

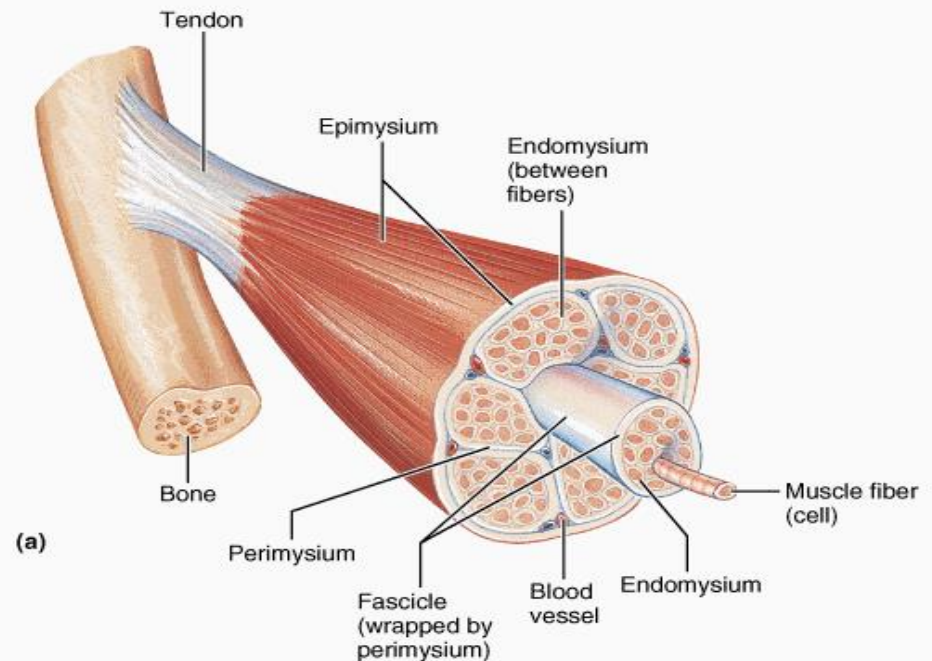
Svalová tkáň

Charakteristika svalové tkáně

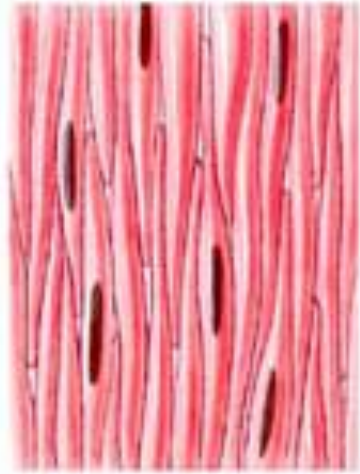
- Excitabilita
- Kontrakce
- Příčně pruhovaná
 - Kosterní
 - Srdeční
- Hladká
- Embryonální původ – mezoderm
 - Kosterní: paraxiální mezoderm, myotom
 - Hladká: mezoderm laterální ploténky, neurální lišta
 - Srdeční: kardiogenní mezoderm
- Svalové buňky, vazivo, vaskularizace, inervace
- Terminologie:
 - Buněčná membrána = sarkolema
 - cytoplasma = sarkoplasma
 - sER = sarkoplasmatické retikulum
 - Svalové vlákno – jednotka svalové tkáně, syncitium, rhabdomyocyt
 - Myofibrila – mikroskopická kontraktilní struktura, složená ze sarkomer
 - Myofilamenta – filamenta aktinu a myosinu

Pojivová tkáň svalu

- Endomysium – vazivový obal kolem svalového vlákna
 - Perimysium – vazivový obal kolem svazku svalových vláken
 - Epimysium – vazivový obal svalu nebo svalového svazku, fascie
-
- Inervace, vaskularizace, připojení šlach
 - Kolagenní a elastická vlákna



Svalové buňky



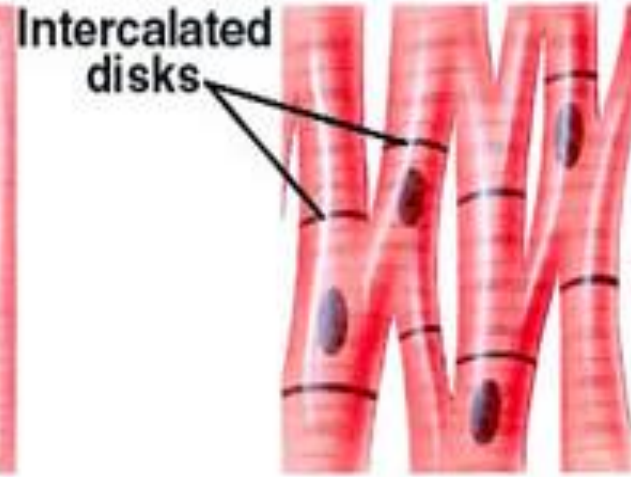
Leiomyocyt

Ø 3-10 µm



Svalové vlákno
Rhabdomyocyt

Ø 25-100 µm



Kardiomyocyt

Ø 15 µm

Svalová tkáň

Muscle types

Skeletal muscle



Cardiac muscle



Smooth muscle



Intercalated disks

Activity

Cross sections



Strong, quick
discontinuous
voluntary
contraction



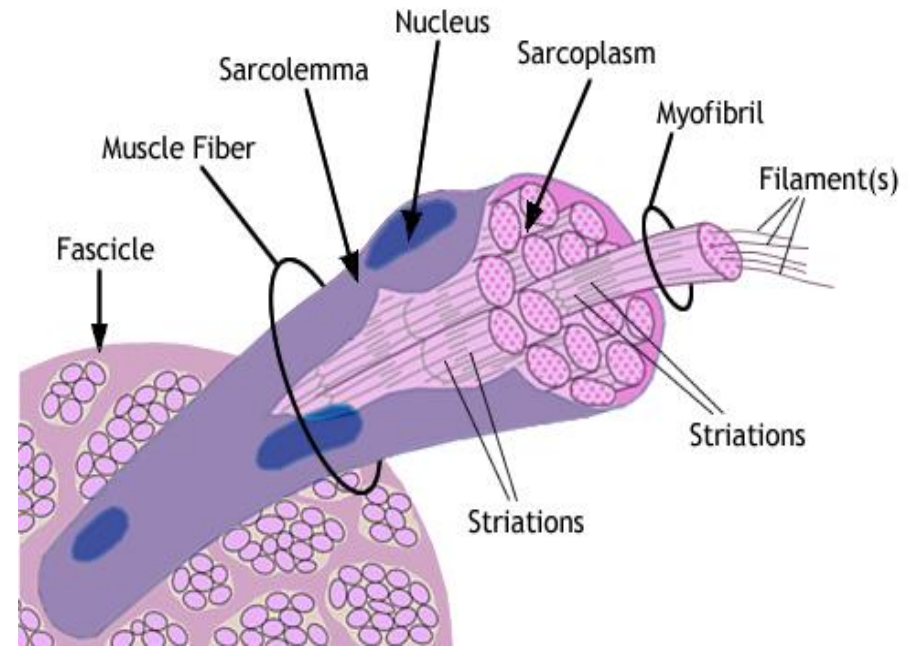
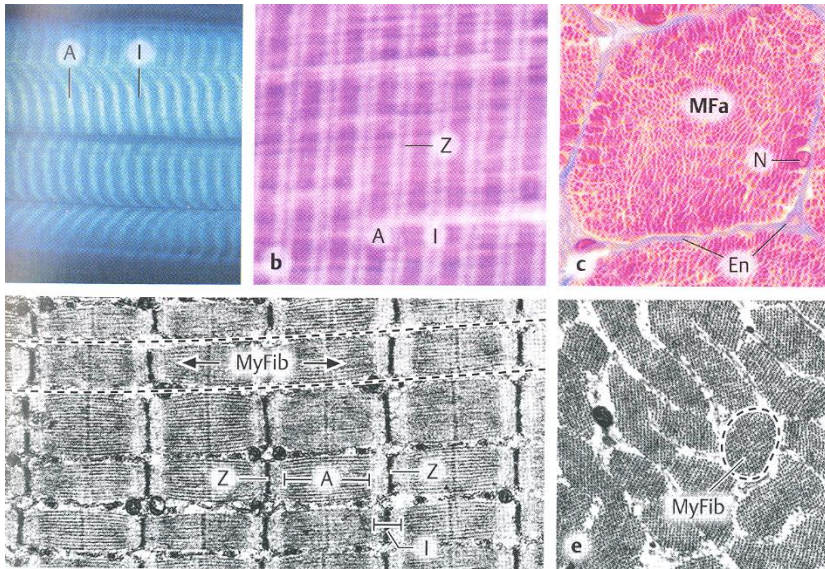
Strong, quick
continuous
involuntary
contraction



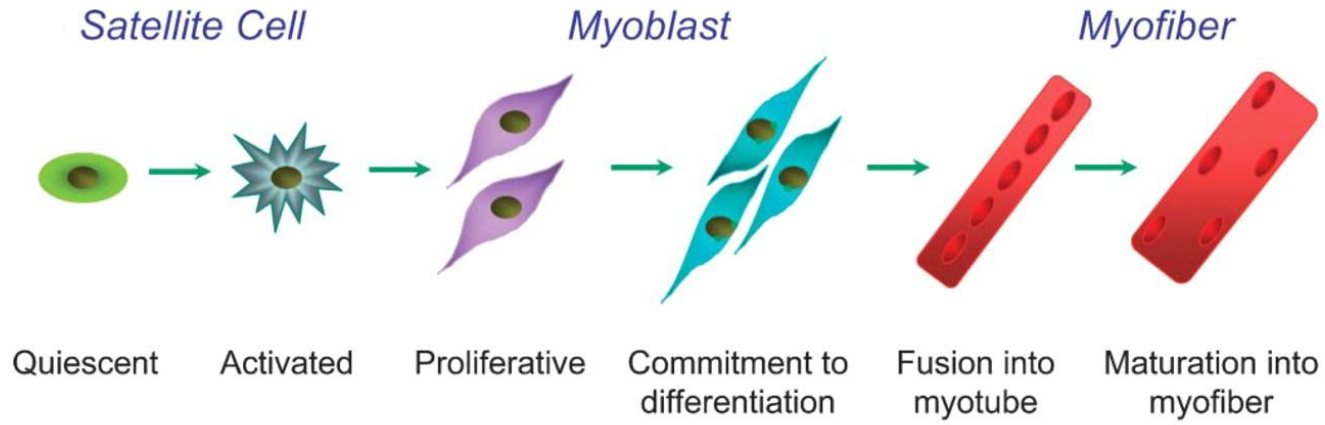
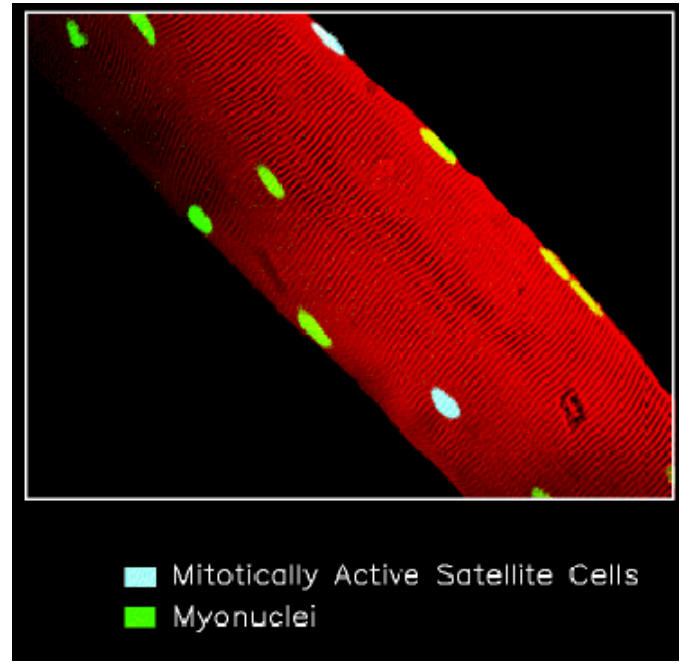
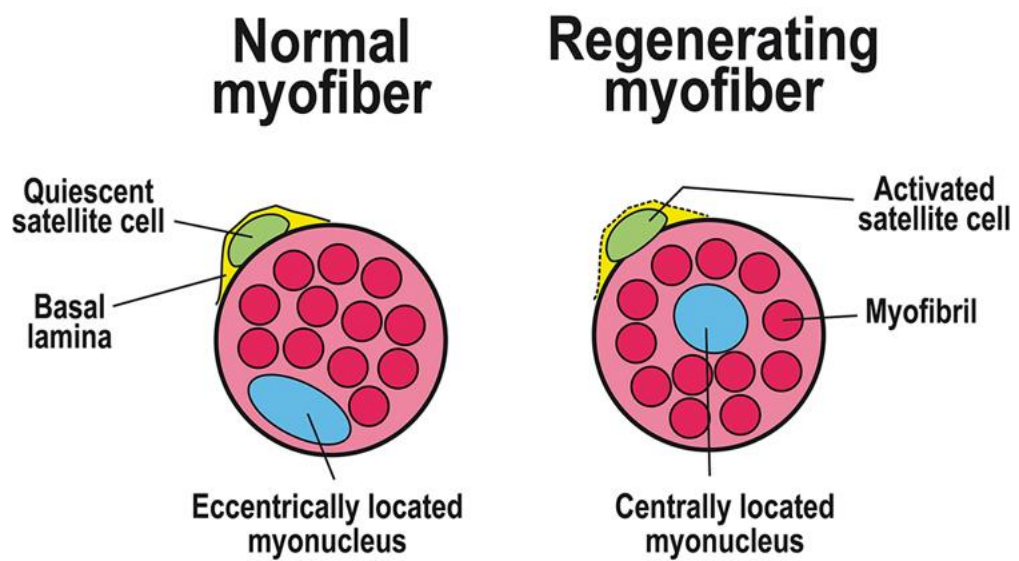
Weak, slow
involuntary
contraction

Příčně pruhovaná svalová tkáň kosterní

- **Morfologická a funkční jednotka – svalové vlákno (rhabdomyocyt)** protáhlé, cylindrické, mnohojaderné (=syncytium), myofibrily vysoce organizované, příčné pruhování
- 25-100 μm , délka až 15 cm, sériově řazené sarkomery (2.5 μm)
- Sarkoplasma obsahuje myofibrily (\varnothing 0.5 – 1.5 μm), složená z myofilament (\varnothing 8 a 15 nm)
- Jádra longitudinálně, pod sarkolemou. Sarkoplasmatické retikulum, mitochondrie
- Bazální membrána (bazální lamina + kolagenní fibrily endomysia)
- Svalová vlákna - postmitotická
- Satelitní buňky - regenerace

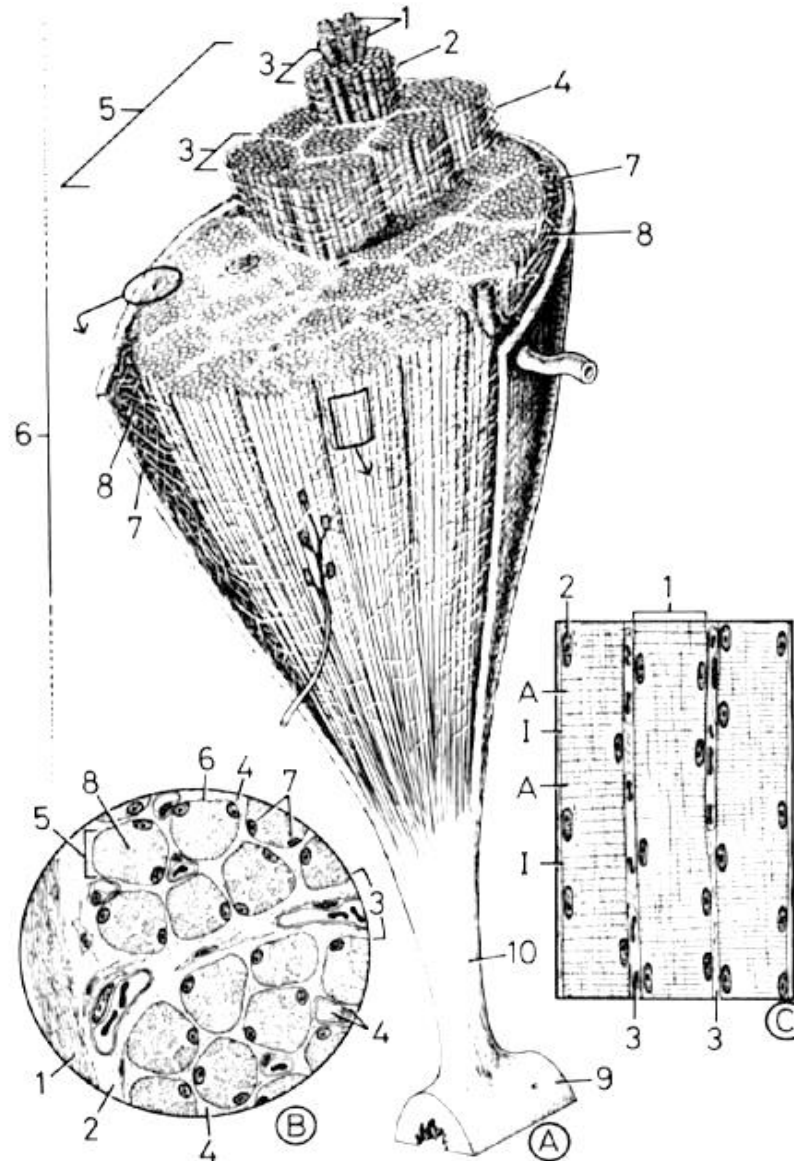
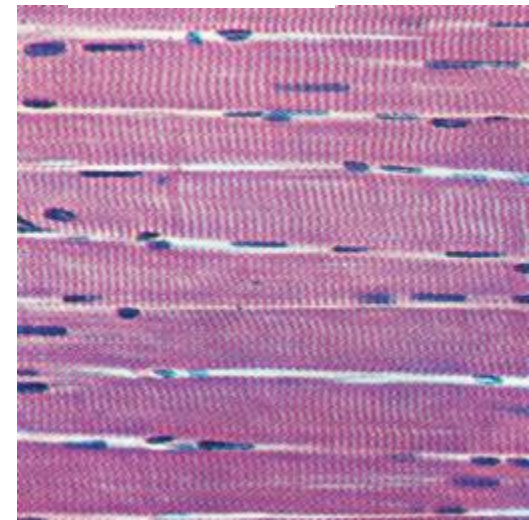


Regenerace poškozeného svalového vlákna



Ultrastruktura svalového vlákna

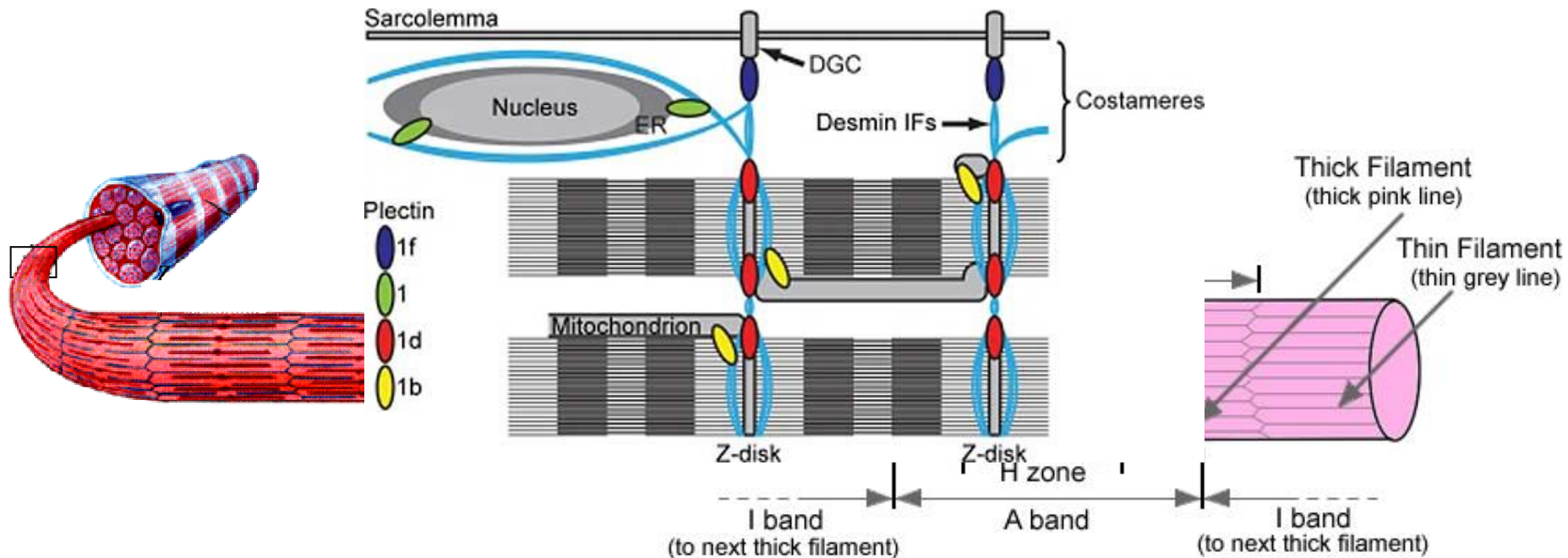
Podélný řez



Příčný řez

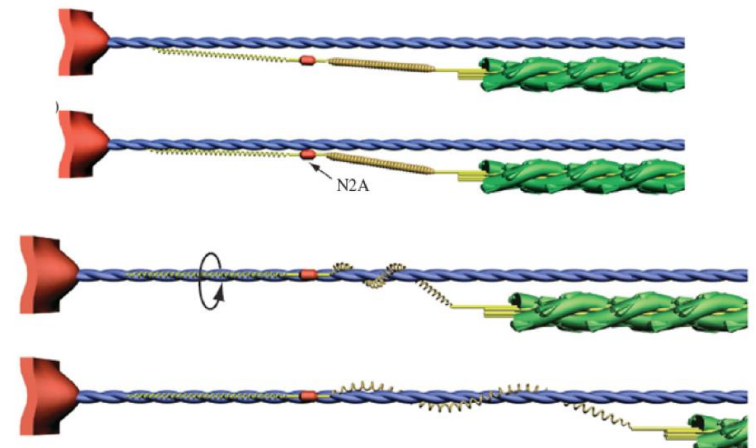
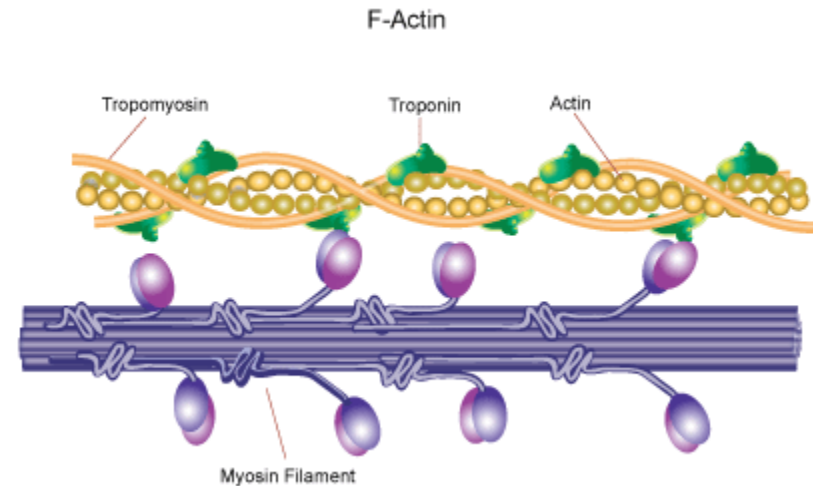
Myofibrily

- Tvoří kontraktilní aparát svalového vlákna (stovky myofibril)
- Dlouhé, polygonální, tvořeny řetězci sarkomer oddělených **Z-linií**
- Uspořádání myofilament v myofibrilách podmiňuje příčné pruhování
- Ukotveny do sarkolemy
- Mezi myofibrilami uloženy ostatní organely – mitochondrie a sER
- Desmin (intermediární filamenta) a plectin fixují sarkomery paralelních myofibril vůči sobě, spojení se sarkolemou = kostamery



Myofilamenta

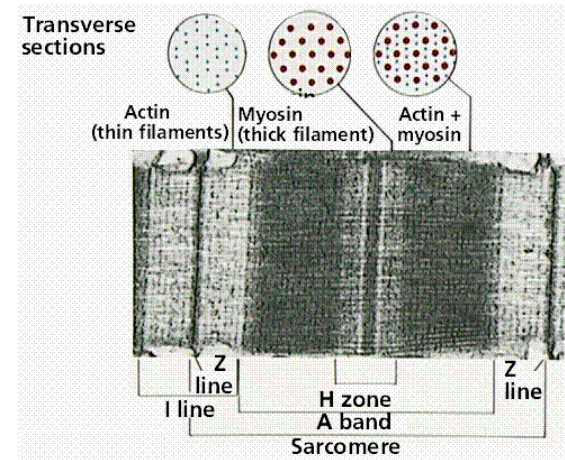
- Aktin (tenká myofilamenta), 7nm/1 μ m
- Myosin II (tlustá myofialmenta), 15nm/1,5 μ m
- Pravidelní střídání – viditelné proužky na základě zastoupení myofilament
 - Izotropní – I
 - Anizotropní – A (délka myosinových filament)
- Další proteiny
 - α -aktinin – propojovací zóna mezi sarkomerami
 - Myomesin, nebulin, titin – kotví myosinová filamenta uprostřed sarkomery (M-linie), určují délku sarkomery, stabilizují myofibrily
 - Tropomyosin a troponinový komplex (C, I, T) – stabilizují aktinová filamenta, účastní se regulace kontrakce



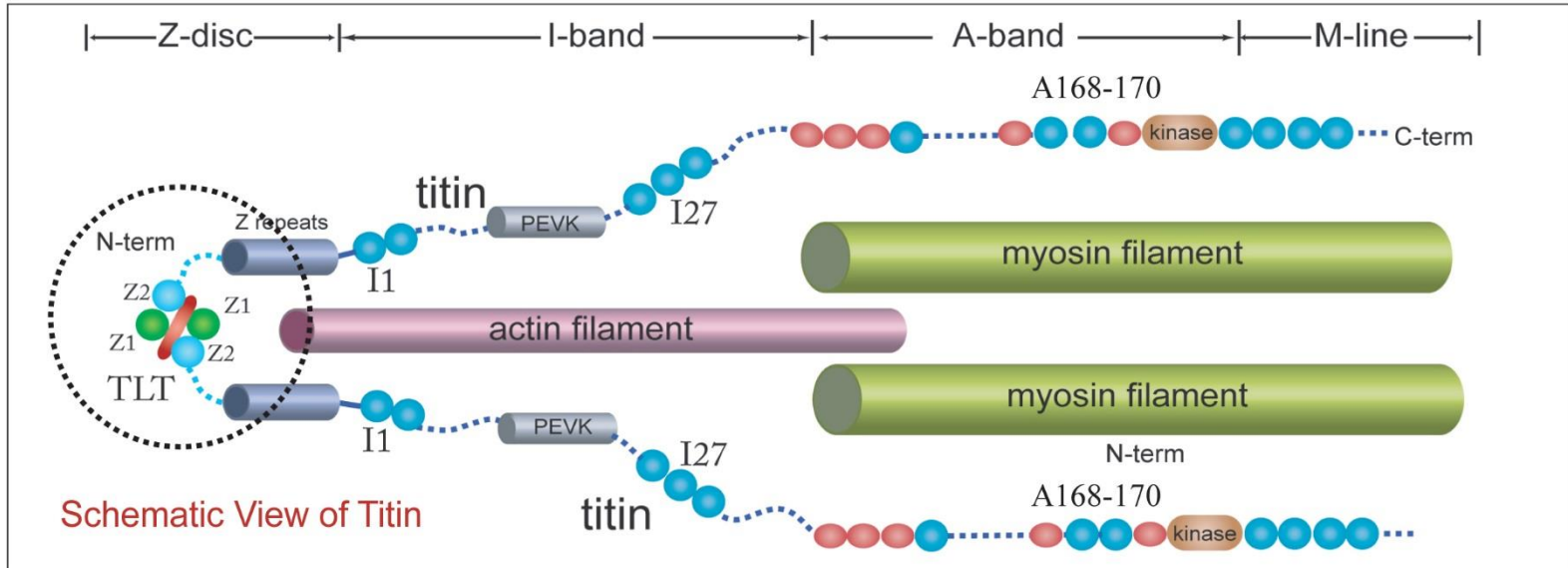
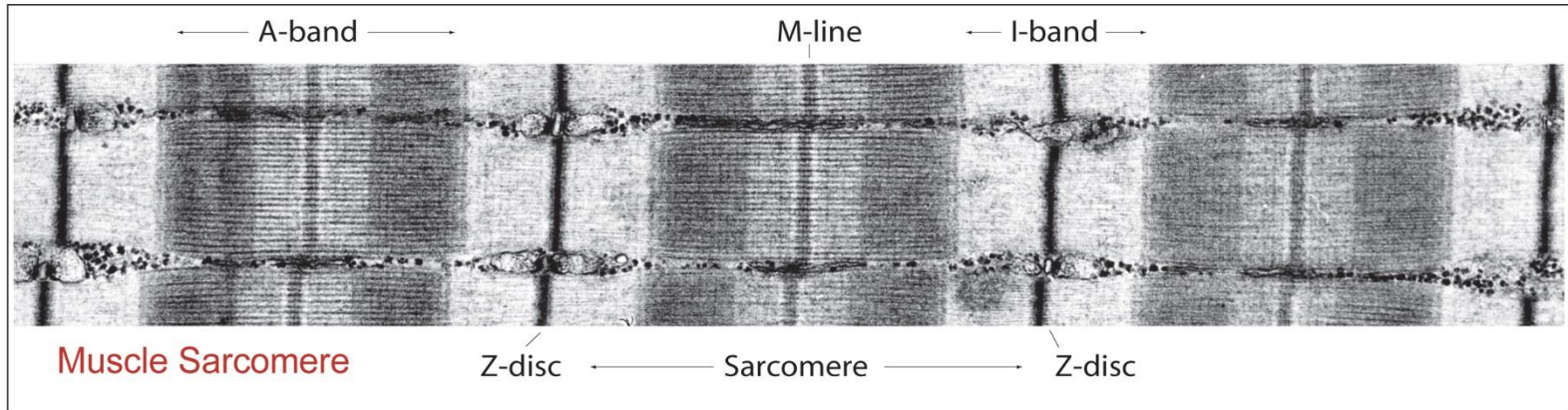
Sarkomera

Na základě denzity elektronového snímku

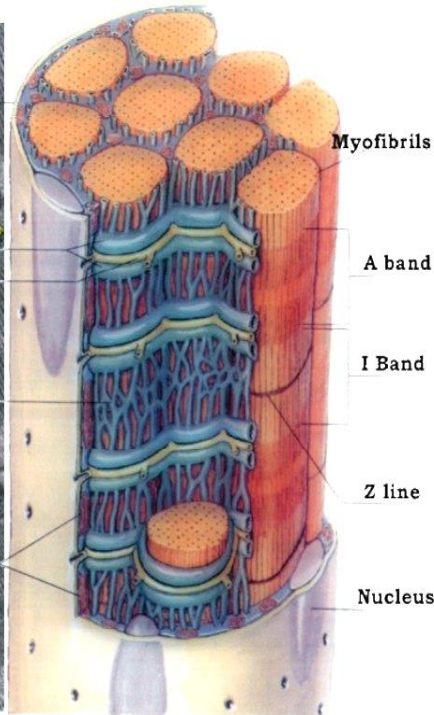
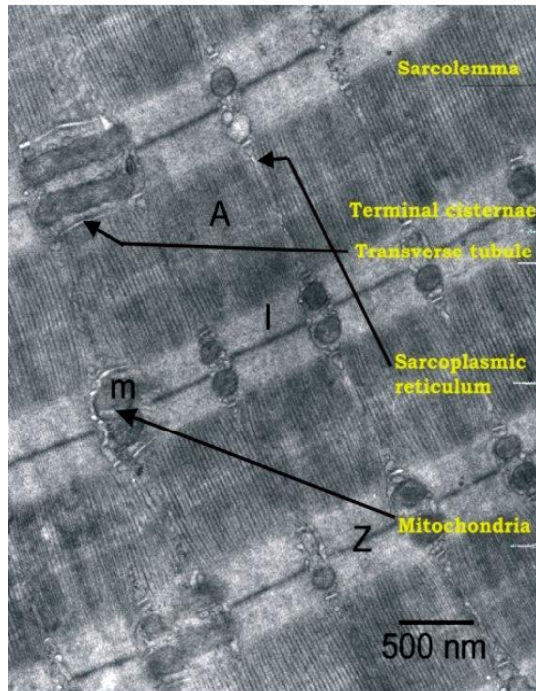
- **I proužek** – pouze tenká filamenta aktinu
- **A proužek** – aktin + myosin
- **H zóna** – pouze tlustá filamenta myosinu
- **M linie** – spojení myosinových filament, myomesin, titin
- **Z linie**
 - propojovací komplex, hranice sarkomery
 - α -aktinin, desmino-plektinový systém (myopatie, dystrofie)
 - dělí I proužek



Sarkomera



Sarkoplazmatické retikulum a T-tubuly



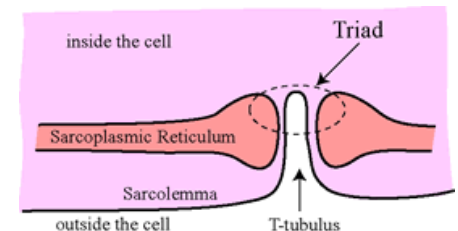
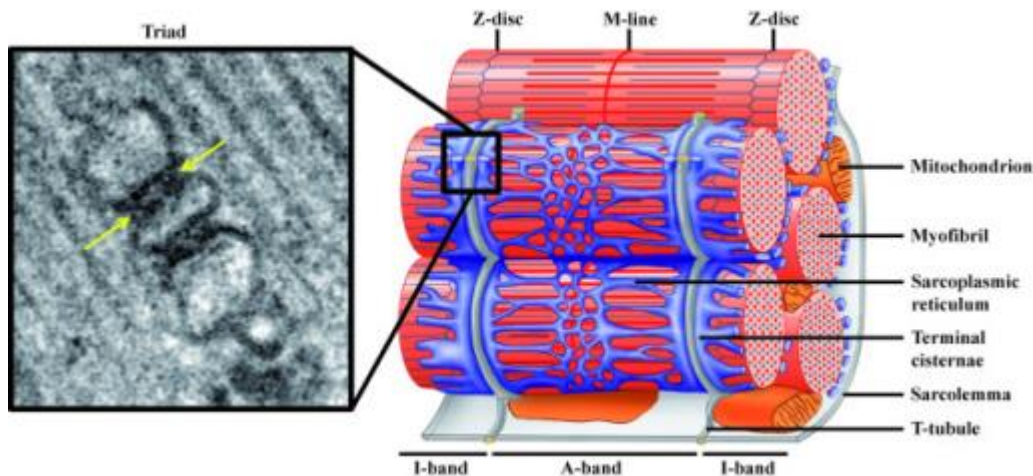
- Cisterny sER kolem každé sarkomery
 - Podélně orientované cisterny (longitudinální, L-systém)
 - Terminální (junkční) cisterny
 - Ca^{++}

– Transversální tubuly (T-tubuly)

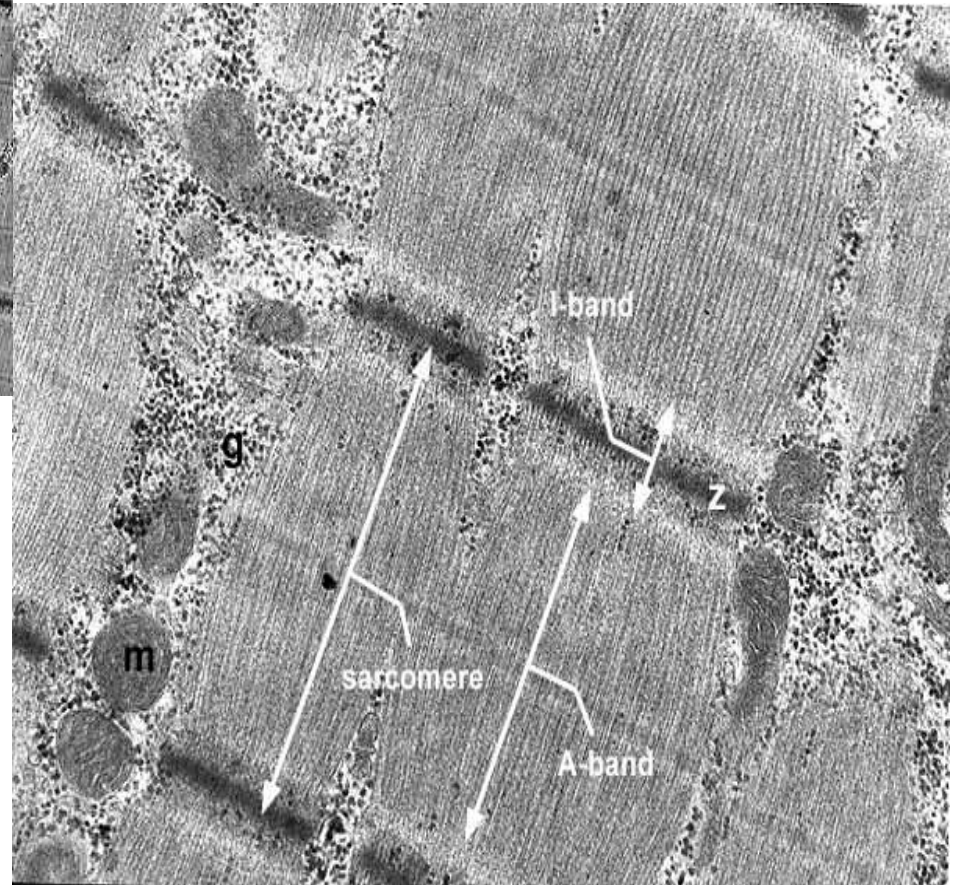
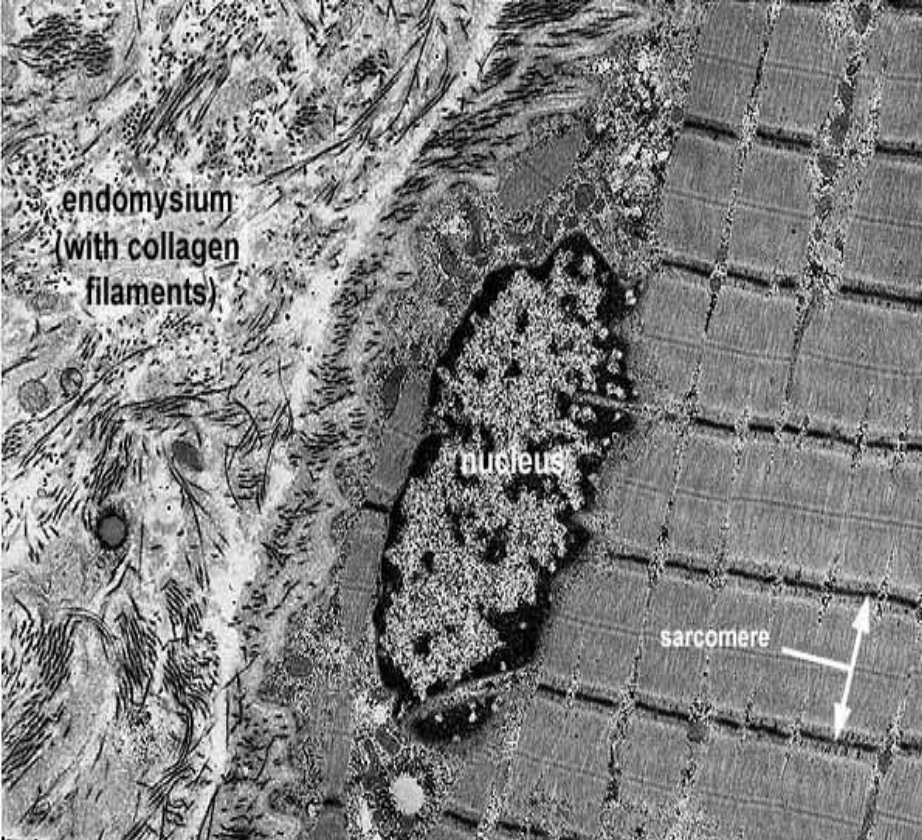
- Příčné vchlípeniny sarkolemy, obklopují v pravidelných intervalech myofibrily
- Přivádí akční potenciál na membránu sER

– Triády

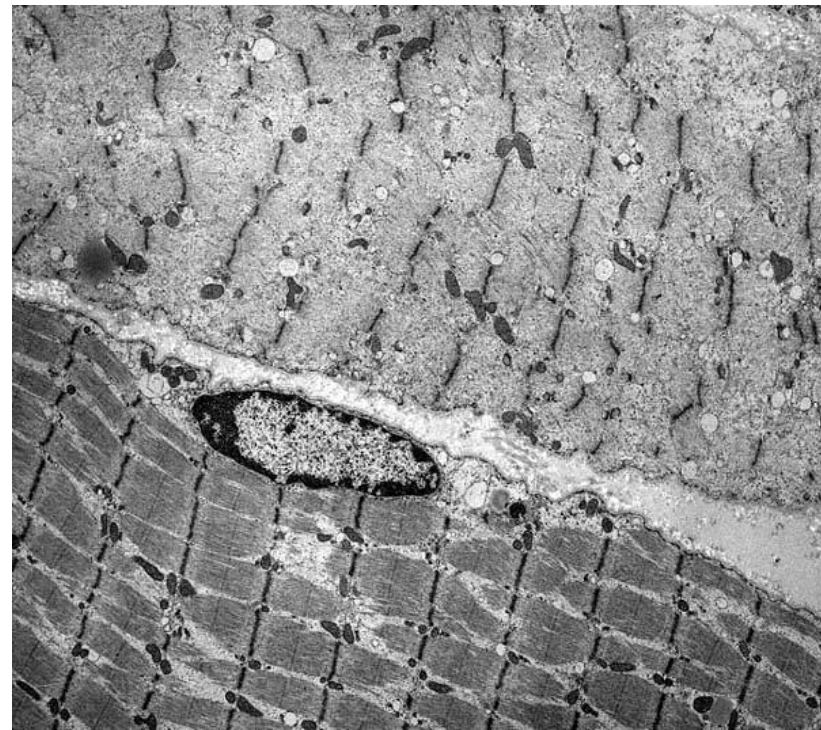
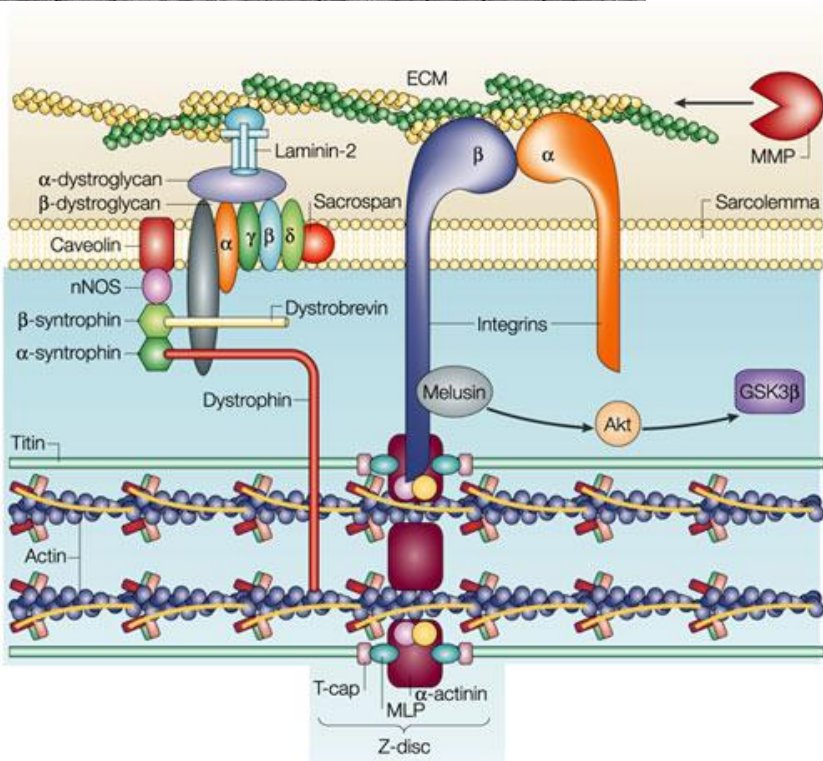
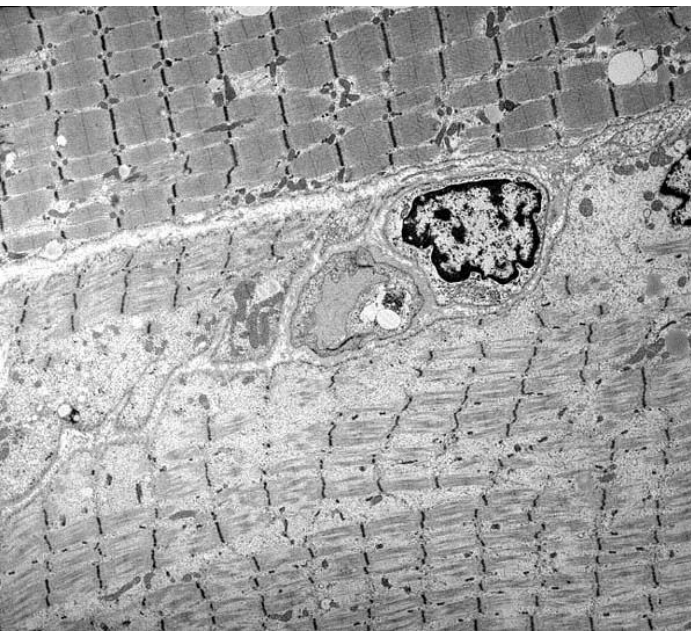
- každá sarkomera má 2
- oblast překryvu tenkých a tlustých filament
- T-tubulus + 2 terminální cisterny sER



Kosterní sval v EM

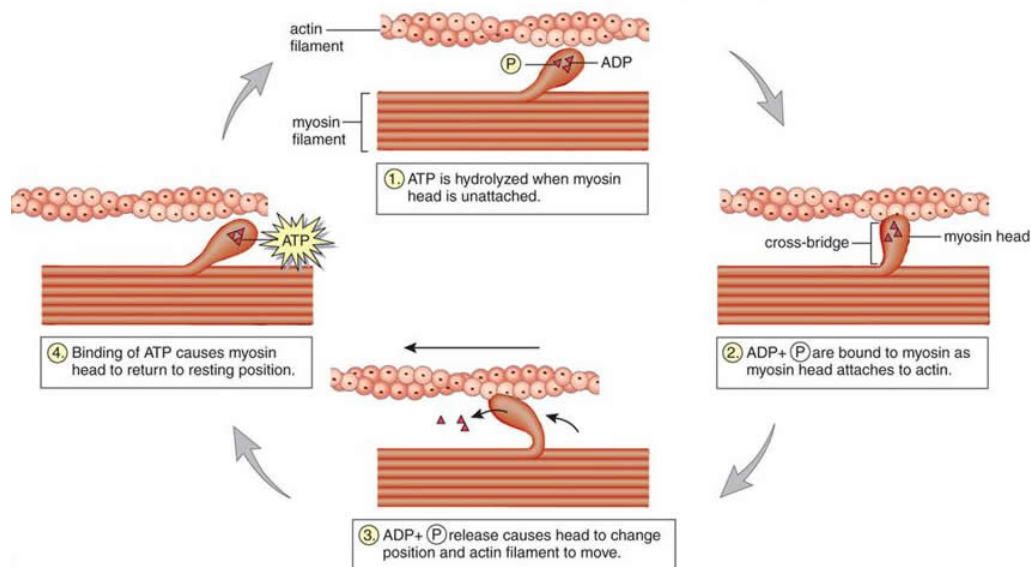


Degeneraci svalových vláken lze diagnostikovat pomocí TEM

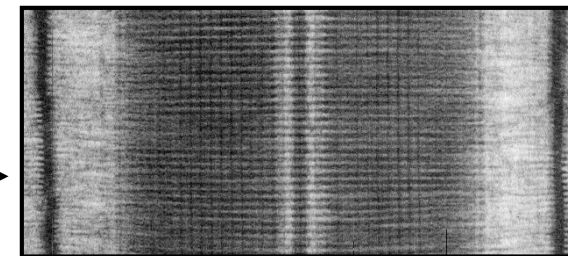
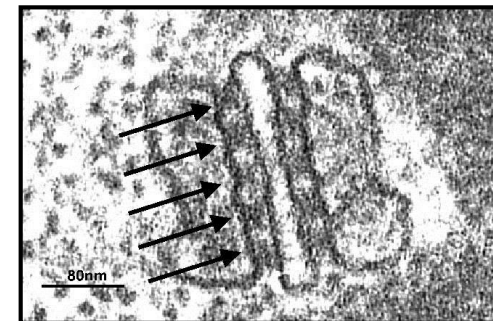
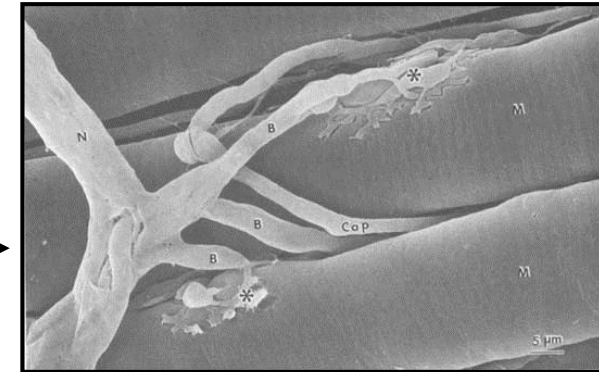
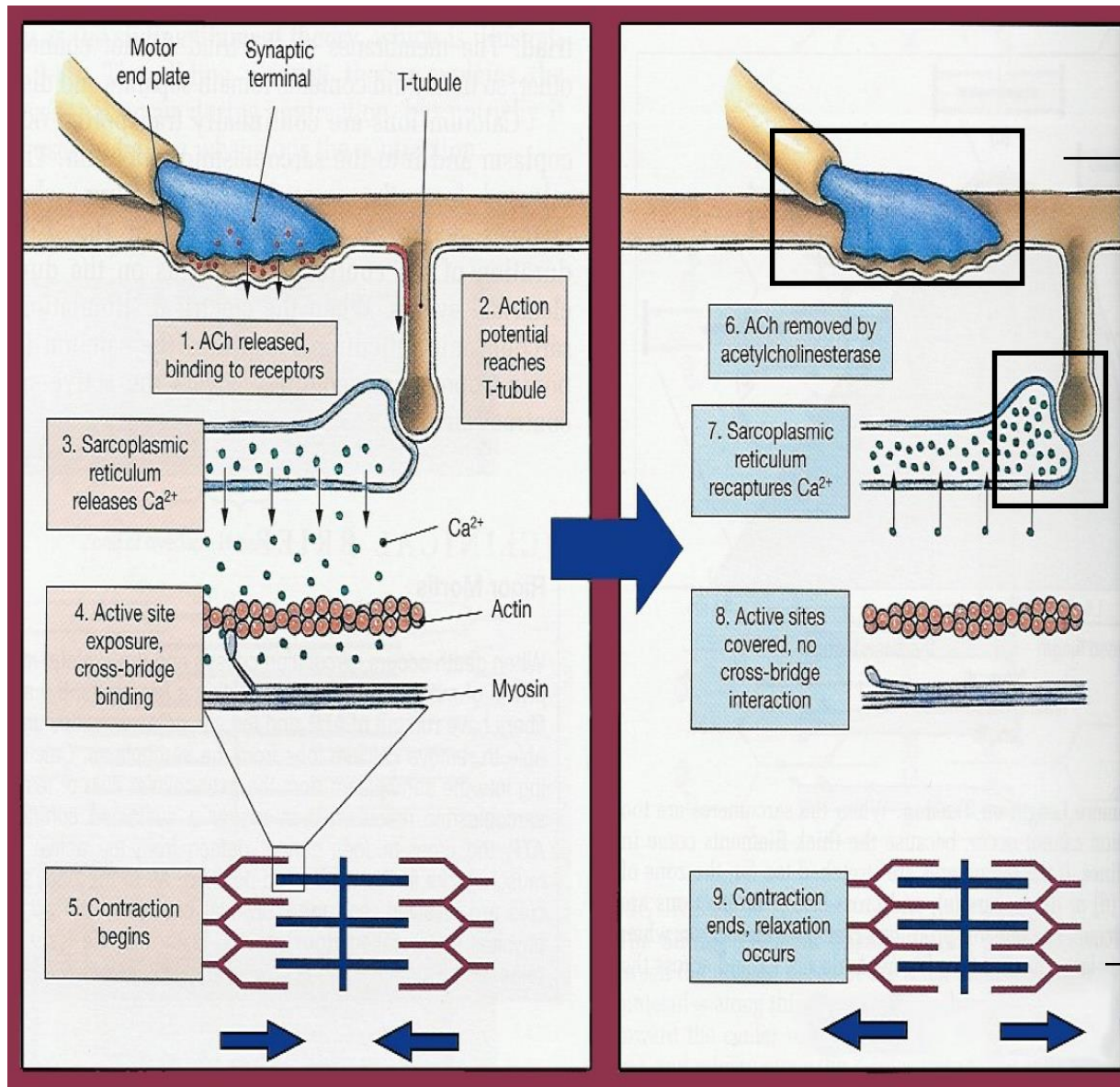


Mechanismus kontrakce kosterního svalu

- Délka aktinových a myosinových filament se nemění
- Mění se jejich vzájemná poloha
- Zkrácení sarkomery na 70% (z $2,2\mu\text{m}$ na $1,5\mu\text{m}$)
- Zkrácení až úplné vymizení H-zóny, zkrácení I-proužků, A-proužky konstantní
- Klouzání filament
 - Myosin II – molekulární motor – hlavičky myosinu II se posouvají směrem k Z-linii, posouvají aktinová vlákna
 - Cyklický děj spojování a uvolňování myosinových hlaviček k vazebným místům na aktinovém filamentu
 1. Změna úhlu myosinových hlaviček – posun o 10 nm na další vazebné místo
 2. ATPázová doména myosinových hlaviček štěpí ATP – uvolnění myosinu z aktinového vlákna a příprava na další vazbu



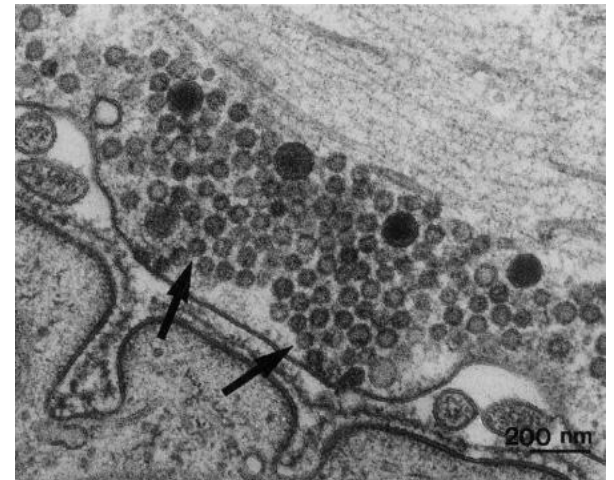
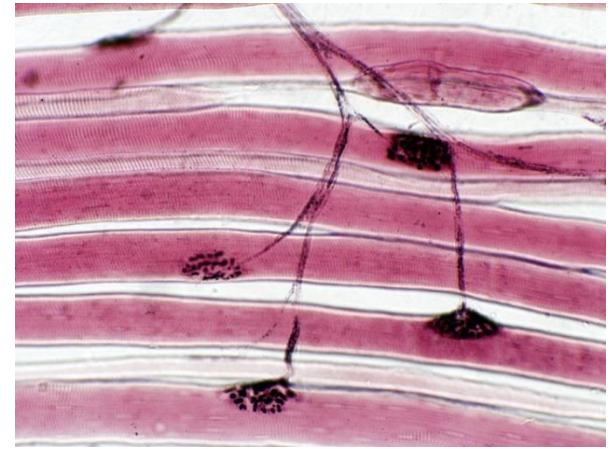
Mechanismus kontrakce kosterního svalu



Nervosvalové spojení (synapse)

Motorická ploténka

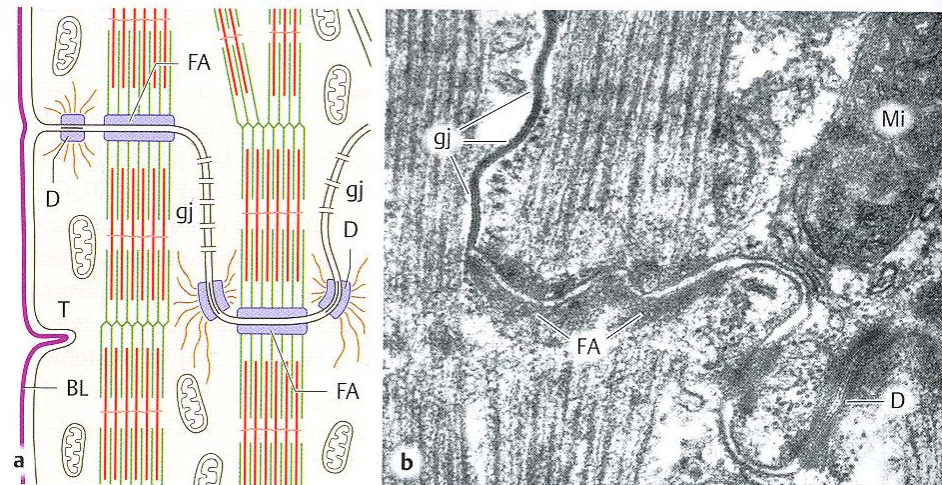
- Chemická synapse, acetylcholin
- Preterminální větvení axonu, každá větev inervuje jedno svalové vlákno = motorická jednotka
- Postsynaptická emmbrána tvoří subneurální aparát
- Synaptická štěrbina
 - 100nm, acetylcholinesteráza, agrin
 - Myorelaxancia, toxiny, patogeny, autoimunitní onemocnění



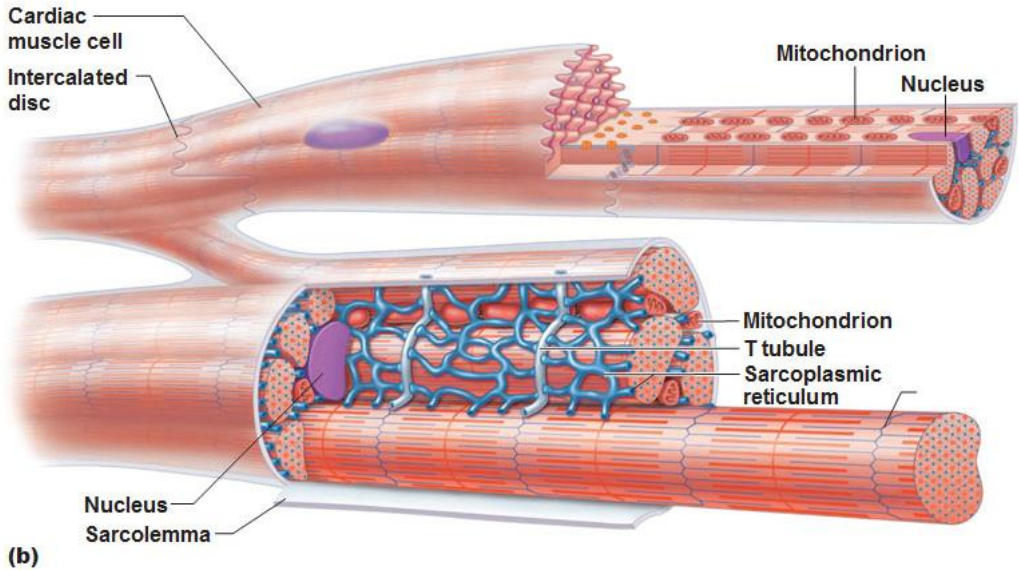
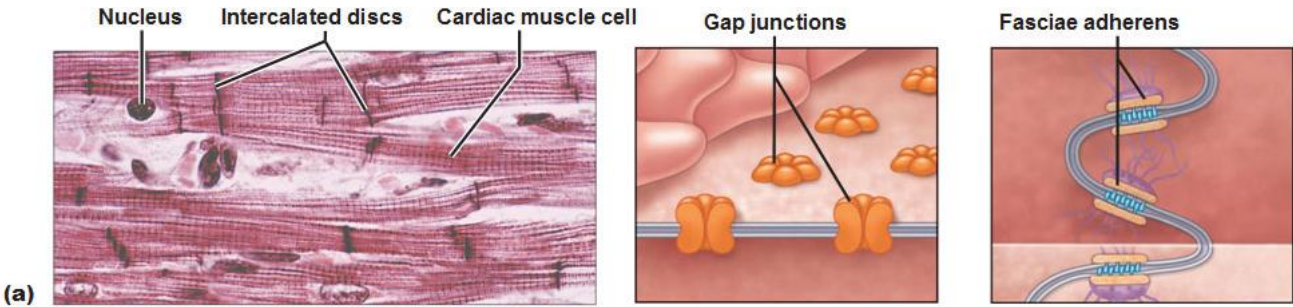
Srdeční svalovina, myokard

- Jednojaderné, rozvětvené buňky (Y, X)
- Spojovací komplexy – fascia adherens, desmosom, nexus – interkalární disky
- Desminová filamenta
- Plakofilin (kardiomyopatie)
- Aerobní metabolismus – mitochondrie, glykogen, myoglobin
- Akční potenciál nepřichází z vnějšku, je generovaný vlastním excitačním centrem

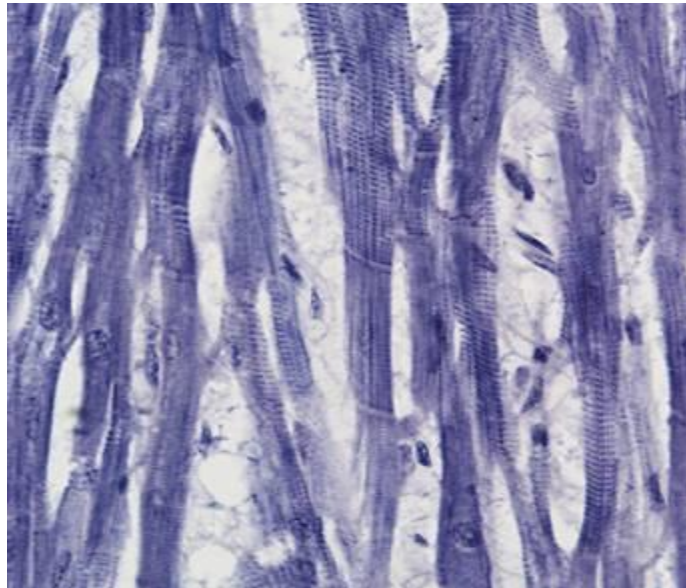
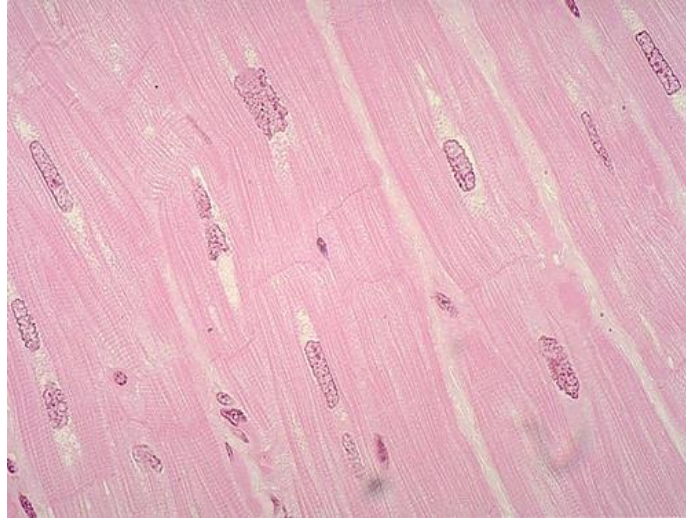
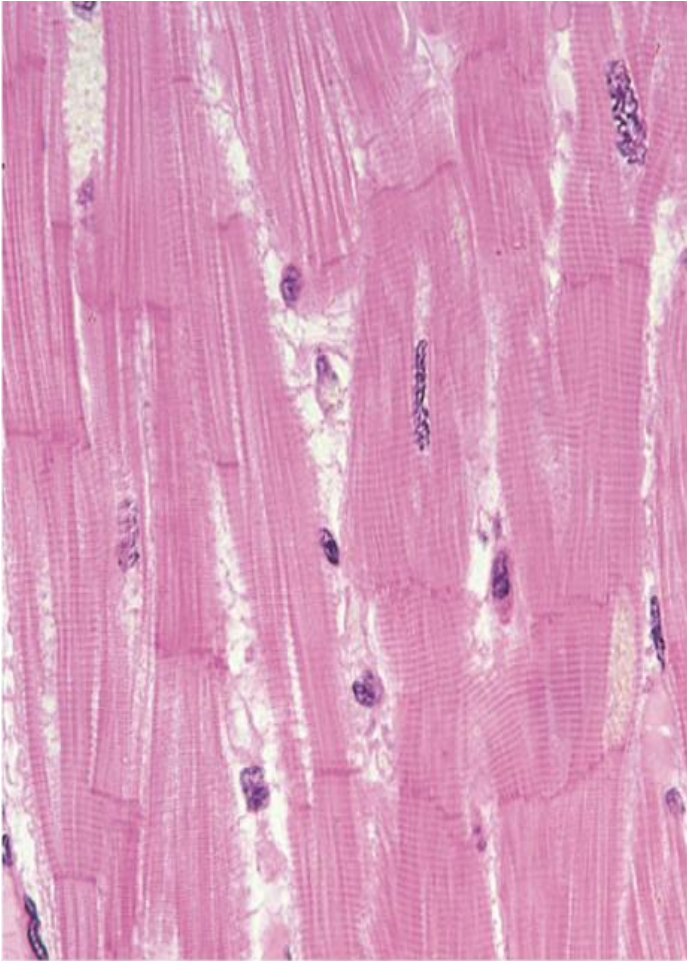
- Kontraktilní aparát podobný jako u kosterního svalu
 - Rozdíly:
 - Ca^{II+} jak z sER tak z extracelulárního prostoru
 - T-tubuly vyvinuté, velmi široké, komunikující s sER **diádami** (1 T-tubulus, 1 cisterna) (u humánního myokardu)

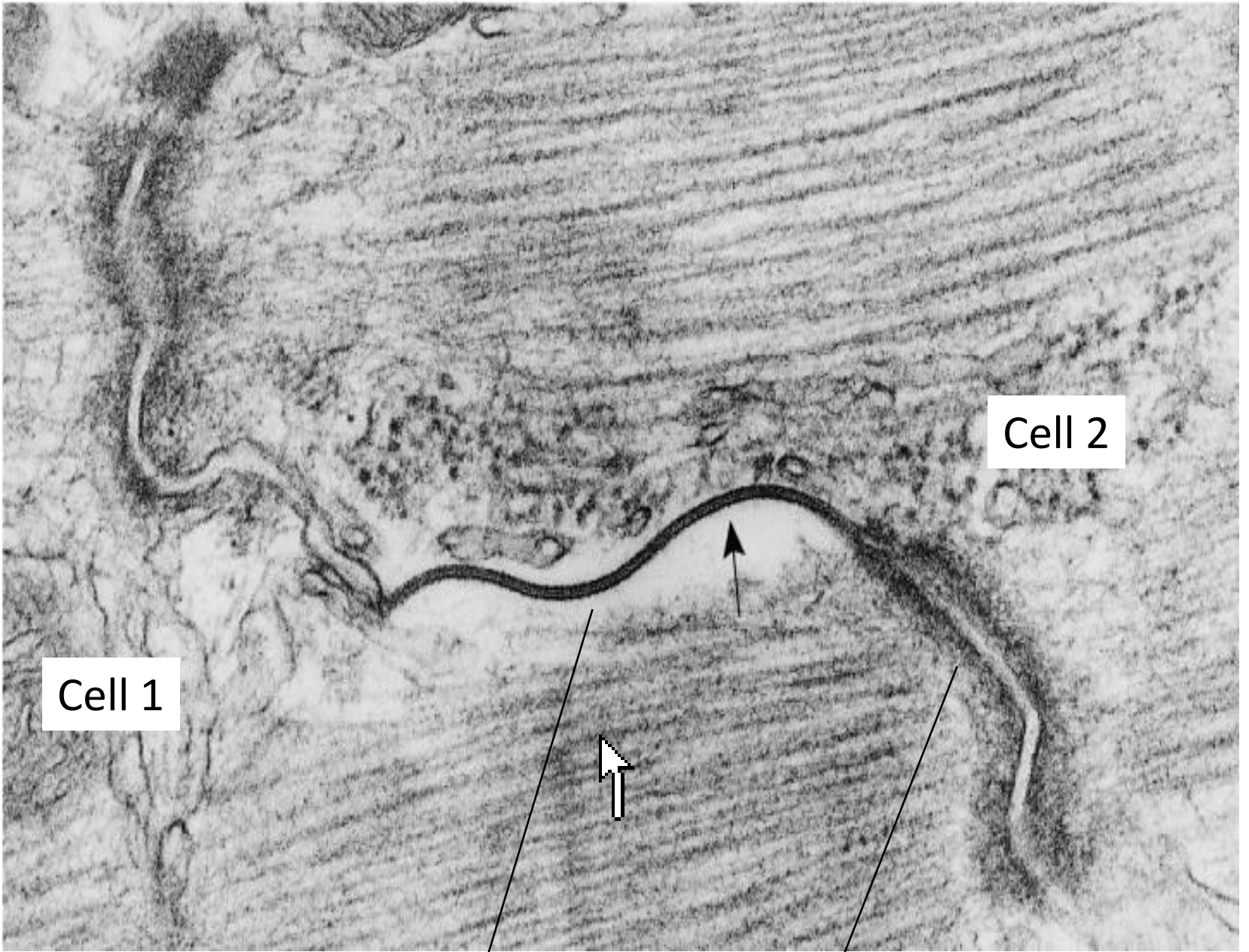


Srdeční svalovina, myokard



Srdeční svalovina, myokard





Cell 1

Cell 2

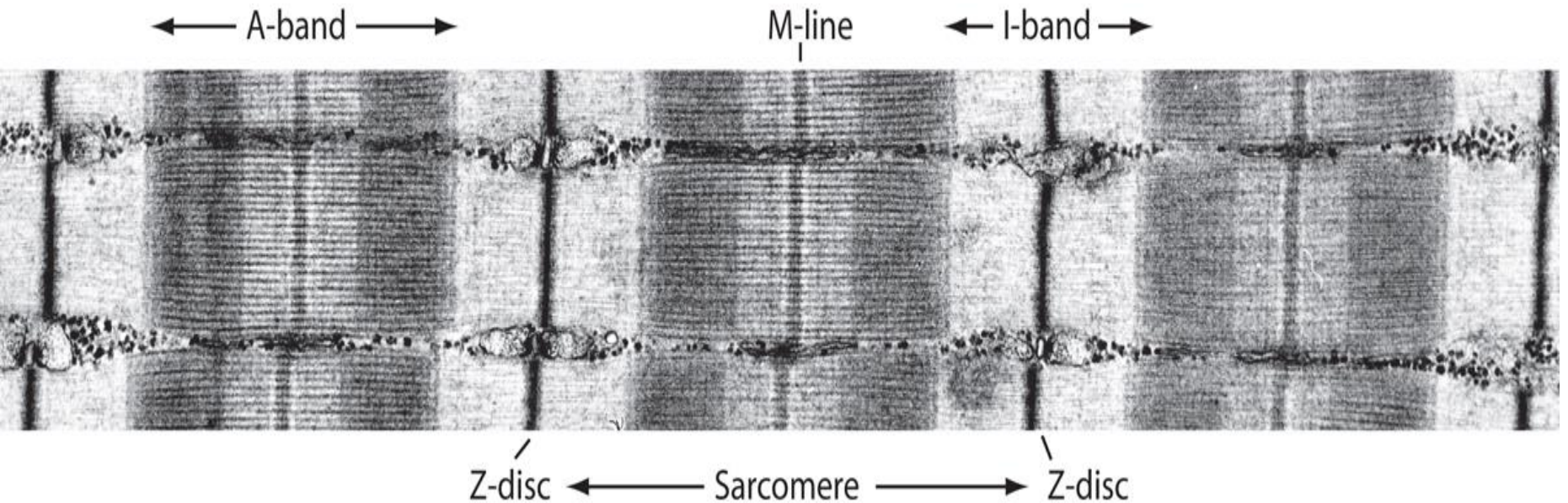
Intercalated disc:

nexus

fascia adherens

Sarkomera srdeční svaloviny

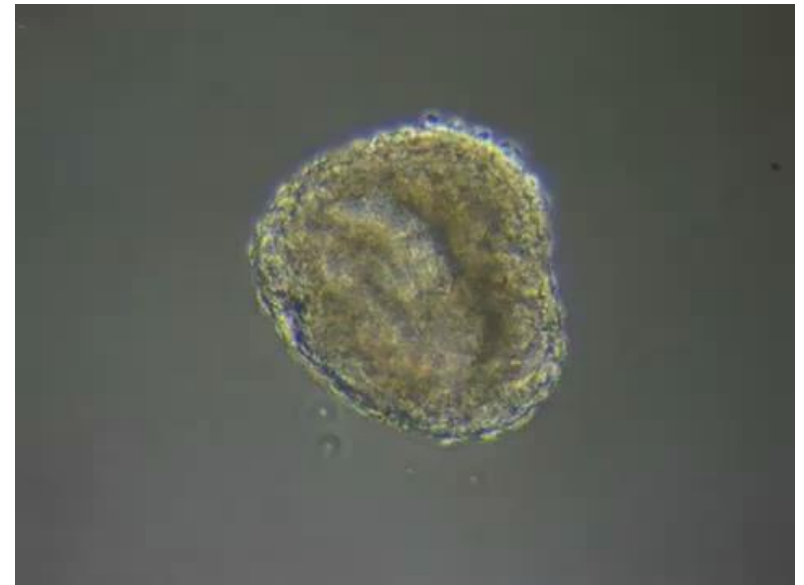
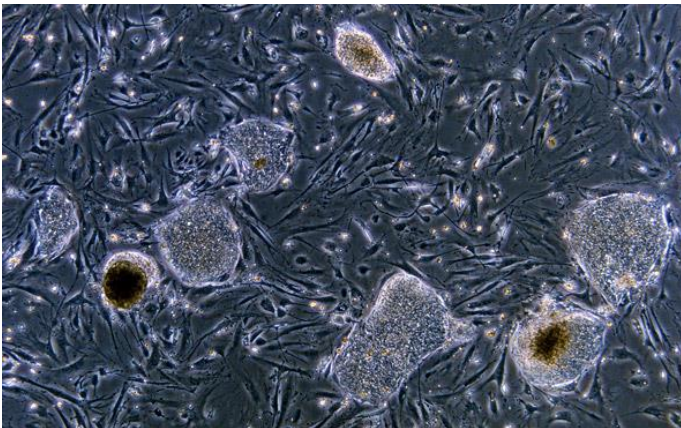
- Myofilamenta aktinu a myosin II
- Z-linie, M-linie, H-zóna
- I-proužek, A-proužek
- T-tubulus + 1 cisterna = diáda v oblasti Z-linie



Regenerace, hypertrofie a hyperplazie myokardu

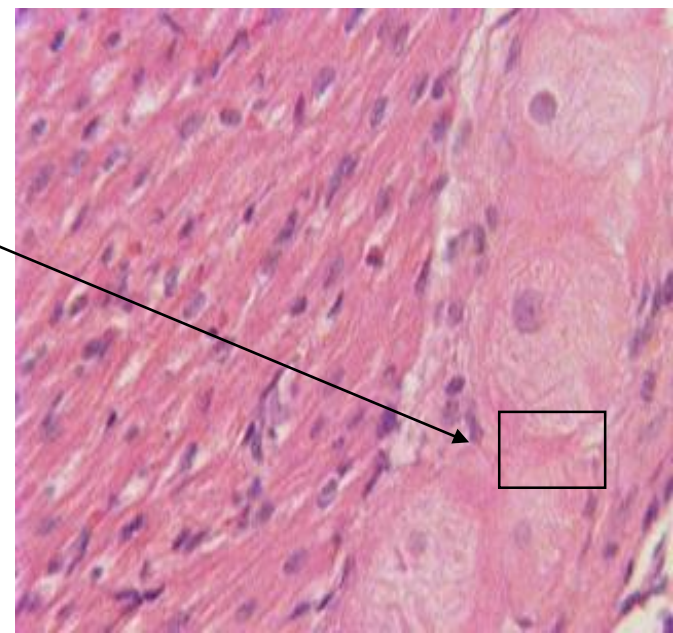
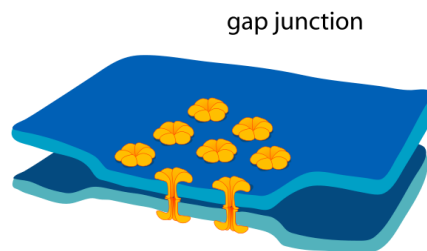
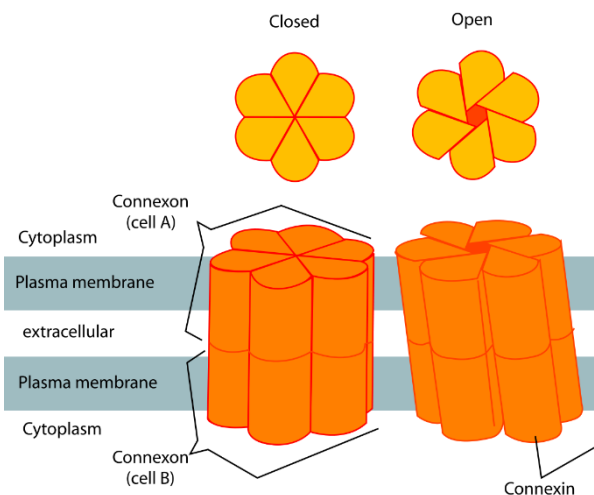
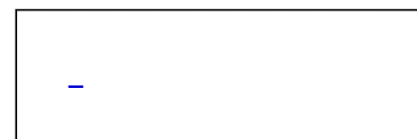
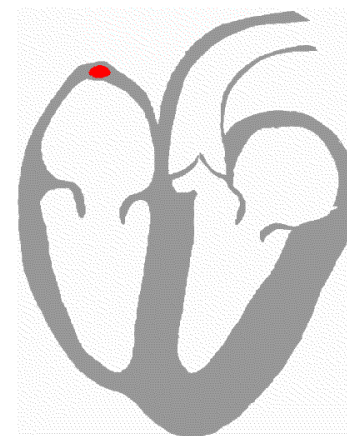
- Kardiomyocyty jsou postmitotické, terminálně diferencované
- Minimální regenerace myokardu, chybí satelitní buňky
- Vazivová jizva
- Hypertrofie – (chlopenní vady, hypertenze) – zvýšená proteosyntéza
- Hyperplazie – vzácně vznik nových kardiomyocytů z multipotentních kmenových buněk srdeční tkáně např. v okolí infarktových ložisek (vzniká také endotel, leiomyocyty, nedostatečné pro účinnou regeneraci)

- In vitro modely myokardiogeneze



Purkyňova vlákna

- Vnitřní vrstva ventrikulární stěny
- Specifický typ kardiomyocytů schopný vedení elektrického impulsu a koordinace srdeční akce
- Převodní systém srdeční
- Na⁺ kanály, početné mitochondrie, redukovaný kontraktilní aparát
- Silné a krátké buňky, světlá cytoplasma
- Gap junction Purkyňových vláken obsahují své vlastní connexiny v gap junctions
(PV connexin 40, pracovní myokard connexin 43)



Hladká svalová tkáň

- Štíhlé vřetenovité buňky (leiomyocyty) s centrálně umístěným jádrem
- Myofilamenta nejsou uspořádána do myofibril a sarkomer
- Častý výskyt – stěna dutých orgánů, cév, urogenitálního traktu, respiračního systému...
- Tonus

- Délka kolem 20 μ m (až 800 μ m), uspořádány do pruhů, svazků nebo protiběžných systémů
- Ultrastruktura - kaveoly, zhuštění cytoplasmy
- Bazální membrána
- Spojení s okolní ECM

Leiomyocyt

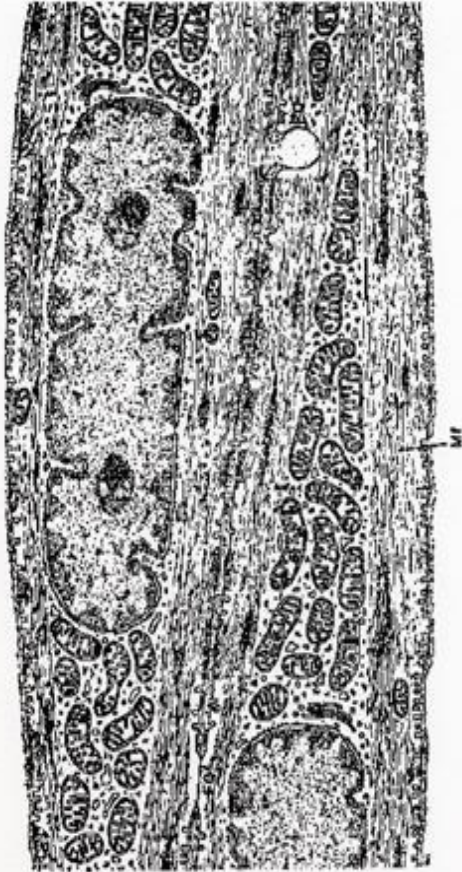
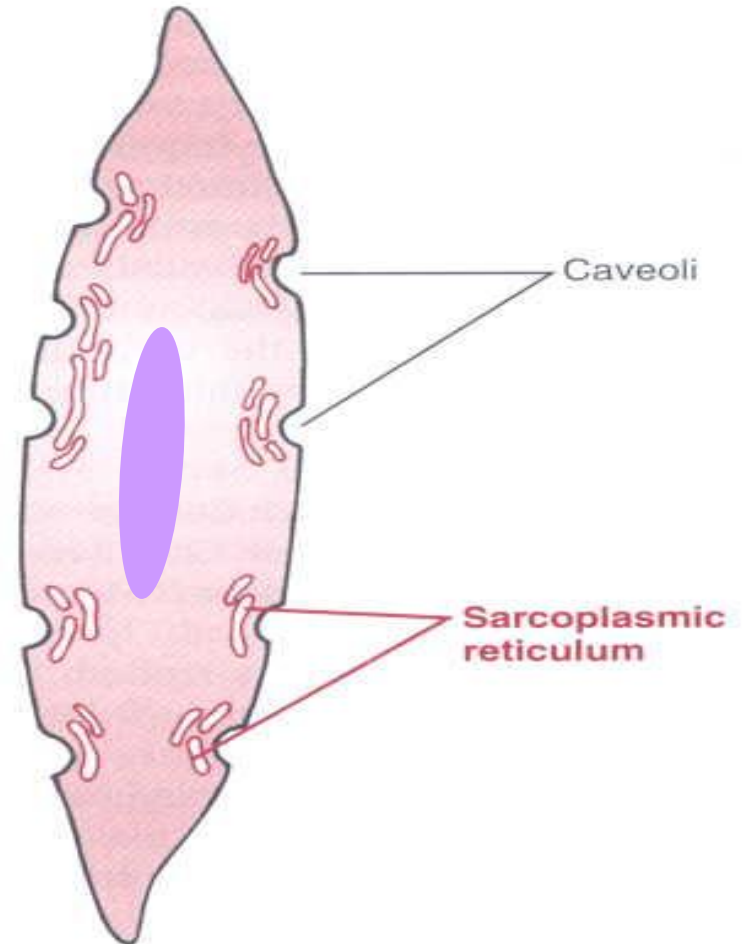


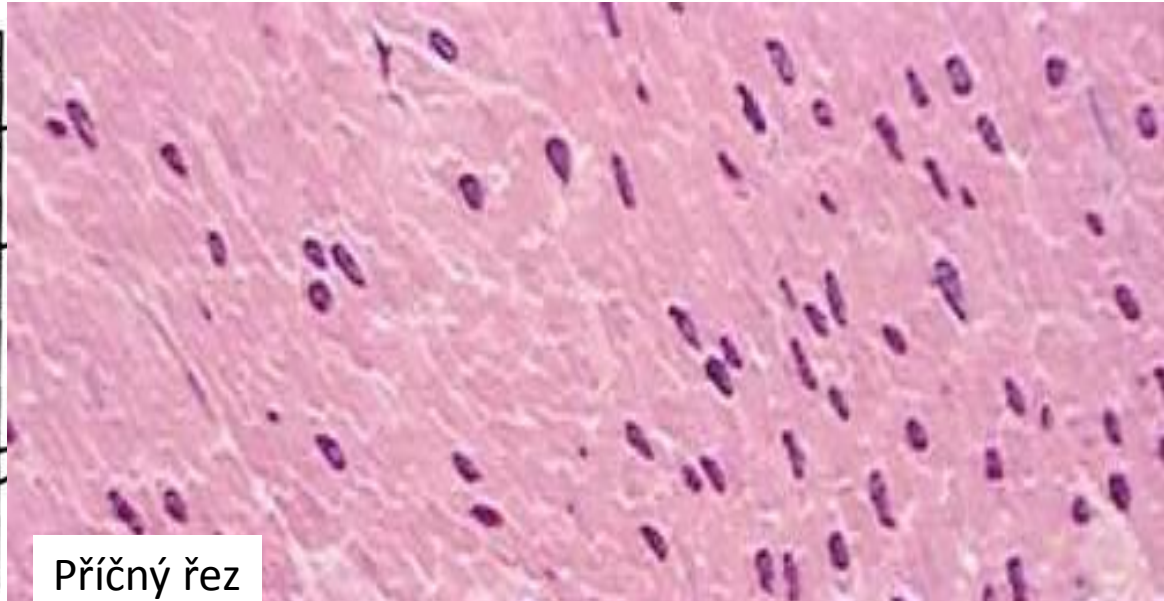
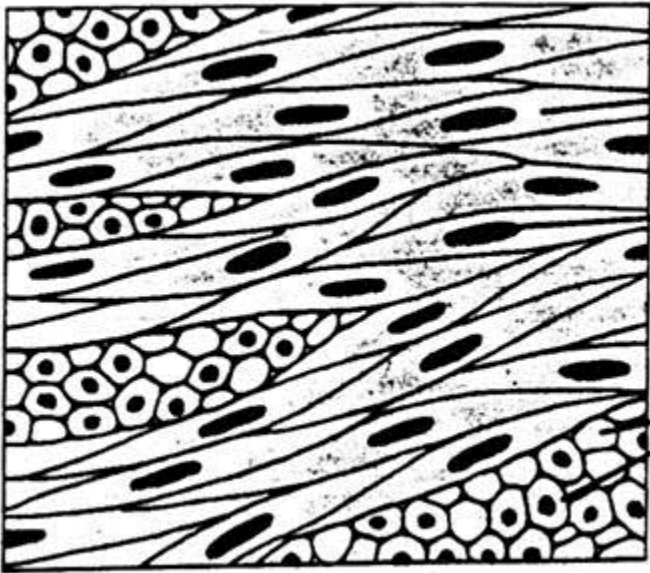
FIG. 10-2 E/M OF SMOOTH MUSCLE

Kaveoly

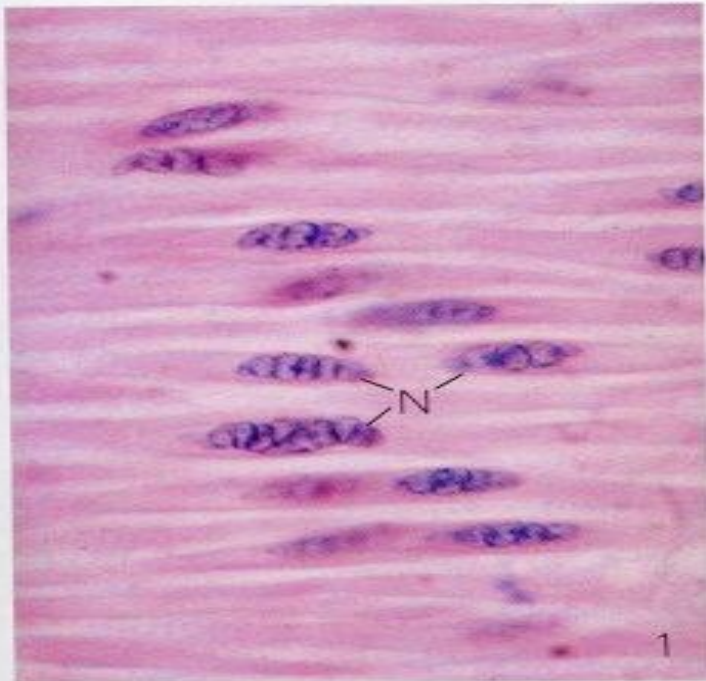
- ekvivalenty T-tubulů
- četné Ca kanály
- kontakt s sER



Leiomyocyty tvoří vrstvy ve stěně dutých (tubulárních orgánů)



Příčný řez



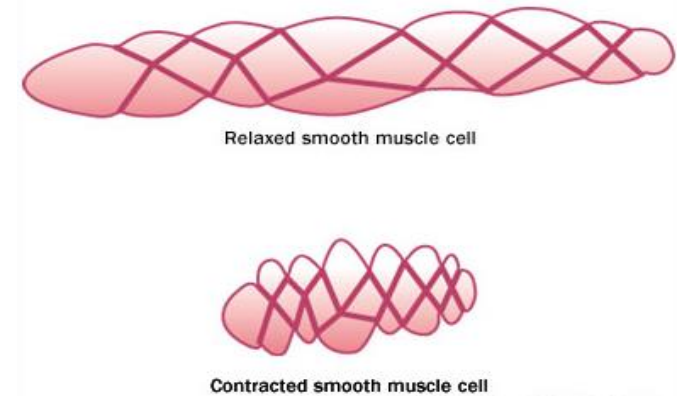
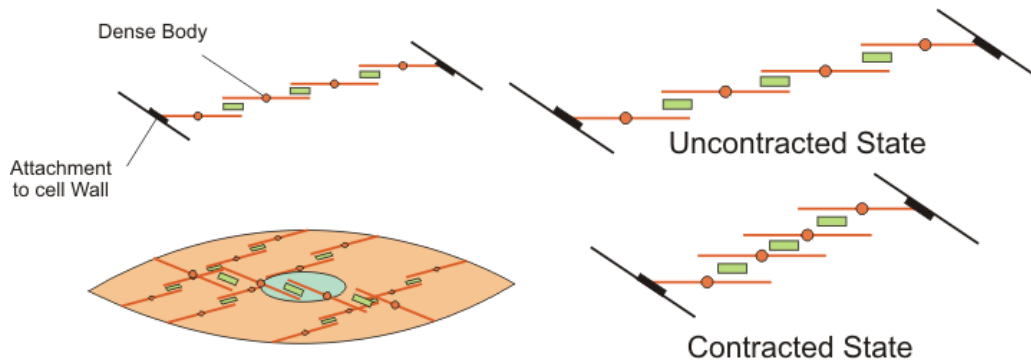
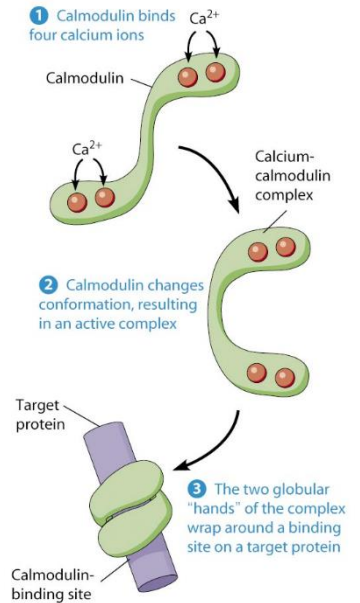
Podélný řez

Kontraktilní aparát

- Aktin hladké svaloviny (μ -aktin), zakotven v cytoplasmatických zahuštěních (~ Z-liniích)
- Myosin není uspořádaný bipolárně – intenzivnější zkrácení
- Ca^{II+} calmodulin (calcium modulated protein)

regulace kontrakce – aktivuje myosin kinázu - fosforylace myosinu – aktivace myosinové ATPázy – připojení k aktinovému vláknu

- Calponin
 - Caldesmon
- } inhibují myosinovou ATPázu
strukturní integrita buňky



Actin-myosin filaments

Nervová tkáň

Nervová tkáň

- **Neurony a gliové buňky**

- **Neurony**

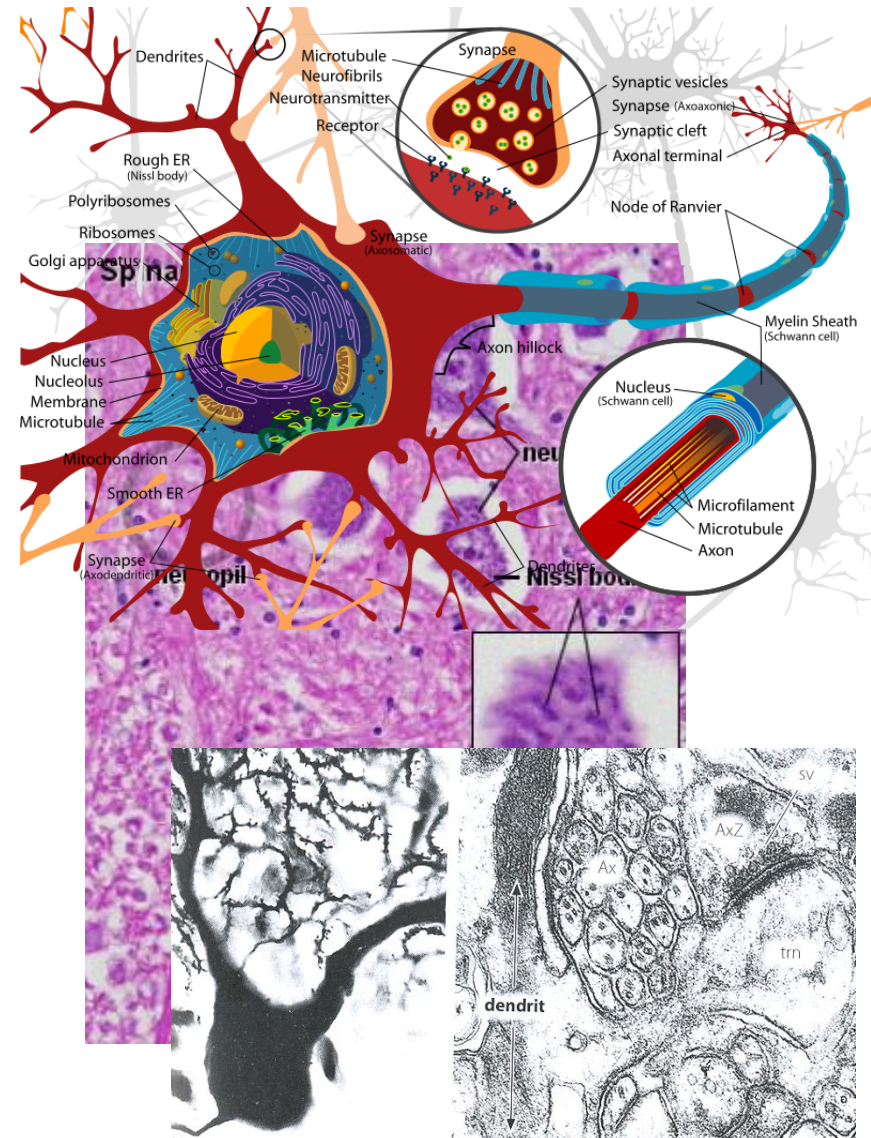
- Tvorba elektrických vzruchů
- Synapse – další neurony nebo efekторы (svalové buňky)
- Elektrické a chemické spojení
 - Změna membránového potenciálu
 - Neurotransmitery

- **Glie**

- 10 × více než neuronů
- Různé typy, různé funkce

Neuron

- **Perikaryon /soma/**
 - Euchromtické jádro
 - Nisslova substance
 - Pigmenty (lipofuscin, neuromelanin)
- **Dendrity**
 - Primární, sekundární, terciární ...
 - Dendritické trny
- **Axon**
 - *axon hillock* (odstupový konus)
 - Iničiální segment
 - Axon + gliový obal = nervové vlákno
 - Axolemma, axoplasma
- **Cytoskelet**
 - Mikrotubuly (neurotubuly)
 - Intermediární filamenta (neurofilamenta)
 - Stabilizace výběžků
 - Axonální transport (neurotubuly, dynein, kinesin)



Klasifikace neuronů

Funkce v neuronální síti

Eferentní
Senzorické
Interneurony

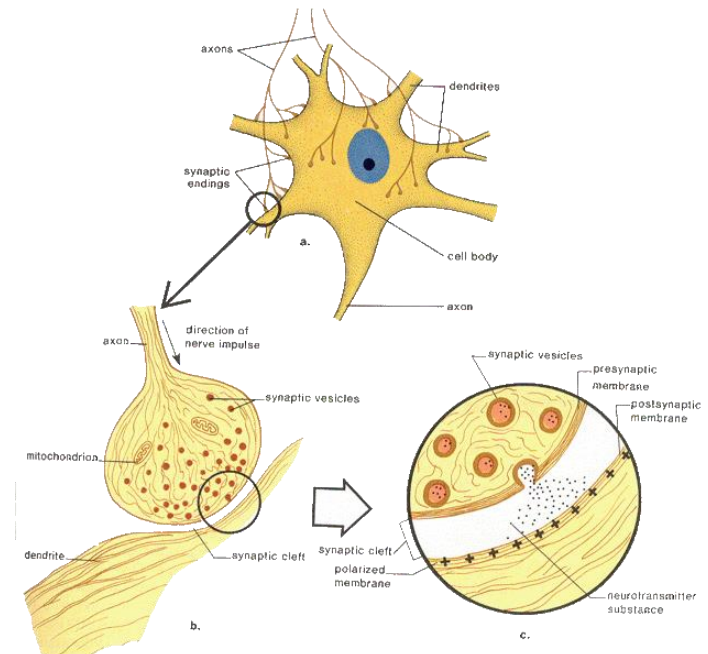
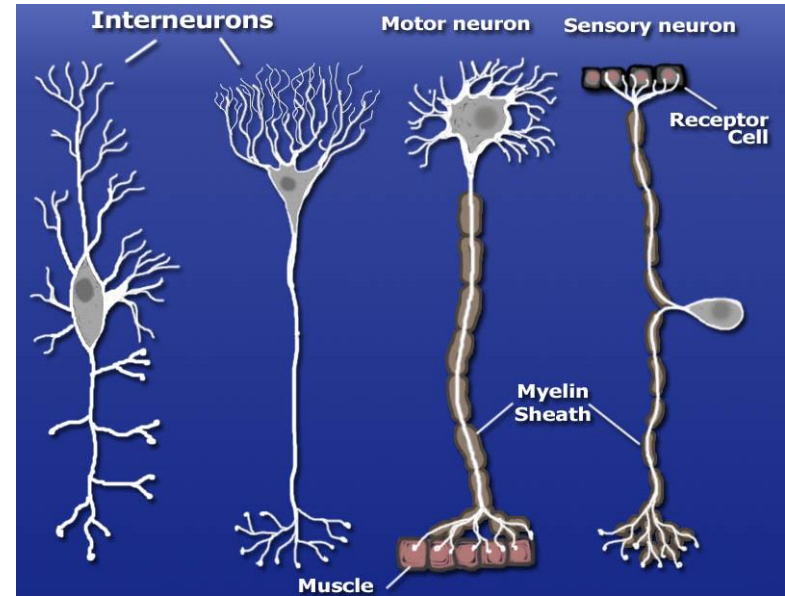
Senzitivní
Motorické
Asociační

Mediátor

Dopaminerní
Cholinerní
Serotoninergní
Aminerní
GABAerní
peptidergní, ...

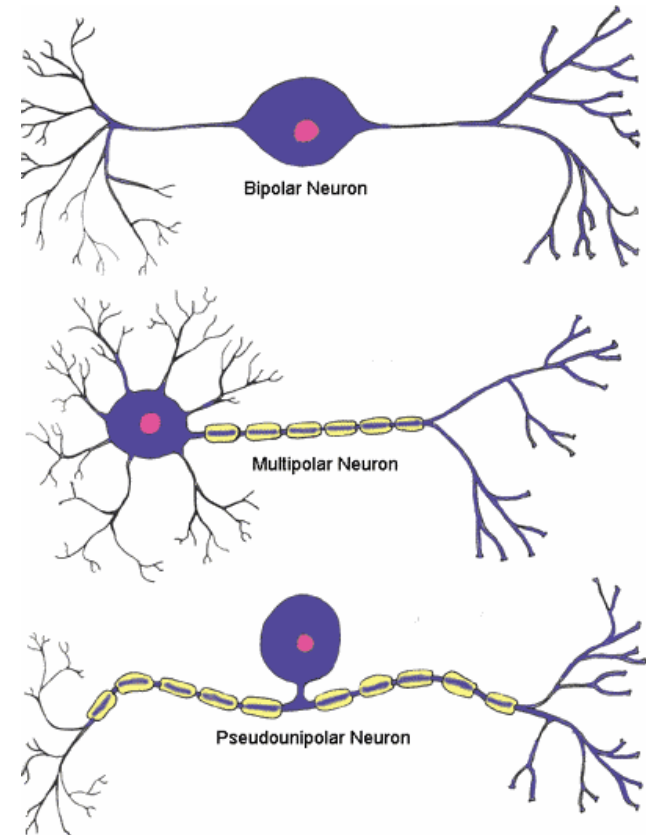
Morfologie těla

Unipolární
Bipolární
Multipolární
Pseudounipolární



Klasifikace neuronů

- **Unipolární** – primární smyslové buňky (tyčinky, čípky)
- **Bipolární** – druhý neuron v retině, vestibulokochleární ganglion
- **Multipolární** - the most frequent – CNS, the autonomic ganglia
- **Pseudounipolární**
 - Jeden výběžek tvaru T
 - Axonální a dendritický výběžek
 - Kraniální nervy



Délka axonu

- Golgi typ I – projekční neurony, velké perikaryon, dlouhý axon, vedení na velké vzdálenosti
- Golgi typ II – interneurony, malé perikaryon, axon neopouští oblast ve které je neuron lokalizován

Synapse

Specifické buněčné kontakty

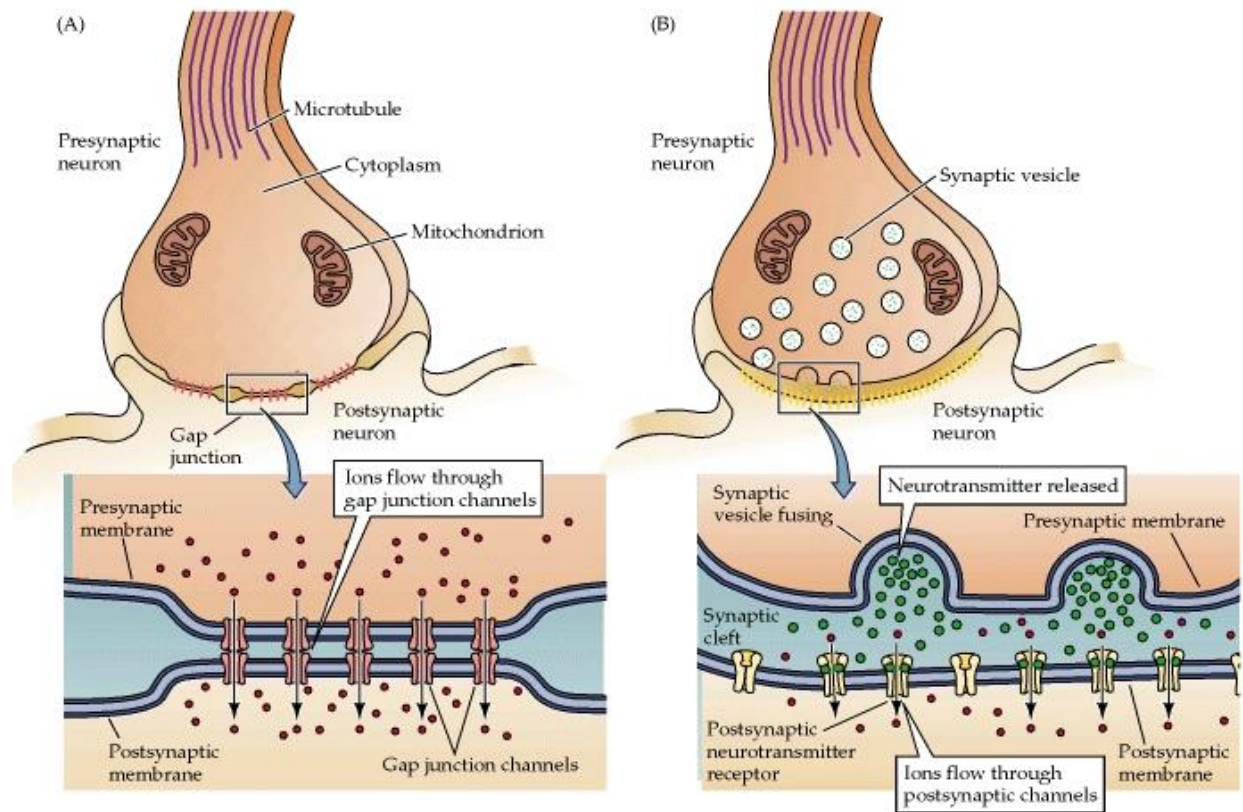
Elektrické a chemické synapse

Presynaptická membrána

Postsynaptická membrána

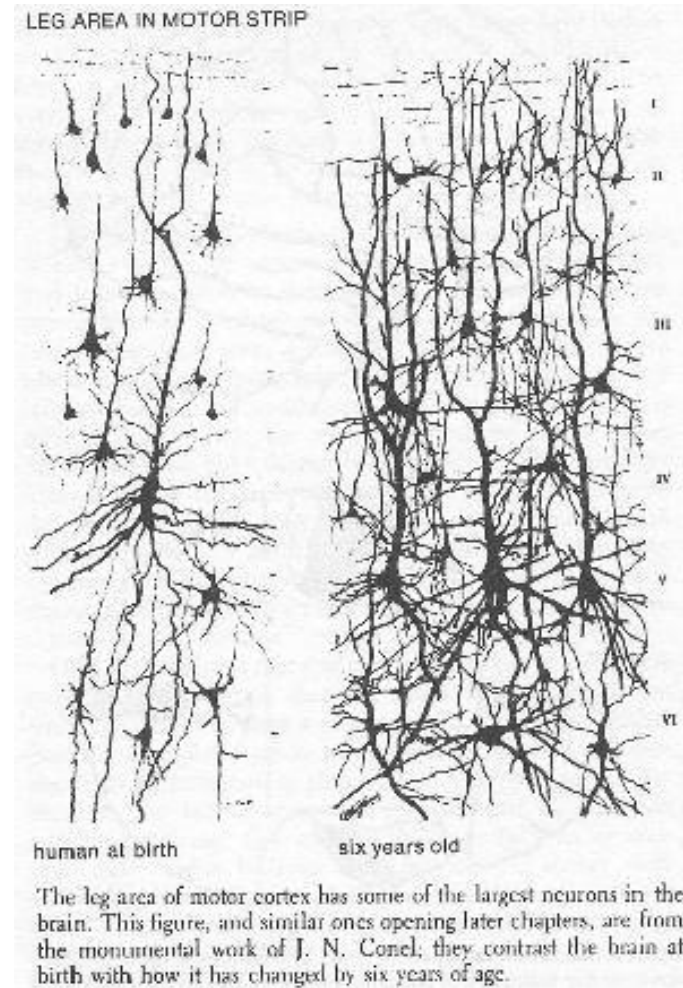
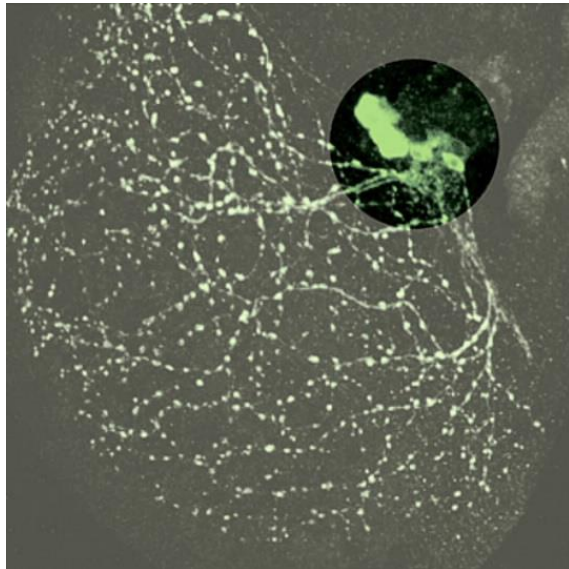
Synaptická štěrbiná

Synaptické váčky



Průměrný neuron – až 1000 synapsí

Aktivní tvorba a zánik synapsí



Gliové buňky

CNS

Astrocyty

- fibrózní (šedá hmota)

- protoplazmické (bílá hmota)

Oligodendrocyty

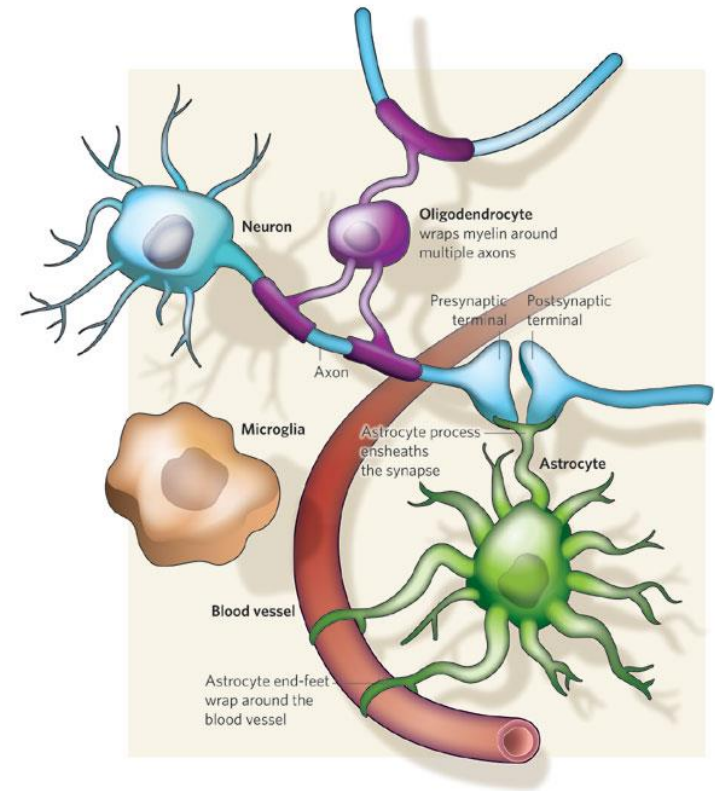
Mikroglie

Ependymové buňky

Periferie

Schwannovy buňky

Satelitní buňky (amficyty)

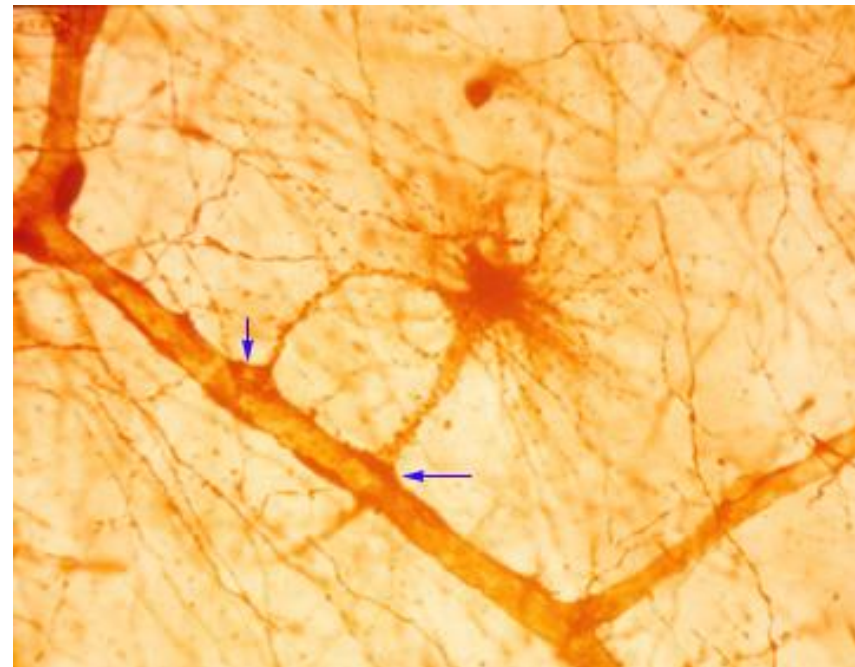
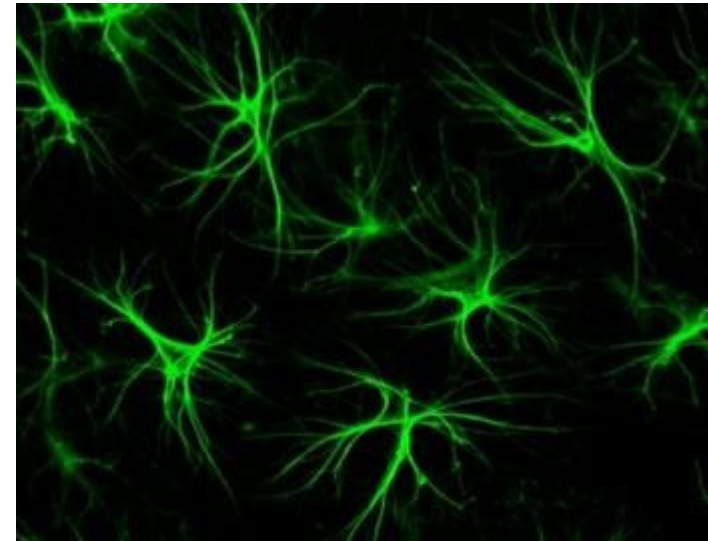


Astrocyty

- Nejčastější gliové buňky CNS
- Hvězdovitý tvar
- Intermediární filamenta (GFAP – glial fibrillary acidic protein)
 - Fibrilární
 - Plasmatické

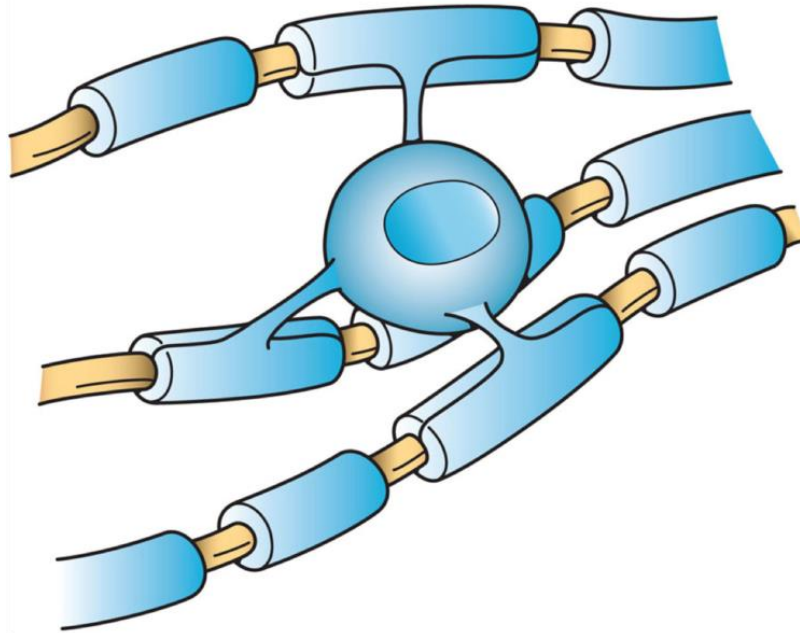
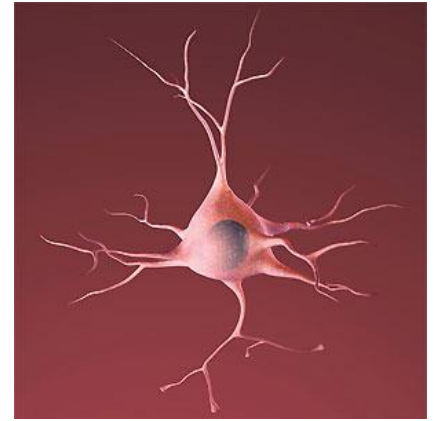
- Funkční síť – gap junctions
- Hraniční vrstvy – na povrchu CNS a podél cév
 - (*Membrana limitans gliae superficialis / perivascularis*)
 - Hematoencefalická bariéra

- Funkce
 - Mechanická a metabolická podpora
 - Kontrola složení extracelulární tekutiny
 - Regenerace CNS gliovou jizvou



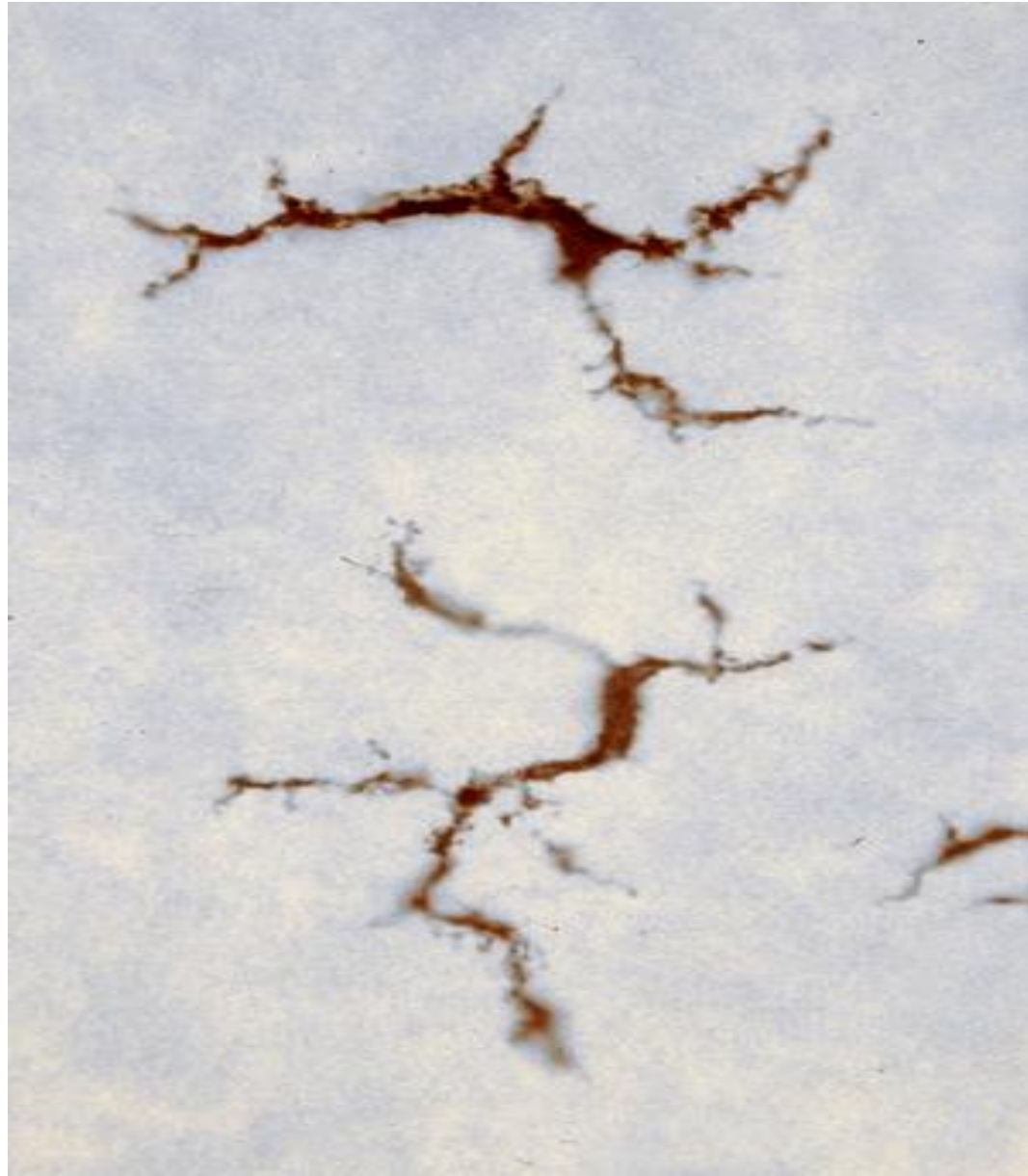
Oligodendrocyty

- Myelinové pochvy v CNS
- Početné v bílé hmotě
- Ekvivalent Schwannových buněk v PNS



Mikroglie

- Malé, krátké bohatě větvené buňky
- Hematopoetický původ
- Funkce
 - Makrofágy
 - fagocytóza patogenů, mrtvých buněk, atd.
 - Antigen prezentující buňky



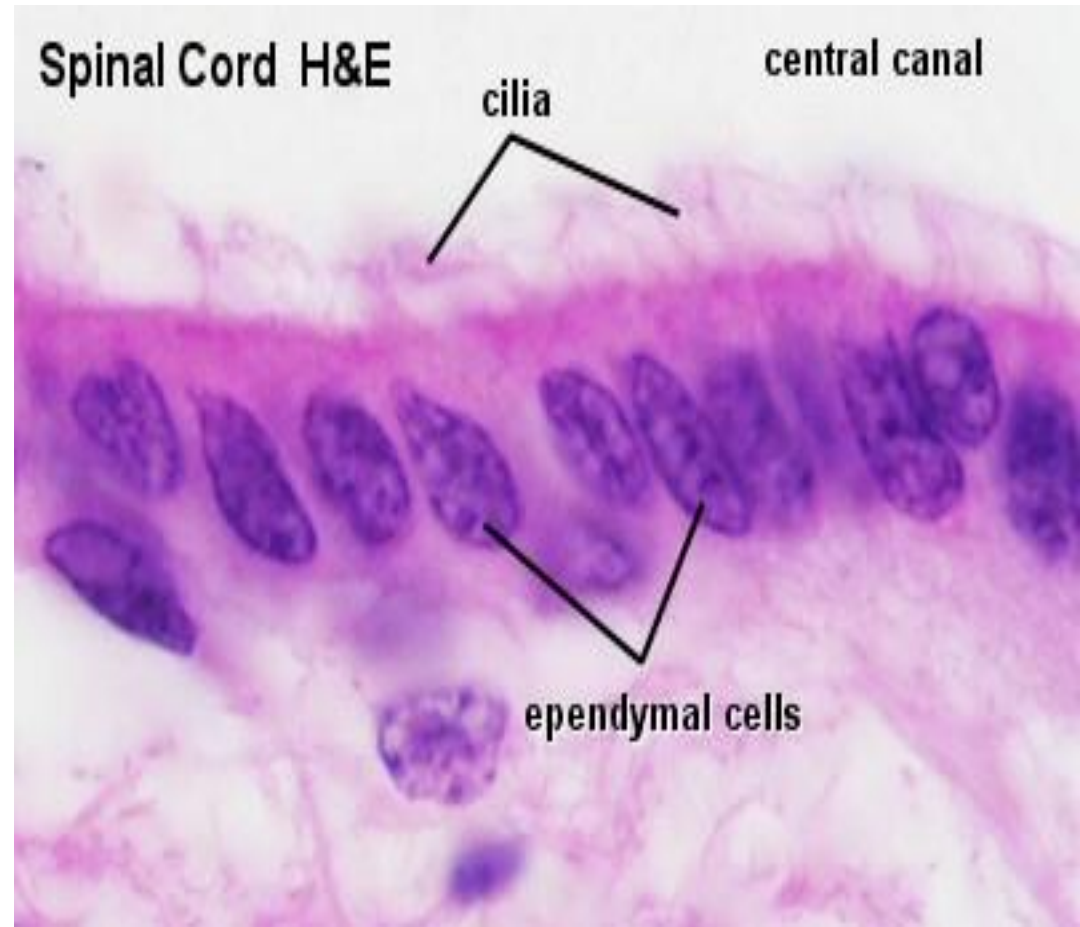
Ependymové buňky

Výstelka mozkových komor a míšního kanálu

Jednoduchý kubický nebo cylindrický epitel s řasinkami bez bazální laminy

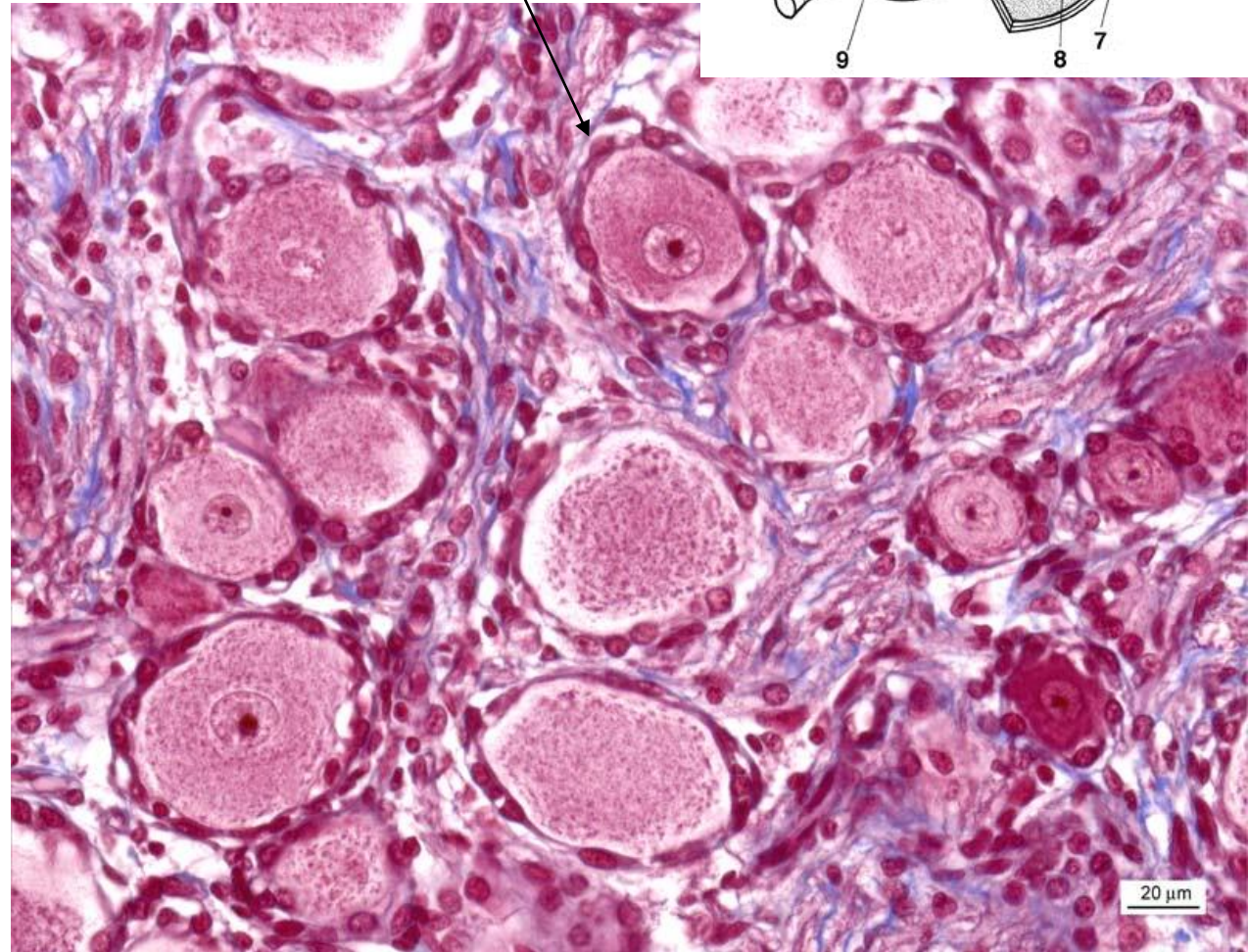
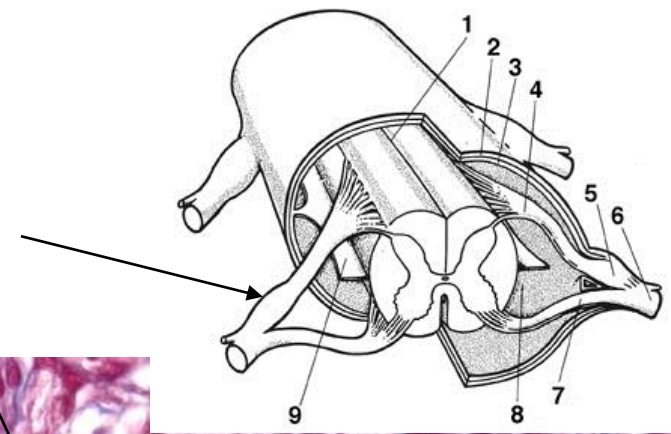
V neurohemálních oblastech (eminentia mediana hypothalami)

- báze vybíhá v dlouhé výběžky v kontaktu s kapilárami – tanycyty
- chybí zde hemoencefalická bariéra
- přestup neurohormonů do krve



Satelitní buňky

- PNS
- Mechanická a metabolická podpora neuronů
- Bazální lamina



Schwannovy buňky

- Každý axon v PNS je obklopený Schwannovou buňkou

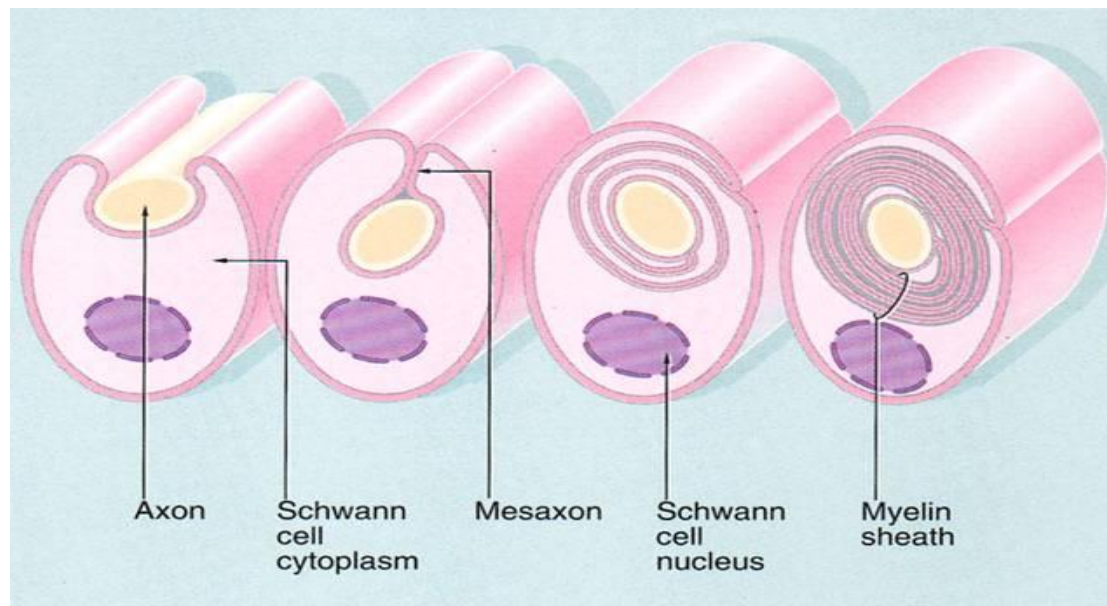
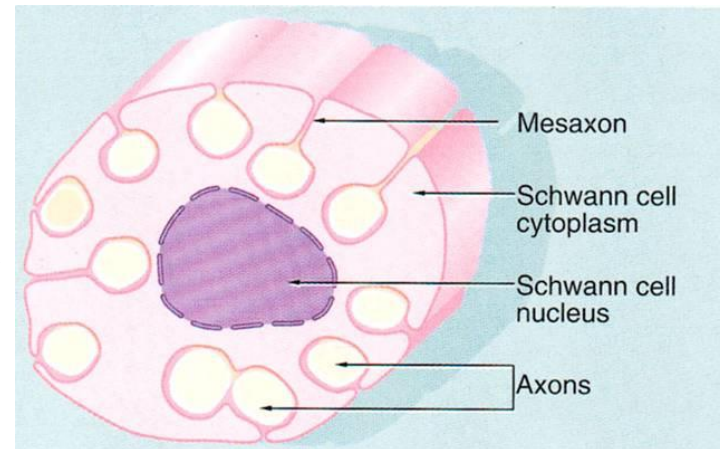
- Nervová vlákna

- **Nemyelinizovaná**

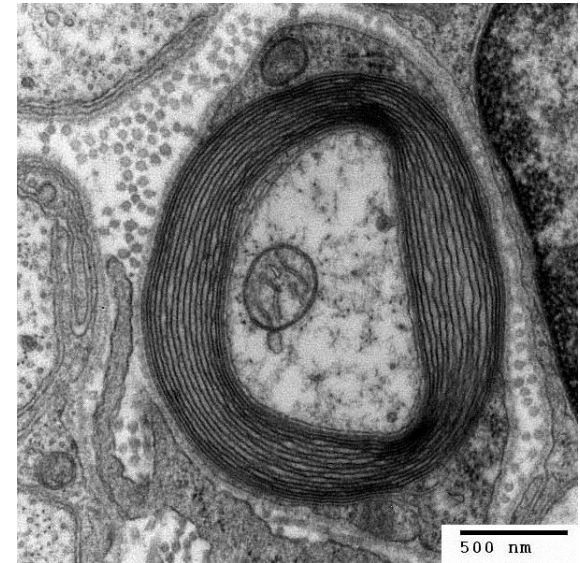
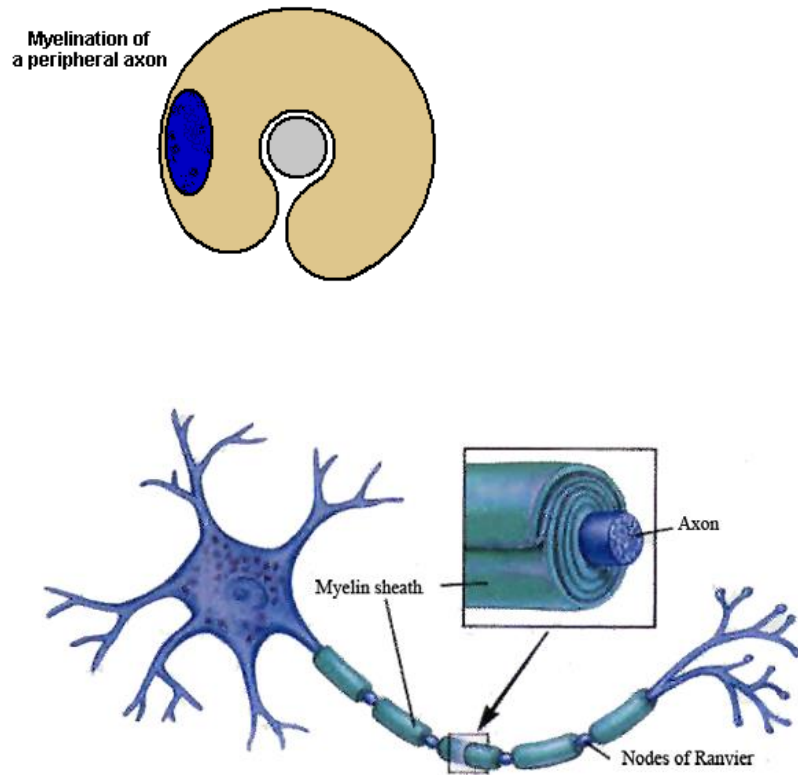
- Pouze Schwannova pochva

- **Myelinizovaná**

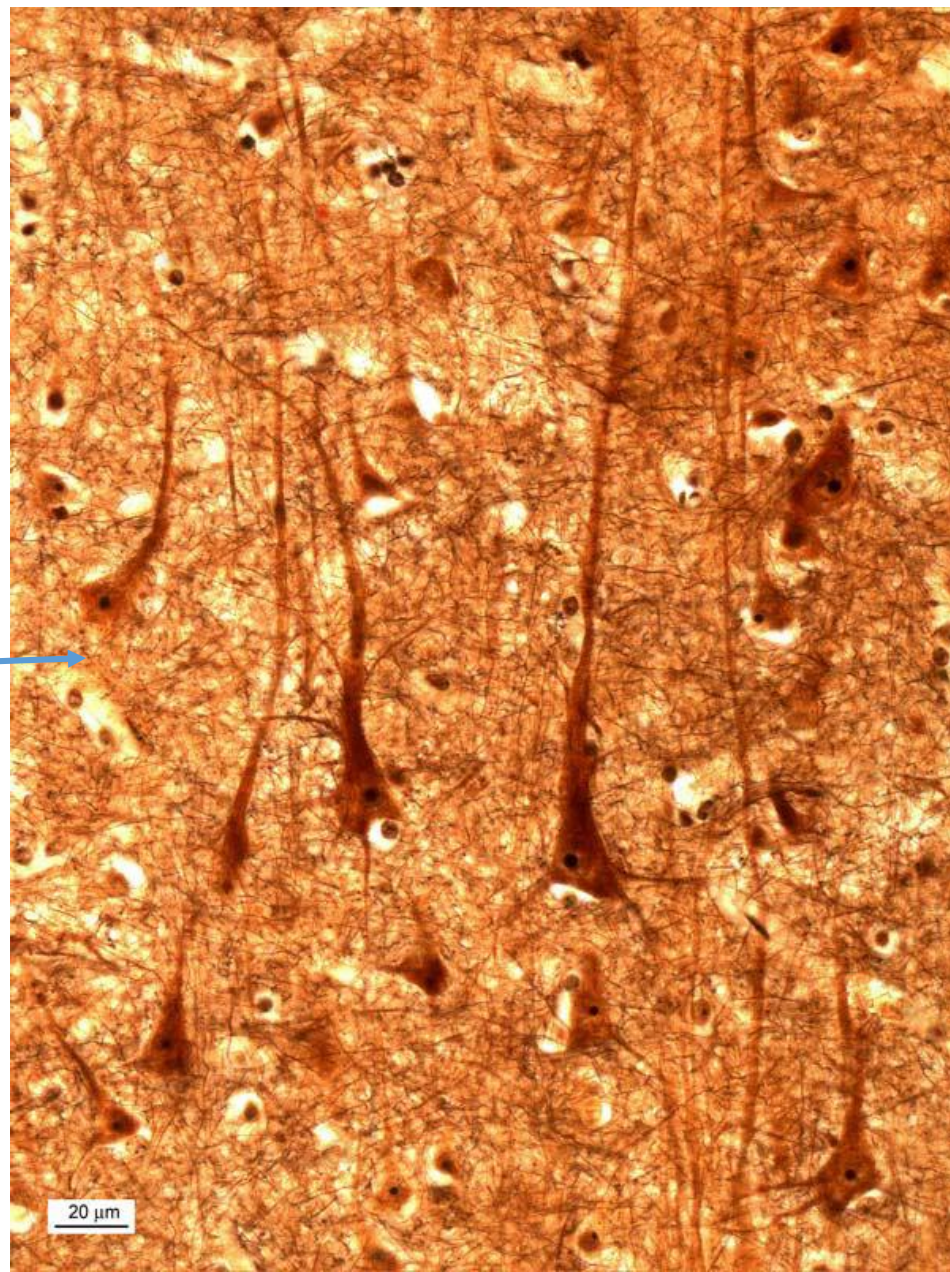
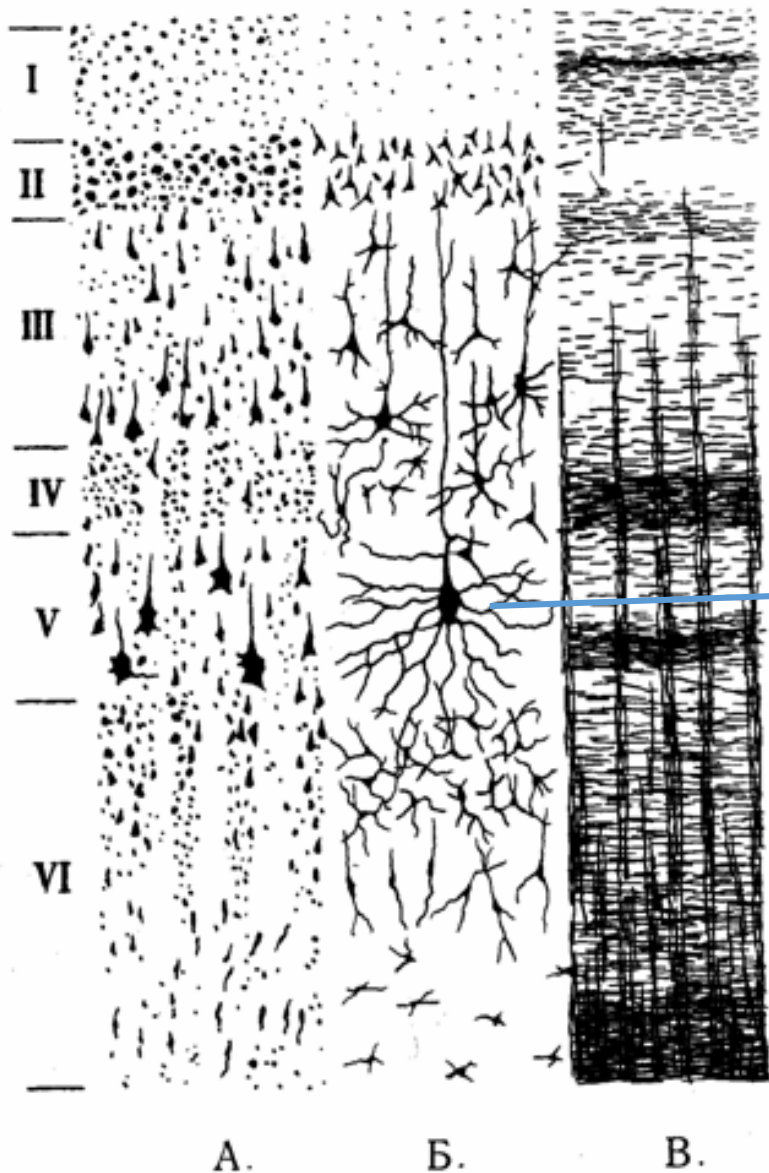
- Schwannova pochva /neurilemma/ + myelinová pochva
 - Ranvierovy zářezy
 - Saltatorní vedení vzruchu



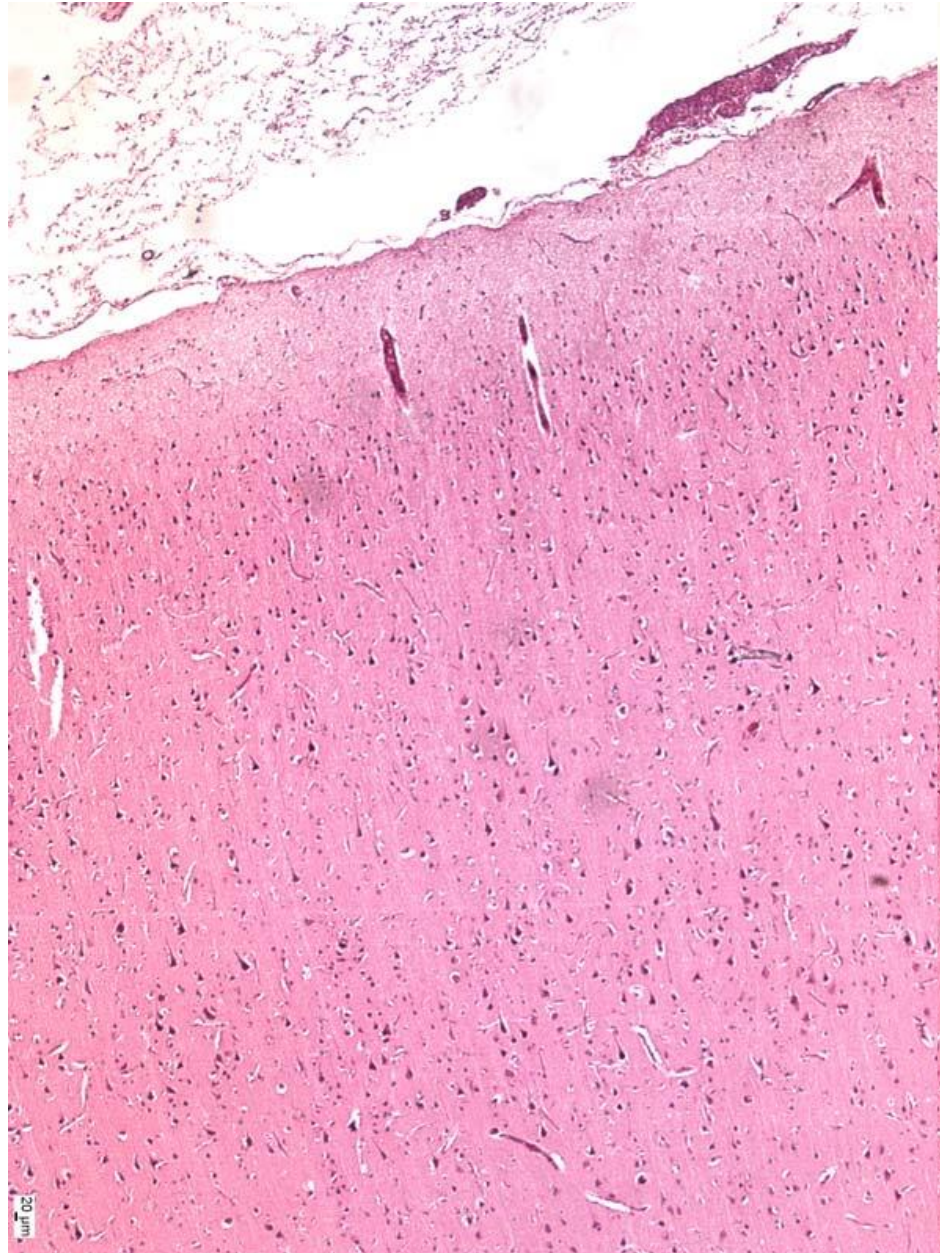
Myelinizace periferního axonu



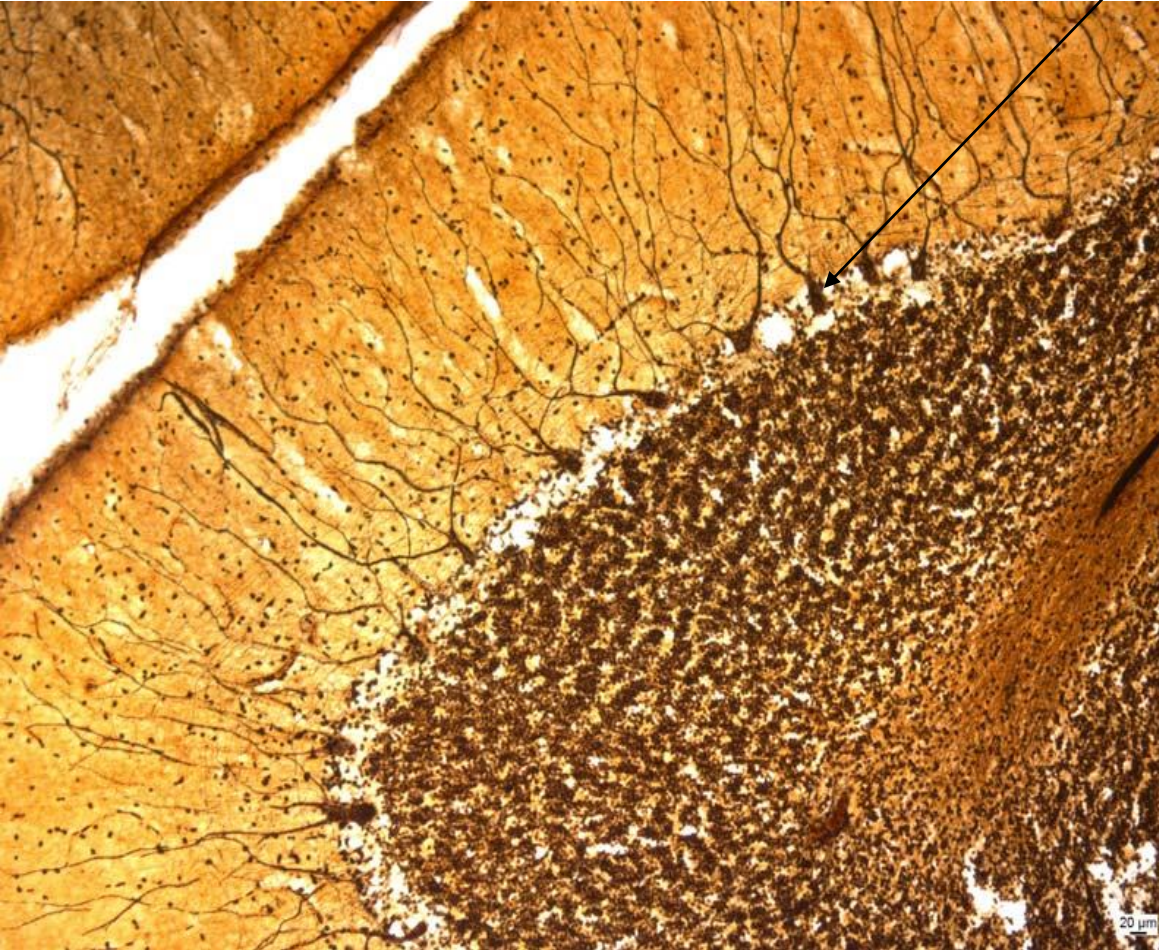
Cortex cerebri – pyramidální buňky



Cortex cerebri – pyramidální buňky



Cerebellum – Purkyňovy buňky

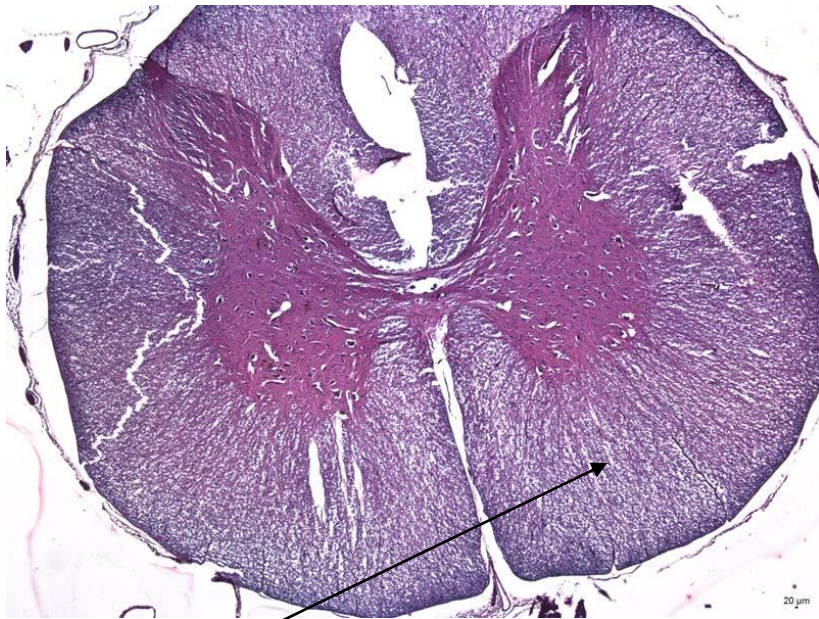


Okrouhlé perikaryon

1-4 dendritické kmeny

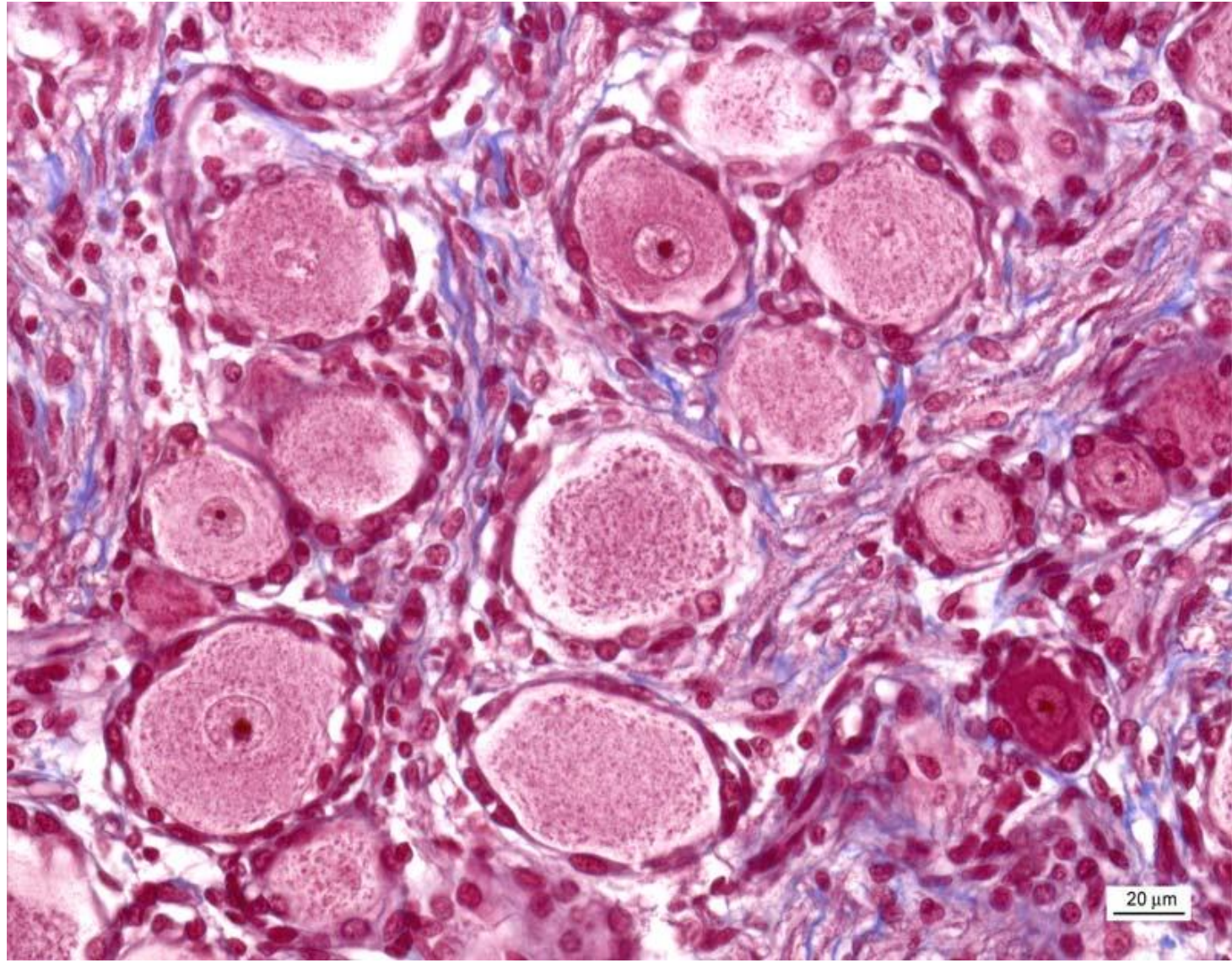
Další větvení v jedné rovině

Mícha – somatomotorické multipolární neurony

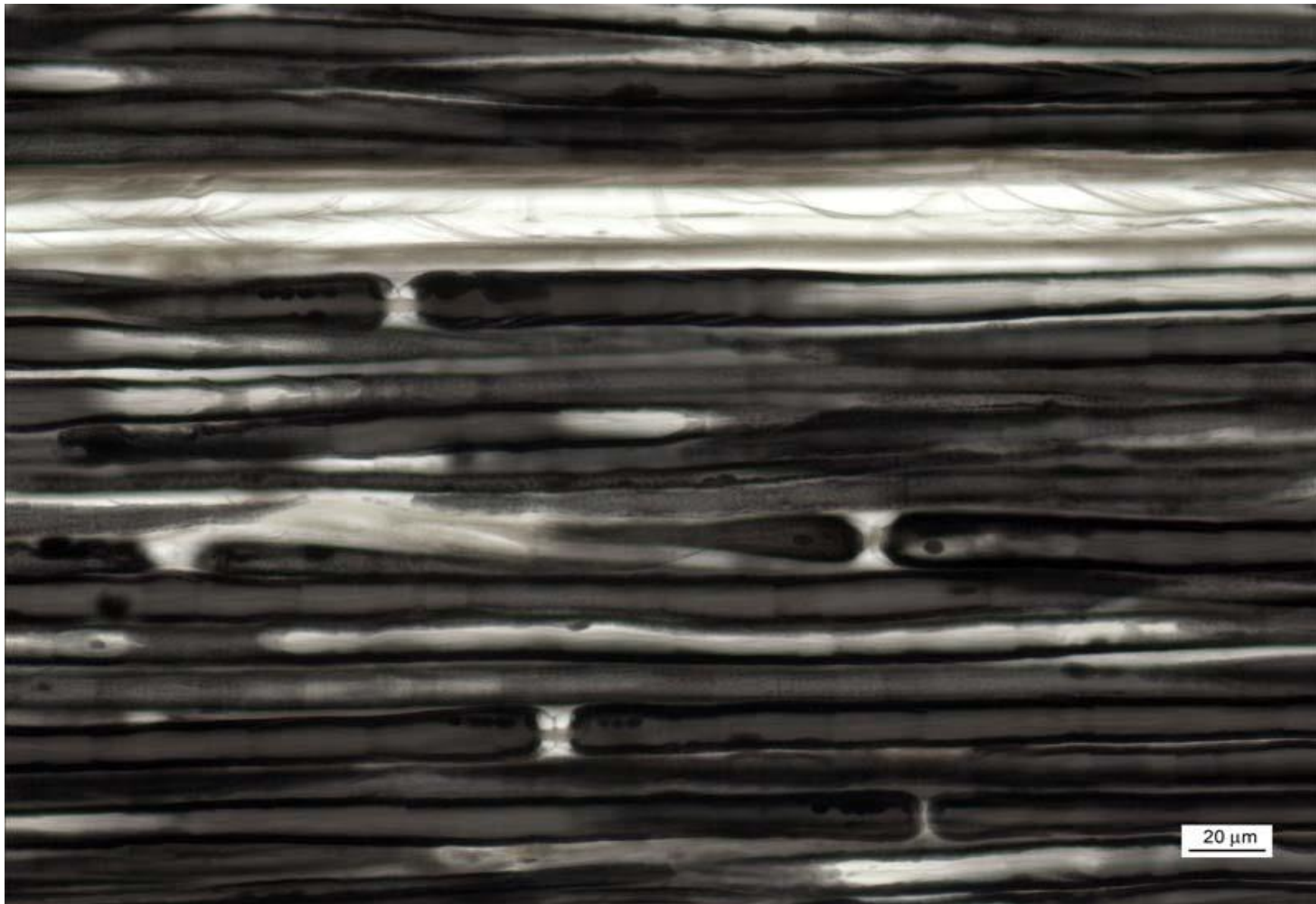


motor neurons

Ganglion spinale – pseudounipolární neuron



Periferní nerv

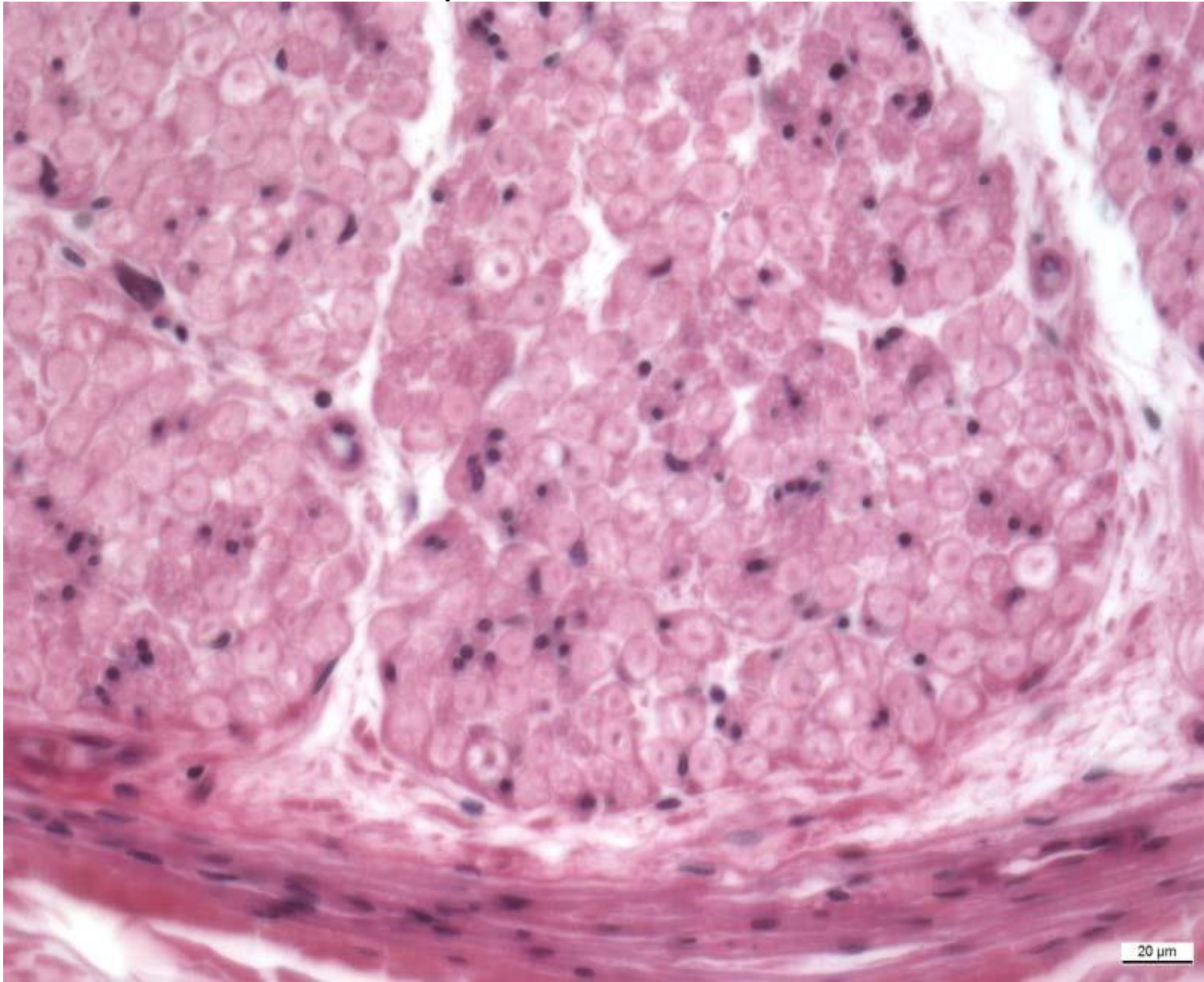


Osmium zviditelňuje lipidy

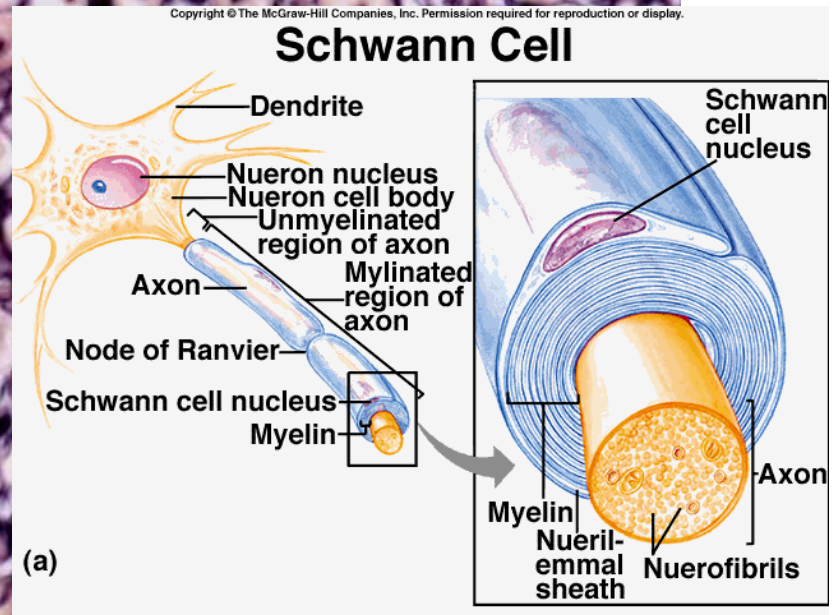
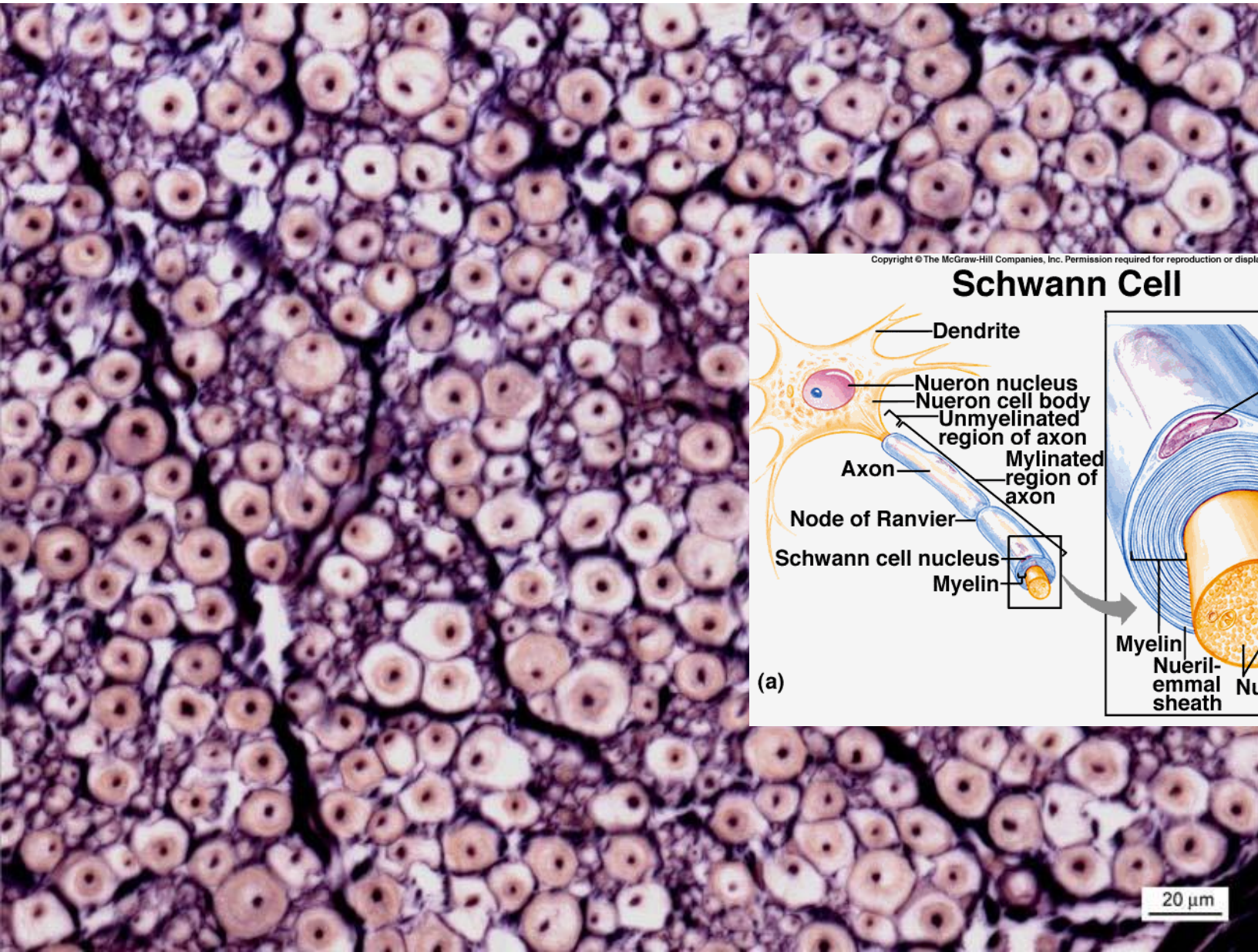
Periferní nerv



Periferní nerv – axon s myelinovou a Schwannovou pochvou

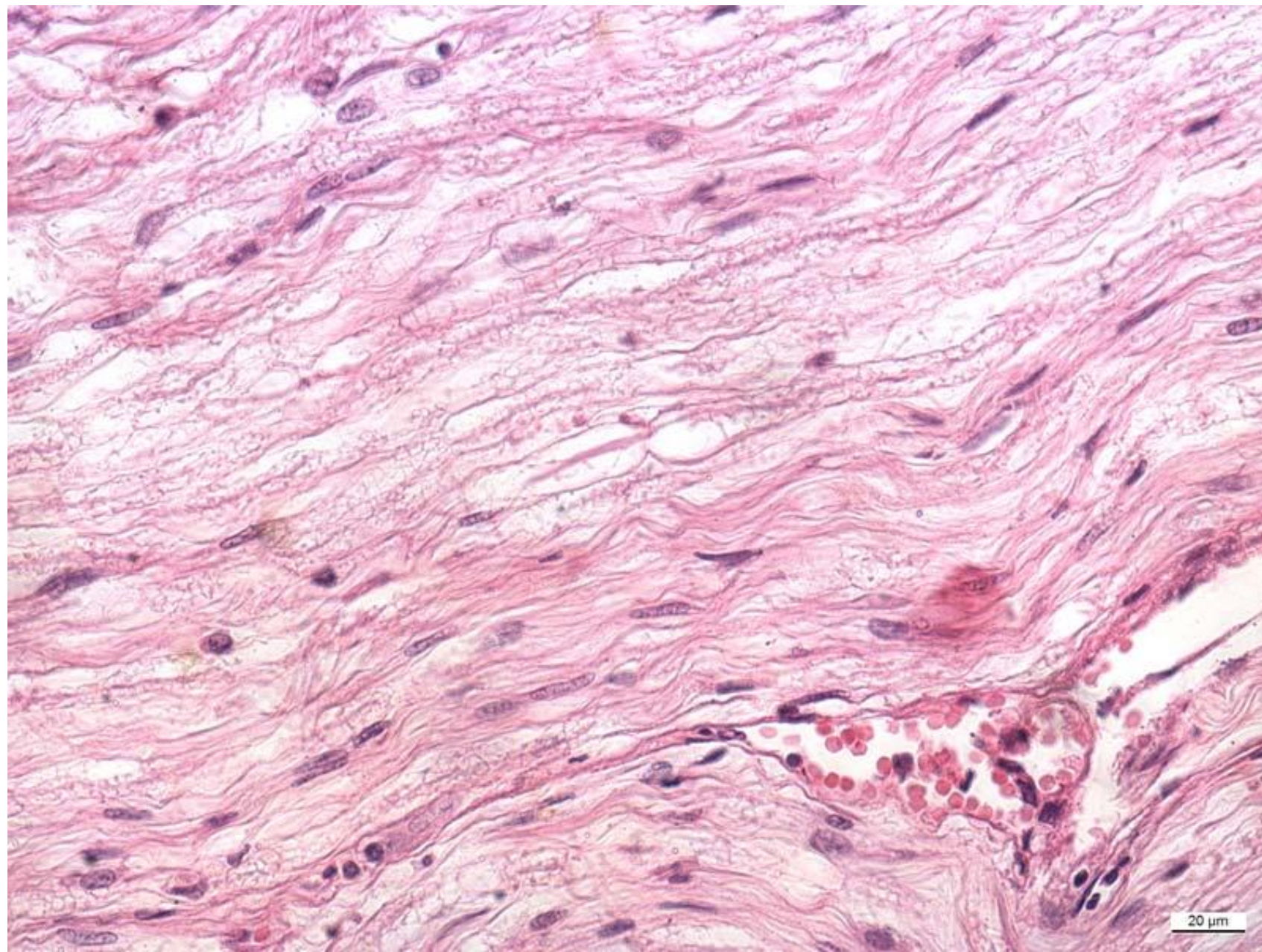


Periferní nerv



20 μ m

Periferní nerv



- **Apex linguae**
- **Intestinum crassum**
- **Myokard**

- **Cortex cerebri**
- **Cerebellum**
- **Medulla spinalis**
- **Ganglion**
- **Periferní nerv**
- **Motorická ploténka**