny, plíce snadno kloužou po hrudní stěně. Nedají se odtrhnout od hrudní stěny obdobně, jako je obtížné oddělit dvě namočená a na sebe přitisknutá skla. Tlak v prostoru mezi plízemi a hrudní stěnou (interpleurální tlak) je menší než atmosférický. Tím je udrženo rozpětí plic v hrudníku. Dechový cyklus sestává z vdechu a výdechu.

1. vdech (inspirium)

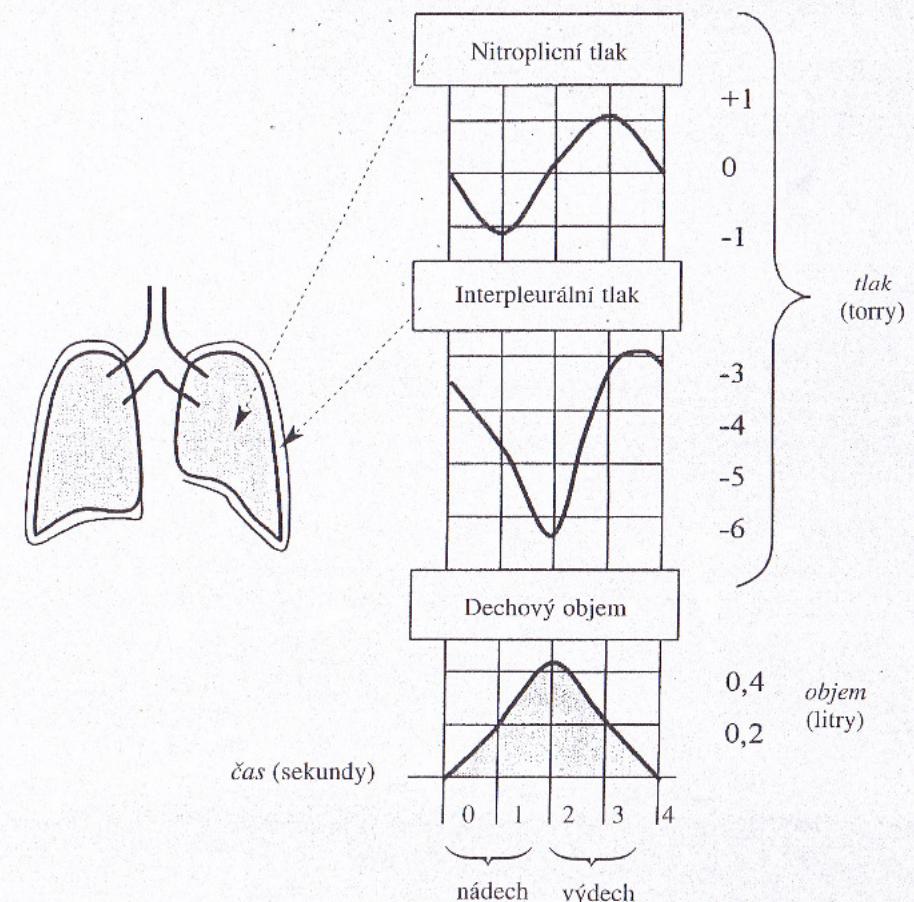
je aktivní děj, kde hlavními nádechovými svaly jsou bránice, která se nalézá mezi dutinou hrudní a břišní, a zevní mezižeberní svaly. Při fyzické zátěži, kdy se zvyšuje potřeba kyslíku v pracujících svalech a současně i tvorba CO_2 jako metabolické zplodiny, jsou pro aktivní nádech využívány dále i pomocné dýchací svaly, upínající se na hrudník a horní končetiny, a břišní lis.

2. výdech (exspirium)

v klidových podmínkách je dějem pasivním, na kterém se podílejí napětí žeberních chrupavek, napětí plic, napětí tekutiny na vnitřní straně alveolu a vytlačení bránice břišními orgány. Při zvýšených nározcích na

dodávku kyslíku do tkání a odstranění CO_2 plícemi, například při fyzické práci, se výdech stává také aktivní. Hlavními výdechovými svaly jsou vnitřní mezižeberní svaly a pomocné dýchací svaly.

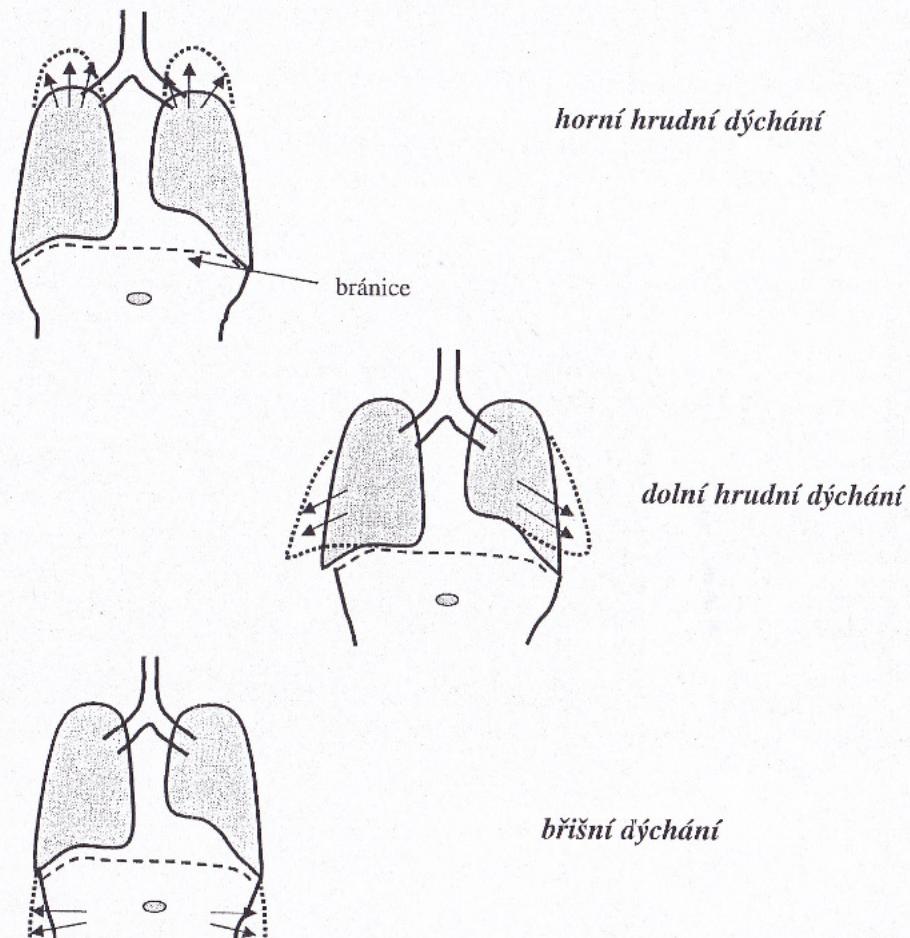
Obrázek 13
Změny nitroplicního a interpleurálního tlaku při nádechu a výdechu



6.3 FORMY DÝCHÁNÍ

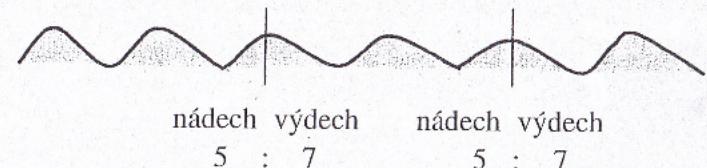
Podle toho, které části hrudníku či břicha se účastní dechové práce, se popisuje **horní hrudní dýchání**, kdy se zvedají především horní (apikální) části hrudníku (dýchání typické pro ženy), **dolní hrudní dýchání**, projevující se „roztažením“ především dolních částí hrudníku (častěji se vyskytuje u mužů) a **břišní dýchání**, projevující se výraznými dechovými pohyby právě v oblasti břicha (vyskytuje se u dětí).

Obrázek 14
Formy dýchání



6.4 TYPY DÝCHÁNÍ PODLE VELIKOSTI DECHOVÉHO OBJEMU A DECHOVÉ FREKVENCE

1. normální klidové dýchání je u dospělého charakteristické dechovým objemem 0,5 litru a dechovou frekvencí 14–16 dechů za minutu. Poměr mezi nádechem a výdechem je 5 : 7.



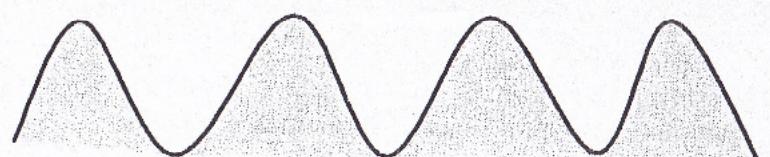
2. pro mělké dýchání je typický malý dechový objem (méně než 0,5 litru na každý nádech) a pomalá dechová frekvence (pod 14 dechů za minutu). Obvykle provází různé bolestivé stavy.



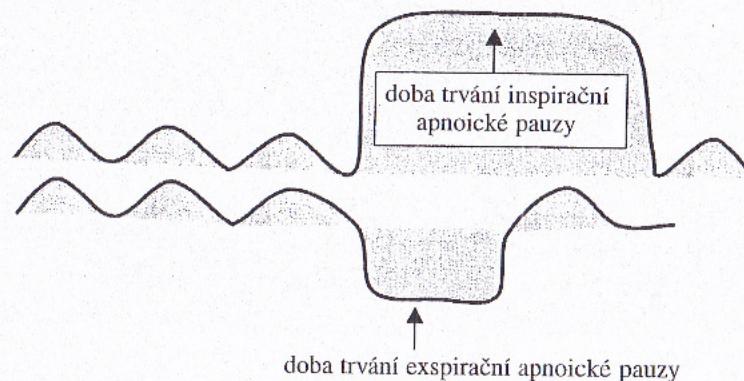
3. zrychlené dýchání se projevuje především zrychlenou dechovou frekvencí nad 18 dechů za minutu při normálním dechovém objemu – tedy 0,5 litru na každý nádech. Objevuje se při fyzické činnosti nebo různých emočních stavech.



4. prohloubené dýchání je charakterizováno zvětšením dechového objemu nad 0,5 litru na každý nádech a normální nebo i zvýšenou dechovou frekvencí. Projevuje se při fyzické práci, emočních stavech nebo i jiných stresech.



5. dočasná **zástava dýchání** (apnoe) je buď vědomá nebo i nevědomá (reflexní). Lze ji volně vyvolat jak po maximálním nádechu (s dobou trvání až několik minut – podle trénovanosti), tak po maximálním výdechu s dobou trvání 20–40 sekund.



6. jako **dušnost** se označuje ztížené dýchání se subjektivním pocitem nedostatku vzduchu. Je součástí například tzv. mrtvého bodu či provází nadměrnou únavu.

6.5 ZÁKLADNÍ FUNKCE DÝCHACÍHO SYSTÉMU

1. **ventilace** (zevní dýchání) zahrnuje pouze nádech a výdech
2. **distribuce** představuje rozdělení vzduchu v dýchacích cestách od dutiny nosní až po plicní sklípky
3. **difúze** je výměna O₂ a CO₂ mezi krví a vzduchem v plicních sklípcích (organismus se zbavuje CO₂ a získává O₂ do krve)
4. **perfúze** označuje průtok krve plícemi (= malý krevní oběh = plicní krevní oběh)

Výměna plynů – tedy O₂ a CO₂ – mezi vzduchem a krví probíhá jen v konečných částech dýchacích cest – tedy v plicních sklípcích. Ve zbylých částech dýchacího systému k výměně plynů mezi krví a vzduchem nedochází. Tento objem se proto označuje jako **mrtvý prostor**.

Rozlišují se dva typy mrtvého prostoru:

1. **anatomický** (asi 150 ml), kde nikdy nedochází k výměně dýchacích plynů. Zahrnuje dýchací cesty od dutiny nosní až k alveolům.
2. **fyziologický** (anatomický + nefunkční alveoly). Při klidném dýchání nejsou zapojeny všechny alveoly, ale řada jich zůstává jako rezerva pro zvýšené nároky například při zátěži, kdy se tyto plicní sklípky stávají funkčními. Fyziologický mrtvý prostor se potom zmenšuje.

6.5.1 VENTILACE

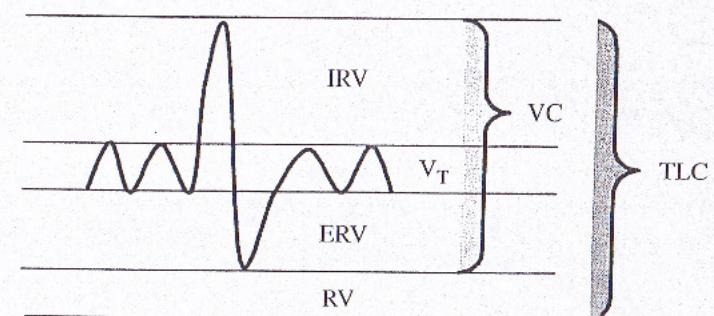
Ventilace plic zajišťuje výměnu vzduchu mezi okolní atmosférou a plicními sklípkami. Kromě přivádění a odvádění vzduchu k plicním sklípkům a od nich, plní dýchací cesty ještě další důležité úkoly. Očišťuje vdechovaný vzduch od nečistot, zvlhčuje ho a ohřívá. Hlasové vazky, které jsou rozechívány proudem vydechovaného vzduchu, vytvářejí základní tón, který je nutný pro tvorbu vlastního hlasu.

Ukazatelé ventilace

Základními ukazateli plicní ventilace jsou tzv. **statické objemy plic**. Jejich objemy se stanovují spirograficky, kdy se zaznamenávají a objemově hodnotí následující parametry.

Obrázek 15

Spirogram



IRV **inspirační (nádechový) rezervní objem** je objem vzduchu, který ještě maximálně nadechneme po předchozím klidovém nádechu. U dospělého činí 1–2 litry.

V_T **dechový objem** je objem vzduchu, který v klidu nadechneme nebo vydechneme. V dospělosti se pohybuje okolo 0,5 litru každým nádechem a výdechem.

ERV **exspirační (výdechový) rezervní objem** je objem vzduchu, který ještě maximálně vydechneme po předchozím klidovém výdechu. V dospělosti činí 1 litr.

RV **rezičuální (zbytkový) objem** je objem vzduchu, který zůstává v plicích po maximálních výdechu. U dospělého je to zhruba 0,5 – 1 litr.

VC **vitální kapacita plic** je objem vzduchu, který maximálně vydechneme po předchozím maximálním nádechu. U netrénovaných žen činí zhruba 3 litry, u mužů veslařů nebo plavců až 6–8 litrů. Hodnota vitální kapacity závisí na věku, pohlaví a trénovanosti.

TLC **celková kapacita plic** je objem vzduchu, který je v plicích po maximálním nádechu (u dospělého je to 5–8 litrů).

Pro výměnu plynů mezi organismem a okolím jsou kromě statických plicních objemů důležité i **dynamické plicní objemy**.

Všechny níže uvedené hodnoty jsou průměrem pro dospělou osobu, přičemž jejich výše vždy závisí na výšce, hmotnosti, stáří, trénovanosti, pohlaví a zdravotním stavu každé konkrétní osoby.

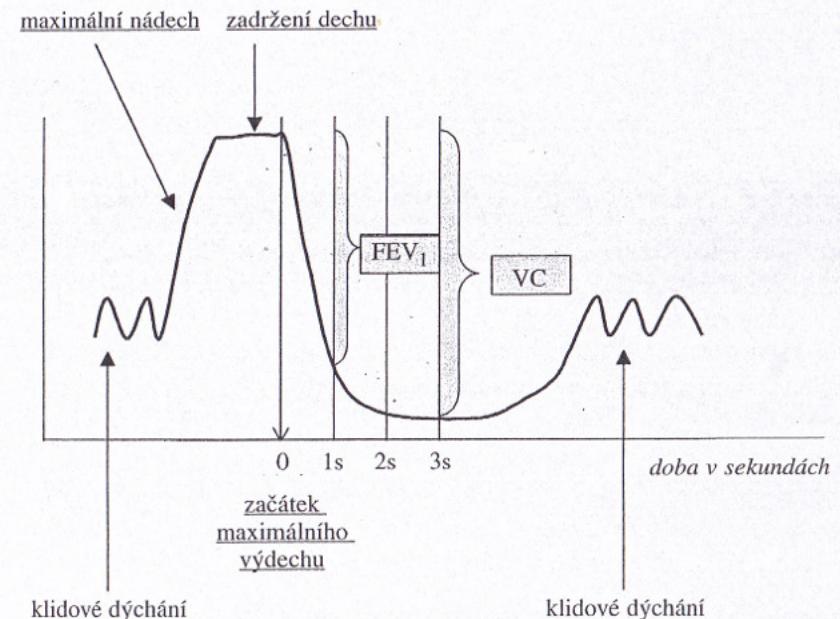
Minutová ventilace plic (VE) je množství vzduchu, které nadechneme a vydechneme během jedné minuty. V klidu u dospělého se pohybuje okolo 8 litrů za minutu. Dá se vypočítat vynásobením dechového objemu ($V_T = 0,5$ litru v klidu) a dechové frekvence (DF = 14–16 dechů za minutu).

$$VE = V_T \cdot DF = 0,5 \cdot 15 = 7,5 \text{ litrů za minutu}$$

Maximální minutová ventilace (MMV) je množství vzduchu, které může být v plících maximálně vyměněno (tedy také i vydýcháno) za minutu. Protože se jedná o volní ventilaci, je třeba provádět co nejprohloubenější nádech i výdech při zrychlené dechové frekvenci. Fyziologicky se u dospělého pohybuje mezi 120–170 litrů za minutu.

Jednosekundová vitální kapacita (FEV₁) je maximální množství vzduchu vydechnutého za první sekundu vitální kapacity. Obvykle činí 80 % z vitální kapacity.

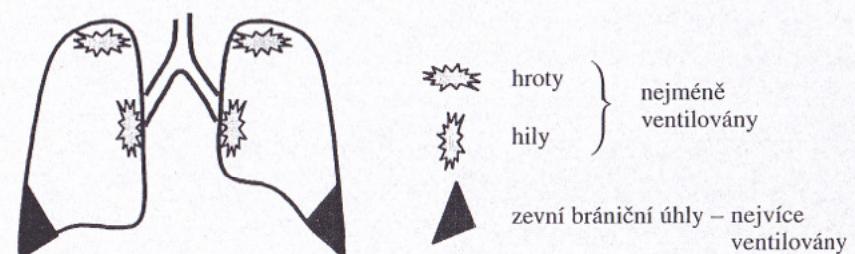
Obrázek 16
Jednosekundová vitální kapacita (FEV₁)



6.5.2 DISTRIBUCE

Distribuce označuje ty části plic, které jsou nejvíce či nejméně zásobeny vdechovaným vzduchem. V klidu jsou nejméně ventilovány oblasti plicních hrotů a plíce v okolí hilů, nejvíce naopak oblasti zevních bráničních úhlů.

Obrázek 17
Distribuce vzduchu v plících



6.5.3 DIFÚZE PLYNU (O₂ a CO₂)

Poté, co se atmosférický vzduch dostal až k plicním sklípkům, pokračuje kyslík přestupem (difúzí) přes stěnu plicních sklípků a stěnu kapilár do krve a naopak z krve stejnou cestou difunduje (prostupuje) do plicních sklípků CO₂.

Difúze závisí na:

- a) rozdílu tlaků plynů O₂ a CO₂

Tabulka 4
Tlak O₂ a CO₂ ve vlásečnicích plicního krevního oběhu a plicních sklípcích

	tlak (kPa)	
	pO ₂	pCO ₂
žilní konec vlásečnice	5,33	6,13
plicní sklípek	13,33	5,33
tepený konec vlásečnice	13,33	5,33

- b) prokrvení plic

– je třeba jak dostatečný přívod neokysličené krve k plicním sklípkům pro její oxyslikení (funkční krevní oběh plic), tak pro činnost dýchacích cest i plicních struktur zásobení kyslíkem (anatomický krevní oběh plic)

6.5.4 PERFÚZE KRVE PLÍCEMI

Hlavní funkcí plic je zajistit výměnu dýchacích plynů podle potřeb organismu. Cévní systém, který toto zajišťuje, se označuje jako funkční též nízkotlaký nebo malý plicní oběh.

Dospělý člověk v klidu spotřebuje průměrně asi 0,25 litrů kyslíku a vytvoří zhruba 0,2 litru CO₂ za minutu. Při maximální zátěži se tyto objemy mohou více než patnáctinásobně zvýšit. Kyslík, který potřebují tkáně ke svému životu, je v krvi přenášen především vázaný na červené krevní barvivo červených krvinek. Oxid uhličitý je ze tkání uvolňován do krve a jako rozpuštěný, nebo navázaný na krevní bílkoviny či jako bikarbonát v krevní plazmě je přenášen krvi do plic.

Tabulka 5

O₂ a jeho množství v tepnách a žilách

	v klidu	při práci
v tepnách	20 ml O ₂	20 ml O ₂
v žilách	14 ml O ₂	5 ml O ₂
arteriovenózní rozdíl	6 ml O ₂	15 ml O ₂

Arteriovenózní rozdíl je množství kyslíku, které v podstatě zůstává ve tkáních. Čím je jeho hodnota vyšší, tím více probíhají ve tkáních metabolické děje, spojené se spotřebou kyslíku.

Tabulka 6

CO₂ a jeho množství v tepnách a žilách

	v klidu	při práci
v tepnách	52 ml CO ₂	52 ml CO ₂
v žilách	58 ml CO ₂	67 ml CO ₂
arteriovenózní rozdíl	6 ml CO ₂	15 ml CO ₂

Čím je větší arteriovenózní rozdíl oxidu uhličitého, tím více se tvoří jako metabolický produkt ve tkáních.

6.6 REGULACE DÝCHÁNÍ

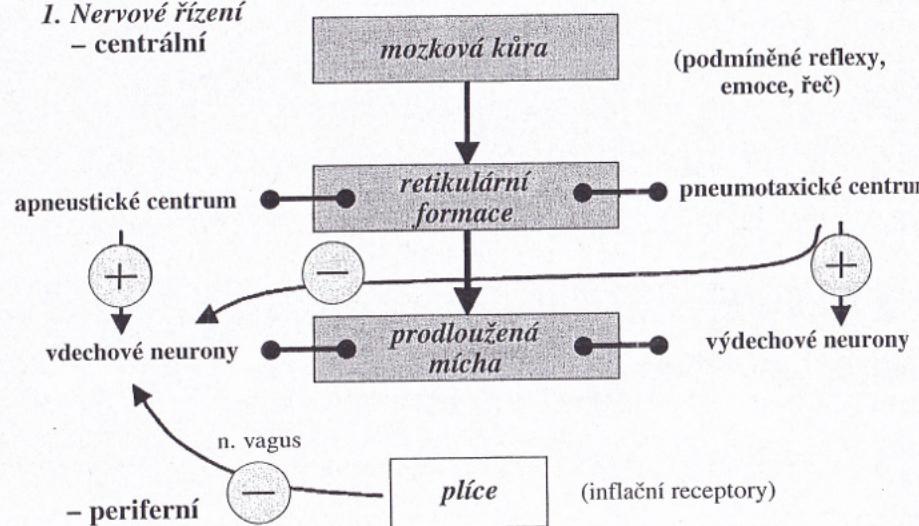
Základní funkcí regulačních mechanismů řídících dýchaní je zajistit soulad mezi metabolickými potřebami organismu a ventilací plic. Dýchaní je však také ovlivněno dalšími volnými i mimovolnými aktivitami, například tvorbou hlasu, kašlem či kýcháním.

Řízení dýchaní je zajišťováno centry v prodloužené miše (nádechové a výdechové neurony) a jeho modifikace, spojené s lidskými projevy (řeč, zpěv), jsou řízeny až z mozkové kůry. Kromě nervové regulace se podílí na řízení dýchaní i chemické změny, jako je pokles pO₂, vzestup pCO₂ či změna pH v krvi, jejichž změny vedou k podráždění jak periferních tak centrálních chemoreceptorů.

7. TRÁVENÍ A VSTŘEBÁVÁNÍ

Obrázek 18
Schéma řízení dýchání

1. Nervové řízení
– centrální

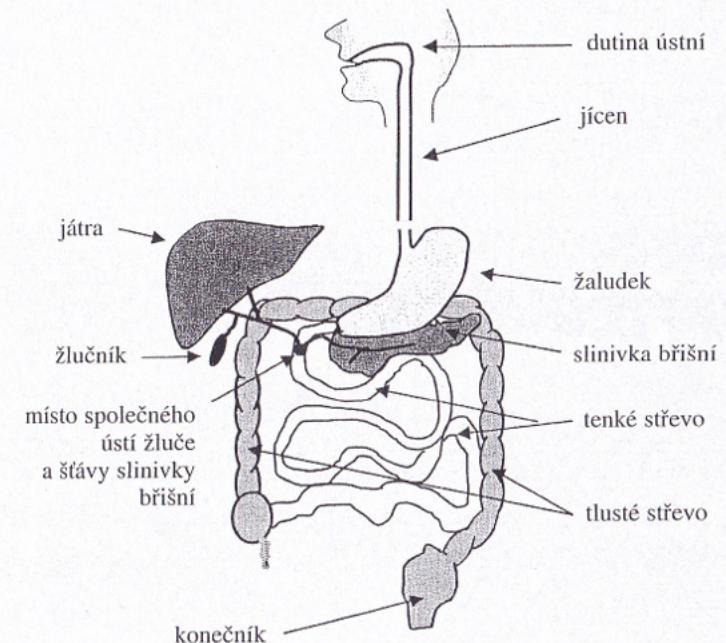


2. Látkové řízení

- centrální: zvýšení pCO_2 (jsou drážděny chemoreceptory v dýchacím centru), změny pH
- periferní: pokles pO_2 (jsou drážděny chemoreceptory v cévách), změny pH

Trávicí soustava je branou, kterou vstupují do těla živiny, vitamíny, minerály a tekutiny. Bílkoviny, tuky a složité cukry jsou štěpeny – tráveny – na vstřebatelné jednotky převážně v tenkém střevě. Produkty trávení, vitamíny, minerály a voda procházejí sliznicemi – vstřebávají se – zažívacího traktu a vstupují do lymfy nebo krve.

Obrázek 19
Jednotlivé oddíly zažívacího traktu



7.1 Dutina ústní a jícen

V dutině ústní je potrava promíchávána se slinami a posunována dále do jícnu. Žvýkáním, které zajišťují zuby, se rozmlňují velké části potravy a mísí se se slinami, které jsou vylučovány ze slinných žláz. Denně se vytvoří asi 1,5 litru slin, jejichž pH je mírně zásaditě. Sliny obsahují kromě vody a minerálů dva enzymy: *jazykovou lipázu*, která je uvolňována ze žlásek jazyka a štěpí tuky, a *slinnou alfa-amylázu* tvořenou slinnými žlázami, zahajující trávení škrobu. Dále sliny obsahují *hlen* (mucin), který jednak činí potravu kluzkou a jednak chrání ústní sliznici. Sliny tak usnadňují polykání, udržují dutinu ústní vlhkou, slouží jako rozpouštědlo pro molekuly, které dráždí chuťové pohárky, napomáhají řeči usnadněním pohybů rtů a jazyka a udržují dutinu ústní a zuby čisté. Tvorba slin je reflexní odpověď na přítomnost potravy v dutině ústní. Je stimulována parasympatickým nervovým zásobením, ale lze vypracovat i podmíněné reflexy na její tvorbu – např. představa potravy může vyvolat sekreci slin. Žvýkací automatizmy jsou řízeny z mozkového kmene.

Polykání je také reflexní odpověď, která je spuštěna dostředivými drahami trojklanného nervu, *n.glossofaryngeu* a *n.vagu*. Polykání je zahájeno nahromaděním obsahu dutiny ústní na jazyku a jeho posunutím dozadu do hltanu. Ačkoliv je tato první fáze reakcí volní, následující polykací akt, kdy se sousto posune díky stahům svalů hltanu a jícnu, je vůlí neovlivnitelná odpověď. Peristaltické vlny jícnu posouvají tráveninu do žaludku. Polykání je řízeno z mozkového kmene a prodloužené míchy.

7.2 Žaludek

Potrava, která je spolykána, se hromadí v žaludku, kde je promíchávána s kyselinou chlorovodíkovou, hlenem a pepsinem a po zpracování přechází po menších částech do prvního oddílu tenkého střeva – dvanácterníku (duodena). V místě, kde ústí jícen do žaludku, je svalový svěrač – kardie, v místě, kde žaludek přechází do tenkého střeva (duodena), je také svalový svěrač – pylorus.

Když přijde potrava do žaludku, jeho stěna reflexně ochabne. Poté se objevují **peristaltické stahy** hladkého svalstva žaludku, které umožňují promíchání tráveniny, aniž by tato byla posouvána jak zpětně do jícnu tak následně do tenkého střeva. Až po promíchání tráveniny a době, potřebné

k působení složek žaludeční šťávy na tráveninu, se díky peristaltickým pohybům posouvá tato trávenina po malých částech dál do tenkého střeva. Rychlosť, s jakou se žaludek vyprazdňuje do tenkého střeva a která se pohybuje od 1 do 6 hodin, závisí na typu požité potravy. Potrava bohatá na sacharidy opouští žaludek za 1–2 hodiny, potrava bohatá na bílkoviny ho opouští pomaleji a nejpomaleji je vyprazdňování žaludku po jídle obsahujícím velké množství tuků. Žaludeční motorika (relaxace, promíchání, posun tráveniny a vyprazdňování) je řízena pomocí pacemakeru v žaludku a parasympatikem a sympatikem. Svalovina žaludku je jen vzácně nečinná. Brzy poté, co se žaludek vyprázdní, začnou mírné peristaltické stahy. Postupně se během několika hodin zvyšuje jejich intenzita. Takto intenzivní stahy, které jsou pocítovány až mírně bolestivě, se označují jako hladové stahy, neboť bývají spojeny s pocitem hladu.

Žaludeční šťáva, které se denně vytvoří zhruba 2,5 litru, je tvořena buňkami žaludeční sliznice. Obsahuje jednak *kyselinu chlorovodíkovou* (HCl). Ta udává její kyslé pH, které umožňuje pepsinu, jenž se uvolňuje z buněk sliznice žaludku jako neaktivní *pepsinogen*, zahájit trávení bílkovin, dále hubí mnoho požitých bakterií, sama napomáhá trávení bílkovin a stimuluje vylučování žluči a šťávy slinivky břišní. Aby relativně vysoká koncentrace kyseliny chlorovodíkové nepoškodila žaludeční sliznici, obsahuje žaludeční šťáva dále *hlen*, který tuto sliznici chrání.

Žaludek má kromě shromažďování, trávení a vyprazdňování tráveniny do dvanácterníku i další funkci. Buňky žaludeční sliznice tvoří ynítrní faktor, což je látka nezbytná pro následné vstřebávání vitamínu *B₁₂* v tenkém střevě.

Jak sekrece žaludeční šťávy tak pohyby žaludku jsou řízeny nervovými a humorálními mechanismy. Nervovými vlivy je působení *n.vagus* a *sympatiku*, humorálními je řada působků, které mají jak stimulační tak útlumový vliv na sekreci žaludeční šťávy či pohyby žaludku.

7.3 Tenké a tlusté střevo

V **tenkém střevě** se mísí střevní obsah se sekrety slizničních buněk, se šlávou ze slinivky břišní a se žlučí. Do tenkého střeva se dostává za den asi 9 litrů tekutin, z toho 2 litry přichází s potravou a 7 litrů je obsaženo v sekretech zažívacího traktu. Celé tenké střevo je u dospělého člověka dlouhé přibližně 280 cm. Do horní části tenkého střeva, označované jako dvanácterník (= dvanáctník = duodenum), ústí jak vývod ze slinivky břišní, který přivádí pankreatickou šťávu, tak žlučovod, přivádějící žluč z jater, event. ze žlučníku.

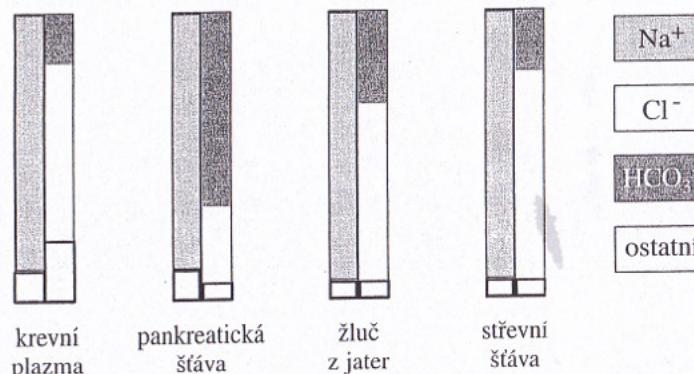
Štáva slinivky břišní obsahuje kromě vody řadu enzymů, které se významně podílejí na štěpení složek tráveniny. Tato štáva, které se denně vytvoří asi 1,5 litru, je alkalická, neboť obsahuje velké množství *bikarbonátů*. Její součástí jsou enzymy *peptidáz*y pro trávení bílkovin, *amyláz*y pro trávení cukrů, *lipáz*y pro trávení tuků a *nukleáz*y pro štěpení nukleotidů ribonukleové kyseliny.

Žluč je tvořena jaterními buňkami a odváděna do žlučovodu, který ústí společně s vývodem ze slinivky břišní do dvanácterníku. Žluč obsahuje kromě vody, anorganických solí dále *žlučové soli*, které umožňují emulgování tuků před jejich trávením a vstřebáváním v tenkém střevě, *žlučová barviva*, vytvářející zlatožlutou barvu žluče, a *cholesterol*.

Dvanácterník přechází dále v lačník (jejunum) a kyčelník (ileum). Po celé délce tenkého střeva vybíhá jeho sliznice v četné střevní **klky**, jejichž úkolem je vstřebávat potřebné živiny a vodu do mízního či krevního systému. Na 1 mm² střevní sliznice se nachází 20–40 těchto klků. I v tenkém střevě pokračuje trávení potravy a to díky enzymům, které jsou součástí **střevní štávy**. Kromě nich obsahuje i hlen, který má podobný účinek jako hlen v dutině ústní či žaludku. Pohyby tenkého střeva promíchávají tráveninu s trávicími štávami a zajišťují co nejintenzivnější kontakt jak s enzymy tak se střevní stěnou. Peristaltické pohyby posouvají tráveninu směrem k tlustému střevu.

Obrázek 20

Elektrolytové složení krevní plazmy, pankreatické štávy, jaterní žluči a střevní štávy



Tlusté střevo má dvě hlavní funkce: skladuje stolicí až do možného vyprázdnění a dále reguluje objem a elektrolytové složení stolice. Do tlustého střeva se denně dostává asi 1,5 litru tekutého obsahu, který je koncentrován a za spolupůsobení mikroorganismů přeměněn na stolicí s obsahem pouze 60–120 ml vody. Bakterie, které se zde fyziologicky nacházejí, vytvářejí vitamín thiamin, riboflavin, B₁₂ a K.

Podobně jako v jiných částech zažívacího traktu i zde parasympatikus stimuluje motilitu střeva, sympatikus aktivitu svalových vláken tonicky tlumení. Vyřazení jednoho systému zvýší účinnost druhého.

Rozšíření konečníku stolicí je podnětem k reflexním stahům svaloviny a nucení na stolicí. Vnitřní svěrač konečníku, což je hladká svalovina, je drážděn sympatikem, parasympatikem je tlumen. Zevní svěrač konečníku, který je příčně pruhovaný sval je ovlivnitelný vůlí. **Defekace** je mišní reflex, který může být proto vůlí tlumen udržením sevření zevního svěrače. Nucení na stolicí se také projevuje při rozšíření žaludku potravou. Následná odpověď, což je defekace po jídle, se označuje jako gastrokolický reflex. U dětí se objevuje pravidelně, u dospělých v závislosti na návykách či civilizačních faktorech.

Emoční stav centrálního nervového systému může přes vegetativní nervový systém ovlivnit pohyby tlustého střeva (například mimovolní únik stolice při úleku).

7.4 Játra

Játra jsou největší žlázou v těle. Zabezpečují mnoho funkcí, bez nichž by nebyl možný život. Jednak se v nich tvoří žluč, dále skladují a podle potřeby uvolňují cukry, tvoří močovinu, podílejí se na metabolismu cholesterolu, vytvářejí plazmatické bílkoviny, mnohé jejich funkce jsou spojeny s metabolismem tuků, dochází v nich k odbourávání některých hormonů, probíhá v nich první reakce aktivace vitamínu D (druhá konečná probíhá v ledvinách) a samozřejmě se zde odbourávají například léky nebo jedy. Játra slouží i jako pohotovostní zásobárna krve a vzhledem k jejich vysokému stupni metabolických dějů jsou důležitá pro udržení stálé tělesné teploty.

Tabulka 7
Přehled procesů trávení

Trávicí štáva	Trávicí enzymy a další důležité látky	Působení
Sliny (1–1,5 litru za 24 hodin)	amyláza lipáza mucin (hlen)	<ul style="list-style-type: none"> – štěpí škrob na disacharidy – štěpí tuky – obaluje a spoluvytváří sousto
Žaludeční štáva (2–3 litry za 24 hodin) pH = 1,5	HCl pepsinogen chymozin lipáza mucin (hlen) vnitřní faktor	<ul style="list-style-type: none"> – natraví bílkoviny – ničí bakterie ve trávenině – převádí neaktivní pepsinogen na aktivní pepsin – jako aktivní pepsin štěpí bílkoviny na peptidy – štěpí mléčnou bílkovinu – štěpí tuky na glycerol a mastné kyseliny – chrání žaludeční sliznici – důležitý ke vstřebávání vitamínu B₁₂
Pankreatická štáva (0,5 litrů za 24 hodin) pH = 8	trypsin amyláza laktáza maltáza sacharáza lipáza	<ul style="list-style-type: none"> – štěpí bílkoviny na peptidy – štěpí škrob na disacharidy – štěpí disacharidy na monosacharidy – štěpí tuky na glycerol a mastné kyseliny
Žluč (nemá enzymy) (1 litr za 24 hodin)	žlučové kyseliny cholesterol žlučová barviva	<ul style="list-style-type: none"> – emulgace tuku – odstranění přebytečného cholesterolu – zabarvení stolice
Střevní štáva (1–3 litry za 24 hodin)	peptidázy laktáza sacharáza maltáza lipáza	<ul style="list-style-type: none"> – štěpí peptidy na aminokyseliny – štěpí disacharidy na monosacharidy – štěpí tuk na glycerol a mastné kyseliny

Tabulka 8
Hormony zažívacího traktu

hormon	působení	místo jeho tvorby
Gastrin	zvyšuje tvorbu HCl, pepsinu a pohyby žaludku	pylorus žaludku, dvanácterník
Cholecystokinin	vyvolává kontrakce žlučníku zvyšuje tvorbu pankreatické štávy	dvanácterník, tenké střevo
Sekretin	zvyšuje sekreci ve dvanácterníku tlumí uvolňování HCl v žaludku	dvanácterník, tenké střevo
Somatostatin	tlumí sekreci v žaludku tlumí sekreci ve dvanácterníku	celý zažívací trakt
Enteroglukagon	tlumí sekreci v žaludku a dvanácterníku	tenké a tlusté střevo
Motilin	vyvolává svalové kontrakce střev	tenké střevo

8. ENERGETICKÁ BILANCE, METABOLISMUS A VÝŽIVA

Živočišný organismus oxiduje sacharidy, proteiny a tuky a produkuje CO_2 , H_2O a energii nezbytnou pro životní pochody. Energie může být v těle uskladněna ve zvláštních, energeticky bohatých fosfátových sloučeninách a ve formě proteinů, tuků a složitých sacharidů, které jsou tvořeny z jednodušších molekul. Zatímco komplex reakcí, vedoucích k uvolňování energie v malých použitelných množstvích, se nazývá katabolismus, tvorba nových sloučenin procesy, které energii spíše spotřebovávají než uvolňují, se označuje jako anabolismus.

Základní biochemické termínů:

Oxidace je reakce, při které reaguje sloučenina s kyslíkem, či ztrácí vodík nebo elektron. Při této reakci dochází k uvolnění energie. Chemicky je oxidace definována jako odnímání elektronů (redukce naopak přijímání elektronů). Enzymy, které se účastní oxidačních pochodů jsou označována jako *oxidoreduktázy*. *Oxidázy* jsou enzymy, které katalyzují odnímání vodíku ze substrátu a jako akceptor vodíku slouží pouze kyslík. Jako reákční produkt vzniká H_2O . *Aerobní dehydrogenázy* jsou také enzymy, které katalyzují odnímání vodíku ze substrátu, ale jako akceptor vodíku slouží buď kyslík nebo uměle připravené látky. Jako reákční produkt vzniká peroxid vodíku (H_2O_2). *Anaerobní dehydrogenázy* jsou také enzymy, katalyzující odnímání vodíku ze substrátu, ale nejsou schopné využít kyslík jako akceptor. Některé z dehydrogenáz umožňují reakce, které dovolují oxidaci jednoho substrátu na úkor substrátu druhého, a dále **umožňují průběh oxidačních dějů i za nepřítomnosti kyslíku**.

Respirační řetězec

Mitochondrie, což jsou buněčné organely, se také nazývají „elektrárna“ buňky, neboť v nich se většina využitelné energie, která pochází z tkáňových oxidací, zachycuje ve formě meziproduktu bohatého na energii – **ATP**.

Mitochondrie jsou vybaveny řadou katalyzátorů (enzymů), které se označují jako respirační řetězec, který se účastní přenosu redukčních ekvivalentů (vodíku nebo elektronů) a jejich konečné reakce s kyslíkem za tvorby vody.

8.1 ZDROJE ENERGIE

Pokud se hovoří o zdrojích energie, mají se na mysli:

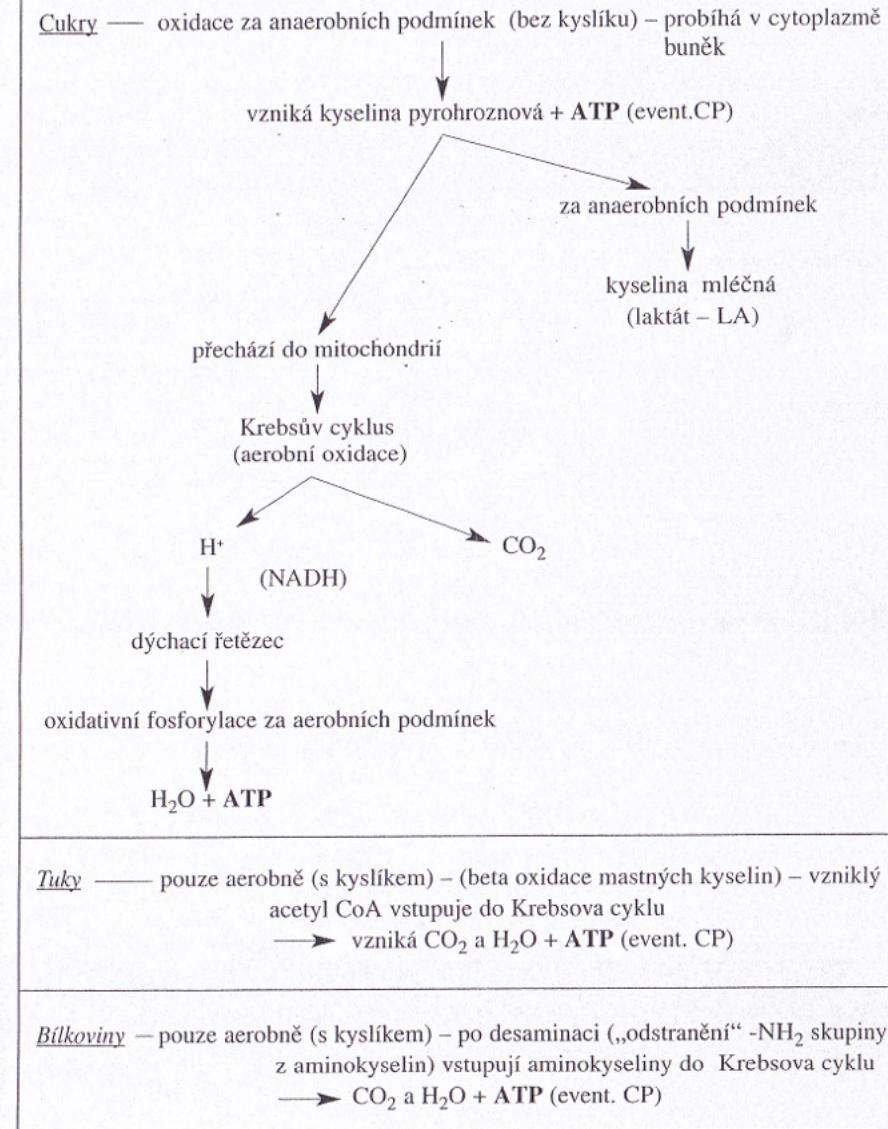
- a) **makroergní fosfáty**: ATP (adenosintrifosfát jako pohotovostní zdroj), CP (kreatinfosfát – zásobní zdroj)
- b) **makroergní substráty**: cukry, tuky, bílkoviny, které přijímáme potravou a upravujeme štěpením a anabolickými procesy do vhodných zásobních forem

8.2 METABOLISMUS

Pojem ***metabolismus*** doslova znamená „změna“ a používá se k vyjádření všech chemických a energetických přeměn probíhajících v těle (viz obr. 21 na str. 61).

Obrázek 21

Základní metabolické procesy cukrů, tuků a bílkovin, probíhající v buňkách



Tabulka 9
Energetický zisk z jednotlivých cest metabolismu cukrů, tuků a bílkovin

	Energetický zisk (ATP) = kolik se vytvoří molekul ATP z jedné molekuly živiny	Energetická hodnota živin (kJ.g ⁻¹) = spalné teplo = kolik se vytvoří energie z 1 gramu živiny	Respirační kvocient (výdej CO ₂ : příjem O ₂) = co se metabolizuje
Cukry	anaerobně 2		
	aerobně 38	17	1,0
Tuky			
Bílkoviny	130–140	39	0,7
	asi 40	17	0,8

```

graph TD
    Cukry --> A[anaerobně]
    Cukry --> B[aerobně]
    Tuky --> K[Krebsův cyklus]
    Bílkoviny --> K
    style K fill:#e0e0e0
  
```

8.2.1 BAZÁLNÍ METABOLISMUS (BM)

Základní energetická potřeba, která se označuje **bazální metabolismus**, pokrývá energeticky dostačujícím způsobem všechny životní funkce člověka. Slouží k zajištění základních nejdůležitějších funkcí (bez něho „není život“) a odpovídá 100 % intenzity metabolismu. Stanovení tohoto metabolismu se provádí na základě mezinárodně dohodnutých podmínek.

Dá se stanovit:

1. podle tabulek, kde se bere v úvahu věk, pohlaví, výška a hmotnost jedince
2. změřením při fyzickém a psychickém klidu, teplotě okolo 21°C, nalačno, 48 hodin před měřením bez příjmu bílkovin v potravě. Je to však stanovení přístrojově a tedy i finančně náročné.

Bazální metabolismus u dospělého člověka se pohybuje od 6300 pro ženy po 7100 pro muže kJ za 24 hodin.

8.2.2 KLIDOVÝ METABOLISMUS (KM)

Velmi často se stanovuje **klidový metabolismus** a to podle aktuální spotřeby kyslíku za klidových podmínek. Protože i v klidu nejsou všechny orgány nečinné (například srdce, mozek či dýchání mají svoji aktivitu), je klidový metabolismus vyšší, než vlastní součet pohotovostních metabolismů všech buněk. Je proto přibližně o 10–20 % vyšší než náležitý BM (KM = 110–120 % nál. BM). Klidový metabolismus se stanovuje ze spotřeby kyslíku v klidových podmínkách při znalosti energetického ekvivalentu kyslíku (EE_{O₂})

Energetický ekvivalent kyslíku (EE_{O₂}) je množství energie, které vznikne spotřebou 1 litru kyslíku: Pro cukry činí obvykle 21,1 kJ, pro tuky 19 kJ a pro bílkoviny 18 kJ. Při smíšené potravě, obsahující zhruba 50–60 % sacharidů, 15–20 % bílkovin a zbytek tuků je energetický ekvivalent 20,1 kJ.

8.2.3 PRACOVNÍ METABOLISMUS (PM)

Energetická přeměna během práce, tedy bazální metabolismus včetně činnostního přírůstku, se nazývá **pracovní metabolismus**. Pro udržení všech životních funkcí člověka je potřeba tzv. bazální energetická potřeba, která se označuje jako bazální metabolismus. Na tuto potřebu teprve nasedá potřeba **energie dodatkové**, která odpovídá nárokům na činnost organismu jak fyzické tak duševní. Čím je námaha větší a delší, tím je potřeba energie větší.

Pracovní metabolismus se stanovuje obvykle jako procento náležitého bazálního metabolismu, přičemž 100 % se rovná vlastnímu náležitému bazálnímu metabolismu (=100 % nál. BM).

Tak například v průběhu sprintu se 250krát zvýší BM, což odpovídá 25 000 % nál. BM (pozor – 100 % z toho je vlastní bazální metabolismus), při košíkové 20krát (= 2 000 % nál. BM) a při rozvíjení pouze 8krát (= 800 % nál. BM). Podobně se dají rozepsat i běžné činnosti, jako je úklid, psaní na počítači, mytí oken, stravování a další.

8.3 FYZIOLOGIE VÝŽIVY

Cílem oboru „výživa“ je určit druhy a množství potravy, které by podporovaly zdraví a dobrý stav organismu. Pod pojmem **racionální výživa** se rozumí soubor znalostí a návodů, které se týkají jak množství tak složení přijímaných potravin a látek a to s ohledem na současné a předvídané nároky organismu.

Příjem potravy je řízen centry v hypotalamu – centrem sytosti a centrem příjmu potravy. Pokud je zvýšeně drážděno centrum příjmu potravy, dochází k nadměrnému a bezvýběrovému příjmu potravy, při zvýšené aktivitě centra sytosti organismus příjem potravy naopak odmítá.

Tak jako příjem potravy i příjem tekutin má svá pravidla. Ten určuje subjektivně pocitovaná „žízeň“. Centra řídící tekutiny v organismu jsou rovněž umístěna v hypotalamu.

Jednotlivé složky potravy

Sacharidy (škroby a cukr) mají v jídelníčku činit 50–55 % energetického krytí denní potřeby jedince. **Bílkoviny** pokrývají energetickou potřebu asi z 15–20 %. Bílkoviny živočišného původu obsahují úplnější spektrum aminokyselin, neboť obsahují i esenciální aminokyseliny, které si člověk neumí sám vytvořit (například leucin, izoleucin, threonin, valin atd.). Denně se doporučuje 0,75–1 gram bílkovin na kg hmotnosti na 24 hodin. Při zvýšených nárocích (dětství, těhotenství, kojení, vysoká fyzická aktivita, rekonsilience) se může potřeba bílkovin zvýšit až na 2,5 g na kg hmotnosti na 24 hodin. **Tuky** jsou velmi diskutovanou součástí potravy. Tvoří asi 30 % (někdy až 40 %) energetického krytí potřeb organismu. Jejich potřebu je nutné zdůvodnit tím, že lipidy jsou základní složkou každé buněčné struktury (včetně nervových buněk). Tuky jsou dále významnou energetickou rezervou, bez určitého podílu tukových rezerv by u žen nedošlo k zahájení menstruačních cyklů, dále působí mechanickou a tepelnou ochranu organismu. Je třeba si však uvědomit, že živočišné tuky obsahují více cholesterolu a nasycených mastných kyselin, zatím co rostlinné tuky mají více nenasyčených mastných kyselin a méně cholesterolu. Dalšími důležitými složkami potravy jsou **minerály** a **stopové prvky** a dále **vitamíny**.

Tabulka 10
Základní vitamíny, jejich účinky, zdroje a doporučená denní dávka pro dospělého člověka

	vitamín	funkce	zdroj	denní dávka
Rozpustné v tucích	A ₁	Zachování neporušené funkce epitelu Chrání zrak Růst kostí	Mrkey, meruňky, rajčata, listová zeleň, kukuřice, játra, mléko, vejce	1–2 mg
	D	Zvyšuje vstřebávání vápníku a fosforu ze střeva, kalcifikace	Játra, rybí vnitřnosti, bielek, máslo	0,025 mg
	E	Antioxidační účinky	Rostlinné oleje, libová masa, vejce, ovesné vločky, zelenina	25–30 mg
	K	Ovlivnění tvorby protrombinu v játrech	Zelenina, špenát, zelí, kapusta, hrášek, obiloviny, květák	asi 1 mg
Rozpustné ve vodě	B ₁	Účast v aerobních metabolických procesech	Droždí, obilné klíčky, luštěniny, vnitřnosti, vepřové maso	1,5–2 mg
	B ₂	Součást systému flavoproteinů	Mléko, ryby, játra, vejce, obilí	1,5–2 mg
	B ₅	Součást koenzymu A	Obilí, luštěniny, žloutky, vnitřnosti, droždí	5–10 mg
	B ₆	Koenzym v metabolismu bílkovin	Obilné klíčky, mléko, vejce, maso, zelenina	2 mg
	B ₁₂	Stimuluje krvetvorbu a činnost nervového systému	Produkce střevními mikroby, játra, ledviny, mléko, vejce, maso	2–5 mikrog
	Kyselina listová	Vliv na tvorbu červených krvinek a tvorbu jaderných kyselin	Obilné klíčky, maso, vnitřnosti, sýry, vejce, zelenina	0,6 mg
	H	Účinek na celkový metabolismus	Kvasnice, játra, ledviny, žloutky	200 mikrog
	C	Tvorba kolagenu, vstřebávání železa v zažívacím traktu, antioxidant	Zelenina, ovoce, citrusové plody	100 mg

9. TERMOREGULACE

Termoregulace je schopnost organismu udržovat stálou tělesnou teplotu, přestože tvorba tepla, jeho příjem i ztráty neustále kolísají jak během dne a noci, tak v závislosti na věku, pohlaví, fyzické aktivitě či například i emočních stavech. Protože člověk dovede svými regulačními zásahy do intenzity metabolismu i změnami tepelné izolace kůže udržet vnitřní tělesnou teplotu v určitém úzkém rozmezí stálou, řadí se mezi **teplokrevné** (homoiotermní) **živočichy**.

Podle změn teploty prostředí se vždy vytváří určitý teplotní rozdíl mezi vnitřkem organismu, jeho povrchem a zevním prostředím. Teplota měřená v podpaží, ústech či konečníku se označuje jako **tělesná teplota**, přičemž v ústech je její hodnota o 0,3 °C vyšší než v podpaží, a v konečníku (event. ve vagíně u žen) je ještě o 0,5 °C vyšší než v ústech. Tělesná teplota v ústech se pohybuje v rozmezí 36,0–37,0 °C (u bdělého člověka je nejnižší mezi 5.–6. hodinou ranní) s denním kolísáním o 0,5 až 0,7 °C. Teplota měřená na kožním povrchu se označuje jako **kožní teplota** a její hodnoty výrazně kolísají podle teploty jádra těla a teploty prostředí: v chladném prostředí prudce klesá, v horkém naopak stoupá. Jen pro porovnání průměrná kožní teplota se pohybuje mezi 31,0–34,0 °C (nejnižší bývá na akrálních částech těla).

9.1 TVORBA TEPLA

Produkce tepla v organismu je stálý proces, neboť teplo vzniká jako vedlejší produkt metabolismu. Ke tvorbě tepla přispívá celá řada různých stále probíhajících chemických reakcí v těle, ale nejvýrazněji se zvyšuje tělesná teplota vlastní svalovou aktivitou.

Pokud se nalézá jedinec v chladném prostředí, dochází ke zvýšení metabolismu, které je zpočátku vyvoláno působením zvýšeně vyplavených

hormonů (adrenalinu, noradrenalinu a tyroxinu) a zvýšenou aktivitou sympatického nervového systému. Tento typ termogenese se označuje jako **chemická (netřesová) termogenese**, přičemž jako zdroj tepelné energie je využívána bílá tuková tkáň, tvořící zásobní podkožní tuk.

Často se k této termogenesi připojuje další zdroj tepla v chladném prostředí – svalový třes. Tento typ tvorby tepla se označuje jako **třesová termogenese**. Zatímco u dospělého jedince se obvykle kombinují oba typy termogenese, u novorozenců a malých dětí, které mají tzv. *hnědou tukovou tkáň*, se objevuje především netřesová termogenese, kdy zvýšenou aktivaci sympatiku a adrenalinu se zvyšuje uvolňování mastných kyselin z hnědé tukové tkáně a následně oxidace v mitochondriích. Hnědá tuková tkáň, která je u novorozenců umístěna mezi lopatkami, se v dospělosti obvykle nevykrytuje.

9.2 ZTRÁTY TEPLA

Výdej tepla do prostředí je u člověka zajišťováno především povrchem těla.

Sálání neboli vyzařování je přenos tepla z jednoho předmětu na druhý předmět o rozdílné teplotě infračerveným elektromagnetickým zářením, aniž by se oba předměty dotýkaly. **Vedením** se vyměňuje teplo mezi dvěma předměty s rozdílnou teplotou, jestliže se navzájem dotýkají. Příkladem může být převod tepla při sezení nebo ležení na dřevě či kovu. **Proudění** spočívá v ohřátí vzduchu, který obklopuje kůži a který v důsledku toho stoupá a je vyměňován za vzduch chladnější. Výdej tepla se může výrazně zvýšit zvýšeným pohybem vzduchu v okolí těla (například působení větru). Posledním typem výdeje tepla je **odpařování potu**. Potom se ztrácí nejen voda a minerály (Na^+ , Cl^- a další), ale třeba i močovina či kyselina mléčná (v 1 litru potu se ztrácí 2300 kJ). I když se člověk viditelně nepotí, neustále se odpařuje voda z povrchu jeho těla, ze sliznice dutiny ústní a z dýchacích cest, což představuje denně zhruba 600 ml. Toto odpařování neprobíhá proto, aby se spolupodílelo na termoregulačních procesech organismu, ale souvisí s neustálou difúzí vody přes kůži a povrch dýchacích cest nezávisle na tělesné teplotě (označuje se jako *perspiratio insensibilis*).

Zvláštní typ pocení je tzv. **emoční pocení**, které je vyvoláno zvýšenou aktivitou sympatiku, kdy dochází k výrazné tvorbě potu především na dlaních, v podpaží a na ploskách nohou.

Tabulka 11

Fyzikální pochody odvodu tepla

Fyzikální pochody odvodu tepla	Procento zastoupení (%)
sálání, záření	50–60 %
odpařování	30 %
vedení	1 %
proudění	7–17 %

9.3 ŘÍZENÍ TĚLESNÉ TEPLITRY

Udržování tělesné teploty zahrnuje jak místní tak celkové reakce. Zvířata často reagují na chlad „stočením do klubíčka“, což má obdobu v poloze, kterou zaujmají někteří lidé po ulehnutí do chladné postele. Stočením se totiž zmenší plocha těla, vystavená okolí.

Kůže je vybavena chladovými a tepelnými receptory, přičemž **chladových receptorů** je mnohem více a jsou rovnoměrně v kůži rozloženy. Proto jako prvotní reakce je odpověď na chladové podněty, než na tepelné. Kromě kožních existují i **hluboké tepelné receptory**, které jsou uloženy pouze v některých oblastech těla a to v páteřní míše, dutině břišní a podél velkých cév. Pravděpodobně i tyto hluboké detektory reagují spíše na chladové podněty, čímž spolu s povrchovými kožními receptory se snaží vyvolat takové reakce organismu, které ho ochrání před působením chladu.

Při ochlazení se kožní cévy pod vlivem katecholaminů zužují, což vede ke snížení průtoku krve kůži. Akrální části končetin jsou sice chladné, ale šetří se tak tělesné teplo.

Reflexní odpovědi, které jsou vyvolány působením chladu na organismus, řídí zadní část hypotalamu, jehož podráždění vyvolává také svalový třes. Naopak v přední části hypotalamu jsou nervové buňky, které fungují jako tepelné senzory. Po jejich podráždění nastane rozšíření kožních a podkožních cév (vasodilatace) s následným ochlazováním organismu.

Tabulka 12
Termoregulační mechanismy, reagující na chladové nebo tepelné podněty

Vyvolávající tepelný podnět	Následné reakce organismu	Výsledný efekt
<i>Působení chladu</i>	– zvýšené svalové napětí – svalový třes – chemická termoregulace – termoregulační chování – zvýšený příjem potravy	<u>Zvýšená tvorba tepla</u>
	– vasokonstrikce – vhodný oděv – schoulení	<u>Snižení tepelných ztrát</u>
<i>Působení tepla</i>	– snížení svalového napětí – snížení tělesné aktivity – snížený příjem potravy – snížená sekrece tyroxinu	<u>Snižení tvorby tepla</u>
	– vasodilatace – pocení – intenzívní dýchání – termoregulační chování	<u>Zvýšení výdeje tepla</u>

10. ZEVNÍ SEKRECE – LEDVINY A VYLUČOVACÍ SYSTÉM

Přestože nepravidelně přijímáme potravu (jak co do množství tak jejího složení), udržení potřebné dynamické stálosti vnitřního prostředí organismu je závislé ponejvíce na řízeném vylučování těch látek, které v daném okamžiku tuto stálost narušují.

Jsou to:

1. dále nevyužitelné zplodiny a zbytky metabolismu,
2. látky sice pro organismus potřebné, ale v daném momentu ve vysoké a tím pro organismus nebezpečné koncentraci,
3. či látky pro organismus cizorodé (léky, drogy, jedy).

Vylučování těchto látek se děje jednak trávicím traktem (stolicí), kůží (potem) nebo dýchacím systémem (například CO_2).

Hlavní úlohu však zastávají ledviny. Kromě vylučování odpadních látek, vytvořených při metabolismu tkání, udržují stálé množství a složení elektrolytů v mimobuněčné tekutině. V ledvinách se filtruje nejprve primární moč, která je dále upravována díky funkcím ledvin až na moč definitivní. Ta odtéká do močového měchýře a močením je poté vypuzována mimo organismus.

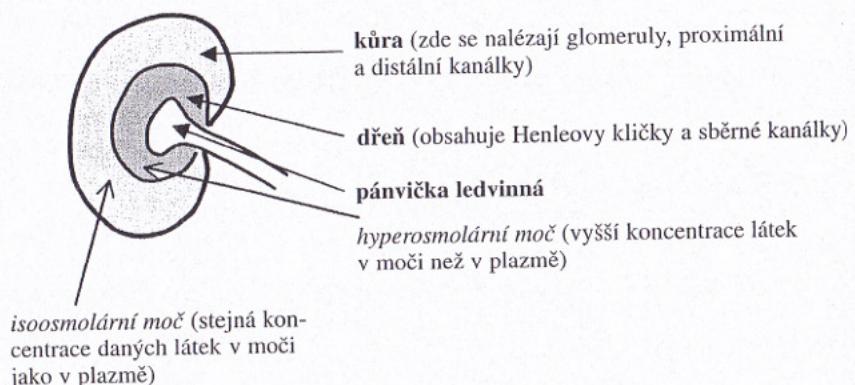
10.1 LEDVINY

Ledviny jako párový orgán jsou uloženy v břišní oblasti. Proti mechanickému poškození jsou chráněny především zádovými svaly. Tkáň ledvin se dělí na následující vrstvy: **kůru ledvin**, která je blíže k povrchu, a **dřen ledvin**. Toto dělení vychází z toho, že kromě jiného je odlišné osmotické rozvrstvení ledvinného parenchymu vzhledem ke krevní plazmě: prostředí v kůře ledvin je izosmotické s krevní plazmou, ve dřeni ledvin osmolalita

intersicia v porovnání s krevní plazmou stoupá od hranice s kůrou ledvin směrem k pánvičce ledvinné.

Schopnost ledvin vytvářet koncentrovanou moč vzhledem ke krevní plazmě se označuje jako **osmotická stratifikace ledvin**.

Obrázek 22
Základní struktury ledvin a jejich funkce



10.1.1 NEFRON

Močotvornými stavebními prvky ledvin jsou **nefrony**, přičemž každá ledvina je vystavěna ze cca 1,2 miliónů nefronů. To je třikrát více, než je bezpodmínečně nutné pro život.

Každý nefron se skládá z následujících částí, které mají své specifické funkce:

- glomerulus.** Vytváří se v něm tzv. *primární moč*, což je ultrafiltrát krevní plazmy, který neobsahuje v porovnání s krví pouze krevní buňky a bílkoviny. Glomerulus se skládá z krevních vlásečnic přivádějících krev, jež se filtruje přes *Bowmanovo pouzdro*. Vytvoření primární moče se označuje také jako *glomerulární filtrace*. Denně se vytvoří u dospělého jedince zhruba 150 až 170 litrů této primární moče.
- proximální kanálek** slouží k první úpravě již vzniklé primární moče. V něm se z této moče zpětně vstřebává část iontů (Na^+ , Cl^- , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} a další), močovina, bikarbonáty, voda, veškerá glukóza a všechny aminokyseliny.

3. **Henleova klička** se skládá ze dvou částí. Její tenká sestupná část umožňuje zpětné vstřebávání vody a rozpuštěných látek zpět do organismu, její tlustá vzestupná část zabezpečuje pouze aktivní vstřebávání Na^+ a Cl^- z tubulární tekutiny. Díky tomuto procesu se vytváří hypertonické prostředí ve dřeni ledvin. To umožňuje pasivní přestup vody z výše uvedených částí nefronu do mezibuněčného prostředí ledvin a tím zadržení kromě jiného téměř 80 % vody z primární moče.

4. **distální kanálek** zajišťuje především aktivní zpětnou resorpci Na^+ a to díky působení hormonu aldosteronu. Zbylý objem tubulární tekutiny odtéká do sběracího kanálku k závěrečné kvantitativní i kvalitativní úpravě na definitivní moč.

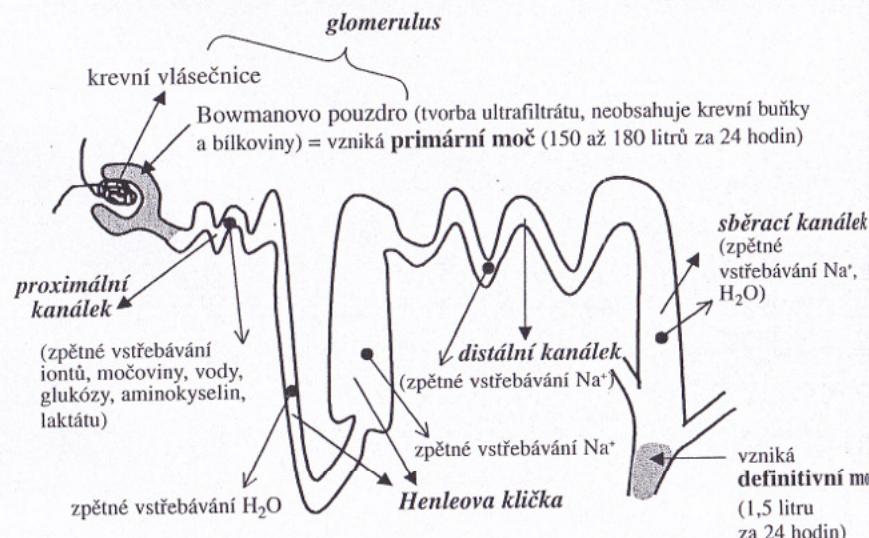
5. **sběrací kanálek** sbírá moč z několika tubulů a odvádí ji do ledvinné pánvičky. Moč, která do kanálku přichází, se dále koncentruje jednak tím, že zde pokračuje aktivní zpětné vstřebávání Na^+ (vlivem aldosteronu), a jednak nástupem aktivního vstřebávání vody, které zajišťuje antidiuretický hormon. Ten zabezpečuje vstřebání asi 8 litrů z přítěkající tubulární tekutiny. Výsledkem je vytvoření zhruba 1,5 litru definitivní moče denně (**pozor! – to platí při běžném příjmu tekutin a fyziologických ostatních ztrátách vody či solí z organismu**).

Jako tubulární resoruce se označuje vstřebání v tubulech nefronu 99 % primární moče, tedy H_2O , Na^+ , K^+ , glukózy, aminokyselin, HPO_4^{2-} , HCO_3^- a Cl^- .

Tubuly mají ale i schopnost některé látky aktivně vylučovat do primární moče. To se označuje jako tubulární exkrece a týká se H^+ , NH_4^+ penicilínu a dalších látek.

Krevní oběh v ledvinách musí plnit dva hlavní úkoly: zajistit dostatečný kontakt ledvinného parenchymu s mimobuněčnou tekutinou, a tím odvod zpětně vstřebaných a tudíž potřebných látek pro organismus, a dále zajistit dodávku kyslíku, která musí odpovídat energeticky náročným procesům, probíhajícím v kanálcích nefronů. Proto ledvinami proteče asi 20–25 % kličkového minutového srdečního výdeje, tedy 1,2 až 1,3 litry krve za minutu.

Obrázek 23
Základní složky nefronu a jejich funkce



Konečným produktem činnosti ledvin je definitivní moč. Čerstvá moč je zlatozluta kapalina se specifickým lehce aromatickým zápachem, který se teprve při delším styku se vzduchem mění v zápach čpavkovitý. Hustota moči kolísá od 1001 do 1035. Reakce moči je mírně kyselá, přičemž výrazně závisí jak na probíhajících metabolických reakcích, tak také například i na dietě. Vytvoření moče za 24 hodin se označuje jako **diuréza** a činí zhruba 1,5–2 litry. Při ní se ztrácí denně okolo 55–70 g organických a anorganických pevných látek. Na rozdíl od plazmy neobsahuje definitivní moč bílkoviny, tuky ani glukózu. Pouze za výjimečných okolností se některé tyto látky mohou v moči objevit.

Tabulka 13
Nálezy v moči

Vyšetření moče	Nález	Příčina
bílkoviny (označuje se jako proteinurie)	fyziologicky	fyzická zátěž
cukr (označuje se jako glykosurie)	fyziologicky	přejedení sladkostmi, někdy při fyzické zátěži
aceton (označuje se jako ketonurie)	fyziologicky	hladovění, fyzická zátěž
erytrocyty (označení = erythrocyturie)	patologicky	ledvinný kámen, písek
hemoglobin (rozpad červených krvinek) (event. myoglobin – rozpad svalových buněk)	fyziologicky	fyzická zátěž
bilirubin	patologicky	žloutenka různého původu

10.1.2 ŘÍZENÍ FUNKCE LEDVIN

Řízení činnosti ledvin zahrnuje dva soubory regulačních vlivů.

1. řízení průtoku krve ledvinami a glomerulární filtrace

Průtok krve ledvinami bývá stabilní v rozmezí od 80 do 180 torrů krevního tlaku. Do jisté míry stabilita tohoto tlaku je dána cévními reakcemi – tedy vasokonstrikcí či vasodilatací. Pokud nastane vasodilatace, která může být vyvolána systémem kallikrein-kinin nebo prostaglandiny, dochází následně ke zvýšení glomerulární filtrace. Naopak při zvýšené aktivitě sympatické inervace ledvinných cév či aktivace systému renin-angiotenzin II nastává vasokonstrukce a tím pokles glomerulární filtrace.

2. řízení tubulárních (kanálkových) procesů

Procesy v kanálcích ledvin jsou řízeny následujícími faktory:

- **ADH** (antidiuretický hormon = vazopresin) zajišťuje aktivní zpětnou resorpci vody, která je nezávislá na vylučování rozpuštěných látek
- **aldosteron**, je hormon, který zabezpečuje zpětnou resorpci Na^+ a exkreci (vylučování) K^+ v distálních a částečně i sběrných kanálcích
- **systém renin-angiotenzin-aldosteron** se uplatňuje tím, že zabezpečuje aktivní zpětné vstřebávání Na^+ s následným zadržováním vody. Prvotním podnětem pro jeho spuštění je pokles tlaku krve v ledvinném cévním systému.

- *kallikrein-kinin* je systém, který vyvolává vasodilataci cév ledvin a tím zasahuje do podmínek glumerulární filtrace
- *prostaglandiny* vedle své cévní odpovědi ovlivňují vylučování Na^+ a zadržování vody v ledvinách
- *parathormon* zajišťuje zpětnou resorpci Ca^{2+} a exkreci (vylučování) fosfátů v distálním a sběrném kanálku nefronu.

10.2 VÝVODNÉ MOČOVÉ CESTY

Moč vytvořená v nefronech se hromadí v **ledvinné pánvičce**, která pojme asi 5 ml moče. Přestože nemá vlastní svalovinu, je mimořádně roztažitelná. Slouží především jako nálevka shromažďující moč a usměrňující ji do močovodu. **Močovod**, který začíná v ledvinné pánvičce a končí v močovém měchýři, má ve své stěně hladkou svalovinu, která svými stahy umožňuje přesun moči do močového měchýře. Svalové stahy posouvající moč se označují jako **močová vřeténka**. Každou minutu se 1–5krát těmito peristaltickými pohyby přesune moč z pánvičky do měchýře. Pokud však tvorba definitivní moče přesáhne 3 litry za 24 hodin, přestanou se tvořit tato močová vřeténka a moč z pánvičky plynule odtéká do močového měchýře. Moč přiváděná močovody (jedním z pravé ledviny a jedním z levé ledviny) se shromažďuje v **močovém měchýři**, který má fyziologické rozepětí cca 200–300 ml. Do tohoto objemového množství není žádný pocit nucení na moč. Rozepětí stěn měchýře na 300–400 ml vede k podráždění napínacích receptorů ve stěně měchýře. Tento signál je veden pánevními nervy do míchy, z níž vychází parasympatická vlákna, zahajující reflex močení. U člověka je zevní svěrač a břišní lis ovládán vůlí, což umožňuje zadržet zahájení močení, probíhající močení přerušit nebo vyvolat i reflex močení v případě prázdného močového měchýře.

Pokud se náhle zvýší tlak moči v močovém měchýři, vyvolá se *pocit nucení na moč*. Nedoje-li k vyprázdnění močového měchýře, dochází k *pocitu imperativního nucení*, které nakonec nelze vůli potlačit.

11. ŽLÁZY S VNITŘNÍ SEKRECÍ

Na řízení činnosti organismu se podílejí dva systémy – **nervový systém** a **látkový systém**.

Nervový systém regulační soustavy je nejvyšší, nadřazený ostatním, zabezpečuje specifické, rychlé zásahy po vymezených drahách, což je dáno elektrochemickými změnami, dále zajišťuje reflexní děje se zpětnou vazbou a má významnou integrační a asociační činnost.

Látkový systém zahrnuje dva typy odpovědí – hormonální a imunitní. Hormonální regulace je v porovnání s nervovou pomalejší, důležité jsou u ní zpětnovazebné informace, přičemž účinek hormonů je méně specifický – může působit jak pouze na orgán, tak i na celý organismus (růst, vývoj, metabolismus, sexuální funkce atd.). Imunitní odpovědi jsou nejpomalejší (s výjimkou alergické reakce – anafylaktický šok), kdy nejdůležitější je schopnost rozpoznání a chránění „svého“ před „cizím“.

Žlázy s vnitřní sekrecí jsou anatomicky ohraničené orgány tvořící chemické sloučeniny – **hormony**, které vydávají do krve, což se označuje jako endokrinní sekrece. Hormony jsou krví přenášeny do vzdálených orgánů a tam po vazbě na příslušný receptor vyvolávají specifické účinky, například podporují růst a činnost cílových orgánů. Podle chemického složení se rozlišují hormony bílkovinné povahy (ADH, oxytocin, TSH, ACTH, STH, gonadotropní hormony), katecholaminy (A, NA) a steroidní povahy (kortikosteroidy, pohlavní hormony). Zatímco hormony peptidové povahy a katecholaminy se vážou na receptory na povrchu buněk (jedna buňka má od 2000 do 100 000 receptorů), hormony steroidní se vážou až na receptory jádra buňky.

Hormony mají tři základní charakteristiky:

1. cíleně působí na více méně ohraničené tkáně
2. jejich účinek je specifický, nelze ho napodobit jinými hormony
3. k vyvolání typické odpovědi je zapotřebí jen nepatrného množství hormonů

Řízení sekrece hormonů probíhá tzv. zpětnou vazbou. Princip této vazby je dán tím, že buňka tvořící hormon je řízena hladinou tohoto hormonu obvykle prostřednictvím dalšího stupně. Při pozitivní zpětné vazbě se reakce buňky neustále zvyšuje, při negativní zpětné vazbě je reakce buněk zeslabována. Posledně jmenovaný typ zpětné vazby je nejčastější.

Zpětná vazba může probíhat jako jednoduchá, kde tvorba hormonu je regulována podle změny v chemickém složení krve, které bylo právě hormonem vyvoláno.

jednoduchá zpětná vazba : hormon → metabolit
(inzulín → hladina glukózy v krvi)

Složitá zpětná vazba se uplatňuje při řízení žláz s vnitřní sekrecí, jejichž aktivita podléhá regulaci z oblasti centrálního nervového systému – konkrétně hypotalamo-hypofyzárnímu systému.

složitá zpětná vazba : řídící hormon → periferní hormon → metabolit

11.1 HYPOTALAMUS

Hypotalamo-hypofyzární systém se skládá z hypotalamu, adenohypofýzy, neurohypofýzy a spojení mezi adeno- a neurohypofýzou a hypotalamem.

Přední jádra hypotalamu tvoří *spouštěcí (stimulující)* nebo *blokující (inhibující) faktory* hormonů adenohypofýzy, které se do ní přenášejí krevními cévami. Tyto hormony potom v adenohypofýze vyvolávají stimulaci nebo útlum tvorby hormonů samotné adenohypofýzy.

V zadních jádřech hypotalamu se tvoří dva hormony – *ADH (antidiuretický hormon)* a *oxytocin*, které jsou do neurohypofýzy přenášeny podél nervových výběžků (označuje se jako axonový transport).

11.2 HYPOFÝZA

V přední části hypofýzy – **adenohypofýze** – se tvoří následující hormony s danými funkcemi.

Tabulka 14
Hormony adenohypofýzy a jejich funkce

hormon	funkce
STH (somatotropní hormon = růstový hormon)	<ul style="list-style-type: none"> – hlavním účinkem je stimulace růstu – zajišťuje tvorbu vlastních bílkovin – podmiňuje rozpad tuků
TSH (tyreostimulační hormon)	<ul style="list-style-type: none"> – podmiňuje tvorbu hormonů štítné žlázy (thyroxinu)
Gonadotropní hormony:	
FSH (folikulostimulační hormon)	<ul style="list-style-type: none"> – umožňuje zrání vajíček u žen a spermií u mužů
LH (luteinizacení hormon)	<ul style="list-style-type: none"> – u žen vede ke tvorbě estrogenů, u mužů androgenů
LTH (luteotropní hormon = prolaktin)	<ul style="list-style-type: none"> – vliv na mléčnou žlázu

V zadní části hypofýzy – **neurohypofýze** – se hromadí následující hormony s uvedenými funkcemi.

Tabulka 15
Hormony neurohypofýzy a jejich funkce

hormon	funkce
ADH (antidiuretický hormon = vasopresin)	<ul style="list-style-type: none"> – zajišťuje zpětné vstřebávání vody v ledvinách – vyvolává vasokonstrikci, což se projeví vzestupem krevního tlaku
Oxytocin	<ul style="list-style-type: none"> – vyvolává stahy dělohy (porod)

11.3 ŠTÍTNÁ ŽLÁZA

Štítná žláza, která je anatomicky uložena v oblasti krku, se skládá ze dvou laloků, jež jsou spojeny tkáňovým můstkem. Hlavními hormony, tvořenými štítnou žlázou, jsou **thyroxin (T₄)** a **trijodtyronin (T₃)**. Oba hormony obsahují jód, jehož dostatečné dodání do organismu je hlavním stimulem pro jejich tvorbu. Většina širokých účinků tyroideálních hormonů v těle je důsledkem stimulace spotřeby kyslíku. Zatímco T₄ (thyroxin = tetrajodtyro-

nin) je metabolicky prakticky neúčinný, zajišťuje zpětnou regulační vazbu, nebo může z něho vznikat T_3 . T_3 (*trijodtyronin*) zvyšuje přeměnu látek a spotřebu O_2 ve tkáních (zvyšuje tedy úroveň metabolismu) a tvorbu tepla. Metabolický účinek se však netýká mozku, sleziny či varlat, kde nejsou příslušné receptory pro tyto hormony. V srdci působí zvýšení srdeční frekvence, působí stimulačně na krvetvorbu a zrychlují reflexní odpovědi.

Dalším hormonem, který se také tvoří ve štítné žláze, je *kalcitonin* (= *tyreokalcitonin* = *TCT*), který snižuje hladinu Ca^{2+} v krvi jednak jeho zvýšeným vylučováním ledvinami a jednak jeho zvýšeným ukládáním do kostí. Ukázalo se však, že tento hormon se tvoří i v jiných žlázách s vnitřní sekrecí.

11.4 PŘÍŠITNÁ TĚLÍSKA

Lidé mají obvykle 4 příšitná tělíska, která se nalézají na zadní části štítné žlázy. Každé z nich je velké zhruba $3 \times 6 \times 2$ mm. Tato tělíska tvoří *parathormon*, který zvyšuje hladinu Ca^{2+} v krvi jednak tím, že uvolňuje Ca^{2+} z kostí, jednak jeho sníženým vylučováním ledvinami.

11.5 SLINIVKA BŘIŠNÍ

Slinivka břišní má v podstatě dva základní úkoly: určité její buňky tvoří tzv. pankreatickou štávu (= štávu slinivky břišní), která vývodem ústí do dvanácterniku a podílí se svými enzymy na štěpení složek tráveniny, přicházející sem ze žaludku. Tato činnost se také nazývá **exokrinní**. Jiné buňky slinivky břišní, které se označují Langerhansovy ostrůvky, tvoří hormony inzulín, glukagon a somatostatin. Protože se jedná na základě funkce a struktury o žlázu s vnitřní sekrecí, označuje se tvorba hormonů **endokrinní funkcí**. Takže slinivka břišní působí jako žláza s exokrinní činností i jako žláza s endokrinním působením. Hlavním podnětem pro vyplavování *inzulínu* je vzestup krevního cukru. Inzulín usnadňuje vstup glukózy do buňky (tedy pokles krevního cukru), dále přeměňuje glukózu v játrech na zásobní glykogen, je schopen přeměnit glukózu na tuk nejen v jaterních ale i tukových buňkách a kromě toho má proteoanabolický efekt. *Glukagon* jako další hormon vyvolává rozpad jaterního glykogenu, vede ke tvorbě glukózy z aminokyselin, uvolňuje mastné kyseliny z tukové tkáně a zvyšuje

tvorbu ketolátek. *Somatostatin* tlumí vyplavování inzulínu a glukagonu a dále tlumí motilitu a sekreci v zažívacím traktu, tedy zpomaluje trávení a vstřebávání (proto jsou jen malé výkyvy v hodnotách glykémie v závislosti na jídle).

11.6 NADLEDVINKY

Na horním pólu ledvin leží nadledvinky, které se skládají z vnitřní části – **dřeně** a zevní části – **kůry**. Dřeně nadledvinek je v podstatě sympathetickým gangliem, ve kterém se nervové buňky staly buňkami sekrečními. Hormony dřeně nadledvinek nejsou nezbytně nutné pro život, ale připravují jedince na členění stresu. Naproti tomu kůra nadledvinek je pro život nezbytná, neboť se v ní tvoří hormony nezbytné pro život.

Ve **dřeni nadledvinek** se tvoří *catecholaminy* (hlavními zástupci jsou adrenalin a noradrenalin). Adrenalin zrychluje srdeční činnost, zvyšuje krevní tlak a minutový srdeční výdej, vyvolává rozšíření srdečních a svalových cév a zúžení útrobních a kožních cév a zvyšuje katabolismus cukrů a tuků. Noradrenalin zvyšuje především krevní tlak. V **kůře nadledvinek** se tvoří *glukokortikoidy* (hlavním zástupcem je kortisol), které vyvolávají katabolické děje, zvyšují metabolismus cukrů, tuků a bílkovin a ovlivňují psychiku (vyvolávají euphorii, nespavost nebo deprese). Dále jsou zde sekernovány *mineralokortikoidy* (hlavním zástupcem je aldosteron) zabezpečující zpětné vstřebávání Na^+ a vylučování K^+ v ledvinách. A konečně se v kůře nadledvinek jak u mužů tak i u žen tvoří *pohlavní hormony*, a to jak androgeny (mužské pohlavní hormony), které se přeměňují především v tukové tkáni na testosteron a estrogeny, tak estrogeny – ženské pohlavní hormony.

11.7 LEDVINY JAKO ŽLÁZA S VNITŘNÍ SEKRECÍ

Kromě toho, že se v ledvinách tvoří definitivní moč, čímž je snaha udržet určitou stálost vnitřního prostředí, samy ledviny se chovají i jako žláza s vnitřní sekrecí. Při poklesu pO_2 v krvi, protékající ledvinami, začnou speciální buňky ledvin tvořit *erythropoetin*, hormon, který se krevní cestou dostává do kostní dřeně, kde zvyšuje tvorbu červených krvinek. Dalším důležitým endokrinním systémem v ledvinách je *renin-angiotenzin-aldosteron*. Renin je enzym vznikající v ledvinách při poklesu tlaku krve v led-

vinných cévách. Uvolňuje se do krve, kde působí na angiotenzinogen, z něhož odštěpuje angiotenzin I, který konvertuje na angiotenzin II. Ten jednak vyvolává zúžení cév (vasokonstrikci), jednak zvyšuje sekreci aldosteronu u kůře nadledvinek.

11.8 REPRODUKČNÍ SYSTÉM MUŽE

Reprodukční systém muže produkuje pohlavní buňky (spermie), vytváří a vyučuje pohlavní hormony a umožňuje pohlavní spojení. Ve varlatech se tvoří několik typů pohlavních hormonů – androgenů, z nichž nejdůležitějším je *testosteron*. Tento hormon zajišťuje vývoj mužského typu genitálu u plodu, po pubertě navozuje růst zevních pohlavních znaků (růst vlasů, chlupů a vousů, změna výšky hlasu), má vliv na kůži (při jeho zvýšené tvorbě vzniká akné), má anabolické účinky (vede k vytvoření větší svalové masy), zvyšuje objem kostní masy a ukládání vápníku doní a stimuluje tvorbu erythropoetinu, který zvyšuje krvetvorbu.

11.9 REPRODUKČNÍ SYSTÉM ŽEN

Reprodukční systém ženy produkuje pohlavní buňky (vajíčka), vytváří a vyučuje pohlavní hormony, umožňuje pohlavní spojení a zajišťuje vývoj nového jedince.

Každá žena má dva vaječníky, kde se již v průběhu jejího nitroděložního vývoje geneticky založí zhruba 6–7 miliónů tzv. **primordiálních (zárodečných) folikulů**, přičemž v pubertě jich zůstává asi 300–400 tisíc. Během reprodukčního života ženy (trvá zhruba od 12. do 50. roku života ženy) se průměrně uvolní z těchto několika set tisíc zárodečných vajíček pouhých 450. Ostatní působí jako rezerva, neboť po narození se u žen již nikdy nezakládají nová zárodečná vajíčka.

Vaječníky tvoří v průběhu menstruačního cyklu pod vlivem hormonů z adenohypofýzy samy hormony: **estrogeny, gestagény a androgeny**. *Estrogeny* v období puberty zabezpečují rozvoj sekundárních pohlavních znaků, v dalším období života ženy zadržují sole a vodu v organismu, urychlují uzavírání růstových štěrbin kostí (proto jsou ženy nižšího vzrůstu v porovnání s muži), snižují vyplavování erythropoetinu, zvyšují krevní srážlivost, snižují hladinu cholesterolu v krvi, podílejí se na tvorbě kostní

matrix včetně ukládání Ca^{2+} a řídí vývoj sexuálního chování a jeho změny během menstruačního cyklu. Hlavním zástupcem gestagenů je *progesteron*, který se tvoří ve žlutém tělisku vaječníku. Jeho hlavní úkol je v průběhu těhotenství. Pokud nedojde k oplození, jeho hladina klesá.

U žen zhruba od 12. do 50. roku života probíhají pravidelné cyklické změny, které lze považovat za periodickou přípravu na oplodnění a otěhotnění. Jedná se o menstruační cyklus. Jeho nejnápadnějším projevem je krvácení z pochvy – tedy menstruace. Délka cyklu je u žen variabilní, v průměru však trvá 28 dní.

Menstruační cyklus

Tento cyklus zahrnuje jednak změny ve vaječnících, ty se označují jako vaječníkový cyklus, a jednak změny v děloze, označující se jako děložní cyklus.

I. vaječníkový cyklus

V první fázi tohoto cyklu dochází vlivem FSH k růstu zárodečného folikulu a v něm tvorba estrogenů. K FSH se později přidá i LH. Jeden z dozrávajících folikulů vytvoří tzv. Graafův folikul (má průměr 1–1,5 cm), který vyčnívá nad povrch vaječníku. Zhruba kolem 14. dne cyklu Graafův folikul praskne a z něho se uvolní vajíčko, které přechází do vejcovodu. Období uvolnění vajíčka, se označuje jako ovulace a fáze ovulační. V místě ve vaječníku, kde se uvolnilo vajíčko, se začne tvořit tzv. žluté tělisko (označuje se jako třetí fáze vaječníku), jehož buňky tvoří především progesteron. Pokud nedojde k oplodnění, žluté tělisko se přemění na tělisko bílé (takovou jizvu) a posléze je zahájen nový vaječníkový cyklus.

2. děložní cyklus

Cyklická tvorba estrogenů a progesteronu vaječníky se projevuje změnami děložní sliznice. Vlivem estrogenů začne narůstat děložní sliznice po její předchozí ztrátě mentruací. Nejvyšší tloušťky (3–4 mm) dosahuje 14. den cyklu. V době ovulace je děložní sliznice v klidu. V další fázi pod vlivem progesteronu se buňky děložní sliznice plní glykogenem a lipidy a dochází k jejímu zvýšenému prokrvení. Sliznice ještě narůstá do výše asi 5–6 mm. V této fázi je sliznice připravena pro uhnízdění (nidaci) oplodněného vajíčka. Pokud k němu nedojde, v důsledku prudkého poklesu estrogenů i progesteronu dochází ke zhoršení prokrvení sliznice a následné menstruaci, tedy odchodu asi 35 ml krve, 35 ml serózní tekutiny a povrchové vrstvy děložní sliznice.

12.1.1 PODNĚT – STIMULUS

Každá změna zevního nebo vnitřního prostředí, která působí na neuron, se nazývá **podnět (stimulus)**. O tom, jak bude tento podnět účinný, rozhoduje jeho kvalita, kvantita, doba trvání a rychlosť změny intenzity podnětu.

1. kvalita podnětu

Podnět může být mechanický, tepelný, elektrický, chemický, osmotický apod. Některé neurony jsou citlivé pouze na určité typy podnětů – například dotykové receptory kůže reagují na deformaci tkáně, tyčinky a čípky sítnice oka reagují na elektromagnetické světelné vlny.

2. kvantita podnětu

Podnět vyvolá vzruch pouze tehdy, pokud dosáhne určité intenzity, která se označuje jako **práh** (prahový podnět). Na podněty podprahové, tedy nižší intenzity, neurony neodpovídají, nadprahové – tedy velmi intenzívni podněty – zvyšují odpověď spíše tím, že zapojují do činnosti další nervové buňky.

3. trvání podnětu

Platí určité pravidlo, že čím je nižší intenzita podnětu, tím déle musí podnět působit, aby vyvolal vzruch.

4. rychlosť změny intenzity

Pro vybavení vzruchu nestačí pouze intenzita sama, ale je důležitá i rychlosť změny této intenzity.

Čím je tkáň *dráždivější*, tím má nižší prahovou intenzitu pro podnět, kratší čas k vyvolání odpovědi a větší schopnost střídat podráždění a útlum.

12.1.2 PODRÁŽDĚNÍ – EXCITACE

Hlavní úlohu při podráždění nervové buňky má nervová membrána a především její iontové kanály, jejichž propustnost pro ionty se mění díky působení podnětu. Odpověď membrány na podnět může být **depolarizace**, tedy zvýšení její propustnosti pro Na^+ , K^+ a Cl^- , nebo **hyperpolarizace**, zvýšení její propustnosti pro K^+ a Cl^- . Depolarizace je spojena se vznikem excitačního (stimulujícího) potenciálu, hyperpolarizace se vznikem inhibičního (tlumícího) potenciálu.

12.1.3 VZRUCH – KLIDOVÝ A AKČNÍ POTENCIÁL

Nervy nejsou „telefonní dráty“, které přenáší podněty pasivně. I když je vedení nervových impulsů velmi rychlé, je o mnoho pomalejší než vedení elektřiny.

Výsledkem působení podráždění nervu je vznik vzruchu a jeho další šíření od místa jeho vzniku směrem axonálním k nervovému zakončení. Vzruchy se v nervových vláknech šíří různou rychlostí, až 120 m.s⁻¹. Vzruch je charakterizován jednak **akčním potenciálem**, tedy změnou elektrického náboje, jednak **iontovými změnami**, což zahrnuje změny propustnosti membrány neuronu pro Na^+ a K^+ .

Klidový membránový potenciál

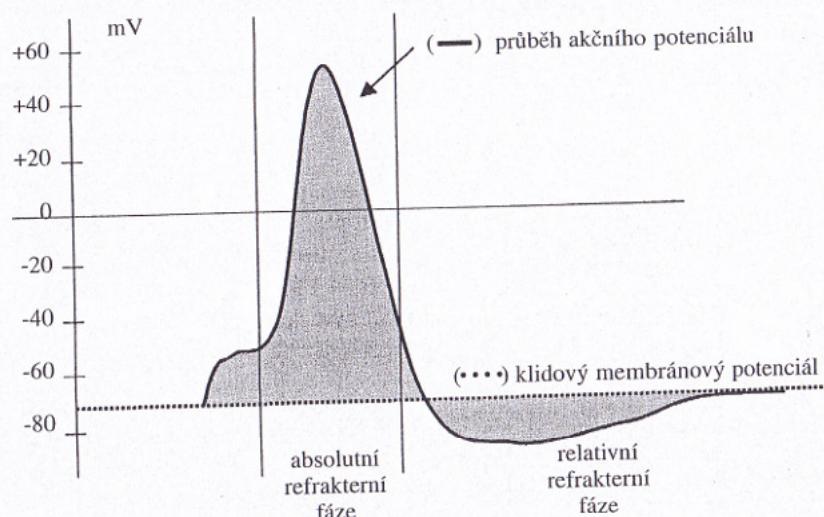
Mezi povrchem a nitrem nervového vlákna je potenciálový rozdíl přibližně -50 až -90 mV. Zdrojem potenciálu jsou ionty, tj. rozdíly koncentrací iontů vně a uvnitř nervového vlákna. Zejména se uplatňují ionty K^+ , Na^+ a Cl^- . Hlavním nitrobenčným kationtem je K^+ (cca 150 mmol.l⁻¹), Na^+ je v buňce zhruba 15 mmol.l⁻¹, a hlavním mimobunčným kationtem je Na^+ (140–150 mmol.l⁻¹) a aniontem Cl^- (125 mmol.l⁻¹), přičemž K^+ je mimo buňky zhruba 5 mmol.l⁻¹.

V klidu nese vnitřní povrch membrány záporný náboj (nitro buňky je „negativní“) a vnější povrch náboj kladný (povrch buňky je „pozitivní“). Udržení klidového potenciálu je vlastností všech živých buněk.

Akční potenciál

V okamžiku průchodu vzruchu se mění klidová rovnováha na membráně nervové buňky. Prvním projevem blížícího se akčního potenciálu je počínající **depolarizace** membrány. Po dosažení spouštěcí úrovni (prahu) se zvýšuje rychlosť změny potenciálu. Depolarizace rychle pokračuje a povrch membrány neuronu se stává dokonce elektronegativní. Dochází tedy k obrácení polarity membrány. Vrchol akčního potenciálu se přiblíží až k +30 až +40 mV. Poté se membránový potenciál rychle navrací ke klidové úrovni, což se označuje jako **repolarizace**.

Obrázek 26
Průběh akčního potenciálu



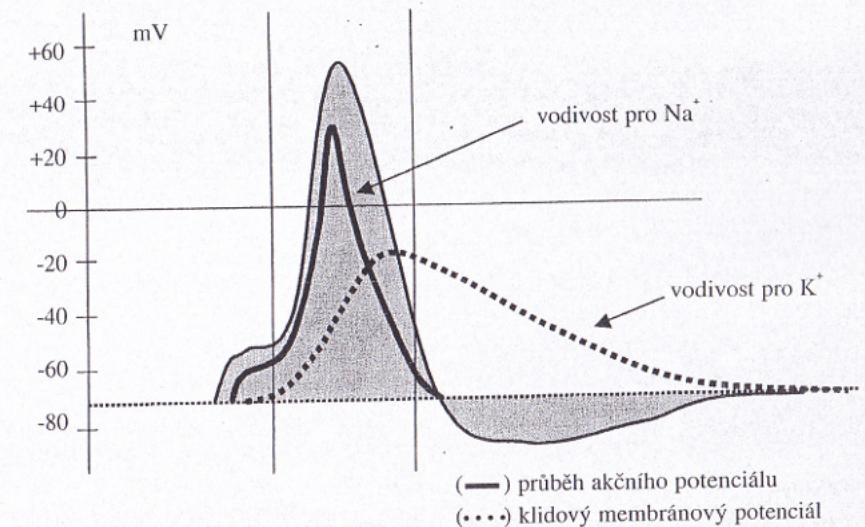
V průběhu akčního potenciálu se mění možnost podráždění buněčné membrány dalším vzruchem. Po dosažení spouštěcí úrovně akčního potenciálu je membrána nedrážditelná – tedy **refrakterní** k další stimulaci. V prvním období akčního potenciálu ani intenzivní stimulace neuronu nevede ke vzniku dalšího akčního potenciálu. Tento stav se nazývá *absolutní refrakterní fáze*. Během dalšího průběhu akčního potenciálu – od konce hrotového potenciálu – je buňka sice schopna reagovat na podnět, ten však musí být mnohem intenzivnější než za normálních podmínek. O tomto období se hovoří jako o *relativní refrakterní fázi*. Základní příčinou nedrážditelnosti nervové membrány jsou změny její propustnosti pro Na^+ a K^+ během akčního potenciálu.

Iontové a elektrické změny v průběhu akčního potenciálu

Na počátku akčního potenciálu začnou pomalu směřovat Na^+ ionty do buňky. Po dosažení spouštěcí úrovně (prahu) dojde k náhlému prudovnímu vzestupu propustnosti buněčné membrány pro Na^+ do buňky, což se projeví **depolarizací**, která vede ke vzniku hrotového potenciálu. Již v průběhu vzestupné části akčního potenciálu se však membránové kanály pro

Na^+ postupně aktivně uzavírají. Dochází k zahájení druhé fáze – **repolarizace**. Ta se projevuje otevíráním membránových kanálů pro K^+ ionty, které opouštějí buňku. Ačkoliv během akčního potenciálu Na^+ vstupuje do nervové buňky a K^+ ji opouští, je počet iontů, jichž se to týká, minimální v porovnání k celkovému počtu v buňce přítomných iontů. Tyto rozdíly by se však při velkém funkčním zatížení neuronu stále zvyšovaly. Proto dochází k obnovení původního rozložení iontů na membráně. Sodíko-draslíkovou pumpou je Na^+ přečerpán z nervového vlákna ven a nahrazen K^+ . Energie pro tento aktivní transport je získána z ATP a hrazena oxidací glukózy. Tento děj však není v přímém vztahu k určitému akčnímu potenciálu.

Obrázek 27
Změny ve vodivosti pro Na^+ a K^+ v průběhu akčního potenciálu

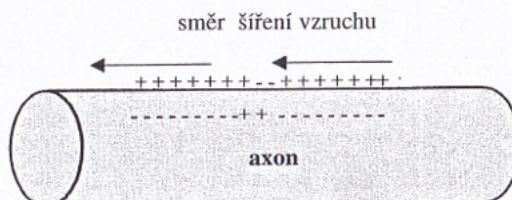


12.1.4 VEDENÍ VZRUCHU

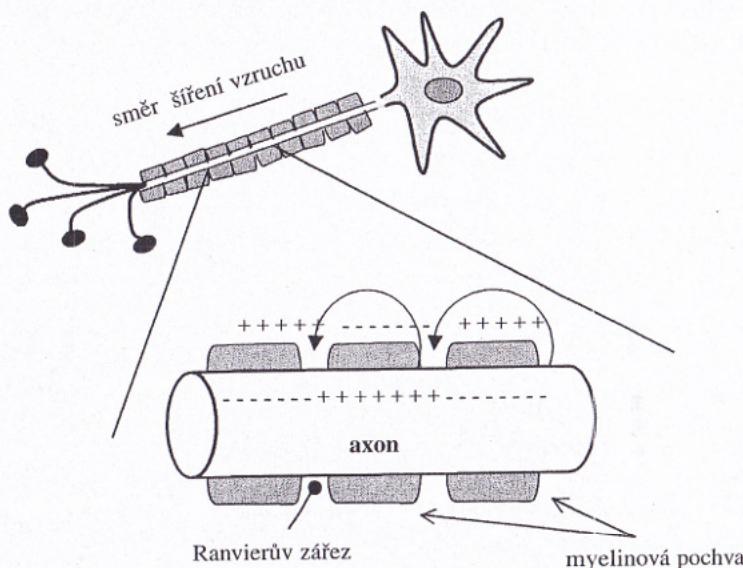
Akční potenciály se šíří především po axonu k nervovému zakončení. Jak již bylo uvedeno, v místě vybavení vzruchu se mění propustnost membrány pro Na^+ a K^+ ionty, které se přesouvají, a mezi zevním a vnitřním povrchem membrány vzniká v okamžiku depolarizace **místní elektrický proud**. Místní proud dráždí sousední úsek axonu, aktivuje zde iontové kanály, čímž

dochází k depolarizaci tohoto úseku a vznuk se začne šířit. Může se šířit pouze jedním směrem, protože místo, ze kterého vznuk původně „přišel“, je v refrakterní fázi. Tako se šíří vznuk axonem, který nemá myelinovou pochvu. U myelinizovaných nervových vlákna dráždí místní proud nervovou membránou až v nejbližším Ranvierově zářezu. Vznuk potom vlastně „přeskakuje“ značné úseky nervového vlákna, čímž se jeho vedení významně zrychluje. Tento typ vedení se označuje jako saltatoriní vedení vznuku.

Obrázek 28
Šíření akčního potenciálu nemyelinizovaným nervovým vláknom



Obrázek 29
Šíření akčního potenciálu myelinizovaným nervovým vláknom



12.2 GLIE

Posud se hovořilo o nervových buňkách – neuronech, které jsou dráždivé. Nervový systém však kromě neuronů obsahuje i gliové buňky – neuroglie, kterých je 10–50krát více než neuronů. Mají podpůrnou funkci (hovoří se o nich jako o „kostře“ nervové tkáně), zajišťují výživu nervových buněk, chrání nervové buňky a fagocytují poškozené neurony. Rozlišují se tyto hlavní typy gliových buněk:

1. **mikroglie**, které jsou úklidovými buňkami
2. **oligodendroglie** – ty obklopují axony a vytvářejí jejich myelinovou pochvu. Podílejí se také na metabolismu neuronů.
3. **astrocyty** mají podpůrnou funkci a zajišťují výživu neuronů

12.3 FUKČNÍ PROJEVY NERVOVÉHO SYSTÉMU

Reflex je zákonitá odpověď organismu na dráždění receptorů, která je zprostředkována centrálním nervovým systémem. Reflexy jsou nezbytným předpokladem k zachování života, protože umožňují adaptaci na změny životních podmínek.

Základní jednotkou reflexu je **reflexní oblouk**, který se skládá z

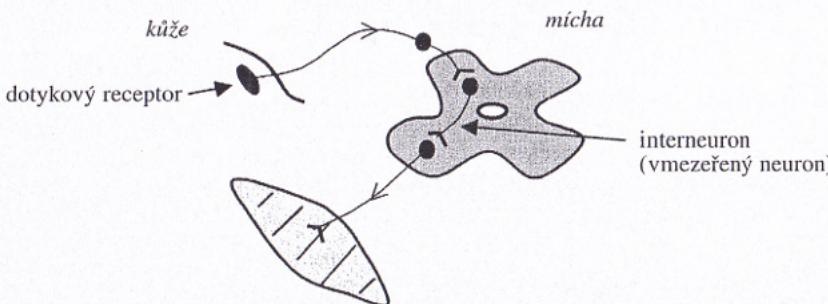
- receptoru (například smyslového orgánu)
- dostředivé dráhy (nervové buňky)
- centrálního nervového systému
- odstředivé dráhy (nervové buňky)
- efektoru – tedy výkonného orgánu

Nejjednodušší reflexní oblouk je tvořen dvěma neurony. Z receptoru, kde vznikl podráždění vznuk, se tento šíří dostředivým nervovým vlákном do centrálního nervového systému, kde se převede přes synapsi na druhý neuron – jeho odstředivé vlákno, které končí v efektoru.

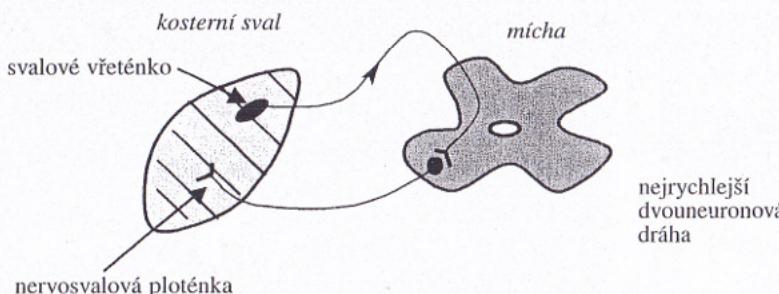
Reflexy se rozdělují podle několika kritérií:

1. dělení podle receptorů
 - a) reflexy exteroceptivní
 - dotykové (kůže, sliznice) teplo chlad, dotyk, (zvní) bolest
 - distanční (na dálku) sluch, zrak
 - b) reflexy interoreceptivní receptory vnitřních orgánů (i vnitřní bolest)
 - c) reflexy proprioreceptivní svalová vřeténka, šlachová tělíska

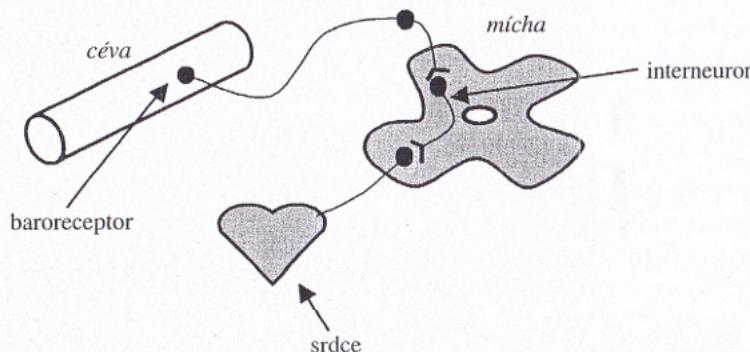
Obrázek 30
Reflexy exteroceptivní



Obrázek 31
Reflexy proprioceptivní



Obrázek 32
Reflexy interoreceptivní



2. dělení podle centra

- reflexy centrální (míšní a mozkové)
- reflexy mimocentrální

3. dělení podle efektoru

- somatické (tělové)
- autonomní (vegetativní)

4. podle podmínek a pevnosti spojení

- nepodmíněné (vrozené)
- podmíněné (získané)

12.4 SYNAPTICKÝ PŘENOS

Jako synapse jsou označovány funkční kontakty mezi membránami dvou buněk, z nichž alespoň jedna je nervová buňka. Prostřednictvím synapsí je zprostředkován především přenos nervových vznichů. Podle toho, kam se přenáší vznich z nervové buňky, jsou známy synapse nervo-nervové, nereoefektorové a nervo-receptorové. U synapsí nervo-nervových se přenáší vznich z nervu na nerv, u nereoefektorových z nervu například na kosterní sval a u nereo-receptorových z nervu na receptor.

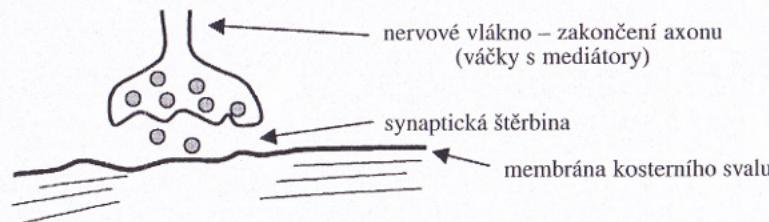
Podle toho, jak je podnět přenášen synapsí, se tyto rozdělují na **chemické synapse** a **elektrické synapse**.

a) Chemické synapse

V případě, že synaptický přenos je zprostředkován chemickou cestou prostřednictvím **mediátoru** (= transmitemu), hovoří se o synapsi chemické. Synapsi tvoří dva základní útvary – presynaptický a postsynaptický, které jsou od sebe odděleny synaptickou štěrbinou. *Presynaptickou část* tvoří vakovité rozšíření axonu, které kromě základních buněčných organel (především mitochondrií) obsahuje *synaptické váčky* se specifickým mediátorem. Poté co vznich dosáhne této presynaptické části se z váčků uvolní *mediátor* do synaptické štěrbiny. Mediátor se váže na receptory, které se nalézají na membráně *postsynaptického útvaru*. Výsledkem je změna propustnosti postsynaptické buněčné membrány pro určité ionty. Zvýšení propustnosti pro Na^+ ionty vede k depolarizaci, která charakterizuje tzv. **excitační (vzrušivou) synapsi**. Jestliže však navázání mediátoru na receptory postsynaptické části se projeví zvýšením propustnosti pro Cl^- a K^+ ionty,

nastává hyperpolarizace, což se označuje jako **inhibiční (tlumivá) synapse**. Podle účinku se také mediátory dělí na excitační a inhibiční.

Obrázek 33
Nervosvalové spojení (= nervosvalová ploténka)



Tabulka 16
Vybrané mediátory (neurotransmitery) nervového systému

Mediátor	Místo působení
acetylcholin	nervosvalové spojení mnoho částí mozku zakončení parasympatiku
aminy	
dopamin	hypothalamus mozková kůra zakončení sympatiku mozková kůra hypothalamus mozkový kmen mozeček mícha
noradrenalin	
adrenalin	hypothalamus thalamus mícha
serotonin	hypothalamus limbický systém mozeček mícha
excitační aminokyseliny	
glutamát	mozková kůra mozkový kmen mícha
aspartát	

(pokračování tabulky na straně 95)

Mediátor	Místo působení
inhibiční aminokyseliny	glycin kyselina gama-aminomáselná (GABA)

b) Elektrické synapse

Elektrické synapse umožňují velmi rychlý přenos vztahu mezi nervovými buňkami. Podmínkou ale je, aby vzdálenost mezi membránami byla asi 2 nm. U savců se tento typ synapsí objevuje ojediněle.

13. FYZIOLOGIE SVALŮ

V buňkách svalů, podobně jako v nervových buňkách, může elektrické, chemické či mechanické podráždění vyvolat vznik akčního potenciálu, který se pak po jejich buněčných membránách dál šíří. Tato **excitace**, tedy šíření akčního potenciálu svalem, je delší v porovnání s nervovou tkání. Na rozdíl od neuronů mají svalové buňky schopnost se stahovat (nazývá se **kontraktilita**), což je aktivováno právě akčním potenciálem. Funkčně neméně důležitá je i po kontraksi svalu jeho následné ochabnutí – **relaxace**.

Obecně se svaly dělí na tři typy: kosterní, srdeční a hladké. Největší skupinou jsou kosterní svaly, které mají příčné pruhování, nemohou se normálně kontrahovat bez nervového podnětu a jsou řízeny vůlí. Srdeční sval je také příčně pruhovaný, ale je soubuním, které je schopno se stahovat i bez nervového podnětu, neboť má své spontánně se aktivující buňky. Hladkému svalu příčné pruhování chybí a jeho řízení je jak nervové, tak některé svaly obsahují podobně jako srdeční sval své pacemakery.

13.1 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY HLAĐKÉHO, SRDEČNÍHO A KOSTERNÍHO SVALU

a) hladké svaly

- jsou *bez žihání*,
- funkčně tvoří tzv. *soubuní* (můstky) = vzájemné spojení svalových buněk
- *pomalu se stahují*, kontrakce však přetrvávají déle
- mají *nižší dráždivost*
- v hladké svalovině některých orgánů (např. žaludku) jsou speciální *pacemakerové buňky*, které rytmicky vytvářejí akční potenciály, čímž

udržují napětí hladkého svalstva (nejsou však ve svalovině tepének, duhovky a dalších systémů)

- hladké svalstvo má *velkou rotažnost* – prodloužení svalových buněk může být až desetinásobné (například děloha v průběhu těhotenství, či močový měchýř při jeho postupném plnění močí) – i *velkou plastičnost* (podle různě se zvětšujícího objemu dutého orgánu – například části zažívacího traktu)
- jsou řízeny vegetativním nervovým systémem, humorálně, reagují i na mechanické podněty a některé jsou schopny i zcela autonomní (samo-statné) aktivity

b) srdeční sval

- má *žíhání*, anatomicky jde o soubuní
- provádí *rychlejší stah*
- má *vyšší drádivost*
- má *pacemakerové buňky* udávající vlastní podněty (jsou součástí automatického převodního systému srdce)
- je řízen nervově (vegetativní nervový systém – sympathikus a parasympatikus) a humorálně (adrenalin, noradrenalin, glukagon, hormony štítné žlázy, prostaglandin E)

c) kosterní svaly

- mají *žíhání*
- strukturně tvoří *vlákna* (bez spojů – můstků)
- vlákna jsou od sebe *oddělena vazivem*
- charakteristický pro ně je *rychlý stah*
- svalová kontrakce je řízena motoneurony míšních a hlavových nervů (pyramidová a mimopyramidová dráha)

13.2 HLADKÝ SVAL

Hladký sval se od srdečního a kosterního svalu liší tím, že nemá příčné pruhování. Při kontraci hladkého svalu se také uplatňují aktin a myozin, ale jejich uspořádání není tak pravidelné jako v kosterním a srdečním svalu. Proto nevzniká proužkování. Hladké svaly se dělí na **útrobní hladký sval** a **vícejednotkový sval**. Útrobní hladký sval, který se vyskytuje především ve stěnách dutých vnitřních orgánů (svalovina střev, dělohy, močovodu),

se vyskytuje ve velkých svalových vrstvách. Vícejednotkový hladký sval je tvořen samostatnými jednotkami a je ve strukturách, kde se uskutečňují jemné kontrakce (například v duhovce oka).

Útrobní hladký sval a jeho aktivita

Útrobní hladký sval má malou stabilitu svého membránového potenciálu a má stálé, nepravidelné kontrakce, které jsou nezávislé na nervových vlivech. Tento trvalý stav částečné kontrakce se nazývá **tonus** nebo napětí.

Na vzniku kontrakce hladkých svalů se podílí Ca^{2+} stejně, jako u kosterního svalu. Většina aktivit souvisejících se svalovou kontrakcí je u hladkého svalu podstatně pomalejší v porovnání s kosterním svalem. Proto kontrakce nastupuje pomaleji a trvá déle. Hladké svalstvo se vyznačuje i velkou rotažností, prodloužení svalových buněk může být až desetinásobné (děloha, močový měchýř). Současně má i velkou plastičnost. Aktivita hladkého svalstva je řízena nervově a humorálně.

13.3 SRDEČNÍ SVAL

Pruhování srdečního svalu je podobné pruhování kosterních svalů. Obsahuje jako kosterní sval aktin, myosin, tropomyosin a troponin. Srdeční svalová vlákna se větví a znova spojují, ale každé tvoří úplnou jednotku obklopenou buněčnou membránou.

Klidový membránový a akční potenciál

Klidový membránový potenciál je kolem -90 mV (vnitřek svalové buňky je negativní proti okolí). Dráždění vyvolá šíření akčního potenciálu, který odpovídá za zahájení kontrakce. Stejně jako v ostatních vzrušivých tkáních změny mimobuněčné koncentrace K^+ ovlivňují klidový membránový potenciál srdečního svalu, zatímco změny vnější koncentrace Na^+ ovlivňují velikost akčního potenciálu.

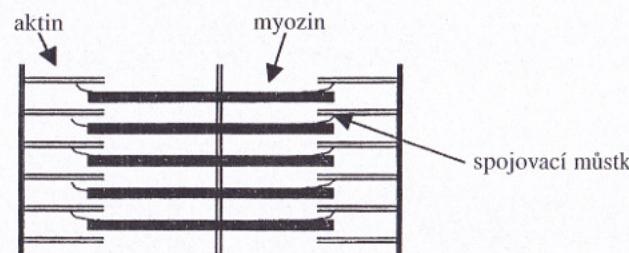
13.4 KOSTERNÍ SVAL

Kosterní svalovina tvoří 36–40 % tělesné hmotnosti. Většina kosterních svalů začíná a končí ve šlachách. Stavebními jednotkami jsou jednotlivá svalová vlákna. Každé **svalové vlákno** obsahuje mnoho buněčných jader, je

dlouhé a skládá se z **myofibril**, které se dají rozdělit na jednotlivá **filamenta**. Samotná filamenta se skládají z **kontraktilních bílkovin** – aktinu a myozinu. **Příčné pruhování** svalu je dáno rozdílnou lomivostí světla v různých částech svalového vlákna. Je tvořeno pravidelně se střídajícími úseky tenkých a silných filament aktinu a myzinu.

Základním „motorem“ svalů je **sarkoméra**, obsahující především kontraktilní bílkoviny aktin, myozin a tropomyozin-troponin, ale i další bílkoviny – například myoglobin, který přenáší kyslík ve svalech.

Obrázek 34
Sarkoméra v klidu



13.4.1 VZTAH MEZI PODRÁŽDĚNÍM A NÁSLEDNOU KONTRAKCÍ SVALU

Vlákna kosterního svalu jsou přímo řízena nervovým systémem. Axony míšních nervů, vyvolávajících svalovou kontrakci, **motoneuronů**, vytvářejí spolu se sarkolem svalového vlákna **nervosvalovou ploténku**, která se v mnohem podobá chemickým synapsím v centrálním nervovém systému.

13.4.2 ELEKTRICKÁ A IONTOVÁ CHARAKTERISTIKA KOSTERNÍHO SVALU

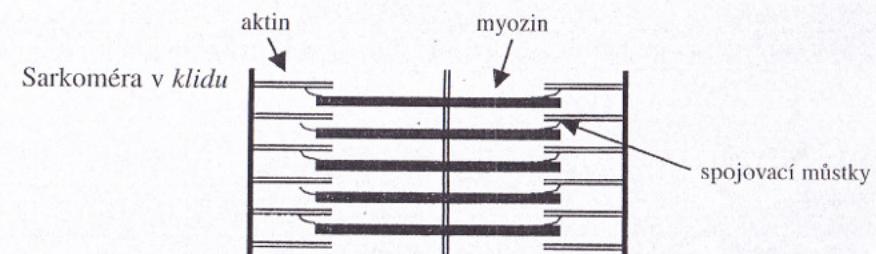
Elektrické jevy v kosterních svalech a přesuny iontů, které jsou jejich podkladem, se podobají stejným jevům probíhajícím v nervu. Klidový membránový potenciál kosterního svalu se pohybuje okolo -90 mV . Jeho akční potenciál trvá 2–4 ms a je veden ve svalovém vlákně rychlostí 5 m.s^{-1} .

Rozložení iontů na membránách svalových vláken je podobné jako na membránách nervových buněk. Podobně jako u nervů je depolarizace projevem vstupu Na^+ a repolarizace výstupu K^+ z buněk.

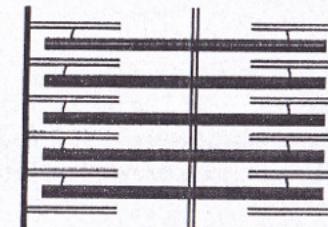
13.4.3 MOLEKULÁRNÍ PODSTATA SVALOVÉ KONTRAKCE

Nejčastěji přijímaná teorie modelu svalové kontrakce hovoří o tzv. modelu „klouzajících filament“ (aktinu a myozinu). Základní funkční jednotkou svalové buňky je **sarkoméra**, jejíž změna v délce se projeví i změnou délky svalového vlákna. Tento proces je vlastně klouzáním tenkých vláken po tlustých. Dochází tak k postupnému zkracování sarkoméry. Změny délky sarkomér se v myofibrile sčítají a výsledkem je změna délky – tedy zkrácení svalového vlákna.

Obrázek 35
Délka sarkoméry klidové a kontrahované



Sarkoméra kontrahovaná



V klidu je na „hlavách“ myozinu navázán ATP. Když se zvýší hladina nitrobuněčného Ca^{2+} (například po přestupe podnětu na nervosvalové ploténce), dojde díky následným reakcím k odhalení vazebních míst na aktinu, která se ihned spojí s hlavami myozinu. Tento tzv. aktomyozinový komplex rozloží za přítomnosti Mg^{2+} ATP na ADP a P (fosfát). Při této reakci uvolněná energie je přenesena do ohýbu „krčku“ a vzájemného posunu vláken. Poté se na vazebné místo na „hlavě“ myozinu naváže nový ATP, což vede k rozpojení aktomyozinového komplexu a narovnání „hlaviček“ myozinu. Celý cyklus se může opakovat.

Děj se podobá činnosti veslice (vlákno myozinu), kdy se vesla (hlavy myozinu) opřou o vodu (aktin) a tahem veslařů mění úhel k lodi a tím způsobí pohyb.

Jednotlivé kroky **svalové kontrakce** probíhají následovně:

- Aktivace nervosvalové ploténky se projeví zvýšenou vodivostí membrány ploténky pro Na^+ a K^+ .
- Tím vzniká ploténkový potenciál.
- Následuje vznik akčního potenciálu ve svalovém vlákně.
- Dochází k uvolnění Ca^{2+} ze sarkoplazmatického retikula ve svalovém vlákně, které přechází k silným a tenkým vláknům (myozinu a aktinu).
- Postupně dochází ke klouzání tenkých vláken po silných a tím ke zkrácení sarkoméry.

Podobně probíhají i kroky **svalové relaxace**:

- Ca^{2+} je zpětně přeneseno do sarkoplazmatického retikula.
- Nastává přerušení vazby mezi aktinem a myozinem.

13.4.4 TYPY SVALOVÝCH KONTRAKCÍ

Sval se může stahovat **izotonicky**, kdy na sval působí stálá zátěž. Konce svalů se přibližují – mění se jeho délka, ale ve svalu přetrvává stejně napětí. Pokud sval vyvíjí sílu, ale nemůže se kontrahovat (příkladem může být pokus o zvednutí příliš těžkého břemene), hovoří se o **izometrické kontraksi**. Narůstá-li síla a sval se současně zkracuje (například při hodu), hovoří se o **auxotonické kontrakci**.

Klidové napětí svalového vlákna (označuje se často jako reflexní) je způsobeno akčními potenciály svalových vláken a je dáno i elastickými vlastnostmi svalu.

13.4.5 ZDROJE ENERGIE A METABOLISMUS KOSTERNÍHO SVALU

Stah svalu vyžaduje energii. Přímým zdrojem energie jsou energeticky bohaté organické sloučeniny fosfátu obsažené ve svalu (ATP, CP – označují se jako makroergní fosfáty), které jsou konečným produktem především metabolismu sacharidů a tuků (makroergních substrátů).

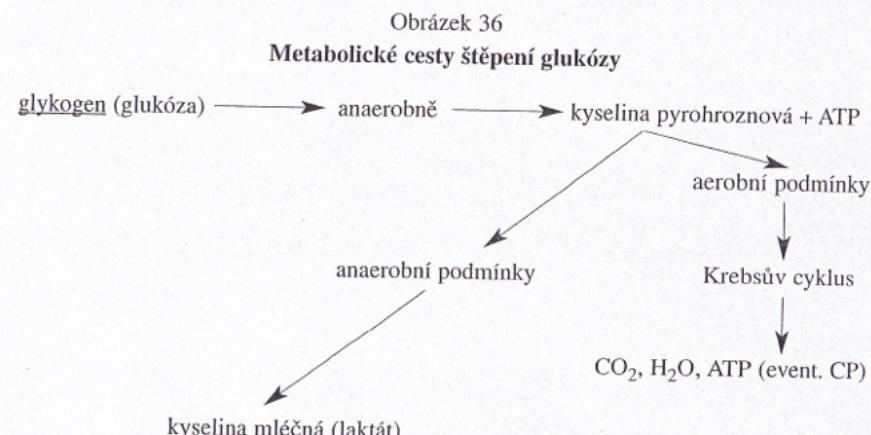
Tabulka 17
Energetické zdroje kosterního svalu

makroergní fosfáty	ATP, CP
makroergní substráty	glykogen, glukóza mastné kyseliny (MK) triacylglyceroly (TRG) aminokyseliny (AMK)

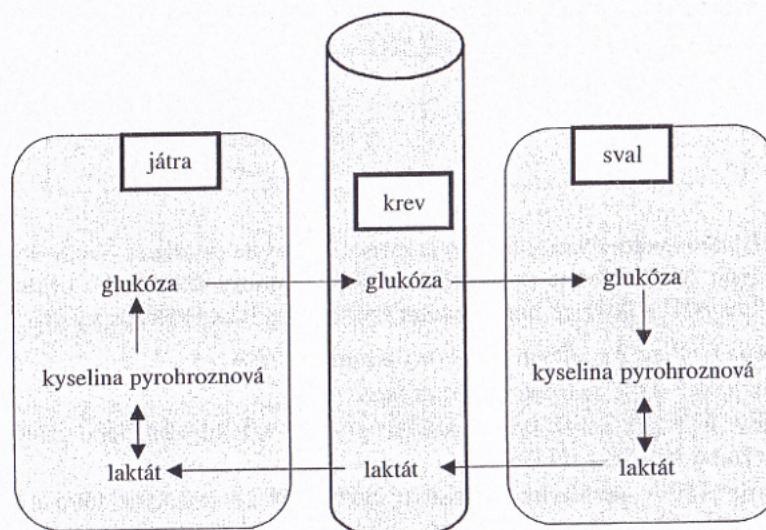
Podstatou svalové kontrakce je enzymová aktivita myozinu – tedy schopnost štěpit ATP. Energie potřebná k funkční činnosti kosterního svalu pro resyntézu ATP z ADP je poskytována čtyřmi typy reakčních procesů:

1. tvorba ATP ze 2 molekul ADP (*myokinázová reakce*)
2. tvorba ATP z CP (*Lohmannova reakce*)
3. tvorba ATP při anaerobní glykolýze glycidů (glykogenu nebo glukózy) za vzniku kyseliny mléčné
4. tvorba ATP v aerobním Krebsově cyklu (též se označuje jako cyklus kyseliny citronové) z glykogenu, glukózy, lipidů a aminokyselin, kde konečnými produkty jsou H_2O a CO_2

Zásoba ATP ve svalu je poměrně malá. Při práci je kreatinfosfát doplnován převážně (ze 3/4) odbouráváním volných mastných kyselin z krve. Při krátkodobých výkonech je naopak nejdůležitějším zdrojem glukóza, při extrémních nárocích začíná sval využívat vlastní glykogen.



Obrázek 37
Coriho cyklus (= laktátový cyklus)



Laktát vytvořený při oxidaci glukózy v kosterním svalu a červených krvinkách je přenášen krví do jater a ledvin, kde se z něho částečně opět tvoří glukóza, která je cestou krevního oběhu opět použitelná k oxidaci ve tkáních.

13.4.6 TYPY SVALOVÝCH VLÁKEN KOSTERNÍHO SVALU

Rozlišují se tři typy svalových vláken, které odrážejí funkčně-metabolické vlastnosti motorických jednotek. Jsou zastoupeny v různém poměru v každém kosterním svalu.

Jednotlivé typy svalových vláken se rozlišují podle aktivity myozinové ATP-ázy na:

1. červené vlákno odolné k unavitelnosti

(označuje se také jako typ I, nebo typ SO – pomalé oxidativní vlákno)

2. červené vlákno odolné k unavitelnosti – přechodné

(označuje se také jako IIa, nebo typ FOG – rychlé oxidativně glykolytické vlákno)

3. unavitelné bílé vlákno

(označuje se také jako typ IIb, nebo jako FG – rychlé glykolytické vlákno)

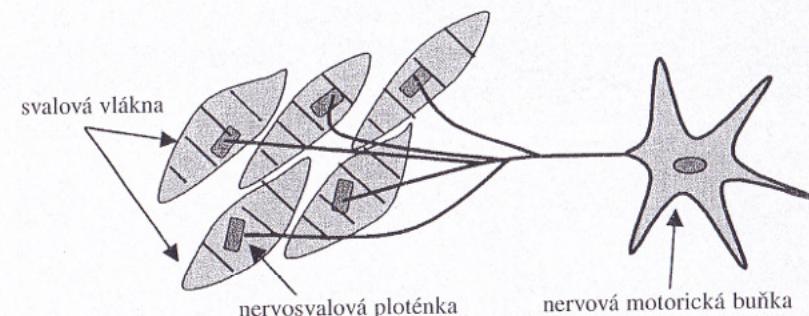
Tabulka 18
Typy svalových vláken kosterního svalu a jejich charakteristika

Ukazatelé	Typ svalových vláken		
	červené I SO	přechodné IIa FOG	bílé IIb FG
Zdroje energie	cukry, tuky	ATP, CP, cukry	ATP, CP
Metabolismus	štěpení za aerobních podmínek	štěpení cukrů za anaerobních podmínek	štěpení za anaerobních podmínek
Unavitelnost	malá	střední	vysoká
Lokalizace	posturální tonické svaly	fázické svaly	fázické svaly
Tendence k ...	ochabování	zkracování	zkracování

13.4.7 ŘÍZENÍ ČINNOSTI SVALU

Svalová kontrakce je řízena motoneurony mísňích a hlavových nervů. Axony mísňích motorických neuronů přicházejících do kosterního svalu inervují současně několik svalových vláken. Každý jednotlivý motoneuron a svalová vlákna jím inervovaná tvoří **motorickou jednotku**. Počet svalových vláken v motorické jednotce je rozdílný. U svalů ruky nebo jiných svalů vykonávajících jemné a přesné pohyby, je v motorické jednotce 3–6 svalových vláken. Naopak nejvíce svalových vláken v motorické jednotce je u člověka v zádových svalech – i více jak 165 vláken na jeden neuron.

Obrázek 38
Motorická jednotka



Činnost kosterního svalstva je řízena jako jediný funkční celek. Základem veškeré hybnosti je svalové napětí, které je zajišťováno činností páteřní míchy. Na svalovém napětí je vybudován systém postojových a vzpřimovacích reflexů (= **opěrná motorika**), kdy se řízení účastní i další části nervového systému (retikulární formace, statokineticke čidlo a mozeček). Motorický systém polohy je pak základem složité soustavy úmyslných pohybů (= **cílená motorika**), které jsou řízeny mozkovou kůrou, bazálními ganglia a mozečkem.

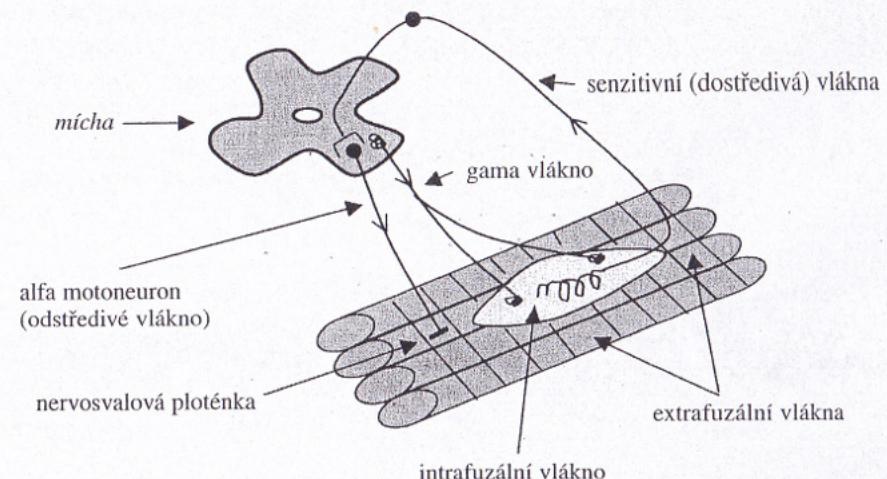
a) opěrná motorika

Zajišťování polohy těla nebo jeho částí je reflexní činnost. Prvotně je řízeno hybnými centry mozkového kmene prostřednictvím koordinace polohových, postojových a vzpřimovacích reflexů.

- Mícha zajišťuje **reflexní odpovědi proprioceptivní**, které začínají i končí v témže svalu. Receptory jsou svalová vřeténka a šlachová tělíška. **Svalová vřeténka** jsou uložena ve svalu a reagují na jeho protažení. Čím více je sval protažen, tím více svalových vřetének se dráždí, při zkrácení svalu dráždivost svalových vřetének naopak klesá. Vřeténka zajišťují pro týž sval zpětnou vazbu, která informuje i o jeho pohybu. **Šlachová tělíška** se aktivují při napnutí šlachy za svalové kontrakce, nebo zvýšením svalového napětí. Informace z těchto tělísek chrání sval i šlachu před přetížením.

- Inrafuzální vlákna** svalových vřetének mají svou vlastní motorickou inervaci, jež je zprostředkována **gama-motoneurony**. Tyto nervové buňky umožňují jednak při svalové kontraksi současné zkracování svalových vřetének a tím zachování jejich dráždivosti při nové výchozí délce svalu, jednak vyvolávají kontrakci svalu na podněty přímo z gama-motoneuronů. Tento systém se uplatňuje při řízení napětí antigravitačních svalů a při posturálních reflexech.

Obrazek 39
Svalové vřeténko



- Při každém pohybu musí být dokonalá souhra mezi jednotlivými svalovými skupinami. Aby byl uskutečněn koordinovaný pohyb, musí se při stahu svalových agonistů (synergistů) současně tlumit napětí jejich antagonistů. Tento útlum se označuje jako **reciproční inervace** a je řízen především činností míšních interneuronů. Tento reflexní děj je základním prvkem lokomoce, kdy flexe jedné končetiny je provázena současnou extenzí končetiny druhé. Například při chůzi se pravidelně střídá flexe jedné končetiny s extenzí končetiny protilehlé.
- Všechny nervové vlivy, vyvolávající svalovou kontrakci, se uplatňují prostřednictvím **alfa-motoneuronů**, které začínají v páteřní míše synaptickým napojením na pyramidovou dráhu a končí v nervosvalové ploténce. Velké alfa-motoneurony vedou rychleji vzruch a inervují rychlá svalová vlákna s dobou stahu trvající 30–40 ms. Malé alfa-motoneurony vedou vzruch pomaleji a zásobují pomalá svalová vlákna s dobou stahu 80–90 ms.
- Na řízení opěrné motoriky se dále podílí **retikulární formace** (součást mozkového kmene), která má význam pro udržení vzpřímeného postoje a polohy těla, a mozeček, zabezpečující jak mimovolní tak úmyslné pohyby.

b) Cílená motorika

Cílené úmyslné pohyby jsou u člověka základním předpokladem všech společenských funkcí, jakými je řeč a práce – tedy dorozumívání se, sdělování si zkušeností či aktivní zásahy do zevního prostředí. Protože se jedná o úmyslnou činnost, hovoří se o úmyslných pohybech jako o „volní“ činnosti. Na řízení této motoriky se podílí především bazální ganglia, mozeček a mozková kůra.

- **Bazální ganglia**, což jsou podkorové útvary, mají obecně tlumivý vliv na motoriku, dále se pravděpodobně účastní programování pomalých a ustálených pohybů a zřejmě umožňují svými spoji s motivačními, emočními a paměťovými centry mozku přístup k motorickým mechanismům chování.
- **Mozeček** má vztah ke třem základním svalovým funkcím: k řízení svalového napětí, k postojovým reflexům a k úmyslným pohybům. Upravující činnost mozečku má základní význam pro plynulé, cílené a přiměřené vykonávání každého úmyslného pohybu. Jeho činnost je nezbytná pro přesné určení směru, délky a trvání pohybu i pro řízení jeho intenzity – tedy síly, s jakou je pohyb vykonáván.
- Úmyslné pohyby jsou řízeny komplexně nervovou soustavou, kde hlavní postavení v konečné integraci má **mozková kůra**. V ní vznikají cílené, volní, úmyslné pohyby. Bez činnosti mozkové kůry by nebyl možný úmyslný pohyb, bez nižších oblastí mozku jeho přesné a jemné řízení. Mezi mozkovou kůrou a páteřní míchou zajišťuje spojení **pyramidová dráha**, která začíná v motorické oblasti mozkové kůry (gyrus precentralis) a končí synaptickým přepojením na alfa-motoneuronech v páteřní míše. Tato dráha řídí pohyby fázické rychlé a přesné. Z mozkové kůry ale vychází také další systém – **mimopyramidový systém** – který není napojen přímo na alfa-motoneurony v páteřní míše, ale nejdříve směruje k bazálním gangliím, talamu, střednímu mozku, mostu a retikulární formaci mozkového kmene. Pohyby řízené tímto systémem jsou hrubé, pomalé a tonické. Dále zajišťuje mimopyramidový systém složité pohyby, které mají vztah k udržování vzpřímeného postoje. Dá se říci, že zajišťuje vlastně souhru úmyslných a neúmyslných pohybů.

14. KOSTI

Kost je zvláštní formou pojivové tkáně. Je tvořena organickou složkou (30 %), anorganickými minerály (45 %) a vodou (25 %). Pro svůj vysoký obsah Ca²⁺ a fosfátů hrají kosti důležitou roli při udržení jejich homeostázy. Kosti chrání životně důležité orgány a jejich tuhost umožňuje pohyb a zvedání břemen proti gravitaci. Kost je živá tkáň, která se stále odbourává i novotvoří současně. To umožňuje kostem reagovat na zatížení a námahu v průběhu života. Kosti jsou významně prokrveny, za minutu proteče kostmi 200–400 ml krve.

Většina kostí se skládá ze zevní vrstvy – **kompaktní kosti** (v těle je asi 75 % kompaktní kostní tkáně), která obklopuje **trabekulární kost** (asi 25 % kosti má trabekulární strukturu) a **dutinu pro kostní dřen**. V trabekulární kosti, která tvoří kostní trámce, difundují živiny z kostní mimobuněčné tekutiny do trabekul. Kompaktní kost je mnohem hutnější a je méně metabolicky aktivní. Přísun živin sem zajišťují kanálky, které obsahují krevní cévy.

14.1 KOSTNÍ BUŇKY

Kostními buňkami zajišťující tvorbu a resorpci kosti jsou osteoblasty, osteocyty a osteoklasty.

Osteoblasty jsou kostní buňky tvořící kostní matrix (základem je kolagen), do které se pak ukládají anorganické minerály. Když se tyto osteoblasty obklopí kalcifikovanou matrix, označují se jako **osteocyty**. Z nich vybíhají výběžky do rozvětvených kanálků v kosti a spojují se s výběžky jiných osteocytů. **Osteoklasty** naopak „narušují“ a resorbují dříve vytvořenou kost. Systém odbourávání a novotvoření kosti probíhá vždy jen v malém úseku kosti tak, aby činnost kosti nebyla narušena nebo ohrožena.

14.2 RŮST KOSTÍ

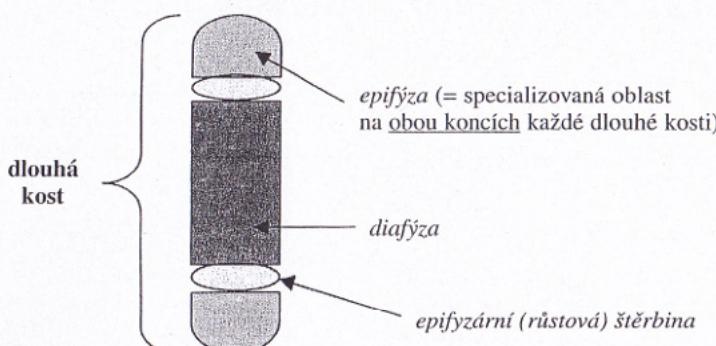
Kosti lebky se tvoří osifikací membrán.

Dlouhé kosti se nejprve modelují z chrupavek a pak se přemění na kost osifikací. Ta začíná na diafýze a na koncích kosti. Během růstu se od diafýzy u budoucích dlouhých kostí oddělí destičkou na jejím konci specializované oblasti (epifýzy). Destička, což je chrupavka zajišťující růst kosti, se označuje jako růstová (epifyzární) štěrbina. Díky její aktivitě se kost prodlužuje na konci. Lineární růst kosti probíhá jen do té doby, dokud jsou od sebe odděleny diafýza a epifýzy. Konečný uzávěr epifyzárních štěbin a tím dokončení růstu kostí probíhá až po pubertě.

14.3 TVORBA A RESORPCE KOSTÍ

Během života se kost stále odbourává a tvoří se nová. Vápník v kostech se obměňuje rychlostí 100 % za rok u novorozenec a 18 % za rok u dospělých. Remodelování kostí probíhá v malých oblastech kosti, v nichž osteoklasty nejprve absorbuje kost a poté osteoblasty uloží v téže oblasti kost novou. Tímto procesem prochází v lidském skeletu v každém okamžiku asi 5 % kostní masy. Obnovení kosti probíhá rychlosť 4 % za rok v kompaktních kostech a 20 % za rok v kostech trabekulárních. Tento proces je velmi složitě řízen růstovými faktory spolu s růstovým hormonem. Remodelace kostí je také ovlivněna fyzickou námahou a tlaky, kterými na kosti působí i gravitace.

Obrázek 40
Části dlouhé kosti v průběhu jejího růstu



15. SENZORIZICKÉ FUNKCE

Smyslové (senzorické) vjemy jsou nejjednoduššími prvky smyslové zkušenosti. Pokud jich je najednou vyvoláno více, vede to ke **smyslovému počítku**. Jejich interpretace pomocí paměti vytváří vjem.

Podle jednotlivých senzorů – smyslových receptorů, se smysly dělí na :

- **exterosenzory**, které přijímají podnět z prostředí. Radí se sem pět základních „klasických“ smyslů: zrak, sluch, čich, chuť a hmat.
- **propriosenzory**, které registrují polohu a pohyb lidského těla. Lze sem zařadit svalová vřeténka a šlachová tělíska a dále senzory orgánů rovnováhy.
- **enterosenzory**, které registrují mechanické a chemické podněty. Patří sem *barosenzory*, které registrují změny krevního tlaku v karotickém tělisku, a *chemosenzory*, které měří napětí uhličitanů a kyselin. Dráždění těchto enterosenzorů vede ke všeobecným počítkům, jakými je hlad či žízeň.

Působí-li podnět stejně intenzity na receptor déle, dochází k adaptaci na tento podnět.

15.1 SOMATOVISCERÁLNÍ CITLIVOST

K somatoviscerální citlivosti se řadí **kožní citlivost**, **hluboká citlivost** a **vnímání bolesti** v celém organismu. Tento typ citlivosti je zprostředkován rozptýlenými receptory, není tedy soustředěn do jednoho kompaktního orgánu. Výsledkem je vjem kvality a intenzity podnětu, který lze lokalizovat. Kožní vjem mají silný emocionální přízvuk.

15.1.1 KOŽNÍ SMYSLY

V kůži a podkoží jsou uloženy receptory, reagující na mechanické, tepelné a bolestivé podněty. Leží především kolem citlivých bodů, přičemž na 1 cm² kůže se nalézají v průměru 2 receptory pro teplo, 13 pro chlad, 25 dotykových a 200 pro bolest.

- mechanorecepce

K mechanorecepci patří vnímání dotyku či tlaku, vibrací a lechtání. Zprostředkují ji mechanoreceptory různého typu a funkce, vnímání rychlejších vibrací zajišťují Vater-Paciniho tělska, pomalejších vibrací Meissnerova tělska a lechtání volná zakončení nemyelinizovaných nervových vláken.

- termorecepce

Termoreceptory kůže zprostředkují vnímání teplotních změn a behaviozární a autonomní reakce, které se podílejí na regulaci tělesné teploty. Při termoregulaci působí i termoreceptory v útrobách a centrálním nervovém systému. Ty se však nepodílejí na vědomém vnímání teploty.

Kožní vnímání změn teplot zahrnuje dvě kvality: vnímání tepla a vnímání chladu. Doba k vybavení pocitu chladu je kratší v porovnání s pocitem tepla. U člověka leží chladové receptory v epidermis a těsně pod ní, tedy v povrchních vrstvách kůže, zatímco tepelné receptory v horní a střední škáře, což jsou hlubší vrstvy kůže. Kožní termoreceptory registrují nejen tepelné změny zevního prostředí, ale i okolních tkání.

- bolest

Bolest je nepříjemný vjem, který upozorňuje na hrozící nebo probíhající poruchu jednotnosti organismu škodlivými podněty. Proto má ochrannou funkci. Kromě vlastního vjemu bolesti se při něm uplatňuje i složka afektivní či emocionální, složka vegetativní a motorická.

Bolest se dělí na :

- **somatickou**, která je povrchní (z oblasti kůže a sliznic)
- **hlubokou**, vycházející z kloubů, svalů a pojiva.

15.1.2 HLUBOKÁ CITLIVOST – PROPRIORECEPCE

Rozlišují se tři kvality propiorecepce:

1. **polohový smysl**, který informuje o vzájemné poloze částí těla a postavení kloubů
2. **pohybový smysl** kóduje jejich pohyby a rozsah a rychlosť pohybu v kloubech
3. **silový smysl** umožní odhad svalové síly a odporu během konaného pohybu

Tyto funkce zajišťují svalová vřeténka, které zpětně informují o délce svalových vláken, Golgiho šlachová tělska, podávající zprávu o napětí ve šlachách, a dále mechanoreceptory v kůži nad klouby a v pojivu kolem kloubů a částečně i kloubní receptory.

Z nich vystupují senzorická dostředivá nervová vlákna vstupující zadními kořeny do míchy, přičemž zadní kořen inervuje vždy určitou část kůže. Na některých nervových buňkách mohou konvergovat vlákna z kůže a útrob, takže bolest z určitého vnitřního orgánu se může přenášet na určitou část povrchu těla (tzv. přenesená bolest). Dráha zadních provazců mísňích se postupně přepojuje až do mozkové kůry, kde je oblast jemného taktilelního čítí (dotyk, tlak, pomalé a rychlé vibrace) a propiorecepce. Dráha spino-talamická, která vede do talamu a dále do somatosenzorické kůry mozku, slouží ke vnímání bolesti (její lokalizaci) a změn teploty, částečně i taktilelního čítí a kloubního smyslu. Část druh vedoucích také do talamu zprostředkuje vnímání nepříjemnosti a protivnosti bolestivých pocitů.

Talamus je důležitým integračním centrem aktivity senzorických, motorických, autonomních a nespecifických systémů centrálního nervového systému. **Somatosenzorická korová oblast mozku**, kam přichází nervy právě z talamu, anatomicky zahrnuje oblast gyrus postcentralis.

15.1.3 BOLEST

Bolest je nepříjemný vjem, který upozorňuje na hrozící nebo probíhající poruchu v organismu. Proto se u ní hovoří o její ochranné funkci. Kromě vlastní složky vnímání bolesti se uplatňuje i složka centrální, afektivní a emocionální doprovodné projevy (strach, hysterické stavy či odvrácení pozornosti.), vegetativní (zrychlení tepu, dýchání, rozšíření zornic) a motorická (úniková reakce, úlevová poloha kloubů).

Bolest se dělí na **somatickou**, která je povrchní (bolest kožní, sliznic, tělních otvorů) a **hlubokou**, týkající se svalů, kloubů a pojiva.

- K povrchní se řadí rychlá, ostrá, tzv. **první bolest** (například při píchnutí do kůže), která se dá dobře lokalizovat a je zprostředkována nervovými vlákny s myelinem. Obvykle vede k únikovým reakcím. Existuje však i pomalu odeznívající, tupá nebo palčivá bolest, která se dá velmi těžko lokalizovat. Ta se označuje jako **druhá bolest** a je vedena nervovými vlákny bez myelinu. Obvykle je sledována zaujmoutím úlevové polohy. K povrchní bolesti se řadí i **svědění**, které bývá vyvoláno působením chemické látky histamINU.

- **Útrobní či viscerální bolest** se dělí na pravou viscerální a na nepravou viscerální bolest. *Nepravá viscerální bolest* vzniká obvykle v oblasti pobřišnice, pohrudnice či osrdečníku. *Pravá viscerální bolest* se objeví často při nadměrném protažení břišních orgánů (koliky), při tahu za ligamenta a cévy, nedokrevnosti orgánů, zánětech či nádorech. Tato bolest je tupá, svírává nebo palčivá a je špatně ohraničená. Může mít vystřelující charakter.
- **Centrální bolest** vzniká při dráždění nocicepčních drah. Jedná se o *projikovanou bolest* v inervační oblasti drážděného nervu (například kořenové bolesti při dráždění zadních kořenů míchy), nebo o *fantomovou bolest*, která se objevuje někdy po amputaci končetiny a bolí ta část, která je již několik let amputována (například po amputaci ruky začne bolet palec této amputované části).
- Vnímání bolesti zabraňuje tzv. **endogenní systém analgezie**. Kromě útlumu vnímání bolesti způsobené zpětným tlumivým vlivem samotného nervového systému, se uplatňují i **endogenní opioidní peptidy** (například encefaliny, dynorfiny či endorfiny), které tlumí vnímání bolesti na různých úrovích řízení (od mozku až po periferní tkáně).

Bolest se dále dělí podle doby trvání na:

- *bolest akutní*, která trvá krátkou dobu, je ohraničená místem poškození a má signální a varovnou funkci
- *chronickou bolest*, která je podmíněna dlouhodobým trváním – více jak 1 měsíc, nebo se znova vrací
- *bolest chronizující*, která přetrává i po odstranění vlastní příčiny bolesti, nebo znova vypukne
- *psychogenní bolest*, jež bývá obvykle následkem sociálních okolností, emocionálních jevů nebo psychických onemocnění.

Dráhy bolesti

Dostředivá nervová vlákna z receptorů pro bolest končí v zadních míšních rozích, kde jsou přepojeny na vzestupné systémy drah, které vedou bolestivé informace do talamu a mozkové kůry (somatosenzorická kůra a asociační korové oblasti se podílejí na vzniku vědomého vnímání bolesti).

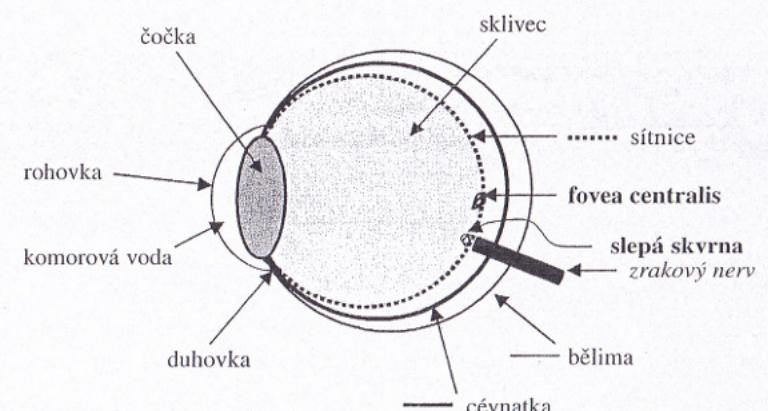
15.2 ZRAK

Zrakem se vnímá světlo (cca 400–750 nm), jeho různé barvy, rozlišuje kontrast (černobílý a barevný) a tím i kontury. Tomu navíc pomáhají pohyby oka, bez kterých by bylo vidění značně porušené. Oko je složitý optický systém.

Sítnice

Sítnice je vlastní světločivou vrstvou oka. Obsahuje dva typy světločivých elementů: *tyčinky* – pro černobílé vidění (v jednom oku je jich asi 20 miliónů) a *čípky* – pro barevné vidění (v jednom oku je jich asi 6 miliónů). Na těchto světločivých elementech začínají postupně nervové buňky, jejichž axony se sbíhají a opouštějí oko jako zrakový nerv. V místě, kde zrakový nerv opouští oko, nejsou tyčinky ani čípky. Proto se toto místo označuje jako *slepá skvrna*. Naopak *fovea centralis* je místem, kde je vysoká hustota čípků (nejsou zde však tyčinky). Je to místo nejvyšší zrakové ostrosti.

Obrázek 41
Složení oka



Zraková dráha

Z každého oka vede jeden zrakový nerv, který se dále přepojuje. Centrum pro zrak je v týlní části mozkové kůry.

15.2.1 ZRAKOVÁ OSTROST (VISUS)

Zraková ostrost označuje přesnost, s jakou lze vnímat detaily a obrysy pozorovaného předmětu. Je definována jako *prostorový práh*, tedy nejmenší vzdálenost, která musí dělit dvě přímky, aby je bylo možné navzájem odlišit. Jde tedy o nejmenší úhel, pod kterým vidíme vzdálenost, která tyto přímky dělí. Měří se Snellenovými optotypy, na něž vyšetřovaný hledí ze vzdálenosti 6 metrů a čte nahlas nejmenší rádek, který je schopen z nabídky ještě rozeznat. Normální visus (V) se označuje jako zlomek: v čitateli je vzdálenost, ze které čte daný rádek osoba s normální zrakovou ostrostí, a ve jmenovateli je vzdálenost v metrech, ze které ten samý rádek čte osoba vyšetřovaná.

normální visus V = 6/6

15.2.2 AKOMODACE

Akomodace je proces, při kterém se zvyšuje lomivost čočky, což pomáhá k zaostření blízkých předmětů. Stanovuje se blízký a vzdálený bod. *Blízký bod* je bod, ležící nejbliže oku, který lze při akomodaci ještě vidět ostře (u dětí je 7 cm, u 60ti letých až 100 cm). *Vzdálený bod* je bod, při kterém nastává uvolnění akomodace. Rozdíl mezi blízkým a vzdáleným bodem se označuje jako *akomodační šíře*.

Tabulka 19
Změny blízkého bodu dané věkem

věk (roky)	blízký bod (cm)
10	7
20	12
40	30
60	100

15.2.3 ADAPTACE NA TMU

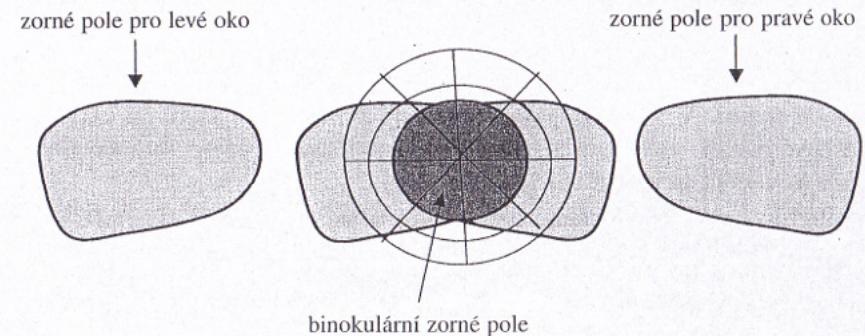
Zatímco adaptace na světlo nastává téměř okamžitě (do 5 minut), adaptace na tmu trvá déle než 25 minut. Vidění za světla je totiž charakteristické dobrou rozeznatelností barev, jemných tvarů a rychlého blikání, které za šera mizí.

15.2.4 PROSTOROVÉ VIDĚNÍ

Prostorové vidění je výsledkem pohledu oběma očima. Omezuje se hlavně na *binokulární vidění*, což je pohled na předmět oběma očima najednou, to znamená, že se předmět nalézá v místě, kde se překrývají *zorná pole* obou očí. Zorné pole je část zevního světa, kterou vidíme jedním okem bez jeho pohybu či pohybu hlavy a těla.

Obrázek 42

Vztahy mezi zorným polem pro levé oko, zorným polem pro pravé oko a binokulárním zorným polem



15.2.5 BAREVNÉ VIDĚNÍ

Existují tři druhy čípků s různými zrakovými pigmenty, které zprostředkují vnímání v celém rozsahu viditelného spektra. Jedná se o aditivní mísení tří základních barev – červené, zelené a modré, ze kterých lze získat jakýkoliv barevný odstín.

15.3 SLUCH

Sluch je nejcitlivější smysl. Vnímáme zvuk, který vzniká kmitáním těles ve **frekvenčním rozsahu** od 16 Hz do 20 000 Hz (maximální citlivost sluchu je mezi 2000–5000 Hz).

Fón je jednotkou subjektivní hladiny hlasitosti – fón = decibel při 1000 Hz (pneumatická vrtačka má 120 fónů, hovorová řeč 70–90 fónů, šepot 20–40 fónů).

Decibely vyjadřují úroveň akustického tlaku (a tím nepřímo citlivost sluchového orgánu).

Sonorá stupnice (hlasitosti) ukazuje, kolikrát hlasitější nebo méně hlasitý se jeví zvuk o stejně frekvenci, je-li srovnáván se standardním zvukem 1000 Hz a 40 fónů (= 1 son). Například tři sony znamenají trojnásobnou hlasitost, 0,5 sonu poloviční hlasitost.

Zvuky se dělí na pravidelné (hudební, tóny) a nepravidelné.

15.3.1 PŘEVOD ZVUKU

Zvuk přichází do ucha boltcem, zevním zvukovodem (*zevní část ucha*) a rozkmitá bubínek. Jeho kmity se převádějí systémem středoušních kůstek (kladívko, kovadlinka a trmník) na membránu oválného okénka hlemýždě (*vnitřní ucho*). V hlemýždi jsou dráždeny čivé buňky, které se označují vláskové buňky: vnitřní vláskové buňky jsou vlastní receptor, zatímco zevní vláskové buňky modulují sluchové vnímání.

Sluchová dráha vychází z hlemýždě a končí v primární sluchové kůře mozku – spánkové oblasti. Hlavním úkolem spánkové kůry mozku je identifikace zvukového vzorce a lokalizace zvuku.

15.4 ROVNOVÁZNÉ ÚSTROJÍ

Vestibulární ústrojí, které je uloženo ve vnitřním uchu, reaguje na úhlové a lineární zrychlení hlavy, čímž se podílí na udržování rovnováhy. Reflexně řídí vyrovnavací pohyby končetin a očí k tomuto účelu.

15.4.1 ÚKOLY VESTIBULÁRNÍHO SYSTÉMU

Vestibulární systém zabezpečuje následující vjem:

1. vědomé vnímání zrychlení působícího na tělo
2. udržování tělesné rovnováhy, vzpřímeného postoje a chůze
3. udržování fixace bodu při pohybech očí
4. stabilita pohybu okolí při pohybech očí, hlavy a těla

Vestibulární ústrojí se skládá ze 3 polokruhových kanálků, které jsou čidlem kinetickým, a 2 váčků (označují se jako makulární čidla) – čidlem statickým. V **polokruhovitých kanálcích** jsou vláskové buňky, jejichž vlásky

jsou zanořeny do rosolovité hmoty. Tyto vlásky reagují podrážděním nebo útlumem na **úhlové zrychlení**, které provází rotační pohyby hlavy (například točení hlavy). **Makulární čidla** také obsahují smyslové buňky s vlásky, které jsou zanořeny do rosolovité hmoty. Navíc obsahují otolity – krystalky CaCO_3 . Na makulární čidla stále působí gravitace. Jejich vláskové buňky reagují na **lineární zrychlení** (zemská tíže, jízda ve výtahu, v autě).

15.4.2 VESTIBULÁRNÍ DRÁHY

Tyto dráhy začínají na vláskových buňkách jako vestibulární nerv. Ten vede do mozkového kmene, kde končí ve vestibulárních jádrech, která jsou složitým centrem pro řízení rovnováhy a svalového napětí. Tato jádra jsou nervově spojena s dalšími strukturami CNS (míchou, jádry okohybnných nervů, mozečkem, talarem a odtud se somatosenzorickou a somatomotorickou kůrou mozku).

15.4.3 LABYRINTOVÉ REFLEXY

Statické reflexy jsou z části postojové z části vzpřimovací. Podílejí se na udržení rovnováhy při klidném stoji, vsedě a vleže. Ke statickým reflexům se řadí i tzv. zpětné otáčení očí, které je vybavováno sklonem hlavy k rameni.

Statokineticke reflexy se objevují během pohybů a samy pohyby vyvolávají. Příkladem jsou vestibulární nystagmus, tedy rytmické pohyby očí vznikající například u člověka sedícího na otáčivé židle po jejím náhlém zastavení, nebo reflexní obrat kočky při jejím volném pádu, či yáthová reakce, kdy je nastaven svalový tonus vůči kolmému zrychlení.

15.5 CHEMICKÉ SMYSLY – ČICH A CHUŤ

15.5.1 ČICH

Čichová sliznice leží v dorzální a zadní části nosní dutiny na horní skořepě, není tedy na hlavním směru proudu vzduchu. Je nažloutlá a tenčí než okolní sliznice. V čichové sliznici jsou uloženy receptory, což jsou čichové buňky, které jsou obklopené hlenem. Jejich citlivost k různým pachům není v celé sliznici stejná. K čichovým receptorům pronikají při jídle i látky z dutiny ústní, takže se překrývají chuťové a čichové vjemy. Pokud je čich nějakým způsobem porušen (například při rýmě), je výsledný vjem chudší. Dokonce pouhou chutí nelze řadu pokrmů rozpoznat.

Na povrchu čichových buněk jsou řasinky. Čichově aktivní látky pronikají přes hlen k těmto řasinkám, které mají receptory, na něž se tyto látky naváží. Existuje asi 10 000 rozlišitelných vůní. Pro rozpoznání vůni existují základní třídy vůni, kdy kvalita vůně se může se stoupající koncentrací měnit:

Tabulka 20
Třída vůni

Třída vůně	Voní jako
Květinová	Růže
Éterická	Hrušky
Pižmová	Pižmo
Kafrová	Eukalyptus
Hnilobná	Zkažená vejce
Bodavá	Ocet

Pro čich jako vjem existuje **práh pro vnímání**, což je nespecifický čichový vjem při velmi nízké koncentraci vůně, a **práh pro rozeznání**, kdy vůně je již poznána.

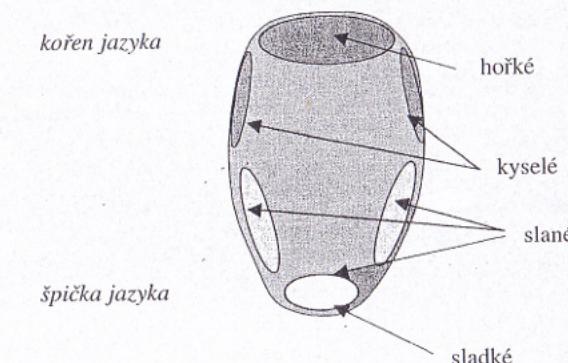
Čichová dráha

Axony čichových buněk, které nemají myelin, postupně tvoří čichový nerv, což je 1. hlavový nerv. Ten končí v čichovém laloku mozkové kůry.

15.5.2 CHUŤ

Chuťové receptory jsou sdruženy v chuťových pohárcích, které se nalézají na sliznici epiglotis, patra, faryngu a především na jazyku. V mládí má člověk asi 2000 chuťových pohárků, ve stáří asi 1/3 z nich. Rozeznávají se čtyři kvality chuti: sladko, slano, kyselo a hořko.

Obrázek 43
Rozložení chuti na jazyku



Chuťová dráha

Z chuťových buněk vedou dostředivá vlákna, která jsou součástí některých hlavových nervů (VII., IX. a X. hlavového nervu). Konečná projekce je v mozkové kůře.

16. CENTRÁLNÍ NERVOVÝ SYSTÉM

Centrální nervová soustava (CNS) je nejvýše postaveným řídícím a integrujícím systémem v organismu. Řídí či zasahuje do funkcí všech orgánů a koordinuje jejich činnost a vzájemné vztahy tak, aby odpovídaly potřebám organismu. Z hlediska **regulace funkcí** tvoří CNS nedílný funkční celek spolu s humorální soustavou. Na rozdíl od ní je CNS **přesnější a rychlejší** při registrování neuvěřitelného množství informací o stavu vnitřního prostředí a vlivu zevního prostředí na organismus v jediné časové jednotce. CNS precizně a rychle **zpracovává tyto vstupní údaje** a analyzuje je, přičemž využívá předchozích informací nashromážděných v **paměťových stopách**. Na základě předchozích zkušeností vytvoří CNS konečné výstupní informace či instrukce pro výkonné orgány. **Cílem je**, aby v každém okamžiku, za jakéhokoliv zatížení a podmínek zevního prostředí, byla **zachována homeostáza** – stálost vnitřního prostředí organismu.

Další specifickou vlastností CNS je jeho **identita**, tedy jeho jedinečná a nezaměnitelná výsledná činnost. Při hodnocení činnosti CNS se také hovoří o jeho **plasticitě**, jeho schopnosti přizpůsobit se změnám prostředí – tedy adaptace.

Nervové buňky CNS nemají schopnost regenerace. Po narození sice dochází k dalšímu vývoji složení a funkce neuronů, ale jejich počet je konečný. Naopak po narození počet neuronů klesá i za zcela fyziologických podmínek, avšak zaniklé neurony mohou být nahrazeny pouze neuroglií.

Aby CNS mohl zabezpečit své základní funkce, musí být neurony chráněny před poškozením.

- musí být izolovány od nežádoucích elektrických signálů,
- musí být pro ně vytvořeno vhodné prostředí z hlediska iontového složení a
- musí jim být zajištěn přísun energie pro metabolické procesy a tvorbu vznuců.

Na zajištění těchto podmínek se podílí mozkomíšní mok, mimobuněčný prostor a neuroglie.

Mozkomíšní mok, který se nalézá mezi mozkovou plenou a mozkem, proudí až do páteřní míchy. Tato tekutina slouží jako polštář mezi měkkou a choulostivou tkání mozku a rigidní kalvou. Nadnáší mozek, rozkládá jeho hmotnost a tlumí a distribuuje sílu případného úderu na hlavu. **Mimobuněčný prostor** tvoří 15–20 % mozku. Jeho hlavní funkcí je udržení stálé koncentrace jeho jednotlivých složek tak, aby mohly probíhat elektrické a synaptické mechanismy nervů. **Neuroglie** jsou buňky, které se kromě neuronů nalézají v mozku. Jejich funkcemi jsou obranné a úklidové reakce v mozku (fagocytóza), udržení homeostázy, tvorba myelinové pochvy a nutritivní vliv.

Stálost vnitřního prostředí mozku a tím i zachování optimálních podmínek pro jeho funkce zajišťují mechanismy **hematoencefalické bariéry**, která reguluje přesun látek mezi krví, mozkomíšním mokem, mimobuněčnou tekutinou mozku a neurony.

Získávání **energie** v mozku je přímo závislé na dostatečném množství glukózy, kdy její spotřeba je v mozku obecně vyšší než v jiných orgánech, a přísnu kyslíku. Mozek, který představuje asi 2 % tělesné hmotnosti, využívá kolem 20 % celkové spotřeby O₂. Spotřeba kyslíku vztažená na jednotku tkáně klesá od mozkové kůry k prodloužené míše.

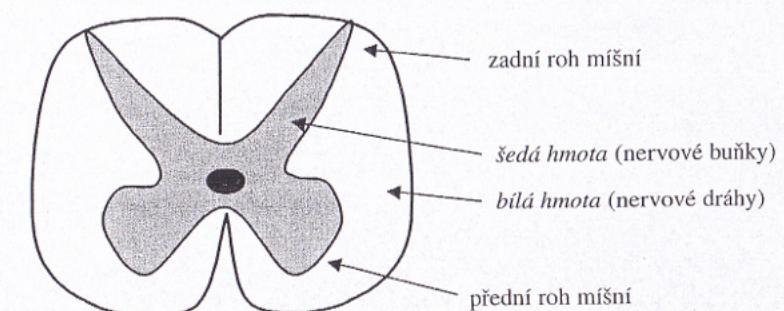
Podobně jako v periferním nervovém systému i v centrálním jsou spoje mezi nervovými buňkami zabezpečeny synapsami s rozdílnými mediátory – jak excitačními (dopamin, noradrenalin, adrenalin, kyselina glutamová), tak inhibičními (kyselina gama-aminomáselná, glicin, taurin).

16.1 MÍCHA

Mícha jako součást centrálního nervového systému je uložená v páteřním kanálu. Průměr míchy je okolo 1 cm. Hmota míchy se dělí na **šedou hmotu**, která je tvořena nahromaděním nervových buněk, a na **bílou hmotu**, což jsou dráhy spojující jednotlivá centra. Šedá hmota vytváří zadní roh, přední roh a postranní roh míchy. Buňky zadních rohů mají senzorickou funkci včetně vnímání bolesti, buňky předních rohů míšních motorickou funkci – nalézají se zde alfa-motoneurony. Bílá hmota míchy je v podstatě soustavou vzestupných a sestupných drah, které spojují míchu s dalšími oddilly centrálního nervového systému.

Mícha je také centrem **míšních reflexů**. Jednu skupinu tvoří *proprio-receptivní reflexy*, které se dají vybavit podrážděním receptorů ve svalech (svalová vřeténka) a šlachách (Golgiho šlachová tělska). Jsou to dvouneuronové (monosynaptické) reflexy, kdy vzhůru přichází z receptoru do středního vlákna a zadními kořeny do míchy, k motorickým buňkám předních rohů míšních a odtud vedou nervová vlákna k příslušným svalům. Tyto reflexy probíhají časově velmi rychle, nepodléhají únavě, nepodléhají přímo činnosti mozkové kůry (nelze je vůli potlačit) a projevují se jako nekoordinované pohyby – jednoduché trhnutí. Další skupinou jsou *exteroceptivní reflexy*, jež lze vybavit podrážděním exteroceptorů. Patří sem jednak *extenzorové reflexy*, kdy podrážděním dotykových receptorů se zvyšuje napětí extenzorů, a *flexorové reflexy*, které se dají vybavit podrážděním receptorů pro bolest a způsobují zvýšené napětí flexorů. Exteroceptivní reflexy probíhají delší dobu, rychleji podléhají únavě, jsou řízeny přímo mozkovou kůrou a projevují se jako koordinované pohyby.

Obrázek 44
Průřez míchou



16.2 MOZKOVÝ KMEN

Pod souhrnný název mozkový kmen se řadí prodloužená mícha, Varolův most a střední mozek.

16.2.1 PRODLOUŽENÁ MÍCHA

Prodloužená mícha se účastní řízení následujících aktivit:

- uplatňuje se při regulaci dýchání, oběhu krve a trávení (například polykání či zvracení)
- umožňuje nepodmíněné obranné reflexy
- spolu s Varolovým mostem se účastní mimických pohybů, fonace a řeči
- spolu se středním mozkem a mozečkem udržuje tělesnou rovnováhu a normální pohyby.

Prestože dýchání podléhá volní kontrole mozkové kůry, základní **dechová centra** se nalézají v prodloužené míše. Část nervových buněk, které aktivují nádech, se označují jako nádechové (inspirační) neurony, část buněk podmiňující výdech, výdechové (exspirační) neurony. Na **regulaci krevního oběhu** se podílejí centra vasokonstriční a vasodilatační, která řídí činnost cév, a centra kardioinhibiční a kardioexcitační pro řízení činnosti srdce. Prodloužení mícha se také účastní **regulace trávení**, neboť svými nervy umožňuje přijímání a mechanické zpracování potravy a zprostředkuje nepodmíněné reflexy typu sání, žvýkání a polykání. Dále jsou odtud řízeny některé obranné reflexy – kašel, kýchání, rohovkový reflex a reflex zvracení.

16.2.2 VAROLŮV MOST

Varolův most leží ventrálně od mozečku a od prodloužené míchy ho odděluje rýha. Jsou zde řízeny dva reflexy – **rohovkový reflex**, kdy mechanickým podrážděním řas, očního víčka, spojivky nebo rohovky dojde k zúžení obou očních štěrbin („mrknutí“), a **okulokardiální reflex**, tedy zpomalení srdeční frekvence při stlačení očních bulbů. Kromě toho se zde nalézají dvě centra, mající vztah k řízení dýchání: **apneustické centrum**, které má tonizující vliv (podmiňuje aktivitu) nádechových neuronů v prodloužené míše, a **pneumotaxické centrum**, jehož tlumivý vliv je nadřazen tlumivému působení vagu.

16.2.3 STŘEDNÍ MOZEK

Střední mozek (mezencefalon) zprostředkovává jednak některé důležité reflexy, jednak jím procházejí dráhy, které vedou vznacky z páteřní míchy do mozečku a mozkové kůry a dále vznacky z mozkové kůry a z bazálních ganglií do mozečku, prodloužené a páteřní míchy. Nalézá se zde centrum **nepodmíněných zrakových reflexů**, tedy pohybů očí, hlavy i celého těla vyvolaných stimulací sítnic, dále se zde integrují podněty i ze sluchového a statokinetickeho systému, kdy výsledkem je lokalizace zvuku, lokalizace polohy hlavy nebo těla. Dále je zde centrum **nepodmíněných sluchových reflexů**. Vyvolává je dráždění sluchového čidla a podílejí se na lokalizaci zvuku. Důležité je i centrum tzv. **strážného pohotovostního reflexu** (startle reflex), což je soubor nepodmíněných reflexů vybavovaných náhlými podněty, které působí především na zrak a sluch. Střední mozek se uplatňuje i při udržování vzpřímené polohy těla – **vzpřimovací reflexy**, které například umožňují obnovit normální polohu těla, která byla ztracena třeba pádem.

16.2.4 RETIKULÁRNÍ FORMACE MOZKOVÉHO KMENE

Pod pojmem retikulární formace je méně šedá hmota mozková, která je seskupena do četných jader (více než 50) nalézajících se v prodloužené míše, Varolově mostu, středním mozku ale i talamu. Její funkce je ovlivněna jak nižšími tak vyššími oddíly nervové soustavy. Jednotlivá jádra retikulární formace jsou vzájemně propojena mnoha spoji, čímž se vytváří multisynaptická síť, v níž se podráždění přenáší přes několik nervových buněk. Proto se vedení v retikulární formaci zpomaluje.

Retikulární formace se podílí na řízení následujících funkcí:

- **veškerá hybnost**
- **vegetativní funkce**, neboť její součástí jsou centra dechová, apneustické a pneumotaxické, centra pro regulaci krevního oběhu a srdce. Prostřednictvím hypotalamu se retikulární formace podílí na termoregulaci, pohlavních funkcích, řízení příjmu potravy a vody a na jejich metabolismu.
- **stavy bdění a spánku**
- ovlivnění a formování **podmíněných reflexů** a zajištění řízení **senzorických informací**.

Účinky retikulární formace jsou jak specifické, tak nespecifické. Nespecificita se týká především senzorické funkce.

Nespecifické vlivy retikulární formace se dělí na dva podtypy : vzestupný a sestupný, přičemž každý z nich ještě dále na inhibiční (útlumový) a facilitační (stimulující).

Sestupný inhibiční systém retikulární formace

Podrážděním této oblasti nastane útlum jak mono- tak multisynaptických mísňích reflexů, což se projeví omezením pohybů.

Sestupný facilitační systém retikulární formace

Podrážděním této oblasti zesilují mísňí reflexy. Tato část retikulární formace totiž řídí činnost gama-motoneuronů, které inervují intrafuzální vlákna svalových vřetének.

Vzestupný facilitační systém retikulární formace

Tento systém se táhne celým mozkovým kmenem až do hypotalamu a talamu. Zajišťuje probouzení ze spánku a udržení bdělého stavu.

Vzestupný inhibiční systém retikulární formace

Předpokládá se jeho vliv na nástup spánku, neboť potlačení jeho funkce se projevuje trvalou bdělou aktivitou.

16.3 MOZEČEK

Mozeček má hmotnost, která odpovídá jen asi 1/10 hmotnosti velkého mozku. Byl kdysi pokládán za orgán, který není pro život nezbytný. Teprve později se ukázalo, že se kromě modulace udržování rovnováhy a svalového napětí podílí i na řízení psychických a kognitivních funkcí.

Mozeček se podle původu dělí na *vestibulární mozeček* (archicerebellum), *spinální mozeček* (paleocerebellum) a *korový mozeček* (neocerebellum).

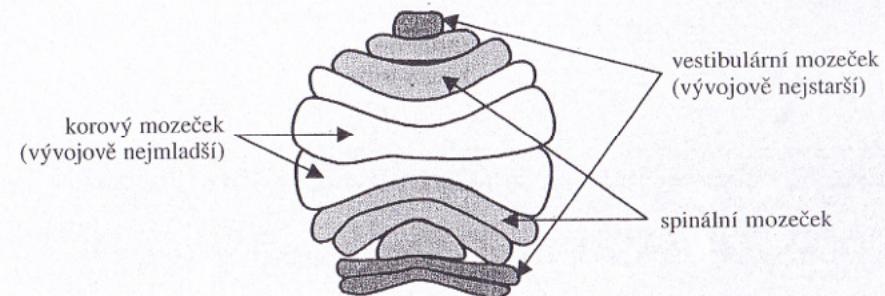
Vestibulární mozeček zpracovává informace z vestibulárního aparátu (sacculus, utriculus a polokruhovité kanálky) a kontroluje stoj a rovnováhu. Jeho vyřazení znemožní udržet vzpřímený postoj, ale zároveň odstraňuje i projevy kinetózy, jakými jsou mořská či letadlová nemoc.

Spinální mozeček zpracovává dotykové, propiorecepční, sluchové a zrakové informace. Reguluje svalové napětí a senzorové reflexy. Představuje důležitý spojovací článek alfa- a gama-motoneuronů, které jsou nezbytné pro udržení svalového napětí.

Korový mozeček je spojen s motorickými oblastmi mozkové kůry. Odtud a ze spánkové kůry mozku směřují dráhy přes jádra Varolova mostu do druhostanné mozečkové hemisféry. Protože vzniká vlastně dvojí křížení drah (první je mezi mozkovou kůrou a mozečkem a druhé zajišťuje pyramidová dráha), kontroluje každá mozečková hemisféra volní pohyby na stejně straně těla.

Souhrnně se mozeček tedy podílí na udržování stoj a rovnováhy, udržování svalového napětí a koordinaci pohybů.

Obrázek 45
Jednotlivé části mozečku



16.4 MEZIMOZEK

Mezimozek (diencefalon) je část mozu nalézající se okolo třetí mozkové komory. Řadí se k němu talamus, metatalamus (anatomicky to jsou corpora geniculata lateralia a medialia), hypotalamus, epitalamus a subtalamus.

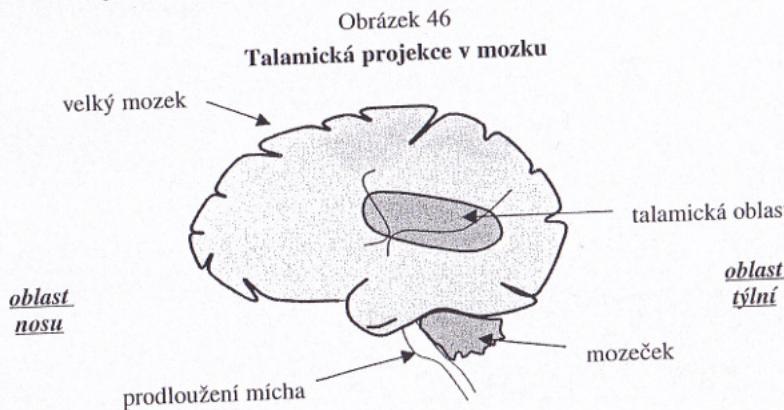
16.4.1 TALAMUS

Talamus spolu s epitalamem je souborem senzorických, asociačních a nespecifických jader. Tato jádra se dělí podle funkce na „specifická“, „asociační“ a „nespecifická“. Protože toto dělení jader není vždy výhodné, rozdělují se jádra talamu spíše podle úkonů, které zajišťují na:

- jádra převádějící vznacky z periferie do senzorických oblastí mozkové kůry
- převodní jádra, která slouží motorickým funkcím, především převodu informací z mozečku do motorické kůry

- jádra převádějící vzruchy z mezimozku do limbické kůry
- jádra zajišťující propojení dalších jader mezimozku především s asociočními oblastmi kůry mozku
- jádra vysílající široké projekce do korových oblastí.

V talamu se **přepojují dráhy senzitivní, zrakové, sluchové a chutové**, které směřují do mozkové kůry. Při poruchách talamu je snížený práh pro bolest. Znamená to, že i relativně malý podnět vyvolává velkou bolest. Takto vzniklou bolest, která se označuje jako **talamicá bolest**, nelze léky zvládnout. Talamus dále spolu s mozkovou kůrou ovlivňuje **stav bdělosti** jako odpověď na senzorické informace. Dále se podílí i na některých **vegetativních reakcích**, jakými jsou zblednutí nebo zčervenání v obličeji či změny tepové frekvence, a **změnách nálad** (veselost, smutek, zlost, rozmrzelost). Tato činnost je v dospělosti velmi výrazně tlumena mozkovou kůrou. Protože talamus zprostředkuje převod vzruchů z mozečku do mozkové kůry, ovlivňuje také **stoj a chůzi**.



16.4.2 SUBTALAMUS

Všechna subtalamická jádra (nucleus subthalamicus, částečně nucleus ruber a substantia nigra) mají spoje a vztahy k hybnosti, takže se někdy přiřazují k mimopyramidovému systému.

16.4.3 EPITALAMUS

Epitalamus je tvořen šišinkou (epifýzou), zadními epitalamickými komisurami a dalšími složkami. Šišinka je v podstatě neuroendokrinní orgán,

který obsahuje v hojném mísce noradrenalin a serotonin a z něj vznikající melatonin. O této látce se hovoří jako o „elixíru mládí“.

16.4.4 HYPOTALAMUS

Hypotalamus je součástí diencefala. Má početná spojení s různými strukturami mozku i periferie.

Hlad a příjem potravy ovlivňují dvě hypotalamická centra: **centrum sytosti** a **centrum potravové**. Obě centra jsou spolu funkčně spojena. Má-li centrum sytosti nedostatek glukózy, aktivuje potravové centrum a člověk má hlad. Je-li však plně zásobováno, přestává centrum sytosti držet potravové centrum a někdy jej dokonce aktivně tlumí. Pocit hladu, který je důsledkem změn v centrálním nervovém systému, je charakteristický jednak touhou po jídle, jednak vegetativními projevy, jako jsou hladové stahy žaludku či sekrece žaludeční šťávy. Podobně, jak je řízen příjem potravy, je řízen i příjem tekutin. V hypotalamu existují osmoreceptory, které reagují na změny osmotického tlaku v mimobuněčné tekutině. Při jejich podráždění, které je vyvoláno zvýšením osmotického tlaku, dochází k projevům pocitu **žízně**. Nenezajímavé jsou vztahy hypotalamu k **sexuálním funkcím**. Tato část nervového systému je důležitá pro vznik ženského sexuálního chování (mužský typ sexuálního chování zajišťuje preoptická oblast). Ukazuje se, že bez hypotalamu a jeho integrační činnosti není možné rozmnožování savců.

Zvláštní kapitolou funkce hypotalamu je jeho chování jako **žlázy s vnitřní sekrecí**. Ve dvou jeho jádřech (nucleus supraopticus a nucleus paraventricularis) se tvoří hormony ADH a oxytocin, které se dostávají podél axonů z těchto jader do neurohypofýzy. V hypotalamických jádřech vznikají další látky, které se dostávají portálním hypofyzárním krevním oběhem do adenohypofýzy, kde stimuluji tvorbu adenohypofyzárních hormonů. Označují se jako liberiny, tj. uvolňující (releasing) faktory. Jedná se o tyroloberin (TRH), který spouští sekreci tyretropního hormonu, GnRH (gonadotropin-releasing factor), jenž podmiňuje tvorbu gonadotropinů v adenohypofýze, dále somatotropin (GHRH) podmiňující tvorbu růstového hormonu a jeho antagonistu somatostatin (GHIF) a další.

Hypotalamus je též centrem **vegetativního nervstva**. V jeho přední části je parasympatické centrum, v zadních jádřech centrum sympatického nervového systému.

Dále hraje hypotalamus důležitou roli v **termoregulaci**. Zadní hypotalamus řídí celkové reakce na chlad, především chladový třes, přední naopak na teplo, což se projeví zrychleným dýcháním, vasodilatací a pocením.

V neposlední míře se hypotalamus podílí spolu s talarem na vzniku emocí a jejich projevů.

16.5 VELKÝ MOZEK

Velký mozek (telencefalon, koncový mozek) je u člověka zdaleka největším oddílem nervového systému. Anatomicky se k němu řadí mozková kůra s corpus callosum, bazální ganglia a čichový mozek.

16.5.1 BAZÁLNÍ GANGLIA

K bazálním gangliím, která jsou součástí mimopyramidového systému, patří nucleus caudatus a nucleus lentiformis. Funkčně tvoří bazální ganglia ústředí koordinace úmyslných a neúmyslných pohybů a podílí se na regulaci svalového napětí.

16.5.2 LIMBICKÝ SYSTÉM (ALLOCORTEX)

Limbický systém je název části velkého mozku. Zahrnuje nejen korové oblasti, čichový mozek a části ležící na bazální a mediální ploše mozkových hemisfér, ale též některé oblasti podkorové. Funkce limbického systému, který se také označuje jako „viscerální mozek“, souvisí s jeho velice úzkým vztahem k somatovegetativním regulacím. Účastní se *koordinace somatických funkcí*, projevující se orální činností (žvýkání, slinění, dýchání, polkání), vyprázdnování (mikce a defekace) a sexuální aktivitou.

Důležitou složkou limbického systému je **hipokampus**, který je spjat s činností hypotalamu. Vzruchy, které vedou z mozkové kůry do hypotalamu, jsou nejprve zpracovány v hipokampu. Významná je hlavně jeho úloha v reakci *pozornosti*, ve *tvorbě paměťových stop* a také při vzniku „*map*“ pro *organizaci chování v prostoru*.

Limbický systém se rovněž podílí na komplexních reakcích, které lze označit jako tendenze *zachování jedince a rodů* a *motivační projekty chování*. K reakcím zabezpečujícím zachování jedince patří nejen příjem potravy, ale i instinktivní chování spojené s jejím získáním a s bojem o místo v přírodě a ve společnosti. Veškeré chování řešící vztah k okolí je možné zařadit do dvou kategorií. Jednak je to *apetitivní* (přiblížovací) chování (například zvíře vyhledává to, co má pro něho kladnou biologickou hodnotu), jednak *averrzivní* (únikové) chování (snaha vyhnout se tomu, co je biologicky záporné).

V chování následují za sebou tyto fáze:

- nejprve vzniká potřeba dosáhnout cíle, například hlad vyvolá potřebu získat potravu
- nastává činnost, která umožňuje dosažení cíle, tedy vyhledání potravy a její zpracování
- nakonec dosažení cíle potlačí původní potřebu.

Limbický systém slouží k *zachování rodu*, má tedy vztah k řízení sexuálních funkcí. Má vztah k tzv. sexuálnímu chování, jako je vyhledávání jedince druhého pohlaví, zvýšená hravost, přítulnost, ale i aktivní nebo pasivní homosexualita.

Stručně lze charakterizovat funkce limbického systému následovně: řídí somatovegetativní regulaci, integruje funkční změny při emocích, jeho činnost je spojena s reakcemi se zachováním jedince a rodu a konečně se podílí na tvorbě a vybavení paměťových stop (včetně orientace v prostoru).

16.5.3 KŮRA VELKÉHO MOZKU

Mozková kůra tvoří plášť velkého mozku a je fylogeneticky nejmladším oddílem centrálního nervového systému. U člověka představuje také jeho nejvýznamnější oddíl, a to jak rozsahem tak funkcí. Mozková kůra se anatomicky dělí na laloky, které jsou odděleny zárezy.

Podle funkčního významu se mozková kůra člení na oblasti primární, oblast asociační a oblast efektorovou.

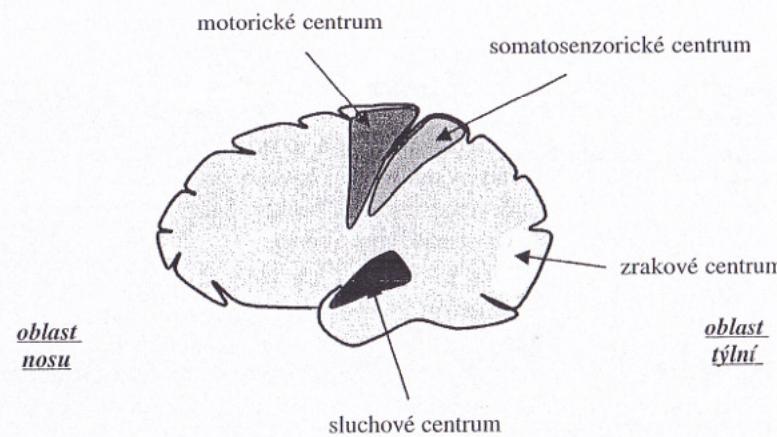
Primární projekční oblasti přijímají informace z receptorů jednotlivých smyslových modalit. V mozkové kůře se nalézá centrum somestetické, které je stejně jako centrum pro bolest, interorecepce a propriocepce a nalézá se v gyrus postcentralis a přilehlých oblastech. Sluchové centrum se nalézá v Hoeschlových závitech, chuťové centrum je v jeho blízkosti, čichové centrum je v čichovém laloku a zrakové centrum v týlních lalocích.

Jako *asociační oblasti* se označují oblasti, které nejsou ani motorické ani recepční. Asociační oblast charakterizuje postupné přibližování několika smyslových typů a vzájemné vztahy mezi jednotlivými centry. Příkladem může být Brocovo motorické centrum řeči, zajíšťující vlastní fonaci, a Wernickeovo senzorické centrum řeči, které umožňuje rozumět mluvenému slovu.

Efektorové oblasti mozkové kůry jsou takové části, jejichž činnost vyvolává periferní odpovědi s charakterem hybné nebo vegetativní reakce, případně útlumu. Dělí se na motorické, vegetativní a tlumivé.

K motorickým oblastem patří oblast pyramidová a mimopyramidová, které ovlivňují pohybový aparát – kosterní svalstvo. Pyramidová oblast je umístěna před sulcus centralis a zabezpečuje rychlé motorické pohyby. Mimopyramidové oblasti jsou méně dráždivé a jejich podráždění vyvolá motorickou odpověď komplexního charakteru (například s posturálními nebo rytmickými změnami). Vegetativní oblasti jsou korové oblasti, které se nalézají především v čelném laloku mozkové kůry. Jejich vliv se projevuje změnami dechové frekvence (zrychlení nebo zpomalení), cirkulační odpovědí (změny srdeční frekvence, pokles nebo zvýšení krevního tlaku), regulací trávicí činnosti (nejčastěji útlum hybnosti trávicího ústrojí).

Obrázek 47
Centrální projekce jednotlivých analyzátorů v mozkové kůře



16.6 AUTONOMNÍ (VEGETATIVNÍ) NERVOVÝ SYSTÉM

Nervové řízení činnosti hladkého svalstva, srdce a žláz zabezpečuje autonomní část nervstva. Od tělového (somatického) nervového systému se odlišuje jak stavbou tak funkcí. Vegetativní nervová vlákna jsou tenčí, takže vedou vzruch pomalu. Odstředivé dráhy vegetativního nervového systému jsou dvouneuronové, přičemž na své cestě jsou přerušeny sympathetickým gangliem. Vegetativní reflexy mají delší reflexní dobu i účinek. Činnost vegetativního nervstva nelze v „běžném životě“ ovlivnit vůlí.

Vegetativní nervový systém se skládá z části centrální a části periferní. **Centrální části** (mícha, prodloužená mícha, mezimozek, mozková kůra) představují pro vegetativní funkci různě úrovně řízení, **periferní část** je tvořena senzorickými nervovými vlákny, přivádějícími do mozku informace z vnitřního prostředí a orgánů, a dráhy směřující z mozku k efektorům.

1. Periferní část vegetativního nervového systému

Podle funkce a složení se odstředivá část vegetativního systému dělí na:

- **adrenergní, sympathetic**, jehož mediátorem je adrenalin
- **cholinergní, parasympathetic** s mediátorem acetylcholinem

Zatímco vlákna sympathetického nervového systému vystupují z hrudní a bederní míchy, parasympatický systém vystupuje z jader mozkového kmene a z křízové míchy.

Většina vnitřních orgánů je inervována sympathikem i parasympatikem, přičemž jejich účinek může být v inervovaných orgánech souhlasný, ale i protichůdný. Obecně platí, že ve spánku, při trávení a při zotavování převládá aktivita parasympatiku, naopak při svalové práci, vystavení chladu, při stresu nebo nemoci převažuje aktivita sympathiku.

Tabulka 21

Reakce orgánů a systémů na zvýšenou aktivitu sympathiku a parasympatiku

Orgán nebo systém, který je ovlivňován aktivitou vegetativního systému	Reakce na zvýšenou aktivitu sympathického nervového systému	Reakce na zvýšenou aktivitu parasympatického nervového systému
srdce	zvýšení srdeční aktivity, zvýšení srdeční frekvence	snižení srdeční aktivity, snížení srdeční frekvence
hladké svaly cév	převažuje vasokonstrikce	převažuje vasodilatace
plíce	uvolnění svalů průdušek	stažení svalů průdušek
zažívací trakt	uvolnění napětí a snížení pohybů hladkého svalstva, snížení sekrece trávicích šťáv	kontrakce hladkého svalstva, zvýšení sekrece trávicích šťáv
děloha	těhotná – kontrakce netěhotná – uvolnění	různé odpovědi
pohlavní orgány u mužů	ejakulace	erekce
teplota	zvýšení	

pokračování tabulky na straně 136

pokračování tabulky

Orgán nebo systém, který je ovlivňován aktivitou vegetativního systému	Reakce na zvýšenou aktivitu sympatického nervového systému	Reakce na zvýšenou aktivitu parasympatického nervového systému
játra	tvorba glukózy z glykogenu, tuků a bílkovin	tvorba glykogenu
tukové buňky	rozpad tuků	
ledviny	sekrece reninu	
kosterní sval	tvorba glukózy z glykogenu, působí proti únavě	

2. Centrální část vegetativního nervového systému

Cinnost sympatiku i parasympatiku je koordinována nadřazenými oblastmi centrálního nervového systému. **Mícha** zabezpečuje vzájemnou „spolu-práci“ vegetativní a tělové inervace jak dostředivé tak odstředivé. Kromě toho řídí vegetativní reflexy. Další nadřazenou částí je **retikulární formace** mozkového kmene, která řídí koordinaci činnosti srdečně-cévního a dýchacího systému. Kromě toho zajišťuje koordinaci a souhru pohybů a sekrece v trávicím traktu a podílí se i na koordinaci při sexuálních funkcích a termoregulaci. Vyššími regulačními centry je **mezimozek**, jehož drážděním vznikají pocity chladu nebo tepla, sytosti, žizně, libida, agrese či strachu. Hypotalamus, jako jeho část, se navíc podílí na řízení funkcí i jako žláza s vnitřní sekrecí. Nejvyšší regulační a kontrolní oblastí je **mozková kůra**. Její rozhodující vliv se uskutečňuje různými vrozenými a získanými formami asociačních funkcí – například vrozené změny dýchání a krevního oběhu při svalové práci nebo podmíněně reflexní předstartovní oběhové a dýchací změny.

16.7 FUNKČNÍ STAVY CENTRÁLNÍHO NERVOVÉHO SYSTÉMU

Organismus a jeho centrální nervový systém prochází v průběhu 24 hodin dvěma základními funkčními stavů – bděním a spánkem, mezi nimiž jsou přechody oběma směry.

16.7.1 BDĚNÍ (VIGILITA)

Bdění je takový funkční stav organismu, kdy jsou normální senzorické a motorické vztahy se zevním prostředím. Je třeba je odlišit od *vigilance*, což znamená bdělou pozornost. Rozlišují se následující typy bdění:

- *klidné, relaxované bdění*, při kterém centrální nervový systém funguje na „střední hladině“ bdělosti. Výkonnost nervového systému vychází z uvolněné pozornosti s přechodem k volným asociacím. Tento stav může být jednak určitým přechodem ke spánku, jednak přechodem k vyšším stupním aktivity.
- *aktivní bdění*, při kterém se bdělá pozornost zvyšuje a soustředuje se na určitou oblast činnosti organismu (označuje se také jako selektivní pozornost). Dochází k výrazné koncentraci a výkonnosti rychlých behaviorálních komplexů.
- *ostražité bdění* je stav, kdy bdělá pozornost dosahuje nejvyššího stupně a selektivity. Psychický stav má výrazné emocionální složky.

Stav bdění je velmi složitý proces, do něhož je zapojeno obrovské množství neuronů a nervových systémů, které mají různé mediátory i funkce. Je to stav, který vyčerpává energetické zdroje a rezervy organismu. Má velmi těsnou souvislost se spánkem.

16.7.2 SPÁNEK

Spánek je funkční fyziologický stav organismu. Je projevem určitého útlumu, který se rozšíří v centrálním nervovém systému. Spánek není úplný útlum a nečinnost, ale ve spánku je činnost centrálního nervového systému upravena tak, že její funkční projevy se liší od stavu bdělosti. Nástup spánku je urychlen sníženým senzorickým drážděním: lépe se usíná v temnu a klidu.

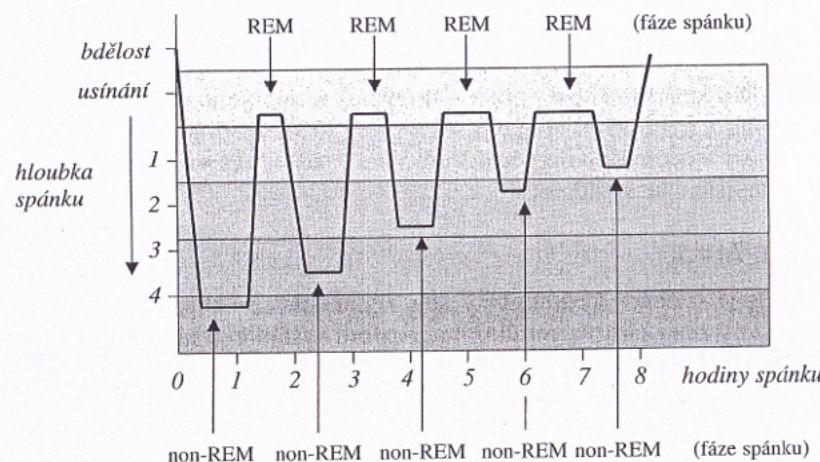
Existují dvě různé formy spánku, které se v průběhu noci několikrát vystřídají: *pomalý spánek* (*synchronizovaný, telencefalický, non-REM spánek*) a *spánek rychlých pohybů očí* (*desynchronizovaný, paradoxní, REM-spánek*).

Non-REM spánek začíná přechodem z bdění do dřímoty. Postupně se snižuje úroveň bdělosti v senzorických i motorických systémech a klesá možnost probuzení. Snižuje se svalové napětí, postupně i klesá srdeční frekvence, krevní tlak a frekvence dýchání. Po tomto úvodním stádiu následuje dřímta, poté povrchní a po něm hluboký spánek. Postupně se ztrácí vědomí a probuzení je stále obtížnější. V tomto stádiu je zaujatá typická spánková poloha, částečně je zachované svalové napětí.

REM spánek je druhou částí spánku. Je charakteristický úplný vymisením svalového napětí v antigravitačních – zejména šíjových svalech, což se projeví poklesem hlavy. Objevují se rychlé pohyby očí (od toho dostal spánek název) a sny. Provázejí ho svalové záškuby čelisti, končetin i celého trupu.

Zatímco novorozeneц prospí v průměru 22 hodin v průběhu 24 hodinového cyklu, dospělý člověk potřebuje v tom samém cyklu 6–8 hodin spánku. Období spánku se rozděluje do jednotlivých period, které trvají obvykle 90–100 minut. Non-REM spánek dominuje na počátku celého spánkového cyklu, zatímco REM spánek převládá až v pozdějších fázích.

Obrázek 48
Průběh spánkových period během jedné noci



Během noci se vystřídají zhruba 4 periody spánkového cyklu, který se vždy skládá z jedné non-REM fáze a jedné REM fáze spánku, přičemž celá perioda trvá asi 100 minut. Zpočátku spánku převažuje non-REM fáze, zatímco REM spánek trvá zhruba 10 minut. Ke konci spánku (tedy k ránu) se REM fáze prodlužuje až na 40–50 minut.

Sny se objevují v REM fázi. Sny v první polovině noci jsou více vztaženy k realitě, obsahují zážitky předchozího dne, zatímco ranní sny jsou bizarnejší a emocionálně intenzivnější. Při probuzení z REM fáze si člověk pamatuje 80–90 % snů, při probuzení z non-REM fáze zhruba 70 % snů.

17. FYZIOLOGIE CHOVÁNÍ A PAMĚTI

Pod pojmem **chování** se rozumí soubor reakcí a dějů, které se dají objektivně zhodnotit a jimiž reaguje organismus na podněty vnějšího i vnitřního prostředí. Chování tvoří aktivity směřující k dosažení uspokojení (pohody, libosti) a k odstranění neuspokojení (nepohody, nelibosti – discomfortu). Každé jednání je vlastně kombinací forem volního i spontánního chování. Typickou složkou každého jednání je subjektivní prožitek, který vychází z osobní zkušenosti a o jehož objektivní existenci svědčí společné zkušenosti dalších lidí.

Živé organismy jsou vybaveny schopností přizpůsobit své životní projevy změnám zevního a vnitřního prostředí. Přijímají informace o změnách stavů prostředí, porovnávají je s informacemi uloženými v nervové soustavě, a rozpoznají-li změnu, vyberou a uskutečňují vhodnou odpověď.

Rídící systémy využívají jak informace uložené **geneticky**, tak informace **získané v průběhu života**. K vrozeným mechanismům patří nepodmíněné reflexy, motivace, emoce a instinkty. Naproti tomu učení a paměť jsou podkladem schopnosti ukládat a využívat informace získané v průběhu života. Schopnost uložit a uchovávat informace je jedním z projevů **plasticity nervového systému**. Plasticita, která je obecnou vlastností nervového systému, je nejvýraznější v časném období života – v dětství.

17.1 CHOVÁNÍ A GENETICKÁ DISPOZICE

Chování, založené na vrozené informaci, je předáváno potomstvu podle zákonů genetiky. Ne vždy se však musí zděděná dispozice k některému druhu chování projevit.

K vrozeným mechanismům patří **nepodmíněné reflexy** jak somatické tak autonomní. Jejich užití není vázáno na předchozí zkušenosti, přičemž

obvykle u nich lze dobře definovat reflexní oblouk. U všech jedinců – lidí probíhají nepodmíněné reflexy stejně, s poměrně malou variabilitou. Další vrozenou složkou chování je ***motivace***, čímž se rozumí ovlivnění chování informacemi z vnitřního prostředí organismu. Vlivem nedostatku nebo přebytku některé látky v organismu se spouští takový program chování, který tuto odchylku vyrovná (například pocit hladu a k tomu vyhledávání potravy). Tento typ motivace se označuje jako ***drive*** (pohnutka, úsilí). Mnoho typů chování je spouštěno jinými změnami vnitřního prostředí, jako jsou změny hladiny hormonů (říje u zvířat) nebo vnitřní aktivity CNS (biologické hodiny, vnitřní rytmus). Pro člověka je zvlášť typická potřeba poznávací (zvědavost). Obvykle je činnost, kterou člověk provádí, citově zbarvena, což se označuje jako ***emoce***. Podle subjektivního hodnocení se emoce dělí na ***libé*** (radost) a ***nelibé*** (strach, bolest). Podle charakteru výsledné činnosti se pak rozlišují emoce mobilizující (zlost) nebo demobilizující (smutek). Emoce jsou řízeny z limbického systému. K posledním geneticky podmíněným mechanismům chování se řadí ***instinkty***, které ovládají složité formy činnosti. Umožňují jednat i bez využití individuální zkušenosti zvláště v situacích, které jsou kritické pro zachování jedince nebo rodu. Uplatňují se tedy při řízení rozmnožování, péče o potomstvo, obrany proti nepřátelům nebo při získávání potravy.

17.2 CHOVÁNÍ A ZÍSKANÉ INFORMACE

Změny chování jednotlivce mohou být založeny na individuálních zkušenostech, zprostředkovaných mechanismy ***učení a paměti***. Dá se říci, že učení a paměť jsou dvě stránky téhož procesu.

17.2.1 UČENÍ

Tzv. ***neasociativní učení*** je definováno jako nejjednodušší a vývojově nejstarší forma změny odpovědi na jediný podnět. Je velmi rozšířené v celé živočišné říši. Jako příklad se udává ***habituace***, což v podstatě znamená snižování odpovědi na opakující se podnět, u kterého se ukázalo, že nemá biologickou hodnotu. Organismus se tak učí nedbat na podnět, který nemá pro něho signální hodnotu (například zánik reakce na zvuk bicích hodin). Pokud však opakováný podnět má naopak velký význam, příkladem může být signál bolesti, odpověď se může zvyšovat. Tento proces se nazývá ***senzitizace***.

U člověka (a nejen u něho) se projevuje i další schopnost – a to schopnost využívat informace o výsledku činnosti k ovlivnění dalšího chování. Jedenec „hodnotí“ okolnosti, které jeho akci provázely, a na základě svých dobrých či špatných zkušeností mění strategii své následující činnosti. Tento typ chování se označuje jako ***asociativní učení*** a spočívá ve spojení podnětů, které mají k dané činnosti určitý vztah a mohou být využity k jejímu dalšímu řízení. U mladších jedinců hraje učení významnější roli, přičemž dispozice k učení jsou dány také geneticky.

Způsoby učení se navzájem doplňují a prolínají, přičemž jeho formy jsou různé podle stupně fylogenetického a ontogenetického vývoje jedince. Rozlišují se následující hlavní formy učení:

1. ***Podmíněné reflexy*** vznikají vazbou nepodmíněného reflexního děje na nový podmíněný podnět. Nepodmíněné podněty (jakými je například zpracování potravy v dutině ústní s následnou tvorbou slin) jsou svým způsobem vždy biologicky významné, podmíněný podnět (například jen slovo – *jablko* – může u člověka vyvolat tvorbu slin) přejímá po opakování spojení výkonné část nepodmíněného reflexu – stává se tak jeho signálem. Zatímco v případě nepodmíněného reflexu jeden podnět vždy vyvolává stejnou reakci, při podmíněném reflexu může jeden podnět podle podmínek vzniku vybavovat kvalitativně různé reakce. Jako příklad lze uvést opět slovo *jablko*, které u někoho může vyvolat tvorbu slin (má ho rád, je dobré, chutná mu), u jiného, který má s tímto slovem spojené nedobré zkušenosti (bylo odporné, nechutné, bylo mu jednou po něm špatně), může vyvolat třeba i zvracení. Podle motivace se dělí reflexy na ***apetitivní (pozitivní)***, jejichž posilování je spojeno s odmenou, a na reflexy ***obranné (negativní, averzivní)***, jejichž posilování se označuje jako trest.
2. ***Napodobování*** je druh učení, při kterém jedinec pozoruje úspěšné řešení určitého úkolu a jeho napodobením zdokonaluje své motorické reakce. Je důležité pro osvojení si sociálních vztahů (například u zvířat postavení ve stádu).
3. V určitém období vývoje získává jedinec své zkušenosti prostřednictvím ***her***, kterou nacvičuje prvky biologicky důležitých vzorců chování. Tak se například vytvářejí i první sociální kontakty.
4. ***Učení vzhledem*** je nejvyšší formou učení, které spočívá v pochopení vztahů mezi různými podněty a ději. Získané zkušenosti jsou využívány při řešení zcela nových úkolů a to pouze rozvažovací schopnosti mozku. Uplatňuje se nejen u člověka, ale i primátů obecně a některých ptáků.

5. Vtištění (imprinting) lze vyvolat jen v určitém krátkém období života. K vybavení podnětu dochází i při jediném spojení a jeho důsledky pro chování jsou trvalé. Klasickým příkladem je vtištění podoby rodičů u některých druhů ptáků, která se pak stává rozhodující i pro výběr sexuálního partnera.

17.2.2 PAMĚТЬ

Složkami paměťových mechanismů jsou ukládání, uchovávání a vybavování informací. Kromě **paměti nervové**, existují v organismu i **paměť genetická** a **paměť imunitní**.

Základem nervové paměti je ukládání jednotlivých stop (engramů) do nervového systému.

Podle doby, po kterou se informace uchovávají, se rozlišují paměti:

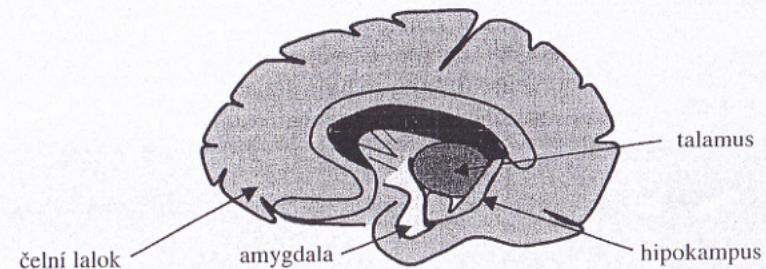
- a) **krátkodobá**, která trvá sekundy až minuty. Není tedy trvalá. Pracuje tak, že nové podněty potlačují staré vjemy. Kapacita této paměti je velmi omezená. Příkladem je záznam okamžité dopravní situace, nebo míjení dopravních značek při řízení auta. Na buněčné úrovni je vznik krátkodobé paměti vyvolán funkčními změnami na synapsích a dendritech nervových buněk.
- b) **střednědobá**, která uchovává informace minuty až hodiny a poté buď sama vymizí, nebo se přesune do dlouhodobé paměti. Má rovněž omezenou kapacitu, ale uchovává již komplexnější vjemy, včetně jejich časového průběhu. Informace ovlivňují dlouhodobě chování. Pro uložení a vybavení paměťové stopy má význam především hipokampus, další části limbického systému a mozková kůra. Například při řízení auta je takto uložen cíl cesty, plánovaná trasa, zastávky atd. Podobně i střednědobá paměť je vyvolána funkčně změnami na synapsích nervových buněk.
- c) **dlouhodobá**, trvající několik dní i let, někdy je informace trvale uchovávána. Kapacita této paměti je prakticky neomezená. Do dlouhodobé paměti jsou zařazovány informace, které se opakují (některá telefonní čísla, učení cizích slov), nebo které jsou spojeny s výraznou emoční složkou (průběh maturitní zkoušky, první polibek). Zvláštní formou této paměti jsou **paměťové stopy s vysokou stabilitou**, které vznikají mnohonásobným opakováním a jsou snadno a okamžitě přístupné. Takto jsou uloženy základní praktické dovednosti (schopnost číst a psát, pracovní návyky) a vědomosti (vlastní jméno, jména blízkých osob, názvy

věcí). Například pro řízení auta jsou takto uloženy pohybové vzorce řazení, řízení směru apod.

Dlouhodobá paměť se dále dělí na **paměť deklarativní**, která může být vybavena ve slovní formě nebo jako myšlenková představa (obsahuje abstraktní informace, zaznamenává časový a prostorový sled událostí, umožnuje poznání osob, míst či objektů), a **paměť nedeklarativní**, která je součástí různých mimořádných projevů chování. Zde uložené informace si jedinec neuvědomuje. Patří sem tvorba pohybových vzorců (označuje se jako motorická paměť), somatických a vegetativních podmíněných reflexů či ukládání vzorců pro zpracování určitých smyslových vjemů (schopnost čtení – vnímáme celá slovní spojení nebo bloky). Dlouhodobá paměť má rovněž základ ve změnách synapsí nervových buněk, ale dochází následně k morfologicko-funkčním změnám článků přenosu vznachu.

Obrázek 49

Oblasti mozku spojené s vytvářením dlouhodobých paměťových stop
(boční pohled)



17.2.3 ÚTLUM A JEHO DRUHY

Při působení podmíněných podnětů nevzniká v centrálním nervovém systému pouze podráždění (excitace), ale často se díky jejich působení projeví **útlum**. Útlum znamená potlačení komplexního děje nebo činnosti. Rozlišují se následující typy útlumu:

- **nepodmíněný útlum**, který se také označuje jako vrozený či pasivní, vzniká bez předchozího vypracování
- **podmíněný útlum** – také získaný, aktivní, někdy se označuje jako vnitřní – vypracovává se stejně jako klasický podmíněný reflex.

Nepodmíněný (vnější) útlum je vyvolán různými vnějšími faktory, které působí současně s podmíněným podnětem nebo krátce před ním. Výsledkem je částečné nebo úplné zablokování reflexní reakce podnětem, který působí současně. *Nadhraniční útlum* vzniká tehdy, pokud podnět vyvolávající reakci je tak silný, že překročí výkonnost dané části mozku. Tento útlum se může rozšířit i na další struktury mozku, což se označuje jako generalizovaný útlum. Ten zajišťuje vratnost funkcí nejvyšších oddílů centrálního nervového systému a chrání jej vlastně před vyčerpáním. Proto se také označuje jako ochranný útlum.

Podmíněný útlum v užším slova smyslu se dá vypracovat tak, že k podnětu, na který vznikl podmíněný reflex, se připojuje další nový podnět (například ke sluchovému se připojuje zrakový). Tato kombinace podnětů se neposiluje a nevyvolává odpověď. Proto na ni dostává organismus zápornou odpověď – hovoří se o *tlumivé kombinaci*.

Podmíněné útlamy se dále dělí podle konečného projevu. *Podmíněný diferenciální útlum* je podstatou rozlišování (diferenciace). Diferenciace vzniká tak, že po původní generalizaci reflexní odpovědi na nějaký podnět se podmíněný reflex zkonzentruje pouze na tento podnět (například tón určité výšky). *Podmíněný útlum vyhasnání reflexů* je příčinou toho, že se kvantita podmíněné odpovědi snižuje, až nakonec jedinec na tento podnět úplně přestane reagovat. Tento útlum zajišťuje situaci, že organismus nereaguje na podněty, které pro něho ztratily význam signálu – čili biologicky významného podnětu.

18. BIORYTMY

Čas je pojímán jednak jako chronologický děj, který probíhá lineárně a označuje se jako astronomický nebo kalendářní čas, jednak biologický (fyziologický) čas, který má fáze zrychlení a zpomalení. Biologický čas má začátek – spojení pohlavních buněk – a konec – smrt. Má individuální šíři – někdo žije jen několik hodin, někdo se dožívá více jak 100 let.

Existence **biologických rytmů** je jednou ze základních vlastností, která pomáhá udržovat rovnováhu mezi katabolickými a anabolickými potřebami organismu. Vznik a udržení biorytmů souvisí se střídáním světla a tmy, některé biorytmy však mohou probíhat i v úplné tmě. Biologické rytmы představují kvantitativní a kvalitativní změny živých organismů, které se pravidelně vracejí – mají svoji periodicitu. Ta je charakterizována frekvencí (za jaký časový úsek se znova opakují) a amplitudou (jak velké je kolísání sledovaných hodnot během jednoho cyklu).

Příčinami periodicity jsou:

1. **zevní (exogenní) příčiny** – jedná se o vlivy přírodní, jakými jsou světlo a tma, tepelné změny (léto a zima), povětrnostní, atmosférické (magnetismus Země) a kosmické (erupce na Slunci), jednak jsou to vlivy společenské
2. **vnitřní (endogenní) příčiny**, které vznikají na různých úrovních
 - **nervová úroveň** je dána funkcí centrálního nervového systému jako synchronizéru, dále je to otázka tzv. „biologických hodin“, které se „umístitují“ do limbického systému
 - **hormonální úroveň**, čímž je míněn vztah mezi hypotalamem – hypofýzou a dalšími žlázkami s vnitřní sekrecí
 - **buněčná úroveň**, kdy se jedná především o tvorbu DNA

Biorytmy se dělí podle frekvence periodicity na:

- **biorytmy ultradiánní**, které jsou časově kratší než 20 hodin
 - změny v milisekundách jsou spojeny s nervovou činností, změny v sekundách se srdeční frekvencí, změny v minutách s dýcháním a změny v hodinách například s aktivitou žláz
- **biorytmy cirkadiánní**, jejichž perioda trvá 20–28 hodin. Označují se také jako denní rytmus.
 - Denní charakter změn má aktivita některých žláz (například tvorba antiuretického hormonu je nejvyšší v noci podobně i tvorba růstového hormonu), ale i pohybová aktivita. Podobně i bolest má svůj vrchol – a to večer. Proto se třeba doporučuje chodit k zubaři hned ráno.
- **biorytmy infradiánní** mají periodu delší než 28 hodin. Řadí se sem lunární biorytmus, kdy perioda činí 4 týdny (známý je menstruační cyklus u žen), a cirkanuální biorytmus, kde perioda trvá 10–14 měsíců – tedy 1 rok.

Zdroj cirkadiánních rytmů byl nalezen v mozku – v hypotalamu, který sladuje biorytmy hladin hormonů a biorytmy chování vzhledem ke střídání dne a noci. Významné postavení má hormon **melatonin**, který se tvoří v šíšince (epifýze) a který informuje o tom, že je noc. Nastavuje do určité míry biologické hodiny a „seřizuje“ chod cirkadiánních rytmů. Jak člověk stárne, tvoří se méně a méně melatoninu, což se projevuje špatným „seřizením“ chodu cirkadiánních rytmů. Starší lidé proto například častěji usínají ve dne a špatně spí v noci.

19. VŠEOBECNÝ ADAPTAČNÍ SYNDROM – STRES

Jednou ze základních vlastností organismů, která jim zabezpečuje relativní nezávislost na změnách zevního prostředí, je schopnost **autoregulace**. Pod tímto pojmem se rozumí schopnost organismu minimalizovat rozdíly mezi skutečnými hodnotami a požadovanou hodnotou dané veličiny na základě zjištěného rozdílu. U nižších organismů jde pouze o regulaci chemickou, u vyšších o regulaci humorální, která je podobná zmíněné chemické regulaci, a fylogeneticky nejmladší a všem úrovním regulací nadřazenou nervovou regulaci. Předností humorální regulace je její cílenost, předností nervové regulace její rychlosť. Oba typy regulací mají přitom v podstatě chemický základ (buď hormony nebo mediátory).

Množství impulsů ze zevního či vnitřního prostředí, které mohou působit na organismus, je prakticky nekonečný. Přitom variabilita okamžitých odpovědí jedince je relativně velmi malá.

Adaptace je chápána jako získávání nových vlastností v nových podmínkách, které jsou z hlediska přežití a existence jedince či druhu výhodnější, než vlastnosti původní.

Podle rozdílnosti situací, ve kterých se odpověď organismu projeví jako užitečná, se rozlišují následující reakce:

- reakce vysoce specifické (například tvorba specifických protilátek)
- reakce všeobecné (sem se řadí obecně se vyskytující příznaky, jakým je třeba kašel)
- všeobecný adaptační syndrom – stres, což je nejvšeobecnější reakce organismu.

Definice stresu prodělaly značný vývoj. Protože je snaha postihnout jak pozitivní tak i možný negativní vliv stresu, používá se určitá kompromisní definice stresové reakce:

„Stres je stav organismu, do kterého se dostane vlivem působení stresoru. Přitom mobilizuje systém obranných a reparačních pochodů za účelem přežití záťžové situace.“

Všechny změny při stresu jsou zaměřeny na vytvoření nového ustáleného stavu. Působící vlivy se označují jako záťžové, stresové, stresory nebo prostě jen stres.

Stres se rozděluje na **eustres** – příjemný (lépe potřebný) stres a **distres** – nepříjemný nebo stres zjevně ohrožující jedince. Příkladem eustresu může být náhlé splnění určitých přání (výhra), ale i potřeba přizpůsobit se například změnám okolní teploty, příkladem distresu rozvoj některých nemocí. Existuje řada příkladů, kdy člověk vyhledává stresy, které svými doprovodnými projevy modulují jeho psychické eventuelně fyzické reakce. Jedná se o stres v podobě filmových hororů, přihlížení automobilovým závodům (perverzní potěšení z havárií), promiskuitní riskantní sex, rizika hazardních her (včetně sázení), ale i o horolezectví, maratónský běh, aktivity „železých mužů“.

Z fyziologického hlediska je stres souborem regulačních mechanismů, které nastupují při ohrožení vnitřní homeostázy jedince. **Stresovou reakcí** se přitom rozumí velmi často situace na hranici patologického stavu.

19.1 STRESORY

Přesně stanovit, zda určitý vliv je či není stresorem, je velmi těžké. O intenzitě odezvy na stresor rozhoduje totiž i současné či předchozí působení jiného stresoru, například proběhlé nemoci či úrazy. Jako stresory se obecně označují podněty, vyvolávající určitý charakteristický sled nervové, humorální či celkové reakce organismu.

Rozeznávají se následující typy stresorů:

- **fyzikální stresory** – například to může být chlad, hluk, vibrace, oslnění
- **chemické stresory** – což bývají různé chemické látky včetně jedů, ale patří sem i hlad či žízeň
- **bolest** – lze vyvolat drážděním elektrickým proudem, provází různé úrazy apod.
- **komplexní stresory** – kdy je méněn soubor podnětů, které působí na člověka najednou (například nové prostředí, ale řadí se sem i fyzická námaha)

- **individuální stresory** – působící jen na daného člověka (duševní vypětí, tvůrčí činnost, veřejné vystoupení, nedostatek spánku, některé atletické výkony jako jsou běhy na dlouhé tratě, sauna, ztráta nebo ohrožení milované bytosti, strach z nemoci, z operace)
- **stresory z nemoci** – jakými mohou být ztráta výdělku, hospitalizace, prostředí nemocničního pokoje
- **stresory skupinové** – projevující se problémy s přizpůsobením se novým sdružením nebo kolektivům (školní, rodinný, sousedský stres)
- **sociální stresory** – kdy jedinec nezvládá například pracovní nároky (faktické nebo relativní přetížení, tlak termínů), má strach z propuštění, nezaměstnanosti, ale i z odchodu do důchodu

Prestože je člověk tvor mimořádně stresovaný, stresu vcelku dobře odlává a ne každý podnět je hned stresorem.

19.2 VŠEOBECNÝ ADAPTAČNÍ SYDROM

Stresové vlivy vyvolávají v organismu průběh změn, které byly shrnutý pod pojmem **všeobecný adaptační syndrom**. Je to soubor vzájemně na sebe navazujících reakcí, během nichž dochází k určitým orgánovým změnám, které vznikají nespecificky (stereotypně), tedy nezávisle na typu působícího stresoru.

Rozeznávají se tři stádia všeobecného adaptačního syndromu:

1. stádium se nazývá **alarmová reakce** (dříve označovaná též poplachová reakce)
2. stádium je **stádium rezistence**
3. **stádium vyčerpání**, případně restituce (návratu), nedošlo-li ke smrti jedince

Alarmová reakce je zahájena aktivací mozkové kůry, hypotalamu, sympatiku a vyplavením katecholaminů (adrenalinu a noradrenalinu) ze dřeně nadledvinek. Dochází k tomu díky působení stresorů, které dráždí periferní nervové receptory, odkud jsou podněty vedeny do mozku. Část impulsů přechází k prodloužené míše a páteřní míše, odkud pomocí sympatických a parasympatických vláken dochází k ovlivnění činnosti vnitřních orgánů. Část impulsů vede do hypotalamu k jeho neurosekrečním buňkám, které začnou tvořit kortikoliberiny (CRH). Kromě toho ovlivňují i výdej betændorfínů, prolaktinu a inzulínu.

Stádium rezistence je období, kdy je adaptace tedy přizpůsobení se na stres maximální. Vzniká při trvalém nebo opakovaném stresu, pokud intenzita stresu není příliš vysoká a organismus nehyne. Je plně rozvinuta vysoká aktivita systému ACTH – kůra nadledvinek, ale jedinec má stále ještě rezervy.

Stádium vyčerpání nastává, pokud stádium rezistence již nestačí chránit organismus před stresem. To může být způsobeno vysokou intenzitou stresu (pak toto stádium navazuje přímo na alarmovou reakci), poruchou adaptačních reakcí nebo abnormalními reakcemi, kdy se hovoří o „nemocích z adaptace“ (též stresové nemoci).

V souvislosti se stresem se hovoří o **adaptaci**, která patří k obecným charakteristikám živých organismů. Adaptační reakce nastávají jak na úrovni tkání, tak buněčné i subbuněčné. Jejich smyslem je nejen udržení homeostázy i po jejím vychýlení stresovými podnety, ale umožňují i funkční přizpůsobení se novým životním podmínkám. Jejich součástí jsou dočasné kompenzační změny i trvalá přizpůsobení aktivity žláz, metabolických procesů, ledvinových funkcí, srdečně-cévního systému a dalších.

Méně často uváděnou formu adaptace je **vyhýbání se stresu**. Místo, aby organismus čelil stresové situaci, hledá cesty, jak se mu vyhnout. Zařazují se sem mimikry (barevná adaptace), hibernace (zimní spánek), estivace (letní strnulost některých živočichů v období sucha a horka), diapauze (omezení životních funkcí při nepříznivých životních podmínkách) a migrace (sezónní únik před chladovým stremem či hladověním).

19.3 METABOLICKÉ REAKCE U STRESU

Stresové reakce jsou doprovázeny dvěma základními metabolickými procesy, které se týkají glukózy a lipidů. Glukóza uvolňovaná z jaterního glykogenu nebo vzniklá z aminokyselin přechází do krve spolu s glukózou, pocházející z různých sacharidů přijatých potravou (pokud osoba nehladovi). Hormonálně se na tom podílejí adrenalin, noradrenalin, glukagon a glukokortikoidy. Tato glukóza je však přednostně využívána mozkem a játry. Svaly přijímají glukózu při zátěži i v klidovém stavu pomocí inzulínu, jehož funkce je však za stresu tlumena. Místo glukózy jsou během stresu nabízeny tkáním mastné kyseliny jako dlouhodobý zdroj energie. Ty jsou uvolňovány především z tukové tkáně a využívány játry a svaly. Uvolňování mastných kyselin ze zásob zajišťuje růstový hormon. Protože tento hormon současně

podporuje novotvorbu bílkovin ve svalech, nedochází zpočátku ke tvorbě cukrů ze svalových bílkovin, takže nedochází ke snížení pohybové aktivity. V mozku se dále zvýšeně tvoří beta-endorfíny, které jednak zvyšují chuť k jídlu, jednak působí proti vnímání bolesti, která se tak lépe snáší, podobně jsou lépe tolerovány i intenzívní tělesná námaha či hladovění. Těmito regulačními mechanismy reaguje organismus například na hladovění, intenzivní tělesnou námahu, bolest apod.

19.4 VLIV STRESU NA OBRANYSCHOPNOST (IMUNITU)

Stres není záležitostí jenom hormonální, ale je součástí dějů, v němž imunita hraje významnou úlohu. Imunitní systémy v organismu zajišťují řadu vysoce specializovaných funkcí. Při stresu se zvyšuje počet bílých krvinek, které mají i delší dobu života a celkově se zlepšují imunitní odpovědi. Pokud však působí dlouhodobý nebo vysoko intenzívní stres, dochází nakonec ke sníženým imunitním odpovědím, což se projevuje zvyšujícím se výskytem například virových nemocí.

19.5 SRDEČNĚ-CÉVNÍ SYSTÉM A STRES

Úkolem srdečně-cévního systému v průběhu stresu je zabezpečit přiměřené zásobení orgánů krví zvýšením minutového srdečního výdeje a následným rozdělením krve do důležitých orgánů. Odpovídá tedy na stresovou situaci adrenergní reakcí, která připomíná reakci na fyzickou zátěž. V první fázi působí stresory na srdeční sval především prostřednictvím aktivity sympatického nervového systému a katecholaminů (adrenalinu a noradrenalinu). Srdeční odpovídá zrychlením srdeční frekvence (tachykardií), vzestupem jeho kontraktility, minutového srdečního výdeje i spotřeby kyslíku. Při nadměrně silně působícím stresoru nebo jeho dlouhodobém vlivu může dojít k poruchám srdečního rytmu nebo poruchám průtoku krve koronárními tepnami. Redistribuci (přerozdělení) krve zajišťují katecholaminy vasokonstričně – vasodilatačním vlivem, kdy upřednostňují prokrvení orgánů a systémů důležitých pro život.

19.6 NERVOVÝ SYSTÉM A STRES

Psychické a fyzické projevy při stresu jsou reciproční. Často je působení psychického stresoru provázeno fyzickou reakcí a naopak fyzický stresor psychickou reakcí. Důležitou roli zde hraje věk a jemu odpovídající problémy, cirkadiánní rytmus, různé vnímání bolesti apod.

Ve stresu „trpíme“ vším možným, ale nejsme smutní. To se dává do souvislosti s tzv. šetřením katecholaminů, jež mají chránit během zátěže před depresí. Jejich následný pokles by mohl být v pozadí tzv. „deprese z odběrenění“, která například zmenšuje subjektivní požitek radosti po vykonané zkoušce.

Důležité jsou účinky endogenních opiatů – endorfínů. Nejvíce se nalézají v hypofýze, odkud se při stresu uvolňují do systémového krevního oběhu, ale jsou i v hypotalamu a dalších částech mozku. Endogenní opiaty snižují schopnost vnímání bolesti, zvyšují vyplavování prolaktinu, STH a TSH a podílejí se na reakcích srdečně-cévního a dýchacího systému. Ovlivňují paměť a učení, podílejí se na zvýšeném příjmu potravy a termoregulaci.

19.7 DÝCHACÍ SYSTÉM A STRES

Vyplavený adrenalin vyvolává rozšíření průdušek a zrychlení dechové frekvence, čímž se zvyšuje ventilace.

19.8 STRES A SEXUÁLNÍ FUNKCE

Pro ovlivnění sexuálních funkcí je rozhodující povaha stresu, stav organismu a fáze sexuálního vývoje, ve které se jedinec nachází.

V průběhu nitroděložního vývoje je diferenciace CNS základním předpokladem pro dospělé sexuální chování. V tomto období jsou zranitelnější jedinci **mužského pohlaví**. Mužská diferenciace je závislá na účinku androgenů plodu. Předpokládá se, že těžké stresové situace u matky mohou vést u jejich plodů mužského pohlaví k potlačení sekrece androgenů, což se může projevit v dospělosti poškozením sexuálního chování daného jedince (uvažuje se o souvislosti s projevy homosexuality či transsexuality).

Na sexuální chování v dospělosti mohou mít přímý i nepřímý vliv androgeny, které se ve stresových situacích mění podle různé intenzity a fáze

stresu. Za stresu jsou androgeny z kůry nadledvinek vyplavovány pod vlivem ACTH, zatímco na sekreci androgenů z pohlavních orgánů působí ACTH tlumivě. Proto hladina testosteronu zprvu stoupá, ale s prodlužující se dobou a zvyšující se intenzitou stresu hladina testosteronu naopak klesá. Dlouhodobý vyčerpávající fyzický a psychický stres vedou k dramatickému poklesu hladiny testosteronu.

U žen se v průběhu stresu popisuje pokles FSH, zkrácení menstruačních cyklů, které bývají často bez ovulace. Může dojít až k zástavě celého menstruačního cyklu. Tento stav je znám například u vrcholových sportovkyň, nebo provází těžké formy přetrénování.

20. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

20.1 Seznam obrázků

číslo	název	strana
1.	Složení buňky	12
2.	Červené krvinky – předozadní a boční pohled	18
3.	Tvorba a rozpad červených krvinek	18
4.	Reakce podílející se na zástavě krvácení	22
5.	Pohyb tekutiny mezi kapilárou a mezibuněčným prostorem	25
6.	Jednotlivé oddíly srdce	30
7.	Převodní systém srdce	31
8.	Srdeční revoluce	32
9.	Základní křivka EKG	34
10.	Schéma krevního oběhu u dospělého člověka	36
11.	Vztahy mezi rychlosí, tlakem a velikostí řečiště krevního oběhu	37
12.	Schéma dýchacího systému	40
13.	Změny nitroplicního a interpleurálního tlaku při nádechu a výdechu	41
14.	Formy dýchání	42
15.	Spirogram	45
16.	Jednosekundová vitální kapacita (FEV ₁)	47
17.	Distribuce vzduchu v plících	47
18.	Schéma řízení dýchání	50
19.	Jednotlivé oddíly zažívacího traktu	51

číslo	název	strana
19.	Změny blízkého bodu dané věkem	116
20.	Třída vůní	120
21.	Reakce orgánů a systémů na zvýšenou aktivitu sympatiku a parasympatiku	135

21. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

A	– adrenalin
ACTH	– adrenokortikotropní hormon
ADH	– antidiuretický hormon
ADP	– adenosindifosfát
AMK	– aminokyseliny
ATP	– adenosintrifosfát
BM	– bazální metabolismus
CNS	– centrální nervový systém
CP	– kreatinfosfát
CRH	– kortikoliberin
DF	– dechová frekvence
DNA	– deoxyribonukleová kyselina
ECT	– extracelulární (mimobuněčná) tekutina
EE _{o2}	– energetický ekvivalent kyslíku
ERV	– exspirační (výdechový) rezervní objem
FEV ₁	– jednosekundová vitální kapacita
FSH	– folikulostimulační hormon
GHIF	– antagonist somatostatinu
GHRH	– somatokrinin
GnHR	– gonadotropin-releasing factor
ICT	– intracelulární (nitrobuněčná) tekutina
IRV	– inspirační (nádechový) rezervní objem
KM	– klidový metabolismus
LK	– levá srdeční komora
LA	– kyselina mléčná (laktát)
LH	– luteinizační hormon

LS	– levá srdeční síní
LTH	– luteotropní hormon
MK	– mastné kyseliny
MMV	– maximální minutová ventilace
NA	– noradrenalin
NADH	– nikotinamidadenindinukleotid redukovaný
nál.BM	– naležitý bazální metabolismus
non-REM	– spánek bez rychlých pohybů očí
PM	– pracovní metabolismus
PK	– pravá srdeční komora
pO ₂	– parciální tlak kyslíku
PS	– pravá srdeční síní
Q	– minutový srdeční výdej
Q _s	– systolický srdeční výdej
REM	– rapid eye movement = spánek s rychlými pohyby očí
RNA	– ribonukleová kyselina
RV	– reziduální (zbytkový) objem
SF	– srdeční frekvence
STH	– somatotropní hormon
TCT	– tyreokalcitonin
TF	– tepová frekvence
TLC	– celková kapacita plic
TRG	– triacylglyceroly
TRH	– tyreoliberin
TSH	– tyrostimulační hormon
VC	– vitální kapacita plic
VER	– minutová ventilace plic
V _T	– dechový objem

22. SEZNAM HLAVNÍ POUŽITÉ LITERATURY

- Claman HN., Biologie imunitní odpovědi. JAMA 1993, 1, 3, 196–202
 Drábková J., Základy resuscitace. Avicenum Praha, 1982, s. 470
 Eliot RS., Stress and the heart. Futura Publishing Co., Inc Mount Kisco, New York 1988, s. 278
 Ganong WF., Přehled lékařské fyziologie. Nakladatelství H a H. 1993, s. 681
 Havlíčková L. et al., Fyziologie tělesné zátěže.I. Obecná část. Karolinum Praha, 1997, s.196
 Hoschl C., Neuroendokrinologie v psychiatrii. Avicenum Praha, 1989, s. 231
 Hulín I. et al., Patofyziológia. Slovak Academic Press, 1996, s. 702
 Karlson P., Gerij W., Gross W., Pathobiochemic. Academia Praha. 1987, s. 480
 Klener P., Cytokiny a hemopoetické růstové faktory. Remedica 1993, 5, 293–299
 Kohlíková E., Vybraná téma praktických cvičení z fyziologie člověka. Karolinum Praha. 2000, 83+přílohy
 Mysliveček J., Myslivečková-Hassmannová J., Nervová soustava. Avicenum Praha. 1989, s. 318
 Nečas E., Obecná patologická fyziologie. Karolinum Praha. 2000, s. 377
 Schmidt RF., Memorix-Fyziologie. SCIENTIA MEDICA Praha, s. 310
 Schreiber V. et al., Stres. Avicenum Praha, 1985, s. 383
 Silbernagl S., Despopoulos A., Atlas fyziologie člověka. Avicenum Praha, 1984, s. 321
 Trávníček T. et al., Obecná patologická fysiologie. Avicenum Praha, 1977, s. 429
 Trojan S., Lékařská fyziologie. Avicenum Praha, 1994, s. 460
 Trojan S., Nárys fyziologie člověka. Sešit I.A. Karlovinum Praha, 1992, s. 133
 Vašků J., Korpáš J., Hulín I., et al., Patologická fyziológia. Osveta Martin, 1984, s. 641
 Velíšek L., et al., Směry moderní fyziologie, Karolinum Praha, 1992, s. 66
 Wenke M., Mráz M., Hynie S., Farmakologie pro lékaře I. a II. díl. Avicenum Praha 1983, s.1346
 Widimský J., Kardiovaskulární systém a tělesná námaha. Avicenum Praha, 1975, s. 177