



Miroslav Orel

Anatomie a fyziologie lidského těla

pro humanitní obory

2., aktualizované a doplněné vydání

KATALOGIZACE V KNIZE - NÁRODNÍ KNIHOVNA ČR

Orel, Miroslav, 1973-

Anatomie a fyziologie lidského těla : pro humanitní obory / Miroslav Orel. -- 2., aktualizované a doplněné vydání. -- Praha : Grada, 2026. -- 1 online zdroj. -- (Psyché) České a anglické resumé

Obsahuje bibliografii, bibliografické odkazy a rejstřík

ISBN 978-80-271-6523-0 (online ; pdf)

* 611 * 612 * (075) * (0.034.2:08)

- anatomie člověka
- fyziologie člověka
- učebnice
- elektronické knihy

61 - Lékařské vědy. Lékařství [14]

37.016 - Učební osnovy. Vyučovací předměty. Učebnice [22]

Miroslav Orel

Anatomie a fyziologie lidského těla

pro humanitní obory

2., aktualizované a doplněné vydání

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**.

Automatizovaná analýza textů nebo dat ve smyslu čl. 4 směrnice 2019/790/EU a použití této knihy k trénování AI jsou **bez souhlasu nositele práv zakázány**.

MUDr. PhDr. Miroslav Orel, Ph.D.
ANATOMIE A FYZIOLOGIE LIDSKÉHO TĚLA
pro humanitní obory
2., aktualizované a doplněné vydání

Vydala Grada Publishing, a.s.
U Průhonu 22, 170 00 Praha 7
tel.: +420 234 264 401
www.grada.cz
jako svou 10 547. publikaci

Konzultantka textu: PaedDr. Mgr. Věra Facová
Příprava a režie pro fotografie ANATO: MUDr. Kateřina Kikalová, Ph.D.
(Ústav normální anatomie LF UP v Olomouci)
Fotografie a snímky RADIO: MUDr. Zuzana Sedláčková, Ph.D. (Klinika radiologie FN Olomouc)
Fotografie ANATO: Mgr. Barbora Kňážek Považanová, Ph.D. (Katedra psychologie FF UP v Olomouci)
Příprava orgánů a částí těl pro fotografie ANATO: Jiří Plhák a Rudolf Gajdoš
(Ústav normální anatomie LF UP v Olomouci)
Model: Ivo Jambor, sólista baletu Moravského divadla Olomouc a fitness trenér
Fotografie Ivo Jambora: Michal Priessnitz
Ilustrace a schémata: MUDr. PhDr. Miroslav Orel, Ph.D. (s použitím kresby Leonarda da Vinci)

Recenzent 2. vydání:

doc. MUDr. Jiří Nečas, CSc.

Recenzenti 1. vydání:

doc. MUDr. Jiří Nečas, CSc.

prof. MUDr. Vladimír Holibka, DrSc.

Odpovědná redaktorka Vlasta Dohnalová
Redakce a korektury Milan Bronclík
Grafická úprava Antonín Plicka
Návrh a zpracování obálky Antonín Plicka
Počet stran 656
Vydání 2., 2026

Vytiskly Tiskárny Havlíčkův Brod a.s.

© Grada Publishing, a.s., 2026

Cover Photo © freepik.com/kjpargeter

ISBN 978-80-271-6523-0 (pdf)

ISBN 978-80-271-6327-4 (print)

Obsah

Prolog	11
Krátké slovo na úvod	15
1. Význam a základní vymezení studia stavby a funkce lidského těla	19
1.1 Anatomie a fyziologie člověka v systému lékařských věd	20
1.1.1 Základní roviny a směry popisující lidské tělo	24
2. Úroveň buněk	29
2.1 Základní chemické a biochemické buněčné komponenty	30
2.1.1 Základní anorganické složky buněk	30
2.1.2 Základní organické složky buněk	32
2.2 Základní orgány buněk	44
2.2.1 Plazmatická membrána	45
2.2.2 Buněčné jádro	52
2.2.3 Ribozomy	56
2.2.4 Mitochondrie	57
2.2.5 Endoplazmatické retikulum, Golgiho aparát, lysozomy a peroxizomy	60
2.2.6 Cytoskelet	62
2.3 Vznik a zánik buněk	64
2.3.1 Mitóza a meióza	67
2.3.2 Diferenciace	74
2.3.3 Nekróza a apoptóza	77
2.3.4 Nádorové bujení – narušení regulace buněčného dělení	79
2.4 Uvedení do genetiky	82
3. Úroveň tkání	93
3.1 Epitelové tkáně	93
3.2 Pojivové tkáně	96
3.2.1 Vazivová tkáň	96
3.2.2 Chrupavčitá tkáň	98
3.2.3 Kostní tkáň	99

3.3 Svalové tkáně	101
3.3.1 Hladká svalovina	103
3.3.2 Příčně pruhovaná svalovina	103
3.3.3 Srdeční svalovina	104
3.4 Nervová tkáň	106
3.4.1 Nervové buňky	106
3.4.2 Podpůrné buňky	123
3.5 Krev	127
3.5.1 Krevní plazma	128
3.5.2 Červené krvinky	130
3.5.3 Bílé krvinky	142
3.5.4 Krevní destičky	149
3.5.5 Zástava krvácení	150
4. Úroveň orgánových soustav	155
4.1 Kožní soustava	155
4.1.1 Kůže	158
4.1.2 Kožní adnexa	162
4.2 Kosterní soustava	173
4.2.1 Obecná stavba kosti	174
4.2.2 Vývoj a změny kostí	178
4.2.3 Spojení kostí	182
4.2.4 Kostra hlavy	184
4.2.5 Kostra páteře	196
4.2.6 Kostra hrudníku	203
4.2.7 Kostra horních končetin	205
4.2.8 Kostra dolních končetin	212
4.3 Svalová soustava	222
4.3.1 Obecná stavba a činnost příčně pruhovaných svalů	223
4.3.2 Dělení příčně pruhovaných svalů	232
4.3.3 Svaly hlavy a krku	233
4.3.4 Svaly hrudníku a zad, břicha a pánve	237
4.3.5 Svaly horních končetin	241
4.3.6 Svaly dolních končetin	246
4.4 Kardiovaskulární soustava	252
4.4.1 Srdce	252
4.4.2 Krevní cévy	272
4.4.3 Lymfatické cévy	285

4.5	Dýchací soustava	286
4.5.1	Dýchací cesty	287
4.5.2	Plíce	298
4.6	Vylučovací soustava	313
4.6.1	Ledviny	313
4.6.2	Vývodné cesty močové	325
4.7	Trávicí soustava	330
4.7.1	Trávicí trubice	335
4.7.2	Slinné žlázy	361
4.7.3	Játra	364
4.7.4	Slinivka břišní	371
4.8	Rozmnožovací soustava	374
4.8.1	Ženský pohlavní systém	378
4.8.2	Mužský pohlavní systém	390
4.8.3	Sexuální reaktivní cyklus	401
4.8.4	Od početí přes těhotenství k porodu	407
4.9	Hormonální soustava	418
4.9.1	Základní charakteristika hormonů a hormonálního řízení	420
4.9.2	Hypotalamo-hypofyzární systém	427
4.9.3	Šišinka	436
4.9.4	Štítná žláza	437
4.9.5	Příštítná tělíska	440
4.9.6	Endokrinní část slinivky břišní	441
4.9.7	Nadledviny	445
4.9.8	Vaječníky a varlata	449
4.9.9	Výše nezařazené hormony	453
4.10	Imunitní soustava	454
4.10.1	Antigeny	458
4.10.2	Imunitní reakce	461
4.10.3	Lymfatické orgány	480
4.11	Nervová soustava	485
4.11.1	Centrální nervový systém	489
4.11.2	Periferní nervový systém	523
4.11.3	Řízení vnitřních funkcí – autonomní nervový systém	528
4.12	Smyslová soustava	535
4.12.1	Obecné dělení receptorů	540
4.12.2	Zrak	541
4.12.3	Sluch	559

4.12.4	Vnímání rovnováhy, polohy a pohybu	567
4.12.5	Čich a chuť	570
4.12.6	Kožní čítí	575
4.12.7	Vnitřní čidla našeho těla	581
4.12.8	Poznámky k vnímání bolesti	584
5.	Úroveň organismu a člověka jako lidské bytosti	589
5.1	Metabolismus a stálost vnitřního prostředí	589
5.2	Biorytmy	600
5.2.1	Bdění	602
5.2.2	Spánek	602
5.3	Poznámky k tematice stresu	605
5.4	Stárnutí organismu	610
5.5	Smrt organismu	612
5.6	Celostní přístup a jeho souvislosti	613
5.7	Poznámka autora k evoluci živých soustav a člověka	622
	Krátké slovo na závěr	625
	Shrnutí	629
	Summary	631
	Seznam zkratk	633
	Příloha	637
	Použité a doporučené zdroje	639
	Rejstřík	643

Vše je propojeno.
Vše se neustále mění.
Minulé se promítá do budoucího
a vše souvisí se vším.

* * *

Netýká se toto sdělení mnoha úrovní?
Našich hmotných těl, našich duší, lidského pokolení,
ale i širšího živého světa a celé planety?
Jednotlivosti tvoří celky
a celky jsou vždy více než jen prostým součtem jednotlivostí.
Zapomene-li celek na jednotlivost –
a také pokud jednotlivost zapomene na celek –,
přinese to pokaždé nějaké dopady (včetně těch nejzávažnějších)¹.
Jedno totiž neexistuje bez druhého.

* * *

Kéž v pokoře přijímáme, že jsme součástí něčeho, co nás přesahuje.
Kéž s respektem přispíváme k rovnováze a pokoji
(jak jen je nám dáno, možno a určeno)
a nezapomínáme při tom na druhé ani na sebe,
na sebe ani na druhé.

* * *

S úctou tuto knihu věnuji všem,
kdo to vědí a činí –
jsou v určitém smyslu světlem.

M. O.

¹ Jestliže určitá buňka těla „zapomene“ na to, že je součástí celku, a začne se nekontrolovaně množit bez ohledu na ostatní buňky a celý organismus, vzniká a roste zhoubný nádor. Ten může přinést smrt těla, čímž v konečném důsledku zahubí i sám sebe. Pokud by tělo „zapomnělo“ na dodávku krve některé části, pak buňky odstrížené od zdroje kyslíku a živin začnou chřadnout a zemřou. Jejich skon ovlivní chod a fungování celku a v některých případech přinese zkázu celému tělu. A obdobně pokud určitý jedinec nebo skupina lidí „zapomene“, že je součástí celku, že sdílí planetu s dalšími lidmi a živými tvory, a bude sledovat jen svůj prospěch a své zájmy, může to sice přechodně a dočasně přinést zisk, ale konečné důsledky mohou ohrozit všechny a všechno... Nebo ne? Zamyslete se nad tím...

Prolog

Kniha, kterou teď máte otevřenou, seznamuje se stavbou a funkcí našeho těla. Naše tělo mnohdy bereme jako naši samozřejmou součást, která prostě je. Přemýšleli jste však někdy o něm? Zamysleli jste se hlouběji nad tím, jak je postaveno a jak funguje? Vžili jste se do svého těla a jeho částí? Zaměřili jste proud své mysli na to, čím je vaše tělo? Co se v něm odehrávalo v předešlé minutě? A co právě v tomto okamžiku, když čtete tyto řádky?

Možná, že vaše ruka přesně řízeným pohybem prstů otočila papírovou stránku nebo ji jednoduchým pohybem posunula v elektronické verzi. Vaše oči rozeznávají jednotlivá písmena a plynule přecházejí z jednoho na druhé ve směru zleva doprava. Tisíce bitů informací o čteném se zrakovým nervem dostávají do mozku a ten skládá význam slov a vět do smysluplného celku, nad kterým díky interakcím mezi ohromujícím počtem nervových buněk můžete přemýšlet (za předpokladu, že text vyhodnotíte jako smysluplný – v což doufáme).

Zatímco neurony interagují v symfonii kooperace, vaše víčka mrknutím roztírají tekuté produkty slzných žláz po povrchu oka a čistí tak výhled od mikroskopických částic prachu, které víří všude kolem. Dýchacími cestami nasáváte vzduch, aby v plicích okysličil krev. (Pokud se na to zaměříte, můžete vnímat vzdušný proud, který vchází dovnitř, aby vzápětí vyšel ven. Dovnitř a ven. V pravidelném rytmu – pokud do něj nezasáhnete, abyste na chvíli zatajili dech.) Cestou přes systém dýchacích cest se optimalizuje teplota a vlhkost vzduchu a zástupy řasinek se snaží zachytit a odstranit maximum škodlivin, aby se nedostaly do plic.

Vaše srdce svým pravidelným rytmem rozpohybovává krev v systému cév. Srdeční chlopně se otevírají a zavírají v pravidelném sledu, aby usměrnily tok krve. Práce vašeho srdce (která mimochodem započala již v prvních týdnech poté, co jste byli zplozeni) zajistí, že se krev dostane všude, kde je jí potřeba a kam přinese kyslík, živiny, teplo a vše ostatní. Miliony buněk vašeho těla využívají v daný okamžik vdechnutý kyslík k tomu, aby získaly energii z cukrů, které k nim pronikly z krve buď po vstřebání ve střevěch, nebo ze zásob, které tělo vytvořilo v čase hojnosti a nadbytku. Až vydechnete, odstraní se z plic (a tím i z těla) oxid uhličitý, který vznikl jako odpad energetických procesů vašich buněk.

Ve stejném okamžiku se dělí zástupy kožních buněk (větší hordy, jste-li mladí, a menší hordy, jste-li méně mladí...), aby jejich další generace obnovila opotřebované předky, kteří se jako tenké šupinky oddělili od těla, když se otřeli o stránku naší knihy a oblečení, které máte nyní na sobě. Zároveň je v kanálcích vašich ledvin bez ustání

filtrována a čištěna krev a výsledek – drobné kapičky moči – se shromažďují, aby se pak přesunuly do zásobárny močového měchýře (než váš mozek vyhodnotí, že je potřeba obsah vypustit ven).

Několik desítek spermií právě v tento okamžik dokončilo svůj vývoj (pokud má vaše tělo varlata) a něco se děje ve vašich vaječnicích (pokud je máte) – nebo se tam v tuto chvíli neděje vůbec nic (což může být také úplně v pořádku).

Bílé krvinky kontrolují všechno, na co při své službě narazí, a informují se navzájem, zda je vše O. K. Na povrchu vašeho těla se početné kolonie přátelsky laděných bakterií usilovně krmí (a tím, že se množí a zabírají území kožního pokryvu, nedávají šanci těm bakteriím a houbám, které by vás nejraději zcela rozložily a strávily). Obdobně si počínají i bakterie ve vašich střevech (a navíc zrovna vyprodukovaly další dávku látek, které jsou nezbytné, ale neumíme je vyrobit sami – ač buňky našeho těla disponují megaarzenálem chemických reakcí a umí vyrobit opravdu leccos).

Tím ale zdaleka nekončí děje, které probíhají současně, v dokonalé provázanosti a souhře. Řetězců v každém okamžiku provázaných činností jsou tisíce. Jediná buňka vašeho těla realizuje v daném okamžiku více než největší továrny světa.

Pravděpodobně si nejste vědomi, jaká je aktuální teplota v nitru vašeho těla ani kolik máte v daný okamžik v krvi vápníku, sodíku, vody nebo krevních živin. Vaše tělo ale všechny tyto údaje (a další k tomu) zná a vaše mozkové neurony je bez ustání zpracovávají, aby korigovaly chod jednotlivých součástí těla v zájmu celku. Většinu těchto informací a procesů, které s řízením těla souvisí, zpracovává tělo autonomně samo a nezatěžuje naše vědomí. Je v tom velmi moudré – dost možná by ho naše názory a rady, co by se teď mělo udělat (a jak a kdy nejlépe), spíše zdržovaly a vůbec ničemu neprospěly (nehledě na to, že by naše vědomá mysl v tom kvantu dat na něco pravděpodobně zapomněla a ztratila se, čímž by mohla vyrobit dost velký malér a ohrozit vše). Tělo si tak překvapivou řádku činností řídí samo (a naši vůle se ani neptá). Jen pokud je to důležité, pronikne nám do vědomí a „podstrčí nám“ nápad – třeba zajít na záchod, napít se nebo něco sníst, vzít si svetr nebo si ho naopak sundat. Ohnat se po komárovi, zavolat zubaři, zavčas ucuknout před ostrým hrotem nebo se něčeho (či někoho) chytit, když ztrácíme balanc...

A když ho poslechneme, odmění nás příjemným pocitem (a když ne, zkusí to za chvíli znovu nebo zesílí svůj požadavek a vynutí si naši pozornost). Ono se totiž vyplatí naše tělo sledovat, starat se o něj, naslouchat mu a být tak nějak s ním. Je to náš nejbližší parták – pokud o sobě uvažujeme jako o psyché. Nebo je námi a zároveň my jsme tělem? Velíme my jemu? Velí ono nám? Sedí na pomyslném trůnu vlády naše duše, naše tělo, oba dva – nebo se na něm střídají? Jak to s naším tělem (a duší a duchem) vlastně je? Jak je to spolu propojeno ve fascinující dokonalé jednotě lidského bytí? Co všechno o tom víme? A co vlastně pořádek nevíme? Ufff... Není nakonec otázek více než odpovědí?

Člověk je prazvláštní tvor. Snažíme se zahlédnout vzdálené kouty cizích galaxií. Jsme hrdi na to, že jsme dokázali opustit naši domovskou planetu a podívat se do vesmíru. A přitom stále tak málo víme o vlastní planetě, která (navzdory tomu, jak se k ní chováme) je fascinujícím, jedinečným a krásným světem a má nám co nabízet. Jak hluboce ji známe? Do jaké míry jsme ji opravdu poznali a pochopili? Chápeme, že je v určitém smyslu jedinečným celkem, kde vše souvisí se vším? I naše tělo je taková planeta – a podobně i ono představuje úžasný, neobyčejný a nádherný svět. A nejednou se zajímáme spíše o to vnější než o své nitro a jeho hloubku.

Naše kniha vás zve na krátkou exkurzi právě světem našeho těla, které (jak jsem bytostně přesvědčen) je nedílnou součástí existence lidského bytí (jako bio-psycho-sociálně-spirituálního celku) v tomto světě a čase.

A ještě jedno vnitřní přesvědčení na začátek uvedu – totiž že ať se studijně, profesně nebo ze zájmu podrobněji zabýváme kteroukoli z uvedených oblastí (tedy tělem, duší, vztahy nebo přesahem), měli bychom mít aspoň základní povědomí o ostatních složkách. Tvoří totiž čtyři úhelné kameny a jedna je neoddělitelně provázána s druhou.

V Rožnově pod Radhoštěm 22. 5. 2025

Miroslav Orel

Krátké slovo na úvod

Záměrem knihy, kterou držíte ve svých rukou, je přinést stručné, přehledné a doufejme i čtivě podané **poznatky o stavbě a funkci lidského těla**. Těší nás, že publikace, kterou jsme pro vás připravili, je druhým, upraveným a rozšířeným vydáním – vycházíme tak z textu, který sloužil (a snad i posloužil) k účelům studia nebo četbě ze zájmu. Jelikož byl původní náklad rozebrán, ze tří možných variant (nechat to být / vydat stejně bez úprav / doplnit a korigovat) jsme po dohodě s redakcí vybrali tu poslední.

Základ knihy, který považujeme za nosný a funkční, ponecháváme. Knihu rozšiřujeme o některé nové a zajímavé (nebo nové a zároveň zajímavé) poznatky. Opravili jsme chyby, které do prvního vydání pronikly. Nově přidáváme některé ilustrace a fotografie. Zcela nové jsou fotografie skutečných lidských orgánů. Rozšíření není zásadní – stále chceme zachovat záměr přinést vám **přehledné kompendium**, které může oslovit nejen přímo zainteresované, ale i zájemce o studium nebo čtenáře z řad širší veřejnosti.

Fotografie orgánů lidského těla byly pořízeny ve spolupráci s kolegy z Ústavu normální anatomie Lékařské fakulty UP v Olomouci². Tyto orgány byly součástí těl lidí, kteří se sami rozhodli a dobrovolně věnovali svá těla pro účely výzkumu, výuky a studia³. V pořízení fotografií a jejich prezentaci zde nevnímáme etické pochybení, ale naplnění smyslu a záměru těch, kdo chtěli, aby jejich tělo po smrti nějak posloužilo a bylo užitečné ostatním. Prosim, dívejte se tak na ty snímky. Děkujeme jim za to.

Naše kniha je primárně určena pro studenty psychologie, pedagogiky, sociální práce a dalších humanitních (nelékařských) oborů. Text nezabíhá do medicínských podrobností (které jsou pro studenty uvedených oborů možná až zbytečně obsáhlé), ale přináší stručný souhrn dvou teoretických oborů medicíny – anatomie a fyziologie člověka. Parciálně jsou zahrnuty i poznatky dalších oborů, jako je biochemie, histologie, buněčná biologie nebo lékařská embryologie a radiologie.

² Lidská těla (a tím i všechny orgány, jejichž fotografie v knize představujeme) jsou pro účely výuky a studia nejprve připravována speciálními postupy, které zahrnují i použití konzervačních roztoků. Studentky a studenti medicíny následně těla pitvají a studují v rámci výuky.

³ Darování těla předchází písemná smlouva s úředně ověřeným podpisem, která obsahuje také postup nakládání s ostatky.

Je nepochybné, že i studenti a absolventi uvedených oborů mají mít alespoň základní přehled poznatků o stavbě a funkci lidského těla. Jejich získání považujeme za jednoznačně smysluplné a užitečné – je tak vhodné i zařazení základů anatomie a fyziologie člověka do pregraduálního studia. Ze zkušenosti však víme, že rozdíly v doposud získaných znalostech jsou mezi studenty značné – na jedné straně jsou studenti excelující díky maturitní zkoušce z biologie, na druhé straně ti, kteří biologii měli naposledy kdysi dávno na základní škole... Naše kompendium se tak první skupině může zdát velmi stručné a druhé naopak značně obsáhlé.

I druhé vydání naší knihy zůstává strukturované a pojímá **celé lidské tělo**. Přináší základní seznámení s oblastí buněčné biologie, informuje o typech tkání v našem těle. Nejobsáhlejší část je věnována jednotlivým orgánovým soustavám. Pro ozřejmění postavení anatomie a fyziologie člověka v systému věd je zahrnuto také základní členění medicínských oborů. Jedna ucelená kapitola je věnována základům **celostního (komplexního) přístupu**, který pojímá člověka jako již zmíněný bio-psycho-sociálně-spirituální komplex, existující v určitém prostoru a čase. Právě toto pojetí totiž propojuje oblast tělesnou, psychickou, vztahovou a přesahovou.

Text publikace je doplněn četnými černobílými **obrázky, schémata, snímky z lékařských vyšetření a fotografiemi**, aby byla sdělnost co největší.

Přestože jsme text doplnili, rozšířili a přepracovali, zůstáváme si vědomi, že každou stať knihy je možno rozpracovat ještě více a přinést podrobnější a detailnější informace v mnohem větším rozsahu. Nicméně dalším rozšířením textu bychom minuli záměr přinést stručný přehled oboru.

Přáním autorů i redakce není jen to, aby kniha zaujala, ale také aby něco přinesla a čtenáře obohatila. A možná neskromným přáním hlavního autora je i to, aby si díky ní čtenáři uvědomili, jak neuvěřitelné a úžasné, účelné a funkční, krásné a elegantní, skvěle designované a naprosto fascinující je hmotné tělo, které nám bylo dáno. Jsem bytostně přesvědčen, že **v našem těle všechno existuje z poměrně jednoduchých, ale zásadních důvodů**: buď je to účelné a funkční, nebo je to krásné, anebo je to účelné, funkční a krásné zároveň. Kéž to uvidíte i vy.

Poznámka: Jak si všimnete už při pouhém prolistování knihy, v tomto vydání jsme ještě více posílili optickou strukturaci textu⁴. Kromě odstavců, odrážek a číslování, odsazených odstavců o menší velikosti písma a poznámek vložených přímo v textu jsme nově zařadili také odkazy pod čarou. Pokud někoho zajímá, proč a kdo tak učinil, tak zodpovědnost hledejte u hlavního autora: osobně mám totiž při studiu (nikoli při četbě románu!) rád členitý text. Jako student jsem zažil „jednotlivá skripta“ s mnohostránkovými odstavci, ve kterých text nebyl nijak členěn a strukturován. Bez podbarvení a zvýraznění byl pro mě takový text vždy nepřehledný a neuchopitelný. Navíc náš mozek umí lépe pracovat se strukturovanými celky (nikoli s monotónností) a myslím si, že i mnozí z vás si při vybavování informací nebo učiva přirozeně připomenete vzhled a členění stránky, jiní si sami vytváříte svoje vlastní zápisky, schémata a pojmové mapy.⁵ Otázka míry je však vesměs velmi individuální – členitou strukturaci naší knihy tak někteří ocení a pro jiné bude už nadměrná... Ať tak, či onak, úmysl byl dobrý (a navíc člověka⁶ v určitém věku už moc nezměníte).

⁴ V tomto kontextu velmi oceňuji pracovníky redakce a grafického studia za jejich vklad při zpracování knihy.

⁵ Studenti u zkoušky někdy řeknou: „Nemůžu si to vybavit, ale úplně vidím, kde to na stránce bylo a jakou barvou to bylo podtrženo...“

⁶ Což se týká i Orla...

1. Význam a základní vymezení studia stavby a funkce lidského těla

Než se zaměříme na vlastní téma naší knihy (tedy na stavbu a funkci lidského těla), je možná dobré položit si otázku – **PROČ?** Proč by se psycholog, pedagog, sociální pracovník či kdokoli další, kdo není zdravotníkem, měl vůbec zajímat o oblast anatomie a fyziologie člověka? Proč jsou tyto předměty součástí rozvrhu na humanitních oborech vysokých škol? Proč jsou po studentech a studentkách uvedených nelékařských disciplín vyžadovány znalosti o stavbě a funkci lidského těla u zkoušky (tedy proč se to vůbec musejí učit, když nestudují medicínu)?

Touto otázkou začínáme, neboť – jak tvrdí zastánci některých směrů psychologie a psychotherapie (konkrétně logoterapie a existenciální analýzy) – **otázka „proč“ souvisí se smyslem.** V. E. Frankl ve svých knihách opakovaně uvádí, že „kdo ví proč, zvládne každé jak“. Pokud známe důvod a vidíme jeho smysluplnost (tedy víme proč), i sebenáročnější úkol nemusí být velkou potíží. A naopak – jestliže důvod neznáme a nevidíme ani smysl, i lehký úkol se může stát zničujícím utrpením.

V kapitole věnované komplexnímu přístupu (který pojímá člověka jako jednotu těla, duše, vztahů a přesahu) krátce zmiňujeme souvislosti, které s tělesnou stránkou našeho bytí souvisejí. Pro člověka platí, že **oblast duše, vztahů a přesahu jsou spolu s tělem neoddělitelně propojeny.** Pokud například budete cítit velkou bolest v některé části těla, ovlivní to vaše prožívání a chování, vztahy a vazby k lidem i širší oblasti, které vás přesahují. Tělo totiž souvisí s duší, vztahy i přesahem. Mozek (jako hmotný nositel psychiky) spolu s celým tělem (jako hmotnou součástí lidského bytí) umožňuje vnímat, myslet, konat, být.

A tím se dostáváme také k odpovědi na úvodní PROČ. Abychom mohli uvažovat (a pracovat) v širších a komplexních souvislostech, abychom nepominuli žádnou oblast lidského bytí, je účelné (a dokonce nezbytné), abychom vycházeli z dílčích znalostí a rovin, které komplexitu tvoří. To znamená, že musíme mít povědomí o duševní a vztahové oblasti, přesahu a také oblasti biologické (tedy o našem těle) a nepomíjet je v jejich provázanosti.

Nezapomeňme, že řada tělesných poruch a nemocí je provázána změnami psychického stavu. A vedle toho mnoho duševních poruch a nemocí (tedy kategorií z oblasti psychiatrie) nese projevy na úrovni těla⁷.

I psycholog, pedagog nebo kdokoli jiný, kdo pracuje s druhými lidmi, má mít alespoň základní povědomí o tom, jak je poskládáno a jak funguje naše tělo. Protože ho nelze oddělit od prožívání, chování, myšlení, vztahovosti ani oblasti ducha. Znalosti o tom, jak je lidské tělo uskupeno a jak funguje, lze ale také brát jako součást všeobecného vzdělání a přehledu. Za účelné je tedy považujeme nejen pro studenty a absolventy vysokoškolského studia, ale pro vzdělání jako takové. To, co nás totiž (mimo jiné) vyděluje ze světa živých tvorů, jsou naše znalosti, schopnosti, dovednosti a moudrost, která z nich vychází.

A zmiňme ještě jeden aspekt odpovědi na položená PROČ: Abychom porozuměli druhým, světu i sobě, musíme se nejen ptát, ale také znát.

1.1 Anatomie a fyziologie člověka v systému lékařských věd

Základními kameny, ze kterých naše kniha staví, jsou především dva medicínské obory – anatomie a fyziologie člověka:

- **ANATOMIE** je nauka o stavbě zdravého těla. Zaměření na studium a popis zdravého těla někdy zdůrazňujeme označením „normální anatomie“⁸. Vedle toho se patologická anatomie (patologie) zabývá vyšetřením a studiem těla v nemoci.
- **FYZIOLOGIE** je obecně naukou o funkcích zdravého organismu. Lékařská fyziologie se zabývá funkcí lidského těla. Patologická fyziologie (patofyziologie) se zaměřuje na mechanismy vzniku a rozvoje nemoci v těle a funkce organismu v nemoci.

⁷ Jen jako příklad uveďme kategorii deprese, která je typická nejen poklesem nálady, smutkem, pocity beznaděje, viny či přítomnosti sebevražedných myšlenek, ale i pestrou paletou tělesných příznaků od bolesti různých částí těla přes nechutenství a potíže s trávením nebo srdcem až po svalovou slabost a poruchy spánku apod.

⁸ Pojem „normální“ je zde ve smyslu normy jako měřítka pro zdravé, běžné, většinové. Normální anatomie tedy popisuje zdravé běžné lidské tělo a nezaměřuje se primárně na mimořádnosti, výjimky ani poruchy.

Názvy obou lékařských oborů vycházejí ze starých řeckých slov: *anatomē* znamená rozřezávání či rozdělování, *anatomnein* je slovesný tvar – rozřezat, *fysis* je řecký pojem pro přírodu a *logos* pro nauku.

Poznámka: *Anatomie se zabývá především makroskopickou stavbou těla – tedy tím, co vidíme pouhým okem. Mikroskopická stavba (pozorovatelná mikroskopem) je v rámci anatomie pojímána jen parciálně. Je hlavní doménou jiných oborů (konkrétně například histologie a buněčné biologie). Ještě dále jde molekulární biologie.*

Z logiky věci vyplývá, že anatomii a fyziologii (stavbu a funkci) lze studovat nejen u člověka, ale také u zvířat, rostlin či hub. To uvádíme jen pro úplnost (a na okraj). V naší knize se budeme zabývat výhradně stavbou a funkcí lidského těla.

V uvedeném kontextu budeme pro zjednodušení dále používat pouze pojmy „anatomie“ a „fyziologie“, i když bychom správně měli používat „normální anatomie člověka“ a „lékařská fyziologie“ či „fyziologie člověka“.

Uvedené obory jsou základem naší knihy. Parciálně však vycházíme také z dalších lékařských oborů. Ty obecně dělíme na tři základní skupiny: obory preklinické (teoretické), klinické a paraklinické. Pro rámcový přehled si je představme.

Poznámka: *Uvedené tři základní skupiny oborů jsou součástí medicíny (z latinského slova medicinā – lékařství, lék). V pojmech zaznívá latinská předložka prae – před, dopředu, řecká předložka para – při, u, vedle a známé řecké slovo klinē – lůžko.*

Anatomie i fyziologie patří do **LÉKAŘSKÝCH OBORŮ TEORETICKÝCH (PREKLINICKÝCH)**. Dále sem řadíme **biochemii** (nauku o biochemických pochodech v organismu), **biofyziku** (nauku o fyzikálních mechanismech a souvislostech organismu), **lékařskou biologii** (nauku o biologických aspektech našeho těla včetně buněčné a molekulární biologie), **histologii** a **embryologii** (nauku o mikroskopické stavbě tkání a nitroděložním vývoji), **farmakologii** (nauku o léčivých látkách) či již zmíněnou **patologickou fyziologii**.

Teoretické obory lékařských věd přinášejí základ znalostí, poznatků a pojmů, ze kterých pak vycházejí lékařské obory klinické a paraklinické.

KLINICKÉ LÉKAŘSKÉ OBORY jsou zaměřeny přímo na péči a léčbu člověka (který je v roli pacienta). Zahrnují tedy také vlastní léčbu. Členíme je do dvou

velkých skupin – **interní a chirurgické obory**, které se dělí na další specializovaná odvětví.

Pro úplnost sdělení a pro lepší představu doplníme, že **interní obory** zahrnují řadu podoborů, které **se zabývají jednotlivými orgánovými soustavami a orgány**, na něž se specializují – například kardiologie řeší onemocnění srdce, angiologie se zaměřuje na onemocnění cév, pneumologie řeší onemocnění dýchacích cest a plic, nefrologie se orientuje na onemocnění ledvin, hematologie se věnuje onemocnění krve a kostní dřeni, endokrinologie se zabývá onemocněním žláz s vnitřní sekrecí, revmatologie pojímá onemocnění pohybového aparátu. Dále sem patří neurologie (pro onemocnění nervové soustavy), psychiatrie (pro duševní onemocnění), dermatovenerologie (pro onemocnění kůže a nemoci pohlavní), imunologie a alergologie (pro poruchy a onemocnění imunity), onkologie (pro onemocnění nádorová). Součástí je také praktické lékařství (jako obor prvního kontaktu), pediatrie (dětské lékařství) či rehabilitační lékařství.

Také **chirurgické obory** jsou dnes členěny do mnoha specializací, jejichž náplň odpovídá názvu. Rozeznáváme chirurgii hrudní, břišní a cévní (zaměřené na konkrétní oblasti lidského těla), kardiochirurgii (zabývající se operacemi srdce), neurochirurgii (zaměřenou na operace nervového systému), urologii (řešící operace ledvin a močových cest), ortopedii (realizující operace pohybové soustavy), otorinolaryngologii (ORL – specializovanou na onemocnění oblasti nosu, uší a horních cest dýchacích včetně hlasivek), oftalmologii (pro onemocnění očí). Plastická a estetická chirurgie je chirurgií kůže a měkkých tkání. Mezi chirurgické obory patří také gynekologie a porodnictví, traumatologie (zaměřená na úrazy), anesteziologie a resuscitace (věnující se život ohrožujícím stavům, bolesti a anestezii).

PARAKLINICKÉ LÉKAŘSKÉ OBORY přinášejí specifické metody, postupy a technologie pomáhající při vyšetření pacientů, které je nezbytné pro určení nemoci (stanovení správné diagnózy) a adekvátní léčbu. Zahrnují například **klinickou biochemii** (umožňující podrobný rozbor složení moči, krve, mozkomíšního moku apod.) či **radiologii** (umožňující vyšetření používající rentgenové záření, ultrazvuk, počítačovou tomografii, magnetickou rezonanci apod.)⁹.

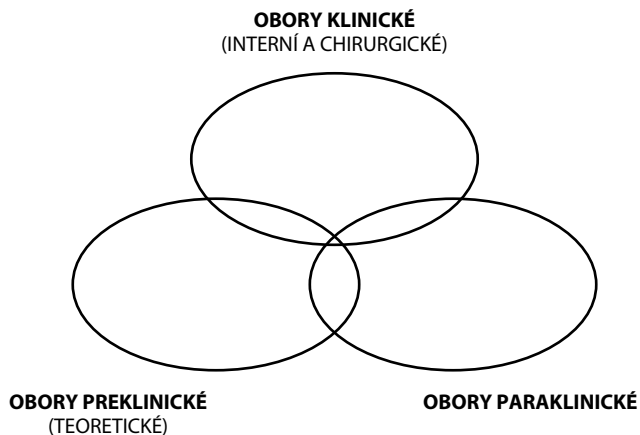
Všechny zmíněné obory v současné době běžně využívají mnoha technologií (včetně výpočetní techniky a dnes už i robotů a umělé inteligence). Můžeme říci, že bez techniky a počítačového zpracování by soudobá medicína nemohla fungovat.

⁹ Výstupy z uvedených vyšetření jsou součástí naší knihy. Zařadili jsme je, abyste si o nich udělali rámcovou představu. Do medicínských podrobností a detailního popisu snímků pochopitelně nezacházíme.

Poznámka: Uvedené se týká i širší lidské společnosti¹⁰, ve které žijeme – jak by náš svět vypadal a fungoval, pokud by kompletně vypadla elektřina, počítače, telekomunikace, doprava, internetové spojení a další systémy spojené s technikou?

Lékařské obory se svou náplní **doplňují** a částečně překrývají.¹¹ Hlavním cílem je pomoc a péče potřebným. A samozřejmě výzkum a pokrok. Důsledkem obrovského množství poznatků soudobé lékařské vědy je nejen zlepšení a rozšíření možností diagnostiky a léčby, ale také dílčí **specializace** a **superspecializace**. Jednotliví lékaři se tak stávají odborníky úzce zaměřenými na určitou orgánovou soustavu, orgán nebo oblast.

Jinými slovy – s očima se chodí k očnímu lékaři, s kožními potížemi ke kožnímu specialistovi, s duševními problémy k psychiatrovi atd. To dnes považujeme za běžný standard moderní péče. Nutno však poznamenat, že na jedné straně nám specializace umožní precizní diagnostiku a léčbu u odborníka, na druhé straně se tím může ztrácet komplexnost a provázanost – lidské tělo funguje jako celek a jednotlivé oblasti a části jsou ve vzájemných vazbách. Mimochodem, nemůže pak obliba alternativních či orientálních přístupů, směrů a filozofií být jakýmsi „voláním“ po určité komplexnosti? Zamyslete se nad tím.



Obr. 1.1 Základní dělení lékařských věd

¹⁰ Máme zde na mysli model společnosti běžné západní civilizace – nikoli například společenství domorodých kmenů v hloubi deštného pralesa.

¹¹ Například v rámci radiologie je dnes možné provádět řadu intervenčních lékařských zásahů třeba v cévách, srdci, trávicí trubici a jinde.

1.1.1 Základní roviny a směry popisující lidské tělo

Jedním z úkolů anatomie je detailně popsat stavbu lidského těla. Abychom se při tom dokázali domluvit, abychom byli přesní a jednoznační v označení těla a jeho části, vycházíme z **mezinárodního označení** rovin a směrů.

Výchozími pojmy při vymezení rovin a směrů (jakož i při popisu jednotlivých částí těla, které se od toho odvozuje) jsou slova latinského a řeckého původu¹².

Při popisu lidského těla vycházíme ze **základní anatomické polohy těla** (viz obr. 1.2). Jedná se o vzpřímený postoj osoby otočené směrem k nám, s horními končetinami volně svěšenými podél trupu, kdy dlaně směřují dopředu. Pravá a levá strana se přitom vždy vztahují k danému člověku (jako na fotografii – pravá strana těla je tedy na levé straně fotografie/snímku).

Z dané polohy jsou odvozeny všechny roviny a směry, které při popisu těla používáme, bez ohledu na momentální polohu, ve které se daný člověk nachází. Využíváme je nejen v anatomii¹³ a patologické anatomii, ale i v chirurgii, interně a dalších oborech medicíny. My se s nimi prakticky seznámíme například v rámci prezentovaných snímků z vyšetření výpočetní tomografií (CT) a magnetickou rezonancí (MR) v jednotlivých kapitolách.

Mezi **základní anatomické roviny** vztahující se k tělu patří rovina mediální a dále roviny sagitální, frontální a transverzální:

- **Rovina mediální** prochází středem těla zepředu dozadu (dělí tělo přesně uprostřed na pravou a levou polovinu).
- **Roviny sagitální** jsou všechny roviny, které jsou rovnoběžné s rovinou mediální.
- **Roviny frontální** (nebo také koronární) jsou všechny roviny, které probíhají zprava doleva, rovnoběžně s čelem, kolmo na mediální rovinu.
- **Roviny transverzální** probíhají vodorovně (a logicky kolmo na všechny předchozí roviny).

¹² Je jistě žádoucí, aby se anatomický popis lidského těla v Evropě, Asii, Americe či Africe nelišil. Proto je využití mezinárodně stanovených rovin a směrů i výchozí latinské názvosloví velmi účelné.

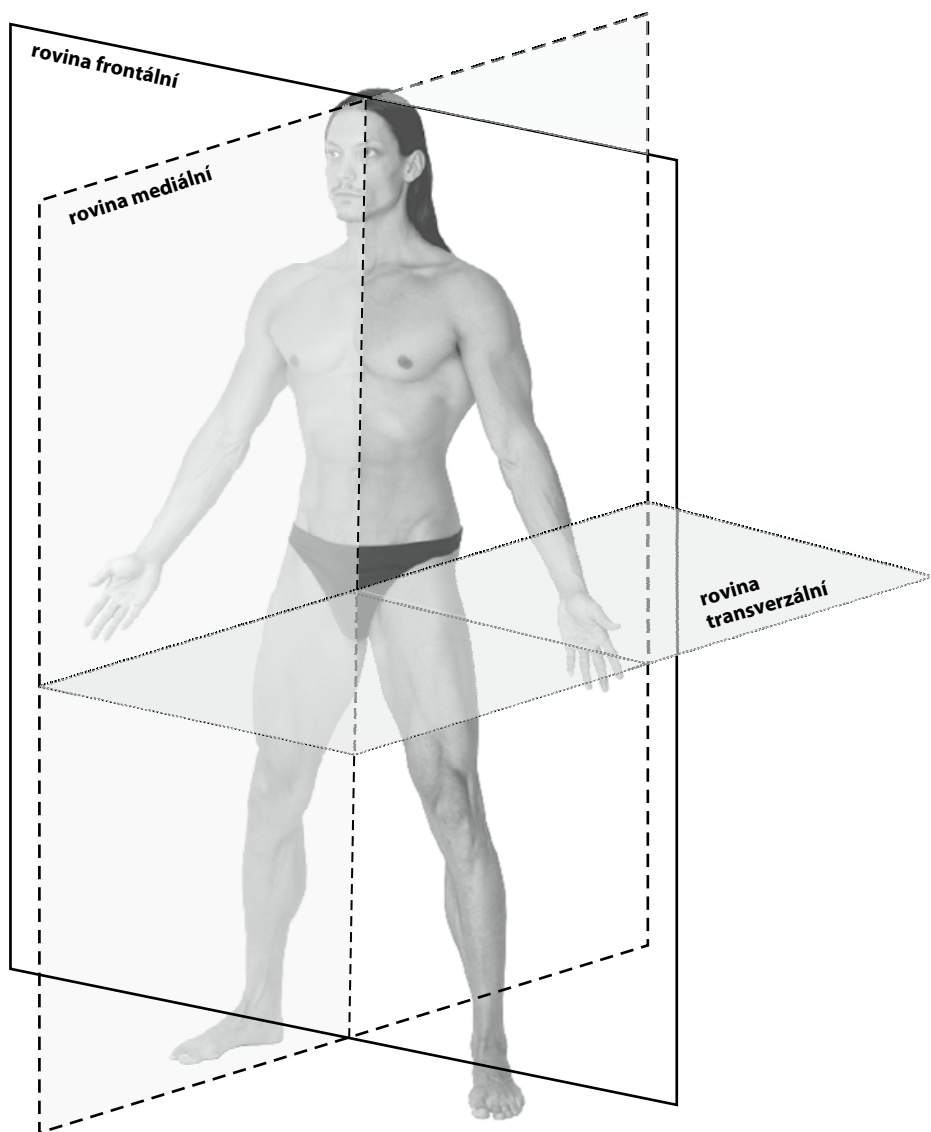
¹³ Některé pojmy odkazující na rovinu, směr nebo hloubku uložení jsou přímou součástí pojmenování konkrétní části těla – podívejte se například na názvosloví svalů v podkapitole 4.3.

Zatímco mediální rovina je pouze jedna jediná, všechny ostatní roviny mohou být ve větším počtu. Například transverzální jsou všechny navzájem rovnoběžné roviny, které probíhají vodorovně v různých úrovních těla.



Obr. 1.2 Základní anatomická poloha

Model: Ivo Jambor, sólista baletu Moravského divadla v Olomouci a fitness trenér



Obr. 1.3 Základní roviny popisující lidské tělo

Model: Ivo Jambor, sólista baletu Moravského divadla v Olomouci a fitness trenér

Pouze s rovinami si však při popisu těla a jeho částí nevystačíme. Pro další zpřesnění popisu využíváme také **základní anatomické směry**: vertikální, předozadní a horizontální. Všechny se opět vždy vztahují k základní anatomické poloze.

Mezi **vertikální směry** patří směr kraniální a kaudální, na končetinách pak proximální a distální:

- **Kraniální směr** (*cranialis* z latinského *cranium* – lebka) označuje směr nahoru (přesněji k hlavě). Ekvivalentní je označení *superior* (horní, směřující nahoru).
- **Kaudální směr** (*caudalis* z latinského *cauda* – ocas, konec) směřuje k dolnímu konci páteře, tedy dolů. Alternativou je označení *inferior* (dolní, směřující dolů).

Na končetinách používáme pojmy **proximální** (*proximalis* – směrem k trupu) a **distální** (*distalis* – směrem od trupu, tedy ke konečkům prstů).

K **předozaďným směřům** řadíme směr ventrální a dorzální:

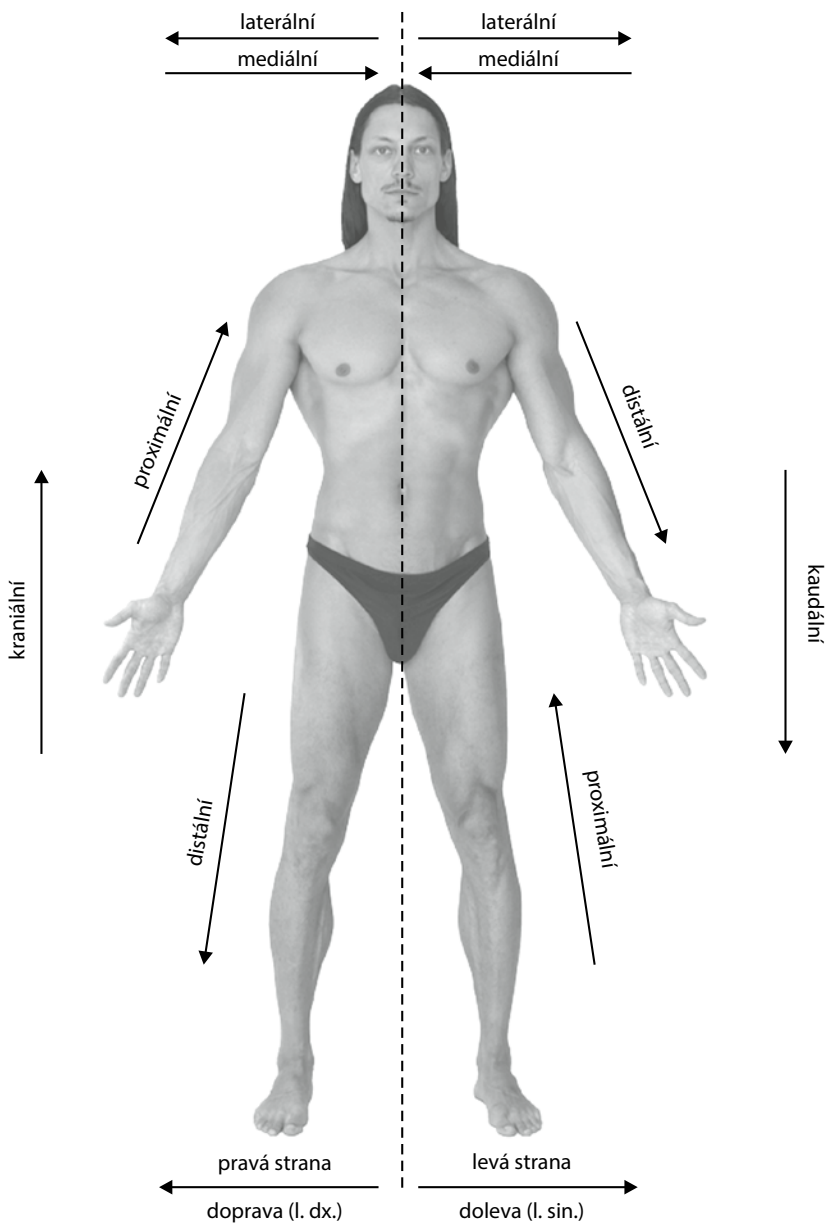
- **Ventrální směr** (*ventralis* z latinského *venter* – břicho) míří dopředu. Synonymem je *anterior* (přední, směřující dopředu).
- **Dorzální směr** (*dorsalis* z latinského *dorsum* – záda) směřuje dozadu. Variantou je označení *posterior* (zadní, směřující dozadu).

Horizontální směry zahrnují směr mediální a laterální, doprava a doleva:

- **Směr mediální** (*medialis*) směřující k mediální rovině, tedy ke středu těla.
- **Směr laterální** (*lateralis*) je naopak od mediální roviny ven ke stranám.
- **Směr doprava** označujeme jako *dexter* (nebo *lateris dextri* [zkratkou *l. dx.*] – na pravé straně).
- **Směr doleva** je *sinister* (nebo *lateris sinistri* [zkratkou *l. sin.*] – na levé straně).

Jelikož jsou směry voleny vzhledem k základní anatomické poloze, je zřejmé, že například směr *dorsalis* (neboli *posterior*) je vždy orientován k zadům daného člověka – tedy stále stejně u člověka stojícího čelem, zády, pravým nebo levým bokem k pozorovateli, u člověka ležícího na zádech, na břiše, na pravém nebo levém boku, zavěšeného za nohy hlavou dolů nebo v jakékoli jiné poloze.

Na závěr ještě připojme některé pojmy, které souvisejí s hloubkou: struktura zevní je označována jako **externí** (*externus*) a vnitřní je **interní** (*internus*), pojem *superficialis* znamená **povrchový** (na povrchu), pojem *profundus* je označením pro **hluboký** (v hloubce).



Obr. 1.4 Základní směry popisující lidské tělo

Model: Ivo Jambor, sólista baletu Moravského divadla v Olomouci a fitness trenér

2. Úroveň buněk

Z biologického hlediska patří člověk mezi **mnohobuněčné organismy**. Naše tělo je složeno z jednotlivých buněk, které se seskupují do tkání. Ty tvoří orgány, jež se sdružují do orgánových soustav. Organismus jako takový je pak komplexem orgánových soustav a zahrnuje v sobě všechny nižší úrovně (orgány, tkáně a buňky).

Pro každý živý organismus (včetně člověka) nepochybně platí známá moudrost, že **celek je vždy více než součet jednotlivých částí**.

Základním **stavebním kamenem** lidského těla je **buňka** (*cellula*). Právě buňky jsou **nositeli funkcí živé hmoty**, ke kterým patří zejména růst, pohyb, dědičnost a rozmnožování, výměna a přeměna látek, energií a informací a také reaktivita (spojená se schopností zachytit podněty a změny vnějšího a vnitřního prostředí).

Studiem buněk se zabývá **buněčná biologie** neboli **cytologie** (z řeckého *kytos* – buňka a *logos* – nauka).

Buňky lidského těla jsou „rozmanitou společností“ různých velikostí, tvarů, barev a vlastností, nicméně jejich základní stavba je obdobná.

V našem těle existuje více než 200 buněčných typů. Jejich přesný počet se těžko stanovuje, protože existují i podtypy a vývojová stadia. Celkový počet buněk lidského těla je odhadován v řádu bilionů¹⁴.

Buňky lidského těla jsou rozmanité i z hlediska rozměrů. Zatímco červená krvinka (erytrocyt) dosahuje velikosti cca 7,5 μm, ženské vajíčko (oocyt) může měřit až 250 μm (tedy 0,25 mm, což mimochodem můžeme vidět pouhým okem¹⁵). Některé nervové buňky (neurony) mohou mít výběžky delší než 1 m (samotné tělo je však na úrovni mikrometrů, přičemž i zde existují vcelku významné rozdíly mezi jednotlivými typy neuronů).

¹⁴ Asi nepřekvapí, že i zde je celkový počet pouze odhadován – přesné číslo neznáme, a navíc bude odlišné jak mezi jednotlivými lidmi, tak u jednoho člověka v průběhu času. Mimochodem obdobně neznáme a pouze odhadujeme počet nervových buněk v našem mozku a celém nervovém systému.

¹⁵ Pokud si nakreslíte tečku o velikosti ¼ milimetru, získáte představu o rozměrech oocytu.

Podívejme se nyní podrobněji na buněčnou úroveň – začneme od chemického složení a přes dílčí součásti buněk (buněčné organely) se dostaneme až k otázkám vzniku a zániku buněk.

2.1 Základní chemické a biochemické buněčné komponenty

Pokud chceme náš výklad podat systematicky, organizovaně a hierarchicky, je vhodné začít u základního složení buněk. Chemický substrát, který tvoří buňky našeho těla, představuje početná řada látek anorganické i organické povahy.

Z hlediska chemie představují buňky našeho těla velmi pestrý **chemický koktejl**. Mnohotvárné není jen vlastní chemické složení, ale také **metabolické procesy** (resp. biochemické reakce), které v buňkách probíhají. Není proto divu, že chemickým pochodům odehrávajícím se v živých buňkách a v organismu se věnuje samostatný a obsáhlý obor na pomezí biologie a chemie – **biochemie**.

Z hlediska chemie a biochemie se v další části textu dotkneme pouhých základů základu. Chemická stránka našich buněk, její význam a návaznosti jsou však pochopitelně mnohem obsáhlejší, pestřejší a širší. Máme potřebu omluvit se všem chemickým látkám, které z důvodu zjednodušení neuvádíme.

2.1.1 Základní anorganické složky buněk

K hlavním anorganickým komponentám buněk patří nepochybně **VODA** (chemicky H_2O). Pro život, jak ho známe, je naprosto nezbytná. Tvoří nejen většinu vlastního objemu buňky, ale představuje také prostředí, ve kterém buněčné děje a biochemické reakce probíhají.

Význam vody pro život je zcela zásadní. Pokud vědci pátrají po životě mimo naši planetu, zaměřují se v první řadě na hledání kapalné vody. Případné nalezení vody v tekutém stavu neznamená automaticky přítomnost života, jak ho známe. Je ale bezpochyby jednou z jeho podmínek.

Množství vody v těle kolísá v závislosti na věku – zatímco v těle kojenců představuje voda přes 80 % tělesné hmotnosti, v dospělosti klesá u mužů k 60 % a u žen až k 50 % tělesné hmotnosti. Zatímco ve svalové tkáni je až 75 % vody, v tukové je to pouze kolem 10 %¹⁶ a v zubní sklovině klesá podíl vody až na úroveň 2 %.

***Poznámka:** Vzhledem k významu vody nepřekvapí, že její množství v těle je kontinuálně registrováno a podléhá přísné regulaci. Na určování stavu hydratace (zavodnění) organismu se podílejí především osmoreceptory a objemové receptory. Příjem a výdej vody musí být v rovnováze (jinými slovy tělo musí mít vyrovnanou vodní bilanci). Hospodaření s vodou se věnujeme také v podkapitole 5.1.*

Pokud se podíváme na nejčastěji se vyskytující **IONTY**, najdeme jich v našich buňkách velmi širokou a pestrou paletu. Jedná se jak o kladně nabitě **kationty**, tak záporně nabitě **anionty**.

Nejhojnějším nitrobuněčným iontem je draselný kationt (K^+), který buňky aktivně hromadí ve svém nitru. V nižší koncentraci se pak v buňkách nacházejí kationty sodné (Na^+)¹⁷, vápenaté (Ca^{2+}) a hořečnaté (Mg^{2+}). Ze záporných iontů dominuje především chloridový aniont (Cl^-).

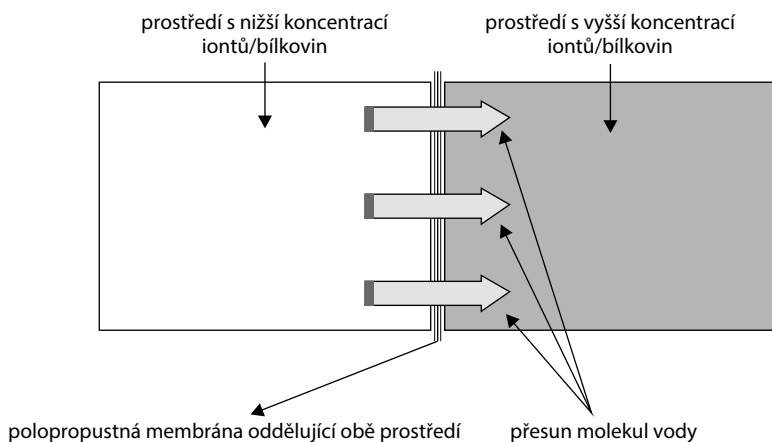
Velmi významné jsou bikarbonáty (HCO_3^-) a fosfáty (HPO_4^{2-} , $H_2PO_4^-$). Mimo jiné se podílejí na stabilizaci pH, tedy kyselosti vnitřního prostředí buňky.

Hodnota pH v konkrétních buňkách se může do určité míry lišit (záleží na typu, stavu i vývojové fázi dané buňky). Vedle toho krevní plazma má přísně regulované pH, které je řadou mechanismů udržováno ve fyziologickém rozmezí $7,4 \pm 0,04$ (viz kapitola 5).

Důležitý pojem, který s anorganickými látkami souvisí, je **osmotický tlak**. Projevuje se v případě, že dvě prostředí jsou od sebe oddělena polopropustnou membránou. Jelikož membrány v našich buňkách jsou polopropustné, osmotický tlak se zde uplatňuje velmi významně. Zjednodušeně ho můžeme vysvětlit tak, že prostředí, které obsahuje větší množství iontů a látek s malou molekulou (má vyšší koncentraci těchto látek), nasává vodu. Můžeme si to představit tak, že se voda „snaží“ naředit hustší prostředí, respektive vyrovnat koncentrace na obou stranách membrány.

¹⁶ V těle člověka s vysokým objemem tuku v těle (tedy u obézního) tvoří voda pouze cca 45 % tělesné hmotnosti.

¹⁷ Zatímco draselné ionty buňka aktivně čerpá dovnitř, sodné ionty „vyhazuje“ ven. Proto je sodíku v buňce minimum. Tyto dva procesy jsou spojeny – realizuje je sodno-draselná pumpa ($Na^+/K^+-ATPáza$).



Obr. 2.1 Princip osmotického a onkotického tlaku

Vedle osmotického tlaku hraje v živých buňkách významnou roli také **tlak koloidně-osmotický** neboli **onkotický**. Ten je způsoben molekulami bílkovin¹⁸, které nemohou procházet přes biomembrány a rovněž nasávají vodu. Podílí se tak mimo jiné například na udržování objemu krve v cévním řečišti.

Ne všechny anorganické látky jsou rozpustné. K **nerozpustným anorganickým látkám** patří zejména uhličitan vápenatý CaCO_3 a fosforečnan vápenatý $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Podílejí se především na stavbě kostí a zubů.

Ve stručném výčtu anorganických látek, které se v buňkách lidského těla vyskytují, jistě nelze pominout i **některé kovy**, jako železo (Fe), zinek (Zn), kobalt (Co), mangan (Mn), molybden (Mo) a další. Jejich celkové množství není tak vysoké jako u již zmíněných látek, nicméně pro fyziologické funkce jsou velmi podstatné.

2.1.2 Základní organické složky buněk

Zatímco výše uvedené anorganické látky mohou být součástí i neživé hmoty, dále jmenované látky organické povahy jsou vázané na hmotu živou.

¹⁸ Dominantní roli zde hrají molekuly bílkovin menší velikosti – albuminy.

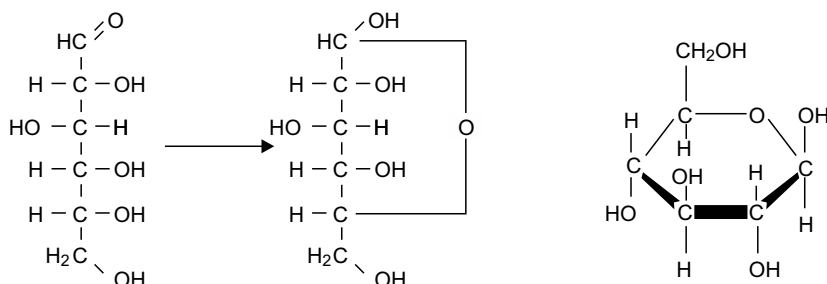
Poznámka: Základem organických látek jsou řetězce, ve kterých je dominantně zastoupen uhlík (C). Tento prvek tvoří základní kámen látek organické povahy. Uhlík je rovněž součástí řady anorganických látek. A možná není bez zajímavosti, že krystalická forma uhlíku představuje vysoce ceněný drahokam – diamant.

Podle velikosti molekuly lze organické látky rámcově dělit do dvou základních skupin – jsou to **nízkomolekulární organické látky** (s menšími molekulami) a **vysokomolekulární organické látky** (s velkými molekulami, kterým říkáme makromolekuly).

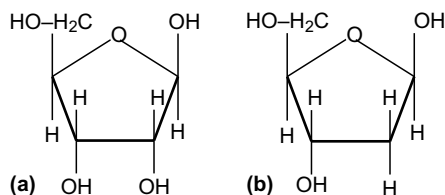
Nízkomolekulární organické látky

Základní nízkomolekulární organické látky jsou nejjednodušší organické sloučeniny. Patří sem zejména jednoduché **CUKRY** – **glycidy**, které ve svých molekulách obsahují větší počet hydroxylových skupin (–OH):

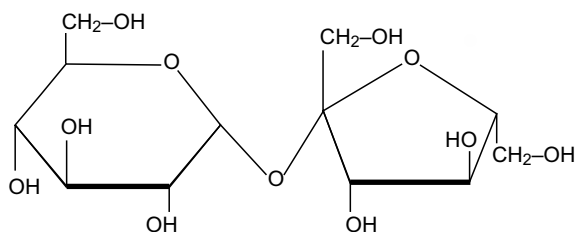
- **Hexózy** obsahují šest atomů uhlíku v řetězci (příkladem je nejběžnější cukr – glukóza).
- **Pentózy** mají pět uhlíků v základním řetězci (příkladem může být ribóza a deoxyribóza).



Obr. 2.2 Glukóza v různých formách zápisu chemického vzorce molekuly



Obr. 2.3 Ribóza (a), deoxyribóza (b)



Obr. 2.4 Sacharóza – jako příklad disacharidu

Spojováním jednoduchých cukrů vznikají **glykosidy**. Ty se mohou vyskytovat jako disacharidy (se dvěma základními cukry), trisacharidy (obsahující tři základní cukry) až polysacharidy (s ještě více vázanými základními cukry).

Sacharidy jsou především pohotovým **zdrojem energie** pro všechny buňky. Pro mozkové neurony a červené krvinky jsou dokonce jediným zdrojem. Vedle toho jsou součástí některých makromolekul (například spojením s molekulami bílkovin vznikají glykoproteiny).

Pro lidské tělo je nejdůležitějším cukrem glukóza (a její zásobní forma glykogen). Hladina glukózy v krevní plazmě (glykemie) je přísně regulována a udržována ve fyziologickém rozmezí¹⁹.

***Poznámka:** Fyziologická glykemie nalačno se pohybuje v rozmezí 3,9–5,6 mmol/l. Po jídle se běžně zvyšuje, ale měla by zůstat pod úrovní 10 mmol/l.²⁰*

Organické kyseliny jsou typické tím, že obsahují karboxylovou skupinu –COOH. Monokarboxylové kyseliny nesou pouze jednu karboxylovou skupinu, dikarboxylové kyseliny mají dvě a trikarboxylové kyseliny tři skupiny –COOH.

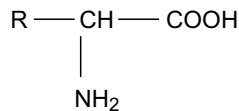
Nesmírně významnou skupinou organických kyselin jsou **AMINOKYSELINY**. Kromě karboxylové skupiny (–COOH) obsahují také aminovou funkční skupinu (–NH₂). Aminokyseliny tvoří celou řadu biologicky významných látek (včetně bílkovin), ale mají význam i jako volné molekuly. Mohou fungovat jako neuro-

¹⁹ Na regulaci glykemie se primárně podílejí hormony inzulín a glukagon. Nezanedbatelný význam však má rovněž kortizol a dále tyroxin, adrenalin, noradrenalin, somatotropní hormon.

²⁰ Stanovení hladiny cukru v krvi je běžně realizováno jak při vyšetření krve v laboratoři, tak v domácím prostředí. V současné době máme k dispozici řadu typů **glukometrů** (glukoměrů), které z jedné kapky krve rychle vyhodnotí hodnotu glykemie. Laboratorní vyšetření je samozřejmě přesnější, ale pro orientační posouzení glykemie jsou dostupné glukometry dostačující. Nová generace glukometrů využívající speciální senzorové technologie se obejde bez krve. (To je pokrok, což!?)

transmitery, které se zapojují do přenosu informací mezi nervovými buňkami (např. glycin, kyselina glutamová), nebo jsou výchozím substrátem pro vznik dalších neurotransmiterů i hormonů (jako např. kyselina γ -aminomáselná odvozená od kyseliny glutamové, serotonin odvozený z aminokyseliny tryptofanu, acetylcholin odvozený z aminokyseliny serinu, adrenalin a tyroxin vycházející z aminokyseliny tyrosinu).

Spojením dvou až dvaceti aminokyselin pomocí **peptidové vazby** vznikají **oligopeptidy** (neboli peptidy). Jsou to vesměs biologicky vysoce účinné látky (patří sem např. hormon oxytocin, neurotransmitery endorfiny). **Polypeptidy** obsahují vždy méně než sto vázaných aminokyselin. Delší řetězce tvořené více než stovkou aminokyselin označujeme jako **proteiny** (bílkoviny), které již řadíme k vysokomolekulárním organickým látkám.



Obr. 2.5 *Obecná stavba aminokyselin*

(*R je variabilní část lišící se u konkrétních aminokyselin*)

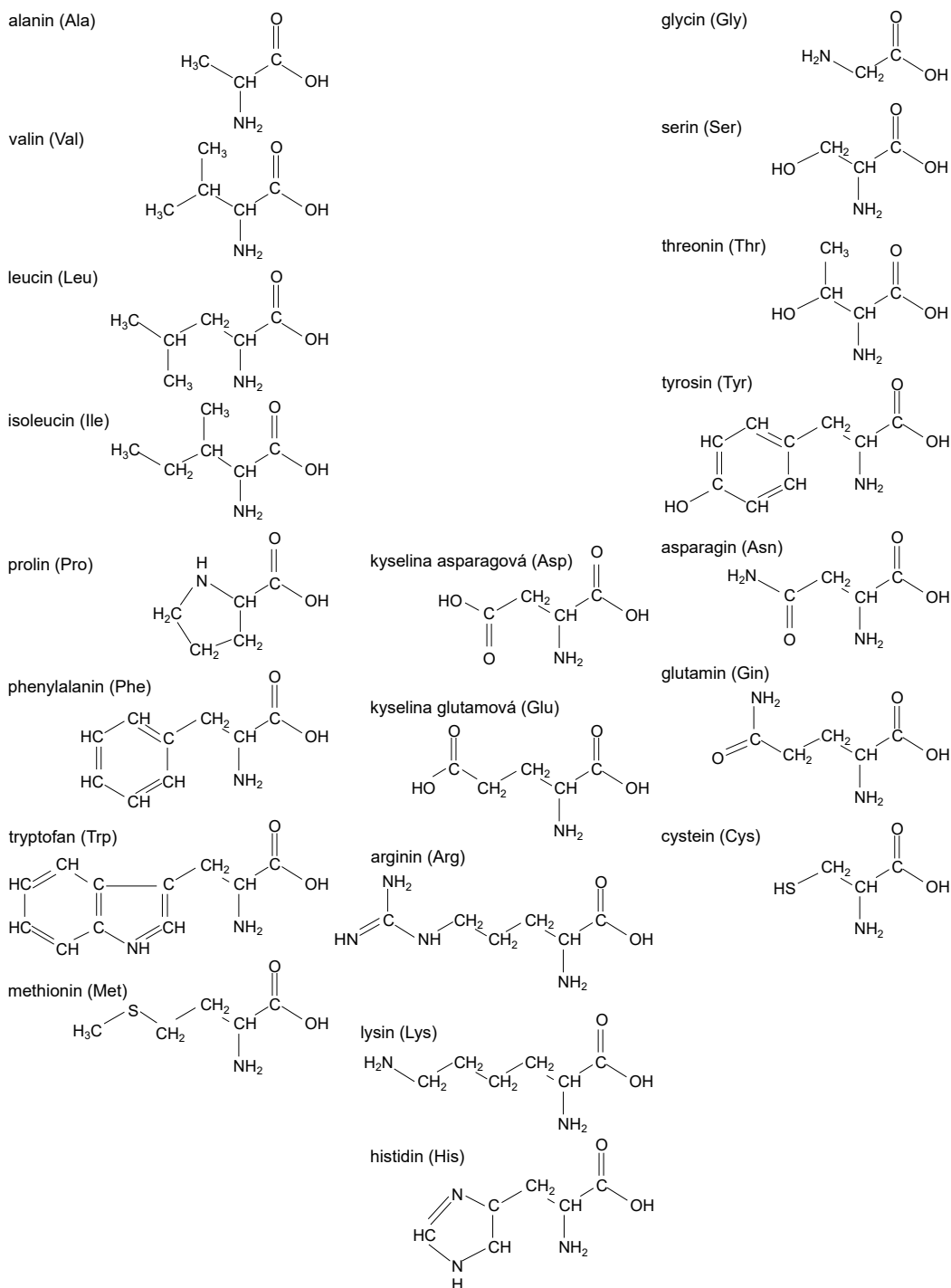
NUKLEOTIDY představují základní stavební kameny vysokomolekulárních nukleových kyselin (viz dále). Význam mají však také nukleotidy volné. Každý nukleotid se skládá ze tří částí, kterými jsou:

- dusíkatá báze, jíž může být adenin (A), guanin (G), cytosin (C), uracil (U) nebo tymin (T);
- pentóza – cukerná složka v podobě ribózy nebo deoxyribózy;
- zbytek kyseliny fosforečné.

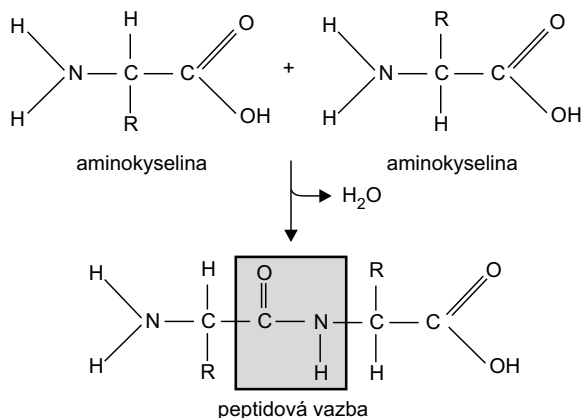
V buňkách nejhojněji zastoupeným nukleotidem je **adenosinmonofosfát** (AMP), který je mimo jiné součástí adenosindifosfátu (ADP), a hlavně adenosintrifosfátu (ATP).

Vazby mezi fosfátovými skupinami v molekule ATP označujeme jako **makroergické** – nesou v sobě „zakonzervovanou“ energii, která se uvolní jejich rozkladem (hydrolyzou).

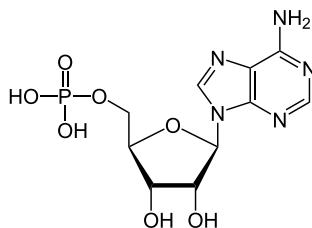
Opačným procesem dochází k zakonzervování a uložení energie do ATP. Místem vzniku ATP v buňce lidského těla jsou mitochondrie.



Obr. 2.6 Základní aminokyseliny (název, používaná zkratka, chemický vzorec)



Obr. 2.7 Peptidová vazba

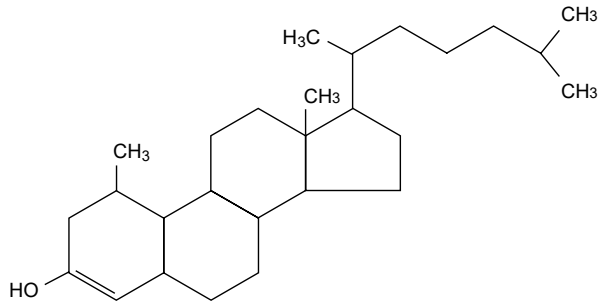


Obr. 2.8 Molekula AMP

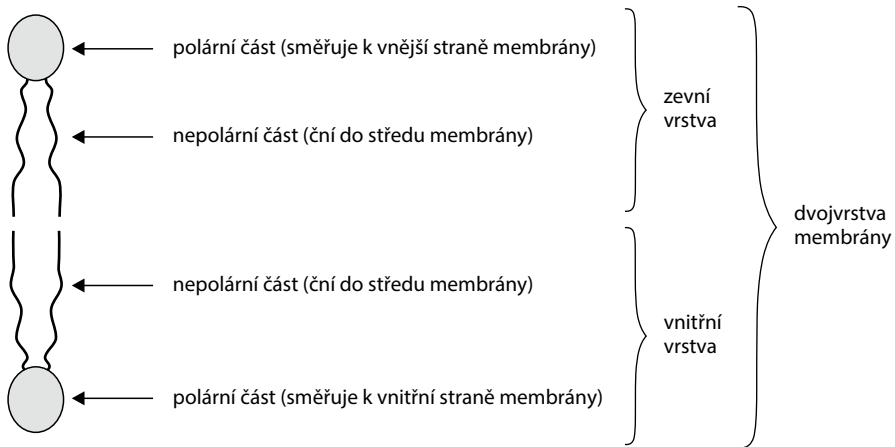
UHLOVODÍKY obsahují ve shodě se svým označením ve svých molekulách atomy uhlíku a vodíku. K jednomu z nejvýznamnějších uhlovodíků buněk lidského těla (a živočišných buněk obecně) patří **cholesterol**. Z chemického hlediska patří mezi steroly, které obsahují jednu hydroxylovou skupinu $-\text{OH}$. Vyskytuje se hojně v buněčných membránách a jsou od něj odvozeny i steroidní hormony a žlučová barviva. Patří tak k významným součástem buněk a organismu.

Mimořádně do stejné skupiny patří také **vitamin D₃**, který uvádíme jako další příklad významných uhlovodíků vyskytujících se v živočišných buňkách. Je jedním z vitamínů skupiny D.

V rámci krátkého seznámení s jednoduchými organickými látkami nelze pominout **triglyceridy**. Z chemického hlediska se jedná o **LIPIDY** (tuky), přesněji estery glycerolu s vyššími mastnými kyselinami. Obsahují většinou šestnáct nebo osmáct atomů uhlíku. Pro buňku jsou podstatným zdrojem energie. Podílejí se také



Obr. 2.9 Cholesterol



Obr. 2.10 Zjednodušená struktura fosfolipidů tvořících dvojvrstvou membránu

na tepelné izolaci organismu a hrají i další role – tuková tkáň, která lipidy v hojné míře obsahuje, je nejen pasivní zásobárnou, ale metabolicky velmi aktivní tkání.

Speciální funkci sehrávají **membránové lipidy**, které reprezentují nesmírně významnou složku buněčné membrány. Mají dva dlouhé nepolární řetězce a jednu silně polární skupinu. V případě **fosfolipidů** je polární složkou zbytek kyseliny trihydrogenfosforečné. U **glykolipidů** je polární skupinou cukerná složka (nejčastěji polysacharid).

Glykolipidy (přesněji jejich polysacharidová složka směřující k povrchu membrány) tvoří struktury mnohých **antigenů** – podílejí se tak na antigenní specifitě buněk.

Jako příklad antigenů glykolipidové povahy uvedme antigeny na povrchu červených krvinek, které udávají příslušnost ke krevním skupinám A, B, AB a O²¹.

²¹ Krevními skupinami se budeme zabývat v podkapitole 3.5 věnované krvi.

Kromě stavební funkce slouží tuky také jako **energetická zásoba** (aktivovaná při nedostatku glukózy). Tuková vrstva chrání organismus před ztrátami tepla²² a účastní se řady metabolických pochodů (např. cholesterol je výchozím substrátem pro tvorbu steroidních hormonů). Látky tukové povahy fungují jako rozpouštědlo některých látek (např. vitaminů rozpustných v tucích – tedy vitaminů A, D, E, K). V podobě esenciálních mastných kyselin (které si tělo neumí vyrobit samo a musí být zabezpečena dodávka zvenčí)²³ jsou nezbytné pro fyziologické fungování organismu.

Vysokomolekulární organické látky

Organické látky, které označujeme jako vysokomolekulární, vznikají z látek nízkomolekulárních. Při jejich vzniku se uplatňují specifické **typy chemických vazeb** (glykosidická, peptidová a esterová), které jsou vedle obrovské molekuly o velké molekulární hmotnosti pro všechny vysokomolekulární látky typické.

K základním vysokomolekulárním látkám, které v buňkách nacházíme, řadíme **nukleové kyseliny, proteiny a polysacharidy**.

Proteiny a nukleové kyseliny někdy označujeme jako **informační makromolekuly** – ve sledu stavebních prvků, které je tvoří, totiž nesou uloženou informaci.

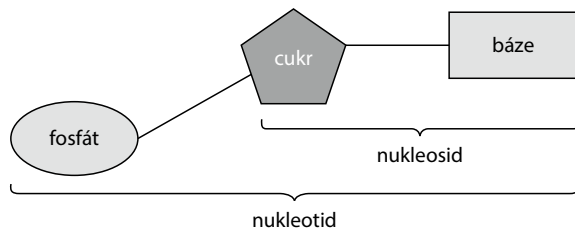
Protože uvedené vysokomolekulární látky obsahují ve svých molekulách řadu polárních skupin, jsou rozpustné ve vodě. Jejich roztoky se nazývají **koloidní roztoky**. Ty vykazují osmotický tlak²⁴, který je však malý.

NUKLEOVÉ KYSELINY vznikají spojováním (kondenzací) základních stavebních jednotek – **nukleotidů**. Jeden nukleotid přitom sestává z pětiuhlíkatého cukru (pentózy), kyseliny fosforečné a dusíkaté báze. Cukr a dusíkatá báze vytváří nukleosid.

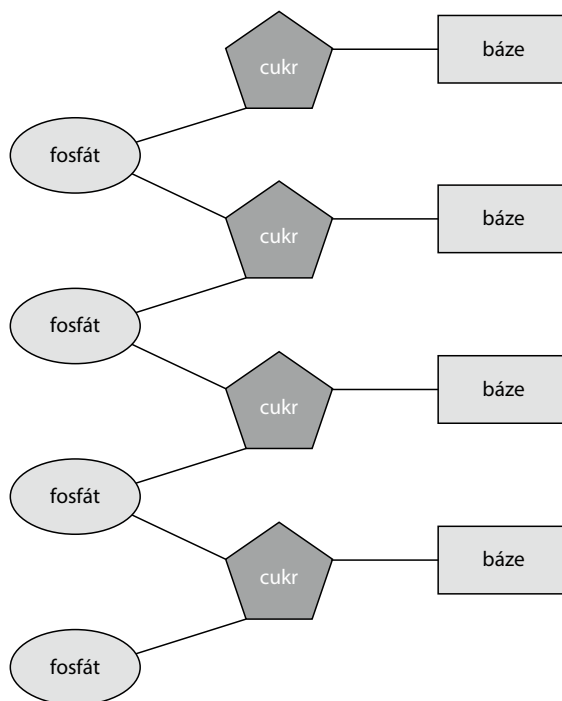
²² Je vám patrně známo, že si řada tvorů, kteří s námi sdílejí planetu, na zimu pořízuje tukovou zásobu, jež jim umožní přečkat období s nedostatkem potravy nebo přečkání chladného období v zimním spánku (hibernaci).

²³ V různých dietních trendech, které se objevují, nikdy nezapomínejme na pestrou stravu, která dodá všechny potřebné komponenty. Tělo se bez některých neobejde.

²⁴ O osmotickém tlaku, který si představte jako „nasávání vody“, jsme se již krátce zmiňovali v předešlé části textu.



Obr. 2.11 Obecná stavba nukleosidu a nukleotidu



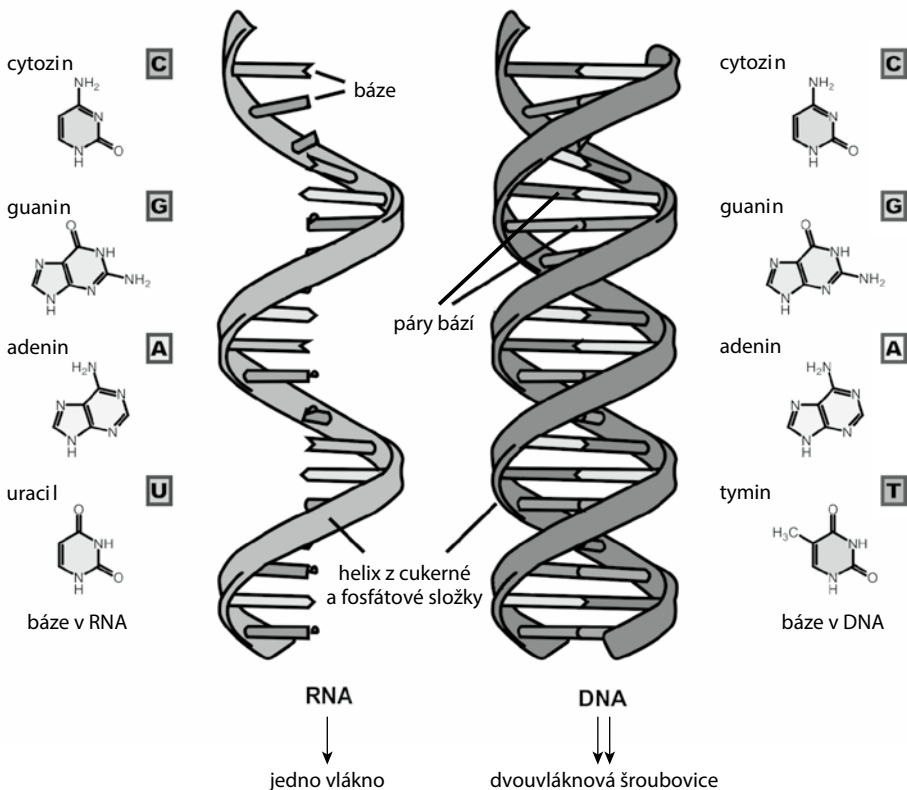
Obr. 2.12 Obecná stavba řetězce nukleové kyseliny

Existují dva základní typy nukleových kyselin – kyselina ribonukleová (RNA) a kyselina deoxyribonukleová (DNA). Podívejme se na základní rozdíly a shody obou v přehledné tabulce.

Tab. 2.1 Nukleové kyseliny

	NUKLEOVÁ KYSELINA	
	RNA	DNA
Cukr (pentóza)	ribóza	deoxyribóza
Dusíkatá báze	adenin (A), guanin (G), cytozin (C) a uracil (U)	adenin (A), guanin (G), cytozin (C) a tymin (T)
Molekula*	jedno vlákno, základní varianty mRNA, rRNA, tRNA	dvouvláknová šroubovice složená ze dvou komplementárních vláken
Doplňkové (komplementární) báze		A-T, T-A C-G, G-C

* **Poznámka:** Uvedené platí pro buňky lidského těla. U některých virů se můžeme setkat s jednovláknovou molekulou DNA.



Obr. 2.13 Nukleové kyseliny

PROTEINY (bílkoviny) představují obrovské makromolekuly tvořené z **aminokyselin**, které jsou v molekule bílkoviny navzájem spojeny do dlouhého řetězce pomocí **peptidových vazeb**. Bílkoviny živých organismů jsou tvořeny dvaceti základními aminokyselinami (viz obr. 2.6).

Bílkovinu si můžeme představit jako dlouhé vlákno, které je složitě smotané. N-konec tohoto vlákna (řetězce aminokyselin) obsahuje skupinu $-NH_2$. C-konec nese skupinu $-COOH$. Postranní řetězce jsou různé dlouhé podle zapojených aminokyselin.

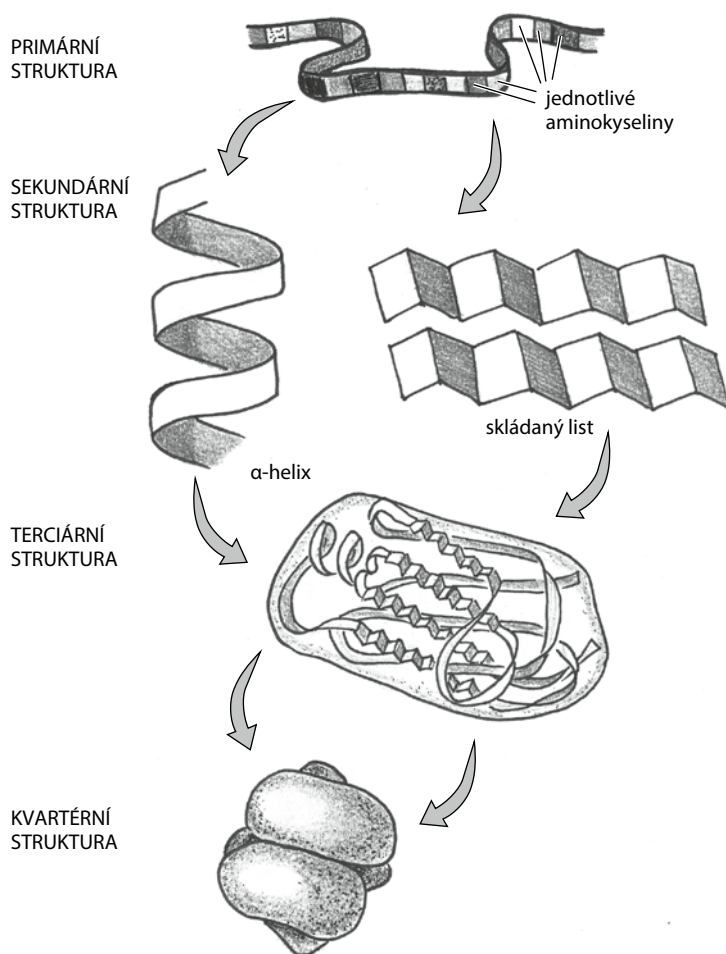
Makromolekula bílkovin vykazuje hierarchicky organizované uspořádání:

- Přesné pořadí aminokyselin v řetězci bílkoviny představuje **primární strukturu proteinu**. Ta je určena genetickou informací (viz dále).
- **Sekundární struktura** proteinu představuje další úroveň organizace proteinového řetězce. Je udržována především vodíkovými vazbami. Zahrnuje šroubovité stočení (α -helix) nebo skládaný list (β -struktura).
- Uspořádání řetězce bílkoviny v prostoru se označuje jako **terciární struktura**. K jejímu udržení přispívají jak vodíkové vazby, tak disulfidové vazby a elektrostatické síly. Terciární struktura bílkovin závisí především na předchozích dvou úrovních organizace řetězce aminokyselin (tedy na primární a sekundární struktuře). Významnou roli v prostorovém uspořádání bílkoviny však hrají také speciální proteiny (označované jako chaperony)²⁵.
- **Kvartérní struktura** znamená ještě složitější organizaci několika proteinových řetězců do velkého komplexu nebo spojení proteinu s jinými látkami organické i anorganické povahy²⁶.

Právě terciární struktura proteinů zásadním způsobem ovlivní celkovou podobu a funkci proteinu. Díky ní totiž na proteinu vzniknou například **vazebná místa** schopná vázat na sebe specifické ligandy (třeba hormony, mediátory nebo antigeny) nebo **aktivní centra** enzymů (kde probíhají biochemické reakce).

²⁵ Chaperony (čti šaprony) pomáhají poskládat proteiny do žádoucího tvaru, což je nezbytný předpoklad pro vykonávání funkce daného proteinu. Mimochodem slovo chaperon pocházející z francouzštiny označuje také osobu, která někoho doprovází (tedy garde či gardedámu). Historicky tak označujeme i pokrývku hlavy, která se nosila ve středověku. V kontextu bílkovin však vnímejme první uvedený význam slova.

²⁶ V podkapitole 3.5 věnované krvi se zmíníme například o hemoglobinu – krevním barvivu, které obsahuje složitě uspořádané molekuly bílkoviny (globinu), nebílkovinné složky (hemu) zahrnující také čtyři atomy železa (Fe).



Obr. 2.14 Struktura organizace proteinů

Proteiny jsou základní **stavební součásti** všech buněk. V podobě hormonů a enzymů se účastní **regulačních a metabolických pochodů**, v podobě imunoglobulinů (protilátek) se významně podílejí na **imunologické obraně organismu**. Při dlouhodobém hladovění se mohou uplatnit jako náhradní zdroj energie²⁷.

²⁷ Opět dobře míněné upozornění: Pozor na některé přísné diety – nezapomínejme, že při delším deficitu příjmu potravy dochází k odbourávání tukové tkáně, ale také tkáně svalové.

POLYSACHARIDY vznikají kondenzací jednoduchých monosacharidů. Obsahují **glykosidické vazby**. Základním polysacharidem živočišných buněk, který vzniká kondenzací molekul glukózy, je **glykogen**. Plní zásobní funkci (jeho štěpením se uvolňují jednotlivé molekuly glukózy – základního energetického substrátu, ze kterého získávají buňky energii nejčastěji).

Jaterní glykogen (logicky vznikající v játrech) může být tvořen jak ze samotné glukózy, tak z necukerných složek (bílkovin a tuků). Je energetickou zásobou pro celé tělo. Vedle toho **svalový glykogen** vzniká pouze z molekul glukózy a slouží jako zdroj glukózy (a tím energie) pouze pro svaly.

***Poznámka:** Zásobní látkou u rostlin je škrob. Polysacharid celulóza je podstatnou součástí stěn rostlinných buněk. Polysacharid chitin je součástí těl členovců a buněčných stěn hub. Agar je známý polysacharid mořských řas. Tím však výčet existujících polysacharidů samozřejmě zdaleka nekončí.*

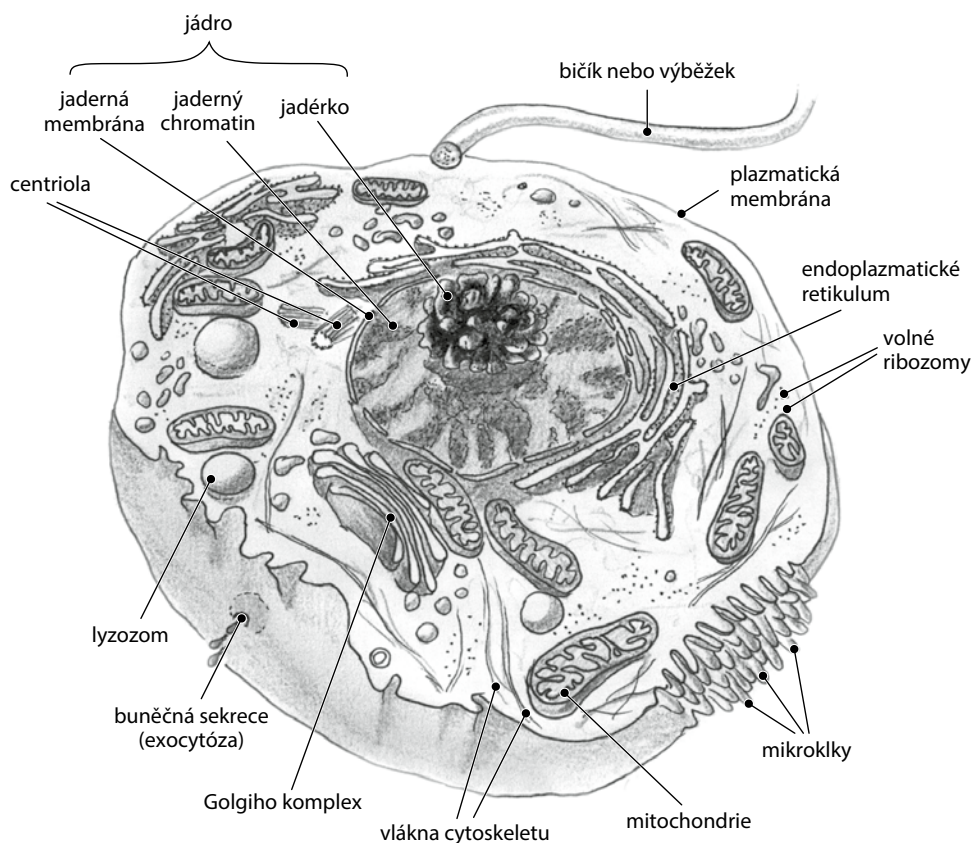
2.2 Základní organely buněk

Každá buňka lidského těla je proti svému okolí ohraničena plazmatickou membránou, která odděluje buněčné nitro – **intracelulární prostor** – od zevního prostředí – **extracelulárního prostoru**.

V označení prostorů zaznívají latinská slova *intrā* – uvnitř, vevnitř, *extrā* – zvenku, vně, mimo, zevně a *cellula* – buňka (odvozeno ze slova *cella* – malá komora, komůrka).

Nitro buňky tvoří **cytoplazma**, která obsahuje jednotlivé **buněčné organely**. Ty bychom mohli označit jako „orgány buňky“, uzpůsobené a specializované k vykonávání **určité funkce**. Právě na ně se nyní podíváme.

***Poznámka:** Buňky rostlin, bakterií a hub jsou navíc ohraničeny buněčnou stěnou. Rostliny obsahují speciální organely jako například chloroplasty (umožňující fotosyntézu, tedy přeměnu anorganických látek na organické za přítomnosti světla) nebo vakuoly (sloužící jako zásobní organely). Živočišné buňky tyto struktury neobsahují, proto se jimi dále nezabýváme (a zmiňujeme je zde pouze na doplnění).*



Obr. 2.15 Buňka a buněčné organely

2.2.1 Plazmatická membrána

Již víme, že plazmatická membrána odděluje intracelulární a extracelulární prostor. Představuje tak velmi důležitou **hraniční zónu buňky**. Podílí se na udržování **tvaru buňky**. Je místem, kde dochází k výměně látek, energií a informací mezi buňkou a jejím okolím. Obsahuje **membránové kanály** a **membránové pumpy** určené pro přesuny iontů a malých molekul. **Membránové receptory** ukotvené z vnější strany buňky slouží jako přijímače (nebo „čtečky“) informací.

Je asi jasné, že plazmatická membrána zprostředkovává kontakt buňky s okolním prostředím, ale i jinými buňkami a strukturami. Kupříkladu v přenosu informací nervovými vlákny a synapsemi hraje plazmatická membrána a její struktury zásadní roli.

Stavebním podkladem plazmatické membrány je **dvojvrstva fosfolipidů**, ve které jsou umístěny **proteiny** (bílkoviny). Některé z nich procházejí celou šířkou plazmatické membrány (transmembránově), jiné jsou kotveny ze zevní nebo vnitřní strany. Na proteiny plazmatické membrány mohou být navázány další látky – například **glykoproteiny** jsou bílkoviny spojené s cukernou složkou.

Mezi hojně zastoupené fosfolipidy plazmatické membrány patří zejména **lecitin** (fosfatidylcholin). Významnou součástí je také **cholesterol**.

Antigeny plazmatické membrány si představme jako struktury, které jsou „vystřeny“ směrem ven. Určují „svěbytnost, příslušnost a identitu“ každé buňky a vstupují do imunitních reakcí.

O antigenech obecně a také o antigenech hlavního histokompatibilního komplexu (MHC) se dozvíme v části věnované imunitě (viz oddíl 4.10). O antigenech červených krvinek, které určují příslušnost ke krevním skupinám, se zmiňujeme v pasáži věnované krvi (viz oddíl 3.5).

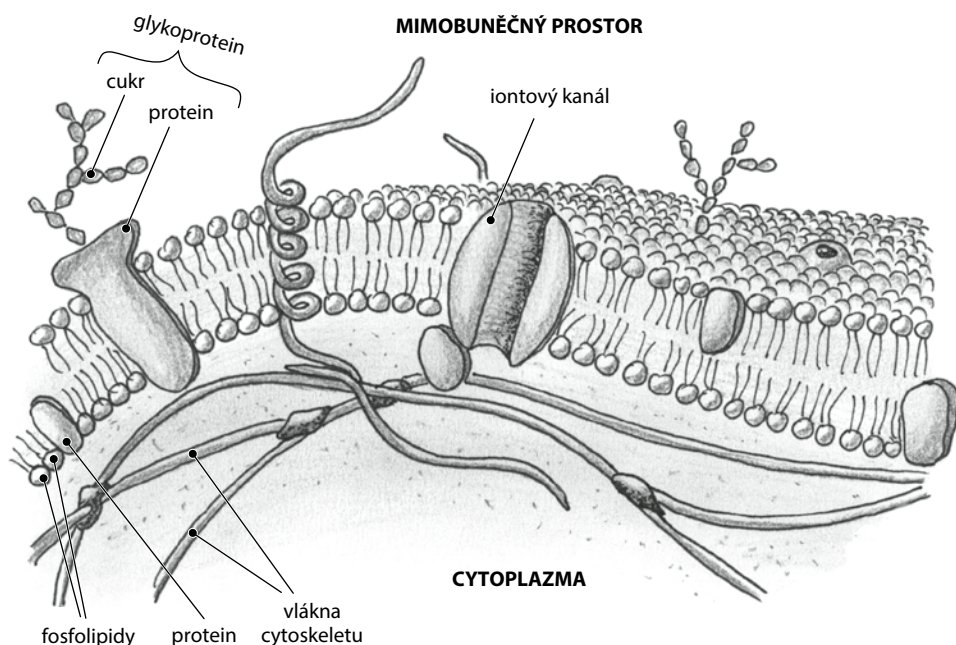
Z vnitřní strany se na plazmatickou membránu kotví vláknité struktury cytoskeletu, který se podílí na udržování tvaru, příjmu a výdeji i pohybu plazmatické membrány (a dalších částí buňky).

S částmi cytoskeletu, který řadíme mezi buněčné organely, se seznámíme následně v další části textu.

Plazmatická membrána je velmi **dynamickou strukturou** – její detailní podoba není stacionární, ale neustále se mění a přetváří. Některé části se přeskupují, jiné se mohou objevovat nově, další mohou zanikat. Jelikož je složena z řady částí a dynamicky se proměňuje, přirovnává se k **tekuté mozaice**.

Obecně můžeme říci, že plazmatická membrána je **polopropustná – semi-permeabilní** (z latinských slov *sēmi* – polo, napůl a *permeābilis* – propustný, průchodný).

Propustnost různých látek přes plazmatickou membránu se liší. Například dýchací plyny (O_2 a CO_2) a látky rozpustné v tucích procházejí **prostou difuzí**. Nabité ionty přes membránu volně procházet nemohou. Potřebují speciální bílkovinné **iontové kanály**, které umožňují jejich průnik přes membránu. Existence a role iontových kanálů je naprosto zásadní pro činnost řady buněk našeho těla, zejména nervových a svalových.

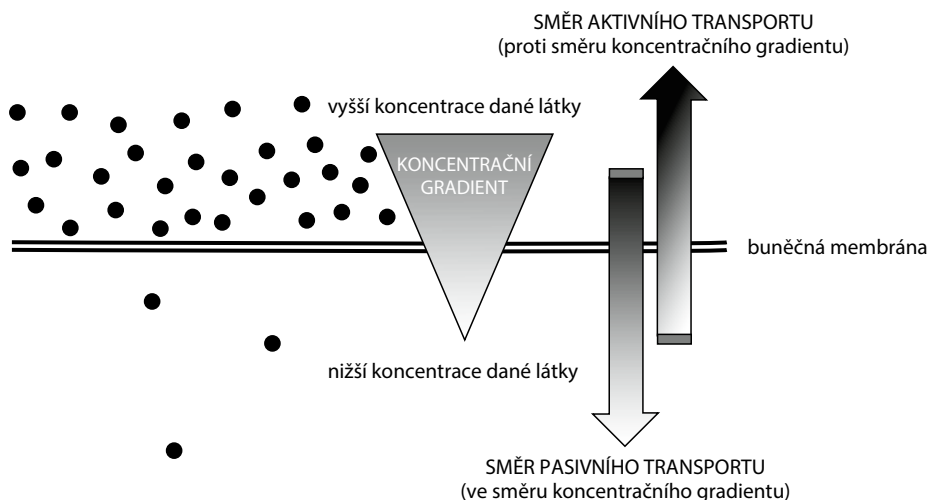


Obr. 2.16 Plazmatická membrána

Iontové kanály přítomné v plazmatické membráně mohou být otevřeny trvale, nebo je jejich otevírání řízeno. Mohou přitom být řízeny **elektricky** (změnou elektrického napětí), **chemicky** (působením určitých chemických látek), **mechanicky** (mechanickým podnětem – ohnutím, natažením, tlakem apod.) nebo **kombinovaně** (využitím více mechanismů).

Propustnost plazmatické membrány pro vodu (H_2O) je relativně omezená. V plazmatické membráně najdeme **akvaporiny** (jakési „vodní kanály“, z latinského *aqua* – voda a *porus* – průchod, skulina, otvor, pór), kterými molekuly vody mohou selektivně procházet.

Velmi důležitým mechanismem zajišťujícím transport vody přes membránu je **osmóza**, o které jsme se již zmínili. Je vždy pasivní a představuje difuzi molekul vody ve směru koncentračního gradientu vody. Prostředí oddělené membránou, které obsahuje více osmoticky aktivních částic (jinými slovy je koncentrovanější či více zahuštěné), nasává vodu. Díky osmóze má voda tendenci naředit koncentrovanější prostředí, respektive vyrovnat koncentrace prostředí na obou stranách membrány.



Obr. 2.17 Koncentrační gradient a jeho význam pro pasivní transport látek přes plazmatickou membránu

Průchod látek prostou difúzí a speciálními kanály či póry je realizován po **směru koncentračního gradientu** – vždy ze strany s vyšší koncentrací do místa s nižší koncentrací. Nevyžaduje k tomu energii, a proto hovoříme o **pasivním transportu**²⁸.

Při pasivním transportu stačí, aby existovala „cesta přes membránu“. Hnací silou, která průchod látky podmíní, je právě koncentrační gradient.

- **Prostou difúzí** přecházejí přes plazmatickou membránu plyny a mnohé látky tukové povahy.
- **Usnadněná difuze** (přechod skrze kanály a póry) se týká vody a iontů.

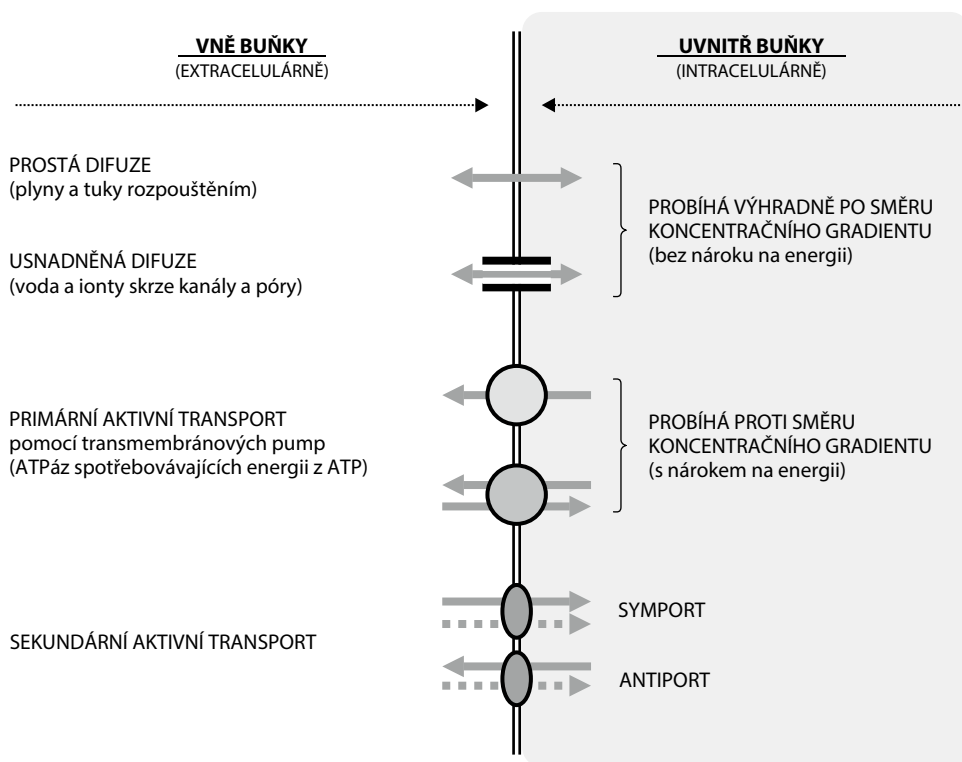
Mnohdy ale buňka potřebuje přemístit látky **proti koncentračnímu gradientu**. I to je možné. Děje se tak prostřednictvím **aktivního transportu**, který vždy vyžaduje energii²⁹. V membráně tomuto účelu slouží řada **speciálních přenašečů**. Jsou bílkovinné povahy a fungují jako **transmembránové pumpy**. Ke své činnosti

²⁸ Pro ilustrativní přirovnání si pasivní transport představte jako vodu, která teče shora dolů. Pokud má cestu, proudí „sama“ bez nutnosti dodání energie. V případě vody na kopci je onou hnací silou gravitace. V případě pasivního transportu je to koncentrační gradient.

²⁹ Aktivní transport si představte jako situaci, kdy je potřeba přečerpávat vodu z nižších poloh výše (například z hloubi studny na povrch, z povrchu nahoru – třeba v podobě vodotrysku apod.). Bez čerpadla a energie nebo zapojení naší práce to není možné – voda nahoru na Zemi sama o sobě nepoteče. Obdobně aktivní transport by bez speciálních membránových přenašečů a energie ustal.

vyžadují molekuly ATP, které štěpí a uvolňují tak energii (vykazují ATPázovou aktivitu). Příkladem může být Na^+/K^+ ATPáza neboli sodno-draselná pumpa³⁰, která aktivně čerpá sodíkové ionty ven a draslíkové dovnitř buňky v poměru $3\text{Na}^+ : 2\text{K}^+$.

Připomeňme, že ATP (adenosintrifosfát) vznikající v mitochondriích je univerzálním zdrojem energie pro buněčné pochody a děje. V makroergických vazbách této molekuly je uskladněna energie. Pokud se ATP rozkládá na adenosindifosfát (ADP) a ten následně až na adenosinmonofosfát (AMP), dochází k uvolnění energie, která může být využita k rozličným účelům – zde například k realizaci aktivního transportu přes plazmatickou membránu.



Obr. 2.18 Možnosti přesunu látek přes plazmatickou membránu

³⁰ Ekvivalentem je také označení sodno-draslíková pumpa.

Vedle aktivního transportu existuje ještě **sekundární aktivní transport**, který přes membránu přenáší vždy dvě částice najednou – při **symportu** neboli **kotransportu** jsou obě částice přenášeny ve stejném směru, při **antiportu** ve směru opačném. Jedna částice přitom prochází proti směru svého koncentračního gradientu (za spotřeby energie) a druhá částice se „přidá a využije toho“³¹.

Větší látky přes membránu procházet nemohou (jsou už příliš velké). Buňka ale disponuje možnostmi, jak je může přijmout nebo vyloučit – do hry vstupuje **endocytóza a exocytóza**:

- Při **endocytóze** se látka nebo částice, kterou buňka hodlá pohltnout, dostává do jakéhosi měchýřku. Ten se vzápětí oddělí od plazmatické membrány a přeneše svůj obsah do nitra buňky. Variantou je **fagocytóza**³² (určená k příjmu pevných částic) a **pinocytóza**³³ (pro příjem tekutých materiálů).

Při fagocytóze je pohlcovaná částice nejprve obklopena výběžky plazmatické membrány (říkáme jim panožky neboli pseudopodie). Ty postupně uzavřou danou strukturu do zmíněného měchýřku (označujeme ho jako fagozom). Při pinocytóze se měchýřek obsahující přijímanou tekutou látku vchlipuje dovnitř buňky.

- **Exocytóza** je *de facto* opačným procesem. Slouží k vylučování látek, které buňka produkuje nebo se jich zbavuje. Měchýřek obklopující danou látku (nejčastěji je odštěpen z Golgiho aparátu – viz dále) se přiblíží k plazmatické membráně a splyne s ní. Jeho obsah se následně uvolní a „vyleje“ do zevního prostředí.

Poznámka: Pro názornou představu se podívejte na ilustraci procesů endocytózy a exocytózy a porovnejte je.

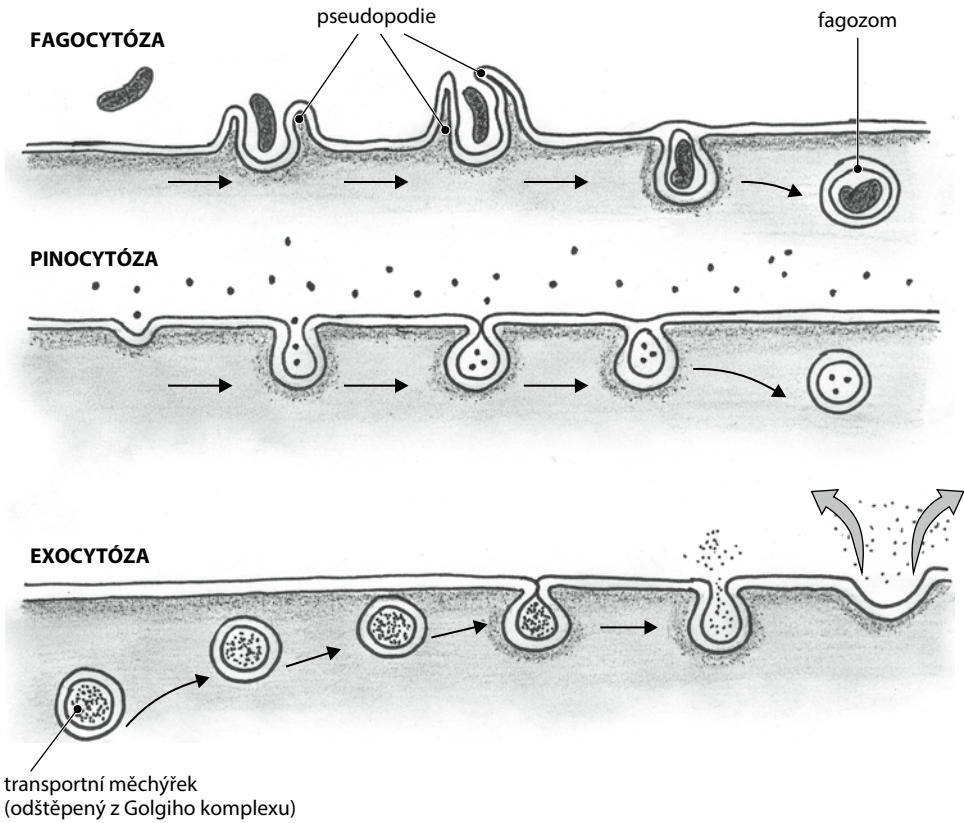
Endocytóza a exocytóza probíhá takřka ve všech buňkách našeho těla³⁴. V endoteliálních buňkách vystylajících kapiláry může na krátkou dobu splynout váček endocytický a exocytický s váčky intracelulárními. Na okamžik tak vzniká kanálek, který prochází skrz endoteliální buňku a usnadňuje přechod látek (označujeme jej jako transcelulární). Jelikož jsou krevní kapiláry místem intenzivní výměny látek mezi krví a tkáněmi, je tento mechanismus nanejvýš účelný. Nazývá se **transcytóza**.

³¹ Představte si, že k přepravě jedné částice je třeba poskytnout energii („zaplatit“), zatímco druhá částice toho využije a „sveze se zadarmo“.

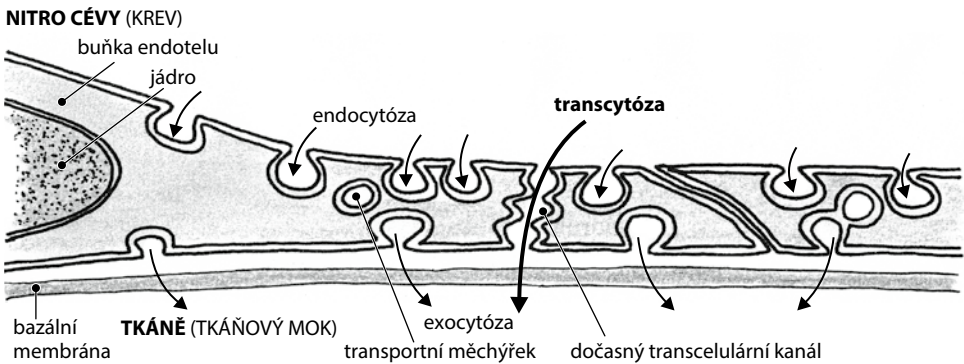
³² Pojem fagocytóza vychází z řeckého slova *phagein* – sníst, pozřít a *kytos* – buňka.

³³ Pojem pinocytóza je odvozen ze slov řeckého původu *pinein* – pít a již uvedeného *kytos* – buňka.

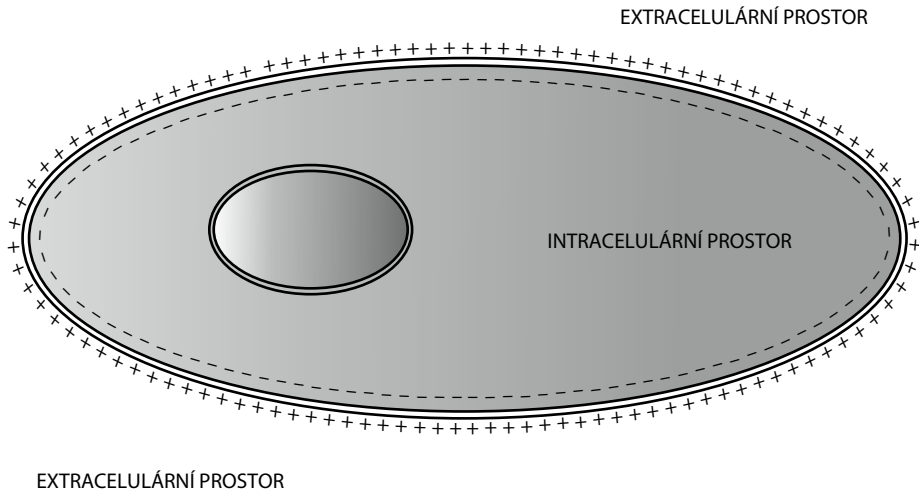
³⁴ Výjimkou mohou být třeba erytrocyty nebo buňky povrchové vrstvy kůže.



Obr. 2.19 Fagocytóza, pinocytóza a exocytóza



Obr. 2.20 Transcytóza



Obr. 2.21 Polarizace buněčné membrány

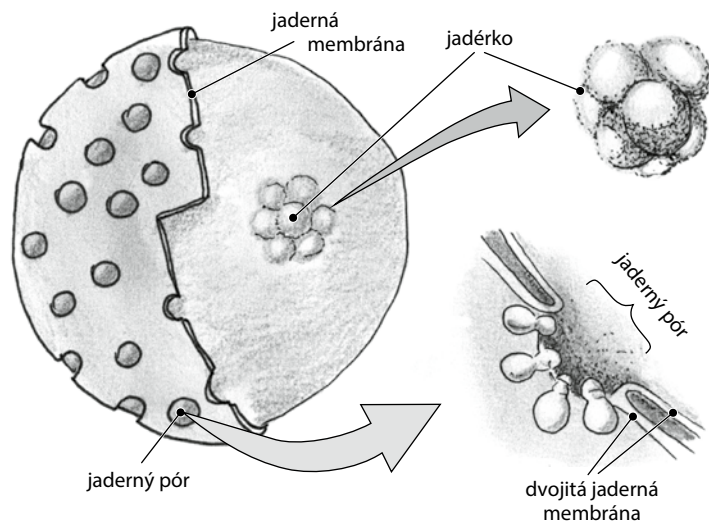
Plazmatická membrána našich buněk není elektricky neutrální, ale je **polarizovaná**. Z její vnější strany převažuje kladný náboj, z vnitřní strany náboj záporný. Souvisí to jednak s nerovnoměrným rozložením nabitých částic v buňce a mimo ni, jednak s pohybem a přesunem iontů přes membránu.

Polarizace buněčné membrány má obrovský význam zejména pro činnost nervových a svalových buněk. Se vznikem a formami polarizace membrány se proto blíže seznámíme v pasáži věnované nervové tkáni (viz podkapitola 3.4).

2.2.2 Buněčné jádro

Buněčné jádro (*nucleus*) je jakýmsi **informačním centrem** buňky. Vyskytuje se ve všech buňkách až na výjimky superspecializovaných buněk, které nejsou schopné dělení (jako jsou např. červené krvinky nebo buňky povrchové vrstvy kůže). Hmota jádra (karyoplazma) je od okolní cytoplazmy oddělena dvojitou **jadernou membránou**, která obsahuje jaderné póry (vypadají jako drobné otvůrky). Zevní vrstva jaderné membrány přechází do membrány endoplazmatického retikula.

Zcela zásadní role buněčného jádra spočívá v tom, že obsahuje **genetickou informaci**. Jaderná DNA spolu s bílkoviny tvoří **chromatin**. Při dělení buňky se chromatin organizuje do specifických jaderných struktur – **chromozomů**.



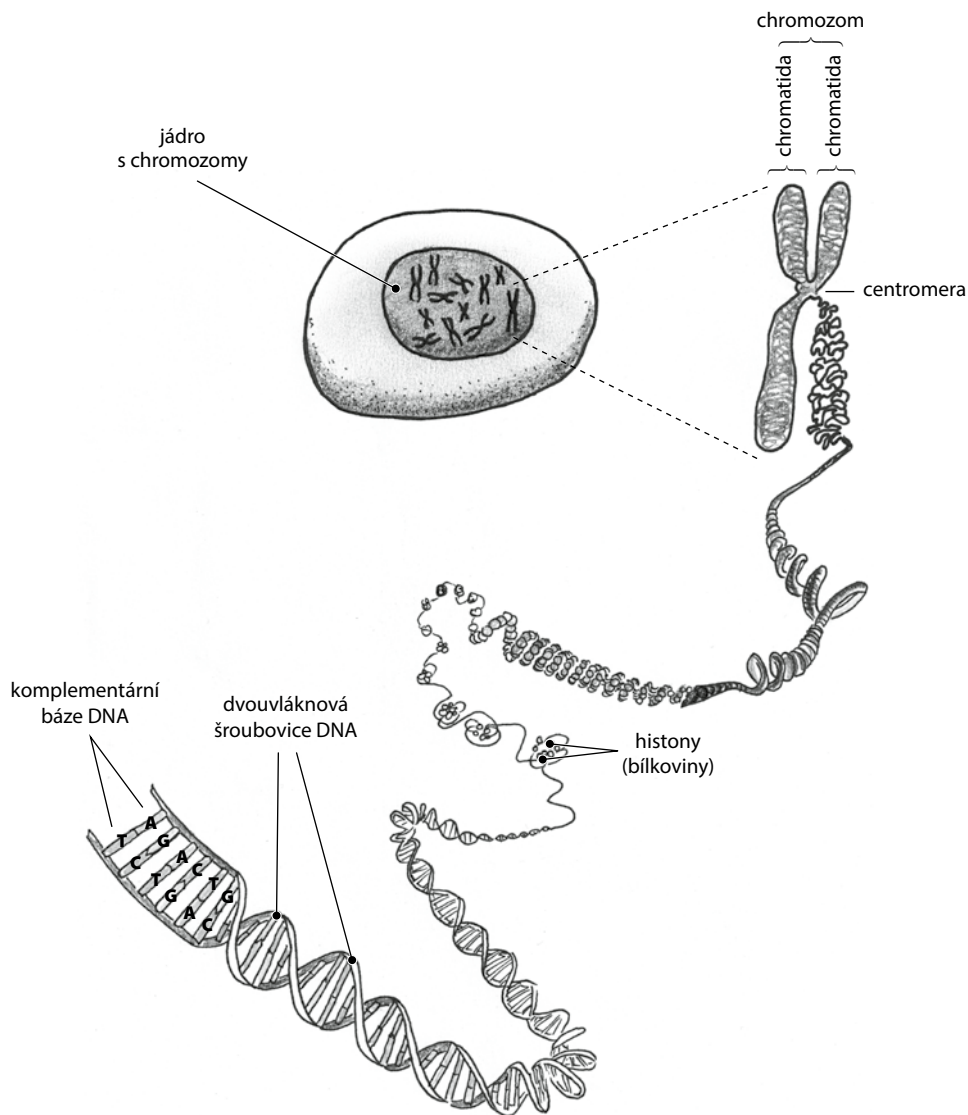
Obr. 2.22 Buněčné jádro

Chromozomy obsahují DNA, bílkoviny zásadité povahy (histony) a bílkoviny kyselé povahy. Díky několikasťupňové **spiralizaci** (opakovanému organizovanému stáčení) je vlákno DNA v chromozomu asi 10 000krát zkráceno. To je zejména při dělení buněk více než žádoucí³⁵.

Poznámka: Vlákno DNA vypadá jako tenký dlouhý dvojprovázek. Při dělení se musí genetický materiál rozdělit do dvou dceřiných buněk. Představte si, že byste potřebovali přesně a rychle rozdělit 46 dlouhých provázků. A nyní se zamyslete – co bylo by jednodušší a efektivnější? 1) motat je nejprve do klubíček po dvou a ta pak rozdělit na dvě hromádky, nebo 2) rozdělovat provázky rozvinuté? Nebyla by druhá možnost komplikovaná až nemožná? Nemohly by se třeba provázky vzájemně zamotat? Co myslíte? Chceme tím říci, že spiralizace DNA do podoby chromozomů je sice složitá, ale v konečném důsledku je nesmírně účelná a elegantně efektivní.

Jelikož dědíme polovinu jaderné genetické informace (jednu sadu) od matky a polovinu (druhou sadu) od otce, obsahují jádra všech buněk našeho těla (s výjimkou pohlavních buněk – vajíček a spermií) vždy dvě sady chromozomů (tedy 23 + 23 chromozomů). Tomuto počtu říkáme **diploidní** (z řeckého slova *díplūs* – dvojitý, zdvojený, duplicitní).

³⁵ Víme, že molekula DNA má podobu dvojitého vlákna (představte si ji jako provázek stočený ze dvou). Pokud bychom jadernou DNA poskládali vedle sebe, byla by výsledná délka „DNA provázku“ v pohlavních buňkách cca 1 m a v ostatních buňkách našeho těla něco přes 2 m!



Obr. 2.23 Spiralizace DNA

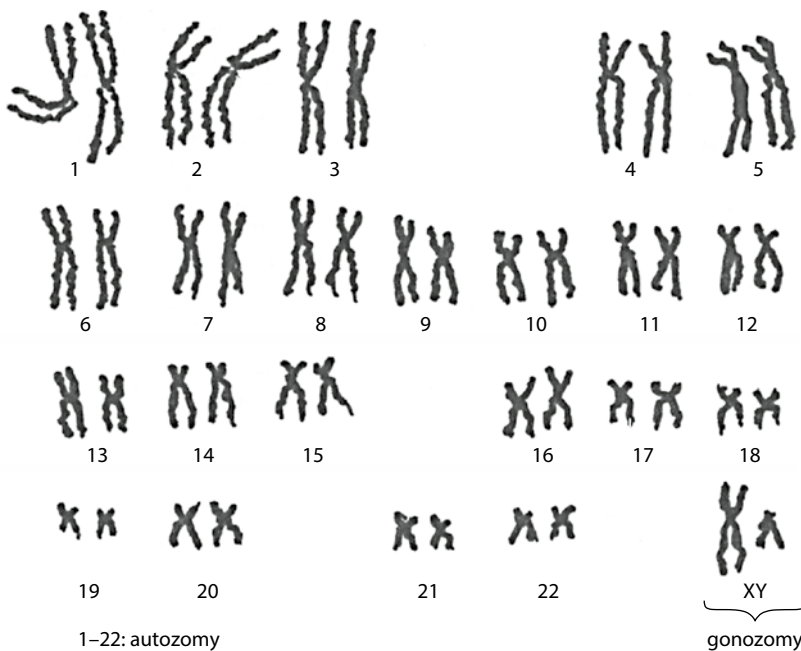
V pohlavních buňkách dochází během redukčního dělení (meiózy) k redukci jaderné genetické informace na polovinu – hovoříme o **haploidním počtu** (z řeckého *haplūs* – jednoduchý). Splynutím vajíčka a spermie tak vzniká nový jedinec, který má opět kompletní (diploidní) **počet chromozomů**³⁶.

³⁶ Není tento princip redukce a skládání genetického materiálu geniální? Zamyslete se nad tím.

V době dělení buňky dochází ke zdvojení DNA, jejíž vlákno se následně složitě prostorově organizuje (mnohonásobně se stáčí a skládá) tak, že chromozomy jsou patrné i ve světelném mikroskopu. Rozlišujeme přitom:

- **autozomy**, kterých je v diploidních buňkách 22 párů, v pohlavních buňkách polovina – tedy 22 ks;
- **gonozomy** (pohlavní chromozomy), které existují ve dvou základních verzích označovaných jako chromozom X a chromozom Y. Přitom kombinace XX představuje u člověka genetické pohlaví ženské, kombinace XY mužské³⁷.

Ženská **vajíčka** obsahují vždy gonozom X (ani není jiná možnost – vajíčka vznikají z mateřské buňky, která nese kombinaci gonozomů XX). Vedle toho **spermie** mohou obsahovat gonozom X nebo Y (vznikají z mateřské buňky s kombinací gonozomů XY). O genetickém pohlaví potomka tak vždy rozhoduje mužská spermie.



Obr. 2.24 Chromozomy člověka

³⁷ Vzácně se můžeme setkat i s dalšími kombinacemi – např. XXX nebo XYY. Nepředstavují ale fyziologickou normu ani většinu.

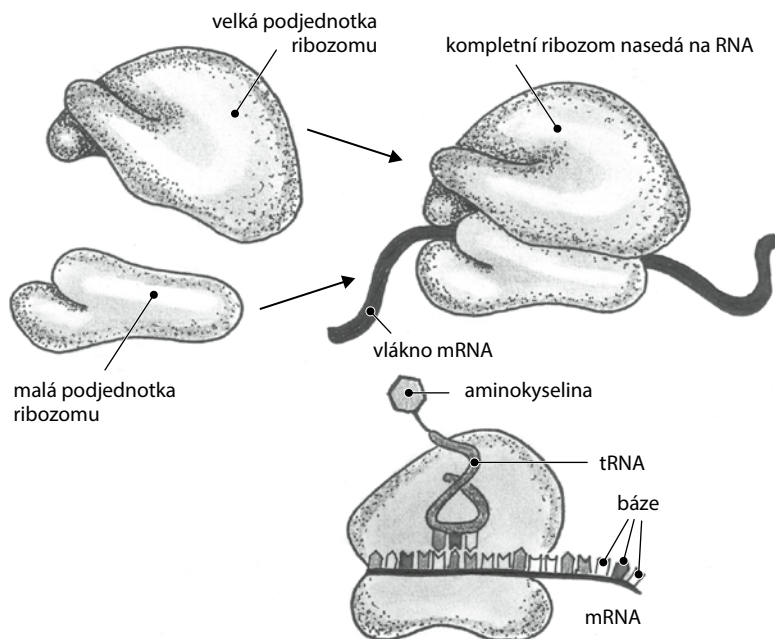
Součástí jádra je **jadérko** (*nucleolus*), ve kterém je podle vzoru DNA vytvářena a skladována ribozomální ribonukleová kyselina (rRNA).

Ribozomální RNA dává po spojení s **ribozomálními proteiny** vznik ribozomům, což jsou buněčné organely odpovědné za vznik bílkovin podle informační mRNA, která slouží jako matrice určující pořadí aminokyselin v proteinovém řetězci (viz následující oddíl).

2.2.3 Ribozomy

Ribozomy jsou drobné hrudkovité organely složené ze **dvou podjednotek** (menší a větší). Z biochemického hlediska tvoří hmotu ribozomu ribonukleová kyselina a bílkoviny. V cytoplasmě jsou ribozomy uloženy volně nebo nasedají na vnější stranu membrány endoplazmatického retikula (kterému pak říkáme drsné).

Hlavní funkcí ribozomů je **proteosyntéza** (tvorba bílkovin). Ribozom se při ní připojuje k vláknu mRNA a posunuje se po něm. Vždy „přečte“ trojici nukleotidů



Obr. 2.25 Ribozomy a jejich funkce

(triplet) a k této trojici přiřadí určitou aminokyselinu do vznikajícího řetězce bílkoviny. Jakmile ribozom napojí příslušnou aminokyselinu pomocí peptidové vazby, posune se po vlákně RNA dál a přečte další triplet. Takovým způsobem je podle informace, která je zapsána ve vzorové RNA, postupně vytvářen řetězec bílkoviny tvořený z aminokyselin.

Existence obrovského množství rozličných bílkovin různé velikosti, tvaru a vlastností je dána stejně velkým počtem rozmanitých vláken mRNA, která kombinací svých tripletů kódují různorodé pořadí aminokyselin v řetězci bílkoviny.³⁸

2.2.4 Mitochondrie

Mitochondrie je organelou oválně protáhlého tvaru. Patří mezi **membránové organely** – je ohraničena membránou, která je dvojitá: vnější část je hladká, vnitřní část je zřasena do záhybů (mitochondriálních krist). Vnitřní prostor mitochondrie se nazývá mitochondriální matrix.

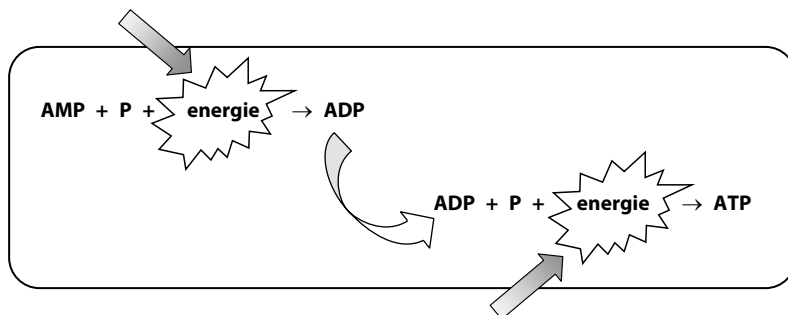
Zřasení vnitřní membrány je účelné – zvětšuje plochu, na které jsou ukotveny zejména oxido-redukční enzymy nezbytné pro plnění funkcí mitochondrie.

Mitochondrie hraje zásadní roli jako **energetické centrum buňky**. Oxidací živin (zejména glukózy) zde dochází k uvolňování energie. Ta je následně skladována v molekule **adenosintrifosfátu** (ATP), která vzniká z adenosinmonofosfátu (AMP) a adenosindifosfátu (ADP) připojením fosfátové skupiny (P). Jako malá molekula může ATP rychle pronikat do různých částí buňky, kde funguje jako jakýsi „mobilní zdroj energie“. Rozštěpením makroergické vazby molekuly ATP pomocí enzymů, kterým obecně říkáme ATPázy, dojde k rychlému uvolnění využitelné energie v místě potřeby.

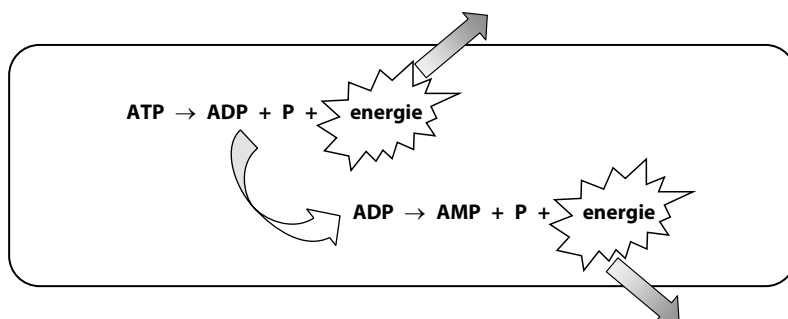
Celý mechanismus štěpení cukrů (prioritně aerobně – za přítomnosti kyslíku) a tvorba ATP je ve skutečnosti velmi **složitou kaskádou na sebe navazujících reakcí**, při kterých dochází k řadě enzymatických dějů včetně přesunů elektronů. Podrobnosti jsou sice nesmírně zajímavé, ale do našeho textu je nezařazujeme.

³⁸ Víme, že RNA vzniká podle vzoru DNA. Informační přenos, který vede k syntéze bílkovin ribozomem, tedy v našich buňkách probíhá ve směru DNA → RNA → bílkovina.

- Výsledné **uskladnění energie** do molekuly ATP (na konci celé kaskády reakcí) probíhá podle chemických reakcí:



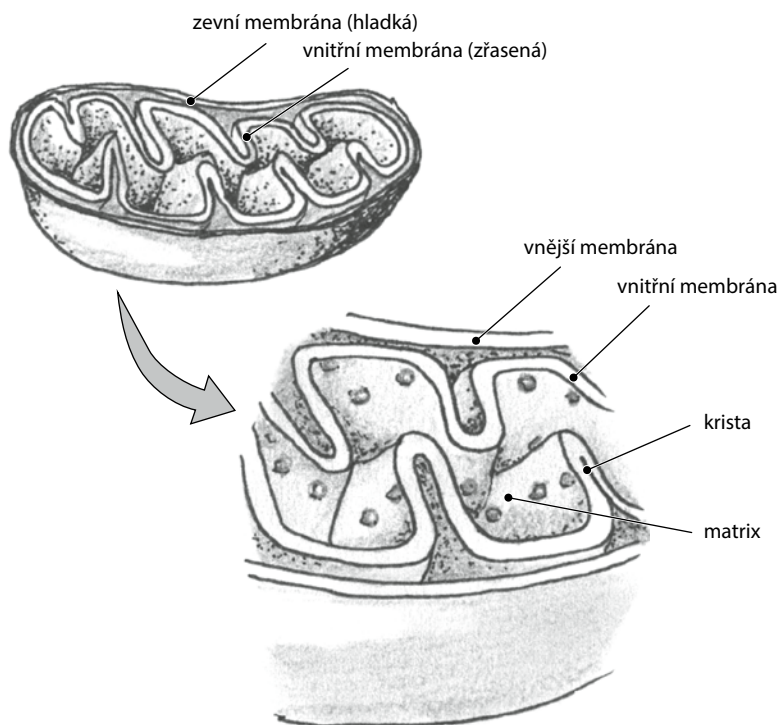
- **Uvolnění energie** z molekuly ATP probíhá díky ATPázám podle opačných chemických reakcí:



Uvolněná energie může být využita k různým pochodům v buňce. Část energie se přitom vždy přemění na teplo.

Poznámka: Adenosinmonofosfát (AMP) jako produkt štěpení ATP má mimo jiné vazodilatační účinky (rozšiřuje cévy).³⁹ Je to v daném kontextu velmi účelné: tam, kde je hojně spotřebována energie, vzniká více AMP, který podmíní vazodilataci cév v dané oblasti. Rozšířené cévy následně přivedou více krve (a tedy i kyslíku a živin).

³⁹ AMP se běžně recykluje a využije na novotvorbu ADP a ATP. Druhou možností je další degradace a rozklad AMP, při kterém se mimo jiné uvolňuje **adenosin**, který sám o sobě ovlivňuje řadu fyziologických procesů (třeba srdeční činnost, imunitní reakce aj.). Jak vícekrát zdůrazňujeme: v našem těle se nic neděje „jen tak“ – vše má své místo a široké návaznosti.



Obr. 2.26 Mitochondrie

Mitochondrie mají řadu mimořádných vlastností. Jednou z nich je, že obsahují svoji vlastní nukleovou kyselinu – **mitochondriální DNA**. Ta je kruhová a představuje mimojadernou genetickou informaci. Jelikož při oplození se ze spermie uplatní *de facto* pouze jádro, zdědili jsme mitochondriální DNA pouze od matky⁴⁰.

⁴⁰ Na genetické informaci nesené jádrem se podílejí oba rodiče. Mitochondriální DNA poskytuje ženské vajíčko. Celkový podíl na přenesené genetické informaci tak má větší matka. Je to rovněž mateřský organismus, který umožní donošení a porod potomka. Mateřská péče, vztah, projevy a celková vztahová vazba, které dítěti poskytuje či naopak neposkytuje, mají pro celý další život naprosto zásadní význam. Zamyslete se nad tím. S úctou ke všem matkám děkuji za sebe a všechny potomky.

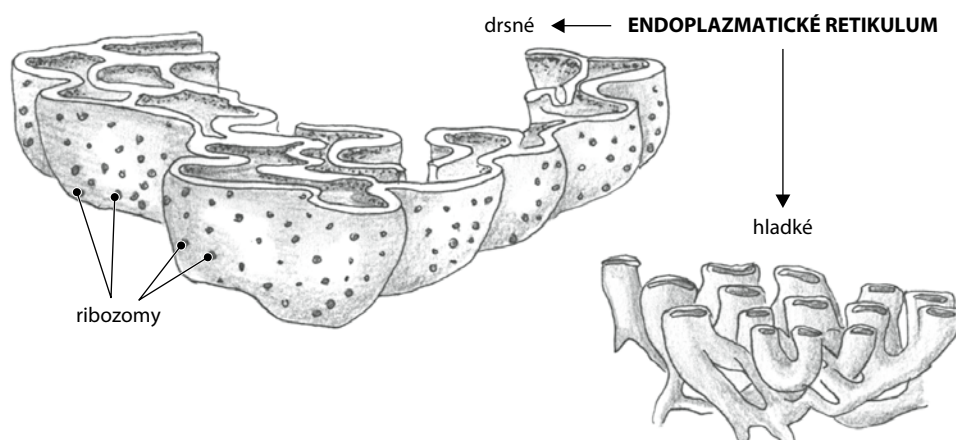
2.2.5 Endoplazmatické retikulum, Golgiho aparát, lyzozomy a peroxizomy

Endoplazmatické retikulum a Golgiho (čti goldžiho) aparát jsou dalšími membránovými organelami buňky. Jejich stěnu tvoří jedna membrána, která vymezuje systém váčků. Lyzozomy a peroxizomy mají podobu malých kulovitých měchýřků.

Ohraničení membránou a forma váčků jsou pro všechny uvedené organely společné. Proto je zde probíráme souhrnně.

Měchýřky **ENDOPLAZMATICKÉHO RETIKULA** jsou navzájem propojené. Vytvářejí tak složitě členitý prostor (jakýsi labyrint dutin) ohraničený membránou, která navazuje na vnější membránu buněčného jádra. Hlavní funkcí endoplazmatického retikula jsou **metabolické děje** – dalo by se říci, že je to hlavní „chemická továrna“ buňky. Dochází zde k ohromnému množství různých biochemických reakcí, vzniká nově řada látek, jiné jsou modifikovány – například jsou tady upravovány proteiny vytvořené v surové podobě na ribozomech. To platí zejména pro **drsňé endoplazmatické retikulum**, které má na svém povrchu navázané ribozomy.

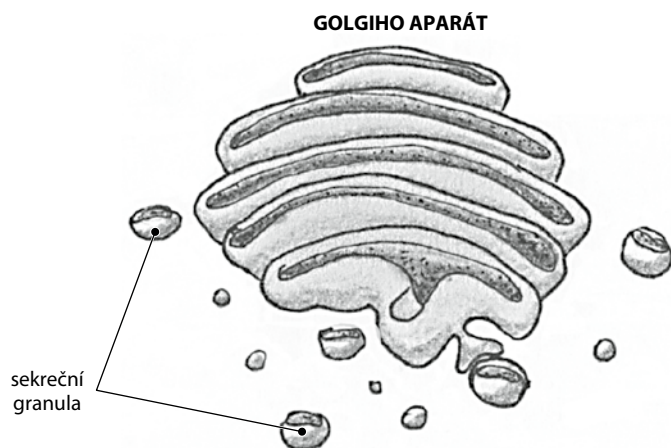
Hladké endoplazmatické retikulum (bez navázaných ribozomů) slouží především k detoxikaci, probíhají zde děje spojené s metabolismem cukrů, mastných kyselin a steroidních látek. Funguje navíc také jako významná nitrobuněčná zásobárna vápenatých iontů (Ca^{2+}).



Obr. 2.27 Endoplazmatické retikulum

GOLGIHO APARÁT je rovněž tvořen systémem váčků a měchýřků. Ty se však od sebe oddělují a nejsou komplexně propojené jako prostory endoplazmatického retikula. Také Golgiho aparát je metabolickou organelou – probíhají zde finální **metabolické procesy** a dochází ke konečné úpravě látek.

Navíc přibývá **funkce transportní**: Z okraje Golgiho aparátu na straně, která je obrácena k povrchu buňky, se postupně oddělují malé transportní měchýřky (vezikuly). Ty slouží k transportu látek v buňce a jako sekreční granula se podílejí na vylučování řady látek z buňky ven⁴¹ (týká se to hormonů, mediátorů nebo produktů žláz se zevní sekrecí – např. slz, slin a trávicích šťáv).



Obr. 2.28 Golgiho aparát

LYZOSOMY jsou trávicí organelou. Odštěpují se z Golgiho aparátu a jsou ohraničené membránou. Obsahují velké množství **hydrolytických enzymů** (hydroláz)⁴², které štěpí rozličné látky mající původ v buňce i okolí. Díky protonovým pumpám je uvnitř lyzozomu udržováno výrazně kyselé prostředí.

Základem názvu je řecké slovo *lyein* – rozpouštět, uvolňovat, štěpit, rozkládat.

⁴¹ Vylučování látek prostřednictvím transportních měchýřků odštěpených z Golgiho aparátu probíhá formou exocytózy, o které jsme pojednávali výše.

⁴² Lyzozomy obsahují několik desítek enzymů, které slouží k hydrolytické degradaci (rozkladu) bílkovin, cukrů, tuků, nukleových kyselin a dalších organických látek.

Pokud buňka procesem endocytózy přijme určité látky nebo částice, měchýřek, ve kterém jsou umístěny, zpravidla splývá s lyzozomy. Trávicí enzymy z lyzozomu se postarají o štěpení přijatého materiálu. Lyzozomy tak slouží jako **nitrobuněčný trávicí aparát**.

Pokud by lyzozomy vylily svůj obsah do cytoplazmy, došlo by k **autolýze** (sebenatravení či seberozkladu). K tomu zcela běžně dochází například po smrti buňky.

Primární lyzozomy (někdy označované jako prelyzozomy) obsahují pouze hydrolytické enzymy.⁴³ **Sekundární lyzozomy** zahrnují již materiál, který je tráven. **Terciární lyzozomy** (či postlyzozomy nebo reziduální tělíška) mají ve svém nitru nestrávené zbytky (nerozložitelný materiál).

Materiál z terciárních lyzozomů může být z buňky odstraněn pomocí exocytózy nebo je v buňce případně skladován (to se týká zejména dlouhožijících buněk, jako jsou např. neurony nebo buňky srdeční svaloviny).

PEROXIZOMY jsou další membránovou organelou. Mají podobu malých měchýřků ohraničených membránou. Odvozují se z endoplazmatického retikula a obsahují několik vysoce účinných oxidativních enzymů (peroxidázy, katalázy a další). Účastní se metabolických pochodů a rovněž likvidace toxických (jedovatých) látek – slouží k **detoxikaci**.

Velké množství peroxizomů nacházíme zejména v buňkách jater, což odpovídá jejich funkci – nezapomeňme, že játra jsou hlavním metabolickou a detoxikační „továrnou“ těla.

2.2.6 Cytoskelet

Cytoskelet je dynamicky proměnlivou **kostrou buňky**, která jako 3D síť zasahuje do všech částí buňky. Udržuje **tvar** buňky, vytváří **oporu** a **kotvení** jednotlivých organel.

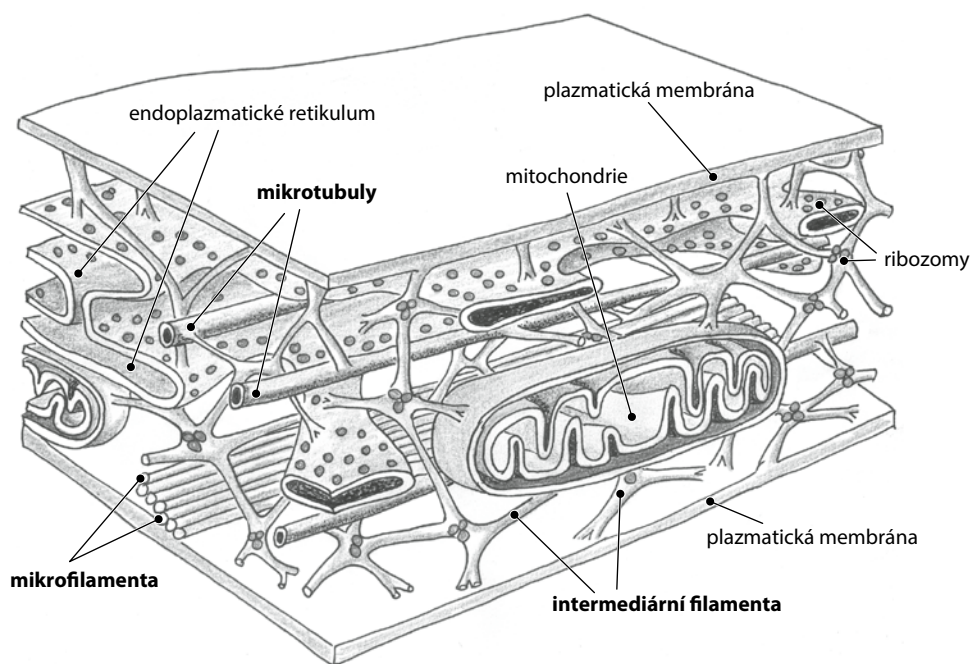
Samotný název je odvozen z řeckých slov *kytos* – buňka a *skeleton* – kostra.

⁴³ Primární lyzozomy jsou dosud „nevyužité“ či „nepoužité“ – mohli bychom je (s přimhouřením očí) nazvat „panenské“.

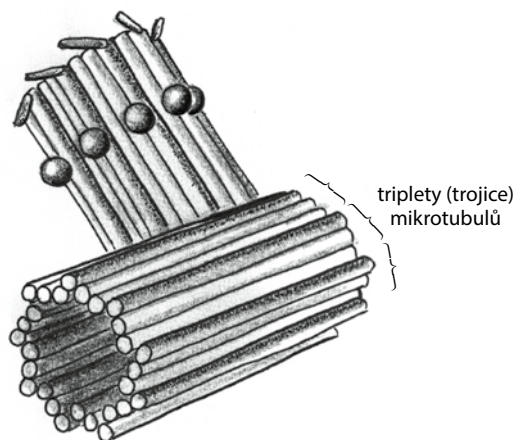
Cytoskelet je nesmírně **dynamická a proměnlivá struktura**, podléhá neustálé přestavbě a změnám. Struktury cytoskeletu umožňují **pohyb** organel, částí buněk, bičků spermíí či řasinek epitelu dýchacích cest a vejcovodů, ale i celých buněk (např. bílých krvinek). Významně se uplatňují **v rámci buněčného cyklu**, kdy v podobě dělicího vřeténka oddalují chromozomy pro nově vznikající jádra při vzniku dceřiných buněk.

V blízkosti jádra leží dvě krátká tělíska válcovitého tvaru – **centrioly**. Jsou tvořena devíti trojicemi mikrotubulů a hrají důležitou roli při buněčném dělení. Představují základ, ze kterého vzniká dělicí vřeténko, které umožňuje rozdělení jádra (respektive přesun chromozomů) do obou nově vznikajících dceřiných buněk.

K základním částem cytoskeletu řadíme **mikrotubuly** (dutá vlákna), **mikrofilamenta** (tenká plná vlákna) a **intermediární filamenta** neboli **mikrotrabekuly** (vytvářející prostorovou větvenou síť vláken). Ve výsledné komplexní prostorové síti jsou uvedené součásti cytoskeletu navzájem spojeny pomocí různých proteinů.



Obr. 2.29 Struktury cytoskeletu



Obr. 2.30 Centrioly

Vlákná cytoskeletu jsou ukotvena také do plazmatické membrány.

***Poznámka:** Vlákna a sítě cytoskeletu barvené speciálními metodami vytvářejí ve světelném mikroskopu úžasné struktury – doporučujeme vám podívat se na ně na internetu. Barevné obrázky žel nejsou součástí této knihy.*

2.3 Vznik a zánik buněk

Vše živé podléhá **vývoji a změnám v čase**. Všechny živé organismy vznikají, vyvíjejí se a rostou, mění se, přizpůsobují a rozmnožují – a také stárnou a hynou.⁴⁴ Smrtelnost patří k základním vlastnostem živé hmoty, ohraničuje život a v pojetí existenciální analýzy a logoterapie také dává smysl celému životu.⁴⁵

Uvedené se týká jak jedince (organismu) jako celku, tak jednotlivých buněk. A právě na vznik a zánik buněk se nyní podíváme.

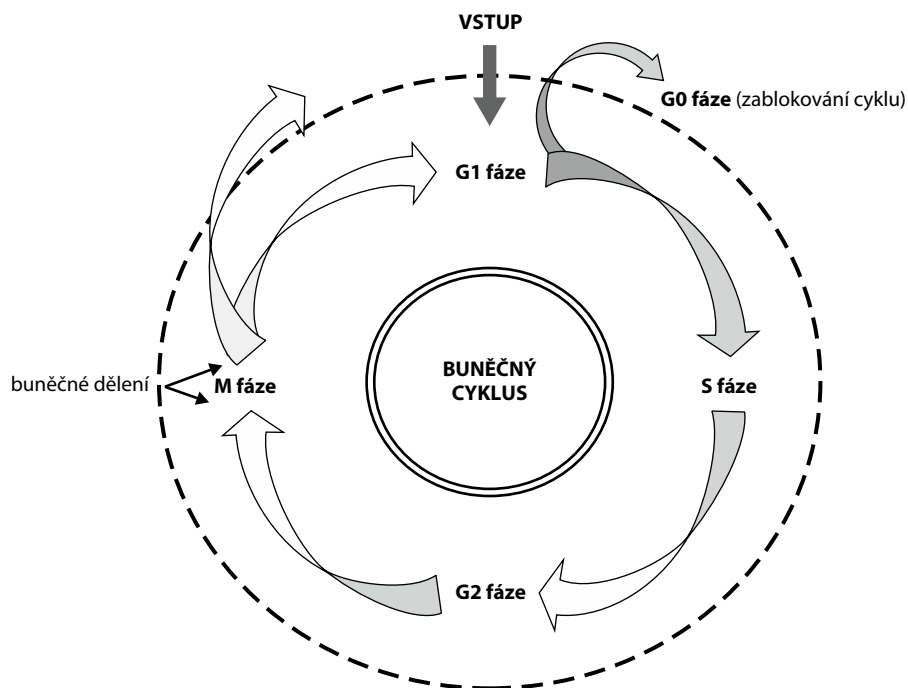
⁴⁴ Změna je základním principem, který se uplatňuje v rámci celého vesmíru. Nic není stálé. Vždyť vznikají a zanikají planety i celé galaxie. I neživé součásti naší planety se neustále mění – nebo snad jsou kontinenty, kameny, vodní toky, ledovce, pohoří a údolí neměnné? Co myslíte?

⁴⁵ Vědomí konečnosti našich dnů a nevyhnutelnost smrti nás vedou k zamyšlení: Jak žiju? Jak naplnuji potenciál a smysl svého bytí? Co jsou skutečné hodnoty a co honba za větrem? Co chci od života – a co chce život ode mne? Co se mám ve svém životě naučit a co mám vykonat? Co po mně zůstane? V otázkách bychom mohli pokračovat dále. Zájemce o oblast smyslu, přesahu a existenciální témata odkazujeme na knihy V. E. Frankla, I. Yalom a dalších.

Fáze, kterými buňka během svého života prochází, nazýváme **buněčný cyklus**. V jeho rámci buňka nejprve vzniká, roste, diferencuje se (specializuje se) a zraje, plní své funkce a zaniká. Pokud buňka neumírá, skončí tak, že se rozdělí ve dvě buňky dceřiné.

Podívejme se na jednotlivé fáze buněčného cyklu:

- Nově vzniklá buňka vstupuje do postmitotické neboli první růstové fáze buněčného cyklu – označuje se jako **G1 fáze**. V rámci této fáze buňka roste a vyvíjí se. Pokud se dále nemnoží (což se týká např. nervových buněk), přechází do **G0 fáze**, ve které může setrvat různě dlouhou dobu (v případě neuronů trvale). Pouze v případě, že se buňka hodlá dělit, přechází do další fáze.
- Syntetická fáze – **S fáze** – je obdobím intenzivní syntézy řady látek (včetně syntézy DNA).
- Premitotická neboli druhá růstová fáze – **G2 fáze** – je obdobím dalšího růstu a zvětšování objemu buňky.
- Fáze dělení buňky – **M fáze** – vede ke vzniku dceřiných buněk; představuje mitózu nebo meiózu.



Obr. 2.31 Fáze buněčného cyklu

Celková **doba trvání** buněčného cyklu může být velmi rozmanitá. Největší variabilita je v délce G1 (popř. G0) fáze. Čas od začátku S fáze do ukončení mitózy je většinou krátký. Záleží vždy nejen na typu buňky, ale i na vývojovém období a vnějších podmínkách.

V časně fázi nitroděložního života jsou buněčné cykly krátké a nové buňky vznikají velmi rychle. Dělení buněk se zrychluje také při poškození tkání, které jsou schopné regenerovat.

***Poznámka:** Již zmíněné nervové buňky jsou trvale (celoživotně) zablokovány v G0 fázi. Vedle toho epitelální buňky střevní výstelky se mohou dělit více než dvakrát za den – jejich buněčný cyklus tak probíhá v řádu hodin.⁴⁶*

Není žádné překvapení, že buněčný cyklus všech buněčných populací podléhá ve zdravém organismu **přísné, složité a mnohostupňové regulaci** – její podstatou je zjednodušeně zapojování různých genů a interakce specifických proteinů.

Příkladem regulačních proteinů mohou být cykliny a na cyklinech závislé proteinkinázy (neboli cyklin-dependentní kinázy – Cdk z anglického *Cyclin-Dependent Kinases*). Jedná se o enzymy, které katalyzují fosforylaci jiných proteinů. Mohou se vyskytovat v neaktivní nebo aktivní formě.⁴⁷

Podporu proliferace buněk přinášejí **růstové faktory**. Kromě podpory buněčného dělení vesměs ovlivňují také proteosyntézu (tvorbu bílkovin) a růst buněk. V některých případech jsou růstové faktory nezbytné pro samotné přežití buněk.

Uvedme si ilustrativní příklady několika nejznámějších růstových faktorů. Jsou to mimo jiné: PDGF (*Platelet-Derived Growth Factor*, destičkový růstový faktor), VEGF (*Vascular Endothelial Growth Factor*, cévní endoteliální růstový faktor), EPO (erythropoetin, růstový faktor erytrocytů), NGF (*Nerve Growth Factor*, nervový růstový faktor), GGF (*Glial Growth Factor*, gliální růstový faktor).

⁴⁶ Pro zajímavost uvedme, že bakterie se v dobrých podmínkách mohou dělit každých 20–150 minut. Za 24 hodin by tak z jedné bakteriální buňky mohlo teoreticky vzniknout i více než 4700 trilionů bakterií! To je obrovské číslo, že!?

⁴⁷ Cyklin-dependentní kinázy se označují čísly (Cdk1, Cdk2, Cdk3 atd.). Z názvu odvodíte, že fungují, pouze když se na ně váže cyklin. (Cykliny jsou regulační proteiny, které existují v několika variantách a ovlivňují různé fáze buněčného cyklu – např. cykliny skupiny D a E se uplatňují v G1 fázi buněčného cyklu, cykliny skupiny A zasahují v S fázi, cykliny skupiny B zasahují do M fáze.) A aby to nebylo tak „jednoduché“, jsou k plné aktivaci cyklin-dependentních kináz potřebné ještě také specifické aktivátory (Cdk-aktivizující kinázy).