

M U N I

M E D

**Úvod do neurofyzologie**  
**Buněčný podklad nervového systému**  
**Synapse**  
**Somatosenzitivita, bolest**

# Kontakt

Kamil Ďuriš

Ústav patologické fyziologie (A18)

[kduris@med.muni.cz](mailto:kduris@med.muni.cz)

# Proč a jak **STUDOVAT** neurovědy

Philosophy : Mind behind Mind



Neuroscience: Brain

Psychology : Mind



**PS Deb**

<http://www.slideshare.net/drpsdeb/presentations>



# K čemu je dobrý nervový systém?

# Význam nervového systému

## Jednobuněčný organismus

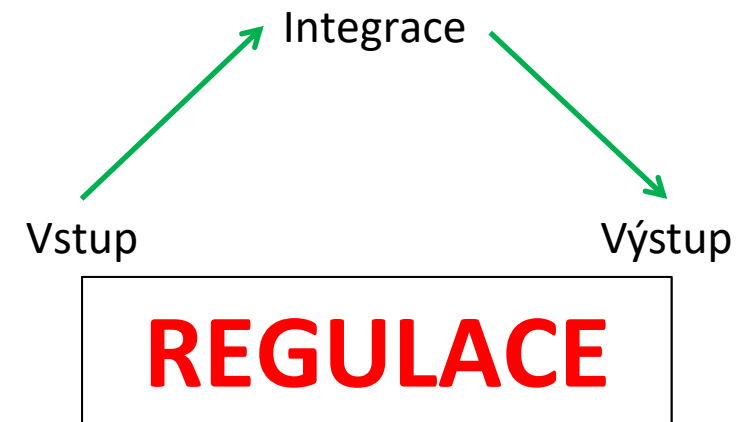
- Jedna buňka musí vykonávat vše - nižší efektivita
- Závislost na vlastnostech vnějšího prostředí
- Vysoká míra stresu
- Krátká doba přežití

## Mnohobuněčný organismus

- Buněčná specializace – vyšší efektivita
- Vnitřní prostředí – homeostáza
- Nižší míra stresu
- Delší doba přežití

# Význam a regulační povaha nervového systému

- K přežití mnohobuněčných organismů je nutné
  - Udržování homeostázy
    - Složení vnitřního prostředí
    - Integritu tkáňových/orgánových/tělesných bariér
  - Koordinace tělesných funkcí
    - Přijímat signály z vnějšího a vnitřního prostředí
    - Zpracovávat informace z těchto signálů
    - Koordinovaně odpovídat na tyto podmínky

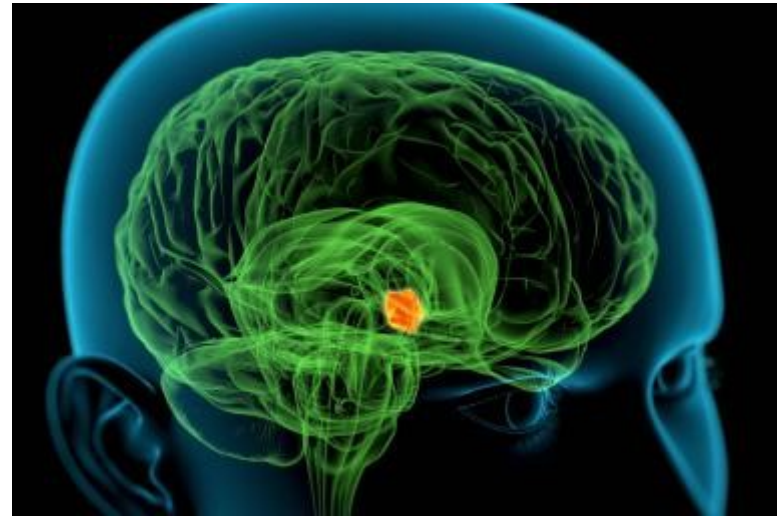


# Význam a regulační povaha nervového systému

- Regulace
  - Nervová
  - Humorální

# Význam a regulační povaha nervového systému

- Regulace
  - Nervová
  - Humorální



<http://biology.about.com/od/anatomy/p/Hypothalamus.htm>

**Centrální nervový systém řídí oba typy regulací**

# Význam a regulační povaha nervového systému

## Regulace humorální

- Hormon
- Nespecifický kanál vedení „využití stávající infrastruktury“
- Specificita dána přítomností receptoru na cílové buňce

## Regulace nervová

- Neurotransmitter
- Specifický kanál vedení
- Specificita dána infrastrukturou

# Význam a regulační povaha nervového systému

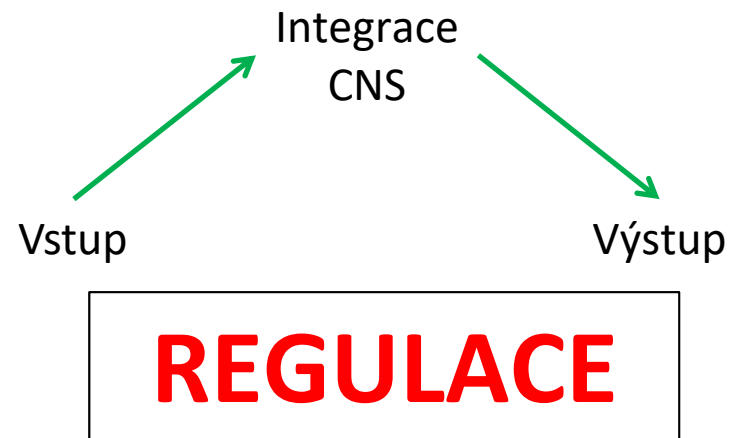
## Regulace humorální

- Hormon
- Nespecifický kanál vedení „využití stávající infrastruktury“
- Specificita dána přítomností receptoru na cílové buňce
  - Energeticky nenáročná
  - Pomalý nástup účinku
  - Trvání účinku - dlouhé

## Regulace nervová

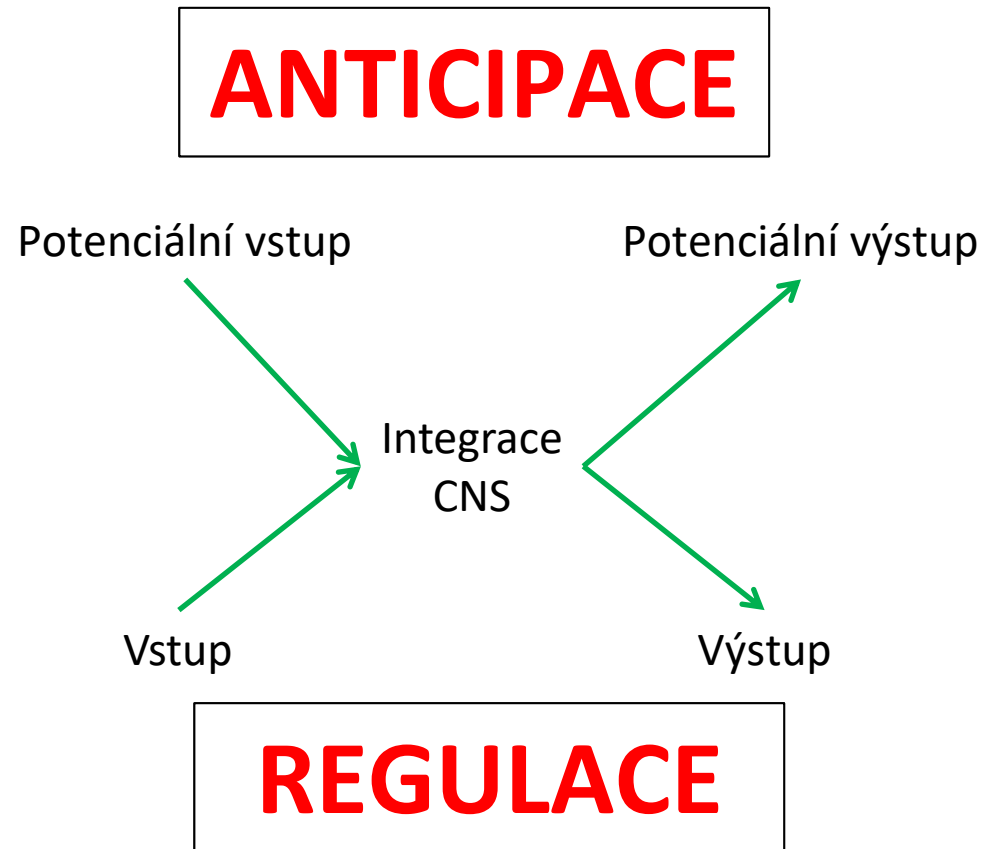
- Neurotransmitter
- Specifický kanál vedení
- Specificita dána infrastrukturou
  - Energeticky náročná
    - Rychlý účinek
  - Trvání účinku - krátké

# Význam a regulační povaha nervového systému

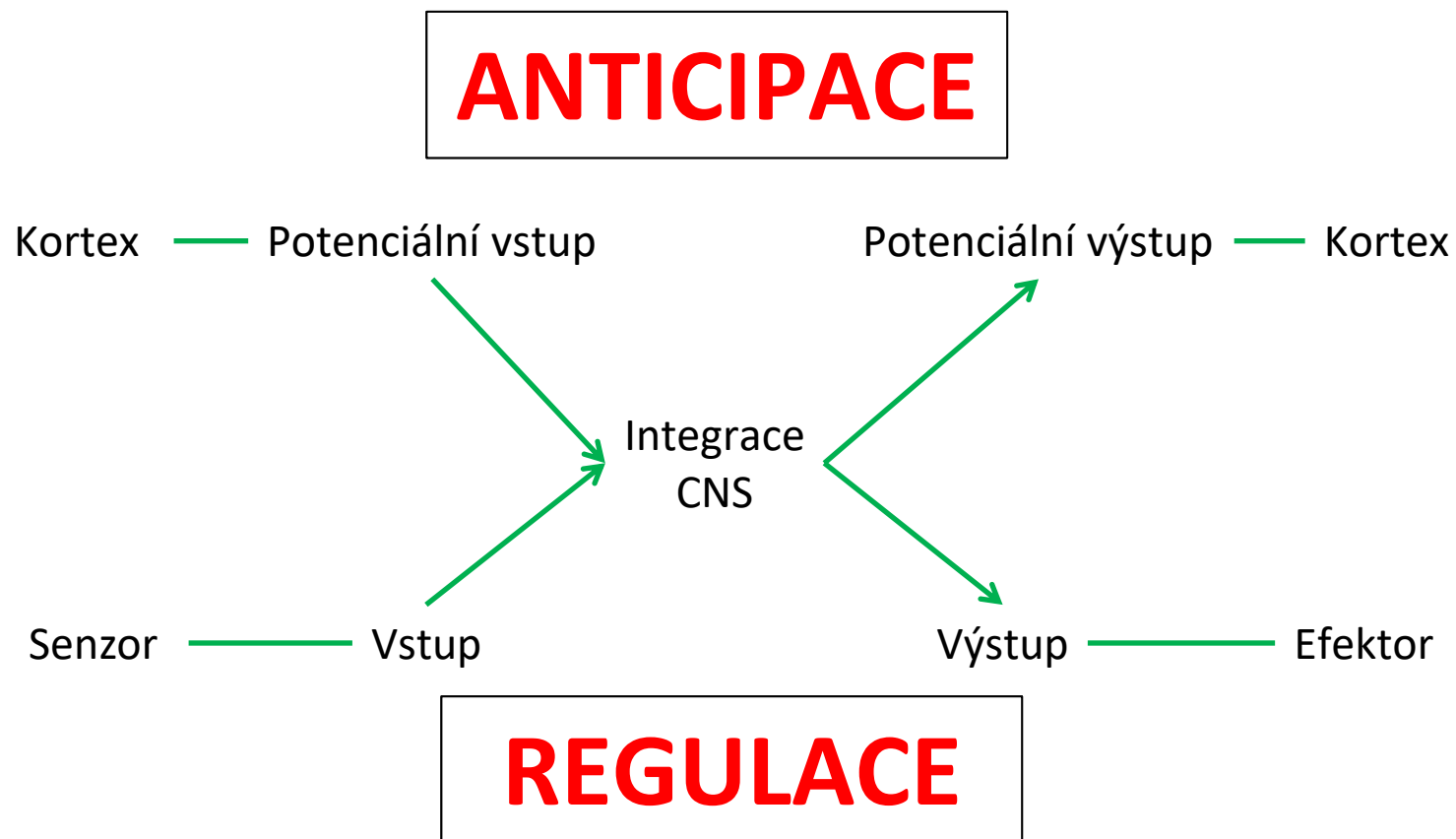




# Význam a regulační povaha nervového systému



# Význam a regulační povaha nervového systému



# Evoluční přístup

- V průběhu evoluce nebyly staré struktury nahrazeny novými, ale staré bylo zachováno a nové struktury byly přidány

# Evoluční přístup

- V průběhu evoluce nebyly staré struktury nahrazeny novými, ale staré bylo zachováno a nové struktury byly přidány
- Evolučně mladší struktury zajišťovaly buď nové funkce nebo stávající funkce na vyšší úrovni

# Evoluční přístup

- V průběhu evoluce nebyly staré struktury nahrazeny novými, ale staré bylo zachováno a nové struktury byly přidány
- Evolučně mladší struktury zajišťovaly buď nové funkce nebo stávající funkce na vyšší úrovni
- Z evolučního pohledu je potřeba se ptát k čemu je studovaná funkce dobrá z hlediska organismu a jak se v průběhu evoluce zdokonalovala

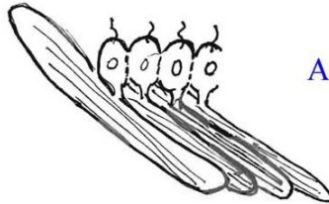
# Evoluční přístup

## Evolutione není revoluce



# Vývoj nervového systému

Vstup → Integrace → Výstup



A. Myoepithelium:  
contractile epithelial cells  
responding to stimulation and  
interconnected by electrical  
synapses (gap junctions)

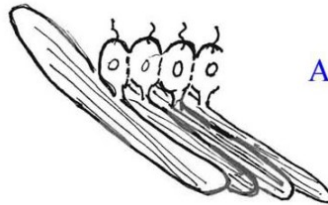
Gerald Schneider. *9.14 Brain Structure and Its Origins, Spring 2014*. (Massachusetts Institute of Technology: MIT OpenCourseWare), <http://ocw.mit.edu> (Accessed). License:Creative Commons BY-NC-SA

## Základní typy tkání

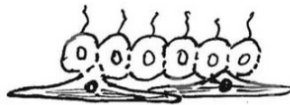
- ✓ Epitelová
- ✓ Pojivová
- ✓ Svalová
- ✓ Nervová

# Vývoj nervového systému

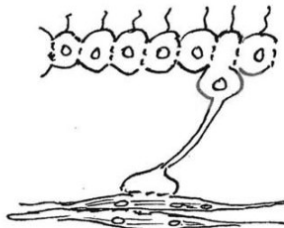
Vstup → Integrace → Výstup



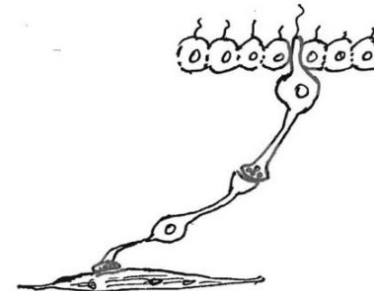
A. Myoepithelium: contractile epithelial cells responding to stimulation and interconnected by electrical synapses (gap junctions)



B. Protomyocytes separate from sensory epithelium, all connected by electrical synapses



C. Protoneurons appear, sensory and connected to separate contractile cells

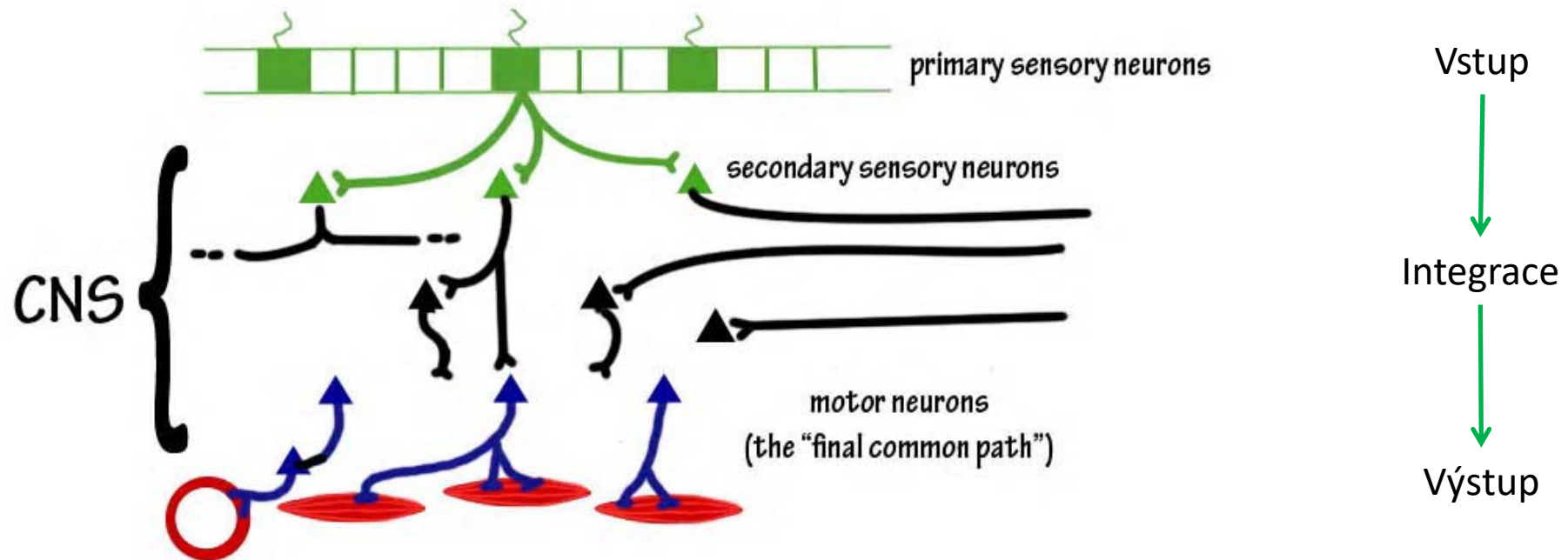


D. Neurons appear, separate from both neurosensory cells and contractile cells. Chemical synapses appear.

Gerald Schneider. *9.14 Brain Structure and Its Origins, Spring 2014*. (Massachusetts Institute of Technology: MIT OpenCourseWare), <http://ocw.mit.edu> (Accessed). License:Creative Commons BY-NC-SA



# Vývoj nervového systému



Gerald Schneider. *9.14 Brain Structure and Its Origins, Spring 2014*. (Massachusetts Institute of Technology: MIT OpenCourseWare), <http://ocw.mit.edu> (Accessed). License:Creative Commons BY-NC-SA

# Kompartmentalizace

- Buněčná specializace vede u mnohobuněčných organismů ke kompartmentalizaci na různých úrovních
  - Tkáňová úroveň
  - Orgánová úroveň
  - Systémová úroveň
- Jednotlivé kompartmenty jsou od sebe odděleny bariérami
- Vlastnosti/složení obsahu jednotlivých kompartmentů se velmi liší

# Kompartmentalizace

- Buněčná specializace vede u mnohobuněčných organismů k kompartmentalizaci na různých úrovních

- Tkáňové
- Orgánové
- Systémové

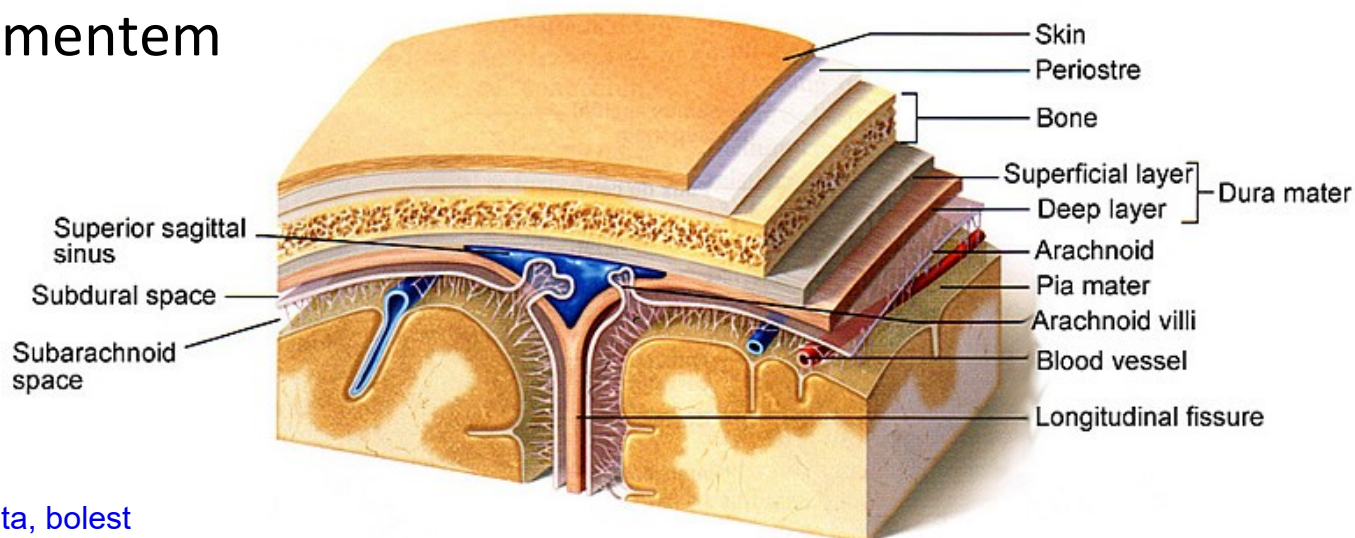
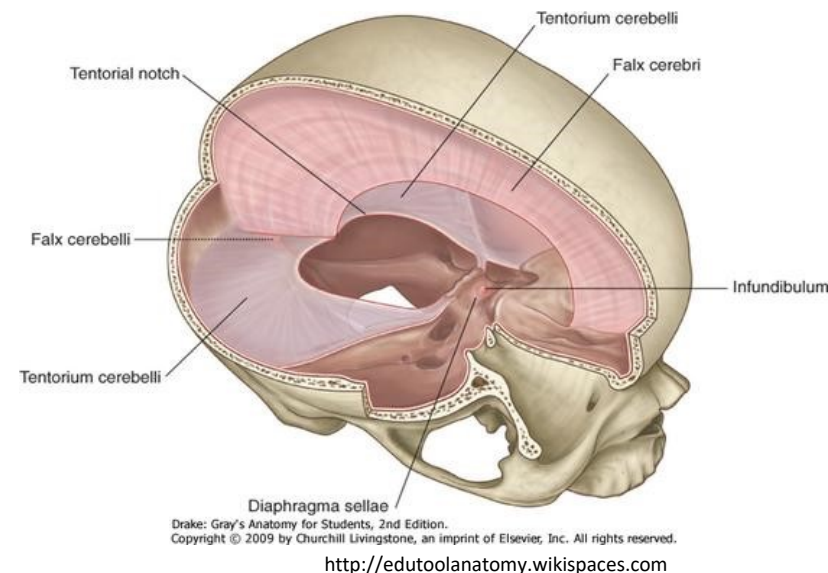
**Díky kompartmentalizaci a podpůrné činnosti neruoglie je udržována homeostáza CNS ve velmi úzkém rozmezí  
To umožňuje žít neuronům po celý život jedince!**

- Jednotlivé kompartmenty jsou odděleny bariérami

- Vlastnosti/složení obsahu jednotlivých kompartmentů se velmi liší

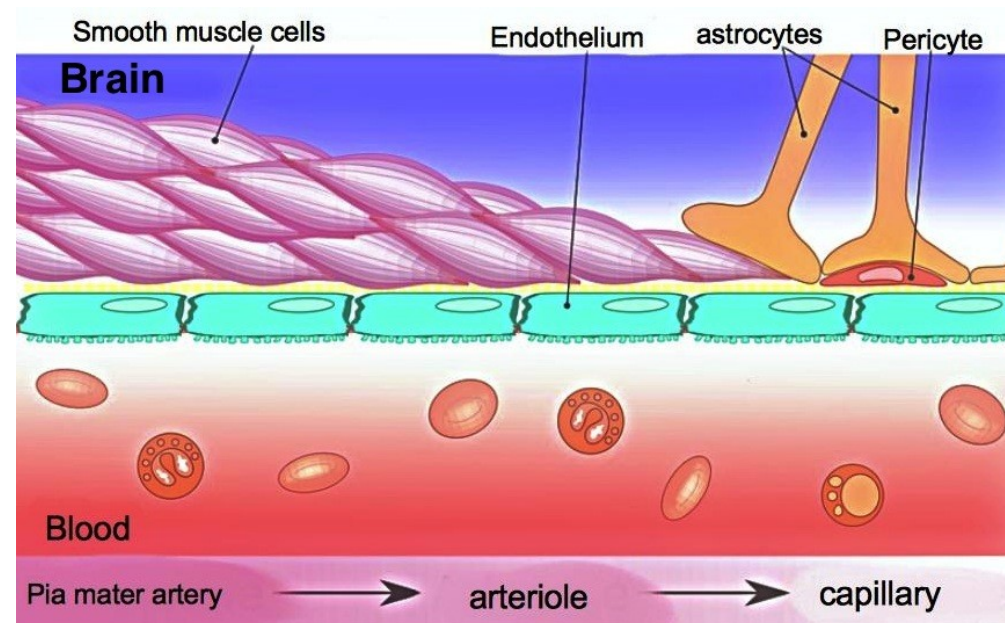
# Nitrolební kompartment

- „Velmi specifická oblast“
- Mozek
- Likvor
- Krev (v cévách)
- Bariéry mezi mozkiem, likvorovým a intravaskulárním kompartmentem
  - Meningeální
  - Hematolikvorová
  - Hematoencefalická



# Hematoencefalická bariéra

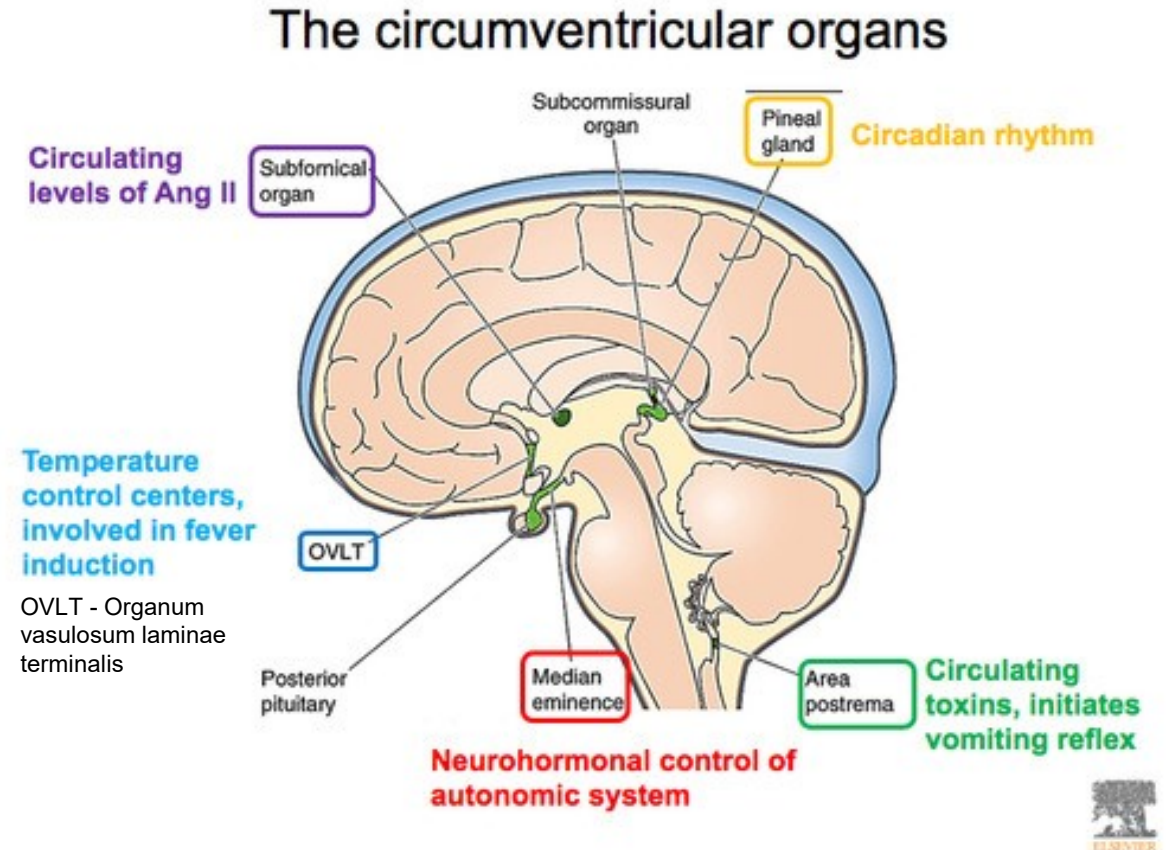
- Vysoce organizovaná bariéra
  - Endotel (nízká propustnost díky zonula occludens)
  - Bazální membrána
  - Astrocyty
  - Pericyty



[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/12/Blood\\_vessels\\_brain\\_english.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/12/Blood_vessels_brain_english.jpg)

# Cirkumventrikulární orgány

- Modifikovaná hematoencefalická bariéra
- Bohatá vaskularizace
- Senzory
- Sekrece

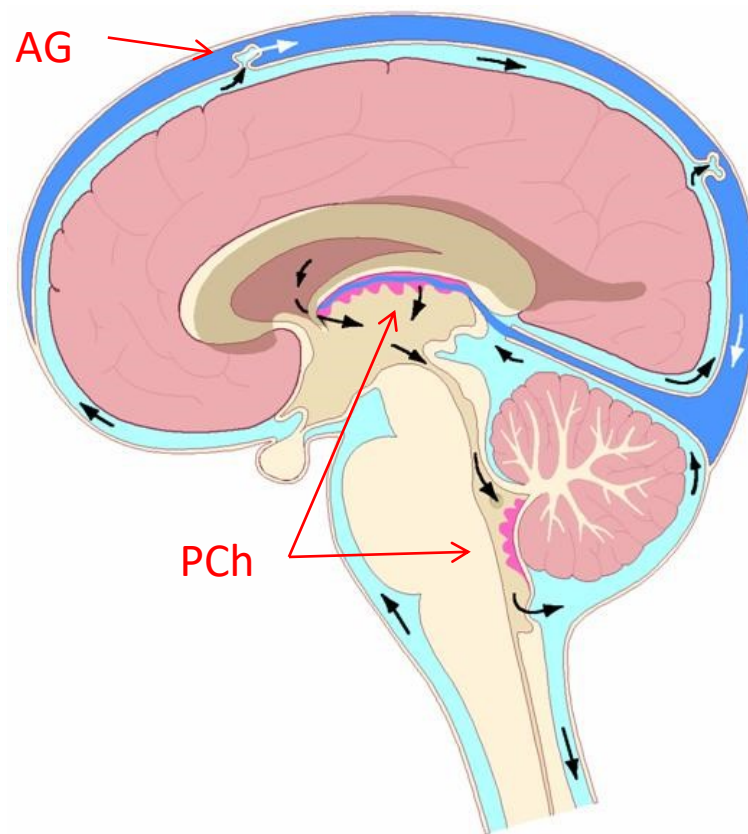


[http://www.neuros.org/index.php?option=com\\_photos&view=photos&oid=hafizbilal](http://www.neuros.org/index.php?option=com_photos&view=photos&oid=hafizbilal)



# Mozkomíšní mok

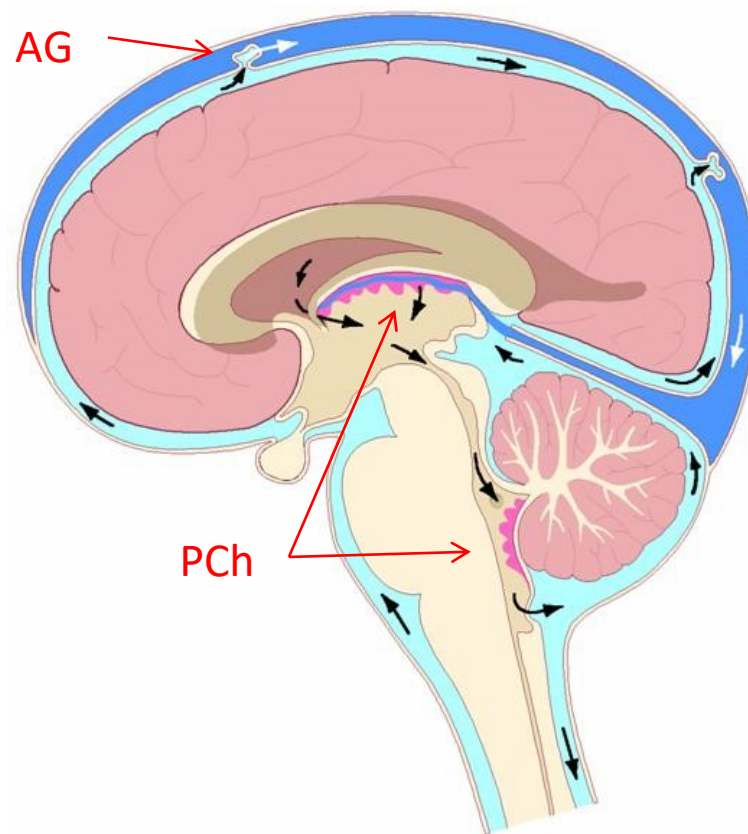
- Složení
  - ✓ Vysoký obsah  $Mg^{+}$  a  $Na^{+}$
  - ✓ Nízký obsah  $K^{+}$  a  $Ca^{2+}$
  - ✓ Minimum buněk (max 5/ml)
- Funkce
  - ✓ Ochrana
  - ✓ Funkce transportní,metabolická, imunologická



<http://www.control.tfe.umu.se>

# Mozkomíšní mok

- Čirá tekutina vzniklá aktivní sekrecí
- Likvorový prostor
  - Vystlán ependymem
  - 150-250 ml
- Tvorba mozkomíšního moku
  - ✓ Plexus choroideus (PCh) -70%
  - ✓ Buněčný metabolismus
  - ✓ Kapilární ultrafiltrát
  - 450-750 ml/den
- Resorbce mozkomíšního moku
  - ✓ Archnoidální granulace (AG)

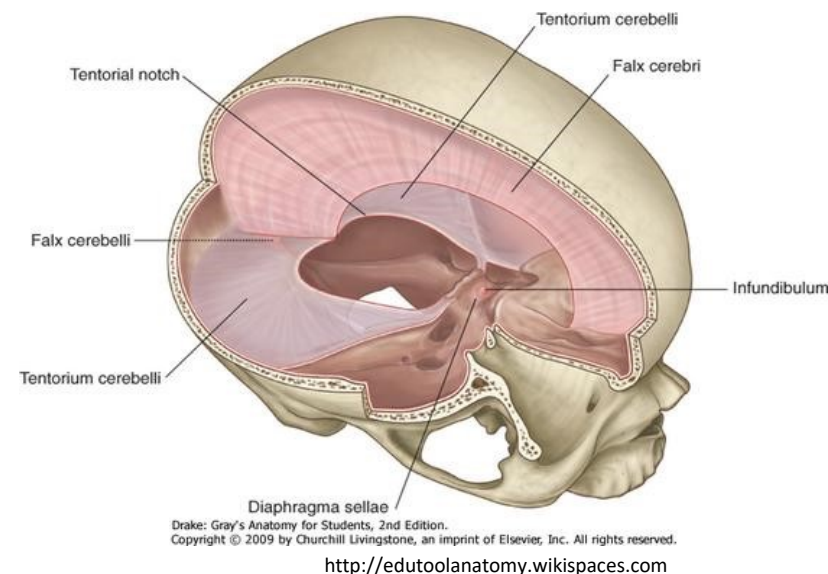


<http://www.control.tfe.umu.se>



# Nitrolební kompartment

- Mozek
- Likvor
- Krev (v cévách)
- Intrakraniální tlak (ICP)
  - ✓ Tlak v nitrolebí
  - ✓ Kritický parametr spoludeterminující mozkovou perfúzi
- Cerebrální perfusní tlak (CPP)  
tlakový gradient díky kterému teče krev do mozku



$$!!! \text{ CPP} = \text{MAP} - \text{ICP} !!!$$

Cerebrální perfúzní tlak

Intrakraniální tlak

Střední arteriální tlak

# **Buněčný podklad nervového systému**

## **Synapse**

# Buněčný podklad nervové soustavy

- Neurony
  - Příjem, integrace a šíření informace
  - Unikátní, nenahraditelné
- Neuroglie
  - Podpůrná činnost
  - Nahraditelné
- Počet neuronů cca. 100 miliard ( $10^{11}$ )
- Poměr neuron/glie
  - 1/10 - 50 (Principles of Neural Science, 4th ed., 2000)
  - 1/2 – 10 (Principles of Neural Science, 5th ed., 2012)
  - 1/1 (Nolte's Human Brain, 7th ed., 2015)

# Neuroglie

## Centrální nervový systém

- Astrocyty
  - Hematoencefalická b.
  - Udržování homeostázy
  - Metabolismus neurotransmiterů
  - Důležité také při vývoji mozku
- Oligodendrocyty
  - Myelinový obal
- Mikroglie
  - Imunita
- Ependymální buňky
  - Choroidní plexus
  - (hemato-likvorová bariéra)
  - Výstelka komorového systému  
(likvoro-encefalická bariéra)

## Periferní nervový systém

- Satelitní buňky
  - Podpůrná funkce v periferních gangliích
- Schwanovy buňky
  - Myelinový obal

## Udržovací aktivity

### „Uvnitř“ neuronu

- ✓ ...
- ✓ Syntéza
- ✓ Transport
- ✓ ...

# Neuron

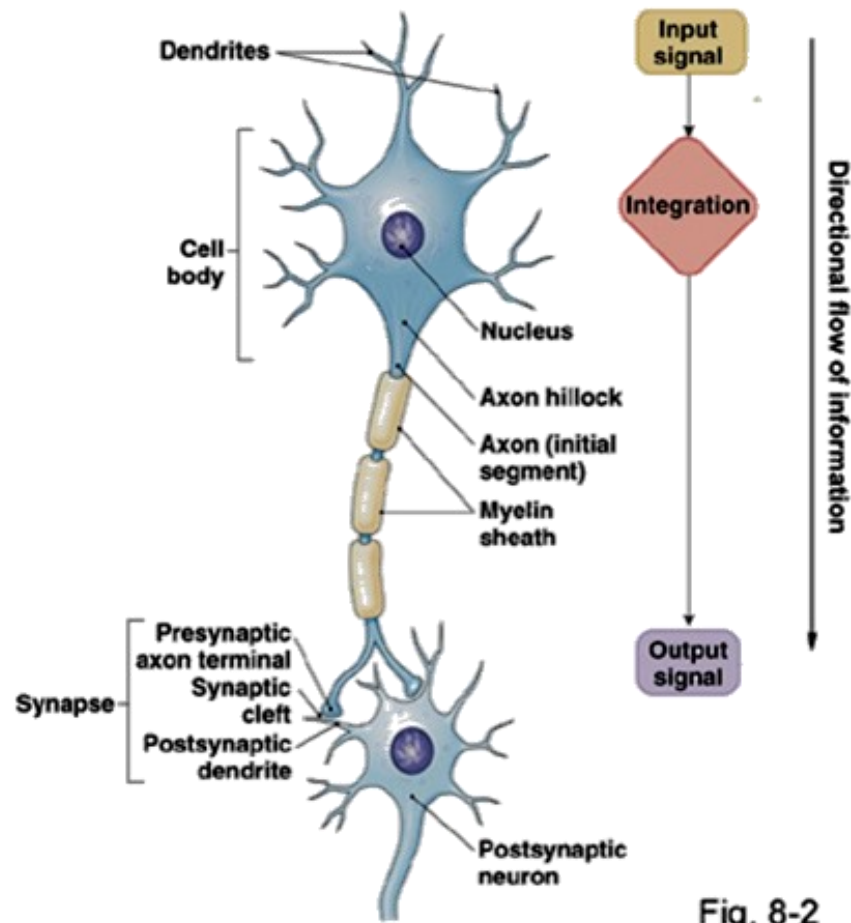


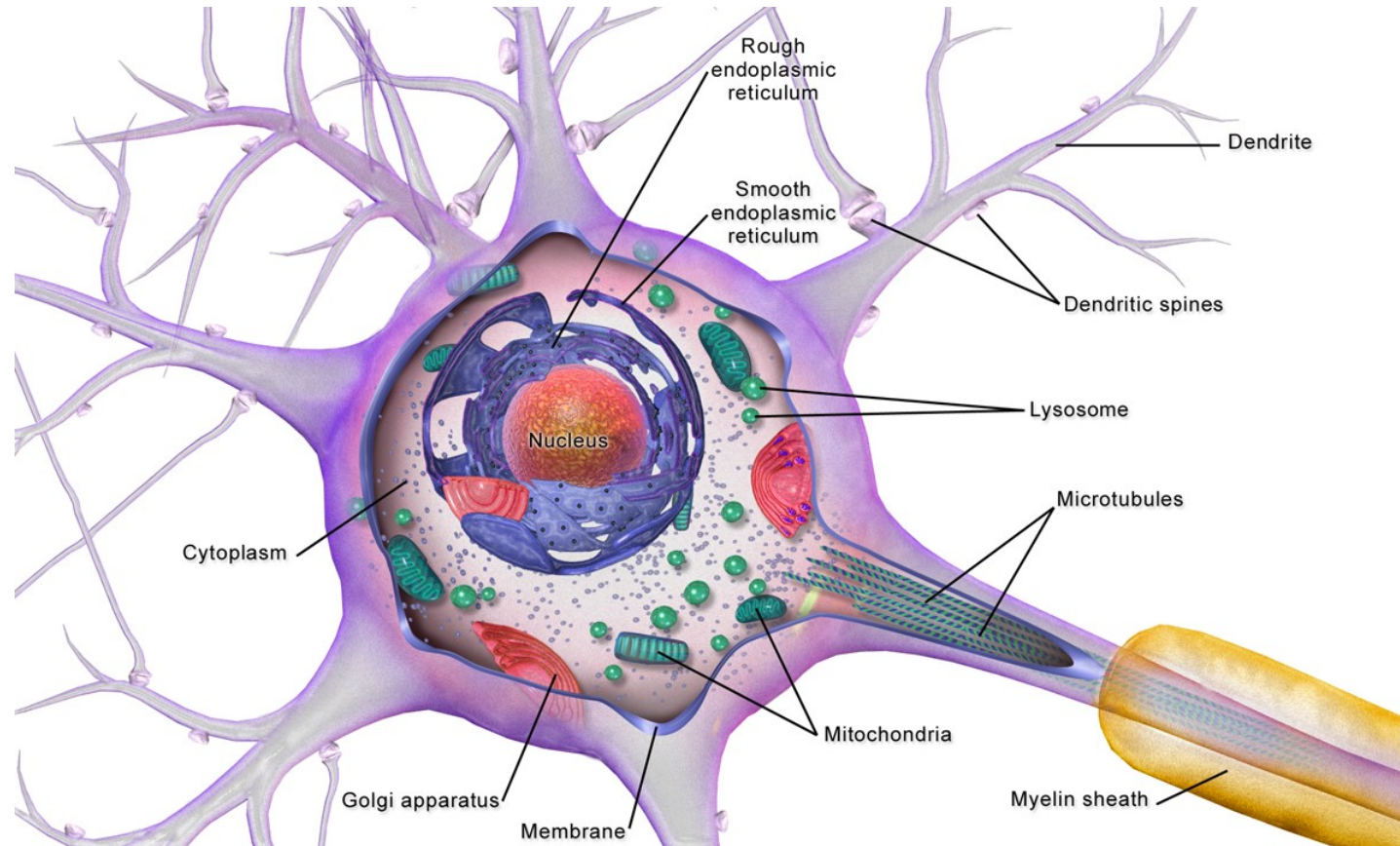
Fig. 8-2

## Zpracování a přenos informace

### Membrána neuronu

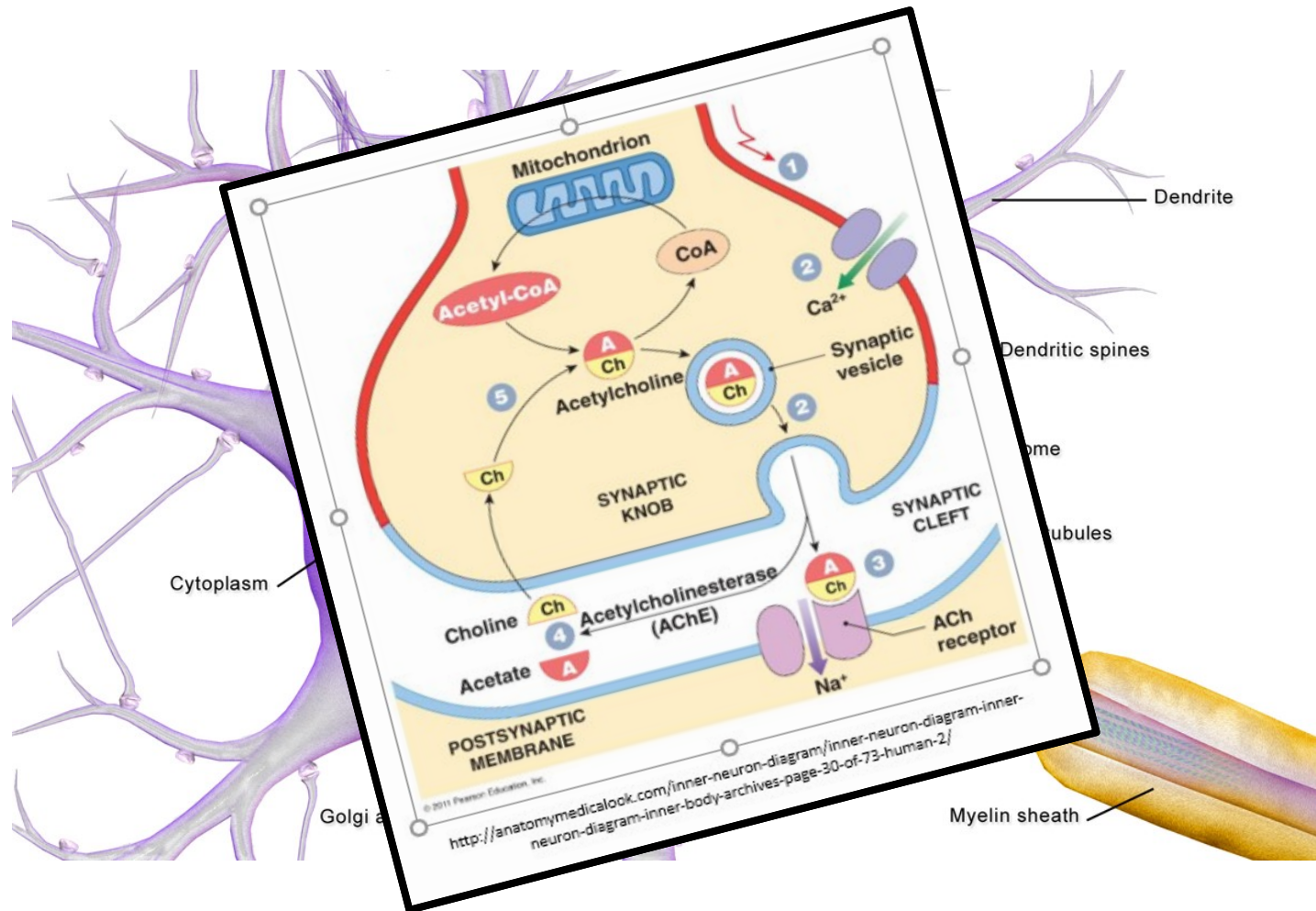
- ✓ Recepce signálu
- ✓ Integrace signálu
- ✓ Generování AP
- ✓ Vedení AP
- ✓ Přenos signálu

# Udržovací aktivity



[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ed/Neuron\\_Cell\\_Body.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ed/Neuron_Cell_Body.png)

# Udržovací aktivity



[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ed/Neuron\\_Cell\\_Body.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ed/Neuron_Cell_Body.png)



# Udržovací aktivity

## Fast axonal transport

- bidirectional
- ATP dependant
- associated with microtubules: dynein and kinesin

## Fast axonal transport

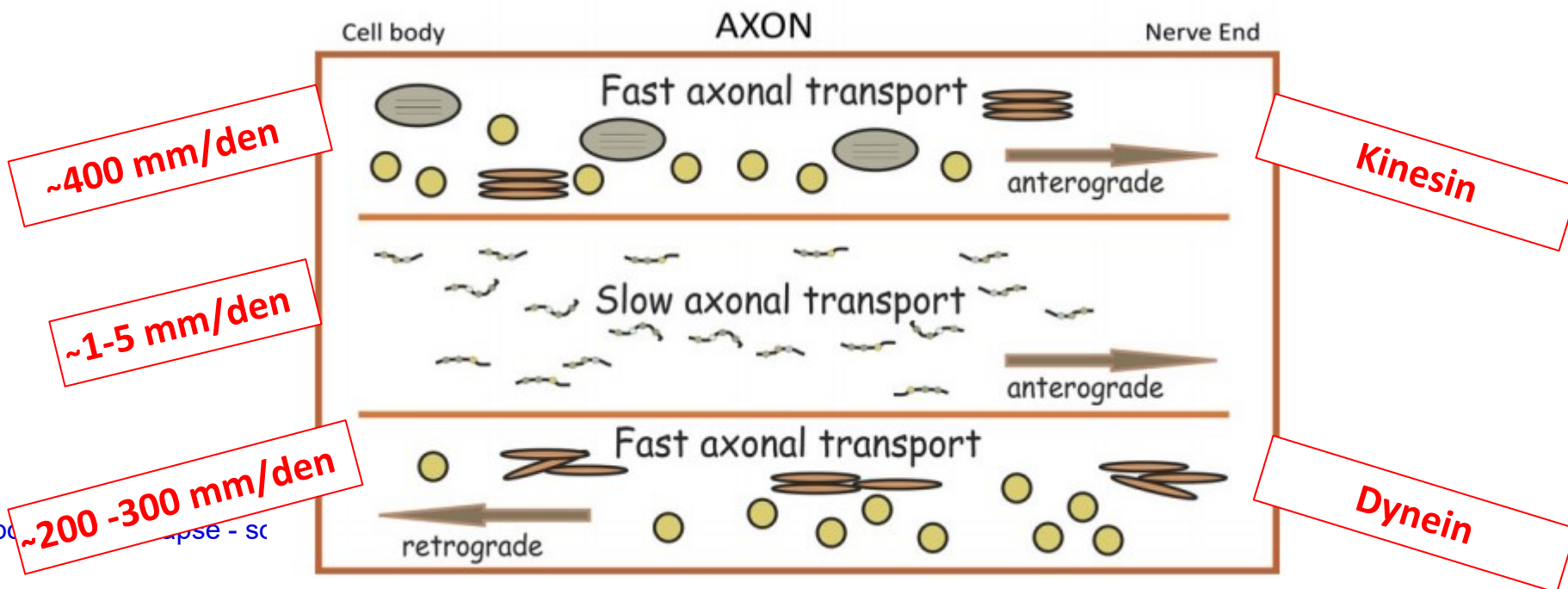
Golgi derived vesicles  
lysosomes, mitochondria  
structural elements of  
endoplasmic reticulum

## Slow axonal transport

- unidirectional,
- ATP independant
- conducted by sliding, polymerizing and protein interacting

## Slow axonal transport

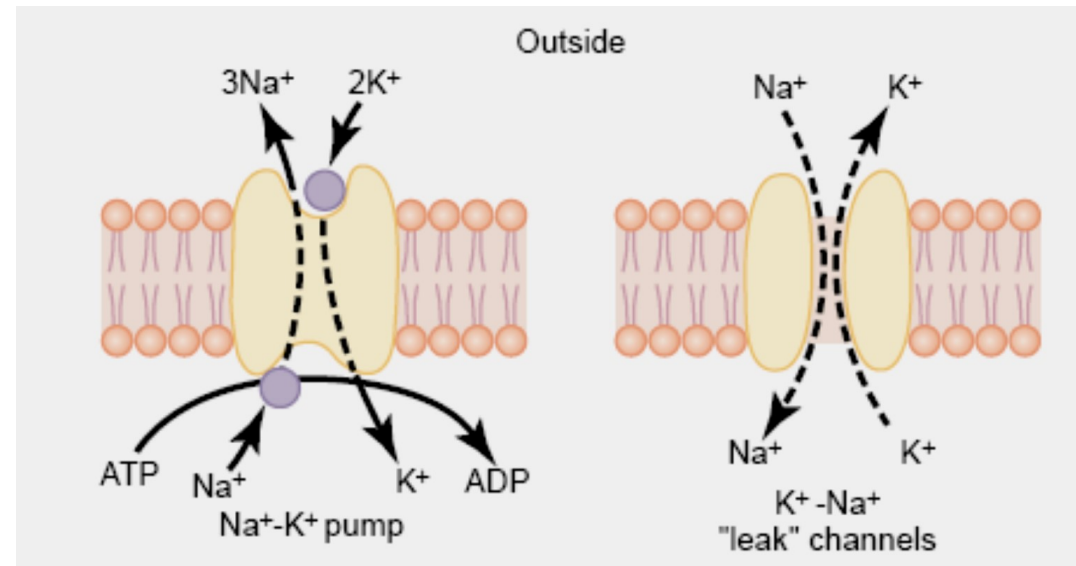
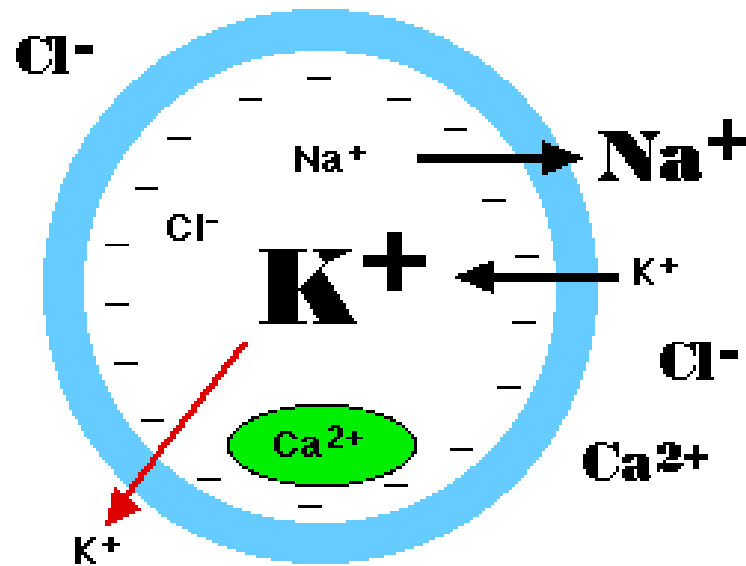
microfilaments, microtubules  
neurofilaments  
cytosolic protein complexes





# Membránový potenciál

- Vzniká díky rozdílům v koncentracích iontů na opačných stranách semipermeabilní membrány



<http://www.slideshare.net/drpsdeb/presentations>

# Klidový membránový potenciál neuronu



Klidový potenciál  
cca. -70 mV

- Vysoce nestabilní stav membrány
- Proč? – Rychlost!
- Energetická náročnost
  - ✓ Kyslík - 20% celkové tělesné spotřeby
  - ✓ Glukóza – 25% celkové tělesné spotřeby

# Akční potenciál

- Rychlá změna napětí na membráně
- Vznik na axonovém hrbolu nebo iniciálním segmentu
- Šíří se membránou
- Princip vše nebo nic

Klidový potenciál  
cca. -70 mV

Prahový potenciál  
cca. -55 mV

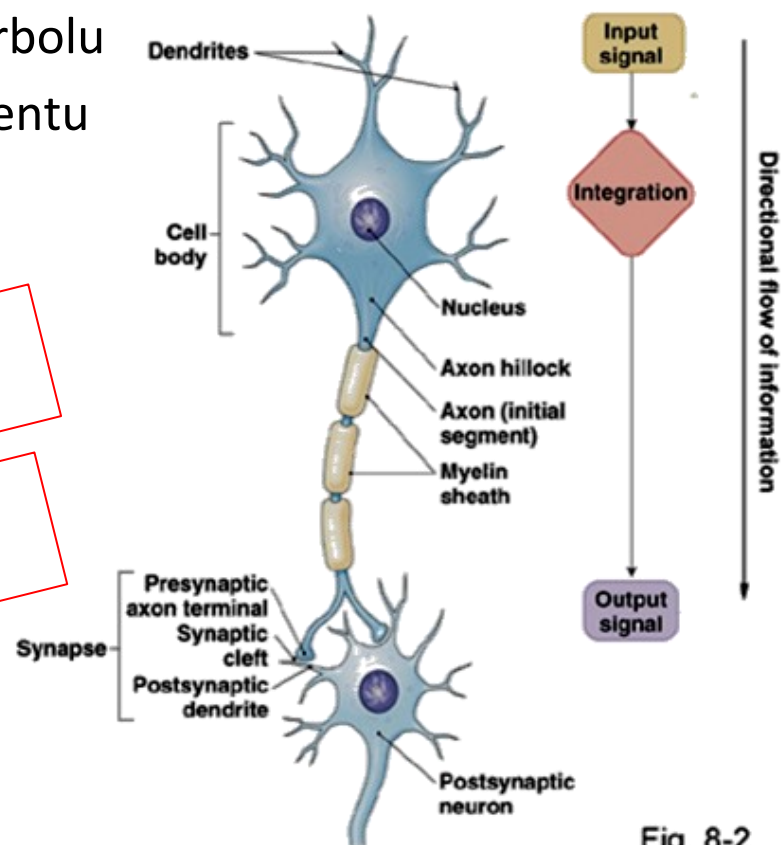
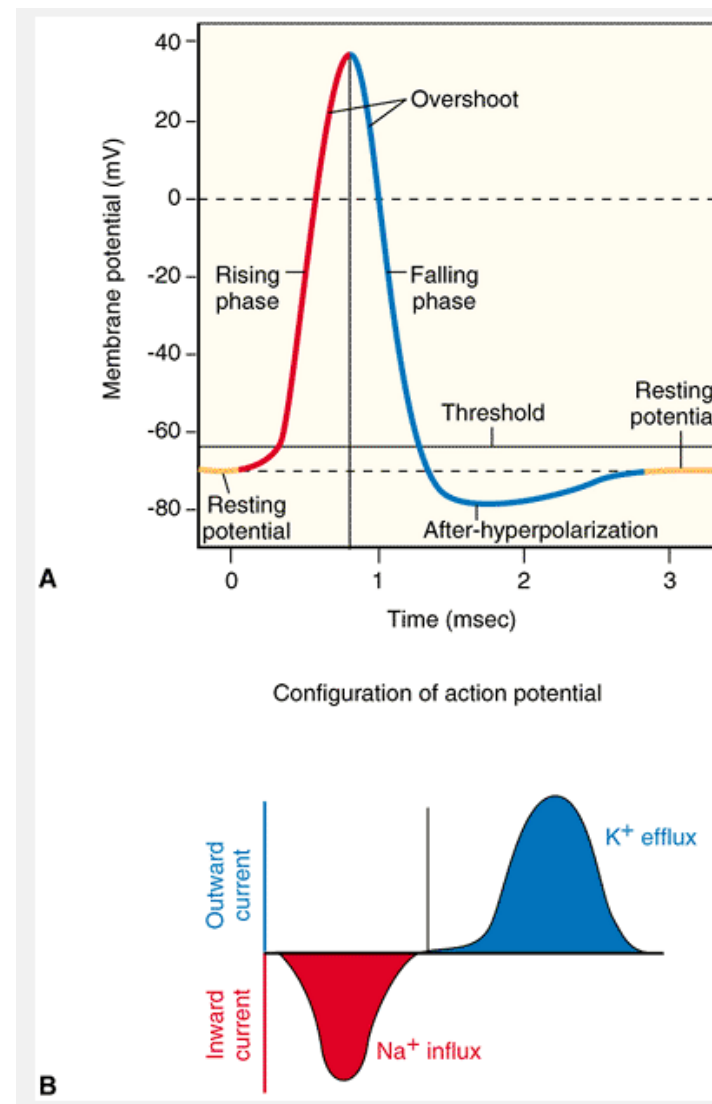
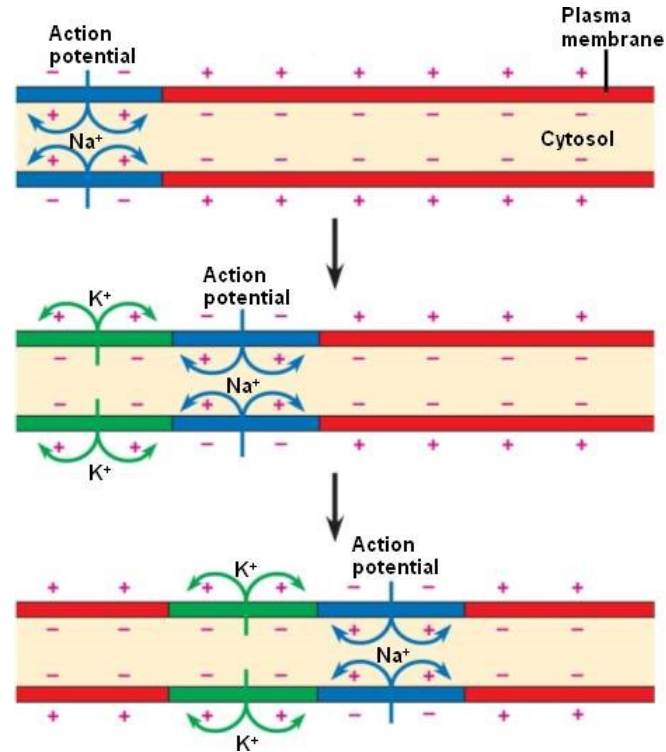
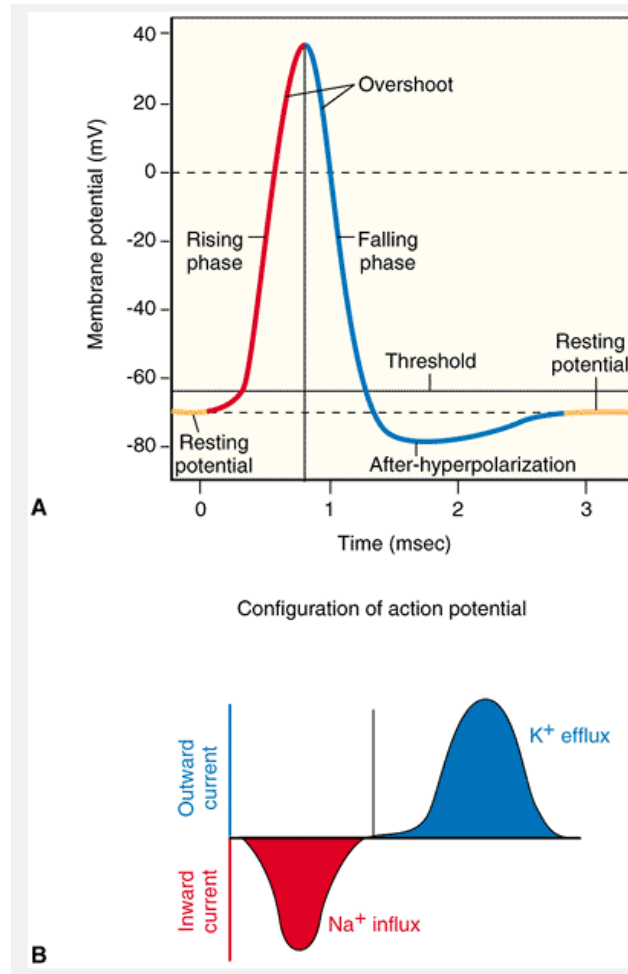


Fig. 8-2



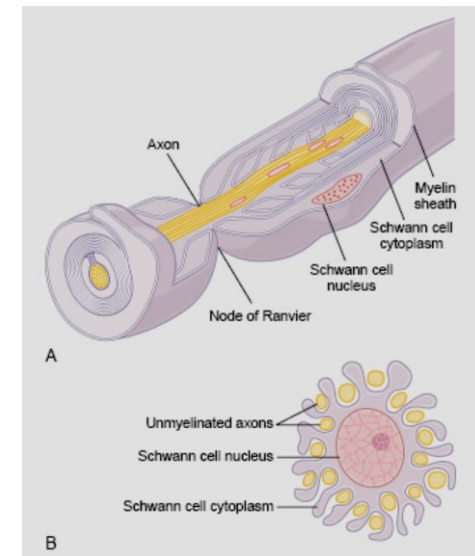
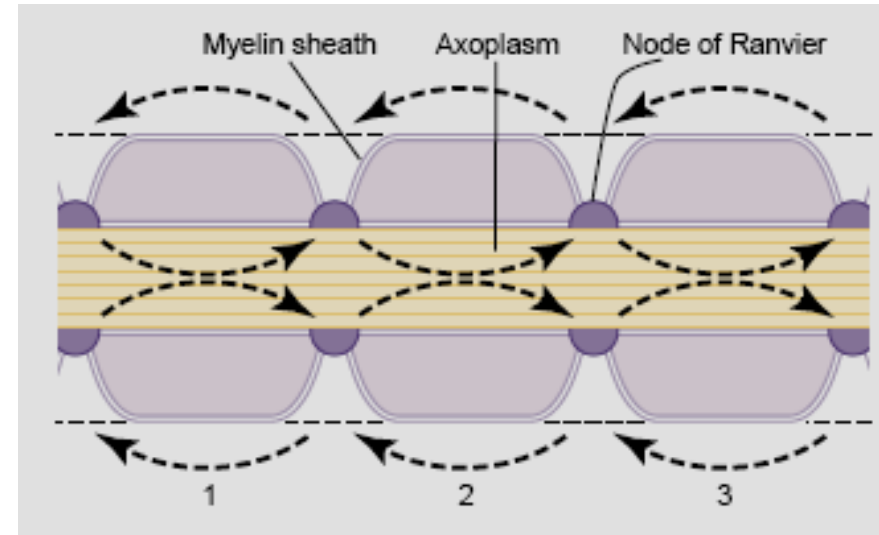
# Šíření akčního potenciálu



- Lokální proudy
- Anterográdní směr

# Saltatorní vedení

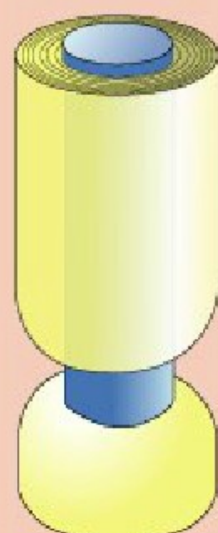



- Myelinová pochva
- Ranvierovy zářezy
- Energetická úspora
- Rychlost
- Rychlost vedení dále ovlivněna průřezem vlákna
  - elektrický odpor nepřímo úměrný průřezu



<http://www.slideshare.net/drpsdeb/presentations>

# Klasifikace nervových vláken

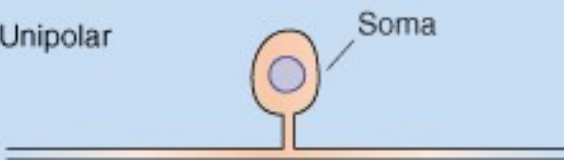

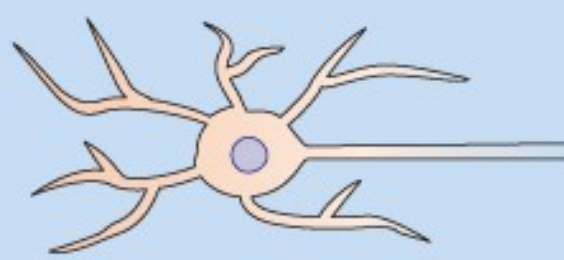
- Axony
- U člověka většina myelinizovaná (V CNS všechna)
- Nemyelinizovaná pouze evolučně nejstarší vlákna

	A $\alpha$	A $\beta$	A $\delta$	C
1 <sup>o</sup> Axon to skin				
1 <sup>o</sup> Axon to muscle				
	Group I	Group II	Group III	Group IV
				
Diameter (um)	12-20	6-12	1-6	0.2-1.5
Speed(m/sec)	70-170	30-70	5-30	0.5-2
Sensory receptors	Proprioceptors of skeletal muscle	Mechanoreceptors of skin	Pain, temperature	Temp, pain, itch

<http://neuroscience.uth.tmc.edu/s2/chapter04.html>

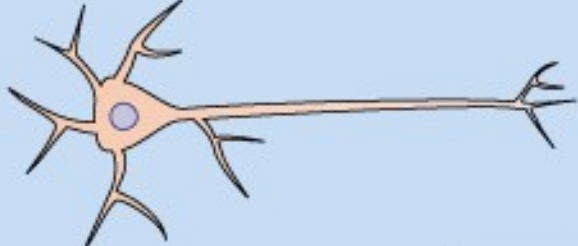
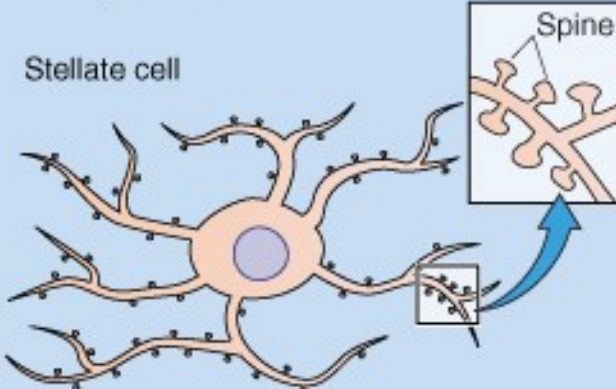


# Klasifikace neuronů

Basis for classification	Example	Functional implication	Structure
<p><b>3. Number of processes</b></p> <p>One process exits the cell body</p>	<p>Unipolar neuron (dorsal root ganglion cell)</p>	<p>Small area for receiving synaptic input: highly specialized function</p>	<p>Unipolar</p>  <p>Soma</p>
<p>Two processes exit the cell body</p>	<p>Bipolar neuron (retinal bipolar cell)</p>	<p>Small area for receiving synaptic input: highly specialized function</p>	<p>Bipolar</p> 
<p>Many processes exit the cell body</p>	<p>Multipolar neuron (spinal motor neuron)</p>	<p>Large area for receiving synaptic input; determines the pattern of incoming axons that can interact with the cell</p>	<p>Multipolar</p> 

<http://www.slideshare.net/CsillaEgri/presentations>

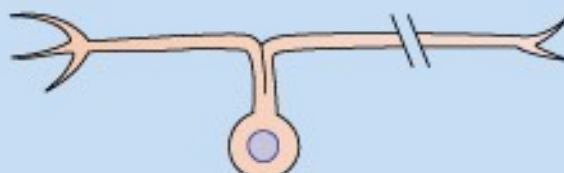

# Klasifikace neuronů

Basis for classification	Example	Functional implication	Structure
<p><b>2. Dendritic pattern</b></p> <p>Pyramid-shaped spread of dendrites</p>	Pyramidal cell (hippocampal pyramidal neuron)	Large area for receiving synaptic input; determines the pattern of incoming axons that can interact with the cell (i.e., pyramid-shaped)	<p>Pyramidal cell</p> 
<p>Radial-shaped spread of dendrites</p>	Stellate cell (cortical stellate cell)	Large area for receiving synaptic input; determines pattern of incoming axons that can interact with the cell (i.e., star-shaped)	<p>Stellate cell</p> 

<http://www.slideshare.net/CsillaEgri/presentations>



# Klasifikace neuronů

Basis for classification	Example	Functional implication	Structure
<b>1. Axonal projection</b>  Goes to a distant brain area	Projection neuron or Principal neuron or Golgi type I cell (cortical motor neuron)	Affects different brain areas	Dorsal root ganglion cell 
Stays in a local brain area	Intrinsic neuron or Interneuron or Golgi type II cell (cortical inhibitory neuron)	Affects only nearby neurons	Retinal bipolar cell 

<http://www.slideshare.net/CsillaEgri/presentations>

# Synapse

- Komunikace mezi neurony
- Elektrické
- Chemické

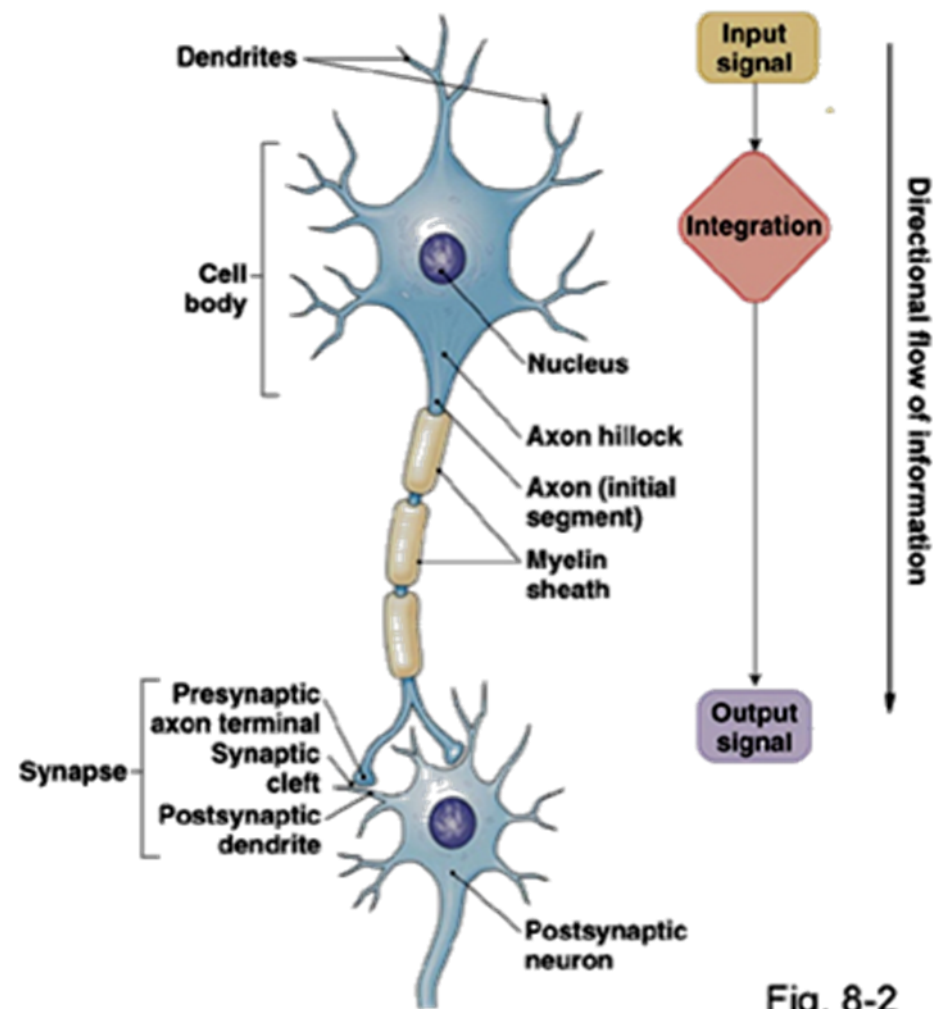
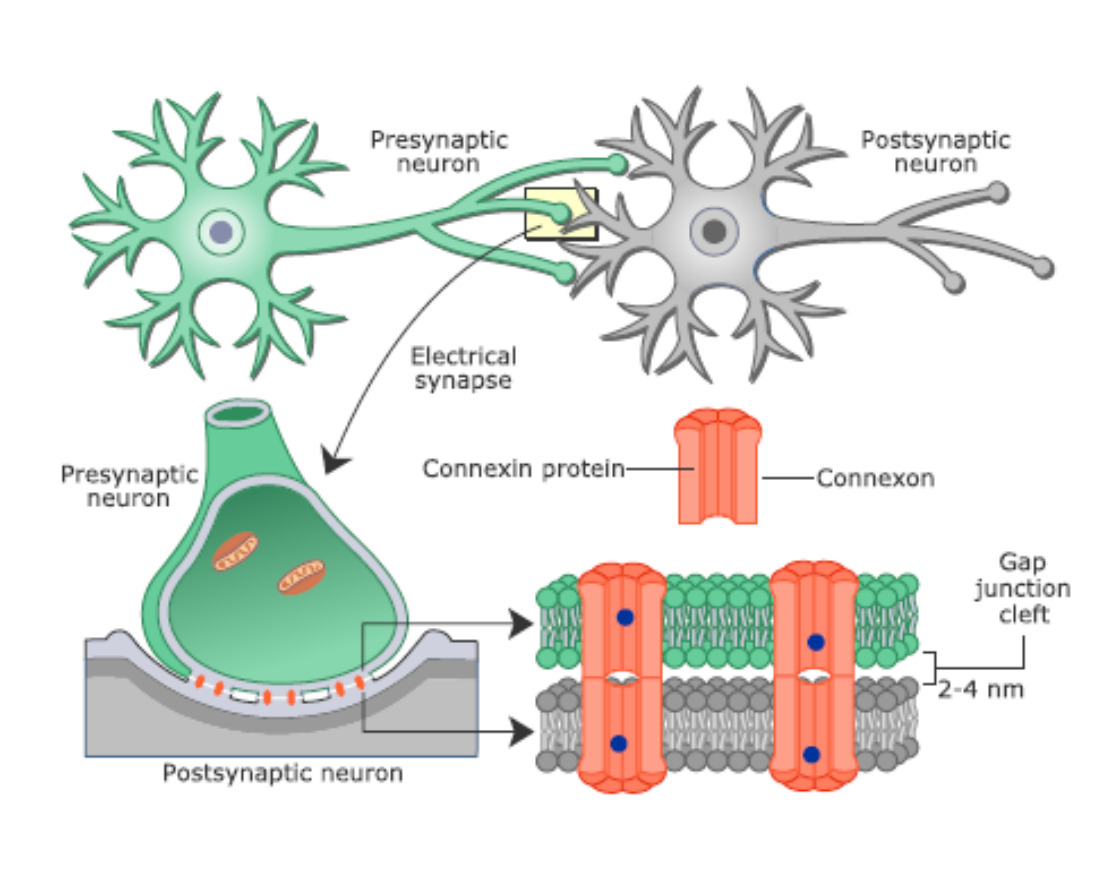


Fig. 8-2

<http://www.slideshare.net/CsillaEgri/presentations>

# Elektrické synapse

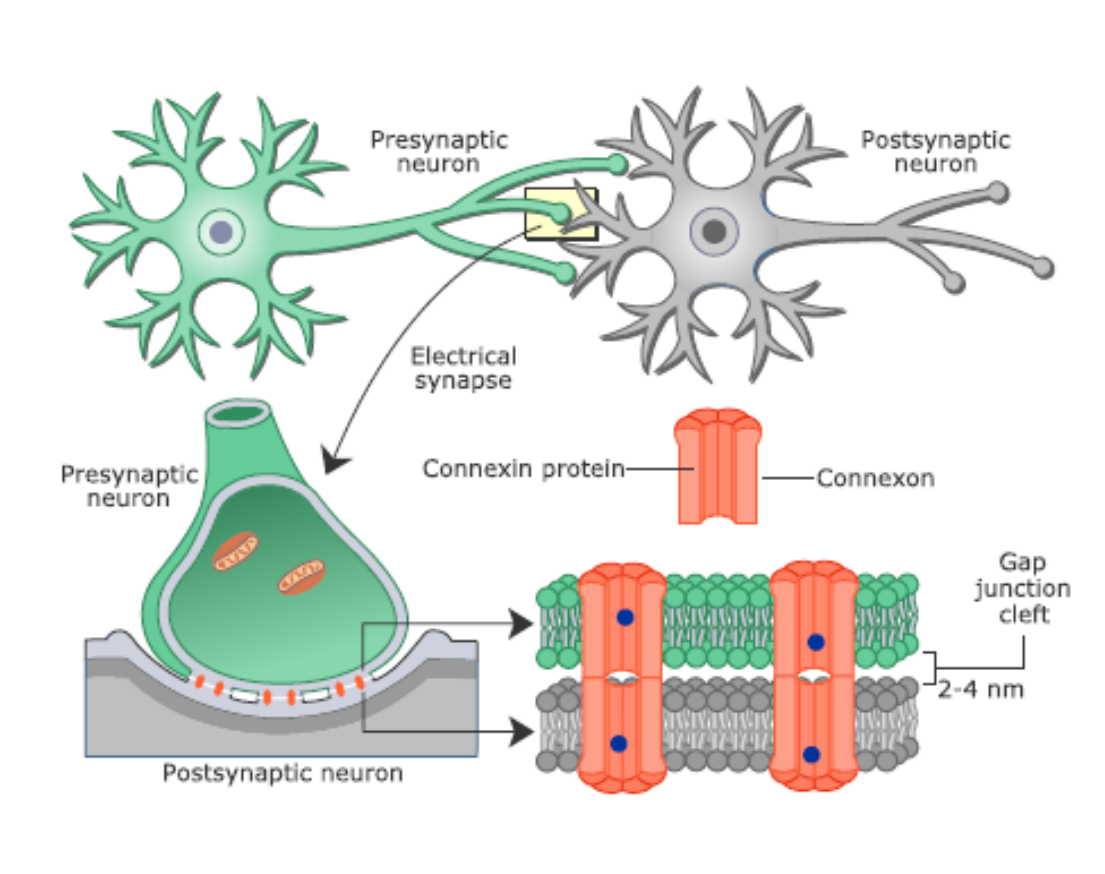
- Evolučně staré
- Méně než chemických
- Ubikvitární



<http://www.slideshare.net/CsillaEgri/presentations>

# Elektrické synapse

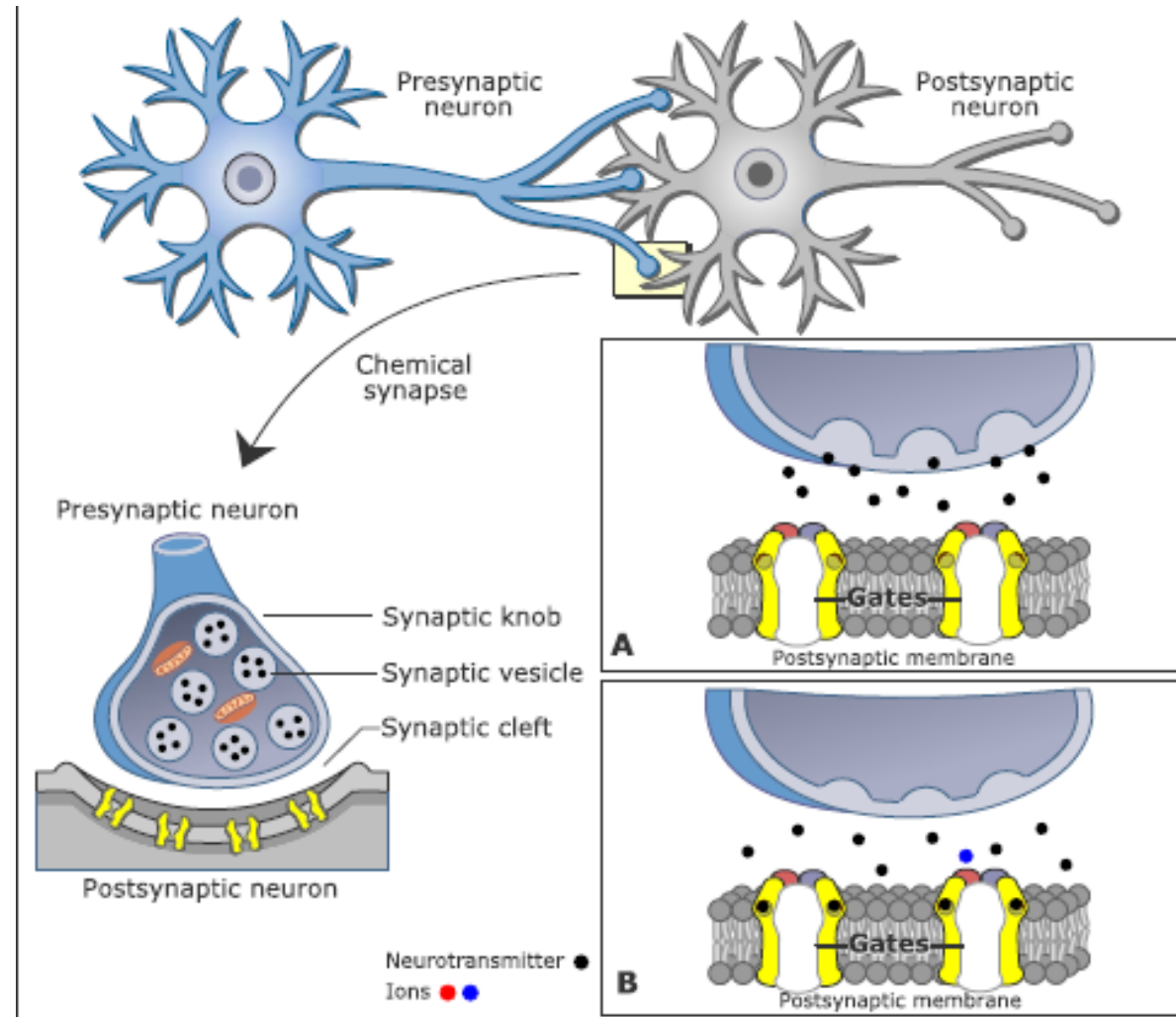
- Evolučně staré
- Méně než chemických
- Ubikvitární
- Gap junctions
- Obousměrný přenos
- Rychlost



<http://www.slideshare.net/CsillaEgri/presentations>

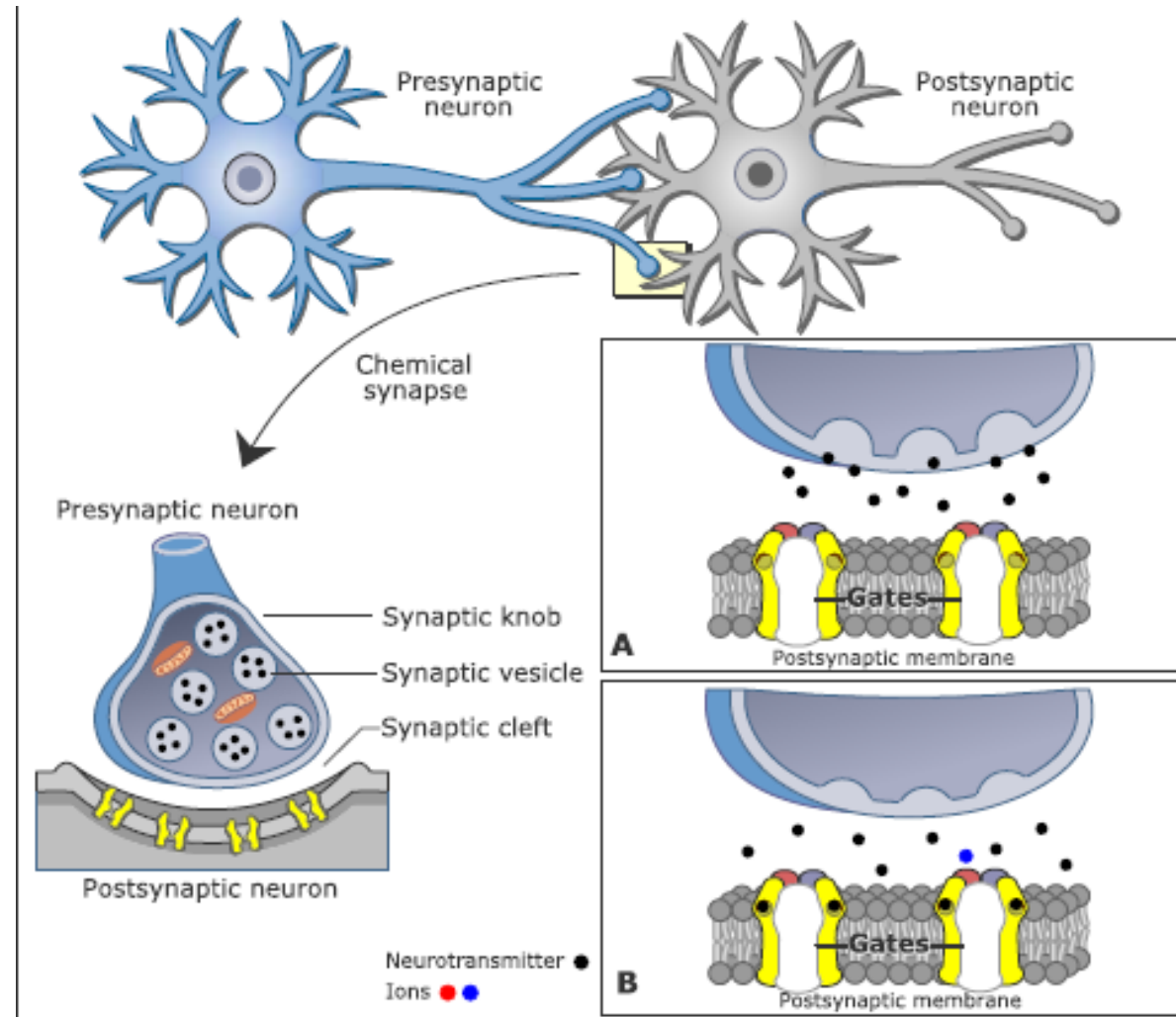
# Chemické synapse

- Evolučně mladší
- Většinový typ



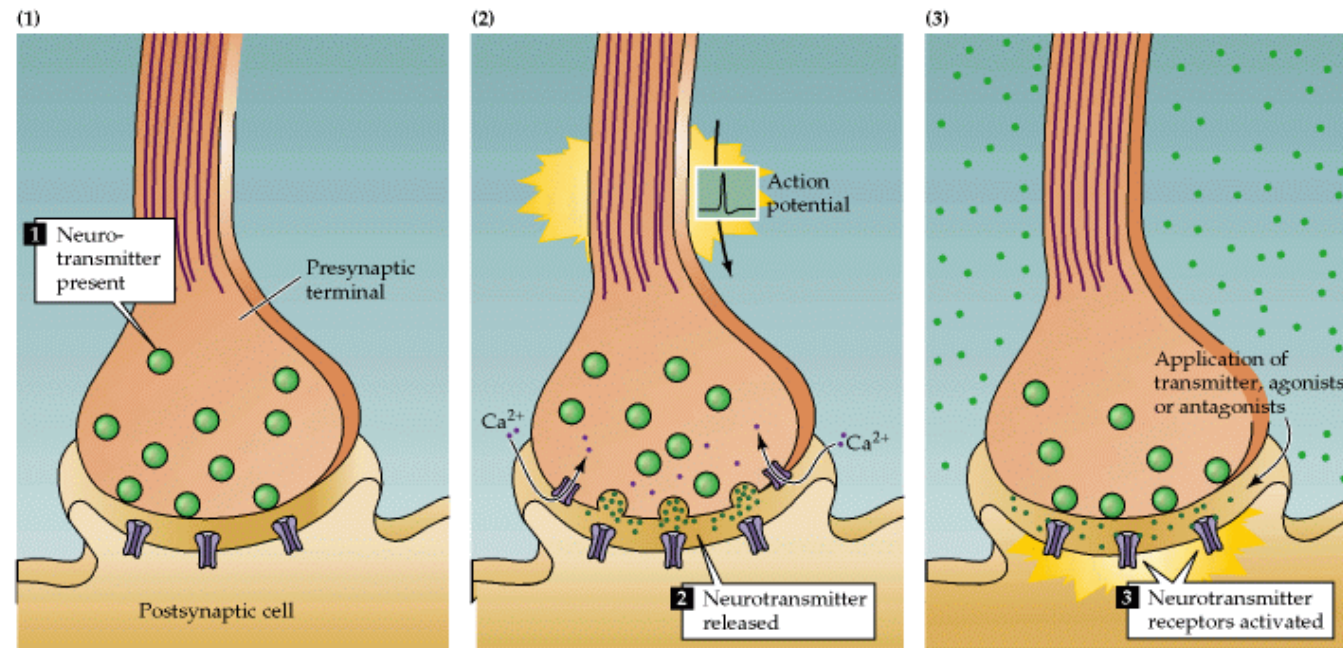
# Chemické synapse

- Evolučně mladší
- Většinový typ
- Jednosměrný přenos
- Synaptická štěrbin
- Neurotransmitter





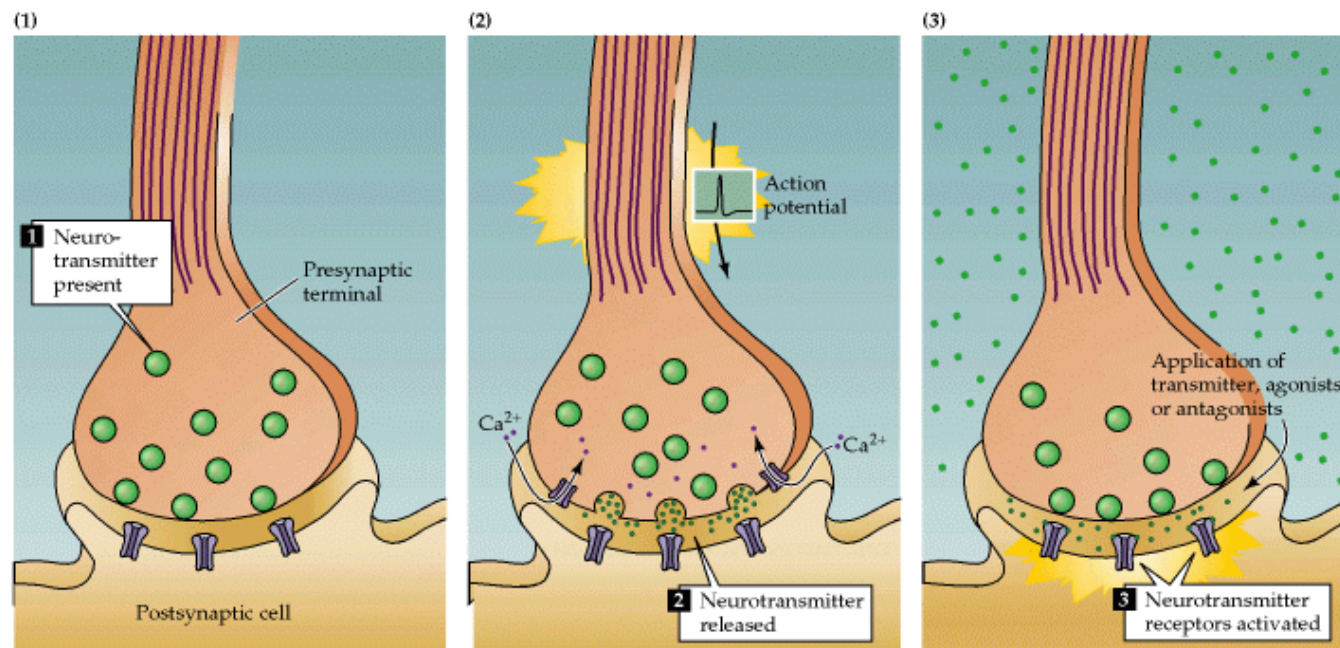
# Neurotransmitter



<http://www.slideshare.net/CsillaEgri/presentations>

- Přítomen v presynaptickém neuronu

# Neurotransmitter

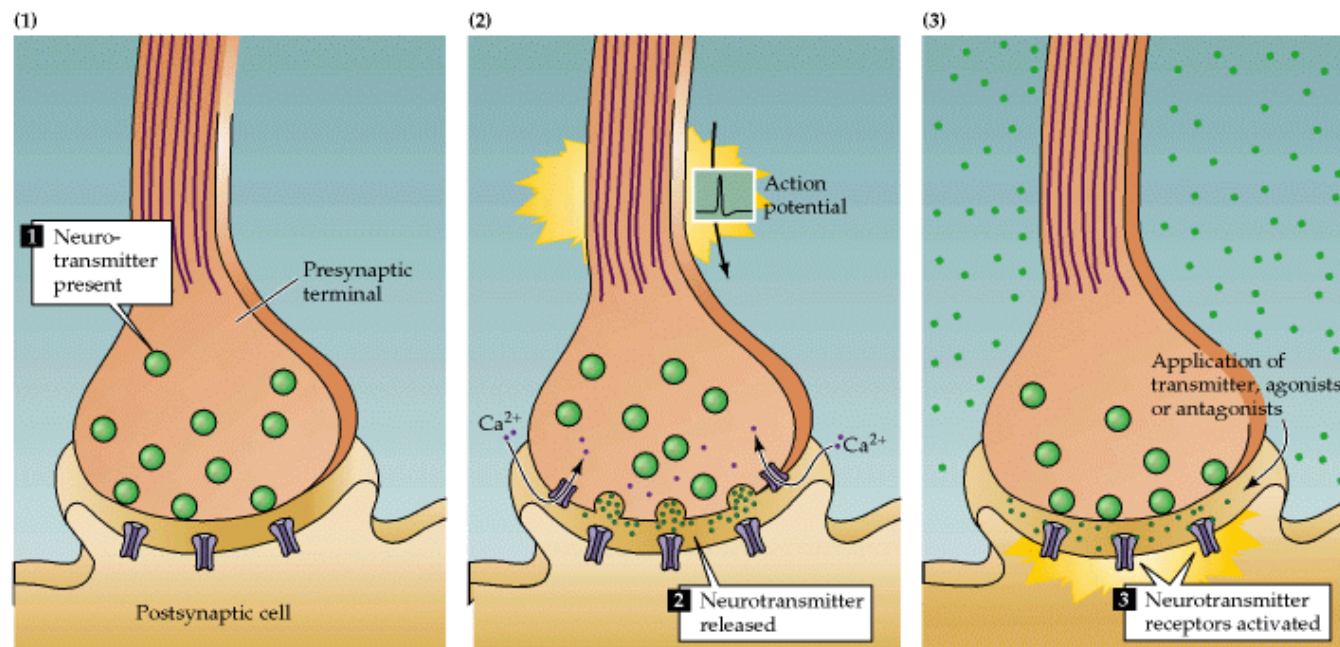


<http://www.slideshare.net/CsillaEgri/presentations>

- Přítomen v presynaptickém neuronu
- Uvolněn do synaptické štěrby následkem depolarizace presynaptického neuronu ( $Ca^{2+}$  dependentní mechanismus)



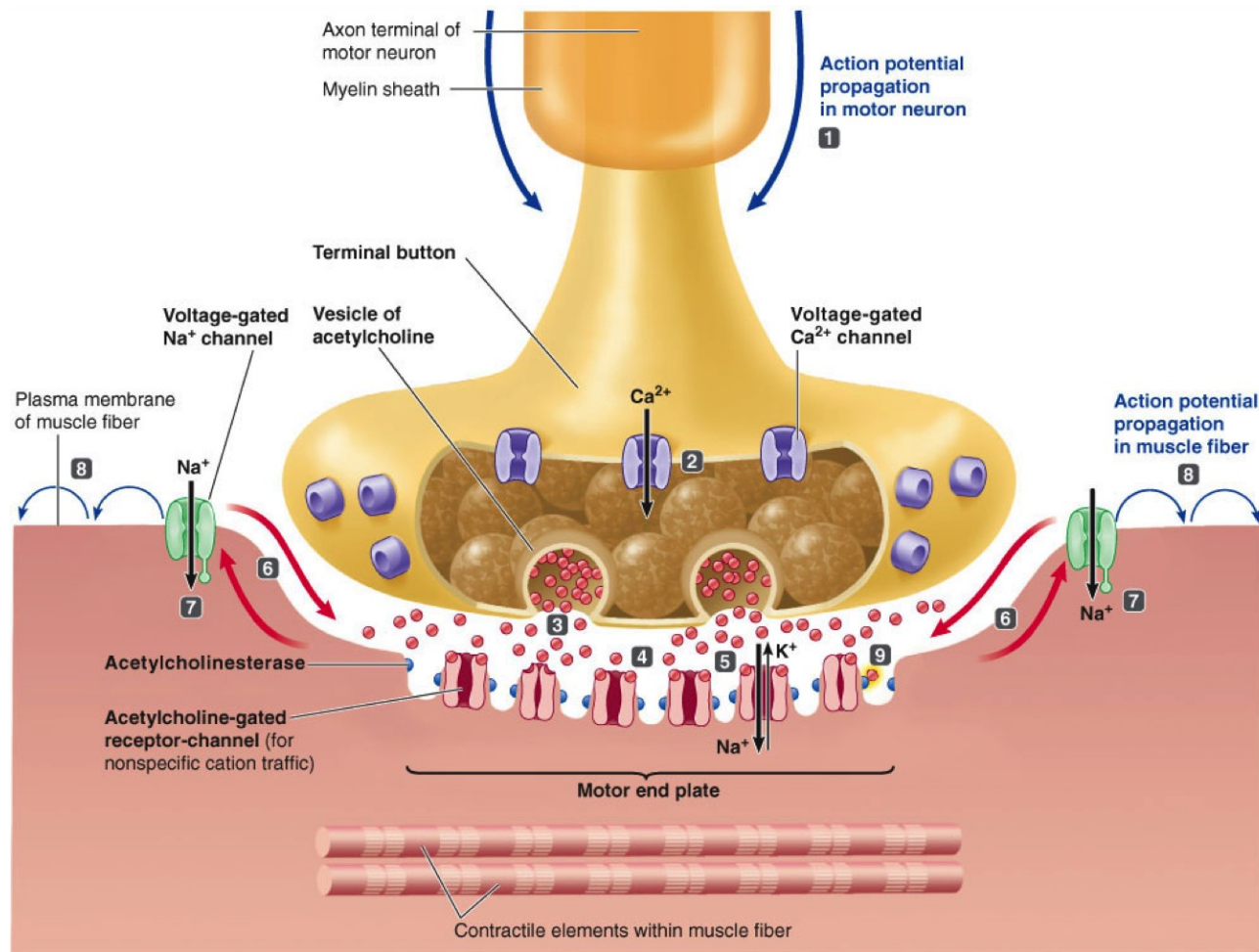
# Neurotransmitter



<http://www.slideshare.net/CsillaEgri/presentations>

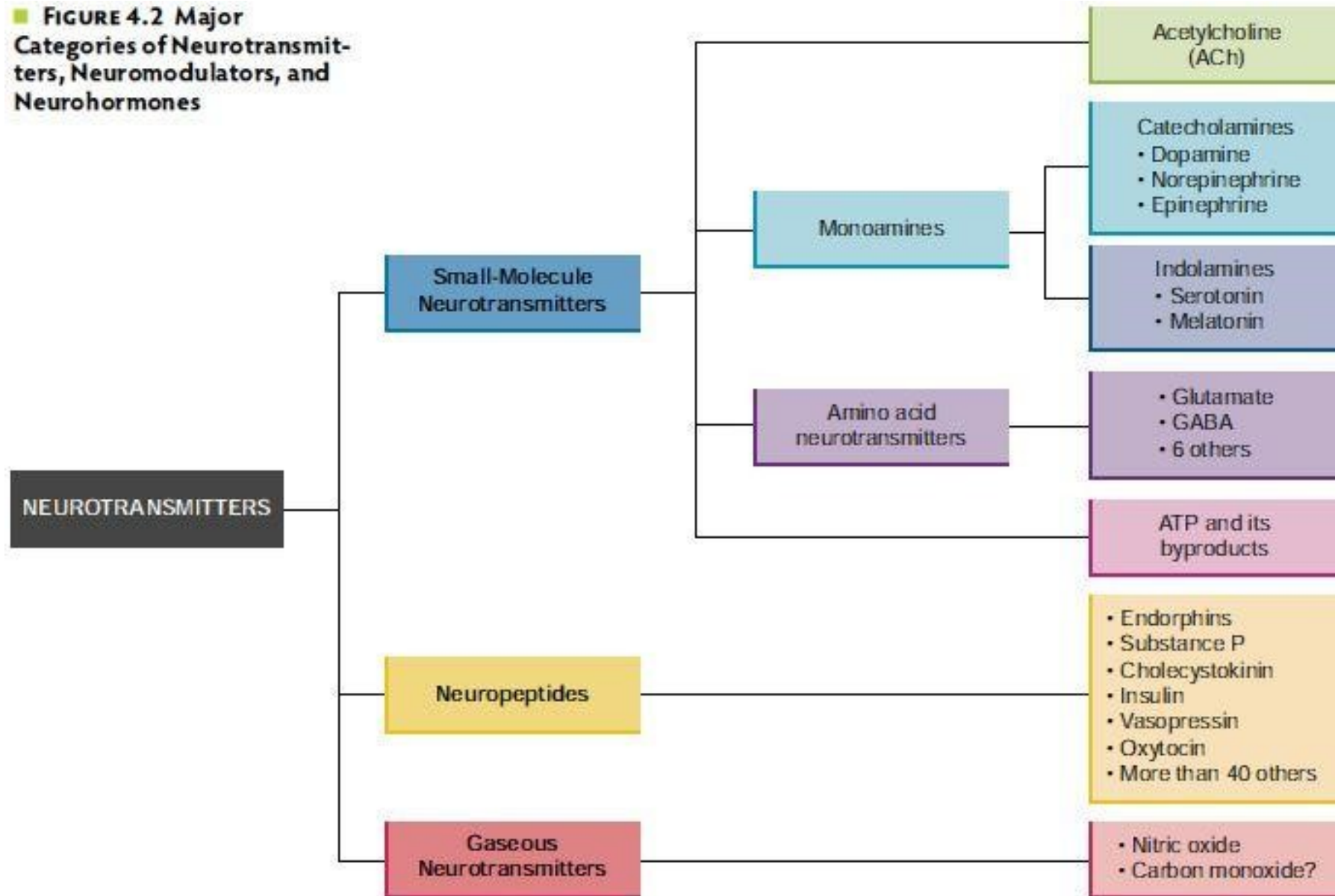
- Přítomen v presynaptickém neuronu
- Uvolněn do synaptické štěrby následkem depolarizace presynaptického neuronu ( $Ca^{2+}$  dependentní mechanismus)
- Postsynaptická membrána musí obsahovat specifické receptory

# Neuromuskulární spojení



[https://classconnection.s3.amazonaws.com/754/flashcards/2034754/png/ch\\_7\\_pic\\_41349381290275.png](https://classconnection.s3.amazonaws.com/754/flashcards/2034754/png/ch_7_pic_41349381290275.png)

■ **FIGURE 4.2 Major Categories of Neurotransmitters, Neuromodulators, and Neurohormones**



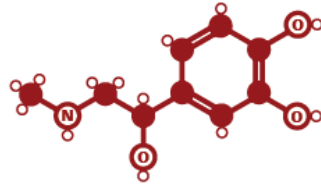
<https://classconnection.s3.amazonaws.com/108/flashcards/956108/jpg/bookpic421333407057201.jpg>

# THE STRUCTURES OF NEUROTRANSMITTERS

STRUCTURE KEY: ● Carbon atom ○ Hydrogen atom ○ Oxygen atom (N) Nitrogen atom (R) Rest of molecule

## ADRENALINE

Fight or flight neurotransmitter



Produced in stressful or exciting situations. Increases heart rate & blood flow, leading to a physical boost & heightened awareness.

## NORADRENALINE

Concentration neurotransmitter



Affects attention & responding actions in the brain, & involved in fight or flight response. Contracts blood vessels, increasing blood flow.

## DOPAMINE

Pleasure neurotransmitter



Feelings of pleasure, and also addiction, movement, and motivation. People repeat behaviours that lead to dopamine release.

## SEROTONIN

Mood neurotransmitter



Contributes to well-being & happiness; helps sleep cycle & digestive system regulation. Affected by exercise & light exposure.

## GABA

Calming neurotransmitter



Calms firing nerves in CNS. High levels improve focus; low levels cause anxiety. Also contributes to motor control & vision.

## ACETYLCHOLINE

Learning neurotransmitter



Involved in thought, learning, & memory. Activates muscle action in the body. Also associated with attention and awakening.

## GLUTAMATE

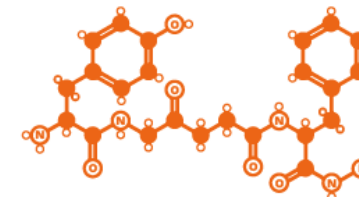
Memory neurotransmitter



Most common brain neurotransmitter. Involved in learning & memory, regulates development & creation of nerve contacts.

## ENDORPHINS

Euphoria neurotransmitters



Released during exercise, excitement, & sex, producing well-being & euphoria, reducing pain. Biologically active section shown.



© COMPOUND INTEREST 2015 - WWW.COMPOUNDCHEM.COM | Twitter: @compoundchem | Facebook: www.facebook.com/compoundchem  
This graphic is shared under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives licence.



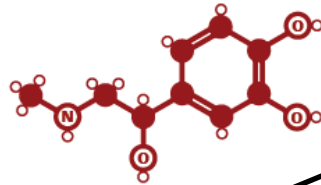


# THE STRUCTURES OF NEUROTRANSMITTERS

STRUCTURE KEY: ● Carbon atom ○ Hydrogen atom ⊙ Oxygen atom ⊙ Nitrogen atom ⊙ Rest of molecule

## ADRENALINE

Fight or flight neurotransmitter



Produced in stressful or exciting situations. Increases heart rate & blood flow, leading to a physical boost & heightened awareness.

## NORADRENALINE

Concentration neurotransmitter



Involved in thought, learning, & memory. Activates muscle action in the body. Also associated with attention and awakening.

## ACETYLCHOLINE

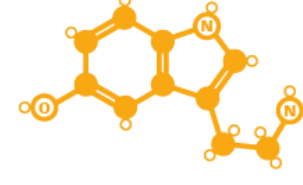
Most common neurotransmitter



Most common brain neurotransmitter. Involved in learning & memory, regulates development & creation of nerve contacts.

## SEROTONIN

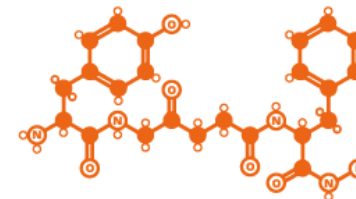
Mood neurotransmitter



Contributes to well-being & happiness; helps sleep cycle & digestive system regulation. Affected by exercise & light exposure.

## ENDORPHINS

Euphoria neurotransmitters



Released during exercise, excitement, & sex, producing well-being & euphoria, reducing pain. Biologically active section shown.

## GABA

Calming neurotransmitter



Calms firing nerves in CNS. High levels improve focus; low levels cause anxiety. Also contributes to motor control & vision.

**Excitační**  
(kyselina glutamová, acetylcholin)

**X**

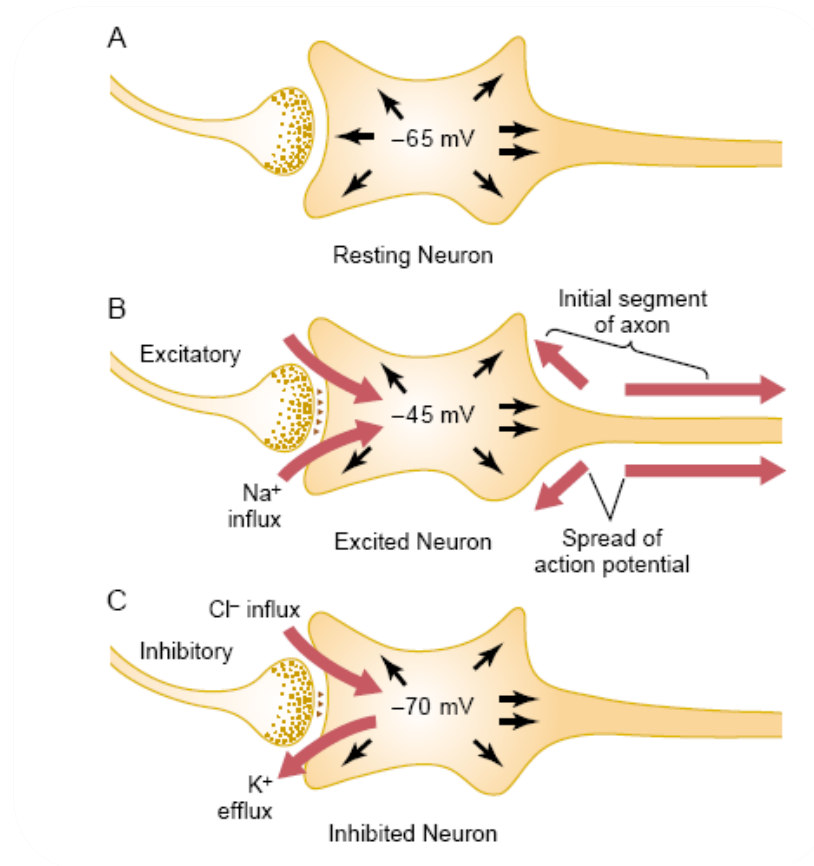
**Inhibiční**  
(GABA)



© COMPOUND INTEREST 2015 - WWW.COMPOUNDCHEM.COM | Twitter: @compoundchem | Facebook: www.facebook.com/compoundchem  
This graphic is shared under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives licence.



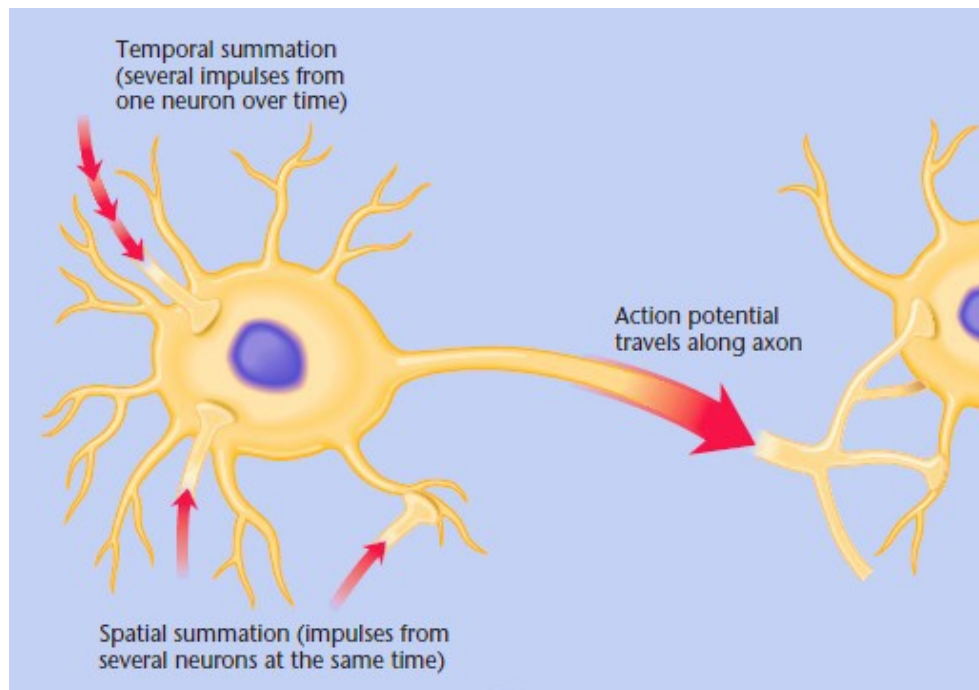
# Excitační/inhibiční postsynaptický potenciál



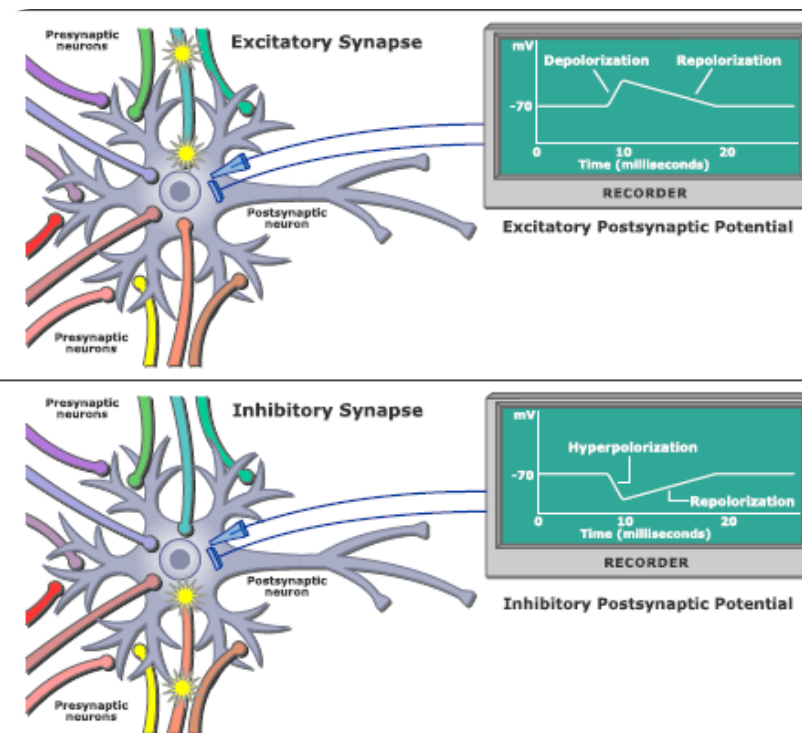
<http://www.slideshare.net/drpsdeb/presentations>

# Sumace signálu

- Časová
- Prostorová

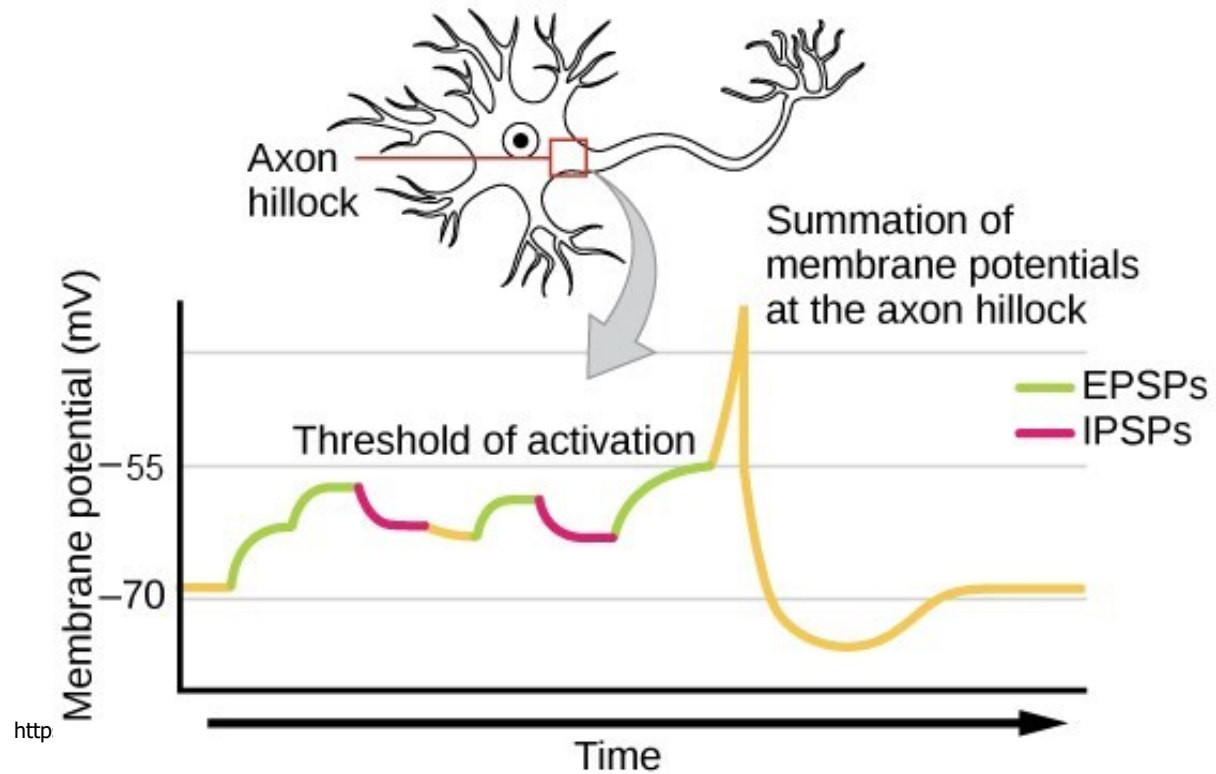


[https://www.slideshare.net/drgabe/biological-psychology-synapses?from\\_action=save](https://www.slideshare.net/drgabe/biological-psychology-synapses?from_action=save)



<http://www.slideshare.net/drpsdeb/presentations>

# Sumace signálu



http

<http://www.geon.us/Memory/images/Summation.jpg>



# Konvergence signálu

Průměrný počet synapsí  
na neuron u primátů

- ✓ Primární zrakový  
kortex (area17)  
– cca. 4 000
- ✓ Primární motorický  
kortex (area4)  
– cca. 60 000

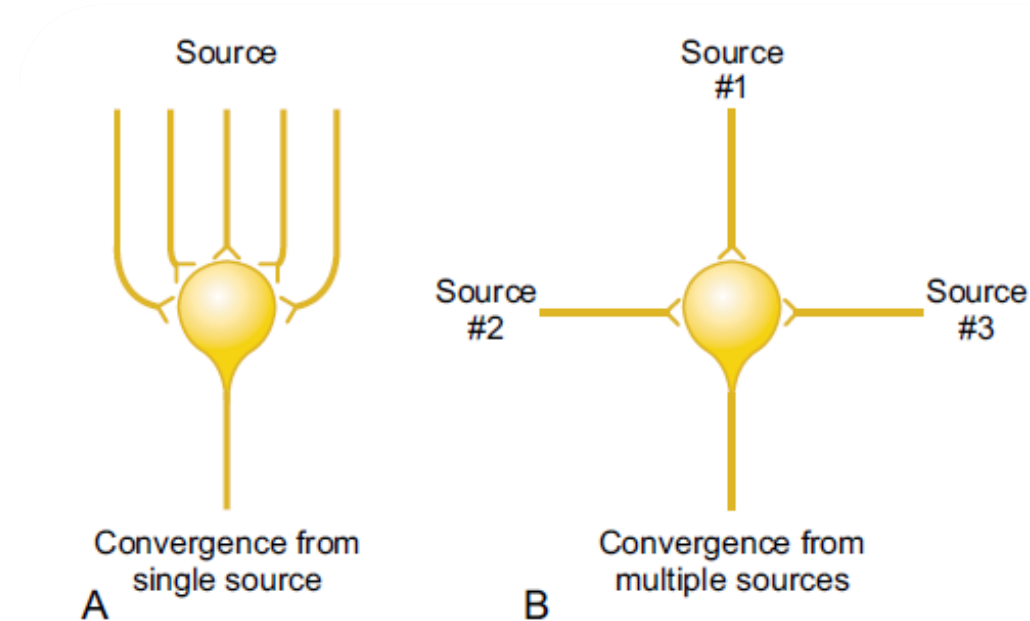
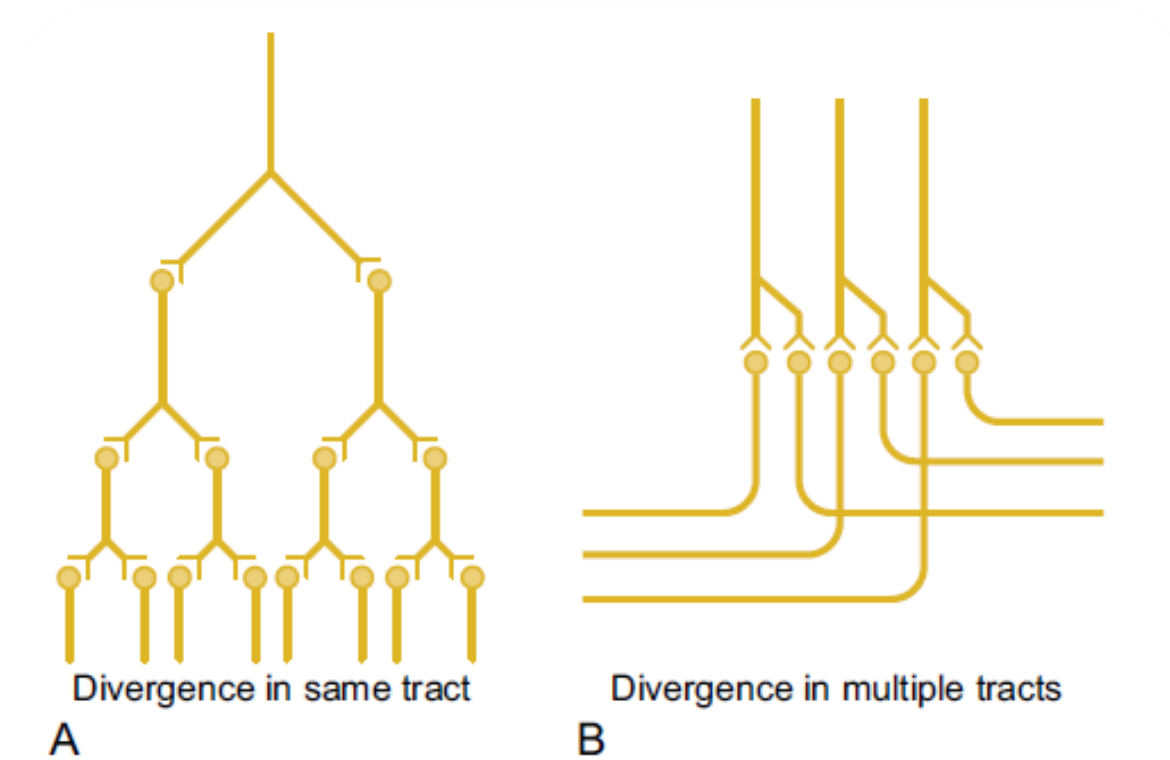


Figure 46-12

“Convergence” of multiple input fibers onto a single neuron. *A*, Multiple input fibers from a single source. *B*, Input fibers from multiple separate sources.

<http://www.slideshare.net/drpsdeb/presentations>

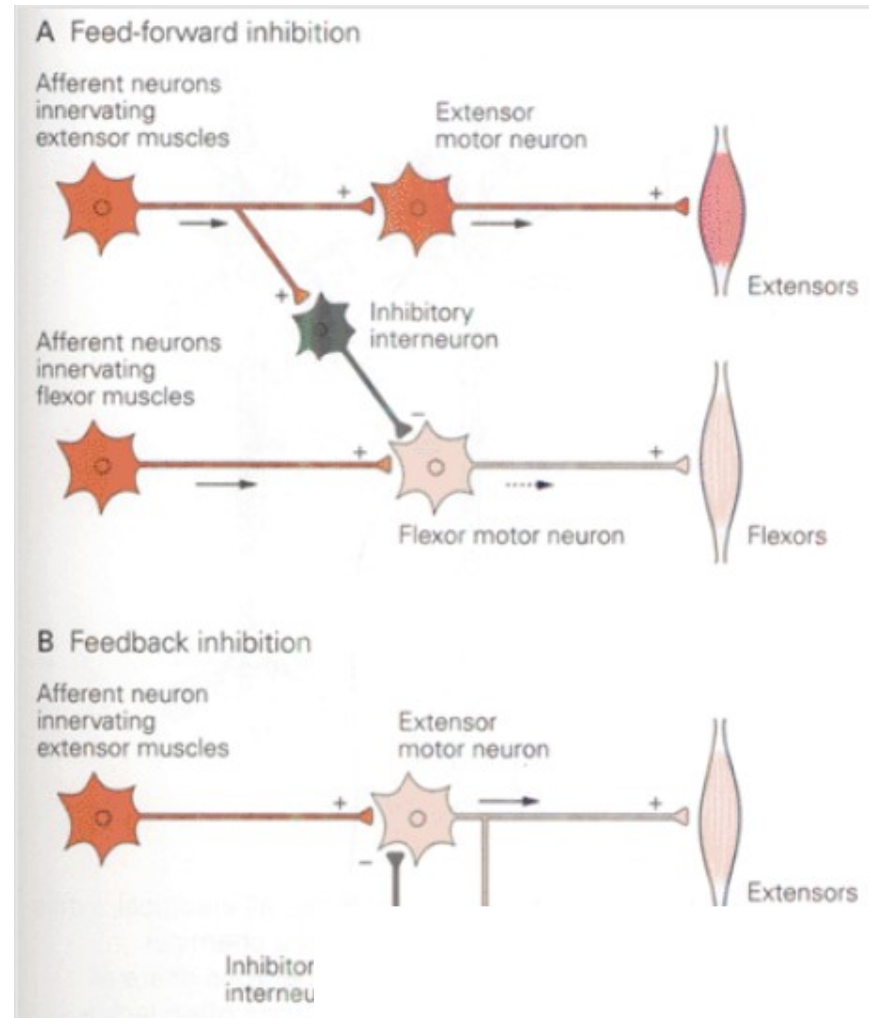
# Divergence signálu



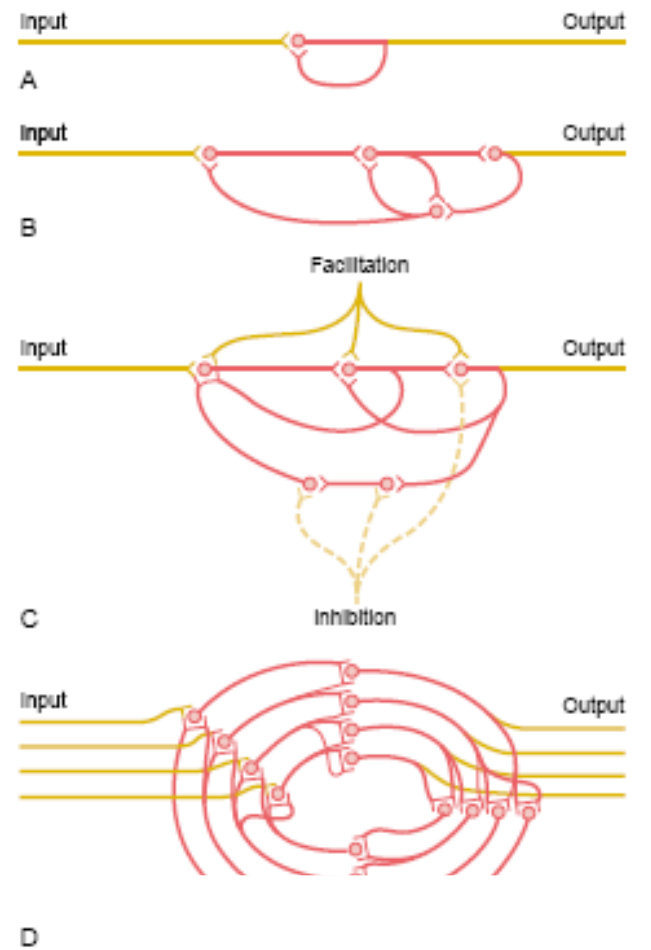
**Figure 46-11**

“Divergence” in neuronal pathways. *A*, Divergence within a pathway to cause “amplification” of the signal. *B*, Divergence into multiple tracts to transmit the signal to separate areas.

# Networking



# Networking



# Neurotransmise

vs.

# Neuromodulace

- Přenos informace

- Regulace aktivity NS

# Neurotransmise

vs.

# Neuromodulace

- Přenos informace
- Specifická

- Regulace aktivity NS
- Difúzní (volume transmission)

# Neurotransmise

vs.

# Neuromodulace

- Přenos informace
- Specifická
- Receptory
  - Iontové kanály

- Regulace aktivity NS
- Difúzní (volume transmission)
- Receptory
  - Pomalé G-proteiny

# Neurotransmise

vs.

# Neuromodulace

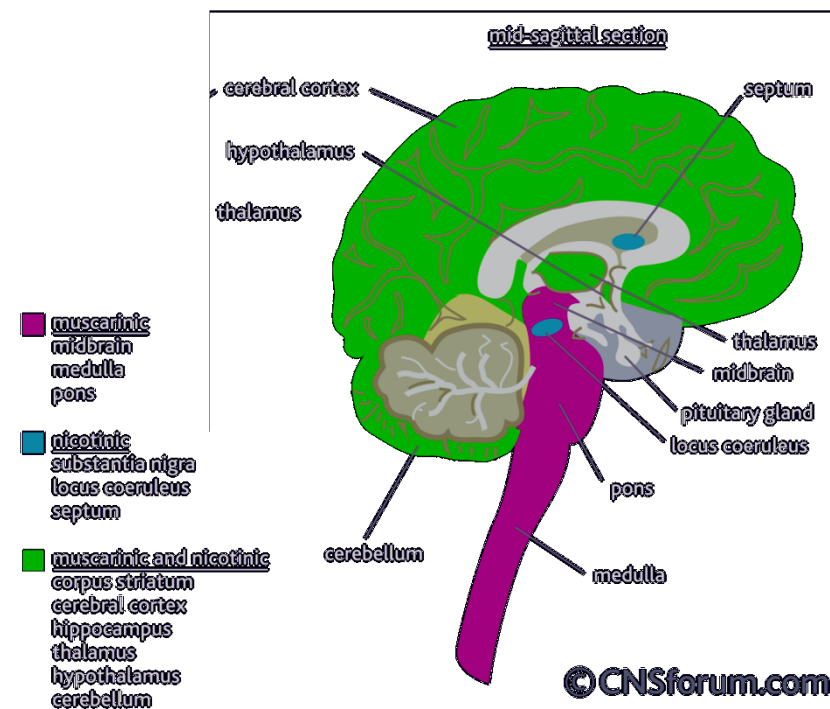
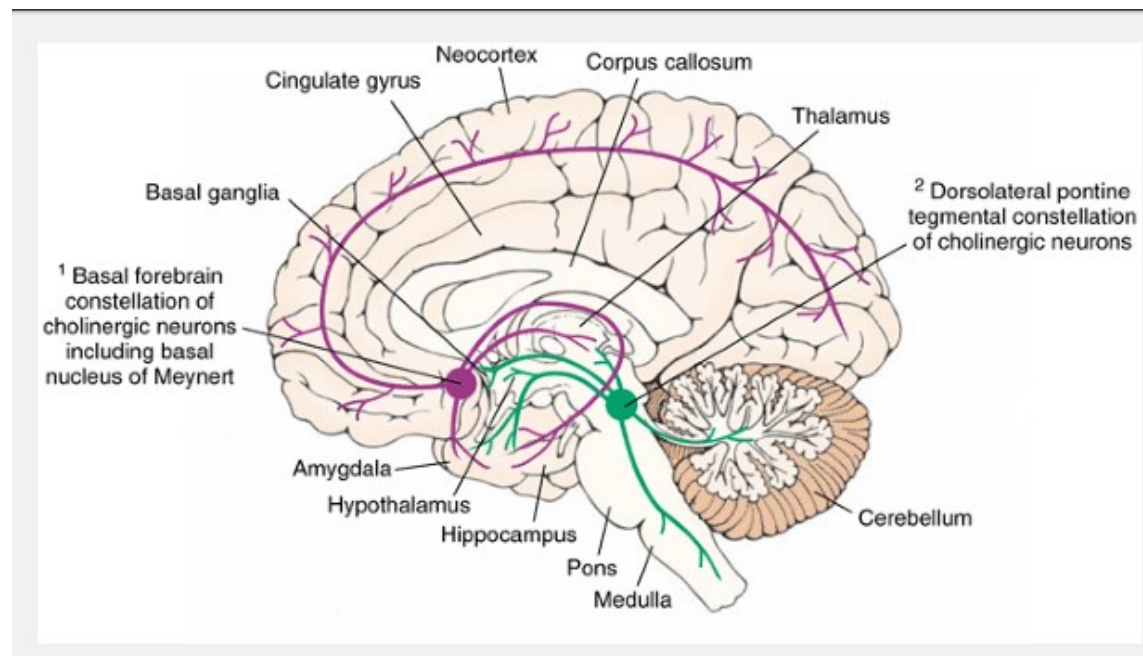
- Přenos informace
- Specifická
- Receptory
  - Iontové kanály
- Krátký účinek
  - Změny membránového potenciálu

- Regulace aktivity NS
- Difúzní (volume transmission)
- Receptory
  - Pomalé G-proteiny
- Déletrvající účinek
  - Změny vlastností synapsí atd.



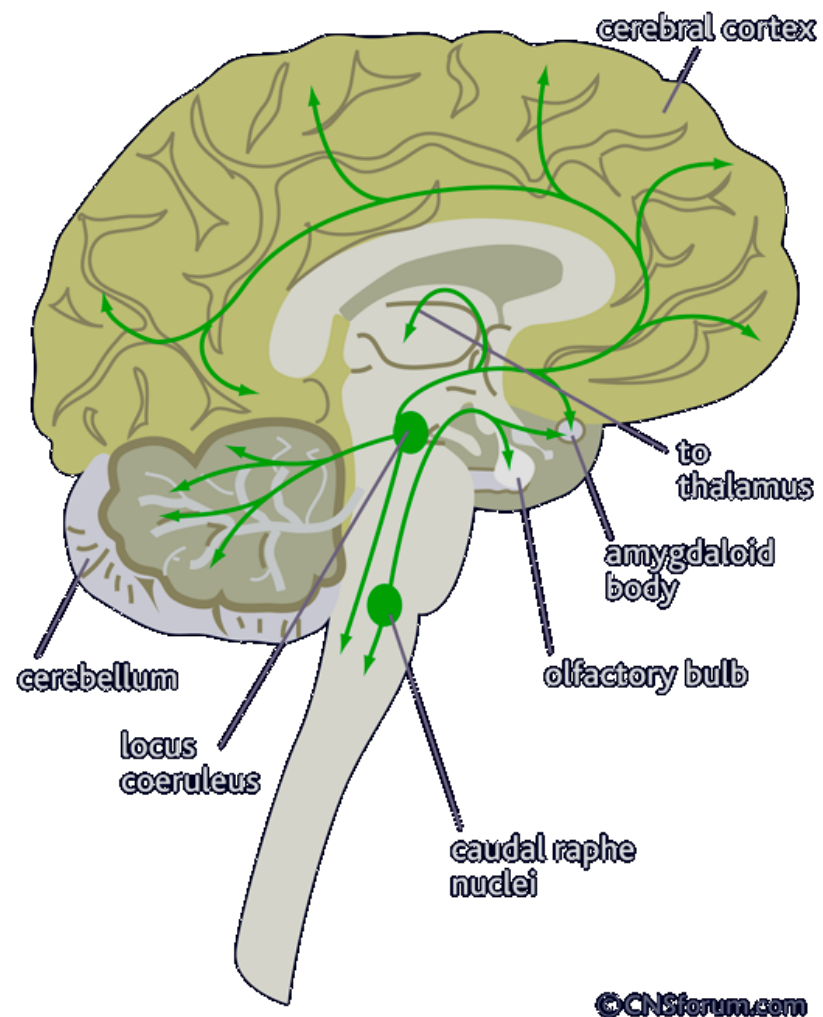
# Acetylcholin

- Nucleus basalis (Meynerti) a řada dalších jader
- Nikotinové receptory
- Muskarinové receptory
  
- Regulace spánku/bdění
- Kognitivní funkce
- Chování
- Emoce



# Noradrenalin

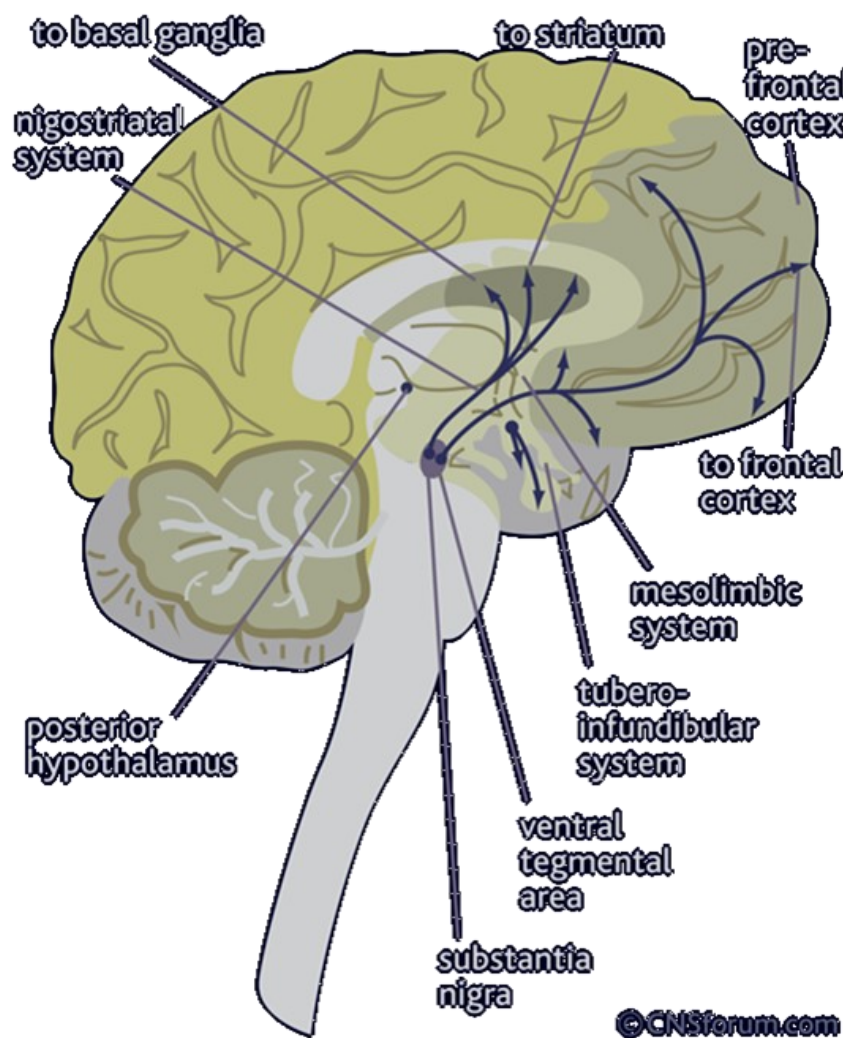
- Locus coeruleus
- Nuclei raphe caudalis
  
- Bdělost
- Responzivita na nečekané podmínky
- Paměť
- Učení



<http://www.slideshare.net/drpsdeb/presentations>

# Dopamin

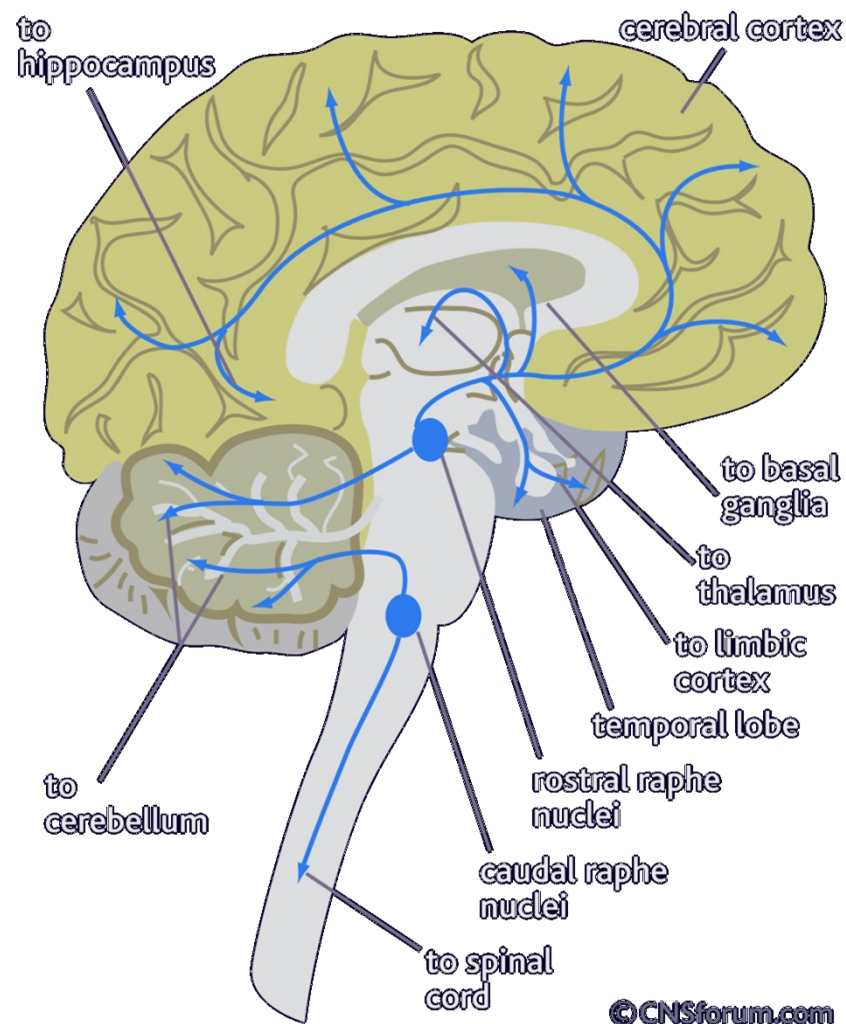
- Nigrostriatální systém
  - Pohyb
  - Senzorika
- Ventrosegmentno-meso-  
limbicko-frontální systém
  - Systém odměny
  - Kognitivní funkce
  - Emoční chování
- Tubero-infundibulární systém
  - Regulace hypotalamo-  
hypofyzárního systému
- D1 receptory – stimulační
- D2 receptory - inhibiční



<http://www.slideshare.net/drpsdeb/presentations>

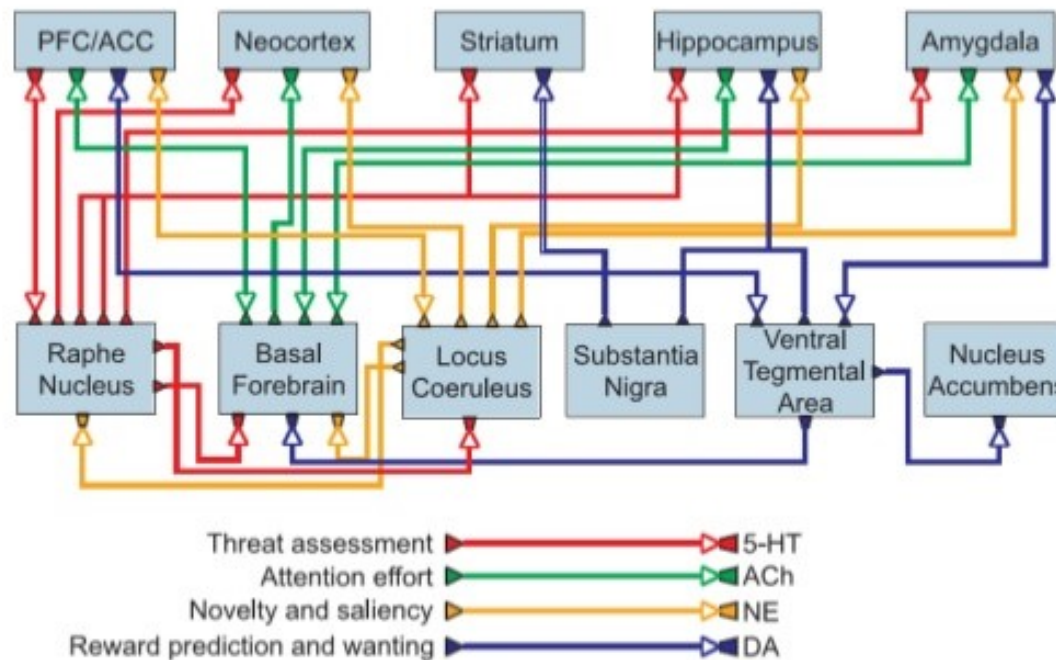
# Serotonin

- Nuclei raphe rostralis
- Nuclei raphe caudalis
  
- Úzkost/relaxace
- Impulzivnost
- Spánek



<http://www.slideshare.net/drpsdeb/presentations>

# Neuromodulační systémy

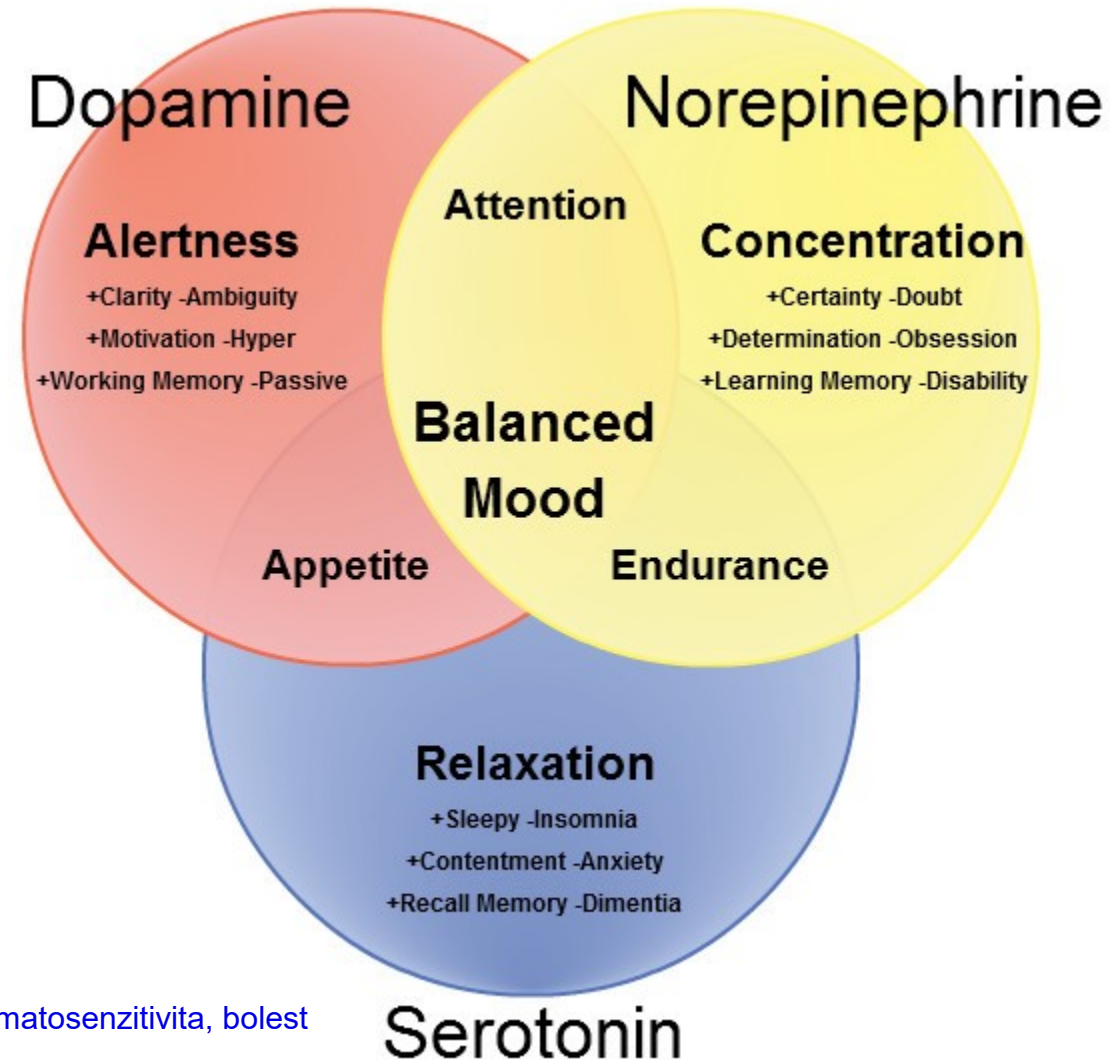


Jeffrey L. Krichmar, Adaptive Behavior 2008; 16; 385

<http://image.slidesharecdn.com/neuromodulationincognition-140119031056-phpapp02/95/neuromodulation-in-cognition-5-638.jpg?cb=1419657931>

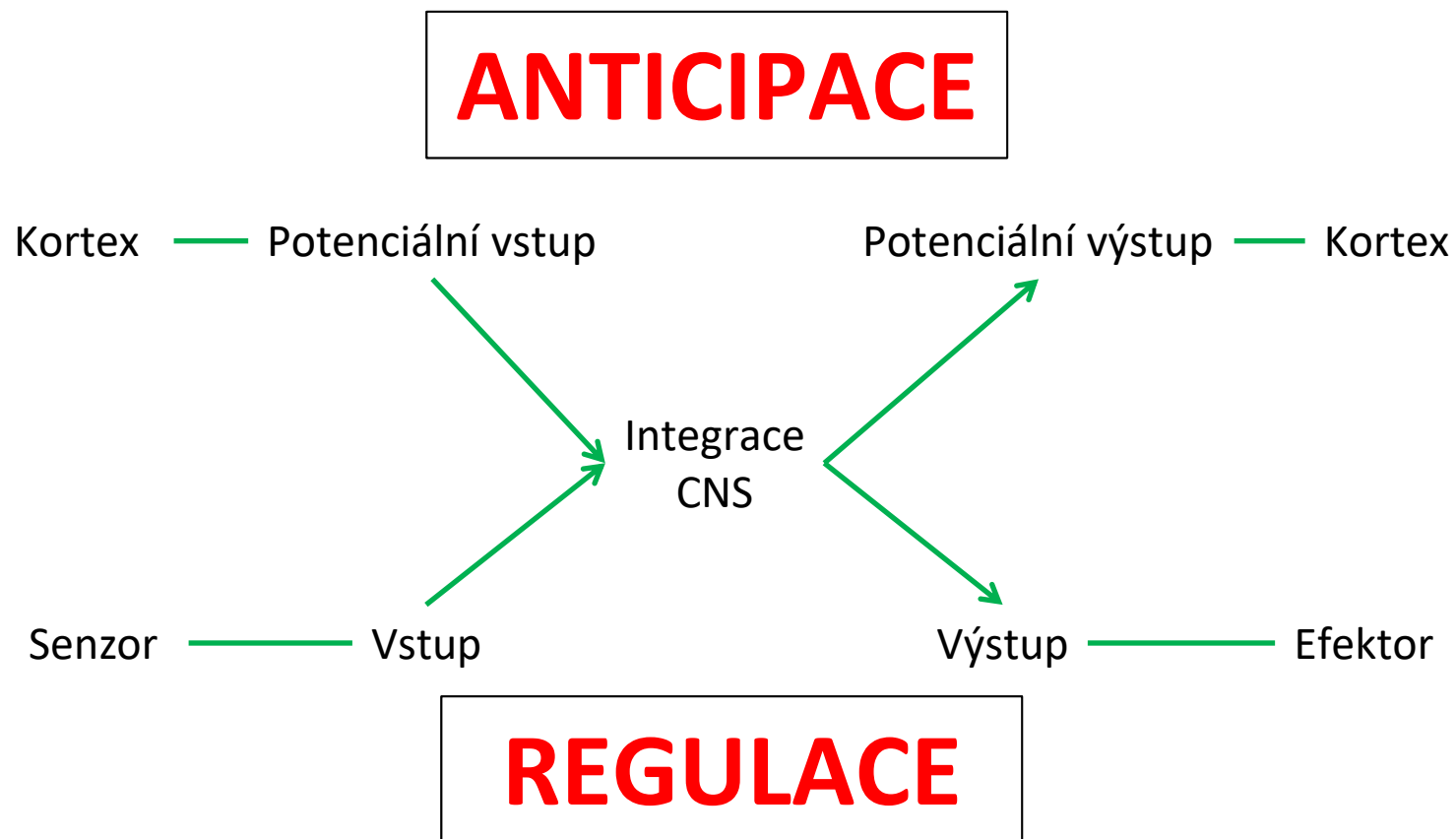


# Neuromodulační systémy



# **Somatosenzitivita, bolest**

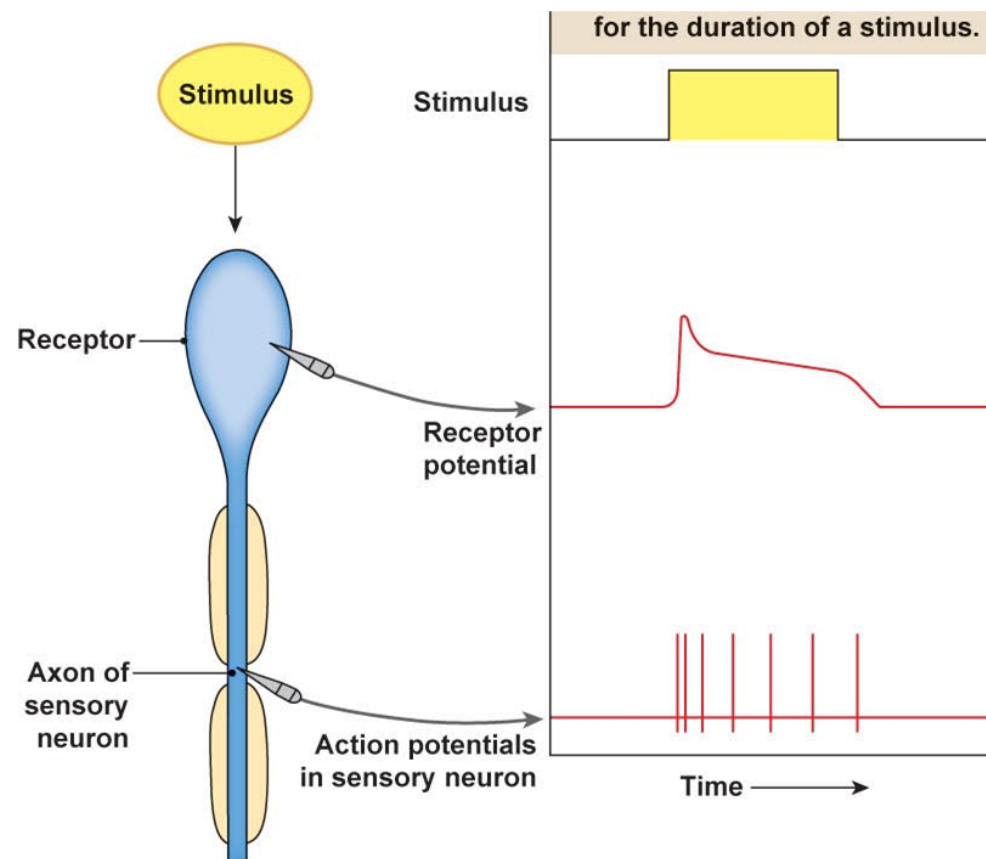
# Význam a regulační povaha nervového systému





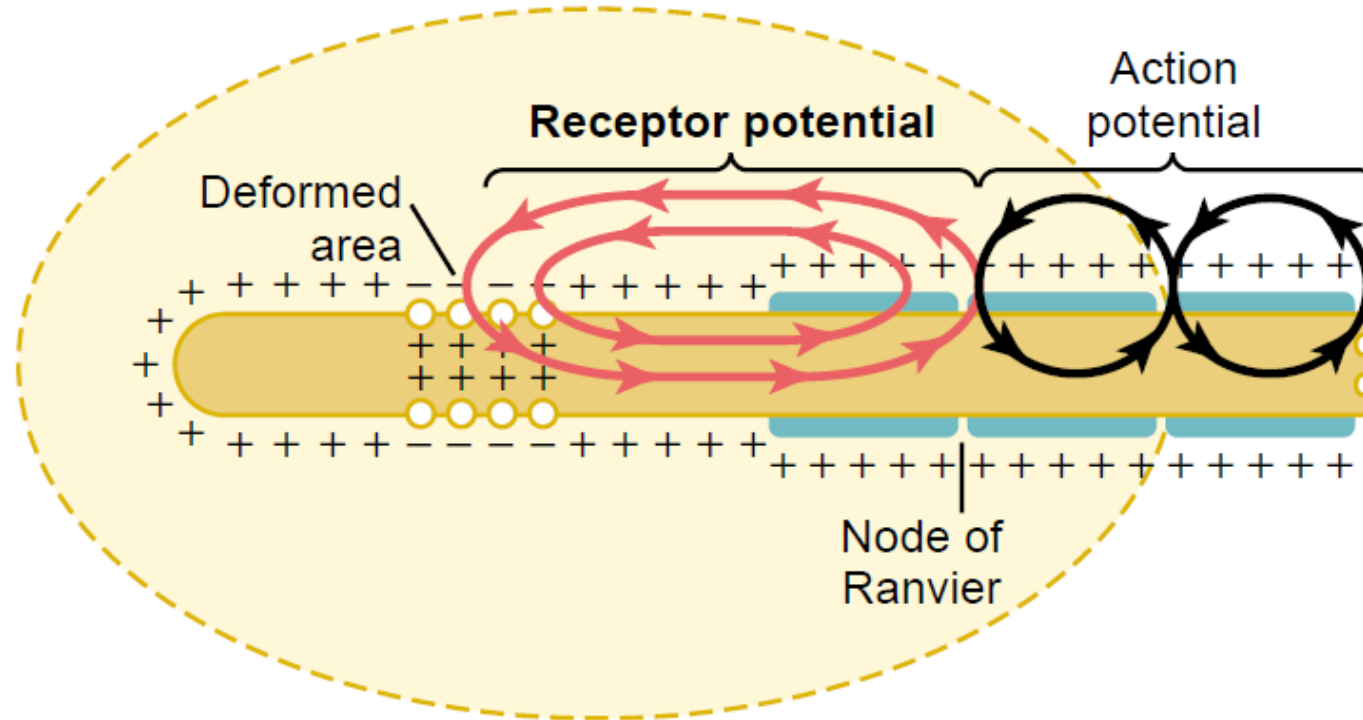
# Receptory/senzory

- Měníč energie
  - Zachycení signálu
  - Transformace signálu
- Receptorový potenciál
  - Generátorový potenciál
- Akční potenciál



<http://www.slideshare.net/CsillaEgri/presentations>

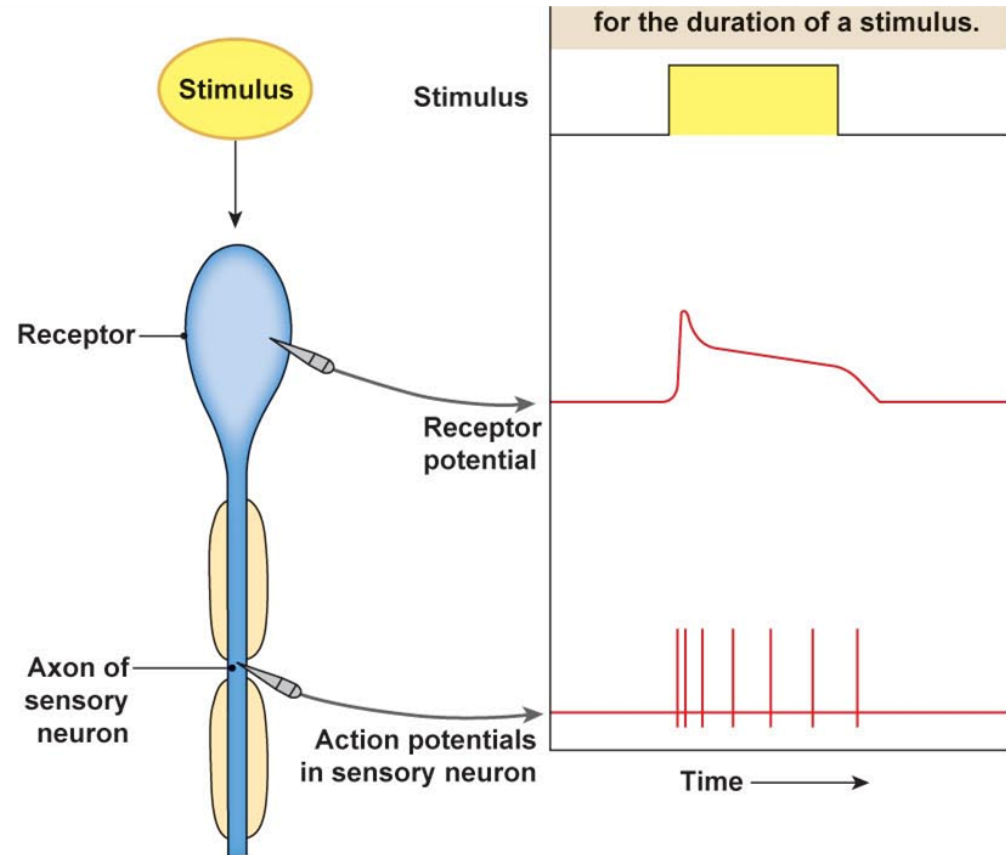
# Receptorový/generátorový a akční potenciál



<http://www.slideshare.net/drpsdeb/presentations>

# Receptory/senzory

- Měníč energie
  - Zachycení signálu
  - Transformace signálu
- Receptorový potenciál
  - Generátorový potenciál
- Akční potenciál
- Adekvátní podmět
- Neadekvátní podmět

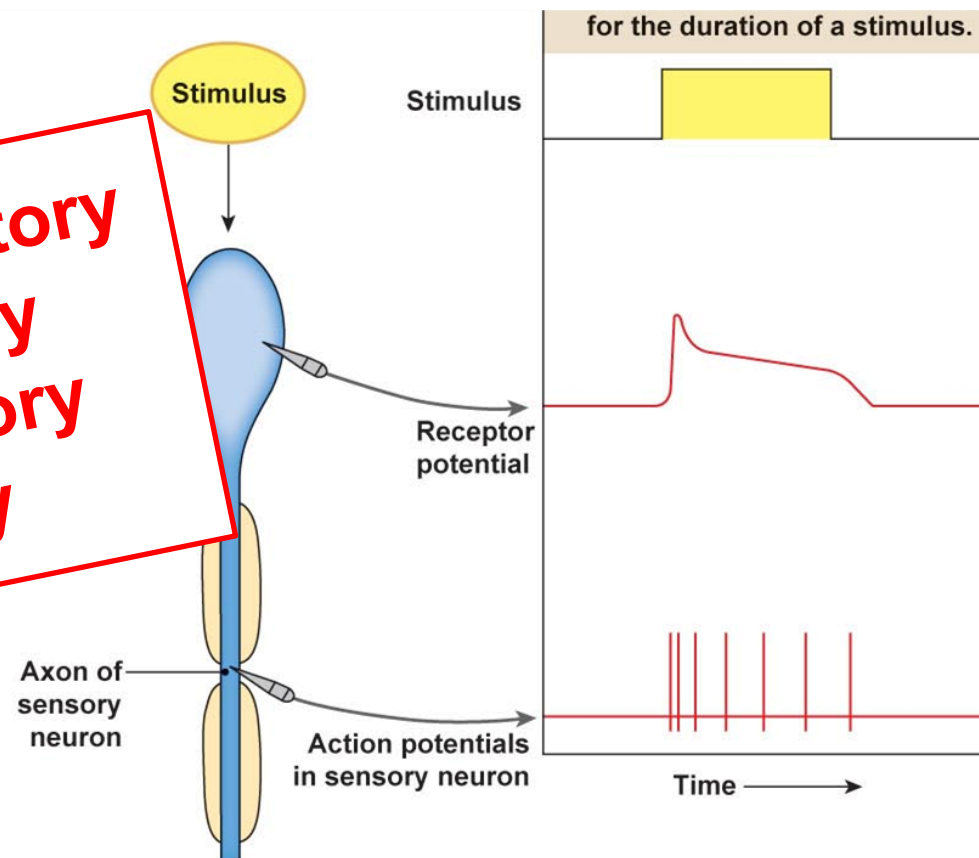


<http://www.slideshare.net/CsillaEgri/presentations>

# Receptory/senzory

- Měníč energie
  - Zachycení signálu
  - Transformace signálu
- Receptorový potenciál
  - Generátorový potenciál
- Akční potenciál
- Adekvátní podmět
- Neadekvátní podmět

✓ **Mechanoreceptory**  
✓ **Termoreceptory**  
✓ **Chemoreceptory**  
✓ **Fotoreceptory**



<http://www.slideshare.net/CsillaEgri/presentations>

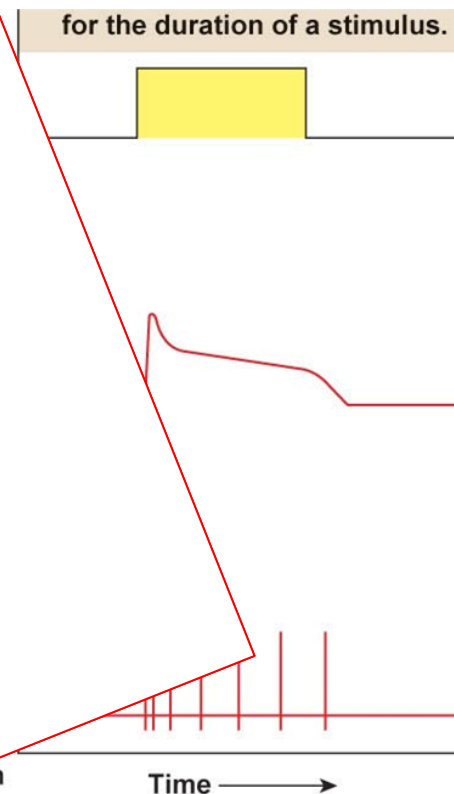
# Receptory/senzory

- Měníč energie
  - Zachycení signálu
  - Transformace signálu
- Receptorový potenciál
  - Generátorový potenciál
- Akční potenciál
- Adekvátní podmět
- Neadekvátní podmět

**Obecné atributy stimulu**

**Kvalitativní parametry**  
Modalita - Co?  
Lokalizace - Kde?

**Kvantitativní parametry**  
Intenzita - Jak moc?  
Trvání v čase

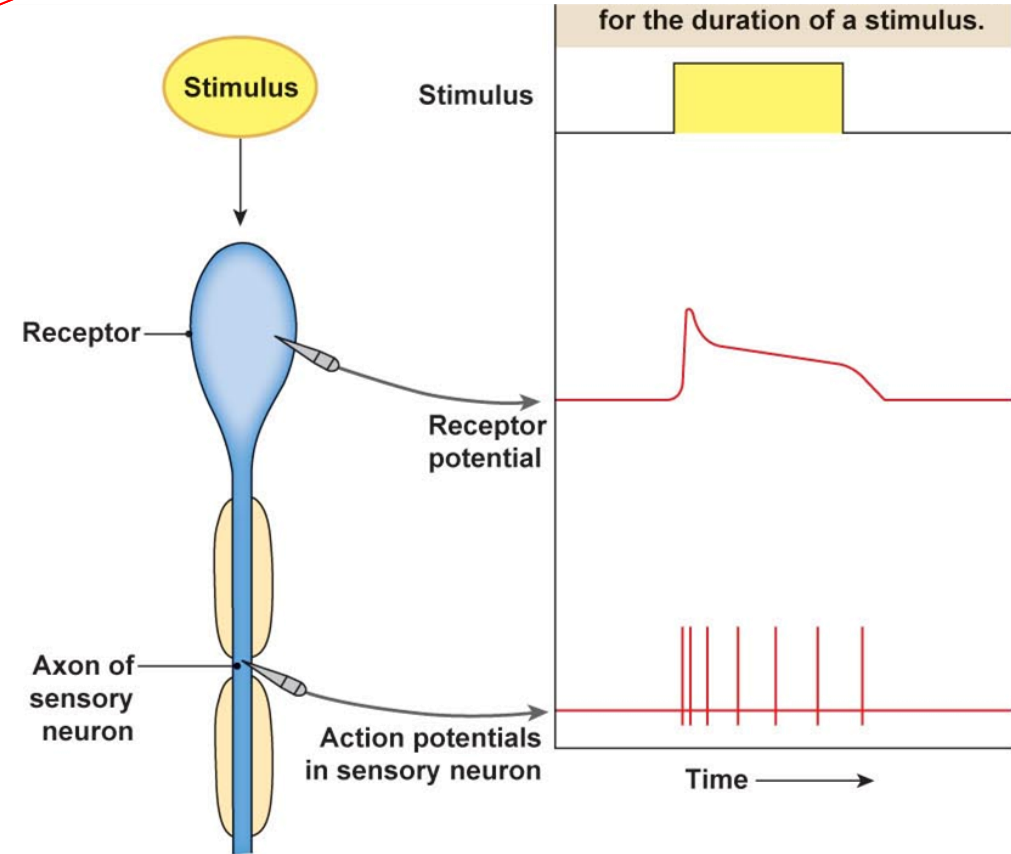


<http://www.slideshare.net/CsillaEgri/presentations>

# Informace o intenzitě

Jak moc?

- Amplituda receptorového potenciálu je převedena na frekvenci akčního potenciálu
- Neboli změna intenzity stimulu vyvolá změnu frekvence AP
- Stimulus o vysoké intenzitě může aktivovat více receptorů, což má také významnou informační hodnotu



<http://www.slideshare.net/CsillaEgri/presentations>

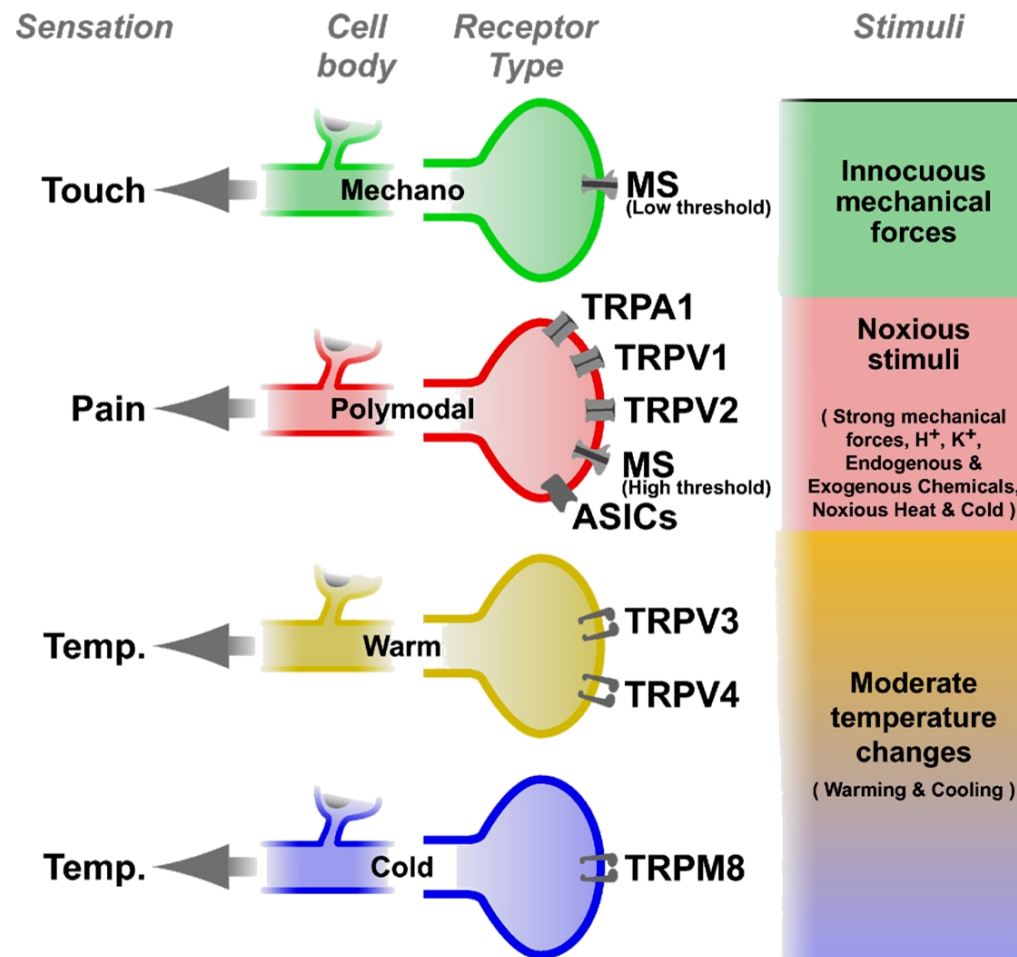
# Informace o kvalitě

Co?  
Kde?

- Pravidlo specifické nervové energie:

Každý senzorký nerv vede informaci o jedné modalitě do specifické mozkové oblasti, která informaci interpretuje

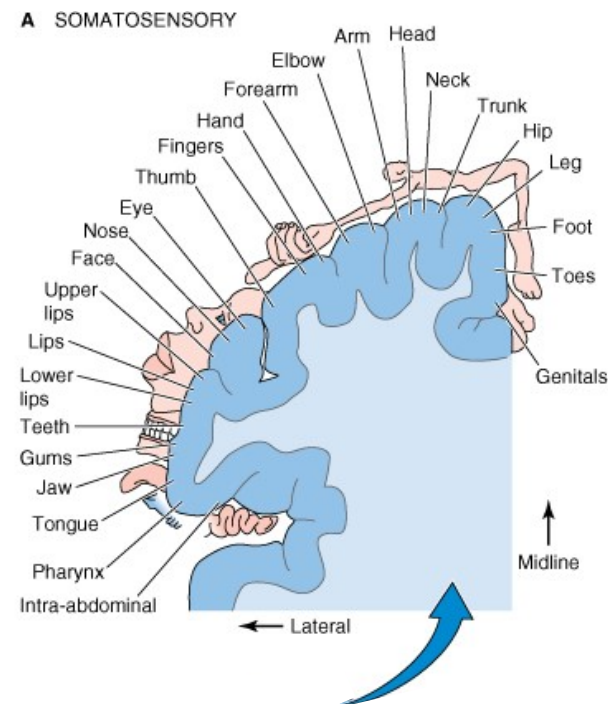
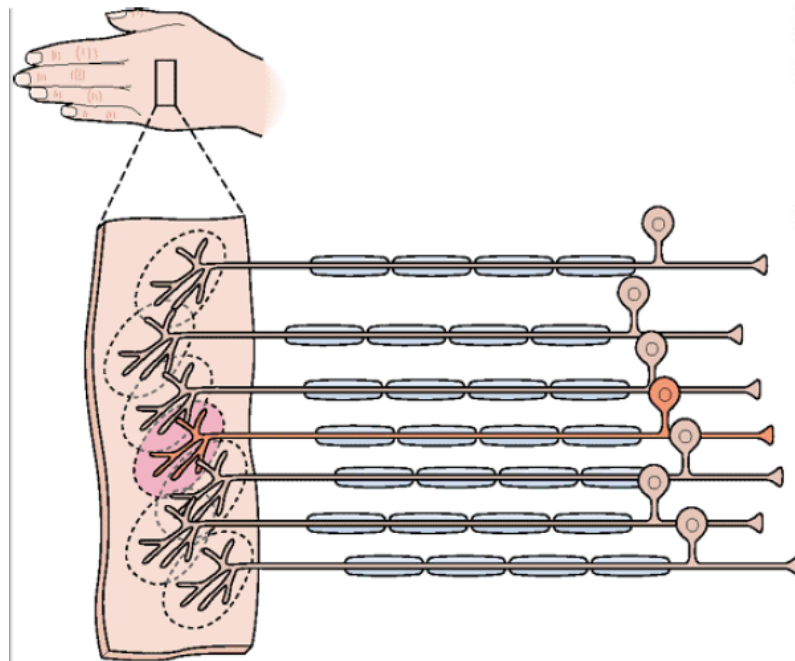
- Labeled line coding určuje informaci o kvalitě



# Informace o kvalitě

Co?  
Kde?

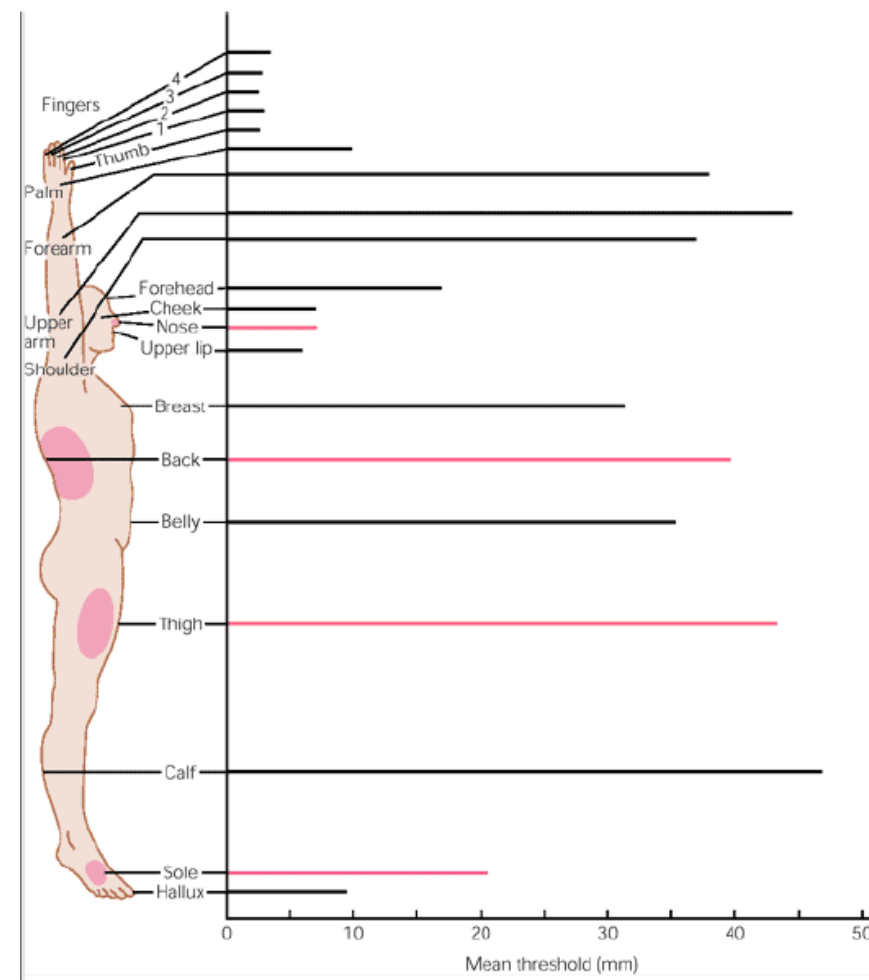
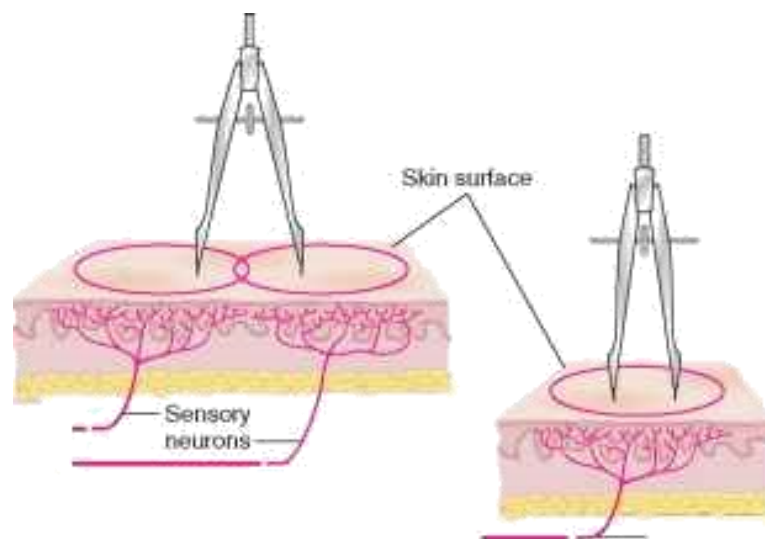
- Labeled line coding
- Receptivní pole
- Dráždění nervu vyvolá odpovídající vjem





# Receptivní pole

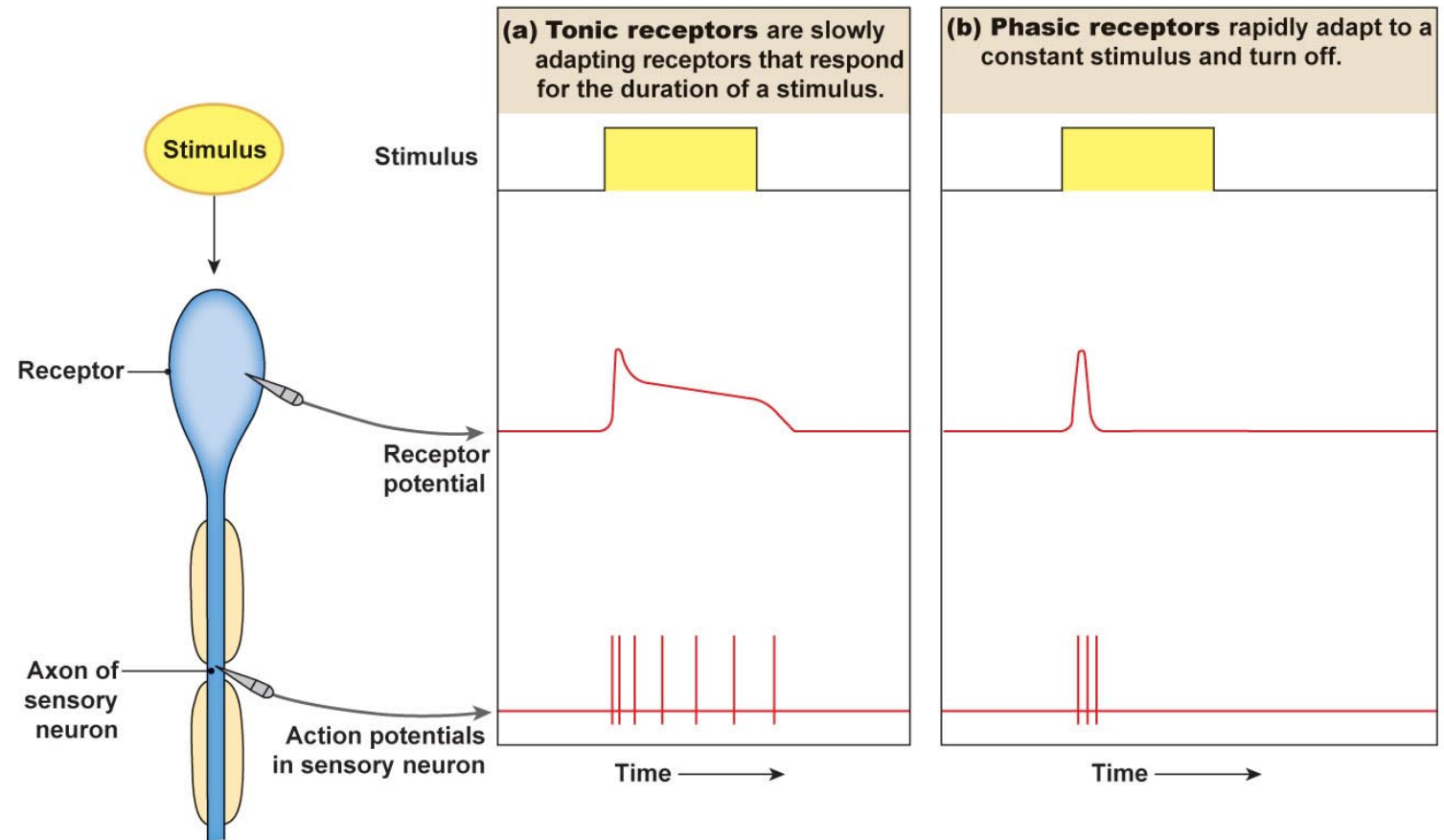
- Různá velikost, různé překrývání
- Malé receptorové pole – vyšší rozlišení
- Rozlišovací schopnost zesílena laterální inhibicí



<http://www.slideshare.net/drpsdeb/presentations>

# Adaptace receptoru

- Úbytek citlivosti receptoru navzdory trvání stimulu
- Toncké receptory – pomalá adaptace – přítomnost stimulu, poloha
- Fazické receptory – rychlá adaptace – změna stimulu
- Fazicko – tonické - ...

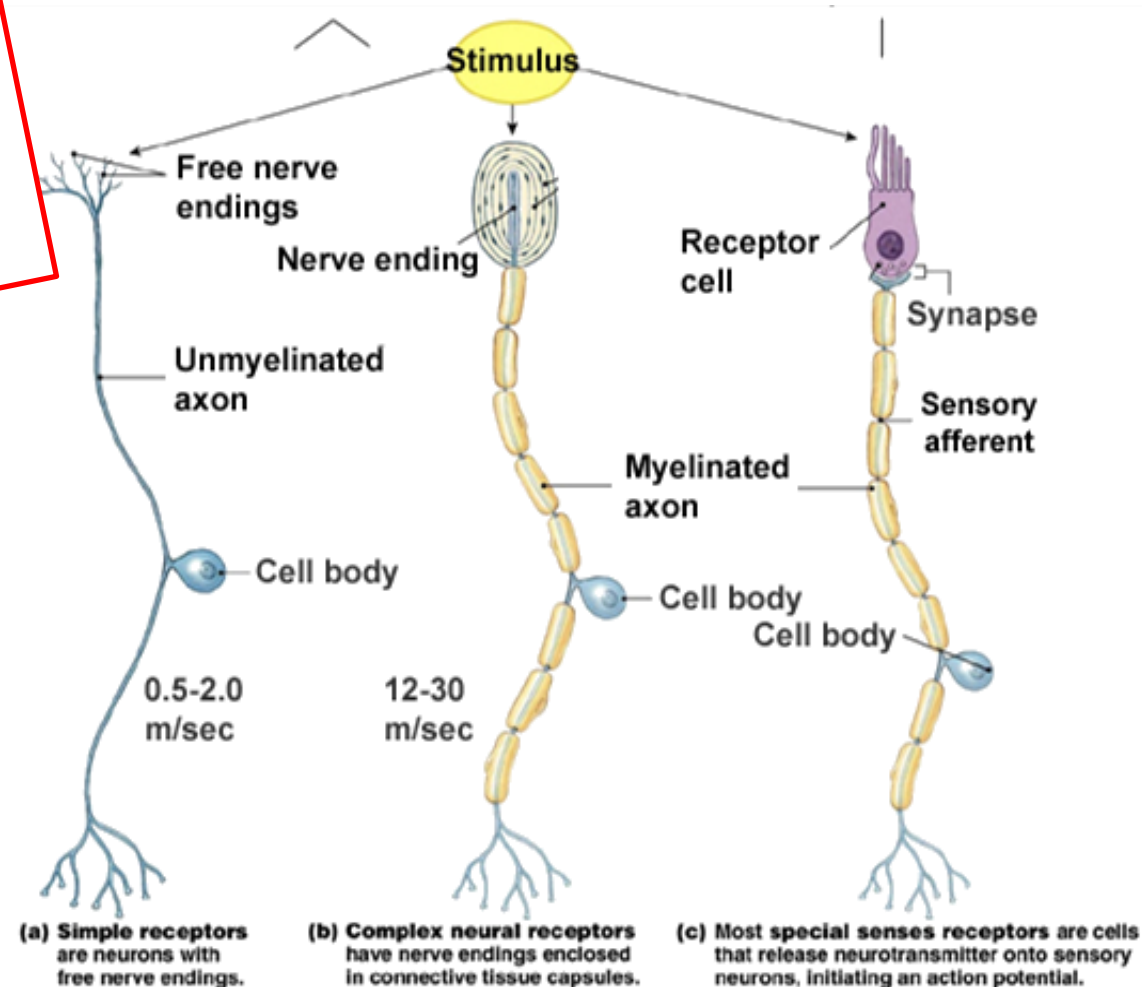


<http://www.slideshare.net/CsillaEgri/presentations>

# Receptory

- ✓ Mechanoreceptory
- ✓ Termoreceptory
- ✓ Chemoreceptory
- ✓ Fotoreceptory

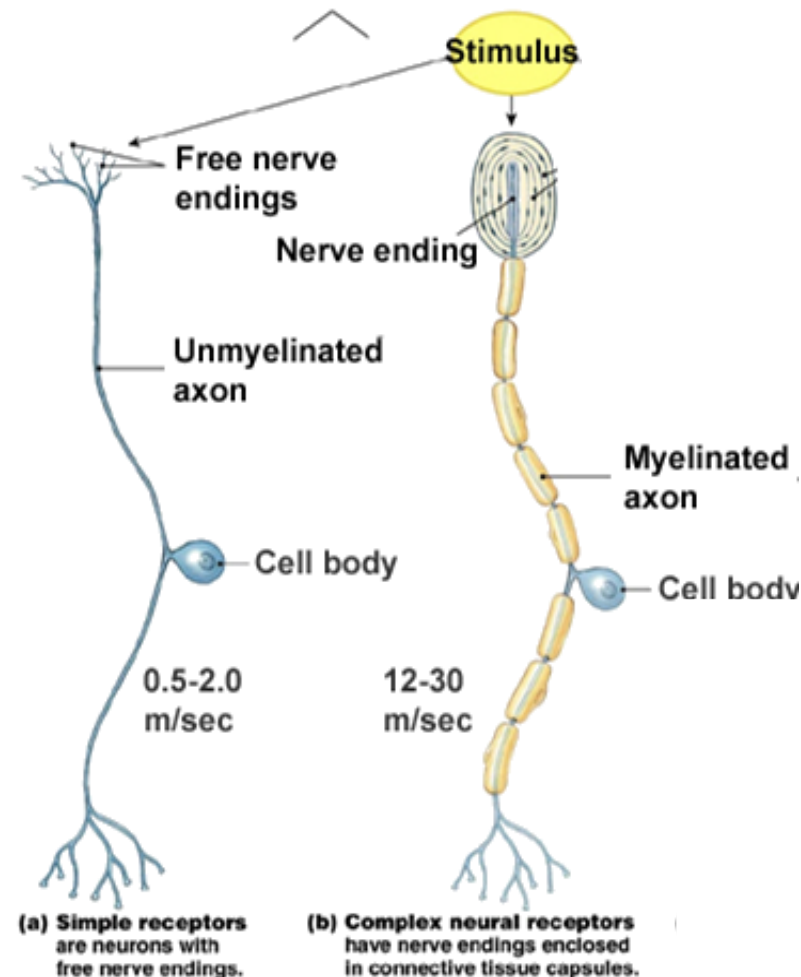
- Jednoduché
- Komplexní
- Obecné
  - Povrchové – somatosenzory
  - Vnitřní – viscerosenzory
  - Svaly, šlachy, klouby – proprioceptory
- Speciální
  - Součást smyslových orgánů



<http://www.slideshare.net/CsillaEgri/presentations>

# Evoluční pohled

- Z evolučního pohledu jsou nejdůležitější informace o potenciálním poškození organismu a dle důležitosti se systémy vyvíjely
  - Bolest
  - Teplota
- Somatosenzitivní informace nebolestivého charakteru představují výhodu při adaptaci v daném prostředí



# Evoluční pohled

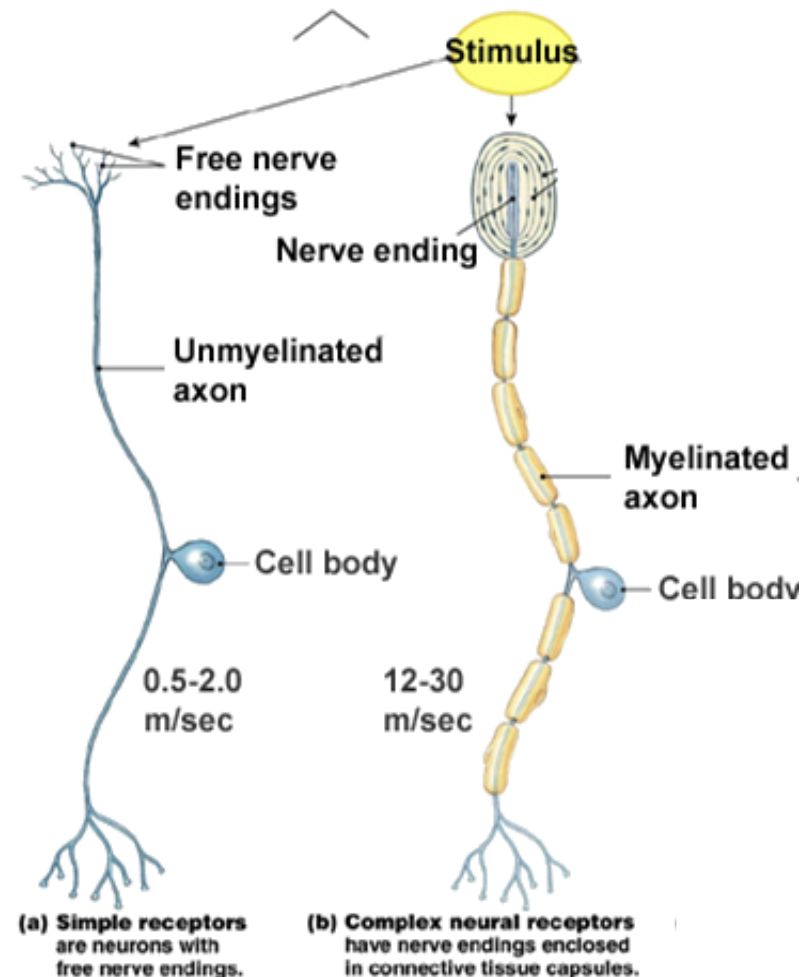
- Z evolučního pohledu jsou nejdůležitější informace potenciálně dostupné organismu a dlouhodobé systémy vyvíjely

**Bezprostřední přežití**

– Teplota

- Somatosenzitivní neboest... představují v... aptaci v daném prostředí

**Dlouhodobé přežití**



# Evoluční pohled

- Z evolučního pohledu jsou nejdůležitější informace potenciálně dostupné organismu a dlouhodobé systémy vyvíjely

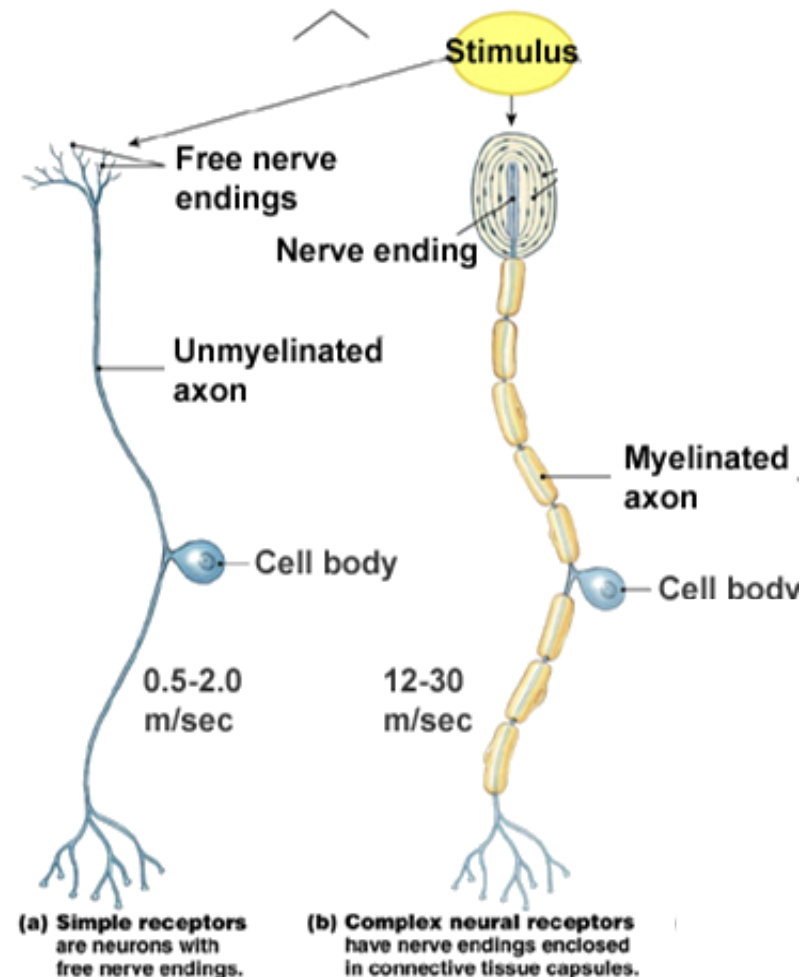
**Bezprostřední přežití**

– Teplota

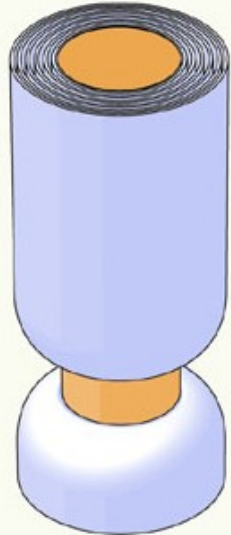



- Somatosenzitivní neboest... představují v... aptaci v daném prostředí

**Dlouhodobé přežití**

- Struktura receptorů, nervových vláken i drah odráží evoluční stáří



# Nervová vlákna

Axons from skin	A $\alpha$	A $\beta$	A $\delta$	C
Axons from muscles	Group I	II	III	IV
				
Diameter ( $\mu\text{m}$ )	13–20	6–12	1–5	0.2–1.5
Speed (m/sec)	80–120	35–75	5–30	0.5–2
Sensory receptors	Proprioceptors of skeletal muscle	Mechanoreceptors of skin	Pain, temperature	Temperature, pain, itch

# Viscerosenzitivita

- Přenos informací z viscerální oblasti a kardiovaskulárního systému
- Vázána na autonomní nervový systém
- Většina informací končí nejvýše v hypothlamu
- Většina informací nepřechází do vědomí

- ✓ **Parasympatikus (VII., IX., X., sakrální parasymphaticus)**
  - „Provozní informace“ (např. o krevním tlaku, pO<sub>2</sub>, pCO<sub>2</sub>)
- ✓ **Sympatikus**
  - „Potenciální nebezpečí“ (tlak, bolest, chlad)



# Propriocepce

- Informace ze
  - Svalů
  - Šlach
  - Kloubních pouzder
- Význam
  - Přesnost pohybu
  - Ochranná

# Somatosenzitivní systém - dráhy

- Tři systémy
- (Archispinotalamický systém)
  - Propojení sousedních segmentů (tr. Spinothalamicus)
- Paleospinotalamický
  - tr. Spinoreticularis, tr. Spinotectalis...
- Neospinotalamický
  - tr. Spinothalamicus
- Systém zadních provazců
  - tr. Spinobulbaris

# Somatosenzitivní systém - dráhy

- Tři systémy
- (Archispinotalamický systém)
  - Propojení sousedních se
- Paleospin
- t
- Neospin
- tr. S
- Systém
- tr. Spi

**EVOLUCE.....**  
**Během evoluce nedocházelo k nahrazení starých systémů novými, ale staré bylo zachováno a nové struktury zajišťující sofistikovanější funkce byly přidány**

# Somatosenzitivní systém - dráhy

- Paleospinotalamický
  - Low resolution – bolest („pomalá bolest“)
- Neospinotalamický
  - High resolution – bolest („rychlá bolest“), teplota
  - Low resolution – kožní citlivost
- Systém zadních provazců
  - High resolution – kožní citlivost

# Somatosenzitivní systém - dráhy

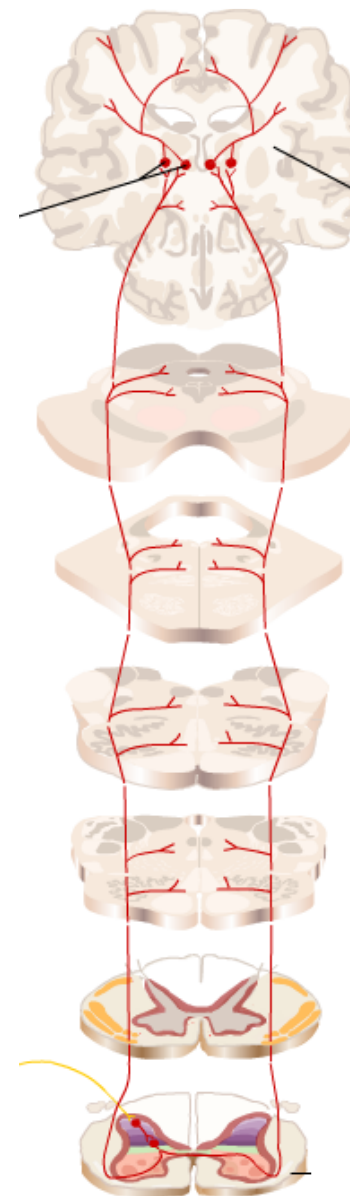
- Paleospinotalamický
  - Low resolution – bolest („pomalá bolest“)
- Neospinotalamický
  - High resolution – bolest („rychlá bolest“), teplota
  - Low resolution – kožní citlivost
- Systém zadních provazců
  - High resolution – kožní citlivost

**Bezprostřední přežití**

**Dlouhodobé přežití**

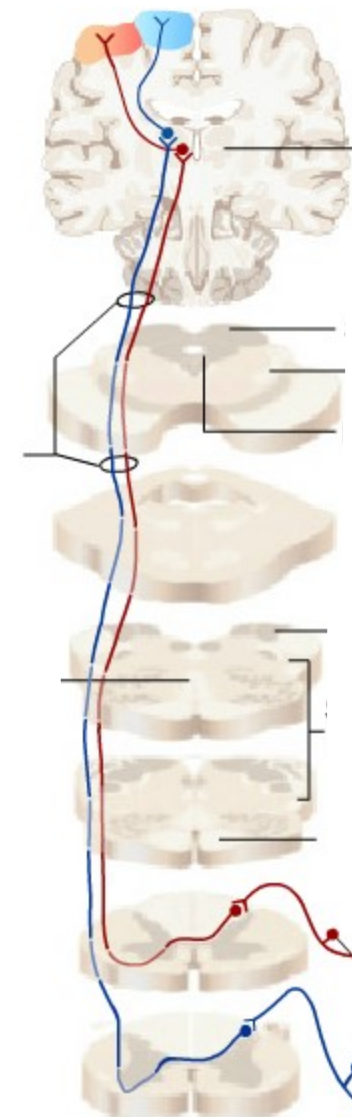
# Paleospinotalamický systém

- Tr. Spinoreticularis, spinotectalis...
- Vzniká u živočichů, u kterých není ještě vyvinuta kůra
- Primární napojení na podkorové struktury zůstává i u člověka
- Základní obranné reakce a reflexy - vegetativní odpověď, reflexní lokomoce (opto-akustické reflexy, atd.)
- Se vznikem neokortexu dochází k napojení na korové oblasti (tr. Spino-reticulo-thalamicus), avšak rozlišovací schopnost je malá – tupá a obtížně lokalizovatelná bolest...
- Trakt není „designován na tak výkonný procesor jakým je neokortex“
- Asi polovina traktu kříží střední rovinu



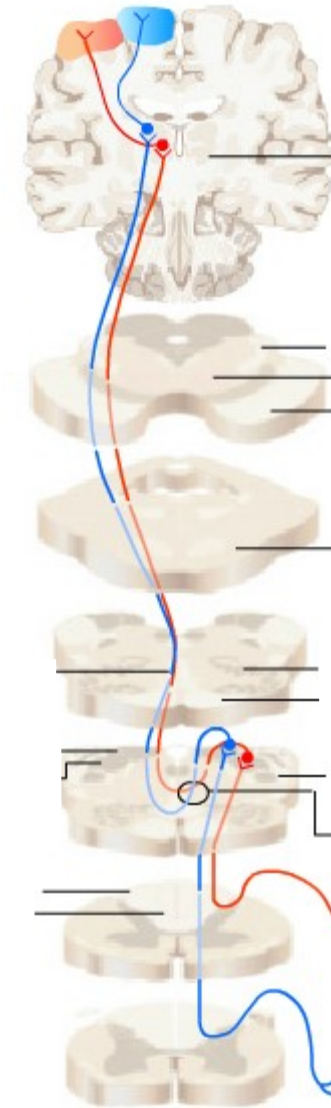
# Neospinothalamický systém

- Tr. Spinothalamicus
- Mladší systém primárně napojen na neokortex
- „Vysoká kapacita“
- Detailní informace o bolesti (ostrá, dobře lokalizovaná)
- Informace o teplotě
- Informace o hrubé kožní citlivosti
- Kříží střední rovinu na úrovni vstupního segmentu



# Sytém zadních provazců

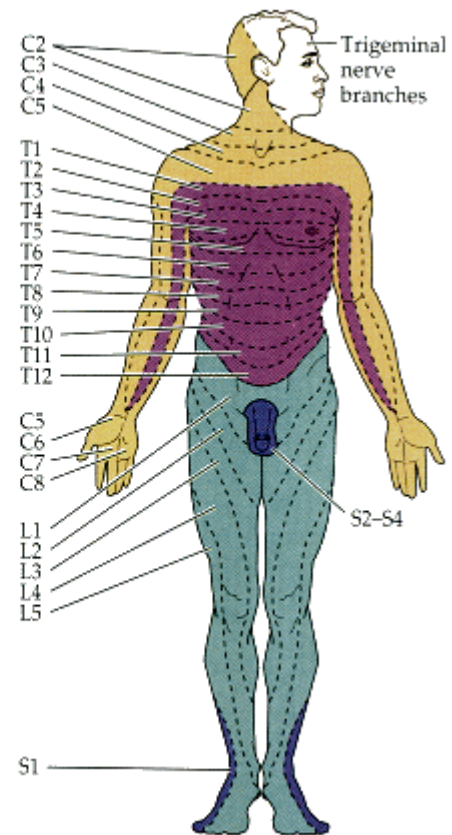
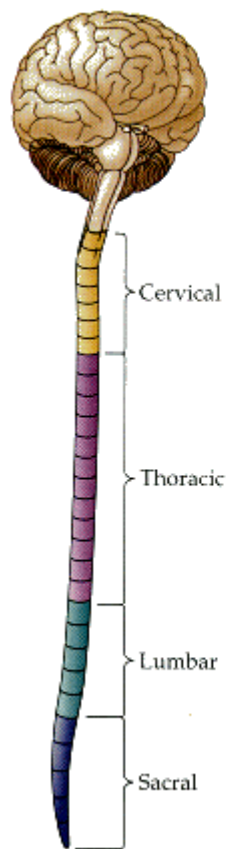
- Tr. Spinobulbaris
- Evolučně nejmladší
- Vysoká kapacita – detailní informace
- Taktilní cití
- Vibrace
- Důležité pro poznávání a jemnou motoriku
- Lepší adaptace v daném prostředí
- Kříží střední roviny na úrovni prodloužené míchy



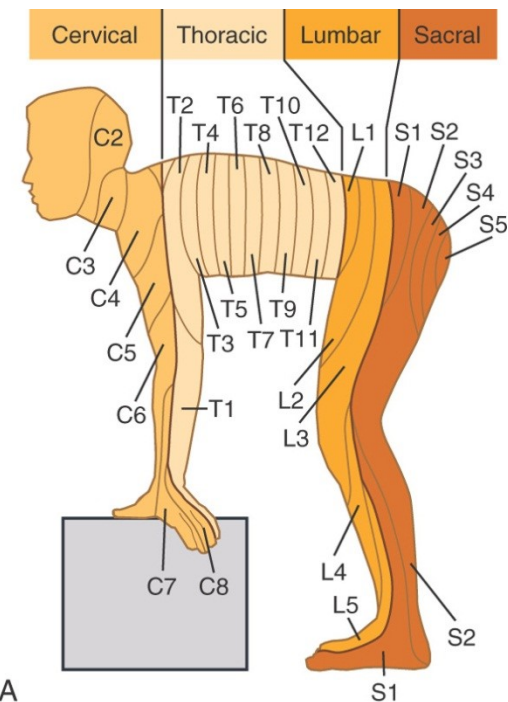


# Dermatomy

- Somatotopická organizace somatosenzitivních nervových vláken



<http://www.slideshare.net/drpsdeb/presentations>



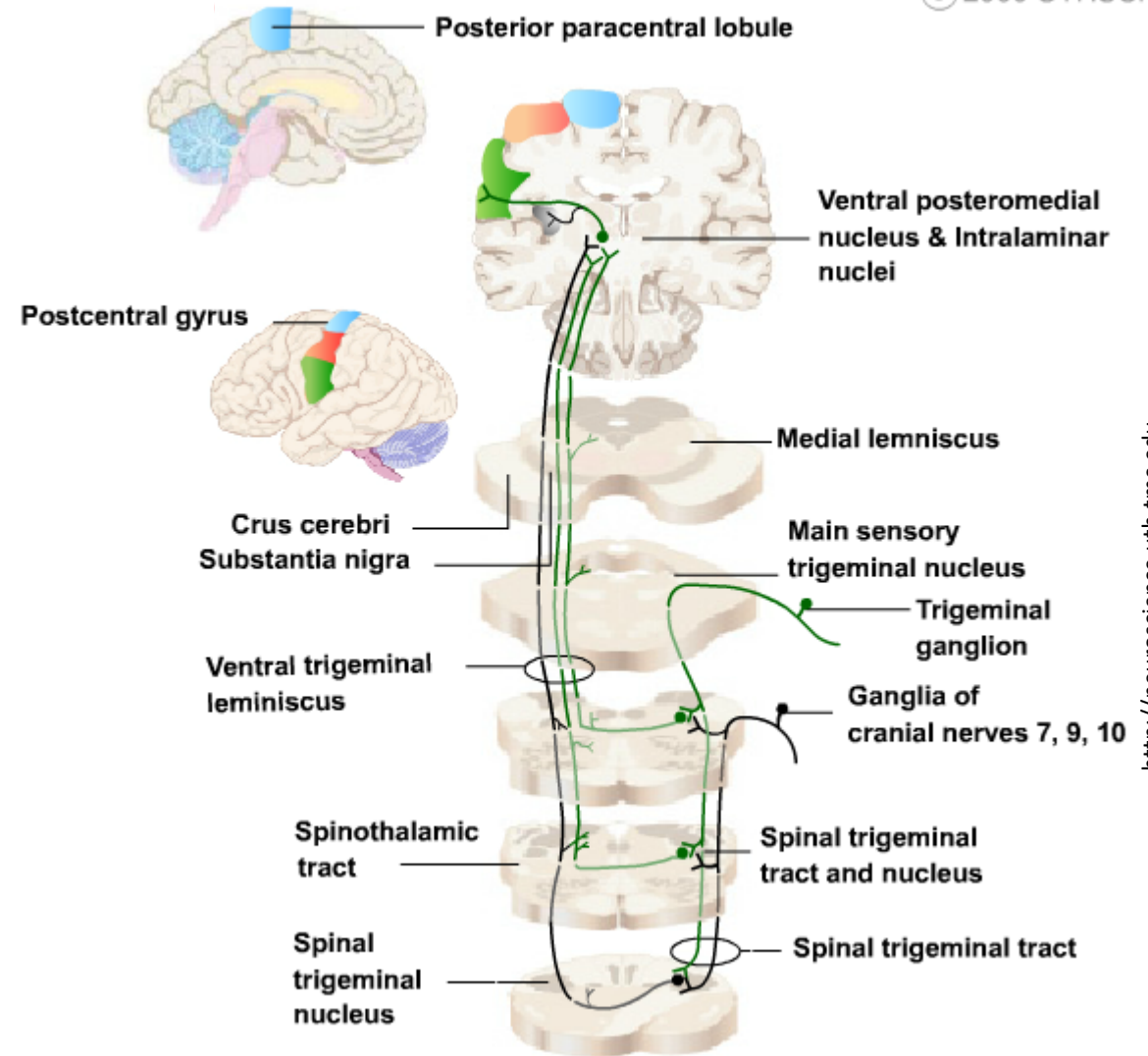
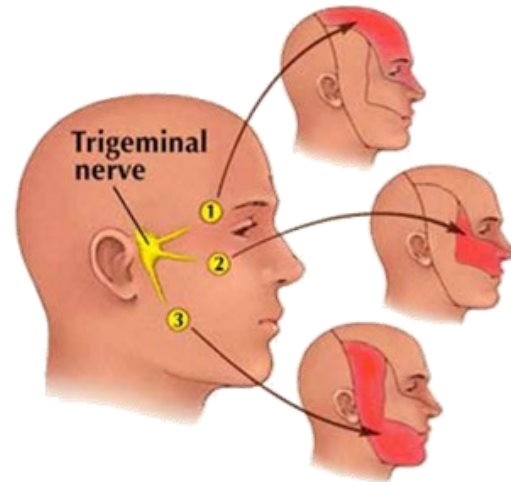
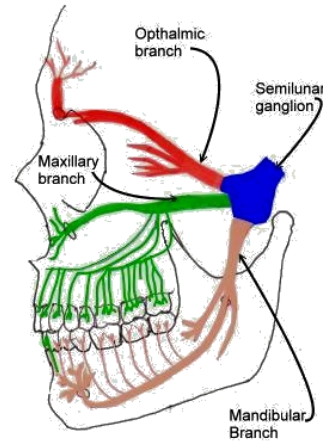
A

Copyright © 2008, 2004, 1999, 1993, 1988, 1983 by Mosby, Inc., an affiliate of Elsevier Inc.

<http://www.slideshare.net/CsillaEgri/presentations>

# Trigeminální systém

- Nucleus tractus spinalis NT
  - Bolest teplota
- Nucleus sensorius principalis NT
  - Dotek, propiocepce



http://neuroscience.uth.tmc.edu

<http://www.slideshare.net/drpsdeb/presentations>

# Somatosenzitivní systém - dráhy

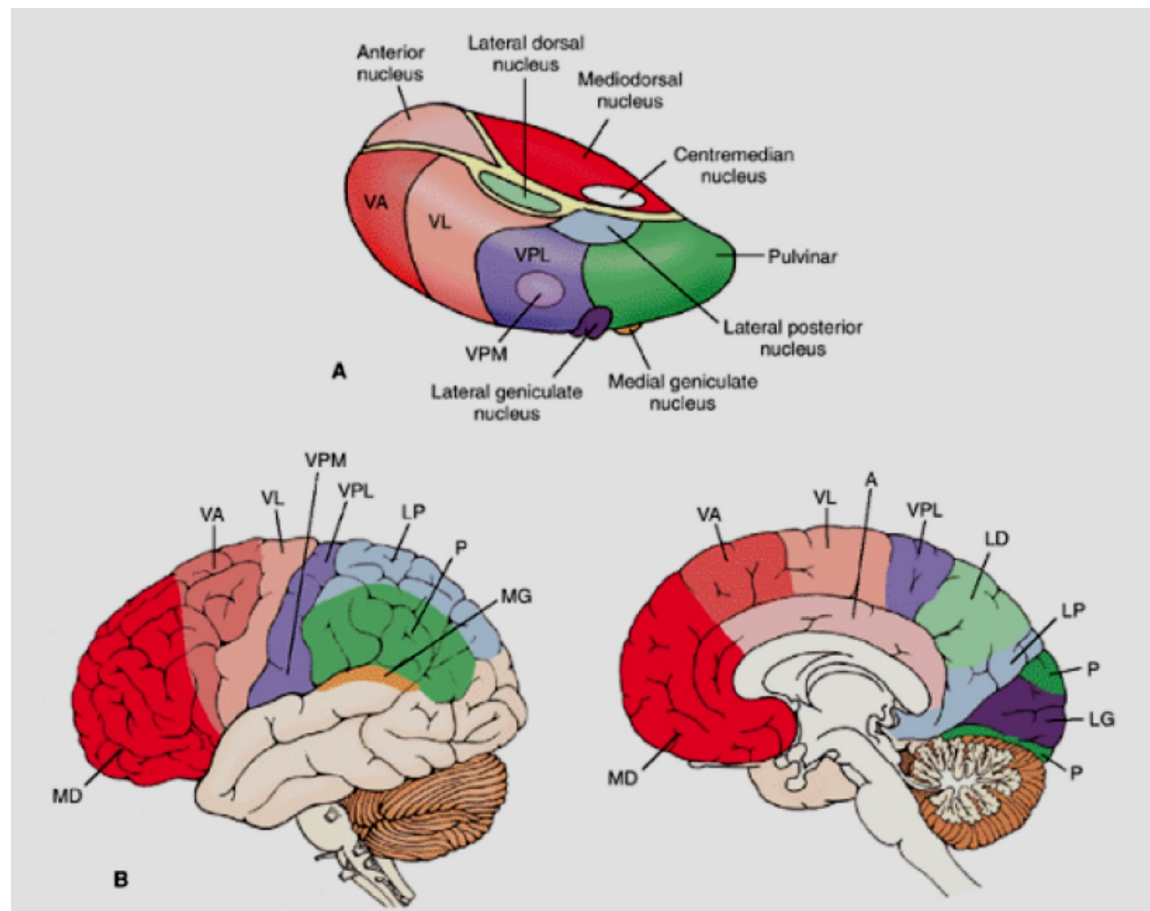
*Table I  
The Sensory Modalities Represented by the Somatosensory Systems*

Modality	Sub Modality	Sub-Sub Modality	Somatosensory Pathway (Body)	Somatosensory Pathway (Face)
Pain	sharp cutting pain		Neospinothalamic	Spinal Trigeminal
	dull burning pain		Paleospinothalamic	
	deep aching pain		Archispinothalamic	
Temperature	warm/hot		Paleospinothalamic	
	cool/cold		Neospinothalamic	
Touch	itch/tickle & crude touch		Paleospinothalamic	
	discriminative touch	touch	Tr. spinobulbaris	
		pressure		
		flutter		
vibration				
Proprioception	Position: Static Forces	muscle length	Tr. spinobulbaris	Main Sensory Trigeminal
		muscle tension		
		joint pressure		
	Movement: Dynamic Forces	muscle length		
		muscle tension		
		joint pressure		
		joint angle		

<http://neuroscience.uth.tmc.edu/s2/chapter02.html>

# Thalamus a neokortex

- Téměř všechny aferentní informace se přepojují v thalamu
- Výjimka - čich
- Spoje thalamu a kůry jsou obousměrné

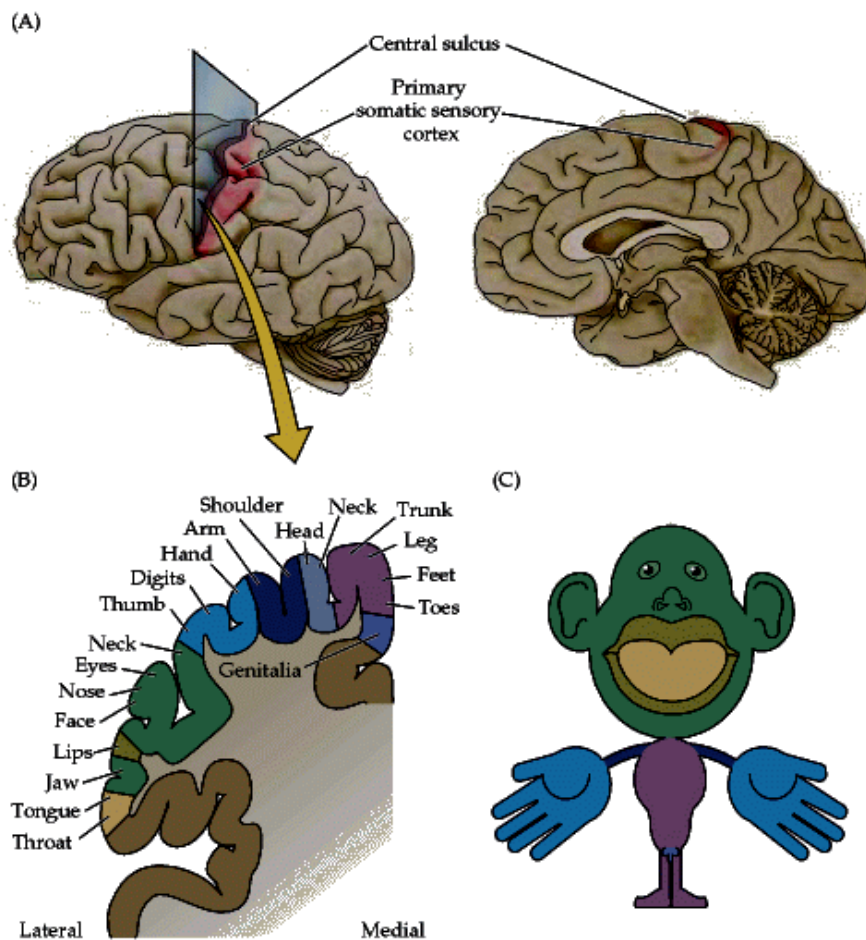


<http://www.slideshare.net/drpsdeb/presentations>

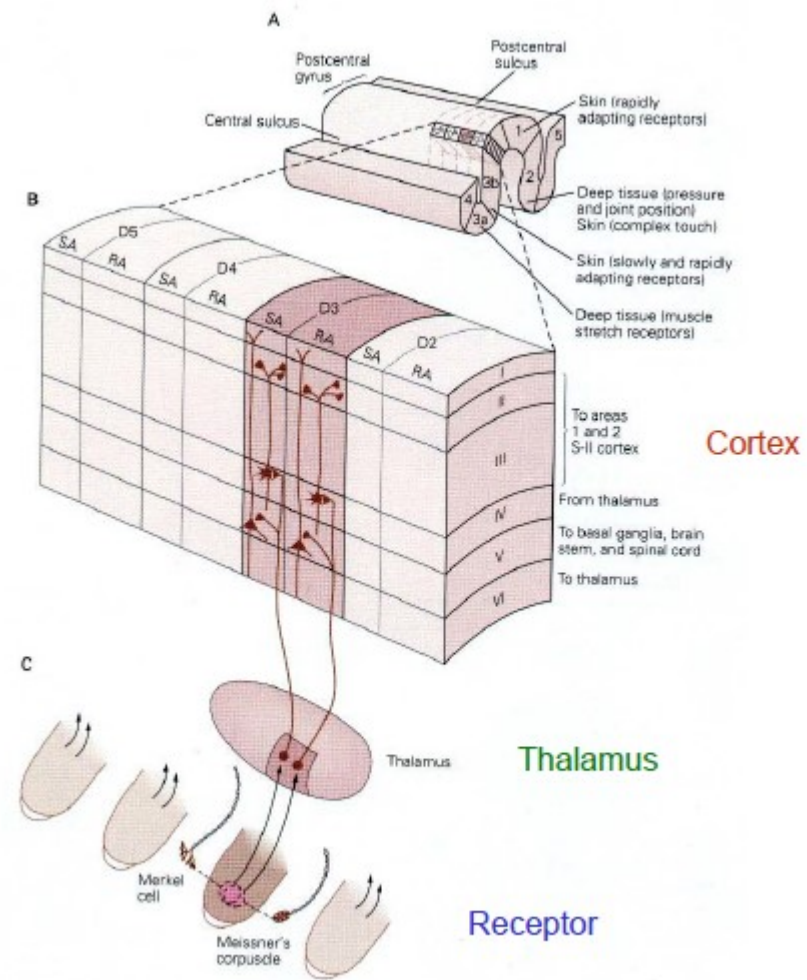


# Neokortex

- Somatotopická organizace
- Kortikální zvětšení



<http://www.slideshare.net/drpsdeb/presentations>

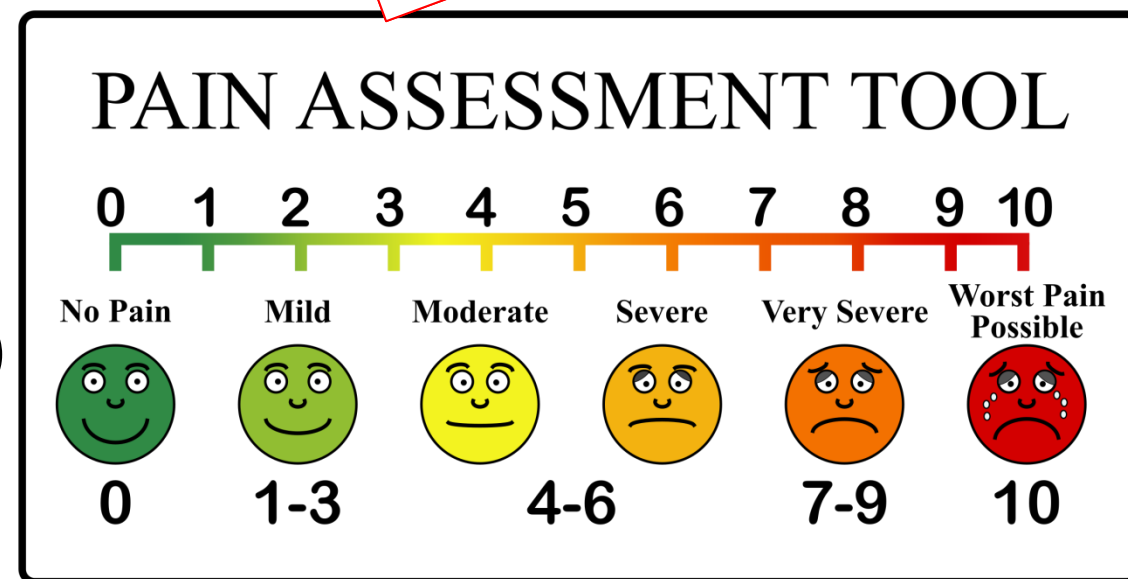


[http://www.shadmehrlab.org/Courses/physfound\\_files/wang\\_5.pdf](http://www.shadmehrlab.org/Courses/physfound_files/wang_5.pdf)

# Bolest

- Nepříjemný smyslový a pocitový zážitek spojený s reálným nebo potenciálním poškozením organismu
- Senzorická x psychologická komponenta
- ✓ Fyziologická bolest (aktivace nociceptoru)
- ✓ Patologická bolest (vzniká mimo nociceptor)
- ✓ Akutní (do 6 měsíců) – „aktivační“
- ✓ Chronická (nad 6 měsíců) – „devastující“

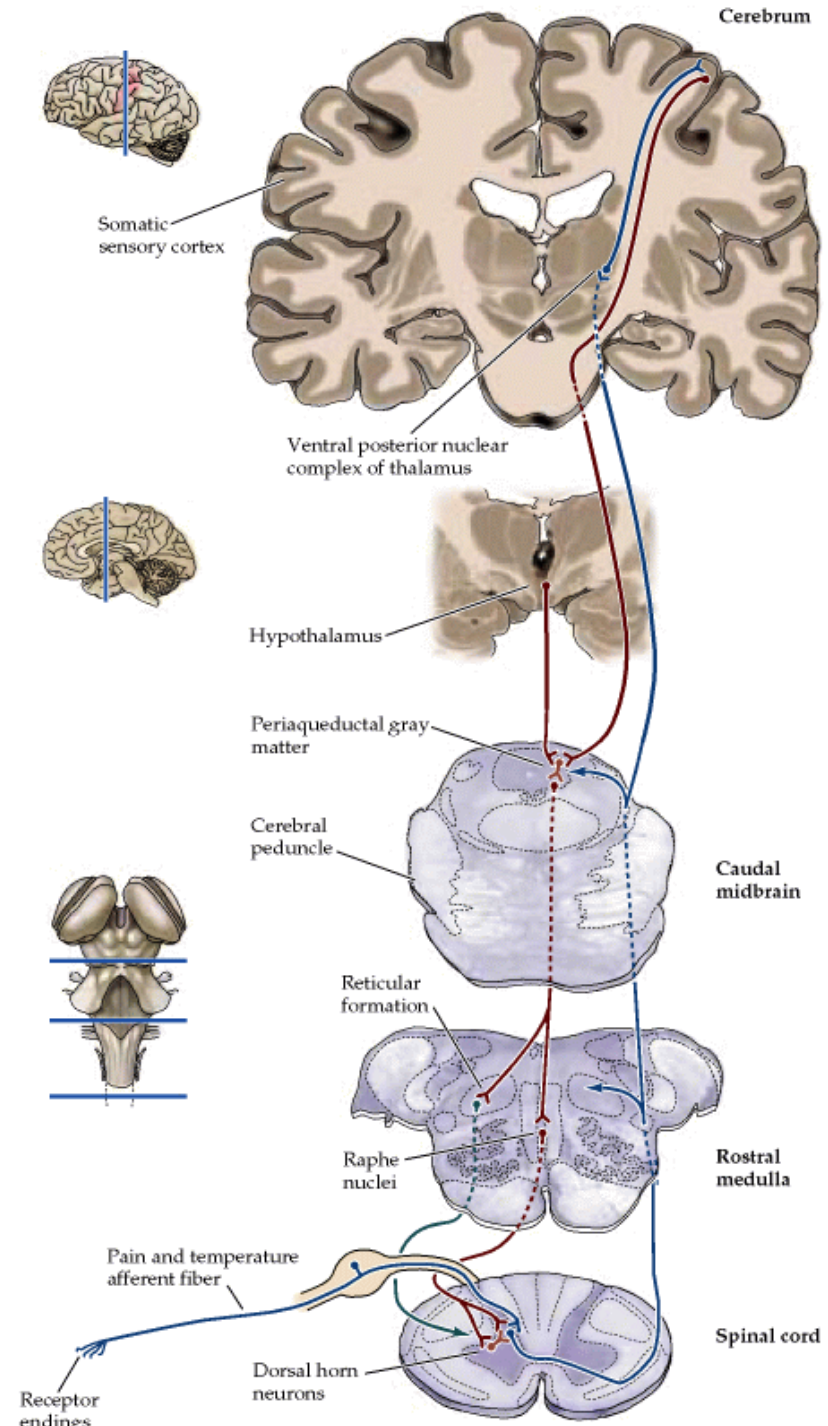
**Subjektivní  
charakter**



[https://www.cheatography.com/uploads/davidpol\\_1460561912\\_Pain\\_Scale\\_\\_Arvin61r58.png](https://www.cheatography.com/uploads/davidpol_1460561912_Pain_Scale__Arvin61r58.png)

# Descendentní dráhy modulující bolest

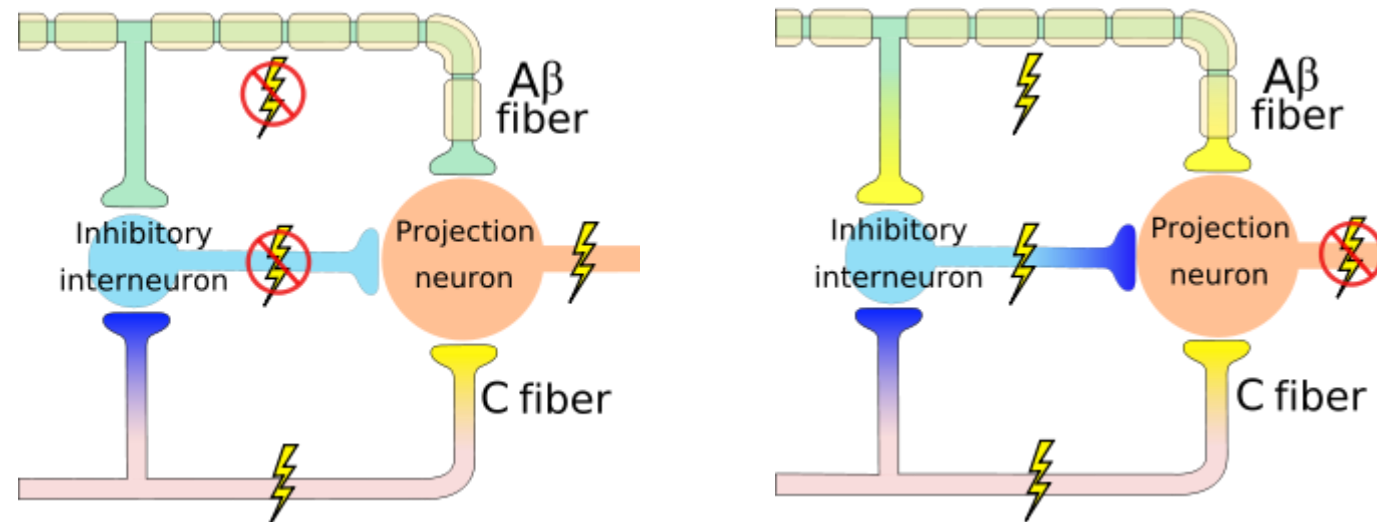
- Somatosenzorický kortex
- Hypotalamus
- Periaquaeduktální šed'
- Nuclei raphe



<http://www.slideshare.net/drpsdeb/presentations>

# Modulace bolesti na spinální úrovni

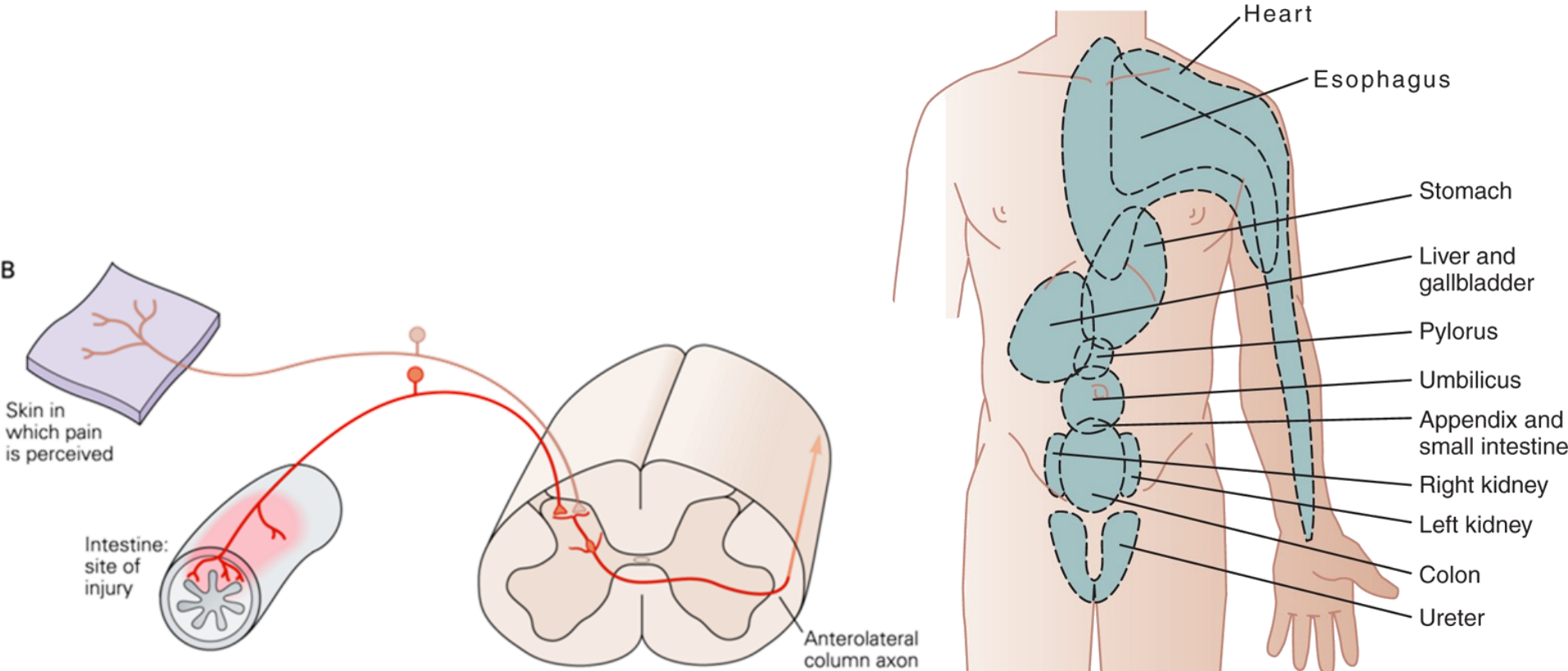
## Vrátkování bolesti



[https://en.wikipedia.org/wiki/Gate\\_control\\_theory](https://en.wikipedia.org/wiki/Gate_control_theory)

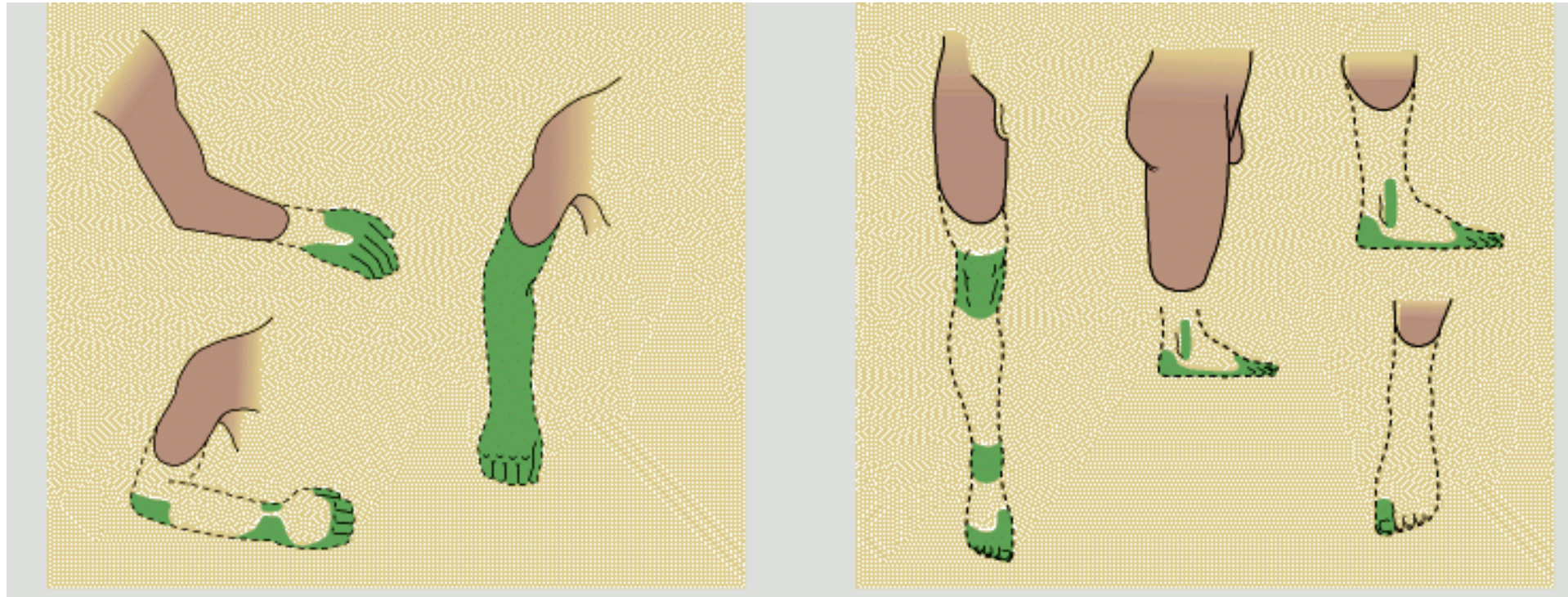


# Přenesená bolest



<http://www.slideshare.net/drpsdeb/presentations>

# Fantomová bolest



<http://www.slideshare.net/drpsdeb/presentations>

M U N I

M E D