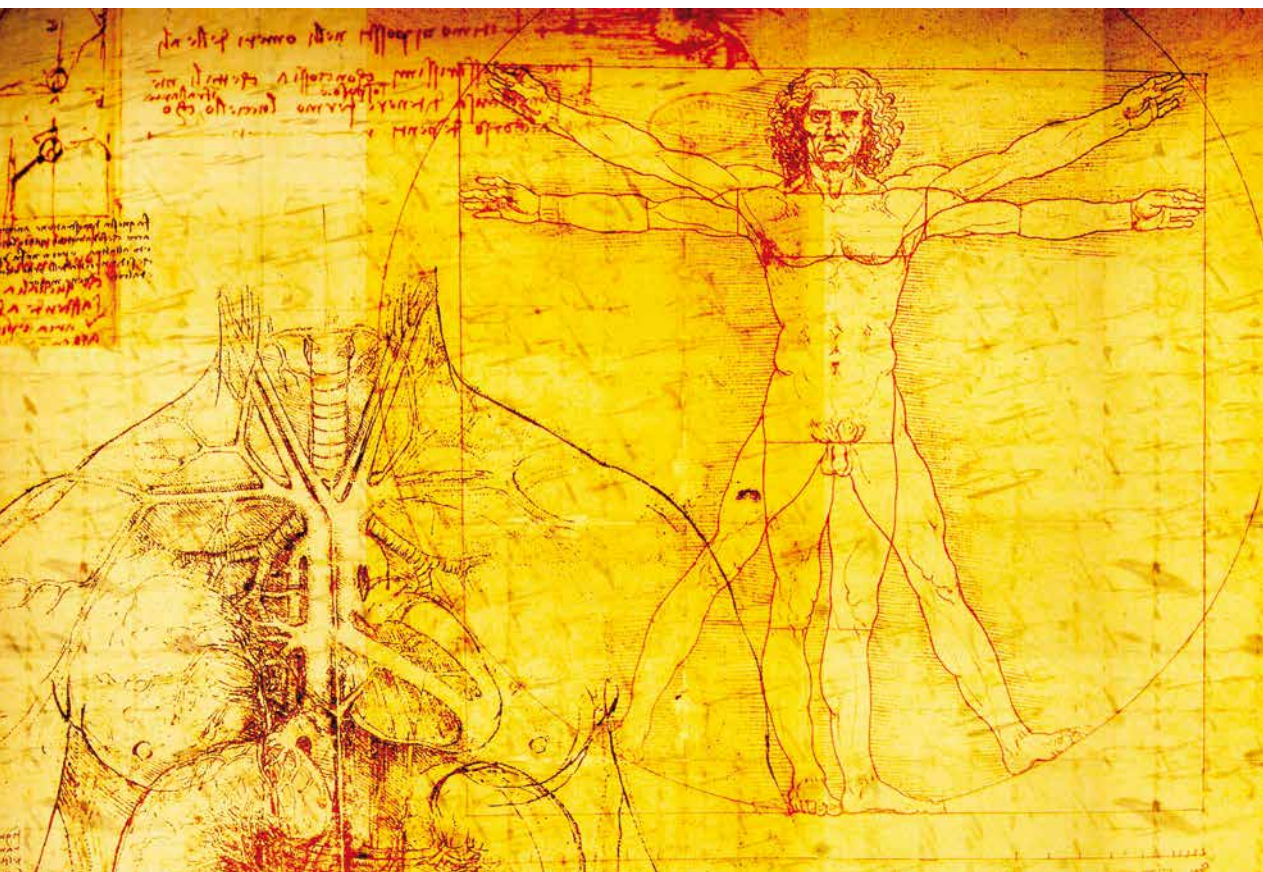


Josef Petřek

Základy fyziologie člověka

pro nelékařské zdravotnické obory



Josef Petřek

Základy fyziologie člověka

pro nelékařské zdravotnické obory

Upozornění pro čtenáře a uživatele této knihy

Všechna práva vyhrazena. Žádná část této tištěné či elektronické knihy nesmí být reprodukována a šířena v papírové, elektronické či jiné podobě bez předchozího písemného souhlasu nakladatele. Neoprávněné užití této knihy bude **trestně stíháno**.

Prof. MUDr. Josef Petřek, CSc.

ZÁKLADY FYZIOLOGIE ČLOVĚKA pro nelékařské zdravotnické obory

Autor:

Prof. MUDr. Josef Petřek, CSc.

Recenzent:

Prof. MUDr. Zdeněk Jiráček, CSc.

© Grada Publishing, a.s., 2019

Cover Photo © depositphotos.com, 2019

Vydala Grada Publishing, a.s.

U Průhonu 22, Praha 7

jako svou 7224. publikaci

Odpovědná redaktorka Mgr. Ivana Podmolíková

Sazba a zlom Karel Mikula

Obrázky v knize dodal autor.

Počet stran 168 + 4 strany barevné přílohy

1. vydání, Praha 2019

Vytiskly Tiskárny Havlíčkův Brod, a.s.

Názvy produktů, firem apod. použité v knize mohou být ochrannými známkami nebo registrovanými ochrannými známkami příslušných vlastníků, což není zvláštním způsobem vyznačeno.

Postupy a příklady v této knize, rovněž tak informace o lécích, jejich formách, dávkování a aplikaci jsou sestaveny s nejlepším vědomím autorů. Z jejich praktického uplatnění však pro autory ani pro nakladatelství nevyplývají žádné právní důsledky.

ISBN 978-80-271-2808-2 (ePub)

ISBN 978-80-271-2807-5 (pdf)

ISBN 978-80-271-2208-0 (print)

Obsah

1	Obecný a buněčný základ fyziologie člověka	11
1.1	Funkční uspořádání těla	11
1.1.1	Tělní tekutiny	11
1.1.2	Živočišná buňka	13
1.1.3	Transport látek přes buněčnou membránu	16
2	Membránová fyziologie dráždivých a vzrušivých tkání	19
2.1	Nervová buňka – morfologická a funkční charakteristika	19
2.1.1	Membránový potenciál a jeho hlavní determinanty	20
2.1.2	Vzruch	21
2.1.3	Místní podráždění	23
2.1.4	Přenos vzruchů mezi neurony (synapse)	23
2.2	Svalové tkáně – morfologická a funkční charakteristika	25
2.2.1	Stavba a druhy svalových tkání	25
2.2.2	Elektrické a mechanické projevy aktivity kosterního svalu	27
2.2.3	Elektrické projevy aktivity buněk srdečního svalu	28
2.3	Receptory smyslových orgánů	30
3	Fyziologie krve a imunity	31
3.1	Krevní buňky	31
3.1.1	Červené krvinky	31
3.1.2	Bílé krvinky	32
3.1.3	Krevní destičky	35
3.2	Krevní plazma	35
3.2.1	Anorganické součásti krevní plazmy	35
3.2.2	Organické součásti krevní plazmy	36
3.3	Imunitní mechanismy	37
3.3.1	Imunita – základní pojmy	37
3.3.2	Klasifikace a stručná charakteristika imunoglobulinů	37
3.3.3	Komplementový systém	38
3.3.4	Druhy imunity	38
3.4	Krevní skupiny	40
3.4.1	Systém AB0(H)	40
3.4.2	Systém Rh (rhesus faktor)	40
3.4.3	Ostatní aglutinogeny	41
3.4.4	Určování krevních skupin	41
3.5	Zástava krvácení	41
3.5.1	Průběh hemostázy	41
4	Fyziologie kardiovaskulárního systému	43
4.1	Fyziologie srdce	43
4.1.1	Základní údaje	43
4.1.2	Mechanické děje během srdečního cyklu	44
4.1.3	Funkce chlopní	45

4.1.4	Srdeční ozvy	46
4.1.5	Srdeční výdej	46
4.2	Proudění krve v cévách	47
4.2.1	Úvodní poznámky	47
4.2.2	Rozdělení srdečního výdeje pro orgánové oběhy	48
4.2.3	Objemy krve v jednotlivých oddílech cévního řečiště	49
4.2.4	Rychlost proudu krve v cévním řečišti; funkce pružníku	49
4.2.5	Tlak krve v tepnách	50
4.2.6	Výměnné děje v kapilárách – vznik tkáňového moku	51
4.3	Regulace kardiovaskulárního systému	52
5	Fyziologie dýchání	53
5.1	Mechanika dýchání	53
5.1.1	Ventilace	53
5.1.2	Interpleurální prostor	53
5.1.3	Tlaky v dutině hrudní	54
5.1.4	Elasticita, povrchové napětí, kolaps alveolů, surfaktant	55
5.1.5	Vdech a výdech	55
5.1.6	Odpor dýchacích cest a plic	56
5.1.7	Plicní objemy	56
5.2	Výměna dýchacích plynů mezi alveolárním vzduchem a krví	58
5.2.1	Složení alveolárního vzduchu	58
5.2.2	Difuze přes alveolokapilární membránu	59
5.2.3	Transport kyslíku z plic do tkání	59
5.2.4	Transport oxidu uhličitého z tkání do plic	61
5.3	Vnitřní, tkáňové dýchání	62
5.4	Regulace dýchání	62
6	Fyziologie trávení a vstřebávání	64
6.1	Sekreční aktivita gastrointestinálního traktu	64
6.1.1	Sliny – vlastnosti, složení	64
6.1.2	Žaludeční sekrece	65
6.1.3	Exokrinní sekrece slinivky břišní	68
6.1.4	Sekrece žluči	69
6.1.5	Sekrece v tenkém střevě	70
6.1.6	Sekrece v tlustém střevě	72
6.2	Úloha jednotlivých oddílů GIT při trávení a resorpci	72
6.2.1	Ústní dutina	72
6.2.2	Hltan a jícn	73
6.2.3	Žaludek	74
6.2.4	Tenké střevo	75
6.2.5	Vstřebávání v tenkém střevě	77
6.2.6	Tlusté střevo	78
6.2.7	Játra	79
7	Přeměna látek a energií, racionální výživa, termoregulace	81
7.1	Přeměna látek	81
7.2	Přeměna energií	81
7.2.1	Základní pojmy	82

7.2.2	Měření a hodnocení energetické přeměny	83
7.3	Racionální výživa	83
7.3.1	Základy racionální výživy	83
7.3.2	Zásady racionální výživy	87
7.4	Řízení tělesné teploty	88
7.4.1	Základní údaje	88
7.4.2	Tvorba tepla	88
7.4.3	Výdej tepla	88
7.4.4	Řízení tělesné teploty	89
8	Tvorba a vylučování moči	90
8.1	Hlavní funkce ledvin – přehled	90
8.2	Funkční morfologie ledvin	90
8.3	Tvorba primární moči	92
8.3.1	Glomerulární filtrace	92
8.3.2	Úprava primární moči na moč definitivní	93
8.3.3	Vylučování definitivní moči z těla	95
9	Acidobazická rovnováha	96
9.1	Regulace koncentrace H^+ v tělních tekutinách	96
9.1.1	Zdroje kyselin a zásad v organismu	96
9.1.2	Úloha pufrových systémů v udržení acidobazické rovnováhy	97
9.1.3	Respirační kompenzace poruch acidobazické rovnováhy	98
9.1.4	Renální kompenzace poruch acidobazické rovnováhy	99
9.1.5	Poruchy acidobazické rovnováhy	100
10	Fyziologie senzorických systémů	102
10.1	Somato-viscerální systém	102
10.1.1	Systém povrchní kožní citlivosti	102
10.1.2	Systém hlubokého cití	103
10.1.3	Interoceptivní (viscerální) systém	104
10.1.4	Korové projekční oblasti somato-viscerálního systému	105
10.2	Zrakový systém	106
10.2.1	Optická část sítnice – morfologické a funkční poznámky	106
10.2.2	Fotochemické vlastnosti zrakových receptorů	107
10.2.3	Zrakové vnímání	108
10.2.4	Zrakový systém – podnětové prahy	109
10.3	Sluchový systém	110
10.3.1	Periferní části sluchového systému	110
10.3.2	Funkční význam zevního a středního ucha pro percepci zvuku	110
10.3.3	Mechanika vnitřního ucha	111
10.3.4	Centrální části sluchového systému	111
10.3.5	Směrové slyšení	111
10.3.6	Základní pojmy z fyziologické akustiky	112
10.4	Vestibulární systém	113
10.4.1	Morfologická a funkční charakteristika receptorů vestibulárního systému	113
10.4.2	Centrální části vestibulárního systému	115
10.5	Chuťové a čichové ústrojí	115

10.5.1	Podmínky excitace a funkční charakteristika chuťových receptorů	115
10.5.2	Čichové ústrojí	116
11	Výkonné funkce centrálního nervového systému	118
11.1	Neuroefektor exteromotorický	118
11.1.1	Morfologická a funkční charakteristika efektorů a periferních vývodních neuronů	118
11.1.2	Charakteristika spinálního motorického systému	119
11.1.3	Podíl supraspinálních struktur na řízení motorické aktivity	124
11.1.4	Volní, úmyslné, cílené pohyby	131
11.1.5	Změny motorických funkcí u zvířat po poškození jejich CNS	131
11.2	Neuroefektor interomotorický	133
11.2.1	Základní morfologická a funkční charakteristika hladkých svalů	133
11.2.2	Vliv sympatiku a parasympatiku na aktivitu efektorů	135
11.2.3	Úloha centrálních struktur v řízení vegetativních funkcí	137
11.3	Organizace a funkční význam retikulární formace	137
11.3.1	Funkční charakteristika vzestupného retikulárního systému	137
12	Fyziologie žláz s vnitřní sekrecí	140
12.1	Hormony – obecné vlastnosti	140
12.2	Endokrinní aktivita hypothalamu a hypofýzy	141
12.2.1	Hormony hypothalamu a zadního laloku hypofýzy (neurohypofýzy)	141
12.2.2	Hormony předního laloku hypofýzy (adenohypofýzy)	142
12.3	Endokrinní aktivita štítné žlázy	143
12.4	Endokrinní aktivita příštítných tělísek	144
12.5	Endokrinní aktivita nadledvin	144
12.5.1	Dřeň nadledvin	144
12.5.2	Kůra nadledvin	145
12.5.3	Reakce organismu na stres	146
12.6	Endokrinní aktivita slinivky břišní	147
12.7	Hormony produkované endokrinními buňkami v orgánech, které mají jinou základní funkci	149
13	Fyziologie reprodukce	151
13.1	Mužský reprodukční systém	151
13.1.1	Produkce mužských pohlavních buněk (spermatogeneze)	151
13.1.2	Hormonální aktivita varlat	152
13.1.3	Vlastní pohlavní spojení	152
13.2	Ženský reprodukční systém	152
13.2.1	Cyklické změny endometria (menstruační cyklus)	152
13.2.2	Produkce ženských pohlavních buněk (oogeneze)	153
13.2.3	Endokrinní aktivita vaječníků	154
13.2.4	Pohlavní spojení	155
13.2.5	Těhotenství	155
14	Homeostatické mechanismy udržující stálý objem ECT	157

Seznam zkratk	158
Literatura	160
Rejstřík	162

1 Obecný a buněčný základ fyziologie člověka

1.1 Funkční uspořádání těla

Lidský organismus představuje jednu z nejsložitěji uspořádaných forem živé hmoty. Základní stavební a funkční jednotkou těla je **živočišná buňka**, která je nositelkou všech životních funkcí.

Základní životní funkce

- **metabolismus** – souhrn všech chemických reakcí probíhajících v těle, které umožňují organismu vytvořit potřebné látky, vzájemně je přeměňovat a uvolňovat z nich energii
- **dráždivost** – schopnost zachycovat změny zevního a vnitřního prostředí a reagovat na ně
- **hybnost** – schopnost pohybu celého těla či jeho jednotlivých částí
- **růst** – zmnožení a zvětšování buněk tvorbou nové živé hmoty
- **reprodukce** – vývoj nového jedince z vajíčka oplozeného spermií

Soubor buněk stejného tvaru, původu a stejné hlavní funkce **tvorí tkáň**.

Běžně rozlišujeme pět typů tkání: [1] epitel, [2] tkáň pojivová, [3] tkáň svalová, [4] tkáň nervová a [5] zvláštní tekutou tkáň, kterou představuje krev a lymfa.

Více tkání tvoří orgán s určitou strukturou a funkcí. Orgán obvykle plní více funkcí, avšak jeho hlavní funkci často určuje jen jedna z tkání, které jej vytvářejí.

Orgány s jednotlivými dílčími funkcemi **se spojují v orgánovou soustavu** či funkční systém, který slouží vyšší společné funkci.

Fyziologie je funkční věda, která **zkoumá a vysvětluje činnost organismu**, tj. zabývá se aktivitou jeho funkčních systémů.

- Analyzuje jejich aktivity, vzájemnou spolupráci, a snaží se tak odhalit, jak každý z nich přispívá k činnosti organismu jako celku.
- Stranou jejího zájmu nezůstávají ani složité vztahy mezi organismem a neustále se měnícím prostředím, které jej obklopuje a v podstatě určuje jeho životní podmínky.

1.1.1 Tělní tekutiny

Každou buňku v lidském těle obklopuje **vrstvička intersticiální tekutiny** (vnitřní prostředí), z níž buňka přijímá živiny a odevzdává do ní zplodiny vznikající při jejich přeměně. V důsledku těchto aktivit buňky se mění složení intersticiální tekutiny – např. pH, teplota, osmolarita, pO_2 , pCO_2 , hladina energetických substrátů apod. – jednotlivé proměnné se tak odchyľují od běžných hodnot a v některých situacích se mohou jednotlivé veličiny vychýlit i mimo přípustný interval.

Relativní stálost prostředí¹, v němž buňky žijí, je však podmínkou nezbytnou pro jejich existenci a fungování. Je proto třeba narušenou rovnováhu vnitřního prostředí

1 Stálost je chápána ve smyslu přípustného intervalu hodnot – optimální interval.

neustále obnovovat, tj. udržovat dynamickou rovnováhu vnitřního prostředí, udržovat **homeostázu**.

Homeostatické mechanismy (regulační procesy na principu zpětných vazeb) odchylky proměnných od přípustných hodnot tlumí, popř. kompenzují, a umožňují tak organismu se na změny adaptovat. Jinými slovy homeostatické mechanismy zajišťují optimální životní podmínky pro všechny buňky, orgány a funkční soustavy a pro organismus jako celek.

Pojem **homeostáza v širším slova smyslu** zahrnuje nejen mechanismy udržující dynamickou rovnováhu vnitřního prostředí, ale také soubor fyziologických mechanismů, jež slouží k obnovení normálního stavu organismu, pokud byl narušen působením nejrůznějších změn v prostředí, ve kterém organismus žije.

Druhy a objemy tělních tekutin

Intersticiální tekutina (tkáňový mok) spolu s tekutinou uvnitř cév (plazmou) tvoří extracelulární tekutinu (**ECT**). Tekutina uložená v buňkách reprezentuje intracelulární tekutinu (**ICT**). Součet obou představuje celkovou tělesnou vodu (**CTV**), která u dospělého muže činí zhruba 60 %, u ženy 50 % jejich tělesné hmotnosti (tab. 1.1).

Tab. 1.1 Rozložení tělních tekutin u dospělého muže (hmotnost 70 kg)

	extracelulární voda 20 % tělesné hmotnosti 14 litrů	krevní plazma 5 % tělesné hmotnosti 3,5 litru
		tkáňový mok 15 % tělesné hmotnosti 10,5 litru
celková tělesná voda 60 % tělesné hmotnosti 42 litrů	intracelulární voda 40 % tělesné hmotnosti 28 litrů	

Složení tělních tekutin

Selektivní propustnost cytoplazmatické membrány pro jednotlivé ionty je příčinou **rozdílného složení ICT a ECT** (tab. 1.2). Obecně lze říci, že hlavními ionty v ECT jsou Na^+ a Cl^- . Naproti tomu v ICT je to K^+ , který je zde nashromážděn v koncentraci mnohonásobně větší než v ECT. Kromě K^+ jsou v ICT přítomny také organické ionty, jejichž přesné složení není zatím známo.

Základní mechanismy, které **udržují relativně stálé složení ICT**, reprezentuje difuze, osmóza a aktivní transport. Naproti tomu **relativně stálé složení ECT je podmíněno** těsnou součinností systému nervového a endokrinního se systémem kardiiovaskulárním, dýchacím, trávicím a vylučovacím.

Tab. 1.2 Vybrané charakteristiky ECT, ICT a hodnota rovnovážného potenciálu pro daný iont²

Proměnná	ICT (mmol/l)	ECT (mmol/l)	Rovnovážený potenciál
Na ⁺	15	140	58
K ⁺	135	4	-92
Ca ²⁺	2×10^{-4}	4	129
Cl ⁻	4	120	-89
HCO ₃ ⁻	10	24	-23
HPO ₄ ²⁻	20	4	
SO ₄ ²⁻	4	1	
bílkoviny, aminokyseliny, močovina a další	152	1	

1.1.2 Živočišná buňka

Živočišná buňka je nejmenší dokonale organizovaná součást živých organismů. Skládá se z těla a jádra a každé z nich z dalších součástí. Živá hmota vyplňující vnitřek buňky se nazývá **protoplazma**. Tvoří ji **cytoplazma** (protoplazma buněčného těla) a **karyoplazma** (protoplazma jádra). Cytoplazma obsahuje kromě jemně rozptýlených bílkovin, lipidů, glykogenu a zrníček sekretů a pigmentů různé soli a hlavně 70–80 % vody.

Představuje koloidní roztok, který je v některých částech buňky tekutý, v jiných má charakter pevnějšího gelu. Součástí karyoplazmy je chromatin (komplex DNA a proteinů).

Zrnka, kapénky, vakuoly či krystaly v plazmě tvořené zásobními látkami buňky nebo produkty jejího metabolismu označujeme pojmem **paraplazma**.

Naproti tomu pracovní struktury, jež se nacházejí uvnitř cytoplazmy (např. mikrofilamenta, mikrotubuly), bývají označovány pojmem **metaplazma**.

V různých orgánech jsou buňky vysoce specializované. Přesto, bez ohledu na stupeň jejich specializace, se ve většině z nich vyskytují shodné struktury (**organely**). V následujícím textu připomeneme některé z nich.

Buněčné organely

Buněčné jádro

Jádro typické lidské buňky obalují dva listy jaderné membrány. Mezi nimi se nachází úzký **perinukleární prostor** (cisterna). Oba listy jaderné membrány místy splývají, a formují tak jaderné póry, které slouží k obousměrnému transportu látek mezi nukleoplazmou a cytoplazmou.

Buněčné jádro obsahuje **46 megamolekul DNA** (deoxyribonukleové kyseliny). V jádře je vlákno dvoušroubovice DNA v určitých intervalech stočeno kolem center

2 Hodnoty podle BULLOCK, J., BOYLE, J., WANG, M. B. *Physiology*. 2nd ed. Baltimore: Williams & Wilkins, 1991.

(histonů), která jsou tvořena histonovými proteiny. Komplex DNA a proteinů se nazývá **chromatin**.

V průběhu dělení buňky se sbalení kolem histonů rozvolní a chomáče chromatinu se přemění na **22 párů** homologních chromozomů (**autozomů**) a na **2** chromozomy nehomologní (**gonozomy**). Chromozomy obsahují podrobnou informaci o všech dědičných znacích a individuálních vlastnostech daného jedince.

Základní jednotkou dědičné informace je gen. Reprezentuje jej úsek polynukleotidového řetězce DNA se specifickou funkcí, tj. se schopností utvářet při dělení buňky svoje vlastní přesné kopie, jež se přenášejí do dalších generací.

Genetická **informace je kódována** pořadím purinových a pyrimidinových bází nukleotidového řetězce. Na jejím přenosu do ribozomů (viz dále) participuje informační RNA (ribonukleová kyselina).

Většina buněčných jader obsahuje **jadérko**. Tvoří jej četná granula obsahující RNA. V jadérku probíhá syntéza ribozomů.

Mitochondrie

Mitochondrie jsou přítomny v cytoplazmě všech typů eukaryotních buněk s výjimkou zralých erytrocytů savců. Jsou to protáhlé, ovoidní, eliptické nebo disku podobné útvary obklopené vnější a vnitřní membránou.

Vnější membrána je hladká a určuje celkový tvar organely. Vnitřní membrána je zřasena do záhybů (krist). Mezi zevní a vnitřní membránou se nachází mezimembránový prostor. Vnitřní prostor mitochondrie mezi kristami vnitřní membrány je vyplněn hustou hmotou – mitochondriální matrix.

Vnější membrána je hustě pokryta **enzymy, které jsou zapojeny** do biologických oxidací. Produkty vzniklé jejich činnostmi jsou dále zpracovávány uvnitř mitochondrie.

Vnitřní membrána obsahuje **enzymy, které přeměňují** produkty metabolismu sacharidů, proteinů a lipidů na oxid uhličitý a vodu a **zachycují** energii uvolněnou oxidačními procesy za současné tvorby adenosin trifosfátu (ATP). Např. celkový zisk energie z aerobního odbourání 1 molu glukózy až na oxid uhličitý a vodu je 36–38 molů ATP.

Mitochondrie **jsou „elektrárny“ eukaryotní buňky** a podílejí se na komplikovaných respiračních reakcích buňky, jejichž konečným produktem je ATP. Mitochondrie vyrábějí asi 90 % energie spotřebovávané buňkami, tkáněmi a orgány.

Ribozomy

Ribozomy jsou místem, kde probíhá **syntéza proteinů**. Vyskytují se v buňce buď jako volné v cytoplazmě (**monozomy**), nebo sdružené a připojené na jednu informační ribonukleovou kyselinu (mRNA) – polyribozomy (**polyzomy**), a na endoplazmatické retikulum.

Endoplazmatické retikulum

Endoplazmatické retikulum tvoří bohatý systém vzájemně propojených miniaturních membránových cisteren a kanálků uložených v cytoplazmě.

Rozlišujeme **dva typy** endoplazmatického retikula.

- první typ, tzv. drsné (granulární) endoplazmatické retikulum – má na cytoplazmatické straně membrány navázány ribozomy a polyribozomy
- druhý typ, hladké (agranulární) endoplazmatické retikulum – ribozomy na povrchu membrány navázány nemá

Drsné endoplazmatické retikulum se podílí na syntéze bílkovin. Vznikají v něm také fosfolipidy a cukry, které s vytvořenými bílkoviny tvoří komplexy.

Hladké endoplazmatické retikulum katalyzuje přeměnu lipidů. V buňkách produkujících steroidy se podílí na vzniku steroidních hormonů z cholesterolu a v jaterních buňkách plní funkci detoxikační. Důležitou úlohu hraje také v buňkách kosterního a srdečního svalu (zásobárna vápníkových iontů).

Golgiho aparát

Golgiho aparát tvoří soubor membránou uzavřených váčků (cisteren), které jsou k sobě přiloženy jako talíře tak, že jejich konvexita směřuje k jádru buňky. Golgiho aparát je v těsném kontaktu s endoplazmatickým retikulem a **účastní se přechovávání, úprav a transportu proteinů** vytvořených ribozomy.

Lyzozomy

Lyzozomy reprezentují váčky s jednoduchou membránou. Obsahují více než 40 kyselých hydroláz, které **jsou schopny štěpit prakticky všechny makromolekuly**, zejména bílkoviny, nukleové kyseliny, polysacharidy, mukopolysacharidy a lipidy.

Enzymy vyskytující se v lyzozomech vznikají na polyribosomech drsného endoplazmatického retikula a jeho cisternami jsou transportovány do Golgiho aparátu, odkud se vydělí ve formě váčků (**primární lyzozomy**). Primární lyzozomy pak fúzí s membránou vakuol obsahujících fagocytovaný materiál (fagocytární vakuola, fagozom) za vzniku **sekundárního lyzozomu** (fagolyzozomu), v němž se odehrávají trávicí procesy.

Lyzozomy tedy představují jakýsi **buněčný „trávicí aparát“**. Ten odstraňuje z buňky nežádoucí extracelulární materiál, který se do ní dostal fagocytózou či pinocytózou. Některé produkty „tráveného“ materiálu se absorbují přes stěnu trávicí vakuoly, jiné buňka vyvrhne ven exocytózou.

Cytoskelet

Cytoskelet reprezentuje systém mikrofilament, mikrotubulů a intermediárních filament v cytoplazmě. Je odpovědný za dynamickou organizaci cytoplazmy a transport informací v těle buňky. Pomáhá udržovat tvar buňky a pozici organel v ní, umožňuje aktivní pohyb buňky a poskytuje zakotvení pro jiné buňky.

Primárně **cytoskelet tvoří** mikrotubuly, mikrofilamenta a intermediární filamenta.

- **mikrotubuly** – dlouhé duté struktury s vnitřním průměrem 15 nm; představují transportní dráhy, které pro vezikuly a organely (sekreční granula a mitochondrie) zprostředkovávají pohyb z jedné části buňky do části druhé
- **mikrofilamenta** – dlouhá a pevná vlákna o průměru 4–6 nm tvořená aktinem, který se podílí spolu s myozinem na vzniku svalového stahu (kontrakce)
- **intermediární filamenta** – tvoří různé skupiny proteinů uspořádané do dlouhých tyčinkovitých útvarů; vytvářejí ohebné podpůrné lešení pro buňku a pomáhají buňce vzdorovat vnějšímu tlaku

Cytoplazmatická membrána

Cytoplazmatická membrána ohraničuje tělo buňky, včetně jejích výběžků. Chrání buňku před zevními vlivy a pomáhá uchovat její tvar. Podílí se významně na udržování složení intracelulárního a extracelulárního prostředí, a zajišťuje tak integritu buněk v tkáních.

Detailní **stavba plazmatické membrány** se liší podle typu tkáně a buňky, nicméně všechny membrány charakterizují některé **společné rysy**:

- Každou membránu tvoří **lipidy** (fosfolipidy, glykolipidy a cholesterol). Molekuly lipidů mají hydrofilní a hydrofobní konec (jsou amfipatické) a ve vodním prostředí tvoří dvojvrstvu. V dvojvrstvě jsou orientovány hydrofilní části molekul vně, hydrofobní části dovnitř.
- Další stavební součástí každé plazmatické membrány jsou **proteiny** (lipoproteiny a glykoproteiny). Globulární proteiny jsou zanořeny do zevní a vnitřní vrstvy plazmatické membrány (**periferní proteiny**), protáhlejší proteiny prostupují celou membránou (**integrální proteiny**).

Membránové proteiny zajišťují řadu specifických procesů spojených s transportními a rozpoznávacími funkcemi membrán:

- Připoutávají buňky k sobě navzájem a k bazální membráně (odtud jejich pojmenování buněčné adhezni molekuly).
- Aktivně transportují ionty přes membránu – pumpy.
- Transportují látky po jejich elektrochemickém gradientu pomocí usnadněné difuze.
- Utvářejí v membráně iontové kanály, jež za určitých okolností umožňují vstup iontů do buňky nebo z buňky.
- Tvoří receptory pro vazbu neuromediátorů a hormonů.
- Mají také funkci enzymů a katalyzují reakce na povrchu membrány.

1.1.3 Transport látek přes buněčnou membránu

Prostá difuze a její determinanty

Při prosté difuzi se transportovaná látka pohybuje z místa vyšší koncentrace do místa nižší koncentrace. Její přesun přes membránu ustává v okamžiku, kdy se koncentrace v obou oddílech vyrovnají.

Látky rozpustné v tucích procházejí buněčnou membránou přímo ve směru koncentračního gradientu.

Množství látky, které prostoupí membránou za jednotku času, je přímo úměrné koncentračnímu gradientu dané látky, velikosti difuzní plochy a difuznímu koeficientu a nepřímo úměrné difuzní vzdálenosti, tj. tloušťce membrány.

Látky rozpustné ve vodě procházejí membránou **pouze přes vodní kanály** („póry“), které formují transmembránové proteiny. **Difuzní koeficient** těchto látek je proporcionální velikosti jejich molekuly. Částice větší než 8 nm nemohou těmito kanály procházet prostou difuzí.

Některé **vodní iontové kanály** jsou trvale otevřené, jiné jsou řízené, tzn., že mají vrátka („hradla“), která se zavírají či otvírají.

Zavření nebo otevření kanálů (**vrátkování**) může způsobit změna membránového napětí (**napěťově řízené kanály**) nebo navázání chemické látky, ligandu (**ligandem řízené kanály**). Ligand může pocházet ze zevního prostředí (mediátor, hormon), nebo může být součástí vnitřního prostředí buňky (intracelulární Ca^{2+} , cAMP nebo některý z G-proteinů). Některé kanály může vrátkovat také mechanické natažení (**mechanicky řízené kanály**, kanály citlivé na „napnutí“ cytoskeletu).

Usnadněná difuze

Velké molekuly neprojdou malými kanály v membráně. Na její druhou stranu se však mohou dostat poté, co se navázaly na **aktivní místo bílkovinného nosiče**. Probíhá-li transport částice na proteinovém nosiči ve směru jejího elektrochemického gradientu, tedy bez dodávky energie, hovoříme o usnadněné difuzi.

Do okamžiku plného nasycení nosiče je rychlost usnadněné difuze přímo úměrná koncentračnímu gradientu. **V okamžiku saturace nosiče** se difuze zastaví, a to bez ohledu na momentální výši koncentračního gradientu. Právě tento fakt **odlišuje usnadněnou difuzi od difuze prosté**.

Osmóza

Osmóza představuje pasivní typ transportu, při němž **přestupuje rozpouštědlo** (nejčastěji voda) přes polopropustnou membránu z prostoru s méně koncentrovaným roztokem do prostoru s více koncentrovaným roztokem.

Polopropustná membrána je v tomto případě propustná pro rozpouštědlo a méně propustná nebo zcela nepropustná pro rozpuštěné látky. Je-li polopropustná membrána **alespoň částečně propustná pro rozpuštěné látky**, může voda přestupující přes membránu s sebou „strhávat“ i molekuly rozpuštěné látky (**tah rozpouštědla, solvent drug**).

Tlak, který je schopen zabránit pohybu molekul rozpouštědla přes membránu do oblasti s vyšší koncentrací rozpuštěné látky, pro kterou je membrána nepropustná, **se nazývá osmotický tlak roztoku**. Jeho hodnota se vyjadřuje v osmolech (Osm) a je **přímo úměrná počtu částic v roztoku na jednotku jeho objemu**.

Osmolární koncentrace látky v roztoku se měří velikostí snížení jejího bodu tuhnutí. Jeden mol nedisociovaného solutu (např. glukóza rozpuštěná v 1 kg vody) sníží bod tuhnutí o 1,858 °C. Uvedená hodnota představuje tzv. **kryoskopickou konstantu vody**. Bod tuhnutí plazmy je v průměru -0,54 °C, což odpovídá osmolární koncentraci **290 mOsmol/l**.

Primární aktivní transport

Primární aktivní transport probíhá proti elektrochemickému gradientu, což **vyžaduje přísun energie**. **Nejrozšířenějším typem** aktivního transportu je **Na⁺-K⁺ pumpa**. Na⁺-K⁺ ATPáza (membránový protein) katalyzuje hydrolýzu ATP na ADP. Uvolněná energie je pak využita na **transport 3 iontů Na⁺ z buňky ven a 2 iontů K⁺ do buňky**. Aktivita Na⁺-K⁺ pumpy **udržuje v ICT vysokou koncentraci K⁺ a nízkou koncentraci Na⁺**. **K útlumu Na⁺-K⁺ pumpy dochází** při velmi nízké koncentraci ATP nebo Na⁺ uvnitř buňky nebo K⁺ v ECT.

Sekundární aktivní transport

Tento transportní systém je sám o sobě pasivní, ale **využívá energii Na⁺ koncentračního gradientu**, při jehož vytváření se spotřebovává energie.

Systém může pracovat jen tehdy, když je:

- koncentrace Na⁺ v ECT vyšší než koncentrace Na⁺ uvnitř buňky
- k dispozici membránový protein, který má dvě vazebná místa – jedno pro iont Na⁺ a druhé pro transportovanou látku (glukóza, aminokyseliny apod.)

Pokud se transport dvou látek (**spřážený transport**) realizuje stejným směrem, hovoříme o **symportu** (např. transport glukózy a aminokyselin z lumenu střeva do enterocytů).

Pokud se transportovaná látka pohybuje v opačném směru než sodný iont, hovoříme o **antiportu** (Na^+ - Ca^{2+} výměník ve vlákních srdečního svalu nebo Na^+ - H^+ výměník v ledvinových tubulech).

Exocytóza a endocytóza

Exocytóza je proces, jímž buňky uvolňují (nebo vyvrhují) větší molekuly či struktury do svého okolí. Exocytózou se obvykle transportují látky, které nemohou samostatně prostupovat přes membránu, např. proteiny a cholesterol. Exocytóza vyžaduje přítomnost Ca^{2+} , přísun energie a přítomnost transportních proteinů.

Endocytóza je proces opačný k exocytóze. Při endocytóze pohlucují buňky ze zevního prostředí extracelulární tekutinu, jiné buňky či pevné částice. Endocytóza začíná invaginací plazmatické membrány, která nakonec pohlcovanou látku obklopí – vznikne membránový váček.

Endocytóza **má více variant**. Jednou z nich je **fagocytóza** – pohlcování cizorodého materiálu („buněčné pojidání“). Další variantu představuje **pinocytóza** – pohlcování malých kapének tekutiny („buněčné pití“).

Filtrace – transport přes stěnu kapilár

Filtrace je pochod, při němž je tekutina, popř. látky v ní rozpuštěné, protlačována přes kapilární stěnu silou, kterou představuje **rozdíl tlaků na obou stranách kapiláry**. Stěnou kapiláry, přesněji otvory ve spojeních mezi endotelovými buňkami, mohou procházet jen ty látky, jejichž molekula je menší, než je skutečná velikost pórů.

Stěna kapilár, která odděluje plazmu od intersticiální tekutiny, není ve všech orgánech těla stejně vystavěna. Ve všech kapilárách je však **prakticky neprostupná** pro plazmatické bílkoviny a jiné koloidy. Tato skutečnost je příčinou vzniku tzv. **koloidně osmotického tlaku** (25–30 mm Hg) uvnitř cévy. Koloidně osmotický tlak vyvíjený plazmatickými koloidy se nazývá **onkotický tlak**.

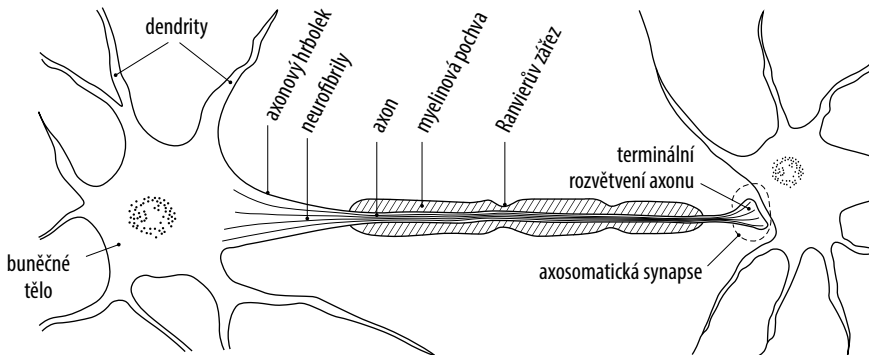
Velikost filtrace přes kapilární stěnu **určuje** tzv. **efektivní filtrační tlak**, tj. hodnota tlaku krve v kapiláře (hydrostatický tlak) zmenšená o hodnotu tlaku onkotického. Pokud je hydrostatický tlak vyšší než tlak onkotický, **probíhá filtrace** (přesun tekutiny z kapiláry do intersticia). V situacích, kdy tlak onkotický převyšuje tlak hydrostatický, **probíhá resorpce** (přesun tekutiny z intersticia do kapiláry).

2 Membránová fyziologie dráždivých a vzrušivých tkání

Dráždivost, vzrušivost či **reaktivita** jsou synonyma označující základní vlastnost živé hmoty, tj. její schopnost reagovat charakteristickým způsobem na změny prostředí (podněty). Zvláště vysoce je tato schopnost rozvinuta u buněk nervových, svalových a u receptivních buněk smyslových orgánů.

2.1 Nervová buňka – morfologická a funkční charakteristika

Nervová buňka (neuron) je základní funkční a stavební jednotkou nervové tkáně. Kromě neuronů jsou v nervové tkáni zastoupeny buňky neuroglie. Neuron představuje vysoce specializovanou buňku, která je schopna přijímat určité formy signálů (podněty), zpracovávat je a výslednou informaci předat jiným neuronům či výkonným orgánům.



Obr. 2.1 Schematický nákres motoneuronu

Podstatnou část neuronu (obr. 2.1) tvoří buněčné tělo ohraničené buněčnou membránou, jádro s jadérkem a subcelulární struktury (endoplazmatické organely). Z buněčného těla vystupuje množství bohatě se větvících krátkých výběžků – dendritů. Povrch buněčného těla i dendritů je pokryt synaptickými terčíky.

Typický neuron má také jeden dlouhý nitkovitý výběžek – axon. Svazky axonů spojené vazivem v jeden celek formují periferní nervy. Konečná rozvětvení axonu se stýkají s dendrity či těly jiných neuronů (synaptická spojení) nebo zakončují u buněk výkonných orgánů (efektorů), tj. vytvářejí kontakty s vlákny hladkého, kosterního a srdečního svalu nebo s buňkami žláz.

U řady nervových buněk je axon (s výjimkou iniciální části a konečných rozvětvení) obklopen myelinovou pochvou. Pochva není souvislá, ale je v pravidelných intervalech přerušena zářezy (Ranvierovy zářezy).

Neurony jsou různé velké; jejich těla měří od 4 μm do 130 μm . Také tvar neuronů je rozmanitý a počty jejich výběžků jsou rozdílné.