



<https://i.pinimg.com/originals/69/8d/e7/698de768ff8638068faae5c156a02034.jpg>

SVALOVÁ TKÁŇ

Petr Vaňhara, PhD

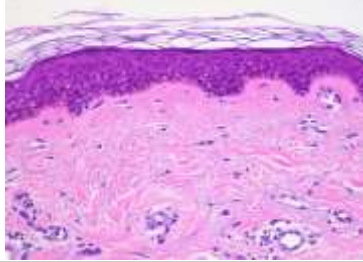
Ústav histologie a embryologie
LF MU

pvanhara@med.muni.cz

SOUČASNÁ KLASIFIKACE TKÁNÍ

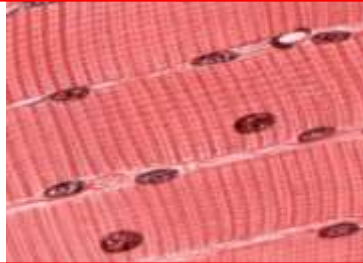
- Na základě morfologických a funkčních znaků

Epitelová



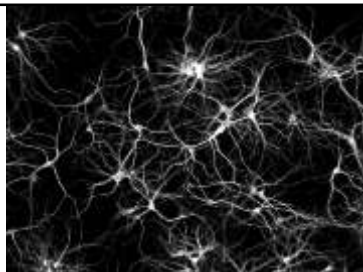
Kontinuální, avaskulární vrstvy buněk s různou funkcí, orientovaných do volného prostoru, se specifickými mezibuněčnými spoji a minimem mezibuněčného prostoru a ECM
Deriváty všech tří zárodečných listů

Svalová



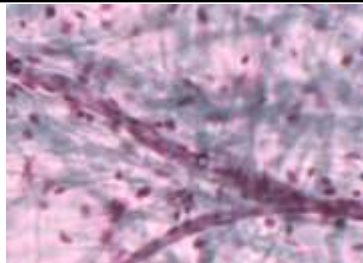
Obsahují myofibrily → schopnost kontrakce
Derivát mezodermu - KS, myokard, mezenchymu - HS
Výjimečně ektoderm (např. *m. sphincter* a *m. dilatator pupillae*)

Nervová



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

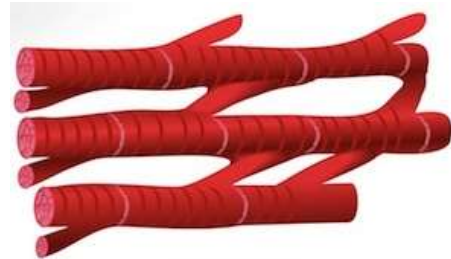
Pojivová



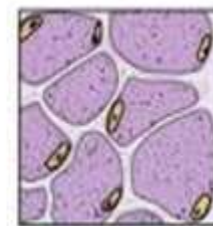
Dominantní přítomnost extracelulární matrix
Vazivo, chrupavka, kost, tuková tkáň
Derivát zejména mezenchymu

OBEČNÁ CHARAKTERISTIKA SVALOVÉ TKÁŇĚ

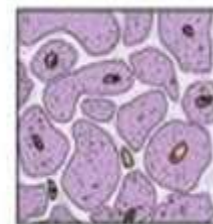
- Zvláštní cytoarchitektura
- Excitabilita a schopnost kontrakce
- Mesodermální původ



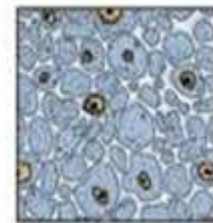
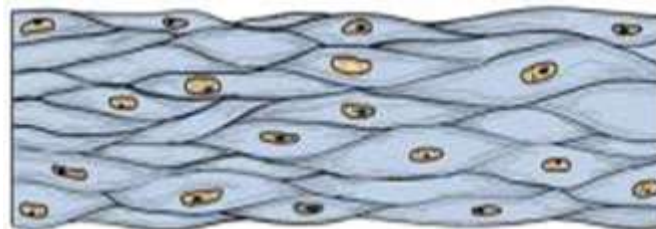
Kosterní svalovina

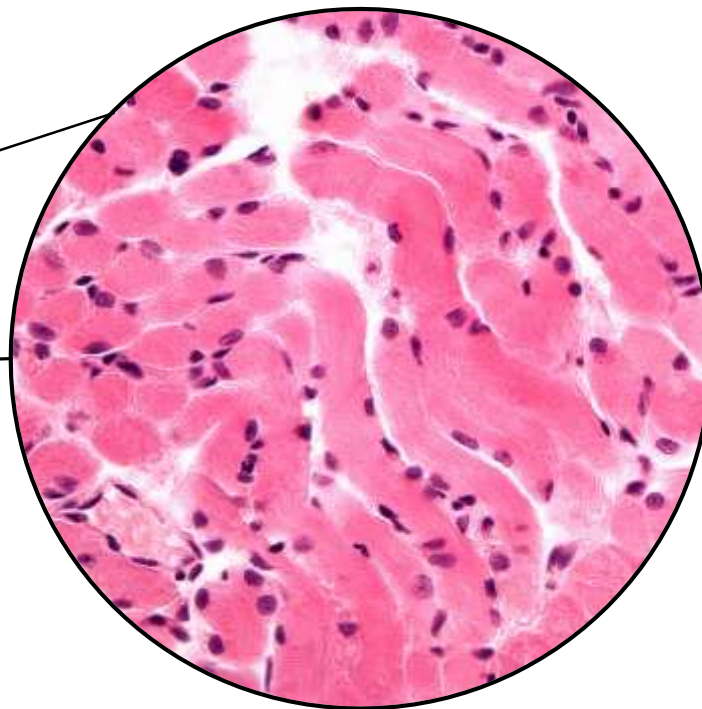


Srdeční svalovina



Hladká svalovina



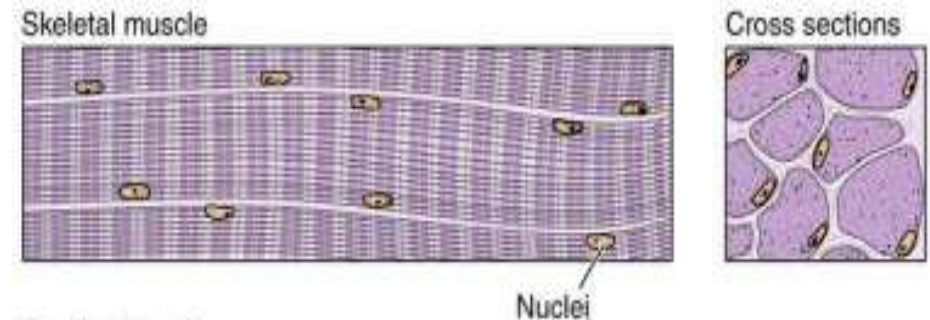


KOSTERNÍ
SVALOVÁ TKÁŇ

HISTOLOGIE KOSTERNÍ SVALOVÉ TKÁŇĚ

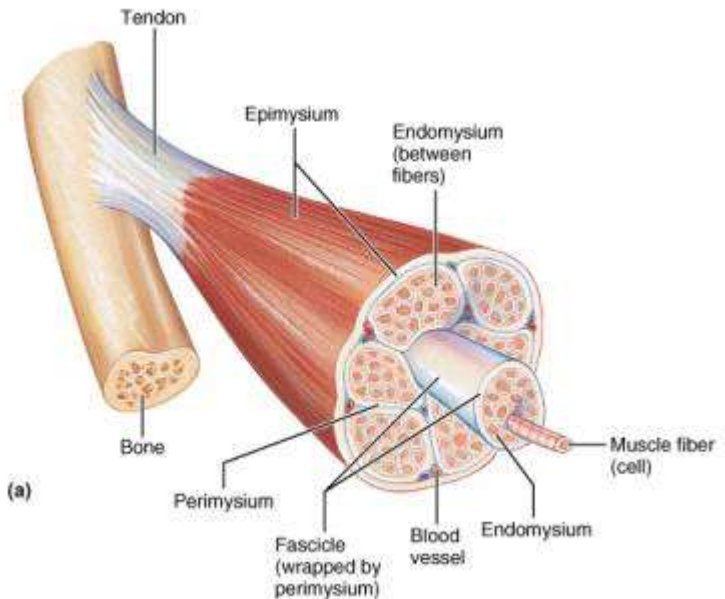
- **Složení tkáně:** svalové buňky, vazivo, inervace, vaskularizace
- **Unikátní cytoarchitektura** – velké mnohoaderné buňky = svalová vlákna (rhabdomyocyty)
- Dlouhá osa buněk je rovnoběžná se směrem kontrakce
- **Specifická terminologie:**
 - buněčná membrána = sarkolema
 - cytoplasma = sarkoplasma
 - sER = sarcoplazmatické retikulum

- svalové vlákno – mikroskopická jednotka kosterní svalové tkáně
- myofibrila – mikroskopická jednotka svalových vláken
- myofilamenta – vlákna aktinu a myosinu



SVALOVÁ TKÁŇ NEJSOU JEN SVALOVÉ BUŇKY

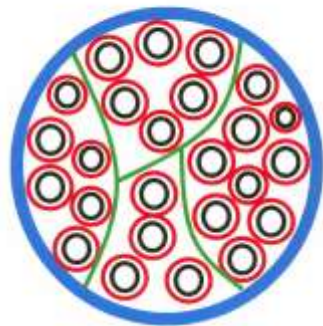
- vazivový obal
- odolnost & biomechanika
- **endomysium** – kolem každého svalového vlákna
- **perimysium** – sekundární svazky; septa
- **epimysium** – kolagenní vazivo kolem svalového svazku
- fascia – husté neuspořádané kolagenní vazivo



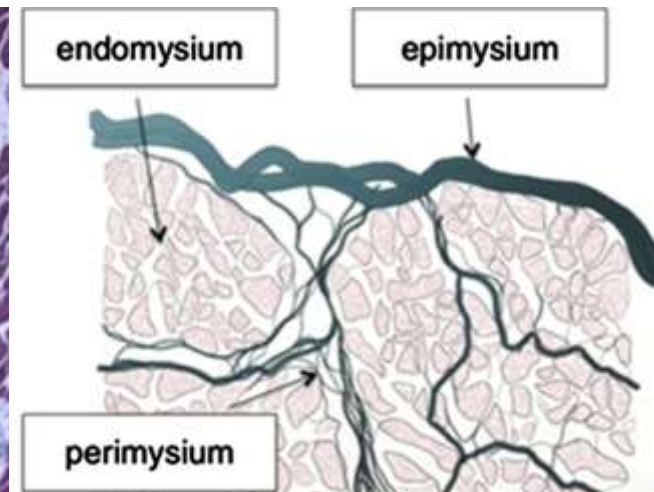
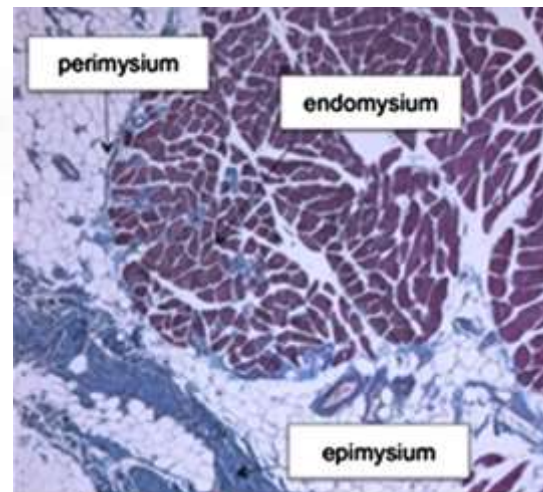
Copyright © 2001 Benjamin Cummings, an imprint of Addison Wesley Longman, Inc.

-mysiums

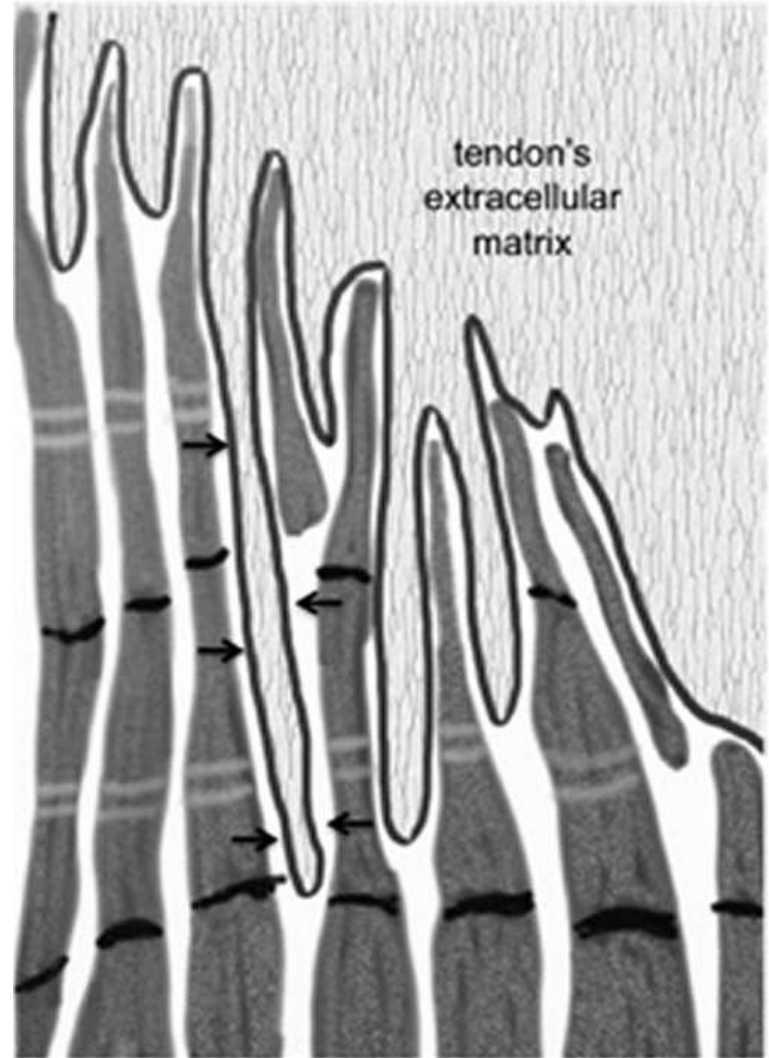
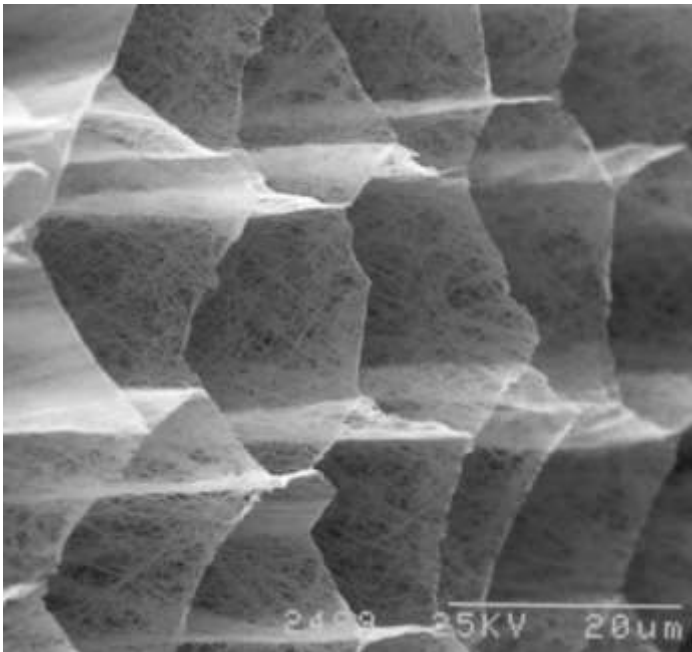
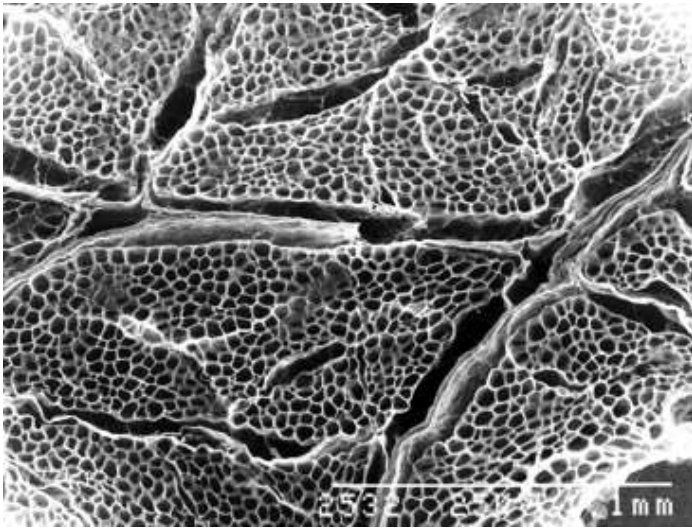
(connective tissue coats of a skeletal muscle)



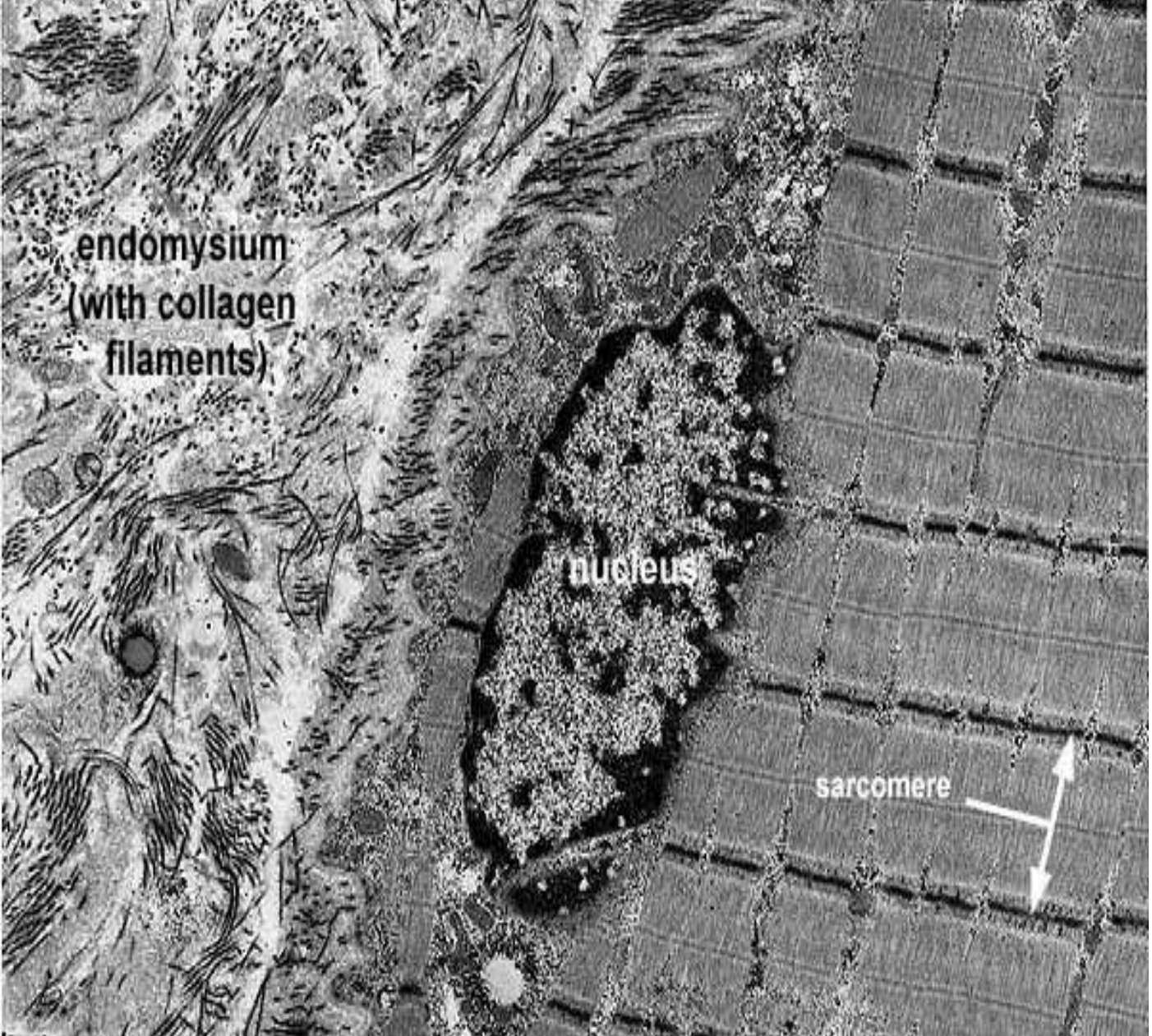
- skeletal muscle fiber
- endo - mysium
- peri - mysium
- epi - mysium



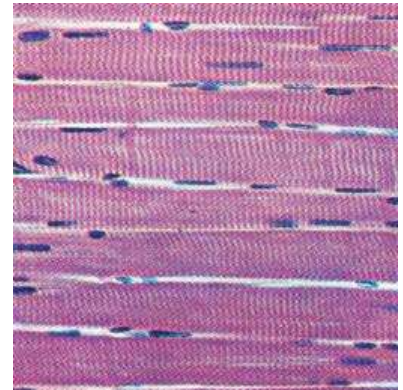
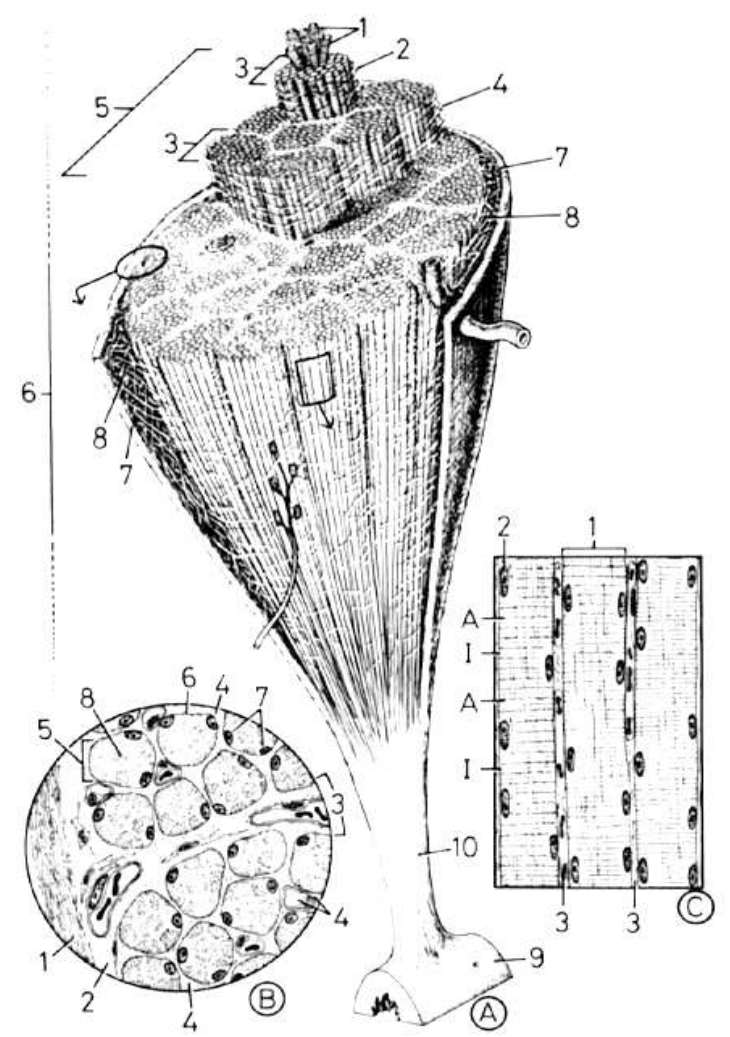
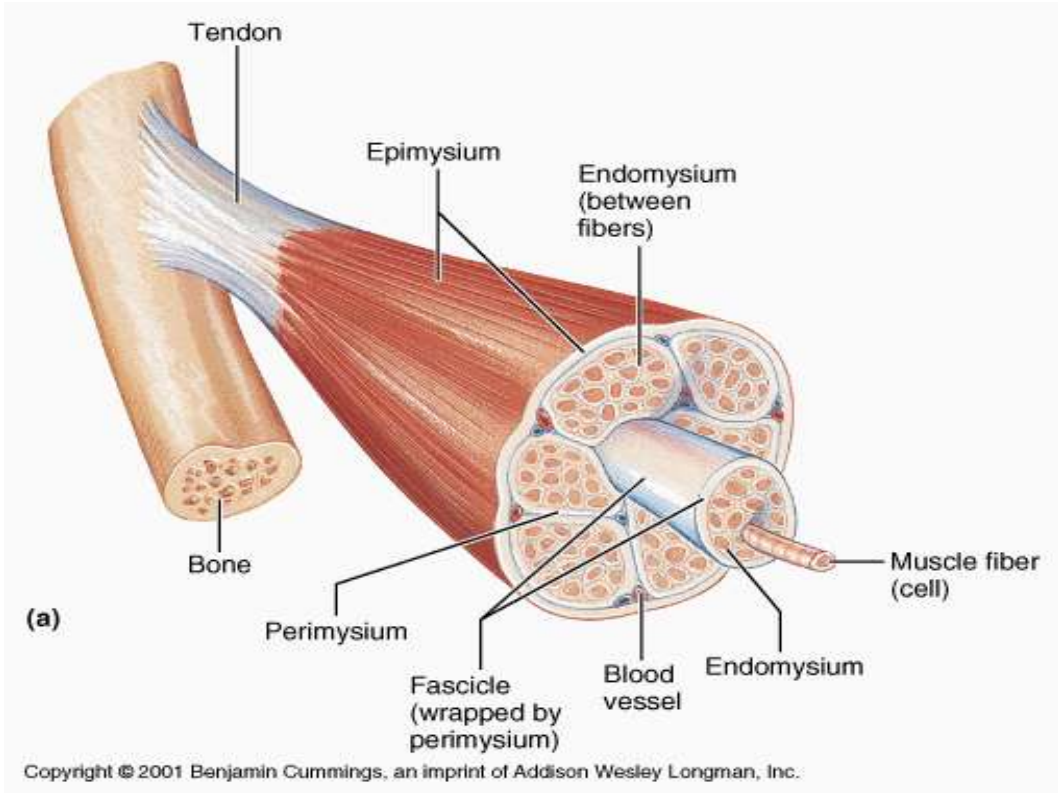
VAZIVO KOSTERNÍ SVALOVINY



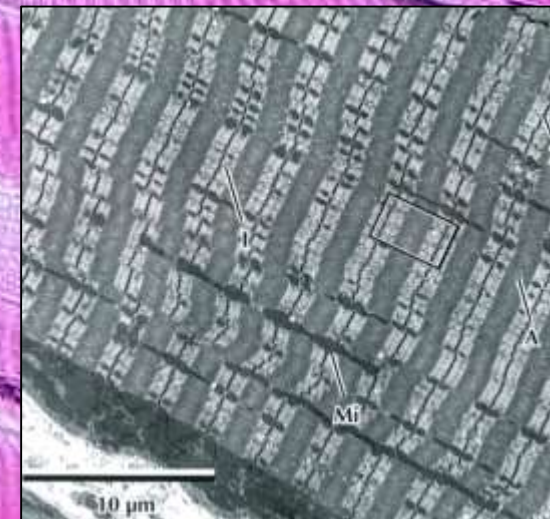
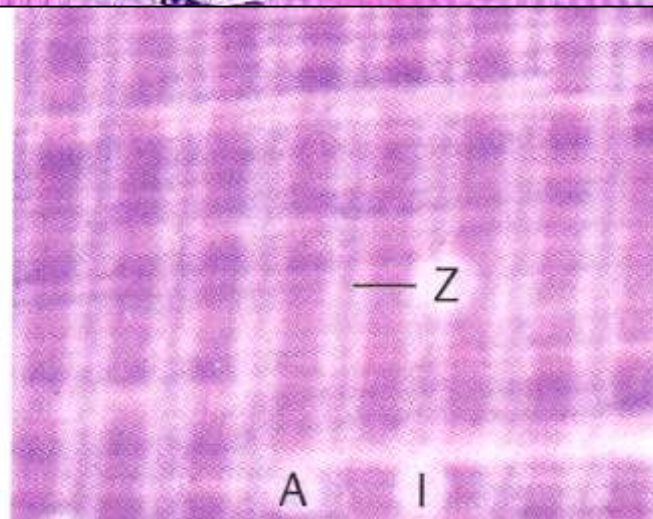
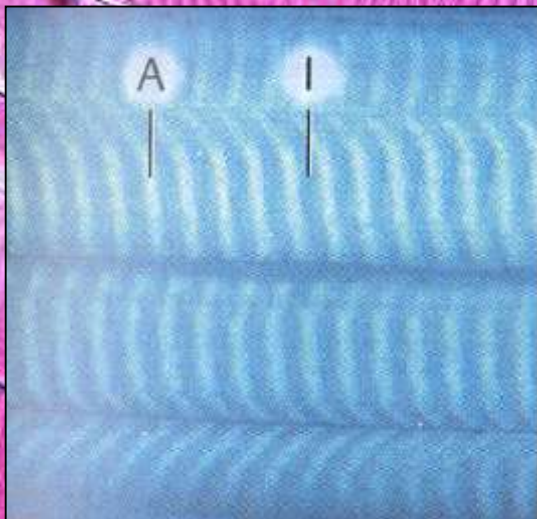
VAZIVO KOSTERNÍ SVALOVINY



ORGANIZACE SVALOVÉ TKÁŇĚ



PROČ JE KOSTERNÍ SVALOVÁ
TKÁŇ (PŘÍČNĚ) PRUHOVANÁ?



ULTRASTRUKTURA RHABDOMYOCYTU

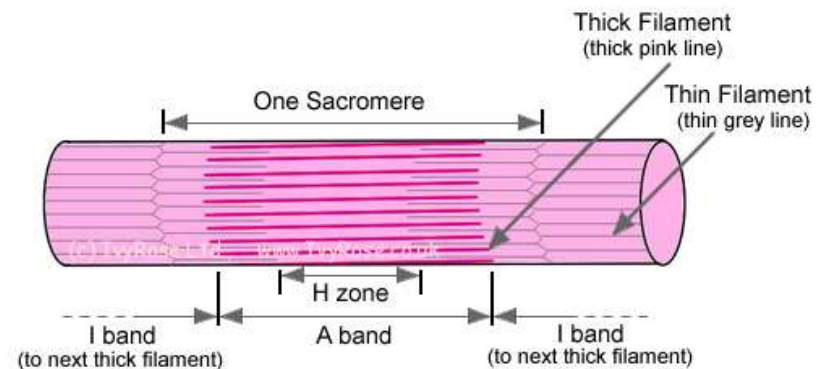
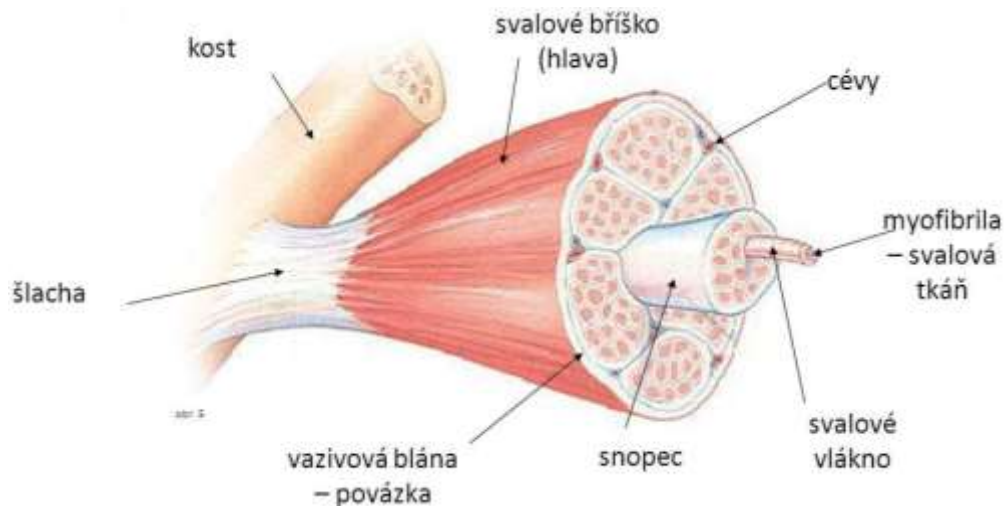
Svalové vlákno = syncitium = rhabdomyocyt

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 nm a 15 nm]



ULTRAŠTRUKTURA RHABDOMYOCYTU

Sarkolema + t-tubuly

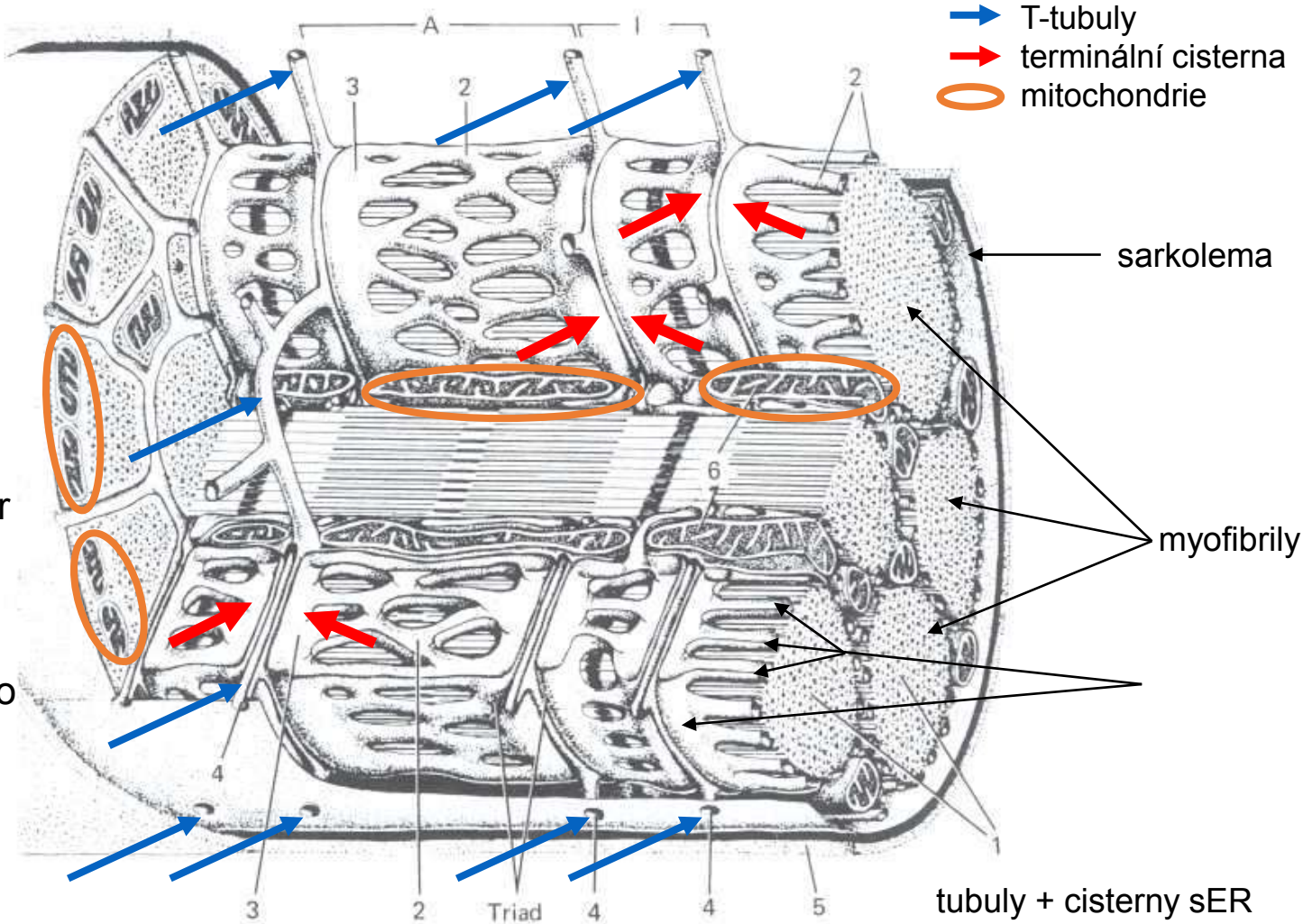
Sarkoplasma:

Jádra
Mitochondrie
Golgiho aparát,
Glykogen (β granules)

Sarkoplazmatické retikulum

(hladké ER) – rezervoár Ca^{2+}

Myofibrily (paralelně s dlouhou osou svalového vlákna)



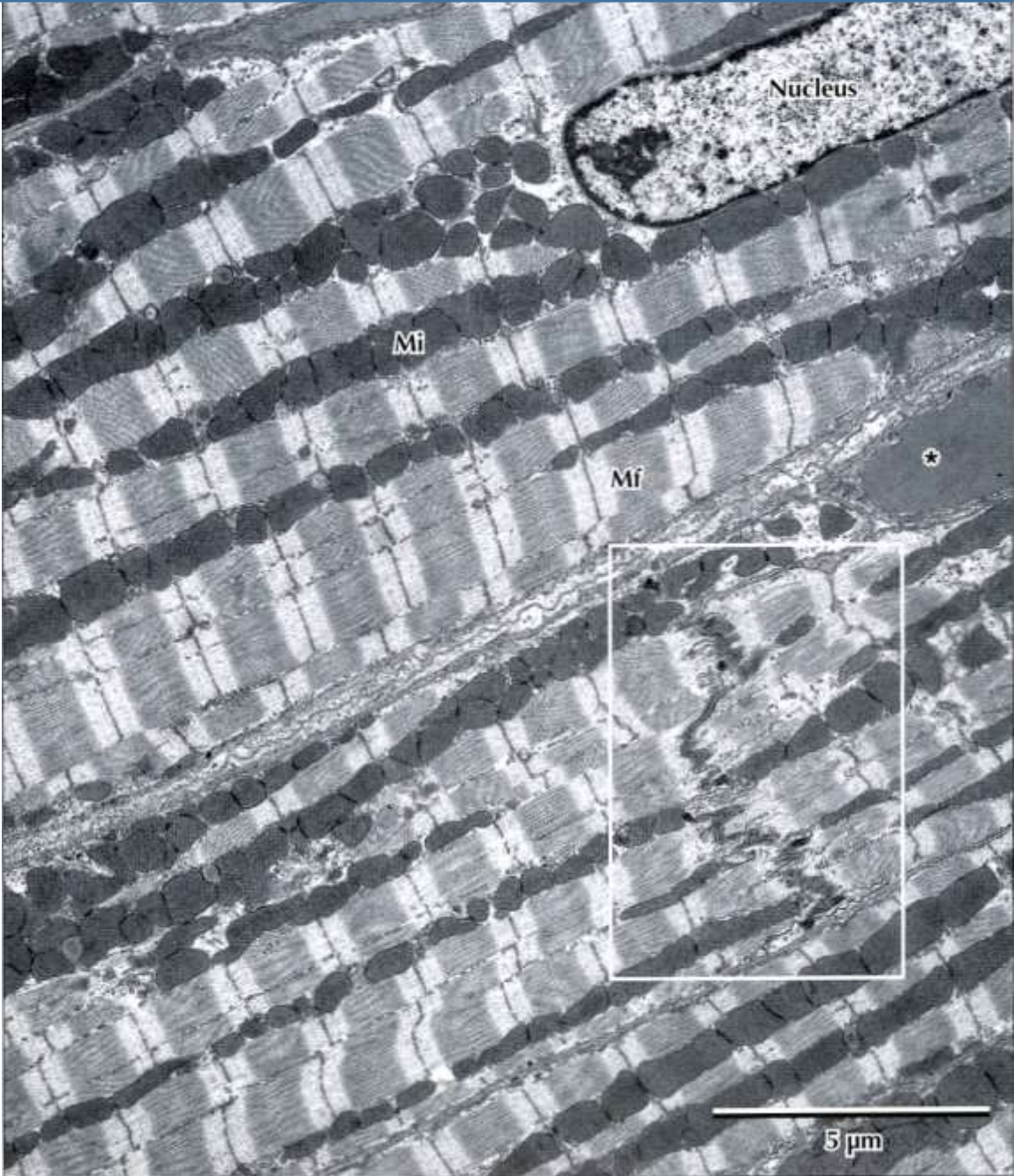
- T-tubuly
- terminální cisterna
- mitochondrie

sarkolema

myofibrily

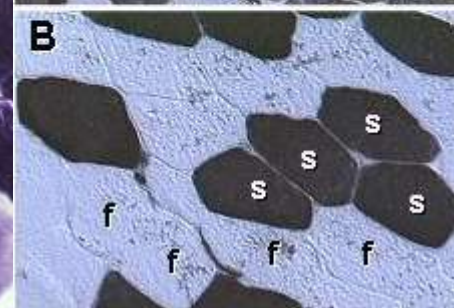
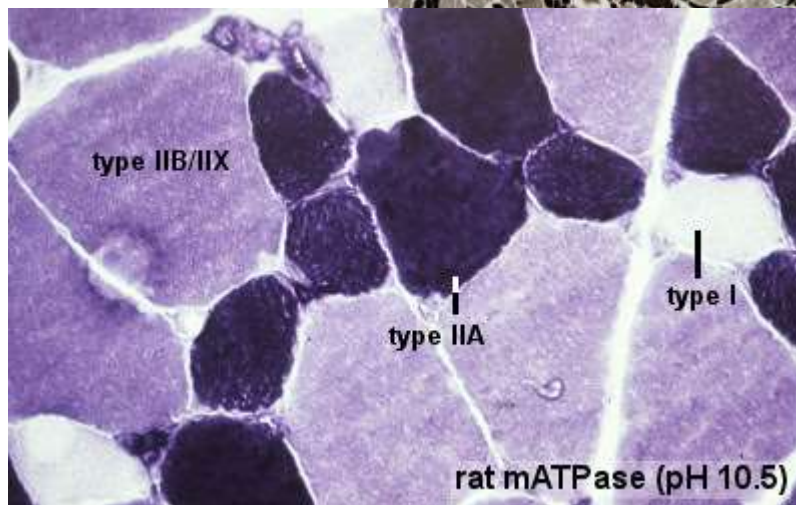
tubuly + cisterny sER

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**

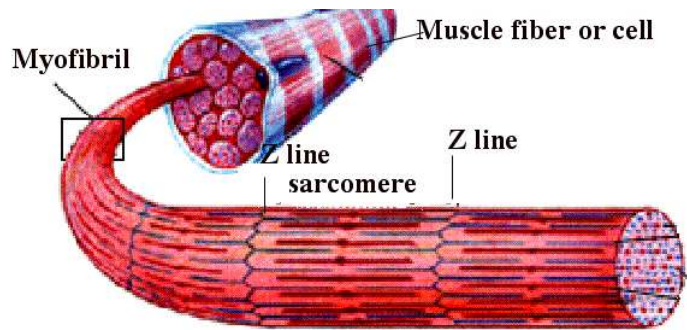


FYZIOLOGICKÁ KLASIFIKACE KOSTERNÍCH SVALŮ

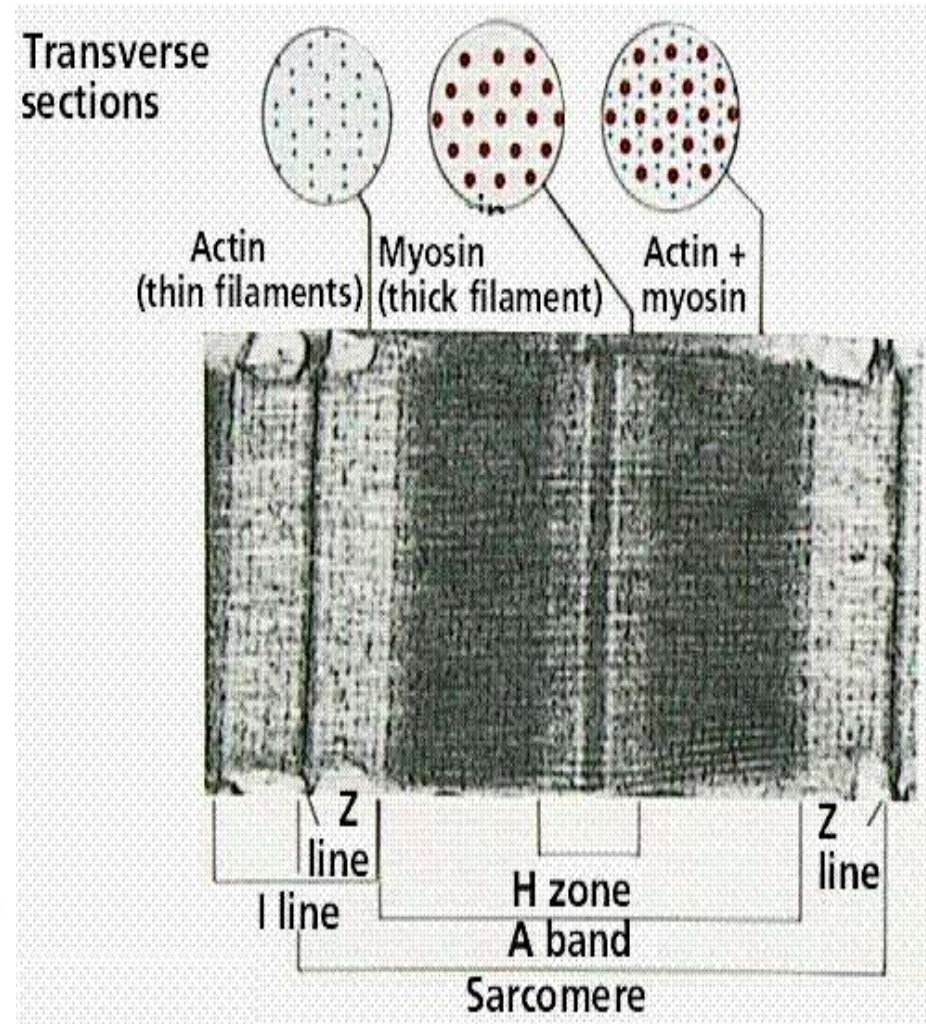
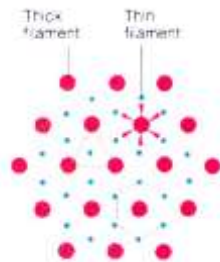
Properties	Type I fibers	Type IIA fibers	Type IIX fibers
Motor Unit Type	Slow Oxidative (SO)	Fast Oxidative/Glycolytic (FOG)	Fast Glycolytic (FG)
Twitch Speed	Slow	Fast	Fast
Twitch Force	Small	Medium	Large
Resistance to fatigue	High	High	Low
Glycogen Content	Low	High	High
Capillary Supply	Rich	Rich	Poor
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

MYOFIBRILY

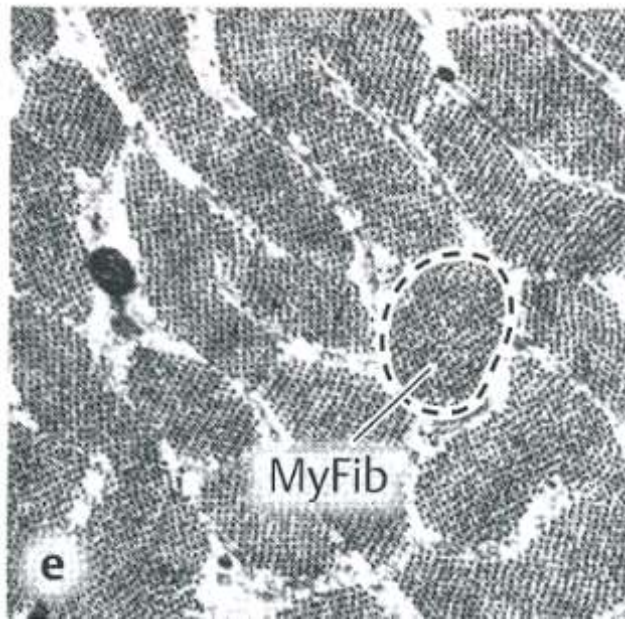
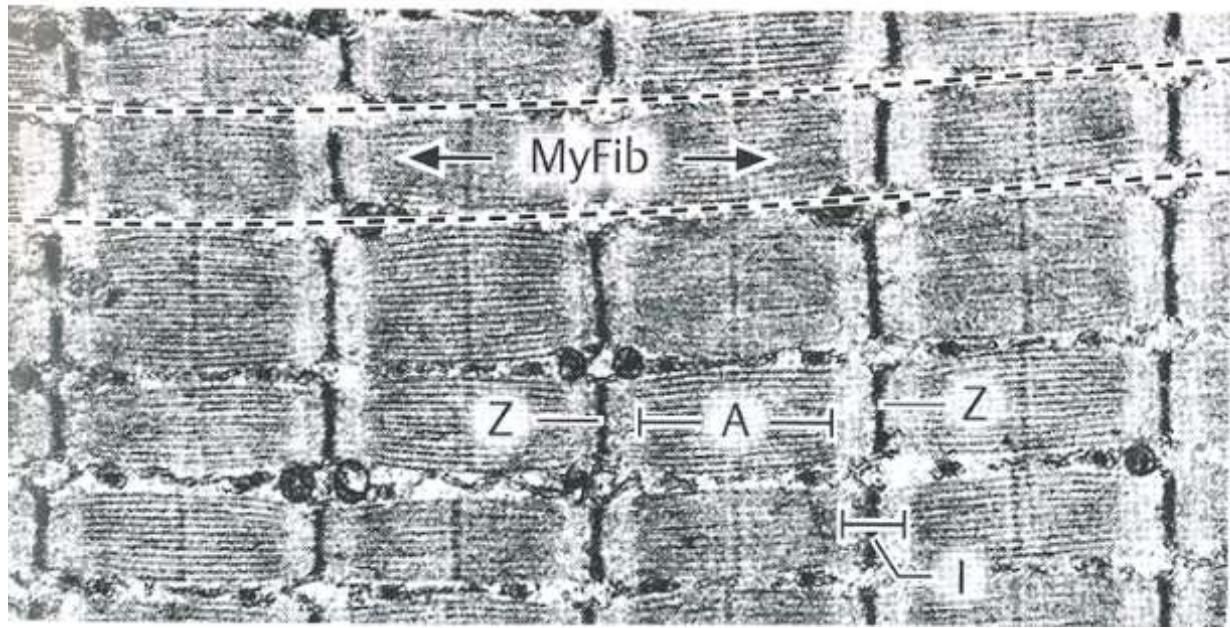
- protáhlé cytoskeletární struktury [$\text{Ø } 0.5 - 1.5 \mu$] v sarkopazmě svalového vlákna



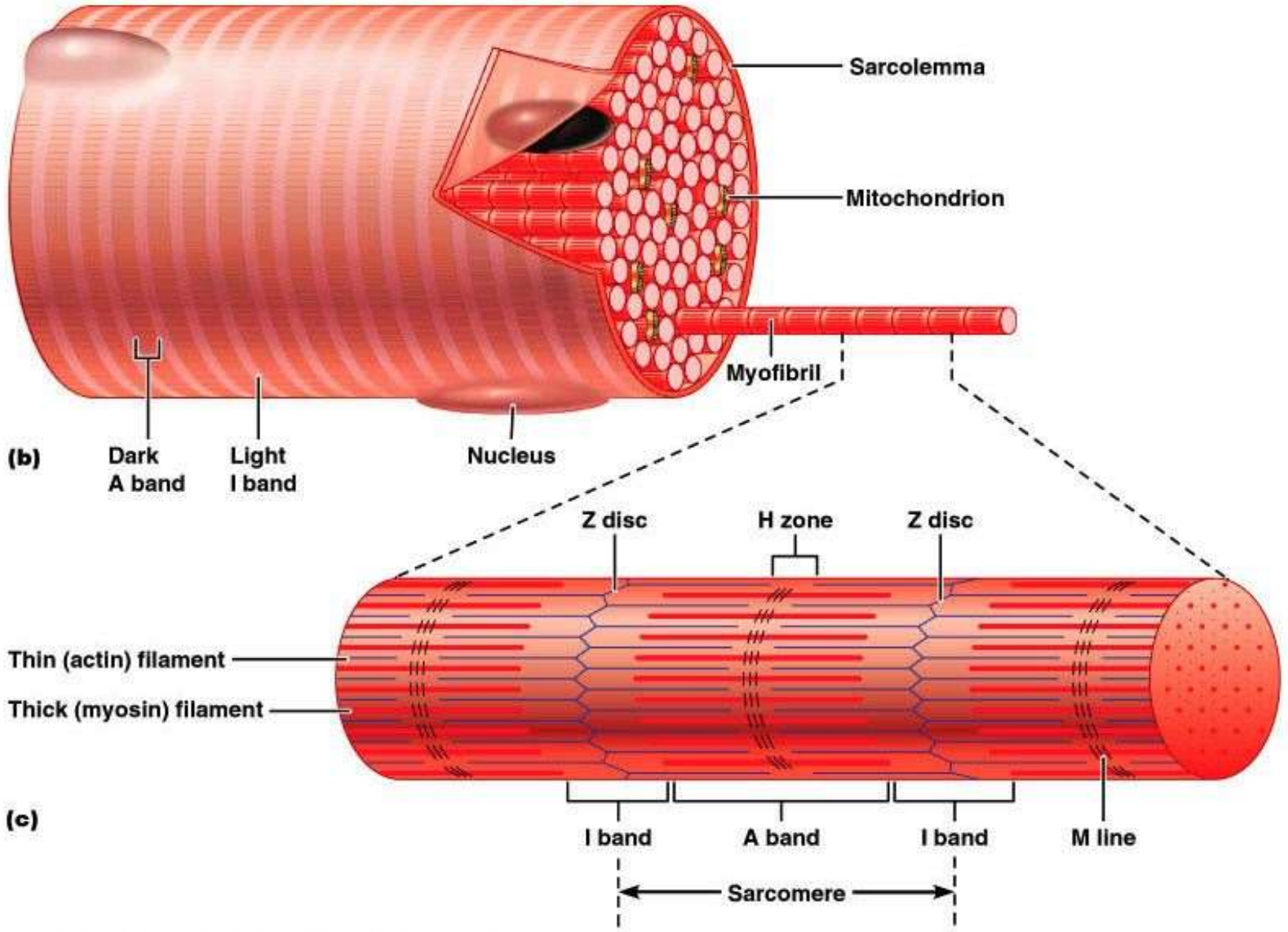
- Aktin + myosin - myofilamenta
- Sarcomera
- Z-linie
- M-linie a H-zóna
- I-proužek, A-proužek



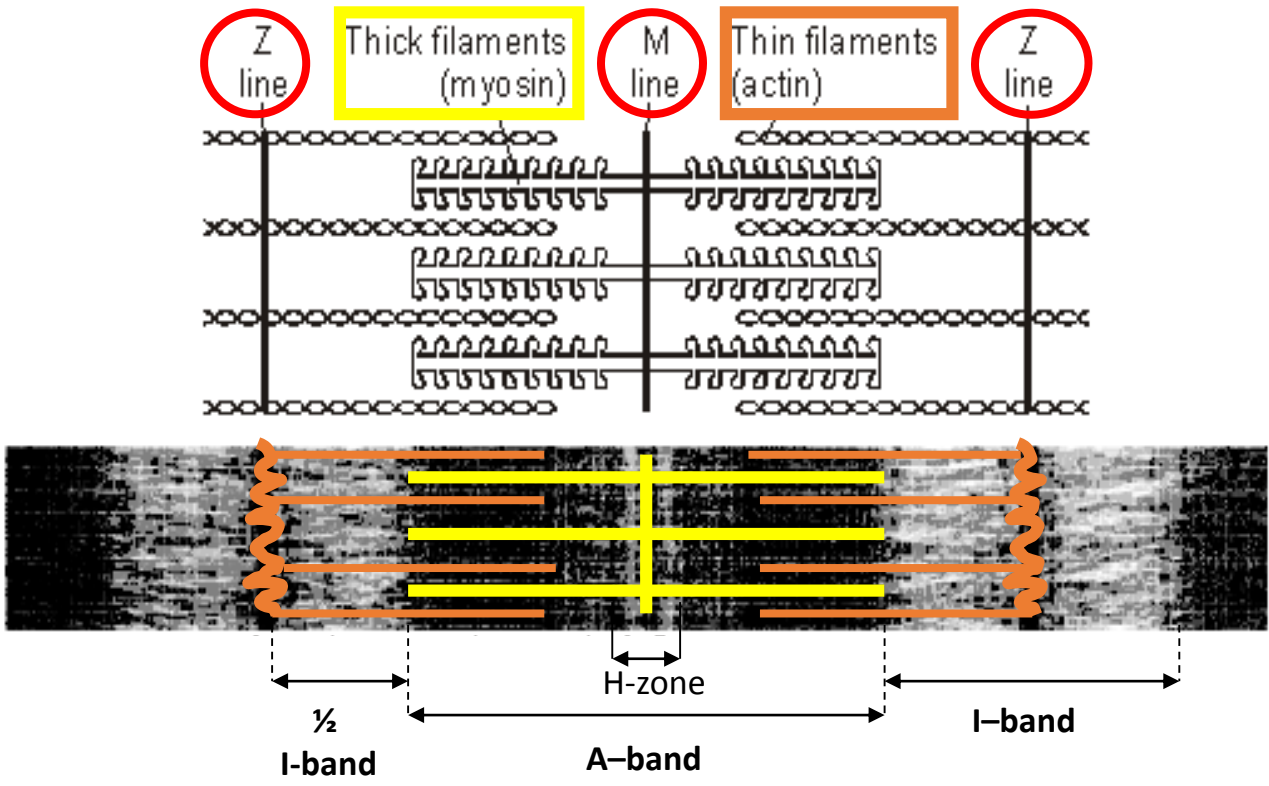
MYOFIBRILY



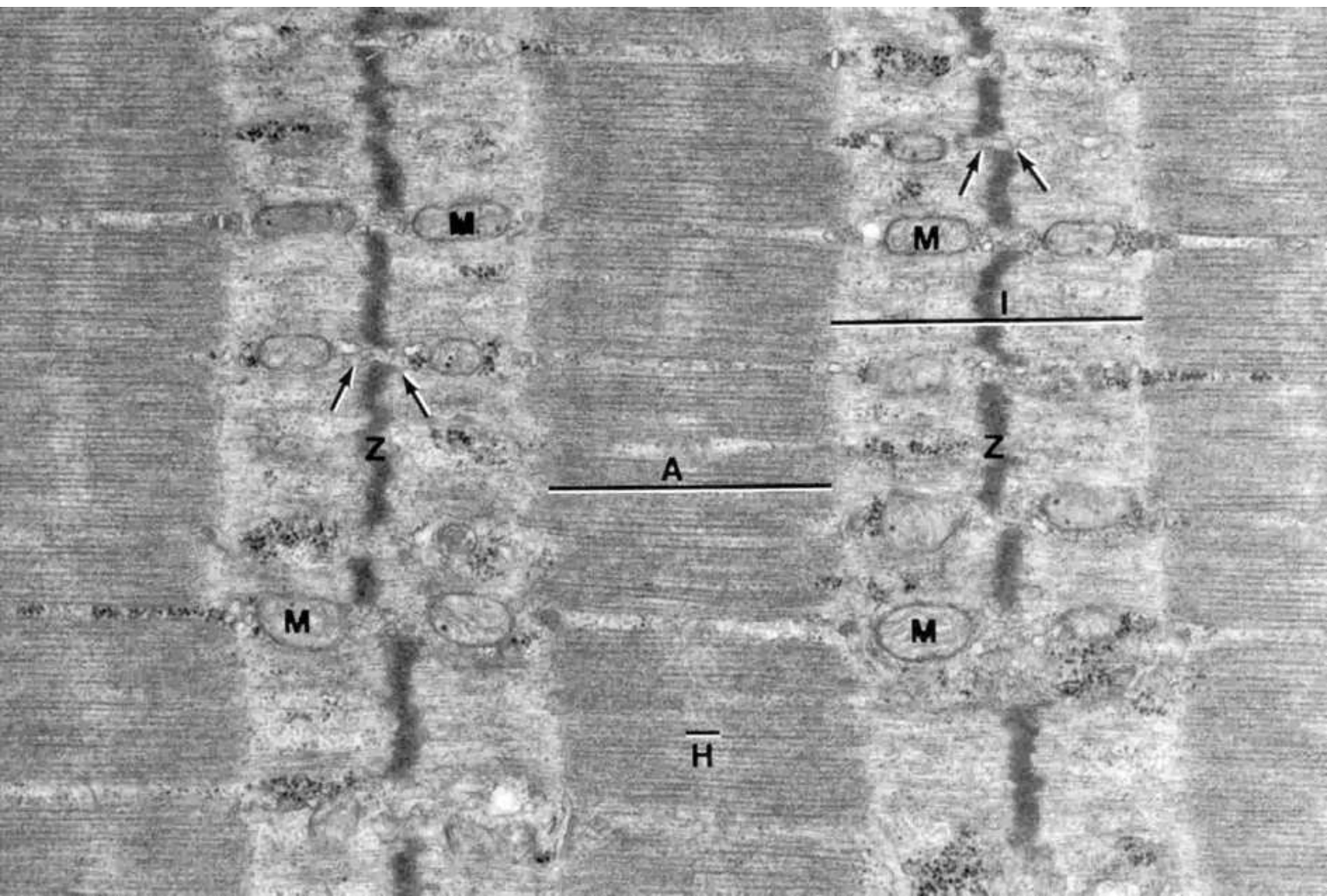
SARKOMERA



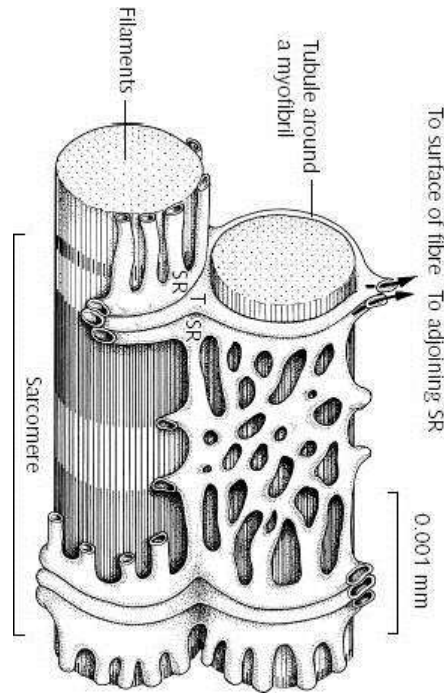
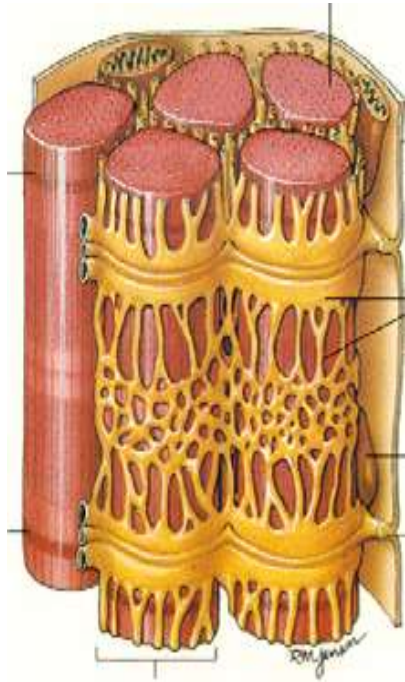
SARKOMERA



SARKOMERA



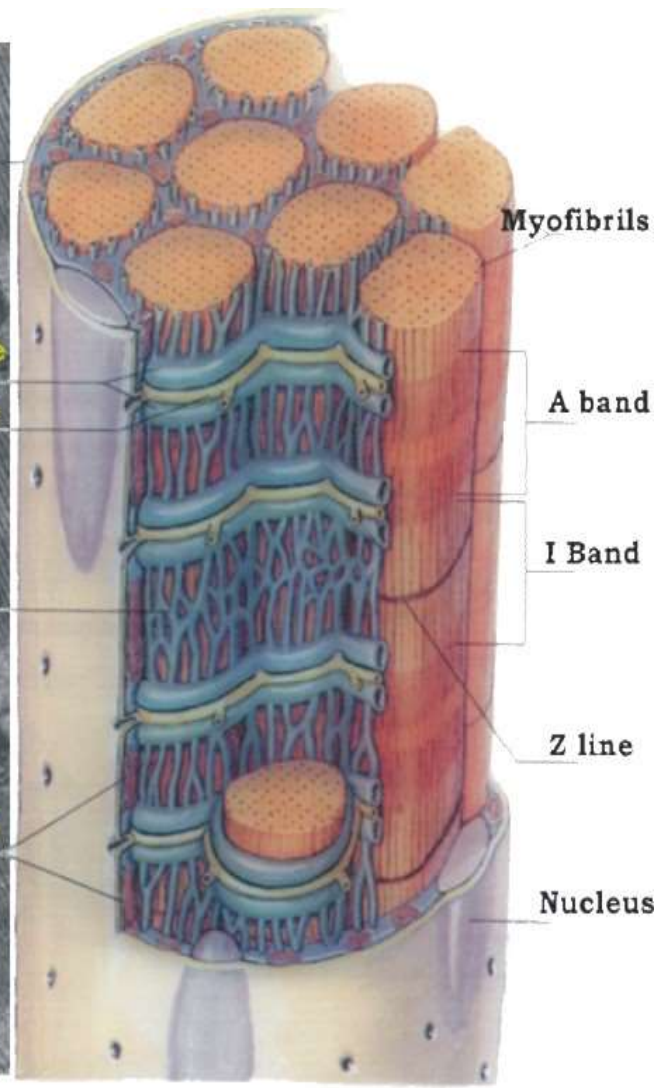
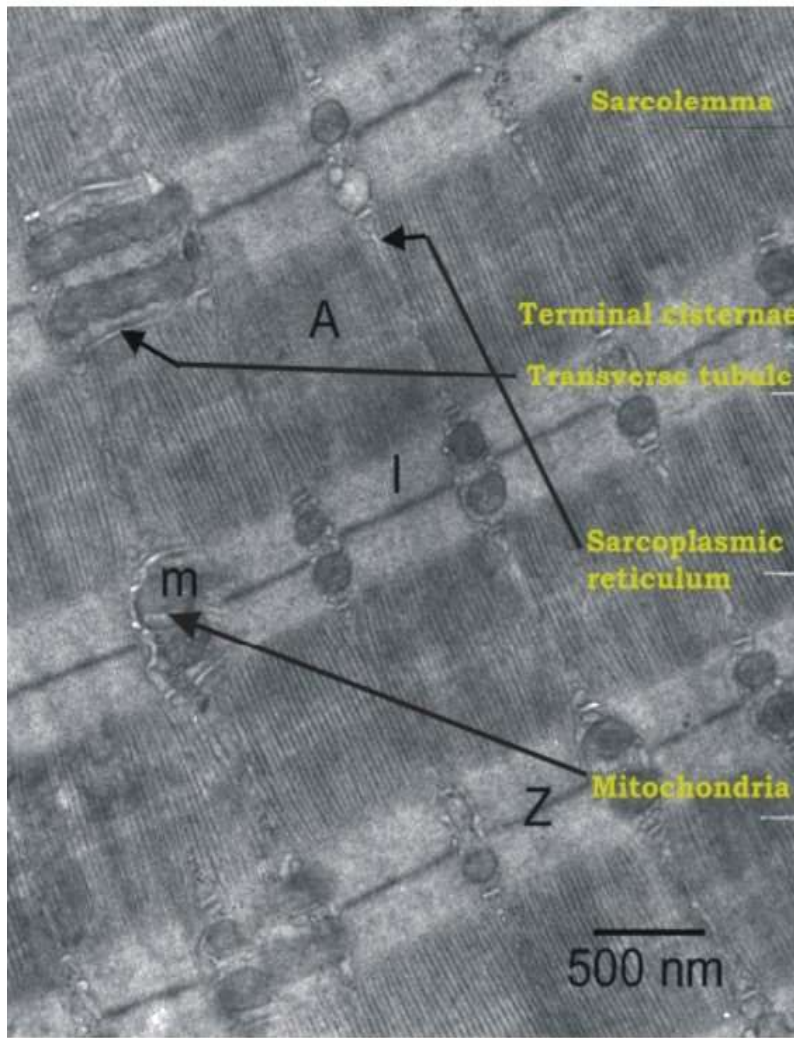
SARKOPLAZMATICKÉ RETIKULUM



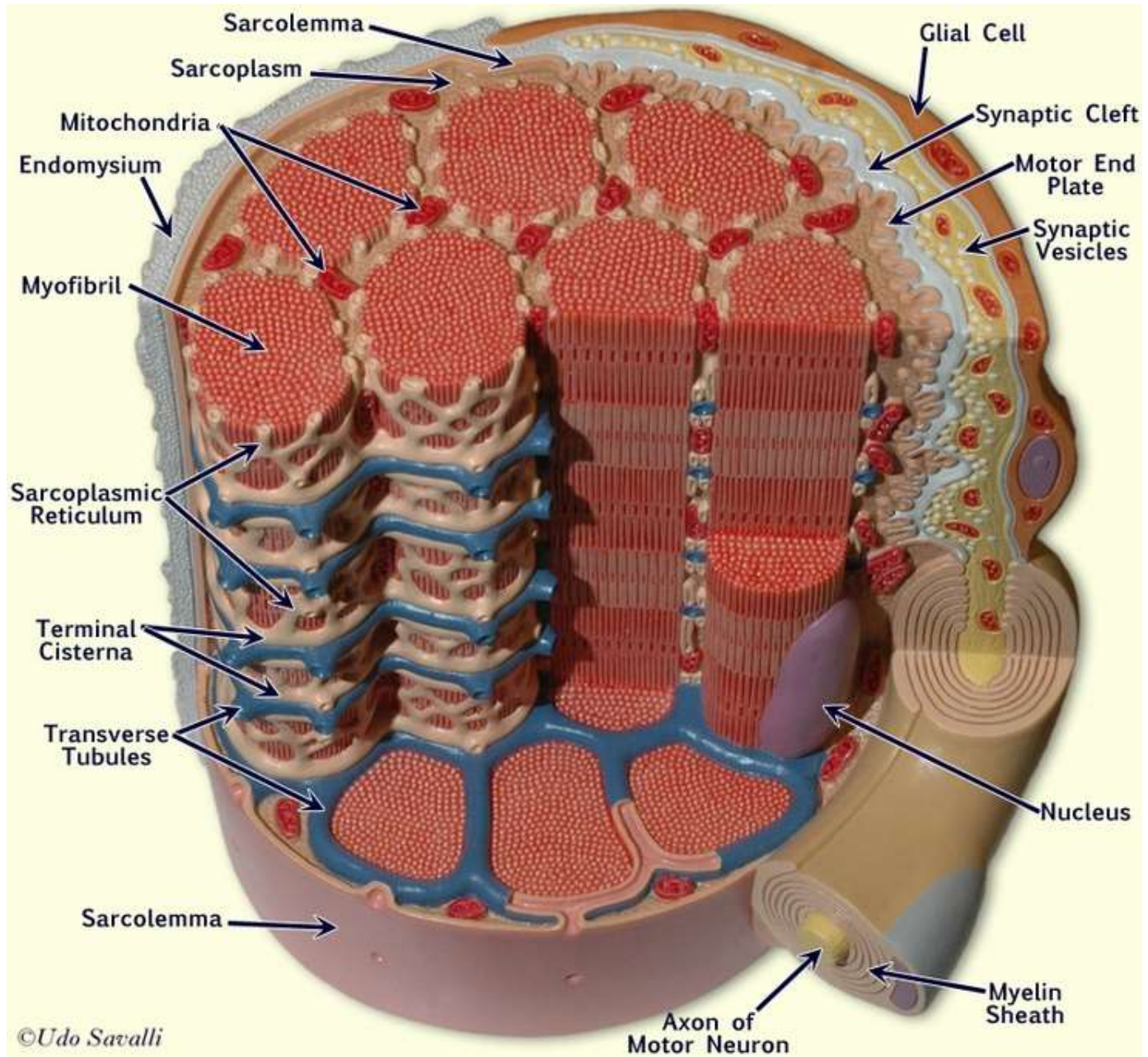
Terminální cisterna
T-tubule
Terminální cisterna } **TRIÁDA**

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

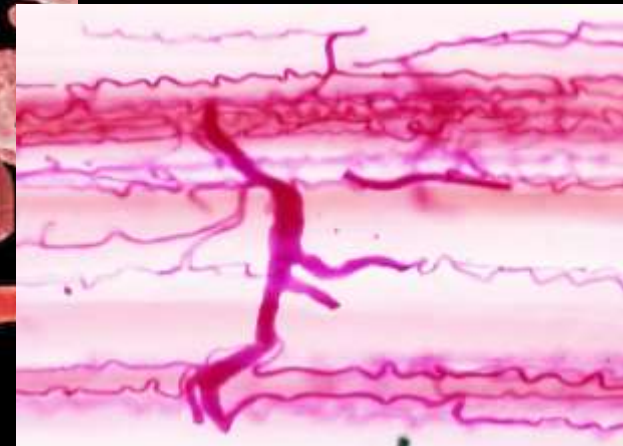
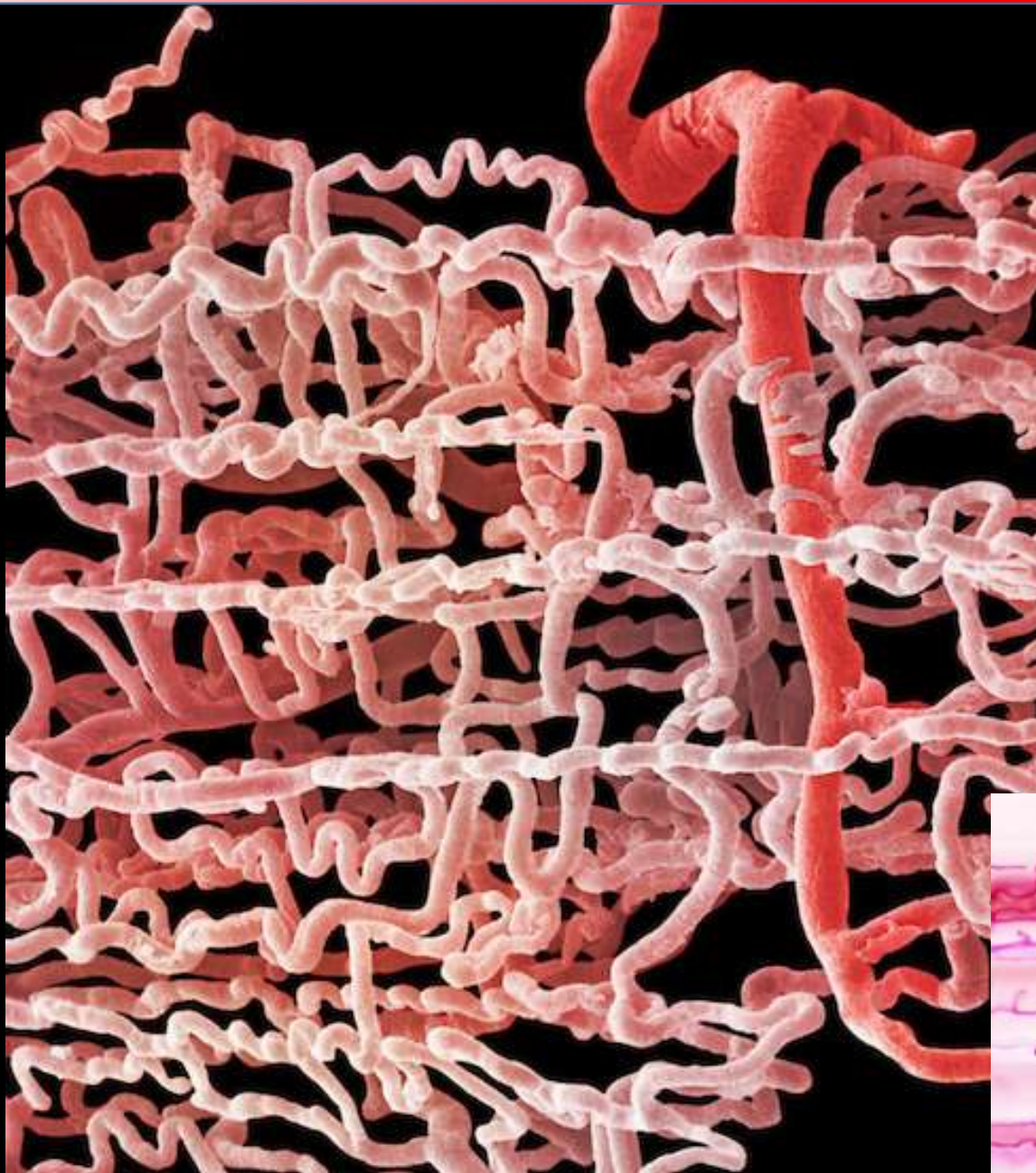
SARKOPLAZMATICKÉ RETIKULUM



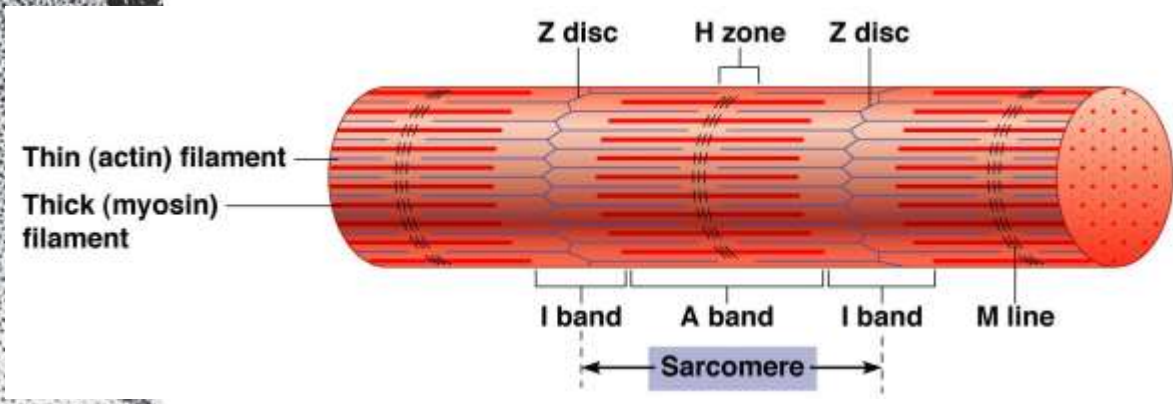
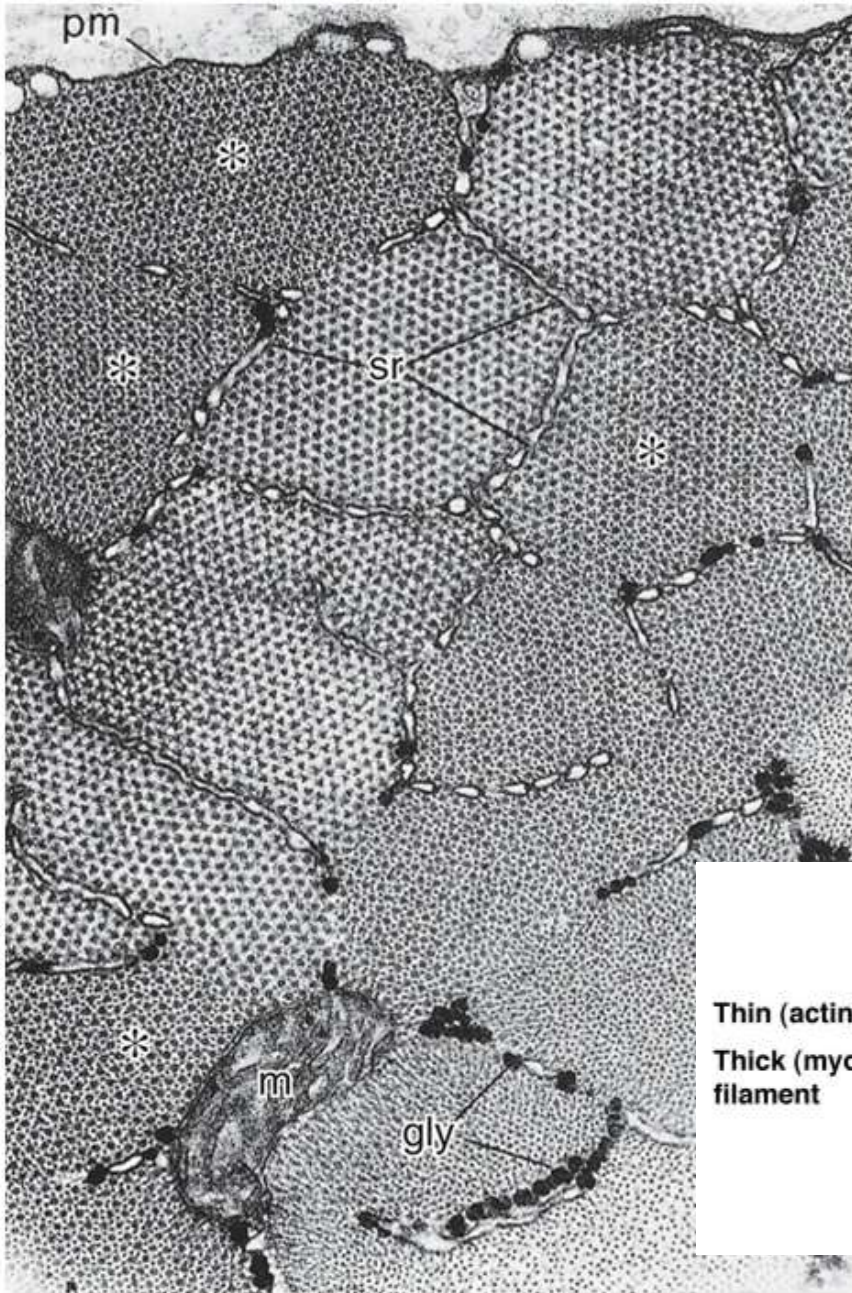
SARKOPLAZMATICKÉ RETIKULUM



KAPILÁRY KOLEM SVALOVÝCH VLÁKEN

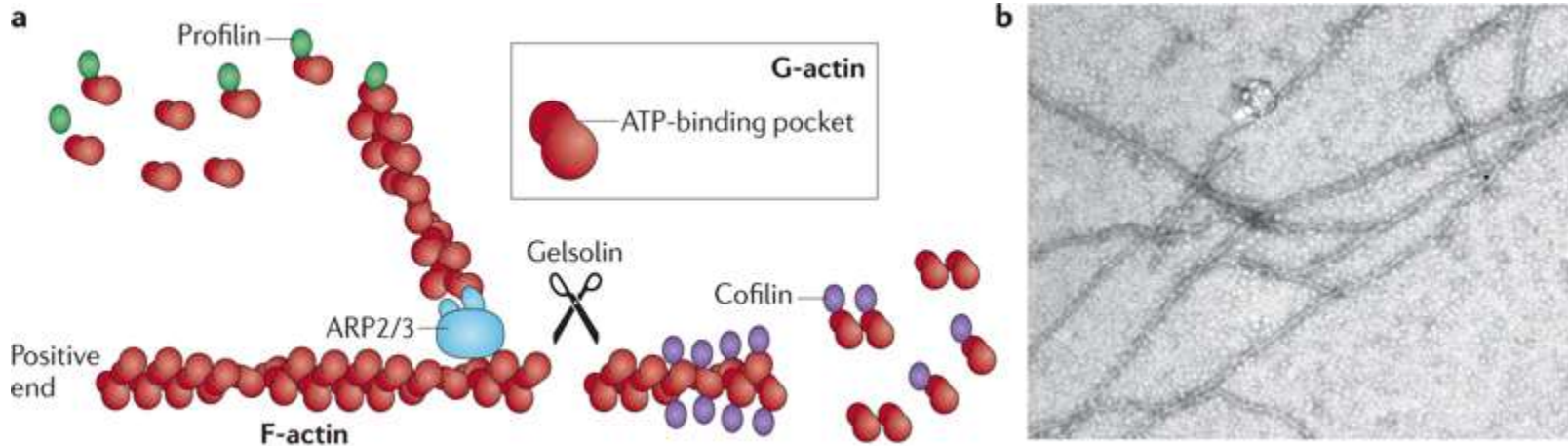


MYOFILAMENTA



TENKÁ MYOFILAMENTA

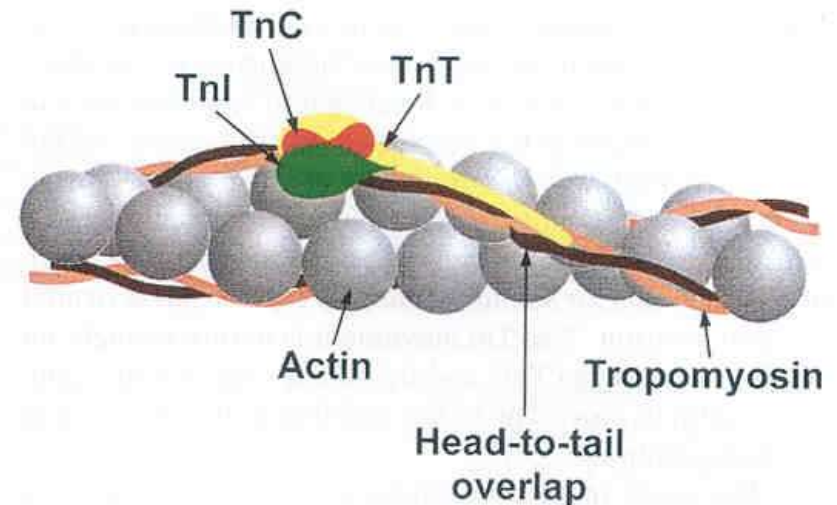
- **Fibrilární aktin (F-actin)**



- **Tropomyosin**

- **Troponin** – komplex 3 globulárních proteinů

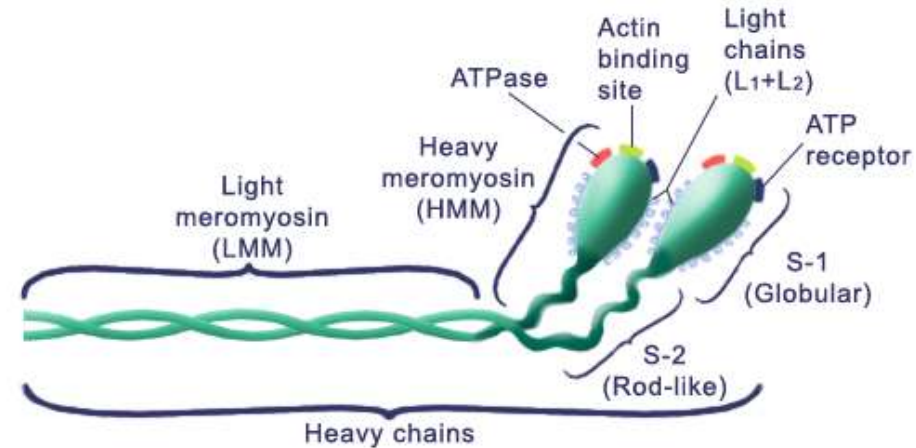
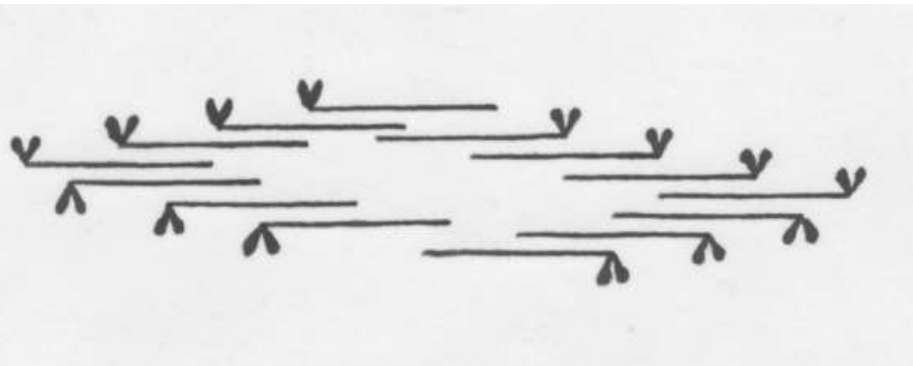
- TnT (Troponin T) – váže tropomyosin
- TnC (Troponin C) – váže kalcium
- TnI (Troponin I) inhibuje interakci mezi tenkými a tlustými myofilamenty



TLUSTÁ MYOFILAMENTA

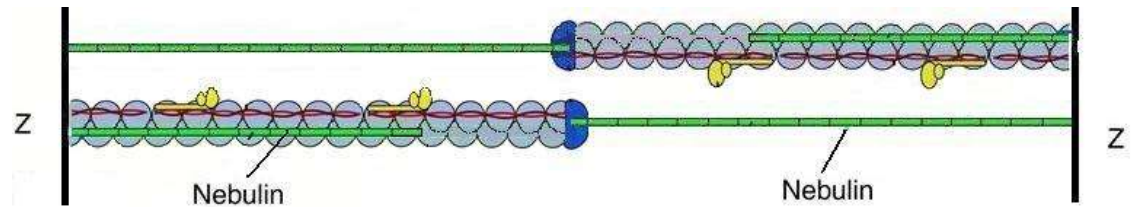
- **Myosin II**

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



- **Nebulin**

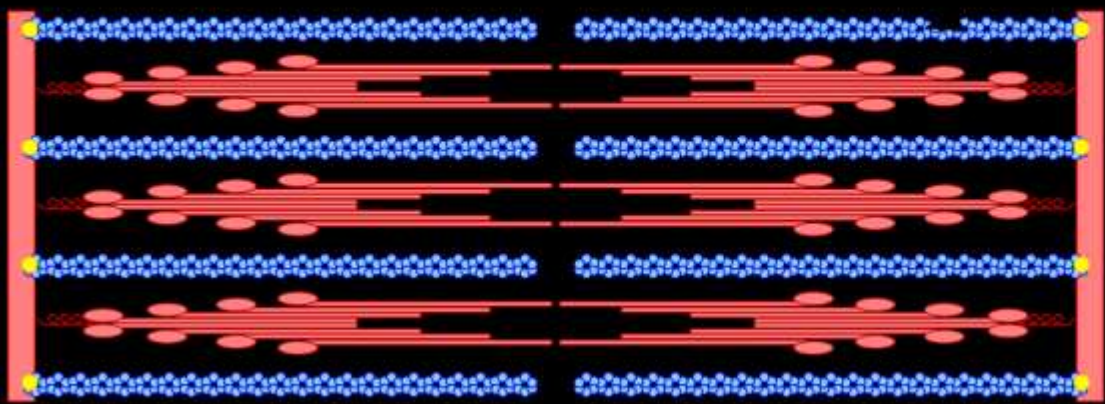
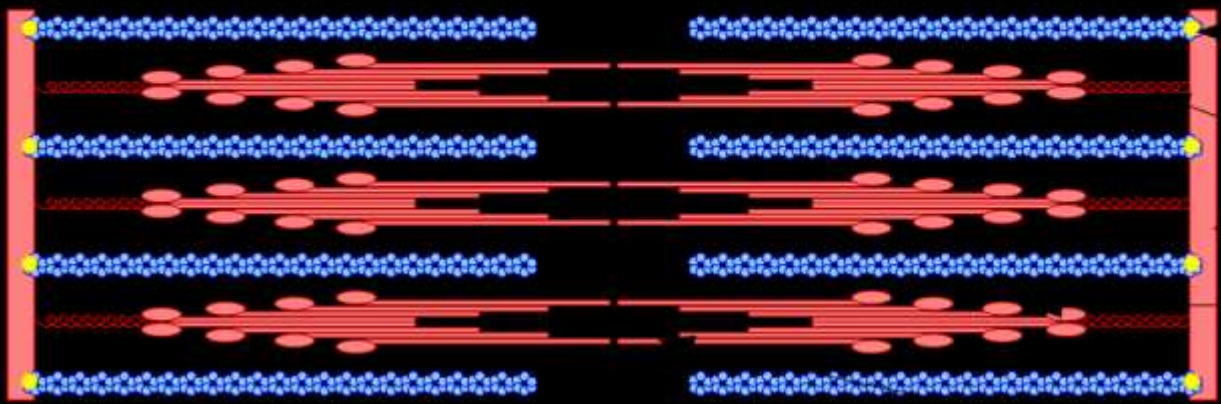
- 600-900kDa
- stabilizace F-aktinu



- **Titin**

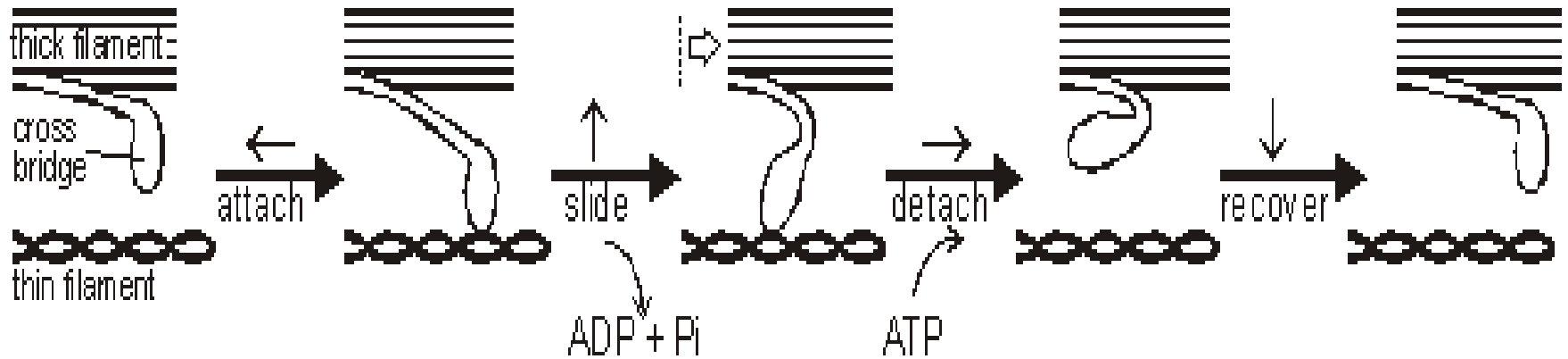
- >MDa
- stabilizace myosinu

MYOFILAMENTA TVOŘÍ SARKOMERU

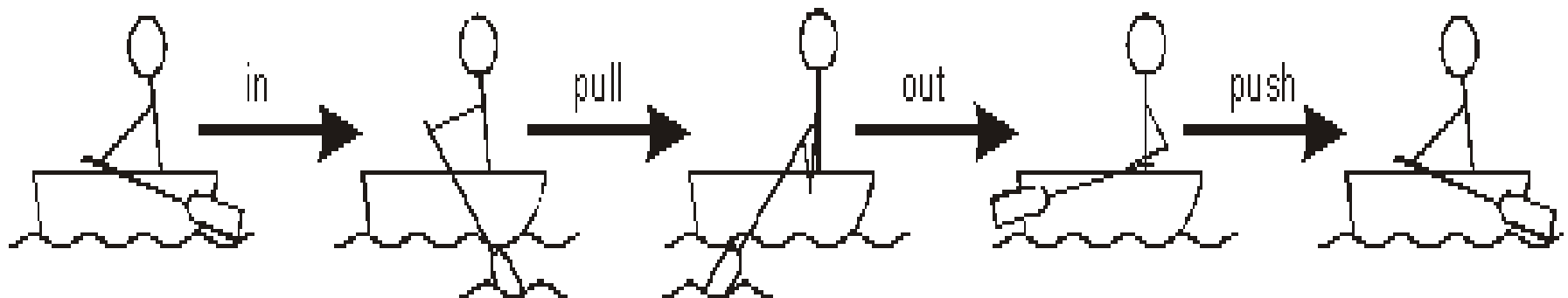


MECHANISMUS KONTRAKCE

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

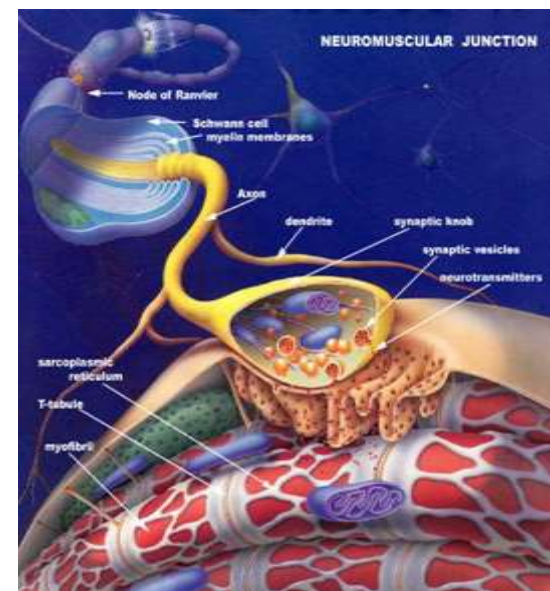


The Rowing Cycle



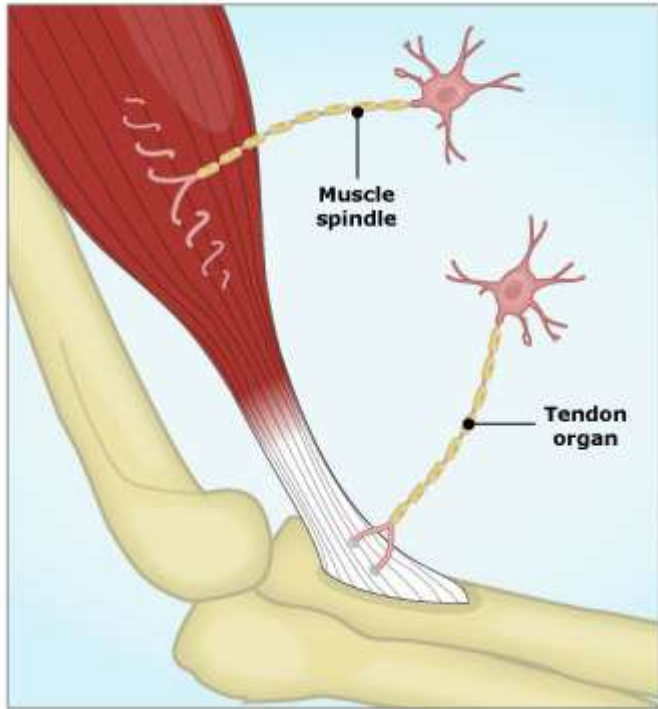
MECHANISMUS KONTRAKCE

1. Impuls podél axonu motorneuronu
2. Depolarizace presynaptické membrány (Na^+ influx)
3. Synaptické vezikuly splývají s presynaptickou membránou
4. Acetylcholin uvolněný do synaptické štěrbiny
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. Konepletní 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

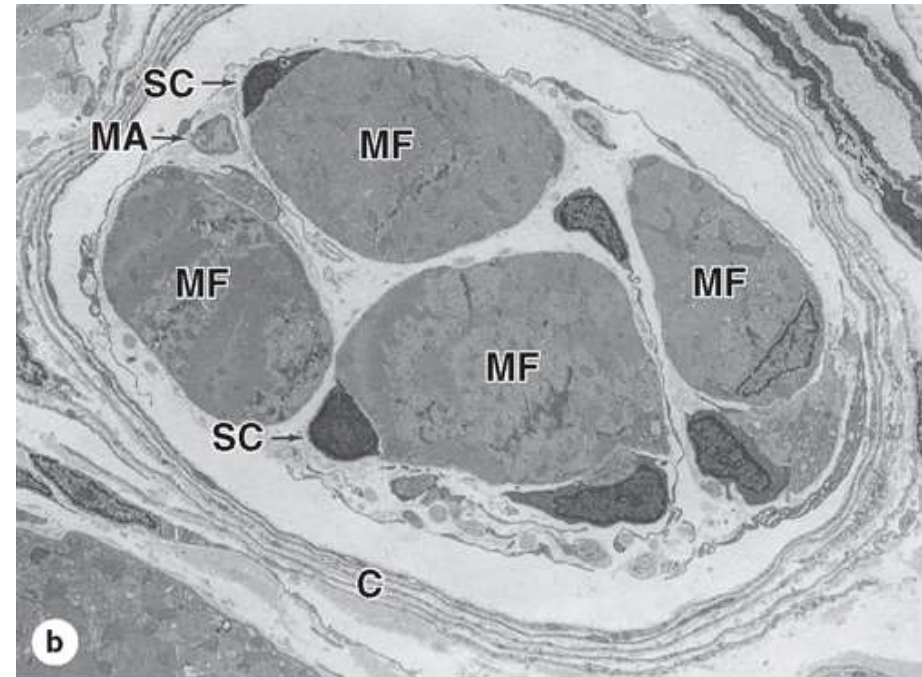


Golgiho šlachová tělíska

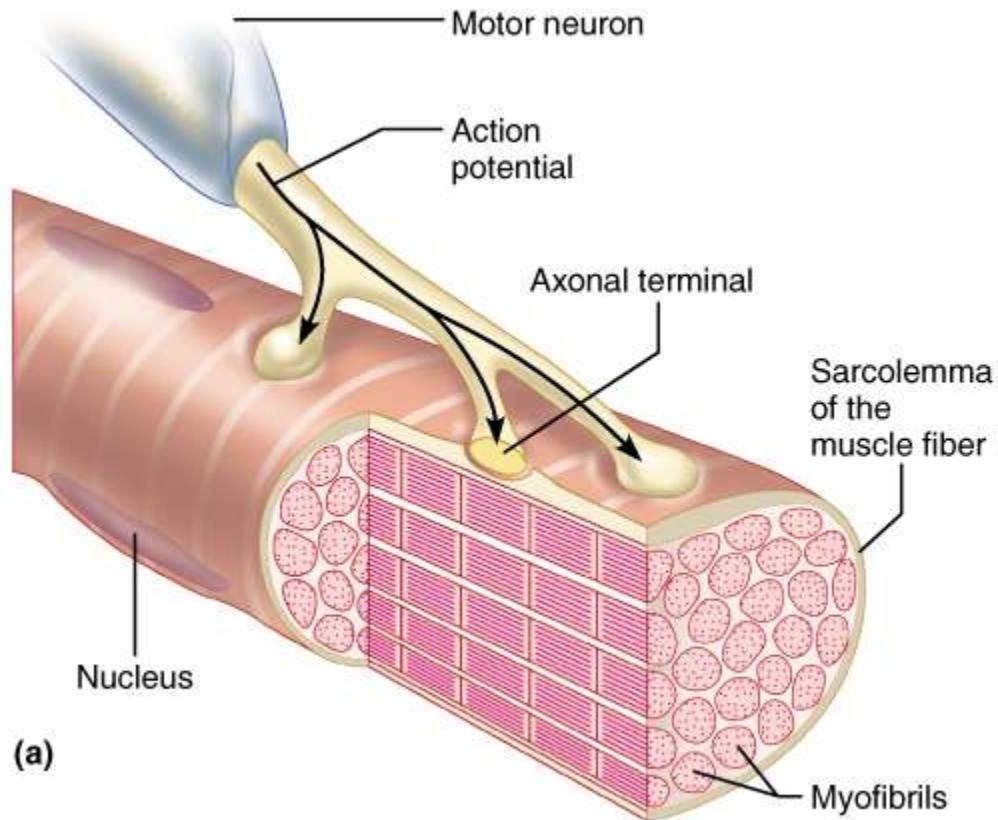
- myotendinózní spojení
- senzorké axony mezi kolagenními vlákny
- změny napětí
- utlumení motorické nervové aktivity

Svalová vřeténka

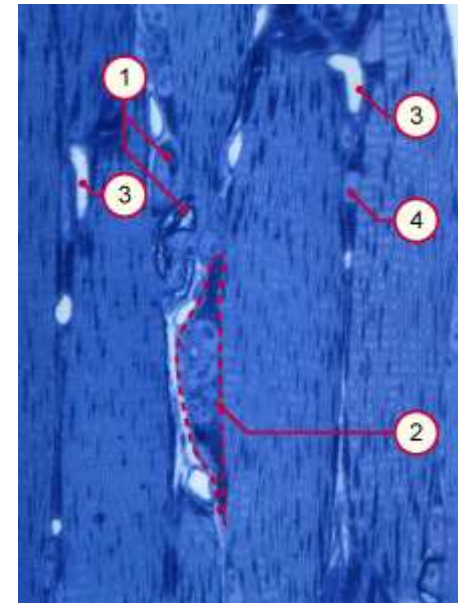
- změna protažení svalu
- modifikované perimysium
- tenká svalová (intrafuzální) vlákna
- axony senzitivních nervů
- reflexy, koordinace svalových skupin



NEUROMUSKULÁRNÍ SPOJENÍ

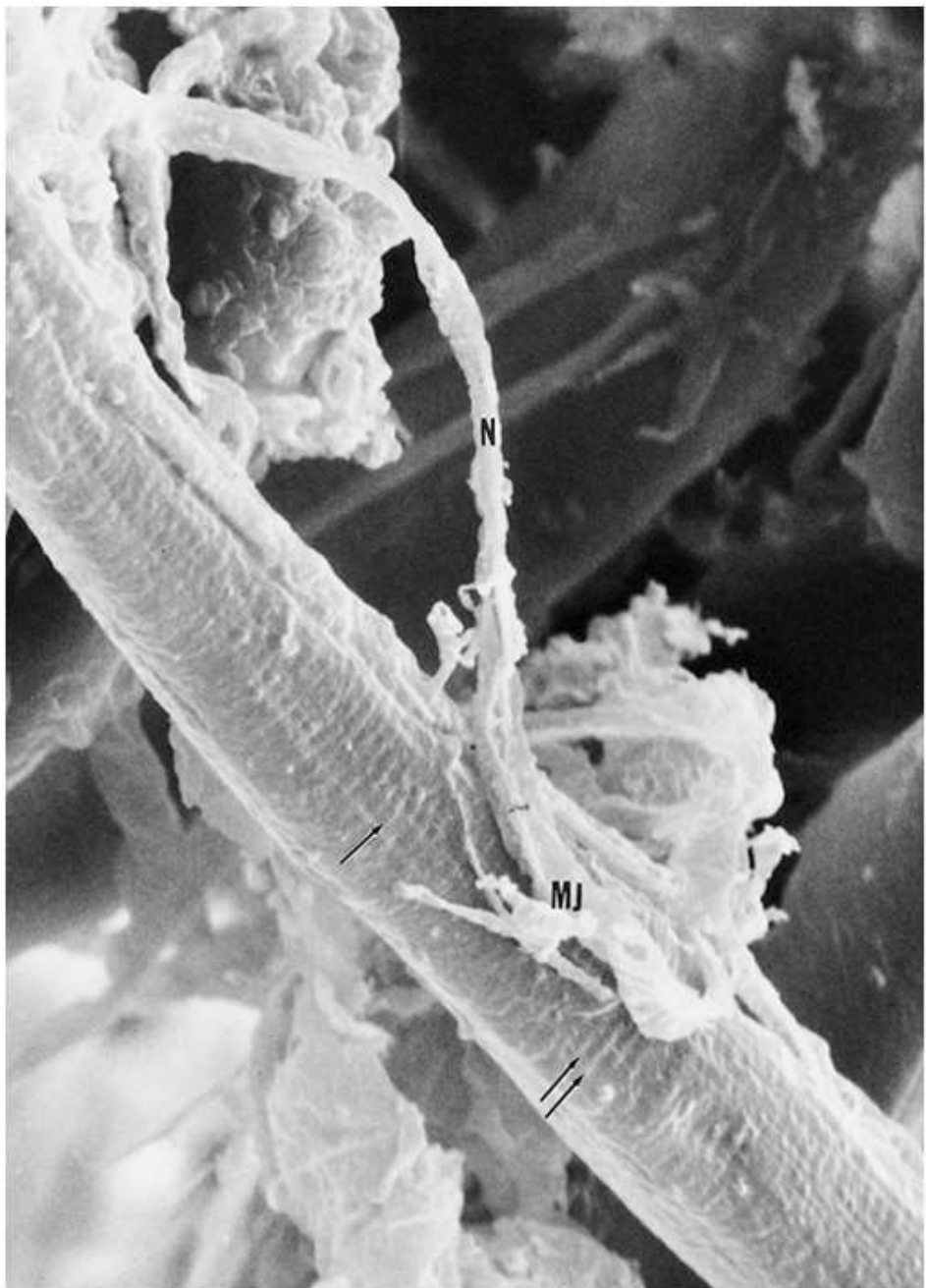


Copyright © 2001 Benjamin Cummings, an imprint of Addison Wesley Longman, Inc.

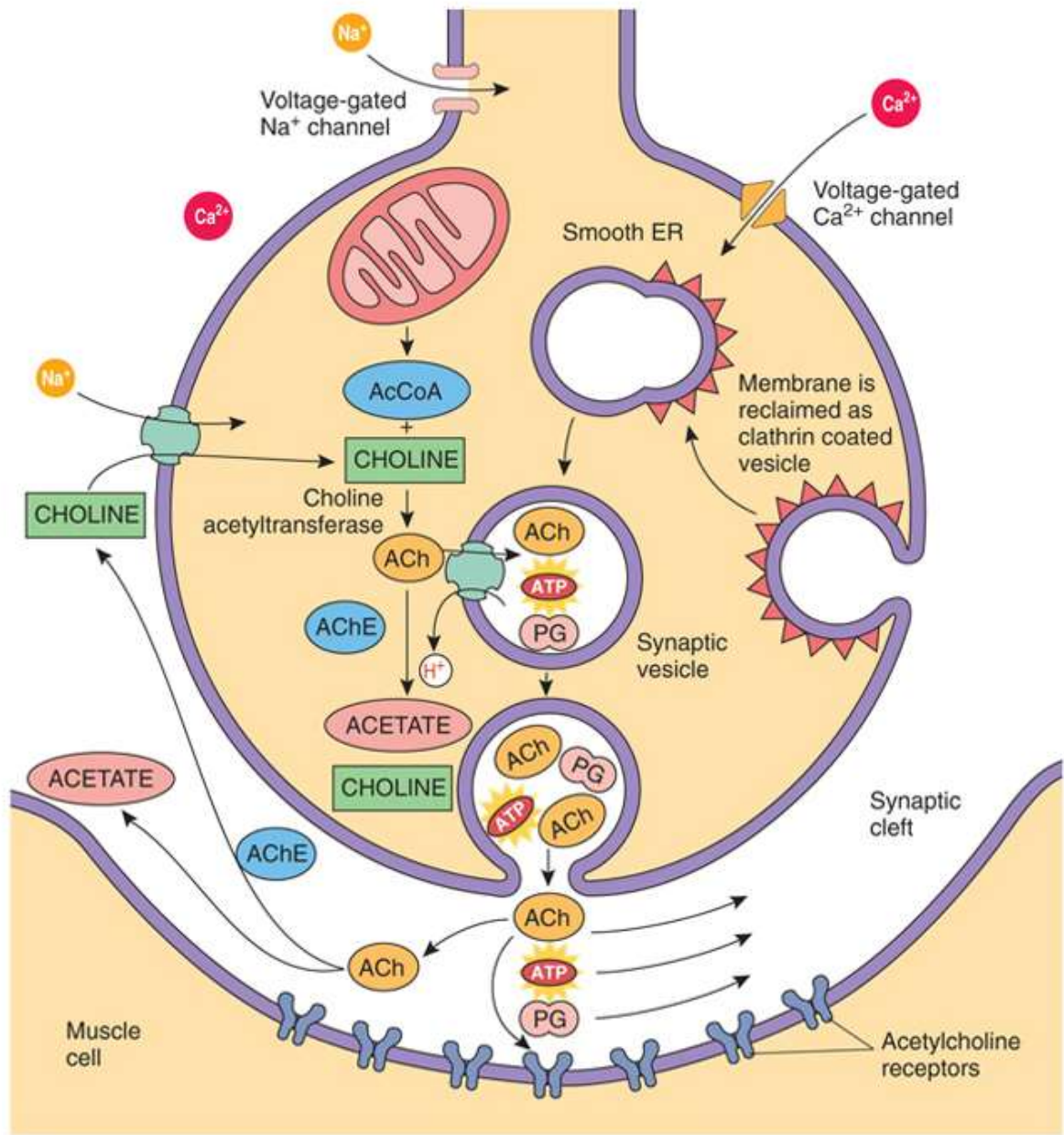


- 1 Myelinované axony
- 2 Neuromuskulární spojení
- 3 Kapiláry
- 4 Jádro rhabdomyocytu

NEUROMUSKULÁRNÍ SPOJENÍ



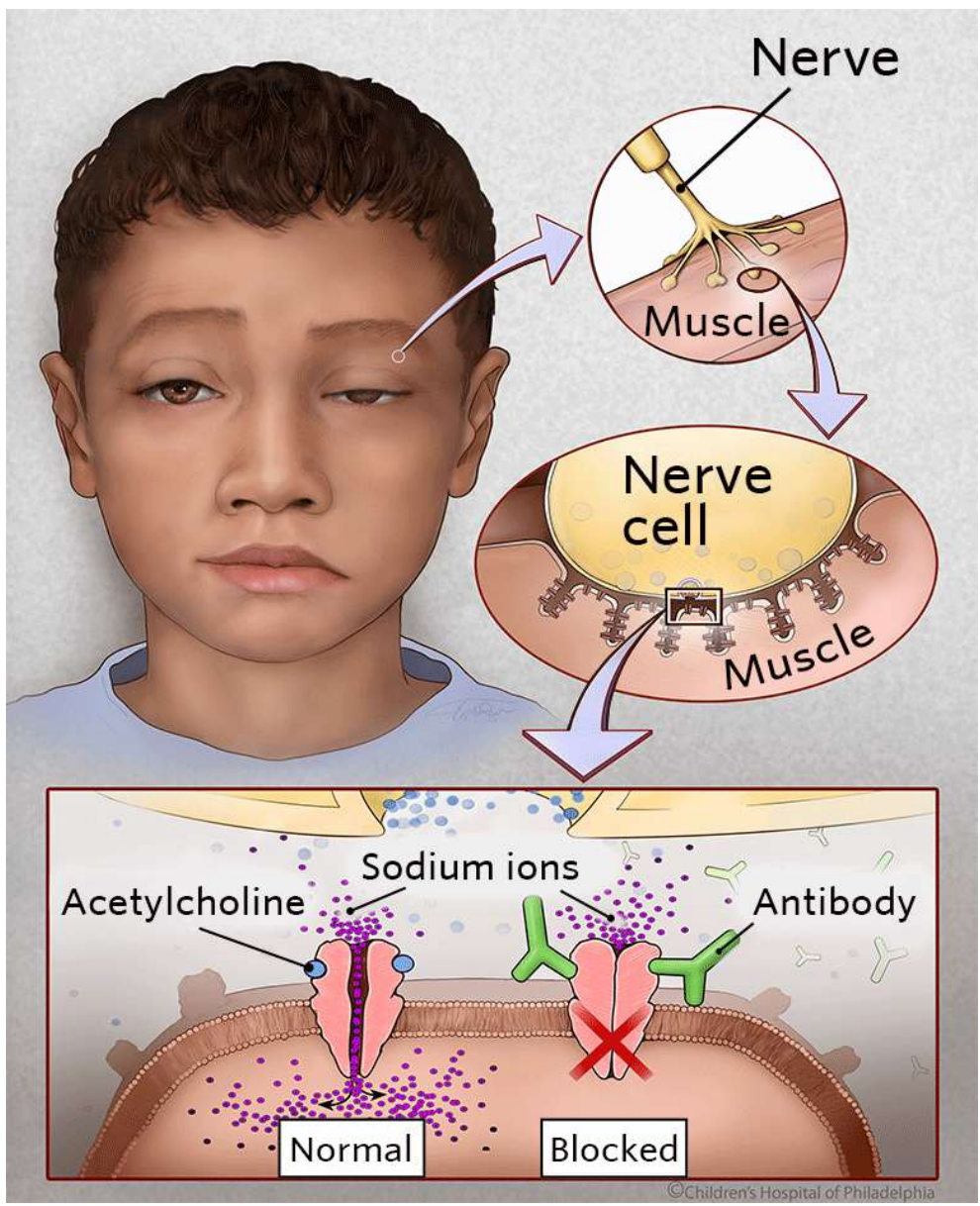
NEUROMUSKULÁRNÍ SPOJENÍ



MYASTHENIA GRAVIS

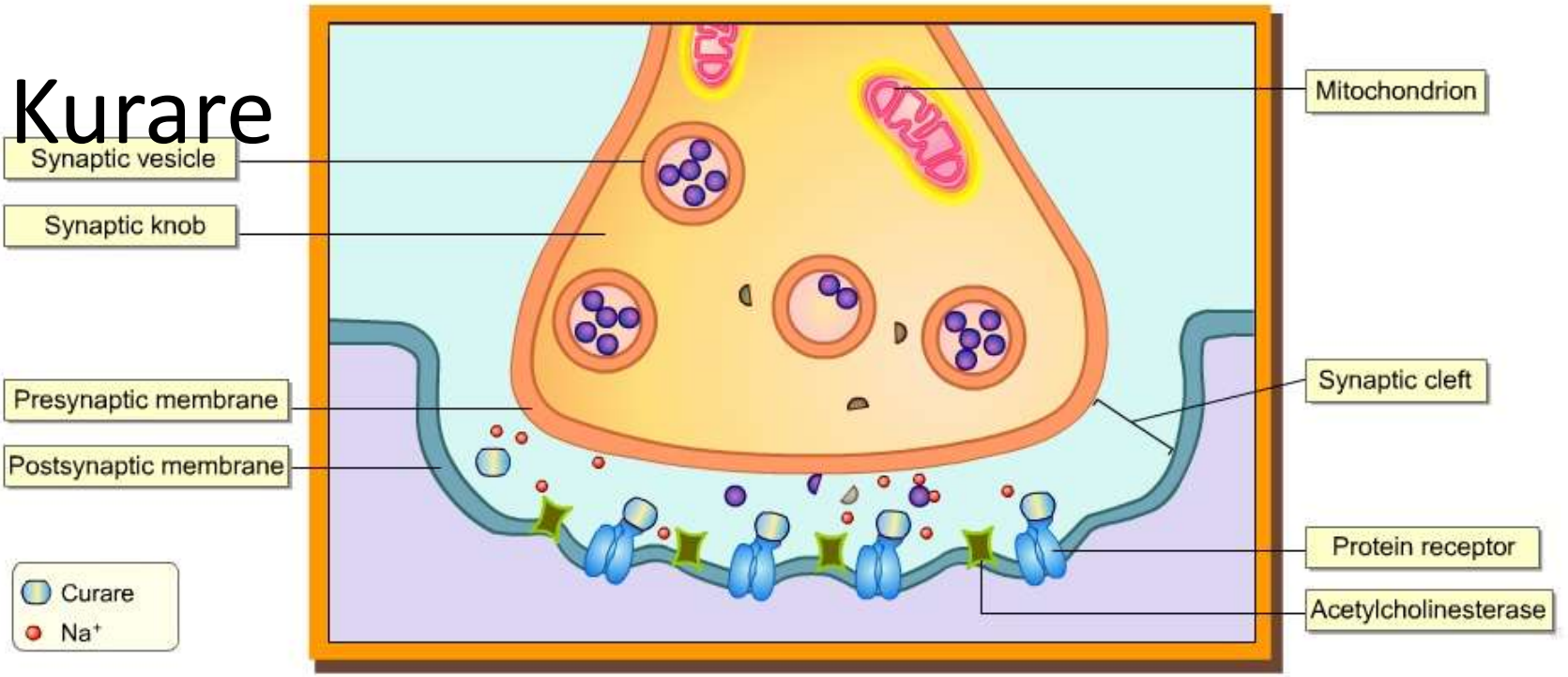


protilátky proti ACh receptoru





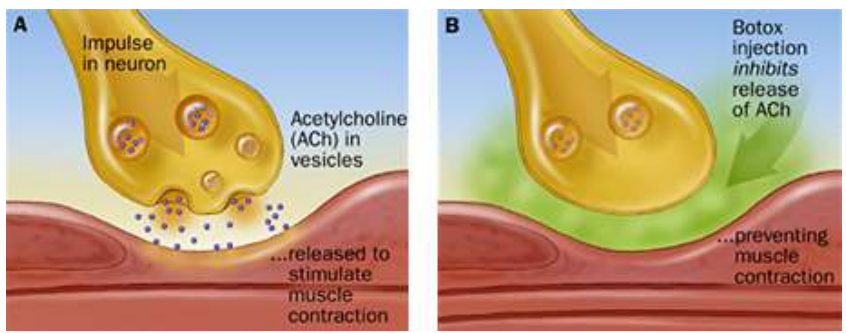
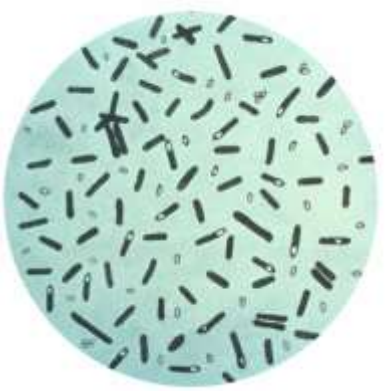
Kurare



blok ACh receptoru/ Na^+ kanálu

BOTULOTOXIN

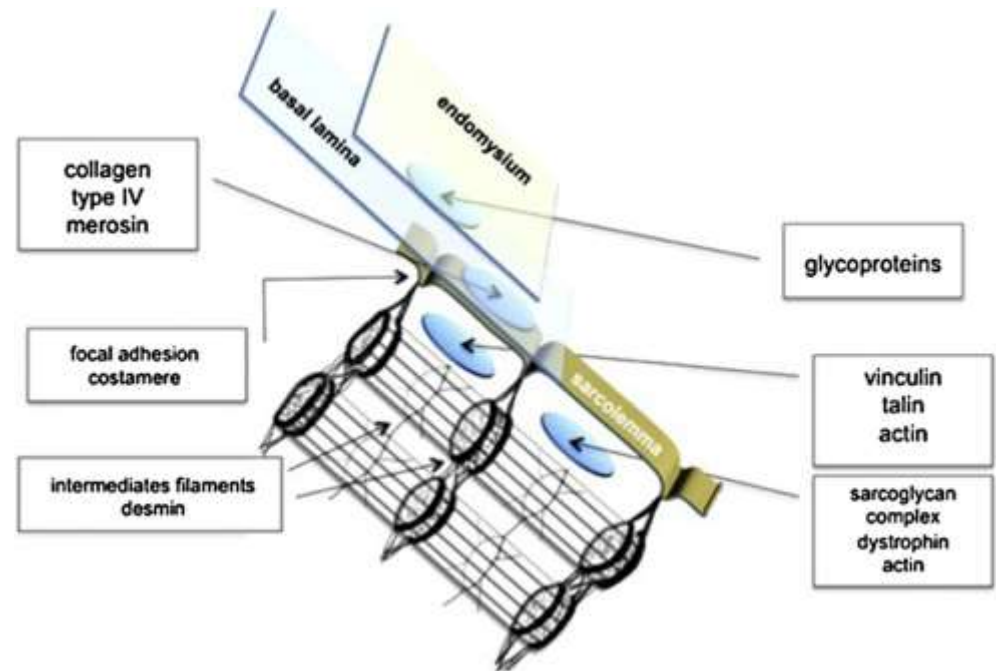
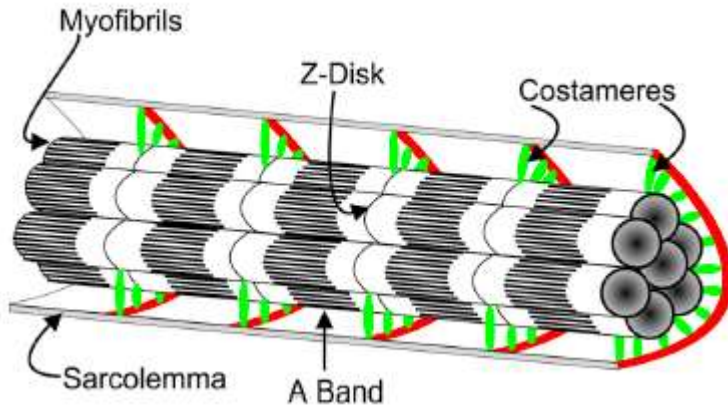
Clostridium botulinum



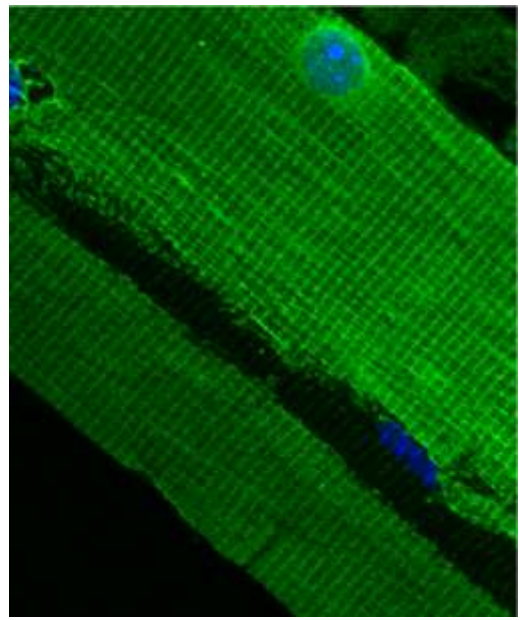
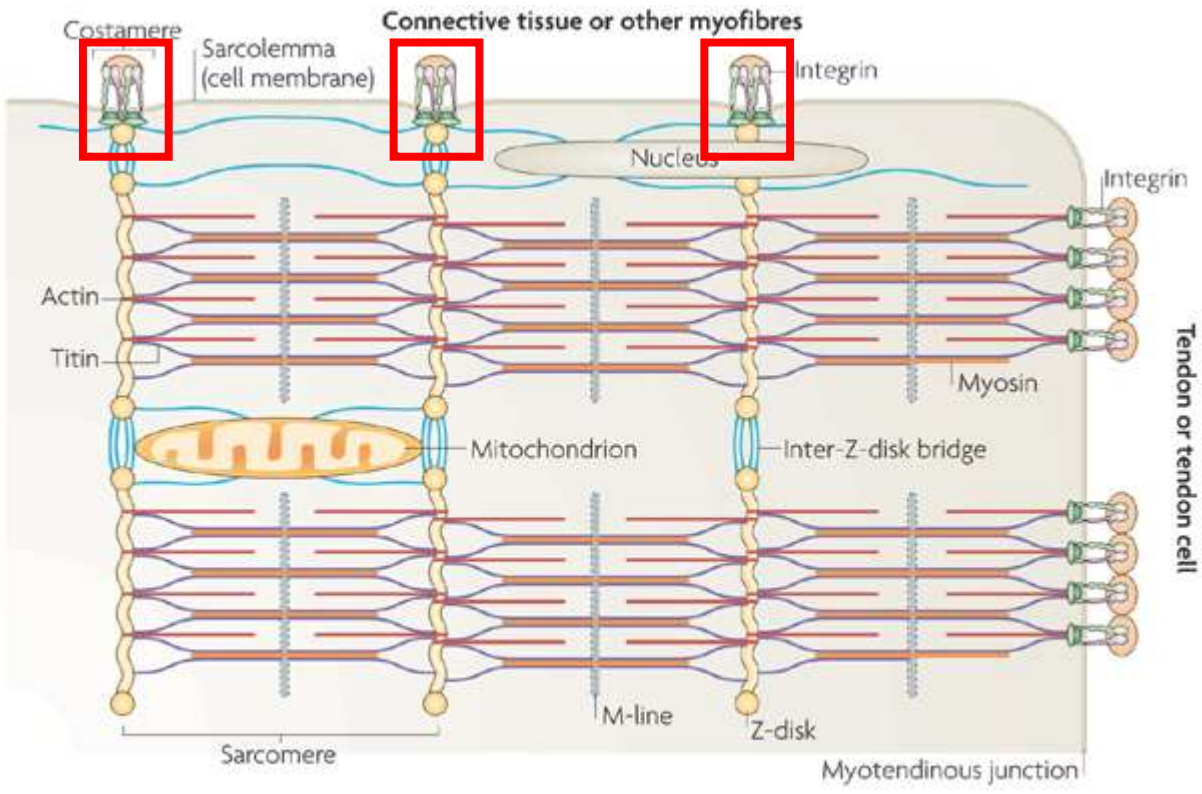
blok vyloučení ACh

KOSTAMERY

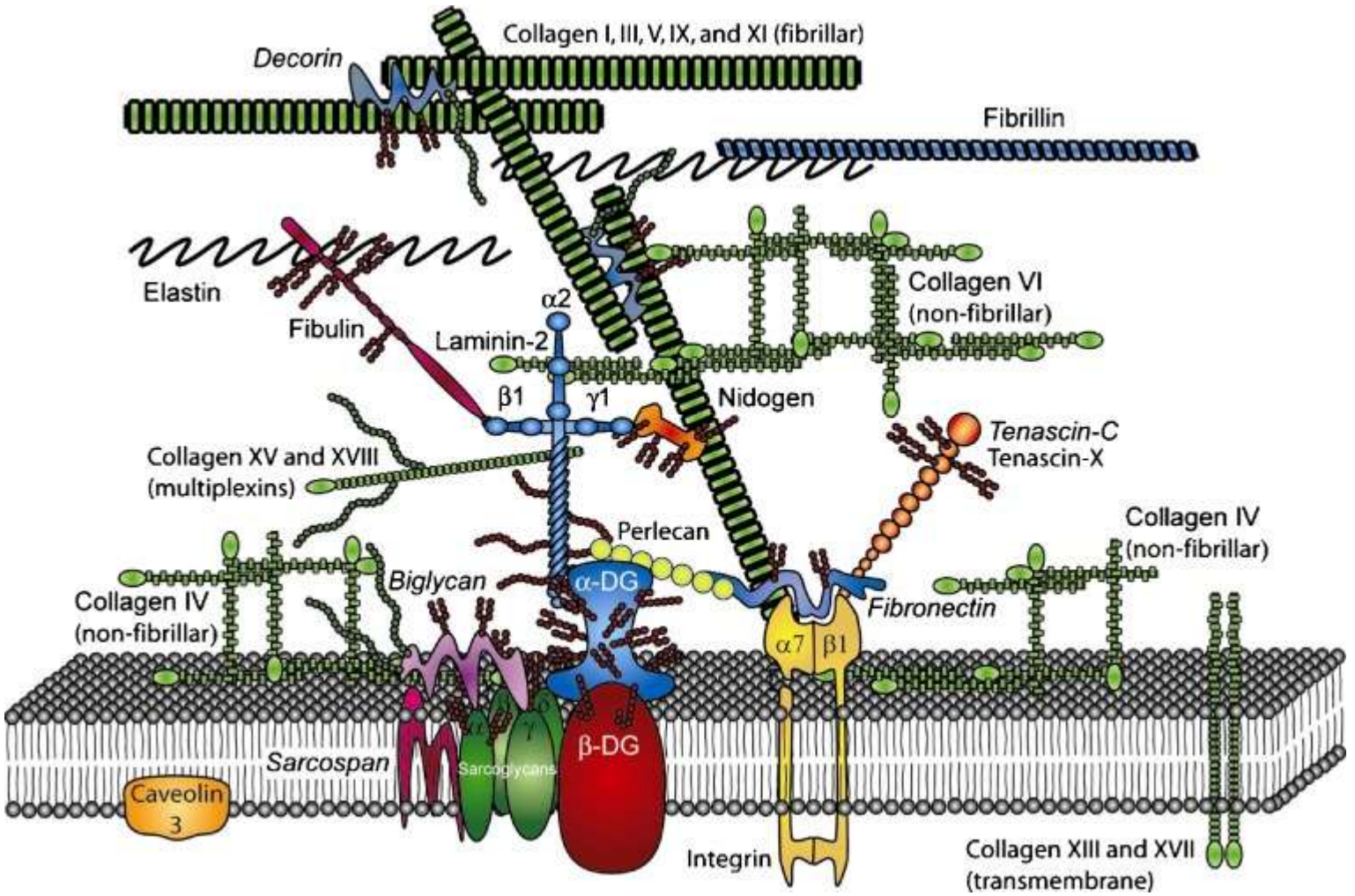
- Spojení myofibril se sarkolemou
- **dystrophin-associated glycoprotein (DAG) complex**
 - spojení cytokeletu s ECM
 - integrita svalového vlákna



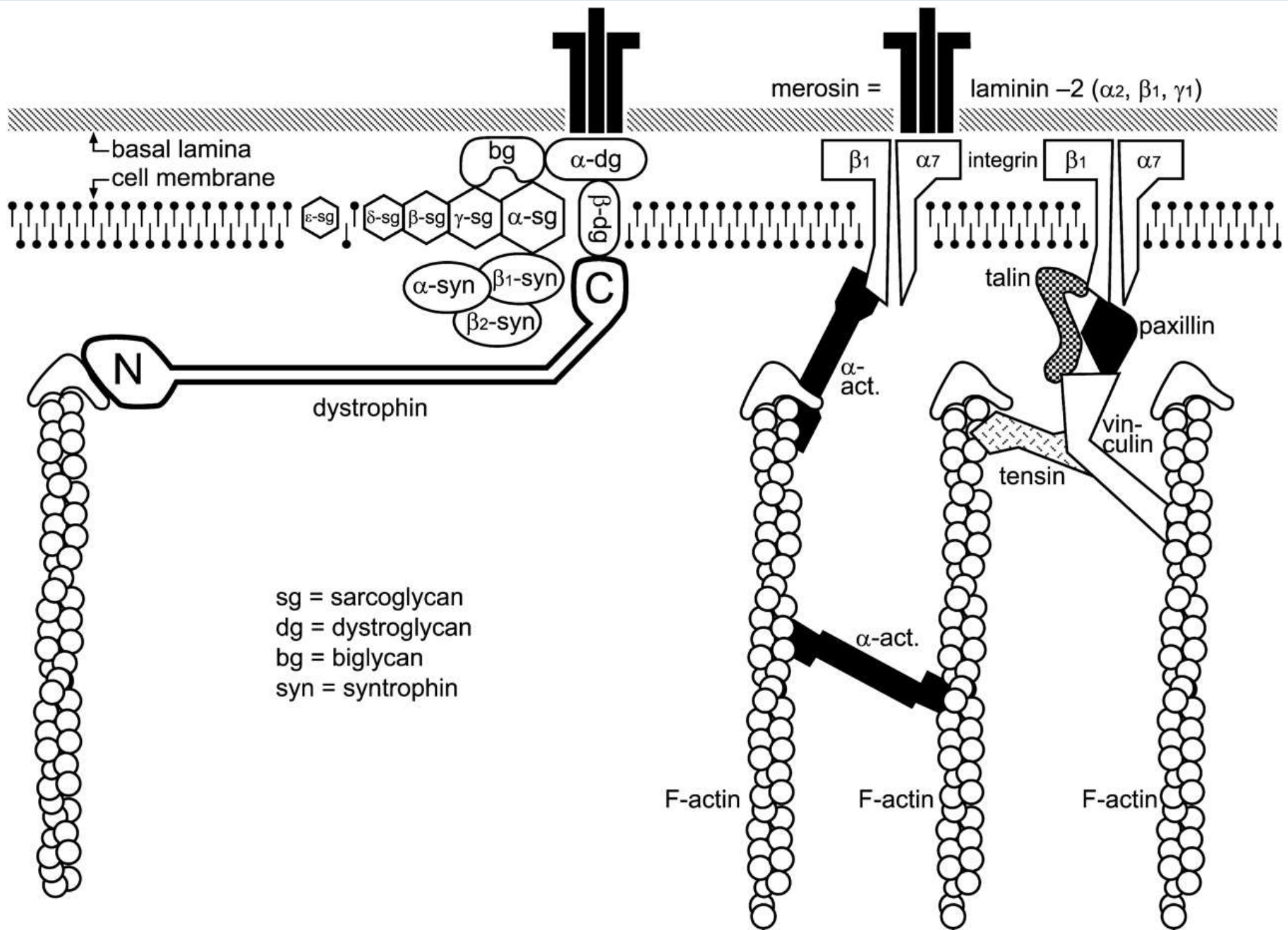
KOSTAMERY



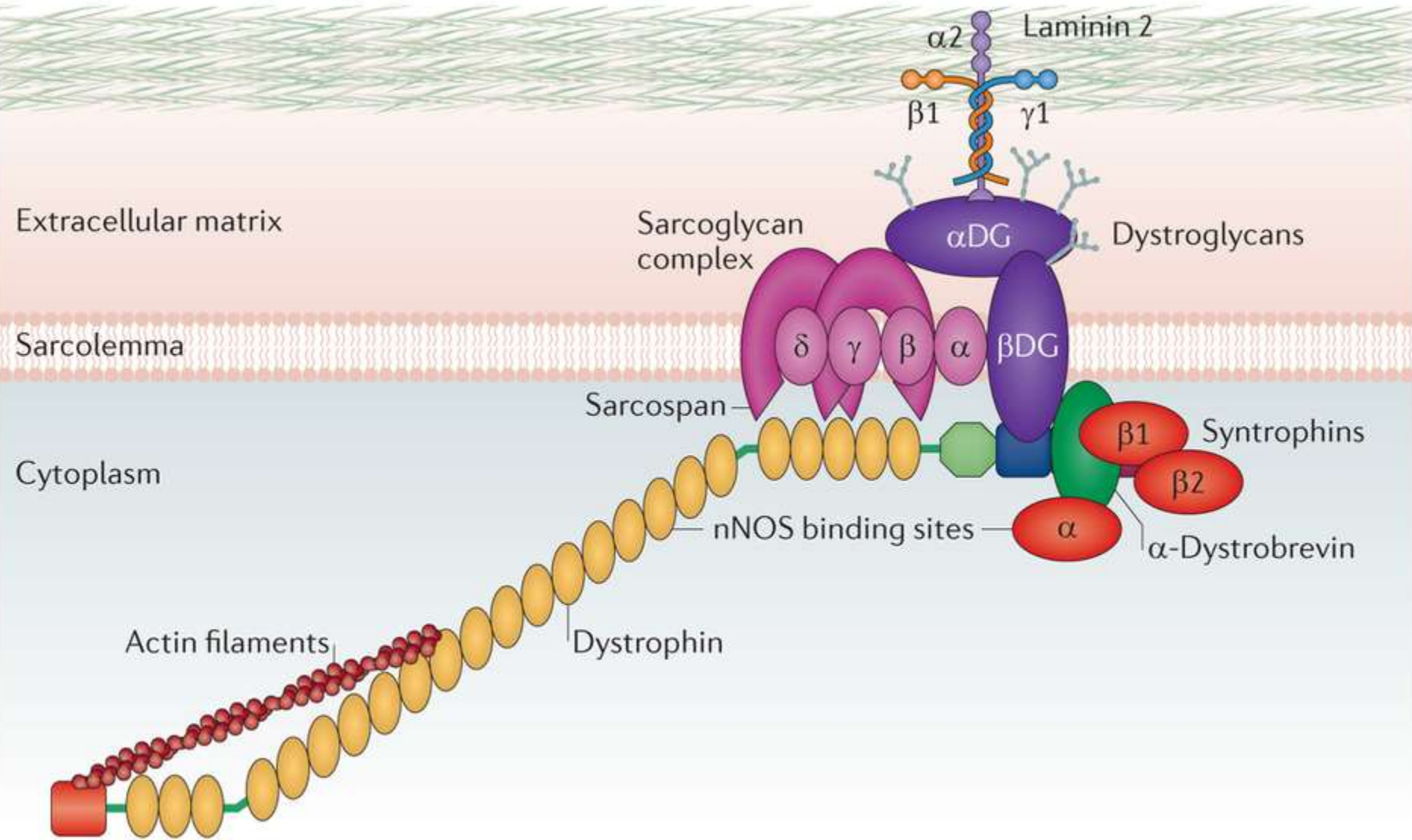
KOSTAMERY



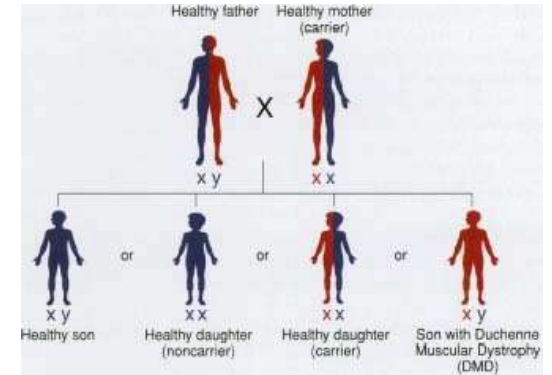
KOSTAMERY



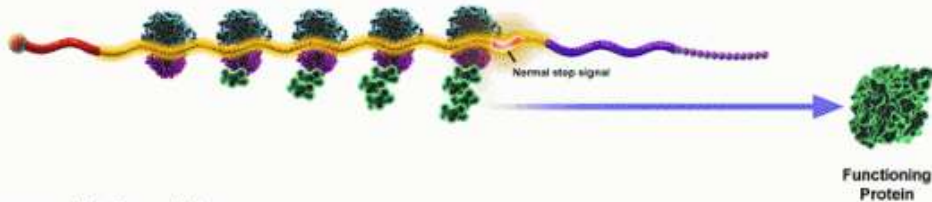
KOSTAMERY



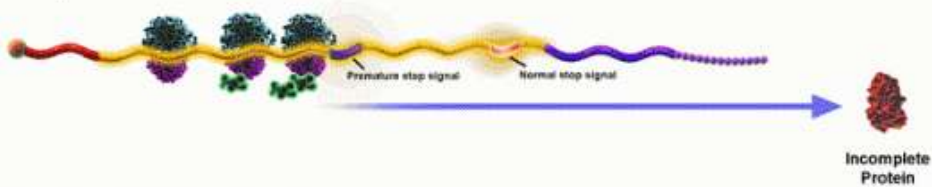
DUCHENNEOVA MUSKULÁRNÍ DYSTROFIE



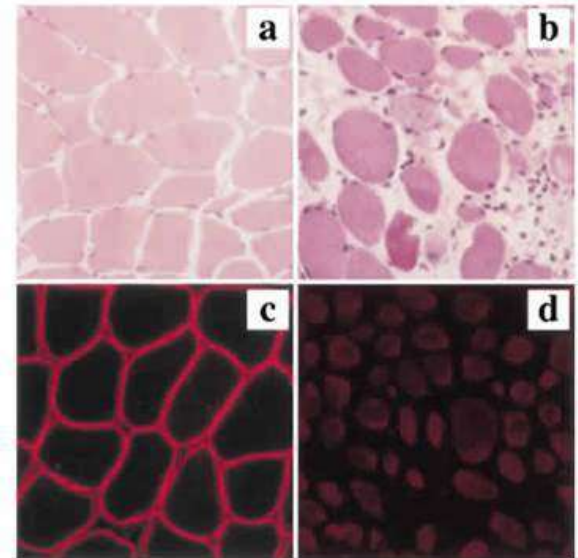
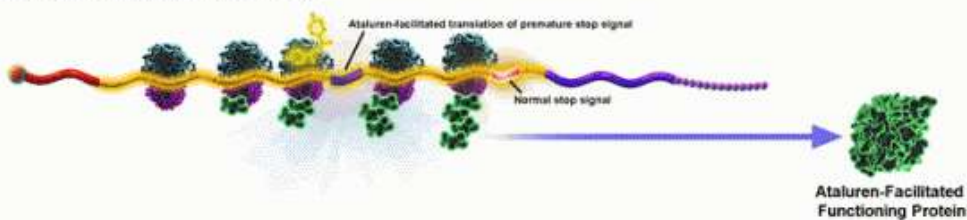
Normal Translation



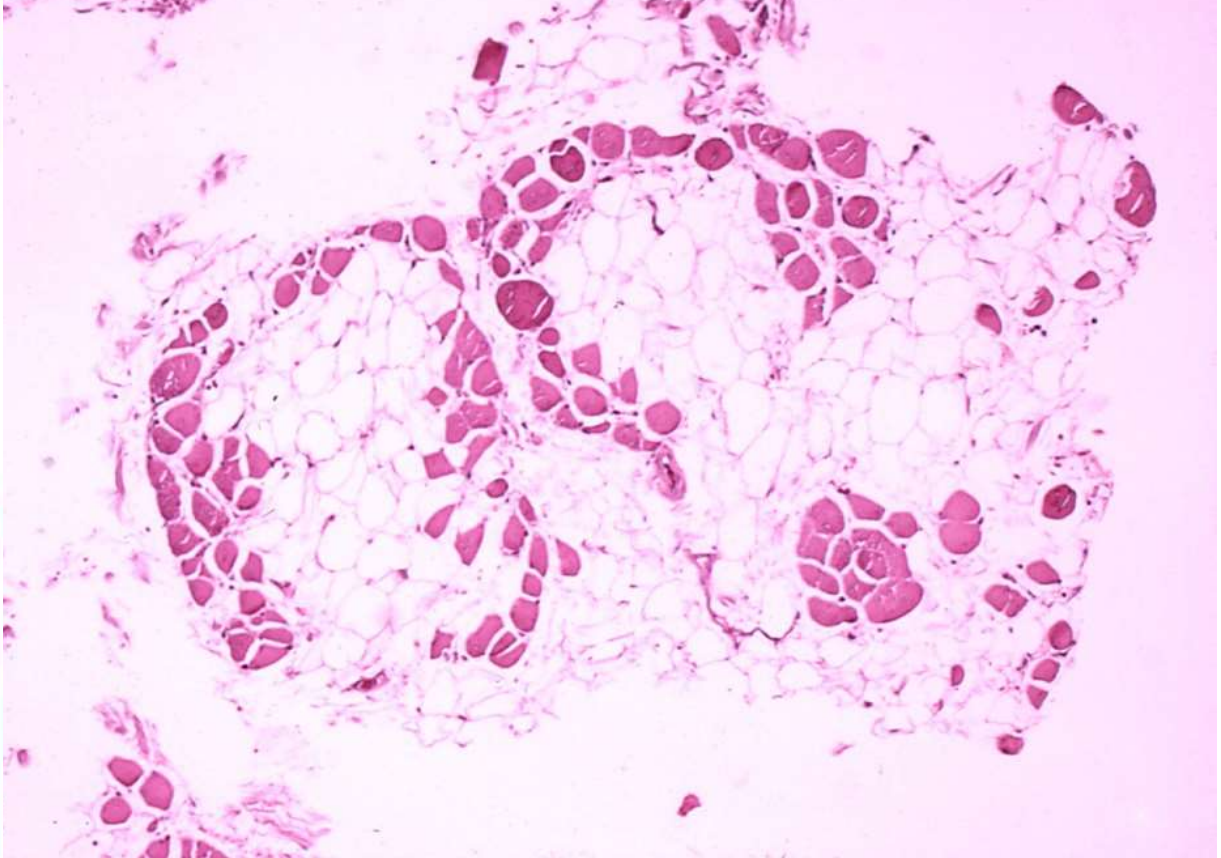
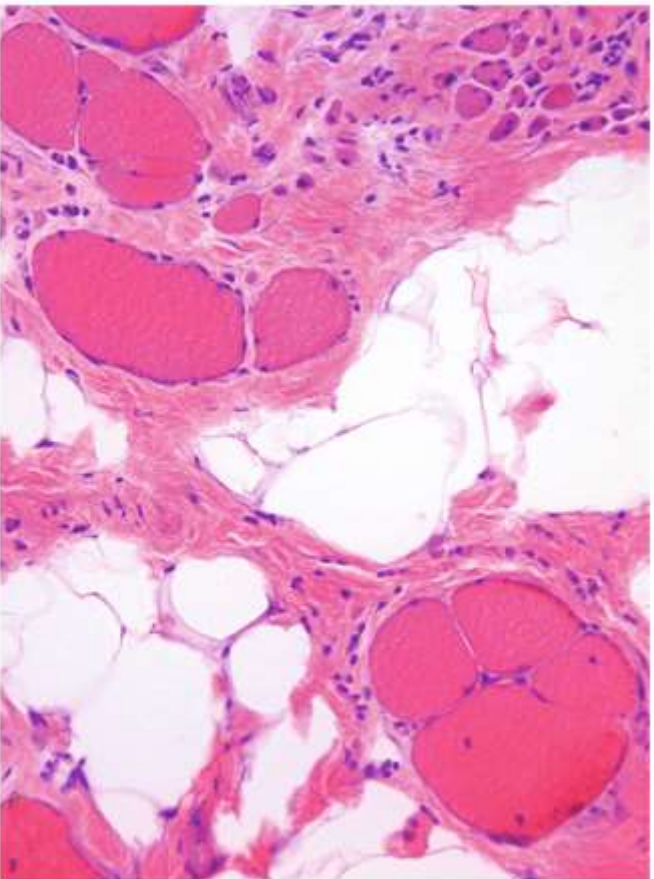
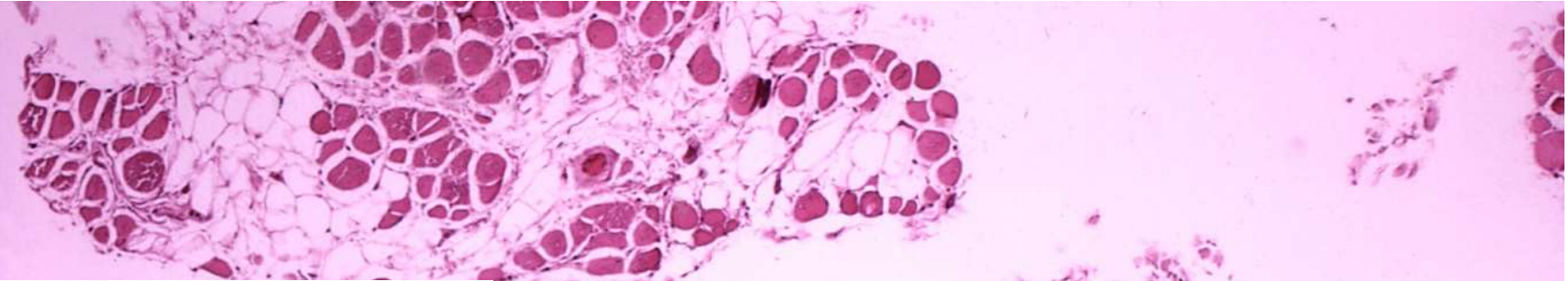
Incomplete Translation



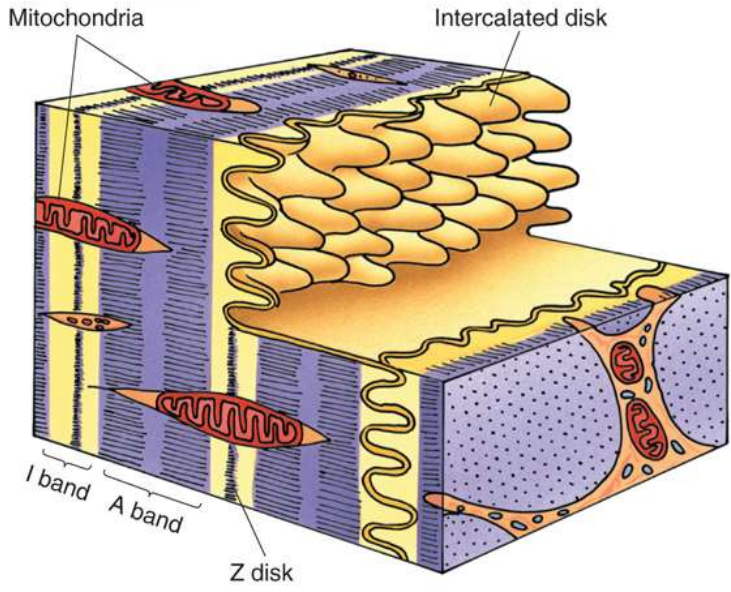
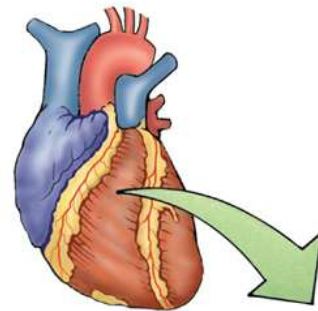
Ataluren-Facilitated Translation



DUCHENNEOVA MUSKULÁRNÍ DYSTROFIE

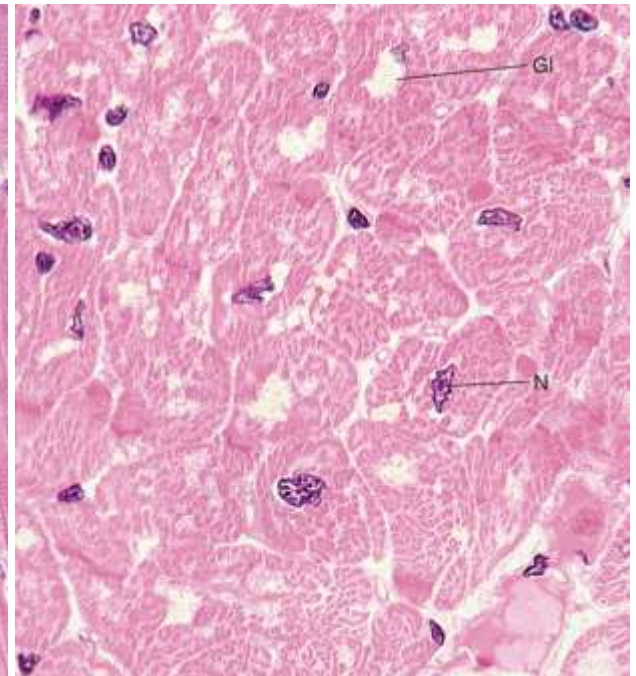
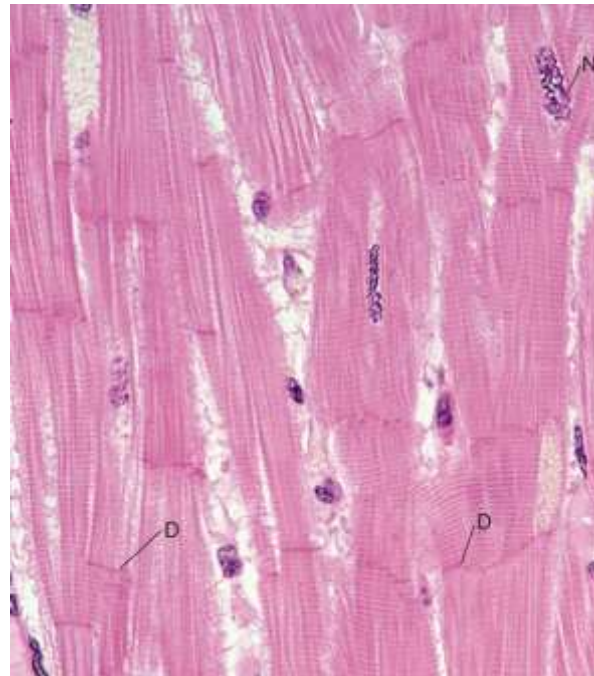
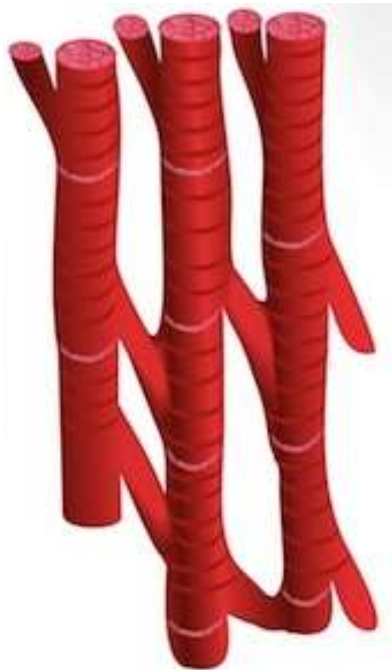


SRDEČNÍ SVALOVÁ TKÁŇ



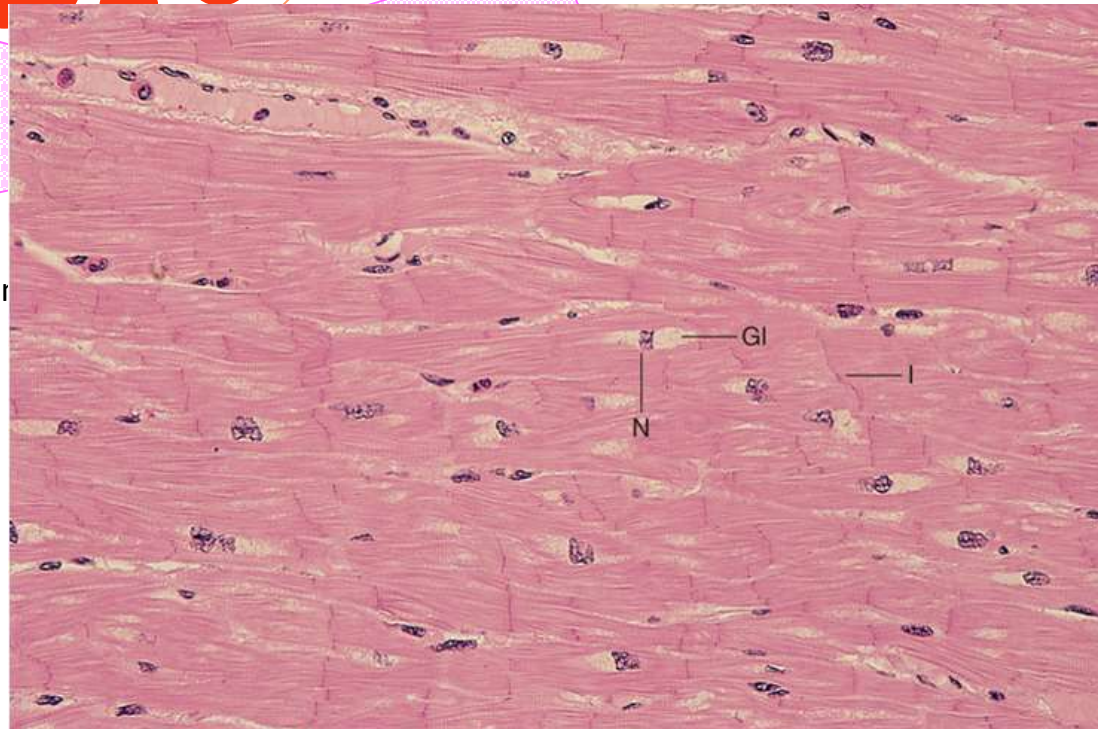
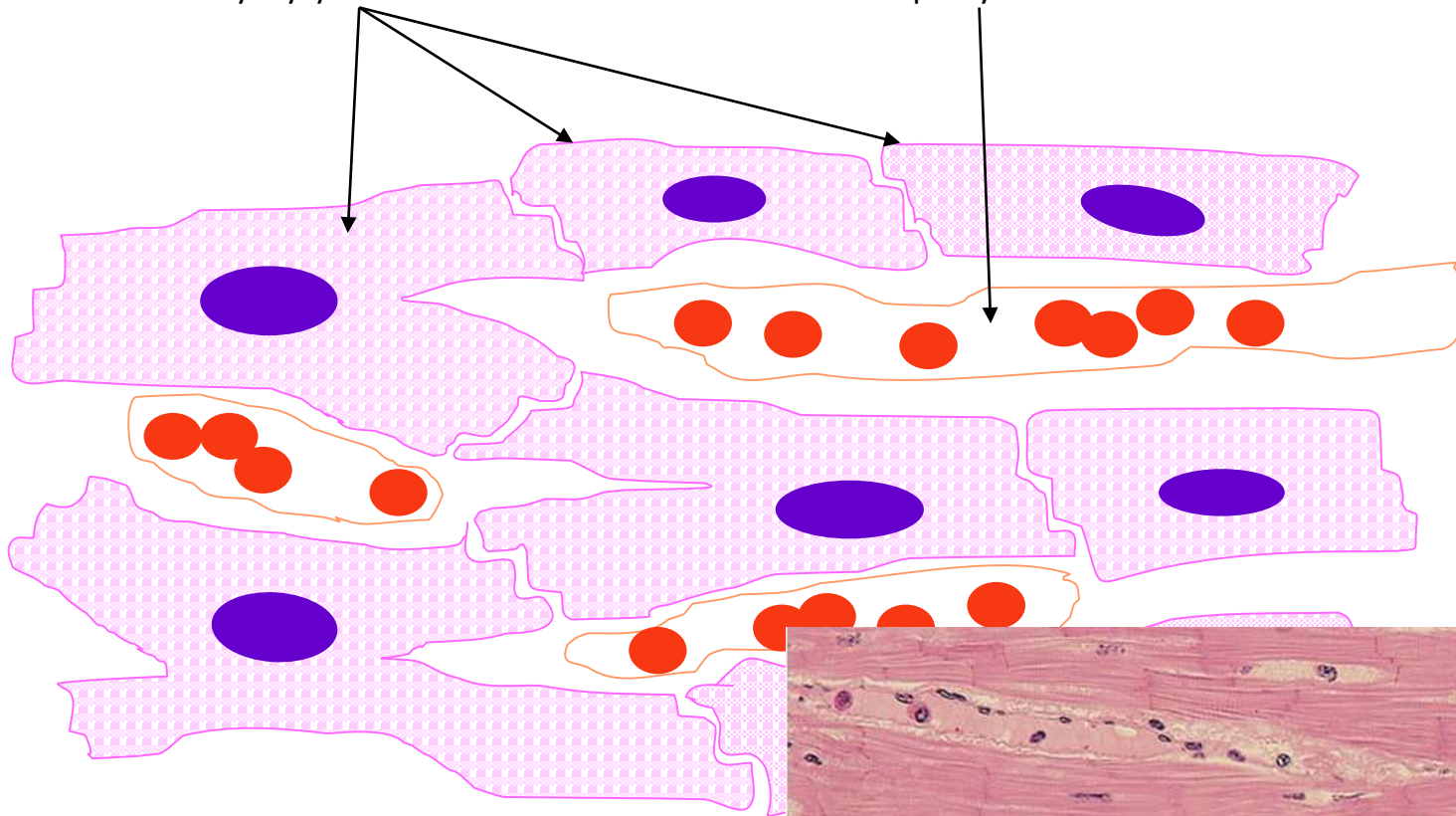
HISTOLOGIE SRDEČNÍ SVALOVÉ TKÁNĚ

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

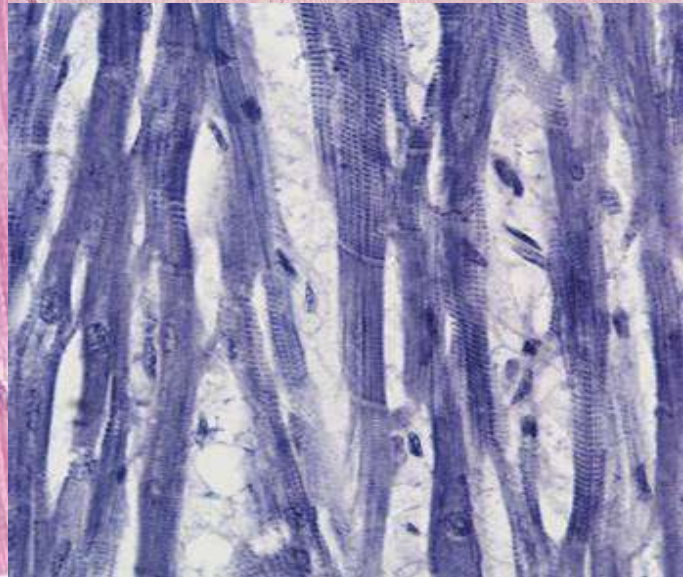
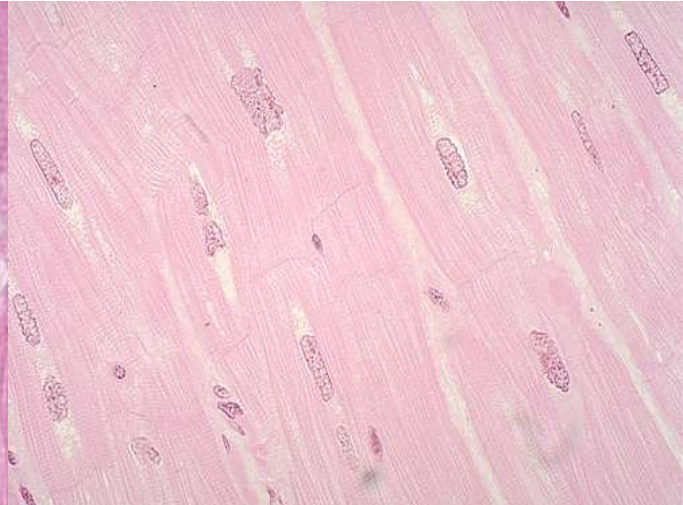
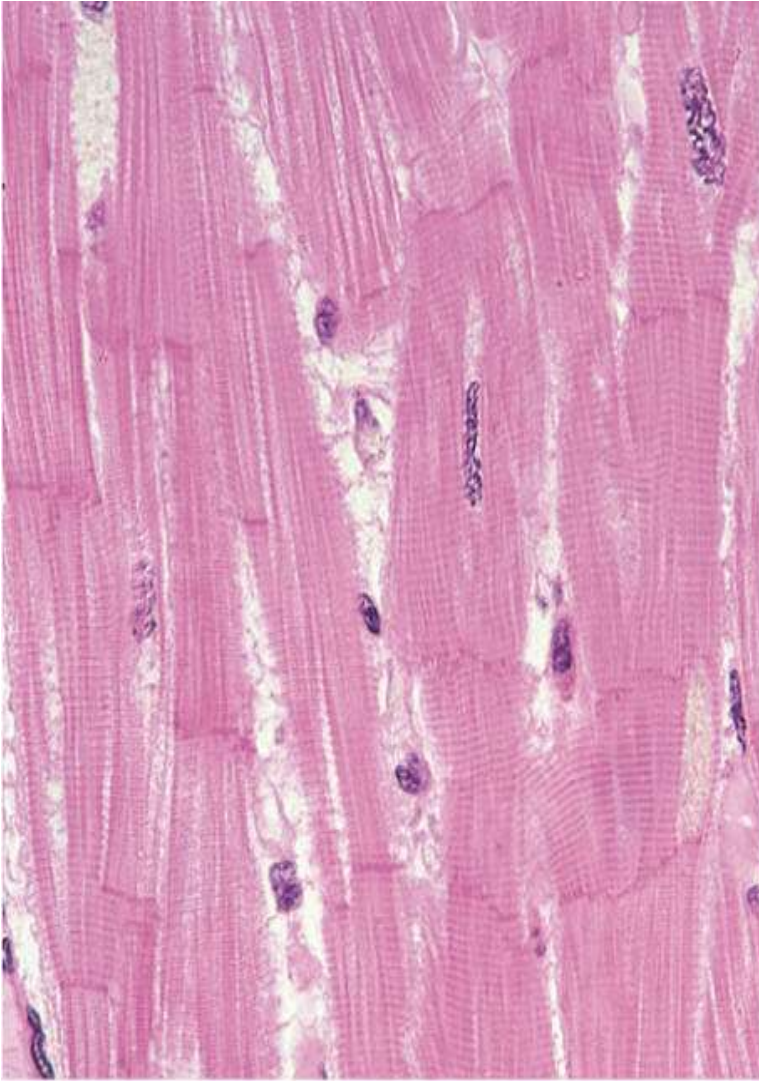


kardiomyocytu

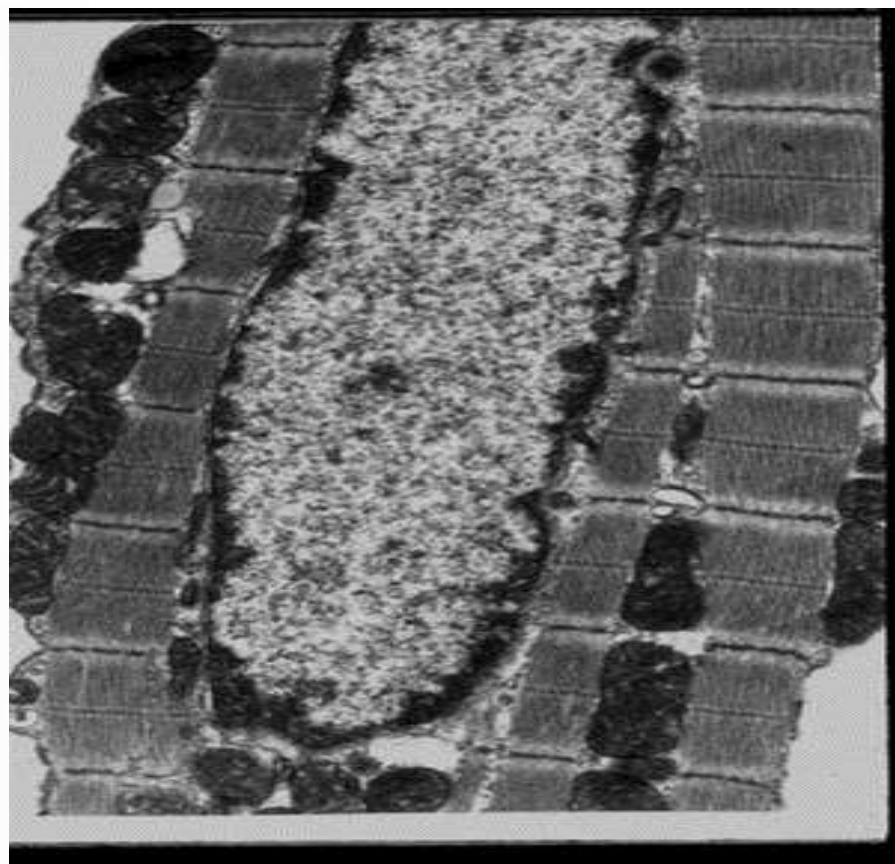
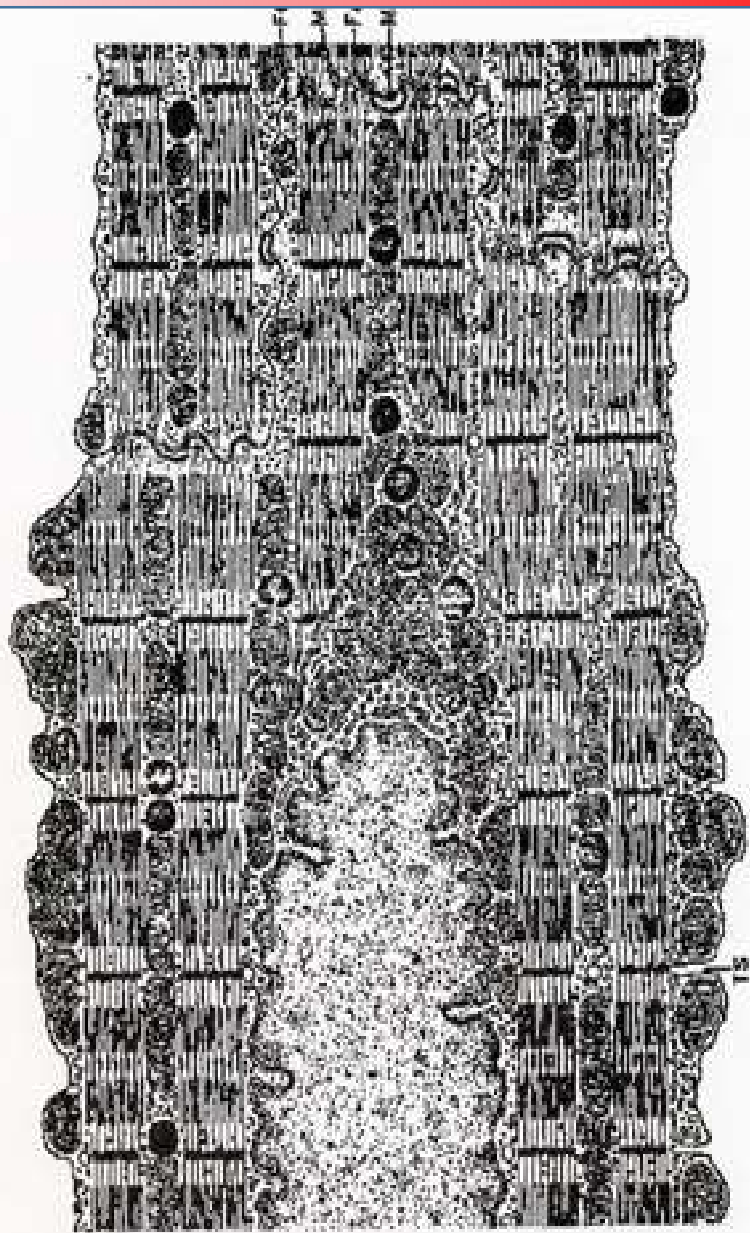
kapiláry



HISTOLOGIE SRDEČNÍ SVALOVÉ TKÁNĚ

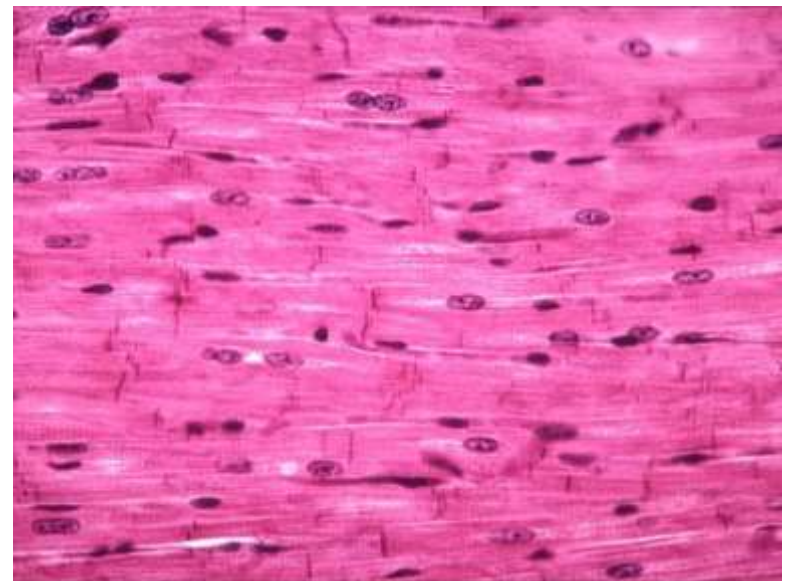
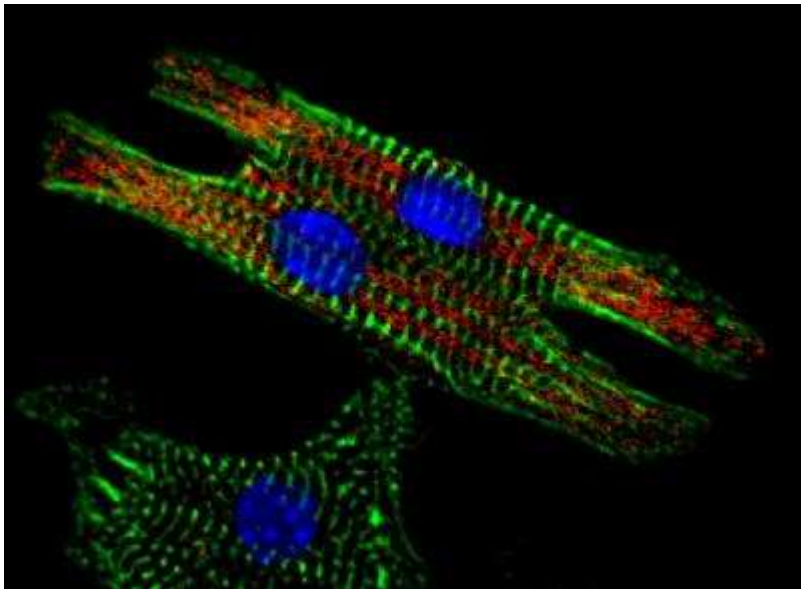


HISTOLOGIE SRDEČNÍ SVALOVÉ TKÁNĚ



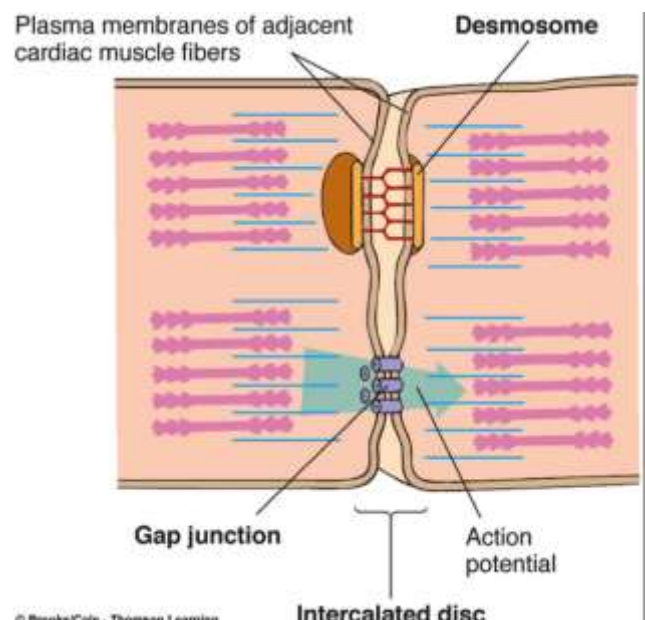
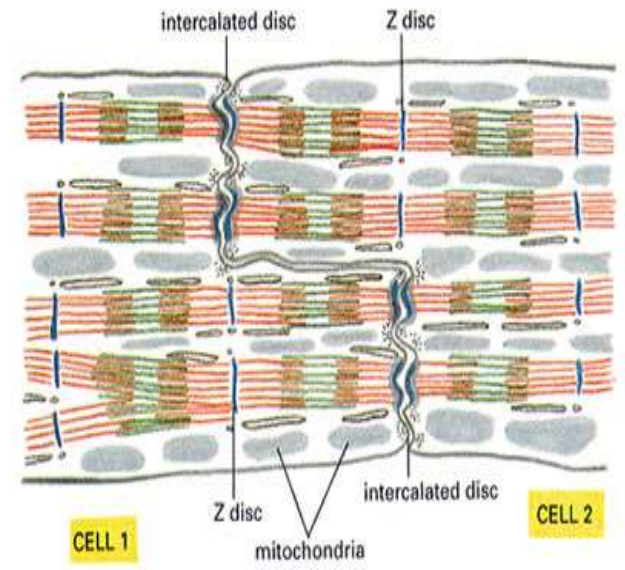
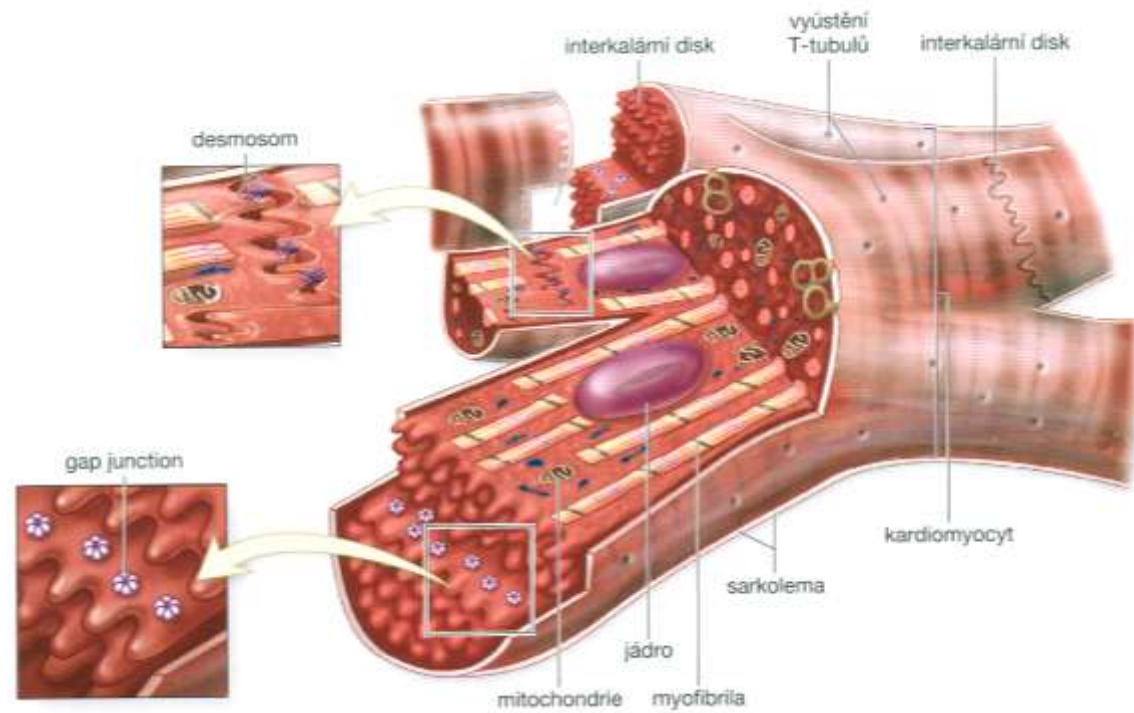
SRDEČNÍ × KOSTERNÍ SVALOVINA

- 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

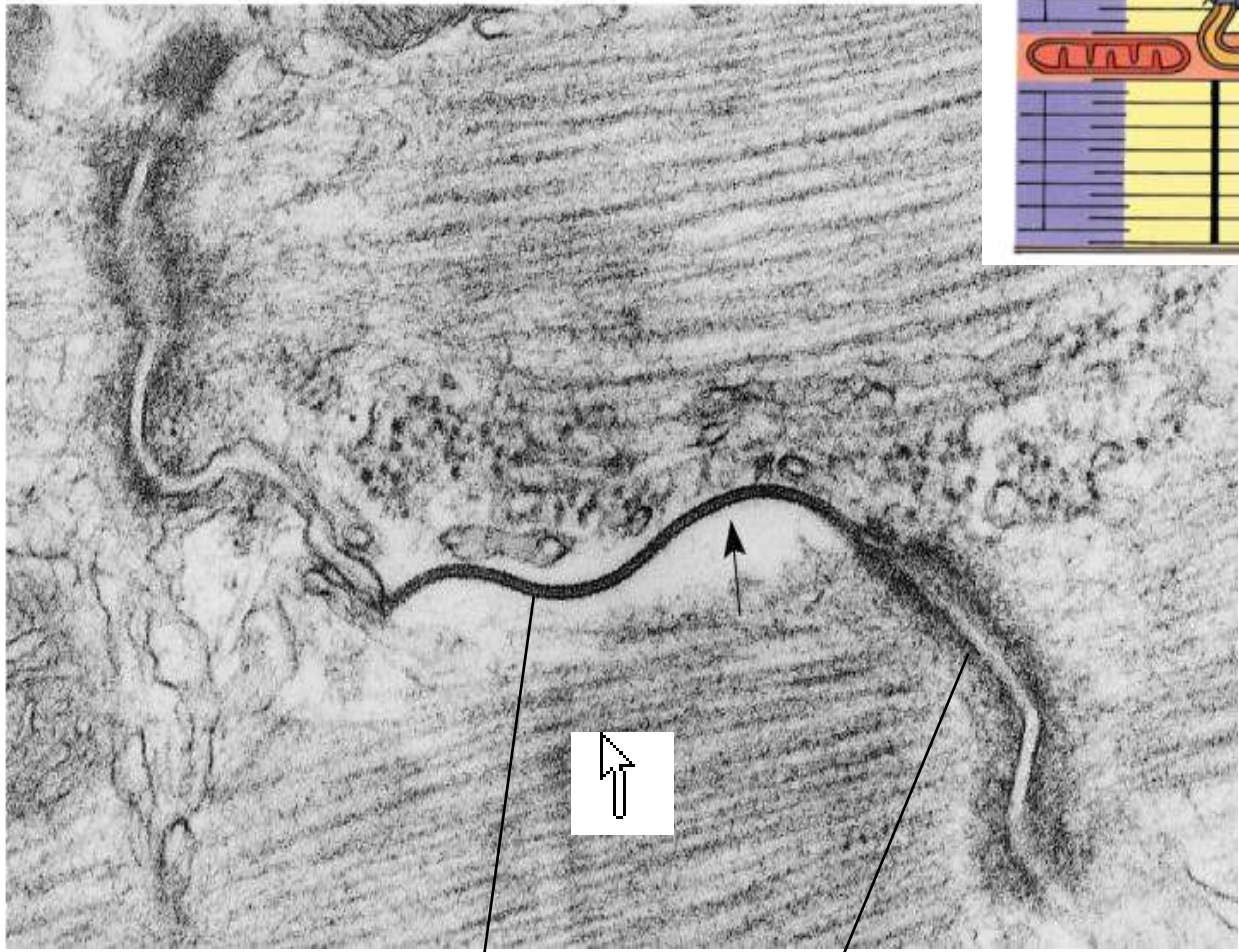
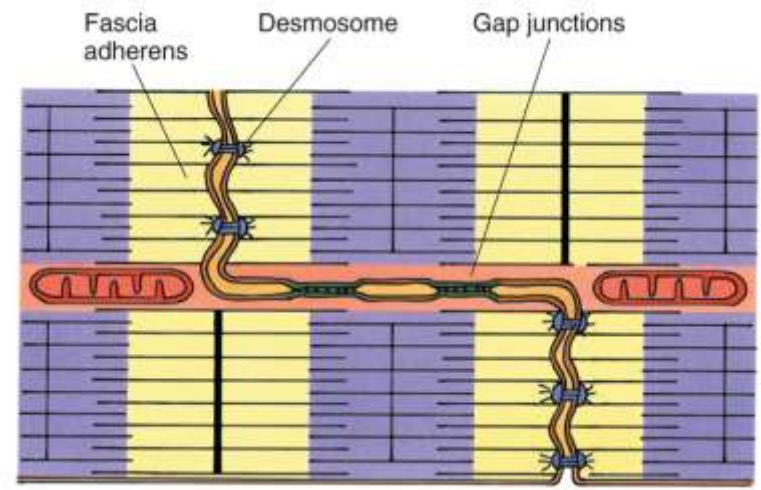


INTERKALÁRNÍ DISKY

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



INTERKALÁRNÍ DISKY

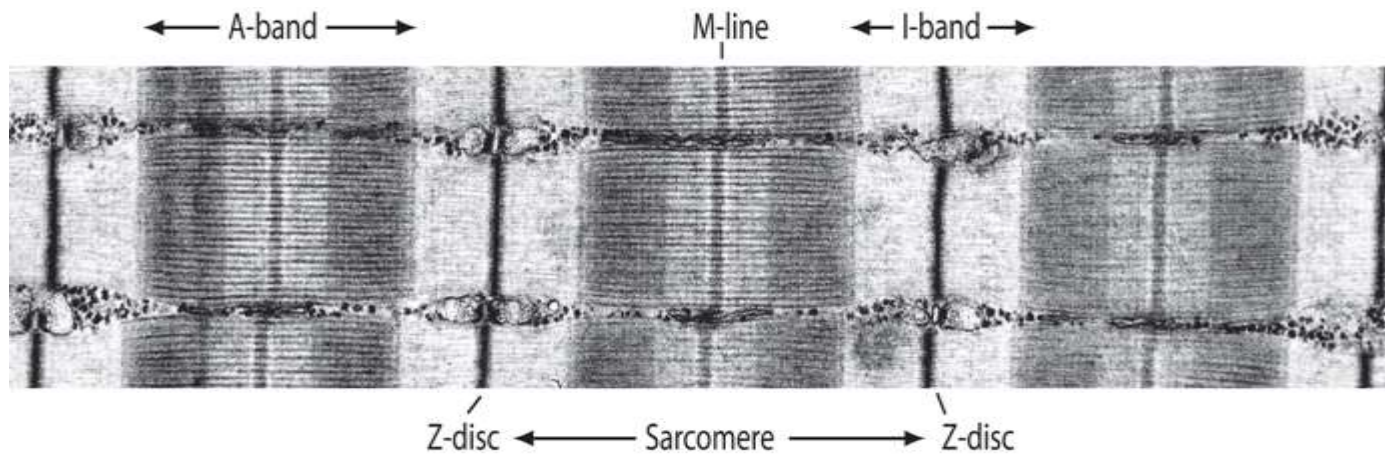


nexus

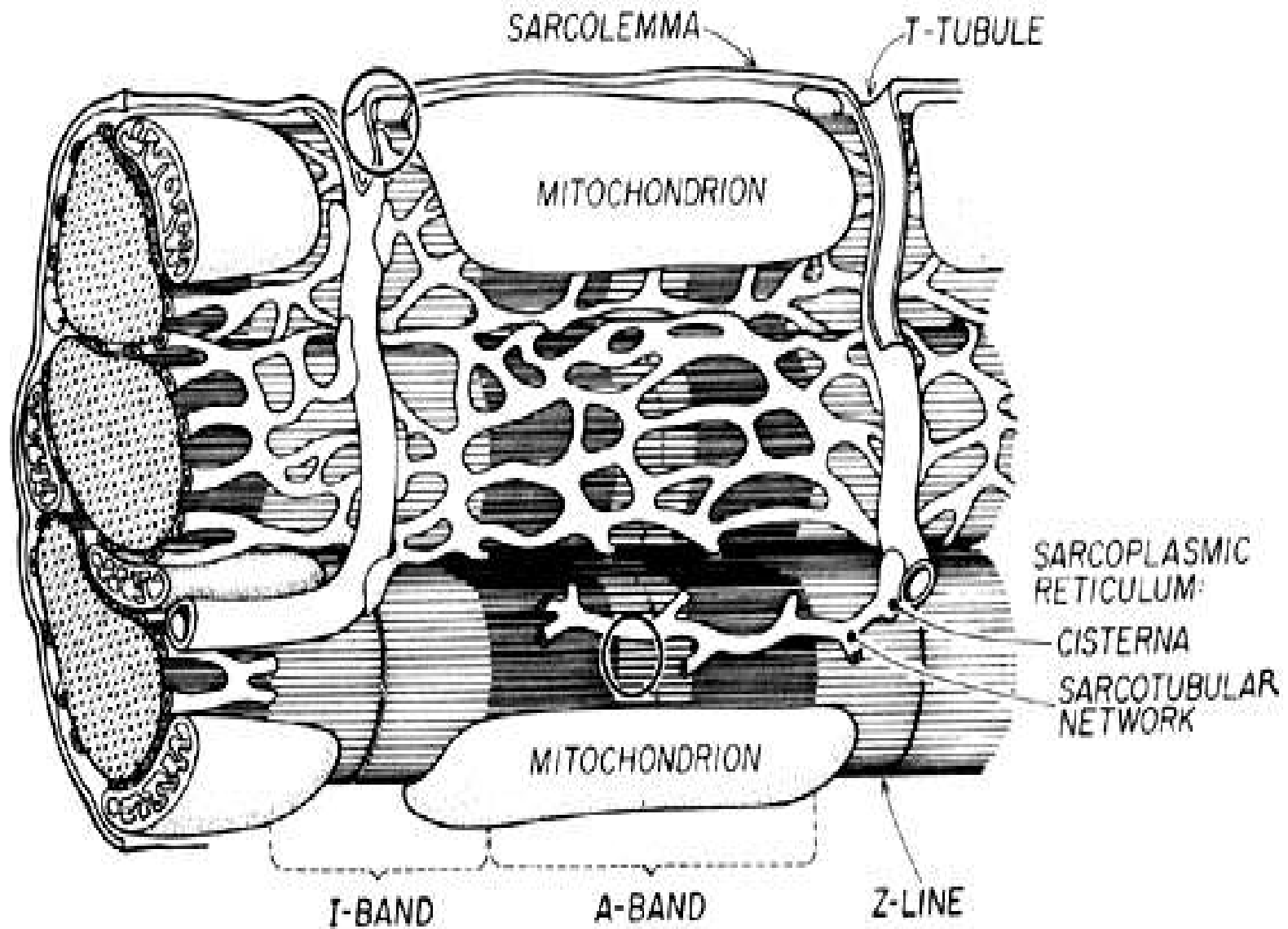
fascia adherens

MYOFIBRILY KARDIOMYOCYTŮ

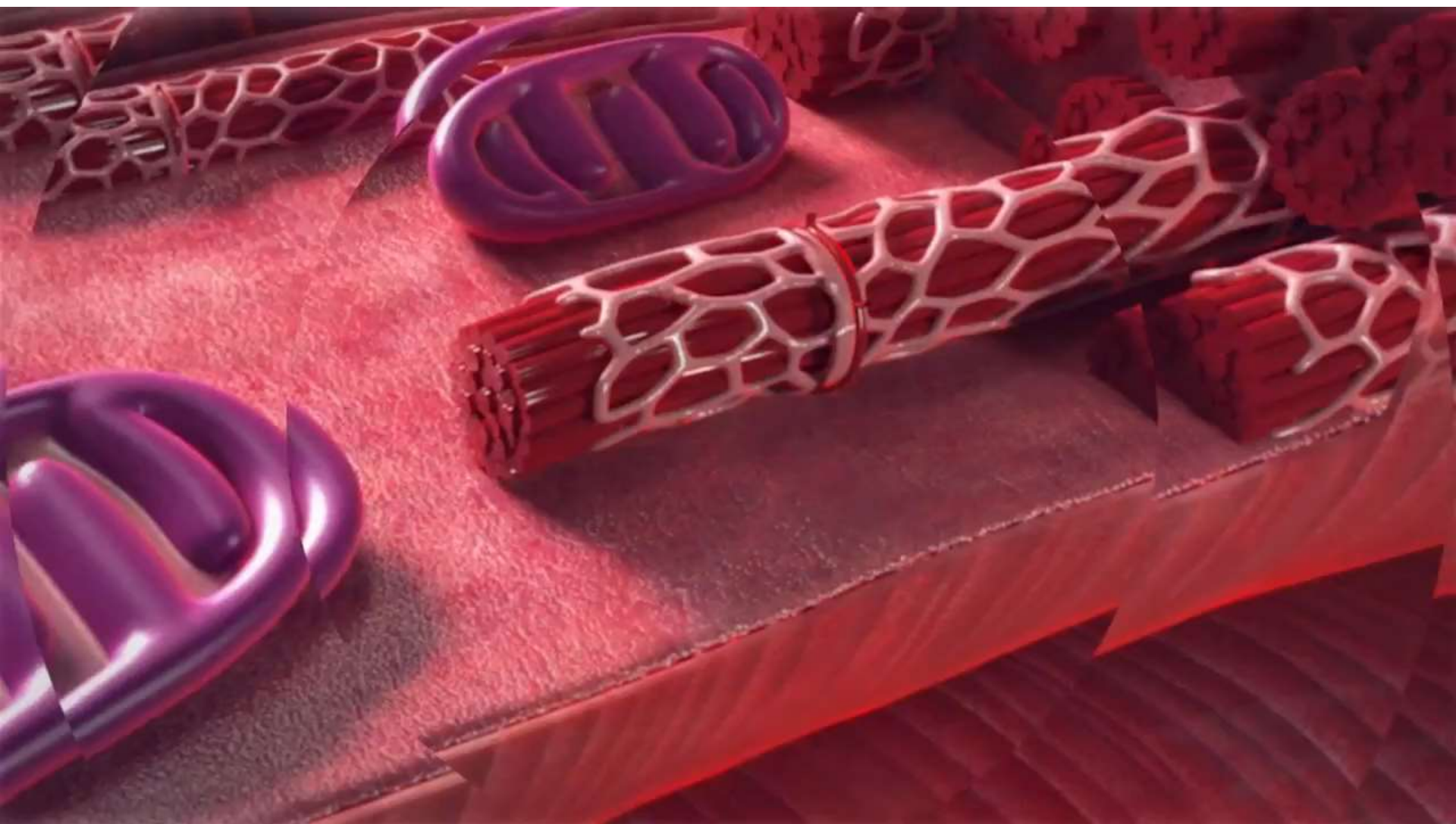
- Aktinová a myozinová myofilamenta
- Sarkomera
- Z-linie
- M-linie a H-zóna
- I-proužek a A-proužek
- T-tubulus + 1 cisterna = diáda (kolem Z-line)



MYOFIBRILY KARDIOMYOCYTŮ

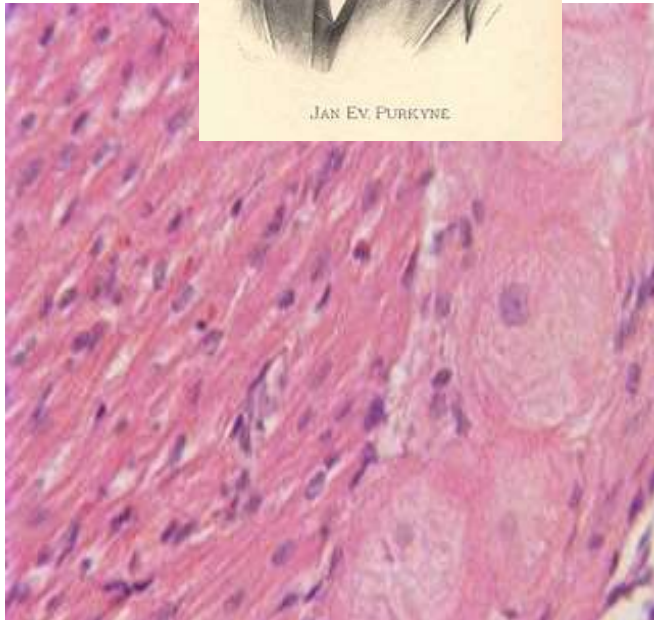
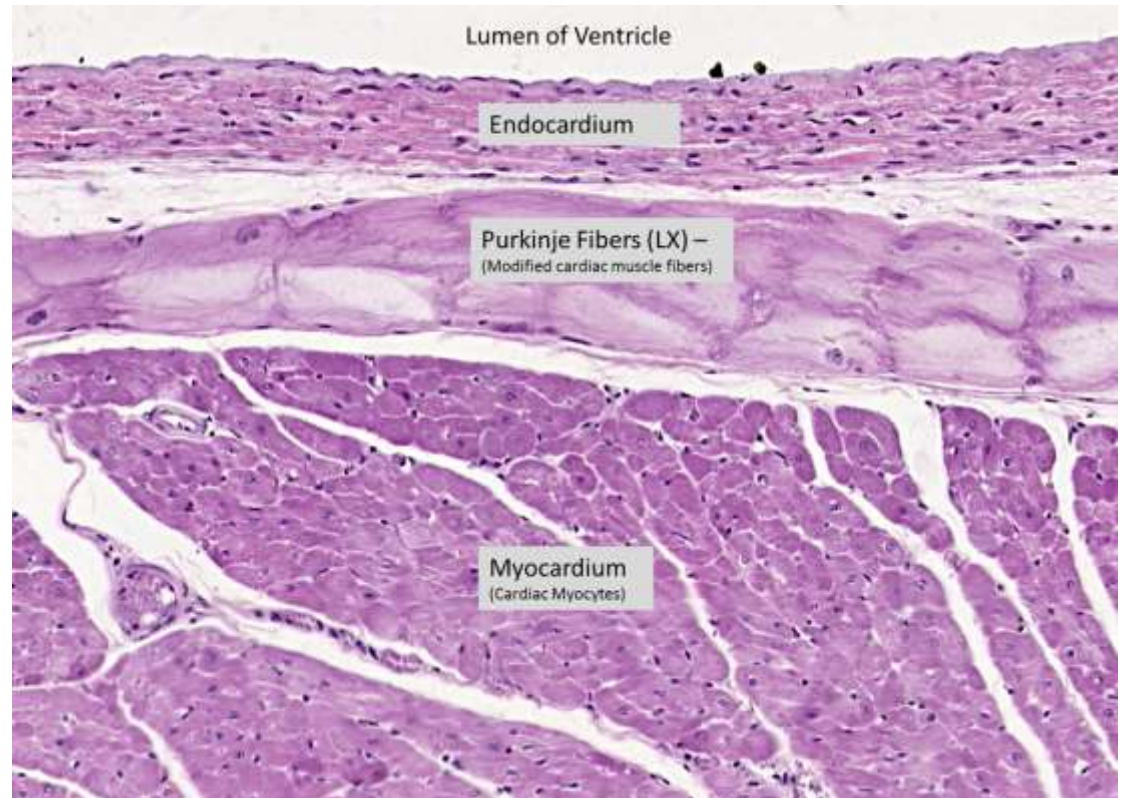
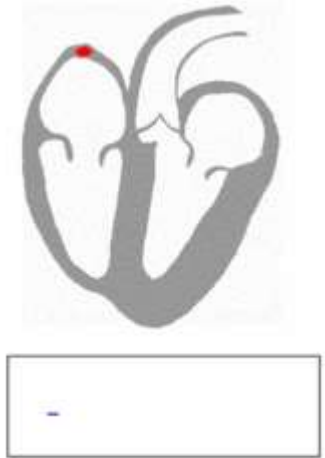
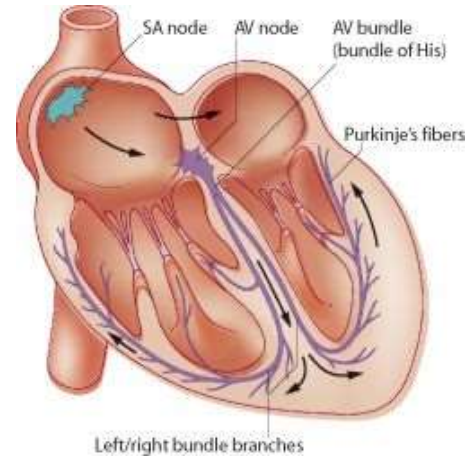


ULTRASTRUKTURA KARDIOMYOCYTU



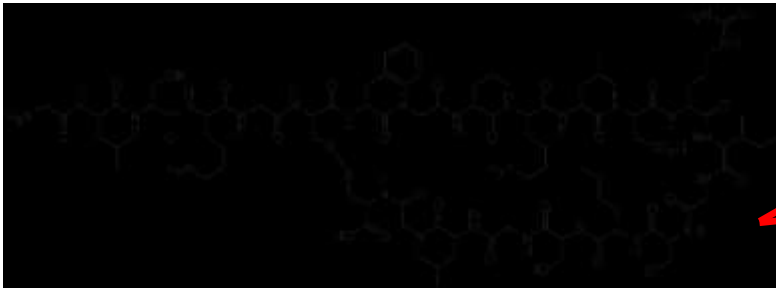
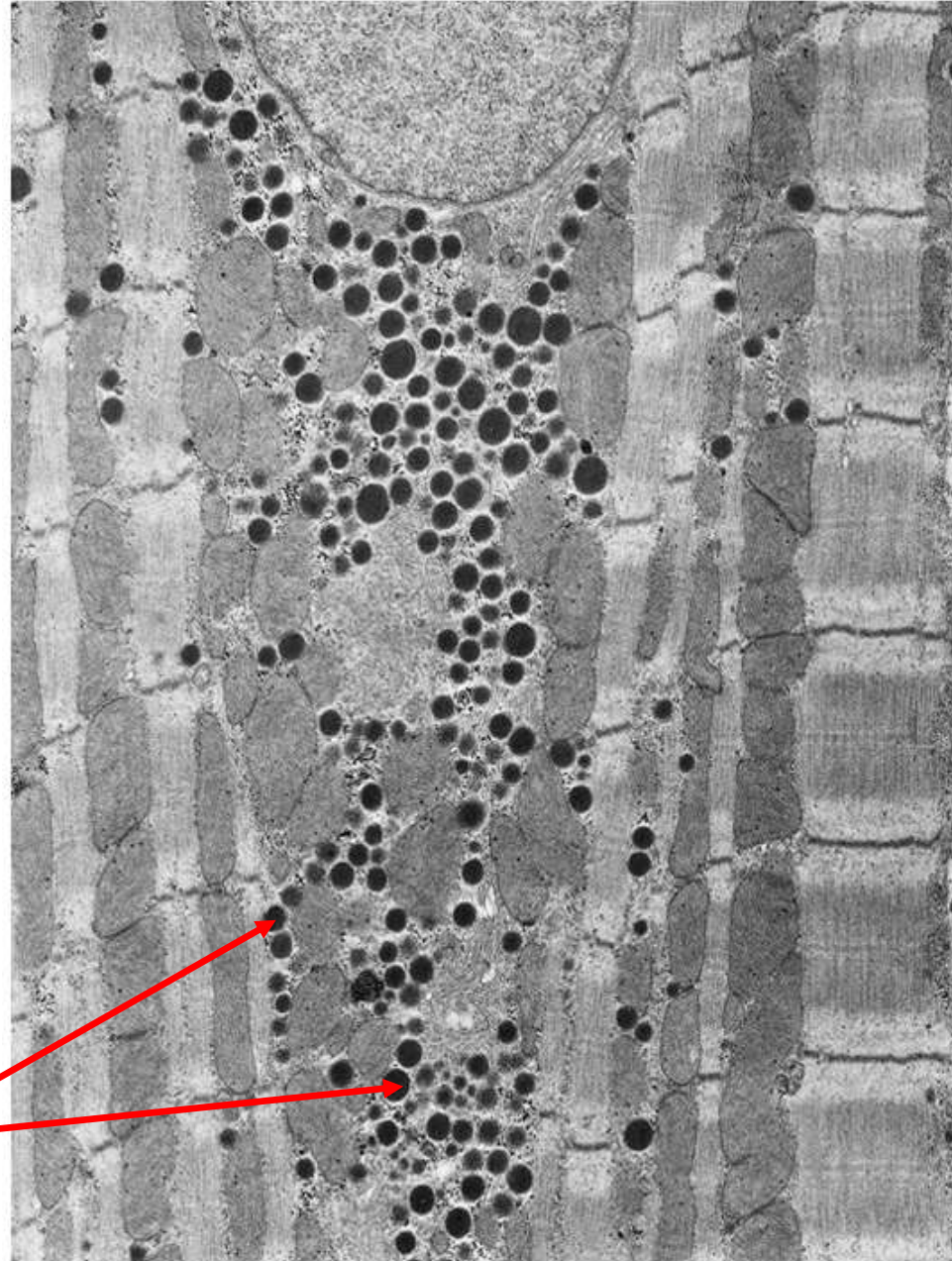
PURKYŇOVA VLÁKNA

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

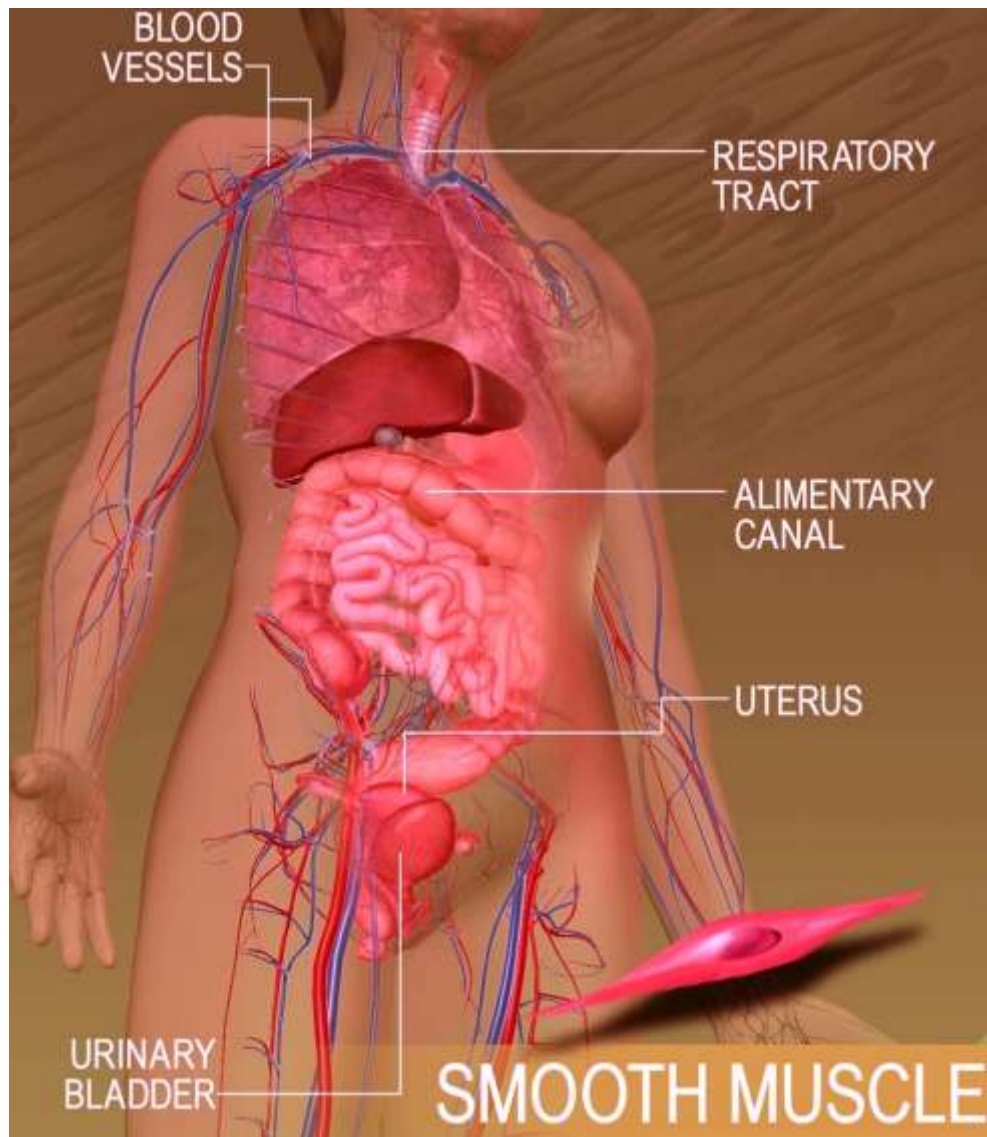


ATRIÁLNÍ KARDIOMYOCYTY

- **Natriuretický peptid A** (ANP, atriální natriuretický peptid)
- kardiomyocyty srdečních síní
- vazodilatace, diuréza



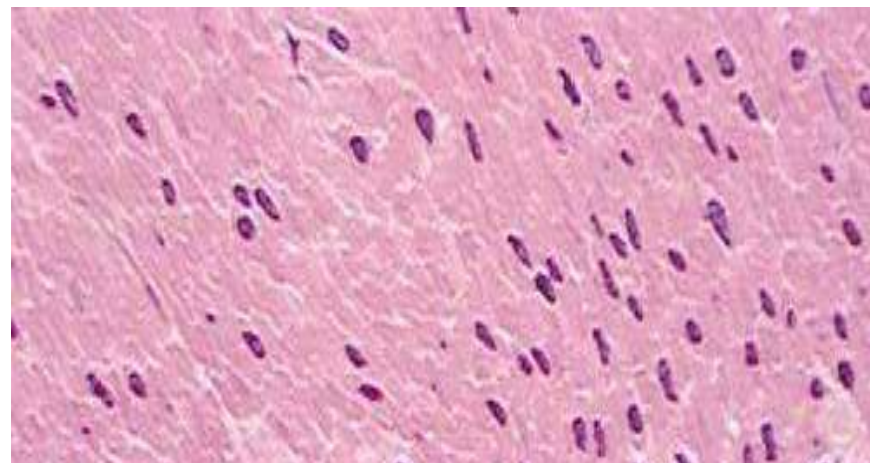
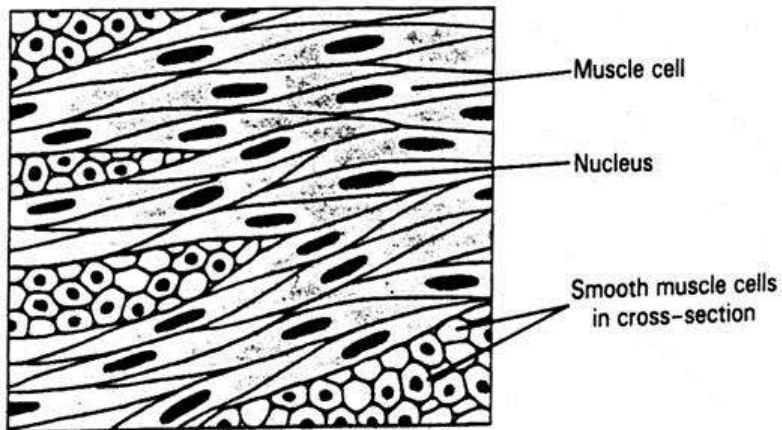
SVALOVÁ TKÁŇ



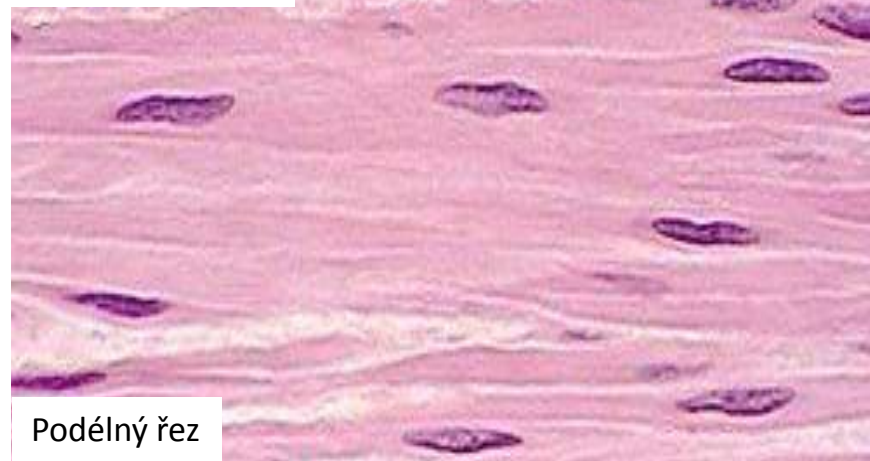
HLADKÁ SVALOVÁ TKÁŇ

HLADKÁ SVALOVÁ TKÁŇ

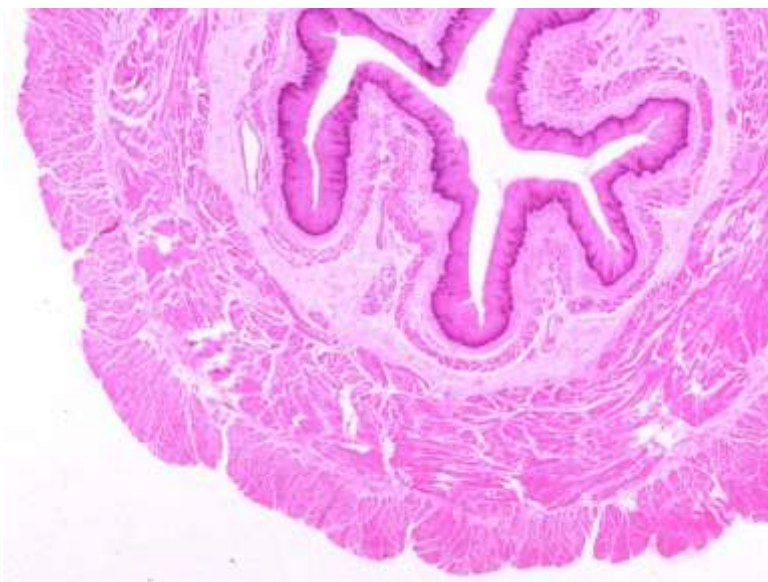
- Buňky (leiomyocyty) tvoří vrstvy - např. stěny dutých orgánů



Transversální řez



Podélný řez



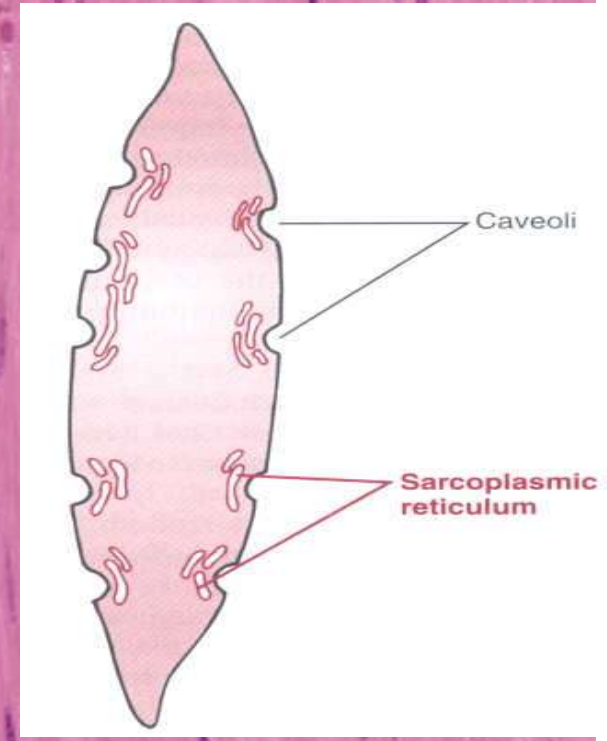
HLADKÁ SVALOVÁ TKÁŇ

- 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

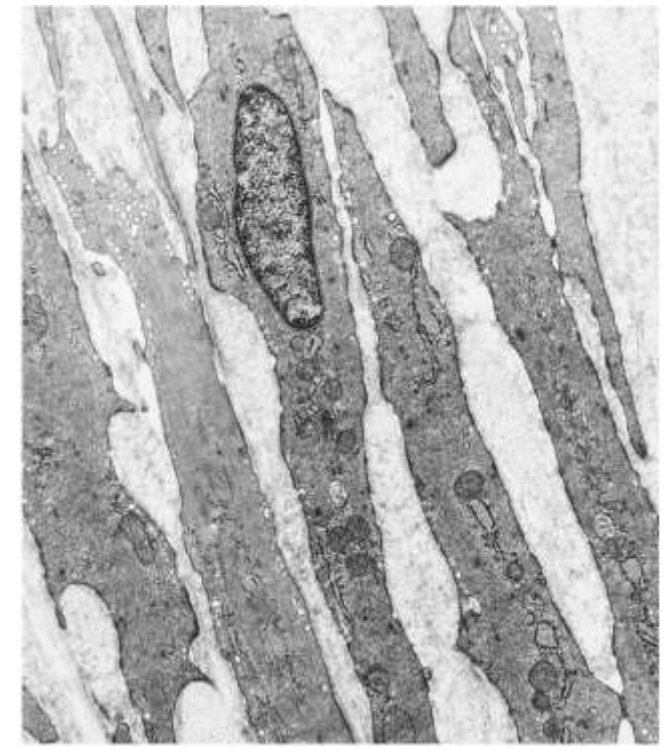
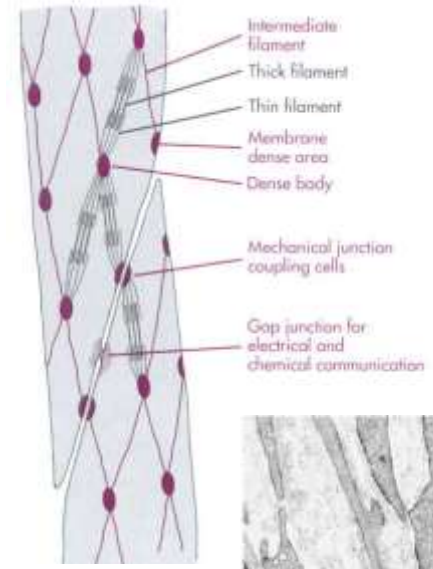
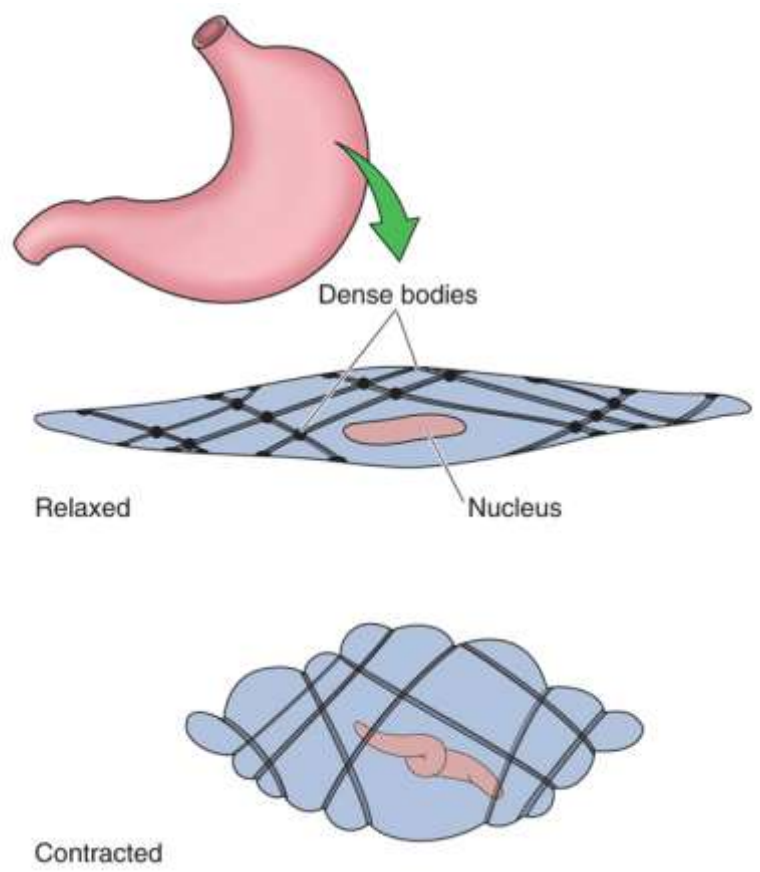
- kaveoly jsou funkčně ekvivalentní T-tubulům
- iontové (Ca) kanály
- kontakt s sER



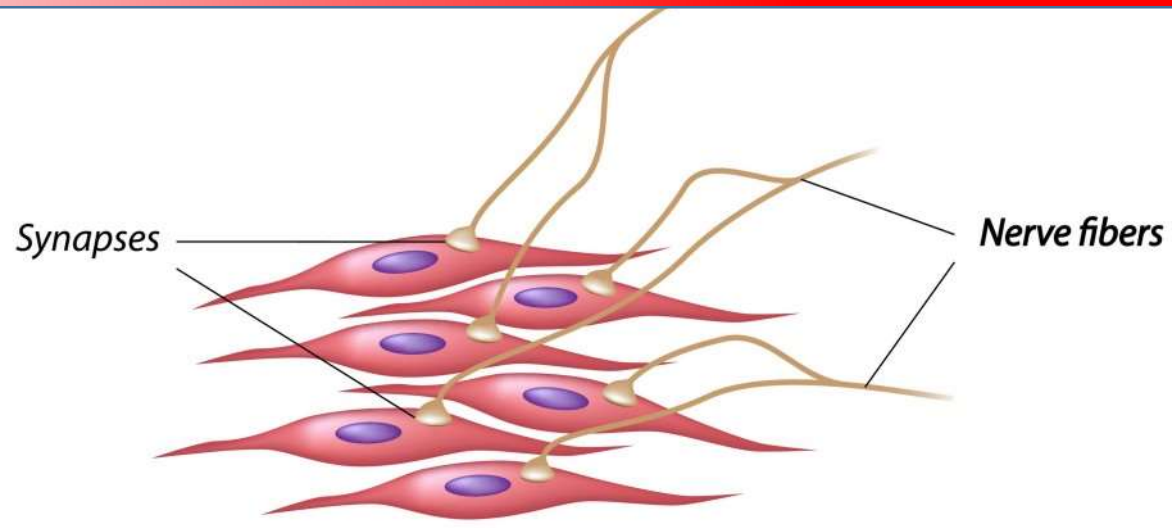
FIG. 10-2 E/M OF SMOOTH MUSCLE



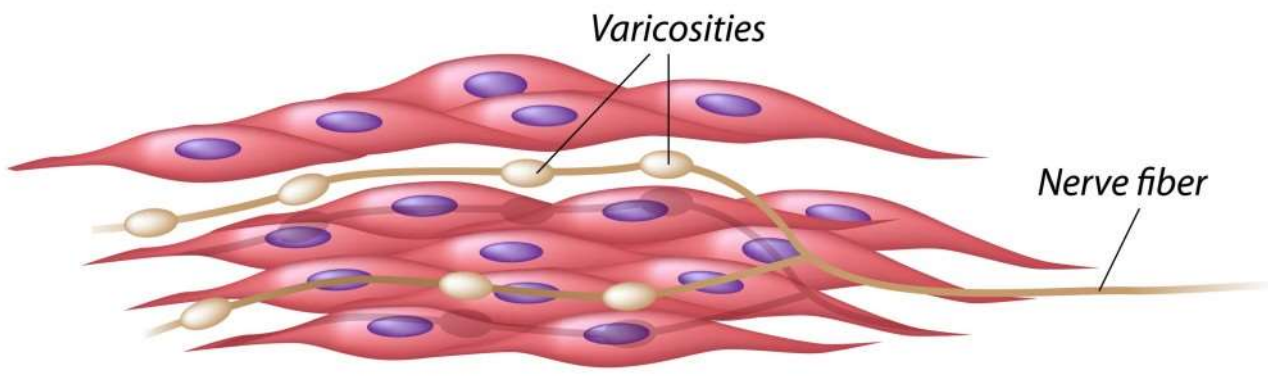
HLADKÁ SVALOVÁ TKÁŇ



HLADKÁ SVALOVÁ TKÁŇ



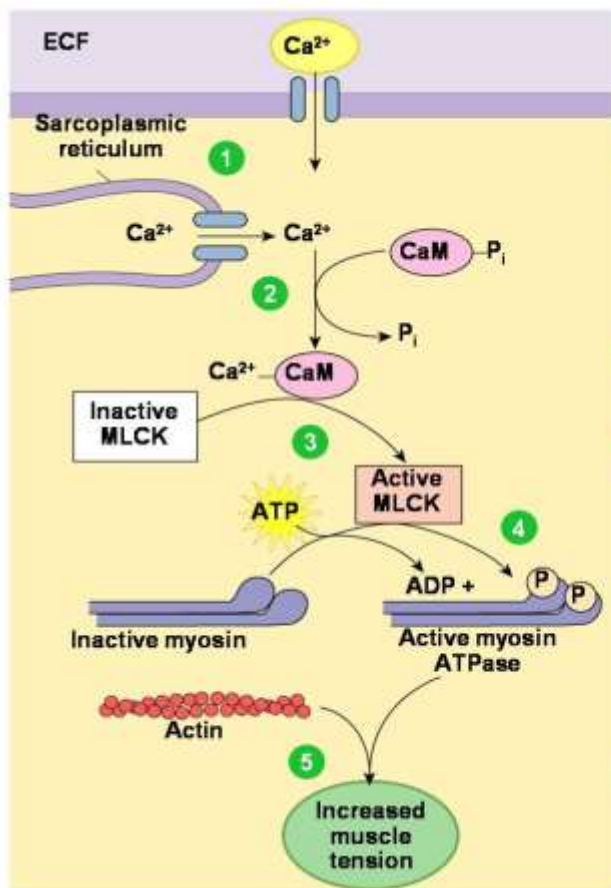
Multiunit Smooth Muscle



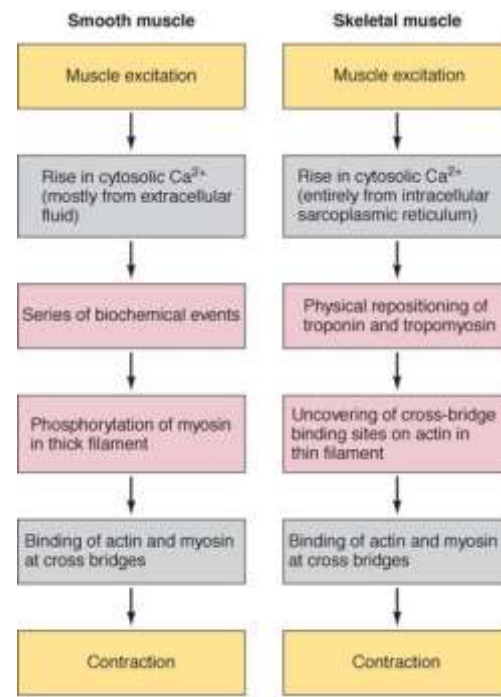
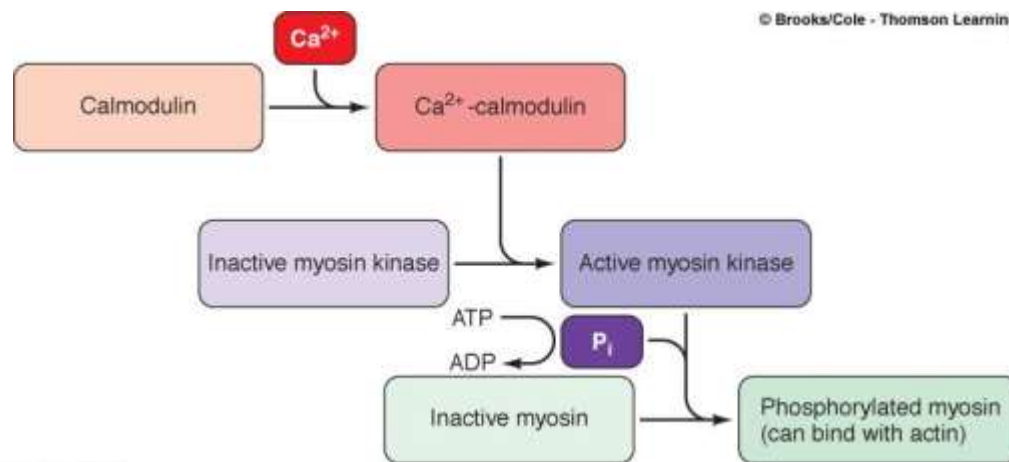
Single-unit Smooth Muscle

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.

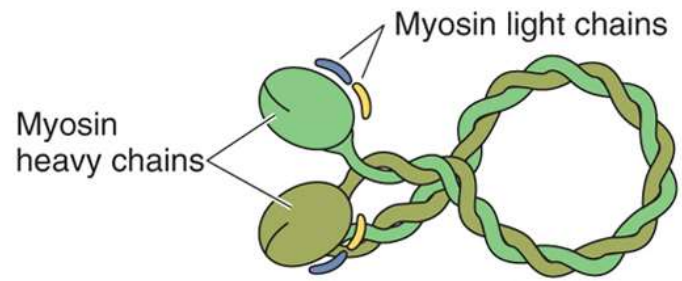


© Brooks/Cole - Thomson Learning

HLADKÁ SVALOVÁ TKÁŇ

Inactive state

(light chains not phosphorylated)

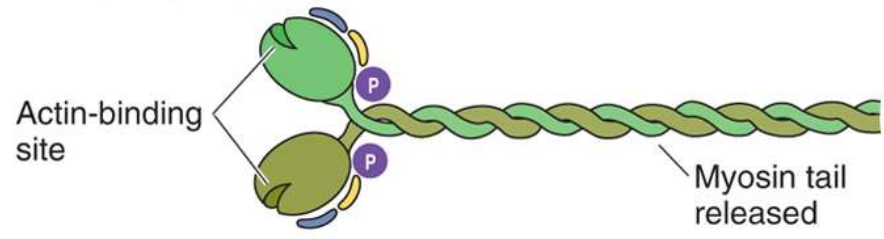


Myosin light chain kinase



Active state

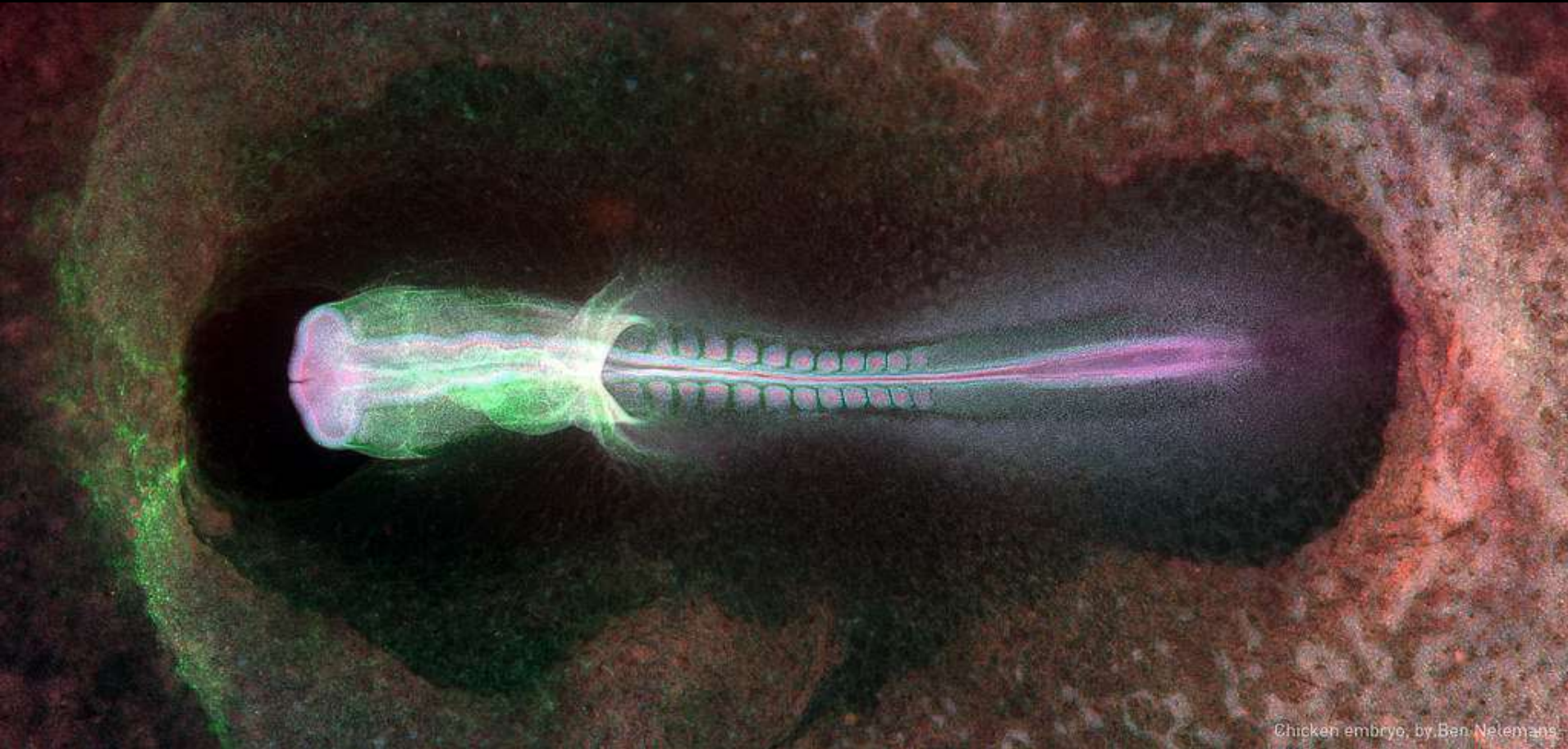
(light chains phosphorylated)



SHRNUTÍ

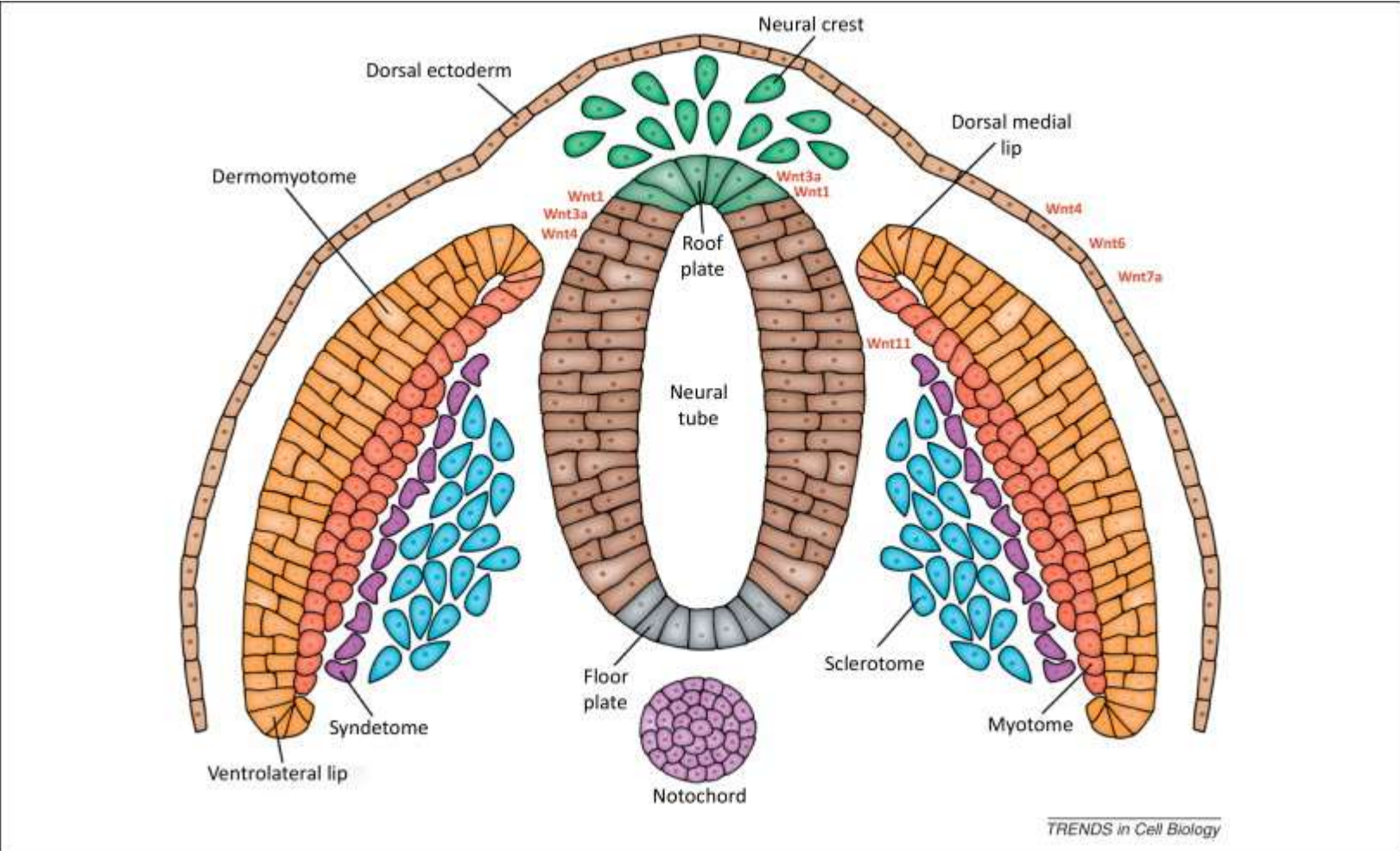
	Kosterní svalová tkáň	Srdeční svalová tkáň	Hladká svalová tkáň
Buňky	silné, dlouhé, válcovité, nevětvené	velké, válcovité, větvené	malé, vřetenovité
Jádra	početná, na periferii	1-2, centrálně	1, centrálně
poměr filament (tenká:tlustá)	6:1	6:1	12:1
sER a myofibrily	pravidelně uspořádané sER kolem myofibril	méně pravidelné sER, myofibrily 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

EMBRYONÁLNÍ VÝVOJ

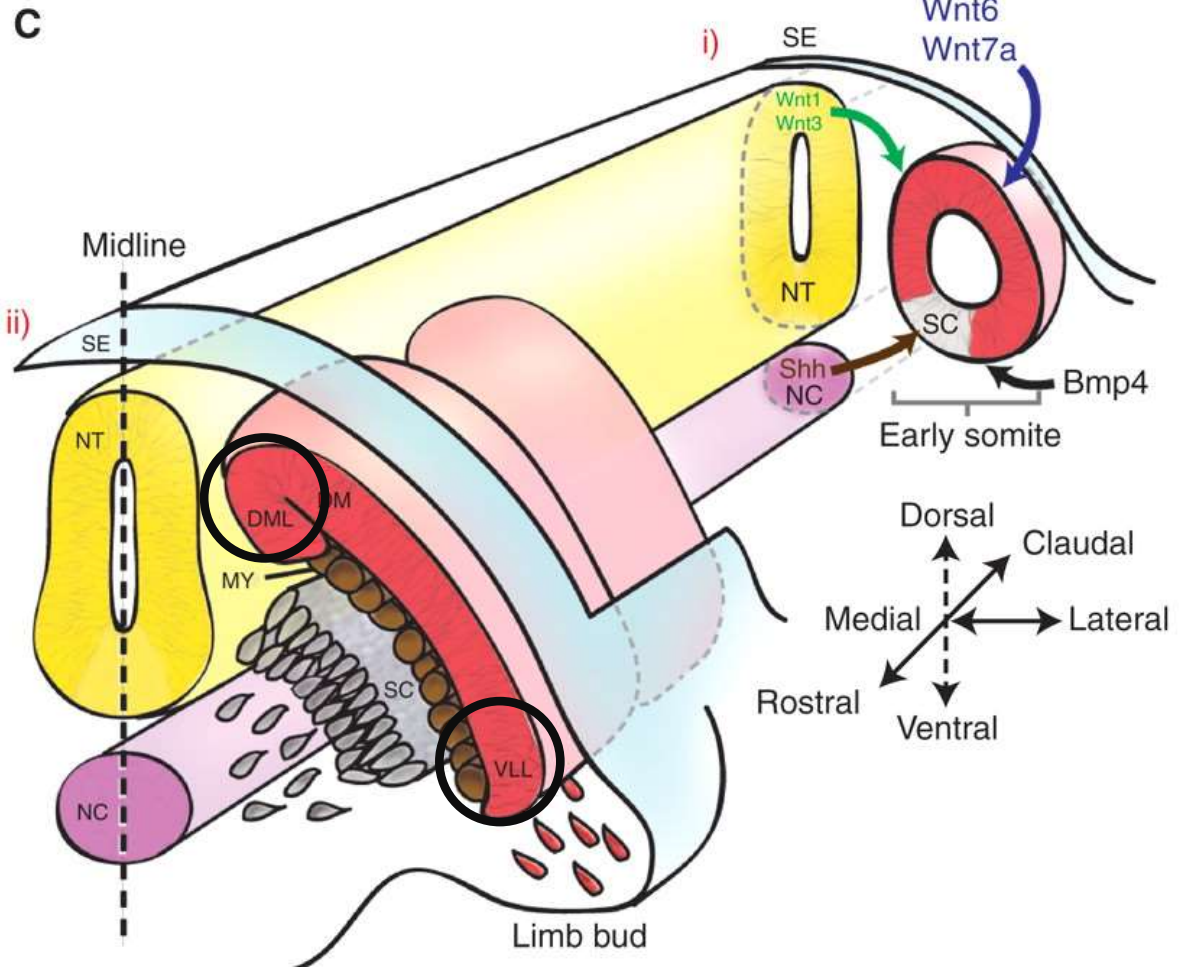
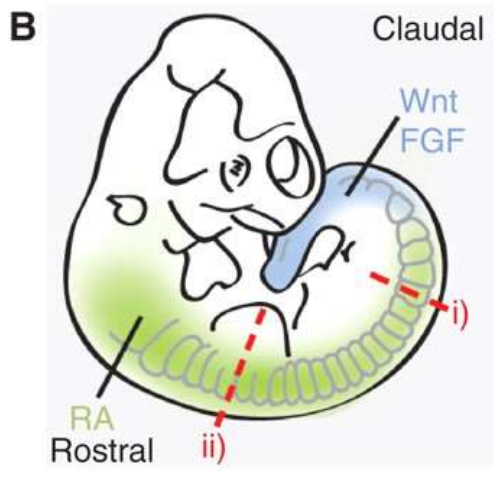
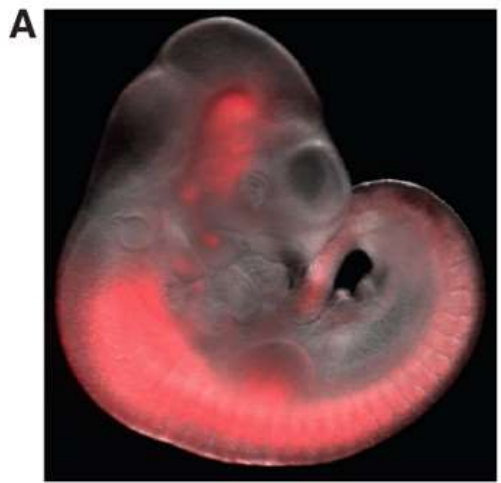


Chicken embryo, by Ben Nellemans

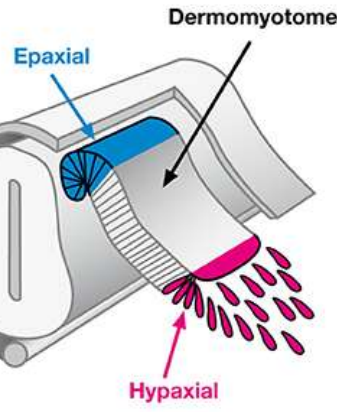
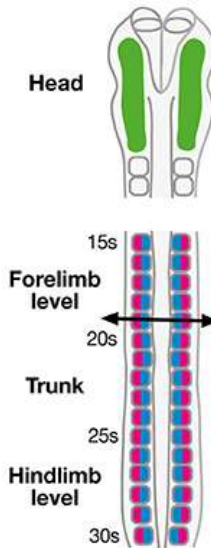
EMBRYONÁLNÍ VÝVOJ



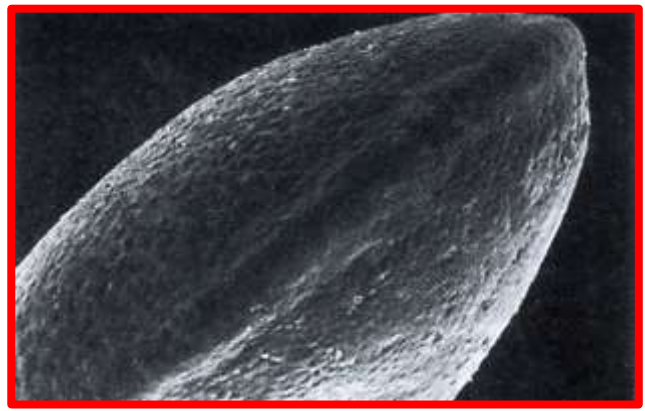
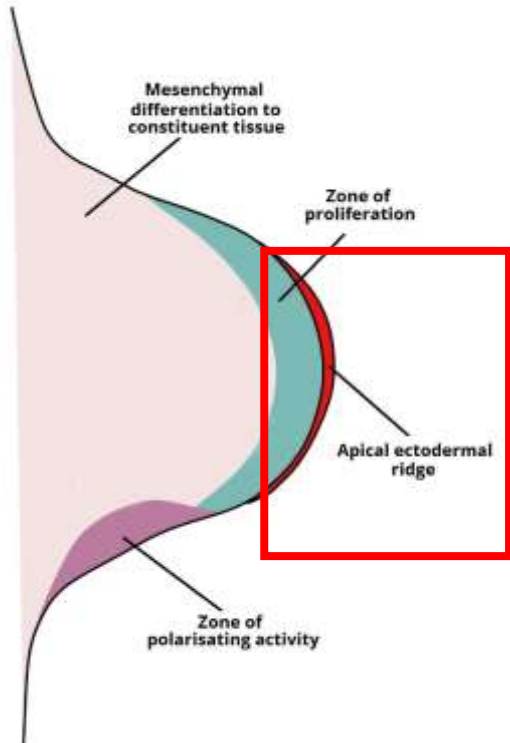
EMBRYONÁLNÍ VÝVOJ



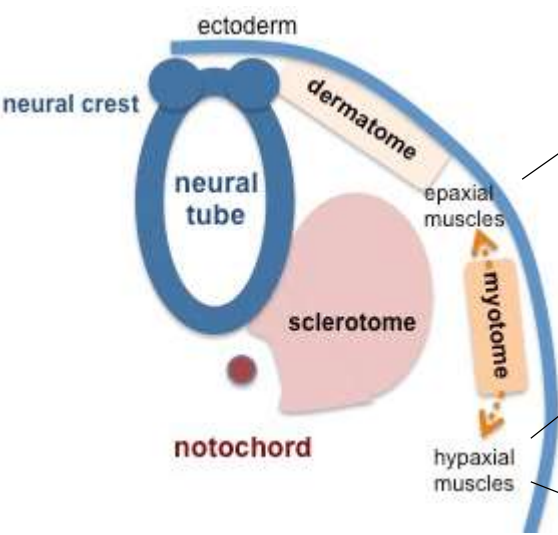
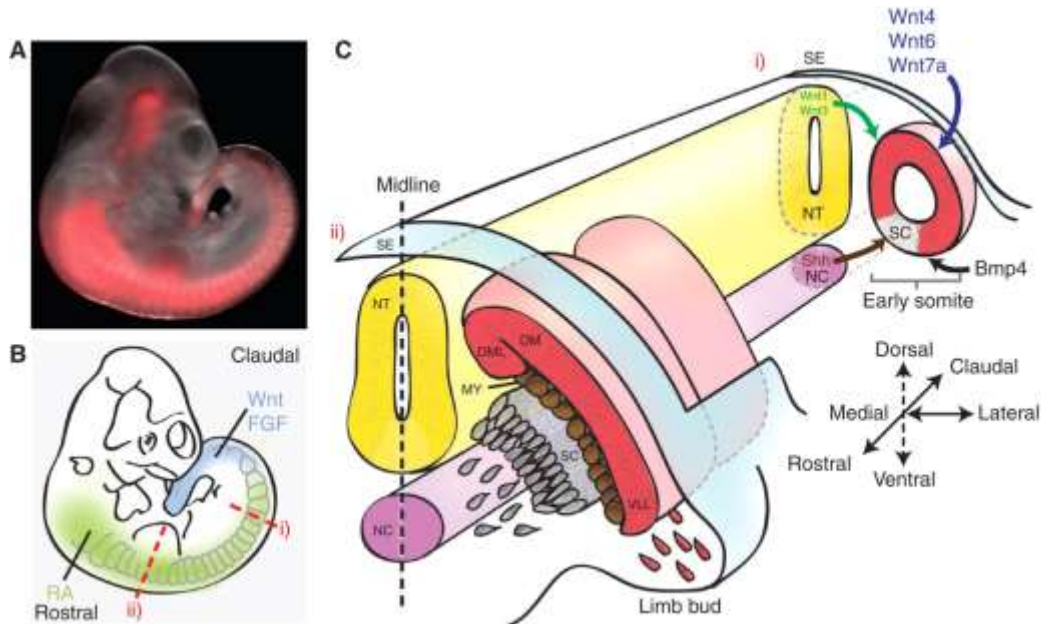
SVALY KONČETIN



Skeletal muscles



SVALY TRUPU



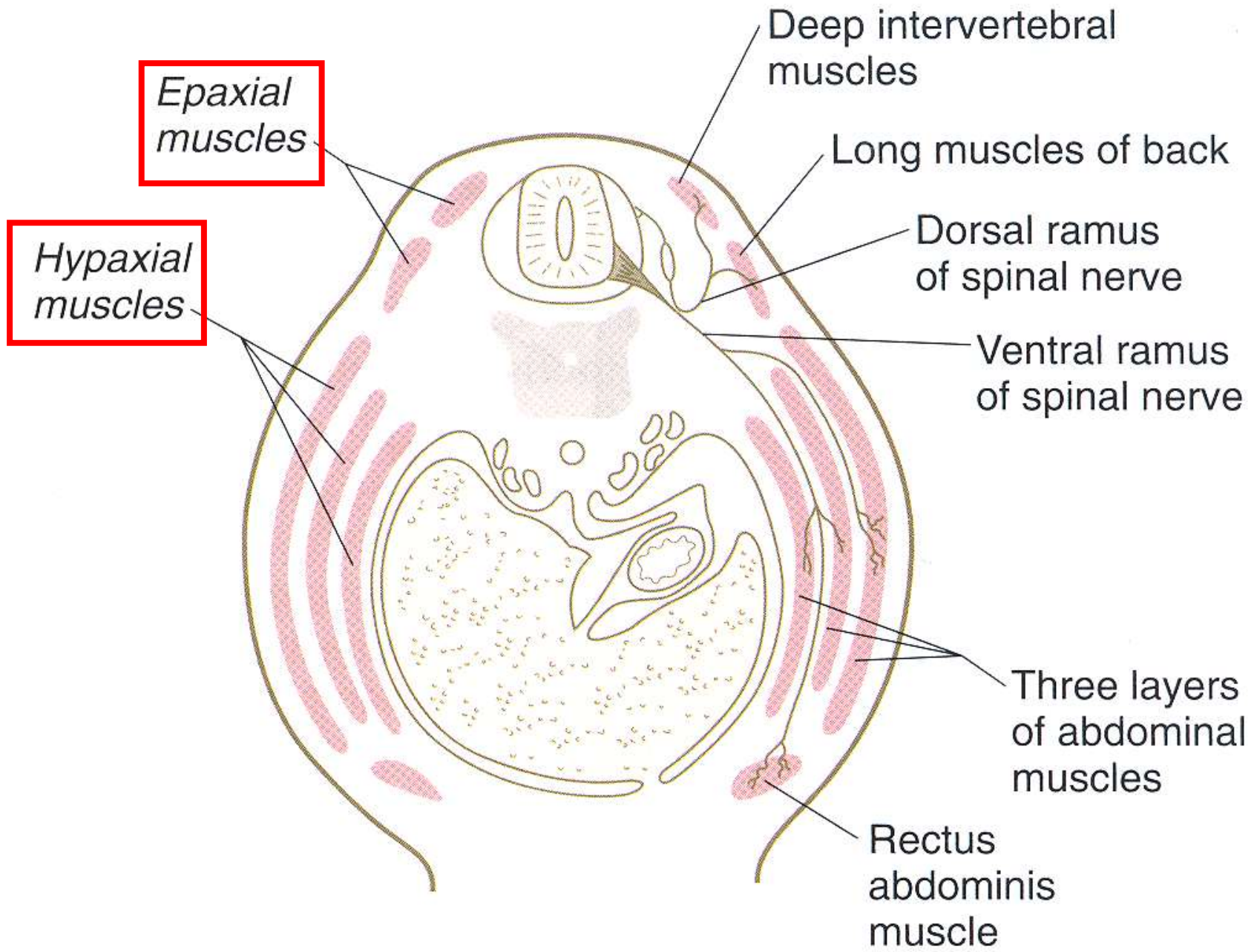
Hluboké zádové svaly

Spinokostální svaly

Povrchové vrstvy zádových svalů –
končetinový původ

Mezižební svaly

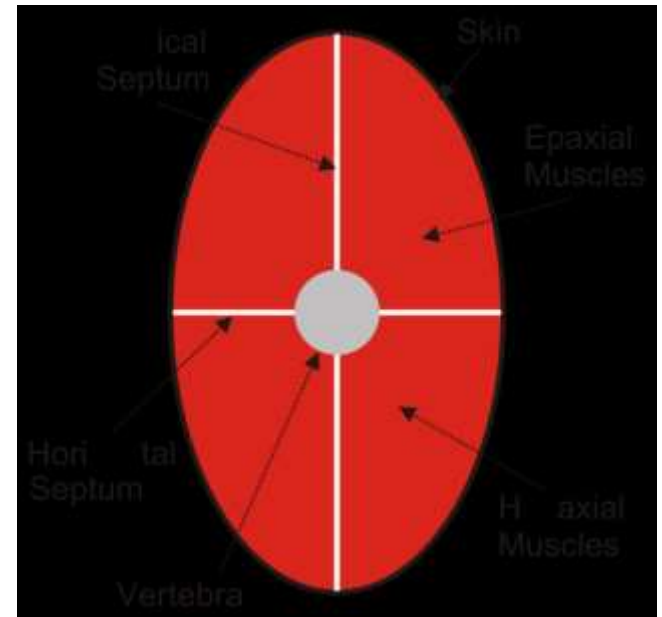
SVALY TRUPU



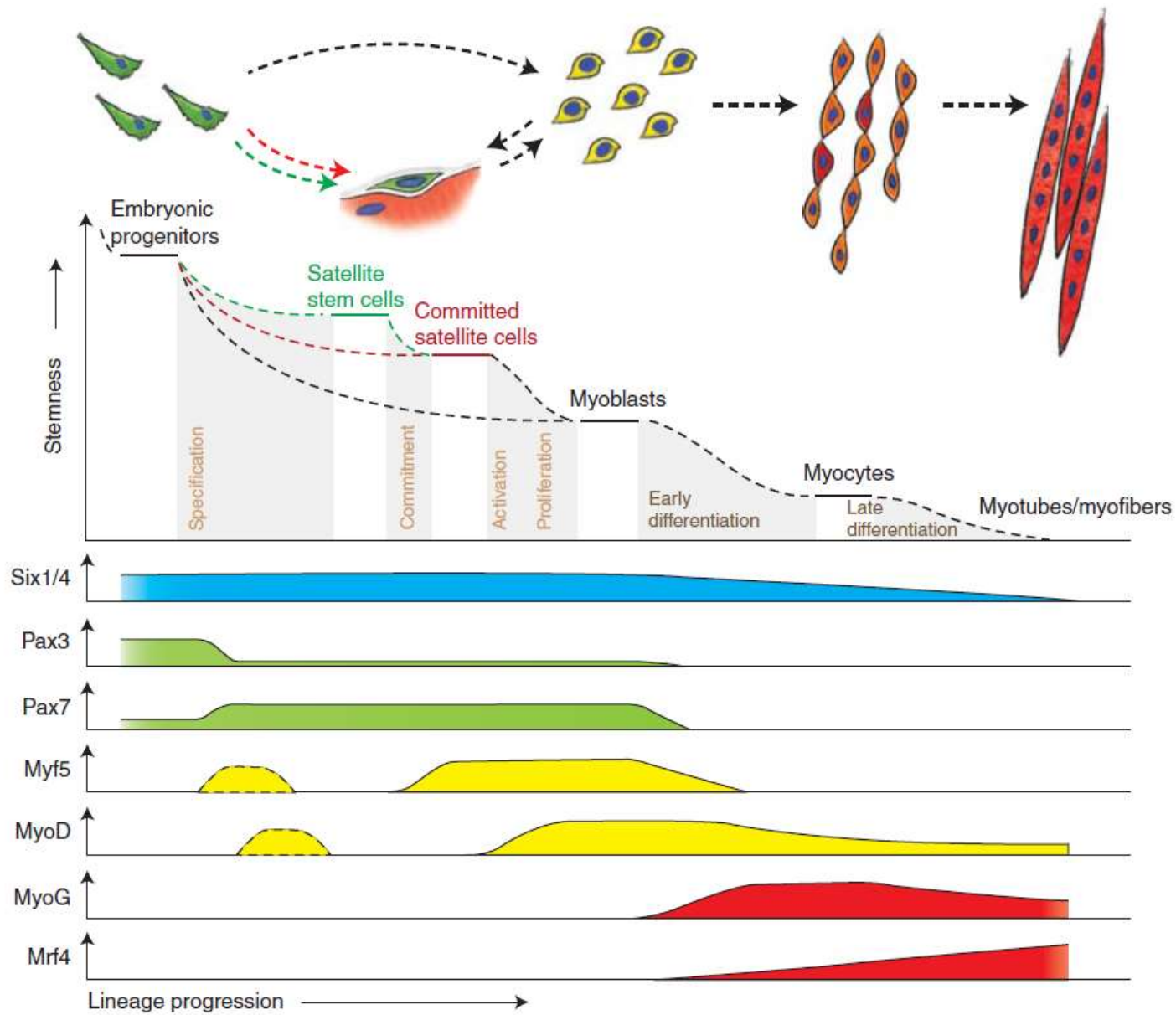
PRUNE BELLY SYNDROME

- Absence abdominálních svalů
- Chyba specifikace hypaxiálních svalů
- Asociace s VACTERL a aneuploidemi

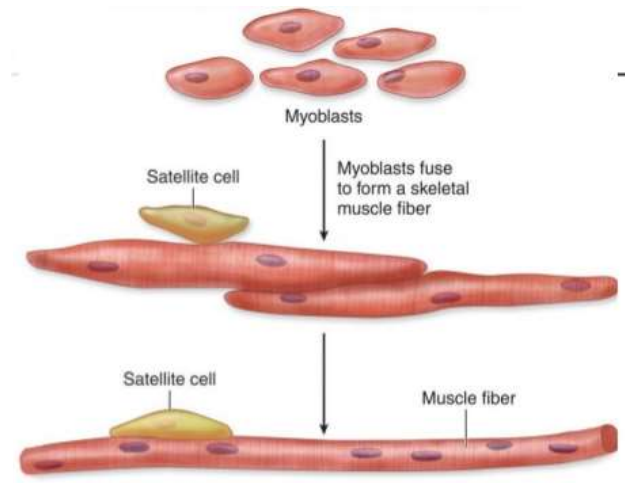
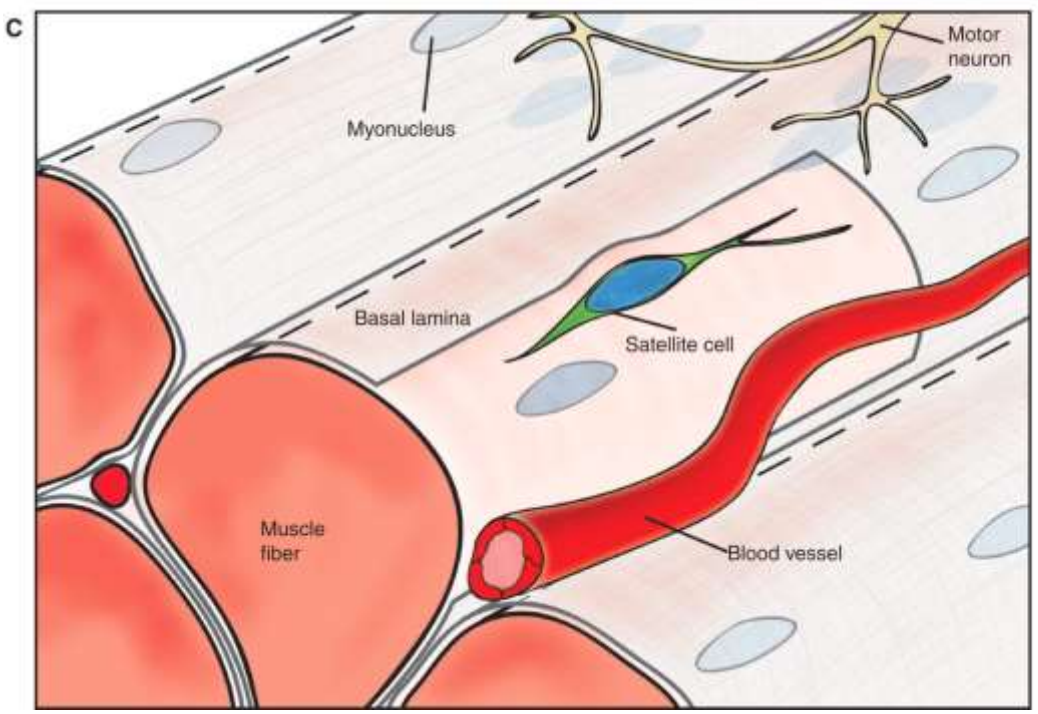
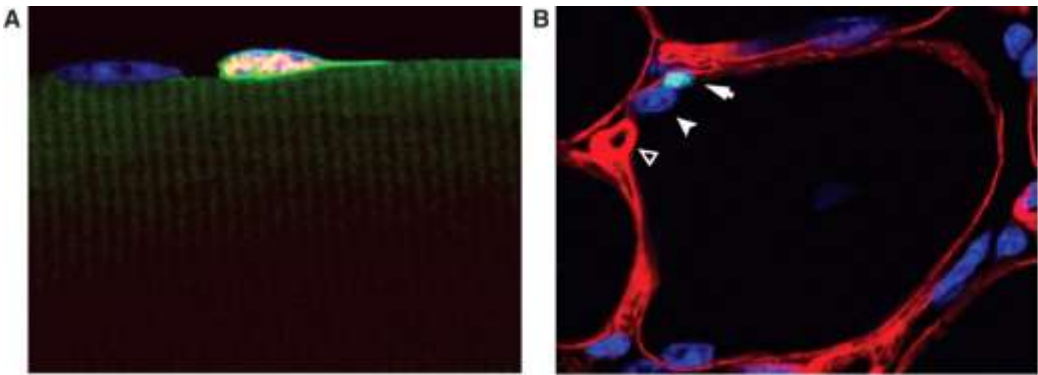
- V - Vertebral anomalies
- A - Anorectal malformations
- C - Cardiovascular anomalies
- T - Tracheoesophageal fistula
- E - Esophageal atresia
- R - Renal (Kidney) and/or radial anomalies
- L - Limb defects



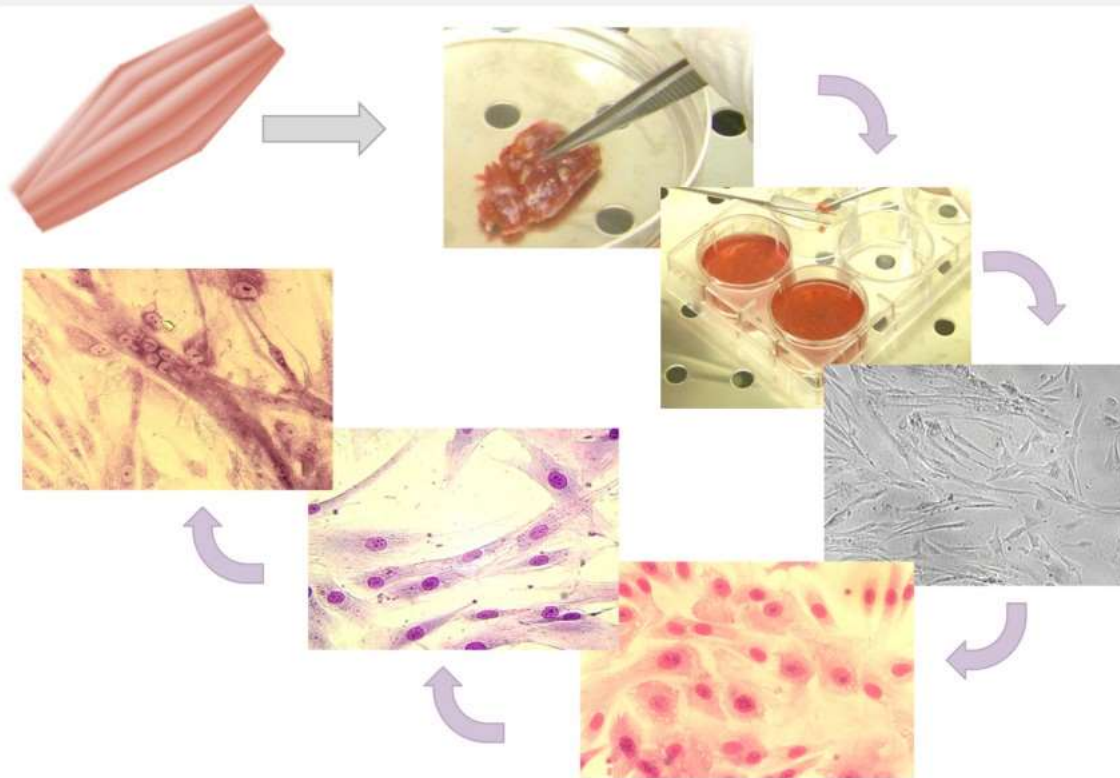
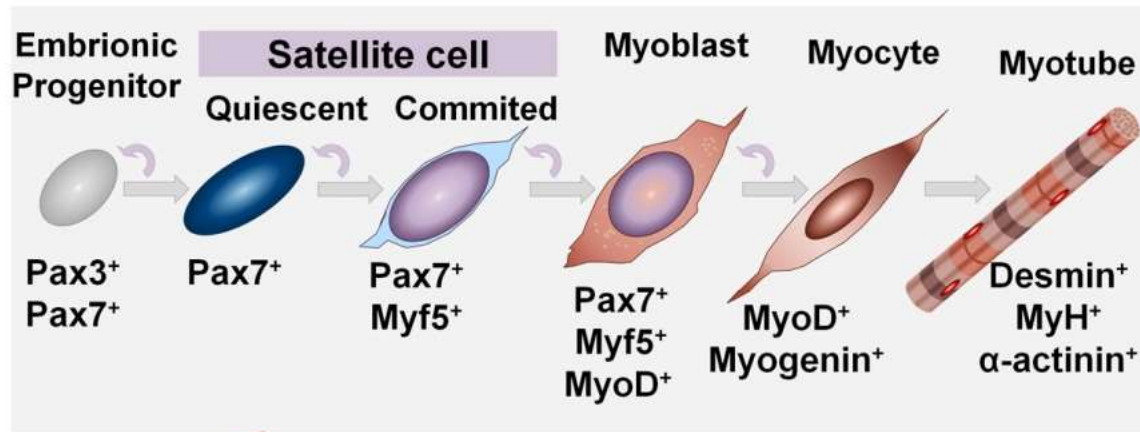
HISTOGENEZE SVALOVÝCH VLÁKEN



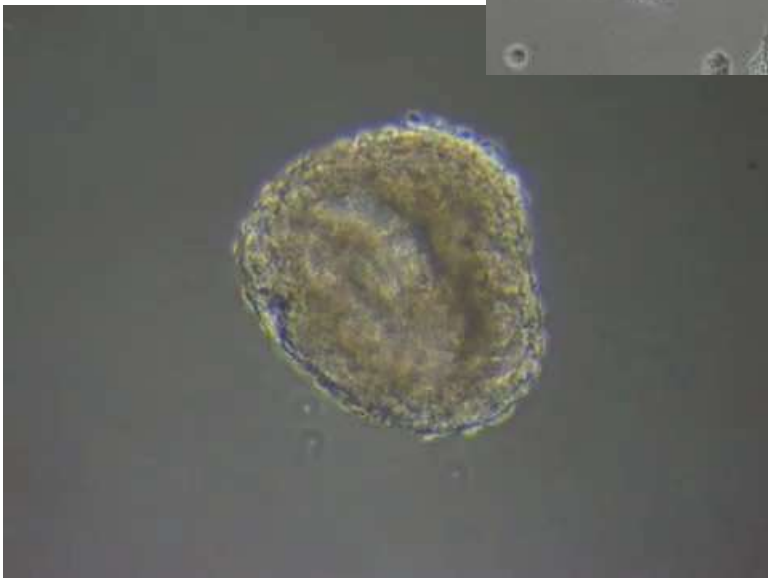
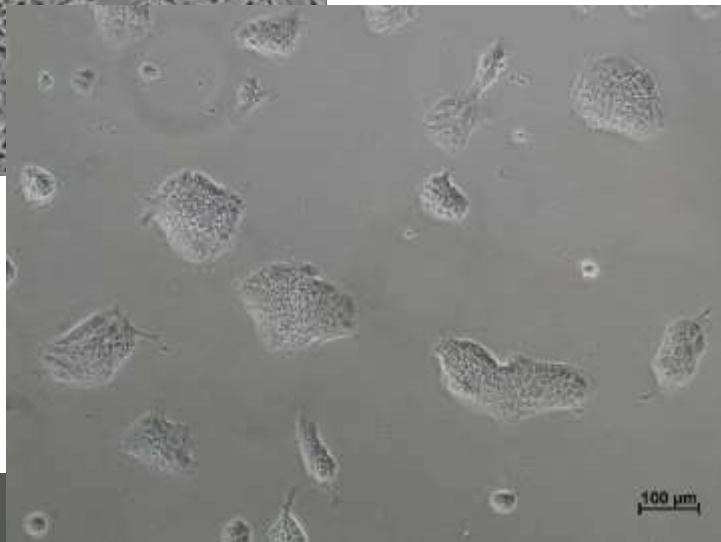
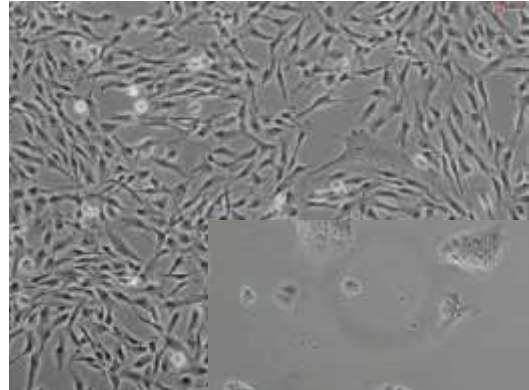
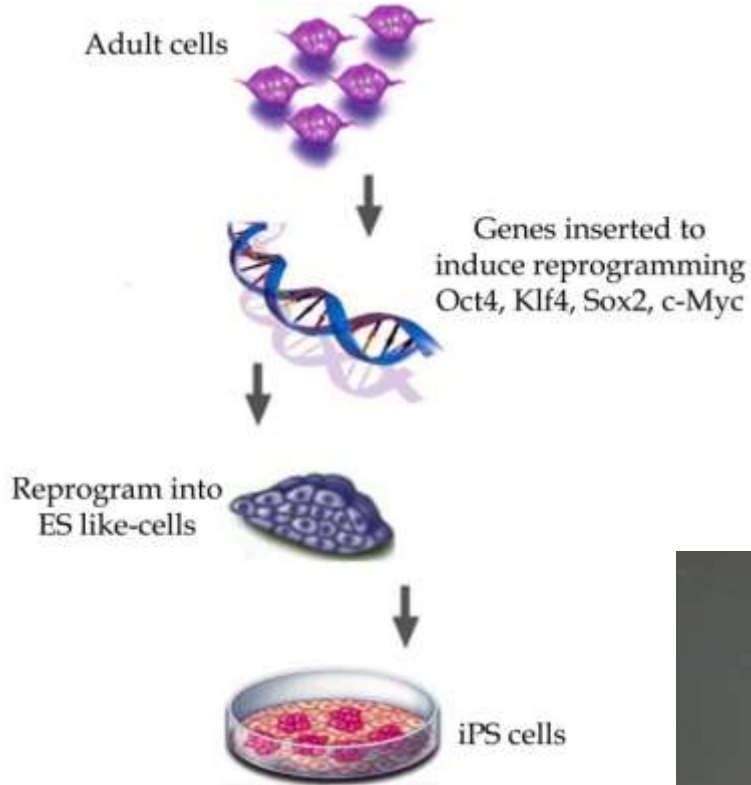
REGENERACE KOSTERNÍHO SVALSTVA



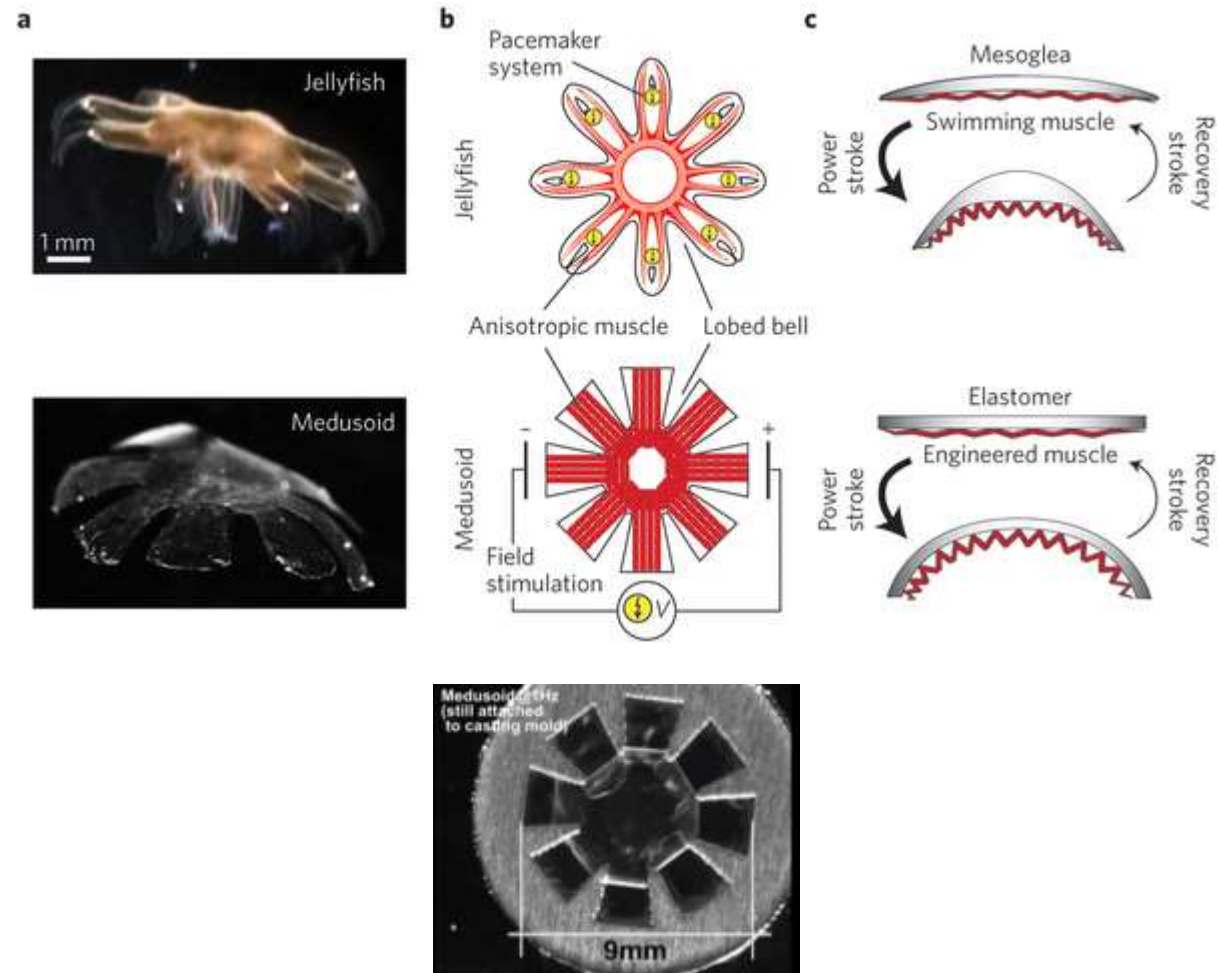
REGENERACE KOSTERNÍHO SVALSTVA



DIFFERENZIACE IN VITRO



TKÁŇOVÉ INŽENÝRSTVÍ



<https://www.nature.com/articles/nbt.2269>

<https://www.nature.com/news/artificial-jellyfish-built-from-rat-cells-1.11046>

DĚKUJI ZA POZORNOST

pvanhara@med.muni.cz

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

