



MUDr. K. Kapounková , Ph.D.

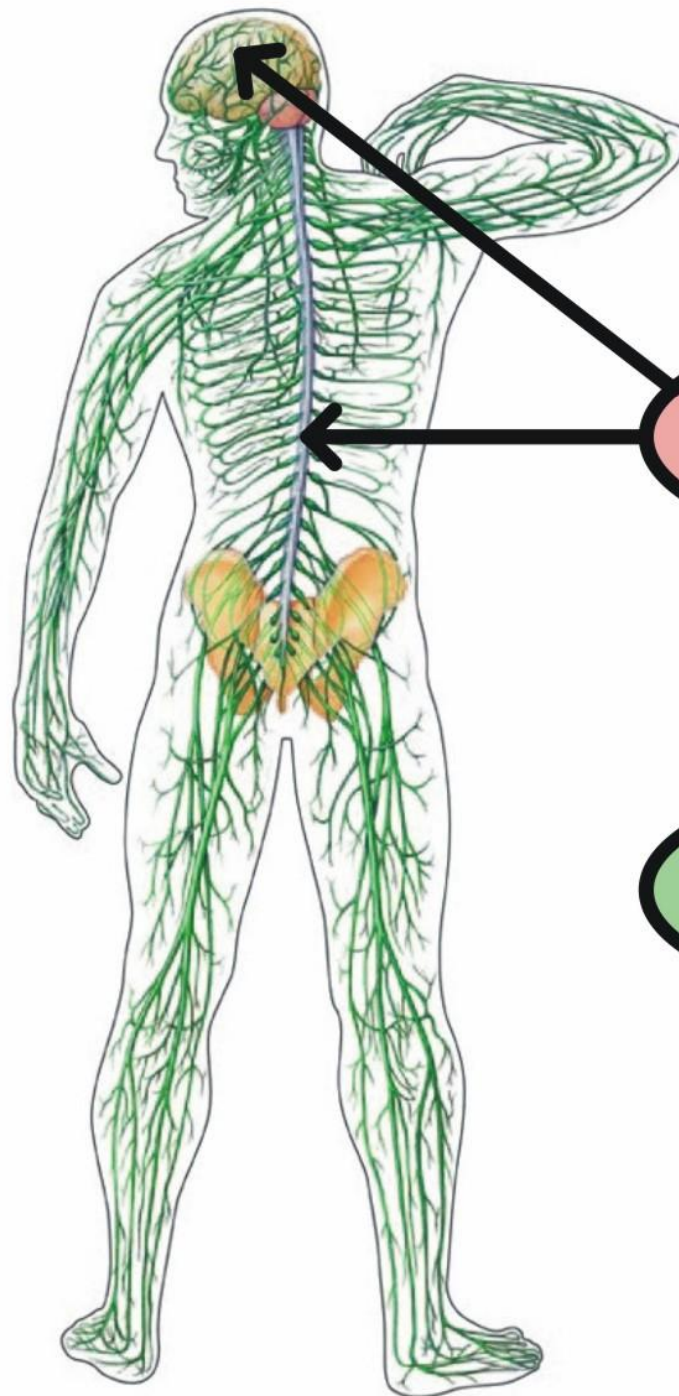
# Neurofyziológie

STAVBA NEURONU

GLIE

SYNAPSE

NEUROMEDIÁTORY



CNS  
mozek a mícha

Periférní  
nervový systém

# NS

strukturálně se skládá z **neuronů** (nervových buněk) a **glií** (podpůrných buněk)

Seskupování neuronu:

**CORTEX** neurony v kůře mozku vytváří vrstvy, konkrétně 6 vrstev a neurony **v mozečku** vytváří vrstvy 3

**NUCLEI** v subkortikálním regionu - thalamus, mozkový kmen a mícha, ...

- formují těla neuronů nepravidelné shluky = jádra)

**GANGLIA**

-shluky těl neuronů venku z CNS (spinální a vegetativní ganglia)

# Gliové buňky



poskytují metabolickou a mechanickou podporu pro neurony

- na jeden neuron připadá ca 10 glií
- na rozdíl od neuronů se dělí

rozdělení v CNS:

1. **oligodendrocyty** (produkují myelinové obaly v CNS -elektrická izolace od okolí)

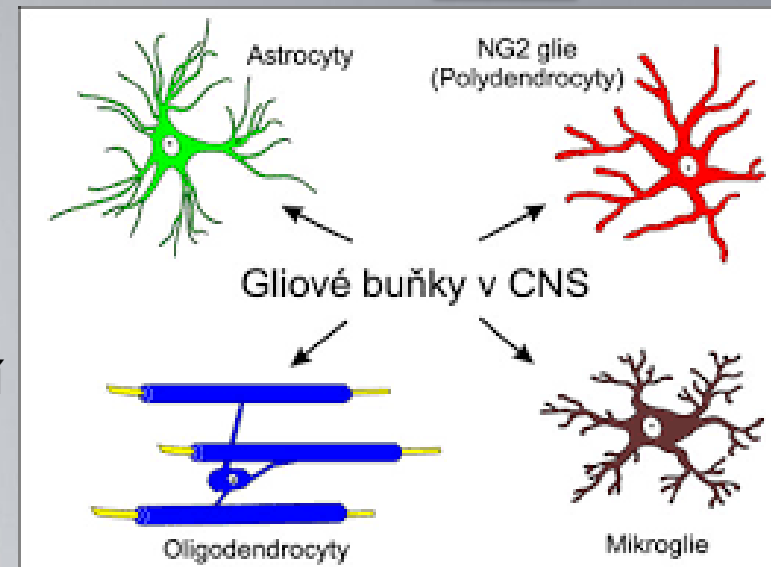
Schwannovy buňky

-obdobu oligodendrocytů v PNS, tj. produkují myelinové pochvy v PNS

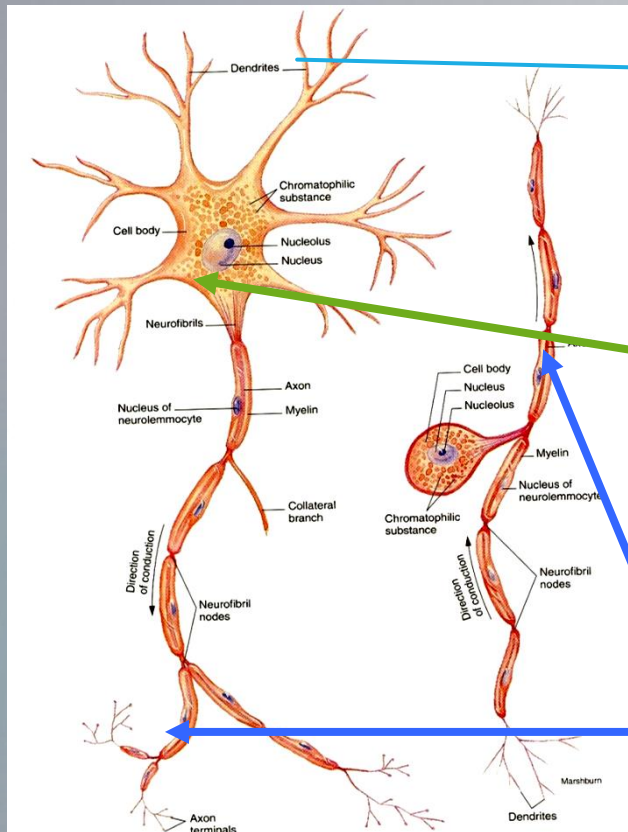
2. **astrocyty** (jejich výběžky se dotýkají kapilár a pia mater-kontrolují složení iontů a další chemické složení v prostředí neuronů, zajišťují energetický metabolismus neuronů, formují jizvy, jsou součástí hematoencefalické bariéry)

3. **ependymové buňky** (vystýlají mozkové komory a centrální míšní kanál)

4. **mikroglie** (chrání CNS před viry a mikroorganismy - fungují jako makrofágy- roztroušeny všude v CNS)



# Nervová buňka - neuron



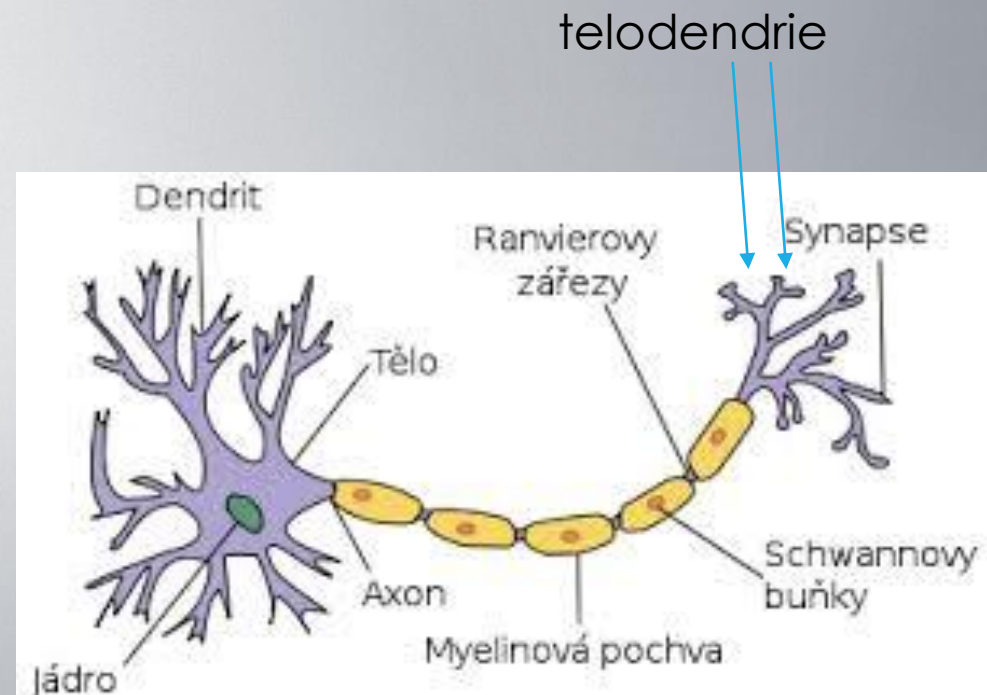
- **Dendrity = recepční část**  
– přijímá informace a převádí je do dalších částí nervové buňky

- **Tělo – nervové buňky**  
(tvorí se v něm například mediátor, důležitý pro přenos informace v synapsi)

- **Axon (neurit) - část**  
převodní, končí v synaptickém zakončení

- obalen *Schwannovou buňkou* a myelinovou pochvou

Základní funkční a stavební jednotka – neuron



# Vznik, vývoj a zánik neuronů

## genetická kontrola

- ▶ **Charakteristika živé hmoty: v čase vzniká, roste, vyvíjí se a zaniká**



- ▶ **Realizace formou morfologických a funkčních změn**

- ▶ **Vše probíhá :**

- v přesném pořadí
- daném rozsahu
- odpovídajícím čase
- na příslušném místě

- ▶ **Genom zygoty se přenáší do somatických buněk nezměněn**

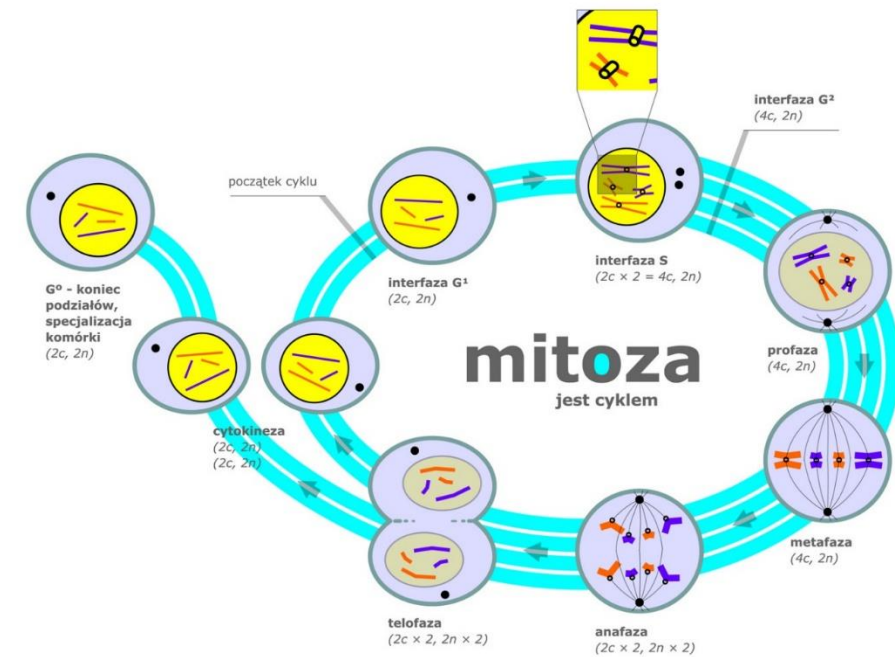
- ▶ **Důležitou úlohu hrají regulační geny: spouští transkripci různých dalších genů pomocí transkripčních faktorů**

Postupná exprese genomu  
zygoty

# Tvorba nervových buněk

neurogeneze

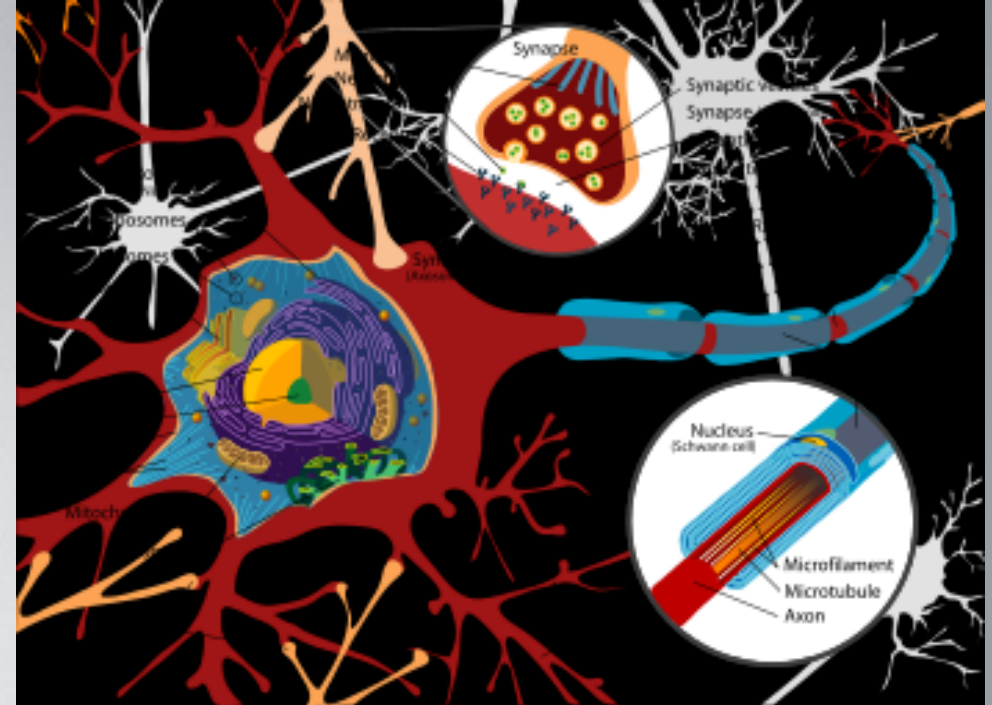
- ▶ Nejintenzivnější – prenatální období
- ▶ Trvá celý život
- ▶ Určité fáze vývoje – strukturální a funkční změny
- ▶ Předchůdce neuronů = **neuroblasty**
- ▶ Zralé neurony = vysoce specializované buňky
- ▶ Ztráta schopnosti množení – **G0 fáze** buněčného cyklu
- ▶ Po vzniku – období diferenciacce a zrání



# Struktura těla neuronu

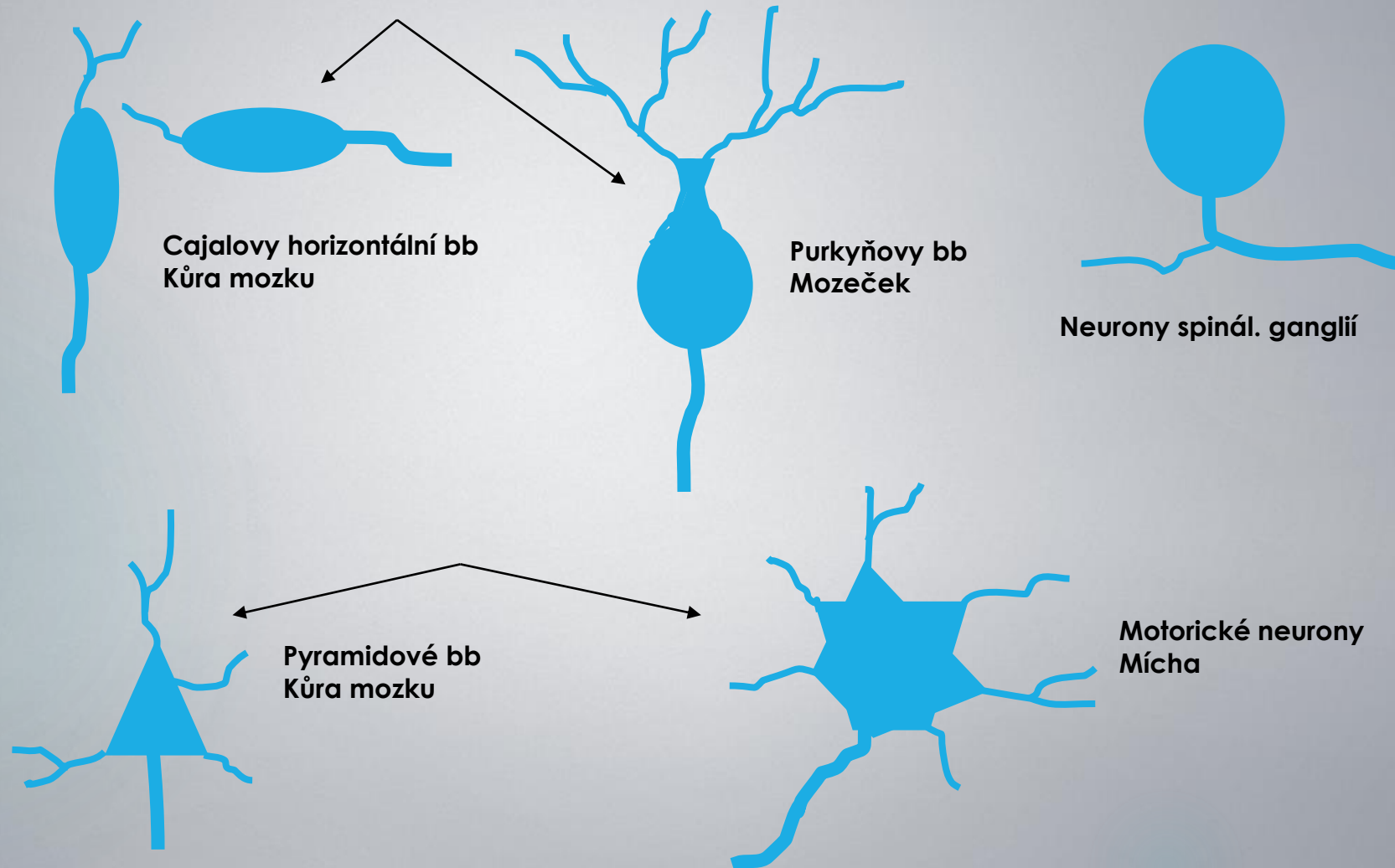
- ▶ Plazmatická membrána
- ▶ Jádro a jadérko
- ▶ Jaderná membrána
- ▶ Neuroplazma
- ▶ Organely ( mitochondrie, endoplazmatické retikulum, ribozomy, Golgiho aparát, lysozomy, peroxizomy- obsahují oxidativní enzymy peroxidázu a katalázu)
- ▶ Neurony jsou bohaté na mitochondrie
- ▶ Specifická existence- **Nisslova substance** (= polyribosomy- produkující neuronové proteiny)

- Vysoce specializované bb., celkový počet v řádu trilionů (  $10^{12}$  )
- Základní funkce : příjem, vedení, přenos a zpracování informací
- Vysoká látková přeměna – metabolismus ( zdroj glukóza, přísun kyslíku)





# Tvar perikaryya



# Základní funkce neuronu

- ▶ **Trofická** – nutná pro funkční schopnost neuronu
- ▶ **Specifická**- schopnost přenášet vzruchy ( funkce membrány)
- ▶ **Sekreční**- uvolňování mediátorů

Kromě mediátorů se tvoří i neuromodulátory ( synapse, změna citlivosti postsynaptického útvaru k vlastnímu mediátoru – endorfiny, enkefaliny, substance P, prostaglandiny)

- ▶ **Neurosubstance** – 3 skupiny ( neurotransmitery, neuromodulátory, neurohormony)

# Axonální transport

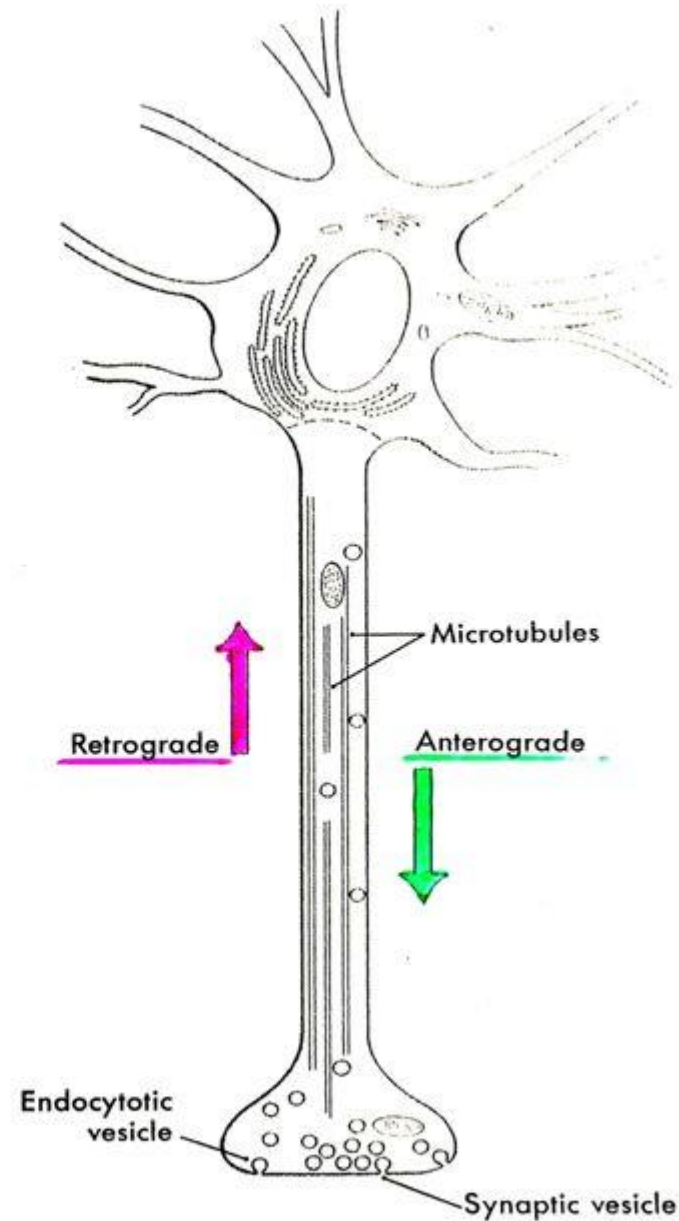
(axoplasmatický, axonový transport)

## Anterográdní

Proteosyntéza v buněčném těle  
(ER, Golgiho komplex)

## Retrográdní

Přenos chemických signálů z  
periferie



# Dělení neuronů z funkčního hlediska

▶ **Aferentní ( dostředivé) neurony**



CNS

Senzitivní a viscerosenzitivní neurony

▶ **Eferentní ( odstředivé) neurony**

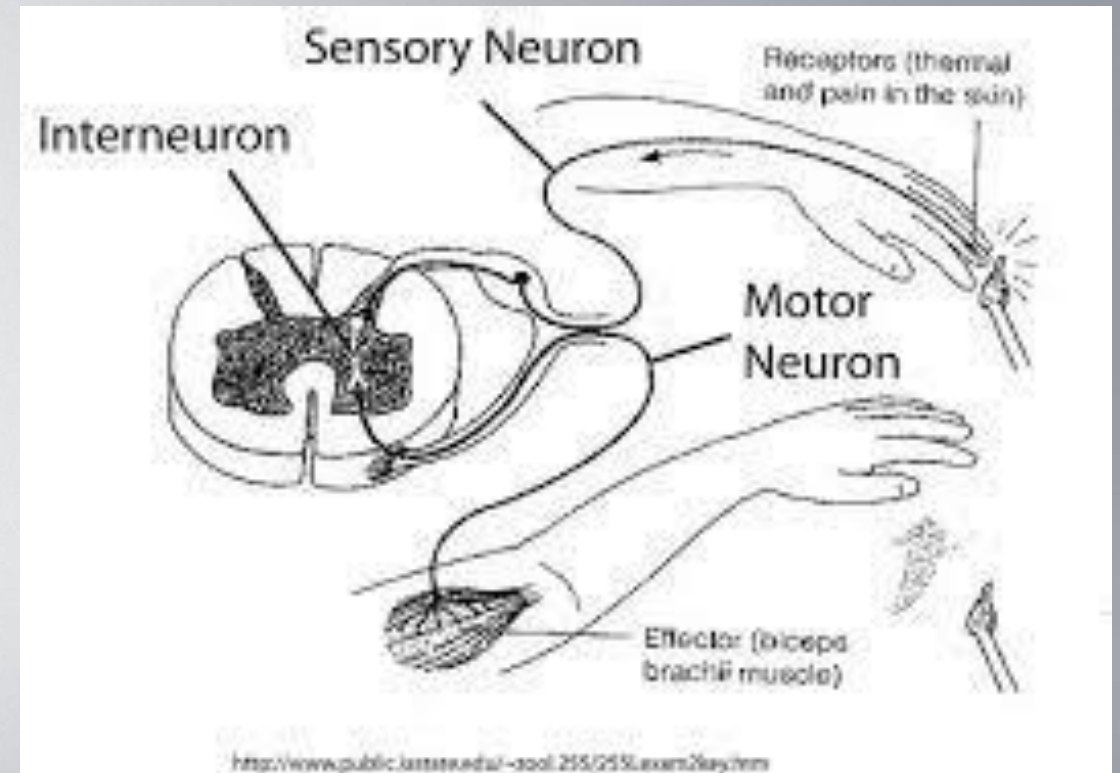
CNS



Motorické a visceromotorické neurony, sekreční neurony

▶ **Interneurony**

**Propojovací**, integrační, asociační a regulační funkce. V mozku, míše nervových uzlinách



# Motorické neurony

- ▶ Zajišťují pohyb ( motoriku – hybnost), informace prostřednictvím motorických drah k příčně pruhovaným svalům
- ▶ Jsou **eferentní**

**Korové motoneurony:** v mozkové kůře čelního laloku, povely k volní činnosti

**Alfa-motoneurony :** přední rohy míšní, prostřednictvím nervosvalových plotének spojeny s extrafuzálními vlákny kosterních svalů, řízení pohybu svalů

**Gamma-motoneurony:** inervace intrafuzálních svalových vřetének, řídí délku a napětí těchto proprioreceptorů, optimalizují činnost svalů

**Motorická jednotka** = motoneuron + všechna příčně pruhovaná svalovina kterou inervuje

**Malá motorická jednotka**

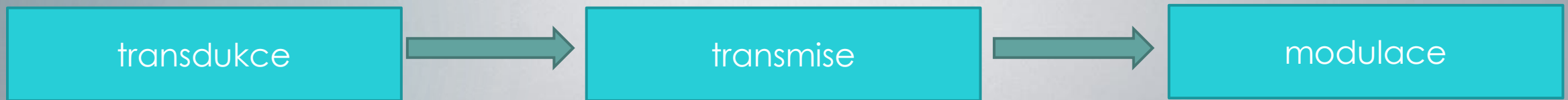
U svalů zajišťujících jemné pohyby ( okohybné svaly, svaly hlasivek)

**velká motorická jednotka**

Svaly vykonávající hrubé pohyby ( svaly zad, stehna)

# Senzitivní neurony

- ▶ Informace z periferie ( receptory v kůži), smyslových orgánů, ...
- ▶ **Aferentní neurony**
- ▶ Informace zrakové, sluchové, čichové a chuťové – **senzorické neurony**
- ▶ Těla neuronů uložena i mimo CNS – v senzitivních nervových uzlinách – **gangliích**
- ▶ Specializované bb ve smyslových orgánech – **receptorové bb** – schopné zachytit různé formy podnětů ( teplo, chlad, světlo, tlak, vibrace ( a převést do elektrické řeči neuronů = **transdukce**, pak tato informace je dále vedena = **transmise** a třetí děj který se děje je **modulace** = soubor dějů, kdy dojde ke změně funkce receptorových buněk ( zvyšuje se nebo snižuje citlivost smyslů)



- ▶ **Nociceptory** = senzitivní neurony schopné rozpoznat reálně nebo potencionálně poškozující podnět ( drážděny mechanicky, chemicky i tepelně), info do CNS = počitek **bolest**. Mozkové analgetické systémy ( celé síť neuronů)- opioidní a neopiodní systémy

# Vegetativní neurony

- ▶ **Vůlí neřídíme**

Mohou být :

- ▶ **eferentní ( odstředivé):**

- 1, **sekreční vegetativní neurony ( řídí produkci žláz – sliny, pankreatické šťávy,..)**
- 2, **visceromotorické vegetativní neurony ( ovládají činnost hladké a srdeční svaloviny)**

- ▶ **aferentní (dostředivé):**

- 1, **viscerosenzitivní neurony**

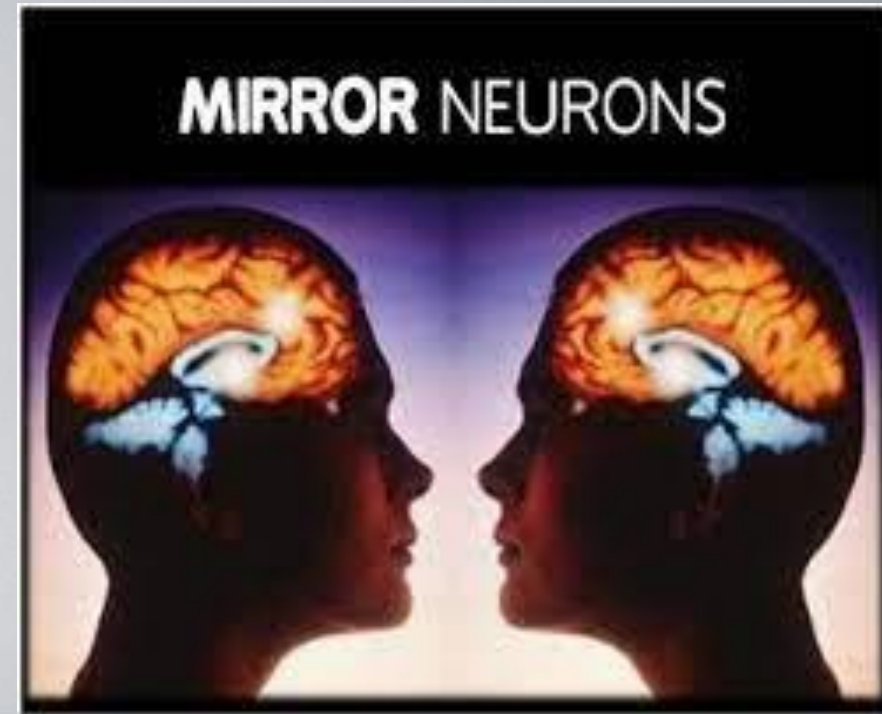
- ▶ **Z morfologického a funkčního hlediska existuje jiné dělení:**

- 1, **neurony sympatiku**
- 2, **neurony parasympatiku**
- 3, **neurony enterického nervového systému**

Mohou být centrální i periferní.  
Centrální v mozku a míše, periferní v autonomních nervových gangliích

# Zrcadlové neurony

- ▶ Teprve nedávno objevený typ neuronů
- ▶ V mozkové kůře
- ▶ Aktivace pozorováním jiného člověka
- ▶ Různé typy – selektivně pouze při přípravě, v průběhu činnosti nebo výhradně na konci, existují ale i ty které se aktivují po celou dobu činnosti
- ▶ Vytváří celé systémy
- ▶ Do činnosti zasahují i paměťové stopy
- ▶ Význam pro učení a trénink ( sport, hudební nástroj)
- ▶ Při pasivním pozorování činnosti jiného je náš mozek mnohem aktivnější než se předpokládalo
- ▶ Činnost probíhá automaticky, bez našeho vědomí



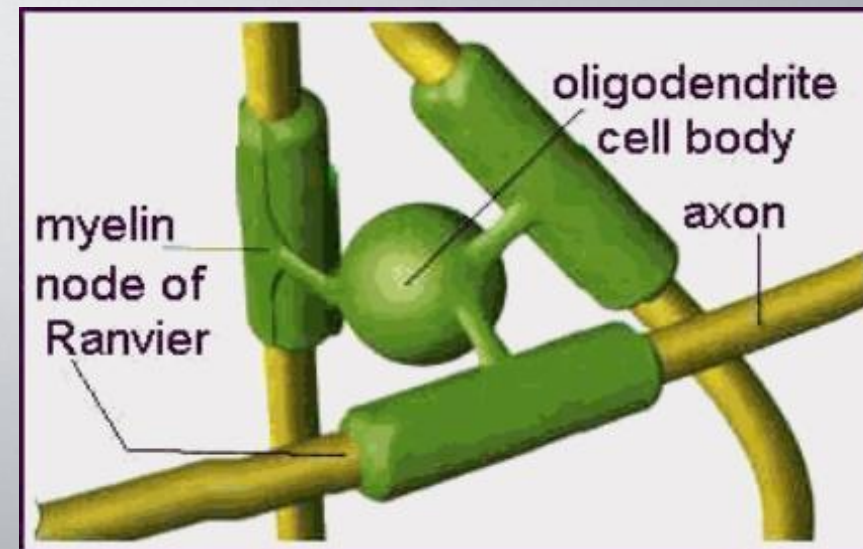
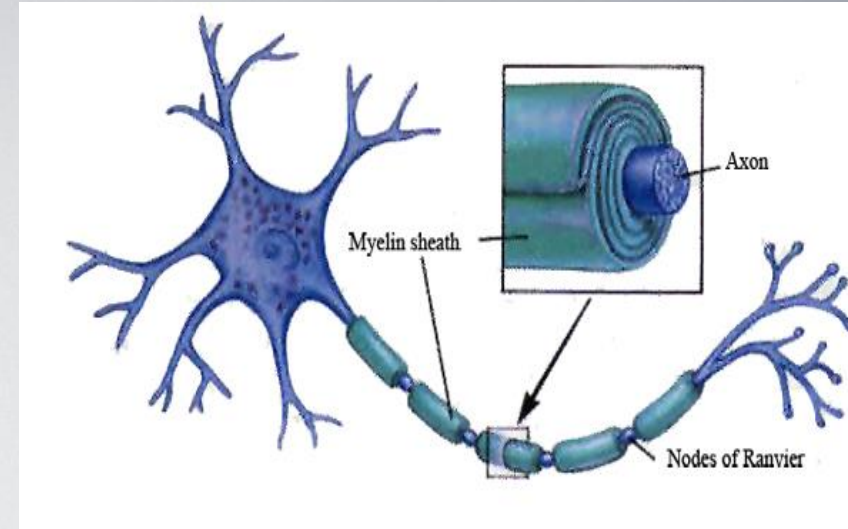


# obaly axonů (neuritů)

Schwannovy b. (v PNS)

Myelin

Oligodendrocyty (v CNS)



# Rychlost vedení nervovými vlákny

## ▶ Vlákna typu A

**myelinizovaná, nejrychlejší**

A $\alpha$  – rychlost vedení 70 – 120 m/s : **hluboké čítí a motorika**

A $\beta$  – rychlost 30 – 70 m/s: informace senzitivní o **dotyku a tlaku**

A $\gamma$  – rychlost 15 – 30 m/s:  **$\gamma$  motoneurony ( svalová vřeténka)**

A $\delta$  – rychlost 12 – 30 m/s: senzitivní informace **o chladu a bolesti**

## ▶ Vlákna typu B

**myelinizovaná**, výběžky **pregangliových autonomních neuronů**, 3 – 15 m/s

## ▶ Vlákna typu C

**nemyelinizovaná**, rychlost nepřesahuje 2m/s, **postgangliová autonomní vlákna a senzitivní vlákna ( bolest a termické čítí)**

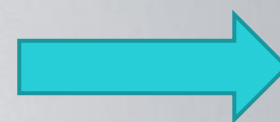
Wallerova degenerace x Wallerova regenerace

Dospělé neurony se nemohou dělit ale existuje určitá možnost jejich regenerace  
(v dospělém mozku objeveny speciální kmenové buňky)

vyvíjející se neurony



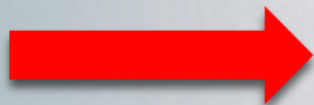
Vysílání výběžků



neuronová síť

- ▶ Některé neurony po vzniku **migrují** ( podíl na tom podpůrné bb – velká neznámá)

neuronová síť



„ hrubá stavba“

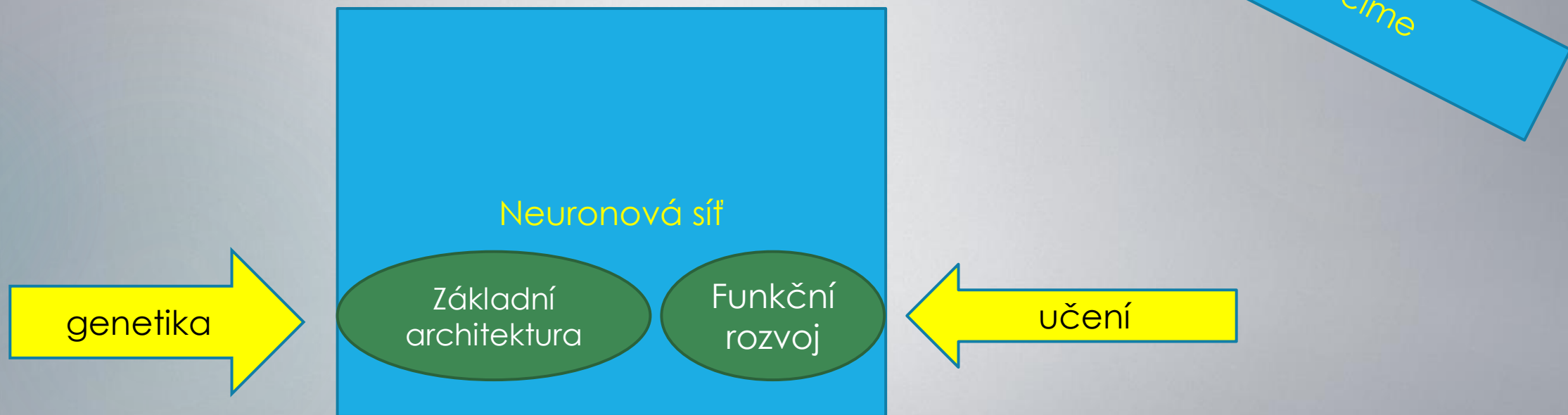
proces učení

„ konečná stavba „

- ▶ Rozvíjející se mozek – nutné stimuly, činnost, podněty - nová synaptická propojení ( funkční)

# Kritická období vývoje

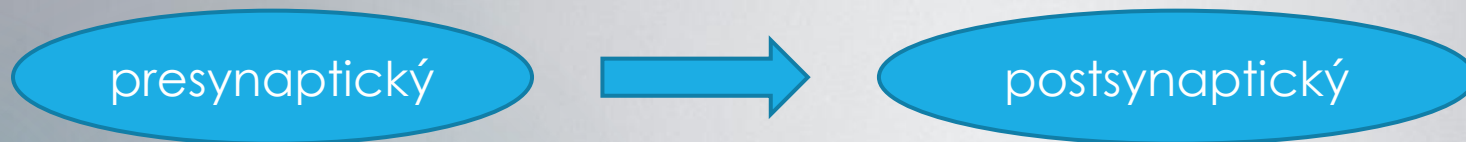
- ▶ Procesy , kterými se NS učí - mnoho



# Dělení synapsí

## ► Interneuronové

- mezi dvěma neurony
- axo- dendritická, axo-somatická, axo-axonální spojení



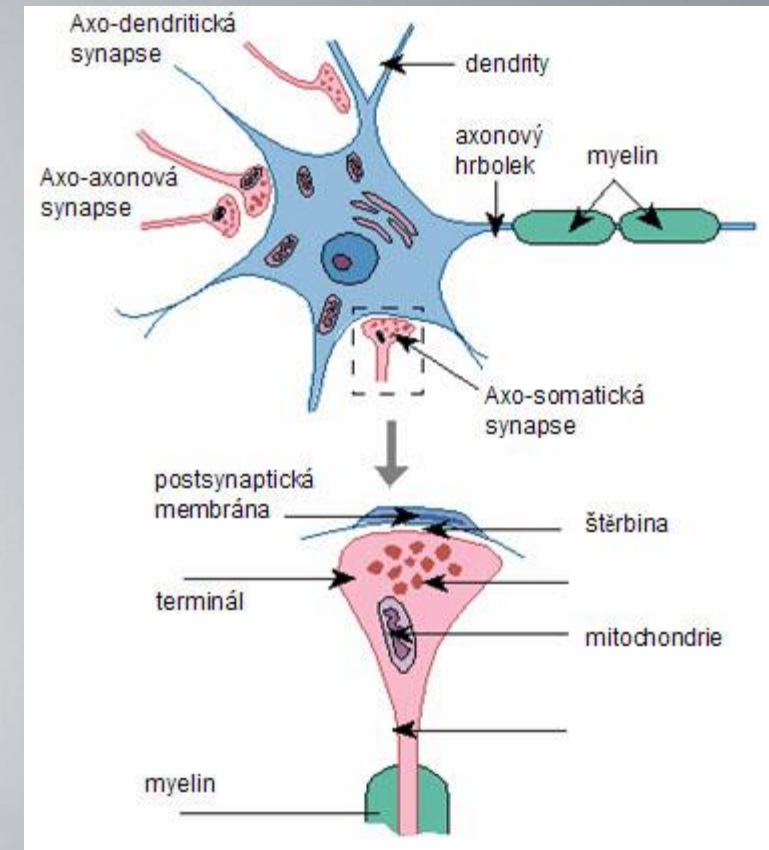
## ► Neuroreceptorové

- Ve smyslových orgánech



## ► neuroefektorové

- Axon a efektorová buňka



# Stavba chemické synapse

## Presynaptická část

- Synaptické vezikuly s přenašečem

## Velké synaptické vezikuly

- Neuropeptidové mediátory
- Syntéza jen v těle neuronu

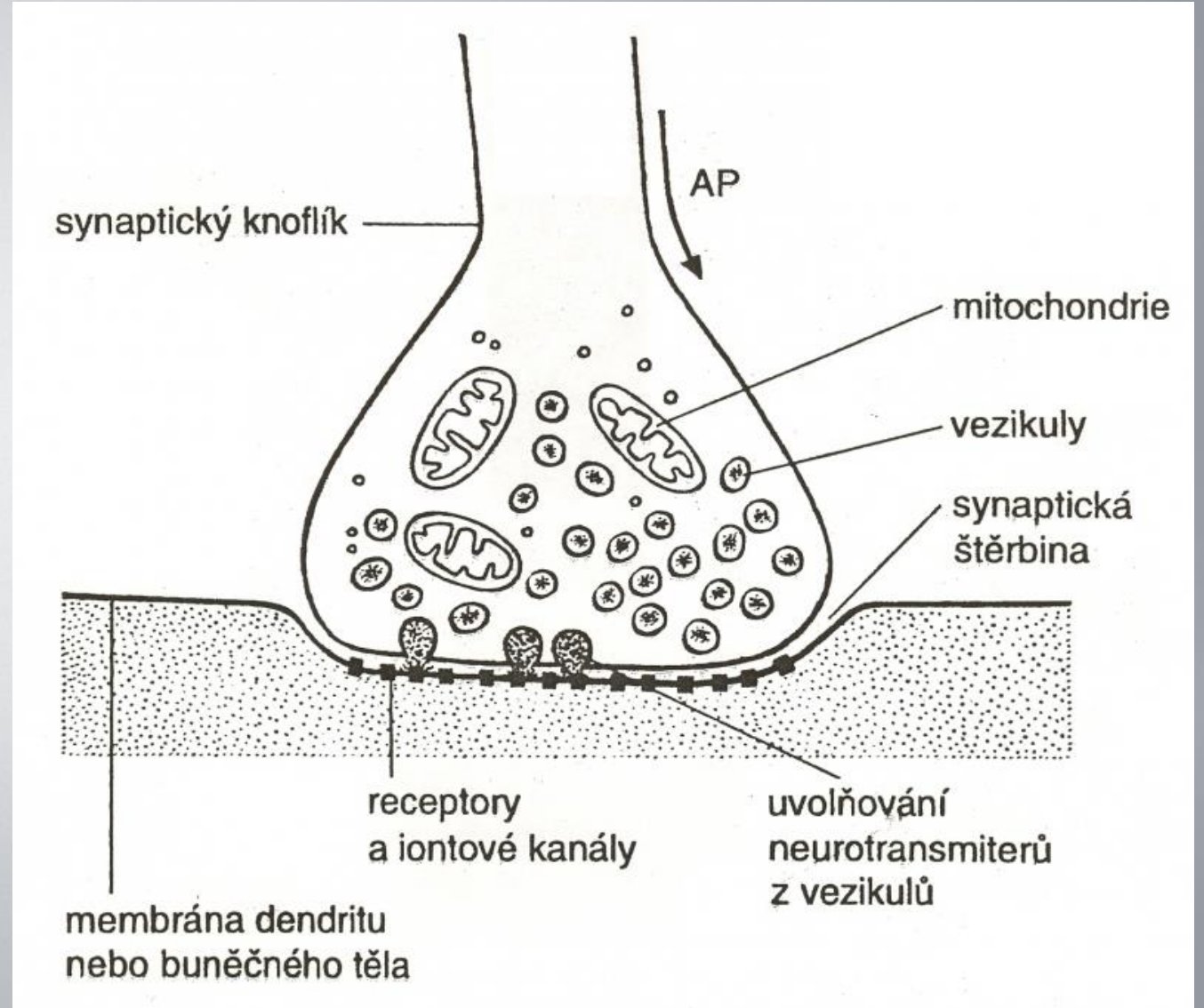
## Malé synaptické vezikuly

- Mediátory nepeptidové povahy (acetylcholin, GABA)
- Vznikají nejen v těle neuronu, ale i v zakončení

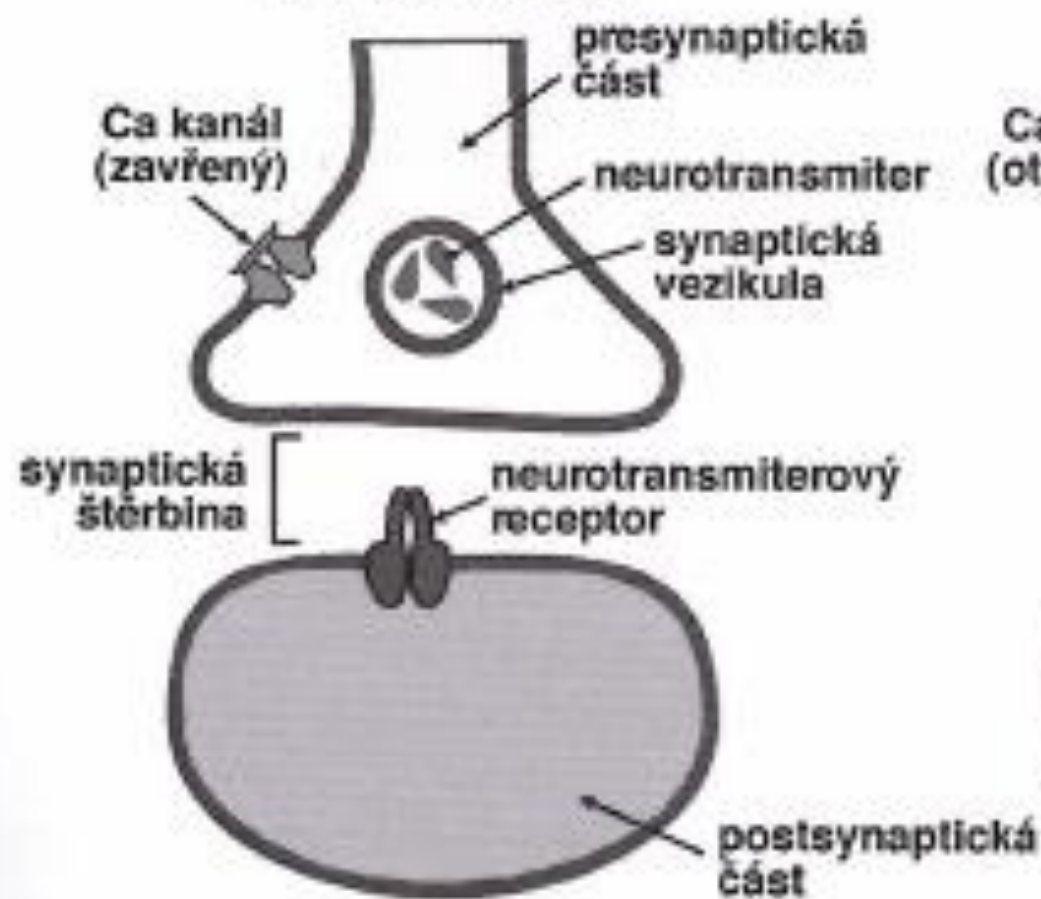
## Synaptická štěrбина (šířka 30 – 40 nm)

## Postsynaptický útvar

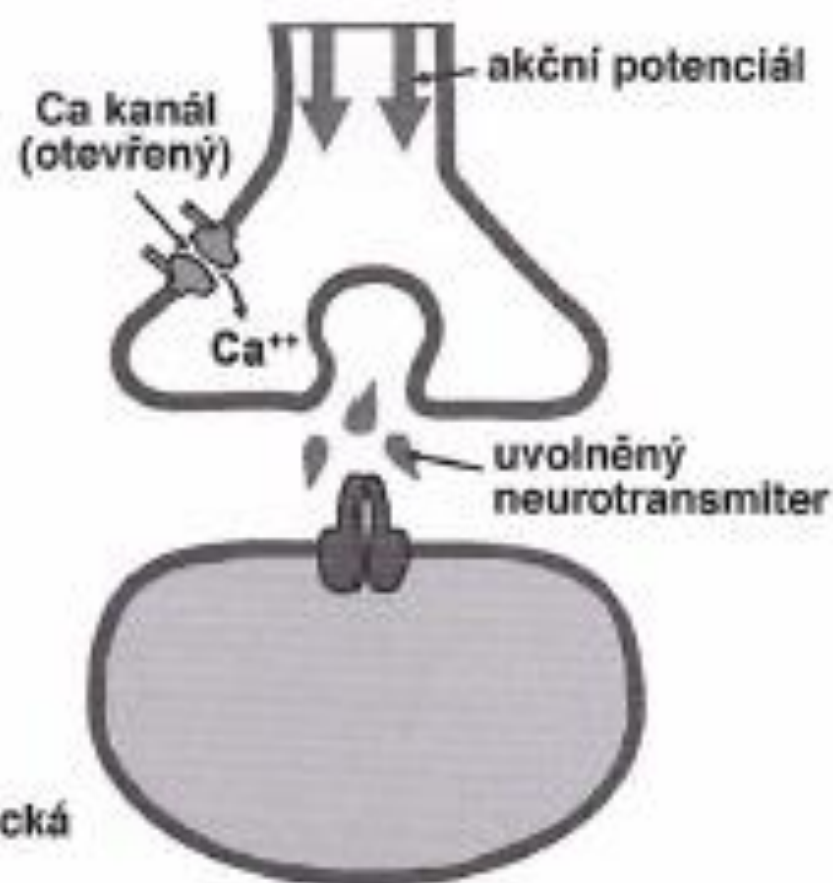
- Obsahuje receptory (struktury bílkovinné povahy)



## KLIDOVÝ STAV



## AKTIVACE



# Neuronální membrána

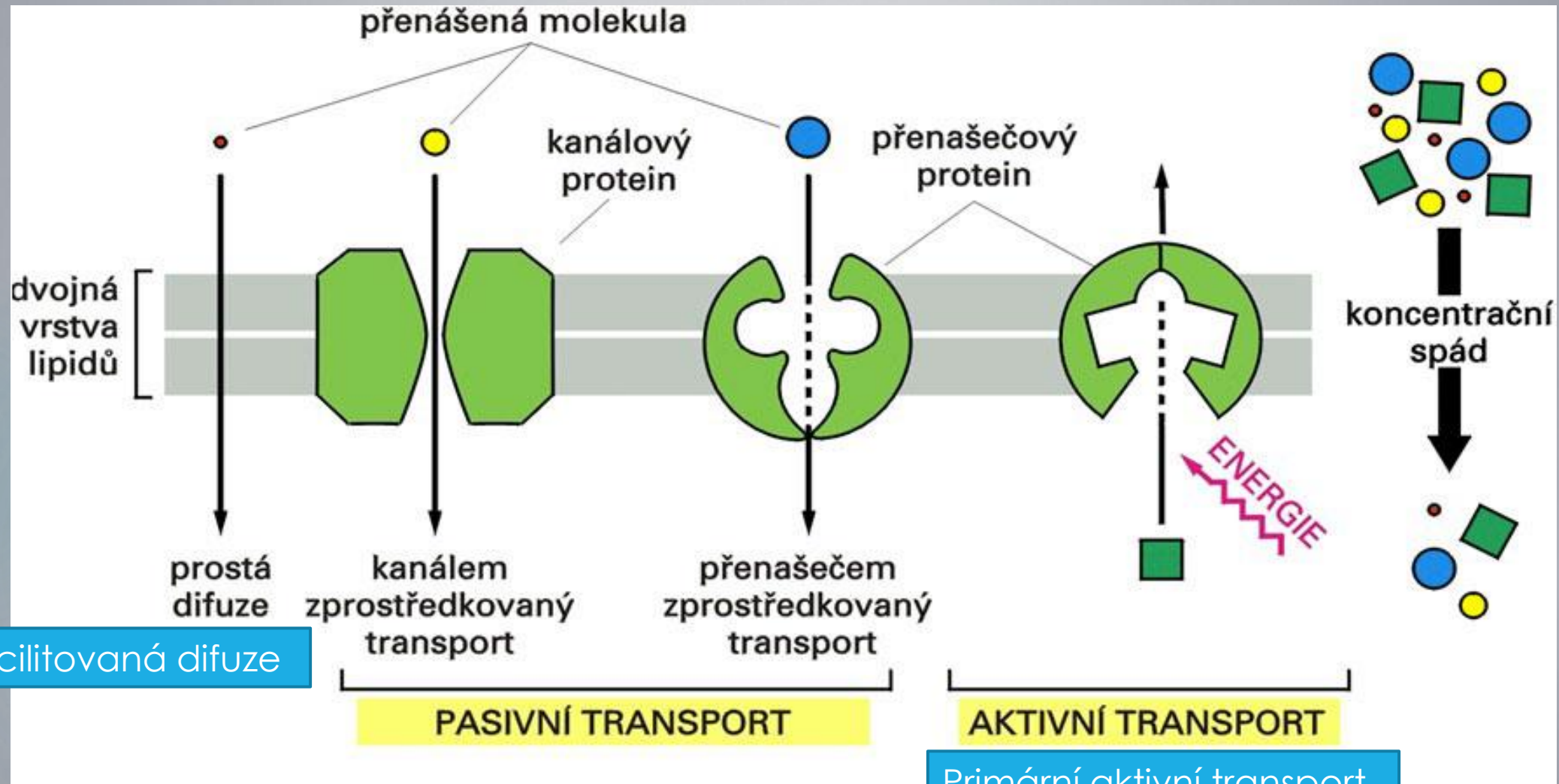
- ▶ Na povrchu neuronů
- ▶ Vymezuje a odděluje nervovou b. od okolí
- ▶ Zajišťuje a ohraničuje integritu buňky
- ▶ Podílí se na příjmu a výdeji látek
- ▶ Má úlohu při vzniku elektrických potenciálů
- ▶ polopropustná
- ▶ Slouží k rozpoznávání informačních molekul ( mediátorů, růstových faktorů, hormonů)

Plazmatická membrána axonu = axolema  
Cytoplazma axonu = axoplazma

- ▶ Stavba : dvojvrstva fosfolipidů se zanořenými bílkovinami ( transportéry látek, iontové kanály, receptory)



# Membránové transportní mechanismy



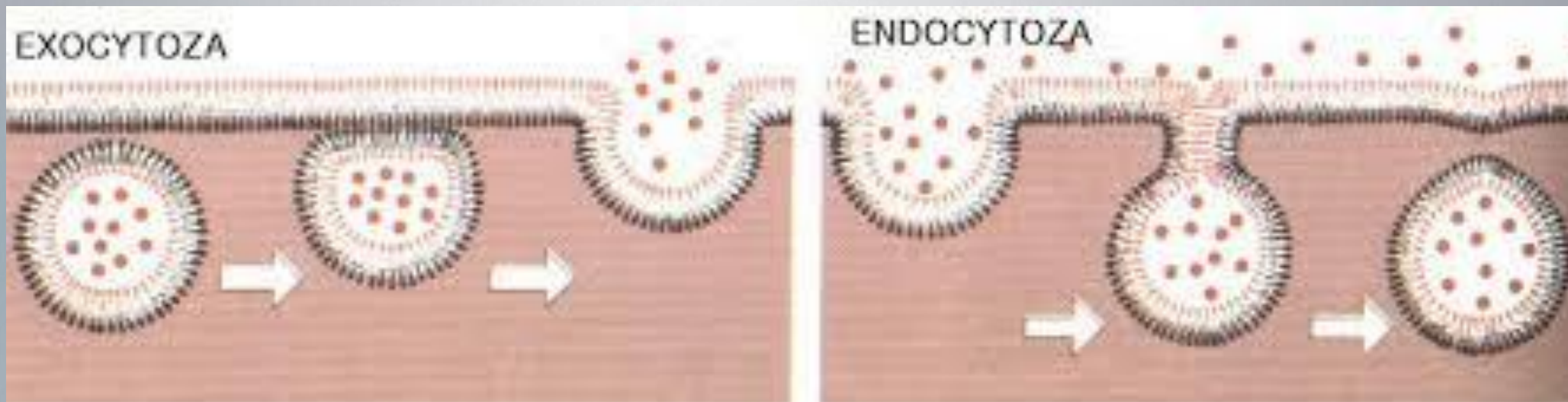
i facilitovaná difuze

Primární aktivní transport

Sekundární aktivní transport

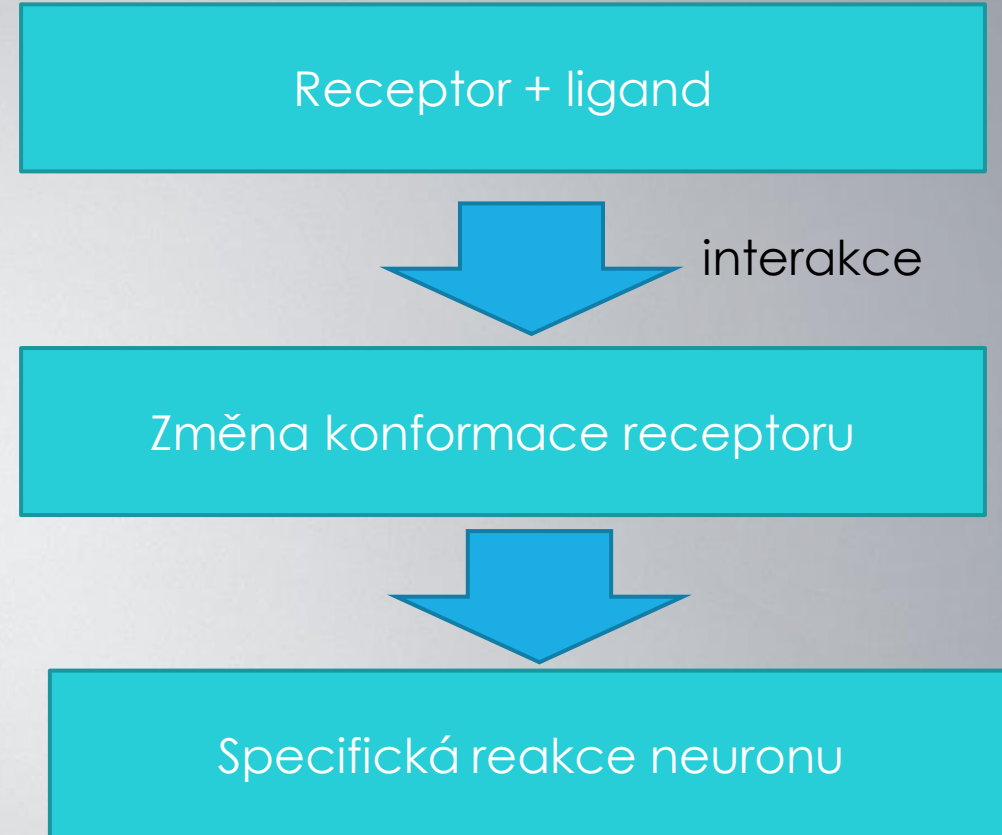
# Endocytóza a exocytóza

- ▶ Pokud nelze využít jiný typ přenosu přes membránu
- ▶ Pokud buňka přijímá části bakterií a buněk nebo celé bakterie – **fagocytóza**
- ▶ Příjem tekutých kapének = **pinocytóza**



# Membránové receptory

- ▶ Schopnost se integrovat s různými chemickými látkami ( **ligandy** )
- ▶ Při spojení dojde ke změně prostorového uspořádání ( **konformace** ) receptoru
- ▶ Spustí se další děje ( probíhá v řádu milisekund )



Existují i cytoplazmatické receptory – dělí se podle chemického složení

# Receptorové skupiny

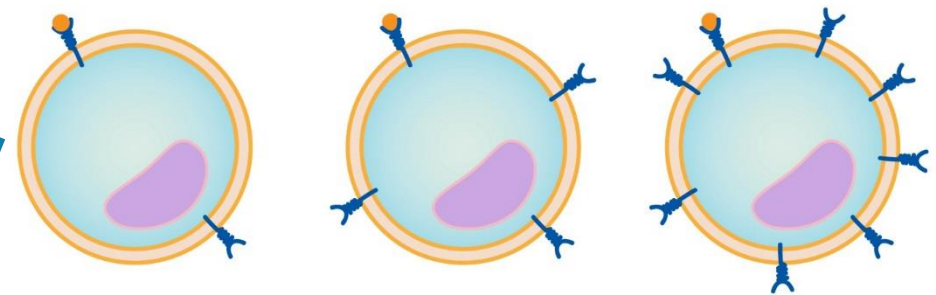
- ▶ Skupina receptorů spojená s iontovými kanály
- ▶ Skupina receptorů spřažená s G-proteinem
- ▶ Skupina receptorů s vlastní enzymatickou aktivitou

Regulace membránových receptorů

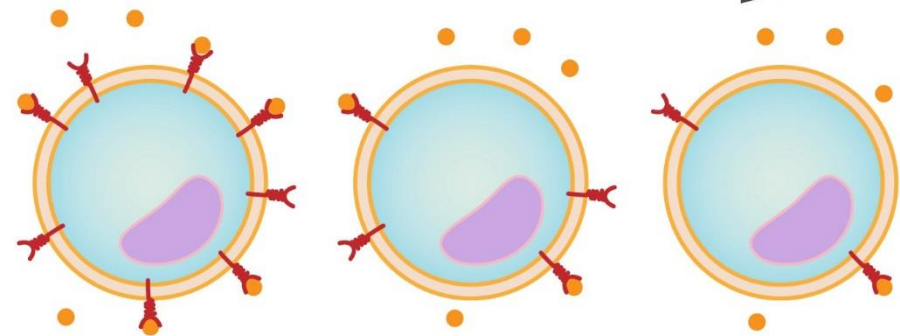
málo ligandu

přebytek ligandu

**upregulace**



**čas**



**downregulace**



# Membránové potenciály

- ▶ V každém okamžiku neurony zpracovávají množství informací – pomocí **elektrických impulsů**
- ▶ Existují 3 typy elektrických potenciálů

Hybnou silou je **nerovnoměrné rozložení nabitých částic** uvnitř a vně neuronu = koncentrační gradient mezi vnitřkem a vnějším nervové buňky

EEG  
záznam  
(měření elektrické  
aktivity)

- ▶ V klidovém stavu je plazmatická membrána neuronů **polarizovaná = klidový membránový potenciál** (převažuje zevně, kladný náboj, uvnitř záporný), hodnota : -60 až -90 mV – má 3 zdroje (K ionty jdoucí z buňky a přináší kladný náboj, proteiny v cytoplazmě, které nemohou unikat a nesou záporný náboj + CL záporné ionty, NA/K ATPáza, která vyměňuje sodné a draselné ionty)
- ▶ Působení elektrického, mechanického nebo chemického podnětu lze vyvolat změnu klidového napětí, změna ale je lokální a nešíří se po membráně = **spojitá stupňovitá odpověď**
- ▶ **Akční potenciál** – představuje jednu jednotku informace, z místa vzniku se šíří po membráně, dochází ke změně propustnosti membrány pro různé ionty až dojde ke zvratu polarizace membrány

# Neurokrinie

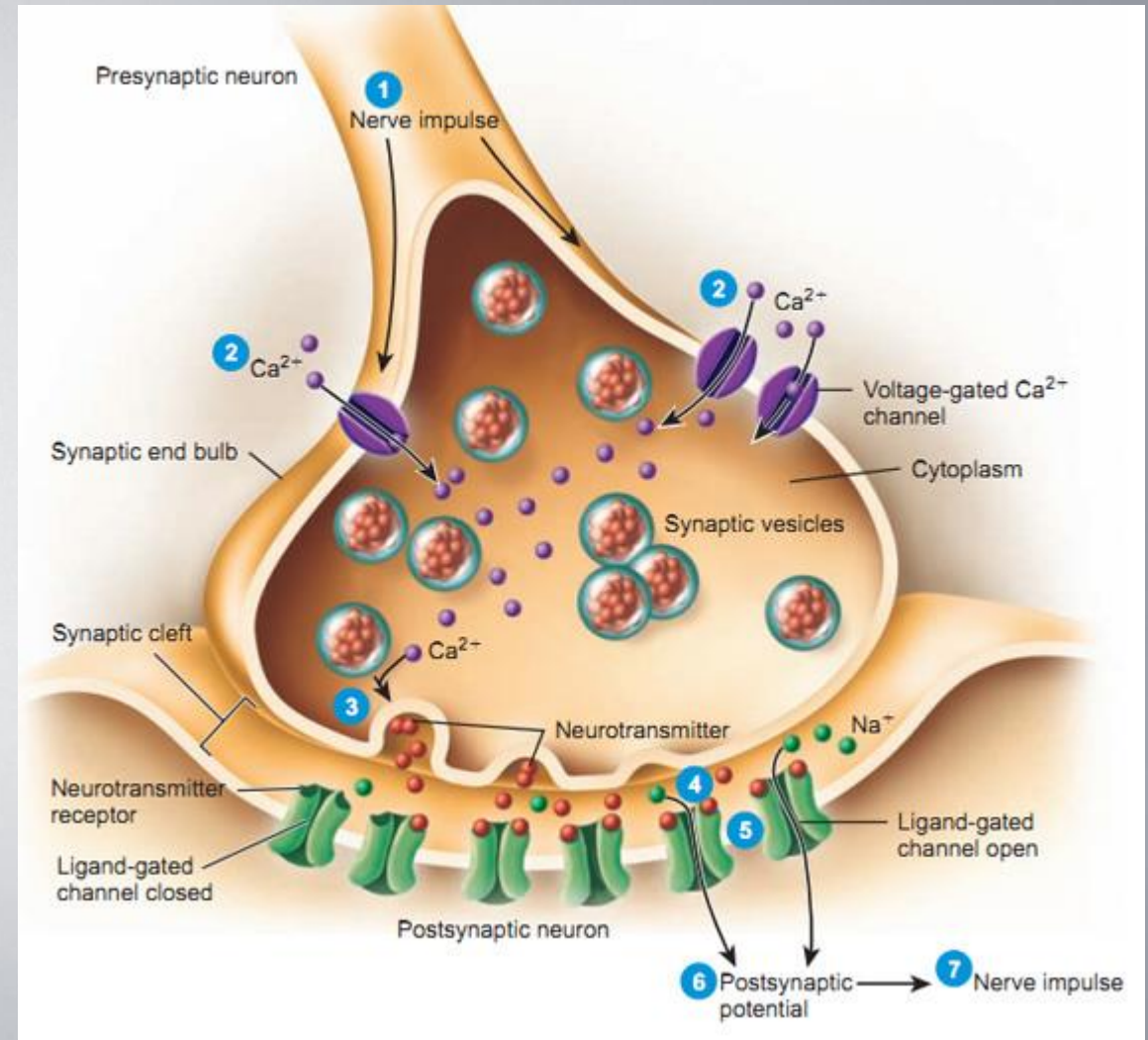
Neurony produkují řadu chemických látek

- mediátory uvolňované do synaptických štěrbin
- látky, které jdou přímo do krve- hormonální povahy = NEUROKRINIE

ADH  
Oxytoxin  
Regulační hormony hypotalamu : liberiny a statiny

# Neuromediátory

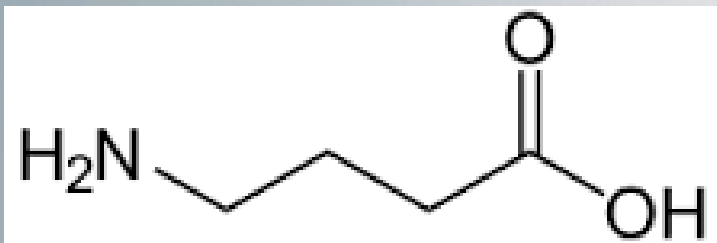
- ▶ Akční potenciál
- ▶ Vezikuly s mediátorem do synaptické štěrbin
- ▶ Reakce s membránovými receptory na postsynaptické membráně
- ▶ Popsáno několik desítek mediátorů
- ▶ **Účinek: inhibiční nebo excitační**
- ▶ Existují transmitery, které mohou reagovat s více receptory - vyvolají různé účinky
- ▶ Nervová buňka tvoří obvykle jen jeden mediátor
- ▶ **Chemické složení : organická i anorganická látka ( NO)**



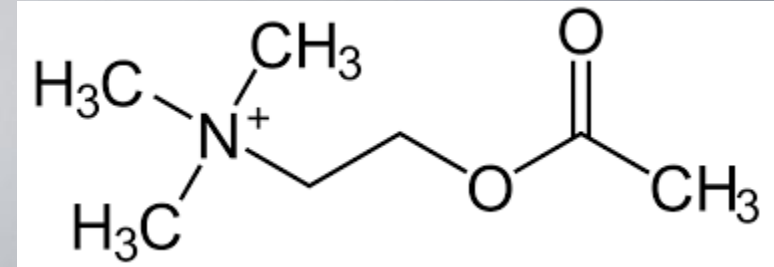
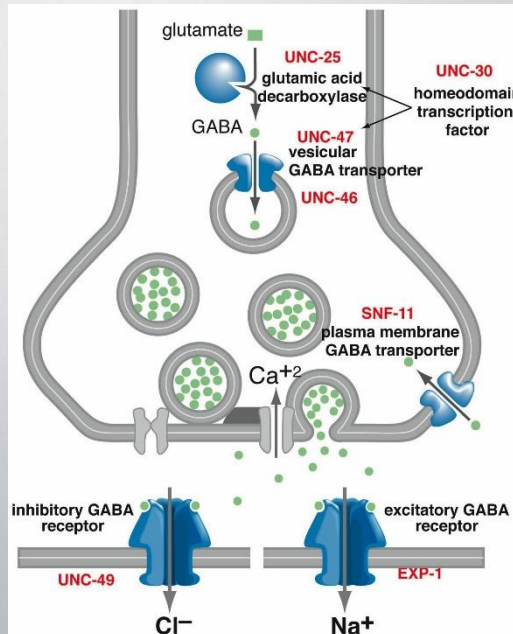


# Dělení podle chemického složení

- ▶ **Biogenní aminy:** dopamin, NA, A, histamin, serotonin, tryptamin, taurin
- ▶ **Aminokyseliny:** GABA, kyselina asparágová, kyselina glutamová, glycin
- ▶ **Neuropeptidy:** některé zastávají i roli hormonů ( v krvi jako hormony, na synapsích jako mediátory), endorfiny, enkefaliny, dynorfiny, statiny, liberiny, oxytocin, vasopresin ( ADH), neurotemzin, sekretin, motilin
- ▶ **Mediátory s jinou chemickou strukturou:** acetylcholin, adenosin, oxid dusnatý, prostaglandiny



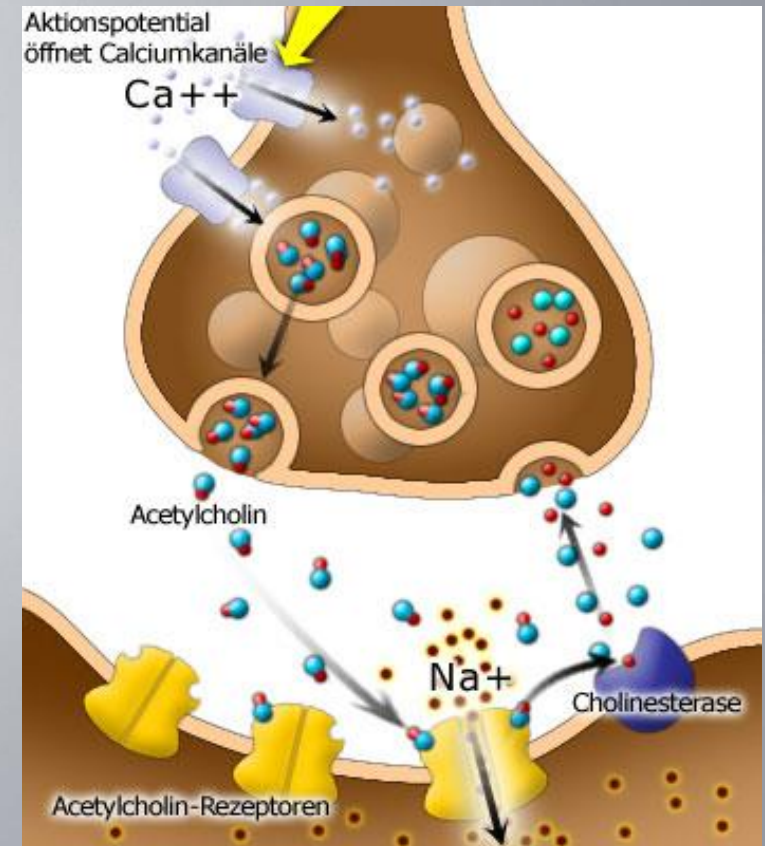
GABA



acetylcholin

# Acetylcholin

- ▶ Produkován cholinergními neurony ( asi 1/10 všech neuronů)
- ▶ Působí na 2 typy receptorů:
  - **nikotinové**: vegetativní ganglia, postsynaptická nervosvalová ploténka)
  - **muskarinové** : patří mezi receptory spřažené s G-proteinem ( bb. Hladké a srdeční svaloviny)
- ▶ Úloha mnohostranná ( podílí se i na paměťových stopách , vnímání bolesti, vliv na regulaci agresivního chování)

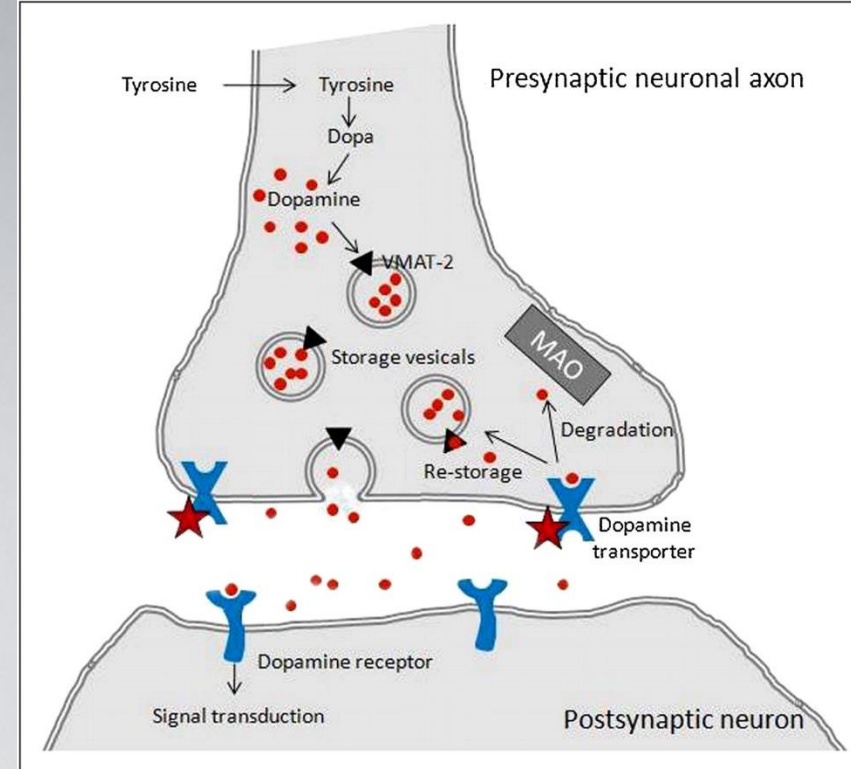


# Adrenalin

- ▶ V mozkovém kmeni
- ▶ Produkován i dřením nadledvin
- ▶ Vzácnější než noradrenalin či dopamin
- ▶ Interaguje s:
  - adrenoreceptory  $\alpha$
  - adrenoreceptory  $\beta$  – obsazuje přednostněji
- ▶ Funguje jako stimulační mediátor
- ▶ Ovlivňuje bdělost, emocionalitu
- ▶ Látky, které zvyšují vyplavování adrenalinu z váčků = psychostimulancia ( amfetamin)

# Dopamin

- ▶ Z dopaminergních neuronů
- ▶ Vliv na psychické funkce, řízení motoriky, pozornost, myšlení, emotivitu

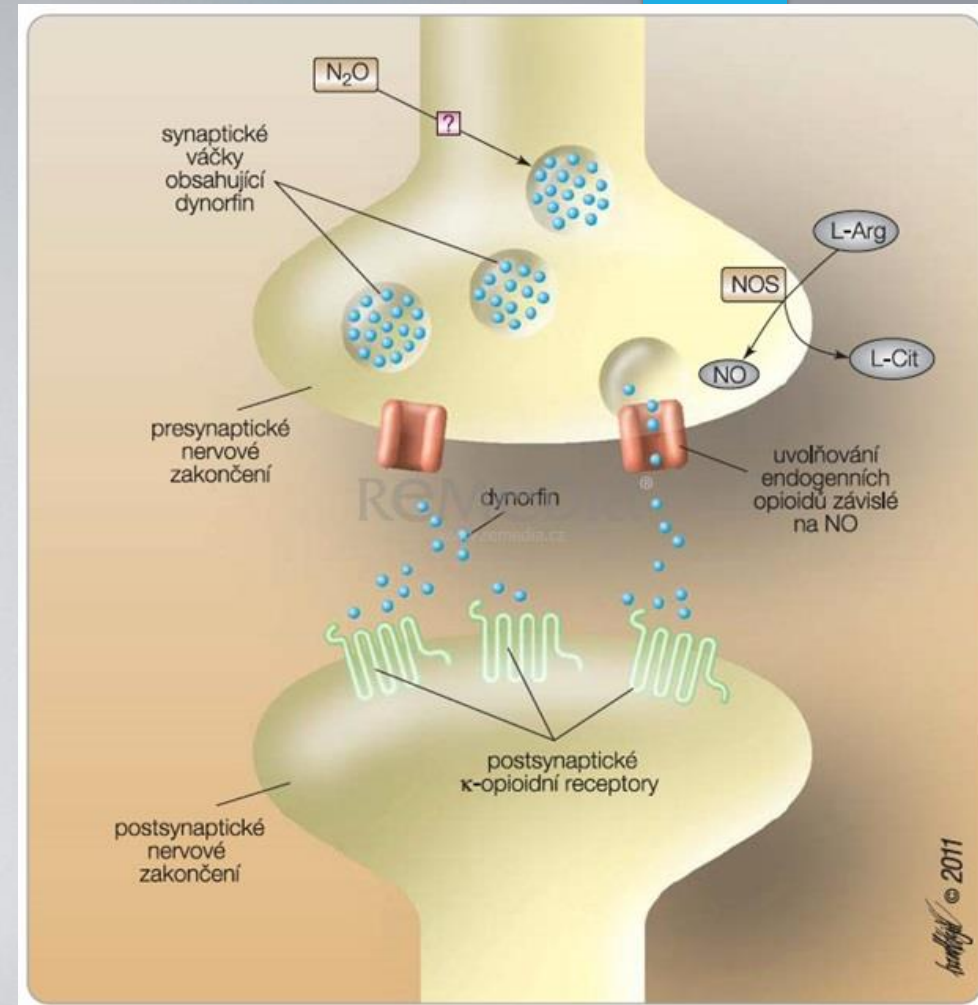


- ❖ Poruchy koncentrace a neklidu – u ADHD
- ❖ Poruchy myšlení a emotivního prožívání – u schizofrenie
- ❖ Poruchy hybnosti, svalového napětí, popřípadě třes – u Parkinsonovy choroby

- ▶ Mozkový kmen, limbický systém, mozková kůra (prefrontální čelní laloky) = mozkový dopaminový systém odměny (aktivace spojena s příjemnými pocity), podílí se i na rozvoji závislostí
- ▶ Přírodním **stimulátorem** dopaminového systému je **fyzická aktivita**

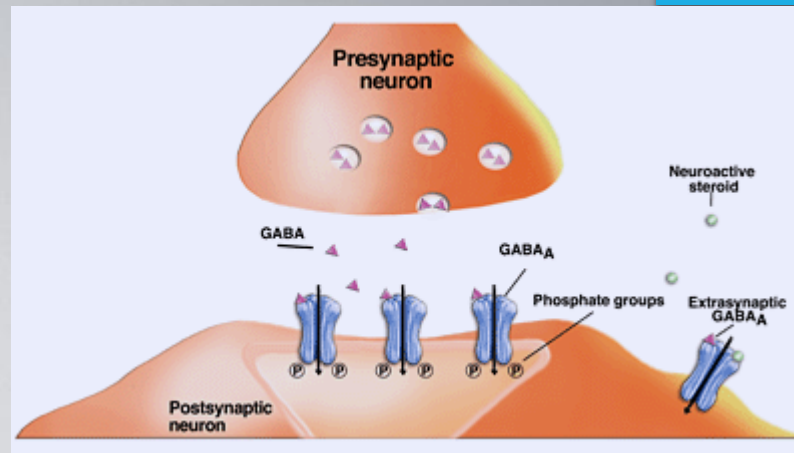
# Endogenní opiáty

- ▶ Pestrá a početná skupina mediátorů
- ▶ Struktura podobná morfinu
- ▶ Mnohostranné působení :
  - analgetické
  - tlumí aktivitu trávicího ústrojí ( vegetativní)
  - hormonální ) stimuluje uvolňování prolaktinu)
  - afektivní ( navozují euforii)
  - stimuluji chuť k jídlu, pocit žízně
  - ovlivňují chování
- ▶ Součást neuronové sítě : opioidní analgetický systém mozku



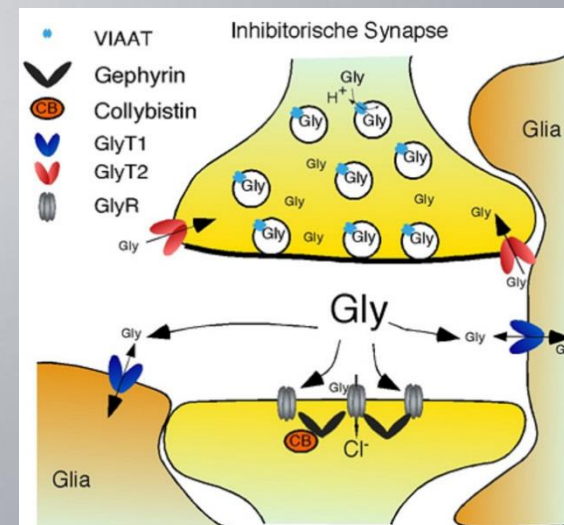
# GABA ( gama aminomáselná kyselina)

- ▶ Jeden z nejčastějších mediátorů
- ▶ S glycinem nejdůležitější inhibiční neurotransmitter
- ▶ 3 základní typy receptorů
- ▶ Blokáda GABA receptorů vede k nabuzení – poruchy spánku, neklid, nesoustředěnost, hyperaktivita
- ▶ Všechny látky, které na receptory působí agonisticky vedou ke zklidnění, útlumu, spánku



## Glycin

- ▶ Druhý nejvýznamější inhibiční mediátor
- ▶ Interaguje se specifickým glycinovým receptorem
- ▶ Funkce podobné GABA



# Neuropeptidy

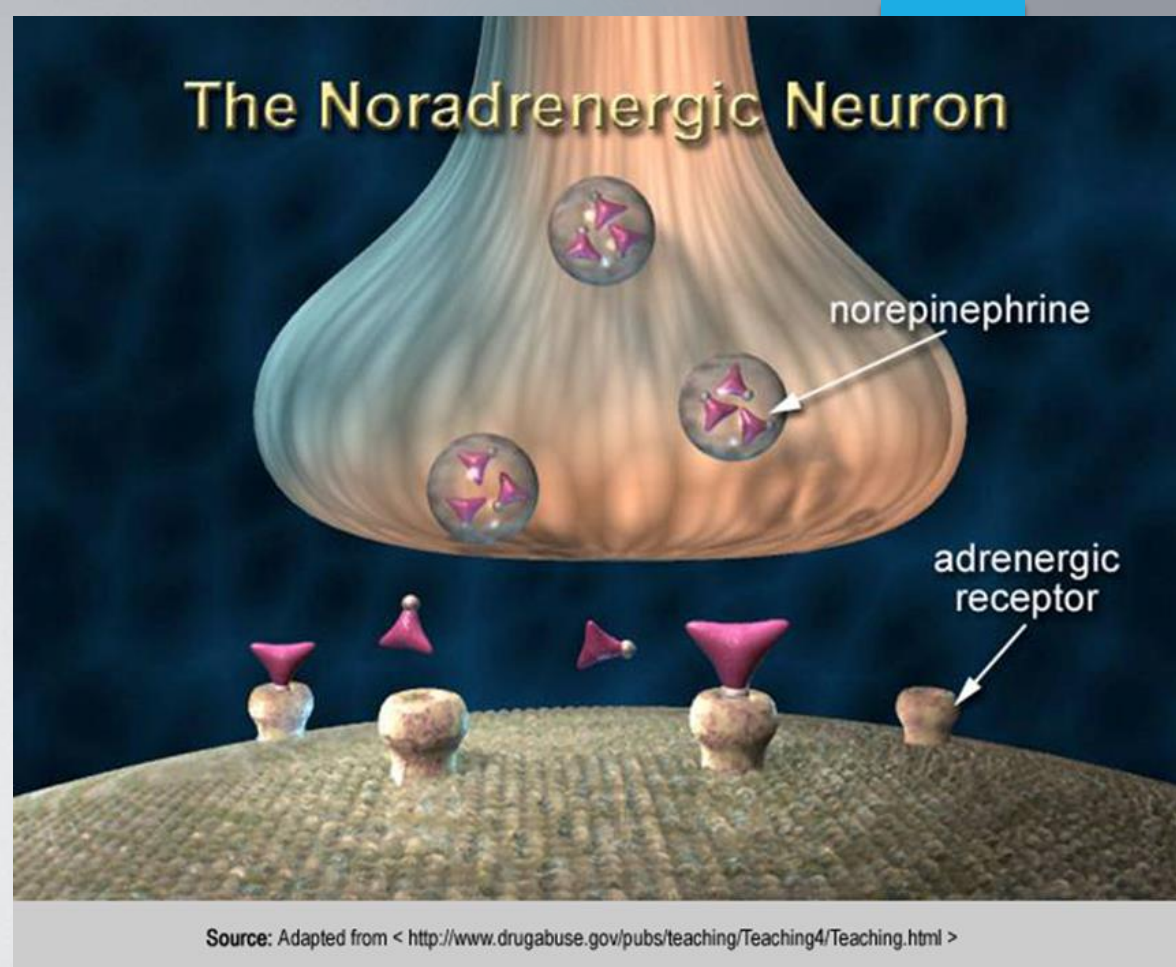
- ▶ Tvořeny v gliových buňkách i neuronech
- ▶ Zjištěno několik set druhů
- ▶ Tvořeny řetězci aminokyselin ( 2 – 90)
- ▶ Působí jako neurotransmitery, neuromodulátory nebo hormony
- ▶ Mediátory : termoregulace, řízení spánku, sexuální aktivity, hybnost, příjem potravy a tekutin, vnímání bolesti, stresová reakce
- ▶ Neuromodulátory: trofický účinek na mozkovou tkáň
- ▶ Hormony: tachykininy, hypotalamické hormony, adenohypofyzární hormony, gastrin, motilin
- ▶ V neuronech produkovány spolu s klasickými mediátory

# Noradrenalin

- ▶ Excitační mediátor
- ▶ Zasahuje do cyklu bdění-spánek, ovlivňuje pozornost, aktivitu a náladu
- ▶ Může se podílet i na deperesivním syndromu
- ▶ Váže se na stejné receptory jako adrenalin

# Serotonin

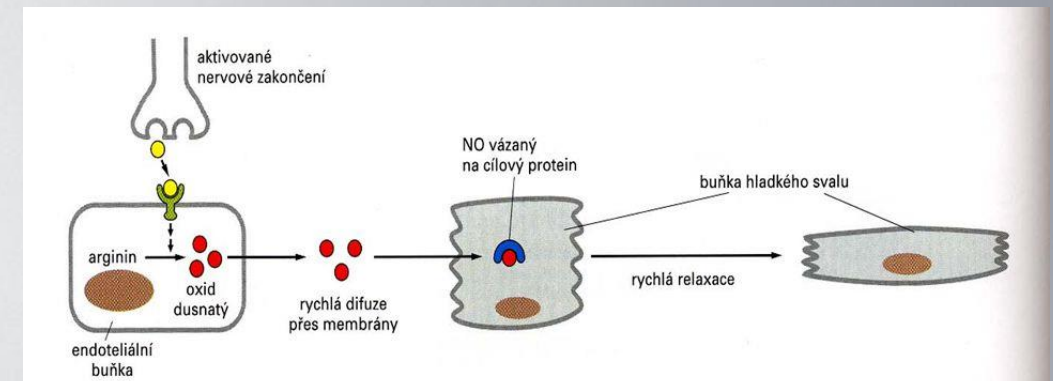
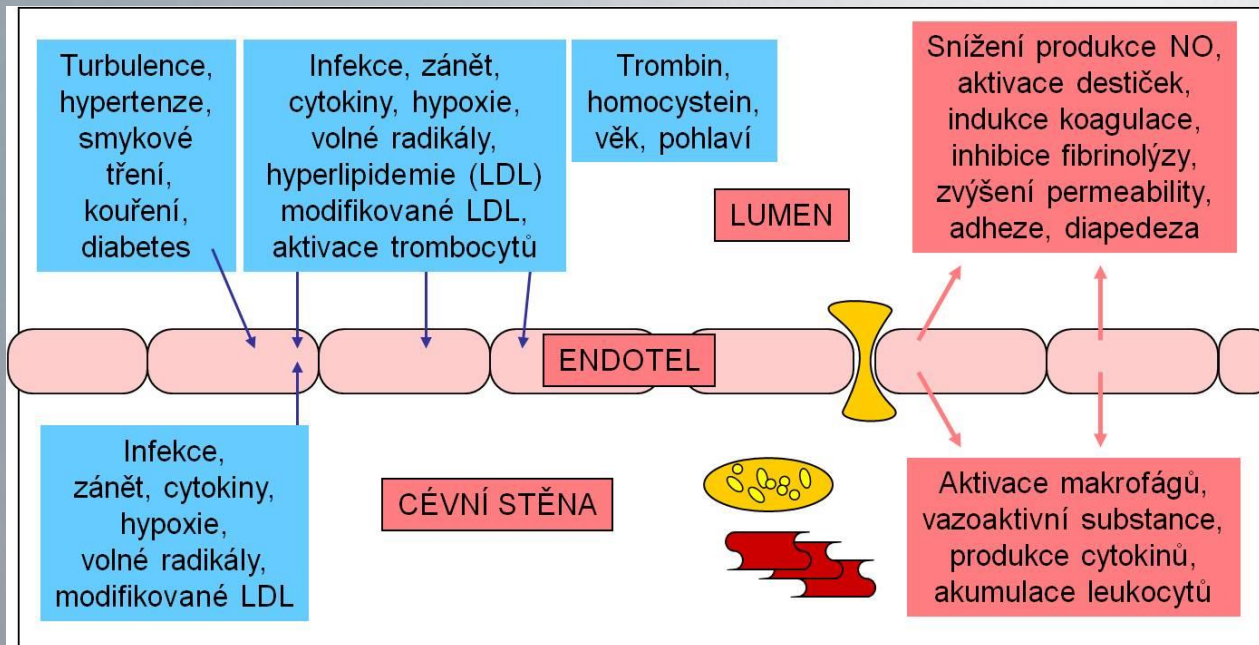
- ▶ Vztah k psychickým funkcím
- ▶ Spolupodílí se na regulaci nálady, agresivity, spánku, příjmu potravy, vnímání bolesti, sexuálním chování
- ▶ Sympatický mediátor
- ▶ Působí jako růstový neurotrofní faktor
- ▶ Spojován s depresí





# Oxid dusnatý (NO)

- ▶ Pestré funkce : regulace průsvitu cév, řídí apoptózu
- ▶ Neuromediátor
- ▶ Přečází volně přes membránu
- ▶ Ovlivňuje přenos senzitivních a motorických informací, úloha v procesech učení, prožívání a chování



Vnitrobuněčné receptory:

- steroidní hormony
- oxid dusnatý : reaguje přímo s enzymy

(Vznik NO v endotelové buňce → relaxace svalových buněk v cévě)

# Glie

## CNS:

- ▶ **Ependymové buňky** – výstelka dutin CNS (cylindrický epitel, pohyb řasinek= jeden z mechanismů pohybu likvoru)
- ▶ **Astrocyty** – podpůrná funkce, vyživovací (hematoencefalická bariéra)
- ▶ **Oligodendroglie** – myelinové pochvy axonů
- ▶ **Mikroglie**- obranné a úklidové reakce

## PNS:

- ▶ **Schwannovy buňky**- rotace bb. okolo axonu
- ▶ **Satelitní buňky** – modifikace Schwannových bb. (podílejí se na metabolických procesech)