

Svalová tkáň

Petr Vaňhara, PhD

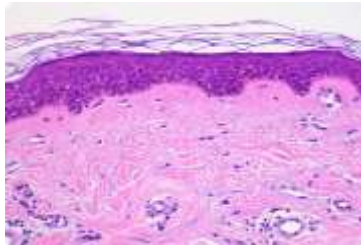
Ústav histologie a embryologie
LF MU

pvanhara@med.muni.cz

■ Současná klasifikace základních typů tkání

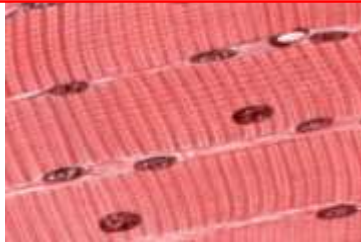
Na základě morfologických a funkčních znaků

Epitelová



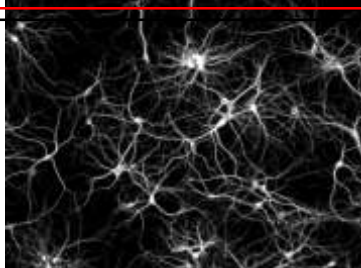
Kontinuální, avaskulární vrstvy buněk s různou funkcí, orientovaných do volného prostoru, se specifickými mezibuněčnými spoji a minimem mezibuněčného prostoru a ECM
Deriváty všech tří zárodečných listů

Svalová



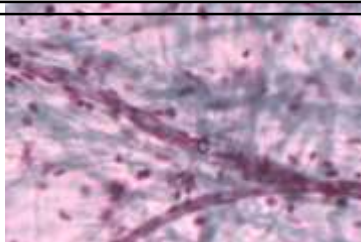
Obsahují myofibrily → schopnost kontrakce
Derivát mezodermu - KS, myokard, mezenchymu - HS
Výjimečně ektoderm (např. m. sphincter a m. dilatator pupillae)

Nervová



Neurony a neuroglie
Příjem a přenos elektrického vzruchu
Derivát ektodermu, výjimečně mezenchymu (mikroglie)

Pojivová



Dominantní přítomnost extracelulární matrix
Vazivo, chrupavka, kost, tuková tkáň
Derivát zejména mezenchymu

Obečná charakteristika svalové tkáně

- Unikátní cytoarchitektura
- Excitabilita a schopnost kontrakce
- Mesodermální původ

Svalová tkáň

- Kosterní
- Srdeční
- Hladká

Muscle types

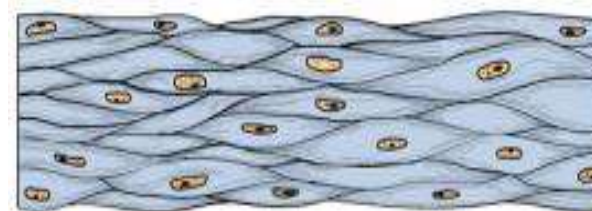
Skeletal muscle



Cardiac muscle



Smooth muscle

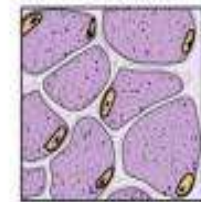


Nuclei

Intercalated disks

Activity

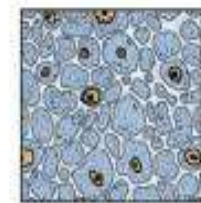
Cross sections



Strong, quick discontinuous voluntary contraction



Strong, quick continuous involuntary contraction

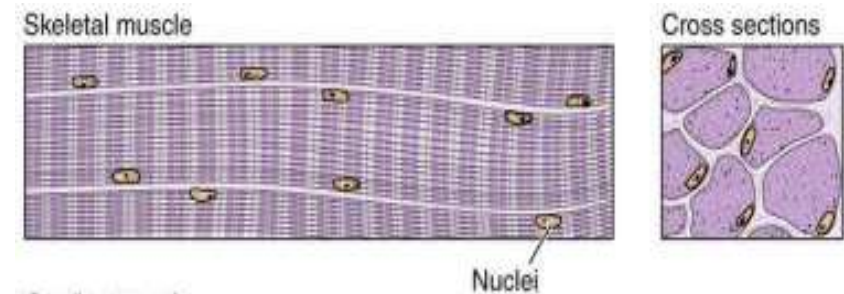


Weak, slow involuntary contraction

Kosterní svalová tkáň

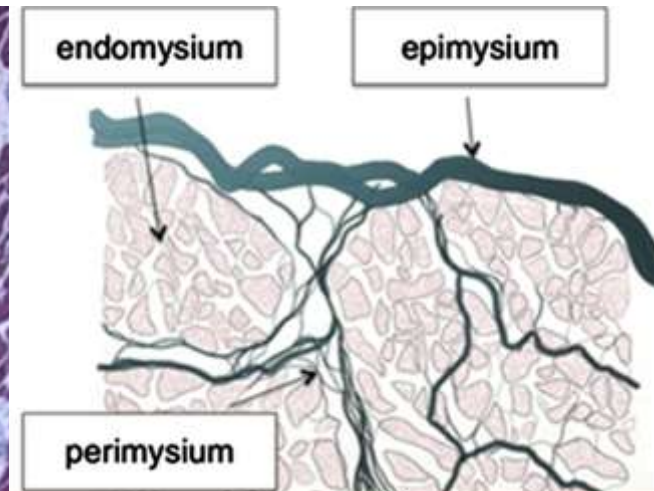
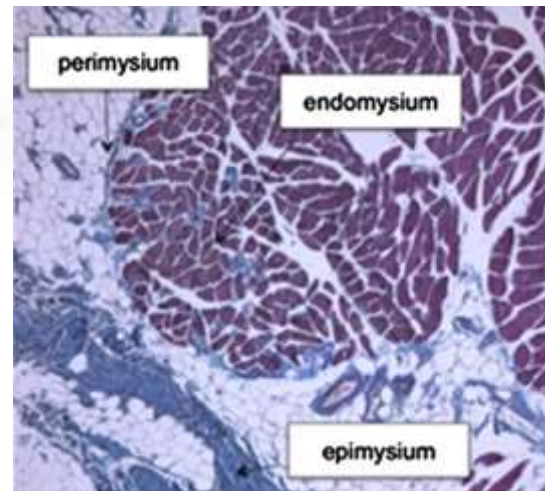
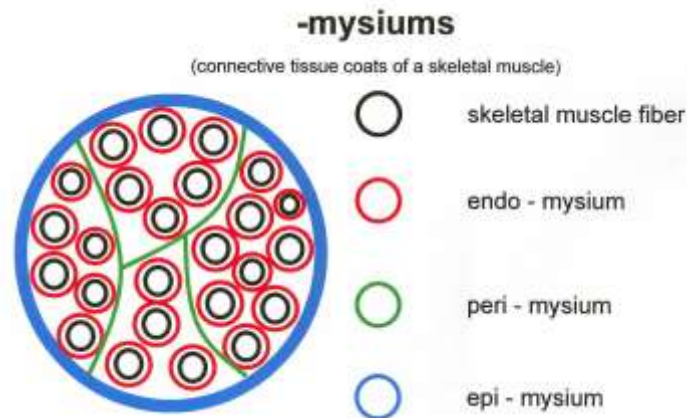
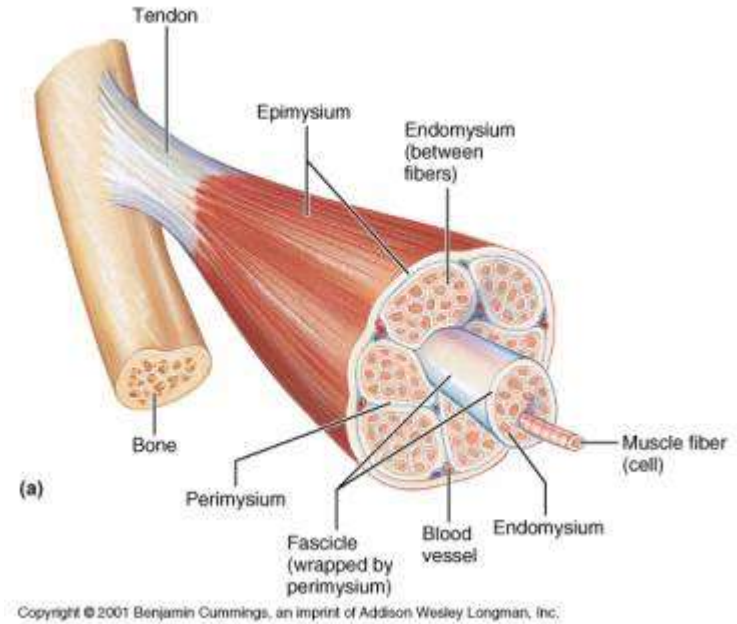
HISTOLOGIE KOSTERNÍ SVALOVÉ TKÁŇĚ

- Složení tkáně: svalové buňky, vazivo, inervace, vaskularizace
- Unikátní cytoarchitektura – velké mnohoaderné buňky = svalová vlákna (rhabdomyocyty)
- Dlouhá osa buněk je rovnoběžná se směrem kontrakce
- Specifická terminologie:
 - buněčná membrána = sarkolema
 - cytoplasma = sarkoplasma
 - sER = sarcoplazmatické retikulum
- Svalové vlákno – mikroskopická jednotka kosterní svalové tkáně
- Myofibrila – mikroskopická jednotka svalových vláken
- Myofilamenta – vlákna aktinu a myosinu

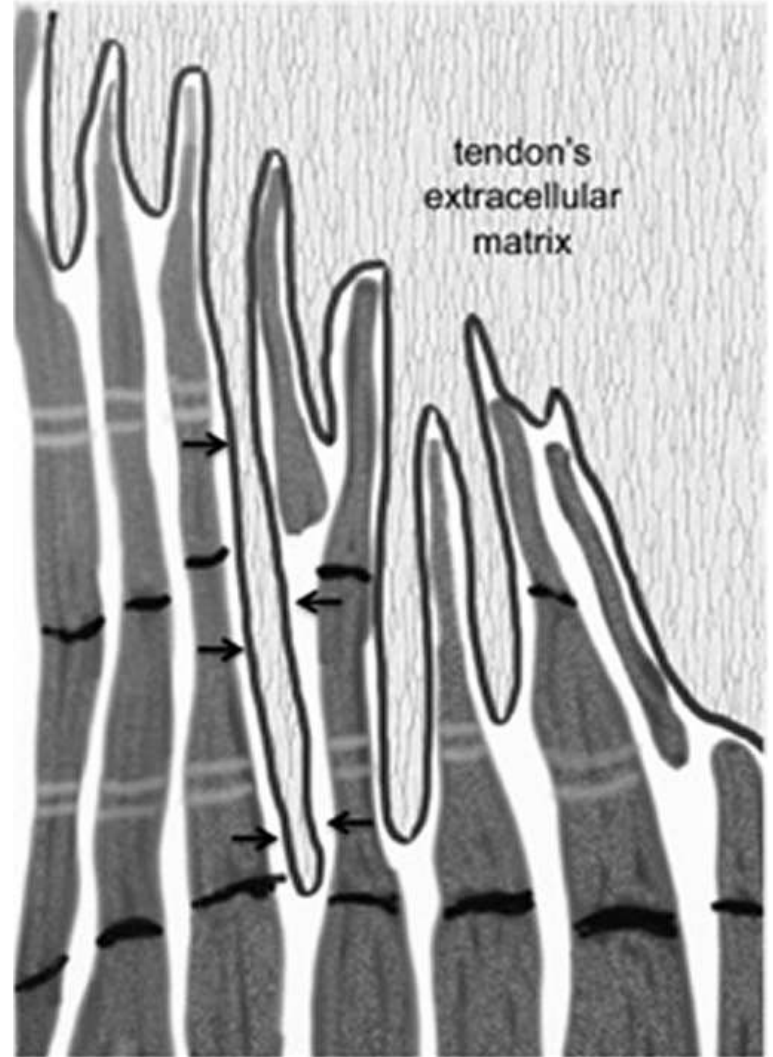
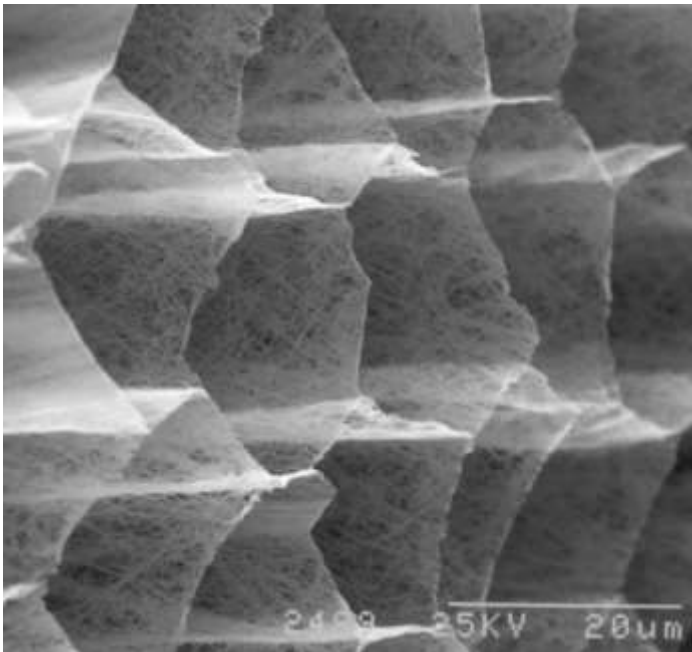
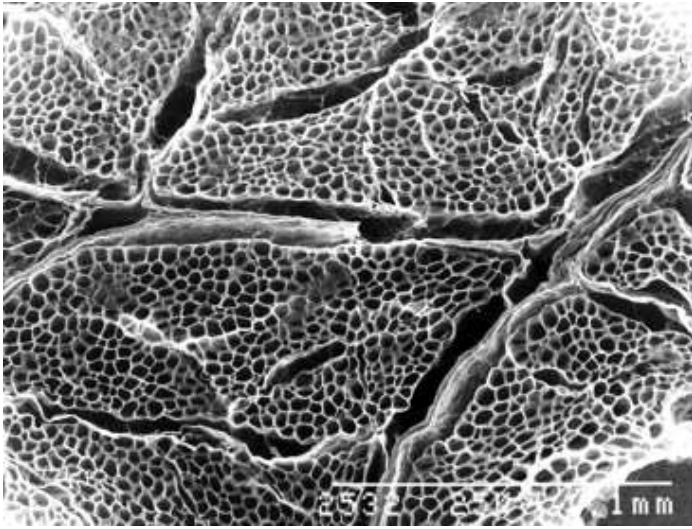


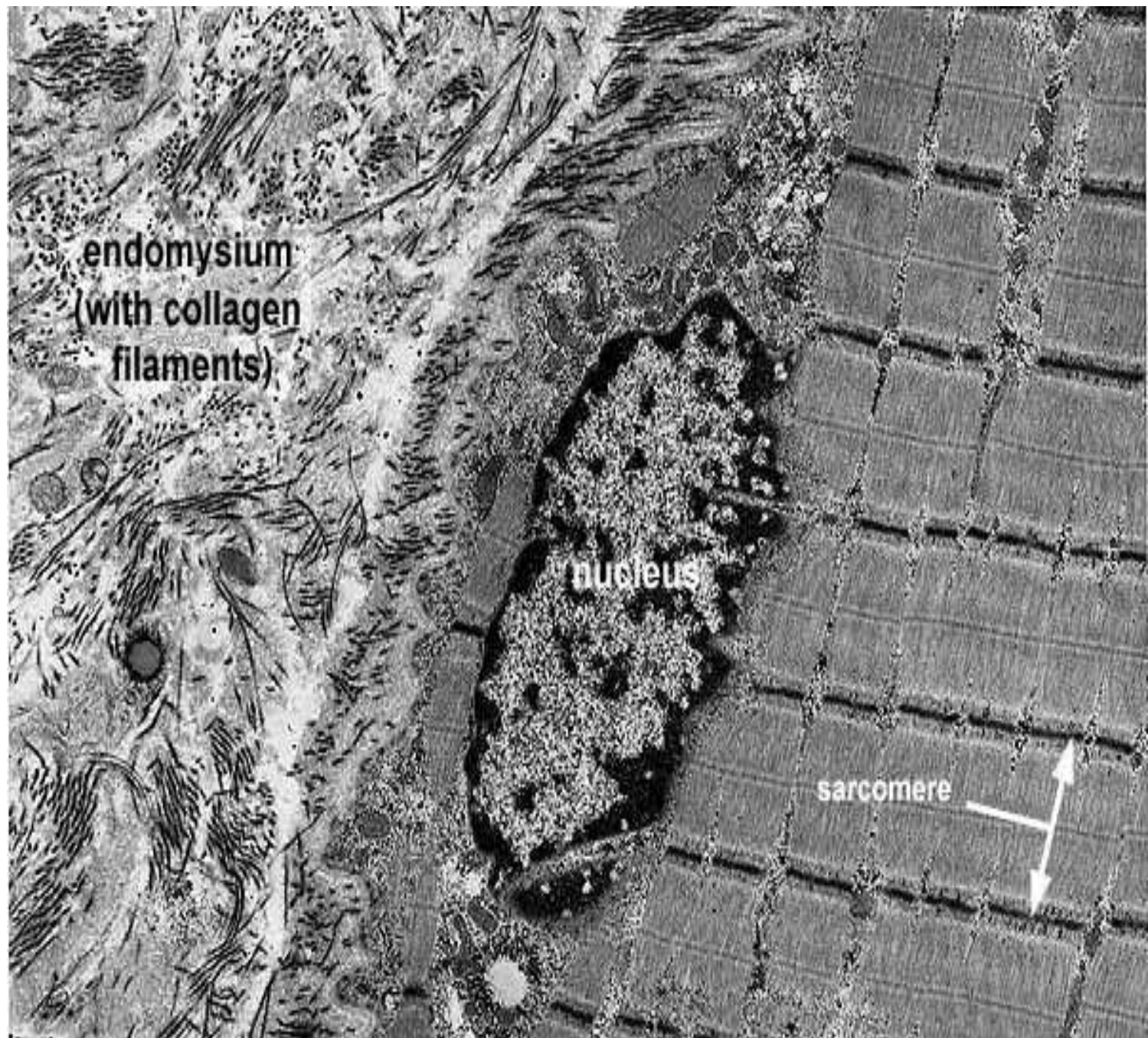
Svalová tkáň nejsou jen svalové buňky

- vazivový obal
- odolnost & biomechanika
- **Endomysium** – kolem každého svalového vlákna
- **Perimysium** – sekundární svazky; septa
- **Epimysium** – kolagenní vazivo kolem svalového svazku
- fascia – husté neuspořádané kolagenní vazivo

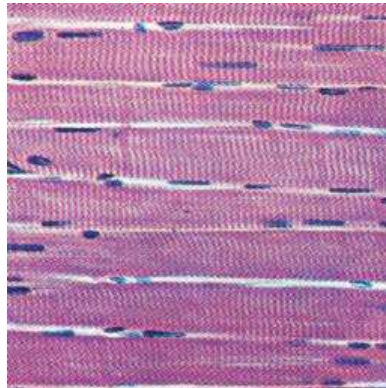
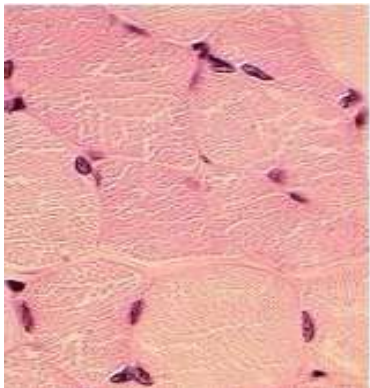
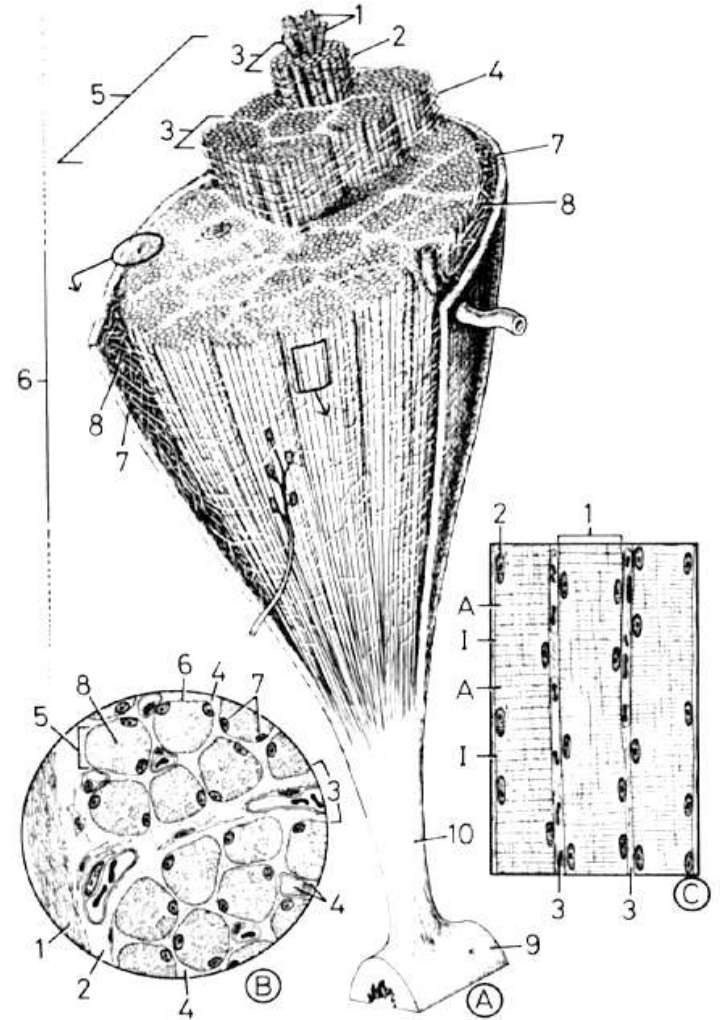
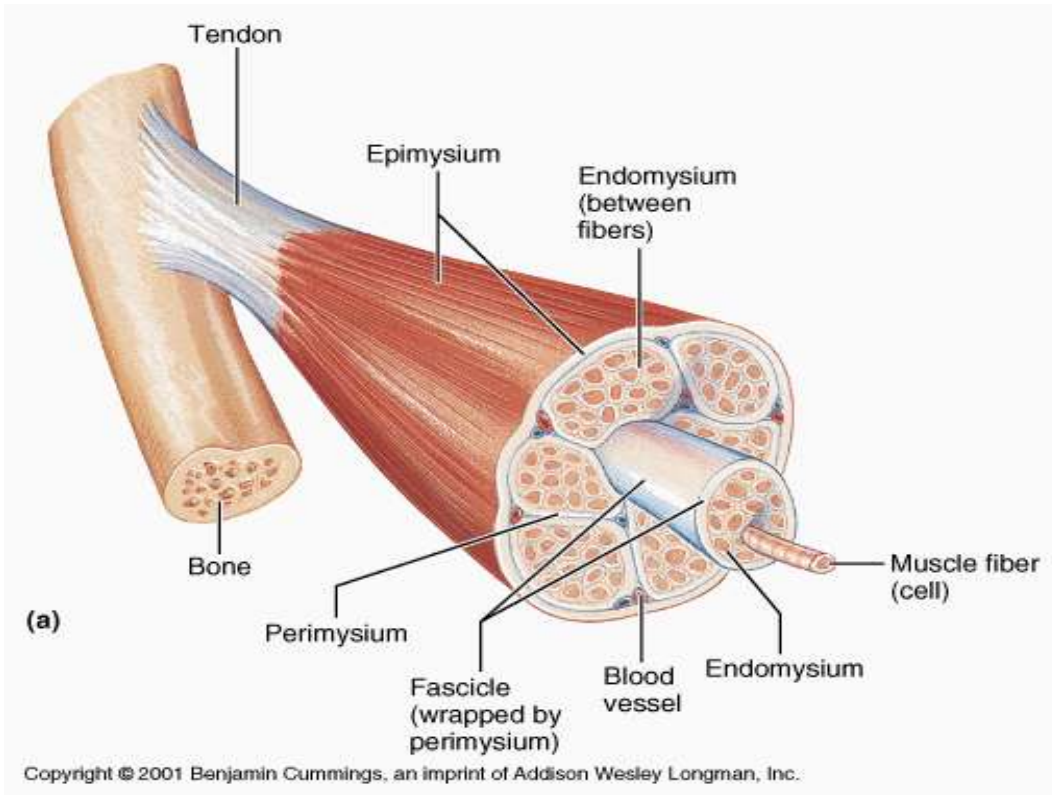


VAZIVO KOSTERNÍ SVALOVINY

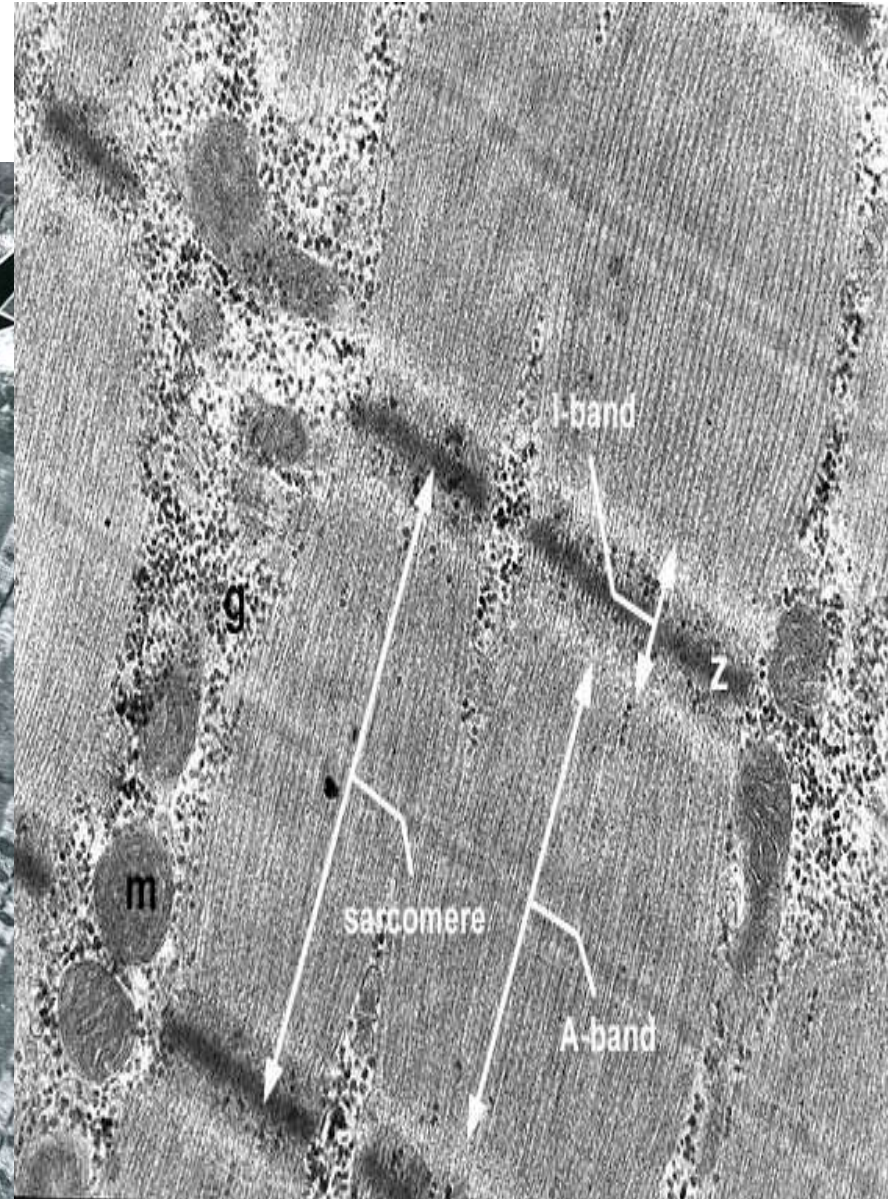
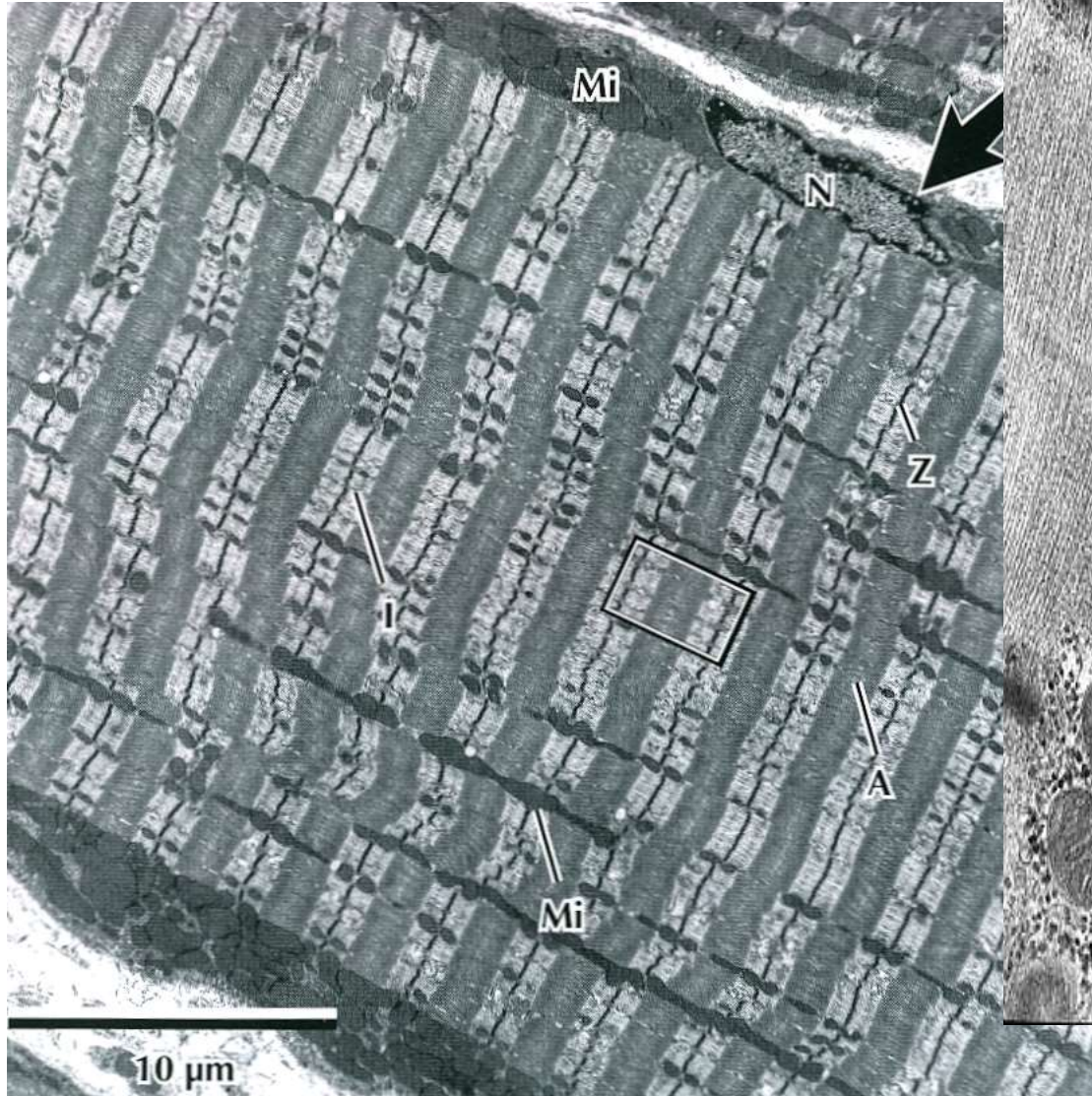




ORGANIZACE SVALOVÉ TKÁŇĚ



Proč je kosterní svalová tkáň příčně pruhovaná?



ULTRASTRUKTURA RHABDOMYOCYTU

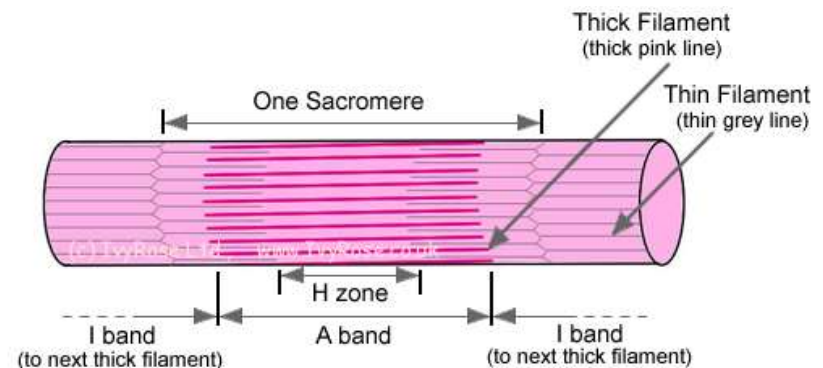
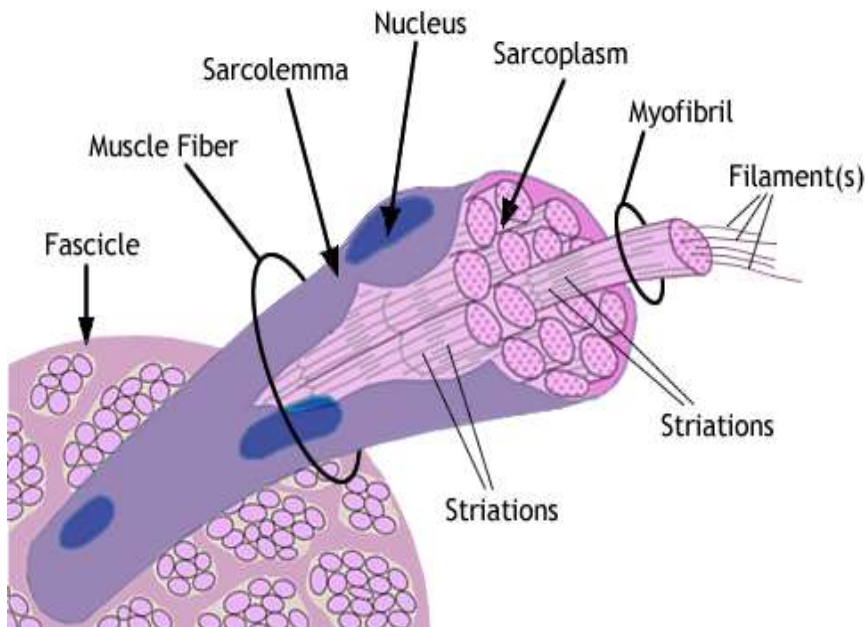
Svalové vlákno = syncitium = rhabdomyocyt

Svalové vlákno – morfologická a funkční jednotka kosterního svalu [Ø 25 – 100 µm]

Myofibrila – kompartment uvnitř svalového vlákna [Ø 0.5 – 1.5 µm]

Sarkomera – nejmenší kontraktilní jednotka [2.5 µm], sériově uspořádaná v myofibrily

Myofilamenta – aktin a myosin, uspořádaná v sarkomery [Ø 8 and 15 nm]



ULTRASTRUKTURA RHABDOMYOCYTU

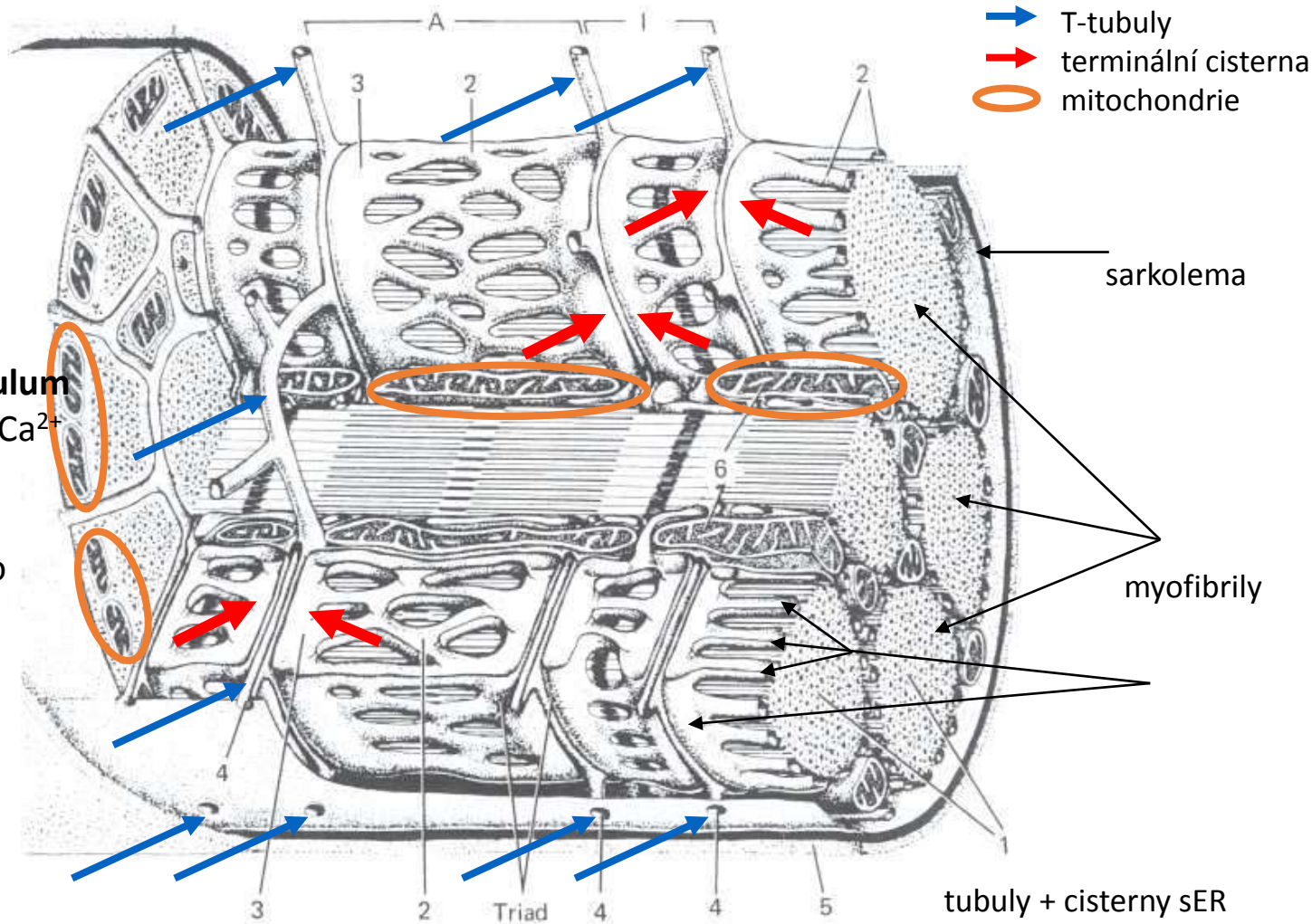
Sarkolema + t-tubuly

Sarkoplasma:

Jádra
Mitochondrie
Golgiho aparát,
Glykogen (β granules)

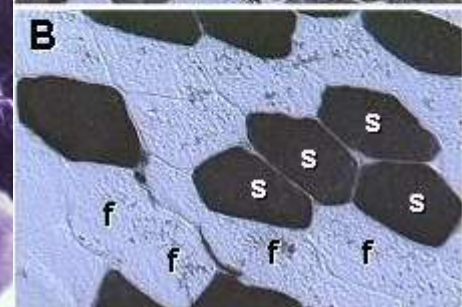
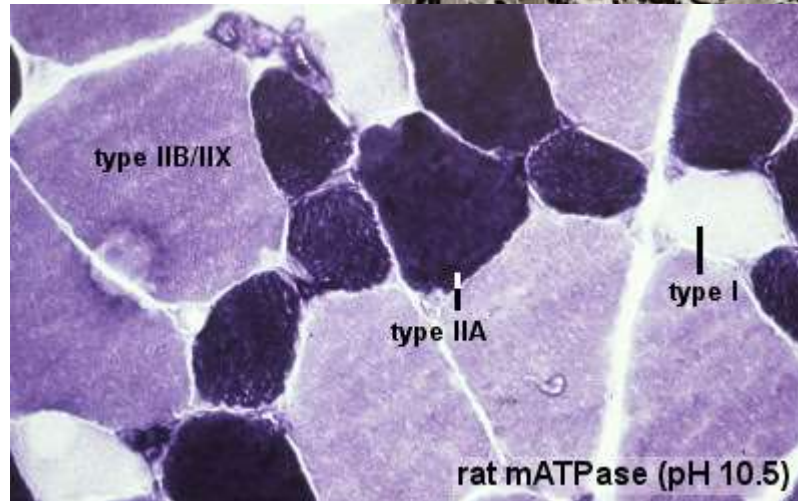
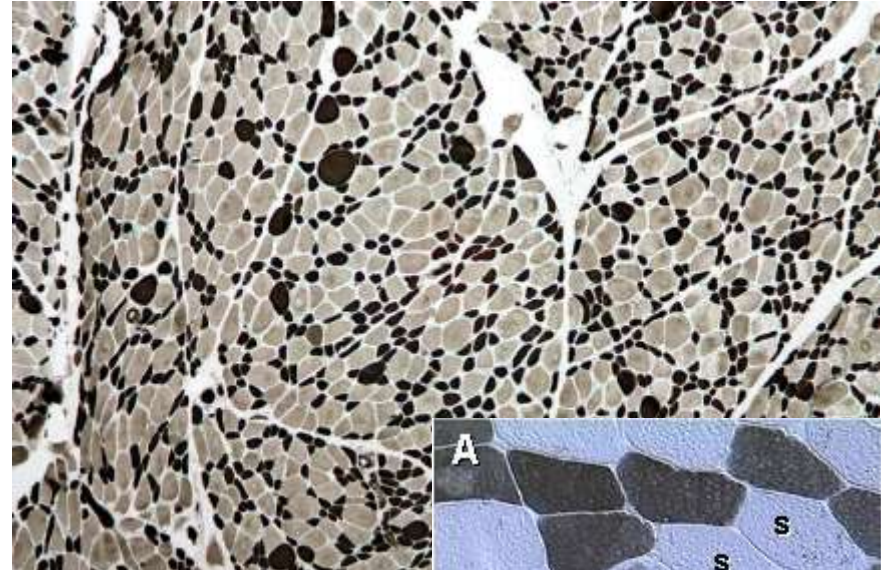
Sarkoplazmatické retikulum (hladké ER) – rezervoár Ca^{2+}

Myofibrily (paralelně s
dlouhou osou svalového
vlákna)



KLASIFIKACE KOSTERNÍCH SVALŮ

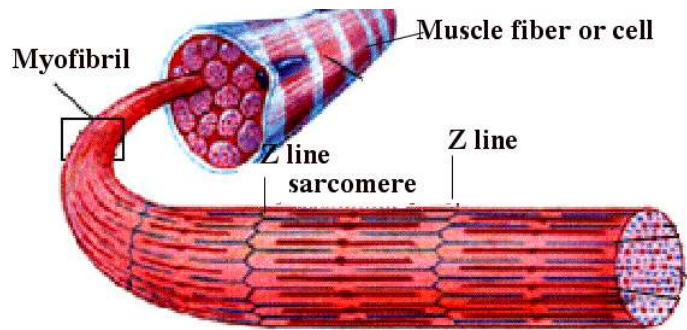
- **Myosin heavy chain (MHC) type I and II**
 - specifické metabolické a kontraktilní parametry; inervace
- **Twitch type**
 - rychlá vs. pomalá
- **Fiber color**
 - červená vs. bílá
- **obsah myoglobinu**
- **obsah glycogenu**
- **energetický metabolismus**
- **výdrž**



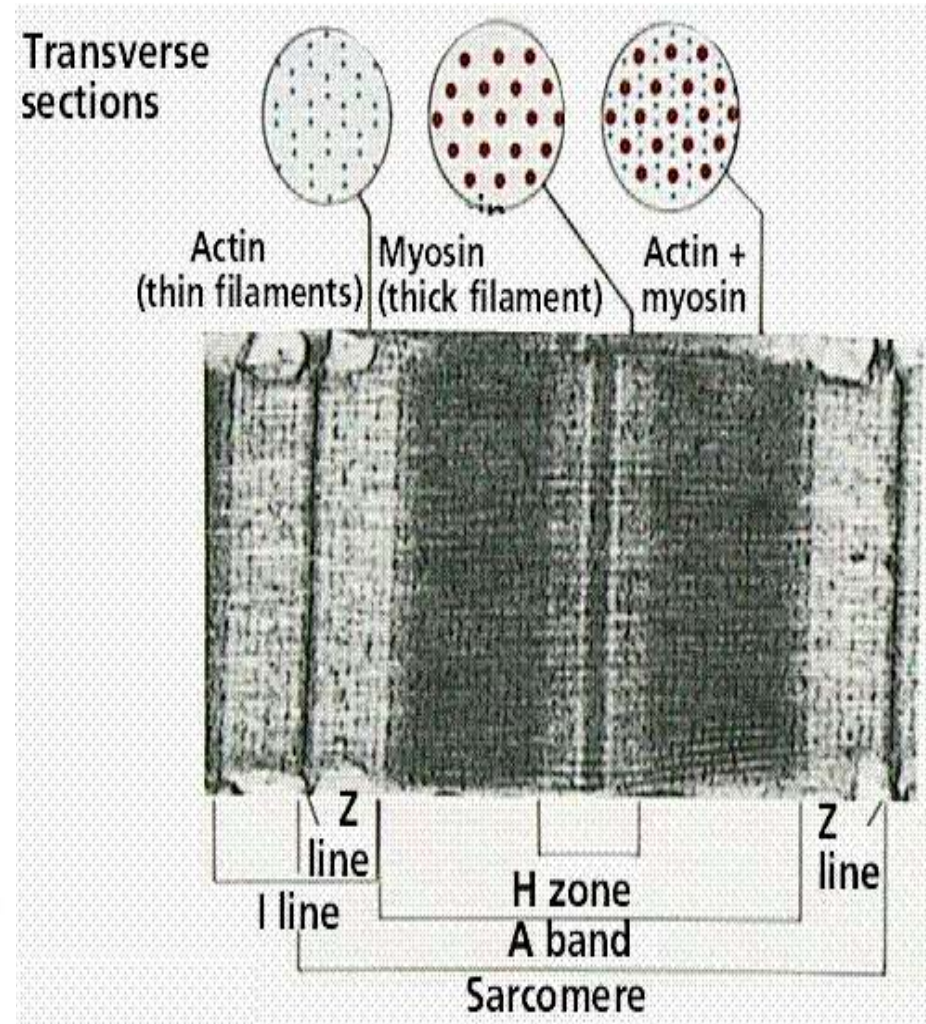
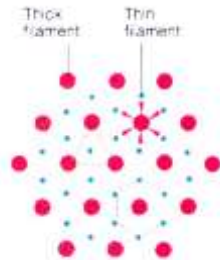
Properties	Type I fibers	Type IIA fibers	Type IIX fibers
Motor Unit Type	Slow Oxidative (SO)	Fast Oxidative/Glycolytic (FOG)	Fast Glycolytic (FG)
Twitch Speed	Slow	Fast	Fast
Twitch Force	Small	Medium	Large
Resistance to fatigue	High	High	Low
Glycogen Content	Low	High	High
Capillary Supply	Rich	Rich	Poor
Myoglobin	High	High	Low
Red Color	Dark	Dark	Pale
Mitochondrial density	High	High	Low
Capillary density	High	Intermediate	Low
Oxidative Enzyme Capacity	High	Intermediate-high	Low
Z-Line Width	Intermediate	Wide	Narrow
Alkaline ATPase Activity	Low	High	High
Acidic ATPase Activity	High	Medium-high	Low

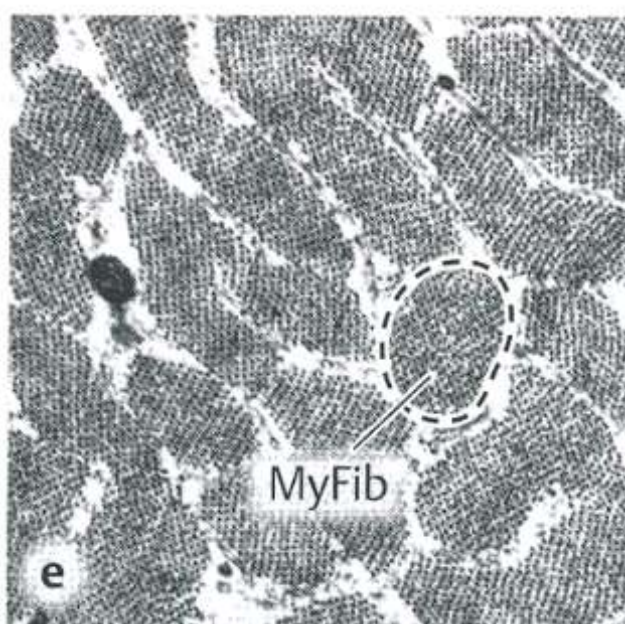
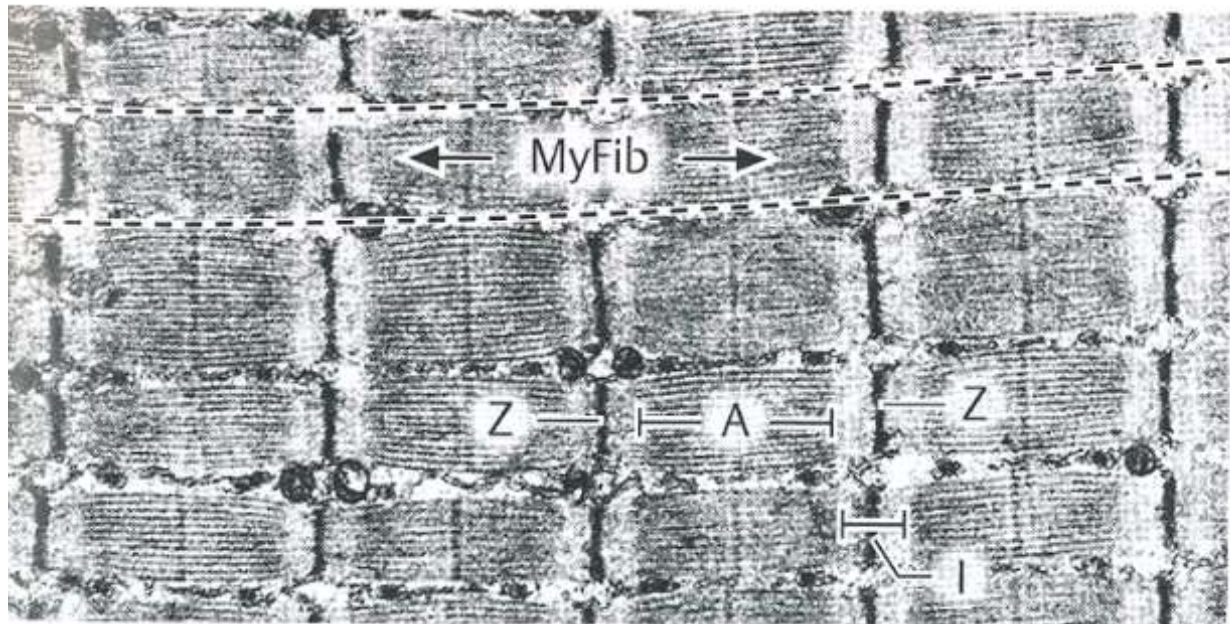
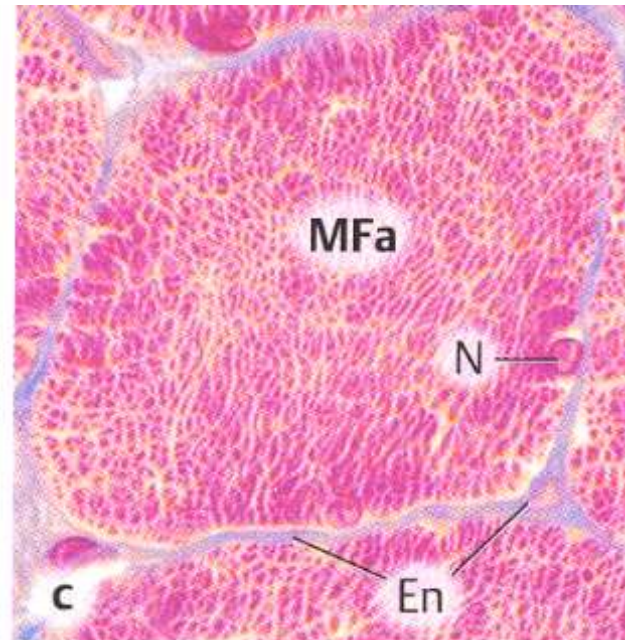
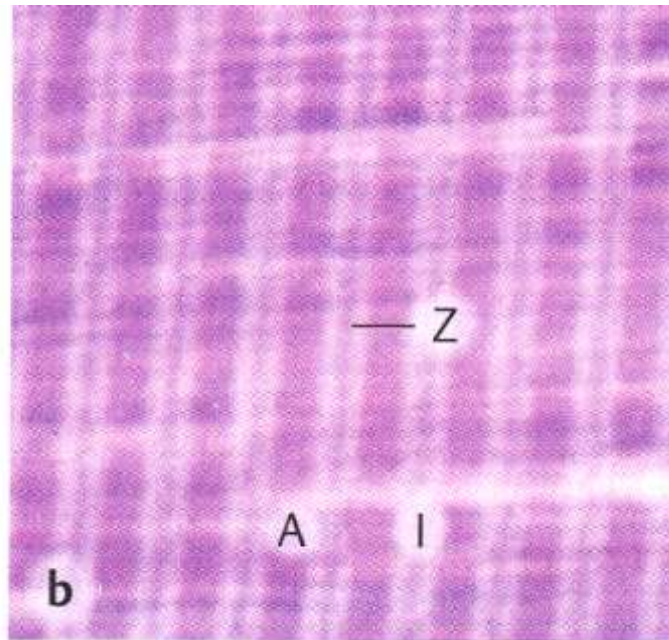
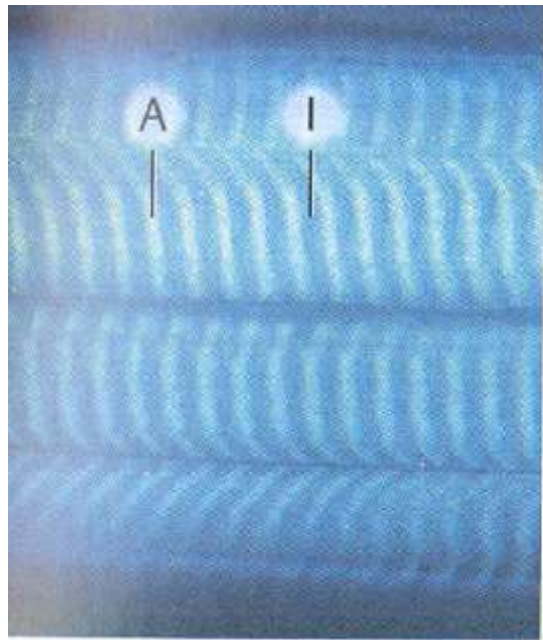
MYOFIBRILY

- protáhlé cytoskeletární struktury [Ø 0.5 – 1.5 µ] v sarkopazmě svalového vlákna

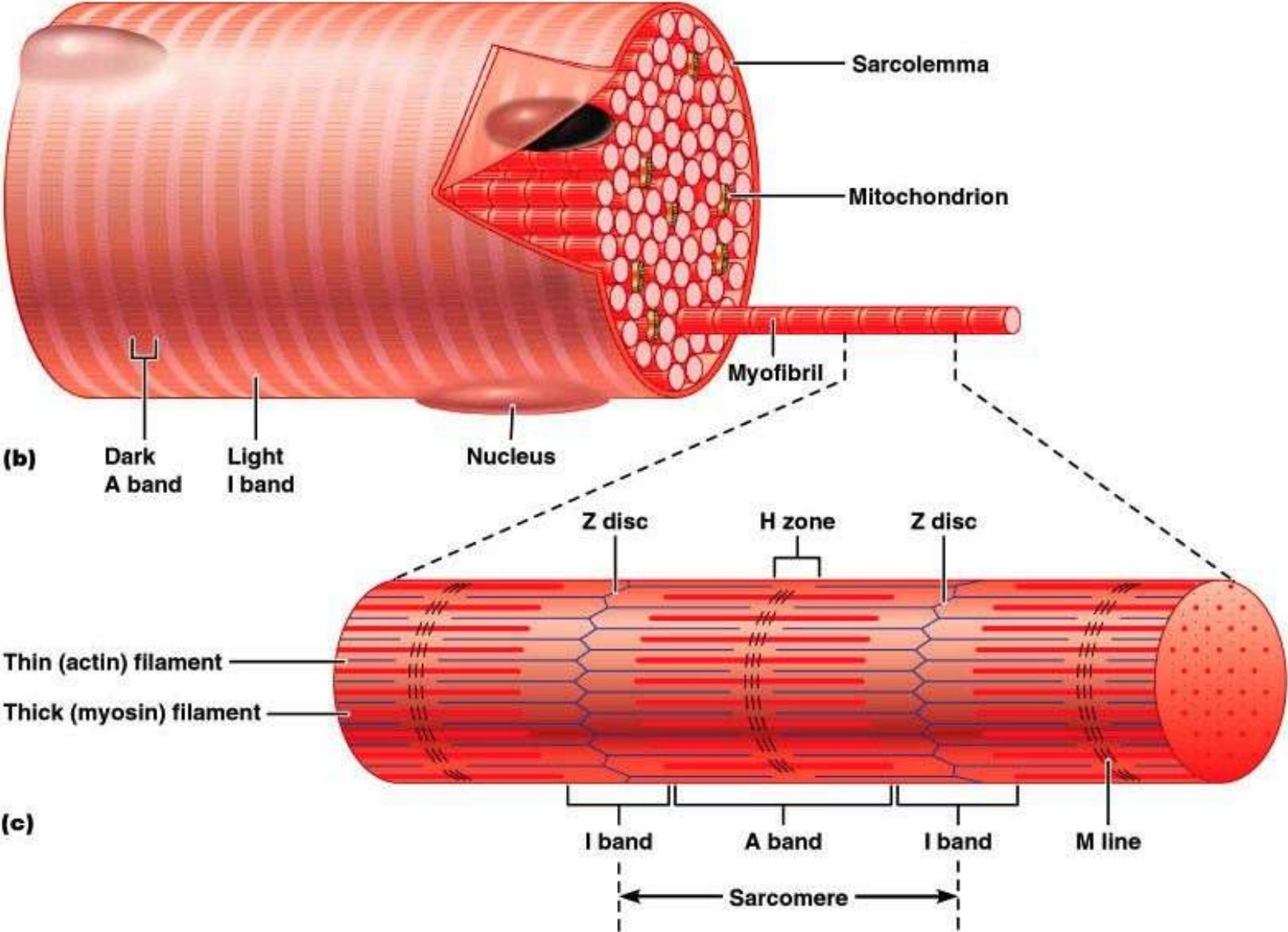


- Aktin + myosin - myofilamenta
- Sarcomera
- Z-linie
- M-linie a H-zóna
- I-proužek, A-proužek

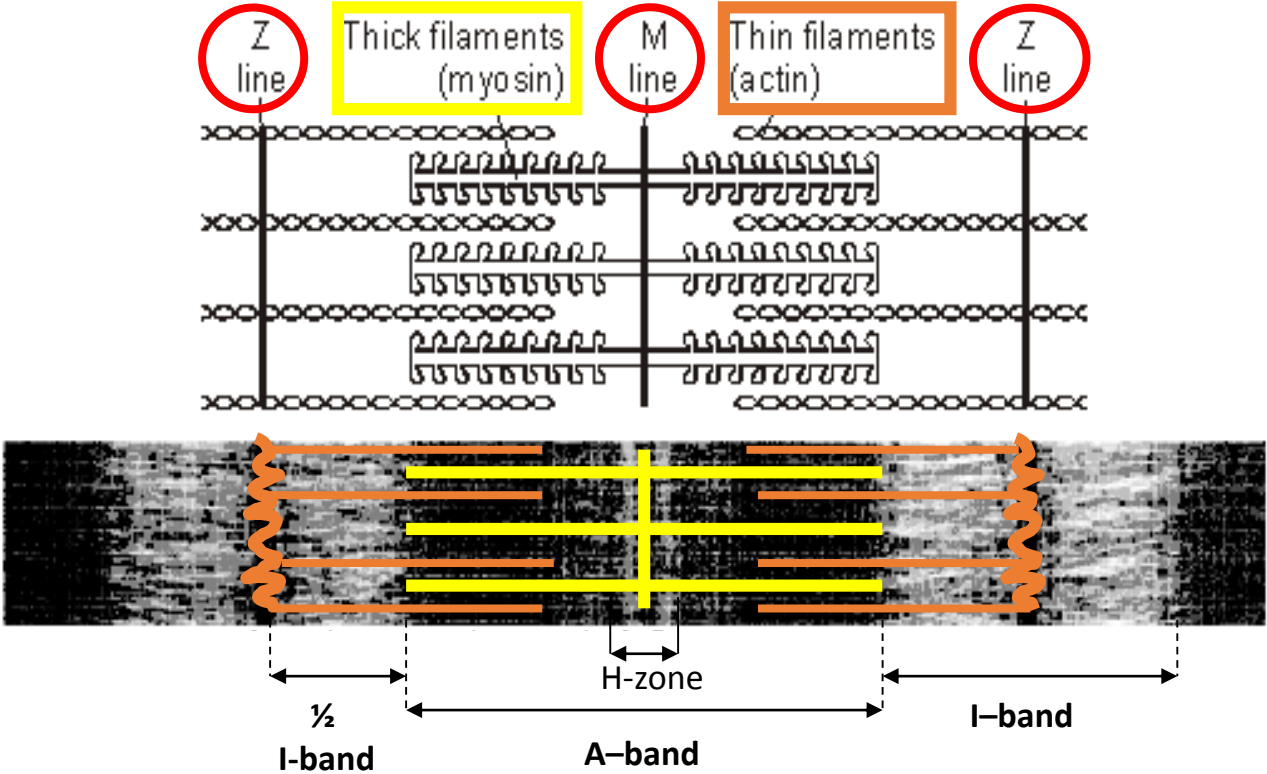




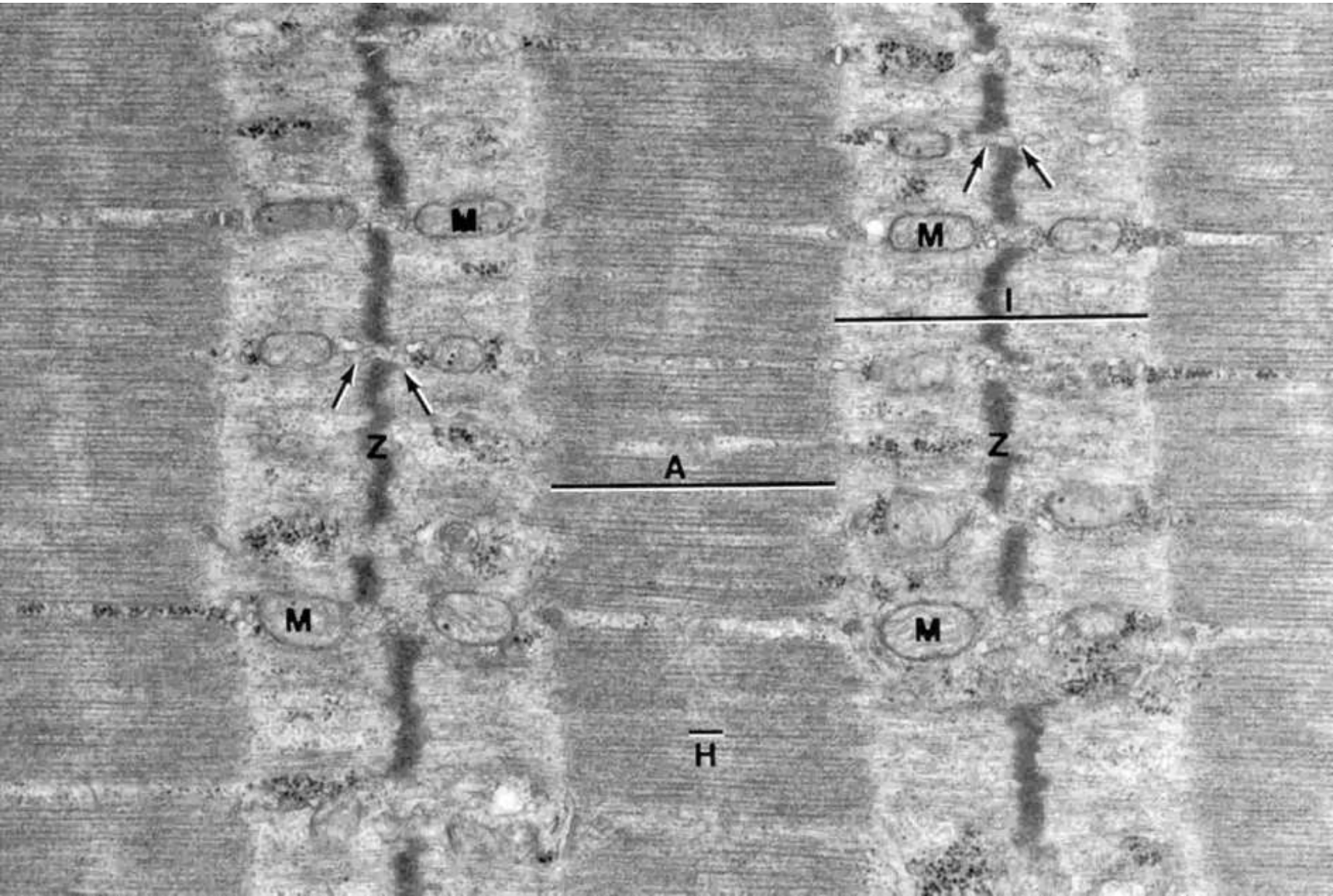
SARKOMERA



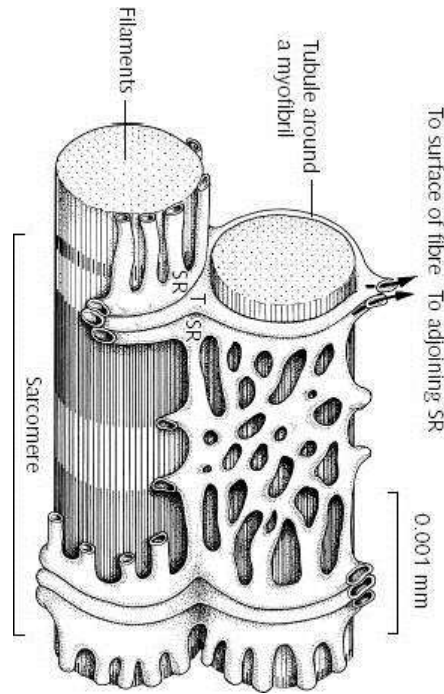
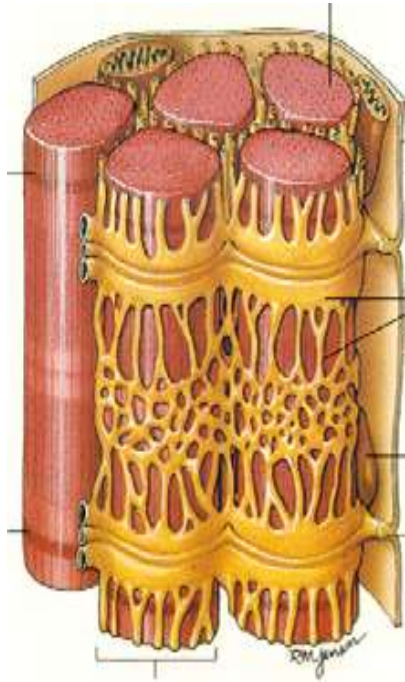
SARKOMERA



SARKOMERA



SARKOPLAZMATICKÉ RETIKULUM

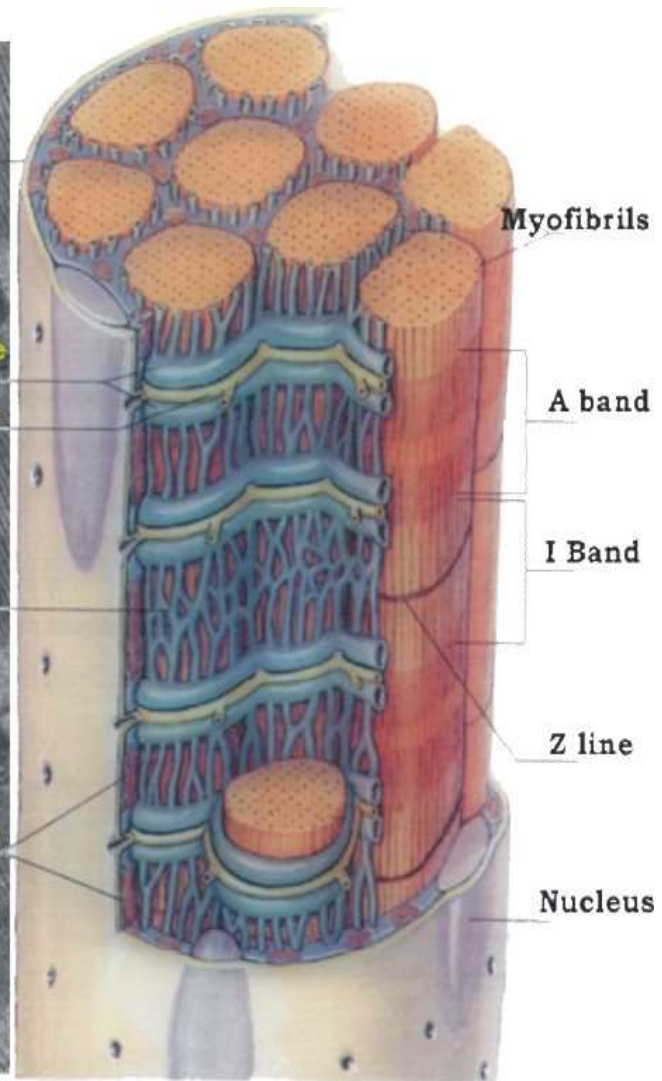
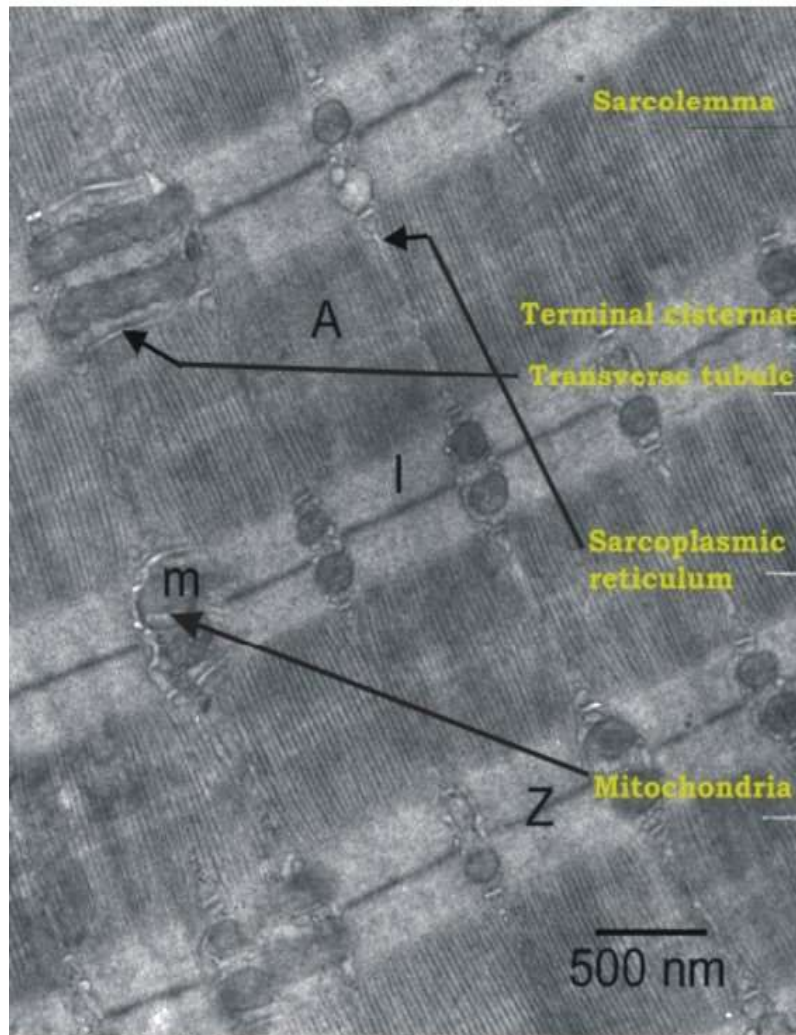


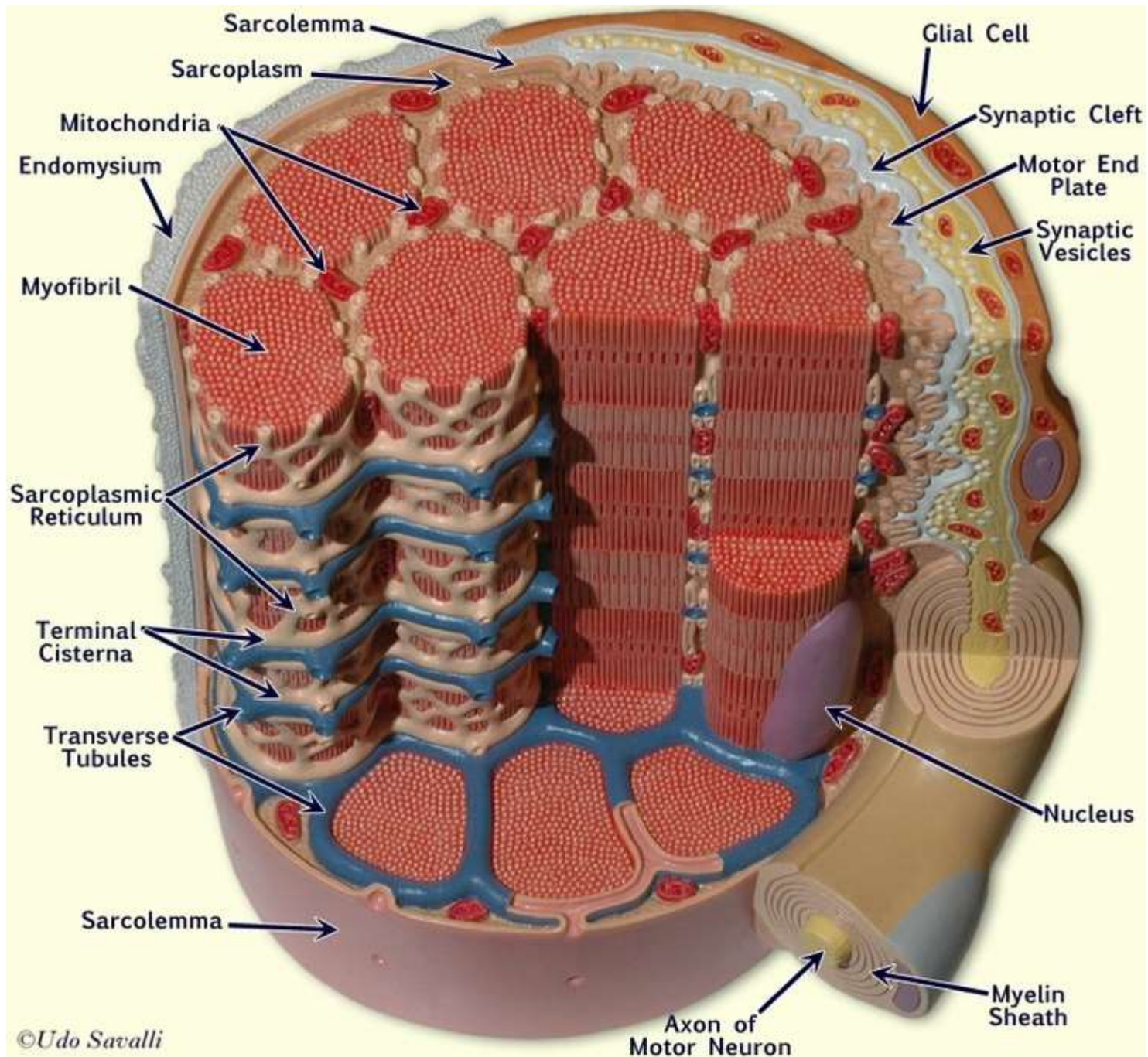
Terminální cisterna
T-tubule
Terminální cisterna

TRIÁDA

- komunikující membránové kompartmenty oddělené od sarkoplazmy
- **terminální cisterny** (“junkce”) a **longitudinální tubuly** (“L” systém).
- **T-tubuly** (“T” systém) invaginace sarkoplazmy

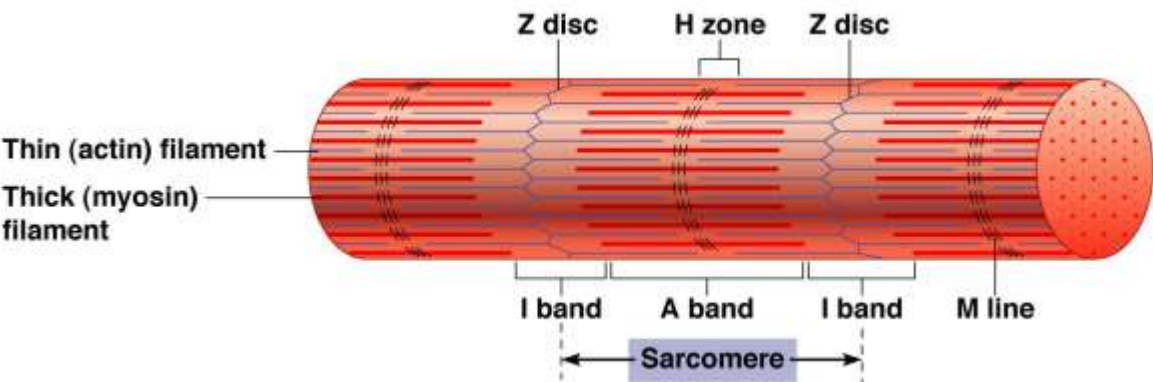
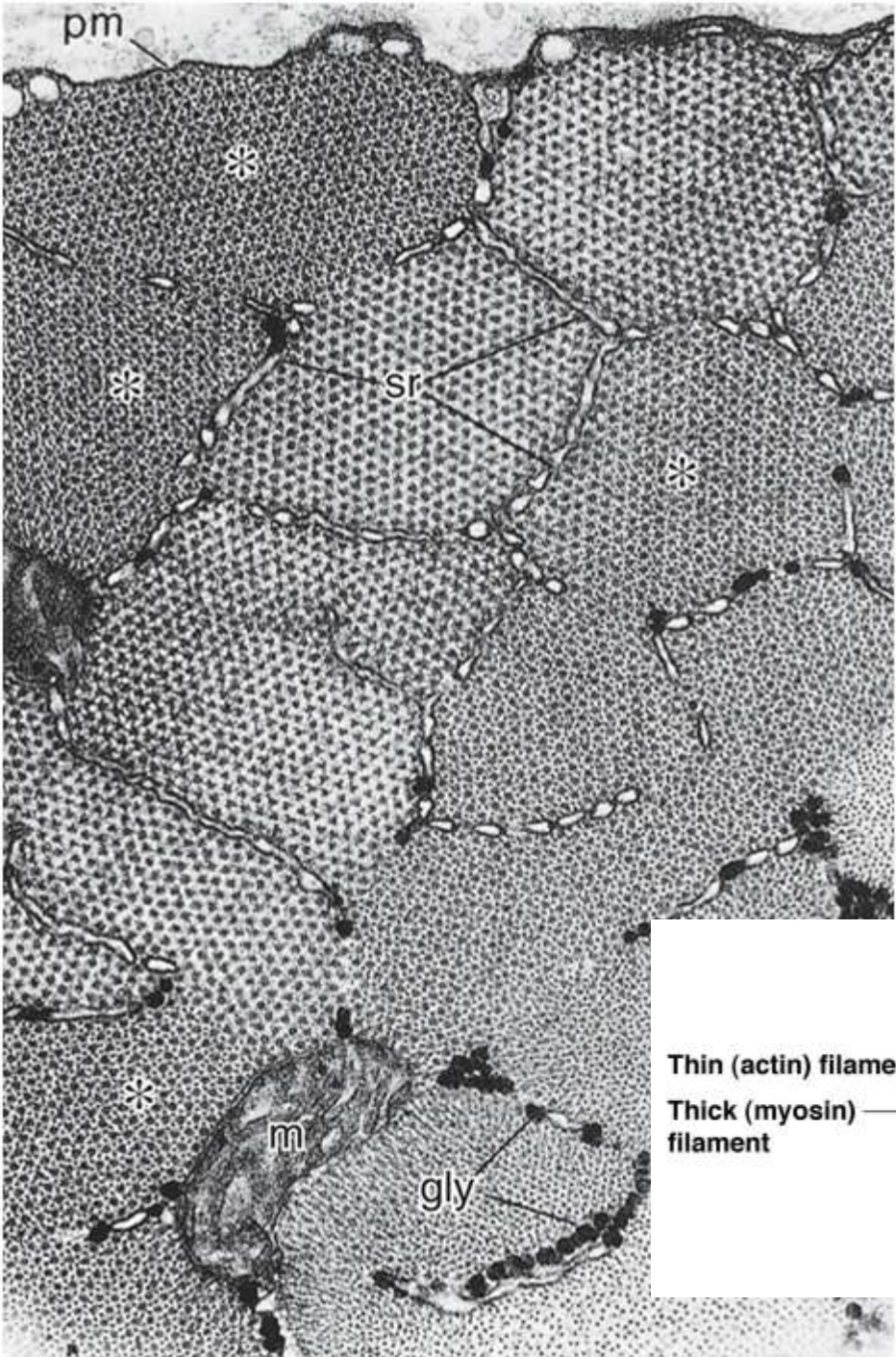
SARKOPLAZMATICKÉ RETIKULUM





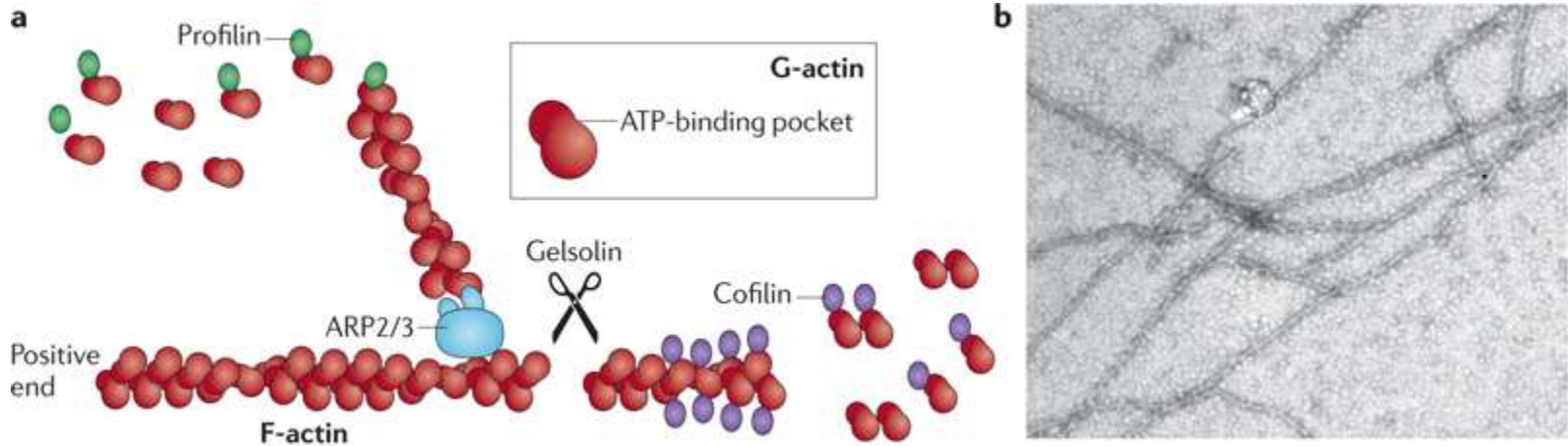


MYOFILAMENTA



TENKÁ MYOFILAMENTA

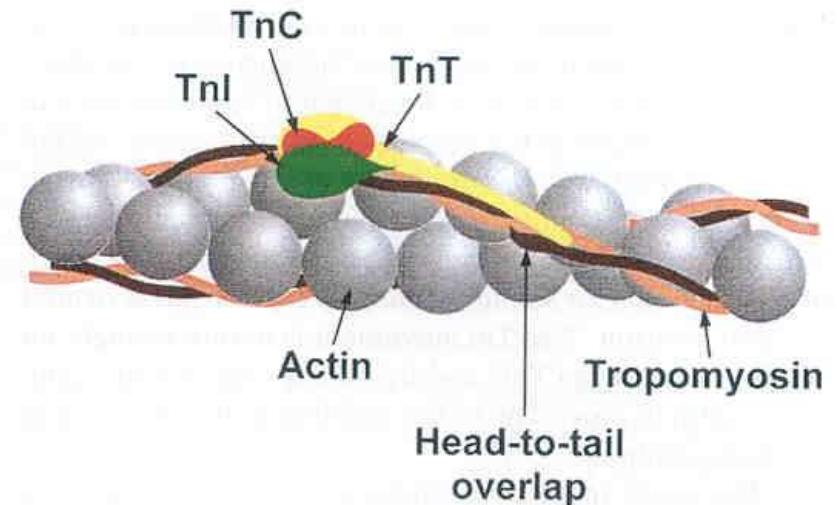
- **Fibrilární aktin (F-actin)**



- **Tropomyosin**

- **Troponin** – komplex 3 globulárních proteinů

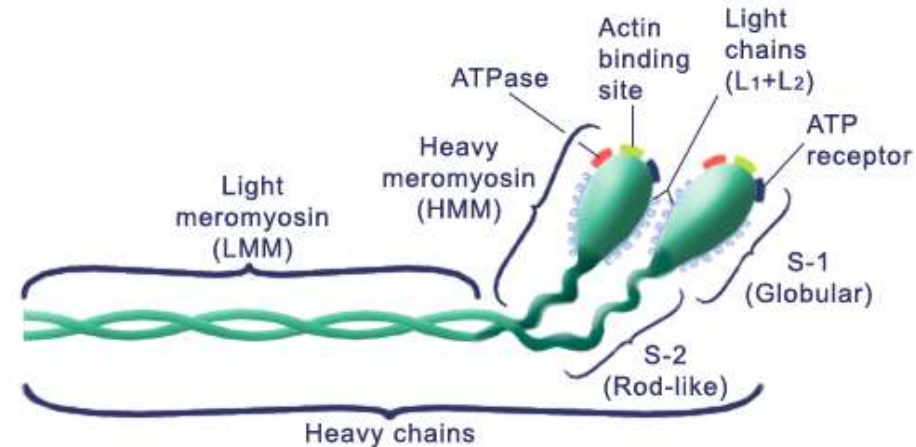
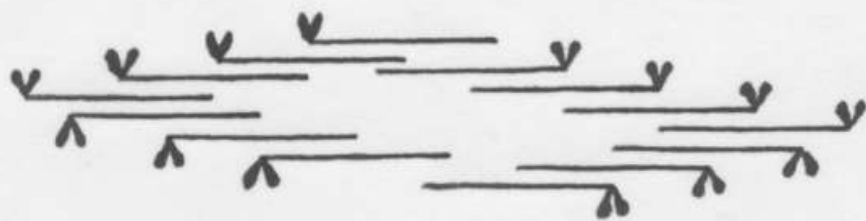
- TnT (Troponin T) – váže tropomyosin
- TnC (Troponin C) – váže kalcium
- TnI (Troponin I) inhibuje interakci mezi tenkými a tlustými myofilamenty



TLUSTÁ MYOFILAMENTA

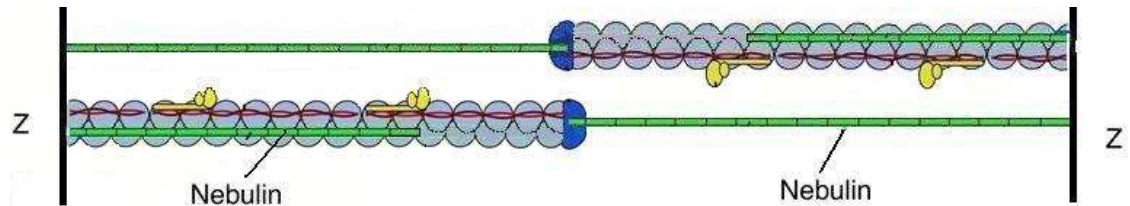
- **Myosin II**

- molekulární motor
- ATPázová aktivita
- tři strukturní a funkční domény



- **Nebulin**

- 600-900kDa
- stabilizace F-aktinu

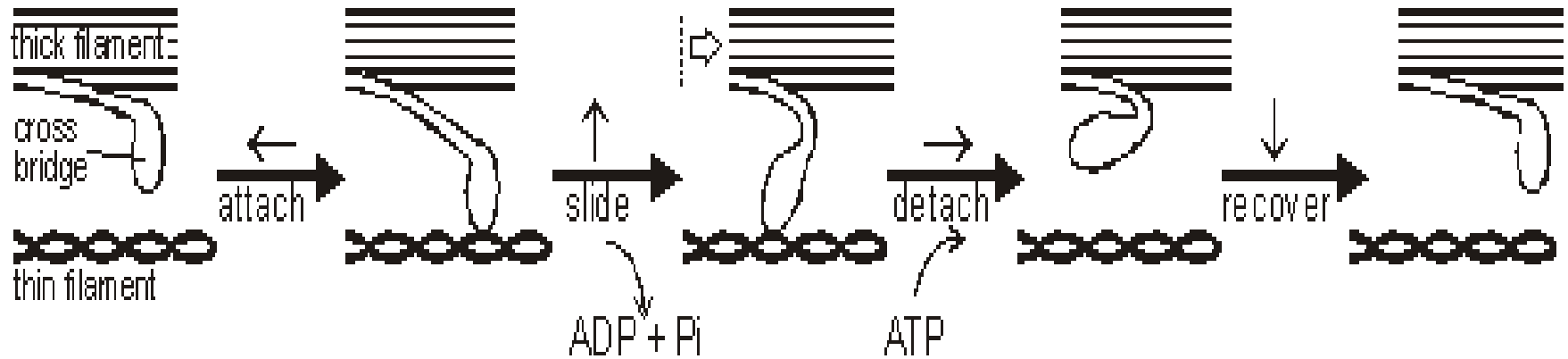


- **Titin**

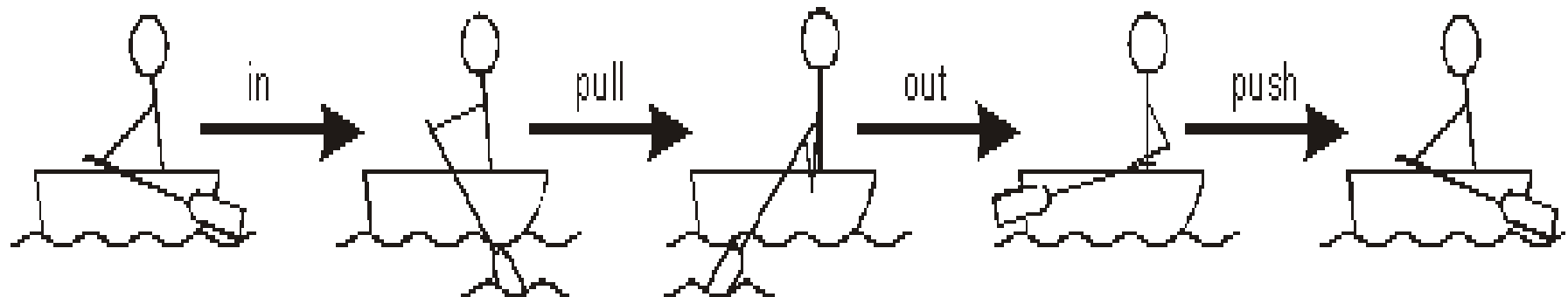
- >MDa
- stabilizace myosinu

MECHANISMUS KONTRAKCE

The Cross Bridge Cycle. (only one myosin head is shown for clarity)

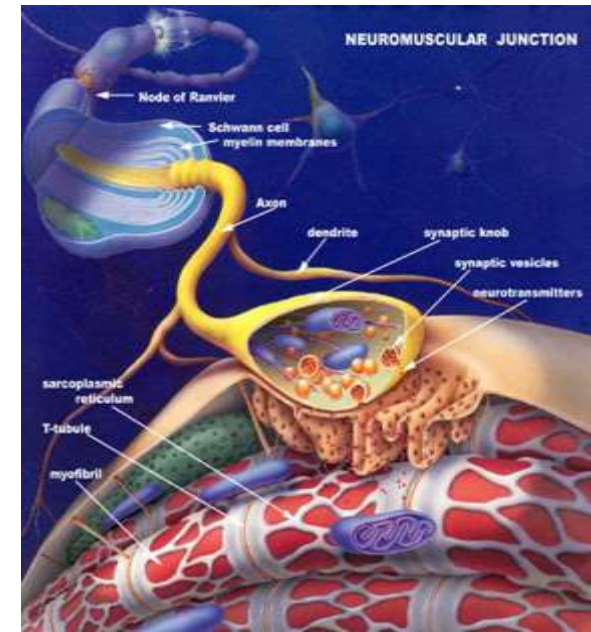


The Rowing Cycle



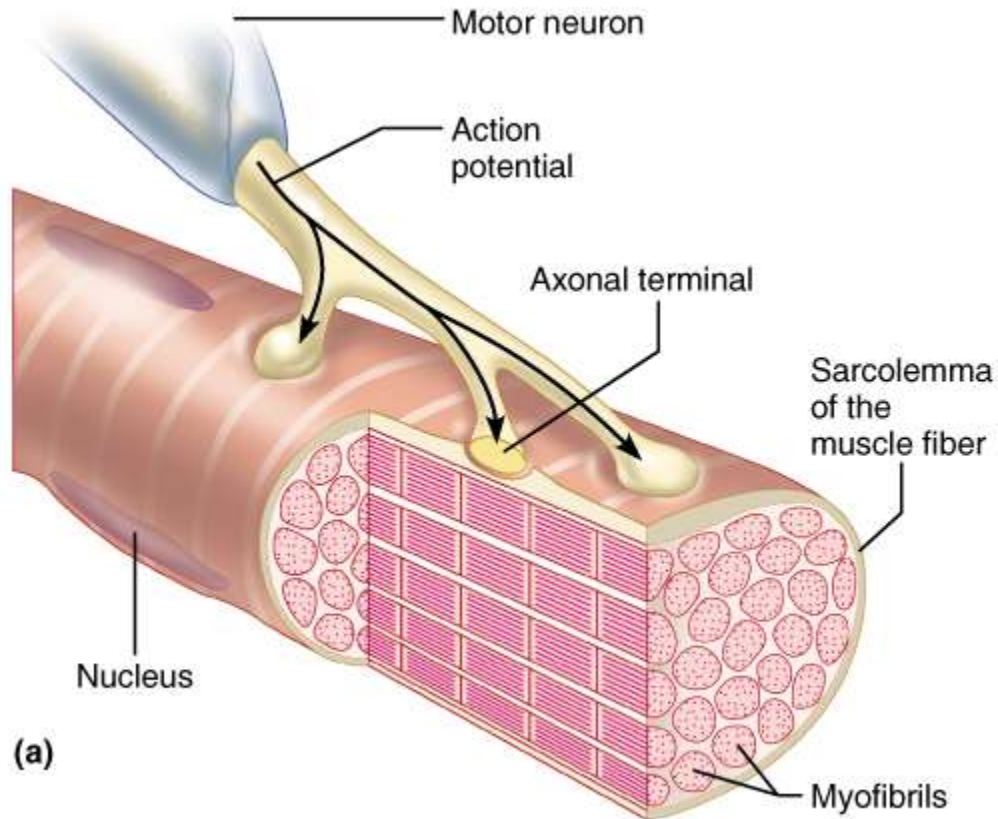
Mechanismus kontrakce

1. Impuls podél axonu motorneuronu
2. Depolarizace presynaptické membrány (Na^+ influx)
3. Synaptické vezikuly splývají s presynaptickou membránou
4. Acetylcholin uvolněný do synaptické štěrbině
5. Acetylcholin difunduje k postsynaptické membráně a váže se na receptory
6. Depolarizace postsynaptické membrány a sarkolemy (Na^+ influx)
7. Depolarizace T-tubulů a terminálních cisteren sER
8. Konečná depolarizace membrány sER
9. Uvolnění Ca^{2+} z sER do sarkoplazmy
10. Ca^{2+} se váže na TnC
11. Troponinový komplex mění konformaci
12. Tropomyosin uvolňuje vazebná místa aktin-myosin
13. Globulární části myosinu se vážou na aktin
14. ATPasa globulárních částí myosinu se aktivuje a generuje energii z $\text{ATP} \rightarrow \text{ADP} + \text{P}_i$
15. ADP a P_i se uvolňují, globulární části myosinu posouvají aktinová myofilamenta k centru sarkomery
16. Sarkomera se kontrahuje (I-proužek a H-zóna se zkracují)
17. Myofibrily se kontrahují
18. Svalová vlákna se kontrahují

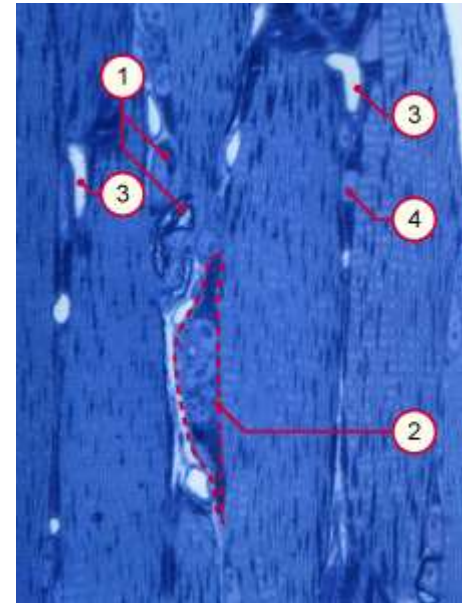


http://highered.mheducation.com/sites/0072495855/student_view0/chapter10/animation_breakdown_of_atp_and_cross-bridge_movement_during_muscle_contraction.html

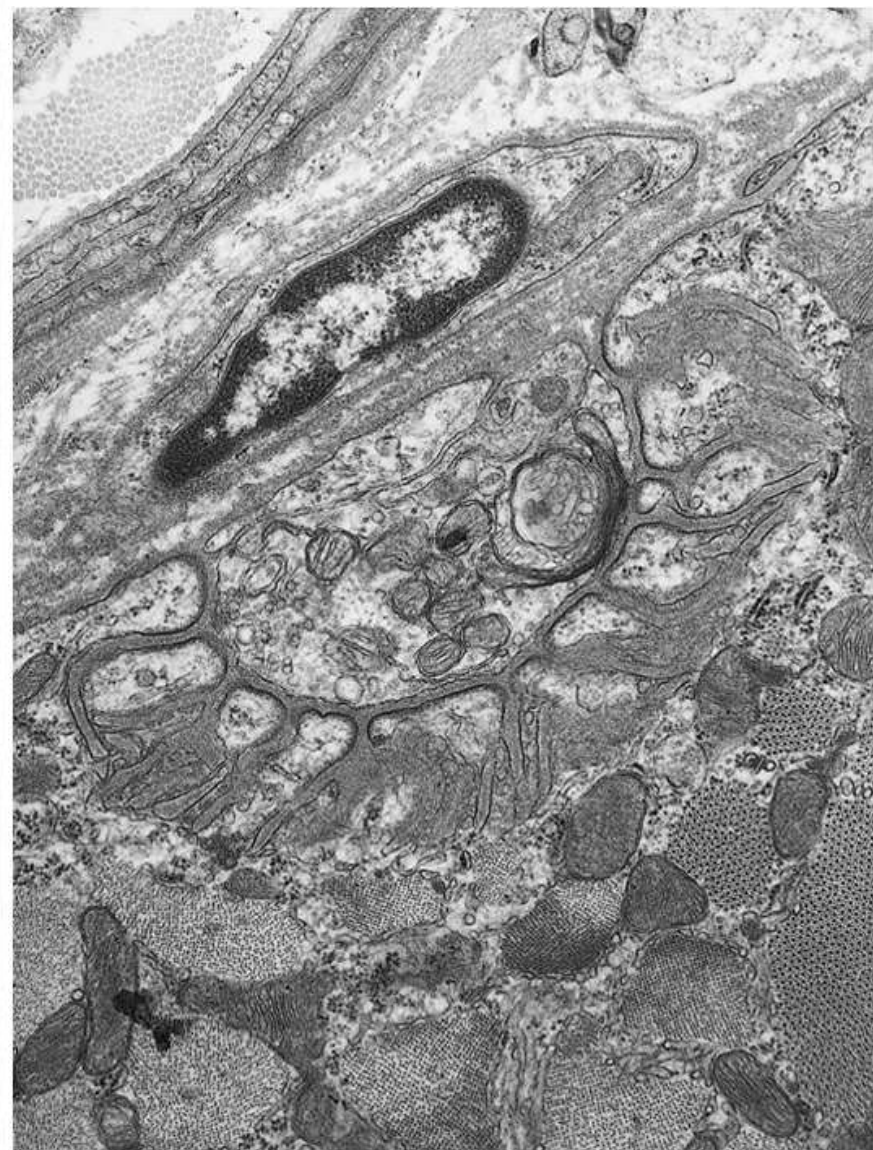
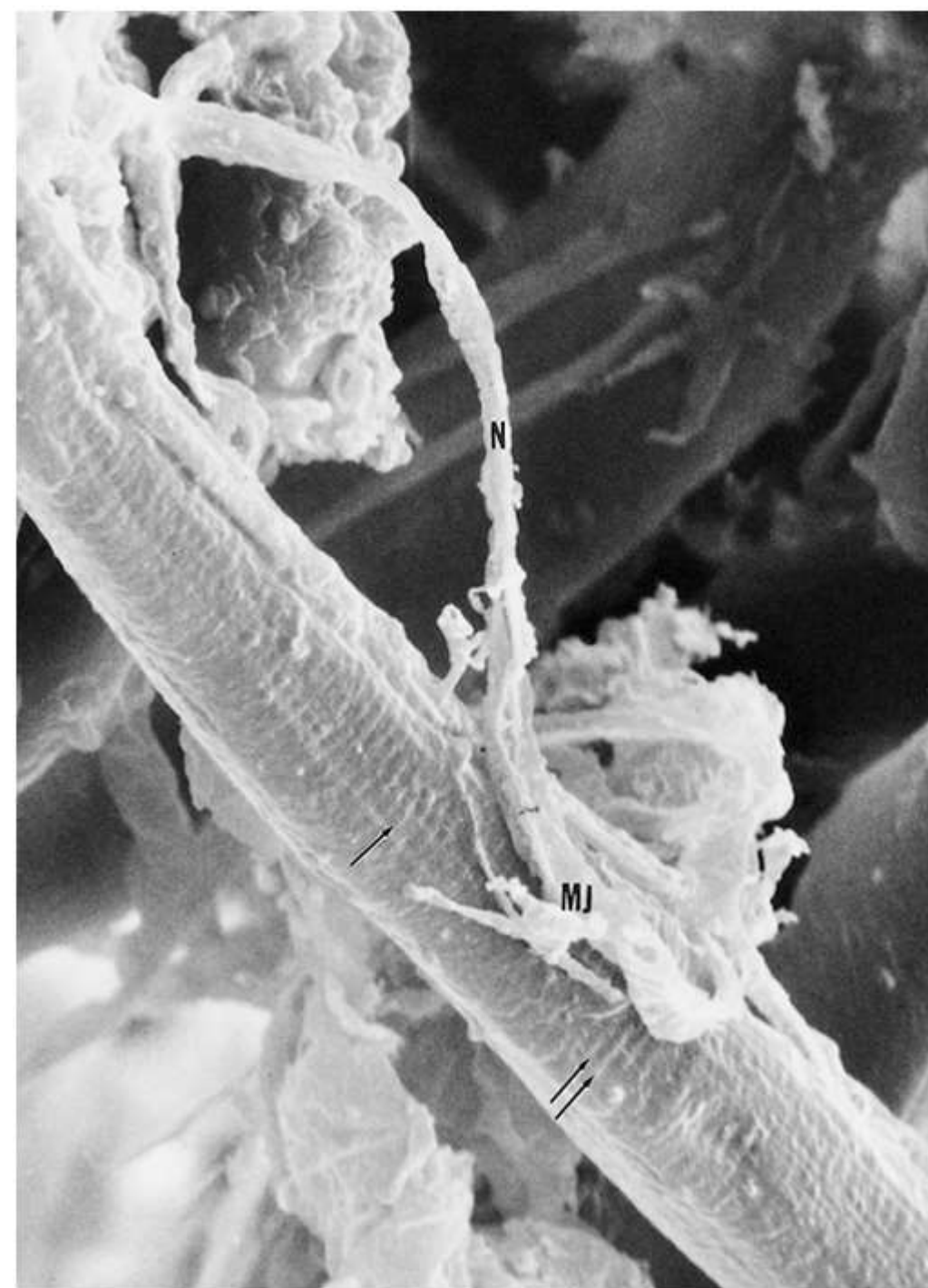
NEUROMUSKULÁRNÍ SPOJENÍ

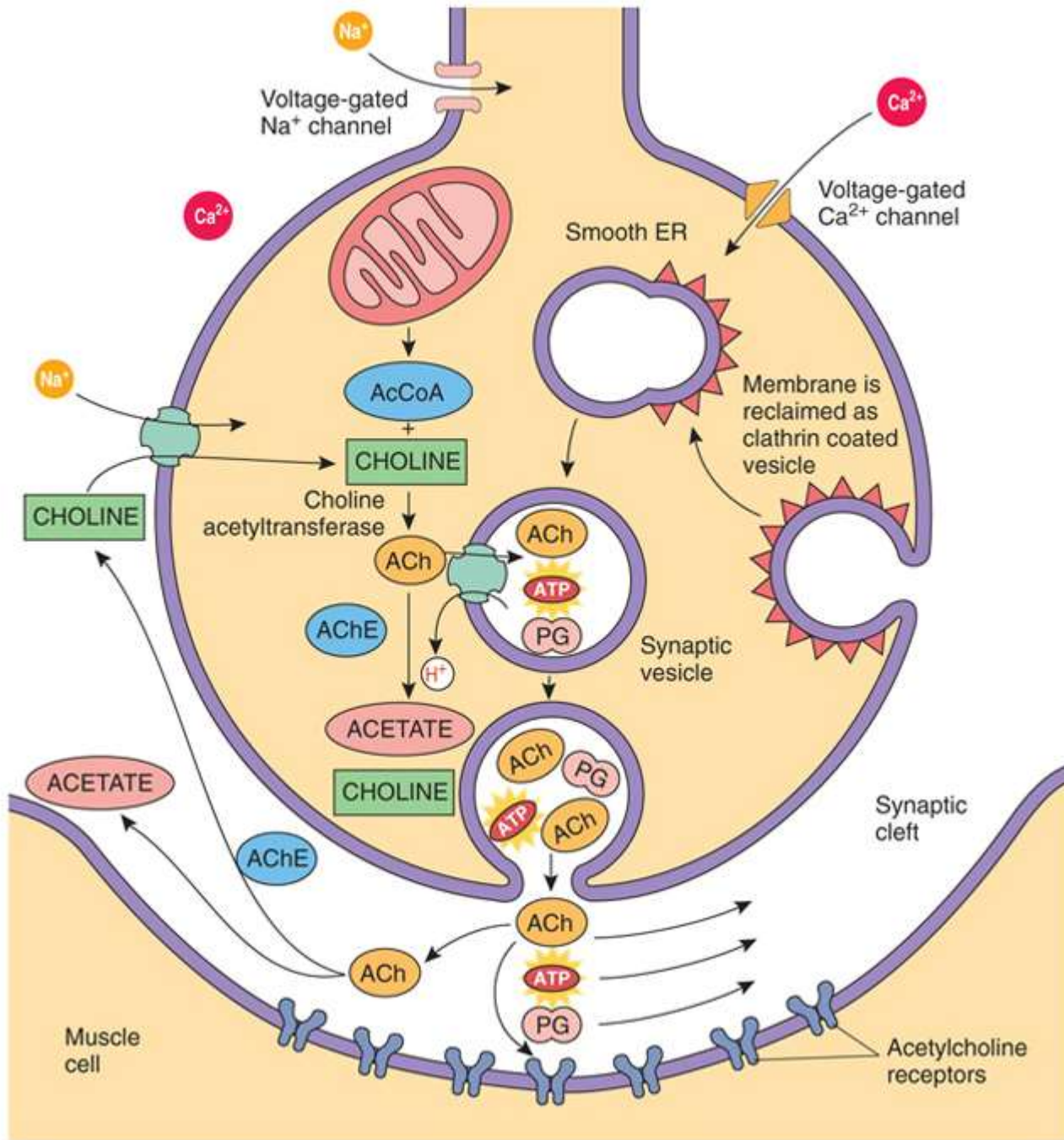


Copyright © 2001 Benjamin Cummings, an imprint of Addison Wesley Longman, Inc.

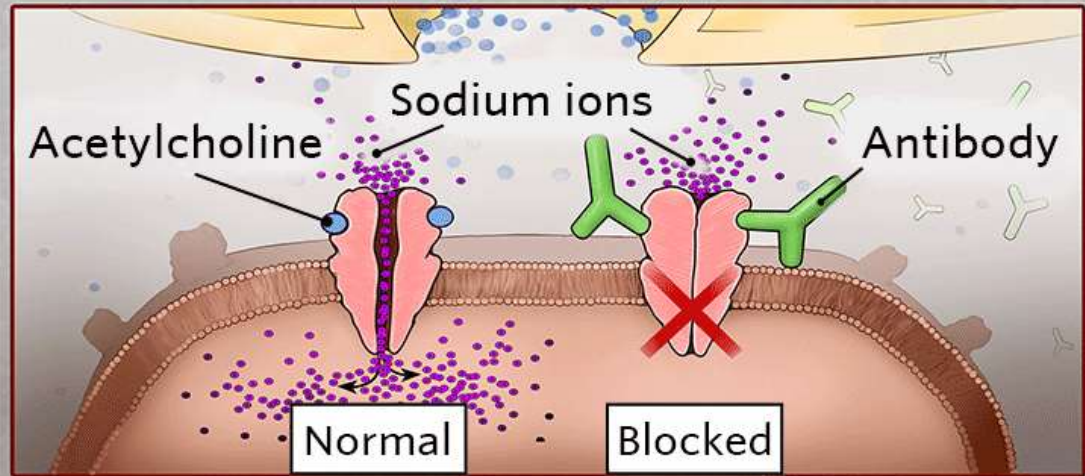
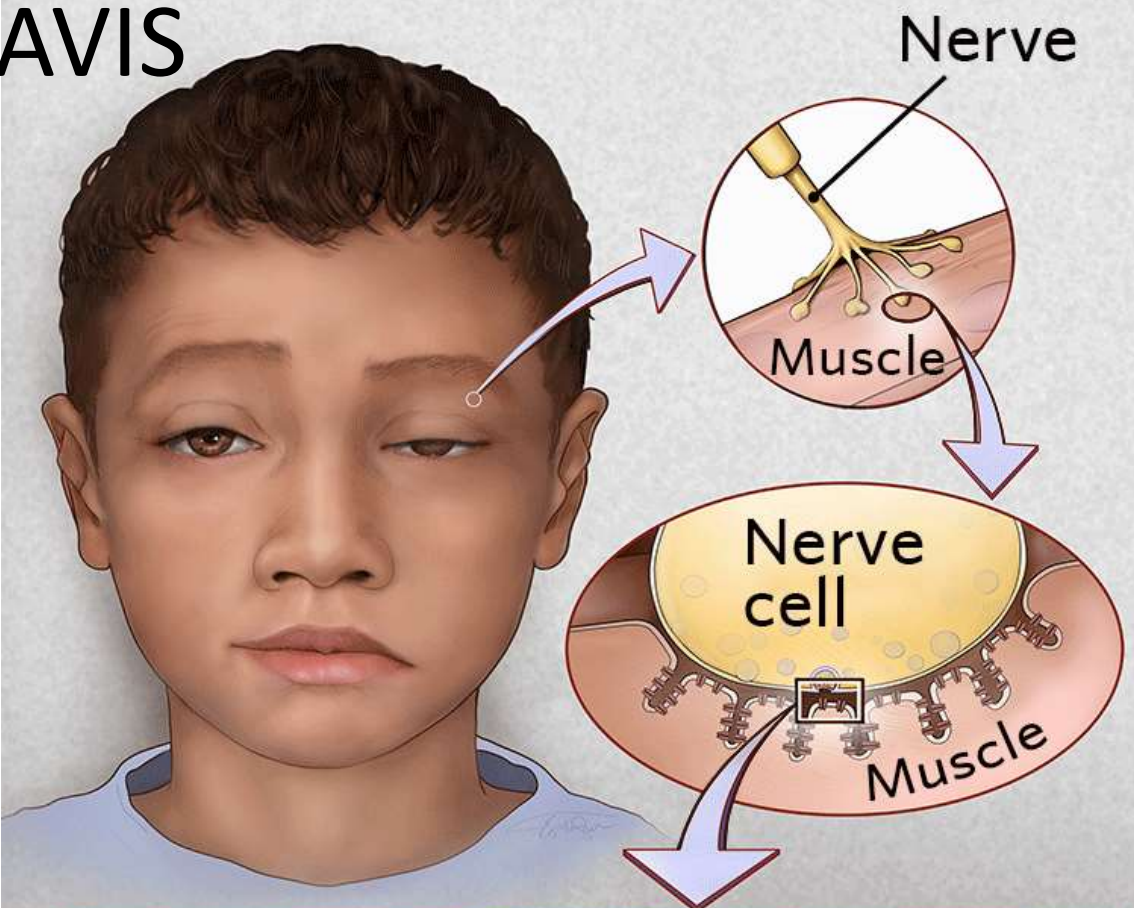


- 1 Myelinované axony
- 2 Neuromuskulární spojení
- 3 Kapiláry
- 4 Jádro rhabdomyocytu



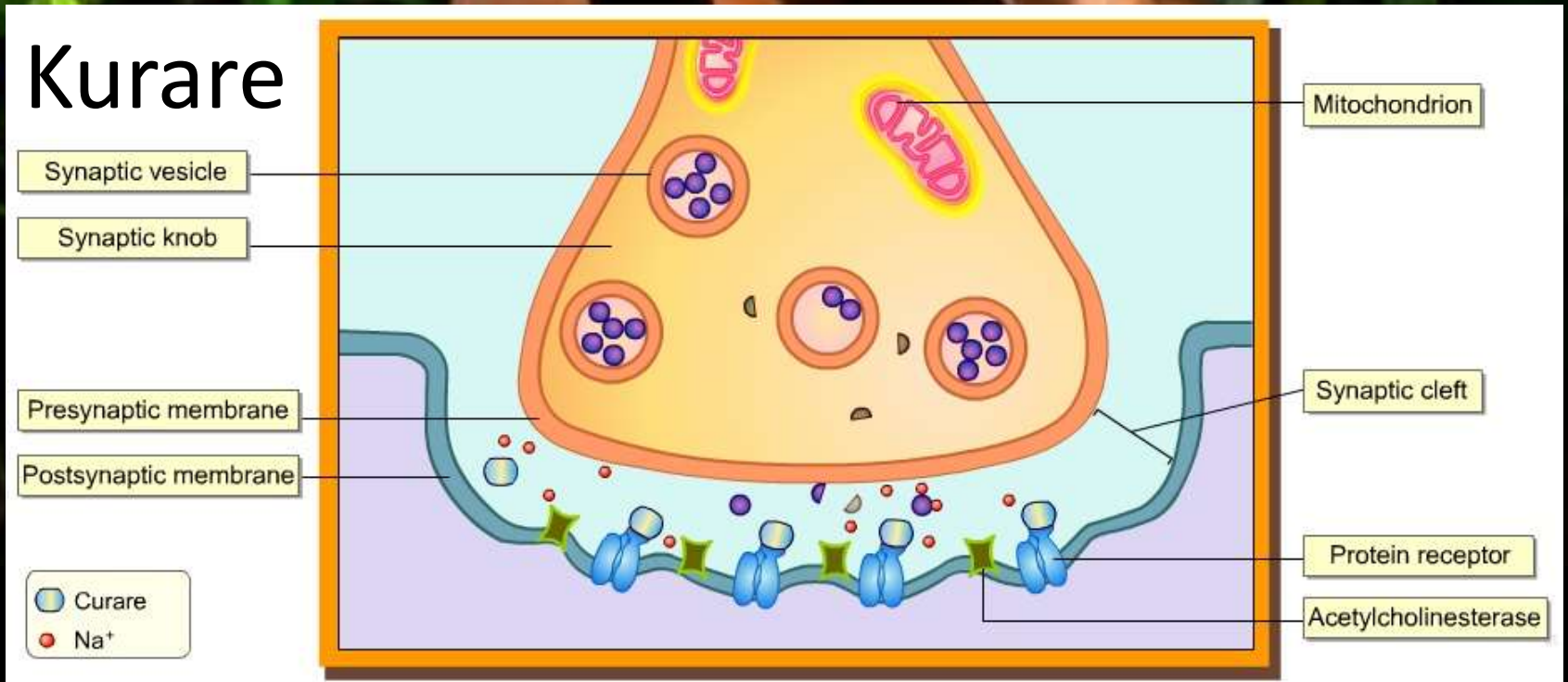


MYASTHENIA GRAVIS



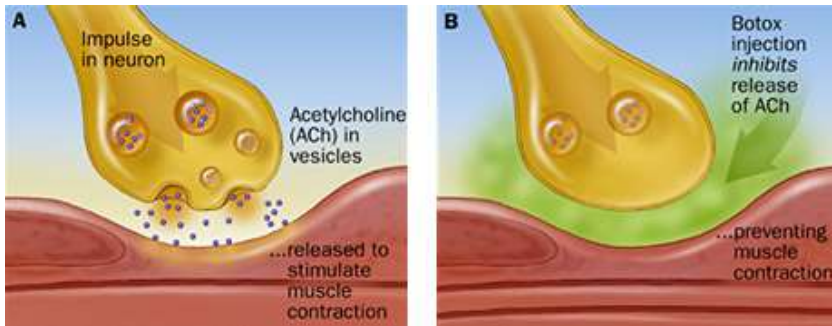
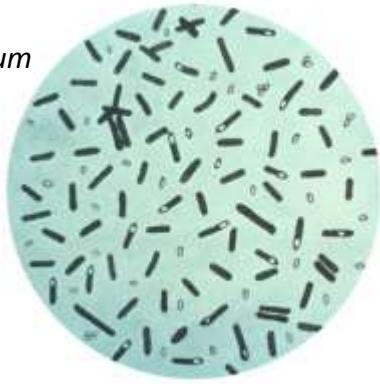


Kurare



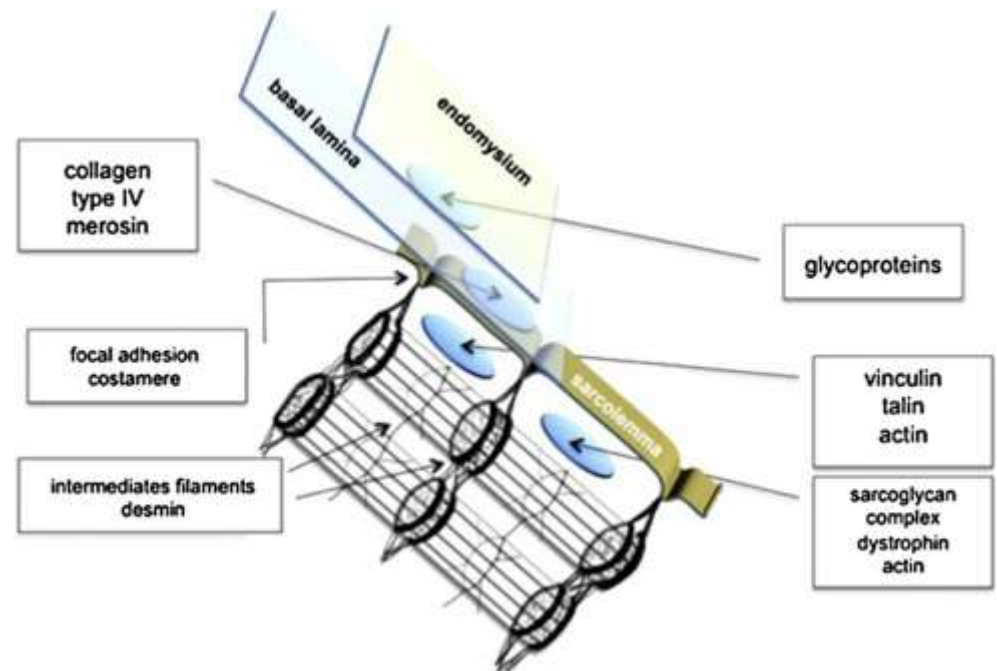
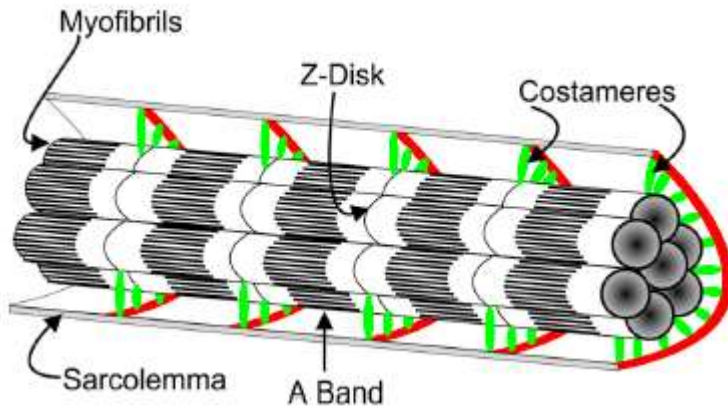
Botulotoxin

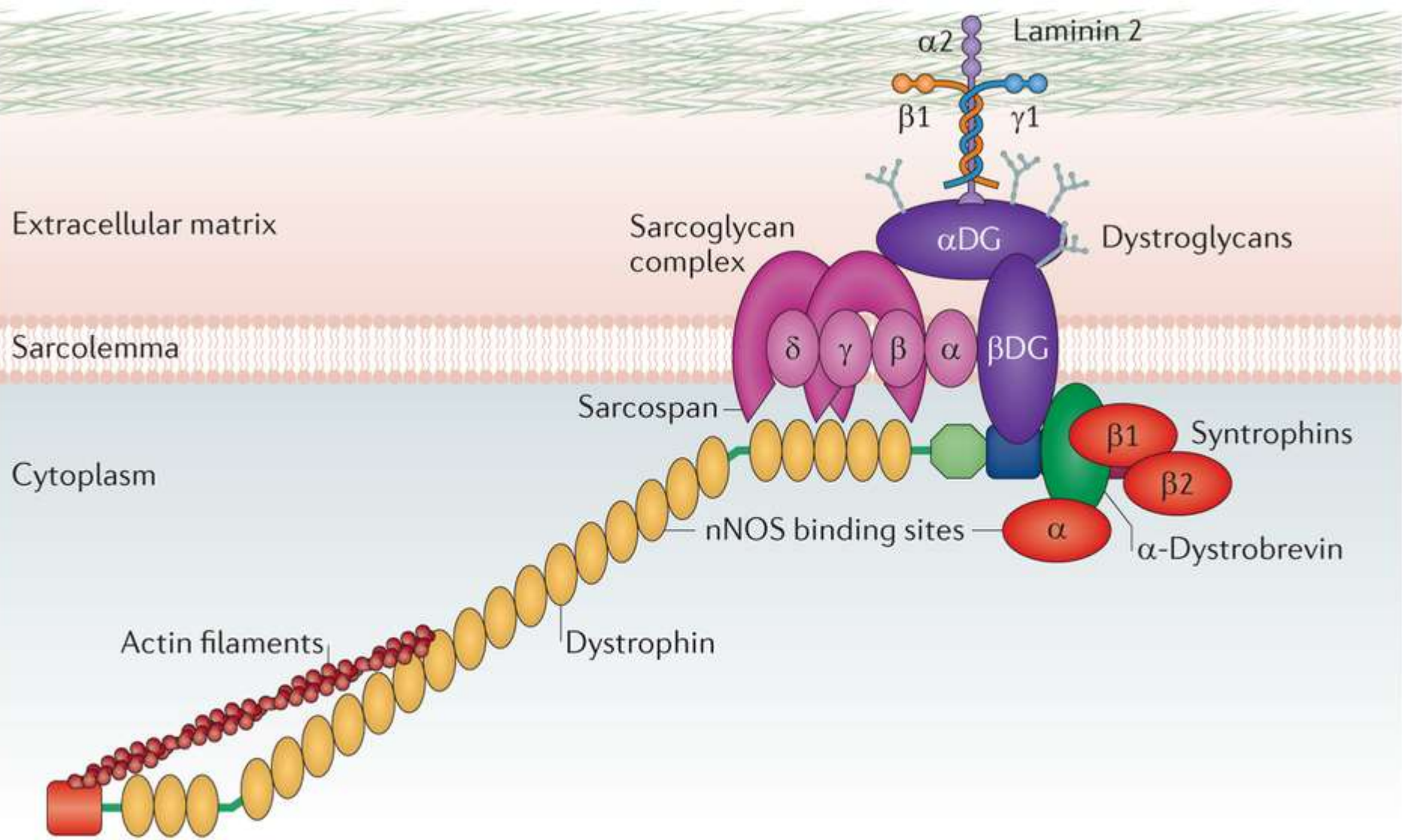
Clostridium botulinum



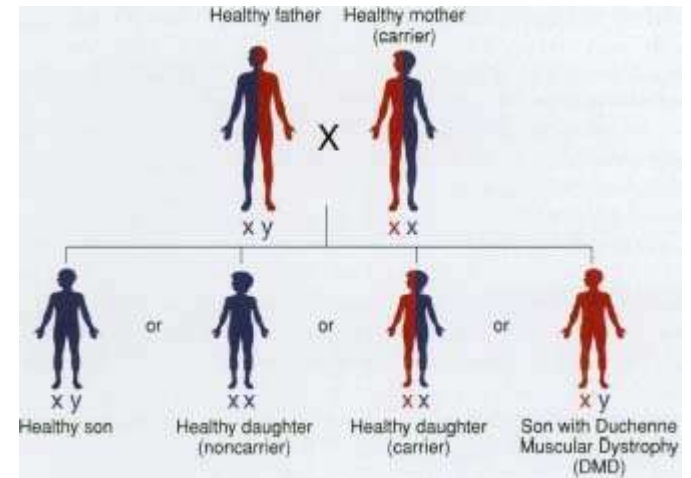
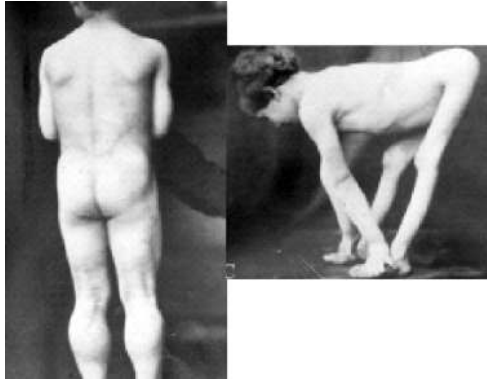
KOSTAMERY

- Spojení myofibril se sarkolemou
- **dystrophin-associated glycoprotein (DAG) complex**
 - spojení cytokeletu s ECM
 - integrita svalového vlákna

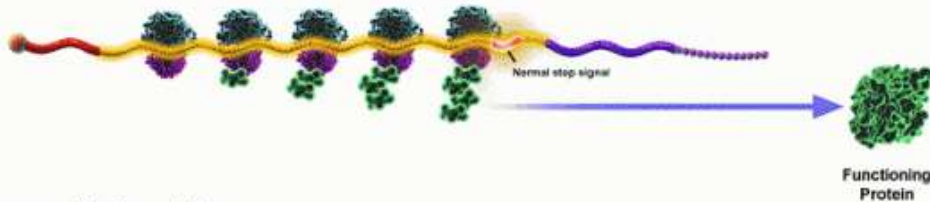




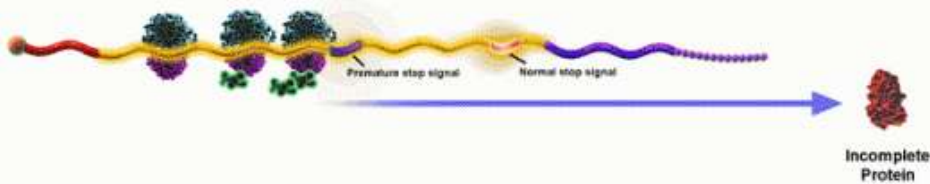
DUCHENNEOVA MUSKULÁRNÍ DYSTROFIE



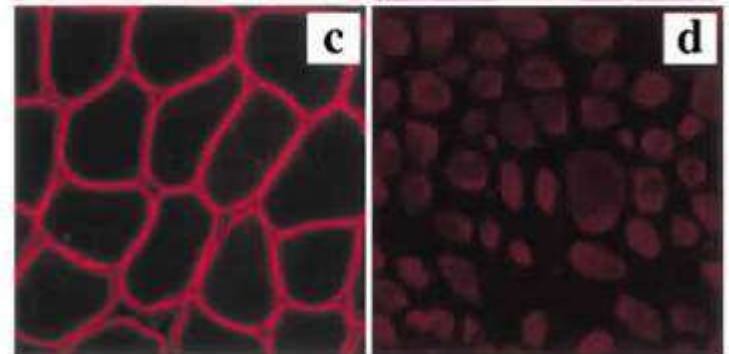
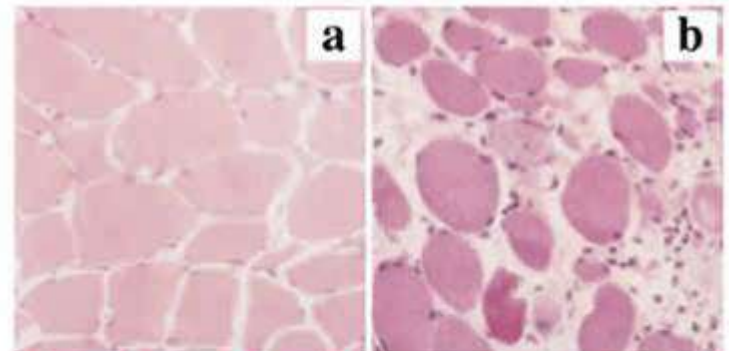
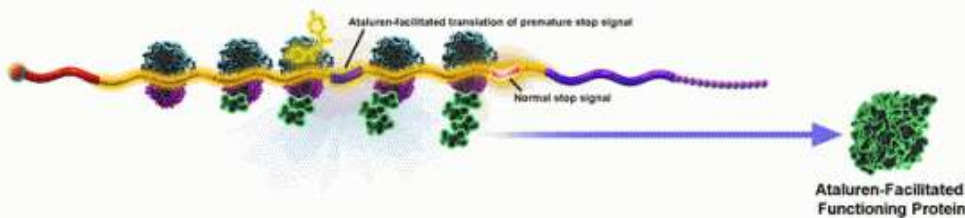
Normal Translation



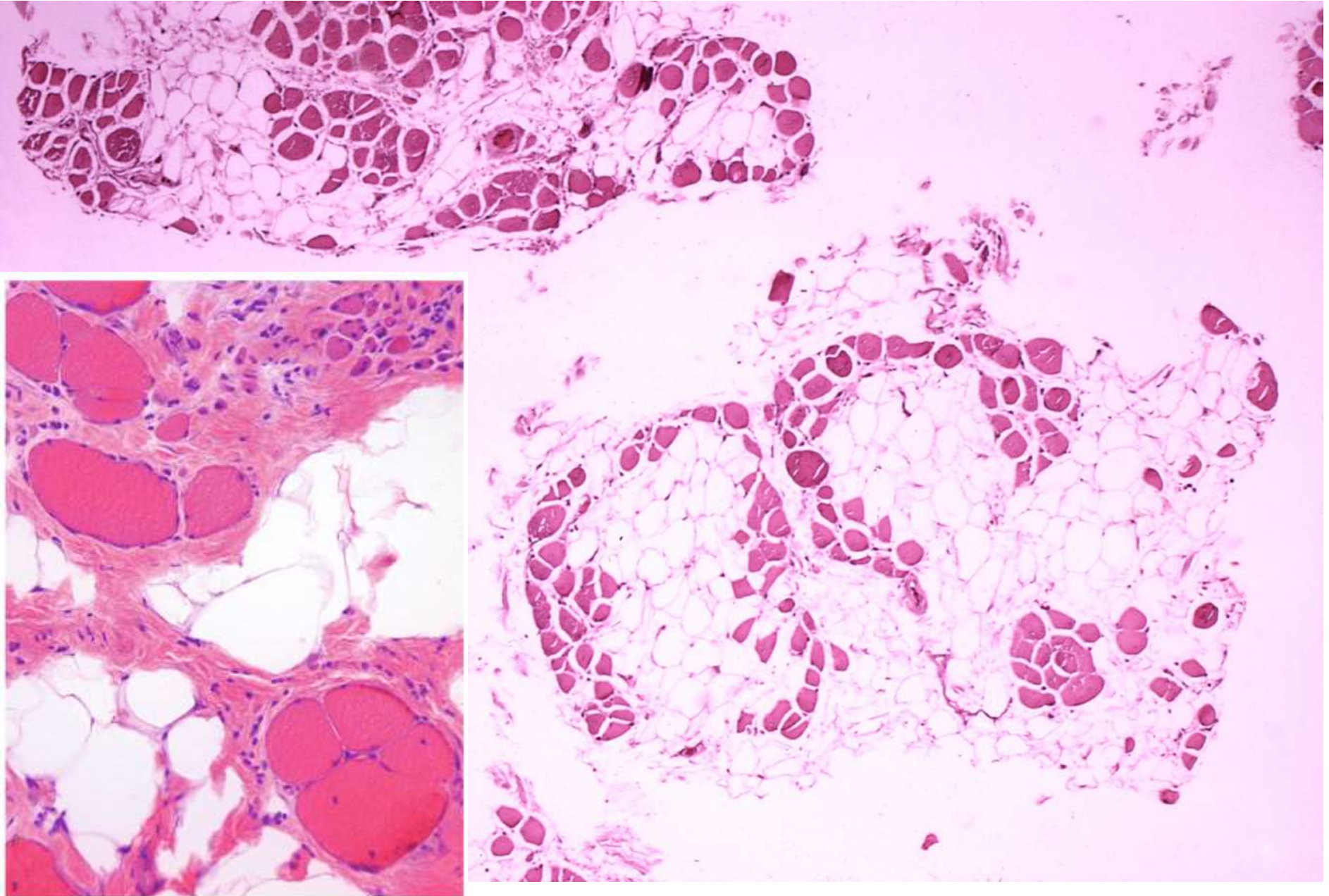
Incomplete Translation



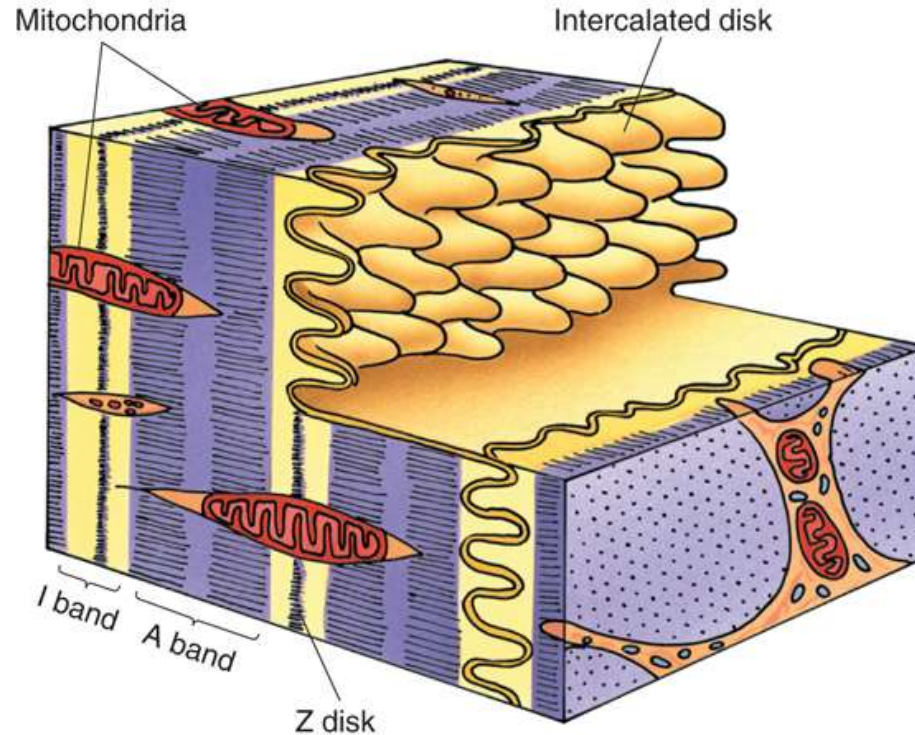
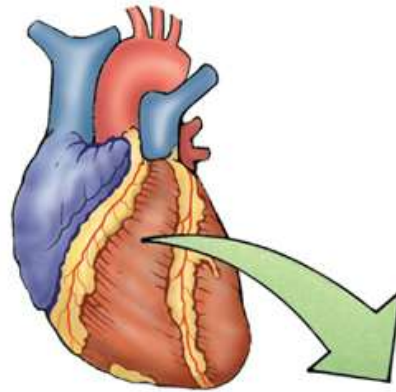
Ataluren-Facilitated Translation



DUCHENNEOVA MUSKULÁRNÍ DYSTROFIE

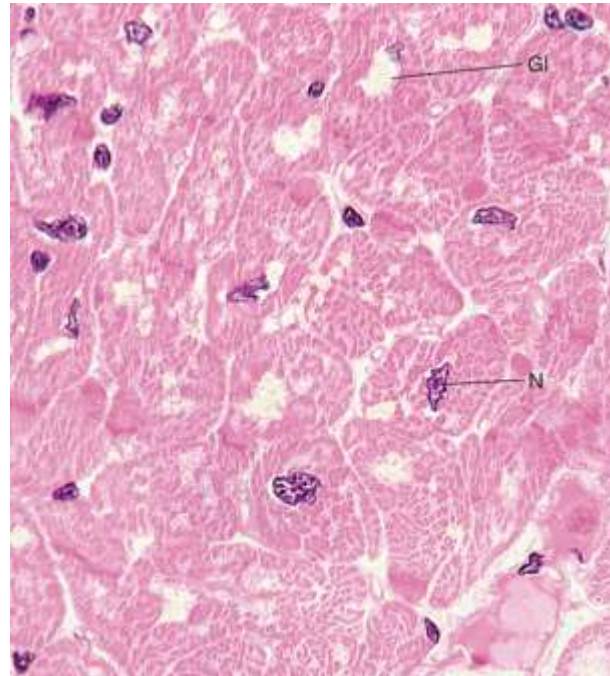
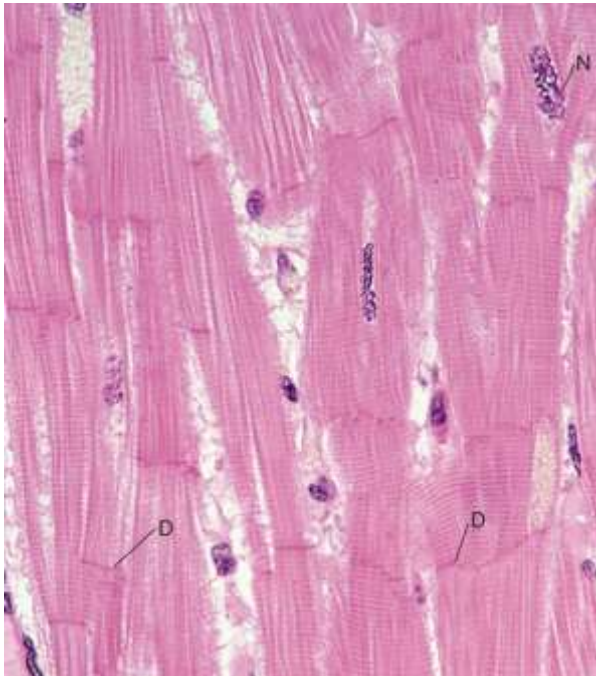


HISTOLOGIE SRDEČNÍ SVALOVÉ TKÁŇE



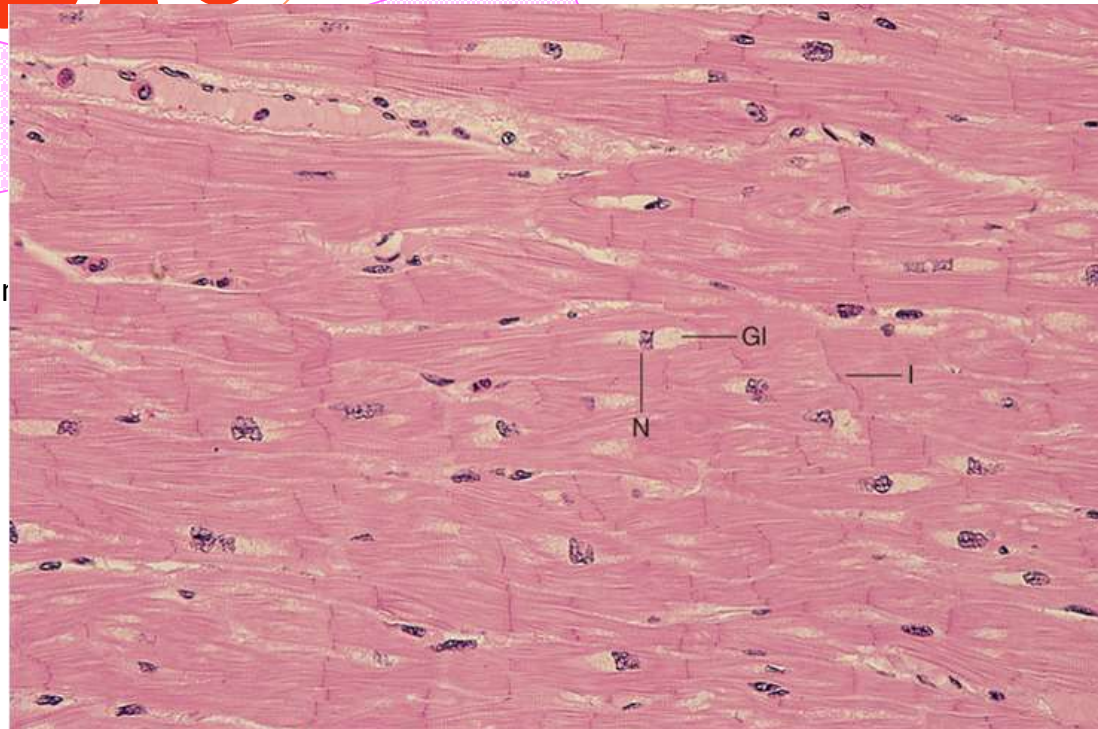
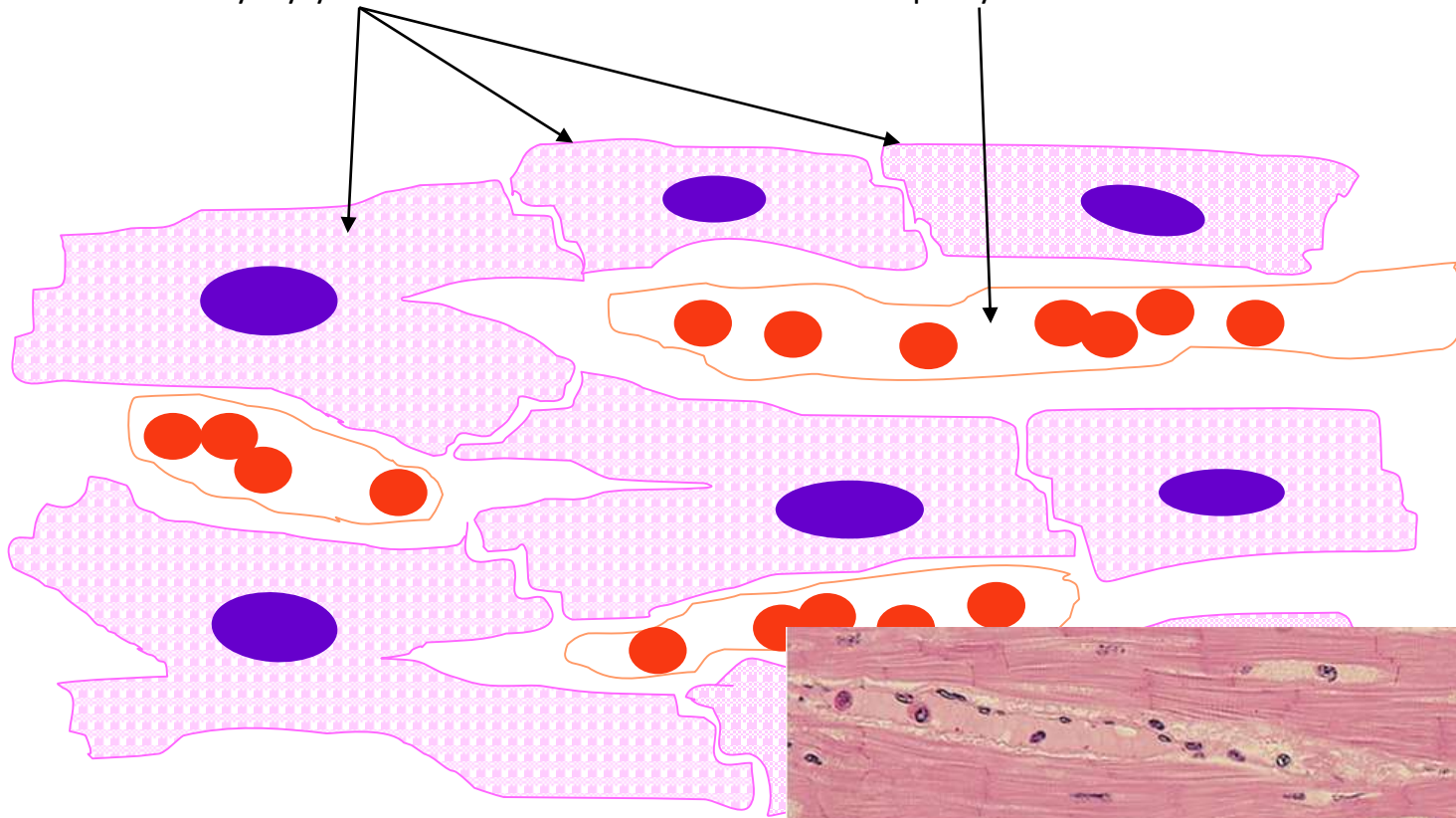
HISTOLOGIE SRDEČNÍ SVALOVÉ TKÁŇE

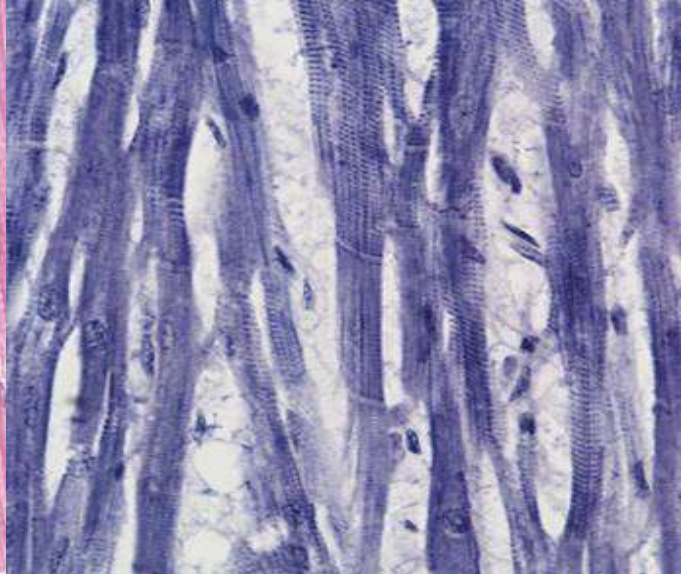
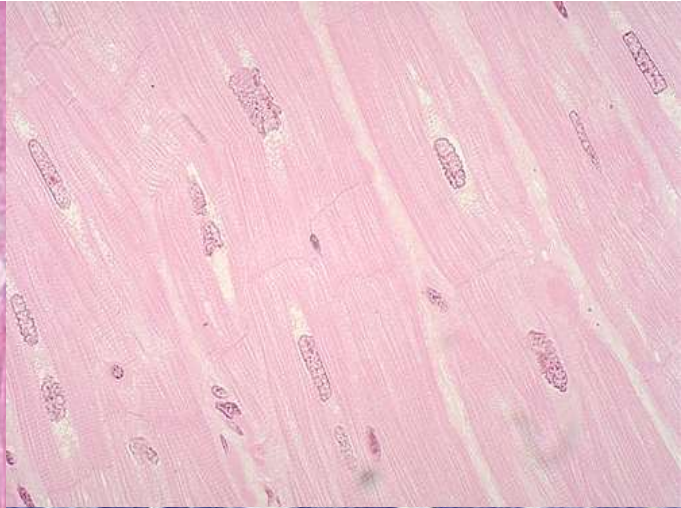
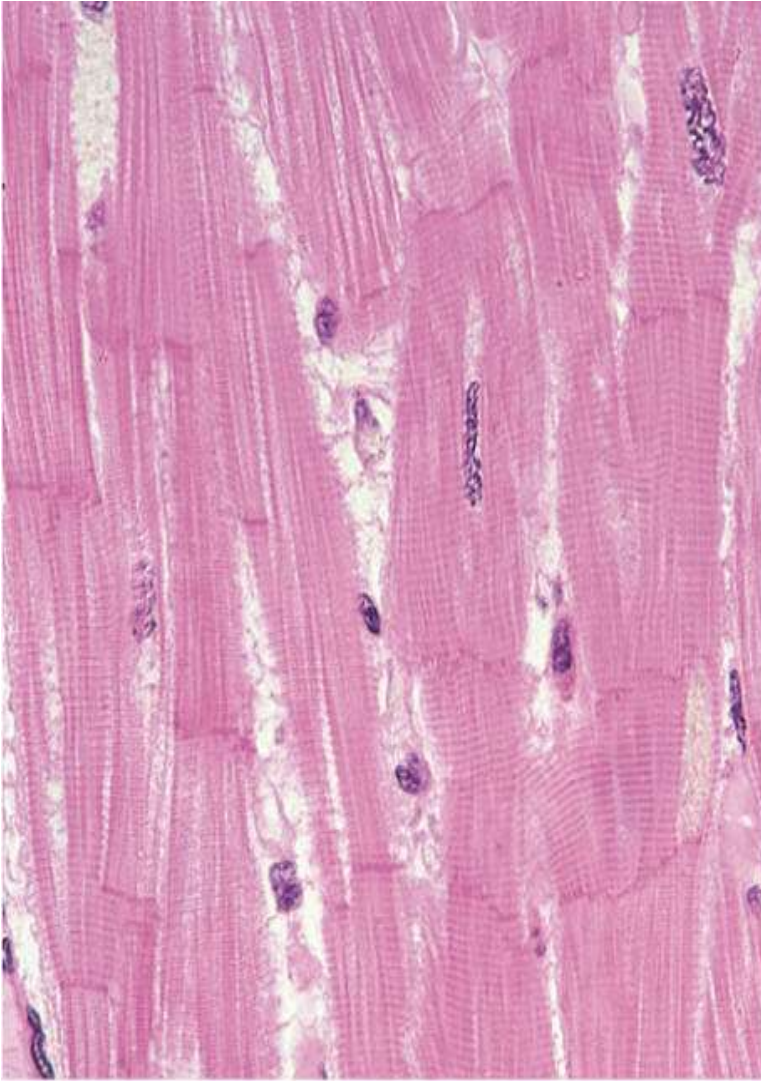
- dlouhé, protáhlé buňky – kardiomyocyty
- větvení do tvaru X, Y
- jednojaderné, výjimečně dvoujaderné, početné mitochondrie
- myofibrily
- složité mezibuněčné spoje – interkalární disky.

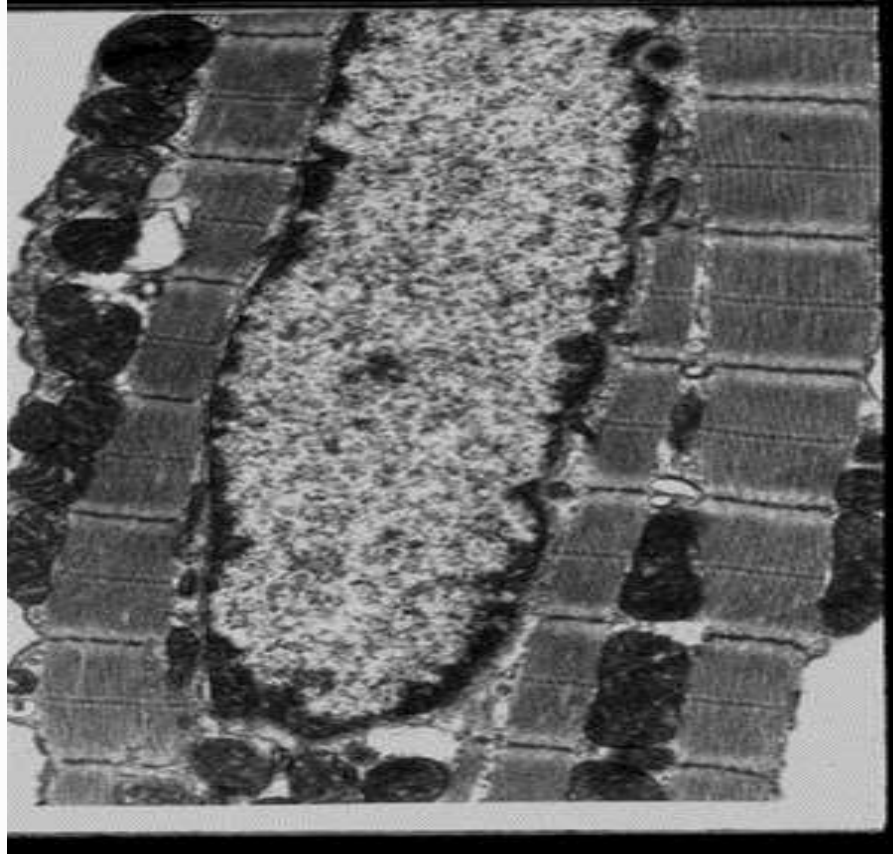
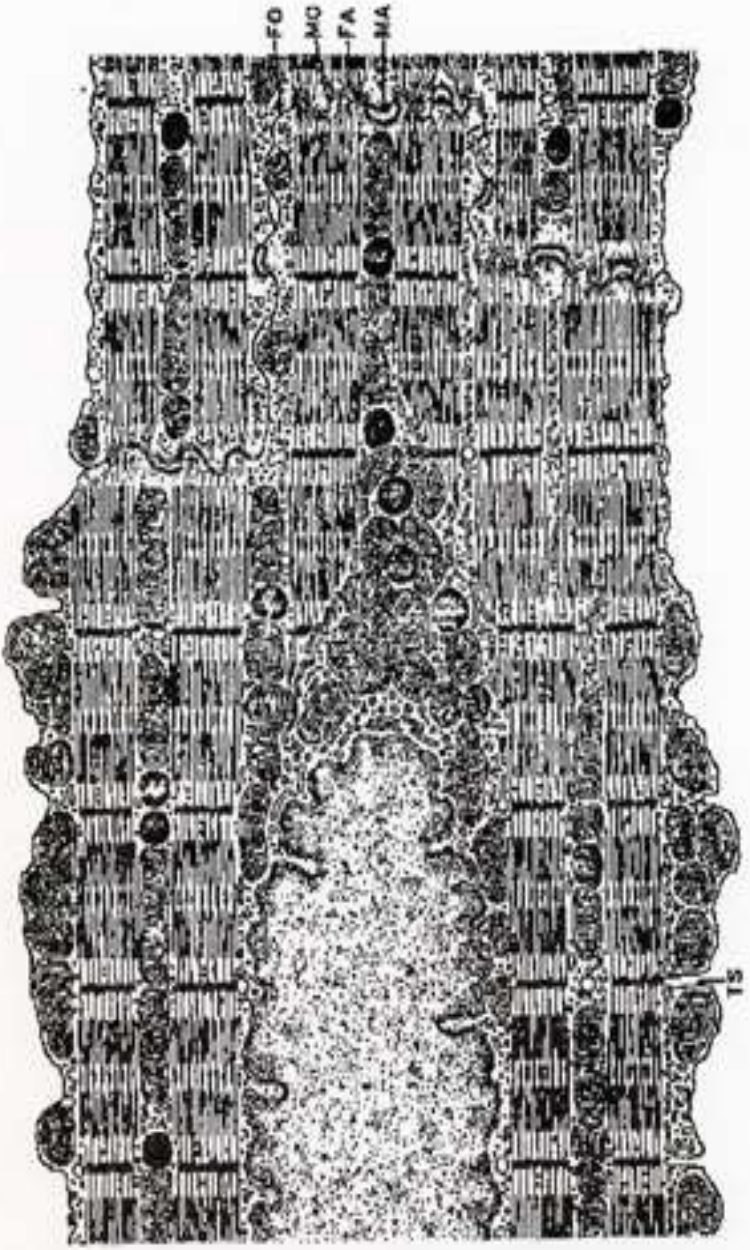


kardiomyocytu

kapiláry

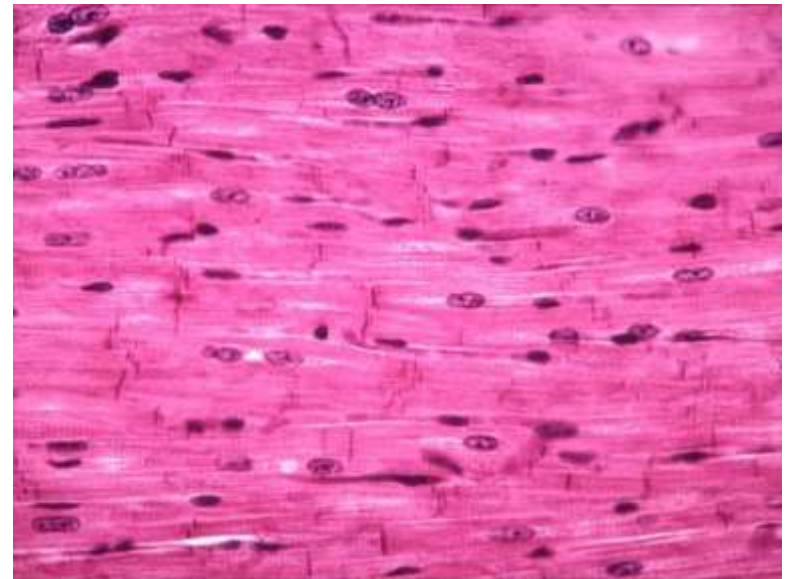
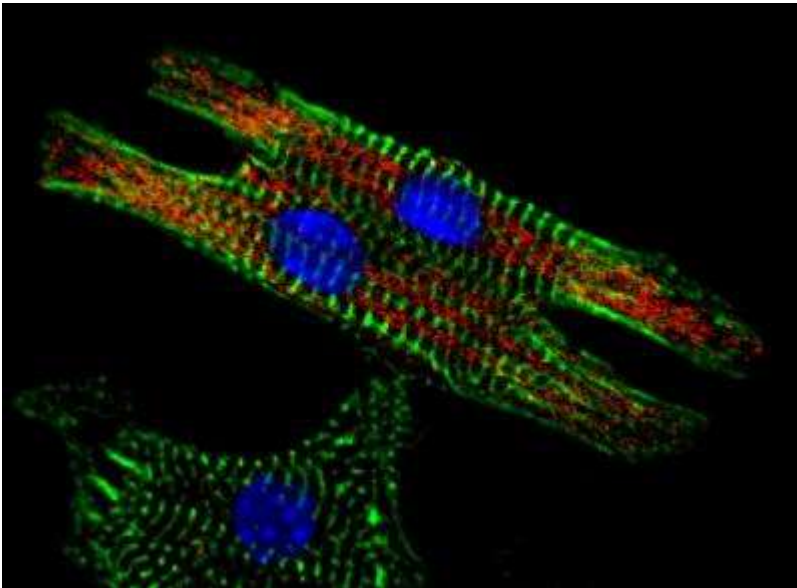






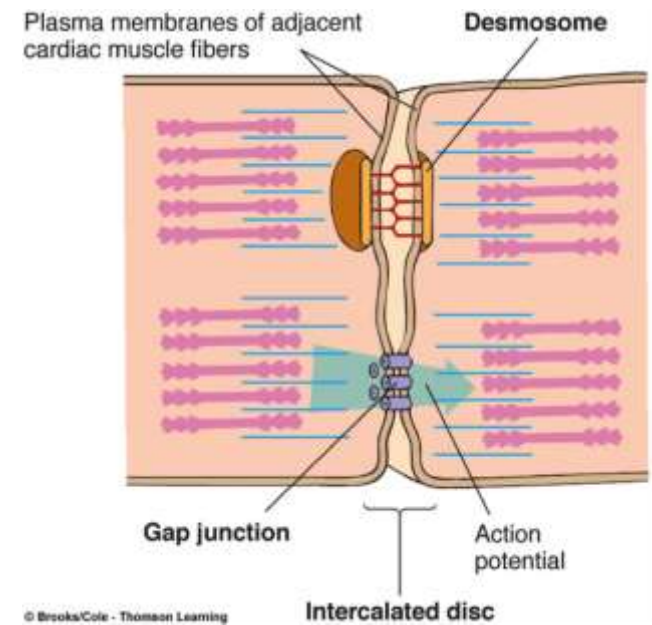
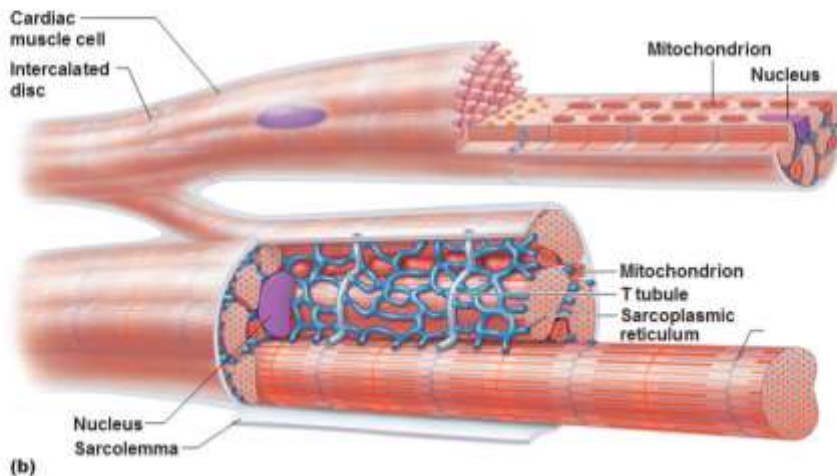
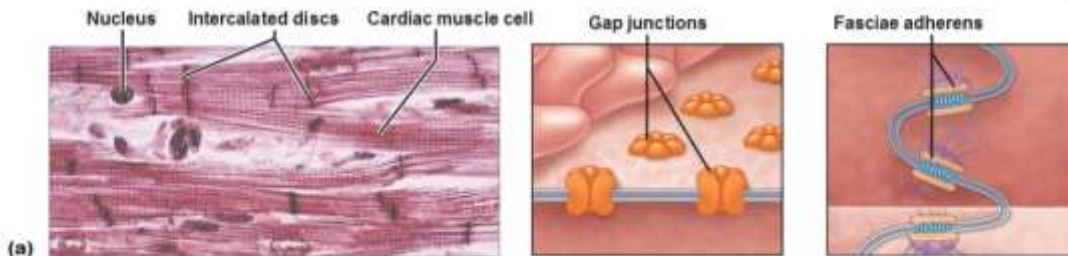
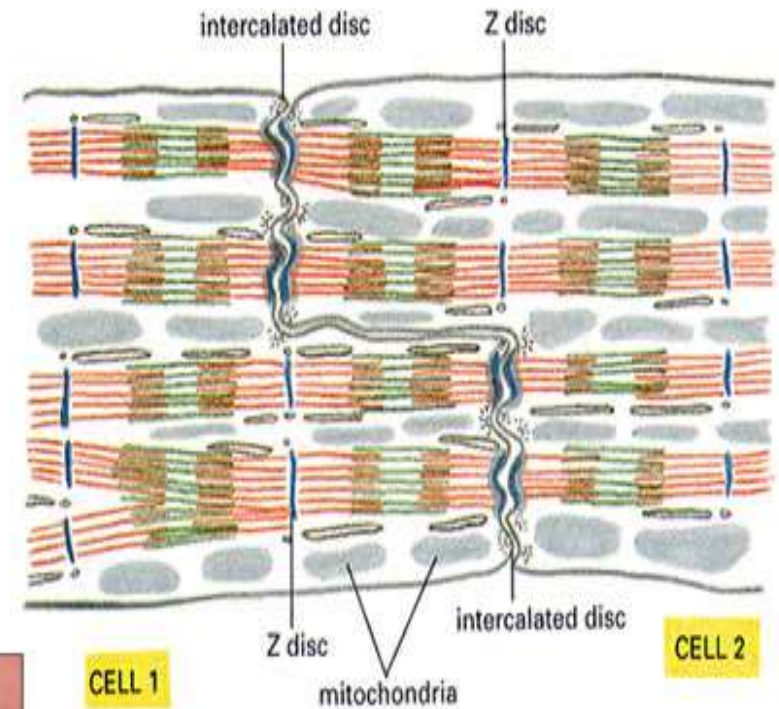
SRDEČNÍ × KOSTERNÍ SVALOVINA

- diáda vs. triáda (1 T-tubulus + 1 vs. 2 terminální cisterny)
- T-tubuly v oblasti Z linií (kosterní v místě A proužku)
- úplná závislost srdeční svaloviny na aerobním metabolismu
- početná granula glykogenu a lipidových inkluzí
- početné mitochondrie v sarkoplasmě a rezerva myoglobinu

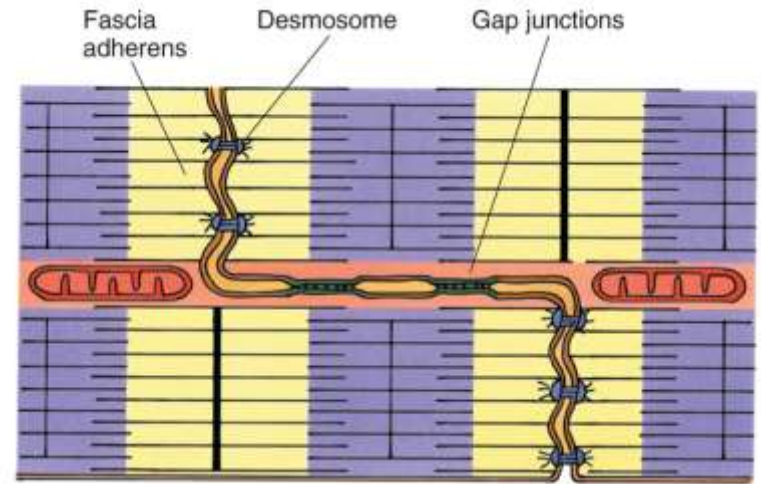
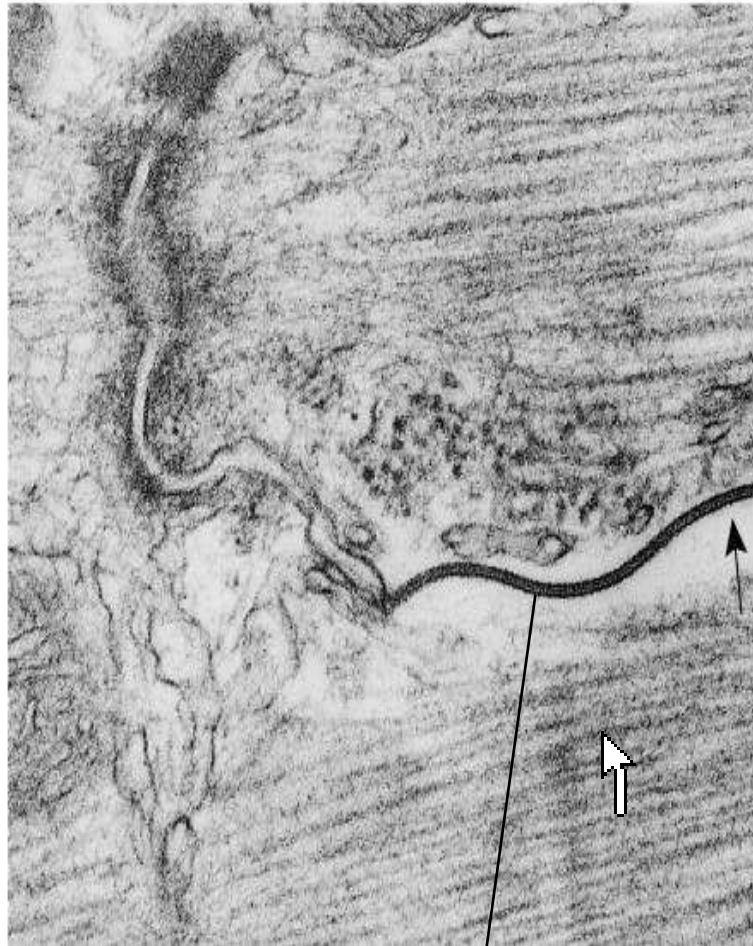


INTERKALÁRNÍ DISKY

- „skalariformní“ tvar buněk
- fasciae adherentes (adhezní spoje)
- nexus (gap junction)



INTERKALÁRNÍ DISKY

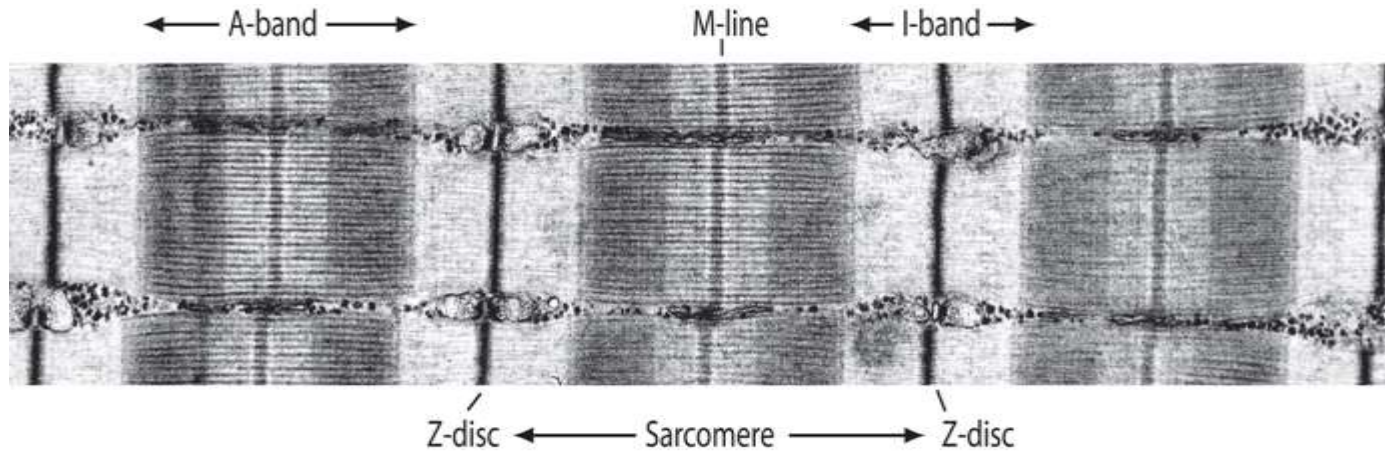


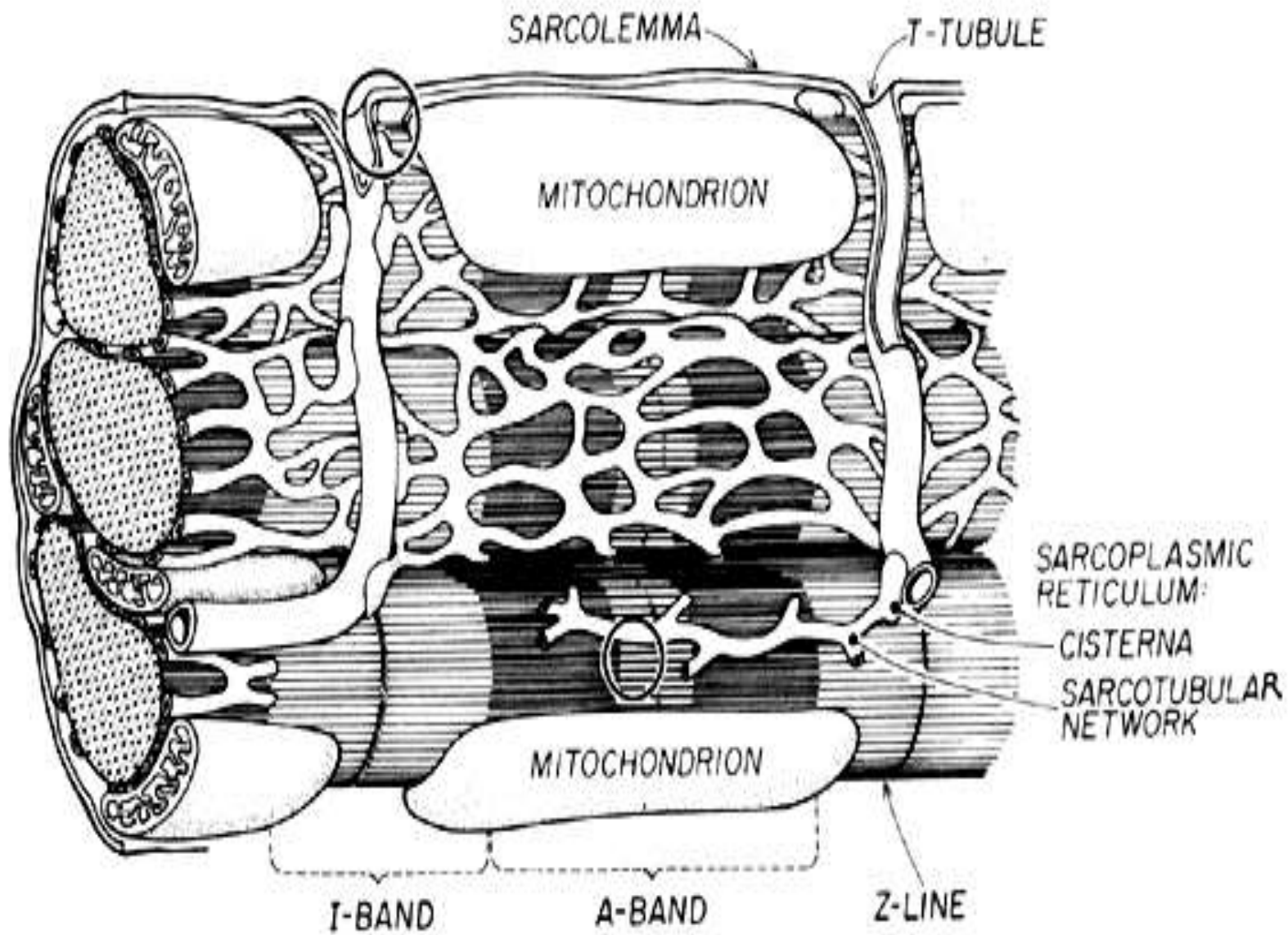
nexus

fascia adherens

MYOFIBRILY KARDIOMYOCYTŮ

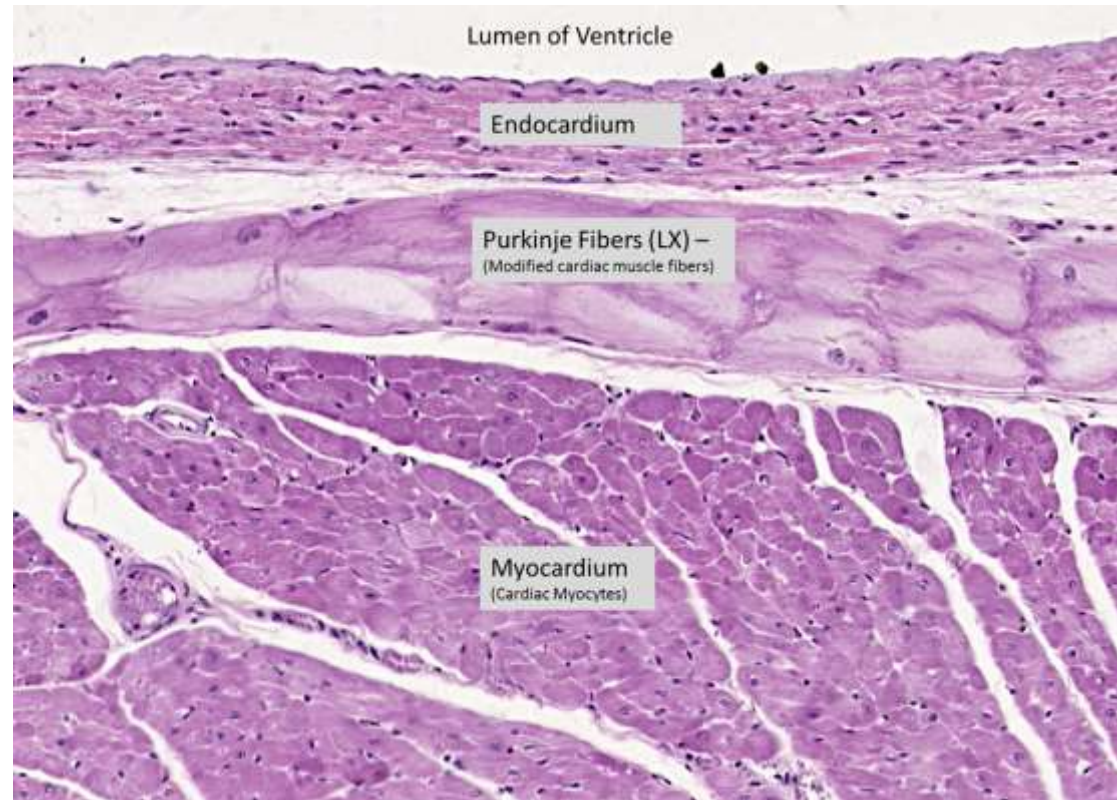
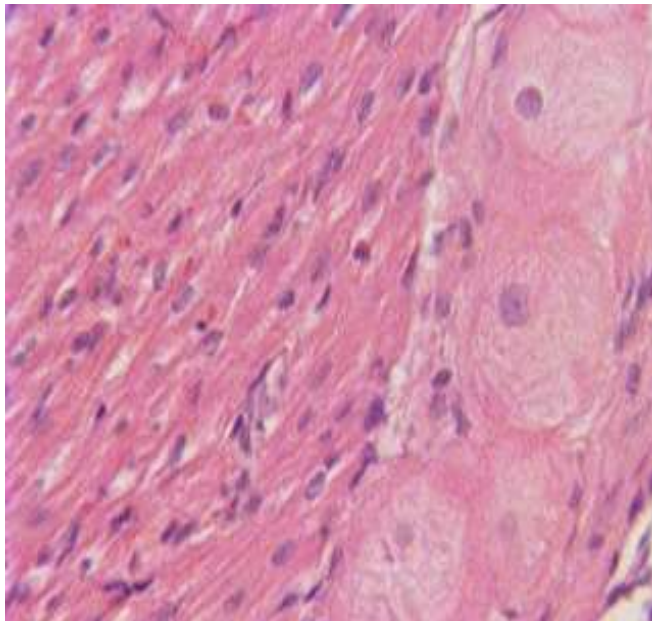
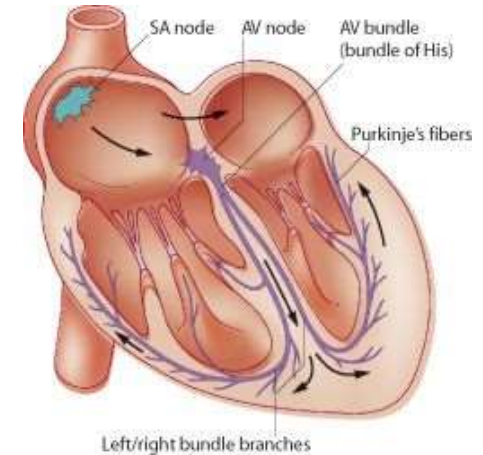
- Aktinová a myozinová myofilamenta
- Sarkomera
- Z-linie
- M-linie a H-zóna
- I-proužek a A-proužek
- T-tubulus + 1 cisterna = diáda (kolem Z-line)



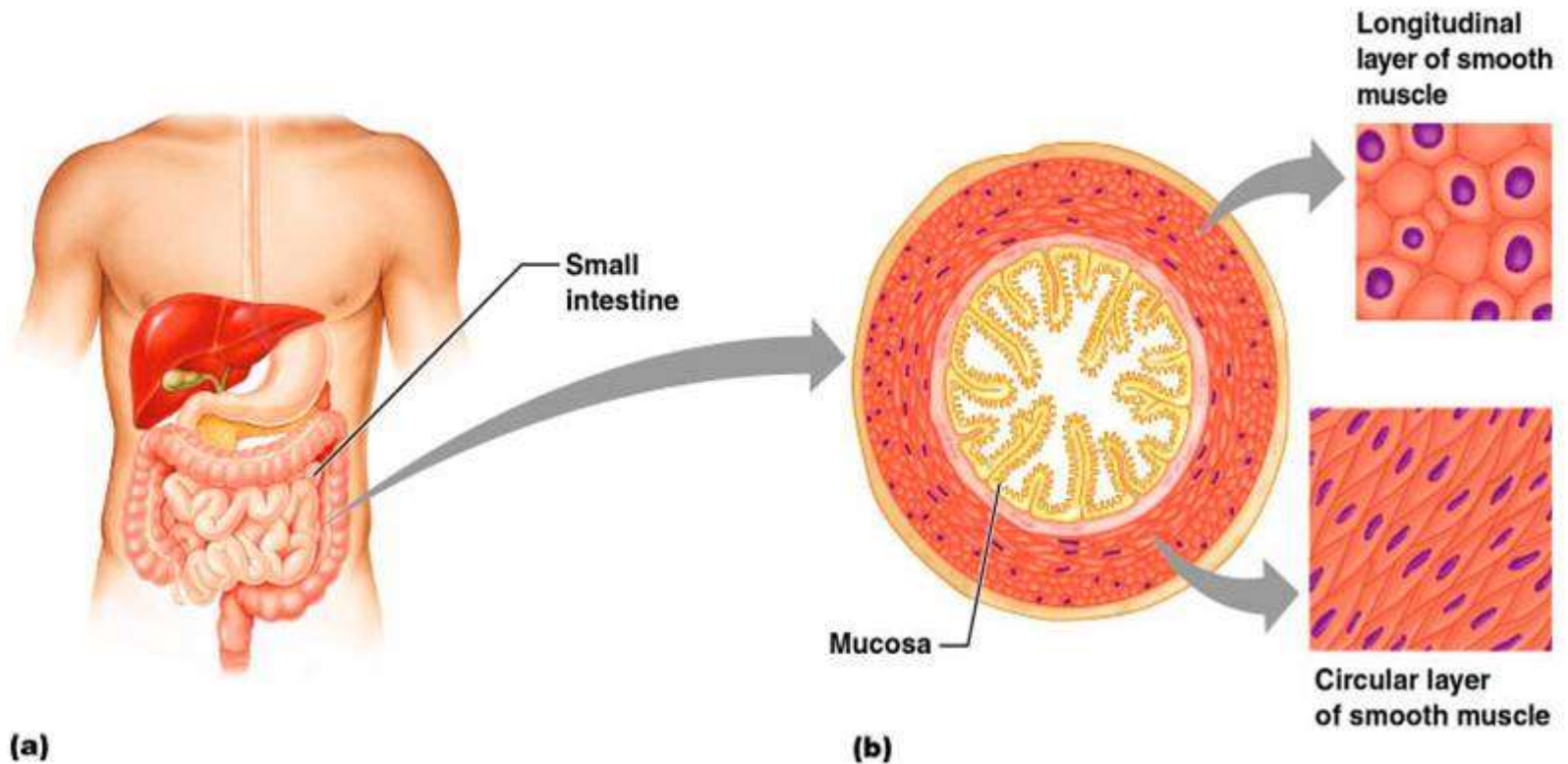


PURKYŇOVA VLÁKNA

- vnitřní vrstva srdečních komor
- koordinace kontrakce
- početné iontové kanály, mitochondrie
- relativně málo myofibril

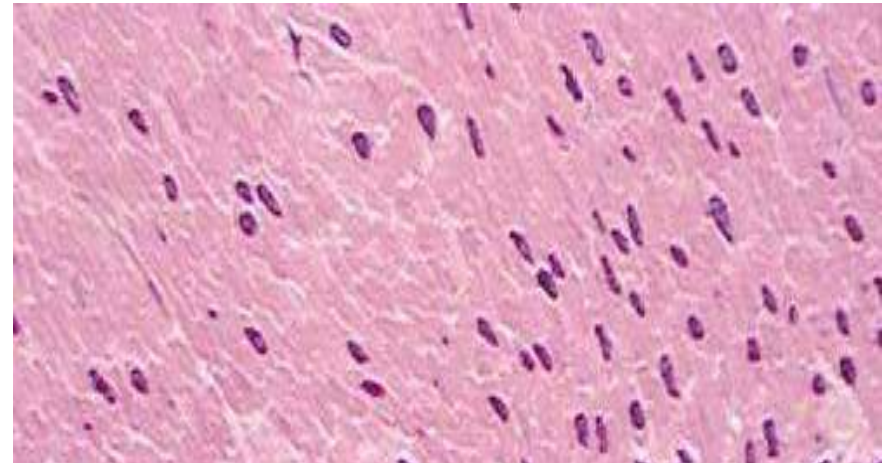
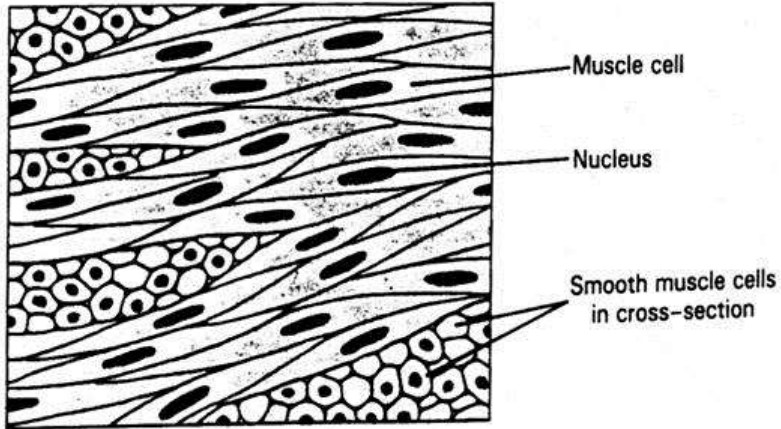


HLADKÁ SVALOVÁ TKÁŇ

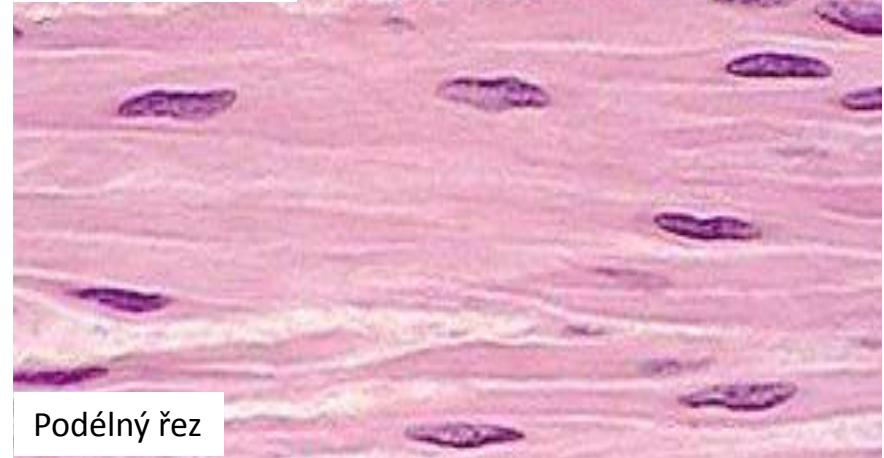


HLADKÁ SVALOVÁ TKÁŇ

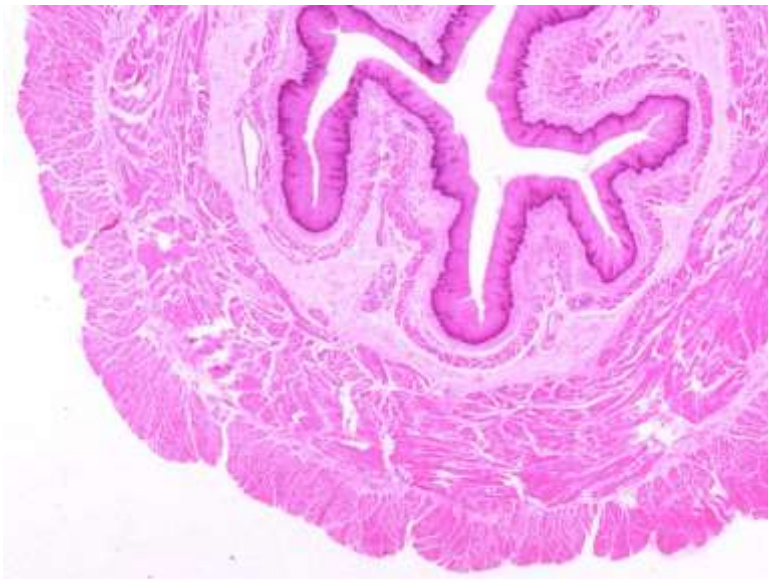
- Buňky (leiomyocyty) tvoří vrstvy - např. stěny dutých orgánů



Transversální řez



Podélný řez



HLADKÁ SVALOVÁ TKÁŇ

- vřetenovité buňky
- myofilamenta nejsou uspořádána do myofibril (není žíhání)
- 1 jádro uložené centrálně
- aktinová filamenta připojena k sarkolemě fokálními adhezemi nebo denzním tělískům (dense bodies - analoga Z-liní v sarkoplasmě)
- sER tvoří pouze tubuly
- ionty Ca jsou přijímány z vnějšího prostředí
- buňky spojeny pomocí *zonulae occludentes* a nexusů
- calmodulin
- kaveoly jsou funkčně ekvivalentní T-tubulům
- iontové (Ca) kanály
- kontakt s sER

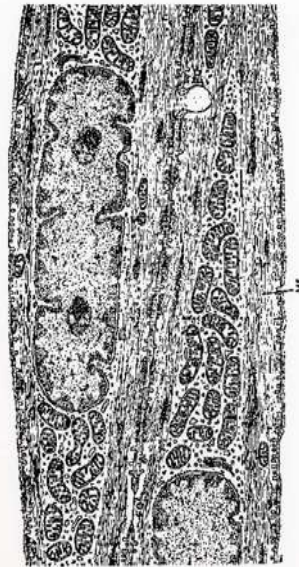
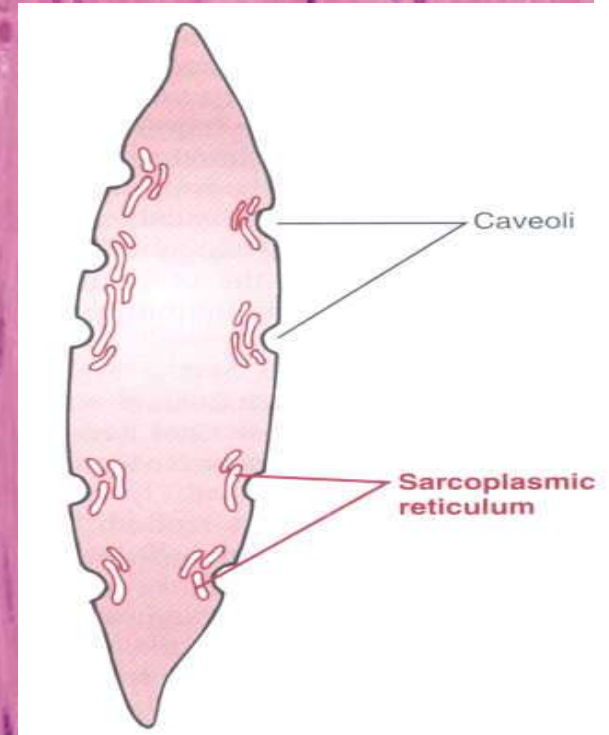
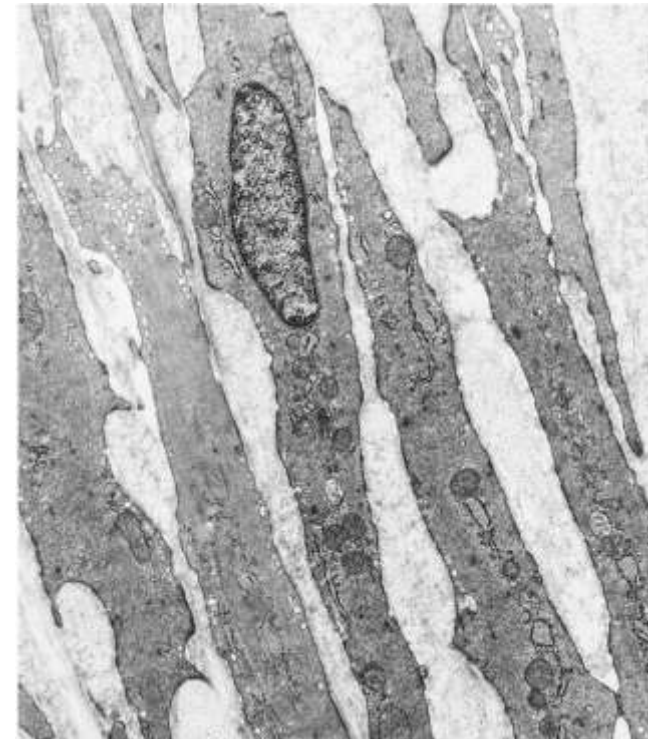
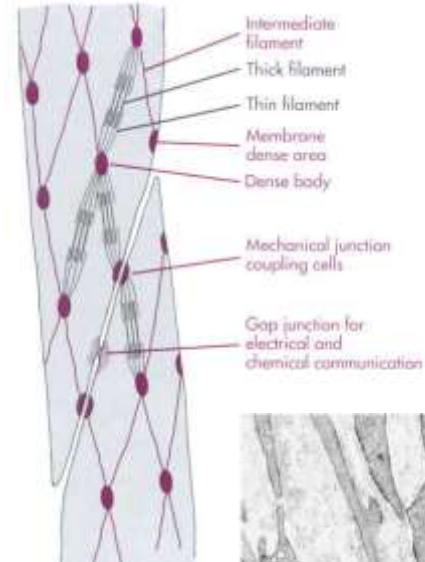
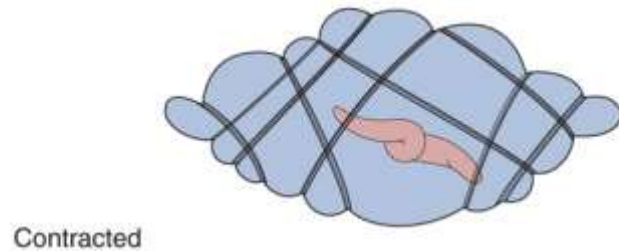
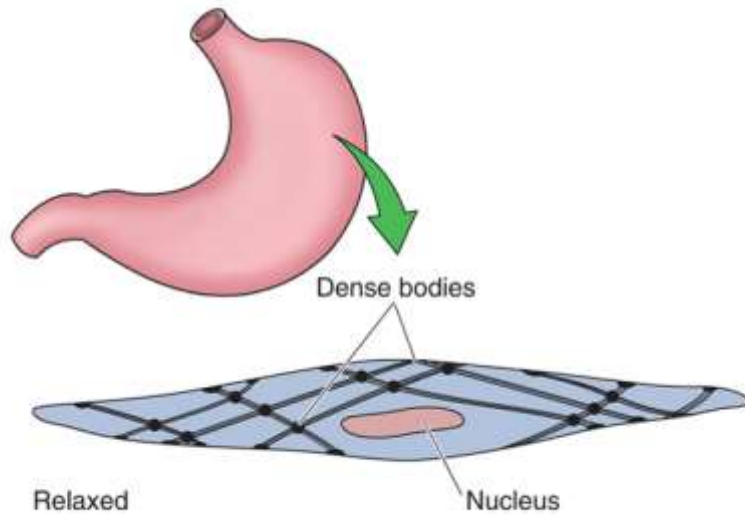


FIG. 10-2 E/M OF SMOOTH MUSCLE



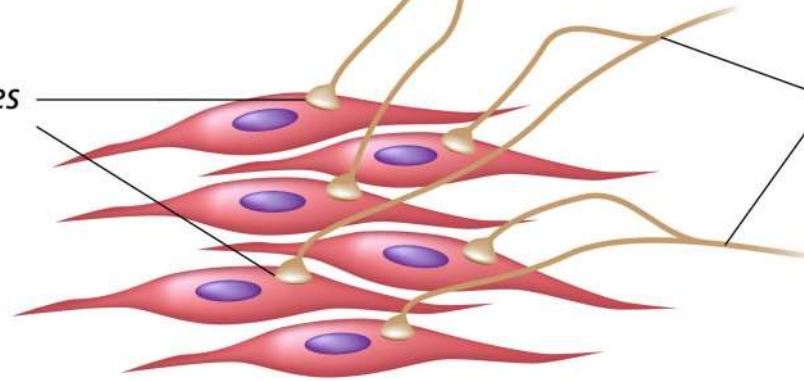
HLADKÁ SVALOVÁ TKÁŇ



HLADKÁ SVALOVÁ TKÁŇ

Synapses

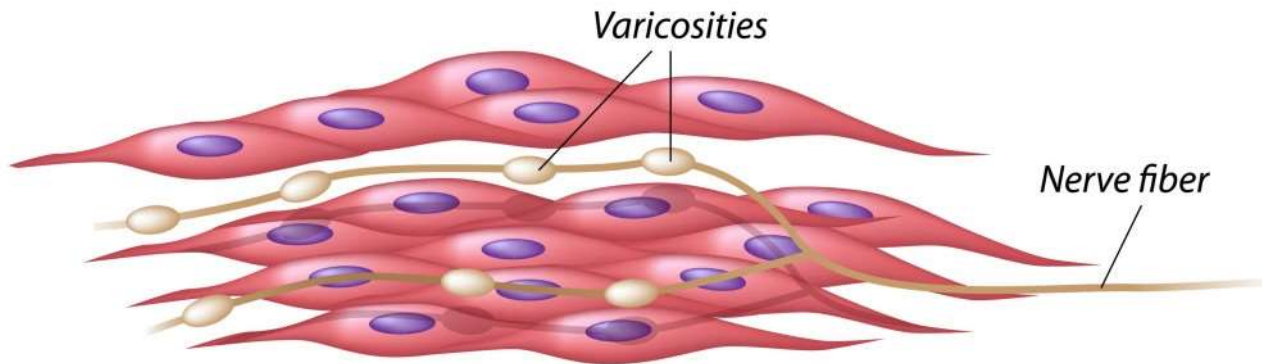
Nerve fibers



Multiunit Smooth Muscle

Varicosities

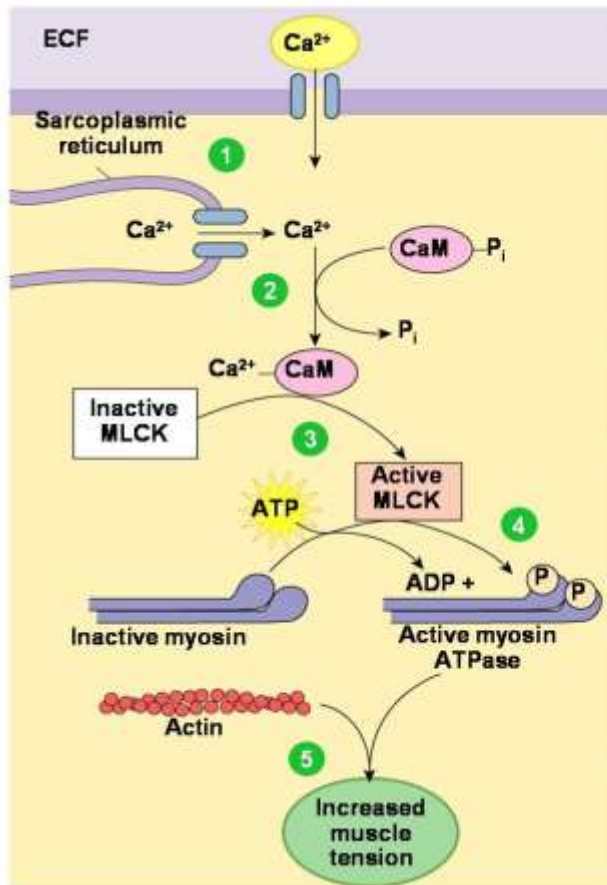
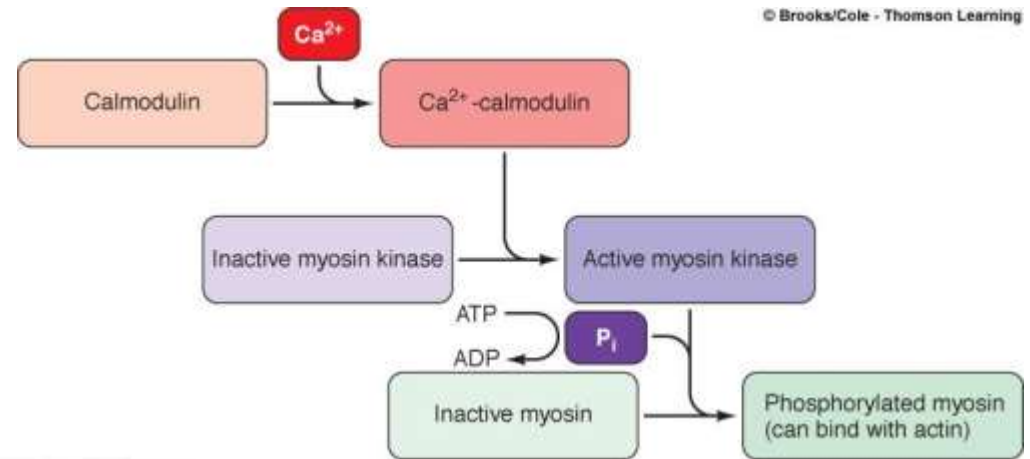
Nerve fiber



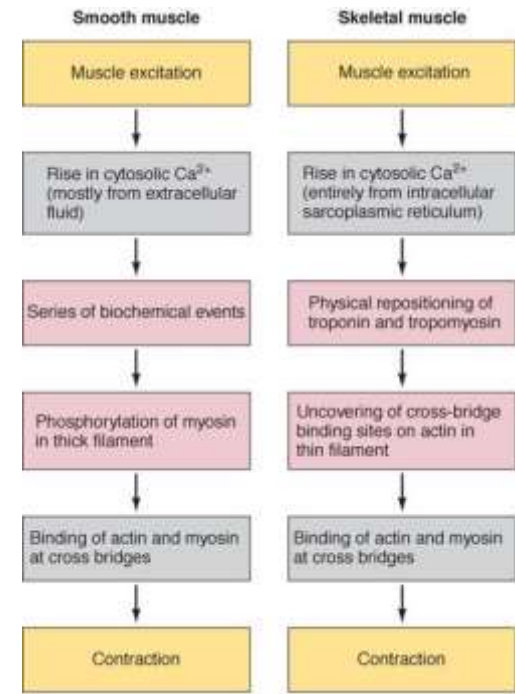
Single-unit Smooth Muscle

HLADKÁ SVALOVÁ TKÁŇ

© Brooks/Cole - Thomson Learning



- 1** Intracellular Ca^{2+} concentrations increase when Ca^{2+} enters cell and is released from sarcoplasmic reticulum.
- 2** Ca^{2+} binds to calmodulin (CaM).
- 3** Ca^{2+} -calmodulin activates myosin light chain kinase (MLCK).
- 4** MLCK phosphorylates light chains in myosin heads and increases myosin ATPase activity.
- 5** Active myosin crossbridges slide along actin and create muscle tension.

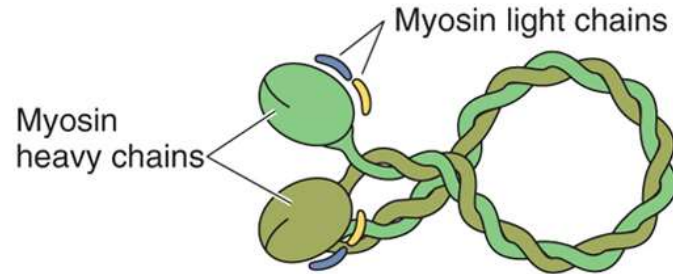


© Brooks/Cole - Thomson Learning

HLADKÁ SVALOVÁ TKÁŇ

Inactive state

(light chains not phosphorylated)

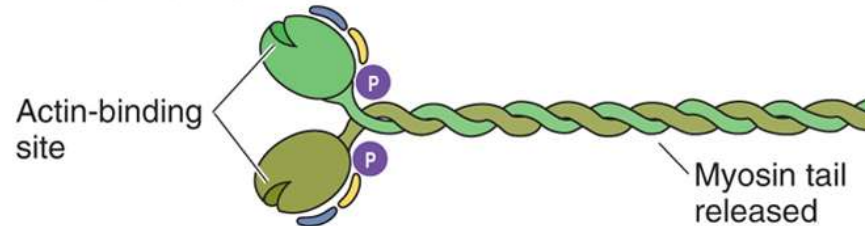


Myosin light chain kinase



Active state

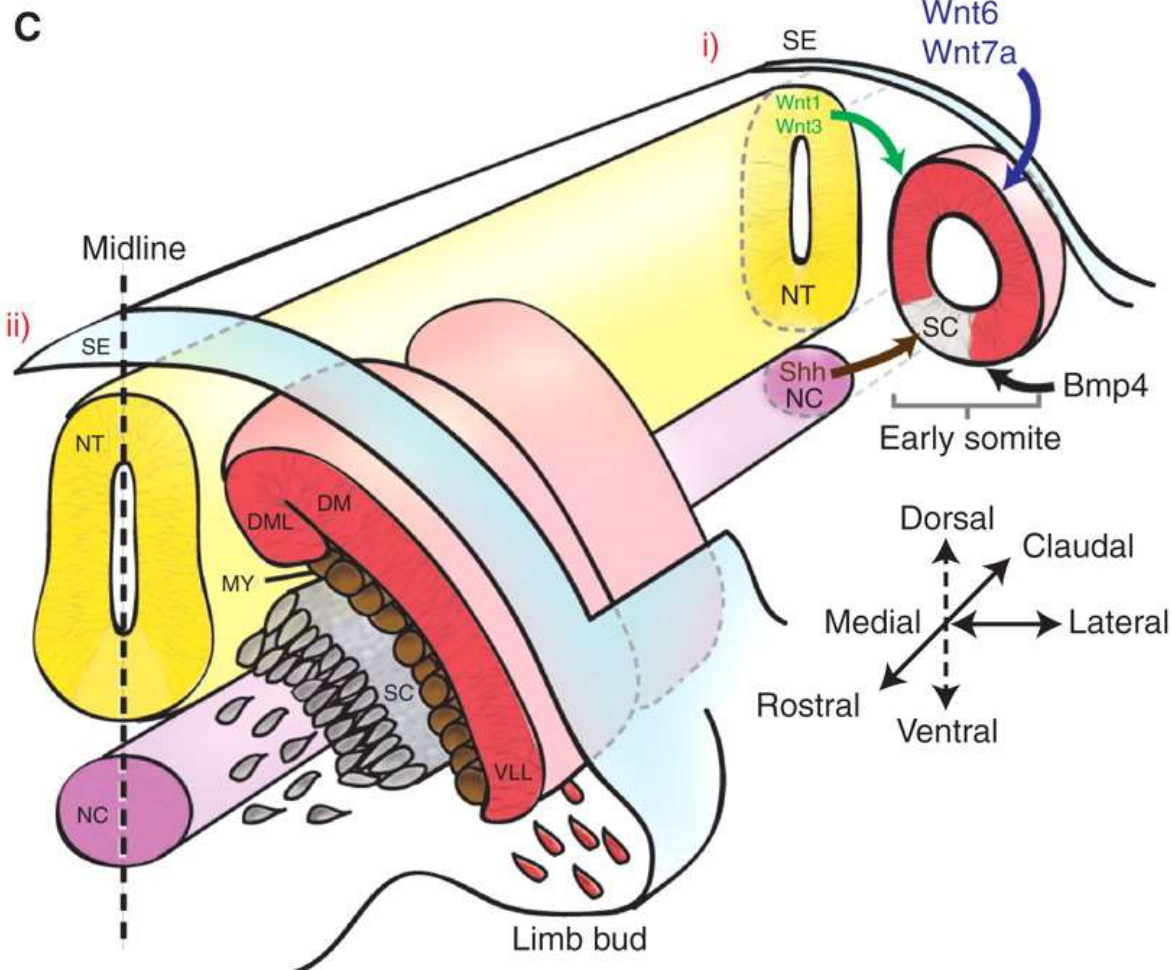
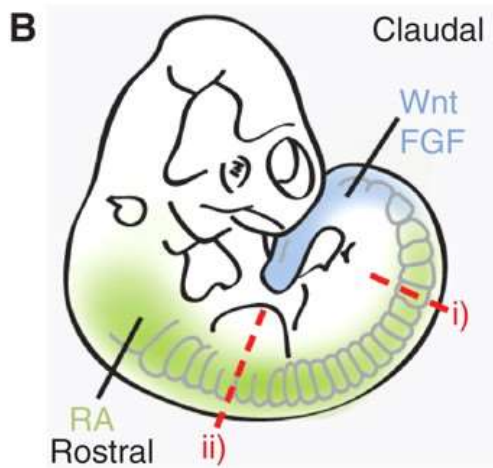
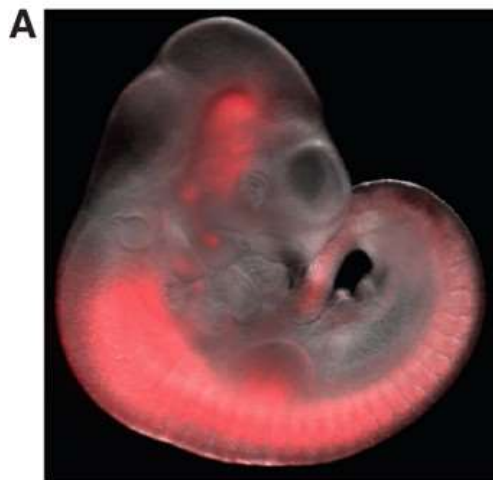
(light chains phosphorylated)

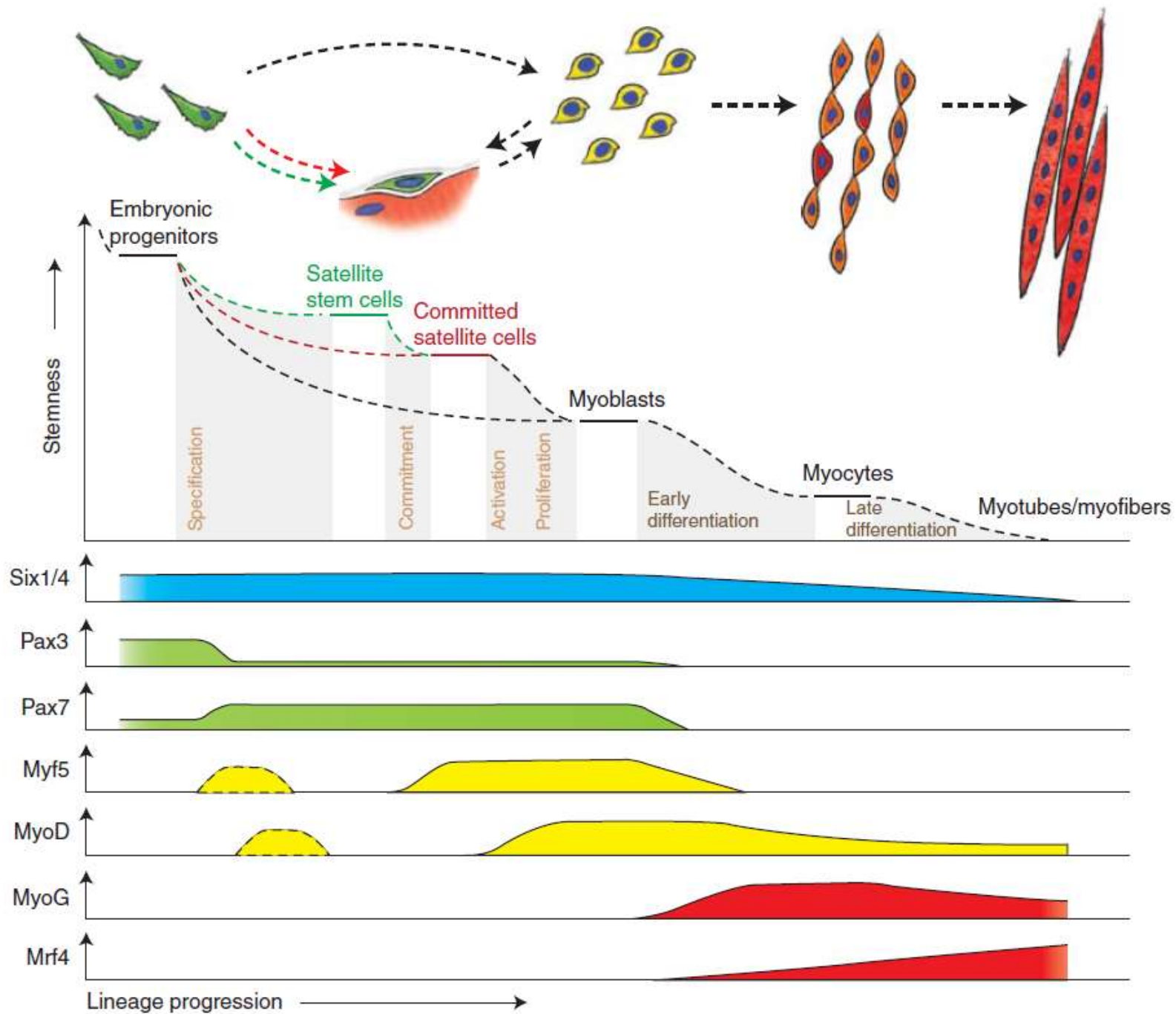


SHRNUTÍ

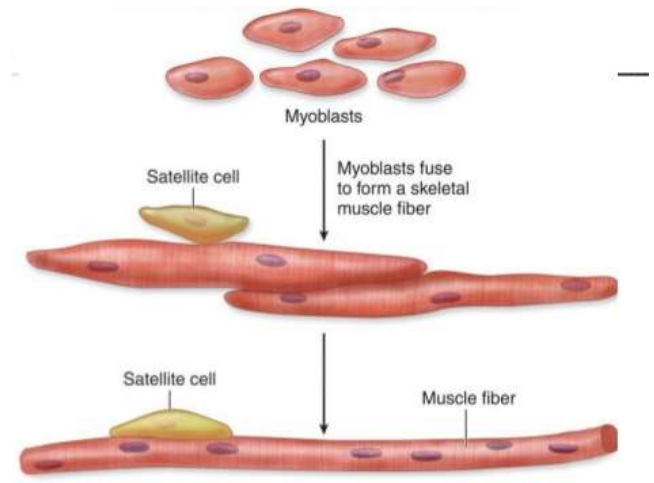
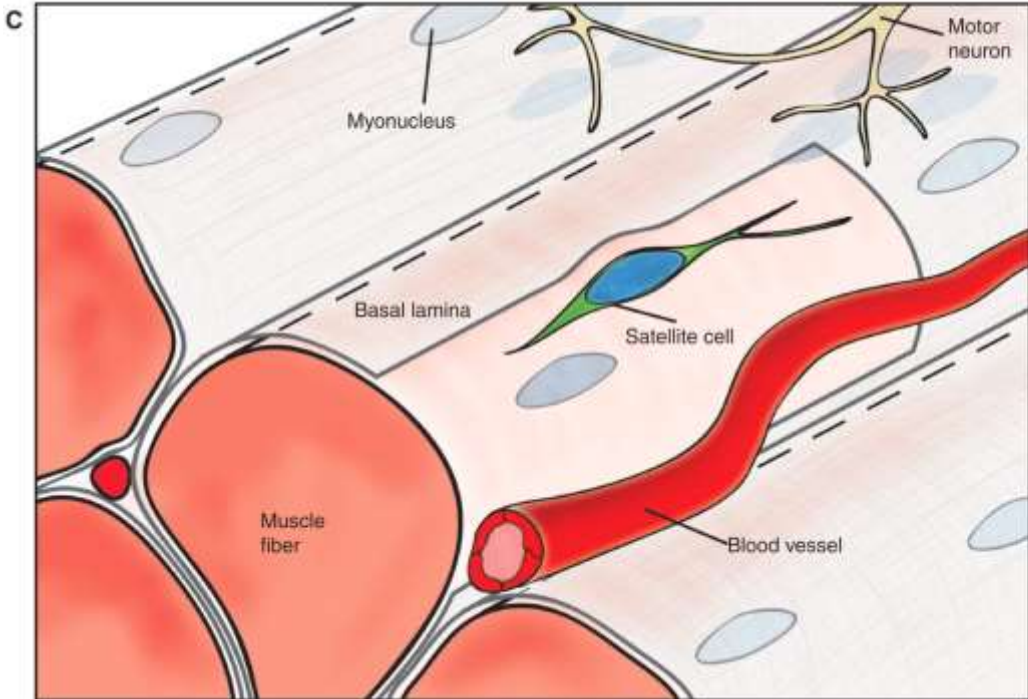
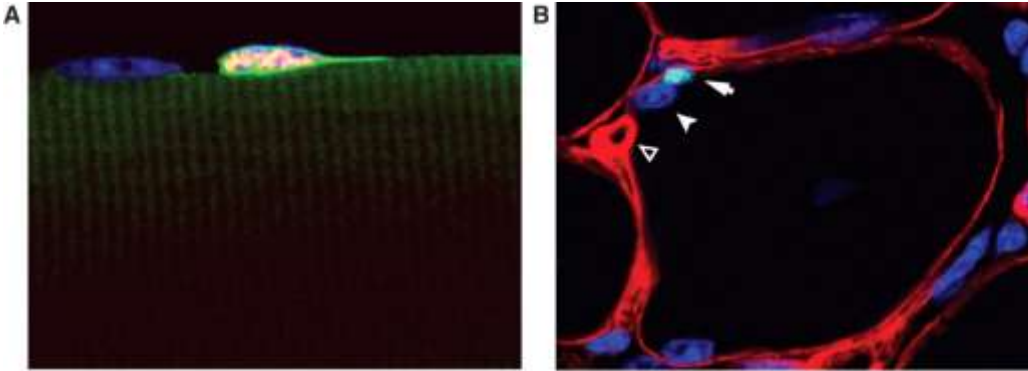
	Kosterní svalová tkáň	Srdeční svalová tkáň	Hladká svalová tkáň
Buňky	silné, dlouhé, válcovité, nevětvené	velké, válcovité, větvené	malé, vřetenovité
Jádra	početná, na periferii	1-2, centrálně	1, centrálně
poměr filament (tenká:tlustá)	6:1	6:1	12:1
sER a myofibrily	pravidelně uspořádané sER kolem myofibril	méně pravidelné sER, myofibrily nevždy zřetelné	méně pravidelné sER, myofibrily nejsou vytvořeny
T tubuly	mezi A-I proužky, triády	Z linie, diády	nejsou vytvořeny
Motor end plate	vytvořena	není vytvořena	není vytvořena
Volní kontrola	ANO	NE	NE
Další znaky	svazky, asociace s vazivem	interkalární disky, pracovní a vodivé kardiomyocyty	svazky, kaveoly

EMBRYONÁLNÍ VÝVOJ

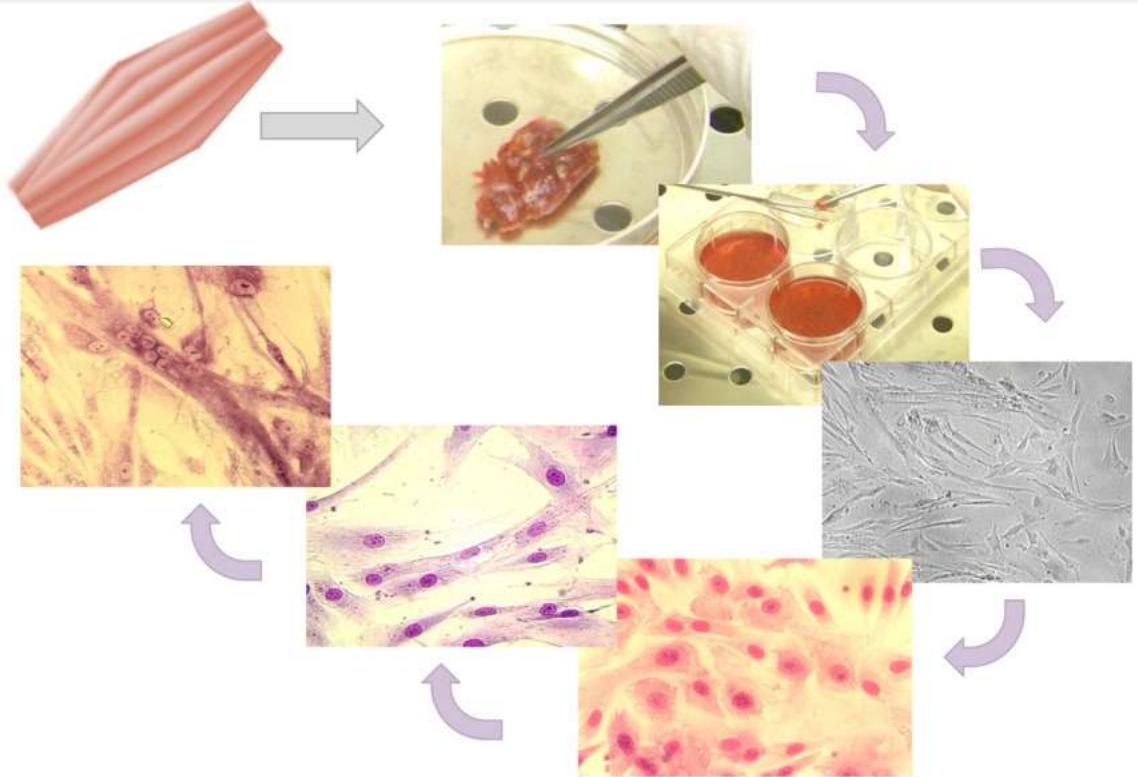
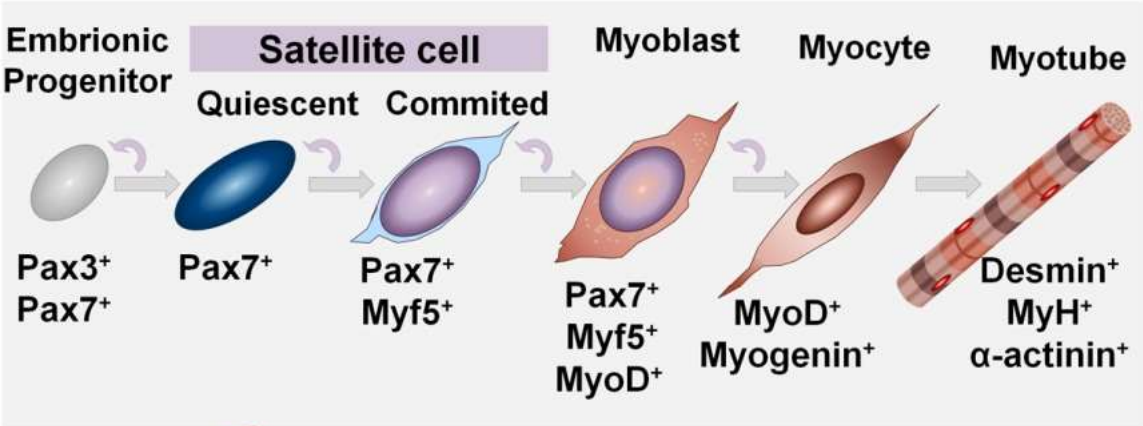


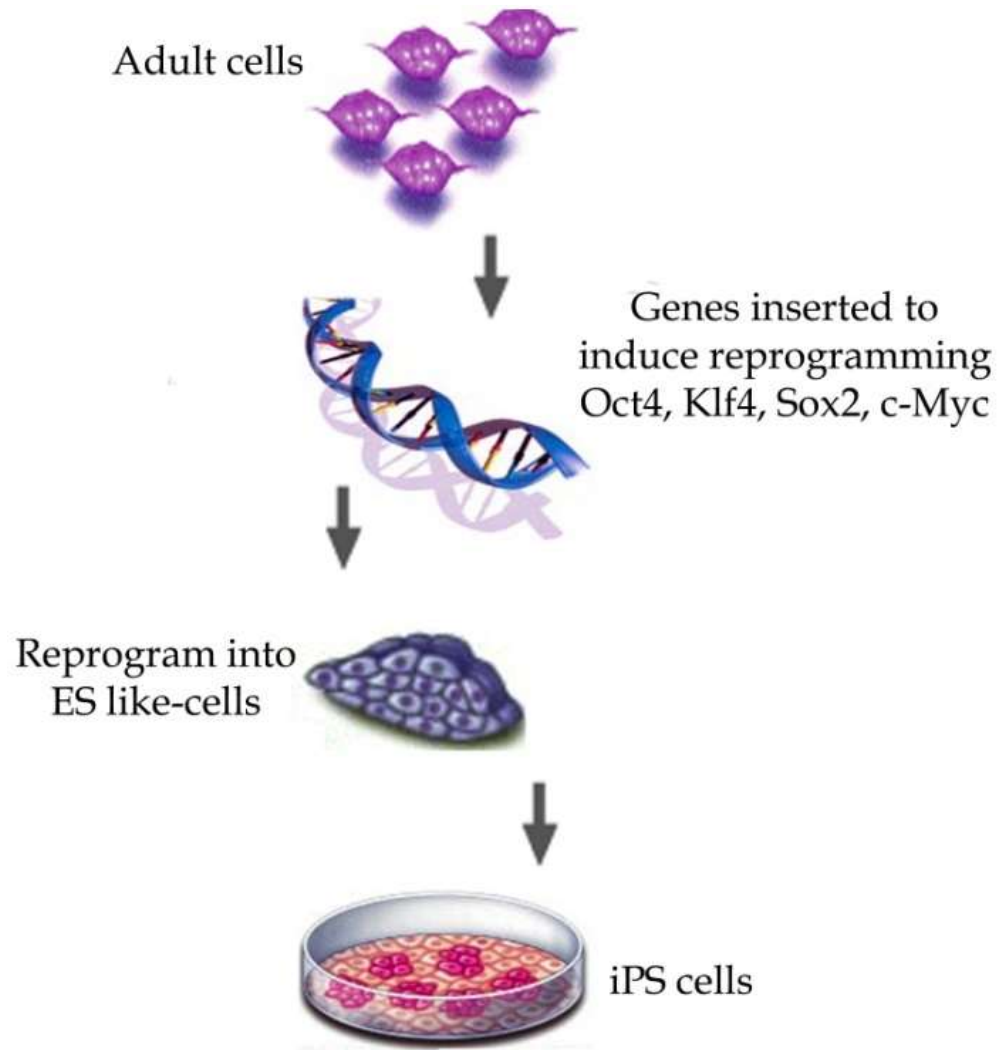


REGENERACE



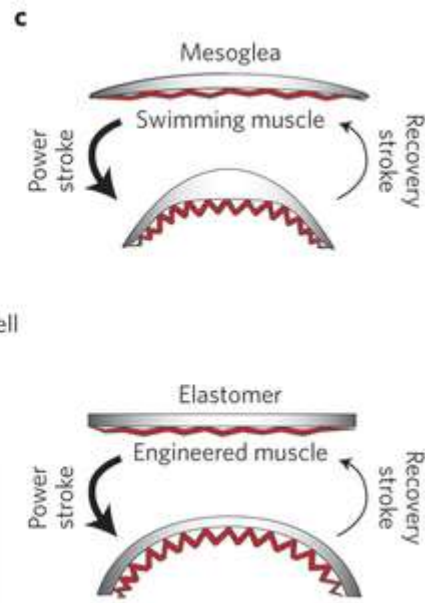
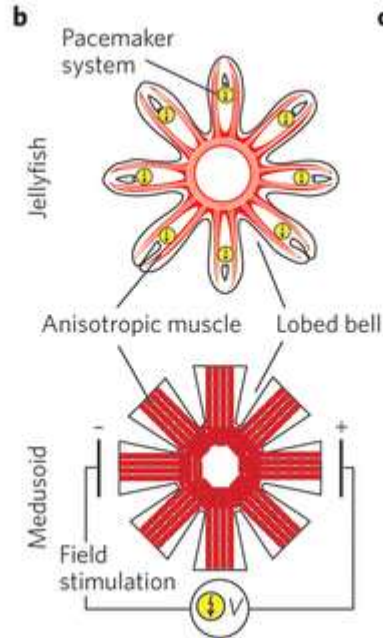
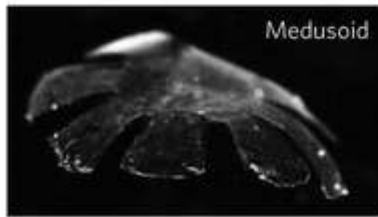
REGENERACE





<https://www.youtube.com/watch?v=b1WD564sjWw>

TKÁŇOVÉ INŽENÝRSTVÍ



DĚKUJI ZA POZORNOST



pvanhara@med.muni.cz

<http://www.med.muni.cz/histology>