

Přednáška 9

Nervová tkáň

- Nervová tkáň
- Neuron
- Synapse
- Neuroglie
- Nerv
- Přenos signálu
- Vývoj nervové tkáně
- Regenerace nervové tkáně

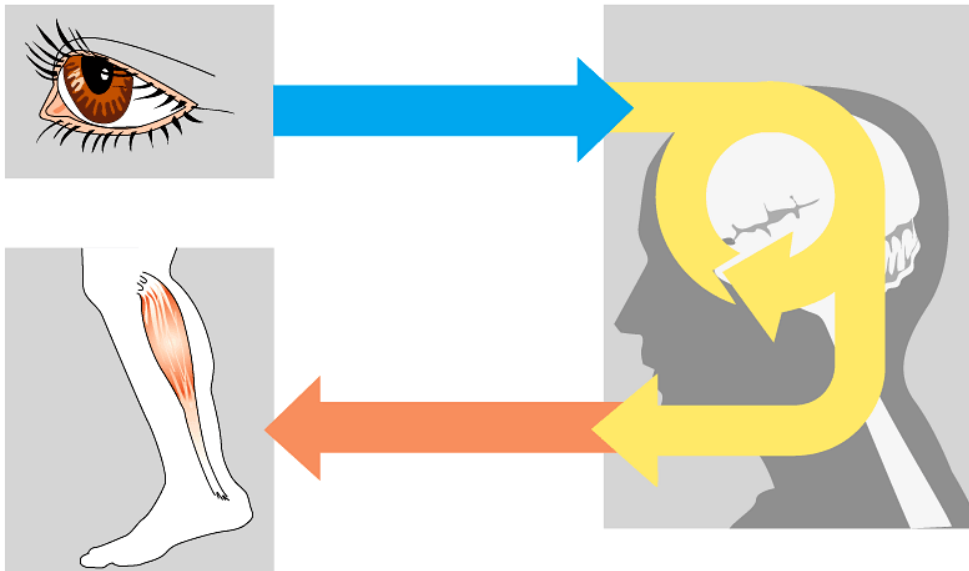
Brno, duben 2022

Nervová tkáň – Obecné vlastnosti

Řídí a integruje aktivity složek těla zajišťujících všechny životní funkce

Hlavní funkce

- **Snímání** změn senzorickými receptory
- **Interpretace** a zapamatování si těchto změn
- **Reakce** na tyto změny různými efekty



Somatický
X
Autonomní (vegetativní)

Anatomická stavba nervového systému 1

Centrální nervový systém - CNS

Definice:

- Nepárové, bilaterálně symetrické struktury uložené v podélné ose těla.
- Struktury vznikají přímo z neurální trubice.

Zahrnuje:

- Mozek
- Mícha

Periferní nervový systém - PNS

Definice:

Představuje dráhy spojující CNS s vnějším či vnitřním prostředím.

Aferentní (sensorické) dráhy:

Přenášejí informace směrem do CNS.

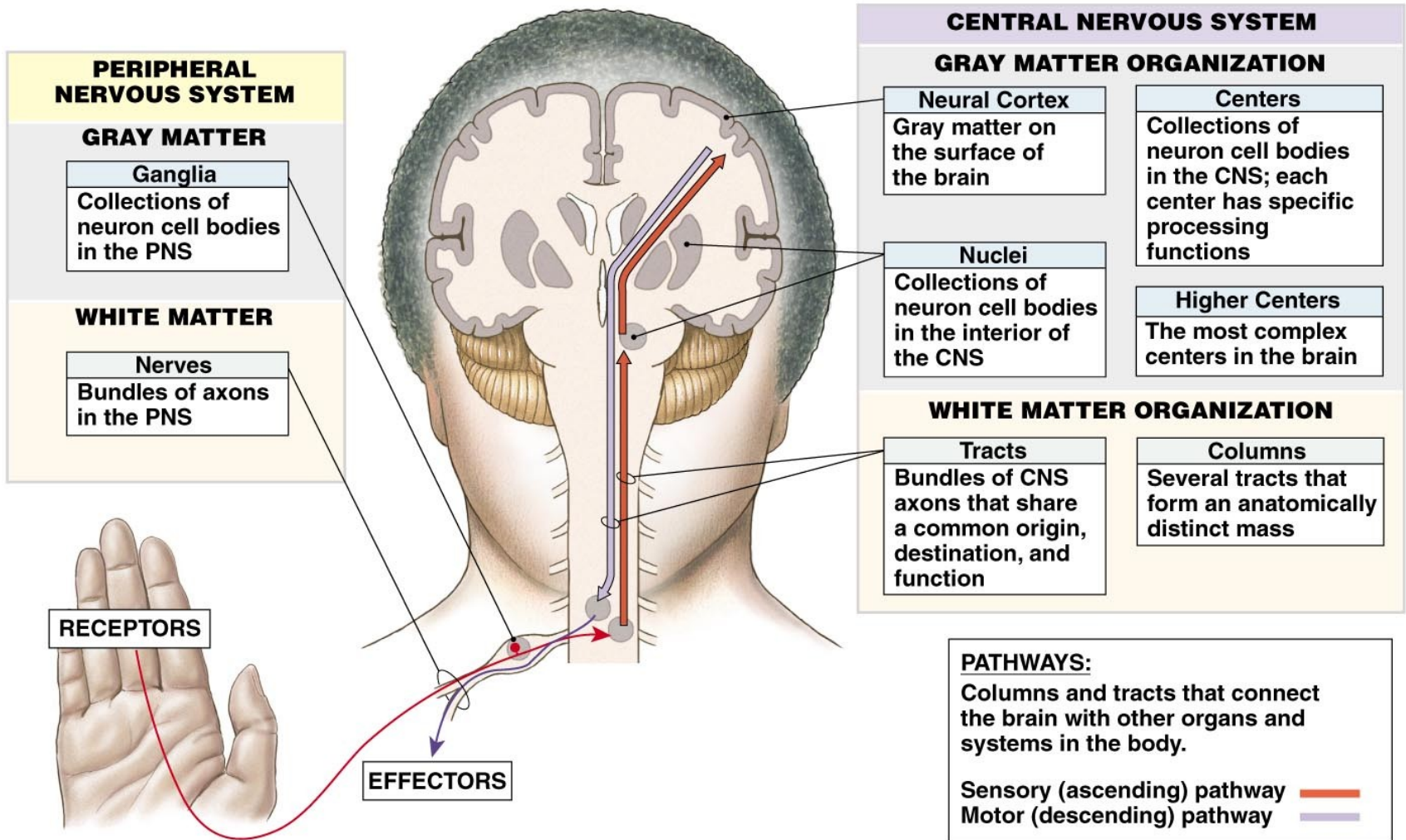
Eferentní (motorické) dráhy:

Přenášejí informace směrem z CNS.

Zahrnuje:

- Hlavové nervy (12 párů)
- Míšní nervy (31 párů)
- Periferní nervy
- Ganglia

Anatomická stavba nervového systému 2

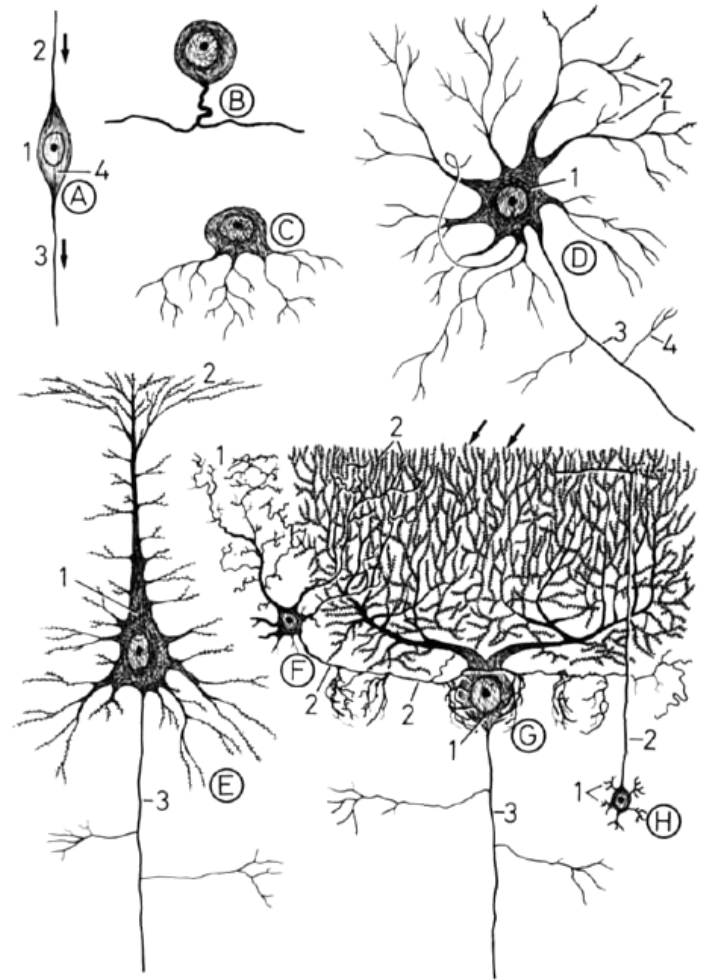


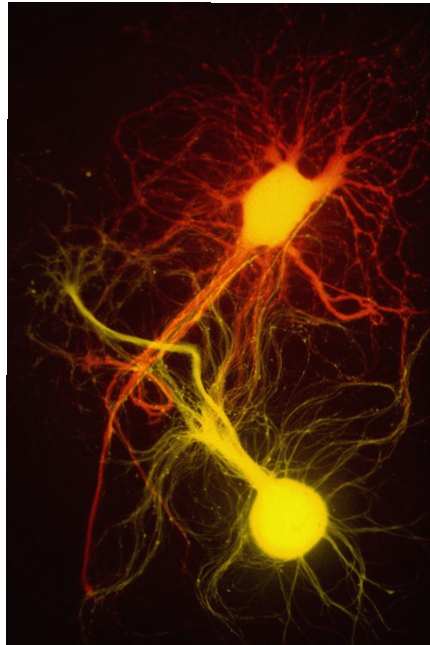
Nervová tkáň – Obecné – Neuron 1

Nervová tkáň je tvořena **pouze dvěma typy buněk**:

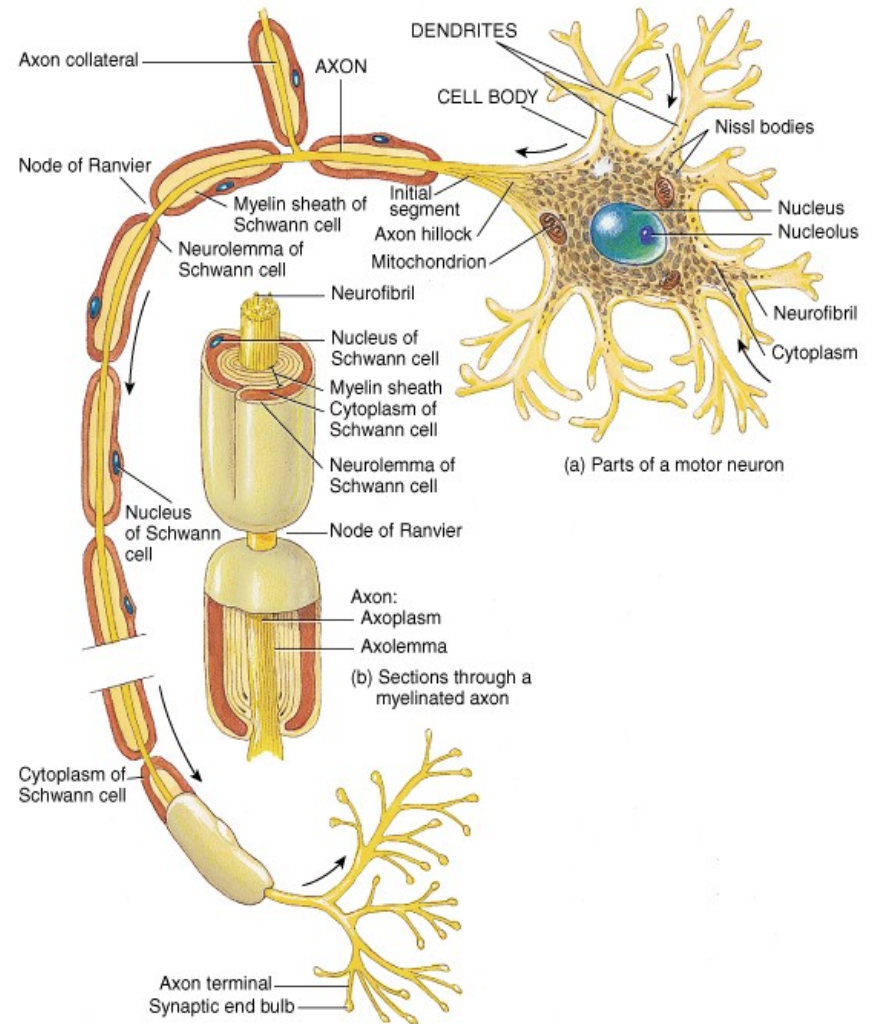
- **Neurony**
- **Neuroglie - gliové buňky** (podpůrné)

Neurony – vysoce specializované buňky, které přenášejí signály (impulzy)





Neuron 2



1. **Perikaryon (neurocyt)**

2. **Výběžky**

(jednosměrný přenos signálu)

- **axon**

(vždy pouze jeden; centrifugální přenos)

- **dendrit(y)**

(centripetální přenos)

Neuron 3 - Perikaryon

Umístění:

CNS – šedá hmota
PNS – ganglia

Tvar:

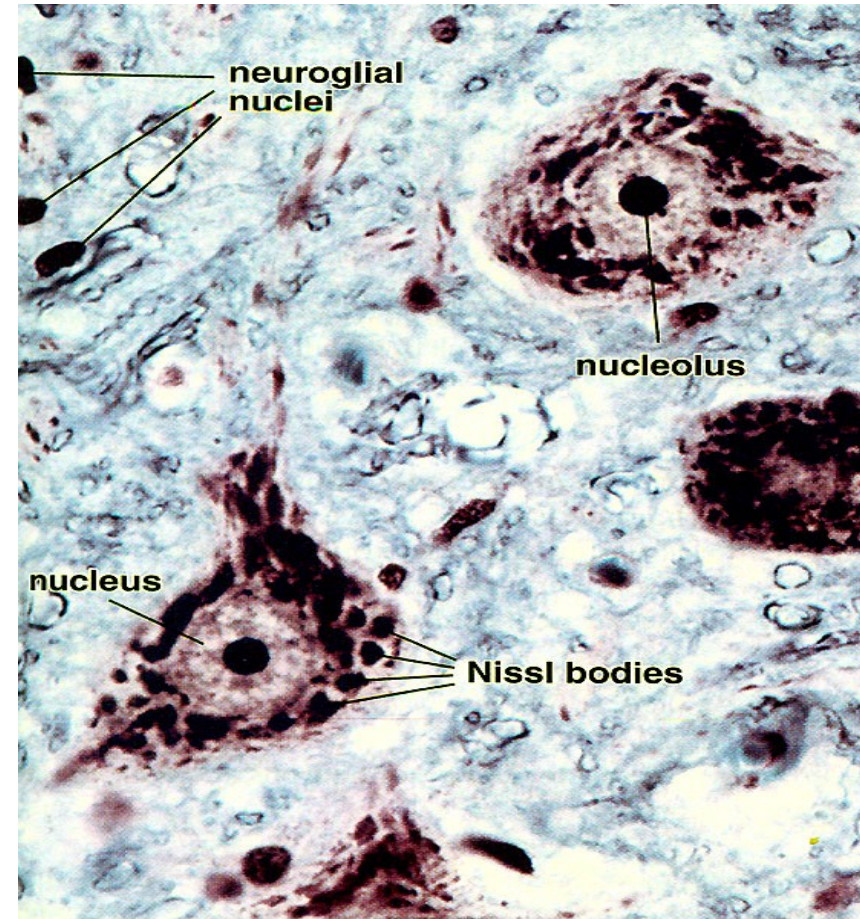
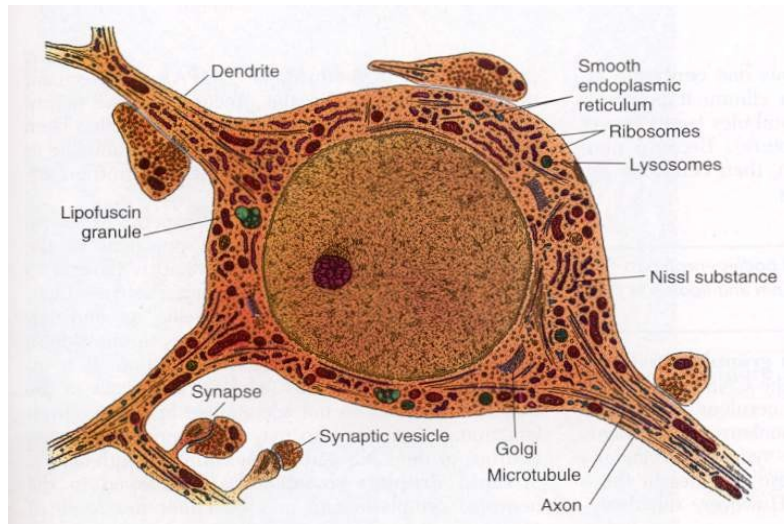
pyramidový, sférický, vejčitý, hruškovitý

Velikost:

5 to 150 μm

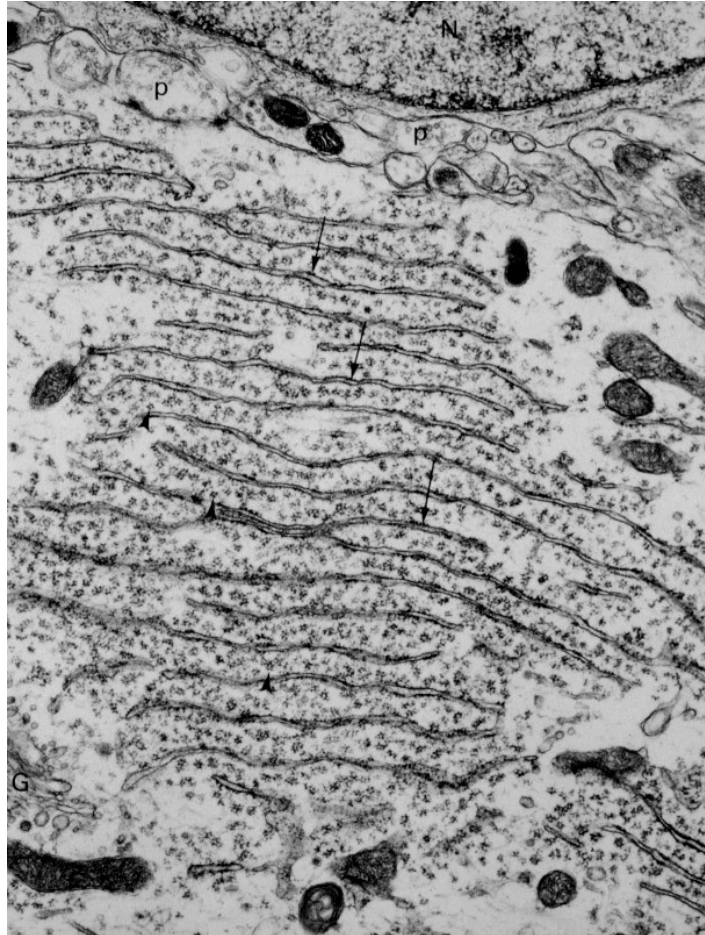
Organely:

- Jádro – velké + světlé + prominentní jadérka
- Nisslova substance – drsné ER
- Neurofibrily (neurofilamenta + neurotubuly + aktin)
- Lipofuscin



Neuron 4 - Perikaryon

Nisslova substance - TEM

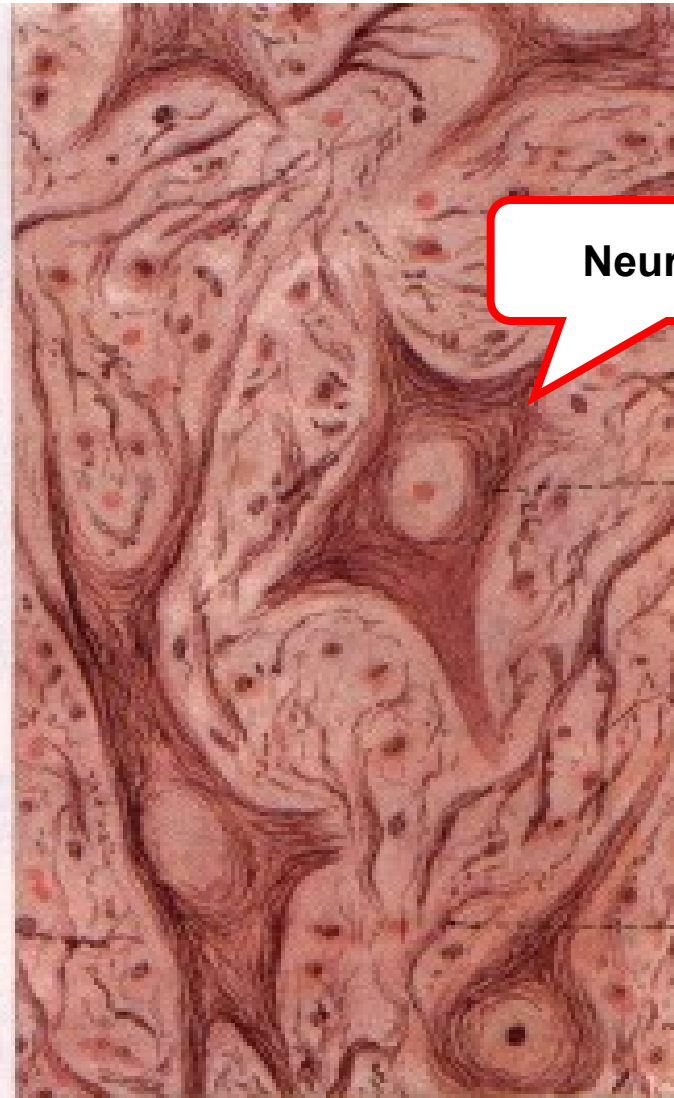


Neuron 5 - Perikaryon



Nisslova substance

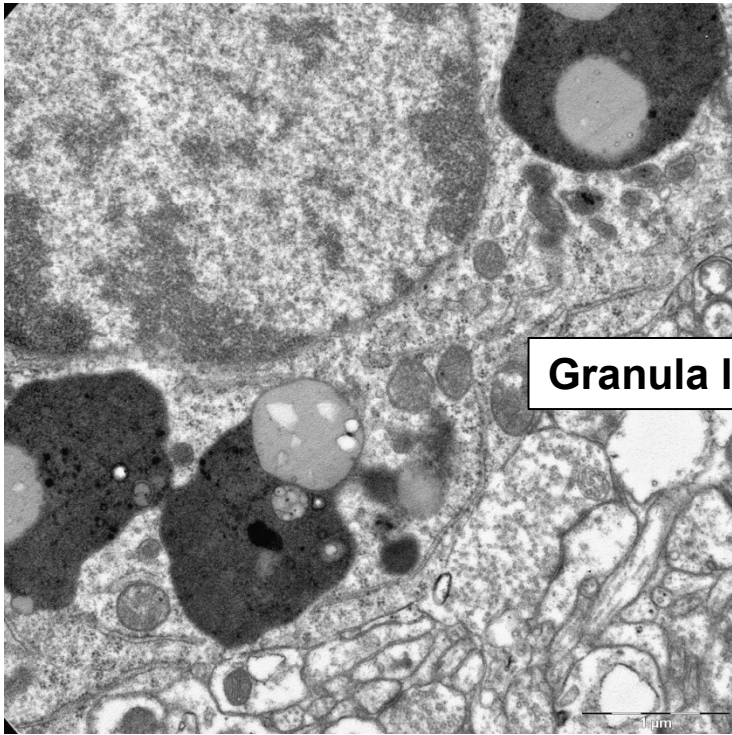
Barveno H-E



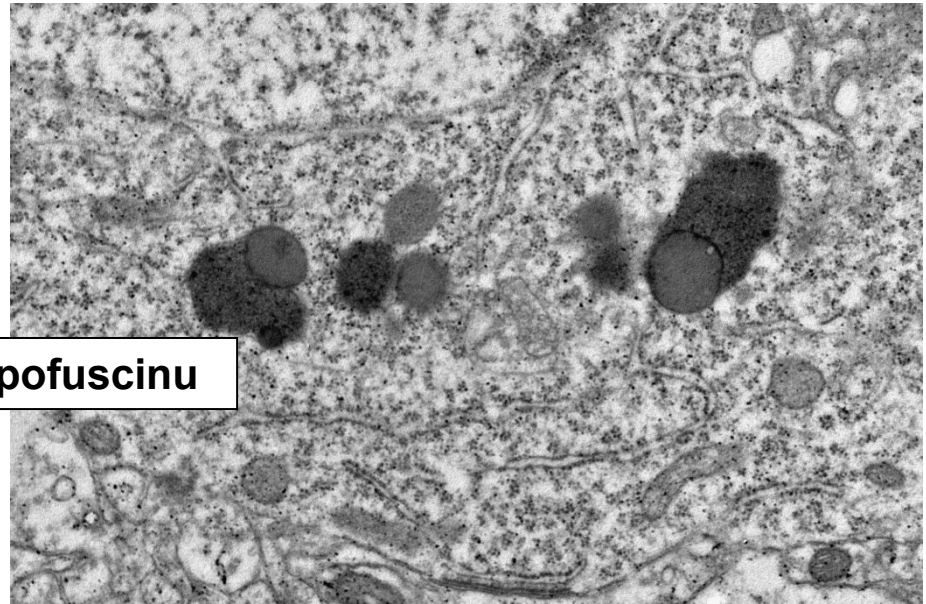
Neurofibrily

Impregnace dusičnanem stříbrným

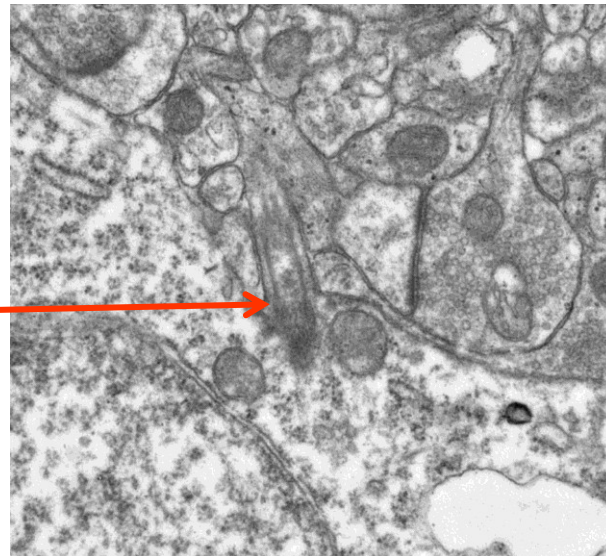
Neuron 6 - Perikaryon



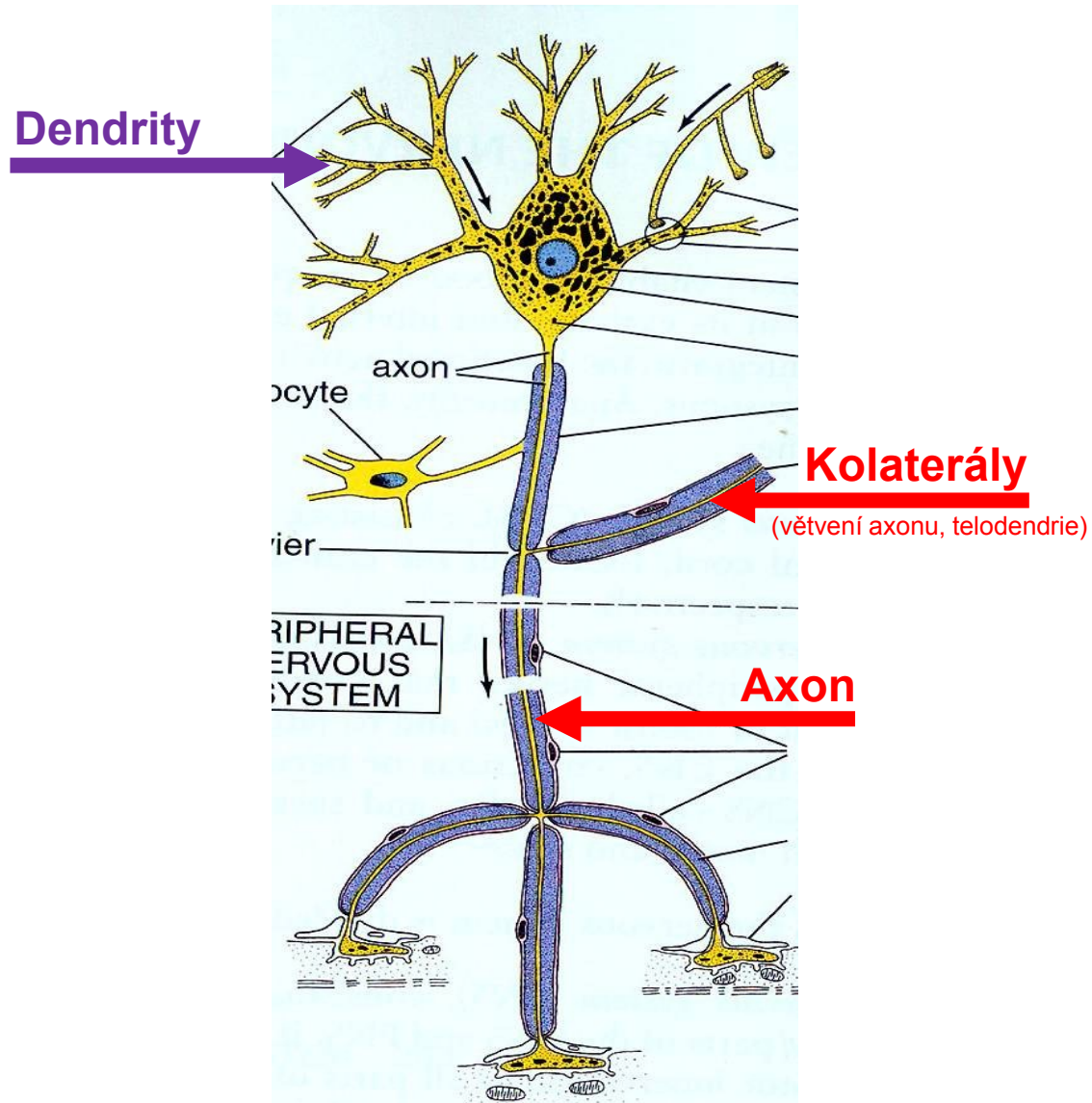
Granula lipofuscinu



Řasinka jako derivát
nepotřebného centriolu



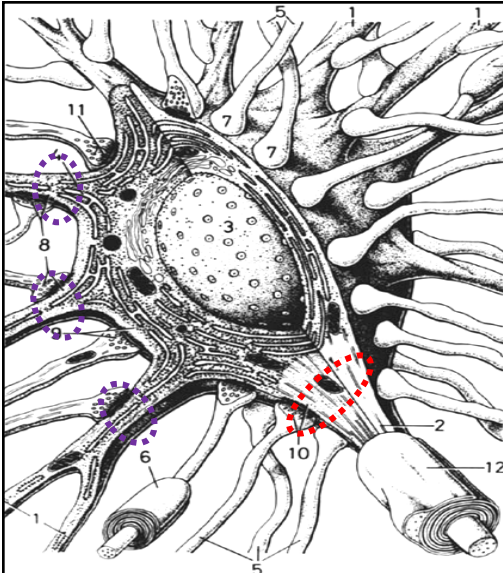
Neuron 7 – Výběžky



Neuron 8 – Výběžky

Dendrity

- Přenáší signály **směrem k tělu neuronu**
- Typicky **krátké, velmi větvené & nemyelinizované**
- Povrchy pro kontakt s jinými neurony
- Obsahuje **neurofibrily & Nisslovu substanci**
- Obsahuje **MAP-2** (rozdíl od axonu)
- Desítky tisíc spojů (synapsí na velkých dendritech)
- **Dendritické trny** na dendritech některých neuronů
- Počet dendritických trnů klesá s věkem a špatnou výživou



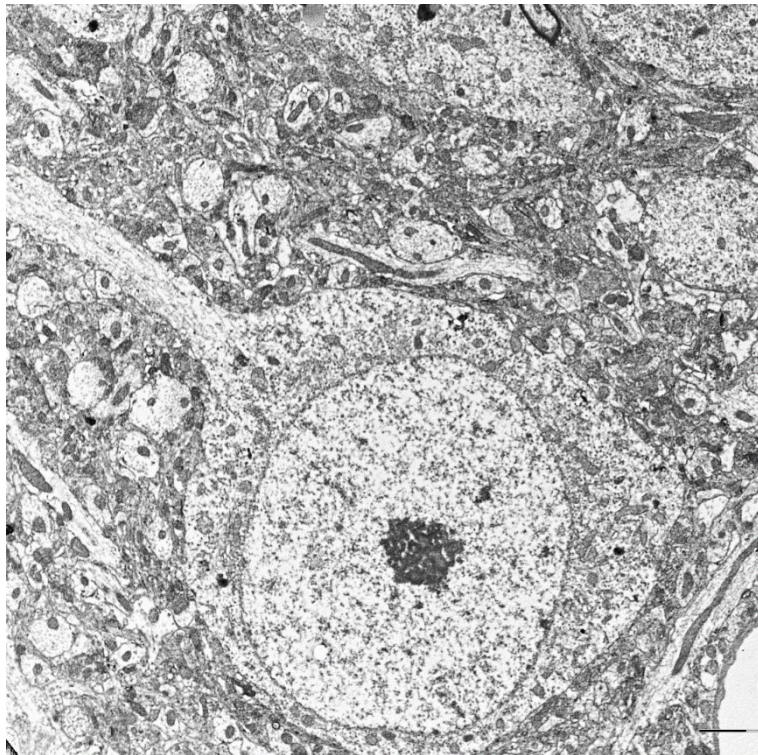
Axon (nervové vlákno)

- 1 axon odstupuje z těla neuronu – **odstupový konus**
- **Odstupový konus** – kónická oblast těla neuronu – neobsahuje **Nisslovu substanci**
- Některé axony mohou měřit až **100 cm**
- **Iniciální segment** - část axonu od jeho začátku po začátek myelinové pochvy
- **Iniciální segment** – oblast, kde se sumací excitačních a inhibičních signálů generuje finální signál
- **Kolaterální větve – Terminální arborizace – Telodendrie**
- **Myelinizované** nebo **nemyelinizované**
- Přenáší impulzy **směrem od těla neuronu**
- **Terminální knoflík** – združení na konci axonu, obsahuje synaptické váčky s neurotransmitery
- Buněčná membrána = **axolema**
- Cytoplasma = **axoplasma**

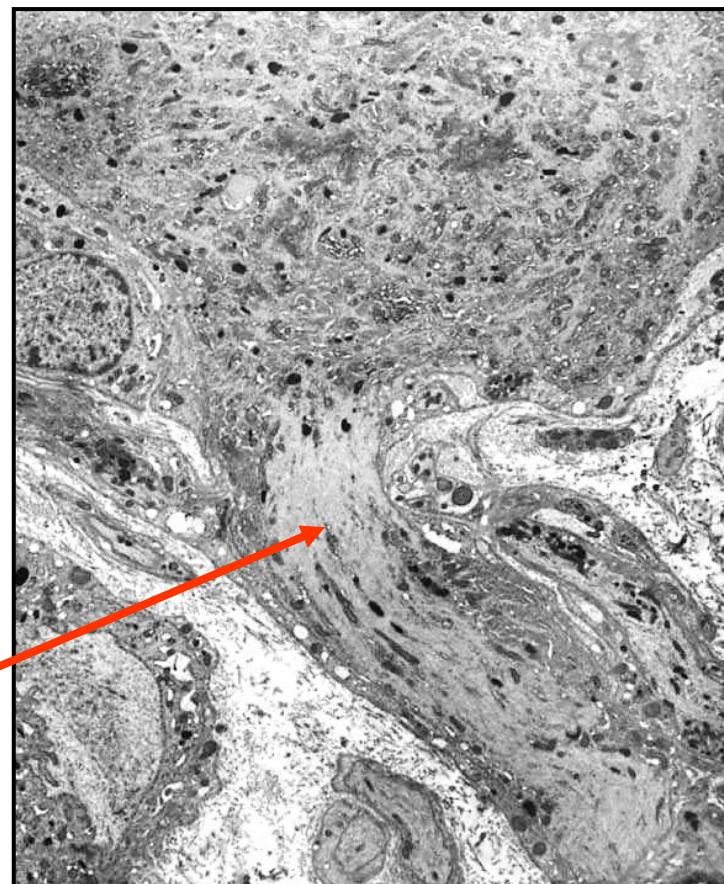
Bílá hmota: oblasti s myelinizovanými axony

Šedá hmota: oblasti s nemyelinizovanými axony, těly buněk a dendrity

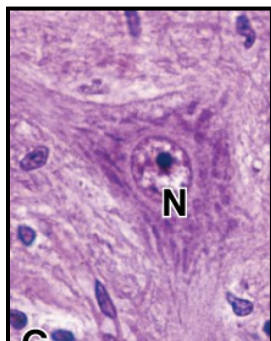
Neuron 9 – Výběžky



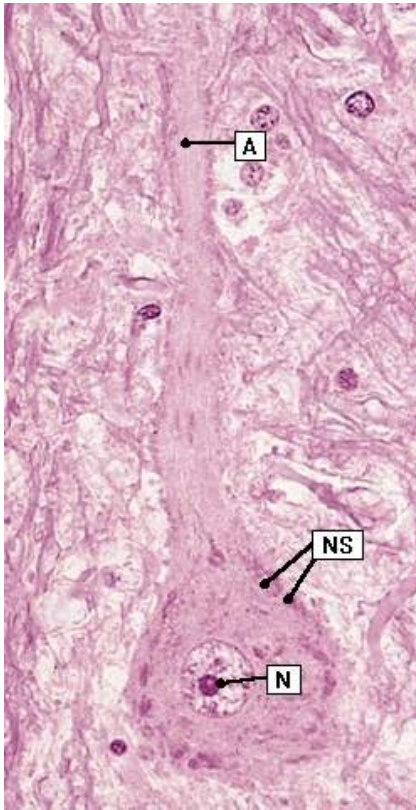
Neuron - TEM



Odstupový
konus



Neuron 10 – Axonální transport



Proč?

Mnoho proteinů, kterým jsou tvořeny v tělech neuronů, musí být transportováno do axonů a axonálních zakončení:

- pro obnovu buněčné membrány,
- pro obnovu jako iontových kanálů, neurotransmitterů, enzymů, ...

Jak?

axonálním transportem – obousměrným přesunem proteinů, organel, a jiného materiálu prostředím axonu

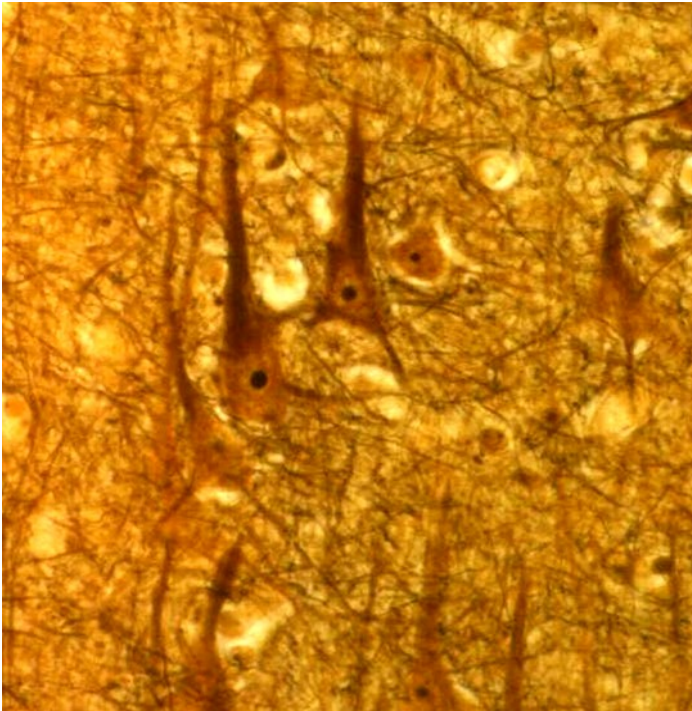
- **anterográdní transport** – pohyb směrem od těla axonu (**dynein**)
- **retrográdní transport** – pohyb směrem k tělu axonu (**kinesin**)

- **Pomalý transport:** 1 - 5 mm/day

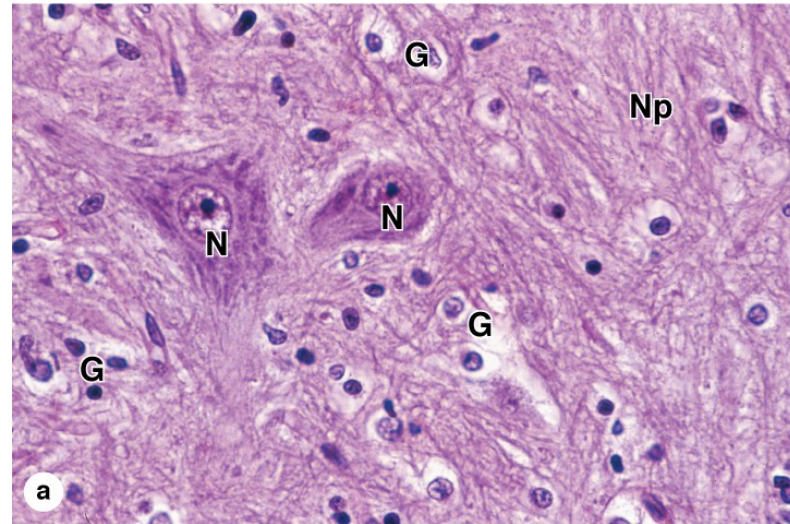
- **Rychlý transport:** 200 - 400 mm/day

Nervová tkáň – Neuropil 1

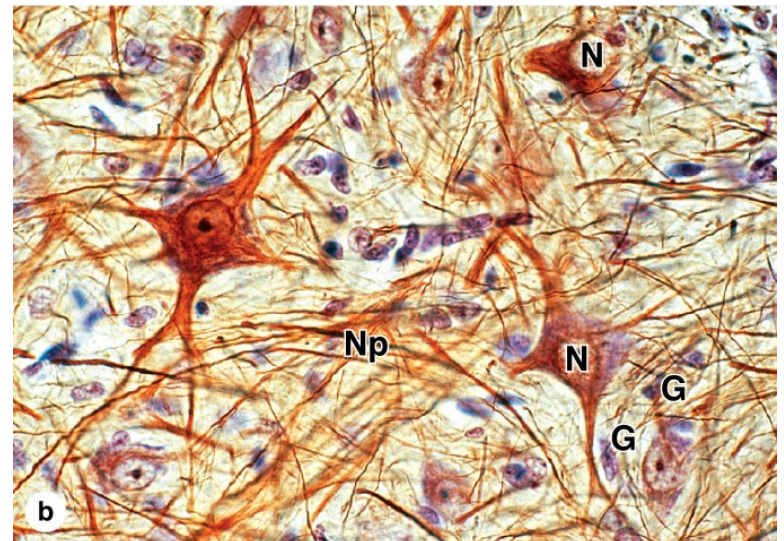
Všechny materiál vyplňující prostor mezi těly neuronů a gliových buněk + ECM.



Pyramidové buňky - impregnation



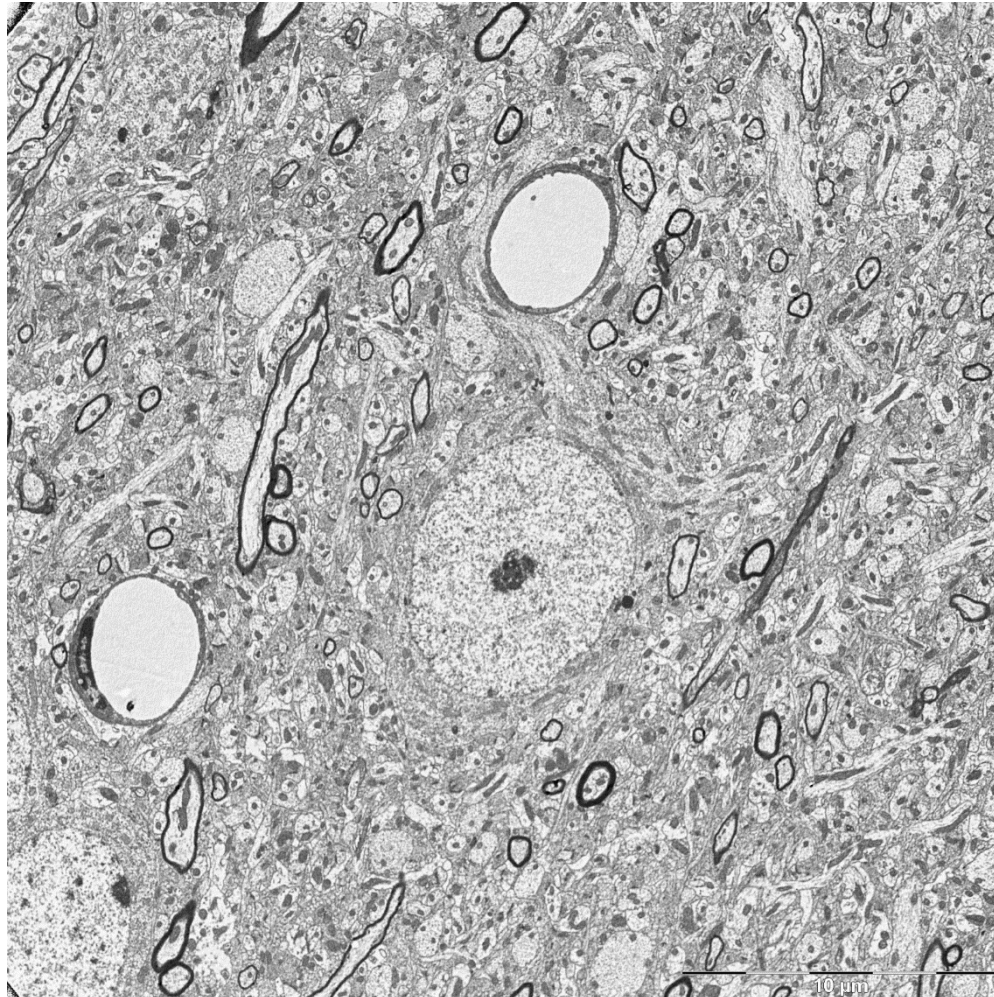
Motoneurony – H+E



Motoneurony – kombinovaná technika

Nervová tkáň– Neuropil 2

Neuropil - TEM

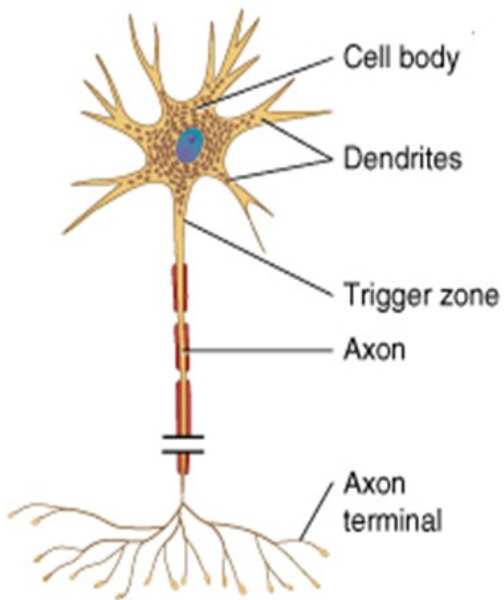


Neuron – Klasifikace 1

Podle počtu a uspořádání výběžků

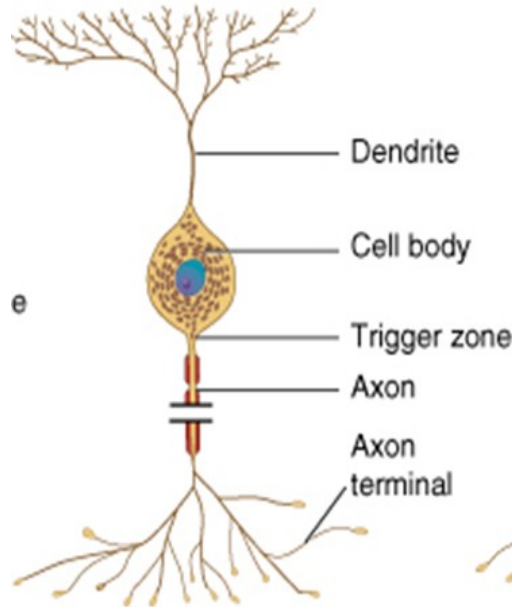
Multipolární

několik dendritů & jeden axon
(nejrozšířenější typ)



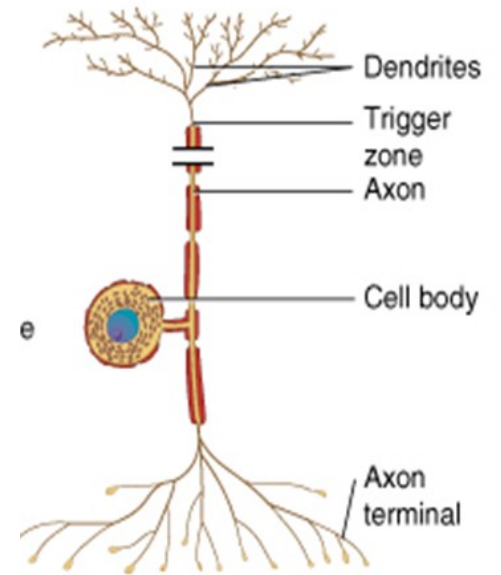
Bipolární

jeden dendrit & jeden axon
(retina, vestibulární a kochleární ganglia)



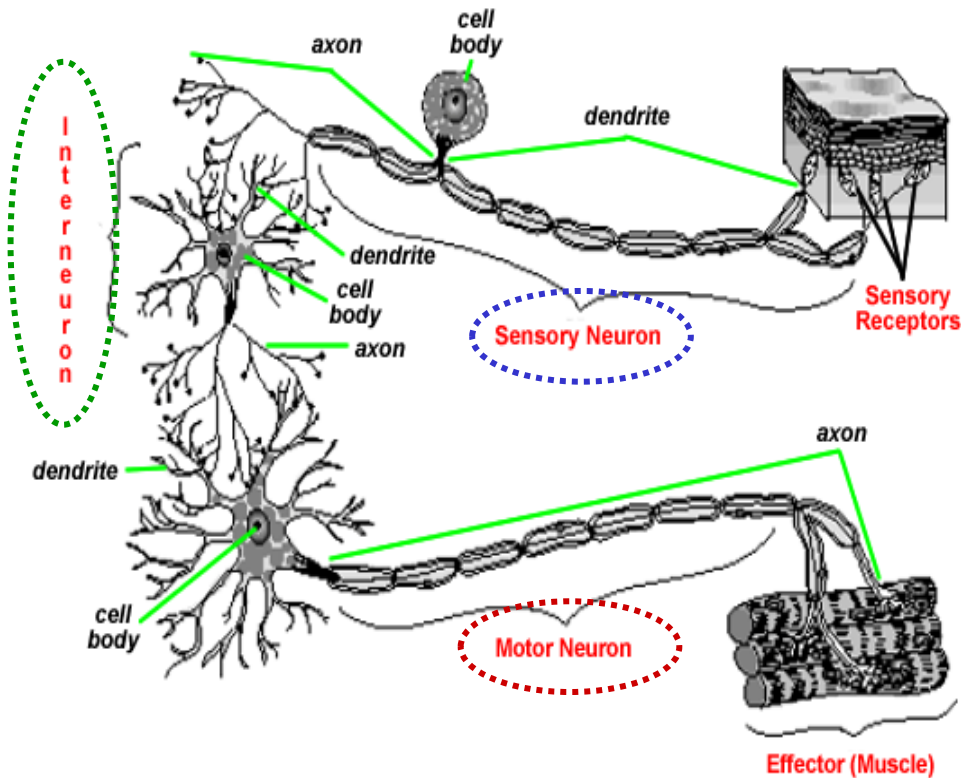
Unipolární

(pseudounipolární)
pouze jeden výběžek
(sensorická spinální ganglia)



Neuron – Klasifikace 2

Podle funkce



Motorické (eferentní) neurony:

- přenáší impulzy ke svalům, jiným neuronům a žlázám

Senzitivní (aferentní) neurony:

- snímají a přenášejí signály

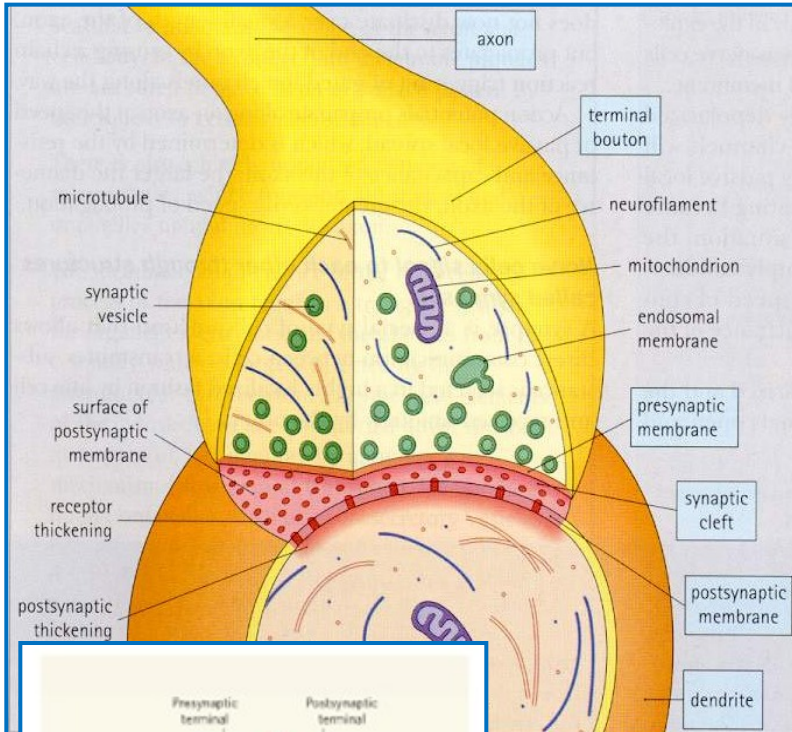
Interneurony:

- vytváří lokální síť

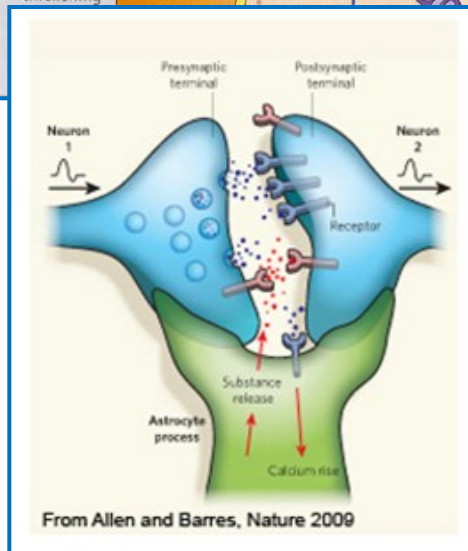
Synapse 1

Definice

Synapse jsou vysoce specializované buněčné spoje, které vzájemně spojují neurony (ve všech drahách)



- **Terminální knoflík** – zakončení axonu
- **Presynaptická membrána** – obsahuje mitochondrie a synaptické váčky s neurotransmitery
- **Synaptické váčky** (menší + větší – zásobní)
- **Postsynaptická membrána** – nese receptory pro neurotransmitery a další denzní materiál
- **Synaptická štěrbina** - 20-30 nm šířka, obsahuje jemná filamenta
- Se synapsí jsou asociovány **gliové buňky**
- **Asymetrické synapse - excitační** (ztluštělá postsynaptická membrána a 30 nm synaptická štěrbina)
- **Symetrické synapse - inhibiční** (tenká postsynaptická membrána a 20 nm synaptická štěrbina)
- Zviditelnění ve světelném mikroskopu vyžaduje speciální barvení



Synapse 2

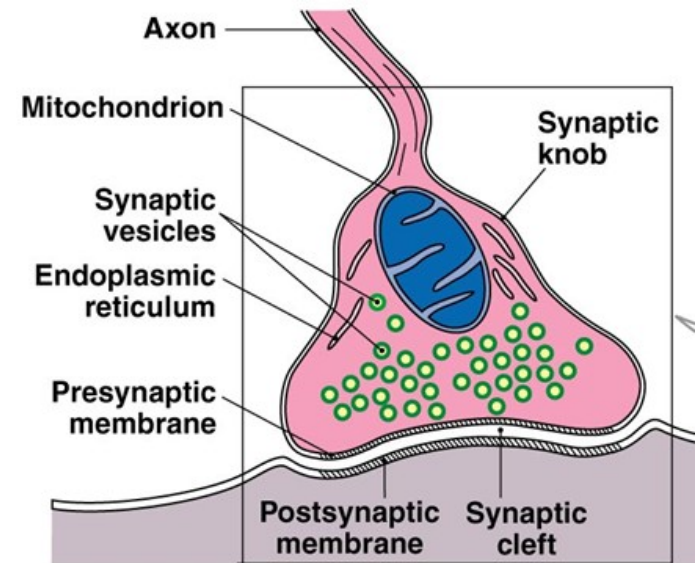
Excitační synapse

- otevření postsynaptických Na⁺ kanálů
- influx Na⁺ do buňky
- **depolarizace** membrány postsynaptického neuronu

X

Inhibiční synapse

- otevření postsynaptických Cl⁻ (nebo jiný anion) kanálů
- influx of anionů
- **hyperpolarizace** membrány postsynaptického neuronu

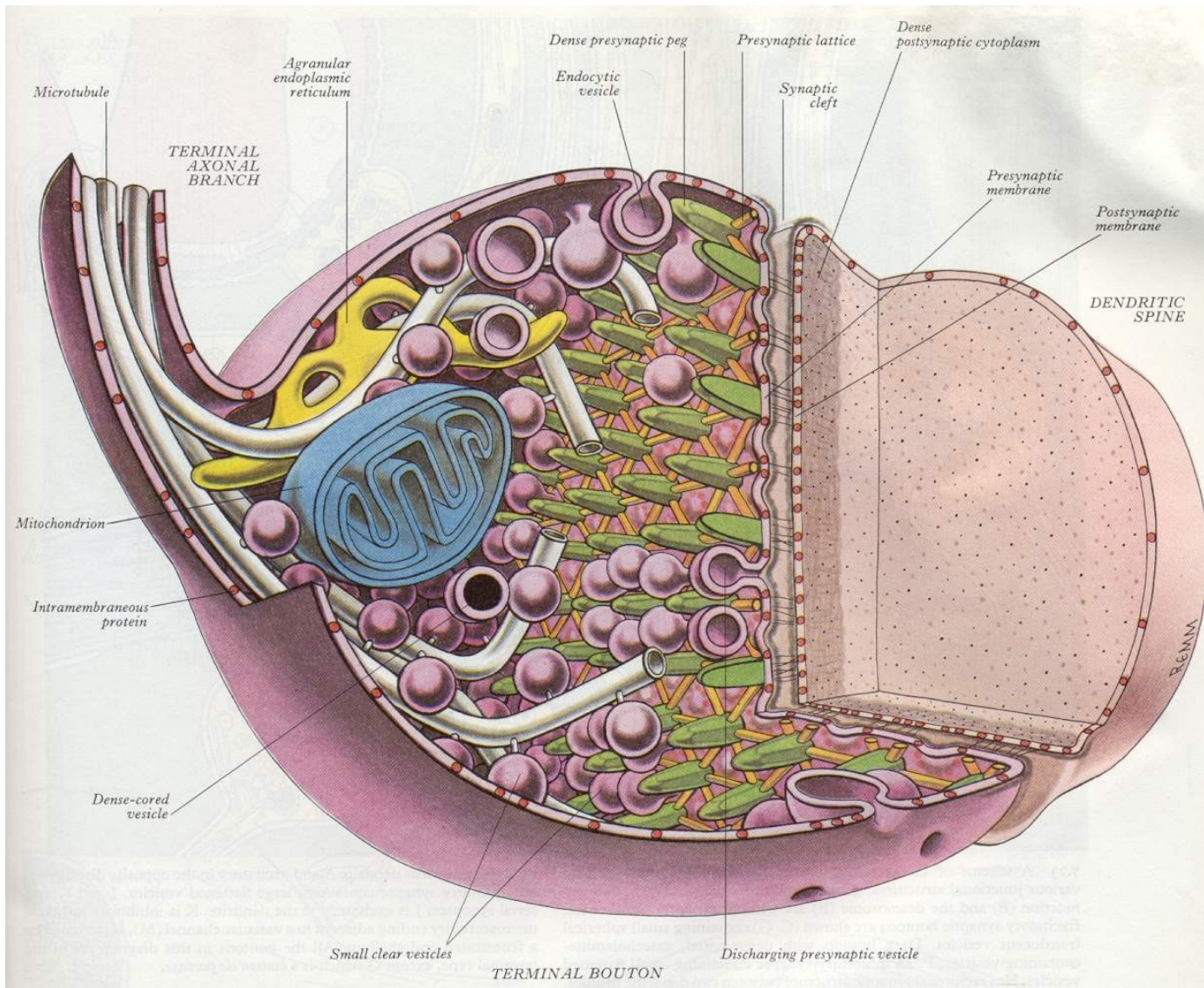


Copyright © 2007 Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings

Neurotransmitery

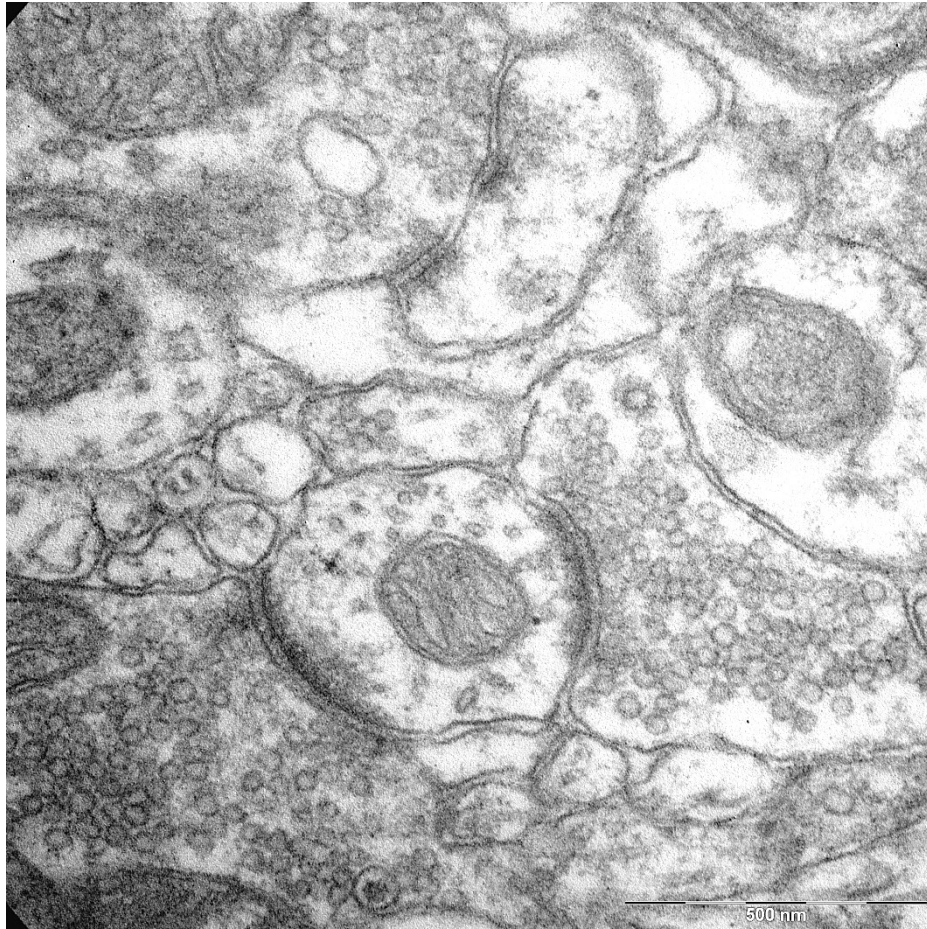
- **Acetylcholin**
- **Amiokyseliny** – glutamát, glycin, GABA (gamma-amminobutyric acid)
- **Monoaminy** – serotonin, catecholaminy, dopamin, adrenalin, ...
- **Neuropeptidy**– enkefalin, somatostatin, neurotensin,
- **Další molekuly** – adenosin, oxid dusnatý

Synapse 3



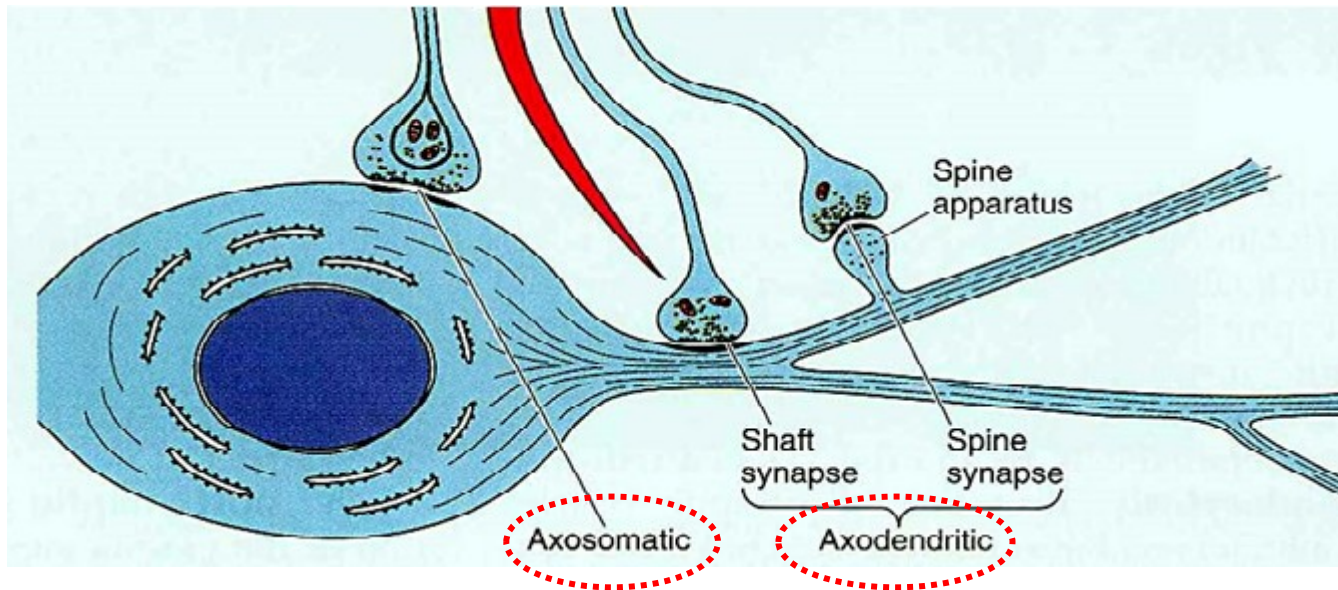
Synapse 4

Synapse in TEM



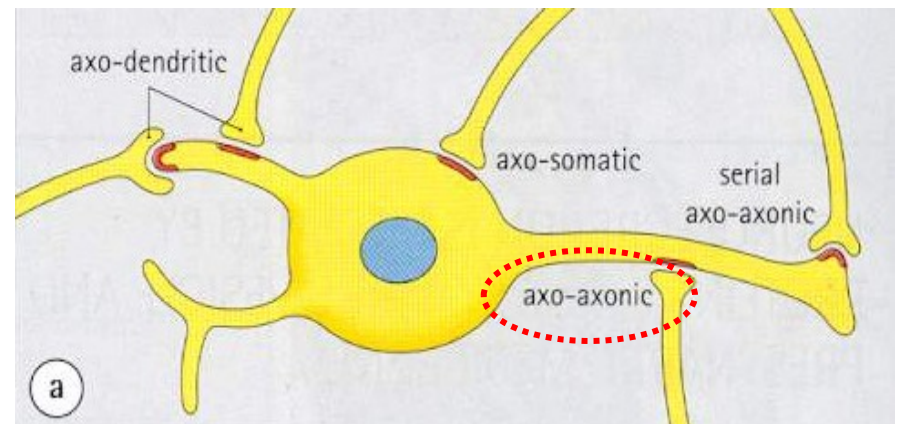
Synapse 5

Klasifikace podle **participujících struktur**

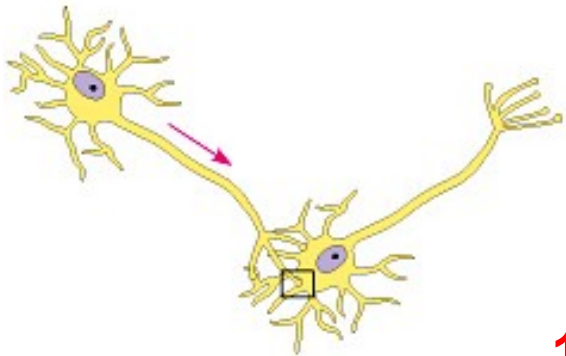


Axodendritické
Axosomatické
Axoaxonální

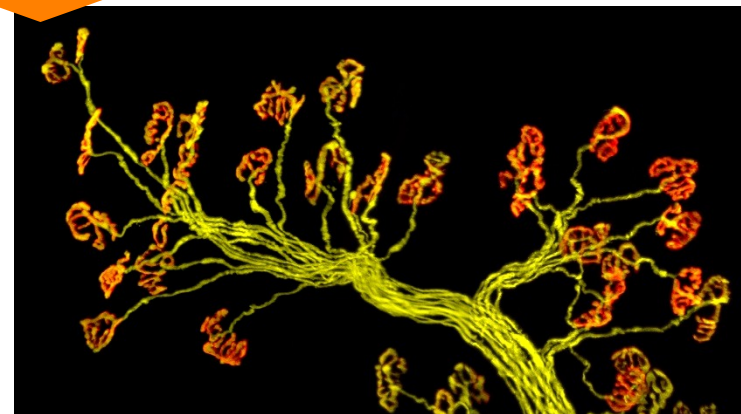
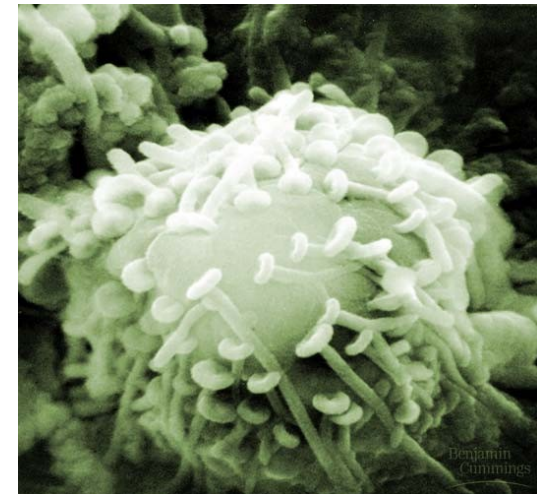
Poznámka:
Neuromuskulární spojení – synapse mezi neuronem a efektorovou svalovou buňkou



Synapse 7



Jeden neuron může mít
1 000 až 10 000 synapsí !!!



Neuroglie – Gliové buňky

Obecné vlastnosti

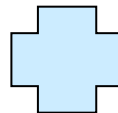
- **ne-neuronální buňky** – několik různých typů
- podporují a chrání neurony
- spojují neurony k sobě a tvoří podpůrnou **kostru nervové tkáně**
- během vývoje **navádějí migrující neurony** do jejich destinací
- zralé neurony, které nejsou v kontaktu synapsemi
- brání vzájemnému kontaktu mezi neurony (izolace)
- „**ladí**“ aktivitu signálních drah
- ve světelném mikroskopu jsou vidět pouze jejich jádra
- každý neuron je v kontaktu s několika gliovými buňkami

Počet **neuronů**: asi **100 bilionů až 1 trilion**

Počet **gliových buněk**: **50x více** než neuronů

Centrální neuroglie

- Astrocyty
- Oligodendrocyty
- Microglie
- Ependymové buňky

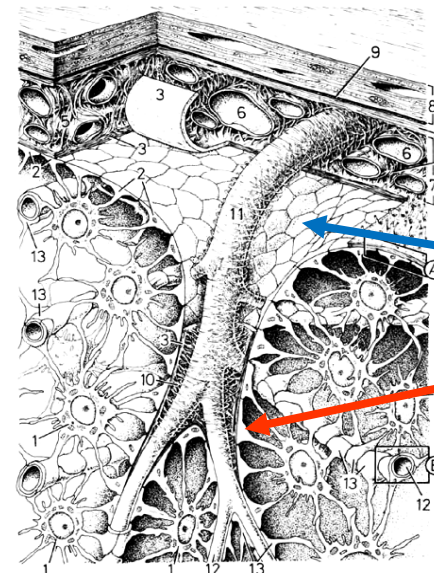
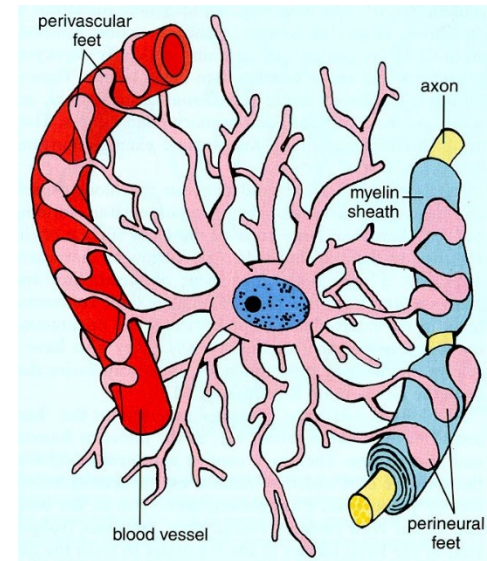


Periferní neuroglie

- Schwannovy buňky
- Satelitové (plášťové) buňky

Neuroglie – Astrocyty 1

- **nejhojnější** gliové buňky CNS
- **pokrývají celý povrch mozku a většinu nesynaptických oblastí neuronů v šedé hmotě**
- **mají četné funkce:**
 - ✓ tvoří **podpůrnou kostru** nervové tkáně
 - ✓ mají výběžky (**perivaskulární nožky**), které jsou v kontaktu s kapilárami a spoluformují **hematoencefalickou bariéru**
 - ✓ přeměňují krevní glukózu na **laktát** a předávají jej jako **výživu neuronům**
 - ✓ produkují „**nerve growth factors**“, které řídí růst neuronů a formování synapsí
 - ✓ komunikují elektricky s neurony a **ovlivňují tak přenos signálu na synapsích**
 - ✓ regulují chemické složení tkáňového moku **absorbováním neurotransmiterů a iontů**
 - ✓ **astrocytóza** – tuhá jizva tvořená astrocyty v oblasti, kde došlo k úmrtí neuronů
 - ✓ obsahují **GFAP**

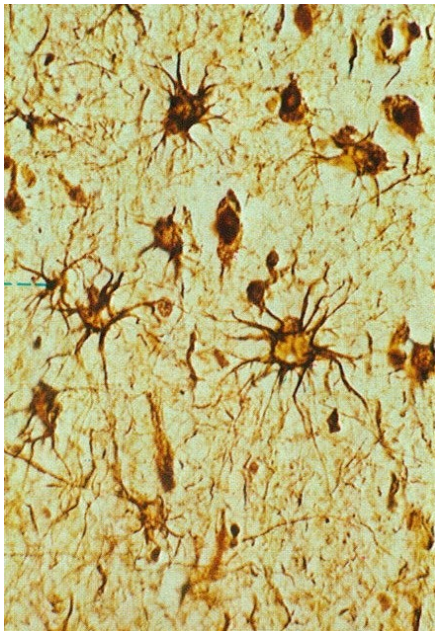
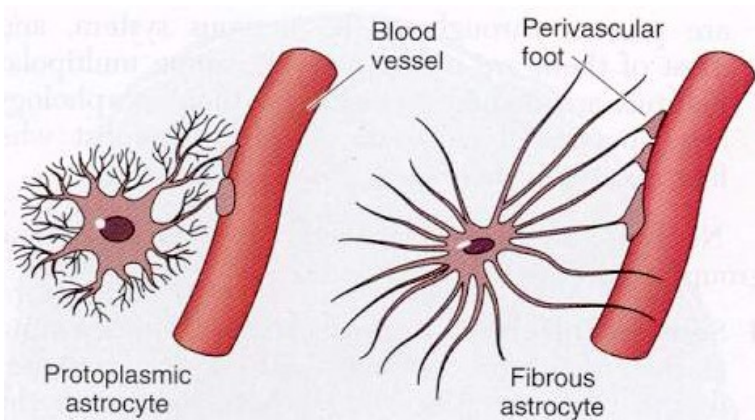


Membrana limitans gliae...

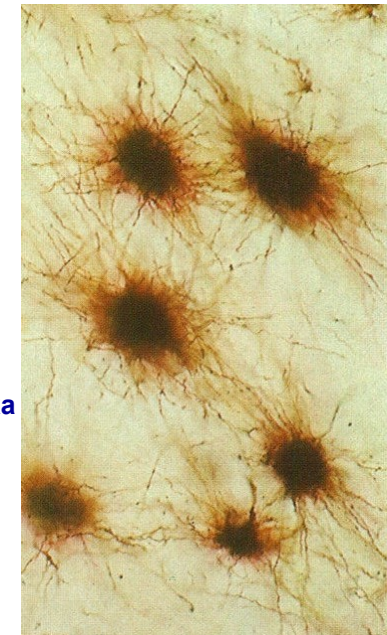
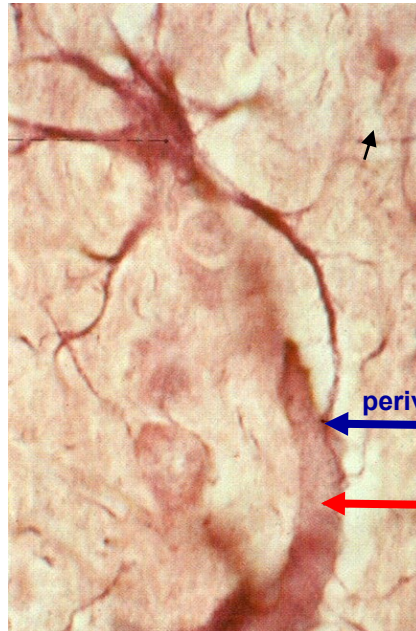
...superficialis

...perivascularis

Neuroglie – Astrocyty 2



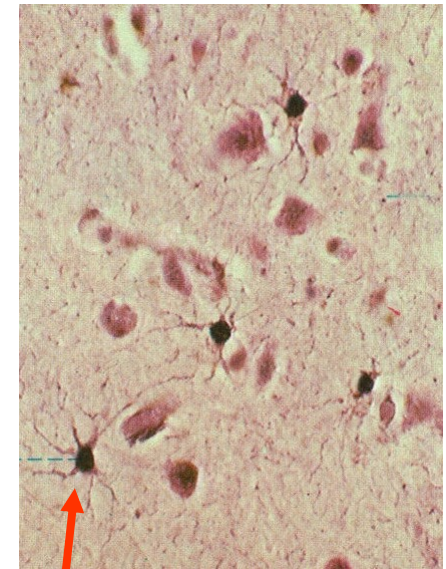
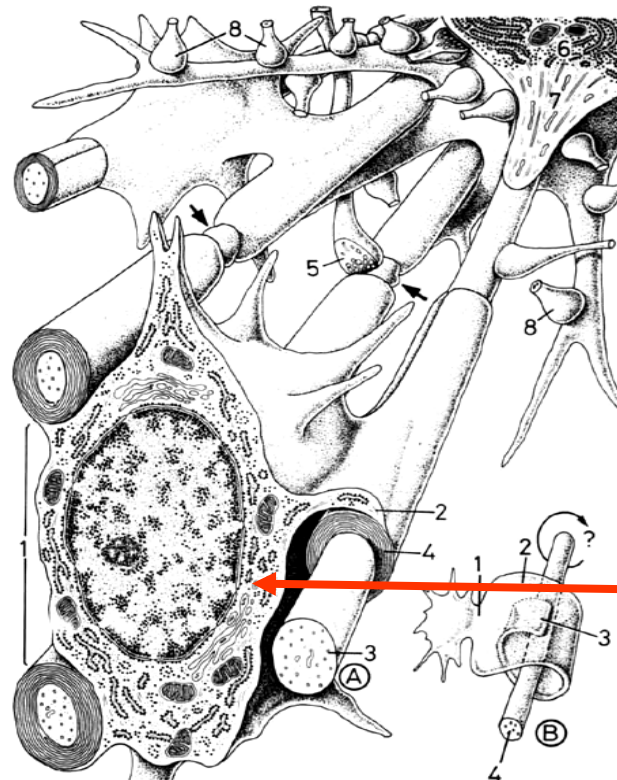
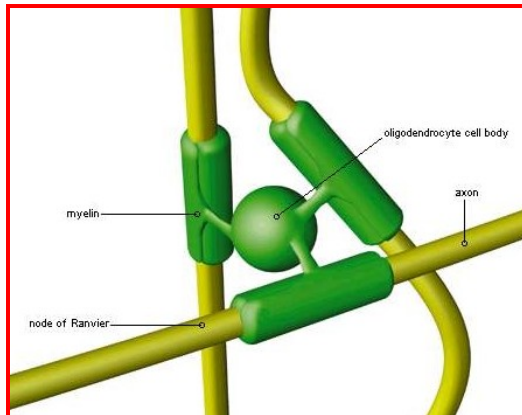
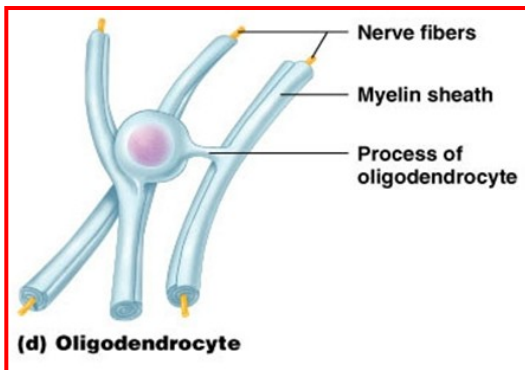
plazmatický astrocyt
(predominantní v šedé hmotě)



fibrilární astrocyt
(predominantní v bílé hmotě)

Neuroglie - Oligodendrocyty

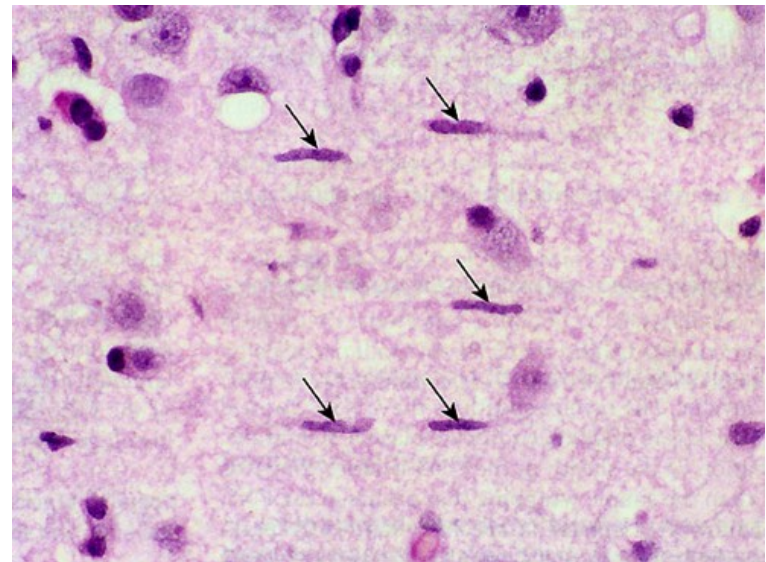
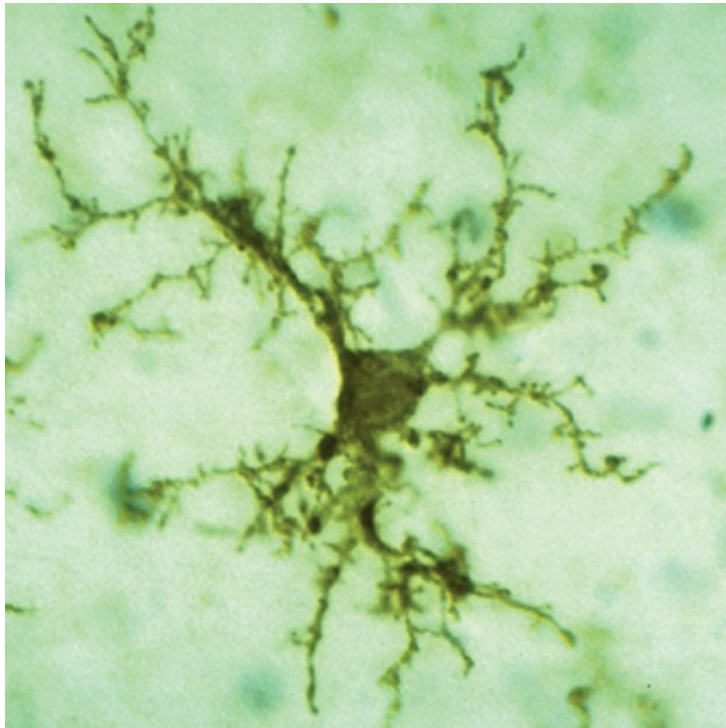
- ✓ menší než astrocyty; tmavší, okrouhlé jádro, hojně RER, hojný golgiho aparát
- ✓ tvoří **myelinové pochvy v CNS**
- ✓ jedna buňka obsluhuje **více jak jeden axon**
- ✓ **nemohou migrovat kolem axonů** (na rozdíl od Schwannových buněk) – vtlačují nové vrstvy myelinu pod již existující směrem k nervovému vláknu
- ✓ neurilema ani endoneurium s kolem nervových vláken v CNS nevytváří
- ✓ výběžky obklopují axony a vytváří **izolační vrstvu urychlující přenos signálů**
- ✓ **multiple sclerosis** – důsledek poškození funkce oligodendrocytů



oligodendrocyte

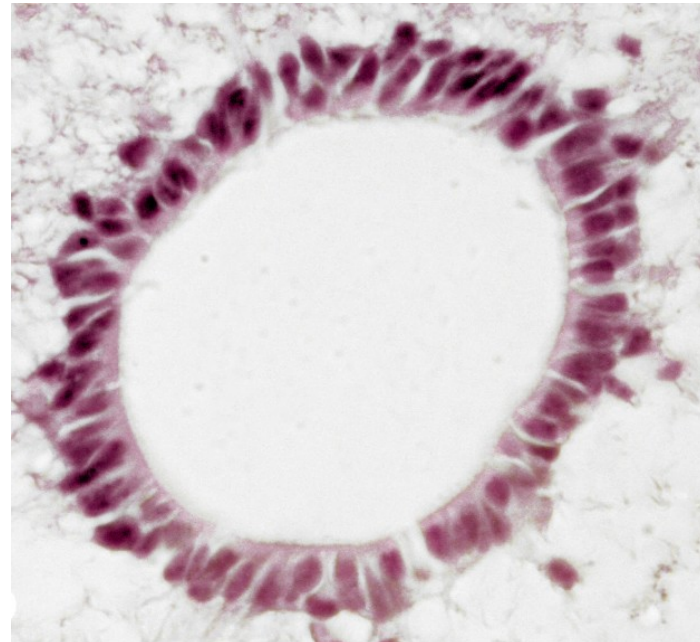
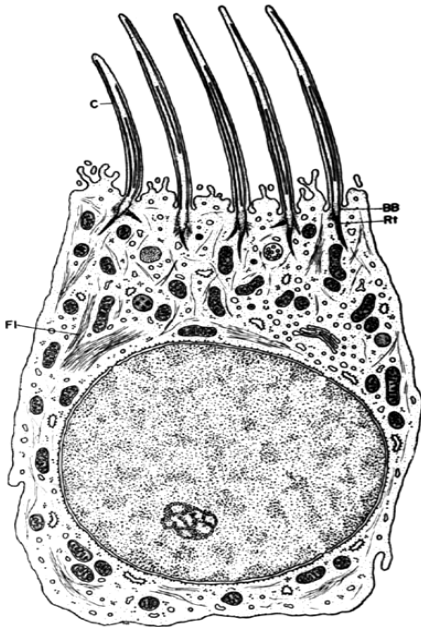
Neuroglie - Mikroglie

- ✓ **nejmenší** neurogliové buňky
- ✓ malá, tmavá, **protáhlá jádra**
- ✓ mají **fagocytární** vlastnosti
- ✓ jsou-li aktivovány – **antigen prezentující buňky**
- ✓ mají původ v kostní dřeni (**mezodermální**)

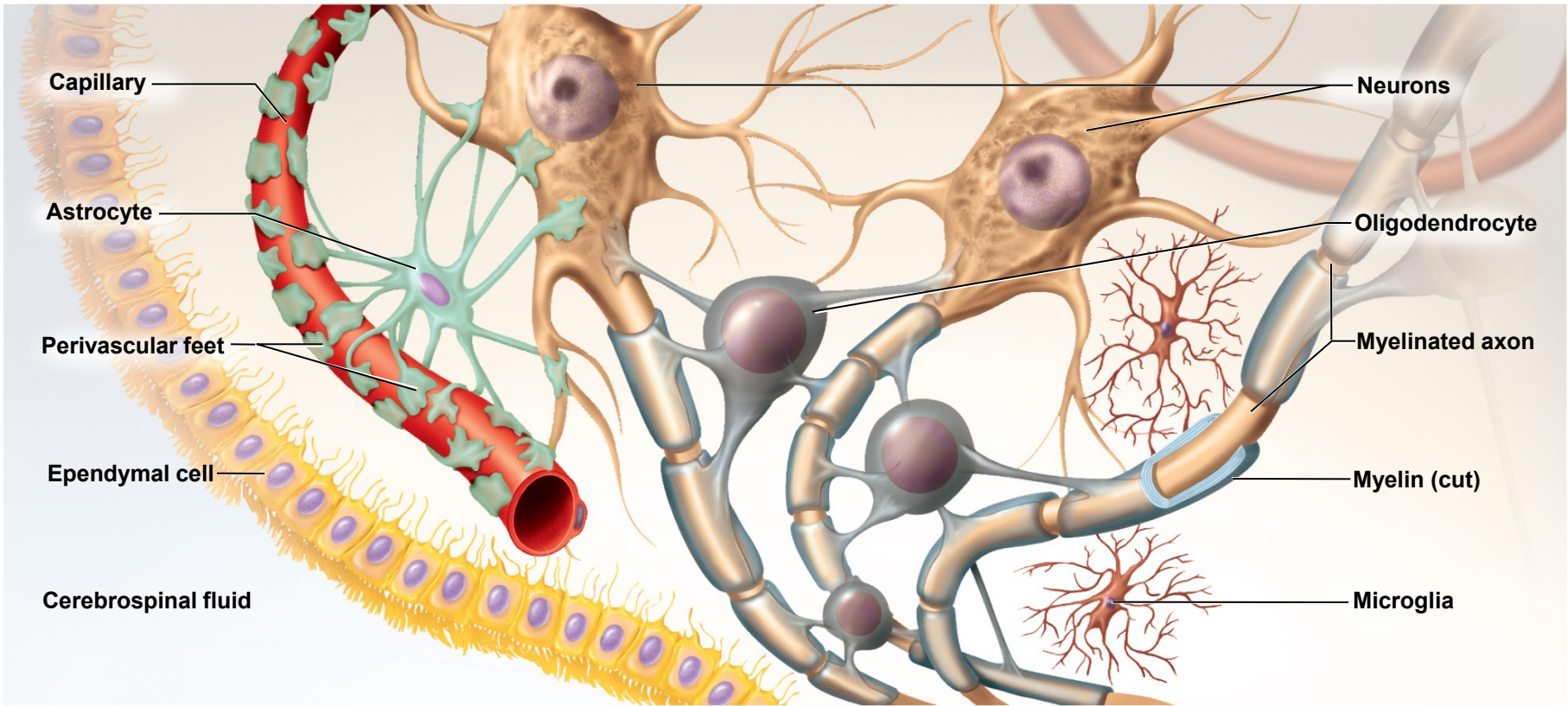


Neuroglie – Ependymové buňky

- ✓ vystylají komory v mozku CNS a míšní kanál
- ✓ kubické až nízké cylindrické
- ✓ chybí bazální lamina
- ✓ produkují **cerebrospinální mok** (CSM)
- ✓ některé jsou opatřeny řasinkami (pohyb CSM)
- ✓ spoluvytváří ***Plexus choroideus***



Neuroglia – CNS - Sumarizace

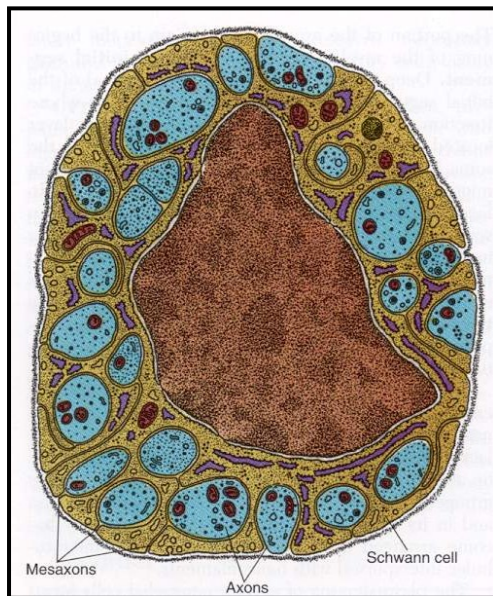


Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.

Neuroglie PNS – Schwannovy buňky 1

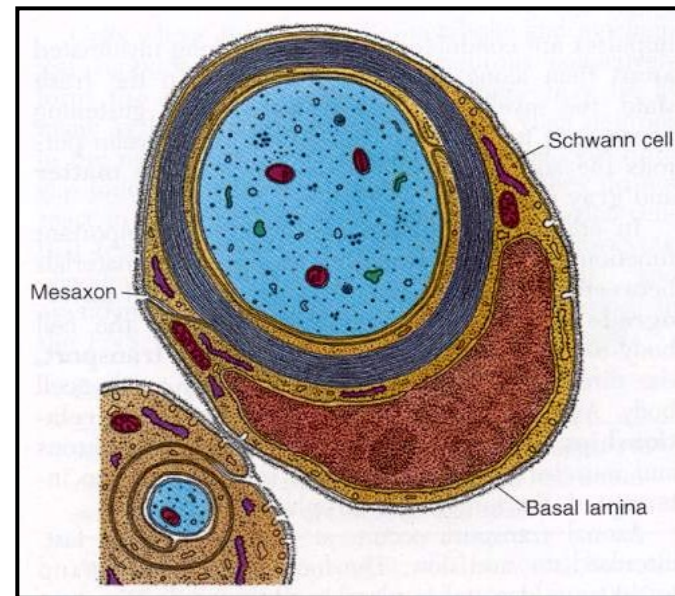
- buňky, které ovinují všechny axony v PNS
- poskytují strukturální a metabolickou podporu axonům
- poskytují vedení (navigaci) pro růst axonů

Axony malého průměru Obdávají je cytoplasmou



X

Axony velkého průměru Obtáčejí je myelinovou pochvou



pouze Schwannova pochva – šedá vlákna

Schwannova + myelinová pochva – dvojité konturovaná vlákna

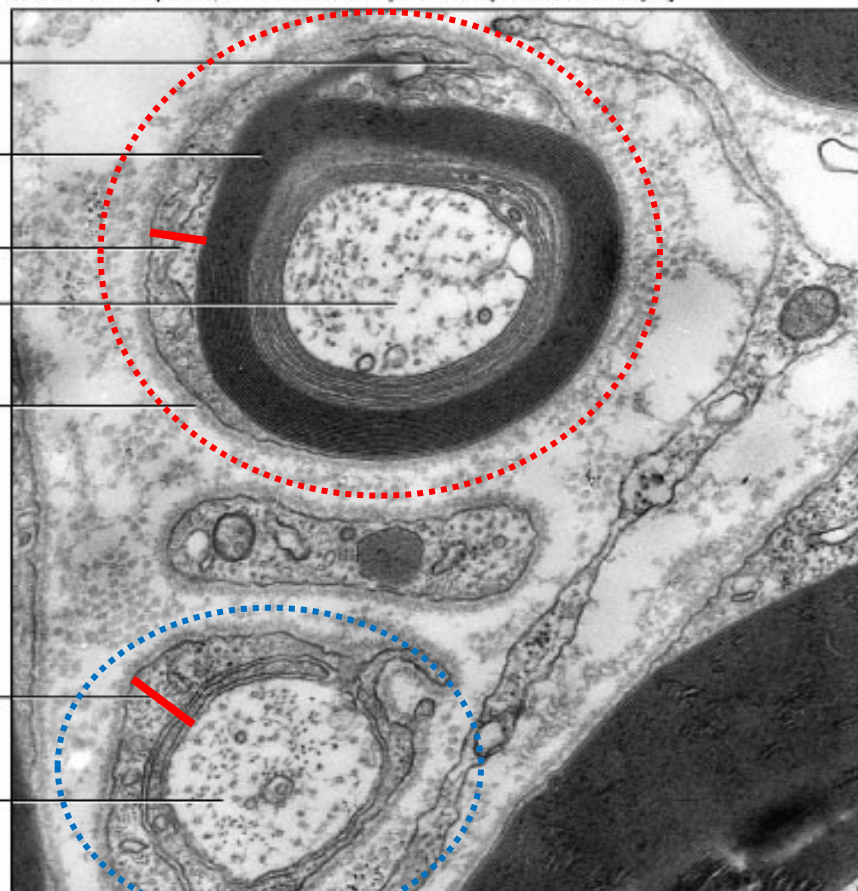
Neuroglie PNS – Schwannovy buňky 2

dvojitě konturované vlákno (myelinizované)

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.

Schwann
cell cytoplasm
Myelin
sheath
Neurilemma
Myelinated
axon
Basal
lamina

Neurilemma
Unmyelinated
axon

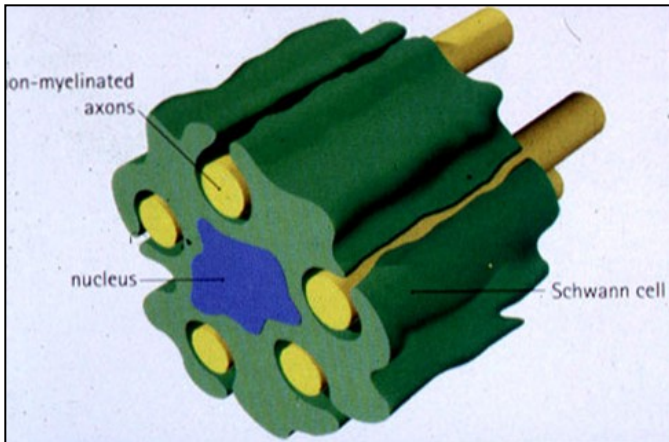


šedé vlákno (ne-myelinizované)

3 μm

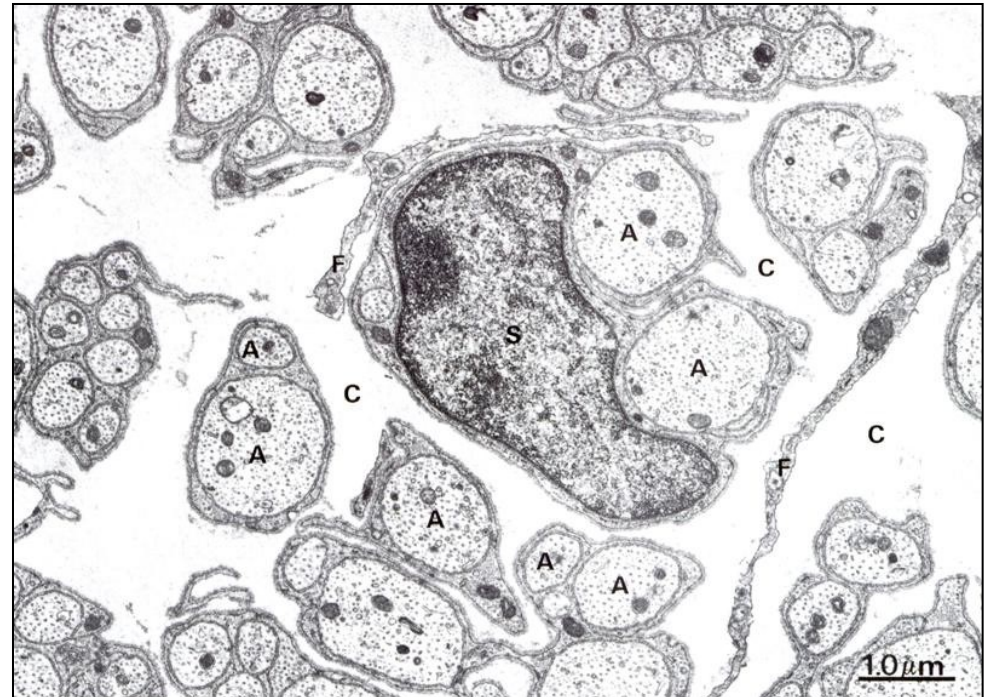
Neuroglie PNS – Schwannovy buňky 3

Axony malého průměru \Rightarrow **Nemyelinizovaná vlákna**
(typické pro autonomní nervový systém)



Jedna Schwannova obdává několik axonů

pouze Schwannova pochva – šedé nervové vlákno

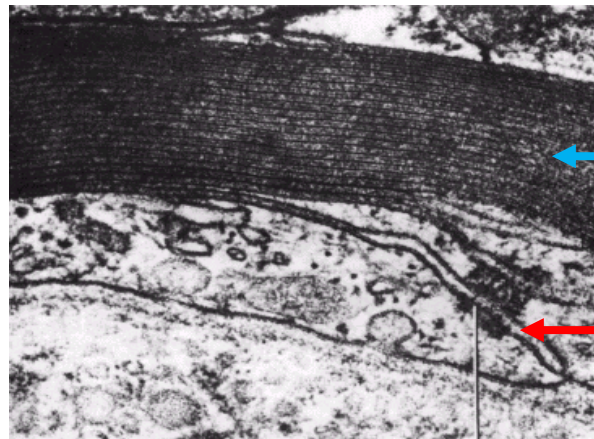
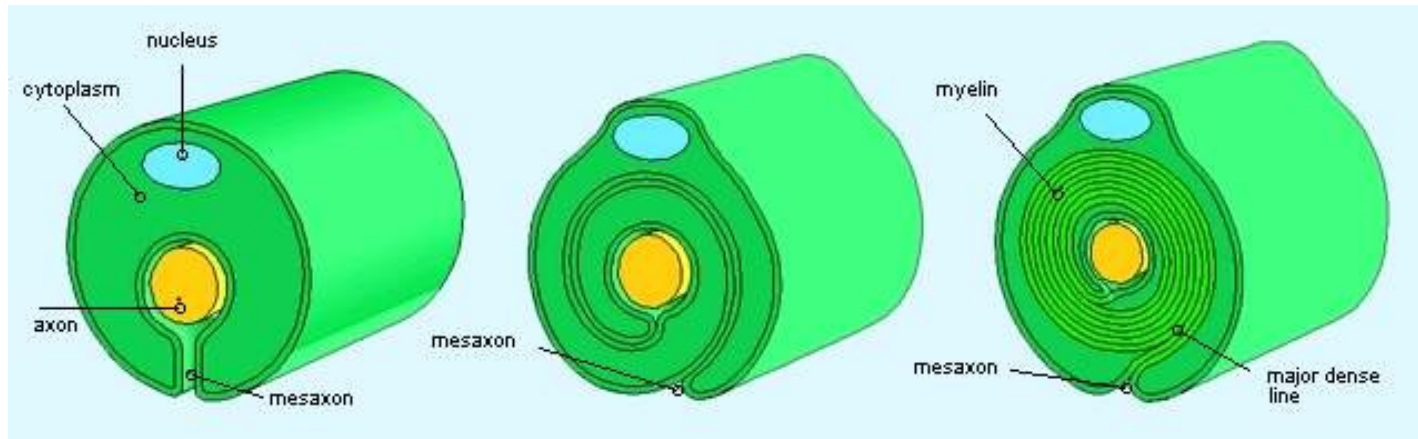


Neuroglie PNS – Schwannovy buňky 4

Axony velkého průměru \Rightarrow Myelinizovaná vlákna

Myelinizace

- začíná ve 14-tém týdnu vývoje
- pokračuje rychle v novorozeneckém období
- dokončuje se v adolescenci

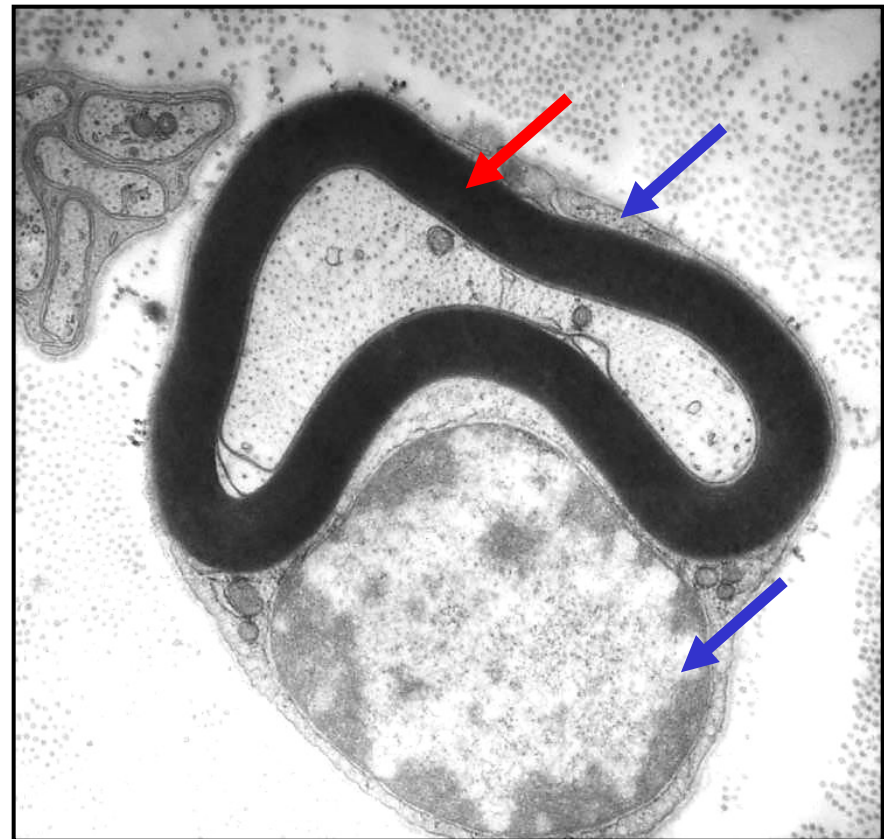
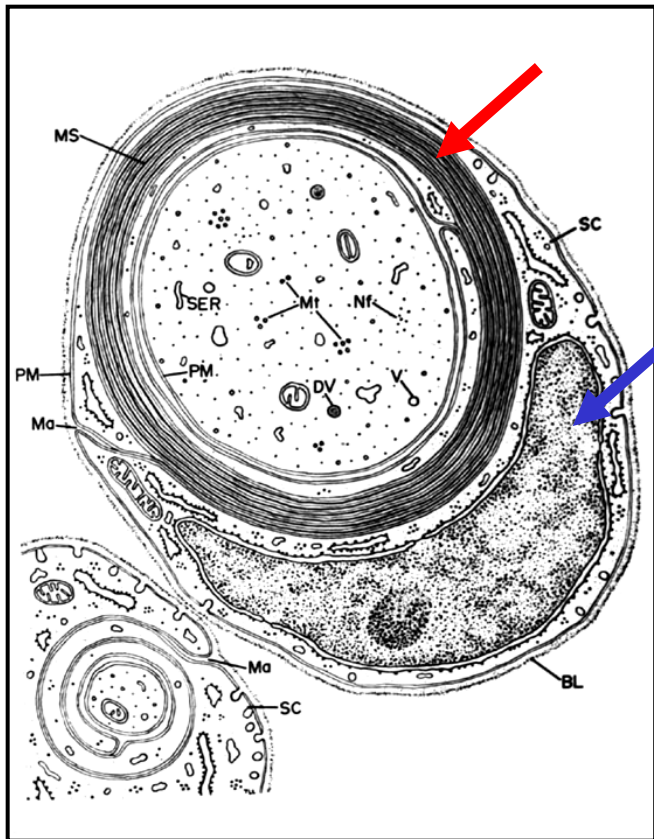


Myelinová pochva

Mesaxon

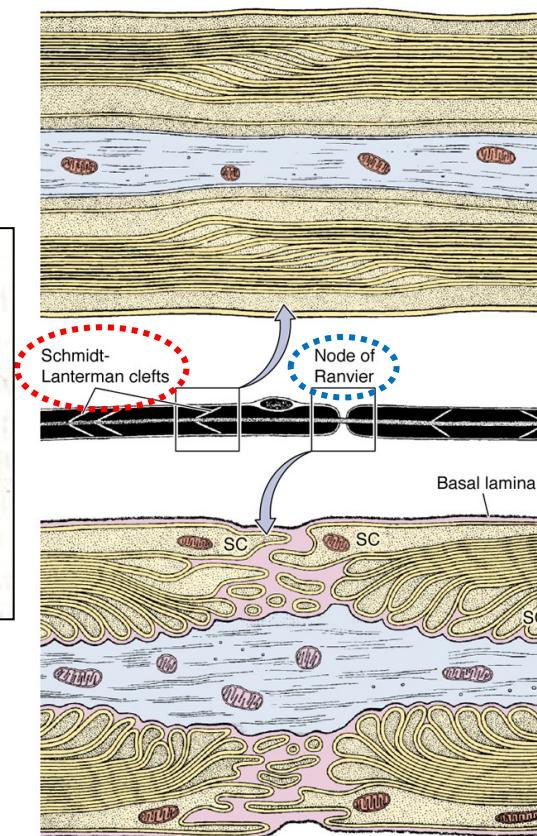
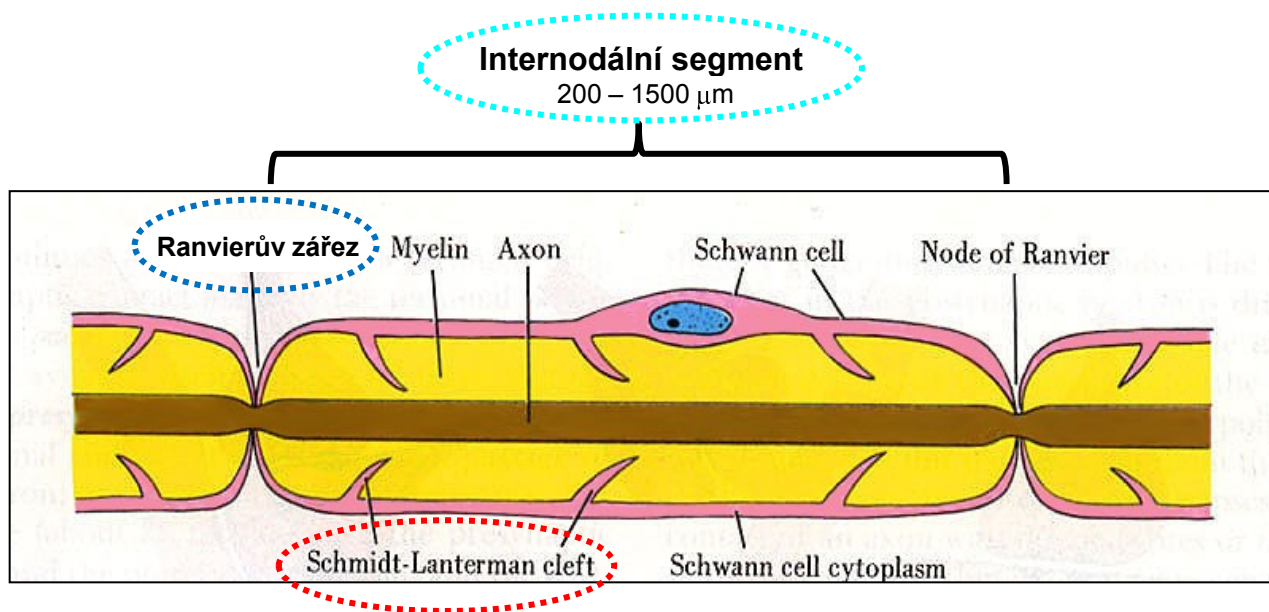
Neuroglie PNS – Schwannovy buňky 5

Dvojitě konturované nervové vlákno \Rightarrow Schwannova pochva = Neurilema
+
Myelinová pochva



Neuroglie PNS – Schwannovy buňky 6

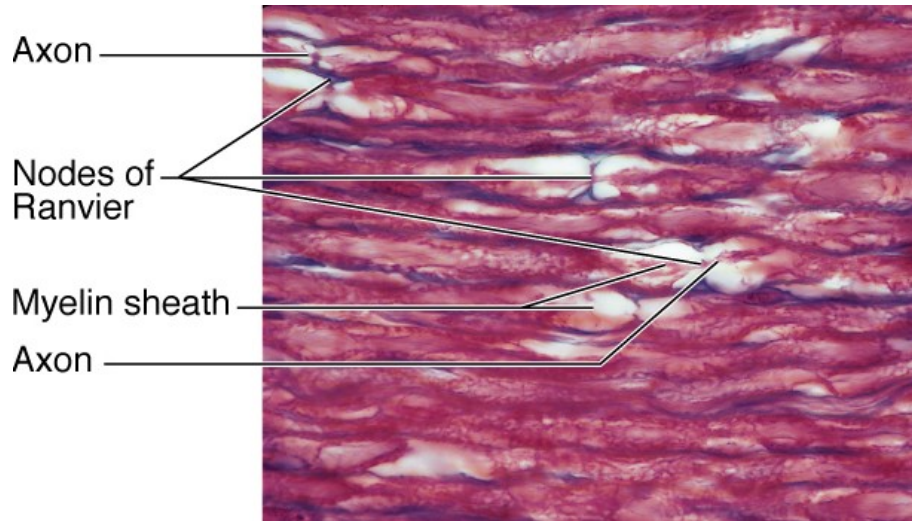
Myelinová pochva je segmentovaná = mnoho Schwannových buněk je potřeba k pokrytí celé délky axonu



Schmidt-Lantermanovy štěrbin

- Cytoplazma Schwannových buněk zachycená mezi lamelami myelinu

Neuroglie PNS – Schwannovy buňky 7



Schmidt-Lantermannovy šterbiny →

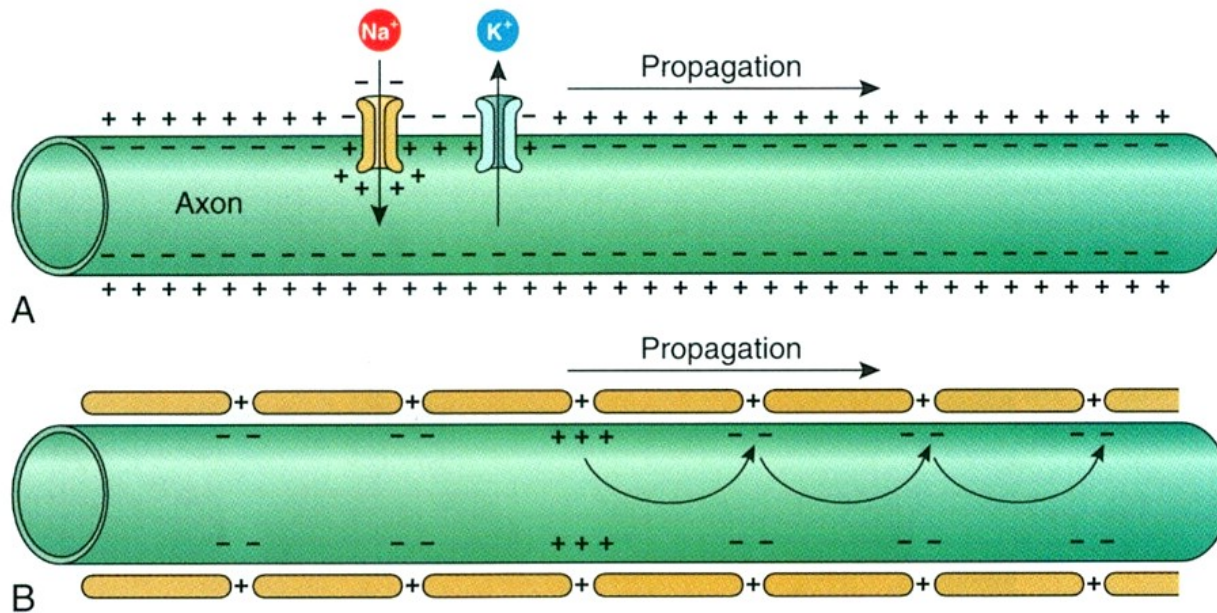


Neurologie – Funkční efekt myelinizace

Přenos signálu

Ne-myelinizované axony – pomalý (0.5 – 2 m/s)

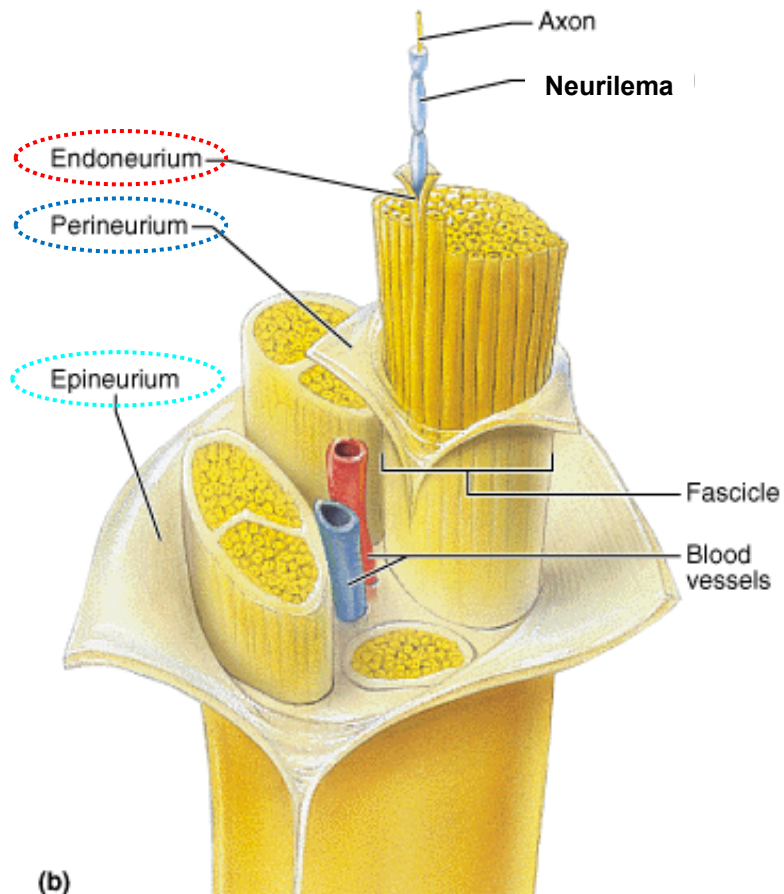
Myelinizované axon – rychlé (15 – 20 m/s)



Saltatorní (salta=skok)

Periferní nerv – Organizace 1

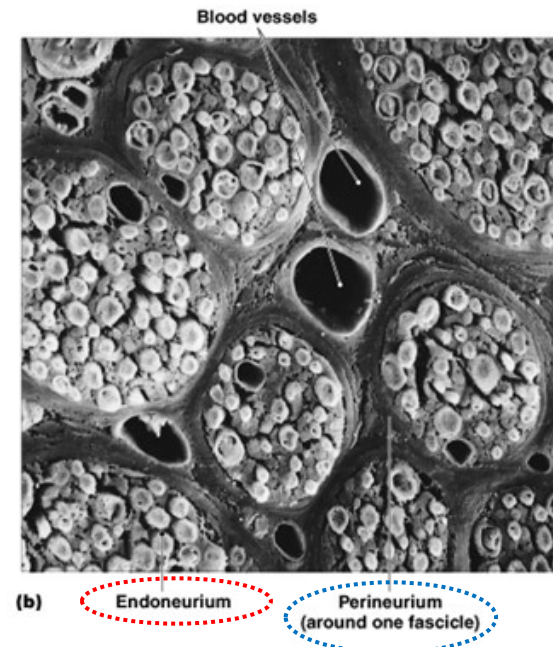
Sestává ze 100 a 100 000 tisíc myelinizovaných a nemyelinizovaných axonů (nervových vláken)



(b) Copyright © 2001 Benjamin Cummings, an imprint of Addison Wesley Longman, Inc.

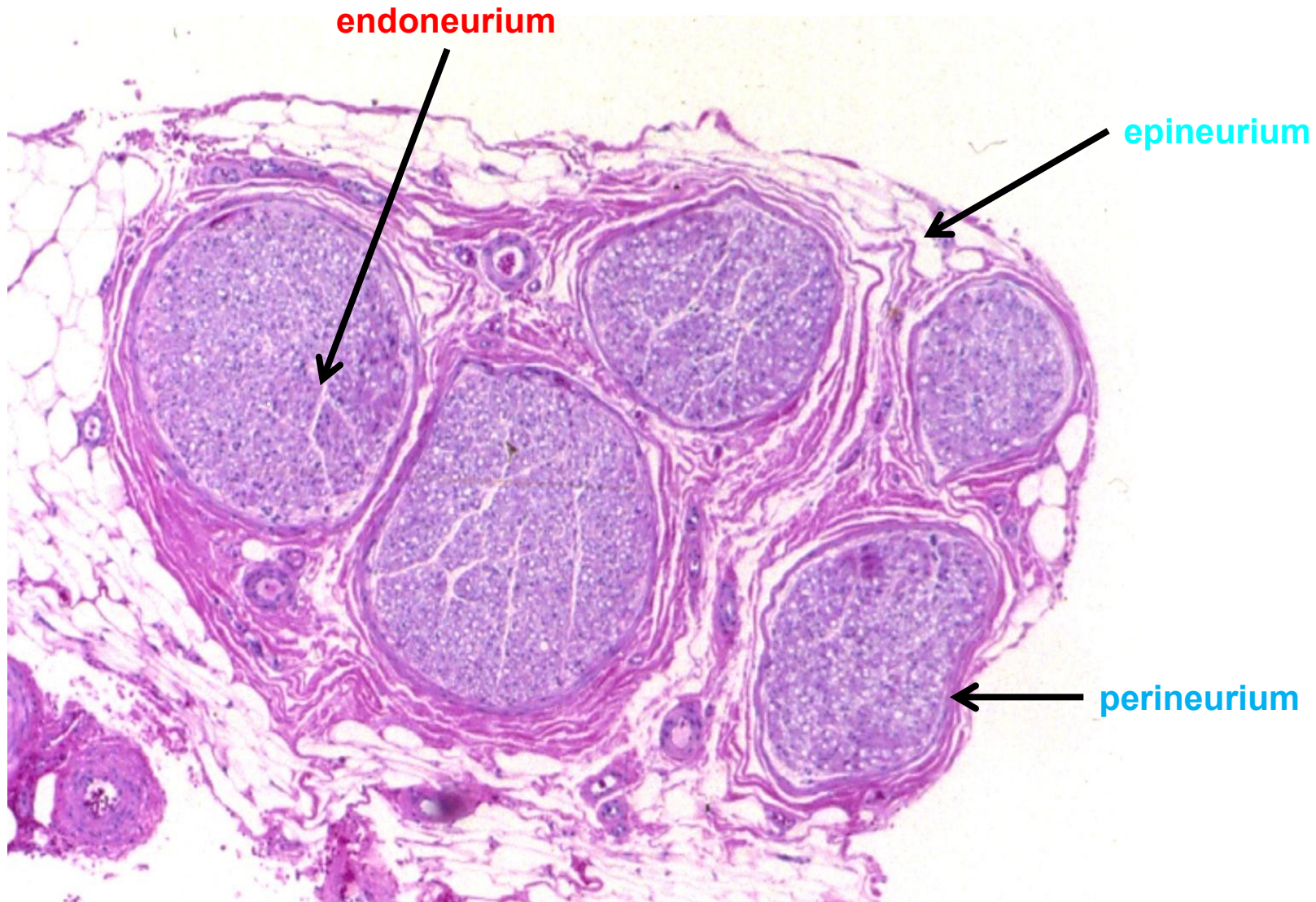
Pojivová tkáň spoluvytvářející nerv:

- **Endoneurium** – obdává axony
- **Perineurium** – obdává svazky
- **Epineurium** – obdává celý nerv

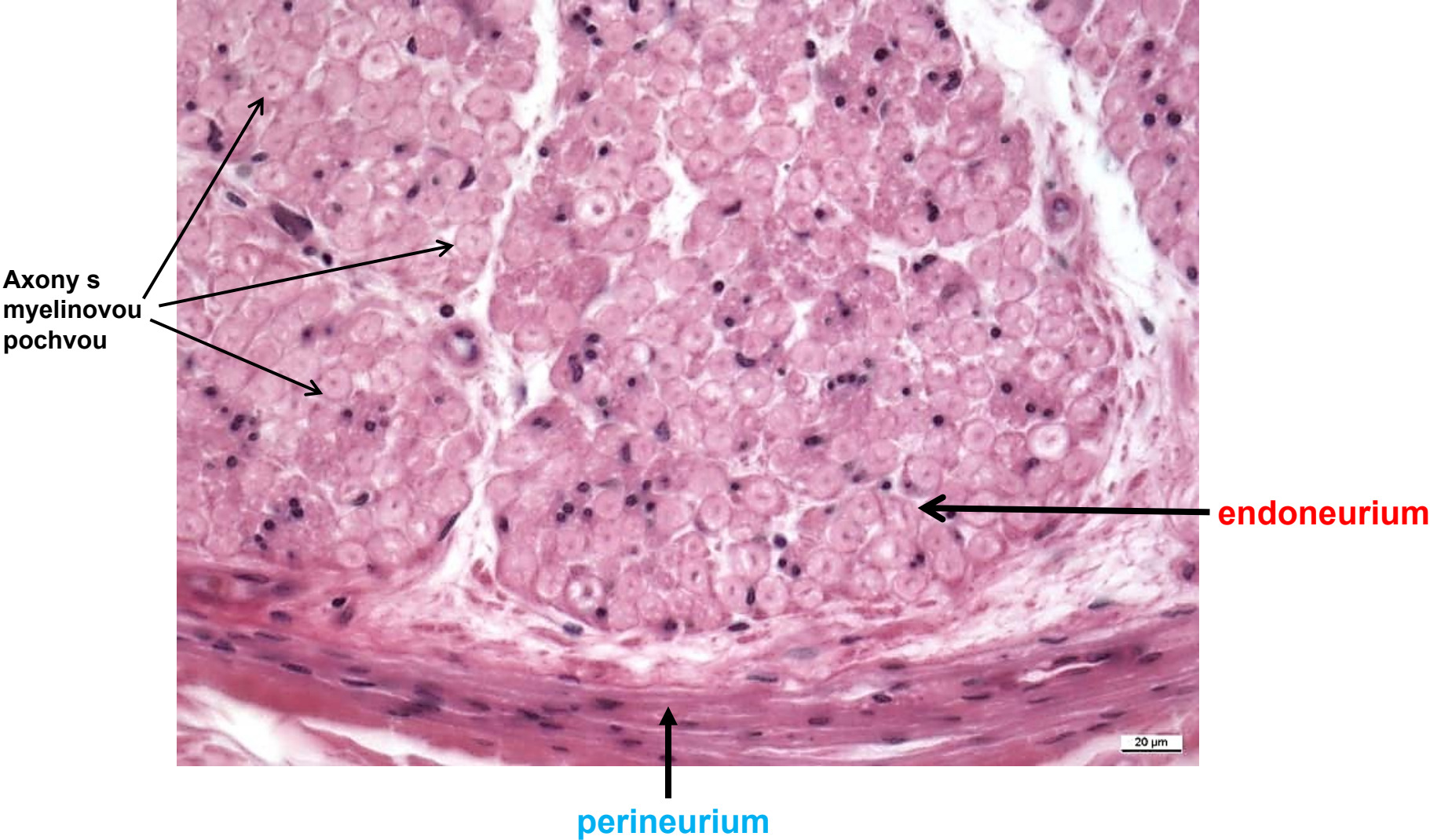


Copyright © 2006 Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

Periferní nerv – Organizace 2



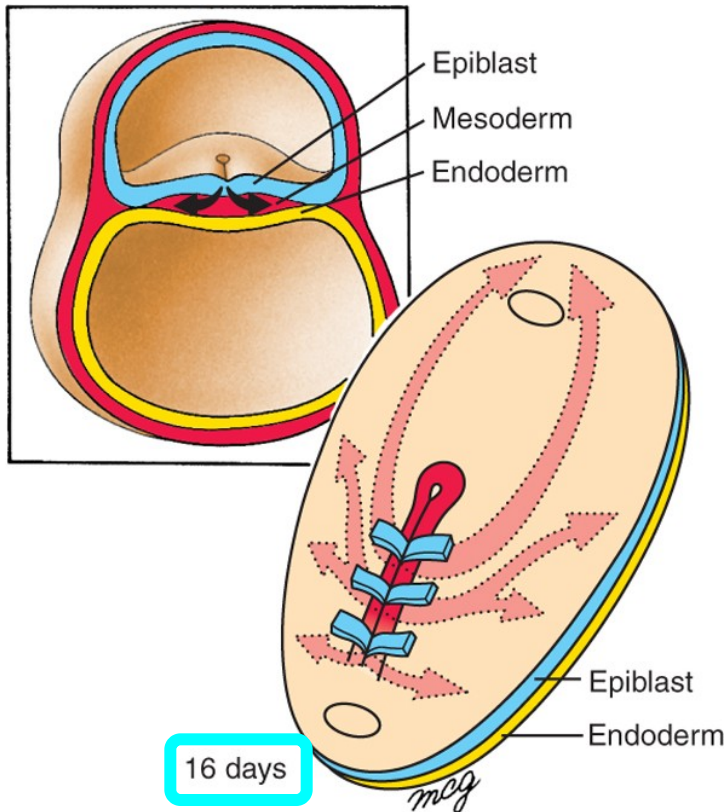
Periferní nerv – Organizace 3



Nervová tkáň – Vývoj 1

Gastrulace

Vznik tří zárodečných listů



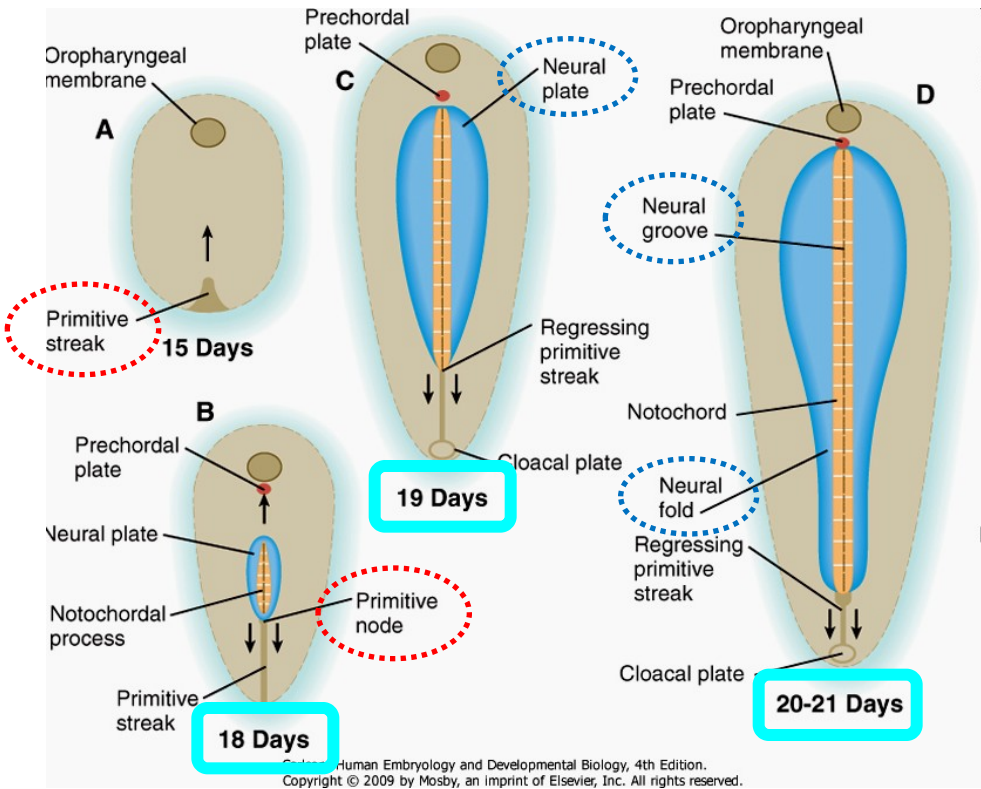
Ectoderm: vně, překrývá další zárodečné listy, dává vznik **kůži** a **nervové tkáni**.

Mesoderm: middle layer, generates most of the **muscle, blood** and **connective tissues** of the body and placenta.

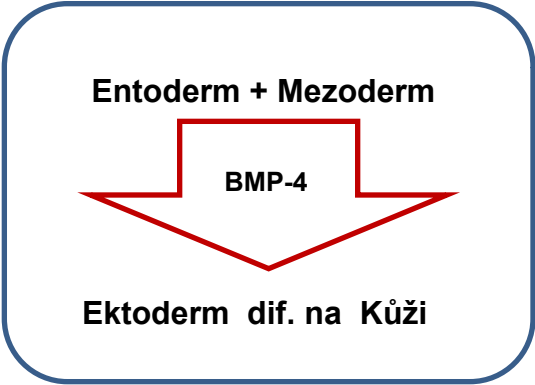
Endoderm: eventually most interior of embryo, generates the **epithelial lining** and associated **glands** of the **gut, lung,** and **urogenital tracts**.

Nervová tkáň – Vývoj 2

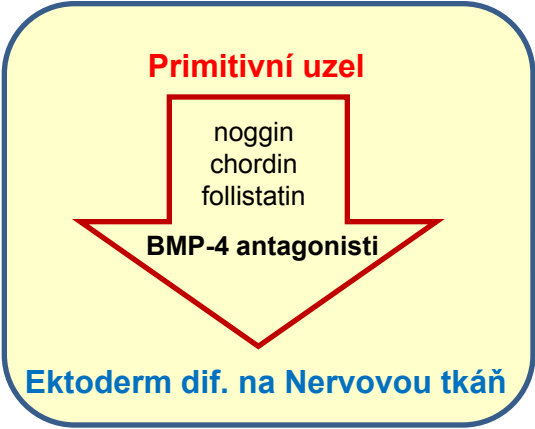
Neurální indukce
Signály z **primitivního uzlu** indukují vznik **neurální ploténky**



Human Embryology and Developmental Biology, 4th Edition.
Copyright © 2009 by Mosby, an imprint of Elsevier, Inc. All rights reserved.



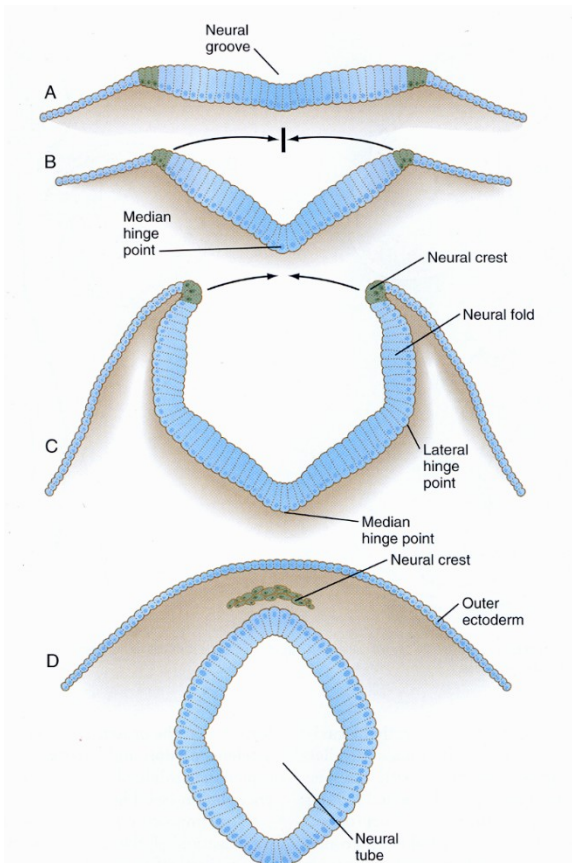
X



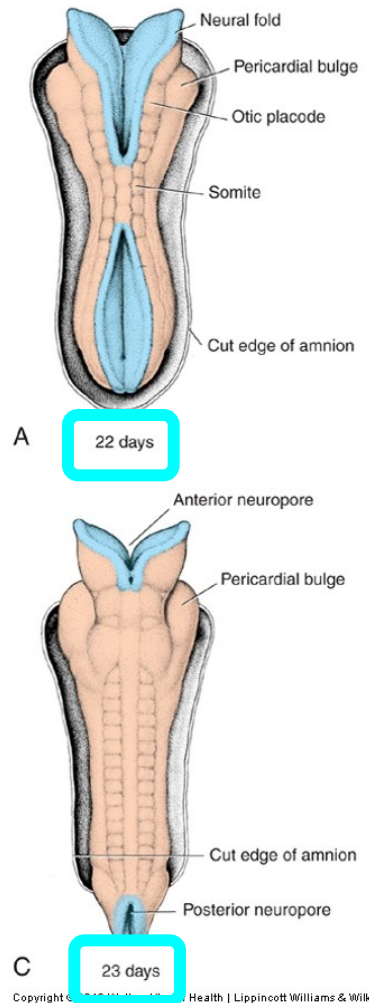
Nervová tkáň – Vývoj 3

Neurulace

Skládání a uzavírání neurální ploténky



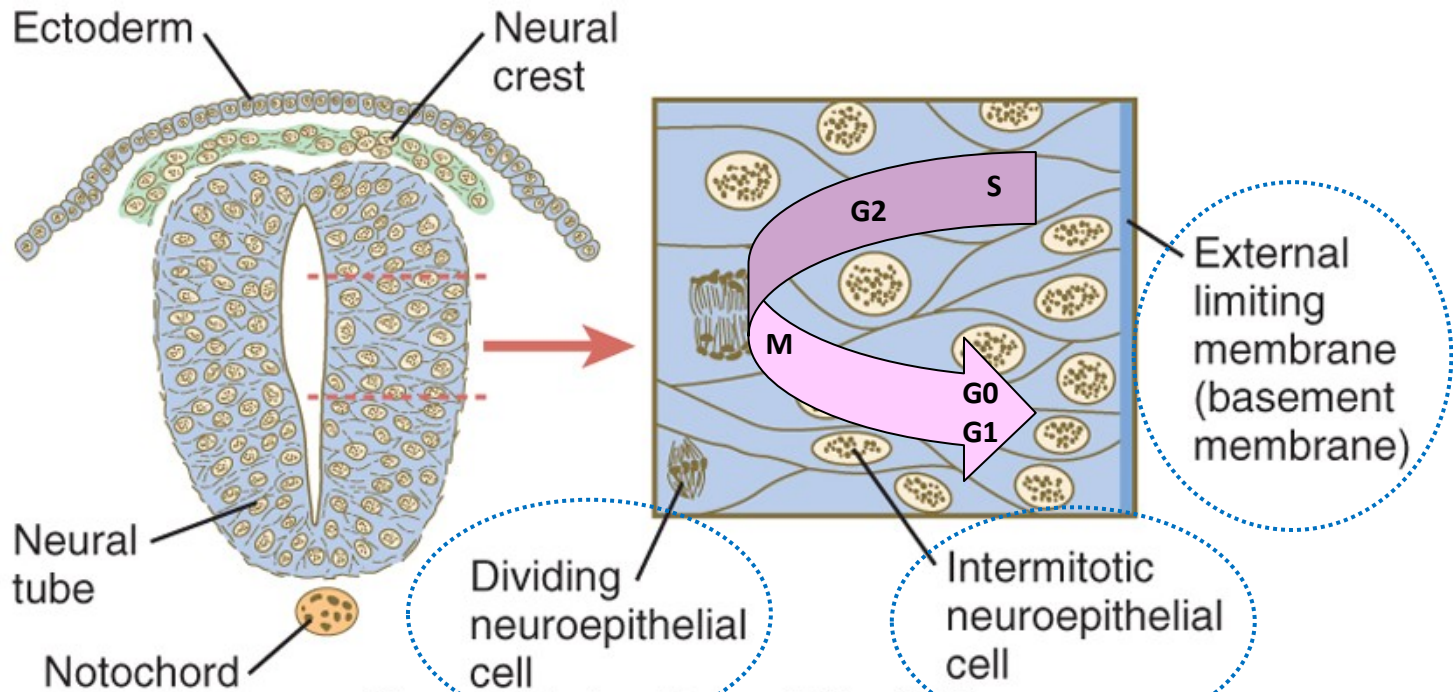
- **neurální valy se uzavírají**
- **buňky neurální lišty** delaminují z neuroektodermu a **migrují** do vzdálených destinací
- neurální trubice **se uzavírá nejprve uprostřed** a potom zipovitě směrem kраниálním a kaudálním
- **kраниální neuropor** se uzavírá cca ve dni **25**
- **kaudální neuropor** se uzavírá cca ve dni **28**



Nervová tkáň – Vývoj 4

Časná nervová trubice je víceřadý epitel

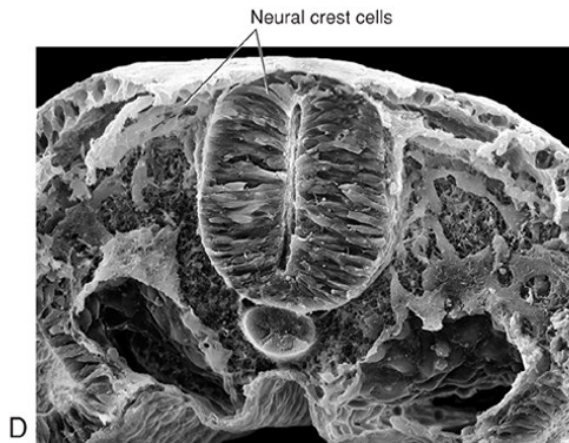
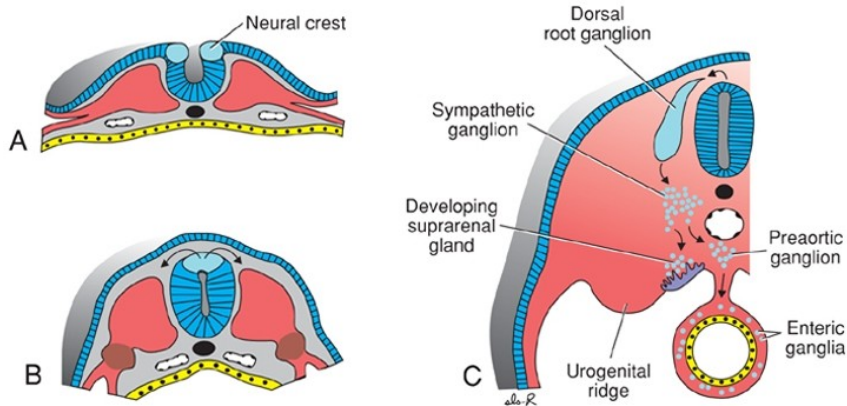
- “**apikální**” strana je přivrácena do **centrálního kanálu**
- “**bazální**” strana je přivrácena k **okolním strukturám** (somity, notochord, etc.).
- dělící se buňky jsou na apikální straně



Nervová tkáň – Vývoj 5

Neurální lišta

“4th zárodečný list”



Signály z:

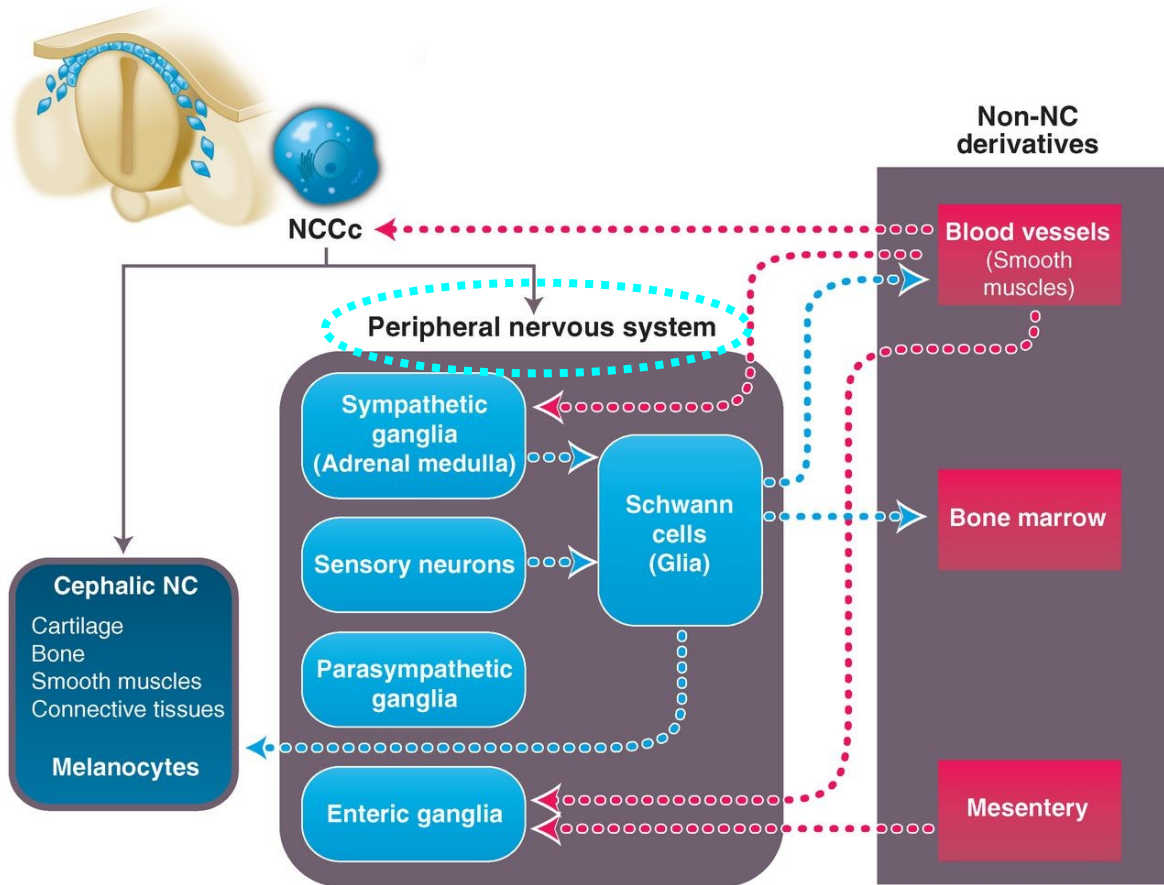
- Mesodermu
- Přilehlé kůže
- Neurální ploténky

Buňky neurální lišty

- Snižují expresi kadherinu
- Delaminují z neuroepitelu
- Transformují se do migratorních mezenchymálních buněk
- Dají vznik mnoha buněčným typům

Nervová tkáň – Vývoj 6

Deriváty neurální lišty

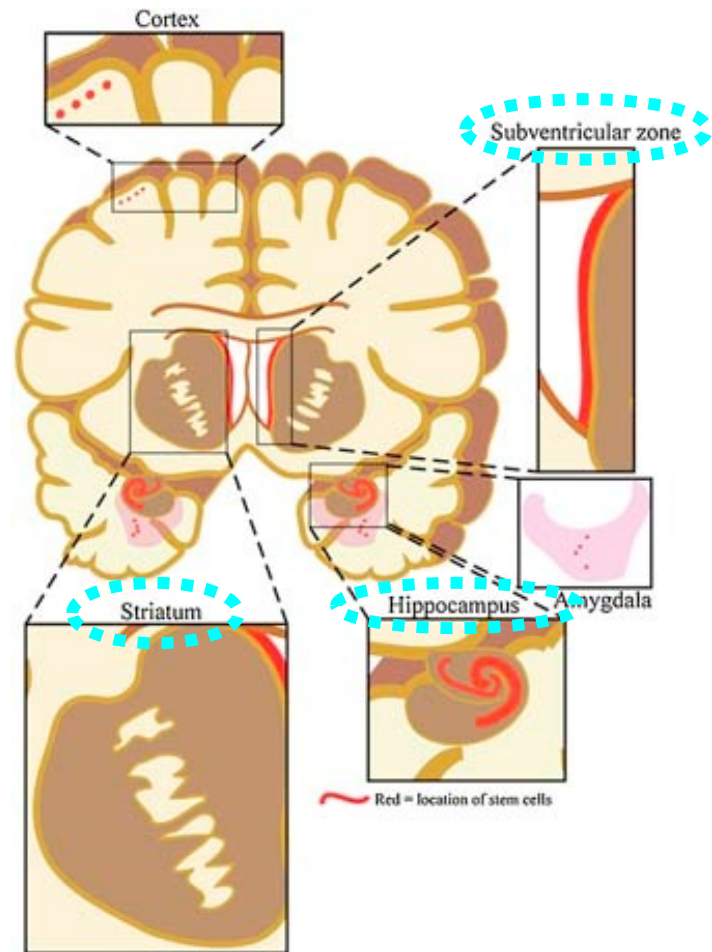
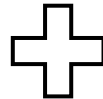


Regenerace nervové tkáně - CNS

Kmenová / progenitorové buňky přítomné v různých oblastech mozku

Celoživotní plasticita CNS

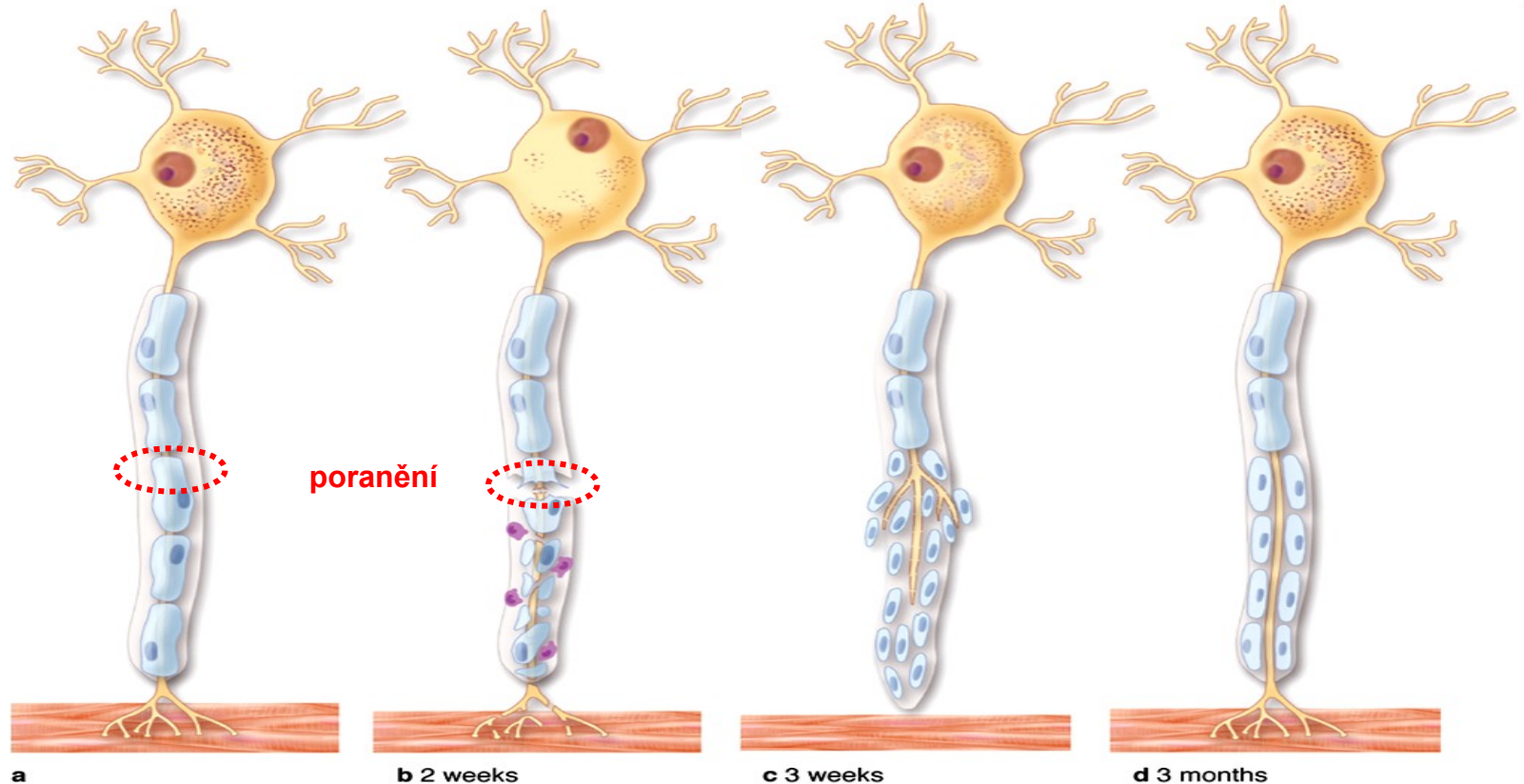
- Vývoj nových dendritů a jejich větvení
- Syntéza nových proteinů
- Změny v synaptických kontaktech



Regenerace nervové tkáně - PNS

Axony i dendrity mohou být opraveny pokud:

- Tělo neuronu je nepoškozené
- Schwannovy buňky jsou aktivní a jsou schopny tvořit navigační dráhu
- Jizva ve tkáni se nevytvoří příliš rychle



Rozpad axonu
Rozpad myelinové pochvy

Dělení Schwannových buněk
Růst axonu
(1.5 mm/day)
Navigace Schwannovými buňkami
Zánik kolaterální axonů

Děkuji za pozornost!

**Otázky a komentáře na:
ahampl@med.muni.cz**