

Seznam použitých zkratek (v abecedním pořadí)

A	Adenin
ADH	Alkoholdehydrogenasa
ADP	Adenosindifosfát
AMP	Adenosinmonofosfát
ATP	Adenosintrifosfát
BM	Bazální metabolismus
C	Cytosin
CAM	Crassulacean Acid Metabolism (metabolismus kyselin u tučnolistých)
CoA	Koenzym A
CoQ	Ubichinon (koenzym Q)
CoQH [•]	Ubisemichinon
CoQH ₂	Ubichinol
CTP	Cytidintrifosfát
cyt	Cytochrom
dAMP	Deoxyadenosinmonofosfát
dATP	Deoxyadenosintrifosfát
dCMP	Deoxycytidinmonofosfát
dCTP	Deoxycytidintrifosfát
dGMP	Deoxyguanosinmonofosfát
dGTP	Deoxyguanosintrifosfát
DNA	Deoxyribonukleová kyselina
dTMP	Deoxythymidinmonofosfát
dTTP	Deoxythymidintrifosfát
ER	Endoplasmatické retikulum
FAD	Oxidovaný flavinadenindinukleotid
FADH ₂	Redukovaný flavinadenindinukleotid
Fd	Ferredoxin
FMN	Oxidovaný flavinmononukleotid
FMNH ₂	Redukovaný flavinmononukleotid
G	Guanin
GA	Golgiho aparát
GTP	Guanosintrifosfát
HDL	Lipoproteinová částice o vysoké hustotě (high density lipoprotein)
hnRNA	Heterogenní jaderná ribonukleová kyselina
IDL	Intermediální lipoproteinová částice (intermediate density lipoprotein)
LDH	Laktátdehydrogenasa
LDL	Lipoproteinová částice o nízké hustotě (low density lipoprotein)
mRNA	Mediatorová ribonukleová kyselina
NA	Nukleová kyselina
NAD ⁺	Oxidovaný nikotinamidadenindinukleotid
NADH	Redukovaný nikotinamidadenindinukleotid
NADP ⁺	Oxidovaný nikotinamidadenindinukleotidfosfát
NADPH	Redukovaný nikotinamidadenindinukleotidfosfát
NTP	Nukleosidtrifosfát
P (P _i)	Anorganický fosfát (HPO ₄ ²⁻ , H ₂ PO ₄ ⁻)
P ₆₈₀	Pigment reakčního centra fotosystému II
P ₇₀₀	Pigment reakčního centra fotosystému I

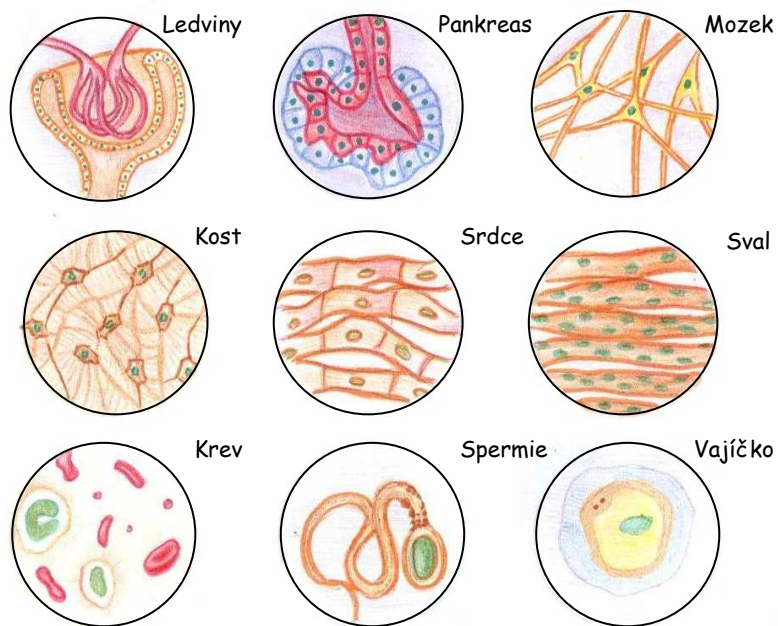
pC	Plastocyanin
PCR	Polymerase chain reaction
PP _i	Anorganický difosfát (P ₂ O ₇ ⁴⁻)
pQ	Plastochinon
pre-mRNA	Primární transkript
PS	Fotosystém
RNA	Ribonukleová kyselina
rRNA	Ribosomální ribonukleová kyselina
RuBisCo	Rubilosabisfosfátkarboxylasa
SSB	Svírací protein (single-strand binding protein)
T	Thymin
tRNA	Transferová ribonukleová kyselina
U	Uracil
UTP	Uridintrifosfát
vit.	Vitamin
VLDL	Lipoproteinová částice o velmi nízké hustotě (very low density lipoprotein)

1 Buňka (aneb co by měl vědět učitel biochemie o buňce)

1.1 Prokaryotní a eukaryotní buňka

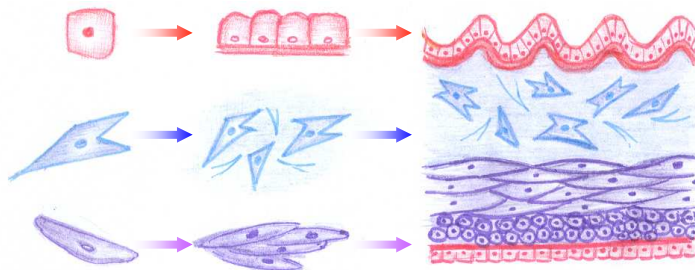
Co je základní stavební jednotka živé hmoty?

Základní a zároveň nejmenší jednotkou živé hmoty jsou **buňky**.



Obr. 1. Různé typy buněk

Vyšší organismy, jako jsme my sami, jsou společenstvími buněk odvozených růstem a dělením od jedné základní buňky. Spojováním jednotlivých buněk vznikají tkáně, spojováním tkání pak orgány, orgánové systémy a nakonec celý organismus.



Obr. 2. Tvorba tkání

Jaké schopnosti má buňka?

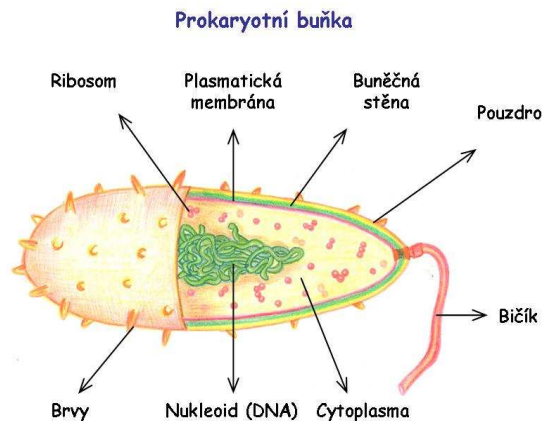
Buňka dovede získávat vše, co potřebuje ke své vlastní funkci, a na druhé straně má schopnost vyrábět jiné látky, jež ke svému životu potřebuje organismus. Buňka je zároveň nejmenší známý útvar schopný samostatného života a rozmnožování.

Které druhy buněk známe?

Existují dva druhy buněk lišící se velikostí, rozmnožováním, stavbou i fyziologií (tj. výživou a metabolismem). Ty organismy, jejichž buňky obsahují jádro, se nazývají **eukaryotní** (z řeckých slov eu = opravdu a karyon = jádro). Organismy, jejichž buňky jádro neobsahují, se nazývají **prokaryotní** (pro = před).

Jaké jsou typické znaky prokaryotní buňky?

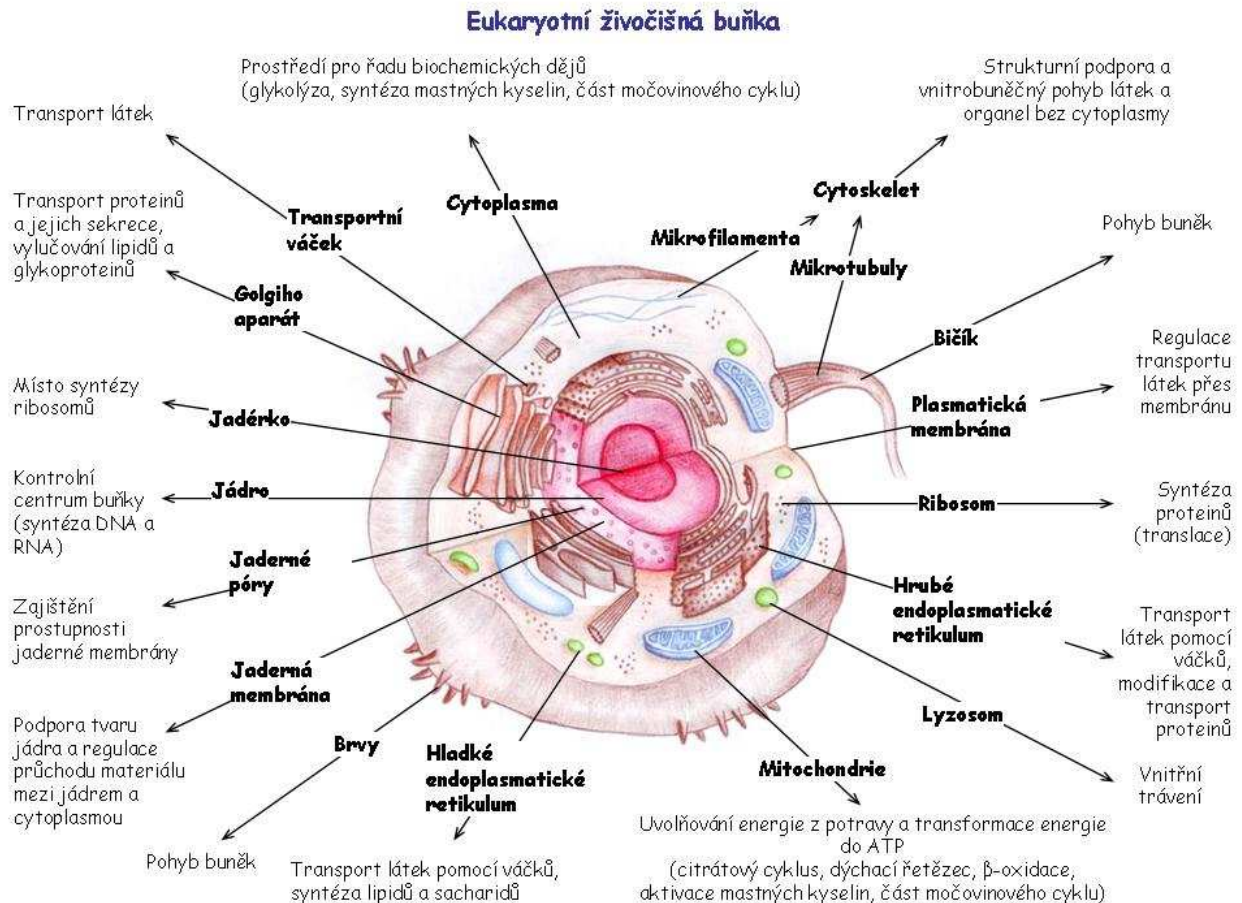
Prokaryotní buňka obsahuje minimální množství membrán. Nikdy nevytváří mnohobuněčný organismus, nanejvýš kolonie. U prokaryotních buněk dochází k rychlé výměně látek. Rychlost metabolických dějů je mnohem vyšší než u eukaryotních buněk, což je umožněno tím, že vnitřní prostor není dělen membránami. Prokaryotní buňka se zpravidla rozmnožuje dělením. Tyto organismy mají místo pravého jádra stočenou dvoušroubovici DNA (deoxyribonukleová kyselina – viz kap. 2) na bílkovinném nosiči. Tato stočená dvoušroubovice se nazývá jaderná hmota (**nukleoid**), jež je jediným chromosomem (viz dále). Prokaryotní buňka neobsahuje mitochondrie, chloroplasty ani endoplasmatické retikulum a má oproti eukaryotní buňce rozdílný charakter ribosomu.



Obr. 3. Prokaryotní buňka

Jaké jsou typické znaky eukaryotní buňky?

Eukaryotní buňky jsou mnohem větší než prokaryotní a mají také dokonaleji vyvinuté a komplikovanější vnitřní uspořádání. Jsou to typické buňky, které se nacházejí v lidském těle. Na rozdíl od prokaryotních buněk mají **pravé jádro**, jež je ohraničeno jadernou membránou (viz dále).



Obr. 4. Eukaryotní živočišná buňka

Co jsou organely?

Organely jsou nitrobuněčné struktury, jejichž pomocí mohou eukaryotní buňky provádět řadu specifických funkcí. Organely také zajišťují koordinaci chemických procesů v buňce. Jsou obvykle uloženy v **cytoplasmě** (viz dále), která vyplňuje vnitřní prostor buňky kolem jádra.

Z jakých složek se skládá eukaryotní živočišná buňka?

Mezi základní složky eukaryotní živočišné buňky patří plasmatická membrána, cytoplasma, cytoskelet a organely jako jsou centrální jádro, jadérko, mitochondrie, ribosomy, endoplasmatické retikulum, Golgiho aparát, lyzosity, peroxisomy a centrioly.

Centrální jádro (nucleus, karyon) je největší a nejvýznamnější organelou buňky lidského těla. Obsahuje velmi dlouhé polymery molekul DNA, které kódují genetické určení organismu (viz kap. 2). Tyto obrovské molekuly lze pozorovat jako **chromosomy**. Každá buňka lidského těla (kromě pohlavních) obsahuje ve svém jádře 46 chromosomů (tj. 23 párů), pohlavní buňky obsahují pouze 23 nepárových chromosomů.

Jádro má dvě funkce, genetickou a metabolickou. Genetickou funkcí rozumíme např. **tvorbu vlastních složek** nebo **replikaci**, kdy dochází k přenosu genetických informací z mateřské buňky na dceřinou (viz kap. 2.4). Metabolickou funkcí rozumíme např. **syntézu RNA** (ribonukleová kyselina – viz kap. 2.1), některých **enzymů**, **ATP** (adenosintrifosfát – viz dále) aj. Vnitřek jádra je vyplněn sítí bílkovinných vláken – tzv. **jadernou plasmou** (**karyoplasma**, někdy též **jaderná šťáva**).

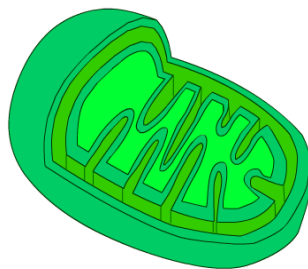
Jadérko (nucleolus) se nachází uvnitř jádra v karyoplasmě. Jeho funkce souvisí s metabolickými funkcemi jádra, podílí se také na **syntéze některých bílkovin**. V jadérku **vznikají ribosomy**, což jsou kulovité útvary potřebné pro syntézu bílkovin (viz níže).

Jádro je ohraničeno **jadernou membránou (karyolemou)**, což je dvojvrstevná blána oddělující jaderný obsah od cytoplasmy. Součástí této membrány jsou submikroskopické otvůrky – tzv. **jaderné póry**, které zajišťují propustnost jaderné membrány. Těmito póry jsou mezi karyoplasmou a cytoplasmou aktivně přenášeny nízkomolekulární i makromolekulární látky.

Mitochondrie jsou specifické orgány, jejichž membrána je tvořena ze dvou vrstev. Vnější je hladká, vnitřní tvoří záhyby do vnitřního prostoru mitochondrie. Jedná se o generátory chemické energie pro buňku. V mitochondriích dochází k **oxidaci molekul potravy** (např. sacharidů a mastných kyselin), během níž dochází k **uvolňování chemické energie** vázané v makroergických sloučeninách, např. v **ATP** (viz dále). Protože mitochondrie při své činnosti spotřebovává kyslík a uvolňuje oxid uhličitý, je celý proces nazýván **buněčné dýchání** (viz kap. 4). Organismy, které mohou tímto způsobem kyslík využít, se nazývají **aerobní**. Organismy, které dokáží žít bez přítomnosti vzdušného kyslíku, se nazývají **anaerobní** a postrádají mitochondrie. Volný kyslík je pro většinu anaerobních organismů toxický.

Vnitřek mitochondrie se nazývá **matrix**.

Mitochondrie se chovají uvnitř buněk jako samostatné malé buňky. Na rozdíl od ostatních organel se také mohou reprodukovat, neboť obsahují svou vlastní DNA.



Obr. 5. Mitochondrie

Další důležitou organelou jsou **ribosomy**. Jedná se o malé, nepatrné kulovité útvary uvnitř buňky. Buď jsou vázané na endoplasmatickém retikulu nebo se vyskytují volně v cytoplasmě. Ribosomy jsou tvořeny z velké a malé podjednotky, které se skládají z RNA a bílkovin. Hlavní funkcí ribosomů je **tvorba bílkovin**, které vznikají z aminokyselinových řetězců (viz kap. 2.6).

Endoplasmatické retikulum (ER) je systém měchýřků a kanálků. Pomocí elektronového mikroskopu byly odhaleny dvě odlišné formy endoplasmatického retikula – **drsne** a **hladké**. Drsné endoplasmatické retikulum má drsný povrch, k němuž zvnějšku přiléhají ribosomy. Na povrchu drsného endoplasmatického retikula jsou **syntetizované bílkoviny**.

Hladké endoplasmatické retikulum se skládá především z jemných dutých trubiček a nemá ribosomy. Hlavní činností hladkého endoplasmatického retikula je **syntéza lipidů a sacharidů**.



Obr. 6. Hrubé endoplasmatické retikulum

Golgiho aparát (GA, Golgiho komplex) je tvořen membránami, které vytvářejí soustavu diskovitých měchýřků. Okraje měchýřků přecházejí v nepravidelnou síť váčků a trubiček. V Golgiho aparátu dochází k **úpravě produktů z endoplasmatického retikula**, které jsou přenášeny pomocí měchýřků. Upravené produkty jsou uvolňovány do cytoplasmy.



Obr. 7. Golgiho aparát

Golgiho aparát zajišťuje vylučování odpadních látek – tzv. **exocytosu** (viz kap. 1.2). Opak exocytosy je tzv. **endocytosa**, během níž dochází k transportu živin z vnějšku do cytoplasmy (viz kap. 1.2).

Odškrcováním váčků z Golgiho aparátu vznikají samostatné organely – lyzosomy a peroxisomy.

Lyzosomy jsou malé nepravidelné organely obsahující hydrolytické enzymy. Lyzosomy jsou odpovědné za **odbourávání látek** (trávicí procesy) uvnitř buňky.

Peroxisomy jsou malé membránou ohraničené váčky, které zajišťují **detoxikaci** čili **odbourávání alkoholu** a ostatních toxických látek ohrožujících buněčnou existenci (např. peroxid vodíku).

Cytoskelet

Cytoskelet je soustava vláknitých bílkovinných útvarů, která má **opěrnou a pohybovou funkci**. Cytoskelet je přítomný pouze v eukaryotní buňce.

Existují tři typy cytoskeletárních útvarů: **mikrotubuly**, **mikrofilamenta** a **intermediální filamenta**.

Mikrotubuly a mikrofilamenta (aktinová filamenta)

Mikrotubuly a mikrofilamenta mají některé společné vlastnosti. Celkově se jedná o dynamické útvary, které na jednom tzv. **plus konci** narůstají a na opačném tzv. **minus konci** se rozpadají.

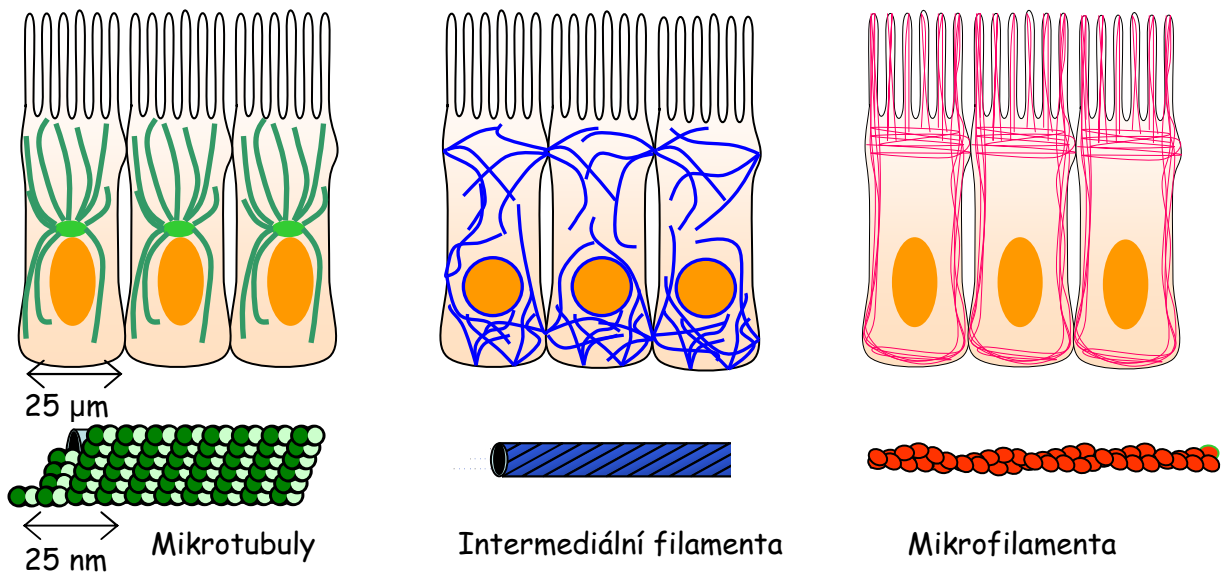
Obě struktury zajišťují **pohyb organel** pomocí tzv. **molekulárních motorů**. Jedná se o bílkoviny vázající se na mikrotubuly (kynesiny a dyneiny) nebo na aktinová vlákna mikrofilament (myosiny). S využitím energie z ATP se tyto molekulární motory mohou pohybovat určitým směrem podél vlákna a přenášet tak drobné částičky, např. membránové váčky.

Mikrotubuly jsou dlouhé duté trubice, které jsou tvořené proteinem tubulinem, který se skládá ze dvou podjednotek α a β . V živočišných buňkách mikrotubuly vycházejí z organizačního centra z tzv. centrosomu, jenž se nalézá poblíž jádra. V centrosomu mají mikrotubuly své minus konce, plus konce směřují k periférii buňky. Hlavní funkcí mikrotubulů je určování pozice membránových buněčných organel a řízení transportu uvnitř buňky.

Mikrofilamenta (někdy též **aktinová filamenta**) jsou šroubovité polymery proteinu aktinu. Mikrofilamenta jsou důležitá pro buněčný pohyb uskutečňovaný prostřednictvím buněčného povrchu např. při fagocytose (viz kap. 1.2).

Intermediální filamenta

Intermediální filamenta (někdy též **střední filamenta**) jsou tvořena vláknitými molekulami bílkovin. Jejich hlavní funkcí je zajištění pevnosti buněk. Jsou nejpevnějšími a nejodolnějšími ze všech tří typů cytoskeletárních struktur. Mezi intermediální filamenta patří např. keratinová filamenta (ve vlasech) nebo neurofilamenta (v nervových buňkách).



Obr. 8. Cytoskelet

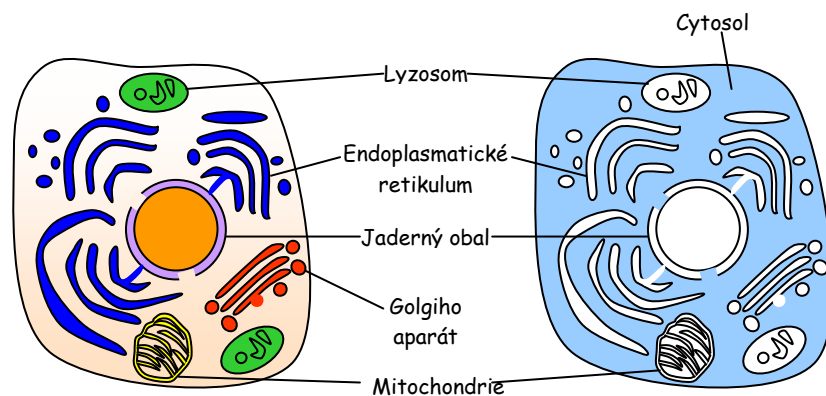
Centrioly

Jedná se o krátké válcovité útvary tvořené devíti trojicemi mikrotubulů. V živočišných buňkách se nacházejí v blízkosti jádra v oblasti centrosomu. Každá centriola je tvořena dvěma na sebe kolnými válečky. Centrioly jsou nezbytné v procesu **buněčného dělení**.



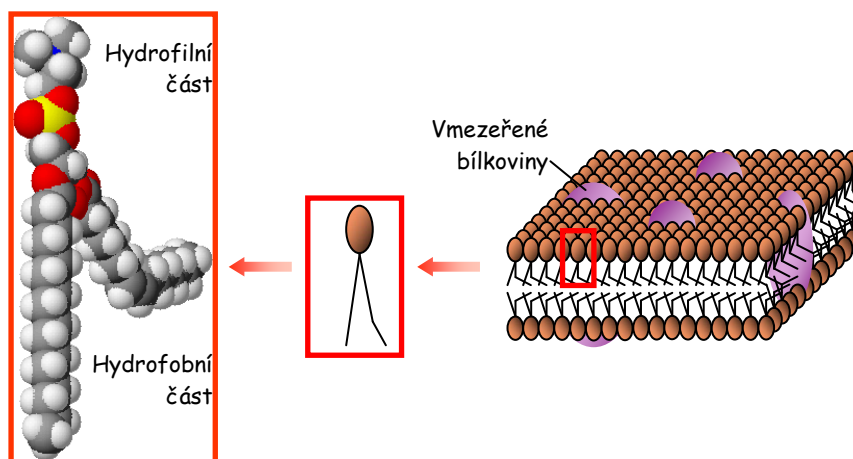
Obr. 9. Centrioly

Cytoplasma je tekutá látka nacházející se okolo jádra, která vyplňuje zbytek buňky. Cytoplasma je místem mnoha životně důležitých buněčných aktivit (viz kap. 4.8). Čirá cytoplasma mezi organelami se nazývá **cytosol**.



Obr. 10. Cytosol

Všechny buňky lidského těla jsou ohraničeny **plasmatickými membránami**. Základ plasmatické membrány tvoří **dvojitá vrstva složená z fosfolipidů**. Fosfolipidy jsou svými hydrofobními částmi molekul (zbytky mastných kyselin) přivráceny k sobě a hydrofilními částmi (zbytky kyseliny fosforečné) směřují od sebe. Mezi fosfolipidy jsou vmezeřeny bílkoviny. Biomembrány eukaryotních buněk obvykle obsahují steroid **cholesterol** (viz kap. 3.5).



Obr. 11. Stavba buněčné membrány

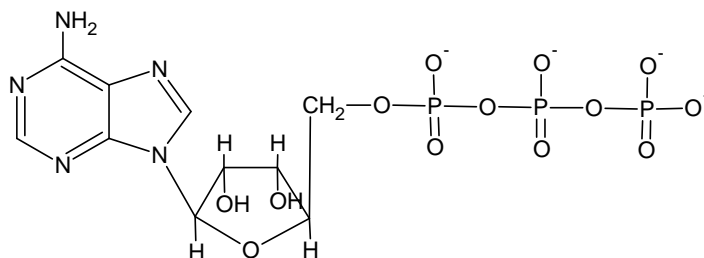
Jakým způsobem získávají buňky energii a k čemu ji využívají?

Každý živý organismus potřebuje neustále energii. Eukaryotní buňky získávají energii štěpením živin v buněčných mitochondriích.

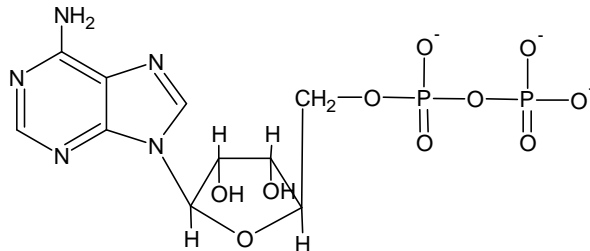
Energii buňka potřebuje pro řadu procesů, jako je syntéza bílkovin, odstraňování odpadních látek, rozmnožování, pohyb buněčných komponent i pro ostatní buněčné aktivity.

Energie uvolněná při štěpení živin není okamžitě využívána k dalším biochemickým procesům. Ukládá se do struktury tzv. **makroergických sloučenin**. V případě potřeby se tyto makroergické sloučeniny rozpadají za současného uvolnění energie.

Nejvýznamnější takovouto sloučeninou je chemická látka **adenosintrifosfát (ATP)**, která ve své struktuře obsahuje tři fosfátové skupiny. Vznik vazby mezi těmito fosfátovými skupinami je energeticky velmi náročný proces, proto se molekula ATP velice snadno rozpadá za vzniku molekuly **adenosindifosfátu (ADP)**, která obsahuje pouze dvě fosfátové skupiny. Při tomto procesu se uvolňuje specifické kvantum energie, jenž buňka potřebuje pro svou činnost. Proto nemůže dojít k uvolnění přebytečné energie, a tím i ke spalování či zahřívání buňky (viz též kap. 4.1).



Adenosintrifosfát (ATP)

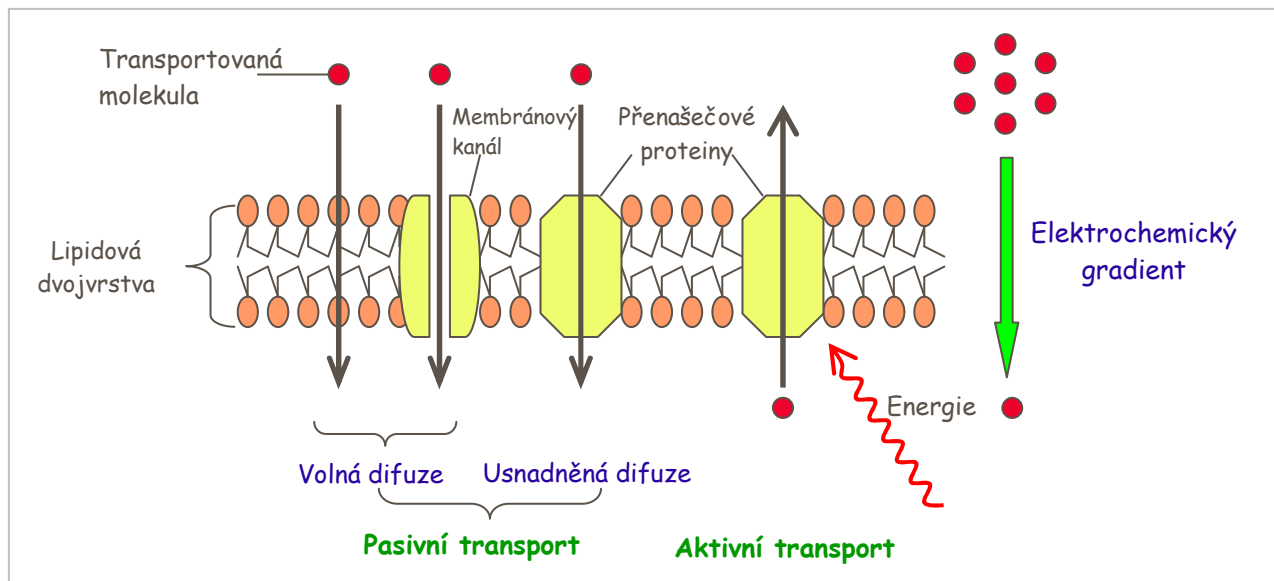


Adenosindifosfát (ADP)

1.2 Transport látek přes plasmatickou membránu

Jakým způsobem dochází k transportu látek přes plasmatickou membránu?

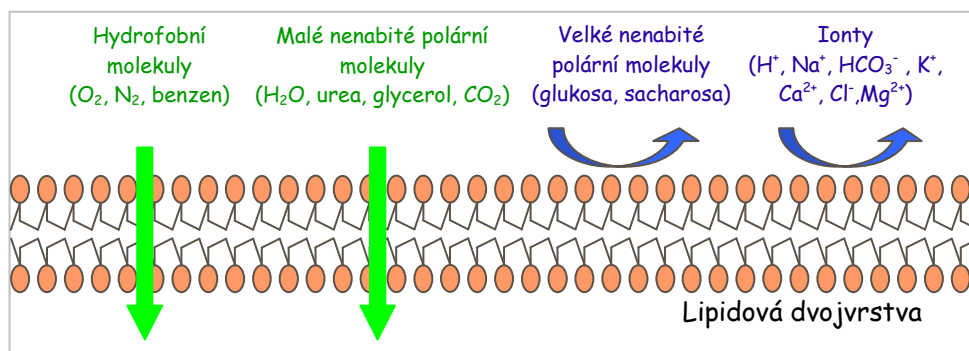
Látky prochází přes plasmatickou membránu buď po koncentračním gradientu bez spotřeby energie, poté se jedná o **pasivní transport** (viz dále volná difuze či usnadněná difuze) anebo proti koncentračnímu gradientu za spotřeby energie, v tomto případě mluvíme o **aktivním transportu**.



Obr. 12. Přenos přes plasmatickou membránu

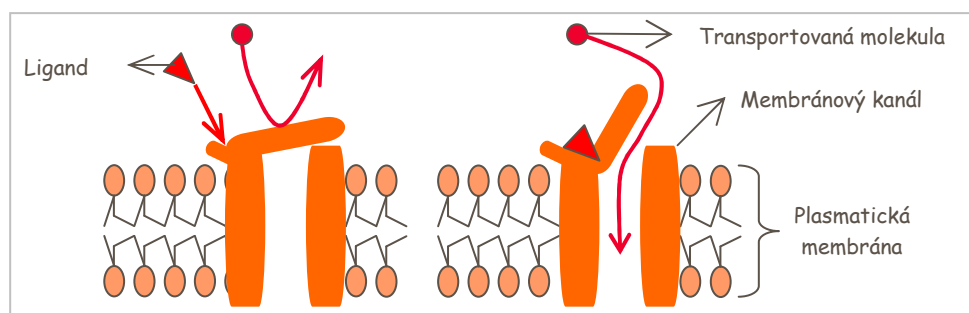
Látky procházejí plasmatickou membránou buď bez pomoci membránových proteinů (volná difuze) anebo s jejich pomocí.

Volnou difuzí procházejí biomembránami látky o malé molekulové hmotnosti. Jsou to např. plyny a molekuly hydrofobního charakteru.



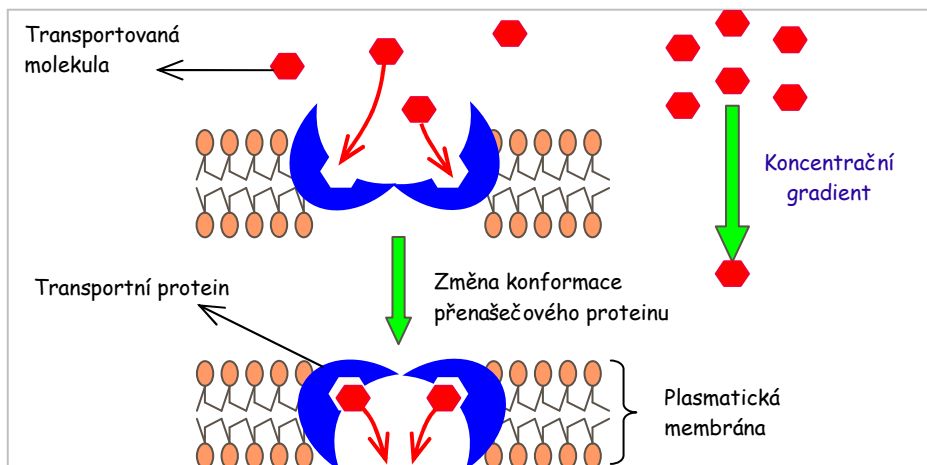
Obr. 13. Volná difuze

Membránové proteiny mohou být buď membránové kanály či přenašečové proteiny (viz dále přenašečový transport). Membránové kanály usnadňují látce proudit oběma směry (ven i dovnitř buňky), přenašečové proteiny váží přenášené látky, kdy pomocí konformačních změn přesunou látku na druhou stranu.



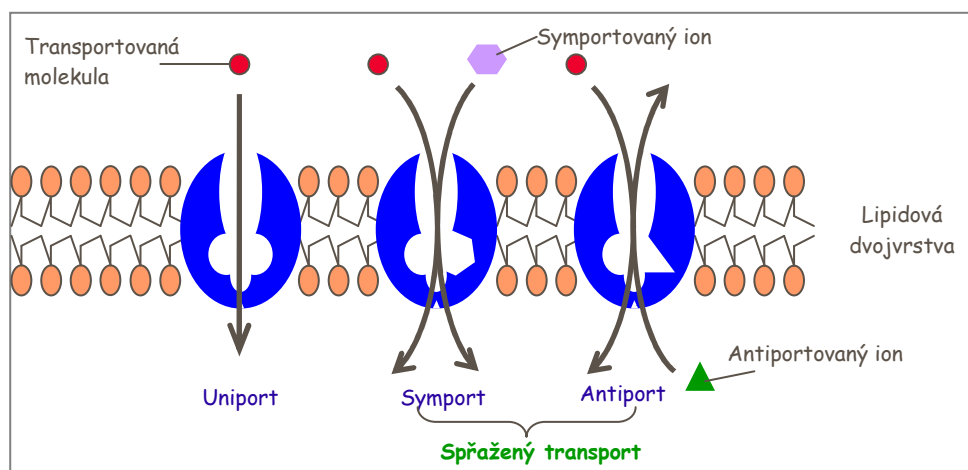
Obr. 14. Uzavřený a otevřený membránový kanál

Tok částic membránovým kanálem může být regulován specifickým signálem nebo ligandem (např. neurotransmiterem), který změni konformaci proteinů tvořících membránový kanál.



Obr. 15. Přenašečový protein

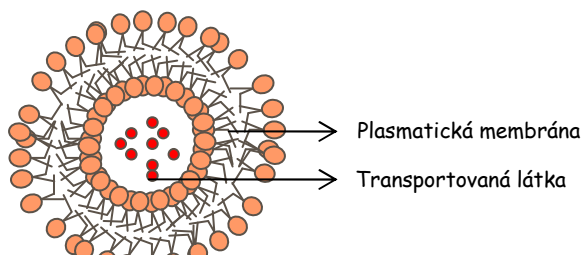
Přenašečový transport může být buď pasivní (probíhá bez dodání energie) nebo aktivní (závisí na dodání energie). Dále se přenašečový transport dělí na **uniport** (přenos jedné molekuly), **symport** (přenos je spojen s jinou molekulou procházející týmž směrem) a **antiport** (spojeno s jinou molekulou procházející opačným směrem).



Obr. 16. Uniport, symport a antiport

Mezi důležité přenašečové transporty patří ATPasa, která využívá jako zdroj energie ATP.

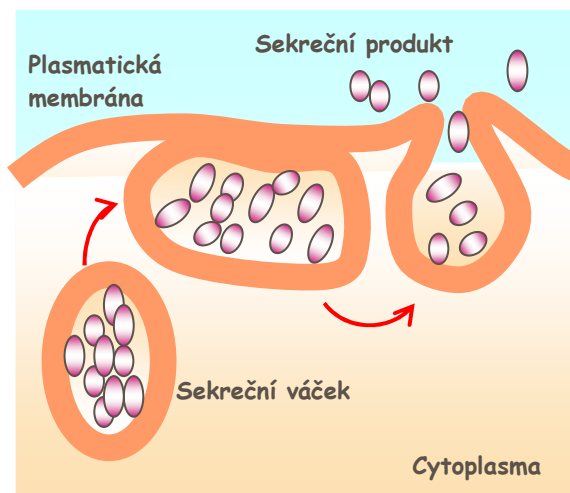
Zcela jiným mechanismem dochází k tzv. **cytose**. Během cytose je transportovaná látka obalena plasmatickou membránou pocházející z ER nebo GA za vzniku **cytotického váčku**.



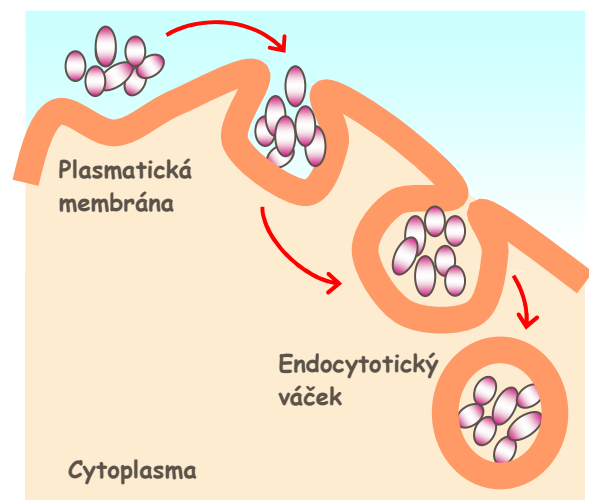
Obr. 17. Cytotický váček

Jestliže je váček transportován z vnitřku buňky do jejího okolí, jedná se o **exocytosu** (sekrece). Kolem odpadní látky se vytvoří **exocytotický** (sekreční) **váček**, který putuje k plasmatické membráně. Sekreční váček splyne s plasmatickou membránou a uvolní jeho obsah do okolí buňky.

Opakem exocytosy je tzv. **endocytosa**, během níž dochází k transportu živin z okolí buňky do cytoplasmy. Při endocytose se nejprve kolem živin vytvoří membránový záhyb. Tento záhyb se zaškrtní a oddělí za vzniku **endocytotického váčku**, v němž se transportují živiny do nitra buňky. Jsou-li endocytosou přijímány látky rozpuštěné, mluvíme o **pinocytose** („buněčné pití“). Jsou-li přijímány pevné částičky, poté hovoříme o **fagocytose** („buněčné pojídání“). V těle savců fagocytují např. některé bílé krvinky (makrofágy), které „požírají“ bakterie.



Obr. 18. Exocytosa



Obr. 19. Endocytosa

5 Seznam použité literatury

1. Alberts, B. a kol.: *Základy buněčné biologie*. Ústí nad Labem: Espero Publishing, 1997.
2. Alters, S.: *Biology – Understanding Life*. Mosby-Year Book, Inc.: St. Luis, 1996.
3. Armstrong, F. B.: *Biochemistry* (Third edition). United States of America: Oxford University Press, 1989.
4. Baldwin, E.: *Co je biochemie*. Praha: Orbis, 1968.
5. Banýr, J., Beneš, P., Hally, J., Halada, K., Novotný, P., Pospíšil, J.: *Chemie pro střední školy*. Praha: SPN, 1999.
6. Benešová, M., Satrapová, H.: *Odmaturuj z chemie*. Brno: Didaktis, 2002.
7. Bloomfield, M. M.: *Chemistry and the Living Organism*. Canada: John Wiley & Sons, Inc., 1992.
8. Burnie, D.: *Stručná encyklopedie lidského těla* (the Consise Encyklopedia of the Human Body). Talentum, 1996.
9. Cibis, N., Dobler, H. J., Lauer, V., Meyer, R., Schmale, E., Strecker, H.: *Člověk*. Praha: Scientia, 1996.
10. Dostál, P., Řeháček, Z., Ducháč, V.: *Kapitoly z obecné biologie*. Praha: SPN, 1994.
11. Engel-Arieli, S. L.: *Jak pracuje lidské tělo*. Brno: UNIS, 1995.
12. Graaff Van De, K. M., Fax, S. I.: *Concepts of human anatomy & physiology (fifth edition)*. The McGraw-Hill Companies, 1999.
13. Hančová, H., Vlková, M.: *Biologie I v kostce*. Havlíčkův Brod: Fragment, 1999.
14. Holum, J. R.: *Elements of General and Biological Chemistry*. John Wiley & Sons, Inc., 1975.
15. Karlson, P.: *Základy biochemie*. Praha: Academia, 1981.
16. Karlson, P., Gerok, W., Gross, W.: *Pathobiochemie*. Praha: Academia, 1987.
17. Kolář, K., Kodíček, M., Pospíšil, J.: *Chemie II (organická a biochemie) pro gymnázia*. Praha: SPN, 2000.
18. Kotlík, B., Růžičková, K.: *Chemie II. V kostce*. Havlíčkův Brod: Fragment, 1997.
19. Kubišta, V.: *Buněčné základy životních dějů*. Praha: Scientia, 1998.
20. Leblová, S., Sofrová, D.: *Biochemie fotosynthesy*. Praha: skriptum PřF UK, 1982
21. Löwe, B.: *Biochemie*. Bamberg: C.C. Buchners Verlag, 1989.
22. Mareček, A., Honza, J.: *Chemie pro čtyřletá gymnázia 3*. Olomouc: 2000.
23. McKee, T., McKee, J. R.: *Biochemistry: An Introduction (Second Edition)*. United States of America: The McGraw-Hill Companies, 1999.
24. Nečas, O. a kol.: *Obecná biologie pro lékařské fakulty*. Jinočany: Nakladatelství H&H, 2000
25. Pacák, J.: *Jak porozumět organické chemii*. Praha: Karolinum, 1997.
26. Pavlová, L.: *Fyziologie rostlin*. Praha: skriptum PřF UK, 2005.
27. Pokorný, P., Hlásná, D.: *Chemie 3 – Biochemie pro 2. ročník středních průmyslových škol chemických, potravinářských a střední školy pro pracující*. Praha: SNTL, 1983.
28. Sofrová, D., Tichá, M. a kol.: *Biochemie – základní kurz*. Praha: skripta UK, 1993.
29. Stockleyová, C., Oxlade, CH., Wertheimová, J.: *Velká ilustrovaná encyklopedie*. Havlíčkův Brod: Fragment, 1997.
30. Vacík, J., Barthová, J., Pacák, J.: *Přehled středoškolské chemie*. Praha: SPN, 1999.
31. Vodrážka, Z.: *Biochemie pro studenty středních škol a všechny, které láká tajemství živé přírody*. Scientia, 1998.
32. Voet, D., Voet, J. G.: *Biochemie*. Praha: Victoria Publishing, 1995.

33. Voet, D., Voet, J. G., Pratt, Ch. W.: *Fundamentals of biochemistry* (2. vydání). John Wiley & Sons, Inc., 2006.
34. *Domácí lékař od A do Z (Rádce pro zdraví)*. Překlad: Ulrich, A. Praha: IMP s.r.o.
35. *Lidské tělo (The Human Body)*. Překlad: Hořejší, J. – Prah, R. Bratislava: GEMINI, 1992.

Ilustrace Markéta Roštejnská: obr. 1-4, 6, 7, 9, 61-68

A ještě odkaz na test:

<https://docs.google.com/forms/d/1Fj2n3dBYzl18zb4cKLqB9j-kAdkc4WadYQtIgv6bFJw/edit>