



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



Název projektu	Rozvoj vzdělávání na Slezské univerzitě v Opavě
Registrační číslo projektu	CZ.02.2.69/0.0./0.0/16_015/0002400

Fyziologie I

Distanční studijní text

Iveta Bryjová

Opava 2022



**SLEZSKÁ
UNIVERZITA**
FAKULTA VEŘEJNÝCH
POLITIK V OPAVĚ

- Obor:** **05 – Přírodní vědy, matematika a statistika**
051 Biologické a příbuzné vědy
0511 Biologie
0512 Biochemie
09 – Zdravotní a sociální péče, péče o příznivé životní podmínky
0912 Humánní medicína
0914 Lékařská diagnostika a léčebné techniky

Library of Congress Classification Outline

1. Class Q – Science

Subclass QP – Physiology

- QP1-(981) Physiology
- QP1-345 General

2. Class R – Medicine

Subclass R – Medicine (General)

- R5-920 Medicine (General); R5-130.5 General works

Subclass RC Internal Medicine

- RC31-1245 Internal medicine

Subclass RJ Pediatrics

- RJ125-145 Physiology of children and adolescents

Subclass RT Nursing

- RT1-120 Nursing; RT89-120 Specialties in nursing

Klíčová slova: Fyziologie, buňka, buněčné orgány, buněčné membrány, tělní tekutiny, extracelulární a intracelulární tekutiny, krev, hematopoéza, respirace, ventilace plic, mechanika dýchání, statické objemy plic, statické kapacity, dynamické plicní objemy, trávení, trávicí trakt, vylučování, neurofyziologie, neuron, neuroglie, senzorické funkce, motorické funkce, hybnost člověka, endokrinní systém, hormon, endokrinologie, homeostáza, štítná žláza, pankreas, GIT, funkce GIT, hormony GIT, gastrin, žaludeční sekrece, žaludek žlučník, tračník, vyprazdňování.

Anotace: Distanční studijní text Fyziologie I je určen jako podpůrný studijní materiál pro obory všeobecná sestra, porodní asistence, pediatrické ošetřovatelství a dentální hygiena. Studijní text je určen studentům jak prezenční, tak kombinované formy studia. Hlavním cílem je podat základní úvod do problematiky fyziologie buňky, tělních tekutin, respirace, trávení a vylučování, neurofyziologie, fyziologie svalstva a hybnosti člověka a endokrinologie. S ohledem na rozsáhlost a značnou hloubku probírané látky, kterou nelze pojmut na přednáškách a cvičeních, se doporučuje především samostudium s pomocí jak této studijní opory, tak doporučené literatury v ní uvedené. Text zahrnuje pouze prvních sedm kapitol, které kopírují syllabus předmětu.

Autor: **Ing. Iveta Bryjová**

Obsah

ÚVODEM.....	6
RYCHLÝ NÁHLED STUDIJNÍ OPORY.....	7
1 FÁZE ONTOGENETICKÉHO VÝVOJE ČLOVĚKA. FUNKCE BUŇKY. TĚLNÍ TEKUTINY. HOMEOSTÁZA.....	8
1.1 Ontogenetický vývoj člověka – ontogeneze a fylogeneze	9
1.2 Fáze ontogeneze	9
1.3 Vývojové zákony.....	12
1.4 Buňka – základní projevy živé hmoty.....	13
1.5 Fyziologie buňky.....	14
1.5.1 Funkční morfologie buňky.....	15
1.6 Transport přes buněčnou membránu – obecné principy	34
1.6.1 Propustnost membrány (permeabilita) a membránové transportní proteiny	35
1.7 Tělní tekutiny	40
1.7.1 Měření objemu tělních tekutin.....	41
1.8 Homeostáza	43
2 INTEGRAČNÍ FUNKCE CNS, SMYSLOVÉ FUNKCE.....	49
2.1 Úvod do centrální nervové soustavy	50
2.2 Nervové buňky – nervová tkáň	52
2.2.1 Neuroglie.....	52
2.2.2 Nervové buňky – morfologie	53
2.3 Metabolismus nervové tkáně	58
2.4 Excitace a vedení – membrána neuronu.....	59
2.4.1 Klidový membránový potenciál.....	59
2.4.2 Akční potenciál	60
2.4.3 Vedení vzruchu	63
2.5 Neuroglie.....	67
2.5.1 Neuroglie v CNS.....	67
2.5.2 Neuroglie v PNS	67
2.6 Smyslové funkce	67
2.6.1 Vnímání vlastního těla	69
3 HYBNOST ČLOVĚKA A JEJÍ ŘÍZENÍ.....	79

3.1	Úvod.....	80
3.1.1	Obecné principy.....	80
3.1.2	Řízení hybného systému.....	82
4	FUNKCE ŽLÁZ S VNITŘNÍ SEKRECÍ, ZÁKLADNÍ ÚČINKY HORMONŮ.....	89
4.1	Základní pojmy.....	89
4.2	Duhy hormonů a jejich účinky.....	90
4.2.1	Dělení hormonů.....	91
4.2.2	Endokrinní systém.....	93
4.2.3	Hypotalamo-hypofyzární systém.....	94
4.2.4	Metabolismus sacharidů, hormony pankreatu.....	95
4.2.5	Hormony štítné žlázy.....	96
4.3	Biosyntéza steroidních hormonů.....	101
4.4	Hormony kůry nadledvin – glukokortikoidy.....	101
5	KREV, LYMFY. KARDIOVASKULÁRNÍ FUNKCE, KREVNÍ KAPILÁRY, FUNKCE A ŘÍZENÍ.....	107
5.1	Tělní tekutiny – extracelulární a intracelulární tekutina.....	108
5.2	Krev.....	109
5.2.1	Hematopoéza – tvorba krve.....	110
5.2.2	Erytrocyty.....	113
5.2.3	Hemoglobin.....	114
5.2.4	Leukocyty.....	115
5.2.5	Trombocyty.....	119
5.2.6	Krevní plazma.....	119
5.2.7	Hemostáza.....	120
5.2.8	Vyšetření hemostázy.....	122
5.2.9	Lymfa.....	123
6	VENTILAČNÍ A RESPIRAČNÍ FUNKCE.....	127
6.1	Anatomie plic – dýchací cesty.....	128
6.1.1	Plicní oběh.....	129
6.1.2	Mechanika dýchání.....	130
6.1.3	Funkční vyšetření plic.....	130
7	FUNKCE GASTROINTESTINÁLNÍHO TRAKTU (GIT).....	136
7.1	Trávení a vstřebávání, imunitní systém trávicího traktu.....	140
7.2	Gastrointestinální hormony.....	143

7.2.1	Gastrin.....	144
7.2.2	Cholecystokinin-pankreozymin	144
7.2.3	Sekretin	145
7.2.4	GIP – žaludeční inhibiční polypeptid	145
7.2.5	VIP – vazoaktivní intestinální peptid.....	145
7.2.6	Motilin.....	146
7.2.7	Další gastrointestinální hormony	146
7.3	Ústní dutina a jícen.....	146
7.3.1	Žvýkání, slinné žlázy, sliny a iontové složení slin.....	147
7.3.2	Řízení sekrece slin	148
7.3.3	Polykání	148
7.3.4	Dolní jícnový svěrač, motorické poruchy jícnu	149
7.3.5	Aerofagie a střevní plyny.....	150
7.4	Žaludek, žaludeční sekrece	150
7.4.1	Žaludeční a střevní fáze	151
7.5	Exokrinní část pankreatu	152
7.6	Játra a žlučová systém	154
7.6.1	Anatomie a funkce jater	154
7.7	Žlučník	156
7.7.1	Žluč, řízení sekrece žluči	156
7.7.2	Metabolismus bilirubinu a žloutenka.....	157
7.7.3	Jiné látky vylučované žlučí.....	158
7.8	Tenké střevo	158
7.9	Tračník	159
7.9.1	Motilita a sekreční činnost tračníku.....	160
7.9.2	Resorpce tračníku.....	160
7.9.3	Stolice a střevní bakterie.....	161
7.9.4	Defekace	162
	LITERATURA	177
	SHRNUTÍ STUDIJNÍ OPORY	181

ÚVODEM

Tato studijní opora je určena (nejen)studentům Ústavu nelékařských zdravotnických studií. Především je určena studentům oboru Všeobecná sestra, Pediatrické ošetrovatelství, Porodní asistence a Dentální hygiena. Stejně tak z něj mohou čerpat i studenti ostatních prezenčních a kombinovaných forem studia různých (nejen)lékařských oborů.

Studijní opora je koncipována jako podpůrný studijní materiál, který slouží k prohloubení znalostí funkční vědy zkoumající a vysvětlující činnost organismu – fyziologie. Fyziologie je obor lékařské vědy, který je neobyčejně rozsáhlý a obsáhlý. Proto nebylo mnohdy možné redukovat text pouze na nezbytné minimum.

Etymologie slova fyziologie pochází z řeckého slova *physis* (= příroda) a *logia* (= nauka). Tento termín poprvé použil francouzský lékař Jean François Fernel v polovině 16. století pro studium funkce těla. Fernel také jako první popsal páteřní kanál, navrhl, že chuťové pohárky jsou citlivé na tuk, což je myšlenka, jejíž správnost prokázal výzkum na počátku 21. století.

Dnes je fyziologie definována v nejobecnějším smyslu jako přírodovědný obor, který se zabývá studiem funkcí živých organismů. Úkolem fyziologie je poznat a pochopit podstatu těchto dějů, objasnit jejich příčiny a vzájemné souvislosti mezi nimi. Fyziologie se v průběhu svého vývoje specializovala na celou řadu dílčích odvětví, nicméně pro potřeby studia na Ústavu nelékařských zdravotnických studií Slezské univerzity v Opavě se podržíme pouze fyziologií člověka, tedy lékařské fyziologií, která je zaměřená k potřebám medicíny.

Fyziologie nám umožňuje pochopit biochemické, fyzikální a biologické principy jednotlivých dějů v živém organismu. Fyziologii lze zařadit mezi interdisciplinární obory, jelikož stanovit hranici například mezi biochemií, molekulární biologii, genetikou, imunologií či biofyzikou je téměř nemožné.

Vzhledem k omezenému časovému prostoru vyučovacího bloku a obsáhlosti předmětu se studenti seznámí s vybranou problematikou pouze okrajově. Zevrubný výklad naleznou v doporučené literatuře na konci každé kapitoly.

Ve studijní opoře jsou používány tyto piktogramy distančních prvků:



Čas potřebný ke studiu



Cíle kapitoly



Klíčová slova



Shrnutí



Průvodce studiem



Rychlý náhled

RYCHLÝ NÁHLED STUDIJNÍ OPORY

První díl studijní opory Fyziologie I přináší pohled do problematiky prvních sedmi témat sylabu:

1. Fáze ontogenetického vývoje člověka. Funkce buňky. Tělní tekutiny. Homeostáza.
2. Integrační funkce CNS, smyslové funkce.
3. Hybnost člověka a její řízení.
4. Funkce žláz s vnitřní sekrecí, základní účinky hormonů.
5. Krev, lymfa. Kardiovaskulární funkce, krevní kapiláry, funkce a řízení.
6. Ventilační a respirační funkce.
7. Funkce gastrointestinálního traktu (GIT).

V první kapitole *Fáze ontogenetického vývoje člověka. Funkce buňky. Tělní tekutiny. Homeostáza* jsou probrány základní aspekty ontogenetického a fylogenetického vývoje člověka, rozsáhlejší část potom zahrnuje obecný a buněčný základ lékařské fyziologie od funkční morfologie buňky přes intracelulární komunikaci a transportní mechanismy buněčnými membránami, až po detailní popis jednotlivých buněčných organel. Druhá kapitola *Integrační funkce CNS, smyslové funkce* popisuje funkci centrálního nervového systému (soustavy), periferní nervové soustavy a autonomní (vegetativní) nervové soustavy. Je zde popsána skladba nervové tkáně a nervové buňky, včetně morfologie a jejich klasifikace dle počtu výběžků, metabolismus nervové tkáně, přenos vzruchu na membránách buněk – kladová akční membránový potenciál, akční potenciál a jeho fáze, synapse a typy synapsí; smyslové funkce a druhy receptorů (termoreceptory, fotoreceptory ...). Třetí kapitola *Hybnost člověka a její řízení* popisuje motoriku a schopnost řídit příčně pružované svaly, což je jednou ze základních funkcí centrální nervové soustavy spočívající ve vykonávání pohybů, udržování postoje a koordinaci. Dále jsou zde popsány reflexy (napídací, šlachový, flexorový, zkřížený extenzorový) a řízení axiálních a distálních svalů, řízení hybného systému, motorický systém, motoneuron, bazální ganglia a jejich neurotransmitery, funkce mozečku, volní a mimovolní motorika. Čtvrtá kapitola je pouhým stručným přehledem rozsáhlé problematiky. Následující kapitola vysvětluje funkci žláz s vnitřní sekrecí a popisuje základní účinky hormonů. V páté kapitole jsou popsány tělní tekutiny, jejich složení, tvorba krve a jednotlivé krevní elementy. Předposlední kapitola je věnována respiraci člověka, popisuje ventilační a respirační funkce. V poslední, obsáhlé kapitole je blíže vysvětlena funkce gastrointestinálního traktu (trávicího) od procesu trávení až po hormonální řízení.

1 FÁZE ONTOGENETICKÉHO VÝVOJE ČLOVĚKA. FUNKCE BUŇKY. TĚLNÍ TEKUTINY. HOMEOSTÁZA.



RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY

V kapitole jsou vysvětleny základní pojmy týkající se ontogenetického vývoje člověka, jsou probrány vývojové zákony (Von Baerův zákon a Haeckelův biogenetický zákon. Další rozsáhlejší část je věnována obecnému a buněčnému základu lékařské fyziologie (funkční morfologii buňky, transportním mechanismům přes membrány buněk, intracelulární komunikaci), je vysvětlen pojem homeostáza a tělní tekutiny.



CÍLE KAPITOLY

- Nastudovat obecné a buněčné základy lékařské fyziologie
- Vysvětlit pojmy ontogeneze a fylogeneze
- Vyjmenovat fáze ontogenetického vývoje člověka
- Definovat vývojové zákony
- Popsat eukaryotickou buňku
- Porozumět jednotlivým buněčným organelám
- Vysvětlit funkce buněčných organel
- Popsat transportní mechanismy přes buněčné membrány
- Popsat složení tělních tekutin
- Definovat pojem homeostáza



KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY

Ontogenetický vývoj, ontogeneze, fylogeneze, prenatální vývoj, zárodečné období, plodové období; vývojové zákony, Von Baerův zákon, Haeckelův biogenetický zákon; buňka, fyziologie buňky, morfologie buňky, aktivní transport, pasivní transport, iontové kanály, exocytóza, endocytóza, dufúze; tělní tekutiny, intersticiální, krevní plazma, intracelulární; homeostáza.

1.1 Ontogenetický vývoj člověka – ontogeneze a fylogeneze

Tato sekce byla zpracována převážně z elektronických zdrojů [1–4].

Pojem *ontogeneze* zahrnuje individuální původ a vývoj jedince/organismu od vzniku zárodku (spojení pohlavních buněk) až do jeho zániku (smrt jedince/organismu).

Pojem *fylogeneze* (fylogenetický vývoj) zahrnuje vývoj druhů organismů v historickém sledu. Tento proces většinou nelze pozorovat přímo, ale rekonstruovat na základě evoluční teorie (evoluční biologie¹). Fylogeneze v obecném kontextu znamená vývoj od jednodušších organismů ke složitějším – např. u člověka² vývoj od primitivních primátů po *Homo sapiens sapiens*.

K ZAPAMATOVÁNÍ

ONTOGENEZE (INDIVIDUÁLNÍ VÝVOJ) JE GENETICKY PROGRAMOVANÝ A CYKLICKÝ. FYLOGENEZE (HISTORICKÝ VÝVOJ, EVOLUCE) JE PROCES NAHODILÝ. ONTOGENEZE A FYLOGENEZE SE NAVZÁJEM PODMIŇUJÍ.



1.2 Fáze ontogeneze

Proces ontogenetického vývoje zahrnuje vývojové etapy od oplození vajíčka spermií, porod, přes vývoj jedince až k jeho smrti. Ontogenetický vývoj rozdělujeme na vývoj prenatální, perinatální a postnatální.

VÝVOJ PRENATÁLNÍ

Vývoj prenatální (nitroděložní) začíná oplozením vajíčka spermií a končí porodem. Délka prenatálního vývoje trvá u člověka přibližně 266 dnů = 38 týdnů (tj. koncepční/gestační stáří). V klinické praxi se délka gravidity počítá od prvního dne poslední menstruace; v tomto případě je délka gravidity (a prenatálního vývoje rovněž) 280 dnů = 40 týdnů³ (tj. menstruační stáří) = 10 lunárních měsíců. Všechny vývojové fáze ontogeneze jsou přehledně uvedeny – viz (SmartArt 1).

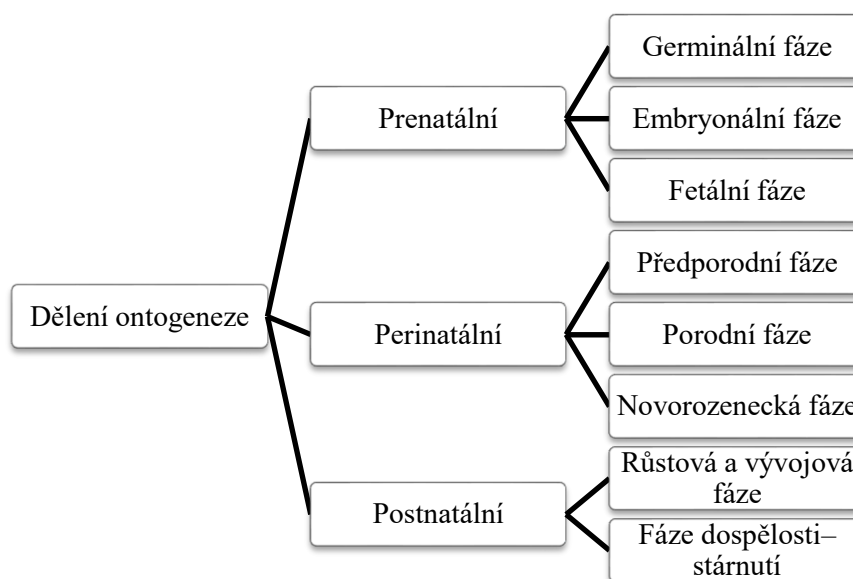
¹ Biologická evoluce je proces, v jehož průběhu se rozvíjí a diverzifikuje pozemský život.

² V rámci rodu *Homo*, čeledi *Hominidae* a řádu *Primates*.

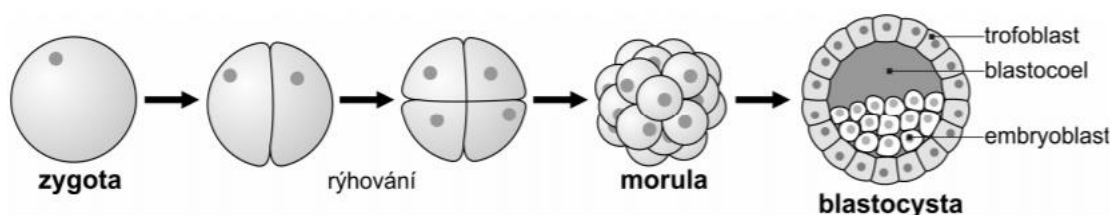
³ Pokud se dítě narodí po zahájení třicátého osmého týdne, případně do ukončení čtyřicátého druhého týdne gravidity, je těhotenství stále považováno za fyziologické.

Prenatální vývoj zahrnuje fázi germinální, embryonální a fetální. **Germinální** (germinální) je prvním obdobím ontogenetického vývoje v průběhu kterého vzniká ze zygoty⁴ embryo⁵ (blastogeneze, preembryo).

Zárodečný vývoj zahrnuje dvě části: rýhování vajíčka (blastogeneze) a diferenciaci buněk embrya (organogeneze⁶). Způsob rýhování vajíčka závisí na množství žloutku a rýhování od zygoty se realizuje v tomto pořadí: **morula** (mnohobuněčný útvar, za cca 60 hodin, Obrázek 2) → **blastula** (blastocysta – viz Obrázek 3, vzniká rozestupováním buněk uvnitř moruly, 96–120 hodin) → **gastrula** (vzniká vrůstáním povrchových buněk blastuly; vznikají tři vrstvy buněk – zárodečné listy: vnější ektoderm, vnitřní entoderm, střední mezoderm) → **neurula** (vznik nervové soustavy).



SmartArt 1 Vývojové fáze ontogeneze



Obrázek 1 K zárodečnému vývoji: Během cesty vejcovodem se zygota rýhuje (dělí), prochází stadiem moruly a nakonec se z ní stává blastocysta. Blastocysta po opuštění vejcovodu putuje do dělohy, kde se zahníždí (nidace) do děložní sliznice [6].

⁴ Zygota je buňka, vznikající splnutím dvou gamet (pohlavní buňka s haploidní sadou chromozomů). Zygota stojí na začátku ontogenetického vývoje nového jedince.

⁵ Časná vývojová fáze jedince. Obecně začíná období embrya oplozením a končí (u člověka) na konci 8. týdne těhotenství. V další části těhotenství se vývojové stádium označuje jako plod.

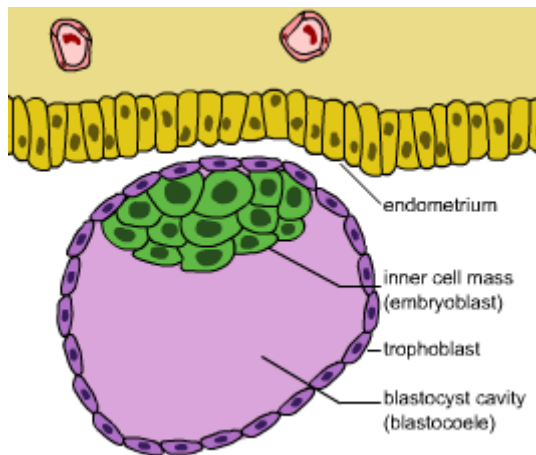
⁶ Vznik základů jednotlivých orgánů u lidského zárodka a plodu; organogeneze končí přibližně ve 12. týdnu, spolu s ní končí embryogeneze a začíná fetální vývoj.

Embryonální období je klíčovou fází ontogeneze. V tomto vývojovém stadiu (2–8 týdnů po oplození) dochází k množení a diferenciaci buněk a formování orgánů a orgánových soustav.

Fetální období (mezi 9. a 26. týdnem gravidity) je charakterizováno růstem a vyzríváním orgánů a jejich zapojením do funkce. Dokončuje se morfologický i funkční vývoj plodu a jeho orgánů až do stadia relativní životaschopnosti. Anatomicky a funkčně dozrávají jednotlivé orgány: játra, žlázy trávicího ústrojí, mazové žlázy kůže a žlázy sliznic zahájí sekreční činnost. Plod je již méně citlivý k působení rušivých vlivů.



Obrázek 2 Morula obsahující osm buněk. Zdroj [Autor: ekem, Courtesy: RWJMS IVF Program, Volné dílo, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=487773>].



Obrázek 3 Blastocysta před uhnížděním. Zdroj [CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1841189>].

VÝVOJ PERINATÁLNÍ

Perinatální vývoj zahrnuje fázi předporodní, porodní a novorozeneckou. Definice perinatálního období dle Světové zdravotnické organizace (WHO): „*The perinatal period commences at 22 completed weeks (154 days) of gestation and ends seven completed days after birth. Perinatal and maternal health are closely linked*”. Perinatální období tedy začíná dokončeným 22. týdnem těhotenství (tj. 154. dnem od prvního dne poslední menstruace) a končí 7. dnem po porodu.

VÝVOJ POSTNATÁLNÍ

Etapy vývoje člověka po narození, tj. postnatální období lze rozdělit na růst a vývoj, dospělost a stárnutí. Celé toto období lze rozdělit do několika období, jejichž vzájemné hranice nejsou zcela přesně vymezeny. Jde o produktivní a nejdelší část vývoje jedince a obvykle se dělí do třinácti stádií (viz Tabulka 1).

Tabulka 1 Fáze postnatálního vývoje člověka [5].

Novorozenecké období	0–28 dnů
Kojenecké období	29 dnů – 1 rok
Batolecí období	1–3 roky
Předškolní věk	3–6 let
Mladší školní věk	6–12 let
Starší školní věk	12–15 let
Dorostové období	15–18 let
Dospělost	18–30 let
Zralost	30–45 let
Střední věk	45–60 let
Stáří	60–75 let
Vysoké stáří	nad 75 let
Kmetský věk	90 let – smrt

1.3 Vývojové zákony

V první polovině 19. století došlo k mohutnému vývoji jednotlivých biologických věd. Zásadní vliv na další vývoj biologie měly buněčná a evoluční teorie. Ve druhé polovině 19. století biologické vědy doznaly největšího rozmachu. Za klíčovou událost tohoto období lze bezesporu považovat evoluční teorii Charlese Darwina. V obou těchto – pro biologii – významných obdobích bylo formulováno několik zákonů. Bez nároku na úplnost zde uvádíme, s ohledem na kontext probírané látky, zákony dva: Von Baerův a Haeckelův biogenetický zákon.

VON BAERŮV ZÁKON

Roku 1848 formuloval Karl Ernst von Baer⁷ 1792–1876 zákon vývoje od homogenního k heterogennímu: „*Znaky vyskytující se u vyšší systematické skupiny se obvykle objeví ve vývinu dříve než znaky nižší skupiny.*”

Baerovy zákony fylotypového stádia obratlovců:

- Obecné znaky velké skupiny živočichů se v embryu v průběhu ontogeneze objevují dříve než ty specializované.
- Méně obecné znaky se vyvíjejí ze znaků obecnějších (znaky obecné ze znaků ještě obecnějších v dřívějším vývoji), přičemž znaky velmi speciální se tvoří až ke konci embryogeneze.
- Embrya odlišných druhů se v průběhu individuálního vývoje postupně od sebe stále více odlišují.
- Časná embrya evolučně vyšších živočišných druhů procházejí stadii, kdy jsou podobná embryím, ne však dospělcům nižších organismů (zárodečná podobnost embryí).

HAECKELŮV BIOGENETICKÝ ZÁKON

Ernst Haeckel (1834–1919), formuloval roku 1866 základní biogenetický zákon o podobnosti živočišných zárodků: „*Ontogeneze rekapituluje fylogenezu*“⁴. Podle tohoto biologického zákona každý organismus v průběhu svého individuálního vývoje (ontogeneze) opakuje určité projevy a vlastnosti těch forem, které prošli jeho předkové v průběhu evoluce (fylogeneze).

Omezení biogenetického zákona se vztahuje zejména na dospělé znaky předků, které jsou jen výjimečně časnými vývojovými stadii evolučních následovníků; dále na adaptaci ve vývoji, která se odráží ve výsledných fenotypech; a ne všechny nové znaky vznikají prostřednictvím terminální adice [2].

1.4 Buňka – základní projevy živé hmoty

Buňka je základní morfologickou a funkční jednotkou většiny živých organismů (jednobuněčných a mnohobuněčných). Na buněčné úrovni je realizována většina životních funkcí, tj. buňka je schopná vykonávat všechny základní životní funkce (má všechny **projevy živé hmoty**).

⁷ Karl Ernst von Baer – jeden ze zakladatelů embryologie, objevil v Graafově folikulu savčí vajíčko a popsal jeho vývoj, i strunu hřbetní. Popsal formování orgánových soustav ze tří zárodečných listů (v roce 1845 je Robert Remark pojmenoval jako entoderm, mezoderm a ektoderm).

Mezi základní projevy živé hmoty (života) patří charakteristické znaky společné pro všechny organismy:

- Chemické složení: bílkoviny, nukleové kyseliny, sacharidy.
- Chemické procesy: základní metabolismus má stejný průběh (skládání a rozkládání látek).
- Dynamika, neustálé proměny a výměna látek, energie a informací s prostředím.
- Reakce na podněty z vnějšího prostředí a přizpůsobení se.
- Rozmnožování (reprodukce), vede k zachování rodu a druhu na základě dědičnosti.
- Dědičnost.
- Růst (neplatí obecně).
- Evoluce (vývoj), živé soustavy se neustále dlouhodobě přizpůsobují měnícím se podmínkám.
- Buňka je základní stavební a funkční jednotkou (výjimku tvoří nebuněčné organismy).

Velikost buněk lidského těla je velmi rozmanitá – největší buňkou je vajíčko ($\sim 0,15 \text{ mm} = 150 \text{ }\mu\text{m}$), nejmenší např. erytrocyt ($\sim 0,007 \text{ mm} = 7 \text{ }\mu\text{m}$) či spermie ($\sim 0,005 \text{ mm} = 5 \text{ }\mu\text{m}$). Buňky mají rozmanité tvary, nejpřirozenější je tvar kulovitý, jiné mohou být ploché, krychlové, válcovité, hvězdicovité, diskovité, měňavkovité a další.

K ZAPAMATOVÁNÍ



LIDSKÝ ORGANIZMUS OBSAHUJE $\sim 30 \times 10^{12}$ BUNĚK⁸. BUŇKA JE NEJMENŠÍ USPOŘÁDANÁ OTEVŘENÁ DYNAMICKÁ SOUSTAVA SCHOPNÁ SAMOSTATNÉHO ŽIVOTA. MYŠLENKU ZÁKLADNÍ A FUNKČNÍ JEDNOTKY ORGANIZMU VYSLOVIL JAKO PRVNÍ J. E. PURKYNĚ V ROCE 1837.

1.5 Fyziologie buňky

Sekce 1.5, 1.5.1 a 1.7 byly zpracovány převážně z literárního zdroje [7].

Buňka je základní stavební a funkční jednotka všech organismů. Hovoříme o tzv. buněčném principu organizace živých systémů. To znamená, že všechna těla jsou vždy sestavena z buněk a všechny děje organismu se odehrávají díky buňkám. Buňka je membránou ohraničená jednotka naplněná koncentrovaným vodným roztokem chemických sloučenin

⁸ V kontinentální Evropě bychom číslo 30×10^{12} nazvali 30 bilionů, avšak v anglicky mluvících oblastech světa je užíváno pojmenování 30 trilionů. Bližší poučení o pojmenování velkých čísel lze najít pod heslem „long and short scale“ na internetu.

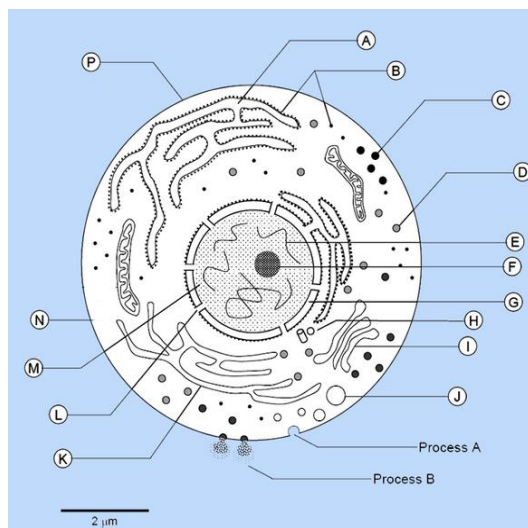
schopná vytvářet kopie sama sebe. Podle složitosti rozlišujeme dva typy buněk – prokaryotické⁹ (bakterie) a eukaryotické¹⁰.

Somatické buňky mnohobuněčných živočichů jsou obklopeny extracelulární tekutinou (ECT¹¹) a jsou ohraničené tělesným povrchem. Z extracelulární tekutiny si buňky odebírají O₂ a výživu a zpět do ní vylučují odpadní produkty metabolismu.

1.5.1 FUNKČNÍ MORFOLOGIE BUŇKY

Na povrchu je každá buňka obalena buněčnou membránou, uvnitř se nachází cytoplazma. V cytoplasmě jsou uloženy speciální struktury, tzv. buněčné organely (tj. endoplazmatické retikulum, Golgiho aparát, mitochondrie, centrozomy, lyzosomy), z nichž nejdůležitější roli má buněčné jádro. Vnitřní organizace buňky je zajišťována a udržována cytoskeletem – tzv. vnitřní buněčná kostra.

V různých orgánech jsou buňky vysoce specializovány a o žádné buňce nelze říci, že je univerzální pro všechny buňky těla. Ve většině buněk se však vyskytují tytéž buněčné struktury/organely viz Obrázek 4 (a), (b).



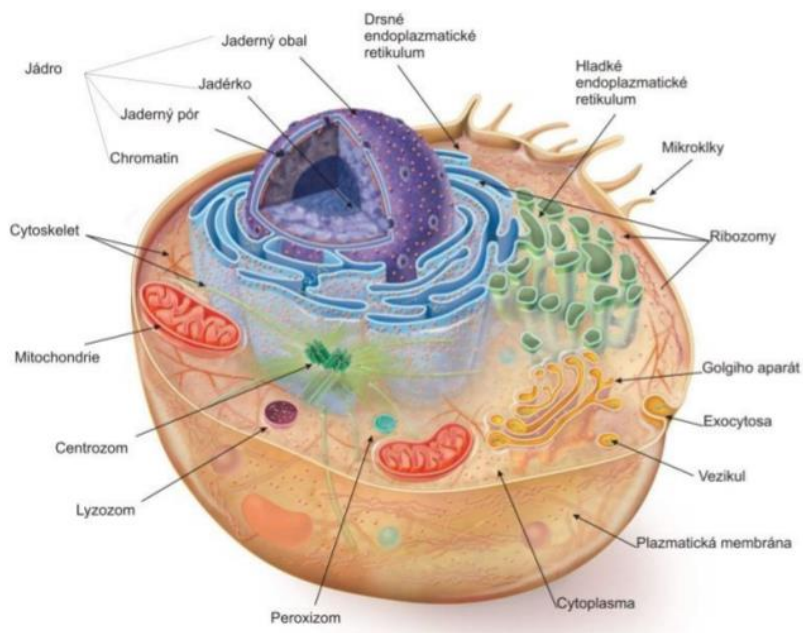
A	Drsné endoplazmatické retikulum
B	Ribozomy
C	Glykogenová granula
D	Vezikul (transportní/membránový váček)
E	Chromatin
F	Jadérko
G	Jaderný obal
H	Centrozomy
I	Golgiho aparát
J	Vakuoly (lyzozomy, fagocytární a autofágní vakuoly)
K	Hládké endoplazmatické retikulum
L	Jaderný komplex pórů
M	Nukleoplazma/Jádro
N	Cytosol (cytoplasma)
P	Buněčná membrána
Proc. A	Endocytóza
Proc. B	Exocytóza

Obrázek 4 (a) Schéma hypotetické buňky a jednotlivých organel. Upraveno podle [9].

⁹ Z řeckého „pro-karyon“ = prvotní (tj. velmi nedokonalé) jádro.

¹⁰ Z řeckého „eu-karyon“ = „pravé jádro“ (dobře ohraničené od svého okolí).

¹¹ ECT je mnohem zředěnější, než současné mořské prostředí, ale její složení je velmi podobné původním oceánům, ve kterých život pravděpodobně vznikl.



Obrázek 5 (b) Schéma hypotetické buňky a jednotlivých organel.

K ZAPAMATOVÁNÍ

PODSTATU TZV. PRAVÉ BUŇKY TVOŘÍ BUNĚČNÁ HMOTA (PROTOPLAZMA), KTERÁ JE VŽDY ROZLIŠENA NA DVĚ ČÁSTI – JADERNOU HMOTU (KARYOPLAZMA) A VLASTNÍ BUNĚČNOU HMOTU (CYTOPLAZMA). KARYOPLAZMA TVOŘÍ BUNĚČNÉ JÁDRO. V CYTOPLAZMĚ JSOU ULOŽENY ORGANELY (ENDOPLAZMATICKÉ RETIKULUM, GOLGIHO KOMPLEX, MITOCHONDRIE, CENTROZOMY, LYZOSOMY).

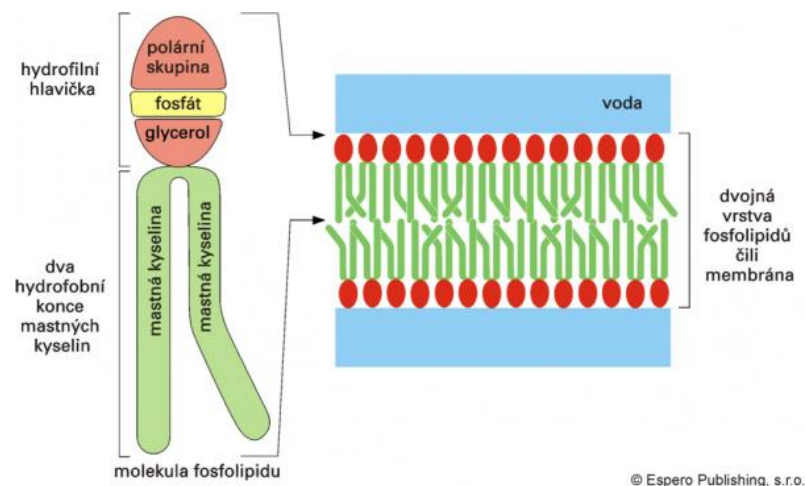
BUNĚČNÁ MEMBRÁNA

Na povrchu většiny buněk je plazmatická membrána. Z hlediska funkce je buněčná membrána (plazmatická membrána) významnou částí buňky a má zásadní význam pro život buňky. Plazmatická membrána obklopuje buňku, je tvořena lipidy (tuky), proteiny (bílkoviny) a v menší míře i molekulami sacharidů ve formě glykoproteinů a glykolipidů. Je polopropustná (propouští pouze některé molekuly nebo ionty) a její propustnost se může měnit díky zabudovaným iontovým kanálům a různým transportním proteinům. Membránou podobného typu je obklopeno i buněčné jádro a buněčné organely (některé organely jsou membránou přímo tvořeny).

Průměrná tloušťka buněčných membrán je ~7 nm a všechny mají mnoho společných rysů, byť se jejich chemická struktura i vlastnosti liší v závislosti na jejím umístění v buňce. Hlavními složkami membrán, jak už bylo výše zmíněno, jsou proteiny a lipidy. Z lipidů

jsou v membránách nejvíce zastoupeny fosfolipidy (fosfatidylcholin a fosfatidylethanolamin). Molekula fosfolipidu svým tvarem připomíná kolíček na prádlo (viz Obrázek 6). Hydrofobní, vodu odpuzující části tukových molekul jsou k sobě přivraceny a tvoří dvojvrstvu, zatímco hydrofilní, vodu přitahující části jsou přivraceny k vodnímu mezibuněčnému prostředí. V lipidové vrstvě jsou uloženy bílkoviny, z nichž některé prostupují celou membránou, takže slouží jako **póry** (kanály).

Membrány eukaryotických buněk jsou poměrně složité struktury (na rozdíl od jednodušších prokaryotických buněk) a obsahují různé glykosfingolipidy, sfingomyelin a cholesterol. Součástí membrán jsou také různé proteiny, které jsou do membrány buď zanořené jako samostatné globulární jednotky – *integrální proteiny*, nebo jsou do membrány začleněny z vnitřní či z vnější strany – *periferní proteiny*. Množství proteinů v membráně je závislé na její funkci. Průměrně membrána obsahuje 50 % proteinů. Na jednu molekulu bílkoviny připadá asi 50 molekul fosfolipidů, které jsou mnohem menší.



Obrázek 6 Molekula fosfolipidu. Přední část molekuly „hydrofilní hlavička“ obsahuje převážně ve vodě relativně rozpustné fosfáty (polární, nesou náboj, hydrofilní). Zadní část je relativně nerozpustná (nepolární, nemají náboj, hydrofobní). Hydrofilní skupiny směřují v membráně do vodního prostředí (ven z buňky nebo dovnitř cytoplazmy), hydrofobní směřují dovnitř membrány.

Membránové proteiny mají mnoho různých funkcí. *Buněčné adhezivní molekuly* připoutávají buňky k buňkám sousedním nebo bazálním membránám. Proteiny, které mají funkce *pumpy*, aktivně transportují ionty přes buněčnou membránu. Jiné proteiny fungují jako *nosiče* a transportují látky po jejich elektrochemickém gradientu pomocí difúze. Další proteiny membrány tvoří *iontové kanály*, které po aktivaci umožňují přechod iontů do nebo z buňky. Proteiny dalších skupin tvoří *receptory* pro vazbu neurotransmiterů a hormonů a spouštějí takto fyziologické změny v buňce. Proteiny jiných skupin mají také funkci *enzymů* a katalyzují reakce na povrchu membrány.

Většinu buněk obklopuje tenká chmýřitá vrstva a společně s fibrilami tvoří **bazální membránu** (*membrána basalis*), respektive **bazální vrstvu** (*basal lamina*). Basální mem-

brána je souhrnné označení pro *lamina basalis* a *lamina fibroreticularis* (Obrázek 8). Bazální membrána (extracelulární matrix) je složena z mnoha typů proteinů, které udržují buňky pohromadě, regulují jejich vývoj a určují jejich růst.

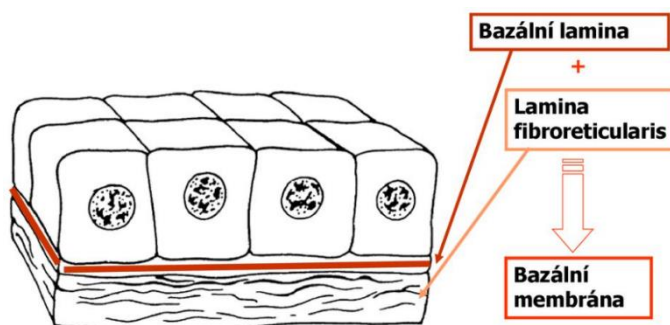
K ZAPAMATOVÁNÍ

POJEM BAZÁLNÍ LAMINA JE ČASTO MYLNĚ ZAMĚŇOVÁNA S POJMEM BAZÁLNÍ MEMBRÁNA. BASÁLNÍ MEMBRÁNA JE SOUHRNNÉ OZNAČENÍ PRO LAMINA BASALIS A LAMINA FIBRORETICULARIS (BAZÁLNÍ MEMBRÁNA = LAMINA BASALIS + LAMINA RETICULARIS).

Bazální lamina (*lamina basalis*) je vrstvička extracelulárního materiálu tvořící selektivní bariéru, tj. odděluje epitelovou tkáň od pojivové. Lze ji pozorovat pouze elektronovým¹² mikroskopem (Obrázek 7). Tloušťka bazální laminy je 30–100 nm. Pokud dojde k narušení této selektivní bariéry, dochází k invazi epitelových buněk do tkáně vazivové (u karcinomů) nebo naopak (při rozrůstání cév).



Obrázek 7 Bazální lamina (*lamina basalis*¹³) v elektronovém mikroskopu. Skládá se ze střední, elektronově husté, lamina densa o tloušťce 20–100 nm a dvou povrchových elektronově světlých vrstev, označovaných laminae rarae externa et interna. Zdroj [Robert M. Hunt, Public domain, via Wikimedia Commons].



Obrázek 8 Bazální lamina je produkt epitelových buněk, lamina fibroreticularis je produkt fibroblastů ve vazivu pod epitelem [11].

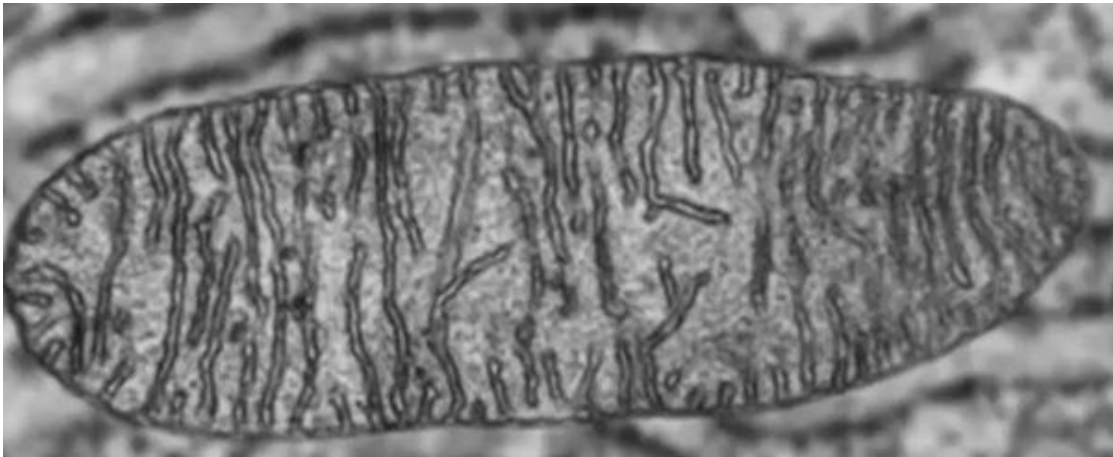
¹² Ve světelném mikroskopu nevidíme bazální laminu, ale bazální membránu.

¹³ Lamina basalis se kromě epitelové tkáně vyskytuje i u jiných buněk, které mají úzké vztahy k vazivu; jsou to např. endotelové buňky v krevních vlásečnicích, buňky hladké svalové tkáně, svalová vlákna kosterní tkáně svalové, adipocyty nebo Schwannovy buňky [10].

MITOCHONDRIE

Nejnámější funkcí buněčných organel – mitochondrií – je produkce energie v procesu mitochondriálního dýchání (oxidativní fosforylace). Struktura mitochondrií se mezi jednotlivými buňkami liší, ale každá má v podstatě protáhlý válcovitý tvar (Obrázek 9). Mitochondrie je složena z dvojité membrány (obaluje mitochondrii) a vnitřní hmoty (podobná cytoplazmě, obsahuje i svou vlastní DNA a ribozomy).

Mitochondrie se ve velkém počtu nachází téměř ve všech buňkách mnohobuněčných organismů (u lidí vyjma červených krvinek). Hlavní funkce mitochondrií je produkce energie ve formě vysokoenergetických molekul ATP (adenosintrifosfát) a slouží jako „palivo“ pro všechny buňky. Proto jsou také nejpočetnější a nejlépe vyvinuté v těch částech buňky, kde se odehrávají děje vyžadující energii. Mitochondrie mají bakteriální původ a také vlastní „bakteriální“ DNA¹⁴, kterou dědíme výhradně po matce (mitochondriální DNA se do zygoty dostává z vajíčka, spermie se nepodílejí). Každá buňka v lidském těle obsahuje několik set až několik tisíc mitochondrií [12].



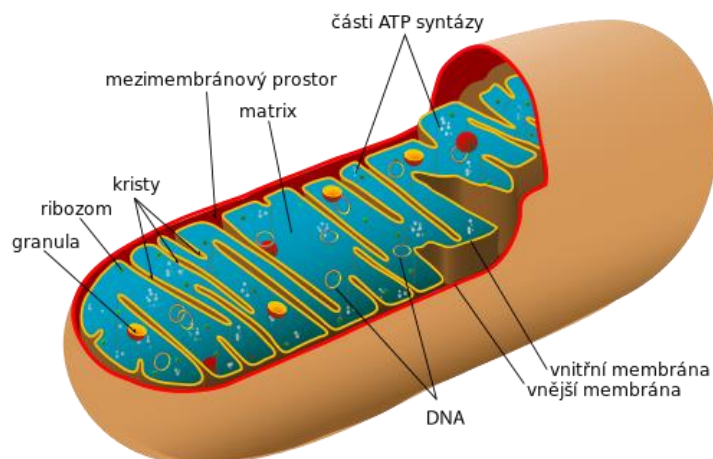
Obrázek 9 Mitochondrie v elektronovém mikroskopu.

K ZAPAMATOVÁNÍ

MITOCHONDRIE MAJÍ FUNKCI „CHEMICKÉ TOVÁRNY“ A „ELEKTRÁRNY“ BUŇKY – SPALOVÁNÍM ŽIVIN KYSLÍKEM (TZV. BUNĚČNÉ DÝCHÁNÍ) V NICH DOCHÁZÍ K TVORBĚ ENERGIE, JEŽ JE NUTNÝM PŘEDPOKLADEM ŽIVOTA A PŘEŽITÍ JAKÉHOKOLIV ŽIVÉHO ORGANIZMU.



¹⁴ Je téměř jisté, že mitochondrie byly kdysi nezávislé mikroorganismy, které se dostaly do předchůdců eukaryotických buněk (pravděpodobně někdy před 2 miliardami let) a vyvinuly s nimi symbiotický vztah. Svědčí pro to skutečnost, že mitochondrie mají svůj vlastní genom.



Obrázek 10 Idealizované schematické znázornění stavby typické mitochondrie živočichů [13].

Mitochondrie je tvořena dvěma typy membrán – vnější a vnitřní (schematické znázornění stavby typické mitochondrie živočichů viz Obrázek 10). Vnitřní membrána je zřasena do záhybů (kristy). Prostor mezi vnější a vnitřní membránou se nazývá jako intrakristální prostor. Prostor mezi vnitřními membránami se nazývá matrix. V mitochondriálním matrix vznikají v rámci složitého biochemického procesu (citrátový cyklus) vstupní produkty pro výrobu ATP v dýchacím řetězci (ETC – elektronový transportní řetězec¹⁵), který se nachází na vnitřní membráně mitochondrie. Vnější mitochondriální membrána je hustě pokrytá enzymy, které se zapojují do biologických oxidací. Sloučeniny, které jejich činností vzniknou, jsou dále zpracovávány uvnitř mitochondrie. Vnitřní prostor vyplňují enzymy vázané na vnitřní mitochondriální membránu, které přeměňují produkty metabolismu sacharidů, proteinů a tuků na CO_2 a H_2O . Na vnitřní membráně mitochondrie jsou zapojeny čtyři komplexní enzymy (NADH dehydrogenáza, sukcinátdehydrogenáza, cytochrom bc_1 a cytochromoxidáza viz ¹⁵) které se účastní oxidativní fosforylace. Během těchto reakcí jsou vodíkové protony H^+ pumpovány z matrix do intrakristálního prostoru, čímž se vytváří protonový gradient. Protony zpět difundují podél gradientu a tím řídí syntézu ATP za účasti enzymu ATP syntázy. ATP (adenozintrifosfát) je trifosfát bohatý na energii a je hlavním zdrojem energie pro klíčové metabolické procesy. Spojení oxidace s tvorbou ATP se v živočišných mitochondriích nazývá **oxidativní fosforylace** [7, 12].

LYZOSOMY

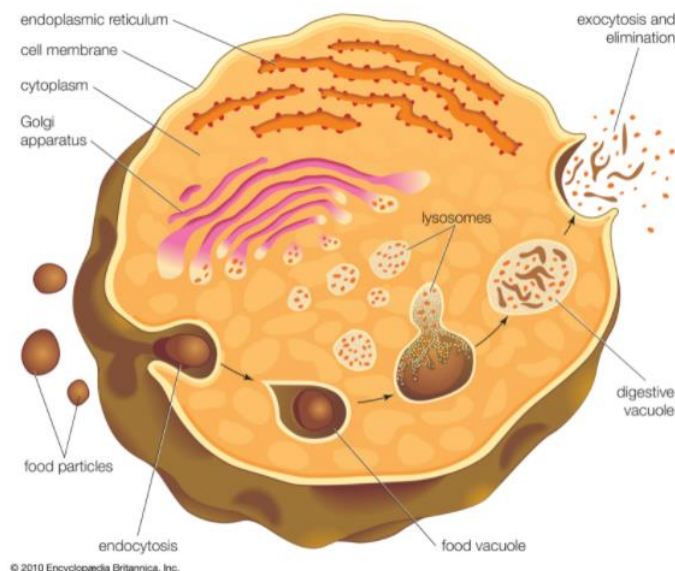
Lyzosomy se nacházejí v cytoplasmě buněk. Jsou to velké a poněkud nepravidelné útvary obklopené membránou. Prostředí uvnitř těchto organel je kyselější než v okolní cy-

¹⁵ Princip fungování elektronového transportního řetězce můžeme představit tak, že součástí vnitřní membrány mitochondrií jsou z proteinů vytvořené čtyři druhy komplexů (enzymy) fungující jako protonové „pumpy“. Tyto pumpy, které jsou „poháněny“ proudem elektronů, „pumpují“ protony z matrixu do prostoru mezi vnější a vnitřní membránou mitochondrie. Vzniká tak elektrochemické napětí, které pohání ATP syntázy, jakési proteinové turbíny, které rotují a tím spojují adenosindifosfát s další molekulou fosfátu a vytváří tím ATP. V každé mitochondrii jsou tisíce ETC [12].

toplazmě a mohou obsahovat fragmenty jiných buněčných struktur. Některá granula leukocytů, granulocytů jsou lyzosomy. Každý lyzom obsahuje řadu různých enzymů (kyselá fosfatáza, proteáza, lipáza, ... viz Tabulka 2) a kdyby nebyly odděleny od okolního buněčného prostředí lyzomální membránou, zničily by většinu ostatních buněčných struktur.

Lyzosomy jsou jakýsi buněčný trávicí systém (odbourává odpadní látky). Pohlcené cizorodé částice (např. bakterie) buňka uzavře do vakuoly (fagocytární vakuola) vytvořené buněčnou membránou. Fagocytární vakuola může splynout a obsah obou útvarů se smísí a obalí společnou membránou. Do lyzomů se dostávají také opotřebované buněčné části – autofágní vakuoly. Při apoptóze (buněčné smrti) lyzomální enzymy autolyticky rozloží zbytek buněčných složek¹⁶. Kromě katabolických mechanismů mají další důležité funkce (transportní, např. mukolipin, NPC1 protein, sekretorní funkce atd.).

Rozlišujeme **primární lyzosomy s enzymy**, které vznikají z Golgiho aparátu tak, že jejich enzymy jsou syntetizovány v endoplazmatickém retikulu, poté jsou dopraveny do Golgiho aparátu, kde se modifikují a konečně z nich vznikají samotné primární lyzosomy (Obrázek 11). **Sekundární lyzosomy**, vznikající spojením primárního lyzomu a fagozomu, jsou větší než primární a můžeme je rozdělit na **autolyzosomy** a **heterolyzosomy**. Autolyzosomy likvidují části organel v buňce. Heterolyzosomy (heterofagozomy) likvidují fagocytující části. **Terciální lyzosomy** obsahují nestravitelné zbytky [14].



Obrázek 11 Obrázek znázorňující princip vzniku lyzozomů [15].

Mezi poruchy lyzomálního systému patří geneticky podmíněné defekty v důsledku poruchy funkce enzymového nebo nekatalytického proteinu zajišťujícího funkčnost lyzomálního systému. Důsledkem je stagnace hydrolytických pochodů a vznik substrátových deposit v lyzosomech a porucha jejich funkcí. Je známo více než 40 různých lyzomálních

¹⁶ Je známo, že např. při dně fagocyty pohlcují krystalky kyseliny močové a jejich pohlcení spustí proces uvolnění lyzomálních enzymů, které pak přispívají ke kloubní zánětlivé reakci.

nemocí, které mají závažné (většinou fatální) zdravotní následky. Přenos je autosomálně recesivní, ve dvou případech gonosomálně recesivní (Fabryho choroba a MPS II – Hunter) s incidencí v ČR 1:8 500, ve světě všeobecně 1:7–8000.

Tabulka 2 Některé enzymy vyskytující se v lyzosomech a buněčné složky, které slouží jako jejich substráty [7].

Enzym	Substrát
Ribonukleáza	RNA
Deoxyribonukleáza	DNA
Fosfatáza	Fosfátové estery
Glykosidázy	Složené sacharidy: glykosidy a polysacharidy
Arylsulfatázy	Sulfátové estery
Kolagenáza	Proteiny
Kathepsidy	Proteiny

K ZAPAMATOVÁNÍ

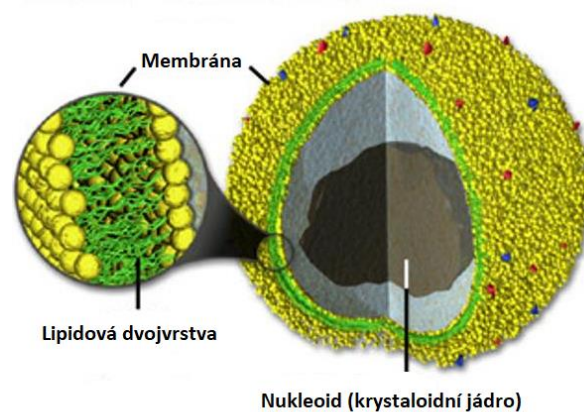
LYZOSOMY ZAJIŠŤUJÍ LIKVIDACI BUNĚČNÝCH SOUČÁSTÍ. ROZKLÁDAJÍ BUNĚČNÉ ORGANELY, KTERÉ ZESTÁRLY NEBO JSOU URČENY K „LIKVIDACI“ – ROZKLÁDAJÍ CIZORODÉ ORGANICKÉ LÁTKY, NAPŘ. BAKTERIE A TÍM CHRÁNÍ BUŇKU PŘED NAPADENÍM (ENZYMY Z LYZOSOMŮ MOHOU V PŘÍPADĚ PORUŠENÍ STĚNY LYZOSOMU, NAPŘ. PŘI OTRAVĚ JEDY, ZÁŘENÍ, SMRTI BUŇKY ROZLOŽIT VLASTNÍ BUNĚČNÉ ORGANICKÉ LÁTKY A ZPŮSOBIT POŠKOZENÍ BUŇKY – REGULACE PROGRAMOVANÉ BUNĚČNÉ SMRTI). LYZOSOMY OBSAHUJÍ HYDROLYTICKÉ ENZYMY, KTERÉ ŠTĚPÍ ORGANICKÉ LÁTKY, ZEJMÉNA PŘIJATÉ ENDOCYTÓZOU.



PEROXISOMY

Peroxisomy jsou součástí mikrosomální frakce buněk. Jsou to malé (jejich průměr je 0,5 µm), membránou obalené organely tvořené v endoplazmatickém retikulu (Obrázek 12). Tato membrána obsahuje řadu specifických peroxisomálních proteinů a jejich úlohou je oboustranný transport látek do matrix peroxisomů. V matrix peroxisomů se nachází více

než 40 enzymů, které spolupracují s enzymy mimo peroxisom a katalyzují celou řadu anabolických a katabolických reakcí. **Mají za úkol chránit buňky proti kyslíkovým radikálům a tvořit žlučové kyseliny.** Hrají roli i v metabolismu lipidů (katabolismus mastných kyselin s velmi dlouhým řetězcem). Na rozdíl do lyzozomů se mohou množit dělením. Peroxisomy jsou stran lékařského hlediska středem zájmu, dojde-li totiž k mutaci jednoho z genů kódujících peroxisomový membránový transportér, vzniká v dětském věku smrtelná choroba *adenodystrofie vázaná na chromozom X* (je porušena β -oxidace mastných kyselin s velmi dlouhým řetězcem). Z dalších autosomálních mutací je to *Zellwegerův syndrom* (také letální v raném dětství).



Obrázek 12 Peroxisom je váček ohraničený membránou. Obsahuje enzymy v jemně granulární matrix. V některých peroxisomech se nachází nukleoid (kristaloid). Peroxisom se podílí na detoxikačních pochodech v buňce. Upraveno podle [18].

K ZAPAMATOVÁNÍ

PEROXISOMY JSOU EUKARYOTICKÉ BUNĚČNÉ ORGANELY OVÁLNÉHO TVARU OBALENÉ JEDNODUCHOU MEMBRÁNOU. PEROXISOMY NEOBSAHUJÍ DNA ANI RIBOSOMY A VŠECHNY PEROXISOMÁLNÍ PROTEINY JSOU KÓDOVÁNY V JÁDŘE. MEZI NEJČASTĚJŠÍ PEROXISOMÁLNÍ FUNKCE PATŘÍ BETAOXIDACE MASTNÝCH KYSELIN, DETOXIFIKACE REAKTIVNÍCH FOREM KYSLÍKU, METABOLISMUS PURINŮ A SYNTÉZA ÉTEROVÝCH LIPIDŮ.

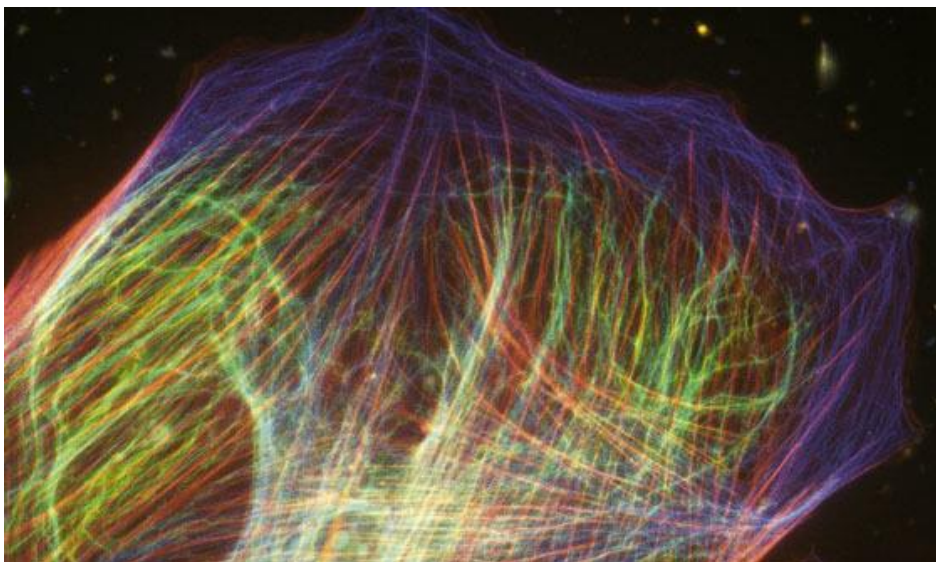
CYTOSKELET BUŇKY

Všechny buňky mají cytoskelet, což je systém vláken, který udržuje strukturu buňky a umožňuje jí také měnit tvar a pohybovat se (Obrázek 14). Primárně cytoskelet tvoří mi-

krotubuly, intermediární filamenta a mikrofilamenta spolu s proteiny, které je k sobě ukotvují a vážou (Obrázek 13). Tyto proteinové struktury plní v buňkách mnoho funkcí – např. jsou oporou buňky a účastní se buněčného dělení či transportu látek. Proteiny a organely se navíc pohybují podél mikrotubulů a mikrofilament z jedné části buňky do jiné a jsou poháněny molekulárními motory.



Obrázek 13 Umělecké ztvárnění cytoskeletu (vlevo); cytoskelet se skládá z vláknitých mikrofilament, které jsou vyrobené z proteinů (uprostřed) a z mikrotubulů – malých tenkých dutých trubiček (vpravo). Upraveno podle [16].



Obrázek 14 Cytoskeletální síť Leydigovy¹⁷ buňky zobrazená pomocí několika kanálové imunofluorescence – mikrotubuly (modře), mikrofilamenta (červeně) a střední filamenta (zeleně) [17].

K ZAPAMATOVÁNÍ

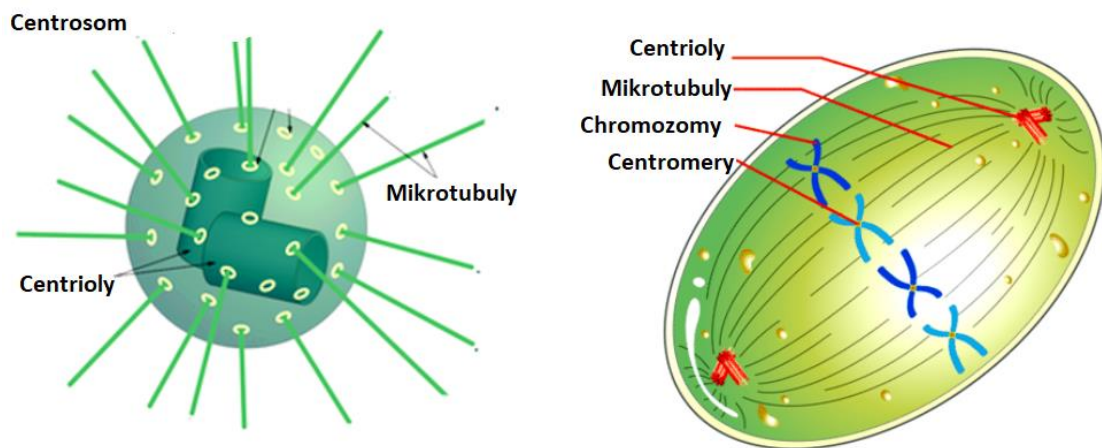
CYTOSKELET JE SYSTÉM RŮZNÝCH TYPŮ BÍLKOVINNÝCH VLÁKEN A TRUBIC, KTERÉ PROSTUPUJÍ CELOU BUŇKOU, VE KTERÉ VYTVÁŘEJÍ PROSTOROVOU SÍŤ, VE KTERÉ JSOU UKOTVENY JEDNOTLIVÉ ORGANELY. CYTOSKELET SE UPLATŇUJE PŘI BUNĚČNÉM DĚLENÍ, SLOUŽÍ

¹⁷ Leydigova buňka (intersticiální buňka) je typ vmezeřených buněk nacházejících se ve vazivových výplních mezi semenotvornými kanálky varlat.

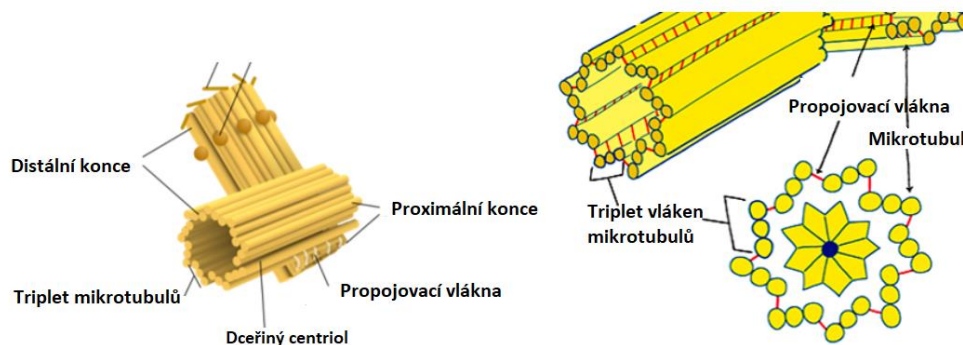
K TRANSPORTU RŮZNÝCH LÁTEK UVNITŘ BUŇKY. V NĚKTERÝCH BUŇKÁCH MÁ DALŠÍ SPECIFICKÉ FUNKCE, NAPŘ. VE SVALOVÝCH BUŇKÁCH ZAJIŠŤUJE KONTRAKCE.

CENTROZOMY

Centrozomy jsou umístěné poblíž jádra eukaryotických živočišných buněk. Je tvořeny dvěma centriolami a obklopeny amorfní pericentriolární substancí. Centrioly jsou párové orgány válcovitého tvaru nacházející se poblíž jádra a jsou uspořádány tak, že spolu svírají pravý úhel (Obrázek 15). Mikrotubuly leží ve stěně centrioly ve skupinách podélně po třech vláknech a tvoří celkem devět tripletů pravidelně rozmístěných po celém obvodu (Obrázek 16). Centrozomy jsou centra organizující mikrotubuly (MTOC – Microtubule-Organizing Centres), jde o shluky γ -tubulinu a dalších bílkovin. Mikrotubuly jsou schopné se při buněčném dělení rozdělovat a tím, že se každá dvojice centrozomů pohybuje, umožňuje vytvořit dva póly mitotických vřetének tvořených mikrotubuly. V mnohjaderných buňkách je centrozom v blízkosti každého z jader.



Obrázek 15 Centrozomy obsahují obvykle dvě centrioly. Pár centriol se nazývá diplosom. Centrioly jsou vůči sobě umístěny v pravém úhlu. Upraveno podle [18].



Obrázek 16 Každý centriol je tvořen devíti svazky mikrotubulů (po třech vláknech) a tvoří tak devět tripletů pravidelně rozmístěných po celém obvodu. Replikace probíhá tak, že k existující dvojici centriolů se vytvoří nejprve jeden procentriol, který je kolmý na oba centrioly, posléze další procentriol kolmý na první. Procentrioly namísto tripletů obsahují devět jednotlivých tubulů, které se teprve v dalším přemění v triplety a nakonec se dceřiná dvojice centriolů oddělí od mateřské. Upraveno podle [18].

K ZAPAMATOVÁNÍ



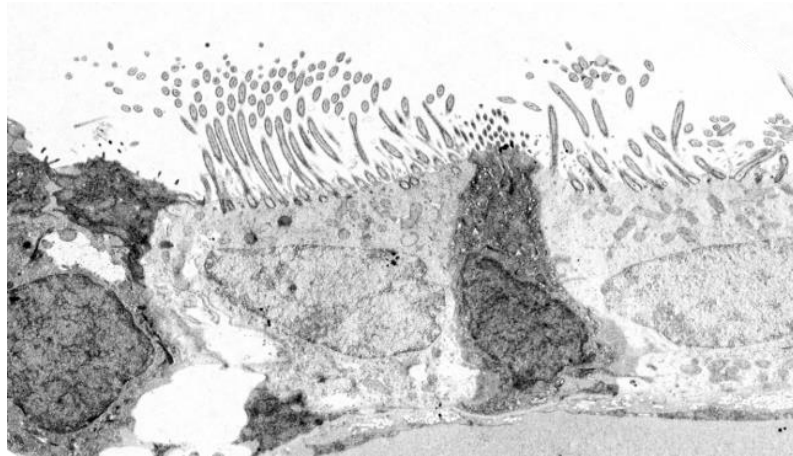
BEZ PŘÍTOMNOSTI CENTROZOMU NENÍ MOŽNÉ JADERNÉ DĚLENÍ. FUNKCÍ CENTROZOMU JE ORGANIZOVÁNÍ MIKROTUBULŮ DO PROSTOROVÉ SÍTĚ. BĚHEM BUNĚČNÉHO DĚLENÍ ZAJIŠŤUJE NAVÁZÁNÍ CHROMOZOMŮ NA MIKROTUBULY. PO ROZDĚLENÍ JÁDRA ZAJIŠŤUJE POMOCÍ MIKROTUBULÁRNÍ SÍTĚ CYTOSKELETU ROVNOMĚRNOU DISTRIBUCI BUNĚČNÉHO MATERIÁLU DO DCEŘINÝCH BUNĚK. VÝZNAM CENTROZOMU JE ZÁSADNÍ TAKÉ V PROLIFERACI LIDSKÝCH BUNĚK.

CILIE (ŘASINKY)

Buňky mají různé typy výběžků. Pravé řasinky jsou pohyblivé výběžky poháněné dyneinem (skupinu proteinů pracujících jako molekulární motory¹⁸). Jsou používány jednobuněčnými organismy k pohybu ve vodě a u mnohobuněčných organismů slouží k pohybu hleny a jiných látek na povrchu epitelu. Podobají se centriolám, neboť mají ve stěně také devět tubulárních struktur. Navíc ale mají ještě jeden tubulární pár uložený ve středu. V každé z devíti postranních tubulárních struktur jsou jen dva mikrotubuly. Každá řasinka je ukotvena ve struktuře, která se nazývá *bazální granulum*. Bazální granulum má také

¹⁸ Molekulární motory slouží k pohybu proteinů, organel a dalších buněčných částí po mikrotubulech a mikrofilamentech do všech buněčných oddílů. Molekulární motory jsou: mikrotubulární, kineziny, dyneiny, aktinové a myozinové.

devět obvodových tripletů, podobně jako centriola. Bazální granula a centrioly jsou zaměnitelná.



Obrázek 17 Snímek respiračního epitelu z TEM (transmisní elektronový mikroskop). Buňky s čirou cytoplazmou¹⁹ mají na svém povrchu mnoho řasinek [19].

K ZAPAMATOVÁNÍ



CILIE (ŘASINKY) JSOU POHYBLIVÉ VÝBĚŽKY NA POVRCHU NĚKTERÝCH EPITELOVÝCH BUNĚK, KTERÉ SE POD MIKROSKOPEM PODOBAJÍ ŘASÁM. NACHÁZEJÍ SE NAPŘÍKLAD V DÝCHYCÍCH CESTÁCH (POSOUVAJÍ HLEN PRYČ Z DÝCHYCÍCH CEST), NEBO VE VEJCOVODECH (POSOUVAJÍ VAJÍČKO SMĚREM DO DĚLOHY). CILIE SLOUŽÍ JAKO KOMUNIKAČNÍ PROSTŘEDEK BUŇKY (PRIMÁRNÍ ŘASINKA JE KLÍČOVÁ PRO ODHALENÍ ZPŮSOBU BUNĚČNÉ KOMUNIKACE A BUNĚČNÉ SENZORIKY).

ÚKOL K ZAMYŠLENÍ



MŮŽE BÝT PRIMÁRNÍ ŘASINKA FAKTOREM, DÍKY NĚMUŽ BUDEME SCHOPNÍ PŘEDPOVÍDAT STAV POŠKOZENÍ BUŇKY (NAPŘ. POŠKOZENÍM IONIZUJÍCÍM ZÁŘENÍM)?

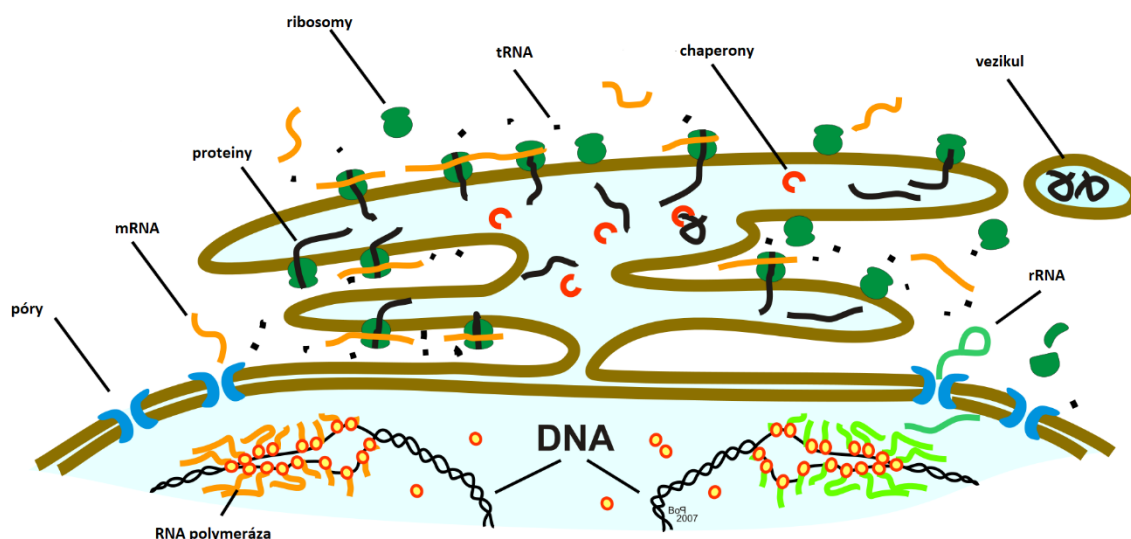
ENDOPLAZMATICKÉ RETIKULUM

Endoplazmatické retikulum je komplexní soubor tubulů a dutých lamel prostupujících hustě buněčnou cytoplasmu eukaryotických buněk. Stěny tubulů tvoří membrána. Pokud

¹⁹ Základní tekutá složka buňky, je tvořena směsí koloidních a krystaloidních roztoků anorganických a organických látek.

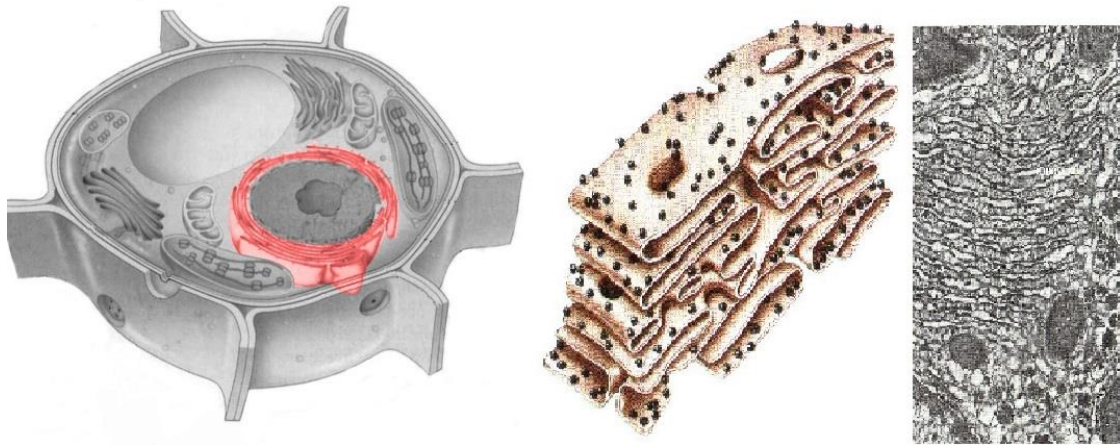
jsou na cytoplazmatické straně této membrány navázány ribozomy, jde o tzv. drsné neboli granulární endoplazmatické retikulum. Pokud na membráně ribozomy chybí, jde o hladké neboli agranulární endoplazmatické retikulum. Ribozomy však můžeme v cytoplazmě najít také jako volné.

Drsné (hrubé/granulární) endoplazmatické retikulum (Obrázek 19, Obrázek 20 – objekt 3) se podílí na syntéze proteinů (Obrázek 18) a na iniciálním skládání do polypeptidových řetězců disulfidovými můstky. Hladké (agranulární) endoplazmatické retikulum (Obrázek 20 – objekt 4) je v buňkách, které produkují steroidy místem syntézy steroidních hormonů. U jiných typů buněk slouží k detoxikačním procesům. Hladké endoplazmatické retikulum má jakožto sarkoplazmatické retikulum důležitou úlohu v buňkách kosterního a srdečního svalu.

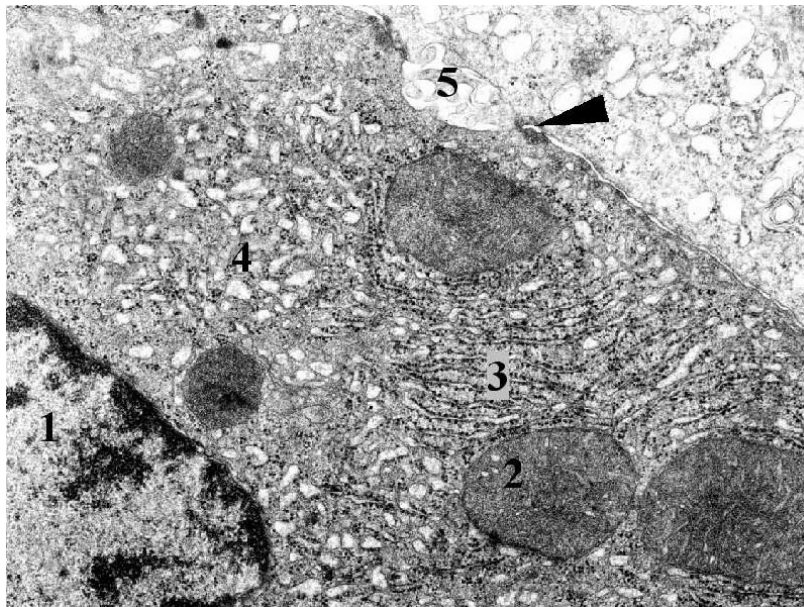


Obrázek 18 Endoplazmatické retikulum – schéma syntézy proteinů. RNA polymeráza je enzym, který katalyzuje syntézu RNA podle příslušné části řetězce DNA (vzácně podle jiné RNA). RNA polymeráza hraje klíčovou roli v procesu transkripce. Chaperony jsou proteiny, které udržují intracelulární homeostázu skládáním a stabilizací konformace jiných proteinů. Díky schopnosti chránit proteom před špatně složenými a agregovanými proteiny jsou chaperony nezbytné pro přežití buněk vystavených stresu. Kromě základní funkce v udržování buněčné homeostázy a ochraně před vnějšími stresovými faktory hrají některé molekulární chaperony důležitou roli i při transformaci nádorové buňky²⁰. Upraveno podle [20, 21].

²⁰ Zvýšená hladina chaperonů byla detekována u mnoha solidních nádorů a hematopoetických malignit [21].



Obrázek 19 Vlevo: Hrubé endoplazmatické retikulum se nachází v blízkosti jádra. Vpravo: Podrobné schéma. Převzato z [22].



Obrázek 20 Hepatocyt v TEM (transmisní elektronový mikroskop): jádro (1), v cytoplazmě mitochondrie (2), drsné (3) i hladké (4) endoplazmatické retikulum. Žlučová kapilára (5) ohraničená spojovacím komplexem sousedních hepatocytů (šipka). Převzato z [23].

K ZAPAMATOVÁNÍ

ENDOPLAZMATICKÉ RETIKULUM JE KLÍČOVOU ORGANELOU V PROCESECH SPOJENÝCH S PROTEOSYNTÉZOU.

ENDOPLAZMATICKÉ RETIKULUM JE SOUSTAVA VZÁJEMNĚ PROPOJENÝCH MINIATURNÍCH MEMBRÁNOVÝCH CISTEREN A KANÁLKŮ VĚTŠINY

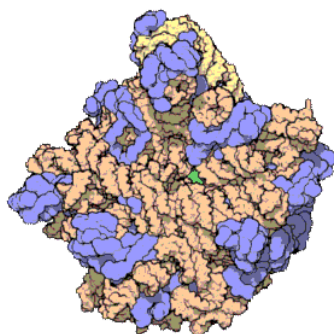


EUKARYOTNÍCH BUNĚK. NAPOJUJE SE NA BUNĚČNÉ JÁDRO A OBVYKLE I NA GOLGIHO APARÁT.

ENDOPLAZMATICKÉ RETIKULUM ZVĚTŠUJE VNITŘNÍ POVRCH BUŇKY, COŽ MÁ VELKÝ VÝZNAM PRO METABOLICKÉ PROCESY. ROZLIŠUJEME ENDOPLAZMATICKÉ RETIKULUM DRSNÉ (NA VNĚJŠÍM POVRCHU JSOU PŘISEDLÉ RIBOZOMY) A HLADKÉ (BEZ RIBOZOMŮ).

RIBOZOMY

Ribozomy jsou komplexní struktury, obsahují mnoho různých proteinů a navíc tři typy ribosomální RNA, na kterých probíhá proteosyntéza. Ribozomy vázané na endoplazmatické retikulum syntetizují veškeré transmembránové proteiny. Je to majoritní část proteinů, které buňka vylučuje a také většina proteinů, které se ukládají do Golgiho systému, do lysosomů a endozomů. Volné ribozomy syntetizují cytoplazmatické proteiny (hemoglobin a proteiny, které jsou uloženy v peroxisomech a mitochondriích).



Obrázek 21 Velká ribozomální jednotka. Ribozom je ribonukleoprotein nacházející se ve vysokých počtech v cytoplazmě všech známých buněk, u eukaryot také na povrchu hrubého endoplazmatického retikula. Jejich funkcí je tvorba proteinů – bílkovin. Probíhá na nich tzv. translace, při níž je z řetězce RNA syntetizován polypeptid.

Ribozom se ze dvou třetin skládá z ribonukleové kyseliny (konkrétně tzv. rRNA, tedy ribozomální RNA), jen z jedné třetiny pak z různých proteinů. Zdroj: [Autor: David S. Goodsell, CC BY 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2837739>].

K ZAPAMATOVÁNÍ

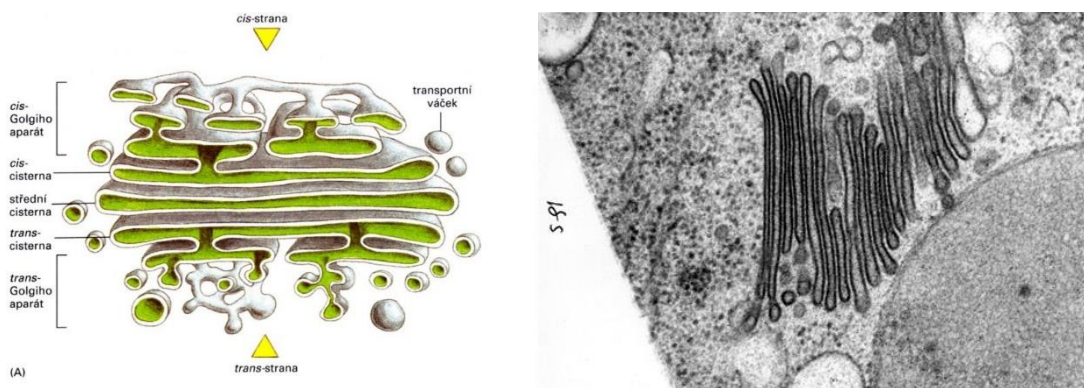
FUNKCÍ RIBOZOMŮ JE PRODUKCE BÍLKOVIN – TOVÁRNA NA BÍLKOVINY (NEJDŮLEŽITĚJŠÍ STAVEBNÍ A FUNKČNÍ ORGANICKÉ LÁTKY ŽIVÉHO ORGANIZMU). RIBOZÓMY JSOU TVOŘENY PROTEINY A RIBOZOMÁLNÍMI



RNA. V CYTOPLAZMĚ JSOU RIBOZÓMY VÁZANÉ BUĎ NA MEMBRÁNU DRSNÉHO ENDOPLAZMATICKÉHO RETIKULA, NEBO JSOU V NÍ VOLNĚ ROZPTÝLENY.

GOLGIHO APARÁT (KOMPLEX)

Golgiho aparát²¹ je soubor membránou uzavřených váčků (cisteren), které jsou na sobě přiloženy jako talíře (Obrázek 22). V každém aparátu je obvykle 4–8 váčků (může být i více, např. u některých prvoků až několik desítek). U všech eukaryotních buněk je jeden nebo více Golgiho aparátů a ty jsou obvykle umístěny poblíž jádra. Golgi funguje jako továrna na zpracování a rozesílání složitých molekul, jako jsou proteiny nebo lipidy. Je součástí takzvaného endomembránového systému buňky, ve kterém jsou do sebe zapojeny jednotlivé orgány buňky jako továrny ve velkém továrním komplexu. Endomembránový systém kromě Golgiho zahrnuje ještě buněčné jádro, kde všechno začíná transkripcí DNA, endoplazmatické retikulum, kde se vyrábějí proteiny a také buněčnou membránu, přes kterou se některé produkty endomembránového systému dostávají do okolního světa [24].



Obrázek 22 Vlevo: Golgiho aparát je polarizovaná struktura, která má cis-stranu a trans-stranu. Vpravo: Golgiho aparát v elektronovém mikroskopu. Autor [Electron Microscope Lab, UC Berkeley].

Golgiho aparát je polarizovaná struktura, která má cis a trans strany/části (Obrázek 22 vlevo). Vezikuly, tvořené membránou, obsahují nově syntetizované proteiny, které se uvolňují z granulárního endoplazmatického retikula a sfúzovaly s cisternou v cis části aparátu. Poté putují proteiny dalšími vezikulami do středních cisteren a nakonec do cisterny v trans-části. Od trans-části se vezikuly oddělují do cytoplazmy. Z trans-části Golgiho komplexu jsou vezikuly přeneseny do lysosomů a do prostoru mimo buňku.

²¹ Golgiho aparát vlastní většina eukaryotních buněk. Objeven v roce 1858 a pojmenovaný po svém objeviteli, italským lékařem Camillem Golgim. Camillo Golgi je mimo jiné také nositelem Nobelovy ceny za fyziologii a medicínu z roku 1906, kterou ale dostal za výzkum struktury nervového systému.

K ZAPAMATOVÁNÍ

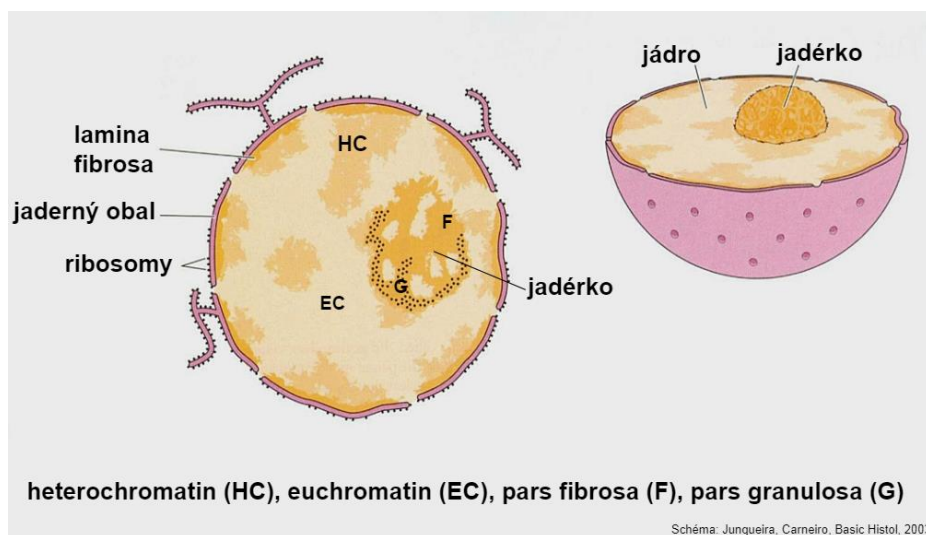


HLAVNÍ FUNKCÍ GOLGIHO APARÁTU JE TRANSPORT LÁTEK, PŘEDEVŠÍM PROTEINŮ (I LIPIDŮ). GOLGIHO APARÁT SE DĚLÍ NA GOLGIHO OBLAST A NA TRANS GOLGIHO SÍŤ. V GOLGIHO OBLASTI SE JEŠTĚ ROZLIŠUJÍ 3 ROZDÍLNÉ ČÁSTI, OZNAČOVANÉ JAKO CIS (KONVEXNÍ), STŘEDNÍ A TRANS (KONKÁVNÍ). VŠECHNY TŘI ČÁSTI NA SEBE FUNKČNĚ NAVAZUJÍ.

JÁDRO

A na závěr se budeme věnovat popisu nejdůležitější a obvykle i největší buněčné organely – buněčnému jádru. **Jádro** (latinsky *nukleus*, řecky *karyon*) je základní stavební složkou buňky, řídí a kontroluje činnost celé buňky. U člověka chybí jádro pouze v erythrocytech. Jádro obsahuje genetickou informaci (DNA uložené v chromozomech), jeho funkcí tedy řízení činnosti a rozmnožování buňky a předávání genetické informace.

Tvar jádra, jeho velikost a také jeho pozice v buňce jsou závislé na druhu buňky. Kulovité buňky mají obvykle jádro kulovité, cylindrické buňky mají jádro ovoidní, jádro svalových buněk může mít tvar vřetenovitý až tyčinkovitý apod. Jádro však není rigidním (neměnným) útvarem, ale prodělává dynamické změny. Ty souvisí s aktivitou buňky ve vztahu k buněčnému dělení [29].



Obrázek 23 Schématické znázornění buněčného jádra [30].

Buněčné jádro je tvořeno (Obrázek 23) jadérkem retikulárního typu (místo syntézy rRNA a tvorby ribozomových podjednotek), heterochromatinem²², vnitřním a vnějším listem jaderného obalu, perinukleárním prostorem, jadernými póry, euchromatinem²³, cisternou endoplazmatického retikula a ribozomy. O detailní struktuře buněčného jádra pojednává následující odstavec.

Struktura buněčného jádra Buněčné jádro se skládá z jaderné membrány a chromatinu. **Jaderná membrána** obaluje jádro a je dvojitá (vnější a vnitřní list), je perforovaná po celém povrchu (skrz póry dochází k toku látek mezi jádrem a cytoplazmou). Mezi dvěma vrstvami (listy) se nachází perinukleární prostor (spatium perinucleare). Perinukleární prostor je spojen s vnitřním prostorem endoplazmatického retikula. Toto uspořádání totiž umožňuje zajistit produkci potřebných sloučenin a makromolekul nutných pro výstavbu a činnost buňky. **Chromatin** je hmota vyplňující vnitřek jádra, je složen ze dvou typů organických látek (DNA a bílkoviny), které jsou vzájemně složitě uspořádány. *Deoxyribonukleová kyselina* (DNA) je organická látka tvořená velmi dlouhým a současně velmi tenkým vláknem, jehož jednotlivé dílčí úseky se nazývají geny. *Bílkoviny* se vážou na DNA a tvoří tak opornou strukturu. V klidovém stavu buňky je chromatin volně rozptýlen uvnitř jádra (geny na DNA jsou „otevřené“ a informace v nich ukrytá se může využít). Pokud se buňka dělí, chromatin se v jádře shlukuje, zahušťuje a geny v DNA se „uzavírají“ (nejsou schopné se projevit navenek). Zahuštěný (kondenzovaný) chromatin tvoří útvary zvané *chromozómy* – větvenovitá tělíska se dvěma raménky, kterých je v jádře vždy určitý počet. Soubor všech vzájemně odlišných chromozómů buněčného jádra se označuje jako chromozomální sada. Podle počtu těchto sad se buňky rozlišují na *haploidní* (v jádře mají pouze jednu sadu chromozómů, pohlavní buňky) a *diploidní* (párové, tzn., obsahují dvě sady chromozómů, všechny ostatní buňky lidského těla kromě pohlavních). Oba chromozómy jednoho páru jsou vždy stavebně a funkčně identické (obsahují stejnou dědičnou informaci), z toho jeden z každého páru pochází od otce a druhý od matky. Běžná lidská buňka obsahuje celkem 23 párů chromozómů (22 párů jsou somatické – autozomy; a jeden pár jsou pohlavní – gonozomy), celkem tedy se v každém buněčném jádře nachází 46.

V buněčném jádru se nachází **jadérko** (nukleolus). Jadérko není na svém povrchu ohraničeno membránou. Jedná se tedy o zhuštěnou hmotu jádra, přičemž k zahuštění dochází z důvodů zvýšené interakce určitých látek. Lze rozlišit zrnitou (granulózní) část (pars granulosa) tvořenou kontrastními ribonukleoproteinovými granulami o průměru přibližně 15 nm, vláknitou (fibrózní) část (pars fibrosa) tvořenou ribonukleovými fibrilami o tloušťce asi 3–5 nm a vláknitým chromatinem (pars chromosoma). Kolem každého jadérka se nachází různě široká zóna tzv. perinukleárního chromatinu. Jadérko spolu s tímto perinukleárním chromatinem se někdy označuje jako nukleolární aparát. Jadérko obsahuje velké množství ribozomální RNA (rRNA; cca 2–5 %), která v něm přímo vzniká. V buňce

²² Heterochromatin – tmavé shluky chromatinu jsou metabolicky neaktivní a odpovídají dehydratovaným a do spirály stočeným úsekům chromozómů.

²³ Euchromatin – rozptýlené a hydratované úseky chromozómů se nebarví a nejsou v jádře viditelné. Na těchto rozptýlených částech chromozómů dochází k přepisu genetické informace a probíhá zde intenzivní syntéza RNA.

se může nacházet různý počet jadérek. Jejich počet, velikost a struktura je závislá na aktuální metabolické aktivitě buňky. Nejsou trvalými útvary, protože při mitóze mizí a objevují se znovu u dceřiných buněk v telofázi (poslední fáze dělení buňky). Jedná se o světlolomná tělíška, která lze pozorovat i ve světelném mikroskopu. [29]. **Chromozómy** jsou patrné pouze ve fázi mitózy (přesný proces jaderného dělení, který zajistí, že každá ze dvou dceřiných buněk získá kompletní sadu chromozomů identickou s rodičovskou buňkou). V mitóze se chromozómy jeví se jako ostře ohraničené vláknité struktury. V ostatních fázích dělení je spirálová struktura chromozomů rozpletena s výjimkou některých úseků.

K ZAPAMATOVÁNÍ

BUNĚČNÉ JÁDRO JE NEJVĚTŠÍ BUNĚČNÁ ORGANELA UMÍSTĚNÁ VE STŘEDU BUŇKY. JE OBALENO JADERNOU MEMBRÁNOU S PÓRY PRO TRANSPORT LÁTEK, UVNITŘ JÁDRA JE TEKUTÁ HMOTA (KARYOPLAZMA, NUKLEOPLAZMA). KARYOPLAZMA JE HMOTA PODOBNÁ CYTOPLAZMĚ, ALE VYSKYTUJE SE POUZE V BUNĚČNÉM JÁDŘE. JE TO VYSOCE VISKÓZNÍ KAPALINA OBSAHUJÍCÍ CHROMOZOMY A JADÉRKO. OBSAHUJE NUKLEOTIDY NUTNÉ PRO STAVBU DNA A ENZYMY ŘÍDÍCÍ BIOCHEMICKÉ POCHODY V JÁDŘE. V JADÉRKU PŘÍMO VZNIKÁ VELKÉ MNOŽSTVÍ rRNA A NÁSLEDNĚ RIBOZOMY, TY JSOU PO SPOJENÍ S rRNA JADERNÝMI PÓRY TRANSPORTOVÁNY DO CYTOPLAZMY. JADÉRKO NENÍ STÁLOU BUNĚČNOU STRUKTUROU, PŘI MITOTICKÉM DĚLENÍ JÁDRA MIZÍ A OBJEVUJE SE ZNOVU NA KONCI JADERNÉHO DĚLENÍ.

ZÁKLADNÍ FUNKCÍ JÁDRA JE ŘÍZENÍ PŘEPISU DĚDIČNÝCH INFORMACÍ V BUŇCE A JEJICH PŘENOS NA RIBOZÓMY, PODÍLÍ SE NA PŘESNÉM ROZDĚLENÍ GENETICKÉHO MATERIÁLU DO NOVÝCH BUNĚK PŘI BUNĚČNÉM DĚLENÍ (MITÓZE).

1.6 Transport přes buněčnou membránu – obecné principy

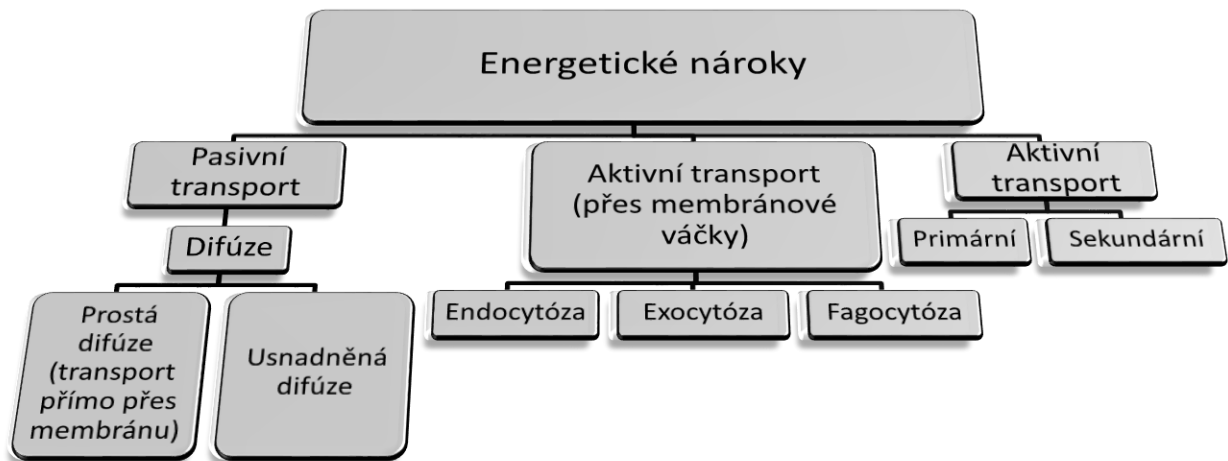
Rozlišujeme celkem pět různých způsobů transportu látek přes biologickou membránu: prostup iontovými kanály:

1. Spřažený transport (sekundární aktivní transport)
2. Aktivní transport
3. Endocytóza a exocytóza
4. Prostá difúze

Podle energetických nároků na přechod látek přes buněčnou membránu dělíme transport na **pasivní** (není závislý na přísunu energie) a **aktivní** (vyžaduje energii) – viz Obrázek

27. Z hlediska zapojení membrány resp. membránových proteinů, rozlišujeme (SmartArt 2):

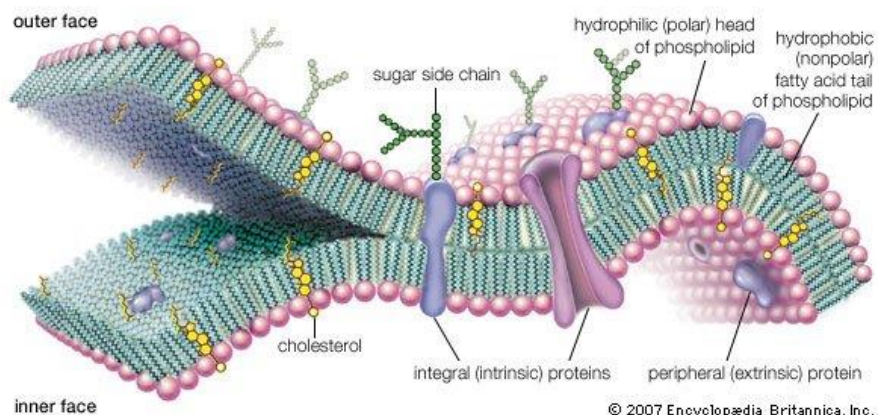
- Přímý transport přes membránu
- Transport za účasti membránových proteinů (kanály, přenašeče)
- Transport prostřednictvím membránových váčků (exocytóza a endocytóza)



SmartArt 2 Klasifikace transportu z hlediska energetického a z hlediska zapojení membrány. Prostá difúze = transport přímo přes membránu; Endocytóza, exocytóza a fagocytóza = transport přes membránové váčky; Usnadněná difúze, primární aktivní transport a sekundární aktivní transport = transport vázaný na transportní membránové proteiny. Zpracováno podle [26].

1.6.1 PROPUSTNOST MEMBRÁNY (PERMEABILITA) A MEMBRÁNOVÉ TRANSPORTNÍ PROTEINY

Buněčná membrána je prakticky nepropustná pro intracelulární proteiny a jiné organické ionty. Ty tvoří většinu intracelulárních aniontů a jsou obvykle označovány symbolem A^- . Lipidová dvojvrstva (Obrázek 24) je propustná pro vodu. Její propustnost pro jiné látky závisí na jejich velikosti (Tabulka 3), rozpustnosti v tucích a na jejich náboji.



Obrázek 24 Fosfolipidová dvojvrstva.

Molekuly O₂ a N₂ jsou nepolární (hydrofobní) se v lipidové vrstvě rozpouštějí a procházejí přes ni snadno. Malé polární molekuly – např. CO₂ bez náboje (hydrofilní), difundují přes lipidovou dvojvrstvu také rychle, kdežto difúze velkých polárních molekul bez náboje (např. glukózy) a nabitých částic (iontů) je velmi pomalá. In vivo jsou však ionty, glukóza a urea transportovány přes buněčnou membránu do buněk pomocí **transportních proteinů**. Na mnoha místech je difúze usnadněna vodními kanály.

Tabulka 3 Velikosti vybraných hydratovaných iontů a jiných biologicky významných látek [7].

Látka	Atomová nebo molekulová hmotnost	Poloměr (nm)
Cl ⁻	35	0,12
K ⁺	39	0,12
H ₂ O	18	0,12
Ca ²⁺	40	0,15
Na ⁺	23	0,18
Glukóza	180	0,38

SPŘAŽENÝ TRANSPORT (SEKUNDÁRNÍ AKTIVNÍ TRANSPORT)

Spřažený transport umožňuje transport i větších molekul. Je realizován pomocí transportního systému buňky, který je sice pasivní, ale zároveň je realizován s jiným systémem, který spotřebovává energii. V řadě případů je aktivní transport Na⁺ spřažen s transportem jiných látek (sekundární aktivní transport). Například transport glukózy přes lumenální membránu buněk sliznice tenkého střeva se děje symportem²⁴ s Na⁺ a je přítomen pouze tehdy, když se Na⁺ naváže na protein a je současně transportován podél svého elektrochemického gradientu. Glukóza pak z buněk vstupuje do krve.

AKTIVNÍ TRANSPORT

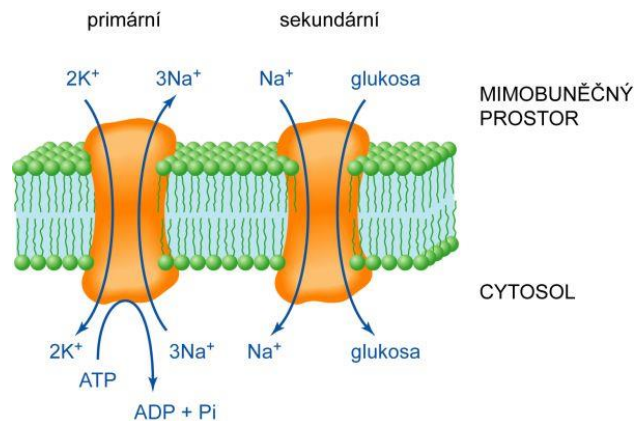
Jiné nosiče transportují částice proti jejich elektrickému a chemickému gradientu (srovnejte s usnadněnou difúzi). Tento druh transportu vyžaduje přísun energie a je označován za aktivní transport. Aktivní transport je tedy přenos, který je realizován, proti směru koncentračního gradientu soustavy. Takovému transportu je třeba dodat energii.

²⁴ Symport je typ membránového transportu, při němž jsou pomocí jedné přenašečové bílkoviny přenášeny dvě částice (molekuly nebo ionty) stejným směrem. Některé proteinové nosiče se nazývají uniporní (přenášejí pouze jednu látku), jiné jsou označovány jako symportní (pro přenos potřebují mít na transportním proteinu navázány více než jednu sloučeninu, aby byl přenos přes buněčnou membránu uskutečněn, takže jsou tyto látky přenášeny současně. Jiné jsou označovány jako antiporty (vyměňují jednu látku za jinou, typickým příkladem je Na⁺-K⁺ ATPáza.

Aktivní transport Na^+ a K^+ je jedním z hlavních pochodů v těle vyžadujících energii. V průměru tento transport spotřebuje asi 24 % veškeré energie vytvořené v buňkách a v neuronech to je až 70 % energie. Aktivní transport iontů je zodpovědný za velkou část bazálního metabolismu.

A JAK TEDY FUNGUJE Na^+ - K^+ ATPÁZA?

Na^+ - K^+ ATPáza (a.k.a. sodno-draselná pumpa) katalyzuje hydrolyzu ATP (adenosintri-fosfát, nejdůležitější energetický metabolit buněk) na ADP (adenosindifosfát, jeden ze zá-kladních buněčných energetických metabolitů). Vzniklá energie z každého hydrolyzova-ného molu ATP je využita pro přenos tří Na^+ z buňky ven a dvou K^+ do buňky (Obrázek 25). Je to tedy elektrogenní pumpa, která přenáší tři kladné náboje z buňky ven na každé dva náboje, které se do buňky dostávají → vazebný poměr pumpy je tedy 3:2. Tato pumpa se nachází ve všech částech těla. Její aktivitu inhibují srdeční glykosidy, které se používají při léčbě srdečního selhání (je-li Na^+ - K^+ ATPáza inhibována srdečním glykosidem, např. ouabanin, zvýší se intracelulární koncentrace Na^+ . Koncentrační gradient pro Na^+ , který směřuje přes membránu do buňky, poklesne, a tím se také sníží přechod iontů Ca^{2+} ven z buňky. Výsledný vzrůst intracelulární koncentrace Ca^{2+} usnadní kontrakci srdečního svalu.



Obrázek 25 Primární aktivní transport zajišťovaný enzymy ze skupiny ATPáz (viz Na^+ - K^+ ATPáza) [27].

PŘESTUP IONTOVÝMI KANÁLY

Přestup iontovými kanály je realizován pomocí kanálu v proteinu naplněného vodným roztokem. Pro K^+ , Na^+ , Ca^{2+} a Cl^- existuje řada forem iontových kanálů s různými vlastnostmi. Draslíkové kanály usnadňují tok K^+ do buňky a jen nepatrně ovlivňují pohyb iontů ven z buňky. U savců bylo zatím popsáno více než 40 různých typů draslíkových kanálů. Ca^{2+} (vápníkový kanál) umožňuje řízený průchod iontů vápníku přes membránu. Jsou především řízené napětím na membráně. Napěťové řízené Na^+ kanály umožňují průchod kationtů sodíku skrz membránu. Nejčastěji je schopný se uzavírat a otevírat, příp. inaktivovat například na základě elektrického napětí na buňce nebo přítomnosti neurotransmiterů. Sodíkové kanály na neuronech se při určitém napětí otevírají a způsobují tok sodíkových iontů

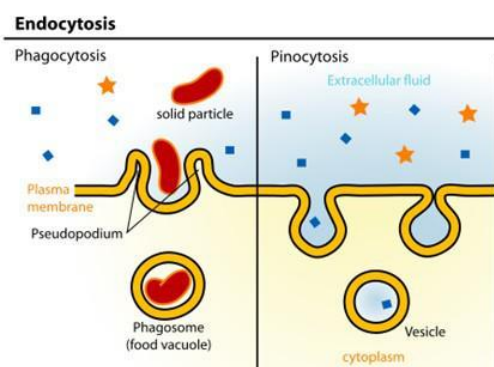
dovnitř buňky; tím dochází k depolarizaci, což je zásadní pro vznik akčního potenciálu. Cl^- kanály jsou součástí různých mechanismů regulujících objem buněk a jsou také součástí transepitelového transportu iontů a zřejmě také regulují funkci svalů a ledvin.

EXOCYTÓZA

Proteiny, které buňka vylučuje, jsou přemístěny z endoplazmatického retikula do Golgiho aparátu a z jeho trans části do sekrečních granul nebo do vezikul. Granula a vezikuly putují k buněčné membráně, kde jejich membrány splynou s buněčnou membránou, a oblast fúze se odbourá. Tím se uvolní obsah granul nebo vezikul z buňky ven a buněčná membrána zůstává nedotčena = exocytóza. Tento vylučovací proces vyžaduje přítomnost Ca^{2+} , přísun energie a proteiny, které provádějí transport.

ENDOCYTÓZA

Je proces opačný k exocytóze a má několik forem. Jedna z forem endocytózy je **fagocytóza** (buněčné požívání). Při fagocytóze jsou bakterie, odumřelá tkáň nebo malé kousky materiálu viditelné v mikroskopu pohlceny buňkami (neutrofilní granulocyty²⁵).



Obrázek 26 Formy endocytózy: fagocytóza (pevné látky) a pinocytóza (kapalné látky). Zdroj [25].

Pohlcovaný materiál se nejprve dostane do kontaktu s buněčnou membránou a ta se vchlípí (invaginuje) dovnitř. Vchlípená část membrány se „odškrtí“ a pohlcený materiál se uzavře do vakuoly obalené membránou a buněčná membrána je potom opět intaktní. Další forma je **pinocytóza** (buněčné pití). Pinocytóza je de facto stejným procesem jako fagocytóza, jen s tím rozdílem, že buňka pohlcuje roztok. Proto tento proces nemůžeme mikroskopicky pozorovat. Fagocytóza a endocytóza je graficky znázorněna na Obrázek 26.

Procesy endocytóza a exocytóza se navzájem liší pouze směrem, kterým transport probíhá. Oba dva procesy jsou realizovány pomocí transportních váčků. Endocytóza a exocytóza jsou transportními mechanismy pro velké molekuly.

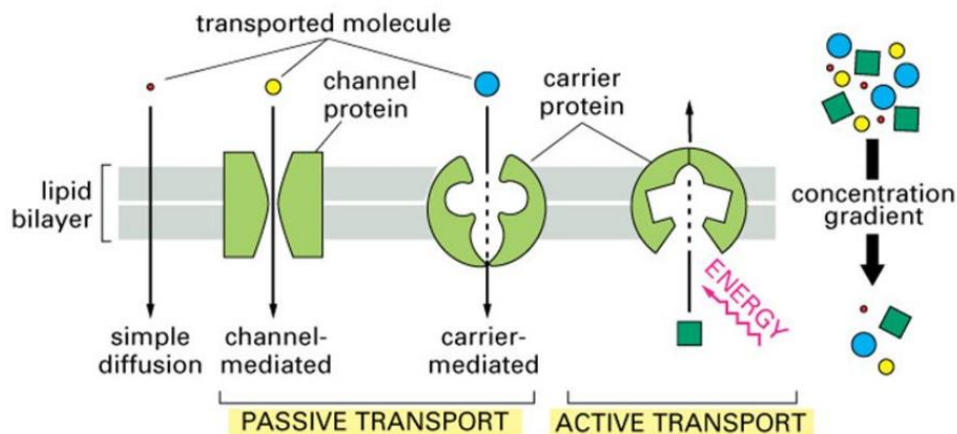
²⁵ Alternativní název tohoto typu buněk jsou polymorfonukleární neutrofilny. Neutrofilní granulocyty společně s eosinofily a basofily tvoří rodinu polymorfonukleárních leukocytů.

PROSTÁ DIFÚZE

Difúze biologickou membránou je proces pronikání látek membránou do buňky, přičemž tento proces silně souvisí se semipermeabilitou membrány. Z toho také vyplývá, jaké látky budou difuzí do intracelulárního prostoru transportovány. Obecně lze říci, že se jedná o transportní mechanismus, jakým se přes membránu dostávají malé molekuly. Difúzi lze dále dělit na *pasivní* a *usnadněnou difúzi*. Difúze probíhá ve směru elektrochemického spádu. To znamená, že na rozdíl od aktivního transportu je to proces probíhající spontánně (nevyžaduje energii) a směrem ke stavu rovnováhy.

Prostá difúze přímo přes buněčnou membránu je nejjednodušší transportní proces. Látka přechází náhodným tepelným pohybem molekul z výchozí oblasti, kde je koncentrovanější prostředí, do oblasti s nižší koncentrací. Takto pronikají lipidovou dvojvrstvou membrány např. látky lipofilní povahy (mastné kyseliny, steroidy), dále některé malé, neutrální molekuly (např. CO_2 a O_2), a v omezené míře i molekuly vody v nedisociovaném stavu. Na rychlost difúze má vliv řada faktorů: teplota, povaha látky, vlastnosti prostředí, transportní vzdálenost, plocha pro difúzi aj. [26].

Typickým příkladem usnadněné difúze je transport glukózy glukózovým přenašečem po jejím koncentračním gradientu z extracelulární tekutiny do cytoplasmy buněk.



Obrázek 27 Pasivní a aktivní transport. Pasivní transport (molekul nebo iontů) přes biologickou membránu ve směru, kdy potenciál částice klesá; nevyžaduje tedy dodávání energie. Pasivní transport může být realizován: a) volnou difúzí; b) dočasnými nebo trvalými póry větších rozměrů, tvořenými určitými bílkovinami (např. póry v jaderné membráně, štěrbinová spojení buněk); c) usnadněnou difúzí. Aktivní transport je proces, při němž je částice (molekula nebo iont) přenášena přes biologickou membránu proti gradientu svého elektrochemického potenciálu, tedy tak, že její energie roste. Energie vzrůstá proto, že v kompartmentu, kam se částice transportuje, má vyšší koncentraci, a/nebo proto, že transportovaný ion tam má v důsledku membránového potenciálu vyšší elektrostatičnou energii. Aktivní transport je vždy zajišťován integrálními membránovými bílkovinami. Patří k základním projevům života, neboť zajišťuje stabilitu složení vnitřního prostředí buněk, přičemž toto složení je trvale odlišné od složení extracelulárního prostoru. Energie, potřebná pro tento transport, se získává a) štěpením ATP na ADP a P_i (tzv. primární aktivní

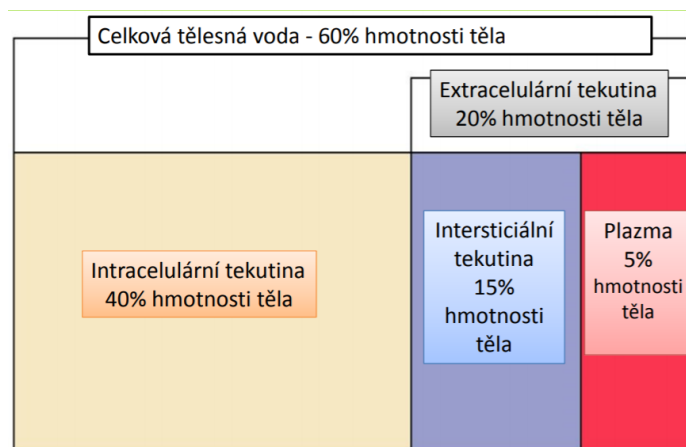
transport zajišťovaný enzymy ze skupiny ATPas, např. viz $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPáza}$, transport iontovými pumpami); b) umožněním pasivního transportu jedné částice, přičemž část takto získané energie se využije pro aktivní transport druhé částice (tzv. sekundární aktivní transport → symport a antiport); takto je např. glukóza aktivně transportována z moče spolu se sodnými ionty (symport); c) energeticky výhodnými oxidačně-redukčními reakcemi; aktivním transportem iontů H^+ na úkor energie těchto reakcí vzniká proton-motivní síla; d) přímou konverzí světelné energie, kdy světelné kvantum je absorbováno integrální bílkovinou a tato energie je využita k transportu [27].

1.7 Tělní tekutiny

Somatické buňky mnohobuněčných živočichů, s výjimkou těch nejjednodušších, ať žijí ve vodním prostředí, nebo na souši, jsou obklopeny extracelulární tekutinou a jsou ohraničené tělesným povrchem. Z této tekutiny si buňky odebírají O_2 a výživu a zpět do ní vylučují odpadní produkty metabolismu. Extracelulární tekutina je mnohem zředěnější, než je dnešní mořské prostředí, ale její složení je velmi podobné původním oceánům, ve kterých život pravděpodobně vznikl.

U živočichů, kteří mají uzavřený cévní systém, je extracelulární tekutina rozložena na dvě části – *intersticiální tekutinu* a cirkulující *krevní plazmu*. Plazma a krevní buněčné elementy, především erythrocyty (červené krvinky), vyplňují cévní systém a tvoří **celkový objem krve**. Intersticiální tekutina je ta součást extracelulární tekutiny, která se nachází mimo cévní systém a omývá buňky. Asi třetina celkového množství vody obsaženého v těle (celková tělesná voda) se nachází v extracelulárním prostoru; zbývající dvě třetiny jsou uvnitř buněk (**intracelulární tekutina**).

Distribuci vody znázorňuje Obrázek 28. Intracelulární část tělesné vody zaujímá 40 % z celkové hmotnosti těla a extracelulární část asi 20 %. Přibližně 25 % extracelulární vody cirkuluje v cévním systému (plazma = 5 % tělesné hmotnosti) a 75 % je mimo krevní řečiště (intersticiální tekutina = 15 % tělesné hmotnosti). Celkový objem krve tvoří asi 8 % tělesné hmotnosti.



Obrázek 28 Oddíly tělesných tekutin.

1.7.1 MĚŘENÍ OBJEMU TĚLNÍCH TEKUTIN

Teoreticky je možné měřit velikost objemu tělesných tekutin v jednotlivých oddílech tak, že se použije látka, která se distribuuje pouze v měřeném oddílu. Potom se vypočítá objem tekutiny, ve kterém se látka rozptýlila (objem distribuce podané látky). Objem distribuce se rovná množství injikované látky (zmenšené o tu část, která byla z těla odstraněna metabolickými pochody nebo vyloučena v době, které bylo třeba k promíchání) dělenému koncentraci látek v odebraném vzorku.

ŘEŠENÁ ÚLOHA



Muži, jehož tělesná hmotnost je 70 kg, se injekčně podá 150 mg sacharózy. Koncentrace sacharózy v plazmě po smísení je 0,01 mg/ml. 10 mg sacharózy se během doby, kdy k promíchání docházelo, vyloučilo nebo bylo metabolickými pochody vyloučeno. Objem distribuce sacharózy je (1). 14 000 ml je tedy prostor, ve kterém se sacharóza rozptýlila (sacharózový prostor).

$$\frac{150 \text{ mg} - 10 \text{ mg}}{0,01 \text{ mg/ml}} = 14\,000 \text{ ml} \quad (1)$$

PLAZMATICKÝ OBJEM

Plazmatický objem se měří pomocí barviva, které se váže na plazmatické proteiny (např. Evansova modř, nebo sérový albumin značený radioaktivním jódem. Průměrná hodnota je 3 500 ml (tj. 5 % hmotnosti osoby o váze 70 kg při jednotkové hustotě). Jestliže je znám objem plazmy a hematokrit (procento krevního objemu zaujímaného krevními buňkami), lze vypočítat celkový objem krve tak, že se plazmatický objem vynásobí výrazem (2)

$$\frac{100}{100 - \text{hematokrit}} \quad (2)$$

Příklad: Hematokrit je 38 a objem krevní plazmy 3 500 ml. Celkový objem krve je tedy (3)

$$3\,500 \cdot \frac{100}{100 - 38} = 5\,645 \text{ ml} \quad (3)$$

OBJEM ČERVENÝCH KRVINEK

Objem všech cirkulujících červených krvinek v těle lze stanovit odečtením plazmatického objemu od celkového objemu krve. Nebo pomocí injekce značených erytrocytů do krevního objemu (značení např. radionuklidem chromu ^{51}Cr , železa ^{59}Fe a fosforu ^{32}P), nebo se povrch erytrocytů označí vhodnými antigeny.

OBJEM EXTRACELULÁRNÍ TEKUTINY

Měřit objem extracelulární tekutiny (ECT) je obtížné, neboť hranice tohoto prostoru není přesně vymezena. Mnoho látek se rozptýlí do všech částí celého prostoru, aniž by se dostaly – byť částečně – do buněčného objemu. Lymfu nelze oddělit od ECT, proto se měří společně s ní. Do cerebrospinální tekutiny pronikají mnohé látky také velmi pomalu, protože jim v tom brání hematoencefalická bariéra. Látky rozptýlené v ECT se dostávají do sekretů žláz a do obsahu trávicího ústrojí. Jsou oddělené od ostatní ECT, proto jsou tyto tekutiny – stejně jako tekutiny v očích, cerebrospinální tekutina a některé jiné speciální tekutiny – nazývány *transcelulární tekutiny*. Jejich objem je relativně malý.

Jednou z nejpřesnějších metod měření objemu ECT je pravděpodobně radioaktivním uhlíkem (^{14}C) značený inulin (nebo manitol nebo sacharóza) a jeho detekce ve vzorku. Průměrně má 70kg muž 14 litrů ECT (3,5 litrů plazmy a 10,5 litrů intersticiální tekutiny), což je 20 % jeho tělesné hmotnosti.

OBJEM INTERSTICIÁLNÍ TEKUTINY

Prostor, který intersticiální tekutina zaujímá nelze měřit přímo, neboť je obtížné získat její vzorek. Objem intersticiální tekutiny lze vypočítat odečtením objemu plazmy od objemu ECT. Poměr ECT a intracelulární tekutiny je vyšší u kojenců a dětí než u dospělých jedinců. Absolutní objem ECT u dětí je menší než u dospělých, proto u dětí dochází rychleji k dehydrataci, která má mnohem vážnější průběh než u dospělých.

OBJEM INTRACELULÁRNÍ TEKUTINY

Objem intracelulární tekutiny nemůžeme rovněž měřit přímo. Vypočítat jej lze odečtením celkového objemu ECT od celkového objemu tělesné vody. Celková tělesná voda se stanovuje obdobně, jako se měří objem jiných tělních prostorů. Nejčastěji se pro stanovení objemu používá D_2O (deuterium, tzv. těžká voda) nebo ^3H (tritium).

Obsah vody ve tkáních mimo tuk je konstantní ~71–72 ml/100 g tkáně. Tuk je relativně bez vody, a tak se poměr celkové tělesné vody k tělesné hmotnosti mění podle množství tuku přítomného v tkáních. Voda zaujímá u mladého muže cca 60 % jeho tělesné hmotnosti, u ženy o něco méně. U obou pohlaví klesá obsah vody s věkem (Tabulka 4).

Tabulka 4 Celková tělesná voda v procentech tělesné hmotnosti ve vztahu k věku a pohlaví.

Věk	Muž	Žena
10–18	59 %	57 %
18–40	61 %	51 %
40–60	55 %	47 %
nad 60	52 %	46 %

1.8 Homeostáza

Prostředím, ve kterém žijí somatické buňky, je mezibuněčná komponenta ECT (extracelulární tekutina – mimobuněčná tekutina). Fyziologická funkce buněk je závislá na stálém složení ECT, proto se u mnohobuněčných živočichů vyvinulo velké množství mechanismů, které zachovávají stálost prostředí, ve kterém buňky žijí. W. B. Cannon navrhl pro tento soubor fyziologických mechanismů, které slouží k obnovení normálního stavu po jeho narušení termín „homeostáza“ [7].

Oxfordský slovník definuje od roku 1921 pojem homeostáza – homeostasis jako: „*The tendency towards a relatively stable equilibrium between interdependent elements, especially as maintained by physiological processes*“, tedy úsilí vyvíjené fyziologickými procesy k relativně stálé rovnováze vzájemně závislých prvků. Homeostázou tedy rozumíme kromě významu „stálost vnitřního prostředí“ i její udržení v situacích, kdy je tato fylogeneticky založená rovnováha porušena s následným zhoršením funkce orgánů. Homeostáza je tedy další ze základních životních funkcí stejného významu jako dýchání, krevní oběh a vědomí. Homeostázu definoval počátkem 70. let 19. století Claude Bernard jako stálost vnitřního prostředí. Vnitřní prostředí představují tělesné tekutiny – voda a látky v nich rozpuštěné v podobě ionizované nebo neionizované. V prostředí tělesných tekutin probíhají všechny metabolické a fyziologické pochody v organismu. Ve vzájemné rovnováze je udržován objem tělesných tekutin, jejich osmolalita, elektroneutralita a acidobazická rovnováha [8].

SHRNUTÍ KAPITOLY



Ontogeneze je proces kvalitativního (obvykle označován jako individuální vývoj) i kvantitativního (obvykle označován jako růst) vývoje organismu v čase, který zahrnuje jak změny biologické, tak změny psychické. Ontogeneze je geneticky programovaná a cyklická. **Fylogeneze** (fylogenetický vývoj) znamená vývoj druhů organismů. Fylogeneze je historický vývoj (evoluce), je to proces nahodilý. Ontogeneze a fylogeneze se navzájem podmiňují. **Ontogenetický vývoj člověka** zahrnuje vývojové etapy od oplození vajíčka

spermií, porod, přes vývoj jedince až k jeho smrti. Ontogenetický vývoj rozdělujeme na vývoj prenatální (začíná oplozením vajíčka spermií a končí porodem), perinatální (zahrnuje fázi předporodní, porodní a novorozeneckou) a postnatální (růst – vývoj – dospělost – stárnutí). **Prenatální vývoj** (délka ~38 týdnů): fáze germinální – fáze embryonální – fáze fetální. *Germinální fáze* je prvním obdobím ontogenetického vývoje (zygota → embryo) tzv. blastogeneze (rýhování vajíčka) – zygota → morula → blastula → gastrula → neurula = zárodek. *Embryonální fáze* klíčovou fází ontogeneze (2–8 týdnů po oplození), množení a diferenciaci buněk a formování orgánů a orgánových soustav. *Fetální fáze* (mezi 9. a 26. týdnem gravidity) je charakterizováno růstem a vyhráváním orgánů a jejich zapojením do funkce. Dokončuje se morfologický i funkční vývoj plodu a jeho orgánů až do stadia relativní životaschopnosti.

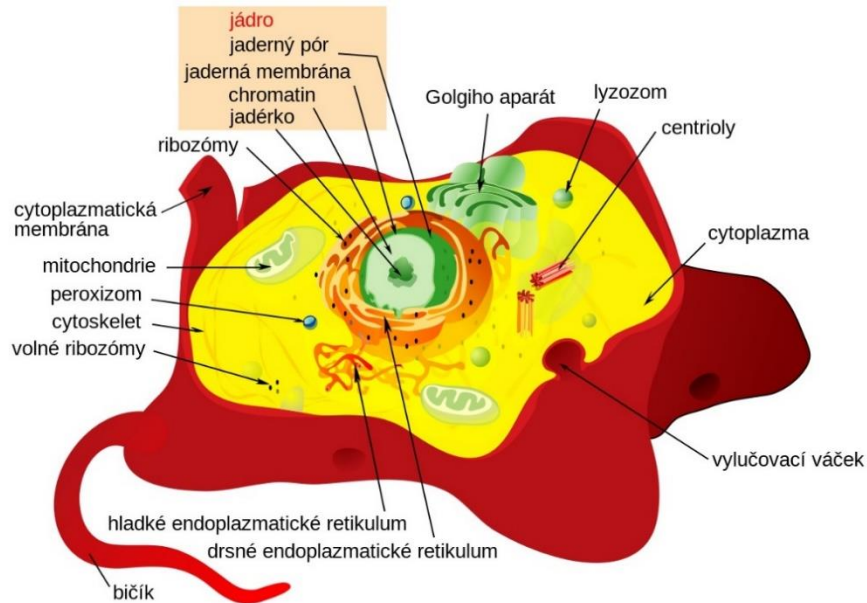
Vývojové zákony – Von Baerův a Haeckelův biogenetický zákon. **Von Baerův zákon:** „Znaky vyskytující se u vyšší systematické skupiny se obvykle objeví ve vývinu dříve než znaky nižší skupiny.“ **Haeckelův biogenetický zákon:** „Ontogeneze rekapituluje fylogenezu“. Ontogeneze opakuje určité projevy a vlastnosti fylogeneze (těch forem, kterými prošel jeho předkové v průběhu evoluce).

Buňka – je základní prvek živého organismu, nejmenší entita, která může být označena jako živá. Buňka je membránou ohraničená jednotka naplněná koncentrovaným vodným roztokem chemických sloučenin schopná vytvářet kopie sama sebe. Podle složitosti rozlišujeme dva typy buněk – prokaryotické a eukaryotické. **Buněčná teorie** – všechny životní děje, v jakémkoliv organismu, probíhají jen v buňkách nebo jsou realizovány vzájemnými vztahy mezi buňkami. **Cytologie** – nauka o buňce.

Základní projevy živé hmoty: Chemické složení (bílkoviny, nukleové kyseliny, sacharidy) → Chemické procesy (základní metabolismus – skládání a rozkládání látek) → Dynamika (neustálá výměna látek, energie a informací s prostředím) → Reakce na podněty z vnějšího prostředí a přizpůsobení se → Rozmnožování/reprodukce (zachování rodu a druhu) → Dědičnost → Růst → Evoluce/vývoj (živé soustavy se neustále dlouhodobě přizpůsobují měnícím se podmínkám).

Buňka je základní stavební a funkční jednotkou (výjimku tvoří nebuněčné organismy).

Funkční morfologie buňky (buněčné organely): Jádro (jaderný pór, jaderná membrána, chromatin, jadérko); Golgiho aparát; Lyzozom; Centriola; Cytoplazma; Cytoplazmatická membrána, Mitochondrie, Peroxizom, Cytoskelet, Ribozómy; Hladké endoplazmatické retikulum; Drsné endoplazmatické retikulum; Vylučovací váček.



Obrázek 29 Morfologie buňky. Převzato z [28].

- **Buněčná membrána** (biomembrána) – obklopuje buňku, je tvořena lipidy, proteiny a v menší míře i molekulami sacharidů ve formě glykoproteinů a glykolipidů. Je polopropustná a její propustnost se může měnit díky zabudovaným iontovým kanálům a různým transportním proteinům. Všechny buněčné struktury (organely) jsou tvořeny membránami (biomembránami). Tyto membrány jsou základní morfologickou a funkční strukturou živých organismů. Biomembrány na povrchu buňky nazýváme *cytoplazmatickou membránou*, biomembrány uvnitř buněk tvoří *buněčné organely*.
- **Cytoplazmatická membrána** – je tvořena dvěma vrstvami tuků, které uvnitř uzavírají vrstvu bílkovin. Ohraničuje buňku proti okolí, určuje tvar buňky. Umožňuje kontakt s jinými buňkami, umožňuje vzájemné rozpoznávání buněk, vazbu enzymů (důležité pro vzájemnou spolupráci buněk ve složitém organismu, tvorbu tkání, orgánů atd.). Umožňuje transport látek z buňky a do buňky – membránový přenos. Umožňuje pohyb (buňky) nebo pohyb látek po buňce.
- **Buněčné jádro (nukleus)** – největší buněčná organela. Řídí prepis dědičných informací v buňce a jejich přenos na ribozomy, podílí se na přesném rozdělení genetického materiálu do nových buněk při buněčném dělení.
- **Endoplazmatické retikulum** – soustava vzájemně propojených kanálků a cisteren, napojených současně na plazmatickou a jadernou membránu. Systém je podobný kanalizační síti, slouží k rozvodu látek po buňce, v jeho kanálcích probíhá syntéza organických látek (lipidů, cukrů, tuků) z molekul které tvoří ostatní organely. V drsném endoplazmatickém retikulu (s ribozomy) probíhá syntéza bílkovin. V hladkém endoplazmatickém retikulu (bez ribozomů) probíhá syntéza glykolipidů.
- **Golgiho aparát** – ohraničená soustava cisteren a dutinek umístěná volně v cytoplazmě. Probíhá zde úprava látek vyloučených z endoplazmatického retikula (bílkovin, lipidů, steroidů, sacharidů), a přeměna organických látek a jejich transport.

- **Ribozomy** – drobné kulovité útvary tvořené vláknem RNA stočeným do klubíčka, jsou navázány na drsné endoplazmatické retikulum. Ribozomy tvoří buněčné bílkoviny podle informace získané z DNA (chromozomů).
- **Lyzosomy** – drobné kulovité organely uložené volně v cytoplazmě, štěpí organické látky (hlavně látky přijaté endocytózou) a rozkládají cizorodé organické látky (např. bakterie) a tím chrání buňku před napadením (lyzosomální enzymy mohou v případě porušení stěny lyzosomu rozložit vlastní buněčné organické látky a způsobit tak poškození buňky, její zánik).
- **Mitochondrie** – oválná organela uložená volně v cytoplazmě, je tvořena dvěma vrstvami biomembrán. Vnější vrstva tvoří obal organely, vnitřní je uspořádána do řas – mitochondriálních krist (zvětšení povrchu mitochondrie). Mitochondrie obsahují vlastní DNA (buňka ji používá částečně na syntézu vlastních bílkovin). V mitochondriích probíhá tvorba energie pomocí oxidačních reakcí (buněčné dýchání). Při oxidačních reakcích se spotřebovává kyslík a organické látky (glukóza, tuky), vytváří se energie, která se ukládá do ATP.
- **Cytoplazma** – tvoří prostředí pro organely, umožňuje průběh buněčných reakcí, transportuje látky po buňce, umožňuje dělení buněk.
 - **Centriol** (dělicí tělísko) – je organela řídící průběh nepřímého buněčného dělení (mitóza).
 - **Mikrotubuly, mikrofilamenta** – jedná se o vláknité struktury umístěné v cytoplazmě, jsou tvořeny bílkoviny. Tvoří mechanickou kostru buňky a některých dalších buněčných struktur, zpevňují, vyztužují buňku.

Transport přes buněčnou membránu

- **Spřažený transport** (sekundární aktivní transport).
- **Aktivní transport** „pumpy“ (využívá energii ATP, může transportovat proti koncentračnímu spádu, jednosměrný s vysokou specificitou):
 - Sodno-draselná pumpa = $\text{Na}^+\text{-K}^+$ ATPáza (čerpá sodík z cytosolu a draslík do buňky, proti koncentračnímu spádu, cyklus trvá 10 ms, asymetrický přenos 3 Na^+ za 2 K^+ , trvale udržuje gradient hlavních iontů vnitřního prostředí, vzniklý gradient je hnací silou mnoha transportních mechanismů).
 - Sodno-draselná pumpa – blokátory (digoxin, strofantin, ouabain; použití při terapii srdečních chorob, částečnou inhibicí pumpy zpomalí dosažení gradientu nutného pro zahájení kontrakce, prodloužení z několika ms až na sekundu, srdce nemůže reagovat na patologické impulsy ke kontrakci a dochází k vyloučení extrasystol).
 - Vápníková pumpa = Ca^{2+} ATPáza (nízká koncentrace Ca^{2+} v cytoplazmě – vápník je soustředěn v kompartmentech: sarkoplazmatické retikulum ve svalových buňkách; pumpa čerpá vápník jednak z buňky do ECT a rovněž z cytosolu do kompartmentů sarkoplazmatického retikula).
 - Protonová pumpa = $\text{H}^+\text{-K}^+$ ATPáza (v parietálních buňkách žaludeční sliznice, přenáší vodíkový iont výměnou za iont draslíku, inhibitory – omeprazol).
- **Pasivní transport** (nevyžaduje energii, difúze ve směru koncentračního spádu):
 - Prostá difúze – malé molekuly, bez náboje, rozpustné v lipidech (O_2 , N_2 , CO_2).

- Usnadněná difúze proteinovým kanálem.
- Usnadněná difúze proteinovým transportérem.
- **Endocytóza a exocytóza – vezikulární transport**
- Endocytóza – proces absorpce materiálu buňkou z vnějšího prostředí prostřednictvím membránového váčku.
- Exocytóza – proces uvolňování (sekrece) materiálu buňkou do svého okolí; slouží k vylučování nepotřebných látek nebo látek užitečných v okolí buňky (hormony).
- **Prostá difúze**
- **Aquaporiny**²⁶ – transport vody membránou, mnohem rychlejší průchod vody membránou než prostou difuzí, zvyšují permeabilitu membrány pro vodu.
- **Nexus – gap junction** – spojení sousedních buněk stejného typu umožňuje přechod metabolitů, iontů, živin a signálních molekul mezi buňkami bez kontaktu s ECT.

KONTROLNÍ OTÁZKY



U otázek 1–10 vyberte jen jednu z možných odpovědí. Otázky 11 a 12 jsou otevřené.

1. Embryonální vývoj živočichů se realizuje v pořadí:

- a) zygota – blastula - morula - gastrula – zárodek
- b) zygota – morula – blastula – gastrula - zárodek
- c) zygota – morula – gastrula - blastula – zárodek
- d) zygota – gastrula – morula - blastula – zárodek

2. Vyjmenujte druhy endoplazmatického retikula.

- a) drsné a hladké
- b) drsné a ploché
- c) prizmatické a tubulární.

3. Cytosol je:

- a) tekutá část jádra
- b) tekutá část ribozomů
- c) tekutá část cytoplazmy

4. Mitochondrie jsou:

- a) konstantní organelou eukaryotických buněk
- b) nekonstantní organelou eukaryotických buněk
- c) u eukaryotických buněk se nevyskytují

5. Erytrocyty

- a) jedno jádro
- b) nemají žádné jádro

²⁶ Aquaporiny byly objeveny v roce 1992 (Peter Agre, 2003 Nobelova cena za chemii).

- c) mají vždy 2 jádra
- 6. Apoptóza je:**
- a) patologická smrt buňky
 - b) programovaná smrt buňky
 - c) typ buněčného dělení
- 7. Lyzosomy:**
- a) slouží k tvorbě proteinů – proteosyntéze
 - b) se zapojují v procesu endocytózy
 - c) slouží k vytvoření dělicího vřeténka
- 8. Jadérko se nachází:**
- a) v jádře pouze během mitózy
 - b) v jádře pouze během meiózy
 - c) v interfázi
- 9. Vyberte správný mechanismus (vazebný poměr) Na^+ - K^+ ATPása (sodno-draselné pumpy):**
- a) 3:2 (3 Na^+ z buňky ven na každé 2 K^+ , které se do buňky dostávají)
 - b) 2:3 (2 Na^+ z buňky ven na každé 3 K^+ , které se do buňky dostávají)
 - c) 3:3 (3 Na^+ z buňky ven výměnou za 3 K^+ , které se do buňky dostávají)
- 10. Co způsobuje buněčný a vnitrobuněčný pohyb?**
- a) Cytoskelet (cytoskeletální vlákna)
 - b) Mitochondrie
 - c) Sodno-draselná pumpa
- 11. Kontinuální výměna informací, energie a hmoty s okolím a udržování stálosti vnitřního prostředí se nazývá (pouze jedno slovo):**_____
- 12. Charakterizujte pasivní transport přes membrány. Uveďte jeho druhy.**

Správné odpovědi: 1b, 2b, 3c, 4a, 5b, 6b, 7b, 8c, 9a, 10a, 11 – homeostáza, 12 – probíhá samovolně prostřednictvím kanálů a přenašečových proteinů, nepotřebuje chemickou energii (ATP); základní typy pasivního transportu: prostá difuze, usnadněná difuze a osmóza.

2 INTEGRAČNÍ FUNKCE CNS, SMYSLOVÉ FUNKCE

RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY



Centrální nervový systém (soustava) je základním řídicím systémem organismu. Obsahuje přibližně 10^{11} neuronů a 10–50krát tolik gliových buněk. V kapitole je popsána stavba centrální nervové soustavy, periferní nervové soustavy a vegetativní (autonomní) nervové soustava. Je zde uvedena morfologie, funkce a typy nervových buněk (neuronů),

Dále jsou probrány metabolické pochody nervové tkáně s významem glukózy, jakožto hlavního energetického zdroje ATP v centrálním nervovém systému. Buňky CNS spotřebují přibližně až 120 g glukózy/den.

Velmi důležitou částí pro pochopení fungování nervového systému je schopnost neuronů komunikovat mezi sebou. Proto je zde zařazena kapitola popisující šíření signálu, excitace a vedení na membránách živých buněk. Akční potenciál jako důležitý jev, který se šíří po axonu a vyvolává kontrakci svalu; tak elektrický potenciál na membráně živých buněk, který se u nepodrážděných svalových a nervových buněk nazývá klidový membránový potenciál. Jsou vysvětleny s tímto spojený termín synapse (místo styku axonu jedné nervové buňky s efektoru nebo jiným neuronem, přičemž přenosy mohou být dle typů synapsí chemické, elektrické či probíhající prostřednictvím nervosvalové ploténky.

V další části jsou popsány specializované buňky – glie/neuroglie – nacházející se v okolí neuronů v centrální i periferní nervové soustavě, které kromě podpůrné funkce nervové tkáně zajišťují také výživu nervových buněk, chrání je a vytváří myelin. Kromě toho také neuroglie fagocytují poškozené neurony.

V závěru této kapitole se věnujeme smyslovým funkcím a jejím receptorům (fotoreceptory, mechanoreceptory, chemoreceptory, termoreceptory), kožní smyslové orgány a vnímání polohy a pohybu vlastního těla (propriocepce).

CÍLE KAPITOLY



- Nadefinovat a popsat centrální nervovou soustavu, periferní nervovou soustavu a autonomní nervovou soustavu.
- Popsat nervovou tkáň a její části.
- Popsat a vysvětlit funkci neuronu, morfologii neuronu, vyjmenovat typy neuronů, objasnit pojem neuroglie.
- Specifikovat a rozlišit šedou a bílou hmotu mozkovou.
- Popsat klidový membránový potenciál, akční potenciál.
- Vysvětlit vedení vzruchů a typy synapsí.
- Popsat příjem a zpracování informací pomocí smyslů.



ČAS POTŘEBNÝ KE STUDIU

8 hodin



KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY

CNS (mozek, mícha); neuron, mozkový kmen, mozeček, mezimozek, bazální ganglia, mozková kůra; PNS (míšní nervy, hlavové nervy), ANS (sympatikus, parasympatikus); neuron, motoneuron, neuroglie, mozkový kmen, mozeček, mezimozek, bazální ganglia, mozková kůra, bílá hmota mozková, šedá hmota mozková, vedení vzruchů, akční potenciál, klidový membránový potenciál, smysly, hmat, čítí

ÚVOD

Centrální nervová soustava je základním řídicím systémem organismu. V této kapitole budou probrány základní funkce a stavba centrální, periferní a autonomní nervové soustavy, smysly, kožní čítí, receptory, reflexy, význam akčního potenciálu a další.

Tato kapitola a její dílčí části byly zpracovány převážně z literárních a elektronických zdrojů [7, 31, 32].

2.1 Úvod do centrální nervové soustavy

Centrální nervová soustava (CNS) je základním řídicím systémem organismu. Obsahuje přibližně 10^{11} neuronů a 10–50krát tolik gliových buněk. Neurony²⁷ (nervové buňky) jsou základní stavební kameny nervového systému.

CNS velmi zjednodušeně funguje v těchto třech krocích: vnímání (příjem informací z těla a okolí prostřednictvím smyslů) → zpracování informací (míšní reflexy, myšlení, paměť, rozpoznávání, apod.) → reakce (ovládání svalů, motorika, řeč, autonomní systém).

CNS se skládá z mozku a míchy. CNS je s okolními orgány a okolním prostředím propojena prostřednictvím periferní nervové soustavy (PNS). PNS je tvořena míšními nervy, které vystupují z míchy a dále se větví do celého těla a hlavovými nervy, které vystupují především z mozkového kmene. Trojici nervové soustavy dotváří vegetativní (autonomní) nervová soustava (ANS). Vegetativní nervový systém (ANS) zajišťuje řízení funkcí vnitřních orgánů a krevního oběhu, přizpůsobuje je aktuálním potřebám (např. ortostatická reakce aj.) a kontroluje také vnitřní prostředí organismu. Tyto aktivity probíhají zcela bez

²⁷ Neurony se vyvinuly z primitivních neuroefektorových buněk odpovídajících na podněty kontrakcí. U složitějších živočichů se kontrakce stala specializovanou funkcí myocytů (svalových buněk), ale na integraci a přenos podnětů se specializovaly neurony (mozkové buňky).

volní kontroly, je vegetativní nervový systém nazýván autonomní nervový systém. Na periférii těla je vegetativní nervový systém anatomicky i funkčně zcela oddělen od somatického, zatímco v CNS jsou mezi oběma těsná propojení.

Periferní vegetativní nervový systém je *eferentní*²⁸, ale obsahuje také nervová vlákna *aferentní* (centripetální), přicházející od receptorů vnitřních orgánů (žaludek, jícn, střevo, játra, plíce, srdce, tepny, močový měchýř ad.), proto jsou označována jako **viscerální aferentace**. Běžné je označovat podle nervu, v němž daná vlákna probíhají (např. vagová aferentace).

Vegetativní nervový systém většinou funguje na principu *reflexního oblouku* s jednou částí eferentní²⁹ (vegetativní a/nebo somatickou) a jednou aferentní³⁰ (viscerální a/nebo somatickou).

Jednoduché reflexy mohou probíhat uvnitř příslušného orgánu, ale komplexnější děje jsou řízeny nadřazenými vegetativními centry v CNS (v míše). Jejich nadřazeným integračním centrem je *hypotalamus*, který zapojuje vegetativní nervový systém do svých programů. Ještě vyšší úroveň integrace mezi vegetativním nervovým systémem a ostatními systémy představuje *mozková kůra*.

Periferní vegetativní nervový systém je tvořen dvěma vzájemně oddělenými částmi *sympatikem* (zrychluje) a *parasympatikem* (zpomaluje). Vegetativní centra sympatiku jsou v *hrudní a bederní míše*, centra parasympatiku jsou v *mozkovém kmeni* (pro oko, žlázy a orgány inervované n. vagus) a v *křížové míše* (pro močový měchýř, části tlustého střeva a pohlavní orgány). Z těchto center vedou do periferie *pregangliová vlákna*, která jsou v gangliích synapticky přepojována na *vlákna postgangliová*.

Sympatická pregangliová vlákna z páteřní míchy končí v paravertebrálních gangliích, v krčních a břišních gangliích nebo v tzv. *terminálních gangliích*. Zde se impulzy převádějí *cholinergně* (transmitter acetylcholin³¹) na postgangliová vlákna, která s výjimkou potních žláz působí na cílové orgány adrenergní (transmitter: noradrenalin).

Parasympatická ganglia leží v blízkosti nebo přímo uvnitř cílového orgánů. Parasympatický synaptický přenos je jak v gangliích, tak ve výkonných orgánech *cholinergní*.

²⁸ Tj. vedoucí informace do periferie.

²⁹ Eferentní vlákna řídí reflexní odpověď hladké svaloviny různých orgánů (oka, plic, trávicího ústrojí, močového měchýře, činnost srdce a žláz). Příkladem propojení se somatickým nervovým systémem je aferentace z kůže nebo ze smyslových orgánů a eferentní impulzy vedoucí ke kašli nebo zvracení.

³⁰ Aferentní vlákna signalizují také dráždění kůže (např. nocicepční podněty) nebo signály z mechanoreceptorů nebo chemoreceptorů plic, gastrointestinálního traktu, močového měchýře, cév, pohlavních orgánů atd.

³¹ Acetylcholin je jak transmitter na nervosvalové ploténce, v CNS tak ve vegetativním nervovém systému na všech pregangliových, všech parasympatických postgangliových a některých sympatických postgangliových nervových zakončeních.

Většina orgánů je inervována jak sympatikem, tak i parasympatikem, přičemž odpověď orgánů na oba systémy může být protichůdná (antagonistická např. v srdci), nebo se doplňuje (např. pohlavní orgány).

Dřeň nadledvin je kombinací ganglia a endokrinní žlázy: pregangliová vlákna sympatiku (cholinergní) zde uvolňují do krevního oběhu adrenalin a noradrenalin.

2.2 Nervové buňky – nervová tkáň

Nervová tkáň³² vytváří, přijímá a třídí signály (dráždivost) a zabezpečuje jejich přesné a rychlé šíření (vodivost). V organismu je soustředěna v podobě mozku a míchy. Nervovou tkáň si můžeme představit jako různě hustou síť, která prostupuje téměř všemi tkáněmi a orgány (výjimkou je jen chrupavka, rosolovité vazivo, aj.). Nervovou tkáň tvoří nervové buňky – neurony a podpůrné gliové buňky – neuroglie. Neurony přenášejí a zpracovávají signály; neuroglie jim zajišťují podporu a mají velkou škálu funkcí, například: výživu neuronů, schopnost fagocytózy, tvorbu myelinu (napomáhají tím izolaci). Neuroglie představují asi 90 % všech buněk v nervovém systému. Kromě toho obsahuje nervová tkáň cévy a malé množství extracelulární matrix (nikoliv lymfatický systém).

K ZAPAMATOVÁNÍ

ČINNOST NERVOVÉ SOUSTAVY JE PODMÍNĚNA STAVBOU A FUNKCÍ JEDNOTLIVÝCH NERVOVÝCH BUNĚK A ROVNĚŽ JEJICH VZÁJEMNÝMI VZTAHY. V CNS VYTVÁŘEJÍ NERVOVÉ BUŇKY KOMPLIKOVANOU A VZÁJEMNĚ MNOHOČETNĚ PROPOJENOU PROSTOROVOU SÍŤ, SE KTEROU JSOU JAK Z FUNKČNÍHO, TAK Z MORFOLOGICKÉHO HLEDISKA V ÚZKÉM KONTAKTU GLIOVÉ ELEMENTY.



2.2.1 NEUROGLIE

Gliové buňky jsou velmi početné (je jich více 10–15x více, než neuronů). Za glie jsou považovány i Schwannovy buňky kryjící axony v periferních nervech. V centrálním nervovém systému rozlišujeme tři hlavní typy gliových buněk: **Mikroglie** jsou úklidové buňky, které můžeme připodobnit k tkáňovým makrofágům. Do nervového systému vstupují z krevních cév. **Oligodendroglie** (viz Kapitola 2.2) tvoří myelin. **Astrocyty** se nacházejí v celém mozku a dělí se na dva podtypy – **fibrózní astrocyty** (převážně v bílé hmotě) a – **protoplazmatické astrocyty** (převážně v šedé hmotě). Oba podtypy vysílají výběžky ke krevním cévám, kde na kapilárách indukují tvorbu těsných spojení (tight junction), tvoří-

³² Nervová tkáň se vyvíjí ze zevního zárodečného listu pod indukčním působením chorda dorsalis.

cích hematoencefalickou bariéru. Také vysílají výběžky kryjící synapse a povrch nervových buněk. Jejich membránový potenciál kolísá podle zevní koncentrace K^+ , ale nevznikají zde akční potenciály.

2.2.2 NERVOVÉ BUŇKY – MORFOLOGIE

Pojem neuron (nervová buňka) zahrnuje tělo nervové včetně jejich **výběžků**. Tato buňka je natolik specializovaná, že je schopna přijmout určité formy signálů, odpovědět speciálními signály, vést je a vytvářet specifické funkční kontakty (synapse) s ostatními neurony, efektory nebo receptory.

Výběžky nervové buňky jsou dvojí; ty, které přijímají vstupní informace (receptivní segment neuronu) označujeme jako **dendrity**↓ a ty, které, vedou vzruch směrem od těla neuronu, označujeme jako **neurit** (axon).

Neurony CNS savců se vyskytují v mnoha různých tvarech a velikostech, nejmenší neurony mají zhruba 4 μm v průměru, největší dosahují až 100 μm . Neurony můžeme dělit z hlediska morfologického (Obrázek 30), podle délky axonu (Golgiho I. typ – neurony s dlouhým neuritem; Golgiho II. typ – neurony s krátkým neuritem) a z hlediska funkčního (projekční – propojují vzdálené oblasti nervového systému; interneurony – propojují blízké oblasti). Tato a další klasifikace je přehledně zobrazena na (SmartArt 3).

Většina z nich má shodné části s typickým míšním motoneuronem (Obrázek 31). Tato buňka má 5–7 výběžků (**dendrity**), které vystupují z těla buňky a rozsáhle se větví. Zejména v mozkové a mozečkové kůře se na dendritech nacházejí malé výběžky, **dendritické trny** (Obrázek 32). Trny přijímají signály ze synapse axonu, čímž umožňují přenos elektrických signálů do těla neuronu.

Typický neuron má dlouhý vláknitý axon vycházející z poněkud zesílené oblasti buněčného těla – **axonového hrbolku** (na Obrázek 31 označen jako „axon“). První oddíl axonu se nazývá **iniciální segment**. Axon se dělí do terminálních větvení a každé z nich končí jako početná synaptická zakončení (**terminal buttons** nebo **telodendria axonu**). Obsahují granula nebo váčky, ve kterých jsou uloženy synaptické přenašeče secernované nervy.

K ZAPAMATOVÁNÍ

U NEURONU POPISUJEME: TĚLO NEURONU A VÝBĚŽKY AXON A DENDRITY. V TĚLE NEURONU SE NALÉZÁ JÁDRO (ČASTO S VIDITELNÝM JÁDŘEKEM) A VĚTŠINU ORGANEL (NÁPADNÉ BÝVÁ NAPŘ. GRANULÁRNÍ ENDOPLAZMATICKÉ RETIKULUM³³).



³³ V neuronech také známá jako Nisslova substance. Nisslova substance chybí v tzv. odstupovém kónusu axonu.

AXON³⁴ (NEURIT) JE DLOUHÝ VÝBĚŽEK, KTERÝ VEDE VZRUCHOVOU AKTIVITU SMĚREM OD TĚLA NEURONU DO PERIFERIE (EFERENTNÍ). NA KONCI AXONU JE NĚKOLIK AXONÁLNÍCH ZAKONČENÍ (PRESYNAPTICKÝ TERMINÁL).

DENDRITY JSOU VELKÁ MNOŽSTVÍ ROZVĚTVENÝCH VÝBĚŽKŮ PRO PŘÍJEM SIGNÁLŮ (VEDOU VZRUCHOVOU AKTIVITU K TĚLU³⁵ NEURONU – AFERENTNÍ). KAŽDÝ DENDRIT SE MŮŽE DÁLE VĚTVIT, TOTO VĚTVENÍ SBÍRÁ RŮZNÉ PODNĚTY A MÍSTECH, KDE SE JIM DOSTÁVÁ SYNAPSÍ, NAČHÁZÍME TZV. DENDRITICKÉ TRNY

Axony mnoha neuronů jsou myelinizované, tj. mají vrstvu myelinu³⁶ (protein-lipidová sloučenina obalující axon). Mimo CNS je myelin tvořen Schwannovými buňkami (buňky podobné gliím nacházející se podél axonu). **Myelin** vzniká tím, že buňky obtácejí svou membránu až stokrát kolem axonu. Myelin je zpevněn poté, co se extracelulární části membránového proteinu (proteinu P_0) spojí s extracelulárními částmi P_0 sousední membrány³⁷. Myelinová pochva obklopuje axony s výjimkou jejich zakončení a oblasti **Ranvierových zářezů**, což jsou periodicky se opakující asi 1 μm široká zaškrbení ve vzdálenosti 1 mm. Myelin plní funkci izolační. Ne však všechny savčí neurony jsou myelinizovány; některé jsou nemyelinizované – jsou Schwannovými buňkami pouze doprovázeny, bez toho, aby jejich membrány obalovaly axon a tvořily myelin. Většina neuronů bezobratlých je nemyelinizovaná. V CNS savců je však většina neuronů myelinizovaná. Buňky, které tento myelin tvoří, jsou oligodendrie. Na rozdíl od Schwannových buněk, které tvoří myelin³⁸ mezi dvěma Ranvierovými zářezy na jednom neuronu, oligodendrocyty vysílají mnoho výběžků, které tvoří myelin na mnoha sousedních axonech.

Myelinová pochva se významně podílí na přenosu vzruchu. Zejména axonový hrbolek spolu s iniciálním segmentem neuritu mají rozhodující význam pro vznik vzruchu v neuronu. Čím je nervové vlákno a myelinová pochva silnější, tím rychleji vede vzruchy.

K ZAPAMATOVÁNÍ



³⁴ Axon (neurit) může být různě dlouhý, stejně tak jeho zakončení (např. motorický neuron je zakončen nervosvalovou ploténkou, je zakončen motorickou ploténkou na povrchu kosterního svalového vlákna, ale může končit také na povrchu hladké, srdeční svaloviny nebo epitelových buněk; může být přítomno také konečné větvení neuronu – terminální arborizace (telodendron); knoflíkovitým zapojením se říká terminální buton. Axon bývá s výjimkou odstupového kónusu a iniciálního segmentu obalen pochvami – myelinová pochva.

³⁵ Tělo neuronu = soma = perikaryon

³⁶ Myelin je směs lipidů, které jsou derivátem gliových buněk, tvoří tzv. gliovou pochvu okolo axonu; myelinizované mohou být i dendrity. V CNS se gliovým buňkám říká oligodendroglie. V PNS jsou to tzv. Schwannovy buňky.

³⁷ Různé mutace P_0 jsou příčinami rozličných neuropatií, bylo popsáno 29 mutací, které mohou způsobit postižení s lehkými až velmi závažnými symptomy.

³⁸ Při roztroušené skleróze vznikají v CNS roztroušené oblasti se zničeným myelinem. Ztráta myelinu je spojena se zpomalením nebo bloádou vedení demyelinizovanými axony.

PODLE PŘESNÉHO USPOŘÁDÁNÍ VÝBĚŽKŮ MŮŽEME ROZLIŠIT NEURONY:

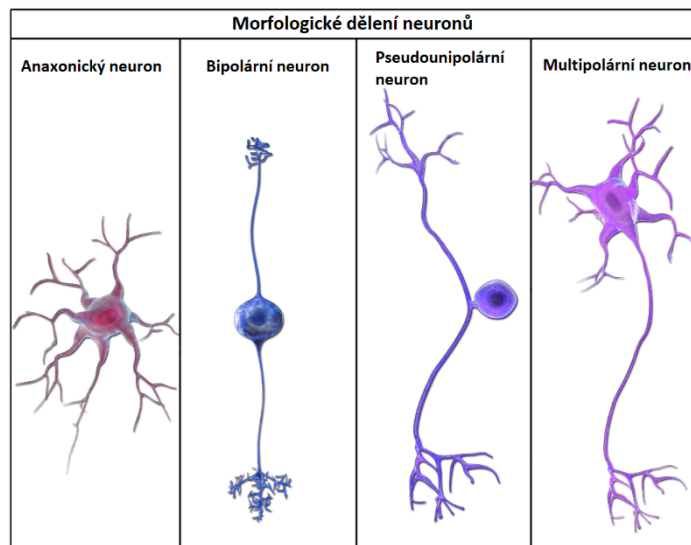
(1) APOLÁRNÍ – NEURON BEZ VÝBĚŽKU/Ů (EMBRYONÁLNÍ NEUROBLASTY).

(2) UNIPOLÁRNÍ – JEDEN AXON, ŽÁDNÉ DENDRITY (SMYSLOVÉ ORGÁNY, NAPŘ. FOTORECEPTORY SÍTNICE).

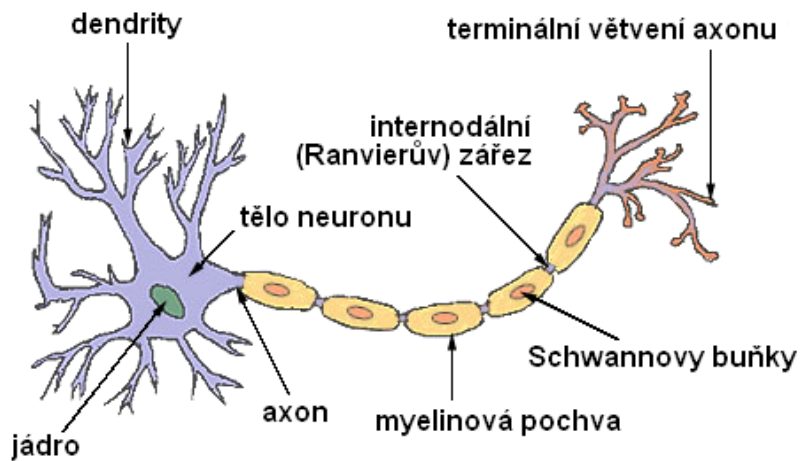
(3) BIPOLÁRNÍ – JEDEN AXON A JEDEN DENDRIT, VYSKYTUJE SE OJEDINĚLĚ (NAPŘ. VE ZRAKOVÉ DRÁZE – 2. NEURON SÍTNICE).

(4) MULTIPOLÁRNÍ – JEDEN DLOUHÝ AXON A STROMOVITĚ ROZVĚTVENÉ DENDRITY, NEJPOČETNĚJI ZASTOUPENÝ TYP NEURONŮ – NAPŘ. MÍŠNÍ MOTONEURONY PŘEDNÍCH ROHŮ MÍŠNÍCH ČI PURKYŇOVY BUŇKY.

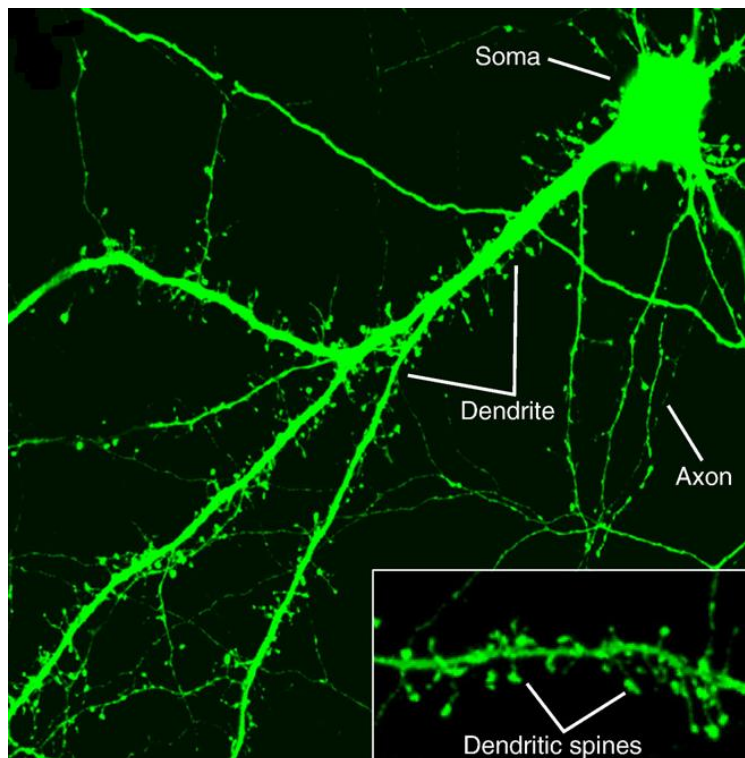
(5) PSEUDOUNIPOLÁRNÍ – Z TĚLA VYSTUPUJE JEDEN VÝBĚŽEK, KTERÝ SE VĚTVÍ NA PERIFERNÍ VÝBĚŽEK (ODPOVÍDÁ DENDRITU) SMĚŘUJÍCÍ DO PNS A CENTRÁLNÍ VÝBĚŽEK (ODPOVÍDÁ AXONU) SMĚŘUJÍCÍ DO CNS – BUŇKY SPINÁLNÍCH GANGLIÍ (GANGLIOM SPINALE).



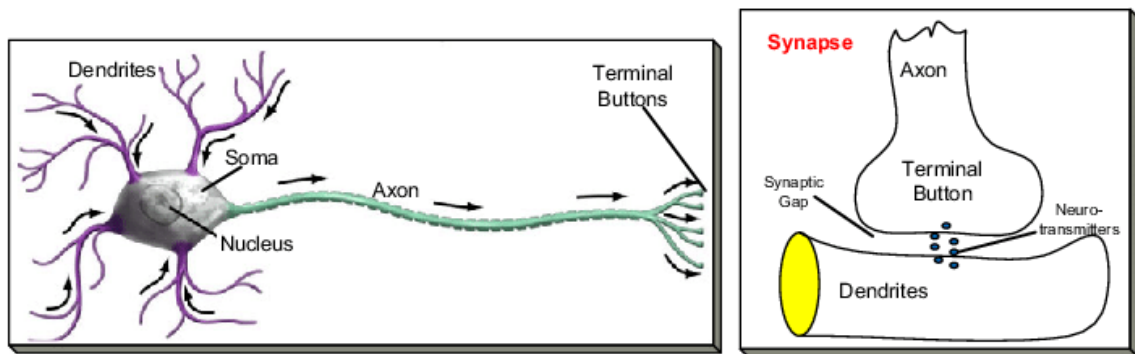
Obrázek 30 Podle morfologického hlediska dělíme neurony např. na.: anaxonický neuron (chybí axon); bipolární (jeden relativně dlouhý dendrit a axon; senzorické neurony – kožní, sluchové, čichové a nociceptivní vlákna); pseudounipolární (dlouhý dendrit splývající s axonem); multipolární (obsahují mnoho drobných bohatě se větvičích dendritů). Upraveno podle [33].



Obrázek 31 Motoneuron s myelinizovaným axonem. Převzato z [35].



Obrázek 32 Dendritické trny (dendritic spines) jsou malé výčnělky podél dendritů. Přijímá signály ze synapse axonu, čímž umožňuje přenos elektrických signálů do těla neuronu. Morfologicky se skládají z okrouhlé hlavy a úzkého krčku spojující hlavu s masou dendritu. Dendrit obsahuje stovky až tisíce trnů. Převzato z [34].



Obrázek 33 Neuron s vyznačeným signálovým tokem (vlevo) a synaptické zakončení (vpravo). Převzato z [36].

Těla neuronů se nacházejí na povrchu kůry mozku a mozečku, nebo jsou seskupené v jádrech (tzv. šedá hmota). Mezi jednotlivými skupinami neuronů pak procházející v dráhách jejich axony (tzv. bílá hmota). Označení šedá a bílá hmota vychází ze zbarvení tkání, kůra a jádra mají na preparátu tmavě růžovou až šedavou barvu, myelinem obalené axony jsou bílé.

Apolární neuron

- Neuron bez výběžku
- Embryonální neuroblasty

Unipolární neuron

- Neuron s jedním výběžkem
- Fotorceptory sítnice

Pseudounipolární neuron

- Dendrit, který se k tělu dostává přes společný úsek s axonem (dendraxon)
- Senzitivní neurony v ganglion spinale

Bipolární neuron

- Jeden dendrit a jeden axon
- 2. neuron sítnice

Multipolární neuron

- Jeden axon a mnoho výběžků
- Míšní motoneurony
- Purkyňovy buňky



SmartArt 3 Klasifikace neuronů podle počtu výběžků.

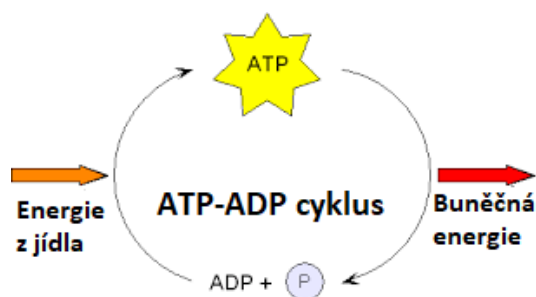
NEURONŮ V CNS JE PODLE RŮZNÝCH ZDROJŮ ZHRUBA 100 MILIARD. PŘIBLIŽNĚ POLOVINA SE NACHÁZÍ V MOZEČKU, V SAMOTNÉ MOZKOVÉ KŮŘE SE UVÁDÍ CCA 17 MILIARD NEURONŮ. KAŽDÝ NEURON VYTVÁŘÍ SPOJENÍ S 200–1000 DALŠÍMI NEURONY. TO TVOŘÍ OBROVSKOU SÍŤ, JEJÍŽ PŘESNÉ FUNGOVÁNÍ SE STÁLE NEPODAŘILO DOSTATEČNĚ OBJASNIT.

SYNTÉZA PROTEINŮ A AXOPLAZMATICKÝ TRANSPORT

Neurony jsou sekreční buňky, od jiných sekrečních buněk se liší tím, že jejich sekreční zóna je na konci axonu, distálně od těla buňky. V axonech a nervových zakončeních prakticky nejsou ribozomy a všechny nezbytné proteiny jsou syntetizovány v endoplazmatickém retikulu (Obrázek 18) a Golgiho aparátu (Obrázek 22) těla neuronu a proteiny jsou transportovány exoplazmatickým tokem axonem do synaptických zakončení. Tímto tělo buňky udržuje funkční a anatomickou integritu axonu; dojde-li k přerušení axonu, jeho část distálně od přerušení degeneruje.

2.3 Metabolismus nervové tkáně

Mozek je orgán s velmi vysokými energetickými nároky (z 20 % se podílí na celkové spotřebě kyslíku a z 25 % na celkové spotřebě glukózy). Většina ATP (Obrázek 34) se využívá v procesech přesunu iontů přes membránu neuronů. 70 % veškeré spotřeby energie využívá sodno-draselná pumpa – $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{ATPáza}$ (viz Kapitola 1.6.1 a Obrázek 27), která udržuje stále iontové složení intracelulární a extracelulární tekutiny a umožňuje tudíž hladké fungování vzrušivých tkání.



Obrázek 34 Jak získává buňka energii? Velmi zjednodušenou odpovědí může být tato: ATP (adenosintrifosfát); enzymy ATP štěpíme na ADP + 1 samostatný fosfát (adenosindifosfát) a tím dojde k uvolnění obrovského množství energie.

V centrálním nervovém systému je hlavním energetickým zdrojem ATP glukóza. Buňky CNS³⁹ spotřebují ~120 g glukózy/den. CNS jako celek odebírá z protékající krve molekuly glukózy. V astrocytech je tato glukóza částečně degradována na laktát a pyruvát, které jsou pak nabízeny neuronům. Tvorba ATP v neuronech tedy závisí na dodávce laktátu a pyruvátu z astrocytů – transportním médiem je extracelulární tekutina.

2.4 Excitace a vedení – membrána neuronu

Podstatou fungování nervového systému je schopnost neuronů komunikovat mezi sebou. To se děje prostřednictvím šíření signálu mezi neurony. Neurony jsou tedy přizpůsobeny k tomu, aby přenášely vzruch.

Nervové buňky mají relativně nízký práh pro podráždění. Pokud na neuronální membráně převažují chemicky řízené iontové kanály, je membrána drážditelná převážně chemicky, tj. reaguje na příslušný mediátor. A pokud na neuronální membráně převažují napěťově řízené iontové kanály, je membrána drážditelná elektricky, tj. reaguje na změnu potenciálu.

2.4.1 KLIDOVÝ MEMBRÁNOVÝ POTENCIÁL

Kapitoly 2.4.1 a 2.4.2 byly zpracovány podle [39].

Potenciálový rozdíl mezi vnější a vnitřní částí nervového vlákna je ~ -70 až -90 mV. Místo potenciálu je na semipermeabilní buněčné membráně. V klidu nese vnitřní povrch membrány záporný náboj a vnější povrch kladný náboj. Zdrojem potenciálu jsou ionty (resp. jiný nesený náboj), tj. rozdíly koncentrací iontů na vnějším a vnitřním povrchu membrány a specifická propustnost membrány pro jednotlivé ionty (K^+ , Na^+ , Cl^-).

Propustnost iontových kanálů pro jednotlivé ionty (permeabilita membrány) je významně ovlivňována intracelulární koncentrací iontů Ca^{2+} . Tyto ionty ovlivňují velikost potenciálu zprostředkovaně regulací permeability iontových kanálů pro K^+ , Na^+ , Cl^- . Na membráně tak vzniká membránový potenciál (membrána je polarizována).

K ZAPAMATOVÁNÍ

PRO KLIDOVÝ MEMBRÁNOVÝ POTENCIÁL JSOU ROZHODUJÍCÍ TYTO VLASTNOSTI: NEPROPUSTNOST MEMBRÁNY PRO VODU, K^+ A Cl^- , ELEKTRICKÝ NÁBOJ JEDNOTLIVÝCH ČÁSTIC A OSMOTICKÝ, ELEKTRICKÝ A



³⁹ Buňky CNS se umí adaptovat i na utilizaci ketolátů, což je významné zejména při déletrvajícím hladovění (týdny), kdy degradace ketolátů dodává až 50 % ATP. Na tvorbě energie se podílejí obě hlavní populace buněk v CNS, neurony i neuroglie (zejm. astrocyty).

KONCENTRAČNÍ GRADIENT. ZÁPORNĚ NABITÉ BÍLKOVINY JSOU KONCENTROVÁNY UVNITŘ BUŇKY, ELEKTRONEUTRALITA VNITŘKU BUŇKY JE DOSAŽENA VYSOKOU KONCENTRACÍ DIFUZIBILNÍHO KATIONTU (K^+) ZATÍMCO ONKOTICKÝ TLAK INTRACELULÁRNÍCH BÍLKOVIN JE EXTRACELULÁRNĚ VYROVNÁN VYSOKOU KONCENTRACÍ Na^+ A Cl^- . Z TOHO VYPLÝVÁ NEROVNOMĚRNÉ ROZLOŽENÍ IONTŮ NA MEMBRÁNĚ (VYSOKÁ KONCENTRACE K^+ UVNITŘ BUŇKY A VYSOKÁ KONCENTRACE IONTŮ Na^+ VNĚ BUŇKY) A VYSOKÝ KONCENTRAČNÍ GRADIENT PRO OBA IONTY. VZHLEDEM K TOMU, ŽE JE MEMBRÁNA V KLIDU PROPUSTNÁ ZEJMÉNA PRO DRASELNÉ IONTY, PROUDÍ TYTO VEN Z BUŇKY PO SVÉM KONCENTRAČNÍM GRADIENTU. PROTOŽE VŠAK NESOU POZITIVNÍ NÁBOJ, KTERÝ NENÍ NEUTRALIZOVÁN SOUČASNÝM POHYBEM Kladného náboje opačným směrem nebo záporného náboje totožným směrem, VZRŮSTÁ ELEKTROSTATICKÁ SÍLA DRŽÍCÍ DRASELNÉ IONTY UVNITŘ BUŇKY. ROVNOVÁŽNÝ STAV TĚCHTO DVOU PROTICHŮDNÝCH SIL (KONCENTRAČNÍ GRADIENT VS. ELEKTROSTATICKÁ SÍLA) JE PODSTATOU KLIDOVÉHO MEMBRÁNOVÉHO POTENCIÁLU (NAPĚTÍ).

2.4.2 AKČNÍ POTENCIÁL

V okamžiku, kdy neuronální membránou projde vzruch, změní se na membráně nervové buňky klidová rovnováha – změní se její polarizace. Depolarizace⁴⁰(prudká ztráta napětí na buněčné membráně) se rychle šíří a povrch se stává elektronegativním – dochází ke změně polarity membrány (transpolarizaci). Vrchol akčního potenciálu se v průběhu transpolarizace blíží k rovnovážnému potenciálu pro Na^+ (tj. $\sim +30$ až $+50$ mV). Poté se membránový potenciál rychle navrácí ke klidové úrovni (repolarizace). Rychlou depolarizaci a repolarizaci označujeme jako hrotový potenciál (spike).

Po dosažení $\sim 70\%$ repolarizace se rychlost změny membránového potenciálu zmenšuje. Po dosažení klidové hodnoty membránového potenciálu dochází k mírné hyperpolarizaci – vzniká následný pozitivní potenciál. V této fázi se membránový potenciál blíží hodnotě rovnovážného potenciálu pro K^+ . Celý děj označujeme jako akční potenciál (Obrázek 35).

⁴⁰ Depolarizace je velmi důležitý děj, který je podstatou šíření nervových vzruchů v organismu, a má význam pro funkci nervových a svalových buněk. Dochází k ní na buněčné membráně vlivem přestupu iontů a její podstatou je pokles elektrického napětí mezi zevním a vnitřním prostředím buňky (tzv. membránový potenciál).

IONTOVÉ ZMĚNY BĚHEM AKČNÍHO POTENCIÁLU

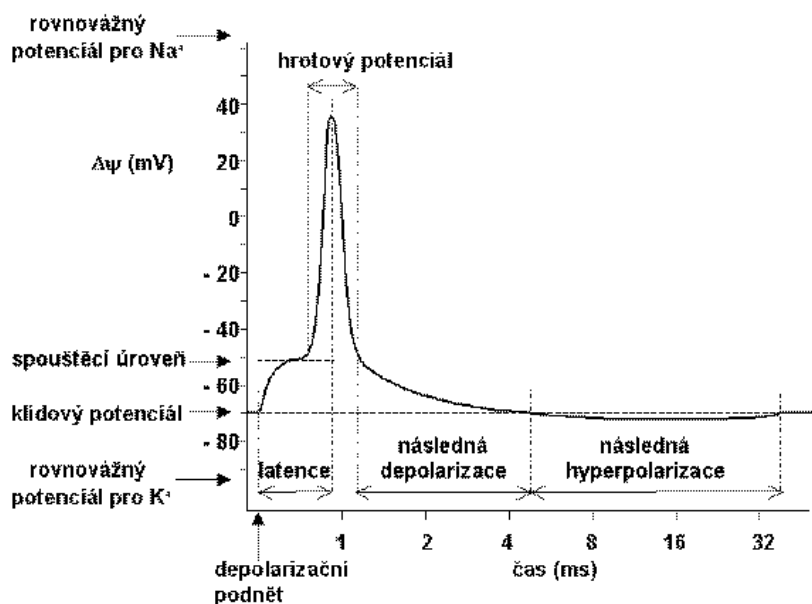
Na počátku směřuje elektrický i chemický gradient Na^+ dovnitř buňky. Až do dosažení depolarizace asi o 15 mV permeabilita membrány pro Na^+ mírně stoupá, ale vytékání K^+ je ještě schopno udržet klidový membránový potenciál.

Po dosažení této spouštěcí úrovně dojde k náhlému vzestupu permeability pro Na^+ . Napětově řízené sodíkové kanály se otevírají, vtékání Na^+ snižuje membránový potenciál, což vede k otevírání dalších sodíkových kanálů a dále stoupá permeabilita pro Na^+ . Vtékání Na^+ znemožňuje repolarizaci a výsledkem je rychlá depolarizace, která vede ke vzniku hrotového potenciálu (viz Obrázek 35).

Vzestup permeability pro Na^+ trvá krátce a končí už v průběhu vzestupné fáze akčního potenciálu. Sodíkové kanály se postupně aktivně uzavírají a kromě toho je během transpolarizace obrácen elektrický gradient pro Na^+ . Oba tyto faktory omezují tok Na^+ dovnitř buňky a napomáhají tak zahájit repolarizaci.

Otevřením napětově řízených draslíkových kanálů dojde k vzestupu permeability membrány pro K^+ ionty. To však nastupuje pomaleji a vrcholu dosahuje během sestupné fáze akčního potenciálu. K úplné repolarizaci dojde, jakmile K^+ ionty buňku opustí. Repolarizace je však způsobena aktivací jiného typu draslíkových kanálů než jsou ty, které se podílejí na udržování klidového membránového potenciálu.

Během akčního potenciálu dochází k výměně určitého množství K^+ uvnitř buňky za Na^+ . Celkový počet těchto vyměněných iontů je vzhledem k jejich celkové koncentraci velmi malý. Toto množství by se při velkém funkčním zatížení neuronu stále zvyšovalo. Proto dochází k obnově původního rozložení iontů ne membráně. Sodno-draselnou pumpou (Na^+ - K^+ ATPáza) je Na^+ přečerpán z nervového vlákna ven a nahrazen K^+ . Energie pro aktivní transport iontů je získána z ATP a hrazena oxidací glukózy. Tento děj **není** v přímém vztahu k určitému akčnímu potenciálu [39].

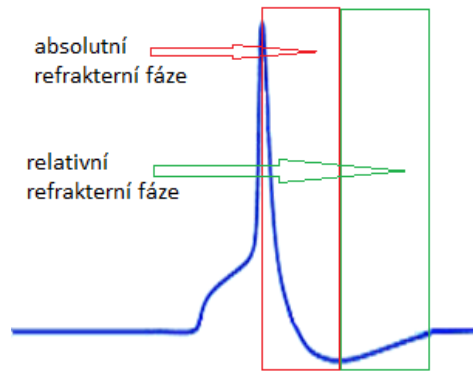


Obrázek 35 Dosáhne-li depolarizace membrány spouštěcí úrovně (prahu), tj. dojde-li k dostatečně rychlé depolarizaci o 10 až 20 mV, dochází v axonální membráně k velmi rychlé depolarizaci. Membránový potenciál se změní během cca 0,5 ms na +30 až +50 mV a poté dochází ke stejně rychlé repolarizaci až na asi 70% původní hodnoty membránového potenciálu; tento rychlý vzestup a pokles membránového potenciálu se nazývá hrotový potenciál. Po pomalejší následné depolarizaci (trvajícím okolo 4 ms nebo méně) dosáhne membránový potenciál původní klidové úrovně a dochází k následné hyperpolarizaci o několik mV pod původní klidovou hladinu a k návratu na hodnotu klidového potenciálu (cca 40 ms) [40].

ZMĚNY DRÁŽDIVOSTI VYVOLANÉ VZRUCHEM

Po dosažení spouštěcí úrovně akčního potenciálu je membrána zcela refrakterní k další stimulaci. V důsledku toho žádná další, byť intenzivní stimulace neuronu nevede ke vzniku dalšího akčního potenciálu – tento stav se nazývá **absolutní refrakterní fáze** (Obrázek 36). Buňka je v této fázi refrakterní proto, protože převážná část napěťově řízených sodíkových kanálů je v inaktivovaném stavu a tyto kanály se nemohou otevřít dříve, než dojde k repolarizaci membrány.

O **relativní refrakterní fázi** (Obrázek 36) hovoříme tehdy, když v průběhu dalšího akčního potenciálu (tj. od konce hrotového potenciálu) může buňka reagovat na stimulaci, ale stimulace musí být intenzivnější než normální podnět [39].



Obrázek 36 Absolutní a relativní refrakterní fáze. Absolutní refrakterní fáze je délka úseku po vzniku akčního potenciálu, během něhož je nemožné vyvolat další akční potenciál (trvá několik milisekund od dosažení spouštěcí úrovně do doby, kdy proběhne repolarizace asi z 1/3). Poté následuje relativní refrakterní fáze, kdy musí být podnět pro vyvolání dalšího akčního potenciálu větší než normálně (trvá přibližně do uzavření K^+ kanálů). Zdroj vlastní.

2.4.3 VEDENÍ VZRUCHU

Po podráždění může dojít pouze k dvěma typům fyzikálně-chemického narušení rovnováhy:

1. Lokální potenciály (nešíří se); dle lokalizace je označujeme jako potenciály: **synaptické, generátorové a elektrotonické**.
2. Potenciály, které se šíří – **akční potenciály**. Aktivně se udržující otevřením Na^+ kanálů. Akční potenciál se šíří zejména centrifugálně po axonu, v místě vybavení vzruchu se selektivně mění propustnost membrány, dochází k přesunu iontů mezi zevním a vnitřním povrchem membrány a uzavírá se místní elektrický okruh.

Podněty jsou vedeny (přenášeny) axony a jejich zakončením. Elektrické děje na neuronech jsou rychlé a jsou měřeny v milisekundách. Změny potenciálu jsou malé a jejich rozměr se uvádí v milivoltech.

Komunikace mezi neurony v CNS zprostředkovávají specializované mezibuněčné kontakty zvané synapse (Tabulka 5). Synapse⁴¹ mohou být buď **elektrické** (jsou zprostředkovány mezibuněčnými spoji, tzv. gap junction) nebo **chemické** (jsou zprostředkovány vyplavením látky zvané neuropřenašeč, neboli neurotransmitter do štěrbin mezi buňkami). Synaptická spojení jsou všechny funkční kontakty mezi membránou dvou buněk, z nichž alespoň jedna je neuronálního původu. Prostřednictvím těchto kontaktů jsou zprostředkovány trofické vlivy a především přenos nervových vzruchů (synaptická transmise).

Obecně se má za to, že chemické synapse jsou složitější než elektrické, objevují se však důkazy, které naznačují, že elektrické synapse mohou být podobně složité a funkčně složitě

⁴¹ Synapse, česky zápoj – definoval roku 1947 český lékař a fyziolog Vilém Laufberger; roku 1784 označil synapse termínem jako „spojky nervové“ český lékař, univerzitní profesor a fyziolog Jiří Procháska.

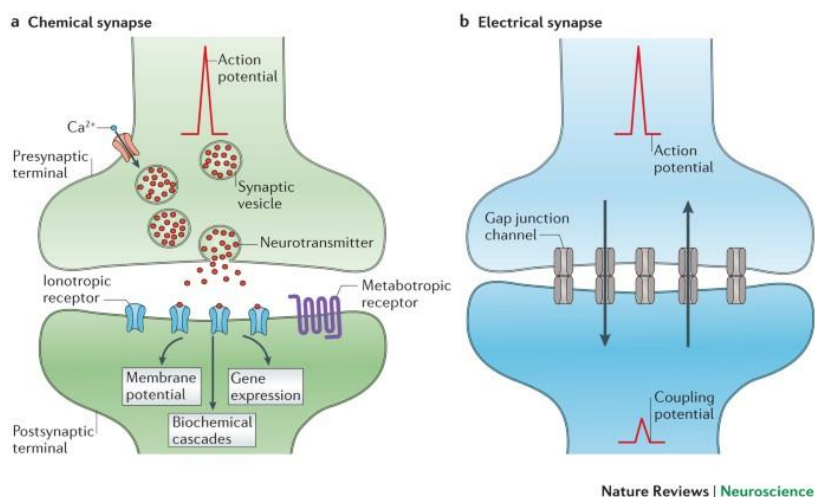
a velmi variabilní. Oba typy synaptického přenosu zdaleka nefungují nezávisle a nesouvisí spolu, ale velmi úzce se ovlivňují. Interakce mezi těmito dvěma formami interneuronální komunikace jsou nezbytné pro normální vývoj a funkci mozku [38].

Tabulka 5 Typy synapsí

Typ synapse	Vzdálenost mezi pre/postsynaptickou částí	Kontinuita mezi cytoplazmou	Morfologický podklad	Způsob přenosu	Synaptické zpoždění	Směr přenosu
Elektrická	3,5 nm	Ano	Gap junction	Tok iontů	Téměř 0	obousměrný
Chemická	20–40 nm	Ne	Vesikly, aktivní zóny, postsynaptické receptory	mediátor	0,3 ms 1–5 ms i déle	jednosměrný

CHEMICKÉ SYNAPSE

Většina synapsí v CNS jsou synapse chemické (Obrázek 37). Přenos signálu závisí na přítomnosti mediátorů⁴² (transmitery, přenašeče) v presynaptické části, především v synaptických váčcích. Chemická transmise předpokládá presynaptické a postsynaptické buňky a jejich vzájemná komunikace je realizována uvolňováním chemické substance (mediátoru) z presynaptických buněk, její vazby na receptory postsynaptických buněk, a tím vyvolání toku elektrického proudu.



Obrázek 37 Vlevo: Chemická synapse: Presynaptický útvar – vakovité rozšíření axonu obsahující synaptické váčky. Poté, co vzruch dosáhne presynaptického útvaru, zvyšuje se permeabilita presynaptické membrány pro Ca²⁺, kalcium vtéká do buňky, váčky se hromadí u synaptické štěrbině („aktivní zóna“ synapse) a uvolňují exocytotickým mechanismem mediátor do synaptické štěrbině. Postsynaptický

⁴² Mediátory (transmitery, přenašeče) jsou specifické látky, které na chemických synapsích cíleně, prostřednictvím receptorů na postsynaptické membráně, zprostředkují převod nervové aktivity humorální cestou.

útvár – receptory pro mediátor (receptory, které jsou součástí iontového kanálu nebo receptory spřažené s G proteiny), po vazbě mediátoru na receptor dojde ke zvýšení propustnosti pro ionty Na^+ , což vede k depolarizaci a tedy ke vzniku excitačního postsynaptického potenciálu (EPSP). Na inhibiční synapsi oproti tomu vede mediátorem vyvolané otevření K^+ a Cl^- kanálů k hyperpolarizaci a ke vzniku inhibičního postsynaptického potenciálu (IPSP), což je podstatou útlumu na synapsi.

Chemické synapse jsou relativně pomalé, protože uvolněním *mediátoru* z presynaptického útvaru a otevřením příslušných iontových kanálů vede k synaptickému zdržení vedení vzruchu v trvání minimálně 0,5 ms. Tyto synapse vedou vzruch většinou jednosměrně a mohou být jak excitační, tak inhibiční. Podle typu uvolněného *mediátoru* a funkčního typu synapse, dojde otevřením Na^+ kanálů buď ke zvýšení propustnosti membrány pro sodík, nebo otevřením K^+ a Cl^- kanálů dojde ke zvýšení propustnosti membrány pro draselné a chloridové ionty.

Otevření Na^+ kanálů vede k depolarizaci, což má za následek vznik excitačního postsynaptického potenciálu (EPSP). Na inhibiční synapsi vede mediátorem vyvolané otevření K^+ a Cl^- kanálů k hyperpolarizaci a ke vzniku inhibičního postsynaptického potenciálu (IPSP) [39].

CHEMICKÁ SYNAPSE ZÁKLADNÍ STAVEBNÍ ČÁSTI: ČÁST PRESYNAPTICKÁ, ČÁST POSTSYNAPTICKÁ, SYNAPTICKÁ ŠTĚRBINA (20–40 nm). PŘENOS INFORMACE: PŘENOS INFORMACE: NEUROTRANSMITER Z PRESYNAPTICKÉ ČÁSTI (V MÍSTĚ AKTIVNÍ ZÓNY) EXOCYTÓZA – VAZBA NA RECEPTORY POSTSYNAPTICKÉ MEMBRÁNY.

Obecné schéma chemické transmise:

1. Syntéza mediátoru v presynaptickém útvaru
2. Skladování mediátoru v presynaptickém útvaru a jeho výdej do synaptické štěrbině
3. Interakce s receptorem postsynaptické membrány
4. Odstranění mediátoru ze synaptické štěrbině

ELEKTRICKÉ SYNAPSE

Elektrické synapse jsou přímá, pro ionty vodivá spojení buňka-buňka, zprostředkovaná kanály (konexony) v oblasti gap junction. Slouží např. k vedení podráždění v hladkém svalu, srdečního svalu a částečně v sítnici a CNS a také propojení buněk epitelu a gliových buněk.

Na elektrických synapsích dochází k synaptickému přenosu kontinuálním spojením buněk a přímým tokem elektrického proudu. Transmise na těchto synapsích, tvořených mezibuněčnými kontakty gap junction (2 nm), je velmi rychlá, synapse obvykle vedou oběma směry a jsou převážně excitační [39].

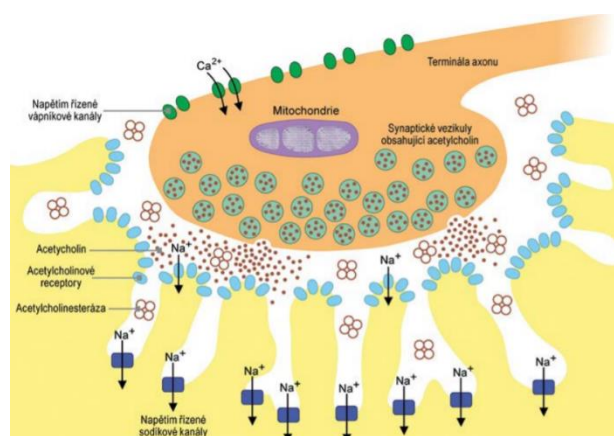
NERVOSVALOVÁ PLOTÉNKA

Vlákna kosterního svalu jsou přímo řízena nervovým systémem. Axony míšních motoneuronů vytvářejí spolu se sarkolemou nervosvalové ploténky, které se v mnohém podobají chemickým synapsím v CNS. Už nemyelinizovaný periferní úsek axonu se větví na drobná telodendriat, která vytvářejí kontakty s vláknem kosterního svalu.

Nervosvalová ploténka má tři části:

1. Presynaptickou štěrbinu
2. Synaptickou štěrbinu
3. Postsynaptickou část

Presynaptická část je tvořena nemyelinizovaným rozšířením zakončením terminální větve alfa motoneuronu, které je zanořeno do sarkolemy. Uvnitř tohoto rozšíření jsou synaptické vezikuly naplněné molekulami acetylcholinu, což je klíčový mediátor přenosu vzruchu na této synapsi. Sarkolema je v postsynaptické oblasti výrazně zřasena a obsahuje nikotinové acetylcholinové receptory. Nervový impulz aktivuje napětím řízené kalciové kanály s následným influxem kalciových iontů, které způsobují (pomocí kaskády dalších proteinů) exocytózu vezikul, a tedy uvolnění acetylcholinu do synaptické štěrbinu. Aby došlo k otevření ionoforu⁴³, musí být aktivovány alfa podjednotky molekulami acetylcholinu. Vazba dvou acetylcholinových molekul na acetylcholinový receptor na postsynaptické části synapse (tedy na sarkolemě) otevírá kanál uvnitř receptoru a dochází k influxu sodíku do svalového vlákna a vzniku malého podprahového ploténkového potenciálu. Je-li aktivováno dostatečné množství receptorů, dojde k sumaci těchto miniaturních ploténkových potenciálů a vzniku akčního potenciálu. Cyklus je ukončen tak, že acetylcholin je degradován na acetát a cholin enzymem cholinesterázou rychlostí 25 tisíc molekul za sekundu. Dojde k uzavření sodíkových kanálů a vypuzením draslíkových iontů je obnoven klidový potenciál na svalové membráně [41].



Obrázek 38 Schéma nervosvalové ploténky a dějů, které na ní probíhají [41].

⁴³ Ionofor – látka umožňující přenos iontu lipidovou bariérou např. skrz buněčnou membránu některým z možných mechanismů např. zvýšením permeability.

2.5 Neuroglie

V okolí neuronů v CNS i PNS jsou buňky – glie/neuroglie, které kromě podpůrné funkce nervové tkáně zajišťuje také výživu nervových buněk, chrání je a vytváří myelin. Kromě toho také neuroglie fagocytují poškozené neurony [39].

2.5.1 NEUROGLIE V CNS

V CNS rozlišujeme čtyři typy gliových buněk:

1. **Ependymové buňky** – jsou fylogeneticky i ontogeneticky nejstarší gliální elementy; u vyšších obratlovců tvoří výstelku dutin CNS (ependym). Ependymové buňky se podílejí na pohybu likvoru a transcelulárním transportu.
2. **Astrocyty** – podpůrná a výživná funkce; významně se podílejí na funkci hematoencefalické bariéry⁴⁴ a stabilizaci extracelulární koncentrace draslíku.
3. **Oligodendroglie** – obklopují výběžky neuronů v CNS a vytvářejí myelinové pochvy axonů. V PNS jsou jejich obdobou Schwannovy buňky. Oligodendroglie/oligodendrocyty se při zvýšeném funkčním zatížení podílejí na metabolismu neuronů.
4. **Mikroglie** – Horteogovy glie jsou nejmenšími gliovými elementy v CNS. Je jich méně, než astrocytů a oligodendroglíí. Mikroglie jsou mezodermového původu a do mozku vstupují až v pozdním embryonálním stadiu; jsou výrazně pohyblivé a jsou schopny fagocytózy. V CNS se účastní obranných a úklidových reakcí zejména za patologických stavů [39].

2.5.2 NEUROGLIE V PNS

V PNS se nacházejí dva typy neuroglíí:

1. Schwannovy buňky – základní typ neuroglie v PNS, jejich funkce je velmi blízká funkci oligodendroglíí v CNS.
2. Satelitní buňky – amficyty se nepodílejí na tvorbě myelinu; většinou naléhají na povrch neuronů v senzitivních a vegetativních gangliích a hrají důležitou roli v metabolických procesech gangliových buněk [39].

2.6 Smyslové funkce

Informace o zevním a vnitřním prostředí dostává CNS pomocí sensorických receptorů. Membránové senzory (receptory) jsou bílkovinné součástí buněčné membrány, které jsou za registraci těchto podnětů zodpovědné. Některé chemické signály mohou proniknout buněčnou membránou a jejich aktivita je potom zprostředkována receptory cytosolovými, pří-

⁴⁴ Přesun látek z krve do tkáně CNS, z krve do mozkomíšního moku (likvoru), i z likvoru do nervové tkáně. Hematoencefalická bariéra zahrnuje transport látek také opačným směrem (výstup z mozku do krve).

padně jadernými. U vícebuněčných živočichů se vyvíjejí specializovaná zařízení – **receptory** – pro vnímání mechanických, chemických, elektromagnetických a tepelných podnětů ze zevního a vnitřního prostředí organismu. Odpověď receptorové buňky na působení podnětu je založena na spuštění určitého děje s vlastním zdrojem energie. V případě chemického podnětu působí již pouhá přítomnost molekul určité látky.

V buňkách receptoru se přeměňuje energie podnětu ve změny membránového potenciálu ve smyslu depolarizace nebo hyperpolarizace – **receptorový potenciál**. Ten je v podobě akčního potenciálu nervových vláken převáděn a zpracováván v dalších oddílech nervového systému. Amplituda receptorového potenciálu je úměrná intenzitě podnětu. Receptory jsou nejcitlivější pro nejslabší podněty, se zvyšující se intenzitou podnětu je jejich odpověď relativně menší, to umožňuje receptoru přenášet užitečnou informaci ve velkém rozsahu intenzit podnětů. Dlouhodobý podnět vyvolává receptorový potenciál, jehož velikost se postupně snižuje jako projev **adaptace (desenzitizace)**. Stupeň adaptace se liší v různých typech smyslových orgánů. Dotyk se adaptuje rychle – **fázické receptory**, naopak sinus caroticus, svalová vřeténka a orgány registrující chlad, bolest a inflaci plic se adaptují velmi pomalu a neúplně – **tonické receptory**.

Akční potenciál nervových vláken může vznikat přímo na receptorové buňce při dosažení určité prahové hodnoty receptorového potenciálu (čichové receptorové buňky, taktilní receptory). Častěji však vzniká až na následujícím neuronu, kam se signál přenáší prostřednictvím mediátoru formou synaptického přenosu (chuťové buňky, vláskové buňky vnitřního ucha).

Signál z receptorů se šíří nervovými drahami a je opakovaně přepojován na jednotlivých úrovních příslušné senzorké dráhy. Přitom dochází ke zpracování informace, případně jejímu přepojení do jiných systémů (např. ze zrakové dráhy na řízení okoohybných svalů).

U člověka některé aferentní informace vstupují do vědomí a potom hovoříme o senzorkém vjemu. Senzorký vjem není pouhým odrazem podnětu dopadajícího na receptor, ale je to výsledek procesu výběru relevantní informace.

FOTORECEPTORY

Buňky fotoreceptorů (tyčinky a čípky) mají tři části – nejbližší zdroji světla je synaptické zakončení, následuje vnitřní a zevní segment. Ve vnitřním segmentu jsou soustředěny buněčné organely včetně jádra. Zevní segment obsahuje vrstvy příčně skládané plazmatické membrány (čípky), nebo disky obdobného původu (tyčinky), jejichž součástí je světlocitlivá látka.

Ve tmě je membrána fotoreceptorů depolarizována (~ -40 mV) v důsledku otevřených sodíkových kanálů. Depolarizace zevního segmentu způsobuje tok draslíkových iontů vnitřním segmentem a v jeho presynaptickém útvaru jsou aktivovány napětově řízené kalciové kanály, ionty vápníku jsou zodpovědné za výdej neurotransmiteru.

V tyčinkách je jeden druh rodopsinu (světlocitlivá látka), která se skládá z bílkoviny (opsin) a izomeru vitamínu A (11-cis retinalu), proto mohou rozlišovat pouze různou intenzitu světla. Čípky oproti tyčinkám obsahují tři druhy opsinů, které se liší maximální citlivostí k různým vlnovým délkám viditelného světla (zelená, modrá, červená) umožňují proto vnímání barev.

MECHANORECEPTORY

Buňky, které převádějí mechanické podněty na bioelektrické signály, jsou nejčastějšími typy senzoričkových receptorů. Vyskytují se jako čidla doteku a tlaku v kůži, jako receptory hlubokého čítí ve svalech, šlachách a kloubech, zaznamenávají tlak v močovém měchýři, trávicím traktu a cévách, jsou receptory sluchu, polohy hlavy, lineárního i úhlového zrychlení. Základem činnosti mechanoreceptorů jsou iontově řízené kanály.

CHEMORECEPTORY

Chemoreceptory jsou součástí vnímání chutí a čichem a také základem měření složení vnitřního prostředí organismu, např. koncentrace O₂, CO₂ nebo glukózy v krvi.

TERMORECEPTORY

Informace o teplotě kůže (10–45 °C) je monitorována pomalu se adaptujícími receptory. Jsou založeny na činnosti termocitlivých iontových kanálů propustných pro Ca²⁺. Tato změna permeability je odpovědná za vznik receptorového potenciálu.

Komplexní vjem „tepla“ nebo „chlada“ je založen na činnosti dvou druhů receptorů. Chladové receptory jsou maximálně aktivovány teplotou mezi 23–28 °C, receptory pro teplo reagují nejvíce v rozmezí 38–43 °C. Jsou-li teplotní změny dostatečně rychlé, je vnímána i změna o 0,1 °C. Pomalé teplotní změny vyžadují větší rozdíl teplot a větší počet podrážděných receptorů. Pokud je teplotní podnět doprovázen i talkovým podnětem, lze jej lépe lokalizovat.

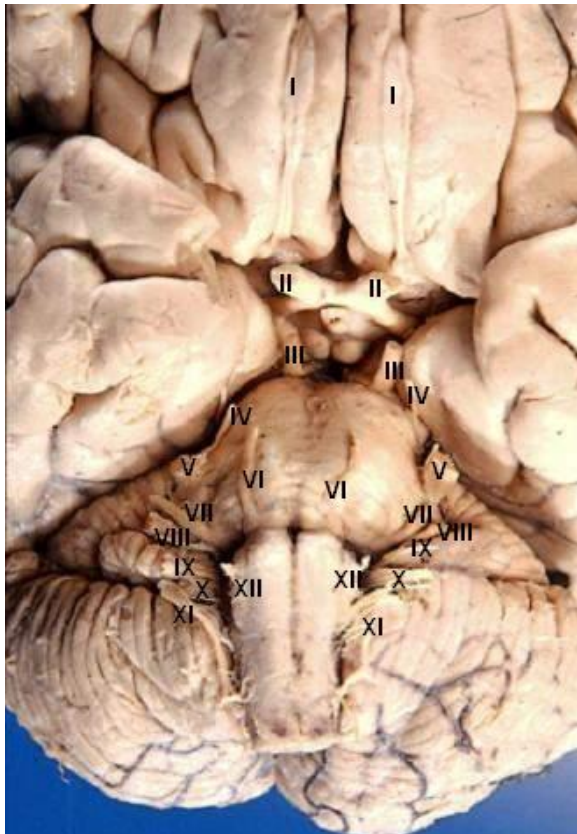
Při teplotách pod 10 °C se zastavují molekulární děje podmiňující tvorbu a šíření vzruchů. Ochlazení může být tedy použito jako znečitlivující prostředek.

2.6.1 VNÍMÁNÍ VLASTNÍHO TĚLA

Vnímání podnětů z povrchu těla, informace o napětí svalů, postavení kloubů, pohybu a poloze celého těla jsou zprostředkovány aktivací celé řady receptorů. Jejich aferentní⁴⁵ vlákna jsou uložena ve spinálních gangliích a v gangliích V. (n. trigeminus – trojklanný nerv), VIII. (n. vestibulocochlearis – rovnovážný a sluchový nerv), a X. (n. vagus – bloudivý nerv) hlavového nervu (Obrázek 39). Vedou zadními kořeny do páteřní míchy,

⁴⁵ Aferentní = dostředivý, přívodný, přivádějící do centra.

kde jich část po překřížení pokračuje jako tractus spinothalamicus v předních a postranních provazcích (hlavně signály z kůže). Druhá část (informace ze svalů, šlach a kloubů) je vedena zadními provazci stejné strany do jader prodloužené míchy a odtud do druhostranného talamu (tractus spinobulbothalamicus). Po přepojení v talamu směřují všechna tato vlákna do somatosenzorické oblasti mozkové kůry.



- I. čichový nerv
- II. zrakový nerv
- III. okohybný nerv
- IV. kladkový nerv
- V. trojklaný nerv**
- VI. odtahovací nerv
- VII. lícní nerv
- VIII. sluchově rovnovážný nerv**
- IX. jazykohltanový nerv
- X. bloudivý nerv**
- XI. přídatný nerv
- XII. podjazykový nerv

Obrázek 39 Hlavové nervy. Zdroj [42].

KOŽNÍ SMYSLOVÉ ORGÁNY

Existují čtyři kožní smysly: dotyk – tlak (tlak je trvalý dotyk), chlad, teplo a bolest. Kůže obsahuje různé typy senzoričkových zakončení. Jsou to holá nervová zakončení, rozšířená zakončení nervových vláken (Merkelovy disky a Ruffiniho tělíska) a opouzdřená zakončení (Paciniho tělíska, Meissnerova tělíska, Krauseho tělíska). Ruffiniho a Paciniho tělíska se nacházejí také v hlubokých vazivových tkáních. Senzorické nervy končí u vlasových folikulů. Nejlépe prozkoumaná jsou Vaterova-Paciniho tělíska, uložená v hlubších vrstvách kůže.

Mechanoreceptory citlivé na **dotek a tlak**, se podle své odpovědi na setrvalý podnět dají rozdělit na dvě kategorie. Polovina z nich se rychle adaptuje a odpovídá salvou vzruchů jen při začátku a konci podnětu (fyzické receptory). Druhá skupina se adaptuje pomalu a odpovídá trvalou aktivitou po celou dobu podnětu (tonické receptory). Rychle se adaptující receptory proto hlásí změny tlaku, zatímco pomalu se adaptující informují spíše o intenzitě tlaku.

Receptory reagující na **teplo a chlad** stejně, jako tlaková čidla, jsou rozmístěny jednotlivě na povrchu těla. Vnímání teploty má tedy také bodový charakter. Receptory citlivé na chlad jsou čtnější, než receptory reagující na teplo.

Receptory **bolesti** (nociceptory) jsou přítomny nejen v kůži a ve sliznicích, ale téměř ve všech tkáních těla (kosti, svaly, cévy, orgány zažívacího traktu, ledviny). Nejdůležitější výjimkou je nervová tkáň mozku, kde vnímání bolesti zcela chybí.

VNÍMÁNÍ POLOHY A POHYBU

Vnímání polohy a pohybu vlastního těla (propriocepce) je založeno na souhře řady receptorových systémů. Uplatňují se smyslová čidla v kloubech, šlachách a svalech. Receptory v polokruhovitých kanálcích a elipsovitém a kulovitém váčku středního ucha (proprioceptory, hluboká citlivost). Pro vnímání pohybu mají význam i pomalu se adaptující receptory v kůži, reagující na její napínání. Mohou se uplatnit také informace ze zrakového analyzátoru. Díky těmto receptorovým systémům můžeme vnímat polohu končetin, trupu a hlavy (polohový smysl), změnu jejich vzájemného postavení (pohybový smysl) i určit sílu a velikost odporu pro každý pohyb (silový smysl). Informace z proprioceptorů vstupují jen částečně do vědomí, převážně slouží k reflexnímu řízení vzpřímené polohy těla, svalového tonu, uplatňují se při řízení pohybu a při prostorové orientaci. Kromě uvedených receptorů hlubokého a povrchového cití, mohou polohu a pohyby hlavy registrovat i mechanoreceptory *vestibulárního ústrojí*. Dále viz Kapitola 3 – Hybnost člověka a její řízení

SHRNUTÍ KAPITOLY



Nervový systém je důležitým řídicím a interagujícím systémem organismu. Jeho základní funkcí je rychlý a přesný přenos informací z receptorů, jejich zpracování, uložení do paměti a vysílání nových signálů na efekторы.

Centrální nervová soustava (CNS) se skládá z *mozku* a *páteřní míchy*. Mícha je podle obratlů rozdělena na segmenty. Spinální nervy vystupují z páteřního kanálu až na úrovni příslušného obratle. *Spinální nerv* obsahuje vlákna zadních kořenů směřující k CNS (aférentní) a vlákna předních kořenů (eferentní) směřující k periférii. *Nerv* je svazek nervových vláken s částečně odlišnou funkcí a směrem průběhu; je tvořen množstvím axonů, které jsou obaleny myelinovou pochvou. Na průřezu *míchou* je patrná *šedá hmota* (obrazec tvarem připomínající motýla). V předních rozích míšních obsahuje hlavně buněčná těla eferentních drah (převážně ke svalům – *motoneurony*) a v zadních rozích míšních těla *interneuronů* (přepojovací neurony uvnitř CNS). Ostatní část průřezu míchy tvoří *bílá hmota* obsahující převážně axony vzestupných a sestupných drah.

CNS je základním řídicím systémem organismu. Velmi zjednodušeně funguje v těchto krocích:

- Vnímání – příjem informací z těla a okolí skrze smysly.

- Zpracování informací – od jednoduchých operací jako jsou míšní reflexy po myšlení, paměť a vybavování z paměti, rozpoznávání apod.
- Reakce – ovládání svalů (motorika), specializovaných svalů (řeč) a vnitřních orgánů (autonomní systém).

S ostatními orgány i s okolním světem je CNS propojeno především prostřednictvím **periferního nervového systému**. Periferní nervový systém je tvořen míšními nervy (31 párů), které vystupují z míchy a dále se větví do celého těla a hlavovými nervy (12 párů), které vystupují především z kmene. **Autonomní nervová soustava** (vegetativní) ovládá hladké svaly (např. trávicí trakt či stěna cév) včetně svaloviny stěny cév a žlázy. Rozdělujeme ji na **sympatikus** – převažuje při aktivitě, připravuje tělo na výkon, zrychluje srdce, rozšiřuje průdušky, spouští pocení a tlumí trávicí systém; **parasimpatikus** – převažuje v klidu, při odpočinku a trávení, zpomaluje srdce.

Mozek se skládá z *prodloužené míchy* (medula oblongata), *mostu* (pons), *středního mozku* (mezencefalón), *mozečku* (cerebellum), *mezimozku* (diencefalón) a *koncového mozku* (telencefalón). **Mozkový kmen** tvoří *medulla oblongata*, *pons* a *mezencefalón*. Mozkový kmen má v podstatě stejnou stavbu jako mícha a obsahuje např. buněčná těla mozkových nervů (nuclei – jádra) a neurony pro regulaci dýchání a krevního oběhu. Z mozkového kmene vystupují **extrapyramidové dráhy**⁴⁶. **Mozeček** je důležitý pro tělesnou motoriku, uplatňuje se jak v regulaci mimovolní motoriky, tak v plánování volných pohybů. **Mezimozek** obsahuje *talamus*, což je propojovací místo téměř všech aferentních drah (z kůže, oka, ucha, ... a ostatních částí mozku). K mezimozku patří také *hypotalamus*, který je sídlem vegetativních center. Hypotalamus prostřednictvím připojené *hypofýzy* sehrává dominantní úlohu v endokrinní soustavě. **Koncový mozek** se skládá z jader a mozkové kůry. K jádrům patří mj. **bazální ganglia**, důležitá pro motoriku.

Likvor (*liquor cerebrospinalis*) obklopuje mozek (vnitřní a vnější likvorové prostory). Dvě postranní komory jsou propojeny s III. a IV. komorou a centrálním míšním kanálem. V *plexus chorioidei* se denně vytvoří asi 650 ml likvoru, který se resorbuje zpět v arachnoideálních klcích. Látková výměna mezi krví a likvorem, resp. mozkiem je silně omezena **hematoencefalickou bariérou**, resp. **hematolikvorovou**, výjimka je látková výměna pro CO₂, O₂ a H₂O. Některé látky, např. glukóza a aminokyseliny se přes tyto bariéry transportují pomocí speciálních mechanismů; bílkoviny nemohou tyto bariéry překonat vůbec. Překážky v odtoku likvoru vedou ke kompresi mozku a u dětí k hydrocefalu.

Mozek a míchu obalují tři vazivové obaly (**mozkové pleny**): *dura mater* (tvrdá plena), uloženou na povrchu, *pia mater* (omozočnice) naléhající na nervovou tkáň a *arachnoidea mater* (pavučnice) ležící mezi nimi. Mozkové pleny jsou krevně zásobeny i inervovány z vnějšku, cestou meningeálních tepen a nervů. Mezi plenami, okosticí (lebky či míšního kanálu) a nervovou tkání popisujeme prostory – na vně od *dura mater* epidurální, mezi *dura*

⁴⁶ Uplatňují v regulaci reflexních oblouků, udržování rovnováhy a postoje (mimovolní motorika), ale také v provádění hrubých pohybů velký svalů pletenců (volní motorika).

mater a arachnoidea mater subdurální a mezi arachnoidea mater a pia mater subarachnoidální prostor. Tyto prostory se svým charakterem liší v případě mozku a míchy. K **limbickému systému**⁴⁷ patří *corpus amygdaloideum*, *gyrus cinguli* (závit viditelný z mediální strany, který probíhá límcovitě podél corpus callosum.), *septum* (malá středová část koncového mozku před třetí komorou), dále jádra v hypothalamu *corpora mamillaria*, která můžeme vidět na ventrální ploše mozku, jádra v thalamu *nuclei anteriores* či oblast v mesencephalu *area tegmentalis ventralis*. Do limbického systému patří také část *prefrontální kůry* ve frontálním laloku.

Nervová tkáň je tvořena dvěma základními typy buněk – *neurony* a *glie*. Neurony jsou specializované na přenos a zpracování signálu, glie jim zajišťují podporu. Glií rozlišujeme několik typů. Kromě toho obsahuje nervová tkáň cévy, nízké množství extracelulární matrix a nenajdeme v ní lymfatický systém. Dva základní typy nervové tkáně je šedá a bílá hmota (viz výše).

Neuron je buňka variabilní velikosti i tvaru. Nejmenší neurony mají zhruba 4 µm v průměru, největší dosahují až 100 µm. Na neuronu popisujeme: **tělo neuronu** (*perikaryon*) a **výběžky** (*axony*). Mezi nimi dále rozlišujeme: **axon** – jeden typicky dlouhý výběžek sloužící k přenosu signálu od neuronu. Na jeho konci se nachází několik axonálních zakončení (presynaptický terminál, bouton terminaux) a **dendrity** – velké množství rozvětvených výběžků, které slouží k příjmu přichozích signálů.

Podle přesného uspořádání výběžků rozlišujeme neurony **multipolární** – klasický a nejpočetněji zastoupený typ neuronů, jeden dlouhý axon a stromovitě rozvětvené dendrity; **unipolární** – mají pouze jeden axon a žádné dendrity – typ vyskytující se např. ve smyslových orgánech; **bipolární** – jeden axon a jeden dendrit, vzácný typ, např. ve zrakové dráze; **pseudounipolární** – z těla vystupuje jeden výběžek, který se větví na periferní výběžek (odpovídá dendritu) směřující do periferního nervového systému a centrální výběžek (odpovídá axonu) směřující do CNS – buňky spinálních ganglií.

Z funkčního hlediska rozlišujeme neurony **afereční** – typicky malé buňky s velmi rozvětvenými dendrity, které slouží k příjmu signálu; **eferentní** – velké buňky s menším množstvím dendritů a dlouhým axonem sloužící k vysílání signálu; z dalších typů lze uvést: **motoneuron** – neuron zapojený do motorické dráhy a podílející se na realizaci pohybu a **interneuron** – neuron vmezeřený mezi jiné neurony, jehož úkolem může být modulace či zpětná inhibice signálu.

⁴⁷ Limbický systém je evolučně stará část mozku, která je tvořena oblastmi mozkové kůry a některými podkorovými strukturami. Je centrem emocí, paměti a motivace, pudů – primitivních vzorců chování a motivací, jež máme v sobě zakořeněné. Pro zjednodušení můžeme říci, že o jednání člověka rozhodují v zásadě dvě protikladné síly: limbický systém a jeho emoční reakce a naproti tomu prefrontální kůra – centrum „rozumného“, racionálního rozhodování.

Myelinizace, myelinová pochva je obal nervového vlákna tvořený membránou oligodendrocytu, popř. Schwannovy buňky, který slouží k izolaci (pro lepší vodivost vlákna a vyšší rychlost přenosu).

Motorika je schopnost řídit příčně pruhované svaly, patří mezi základní funkce centrální nervové soustavy spočívající zejména ve vykonávání pohybů (volní, mimovolní), udržování postoje a koordinaci. Pro fungování motoriky jsou zásadní *vestibulární jádra* – začátek vestibulospinální dráhy; *retikulární formace* – začátek retikulospinální dráhy a *nucleus ruber* – začátek rubrospinální dráhy. Dále se uplatňují *substantia nigra* ve spolupráci s *bazálními gangliemi* a *nuclei pontis* ve spolupráci s mozečkem. **Motoneuron** je neuron přímo zapojený v motorické dráze. Rozlišujeme centrální (první, horní) a periferní (druhý, dolní) motoneuron. Míšňní motoneurony udržují svalový tonus svou spontánní aktivitou. Utlumením γ -motoneuronů dosáhne retikulární formace povolení svalového vřeténka, to způsobí snížení stimulace α -motoneuronů cestou gamma-kličky a tím uvolnění svalu.

Reflex představuje základní funkční jednotku motoriky a zároveň model fungování jednoduché nervové soustavy. Jednoduché reflexy probíhají na úrovni míchy, většinou pouze příslušného míšního segmentu. V nejjednodušší podobě zahrnují pouze dva neurony. Podkladem reflexu je reflexní oblouk – propojení mezi vstupem, centrem zpracování reflexu a výstupem. Podle počtu synapsí rozlišujeme reflexy *monosynaptické* – mezi aferentní a eferentní drahou je pouze jedna synapse; *bisynaptické* – do oblouku je vložen jeden interneuron; *polysynaptické* – součástí je větší počet neuronů; *proprioceptivní* – receptor je uložen ve svalu či šlase a vnímá tedy informace o poloze částí těla, napětí svalů apod.; *exteroceptivní* – receptorem je hmatový receptor či volné nervové zakončení jako v příkladu. **Napívací reflex** je nejjednodušším reflexem. Jedná se o proprioceptivní, monosynaptický reflex. Základem jeho fungování je tzv gamma-klička. **Šlachový reflex** je příkladem proprioceptivního bisynaptického reflexu. Dostředivá vlákna z Golgiho šlachové tělíska, které dovede vnímat aktivní kontrakci, jsou přes inhibiční interneuron propojena na α -motoneuron. **Flexorový reflex** je exteroceptivní polysynaptický reflex, nejčastějším spouštěčem je bolest.

Prostřednictvím **smyslů** přijímáme z okolí informace (10^9 bit/s, z čehož si uvědomujeme pouze nepatrnou část $\sim 10\text{--}10^2$ bit/s; zbytek informací se zpracovává podvědomě nebo je nepoužijeme vůbec). Prostřednictvím řeči a mimiky vydáváme do okolí $\sim 10^7$ bit/s. Důležité pojmy fyziologie smyslů jsou absolutní práh, rozdílový práh, prostorová a časová sumace, adaptace, receptivní pole, hanituace a senzibilizace.

Kožní cití. Pojmem *somatosenzorika* zahrnuje všechny vjemy, které jsou vyvolány podrážděním smyslových senzorů těla (nikoliv smyslových orgánů v hlavě). Dílčími oblastmi jsou propriocepce, nocicepce a povrchová /kožní) citlivost. **Hmat** je důležitý smysl pro vnímání tvaru, uspořádání prostoru (stereognozie). Hlavní lokalizace receptorů je na dlani, zejména na distálních částech prstů, na jazyku a v dutině ústní. Pro stereognostické vnímání musí CNS integrovat signály sousedních receptorů do prostorového vzorce a koordinovat ho s hmatovou motorikou. Neochlupené části kůže obsahují vřetenovitá **Ruffiniho tělíska**

(jsou v kontaktu vždy s jedním myelinizovaným nervovým vláknem, na jehož konci je tlakový receptor – čím je vyšší tlak na kůži, tím vyšší je frekvence akčních potenciálů); **Merkelovy disky**, na kterých končí rozvětvení myelinizovaných nervových vláken; komplex **Meissnerových tělísek**, na kterých končí také jedno myelinizované nervové vlákno (senzor pro tlakové změny). Na ochlupené části kůže přebírají tuto úlohu receptory vlasových folikulů. **Vater-Paciniho tělíska** jsou specializovaná na vibrace.

Termoreceptory kůže dělíme na citlivé pod 36 °C (chladové receptory), a teploty nad 36 °C (tepelné receptory). Čím je teplota nižší (36–20 °C), tím vyšší je frekvence akčních potenciálů z chladových receptorů. U tepelných receptorů je tomu naopak.

Fotoreceptory buňky fotoreceptorů (tyčinky a čípky), mají tři části: synaptické zakončení nacházející se nejbližší zdroji světla; vnitřní segment; vnější segment. Světlocitlivá látka (rodopsin) se skládá z bílkoviny (opsin) a izomeru vitamínu A (11-cis retinalu). Energie absorbovaného světla jej mění na trans-formu, která prostřednictvím G-proteinu aktivuje cGMP-fosfodiesterázu, jejichž pokles vede k uzavírání sodíkových kanálů. V tyčinkách je jeden druh rodopsinu, proto mohou rozlišovat pouze různou intenzitu světla. V čípcích je 11-cis retinal kombinovaný se třemi druhy opsinů, které se liší maximální citlivostí k různým vlnovým délkám viditelného světla (zelená, modrá, červená) Čípky tak umožňují vnímání barev.

Mechanoreceptory převádějí mechanické podněty na bioelektrické signály, jsou nejčastějším typem senzorů. Vyskytují se jako čidla doteku a tlaku v kůži, jako receptory hlubokého cití ve svalech, šlachách a kloubech, zaznamenávají tlak v močovém měchýři, trávicím traktu a cévách, jsou receptory sluchu, polohy hlavy, lineárního i úhlového zrychlení. Jejich základem činnosti jsou mechanicky řízené iontové kanály.

Chemoreceptory receptory vnímající pachy, chutě a změny koncentrací chemických látek v těle. Jsou periferní (např. macula densa distálního kanálku nefronu – množství iontů v moči) a centrální (např. chemorecepční zóny pro vnímání různých látek jako je hladina glukózy a tuků – centrum hladu a sytosti v hypotalamu).

Mediátorové systémy

- **Cholinergní systém** – ovlivňuje funkce motorické, chování jedince, paměť a další komplexní psychické funkce.
- **Glutamátergní systém** – glutamát (nejrozšířenější excitační neurotransmitter v mozku), neurony obsahující glutamát se nacházejí zejména v mozkové kůře (v hipokampu), amygdale a bazálních gangliích. Glutamátergní systém ovlivňuje procesy spojené s učením, paměti a další psychické funkce.
- **GABAergní systém** – je hlavní inhibiční neurotransmitter v mozku (30–40 % všech synapsí). Neurony obsahující GABA se nacházejí především v bazálních gangliích, hypotalamu, hipokampu a neokortexu. GABAergní systém ovlivňuje vigilitu a také celkové ladění organismu.

- **Aspartátergní systém** – aspartát je neurotransmitter spinální míchy a jeho hlavní funkcí je regulace motorických funkcí míchy a percepce bolesti.
- **Glycinergní systém** – glycin je hlavní inhibiční neurotransmitter ve spinální míše a hraje významnou roli u spinální motoriky.
- **Peptidy** – je jich celá řada (substance P, endorfíny, somatostatin, cholecystokinin aj.), jsou velmi časté mediátory především v hypotalamu, limbickém systému a neokortexu. Neurony obsahující somata peptidů jsou difuzně lokalizována prakticky v celém CNS. Peptidy ovlivňují především percepci bolesti (endorfíny a enkefaliny), uplatňují se v procesech učení a paměti.
- **Monoaminergní systém** – noradrenalin, dopamin (katecholaminy) a serotonin (indolamin) jsou primární monoaminergní transmitery. Podílejí se na regulaci neuronální aktivity ve velké části mozku.
- **Noradrenergní systém** – neurony obsahující noradrenalin jsou lokalizovány především v sympatických gangliích. Noradrenergní systém ovlivňuje vigilitu a celkové ladění organismu.
- **Dopaminergní systém** – neurony obsahující dopamin jsou lokalizována v substantia nigra, jejich dlouhé axony směřují do limbického systému a rozsáhlých oblastí neokortexu. Neurony umístěné v hypotalamu inervují infundibulum⁴⁸. Neurony lokalizované v retině v retině také končí. Dopaminergní systém je nezbytný pro motorické funkce realizované v bazálních gangliích a také se významně podílí na regulaci psychických funkcí.
- **Serotoninergní systém** – neurony obsahující serotonin jsou téměř výhradně lokalizované v nucleu raphae⁴⁹. Serotoninergní systém ovlivňuje v mozkovém kmeni ARAS, filtrování sensorických funkcí, vazomotorické centrum, dechové centrum, přepojení sensorických a motorických funkcí v talamu, vegetativní a hormonální procesy v hypotalamu, učení a paměť, chování a emoce v limbickém systému a komplexní a sociální chování v prefrontální kůře.
- **Histaminergní systém** – neurony obsahující histamin jsou umístěny výhradně v zadním hypotalamu. Nejvýznamnější rolí histaminergního systému je modulace spánku, kdy histamin napomáhá probuzení a zvyšuje pozornost.

⁴⁸ Přečhod hypotalamu do hypofýzy. Místo, kde se do krve přitékající do hypofýzy uvolňují hypothalamické regulační faktory liberiny, statiny; srov. portální systém,.

⁴⁹ Řada jader v blízkosti střední linie (raphe mediana) sahající od prodloužené míchy (n. r. obscurus, n. r. magnus) přes Varolův most (n. r. pontis) až do středního mozku (n. r. dorsalis). V jádrech jsou přítomny skupiny buněk s vysokým obsahem serotoninu.

OTÁZKY



1. Uved'te dva druhy výběžků neuronu.
2. Vyberte neurotransmitery, které se uplatňují při přenosu v autonomním nervovém systému:
 - a) glutamát
 - b) GABA
 - c) dopamin
 - d) acetylcholin
 - e) noradrenalin
3. Kolik glukózy přibližně spotřebují buňky CNS na den?
4. Uved'te dva typy buněk nervové tkáně.
5. V předních míšních rozích začínají vlákna:
 - a) eferentní (odstředivá) vlákna
 - b) aferentní (dostředivá) vlákna
6. Periferní nervový systém tvoří:
 - a) mozek
 - b) míšní a hlavové nervy
 - c) mícha
 - d) sympatický a parasympatický systém
7. Doplňte čísla nebo názvy hlavových nervů
 - a) X nerv _____
 - b) Nervus trigeminus (trojklanný) _____
 - c) I nerv _____
 - d) II nerv _____
 - e) III nerv _____

8. Autonomní nervové zahrnuje dvě části, uveďte je:

9. Místo dotyku dvou buněk, z nichž alespoň jeden je neuron, se nazývá:

10. Nervové buňky se podle počtu výběžků klasifikují, doplňte:

- a) Jeden axon a mnoho dendritů _____
- b) Jeden dendrit _____
- c) Jeden dendrit a jeden axon _____

Správné odpovědi: 1 dendrity, axon (neurit); 2 d, e; 3 ~120 g; 4 neurony, gliové buňky (neuroglie); 5a; 6b, d; 7 a – X. hlavový nerv (nervus vagus), 7 b – V. nerv, 7 c – nervus olfactoricus (čichový), 7 d – nervus opticus (zrakový), 7 e – nervus oculomotorius (okohybný); 8 sympatikus, parasympatikus; 9 synapse, 10 a – multipolární, b – unipolární, c – bipolární.

3 HYBNOST ČLOVĚKA A JEJÍ ŘÍZENÍ

RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY



Motorika, schopnost řídit příčně pružované svaly, je jednou ze základních funkcí centrální nervové soustavy. Spočívá ve vykonávání pohybů, udržování postoje a koordinaci. Můžeme rozlišit dva základní druhy pohybu, a to volní – pohyb vykonávaný na základě vědomého záměru a mimovolní – pohyb spuštěný bez nutnosti volní kontroly, automatický.

Jsou zde uvedeny obecné principy mimovolní a volní motoriky, je vysvětlena funkce mozečku v korigování výsledného pohybu. Reflex jakožto základní funkční jednotka motoriky a zároveň model fungování jednoduché nervové soustavy, je vysvětlen reflex napínací, šlachový, flexorový a zkřížený extenzorový reflex. Je popsáno řízení axiálních a distálních svalů a řízení pohybu (hybného systému) člověka.

Je zde vysvětlena funkce motoneuronu a souhrnně části motorického systému a jakou funkci jednotlivé části zastávají: Motorická jednotka – spojení míchy se svalovým vláknem – motorický nerv; Pátevní mícha – základní postojové a pohybové reakce; Mozkový kmen – regulace svalového napětí a kontrola pohybu; Mozeček – udržování stoje a polohy a kontrola pohybů; Talamus – registrace pohybů; Bazální ganglia – modulace informací z mozkové kůry a tlumivý vliv na motoriku; Motorická kůra – řízení.

Funkce bazálních ganglií (včetně neurotransmiterů bazálních ganglií) a mozečku kapitoly uzavírají.

CÍLE KAPITOLY



- Popsat somatickou a motorickou aktivitu
- Pochopit řízení axiálních a distálních svalů
- Popsat motorický systém
- Popsat motorický výstup jak reflexní, tak řízený vůlí
- Vysvětlit řízení hybného systému
- Popsat význam bazálních ganglií a mozečku

ČAS POTŘEBNÝ KE STUDIU



3 hodiny

KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY



Motorika, reflex, napínací reflex, motoneuron, motorický systém, pyramidový systém, extrapyramidový systém, bazální ganglia, mozeček, mozeček, neurotransmitter

3.1 Úvod

Somatická a motorická aktivita závisí výhradně na charakteru a frekvenci výbojů míšních motoneuronů a homologních neuronů v motorických jádrech hlavových nervů. Tyto neurony jsou konečnou společnou dráhou ke kosterním svalům. Do každého míšního motoneuronu přichází mnoho vstupů z téhož míšního segmentu. Integrovaná aktivita těchto četných vstupů z úrovně míchy, prodloužené míchy, mezencefala a mozkové kůry reguluje polohu těla a umožňuje koordinovaný pohyb.

Pohybový vzorec pro volní pohyb je plánován uvnitř mozku a povely jsou vysílány ke svalům primárně cestou kortikospinálního a kortikobulbárního systému. Poloha je soustavně upravována systémy regulujícími polohu nejen před pohyby, ale i v jejich průběhu. Pohyb je uhlazován a koordinován mediální a intermediální částí mozečku (spinocerebellum) a jeho spoji. Bazální ganglia a laterální části cerebella (neocerebellum) jsou součástí zpětnovazebného okruhu do premotorické a motorické kůry, která se zabývá přípravou a organizací volních pohybů [7].

3.1.1 OBECNÉ PRINCIPY

Motorický výstup je jednak *reflexní* (mimovolní) a jednak *řízený vůlí*. Jako pododdíly reflexních pohybů musí být přidány rytmické odpovědi – polykání, žvýkání, škrábání a chůze, které jsou převážně mimovolní, ale mohou být vůlí upravovány a řízeny.

Příkazy pro volní pohyby pocházejí z korových asociačních oblastí. Pohyby jsou plánovány jak v kůře, tak i v bazálních gangliích a laterálních částech mozečkových hemisfér. Bazální ganglia i cerebellum „pumpují“ informace thalamickými drahami do motorické a premotorické kůry. Motorické příkazy z motorické kůry jsou z velké části přiváděny cestou kortikospinálních a odpovídajících kortikobulbárních drah k motoneuronům v mozkovém kmene. Hlavní dráhy mozkového kmene podílející se na udržování polohy a koordinaci, jsou tractus rubrospinalis, reticulospinalis, tectospinalis a vestibulospinalis a odpovídající projekce k motoneuronům mozkového kmene [7].

REFLEX

Reflex je základní funkční jednotka motoriky a zároveň model fungování jednoduché nervové soustavy. Jednoduché reflexy probíhají na úrovni míchy, většinou pouze příslušného míšního segmentu. V nejjednodušší podobě zahrnují pouze dva neurony. Podkladem reflexu je *reflexní oblouk* – propojení mezi vstupem, centrem zpracování reflexu a výstupem.

Podle počtu synapsí rozlišujeme *reflexy monosynaptické* – mezi aferentní a eferentní dráhou je pouze jedna synapse; *bisynaptické* – do oblouku je vložen jeden interneuron; *polysynaptické* – součástí je větší počet neuronů. Dále rozlišujeme reflexy *proprioceptivní* – receptor je uložen ve svalu či šlaše a vnímá tedy informace o poloze částí těla, napětí

svalů apod. a **exteroceptivní** – receptorem je hmatový receptor či volné nervové zakončení jako v příkladu.

Napínací reflex je nejjednodušším reflexem. Jedná se o propioceptivní, monosynaptický reflex. Základem jeho fungování je tzv. gamma-klička. Dojde-li k pasivnímu natažení svalu, natáhnou se spolu s ním i na jeho vláknech ukotvená intrafuzální vlákna. Podráždění senzitivních zakončení v nich automaticky způsobí aktivaci α -motoneuronu a tím kontrakci svalu – to zabrání jeho přetržení. Přejde-li naopak podnět k aktivní kontrakci svalu, jsou kromě α -motoneuronů excitovány i γ -motoneurony. Vlákna svalového vřetenka se tak zkrátí stejně jako svalová vlákna. Výhodou tohoto uspořádání je, že mozečku stačí k nastavení správného svalového tonu ovlivnit prostřednictvím γ -motoneuronů pouze tonus intrafuzálních vláken – extrafuzální vlákna se stáhnou automaticky cestou gamma-kličky.

Šlachový reflex je propioceptivní bisynaptický reflex. Dostředivá vlákna z Golgiho šlachové tělíska dovedou vnímat aktivní kontrakci, jsou přes inhibiční interneuron propojena na α -motoneuron. Tento reflex při kontrakci svalu inhibuje aktivitu α -motoneuronů a tlumí kontrakci, působí tak jako „zpětná vazba“.

Flexorový reflex je exteroceptivní polysynaptický reflex a jeho nejčastějším spouštěčem je bolest. Při bolestivém podnětu dochází k aktivaci α -motoneuronů svalu, který před bolestí „ucukne“, dále dojde přes interneuron k inhibici α -motoneuronů svalových antagonistů, aby byl pohyb možný a k aktivaci zkříženého extenzorového reflexu.

Zkřížený extenzorový reflex je polysynaptický reflex především na dolních končetinách a následuje po reflexu flexorovém.

ŘÍZENÍ AXIÁLNÍCH A DISTÁLNÍCH SVALŮ

Pro řízení motoriky je důležité, že v mozkovém kmeni a míše, mediální a dorzální dráhy a neurony zajišťují pohyby trupu a proximálních částí končetin, kdežto laterální dráhy se zabývají řízením svalů distálních částí končetin. Axiální svaly zajišťují posturální funkce a velké pohyby, zatímco distální svaly končetin jsou ty, které umožňují jemné obratné pohyby. Neurony v mediální části předního rohu míchy tak například inervují proximální svaly končetin (zvláště flexory), kdežto neurony postranní části předního rohu míchy inervují distální svaly končetin. Podobně tak přední část kortikospinální dráhy a mediálních sestupných drah z kmene (tr. tectospinalis, tr. reticulospinalis, tr. vestibulospinalis) se podílejí na přizpůsobování proximálních svalů a postoje, zatímco laterální kortikospinální dráha a dráha rubrospinalní určují činnost svalů distálních částí končetin a zejména v případě laterální kortikospinální dráhy umožňují přesné volní pohyby. Fylogeneticky jsou mediální dráhy staré, laterální naopak nové [7].

3.1.2 ŘÍZENÍ HYBNÉHO SYSTÉMU

Pohybový projev člověka je velmi organizovaná činnost, která zajišťuje vzpřímenou polohu těla a umožňuje pohyb. Kosterní svalstvo je ovládáno somatickou složkou nervové soustavy (mozek, mícha a z nich vycházející mozkové a míšní nervy). Na řízení motoriky se podílejí prakticky všechny oddíly CNS. Předpokladem veškeré hybnosti je reflexní svalový tonus [43].

Podnět pro realizaci volního pohybu vychází z prefrontální asociační oblasti, kde sídlí schopnost rozhodování a plánování. Tato oblast dostává z ostatních korových oblastí informace o poloze těla i o vnějším světě a může tak zvolit vhodnou odpověď. Při plánování pohybu se uplatňuje jak *okruh bazálních ganglií* – připraví *základní pohybové vzorce*, tak

okruh kůra – neocerebellum – thalamus – kůra, který *zajistí přesnou koordinaci pohybu a řízení složitějších naučených pohybů*.

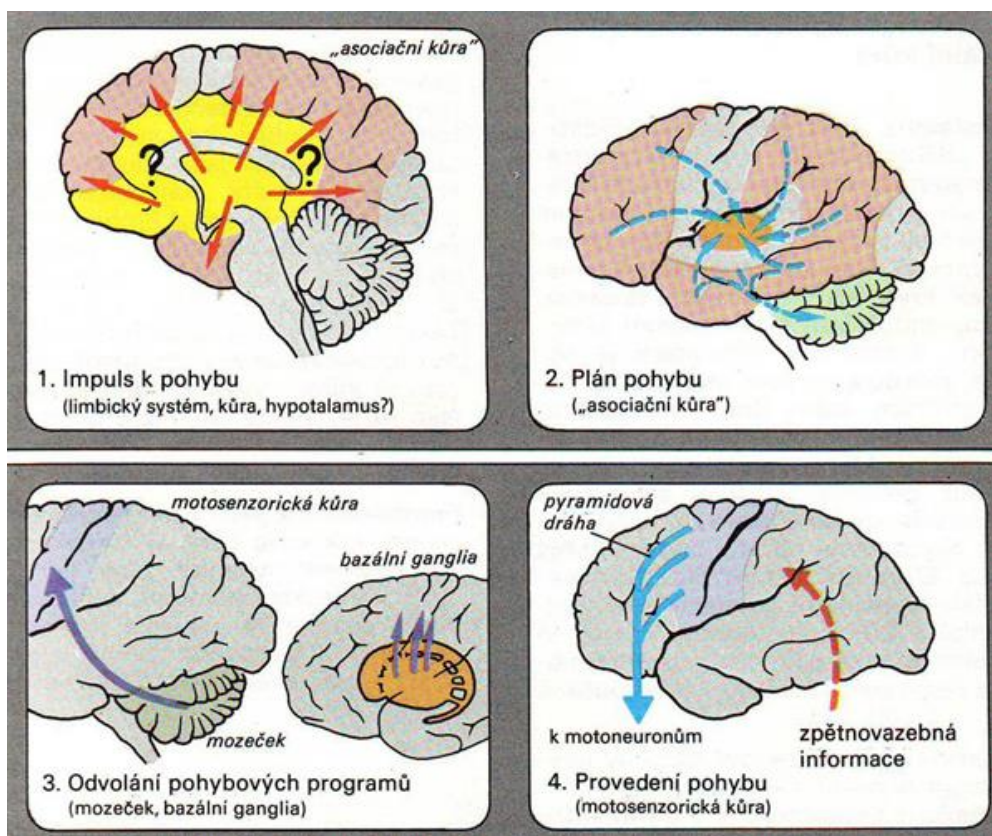


K ZAPAMATOVÁNÍ

VÝSLEDNÝ NAPLÁNOVANÝ POHYB JE PAK REALIZOVÁN CESTOU PYRAMIDOVÉ DRÁHY. POMOCÍ EXTRAPYRAMIDOVÝCH DRAH POD VLIVEM BAZÁLNÍCH GANGLIÍ A MOZEČKU JE NASTAVEN SPRÁVNÝ SVALOVÝ TONUS A UDRŽEN POSTOJ A ROVNOVÁHA.

MOTORICKÝ SYSTÉM

- Motorická jednotka – spojení míchy se svalovým vláknem – motorický nerv.
- Páteřní mícha – základní postojové a pohybové reakce.
- Mozkový kmen – regulace svalového napětí a kontrola pohybu.
- Mozeček – udržování stoje a polohy a kontrola pohybů.
- Talamus – registrace pohybů.
- Bazální ganglia – modulace informací z mozkové kůry a tlumivý vliv na motoriku.
- Motorická kůra – řízení.



Obrázek 40 Řízení hybného systému [43].

MOTONEURON

Motoneuron je neuron přímo zapojený v motorické dráze. Rozlišujeme *centrální* (první, horní) a *periferní* (druhý, dolní) motoneuron. **Centrální motoneuron** je buňka, ze které vychází vlákno sestupné motorické dráhy (pyramidová buňka motorické kůry, ze které vychází pyramidová dráha). Centrální motoneurony jsou také neurony v mozkovém kmeni v případě extrapyramidových drah. **Periferní motoneuron** je buňka předního míšního rohu, tělo neuronu, jehož axon tvoří motorický nerv jdoucí ke svalu. Takový motoneuron je označován jako α -motoneuron.

OSTATNÍ NÁZVY

- Pyramidový systém – vlákna laterální kortikospinální dráhy tvoří v prodloužené míše pyramidu, proto je tato dráha také často označována jako pyramidová dráha (systém).
- Extrapyramidový systém – zbytek sestupných drah kmene a míchy, které neprocházejí pyramidami a které se podílejí na posturální regulaci se označují jako extrapyramidový systém.

Ventrální kortikospinální dráha neprochází jen pyramidami, mnoho pyramidových vláken zajišťuje jiné funkce, a systém, který bývá označován jako extrapyramidový, je tvořen mnoha různými dráhami s četnými funkcemi.

BAZÁLNÍ GANGLIA

Bazální ganglia jsou velká jádra složená z nervových buněk. Ganglia jsou uložena v podkoří obou hemisfér. Skládají se z několika samostatných oddílů různého původu a různého zapojení. V činnosti bazálních ganglií a jejich podílu na řízení hybnosti je mnoho nejasného. Bazální ganglia se podílí na učení se pohybovým vzorcům a regulují aktivitu motorické kůry tak, aby byly pohyby prováděny plynule a hladce. Jsou zapojena spolu s mozkovou kůrou a thalamem do okruhu, který probíhá ve dvou drahách – přímé (kůra → striatum → globus pallidus medialis → thalamus → kůra) a nepřímé (kůra → striatum → globus pallidus lateralis → nucleus subthalamicus → globus pallidus medialis → thalamus → kůra).

Neurotransmitery bazálních ganglií

1. Glutamát – nejrozšířenější excitační neurotransmiter CNS.
2. GABA – nejvýznamnější inhibiční neurotransmiter.
3. Dopamin – neurotransmiter s celou řadou funkcí, důsledek jeho uvolnění závisí především na receptoru na postsynaptické membráně. Dopamin tak může mít excitační i inhibiční funkci.



K ZAPAMATOVÁNÍ

BAZÁLNÍ GANGLIA SE PODÍLÍ NA UČENÍ SE POHYBOVÝM VZORCŮM A REGULUJÍ AKTIVITU MOTORICKÉ KŮRY TAK, ABY BYLY POHYBY PROVÁDĚNY PLYNULE.

Poškození bazálních ganglií se projevuje nepravidelnými krouživými pohyby končetin a záškuby svalů [43]. Při *Parkinsonově nemoci* chybí dopamin ze substantia nigra, čímž je posílena nepřímá, inhibiční dráha. Pohyby takto postiženého člověka jsou trhané, zpomalené a v klidu se objevuje třes; při *Huntingtonově chorobě* je problém ve striatu a je porušena regulace přímé dráhy. Motorická kůra je nadměrně aktivována a dochází k vůli neovlivnitelným rychlým nekoordinovaným pohybům končetin či celého těla [32].

MOZEČEK

Mozeček (cerebellum) je spojen silnými stonky s koncovým mozkem a s mozkovým kmenem. Mozeček se skládá ze dvou polokoulí (hemisfér) a spojovacího mozečkového červu (vermis). Na povrchu mozečku je silně rozbrázděná mozečková kůra, pod kterou je bílá hmota (dráhy). V bílé hmotě leží mozečková jádra. Kůra mozečku má zcela odlišnou stavbu i funkci než mozková kůra. Především nemá schopnost uchovávat paměťové stopy. Mozeček je spojen s mozkovou kůrou, s bazálními ganglii, s kmenem a s míchou. Hlavním

zdrojem informací pro mozeček jsou vestibulární a míšní dráhy přivádějící údaje o poloze a pohybu hlavy a končetin.

K ZAPAMATOVÁNÍ



MOZEČEK SE VÝZNAMNĚ UPLATŇUJE JAK V REGULACI MIMOVOLNÍ MOTORIKY, TAK V PLÁNOVÁNÍ VOLNÍCH POHYBŮ.

Mozeček se účastní řízení jak mimovolních, tak chtěných pohybů. Na základě informací vestibulárního aparátu a svalových receptorů řídí kůra mozečku napětí ve svalech a zabezpečuje vzpřímenou polohu a rovnováhu těla.

Napětí svalů a stabilita těla, zajišťovaná různými svalovými skupinami, je předpokladem pro uskutečnění chtěných pohybů. Mozeček chtěné a rychlé pohyby koordinuje. Činnost mozečkové kůry: v krátkých časových impulsích vysílá signály ke svalům. Rychlý sled mozečkových impulsů je proto podkladem regulace opakovaných, rychle se střídajících pohybů [43].

SHRNUTÍ KAPITOLY



Pohyb (úmyslní pohyb) je základním předpokladem existence člověka. Nezbytným předpokladem úmyslného, cíleného pohybu je zabezpečení reflexních mimovolných pohybů, kterými je zajištěna vzpřímená poloha, svalové napětí a rovnováha těla. Na řízení motoriky se podílejí prakticky všechny oddíly CNS. Předpokladem veškeré hybnosti je reflexní svalový tonus.

Podněty pro zaujetí a udržování polohy těla vycházejí z vestibulárního aparátu a ze svalových a šlachových receptorů (vřetének). Receptory vestibulárního aparátu informují především o poloze a pohybech hlavy. Svalová vřeténka a šlachová tělíska vysílají údaje o poloze končetin, trupu, napětí ve svalech a pohybech svalových skupin.

Mozeček (cerebellum) upřesňuje a koordinuje mimovolné pohyby a významně se podílí na udržení rovnováhy při chůzi a pohybu.

Úmyslné, cílené, volní „chtěné“ pohyby jsou vyvolány impulsy vycházejícími z mozkové kůry. Chtěné pohyby jsou základem chůze, pracovní činnosti, řemeslných návyků, psaní, sportovní činnosti atd. Pověly k provedení úmyslného pohybu vycházejí z rozsáhlé oblasti temenního a čelního laloku (tzv. motorická kůra, motorický korový analyzátor). Od buněk této kůry vycházejí vlákna tvořící mohutný svazek tzv. pyramidové dráhy. V motorické kůře jsou buňky řídicí činnost určitých svalových skupin přesně rozloženy.

Volní motorika se uplatňuje především při vykonávání cílených pohybů; **mimovolní motorika** zajišťuje koordinaci (zajištění, aby pohyby byly úměrné a hladké) a udržování postojů vzhledem k vnějším silám (především gravitaci).

Základním mechanismem **mimovolní motoriky** je **reflex** – automatická reakce motorických neuron na senzitivní podnět. Nejjednodušší reflexy zahrnují pouze dva neurony (jeden senzitivní a jeden motorický) a probíhají na úrovni příslušného míšního segmentu. Složitější reflexy zahrnují větší oblasti míchy, popř. některé podkorové struktury. Mimovolní motorika je regulována především retikulární formací mozkového kmene, vestibulární jádra, mozeček a bazální ganglia. Efekt je realizován prostřednictvím extrapyramidových drah, z toho důvodu bývá mimovolní motorika někdy označován jako extrapyramidový systém.

Nejvyšším centrem **volní motoriky** je **motorická kůra**. Záměr vykonat pohyb vychází především z prefrontální kůry. Tyto pohyby jsou plánovány ve spolupráci kůry, bazálních ganglií a mozečku – části neocerebellum. Výsledné signály jsou integrovány především v primární motorické oblasti v gyrus precentralis, odkud vychází finální podnět cestou hlavní motorické dráhy – pyramidové. Ta vede jednak k motorickým jádrům hlavových nervů a míšním motoneuronům. Volní motorika je někdy označována jako pyramidový systém. Výsledný pohyb koriguje mozeček.

Motoneuron je neuron přímo zapojený v motorické dráze. Rozlišujeme centrální (první, horní) a periferní (druhý, dolní) motoneuron. **Centrální motoneuron** je buňka, ze které vychází vlákno sestupné motorické dráhy. **Periferní motoneuron** je buňka předního míšního rohu, tělo neuronu, jehož axon tvoří motorický nerv jdoucí ke svalu.

Reflexní oblouk je propojení mezi vstupem, centrem zpracování reflexu a výstupem.

Podle počtu synapsí rozlišujeme reflexy **monosynaptické** – mezi aferentní a eferentní drahou je pouze jedna synapse; **bisynaptické** – do oblouku je vložen jeden interneuron; **polysynaptické** – součástí je větší počet neuronů. Dále rozlišujeme reflexy **proprioceptivní** – receptor je uložen ve svalu či šlaše a vnímá tedy informace o poloze částí těla, napětí svalů apod. a **exteroceptivní** – receptorem je hmatový receptor či volné nervové zakončení jako v příkladu.

Napínací reflex je nejjednodušším reflexem. Jedná se o proprioceptivní, monosynaptický reflex. Základem jeho fungování je tzv. gamma-klička.

**KOMPLIKACE PŘERUŠENÍ MÍCHY – PÉČE O PARAPLEGICKÉ A KVADRU-
PLEGICKÉ PACIENTY PŘINÁŠÍ KOMPLEX RŮZNÝCH PROBLÉMŮ. U
VŠECH NEPOHYBLIVÝCH PACIENTŮ SE VYVÍJÍ NEGATIVNÍ DUSÍKOVÁ BI-
LANCE A JE KATABOLIZOVÁNO VELKÉ MNOŽSTVÍ TĚLESNÝCH PRO-
TEINŮ. VÁHA TĚLA TLAČÍ NA KOSTĚNÝCH VÝČNĚLCÍCH NA KOŽNÍ CÉVY
A OMEZUJE TAK OBĚH KŮŽÍ. POKUD NENÍ PACIENT ČASTO POLOHO-
VÁN, KŮŽE NA TĚCHTO MÍSTECH ODUMŘE A VZNIKNOU DEKUBITÁLNÍ
VŘEDY. DEKUBITY SE ŠPATNĚ HOJÍ A VZHLEDEM K PROTEINOVÉ**

DEPLECI JSOU NÁCHYLNÉ K INFEKCI. MEZI ROZKLÁDANÉ TKÁNĚ PATŘÍ TAKÉ PROTEINOVÁ MATRIX KOSTÍ, TAKŽE JE VE VELKÝCH MNOŽSTVÍCH UVOLŇOVÁN VÁPŇÍK. TO VEDE K HYPERKALCÉMII A HYPERKALCIURII A V MOČOVÝCH CESTÁCH ČASTO VZNIKAJÍ KALCIOVÉ KAMÉNKY. KAMÉNKY A PARALÝZA ČINNOSTI MĚCHÝŘE MOHOU ZPŮSOBIT STÁZU MOČI. TA JE PŘI POŠKOZENÍ MÍCHY NEJČASTĚJŠÍ KOMPLIKACÍ A PREDISPONUJE MOČOVÉ CESTY K INFEKCI.

Drážděním jednotlivých korových okřsků lze proto např. vyvolat záškuby jedné svalové skupiny nebo i jednoho svalu. Největší plochu kůry mají „vyhrazeny“ svaly ruky (palce), jazyka a hrtanu (řeč a práce).

Funkce periferního nervového systému může být rozdělena na senzickou a motorickou část. Senzická (dostředivá) neboli aferentní nervy přináší impulsy z receptorů uložených na pokožce, v kloubech, svalech a dalších částech periferií do CNS. Zatímco motorická (odstředivá) neboli eferentní nervy přináší impulsy z CNS do jednotlivých krajních těl. Mícha obsahuje jak motorické tak senzické nervy. Z míchy vystupuje 8 párů krčních nervů, 12 párů hrudních, 5 párů bederních, 5 párů křížových a 1 pár coccygeal nervů. Funkci jednotlivých nervových kořenu lze nastudovat například z [43].

Bazální ganglia jsou velká jádra složená z nervových buněk. Ganglia jsou uložena v podkoží obou hemisfér. Bazální ganglia se podílí na učení se pohybovým vzorcům a regulují aktivitu motorické kůry tak, aby byly pohyby prováděny plynule. Neurotransmitery bazálních ganglií jsou: glutamát, GABA a dopamin.

OTÁZKY



1. Vyberte struktury tak, jak jdou za sebou v přímé dráze bazálních ganglií.

- a) kůra → striatum → globus pallidus medialis → thalamus → kůra
- b) striatum → kůra → thalamus → globus pallidus medialis → kůra
- c) kůra → thalamus → globus pallidus medialis → kůra → striatum

2. Označte, co mají volní a mimovolní motorika společné:

- a) oba systémy ovládají svaly prostřednictvím alfa-motoneuronů
- b) oba systémy využívají k ovládní svalů extrapyramidové dráhy
- c) oba systémy jsou řízeny hlavně z kůry
- d) na obou systémech se významně podílí mozeček

3. Uveďte tři typy neurotransmiterů bazálních ganglií:

- 4. Nejvýznamnější *inhibiční* neurotransmitter bazálních ganglií je:**
- a) Glutamát
 - b) GABA
- 5. Propojení mezi vstupem, centrem zpracování reflexu a výstupem se označuje jako:**
- a) Ventrální kortikospinální dráha
 - b) Mimovolní motorika
 - c) Reflexní oblouk
- 6. Buňka, ze které vychází vlákno sestupné motorické dráhy je:**
- a) centrální motoneuron
 - b) periferní motoneuron
- 7. Jako α -motoneuron je označován:**
- a) centrální motoneuron
 - b) periferní motoneuron
- 8. Pokud je do oblouku vložen pouze jeden interneuron, jedná se o:**
- a) monosynaptický reflex
 - b) bisynaptický reflex
- 9. Pokud je receptor uložený ve svalu či šlaše a vnímá informace o poloze částí těla, napětí svalů apod., jedná se reflex:**
- a) propioceptivní
 - b) exteroceptivní
- 10. Impulsy přinášené z receptorů uložených na pokožce, v kloubech, svalech a dalších částí periferií do CNS zajišťují:**
- a) aferentní nervy
 - b) eferentní nervy

Správné odpovědi: 1a; 2a,b,d; 3 GABA, glutamát, dopamin; 4b; 5c; 6a; 7b; 8b; 9a; 10a.

4 FUNKCE ŽLÁZ S VNITŘNÍ SEKRECIÍ, ZÁKLADNÍ ÚČINKY HORMONŮ

RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY



Endokrinní žlázy produkují působky, chemické posly (hormony), které regulují činnost jiných tkání a orgánů. Na rozdíl od žláz, které produkují navenek viditelný sekret (mléčná žláza, slinné žlázy apod.), uvolňují endokrinní žlázy své hormony do krve, označují se též jako žlázy s vnitřní sekrecí. V kapitole jsou probrány endokrinní orgány: glandula thyroidea – štítná žláza; glandulae parathyroideae – příštítná tělíska; pars endocrina pancreatis – endokrinní část pankreatu (Langerhansovy ostrůvky); glandula pinealis – epifýza (šišinka); glandulae suprarenales – nadledviny; glandula pituitaria – hypofýza (podvěsek mozkový); hypothalamo-hypofysární systém. Mezi další endokrinně činné okruhy organismu se počítá difuzní endokrinní systém.

CÍLE KAPITOLY



- Pochopit funkci jednotlivých endokrinních žláz v těle
- Umět objasnit rozdíly endokrinních a exokrinních žláz
- Vysvětlit funkci a účinky hormonů
- Popsat endokrinní systém a jeho jednotlivé součásti

ČAS POTŘEBNÝ KE STUDIU



6–8 hodin

KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY



Hormony, žláza, endokrinologie, endokrinní, exokrinní, endokrinní systém, hypothalamus, hypofýza, štítná žláza, příštítná tělíska, kůra nadledvin, dřeň nadledvin, gonády

4.1 Základní pojmy

Žláza – je každý orgán našeho těla, jehož základní funkcí je tvorba látek v sekretorických buňkách. Poté jsou látky vylučovány a dopraveny k buňkám tělesných systémů; žlázy jsou dvojí:

1. Žlázy s vnější sekrecí (exokrinní žlázy), a to:

- žlázovým vývodem (slinná žláza, pankreas, játra ...)

- póry v kůži a sliznicích (mazové a potní žlázy ...)

2. Žlázy s vnitřní sekrecí (endokrinní žlázy), které své produkty (působky, hormony):

- Secernují do krevního oběhu s cílem regulovat funkce vzdálených tkání a orgánů,
- secernují do mezibuněčného prostoru s působením na krátké vzdálenosti, tj. na buňky vedlejší či vlastní.

Endokrinologie – je vědní disciplína medicíny, která se zabývá soustavou žláz s vnitřní sekrecí produkujících hormony, poznáváním jejich struktur, diagnostikou a léčbou hormonálních poruch a endokrinních nemocí. Některé poruchy a choroby žláz s vnitřní sekrecí jsou vyčleněny z oboru endokrinologie a jsou náplní jiných specializovaných odborností (diabetologie, obezitologie, porodnictví a gynekologie, urologie, kardiologie, ...).

K ZAPAMATOVÁNÍ



ENDOKRINNÍ ŽLÁZA – ŽLÁZA S VNITŘNÍ SEKRECÍ, KTERÁ NEMÁ VÝVOD A SVÉ VÝMĚŠKY HORMONY VYLUČUJE PŘÍMO DO KRVE. NEJDŮLEŽITĚJŠÍ ŽLÁZY JSOU PODVĚSEK MOZKOVÝ HYPOFÝZA, ŠTÍTNÁ ŽLÁZA, PŘÍŠTÍTNÁ TĚLÍSKA PARATYREOIDEA, NADLEDVINY, POHLAVNÍ ŽLÁZY VAJEČNÍKY, VARLATA, LANGERHANSOVY OSTRŮVKY SLINIVKY BŘIŠNÍ. LÁTKY CHARAKTERU HORMONŮ VŠAK PRODUKUJÍ I DALŠÍ BUŇKY ROZTROUŠENÉ V RŮZNÝCH ORGÁNECH NAPŘ. V TRÁVICÍM ÚSTROJÍ.

4.2 Duhy hormonů a jejich účinky

HORMONY

Hormony jsou chemické sloučeniny, které v organismu slouží k přenosu informací při řízení funkcí orgánů a metabolických procesů. Hormony se tvoří ve **žlázách s vnitřní sekrecí** (hypofýza, štítná žláza, příštítná tělíska, nadledvinky, Langerhansovy ostrůvky v pankreatu, vaječníky, varlata) nebo v difuzně rozestých **endokrinních buňkách** (v CNS, C-buňkách, štítné žláze, thymu, srdečních síních, ledvinách, játrech, trávicím ústrojí, aj.). Jsou to tedy endogenní, tělu vlastní látky. V buňkách uložené rozptýleně ve tkáních jsou secernovány i hormony, které působí *parakrinně*, tj. na sousední buňky (parahormony, tkáňové hormony nebo *mediátory*). Také *neurony* secernují⁵⁰ hormony (např. adrenalin, oxytocin, antidiuretický hormon). Endokrinní účinky vykazují i některé signální látky *imunitního systému*, například tymozin a různé cytokiny.

⁵⁰ Secernovat = vylučovat produkty tkáňové nebo buněčné.

Sekrece hormonů je:

- Kontinuální (tyroidální hormony)
- S diurnálním⁵¹ rytmem (kortizol)
- S měsíčním rytmem (menstruační cyklus)
- Sezónní rytmus (parathormon)

Účinky hormonů jsou:

- Autokrinní – účinek na buňku samotnou
- Parakrinní – účinek na buňky okolní
- Endokrinní – účinek na vzdálené buňky
- Neurokrinní – produkovány nervovou tkání

Lokální hormony (prostaglandiny) jsou molekuly, které produkují a vylučují sekretorické buňky; ovlivňují funkci orgánů, ve kterých jsou vytvořeny.

Parathormony (tkáňové hormony) jsou molekuly tvořené ve tkáních a orgánech, jakými jsou např.:

- Žaludek, střevo: gastrin, ghrelin, sekretin, cholecystokinin
- Játra: angiotenziogen, trombopoetin
- Srdce: atriální natriuretický peptid
- Ledviny: renin, erytropoetin
- Mozek: endorfiny
- Endotel: endoteliny
- Tuková tkáň: leptin

K ZAPAMATOVÁNÍ

HORMONY JSOU MOLEKULY, KTERÉ JSOU PRODUKOVÁNY A VYLUČOVÁNY PŘÍMO DO KREVNÍHO OBĚHU SHLUKY SEKRETORICKÝCH BUNĚK BEZ VÝVODU, A OVLIVŇUJÍ TAK FUNKCI NĚKTERÝCH ZÁKLADNÍCH ORGÁNŮ.



4.2.1 DĚLENÍ HORMONŮ

Podle **chemické struktury** a **biosyntézy** rozeznáváme tyto skupiny hormonů:

1. **Peptidy** – hydrofilní peptidové hormony (prolaktin, somatostatin, glukagon, ...) a glykoproteiny (FSH, TSH, ...) – jsou uloženy do zásoby v sekrečních granulech a podle potřeb vydávány exocytózou. Tvoří se v endoplazmatickém retikulu jako

⁵¹ Opakující se ve 24hodinové periodě.

preprohormony do aktivní podoby v Golgiho aparátu. Receptory mají na povrchu buněk. Hormony peptidové povahy viz Tabulka 6.

- 2. Steroidy** – steroidní hormony (testosteron, estrogeny, androgeny, glukokortikoidy, ...) a jim příbuzný *calcitriol* jsou lipofilní a vznikají látkovou přeměnou z cholesterolu. Nejsou ukládány do zásoby, ale v případě potřeby jsou ve zvýšené míře syntetizovány; jsou uvolňovány z endokrinních buněk. Tvoří se v cytoplazmě z cholesterolu, počáteční a konečná fáze probíhá v mitochondriích; neuchovávají se (na podnět se během minut tvoří *de novo*); receptory se nalézají v cytoplazmě buněk; po vazbě na receptor se komplex receptor-hormon váže k DNA a spouští transkripci. Hormony steroidní povahy viz Tabulka 7.

Nízkomolekulární hormony odvozené od modifikovaných aminokyselin – **deriváty tyrozinu (tyroxin T₄, trijodtyronin T₃, adrenalin, noradrenalin, dopamin) vznikají při látkové při látkové přeměně. Tvoří se v cytoplazmě buněk, receptory se nacházejí na povrchu buněk; transport volný; po vazbě na receptor otevírají spřažený iontový kanál (acetylcholin, adrenalin, noradrenalin). Deriváty aminokyselin viz**

- 3.** Tabulka 8.

- 4. Prostanoidy** (prostaglandiny a tromboxany).

Tabulka 6 Hormony peptidové povahy

Hormony peptidové povahy

Hypothalamus	Liberiny, statiny
Neurohypofýza	ADH, oxytocin
Adenohypofýza	STH, ACTH, TSH, FSH, LH, PRL
Příštítná tělíska	Parathormon
Štítná žláza (parafolikulární buňky)	Kalcitonin
Langerhansovy ostrůvky pankreatu	Inzulin, Glukagon

Tabulka 7 Hormony steroidní povahy

Hormony steroidní povahy

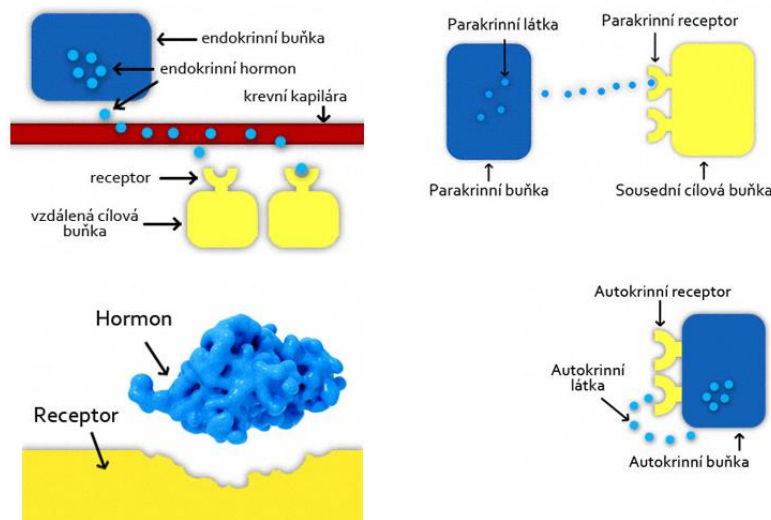
Kůra nadledvin	Aldosteron, kortizol, pohlavní hormony
Testes	Testosteron
Ovaria	Progesteron, Estrogeny
Příštítná tělíska	Parathormon
Placenta	Estrogeny, Progesteron

Tabulka 8 Nízkomolekulární hormony odvozené od modifikovaných AMK

Deriváty aminokyselin

Dřeň nadledvin	Adrenalin, Noradrenalin
Epifýza	Melatonin
Štítná žláza (folikulární buňky)	T ₃ , T ₄

*



Obrázek 41 Místa selektivního působení hormonů.

4.2.2 ENDOKRINNÍ SYSTÉM

Endokrinní systém je tvořen žlázami s vnitřní sekrecí, které jsou rozmístěny na různých částech těla. Spolu s nervovou soustavou řídí všechny tělesné funkce. Zatímco nervový systém využívá jako prostředek řízení nervových impulzů, endokrinní systém k tomu využívá chemických molekul - hormonů. Tyto hormony jsou vytvářeny v endokrinních žlázách, uvolňovány do krevního oběhu a tím se dostávají k cílovým tkáním. Tyto tkáně mají receptory, do kterých zapadají hormony jako klíč do zámku. Některé z cílových tkání mohou být jiné endokrinní žlázy a jeden hormon pak vyvolává tvorbu dalšího hormonu⁵².

Všechny endokrinní žlázy jsou pečlivě řízeny systémem zpětné vazby. Kupříkladu množství hormonů štítné žlázy působí jako regulační faktor na hypotalamus a hypofýzu – je-li toto množství nízké, stimuluje se více TRH a TSH, je-li vysoké, sekrece TRH a TSH

⁵² Př.: Hypotalamus vytváří a uvolňuje do oběhu tyrotropin uvolňující hormon (TRH). Ten působením na hypofýzu vyvolává tvorbu tyrotropinu (tyreoidu stimulujícího hormonu, TSH). TSH pak stimuluje štítnou žlázu k tvorbě hormonů štítné žlázy – tyroxinu (T₄) a trijodtyroninu (T₃), které řídí metabolické děje.

se tlumí. V některých případech, jako u hormonů štítné žlázy, je snahou organismu udržovat v krvi relativně konstantní množství těchto hormonů.

Některé hormony mají denní či měsíční sekreční cykly. Kupř. kortizol produkovaný nadledvinami má maximum sekrece ráno a minimum v noci, zatímco folikuly stimulující hormon (FSH) a luteinizační hormon (LH), tvořené hypofýzou, mění svou sekreci v průběhu menstruačního cyklu. Některé hormony, jako např. adrenalin, jsou v krvi jen ve velmi malých koncentracích a stoupají za zvláštních situací, jako adrenalin při stresu.

ENDOKRINNÍ SYSTÉM TVOŘÍ:

- Hypotalamus
- Hypofýza
- Štítná žláza
- Příštítná tělíska
- Kůra nadledvin
- Dřeň nadledvin
- Gonády

4.2.3 HYPOTALAMO-HYPOFYZÁRNÍ SYSTÉM

V hypotalamu se převádějí 1. **humorální signály** (např. cirkulující hormony, jako je kortizol) na eferentní neurony a 2. **eferentní nervové impulzy na humorální signály** (neurosekrece).

NEUROSEKRECE

Určité hormony hypotalamu jsou schopné syntetizovat hormony, balit je do granul a v této podobě je dopravit do zakončení nervových vláken⁵³ a uvolňovat je do krve. Tímto způsobem se například dostává oxytocin a ADH až do zadního laloku hypofýzy (neurohypofýza). Oxytocin vyvolává u ženy porodní kontrakce děložní svaloviny a stimuluje ejekci mléka. Dráždění prsních bradavek při kojení (sání) vyvolává na základě neurohumorálního reflexu sekreci oxytocinu a prolaktinu.

V adenohypofýze jsou secernovány čtyři glandotropní hormony ACTH, TSH, FSH a LH a dva aglandotropní⁵⁴ hormony prolaktin a STH. Sekreci růstového hormonu STH (somatotropní hormon) podněcuje mj. syntézu bílkovin (anabolický účinek) a růst kostry.

⁵³ Axoplazmatický transport

⁵⁴ S přímým tkáňovým účinkem

4.2.4 METABOLISMUS SACHARIDŮ, HORMONY PANKREATU

Glukóza je v metabolismu člověka *centrálním zdrojem energie*, přičemž mozek a erytrocyty jsou na ní závislé absolutně. **Koncentrace glukózy** v plazmě (hladina glukózy, glykémie) je určena na jedné straně její spotřebou, a na druhé straně její tvorbou.

PRO POCHOPENÍ METABOLISMU SACHARIDŮ JSOU DŮLEŽITÉ TYTO POJMY:

1. **Glykolýza** – v užším smyslu tím rozumíme anaerobní odbourávání glukózy na laktát. Glykolýza probíhá v erytrocytech, ve dřeni ledvin a částečně v kosterních svalech. Aerobně-oxidativně je glukóza štěpena především v CNS, v srdečním a kosterním svalu a ve většině ostatních orgánů.
2. **Glykogeneze** – je tvorba glykogenu z glukózy (játra, svaly); slouží uskladňování glukózy do zásoby a udržování stále glykémie. Ve svalech může být glykogen skladován pouze pro místní energetickou spotřebu.
3. **Glykoneogeneze** (v játrech a kůře ledvin) je označení pro novotvoření glukózy z nesacharidových látek (\rightarrow aminokyselin, např. glutamin), laktátu (\rightarrow z anaerobní glykolýzy ve svalech a erytrocytech) a z glycerolu (\rightarrow z odbourávání tuku).
4. **Lipolýza** je odbourávání tuků, při němž vznikají glycerol a volné mastné kyseliny.
5. **Lipogeneze** je tvorba tuků do zásoby v tukové tkáni.

Rozhodující úlohu v metabolismu sacharidů hrají **Langerhansovy ostrůvky** pankreatu. Rozeznáváme v nich tři typy buněk A (α – asi 25 %, produkují glukagon), B (β – 60 %, vytvářejí inzulín) a D (δ – 10 % secernují somatostatin). Tyto hormony navzájem parakrinně ovlivňují (ne zcela objasněným způsobem) svou tvorbu a sekreci. Buňky ostrůvků v hlavě pankreatu syntetizují navíc *pankreatický polypeptid*, jehož fyziologická funkce je nejasná. Hormony se dostávají portální krví ve vysoké koncentraci do jater.

FUNKCE PANKREATICKÝCH ENZYMŮ

1. Ukládání živin přijatých potravou, v podobě glykogenu a tuku do zásoby
2. Mobilizace energetických rezerv během hladovění, při tělesné námaze, stresových situacích (glukagon, adrenalin).
3. Udržování glykémie na co nejkonstantnější hodnotě.
4. Stimulace růstu.

INZULIN

Inzulín je peptid tvořený 51 aminokyselinami. Poločas inzulínu je 5–8 minut a je odbouráván hlavně v játrech a ledvinách.

Hlavním podnětem pro sekreci inzulínu je zvýšení glykémie. Při stimulaci sekrece probíhají tyto kroky: plazmatická glukóza \uparrow \rightarrow glukóza v β -buňce \uparrow \rightarrow oxidace glukózy \uparrow \rightarrow ATP v buňce \uparrow \rightarrow ATP-řízené K^+ -kanály se zavírají \rightarrow depolarizace \rightarrow potenciálem řízené Ca^{2+} -kanály se otevírají \rightarrow Ca^{2+} v buňce \uparrow . Vzestup Ca^{2+} vyvolává exocytózu inzulínu

a znovuotevření K^+ -kanály. Sekrece inzulínu je **stimulována** především v průběhu trávení cholinergními vlákny vagu, gastrinem, sekretinem. Výdej inzulínu zvyšují i určité aminokyseliny (především arginin, leucin), volné mastné kyseliny, řada hypofyzárních hormonů a některé steroidní hormony. Sekreci inzulínu **tlumí** adrenalin, noradrenalin a neuropeptid galanin. Výrazný pokles hladiny glukózy (hladovění, dlouhodobá fyzická námaha) je registrován chemoreceptory pro glukózu v CNS a v odpověď je reflexně aktivován sympati- kus.

Účinky inzulínu – inzulín snižuje glykémii, působí anabolicky, podporuje tvorbu tuků a ukládání glukózy do zásoby, především v játrech → zde indukuje enzymy, které podně- cují glykolýzu a glukogenezi a potlačují enzymy odpovědné za glukoneogenezi. Všechny uvedené děje *snižují* po příjmu potravy zvýšenou koncentraci glukózy v plazmě. Asi 2/3 glukózy postprandiálně resorbované ze střeva se takto přechodně uskládňuje. V průběhu interdigestivní fázi je opět glukagonem mobilizována. Tímto má především silně závislý CNS na glukóze k dispozici nabídku glukózy relativně málo závislou na příjmu potravy. Inzulín zabezpečuje ukládání aminokyselin v podobě bílkovin zejména v kosterním sval- stvu /anabolismus), stimuluje růst a lipogenezi a ovlivňuje distribuci K^+ .

GLUKAGON, SOMATOSTATIN, SOMATOTROPIN

Glukagon je peptidový hormon z α -buněk. Hlavními podněty pro sekreci **glukagonu** jsou aminokyseliny z bílkovin potravy (alanin a arginin), dále hypoglykemi (hladovění, dlouhotrvající fyzická námaha) a stimulace sympatiku. Účinky glukagonu jsou z větší části antagonisté vůči inzulínu. Spočívají především v udržování dostatečné úrovně glykemie v době mezi příjmy potravy a při velké spotřebě glukózy, a tím v zabezpečování zdroje energie. Tohoto efektu je dosaženo zvýšenou glykogenolýzou v játrech, glukoneogenezí z laktátu a aminokyselin (odbourávání bílkovin = katabolismus) a z glycerolu (z lipolýzy).

Somatostatin z δ -buněk se uvolňuje stejně jako inzulín při zvýšení koncentrace glukózy a argininu v krvi (po jídle); parakrinně tlumí uvolňování inzulínu. Tímto inhibuje somato- statin nejen sekreci gastrinu, který podporuje proces trávení, ale také ukončuje inzulín-de- pendentní ukládání živin do zásoby. Somatostatin tlumí i sekreci glukagonu. Nedostatek glukózy a s ním spojené uvolňování katecholaminů sekreci somatostatinu sníží a tím uve- dené efekty potlačí. Somatotropin má akutní účinek podobný inzulínu. Jeho dlouhodobé působení však glykémii zvyšuje, což působí pozitivně na růst.

4.2.5 HORMONY ŠTÍTNÉ ŽLÁZY

Štítná žláza je jednou z největších endokrinních žláz lidského těla. Štítná žláza obsahuje kulovité folikuly, v jejichž buňkách se tvoří hormony obsahující **jod**, **tyroxin** (T_4) a **trijod- tyronin** (T_3). Tyto hormony mají účinek téměř na všechny buňky těla a regulují jejich me- tabolickou aktivitu. Štítná žláza obsahuje kulovité folikuly, v jejichž buňkách se tvoří hor- mony obsahující jod, tyroxin (T_4) a trijodtyronin (T_3). Dalším hormonem syntetizovaným

štítnou žlázou (přesněji v C-buňkách štítné žlázy) je **kalcitonin**. Ten nemění metabolický obrat, ale zasahuje do metabolismu iontů kalcia (a fosfátů).

TYROXIN

Tyroxin (T_4) se vyskytuje se ve dvou formách a to vázaný na bílkoviny krevní plazmy a na tyto bílkoviny nevázaný tzv. volný – fT_4 (free tyroxin). Tato část (v porovnání menší) je ovšem mnohem důležitější neboť je přímým metabolickým předstupněm k daleko účinnějšímu trijodtyroninu. Tyroxin prostřednictvím metabolitu trijodtyroninu působí na hospodaření tkání lidského organismu s živinami, dále má vliv na nervovou soustavu a pohlavní žlázy.

TRIJODTYRONIN

Trijodtyronin (T_3) je hormon produkováný specializovanými buňkami štítné žlázy. Vyskytuje se ve dvou formách a to vázaný na bílkoviny krevní plazmy a na tyto bílkoviny nevázaný tzv. volný – fT_3 (free trijodtyronin). Tato část v porovnání menší je ovšem mnohem důležitější, neboť je přímým trijodtyroninu působí na činnost tkání lidského organismu s živinami, dále má vliv na nervovou soustavu a pohlavní žlázy. Má stejné spektrum i mechanismus účinků jako tyroxin, ale je však účinnější a působí rychleji.

REGULACE SEKRECE HORMONŮ ŠTÍTNÉ ŽLÁZY

Regulace probíhá po ose hypotalamus-adenohypofýza-štítná žláza → z hypotalamu se uvolňuje neurosekreční hormon tyreoliberin (TRH – tyreotropin releasing hormon) → vyvolává sekreci TSH v adenohypofýze → sekrece TSH se inhibuje somatostatinem → TSH se váže na své receptory na membráně tyreocytu⁵⁵ (T_3 a T_4 působí negativní zpětnou vazbou) → vztah mezi koncentrací fT_4 a produkcí a produkcí TSH je logaritmicko-lineární → pokles fT_4 na polovinu způsobí vzrůst TSH 160x!!! → Proto má stanovení této má stanovení TSH klíčovou úlohu.

T_3 a T_4 ovlivňují tělesný růst, zrání a metabolismus. Řízení sekrece hormonů – tripeptid TRH⁵⁶ z hypotalamu stimuluje v adenohypofýze sekreci TSH⁵⁷, zatímco somatostatin ji tlumí.

Metabolismus jodu – jod cirkuluje v krvi ve třech formách:

- Anorganický (2–10 $\mu\text{g/l}$)
- Organický nehormonální jod
- Jod obsažený v T_3 a T_4 vázaných na plazmatické bílkoviny (35–80 $\mu\text{g/l}$)

⁵⁵ Tyreocyt – buňka štítné žlázy.

⁵⁶ Tyreotropin uvolňující hormon.

⁵⁷ Tyreostimulační hormon produkováný předním lalokem hypofýzy.

K ZAPAMATOVÁNÍ

DENNÍ POTŘEBA JODU ČINÍ OKOLO 150 µg. VYLOUČENÝ JOD MUSÍ BÝT NAHRAZEN PŘÍJMEM V POTRAVĚ. NA JOD BOHATÁ JE NAPŘ. MOŘSKÁ SŮL, MOŘSKÁ ZVÍŘATA, OBIÍ VYROSTLÉ V PŮDĚ BOHATÉ NA JOD. NEDOSTATEČNÝ OBSAH JODU V POTRAVINÁCH BÝVÁ NAHRAZOVÁN JODOVÁNÍM KUCHYŇSKÉ SOLI. JOD JE OBSAŽEN I V MATEŘSKÉM MLÉCE, PROTO HO KOJÍCÍ ŽENY POTŘEBUJÍ VÍCE (ASI 200 µg/den).



Deficit T₃/T₄ způsobuje — podle klinického obrazu onemocnění závislého na hladině hormonu — dva stavy:

1. **Hypotyreózu**, kdy je činnost žlázy snižena a onemocnění se projevuje sníženou aktivitou jedince, malátností, nepřiměřenou únavností. Dochází k otoku celého těla, kůže je suchá, zhrubělá, hlas níže posazený. Nemocný je zimomřivý.
2. **Hypertyreózu**, která se projevuje zcela opačně. Pacient netoleruje teplo, zvýšeně se potí, ztrácí na váze. Je celkově aktivován, má nepravidelnou srdeční činnost. Je přítomen třes v rukách a oční koule mohou „vylézat z důlků“ (exoftalmus). K hypertyreóze může dojít při terapii heparinem, dále amiodaronem⁵⁸ a v neposlední řadě v graviditě, kde je ovšem možný i stav opačný – hypotyreóza.

Při nedostatku hormonu v dětství dochází k poruchám duševních schopností ve smyslu snížené inteligence, dále k poruchám růstu a sexuálních funkcí.

KALCITONIN

Kalcitonin (tyreokalcitonin) je také peptidový hormon a tvoří se v parafolikulárních buňkách (C-buňky) štítné žlázy, které jsou rovněž vybaveny receptory pro Ca²⁺. Koncentraci kalcitoninu v plazmě mnohonásobně zvyšuje hyperkalcemie, kdežto při koncentraci Ca²⁺ < 2 mmol/l již není žádný kalcitonin prokazatelný. Kalcitonin snižuje (zvýšený) obsah Ca²⁺ v séru, především svým účinkem na kosti. Tlumí v nich aktivitu osteoklastů a podporuje (přechodně) zvýšené ukládání Ca²⁺ v kostech.

KALCIOFOSFÁTOVÝ METABOLISMUS

Kalciofosfátový metabolismus neboli hospodaření s vápníkem a fosforem je hormonálně regulováno parathormonem, kalcitoninem (viz výše) a vitamínem D.

Vápník zejména v podobě iontů Ca²⁺ má ústřední postavení v regulaci mnoha buněčných funkcí. Podílí se 2 % na tělesné hmotnosti; z toho je 99 % v kostech; 1 % je rozpuštěno v tělesných tekutinách. Celková koncentrace kalcia v séru činí normálně 2,1–

⁵⁸ Lék používaný při léčbě srdečních onemocnění.

2,6 mmol/l. Asi 60 % tohoto množství je vlně filtrovatelné (nedifuzibilní). Tato vazba na bílkoviny závisí na pH krve a zvětšuje se při jeho vzestupu, protože za těchto podmínek se na bílkovinách uvolňuje více vazebných míst pro Ca^{2+} . Následkem toho klesá při alkalóze ionizované Ca^{2+} a při acidóze stoupá. Proto může při alkalóze (např. v důsledku hyperventilace) dojít k tetanii jako při hypokalcemii. K udržení vyrovnané kalciové bilance musí být příjem a výdej Ca^{2+} v rovnováze. Denní příjem vápníku činí asi 12–35 mmol/den (1 mmol = 40 mg). Na vápník bohaté potraviny jsou mléko, sýry, vejce. Při vyrovnané Ca^{2+} bilanci se většina požitého kalcia opět vyloučí stolicí a močí, zatímco při nedostatku Ca^{2+} se ve střevě zresorbuje až 90 % vápníku potravy.

S metabolismem kalcia je úzce spojen metabolismus fosfátů, ten však není tak přísně řízen, jako hospodaření s Ca^{2+} . Kalciovou a fosfátovou homeostázu řídí parathormon, kalcitriol a s určitým omezením také kalcitonin (viz výše). Především působí na střevo, ledviny a kosti.

ZVÝŠENÁ POTŘEBA Ca^{2+} NASTÁVÁ V GRAVIDITĚ A KOJENÍ; DÍTĚ PŘIJÍMÁ PLACENTOU ASI 625 mmol A POZDĚJI MATEŘSKÝM MLÉKEM AŽ 2000 mmol Ca^{2+} A ZABUDOVÁVÁ JE DO SVÉ KOSTRY. V PRŮBĚHU A PO SKONČENÍ GRAVIDITY A KOJENÍ SE OBJEVUJE POMĚRNĚ ČASTO NEDOSTATEK

Parathormon je peptidový hormon, tvoří se v příštítných těliscích. Syntéza a výdej parathormonu jsou řízeny koncentrací iontů Ca^{2+} v plazmě, pro které mají buňky příštítných tělísek vlastní receptor. Klesne-li koncentrace pod hranici normy (hypokalcemie) stoupá výdej parathormonu do krve, stoupá-li nad normu, uvolňování parathormonu klesá. Všechny účinky parathormonu jsou zaměřeny na opětovné zvýšení (předtím snížené) hladiny Ca^{2+} . (1) V kostech se aktivují osteoklasty → odbourávání kostí a uvolňování Ca^{2+} a fosfátů. (2) Parathormon stimuluje poslední „renální“ krok při syntéze kalcitriolu, který pak stimuluje ve střevě resorpci Ca^{2+} . (3) Parathormon zvyšuje v ledvinách syntézu kalcitriolu a resorpci Ca^{2+} , což je zvlášť důležité při zvýšeném přílivu Ca^{2+} v důsledku účinků (1) a (2). Kromě toho tlumí parathormon resorpci fosfátů. Vzniklá hypofosfatemie podněcuje uvolňování Ca^{2+} z kostí.

K ZAPAMATOVÁNÍ

NEDOSTATEK PARATHORMONU NEBO JEHO NEÚČINNOST (HYPO- NEBO PSEUDOHYPOPARATYREOIDISMUS) MÁ ZA NÁSLEDEK HYPOKALCEMIÍ (DESTABILIZACE KLIDOVÉHO POTENCIÁLU → KŘEČE, TETANIE) A SEKUNDÁRNÍ DEFICIT KALCITRIOLU. NAOPAK NYDBYTEK PARATHORMONU (HYPERPARATYREOIDISMUS), STEJNĚ JAKO MALIGNÍ OSTEO-



LÝZA⁵⁹, KTERÁ PŘEKROČÍ MOŽNOSTI REGULACE Ca²⁺, ZPŮSOBUJÍ HYPERKALCEMIÍ; DLOUHODOBÁ HYPERKALCEMIE MÁ ZA NÁSLEDEK KALCIFIKCE (LEDVINY) A PŘI Ca²⁺ > 3,5 mmol/l KÓMA, INSUFICIENCI LEDVIN A PORUCHY SRDEČNÍHO RYTMU.

Kalcitriol lipofilní, steroidům podobný hormon, jehož syntézy se účastní vícero orgánů. V kůži vzniká ze *7-dehydrocholesterolu* účinkem UV záření přes mezistupeň (*provitamin D*) cholekalciferol⁶⁰ (*kalcio*l, **vitamin D₃**). Oba produkty se v krvi vážou na transportní protein pro vitamin D (DBP); kalciol má vyšší afinitu, proto je transportován přednostně. Provitamin D tak zůstane ještě nějaký krátký čas po ozáření (slunce, horské slunce) v kůži. Transportní protein DBP je vlivem estrogenů produkován ve zvýšené míře v graviditě, vážou se na něj kalcidiol a kalcitriol). Nejdůležitějším cílovým orgánem kalcitriolu je střevo, dále působí i na kosti, ledviny, placentu, mléčné žlázy, vlasové folikuly, kůži a další orgány.

Při nedostatečné expozici UV záření je nutné podávat kalciol orálně jako vitamin. Děti potřebují asi 400 jednotek = 10 µg/d, dospělí polovinu. Místo vitaminu D₃, který je získáván ze zvířat, je možné podávat stejně účinný ergokalciferol (= vitamin D₂) rostlinného původu.

K ZAPAMATOVÁNÍ

ZVÝŠENÍ HLADINY KALCITRIOLU ZPŮSOBUJE PARATHORMON, SECERNOVANÝ VE ZVÝŠENÉ MÍŘE PŘI HYPOKALCEMIÍ, ÚBYTEK FOSFÁTŮ A PROLAKTIN (LAKTACE!). POKLES HLADINY KALCITRIOLU NASTÁVÁ TAK, ŽE KALCITRIOL PŘÍMO TLUMÍ ENZYM 1- α -HYDROXYLÁZU; TLUMÍ SEKRECI PARATHORMONU A PODPOROU STŘEVNÍ RESORPCE Ca²⁺ A RESORPCE FOSFÁTŮ OPĚT ZVYŠUJE JEJICH KONCENTRACI V PLAZMĚ.



Nejdůležitějším cílovým orgánem kalcitriolu je střevo, dále působí i na kosti, ledviny, placentu, mléčné žlázy, vlasové folikuly, kůži a další orgány. Kalcitriol normálně stimuluje resorpci Ca²⁺ ve střevech a mineralizaci skeletu → CAVE! Při předávkování naopak kosti odvápnuje (efekt potencovaný parathormonem). Kalcitriol zvyšuje Ca²⁺ a fosfátů v ledvinách, placentě a mléčných žlázách.

K ZAPAMATOVÁNÍ

PŘI PŘECHODNÉ HYPOKLACEMII SLOUŽÍ KOSTI JAKO KRÁTKODOBÝ



⁵⁹ Významný úbytek kostní tkáně až její vymizení v důsledku malignity.

⁶⁰ Cholekalciferol (kalciol) je přeměňován v játrech na kalcidiol. Kalcidiol je v plazmě v koncentraci 25 µg/l a má poločas 15 dní, představuje tak podstatnou zásobu. Teprve v ledvinách (mj. také v placentě) vzniká vlastní účinná látka kalcitriol.

Ca²⁺ PUFŘ, DEFICIT Ca²⁺ JE VŠAK NAKONEC VYROVNÁN JEHO ZVÝŠENÝM PŘÍJMEM ZE STŘEVA PODMÍNĚNÝM KALCITIOLEM. POKUD NENÍ K DISPOZICI DOSTATEK KALCITRIOLU (NAPŘ. NEDOSTATEK VITAMINU D NEBO PORUCHOU TRÁVENÍ TUKŮ, AJ.), NASTÁVÁ DEMINERALIZACE SKELETU (OSTEOMALACIE, U DĚTÍ RACHITIS). PŘÍČINOU JE PŘEVÁŽNĚ TRVALE ZVÝŠENÁ SEKRECE PARATHORMONU VYVOLANÁ CHORNICKOU HYPOKALCÉMIÍ.

4.3 Biosyntéza steroidních hormonů

Mateřskou látkou steroidních hormonů je **cholesterol** (→ obsahuje 27 atomů uhlíku; vzniká přes mezistupně: *pregnenolon* → *progesteron*, ze kterého se dále syntetizují další steroidní hormony⁶¹). Cholesterol vniká zejména v játrech z *acetylkoenzymu A* a je transportován v lipoproteinech k endokrinním žlázám. De novo může být cholesterol syntetizován také v kůře nadledvin, ale nikoliv v placentě.

Steroidní hormony jsou skladovány v místech své produkce (kůra nadledvin, vaječník, varlata, placenta). Odbourávání steroidních hormonů probíhá zejména v játrech a vyloučeny žlučí nebo močí. Hlavní formou vylučování estrogenů je estriol, gestagen (progesteron) pregnandiol. Jeho stanovení v moči se využívá k průkazu těhotenství. Vzestup hladiny estrogenů u mužů (např. při sníženém odbourávání estrogenů při jaterním poškození) se projevuje jako gynekomastie.

4.4 Hormony kůry nadledvin – glukokortikoidy

Kůra nadledvin (*zona glomerulosa*) produkuje tzv. mineralokortikoidy **aldosteron**, **kortikosteron** a **11-deoxykortikosteron**. V oblasti kůry nadledvin (*zona fasciculata*) se syntetizuje především glukokortikoid **kortizol** (hydrokortizon) a v malé míře také **kortizon**. V *zona reticularis* probíhá tvorba nadledvinových androgenů (např. dehydroepiandrosteron). Tvorbu a uvolňování kortizolu řídí CRH⁶² a ACTH⁶³.

Receptorové proteiny pro glukokortikoidy byly zjištěny prakticky ve všech orgánech. Účinky glukokortikoidů pro život nezbytných jsou mnohostranné, mj. ovlivňují následující funkce:

⁶¹ Hormony kůry nadledvin, androgeny (mužské pohlavní hormony) ve varlatech, vaječnicích a kůře nadledvin, estrogeny /ženské pohlavní hormony).

⁶² Kortikoliberin (též hormon uvolňující kortikotropin – CRH nebo faktor uvolňující kortikotropin – CRF) je peptidový hormon hypothalamu složený ze 41 aminokyselin. Stimuluje syntézu a sekreci hormonu ACTH (adrenokortikotropinu) z hypofýzy.

⁶³ Adrenokortikotropní hormon (ACTH) je hormonem předního laloku hypofýzy (adenohypofýzy), který řídí činnost kůry nadledvin. Kůra nadledviny je tvořena třemi vrstvami – *zona glomerulosa*, *zona fasciculata* a *zona reticularis*.

- Metabolismus sacharidů a tuků – kortizol zvyšuje koncentraci glukózy v krvi, působí katabolicky (odbourává tkáňové bílkoviny → ↑ vylučování močoviny).
- Srdce a krevní oběh – glukokortikoidy ↑ sílu srdečního tahu a působí vazokonstrikci, kortizol zvyšuje tvorbu adrenalinu v dřeni nadledvin a angiotenzinogenu v játrech.
- Glukokortikoidy ve vyšších dávkách působí protizánětlivě a protialergicky tím, že tlumí syntézu lymfokinů a uvolňování histaminu a stabilizuje lyzozomy.
- Ledviny – glukokortikoidy zpomalují vylučování vody a udržení normální hladiny GFR.
- Žaludek – glukokortikoidy oslabují ochranu žaludeční sliznice (→ vysoké dávky kortizolu nebo silný stres ↑ riziko žaludečních vředů).
- Mozek – vysoká hladina glukokortikoidů v mozku ovlivňuje hypotalamus, změny EEG a psychiky.

Stres nebo fyzická či psychická námaha stimuluje prostřednictvím zvýšeného uvolňování CRH a zvýšením sympatického tonu sekreci kortizolu. Při stresu se tedy projevují mnohé z účinků kortizolu: mobilizace energetického metabolismu, zvýšení srdečního výkonu aj.). Při sepsi nebo depresi se hladina kortizolu udržuje po celý den na velmi vysoké úrovni, tj. až desetinásobek normální hodnoty.



SHRNUTÍ KAPITOLY

Hormony jsou produkty endokrinních žláz. Aby mohly hormony účinkovat, musí se spojit se s receptorem, který je pro daný hormon přesně určen, hormony se nemohou navázat na jiné receptory než na ty, které jim jsou určeny.

Hlavní funkce endokrinního systému je humorální řízení. Jako kontrolní systém pro žlázy s vnitřní sekrecí reguluje, řídí a koordinuje součinnost organismu s nervovou soustavou, udržuje homeostázu, reguluje metabolismus, reguluje odezvu organismu na stres, hlavní regulátor růstu, regulátor reprodukce, uplatňuje se při regulacích dlouhodobějšího charakteru, na rozdíl od nervového systému (ten reaguje hned), endokrinní žlázy vylučují chemické posly = hormony, které cirkulují v těle a ovlivňují vzdálené orgány (nervový systém využívá pro přenosy vzruchů specializovanou tkáň), neuroendokrinní vztahy jsou řízeny částmi mozku – hypotalamem a hypofýzou → **hypotalamo-hypofyzární systém**.

Přehled endokrinních žláz:

- hypothalamus
- podvěsek mozkový (*hypophysis*)
- šišinka (*epiphysis*)
- štítná žláza (*glandula thyroidea*)
- příštítná tělíska (*glandulae parathyroideae*)
- slinivka (*pankreas*)

- nadledvinky (*glandulae suprarenales*)
- varlata (*testes*)
- vaječníky (*ovaria*) – folikul, corpus luteum, placenta

Hypotalamo-hypofyzární systém je součást neuroendokrinního systému (= systém propojující nervové signály se signály endokrinními), zajišťuje spojení s ostatními oddíly centrálního nervového systému, řídí ostatní žlázy s vnitřní sekrecí.

Součástí hypotalamo-hypofyzárního systému je **hypotalamus** (část mezimozku) a **podvěsek mozkový** (hypophysis cerebri) – stopka hypofýzy, adenohypofýza, neurohypofýza. Prostřednictvím hypotalamo-hypofyzárního systému je neustále regulována a řízena endokrinních žláz podle působení zevních vlivů na CNS → navození rytmičnosti endokrinních funkcí.

Hypotalamus

Hypotalamus je část mezimozku, tvoří dolní část a spodinu III. mozkové komory, několik desítek jader (periventrikulární, mediální, laterální), pohlavní dimorfismus v případě některých jader (u mužů jsou větší; menší např. i u homosexuálů).

Funkce hypotalamu jsou komplexní, reguluje snad všechny (důležité) aktivity, jako je regulace tělesné teploty, regulace příjmu potravy a tekutin, regulace sexuálního chování (pravděpodobně i sexuální orientace), regulace emocí, nadřazená struktura pro autonomní nervový systém, regulace cirkadiálních rytmů, nadřazená struktura pro hormonální regulaci adenohypofýzy → liberiny – stimulují její funkci, statiny – tlumí její funkci (každý hormon adenohypofýzy má svůj liberin a statin); a produkce hormonů neurohypofýzy (vasopresin=antidiuretický hormon, oxytocin).

Hormony hypotalamu: **hormon uvolňující tyrotropin** (TRH), stimuluje syntézu a sekreci TSH z hypofýzy; **hormon uvolňující gonadotropin** (GnRH), stimuluje syntézu a sekreci gonadotropních hormonů z hypofýzy; **hormon uvolňující růstový hormon** (GHRH), stimuluje syntézu a sekreci STH z hypofýzy; **hormon uvolňující kortikotropin** = kortikoliberin (CRH), stimuluje syntézu a sekreci ACTH z hypofýzy; **somatostatin** je produkován i jinými tkáněmi (např. hypotalamus), tlumí produkci růstového hormonu; **dopamin** neurotransmitter, prolaktin inhibující hormon.

Hypofýza

Hypofýza (hypophysis cerebri) rozšíření výběžku hypotalamu, velikost 13 x 8 mm, uložena v jamce (turecké sedlo-sella turcica) v os sphenoidale, stopkou spojena s hypotalamem – vedou cévy, nervy a výběžky nervových vláken hypotalamu, **dominantní postavení** v endokrinním systému – vrchol většiny endokrinních os; 2 anatomicky a funkčně odlišné části: **adenohypofýza** (epiteliální struktura) a **neurohypofýza** (neurální struktura), obě části jsou propojeny portálním oběhem (*a. hypophyseae inferior*).

Adenohypofýza – přední lalok hypofýzy, produkce hormonů regulována liberiny a statiny (z hypotalamu), trámce žlázových buněk a široké kapiláry, tři části: *pars distalis* – tvorba většiny hormonů, *pars intermedia* a *pars tuberalis*.

Hormony adenohypofýzy: **somatotropin** (STH) = růstový hormon, podporuje proteosyntézu, ovlivňuje růst jedince, podporuje proliferaci chondrocytů v růstových ploténkách; **prolaktin** (PRL) stimuluje rozvoj mléčné žlázy, podpora produkce mléka; **thyreotropní hormon** (TSH) stimuluje syntézu a uvolňování hormonů štítné žlázy; **gonadotropní hormony** – **folikulostimulační hormon** (FSH) u žen stimuluje zrání folikulů, u mužů podporuje spermatogenezi, **luteinizační hormon** (LH) u žen inhibuje růst vajíčka a zvyšuje pro **renokortikotropní hormon** (ACTH) stimuluje růst kůry nadledvin, stimuluje produkci glukokortikoidů; **melanocyty stimulující hormon** (MSH) stimuluje melanocyty k produkci melaninu a přenosu jeho granul do keratinocytů v kůži a ve vlasech.

Neurohypofýza – zadní lalok hypofýzy, složena z rozšířených výběžků nervových buněk jader hypotalamu a z krevních kapilár, „skladovací prostor“ pro hormony syntetizované hypotalamem, hormony jsou uvolňovány do krve exocytózou.

Hormony: neurohypofýzy: **vasopresin** (antidiuretický hormon = ADH) zvyšuje propustnost distálních kanálků ledvin pro sodné ionty a vodu (vstřebávání nazpět do organismu) snižuje ztráty vody, zvyšuje krevní tlak; **oxytocin** na konci těhotenství navozuje stahy děložní svaloviny, při kojení vyvolává stahy hladkého svalstva mlékovodů.

ENDOKRINNÍ ŽLÁZY

Štítná žláza (*glandula thyroidea*) – párová žláza umístěna na kraniálním konci průdušnice, naléhá na štítnou chrupavku, 2 laloky spojené můstkem. Podílí se na regulaci metabolismu (hormony), ovlivňuje pankreas, nadledvinky, příštítná tělíska a pohlavní orgány.

Hormony štítné žlázy: **thyroidní hormony** – **trijódthyronin** (T3), **tyroxin** (T4), poměr T4:T3 je 20:1, jsou vázané na bílkovinu thyreoglobulin, tyroxin je prohormon, v tkáních se z něj tvoří T3, produkce tyroxinu je řízena TSH. Jsou důležitými diferenciačními faktory během nitroděložního vývoje (vývoj mozku), zvyšují úroveň bazálního metabolismu a spotřeby kyslíku v tkáních, ovlivňují látkovou přeměnu živin, podporují účinek jiných hormonů (katecholaminů); **kalcitonin** – regulace vápníku v krvi.

Příštítná tělíska (*glandulae parathyroideae*), 4 drobné čočkovité útvary na zadní straně štítné žlázy; reguluje metabolismus vápníku v organismu.

Hormony příštítných tělísek: **parathormon** – podporuje uvolňování vápníků z kostí při jeho snížené hladině v krvi, tlumí vylučování vápníku v ledvinách, sekrece parathormonu je řízena jednoduchou zpětnou vazbou

Langerhansovy ostrůvky (*insulae pancreaticae*) – endokrinní část pankreatu, tvoří 2–3% pankreatu; regulují hladiny glukózy v krvi (glykémie; alfa buňky – ve dřeni ostrůvku

(20% tkáně), produkce glukagonu; beta buňky – na periférii ostrůvku (70% tkáně), produkce inzulínu, delta buňky – variabilní pozice v ostrůvku (5% tkáně), produkce somatostatínu.

Hormony: **inzulín** – snižuje hladinu cukru v krvi → glykogeneze, bazální sekrece – vylučován kontinuálně, sekrece závisí na hodnotě glykémie (čím víc glukózy, tím vyšší produkce inzulínu); **glukagon** udržuje vyrovnanou hladinu glykémie, impulzem pro sekreci je hypoglykémie; **somatostatin** je produkován i jinými tkáněmi (např. hypotalamus, střevo), tlumí produkci růstového hormonu (STH), snižuje produkci TSH, inhibuje produkci hormonů GIT, inzulínu a glukagonu; **pankreatický polypeptid** – parakrinní funkce, pravděpodobně ovlivňuje funkci exokrinního pankreat.

Nadledvinky (*glandulae suprarenales*), párové žlázy umístěné na horním pólu ledvin.

Hormony kůry: její funkce je řízena hypofýzou (ACTH), produkce pohlavních hormonů a kortikosteroidů: **aldosteron** (mineralokortikoid), reguluje hospodaření se sodíkem (stimuluje jeho zpětnou resorpci v distálních tubulech ledvin); **kortizol** (glukokortikoid), zvyšuje hladinu glukózy v krvi, protizánětlivý efekt.

Hormony dřene: funkce je řízena nervově (sympatikem), produkce stresových hormonů: **adrenalin** – připravuje na zátěž, zvyšuje tepovou frekvenci, zvýšení systolického tlaku, uvolňuje dýchací svaly, zvyšuje hladinu glukózy v krvi; **noradrenalin** – zvyšuje diastolický tlak, vazokonstrikce → zvyšuje krevní tlak, neurotransmitter sympatiku.

OTÁZKY



1. Žlázy s vnější sekrecí jsou žlázy:

- a) endokrinní
- b) exokrinní

2. Žlázy s vnitřní sekrecí jsou žlázy:

- a) exokrinní
- b) endokrinní

3. Chemické sloučeniny, které v organismu slouží k přenosu informací při řízení funkcí orgánů a metabolických procesů se nazývají:

4. Hormony se tvoří v:

- a) pouze ve žlázách s vnitřní sekrecí
- b) pouze ve žlázách s vnější sekrecí
- c) ve žlázách s vnitřní sekrecí a endokrinních buňkách

5. Lokálním hormonům se také říká: _____

6. Tkáňovým hormonům se také říká: _____

7. Parakrinní účinek hormonu je:

- a) účinek na buňku samotnou
- b) účinek na buňky okolní
- c) účinek na vzdálené buňky
- d) účinek na nervovou tkáň

8. Endokrinní účinek hormonu je:

- a) účinek na buňku samotnou
- b) účinek na buňky okolní
- c) účinek na vzdálené buňky
- d) účinek na nervovou tkáň

9. Endokrinní systém tvoří, doplňte chybějící:

- a) Hypotalamus
- b)
- c) Štítná žláza
- d) Příštítná tělíska
- e)
- f)
- g) Gonády

10. V hypotalamu se tvoří:

- a) Antidiuretický hormon, oxytocin
- b) Parathormon
- c) Inzulin, glukagon

11. V příštítných těliscích se tvoří hormon:

- a) Parathormon
- b) Inzulin, glukagon
- c) Vasopresin

12. Poměr T4:T3 je zhruba:

- a) 20:1
- b) 10:5
- c) 20:10

Správné odpovědi: 1b; 2b; 3 hormony; 4c; 5 prostaglandiny; 6 parathormony; 7b; 8c; 9b – hypofýza, 9e kůra nadledvin, 9f dřeň nadledvin; 10a; 11a; 12a.

5 KREV, LYMFY. KARDIOVASKULÁRNÍ FUNKCE, KREVNÍ KAPILÁRY, FUNKCE A ŘÍZENÍ.

RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY



V kapitole je popsána oběhová soustava, malý a velký plicní oběh. Dále jsou zde popsány tělní tekutiny (intracelulární a extracelulární tekutina), složení tělních tekutin, krev a její jednotlivé složky, je vysvětlen proces krvetvorby (hematopoéza) a hemostáza.

CÍLE KAPITOLY



- Popsat složení tělních tekutin
- Uvést zastoupení intracelulárních a extracelulárních tekutin
- Vyčíslit rozložení vody v organismu
- Vysvětlit pojem hematopoéza
- Vysvětlit pojem hemostáza
- Popsat krevní elementy
- Pochopit princip hematopoézy a význam pluripotentních buněk

ČAS POTŘEBNÝ KE STUDIU



4 hodiny

KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY

Tělní tekutiny, intracelulární tekutina, extracelulární tekutina, krev, hematopoéza, hemostáza, leukocyty, erytrocyty, trombocyty, krevní plazma, hemoglobin.

Tato kapitola je věnována krvi a lymfě a činností buněk, které obsahují. Kapitola byla zkompileována převážně ze zdrojů [7, 39, 47].

ÚVOD

Oběhová soustava (cirkulace krve a lymfy) je transportní systém, jehož hlavním smyslem je rychlý transport na vzdálenosti, pro které je difuze neadekvátní. Hlavní funkcí oběhové soustavy je dodávání kyslíku a látek vstřebaných v trávicím ústrojí tkáním a odvádění oxidu uhličitého do plic a ostatních metabolických produktů do ledvin. Mimo jiné se podílí na regulaci tělesné teploty, roznáší hormony a další látky regulující funkci buněk.

Krevní transportní systém se u člověka skládá ze soustavy trubic (cív), kterými krev díky čerpacímu zařízení – srdci – proudí. Srdce se skládá ze dvou sériově zapojených pump,

kteří pumpují krev uzavřeným systémem krevních cév, který je rovněž sériově uspořádán do dvou oběhů – **velkého (systémového)** a **malého (plicního)**. Oba oběhy jsou složeny ze sériově zapojených tepen, kapilár a žil; systémový oběh je navíc složen z řady paralelně zapojených okruhů, které vyživují jednotlivé orgány a tkáně.

Systémový (velký) krevní oběh vede krev z levé komory⁶⁴ arteriemi a arterioly do kapilár, kde se vytváří a vstřebává tkáňový mok. Z kapilár teče krev venulami do větších žil a zpět do pravé síně. **Malým (plicním) oběhem** odtéká krev z pravé síně do pravé komory⁶⁵, která ji pumpuje plicními cévami a levou síní do levé komory. V plicních kapilárách se krev ekvilibruje s O₂ a CO₂ v alveolárním vzduchu⁶⁶. Část tkáňových tekutin přestupuje do dalšího uzavřeného systému – mizních (lymfatických) cév. Ty odvádějí mizu (lymfu) prostřednictvím hrudního a pravého mizovodu do žilního systému (lymfatická cirkulace).

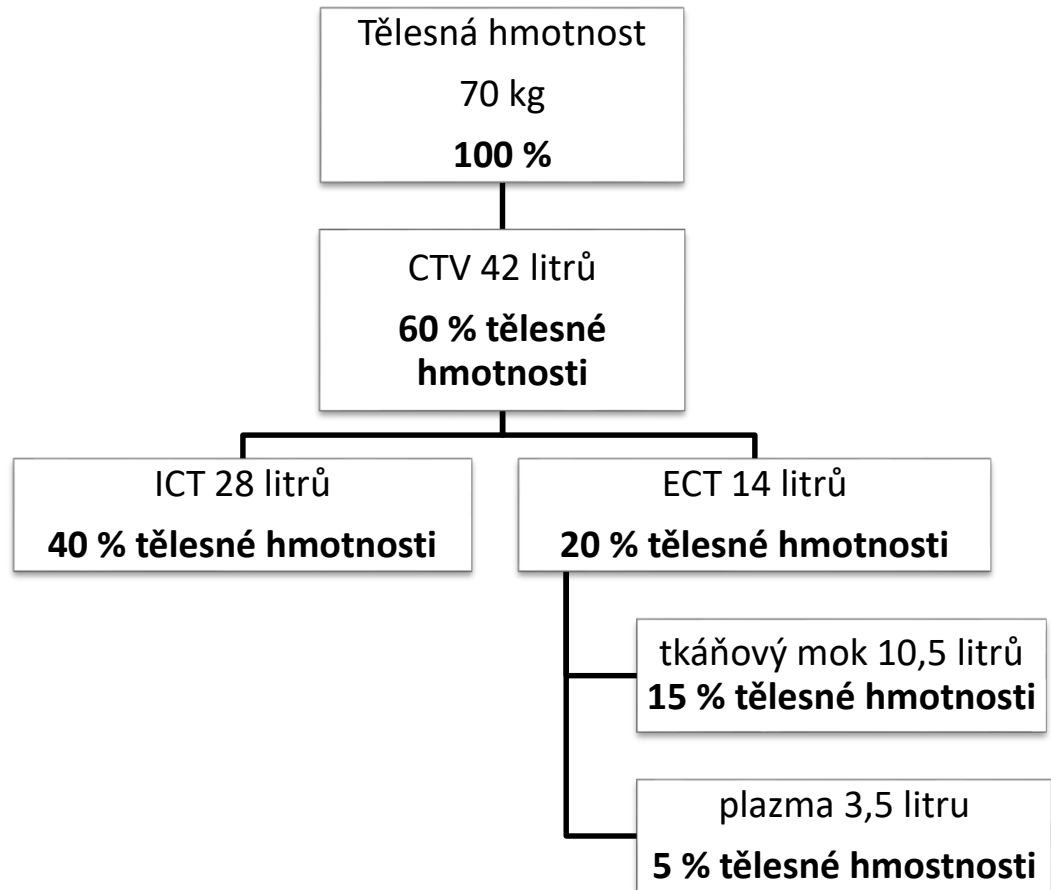
5.1 Tělní tekutiny – extracelulární a intracelulární tekutina

U dospělého člověka představuje voda přibližně 60 % celkové tělesné hmotnosti (Obrázek 42). Její podíl na tělesné hmotnosti se individuálně liší zejména podle objemu tukové tkáně v těle – čím více je tukové tkáně, tím menší podíl tělesné hmotnosti připadá na vodu. Celková tělní voda (CTV) je obsažena ve dvou hlavních kompartmentech – v intracelulární (ICT) a extracelulární (ECT) tekutině.

⁶⁴ Levá komora má výrazněji vyvinutou cirkulární svalovinu, přečerpává okysličenou krev (s vyšším pO₂) z plic do vysokotlakého systémového oběhu.

⁶⁵ Pravá komora má výrazně tenčí stěnu, pohání nízkotlaký plicní oběh, do kterého přivádí odkysličenou krev (s nižším pO₂) z celého těla.

⁶⁶ Kyslík se dostává dýchacími cestami do plicních alveolů (sklípků) procesem označovaným jako ventilace, odtud difunduje do krve, z ní se přenáší přes buněčné membrány až k mitochondriím. Parciální tlak alveolárního vzduchu: kyslík – 100 mmHg; kyslík – 100 mmHg; dusík + vzácné plyny – 573 mmHg (normální atmosférický tlak je 760 mmHg (101 kPa), s rostoucí výškou tlak klesá. 1 mmHg odpovídá 133,32 Pa).



Obrázek 42 Rozložení vody v organismu

5.2 Krev

Krev je suspenze formovaných buněčných elementů – bílých krvinek (leukocytů), červených krvinek (erytrocytů) a destiček (trombocytů) – v krevní plazmě. Celkový objem cirkulující krve je u dospělého člověka normálně kolem 8 % tělesné hmotnosti (~5 600 ml u 70kg muže). Z tohoto objemu tvoří přibližně 55 % plazma. Objemové zastoupení červených krvinek na celkovém objemu krve se označuje jako hematokrit⁶⁷. Krev transportuje dýchací plyny (kyslík, oxid uhličitý), živiny, katabolity, hormony, vitamíny a ionty. Transportem tepla se podílí na udržení tělesné teploty u homiotermních⁶⁸ (endotermních) živočichů.

CELKOVÝ OBJEM KOLUJÍCÍ KRVE V LIDSKÉM TĚLE JE ASI 70 ML NA KILOGRAM Hmotnosti; ZA URČITÝCH OKOLNOSTÍ DOCHÁZÍ K JEHO ZVÝŠENÍ,

⁶⁷ Podíl erytrocytů na celkovém objemu krve se stanovuje pomocí centrifugace nesrážlivé krve; klinická hodnota u muže je 0,39–0,57 a u ženy 0,33–0,47 (rozdílné hodnoty jsou dány vlivem pohlavních hormonů při regulaci tvorby erytrocytů prostřednictvím erythropoetinu). Důsledkem vyššího počtu erytrocytů u novorozence je i vyšší hodnota hematokritu 0,42–0,60).

⁶⁸ Živočichů se stálou krevní teplotou; teplota jeho těla není závislá na teplotě okolního prostředí.

NEBO SNÍŽENÍ. V KRVI SAMOTNÉ KROMĚ TOHO MŮŽE BÝT NORMÁLNÍ, ZVÝŠENÝ NEBO SNÍŽENÝ POČET KREVNÍCH ELEMENTŮ (ERYTROCYTŮ), COŽ VEDE KE ZMĚNÁM V POMĚRU MEZI ERYTROCITY A PLAZMOU A OBOJÍ TAK V KOMBINACÍCH ZPŮSOBUJE RŮZNÉ PORUCHY SLOŽENÍ KRVE. TY V DNEŠNÍ PRAXI ZJIŠŤUJEME POMĚRNĚ PŘESNĚ RŮZNYMI TYPY ANALYZÁTORŮ – ELEKTRONICKÝCH POČÍTAČŮ KRVINEK. CELKOVÝ OBJEM ERYTROMASY MŮŽEME STANOVIT POMOCÍ IZOTOPŮ (CR⁵¹).

5.2.1 HEMATOPOÉZA – TVORBA KRVE

Místo tvorby erytrocytů (červených krvinek), leukocytů (bílých krvinek) a trombocytů (krevních destiček) se v průběhu vývoje jedince mění. Tvorba krevních buněk začíná mezi 14.–20. dnem gravidity (viz *krvetvorba během intrauterinního vývoje* Tabulka 9). Heman-gioblasty⁶⁹ se tvoří nejprve ve stěně žloutkového vaku (extraembryonálně), později v primitivním mezenchymovém pojivu (intraembryonálně). Toto hematopoetické období se označuje jako *mezoblastové*⁷⁰. Po tomto období následuje období *hepatolienální*, od 6. týdne jsou místem krvetvorby játra plodu (extravaskulární hematopoéza), o něco později i ve slezině, brzlíku a diferencujících se lymfatických orgánech. V 7. měsíci ustává krvetvorba v játrech a slezině a po narození je krvetvorba lokalizována pouze na červenou kostní dřeň obratlů, hrudní kosti a horní části dlouhých kostí (humerus = kost pažní a femur nebo os femoris = kost stehenní). Přechody jsou plynulé. Lymfopoéza v lymfatických orgánech trvá celý život. Tvoří se megaloblasty, normoblasty; granulopoéza a megakaryocyty. Od 10. týdne intrauterinního vývoje začíná období *dřeňové krvetvorby*; postupně se zvyšuje a po narození zcela nahradí krvetvornou činnost jiných orgánů. Jedinou výjimkou je lymfopoéza, která pokračuje dál v lymfatických orgánech a lymfatické tkáni. Dřeňová krvetvorba zahrnuje megaloblastovou, později normoblastovou erytropoézu.

V *postnatálním období* probíhá za normálních okolností krvetvorba pouze v kostní dřeni. V dětství se krevní buňky tvoří v dřeňových dutinách všech kostí. Do 20 let věku aktivita dřene dlouhých kostí s výjimkou horních částí humeru a femuru ustává. Krvetvorba kostní dřene je zdrojem všech druhů krvinek v periferní krvi. Část lymfocytů se tvoří i po narození nadále v lymfatické tkáni; monocyty a makrofágy i v jiných tkáních organismu. Kostní dřeň obsahuje nediferencované **pluripotentní kmenové buňky**⁷¹ (Obrázek 43), které se diferencují na různé typy determinovaných, unipotentních kmenových buněk. Z těchto tzv. **progenitorových buněk** pak pocházejí různé typy diferencovaných krevních buněk. Kostní dřeň obsahuje oddělené populace progenitorových buněk pro megakaryo-

⁶⁹ Hemangioblasty jsou primitivní kmenové buňky mezoderálního původu, migrují ke stěnám embryonální aorty, kde se z nich vyvíjejí krvetvorné endoteliální buňky a později hematopoetické kmenové buňky.

⁷⁰ Mezoblast (mezoderm) je střední zárodečný list u časně fáze lidského zárodku.

⁷¹ Počet pluripotentních kmenových buněk je nízký, ale jejich injekce dokáže kompletně nahradit celou kostní dřeň hostitele s úplně zničenou vlastní dřeni.

cyty, lymfocyty, erytrocyty, eozinofily a bazofily (neutrofilny a monocyty pocházejí ze společného prekursoru (Obrázek 44). Kmenové buňky kostní dřevě jsou také zdrojem osteoklastů⁷², Kuppferových buněk, žirných buněk, dendritických buněk a Langerhansových buněk.

Základními krvetvornými tkáněmi, které produkují krevní elementy v dospělosti a umožňují imunitní reakce, jsou:

- kostní dřevě⁷³ (červená dřevě = aktivní; žlutá dřevě = inaktivní dřevě infiltrovaná tukovými buňkami)
- thymus
- lymfatické uzliny
- MALT (mucosa associated lymphoid tissue; lymfatická tkáň sliznic)
- slezina
- imunologicky kompetentní fond lymfocytů
- periferní krev

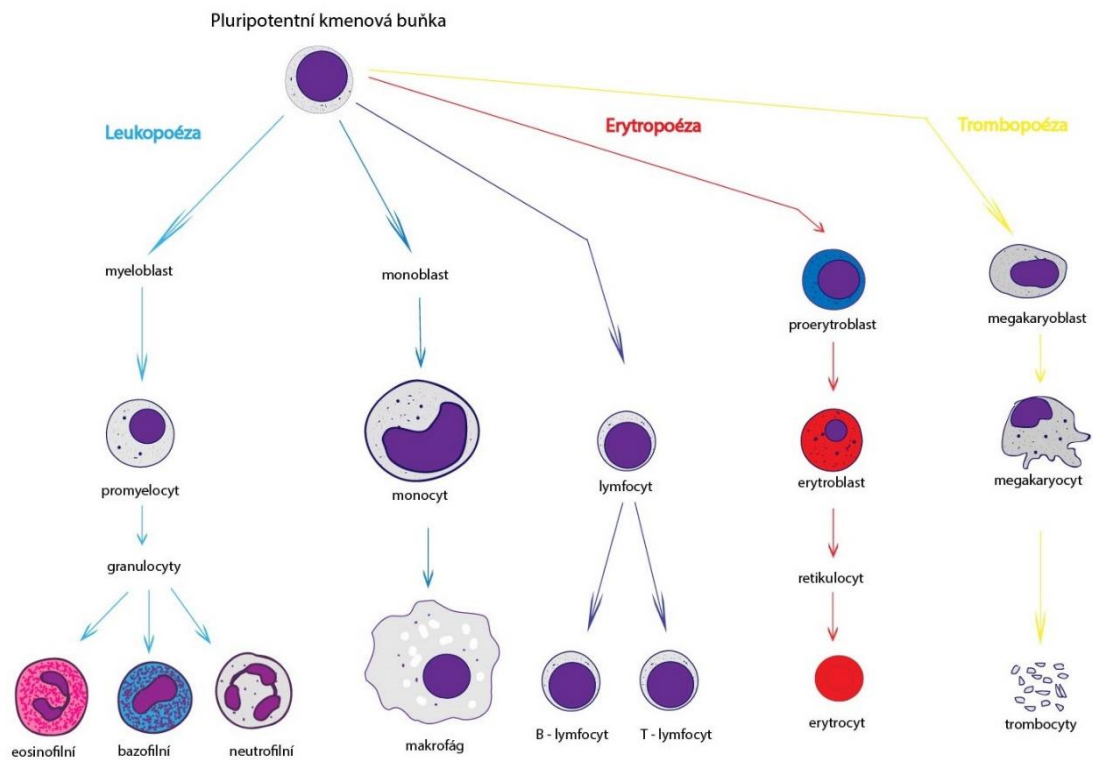
Tabulka 9 Původ krevních buněk a krvetvorba během intrauterinního vývoje

Období mezoblastové	2.–3. týden	Extraembryonálně (ve stěně žloutkového váčku); → dále pokračuje intraembryonálně (v primitivním mezenchymovém pojivu); vznikají megaloblasty (erytrocytární vývojová řada).
Období hepatolienální	od 6. týdne	Extravaskulární hematopoéza (v játrech plodu); později i ve slezině, thymu a diferencujících se lymfatických orgánech
	v 7. měsíci	Ustává krvetvorba v játrech a slezině a po porodu probíhá krvetvorba pouze v kostní dřevě.
Období dřevěové krvetvorby	od 10. týdne	Začíná od 10. týdne intrauterinního vývoje, postupně se zvyšuje a po narození zcela nahradí krvetvornou činnost jiných orgánů. Jedinou výjimkou je lymfopoéza, která pokračuje dál v lymfatických orgánech a lymfatické tkáni.

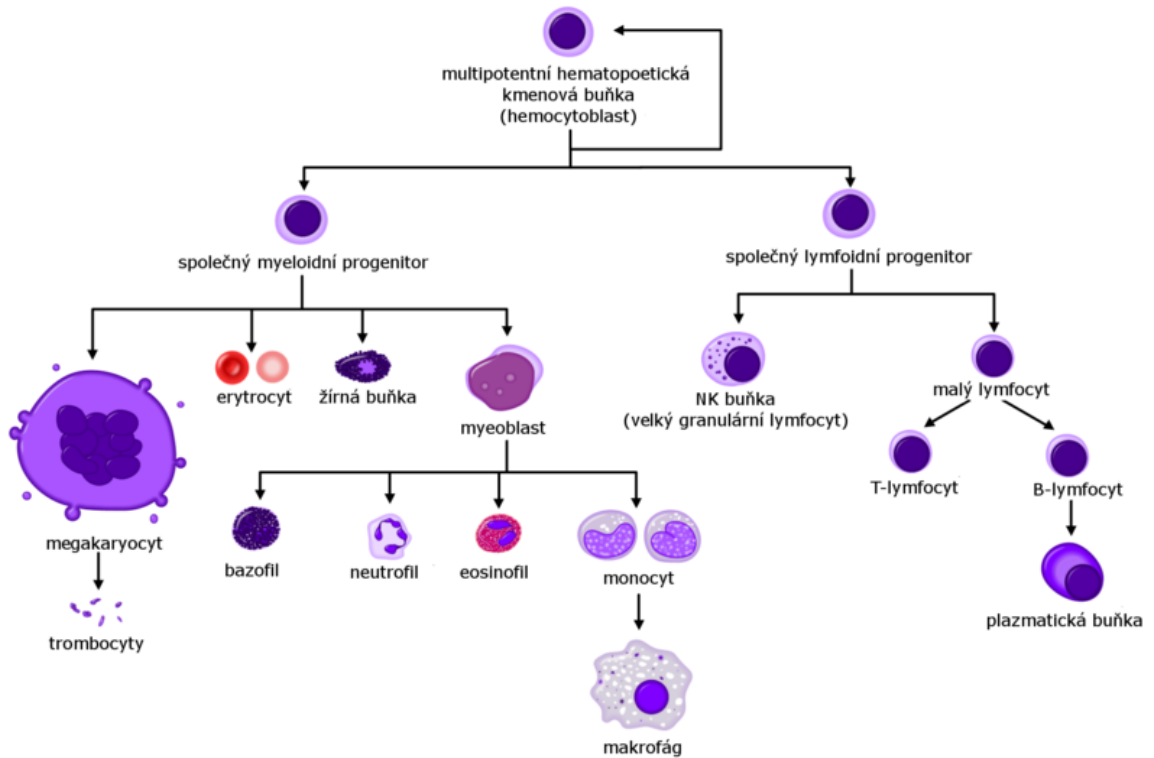
⁷² Osteoklasty jsou velké buňky (průměr cca 100–200 μm) s hojnými nepravidelnými výběžky a několika desítkami jader (až 50 i více) podílející se na vstřebávání kostí. Buňky se vyskytují nejčastěji v jamkách na povrchu resorbované kosti, kde ničí kostní tkáň. Úloha a funkce osteoklastů v procesu resorpce kostní tkáňe není zatím úplně objasněna.

⁷³ Kostní dřevě je jedním z největších a neaktivnějších orgánů v těle, rozměry i váhou se blíží játrům.

PLURIPOTENTNÍ KMENOVÉ BUŇKY JSOU ODVOZENY Z NEDETERMINOVANÝCH TOTIPOTENTNÍCH KMENOVÝCH BUNĚK, Z NICHŽ MŮŽE HYPO-TETICKY VZNIKNOT JAKÁKOLIV BUŇKA TĚLA.



Obrázek 43 Hematopoéza (krvetvorba) je tvorba krevních buněk, tj. erytrocytů (erythropoéza), leukocytů (leukopoéza) a trombocytů (trombopoéza).



Obrázek 44 Hematopoéza.

V CIRKULUJÍCÍ KRVÍ JE 500KRÁT VÍCE ERYTROCYTŮ NEŽ LEUKOCYTŮ, PŘESTO 75 % BUNĚK DŘENĚ PATŘÍ NORMÁLNĚ K MYELOIDNÍ TKÁNÍ PRODUKUJÍCÍ LEUKOCYTY A POUZE 25 % JSOU DOSPÍVAJÍCÍ ERYTROCYTY. TENTO ROZDÍL VE DŘENÍ ASI PRAVDĚPODOBĚ REFLEKTUJE SKUTEČNOST KRÁTKÉ PRŮMĚRNÉ DOBY ŽIVOTA LEUKOCYTU, KDEŽTO U ERYTROCYTU JE POMĚRNĚ DLOUHÁ (110–120 DNŮ).

5.2.2 ERYTROCYTY

Erythrocyty (červené krvinky; Ery) zajišťují transport dýchacích plynů, tj. kyslíku z plic do tkání a oxidu uhličitýho⁷⁴ z tkání do plic. Během vývoje v kostní dřeni ztrácejí erythrocyty buněčné jádro a většinu buněčných organel, tím je dán jejich typický „piškotový“ tvar. Tvar bikonkávního disku umožňuje erythrocytům změnit při průchodu krevními kapilárami svůj tvar a tím také snadnější přestup dýchacích plynů mezi krví a intersticiem. Nemají schopnost se dělit a jejich metabolismus je závislý na anaerobní glykolýze⁷⁵, z tohoto důvodu spotřebují pouze minimum transportovaného kyslíku.

⁷⁴ Hlavní metabolický produkt.

⁷⁵ Rozklad glukózy na pyruvát za současné tvorby ATP. Z latiny (glycos = sladký a lysis = rozložení). Dříve se proces glykolýzy dělil na dvě fáze: anaerobní a aerobní. Vycházelo se ze zjištění, že při nedostatku kyslíku

Tvorbu erytrocytů stimuluje hormon erytropoetin⁷⁶. Počet erytrocytů u mužů se pohybuje v rozmezí $4,2\text{--}6,0 \times 10^{12}/\text{l}$; u žen o něco méně v rozmezí $4,0\text{--}5,5 \times 10^{12}/\text{l}$. Zvýšený počet erytrocytů nad referenční mez může ukazovat na polycytemii⁷⁷, objevuje se u osob při pobytu v nadmořských výškách, vyskytuje se také při srdečním onemocnění, u nádorů produkující erytropoetin, při stresu, u kuřáků či při hemokoncentraci. Snížení počtu erytrocytů se vyskytuje u anémií, hemolytických stavů, insuficienci ledvin, u krevních ztrát, aplázie dřeně či působením toxických látek jako je benzol nebo léků (chloramfenikol).

5.2.3 HEMOGLOBIN

Hemoglobin (Hb) je nejdůležitější složkou červených krvinek. Hemoglobin krvinku zcela vyplňuje. Je složen ze čtyř podjednotek, kde každý z nich tvoří hem⁷⁸ s připojeným globinem (polypeptidový řetězec). Struktura hemu se během vývoje krvinek nemění, naopak zastoupení jednotlivých aminokyselin v globinových řetězcích se liší.

Množství hemoglobinu se liší během vývoje a v závislosti na pohlaví. U novorozenců je to $135\text{--}195 \text{ g/l}$, u mlžů $135\text{--}170 \text{ g/l}$ a u žen $120\text{--}165 \text{ g/l}$. Zvýšené hodnoty Hb se vyskytují u polycytemie, pobytu v nadmořských výškách, u stavů spojených s hypoxií, nádorů produkujících erytropoetin (např. karcinom ledviny), stresových stavů, kuřáků, dehydrataci. Snížené hodnoty Hb jsou u anémií, hemolýz, ledvinové insuficience, krevních ztrát, aplázii dřeně, léků (chloramfenikol, zlato), graviditě (převládá hemodiluce nad pouze mírným vzestupem erytromasy). Anémii hodnotíme jako těžkou při hodnotách Hb $< 100 \text{ g/l}$.

DERIVÁTY HEMOGLOBINU

Nejvýznamnějším derivátem hemoglobinu jsou oxyhemoglobin a karbaminohemoglobin. U oxyhemoglobinu se molekula Hb váže na kyslík, u karbaminohemoglobinu⁷⁹ (HbCO) na oxid uhličitý. Afinita Hb ke kyslíku a oxidu uhličitému se mění v závislosti na jejich parciálních tlacích, teplotě, pH a produktech metabolismu krvinek. Vyšší afinitu má hem k CO.

v aktivním svalu mizí glykogen a narůstá koncentrace laktátu jako konečného produktu. V okamžiku prokysličení svalové tkáně nastal proces obnovy glykogenu a laktát mizel. V případech dostatečného přísunu kyslíku do aktivní svalové buňky se laktát nehromadil, nehromadil se ale ani pyruvát, protože byl rozkládán až na vodu a oxid uhličitý. Dělit glykolýzu na fázi anaerobní a aerobní je však chybné, protože všechny reakce vedoucí k tvorbě pyruvátu probíhají stejně a nejsou závislé na přítomnosti nebo nepřítomnosti kyslíku v buňce. Nově se glykolýza pomyslně rozděluje na tři fáze a všechny probíhají v cytosolu buňky [Převzato z 48].

⁷⁶ Jeho tvorba v ledvinách se zvyšuje při tkáňové hypoxii.

⁷⁷ Pravá polycytemie (polycythaemia vera) je nemoc způsobená poruchou kmenové krvetvorné buňky, která vyzrává převážně do řady červených krvinek. Dochází u ní ale i k mírnému zmnožení buněk dalších krvetvorných řad. Onemocnění je známo od konce 19. století a jedním z lékařů, který ho jako první zkoumal, byl William Osler.

⁷⁸ Sloučenina červené barvy ze skupiny porfyrinů, které má centrálně uložené dvojmocné železo (ion železa), na něž se váže kyslík.

⁷⁹ HbCO neumožňuje transport kyslíku a je příčinou otrav.

Červený krevní obraz, tj. hodnota hemoglobinu (Hb), resp. hematokritu (Hct) je základem pro stanovení diagnózy anémie a informuje též o jejím stupni. Distribuční šíře erytrocytů⁸⁰ (RDW) podává přehled o variabilitě ve velikosti červených krvinek (anizocytóze). Hodnoty červeného krevního obrazu shrnuje Tabulka 10.

Tabulka 10 Hodnocení krevního obrazu

Červený krevní obraz	Fyziologické meze	
	muži	ženy
Hemoglobin (Hb)	135–170 g/l	120–165 g/l
Erytrocyty (Ery)	4,2–6,0×10 ¹² /l	4,0–5,5×10 ¹² /l
Hematokrit (Hct)	0,37–0,49	0,35–0,46
Objem erytromasy (EV)	20–35 ml/kg hmotnosti	
Střední objem Ery (MCV)	80–96 fl	
Distribuční šíře Ery (RDW)	11,5–14,5 %	
Koncentrace Hb v Ery (MCHC)	320–350 g Hb/l Ery	
Hmotnost Hb v Ery (MCH)	27–32 pg v 1 Ery	
Počet retikulocytů (Ret)	5–15 ‰ z celkového počtu Ery	

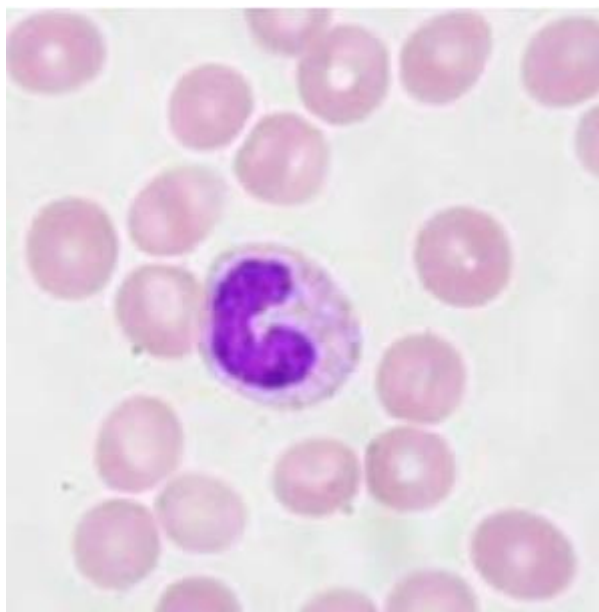
5.2.4 LEUKOCYTY

Leukocyty (bílé krvinky) se podílejí na ochraně těla před nádory a virovými, bakteriálními či parazitárními infekcemi. Dělíme je podle stavby a funkce na několik typů (Obrázek 44). Všechny se podílejí na nespecifické (je dána vrozenou schopností organismu reagovat⁸¹ na přítomnost cizorodé látky) či specifické (vyjadřuje schopnost lymfocytů cíleně reagovat na přítomný cizorodý antigen – jeho likvidace a schopnost vytvořit na něj antigenní paměť) imunitní reakci.

⁸⁰ Normální hodnota RDW je v rozmezí 11,5–14,5 %.

⁸¹ Mezi základní reakce řadíme fagocytózu, přirozenou cytotoxicitu a reakci komplementu.

Celkový počet lymfocytů se normálně pohybuje v rozmezí $3\,500\text{--}9\,000 \times 10^9/\text{l}$. V jednom mikrolitru krve se nalézá $4\,000\text{--}11\,000$ bílých krvinek. Z nich jsou nejčetnější **granulocyty**⁸² (Obrázek 43). Mladé granulocyty mají podkovovité jádro (Obrázek 45), které se stává laločnatým. Většina granulocytů obsahuje neutrofilní granula (**neutrofilny**), jiné granulocyty mají granula barvitelná kyselými barvivými (**eozinofily**⁸³ Obrázek 46) nebo bazofilní granula (**bazofily**⁸⁴). Další dva druhy, které se nalézají v periferní krvi jsou **lymfocyty** s velkými kulatými jádry a malým množstvím cytoplazmy a **monocyty**⁸⁵, které mají hojně cytoplazmy bez granula a ledvinovitého jádra.



Obrázek 45 Nesegmentovaný granulocyt

Žírné buňky jsou buňky s mnoha granuly, hojně nacházené v oblastech bohatých na vazivovou tkáň a pod epitelovými povrchy. Účastní se zánětlivých reakcí zahájených imunoglobuliny IgE a IgG. Zánět útočí zejména na parazity, tím se účastní na specifické imunitě, podílejí se na nespecifické (vrozené) zaměřené proti infekcím. Granula žírných buněk

⁸² Ve všech granulocytech jsou cytoplazmatická granula obsahující aktivní látky, které se podílejí na zánětlivých a alergických reakcích. Vstupem bakterií do těla je vyvolána zánětlivá reakce a kostní dřeň je stimulována k produkci a uvolňování velkého počtu neutrofilů.

⁸³ Eozinofilie je reakce na specifickou T-buněčnou imunitní odpověď. Nejčastější příčiny eozinofilie jsou alergie, lékové reakce, tkáňové helmintózy, systémové mykotické infekce (aspergilóza, kokcidiodomykóza), kolagenózy, hemoblastózy a vzácněji některé solidní nádory (Grawitzův tumor, karcinom tlustého střeva). Vysoká eozinofilie je charakteristická zejména pro akutní schistosomózu (horečka katayama), filariózu, trichinelózu, cysticercózu a jaterní fasciolózu. Eozinofilie může být přítomna též během migrační, larvální fáze askariózy, ankylostomózy a strongyloidózy. U nás je nejčastější příčinou larvální toxokaróza, již je promořeno kolem 20 % obyvatel.

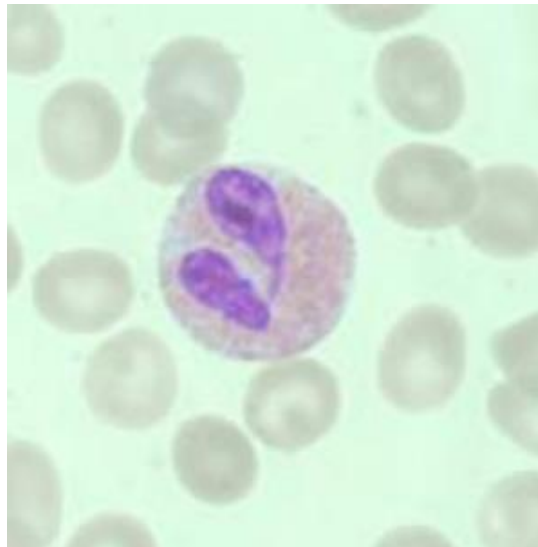
⁸⁴ Bazofily jsou nezbytné pro okamžité hypersenzitivní (alergické) reakce od projevů kopřivky až po těžký anafylaktický šok. Rovněž vstupují do tkání a uvolňují proteiny a cytokiny, obsahují histamin a heparin stejně jako žírné buňky, ale nejsou stejné jako žírné buňky.

⁸⁵ Monocyty mají klíčovou roli v imunitě, secernují téměř 100 různých látek, včetně faktorů ovlivňujících lymfocyty a další buňky, prostaglandinů řady E a faktorů podporujících srážení. Do krve vstupují z kostní dřeně a cirkulují v ní přibližně 72 hodin. Poté se dostávají do tkání a stávají se tkáňovými makrofágy.

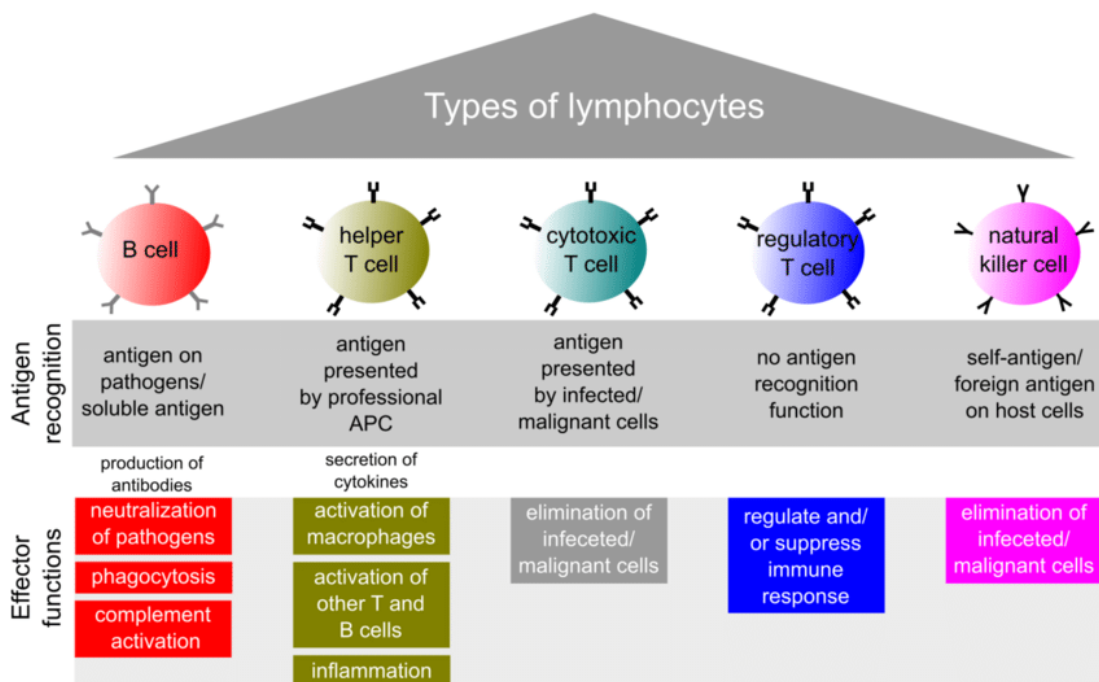
obsahují histamin, heparin a řadu proteáz. Heparin se účastní hemostázy – viz Kapitola 5.2.7.

Lymfocyty (Obrázek 48) jsou klíčovou částí imunity. Po narození vznikají v kostní dřeni. Dozrávají buď v brzlíku (thymu) na T lymfocyty, nebo na B lymfocyty. T i B lymfocyty poté osídlují mízní uzliny a slezinu, kde se pod vlivem antigenů diferencují na výkonné buňky. Do krve se lymfocyty dostávají nejvíc lymfatickými cévami. Kromě T a B lymfocytů, které zajišťují specifickou imunitu, také NK buňky (Natural Killers), které se řadí k přirozené nespecifické imunitě (Obrázek 47).

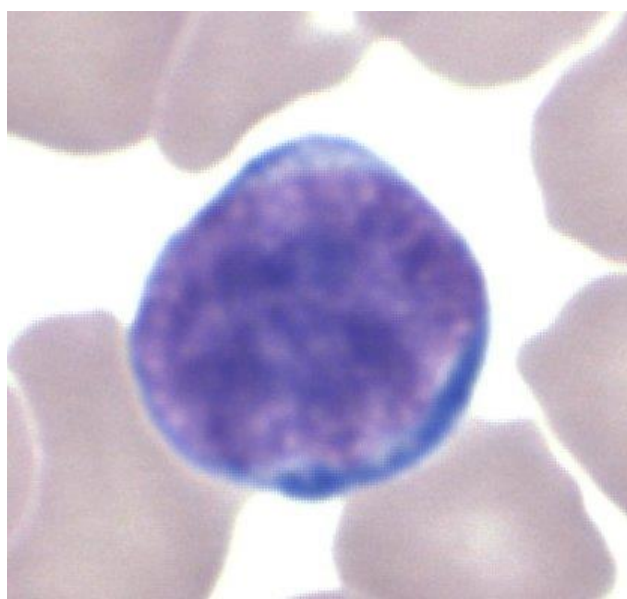
Zvýšený počet lymfocytů se vyskytuje u chronických infekcí, tuberkulózy, chronické lymfadenózy, infekční mononukleózy a dalších virózy, také u Hodgkinovy choroby, hypokortikalizmu, idiopatické proktokolitis, aj. Naopak snížení počtu lymfocytů je typické u AIDS a přidružených onemocnění, poškození dřene po chemoterapii a radioterapii, terapii steroidy, hyperkortikalizmus, aplastická anémie, neurologických onemocnění jako je roztroušená skleróza. Důležitým údajem je i absolutní počet T-lymfocytů, který se pohybuje mezi $800\text{--}2600 \times 10^9/l$; z toho lymfocytů CD 4 (pomáhajících) je $600\text{--}1500$, CD 8 (potlačujících) pak $200\text{--}800 \times 10^9/l$. Jejich vzájemný poměr je 2,0.



Obrázek 46 Eozinofilní granulocyty jsou terminálními produkty kmenových krvetvorných buněk, které se diferencují směrem do myeloidní linie a z ní následně do bazofilnéozinofilní linie.



Obrázek 47 Typy lymfocytů [https://www.researchgate.net/figure/Types-of-lymphocytes-and-their-effector-functions-The-lymphocyte-family-includes_fig2_280663544]



Obrázek 48 Lymfocyt je typ bílé krvinky vyskytující se u obratlovců. Řadí se mezi agranulocyty. [Autor: Dr Glenn Littel – Dr Glenn Littel, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=913928>]

Bílý krevní obraz zahrnuje celkový počet leukocytů a diferenciální rozpočet neutrofilních segmentů, tyček, lymfocytů, monocytů, eozinofilů a bazofilů. Hodnoty červeného krevního obrazu shrnuje Tabulka 11 Bílý krevní obraz.

Tabulka 11 Bílý krevní obraz

Bílý krevní obraz	Fyziologické meze	
	Procentuálně	Absolutně
Počet leukocytů	3500–9000×10 ⁹ /l	
Diferenciální počet		
Neutrofilní segmenty	55–70 %	2500–7000×10 ⁹ /l
Tyčky	2–6 %	200–600×10 ⁹ /l
Lymfocyty	25–40 %	1500–4000×10 ⁹ /l
Monocyty	2–8 %	200–900×10 ⁹ /l
Eozinofily	1–4 %	50–500×10 ⁹ /l
Bazofily	0–1 %	0–150×10 ⁹ /l

5.2.5 TROMBOCYTY

Trombocyty (krevní destičky) mají podobu disků a jsou bezjadernými deriváty megakaryocytů (Obrázek 44) a jejich nejdůležitější funkcí je jejich účast na zástavě krvácení (hemostáze – Kapitola 5.2.7). Hlavním regulátorem jejich tvorby je hormon tvořený v játrech – trombopoetin. Z jedné buňky v kostní dřeni se uvolní 1000–5000 destiček. Jejich počet kolísá v rozmezí hodnot 150–400×10⁹/l. Střední objem trombocytů 7,8–11 fl. Délka jejich života je krátká cca 9–12 dnů.

Zvýšený počet trombocytů se vyskytuje u maligních onemocnění zejména v oblasti GIT, zánětlivých střevních onemocnění, po splenektomii, myeloproliferativních onemocnění (trombocytémie, polycythemia vera), infekcích, po ztrátách krve, sideropenie, pankreatitidy. Snížení počtu trombocytů je při hypersplenizmu zejména u jaterní cirhózy, poškození dřeně, alkoholismu, u poruch imunity (nejčastěji polékové), infekce (např. *Helicobacter pylori*), kolagenózy, septické stavy. Spontánní hemoragie se objevují při poklesu pod 30×10⁹/l.

5.2.6 KREVŇÍ PLAZMA

Plazma je nažloutlý, opaleskující vodný roztok organických a anorganických látek. Objem plazmy činí 5 % tělesné hmotnosti, což je 25 % z objemu extracelulární tekutiny. Na složení plazmy se nejvíce posílí voda (91–92 %), zbytek (8–9 %) tvoří rozpuštěné látky.

Funkce krevní plazmy vyplývá z významu jednotlivých složek. Anorganické látky rozdělujeme podle náboje, který nesou na kationty a anionty. Hlavními kationty krevní plazmy jsou: Na^{+86} , K^{+87} , Ca^{+88} a anionty **chloridy**, **hydrogenkarbonát**. Mezi ostatní anorganické látky, které se podílejí na tvorbě hormonů (jód), červených krvinek (železo), enzymů (např. selen, měď), receptorů (zinek) nebo na činnosti určitého typu iontových kanálů (hořčík) řadíme **bílkoviny**, **sacharidy** a **lipidy**.

5.2.7 HEMOSTÁZA

Pro udržení funkce krve jsou důležité její cirkulační mechanismy, které za fyziologických podmínek vykazují dvě charakteristiky. Ty, které brání ztrátám krve – hemostatický a prokoagulační systémy) a mechanismy, které udržují fluiditu krve (proud krve, neporušený endotel, plazmatický glykoprotein antitrombin III, žírnými buňkami produkováný heparin. Při hemostáze (zástavě krvácení), dochází ke změně obou výše uvedených charakteristik. Hemostáza je ochranný mechanismus zacelující poškození vznikající v cirkulaci. Bezchybný průběh hemostázy je zcela nezbytný pro naše přežití – zaceluje a následně reparuje méně či více závažná poškození v cirkulaci krve. Kromě tohoto příznivého efektu, má hemostáza také efekt opačný. Některá onemocnění, či jejich komplikace vznikají v důsledku dysbalance hemostázy (např. dysbalance hemostázy u závažných septických stavů, nádorů či na povrchu ateromových plátů, vedoucích často ke vzniku krevní sraženiny – trombu, který může vyústit až v zástavu krevního průtoku – infarkt).

Na schopnosti organismu zabránit krvácení se souhrnně podílejí čtyři děje [zpracováno podle 39 a 47]:

- **reakce cév – reflexní vazokonstrikce.** Přímá reakce hladké svaloviny při poškození cévní stěny vyvolá podráždění její hladké svaloviny, které vede k reflexní vazokonstrikci. Na vazokonstrikci se podílí celá řada vazokonstrikčních látek, které se uvolňují z aktivovaných destiček, jako jsou tromboxan A_2 (TXA_2) či serotonin, jež oba jsou tvořeny trombocyty, které skrze ně posilují reflexní vazokonstrikci;
- **činnost krevních destiček (trombocytů)** – jejich podstatou je schopnost vytvořit provizorní hemostatickou zátku v místě poškození cévy. Prostřednictvím receptorů na odhaleném vazivu (zejména na kolagenu) a von Willebrandova faktoru (nejvíce se uvolňuje z endotelu), destičky v tomto místě adherují (přilnou) a agregují (vytvářejí shluky), mění tvar a z jejich granul (granulomera a hyalomera) se uvolňuje obsah, který hemostatické mechanismy ještě více posiluje.

⁸⁶ Sodík (koncentrace 137–146 mmol/l) je důležitý pro udržování objemu krevní plazmy, pH extracelulární tekutiny a osmotického tlaku.

⁸⁷ Draslík (koncentrace 3,8–5 mmol/l) je významný pro excitabilitu buněk, vyšší koncentrace draslíku je uvnitř buněk.

⁸⁸ Vápník (koncentrace 2,0–2,75 mmol/l) je v krevní plazmě buď ionizovaný (asi 50 % z celkového množství) nebo navázaný na albumin (nedifuzibilní). Nebo ve formě sloučenin s anionty. Vápník je významný pro hemokoagulaci, kontrakci svalových i nevalových bílkovin, podílí se na regulaci propustnosti plazmatických membrán, je základní stavební složkou kostí a zubů.

Látky obsažené v granulech trombocytů – ***δ-granula*** (densní tělíska): *ATP*, *ADP*, Ca^{2+} a *serotonin*; ***α-granula***: *fibrinogen*, *PDGF* (Platelet Derived Growth Factor), *FGF*, *vWF* (von Willebrandův faktor), *destičkový faktor 4* (fosfolipidy); ***λ-granula*** – *lyzosity*, se uplatní při vazokonstrikci v místě poranění, hemokoagulaci i následné reparaci poškození;

- **hemokoagulace (srážení krve)** – je děj, který z tekuté krve v místě poškození cévy vytvoří definitivní krevní zátku (trombus), který místo defektu zacelí. K tomu účelu se v krvi (a některých buňkách) vyskytují koagulační faktory, které souhrnně vytvářejí tzv. koagulační kaskádu. Většina koagulačních faktorů jsou proteiny produkované játry. Za jeden z hlavních cílů koagulační kaskády můžeme považovat přeměnu rozpustného plazmatického proteinu fibrinogenu na nerozpustný fibrin (katalyzuje trombin), který následně vytváří vysoce odolnou fibrinovou síť. Faktory, které se na koagulaci podílejí, dělíme do dvou systémů – ve vnitřním systému (všechny prokoagulační faktory jsou v krvi) je aktivován faktor XII kontaktem s negativně nabitým povrchem (kolagen, fosfolipidy destiček) a za spolupůsobení vápníkových iontů se postupně aktivují faktory IX, VIII a X. Reakce vnějšího systému je spouštěna tkáňovým tromboplastinem (faktor III), který spolu s uvolněními membránovými fosfolipidy z buněk, faktorem VII a vápníkovými ionty vede k aktivaci faktoru X. přehled koagulačních faktorů⁸⁹ je uveden v Tabulka 12.
- **Trombolýza (fibrinolýza) a reparace poškození** – poté, co krevní koagulum splní svoji protektivní funkci, musí mít organismus efektivní mechanismy, jak ho odstranit – hovoříme o tzv. fibrinolýze. K tomuto procesu ale nesmí dojít dříve, než je poškození vedoucí k nastartování hemostázy reparováno. Principem fibrinolýzy je štěpení nerozpustné fibrinové sítě na rozpustné fibrin-degradační produkty (FDP) působením enzymu plasminu. Ten se v plazmě vyskytuje v neaktivní formě plasminogenu a po své aktivaci účinkuje jako serinová proteáza specifická pro molekuly fibrinu a fibrinogenu.

⁸⁹ Většina faktorů získala své číslo podle pořadí, v jakém byly objeveny a následně vědeckou obcí akceptovány. Nikoliv podle toho, v jakém pořadí se jeden do druhého „postrkují“. První byl identifikován fibrinogen, proto dostal číslo I. Po něm protrombin, proto má číslo II, a tak dále. Nejvyšší číslo má faktor XIII (fibrin stabilizující faktor), který byl sice objeven už v roce 1948, ale vědci se nebyli schopni dohodnout na jeho čísle (říkali mu Lakiho-Lorandův faktor). Teprve v roce 2005 došlo ke konsenzu přidělit mu také číslo, aby měl „podobný dres“ jako ostatní faktory. Poslední faktor XIII v závěru koagulace stabilizuje molekulu fibrinu.

Tabulka 12 Přehled koagulačních faktorů. Koagulační kaskáda začíná faktorem XII a končí I. Kaskáda však v sestupném pořadí neprobíhá. Posloupnost faktorů je následující: XII – XI – IX – VIII – X – II – I. Faktor X je specifický tím, že pro spuštění kaskády potřebuje faktor III a VII a také IV a V. Takto se hemokoagulační faktory vzájemně „postrkují.“ Pokud nastane chyba ve faktoru V (Leidenská mutace) nemůže koagulační kaskáda probíhat ve správném pořadí.

I	Fibrinogen	VIII	Antihemofilický
II	Protrombin	IX	Christmasův
III	Tkáňový tromboplastin	X	Stuart-Prowerové
IV	Vápenaté ionty	XI	PTA (plasma thrombin antecedent)
V	Proakcelerin	XII	Hagemanův
VII	Prokonvertin	XIII	Fibrin stabilizující

HEMOSTÁZA ZAHRNÚJE VŠECHNY FÁZE ZÁSTAVY KRVÁCENÍ. HEMOSTÁZA = ZÁSTAVA KRVÁCENÍ. HEMOSTÁZA JE SOUHRA VAZOKONSTRIKCE, ČINNOSTI KREVNÍCH DESTIČEK A KOAGULACE. HEMOKOAGULACE PŘEDSTAVUJE JEN JEDNU Z TĚCHTO FÁZÍ. HEMOKOAGULACE = SRÁŽENÍ KRVE. HEMOKOAGULACE MÁ ZA CÍL VYTVOŘIT FIBRIN (NEROZPUSTNÝ VLÁKNITÝ PROTEIN). V NĚM SE ZACHYTÍ KREVNÍ BUŇKY (ERYTROCITY, LEUKOCYTY, TROMBOCYTY), KTERÉ TAK DAJÍ VZNIK DEFINITIVNÍMU ČERVENÉMU TROMBU. CAVE! HEMOSTÁZA A HEMOKOAGULACE NEJSOU SYNONYMA.

5.2.8 VYŠETŘENÍ HEMOSTÁZY

K hodnocení stavu hemokoagulace se může využít mnoho parametrů. Mezi nejčastěji používané patří aPPT, Quick test a INR. aPTT (aktivovaný parciální tromboplastinový čas) se využívá k hodnocení vnitřní cesty hemokoagulace. Jeho normální hodnota činí 26–50 s.

K hodnocení vnější cesty koagulace můžeme využít dva parametry. Jednak tzv. Quick test jehož normální hodnota se pohybuje kolem 14 s (což představuje 100 % pro následující parametr), jednak tzv. INR (International normalized ratio), jehož fyziologické rozmezí činí 80–120 %.

5.2.9 LYMFA

Lymfatický systém v organismu plní mnoho důležitých funkcí. Významnou úlohu hraje v transportu živin a obranných mechanismech těla. Do lymfatického systému se řadí lymfa, lymfatické kapiláry, větší lymfatické cévy a lymfatická tkáň (lymfatické uzliny, slezina, mandle a brzlík.

Lymfa (míza) je tkáňový mok, který vstoupil do lymfatických cév. Do žilní krve ji odvádí hrudní a pravý mízovod. Obsahuje srážlivé faktory, a ve většině míst těla obsahuje i bílkoviny (obsah je nižší než v plazmě), které přešly stěnou kapilár, a vrací je zpět do krve. Složení lymfy je podobné krevní plazmě a jejím prostřednictvím jsou z tkání odstraňovány mrtvé buňky, bílkoviny, tuky, konečné produkty metabolismu, ale i cizí tělesa a bakterie. Lymfa v těle nekoluje neustále v uzavřeném systému cév tak, jako je tomu u krevního oběhu: místo toho na jedné straně lymfatický systém sbírá mok z tkání, na straně druhé jej vrací do krevního oběhu.

Důležitou součástí lymfy a imunitního systému obecně jsou lymfocyty, bílé krvinky tvořené především v kostní dřeni, v menší míře pak v brzlíku⁹⁰ (u dětí) a ve slezině. Slezina mimo jiné také odstraňuje z krve staré červené krvinky (erytrocyty) a funguje jako zásobník krve.

SHRNUTÍ KAPITOLY



Malý krevní oběh – oběh v plicích, slouží k okysličení krve. Krev vytéká z pravé srdeční komory plicnicí do plic, v nich se okysličuje a vrací se čtyřmi plicními žilami do levé síně. V porovnání s velkým oběhem je charakterizován nižším tlakem. Tepna (plicnice) vede krev neokysličenou, zatímco žíly vedou krev okysličenou.

Velký krevní oběh (systémový) – součást krevního oběhu sloužící dodávce okysličené krve jednotlivým orgánům. Krev vytéká z levé komory srdeční (aortou), která se postupně větví ke všem paralelně zapojeným orgánům lidského těla (drobné větévky slouží i k výživě a dodávce kyslíku do plicní tkáně), kterým odevzdá část kyslíku a vrací se žilami do pravé síně. V porovnání s malým oběhem je v aortě a v tepnách v. o. výrazně vyšší tlak. Tepny vedou krev okysličenou, žilami se vrací krev neokysličená.

Objem krve dospělého člověka koreluje s tělesnou hmotností bez tukové tkáně, u žen činí v průměru ~3,6 l a u mužů ~4,5 l. Funkcí krve a krevních složek (krevní plasma, krvinky) je mj. transport látek (O₂, CO₂, živiny, produkty metabolismu, vitaminy, elektrolyty aj.), transport tepla (oteplování, ochlazování), zprostředkování přenosu signálních molekul (hormony), obrana proti cizorodým látkám a mikroorganismům. Erytrocyty transportují O₂

⁹⁰ Brzlík je umístěn pod štítnou žlázou za hrudní kostí. V dětství je velmi důležitý pro správný vývoj imunitního systému, mimo jiné také produkuje lymfocyty. S věkem se nicméně postupně zmenšuje, až nakonec v dospělosti zakrní úplně.

a částečně se podílejí na udržování pH. Leukocyty plní funkci obrannou, neutrofilní granulocyty odpovídají za nespecifické imunitní reakce; monocyty a lymfocyty za specifické imunitní reakce. Trombocyty se účastní zástavy krvácení, a to velmi významným způsobem. Hematokrit je poměr mezi objemem krvinek a celkovým objemem krve.

V krevní plazmě jsou rozpuštěny elektrolyty, živiny, produkty metabolismu, vitaminy, plyny a také bílkoviny. K úkolům plazmatických bílkovin patří mj. i humorální imunita, udržování onkotického tlaku (→ nezbytného pro stálý objem krve), transport látek nerozpustných ve vodě a ochrana některých látek před odbouráváním a před vylučováním ledvinami (např. hem). Řada plazmatických bílkovin se podílí na srážení krve a na fibrinolýze. Když se krev srazí, spotřebuje se plazmatický fibrinogen a z plazmy vzniká sérum.

Tvorba krvinek – hemopoetická tkáň (postnatálně červená kostní dřev, u plodu + slezina a játra) obsahuje pluripotentní kmenové buňky, které se vlivem hemopoetických růstových faktorů diferencují na myeloidní, erytroidní a lymfoidní progenitorové buňky. Kmenové buňky se reprodukuje samy, proto se jejich počet během života udržuje stálý. Lymfocyty, které vzniknou z lymfoidních prekurzorů se nejprve v thymu nebo kostní dřev „předpřipraví“ a později se vytvářejí jak v kostní dřev, tak ve slezině a mizních uzlinách (lymfopoéza). Všechny ostatní progenitorové buňky proliferyjí a zrají do své konečné podoby v kostní dřev (myelopoéza) a poté jsou vydány do krve. Myelopoézu ovlivňují hormony erythropoetin (z ledvin) a trombopoetin (z jater). Mimo to existuje celá řada dalších stimulačních a inhibičních faktorů, které parakrinně regulují tvorbu krvinek přímo v kostní dřev.

Erythropoetin (tvoří se v ledvinách a u plodu také v játrech) stimuluje zrání a proliferaci erytrocytů. Nedostatek O_2 zvyšuje v regulačním obvodu sekreci erythropoetinu a tím i počet erytrocytů, přičemž se v krvi zvyšuje zastoupení retikulocytů (mladých krvinek).

Doba života erytrocytů je ~120 dnů, pravidelně vystupují v červené pulpě sleziny z arteriol a pronikají úzkými póry do slezinných sinusů. Tam jsou staré erytrocyty destruovány, rozpadlé krvinky jsou dále ve slezině a játrech odbourávány. Při hemolýze se uvolní hem, který se poté přemění na bilirubin.

Z celkového obsahu železa v těle jsou cca 2/3 vázány v hemoglobinu (u žen ~2 g, u mužů ~5 g); 1/4 tvoří zásobní železo (ferritin, hemosiderin) a zbytek je železo funkční (myoglobin, enzymy obsahující železo). Ztráty železa činí u mužů ~1 mg/den u žen ~2 mg/den (menstruace, těhotenství, porod). Resorpce železa probíhá zejména v duodenu. Nedostatek železa tlumí syntézu hemoglobinu a vzniká hypochromní mikrocytární anemie. Nadměrný příjem železa do organismu poškozují především játra, pankreas a myokard (hemochromatózy). Pro erythropoézu jsou potřebné také vitaminy B12 a kyselina listová.

Hemostázy (zástavy krvácení) se účastní krevní destičky, plazmatické faktory a cévní stěna. Výsledkem jejich interakcí je lokální ucpání otvoru v cévě, poraněná céva se zúží, trombocyty „zalepí“ otvor a vytvoří pevnou fibrinovou sraženinu, která retrauje a vznikne stabilní zátka. Činnost trombocytů odpovídá doba krvácení, tj. ~2–4 minuty. Srážení krve se účastní četné koagulační faktory (u některých je nezbytný vitamin K).

OTÁZKY



1. **Popište malý a velký plicní oběh**
2. **Tkáňový mok se také nazývá:** _____
3. **Zásobním orgánem krve je orgán:** _____
4. **Vysvětlete rozdíl v hemostáze a hemokoagulaci.**
5. **Fibrinogen je:**
 - a) II. koagulační faktor
 - b) V. koagulační faktor
 - c) I. koagulační faktor
6. **II. koagulační faktor je:**
 - a) Protrombin
 - b) Fibrinogen
7. **Vysvětlete pojem hemostáza**
8. **Uved'te hormon tvořený v játrech, který je hlavním regulátorem tvorby trombocytů** _____
9. **Popište funkci žírných buněk**
10. **Neutrofily, bazofily, eozinofily, monocyty jsou:**
 - a) Erytrocyty
 - b) Leukocyty
 - c) Trombocyty
11. **Uved'te nejdůležitější složku erytrocytů:** _____
12. **Jakou funkci má hormon erythropoetin?**
 - a) tvorba erytrocytů
 - b) tvorba leukocytů
 - c) tvorba imunitního systému
13. **Co jsou poluripotentní kmenové buňky?**
14. **Doplňte: Celkový objem kolující krve v lidském těle je přibližně ____ ml/kg tělesné hmotnosti.**

15. Podíl ICT je v organismu přibližně:

- a) 20 %
- b) 60 %
- c) 40 %

Správné odpovědi: 2 lymfa, míza; 3 slezina; 5c; 6a; 8 trombopoetin; 10b; 11 hemoglobin; 12a; 13 – 70ml; 15c.

6 VENTILAČNÍ A RESPIRAČNÍ FUNKCE

RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY



V kapitole jsou probrány statické objemy a kapacity plic, dynamické plicní objemy. Je vysvětlena mechanika dýchání a respirace.

CÍLE KAPITOLY



- Pochopit proces dýchání
- Umět popsat anatomii plic
- Vysvětlit plicní oběh
- Pochopit a vysvětlit mechaniku dýchání
- Umět vysvětlit a zakreslit do dechové křivky statické a dynamické ventilační hodnoty
- Umět nakreslit a popsat křivky objem-čas a průtok-objem

ČAS POTŘEBNÝ KE STUDIU



6–8 hodin

KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY

Respirace, mechanika dýchání, funkční vyšetření plic, statické objemy plic, statické kapacity plic, dynamické ventilační parametry.

ÚVOD

Respirace (dýchání) zahrnuje dva procesy: zevní respiraci (příjem O₂ a výdej CO₂ organismem jako celkem) a vnitřní respiraci (využití O₂ a produkci CO₂ buňkami a výměnu těchto plynů mezi buňkami a tekutinou, která je obklopuje). Výměnu dýchacích plynů mezi plicemi a zevní atmosférou zajišťuje plicní ventilace, difuze umožňuje výměnu kyslíku a oxidu uhličitého mezi plicními alveoly a krví a krev v oběhovém systému zprostředkuje transport dýchacích plynů mezi plicemi a tkáněmi.

Dýchací systém se skládá z orgánů umožňujících výměnu plynů (plíce) a z pumpy (hrudní stěna, dýchací svaly, mozku a nervů), která plíce ventiluje. Dýchací svaly zvětšují a zmenšují objem hrudní dutiny; mozek reguluje činnost dýchacích svalů a nervy propojují mozek a dýchací svaly.

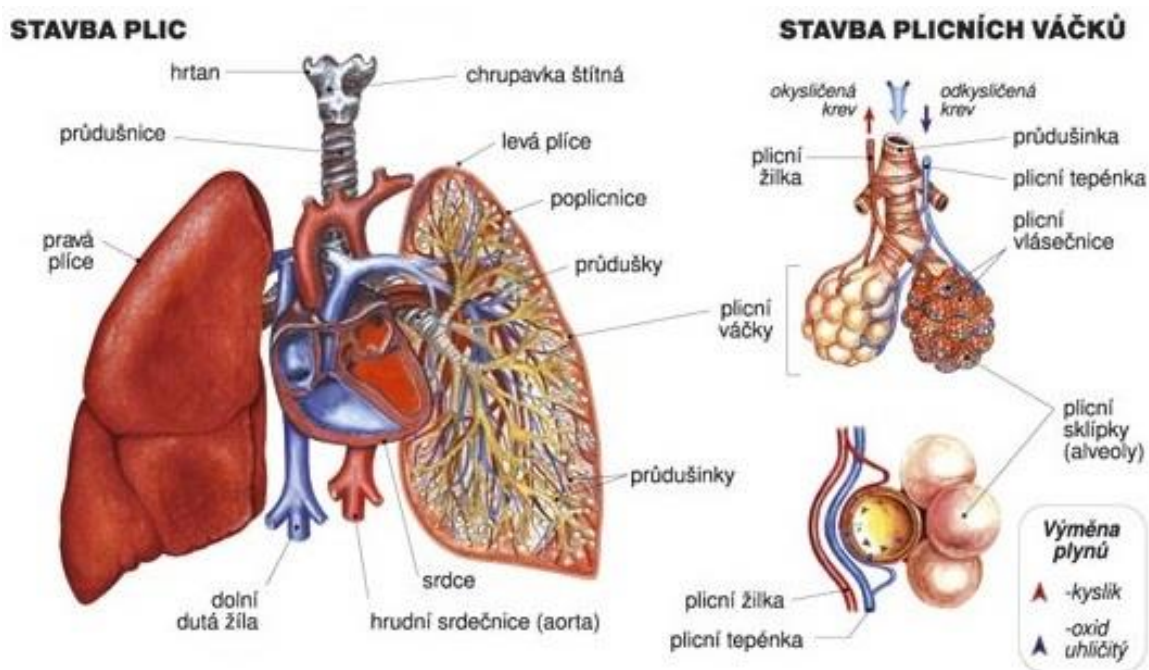
Zdravý člověk dýchá v klidu 12–15krát za minutu. Při každém vdechu vdechuje a vydechuje přibližně 500 ml vzduchu (tj. 6–8 l/min.). Vdechnutý vzduch se mísí s plynem v alveolech a O_2 pak přechází prostou difúzí do krve v plicních kapilárách, zatímco CO_2 opouští krev do alveolů. Takto se do těla dostane každou minutu 250 ml O_2 a je vyloučeno 200 ml CO_2 .

Ve vydechnutém vzduchu se nachází i jiné plyny, například metan ze střev. Také alkohol a aceton, pokud jsou v krvi přítomny. Celkem bylo zjištěno více než 250 různých prchavých látek, které lze v lidském dechu prokázat.

Respirační systém není zodpovědný pouze za výměnu dýchacích plynů, ale hraje významnou roli i v jiných fyziologických procesech jako je např. regulace acidobazické rovnováhy, regulace krevního tlaku a trombembolizaci. Kromě toho se v dýchacích cestách vdechnutý plyn otepluje nebo ochlazuje, zvlhčuje a očišťuje.

6.1 Anatomie plic – dýchací cesty

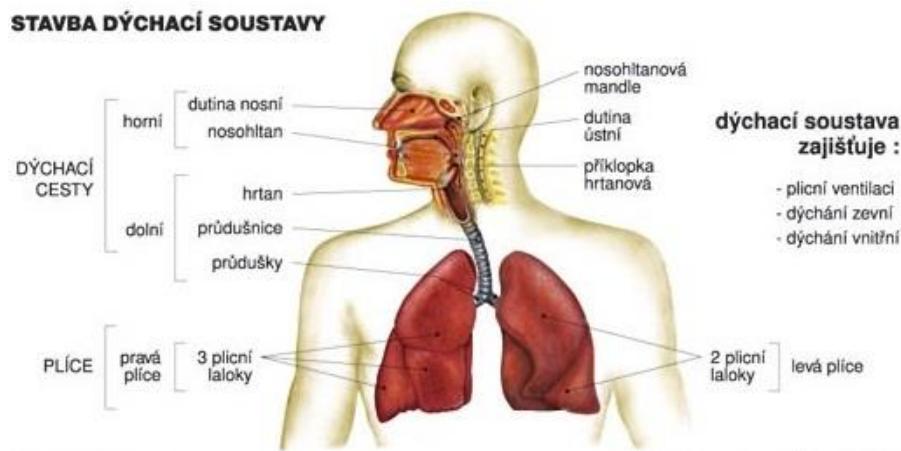
Dýcháním (respirací) člověk získává ze vzduchu potřebné množství kyslíku a zároveň se zbavuje oxidu uhličitého, který vzniká při přeměně látek v tkáních. Po průchodu nosní dutinou a hltanem, kde je vzduch ohřát a nasycen vodní parou, pokračuje průdušnicí a bronchy až do respiračních bronchiolů a dále alveolárními dučejemi do alveolů.



Obrázek 49 Anatomie plic

Dýchací cesty se dělí mezi průdušnicí a alveoly 23krát. V prvních 16 větveních proudí plyn ze zevní atmosféry a do ní. Je tvořena bronchy, bronchioly a terminálními bronchioly. Zbývajících sedm větvení tvoří přechodnou a respirační zónu, kde již probíhá výměna

plynů s krví. Toto mnohočetné dělení zvětšuje průřez dýchacích cest od 2,5 cm² v průdušnici až k 11 800 cm² v oblasti alveolů. Důsledkem toho rychlost proudění vzduchu v periferních dýchacích cestách výrazně snížena. Alveoly⁹¹ jsou obklopeny plicními kapilárami. Ve většině oblastí jsou vzduch a krev od sebe odděleny pouze alveolárním epitelem a endotelem kapilár. Alveoly jsou vystlány dvěma typy epitelových buněk. **Buňky prvního typu** jsou ploché s rozsáhlými cytoplazmatickými výběžky a jsou primární výstelkou alveolů. **Buňky druhého typu** (granulární pneumocyty) jsou tlustší a obsahují mnohočetná lamelární tělíska. Vylučují surfaktant⁹². Nalézají se tam i jiné specializované epitelové buňky. Plíce navíc obsahují plicní alveolární makrofágy, lymfocyty, plazmatické buňky a žírné buňky (mastocyty). Žírné buňky (Leukocyty 5.2.4) obsahují heparin, histamin a různé lipidy a proteázy, které se účastní alergických reakcí.



Obrázek 50 Stavba dýchací soustavy

Dýchací cesty se dělí na **horní cesty dýchací** a **dolní cesty dýchací** (Obrázek 50). V horních cestách dýchacích vdechovaný vzduch vstupuje do organismu při zavřených ústech dutinou nosní (cavitas nasi). Vzduch z dutiny nosní proudí přes nosohltan do dolní části hltanu, kde se dýchací cesty kříží s trávicí trubicí (vdechovat lze nosem i ústy). V dolních cestách dýchacích vzduch z hrtanu (larynx) prochází hlasovou štěrbinou do průdušnice (trachea). Z průdušky odstupují dvě hlavní průdušky (bronchi); hlavní průdušky vstupují do plic, kde se postupně větví na menší průdušky a průdušinky (bronchioly); koncové průdušinky přecházejí v 10 až 20 respiračních průdušinek, které se větví v několik sklípkových chodbiček, na něž nasedají plicní váčky a sklípky (alveoli) – Obrázek 49.

6.1.1 PLICNÍ OBĚH

Téměř všechna krev v těle prochází plicnicí do plicního kapilárního řečiště, kde se oxylučuje. Poté se vrací plicními žilami do levé síně. Oddělené a mnohem menší bronchiální arterie vytvářejí kapilární řečiště, z něhož krev odtéká do bronchiálních žil nebo anastomóz

⁹¹ Člověk má asi 300 milionů alveolů a celková plocha alveolární stěny je v obou plicích asi 70 m².

⁹² Povrchová aktivní látka, tenzid. Fosfolipid pokrývající vnitřní prostor plicních alveolů. Snížením povrchového napětí brání smrštění sklípků a následnému kolapsu.

s plicními kapilárami nebo žilami. Bronchiální žíly ústí do v. azygos⁹³. Bronchiální cirkulace vyživuje bronchy a pleuru. Lymfatická drenáž plic je hojnější než v jiných orgánech.

6.1.2 MECHANIKA DÝCHÁNÍ

Při vdechu (inspiriu) proudí vzduch dýchacími cestami do plic ve směru tlakového gradientu. Kontrakcí dýchacích svalů (bránice a zevních mezižeberních svalů) se hrudník rozšiřuje a díky vysoké přilnavosti poplicnice (vicerální pleura) a pohrudnice (parietální pleura) plíce sledují pohyb hrudníku, rozšiřují se a tlak v nich klesá. Důvodem vysoké přilnavosti je přítomnost malého množství tekutiny mezi oběma pleurami a tím, že tlak v dutině hrudní je nižší, než je tlak atmosférický. Vdech je dějem aktivním, neboť je závislý na činnosti dechových svalů (bránice, zevní mezižeberní svaly).

Při klidovém dýchání – v okamžiku, kdy ustane činnost vdechových svalů – objem hrudníku se stejně jako objem plic zmenší, v plicích stoupne tlak na hodnotu vyšší, než je atmosférický tlak, a vzduch proudí dýchacími cestami z plic do okolního prostředí do vyrovnání tlaků. Stejně tak stoupne tlak v dutině hrudní, ale vzhledem k tomu, že na rozdíl od plic dutina hrudní nekomunikuje s okolím, zůstává tlak nižší, než je tlak atmosférický. V klidové expirační poloze se ustaví rovnováha mezi oběma opačně působícími silami – plicní a hrudní elasticitou. Výdech (expirium) je při klidovém dýchání dějem pasivním. Při usilovném dýchání se může stát dějem aktivním tím, že se kontrahují výdechové svaly (vnitřní mezižeberní svaly).

Při usilovném nádechu při uzavřené hlasové štěrbině se mohou hodnoty negativního interpleurálního tlaku ještě zvýšit (Müllerův pokus⁹⁴ $-5,3$ kPa), nebo mohou dosáhnout pozitivních hodnot při usilovném výdechu při uzavřené hlasové štěrbině nebo při dýchání proti velkému odporu (Valsalvův pokus⁹⁵ $+6,7$ kPa).

6.1.3 FUNKČNÍ VYŠETŘENÍ PLIC

Stanovení funkční zdatnosti plic slouží k vyhodnocení symptomů plicního onemocnění, stanovení progresu plicního onemocnění, monitoringu účinnosti terapie, zhodnocení předoperačního stavu, screeningu u potenciálně ohrožených lidí plicním onemocněním a monitoringu potenciálně toxických účinků určitých léčiv či chemických látek. Mezi základní hodnotící parametry patří vrcholová hodnota toku vydechovaného vzduchu (peak air flow value), plicní objemy a kapacity, objemy při usilovném expiriu (forced expiratory volumes) a křivka závislosti toku vzduchu na objemu (flow/volume curve).

⁹³ Vena azygos – lat. žíla lichá, začíná z v. lumbalis ascendens, probíhá vpravo podél páteře, ústí do horní duté žíly. Vtékají do ní pravé interkostální žíly, v. hemiazygos, vv. bronchiales, oesophageae. Patří ke kaválním spojkám.

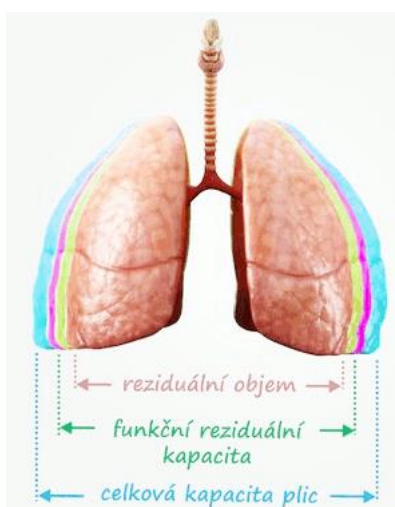
⁹⁴ Müllerův pokus – nádech při uzavřené štěrbině hlasové – návrat krve k srdci urychlen; příklad: nasávání vína pipetou ze sudu.

⁹⁵ Valsalvův pokus – výdech při uzavřené štěrbině hlasové – návrat krve k srdci zpomalen; příklad: zvedání těžkých břemen při „zatažení“ dechu.

Vyšetření plicní ventilace zahrnuje vyšetření statických a dynamických ventilačních parametrů (Obrázek 52, Obrázek 53).

STATICKÉ OBJEMY PLIC

U statických plicních objemů (Obrázek 52) není sledován vztah k času. Měří se čtyři plicní objemy (dechový objem V_T , inspirační rezervní objem IRV, expirační rezervní objem ERV a reziduální objem RV) a čtyři kapacity (vitální kapacita VC, celková plicní kapacita TLC, inspirační kapacita IC a funkční reziduální kapacita FRC). Kapacita se skládá ze dvou nebo více objemů.



Obrázek 51 Plicní objemy. Fialovou barvou je znázorněno rozmezí klidové respirace.

Reziduální objem (RV) a kapacity, které jej zahrnují (TLC, $FRC \approx TGV$), nelze měřit přímo (Obrázek 51). Nejčastěji měříme celotělovou pletyzmografií (bodypletyzmo- graf).

Dechový objem V_T – volume tidal je objem vzduchu vdechnutý nebo vydechnutý jedním klidovým dechem. Činí asi 0,5 l vzduchu. Z tohoto objemu se pouze 250–350 ml vzduchu dostane do alveolů, zbytek 150–250 ml je vzduch v dýchacích cestách a na výměně dýchacích plyn se přímo nepodílí.

Inspirační rezervní objem IRV je objem vzduchu, který lze zapojením pomocných vdechových svalů vdechnout maximálním volným inspiračním úsilím nad hodnotu klidného vdechu, což je asi 3–3,3 l vzduchu.

Expirační rezervní objem ERV je objem vzduchu, který lze vydechnout maximálním volným expiračním úsilím po klidném výdechu, což je asi 1,7 l vzduchu.

I po maximálním výdechovém úsilí zůstává v plicích asi 1,2 l vzduchu, což je **reziduální objem RV**. Jeho hodnotu nelze spirometrickým vyšetřením stanovit.

STATICKÉ KAPACITY PLIC

Dva nebo více plicních objemů tvoří kapacity.

Součtem jednotlivých statických objemů (dechový objem + inspirační rezervní objem + expirační rezervní objem) vypočítáme **vitální kapacitu plic VC** (vital capacity). Vitální kapacita je objemu vzduchu, který lze po maximálním nádechu maximálním dechovým úsilím vydechnout, což je asi 4,5–4,8 l vzduchu.

Celková plicní kapacita TLC (total lung capacity) zahrnuje všechny objemy, tj. vitální kapacitu a reziduální objem. TLC je objemu vzduchu v plicích na vrcholu maximálního vdechu, což je asi 6,0 l vzduchu.

Funkční reziduální kapacita FRC se rovná součtu expiračního rezervního objemu a reziduálního objemu. FRC je objemu vzduchu, který zůstává v plicích po klidném výdechu, což činí asi 2,2 l vzduchu.

Inspirační kapacita IC zahrnuje dechový objem a inspirační rezervní objem. IC je roven objemu vzduchu vdechnutém maximálním vdechem po klidném výdechu a činí asi 3,5–3,8 l vzduchu.

Průběh statických objemů a kapacit plic je znázorněn na křivce Obrázek 54.

Statické ventilační hodnoty	
TLC	Celková plicní kapacita
VC	Vitální kapacita (IVC, EVC)
V_T	Dechový objem
IRV	Inspirační rezervní objem
ERV	Expirační rezervní objem
RV	Reziduální objem – nepřímo měřitelný objem
FRC	Funkční reziduální kapacita (RV + ERV)
TGV	Nitrohruční objem plynů

Obrázek 52 Statické ventilační parametry

DYNAMICKÉ VENTILAČNÍ PARAMETRY

Frekvence dýchání je počet dechů za jednotku času, obvykle za 1 minutu, normální u novorozence je kolem 60/min., v 1. roce 30–40/min. a u dospělých 12–15 min. Dýchací frekvence není pravidelná, mění se při zátěži, během řeči, v závislosti na prostředí. Řídící centrum je v prodloužené míše a hlavní roli hraje hladina CO_2 a O_2 v krvi. Prodloužená mícha prostřednictvím nervového systému, dýchacích svalů, může zvýšit nebo snížit dýchací frekvenci a velikost klidového objemu.

Maximální hodnoty expiračního toku vzduchu (maximum expiratory flow) při 25% FVC – (MEF25, také FEF25), při 50% FVC (MEF50, také FEF50), a při 75% FVC (MEF75, také FEF75), obvykle vyjádřeny v s^{-1} , informují o expiračních tocích v důležitých segmentech expirační křivky při usilovném výdechu. Vrcholový expirační tok (peak expiratory flow) (PEF) je největší hodnota toku dosažena během usilovného expira z inspiračního maxima. Pro dynamické plicní objemy jsou typické křivky průtok-objem a objem-čas.

Dynamické ventilační hodnoty	
df	Dechová frekvence
MV	Minutová ventilace
MVV	Maximální minutová ventilace
FVC	Usilovní vitální kapacita
FEV1	Usilovní vydechnutý objem za 1 sekundu
FEV1/VC%; FEV1/FVC%	Tiffenaův index (usilovní vitální kapacita za 1 sek.v % VC či FVC)
FEF 25–75 %	Max. střední výdechový průtok ve střední polovině vydechnuté FVC
PEF	Vrcholový výdechový průtok/rychlost/
MEF	Max. výdechové průtoky/rychlosti/ na různých úrovních FVC
Aex	Plocha pod výdechovou částí křivky průtok-objem

Obrázek 53 Dynamické ventilační parametry

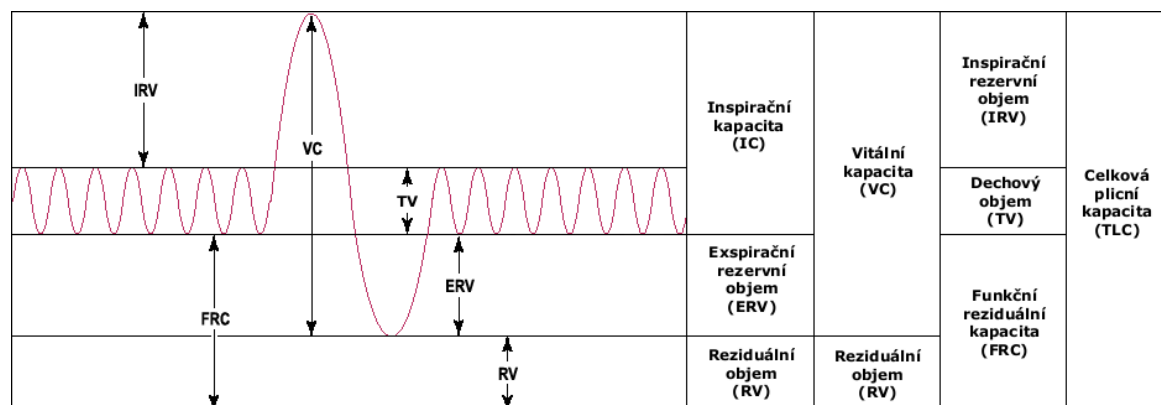
Minutová ventilace plic MV vyjadřuje objem vzduchu vydechnutý za časovou jednotku a činí při klidovém dýchání, což je asi 8 l/min.

Maximální minutová ventilace MVV udává objem vzduchu, který je v plicích vyměněn za minutu při maximálním dechovém úsilí, což je asi 125–170 l/min.

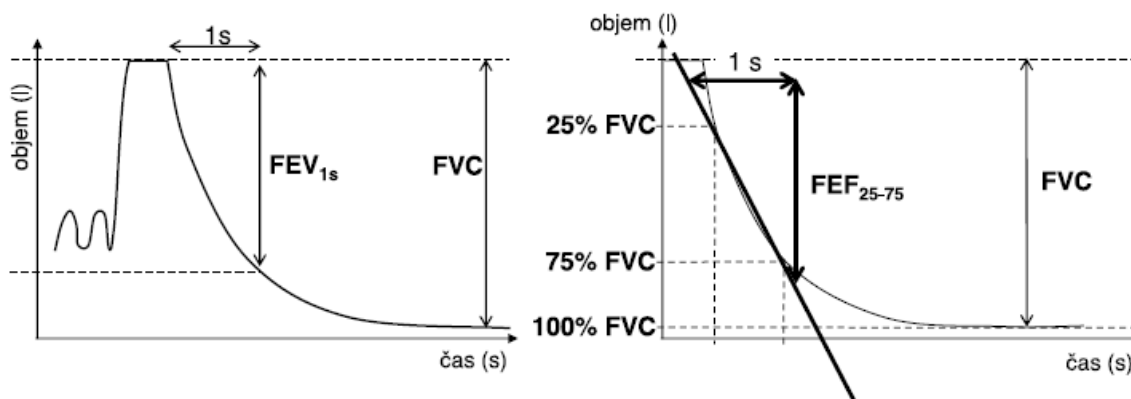
Jednovteřinová vitální kapacita (FEV₁) je objem vzduchu vydechnutý s maximálním úsilím během první vteřiny po maximálním nádechu.

Usilovní vitální kapacita FVC je objem vzduchu vydechnutý maximálním úsilím a maximální rychlostí po maximálním vdechu. $FVC \approx VC$ (statická).

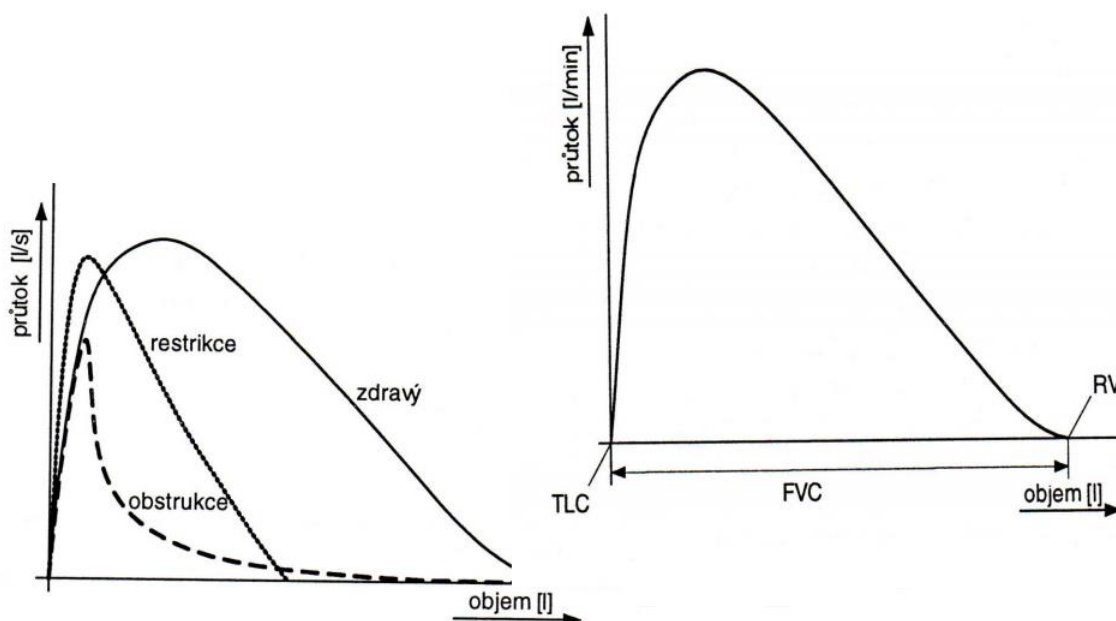
Střední výdechová rychlost FEF₂₅₋₇₅ je objem vzduchu vydechnutý maximálním úsilím po maximálním vdechu za 1 sekundu. Stanovuje se ze střední části křivky usilovného výdechu (25–75 % FVC). Snížení parametru indikuje obstrukci dýchacích cest.



Obrázek 54 Průběh statických ventilačních parametrů



Obrázek 55 Dynamické ventilační parametry. Křivka objem-čas. Vlevo – usilovný výdech vitální kapacity (FVC) a usilovný výdech vitální kapacity za 1 sekundu (FEV₁). Vpravo – konstrukce střední výdechové rychlosti (FEF₂₅₋₇₅), tato hodnota odpovídá delší odvěsně pravouhlého trojúhelníka, jehož kratší odvěsna je tvořena časovým intervalem 1 s a přeponou je spojnice 25 % a 75 % hodnoty FVC.



Obrázek 56 Spirometrický záznam ve výdechu. Křivka průtok-objem

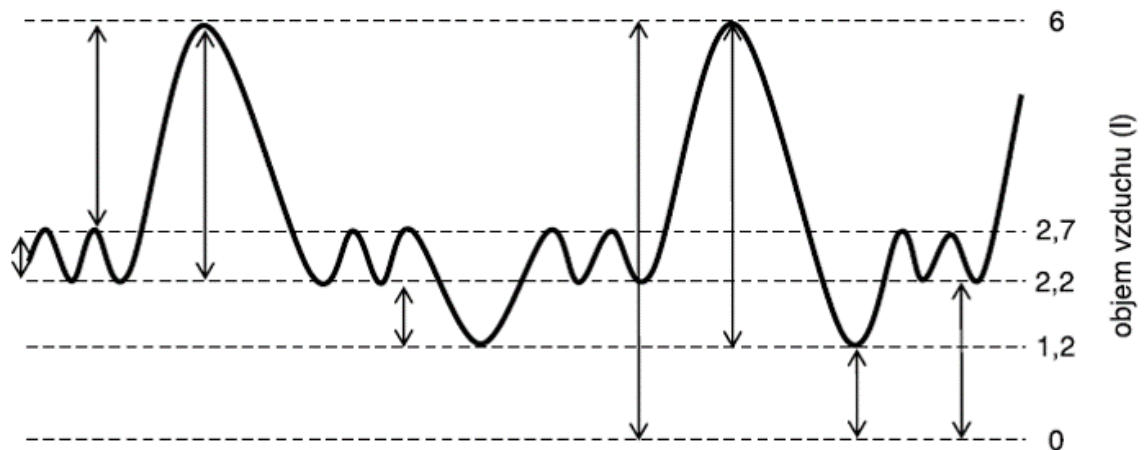
OTÁZKY



1. Parametry FRC, IRV a TGV jsou statické nebo dynamické ventilační parametry?
 - a) Dynamické ventilační parametry
 - b) Statické ventilační parametry
2. Jak vypočítáte ventilační parametr VC? Uveďte vzorec. _____
3. K uvedeným funkčním plicním parametrům doplňte, zda se jedná o statický parametr – S, nebo dynamický parametr – D.

IRV
RV
df
VC
FVC

4. Do grafu vyznačte: IRV, RV, VC a IC.



5. Popište zevní a vnitřní respiraci.

Správné odpovědi: 1b; 2 Vitální kapacita plic (VC) = celková kapacita plic (TLC) – reziduální objem (RV); 3 IRV – S, RV – S, df – D, VC – S, FVC – D

7 FUNKCE GASTROINTESTINÁLNÍHO TRAKTU (GIT)



RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY

V této kapitole jsou popsány fyziologické funkce a procesy gastrointestinálního traktu (GIT), neboli trávicího traktu, jež zajišťuje příjem, zpracování a vstřebávání energeticky bohatých součástí potravy, živin a dalších nezbytných látek, které zajišťují stavební a řídicí mechanismy organismu. Trávicí trakt je orgánem lidského těla, ve kterém dochází k nejvýznamnější a nejkompexnější interakci se zevním prostředím, proto je tato kapitola poněkud obsáhlejší.

Součástí kapitoly, která je rozdělena na jednotlivé pasáže trávicího traktu, jsou také stručné anatomické poznámky. Četné poznámky pod čarou doplňují a rozšiřují popisovanou problematiku. Doporučujeme věnovat pozornost i jim.

V kapitole naleznete všeobecný úvod do GIT soustavy, histologické vrstvy stěny trávicí soustavy, krevní oběh v trávicí soustavě, je zde uvedeno také nervové řízení střeva (inervace, peristaltika, základní elektrická aktivita a řízení motility), následuje kapitola trávení a vstřebávání, kde je popsán proces trávení organických a anorganických látek a funkce enterocytů (intestinální epitelové buňky). Samostatná kapitola je věnována gastrointestinálním hormonům, je popsána funkce gastrinu, sekretinu, cholecystokinin-pankreatozyminu, motilinu a dalších gastrointestinálních hormonů. Následující rozsáhlá kapitola se věnuje jednotlivým pasážím trávicího traktu počínaje dutinou ústní a konče konečníkem a procesem defekace. V kapitole dutina ústní a jícen jsou popsány tyto části: řízení sekrece slin, slinné žlázy, sliny a iontové složení slin, proces žvýkání, polykání, dolní jícnový svěrač a motorické poruchy jícnu, jsou vysvětleny pojmy aerofagie, borborygmus. Kapitola žaludek a žaludeční sekrece objasňuje funkce sekrečních a peptických buněk, význam HCO_3^- a hlenových buněk, sympatické a parasympatické nervové zakončení. Dále následuje podkapitola popisující žaludeční a střevní fázi. V dalších kapitolách jsou popsány důležité funkce vybraných parenchymatózních orgánů (exokrinní část pankreatu, játra a žlučový systém, žlučník), navazuje funkce tenkého střeva, tračnicku, distální části trávicí trubice.



ČAS POTŘEBNÝ KE STUDIU

6–8 hodin



CÍLE KAPITOLY

Dokázat popsat jednotlivé pasáže trávicí soustavy a důležité fyziologické procesy s tím spojené.

KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY

Trávicí systém, vrstvy žaludku, inervace, peristaltika, motilita, gastrointestinální hormony, gastrin, motilin, sekretin, GIP, VIP, dutina ústní, jícn, žvýkání, slinné žlázy, sliny, sekrece slin, polykání, jícn, jícnový svěrač, aerofagie, flatus, borborygmus, žaludek, hlen, pepsinogen, HCl, pankreas, játra, žlučník, žluč, tenké střevo, tračník, stolice, defekace.

ÚVOD

Trávicí a vstřebávací funkce trávicího ústrojí, závisejí na řadě různých mechanismů, které změkčují potravu, posunují ji trávicím ústrojím a promíchávají ji jednak se žlučí ze žlučníku a jednak s trávicími enzymy secernovanými slinnými žlázami a pankreatem. Některé z těchto mechanismů závisejí na vnitřních vlastnostech hladké svaloviny střevní stěny. Jiné zahrnují působení reflexů zprostředkovaných vnitřními neurony střev, reflexů zprostředkovaných CNS a působení parakrinních účinků chemických prostředníků a gastrointestinálních hormonů. Tyto hormony jsou humorální látky secernované buňkami sliznice a přenášené krevním oběhem k cílovým orgánům – k žaludku, ke střevům a k žlučníku, jejichž funkce ovlivňují. Kromě toho působí i parakrinní cestou.

Tvorba a obnova tkání a veškerá činnost organismů vyžadují přísun látek z okolí. Spolu s vylučováním jejich zbytků a produktů je tento cyklus součástí **látkové přeměny (metabolismu)**, která je jednou z charakteristických vlastností života. Trávicí, neboli gastrointestinální trakt (GIT) zajišťuje příjem, zpracování a vstřebávání energeticky bohatých součástí potravy (živiny) i látek obsahujících nezbytné stavební a řídicí součásti organismu. Kromě těchto základních funkcí, vykonává GIT řadu dalších, pro život nezbytných činností.

Základní funkce trávicího ústrojí jsou trávení, vstřebávání, přeměna a skladování živin a vylučování.

Tato kapitola byla z majoritní části převzata či upravena podle literárních zdrojů [7, 39]. Některé přehledové pasáže potom podle [44].

STAVBA STĚNY TRÁVICÍM ÚSTROJÍ

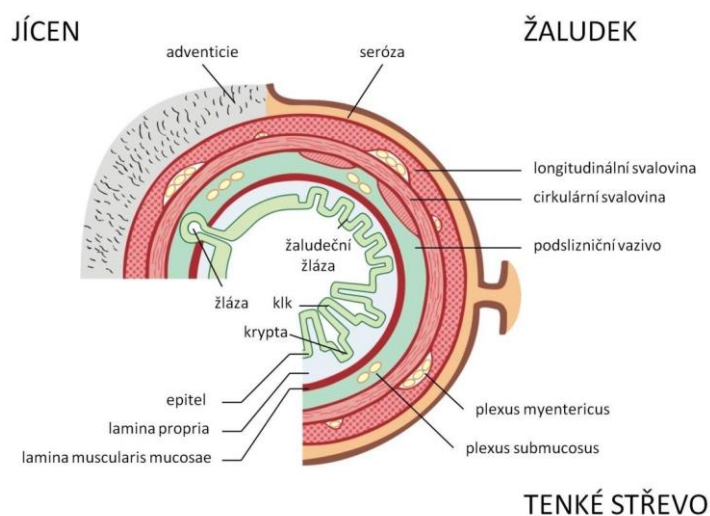
Uspořádání struktur, které tvoří stěnu orgánů trávicího ústrojí je znázorněno na Obrázek 57. Stěna gastrointestinálního traktu má po celé délce určité společné strukturální rysy. Trávicí trakt tvoří dutá trubice s variabilní šířkou lumen a stěny, která se skládá ze sliznice, vrstvy podslizničního vaziva a svalové vrstvy. Povrch orgánů kryje adventicie nebo seróza v závislosti na tom, kde je orgán uložen [45].

Až na malé místní odlišnosti jsou zde čtyři vrstvy od lumen směrem ven: sliznice, podslizniční vazivo, svalovina a seróza. Hladká svalová vlákna se vyskytují v podslizničním vazivu (*muscularis mucosae*) a dvě vrstvy hladkého svalstva tvoří svalovinu stěny, zevní vrstva je longitudinální a vnitřní cirkulární. Stěna je vystlána sliznicí a s výjimkou jícnu

adistálního rekta je kryta serózou. Seróza přechází na mezenterium, kde jsou uloženy nervy, lymfatické cévy a krevní cévy vyživující trávicí ústrojí.

KREVŇÍ OBĚH V TRÁVICÍM ÚSTROJÍ

Průtok krve žaludkem, střevy, pankreatu a játry je uspořádán do řady paralelních okruhů, které nakonec všechny krev ze střev a pankreatu vedou portální žilou do jater. Krev ze střev, pankreatu a sleziny odtéká vrátnicí do jater a z jater jaterní žilou do dolní duté žíly. Do vnitřností a jater přivádí asi 30 % srdečního výdeje aa. celiaca⁹⁶, mesenterica superior⁹⁷ et inferior⁹⁸. Játra dostávají přibližně 1000 ml/min krve z vrátnice a 500 ml/min z jaterní arterie.



Obrázek 57 Stavba stěny orgánů trávicí trubice na příčném řezu. Stěnu trávicí trubice tvoří sliznice s různou epitelovou výstelkou, vrstva podslizničního vaziva, svalová vrstva a adventicie nebo seróza v závislosti na tom, kde je orgán uložen. Převzato z [45].

Oběh krve ve střevch – střeva jsou zásobována sérií paralelních okruhů vycházejících z větví horní a dolní mezenterické tepny. Mezi těmito cévami existují mnohočetné anastomózy. Přítok krve do sliznice je větší než do zbytku střevní stěny a odpovídá na změny

⁹⁶ Truncus coeliacus patří mezi nepárové viscerální větve aorty abdominalis. Z této velké tepny odstupuje ventrálně těsně pod bránicí na úrovni posledního hrudního obratle a prvního bederního (Th12–L1). Jedná se pouze o krátký kmen, který se po jednom až dvou centimetrech dále větví. Truncus coeliacus společně se svými větvemi zásobuje všechny nepárové orgány uložené v supramesocolické části peritoneální dutiny. Truncus coeliacus se větví tři tepenné větve – a. gastrica sinistra, a. splenica (jiným názvem a. lienalis) a a. hepatica communis.

⁹⁷ Arteria mesenterica superior – lat. tepna vystupující z břišní aorty pod odstupem truncus coeliacus a zásobující tepennou krví tenké střevo a část tlustého střeva k přechodu příčného tračnicku v tračník sestupný flexura lienalis, kde má anastomózy s a. m. inferior inframesocolická oblast. K větvím patří a. pancreaticoduodenalis inferior, aa. jejunales, aa. ilei ileales, a. ileocolica, a. colica dextra a media

⁹⁸ Arteria mesenterica inferior – lat. tepna vystupující z břišní aorty v lumbální oblasti a zásobující tepennou krví tlusté střevo od přechodu příčného tračnicku v tračník sestupný flexura lienalis, kde má anastomózy s a. m. superior, až po část konečníku. K větvím patří a. colica sinistra, aa. sigmoideae, a. rectalis superior.

v metabolické aktivitě. Krevní průtok tenkým střevem (i vrátnicí) se po jídle zdvojnásobuje a toto zvětšení trvá tři hodiny. Střevní cirkulace je schopná výrazné autoregulace.

Jaterní oběh – funkční jednotkou jater je acinus⁹⁹. Každý acinus je na konci cévního stvolu obsahujícího terminální větve portální žíly, jaterních artérií a žlučvodů. Krev teče ze středu této funkční jednotky do terminálních větví jaterní žíly na periferii. Z tohoto důvodu je centrální oblast acinu (zóna I) dobře okysličována. Méně je okysličována střední zóna (zóna II) a nejméně je okysličována okrajová zóna (zóna III) a zároveň je nejcitlivější na anoxické poškození (v důsledku nedostatečného okysličení). Každý z acinů visí na cévním stvolu a v játrech člověka se jich nalézá přibližně 100 000. Jaterní žíla ústí do dolní duté žíly.

Cévy sleziny – slezina hromadí krev a pravidelnými stahy svých obalů pumpuje plazmu do lymfatických cév. Proto je slezina zásobárnou krve velmi bohaté na krvinky. Noradrenergní nervové impulsy a adrenalin vedou k velmi silné kontrakci sleziny, při níž se krev dostává do oběhu, avšak tato činnost sleziny je kvantitativně nevýznamná. Zásobní funkce cévního řečiště celé splanchické oblasti je však velmi důležitá. Až 25–30 % objemu jater je tvořeno krví. Stah kapacitních cév ve viscerální oblasti může přidat do oběhu litr krve během méně než minuty.

NERVOVÝ SYSTÉM STŘEVA

Uvnitř stěny trávicího ústrojí jsou dvě velké pleteně: *myenterický* (Auerbachův) *plexus*, ležící mezi zevní longitudinální a střední cirkulární svalovou vrstvou, a *submukózní* (Meissnerův) *plexus* mezi střední cirkulární vrstvou a sliznicí. Dohromady vytvářejí tyto neurony *nervový systém střeva*. Tento systém u člověka obsahuje okolo 100 milionů senzoric-kých neuronů, interneuronů a motorických neuronů – tolik, kolik je v celé míše – a může být nejspíše považován za dislokovanou část CNS, která se podílí na regulaci GIT. S CNS je spojen sympatickými a parasympatickými vlákny, ale může fungovat autonomně i bez tohoto spojení. Myenterický plexus inervuje longitudinální a cirkulární vrstvu hladkého svalstva a podílí se primárně na řízení motoriky. Submukózní plexus inervuje žlázo-vý epitel, endokrinní buňky střeva a krevní cévy v submukóze a primárně se zabývá řízením intestinální sekrece.

Zevní inervace – střevo dostává dvojí zevní inervaci z vegetativního nervového systému; parasympatická cholinergní nervová zakončení obecně zvyšují aktivitu hladké svaloviny střeva; sympatická noradrenergní zakončení ji tlumí a současně vyvolává kontrakci svěračů.

⁹⁹ Primární jaterní acinus je funkční jaterní jednotkou, tvořen pomyslnými dvěma trojúhelníky, které se v základnách dotýkají a mají ve svém vrcholu v. centralis. Je zásoben jednou cirkumlobulární žílou a arterií. Ty vysílají cévy do sinusoid dvou přilehlých lalůček. Primární jaterní acinus se histologicky ještě dělí na tři zóny: zóna I – střed jaterního acinu, je nejbliže cirkumlobulární žíle a tepně, proto je zde nejvyšší kyslíkové a živinné zásobení; zóna II – je dále od středu jaterního acinu, menší kyslíkové a živinné zásobení; zóna III – nejbliže k centrální větvi, zde dorazí kyslík a živiny jako poslední.

Peristaltika – je reflexní odpověď, jejímž spouštěcím mechanismem je roztažení stěny střeva jeho zvýšenou náplní. Peristaltika je ve všech úsecích trávicího ústrojí. Od jícnu až po konečník. Peristaltická aktivita může být potencována nebo naopak tlumena působením vegetativní inervace střeva, objevuje se však nezávislé na zevní inervaci¹⁰⁰. Peristaltika je dobrým příkladem integrované činnosti nervového systému střeva.

Základní elektrická aktivita a řízení motility – až na jícen a proximální úsek žaludku vykazuje hladká svalovina trávicího ústrojí rytmické kolísání membránového potenciálu v rozmezí mezi -65 až -45 mV. Tento základní elektrický rytmus¹⁰¹ je spouštěn Cajalovými intersticiálními buňkami. Tento rytmus sám o sobě vyvolá jen vzácně svalovou kontrakci, ale **akční potenciály** (AP) nasedají na nejvíce depolarizované úseky vln tohoto rytmu a svalové napětí zvyšují. Depolarizační úsek AP je podmíněn tokem Ca^{2+} do buňky a repolarizační úsek proudem K^+ z buňky. Úlohou tohoto základní rytmu je koordinovat peristaltiku a další motorickou aktivitu; kontrakce se vyskytují v průběhu depolarizace. Po vagotomii nebo přerušení stěny žaludku se například peristaltika v žaludku stává nepravidelnou a chaotickou.

Migrující motorický komplex – během lačnění se schéma elektrické aktivity a motorické aktivity v hladké svalovině GIT mění. Cykly motorické aktivity se posunují od žaludku k distálnímu ileu. Každý cyklus (**MMK – migrující motorický komplex**) začíná klidovou periodou (fáze I), pokračuje nepravidelnou motorickou a elektrickou aktivitou (fáze II) a končí výbojem pravidelné aktivity (fáze III). Během každé MMK se zvyšuje žaludeční sekrece, vylévá se žluč a zvyšuje se pankreatická sekrece. Tímto MMK čistí žaludek a tenké střevo od lumenálního obsahu v přípravě na příští jídlo. Po příjmu potravy je tato aktivita okamžitě ukončena a navrácí se zpět peristaltika a další formy AP.

7.1 Trávení a vstřebávání, imunitní systém trávicího traktu

Trávicí trakt je orgánem lidského těla, ve kterém dochází k nejvýznamnější a nejkompexnější interakci se zevním prostředím. Imunitní systém, který je jeho součástí, musí zajišťovat obranu před četnými patogenními organizmy a toxiny, které mohou narušit střevní integritu. Také musí odlišit záplavu antigenních stimulů od neškodných komenzálů a složek lidské výživy, které pro lidský organizmus nepředstavují žádné riziko. Imunitní systém trávicího traktu je integrální součástí bariéry mezi zevním a vnitřním prostředím lidského organismu. Podílí se především na ochraně sliznice před proniknutím patogenních mikroorganismů, napomáhá udržet integritu střevní stěny. Zásadní úlohou gastrointestinálního imunitního systému je vznik orální tolerance, kdy je utlumena potenciálně nežádoucí systémová imunitní odpověď na celou řadu potravinových antigenů, které, jak bylo prokázáno, pronikají střevní stěnou do oběhu v imunogenní podobě¹⁰². Funkce gastrointestinálního

¹⁰⁰ Postup tráveniny není zastaven ani chirurgickým odstraněním úseku střeva a jeho zpětným všítním na původní místo, je zablokovan pouze, pokud je vyříznutý úsek na své místo všítn opačným směrem.

¹⁰¹ Základní elektrický rytmus – Basic Electrical Rhythm (BER).

¹⁰² Není tedy pravdou, že veškeré komponenty lidské potravy se působením trávicích enzymů rozštěpí na neimunogenní peptidy. Zhruba 1–2 % potravinových antigenů tomuto štěpení uniká.

systemu je komplexní a lze ji s určitým zjednodušením rozdělit na **imunitu vrozenou** a **imunitu získanou**. Vrozená imunita má složku neimunologickou, kterou tvoří řada fyzikálních a chemických bariér, které váží a rozkládají patogenní substance a organizmy a brání jejich vstupu – kyselá žaludeční sekrece, trávicí enzymy, hlen, žlučové kyseliny a střevní mikroflóra spolu s dokonalou integritou střevní stěny a peristaltikou omezují nálož patogenů. Imunologická složka je tvořená buněčnými a solubilními elementy. V imunitních reakcích se uplatňují prakticky všechny intestinální buňky – zejména fagocyty, žírné, epitelální a natural killer buňky. Tyto buňky se podílejí na eliminaci patogenů, pomocí solubilních mediátorů atrahují další komponenty obranných reakcí a podílejí se na likvidaci buněk alterovaných infekcí či nádorovým bujením. Vrozená imunita je zaměřena především proti antigenům, které jsou společné široké populaci patogenů, nejsou exprimovány hostitelským organizmem a jsou zásadní pro přežití mikroorganismů. Adaptivní imunita reflektuje individuální expozici jednotlivým antigenům během života a pomocí humorální imunity, vycházející z B lymfocytů a reprezentované protilátkami zasahuje v extracelulárním prostředí. Buněčná imunita je odvozena od T lymfocytů a brání intracelulárním procesům, které jsou mimo dosah humorální imunity. Převzato z [46].

Trávení začíná v ústech a žaludku je dokončeno v lumen a ve slizničních buňkách tenkého střeva (Kapitola 7.8). Produkty trávení se vstřebávají spolu s tekutinou a většinou vitaminů. Přijímaná potrava i nápoje obsahuje jak organické, tak anorganické složky. Organické látky tělo využívá jako stavební součástí, nebo využívá jejich chemicky vázanou energii, proto jsou označovány jako **živiny** (cukry, tuky, bílkoviny). Složité organické látky musí být procesem trávení rozloženy na základní stavební jednotky (aminokyseliny, jednoduché cukry, mastné kyseliny apod.), teprve poté se mohou vstřebávat do tekutin vnitřního prostředí organismu¹⁰³(absorpce). Trávením se také odstraní potenciální toxicita některých látek a eliminují se jejich antigenní vlastnosti.

Většina anorganických látek se v trávicím traktu pouze rozpouští a disociuje (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Cl^- , Fe^{2+} apod.). Některé organické molekuly (vitaminy, v časném období po narození i některé protilátky a antigeny) nejsou v trávicím traktu štěpeny a jejich vstřebávání vyžaduje jiný mechanismus. Přejít látek v trávicím traktu do tekutin vnitřního prostředí se označuje jako vstřebávání (**absorpce**), většinou však látky prostupují přes buňky střevní výstelky (**transcelulární cesta**) a dostávají se do krve či mízy.

¹⁰³ Důvodem je snadnější vstřebávání jednoduchých molekul, které mohou prostupovat difuzí nebo přenášeny relativně malým počtem transportních systémů.



K ZAPAMATOVÁNÍ

V TENKÉM STŘEVĚ SE ABSORBÚJÍ ŽIVINY, VITAMINY, SOLI ŽLUČOVÝCH KYSELIN, ELEKTROLYTY A VODA. V TLUSTÉM STŘEVĚ SE DOKONČUJE VSTŘEBÁVÁNÍ VODY A ELEKTROLYTŮ

Enterocyty (intestinální epitelové buňky) v tenkém střevě a intersticiální prostory mezi nimi tvoří funkční jednotku. Cytoplazma enterocytů obsahuje všechny nezbytné buněčné organely: V endoplazmatickém retikulu se tvoří proteiny transportních systémů, intracelulární enzymy, enzymy kartáčového lemu (viz Kapitola 7.8); Golgiho aparát dočasně uchovává a podobně jako lysozomy upravuje některé absorbované látky; četné mitochondrie nasvědčují o vysoké energetické náročnosti transportních a syntetických pochodů.

Významnou úlohu mají také mikroklky na lumenálnímu povrchu enterocytů, které kryje glykokalyx. Voda a některé ionty mohou difundovat přes těsná spojení (**paracelulární absorpční cesta**¹⁰⁴). Absorpce vody a elektrolytů je absolutně nejvyšší v proximální části střeva, významná je i v tlustém střevě. Jednoduché cukry (glukóza, galaktóza, laktóza) jsou vstřebávány facilitovaným transportem zejména v duodenu a jejunu. Přecházejí do krve vrátnicového oběhu, dostávají se do jater a část je dále rozváděna do celého těla. Glukóza je vstřebávaná sekundárním aktivním transportem – kotransportem s Na^+ . Za vytvoření elektrochemického gradientu sodíku odpovídá Na^+/K^+ -ATPáza v bazolaterální membráně enterocytů. Vstřebávání glukózy nezávisí na přítomnosti inzulínu.

Tuky jsou tráveny v žaludku pouze v kojeneckém období¹⁰⁵. S dalším vývojem se trávení tuků v žaludku stává nevýznamné. Prvním krokem při trávení tuků je emulgace, kterou umožňují soli žlučových kyselin. Tyto malé tukové kapénky s velkým povrchem jsou vystaveny působení pankreatické lipázy. Vznikají monoacylglyceroly a diacylglyceroly s mastnými kyselinami, fosfolipidy a cholesterolem, které původní kapénky obohacují a přeměňují je na micely. Ty se dostávají mezi mikroklky a jejich obsah se rozptýlí v pomalu se pohybující tekutině při jejich povrchu. Komponenty lipidů zde dosahují poměrně vysoké koncentrace a vzhledem ke svým hydrofobním vlastnostem difundují přes lumenální membránu enterocytů. Shromažďují se ve veziklích hladkého endoplazmatického retikula, kde se z nich znovu tvoří molekuly lipidů a jejich povrch se pokrývá fosfolipidy a β -lipoproteinem, který se tvoří v ribozomech enterocytů. Tyto tukové kapénky (chilomikrony) opouštějí buňku exocytózou do bazolaterálního prostoru. Jsou však příliš velké na to, aby prošly bazální membránou do krevních kapilár, proto vstupují do mizních kapilár a mizou se dostávají do krve. Většina tuku se vstřebává již v duodenu a jejunu. Zbývající žlučové kyseliny se vstřebávají hlavně v terminální části ilea. Vitamíny rozpustné v tucích (A, D, E a K) se dostávají do tukových micel a podobně jako další produkty trávení tuků

¹⁰⁴ Tento krok nevyžaduje ATP, je proporcionální osmotickému, hydrostatickému a koncentračnímu spádu.

¹⁰⁵ Umožňuje to secernovaná žaludeční lipáza, přibližně neutrální pH a skutečnost, že v mateřském mléce jsou tuky již v podobě emulze.

vstupují difuzí do enterocytů a stávají se součástí chilomikronů. Vstřebávání některých vitaminů (např. E) napomáhají i žlučové kyseliny.

Hlavní podíl na vstřebávání vápníku má duodenum a jejunum. Vstřebávání vápníku řídí vitamin D (kalcitriol) a parathormon. Vitamin D stimuluje transkripci RNA pro tvorbu všech bílkovin, které se na vstřebávání vápníku podílejí.

Vitamíny rozpustné ve vodě se vstřebávají většinou v proximální části tenkého střeva. Pokud je jejich koncentrace ve střevním obsahu vyšší, přestupují stěnu střevní difúzí.

Železo přítomné v potravě (15–20 mg za den) se vstřebává jen v malém množství díky regulačním mechanismům, které přestup železa do vnitřního prostředí upravují dle aktuální potřeby organismu. Dospělý muž vstřebá 0,5–1 mg, žena před menopauzou 1–1,5 mg, těhotné ženy a rostoucí děti ještě více. Nejlépe se vstřebává železo hemu, také Fe^{2+} se vstřebává lépe než Fe^{3+} , které má větší tendenci tvořit nerozpustné sloučeniny. Ve střevním obsahu je železo vázáno na protein (transferin) secernovaný buňkami sliznice duodena a jejunu. Železo, které zůstalo navázáno na cytoplazmatický feritin enterocytů, se při obnově epitelových buněk dostává opět do střevního obsahu a je z těla vyloučeno se stolicí.

Voda se pohybuje přes stěnu GIT traktu v obou směrech (absorpce–sekrece) pouze pasivními procesy. Hnací silou, která pohyb vody umožňuje je osmotický gradient. V tlustém střevě je tok vody menší, vstřebávaná tekutina je hypertonická a střevní obsah se tak stává vůči plazmě hypotonický. Účinnost vstřebávání vody ve střevě mohou významně ovlivnit poruchy vstřebávání látek, které využívají kotransport se sodíkem (malabsorpce). Přítomnost nevstřebatelných, osmoticky aktivních látek ve střevním obsahu zvyšuje rychlost pasáže střevního obsahu. Absorpční procesy pak nemají dostatek času, zvyšuje se konečný obsah vody a stolice se stává řídkou (laxativní účinek solí hořčičku). Účinnost vstřebávání vody klesá při zvýšeném krevním tlaku v portálním oběhu → mění hydrostatickou rovnováhu v bazolaterálních prostorech střevní sliznice.

DALŠÍ ZDROJE



K FYZIOLOGII HOMEOSTÁZY TĚLESNÉ VODY, REGULACE OSMOLALITY A OBJEMU LZE DOSTUDOVAT NA [HTTP://PFYZIOLKLIN.UPOL.CZ/?P=5063](http://pfyziolklin.upol.cz/?p=5063).

7.2 Gastrointestinální hormony

Motilita, sekrece, krevní zásobení a růst jsou v trávicím traktu řízeny hormony, parakrinně působícími signálními látkami a nervově. V plexus myentericus a submucosus (enterický nervový systém) probíhají endogenní reflexy a aktivitu enterického nervového systému moduluje zevní inervace.

Parakrinní účinky vykazují biologicky aktivní polypeptidy secernované nervovými a žláзовými buňkami ve sliznici. Většina gastrointestinálních hormonů se rozděluje do

dvou skupin: gastrinové skupiny (gastrin a cholecystokinin¹⁰⁶) a sekretinové skupiny (sekretin, glukagon, glicentin¹⁰⁷, vazoaktivní intestinální peptid a žaludeční inhibiční polypeptid¹⁰⁸ (GIP, dříve enterogastron). Existují ale další hormony, které do těchto dvou skupin nelze korektně zařadit.

7.2.1 GASTRIN

Gastrin je produkován „G“ buňkami, který se nachází v laterálních stěnách žlázek antrálního úseku žaludeční sliznice. Na G buňkách jsou umístěny receptory, které zprostředkovávají gastrinové odpovědi na změny žaludečního obsahu. Druhým typem buněk jsou „TG“ buňky, které se rozptýleně nacházejí v žaludku a tenkém střevě. Gastrin se nachází¹⁰⁹ také v předním a středním laloku hypofýzy, v hypotalamu a prodloužené míše, dále ve vagu a v ischiadických nervech.

Gastrin také vyvolává kontrakce svaloviny, která uzavírá gastroezofageální spojení, tento účinek má však nejasný fyziologický význam. Dále stimuluje sekreci inzulínu a glukagonu. Sekrece gastrinu je ovlivňována obsahem žaludku, aktivitou vagu a faktory pocházejícími z krve. Sekreci gastrinu zvyšuje také přítomnost produktů trávení bílkovin v žaludku, zejména aminokyselin, které působí přímo na G buňky. Zvláště účinné jsou fenylalanin a tryptofan.

7.2.2 CHOLECYSTOKININ-PANKREOZYMIN

Cholecystokinin-pankreozymin (CCK-PZ nebo CCK) se nachází kromě endokrinních buněk a I-buněk v horním úseku střeva, které jej vylučují, také v nervech v distálním ileu a tračníku. Rovněž se nachází v neuronech mozku (ponejvíc v mozkové kůře) a v nervech v mnoha oblastech organismu. V mozku se pravděpodobně účastní řízení příjmu potravy a také má zřejmě vztah ke vzniku pocitu úzkosti a k analgezii. CCK vyvolává kontrakce žlučníku, sekreci pankreatických šťáv bohatých na enzymy, zvyšuje účinek sekretinu při aktivaci sekrece alkalické pankreatické šťávy. Inhibuje vyprazdňování žaludku, vykazuje trofický účinek na pankreas, zvyšuje sekreci enterokinázy a může posilovat motilitu tenkého střeva a tračníku. Gastrin a CCK stimulují sekreci glukagonu a jelikož sekreci obou těchto gastrointestinálních hormonů zvyšuje strava bohatá na bílkoviny, je jeden z nich nebo oba tím „střevním faktorem“, který stimuluje sekreci glukagonu. Sekrece CCK se zvyšuje kontaktem střevní sliznice s produkty trávení, zejména peptidy a aminokyselinami a také přítomností mastných kyselin. Žluč a pankreatická šťáva, které jsou vylučovány do pod vlivem CCK do duodena zvyšují trávení bílkovin a tuků. Produkty tohoto trávení stimulují další sekreci CCK.

¹⁰⁶ CCK (cholecystokinin-pankreozymin; někdy se označuje jako CCK-PZ)

¹⁰⁷ GLI (glicentin)

¹⁰⁸ GIP (glucose-dependent insulinotropic peptide)

¹⁰⁹ Ve fetálním období se gastrin nachází také v ostrůvcích pankreatu. Nádory produkující gastrin (gastro-nomy) se objevují v pankreatu, ale není úplně jisté, zda se gastrin vyskytuje i v pankreatu zdravých dospělých.

7.2.3 SEKRETIN

Sekretin poprvé prokázali Bayliss¹¹⁰ a Starling¹¹¹ v roce 1902. Zjistili, že excitační účinek duodenální stimulaci na sekreci pankreatu je vyvolán právě sekretinem. Také vyslovili předpoklad, že mnohé chemické působky v organismu mohou být vytvářeny buňkami a uvolňovány do cirkulující krve, odkud ovlivňují orgány; Starling pro tyto „chemické posly“ zavedl termín *hormon*.

Sekretin je vylučován buňkami „S“, které jsou umístěny hluboko v žlázách sliznice horního úseku tenkého střeva. Sekretin zvyšuje vylučování hydrogenuhličitanu buňkami vývodu pankreatu a biliárního traktu. Takto vyvolává sekreci vodnaté, alkalické pankreatické šťávy. Snižuje sekreci žaludeční kyseliny a může způsobit kontrakci pylorického svěrače.

Produkty trávení bílkovin a kyselé prostředí zvyšují vylučování sekretinu. Uvolňování sekretinu kyselým prostředím je dalším příkladem zpětnovazebné regulace – sekretin způsobí vylití alkalické pankreatické šťávy do duodena, tím pak zneutralizuje kyseliny, které přitékají ze žaludku a tím také zastaví další sekreci hormonu.

7.2.4 GIP – ŽALUDEČNÍ INHIBIČNÍ POLYPEPTID

GIP (Gastric Inhibitory Peptide) žaludeční inhibiční polypeptid je produkován K-buňkami sliznice duodena a jejuna. Sekrece GIP je stimulována přítomností glukózy a tuků v duodenu. Označení peptid inhibující žaludek dostal pro velké dávky, kterými inhibuje žaludeční sekreci a motilitu. GIP stimuluje také sekreci inzulínu – stejně tak jako gastrin, CCK, sekretin a glukagon – GIP je z nich však jediný, který vyvolává sekreci inzulínu i v dávkách, které vyvolají koncentraci v krvi srovnatelnou s tou, jaká je vyvolána glukózou podanou perorálně. Z tohoto důvodu se mu také říká *inzulínotropní polypeptid závislý na glukóze*.

7.2.5 VIP – VAZOAKTIVNÍ INTESTINÁLNÍ PEPTID

VIP se nachází v nervech trávicího ústrojí, ale také v krvi, ve které má poločas rozpadu ~2 min. Mimo to také v mozku a mnoha vegetativních nervech¹¹². Ve střevě výrazně stimuluje sekreci elektrolytů a tím i vody. Dále VIP relaxuje hladkou svalovinu střeva včetně svěračů, vazodilataci periferních krevních cév a tlumí sekreci kyseliny chlorovodíkové v žaludku.

¹¹⁰ Sir William Maddock Bayliss, (narozen 2. května 1860, Wolverhampton, Staffordshire, Anglie; zemřel 27. srpna 1924, Londýn), britský fyziolog, spoluobjevitel hormonů (s britským fyziologem Ernestem Starlingem); vedl průkopnický výzkum v hlavních oblastech fyziologie, biochemie a fyzikální chemie.

¹¹¹ Ernest Henry Starling, (narozen 17. dubna 1866, Londýn; zemřel 2. května 1927, Kingston Harbour, Jamajka), britský fyziolog, který přispěl k modernímu pochopení tělesných funkcí, zejména k udržování rovnováhy tekutin ve tkáních, regulační roli endokrinních sekrecí a mechanickému řízení srdeční činnosti, a stal se tak jedním z nejvýznamnějších vědců své doby.

¹¹² V mozku a vegetativních nervech se s ním setkáváme často ve stejných neuronech jako s acetylcholinem.

7.2.6 MOTILIN

Motilin¹¹³ je uvolňován enterochromafinními buňkami a Mo buňkami v žaludku, tenkém střevě a tračníku. Stimuluje receptor spojený s proteinem G, který je umístěn na enterických neuronech v duodenu a tračníku, po injekčním podání vyvolá kontrakci hladkého svalstva žaludku a střev.

7.2.7 DALŠÍ GASTROINTESTINÁLNÍ HORMONY

Z dalších gastrointestinálních hormonů můžeme zmínit **neurotenzin**, který je produkován neurony a buňkami, které se nacházejí hojně ve sliznici ilea. Jeho uvolňování je stimulováno mastnými kyselinami. Jeho účinek tlumí gastrointestinální motilitu a zvyšuje průtok krve ileem. Dále **substanci P**, která se nachází v endokrinních a nervových buňkách trávicího traktu. Zvyšuje motilitu tenkého střeva. **Somatostatin** je hormon inhibující růstový hormon, původně izolovaný z hypotalamu. Somatostatin je secernovaný do cirkulace δ -buňkami ostrůvku pankreatu a obdobnými δ -buňkami trávicího ústrojí. Inhibuje sekreci gastrinu, VIP, GIP, sekretinu a motilinu. Somatostatin je, stejně jako další gastrointestinální hormony, uvolňován do žaludeční dutiny ve větších dávkách, než do krevního oběhu. Inhibuje exokrinní sekreci pankreatu, žaludeční kyseliny, motilitu žaludku, kontrakci žlučníku a resorpci glukózy, aminokyselin a triacylglycerolů. Kromě toho také parakrinně zprostředkovává cestou žaludečních šťáv sekreci gastrinu vyvolaného kyselinou. **Guanylin** je gastrointestinální peptid secernovaný buňkami střevní sliznice. Většina guanylinu působí pravděpodobně parakrinně a je produkován v buňkách od pyloru po rektum. Kromě toho byly guanylinové receptory nalezeny také v játrech, ledvinách a v ženských reprodukčních orgánech, zřejmě tak guanylin řídí pohyb tekutin také v těchto tkáních.

Buňky secernující gastrointestinální hormony mohou tvořit nádory. 50 % těchto nádorů jsou gastrinomy a 25 % glukagonomy a jiné nádory.

7.3 Ústní dutina a jícen

Lidská ústní dutina obsahuje jazyk a zuby. Vpředu je ohraničena rty, zatímco vzadu se napojuje na hltan, společný prostor dýchacího i zažívacího traktu, a je proto zapojena do procesu trávení i dýchání. Ústní dutina se také významně podílí na tvorbě řeči. Vstupem do dutiny ústní (cavum oris) je ústní štěrbina (rima oris). Dutina ústní je ohraničena následujícími strukturami: labium superius et inferius (horní a dolní ret; jejich přechod = angulus oris).

¹¹³ Erytromycin (antibiotikum) se váže na motilinové receptory a látky od této sloučeniny odvozené, tak může mít význam při léčbě nemocných se sníženou gastrointestinální motilitou.

V ústní dutině se potrava promíchává se slinami a posouvá do jícnu. Peristaltické vlny v jícnu posouvají potravu do žaludku. Hlavní úlohou jícnu je jeho transportní funkce potravy. V horní třetině jícnu je příčně pruhovaná svalovina, v dolních dvou třetinách převládá hladká svalovina inervovaná negangliovými vlákny nervu vagu.

Polykání vyžaduje koordinaci svalů úst, nosohltanu, hltanu, jícnu, žaludku a dýchacích svalů.

DALŠÍ ZDROJE

PRO ANIMACI ORGÁNŮ TVOŘÍCÍ PRVNÍ ÚSEK TRÁVICÍHO TRAKTU – ÚSTNÍ DUTINA, HLTAN A JÍCEN – DOPORUČUJEME ZHLÉDNOUT ANIMACI DOSTUPNOU [ZDE](#).



7.3.1 ŽVÝKÁNÍ, SLINNÉ ŽLÁZY, SLINY A IONTOVÉ SLOŽENÍ SLIN

Žvýkáním (mastikací) se velké části potravy rozmělnují a mísí se sekrety slinných žláz. Takto zvlhčená a homogenní směs potravy usnadňuje polykání a trávení. Ve slinných žlázách se uvolňují sekreční granula (zymogen), která obsahují slinné enzymy. Pro člověka jsou charakteristické tři páry slinných žláz: příušní žlázy jsou žlázy serózní¹¹⁴ a produkují přibližně 20 % z celkové produkce slin (cca 1,5 l/den) vodnatého sekretu; submandibulární žlázy jsou histologicky smíšené (serózní i mukózní) a relativní podíl celkové produkce slin činí 70 % mírně viskózního sekretu; sublingvální žlázy jsou histologicky žlázy mukózní¹¹⁵ a jejich produkce činí 5 % viskózního sekretu. Zbylých 5 % objemu slin připadá na jazykové a ostatní malé žlázy dutiny ústní. Denně se secernuje asi 1500 ml slin a jejich pH je <7,0, ale v průběhu aktivní sekrece pH vystoupá až k 8,0. Sliny obsahují enzymy lipázu a amylázu. Žlázy jazyka secernují **lingvální lipázu**; slinné žlázy secernují **slinnou α -amylázu**. Sliny obsahují glykoprotein **mucin**, který činí potravu kluzkou a chrání ústní sliznici. Kromě mucinu obsahují sliny také lysozym, který narušuje bakteriální stěnu; laktoferin, který váže železo a má bakteriostatický účinek a proteiny bohaté na prolin, které chrání zubní sklovinu a vážou toxické taniny.

Sliny usnadňují polykání, udržují ústní dutinu vlhkou, slouží jako rozpouštědlo pro molekuly, které stimulují chuťové pohárky. Sliny rovněž působí antibakteriálně, u nemocných s poruchou slin (xerostomie) je větší výskat zubního kazu.

¹¹⁴ Serózní buňky secernují ptyalin. Ptyalin je enzym obsažený ve slinách, který štěpí polysacharidy např. škrob na jednodušší cukry. Podobný amyláze ze slinivky břišní; řec. ptyalon slina.

¹¹⁵ Mukózní buňky secernují glykoprotein mucin (hlen, sliz). Produkt hlenových žlázek a buněk roztroušených ve sliznici řady orgánů trávicích, dýchacích aj.; lat. mucus hlen.

V iontovém složení slin existují značné rozdíly. Obecně je slina secernována v acinu¹¹⁶ přibližně izotonická¹¹⁷ s koncentrací Na^+ , K^+ , Cl^- a HCO_3^- (přibližně stejnou jako v plazmě). Exkreční vývody, které do slinných žláz ústí upravují složení slin extrahováním Na^+ a Cl^- a přidáním K^+ a HCO_3^- . Vývody jsou relativně nepropustné pro vodu a sliny se tak ve vývodním systému stávají hypotonickými. Pokud je rychlost produkce slin malá, vtékají do dutiny ústní sliny hypotonické, alkalické, bohaté na K^+ a relativně chudé na Na^+ a Cl^- . Sliny zůstávají hypotonické, i když se jejich tok zrychluje, neboť ve vývodech slinných žláz je na změnu iontového složení velmi málo času. Sliny jsou – byť u člověka stále hypotonické – více izotoničtější a mají vyšší koncentraci Na^+ a Cl^- . Aldosteron zvyšuje ve slinách koncentraci K^+ a snižuje koncentraci Na^+ obdobným mechanismem jako v ledvinách. U Addisonovy choroby je ve slinách vysoký poměr Na^+/K^+ z důvodu deficitu aldosteronu.

7.3.2 ŘÍZENÍ SEKRECE SLIN

Sekrece slin je řízena nervově. Stimulace parasymptického nervového zásobení vyvolává profúzní sekreci vodnatých slin s relativně nízkým obsahem organických látek. S touto sekrecí nastává významná vazodilatace ve žlázách, o níž se soudí, že závisí na lokálním uvolňování VIP (vazoaktivní intestinální peptid). VIP je kotransmiterem s acetylcholinem v některých postgangliových parasymptických neuronech. Atropin a další cholinergní blokátory sekreci slin snižují. Stimulace sympatického nervového zásobení vyvolává vazokonstrikci a u člověka také sekreci malého množství slin.

Potrava v ústech podnítlí reflexní sekreci slin, čímž stimuluje aferentní vlákna vagu na žaludečním konci jícnu. U člověka vyvolává sekreci slin zrakový a čichový vjem potravy (podmíněné reflexy slinné žlázy, I. P. Pavlov) a dokonce i pouhá představa.

7.3.3 POLYKÁNÍ

Polykání je reflexní odpověď, která je spouštěna aferentními impulsy n. trigeminus¹¹⁸, n. glossofaryngeus¹¹⁹ a n. vagus¹²⁰. Polykání je zahájeno volním nahromaděním rozmělněné potravy nebo tekutiny na jazyku a jejím posunutím dozadu do hltanu, měkké patro se

¹¹⁶ Na stavbě slinných žláz se podílí vazivová složka a žlázový parenchym, který zahrnuje sekreční oddíly a vývody. Sekreční oddíly slinných žláz jsou dvojího druhu: serózní aciny a mucinózní tubuly. Serózní aciny jsou okrouhlé nebo ovoidní útvary s centrálně uloženým a lumenem. Stěna acinů se skládá z bazální membrány a serózních buněk.

¹¹⁷ Roztoky, které mají stejný osmotický tlak, se označují jako izotonické (izoosmotické); roztoky s nižší koncentrací solutů jsou hypotonické; s vyšší koncentrací solutů jsou hypertonické. V lékařství se izotonickými roztoky obvykle míní roztoky se stejným osmotickým tlakem jako má krevní plazma, např. 0,9 % roztok NaCl ($9 \text{ g.l}^{-1} = 154 \text{ mmol.l}^{-1}$).

¹¹⁸ Trojklanný nerv, pátý hlavový nerv.

¹¹⁹ Nervus glossopharyngeus, devátý hlavový smíšený nerv s motorickou, senzitivní a parasymptickou složkou.

¹²⁰ Nervus vagus, bloudivý nerv, n. X. je největší součástí postranního smíšeného systému. Je to nerv smíšený – obsahuje vlákna visceromotorická, somatomotorická, somatosenzitivní, viscerosenzitivní a vlákna chuťová.

zvedne a oddělí dutinu nosní od hltanu. Toto posunutí spustí ve svalech hltanu vlnu kontrakce, která postrčí sousto do jícnu. Součástí reflexní odpovědi je i útlum dýchání a uzavěr hrtanové záklopy (glottis). Následuje peristaltická vlna, která proběhne po jícnu a posune sousto do žaludku. Mimo polykací fázi je jícen uzavřen trvalým stahem horního svěrače. Tím je zabráněno proudění vzduchu do a z jícnu při změnách nitrohruďního tlaku provázejících dýchání. Polykací reflex má centrum v oblasti jader IX. a X. hlavového nervu. Pokud jsou ústa otevřená, je polykání obtížné (např. hromadění slin v hrdle při stomatologickém vyšetření dutiny ústní). Zdravý dospělý polyká často i během jídla, polykání pokračuje také mezi jídly¹²¹.

Sání je prvotní fáze příjmu tekuté potravy u kojenců. Stah svaloviny rtů a rytmické pohyby jazyka a svaloviny tváří vytvářejí podtlak, který dopravuje mléko z ústí mlékovodů do dutiny ústní. Po určitém naplnění dutiny ústní je spuštěn polykací reflex. Celý tento děj je zpočátku řízen mechanismem nepodmíněného reflexu (sací reflex), který se postupně mění na reflex podmíněný a později se stává volní činností.

7.3.4 DOLNÍ JÍCNOVÝ SVĚRAČ, MOTORICKÉ PORUCHY JÍCNU

Na rozdíl od ostatní části jícnu má svalovina gastroezofageálního spojení aktivní tonus (dolní jícnový svěrač), který povolí při polykání. Aktivní tonus zabrání v období mezi jídly refluxu žaludečního obsahu do jícnu. Tonus je řízen nervově uvolněním acetylcholinu z vagových zakončení, což vyvolá kontrakci vnitřního svěrače a vyvolá relaxaci. Kontrakce krurální¹²² části bránice inervované frenickými nervy je koordinována s dýcháním a kontrakcemi hrudních a břišních svalů. Takto fungují vnitřní i zevní svěrač společně a umožňují tím postupný přísun potravy do žaludku a současně zabraňuje refluxu žaludečního obsahu do jícnu.

Velké dávky gastrinu zvyšují tonus dolního jícnového svěrače, ale dávky gastrinu nutné pro vyvolání tohoto účinku jsou nesrovnatelně vyšší než ty, které se objeví v cirkulaci po jídle.

Mezi motorické poruchy jícnu patří *achalazie*, což je stav, kdy se potrava hromadí v jícnu a ten se výrazně dilataje. Příčinou je zvýšený klidový tonus dolního jícnového svěrače. Opačný stav je nedostatečnost dolního jícnového svěrače, který umožňuje reflux kyselého žaludečního obsahu do jícnu, jedná se o *gastroezofageální reflux*. Jedná se o poměrně častou situaci vyvolávající pálení žáhy a zánět sliznice jícnu, což může vést ke vzniku peptického vředu a k striktuře¹²³ v důsledku jizvení.

¹²¹ Celkový počet polknutí za den je asi 600:200 při jídle a pití, 350 mezi jídly v bdělém stavu a 50 polknutí v průběhu spánku.

¹²² Z funkčního pohledu lze rozdělit bránici na část krurální a kostální. Kostální část je zodpovědná za dýchání, zatímco krurální část tvoří dolní jícnový svěrač a brání tak gastroesofageálnímu refluxu. Během polykání, rozšíření jícnu nebo zvracení, musí tyto části bránice pracovat v rozdílném čase s rozdílnou inervací.

¹²³ Chorobné zúžení průsvitu dutého orgánu zejména zjizvením.

7.3.5 AEROFAGIE A STŘEVNÍ PLYNY

Osoby, které hyperventilují, spolykají občas větší množství vzduchu, jehož určitá část je spolykána zcela nevyhnutelně v průběhu jídla a pití (*aerofagie*¹²⁴). Nejčastější příznak aerofagie jsou říhání (regurgitace části spolykaného vzduchu), plynatost¹²⁵ a nadýmání a jsou velmi podobné příznakům jiných poruch trávení. U některých jedinců plyn ve střevech způsobuje křeče, *borborygmus* (kručení v břiše) a břišní obtíže. Je běžné, že při mluvení, jídle nebo smíchu je nějaký vzduch polknut, ale u aerofagií je spolykáno takové množství vzduchu, které vyvolává nepříjemné trávicí potíže, jako jsou distenze žaludku, nadýmání, říhání nebo plynatost.

7.4 Žaludek, žaludeční sekrece

Žaludeční sliznice obsahuje mnoho hlubokých žlázek, které v pyloru a kardií secernují hlen. V těle žaludku včetně fundu obsahují žlázky *parietální (sekreční) buňky*, které secernují kyselinu chlorovodíkovou (HCl) a *zytogenní (peptické) buňky*, které secernují pepsinogen. Tyto sekrety se mísí s hlenem secernovaným buňkami krčku žlázek. Některé žlázky vyúsťují do žaludeční jamky (jakási společná komůrka) a tyto jamky potom vyúsťují na povrchu sliznice. Hlen je secernován spolu s HCO_3^- hlenovými buňkami, které se nacházejí na povrchu epitelu mezi žaludečními žlázkami. Žaludek má velmi bohaté zásobení krevními a lymfatickými cévami. Parasympatické nervové zakončení přichází cestou vagu a sympatické nervové zakončení z plexus coeliacus.

Buňky žaludečních žlázek vylučují cca 2 500 ml žaludeční šťávy za den¹²⁶. Obsahuje kationty Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , H^+ ; anionty Cl^- , HPO_4^{2-} , SO_4^{2-} , pepsiny, lipázu, hlen, vnitřní faktor. Žlázky těla žaludku secernují HCl¹²⁷, která hubí mnoho požitých bakterií, napomáhá trávení bílkovin, udržuje pH nutné pro to, aby pepsin mohl zahájit trávení bílkovin a stimuluje vylučování žluči a pankreatické šťávy. **Hlen** je secernován buňkami žlázek a buňkami povrchu sliznice v těle (antru) žaludku a ve fundu. V ostatních částech žaludku je tvořen glykoprotein *mucin*. Hlen vytváří měkký pružný gel, který kryje sliznici.

¹²⁴ Roemheldův syndrom (gastrokardiální syndrom, neboli abdominální angina pectoris): nadměrné rozepjetí žaludku plyny (např. polykanými = aerofagie nebo vzniklými interně, např. laktózová intolerance; dále pozorována při aterosklerózy aorty s přechodem na ústech, vředové choroby a nádorů žaludku, slinivky břišní, hiátová hernie, nejzřetelněji vyjádřenou v klinice na koronárních a mezenterických cév) dráždí bránici a způsobuje bolesti imponující jako infarkt myokardu.

¹²⁵ Část plynů se ze spolykaného vzduchu resorbuje, ale značné množství prochází až do tračnicku, kde se resorbuje část kyslíku, ke zbylým plynům se přimísí voda, sirovodík, CO_2 a metan, které vznikají z cukrů a dalších látek činností střevních bakterií. Tyto plyny jsou vypuzeny jako flatus. Zápach je způsoben sirany.

¹²⁶ Žaludeční sekreci a motilitu ovlivňují také psychické stavy /hlavně prostřednictvím vagu). Wiliam Beaumont během svých pozorování na Alexisu St. Martinovi (Kanadčan s trvalou žaludeční píštělí po střelné ráně) zjistil, že strach a pocit nepřátelství je spojen s turgorem, hyperémií a hypersekrecí žaludeční sliznice.

¹²⁷ HCl je natolik koncentrována, že může způsobit poškození tkáně, ale u zdravých jedinců není žaludeční sliznice drážděna ani natrávena z části díky tomu, že žaludeční šťáva obsahuje také hlen.

Obsah elektrolytů v žaludeční šťávě se liší podle mohutnosti sekrece. Při menší úrovni sekrece je koncentrace Na^+ vysoká, kdežto koncentrace H^+ je nízká; jak vzrůstá kyselá sekrece, koncentrace Na^+ klesá.

Potrava se hromadí v žaludku, mísí se s kyselinou chlorovodíkovou, hlenem a pepsinem a přechází v regulovaném rovnoměrném množství do duodena. V období příjmu potravy má hladká svalovina žaludku nízký tonus – *receptivní relaxace* – spouštěna signály z mechanoreceptorů stěny žaludku, podrážděných prvními sousty a udržována příchodem peristaltických vln po jícnu při polykání. Po několika minutách od ukončení příjmu potravy přestává tento inhibiční vliv působit a je aktivován pacemaker žaludeční aktivity v proximální části velkého zakřivení. Základní rytmus žaludeční aktivity jsou přibližně tři peristaltické vlny za minutu. Peristaltické vlny se šíří zejména po podélné svalovině a pronikají také do cirkulární vrstvy. Acetylcholin a další signální molekuly (gastrin, substance P, metenkefalin) zvýší amplitudu a frekvenci kontrakcí. Peristaltická vlna v antru žaludku způsobuje také krátkou relaxaci pylorického svěrače a přesun malého množství žaludečního obsahu (cca 5–10 ml) do duodena.

Obsah žaludku účinně rozměňují silné stahy antra při současné kontrakci pyloru. Doba, po kterou je přijata potrava v žaludku, závisí na jejím množství a složení. Vyprazdňování žaludku zpomaluje potrava bohatá na tuky, bílkoviny a osmoticky aktivních látek jejich působením na chemoreceptory duodena a převážně humorální zpětnou vazbou na žaludek (sekretin, cholecystokinin). Když je obsah žaludku téměř vyprázdněn, intenzivní peristaltické vlny a účinná relaxace pylorického svěrače vypudí ze žaludku nestrávené větší kusy potravy.

7.4.1 ŽALUDEČNÍ A STŘEVNÍ FÁZE

Žaludeční fáze: Receptory ve stěně žaludku a ve sliznici reagují na potravu napětím a chemickými podněty (zejména aminokyseliny a příbuzné produkty trávení). Vlákna z těchto receptorů přicházejí do submukózního plexu, kde se nacházejí buněčná těla receptorových neuronů. Neurony jsou synapticky spojeny s postgangliovými parasympatickými neurony, které končí na parietálních buňkách a stimulují sekreci HCl. Výsledkem sekrece HCl je reflexní odpověď, a reflexní oblouk prochází celou žaludeční stěnou. Také produkty bílkovin vyvolávají zvýšenou sekreci gastrinu a zesilují uvolňování HCl.

Střevní fáze: Hlavním úkolem pohybů *tenkého střeva* je promíchávání střevního obsahu tak, aby trávení a vstřebávání sliznicí bylo co nejúčinnější. Po příchodu tráveniny ze žaludku do duodena a tenkého střeva se nejprve objevují lokální vlny kontrakce hladké svaloviny, které jsou spouštěny vlastními pacemakery střevní stěny. Se zvyšující se náplní tráveniny amplituda kontrakcí narůstá a jejich výskyt začne být koordinován *kývavými pohyby*. Rostoucí tlak střevního obsahu zlepšuje procesy vstřebávání. Při dalším zvýšení obsahu žaludku a tlaku ve střevě se objevují koordinované peristaltické pohyby a střevní ob-

sah se tak účinněji posouvá. Mechanické působení tráveniny spouští stahy svaloviny sliznice a střevních klků, čemuž napomáhají i lokálně uvolňované signální molekuly **vilikininu**. Přesun tráveniny z ilea do tlustého střeva řídí **ileoceální sfinkter** a jeho chlopeň.

Pohyby tlustého střeva jsou oproti pohybům tenkého střeva méně výrazné. Segmentace má podobu naplňování a vyprazdňování výdutí tlustého střeva (**haustrální pohyby**), které střevním obsahem pohybují oběma směry a facilitují vstřebávání vody. Haustrální pohyby posouvají střevní obsah směrem k rektu¹²⁸. Motilita tlustého střeva se zvyšuje po náplni žaludku, tzv. **gastrokolický reflex**¹²⁹. Výsledkem gastrokolického reflexu je výrazný posun střevního obsahu, který obvykle vyvolá **defekační reflex**.

Tuky, cukry a kyselá reakce v duodenu vedou k útlumu sekrece pepsinu a HCl prostřednictvím nervových a hormonálních mechanismů. Sekrece HCl se zvyšuje po odstranění větší části tenkého střeva¹³⁰, zřejmě pro odstranění zdroje hormonů tlumících HCl.

Sekreci pepsinu a HCl stimuluje také hypoglykémie. Mezi další stimulační podněty patří alkohol a kofein působící přímo na sliznici. Stimulační vliv na trávní má také malé množství alkoholu na chuť k jídlu a trávení je znám od starověku.

7.5 Exokrinní část pankreatu

Část pankreatu, která secernuje pankreatickou šťávu, je svým složením alveolární žláza, která svou stavbou připomíná slinnou žlázu. Granula obsahující trávicí enzymy (zymogenní granula) jsou tvořena v buňkách a vyprazdňována exocytózou z apikálních částí buněk do lumen pankreatických vývodů. Malé rozvětvené vývody se spojují do jediného vývodu **ductus pancreaticus Wirsungi**¹³¹, který se obvykle připojuje ke společnému žlučovému vývodu a tvoří **Vaterovu papilu** vyúsťující duodenální papilou a kolem jejího ústí do **Oddiho svěrače** (*musculus sphincter ampullae hepatopancreaticae*).

Pankreatická šťáva je alkalická, má značně vysoký obsah hydrogenkarborátů a enzymů, které mají při procesu trávení rozhodující význam. Sekrece pankreatické šťávy je regulována zčásti reflexním mechanismem a zčásti gastrointestinálními hormony sekretinem¹³² a CCK. Denní množství secernované pankreatické šťávy se pohybuje okolo 1 500 ml. Spo-

¹²⁸ Informace o naplnění terminálních úseků tlustého střeva je rovněž předána do také do příslušných oblastí sensorické mozkové kůry. Při vzájemné spolupráci obou oddílů CNS (volní kontrola reflexu) je aktivována výkonná složka reflexu vedoucí k relaxaci svěračů, k zesílení peristaltiky a případně stahům svalů břišní stěny (břišní lis).

¹²⁹ Gastrokolický reflex má komponentu neuronální (parasymptikus) a složku humorální (gastrin).

¹³⁰ Navazuje na žaludek jako trubice o průměru kolem 3–4 cm, dlouhá na živém a těsně po smrti 3–5 m. Skutečnou délku střeva nelze zjistit, protože závisí na stupni kontrakce nebo uvolnění svaloviny stěny, v souvislosti s tím i na době od smrti a na technice měření. Části tenkého střeva jsou: duodenum, jejunum a ileum.

¹³¹ U některých jedinců se nachází přídatný pankreatický vývod (ductus Santorini), který ústí do duodena proximálněji.

¹³² Sekretin působí na pankreatické vývody a vyvolává mohutnou sekreci silně alkalické pankreatické šťávy bohaté na hydrogenkarbonáty a chudé na enzymy. Sekretin stimuluje i tvorbu žluči.

lečně s rovněž neutrální nebo alkalickou žlučí a střevní šťávou neutralizují kyselou žaludeční šťávu a zvyšují pH duodenálního obsahu (na pH 6,0–7,0). Když se trávenina dostane do jejunu, je její reakce téměř neutrální, ale střevní obsah je jen zřídka alkalický.

Účinné enzymy pankreatické šťávy štěpící bílkoviny jsou secernovány jako inaktivní proenzymy. Trypsinogen je přeměňován *entropetidázou*¹³³ (*enterokinázou*) na aktivní trypsin¹³⁴; trypsin konvertuje chymotrypsinogeny na chymotrypsiny. Aktivaci pankreatické proteázy v lumen duodena znázorňuje Obrázek 58.

K ZAPAMATOVÁNÍ

I MALÉ MNOŽSTVÍ UVOLNĚNÉHO TRYPSINU DO PANKREATU BY VEDLO KE VZNIKU AKTIVNÍCH ENZYMŮ, KTERÉ BY MOHLY NATRÁVIT PANKREAS. PROTO PANKREAS OBSAHUJE INHIBITOR TRYPSINU.



Dalším enzymem aktivovaným trypsinem je fosfolipáza A₂. Tento enzym odštěpuje mastné kyseliny z lecitinu a tvoří lyzolecitin, který poškozují buněčnou membránu. Aktivace fosfolipázy v pankreatických vývodech s tvorbou lyzolecitinu¹³⁵ z lecitinu, který je normální složkou žluči je akutní pankreatitida, která nezřídka může mít fatální důsledek. U akutní pankreatitidy pronikají pankreatické trávicí enzymy (amyláza, lipáza) v krvi výrazně stoupá¹³⁶.

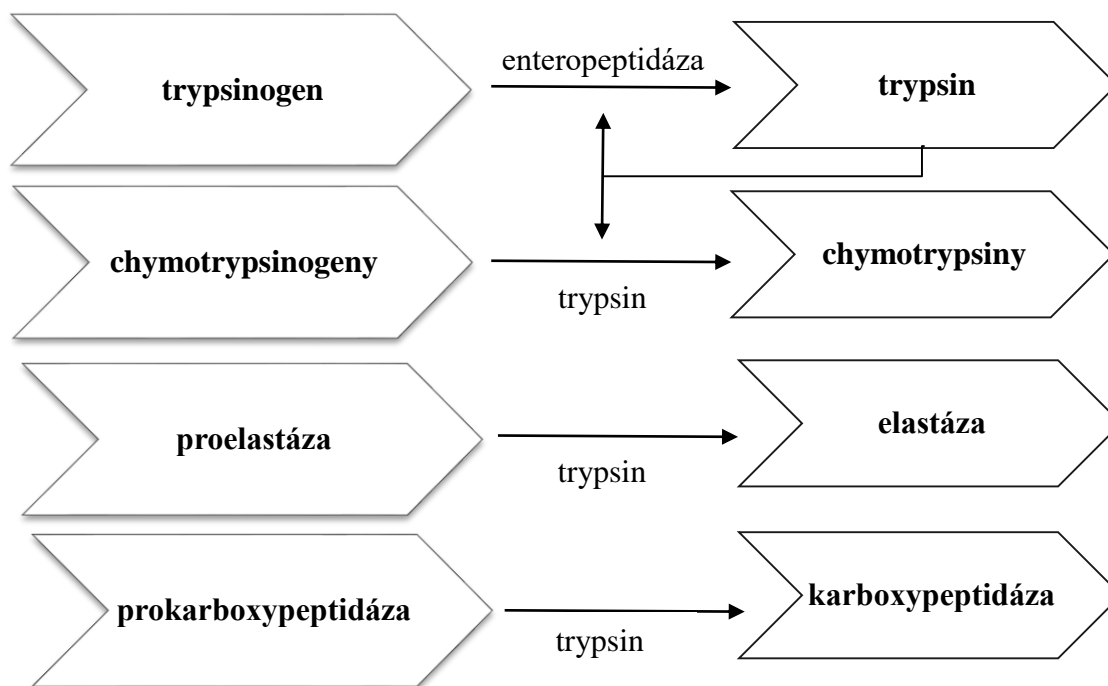
U cystické fibrózy je objem pankreatické šťávy i obsah hydrogenkarbonátu snížen zvýšená → incidence chronické pankreatitidy.

¹³³ Nedostatek enteropeptidázy se vyskytuje u kongenitální abnormality a vede k proteinové malnutrici.

¹³⁴ Trypsin může sám aktivovat trypsinogen, jakmile se trypsin jednou vytvoří, dochází k autokatalytické řetězové reakci.

¹³⁵ Lyzolecitin způsobí porušení pankreatické tkáně a nekrózu okolního tuku.

¹³⁶ Menší množství pankreatických trávicích enzymů běžně pronikají do cirkulující krve, u akutní pankreatitidy však výrazně stoupají.



Obrázek 58 Aktivace pankreatické proteázy v lumen duodena.

7.6 Játra a žlučový systém

Žluč je secernována jaterními buňkami do žlučovodu, který ústí do duodena. Duodenální ústí tohoto vývodu je mezi jídly uzavřeno a žluč teče do žlučníku, kde se shromažďuje. Když je potrava v ústech, svěrač kolem duodenálního ústí relaxuje; v momentě, kdy obsah žaludku postoupí do duodena, hormon CCK ze střevní sliznice vyvolá kontrakci žlučníku.

7.6.1 ANATOMIE A FUNKCE JATER

Játra – největší žláza v těle – jsou anatomicky uspořádaná do jednotlivých jaterních lalůčků, uvnitř kterých, kolem jaterních buněk (hepatocytů), protéká krev. Středem každého lalůčku je cévní svazek obsahující terminální větve portální žíly, hepatické arterie a žlučovodů. Krev teče z cévního svazku do terminálního jaterního větvení umístěných na vnější straně lalůčku. Buňky, které jsou umístěné nejbližší cévnímu svazku, dostávají nejvíce okysličenou krev, kdežto buňky na periferii lalůčku méně, a jsou tak hůře zásobené kyslíkem, a proto citlivější na anoxické poškození. Každý hepatocyt je v kontaktu s několika žlučovými kanálky, které ústí do intralobulárních žlučovodů, ty se dále spojují do interlobulárních žlučovodů a nakonec vytvářejí pravý a levý *ductus hepaticus communis*. Ten se spojuje s *ductus cysticus*¹³⁷, který vede ze žlučníku, za vzniku společného žlučovodu. Společný žlučovod ústí do duodena v duodenální papile. Kolem jeho vyústění je Oddiho svěrač

¹³⁷ U primátů je sliznice ductus cysticus také zřasena a tvoří tzv. spirální chlopně.

a před vústěním do duodena se společný žlučovod obvykle spojuje s hlavním pankreatickým vývodem.

Stěny extrahepatálních žlučových vývodů a žlučníku obsahuje pojivovou tkáň a hladké svaly. Sliznice obsahují mukózní žlázy a je lemována vrstvou cylindrických buněk. Ve žlučníku je sliznice hojně zřasena; tím se zvětšuje povrch žlučníku a jeho vnitřní část vypadá jako plástev medu.

Mezi hlavní funkce jater patří:

- Tvorba a sekrece žluči
- Metabolismus jednotlivých živin a vitamínů
 - Glukóza a další cukry
 - Aminokyseliny
 - Tuky (mastné kyseliny, cholesterol, lipoproteiny)
 - Vitamíny rozpustné v tucích
 - Vitamíny rozpustné ve vodě
- Inaktivace různých substancí
 - Toxiny
 - Steroidy
 - Další hormony
- Syntéza plazmatických proteinů
 - Bílkoviny akutního stavu
 - Albumin
 - Koagulační faktory
 - Steroidy a jiné hormony vázající proteiny
- Imunita
 - Kupfferovy buňky

Mnohé z bílkovin syntetizovaných v játrech jsou **bílkoviny akutního stavu** (→ bílkoviny syntetizované a secernované do plazmy při expozici stresujícím podnětům), jiné transportují steroidy a jiné hormony v plazmě a další se účastní srážení krve jako koagulační faktory.

7.7 Žlučník

Žlučník (*vesica fellea*) je uložen na spodní ploše jater ve žlučnickové jamce. Dno žlučníku směřuje směrem k přednímu okraji jater¹³⁸. Délka žlučníku činí asi 8–14 cm, šířka 3–5 cm, obsah 40–80 cm³. Má poměrně tenkou stěnu, skládá se ze tří vrstev – serózy, svaloviny a sliznice. Svalovina je zesílená v oblasti krčku. Sliznice je pokryta jednovrstevným cylindrickým epitelem, v podslizniční vrstvě jsou uloženy žlázy. Žlučník kontaktuje s duodenem a pravým ohbí tlustého střeva.

Žlučové cesty lze rozdělit na **intrahepatální žlučové cesty** (uvnitř jater) a **extrahepatální žlučové cesty** (mimo jaterní parenchym; společný jaterní vývod, vývod žlučníku a společný žlučovod).

U zdravých lidí vtéká žluč do žlučníku, pokud je uzavřen Oddiho svěrač. Ve žlučníku je žluč koncentrována resorpcí vody. Jsou-li ductus choledochus a ductus cysticus uzavřeny svorkou, stoupá intrabiliární tlak cca na 320 mm žluči během 30 min a sekrece žluči ustává. Pokud je však ductus choledochus uzavřen a ductus cysticus zůstává otevřený, je voda ve žlučníku zpětně resorbována a intrabiliární tlak stoupá během několika hodin na cca pouhých 100 mm žluči. Další funkcí žlučníku je okyselování žluči.

Incidence konkrementů ve žlučníku (cholelitiáza) narůstá s věkem. Konkrementy jsou buďto cholesterolové nebo kalciumbilirubinátové. Cholesterolové vznikají: (1) stázou žluči; (2) zvýšenou koncentrací cholesterolu ve žluči.

7.7.1 ŽLUČ, ŘÍZENÍ SEKRECE ŽLUČI

Žluč je tvořena žlučovými solemi, barvivy a dalšími látkami rozpuštěnými v alkalickém elektrolytovém roztoku (podobný jako pankreatická šťáva). Denně se vyloučí cca 500 ml žluči. Některé její složky jsou zpětně resorbovány ze střeva a poté znovu vylučovány játry → enterohepatální oběh.

Žlutozlatou barvu žluči vytvářejí žlučová barviva (bilirubin a biliverdin), jež jsou rozpadové produkty hemoglobinu.

Jakmile se potrava dostane do úst, sníží se odpor Oddiho svěrače. Mastné kyseliny a aminokyseliny v duodenu vedou k vyplavení CCK (viz poznámka pod čarou 106), který

¹³⁸ Palpace žlučníku

vyvolá kontrakci kontrakce žlučníku. Látky, které kontrakce žlučníku vyvolávají, se nazývají **cholagoga**. Produkce žluči je zvyšována podrážděním vagu a hormonem sekretinem, který zvyšuje obsah vody a HCO_3^- ve žluči. Látky, které zvyšují sekreci žluči, se nazývají **choleretika**¹³⁹. Zpětně resorbované žlučové soli ze střeva tlumí ihned syntézu nových žlučových kyselin, samy jsou rychle secernovány a tímto značně zvyšují objem vytékající žluči.

Žlučové soli jsou sodné a draselné soli žlučových kyselin spojené s deriváty cystinu glycinem a taurinem. Žlučové kyseliny jsou syntetizované z cholesterolu. Z lidské žluče jsou izolovány: kyselina cholová, kyselina chenodeoxycholová, kyselina deoxycholová, kyselina lithocholová. Dvě primární (hlavní) žlučové kyseliny, které se vytvářejí v játrech, jsou kyselina cholová a kyselina chenodeoxycholová. V tračníku konvertují bakterie kyselinu cholovou na deoxycholovou a chenodeoxycholovou na lithocholovou. Sekundární žlučové kyseliny jsou kyselina deoxycholová a kyselina lithocholová, jelikož se vytvářejí působením bakterií.

Žlučové soli¹⁴⁰ snižují povrchové napětí, ve spojení s fosfolipidy a monoacylglyceroly umožňují emulgování tuků jako přípravu pro jejich trávení a vstřebávání v tenkém střevě. V tenkém střevě je resorbováno cca 90–95 % žlučových solí. Zbylých 5–10 % žlučových solí se dostává do tračníku, kde jsou konvertovány na soli kyseliny deoxycholové a kyseliny lithocholové. Soli kyseliny lithocholové jsou relativně nerozpustné a jsou většinou vylučovány ve stolici, jen 1 % je resorbováno. Soli kyseliny deoxycholové jsou resorbovány. Resorbované žlučové soli jsou transportovány portálním oběhem zpět do jater a následně znovu vyloučeny do žluče (enterohepatální oběh). Ty, které byly ztraceny vyloučením ve stolici, jsou nahrazeny novými syntézou v játrech. Celkové množství žlučových kyselin cirkulujících opakovaně v enterohepatálním oběhu¹⁴¹ je asi 3,5 g.

7.7.2 METABOLISMUS BILIRUBINU A ŽLOUTENKA

Většina bilirubinu v těle vzniká rozpadem hemoglobinu ve tkáních. Bilirubin se v krvi váže na albumin. Část je vázaná pevně, ale většina snadno podléhá disociaci v játrech a uvolněný bilirubin vstupuje do jaterních buněk, kde se váže na cytoplazmatické bílkoviny. Každá molekula bilirubinu reaguje s dvěma molekulami kyseliny uridindifosfoglukuronidu za vzniku bilirubindiglukuronidu (tento glukuronid je ve vodě rozpuštěnější než volný bilirubin, a je poté transportován proti koncentračnímu gradientu do žlučových kanálků). Malé množství bilirubindiglukuronidu uniká do krve, kde je jeho vazba na albumin méně pevná než vazba volného bilirubinu, a je poté vylučována do moči. Proto celkové množství

¹³⁹ Žlučové soli patří mezi fyziologicky nejdůležitější choleretika.

¹⁴⁰ Žlučové soli jsou amfipatické, tzn., že obsahují jak hydrofobní, tak hydrofilní skupinu.

¹⁴¹ Pokud by se ze střeva odstranila žluč, až 50 % všech tuků obsažených v chymu se objeví ve stolici. Navíc vznikne těžká malabsorpce vitaminů rozpustných v tucích. Také onemocněním nebo resekci terminálního ilea se zvýší obsah tuku ve stolici (je znemožněna zpětná resorpce žlučových solí), protože je-li přerušena enterohepatální oběh, játra nedokážou dostatečně zvýšit produkci žlučových solí tak, aby uhradila jejich ztráty.

bilirubinu v plazmě zahrnuje jak volný bilirubin, tak malé množství konjugovaného bilirubinu. Většina bilirubindiglukuronidů se však do střeva dostává žlučovými cestami.

Pro konjugovaný bilirubin je střevní sliznice relativně nepropustná, ale pro nekonjugovaný bilirubin a pro urobilinogeny ano. Proto je část žlučových barviv a urobilinogenů resorbována zpět do portálního oběhu. Část zpětně resorbovaných látek je opět játry enterohepatálním oběhem vyloučena, ale malé množství urobilinogenů se dostává do celkového oběhu a je vyloučeno močí.

Když se volný nebo konjugovaný bilirubin nahromadí v krvi, vznikne žloutenka (ikterus). Kůže, skléry a sliznice zežloutnou. U žloutenky obvykle nacházíme vyšší hladinu celkového plazmatického bilirubinu (vyšší než 2 mg/100 ml, tj. 34 μmol/l). Tato zvýšená hladina (hyperbilirubinémie) může být způsobena buď: (1) nadprodukcí bilirubinu (hemolytická anémie); (2) sníženým vychytáváním bilirubinu hepatocyty; (3) poruchou intracelulární vazby na bílkovinu nebo poruchou konjugace; (4) poruchou sekrece konjugovaného bilirubinu do žlučových kanálků či (5) obstrukcí intrahepatálních nebo extrahepatálních žlučových cest.

Zvýšenou hladinu bilirubinu nacházíme u (1), (2) a (3), kde koncentrace volného bilirubinu stoupá. U (4) a (5) regurgituje bilirubindiglukuronid zpět do krve, v plazmě se zvýší především koncentrace konjugovaného bilirubinu.

7.7.3 JINÉ LÁTKY VYLUČOVANÉ ŽLUČÍ

Žlučí jsou také vylučovány cholesterol a alkalická fosfatáza. Pokud je žloutenka způsobena obstrukcí intra— nebo extrahepatálních žlučodů, hladiny cholesterolu a alkalické fosfatázy v krvi stoupají. Menší vzestup je pozorován u žloutenky způsobené onemocněním postihujícím hepatocyty bez obstrukce. Také hormony kůry nadledvin a jiné steroidy jsou vylučovány do žluče, a poté zpětně resorbovány (enterohepatální oběh).

7.8 Tenké střevo

V tenkém střevě se mísí střevní obsah se sekrety slizničních buněk, s pankreatickou šťávou a se žlučí. Do tenkého střeva se dostává za den asi 9 l tekutin, z toho 2 l přichází s potravou a 7 l je obsaženo v gastrointestinálních šťávách, ale pouze 1–2 l z nich přecházejí až do tračnicku. V tenkém střevu se vstřebává část vody a další potřebné látky. Obranné systémy tenkého střeva jsou při zpracování potravy aktivovány a brání průniku bakterií a antigeně aktivovaných látek. Průchod potravy tenkým střevem je relativně rychlý a trvá jen několik hodin.

První část duodena (bulbus duodena) je oblast, která přichází do styku s kyselým žaludečním obsahem¹⁴² a je také častým místem vzniku peptického vředu. Duodenum přechází

¹⁴² Kyselý žaludeční obsah vypuzuje pylorus.

(v místech úponu Treitzova ligamenta) v jejunum. Horních 40 % tenkého střeva za duodenumem se označuje jako jejunum a dolních 60 % jako ileum, ačkoliv mezi nimi neexistuje žádná ostrá anatomická hranice. Místo, kde končí ileum a přechází v tračník, se označuje jako ileocekální chlopeň. U živých lidí je vzdálenost od pyloru k ileocekální chlopni cca 285 cm, zatímco při nekropsii¹⁴³ až 700 cm.

Po celé délce tenkého střeva vybíhá jeho sliznice v četné klky a každý z nich je pokryt jednoduchou vrstvou cylindrického epitelu, obsahuje síť kapilár a lymfatickou cévu (lakteál). Volné okraje epitelových buněk klků jsou rozděleny na drobné mikroklky. Mikroklky jsou pokryty *glykokalyxem* (amorfni vrstvou bohatou na neurální glykosaminy) a společně vytvářejí kartáčový lem. Klky, mikroklky a valvulae conniventes¹⁴⁴ zvětšují resorpční povrch tenkého střeva cca 600krát¹⁴⁵.

Vrstva hlenu na sliznici tenkého střeva činí sliznici kluzkou, váže některé bakterie a udržuje na místě imunoglobuliny tak, aby se mohly navázat na patogeny. Hustý alkalický hlen v duodenu secernují Brunnerovy žlázy, hlen mimo jiné chrání duodenální sliznici před působením HCl. Sekreci střevní šťávy stimulují hormony jako je VIP.

Stran střevní motility existují tři typy pohybů střeva: peristaltické vlny, segmentační kontrakce a tonické kontrakce. Úkole peristaltiky je posunovat střevní obsah do tlustého střeva. Segmentační kontrakce jsou prstencové kontrakce a pohybují tráveninu tam a zpět a zvyšují tak jeho expozici slizničnímu povrchu. Tonické kontrakce jsou relativně dlouho trvající kontrakce, které ve svém důsledku oddělují jeden segment tenkého střeva od sousedního. Oba typy pohybů střeva zpomalují transport tenkým střechem tak, že posun trvá déle po jídle než mezi jídly. Peristaltické rázy jsou velmi intenzivní peristaltické vlny, ale u zdravého jedince se nevyskytují, mohou se objevit při obstrukci střeva.

7.9 Tračník

Hlavní funkcí tračníku je resorpce vody, Na⁺ a dalších minerálů. Odstraněním cca 90 % tekutiny se v tračníku přeměňuje 1000–2000 ml isotonické tráveniny, což odpovídá 200–250 ml polotuhé stolice, které denně přichází z ilea.

Průměr tračníku je větší než průměr tenkého střeva. Délka je asi 100 cm (při nekropsii až 150 cm). Ve sliznici tlustého střeva nejsou klky. Žlázy tračníku jsou mělké vchlípeniny sliznice secernující hlen. V céku a červovitém přívěsku se nacházejí solitérní lymfatické uzlíky.

¹⁴³ Tenké střevo je za živa kratší než po smrti, kdy se v důsledku relaxace hladké svaloviny prodlužuje.

¹⁴⁴ Řasy podobné chlopni nacházející se v epitelu tenkého střeva.

¹⁴⁵ Vnitřní plocha povrchu sliznice tenkého střeva je cca 3 300 cm², valvulae conniventes zvětšují tuto plochu na cca 10 000 cm², klky na 100 000 cm² a mikroklky až na 2 miliony cm².

7.9.1 MOTILITA A SEKREČNÍ ČINNOST TRAČNÍKU

Část ilea obsahující ileocekální chlopeň se mírně vyklenuje do céka, takže zvýšení tlaku v céku chlopeň uzavírá, kdežto zvýšení tlaku v ileu ji otevírá. Tímto mechanismem je účinně zabráněno refluxu obsahu tračníku do ilea. Ileocekální chlopeň je normálně uzavřena, když k ní dorazí peristaltická vlna, krátce se otevře a malé množství chymu z ilea přejde do céka. Když potrava opouští žaludek, cékum se relaxuje a pasáž chymu ileocekální chlopní se zvyšuje (gastroileální reflex). Podrážděním sympatiku se kontrakce chlopně zvyšují.

Pohyby tračníku zahrnují – podobně jako v tenkém střevě – segmentační kontrakce a peristaltické vlny. Segmentační kontrakce mísí obsah tračníku a kontaktem obsahu se sliznicí usnadňuje resorpci. Peristaltické vlny posunují obsah směrem k rektu. **Propulsivní pohyby** jsou třetím pohybem, typické pouze pro tračník. Jsou to velmi silné kontrakce hladkého svalstva zasahující simultánně rozsáhlé oblasti. Tyto kontrakce posunují velké množství obsahu tračníku z jedné oblasti do druhé. Také posunují obsah tračníku do konečníku a naplnění rekta poté spouští defekační reflex.

První část jídla dosáhne céka asi za čtyři hodiny a všechny nestrávené části se do tračníku dostanou za 8–9 hodin. První zbytky potravy dosáhnou jaterního ohbí za šest hodin, slezinného ohbí za devět hodin a intrapelvické části tračníku za 12 hodin. Odtud je transport ke konečníku mnohem pomalejší. Ještě za 72 hodin může zůstat v rektu až 25 % zbytku jídla. Úplné vyloučení všech zbytků z rekta trvá více než týden.

7.9.2 RESORPCE TRAČNÍKU

Značná resorpční kapacita tračníku umožňuje podávání léku (zejména u dětí) per rektum. Mnohé sloučeniny včetně anestetik, sedativ, ataraktik¹⁴⁶ a steroidů, se mohou takto velmi rychle resorbovat.



K ZAPAMATOVÁNÍ

CAVE! PŘI KLYZMATU JE ČÁST VODY VSTŘEBÁVANÁ A JE-LI MNOŽSTVÍ INSTALOVANÉ VODY PŘÍLIŠ VELKÉ, RESORPCE MŮŽE BÝT TAK RYCHLÁ, ŽE VEDE K INTOXIKACI VODOU.

Sodíkové ionty jsou přenášeny aktivně a voda pak přechází podle takto vzniklého osmotického gradientu. Do tračníku je normálně secernováno něco málo K^+ a HCO_3^- .

¹⁴⁶ Léky přinášející uklidnění

7.9.3 STOLICE A STŘEVNÍ BAKTERIE

Stolice obsahuje anorganické látky, nestrávená rostlinná vlákna, bakterie a vodu. Její složení (Tabulka 13) je relativně neovlivněno změnami ve složení a množství potravy, protože velká část stolice z potravy nepochází. I v průběhu déle trvajících hladovění odchází poměrně velké množství stolice.

Hnědá barva stolice je způsobena pigmenty, které se tvoří ze žlučových barviv působením střevních bakterií. Pokud do střeva nepřitéká žluč, je stolice bílá (*acholická stolice*). Činností bakterií se vytvářejí některé plyny ve flatu.

Tabulka 13 Přibližné složení stolice při běžné stravě

Složka	% celkové hmotnosti
Voda	75
Pevné látky	25
	% z celkového množství pevných látek
Celulóza a jiná nestravitelná vlákna	proměnlivé
Bakterie	30
Anorganické látky (vápník a fosfáty)	15
Tuk a jeho deriváty	5
Odloupané slizniční buňky, hlen a malé množství trávicích enzymů.	

Chymus v jejunu obsahuje normálně jen málo nebo dokonce vůbec žádné bakterie. V ileu je více mikroorganismů, ale jedině tračník obsahuje běžně velké množství bakterií. Mikroorganismy přítomné v tračníku nezahrnují pouze bakterie typu *Escherichia coli* a *Enterobacter aerogenes*, ale také polymorfní organismy, jako *Bacteroides fragilis*, různé typy

koků a další organismy, jako je např. aerobakter, které mohou ve tkáních, mimo tračník způsobit vážná onemocnění. Velké množství bakterií odchází se stolicí. Při narození je tračník sterilní, jeho osídlení mikrobiotou nastává v raných stádiích života.

V tračníku vzniká a je také resorbován čpavek. Při onemocnění jater není amoniak z krve odstraňován a hyperamonémie vede k závažné neurologické symptomatologii (**hepatální encefalopatie**). Množství vytvářeného amoniaku je možné snížit podáním osmotických projímadel (např. laktulóza).

7.9.4 DEFEKACE

Roztažením rekta stolicí je podnětem k reflexní kontrakci svaloviny a pocitu nucení na stolici. Na vnitřní straně análního svěrače vyvolá sympatikus excitační účinek, zatímco parasympatikus má účinek inhibiční. Svěrač se uvolňuje při distenzi rekta. Inervace příčně pruhovaného svalstva zevního análního svěrače jde cestou nervus pudendalis. Pocit nucení na stolici se poprvé dostavuje, když tlak v rektu stoupne cca na 18 mmHg, jakmile dosáhne 55 mmHg, povolí zevní i vnitřní svěrač a obsah rekta je vypuzen. Takto funguje reflexní vyprázdnění rekta i u osob a zvířat po přerušení míchy. Defekace je spinální reflex, který může být vůli potlačen udržením zevního svěrače v kontrahovaném stavu nebo naopak usnadněn jeho relaxací a kontrakcí břišního svalstva.

Roztažení žaludku přijatou potravou vyvolá kontrakci rekta a obvykle i pocit nucení na stolici, tento děj se nazývá **gastrokolický reflex**. Díky tomuto reflexu je defekace po jídle běžná u dětí. U dospělých má gastrokolický reflex významnou úlohu při určování, kdy nastane defekace, návyk a civilizační faktory.

Při průjmu se velké množství Na^+ , K^+ a vody vyplavují z tračníku a tenkého střeva, což vede k dehydrataci, hypovolémii, případně až k šoku a kardiovaskulárnímu kolapsu. Těžký průjem zeslabuje organismus a zejména u novorozenců může skončit fatálně. Velmi závažnou komplikací chronického průjmu je – i při zachování rovnováhy tekutin – těžká hypokalémie. Perorálním podáním Na^+ a glukózy, které jsou pak resorbovány přes SGLT, lze účinně snížit ztráty solí a tekutin. V redukci ztrát tekutin stolicí se jako účinný ukázal salicylát vizmutnatý.



SHRNUTÍ KAPITOLY

VÝŽIVA

Dostatečná výživa musí tělu dodávat potřebnou energii, minimální množství bílkovin a sacharidů a minerální látky včetně stopových prvků, esenciální aminokyseliny, esenciální mastné kyseliny a vitaminy. Dále musí člověk přijímat dostatečné množství vody. Pro zabezpečení normální doby pasáže, zejména tlustým střevem, musí potrava obsahovat také tzv. *balastní látky*, tj. nestravitelné součásti rostlin (celulóza, lignin aj.).

Energetické nároky jsou hrazeny třemi základními živinami: bílkovinami (proteiny), tuky a sacharidy. Minimální potřeba bílkovin nutná pro udržení vyrovnané dusíkové bilance je ~0,5 g/kg tělesné hmotnosti a den (tj. bilanční minimum). Zároveň musí být zajištěn dostatečný přívod esenciálních aminokyselin (histidin, izoleucin, leucin, lyzin, methionin, fenylalanin, treonin, tryptofan, valin a u dětí navíc arginin), z nichž přibližně polovina musí být živočišného původu (živočišné bílkoviny: maso, ryby, vejce). Rostlinné bílkoviny neobsahují esenciální aminokyseliny v dostatečném množství. Zbývající část energetické potřeby hradí cukry (škroby, disacharidy, glykogen) a tuky (živočišné a rostlinné tuky a oleje).

Tuky, z nichž přibližně 1/3 jako esenciální mastné kyseliny, je přiváděno v průměru 25–30 % energie. U velmi těžce pracujících se tento podíl zvyšuje až na 40 %. Tělo potřebuje také celou řadu anorganických minerálních látek, zejména dostatečné množství vápníku (800 mg/den), železa (10–20 mg/den), a jodu (0,15 mg/den). Stejně důležité jsou další stopové prvky (As, F, Cu, Si, V, Sn, Ni, Se, Mn, Mo, Cr, Co). Jejich nadměrný přísun však může být naopak pro organismus toxický.

Vitaminy (A, B₁, B₂, B₆, B₁₂, C, D₂, D₃, E, H, K₁, K₂, kyselina listová, niacinamid, kyselina pantoteová) jsou organické sloučeniny, které tělo potřebuje pro svůj metabolismus (zejména koenzymy). Projevy nedostatku (avitaminóza) některých vitaminů: vitamin A = šeroslepost, vitamin C = kurděje, vitamin D = křivice, vitamin B₁₂ = anemie, vitamin B₁ = beri-beri, vitamin K = porucha srážení krve). Naopak nadměrný přívod některých vitaminů, např. A a D má za následek toxické projevy.

ENERGETICKÁ PŘEMĚNA

Metabolismus převádí chemickou energii živin na energii tělu vlastních látek (kreatinofosfát a zejména adenosintrifosfát). Jsou-li živiny zcela oxidovány („spáleny“), tj. odbourány za přítomnosti O₂ na CO₂ a H₂O, odpovídá jejich biologicky využitelný energetický obsah jejich **fyzikálnímu spalnému teplu**. Tuky a sacharidy se v organismu spolu s O₂ beze zbytku odbourávají na CO₂ + H₂O. Jejich **fyzilogické spalné teplo** je shodné s fyzikálním spalným teplem. Naproti tomu bílkoviny nejsou v lidském těle úplně odbourávány. Produktem jejich odbourávání je močovina. Největší zásobárnou energie v těle jsou zásoby tuku. Mají-li být tyto zásoby stálé (*mechanismus lipostázy*), musí být dlouhodobě přesně sladěny příjem a spotřeba energie. Neboť řízení této energetické homeostázy je totožné s řízením tělesné hmotnosti. Tělesná hmotnost se obvykle určuje pomocí BMI¹⁴⁷.

GASTROINTESTINÁLNÍ TRAKT, FUNKCE TRÁVICÍ SOUSTAVY A JEJÍ STAVBA, METABOLISMUS

Funkce trávicí soustavy

¹⁴⁷ Index tělesné hmotnosti, body-mass index. Určuje se jako BMI = tělesná hmotnost (kg) / tělesná výška (m)².

Funkce gastrointestinálního traktu (GIT)

- příjem potravy
- trávení (=chemické a mechanické zpracování potravy)
- vstřebávání živin, vody, vitamínů
- odstraňování nestrávených zbytků potravy

Dutina ústní:

- chuť, žvýkání, tvorba sousta
- význam zubů: mechanické zpracování potravy, řeč
- jazyk: mechanické zpracování potravy, polykání, chuťové receptory, řeč
- slinné žlázy: příušní, podjazykové, podčelistní
- sliny obsahují hlenovité látky muciny (hlen, důležitý pro tvorbu sousta) a enzym α -amyláza – ptyalin zahajuje trávení škrobů již v ústech (trávicí enzym, štěpí polysacharidy)
- sliny obsahují málo NaCl, jsou hypotonické, jsou uzpůsobeny pro intermitentní oplachování chuťových receptorů NaCl během přijímání potravy
- kojenec potřebuje sliny pro utěsnění rtů během kojení

Hltan:

- místem křížení dýchací a trávicí soustavy
- polykací reflex (reflex je činnost, kterou vůlí neovlivníme)
- spouštění dotekem na čípky a zadní část jazyku, uzavírá se hrtanová záklopka

Jícen:

- transport chymu
- trubice vedoucí do žaludku
- podélná a okružní svalovina (hladké svaly)
- peristaltická vlna je pohyb svaloviny a potravy i proti gravitaci

Žaludek:

- vakovitý orgán o obsahu 2–3 litry

- proximální žaludek skladuje potravu
- distální žaludek zpracovává a dává chymus
- stěna žaludku = svalovina podélná, okružní i šikmá (pochopitelně také hladká); sliznice se žlázkami, které produkují žaludeční šťávy (HCl, pepsinogen), hlen
- HCl vytváří kyselé prostředí, denaturuje (částečně rozkládá) bílkoviny, má imunitní schopnost (ničí choroboplodné zárodky přijaté s potravou)
- pepsinogen: neaktivní forma enzymu, vlivem HCl se mění na aktivní pepsin, který štěpí bílkoviny
- hlen: chrání sliznici žaludku před pepsinem a HCl
- česlo a vrátník = svěrače ohraničující žaludek

Játra:

- žluč (vylučování, trávení tuků)
- metabolismus
- detoxikace

Žlučník:

- zásobárna žluči

Pankreas (exokrinní):

- trávicí enzymy
- HCO_3^- jako nárazník pro H^+

Tenké střevo:

- chemické trávení a vstřebávání živin
- dvanáctník: první krátký úsek tenkého střeva, vývod slinivky břišní: trávicí enzymy štěpící bílkoviny sacharidy a tuky, také vývod jater: žluč → může se hromadit ve žlučníku → emulguje tuky (rozptyluje na kapénky), játra jsou důležitá pro zpracování živin → látkový metabolismus → přeměna živin (látková přeměna), detoxikace organismu → odbourávání toxických jedovatých látek (např. alkohol).
- lačník a kyčelník (dohromady asi 5 m): následují po dvanáctníku, obsah střev (trávenina) posouván peristaltickými pohyby, trávení pomocí enzymů slinivky břišní,

vstřebávání živin přes stěnu střeva do krve (cukry, bílkoviny), mízy (tuky), povrch střeva zvětšen výběžky = klky pro lepší vstřebávání

Tlusté střevo:

- vstřebávání
- dělí se na vzestupný, příčný a sestupný tračník
- slepé střevo + červovitý přívěšek slepého střeva (apendix)
- postupují jím nestrávené zbytky potravy, pomalý pohyb
- kvašení zbytků (bakterie) → uvolňování vody; vstřebávání vody, minerálních látek, vitamínů a některých dalších látek; uvolňování plynů (CO₂) → plynatost

Konečník (anus):

- za normálních okolností je uzavřen
- hromadí a vypuzuje stolici (faeces) (zahuštěné nestrávené zbytky potravy), v průměru se vylučuje 60–80 g/den stolice; je tvořena 1/4 sušinou z níž 1/3 jsou bakterie tlustého střeva
- má určitou kapacitu, při naplnění nucení na stolici
- řitní otvor má dva svěrače: jeden z hladké a druhý z příčně pruhované svaloviny

Pro pokrytí potřebného přívodu látek a energie pro organismus, musí být potrava polknuta, zpracována a rozštěpena (trávení) a nakonec vstřebána ze střeva (resorpce). Trojvrstevná svalovina trávicího ústrojí slouží k promíchávání a posunu obsahu. Pevná potrava je nejdříve rozžvýkána a při tom jsou sousta promíchána se slinami, které na nich vytvoří kluzký film a také obsahují obranné látky a enzymy.

Jícen (oesophagus) rychle transportuje sousta do žaludku. Dolní jícnový svěrač se při tom otevírá jen nakrátko, normálně však brání refluxu žaludeční šťávy. Proximální žaludek slouží především k uskladnění potravy, jeho tonus zajišťuje posun do distálního žaludku, kde je potrava upravena, a žaludeční šťávou jsou natráveny proteiny. Distální žaludek také dávkuje chymus (tráveninu).

V **tenkém střevě** se štěpí enzymy pankreatu. HCO₃⁻ z pankreatické šťávy neutralizují kyselý chymus. Pro trávení tuků jsou nezbytné soli žlučových kyselin přiváděné žlučí. Produkty trávení (monosacharidy, aminokyseliny, dipeptidy, monoacylglyceroly a volné mastné kyseliny) jsou vstřebávány v tenkém střevě spolu s vodou, minerálními látkami a vitamíny.

Žluč secernovaná v játrech obsahuje odpadní produkty (např. bilirubin), které jsou potom vylučovány stolicí.

Tlusté střevo je posledním místem pro resorpci vody a iontů. Je osídleno bakteriemi a v céku a rektu představuje prostor pro hromadění stolice (faeces), takže i při hojném příjmu potravy probíhá defekace relativně méně často.

IMUNITNÍ OCHRANA

Součástí slin (muciny, IgA a lysozym) tlumí pronikání mikroorganismů. Žaludeční šťáva působí baktericidně a Peyerovy pláty představují vlastní imunokompetentní lymfatickou tkáň gastrointestinálního traktu. Specializované membranózní buňky, tzv. M-buňky ve slizničním epitelu zajišťují přenos lumenálních antigenů k lymfocytům Peyerových plátů, které ve spolupráci s makrofágy mohou reagovat uvolňováním IgA.

KREVNÍ ZÁSOBENÍ

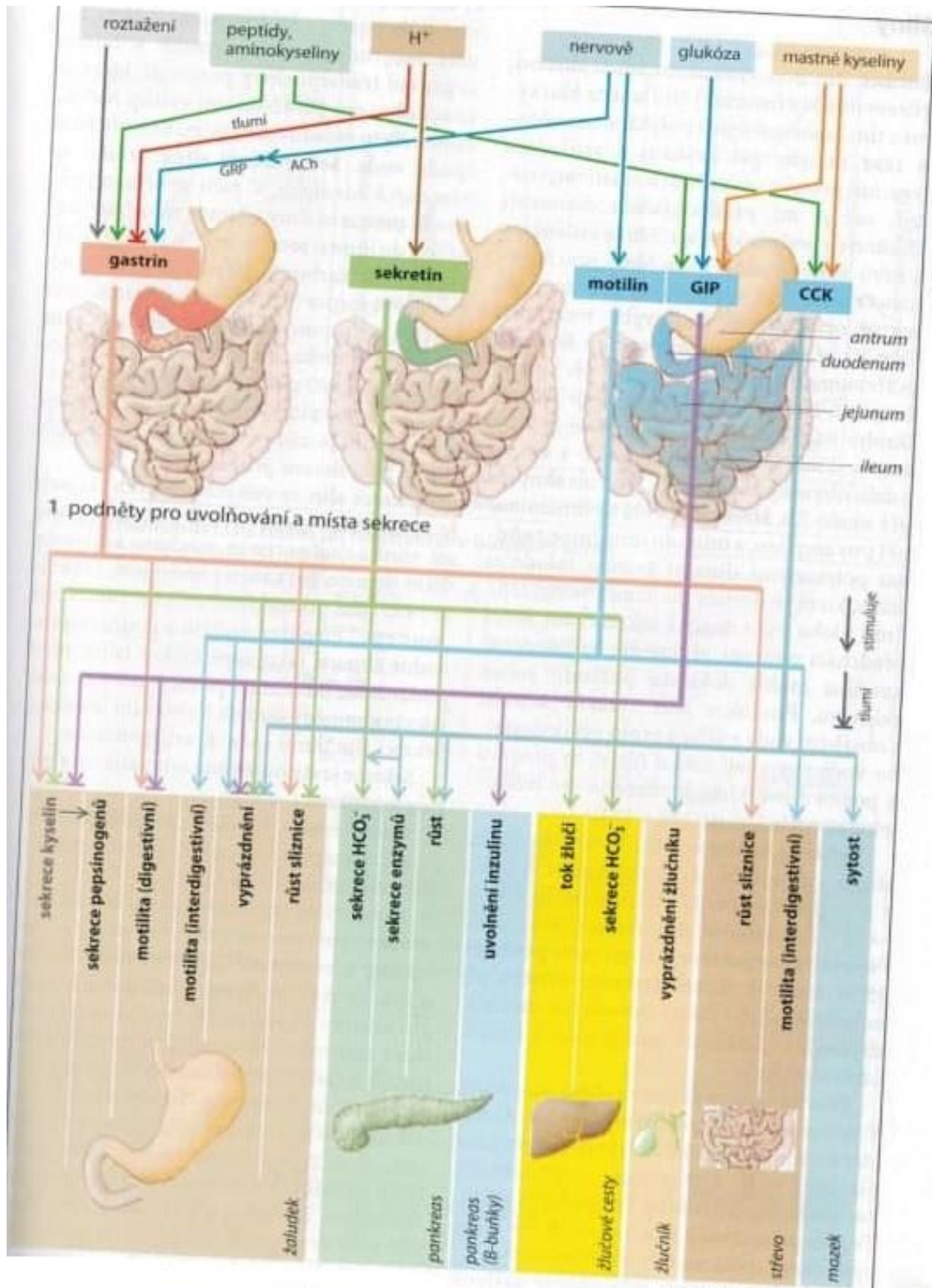
Krevní zásobení žaludku, střev, jater, pankreatu a sleziny obstarávají tři hlavní větve břišní aorty. Prokrvení střev je regulováno místními reflexy, vegetativním nervovým systémem a hormony. Je nezávislé na kolísání systémového krevního tlaku (autoregulace), silně stoupá po jídle (acetylcholin, VIP) a klesá při tělesné práci (noradrenalin, aj.). Venózní krev obsahující látky resorbované ze střeva se dostává vrátnicovou (portální) žilou do jater. Část resorbovaných tuků (chylomikrony) prostupuje do střevní lymfy a dostává se do systémového oběhu, aniž prošla játry.

NERVOVÁ A HORMONÁLNÍ INERVACE

Všechny endokrinní (= přivádění k cílovým buňkám systémovým krevním oběhem) hormony GIT jsou peptidy tvořené v endokrinních buňkách sliznice. Gastrin, CCK, sekretin, GIP, motilin a parakrinně účinné signální látky jsou přehledně uvedeny na Obrázek 59.

Motilita, sekrece, krevní zásobení a růst jsou v GIT řízeny hormony, parakrinně působícími signálními látkami a nervově. **Endogenní reflexy** (lokální) probíhají v plexus myentericus a submucosus (tj. enterický nervový systém). Endogenní reflexy jsou prostorově úzce ohraničeny a jsou vyvolány drážděním baroreceptorů ve stěně jícnu, žaludku a střeva; nebo chemoreceptorů ve slizničním epitelu. Aktivitu enterického nervového systému moduluje zevní inervace. **Zevní inervaci** GIT zajišťuje od dolního jícnu až po colon ascendens parasympatikus; v sympatických nebo parasympatických nervech potom sympatikus a viscerální aferentní vlákna. **Neurotransmitery** – vegetativní nervový systém v GIT uvolňuje noradrenalin a acetylcholin.

Funkce gastrointestinálního traktu (GIT)



Obrázek 59 Hormony trávicího systému a jejich důležité účinky [44].

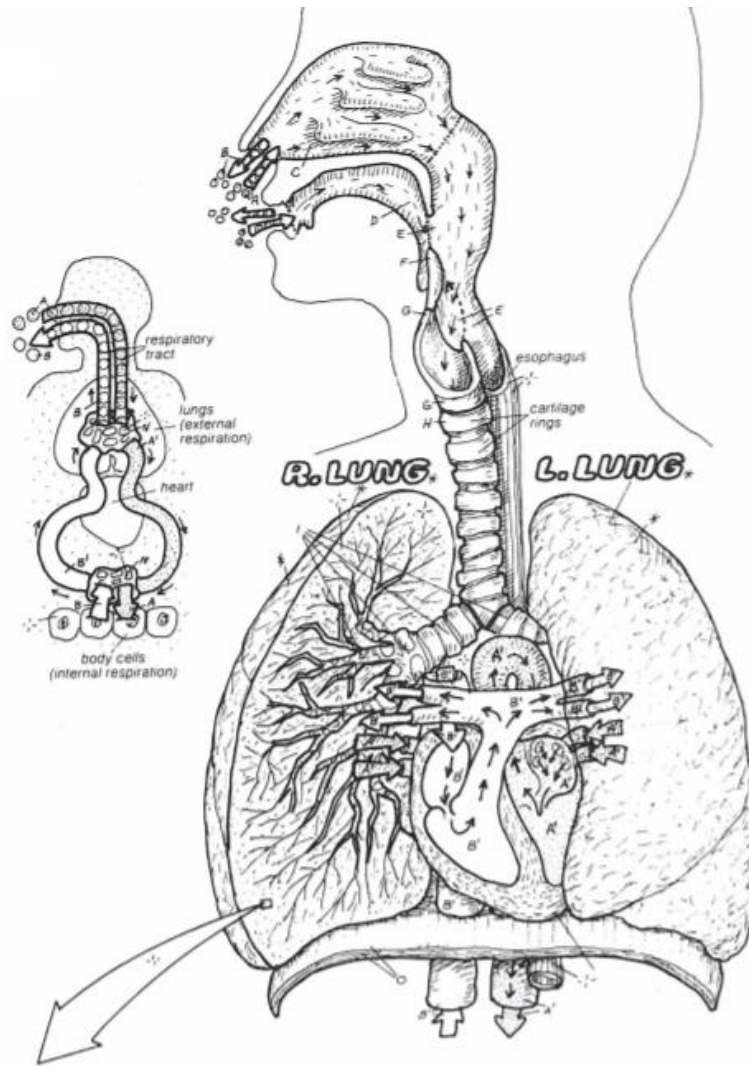
OTÁZKY



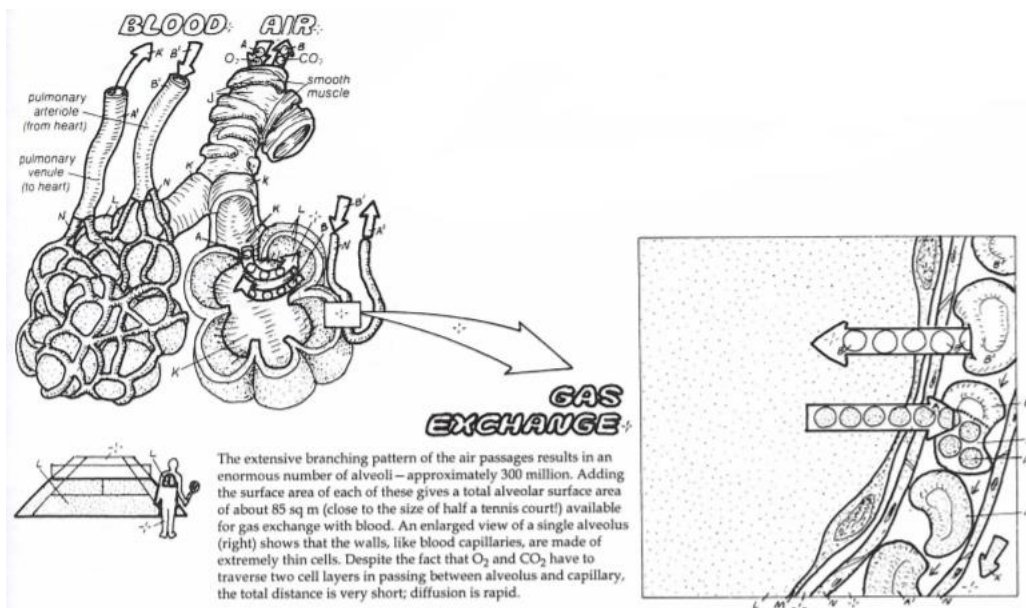
1. **Popište nervový systém střeva**
2. **Kde se nachází Auerbachův plexus**
3. **Co je peristaltika?**
4. **Jako funkci mají Cajalové intersticiální buňky?**
5. **Popište jednotlivé fáze migrujícího motorického komplexu**
6. **Co jsou eneterocyty?**
7. **Jsou v žaludku tráveny tuky?**
 - a) Ano, ale pouze v kojeneckém období
 - b) Ne, tuky nejsou v žaludku tráveny ani v dětství, ani v dospělosti
8. **Které hormony řídí vstřebávání vápníku? _____**
9. **Popište řízení sekrece slin.**
10. **Jak vzniká většina bilirubinu?**
11. **Popište gastrokolický reflex.**
12. **Gastrin a cholecystokinin patří do skupiny:**
 - a) sekretinové skupiny
 - b) gastrinové skupiny
13. **Uveďte centrum polykacího reflexu:**

Správné odpovědi: 7a; 8 kalcitriol a parathormon; 10 rozpadem hemoglobinu ve tkáních; 12b, 13 IX. a X. hlavového nervu.

PRACOVNÍ LISTY



Alveolar sacs (left) are microscopic clusters of individual spherical outpouchings called alveoli. Each cluster is embedded in a network of blood capillaries.



LYMPHATIC SYSTEM

- LYMPH CAPILLARY
- ANCHORING FILAMENT
- LYMPH FLUID
- LYMPH VESSEL
- VALVE
- LYMPH NODE
- FLUID EXCHANGE

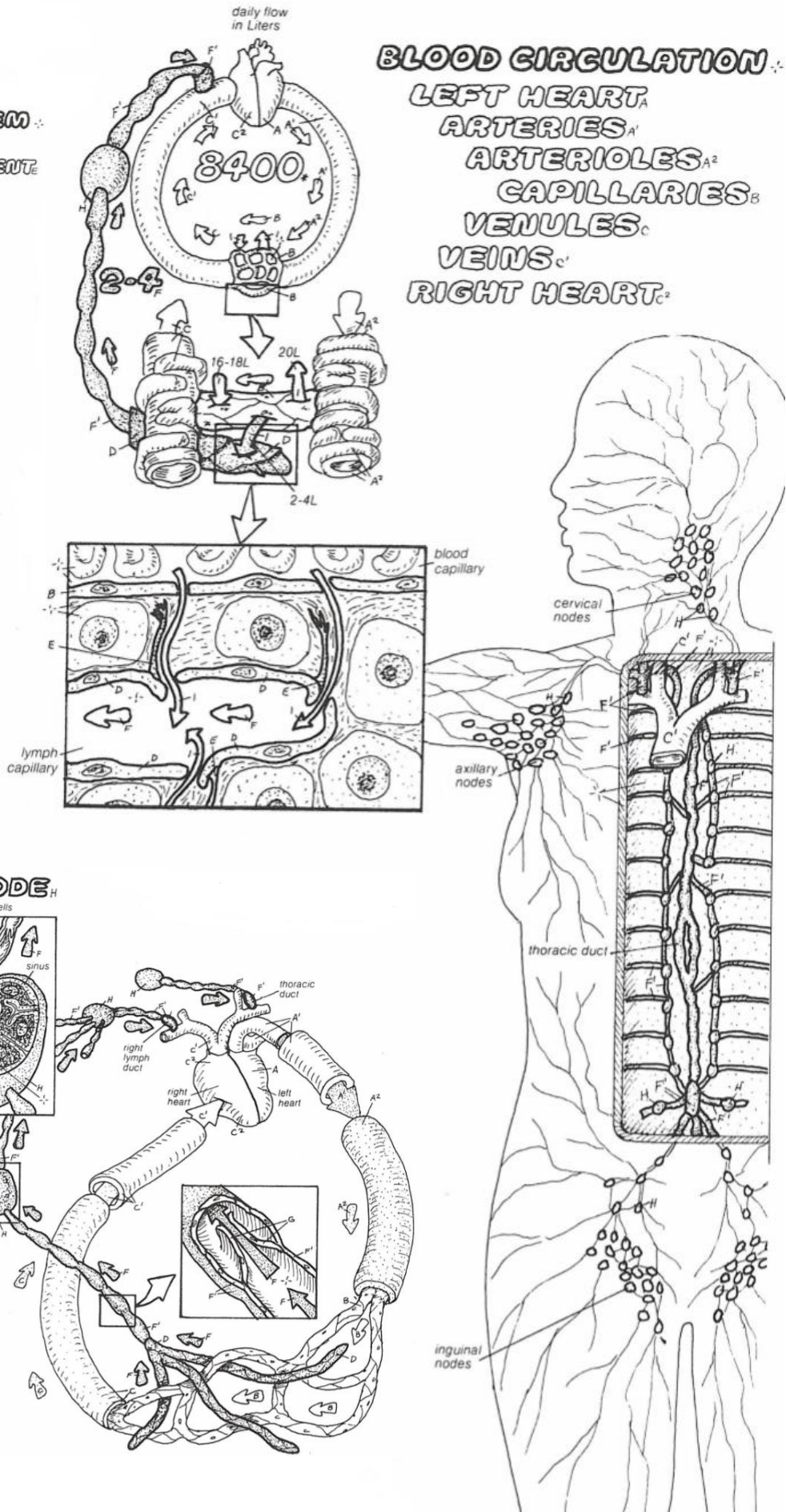
During each 24 hours the heart pumps 8400 liters of blood. Of the 20 liters that filter out of the capillaries into the tissues, some 16 to 18 liters are returned to the circulation via capillary reabsorption, leaving 2 to 4 liters to be returned by the lymphatic system.

When the tissue spaces fill with fluids, the lymph capillaries are held open by anchoring filaments attached at one end to the endothelial cells and to surrounding connective tissue at the other end. Tissue fluid containing small amounts of plasma protein that has escaped from the blood capillaries freely permeates the gaps between these endothelial cells of the lymph capillaries.

The network of lymph vessels returns fluid to the circulation via connections with large veins. Lymph flow is propelled largely through the periodic contractions of the smooth muscle embedded in the walls of the duct. One-way flow (out of the tissues and toward the vein) is ensured by the numerous valves that occur every few mm. As lymph travels through the lymphatics, it flows through lymph nodes, which serve as powerful defense stations guarding against foreign materials and invading bacteria.

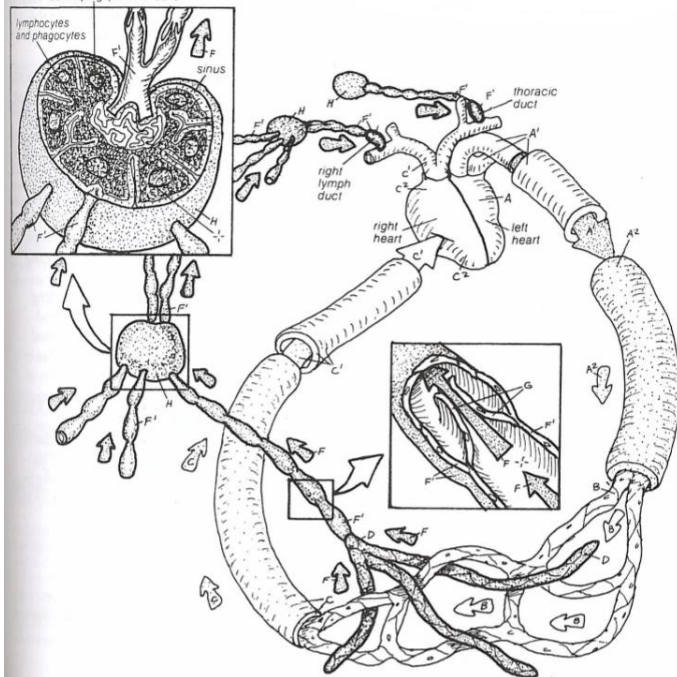
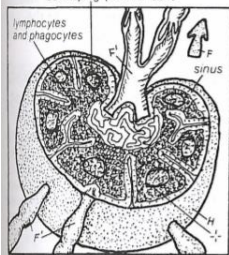
BLOOD CIRCULATION

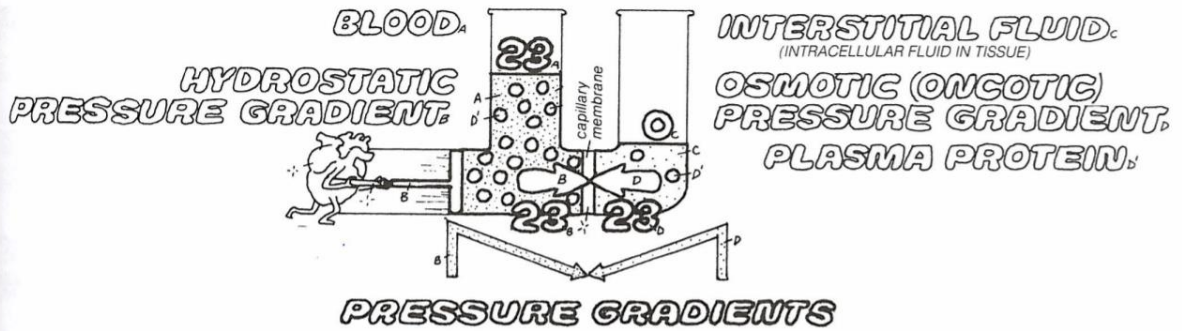
- LEFT HEART
- ARTERIES
- ARTERIOLES
- CAPILLARIES
- VENULES
- VEINS
- RIGHT HEART



LYMPH NODE

developing plasma cells



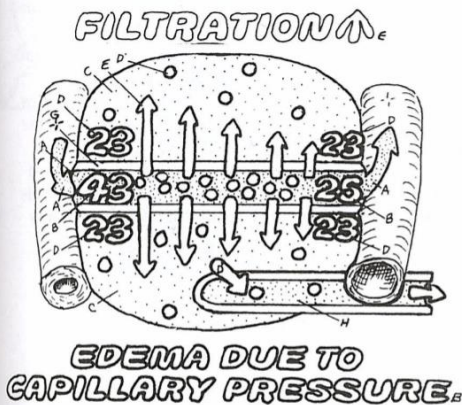
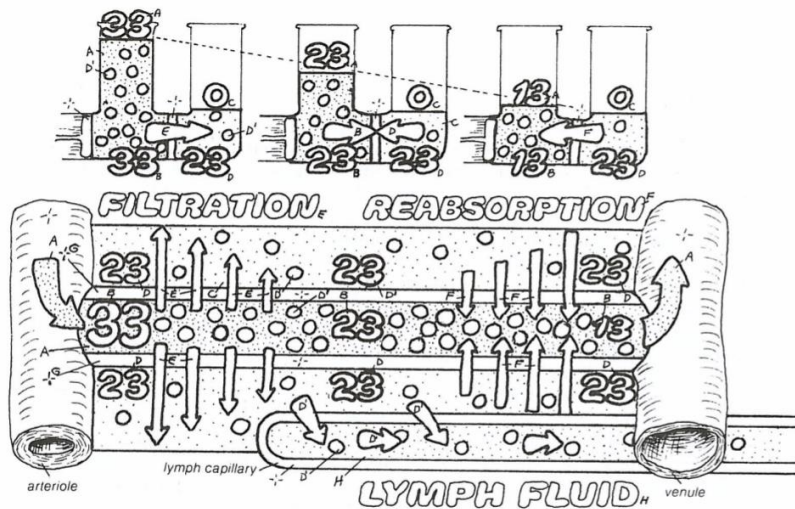


Blood plasma and interstitial fluid are almost identical in composition except for the presence of considerable amounts of protein in the plasma and very little in the interstitial fluid. With plasma on one side and interstitial fluid on the other side of a membrane made up of a capillary wall, we find fluid flowing from interstitial

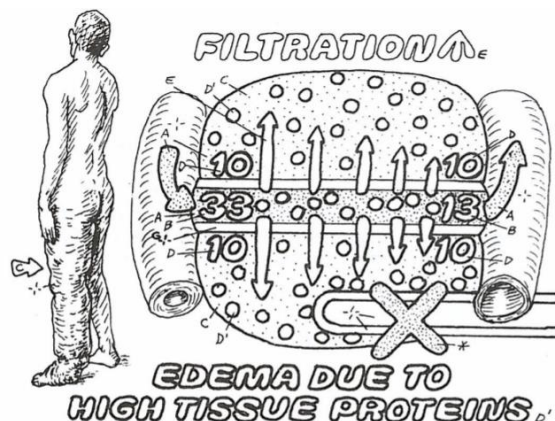
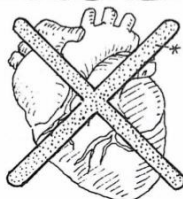
fluid to plasma as a result of inequality of plasma proteins in the two fluids. To prevent flow, pressure equal to 23 mm Hg must be applied to the plasma. This is the osmotic gradient caused by unequal amounts of proteins (the oncotic gradient). In the body, this pressure is applied by the heart; it is the capillary blood pressure.

FILTRATION AND REABSORPTION IN THE CAPILLARY

Capillary blood pressure is not the same in all parts of a capillary; it is higher at the arterial end and falls continuously through the capillary until reaching the lowest value at the venous end. Keeping track of fluid balance in an average capillary shows that at the arterial end, hydrostatic pressure gradient = blood pressure - tissue pressure = 35 - 2 = 33 mm Hg pushing fluid out (filtration). Oncotic pressure gradient = plasma oncotic pressure - tissue oncotic pressure = 25 - 2 = 23 mm Hg pulling fluid in (reabsorption). The net result at the arterial end is 33 - 23 = 10 mm Hg pushing fluid out. At the venous end only the capillary pressure has changed. Now it is 13 mm Hg. Repeating the analysis shows a net force of 10 mm Hg pulling fluid in at the venous end.



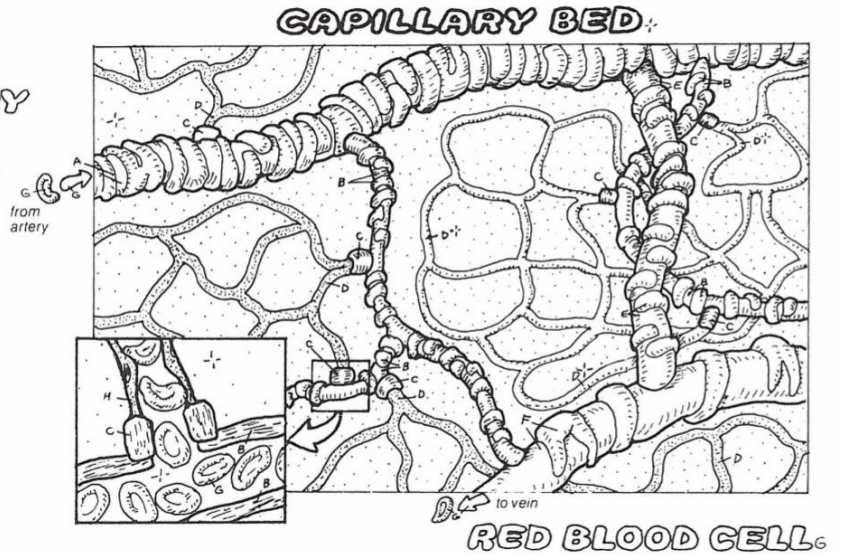
Edema (swollen tissue) often results from increased capillary blood pressure. Forces favoring filtration are increased while oncotic pressures may not change very much, so that filtration prevails along the entire length of the capillary. This could result from dilation of the arterioles or from venous congestion extending back to the capillaries, as may occur in heart failure.



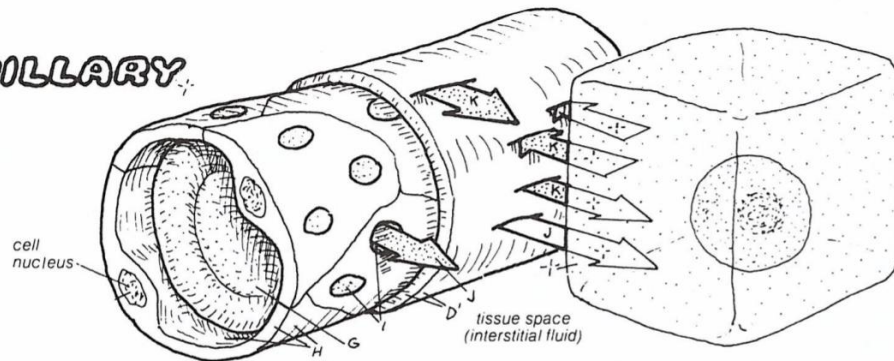
Edema can also result from disturbances of lymph drainage. Lymphatics serve as an overflow system, returning excess tissue fluid and proteins to the circulation. When lymph drainage is poor, proteins accumulate in tissue spaces and compromise the oncotic pressure gradient while the hydrostatic pressure gradient remains unchanged. These disturbances follow obstruction of lymph vessels, which can result from operations or from parasitic invasion (and obstruction) of the lymph vessels of the limbs, a condition known as elephantiasis.

ARTERIOLE_A
METARTERIOLE_B
PRECAPILLARY SPHINCTER_C
CAPILLARY_D
AV SHUNT_E
VENULE_F

In many tissues, blood is delivered to metarterioles, which serve as supply vessels to capillaries. Capillaries that arise as side branches of either arterioles or metarterioles have muscle cells around their origin, which act as gates (precapillary sphincters). If the gates are shut, blood in the metarterioles is conveyed directly to the venules. Sometimes a second type of bypass vessel called an AV shunt occurs. These are direct connections between arterioles and venules that do not give rise to capillaries. Note the occurrence of smooth muscle in the different vessels.



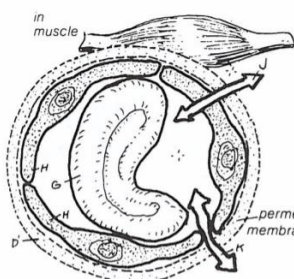
CAPILLARY



ENDOTHELIAL CELL_H
BASEMENT MEMBRANE_D
FENESTRATION_I

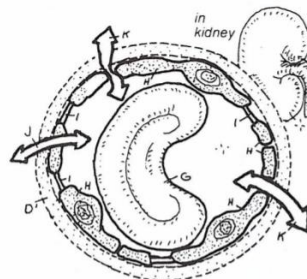
Most solutes diffuse freely through the capillary walls. The concentration of O₂ and nutrients dissolved in the blood plasma is higher than that in the tissues because solutes are consumed in the tissue; the concentration gradient promotes nutrient diffusion from blood plasma to tissue. In contrast, CO₂ and waste products are constantly produced in the tissues; their concentration gradient promotes diffusion from the tissue to blood plasma.

TYPES OF CAPILLARIES



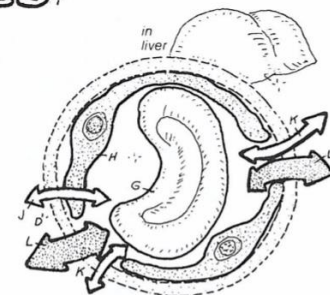
CONTINUOUS_H

In many tissues, such as skeletal, cardiac, and smooth muscle, the junction between endothelial cells is loose enough to allow passage of most molecules, but not proteins.



FENESTRATED

Capillary endothelial cells in the intestines, kidney, and endocrine glands are riddled with large "windows" called fenestrations, which provide large surface areas for permeation. These fenestrations are not simple holes. They are covered by a thin, porous, very permeable membrane.



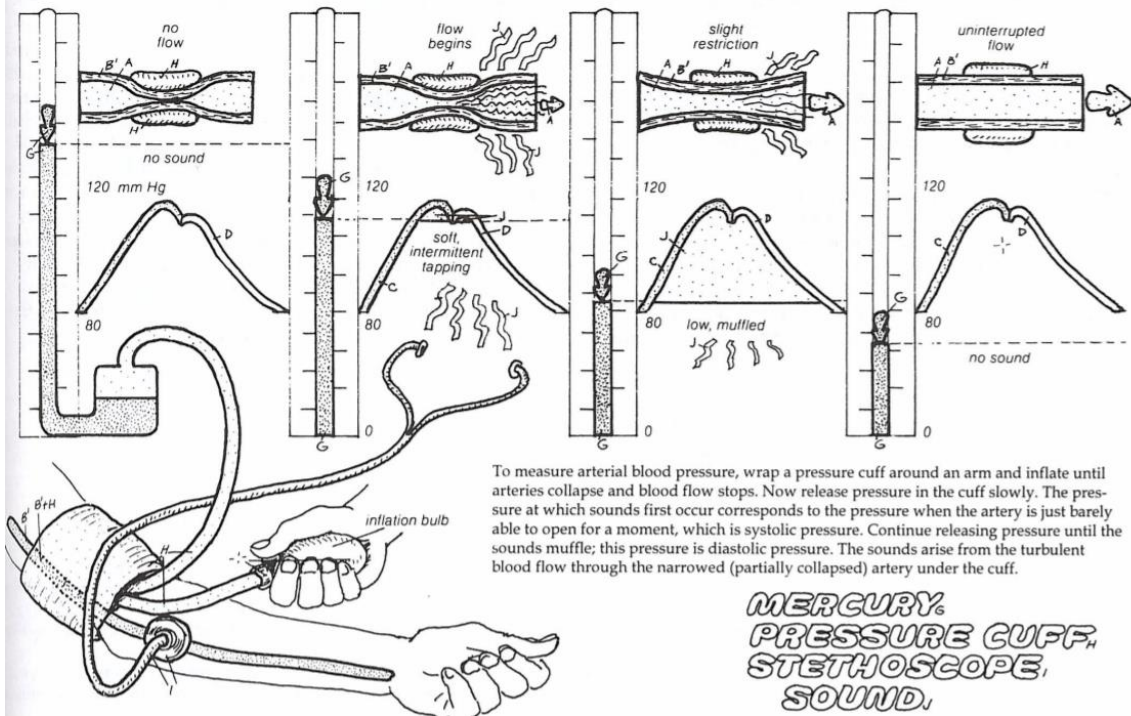
DISCONTINUOUS_H

Capillaries in the bone marrow, liver, and spleen can be extremely porous. The endothelial cells do not provide a continuous covering, leaving large gaps between cells that are easily traversed by large molecules, including proteins.

SOLUTES

LIPID SOLUBLE MOLECULE (O₂, CO₂)_J
WATER SOLUBLE MOLECULE (GLUCOSE, IONS, H₂O)_K
MACROMOLECULE (PLASMA PROTEIN)_L

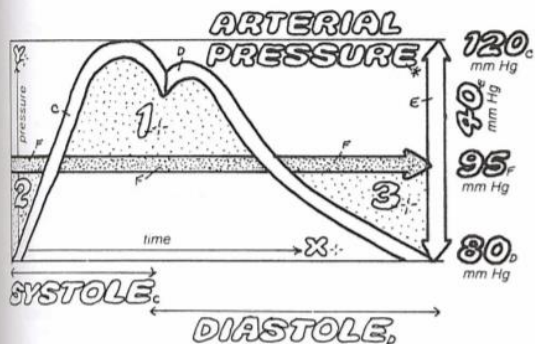
MEASUREMENT OF PRESSURE



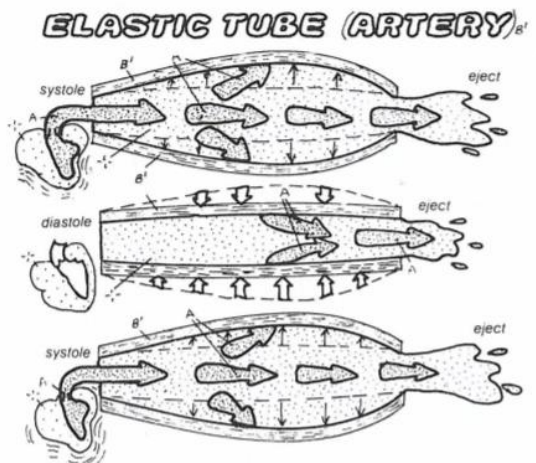
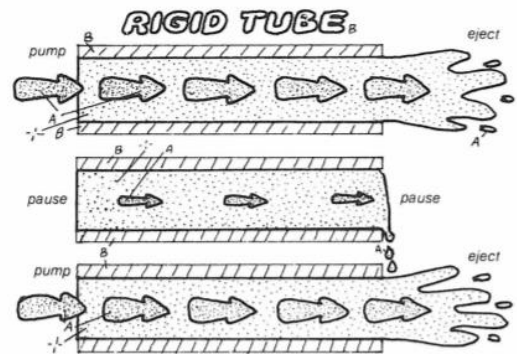
ARTERIAL PRESSURE

**BLOOD,
TUBE, ARTERY, RECOIL,
SYSTOLE,
DIASTOLE,
PULSE PRESSURE,
MEAN PRESSURE**

The heart pumps blood intermittently; during systole, blood is thrust into the aorta, but during diastole no blood leaves the heart. In vessels with rigid walls the pressure would rise to very high values during systole and fall to near zero during diastole. Blood would spurt into the capillaries with each systole and almost stop during diastole. But arteries are not rigid pipes; they have elastic walls. During systole, part of the stroke volume is stored by the expanding arteries; during diastole, blood stored in the expanded arteries leaves for the capillaries, propelled in part by the recoil of arterial walls. The elastic walls buffer changes in pressure and flow caused by the intermittent heartbeat.



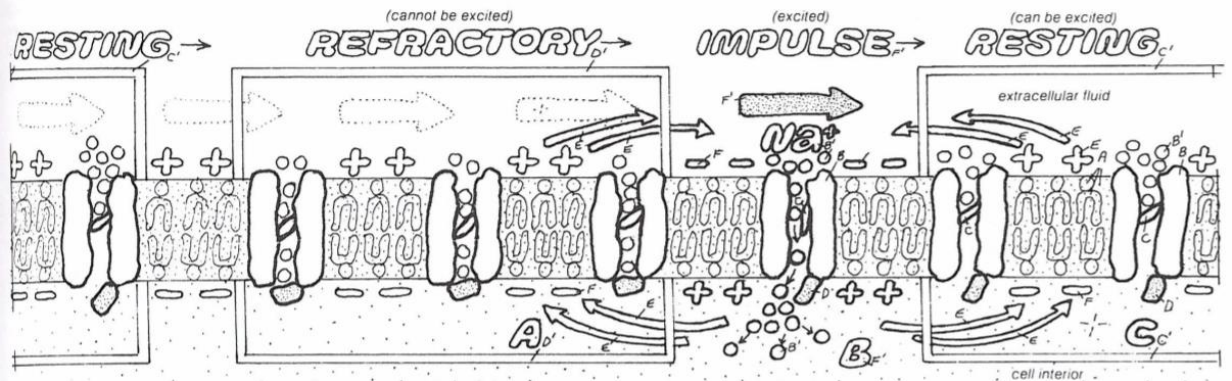
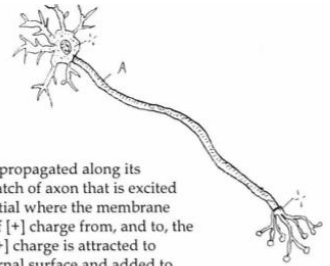
The arterial pressure (y axis) is shown through time (x axis). With each heartbeat, the arterial pressure in a young adult varies between 80 (diastolic) and 120 (systolic) mm Hg. Pulse pressure = systolic - diastolic pressure = 120 - 80 = 40 mm Hg. The mean pressure represented by the horizontal line is determined by splitting the area under the pressure curve into two equal parts (area 1 = 2 + 3 in the illustration).



NONMYELINATED AXON

AXON MEMBRANE.
 Na^+ CHANNEL, IONS,
 FAST GATE.
 SLOW GATE.
 POSITIVE CHARGE
 NEGATIVE CHARGE
 NERVE IMPULSE

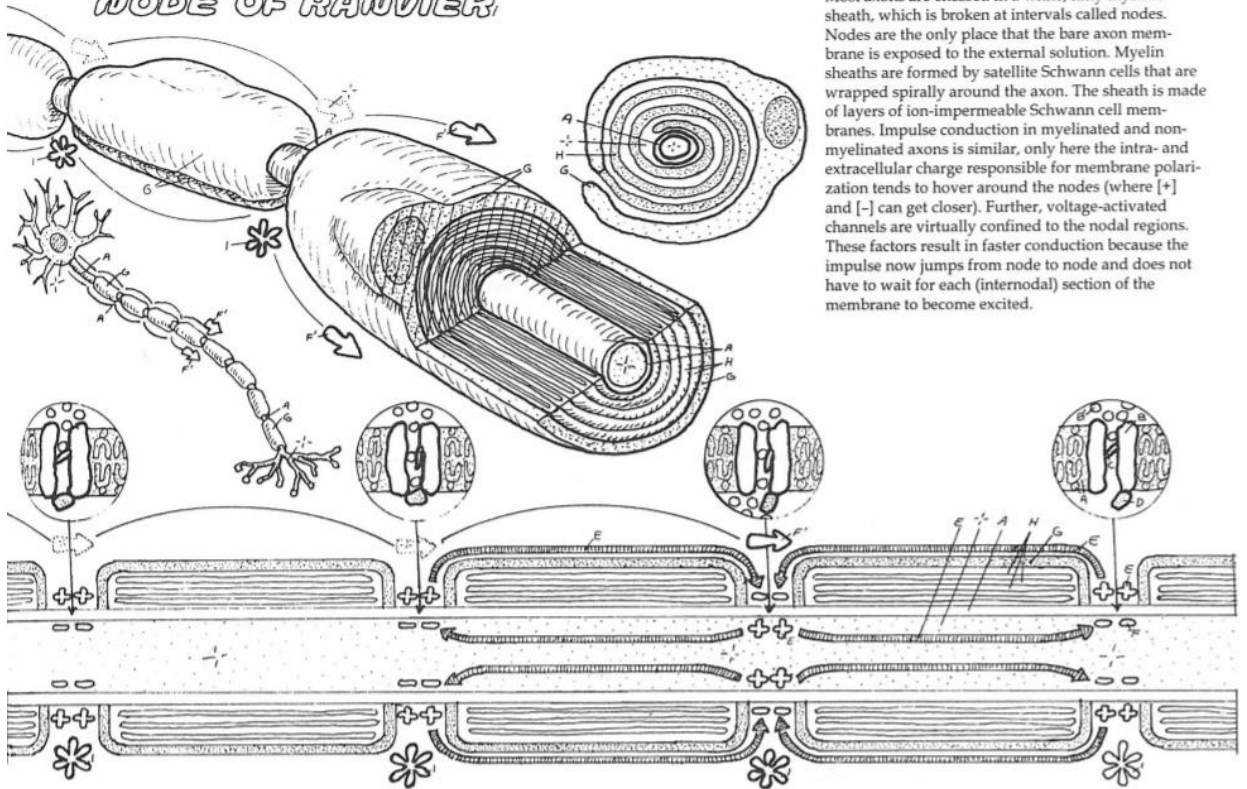
Once an axon is excited, an impulse is propagated along its entire length. Area B below shows a patch of axon that is excited and is at the height of the action potential where the membrane polarity is reversed. Follow the flow of $[+]$ charge from, and to, the adjacent membrane area, C. Because $[+]$ charge is attracted to $[-]$ charge, it is removed from the external surface and added to the internal surface at C. Both effects depolarize the membrane at C. But depolarization stimulates! An advancing impulse (B) stimulates the membrane ahead of it (C), but not the region behind (A) because that region is in a refractory period.



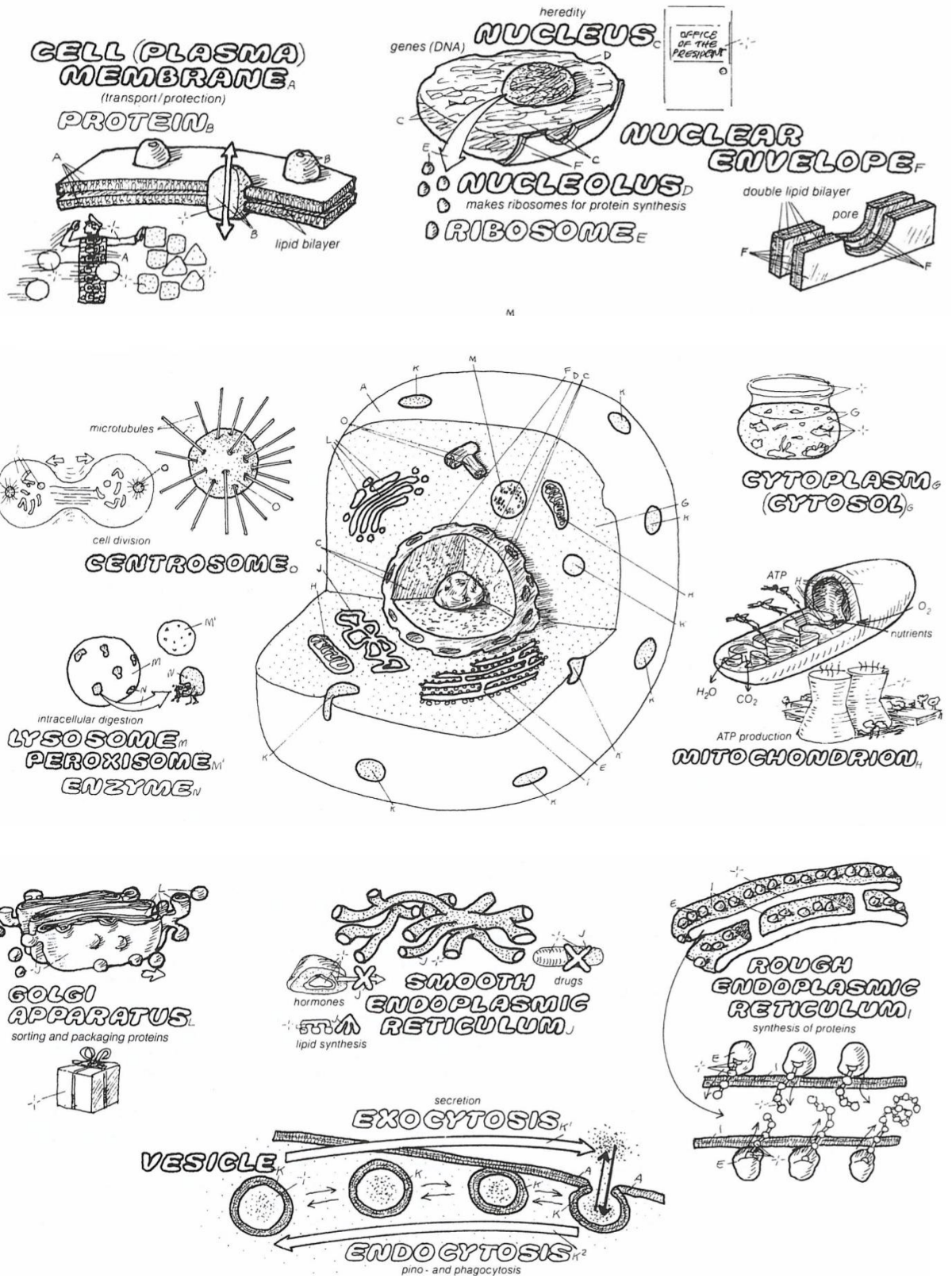
MYELINATED AXON

SCHWANN CELL.
 MYELIN SHEATH,
 NODE OF RANVIER

Most axons are encased in a white, fatty myelene sheath, which is broken at intervals called nodes. Nodes are the only place that the bare axon membrane is exposed to the external solution. Myelin sheaths are formed by satellite Schwann cells that are wrapped spirally around the axon. The sheath is made of layers of ion-impermeable Schwann cell membranes. Impulse conduction in myelinated and non-myelinated axons is similar, only here the intra- and extracellular charge responsible for membrane polarization tends to hover around the nodes (where $[+]$ and $[-]$ can get closer). Further, voltage-activated channels are virtually confined to the nodal regions. These factors result in faster conduction because the impulse now jumps from node to node and does not have to wait for each (internodal) section of the membrane to become excited.



Funkce gastrointestinálního traktu (GIT)



LITERATURA

- [1] Ontogeneze člověka. *Informační systém Masarykovy univerzity* [online]. Brno [cit. 2021-7-30]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/fsp/podzim2019/np4051/Ontogeneze_cloveka.pdf. Prezentace vytvořena v programu Microsoft PowerPoint.
- [2] Ontogeneze a evoluce. *Laboratory of growth regulators: Laboratoř růstových regulátorů* [online]. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci a Ústavu experimentální botaniky AV ČR [cit. 2021-7-30]. Dostupné z: http://www.rustreg.upol.cz/_materials/vbi/10_Vyskot_Evodevo.pdf. Prezentace vytvořena v programu Microsoft PowerPoint.
- [3] MACHÁČEK, T. a et al. BIOMACH, výpisky z biologie: Buněčná a molekulární biologie. *Biomach* [online]. 2005– [cit. 2021-7-30]. Dostupné z: <http://www.biomach.cz/biologie-bunky>
- [4] Genetika – Biologie: Embryo. ŠÍPEK, Antonín. *Genetika – Biologie: Váš zdroj informací o genetice a biologii* [online]. 2014 [cit. 2021-7-30]. Dostupné z: <http://www.genetika-biologie.cz/embryo>
- [5] Příspěvatelé Wikipedie, *Postnatální vývoj člověka* [online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie, c2021, Datum poslední revize 26. 05. 2021, 09:12 UTC, [citováno 2. 06. 2021] < >
- [6] *Vznik a vývoj lidského jedince: Přehled GMH – Biologie člověka* [online]. Praha: Gymnázium Milady Horákové [cit. 2021-7-30]. Dostupné z: http://www.gymh.cz/vyuka/biologie/prehledy/4clo_14_vyvoj_jedince.pdf
- [7] GANONG, William F. *Přehled lékařské fyziologie: dvacáté vydání*. Praha: Galén, c2005. ISBN 80-7262-311-7.
- [8] NOVÁK, Ivan. Homeostáza a jak s ní zacházíme. *MEDICAL TRIBUNE CZ: Tribuna lékařů a zdravotníků* [online]. 06.03.2018 [cit. 2021-7-30]. Dostupné z: <https://www.tribune.cz/clanek/42983-homeostaza-a-jak-s-ni-zachazime>
- [9] File:Cell Structure , Cell Diagram.png. (2020, October 15). *Wikimedia Commons, the free media repository*. Retrieved 08:38, June 15, 2021 from https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Cell_Structure,_Cell_Diagram.png&oldid=490108266.
- [10] ÚSTAV HISTOLOGIE A EMBRYOLOGIE. Obecné znaky epitelové tkáně. *Lékařská fakulta Masarykovy univerzity* [online]. Brno [cit. 2021-7-30]. Dostupné z: https://www2.med.muni.cz/histology/MedAtlas_2/OH_txt4-1.htm. Výuková materiál.
- [11] HARDJA, Glenna. Epitelová tkáň. SlidePlayer - Nahrávejte a Sdílejte své PowerPoint prezentace [online]. [cit. 2021-7-30]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/14713747/>. Prezentace vytvořena v programu Slide Player.
- [12] Anti Aging Strategie (2) – Mitochondrie, ZOMBIE BUŇKY, stárnutí a pohyb. *Mindset Academy kurzy* [online]. [cit. 2021-7-30]. Dostupné z: <https://www.mindset.cz/prispevky/9212-anti-aging-strategie-2-mitochondrie-starnuti-zombie-bunky-pohyb/>

- [13] File:Animal mitochondrion diagram cs.svg. (2020, September 12). *Wikimedia Commons, the free media repository*. Retrieved 14:35, June 15, 2021 from https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Animal_mitochondrion_diagram_cs.svg&oldid=456859838.
- [14] ŠAJDÍKOVÁ, Martina. Funkce buněk a lidského těla: Funkční morfologie buněk. Kolektiv autorů. *Funkce buněk a lidského těla* [online]. [cit. 2021-7-30]. Dostupné z: <http://fbt.cz/skripta/i-struktura-bunky/1-funkcni-morfologie-bunek/>. Multimediální skripta.
- [15] Britannica, The Editors of Encyclopaedia. „Lysosome“. *Encyclopedia Britannica*, 12 Sep. 2019, <https://www.britannica.com/science/lysosome>. Accessed 16 June 2021.
- [16] Biology: Cell Structure I Nucleus Medical Media: Overview of cell structure. *YouTube* [online]. [cit. 2021-7-30]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=URUJD5NEXC8>
- [17] DRÁBEROVÁ, Eduarda. Cytoskelet - dynamická síť: Cytoskelet není jen buněčná kostra, ale také pohybový a organizační systém. *Vesmír: věda, příroda, člověk, společnost – časopis s tradicí od roku 1871* [online]. 2008, 5. 8. 2000, **79**(438) [cit. 2021-7-30]. ISSN 1214-4029. Dostupné z: <https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/2000/cislo-8/cytoskelet-dynamicka-sit.html#&gid=1&pid=7>. Snímek E. Dráberová na fluorescenčním mikroskopu OLYMPUS AX 70 Provis.
- [18] W3SCHOOLS. Centrosomes And Centrioles. *W3schools - Best Place for Online Tutorials* [online]. © Copyright 2022 W3schools.blog. All rights reserved. February 9, 2020 by admin [cit. 2022-01-30]. Dostupné z: <https://www.w3schools.blog/centrosomes-and-centrioles>
- [19] The cell. More information. Cilia and flagella. Atlas of Plant and Animal Histology. *Inicio. Atlas de histología Vegetal y Animal* [online]. © Copyright 2022 W3schools.blog. All rights reserved. [cit. 2022-01-30]. Dostupné z: <https://mmegias.webs.uvigo.es/02-english/5-celulas/ampliaciones/7-cilio-flagelo.php>
- [20] „File: ProteinTranscription+Synthesis.svg.“ *Wikimedia Commons, the free media repository*. 8 Sep 2020, 19:56 UTC. 28 Jun 2021, 08:57 <<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:ProteinTranscription%2BSynthesis.svg&oldid=452397652>>.
- [21] ĎURECH, Michal, Bořivoj VOJTĚŠEK a Petr MÜLLER, 2012. Role molekulárních chaperonů a ko-chaperonů v biologii nádorů. *Klin Onkol* [online]. Care Comm, **25**(Suppl 2), 2S45-2S49 [cit. 2022-01-23]. ISSN 1802-5307. Dostupné z: <https://www.linkos.cz/files/klinicka-onkologie/174/4127.pdf>
- [22] Hrubé endoplazmatické retikulum. In: *Střední zdravotnická škola Karviná* [online]. [cit. 2022-01-23]. Dostupné z: <https://www.sszdra-karvina.cz/bunka/bi/03eu/ererhr.htm>
- [23] KYLAROVÁ, Dana. Hepatocyt v TEM. In: *Laboratoř mikroskopických metod: LF UP v Olomouci* [online]. Olomouc: Lékařská fakulta Univerzity Palackého [cit. 2022-01-23]. Dostupné z: <http://ultrastruktura.upol.cz/v%C3%BDuka/AtlasEM/tr/slides/tr010.html>
- [24] MIHULKA, Stanislav, 2009. Umělý Golgiho aparát na mikročipu. *Osel: Objective Source E-Learning* [online]. Osel [cit. 2022-01-23]. ISSN 1214-6307. Dostupné z: <https://www.osel.cz/4550-umely-golgiho-apat-na-mikrocipu.html>

- [25] BERÁNKOVÁ, Silvie a Mgr. Martin ŠMÍD. Eukaryota – buněčná stavba. *SlidePlayer* [online]. © 2022 SlidePlayer.cz Inc. All rights reserved. [cit. 2022-01-11]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/3070283/>
- [26] FELLNEROVÁ, I. Skripta: Obecná fyziologie: Buněčný transport. *Katedra zoologie a ornitologická laboratoř UP* [online]. [cit. 2022-01-30]. Dostupné z: https://zoologie.upol.cz/old/osoby/fellnerova/pdf_nuevo/Bunecny_TRANSPORT_2015_9.pdf
- [27] KODÍČEK, Milan, 2004. *Biochemické pojmy: výkladový slovník*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. ISBN 80-7080-551-x.
- [28] SITNÁ, Dagmar a Renata KŮSTOVÁ. *BIOLOGIE- studijní text pro žáky 1. ročníku SZŠ Nymburk: Buňka (cellula)* [online]. 2016. Nymburk: Střední zdravotnická škola a Vyšší odborná škola zdravotnická Nymburk, 2016 [cit. 2022-01-11]. ISBN 978-80-88058-92-2. Dostupné z: <https://publi.cz/books/294/03.html>
- [29] INSTITUT GALENUS. Buněčné jádro: Odborný článek zabývající se strukturou buněčného jádra, popisem funkce obou forem jádra a významem chromatinu při reprodukci. *Institut Galenus* [online]. [cit. 2022-01-30]. Dostupné z: <https://www.galenus.cz/clanky/biochemie/biochemie-bunka-bunecne-jadro>
- [30] <https://docplayer.cz/8959155-Bunka-v-jadro-bunecny-cyklus-a-bunecne-deleni-mitosa-ustav-histologie-a-embryologie-1-lf-uk.html>
- [31] ČECH, S. Nervová tkáň. LÉKAŘSKÁ FAKULTA, MASARYKOVA UNIVERZITA. *Ústav histologie a embryologie* [online]. Brno [cit. 2022-01-30]. Dostupné z: https://www2.med.muni.cz/histology/MedAtlas_2/OH_txt7.htm
- [32] ŠTEFELA, Jakub. Struktura nervové tkáně. *Úvod do centrální nervové soustavy* [online]. Praha: 3. lékařská fakulta pod záštitou Anatomického ústavu 3. LF UK [cit. 2022-01-24]. Dostupné z: <http://www.cnsonline.cz/?p=271>
- [33] Vedantu: Questions & Answers. *Vedantu* [online]. [cit. 2022-01-11]. Dostupné z: <https://www.vedantu.com/question-answer/name-different-types-of-neurons-and-give-one-class-12-biology-cbse-5f8377fea6aa52304a>
- [34] PENZES, Peter, Kevin M. WOOLFREY a Deepak P. SRIVASTAVA, 2011. Epac2-mediated dendritic spine remodeling: Implications for disease. *Molecular and Cellular Neuroscience* [online]. **46**(2), 368-380 [cit. 2022-01-24]. ISSN 10447431. Dostupné z: doi:10.1016/j.mcn.2010.11.008
- [35] JONÁŠ, Josef, 2022. *Nervový systém a detoxikace* [online]. In: ©DocPlayer.cz. [cit. 2022-01-24]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/29747645-Nervovy-system-a-detoxikace.html>
- [36] KIRANYAZ, Serkan, Turker INCE, Alexandros IOSIFIDIS a Moncef GABBOUJ, 2020. Operational neural networks. *Neural Computing and Applications* [online]. **32**(11), 6645-6668 [cit. 2022-01-24]. ISSN 0941-0643. Dostupné z: doi:10.1007/s00521-020-04780-3
- [37] PEREDA, Alberto E., 2015. Neurobiology: All Synapses Are Created Equal. *Current Biology* [online]. **25**(1), R38-R41 [cit. 2022-01-24]. ISSN 09609822. Dostupné z: doi:10.1016/j.cub.2014.11.029

- [38] PEREDA, Alberto E. Electrical synapses and their functional interactions with chemical synapses. *Nature Reviews Neuroscience* [online]. 2014, **15**(4), 250-263 [cit. 2021-7-30]. ISSN 1471-003X. Dostupné z: doi:10.1038/nrn3708
- [39] LANGMEIER, Miloš. *Základy lékařské fyziologie*. Praha: Grada, 2009. ISBN 978-80-247-2526-0.
- [40] kční potenciál: Index of /~zfsar/bp. *I. lékařská fakulta Univerzity Karlovy* [online]. [cit. 2022-01-30]. Dostupné z: <https://www1.lf1.cuni.cz/~zfsar/bp/1.6.old.htm>
- [41] VOHÁŇKA, Stanislav, 2017. Léky a nervosvalový přenos. *Neurol. praxi* [online]. 02.02.2017, **18**(1), 11-14 [cit. 2022-01-30]. ISSN 1803-5280. Dostupné z: <https://www.neurologiepraxi.cz/pdfs/neu/2017/01/03.pdf>
- [42] By John A Beal, PhD Dep't. of Cellular Biology & Anatomy, Louisiana State University Health Sciences Center Shreveport - <http://www.healcentral.org/healapp/showMetadata?metadataId=40566> (Internet Archive of file description page), CC BY 2.5, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=891480>
- [43] BERNACIKOVÁ, Martina, Miriam KALICHOVÁ a Lenka BERÁNKOVÁ. Základy sportovní kineziologie: e-learningová učebnice. *Informační systém Masarykovy univerzity* [online]. [cit. 2022-01-30]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/do/1451/e-learning/kineziologie/elportal/index.html>
- [44] SILBERNAGL, Stefan a Agamemnon DESPOPOULOS, 2004. *Atlas fyziologie člověka*. 6. vyd., zcela přeprac. a rozš., Vyd. 3. české. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-0630-6.
- [45] Histologická stavba přední části trávicí trubice: Zhoubná onemocnění foregutů. *Společnost pro gastrointestinální onkologii ČLS JEP* [online]. [cit. 2022-01-16]. Dostupné z: <https://www.sgo-cls.cz/onkologie-horni-casti-traviciho-traktu/obecna-cast/histologicka-stavba-a-embryonalni-vyvoj-predni-casti-travici-trubice/histologicka-stavba-predni-casti-travici-trubice/>
- [46] ZÁVADA, Filip, 2010. Gastrointestinální imunitní systém. *Med. Pro Praxi* [online]. **7**(6 a 7), 268–269 [cit. 2022-01-16]. ISSN 1803-5310.
- [47] Hemostáza: Funkce buněk a lidského těla. *Skripta Funkce buněk a lidského těla* [online]. [cit. 2022-01-16]. Dostupné z: <http://fbt.cz/skripta/v-krev-a-organy-imunitniho-systemu/4-hemostaza/>
- [48] Glykolýza, 2008 - 2022. *Institut Galenus* [online]. Institut Galenus [cit. 2022-01-16]. Dostupné z: <https://www.galenus.cz/clanky/biochemie/biochemie-sacharidy-glykolyza>

SHRnutí STUDIjNÍ OPORY

Studijní opora Fyziologie I je koncipována jako podpůrný studijní materiál, který slouží k prohloubení znalostí funkční vědy zkoumající a vysvětlující činnost organismu – fyziologie. Fyziologie je obor lékařské vědy, který je neobyčejně rozsáhlý a obsáhlý. Proto nebylo možné mnohdy redukovat text na nezbytné minimum.

Fyziologie nám umožňuje pochopit biochemické, fyzikální a biologické principy jednotlivých dějů v živém organismu. Fyziologii lze zařadit mezi interdisciplinární obory, jelikož stanovit hranici například mezi biochemií, molekulární biologii, genetikou, imunologií či biofyzikou je téměř nemožné.

Tato studijní opora je prvním dílem a přináší pohled do problematiky prvních sedmi témat:

- Fáze ontogenetického vývoje člověka. Funkce buňky. Tělní tekutiny. Homeostáza.
- Integrační funkce CNS, smyslové funkce.
- Hybnost člověka a její řízení.
- Funkce žláz s vnitřní sekrecí, základní účinky hormonů.
- Krev, lymfa. Kardiovaskulární funkce, krevní kapiláry, funkce a řízení.
- Ventilační a respirační funkce.
- Funkce gastrointestinálního traktu (GIT).

Studentům doporučujeme jak studium četných poznámek pod čarou, tak stěžejní literaturu [7, 39, 44].

Přiložené pracovní listy slouží k doplnění a přehlednosti vybraných témat, lze je vytisknout a barevně odlišit jednotlivé části systémů, které jsou popsány přiřazením písmen abecedy.

Název: **Fyziologie I**

Autor: **Ing. Iveta Bryjová**

Vydavatel: Slezská univerzita v Opavě
Fakulta veřejných politik v Opavě

Určeno: studentům SU FVP Opava

Počet stran: 182

Tato publikace neprošla jazykovou úpravou.