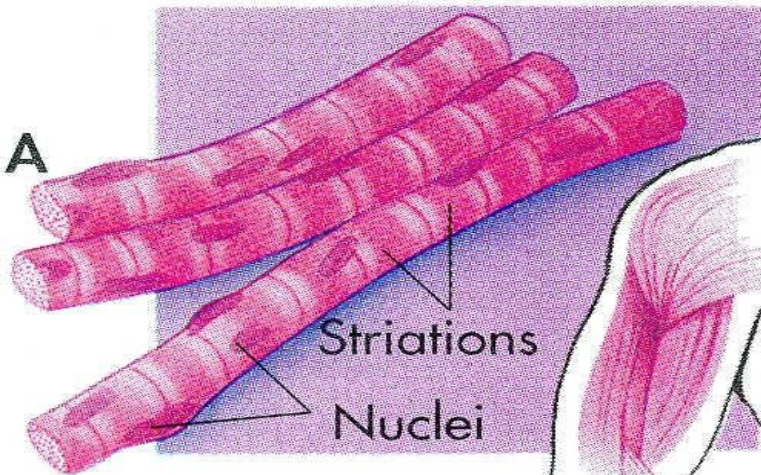
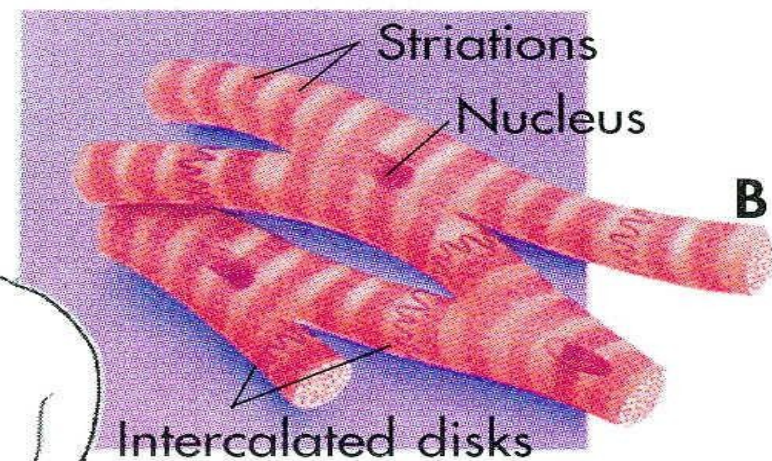


Svalová tkáň

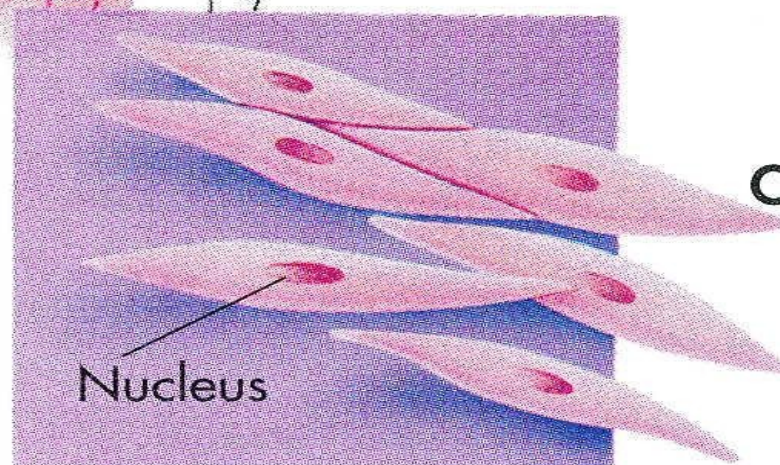
Skeletal muscle fibers



Cardiac muscle fibers



Smooth muscle fibers



Charakteristika

Složení tkáně: svalové buňky a vazivo
(cévy, nervy)

- Kontraktilita - „kontraktilní“ proteiny (**aktin** a **myosin**) v buňkách
- Kontraktilní proteiny – orientované paralelně s dlouhou osou buňky ve směru kontrakce
- Kontrakce a relaxace ⇔ pohyb

Terminologie

mys/myos (sval)

myocyt (svalová buňka)

sarx/sarcós (maso):

buněčná membrána = **sarkolema**

cytoplazma = **sarkoplazma**

hladké ER = **sarkoplazmatické retikulum**

Svalová tkáň

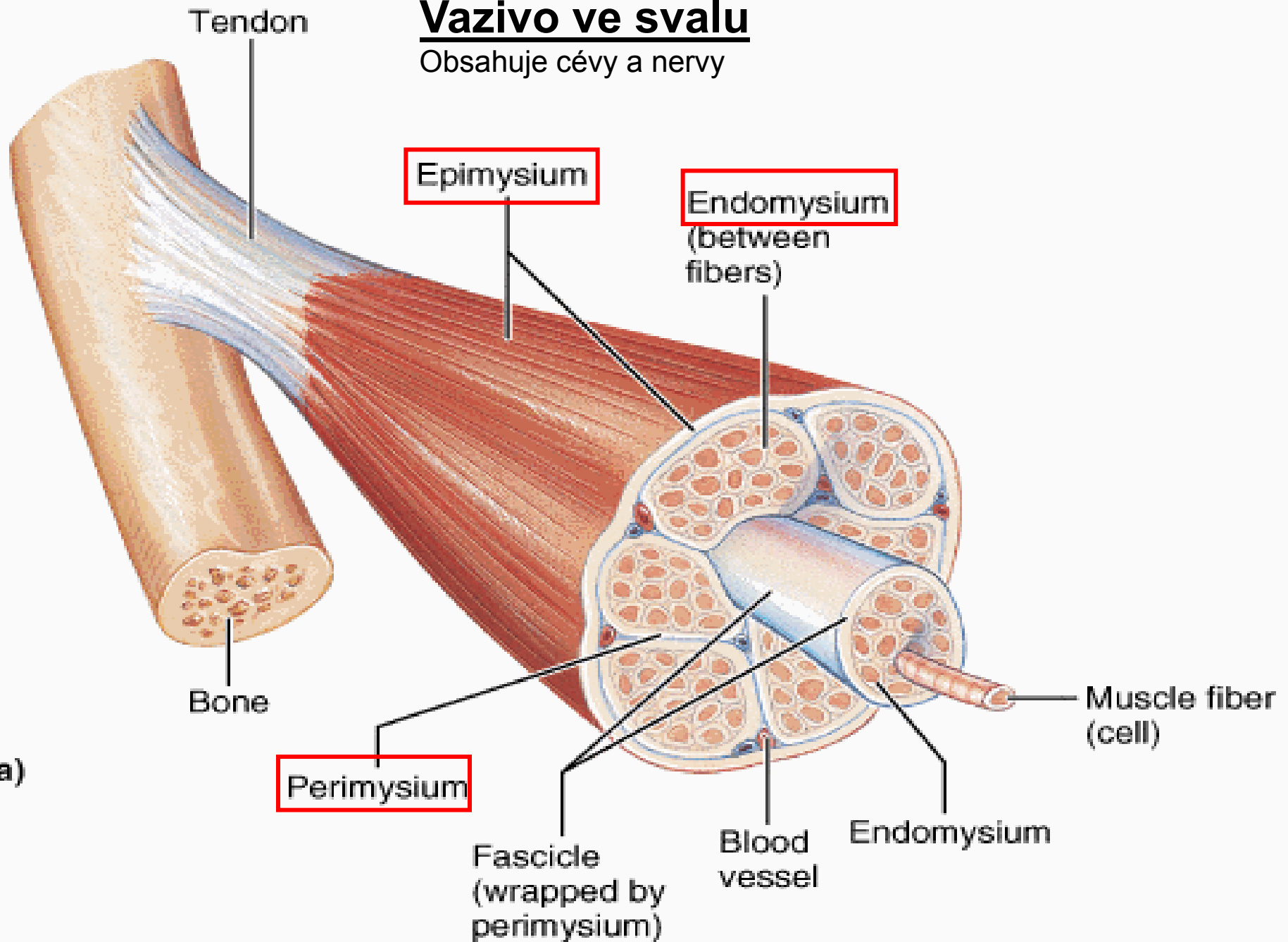
1. příčně pruhovaná kosterní
2. příčně pruhovaná srdeční
3. hladká

Pamatuj!

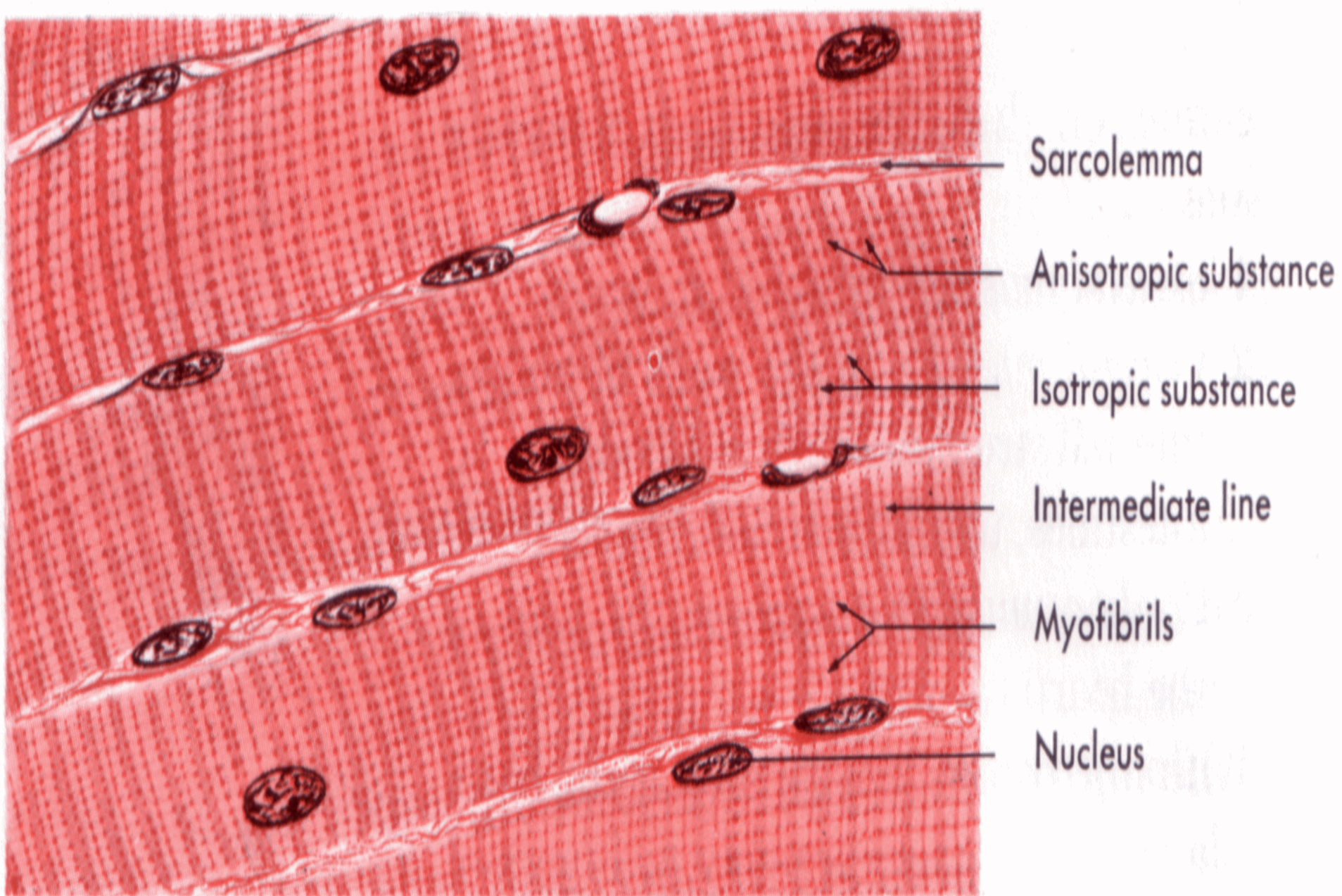
- Základní stavební a funkční jednotkou tkáně je **svalová buňka!**
 - Svalové vlákno příč. pruh. (**rhabdomyocyt**)
 - Svalová buňka srdeční (**kardiomyocyt**)
 - Svalová buňka hladká (**leiomyocyt**)

Vazivo ve svalu

Obsahuje cévy a nervy



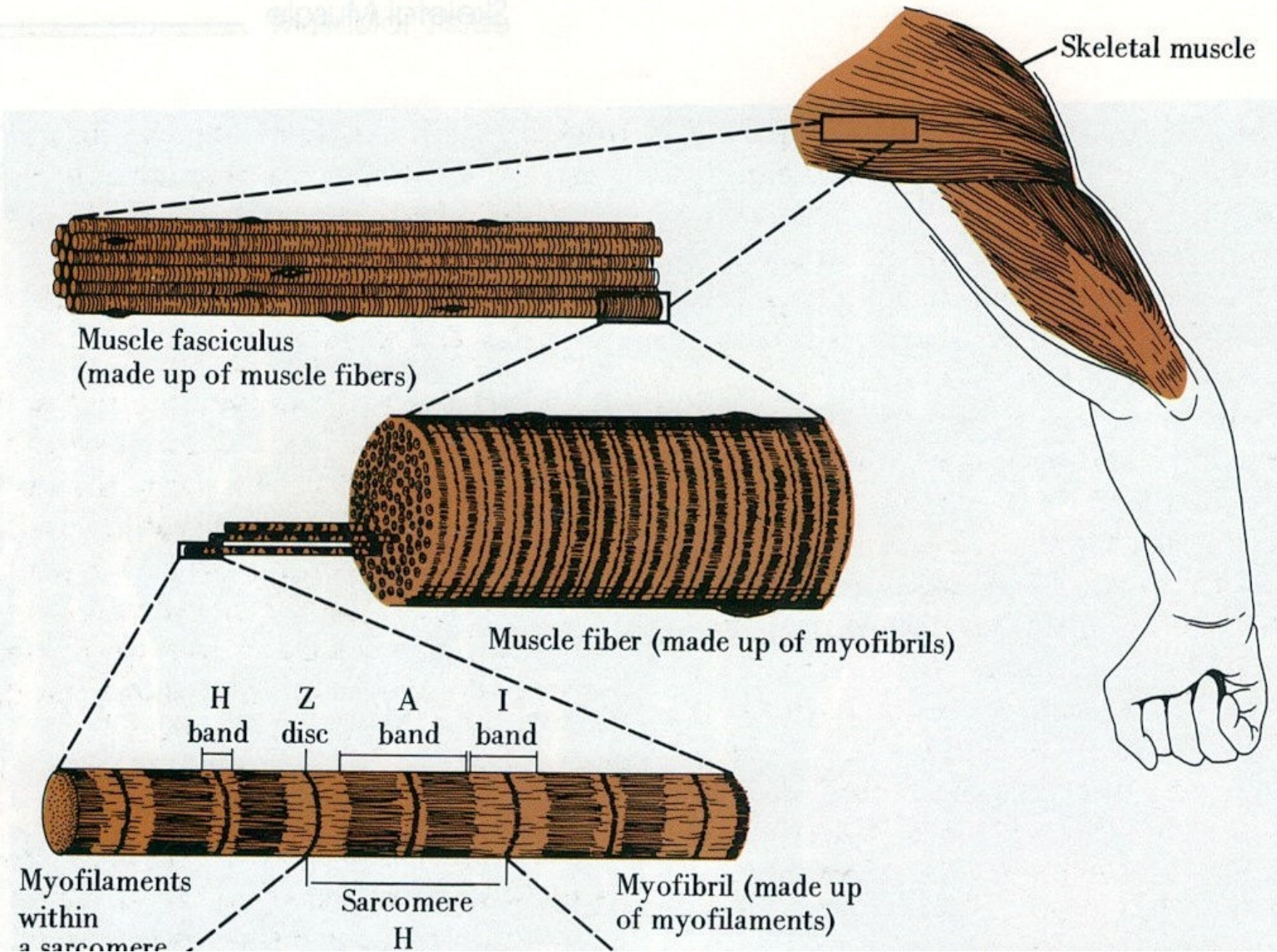
(a)



Skeletal or striated voluntary muscle tissue.

Svalová tkáň příčně pruhovaná kosterní

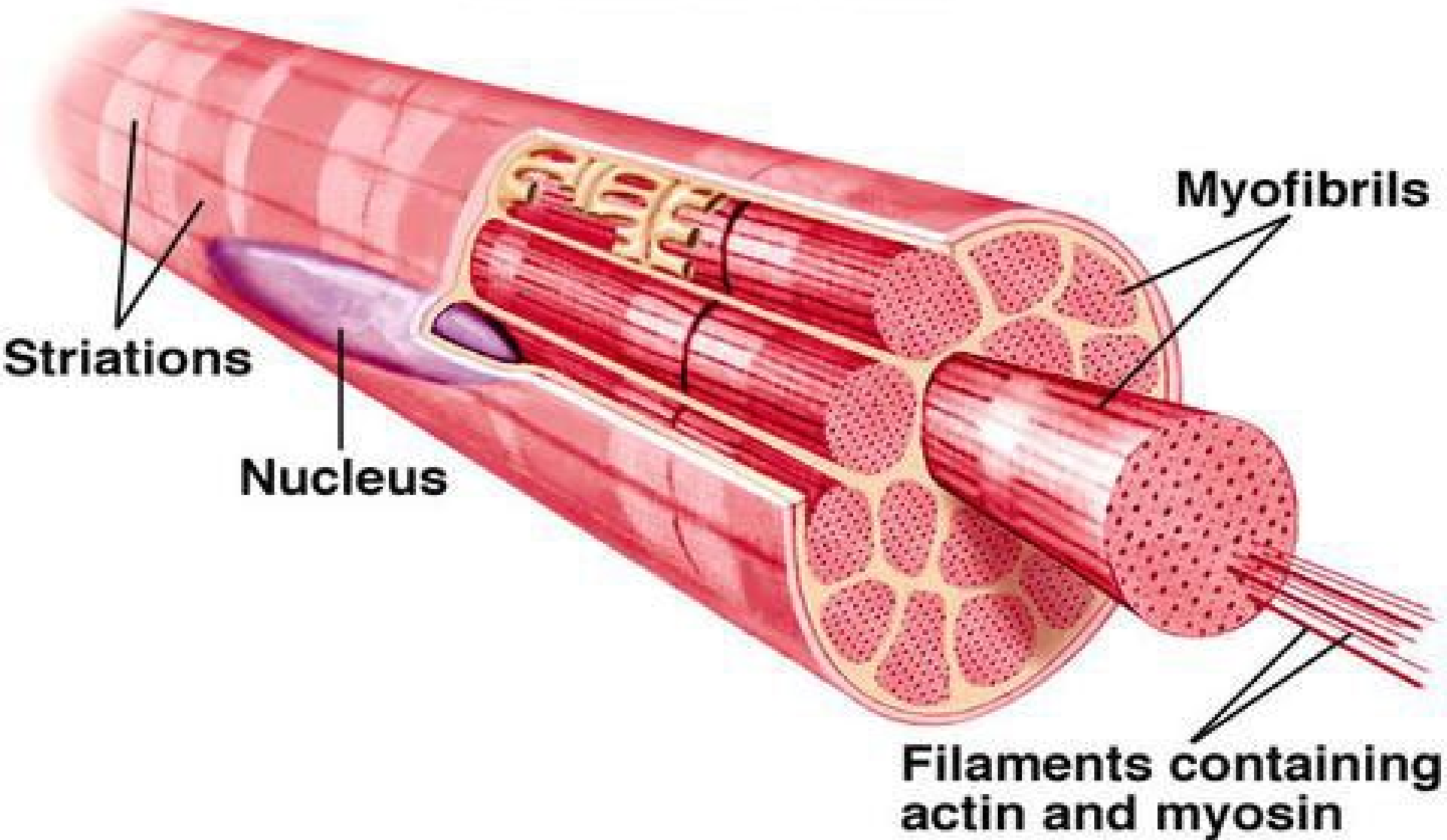
- **morfologická a funkční jednotka:**
svalové vlákno (rhabdomyocyt) –
mnohoaderný útvar (=syncytium) s jádry
uloženými periferně (pod sarkolemou)
- průměr: 25-100 μm
- délka: milimetry až centimetry (až 15cm)

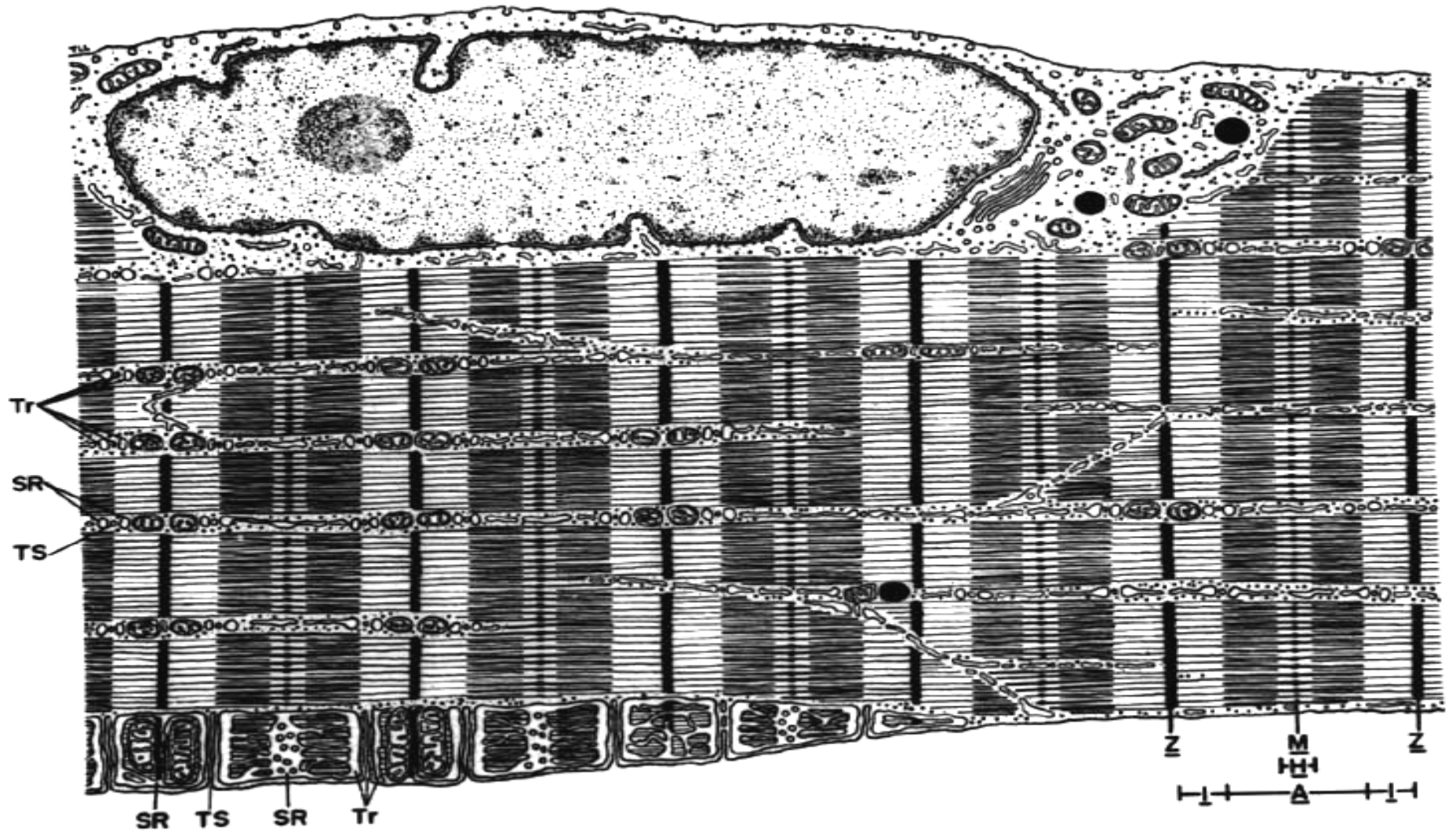


Stavba svalového vlákna

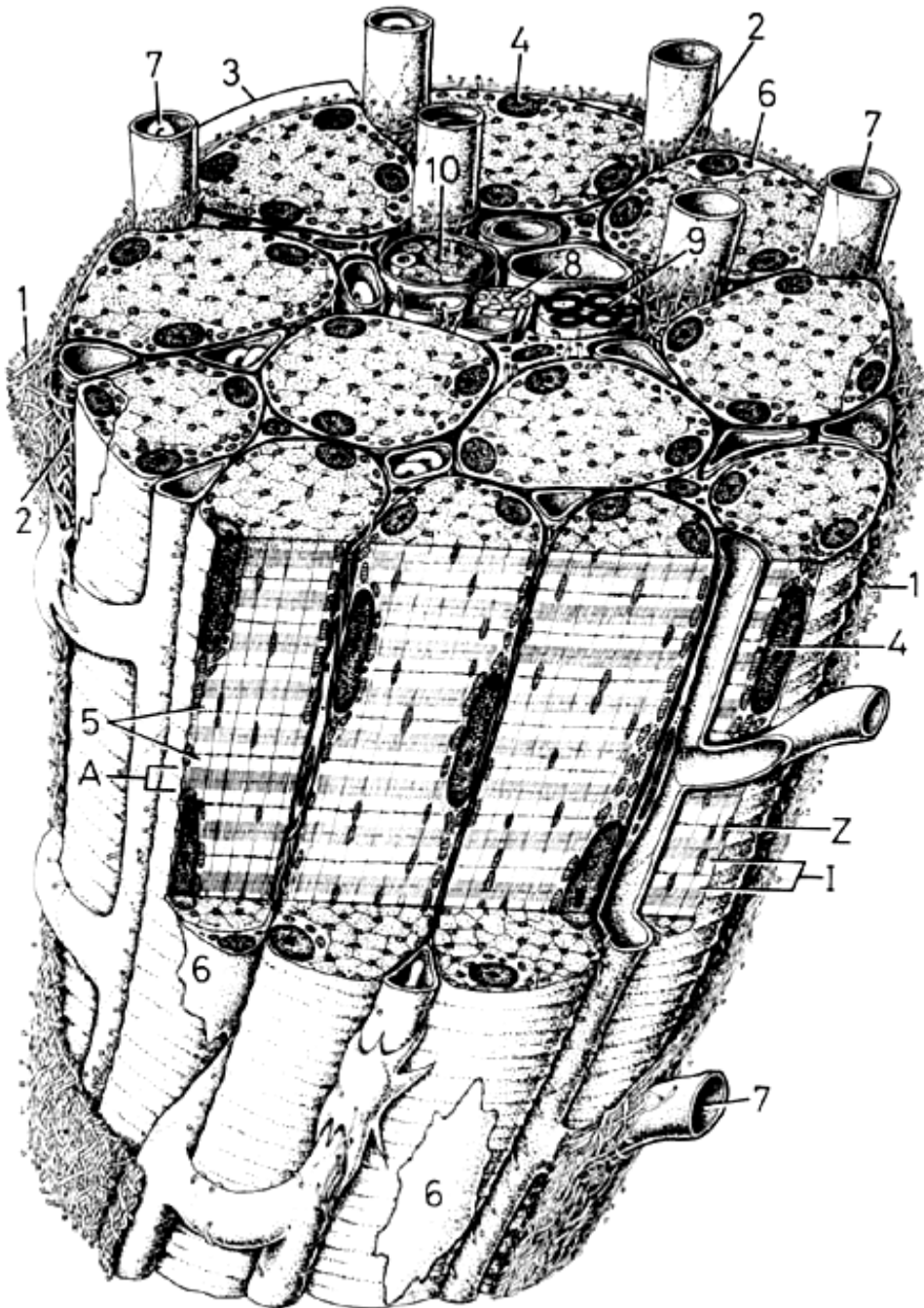
- **sarkolema + T-tubuly**
- **jádra** (25-40 na 1mm délky)
- **sarkoplazma:**
 - [myoglobin (přenos O_2)]
 - **myofibrily** (příčně pruhované 1–2 μm tlusté vláknité útvary)
 - **organely:** mitochondrie, Golgiho aparát, sarkoplazmatické retikulum (zásobárna iontů Ca^{2+})
 - **inkluze** (glykogen)

Muscle Fiber





Primární svazek svalových vláken (rhabdomyocytů)



Rhabdomyocyt = svalové vlákno (buňka)

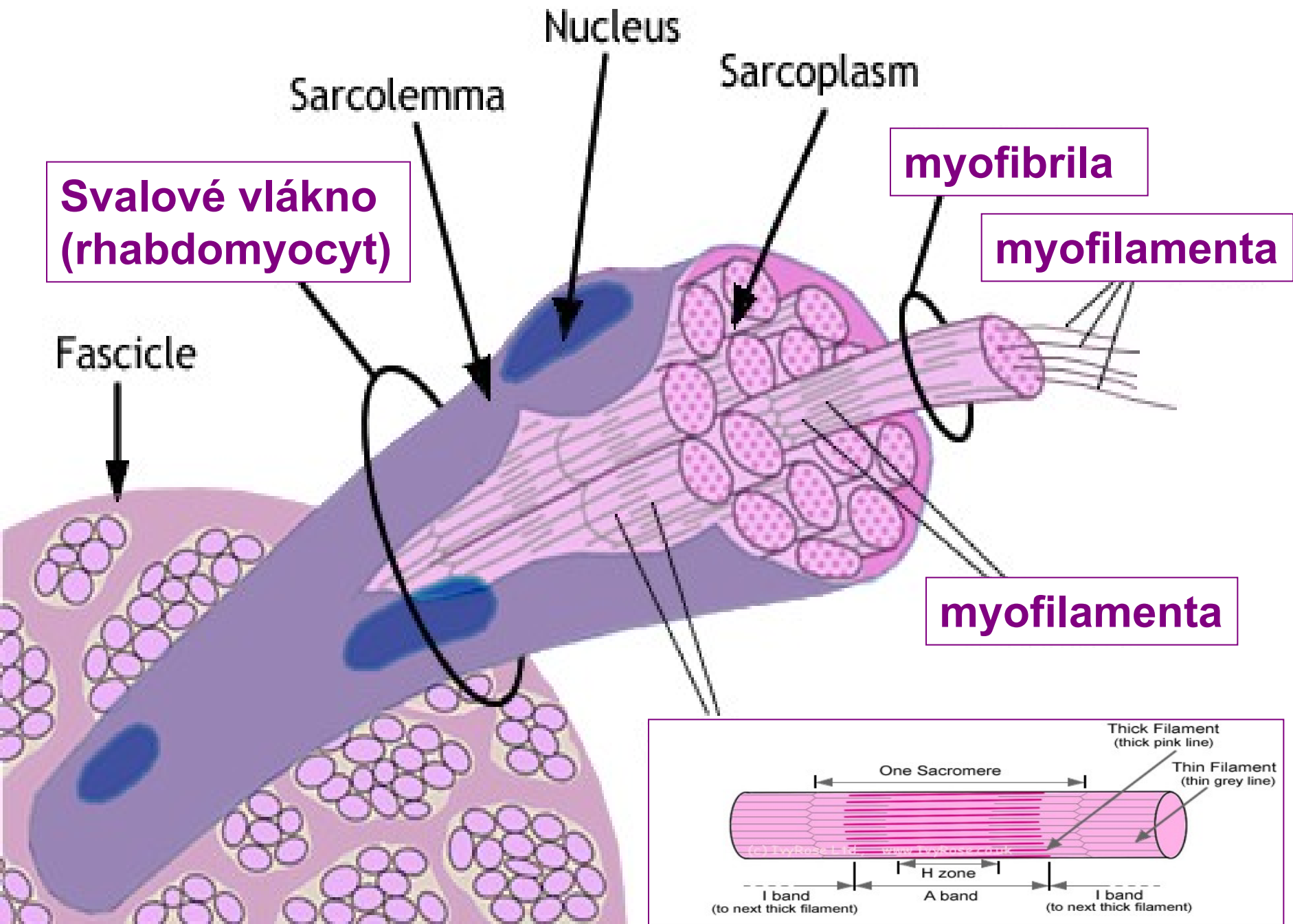
Kardiomyocyt

Sval. vlákno – morfol. a funkční jednotka
koster. svalu [Ø 20 – 100 µm]

Myofibrila – strukturní složka sarkoplazmy
[Ø 1 – 2 µm]

Myofilamentum – aktin a myosin, uspořádání
do sarkomer (několik v délce myofibrily)
[Ø 7 nm aktin]
[Ø 15 nm myosin]

Sarkomera – nejmenší kontraktilní jednotka
[2,5 µm ↔]



**Svalové vlákno
(rhabdomyocyt)**

Sarcolemma

Nucleus

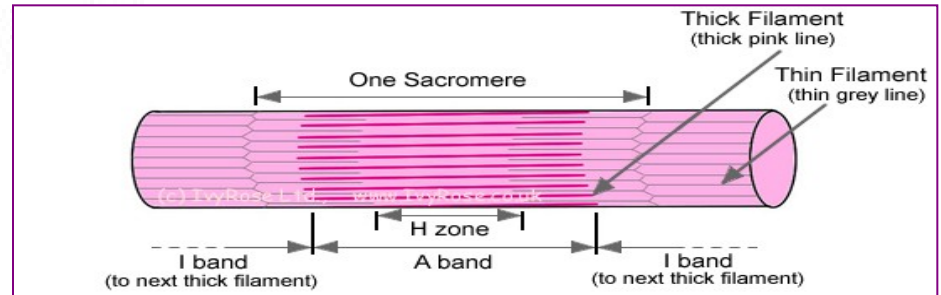
Sarcoplasm

myofibrila

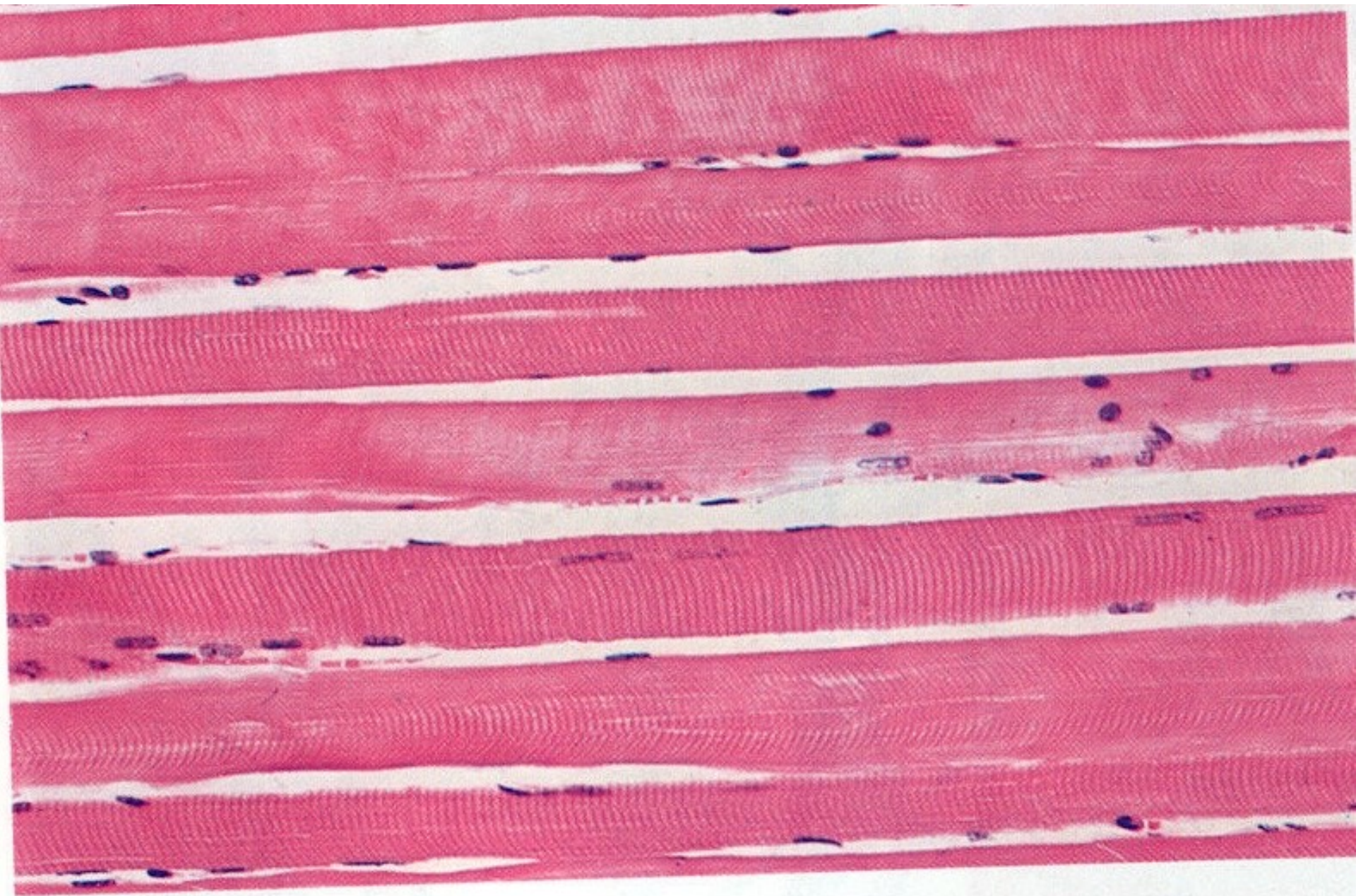
myofilamenta

Fascicle

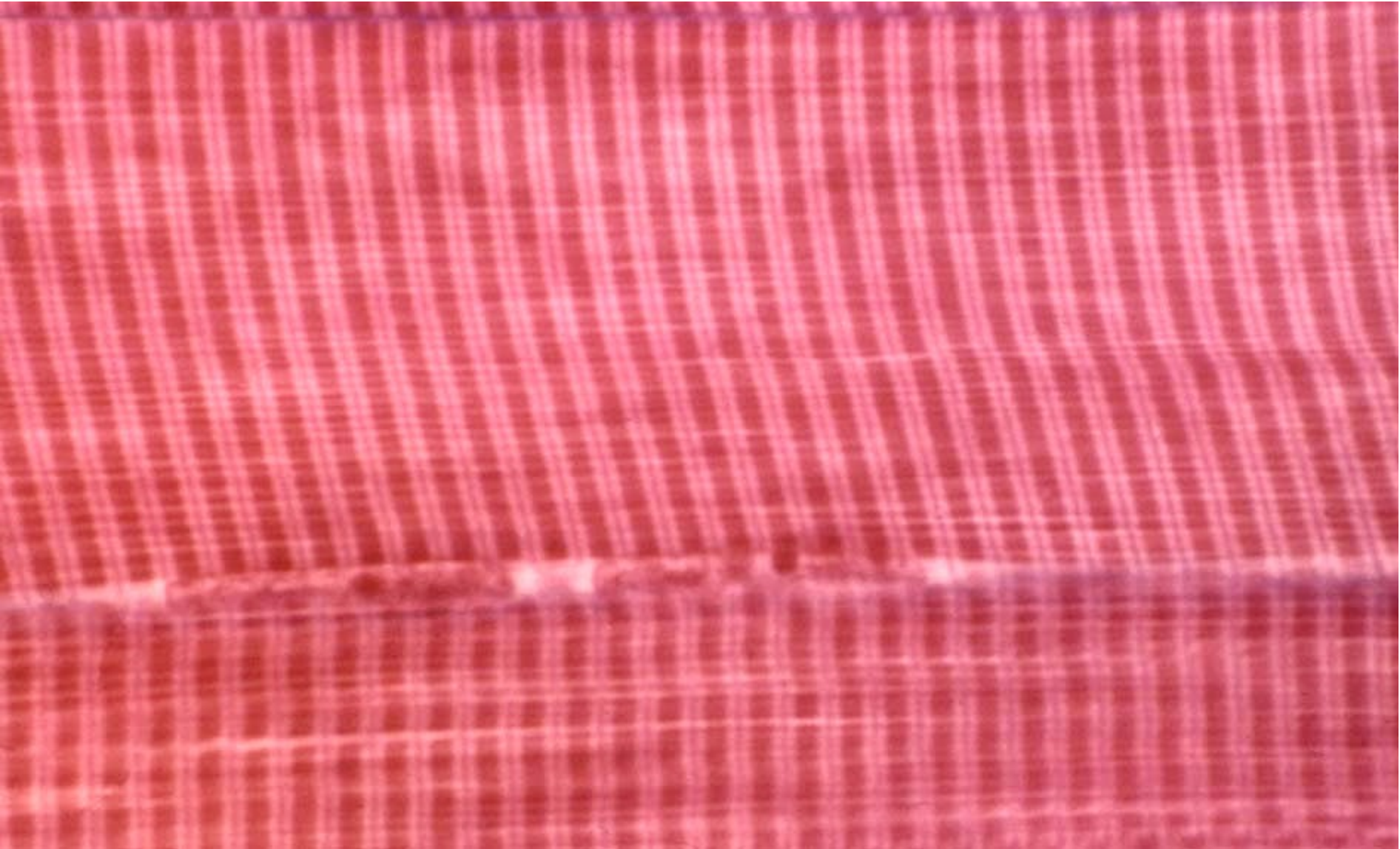
myofilamenta



Kosterní svalová vlákna (HE, podélný řez)



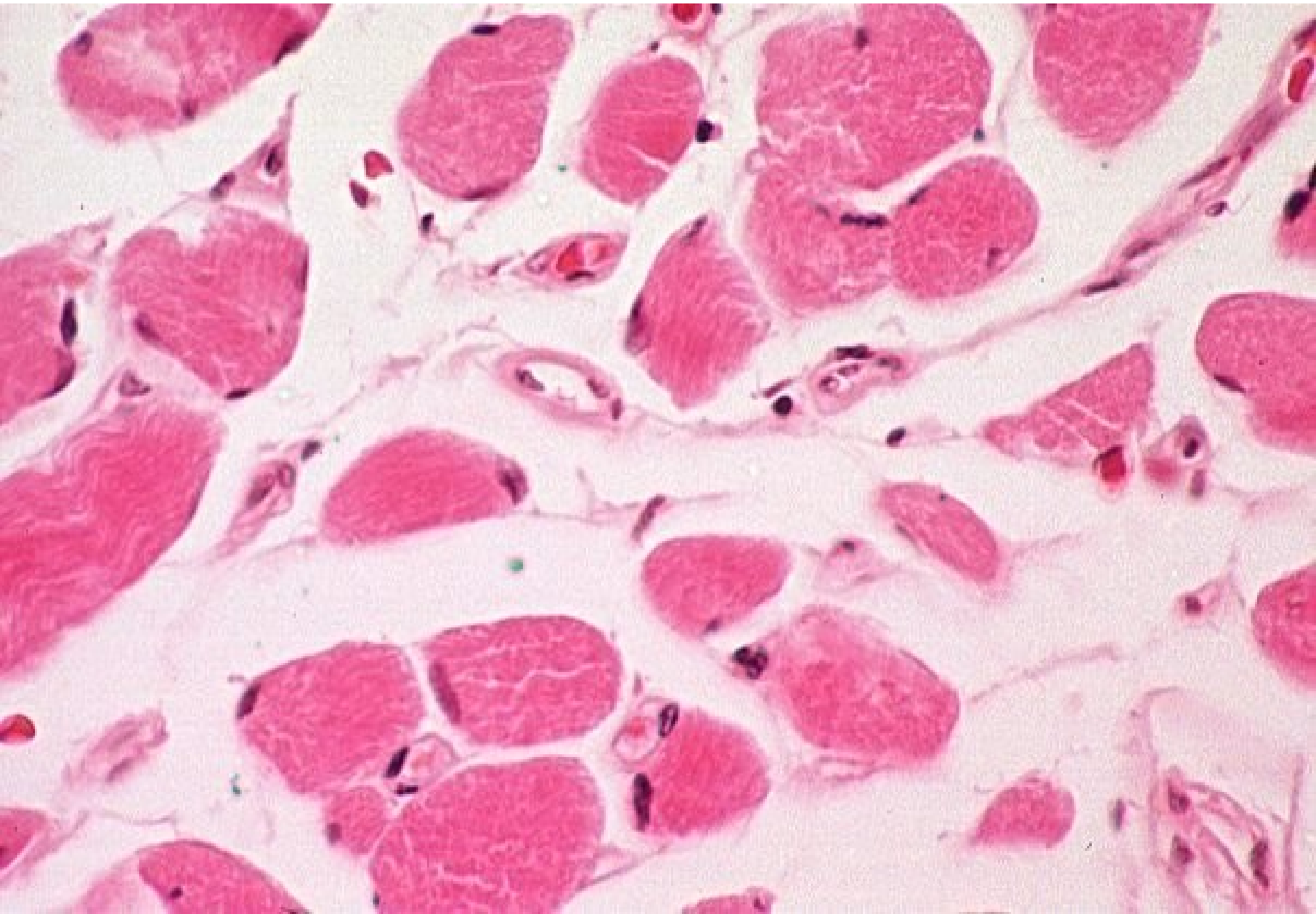
Příčné žíhání myofibril a svalového vlákna



Kosterní svalová vlákna (HE, příčný řez)

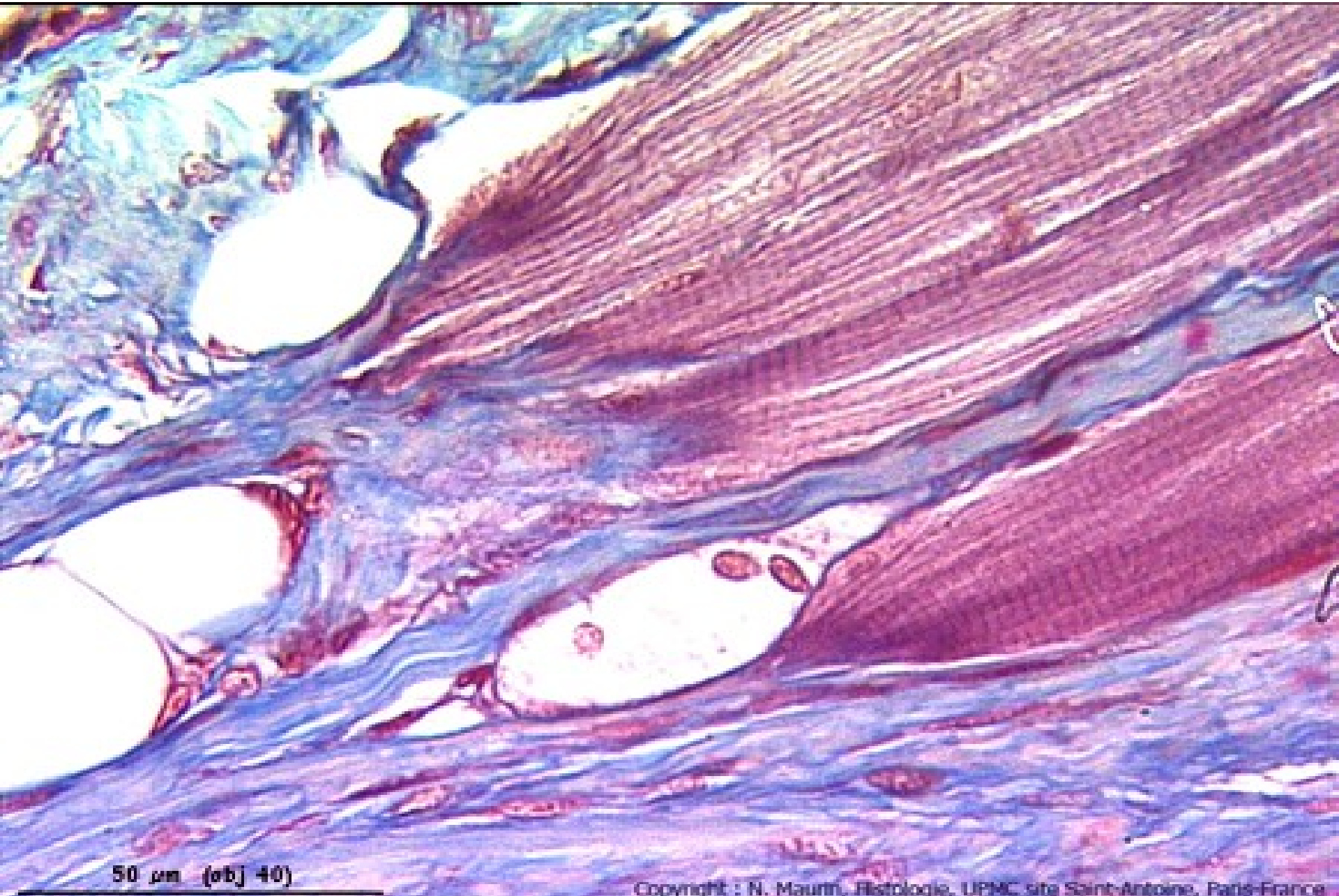


Kosterní svalová vlákna (HE, příčný řez)

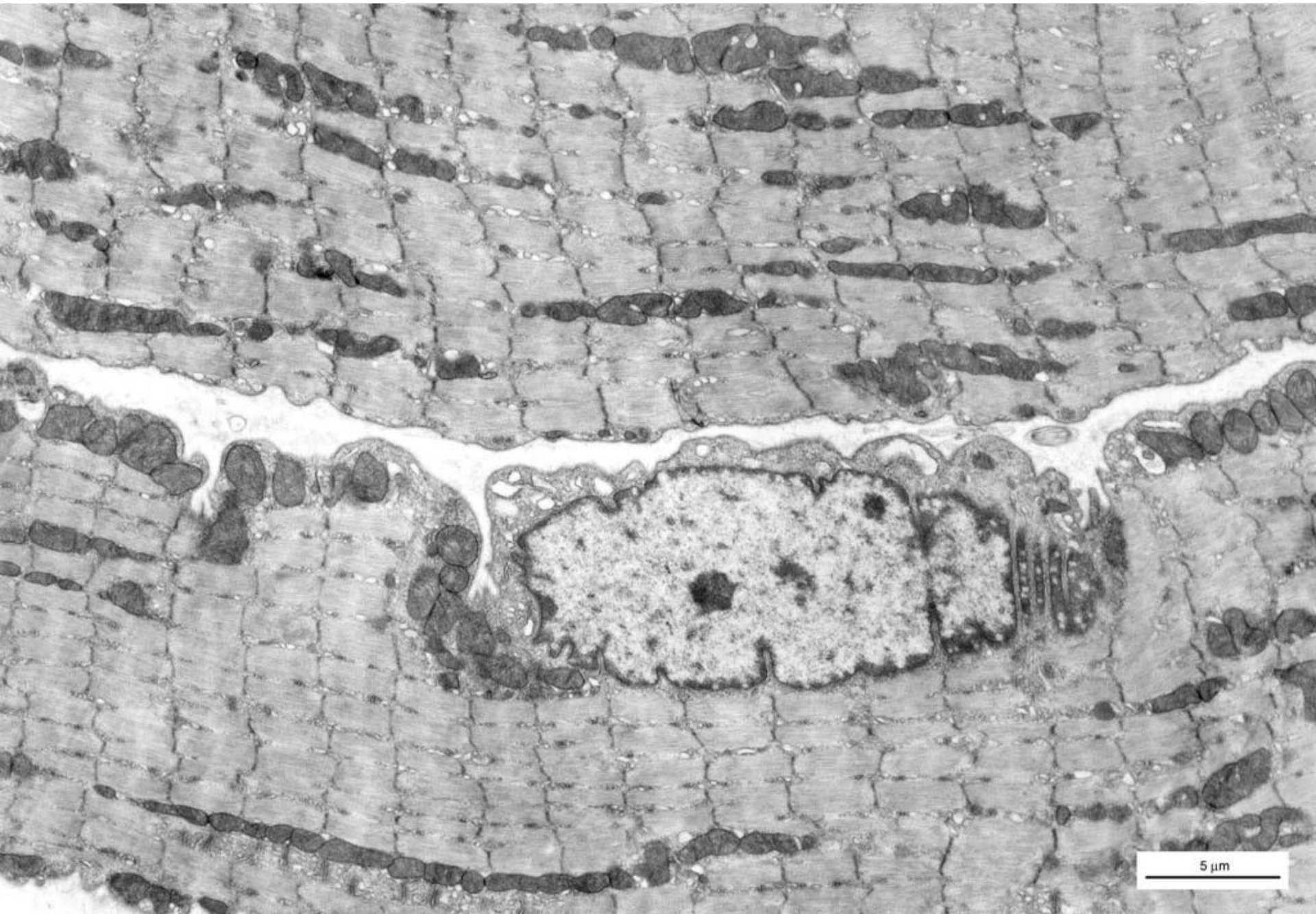




Spojení sval - šlacha



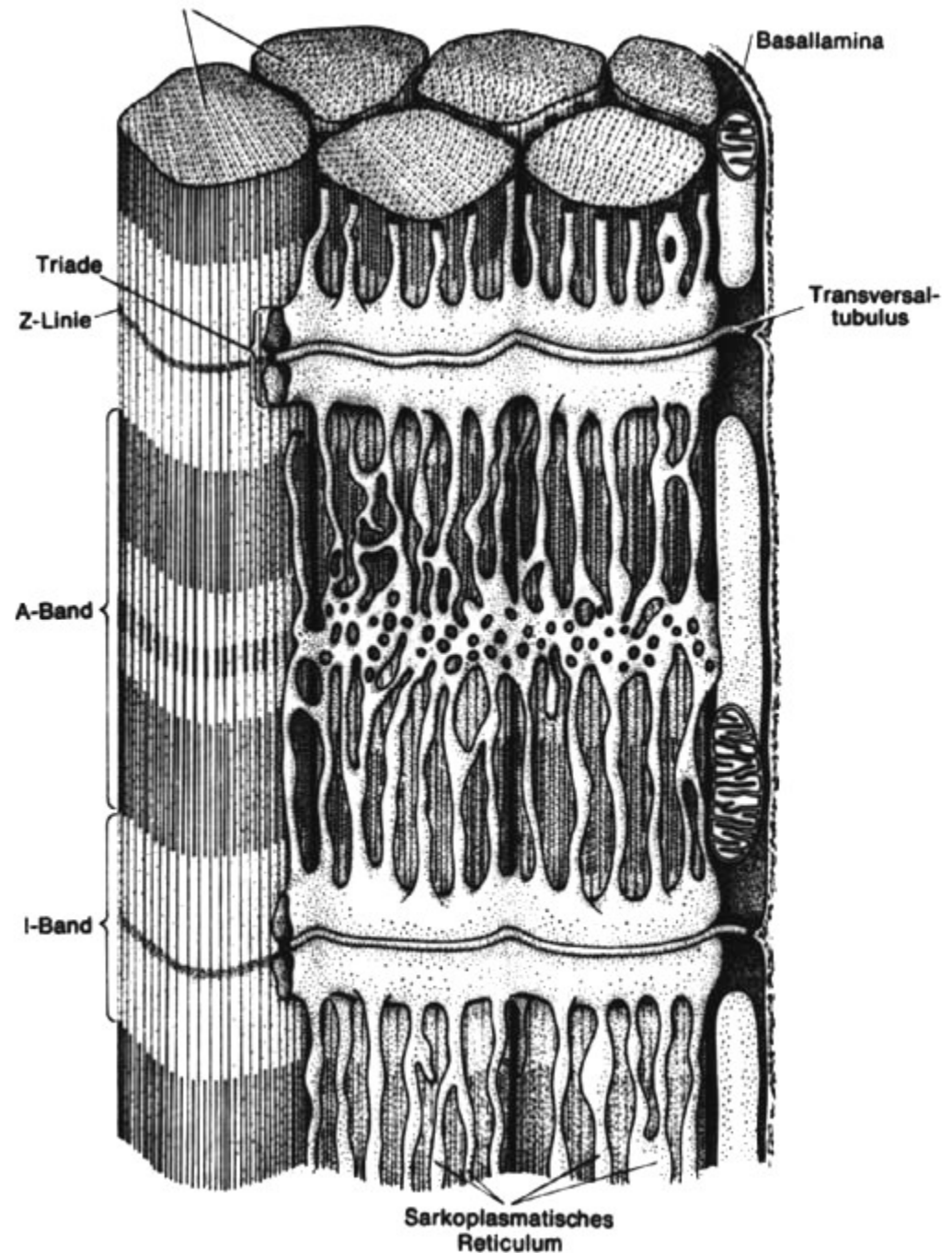
Kosterní svalová vlákna (ELM, podélný řez)



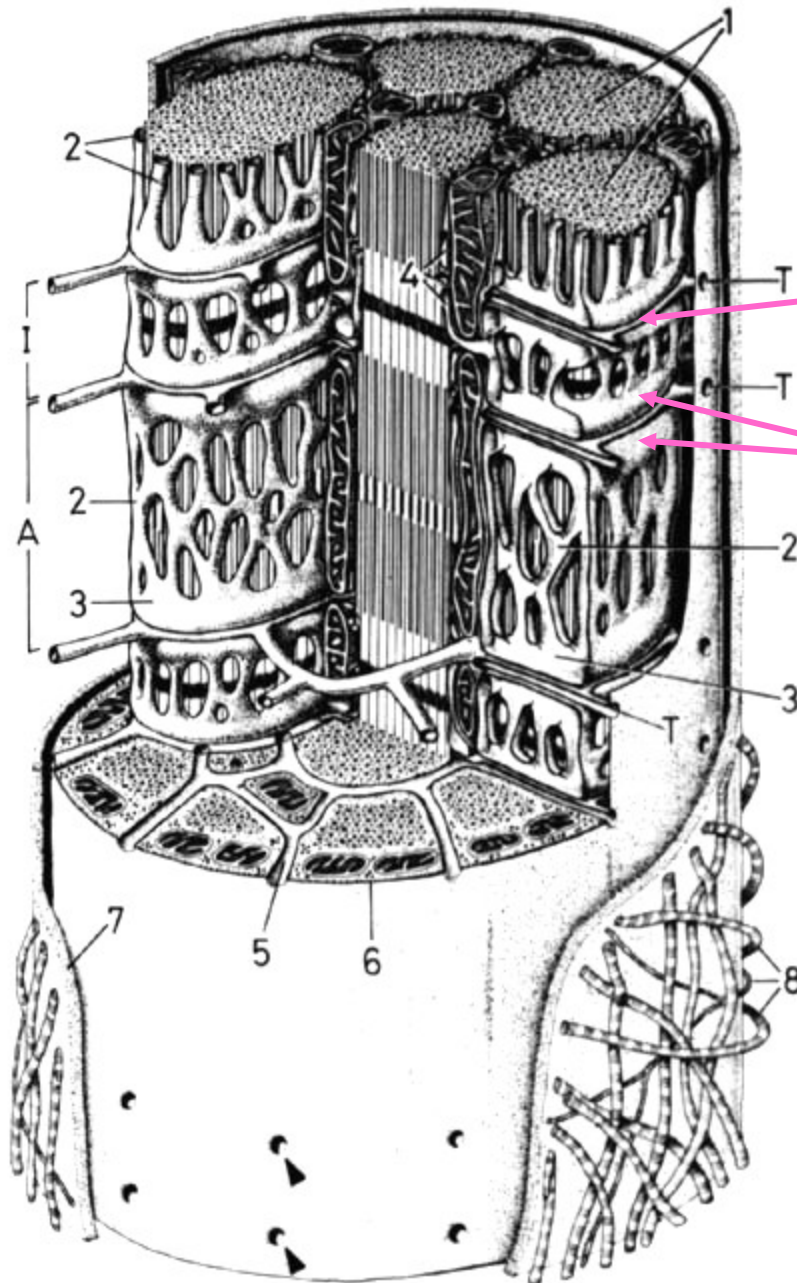
Sarkoplazmatické retikulum

= hladké ER
(sarkotubuly
a terminální cisterny)

pool Ca^{2+} iontů



Triáda



T-tubulus (1)

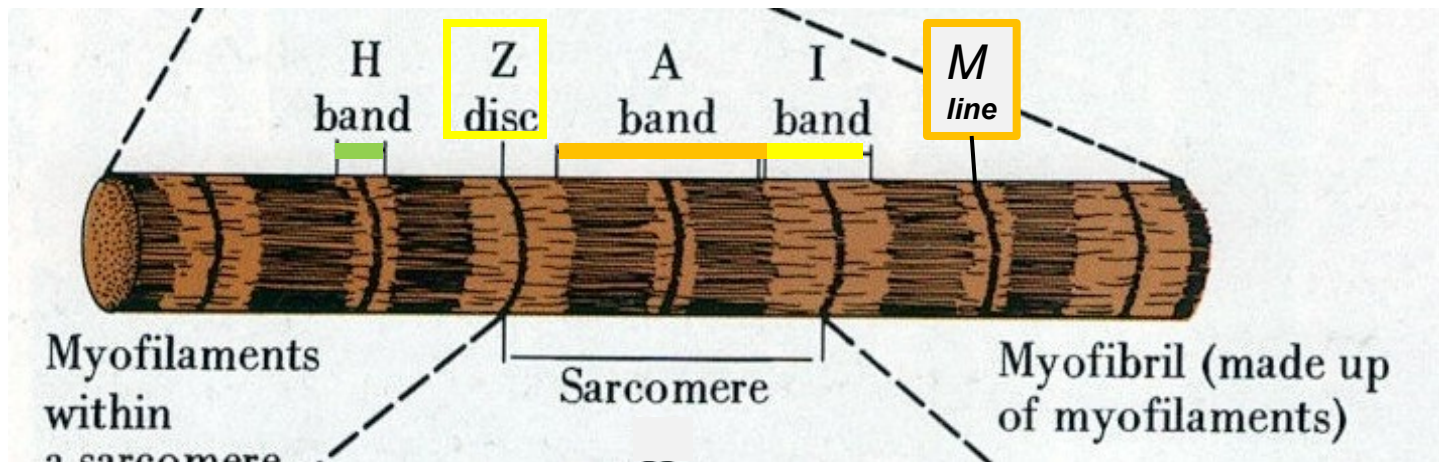
terminální cisterny (2)

Stavba myofibril

izotropní úseky (**I-proužky**) – světlé, Z-linie (telofragma), **A**

anizotropní úseky (**A-proužky**) – tmavé, M-linie (mezofragma), H-zóna, **M+A**

Sarkomera – úsek mezi dvěma Z-liniemi

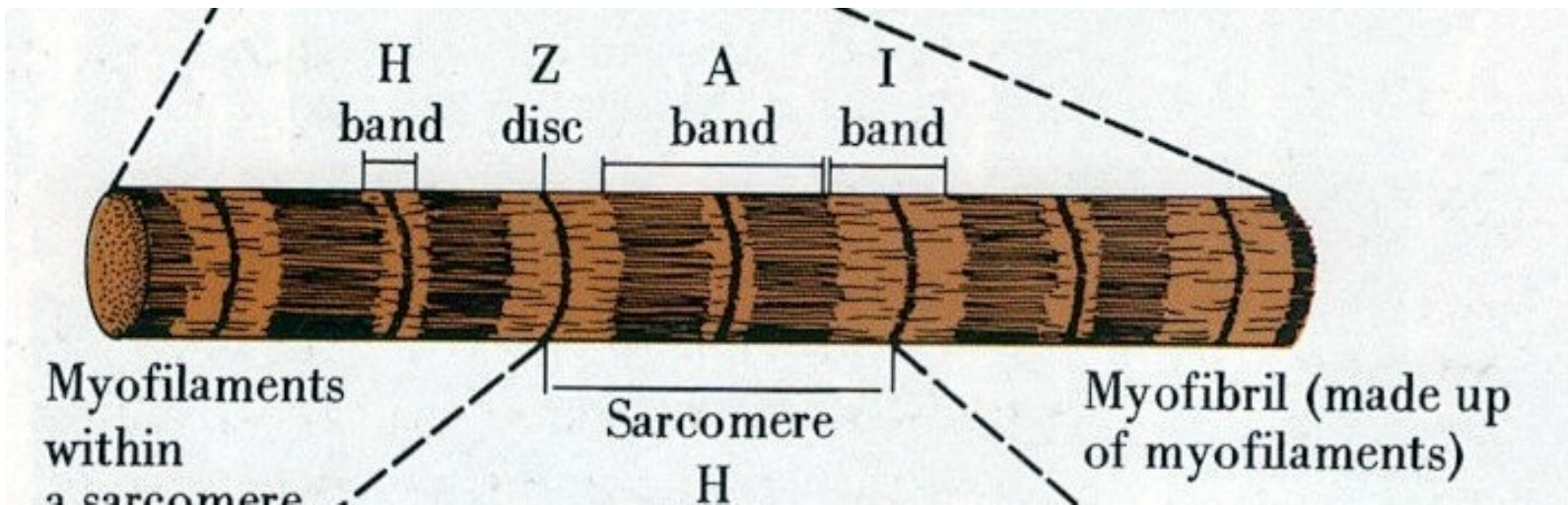


Myofilamenta

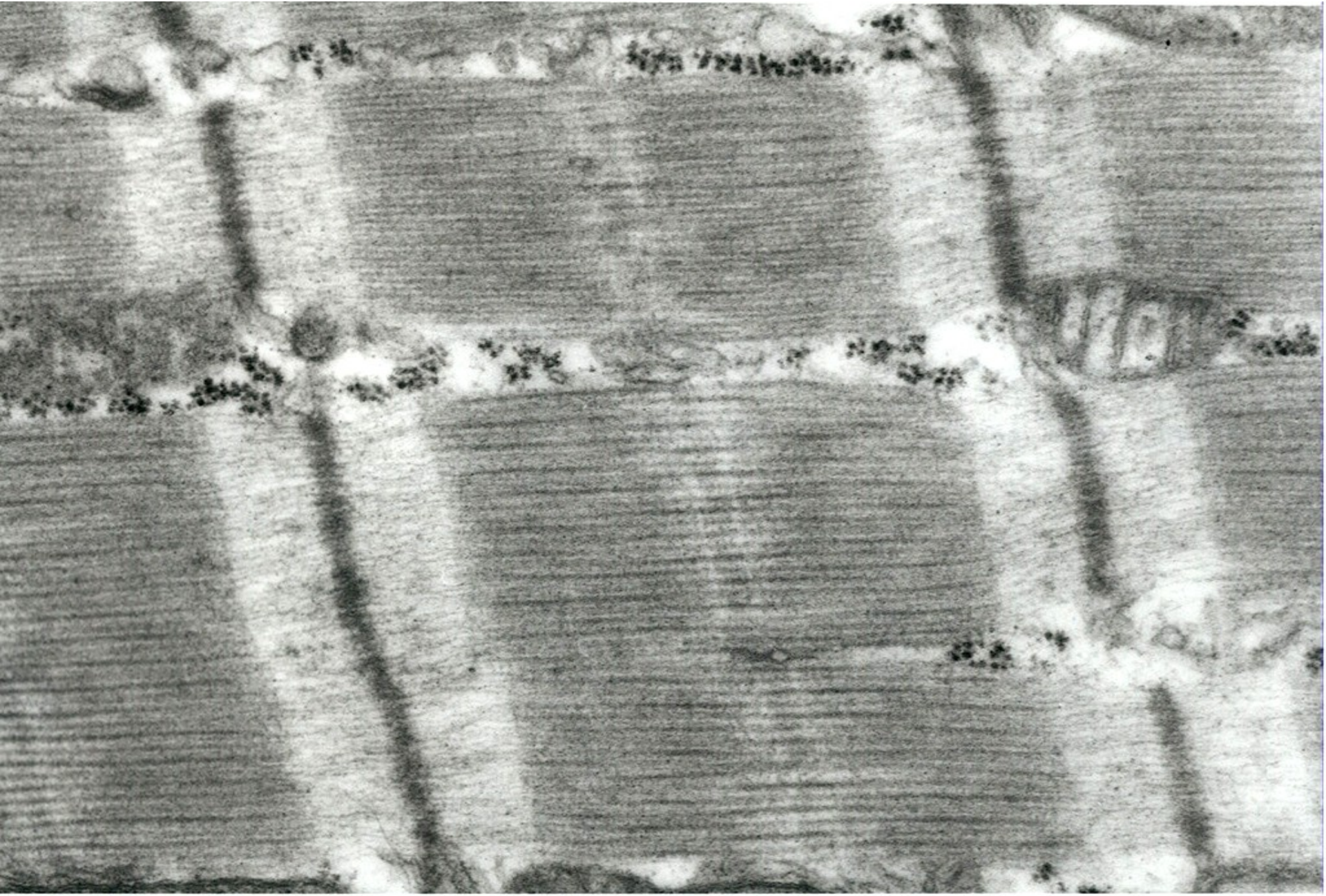
tlustá: výlučně v rozsahu A-proužku, **myozin**, tloušťka 15 nm, délka 1,6–1,8 μm

tenká: v rozsahu I-proužku (zasahují i do anizotropních úseků), **aktin a regulační proteiny**, tloušťka 7 nm, délka 1,5 μm

zkrácení myofibril při svalovém stahu se děje na principu posuvného mechanismu, **délka tenkých a tlustých filament se při kontrakci nemění**



Myofibrily, sarkomery (ELM)



Stavba myofilament

Tlustá myofilamenta - myozin

(molekuly tvaru golfové hole - hlavice, krček a tyčinkovitá násada)

Tenká myofilamenta - aktin + regulační proteinový komplex troponinu a tropomyozinu

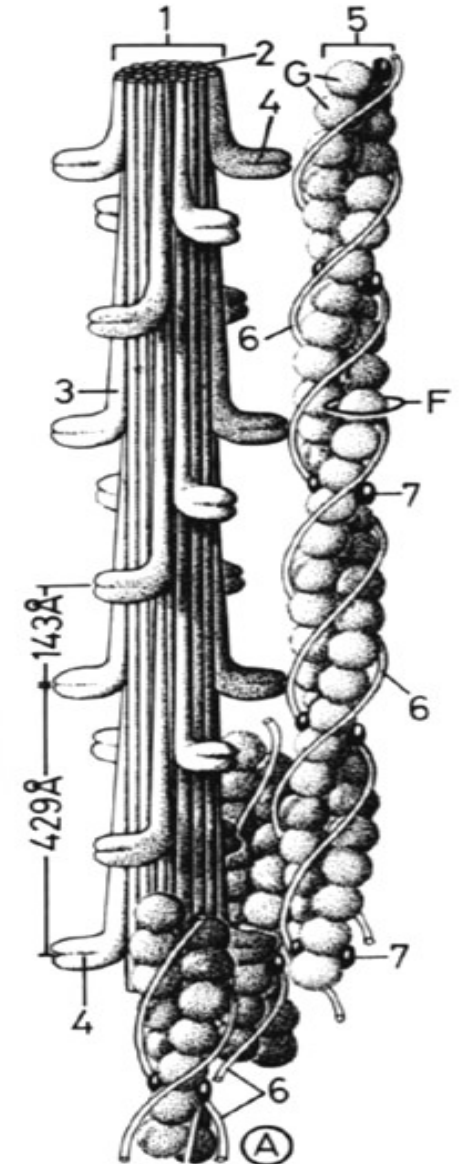
Tropomyozin obtáčí vlákno aktinu

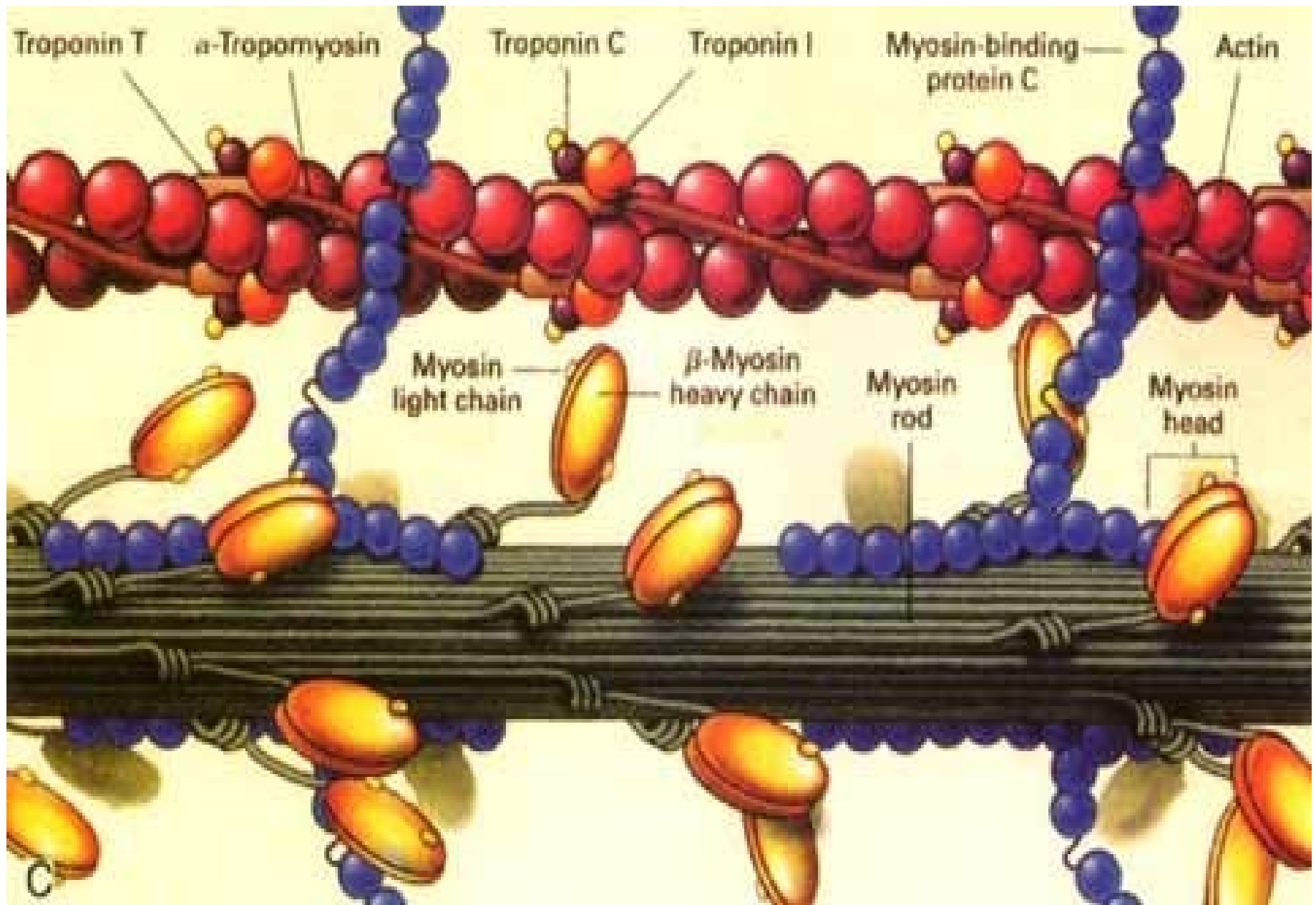
troponin - 3 podjednotky:

TpC odpovídá za vazbu vápenatých iontů

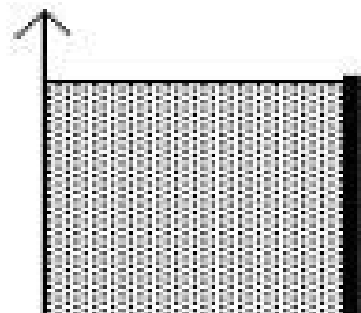
TpT váže troponin k tropomyozinu,

TpI inhibuje interakci aktinu s myozinem

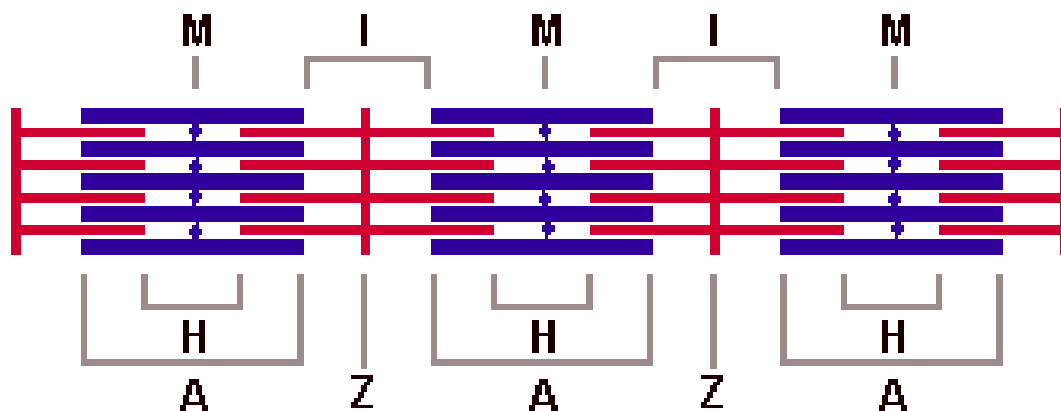




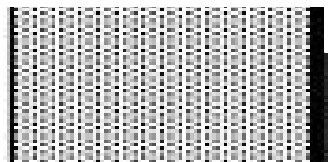
Svalová kontrakce

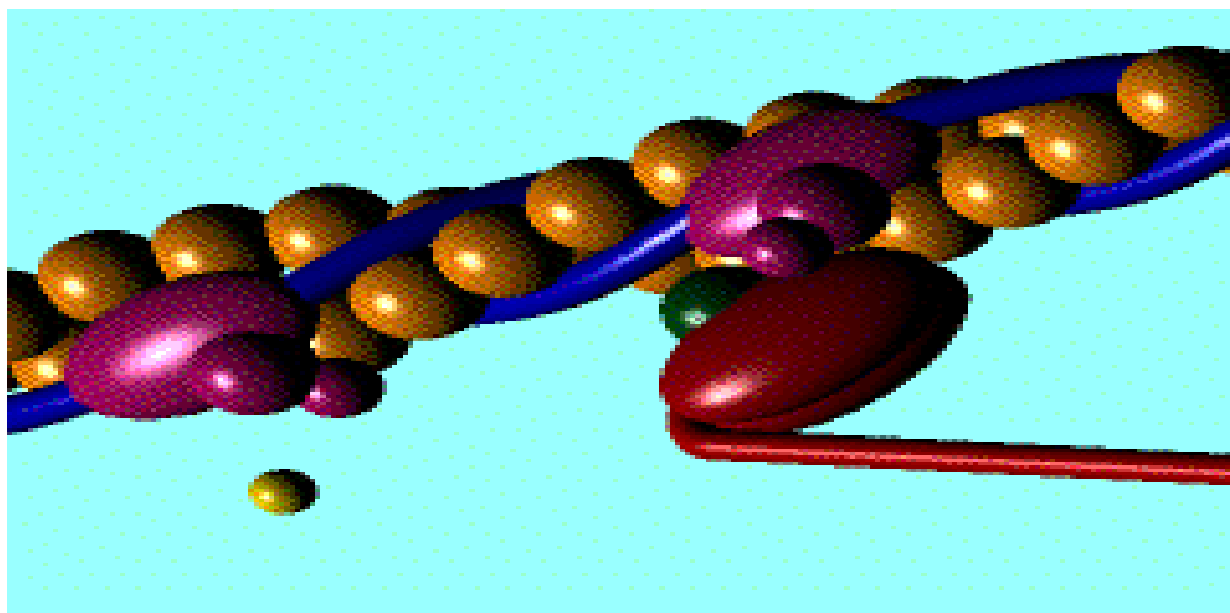
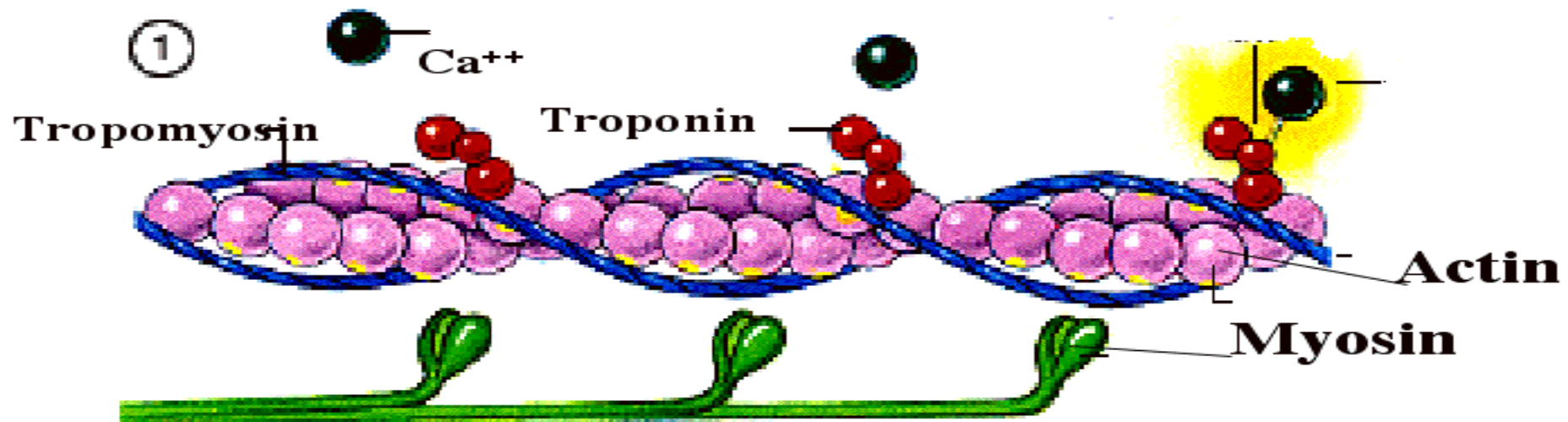


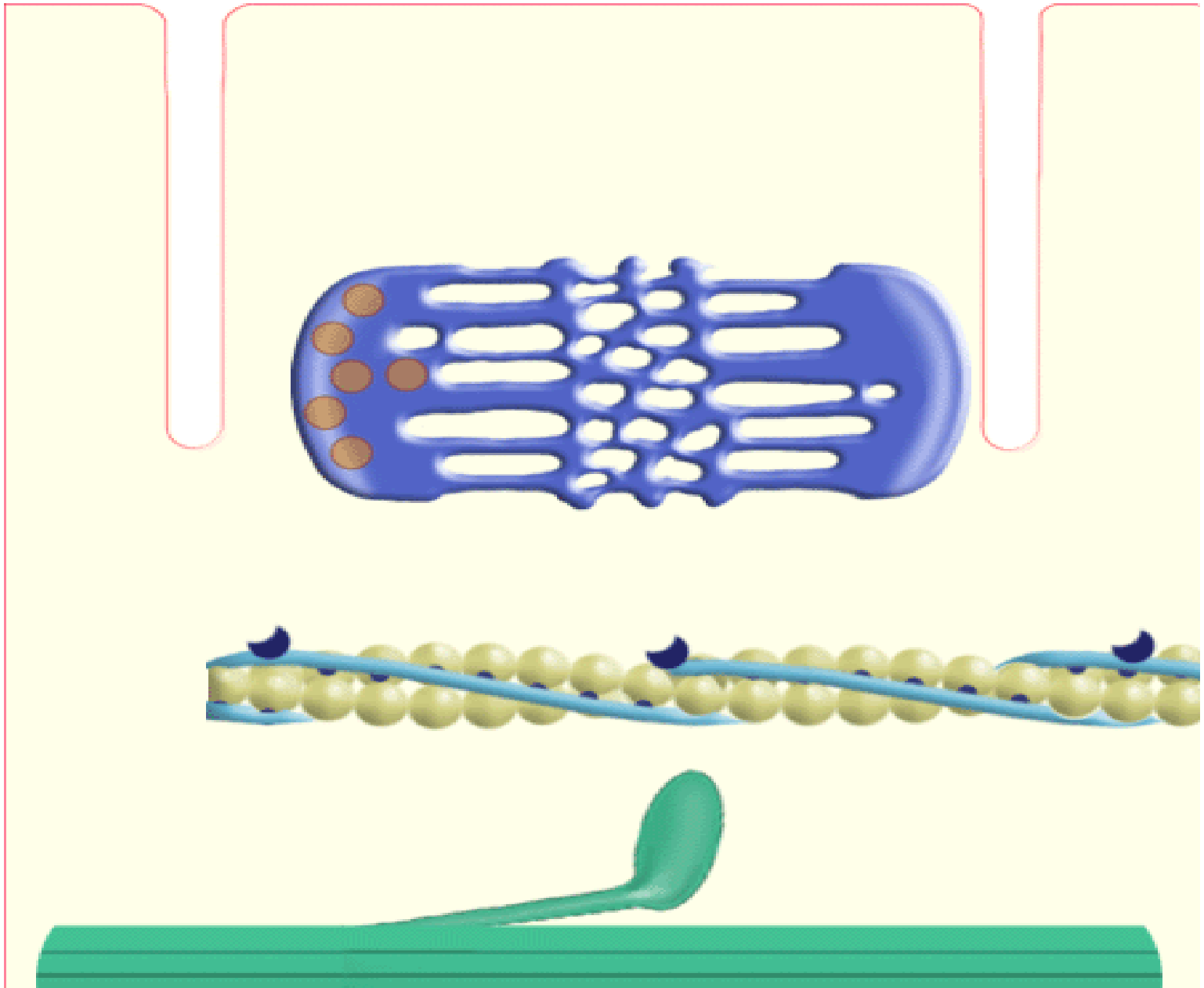
— myosin — actin



Bands and lines in the contractile apparatus of skeletal muscle







Klasifikace svalových vláken

- **Červená vlákna**



↑ myoglobin, mitochondrie, lipid. kapky

↓ myofibrily, glykogen – pomalá, vytrvalá kontrakce

- **Bílá vlákna**

↓ myoglobin, mitochondrie, lipid. kapky

↑ myofibrily, glykogen – rychlá, krátká kontrakce

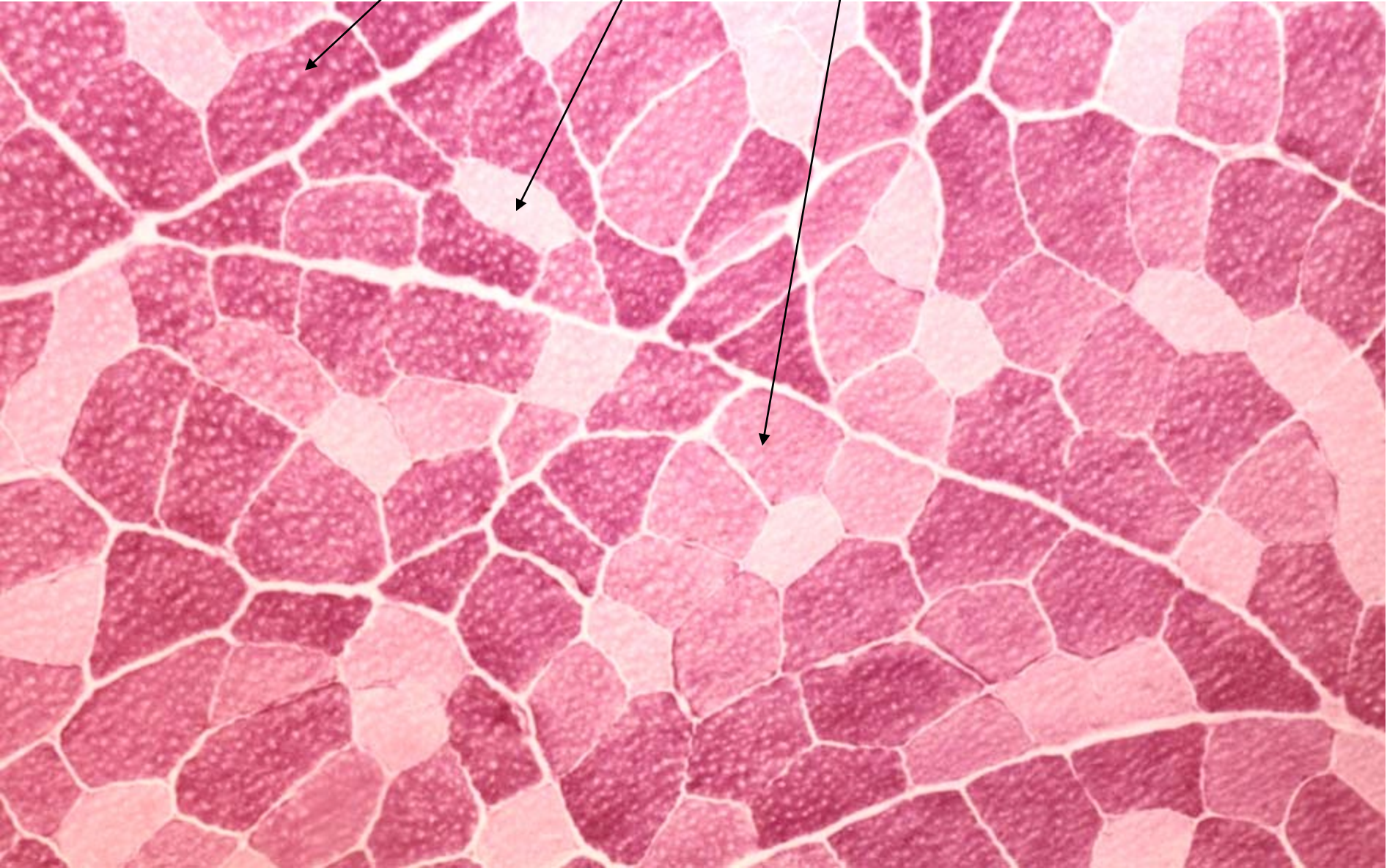
- **Intermediární vlákna**

– rychlá, vytrvalá kontrakce

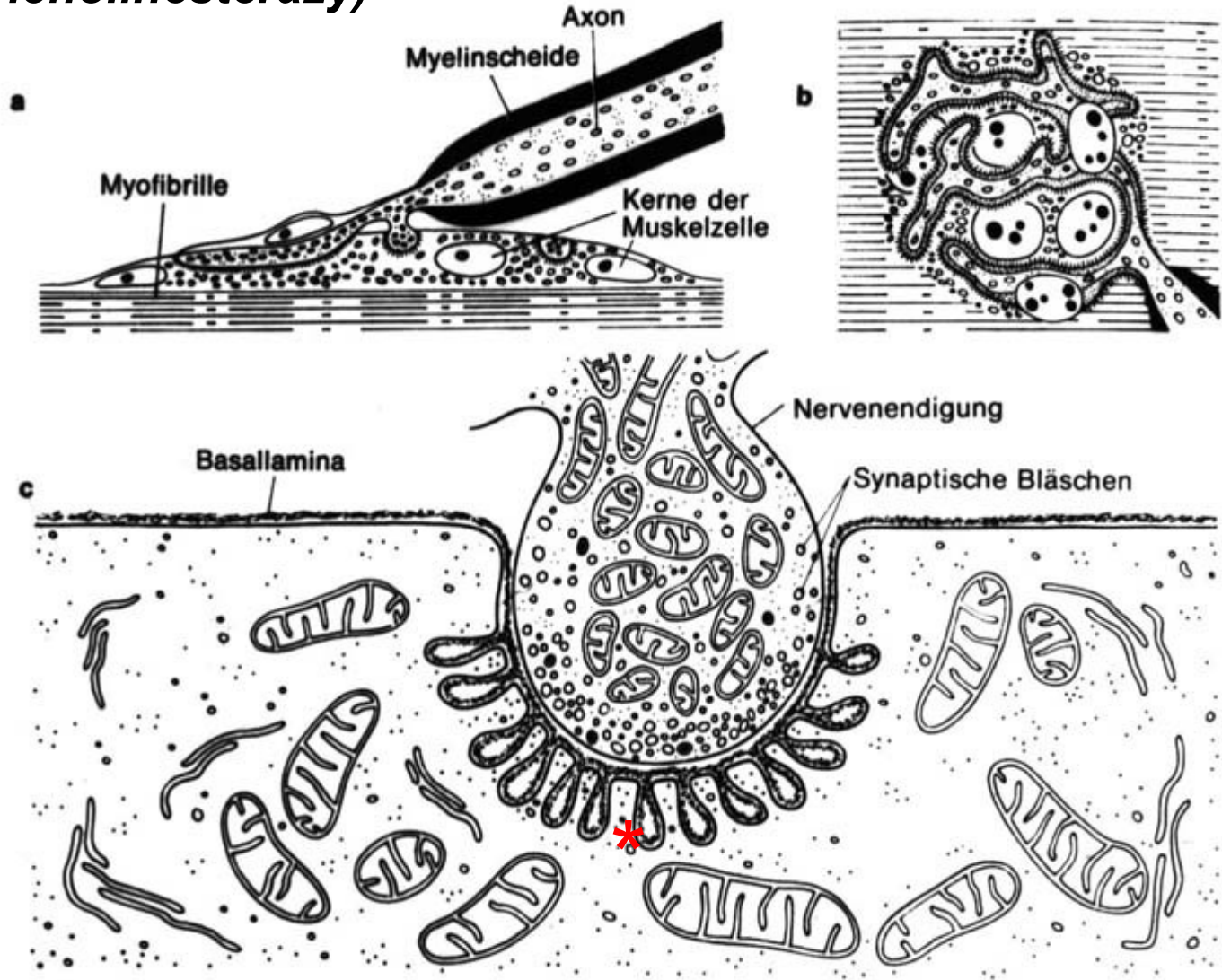
Charakteristika jednotlivých typů svalových vláken

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
Stah	Pomalý	Rychlý	Rychlý
Unavitelnost	Velmi malá	Malá	Vysoká
Hustota vlásečnic	Vysoká	Vysoká	Nízká

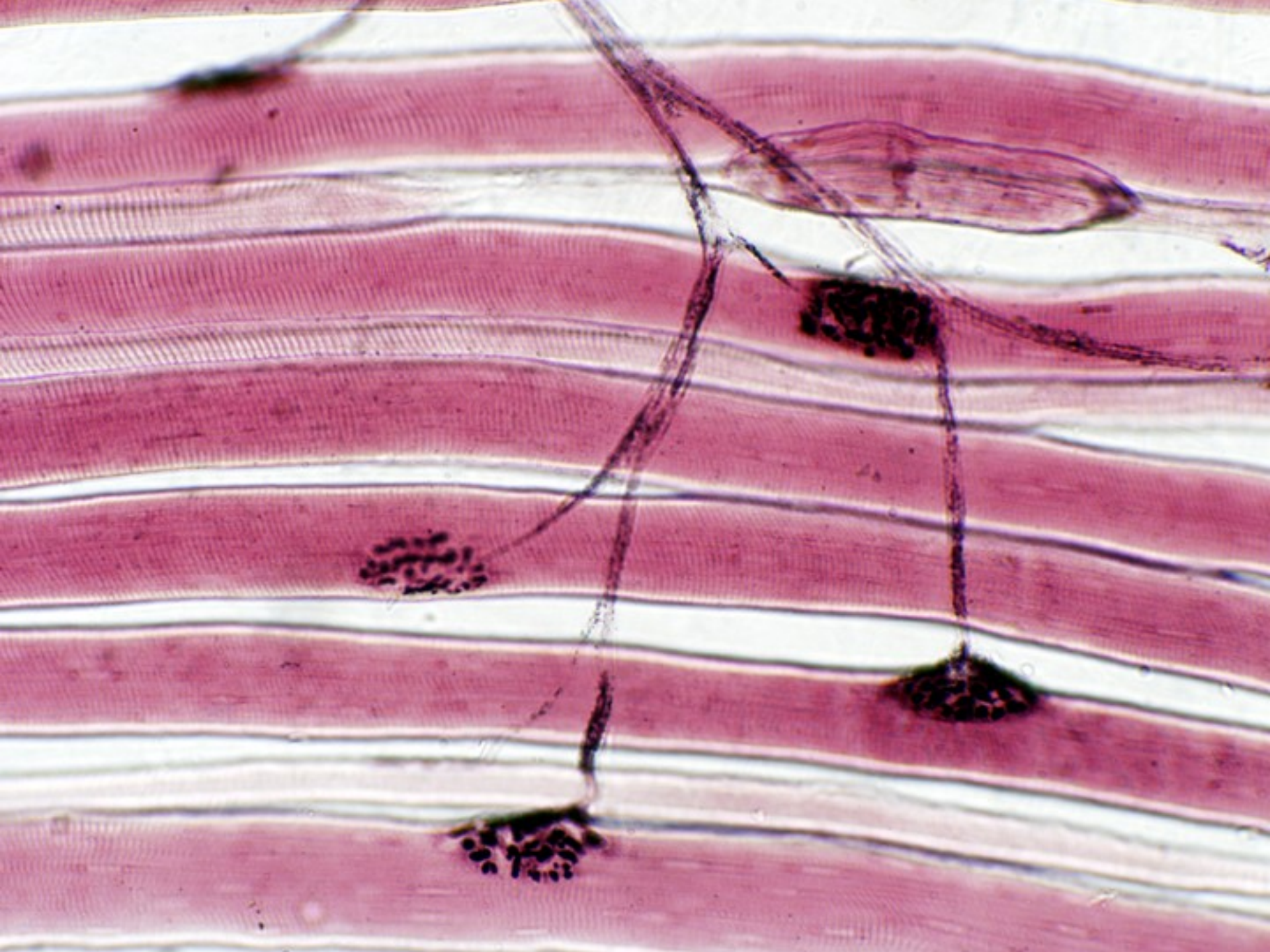
Svalová vlákna červená, bílá a intermediární

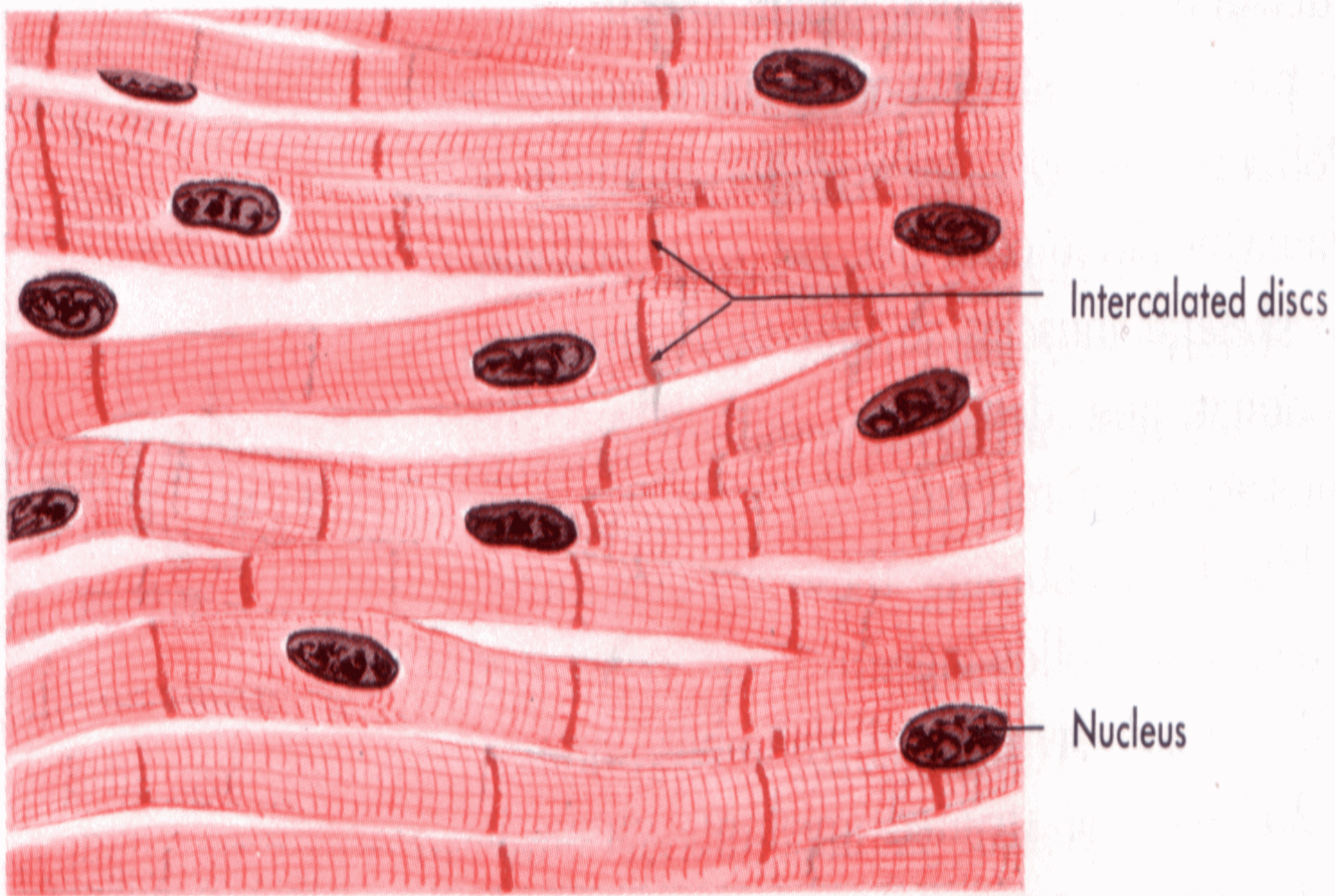


Motorická ploténka (průkaz acetylcholinesterázy)



* subneurální aparát s Ach-receptory

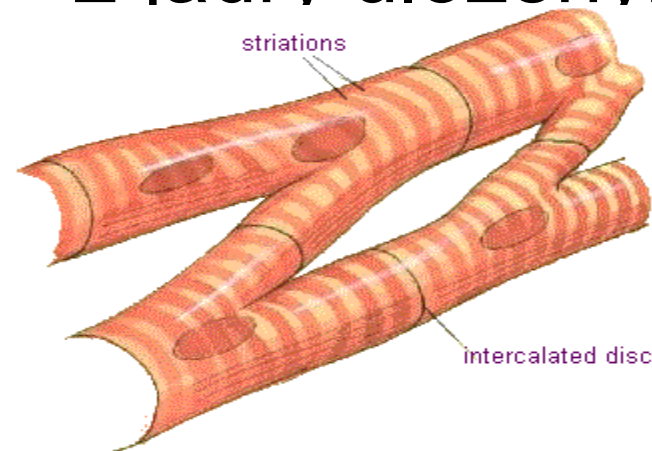




Cardiac or striated involuntary muscle tissue.

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



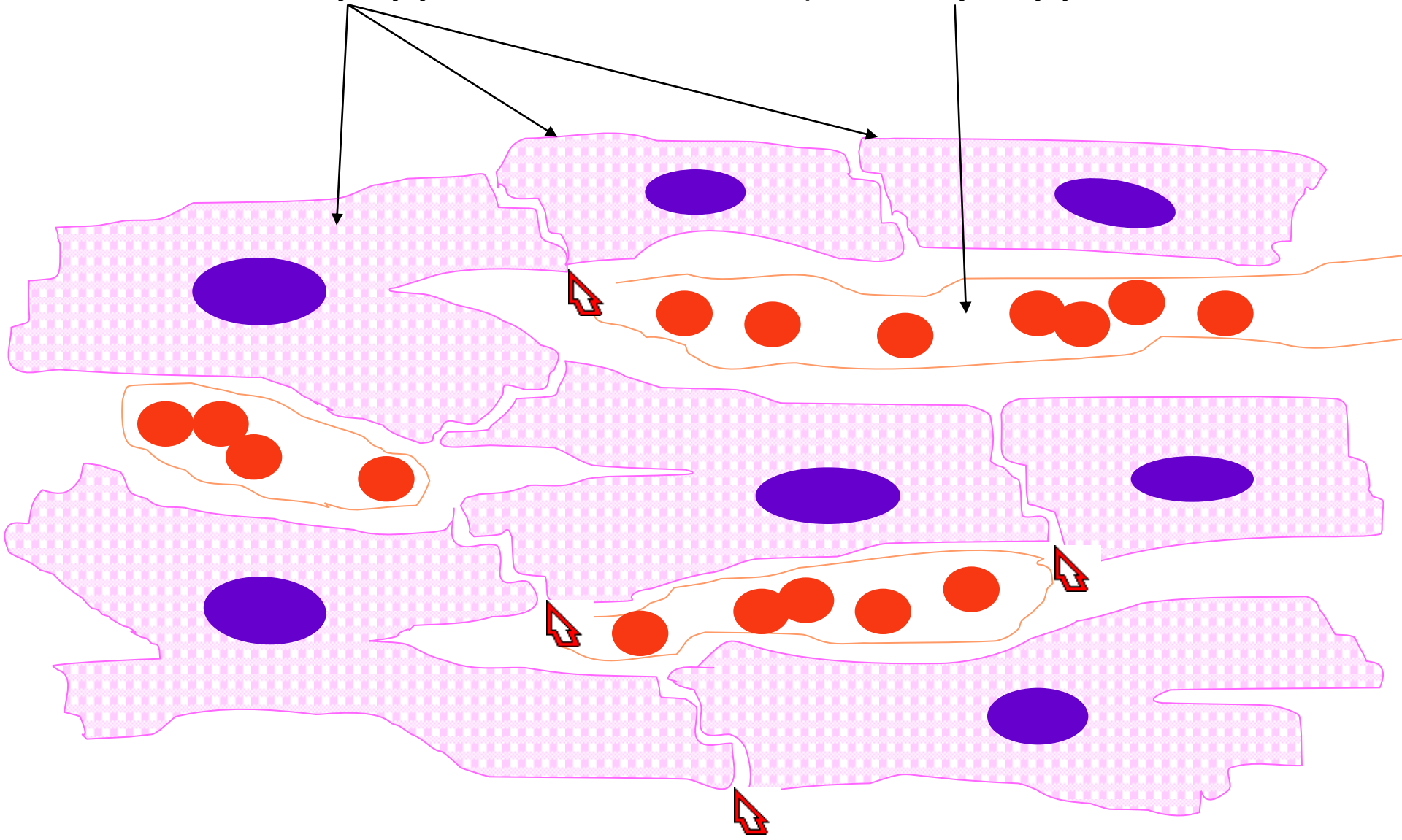
*Buňky jsou spojeny do vláken nebo
prostorových sítí **interkalárními disky**.*

Kardiomyocyt *pracovní (kontraktilní)* *vzrušivé*

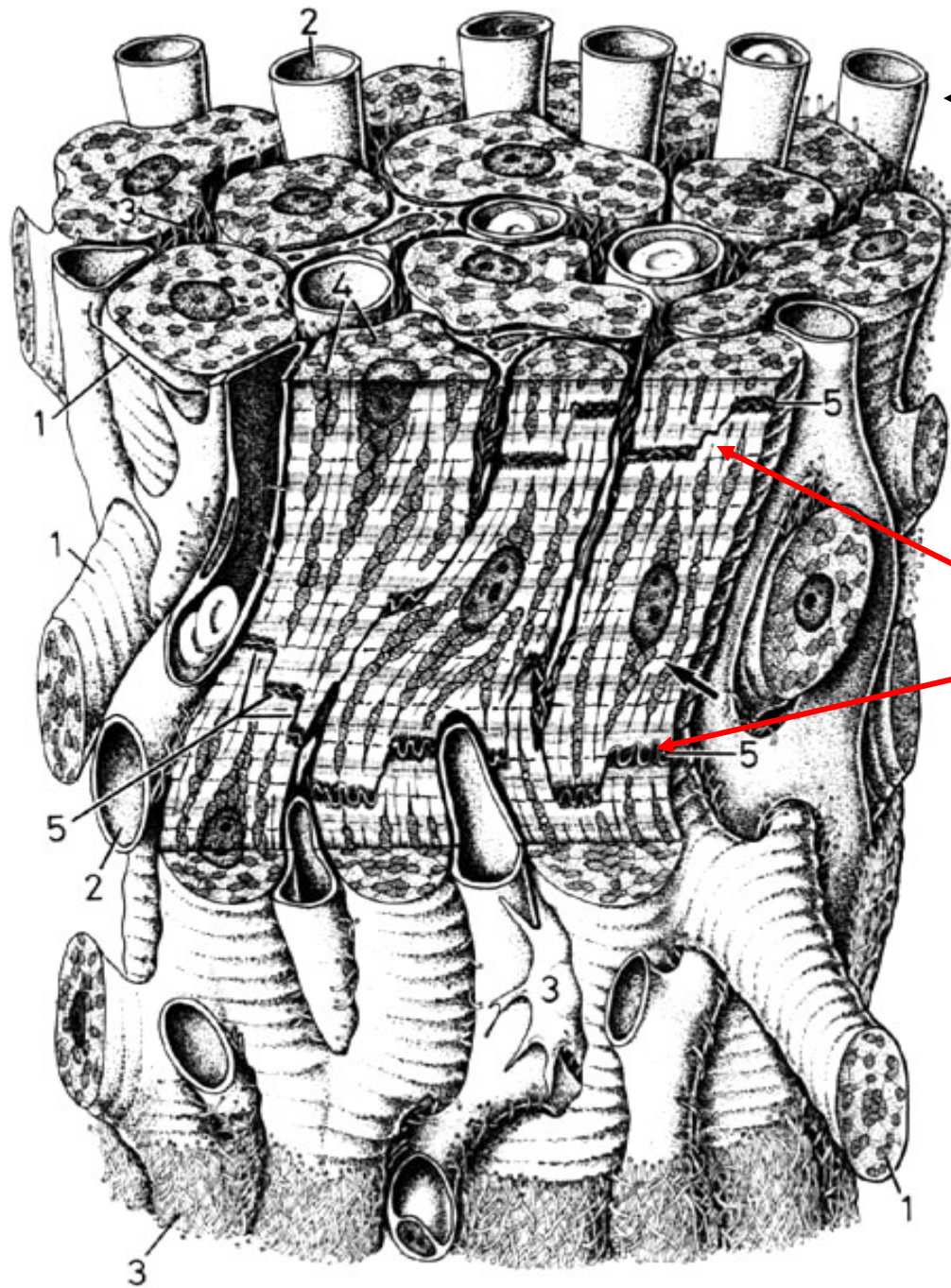
- oválné jádro centrálně (1-2)
- množství mitochondrií
 - GER, GA, glykogen, lipidy
- kontraktilní aparát - myofibrily
- SR - příčně probíhá na úrovni Z-linií
 - jsou vytvořeny diády (T-tubulus +1 cisterna)
- v síních - granula aurikulinu (natriuretický faktor)

kardiomyocyty

kapilára s erytrocyty



Interkalární disk



Kapiláry koronárního řečiště

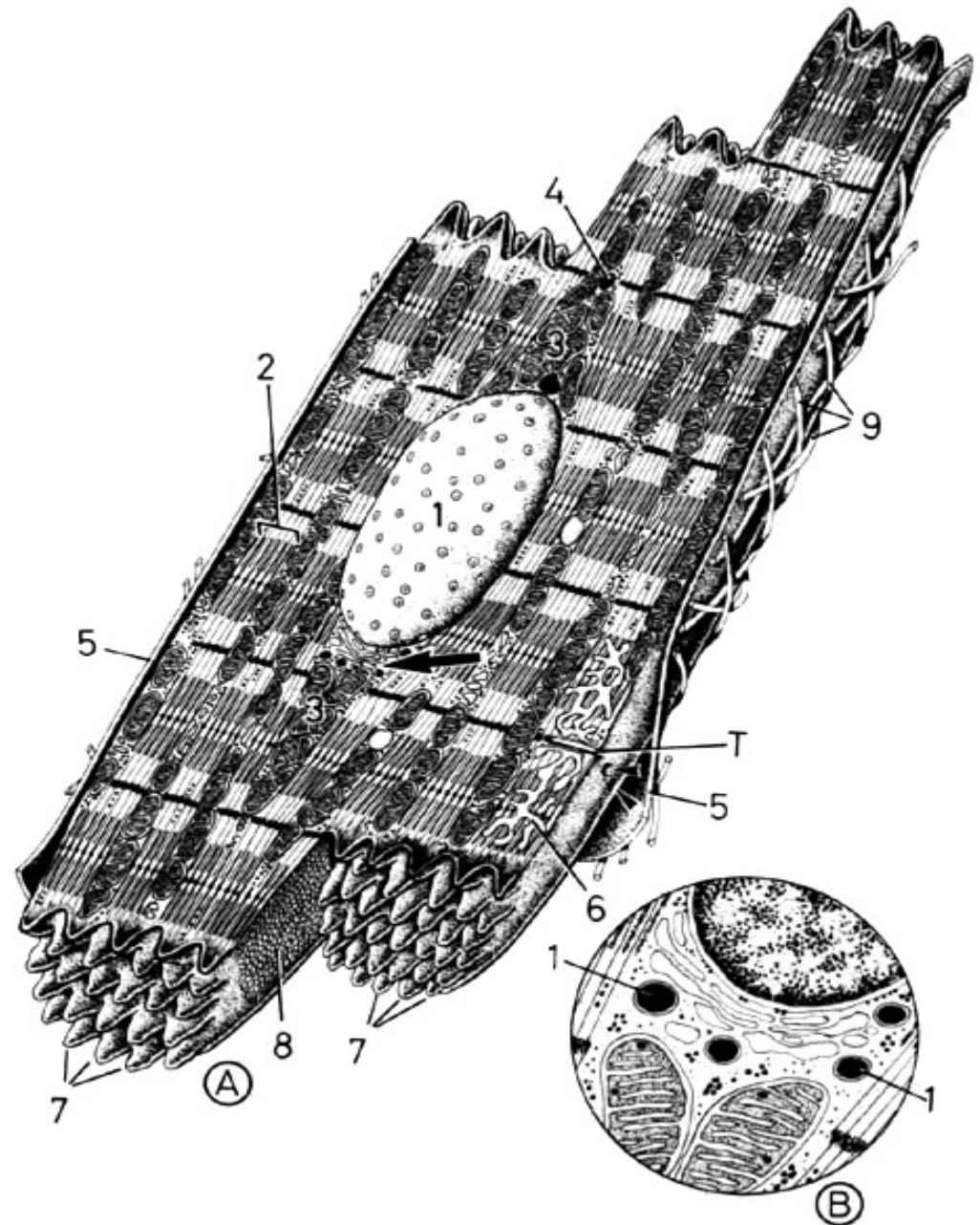
Interkalární disky

Kardiomyocyt pracovní (kontraktilní) vzrušivý

- jednojaderná bb. - oválné jádro centrálně
- množství velkých mitochondrií
 - GER, GA, glykogen, lipidy
- kontraktilní aparát - jako v kosterním svalu
- SR (AER) - příčně probíhá na úrovni Z-linií
 - jsou vytvořeny diády
- v síních granula aurikulinu (natriuretický faktor)

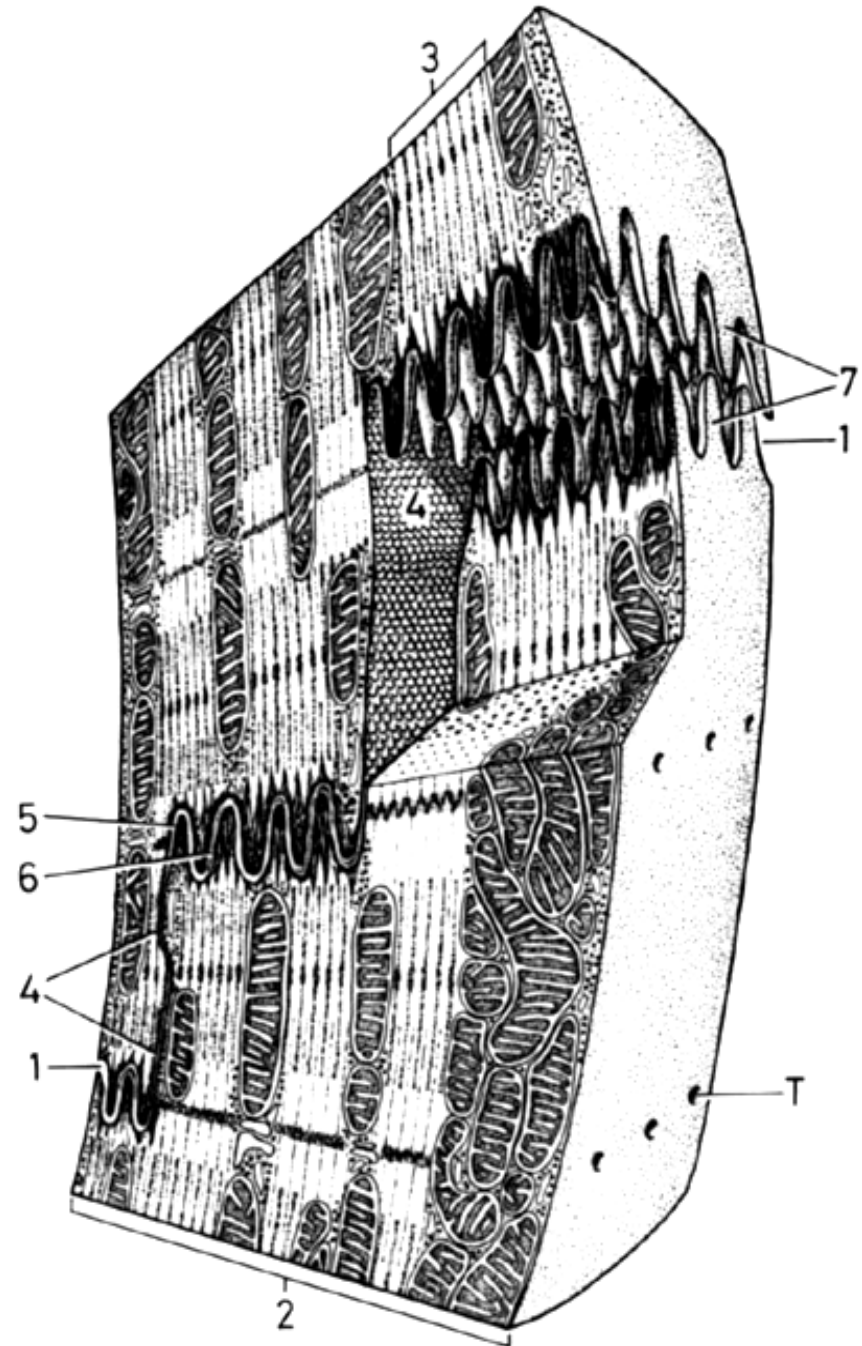
Kardiomyocyt

- Kratší sarkomery
- Diády
- T-tubulus kolem Z-linie, jen v komorách (ne v síních)

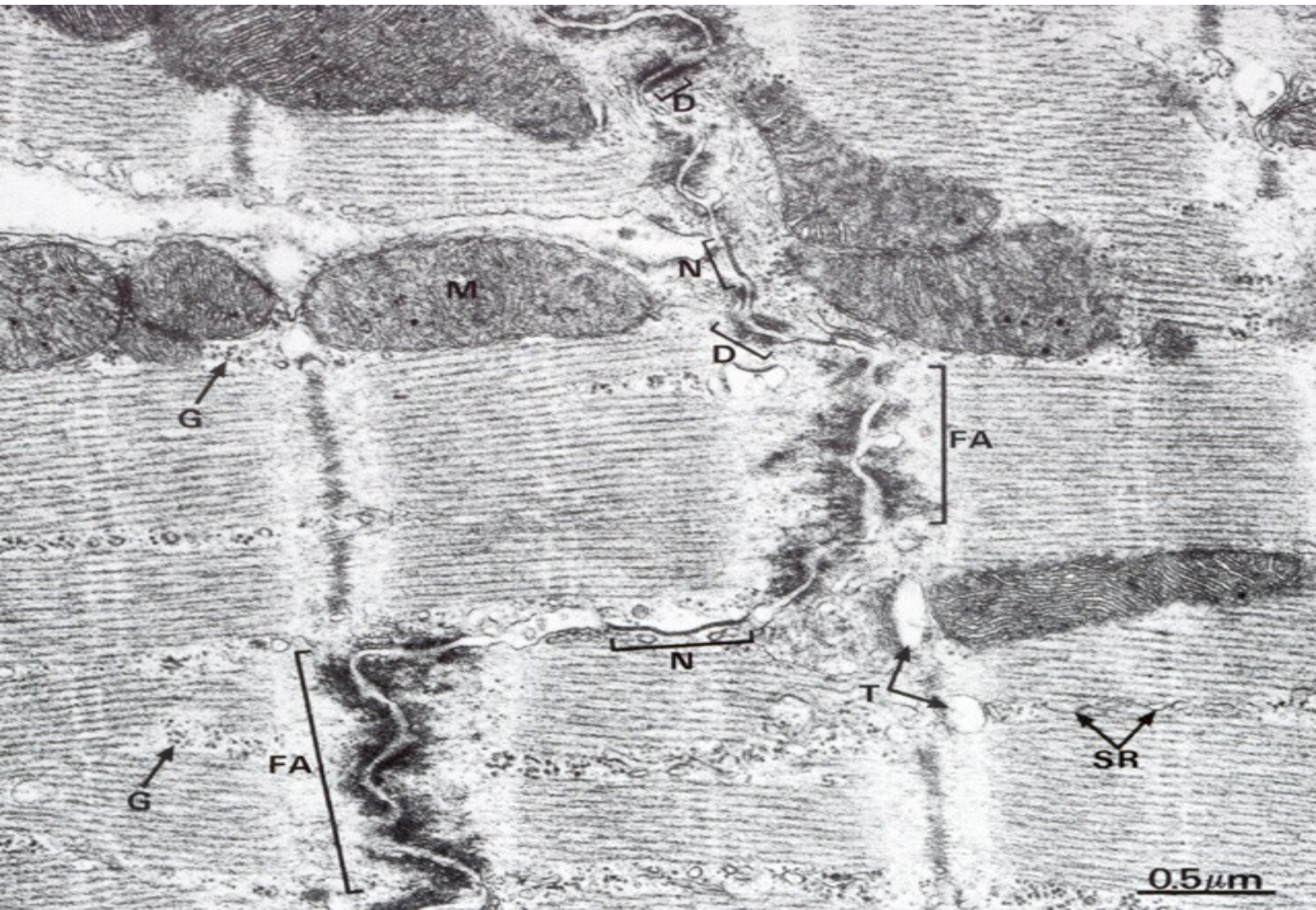


Interkalární disk

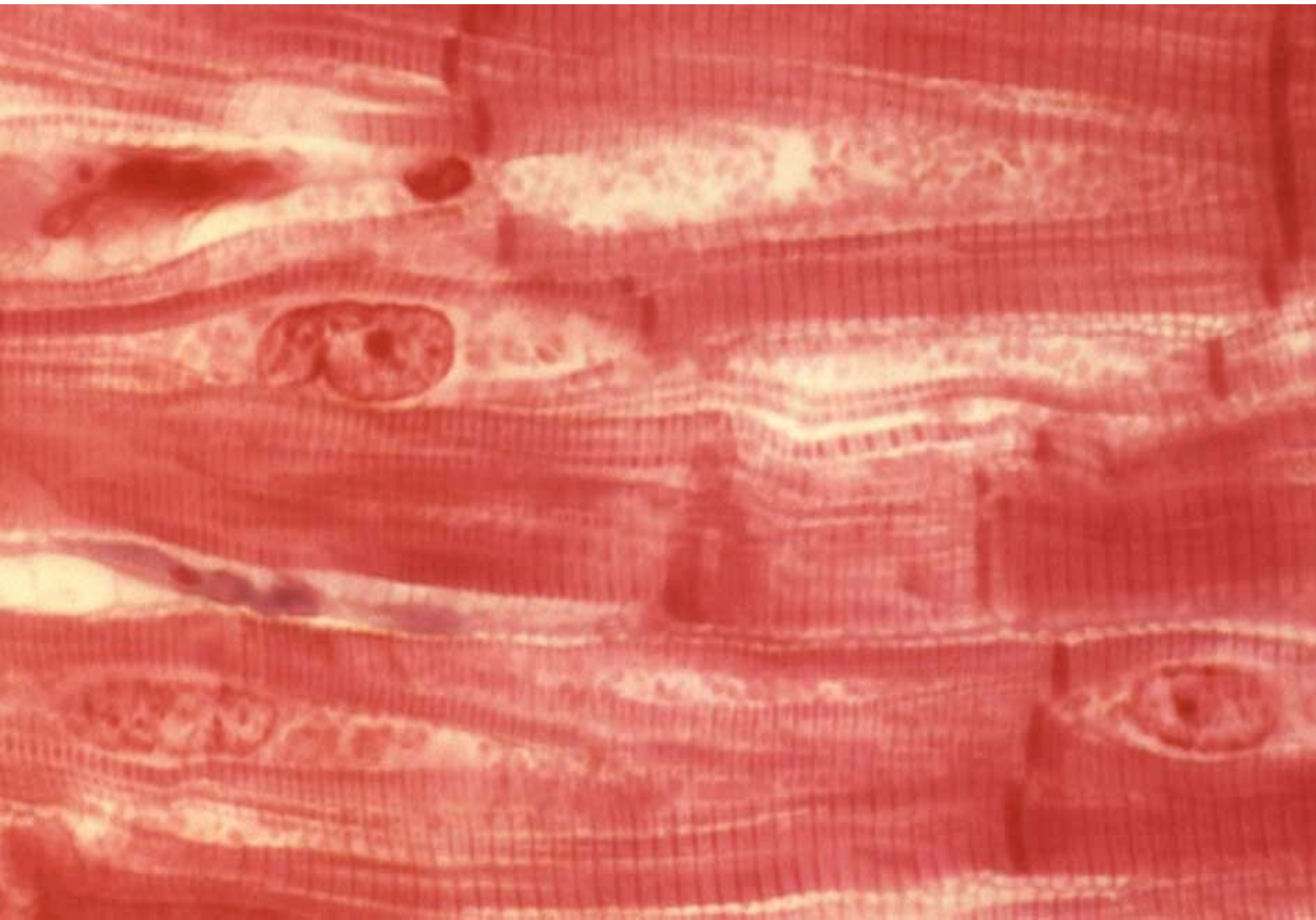
- Schodovitě spojení sousedních kardiomyocytů
- intercelulární spoje
 - *desmosom*
 - *fasciae adherentes*
 - *gap junction (nexus)*



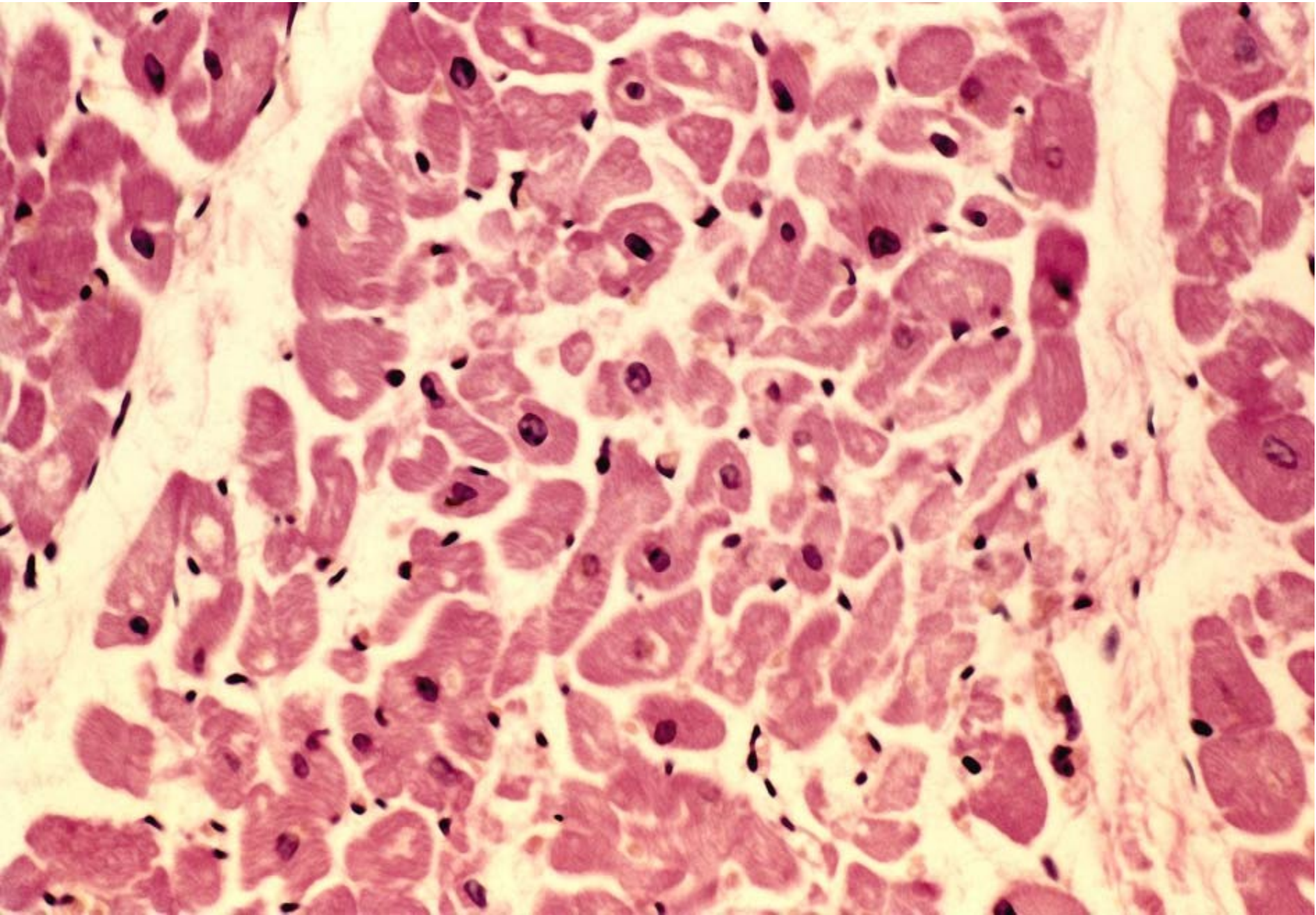
Interkalární disk (ELM)



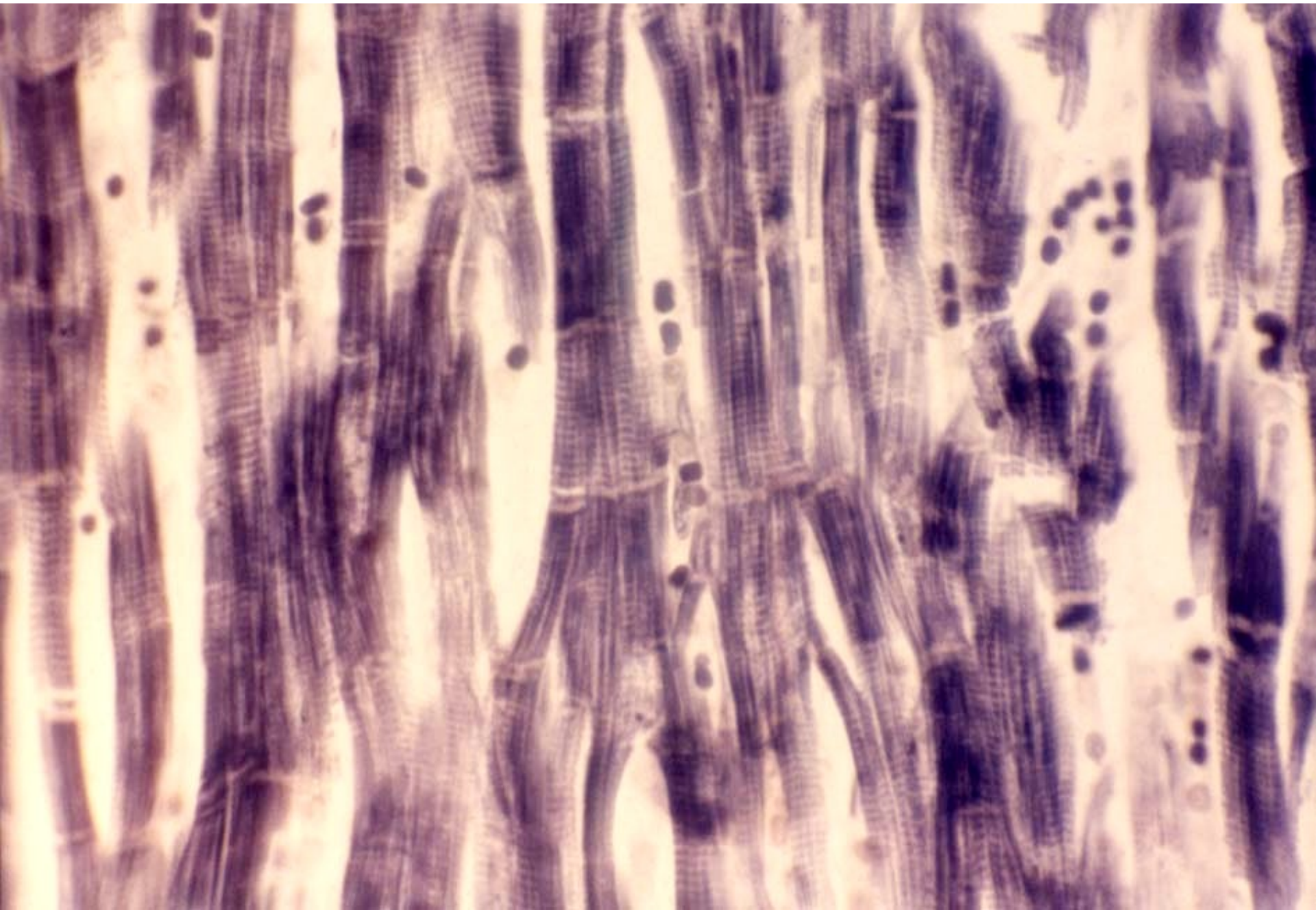
Myokard (podélně)



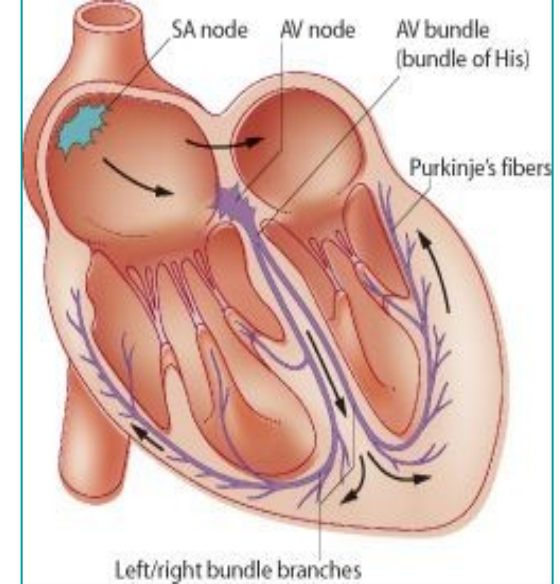
Myokard (příčně)



Myokard (Heidenhain) – interkalární disky



Vzrušivé (nonkontraktilní) kardiomyocyty



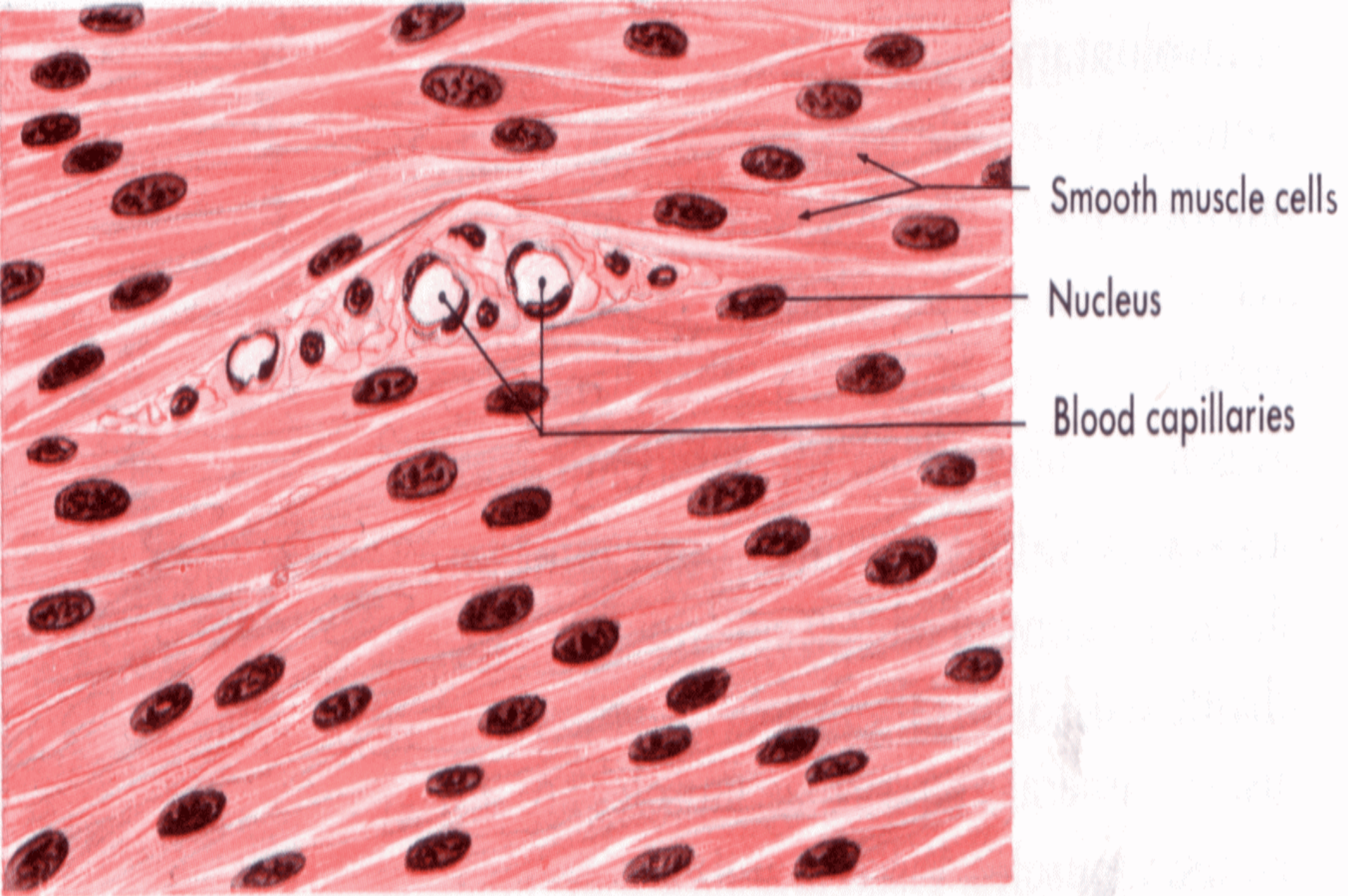
- součást převodního /excitomotorického/ aparátu srdce: **sinusový a síňokomorový uzlík, Hissův svazek** rozdělený na pravé a levé raménko a **Purkyňova vlákna**
- nízký počet myofibril, zvýšený obsah glykogenu v sarkoplasmě, chybění T-tubulů a interkalárních disků a hojné spoje typu nexusů



**Pracovní
kardiomyocyty**

This histological image shows a cross-section of cardiac tissue. The left side is dominated by 'Pracovní kardiomyocyty' (working cardiomyocytes), which are characterized by their elongated, striated appearance and centrally located nuclei. The right side shows 'Vzrušivé kardiomyocyty' (pacemaker cardiomyocytes), which are smaller, more rounded, and have a more granular cytoplasm with centrally located nuclei. The overall structure is organized into a regular, repeating pattern of these two cell types.

**Vzrušivé
kardiomyocyty**

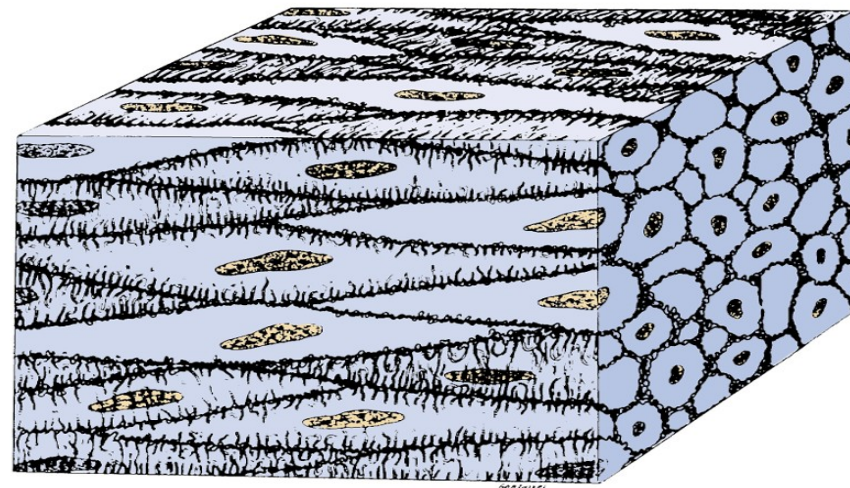


Visceral or nonstriated (smooth) involuntary muscle tissue.

Svalová tkáň hladká

- **morfologická a funkční jednotka: svalová buňka (**leiomyocyt**)** –
buňka s 1 jádrem uloženým centrálně
- průměr: 3-10 μm
- délka: 20 μm (až 500 μm – hypertrofie v gravidní děloze)

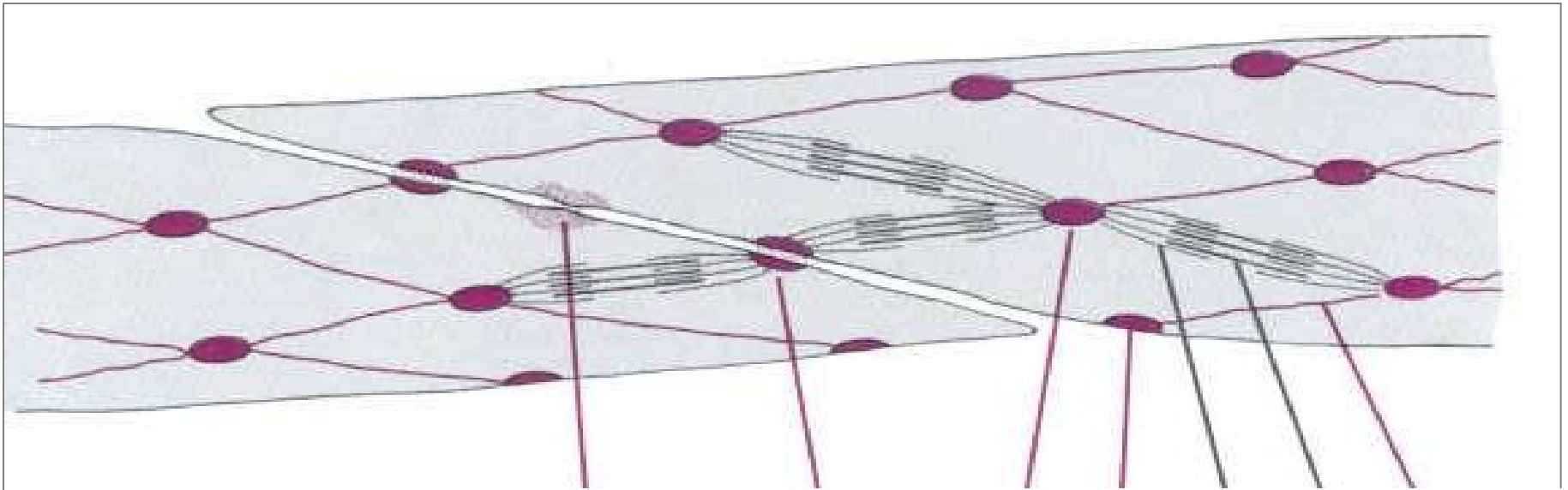
Hladká svalová tkáň



- Schopnost hypertrofie (gravidní uterus)
- Jádro – centrálně
- Myofilamenta nejsou uspořádána do myofibril, *(buňka nevykazuje příčné pruhování)*.
- Mezibuněčné spoje – nexusy, desmosomy, ZO
- Na povrchu buněk lamina basalis *(jsou schopny produkovat kolagen a elastin – např. ve stěně cév)*

Leiomyocyt

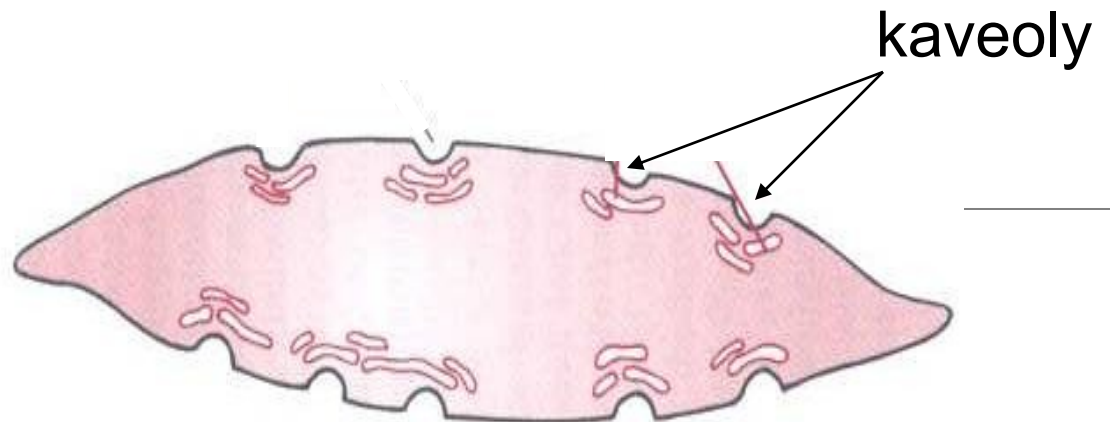
- sarkoplazmatické retikulum: pouze izolované váčky, chybějí terminální cisterny i T-tubuly
- kaveoly (\approx T-tubuly)
- **tenká** (aktinová) a **tlustá** (mysionová) **myofilamenta** uspořádána do složité prostorové sítě, chybí periodické střídání obou typů filament (= nejsou vytvořeny myofibrily)

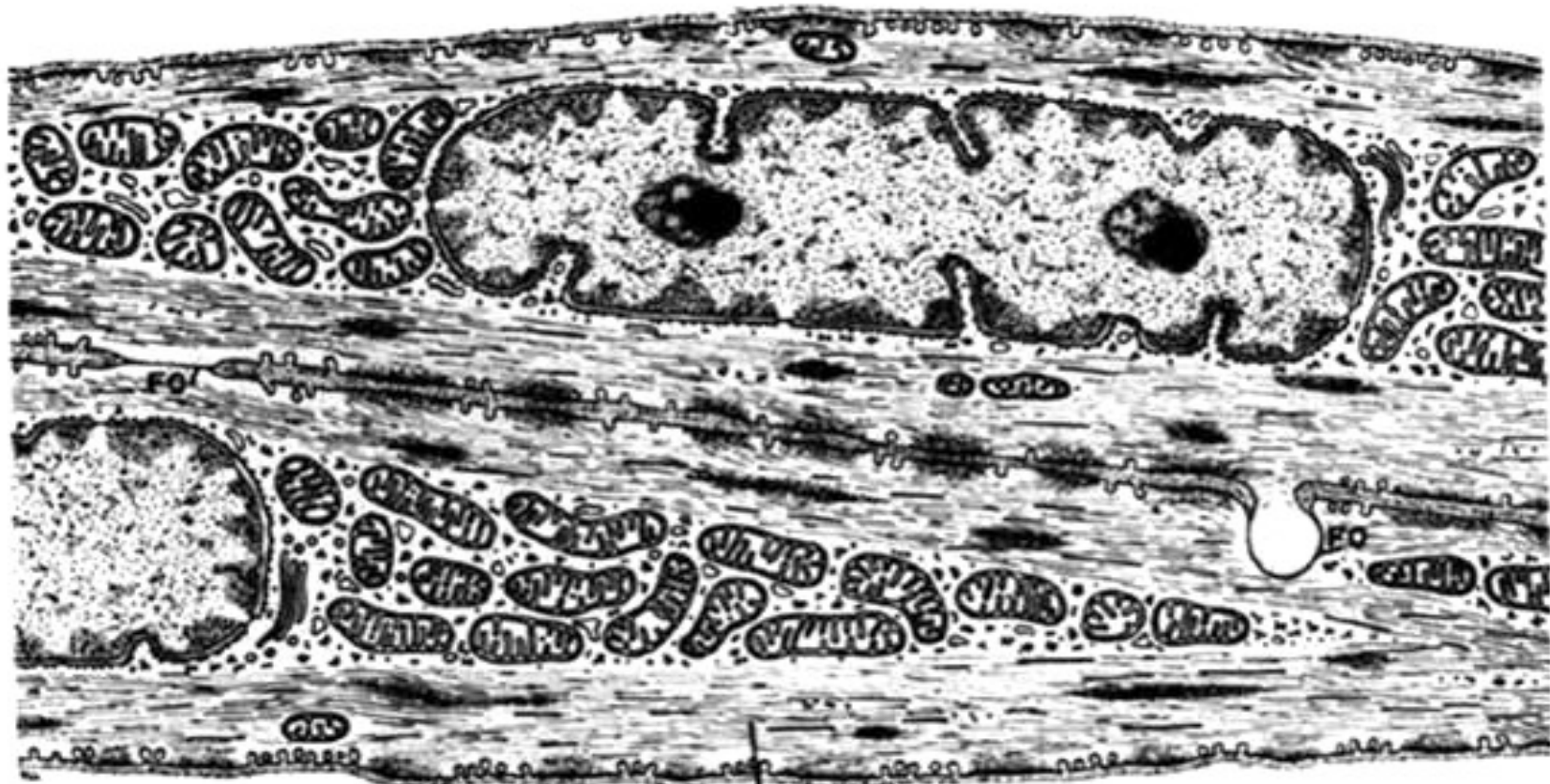


Aktinová myofilamenta – fokálně adherují k sarkolemě nebo do **denzních tělísek** (\approx Z-linie) v sarkoplazmě.

Kalmodulin (\approx troponin)

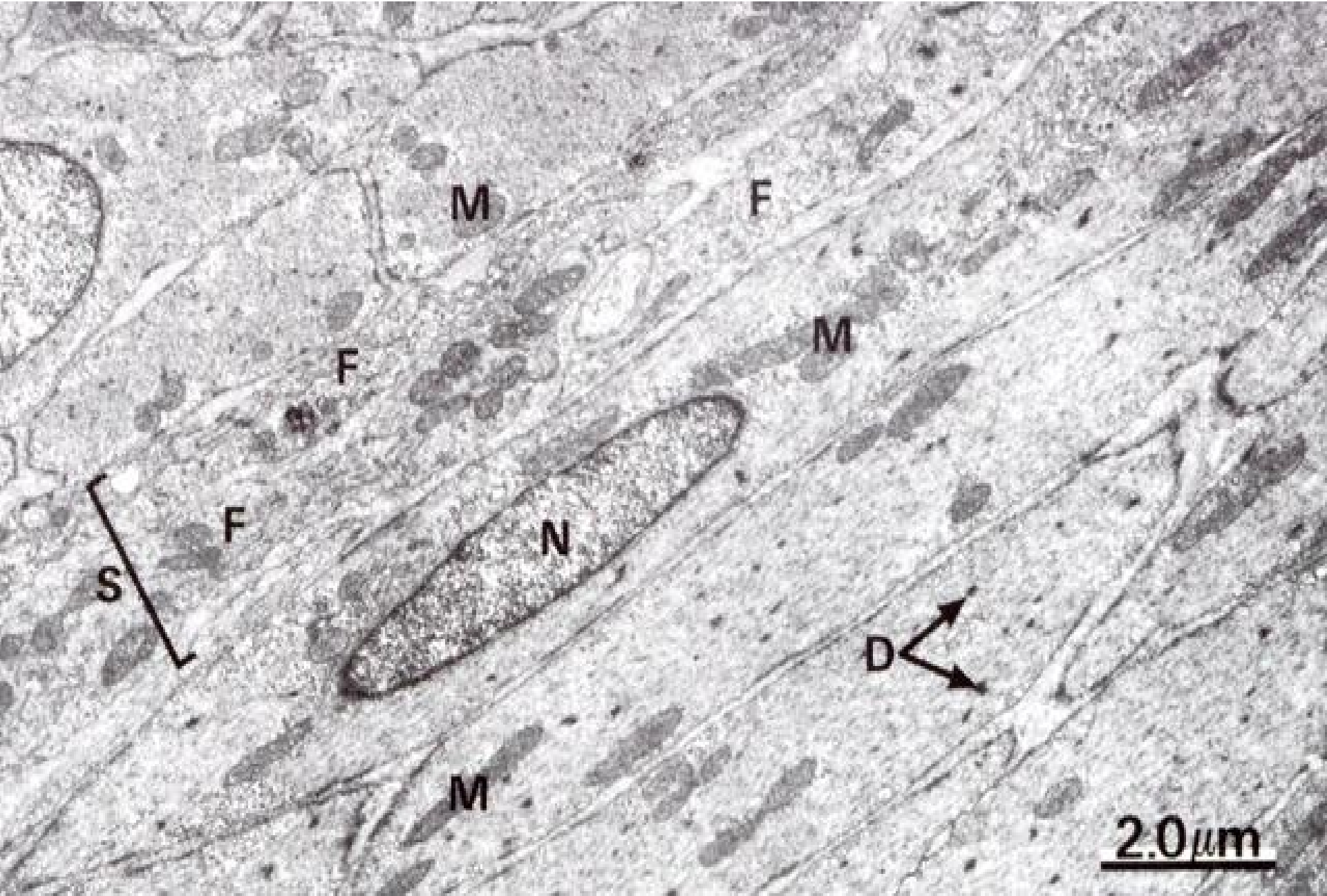
Sarkoplazmatické retikulum – jen krátké tubuly;



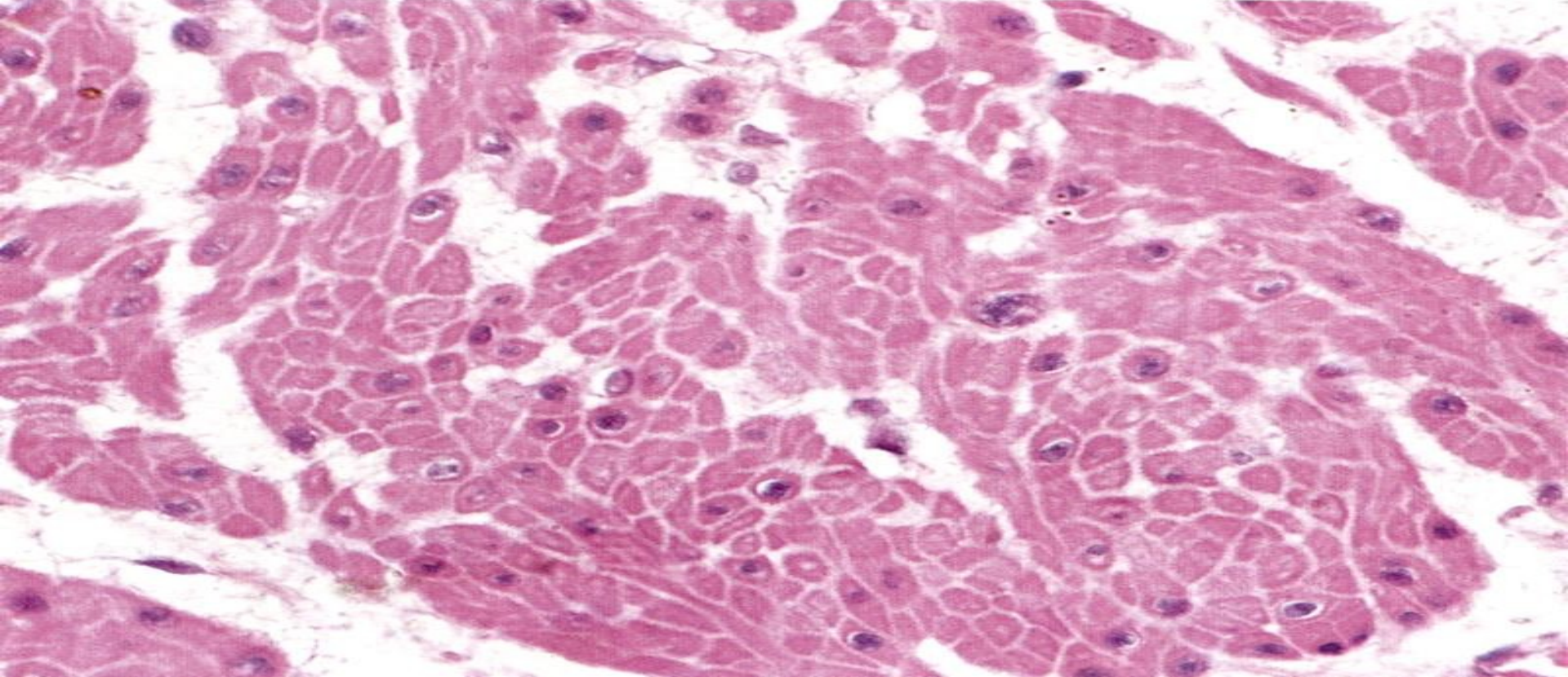
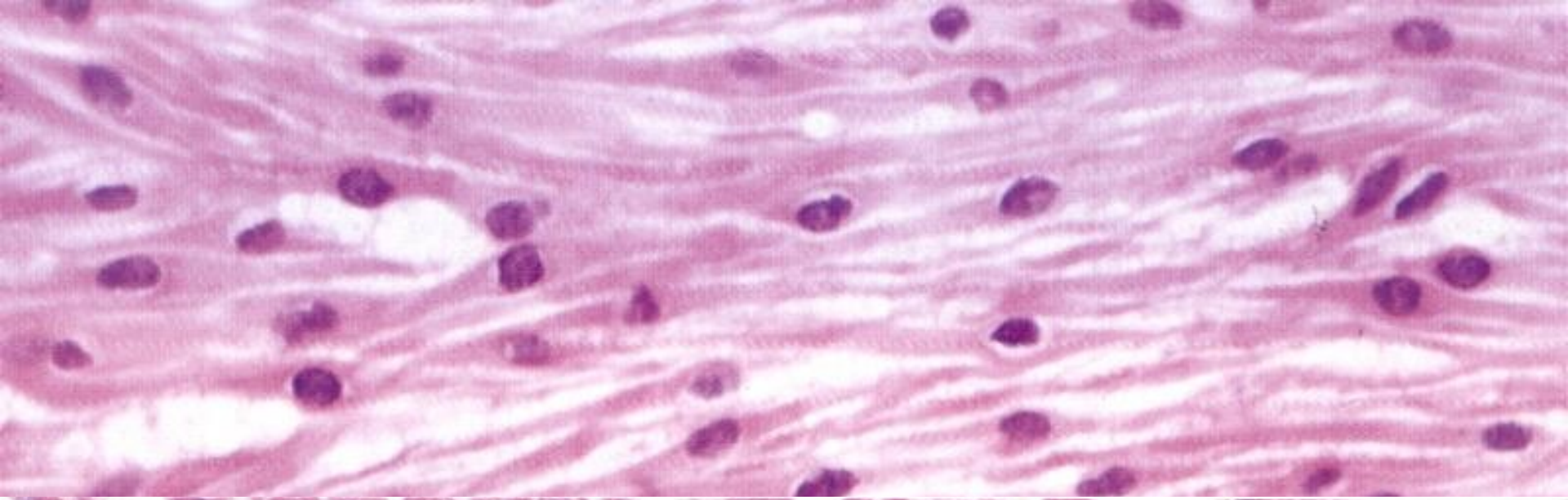


MF

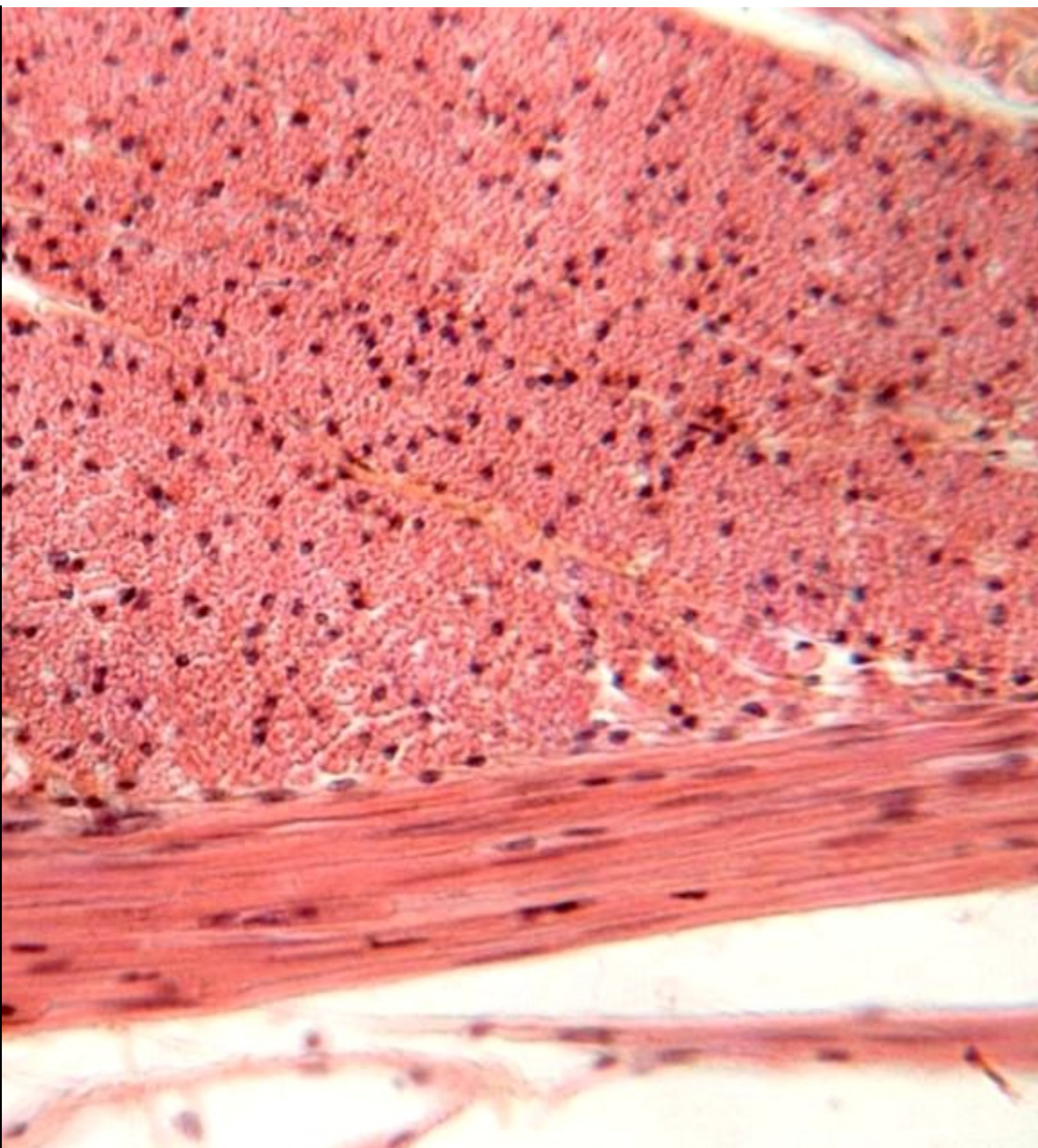
Leiomyocyty (ELM)



2.0 μm

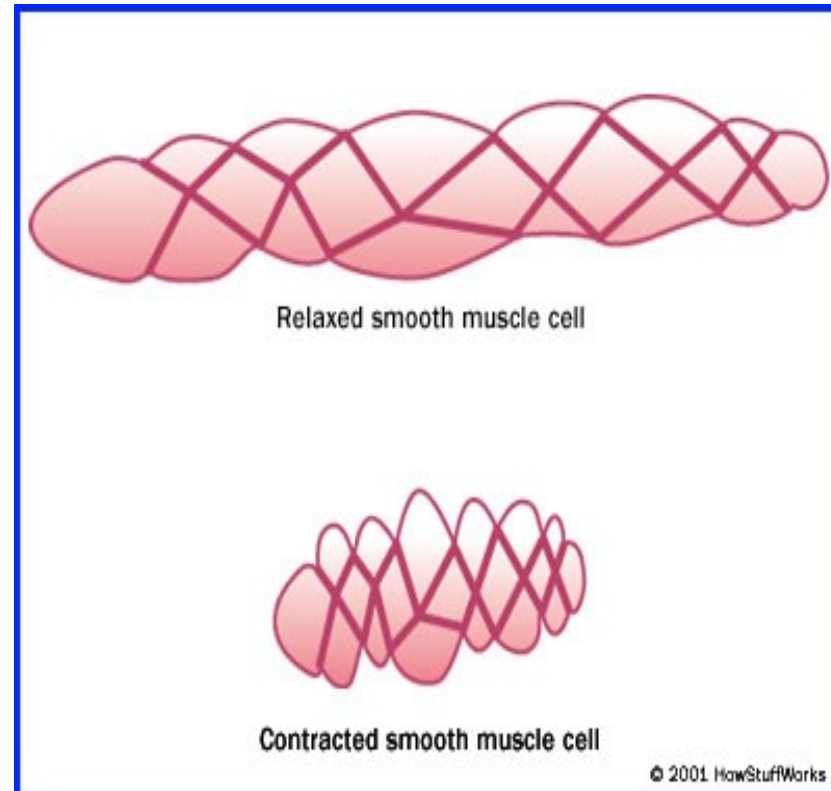


Hladká svalová tkáň (HE, příčně a podélně)



Mechanismus kontrakce

- Ca^{2+} (vstup do buňky), vazba na kalmodulin
- Ca^{2+} -kalmodulin aktivuje myosin-kinázu
- $\text{ATP} \downarrow \rightarrow \text{ADP}$
- vazba aktinu na myosin
dále jako u kosterní svaloviny



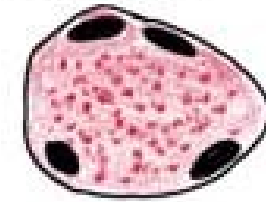
Svalová tkáň – shrnutí

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	velmi omezená	žádná	regeneruje

Podélný řez

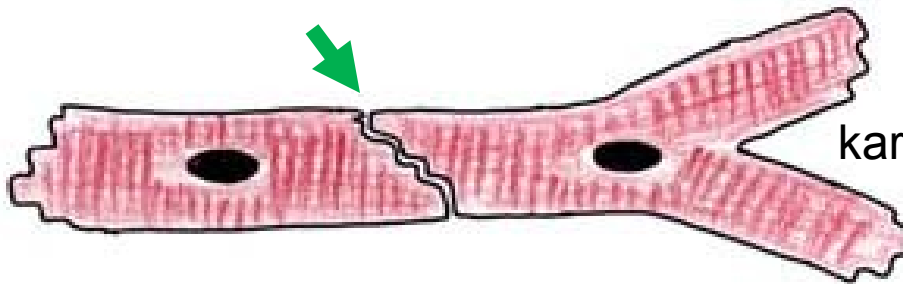


Příčný řez



A

rhabdomyocyt

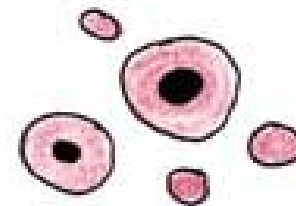
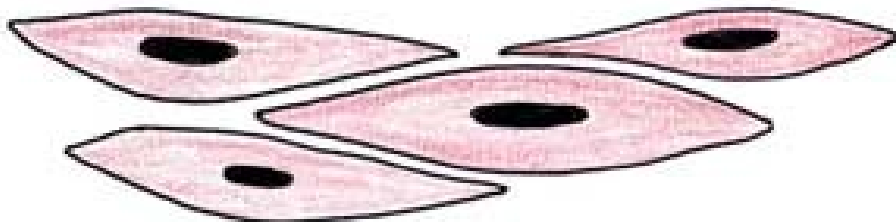


kardiomyocyt



B

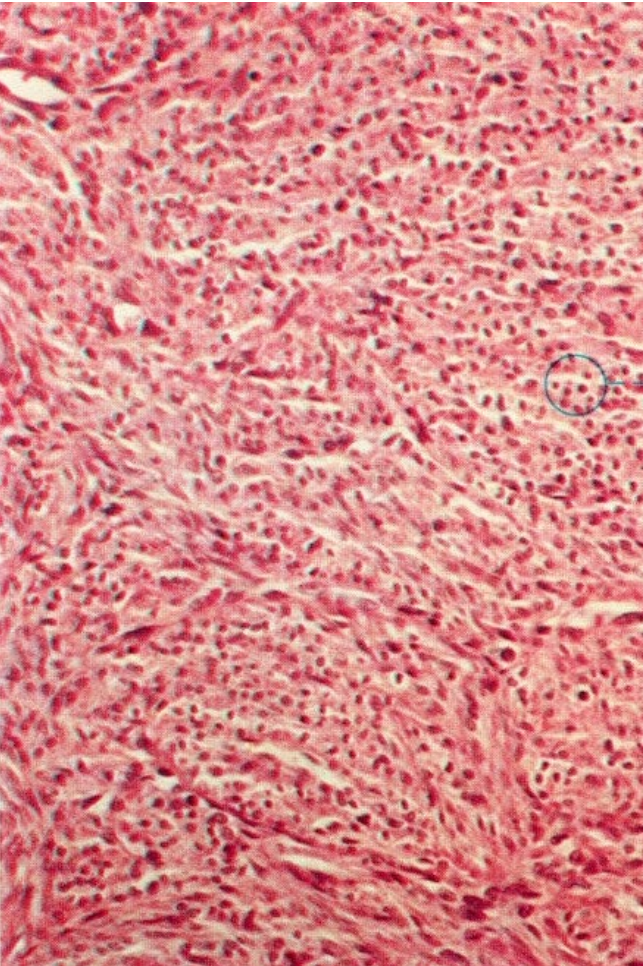
leiomyocyt



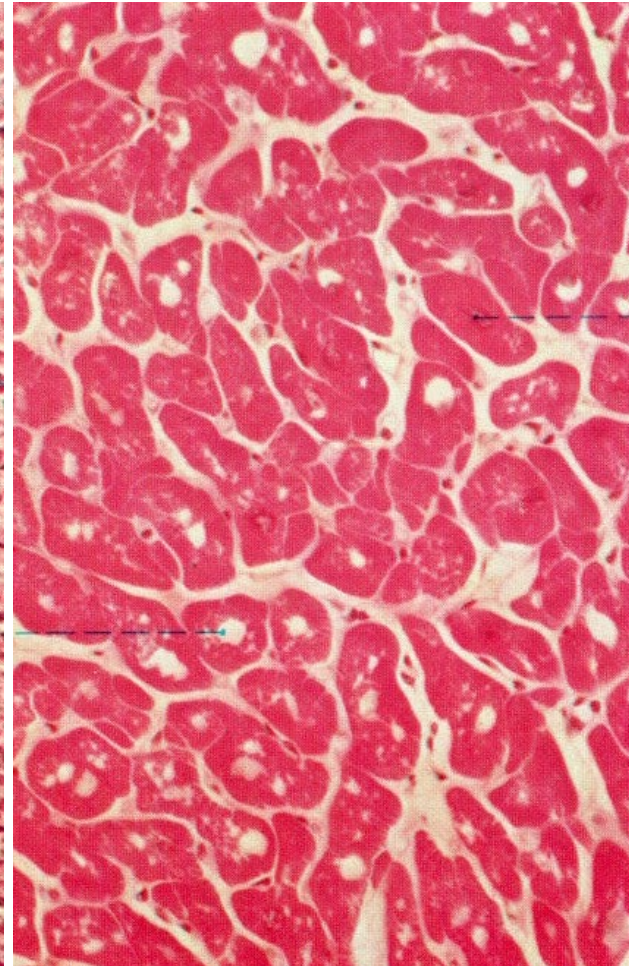
C

svalová tkáň – příčný řez

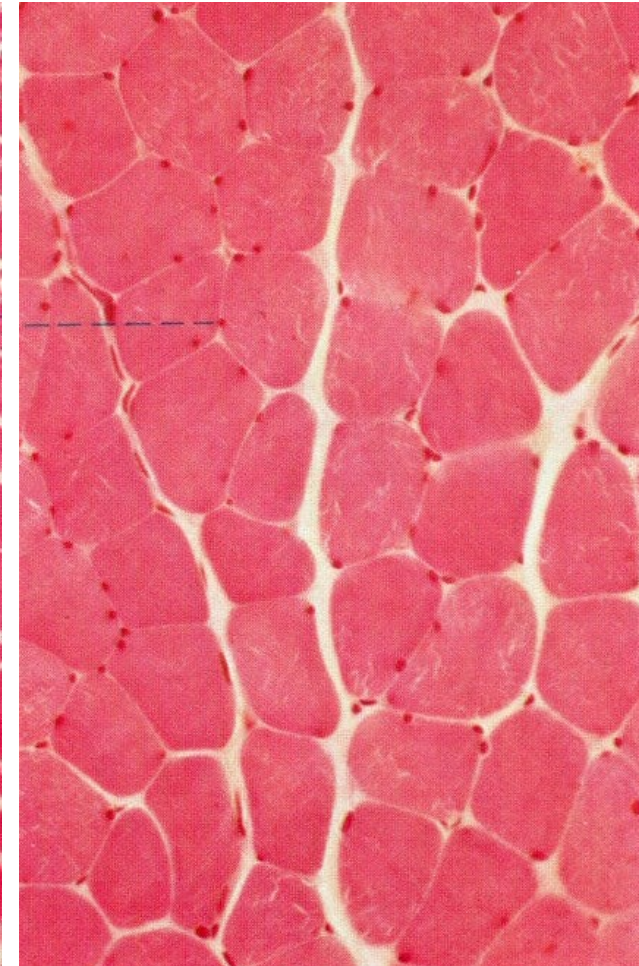
hladká



srdeční



kosterní



Regenerace svalové tkáně

- vysoce diferencovaná tkáň (zejména příčně pruhovaná)
- nízká schopnost regenerace
- srdeční sval se hojí jizvou
- kosterní sval se hojí jizvou + lehce regeneruje ze satelitových bb.
- hladké svalové bb. se dělí a snadno regenerují

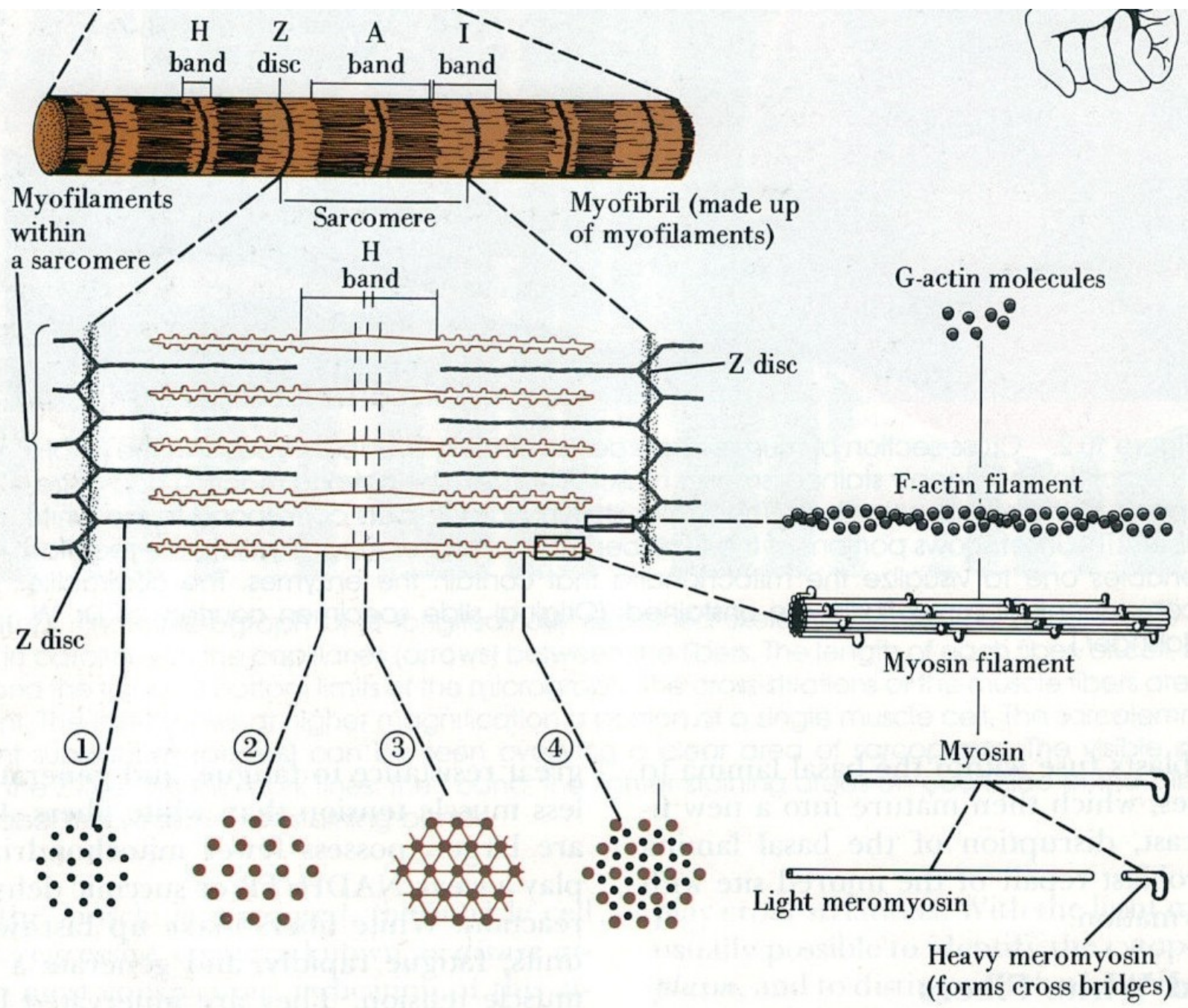
SVALOVÁ TKÁŇ

Preparáty:

- Kosterní svalová tkáň (2. Apex linguae)
- Hladká svalová tkáň (16. Intestinum tenue, 17. Intestinum crassum)
- Srdeční svalová tkáň (64, 65. Myokard)

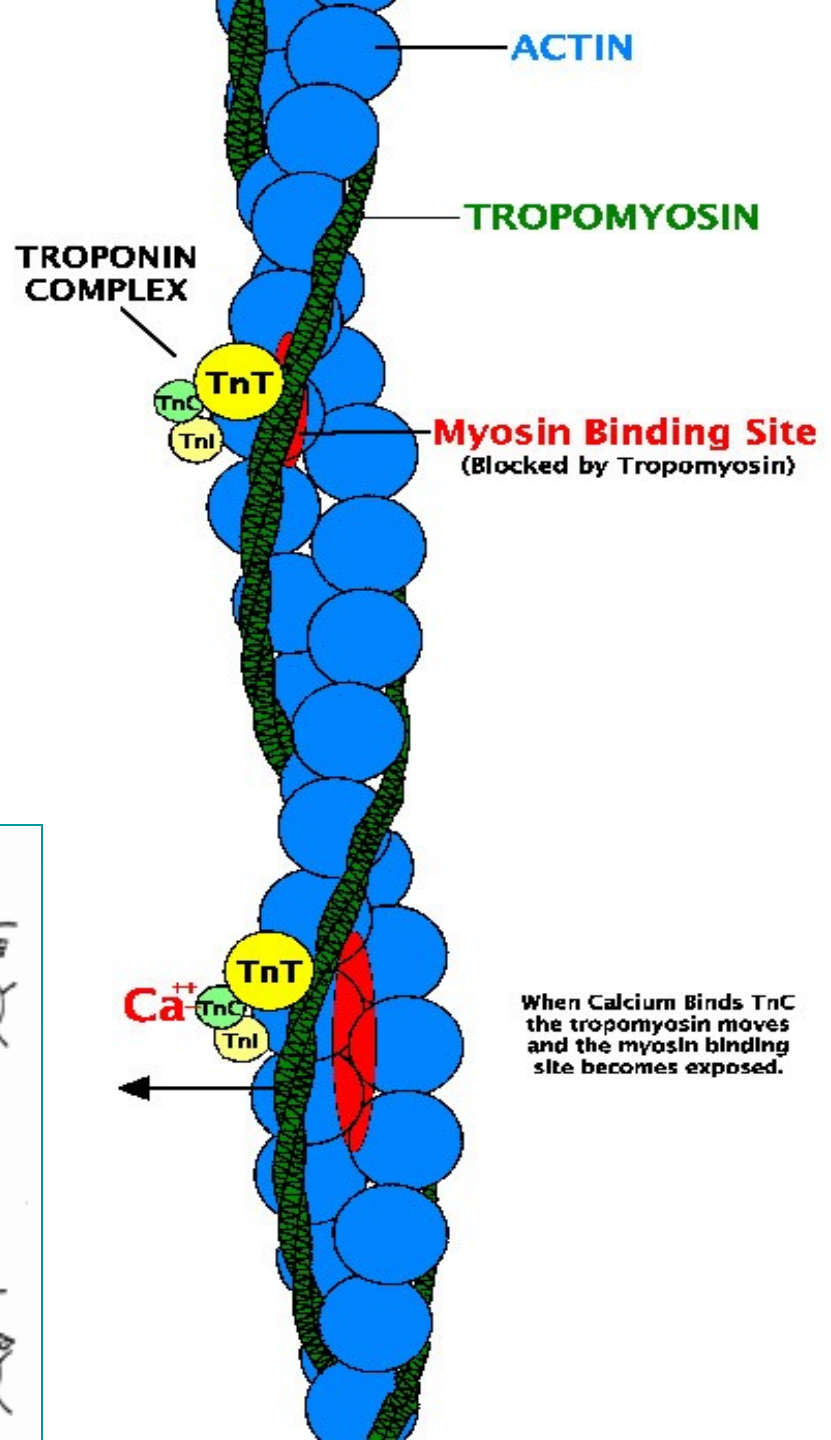
Atlas EM:

- Rhabdomyocyt (52)
- Leiomyocyt (54)
- Kardiomyocyt (22, 53)

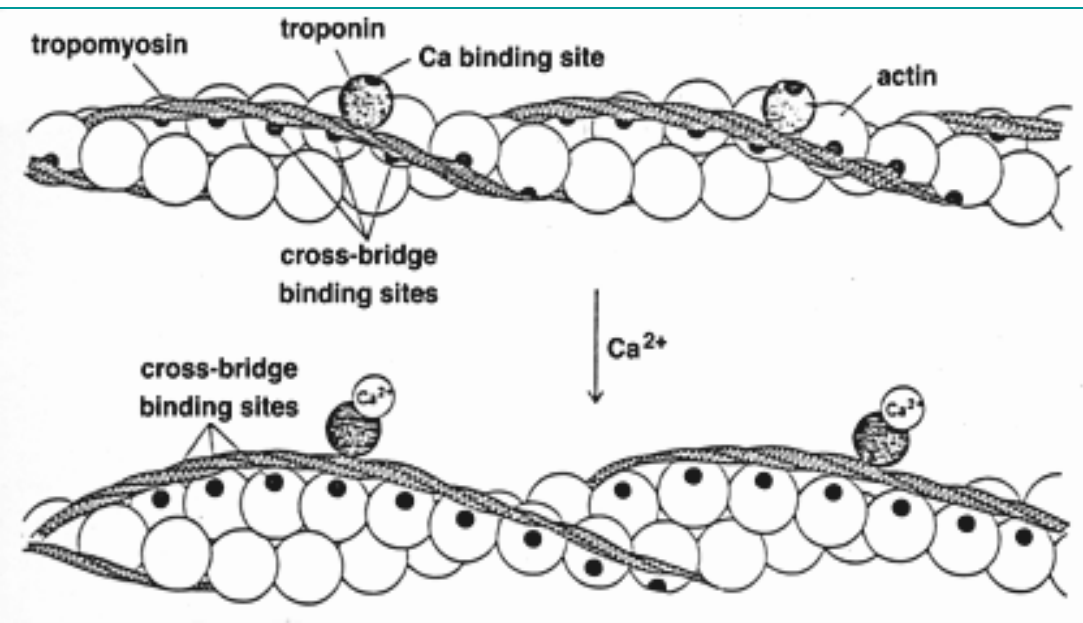


Aktin

- Vlákna aktinu (F-aktin, fibrilární) jsou složena z polymerizovaných molekul globulárního proteinu G-aktinu o průměru 5,6 nm.
- Z-linie = α -aktin

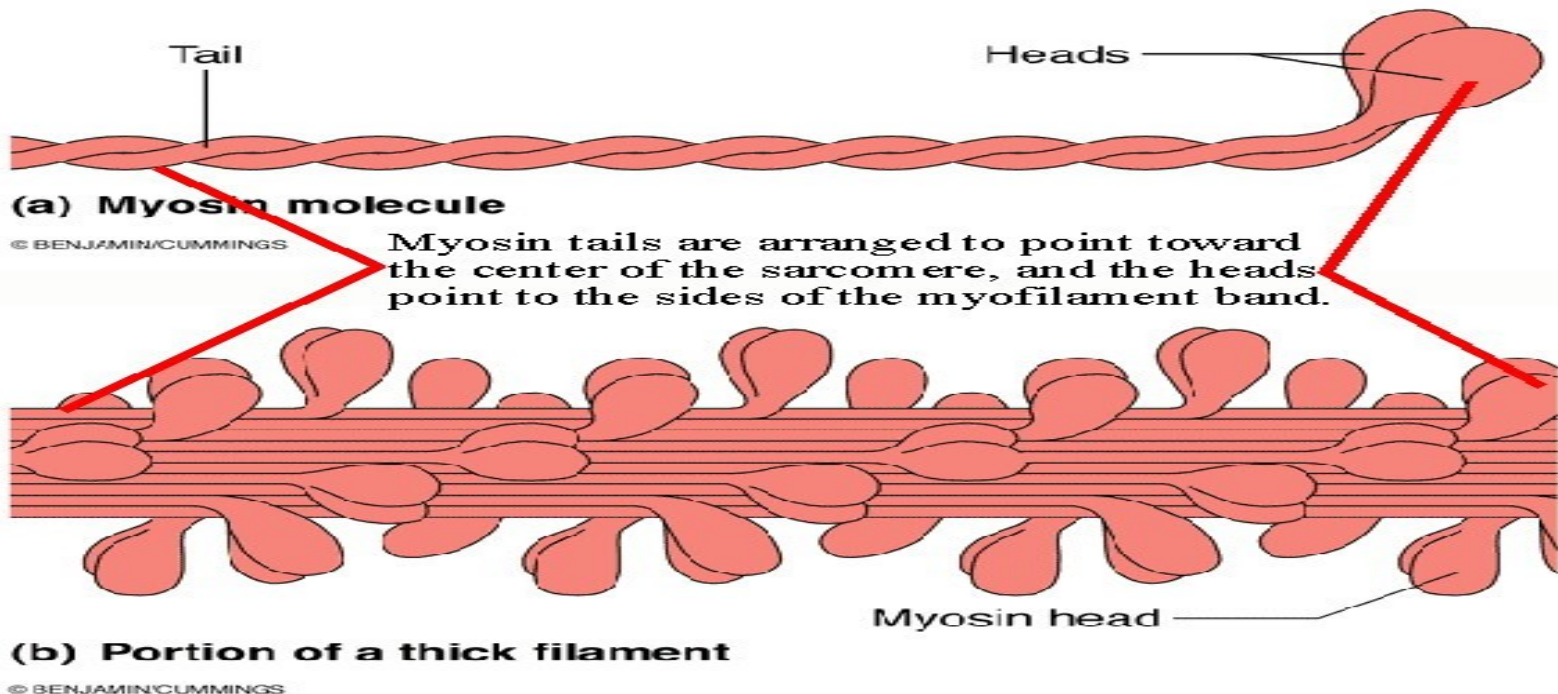


When Calcium Binds TnC the tropomyosin moves and the myosin binding site becomes exposed.

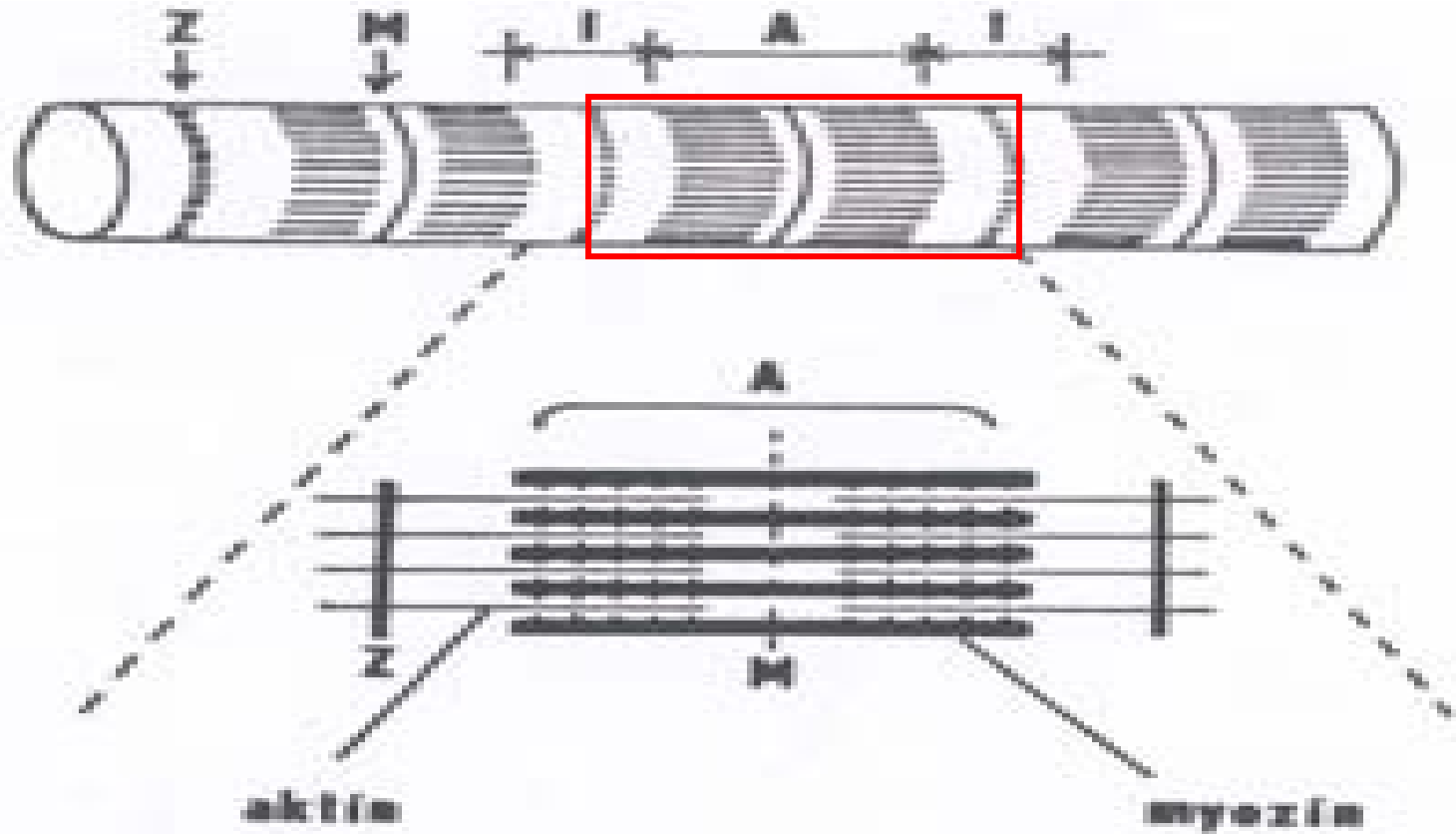


Myosin

- Molekula myosinu je podstatně větší
- Na povrchu vlákna jsou hlavice spojené s vláknem flexibilním krčkem.
- Hlavice mají ATPázovou aktivitu



Myofibrila – myofilamenta – sarkomera



Fáze svalové kontrakce

- přenos vzruchu \longrightarrow depolarizace sarkolemy,
- depolarizace T-tubulů do oblasti triád,
depolarizace membrány sER,
výstup Ca^{2+} do sarkoplazmy
- Ca^{2+} + troponin C \longrightarrow myozin + aktin

Fáze svalové kontrakce

- myozinové hlavice se přikládají k aktinovému filamentu, uvolní se energie, která způsobí ohnutí krčku a hlavice, což vede k posunutí aktinových vláken ke středu sarkomery
- po ukončení depolarizace jsou Ca^{2+} pumpovány ze sarkoplazmy nazpět do sarkoplazmatického retikula

Kontraktlní jednotka a princip svalové kontrakce

- Za kontrakci svalové buňky zodpovídají proteiny, které se vůči sobě za spotřeby ATP a účasti dalších látek (Ca^{2+} , regulační proteiny) posouvají.
- Tyto proteiny jsou uspořádány do specifických útvarů (tvaru válce) nazývaných **myofibrily**.
- Myofibrila se dá dále rozčlenit na menší úseky, které nazýváme **sarkomery**.
- **Sarkomera** je nejmenší funkční jednotkou myofibril.