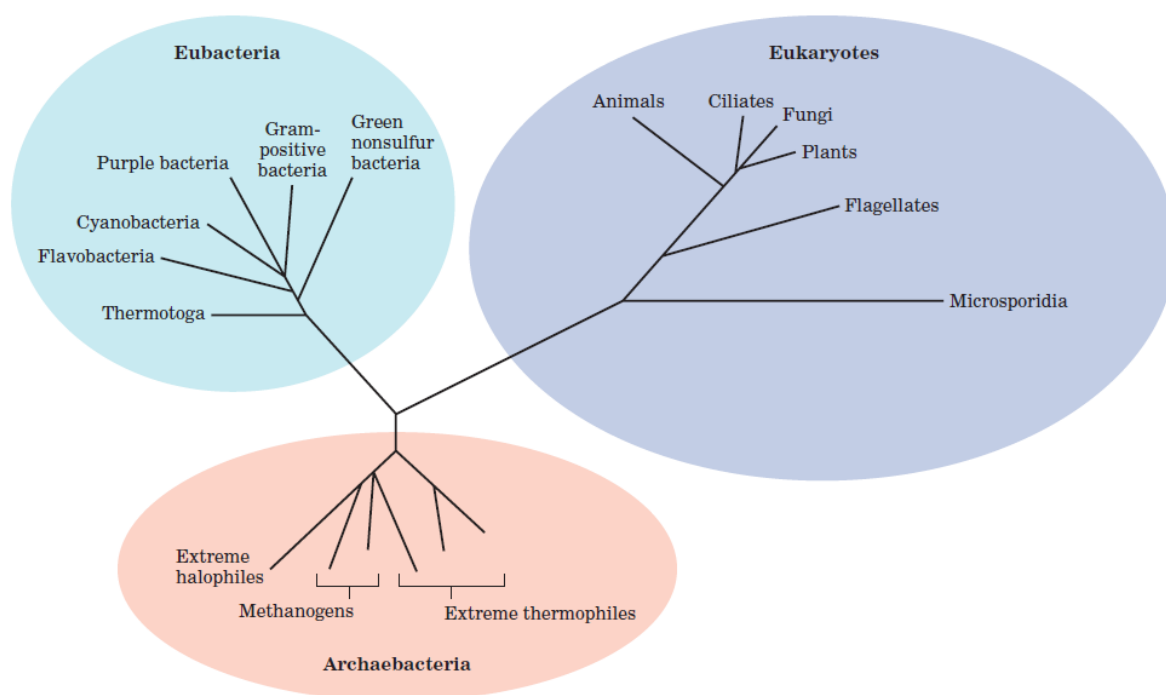


# Buňka

**Buňka** = základní morfologická jednotky živých organismů

**Společné znaky života:**

- schopnost získání energie a živin pro své potřeby
- aktivní reakce na okolní podmínky či změny prostředí
- růst, diferenciace, reprodukce



Obr.1: Fylogenetický strom [Lehninger's Principles of Biochemistry]

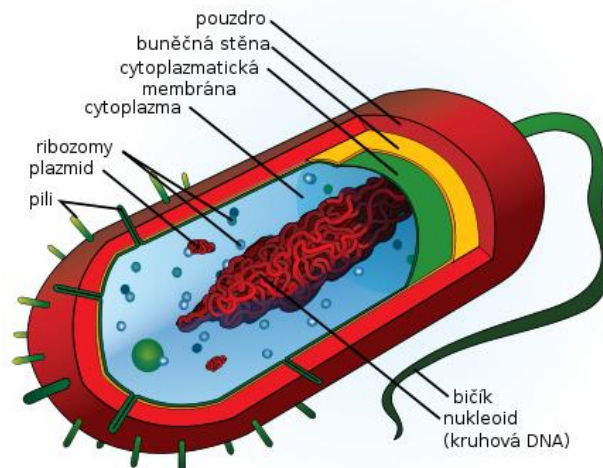
**Tabulka I: Srovnání hlavních rysů prokaryotické a eukaryotické buňky**[[http://en.wikipedia.org/wiki/Cell\\_\(biology\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Cell_(biology))]

	Prokaryota	Eukaryota
typický organismus	bakterie, archea	prvoci, houby, rostliny, živočichové
typická velikost	~ 1-10 $\mu\text{m}$	~ 1-100 $\mu\text{m}$ (buňky spermií bez ocasu jsou menší)
typ jádra	nemá jádro, pouze nukleoidní oblast (nukleoid = jako nukleus, bez tvarý region v buňce, který obsahuje většinu genet. materiálu)	pravé jádro s dvojitou membránou
DNA	cirkulární (většinou)	lineární molekuly (chromosomy) s histonovými proteiny
syntéza RNA a proteinů	v cytoplazmě	syntéza RNA v jádře, proteinů v cytoplazmě
ribozomy	50S + 30S	60S + 40S
cytoplazmatické struktury	velice málo struktur v cytoplazmě	hodně struktur tvořených vchlípeninami membrán a cytoskeleton
pohyb buňky	bičíky (= flagelly) tvořené flagelinem (= protein tvaru dutého válce tvořící šroubovitá vlákna)	bičíky a brvy obsahující mikrotubuly; lamellipodia (= výčnělky tvořené cytoskeletálním proteinem aktinem) a filopodia (= cytoplazmatické výčnělky, také s aktinem)
mitochondrie	není	1 – několik tisíc
chloroplasty	není	v řasách a rostlinách
organizace	jednobuněční	jednotlivé buňky, kolonie, vyšší multibuněčné organismy se specializovanými buňkami
dělení buněk	jednoduché dělení	mitóza a meióza

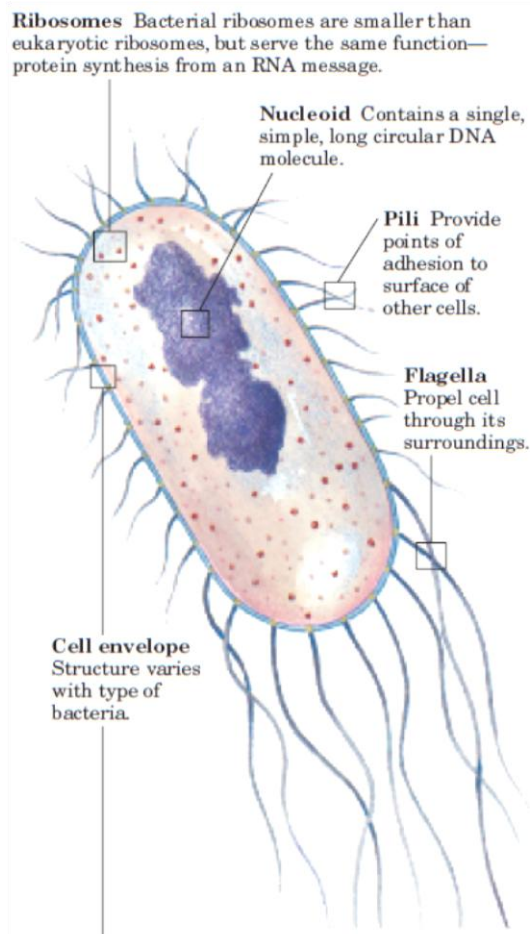
## Prokaryota

- bakterie a archea
- nejpočetnější a nejrozšířenější organismy
- rychlost reprodukce i méně než 20 min
- mohou tvořit rezistentní spóry v nepříznivých podmínkách
- tvary – koky (kulovité), bacily (tyčinkovité), spirily (šroubovitě stočené)

## Prokaryotická buňka



Obr.2a: Prokaryotická buňka [[http://cs.wikipedia.org/wiki/Prokaryotick%C3%A1\\_bu%C5%88ka](http://cs.wikipedia.org/wiki/Prokaryotick%C3%A1_bu%C5%88ka)]



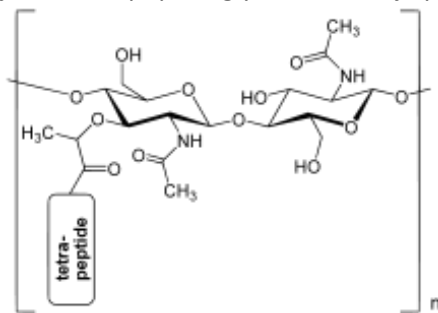
Obr.2b: Prokaryotická buňka [Lehninger's Principles of Biochemistry]

## buněčná membrána

- tloušťka 7 nm, dvojná vrstva lipidů + proteiny
- je selektivně permeabilní pro ionty a organické molekuly
- pasivní difúze a osmóza – malé molekuly (CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, voda) prochází difúzí; membrána je bariérou pro hodně molekul a iontů, z toho vzniklý koncentrační gradient vytváří osmotický tok vody
- trasmembránové kanály a transportéry
- endocytóza – na buněčné membráně vznikne vchlípenina, ve které je uzavřena substance, která má být transportována do buňky; tato vchlípenina se pak uvolní dovnitř buňky a vznikne vesikula (váček), ve které jsou pohlcené molekuly transportovány na místo určení
- exocytóza – opačný proces k endocytóze, slouží k vyhození odpadních látek; exocytózou se buňka zbavuje potravní vakuoly a vesikul z Golgiho aparátu, tyto vesikuly jsou nejprve cytoskeletem dopraveny na vnitřní povrch buněčné membrány, dojde ke kontaktu membrány váčku a membrány buněčné a jejich následné fúzi, vznikne průchod přes bun. membránu a váček vyhodí svůj obsah ven z buňky
- nasedá na ni z vnějšku buněčná stěna, z vnitřku je spojena s cytoskeletem

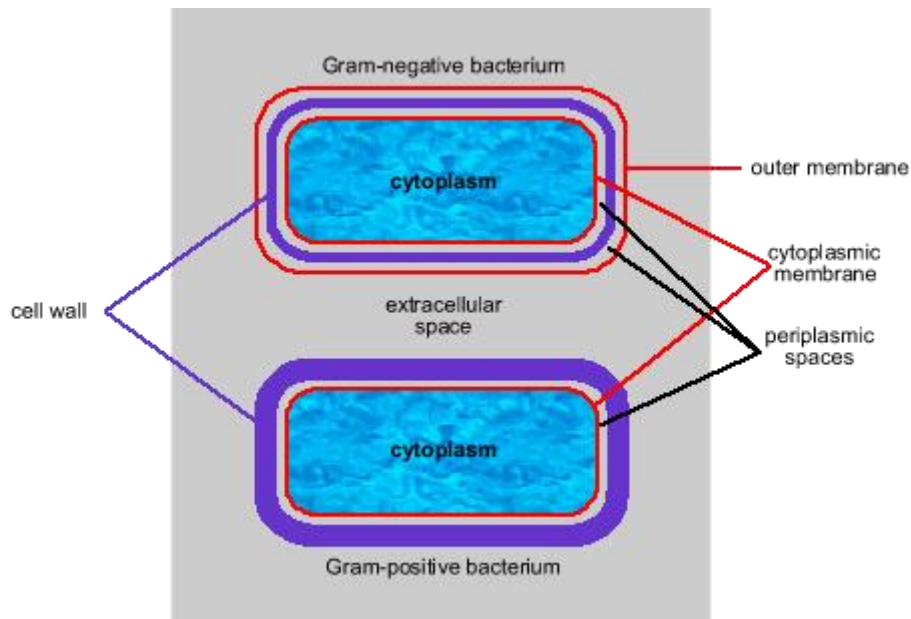
## buněčná stěna (bakteriální)

- má tloušťku 3-25 nm
- ochrana před osmotickým šokem, mechanickým poškozením
- je tvořena peptidoglykanem, což je polysacharidový řetězec s navěšenými peptidy



Obr.3: Struktura peptidoglykanu [<http://en.wikipedia.org/wiki/Peptidoglycan>]

- 2 základní typy bun. stěny u bakterií: Gram-pozitivní a Gram-negativní. Jména jsou podle testu zvaného Gramovo barvení.
- Gram-pozitivní bakterie
  - o V Gramově barvení mají tmavě modrou až fialovou barvu (barvivo crystal violet)
  - o Mají velký podíl peptidoglykanu v buněčné stěně
  - o Typicky postrádají vnější membránu, kterou mají Gram-negativní bakterie
- Gram-negativní bakterie
  - o Po crystal violet (na to nereagují) se přidává další barvidlo counterstain („safranin“), který díky existenci vnější membrány barví buňky do červena či růžova
  - o Peptidoglykanová vrstva je mezi vnitřní a vnější membránou, je mnohem tenčí než u Gram-pozitivních bakterií
  - o Vnější membrána obsahuje lipopolysacharidy ve vnějším listě a fosfolipidy ve vnitřním listě
  - o ve vnější membráně jsou poriny, které fungují jako póry pro některé molekuly
  - o mezi membránami a peptidoglykanovou vrstvou jsou mezery nazvané periplazmatický prostor



Obr.4: Obálka Gram-negativní a gram-pozitivní bakterie  
 [http://www.nmpdr.org/FIG/wiki/view.cgi/FIG/GramStain]

- mykoplazmata
  - o postrádají pevnou buněčnou stěnu
  - o nejmenší živé buňky (průměr 0,12  $\mu\text{m}$ )
  - o obsahují minimální genet. informaci postačující pro život (podle dnešních poznatků), jen 20% DNA E. coli

#### buněčná stěna (archea)

- neobsahuje peptidoglykan (s jednou výjimkou – skupina archeí methanogens)
- místo peptidoglykanu mají (exist. 4 typy) : pseudopeptidoglykan, polysacharidy, glykoproteiny, nebo pouze proteiny

#### pouzdro

- složeno z polysacharidů
- ochrana před obrannou reakcí vyšších organismů

#### mesosomy

- vchlípeniny cytoplazmatické membrány bakterií
- mají klubkovitý tvar, vybíhají do cytoplazmy
- vyskytují se hlavně v oblasti, kde se při dělení buňky tvoří přepážka, jde o místo replikace DNA a spec. enzymatických reakcí

#### cytoplazma (prokaryotická)

- gelový nehomogenní roztok
- obsahuje mnoho druhů RNA, kolísavý počet rozpustných enzymů
- obsahuje ribozomy

#### ribozomy

- plavou v prokaryotické cytoplazmě
- průměr cca 25 nm
- místo syntézy proteinů (*všichni víme, jak to funguje... Biochemie + Molekulární biologie*)
- velká a malá podjednotka (50S + 30S)

#### nukleoid

- nucleoid = nucleus like
- nerovnoměrný útvar v prokaryotické buňce obsahující veškerý genetický materiál
- chromozom je cirkulární – to dovoluje replikaci bez koncivých telomer (*viz přednáška Molekulární biologie*)

- obsahuje DNA až v několika kopiích

**flagela (bičíky)**

- vyrůstají z těla buňky (mají je i některá eukaryota – u nich fungují také jako sensorické orgány)
- umožňují pohyb – mají jich pár (1-4)
- 20 nm tlustá trubice

**pili**

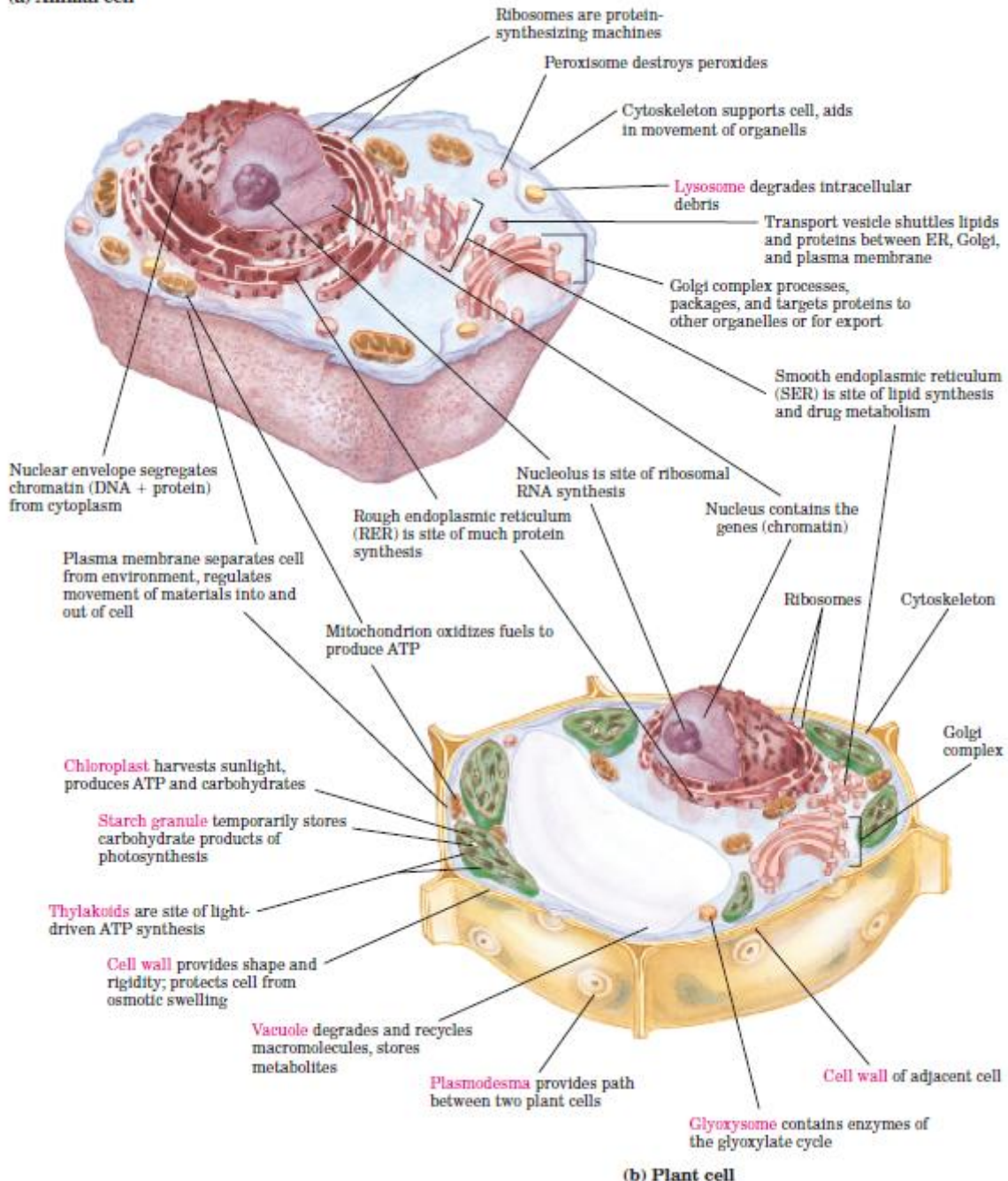
- vláknité výrůstky s neznámou funkcí pokrývající tělo buňky

## Eukaryota

- mají pravé jádro
- vnitřek rozčleněn do organel
- průměr buňky: 10 – 100  $\mu\text{m}$ , objem:  $V_{\text{euk}} = 10^3 - 10^6 V_{\text{prok}}$
- zvětšení efektivní plochy membrán díky vnitřním membránám a výběžkům

## Eukaryotická buňka

(a) Animal cell



Obr.5: Eukaryotická buňka – živočišná a rostlinná [Lehninger's principles of Biochemistry]

### cytoplazmatická membrána

- selektivně permeabilní obal buňky
- složení: lipidová dvouvrstva, zakotvené proteiny, cholesterol, glykolipidy...

- podílí se na: buněčná adheze, výměna iontů, buněčná signalizace, má výběžky a invaginace, schopnost endocytózy (eukaryota uzavrou třeba i bakterii a ve formě váčku ji spolknou a využijí energii, prokaryota mohou pohltnout maximálně molekulu) a exocytózy (odvod odpadních látek)
- je na ni zevnitř připojen cytoskelet, zvenku upevnění k jiným buňkám, pomáhá formovat se skupinám buněk do tkání

### Cytoskelet

- dynamický systém proteinových vláken
- zajišťuje proměnlivost cytosolu – hl. funkce je transport látek a buněčných komponent, podklad buněčné membrány v cytoplazmě, lešení pro membránové proteiny, účast na dělení buňky (u živočichů se podílí na vzniku dělicího vřeténka)
- jde o uspořádaná vlákna: mikrotubuly, mikrofilamenta, střední filamta

### Jádro

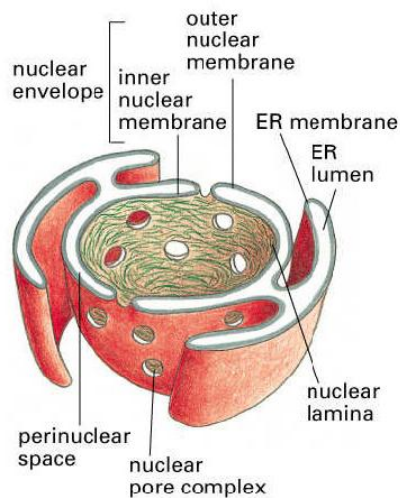
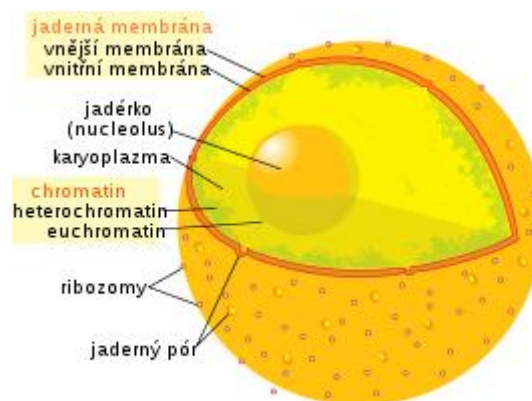


Figure 12-9. Molecular Biology of the Cell, 4th Edition.

Obr.6: obálka jádra [Molecular Biology of the Cell, 4th Edition]

- má 2 membrány – vnitřní a vnější list dohromady tvoří jadernou obálku – viz Obr.nahoře
- jaderný pór = velký proteinový komplex s oktagonální symetrií, obsahuje mnoho typů proteinů
- jadernými póry může procházet: malé proteiny volnou difuzí, větší proteiny potřebují aktivní transport pomocí vhodné signální sekvence
- mRNA nakopírovaná z DNA ven z jádra do cytosolu také prochází jaderným pórem



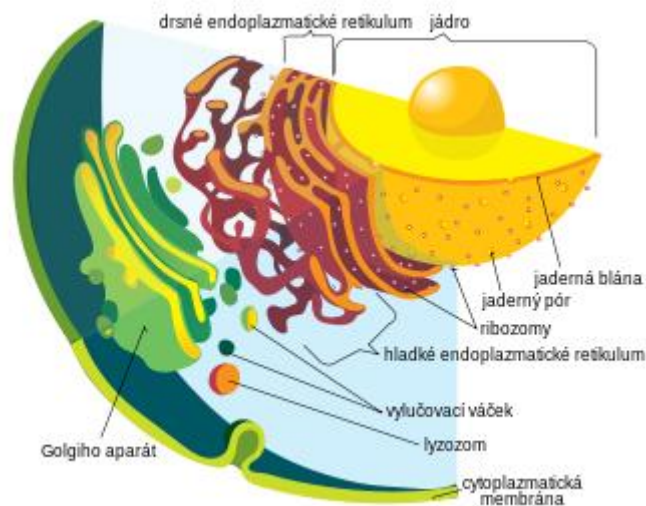
Obr.7: jádro a jeho komponenty [Wikipedia.org]



- chromatin = DNA a různé přidružené bílkoviny
- uprostřed jádra je jadérko (viz Obr. nahoře, žlutý) – v něm probíhají různé enzymatické procesy související s DNA a RNA
- uvnitř jádra dochází k transkripci (DNA → RNA), pak průchod jaderným pórem a vně jádra dochází k translaci (RNA → protein)

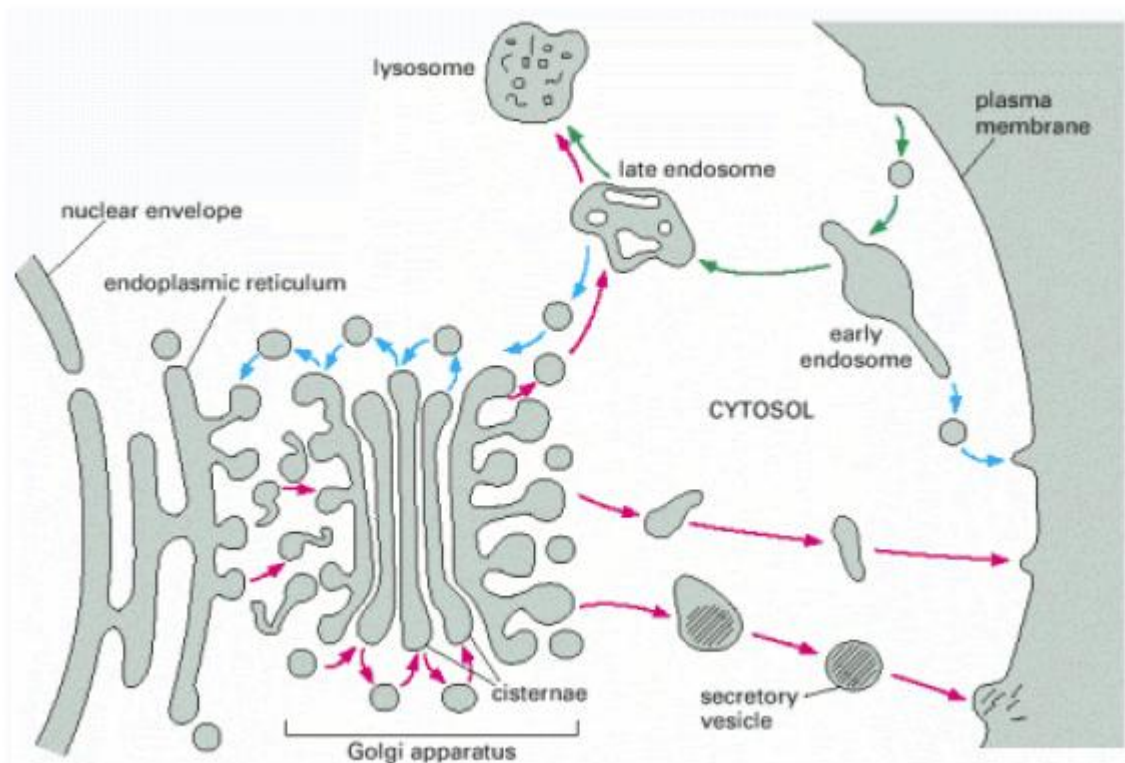
### Endoplazmatické retikulum

- drsné – syntéza proteinů
- hladké – syntéza lipidů



Obr.8: Endoplazmatické retikulum a další membránové buněčné struktury  
 [http://cs.wikipedia.org/wiki/Endoplazmatick%C3%A9\_retikulum]

- jaderná obálka je těsně napojena na ER – syntéza proteinů a lipidů
- a) kotranslační transport proteinů do lumen ER
  - o při syntéze proteinu se nejprve syntetizuje signální sekvence, tu rozpozná membrána ER a rostoucí protein pak roste rovnou do lumen ER, po skončení syntézy se odštípne ona signální sekvence a celý narostlý protein projde dovnitř do lumen ER, případně u transmembránových proteinů projde jen kus
- b) posttranslační transport proteinů do lumen ER
  - o nejprve vznikne celý protein, poté až dochází k transportu do lumen ER
- ER pak vesikulárním transportem komunikuje s ostatními organelami (kromě mitochondrií) – vypučí váčky z ER s právě vzniklými proteiny a jsou transportovány na Golgiho aparát



Obr.9: Vezikulární transport v buňce [přednáška R. Chaloupka, molekulární mechanismy membránového transportu]

### Golgiho aparát

- systém membrán
- slouží k transportu, úpravě a přechovávání proteinů
- z něj se uvolňují váčky s proteiny a lipidy, které pak putují na místo určení v buňce (na cílovou organelu, vnější membránu...)

### Mitochondrie

- místo oxidačního metabolismu (viz samostatná otázka na buněčné dýchání)
- má dvě membrány (vznikly evolučně pohlcením bakterie eukaryotickou buňkou)

### Lysosomy

- váčky s jednoduchou membránou s lytickými enzymy, trávení materiálu, recyklace buněčných komponent (viz Obr.9)

### Peroxisomy

- váčky s jednoduchou membránou
- obsahují oxidační enzymy

### Cytosol

- vysoce organizovaný gel, v kterém plavou všechny organely
- má odlišné složení v různých částech buňky

### Buněčná stěna

- jen u rostlinných buněk
- obsahuje celulózu hlavně

### **Vakuola**

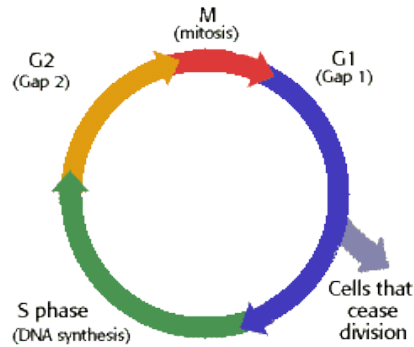
- u rostlinných buněk zabírá 90% objemu buňky, ale je i u živočišných buněk
- popelnice buňky; úložiště odpadů, barviv...
- je velmi koncentrovaná, musí tam tedy být pevná buněčná stěna kvůli osmotickému tlaku

### **Chloroplasty**

- mají dvojitou membránu podobnou mitochondriím
- místo fotosyntézy
- obsahují thylakoidy – diskovité (granální thylakoidy) a tyčinkovité (stromální thylakoidy) útvary v chloroplastech na jejichž membráně dochází k fotosyntéze
- vznikly evolučně pohlcením sinice eukaryotickou buňkou
- fotosyntetická barviva jsou obsažena ve světlosběrných anténách thylakoidů

# Buněčné dělení

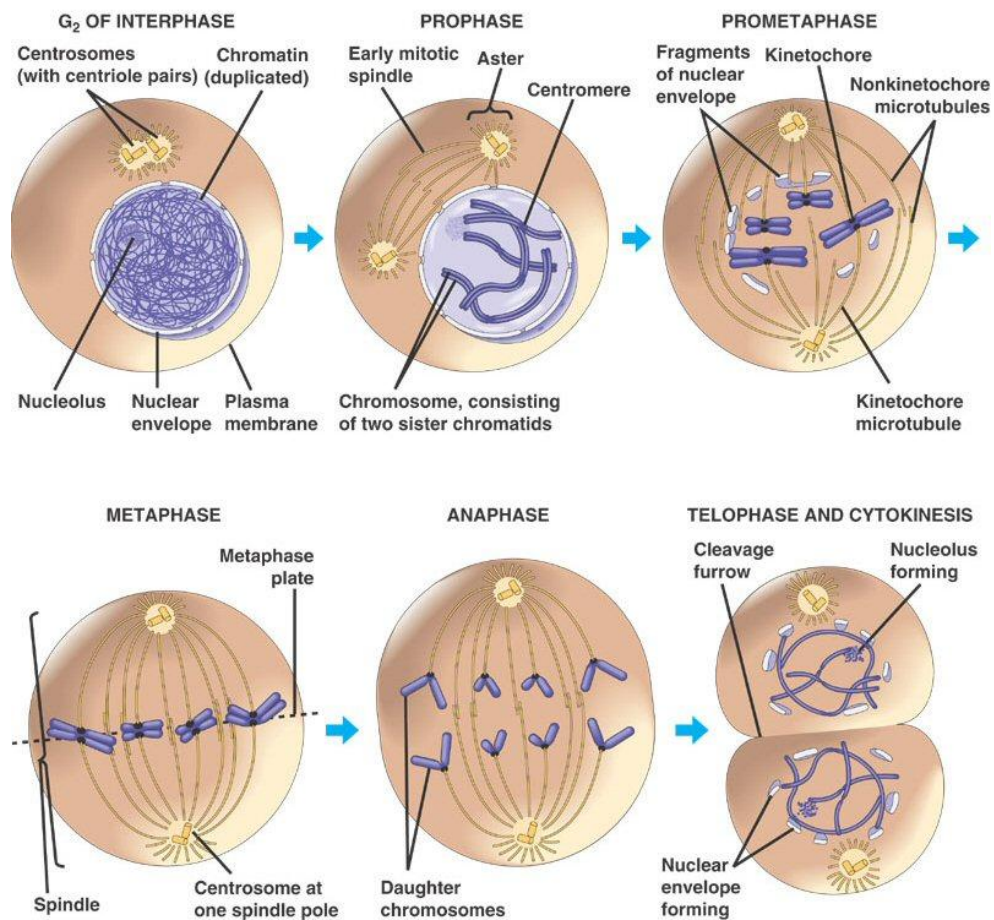
## Buněčný cyklus



Obr.10: Buněčný cyklus [[http://www.biology.arizona.edu/cell\\_bio/tutorials/cell\\_cycle/cells2.html](http://www.biology.arizona.edu/cell_bio/tutorials/cell_cycle/cells2.html)]

- S fáze – dochází k replikaci genomu
- G2 – příprava buňky na dělení
- M – mitóza, tj. samotné dělení buňky, na konci mitózy dochází k oddělení buněk
- G1 – růst buňky

## Mitóza



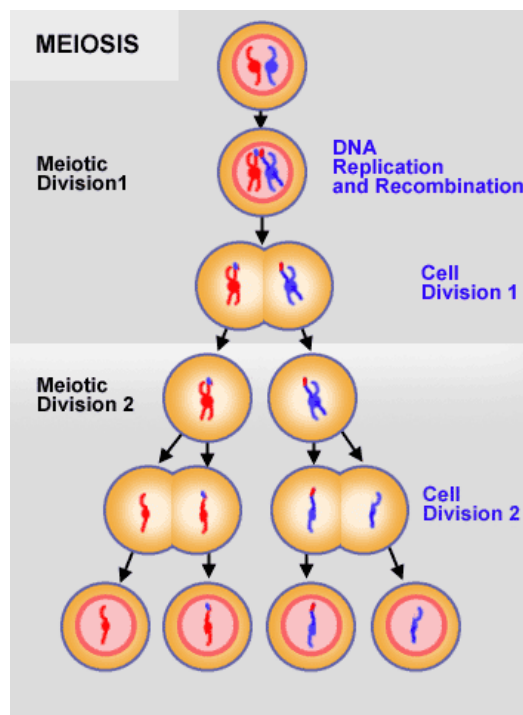
Obr.11: Fáze mitózy [<http://cantorsbiologyblog.blogspot.cz/2011/02/mitosis-somatic-cell-division.html>]

### Fáze mitózy:

- **interfáze** – chromozomy jsou původně v jadérku jádra, zdvojení chromatidů (ty „nohy“ chromozomu se zdvojí, máme replikovanou genetickou informaci), zdvojení centrosomů
- **profáze** – kondenzace chromosomů, putování centrosomů na opačné strany buňky
- **prometafáze** – začíná se rozpadat jádrová membrána, z centrosomů jdou vlákna dělicího vřeténka, napojují se na kinetochory chromosomů
- **metafáze** – srovnání chromosomů uprostřed buňky do jedné linie za pomoci vláken dělicího vřeténka
- **anafáze** – rozdělení centromerických částí chromosomů na dceřinné chromosomy, které putují na opačné strany buňky
- **telofáze** – začíná se objevovat jádrová membrána, buňka se začíná dělit, začíná se formovat jaderný obal okolo chromosomů

### Meióza

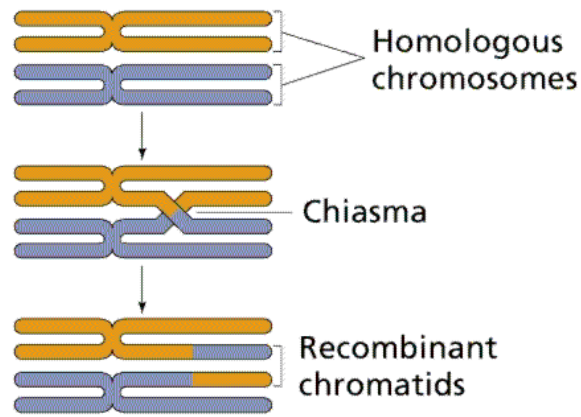
- redukční dělení jádra
- meiózou vzniknou buňky s haploidním (polovičním) počtem chromosomů (pohlavní buňky)
- 2 fáze: I. a II. redukční dělení
- **I. redukční dělení**
  - o nedochází k dělení centromer chromosomů
  - o profáze I, metafáze I, anafáze I, telofáze I
- **II. redukční dělení** – profáze II, metafáze II, anafáze II, telofáze II



Obr.11: Meiotické dělení

[[http://www.tokresource.org/tok\\_classes/biobiobio/biomenu/meiosis/index.htm](http://www.tokresource.org/tok_classes/biobiobio/biomenu/meiosis/index.htm)]

- **chiasmata**
  - o v profázi I se spárují chromosomy od otce a od matky, dostanou se hodně blízko k sobě a vzniknou páry držené k sobě proteiny (kondenziny), vzniknou tzv. chiasmata díky překřížení chromosomů
  - o jde o překřížení chromosomů, díky nim vznikne rekombinantní DNA
  - o velice důležité pro genetickou variabilitu



Obr.12: Chiasmata, vznik rekombinantní DNA

[[http://www.tokresource.org/tok\\_classes/biobiobio/biomenu/meiosis/index.htm](http://www.tokresource.org/tok_classes/biobiobio/biomenu/meiosis/index.htm)]

- **metafáze I**

- chromosomy mohou být na jakékoliv straně, do dvou buněk po I. redukčním dělení se volně míchají chromosomy od matky a od otce – také důležité pro genetickou variabilitu ( $2^{23}$  možností u člověka)

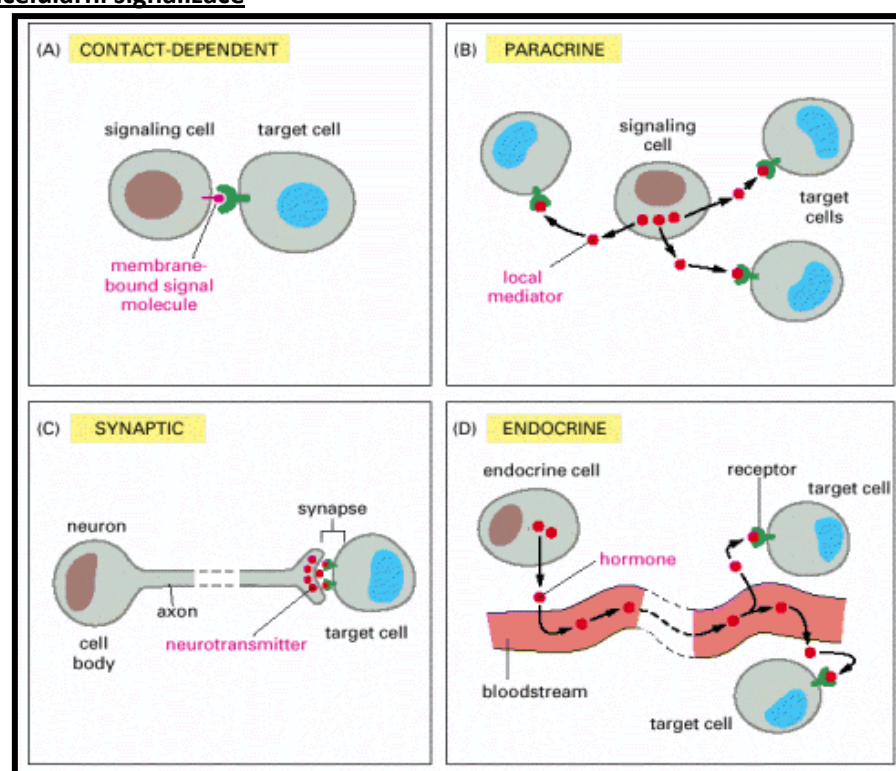
## Reakce buňky na vnější signály

[[http://fvhe.vfu.cz/export/sites/fvhe/adresa/sekce\\_ustavy/ubchvzz/Biologie/biologie-prednasky/2012-13/10-Biologie-signalizace-2012-2013.pdf](http://fvhe.vfu.cz/export/sites/fvhe/adresa/sekce_ustavy/ubchvzz/Biologie/biologie-prednasky/2012-13/10-Biologie-signalizace-2012-2013.pdf)]

### Buněčná signalizace

- reakce na podněty z okolí, komunikace s jinými buňkami, souhra buněk v mnohobuněčných organismech
- informace je předávána **signály**, přeměna jednoho typu signálu v jiný se nazývá **transdukce signálu**
- **signalizující buňka** produkuje spoustu extracelulárních **signálních molekul**
- **cílová buňka** převádí extracelulární signál na intracelulární, který řídí chování cílové buňky
  - o každá buňka má omezený soubor receptorů – z receptorů vedou různé signalizační kaskády dovnitř buňky, kde ovlivňují různé buněčné procesy (včetně změn v expresi genů)
  - o různé buňky odpovídají na stejný signál různě
    - př. acetylcholin: srdeční sval – snížení frekvence stahů; kosterní sval – kontrakce; slinná žláza – vylučování slin
  - o signály se mohou různě kombinovat a navozovat různé reakce

### Formy extracelulární signalizace



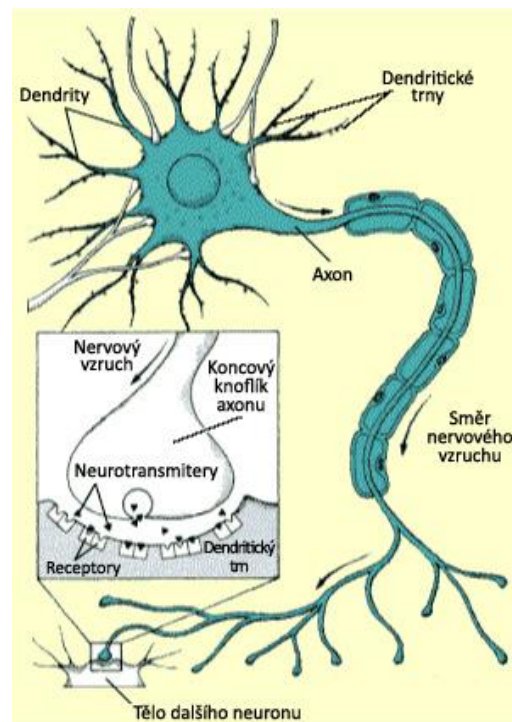
Obr.13: Typy mezibuněčné signalizace [prezentace od nevím kde]

- endokrinní – hormony, skrze krevní řečiště se dostanou na místo určení
- parakrinní – viz obr.
- autokrinní – buňka je zdrojem i příjemcem signálu
- dotykový
- neuronový
- dutým spojem – tubulární struktura mezi signalizující a cílovou buňkou, které jsou těsně vedle sebe

- u rostlin plasmodesmy = cytoplazmatické můstky, regulovaný pohyb látek včetně proteinů a NK
- u živočichů nanotrubičky – obsahují aktin, propojení cytopl. membrán, přechod proteinů vázaných na buněčnou membránu

**signální molekuly:** cytokiny, hormony (adrenalin), neurotransmitery, růstové faktory, atd.

- **cytokiny** = menší signální proteiny účastníci se významně na imunitní odpovědi; jsou produkovány buňkami imunitního systému a jsou schopné navodit např. rychlé dělení a diferenciaci určitých typů buněk, které se účastní boje proti patogenům
- **hormony** – odvozené od aminokyselin (adrenalin); peptidy a proteiny (inzulin, oxytocin); steroidní hormony (testosteron, estrogeny, progesteron); tkáňové hormony
- **šíření elektrického signálu po neuronu:**

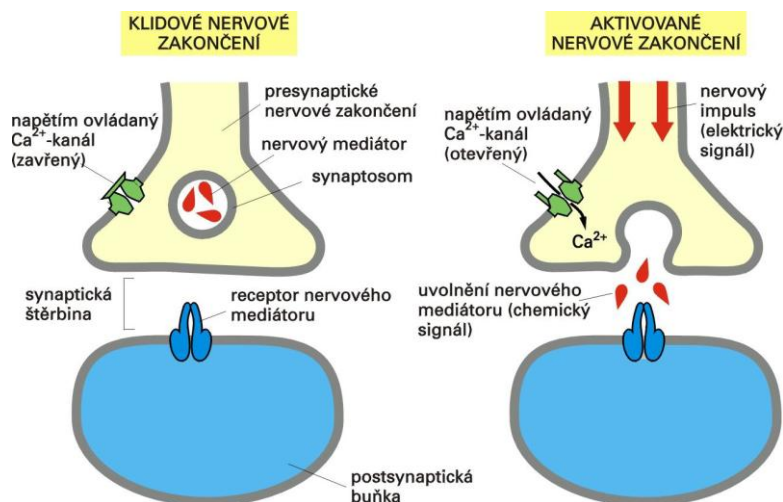


Obr.14: neuron a šíření vzruchu [http://www.poranimozku.cz/fakta-o-mozku/mozek-na-bunecne-urovni/synapse-a-prenos-signalu.html]

- na neuronu jsou zářezy (Ranvierovy zářezy), které jsou odhaleny do mezibuněčného prostoru, tam se koncentrují  $\text{Na}^+$  a  $\text{K}^+$  kanály
- Na začátku otevřené  $\text{K}^+$  kanály, membránový potenciál odpovídá potenciálu  $\text{K}^+$ . Přejde signál – vlivem depolarizace membrány vyleze potenciál výš než normálně a otevřou se  $\text{Na}^+$  kanály. Jakmile se otevře jeden, membrána se o to více depolarizuje a tak se lavinovitě otvírají další  $\text{Na}^+$  kanály – velké navýšení potenciálu. Poté se otevřou další  $\text{K}^+$  kanály (jiné než ty původní), které jsou hradlované depolarizací membrány a s nějakým zpožděním se taky otvírají – repolarizace. Poté  $\text{Na}^+$  kanály cítí, že už to není depolarizované a začnou se zavírat – návrat do počátku.
- touto kaskádou se na každém Ranvierově zářezu zesílí příchozí elektrický signál.
- **Přeměna elektrického signálu na chemický na nervovém zakončení**
  - na synapsi přijde elektrický signál, který způsobí vylití neurotransmitéru, což je chemická látka schopná vazby na receptor v postsynaptické membráně
  - synapse
    - obsahuje napětově citlivé  $\text{Ca}^{2+}$  kanály



- otevření  $\text{Ca}^{2+}$  kanálů po příchodu elektrického signálu, vzroste koncentrace  $[\text{Ca}^{2+}]_{\text{in}}$ , to způsobí fúzi membrány váčku s neurotransmiterem a membrány na konci neuron – uvolnění neurotransmitéru
- po repolarizaci znovuuzavření  $\text{Ca}^{2+}$  kanálů a rychlé vypumpování  $\text{Ca}^{2+}$  ven pumpami
- neurotransmitér může způsobit vznik dalšího vzruchu na následujícím neuronu nebo naopak to, že je druhý neuron hůře vzrušitelný – neurotransmitery mohou tedy být aktivující a inhibující



Obr.15: nervové zakončení

[[http://fvhe.vfu.cz/export/sites/fvhe/adresa/sekce\\_ustavy/ubchvzz/Biologie/biologie-prednasky/2012-13/10-Biologie-signalizace-2012-2013.pdf](http://fvhe.vfu.cz/export/sites/fvhe/adresa/sekce_ustavy/ubchvzz/Biologie/biologie-prednasky/2012-13/10-Biologie-signalizace-2012-2013.pdf)]

### Vnitrobuněčná signální kaskáda

1. přenos signálu
2. transdukce signálu do molekulární podoby
3. zesílení signálu
4. rozdělení signálu
5. modulace signálu dalšími intracelulárními vlivy

#### Př.: světlo + tyčinková buňka v oční sítnici (20 ms trvající kaskáda):

- 1 foton absorbován 1 rhodopsinovým fotoreceptorem
- 1 rhodopsinový fotoreceptor aktivuje 500 molekul transducinu (intracelulární signální G protein)
- 1 transducin aktivuje 1 fosfodiesterázu
- 1 fosfodiesteráza hydrolyzuje  $10^5$  molekul cGMP
- cGMP se váže na  $\text{Na}^+$  kanály, které udržuje otevřené, uzavírají se s hydrolyzou GMP → změna membránového potenciálu (o 1mV) je signálem pro vylití nervového mediátoru → přenos signálu do mozku
- navíc  $\text{Ca}^{2+}$  inhibuje enzymy odpovědné za zesílení signálu při přílišné intenzitě ostrého světla

### Receptory na povrchu buněk

- **receptory spojené s iontovými kanály** – signálem je tok iontů vedoucí ke změně membránového potenciálu, která vyvolá otevření/zavření transmembránových kanálů pro jiné ionty (nervy, svaly)
- **receptory spojené s G-proteiny** – signálem je uvolnění G-proteinové podjednotky

- G-proteiny = 1 polypeptidový řetězec; 3 podjednotky  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ; 7x prostupuje lipidovou dvojrůstvou
  - některá podj. ( $\alpha$  nebo komplex  $\beta\gamma$ ) nese krátkodobě signál
  - vypíná se hydrolýzou GTP  $\rightarrow$  GDP, aktivuje vytvořením GTP z GDP
  - **FUNKCE:**
    - regulace iontových kanálů
    - aktivace adenylátcyklázy = **2. posel v buňce**
      - zvyšuje koncentraci cAMP (tvorba z ATP) (inaktivace cAMP – fosfodiesterázou, která dělá cAMP  $\rightarrow$  AMP)
      - cAMP aktivuje A-kinázu (cAMP dependentní proteinkináza)
      - **A-kináza**
        1. katalyzuje fosforylaci (= aktivace) různých vnitrobuněčných proteinů = RYCHLÁ ODPOVĚĎ (sec – min)
        2. fosforyluje (aktivuje) genové regulační proteiny – ovlivnění transkripce genu = POMALÁ ODPOVĚĎ (min – hod)
    - aktivace fosfolipázy C (inositolfosfolipidová dráha)
      - umožňuje přeměnu lipidů na inositoltrifosfát IP3 a diacylglycerol DAG
      - IP3 otevírá kanály pro  $Ca^{2+}$  (**2. posel v buňce**) v ER, pak  $Ca^{2+}$  + DAG aktivují C-kinázu (proteinkináza C)
      - **C-kináza**
        1. fosforyluje různé vnitrobuněčné proteiny = RYCHLÁ ODPOVĚĎ
        2. fosforyluje (aktivuje) genové regulační proteiny = POMALÁ ODPOVĚĎ
      - $Ca^{2+}$  sám také aktivuje prostřednictvím kalmodulinu (tj. protein vážící 4 ionty  $Ca^{2+}$ ) CAM-kinázu ( $Ca^{2+}$ -kalmodulin dependentní proteinkináza II)
      - **CAM-kináza**
        1. fosforyluje různé vnitrobuněčné proteiny = RYCHLÁ ODPOVĚĎ
        2. fosforyluje (aktivuje) genové regulační proteiny = POMALÁ ODPOVĚĎ
- **receptory spojené s enzymy**
- **receptorové tyrosinkinázy** – aktivovány **růstovými faktory** (ty řídí růst, diferenciaci a přežívání buněk v živoč. tkáních) – signálem je fosforylace tyrosinu v urč. intracelulárních proteinech
  - **FUNKCE:**
    - aktivace fosfolipázy (analog fosfolipázy C) – aktivace C-kinázy
    - aktivace proteinu (adaptorový protein) aktivujícího RAS protein
      - RAS protein = malý GTP vázající protein aktivující proteinkinázu I  $\rightarrow$  II  $\rightarrow$  III
      - **proteinkináza III**
        1. fosforyluje různé vnitrobuněčné proteiny = RYCHLÁ ODPOVĚĎ
        2. fosforyluje genové regulační proteiny = POMALÁ ODPOVĚĎ