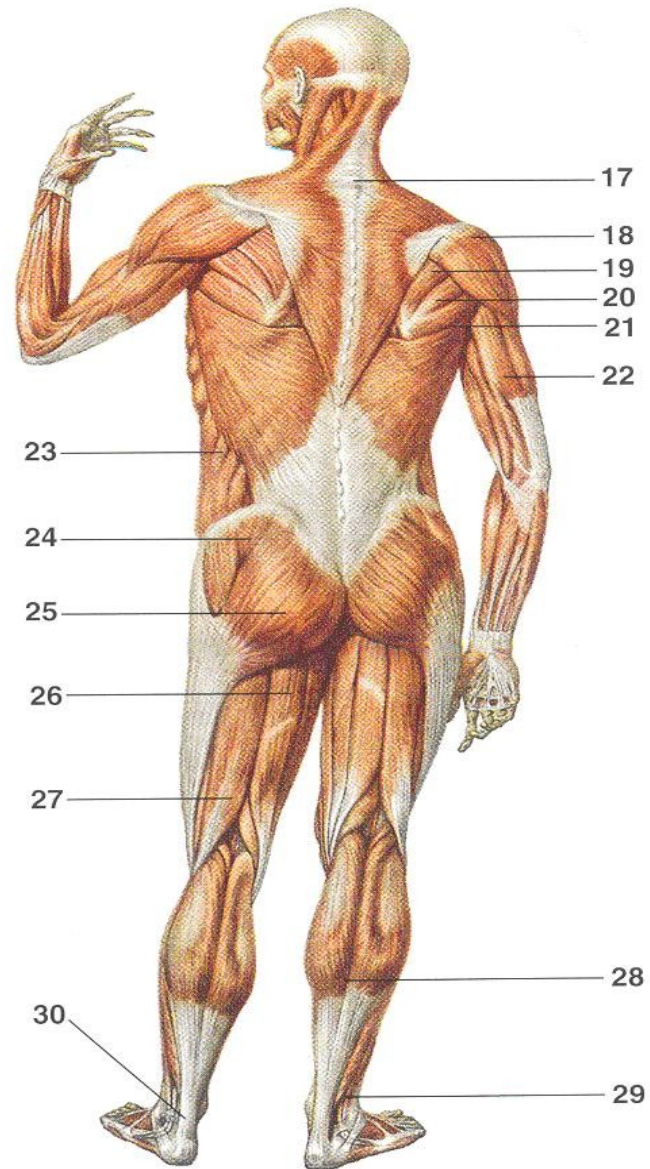
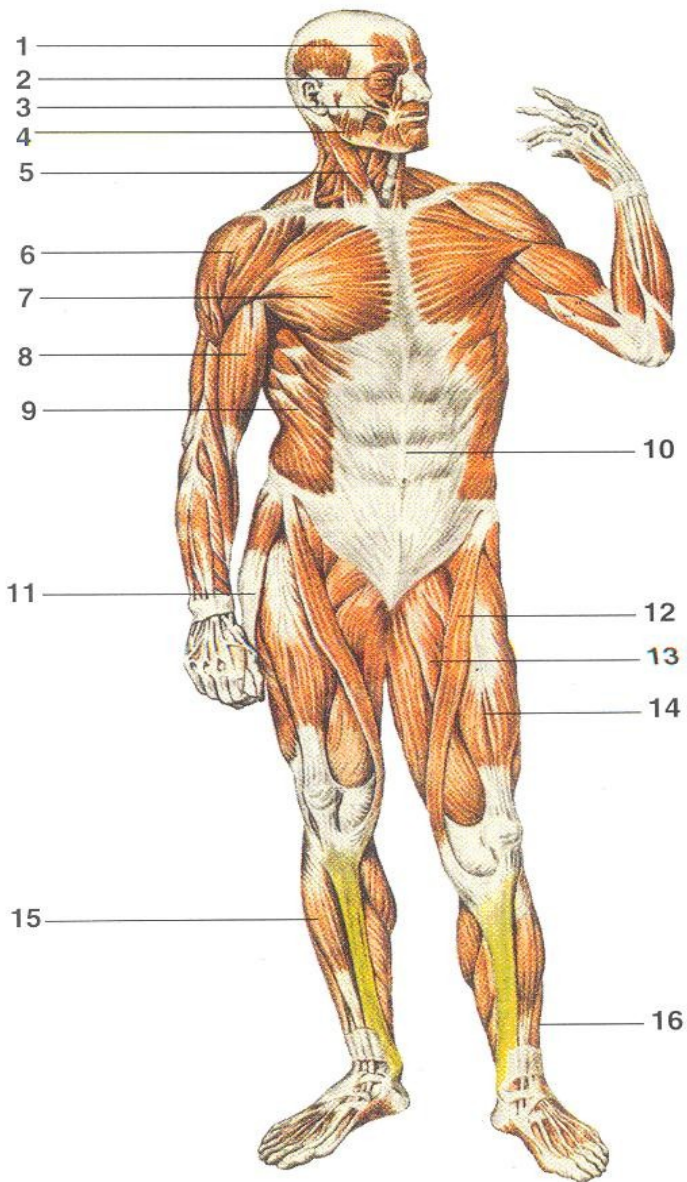


SVALOVÁ SOUSTAVA ČLOVĚKA



1 - sval čelní; 2 - sval kruhový oční; 3 - svaly mimické; 4 - zevní sval žvýkací; 5 - zdvihač hlavy; 6, 18 - sval deltový; 7 - velký sval prsní; 8 - dvojhlavý sval pažní; 9, 23 - zevní šikmý sval břišní; 10 - přímý sval břišní; 11 - napínač povázky stehenní; 12 - sval krejčovský; 13 - sval hřebenový; 14 - čtyřhlavý sval stehenní; 15 - natahovač bérce; 16 - natahovač prstů; 17 - sval trapézový; 19 - sval podhřebenový; 20 - malý sval oblý; 21 - velký sval oblý; 22 - trojhlavý sval pažní; 24 - střední sval hýžďový; 25 - velký sval hýžďový; 26 - sval pološlašitý; 27 - dvojhlavý sval stehenní; 28 - trojhlavý sval lýtkový; 29 - dlouhý sval lýtkový; 30 - Achillova šlacha

Svalová tkáň

Svalová soustava

Svalová tkáň tvoří svaly

Svalová soustava je soubor svalů
(sval = orgán)

Sval – vysoce specializovaný orgán

- pohyb jako odpověď na vlivy okolí
- pohyb v prostoru
- pohyb částí těla vzhledem tělu



Fyziologické vlastnosti svalu

- excitabilita (vzrušivost)
 - schopnost reagovat
- kontraktilita (stažlivost)
 - schopnost zkrácení
- elasticita (pružnost)
 - schopnost návratu pův. délky
- stálý svalový tonus (napětí)

Zákl. vlastnost - kontraktilita

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

Svalová tkáň - typy



Složení tkáně:

svalové buňky a vazivo (+ cévy, nervy)

- Základní stavební jednotkou svalové tkáně je **svalová buňka!**
 - Svalové vlákno. kosterní (**rhabdomyocyt**)
 - Svalová buňka srdeční (**kardiomyocyt**)
 - Svalová buňka hladká (**leiomyocyt**)

Terminologie

mys/myos (sval)

myocyt (svalová buňka)

sarx/sarcós (maso):

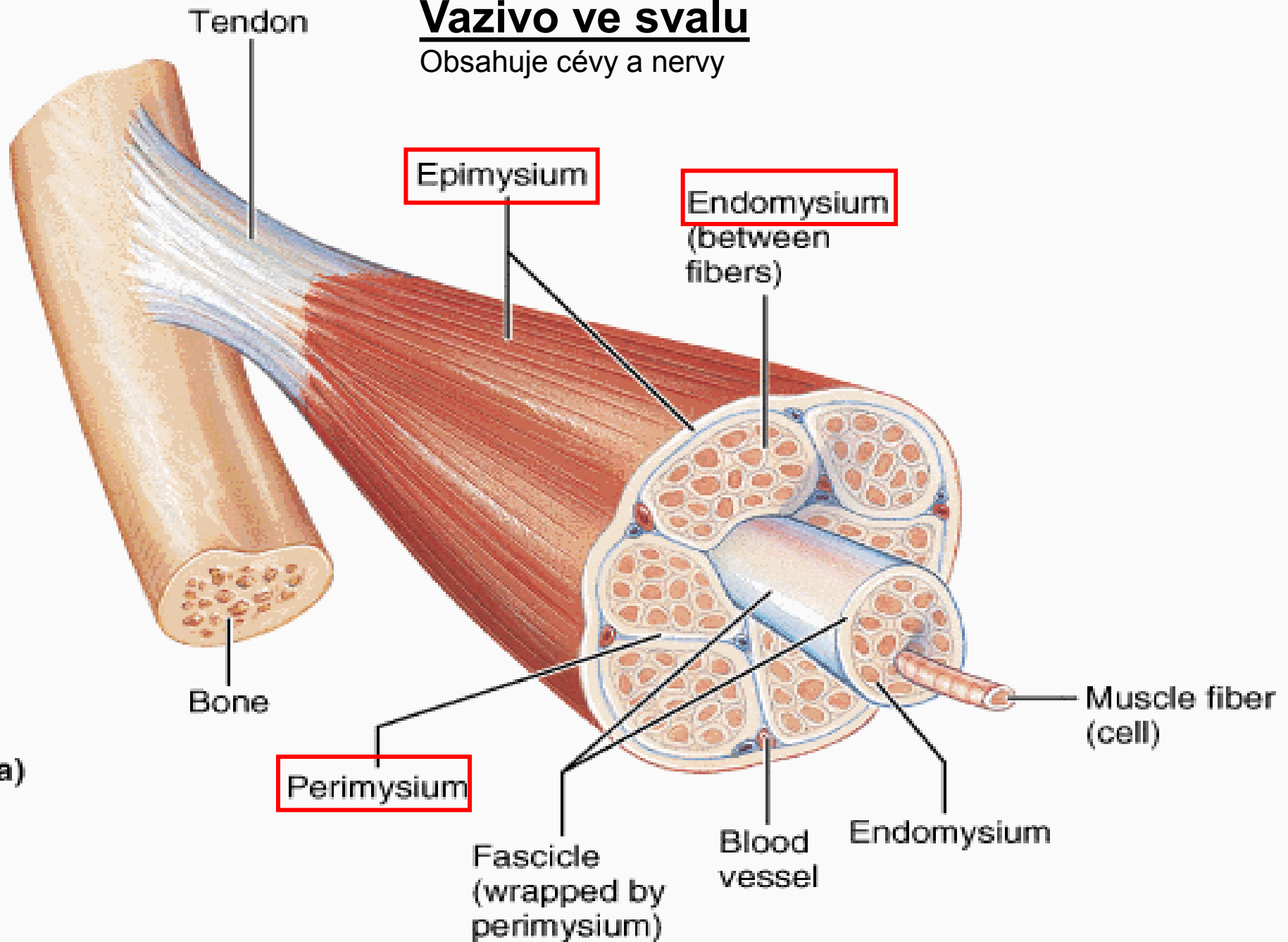
buněčná membrána = **sarkolema**

cytoplazma = **sarkoplazma**

hladké ER = **sarkoplazmatické retikulum**

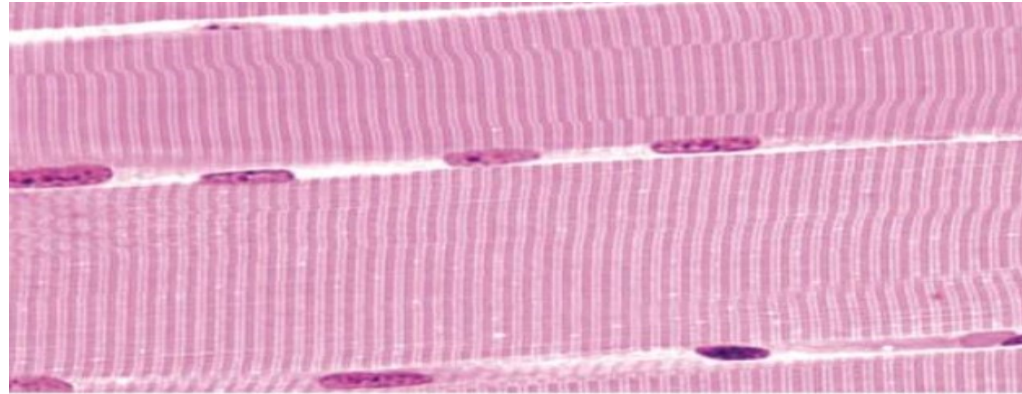
Vazivo ve svalu

Obsahuje cévy a nervy



(a)

Svalová tkáň příčně pruhovaná kosterní



- **morfologická a funkční jednotka:** svalové vlákno (rhabdomyocyt) – mnohojaderný útvar s jádry uloženými pod sarkolemou
- 20 – 40 jader/1 mm délky
- průměr: 25-100 μm
- délka: milimetry až centimetry (až 15 cm)

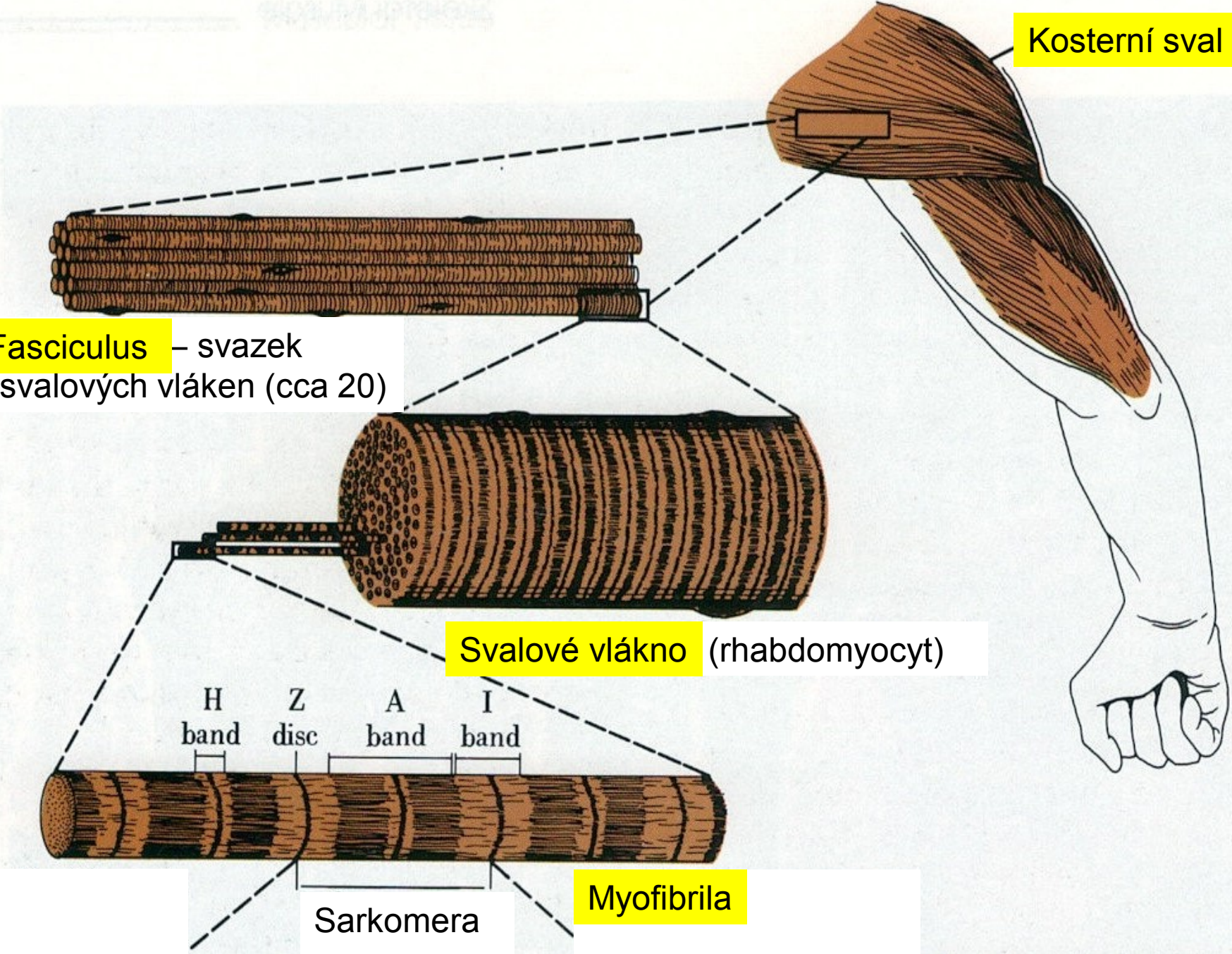
Kosterní sval

Fasciculus – svazek svalových vláken (cca 20)

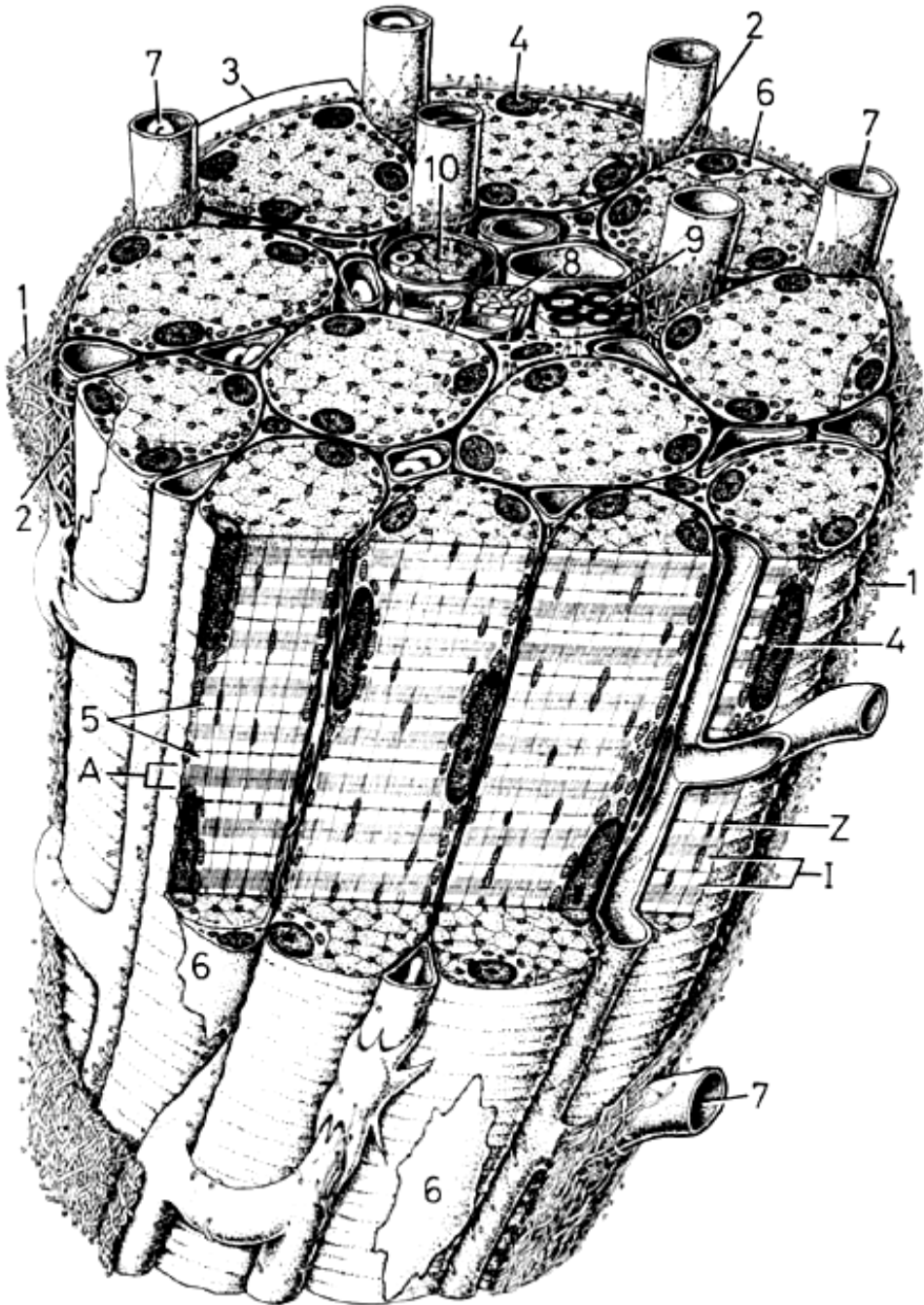
Svalové vlákno (rhabdomyocyt)

H band
Z disc
A band
I band

Sarkomera
Myofibrila



Primární svazek svalových vláken (rhabdomyocytů)



Stavba svalového vlákna

(rhabdomyocytu)

- **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 (Ca^{2+})
 - **inkluze** (glykogen)

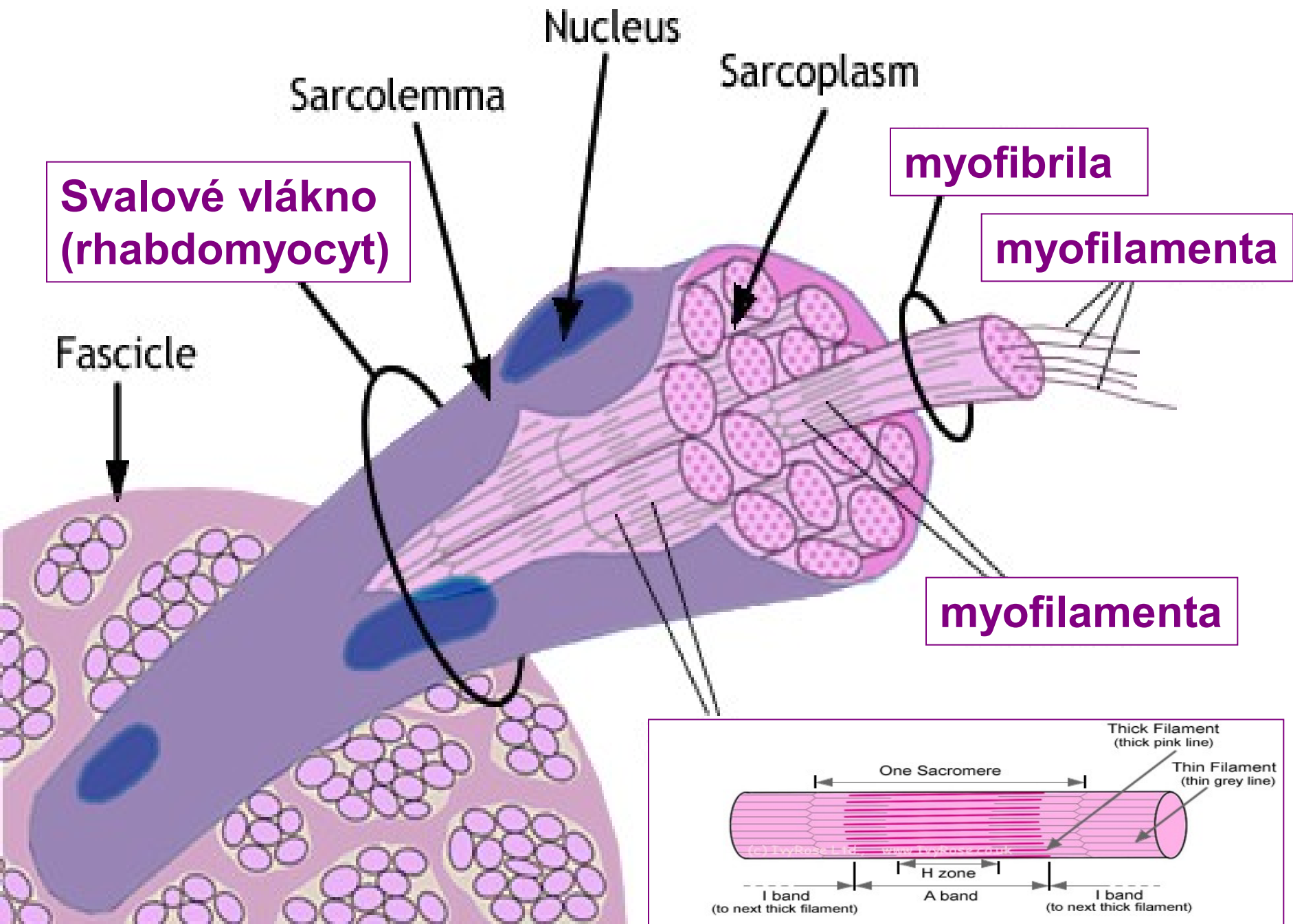
Rhabdomyocyt = svalové vlákno (buňka)

Sval. vlákno – morfol. a funkční jednotka
koster. svalu [Ø 25 – 100 µ]

Myofibrila – strukturní složka sarkoplazmy
[Ø 0,5 – 1,5 µ]

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

Sarkomera – nejmenší kontraktilní jednotka
[2,5 µm v klidu]



**Svalové vlákno
(rhabdomyocyt)**

Sarcolemma

Nucleus

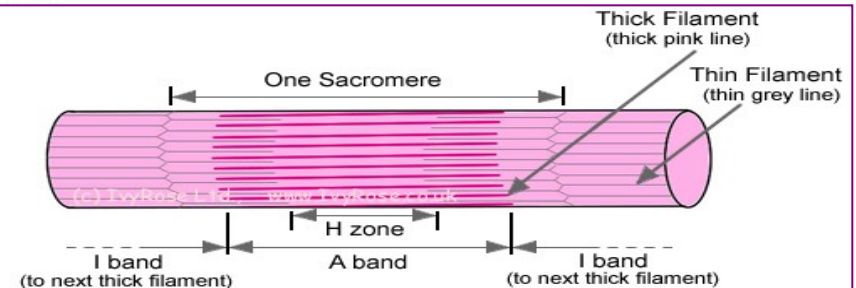
Sarcoplasm

myofibrila

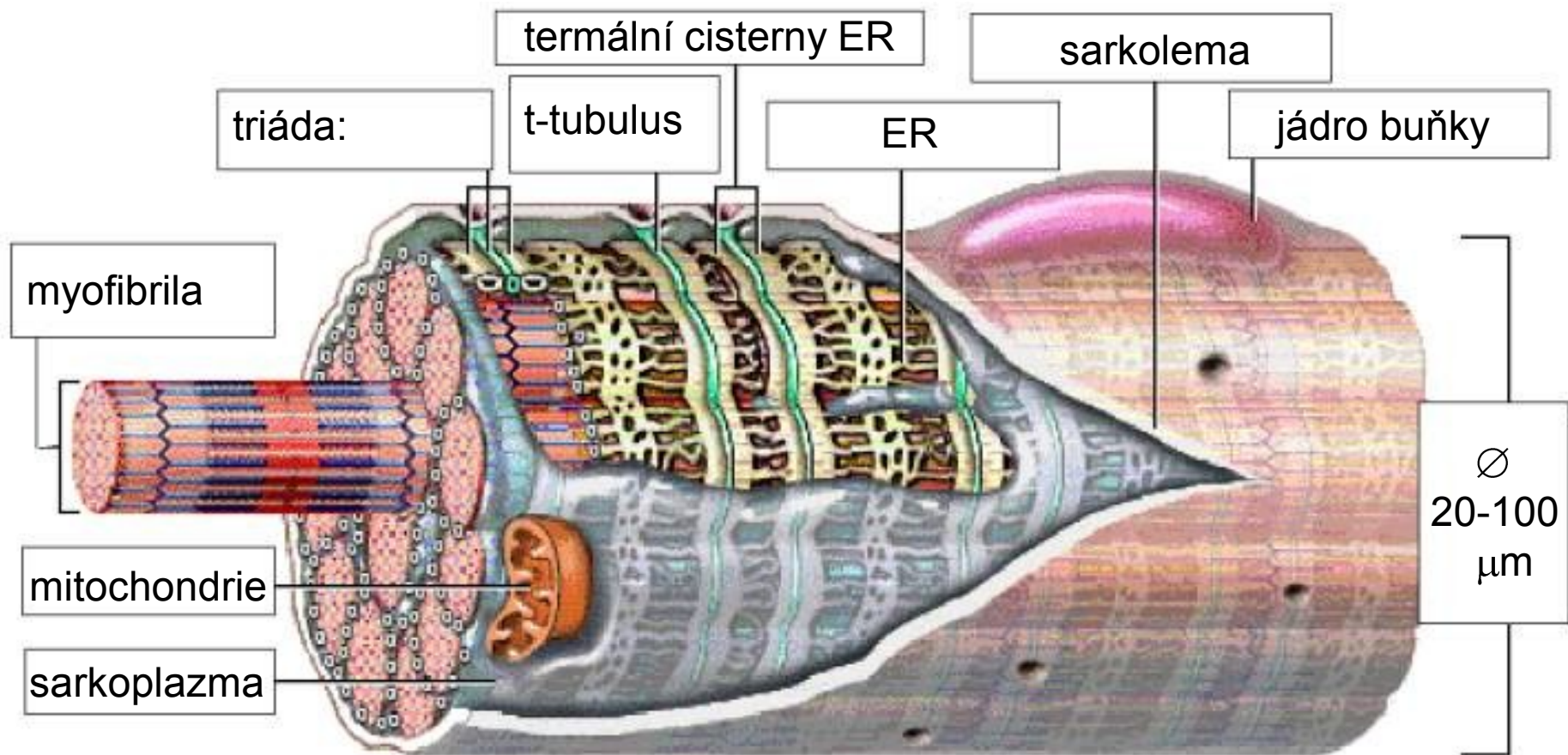
myofilamenta

Fascicle

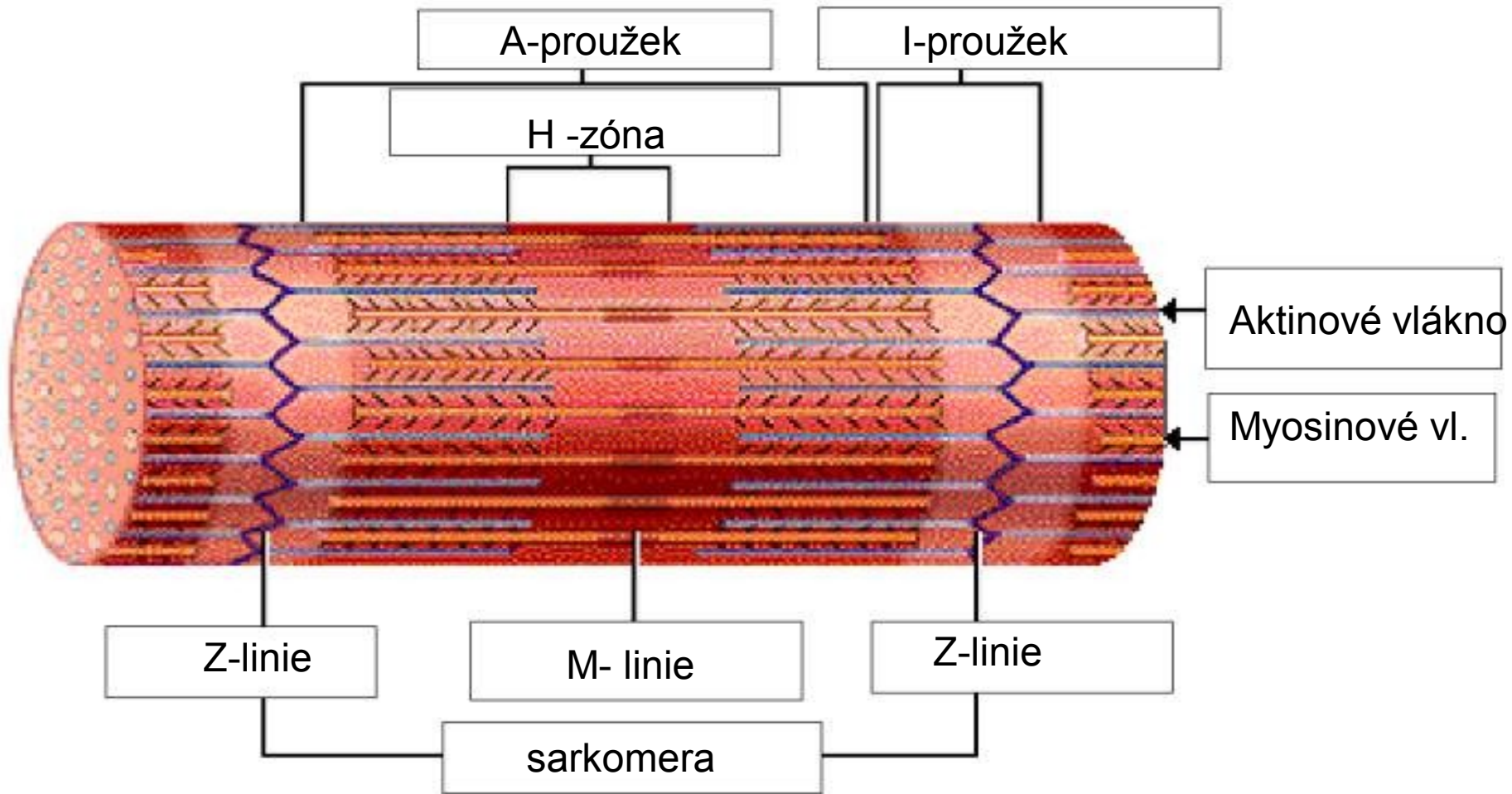
myofilamenta

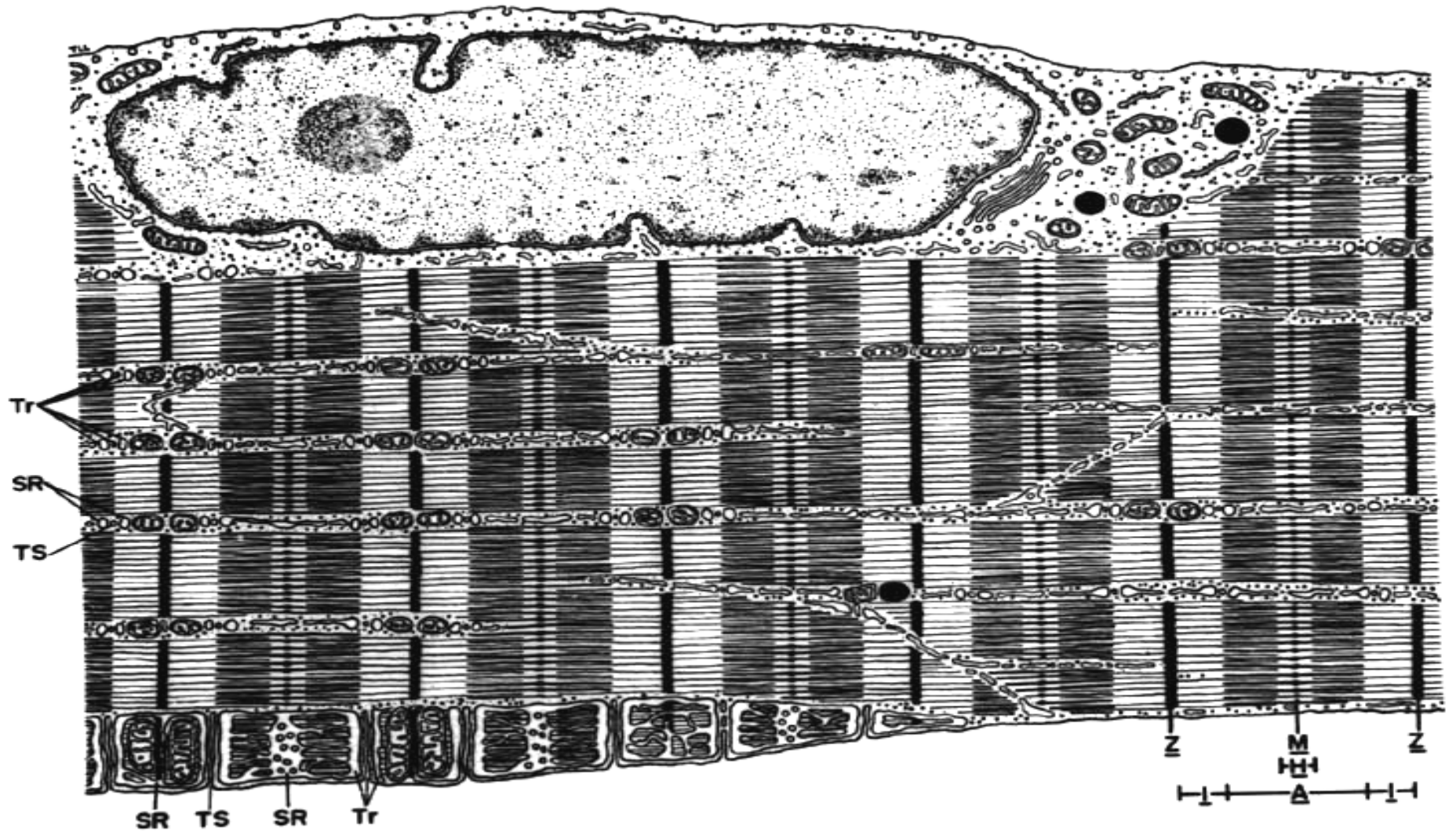


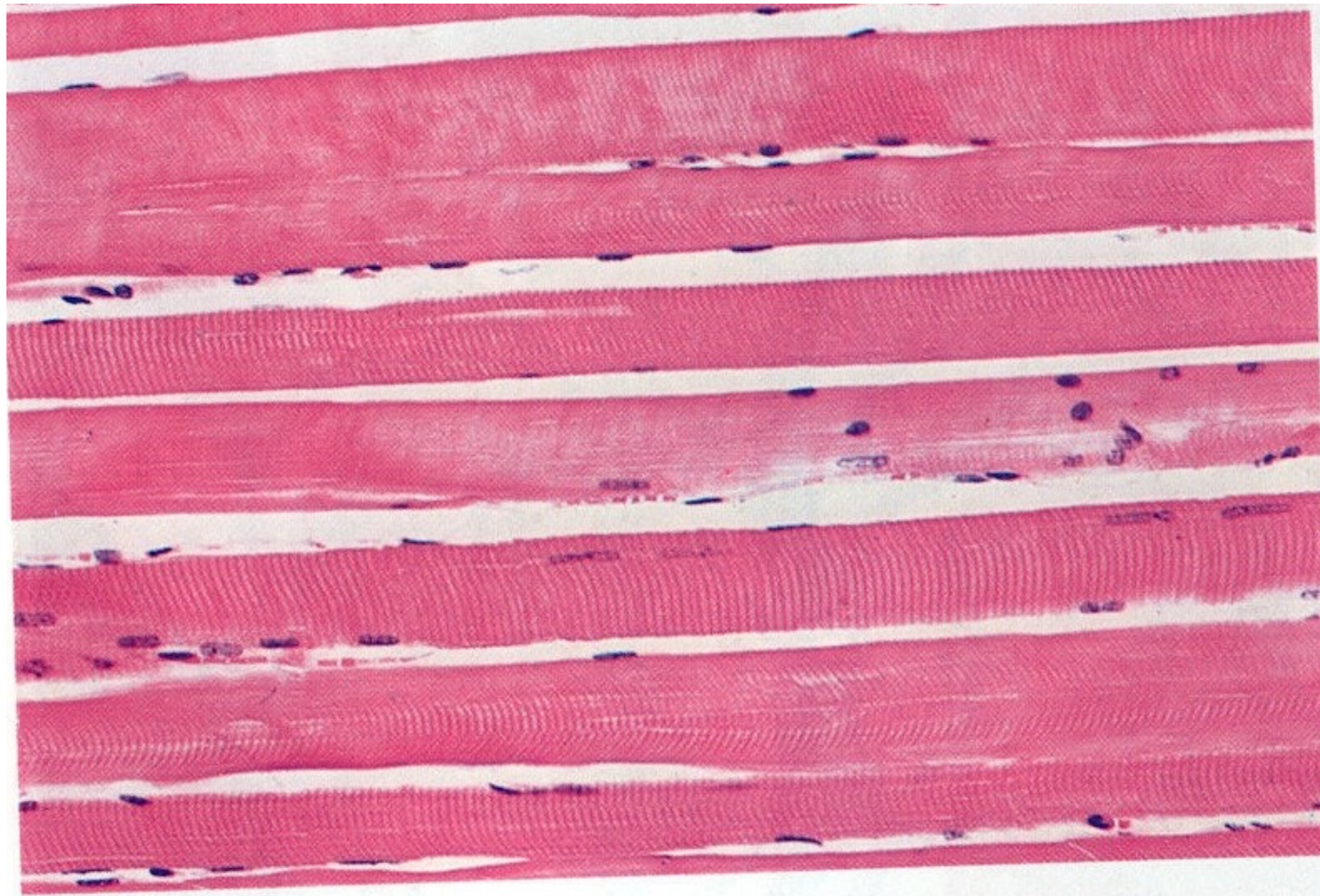
RHABDOMYOCYT

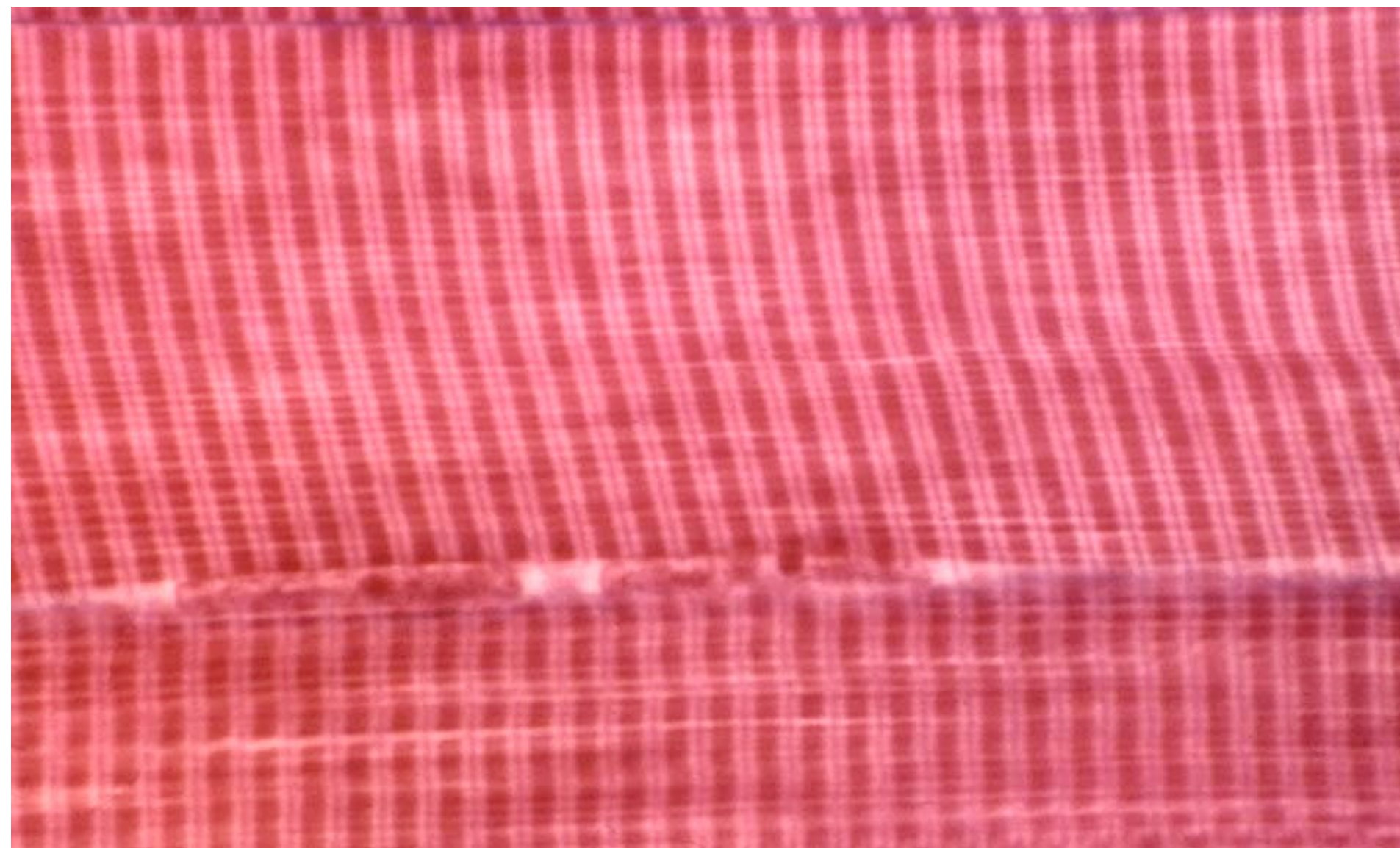


SARKOMERA

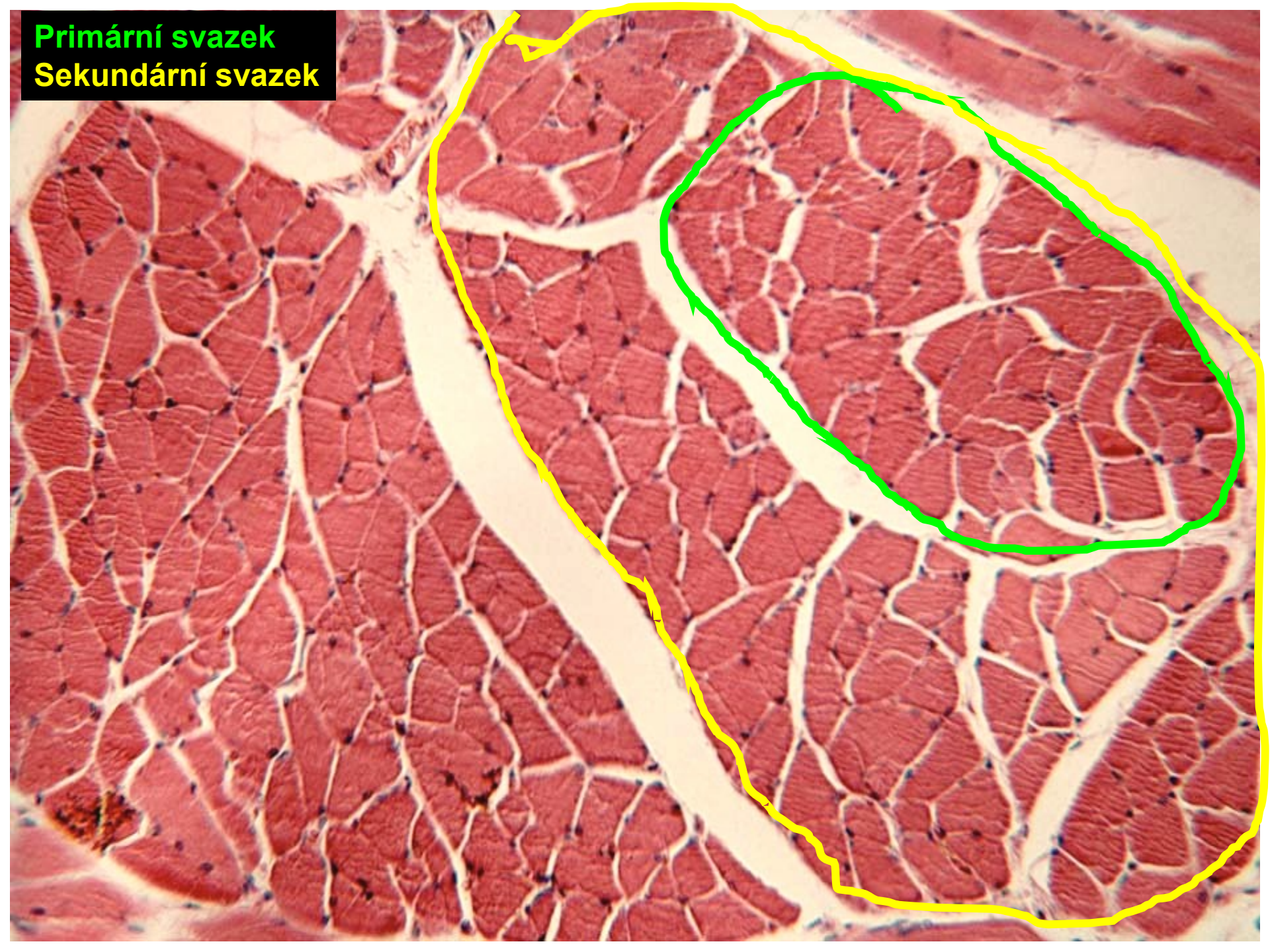




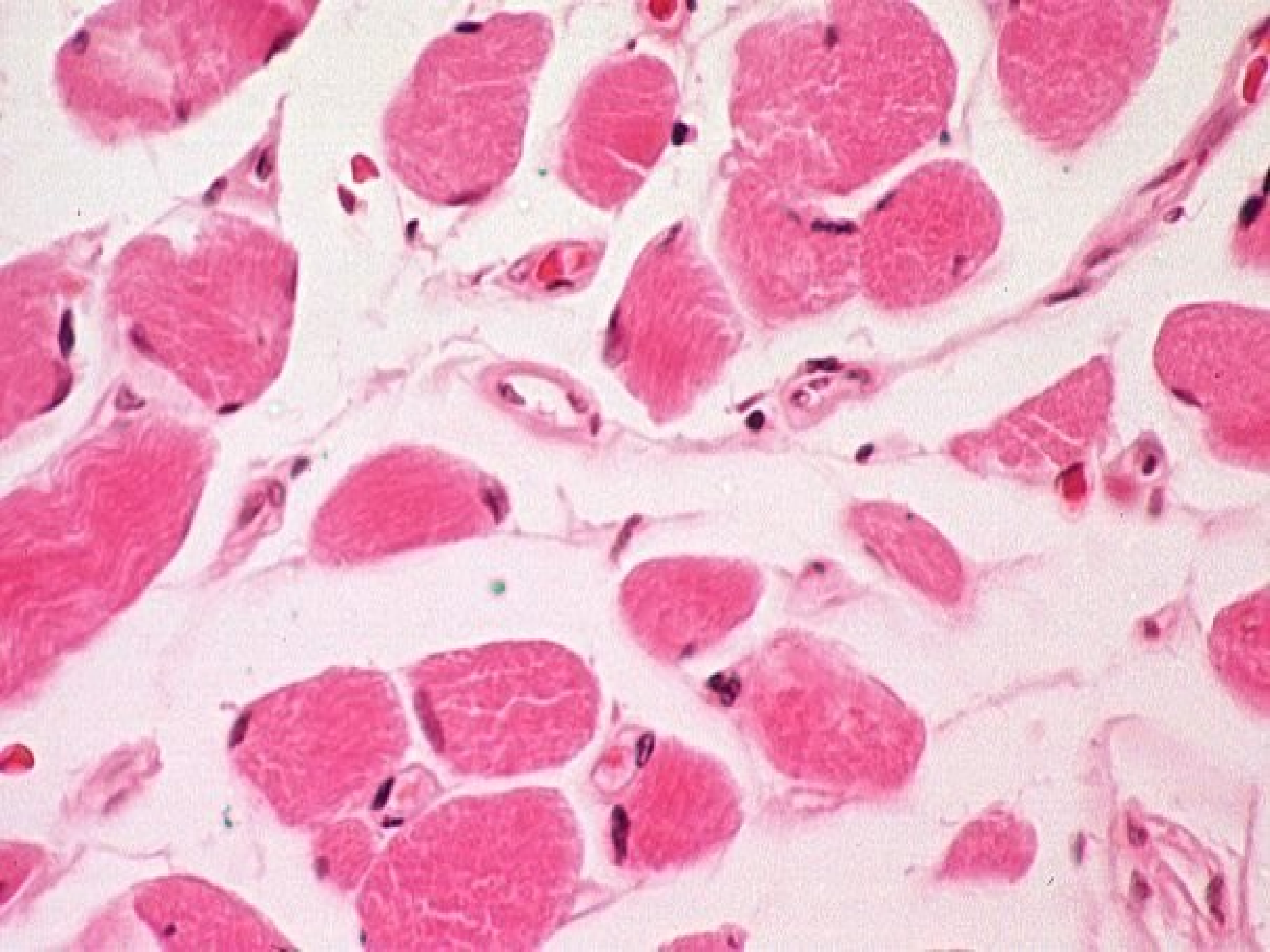




Primární svazek
Sekundární svazek

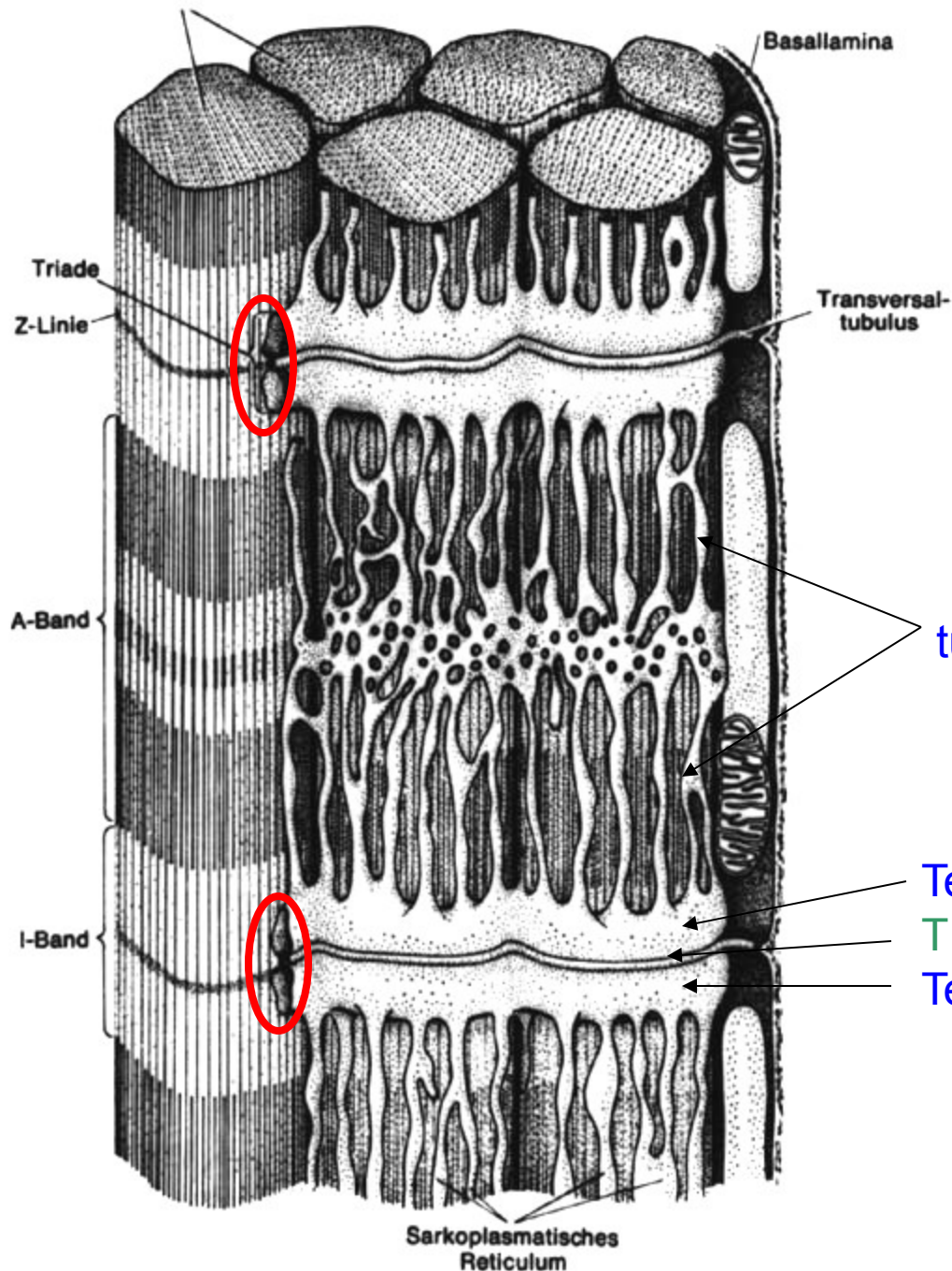








5 μ m

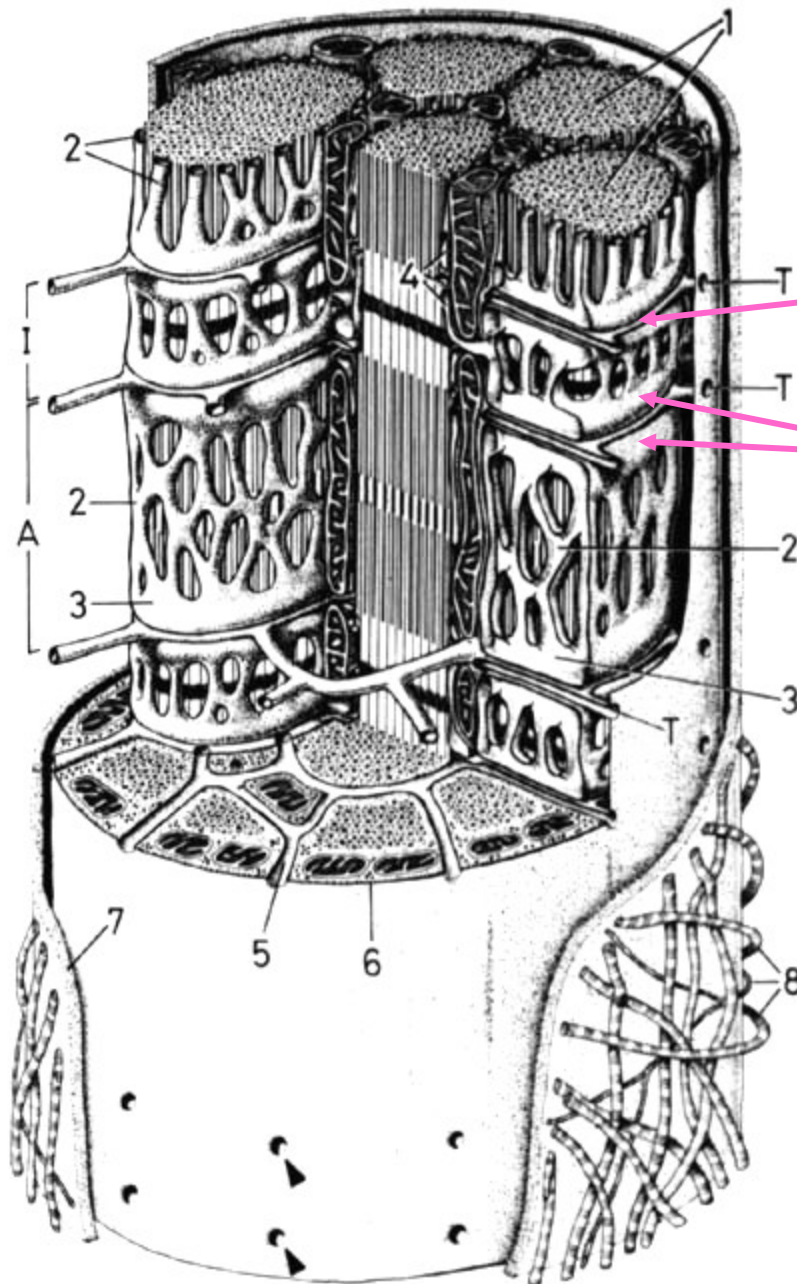


Sarkoplazmatické retikulum =
hladké endoplazmatické retikulum
(rezervoár Ca iontů)

T-tubulus = invaginace sarkolemy
(šíření vzruchu do buňky)

tubuly sarkoplazmatického retikula

Terminální cisterna
T – tubulus
Terminální cisterna } **triáda**



T-tubulus

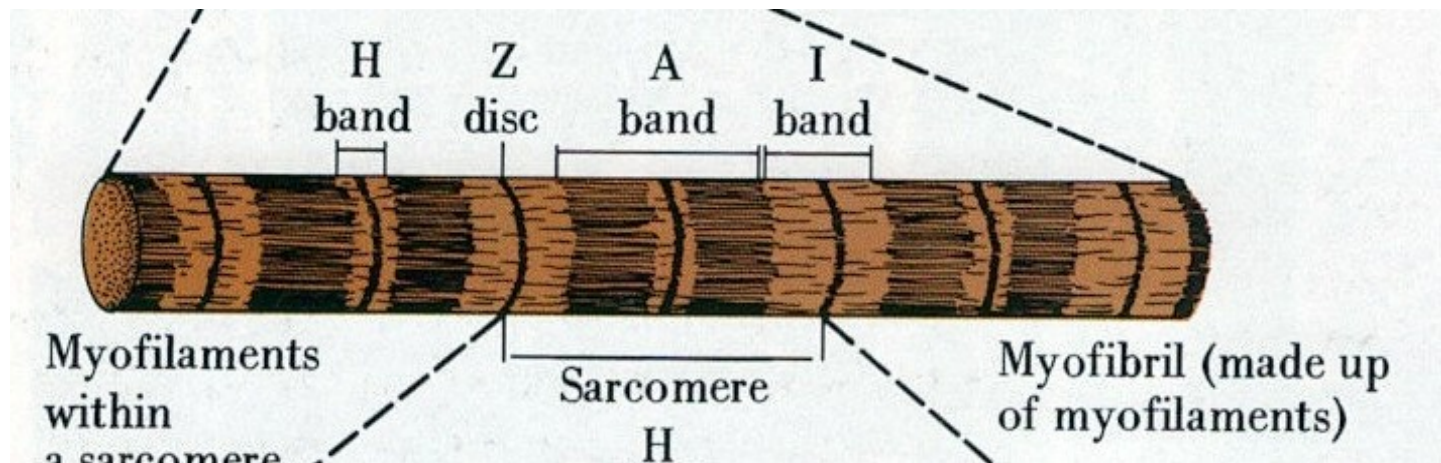
terminální cisterny

Stavba myofibril

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

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

Sarkomera – úsek mezi dvěma Z-liniami

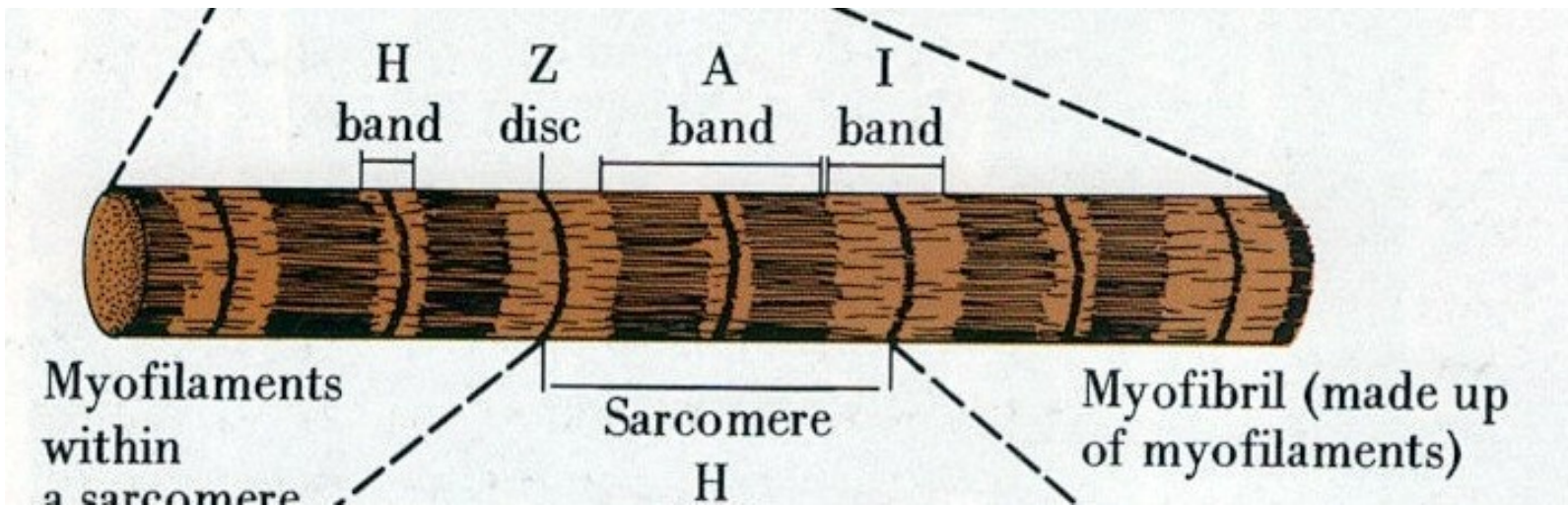


Myofilamenta

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), **F-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**

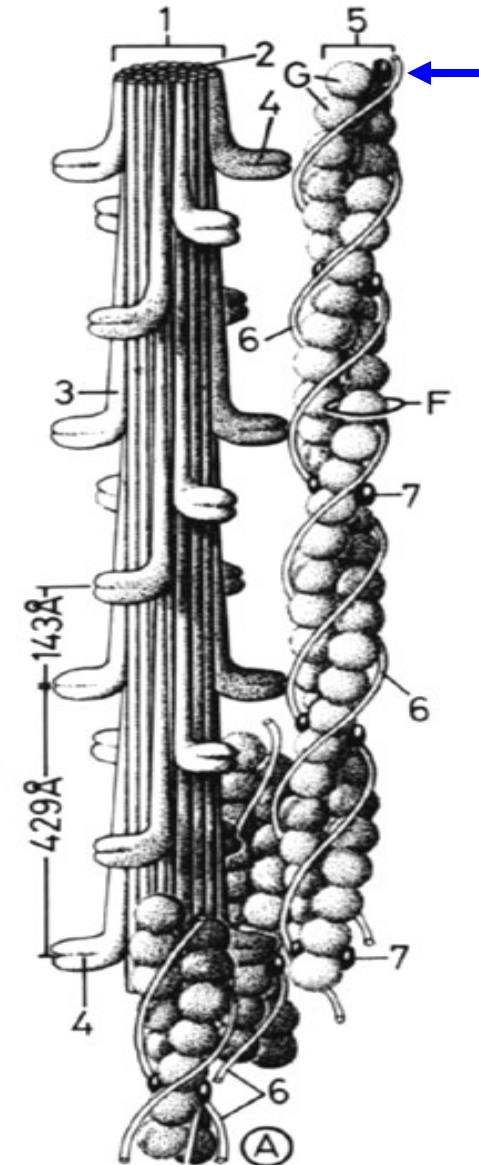


Stavba myofilament

tlustá myofilamenta - **myozin** (molekuly ve tvaru golfové hole)

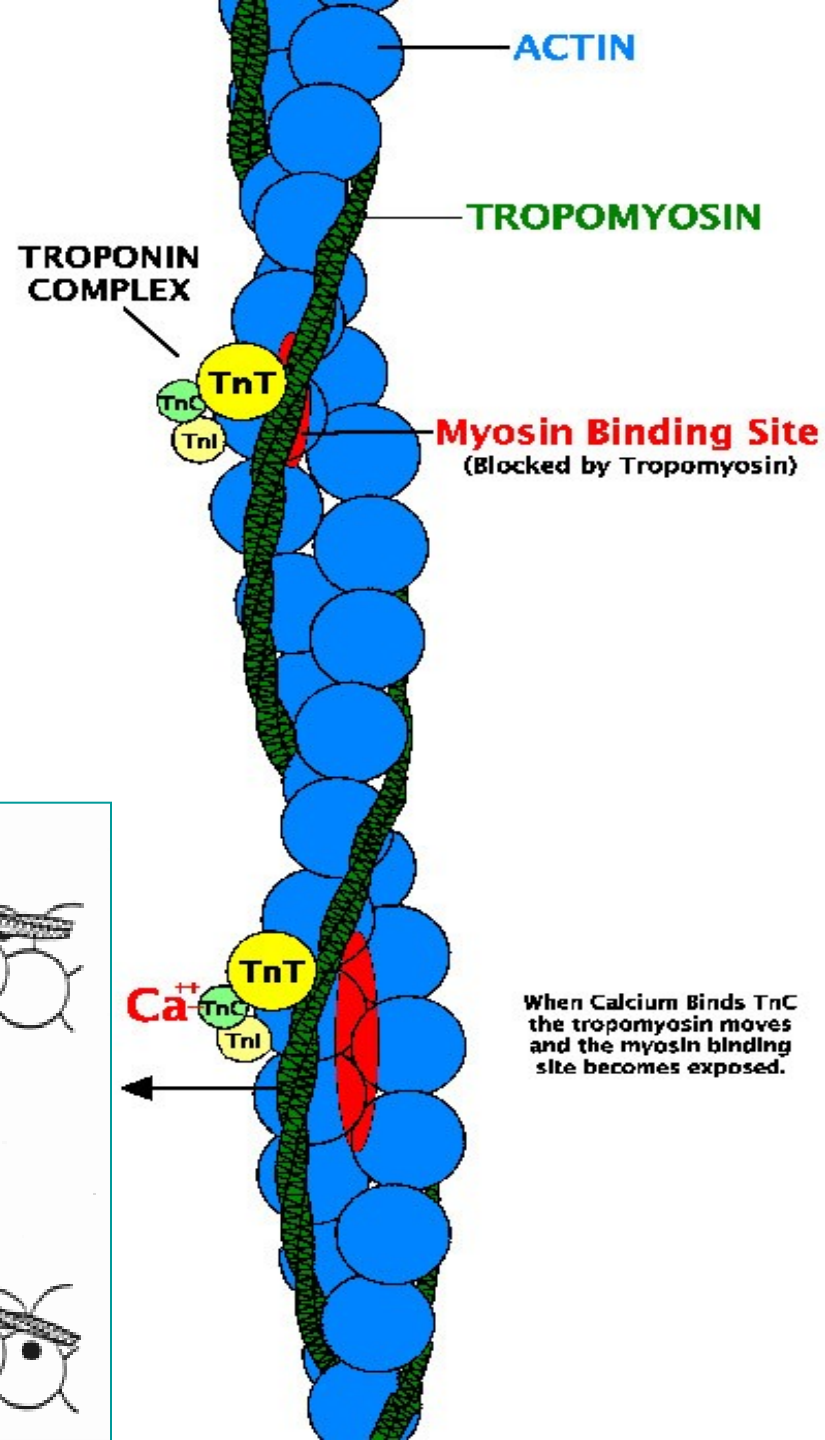
Tenká myofilamenta - **aktin** + regulační proteinový komplex **tropomyozinu** (obtáčí vlákno aktinu) a **troponinu** (3 podjednotky: **TpT** váže troponin k tropomyozinu, **TpI** inhibuje interakci aktinu s myozinem a **TpC** odpovídá za vazbu vápenatých iontů)

nebulin – filamenta asociovaná s aktinem,
titin – filamenta asociovaná s myosinem
oba typy filament brání přepnutí sarkomery

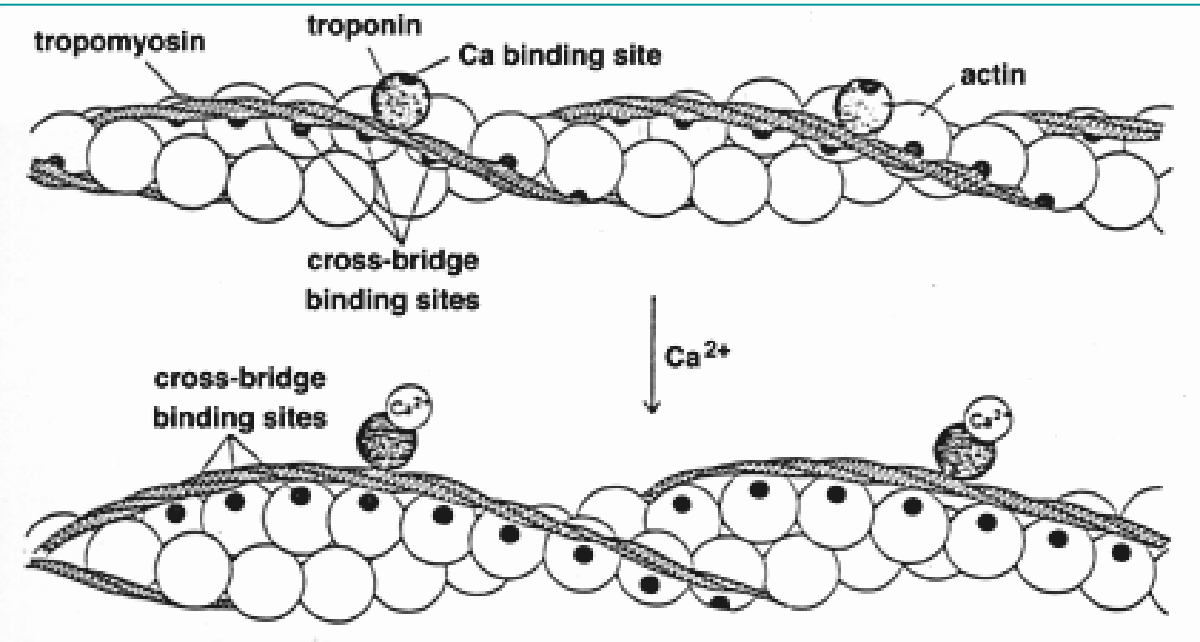


Aktin

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

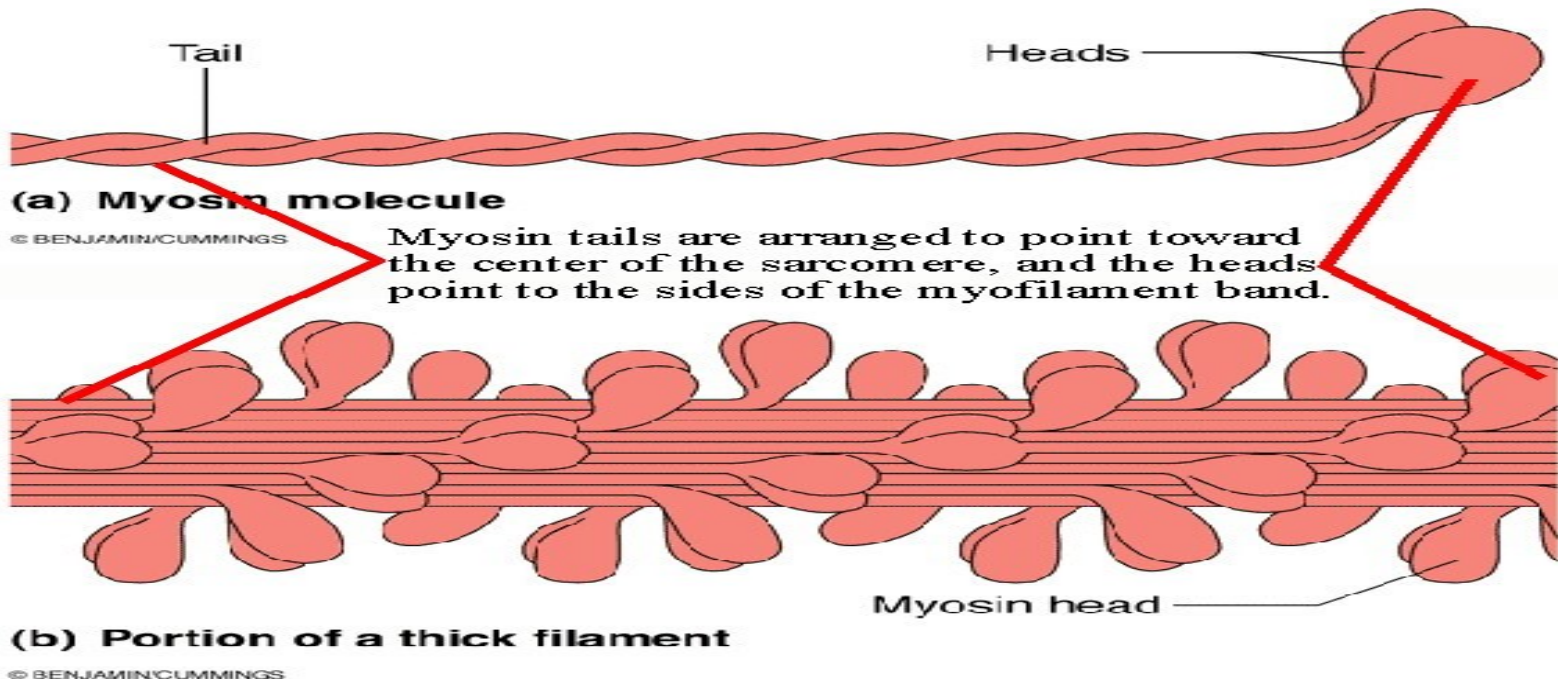


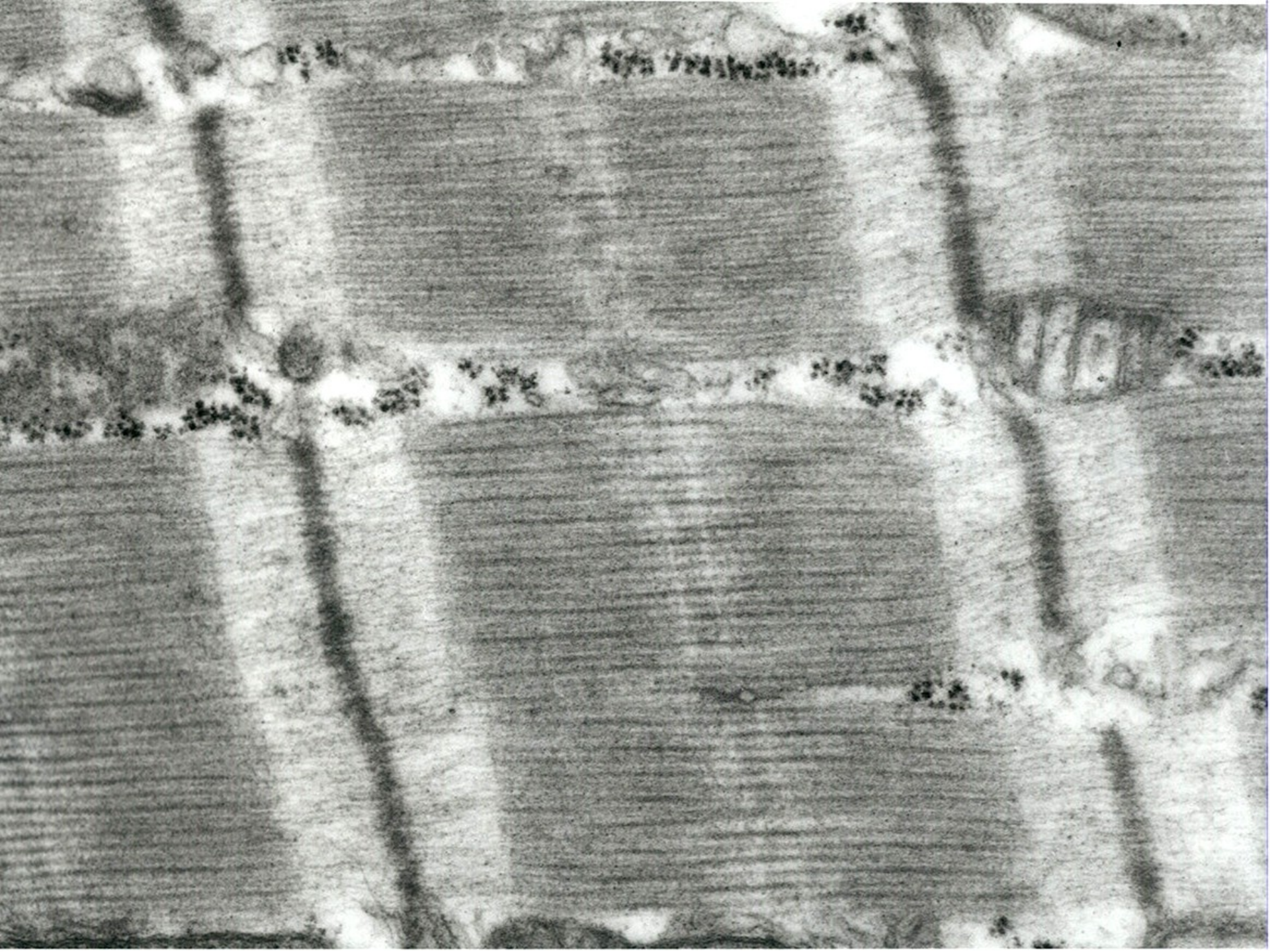
When Calcium Binds TnC the tropomyosin moves and the myosin binding site becomes exposed.



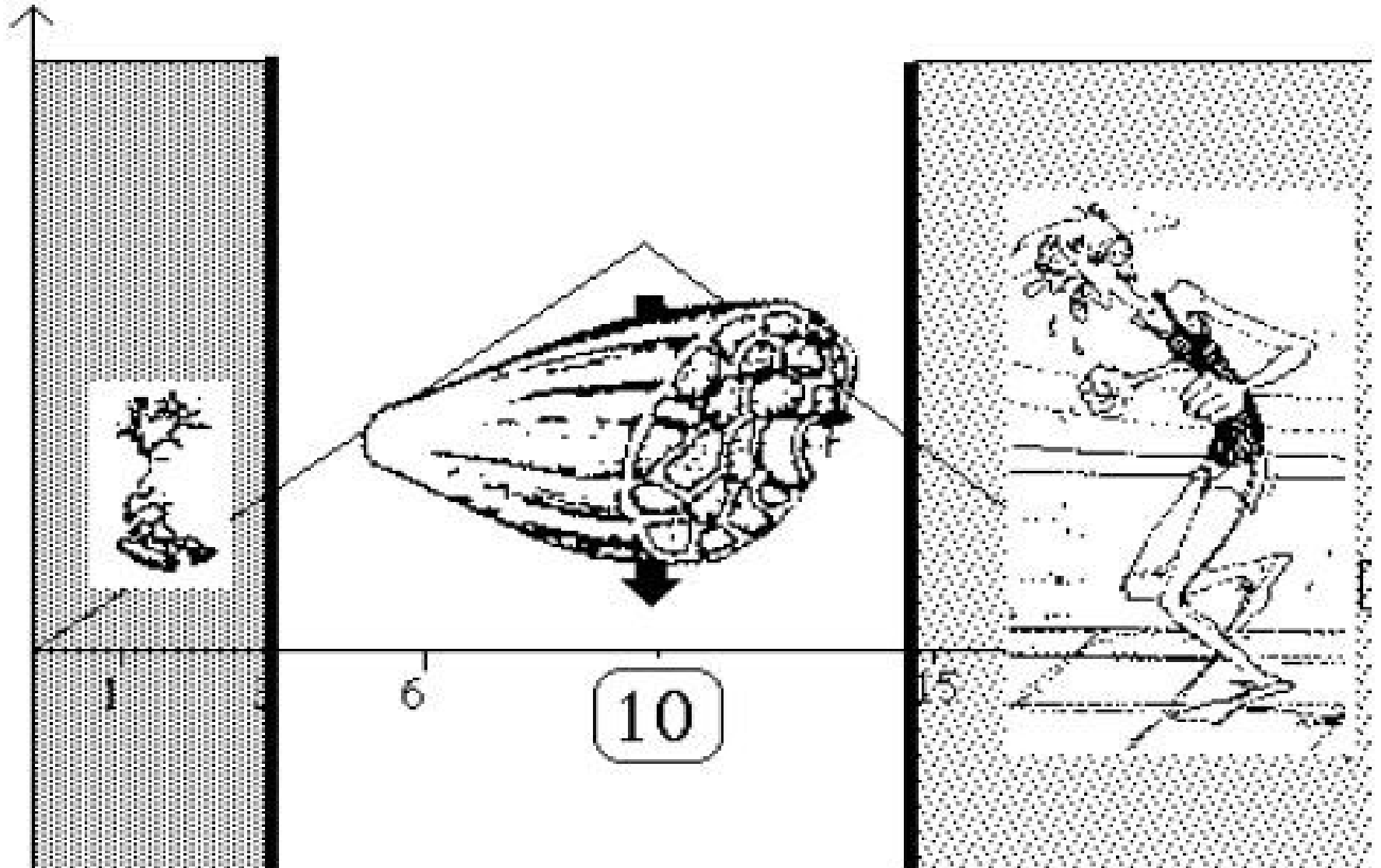
Myosin

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





Svalová kontrakce

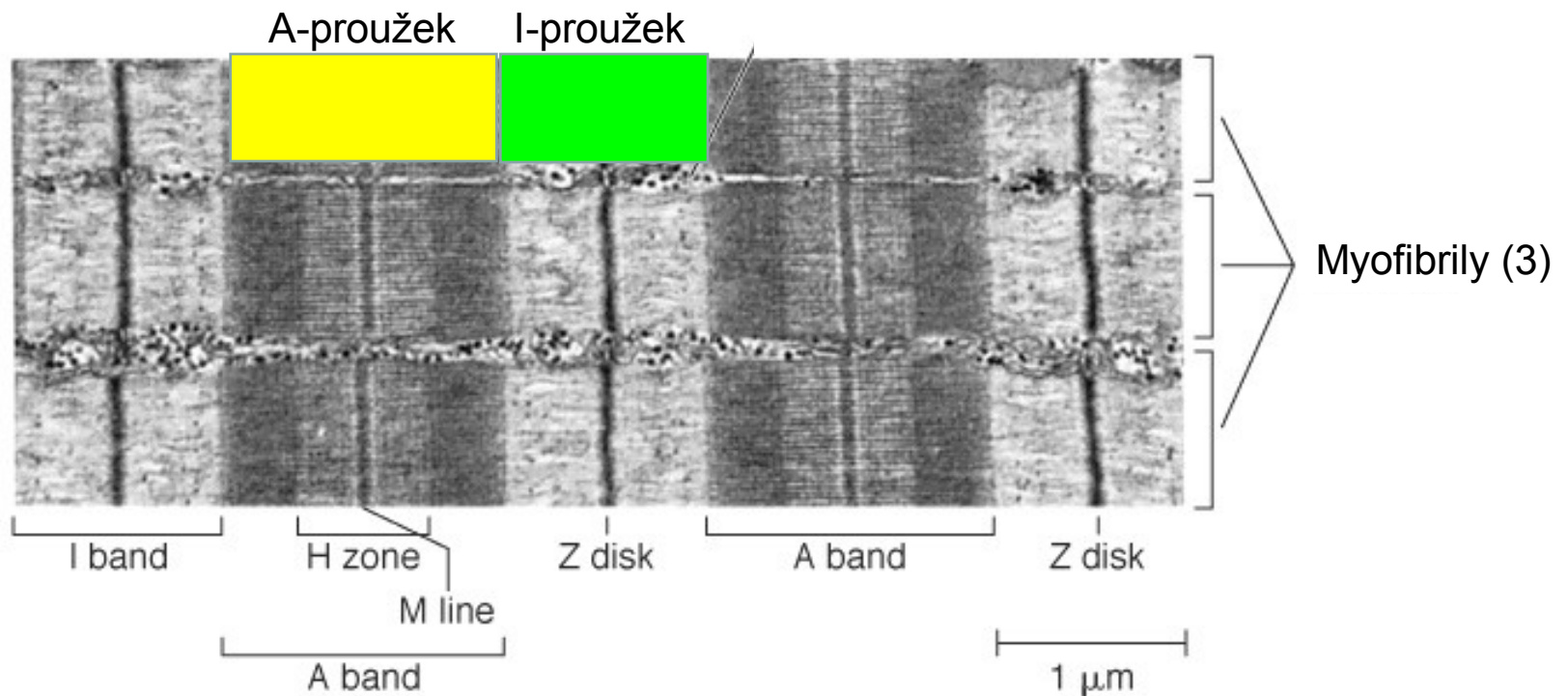
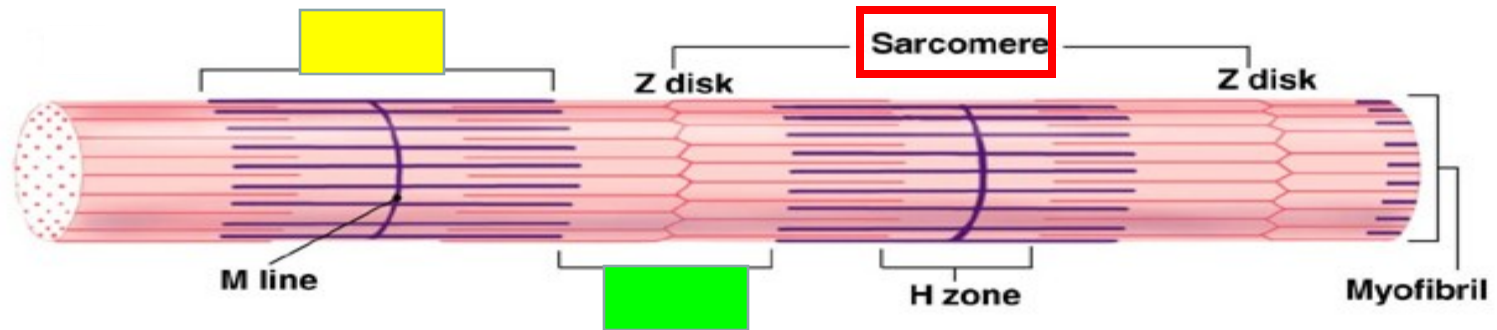


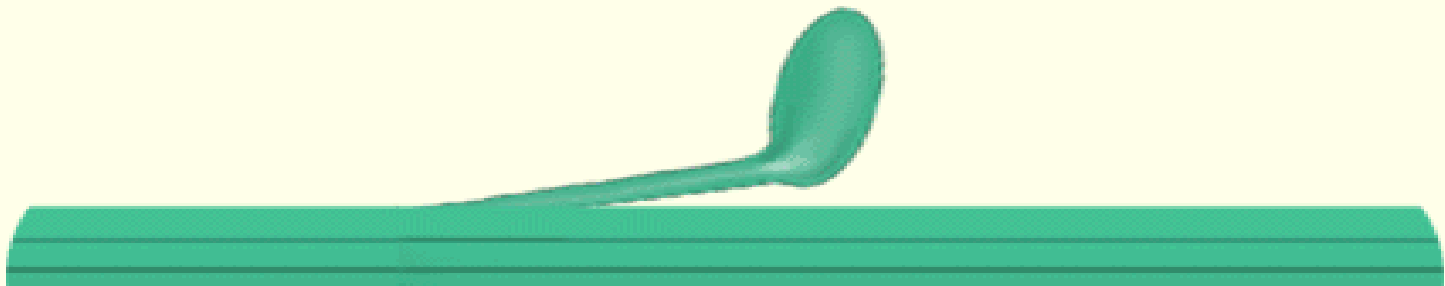
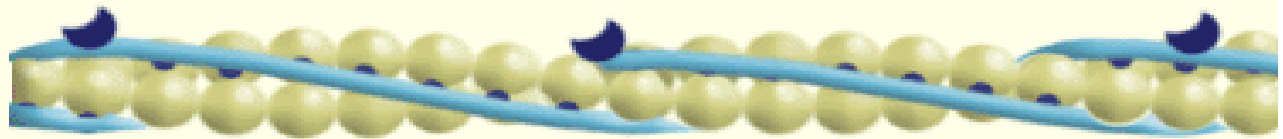
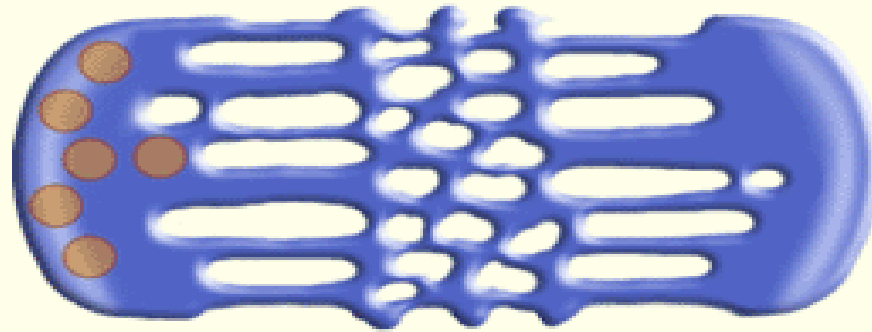
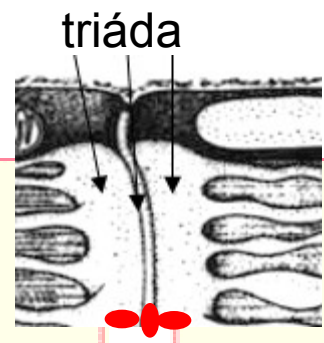
Kontraktilní jednotka a princip svalové kontrakce



- kontrakci způsobují aktinová a myosinová vlákna, která se vůči sobě posouvají za spotřeby ATP a účasti dalších látek (Ca^{2+} , regulační proteiny – troponin a tropomyosin)
- A a M vlákna jsou uspořádaná do **myofibril**
- myofibrila se dá rozčlenit na **sarkomery**
- **Sarkomera** je nejmenší funkční jednotkou myofibril.

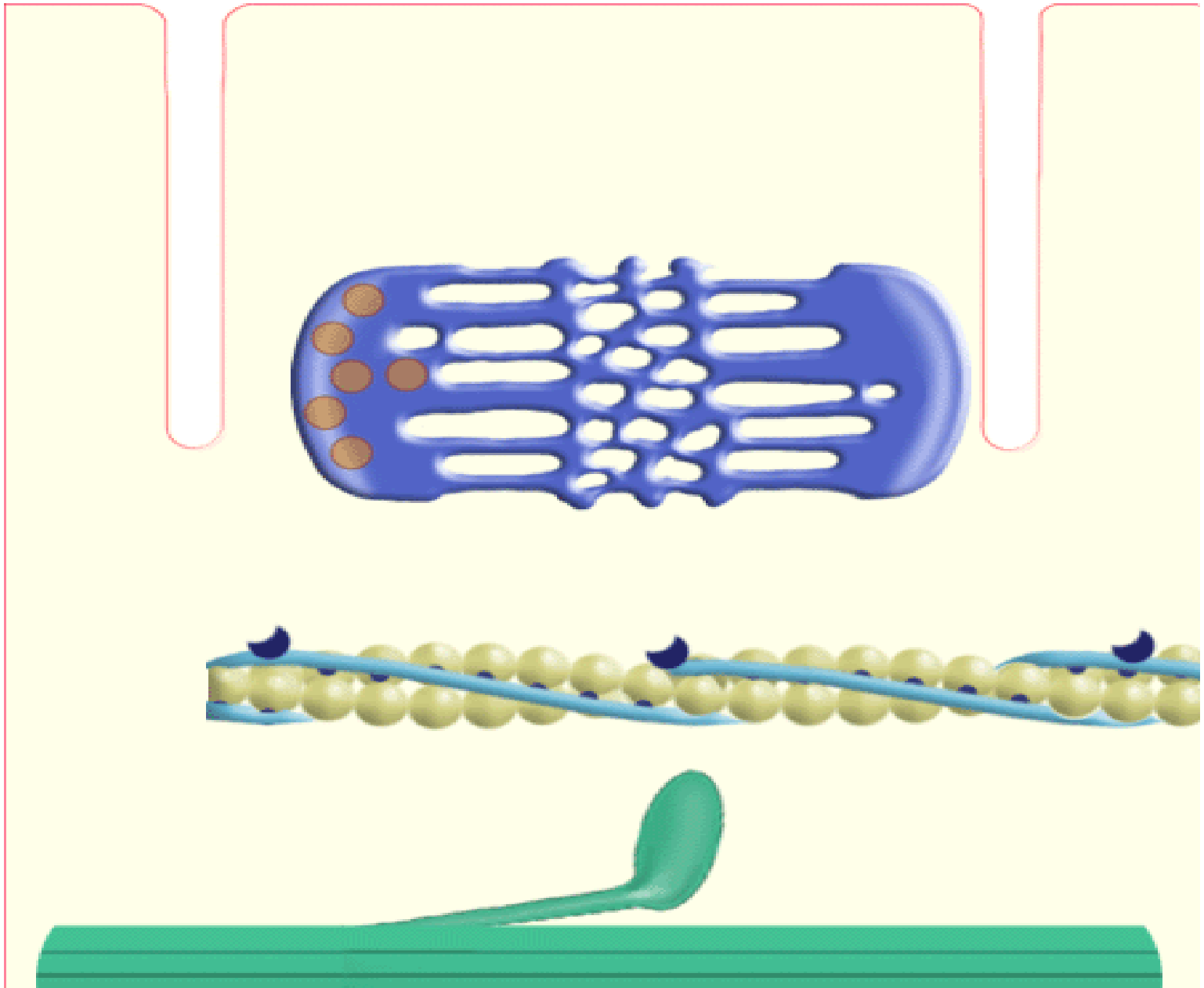
Myofibrila – myofilamenta – sarkomera

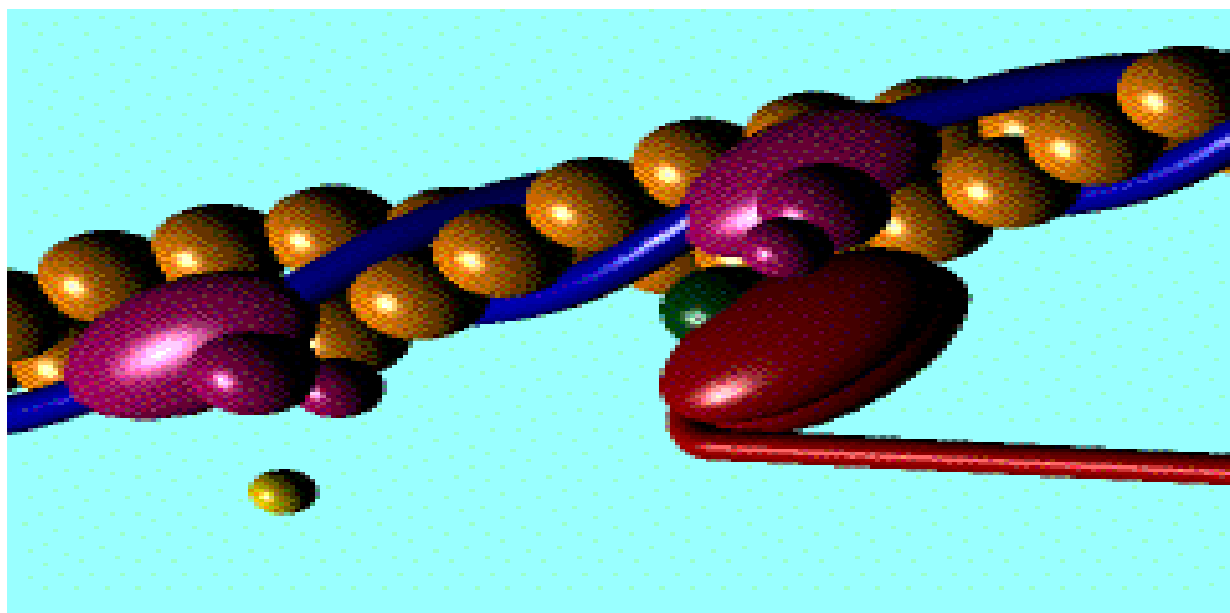
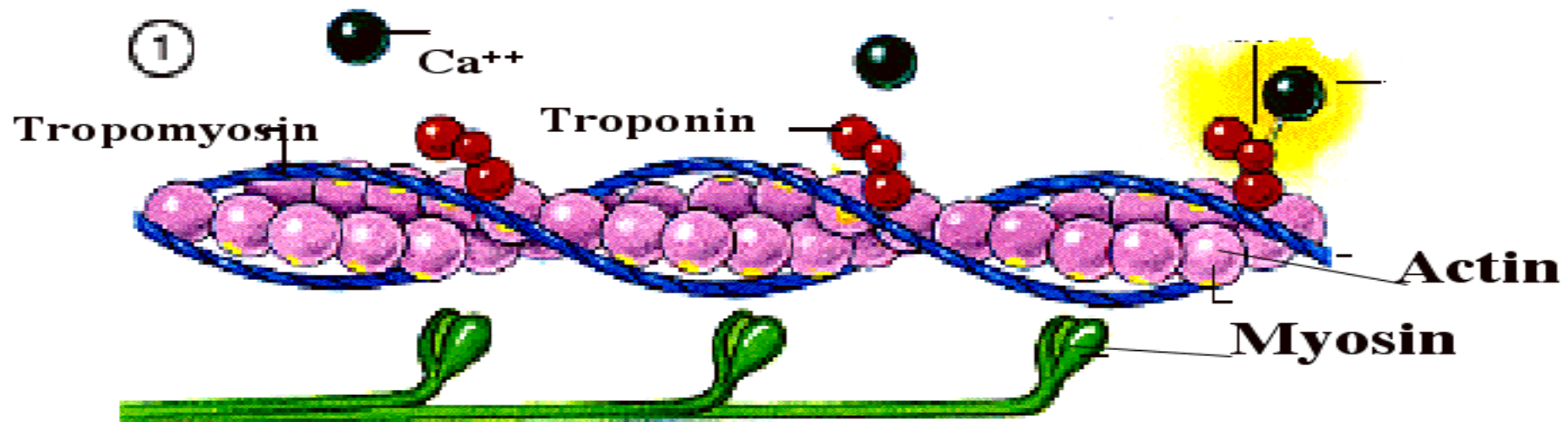




Fáze svalové kontrakce

- přenos vzruchu → depolarizace sarkolemy →
- postupuje prostřednictvím T-tubulů do oblasti triád, přestoupí na membrány sarkoplazmatického retikula → výstup Ca^{2+} do sarkoplazmy
- Ca^{2+} se váže na troponin C → odkrytí vazebných míst pro myozinové hlavice na aktinových vláknech
- myozin se přiloží k aktinu, uvolní se energie, která způsobí ohnutí krčku s hlavicí a posunutí aktinových vláken ke středu sarkomery
- po ukončení depolarizace jsou Ca^{2+} pumpovány ze sarkoplazmy nazpět do sarkoplazmatického retikula





Klasifikace svalových vláken

- Červená vlákna

↑ myoglobin, mitochondrie, lipid. kapky, O₂

↓ myofibrily, glykogen – pomalá, vytrvalá kontrakce

- Bílá vlákna

↓ myoglobin, mitochondrie, lipid. kapky

↑ myofibrily, glykogen – rychlá, krátká kontrakce

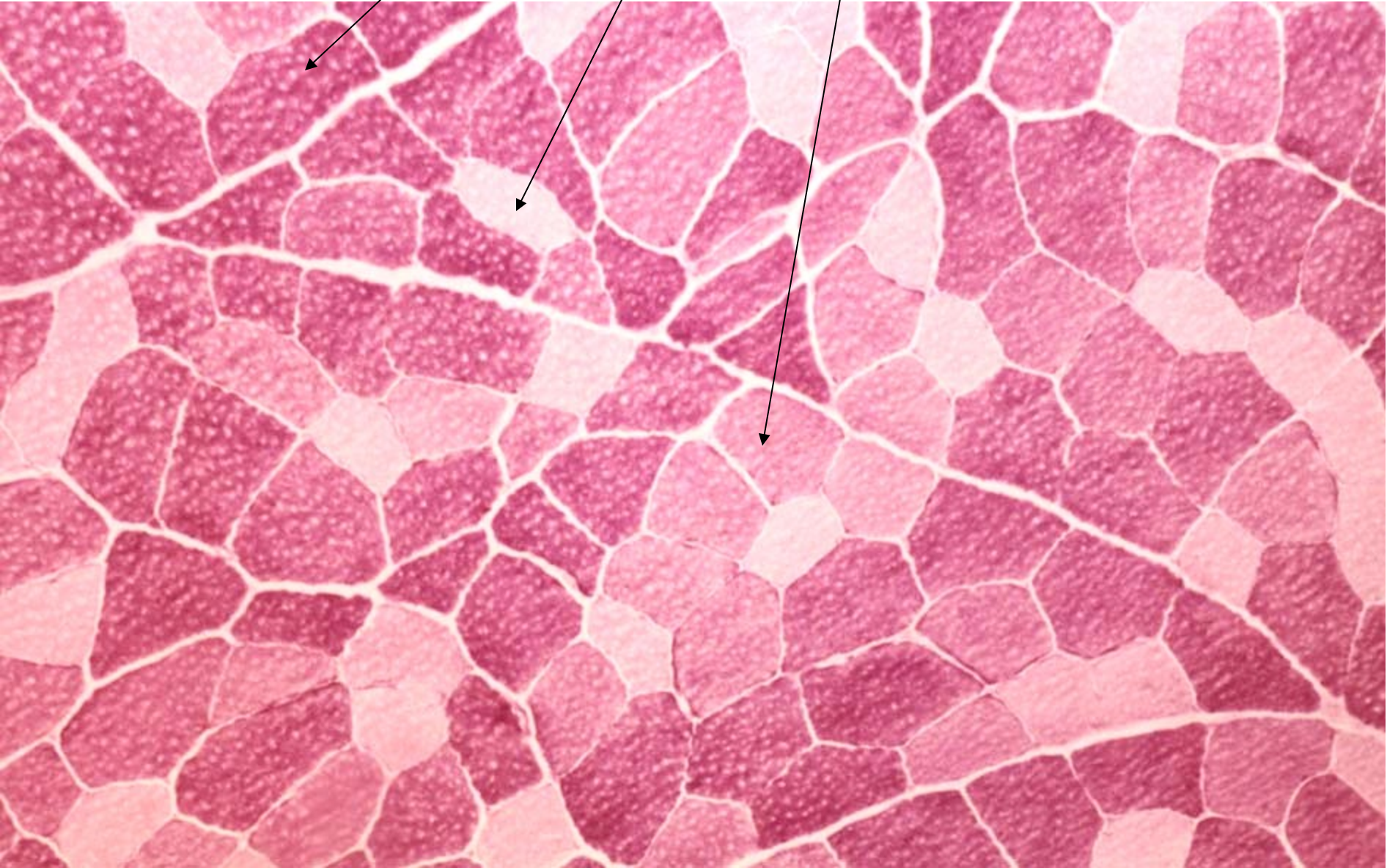
- Intermediární vlákna

– rychlá, vytrvalá kontrakce

Charakteristika jednotlivých typů svalových vláken

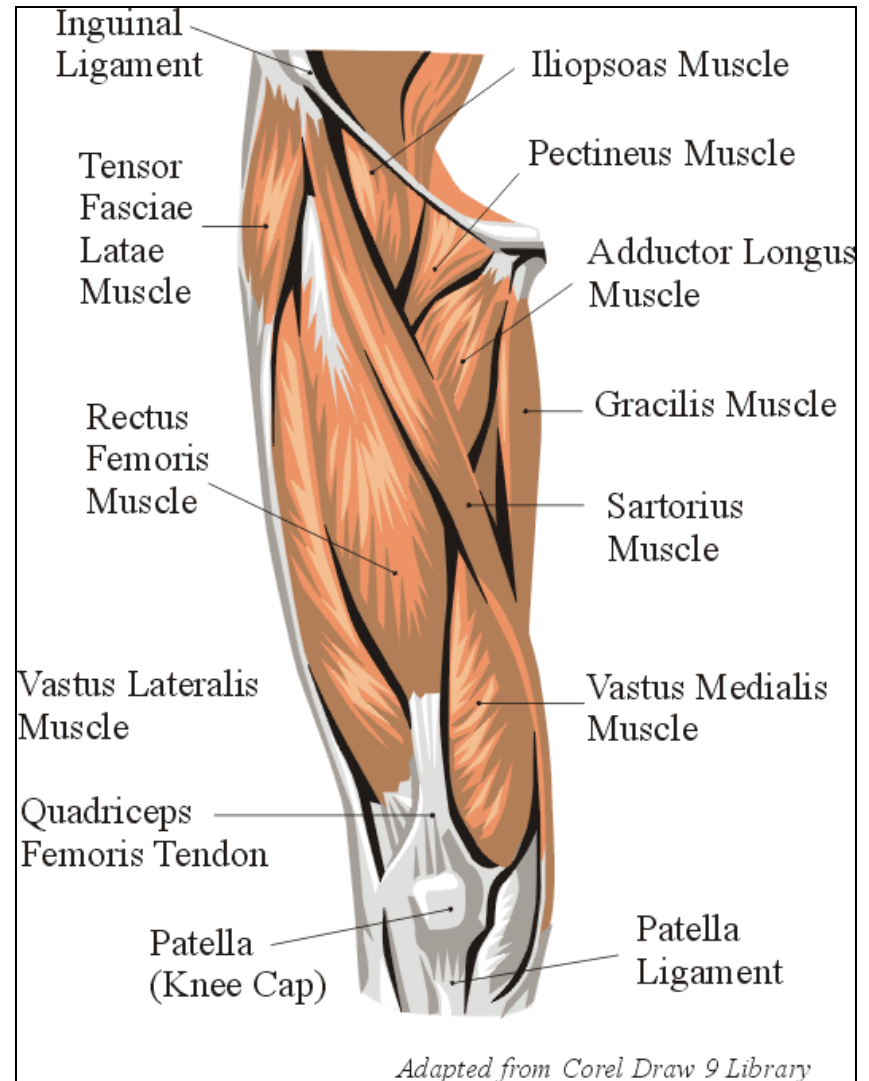
Vlákná	Červená	Intermediární	Bílá
Barva	Tmavá (červená)	Tmavá (červená)	Světlá (bílá)
Obsah myoglobinu	Vysoký	Střední	Nízký
Počet mitochondrií	Hodně malých	Hodně velkých	Málo malých
ATPazová aktivita	Nízká	Vysoká	Vysoká
Typ metabolismu	Oxidativní	Aerobní i anaerobní	Anaerobní
Stah	Pomalý	Rychlý	Rychlý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

Svalová vlákna červená, bílá a intermediární



Sval

- Masitá část svalu
- Šlacha
- Nervově-cévní svazek
- Pomocná svalová zařízení



*Strap with
tendinous
intersections*

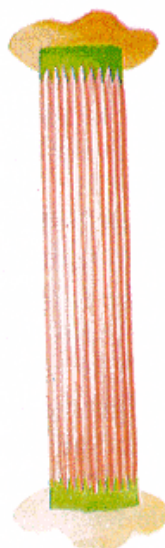
Strap

Tricipital

Triangular



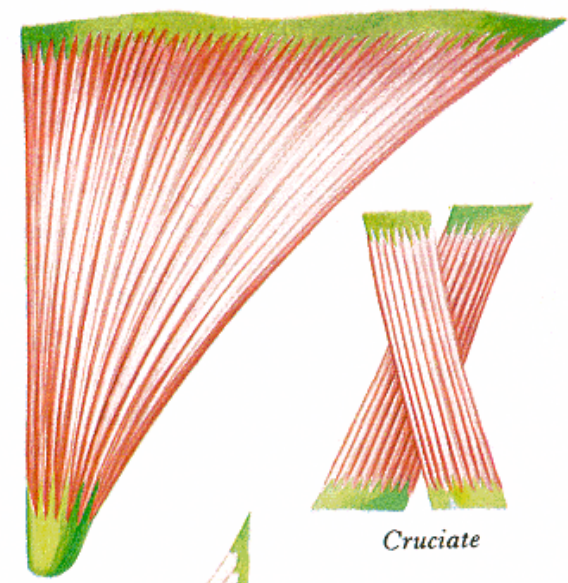
Quadrilateral



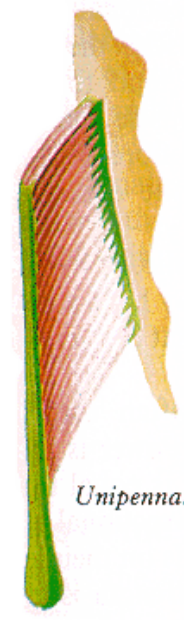
Fusiform



Digastric



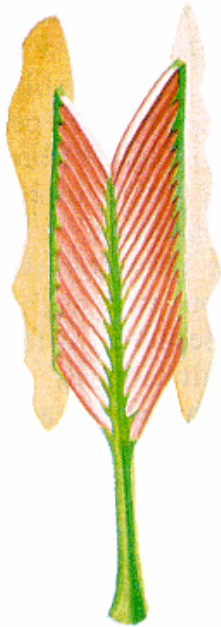
Cruciate



Unipennate



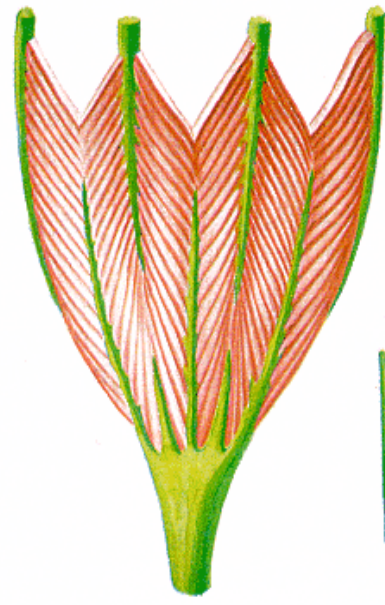
Bipennate



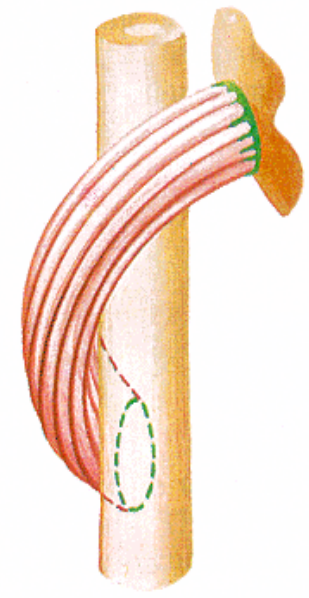
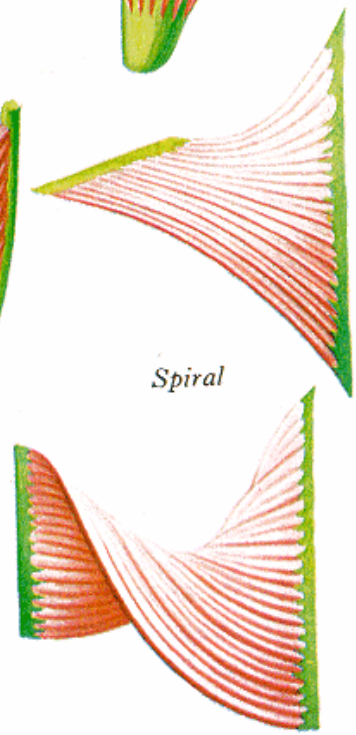
Radial



Multi-pennate



Spiral



Masitá část svalu

Tvar – různý, barva – červenohnědá, schopnost kontrakce

Primární snopce – 10 – 50 rhabdomyocytů (sval. vláken)

Endomysium (*jemné vazivo, kolag. a retikul. vlákna, oj. fibrocyty*)

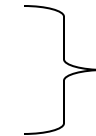
Sekundární snopce

Perimysium (*řidké kolag. vazivo, cévy, nervy, tuk. buňky*)

Terciární snopce (svazek) – celý sval

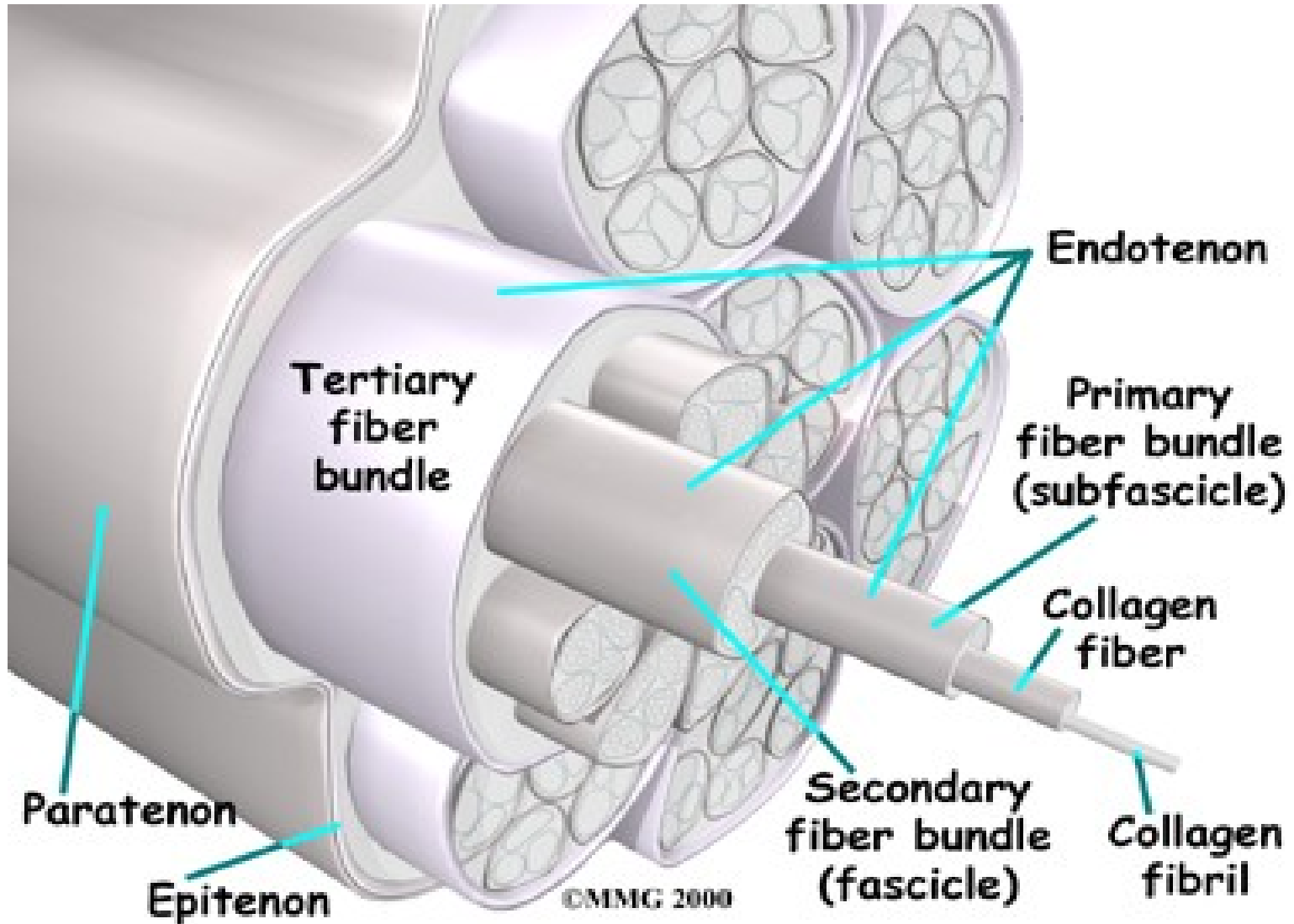
Epimysium (*husté kolag. vazivo neuspořádané*)

Svalová fascie



Obal svalu

Šlacha



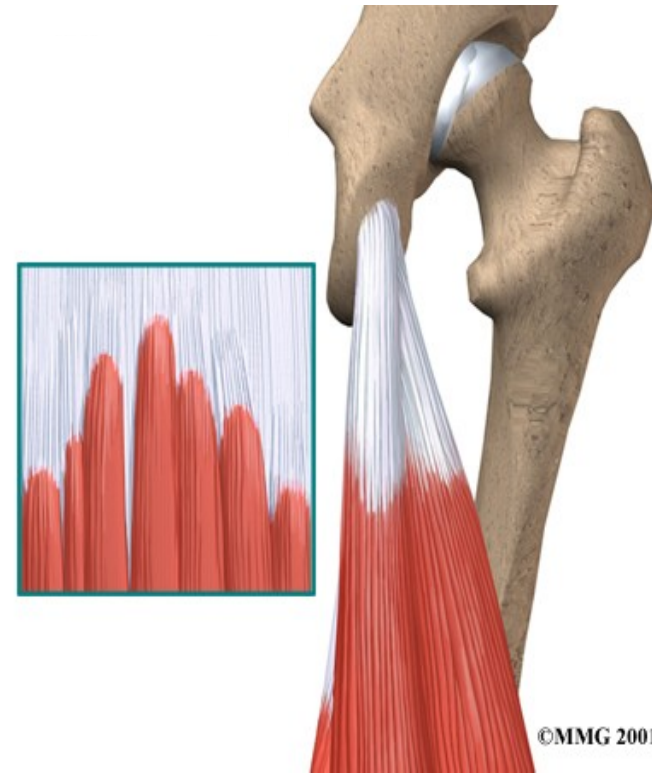
Přenos svalového tahu

Na koncích svalových vláken

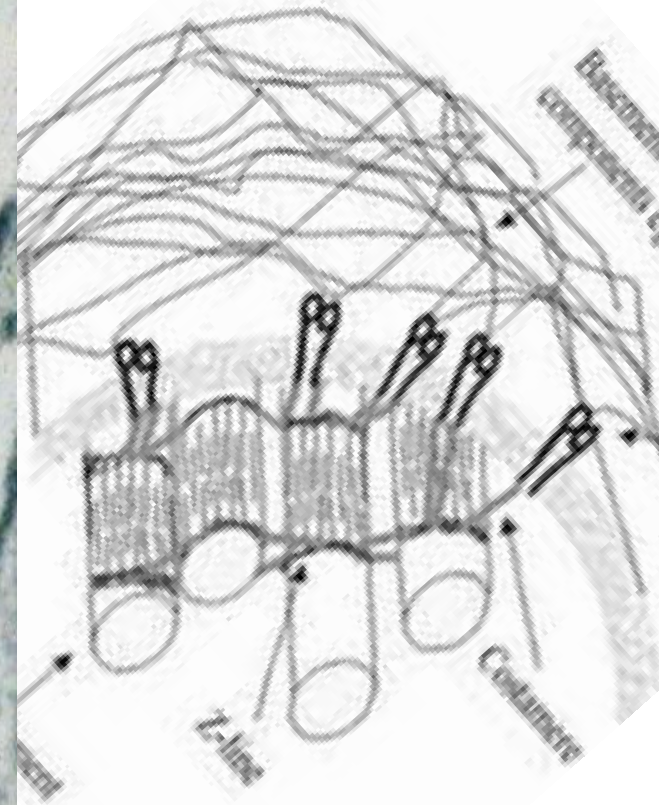
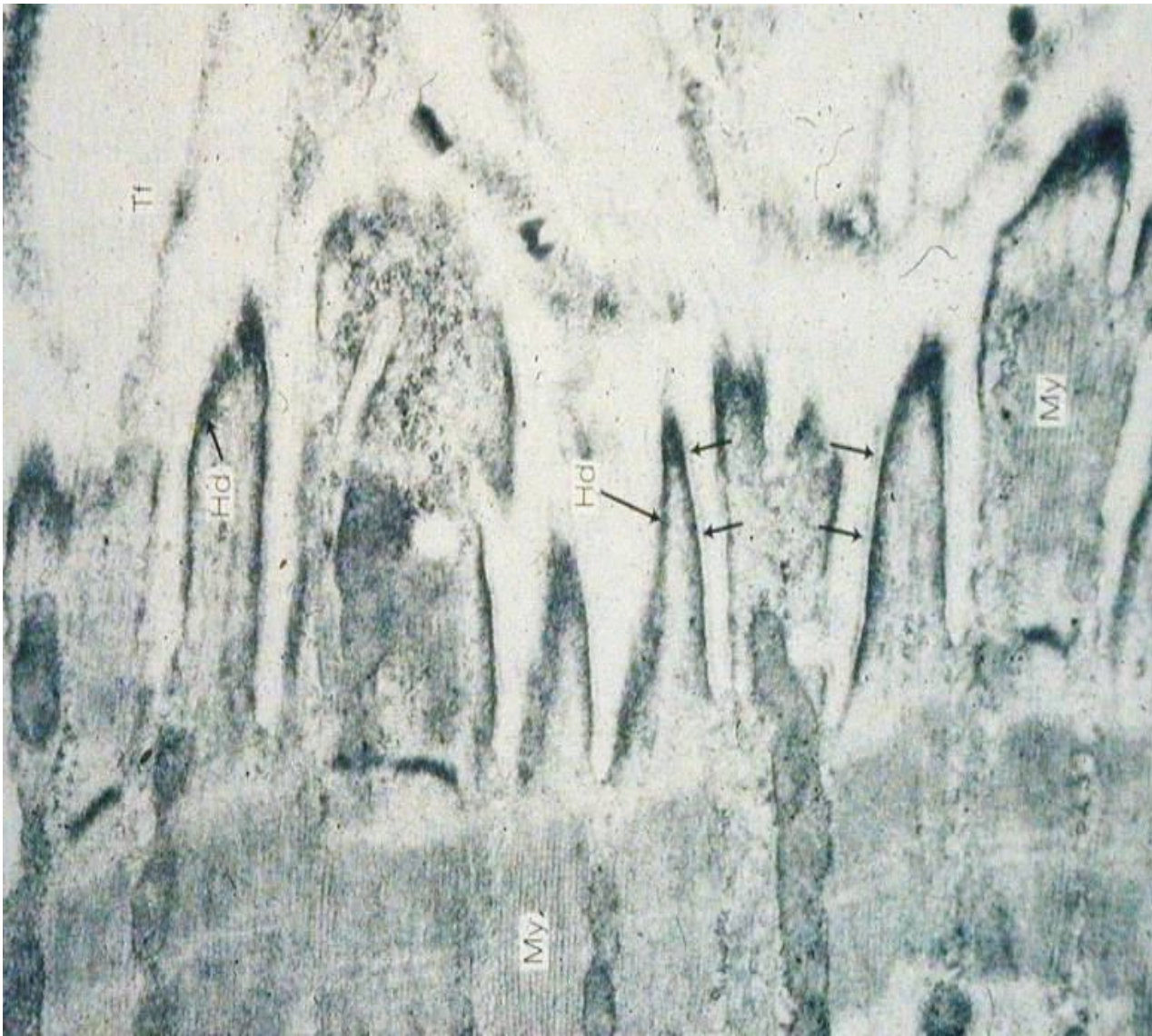
*tah (zkrácení) se z intracelulárních proteinů (aktin, myosin) přenáší na extracelulární proteiny (kolagen) ve vazivu šlachy
+ integriny*

Laterální ukotvení do vaziva

*zajištěno cytoskeletem (aktin, desmin)
+ integriny*



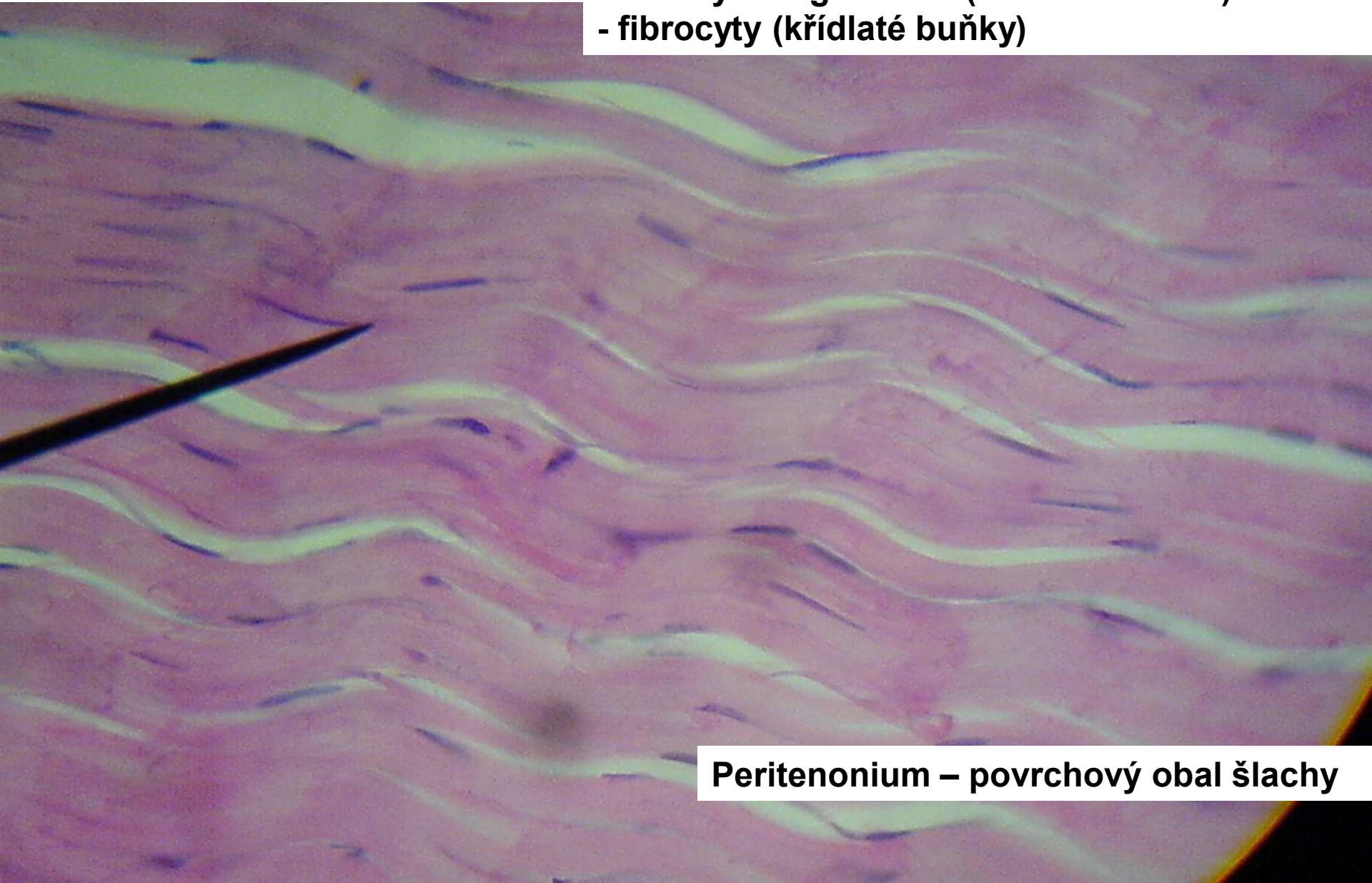
Spojení šlacha - sval



Šlacha

Husté kolag. vazivo uspořádané:

- svazky kolag. vláken (fibrae tendinae)
- fibrocyty (křídlaté buňky)

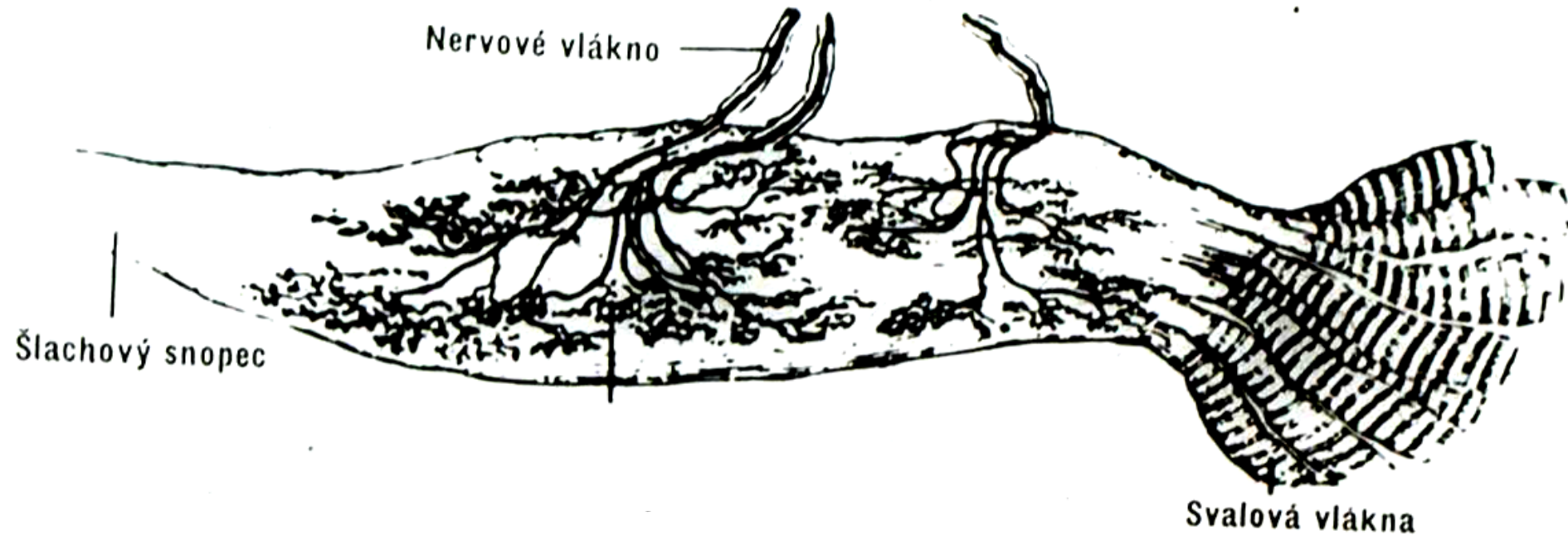


Peritenonium – povrchový obal šlachy

Zásobení svalu

- cévy i nervy se větví ve vazivu svalu
- senzitivní nervy
 - nervosvalová vřeténka (délka svalu)
 - šlachová vřeténka (napětí svalu)
 - volná nervová zakončení (bolest)
- motorické nervy, motorická jednotka
 - myelinizované axony motoneuronů v míše
 - motorické ploténky

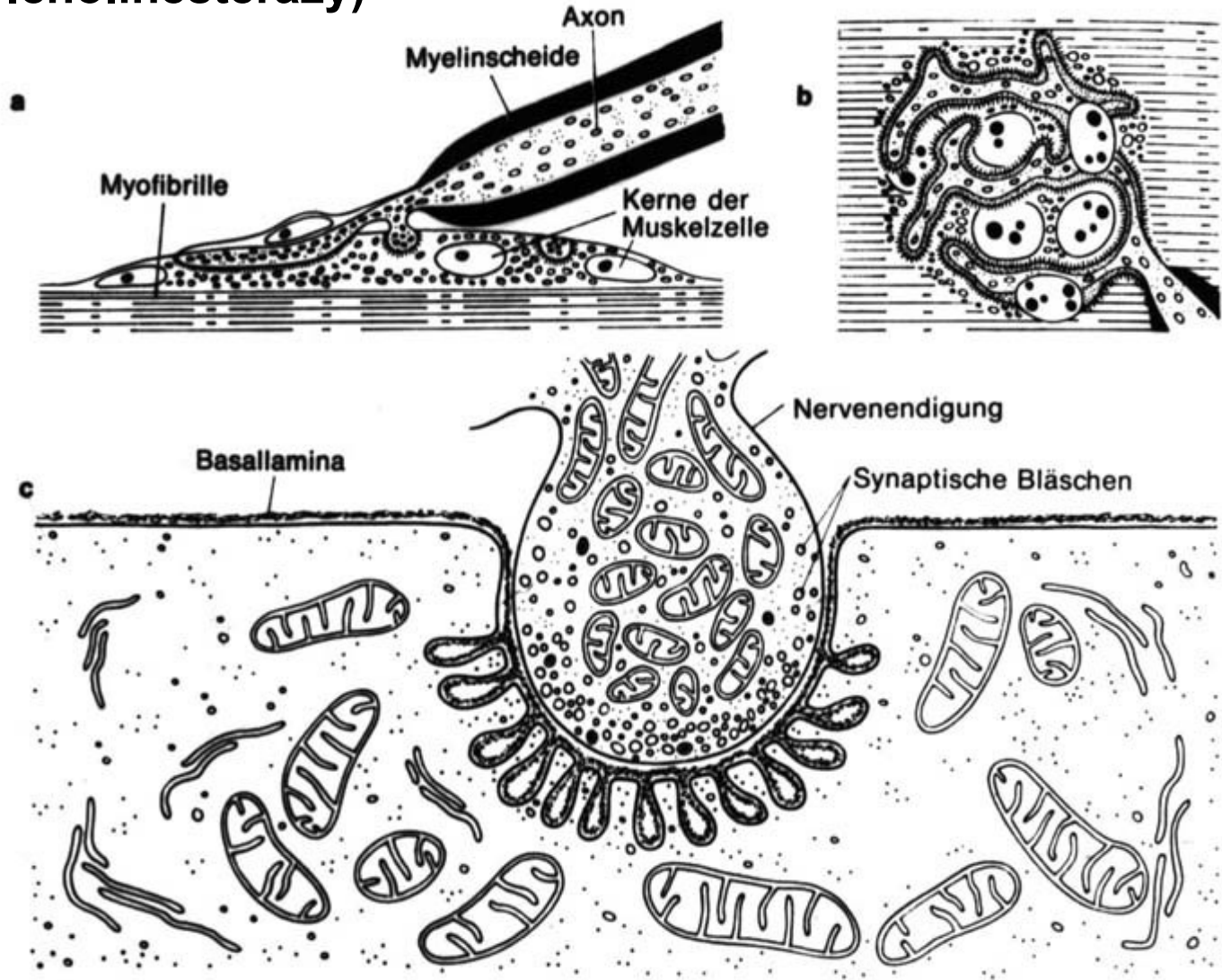
Golgiho šlachové vřeténko



- na přechodu šlachy ve sval
- registrace svalového napětí a tlaku na šlachu

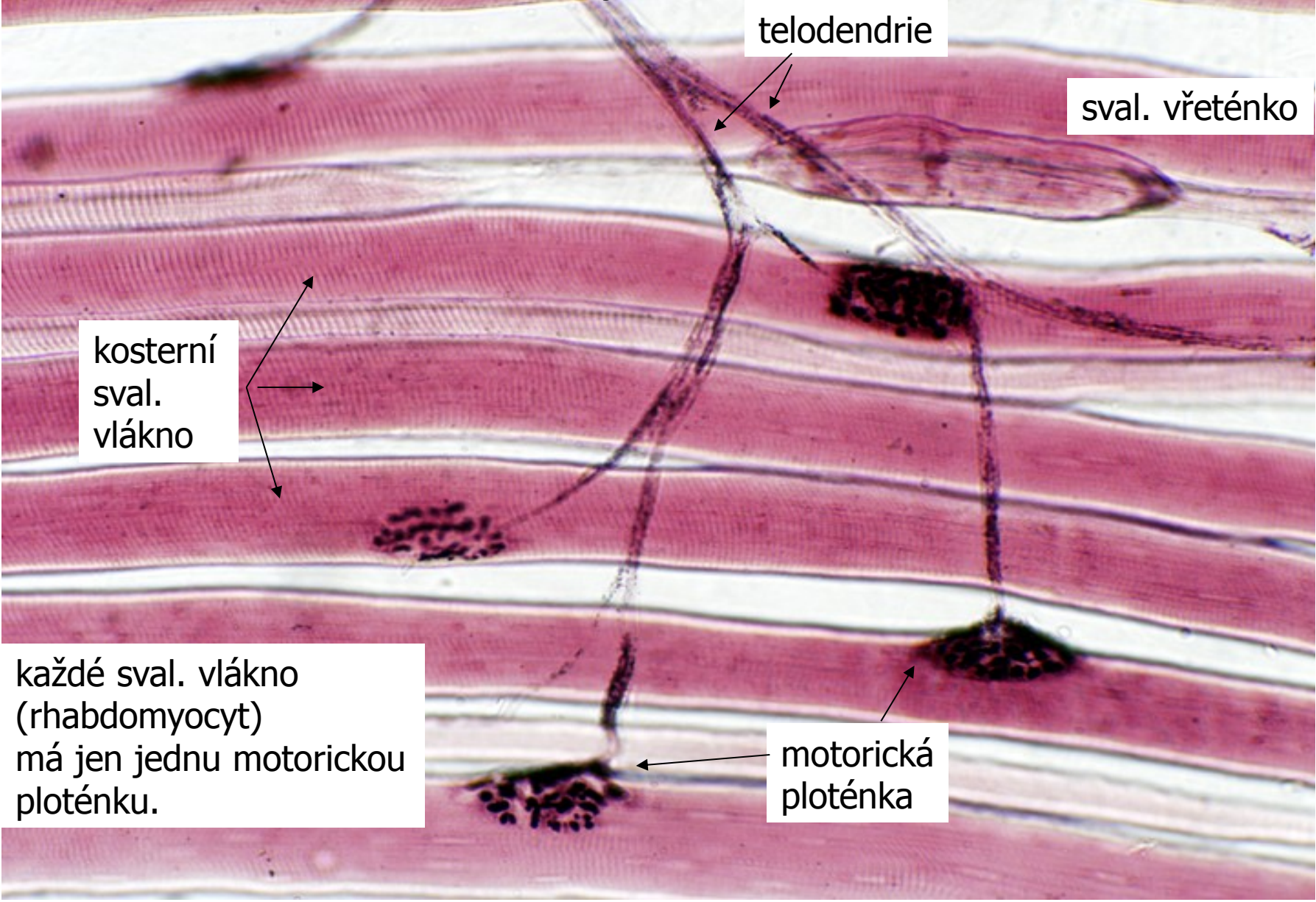
Motorická ploténka

(průkaz acetylcholinesterázy)



Motorické ploténky v motorické jednotce – 1 motoneuron

tato svalová vlákna s kontrahují současně



telodendrie

sval. vřeténko

kosterní
sval.
vlákno

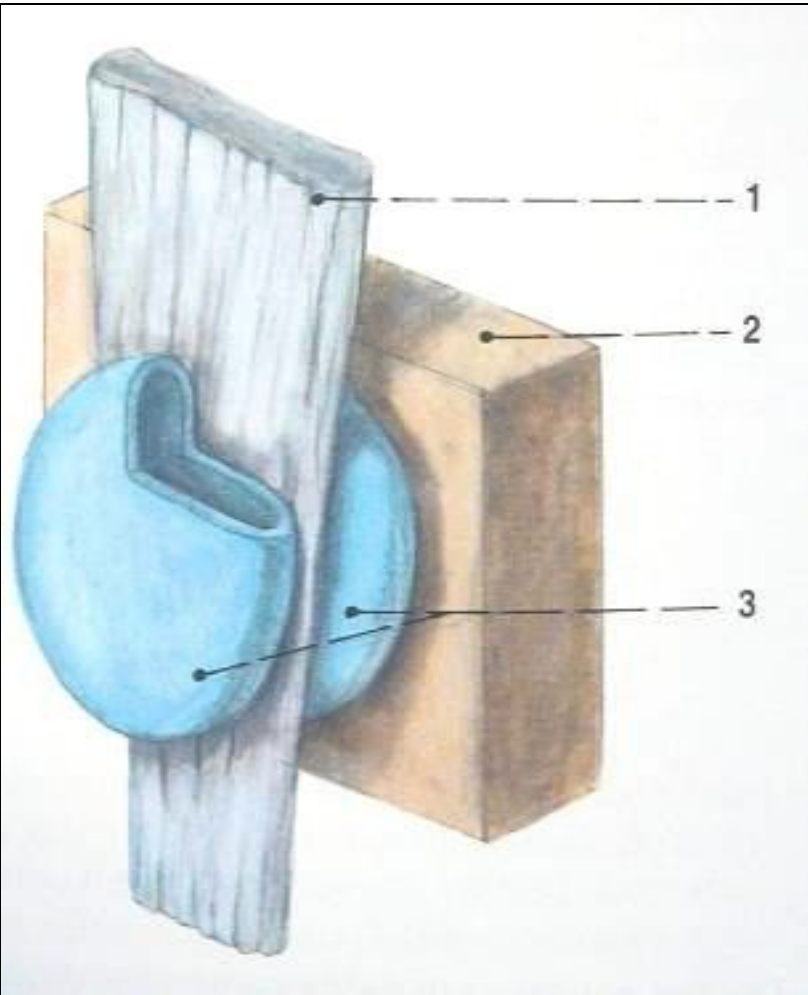
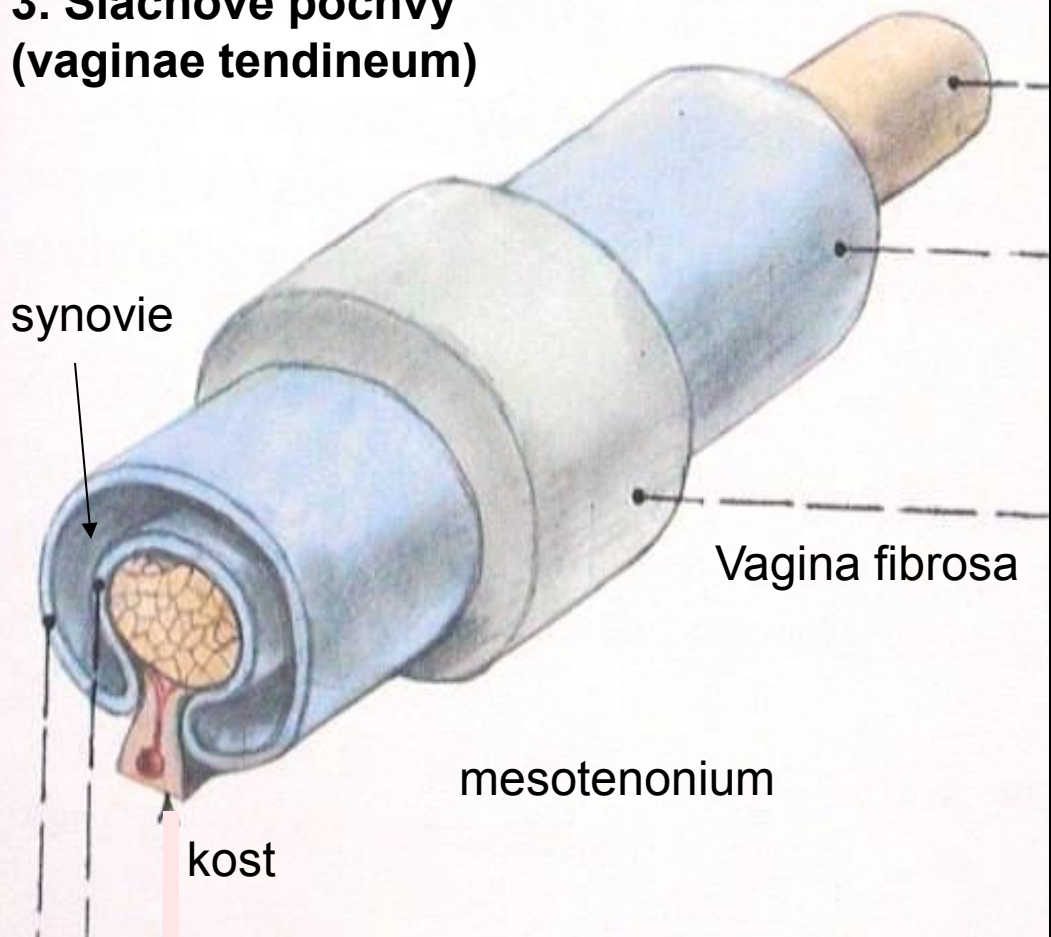
každé sval. vlákno
(rhabdomyocyt)
má jen jednu motorickou
ploténku.

motorická
ploténka

Pomocná svalová zařízení – vazivové struktury:

1. Povázky (fascie), 2. Kladky (trochleae),

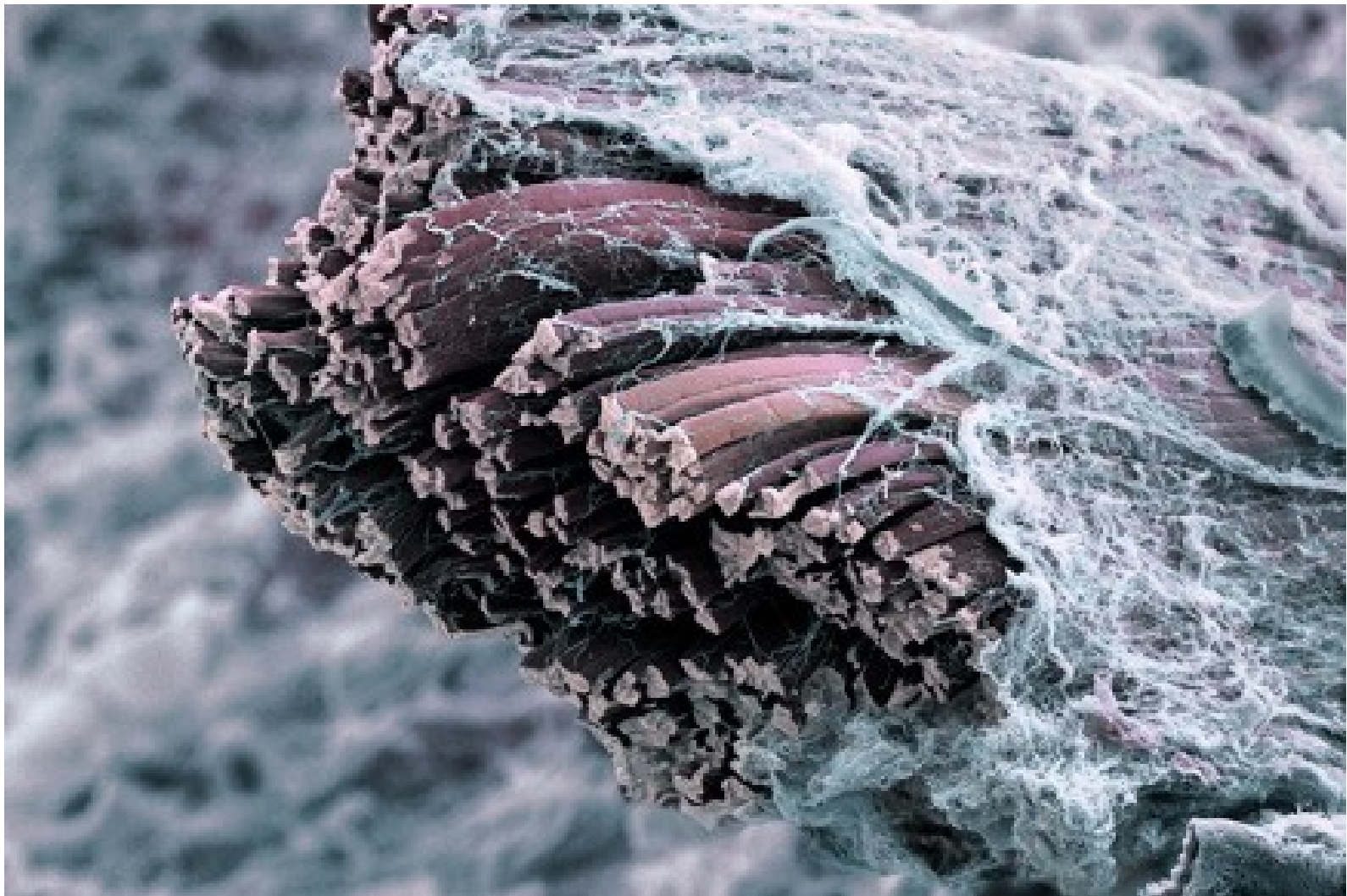
3. Šlachové pochvy
(vaginae tendineum)

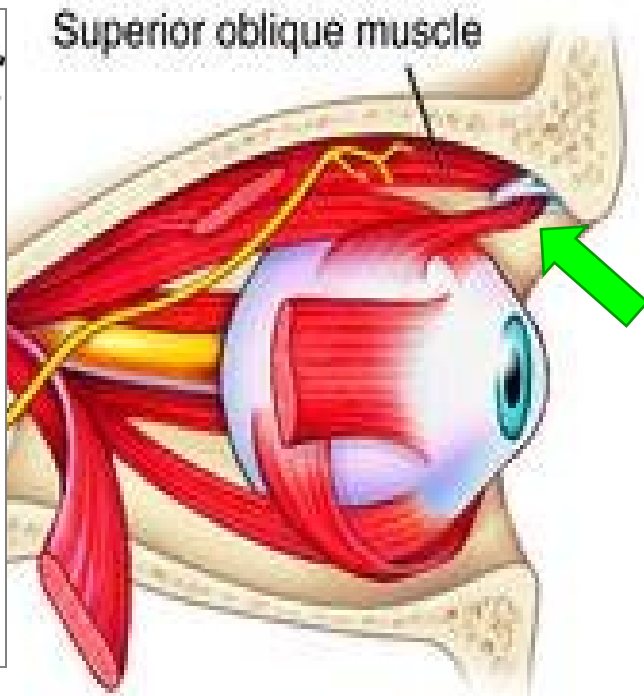
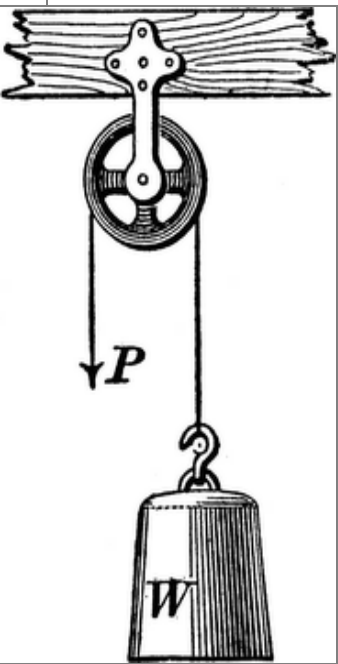


vagina synovialis $\left\{ \begin{array}{l} \text{viscerální list} \\ \text{parietální list} \end{array} \right.$

4. Synoviální váčky
(bursae synoviales)

Fascia muscularis





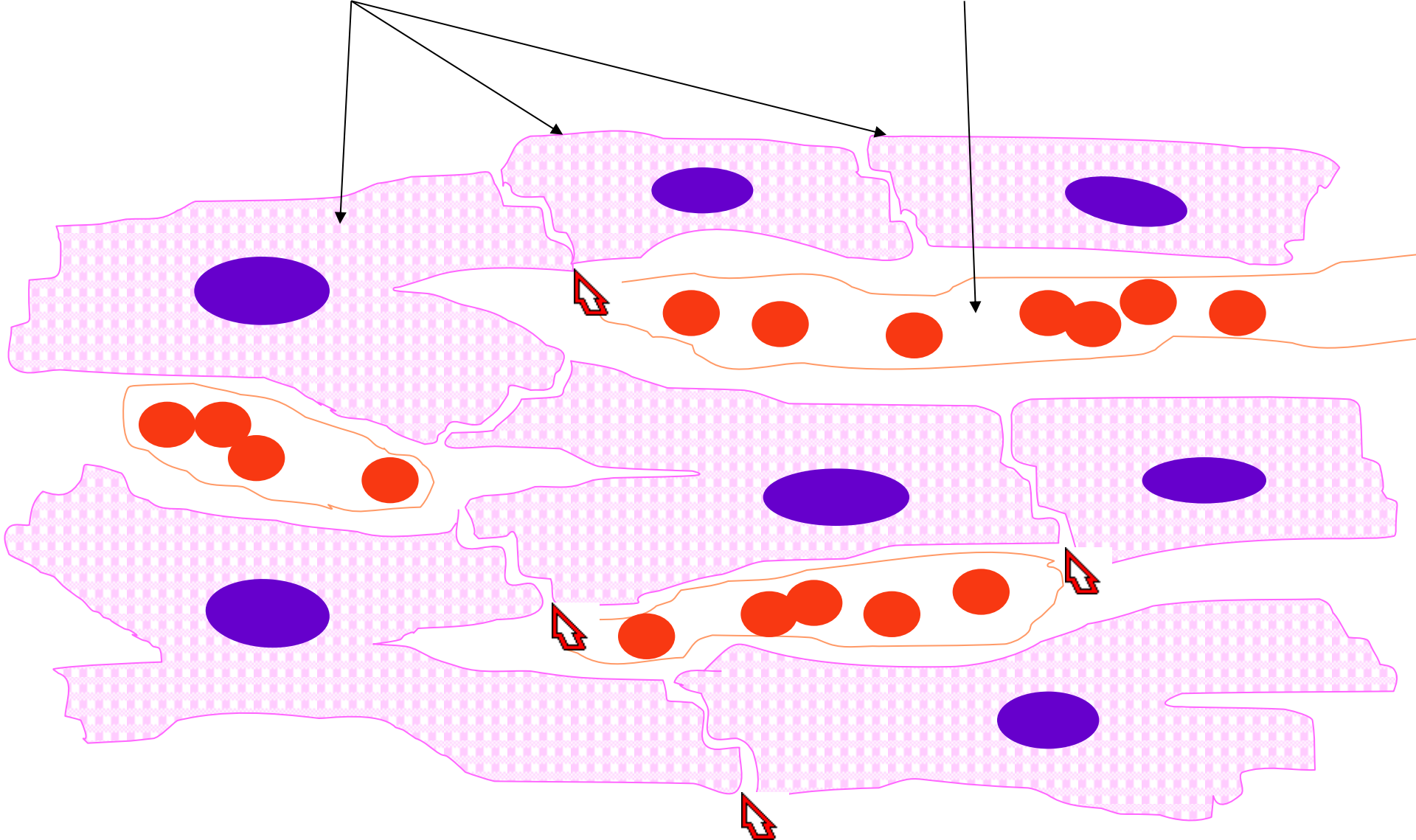
Svalová tkáň příčně pruhovaná srdeční

- **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**.*

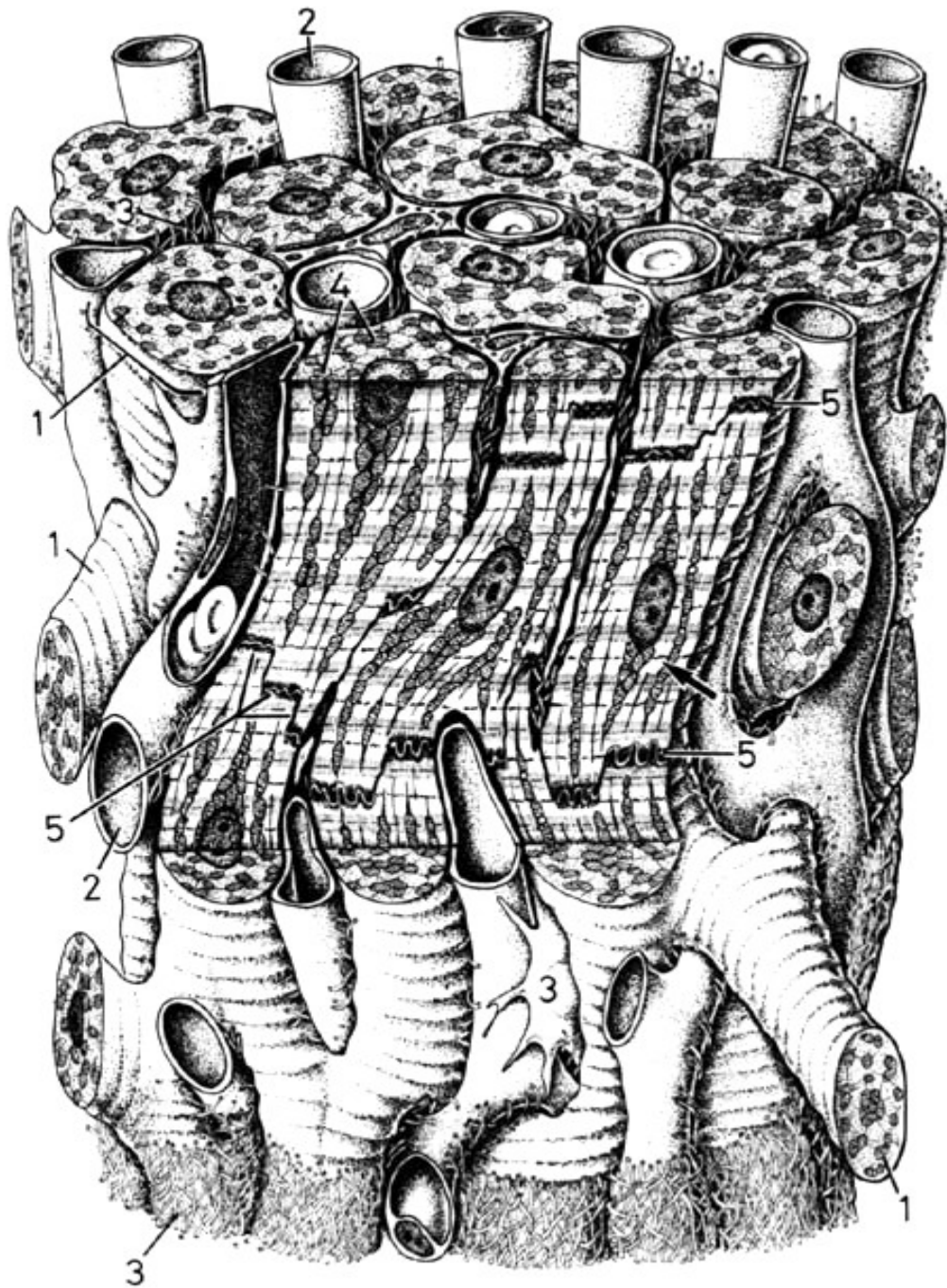
řetězec kardiomyocytů

kapilára s erytrocyty



Interkalární disk

Kardiomyocyty



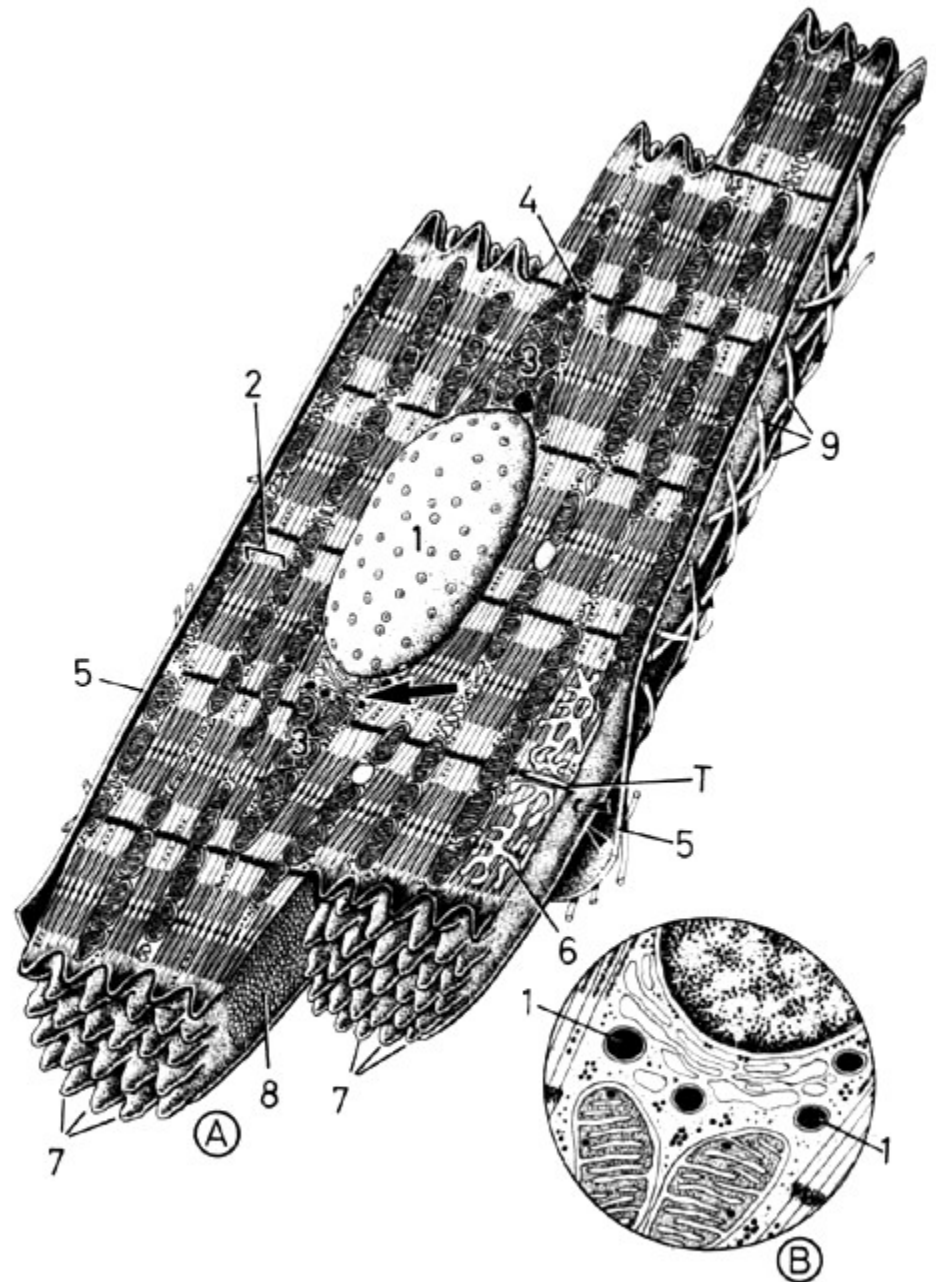
Kardiomyocyty

```
graph LR; A[Kardiomyocyty] --- B[pracovní (kontraktilní)]; A --- C[vzrušivé]
```

- jednojaderná bb. - oválné jádro centrálně
- množství mitochondrií
 - GER, GA, glykogen, lipidy
- kontraktilní aparát - jako v kosterním svalu
- terminální cisterny SR a T-tubuly tvoří diády na úrovni Z-linií
- v síních granula aurikulinu (natriuretický faktor)

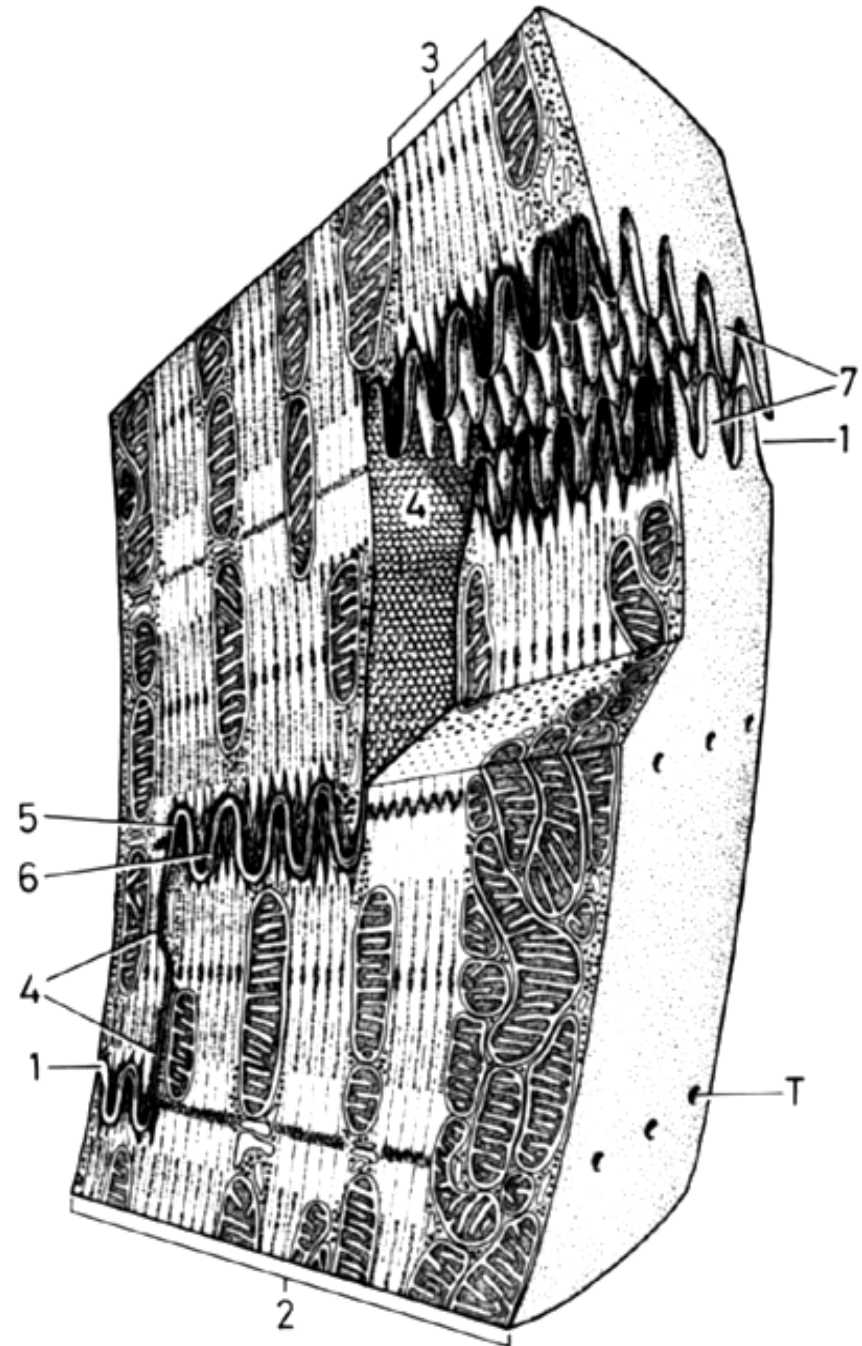
Kardiomyocyt

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

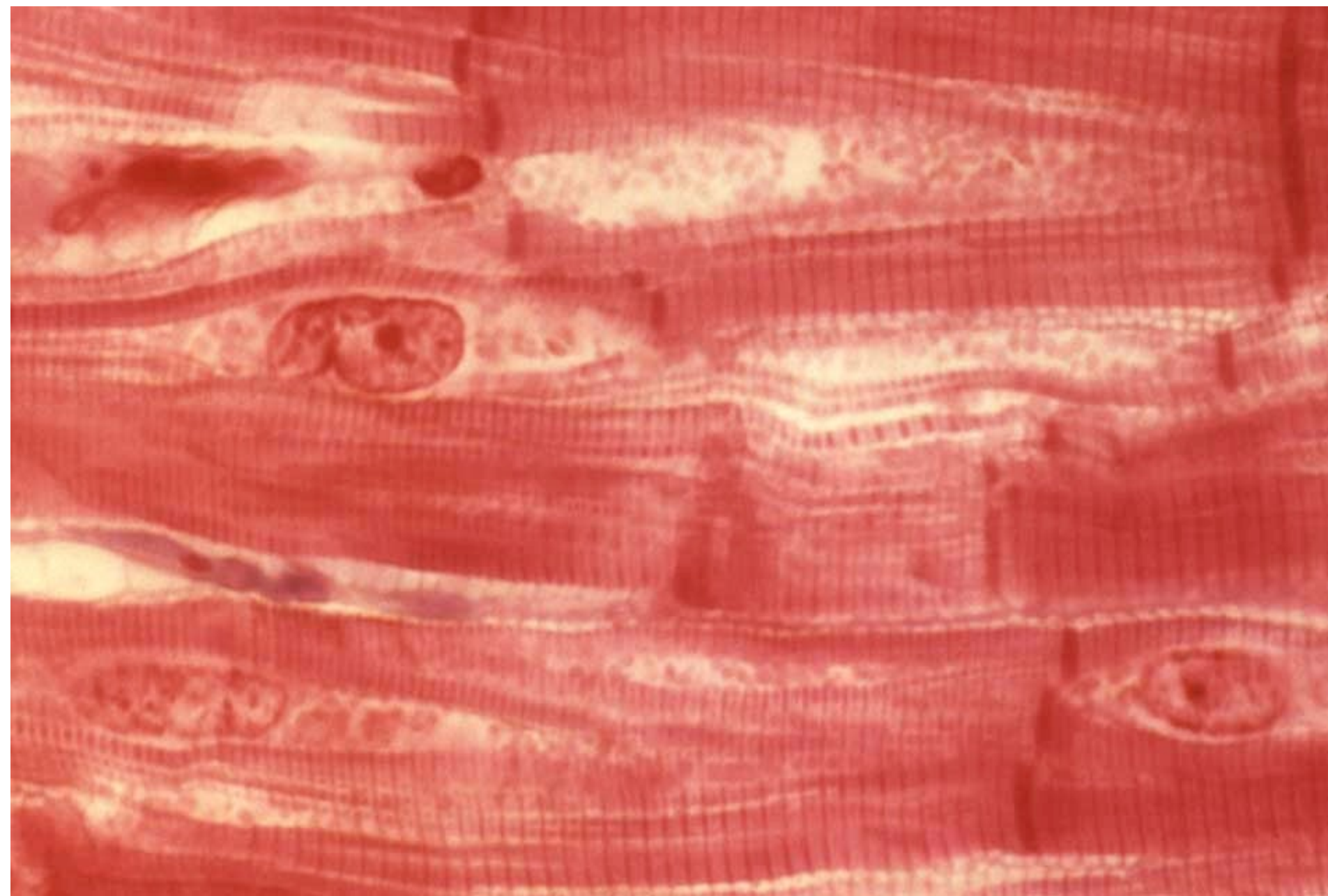


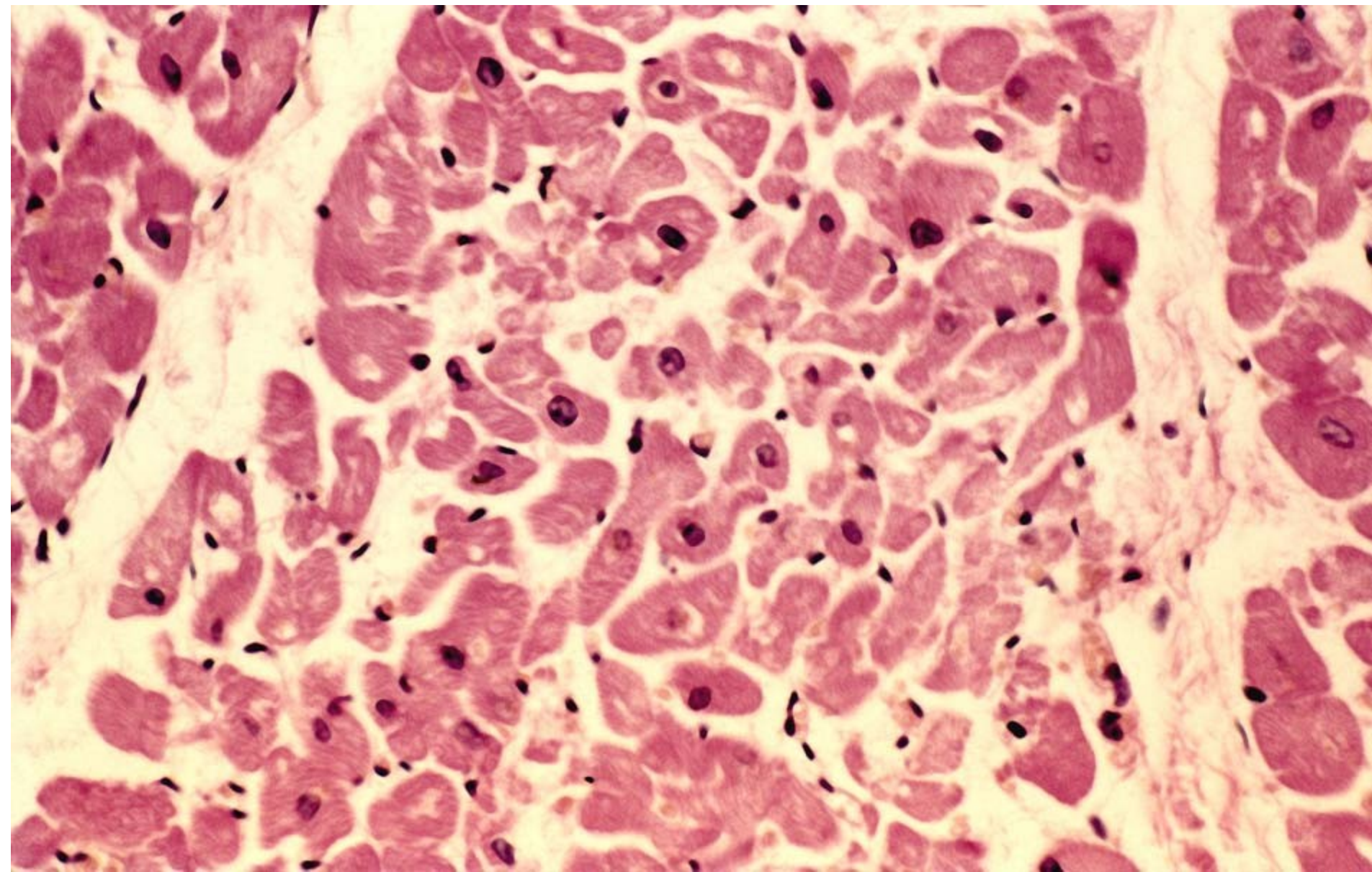
Interkalární disk

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

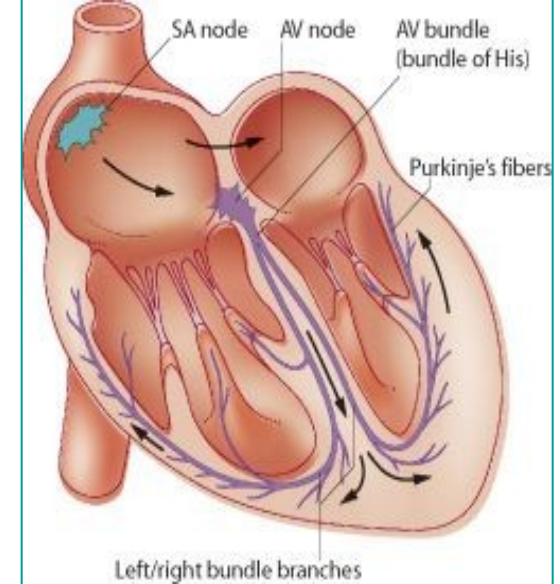








Vzrušivé (nonkontraktilní) kardiomyocyty



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

Myokard

**Pracovní
kardiomyocyty**

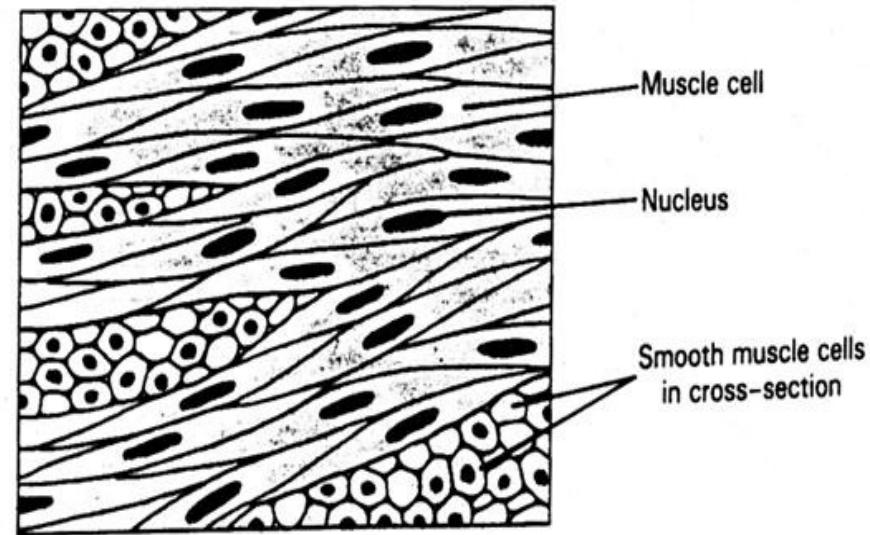
**Vzrušivé
kardiomyocyty**



Svalová tkáň hladká

- **morfologická a funkční jednotka: svalová buňka (leiomyocyt) –**
buňka s 1 jádrem uloženým centrálně
- průměr: 3-10 μm
- délka: 20-200 μm

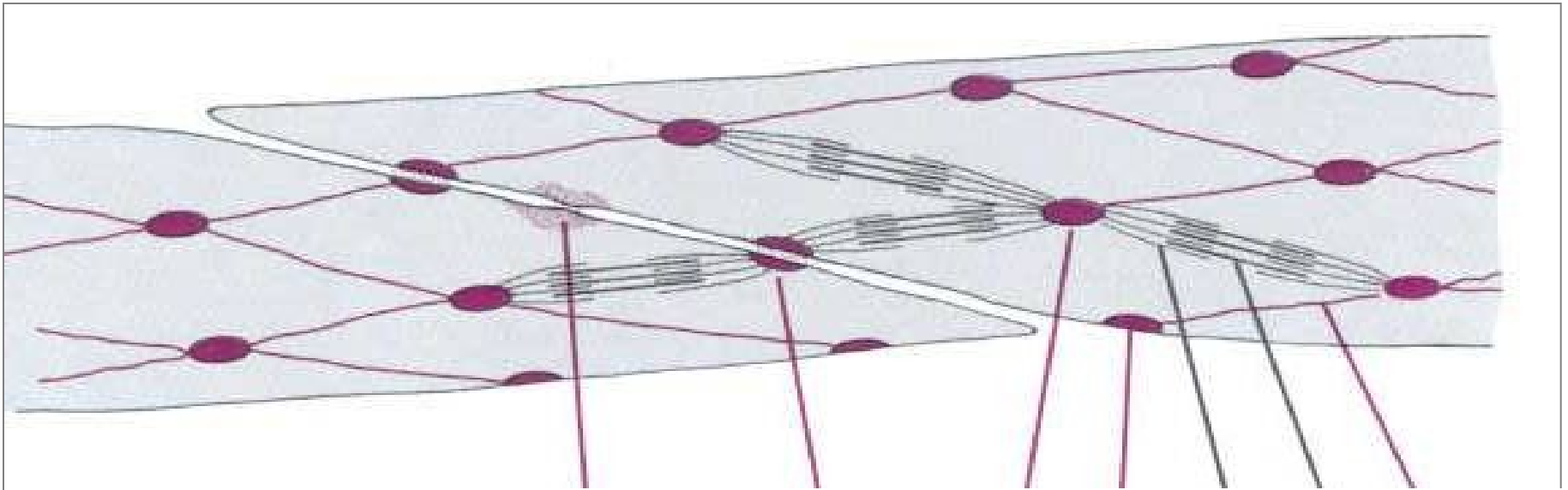
Hladká svalová tkáň



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

Leiomyocyt

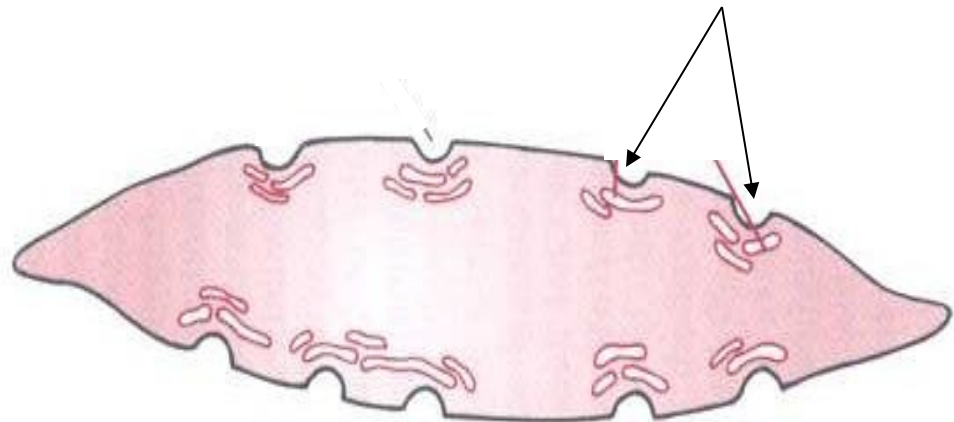
- sarkoplazmatické retikulum: pouze izolované váčky, chybějí terminální cisterny i T-tubuly
- kaveoly (\approx T-tubuly)
- **tenká** (aktinová) a **tlustá** (mysionová) **myofilamenta** uspořádána do složité prostorové sítě, chybí periodické střídání obou typů filament (= nejsou vytvořeny myofibrily)



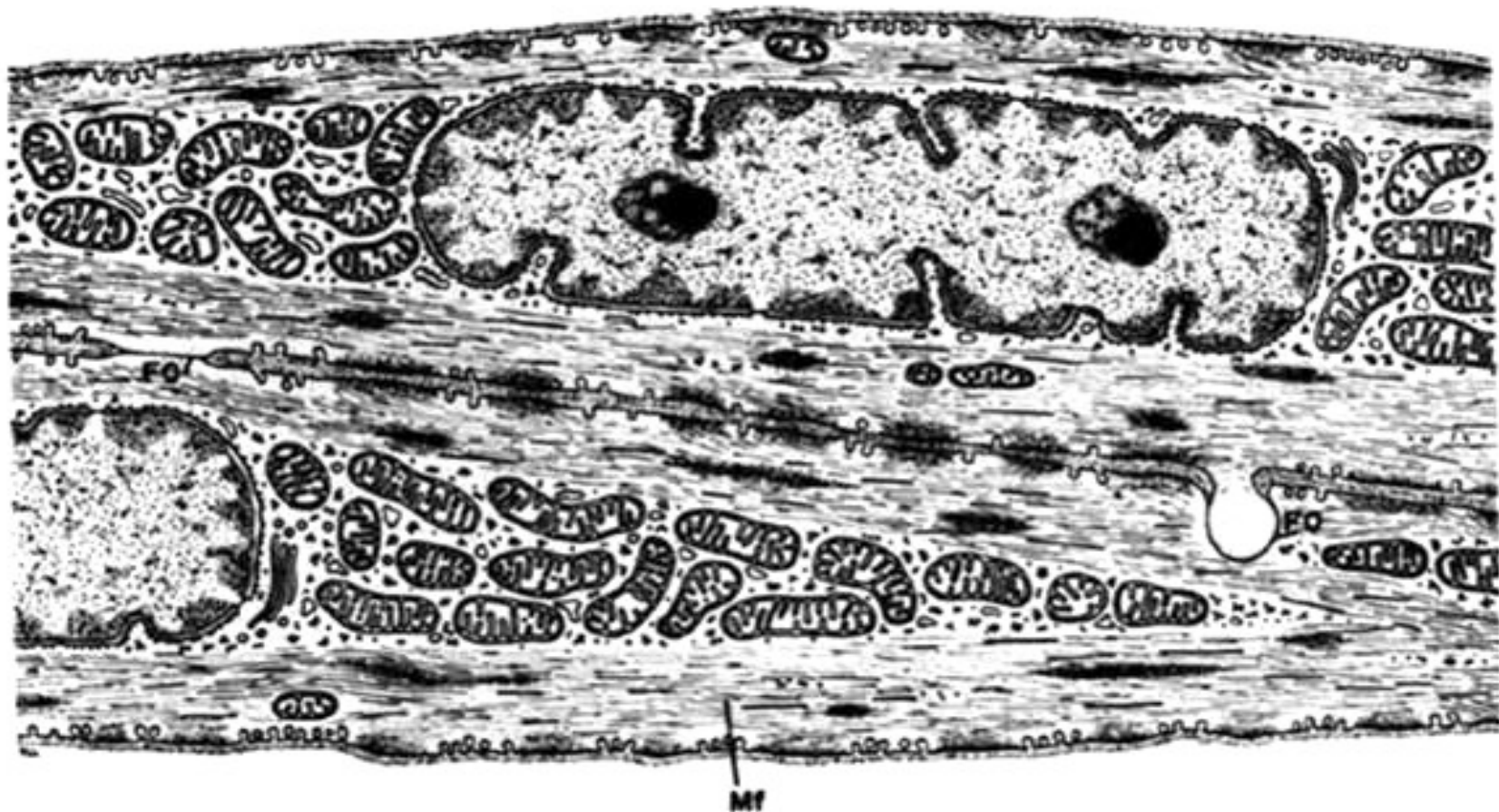
Aktinová myofilamenta – fokálně adherují k sarkolemě nebo do **denzních tělísek** (\approx Z-linie) v sarkoplazmě.

Kalmodulin (\approx troponin)

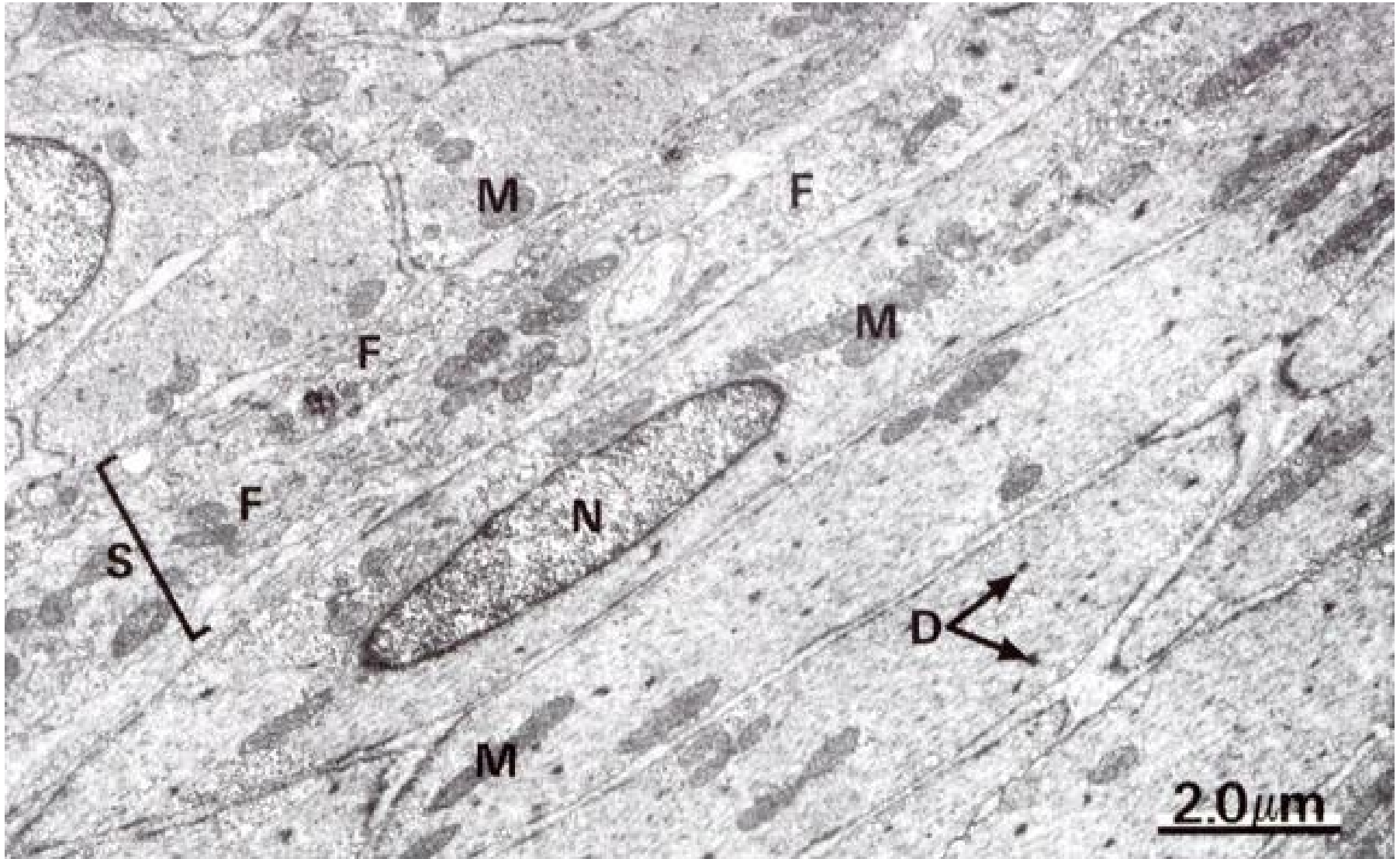
Sarkoplazmatické retikulum – jen krátké tubuly; kaveoly –
přesun Ca^{2+}

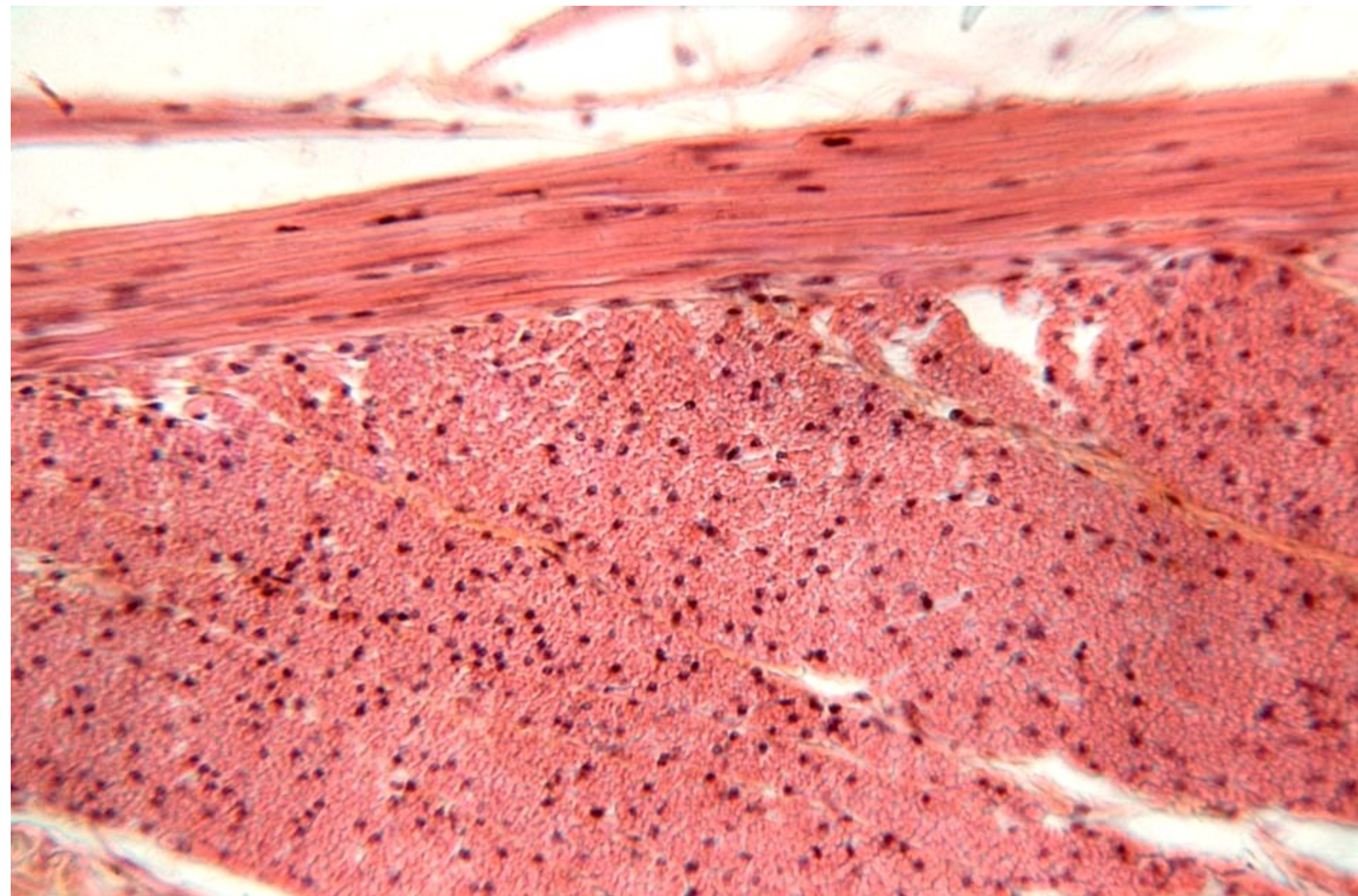


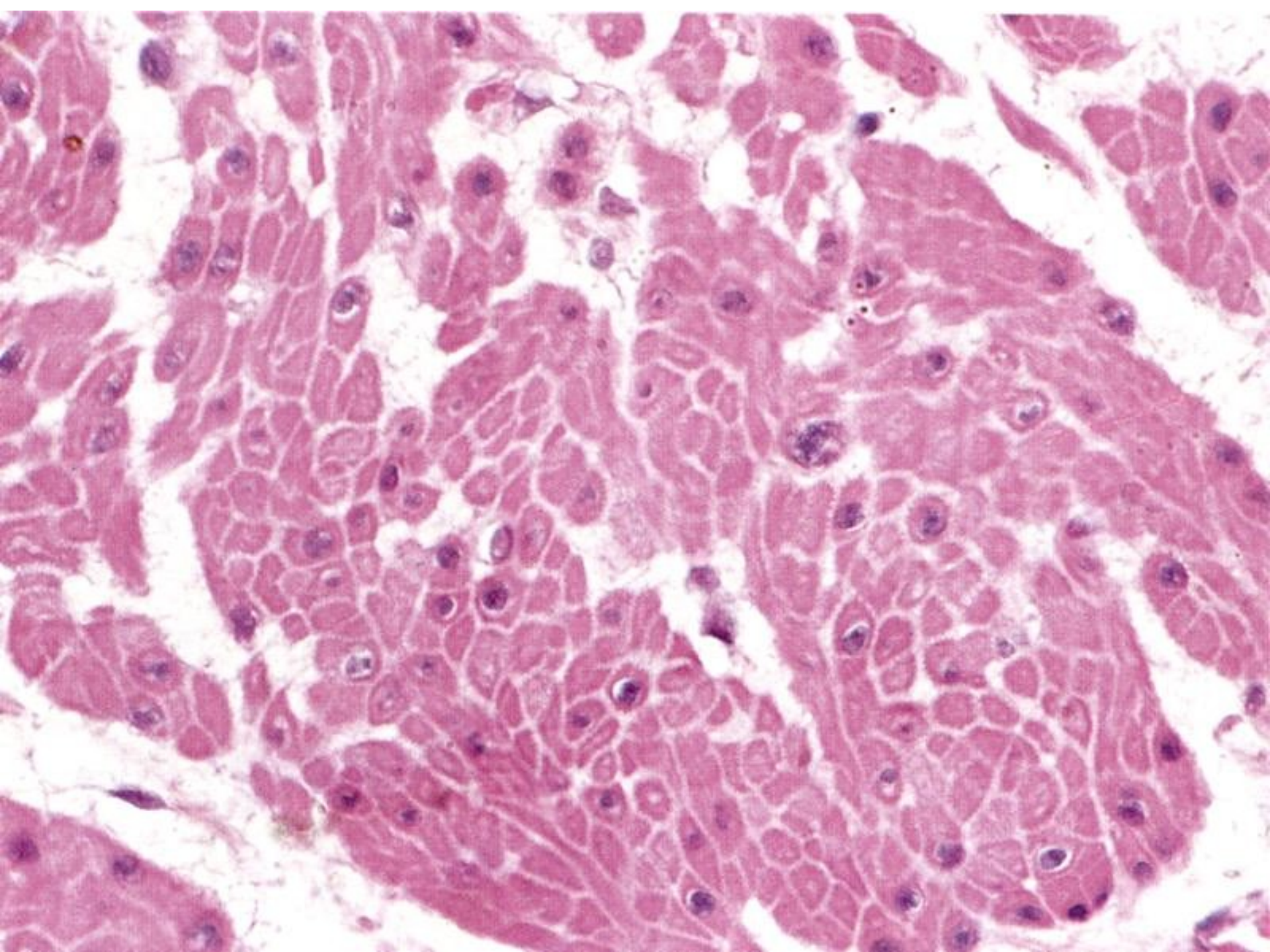
Části 2 leiomyocytů



Leiomyocyty - ELM

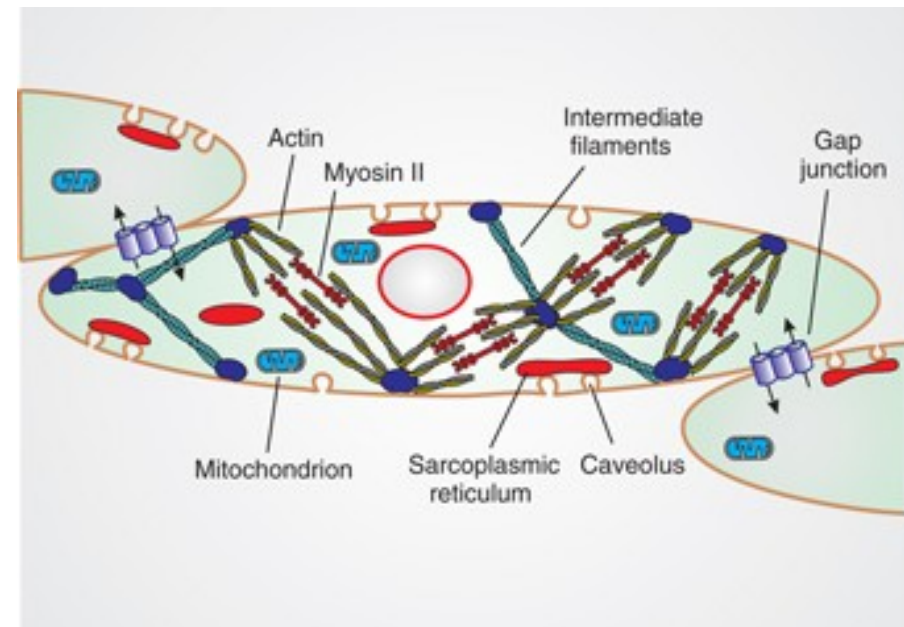
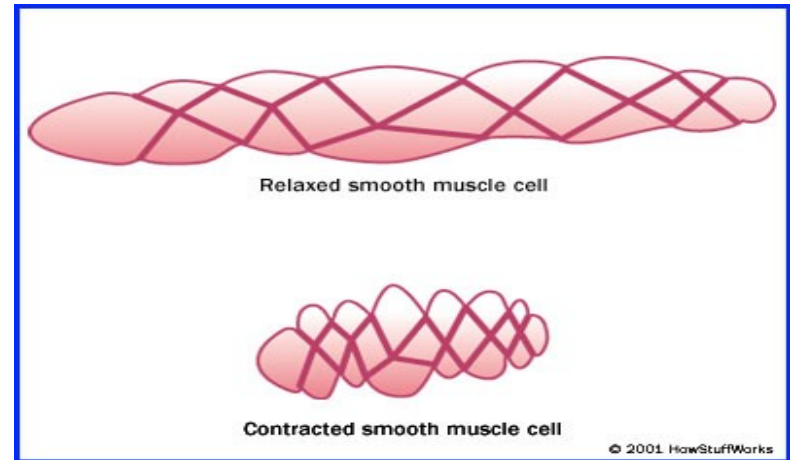






Mechanismus kontrakce

- Ca^{2+} (vstup do buňky), vazba na kalmodulin
- Ca^{2+} -kalmodulin aktivuje myosin-kinázu (přes cAMP)
- $\text{ATP} \downarrow \rightarrow \text{ADP}$
- 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

Regenerace svalové tkáně

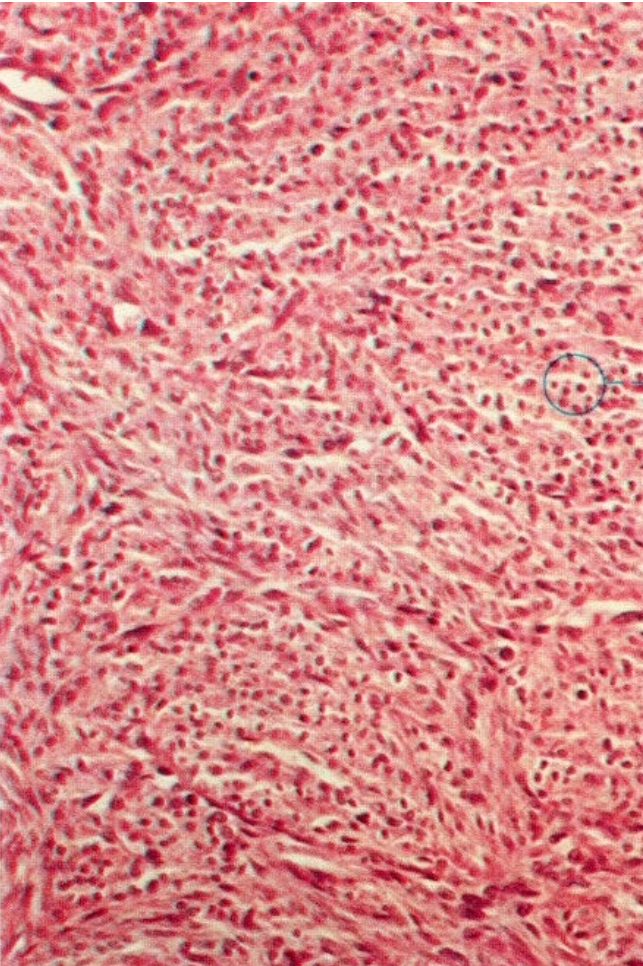
- vysoce diferencovaná tkáň (zejména příčně pruhovaná)
- nízká schopnost regenerace
 - srdeční sval se hojí jizvou
 - kosterní sval se hojí jizvou + lehce regeneruje ze satelitových bb.
 - hladké svalové bb. se dělí a snadno regenerují
- hypertrofie (zvětšení bb.)
- hyperplazie (zmnožení bb.)
- dystrofie,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

Děkuji za pozornost

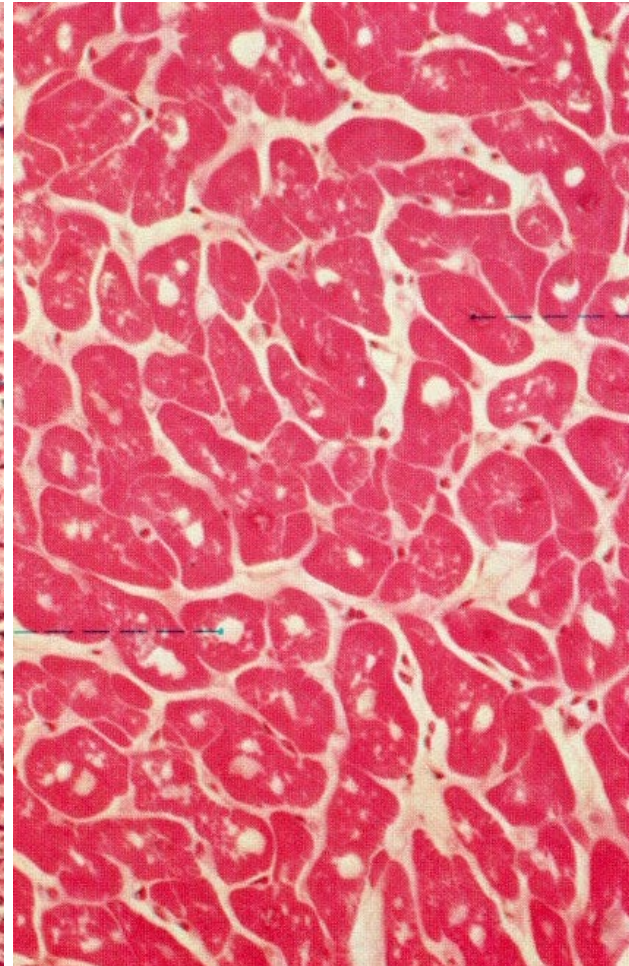


svalová tkáň – příčný řez

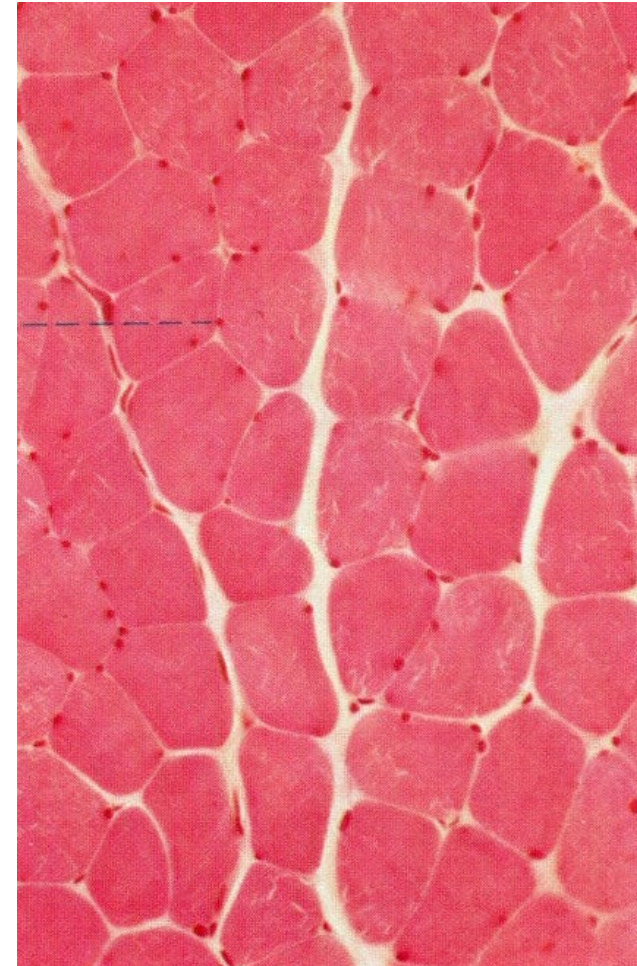
hladká

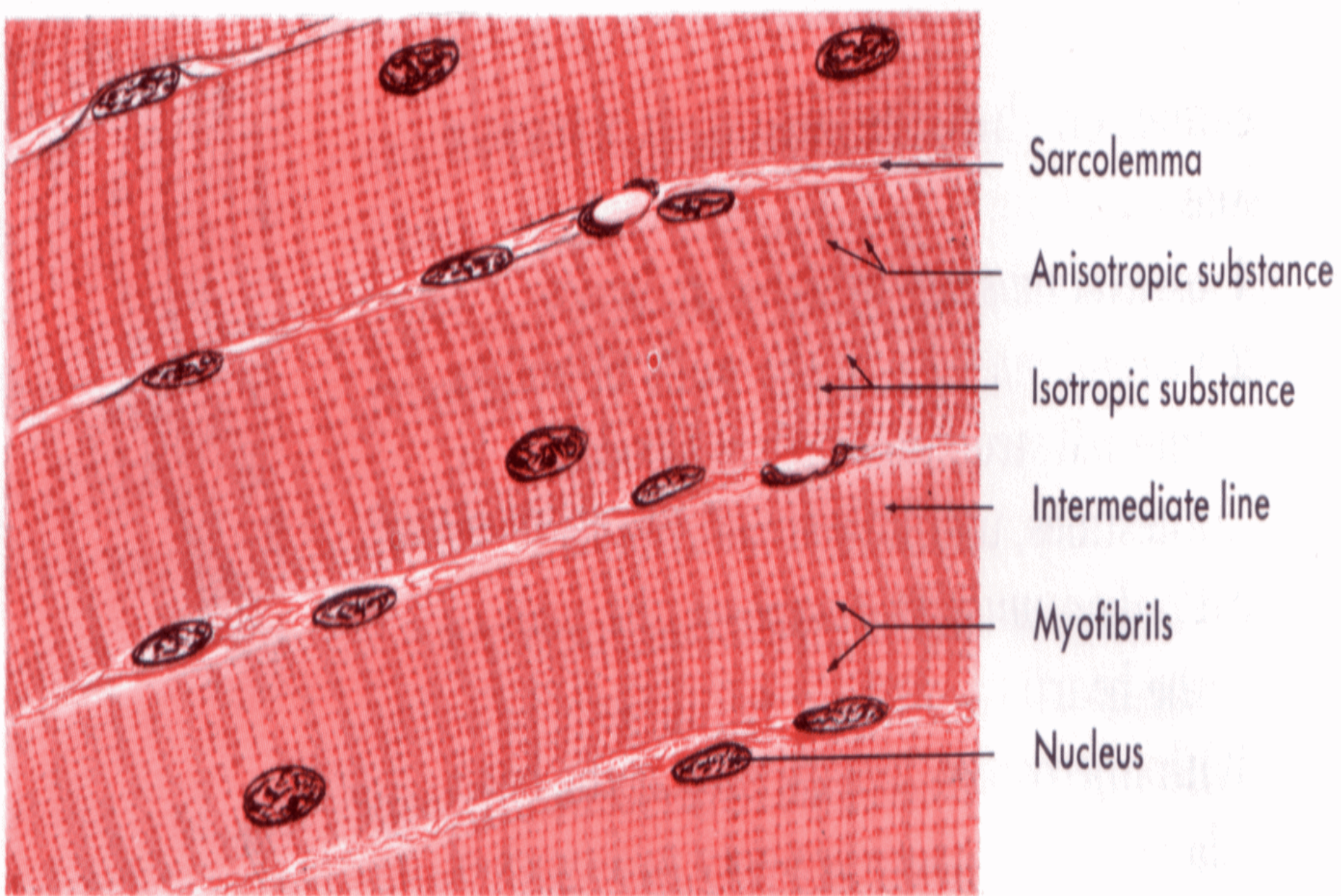


srdeční

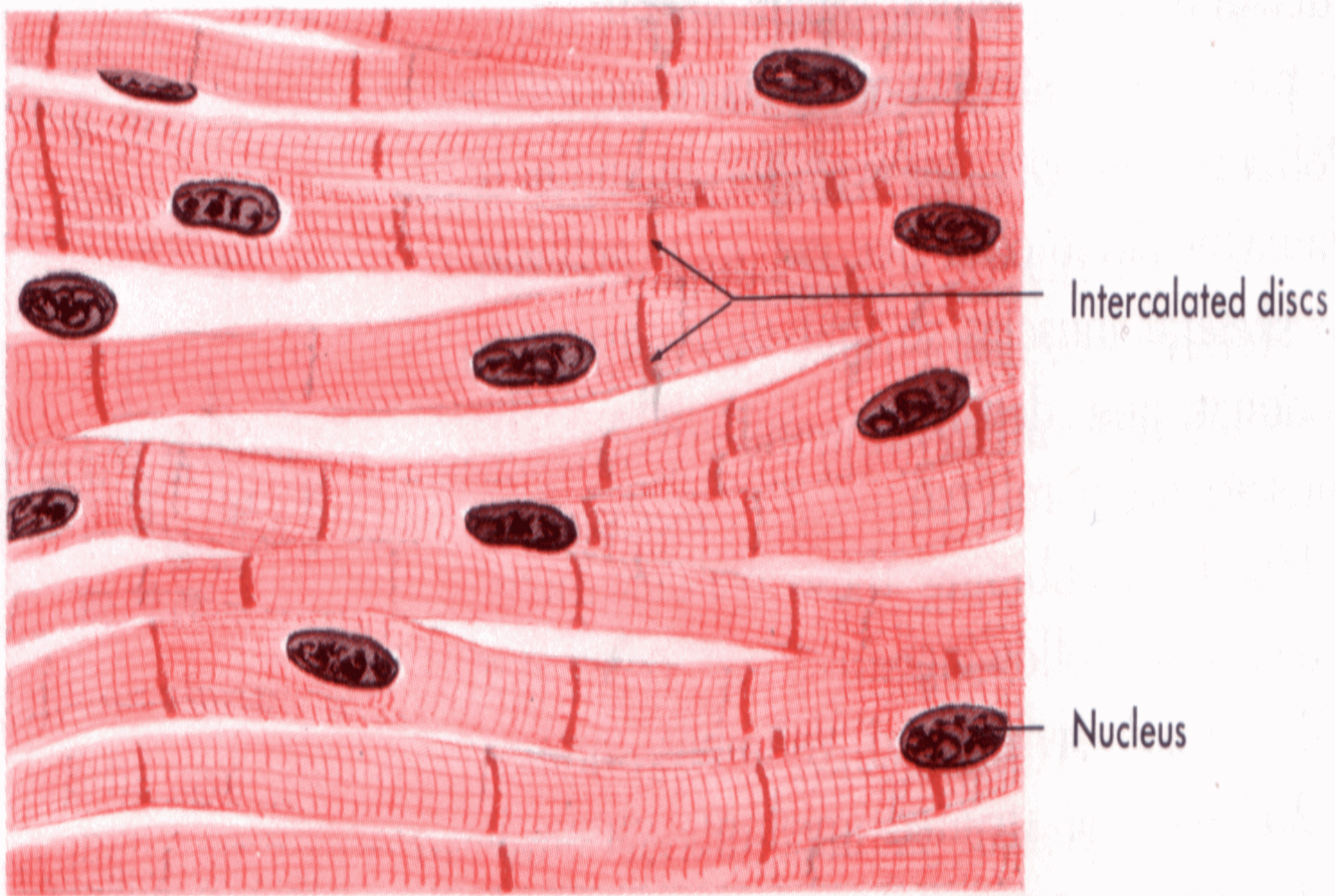


kosterní

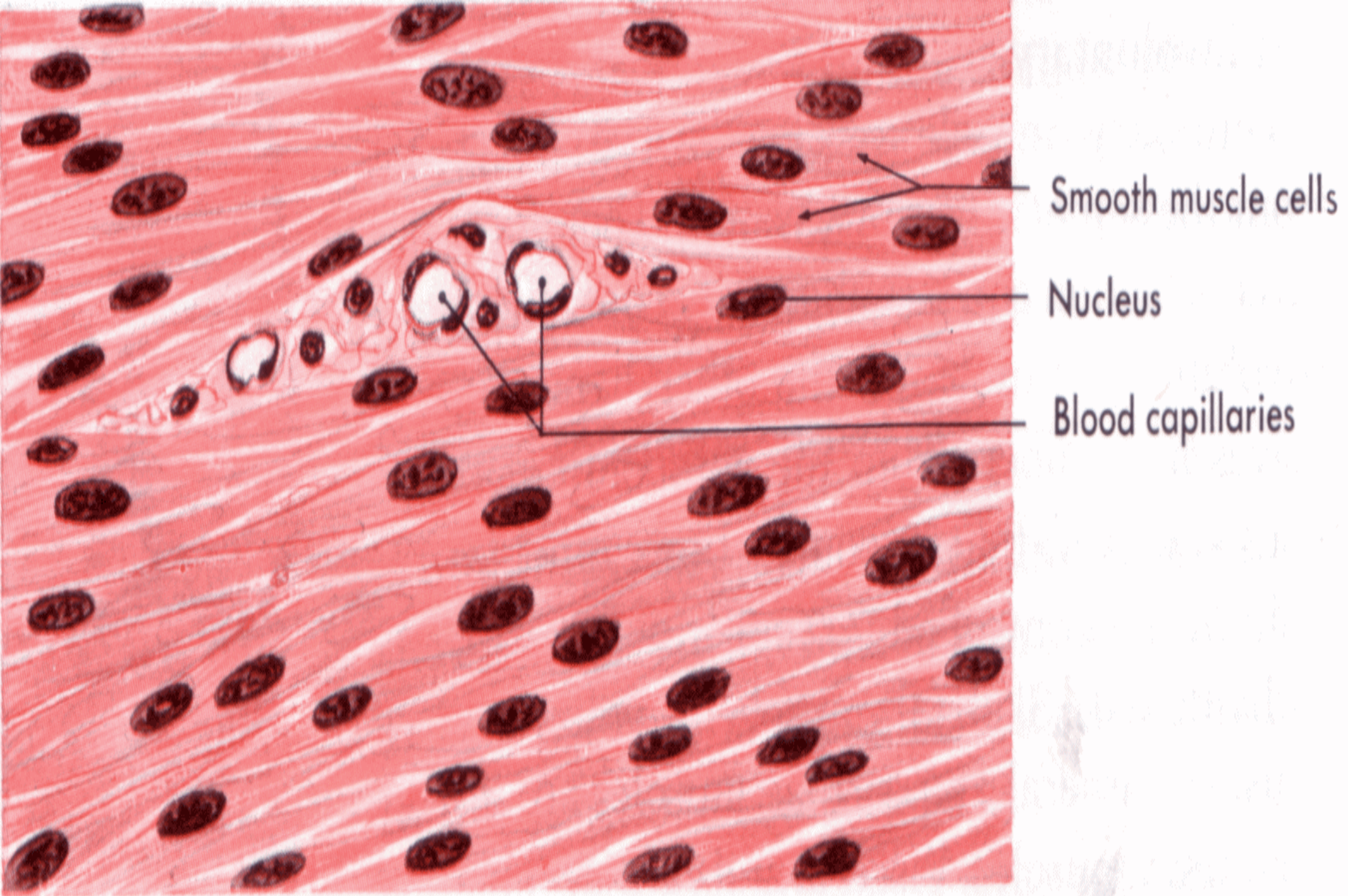




Skeletal or striated voluntary muscle tissue.

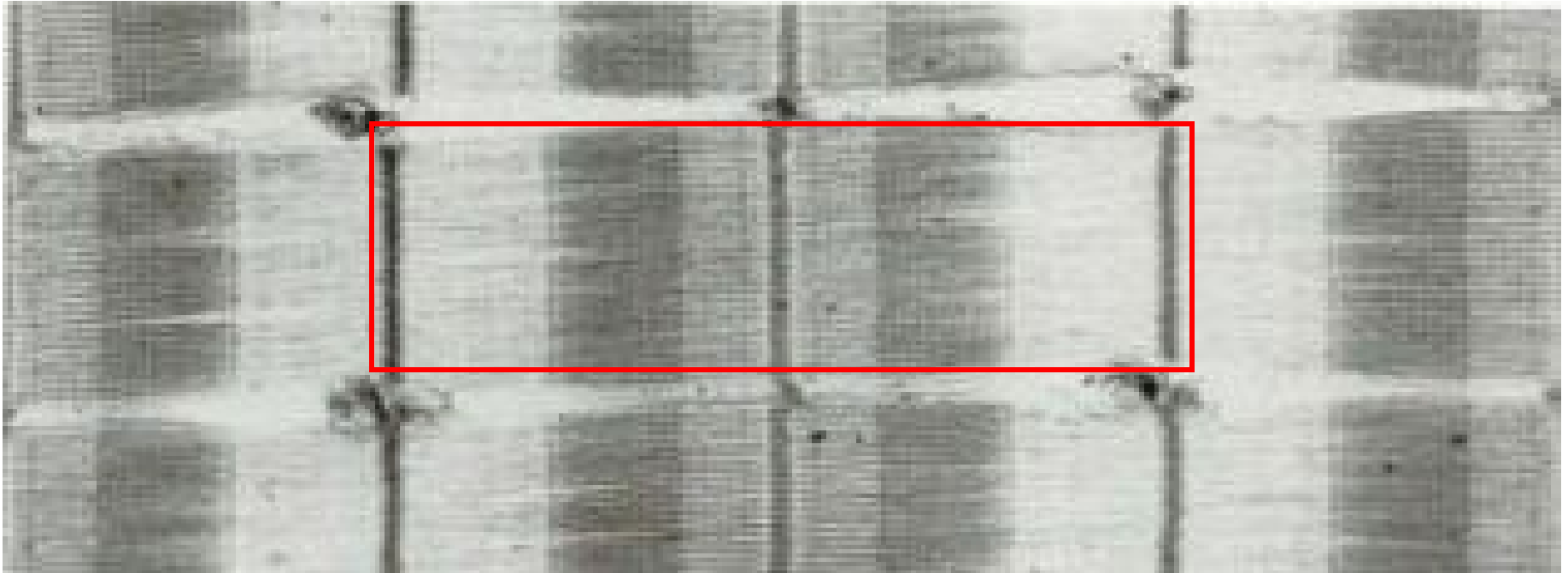


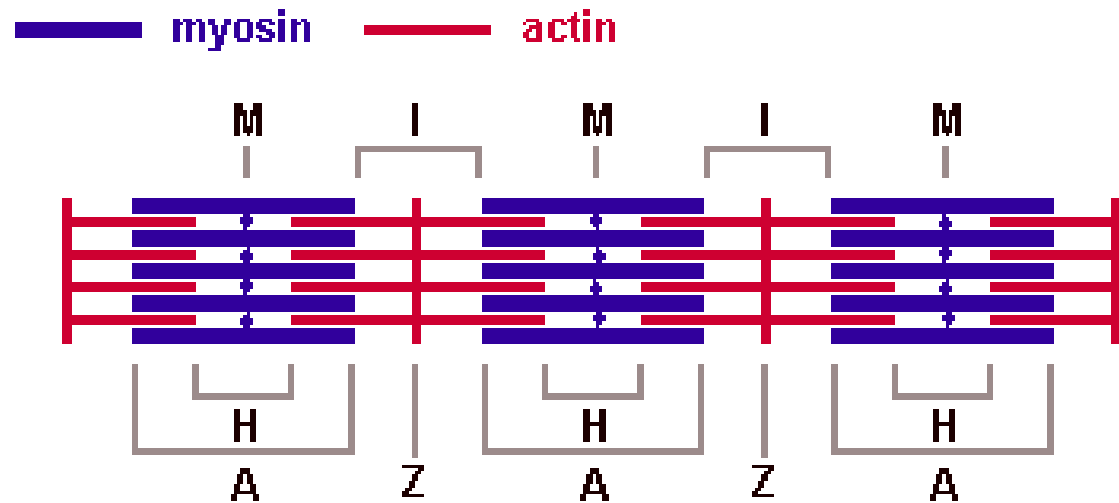
Cardiac or striated involuntary muscle tissue.



Visceral or nonstriated (smooth) involuntary muscle tissue.

sarkomera





Bands and lines in the contractile apparatus of skeletal muscle

Sarkomera - aktinová + myosinová myofilamenta

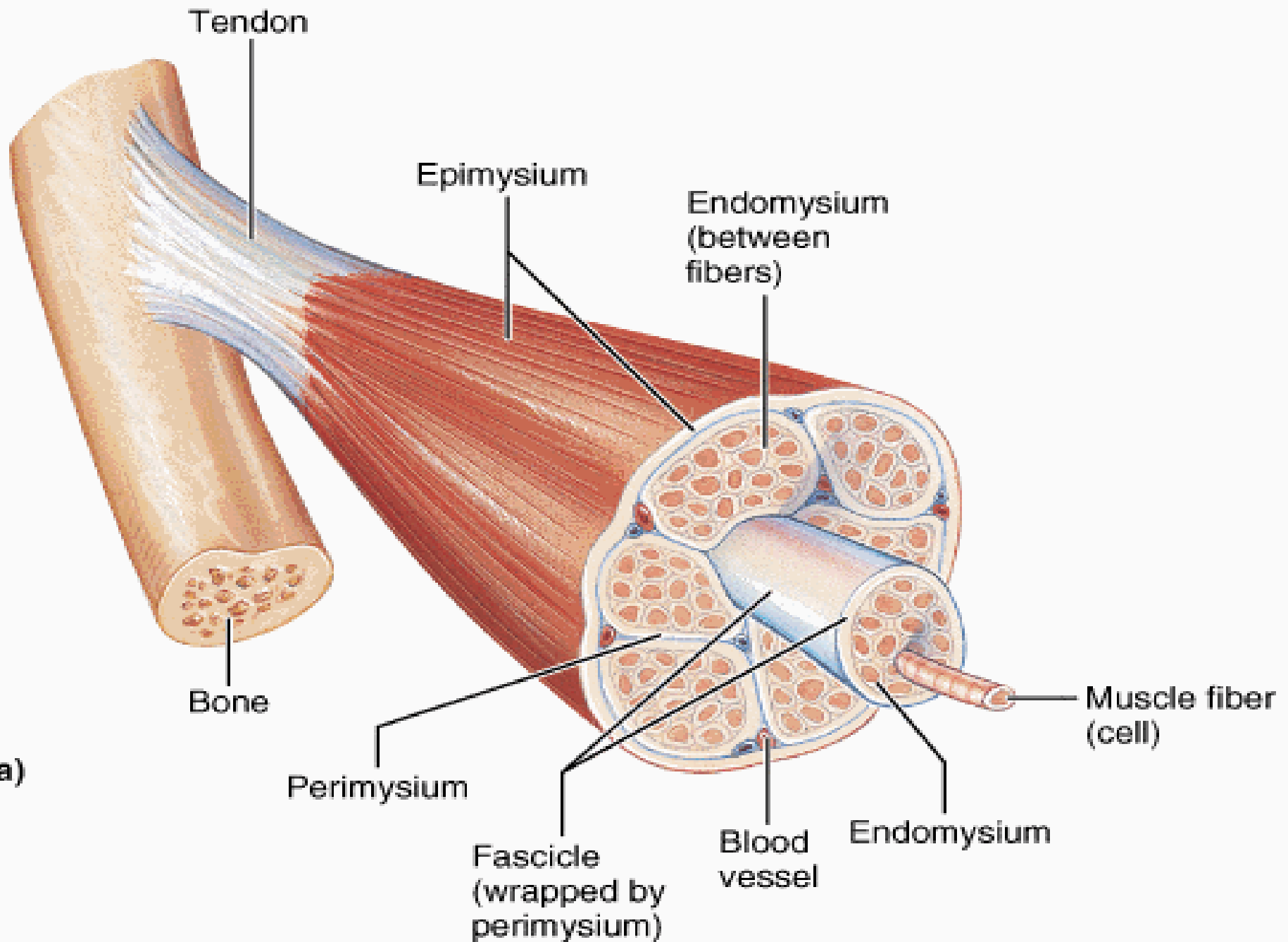
I- proužek (izotropní) *aktin*

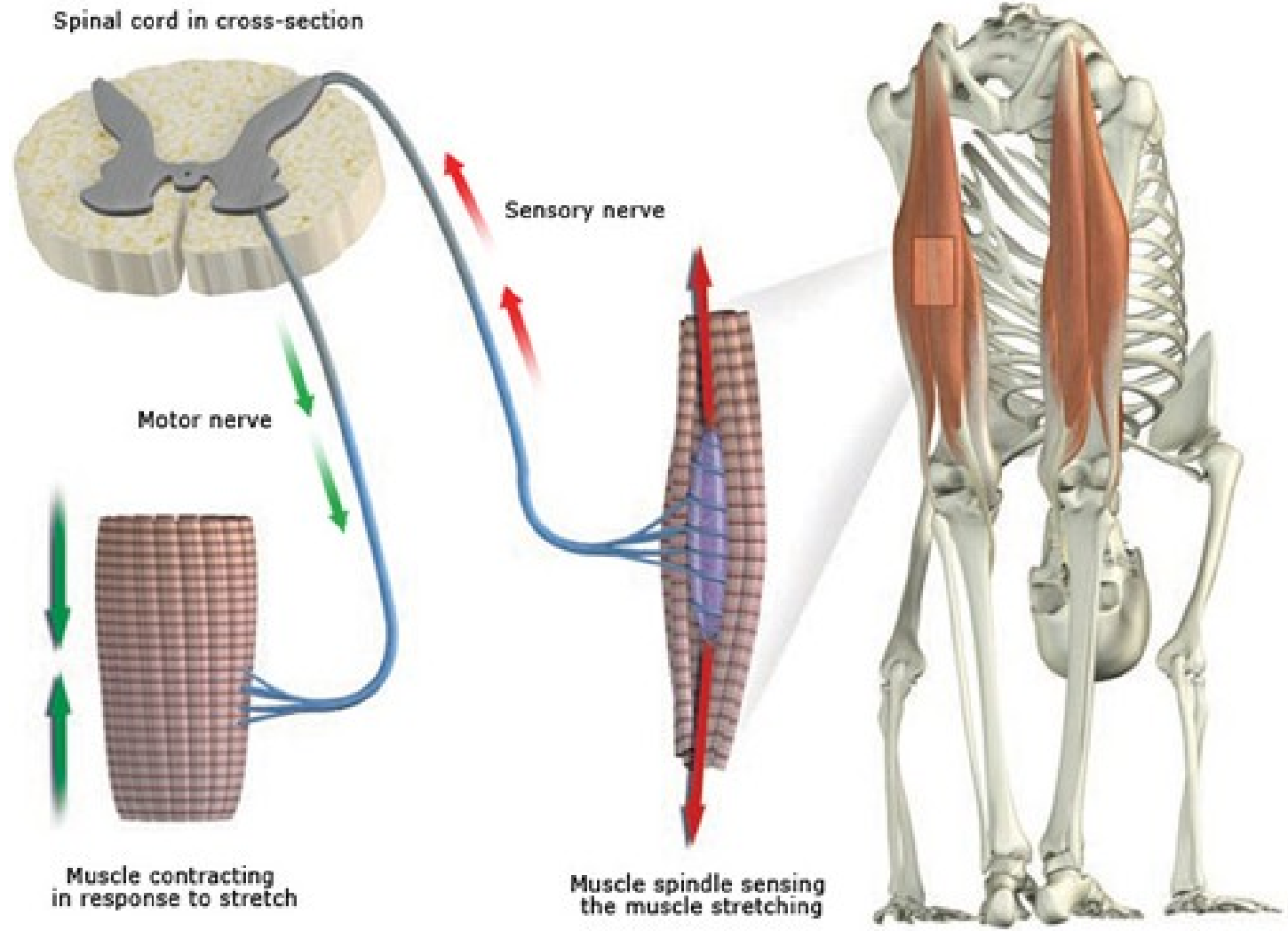
A-proužek (anizotropní) *aktin + myosin*

Z-linie

M-linie

H-zóna (*jen na nekontrahované sarkomeře*)





Spinal cord in cross-section

Sensory nerve

Motor nerve

Muscle contracting in response to stretch

Muscle spindle sensing the muscle stretching

