



<https://i.pinimg.com/originals/69/8d/e7/698de768ff8638068faea5c156a02034.jpg>

SVALOVÁ TKÁŇ

Petr Vaňhara, PhD

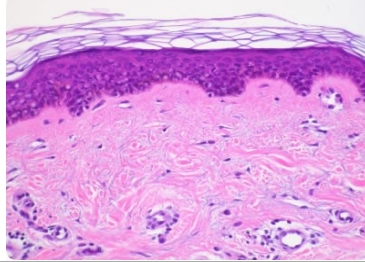
Ústav histologie a embryologie
LF MU

pvanhara@med.muni.cz

SOUČASNÁ KLASIFIKACE TKÁNÍ

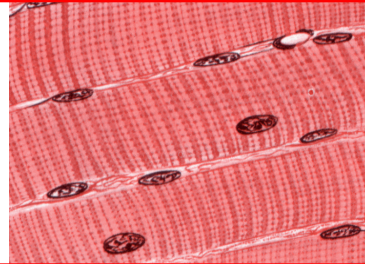
- Na základě morfologických a funkčních znaků

Epitelová



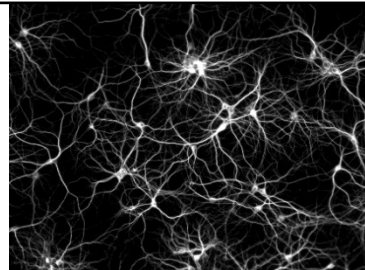
Kontinuální, avaskulární vrstvy buněk s různou funkcí, orientovaných do volného prostoru, se specifickými mezibuněčnými spoji a minimem mezibuněčného prostoru a ECM
Deriváty všech tří zárodečných listů

Svalová



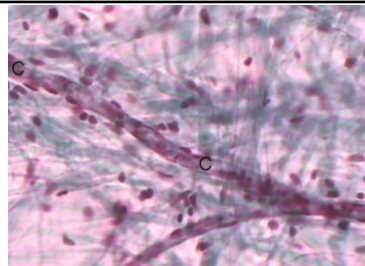
Obsahují myofibrily → schopnost kontrakce
Derivát mezodermu - KS, myokard, mezenchymu - HS
Výjimečně ektoderm (např. *m. sphincter* a *m. dilatator pupillae*)

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

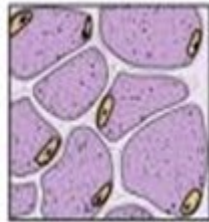
OBEČNÁ CHARAKTERISTIKA SVALOVÉ TKÁŇĚ

- Zvláštní cytoarchitektura
- Excitabilita a schopnost kontrakce
- Mesodermální původ

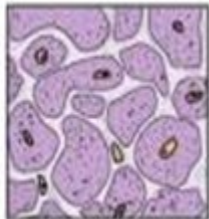
Klasifikace na základě stavby svalových buněk i celé tkáně



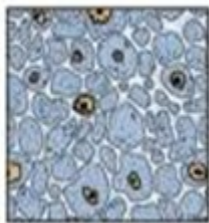
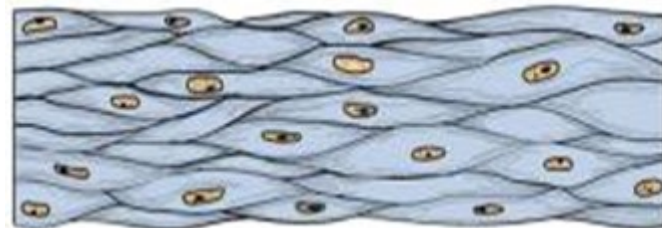
Kosterní svalovina



Srdeční svalovina



Hladká svalovina





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

Skeletal muscle



Nuclei

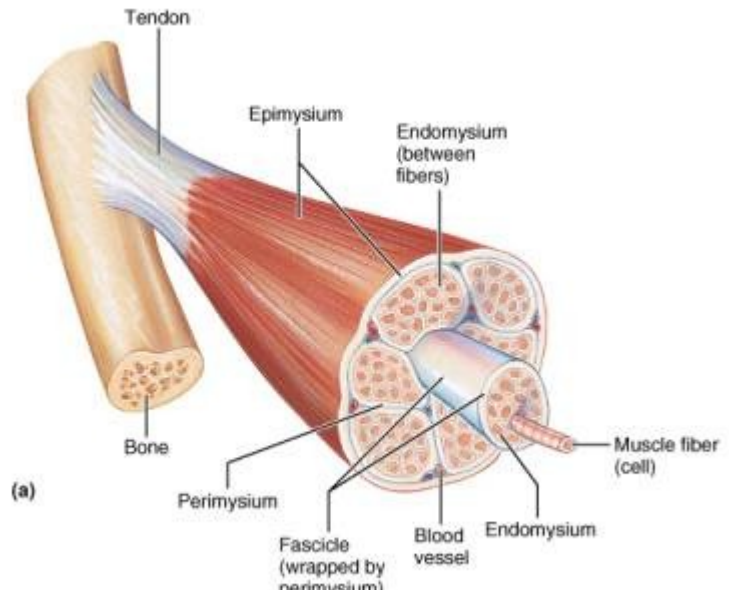
Cross sections



SVALOVÁ TKÁŇ NEJSOU JEN SVALOVÉ BUŇKY

Svalovou tkáň tvoří i vazivo

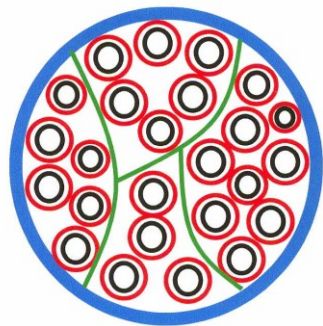
- vazivový obal
- odolnost & biomechanika
- **endomysium** – kolem každého svalového vlákna
- **perimysium** – sekundární svazky; septa
- **epimysium** – kolagenní vazivo kolem svalového svazku
- fascia – husté neuspořádané kolagenní vazivo



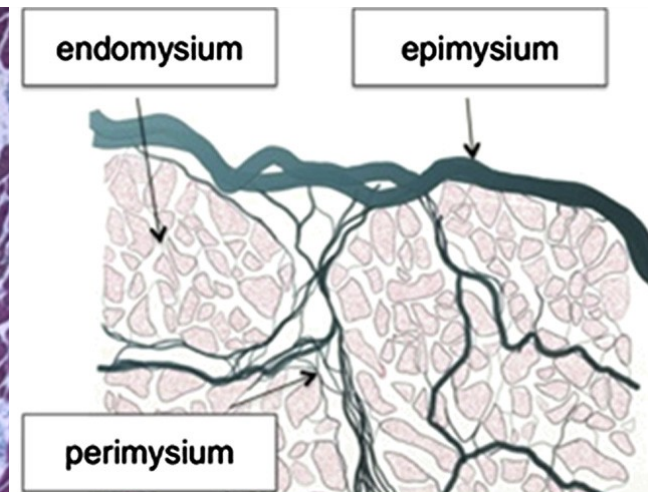
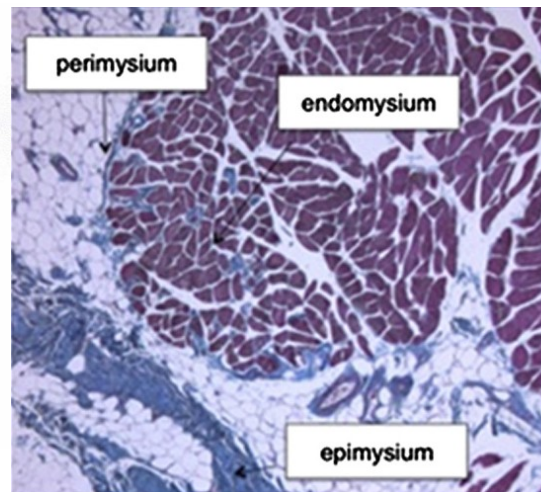
Copyright © 2001 Benjamin Cummings, an imprint of Addison Wesley Longman, Inc.

-mysiums

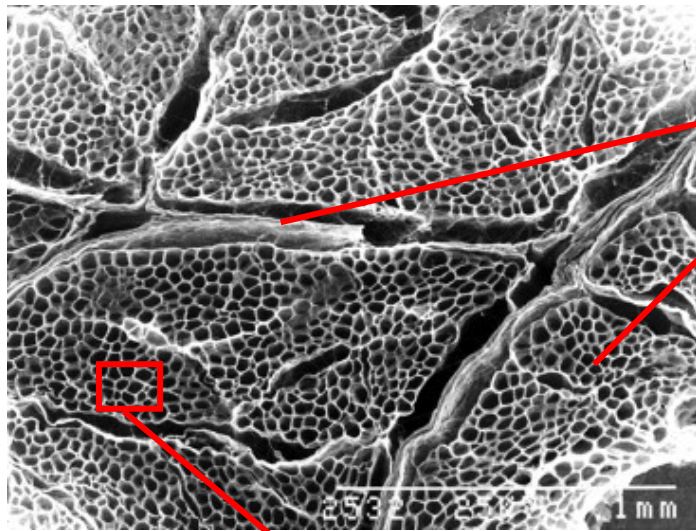
(connective tissue coats of a skeletal muscle)



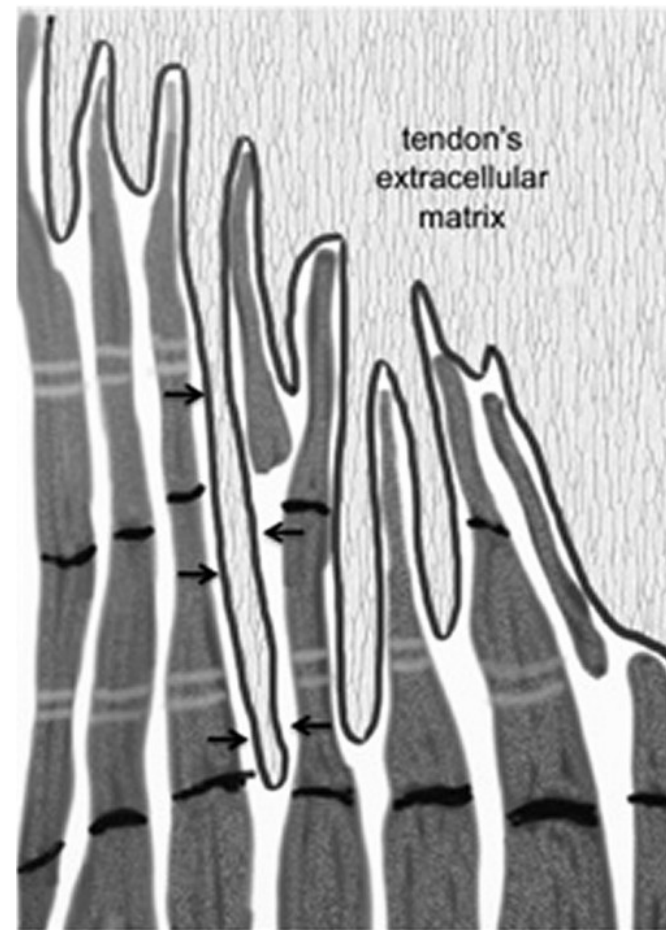
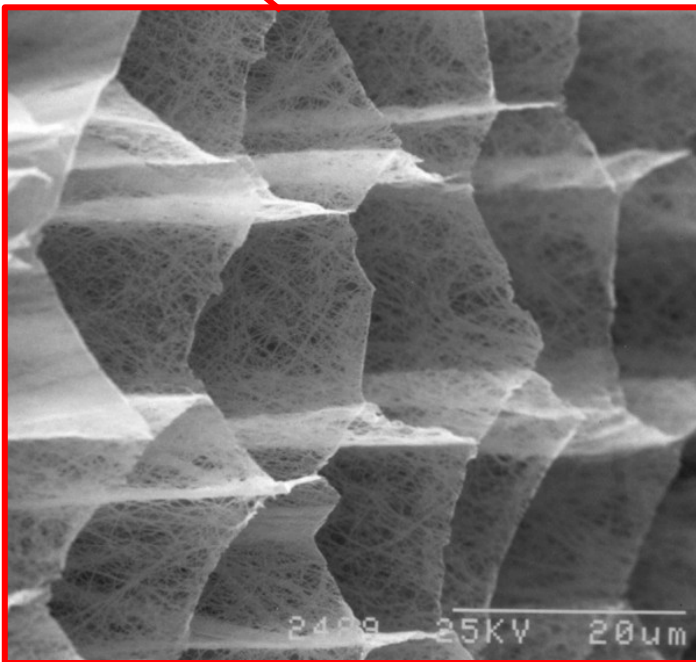
- skeletal muscle fiber
- endo - mysium
- peri - mysium
- epi - mysium



VAZIVO KOSTERNÍ SVALOVINY

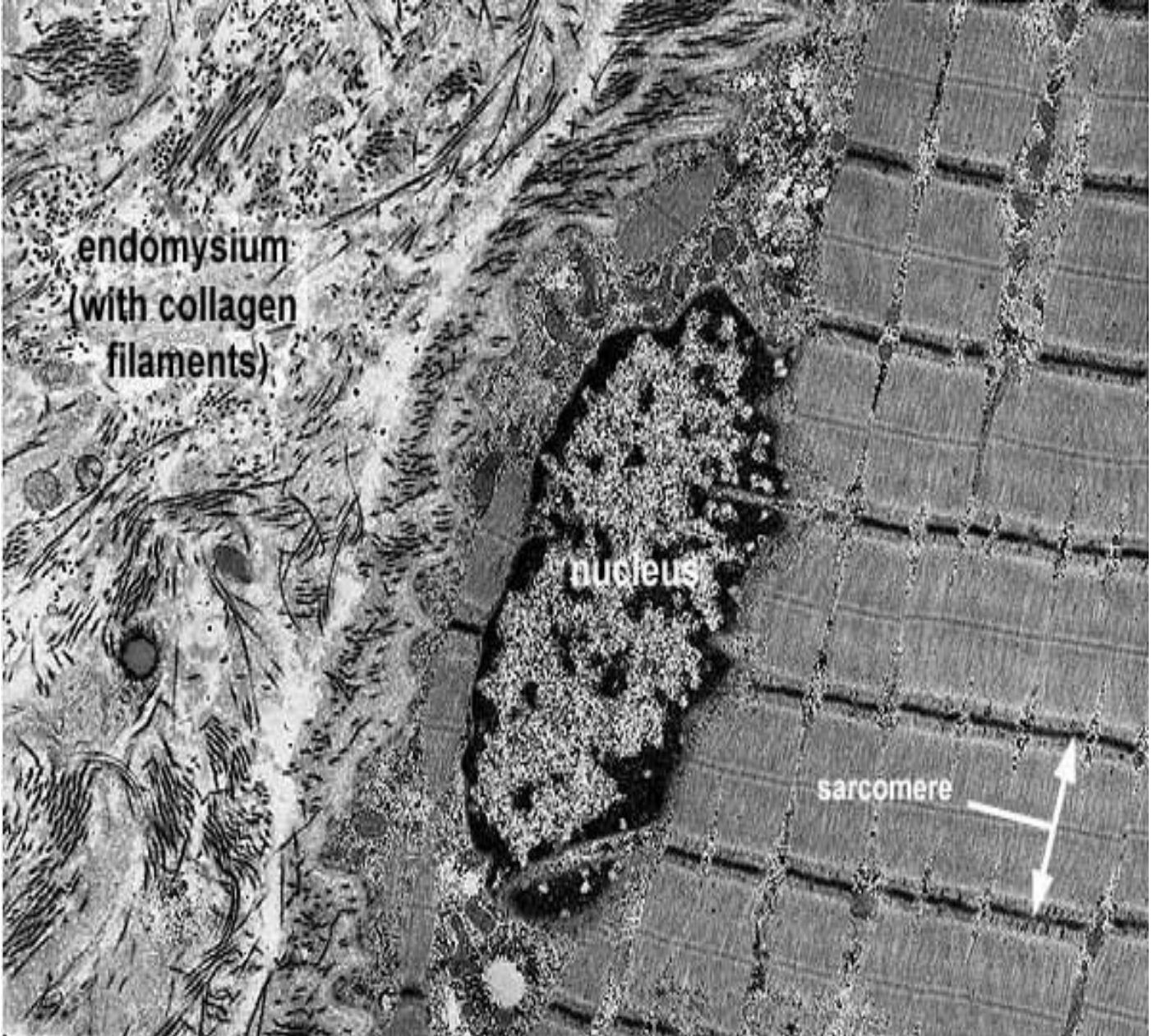


Vazivo kolem svalových snopců a svalových vláken

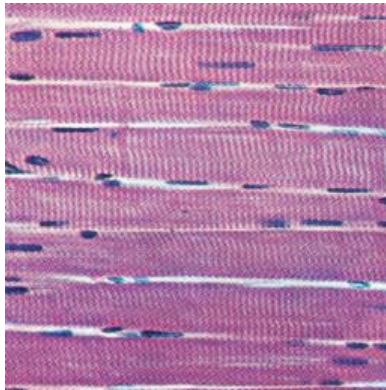
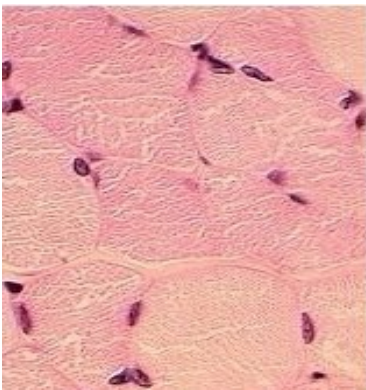
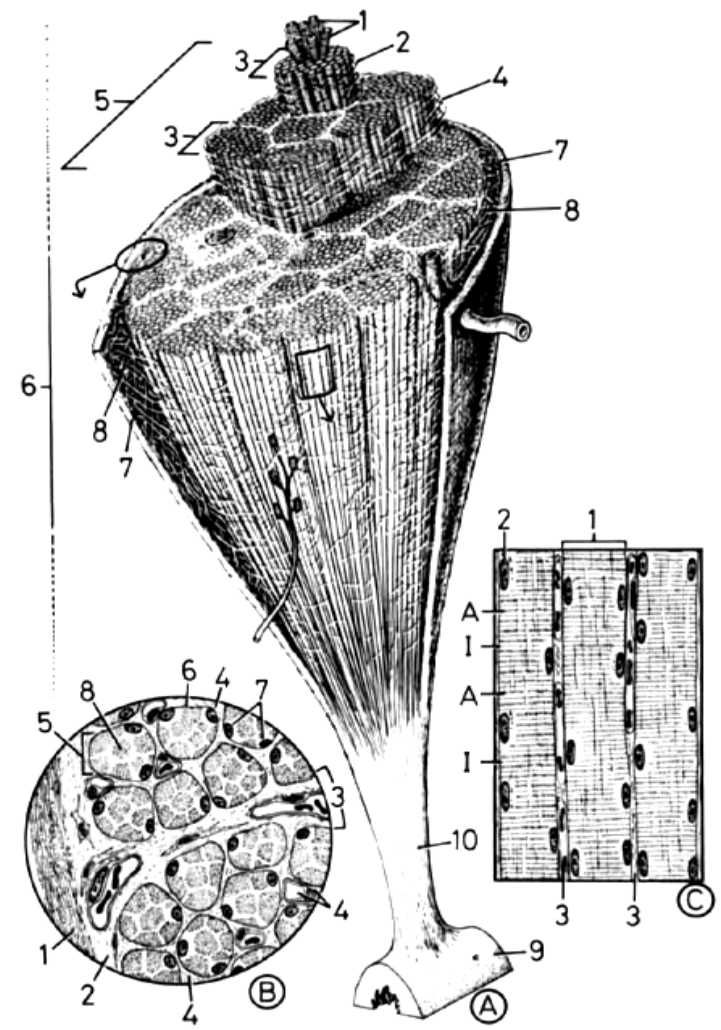
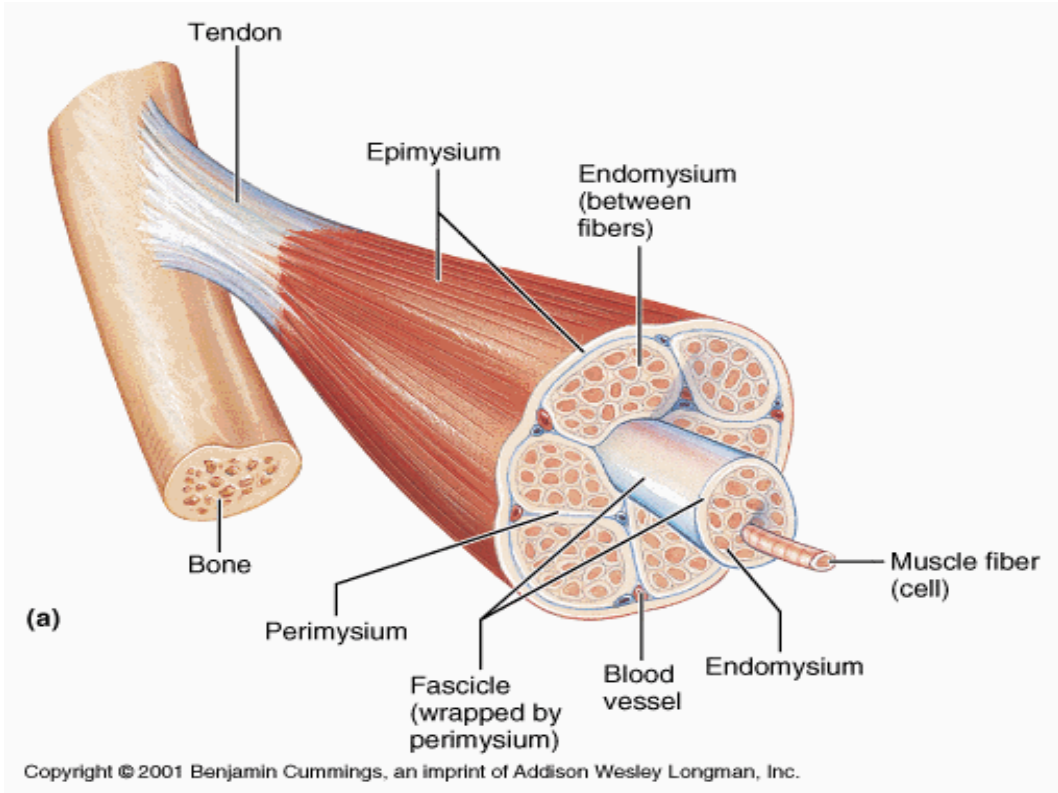


Myotendinózní přechod (spojení)

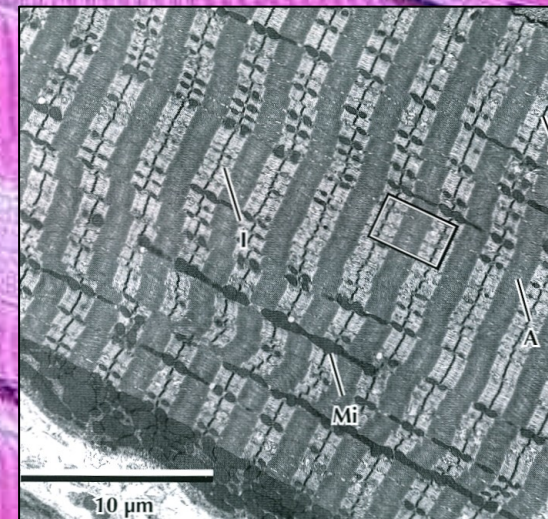
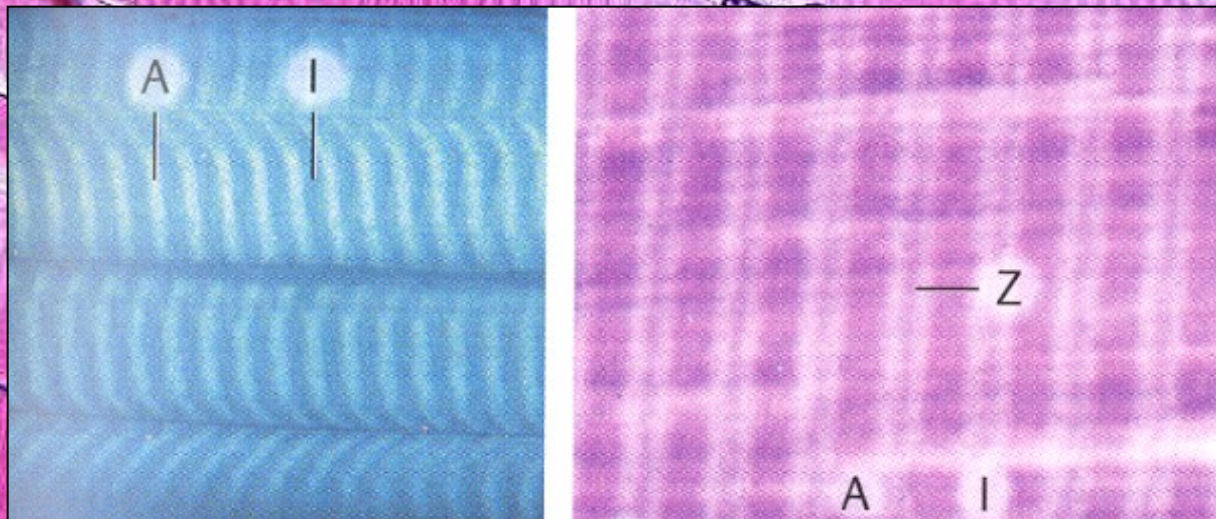
VAZIVO KOSTERNÍ SVALOVINY



ORGANIZACE SVALOVÉ TKÁNĚ



PROČ JE KOSTERNÍ SVALOVÁ
TKÁŇ (PŘÍČNĚ) PRUHOVANÁ?



ULTRASTRUKTURA RHABDOMYOCYTU

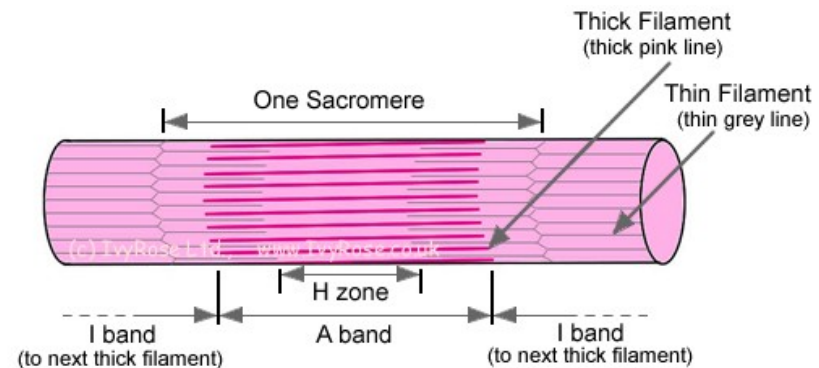
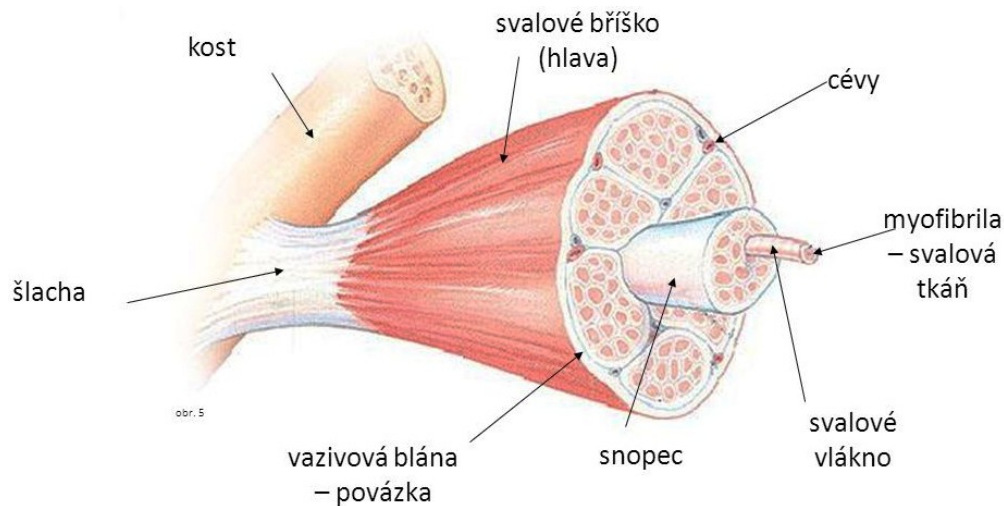
Svalové vlákno = syncitium = rhabdomyocyt

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 nm a 15 nm]



ULTRAŠTRUKTURA RHABDOMYOCYTU

Sarkolema + t-tubuly

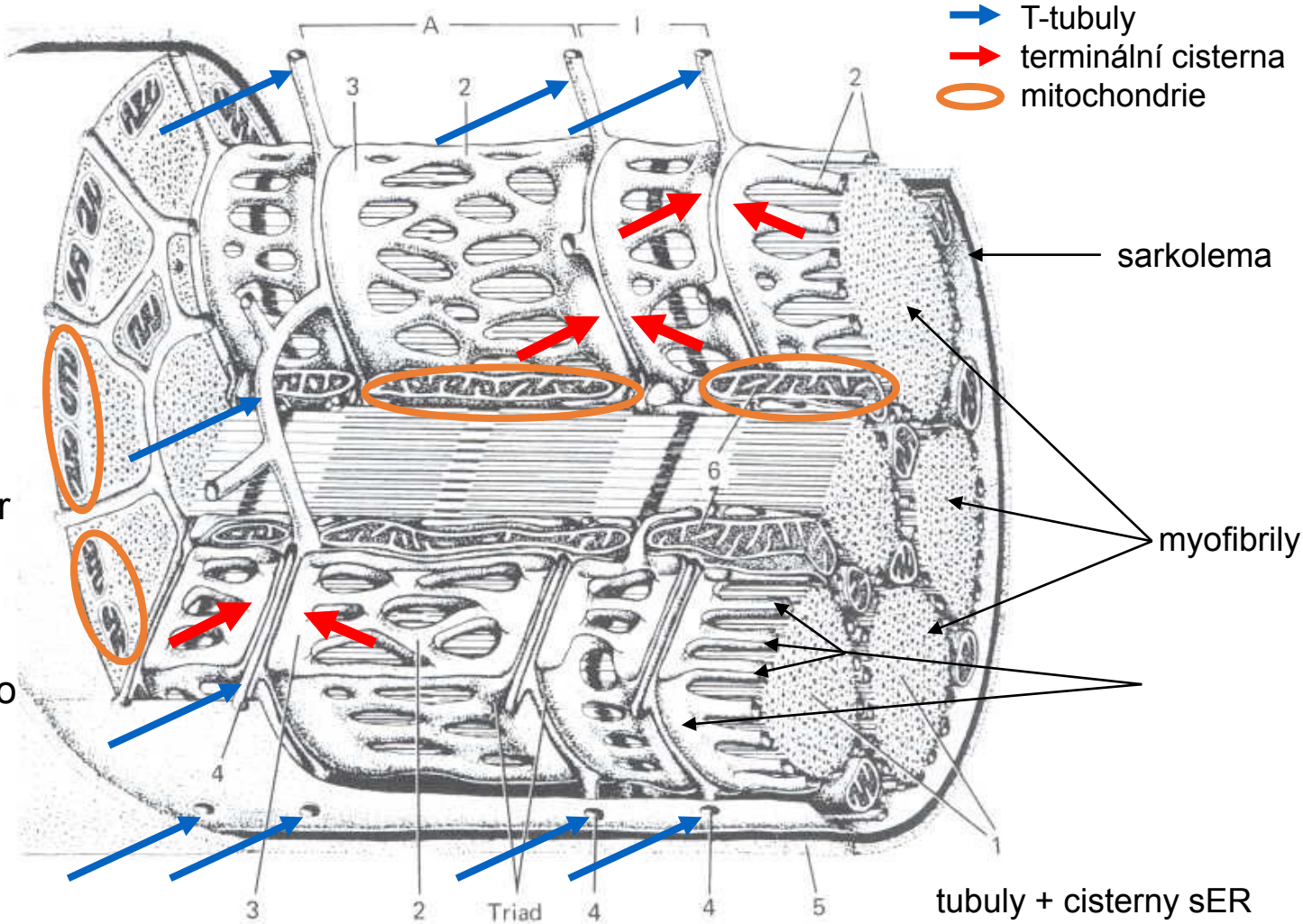
Sarkoplasma:

Jádra
Mitochondrie
Golgiho aparát,
Glykogen (β granula)

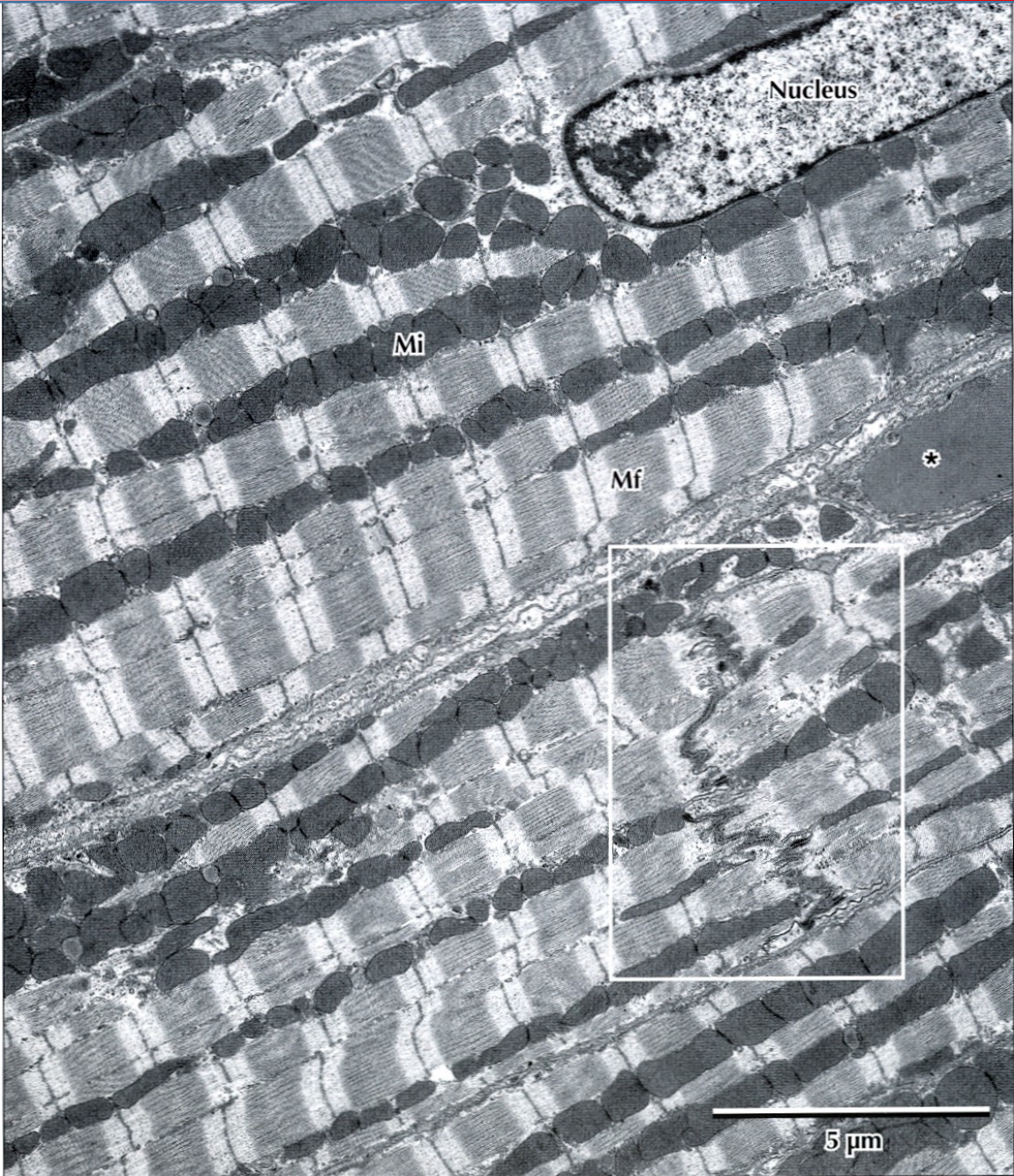
Sarkoplazmatické retikulum

(hladké ER) – rezervoár Ca^{2+}

Myofibrily (paralelně s dlouhou osou svalového vlákna)

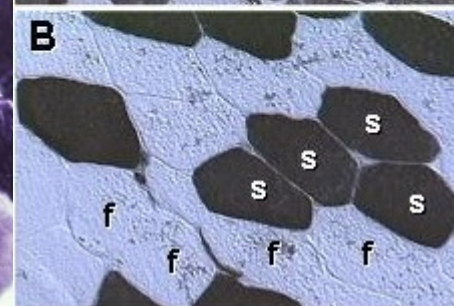
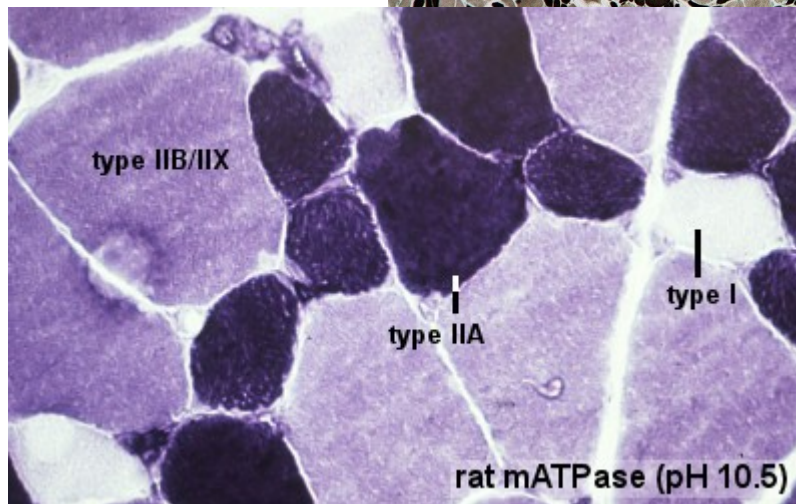
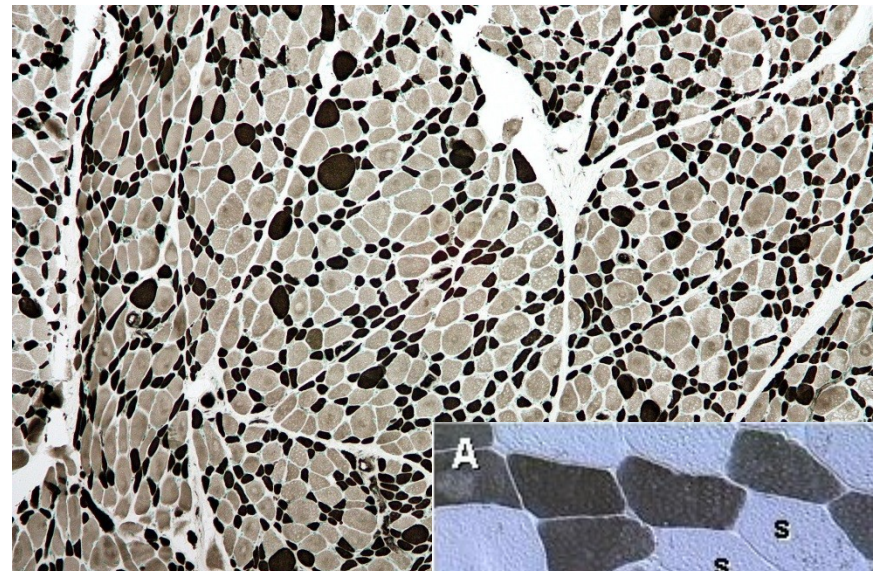


ULTRASTRUKTURA RHABDOMYOCYTU



FYZIOLOGICKÁ KLASIFIKACE KOSTERNÍCH SVALŮ

- **Kosterní svaly mají různé fyziologické parametry**
 - různé izoformy proteinů kontraktilního aparátu
 - využití kyslíku
 - vaskularizace
 - obsah glykogenu
- **Pomalá oxidativní**
- **Rychlá glykolytická**
- **Rychlá oxidativně-glykolytická**



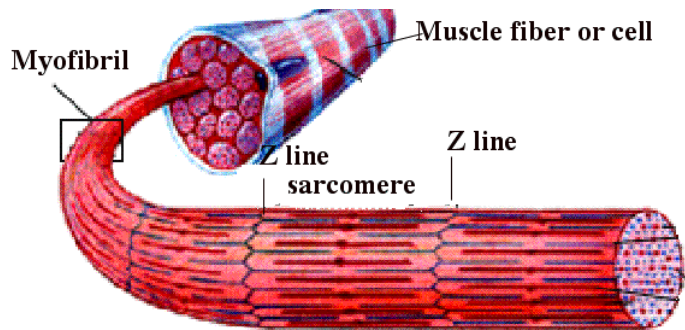
FYZIOLOGICKÁ KLASIFIKACE KOSTERNÍCH SVALŮ

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

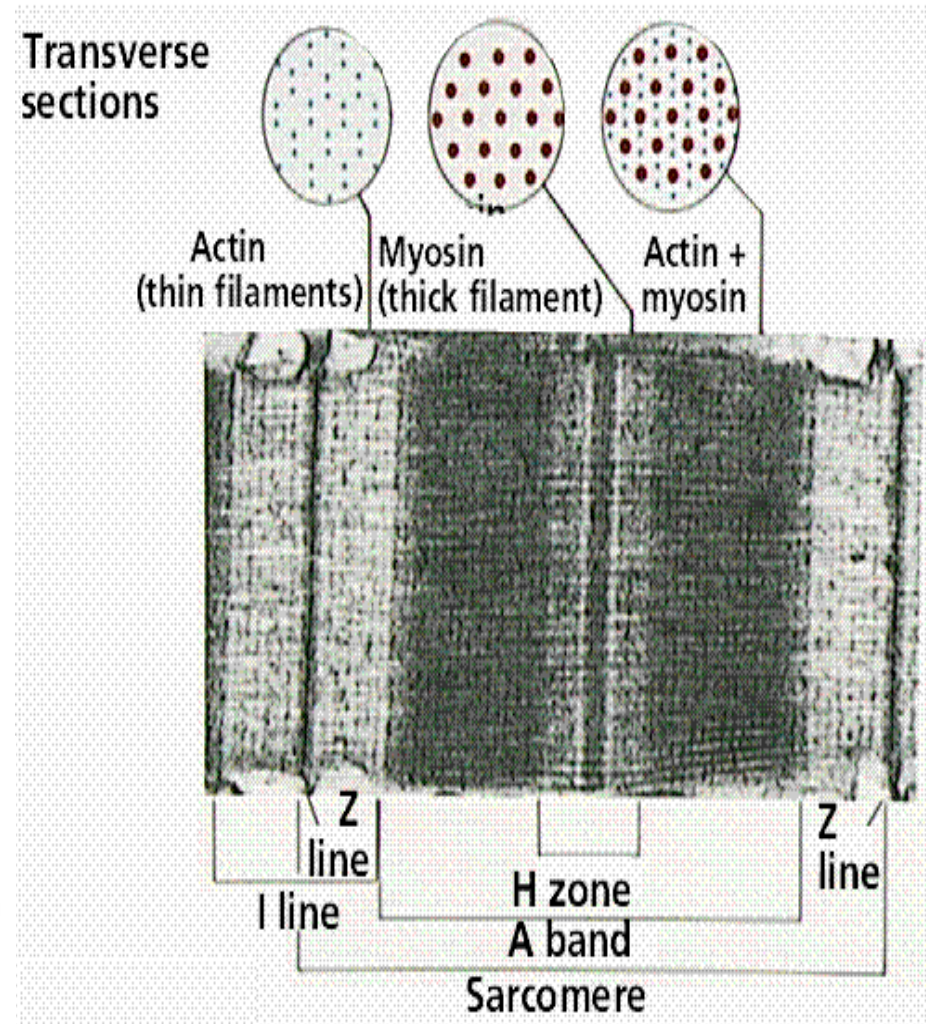
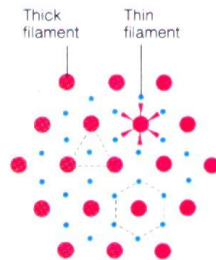
Není nutné pro zkoušku, ale pro pochopení stavby různých svalů

MYOFIBRILY

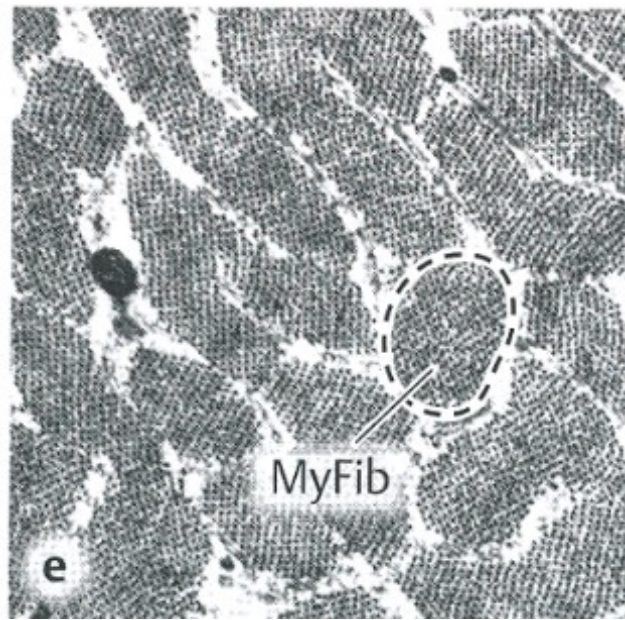
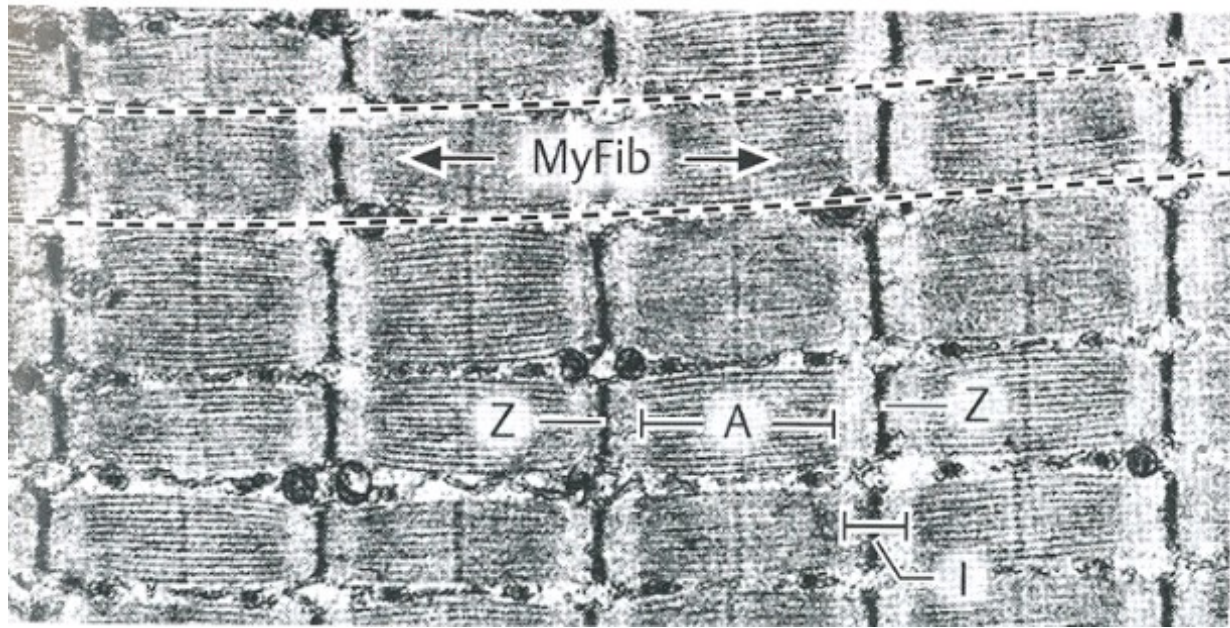
- protáhlé cytoskeletární struktury [Ø 0.5 – 1.5 µ] v sarkopazmě svalového vlákna



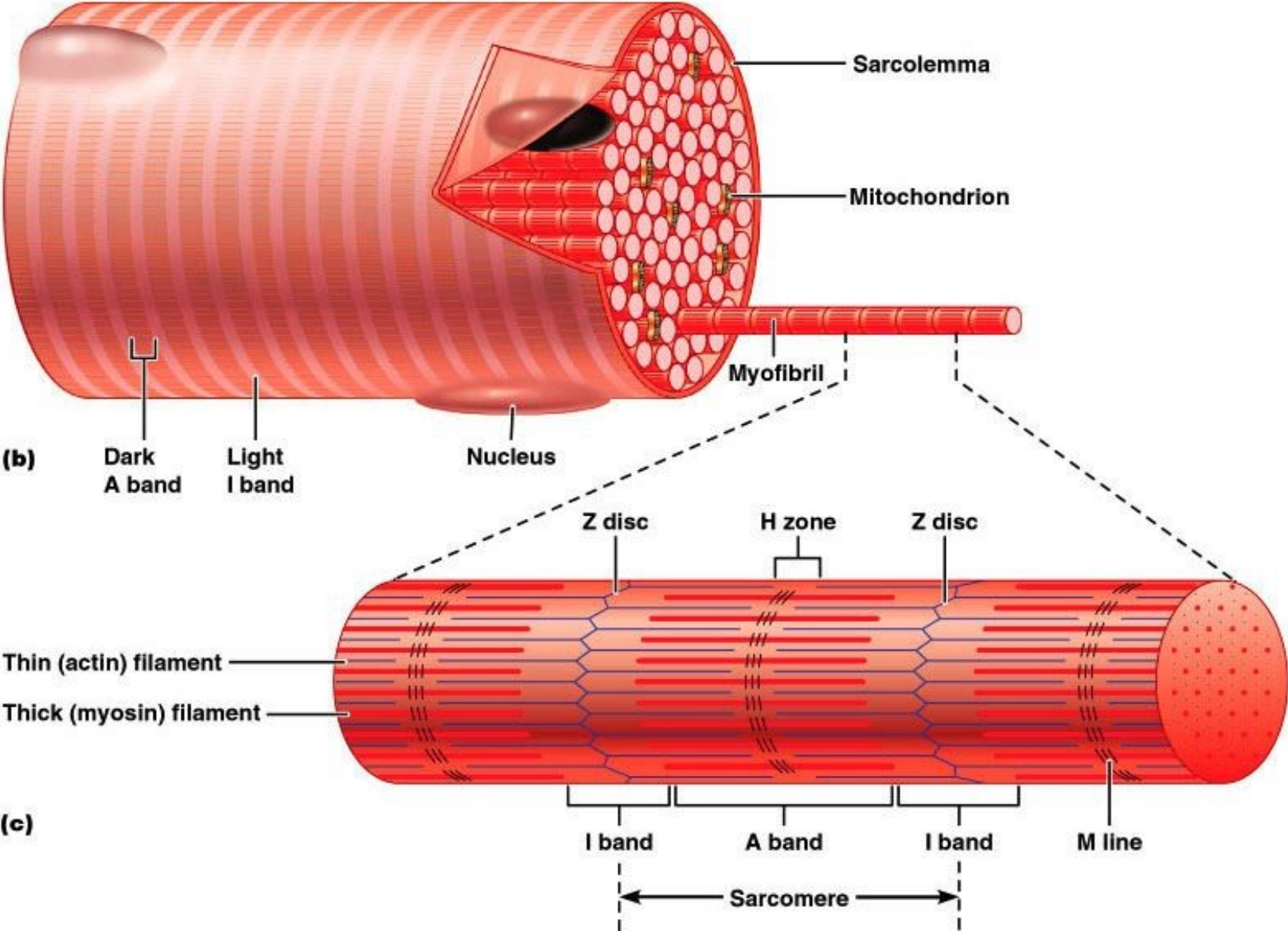
- Aktin + myosin - myofilamenta
- Sarcomera
- Z-linie
- M-linie a H-zóna
- I-proužek, A-proužek



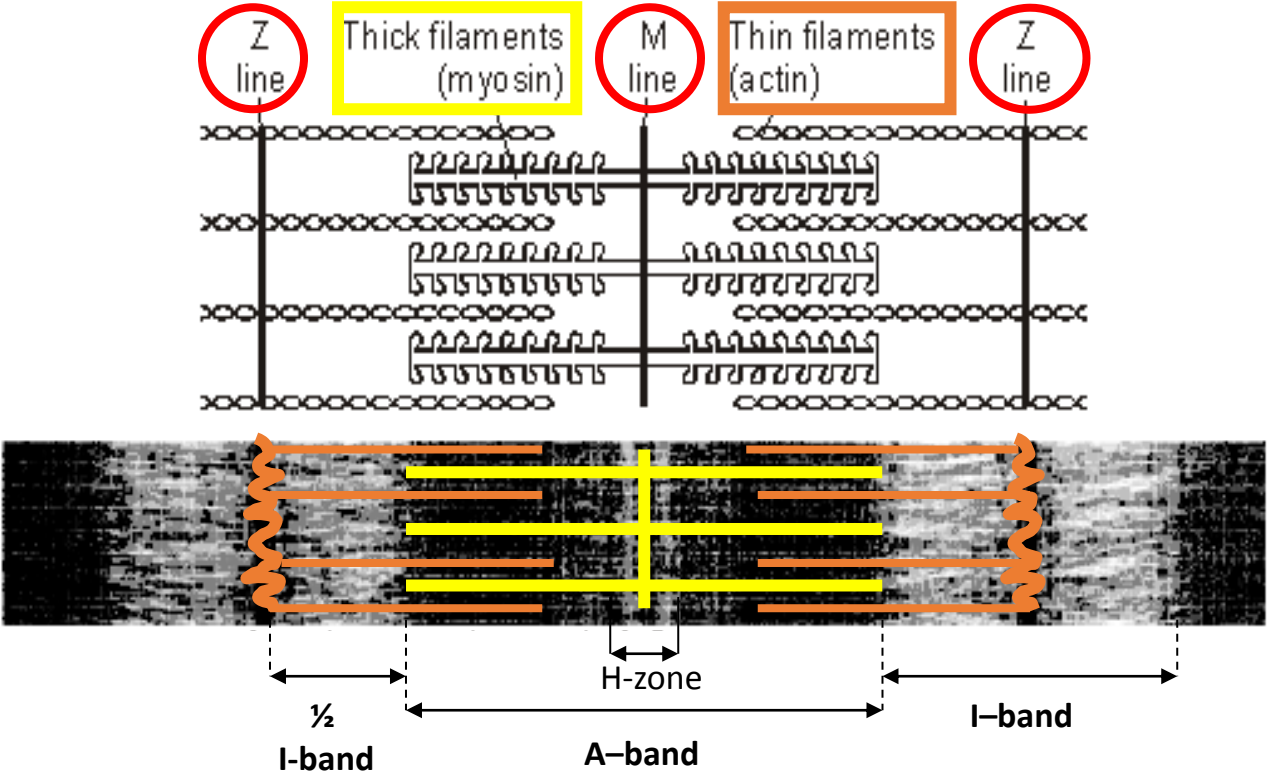
MYOFIBRILLY



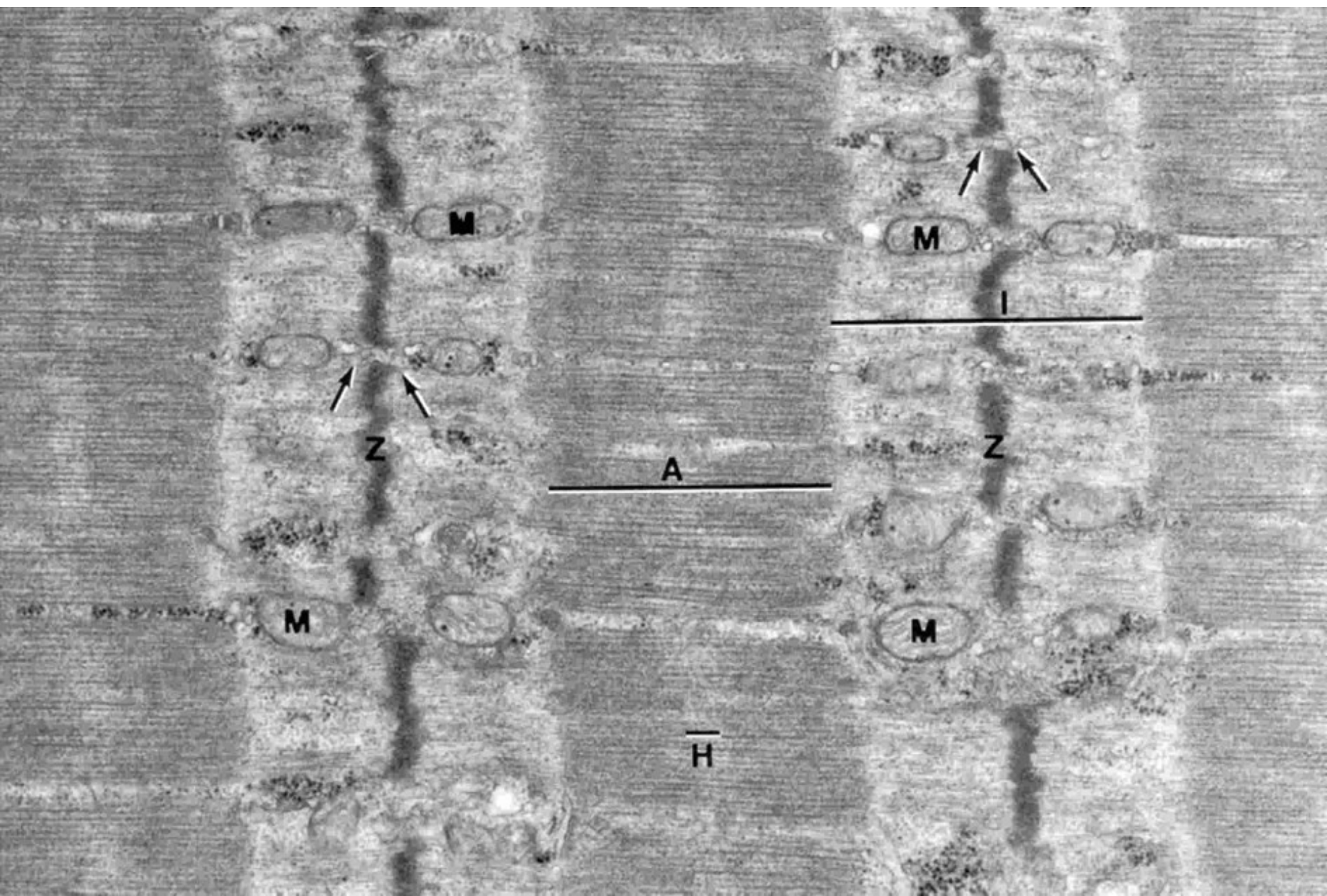
SARKOMERA



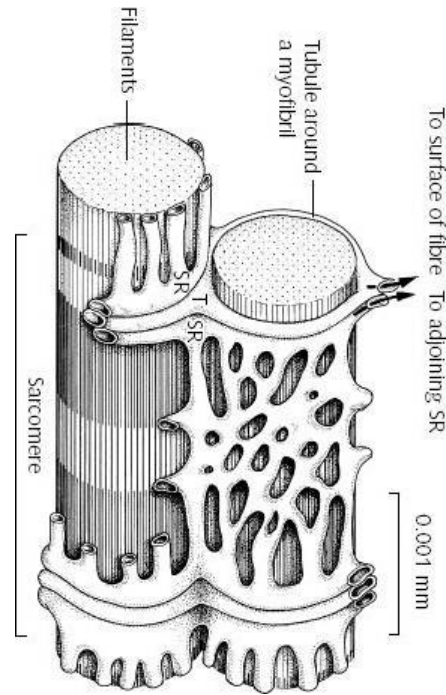
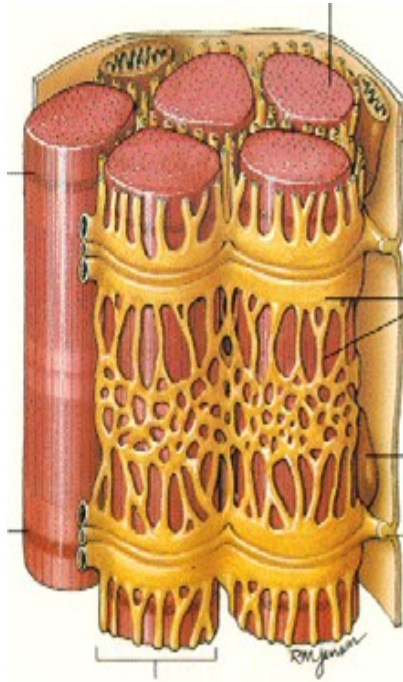
SARKOMERA



SARKOMERA



SARKOPLAZMATICKÉ RETIKULUM

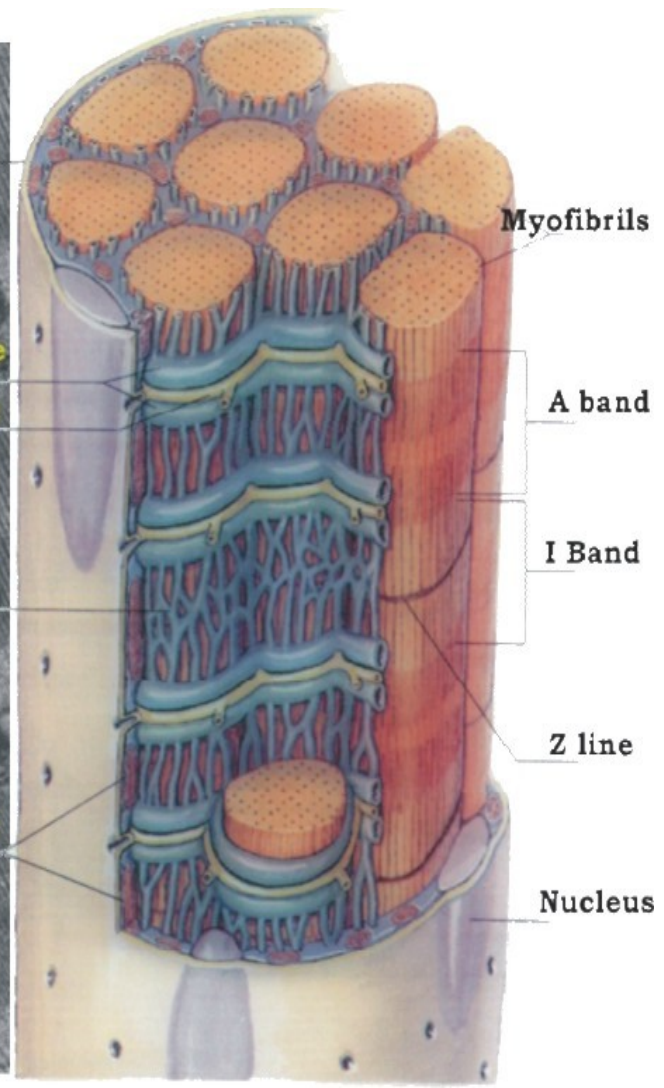
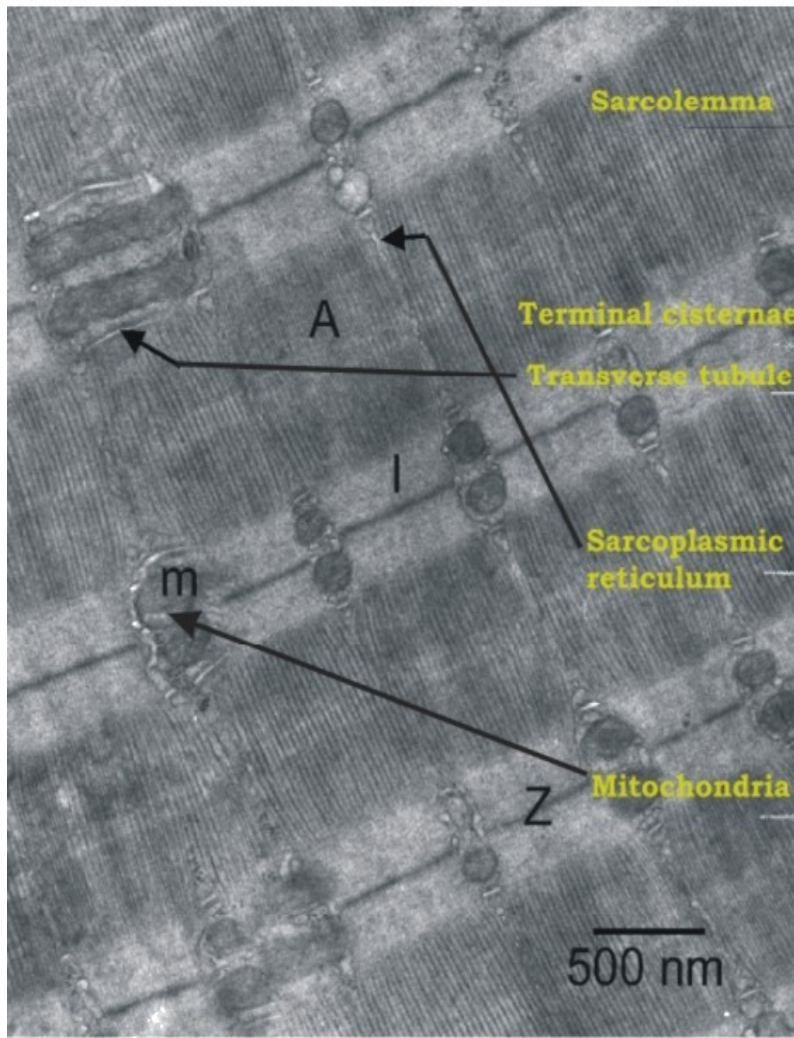


Terminální cisterna
T-tubule
Terminální cisterna

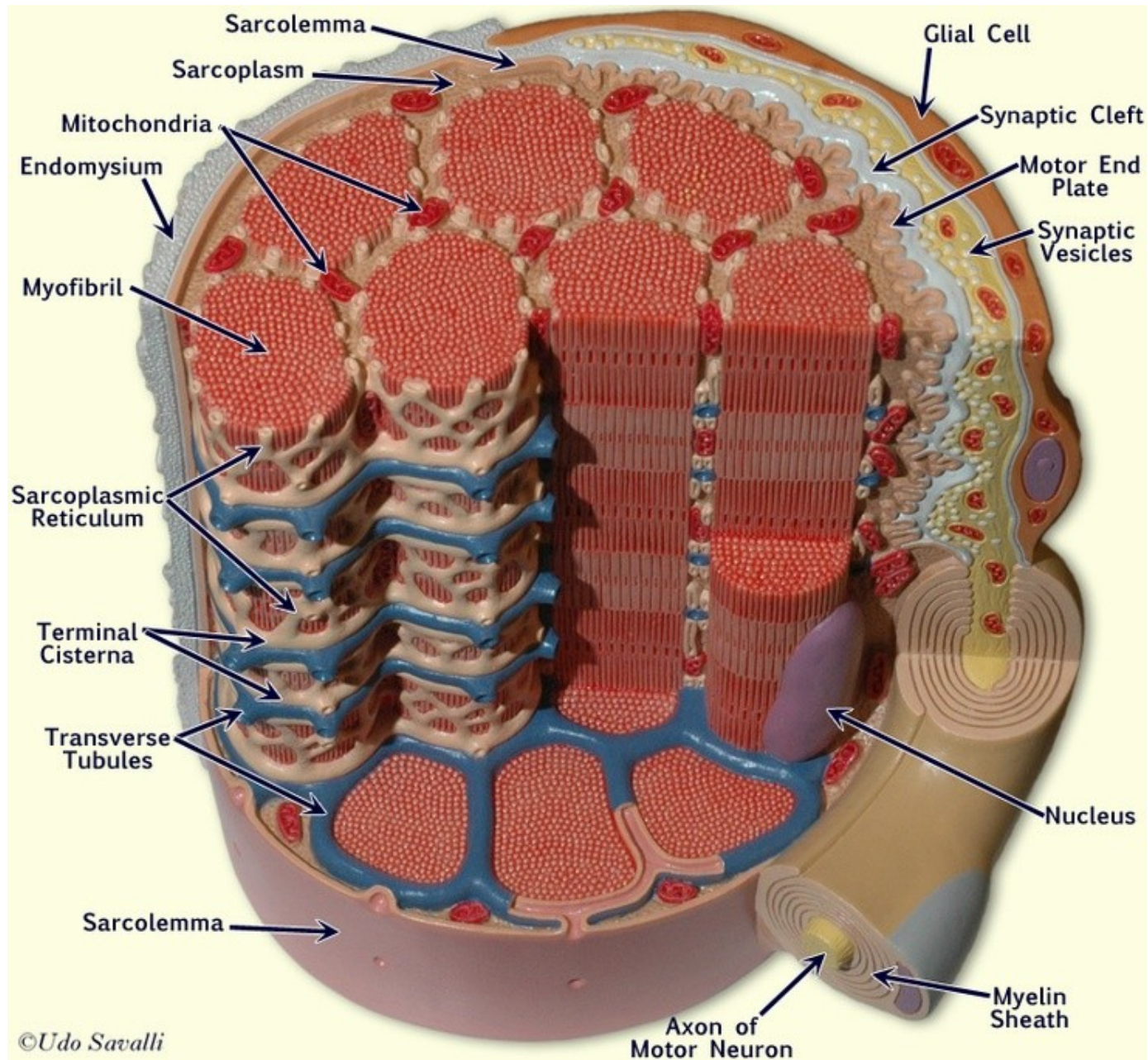
} TRIÁDA

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

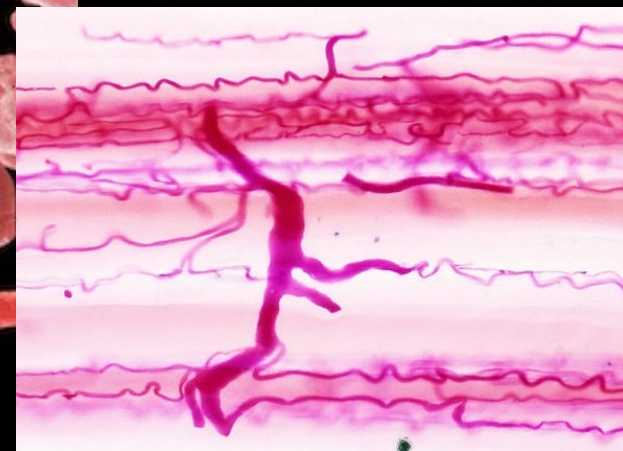
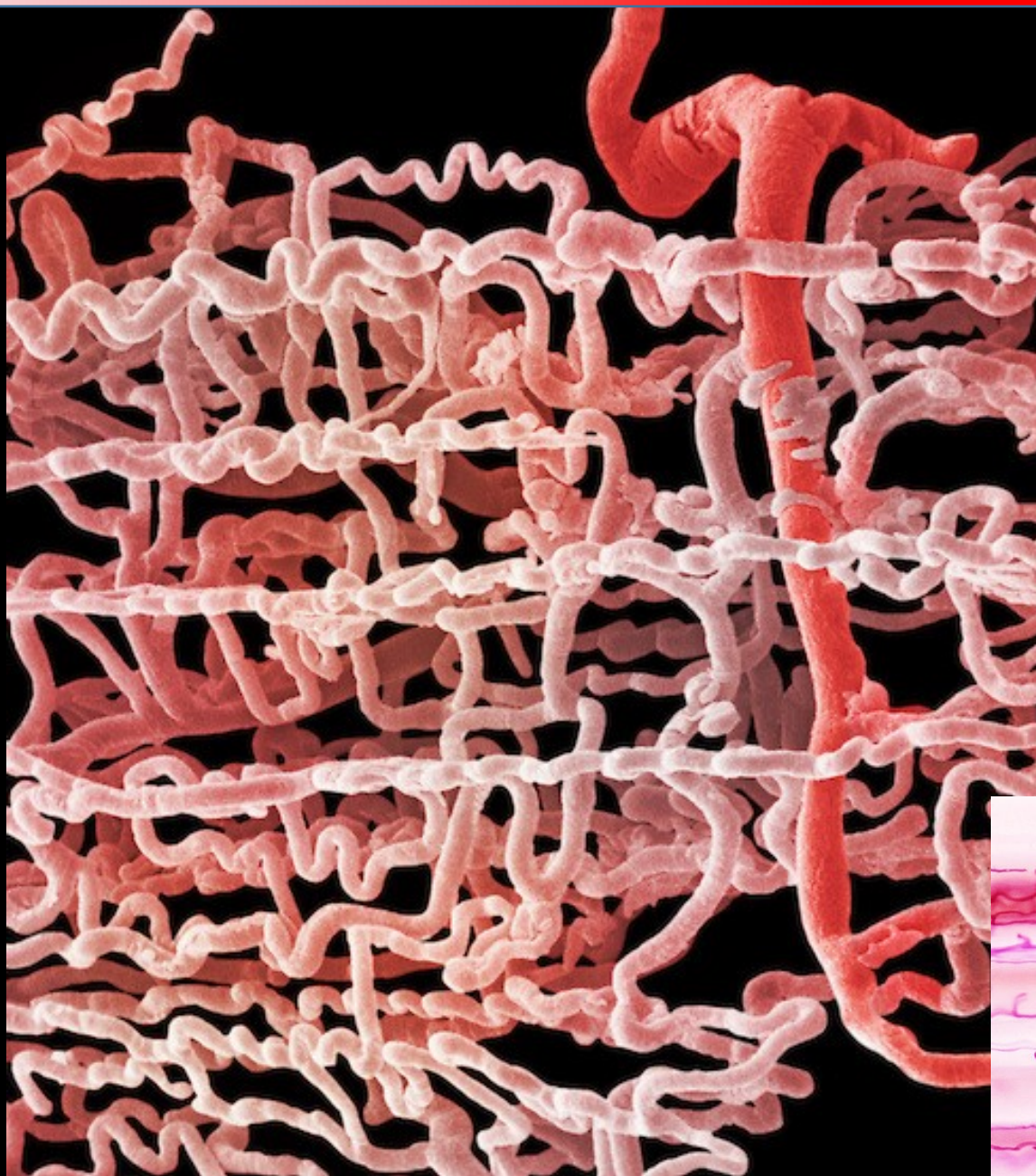
SARKOPLAZMATICKÉ RETIKULUM



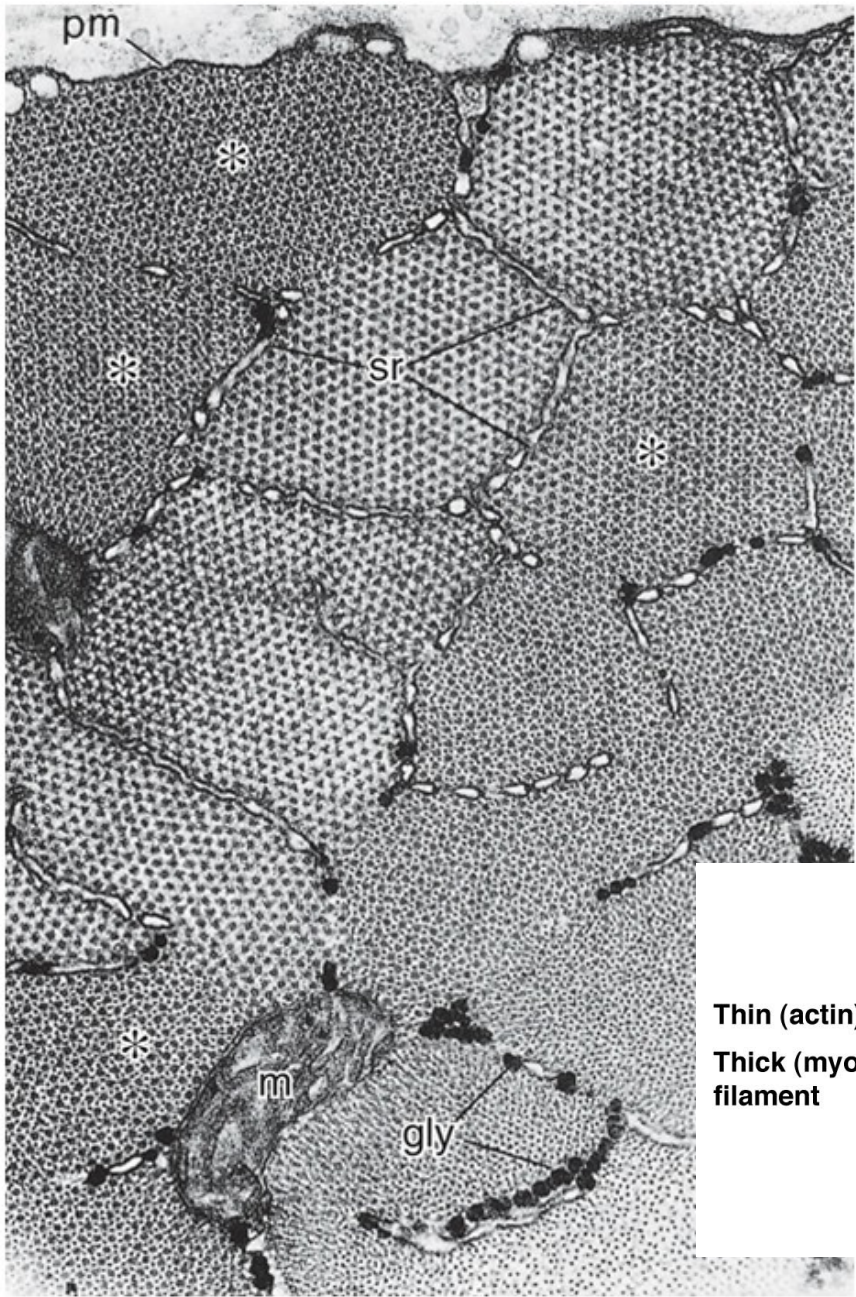
SARKOPLAZMATICKÉ RETIKULUM



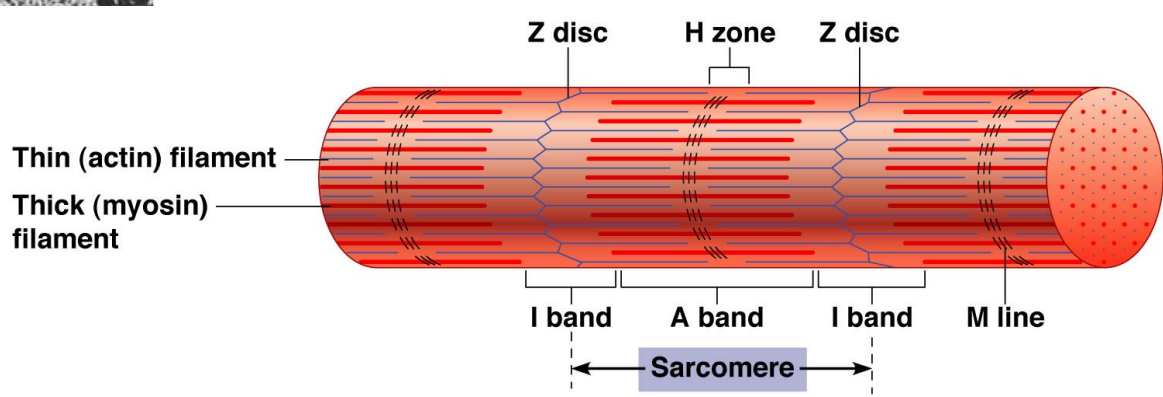
KAPILÁRY KOLEM SVALOVÝCH VLÁKEN



MYOFILAMENTA

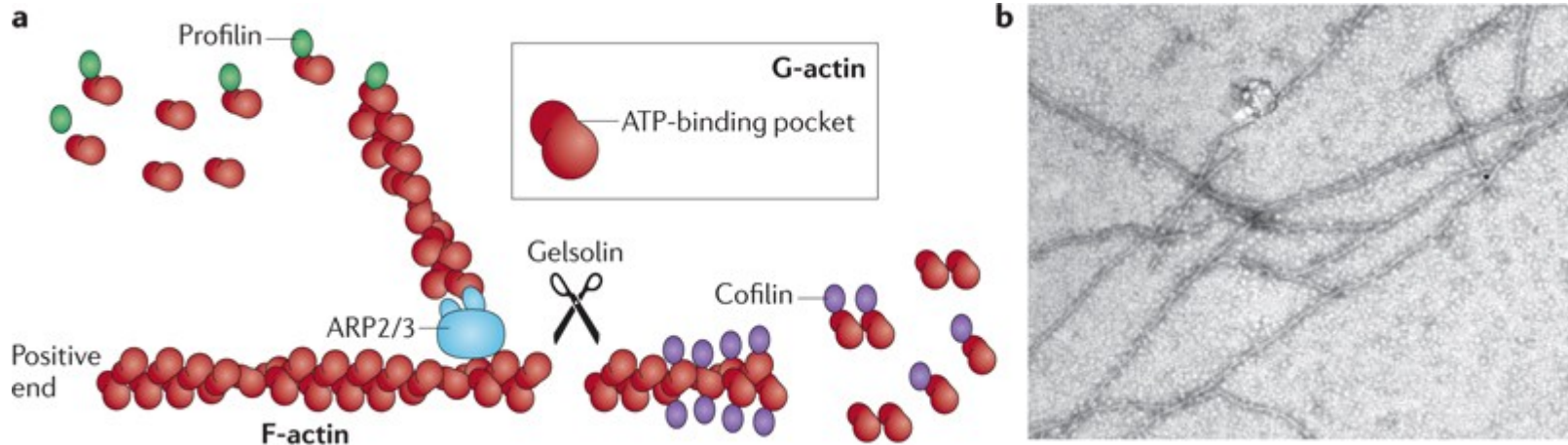


Cytoskelet svalové buňky



TENKÁ MYOFILAMENTA

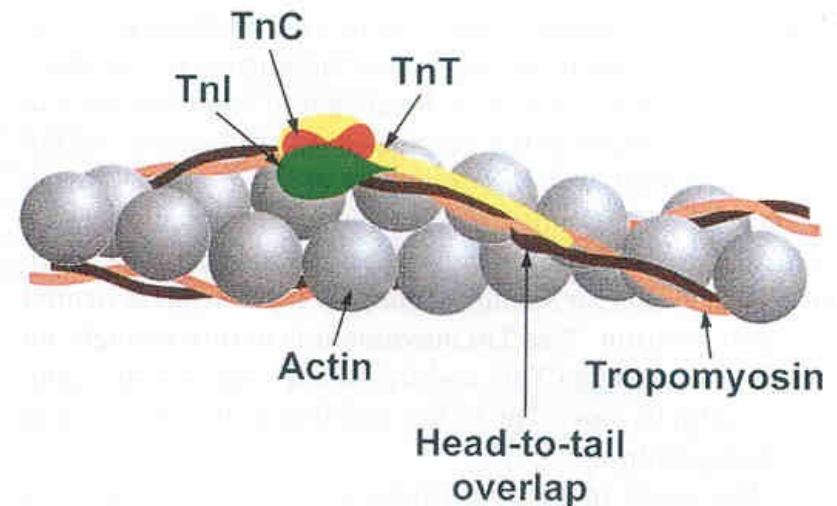
• Fibrilární aktin (F-actin)



• Tropomyosin

• Troponin – komplex 3 globulárních proteinů

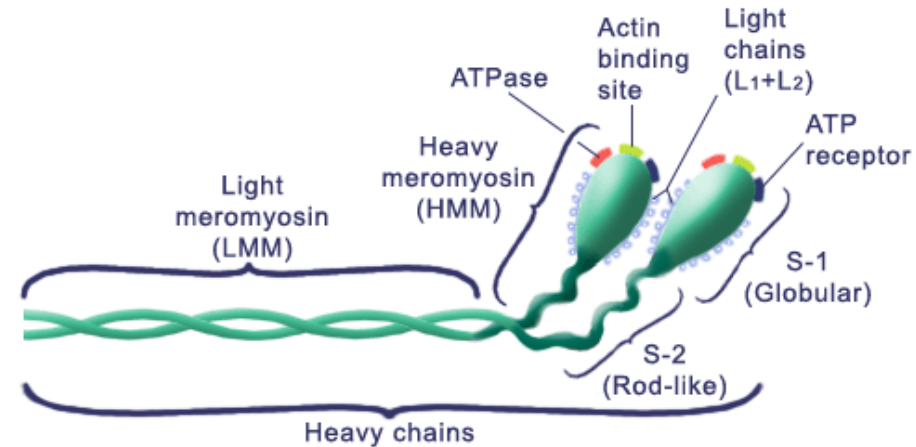
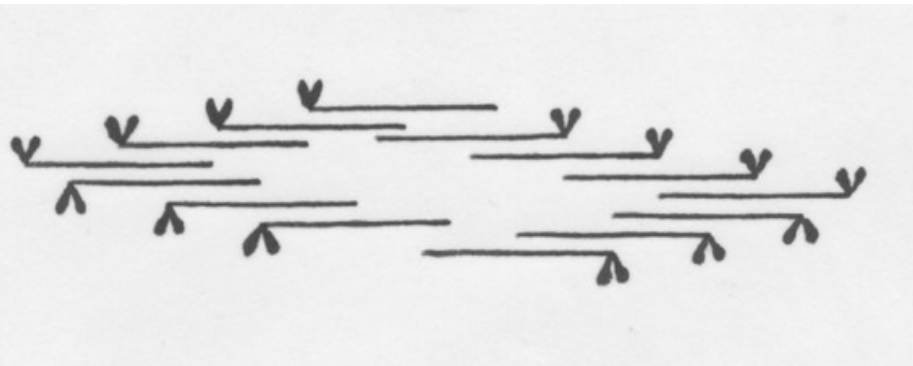
- TnT (Troponin T) – váže tropomyosin
- TnC (Troponin C) – váže kalcium
- TnI (Troponin I) inhibuje interakci mezi tenkými a tlustými myofilamenty



TLUSTÁ MYOFILAMENTA

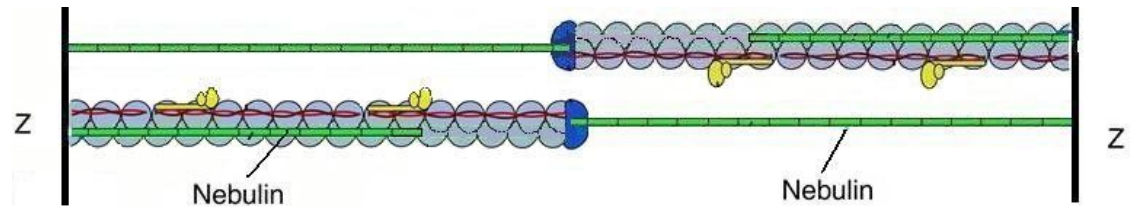
- **Myosin II**

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



- **Nebulin**

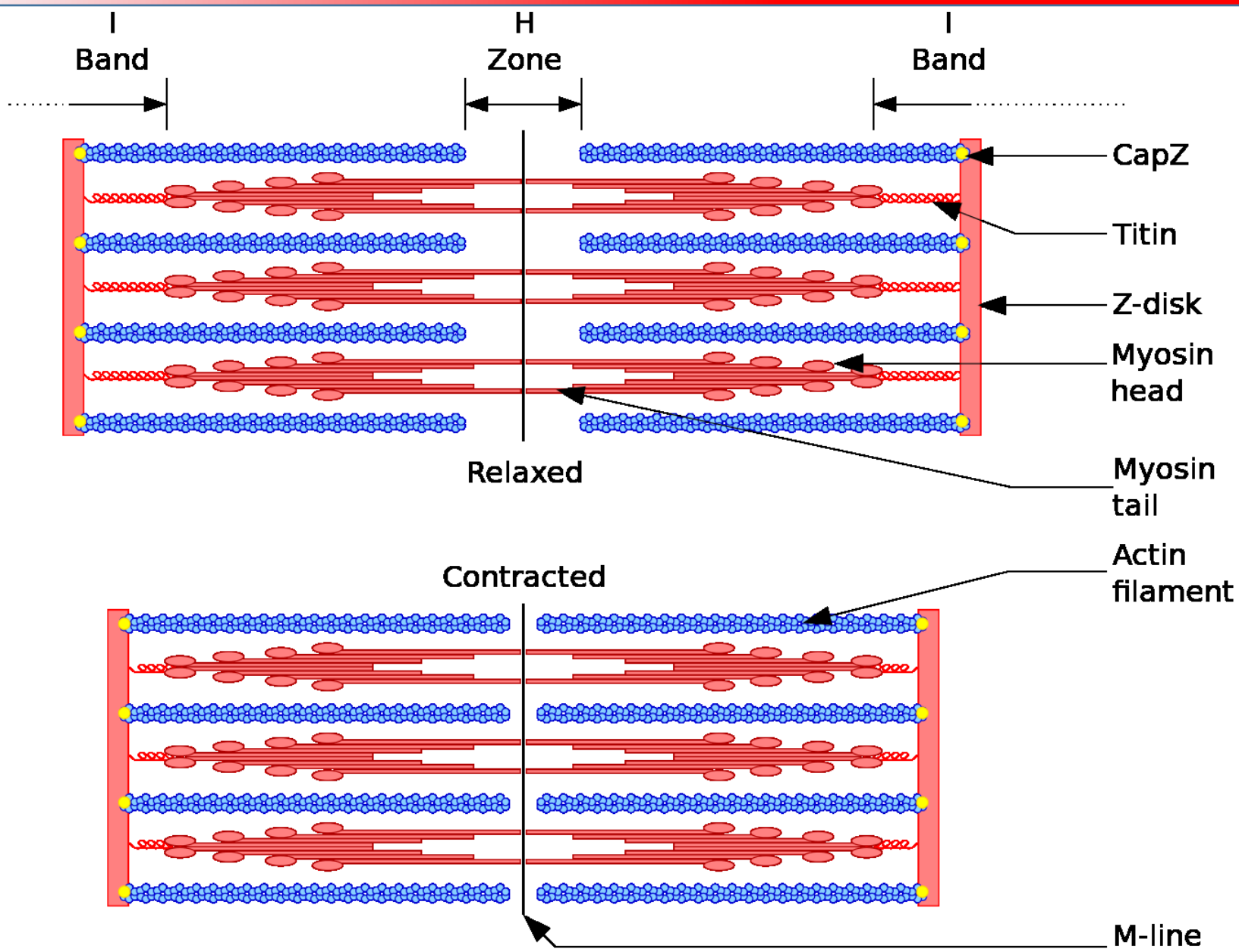
- 600-900kDa
- stabilizace F-aktinu



- **Titin**

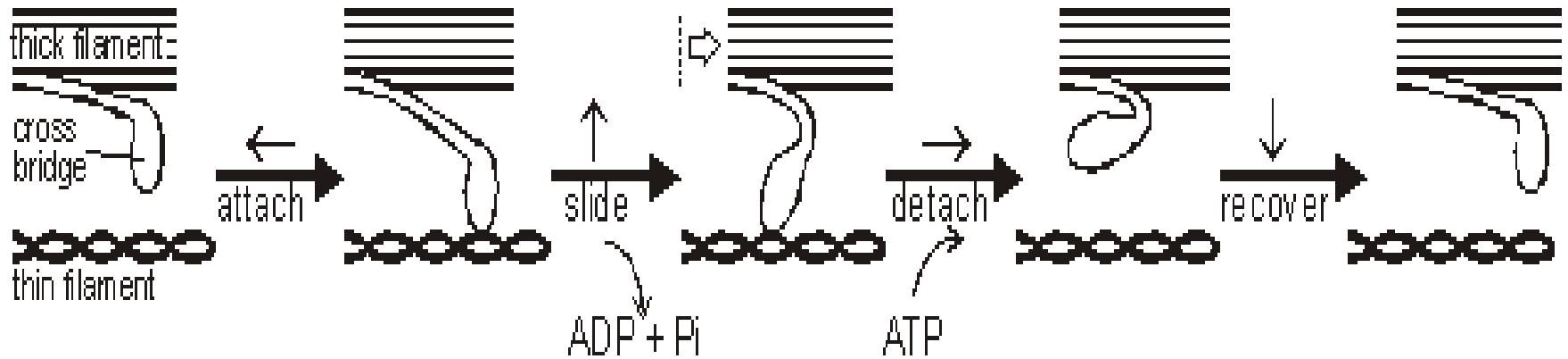
- >MDa
- stabilizace myosinu

MYOFILAMENTA TVOŘÍ SARKOMERU

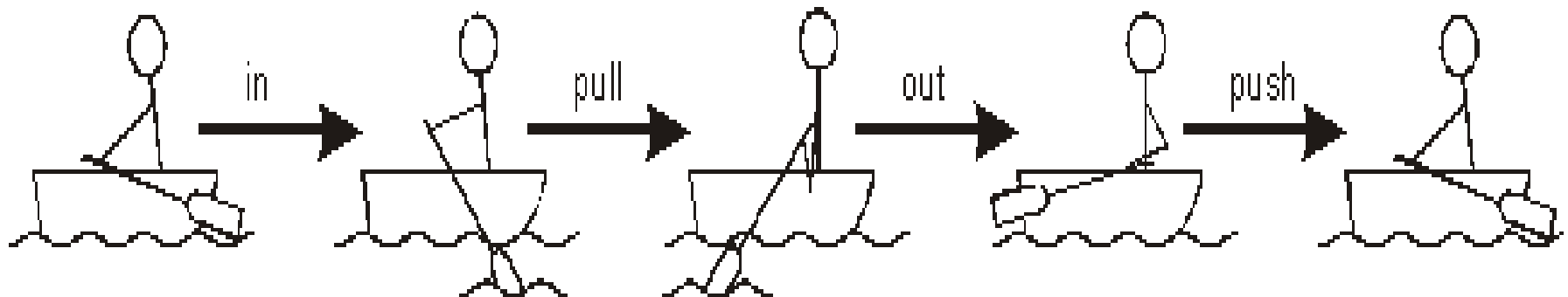


MECHANISMUS KONTRAKCE

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

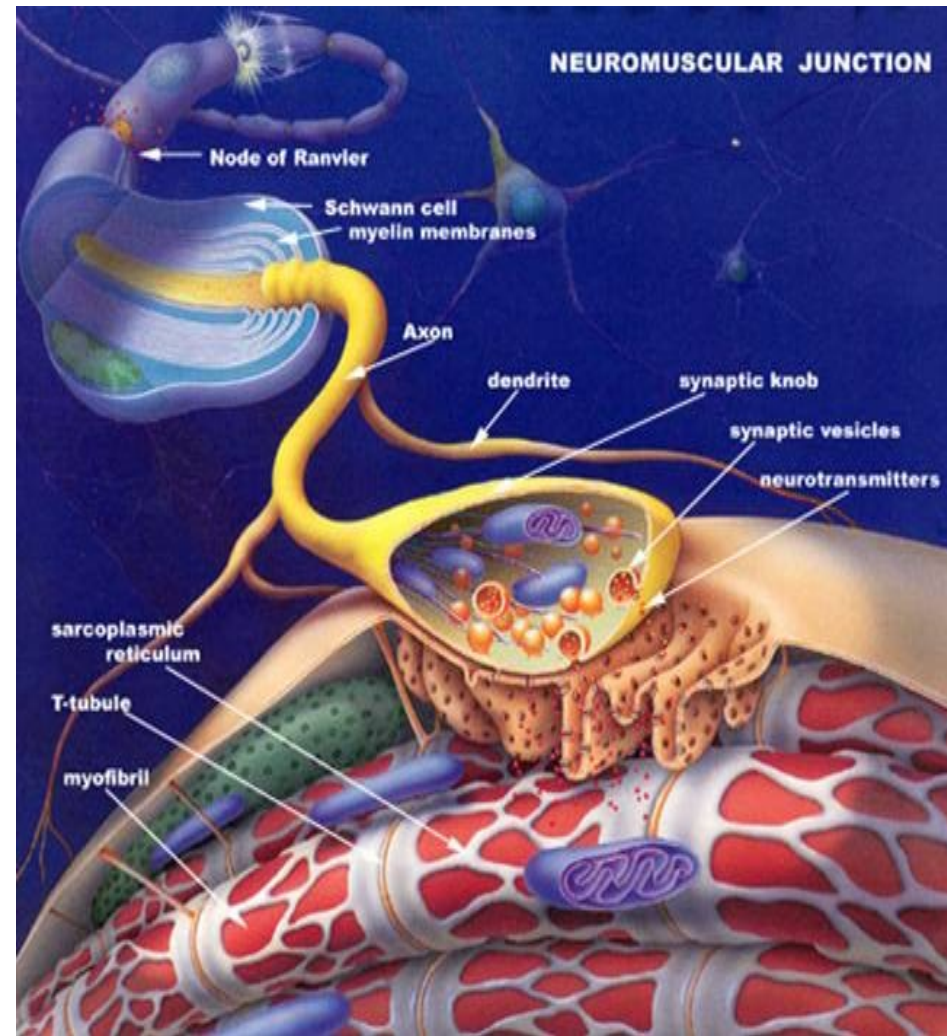


The Rowing Cycle



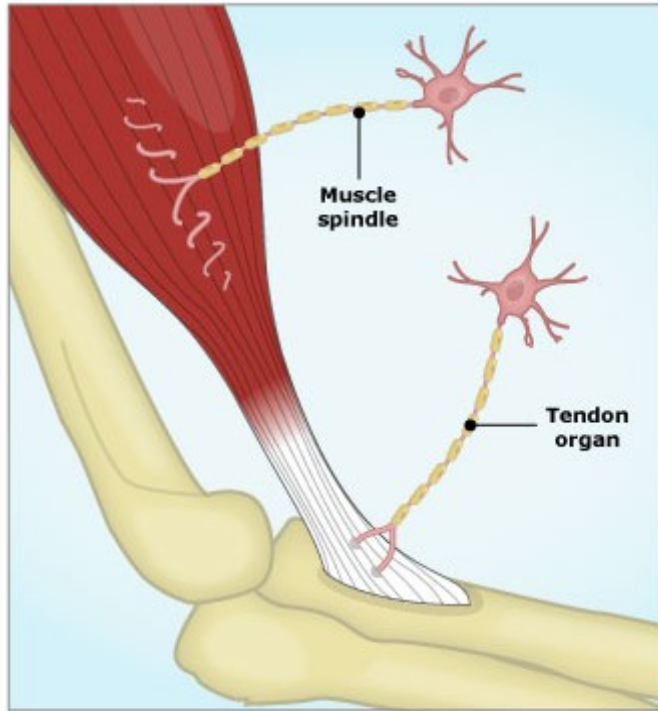
MECHANISMUS KONTRAKCE

1. Impuls podél axonu motorneuronu
2. Depolarizace presynaptické membrány (Na^+ influx)
3. Synaptické vezikuly splývají s presynaptickou membránou
4. Acetylcholin se uvolňuje do synaptické štěrby
5. Acetylcholin difunduje k postsynaptické membráně a váže se na své receptory, které otevírají Na kanály
6. Depolarizace postsynaptické membrány a sarkolemy (Na^+ influx)
7. Depolarizace T-tubulů a terminálních cisteren sER
8. Kompletní 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 váží 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

PROPRIORECEPTORY

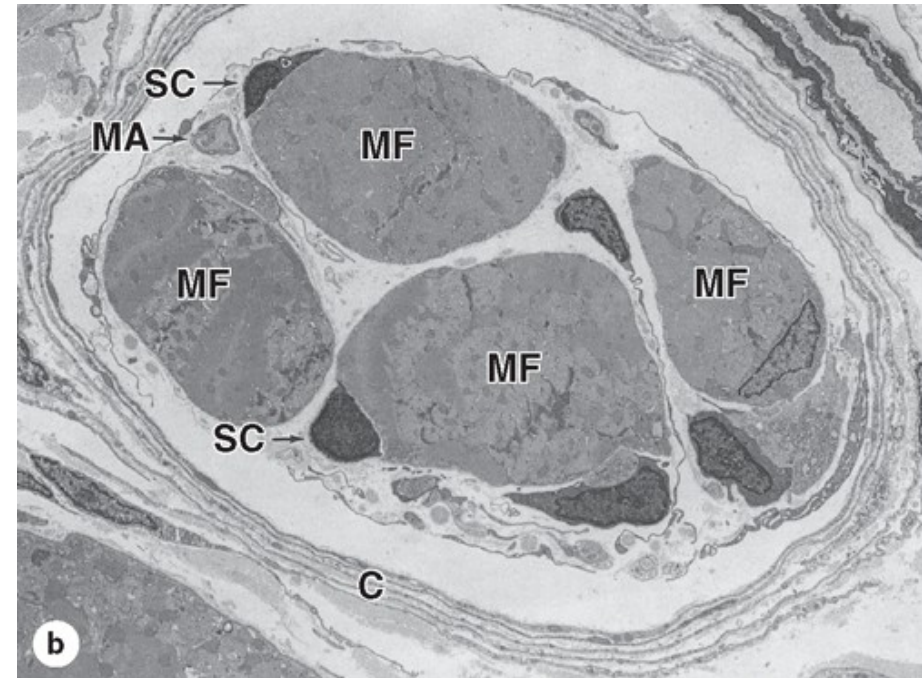


Golgiho šlachová tělíska

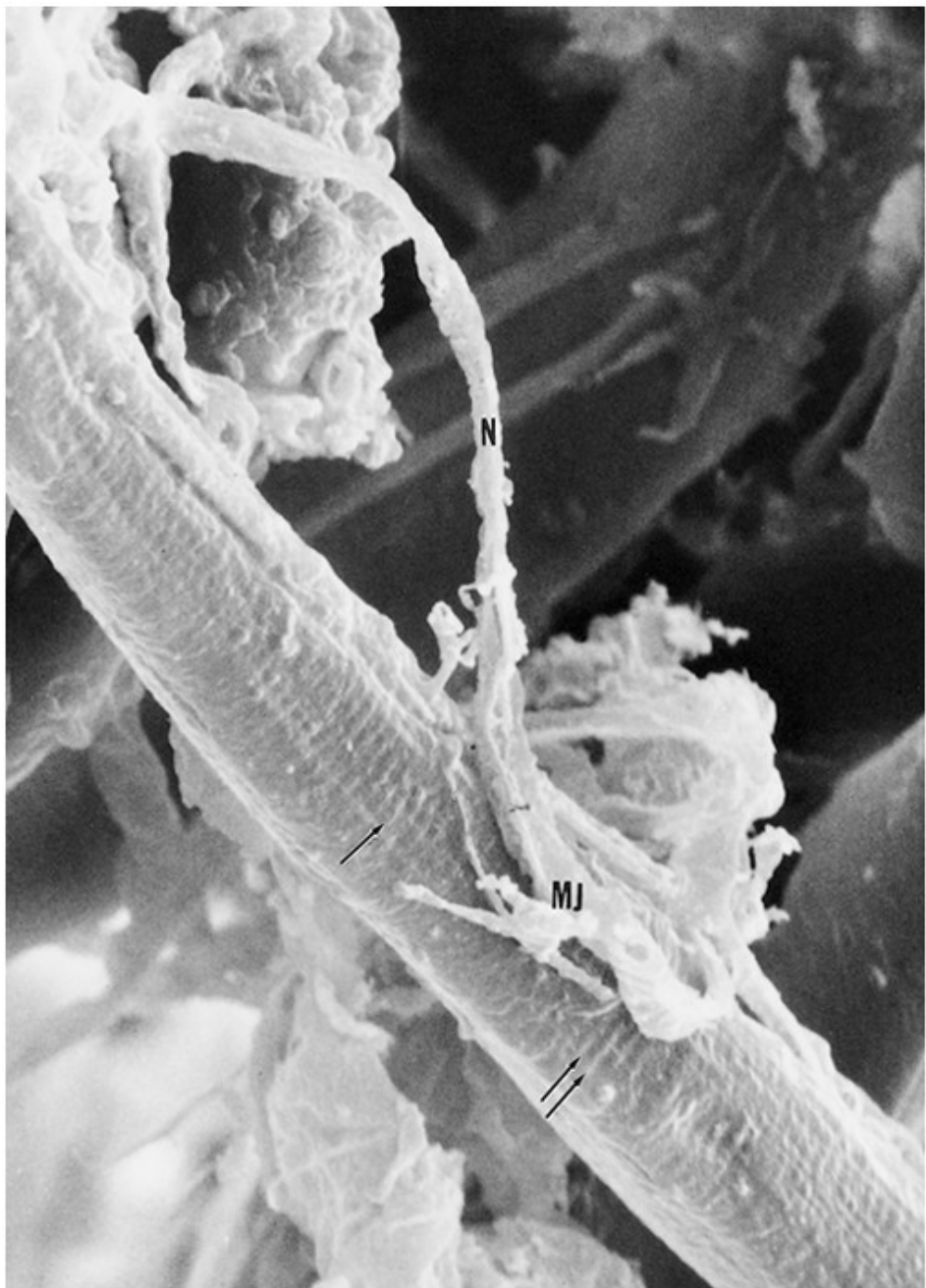
- myotendinózní přechod
- senzitivní nervová zakončení mezi kolagenními vlákny
- změny napětí
- utlumení motorické nervové aktivity

Svalová vřeténka

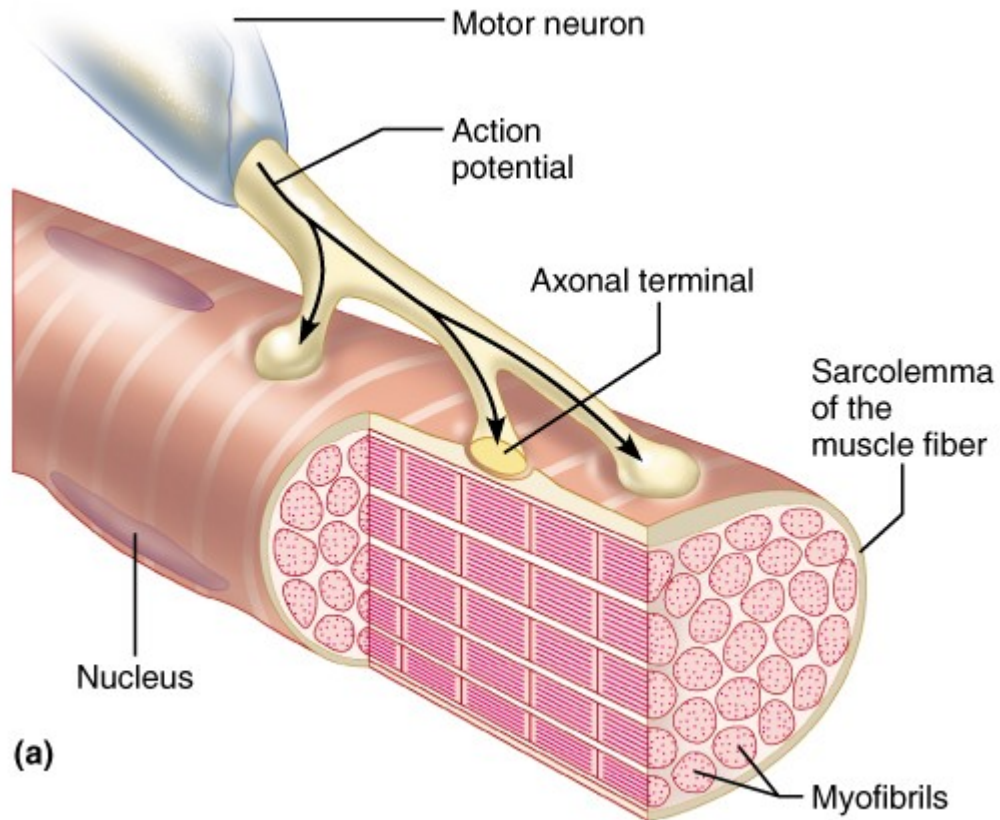
- změna protažení svalu
- modifikované perimysium
- tenká svalová (intrafuzální) vlákna
- senzitivní nervová zakončení
- reflexy, koordinace svalových skupin



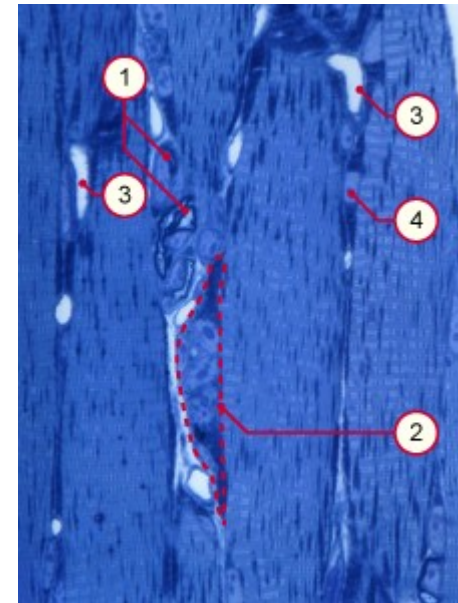
NEUROMUSKULÁRNÍ SPOJENÍ



NEUROMUSKULÁRNÍ SPOJENÍ

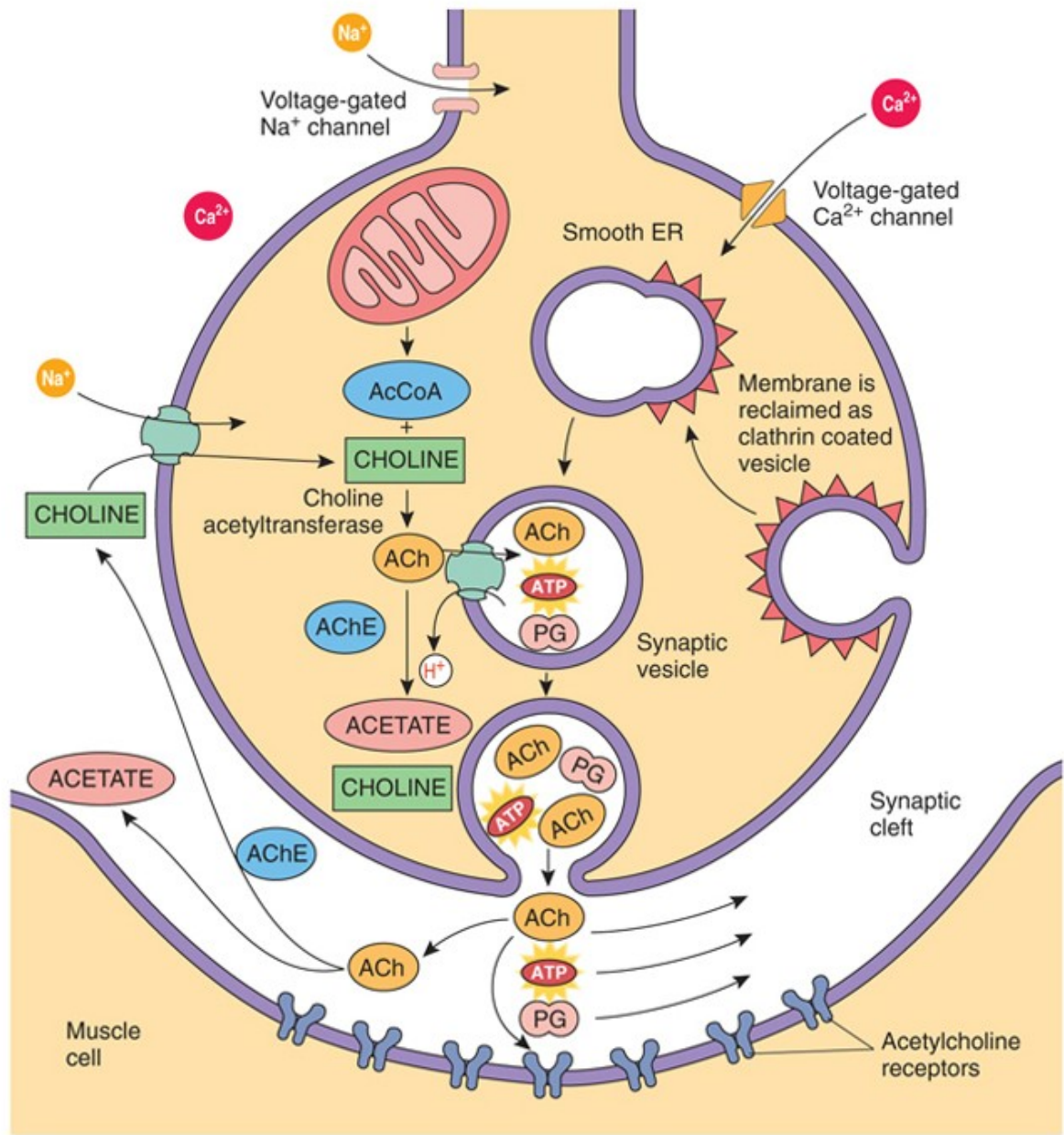


Copyright © 2001 Benjamin Cummings, an imprint of Addison Wesley Longman, Inc.

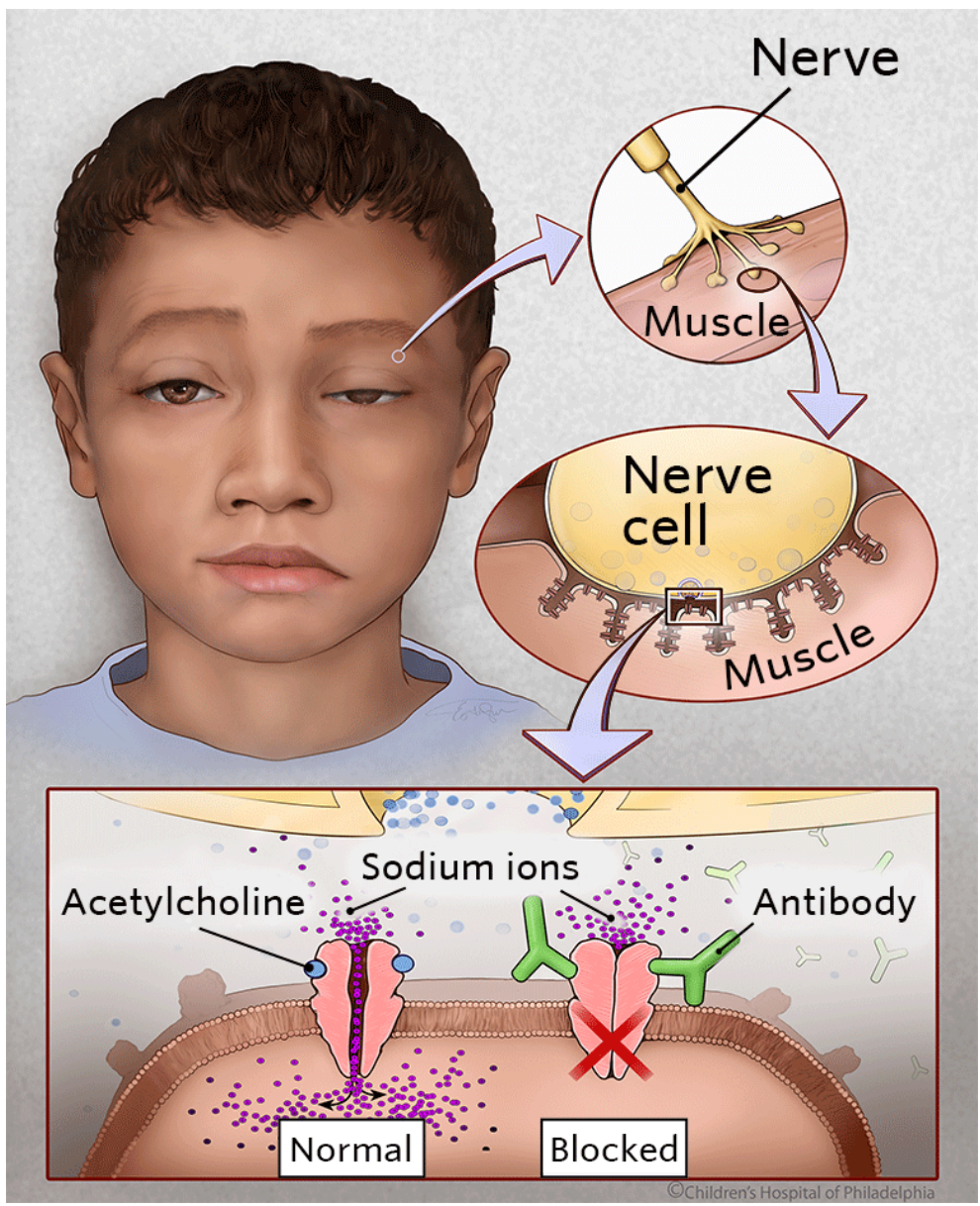


- 1 Myelinované axony
- 2 Neuromuskulární spojení
- 3 Kapiláry
- 4 Jádro rhabdomyocytu

NEUROMUSKULÁRNÍ SPOJENÍ



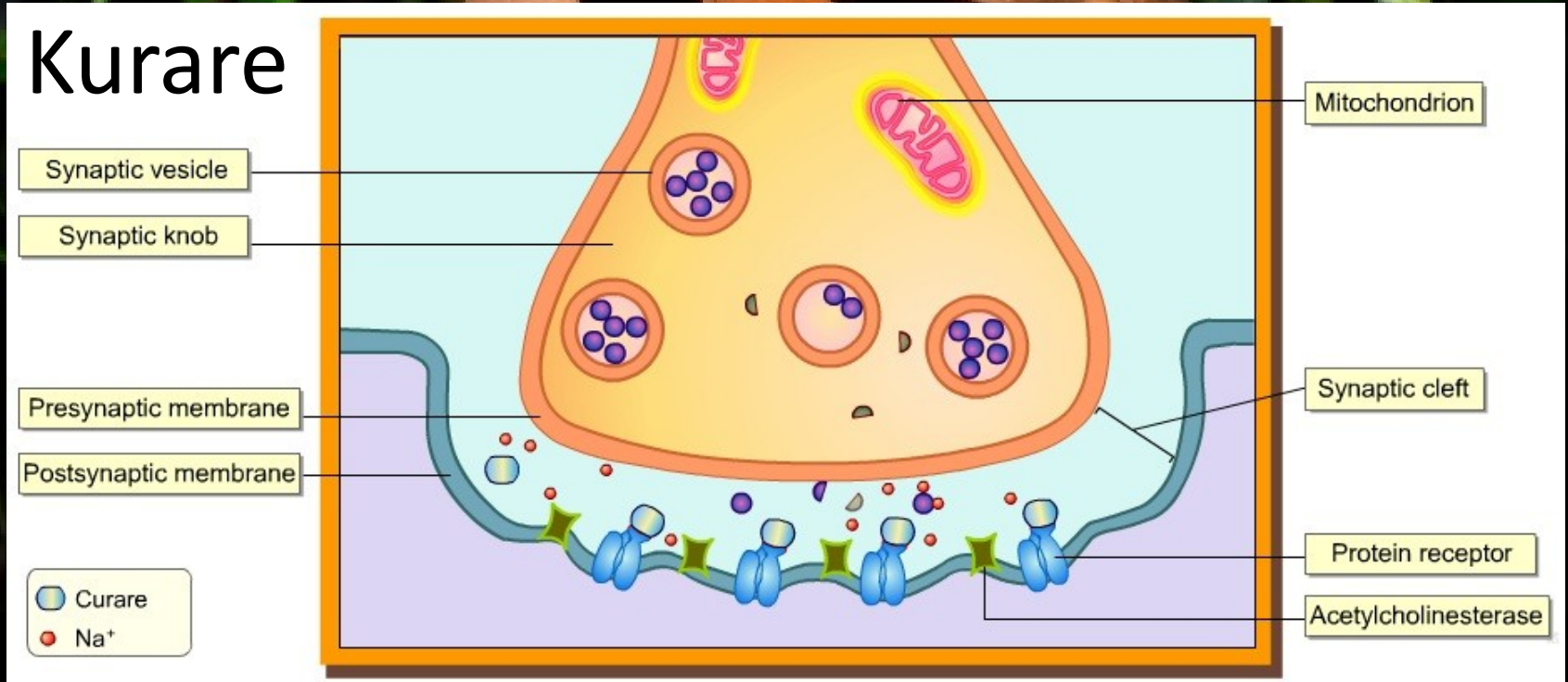
MYASTHENIA GRAVIS



protilátky proti ACh receptoru



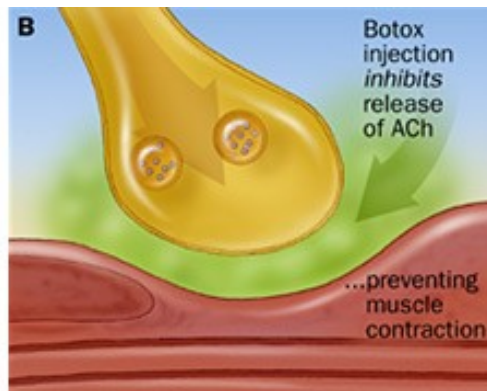
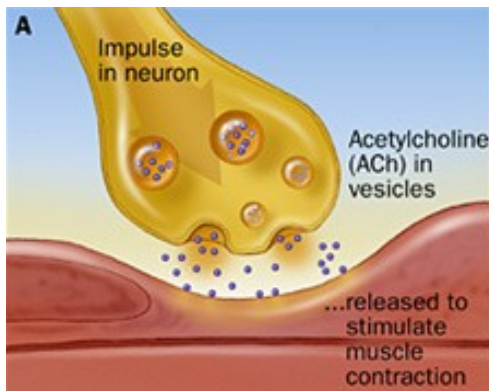
Kurare



blok ACh receptoru/Na⁺kanálu

BOTULOTOXIN

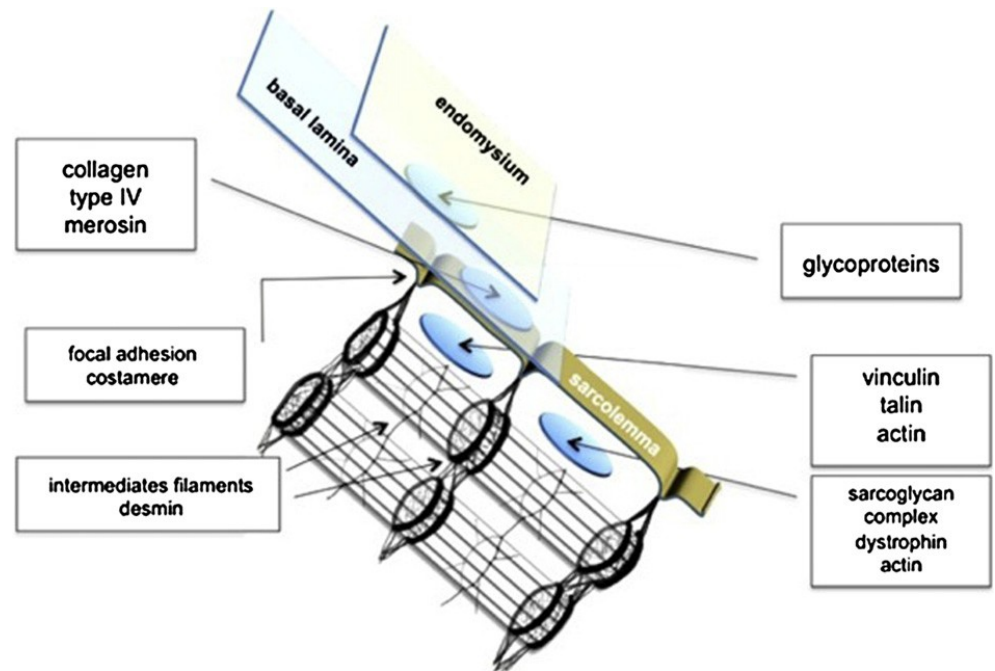
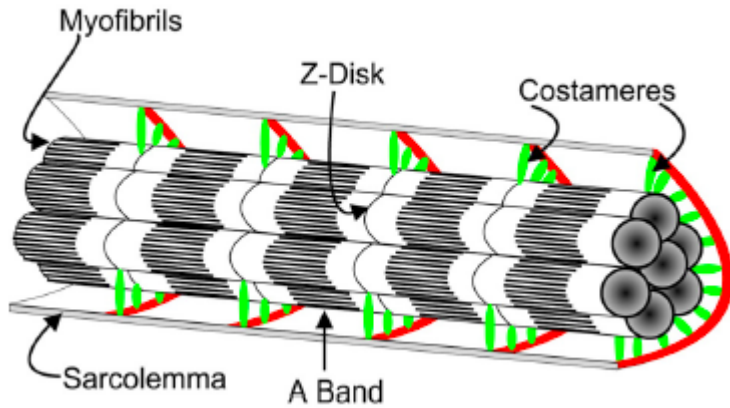
Clostridium botulinum



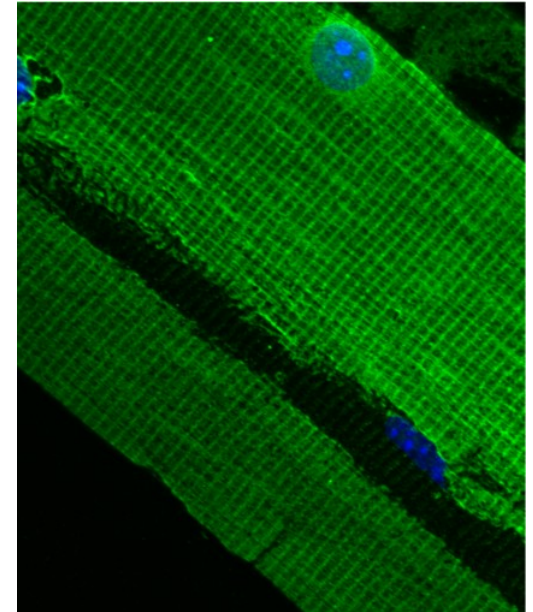
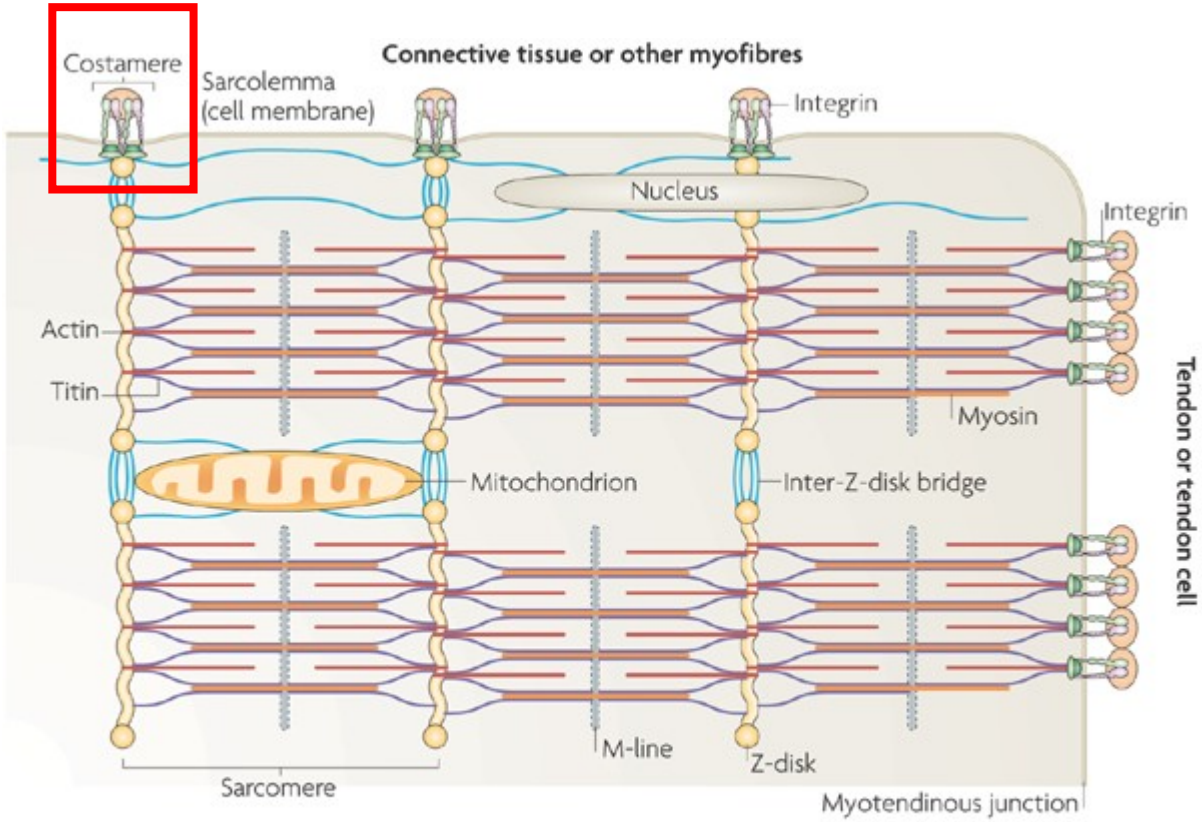
blok syntézy a vyloučení ACh

KOSTAMERY

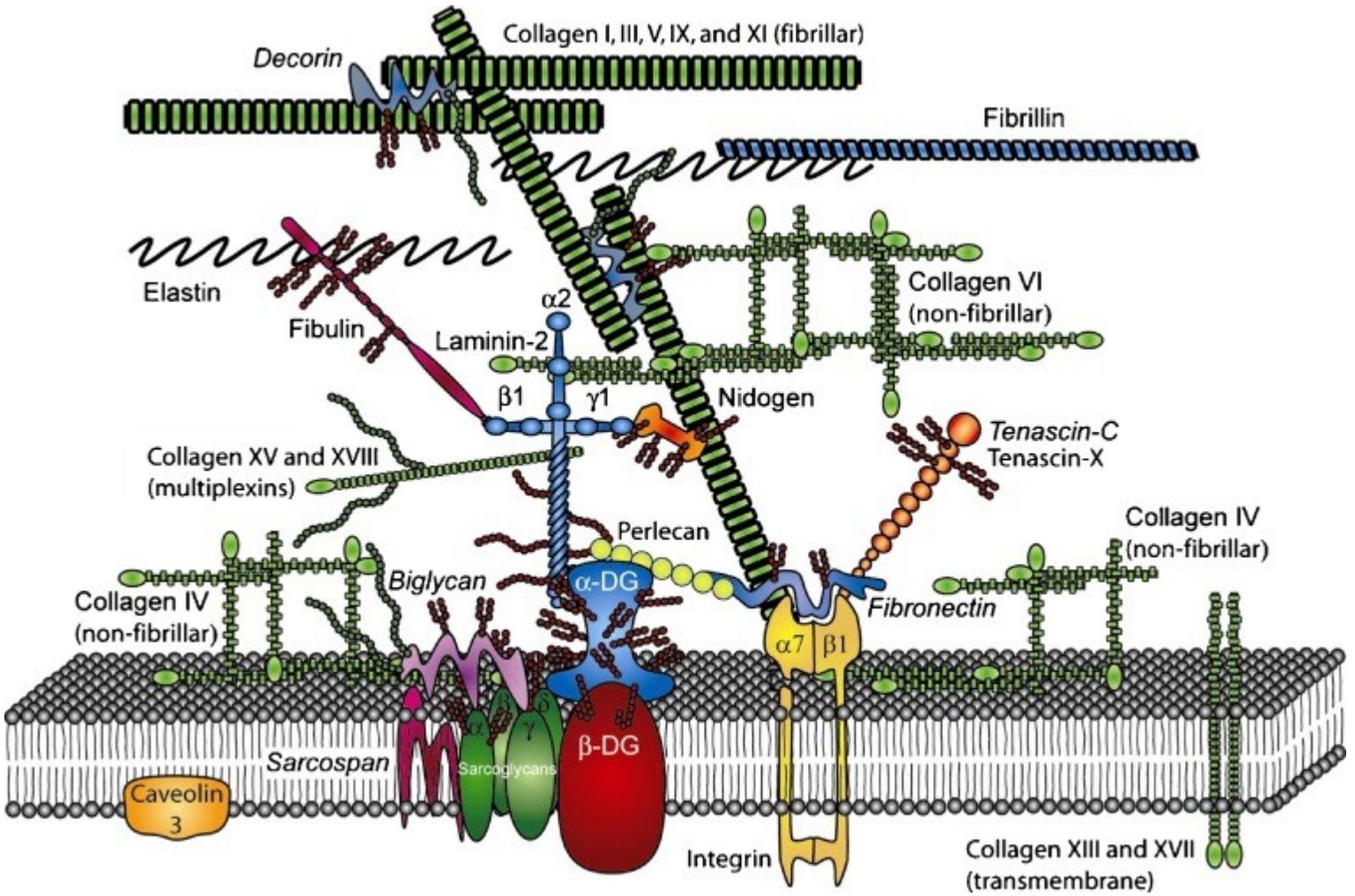
- Spojení myofibril se sarkolemou
- **dystrophin-associated glycoprotein (DAG) complex**
 - spojení cytoskeletu s ECM
 - integrita svalového vlákna



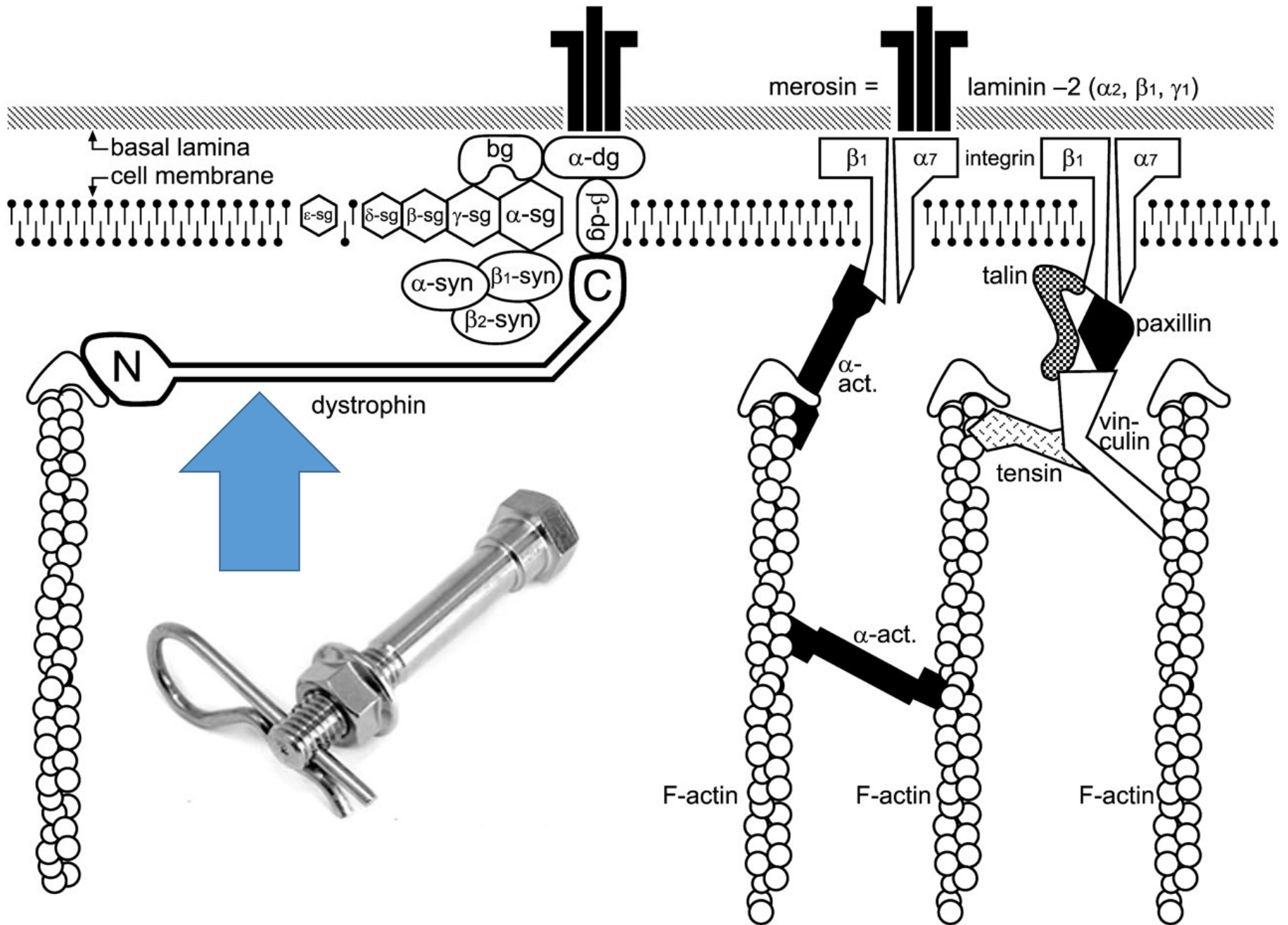
KOSTAMERY



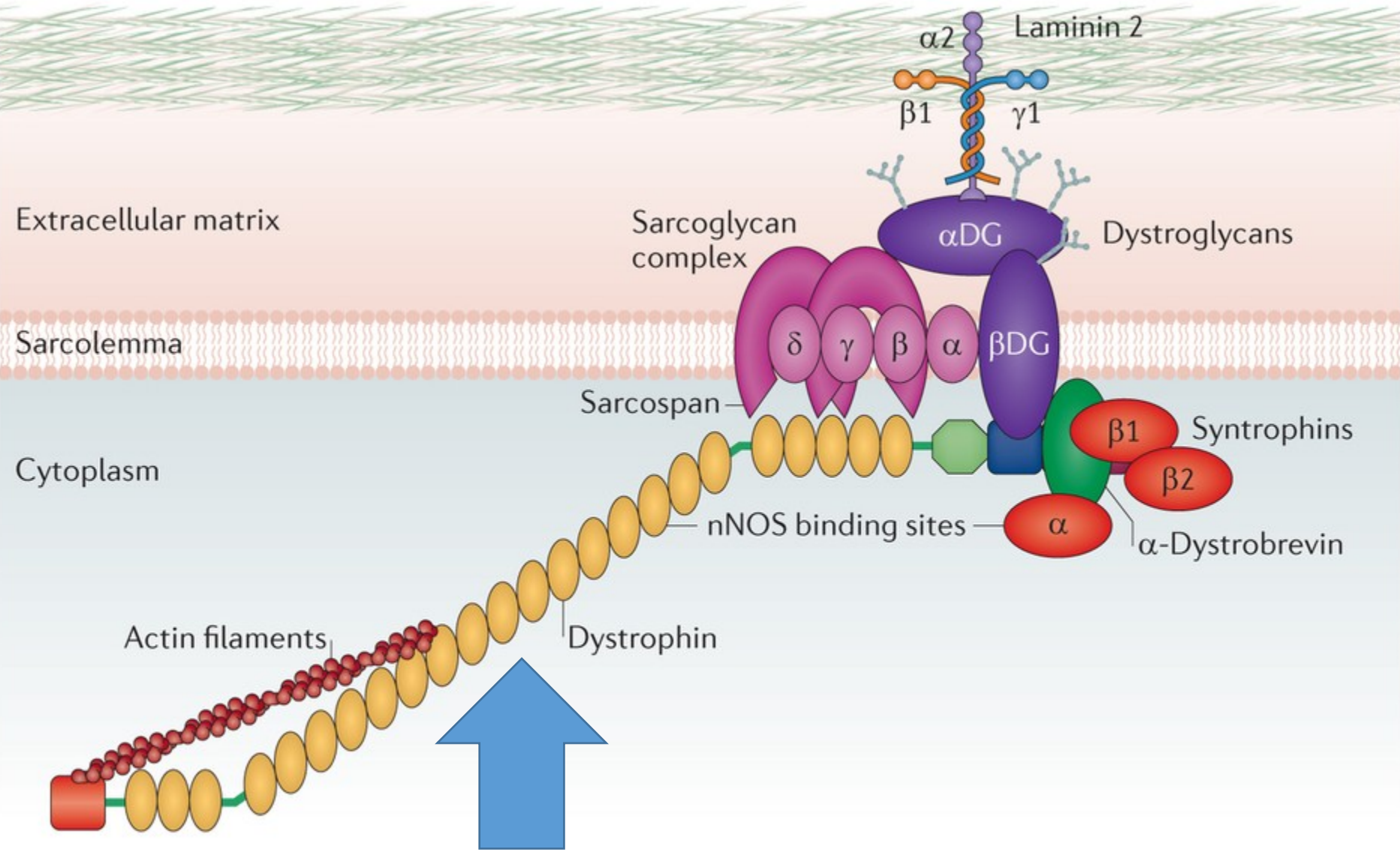
KOSTAMERY



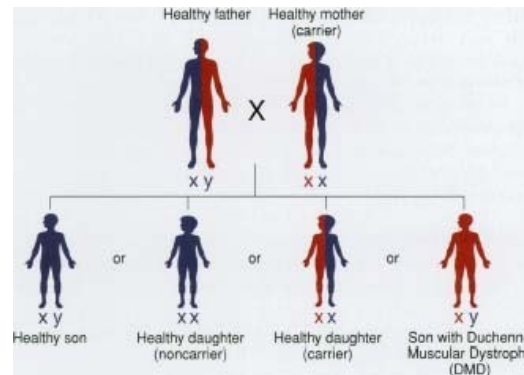
KOSTAMERY



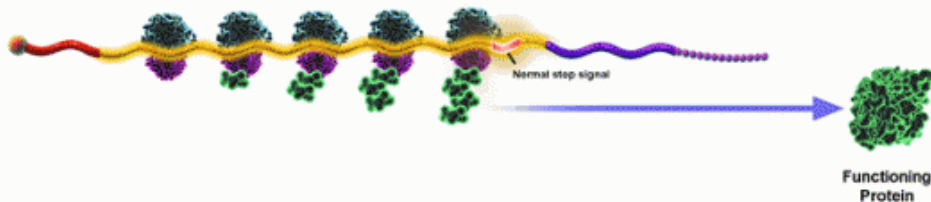
KOSTAMERY



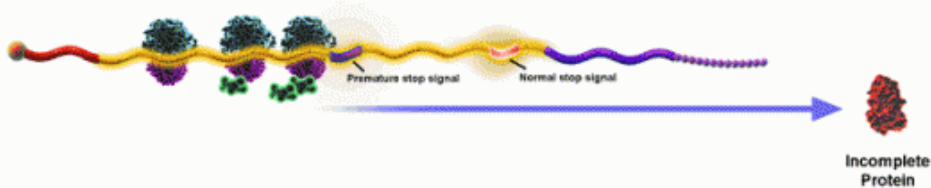
DUCHENNEOVA MUSKULÁRNÍ DYSTROFIE



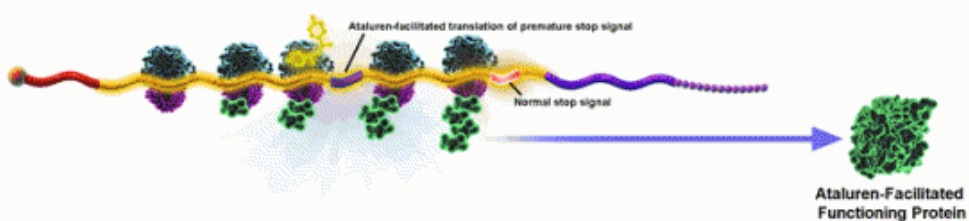
Normal Translation



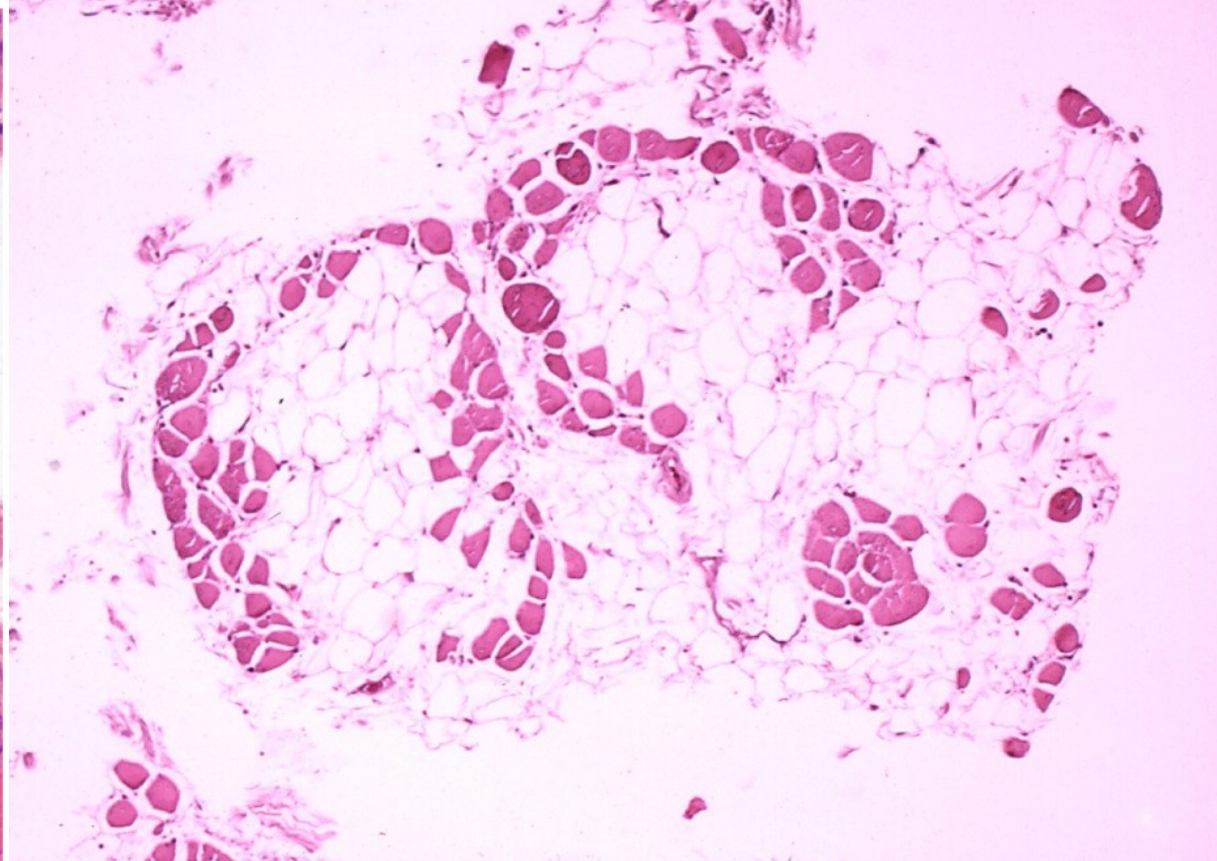
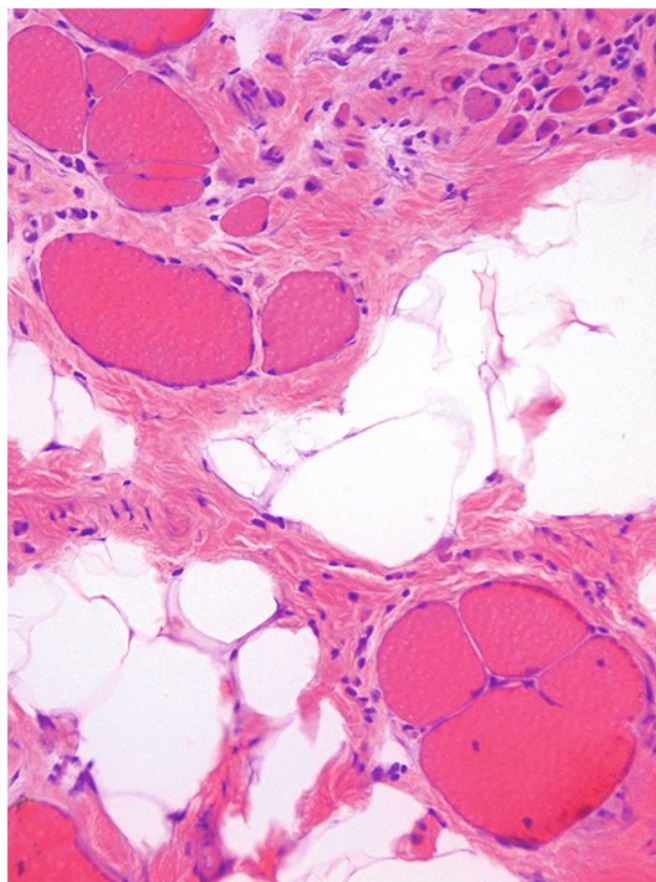
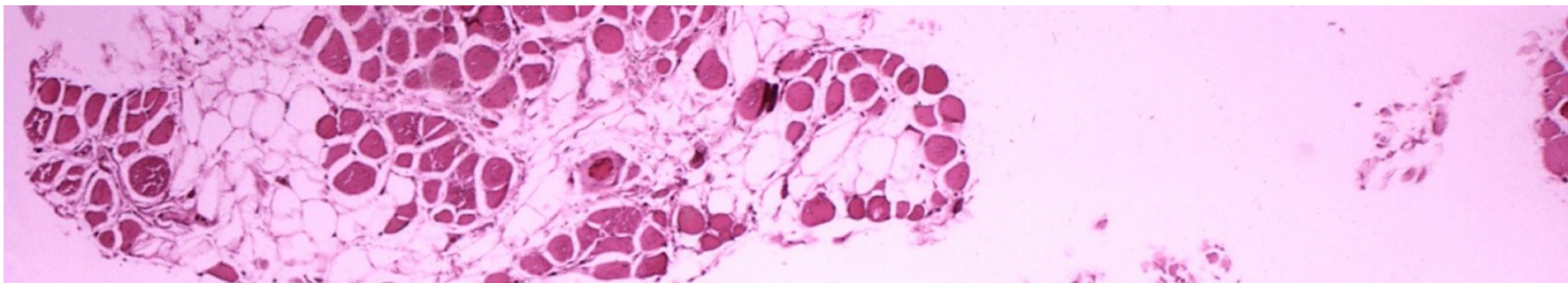
Incomplete Translation



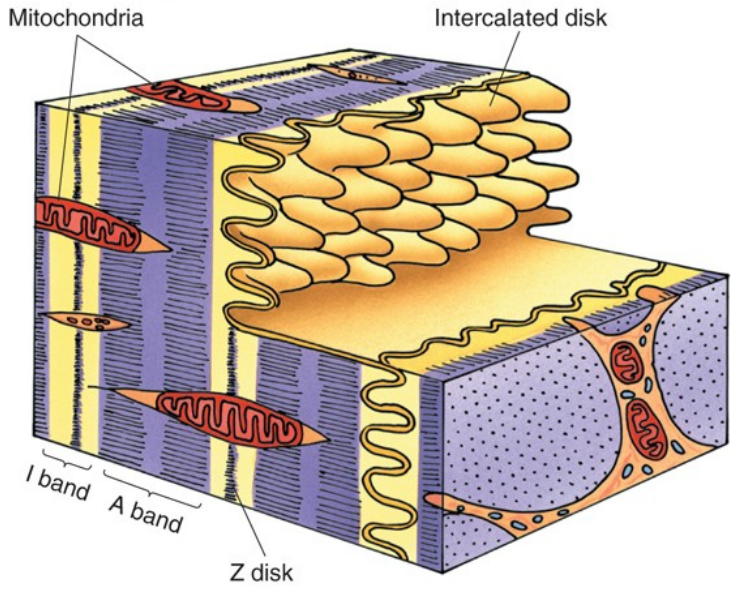
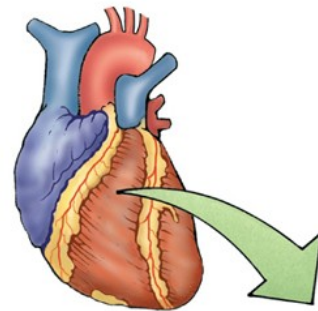
Ataluren-Facilitated Translation



DUCHENNEOVA MUSKULÁRNÍ DYSTROFIE

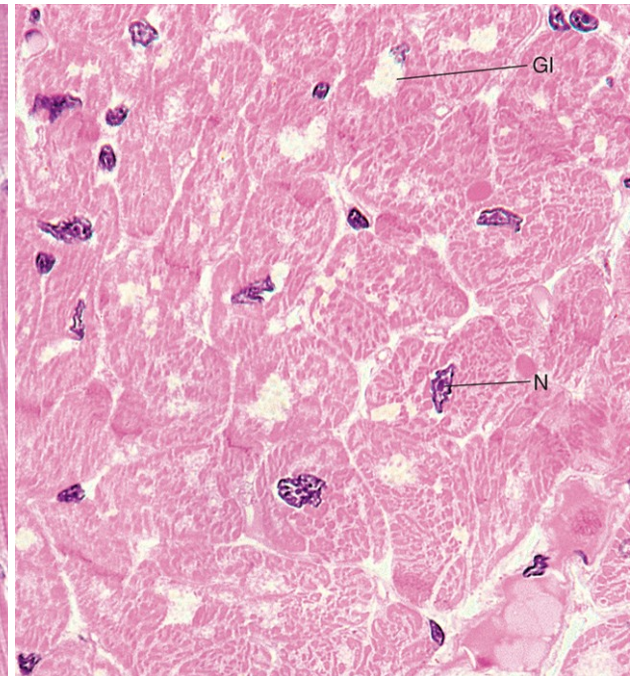
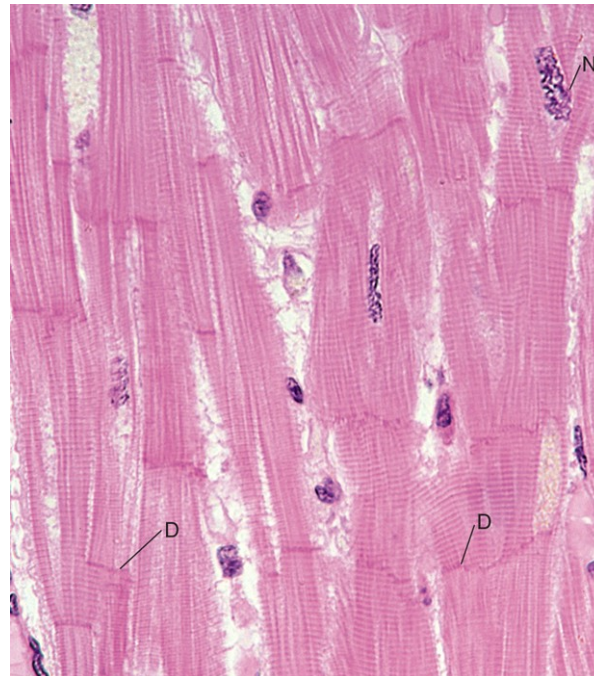
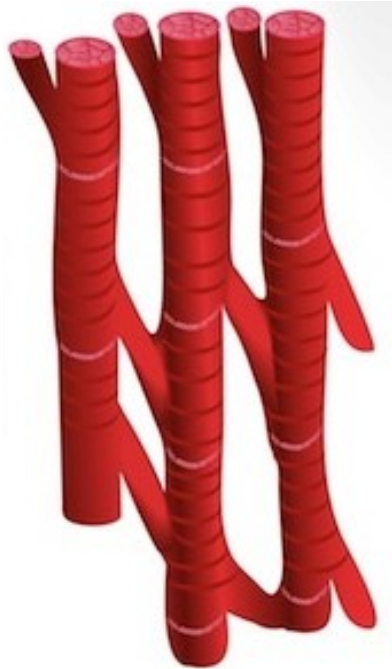


SRDEČNÍ SVALOVÁ TKÁŇ



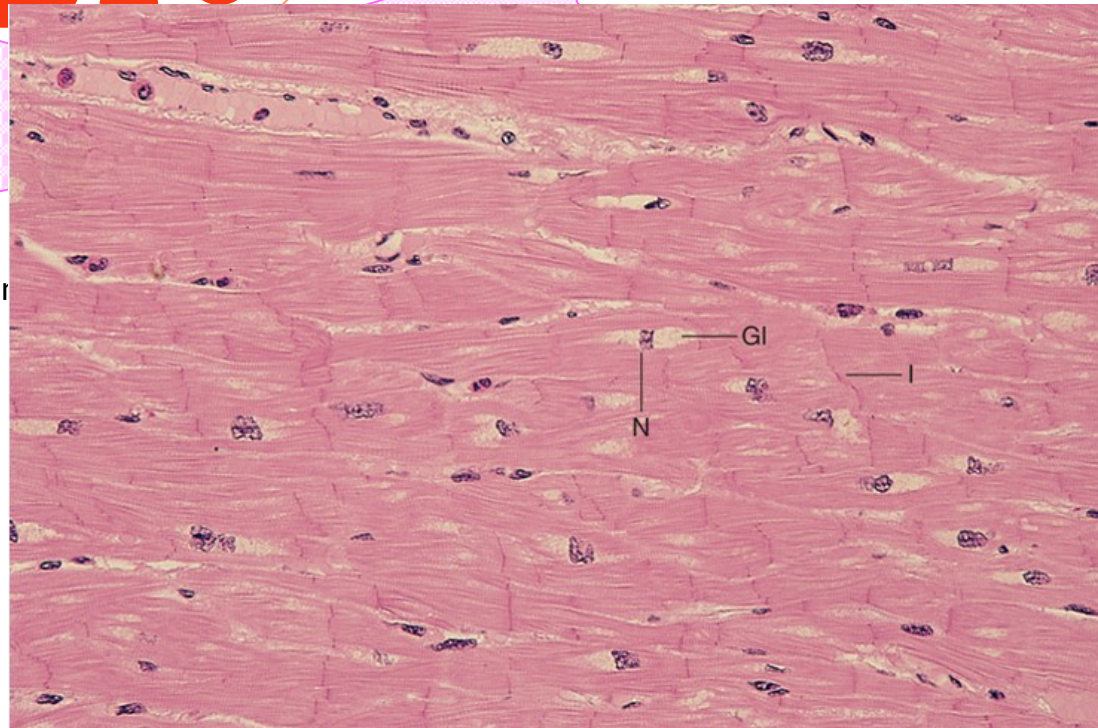
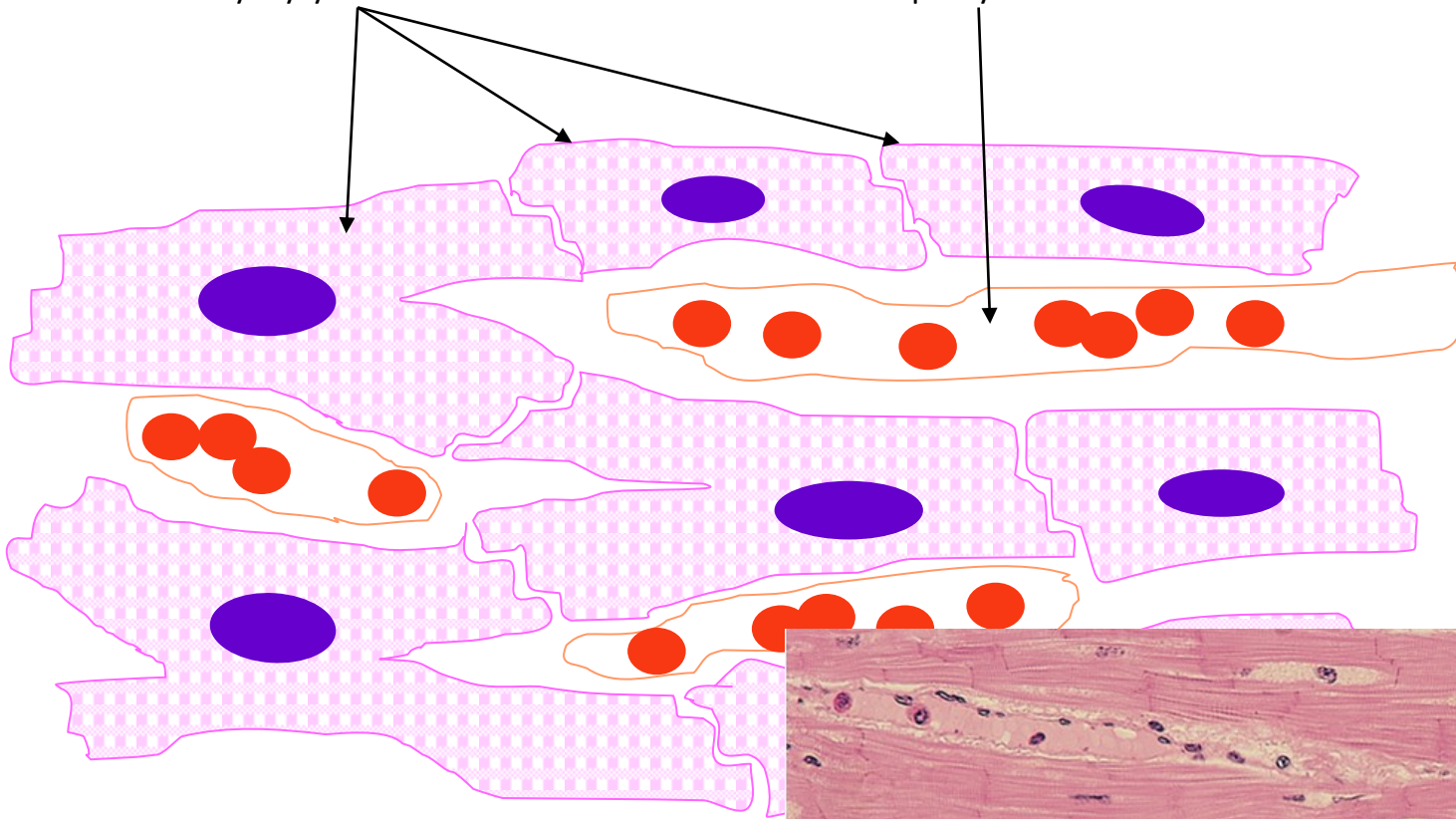
HISTOLOGIE SRDEČNÍ SVALOVÉ TKÁNĚ

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

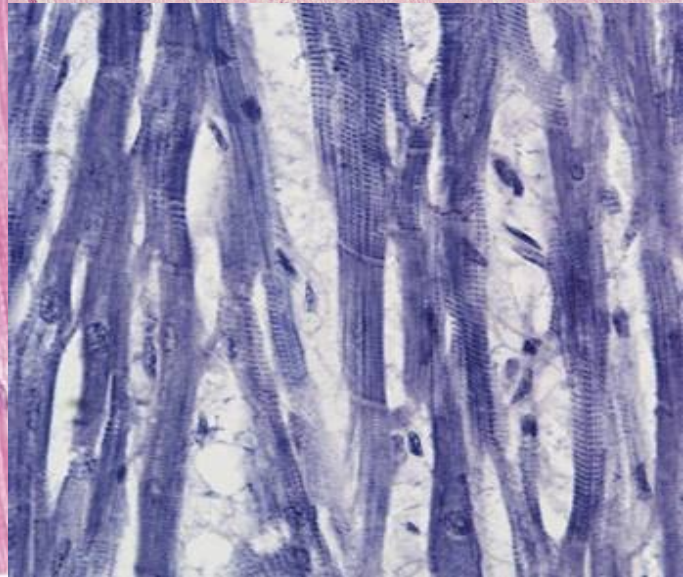
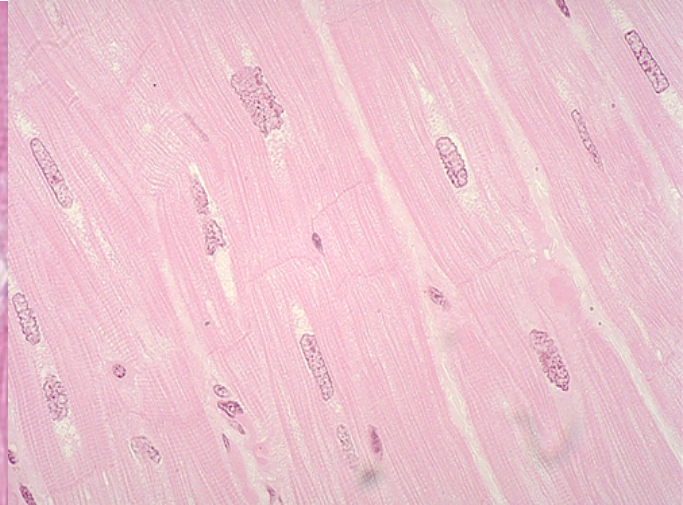
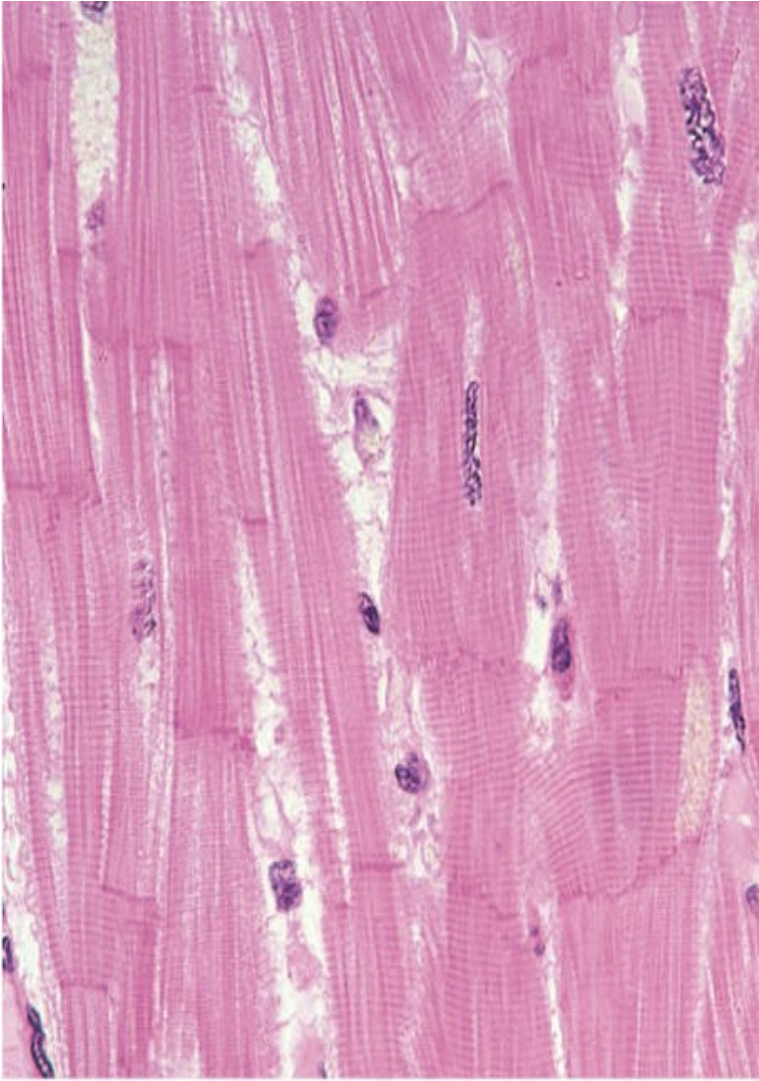


kardiomyocyty

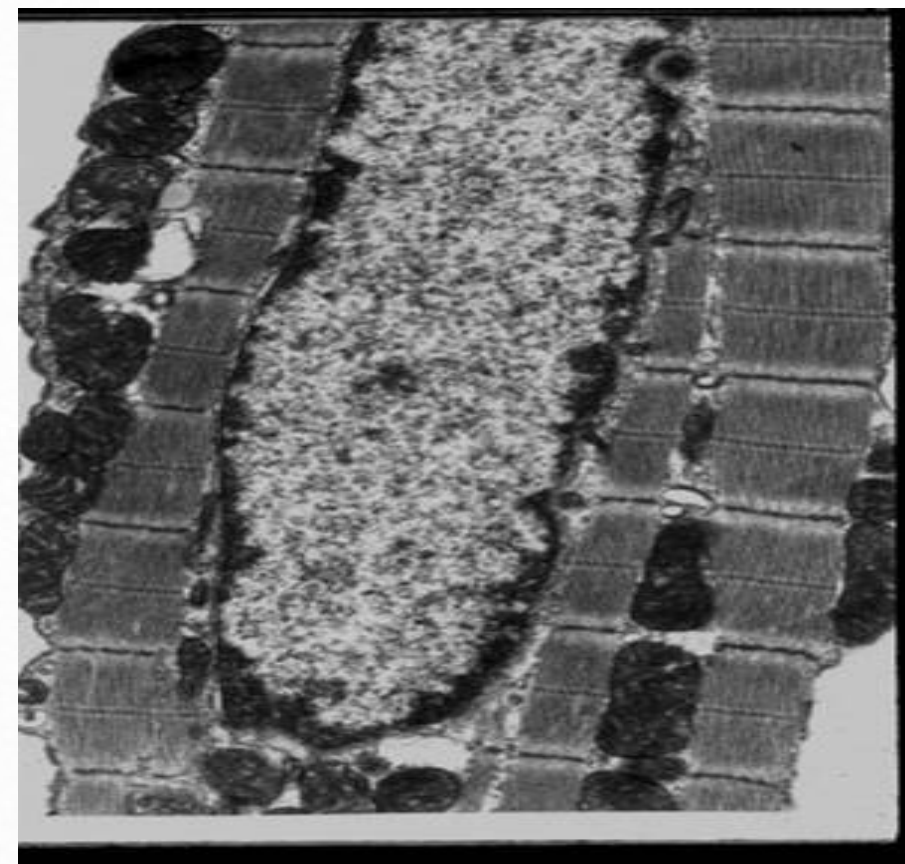
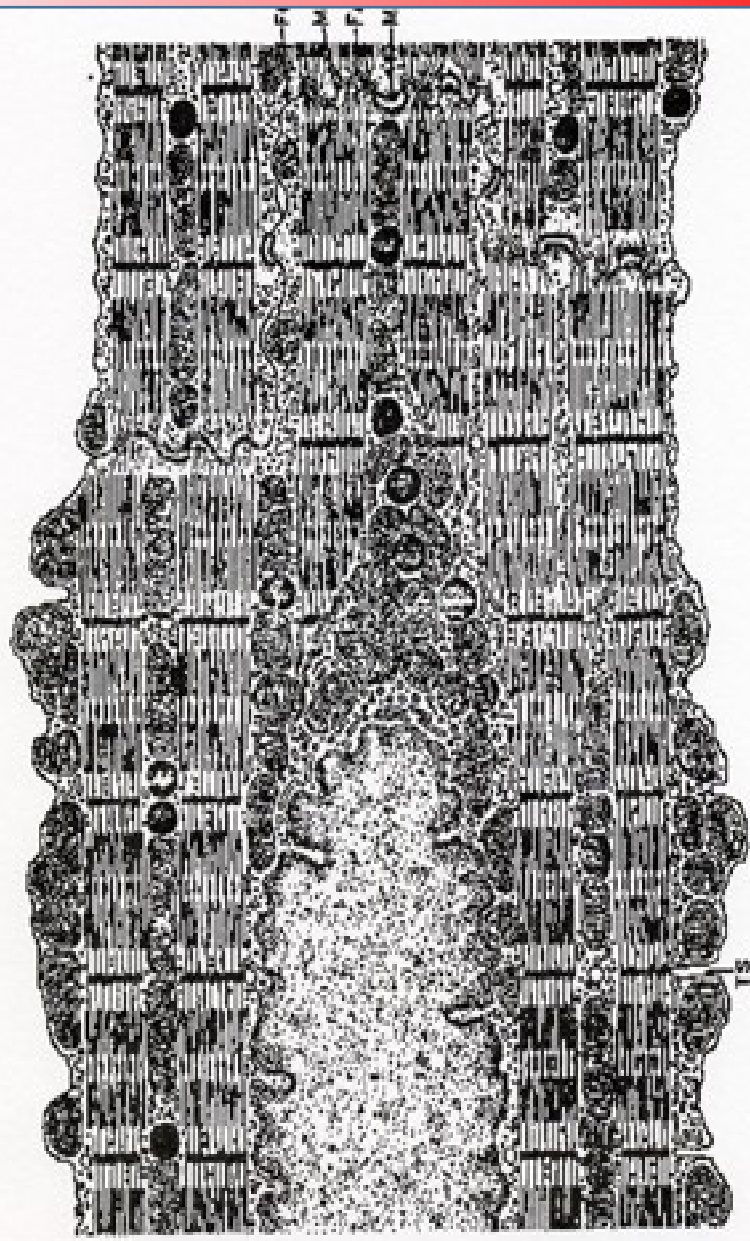
kapiláry



HISTOLOGIE SRDEČNÍ SVALOVÉ TKÁNĚ

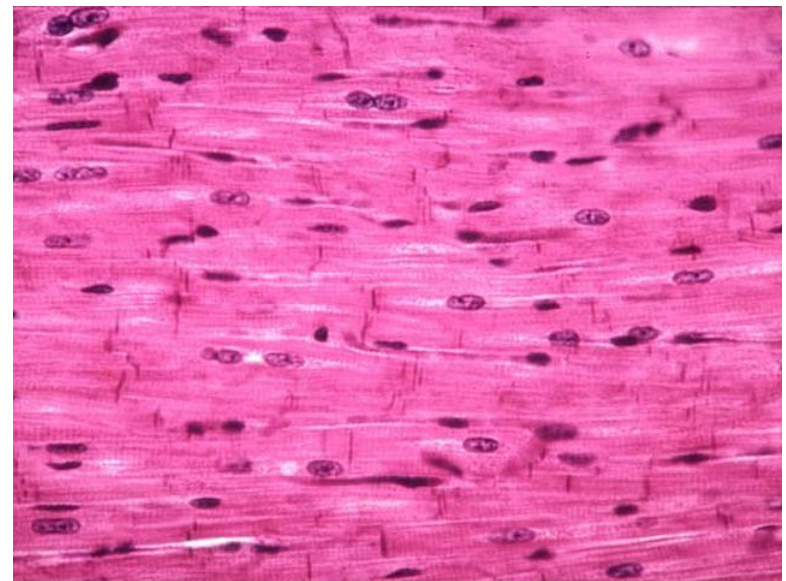
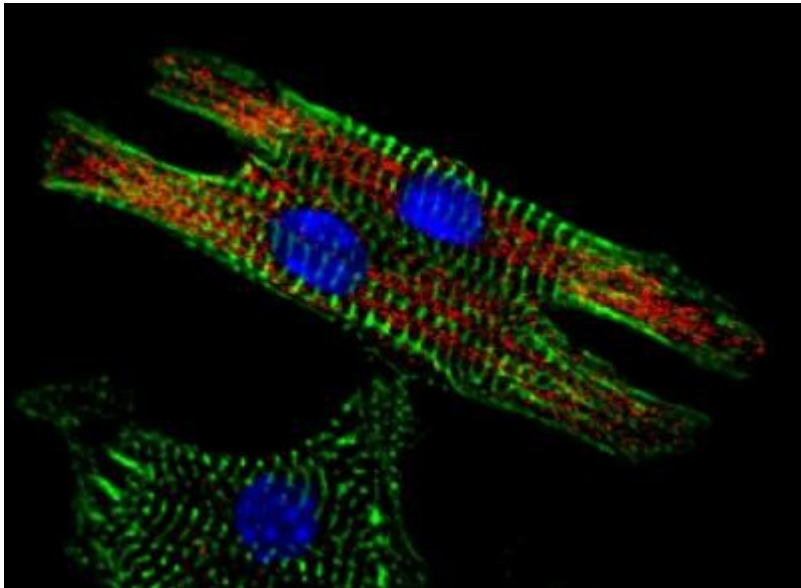


HISTOLOGIE SRDEČNÍ SVALOVÉ TKÁNĚ



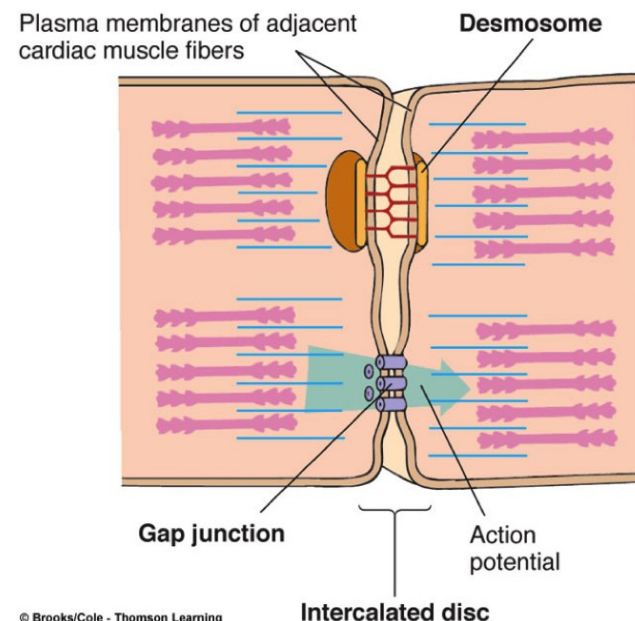
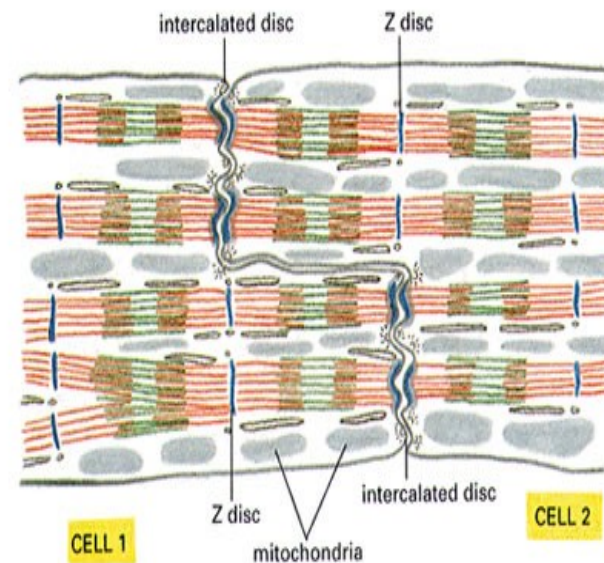
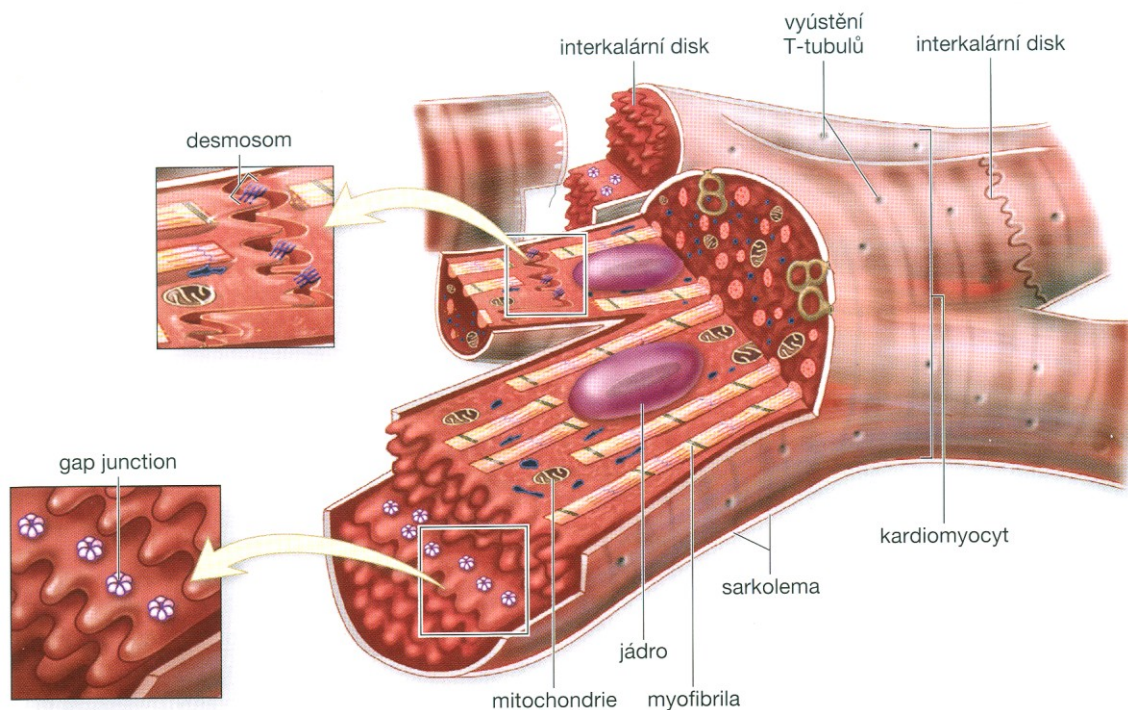
SRDEČNÍ × KOSTERNÍ SVALOVINA

- diáda × triáda (1 T-tubulus + 1 × 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

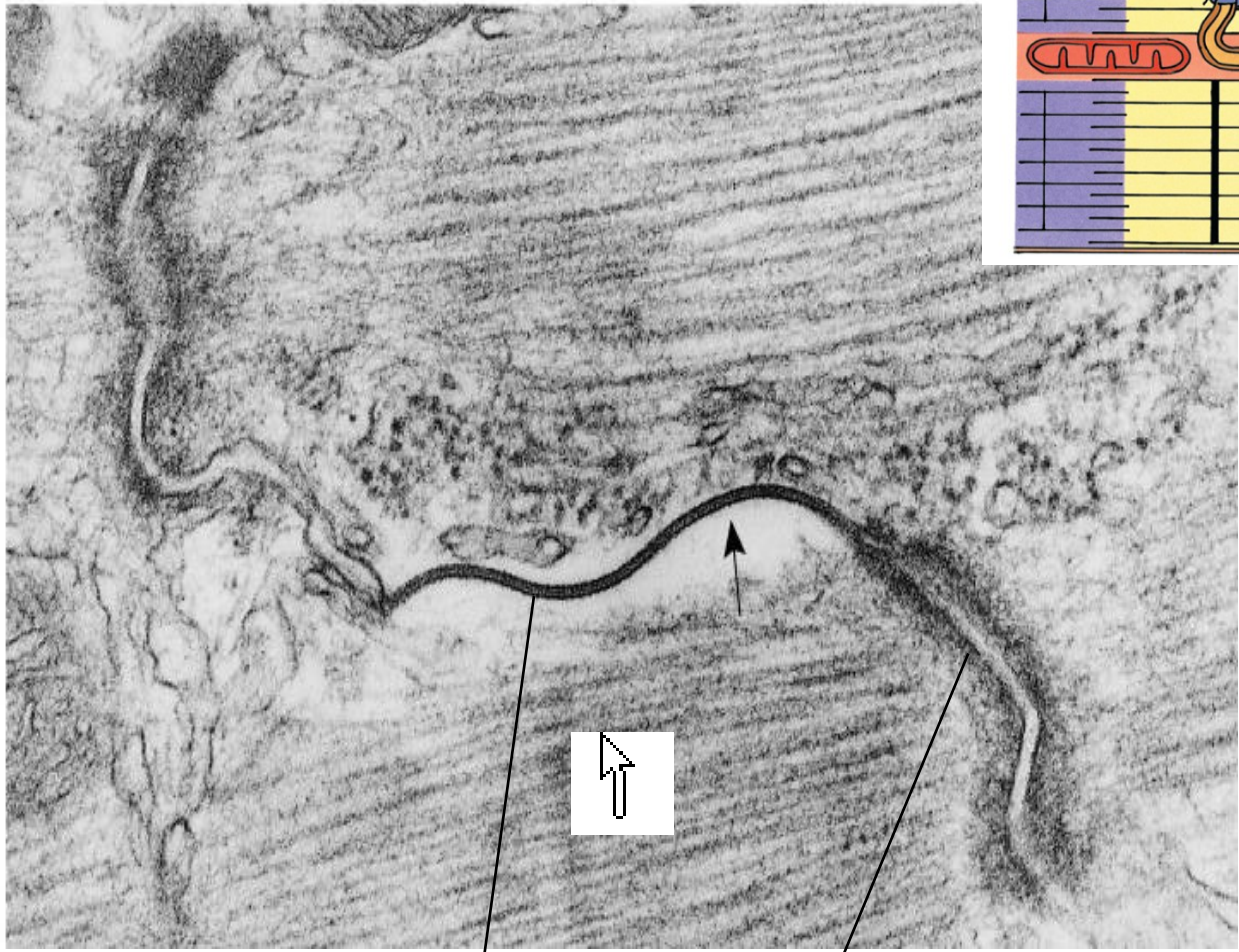


INTERKALÁRNÍ DISKY

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

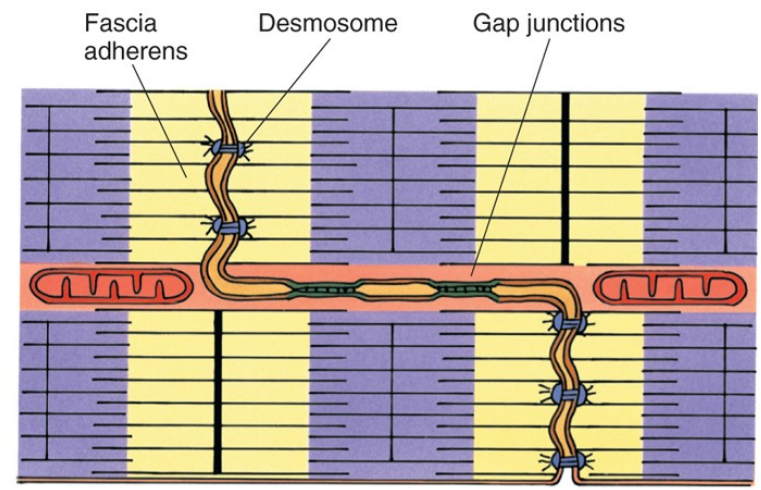


INTERKALÁRNÍ DISKY



nexus

fascia adherens



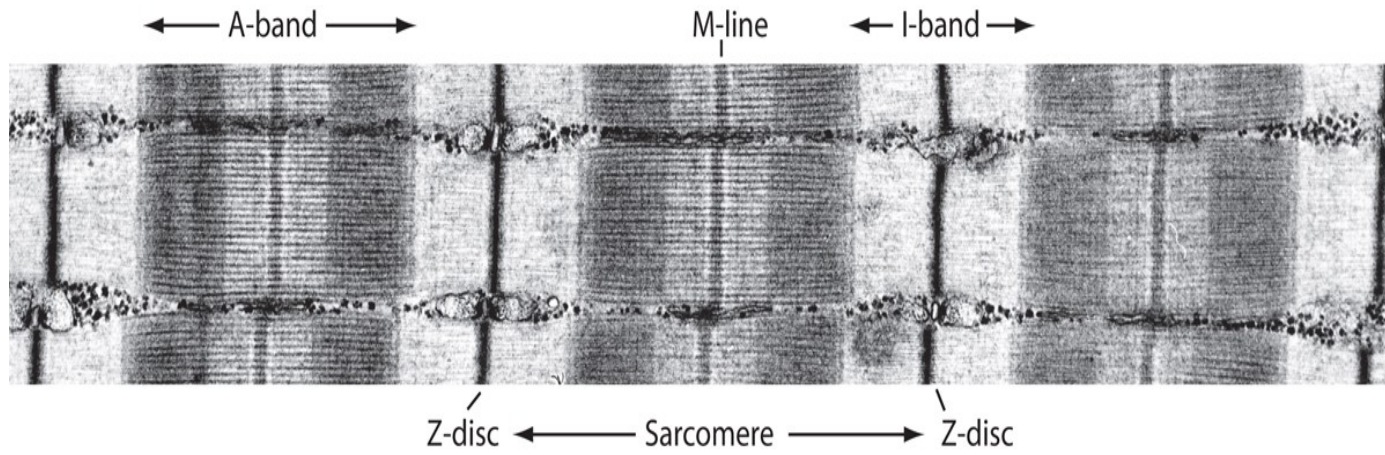
Fascia adherens

Desmosome

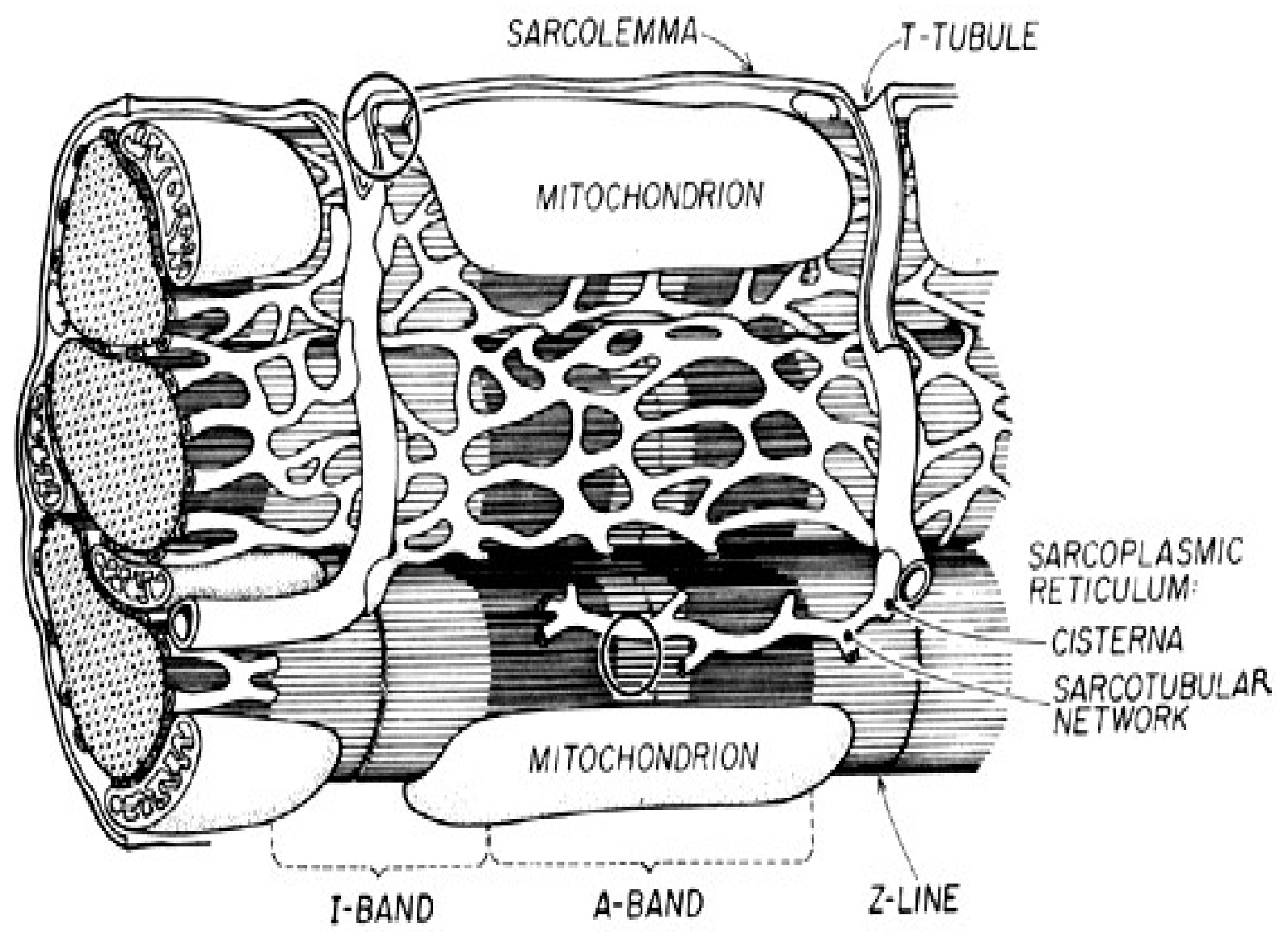
Gap junctions

MYOFIBRILY KARDIOMYOCYTŮ

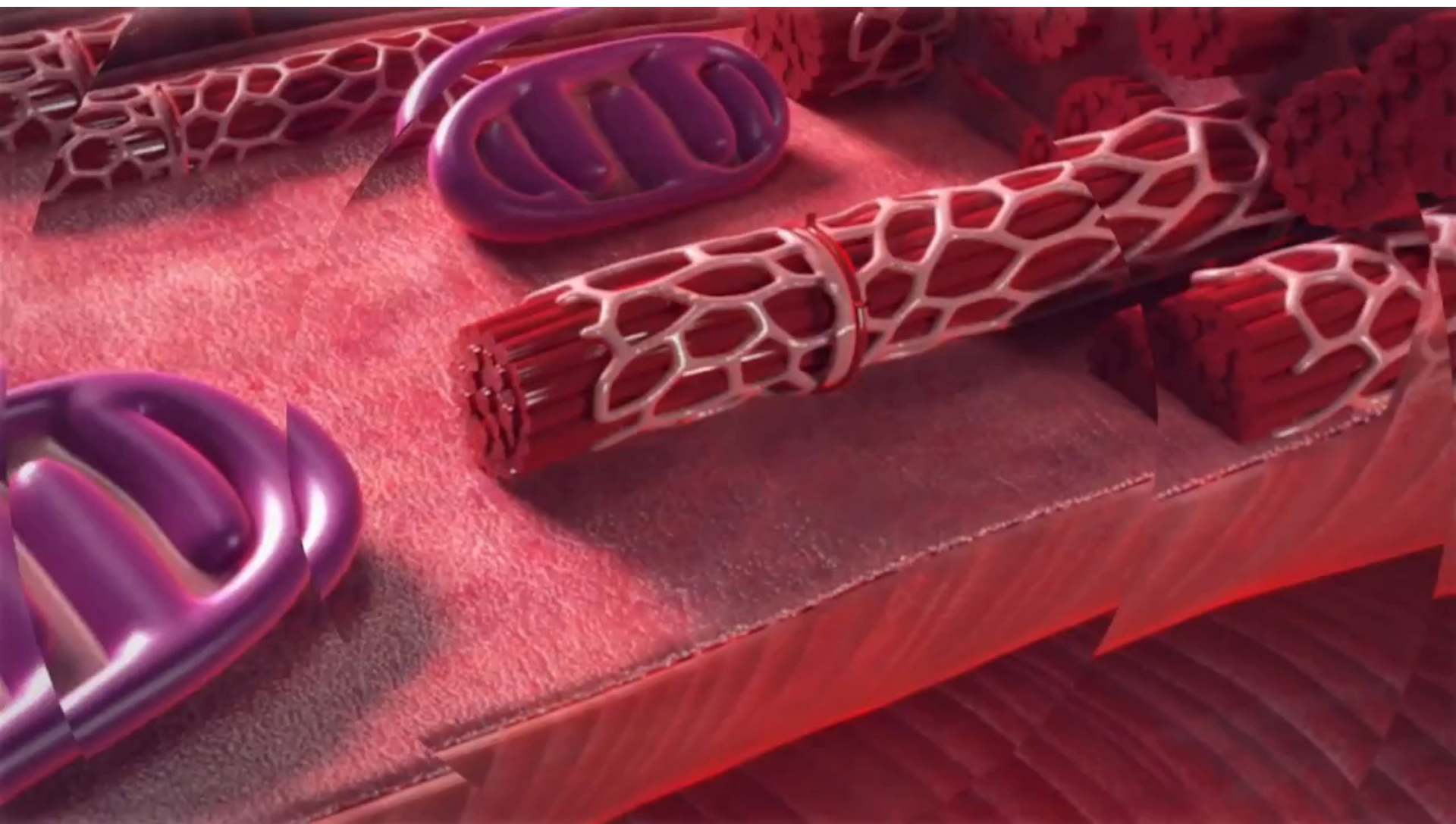
- Aktinová a myozinová myofilamenta
- Sarkomera
- Z-linie
- M-linie a H-zóna
- I-proužek a A-proužek
- T-tubulus + 1 cisterna = diáda (kolem Z-line)



MYOFIBRILY KARDIOMYOCYTŮ

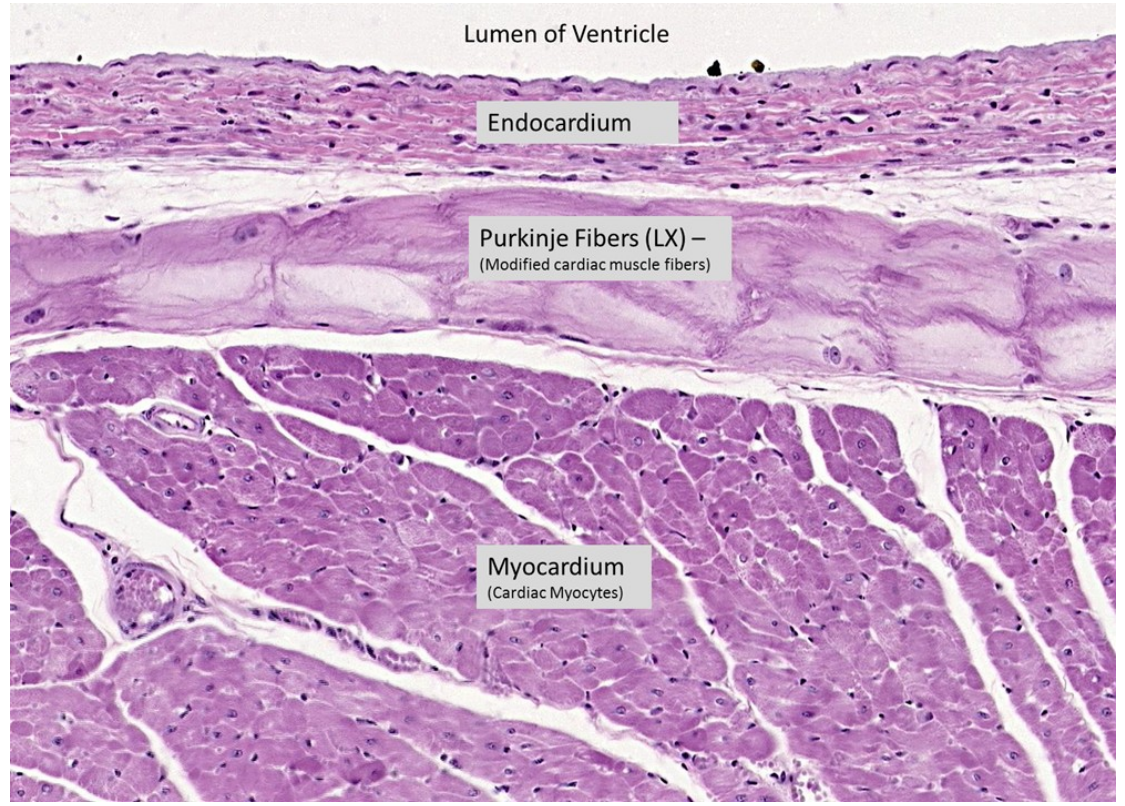
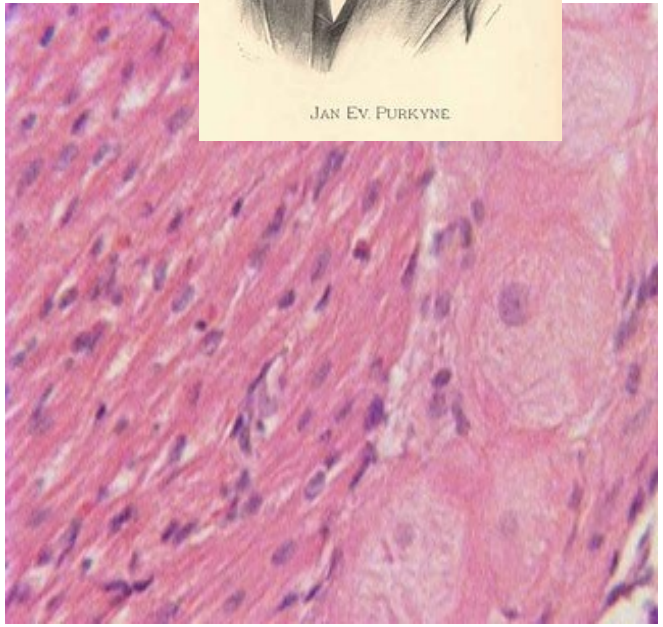
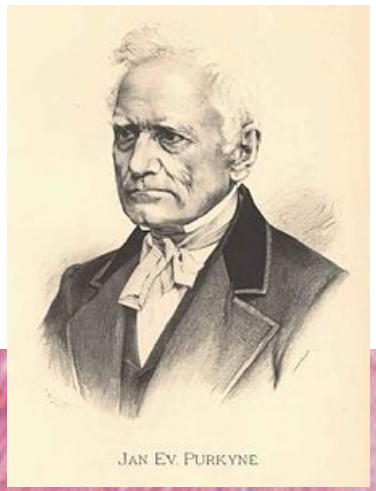
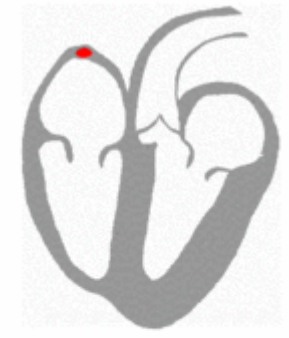
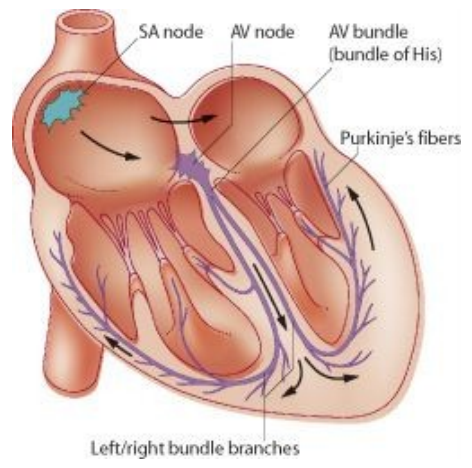


ULTRASTRUKTURA KARDIOMYOCYTU

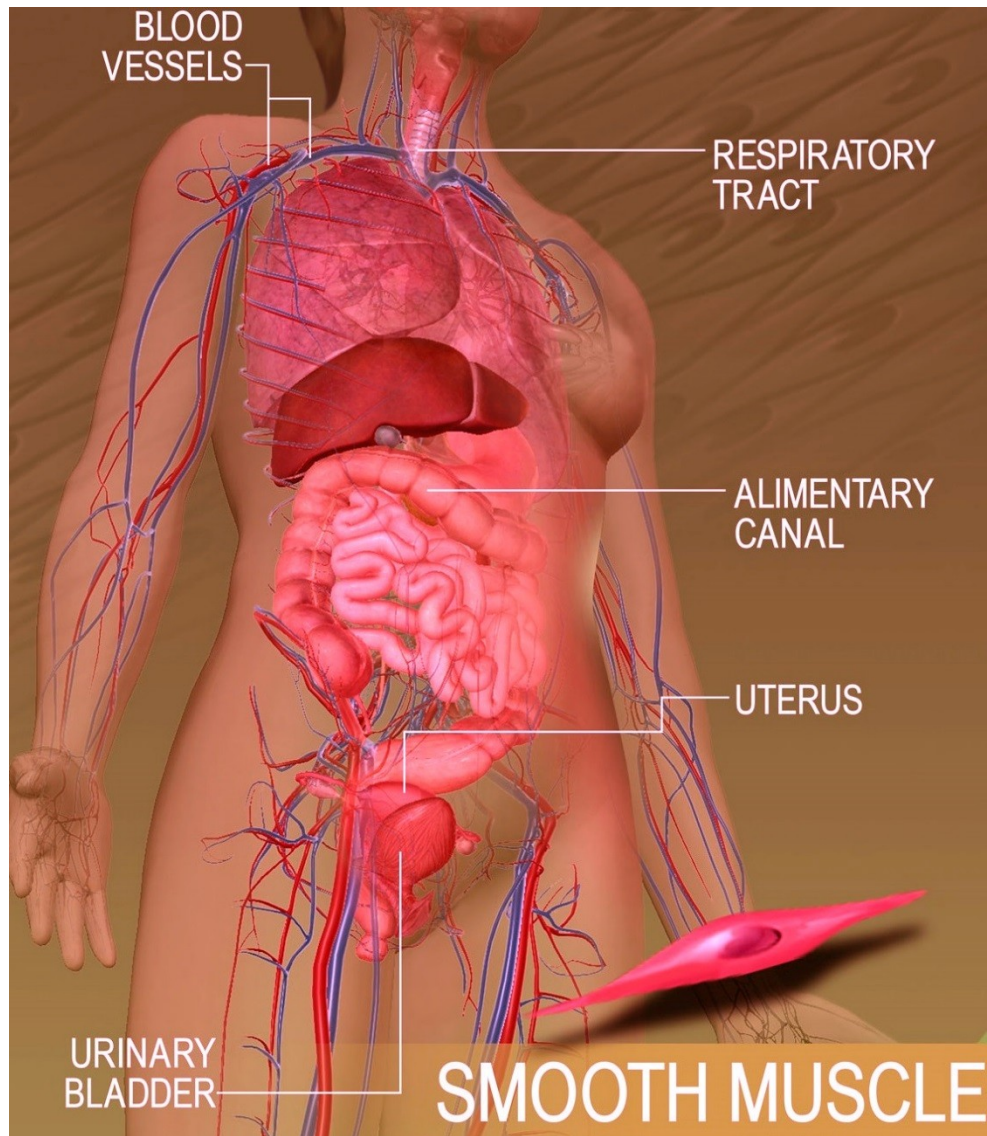


PURKYŇOVA VLÁKNA

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



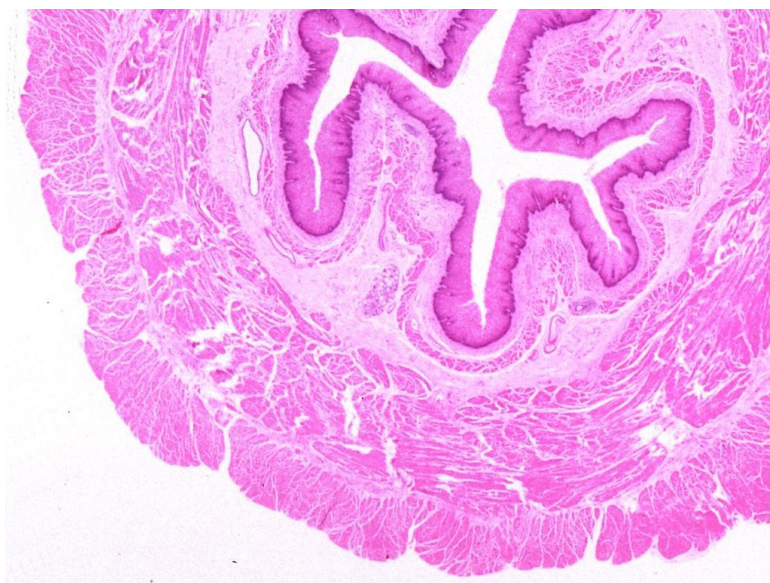
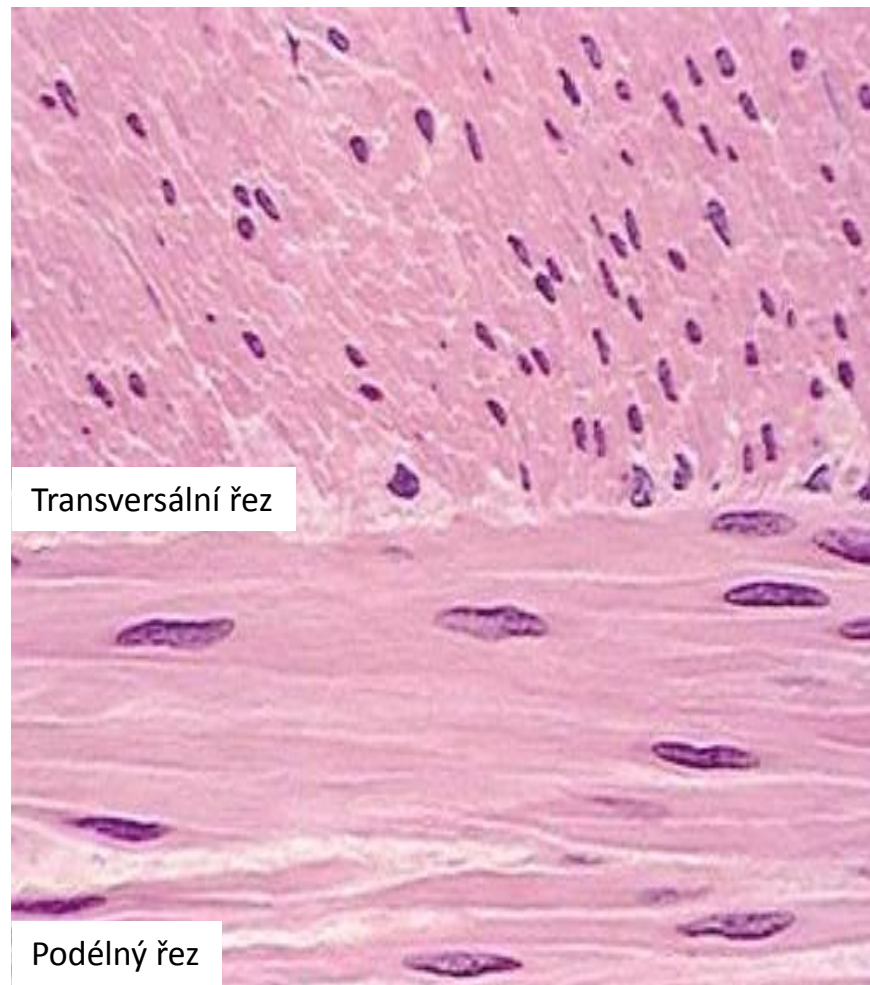
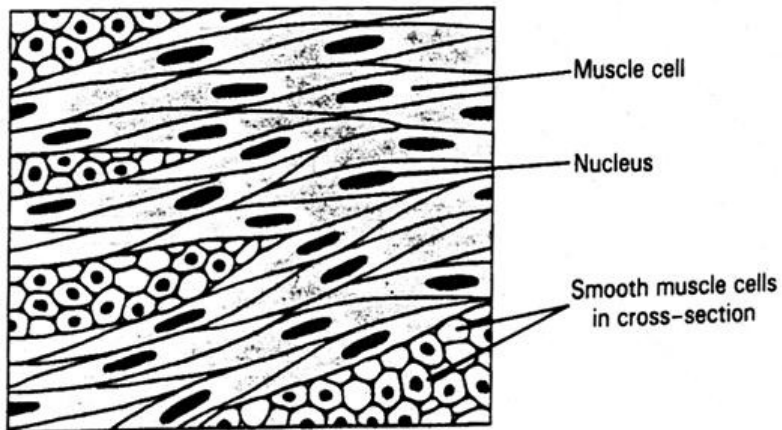
SVALOVÁ TKÁŇ



HLADKÁ SVALOVÁ TKÁŇ

HLADKÁ SVALOVÁ TKÁŇ

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



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

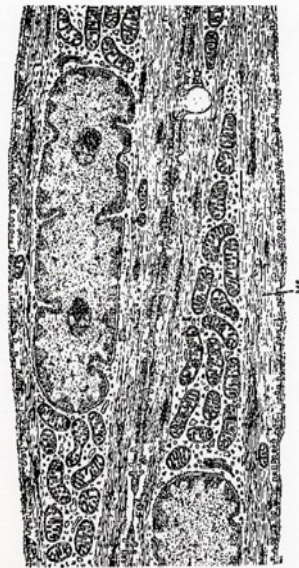
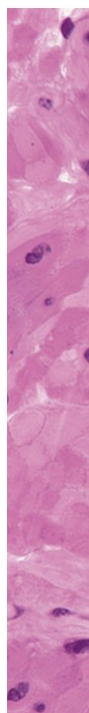
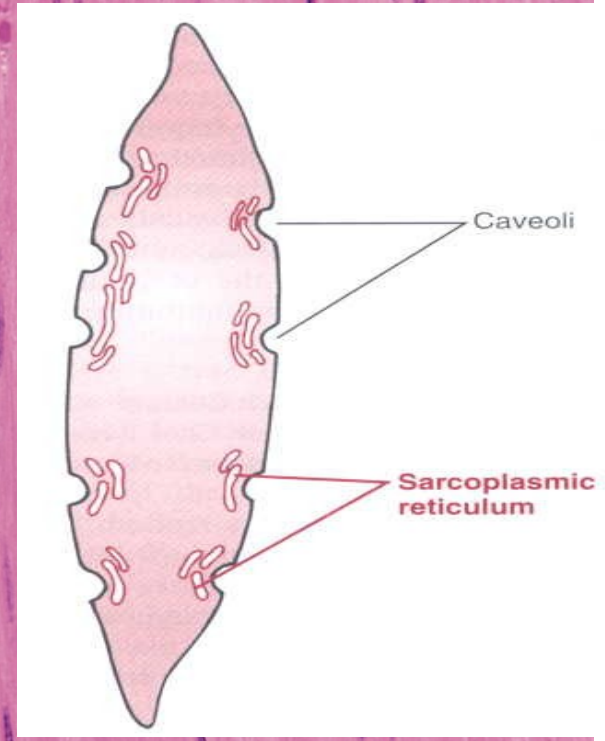
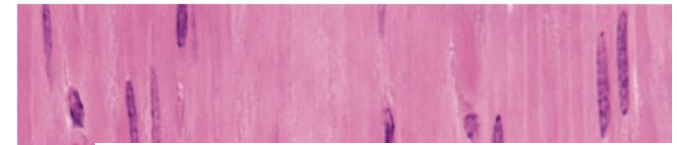
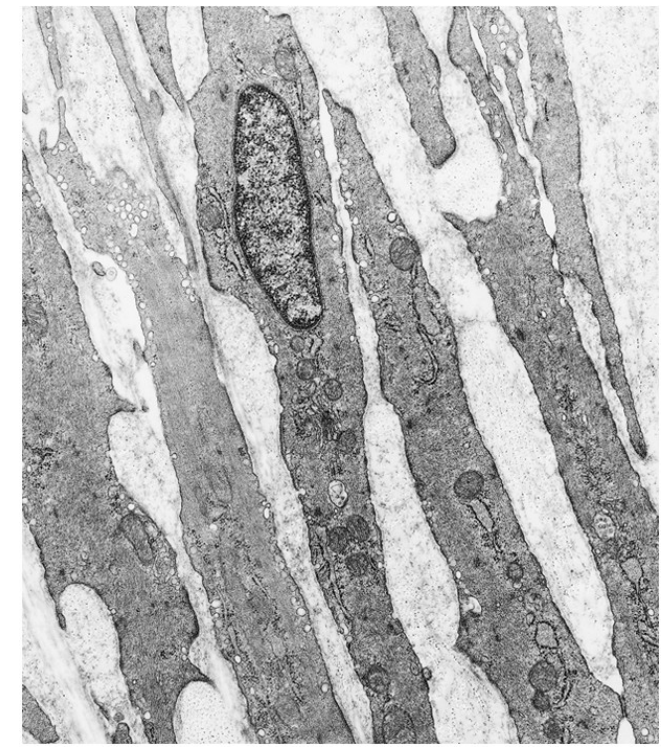
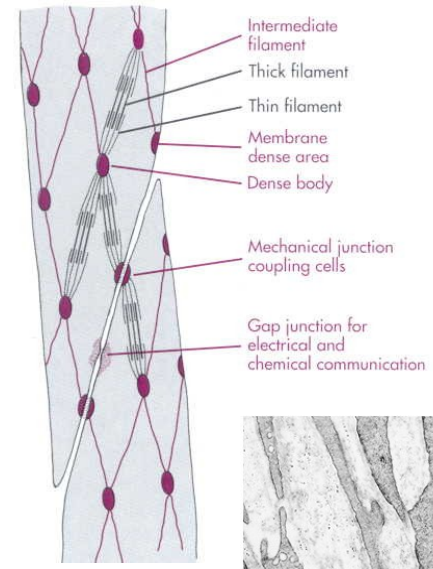
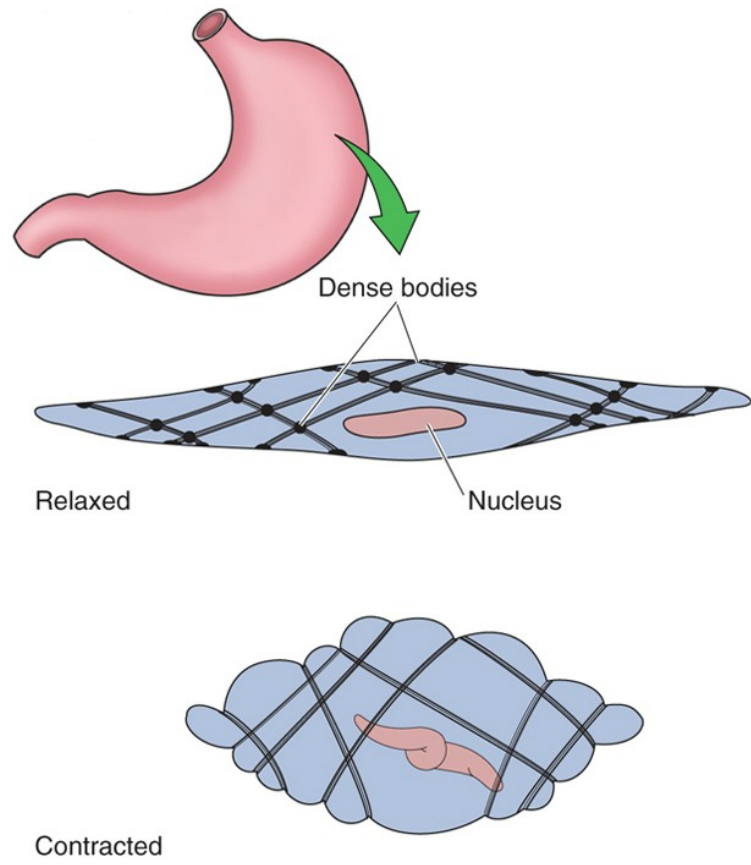


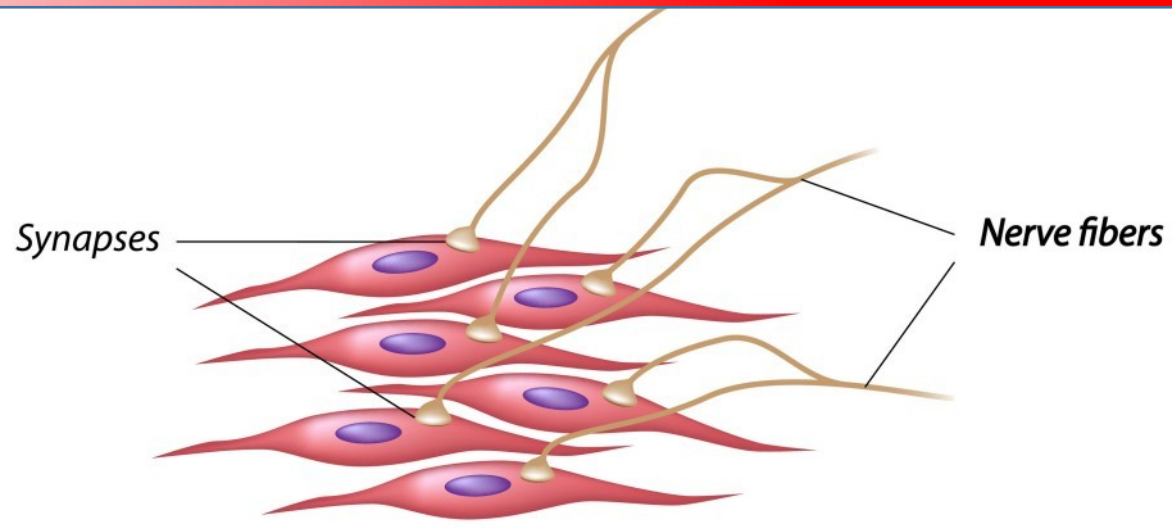
FIG. 10-2 E/M OF SMOOTH MUSCLE



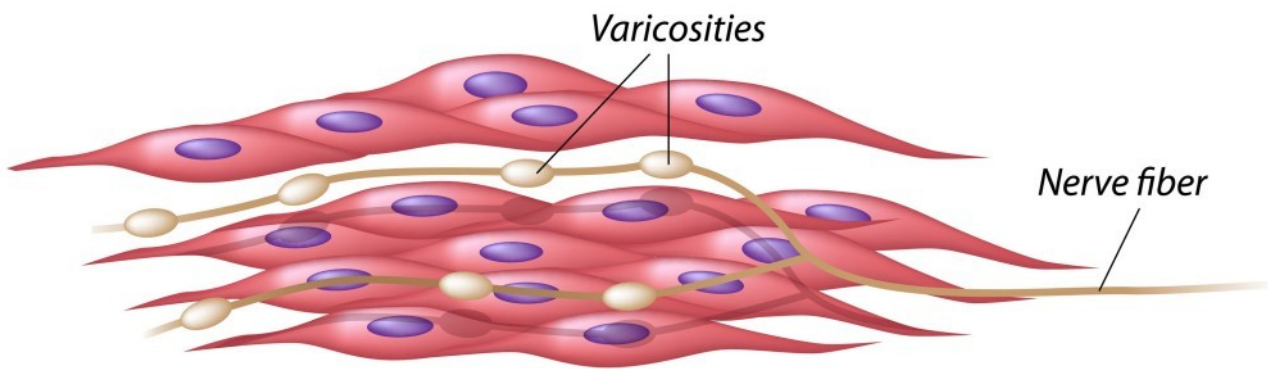
HLADKÁ SVALOVÁ TKÁŇ



HLADKÁ SVALOVÁ TKÁŇ



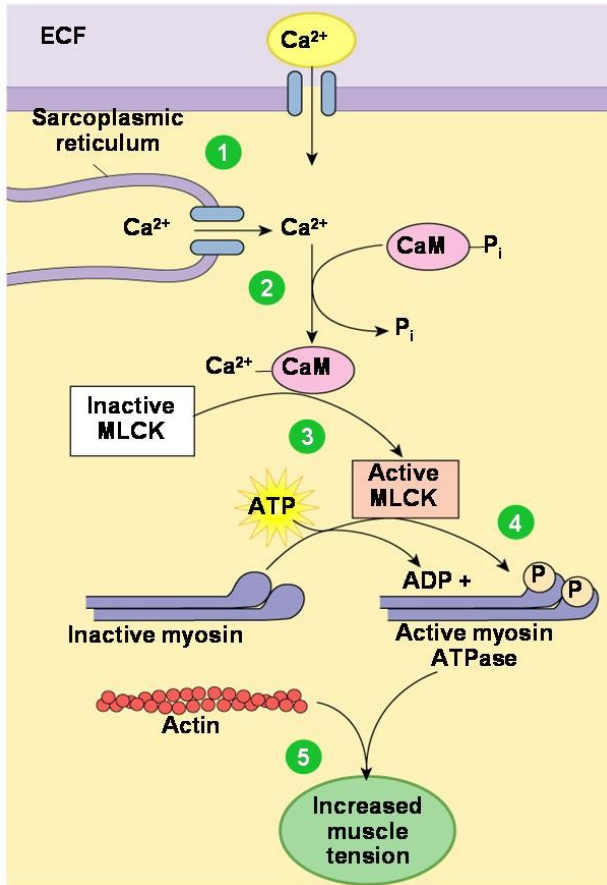
Multiunit Smooth Muscle



Single-unit Smooth Muscle

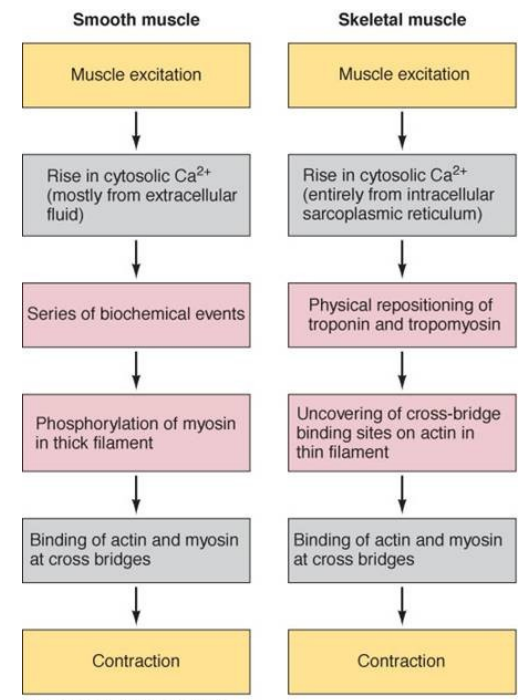
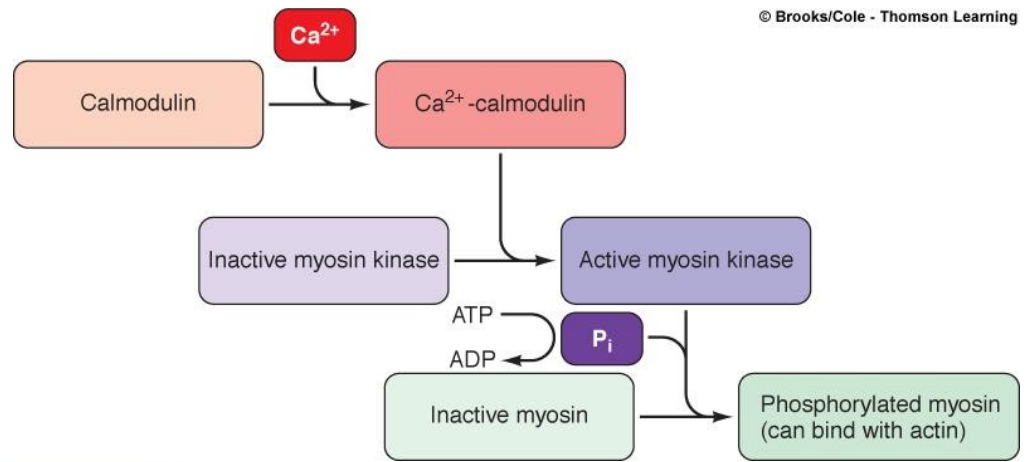
HLADKÁ SVALOVÁ TKÁŇ

Mechanismus kontrakce



- 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

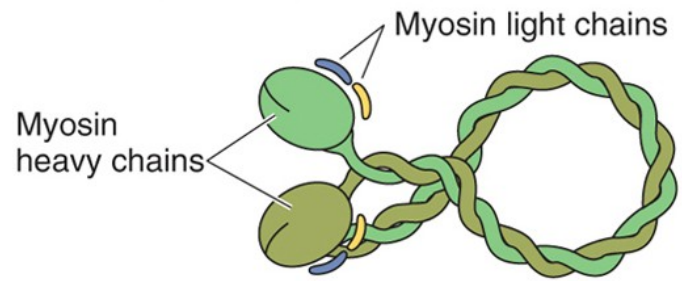


© Brooks/Cole - Thomson Learning

HLADKÁ SVALOVÁ TKÁŇ

Inactive state

(light chains not phosphorylated)

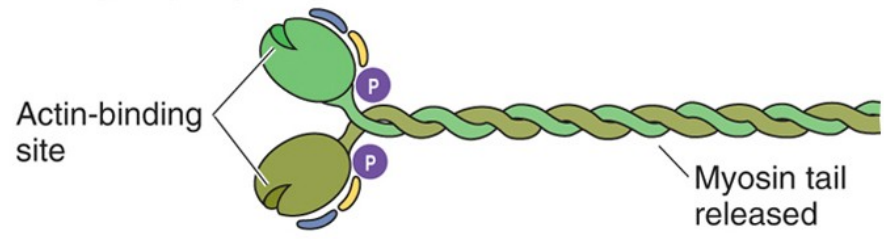


Myosin light chain kinase



Active state

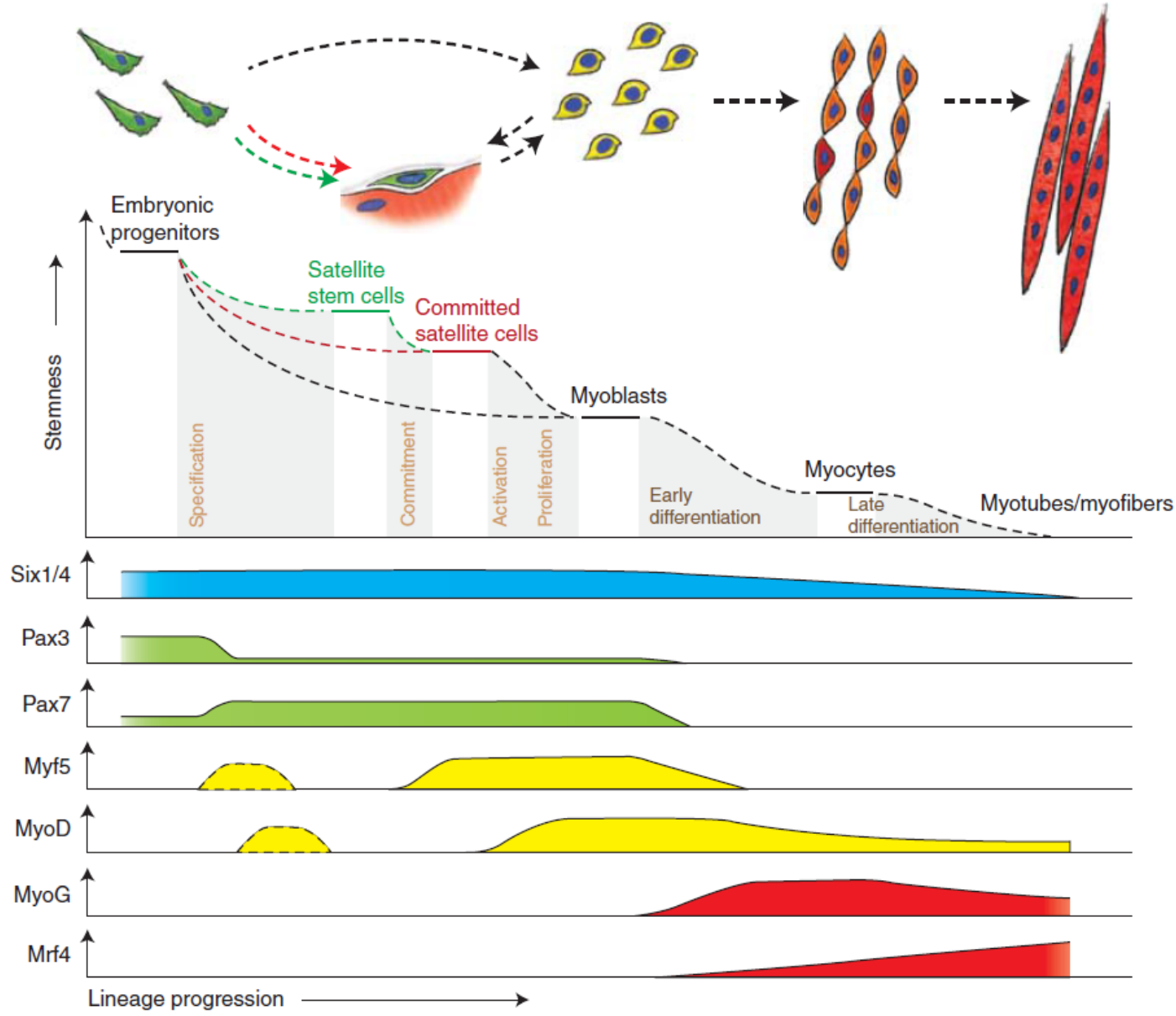
(light chains phosphorylated)



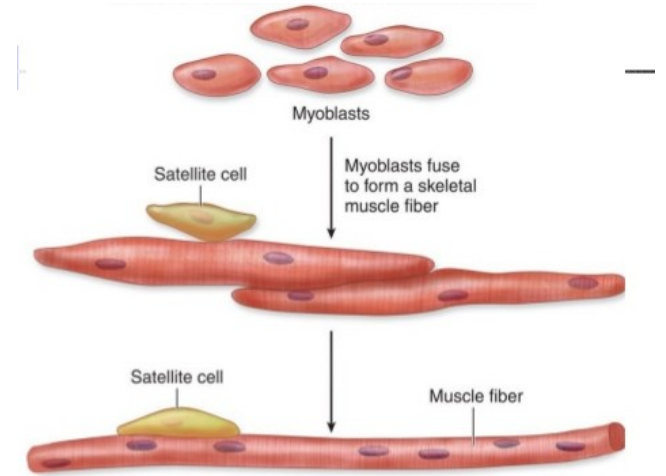
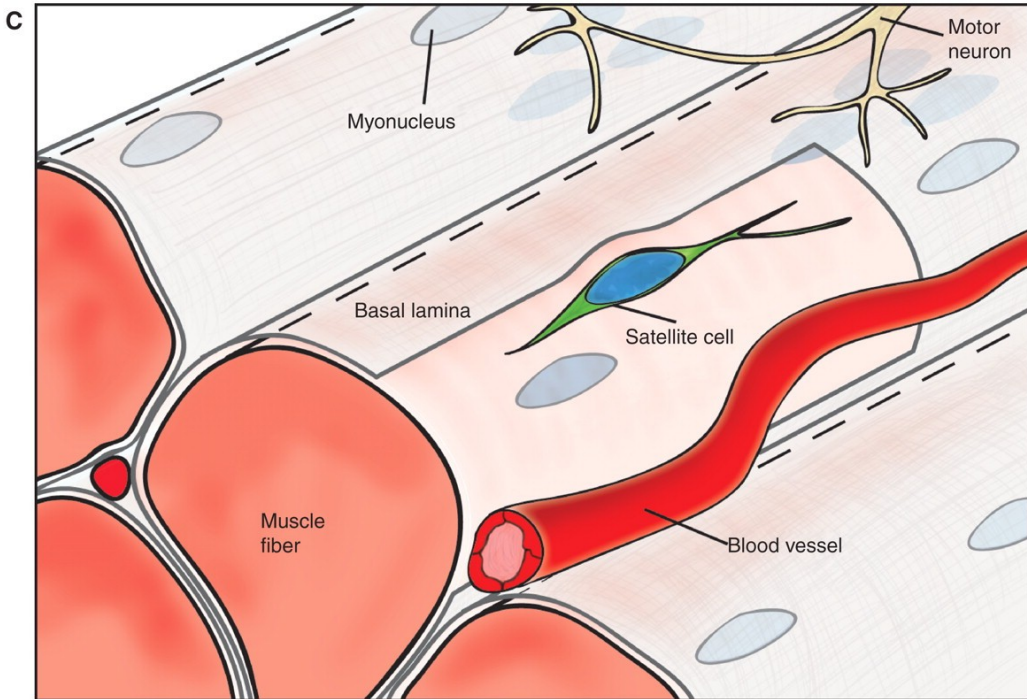
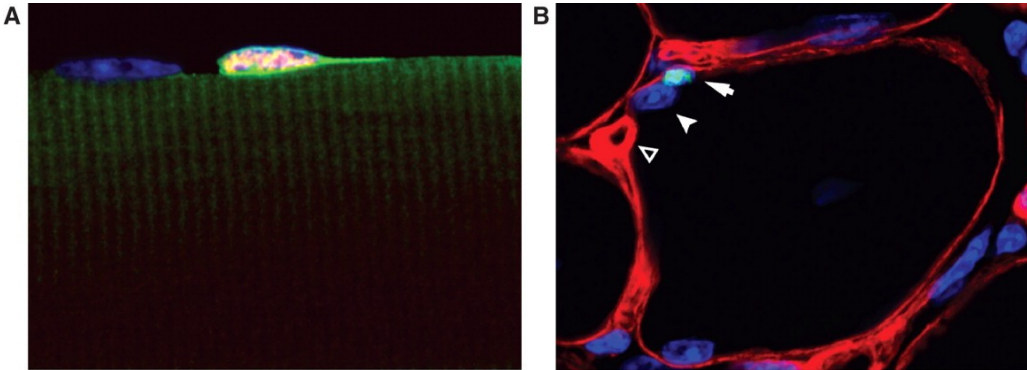
SHRNUTÍ HISTOLOGIE SVALOVÉ TKÁŇĚ

	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 ne vždy zřetelné	méně pravidelné sER, myofibrily nejsou vytvořeny
T tubuly	mezi A-I proužky, triády	Z linie, diády	nejsou vytvořeny
Motorická ploténka	vytvořena	není vytvořena	není vytvořena
Volní kontrola	ANO	NE	NE
Další znaky	svazky, asociace s vazivem	interkalární disky, pracovní a vodivé kardiomyocyty	svazky, kaveoly

HISTOGENEZE SVALOVÝCH VLÁKEN



REGENERACE KOSTERNÍHO SVALSTVA



Satelitní buňky - ekvivalentní embryonálním prekurzorům svalových buněk

DĚKUJI ZA POZORNOST

pvanhara@med.muni.cz

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