

Svalová tkáň kosterní, hladká a srdeční

Rozdělení, stavba, výskyt a funkce. Vývoj svalové tkáně.

Zkouškové otázky

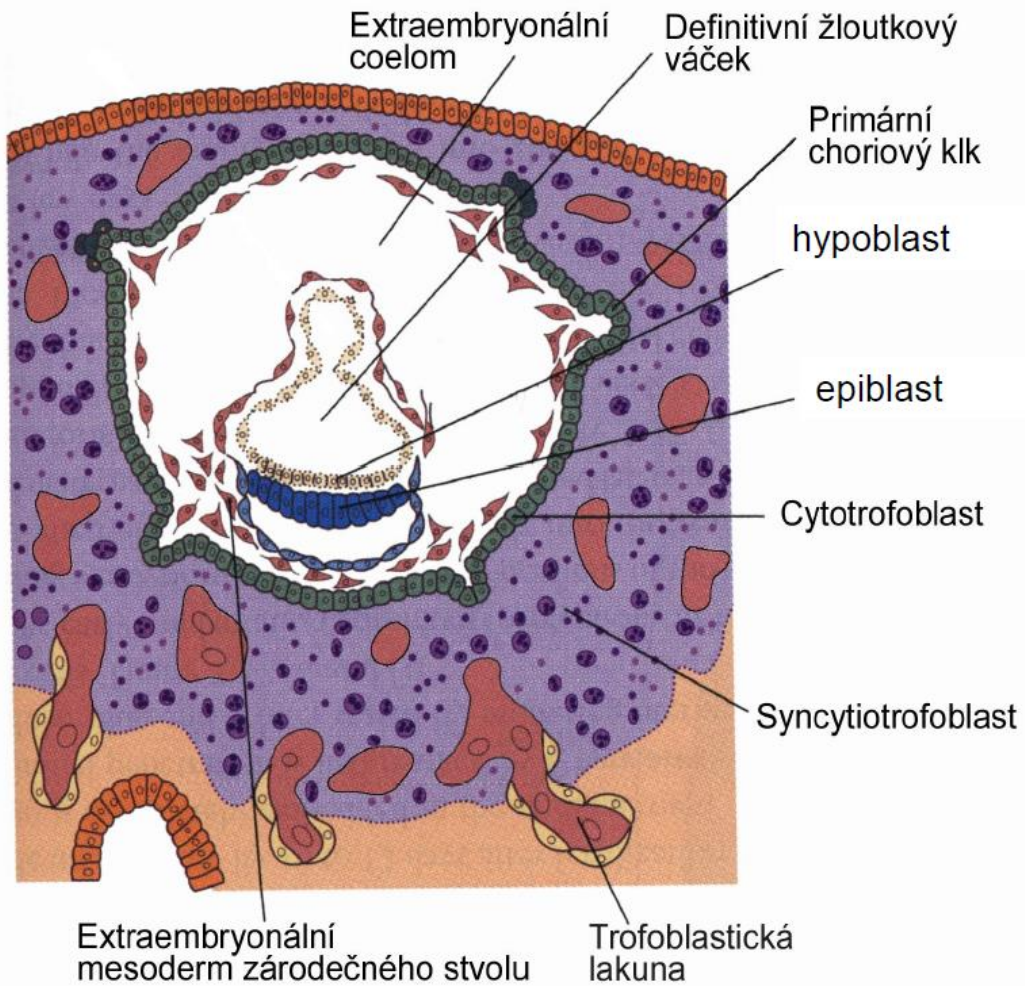
Svalová tkáň příčně pruhovaná kosterní: stavba, výskyt a původ.
Mechanismus svalové kontrakce.

Svalová tkáň hladká: stavba, výskyt a původ. Svalová tkáň srdeční:
stavba, výskyt a původ.

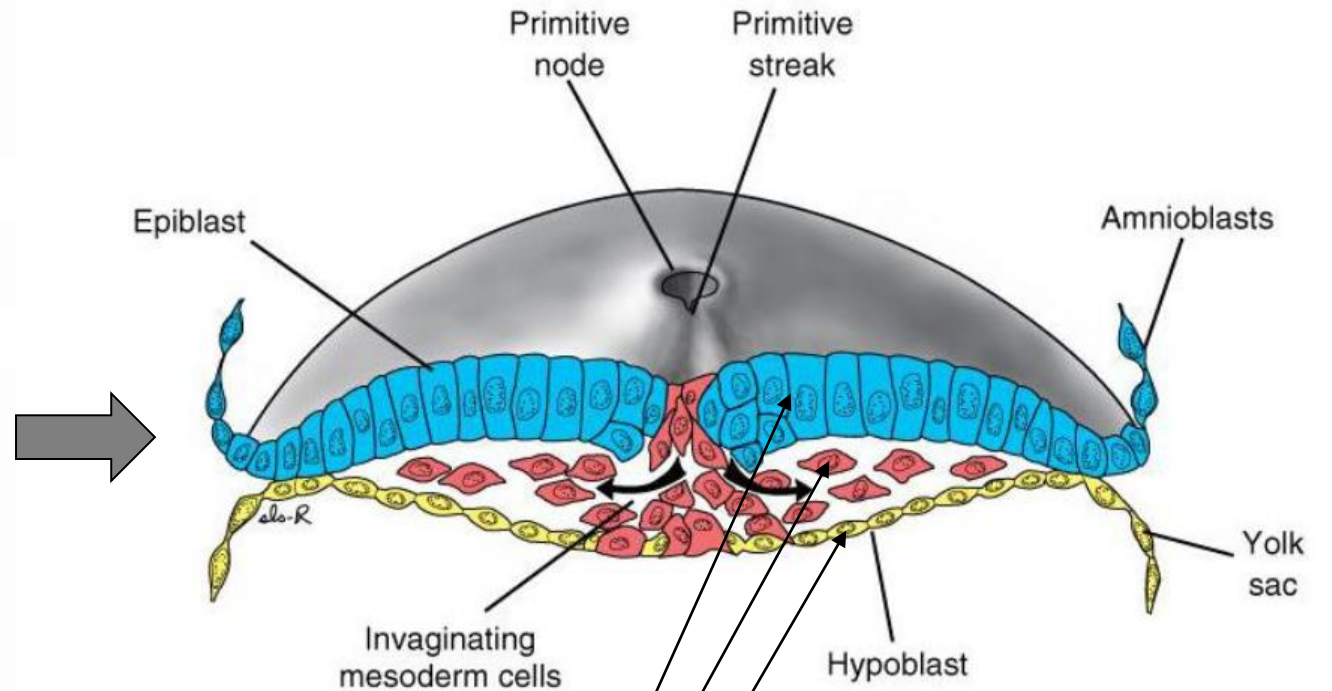
Vývoj svalové tkáně

- původ – **mezoderm** (kosterní a srdeční) a **mezenchym** (hladká)
- **Kosterní** – paraaxiální mezoderm → myotomy
→ epaxiální a hypaxiální oddíly
- **Srdeční** – kardiogenní mezoderm – mezoderm splanchnopleury
- **Hladká** – mezenchym (embryonální pojivová tkáň)
splanchnopleury a somatopleury

IMPLANTACE - 13. den



Trilaminární zárodečný terčik – 16. den vývoje (příčně)

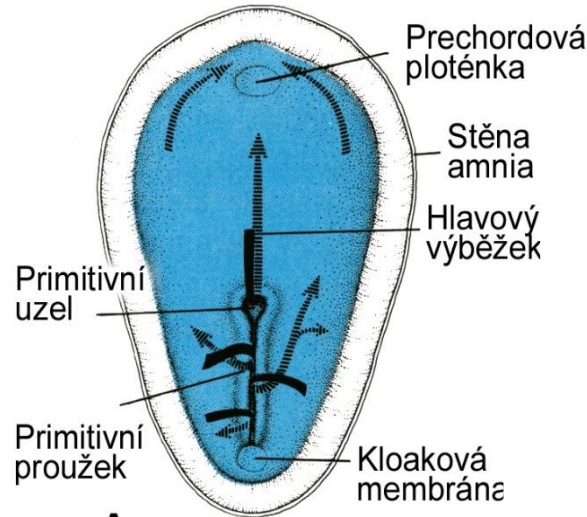


Epiblast derivuje v:

- Ektoderm
- Mesoderm
- Entoderm

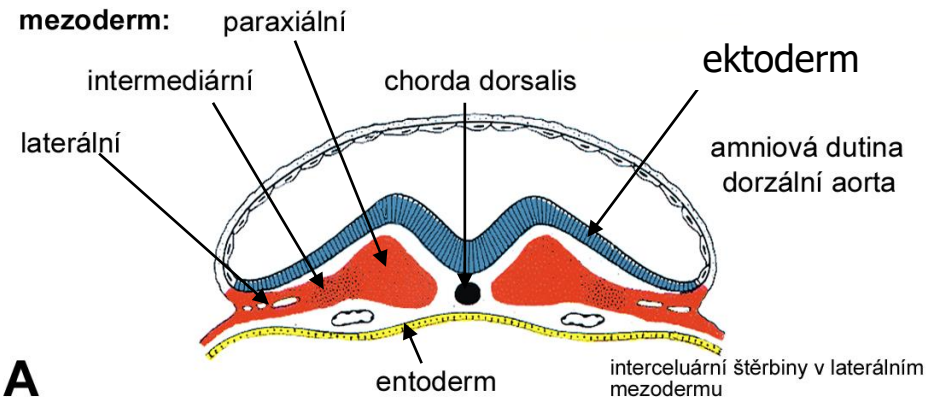
Hypoblast v zárodečném terčiku je nahrazen/vytlačen nově vzniklým entodermem

Diferenciace mezodermu

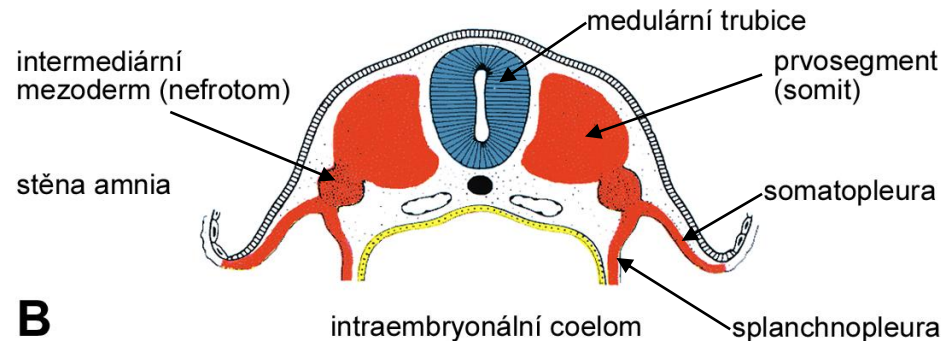


A

A : pohled na dorzální stranu



A

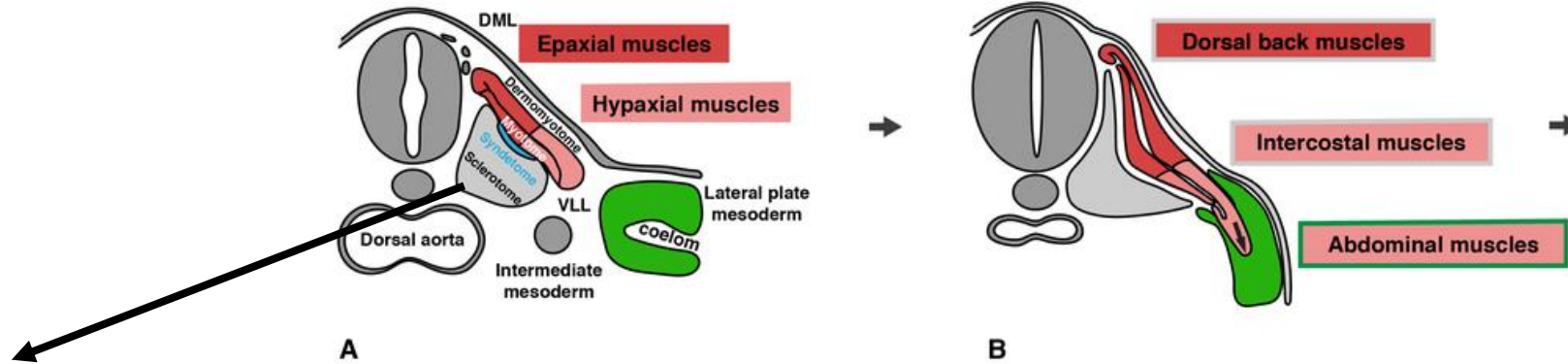


B

Mezoderm:

- mezoderm po stranách chordy zmohtní v ploténku = tzv. **paraaxiální mezoderm**
→ **prvosegmenty (somity)** → dermatom, **myotom**, sklerotom
- mezi oběma oddíly mezodermu = **intermediární mezoderm (nephrotomy)**
- **laterální mezoderm (somatopleura a splanchnopleura)** - zachovává si podobu listu

Kosterní svalovina - Paraaxiální mezoderm → somity → myotomy



Somit

→ Dermatome, **Myotome**, Sklerotome

Myotome

→ Epaxiální a Hypaxiální oddíl



- Epaxial (primaxial); Somite-derived MCT
- Hypaxial (primaxial); Somite-derived MCT

C

Srdeční svalovina - Kardiogenní mezoderm (hlavová část embrya) – mezoderm splanchnopleury

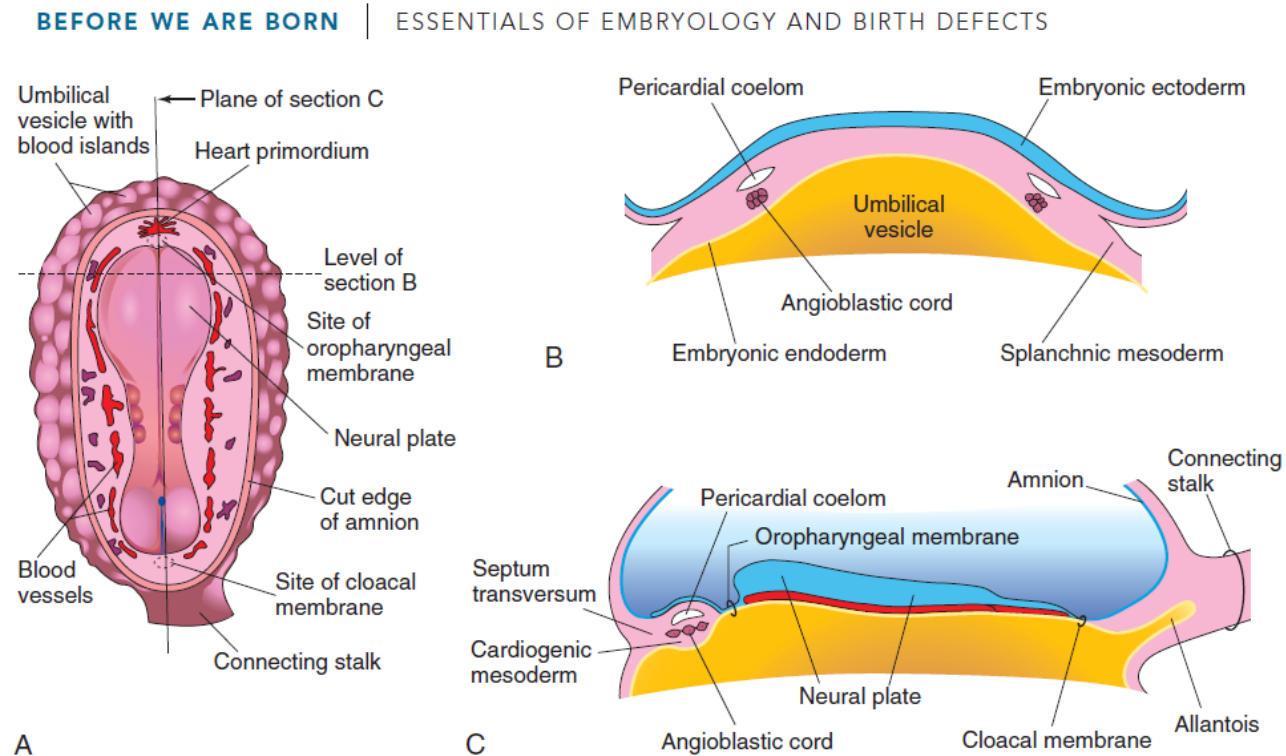
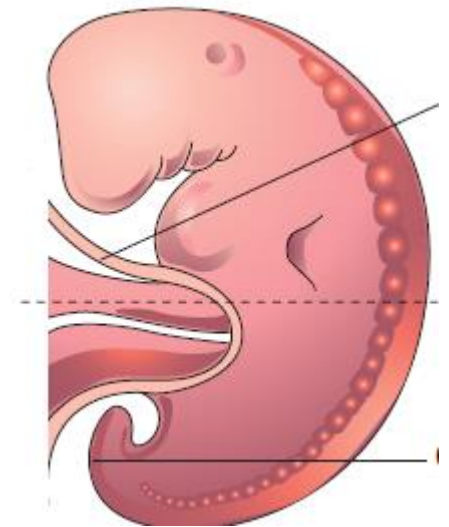
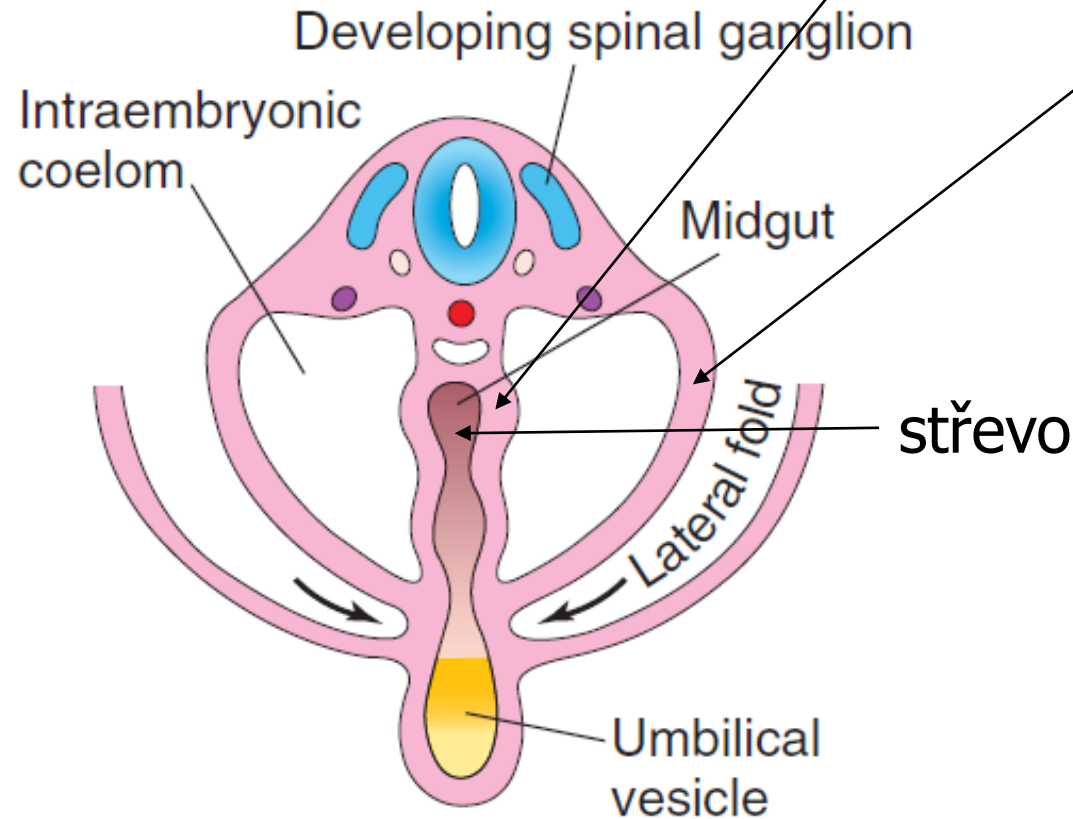
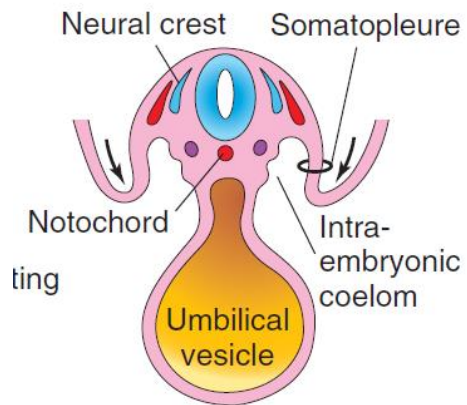
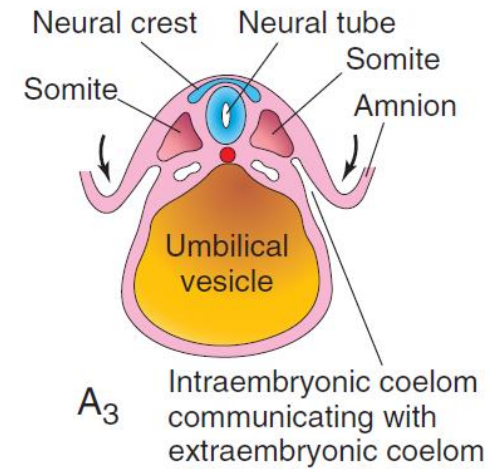


Figure 14-1 Early development of the heart. **A**, Dorsal view of an embryo (approximately 18 days). **B**, Transverse section of the embryo, showing angioblastic cords and their relationship to the pericardial coelom. **C**, Longitudinal section through the embryo, showing the relationship of the angioblastic cords to the oropharyngeal membrane, pericardial coelom, and septum transversum.

Hladká svalovina – mezenchym (embryonální pojivová tkáň)

– mezenchym splachnopleury a somatopleury



Charakteristika svalové tkáně

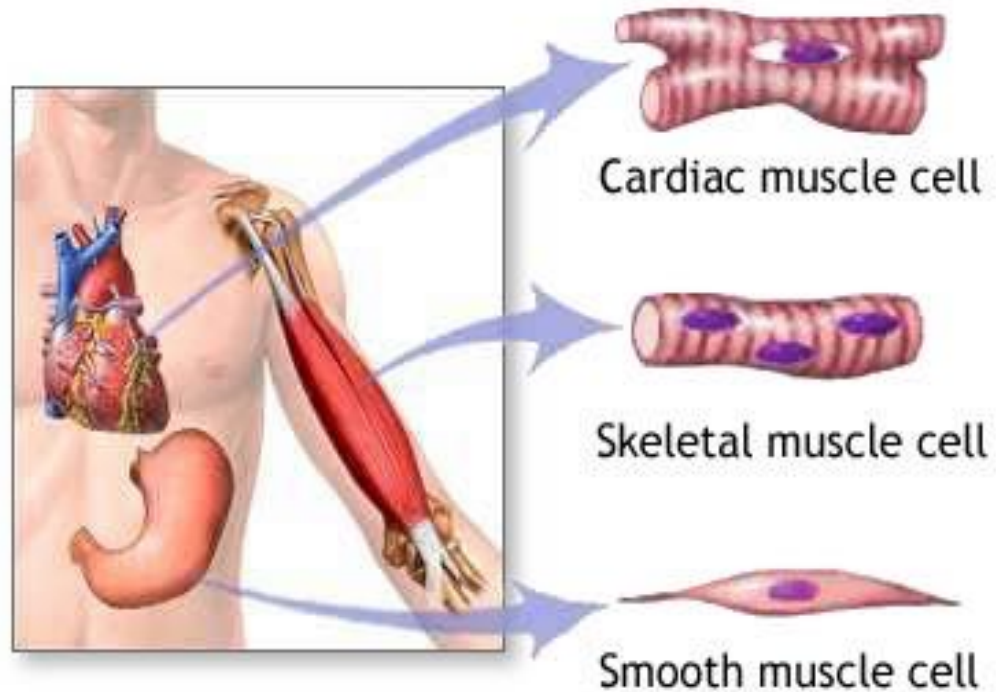
- skládá se z buněk protažených do délky (**svalové buňky**), obsahujících v cytoplazmě **kontraktilní elementy** (myofilamenta)
- **vazivo** vytváří **obaly** kolem svalových jednotek a **šlachy** umožňující úpon svalů ke kostem
- funkce – stažlivost (kontraktilita) → mechanické napětí

Terminologie

- mys/myos (sval)
 - myocyt (svalová buňka)
- sarx/sarcós (maso)
 - buněčná membrána = sarkolema
 - cytoplazma = sarkoplazma
 - hladké ER = sarkoplazmatické retikulum

- rhabdos (pruh, tyčinka) - rhabdomyocyt
- leios (hladký) - leiomyocyt
- cardia (srdce) - kardiomyocyt

Typy svalové tkáně:



Základní stavební a funkční jednotkou tkáně je **svalová buňka!**

- Svalové vlákno kosterní sv. - **rhabdomyocyt**
- Svalová buňka srdeční sv.- **kardiomyocyt**
- Svalová buňka hladké sv. - **leiomyocyt**

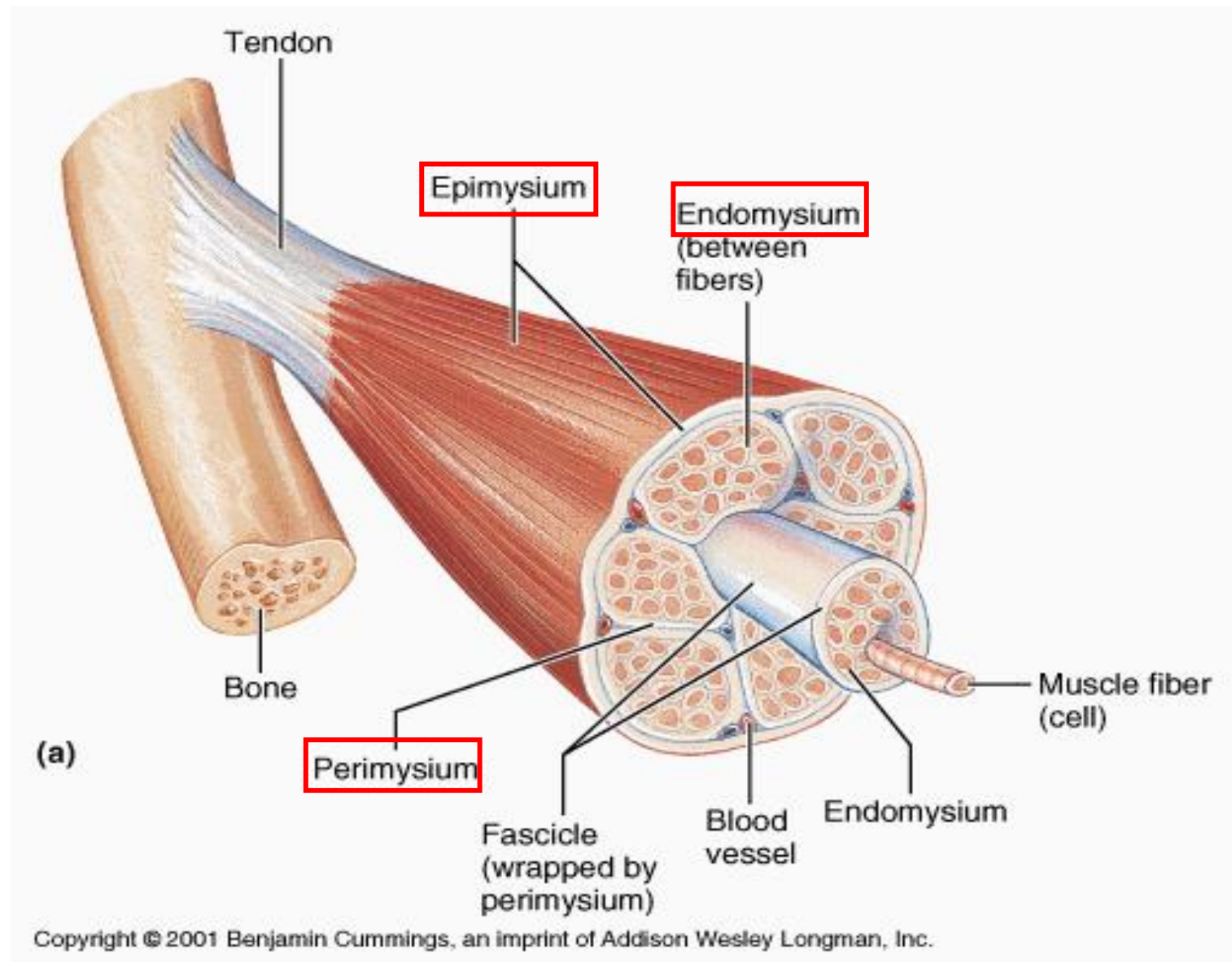
Vazivo ve svalu

– obsahuje cévy a nervy

– **vazivové obaly**

- epimysium
- perimysium
- endomysium

– **šlachy**

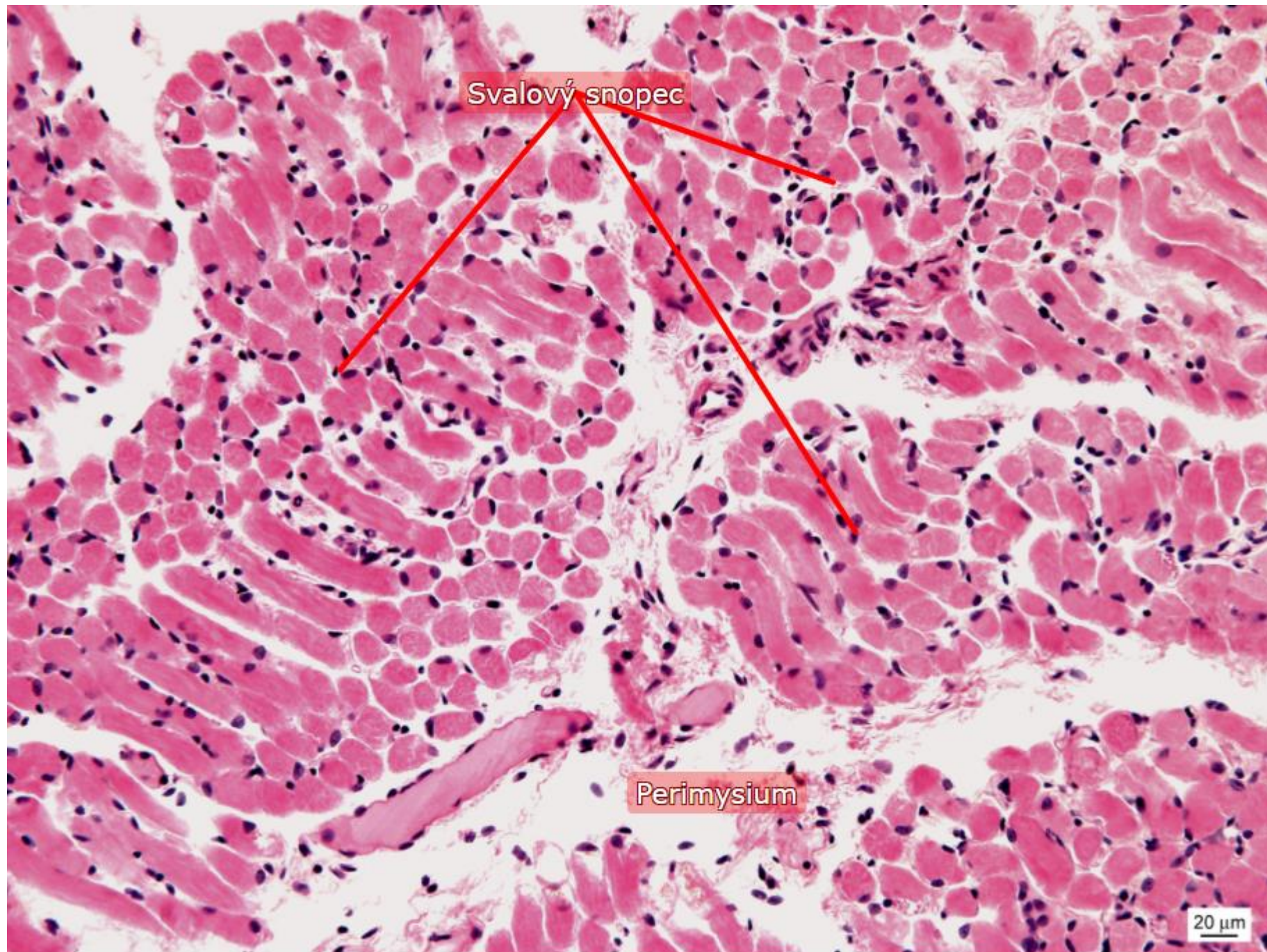
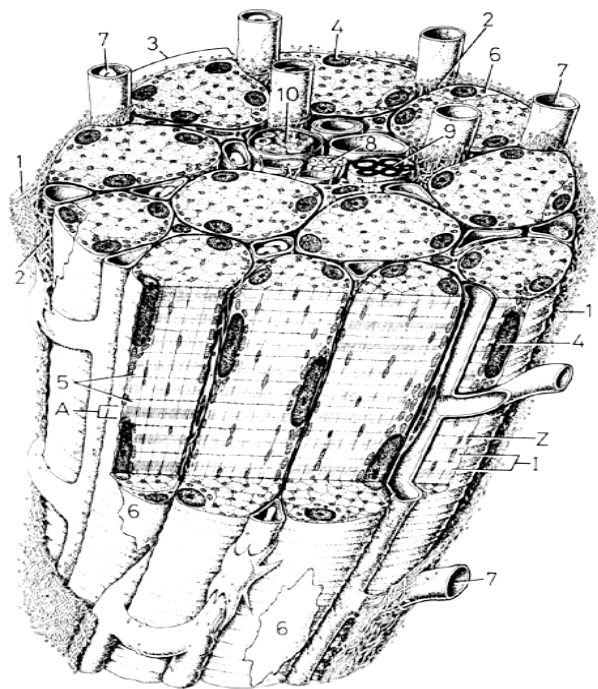


Svalová tkáň příčně pruhovaná (kosterní)

- morfologická a funkční jednotka: svalové vlákno (rhabdomyocyt)
 - mnohojaderný útvar (=syncytium) s jádry uloženými periferně (pod sarkolemou)
- průměr: 10-100 μm
- délka: milimetry - centimetry (až 15 cm)
- **kosterní svalovina**
- svalová vlákna (rhabdomyocyty) se sdružují do **svalových snopců**

Svalový snopec

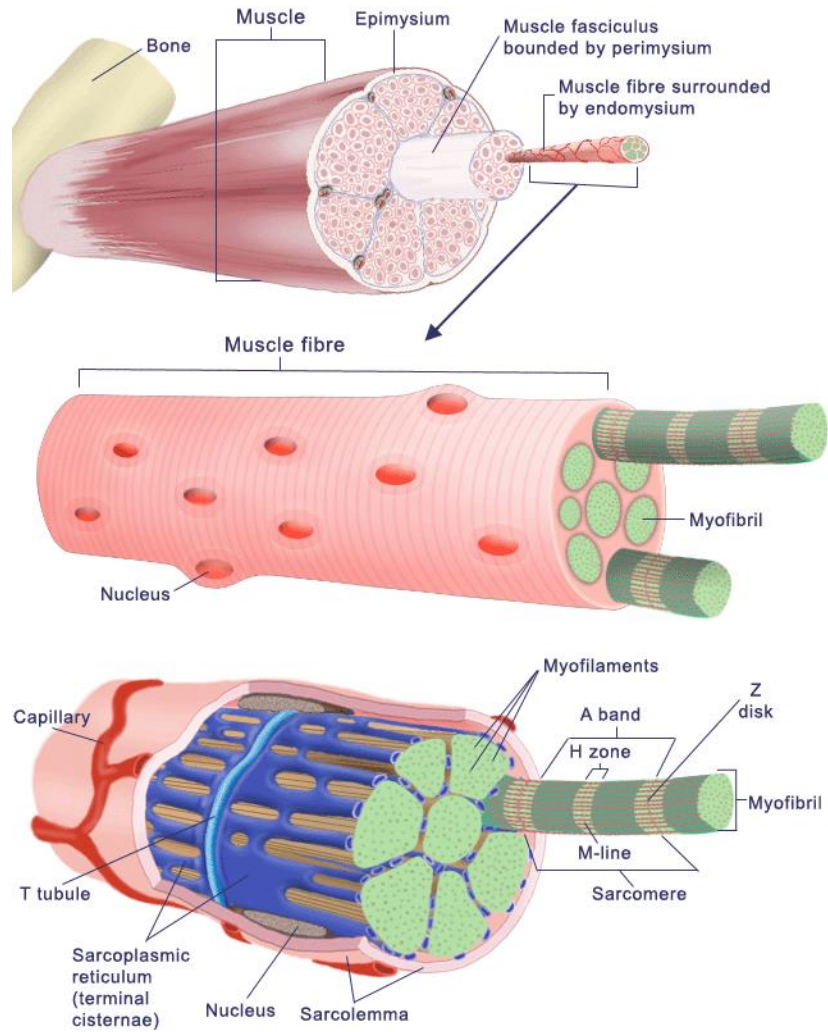
= svazek svalových vláken
(rhabdomyocytů)



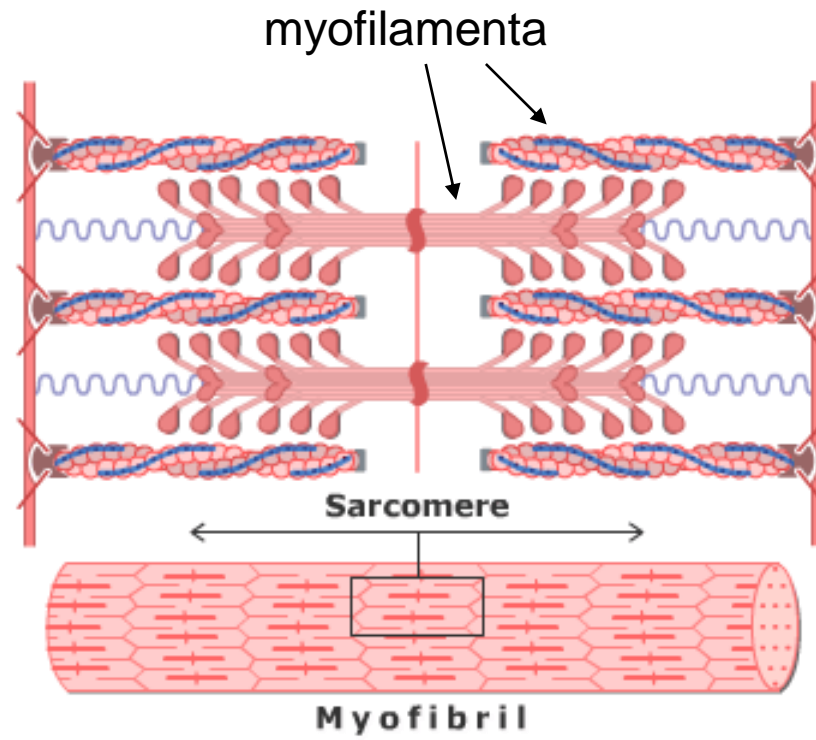
Rhabdomyocyt - pojmy

- **svalové vlákno (rhabdomyocyt)** – morfol. a funkční jednotka koster. svalu [\emptyset 10 – 100 μm]
- **myofibrila** – strukturní složka sarkoplazmy [\emptyset 0,5 – 1,5 μm]
- **myofilamentum** – aktin a myosin, uspořádání do sarkomer (několik za sebou v délce myofibrily) [\emptyset 7 and 15 nm]
- **sarkomera** – nejmenší kontraktilní jednotka [2,5 μm]

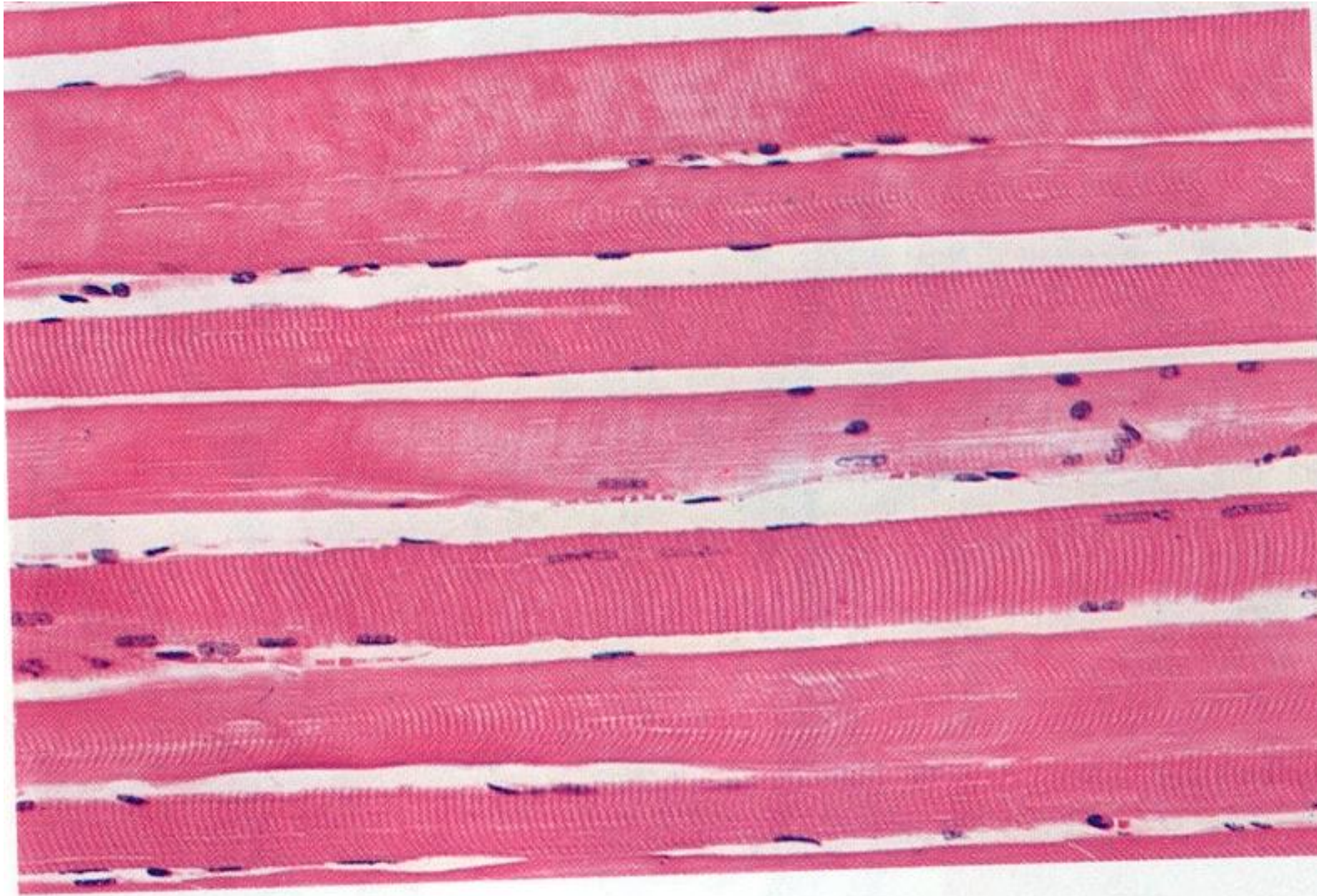
rhabdomyocyt → myofibrily → myofilamenta



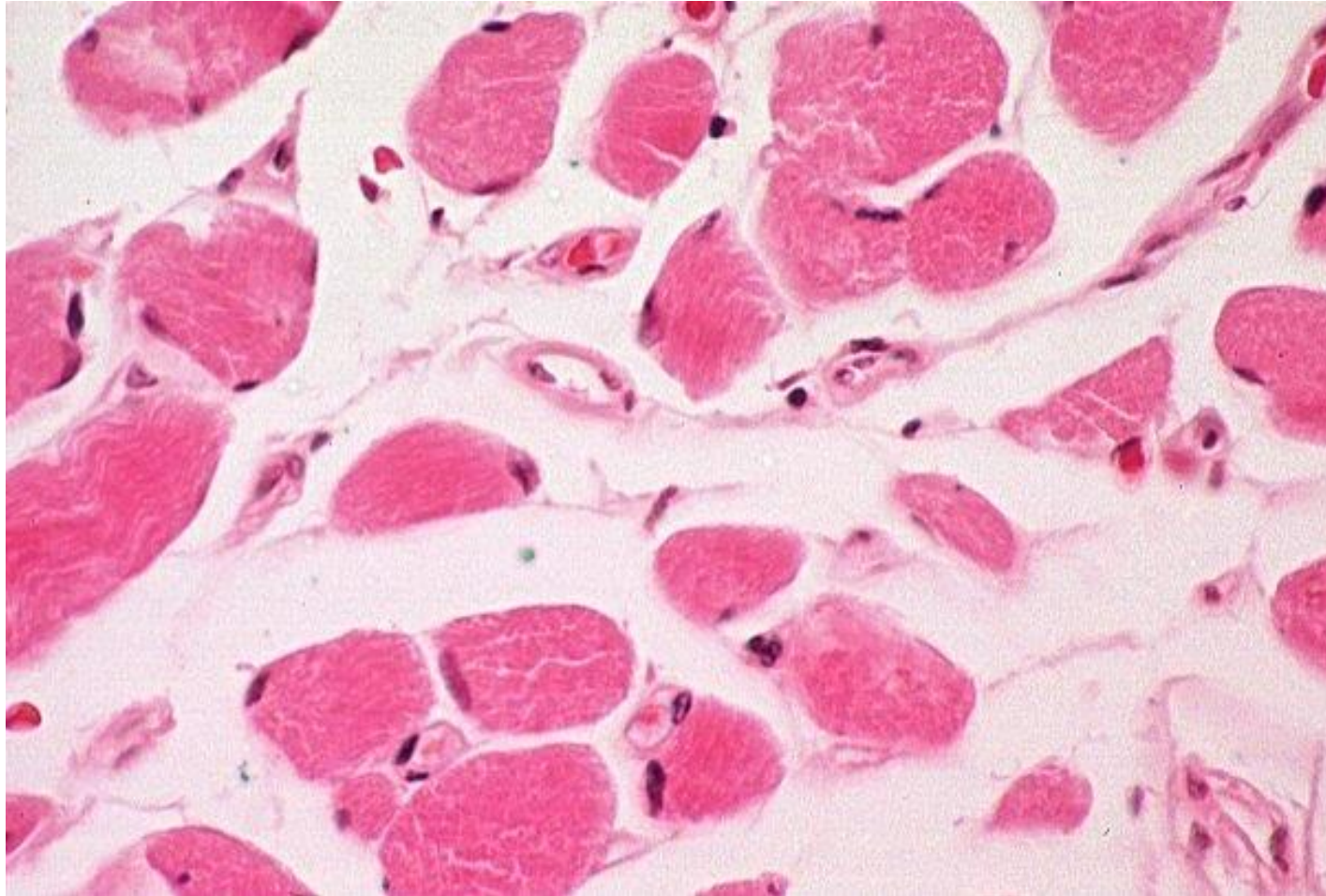
sarkomera (funkční jednotka)



Rhabdomyocyty (podélně)

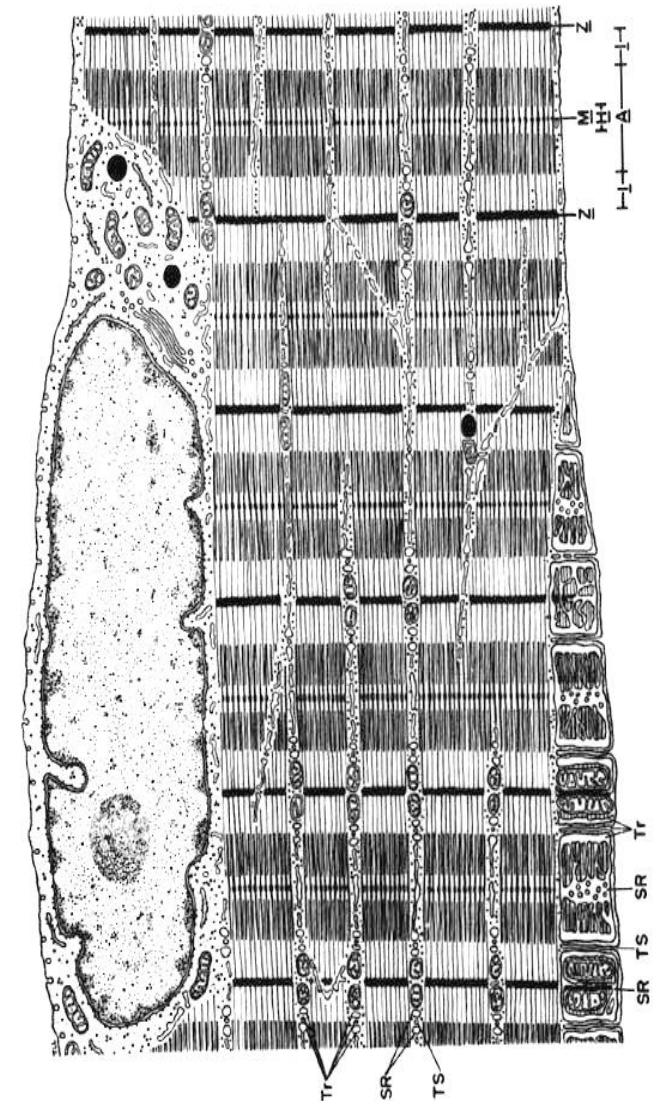


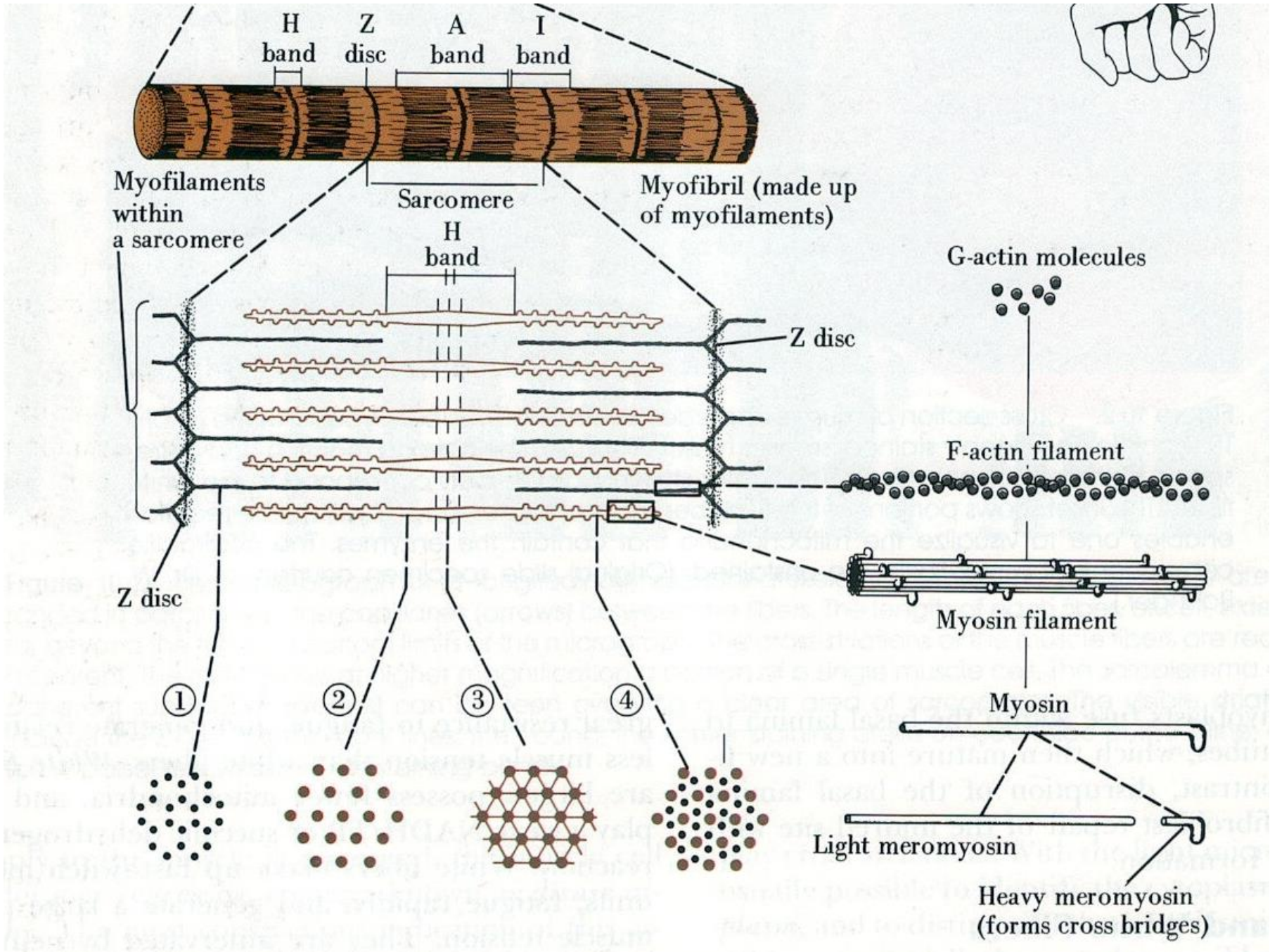
Rhabdomyocyty (příčně)



Stavba svalového vlákna = rhabdomyocytu

- sarkolema + T-tubuly
- mnoho jader (25-40 na 1mm délky) uložena pod sarkolemou
- sarkoplazma:
 - myoglobin (přenos O_2)
 - myofibrily, složené z aktinu a myosinu → jednotky sarkomery
 - organely: především mitochondrie, Golgiho aparát, hladké ER = sarkoplazmatické retikulum (zásobárna Ca^{2+})
 - inkluze: glykogen, lipidové kapky
- na vnějším povrchu rhabdomyocytu je tenká lamina basalis (vrstvička extracelulární hmoty)





Myofibrily, sarkomery (ELM)



sarkomera

I – proužek

A – proužek

I – proužek

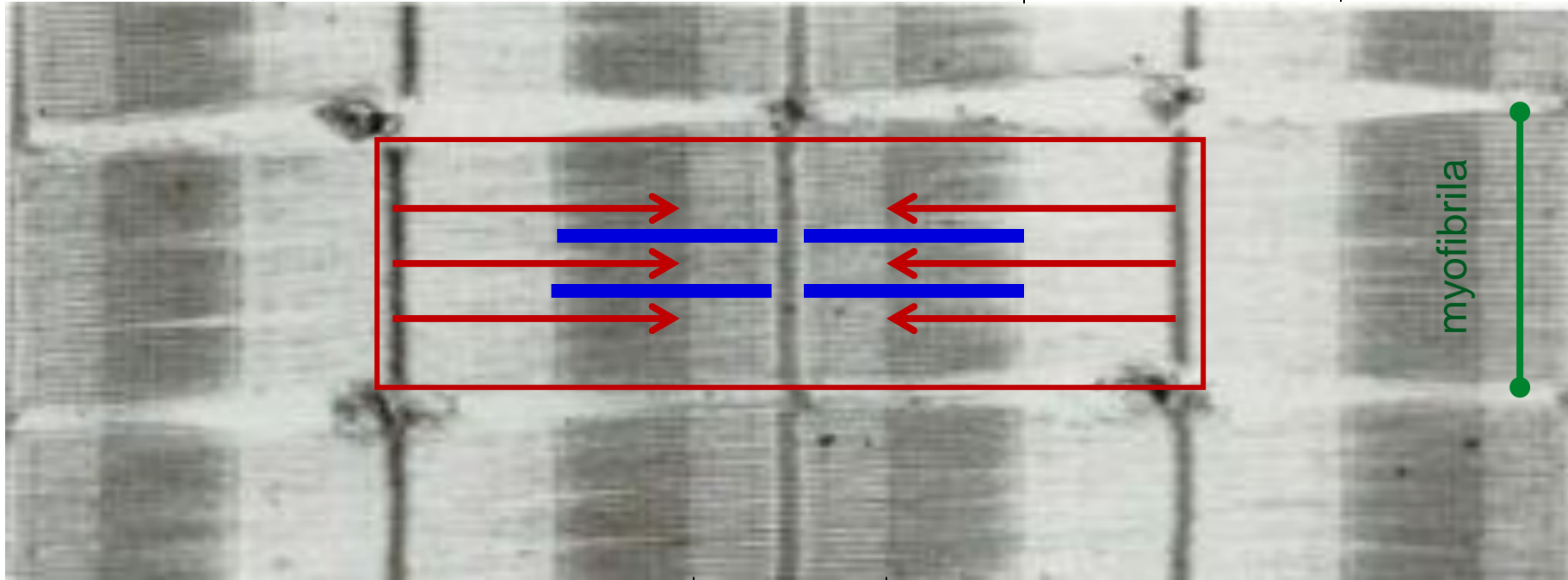
aktin

aktin+
myozin

myozin

aktin+
myozin

aktin



Z-linie

M-linie

Z-linie

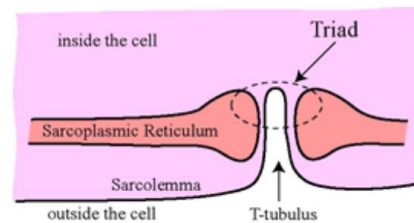
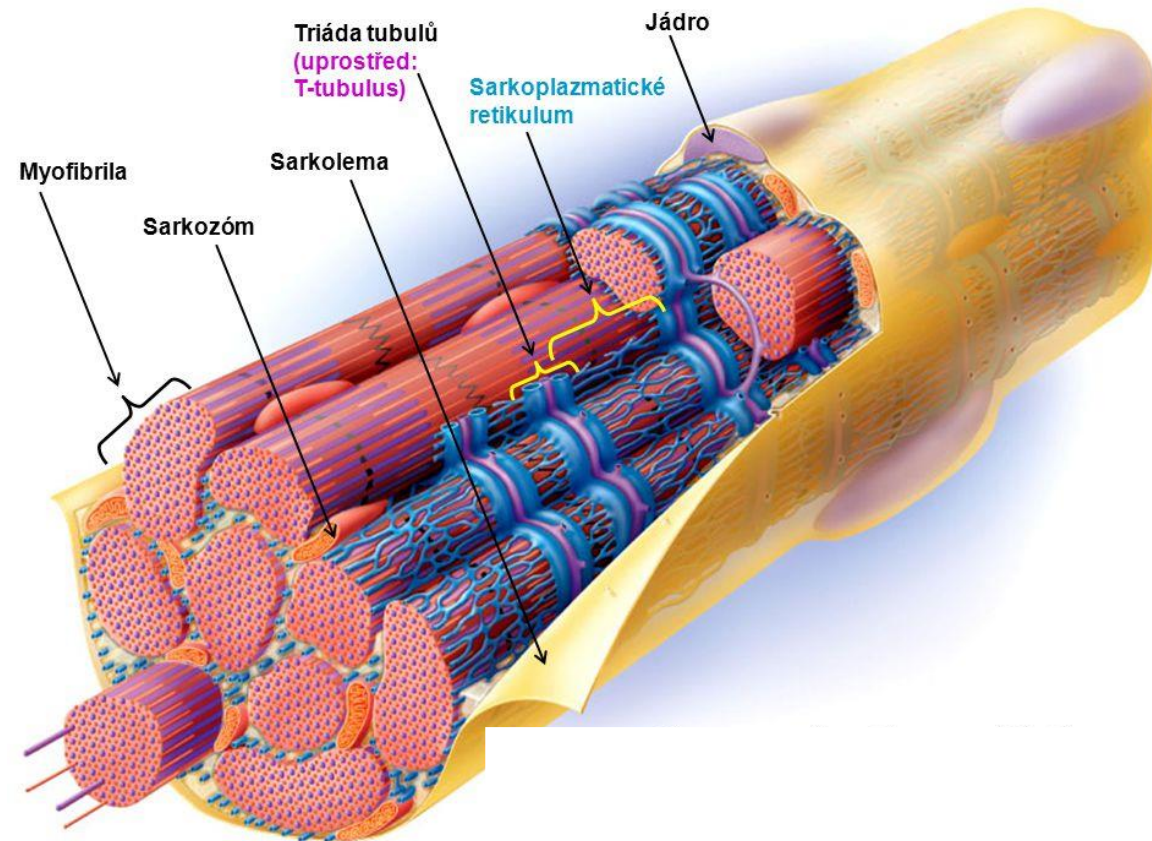
myofibrila

H - zóna

Z-linie = telofragma
M-linie = mesofragma

T-tubuly a triády

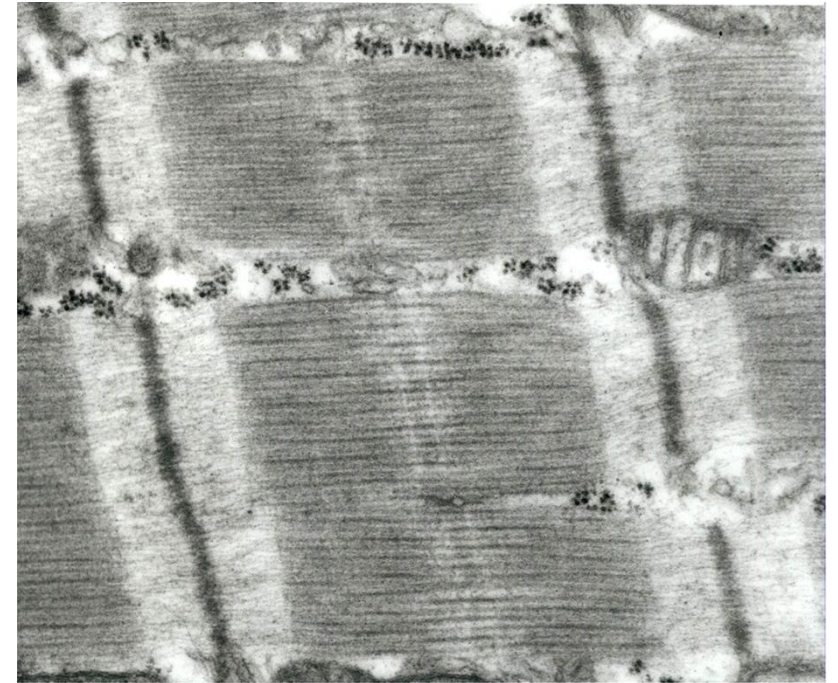
- **T-tubuly** = invaginace sarkolemy do svalového vlákna (~úzké trubičky), vždy mezi 2 terminální cisterny sarkoplazmatického retikula (hladké ER, zásobárna Ca^{2+} iontů)
- **Triáda** = 1 T-tubulus a 2 terminální cisterny sarkoplazmatického retikula (na rozhraní anizotropního a izotropního proužku)
- T-tubuly slouží k **propagaci akčního potenciálu** ze sarkolemy do nitra → **otevření iontových kanálů** na sarkoplazmatickém retikulu → **uvolnění Ca^{2+}** do cytoplazmy → **kontrakce**



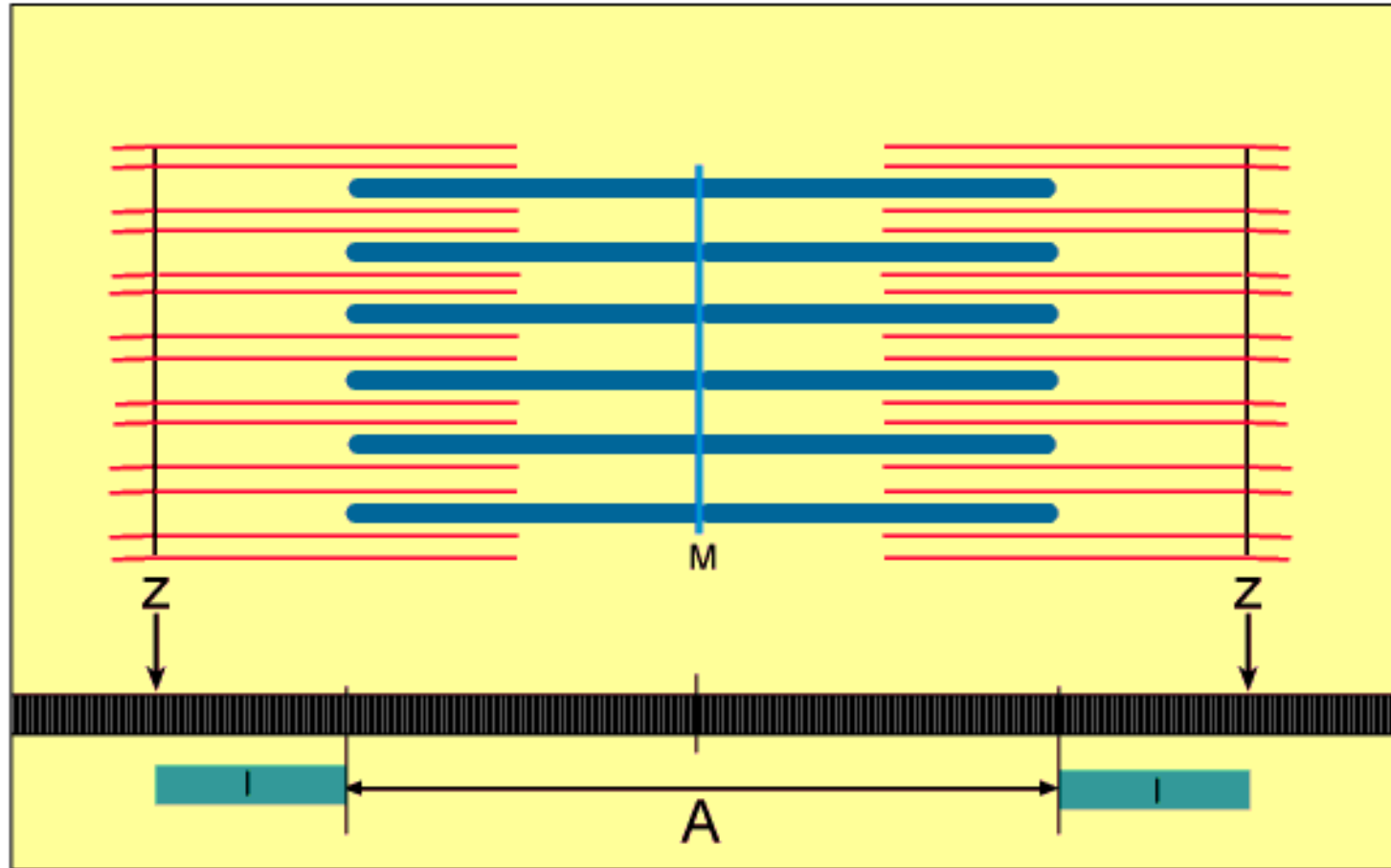
<https://slideplayer.cz/slide/3138703/11/images/17/Svalov%C3%A1+bu%C5%88ka+J%C3%A1dro+Tri%C3%A1da+tubul%C5%AF+%28uprost%C5%99ed%3A+T-tubulus%29.jpg>

Myofilamenta

- **tlustá**: pouze v rozsahu A-proužku, **myozin**, tloušťka 15 nm, délka 1,6–1,8 μm
- **tenká**: v rozsahu I-proužku a zasahují i do A-proužku, **aktin** a **regulační proteiny**, tloušťka 7 nm, délka 1,5 μm
- **zkrácení myofibril** při kontrakci se děje na principu **posuvného mechanismu**, **délka** tenkých a tlustých **myofilament se nemění!!!**

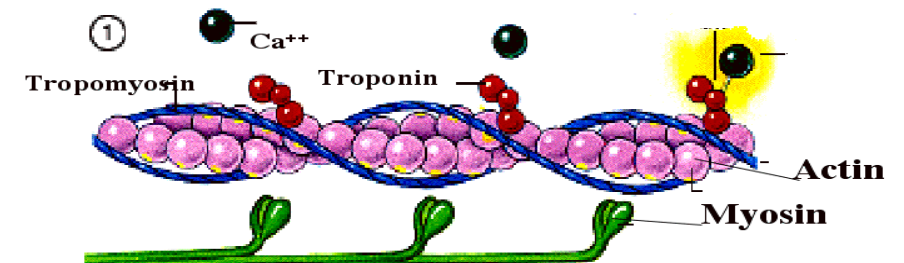
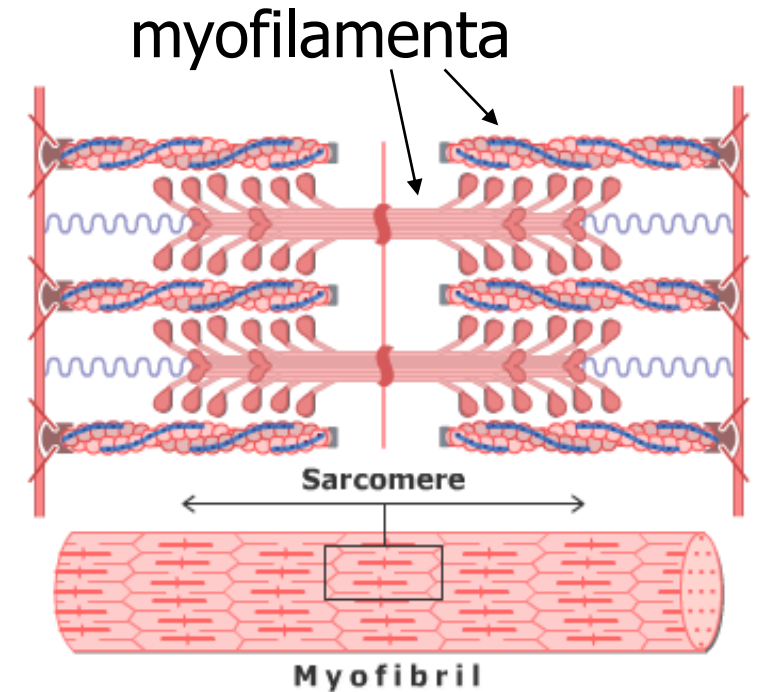


Sarkomera



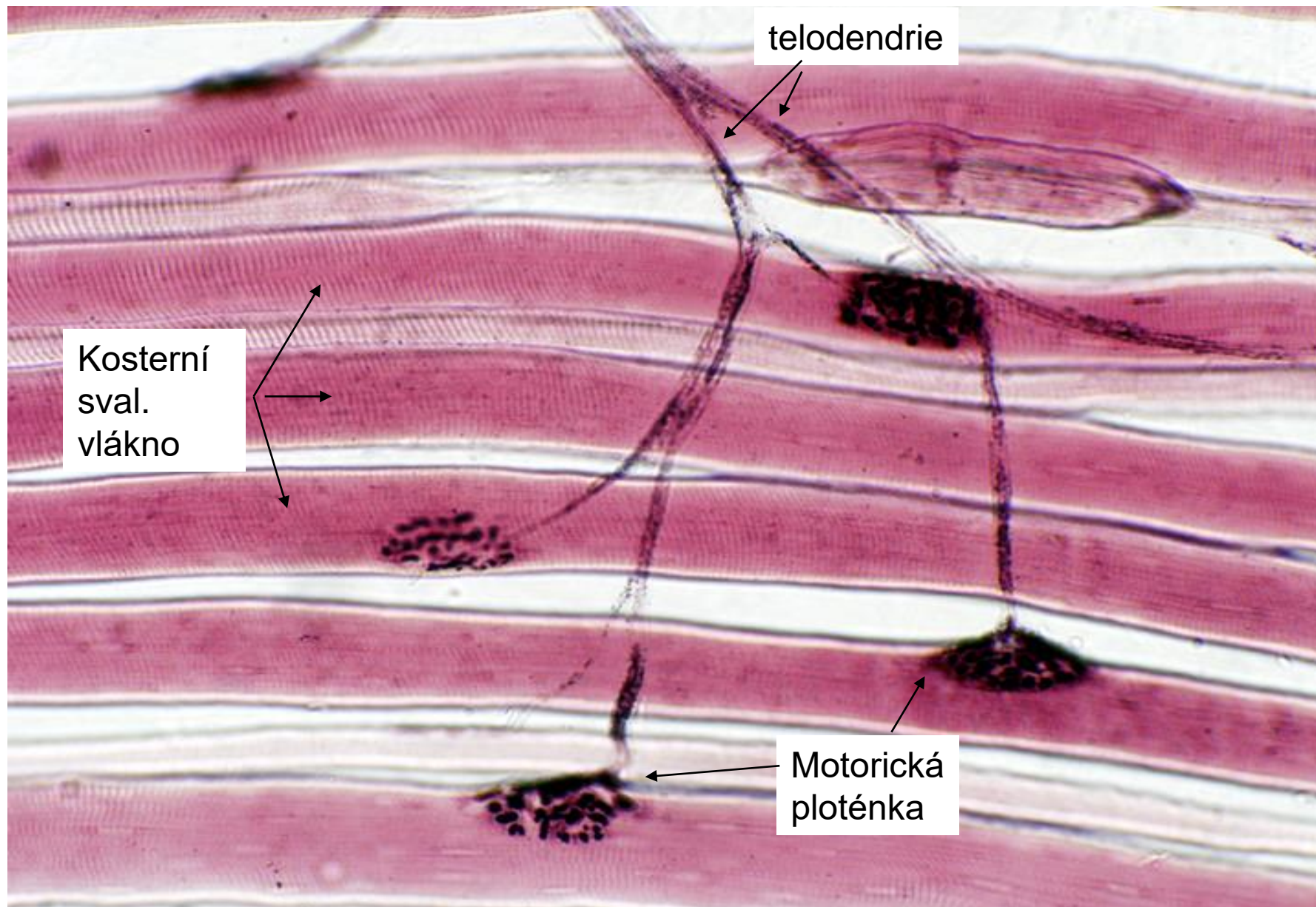
Stavba myofilament

- Tlustá - **myozin** - molekuly tvaru golfové hole
- Tenká - **aktin** + regulační proteinový komplex **troponinu** a **tropomyozinu**
- **Tropomyozin** obtáčí vlákno aktinu
- **Troponin** - 3 podjednotky:
 - **TnC** odpovídá za vazbu vápenatých iontů
 - **TnT** váže troponin k tropomyozinu,
 - **TnI** inhibuje interakci aktinu s myozinem



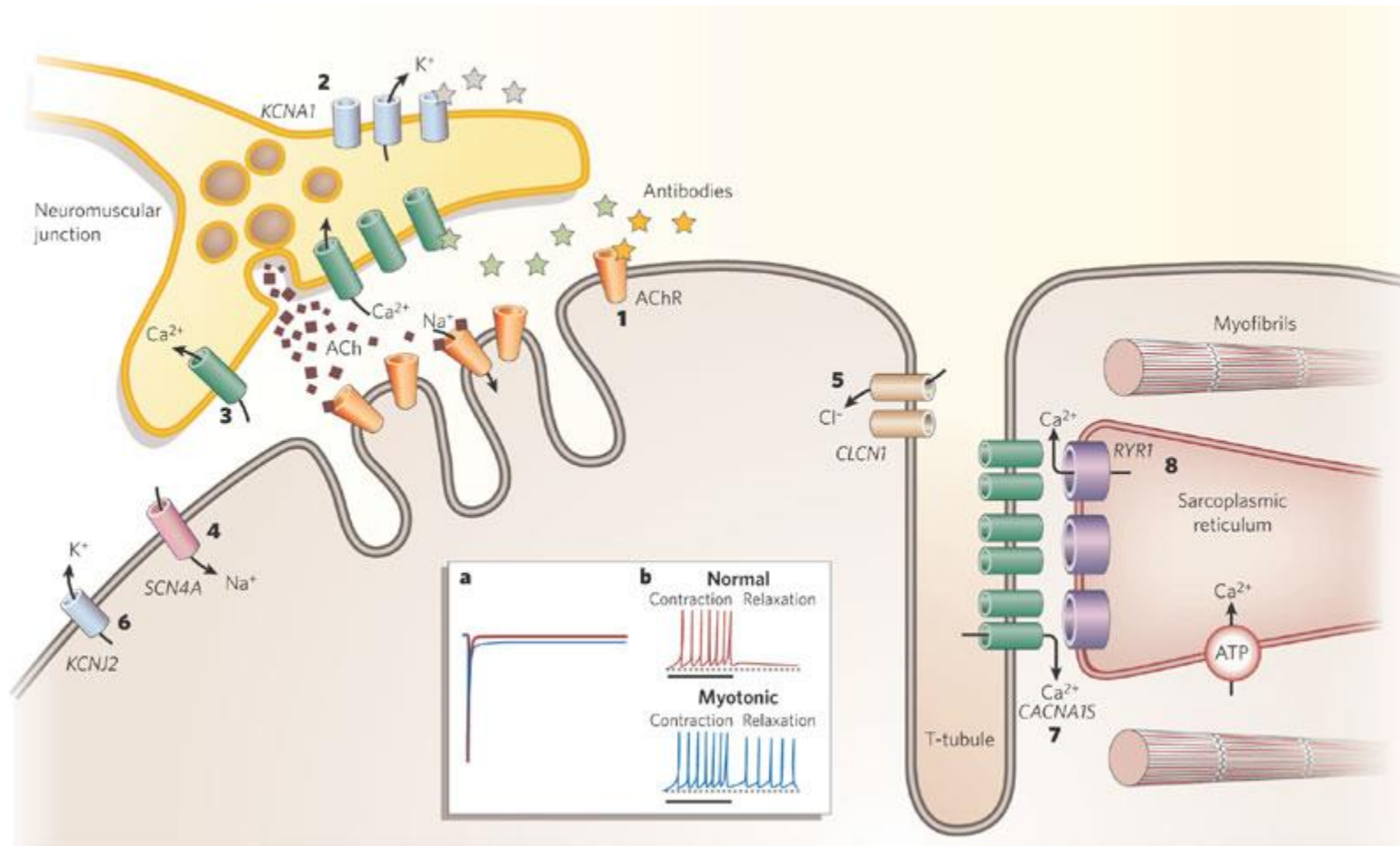
Motorické ploténky v motorické jednotce

- Tato svalová vlákna s kontrahují současně



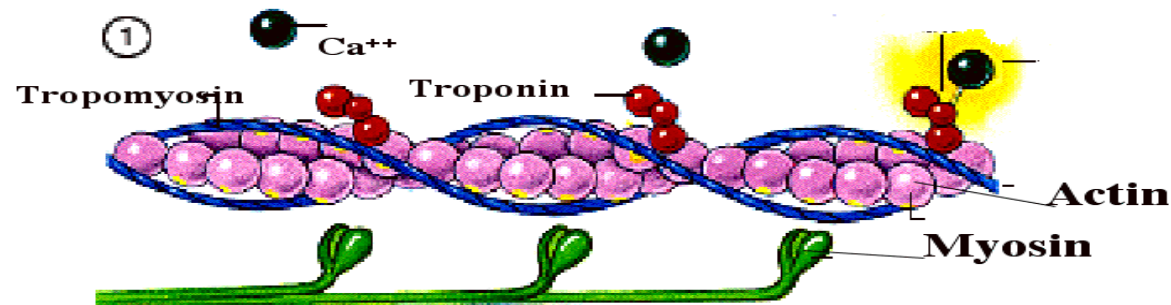
Přenos vzruchu

Motorický neuron - acetylcholin - šíření AP T-tubuli - otevření Ca^{2+} kanálů
Acetylcholin je v synaptické šterbině velmi rychle štěpen cholinesterázou

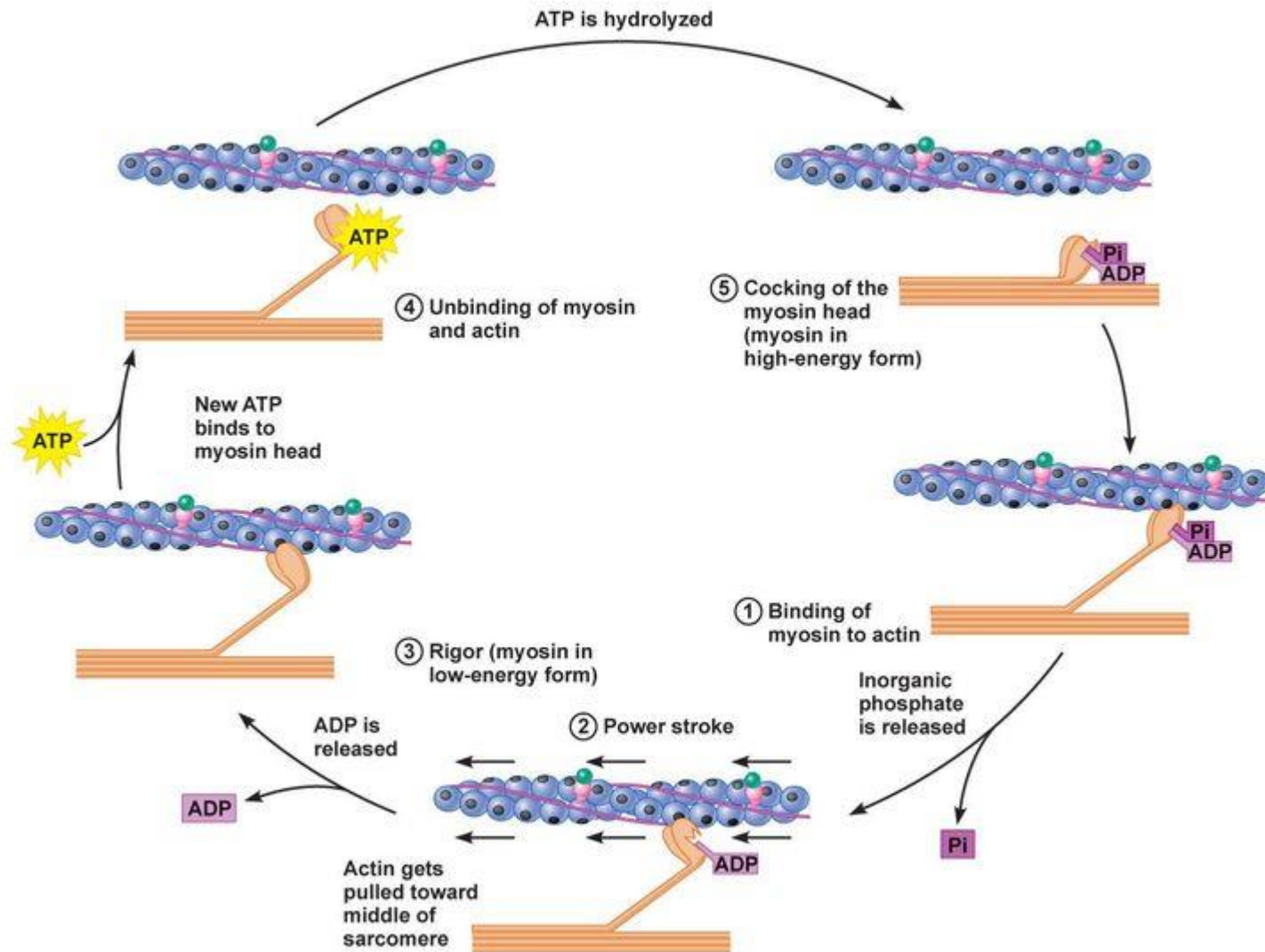


Fáze svalové kontrakce

- Ca^{2+} + troponin → odkrytí vazebných míst na aktinových filamentech pro myozinové hlavice (ATPáza)
- interakce myozinové hlavice + aktinové filamentum
- myozinové hlavice (ATPáza) → uvolní se energie → ohnutí krčku a hlavice → posun aktinových vláken ke středu sarkomery
- konec depolarizace: Ca^{2+} zpět do sarkoplazmatického retikula



Mechanismus kontrakce



© 2011 Pearson Education, Inc.

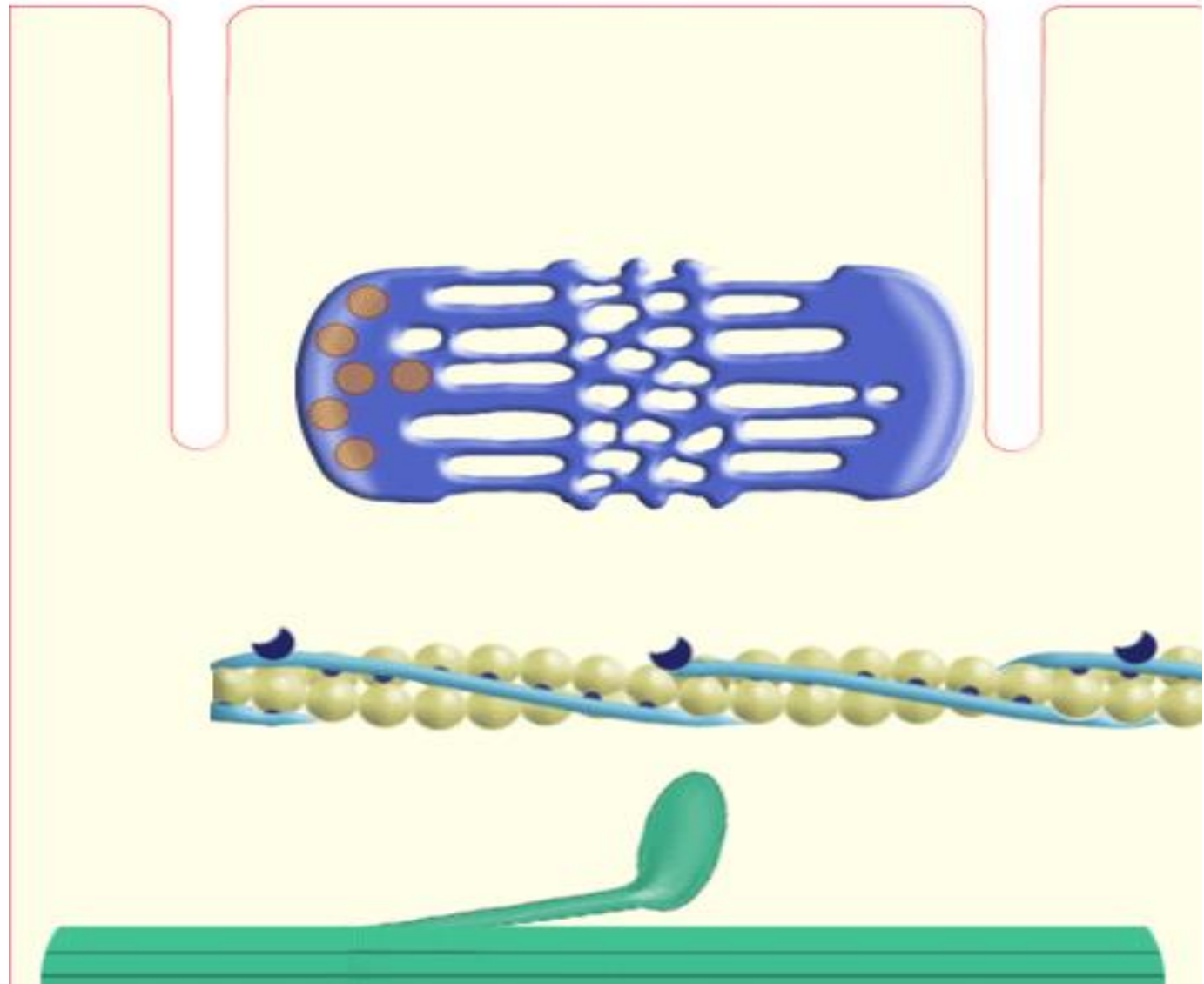
Kontrakce:

Šíření akčního potenciálu \Rightarrow T-tubulus \Rightarrow cisterny SR

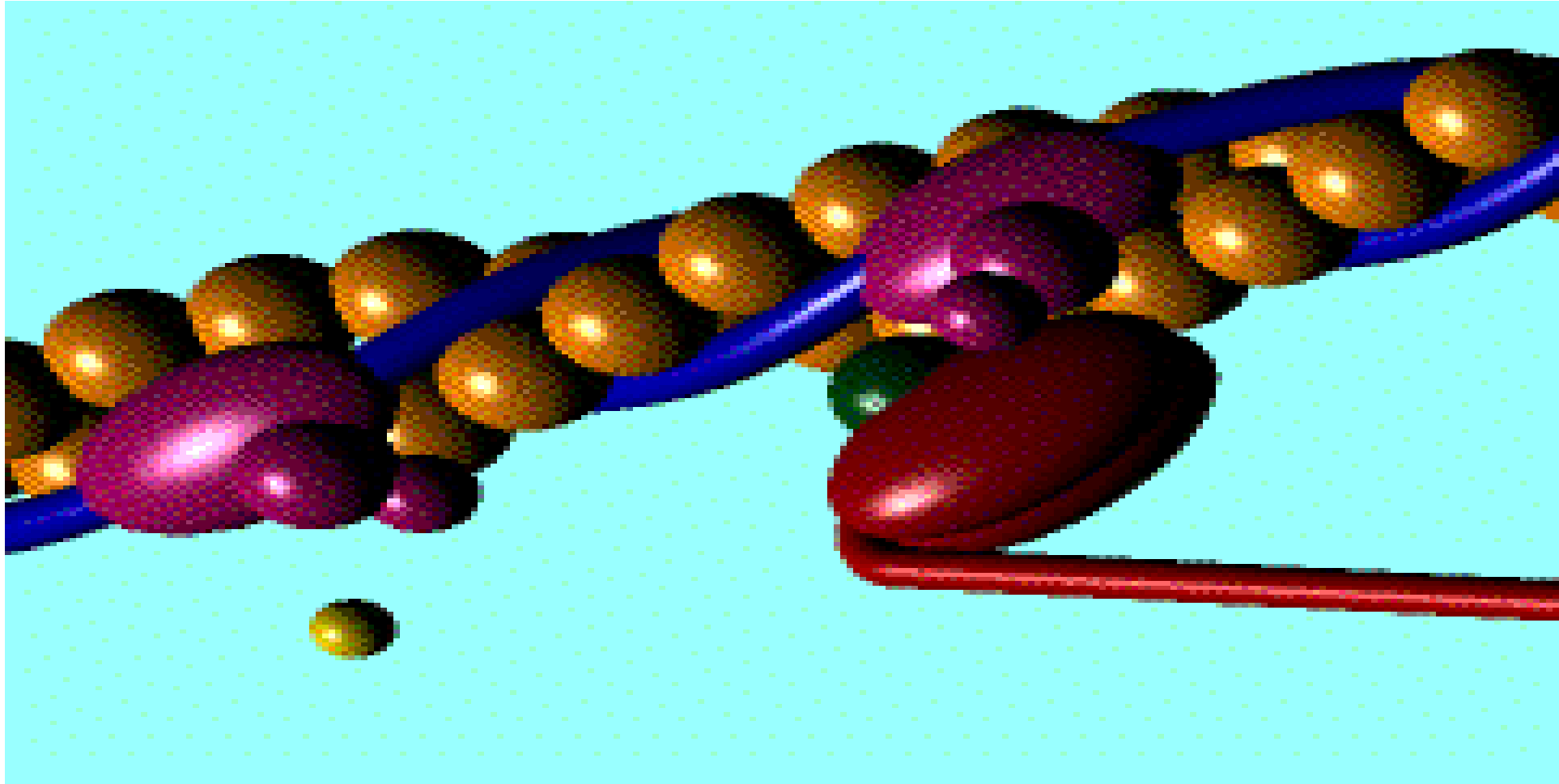
Uvolnění Ca, vazba Ca na troponin

Změna konfigurace troponinu a odkrytí vazebných míst pro myozin na aktinu

Hlavice myozinu (ATP)
vazba myozin + aktin,
ohnutí krčku hlavice,
posun aktinu do středu sarkomery



Svalová kontrakce



- Ca^{2+} + na **TpC**
- **TpT** + tropomyozin
- štěpení **ATP**
- myozin + aktin - kontrakce

Klasifikace svalových vláken

– Červená vlákna

- ↑ myoglobin, mitochondrie, lipidové kapky
- ↓ myofibrily, glykogen – pomalá, vytrvalá kontrakce



– Bílá vlákna

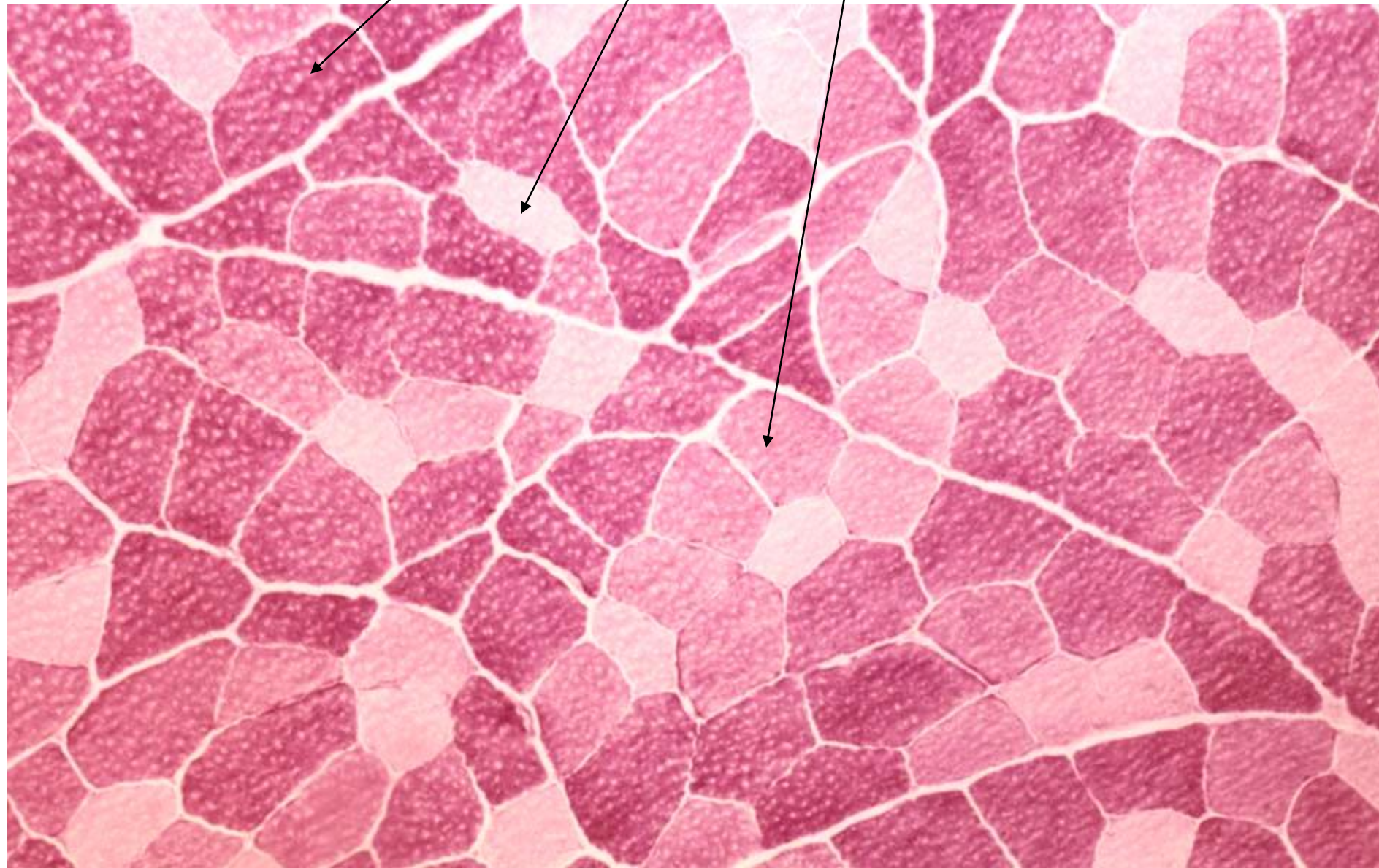
- ↓ myoglobin, mitochondrie, lipid. kapky
- ↑ myofibrily, glykogen – rychlá, krátká kontrakce



– Intermediární vlákna

- rychlá, vytrvalá kontrakce

Svalová vlákna červená, bílá a intermediární



Charakteristika jednotlivých typů svalových vláken

Vlákná	Červená	Intermediární	Bílá
Barva	Tmavá (červená)	Tmavá (červená)	Světlá (bílá)
Obsah myoglobinu	Vysoký	Střední	Nízký
Počet mitochondrií	Hodně malých	Hodně velkých	Málo malých
ATPazová aktivita	Nízká	Vysoká	Vysoká
Typ metabolismu	Oxidativní	Aerobní i anaerobní	Anaerobní, glykolitický
Stah	Pomalý	Rychlý	Rychlý
Unavitelnost	Velmi malá	Malá	Vysoká
Hustota vlásečnic	Velká	Velká	Malá

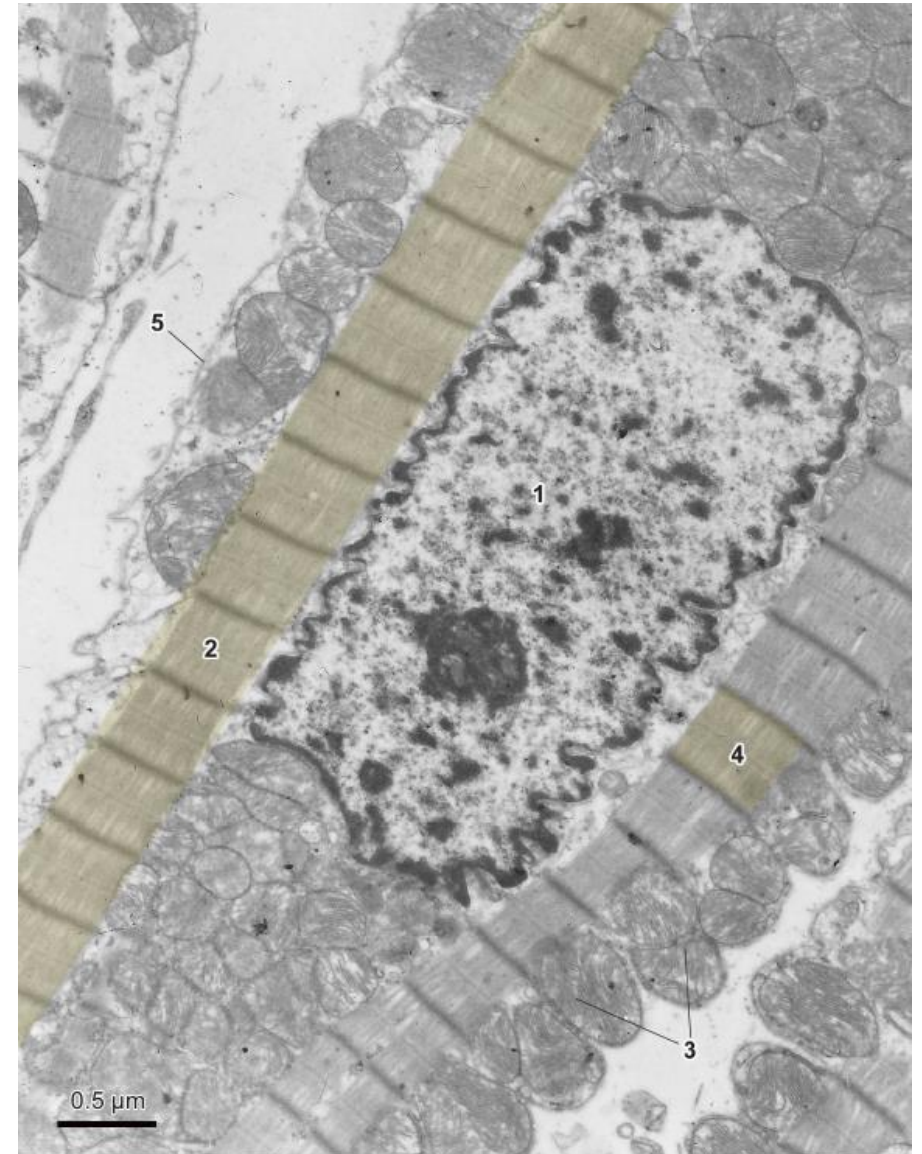
Svalová tkáň příčně pruhovaná srdeční

- morfologická a funkční jednotka: **srdeční svalová buňka** (**kardiomyocyt**) – cylindrická buňka s 1-2 jádry uloženými centrálně
- průměr: 15 μm
- délka: 85-100 μm
- **srdce**
- kardiomyocyty jsou spojeny do vláken a prostorových sítí **interkalárními disky**

Kardiomyocyt

- sarkolema + T-tubuly
- jádro oválné a centrálně (1-2)
- sarkoplazma:
 - myofibrily
 - organely: množství mitochondrií, GER, GA, glykogen, lipidy, sarkoplazmatické retikulum
 - diády (1 T-tubulus + 1 cisterna sarkoplazmatického retikula) - na úrovni Z-linií
- v síních - granula atriálního natriuretického faktoru

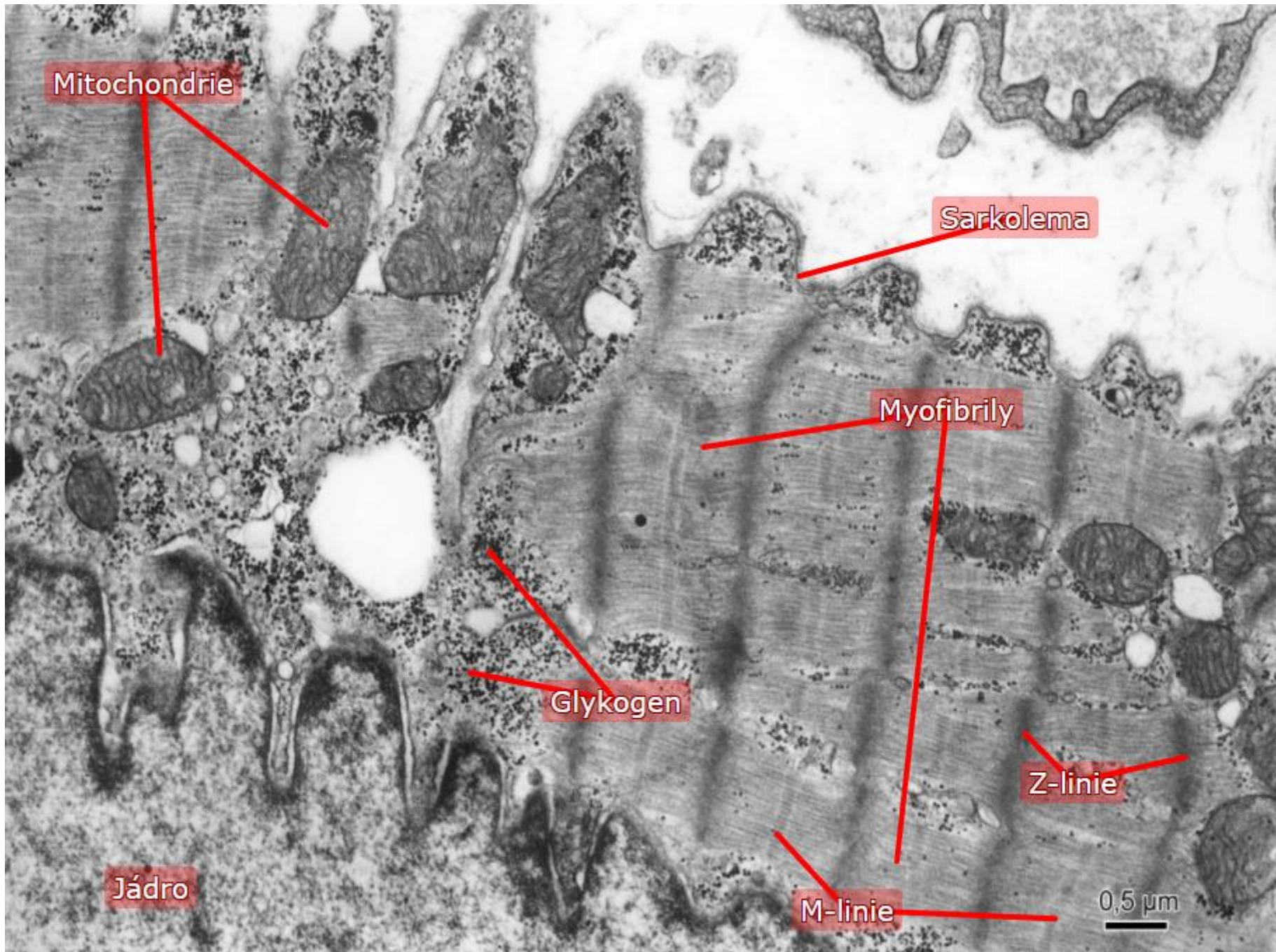
- **pracovní** (kontraktilní) kardiomyocyty
- **vzrušivé** kardiomyocyty



44

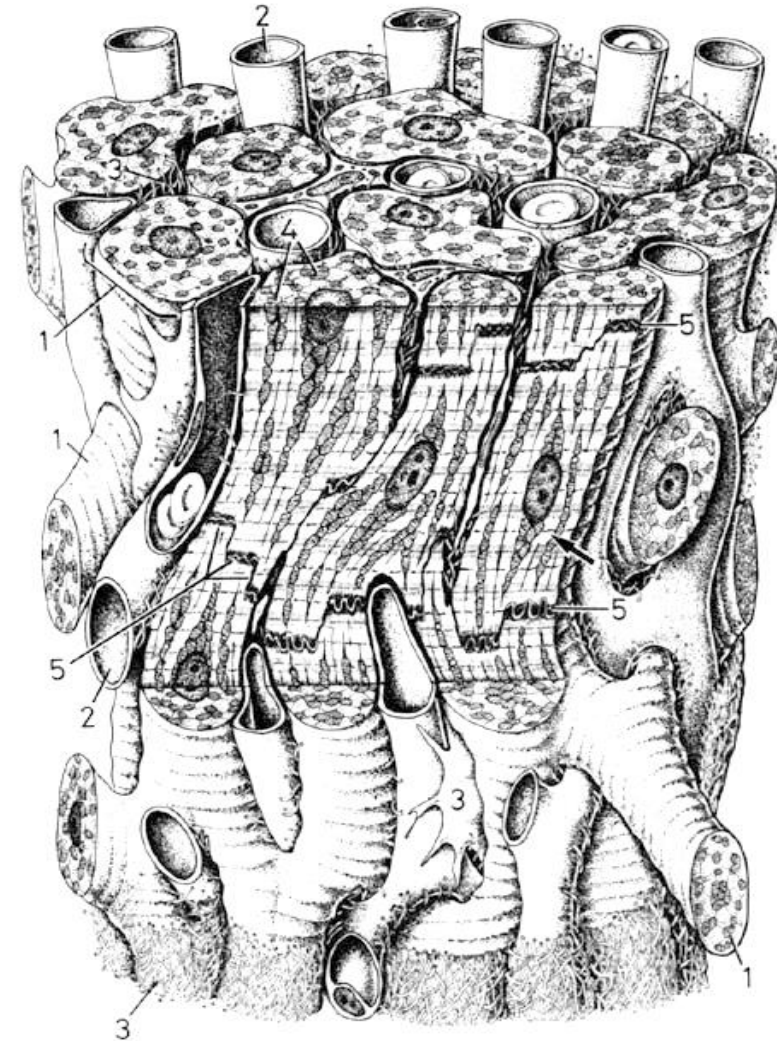
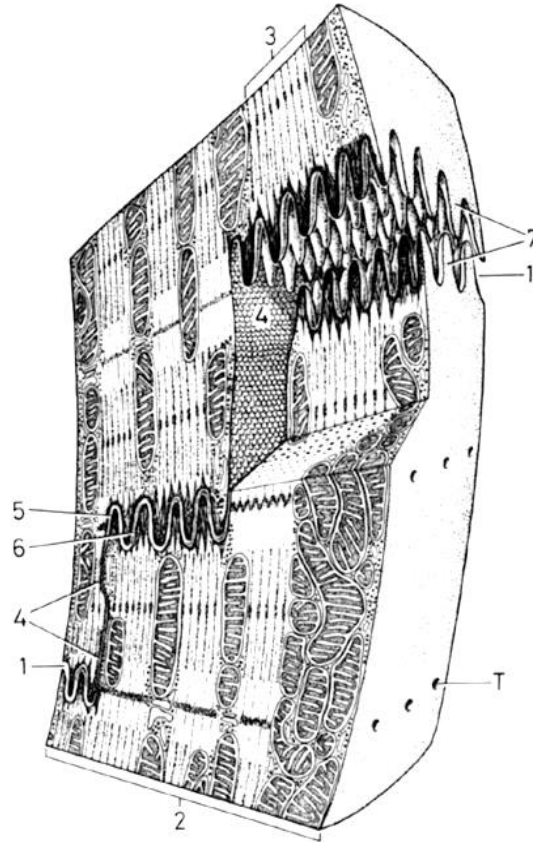
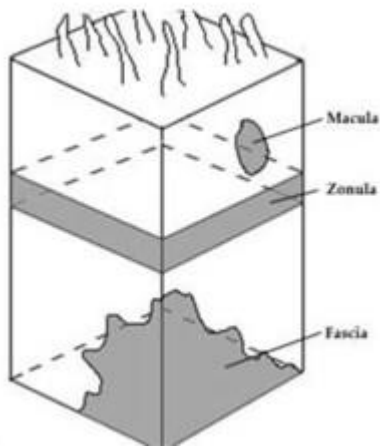
Kardiomyocyt – cardiomyocyte.

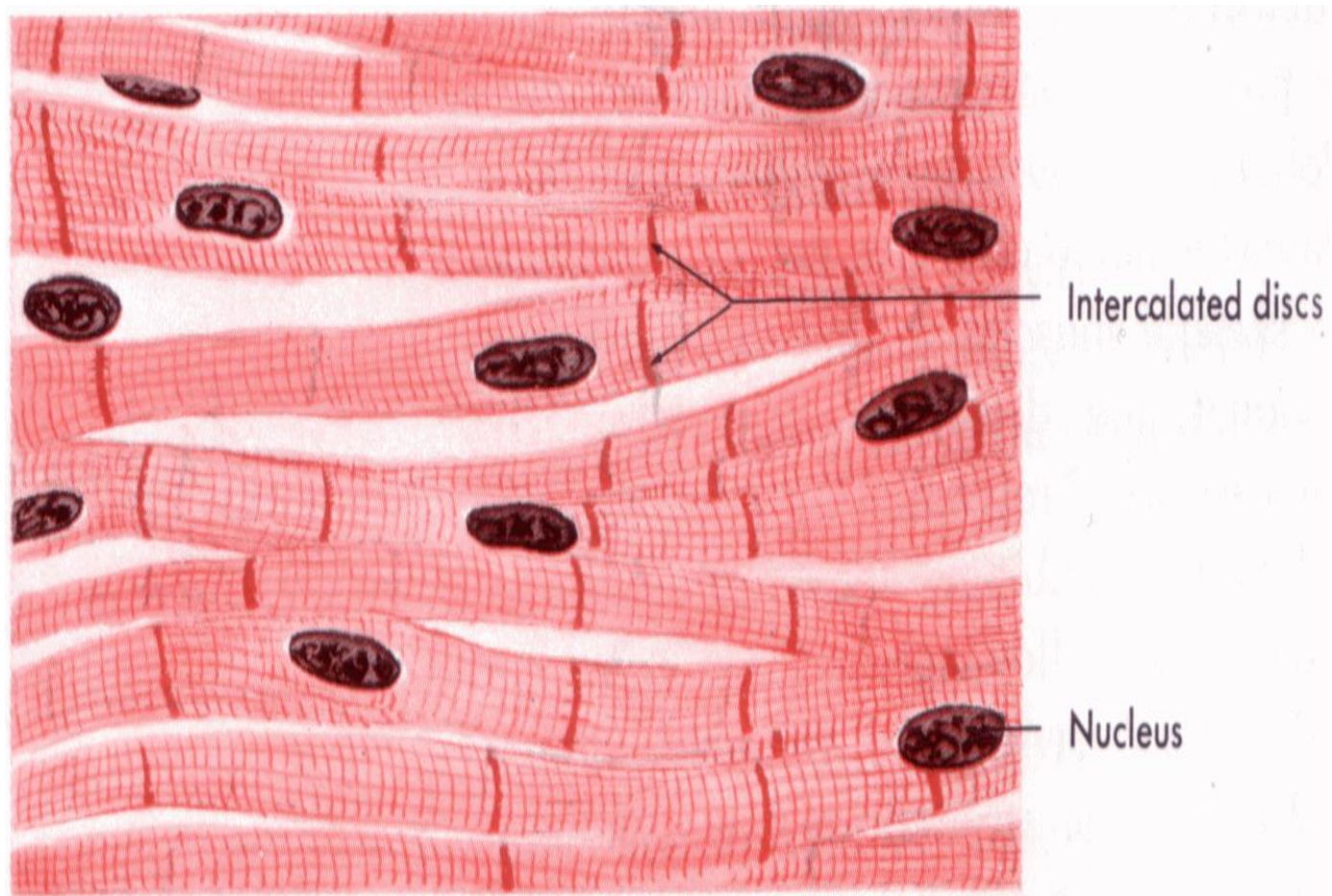
(1) jádro – nucleus, (2) myofibrily – myofibrils, (3) mitochondrie – mitochondria, (4) sarkomera – sarcomere, (5) sarkolema – sarcolemma.



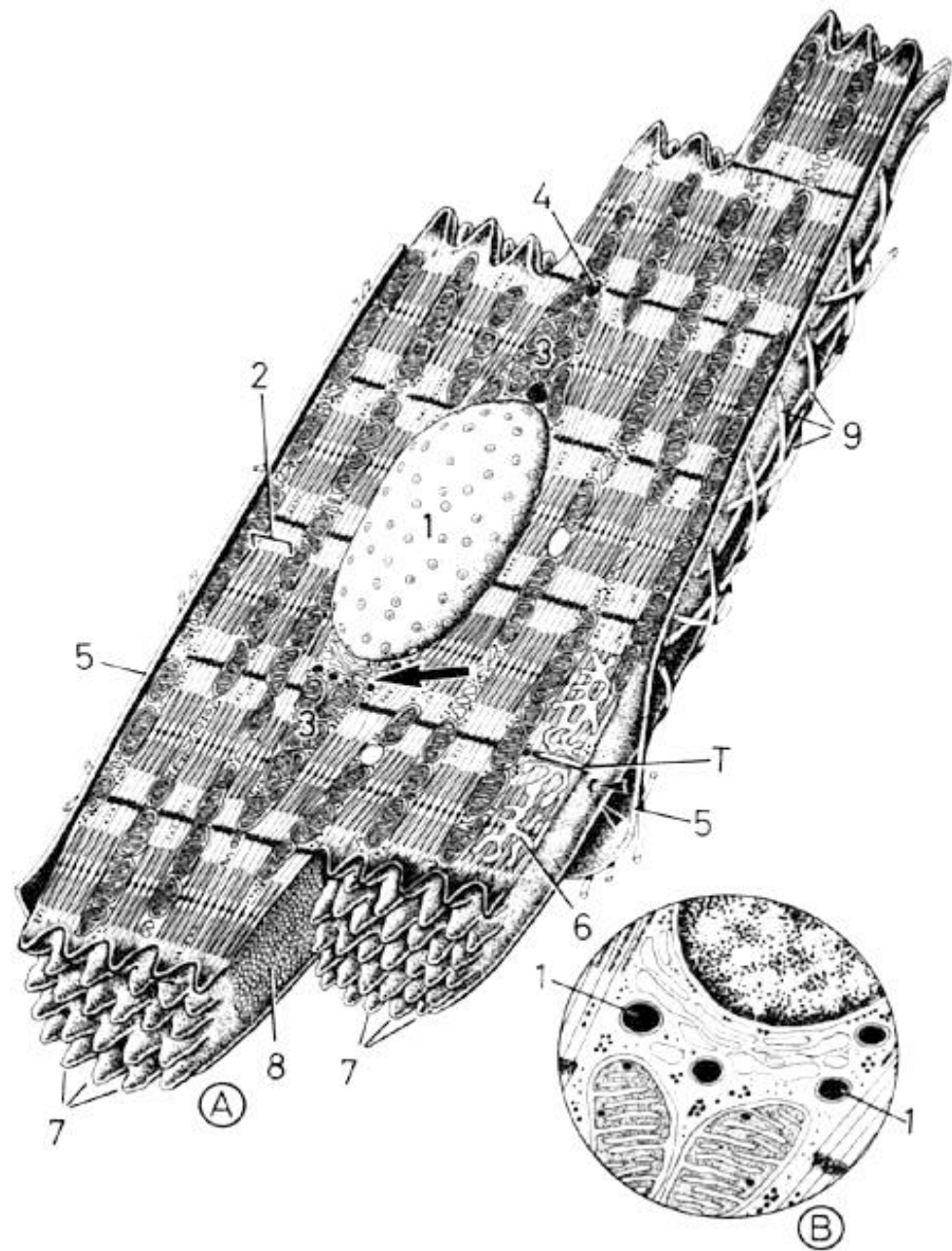
Interkalární disk

- spojení sousedních kardiomyocytů
- intercelulární spoje
 - desmosom
 - fascia adherens
 - nexus (gap junction)



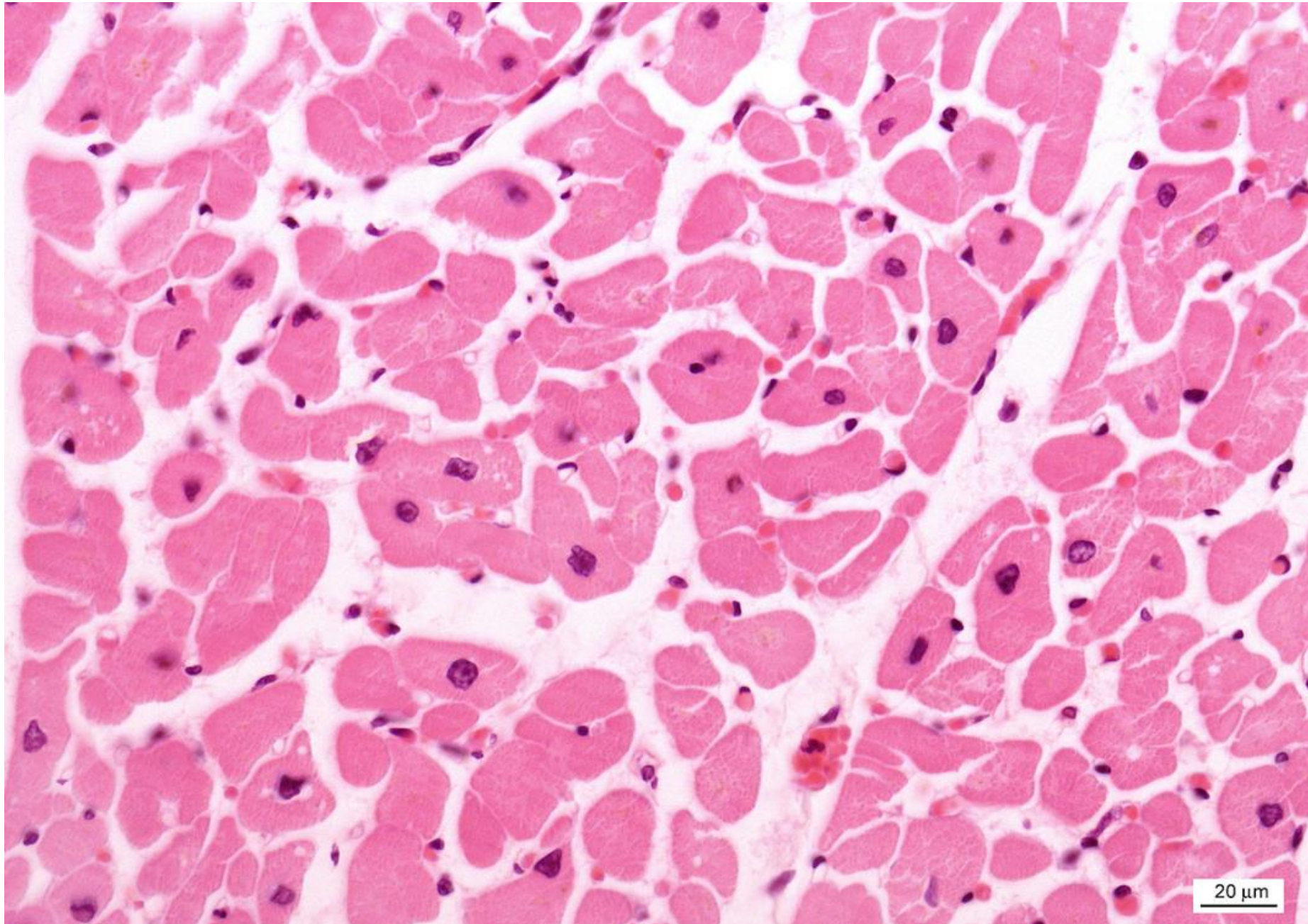


Cardiac or striated involuntary muscle tissue.



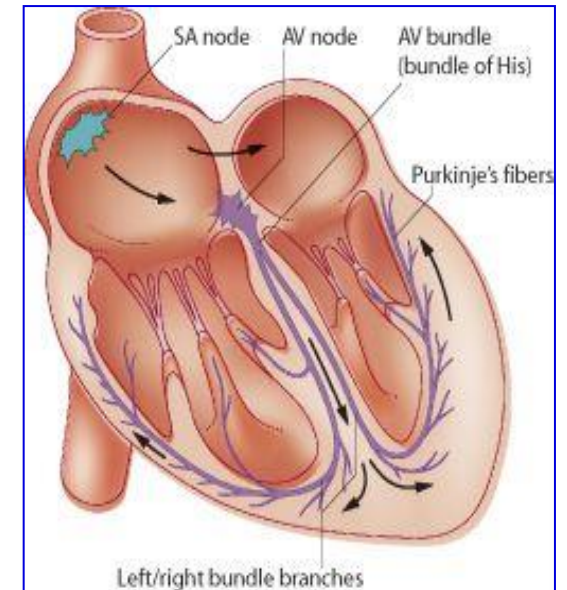


Srdeční svalová tkáň (HE) - příčně



Vzrušivé (nonkontraktilní) kardiomyocyty

- součást převodního (excitomotorického) aparátu srdce: sinusový a síňokomorový uzlík, Hissův svazek rozdělený na pravé a levé raménko a Purkyňova vlákna
- část vzrušivých kardiomyocytů je menší než pracovní (buňky uzlíků), část větší (Hissův svazek, P. vlákna)
- nepoččetné myofibrily, zvýšený obsah glykogenu v sarkoplazmě, chybí T-tubuly a interkalární disky, četné nexusy





**Pracovní
kardiomyocyty**

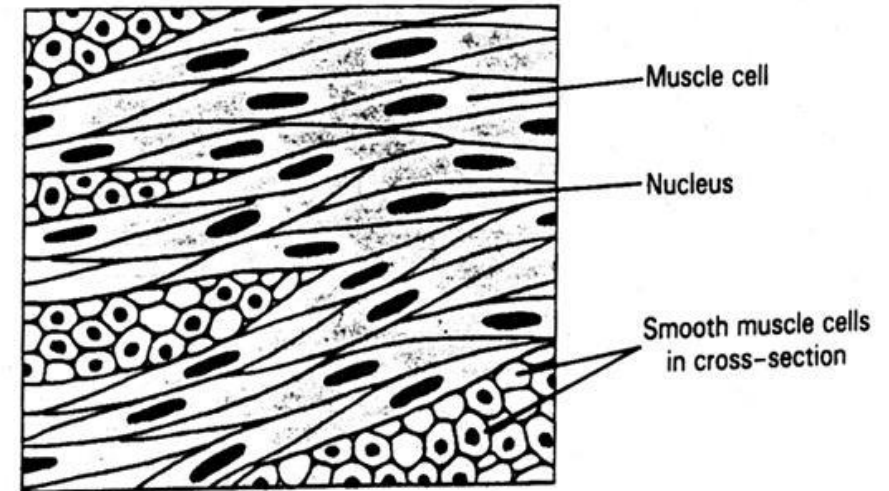
**Vzrušivé
kardiomyocyty**

Svalová tkáň hladká

- morfologická a funkční jednotka: **hladká svalová buňka** (**leiomyocyt**) – buňka s 1 jádrem uloženým centrálně
- průměr: 3-10 μm
- délka: 20-200 μm
- **svalovina trubicovitých orgánů** (střevo, děloha, močovody...), **stěna cév, řasnaté těleso, ve škáře** (vzpřimovače vlasů/chlupů)

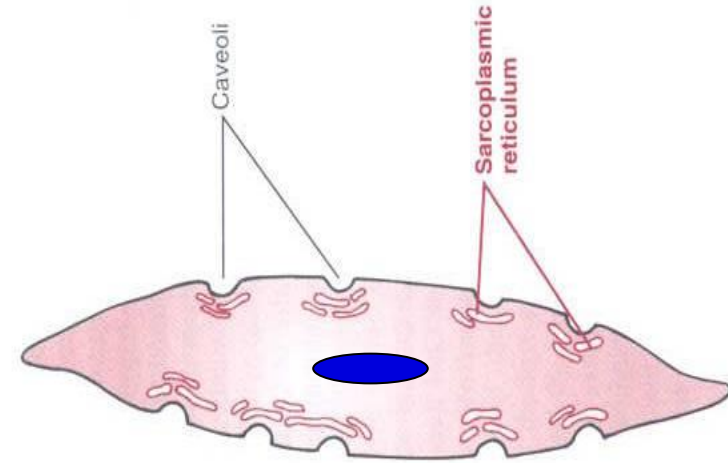
Svalová tkáň hladká

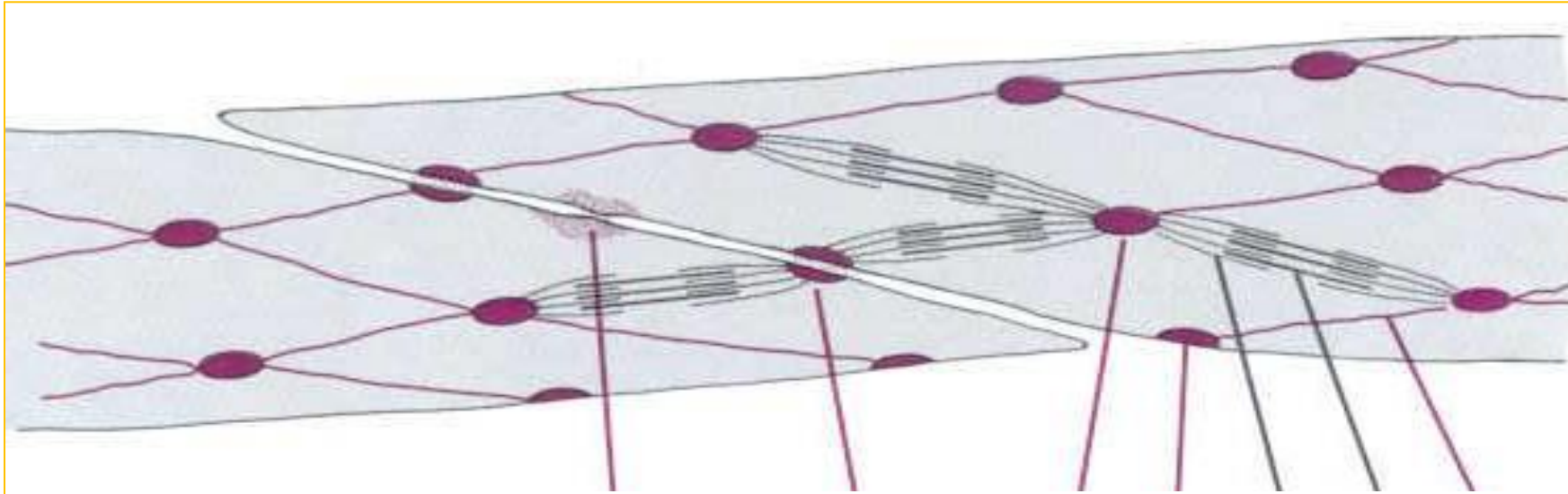
- schopnost hypertrofie (gravidní děloha – až 10x)
- na povrchu buněk lamina basalis
- (*leiomyocyty jsou schopny produkovat kolagen a elastin – např. ve stěně cév*)
- mezibuněčné spoje – nexusy, desmosomy, ZO



Leiomyocyt

- sarkolema - **kaveoly** (mělké jamky místo T-tubulů)
- **jádro** – 1 centrálně
- **sarkoplazmatické retikulum** - pouze izolované váčky, chybí terminální cisterny
- **aktinová a mysinová myofilamenta** uspořádána do **složitě prostorové sítě**, chybí pravidelné periodické střídání obou typů filament (= nejsou vytvořeny myofibrily) → buňka nevykazuje příčné pruhování
- **denzní tělíska** (\approx Z-linie) – adheze aktinových filament
- **kalmodulin** (\approx troponin) – váže Ca^{2+} (z extracelulárního prostoru)



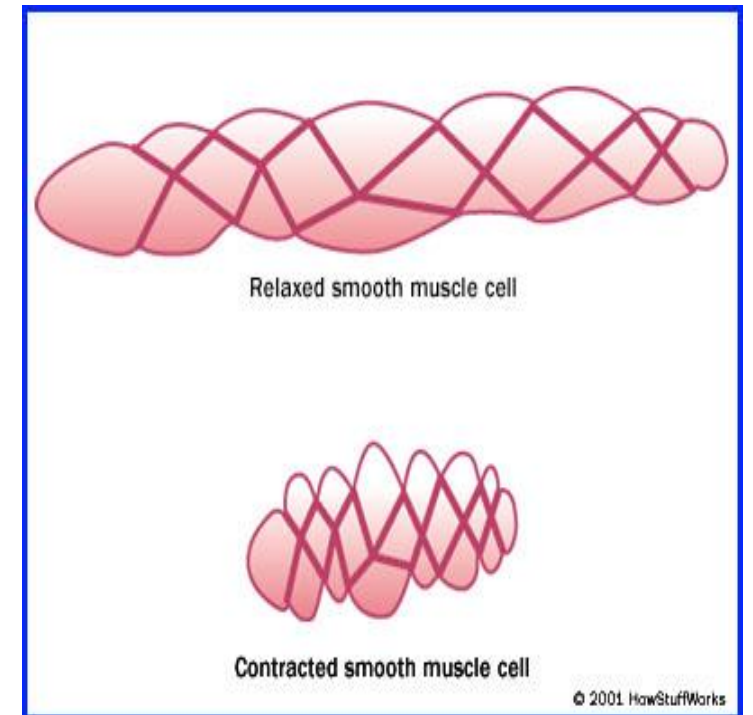


Aktinová myofilamenta – fokálně adherují k sarkolemě nebo do **denzních tělísek** (\approx Z-linie) v sarkoplazmě.

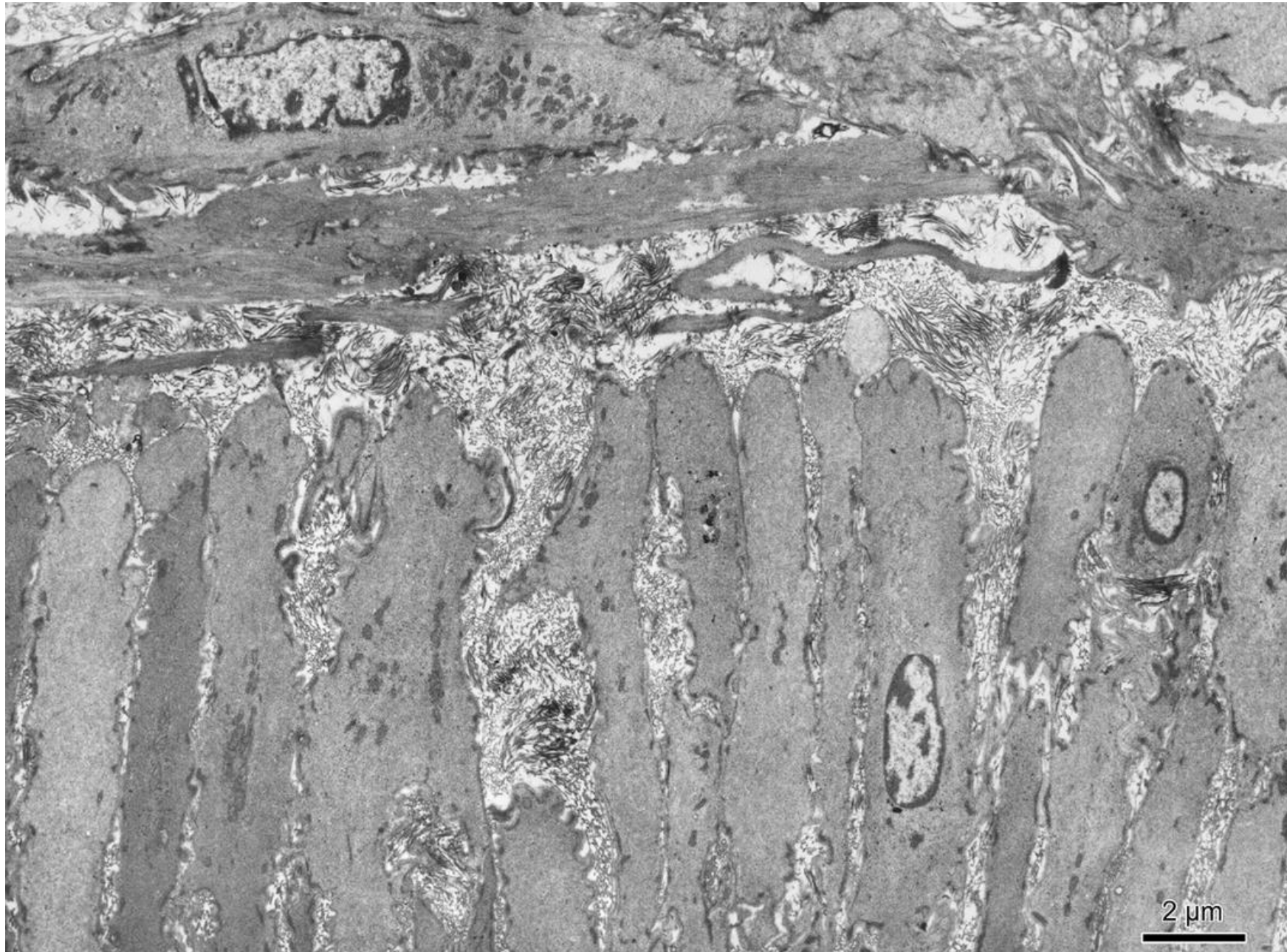
Kalmodulin (\approx troponin) – váže Ca („zvenčí“)

Mechanismus kontrakce

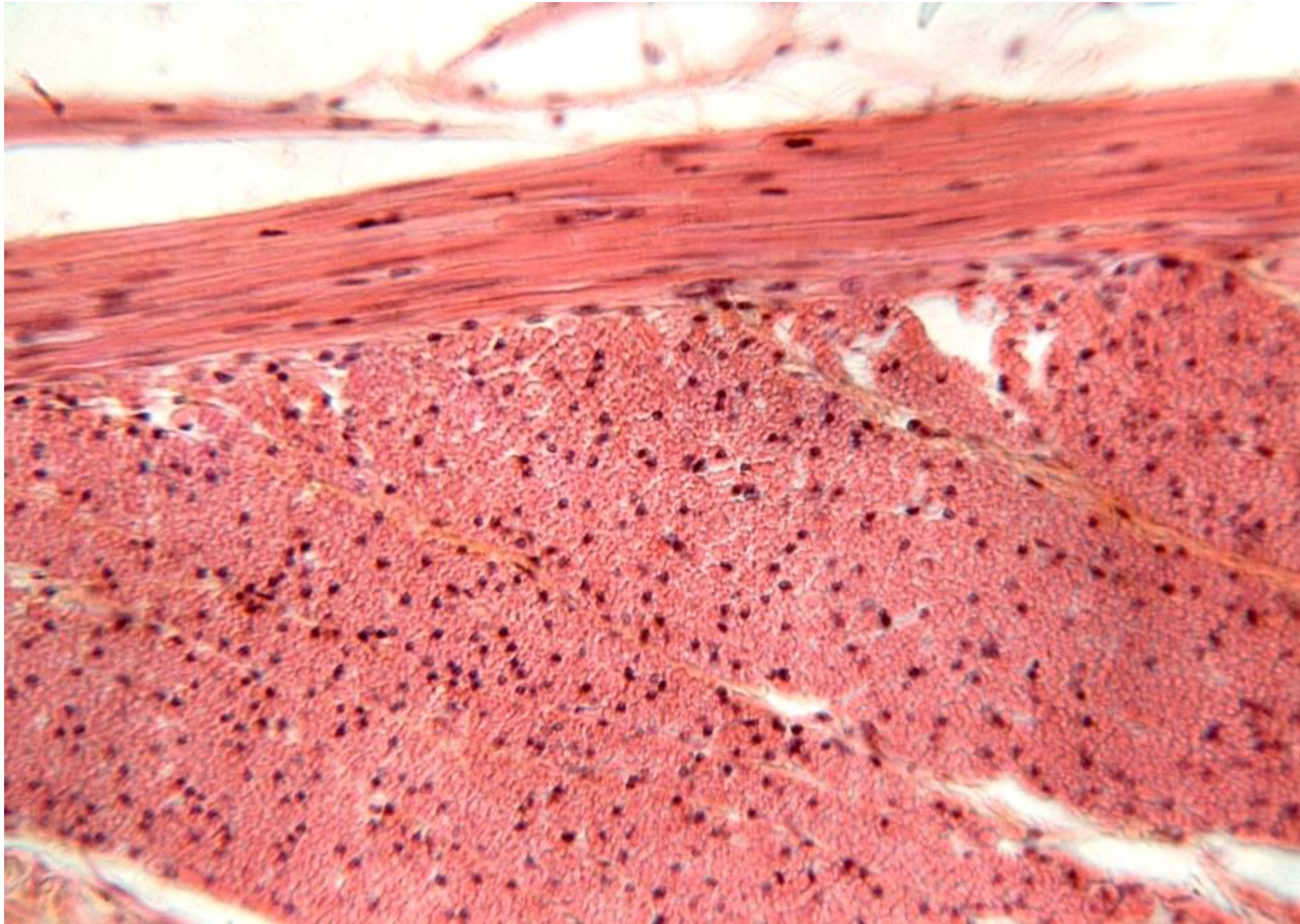
- Ca^{2+} (vstup do buňky z mezibuněčného prostoru), vazba na **kalmodulin**
- Ca^{2+} - kalmodulin komplex aktivuje **myosin-kinázu** (přes cAMP) → fosforylace myosinu
- **fosforylovaný myosin se váže na aktin** → **kontrakce**
- při poklesu vápníku v cytoplazmě dojde k defosforylaci myosinu → relaxace



Leiomyocyt

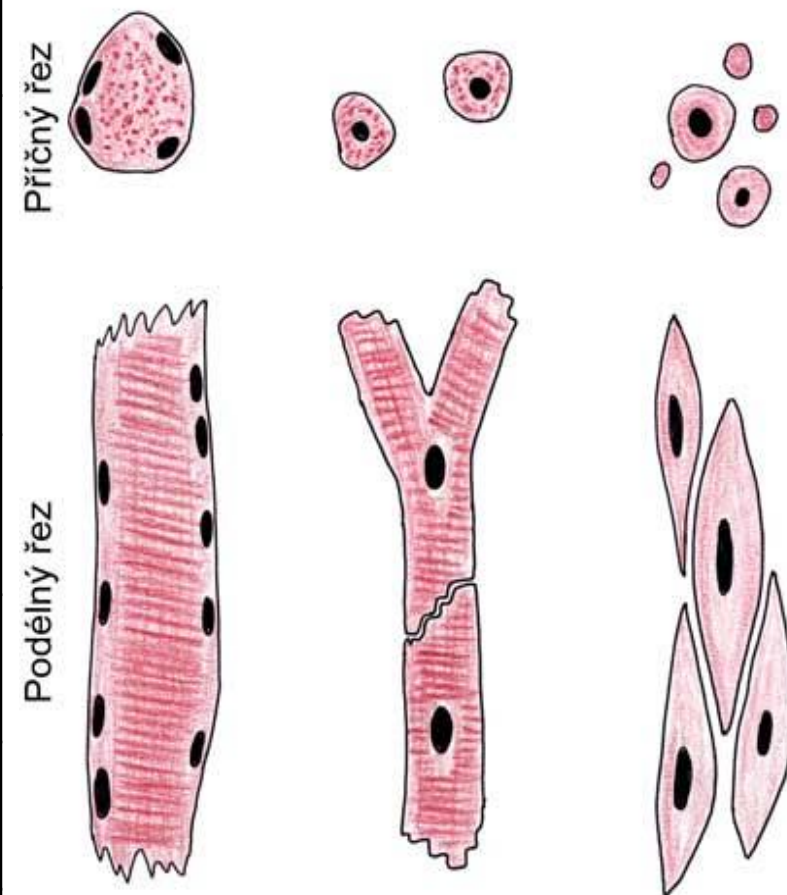


Hladká svalová tkáň (HE, podélně a příčně)



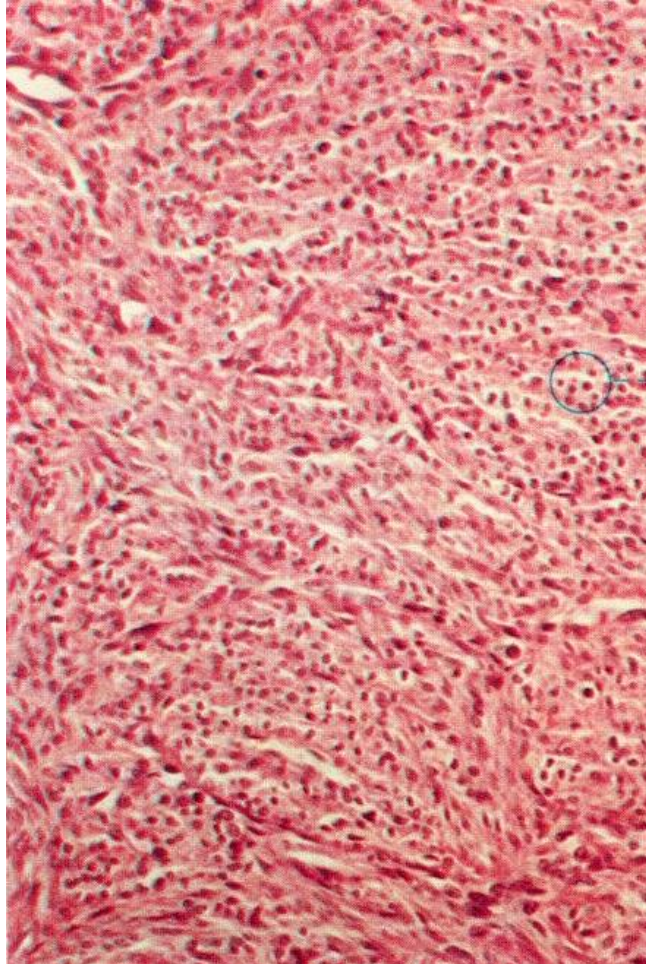
Svalová tkáň – shrnutí

znak	Kosterní tkáň svalová	Srdeční tkáň svalová	Hladká tkáň svalová
Původ	mezoderm (myotomy)	mezoderm (kardiogenní ploténka)	mezenchym
Stavební jednotka	rhabdomyocyt (svalové vlákno)	kardiomyocyt	leiomyocyt
Velikost	tl. 100 μ m d. mm až cm	tl. 10-15 μ m d. 85-100 μ m	tl. 3-10 μ m d. 20-500 μ m
Počet jader	mnoho	1 (2)	1
Umístění jádra	pod sarkolemou	uprostřed	uprostřed
regenerace	omezená	žádná	regeneruje

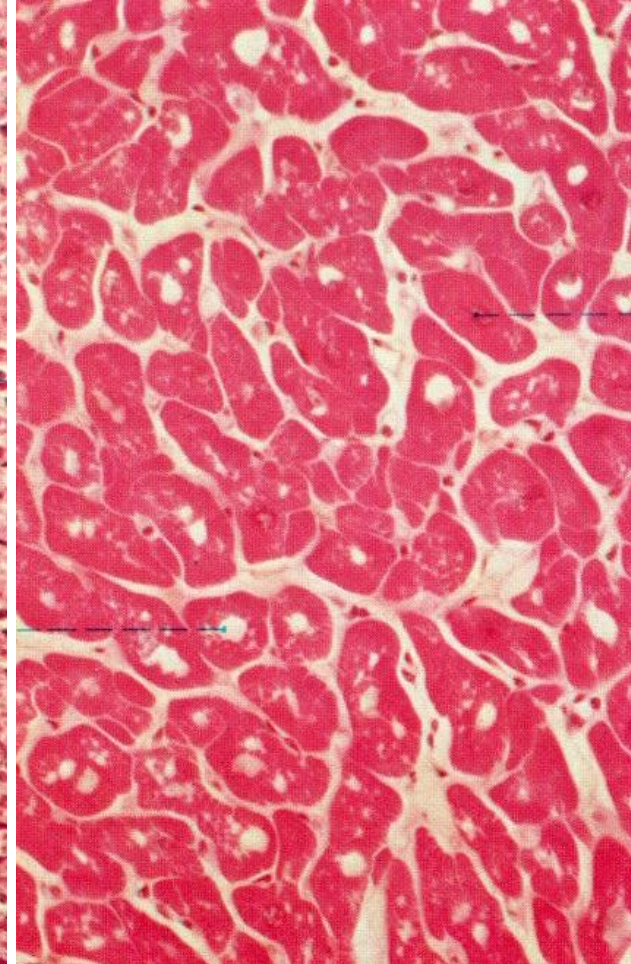


svalová tkáň – příčný řez

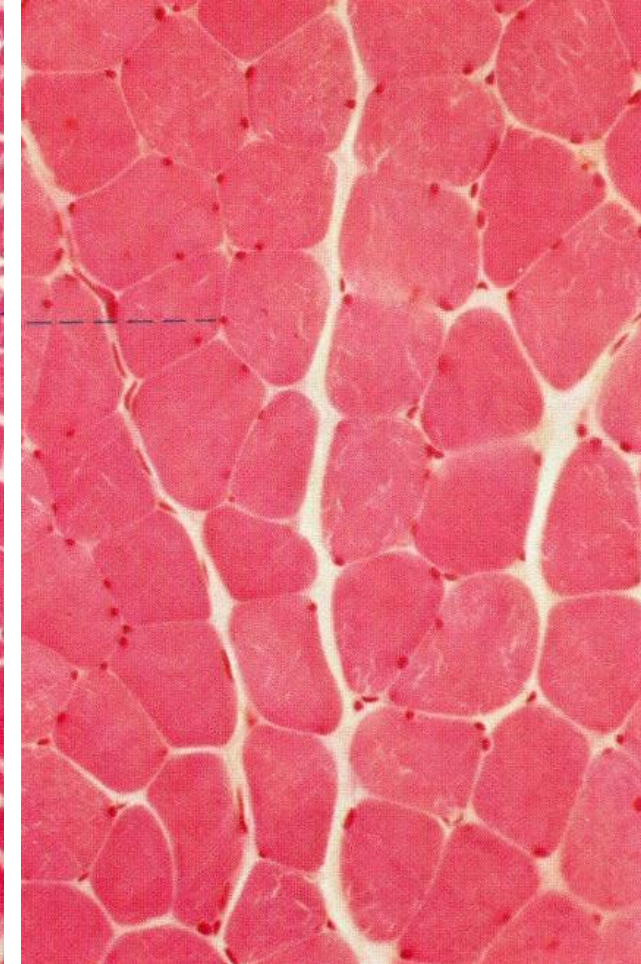
hladká



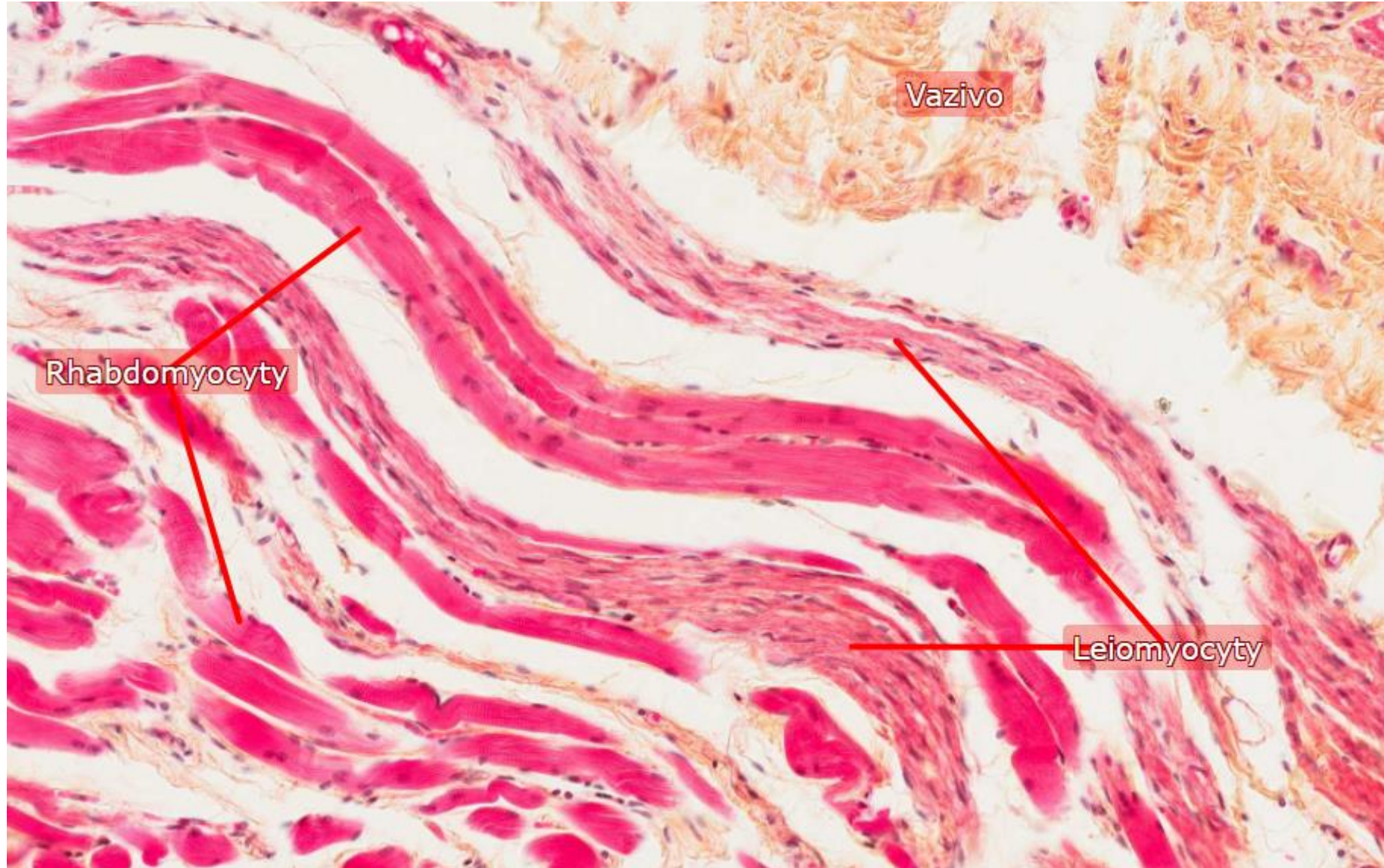
srdeční



kosterní



Srovnání hladké a příčně pruhované svalové tkáně - podélně (HEŠ)



Srovnání hladké a příčně pruhované svalové tkáně - příčný řez (HEŠ)

