

Přednáška

Svalová tkáň I - rozdělení, stavba,
výskyt a funkce

Svalová tkáň

Základní vlastnost - kontraktilita

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

Charakteristika

Složení tkáně: svalové buňky a vazivo

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

* - *proteinový motor*

Terminologie

mys/myos (sval)

myocyt (svalová buňka)

sarx/sarcós (maso):

buněčná membrána = **sarkolema**

cytoplazma = **sarkoplazma**

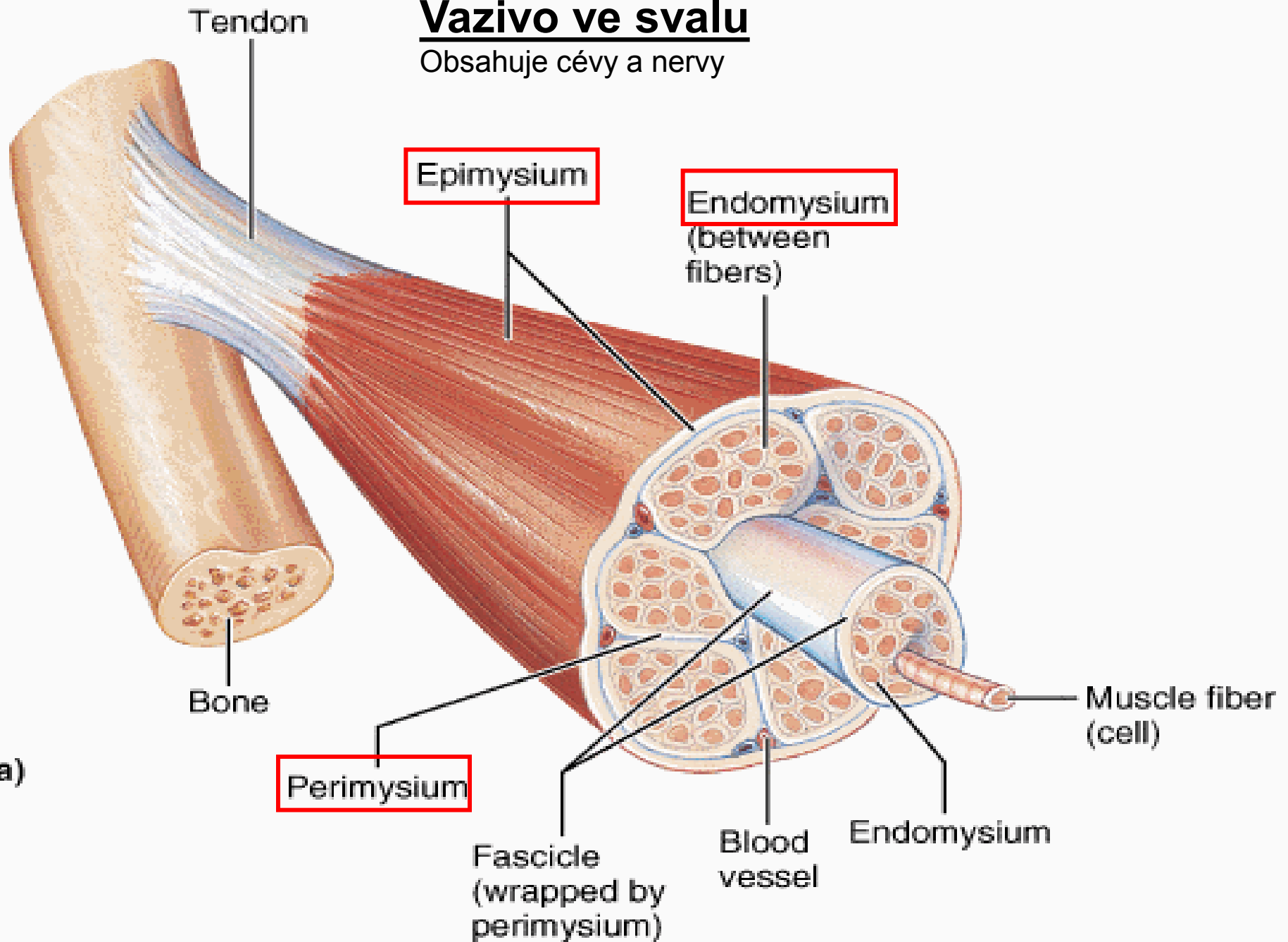
hladké ER = **sarkoplazmatické retikulum**

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

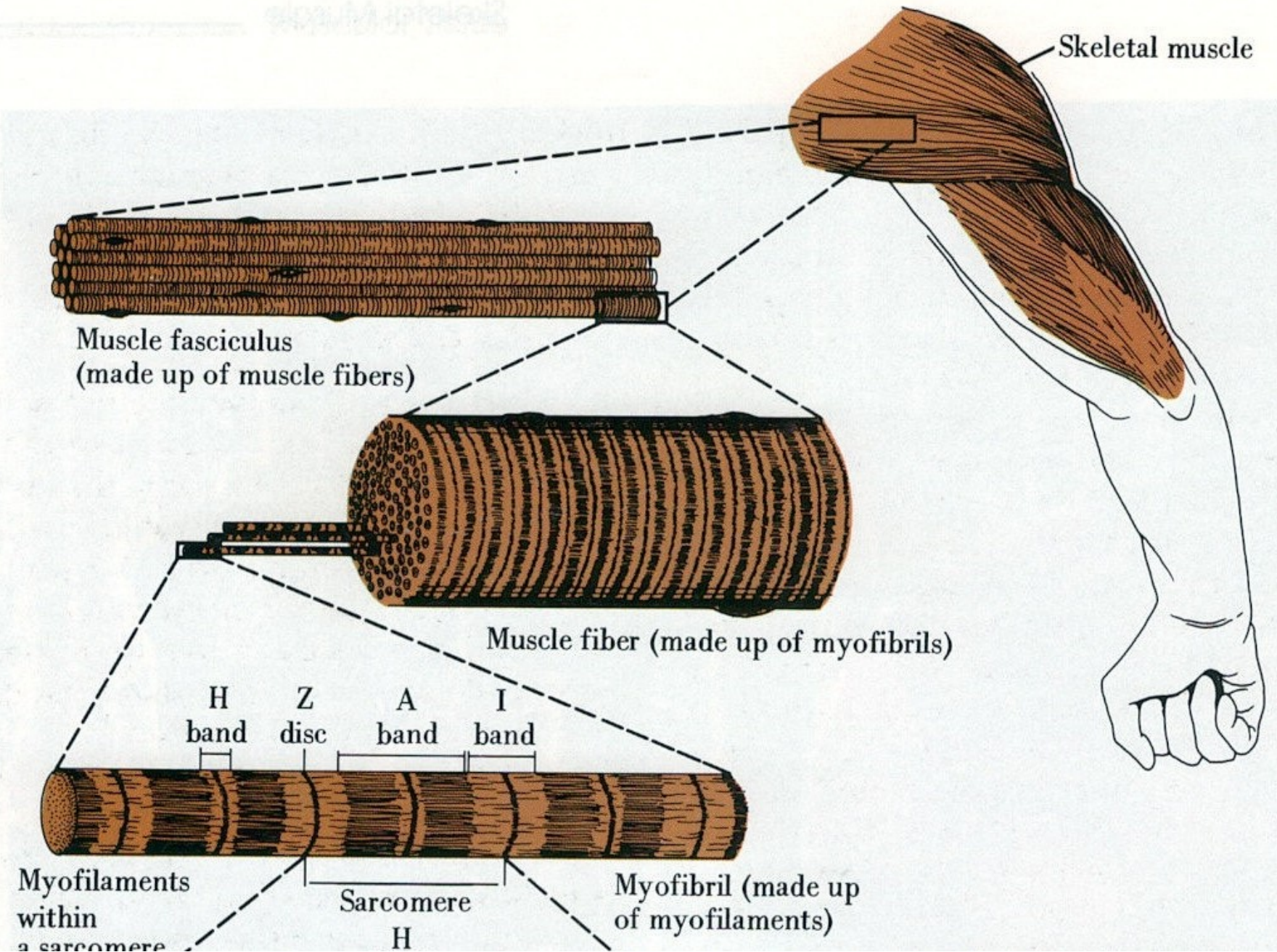
Obsahuje cévy a nervy



(a)

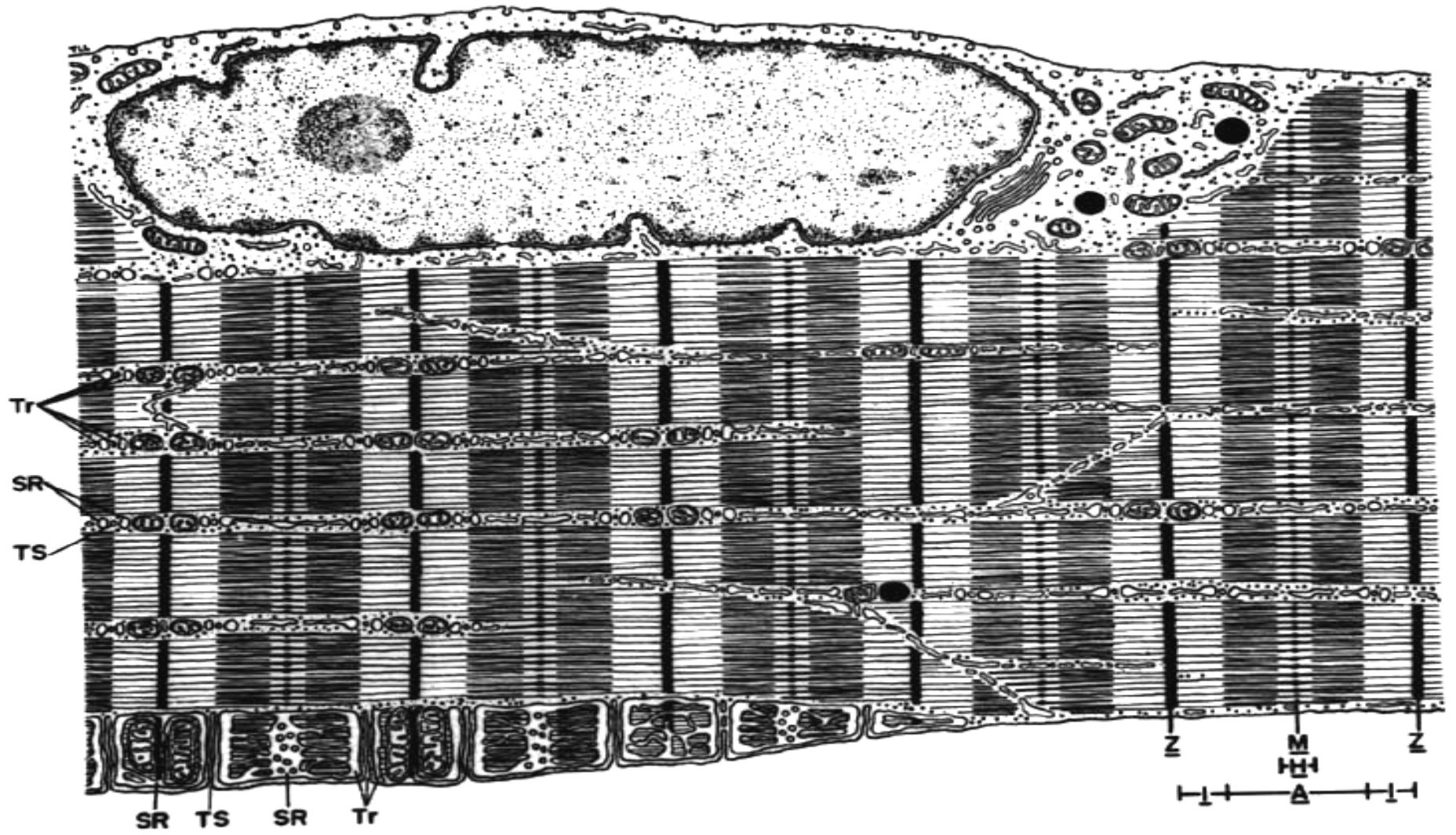
Svalová tkáň příčně pruhovaná kosterní

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

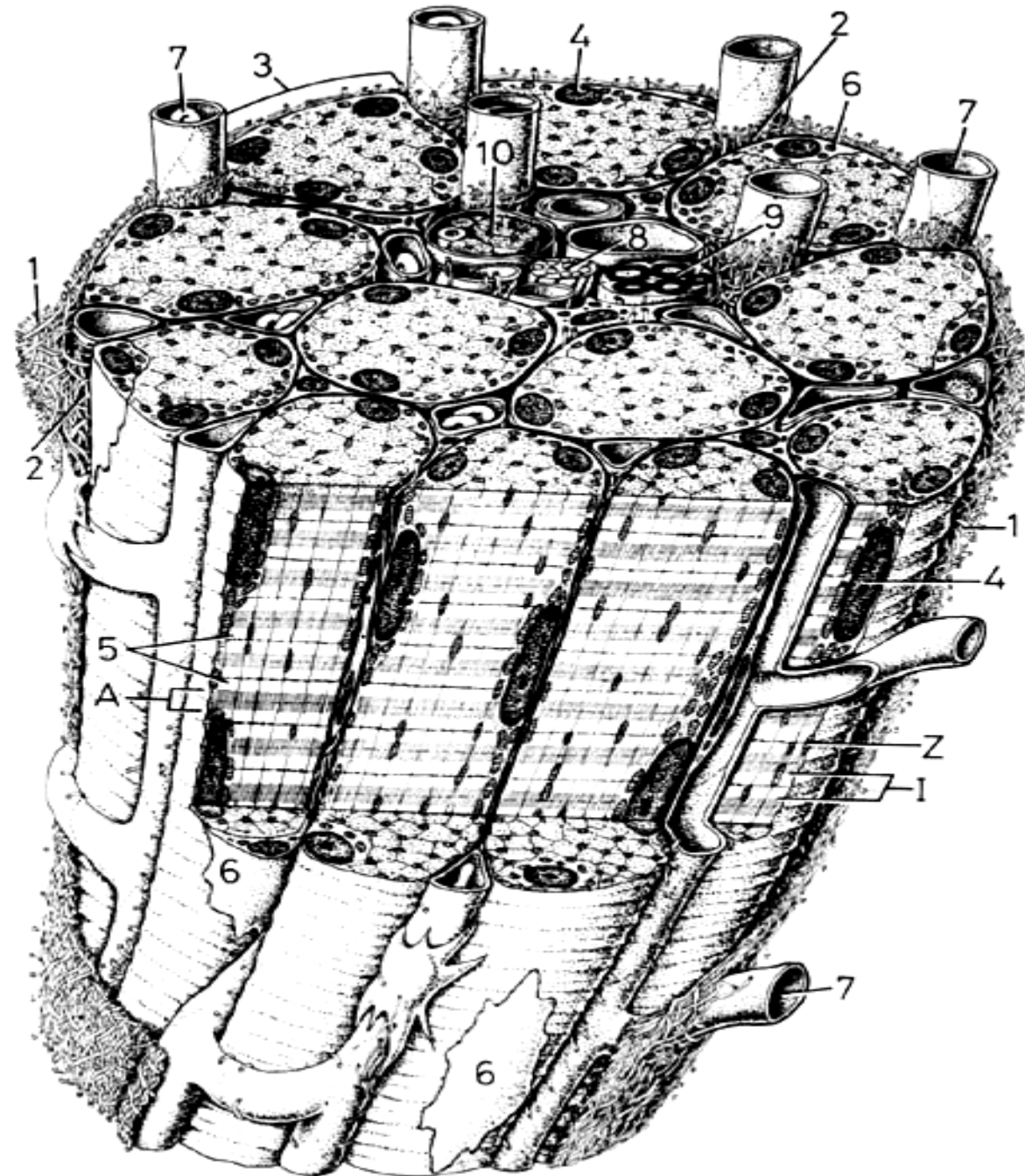


Stavba svalového vlákna

- **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)



Primární svazek svalových vláken (rhabdomyocytů)



Rhabdomyocyt

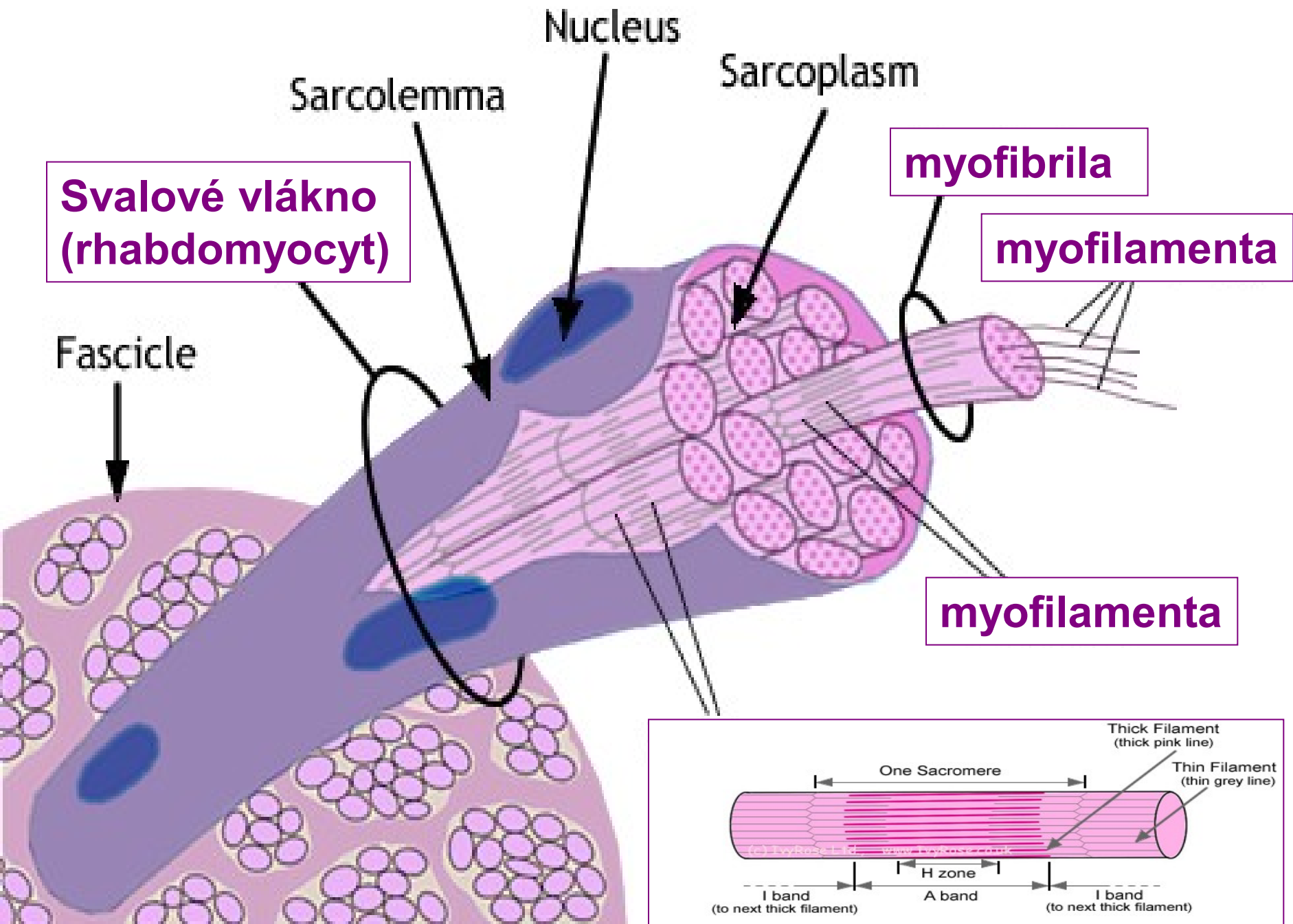
<fibrum>

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

Myofibrila – strukturní složka sarkoplazmy
[Ø 0.5 – 1.5 µm]

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

Sarkomera – nejmenší kontraktilní jednotka
[2.5 µm]



**Svalové vlákno
(rhabdomyocyt)**

Sarcolemma

Nucleus

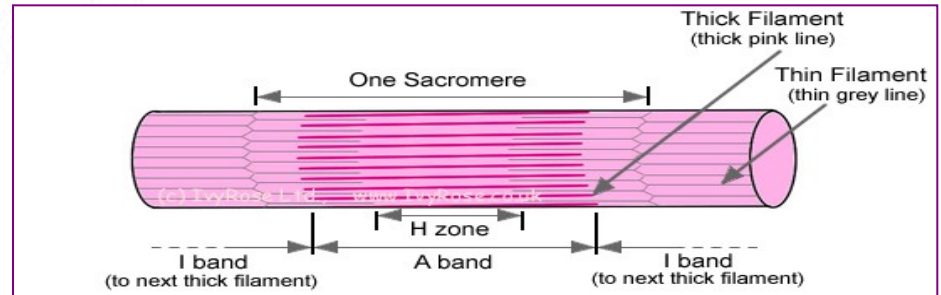
Sarcoplasm

myofibrila

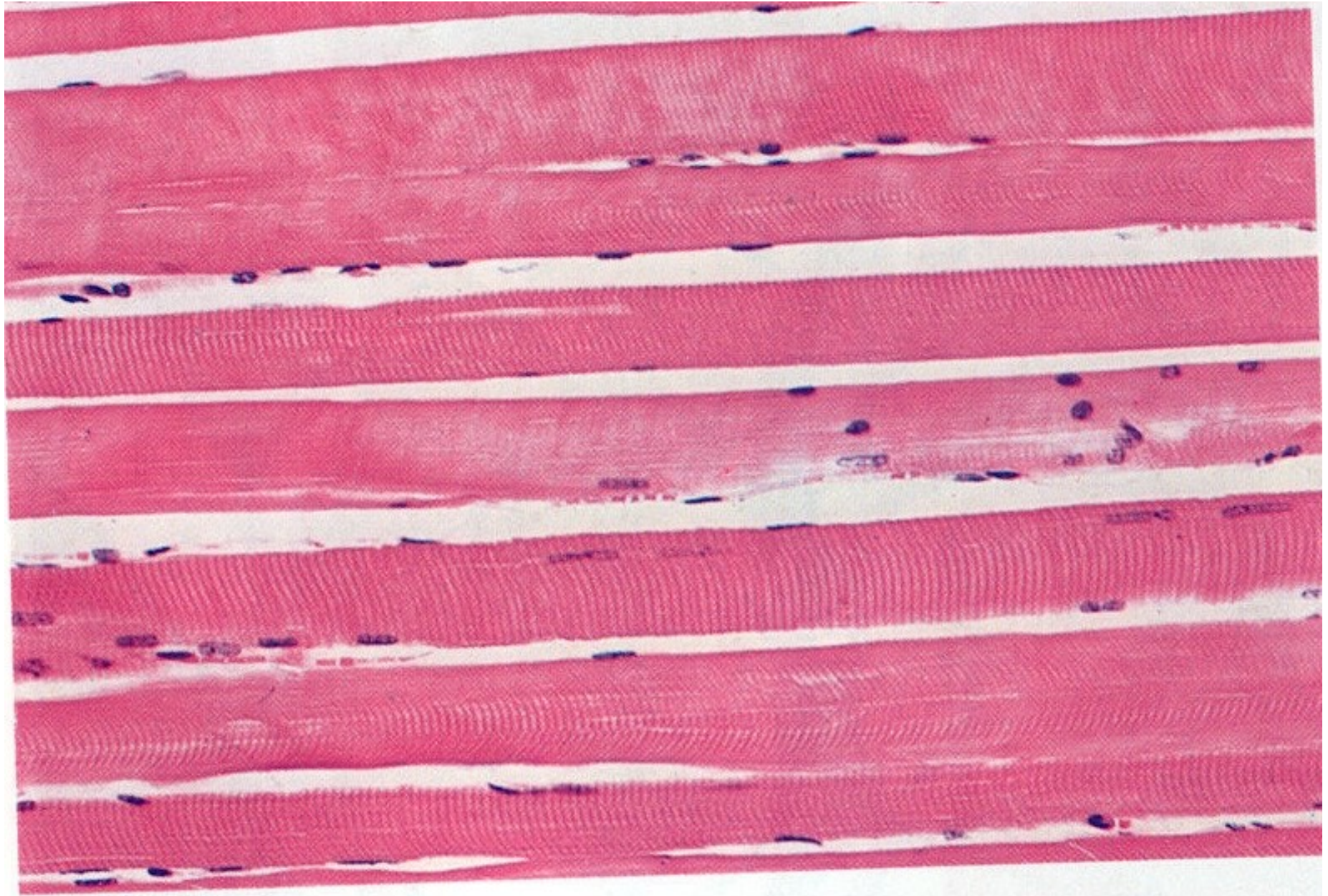
myofilamenta

Fascicle

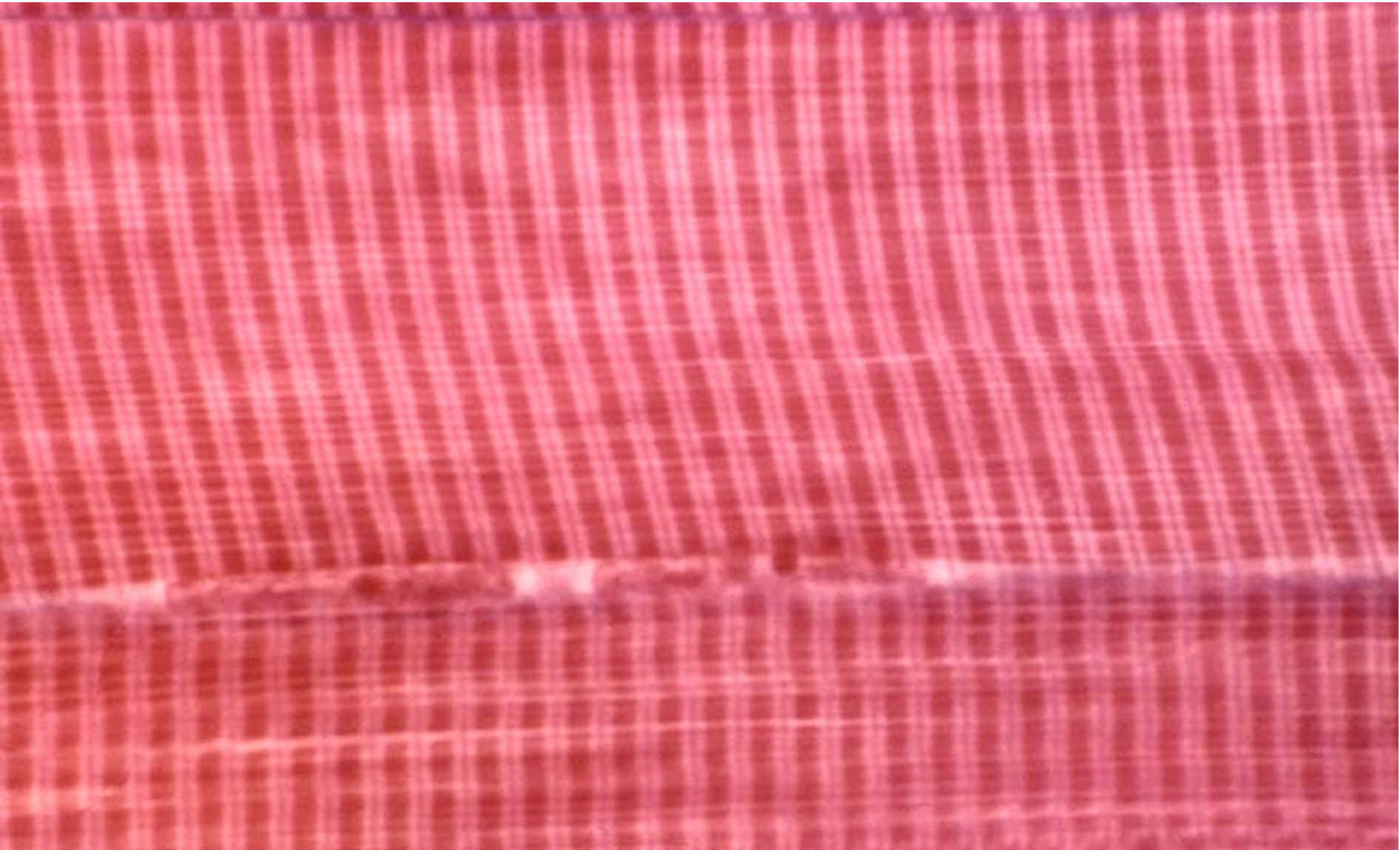
myofilamenta



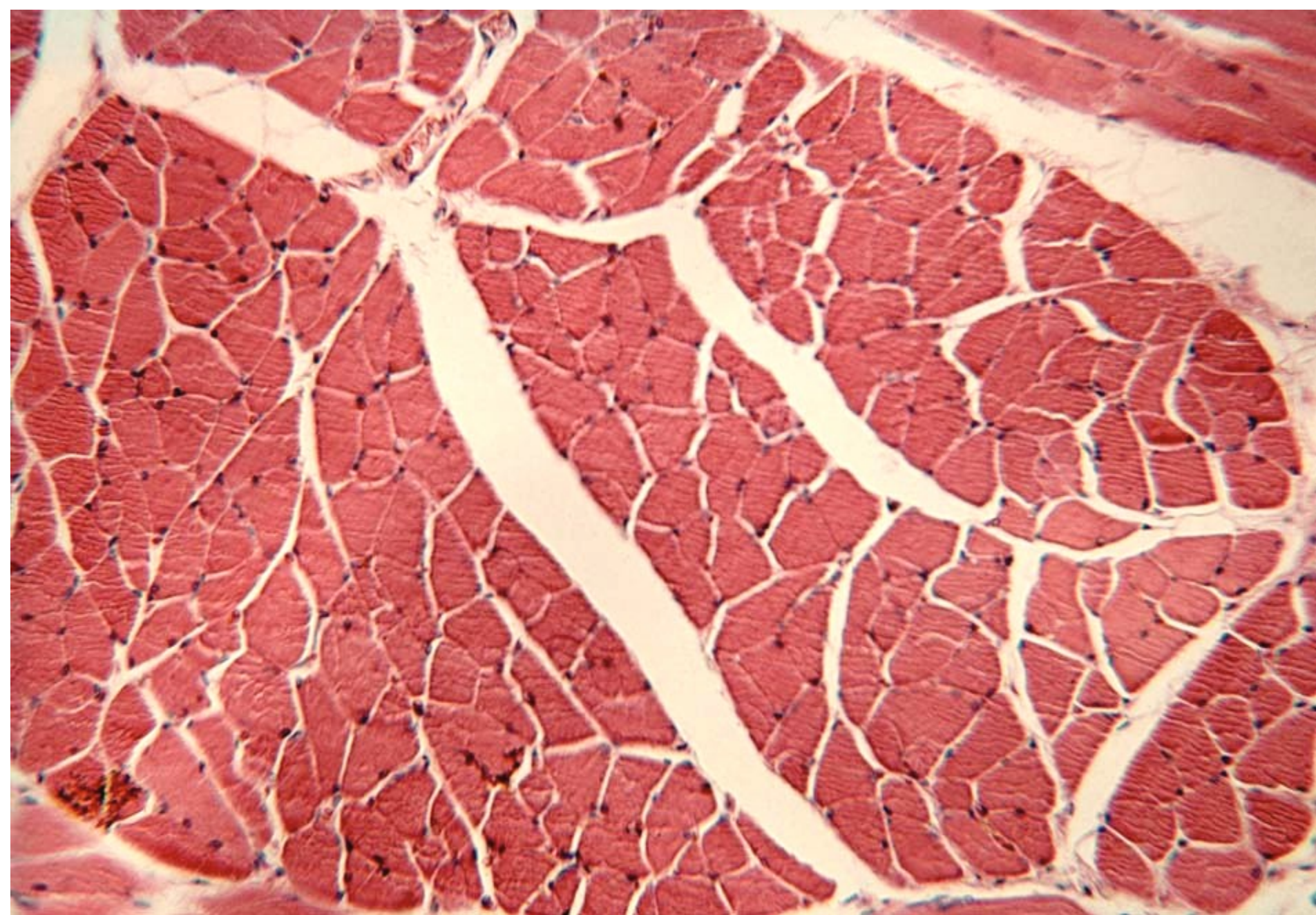
Rhabdomyocyty (podélně)



Rhabdomyocyty (podélně)



Rhabdomyocyty (příčně)



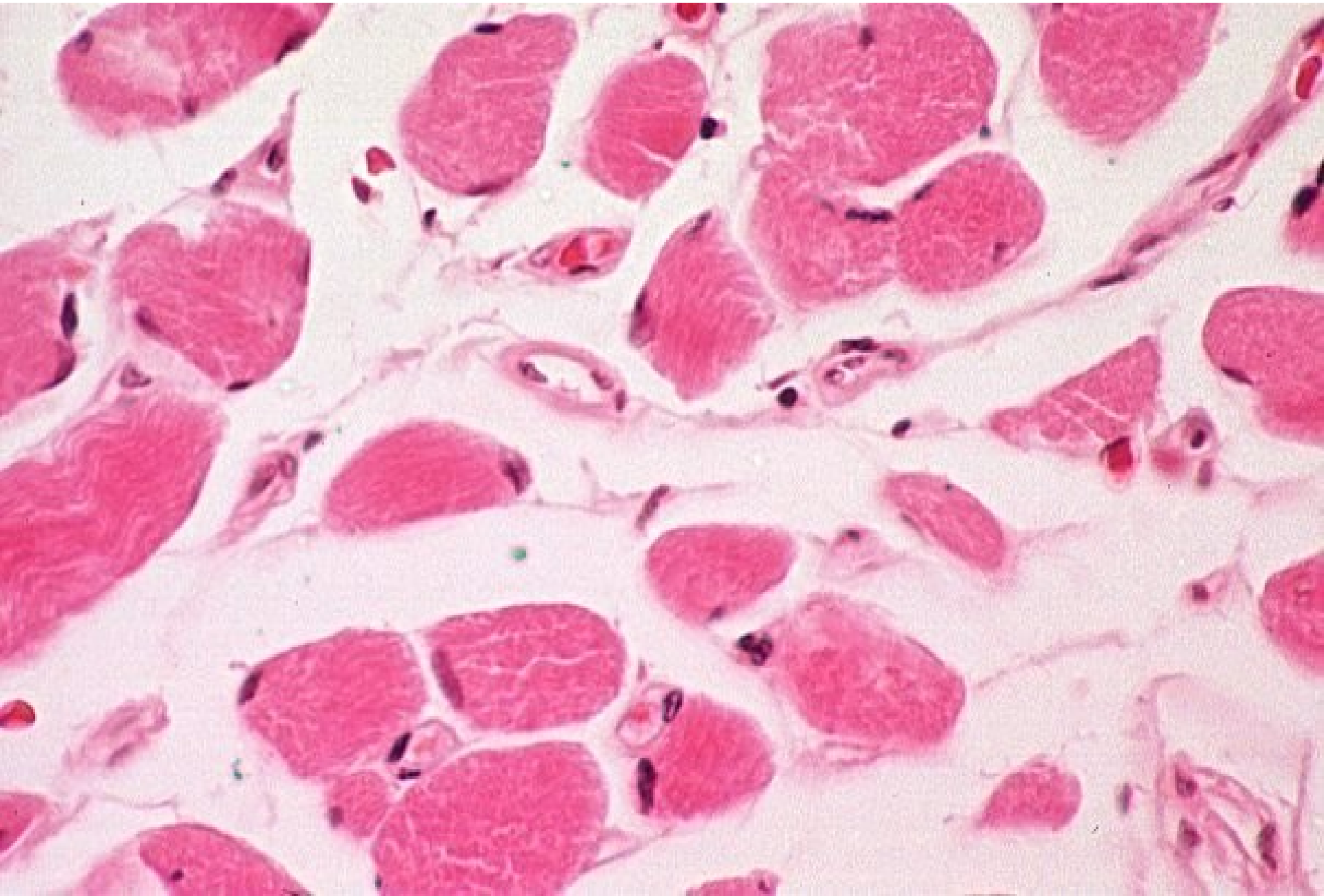
Rhabdomyocyty (příčně)



epimysium

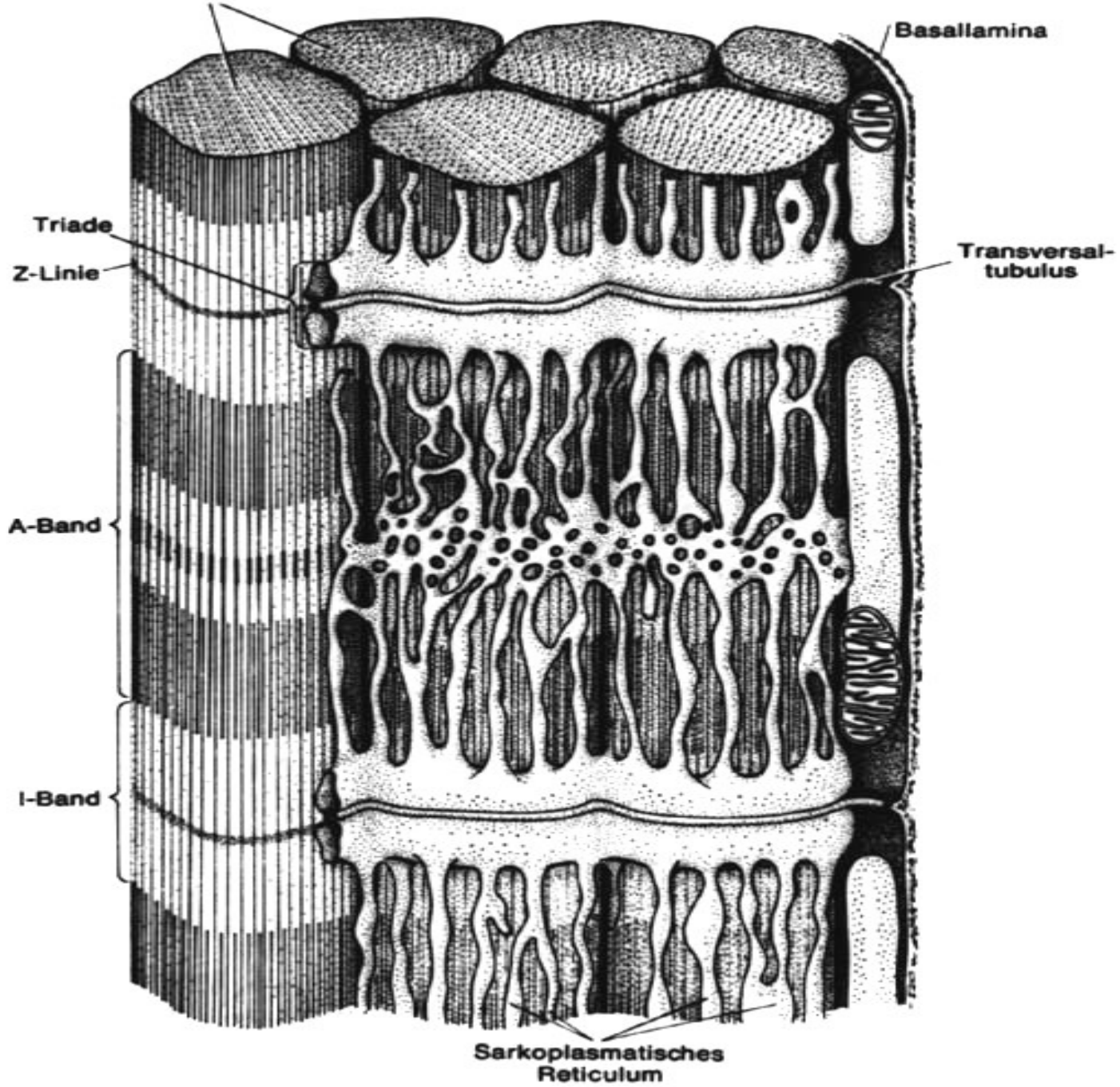
nerv

Rhabdomyocyty (příčně)

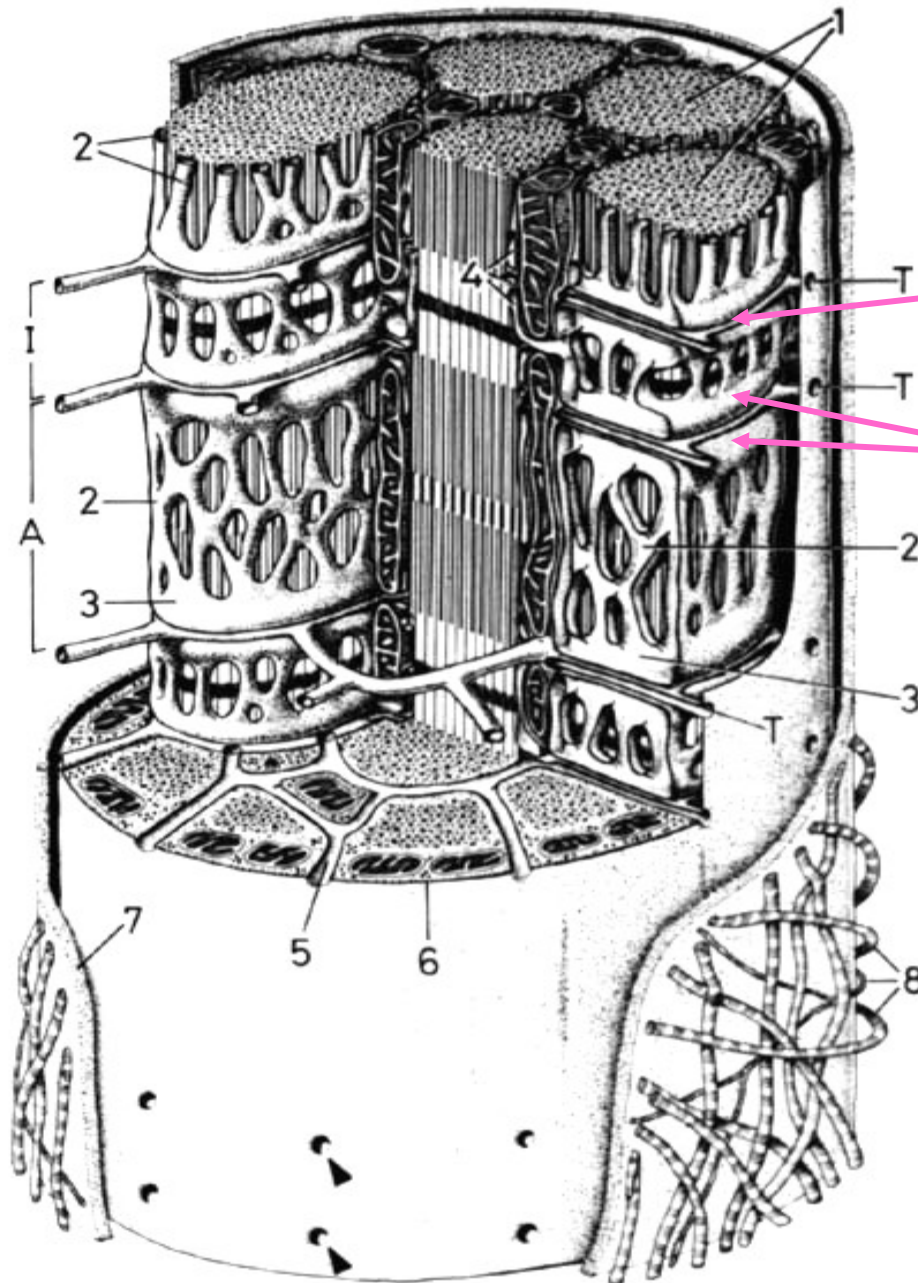




5 μ m



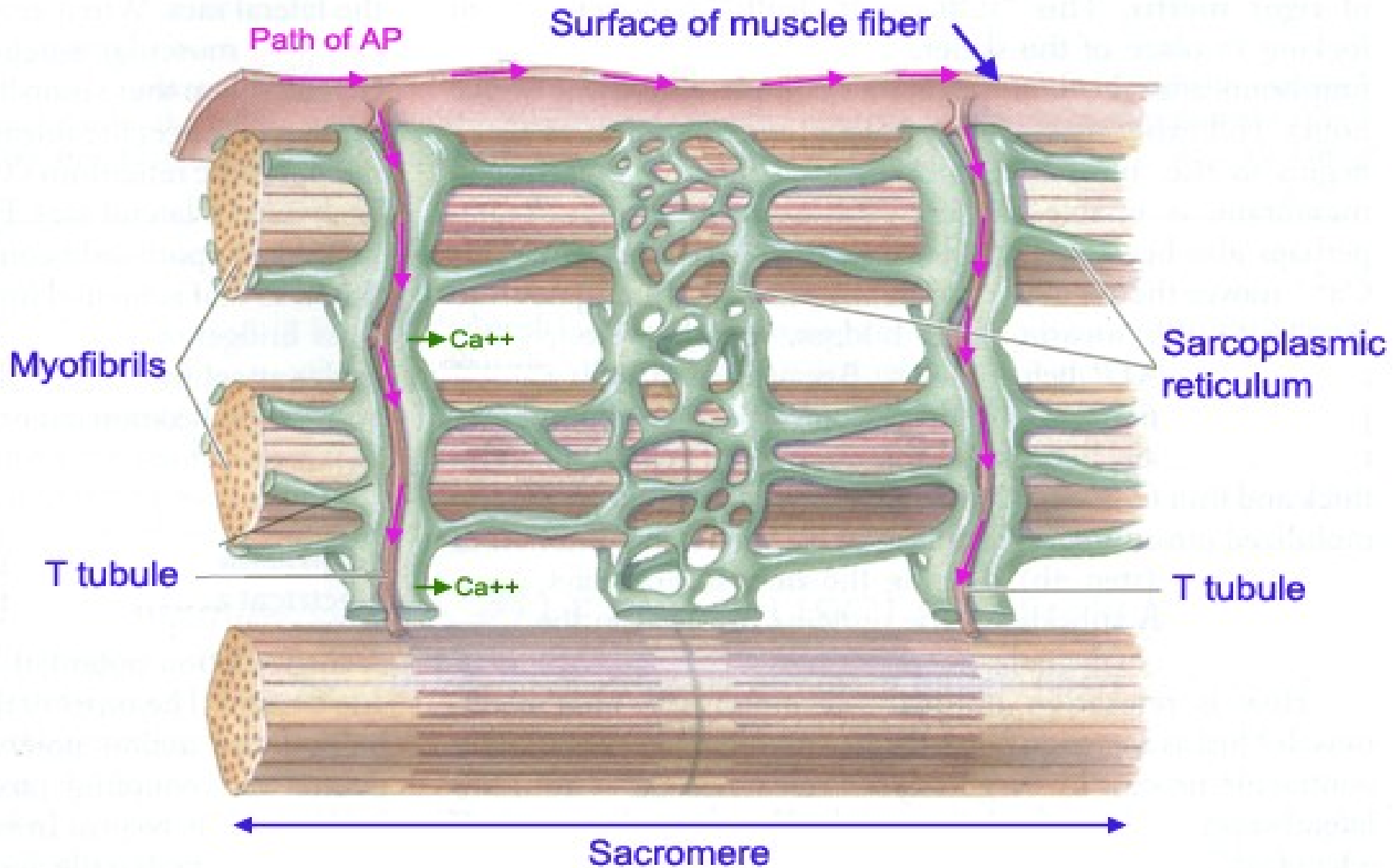
TRIÁDA



T-tubulus

terminální cisterny

Role of Action Potential and Ca^{++} in Muscle Contraction

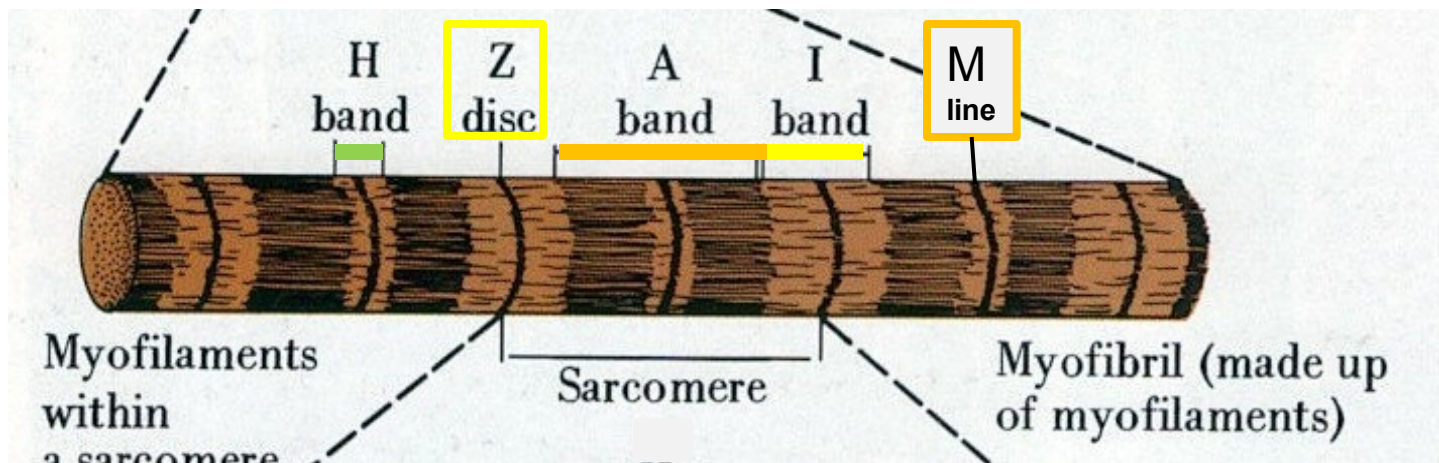


Stavba myofibril

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

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

Sarkomera – úsek mezi dvěma Z-liniami



sarkomera

I – proužek

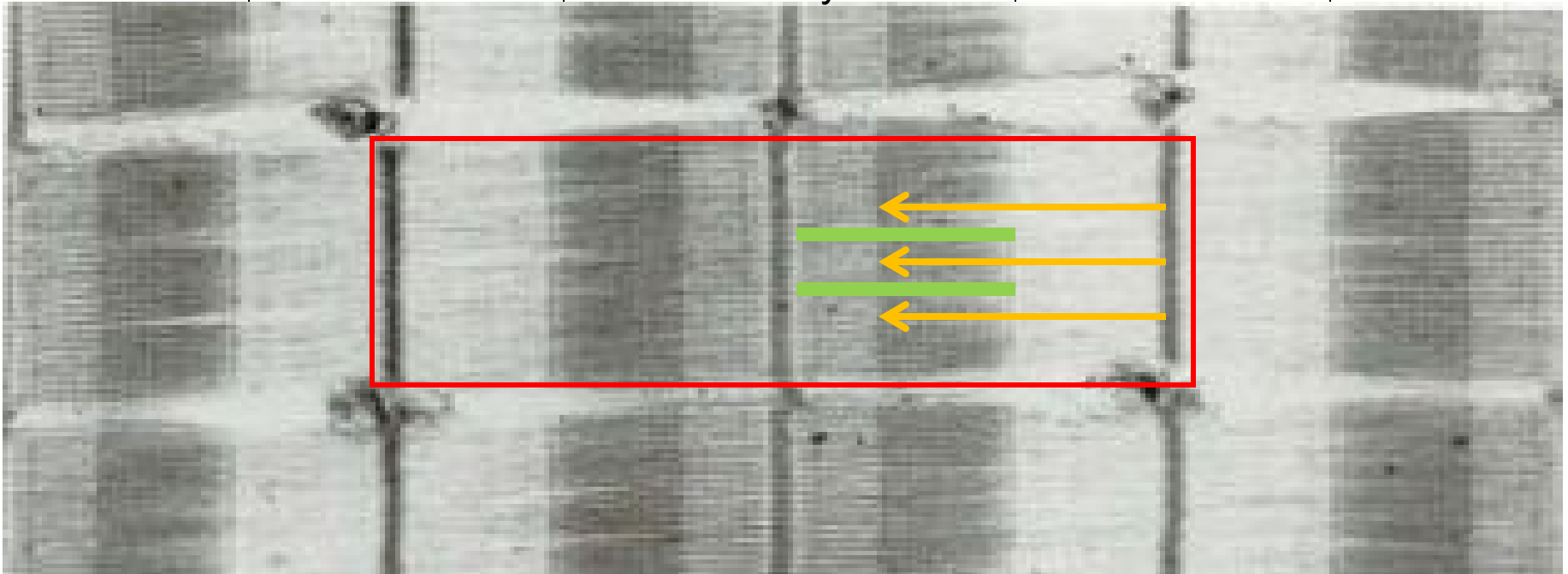
A – proužek

I-proužek

aktin

aktin + myozin

aktin



Z-linie

M-linie

Z-linie

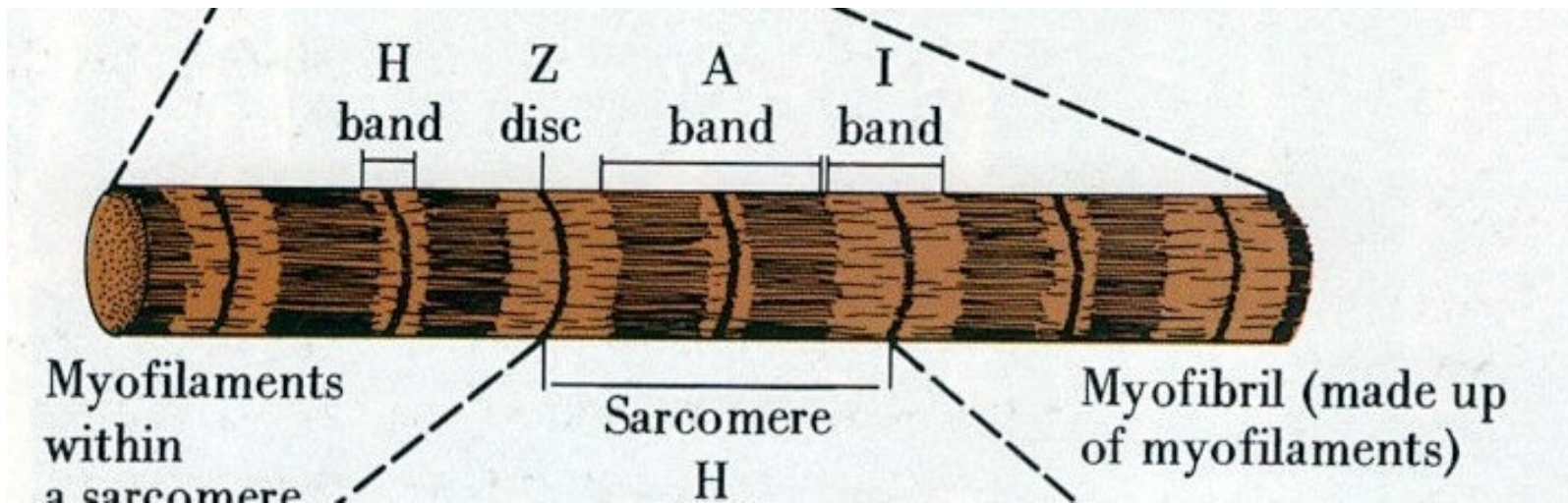
H - zóna

Myofilamenta

tlustá: pouze 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 kontrakci se děje na principu posuvného mechanismu, **délka tenkých a tlustých filament se nemění**



Stavba myofilament

Tlustá myofilamenta - myozin

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

Tenká myofilamenta - aktin + regulační proteinový komplex troponinu a tropomyozinu

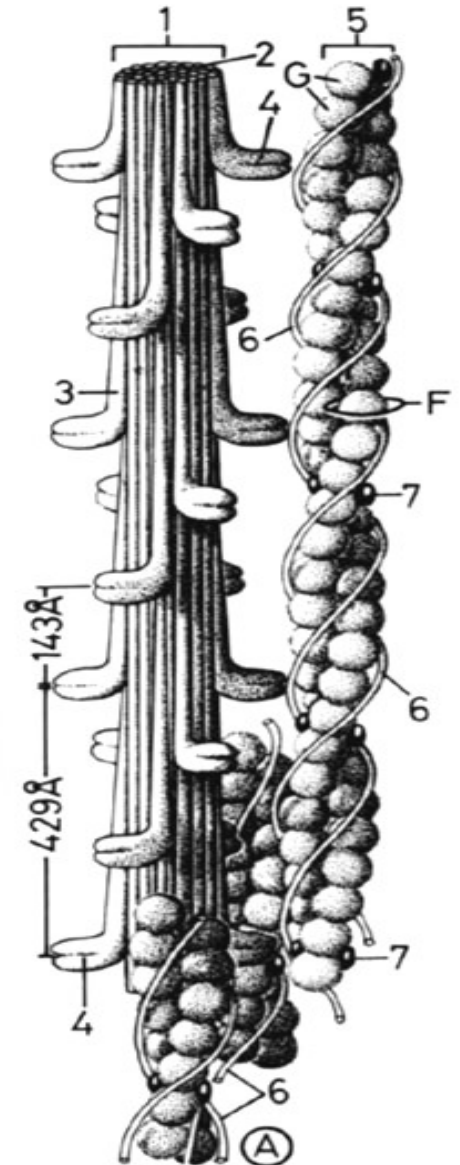
Tropomyozin obtáčí vlákno aktinu

troponin - 3 podjednotky:

TnC odpovídá za vazbu vápenatých iontů

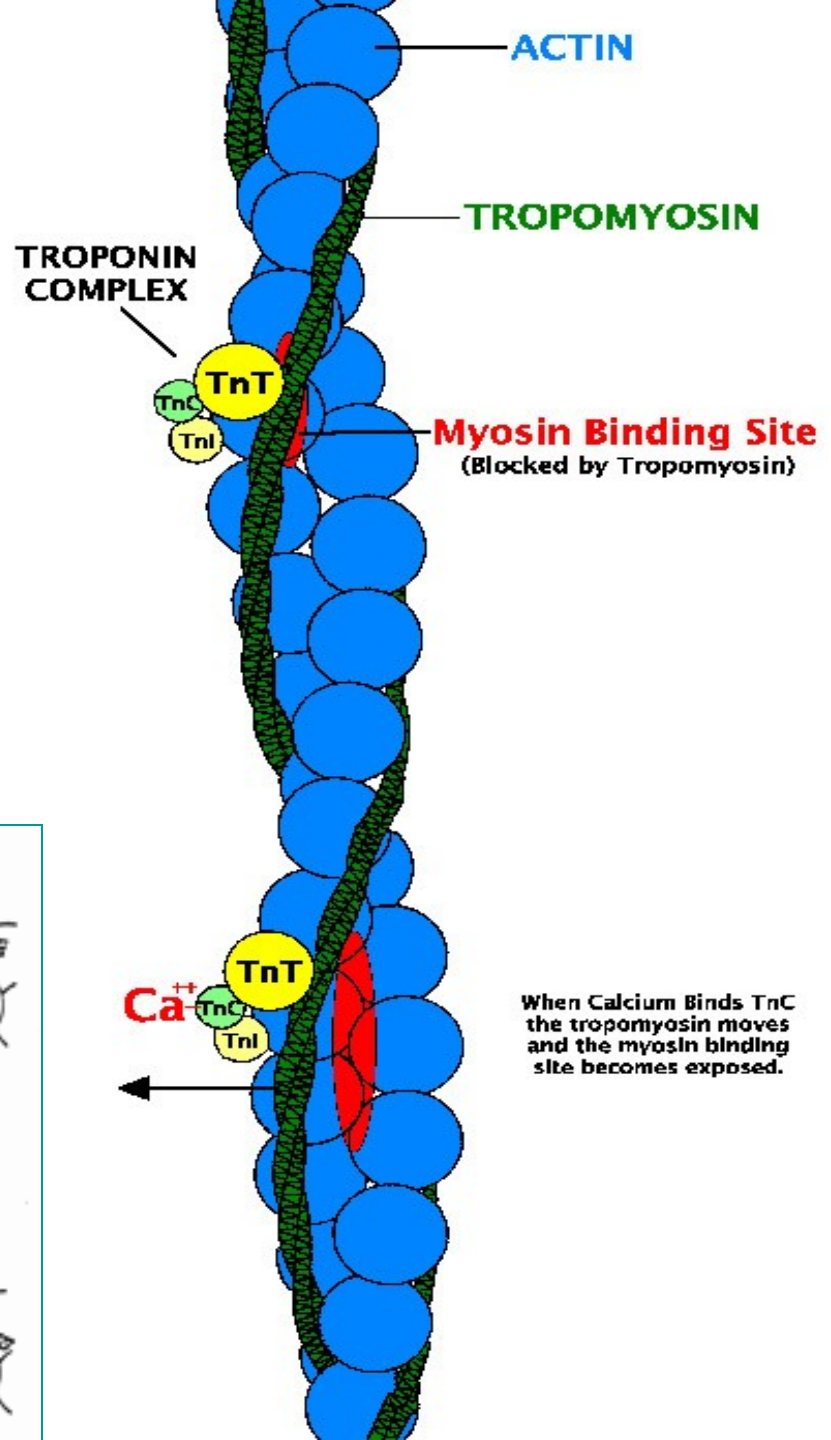
TnT váže troponin k tropomyozinu,

TnI inhibuje interakci aktinu s myozinem

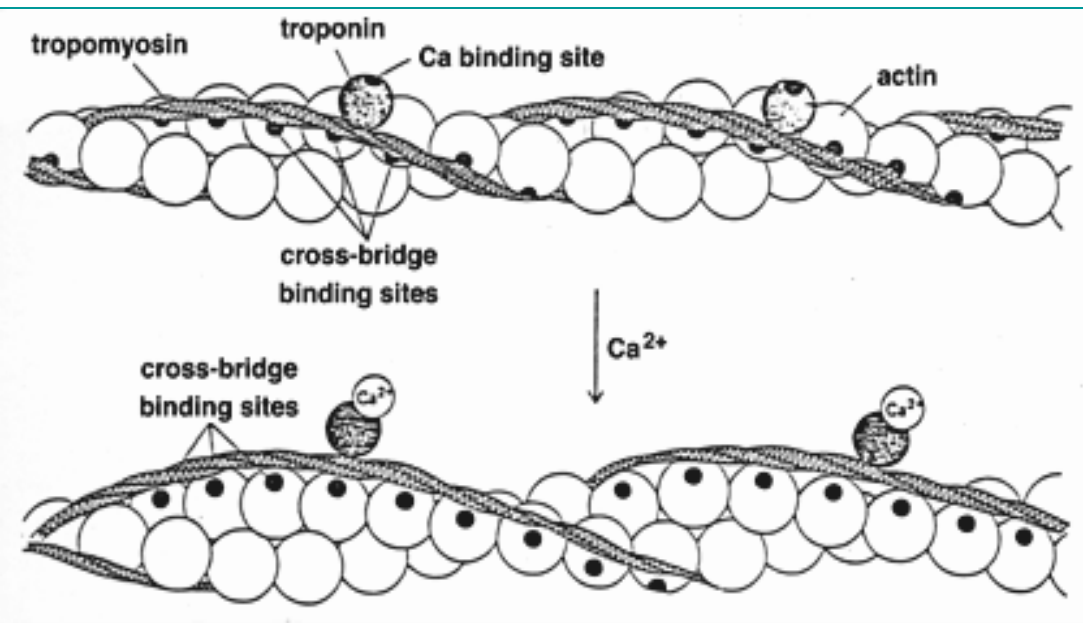


Aktin

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

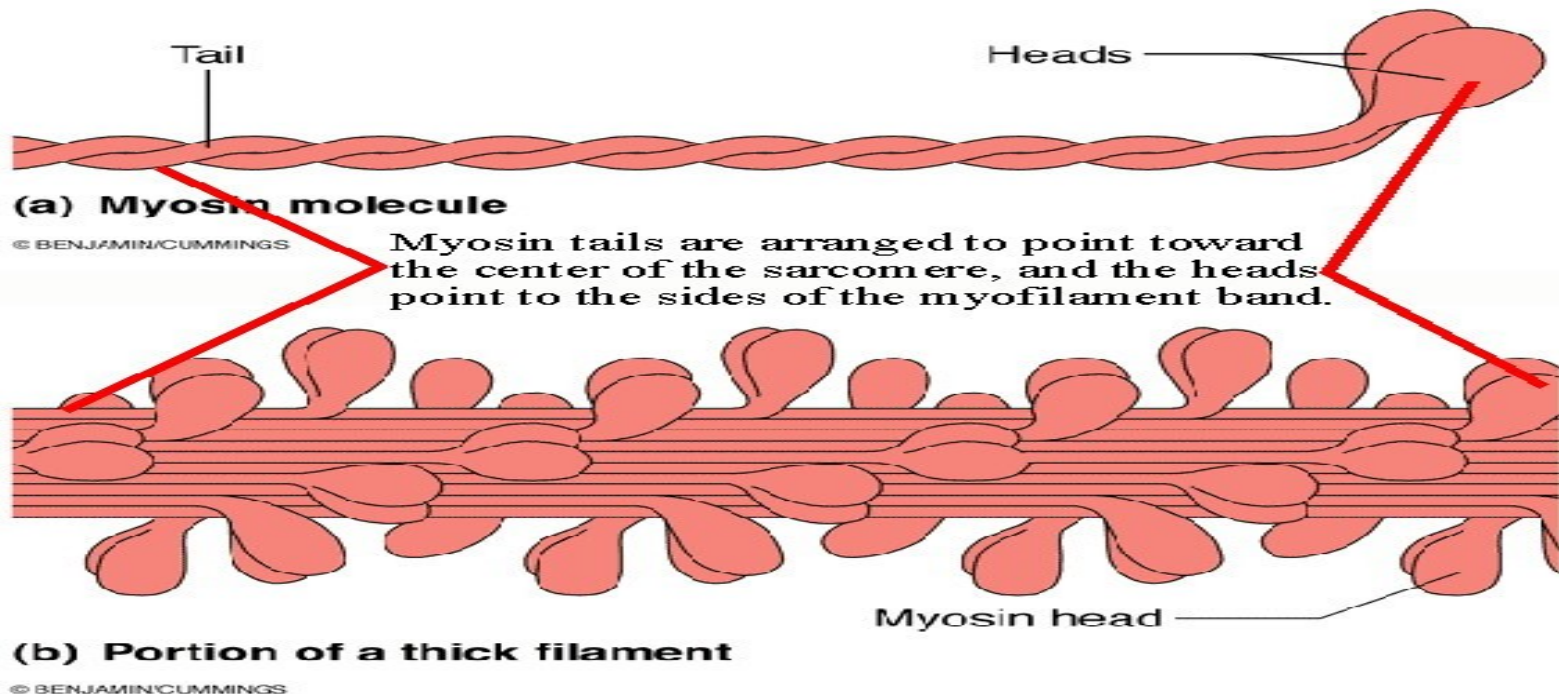


When Calcium Binds TnC the tropomyosin moves and the myosin binding site becomes exposed.

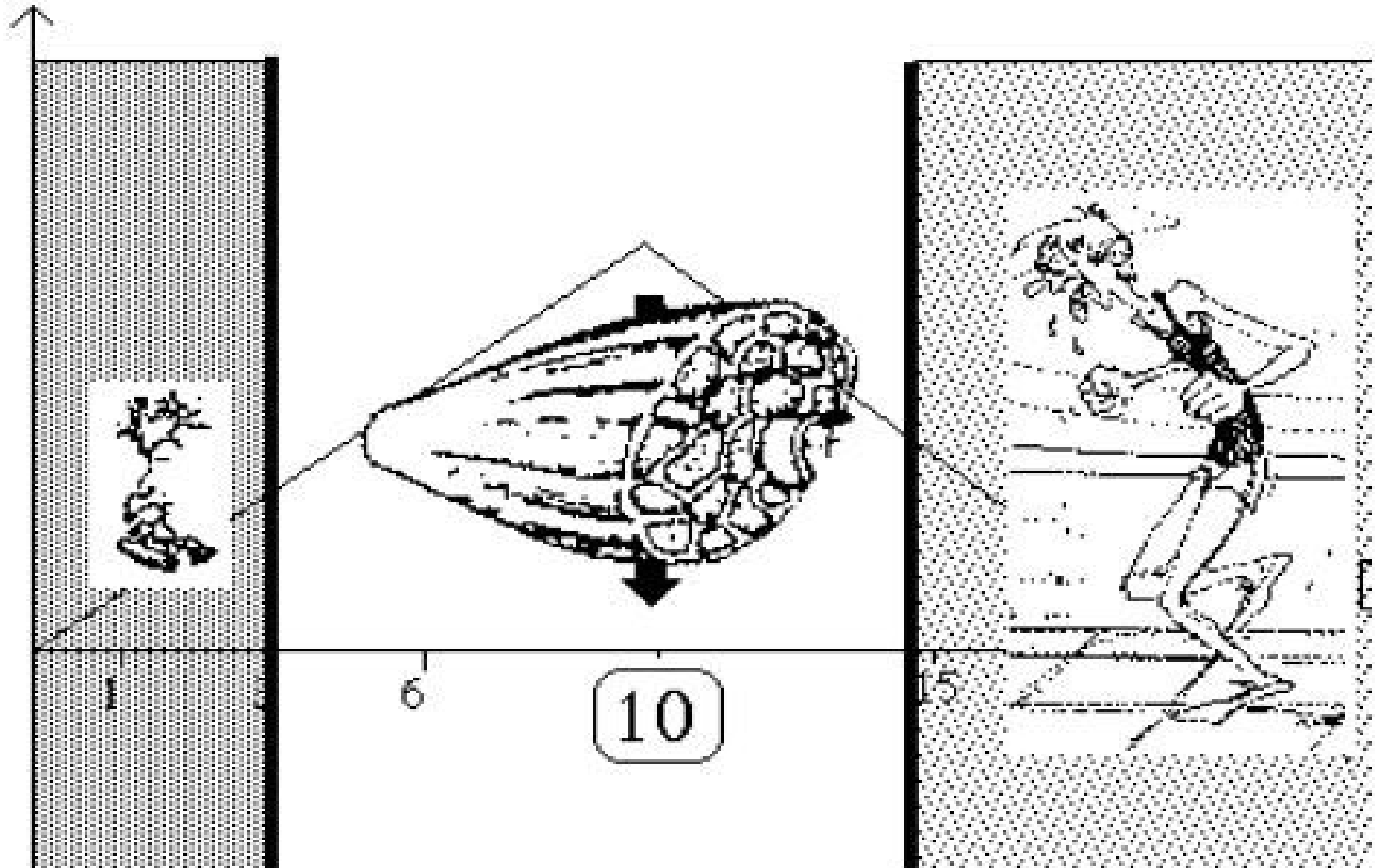


Myosin

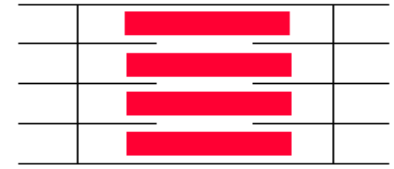
- Molekula myosinu je podstatně větší
- Na povrchu vlákna jsou hlavice spojené s vláknem flexibilním krčkem.
- Hlavice mají ATPázovou aktivitu



Svalová kontrakce



sarkomera



I – proužek

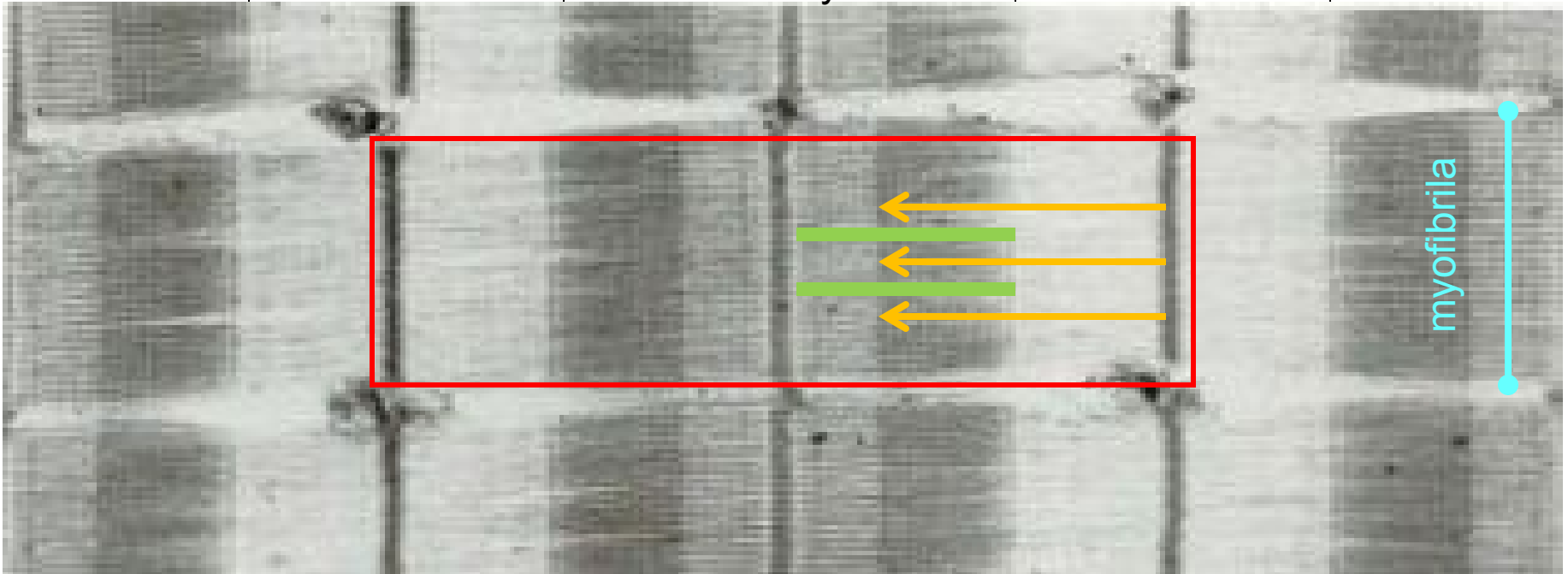
A – proužek

I-proužek

aktin

aktin + myozin

aktin



Z-linie

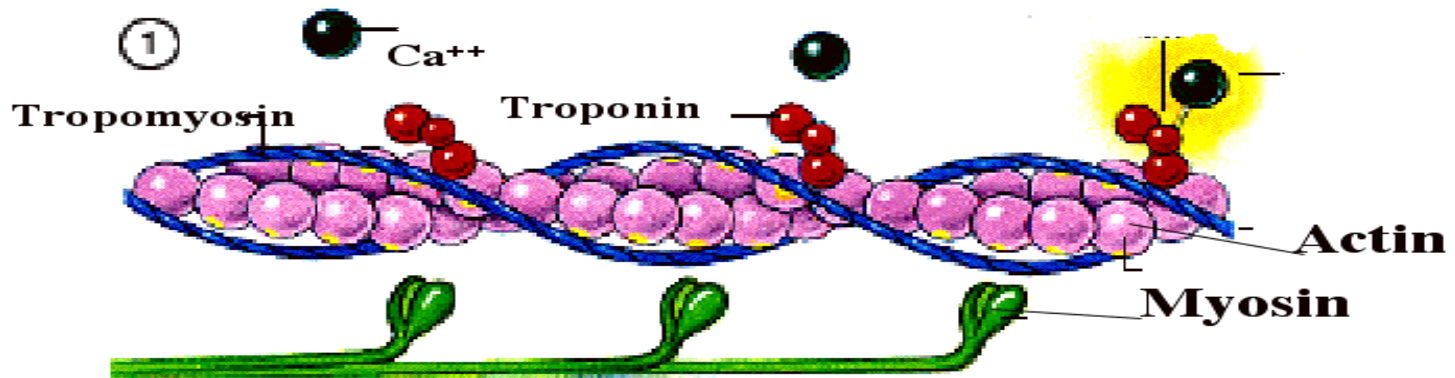
M-linie

Z-linie

H - zóna

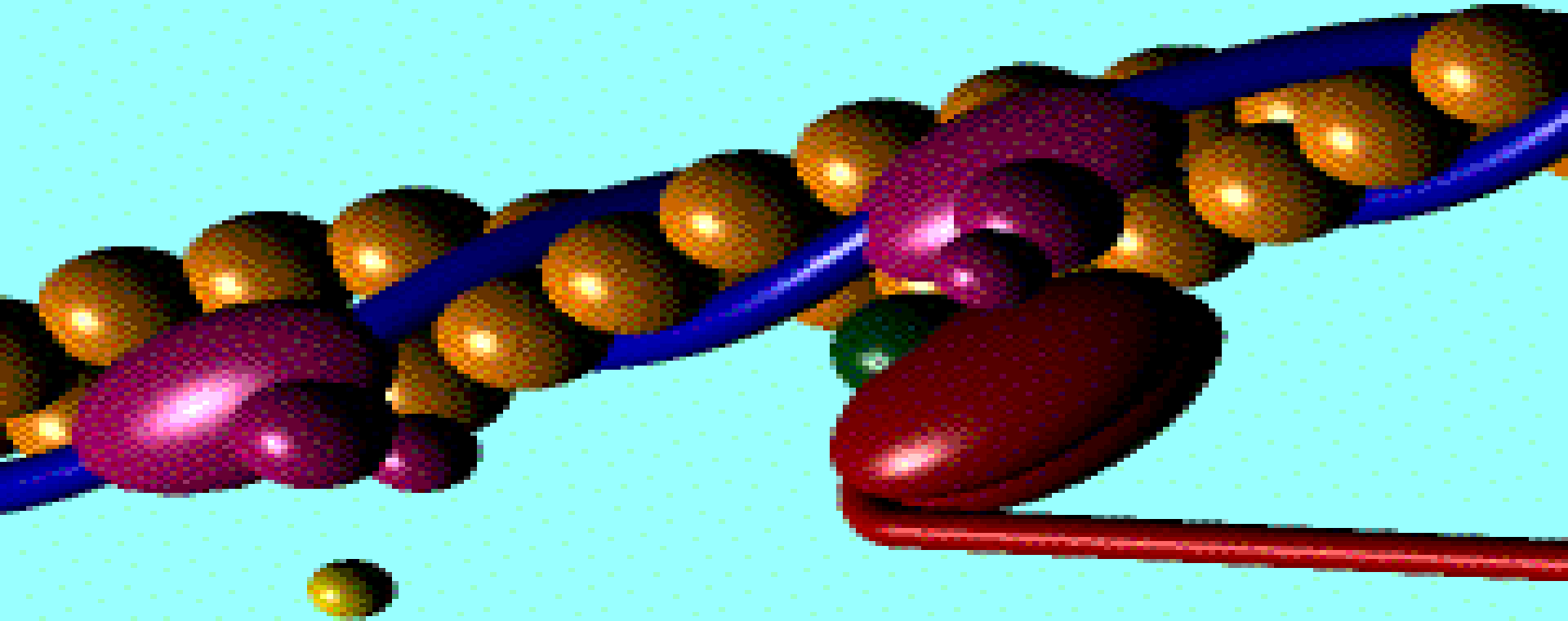
Kontraktilní jednotka a princip svalové kontrakce

- Kontrakce - posun myofilament vůči sobě
- Spotřeba ATP
- Ca^{2+}
- Regulační proteiny
- **Sarkomera** = nejmenší kontraktilní jednotka myofibril.



- Ca²⁺ + troponin ⇒ odkrytí vazebných míst na aktinových filamentech pro myozinové hlavice (ATPáza)
- myozinové hlavice + aktinové filamentum ⇒ uvolní se energie ⇒ ohnutí krčku a hlavice ⇒ posun aktinových vláken ke středu sarkomery
- konec depolarizace: Ca²⁺ zpět do sarkoplazmatického retikula

Svalová kontrakce



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

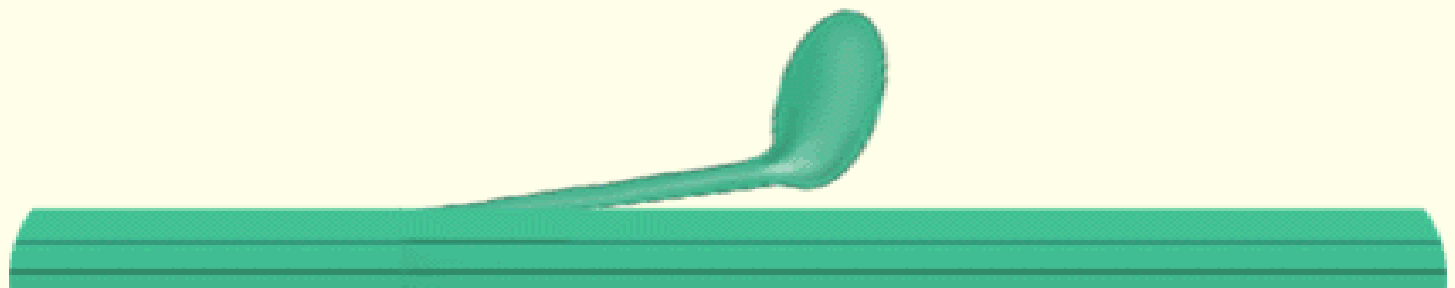
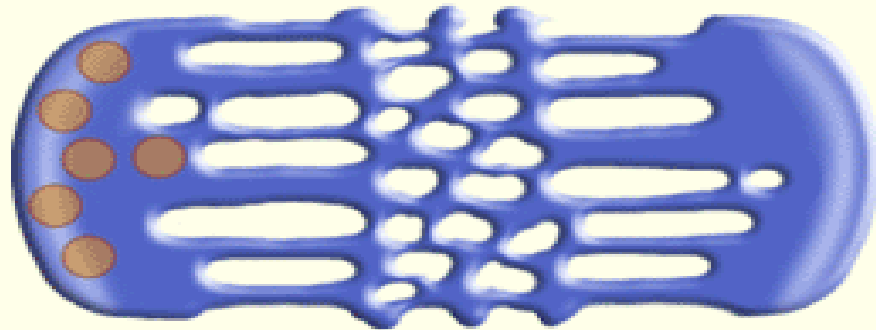
Kontrakce:

Šíření akčního potenciálu
⇒ T-tubulus ⇒ cisterny SR

Uvolnění Ca, vazba Ca
na troponin

Změna konfigurace
troponinu a odkrytí
vazebných míst
pro myozin na aktinu

Hlavičky myozinu (\downarrow ATP)
vazba myozin + aktin,
ohnutí krčku hlavičky,
posun aktinu do středu
sarkomery



Klasifikace svalových vláken

- **Červená vlákna**

↑ myoglobin, mitochondrie, lipidové kapky

↓ myofibrily, glykogen – pomalá, vytrvalá kontrakce

- **Bílá vlákna**

↓ myoglobin, mitochondrie, lipid. kapky

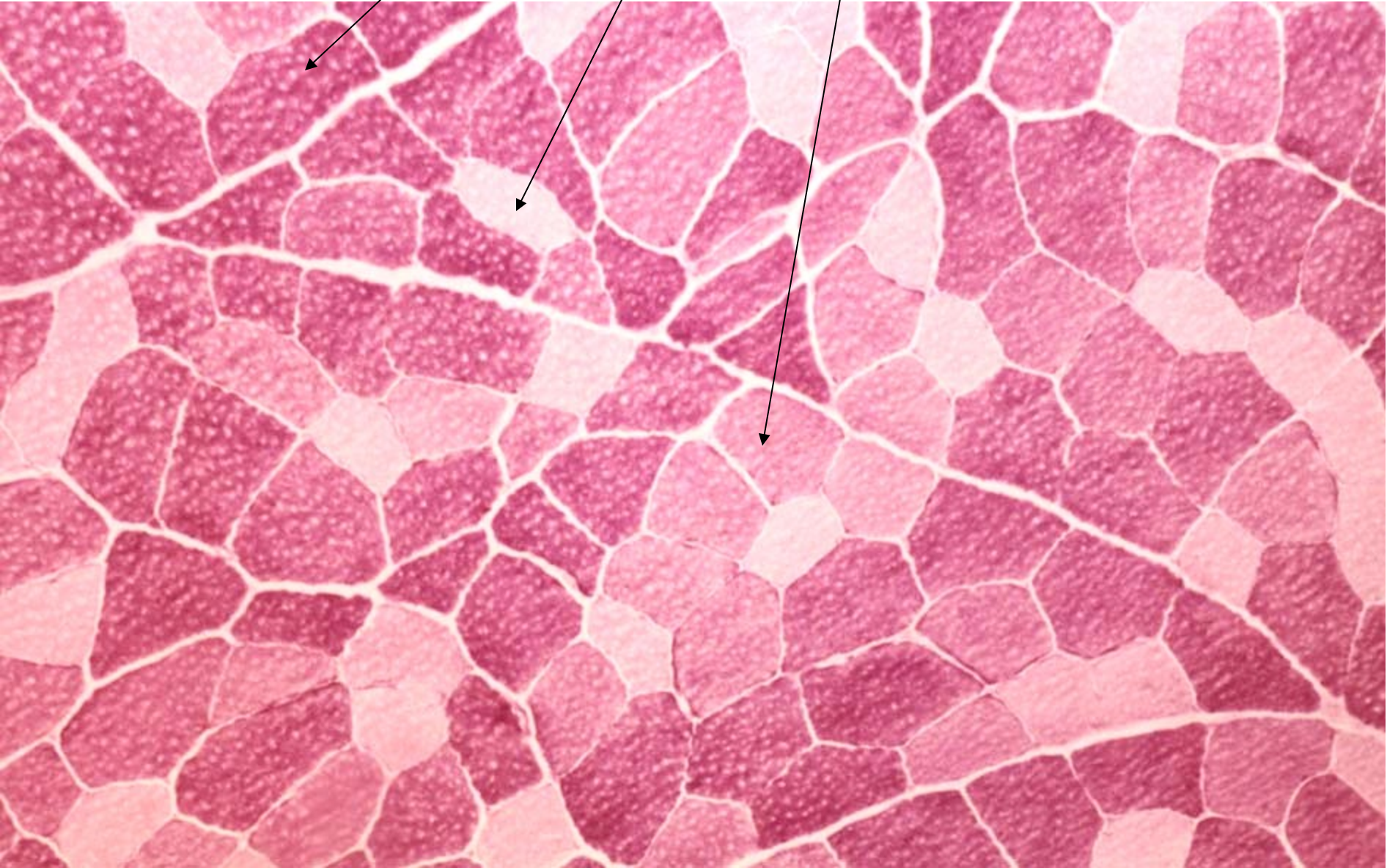
↑ myofibrily, glykogen – rychlá, krátká kontrakce

- **Intermediární vlákna**

– rychlá, vytrvalá kontrakce



Svalová vlákna červená, bílá a intermediární

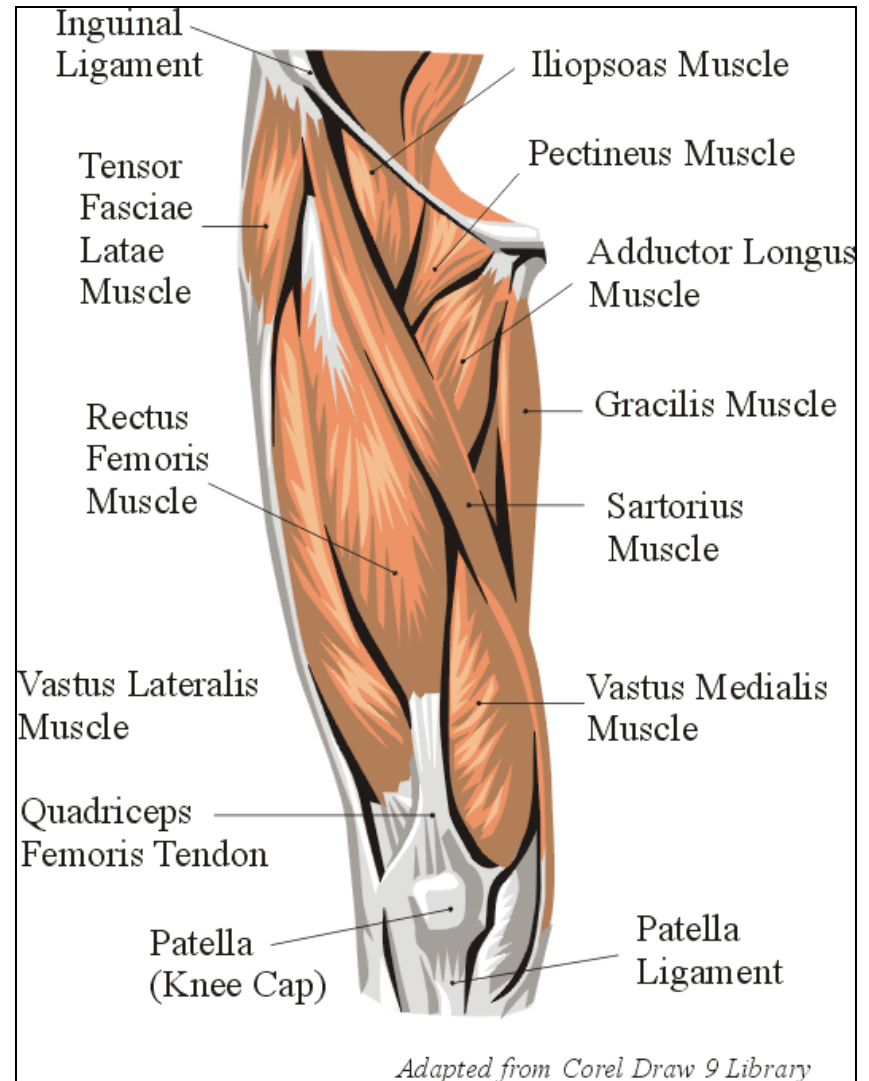


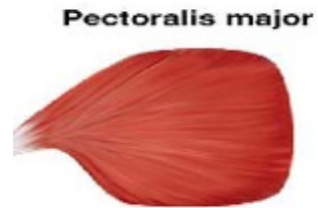
Charakteristika jednotlivých typů svalových vláken

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

Sval

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





(b) Convergent



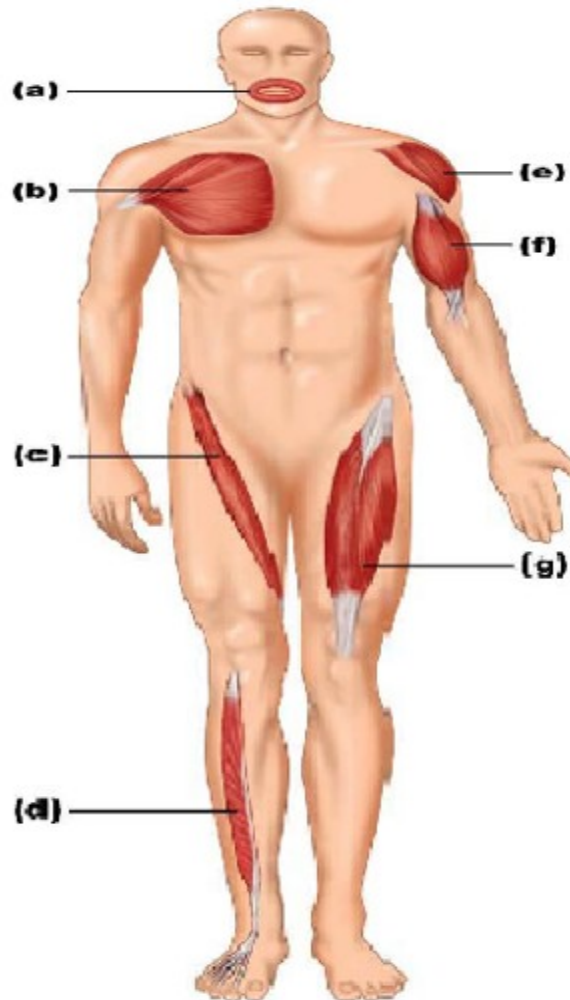
(c) Parallel



(d) Unipennate



(a) Circular



(e) Multipennate



(f) Fusiform



(g) Bipennate

Masitá část svalu

Tvar – různý, barva – červenohnědá, schopnost kontrakce

Vazivo svalu

Jednotlivé rhabdomyocyty

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

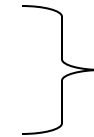
Snopce (svazky) – 10 – 50 rhabdomyocytů (sval. vláken)

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

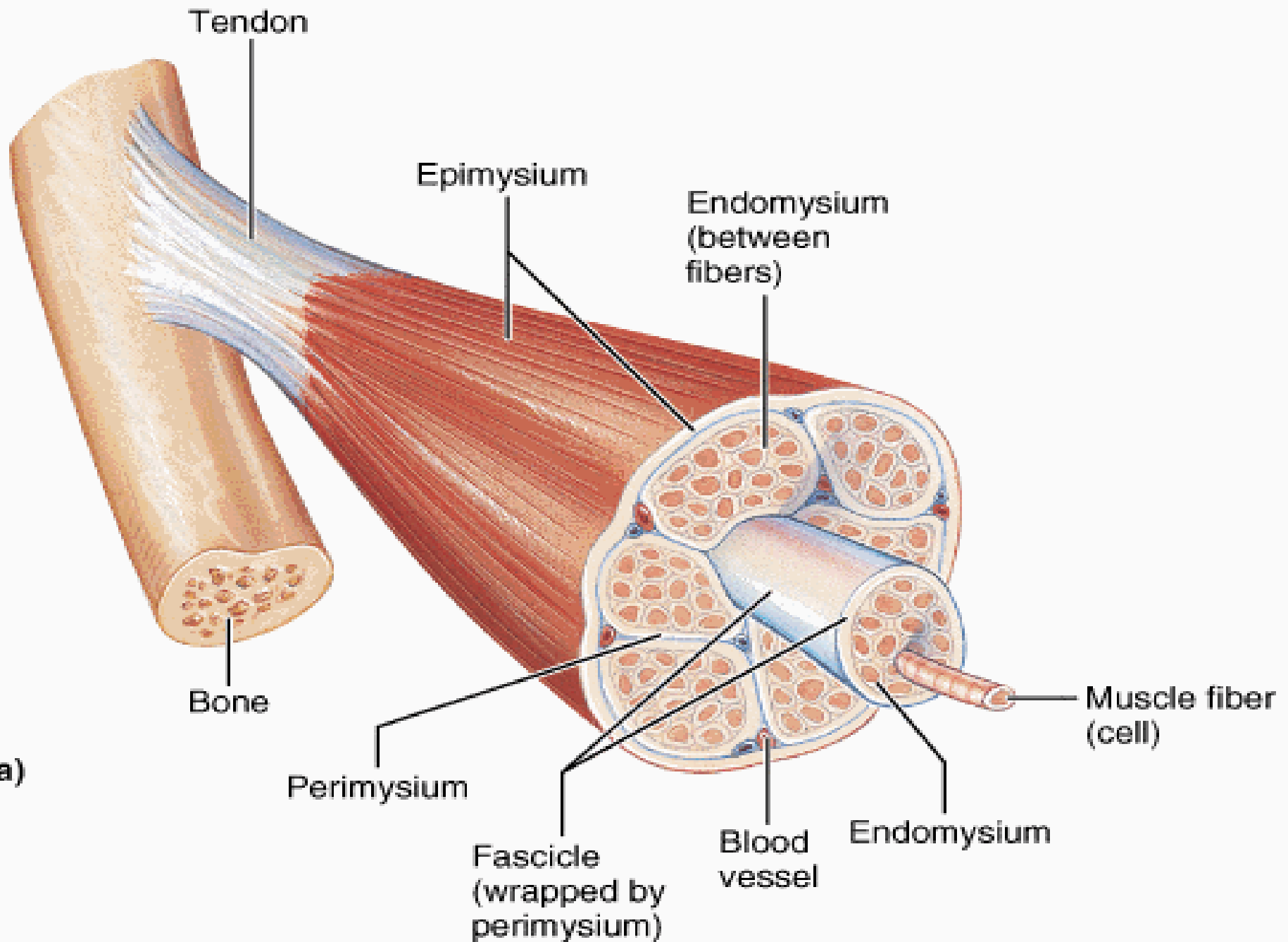
Celý sval

Epimysium (*husté kolag. vazivo neuspořádané*)

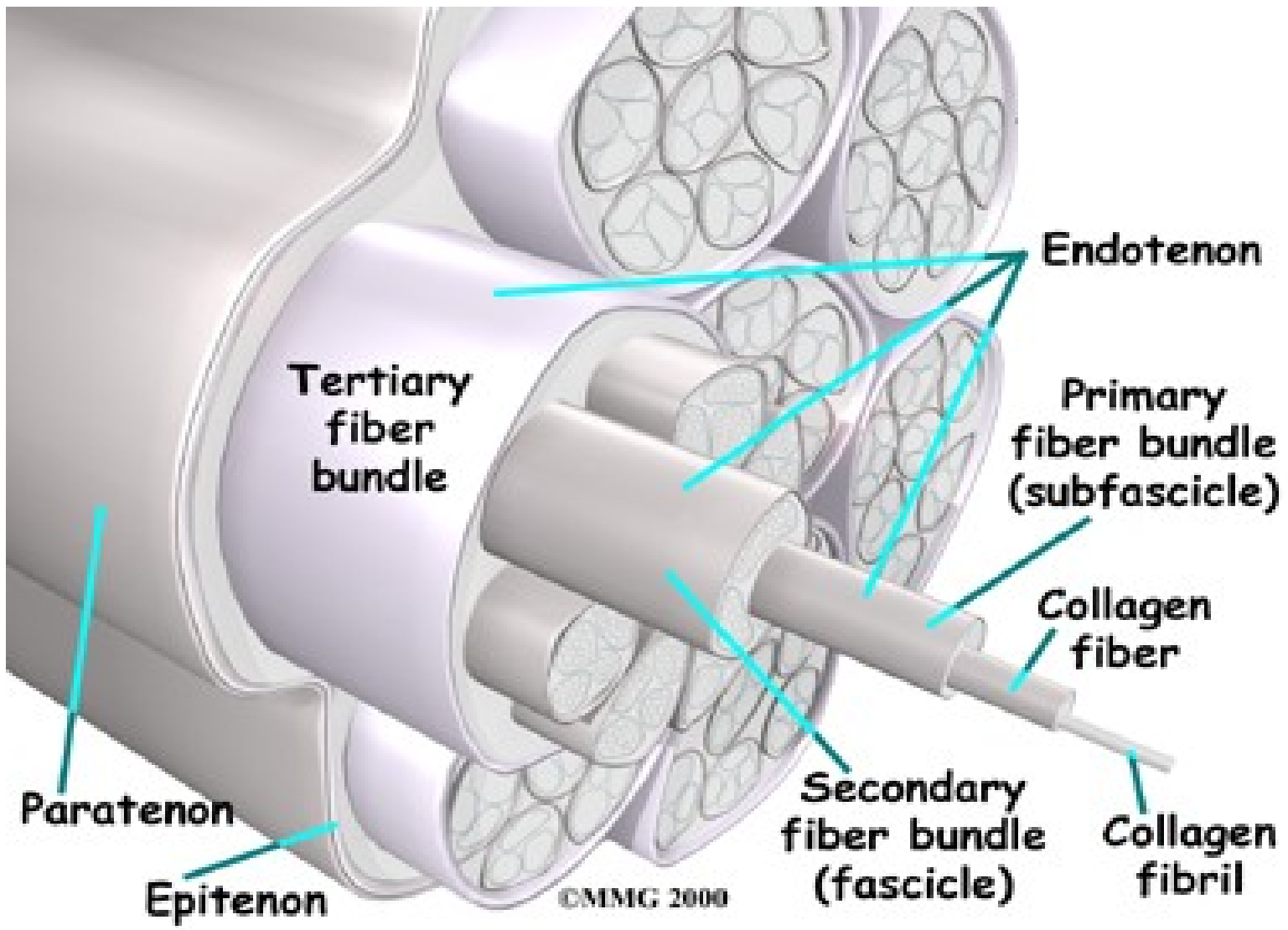
Svalová fascie



Obal svalu



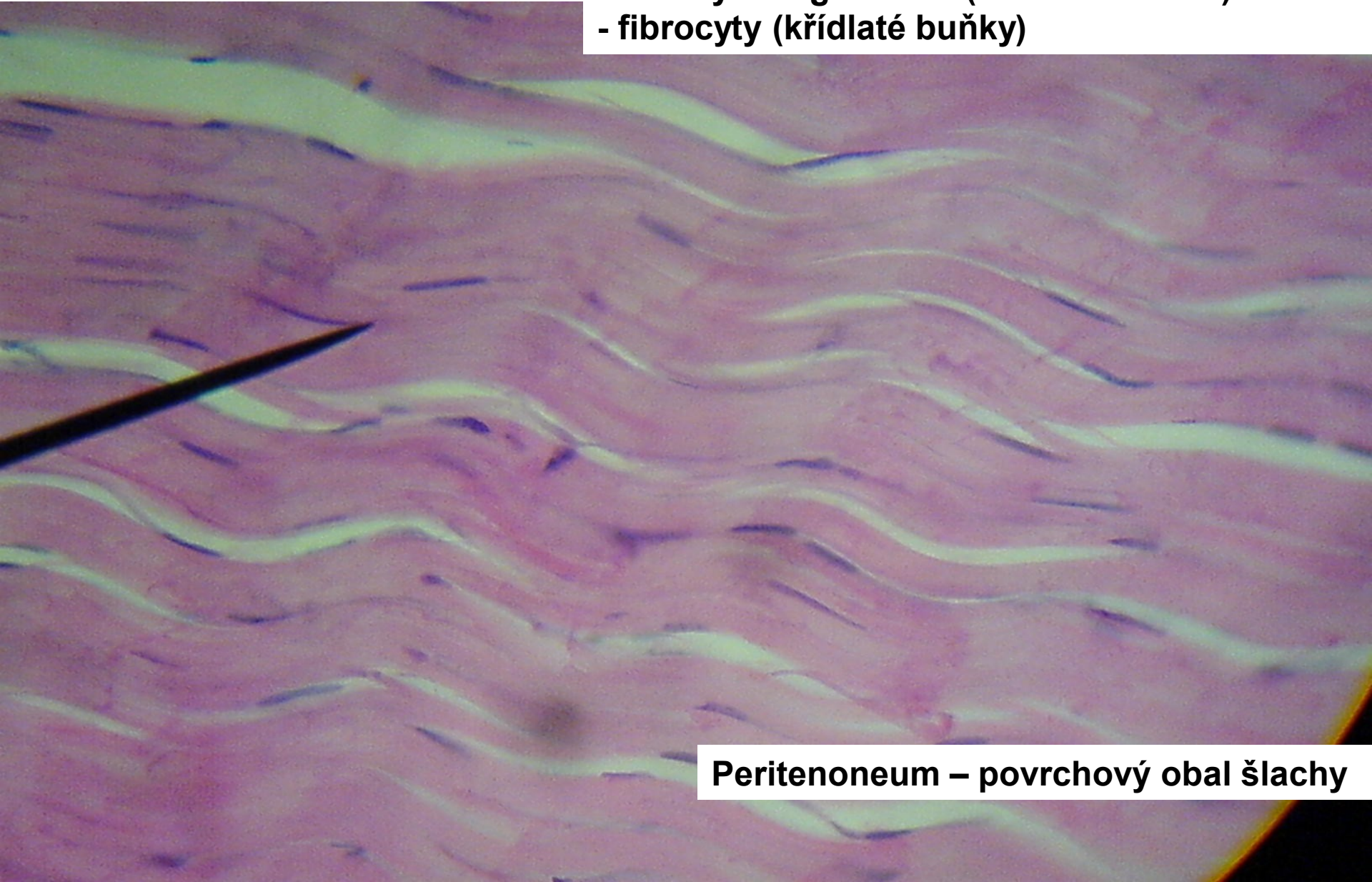
Šlacha



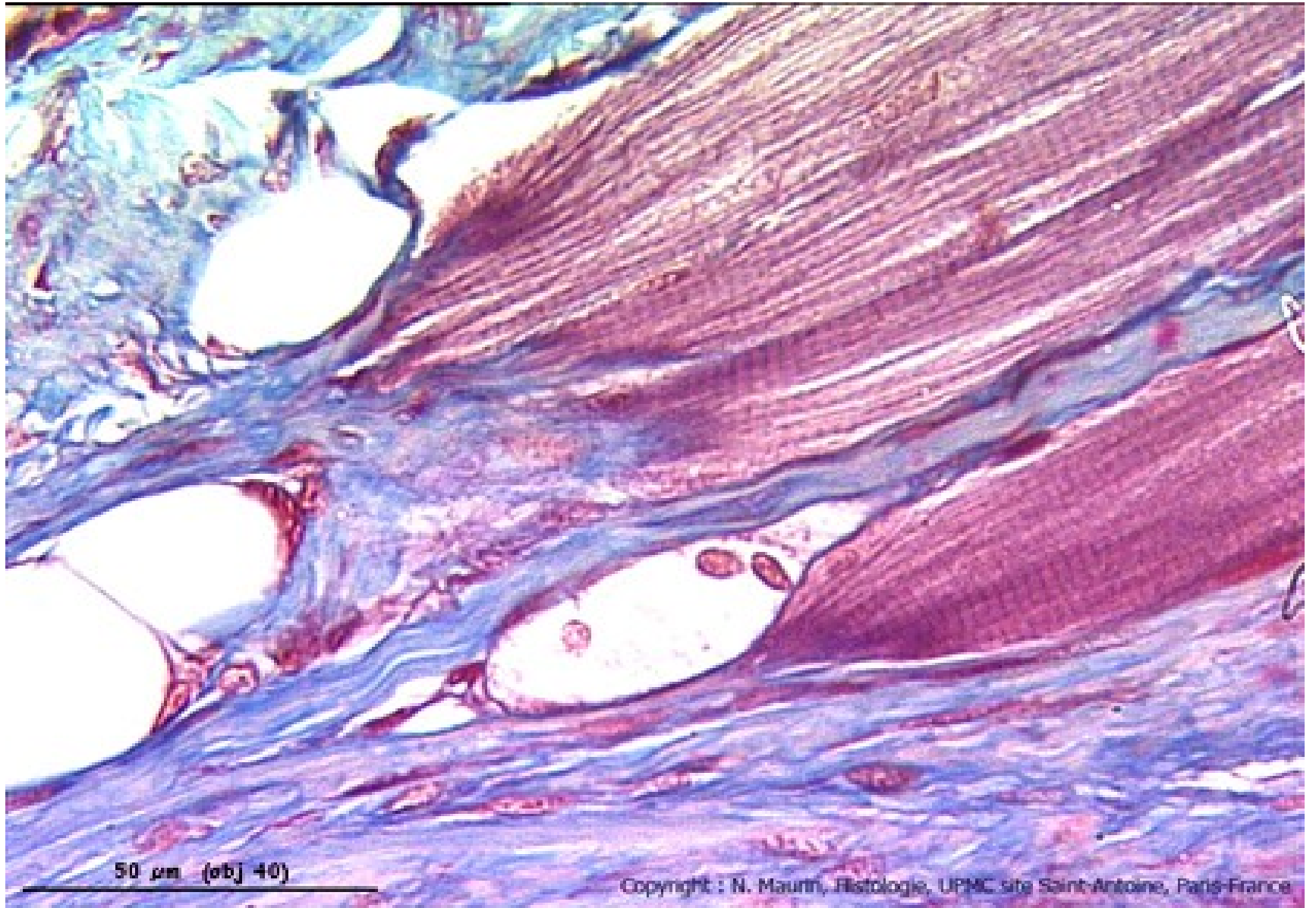
Šlacha

Husté kolag. vazivo uspořádané:

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



Peritenoneum – povrchový obal šlachy



50 μm (obj 40)

Copyright : N. Maurin, Histologie, UPMC site Saint-Antoine, Paris-France

Zásobení a inervace svalu

- cévy i nervy se větví ve vazivu svalu
- senzitivní nervy končí jako:
 - nervosvalová vřeténka (délka svalu)
 - šlachová vřeténka (napětí svalu)
 - volná nervová zakončení (bolest)
- motorické nervy - myelinizované axony motoneuronů z míchy končí ve svalu jako
 - motorické ploténky X motorická jednotka

viz dále

Nervosvalové vřeténko

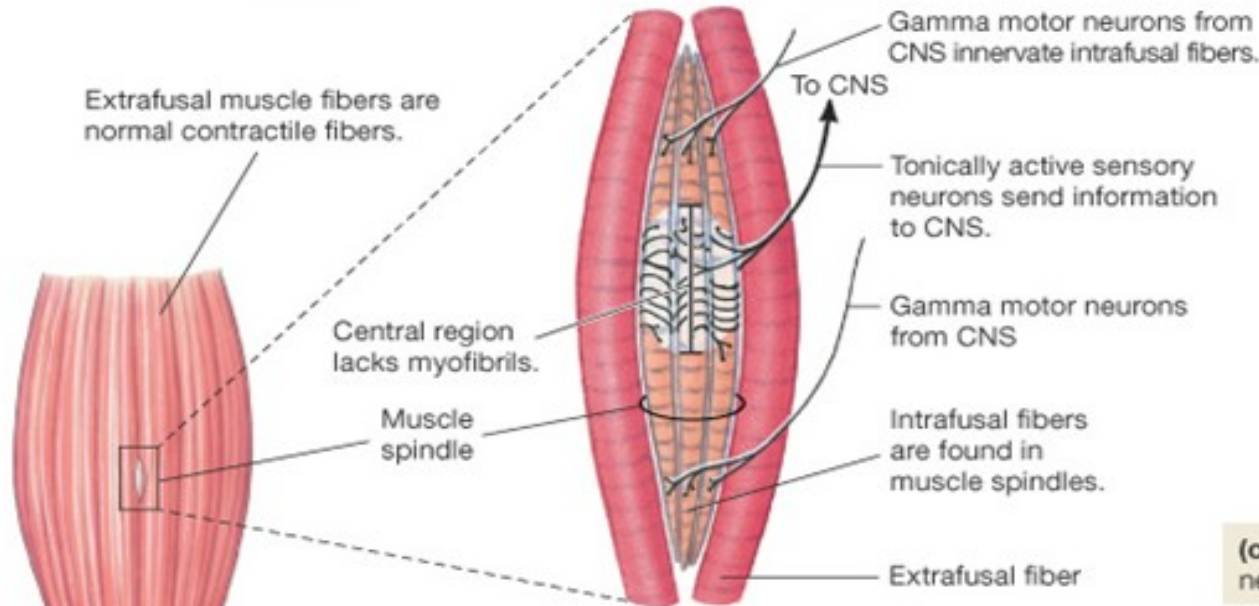
- kontroluje délku svalu

Golgiho šlachové vřeténko

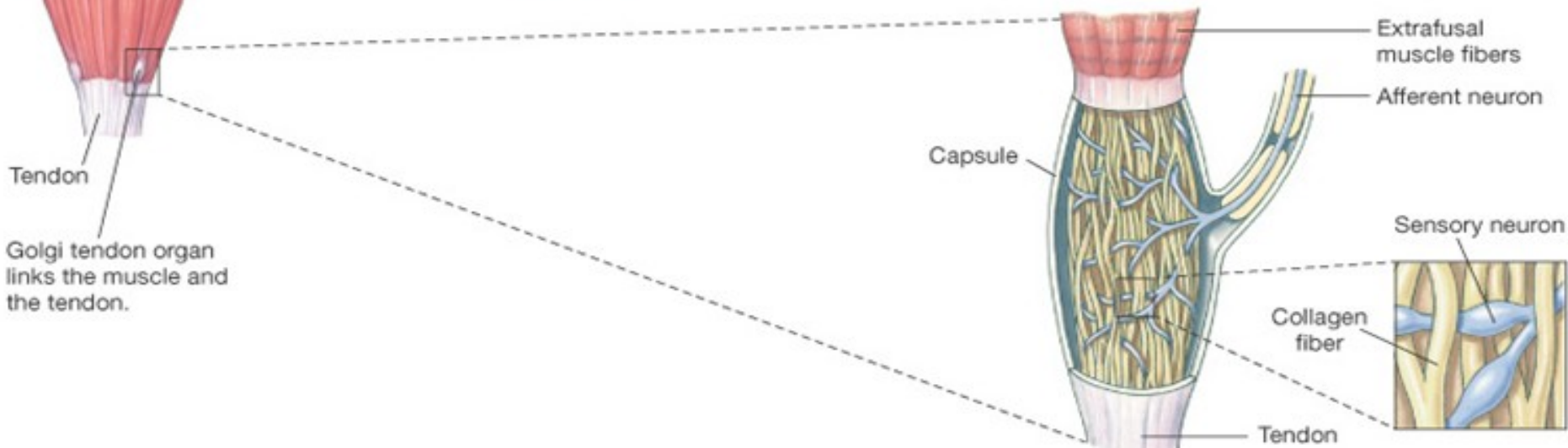
- kontroluje napětí svalu

(a) Muscle spindles are buried among the extrafusal fibers of the muscle.

(b) Muscle spindle sends information about muscle stretch to the CNS.

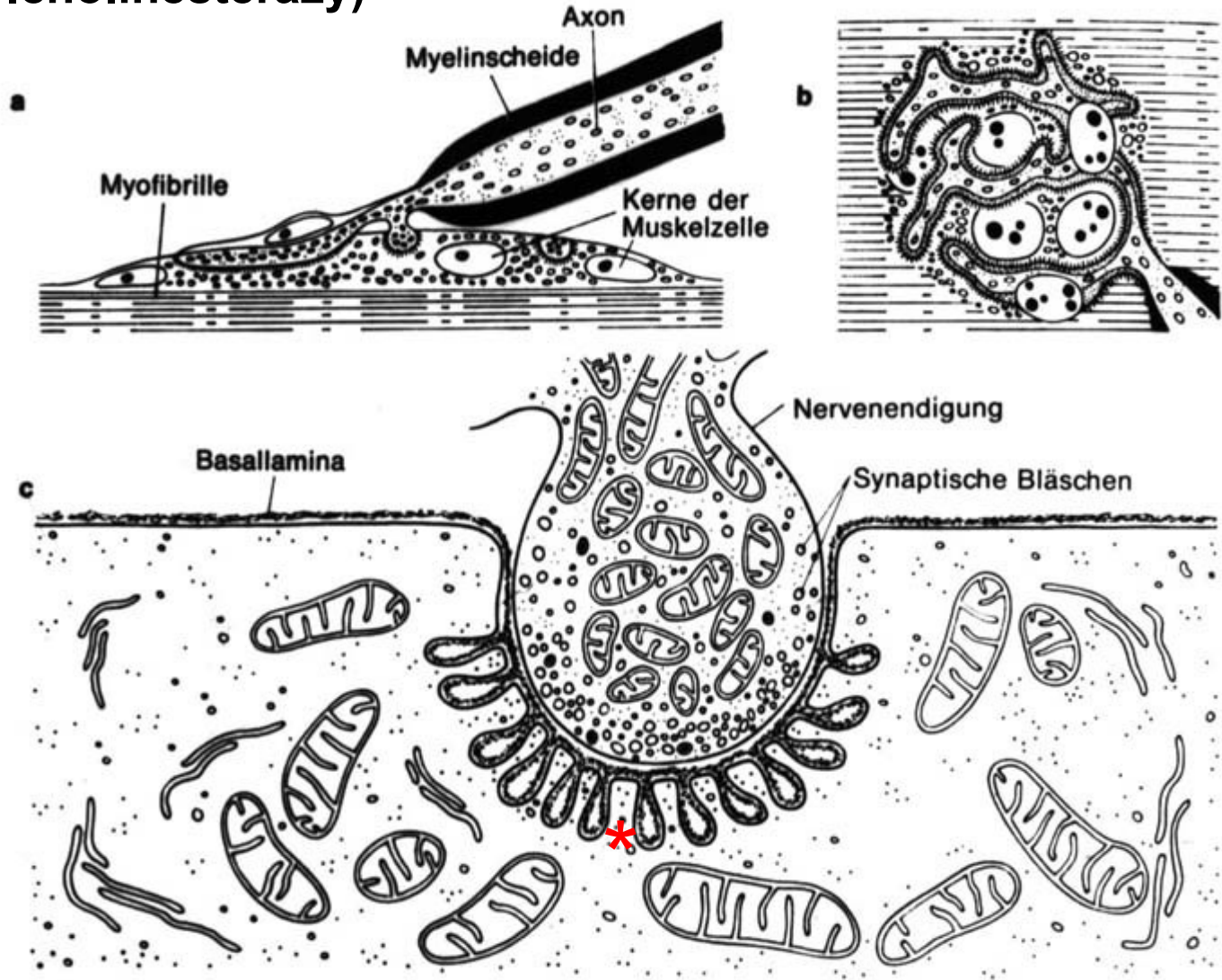


(c) Golgi tendon organ consists of sensory nerve endings interwoven among collagen fibers.



Motorická ploténka

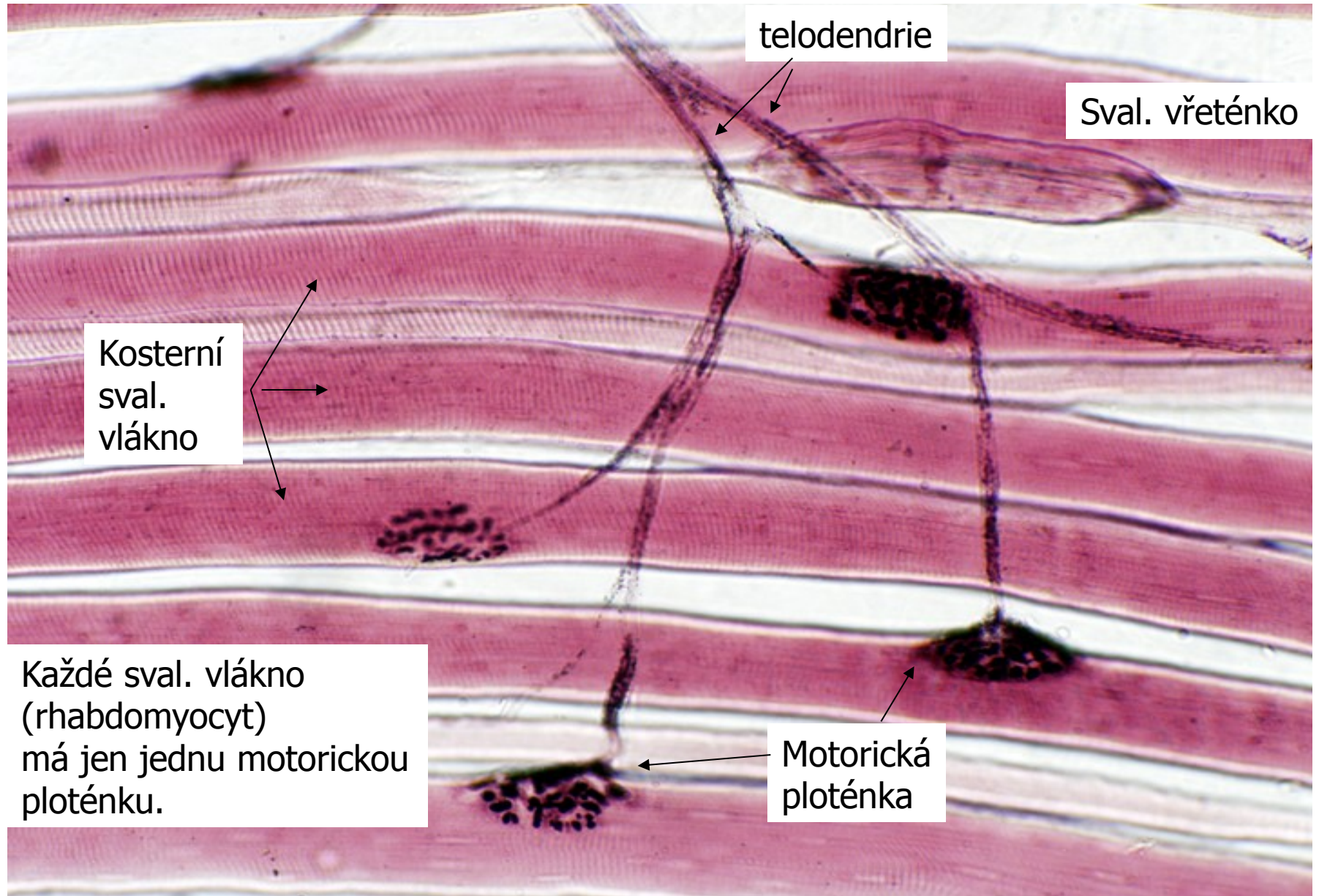
(průkaz acetylcholinesterázy)



* subneurální aparát s Ach-receptory

Motorické ploténky v motorické jednotce

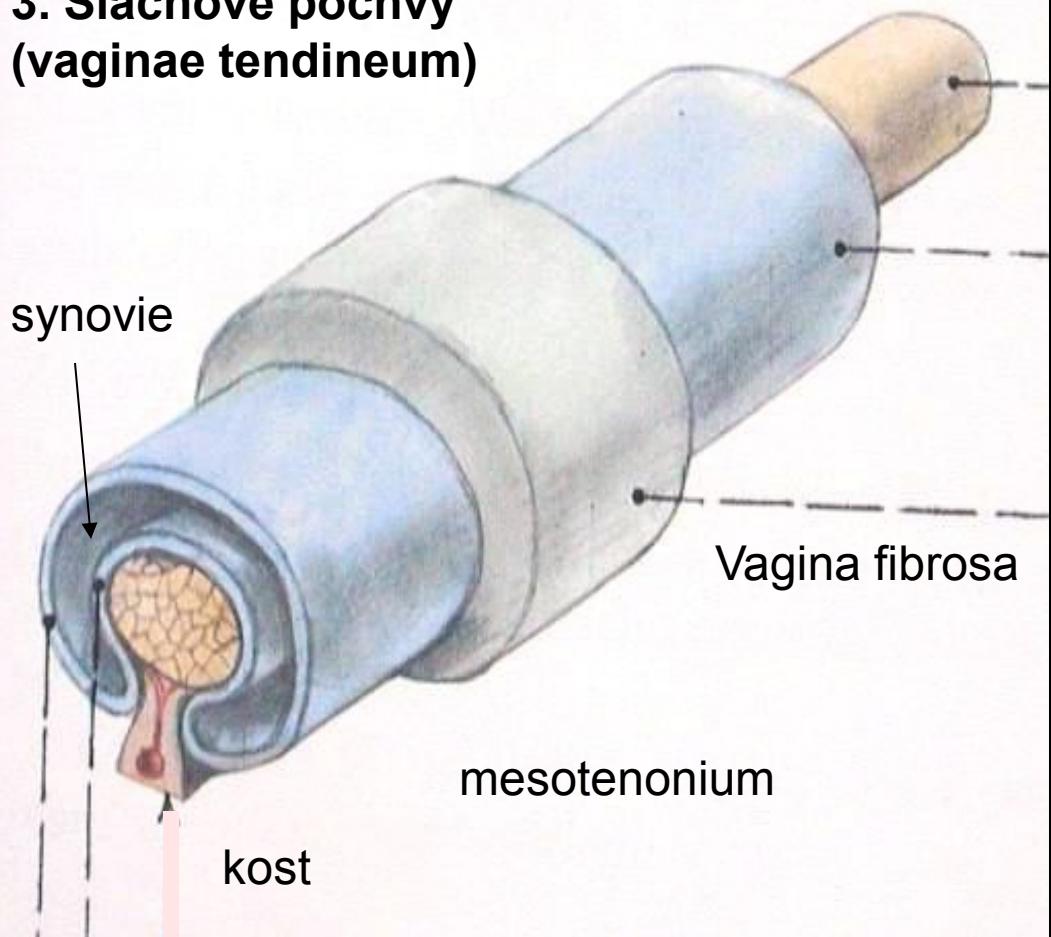
Tato svalová vlákna s kontrahují současně



Pomocná svalová zařízení – vazivové struktury:

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

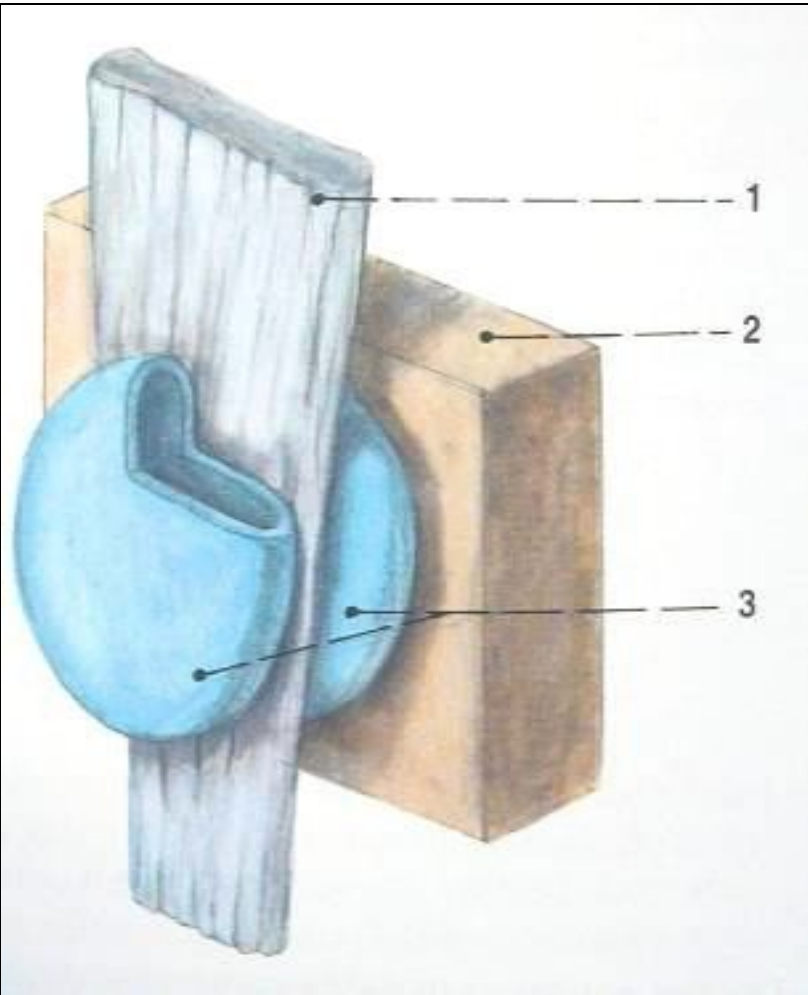
3. Šlachové pochvy
(vaginae tendineum)



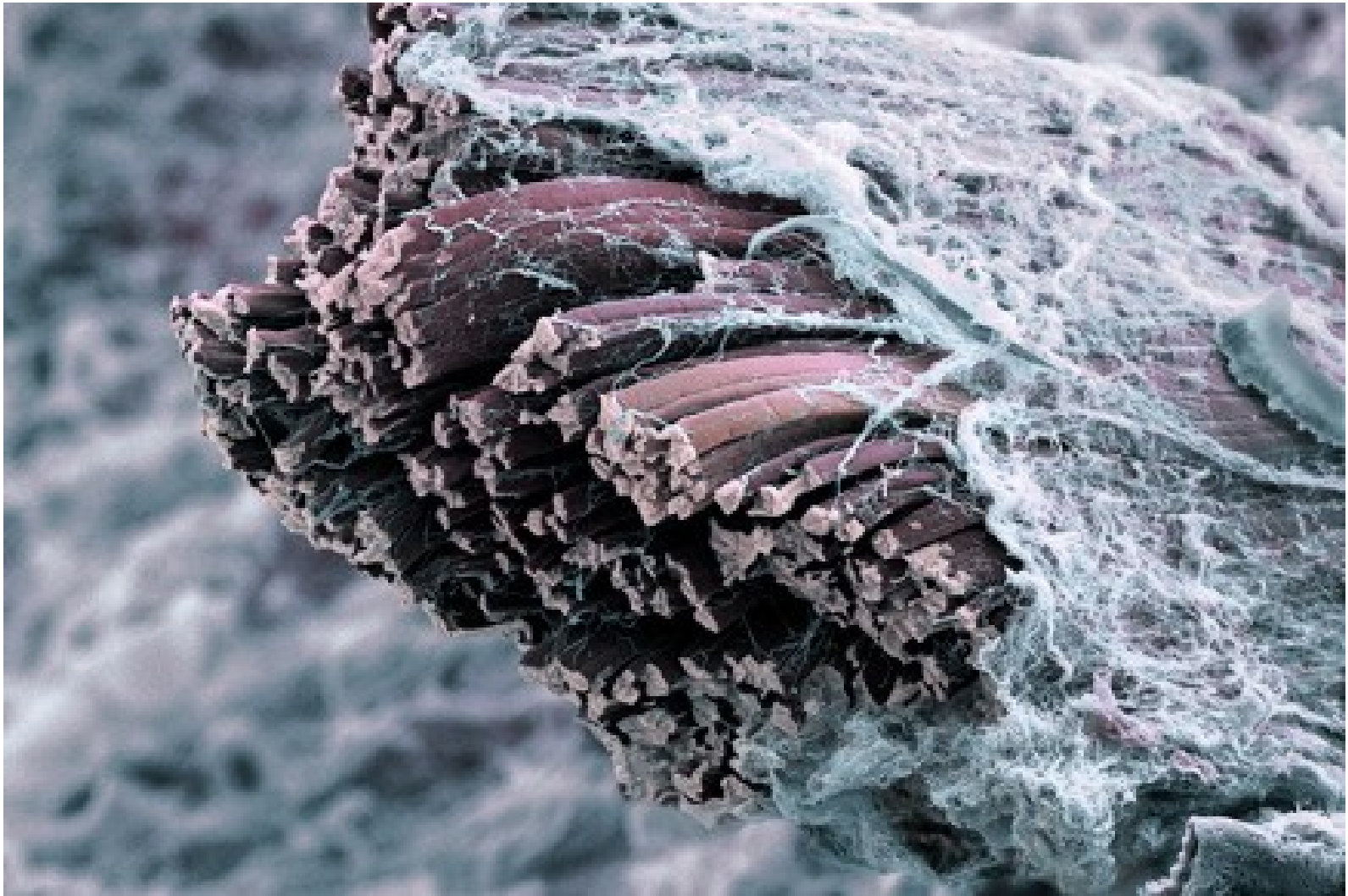
vagina synovialis

viscerální list

parietální list

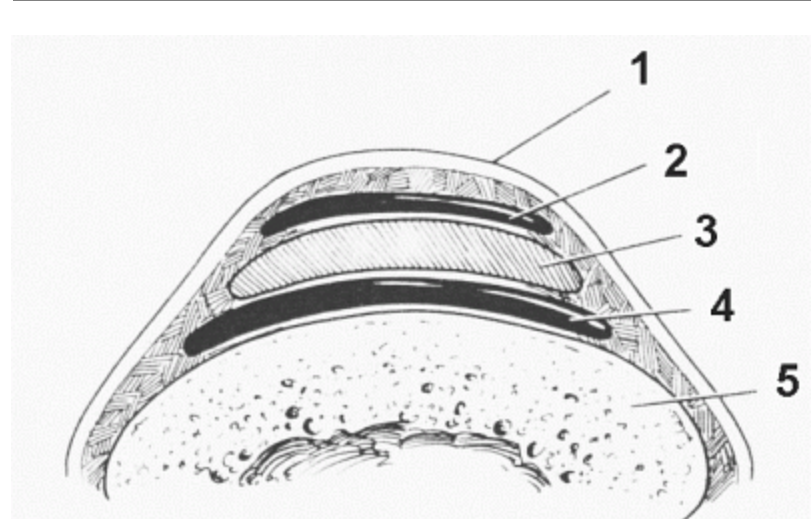
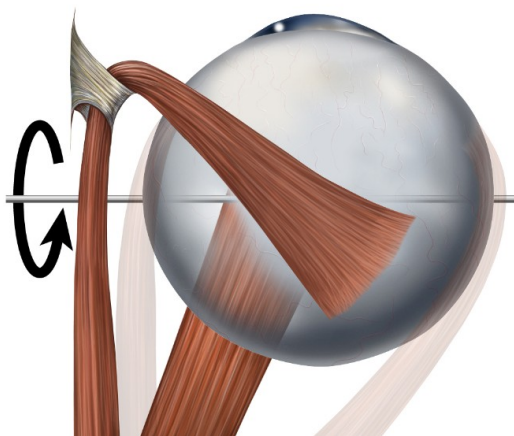
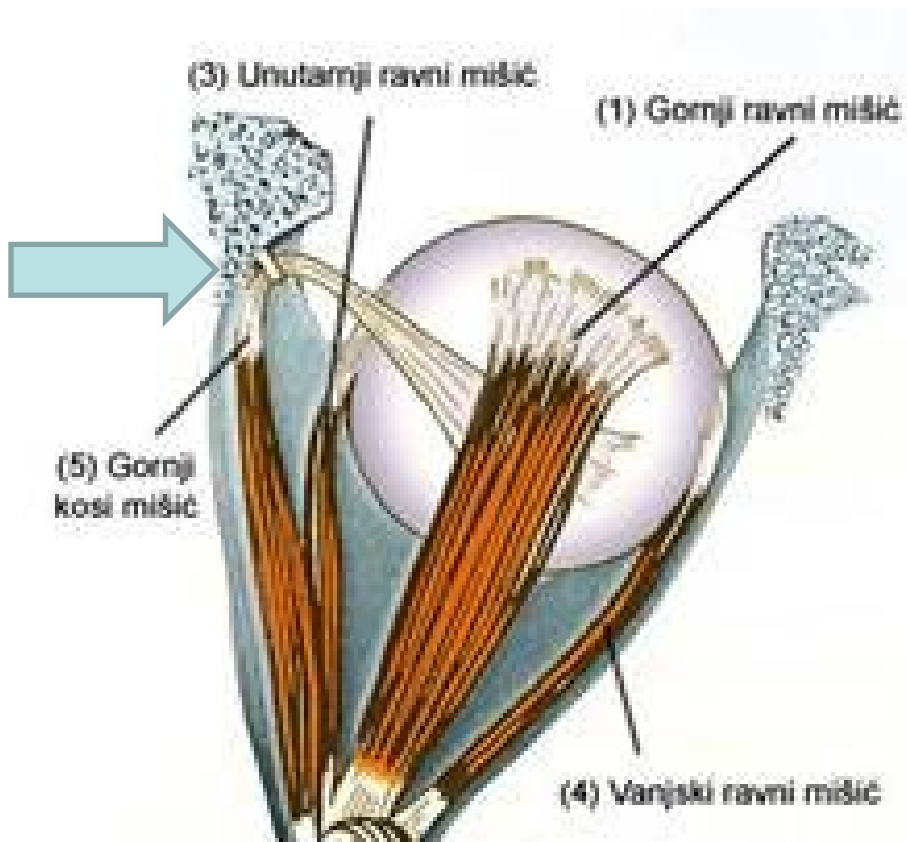


4. Synoviální tíhové váčky
(bursae synoviales)



Fascia muscularis

kladka (trochlea)



podkožní (2) a podšlachový (4) tíhový váček

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

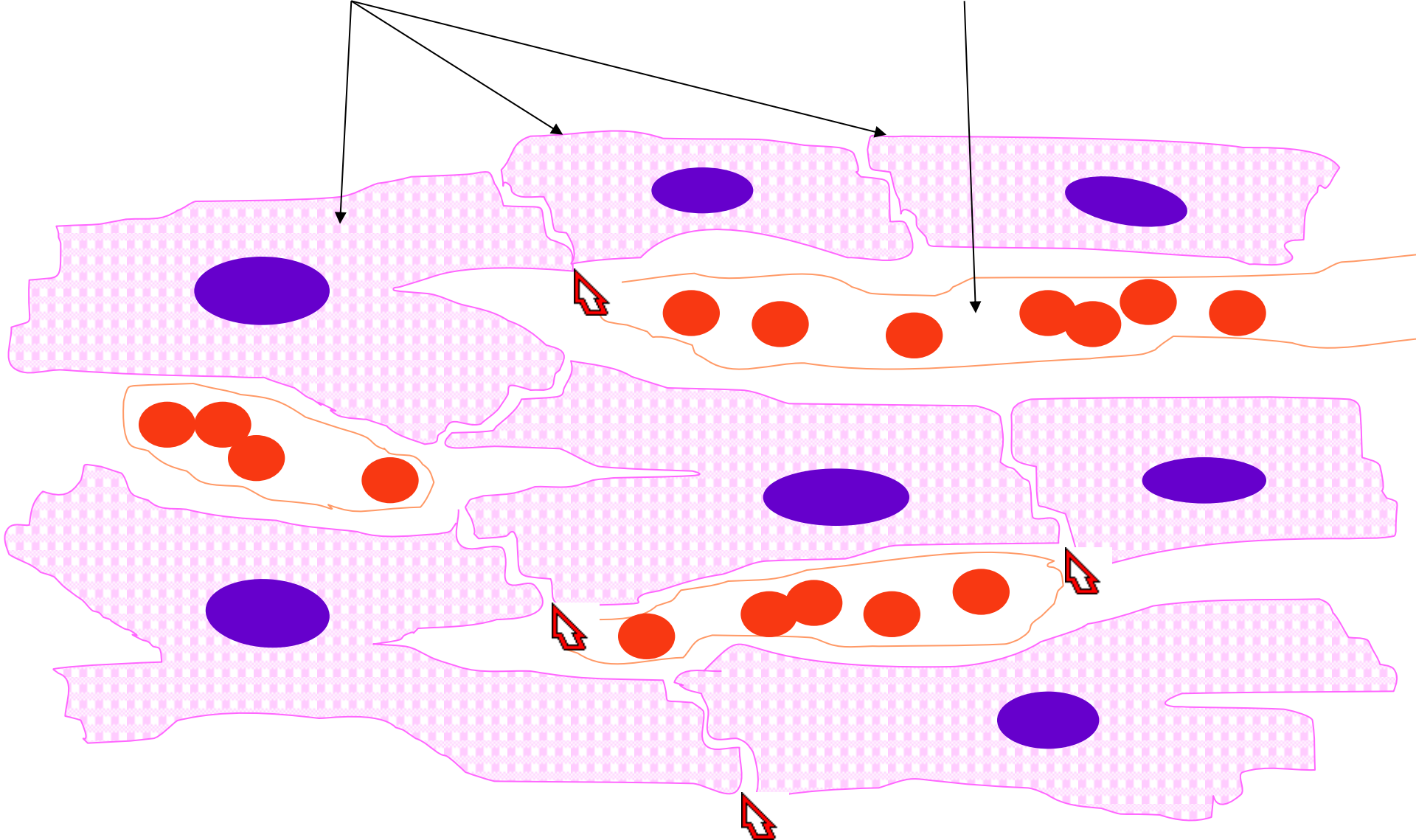
*Buňky jsou spojeny do vláken a prostorových sítí **interkalárními disky**.*

Kardiomyocyt pracovní (kontraktilní) vzrušivé

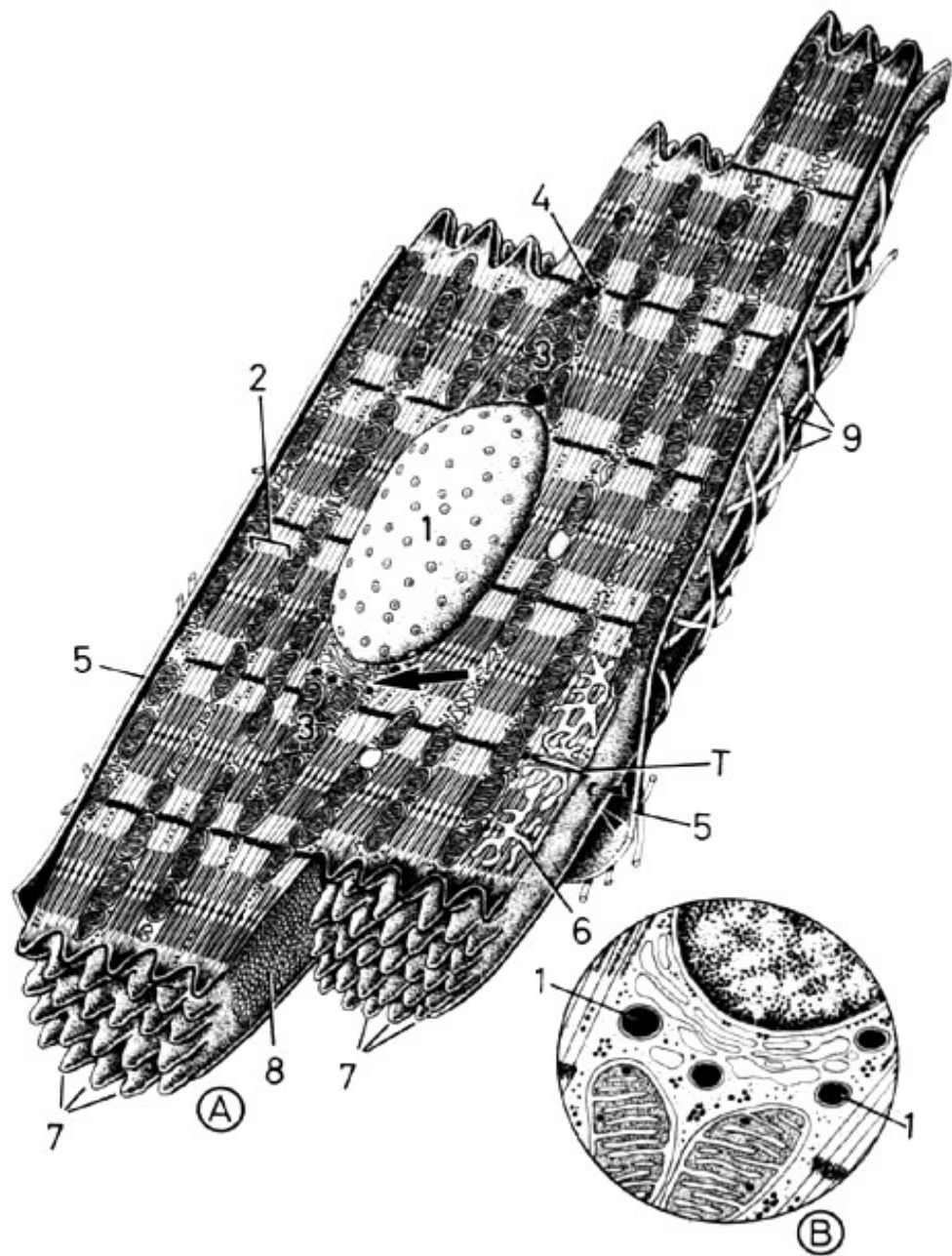
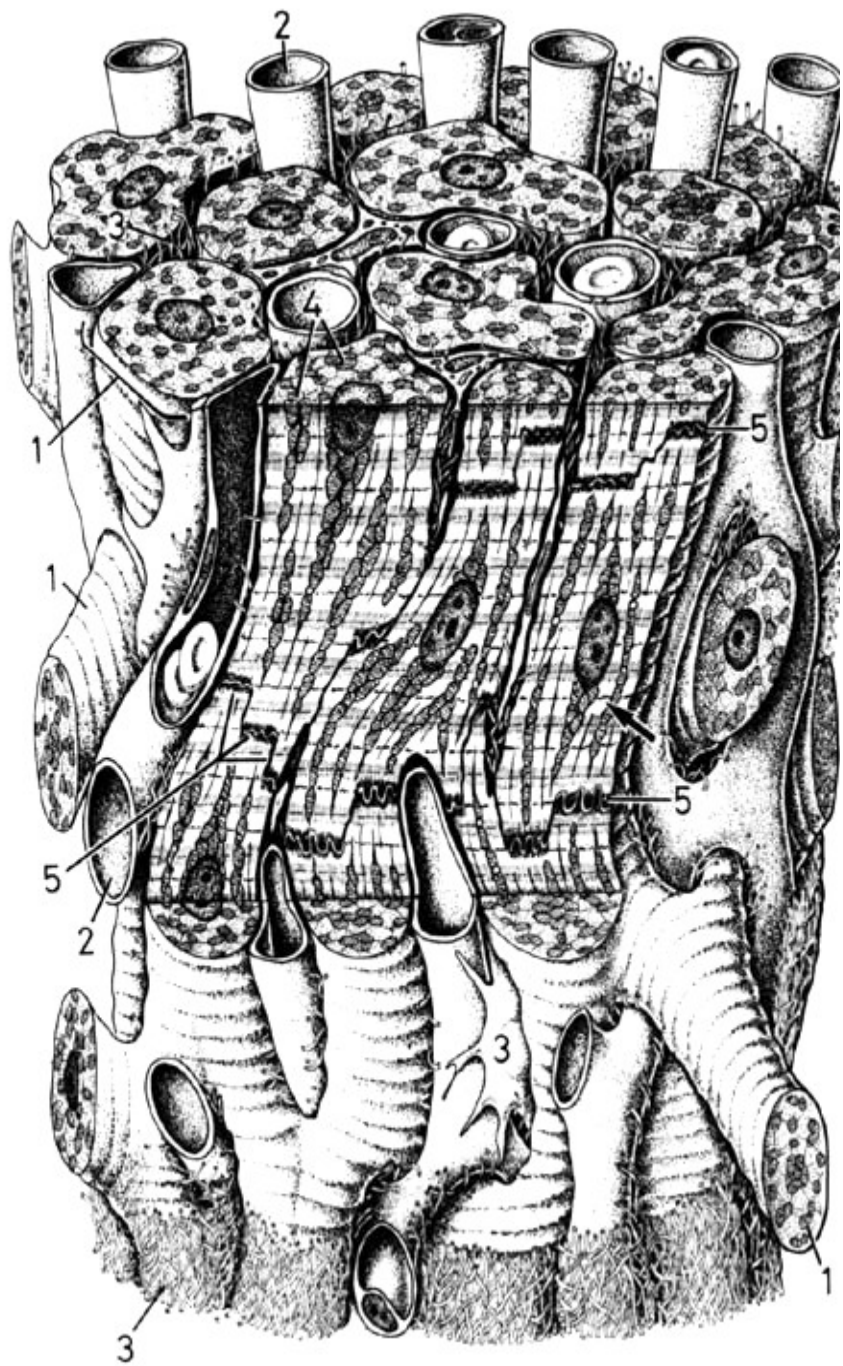
- oválné jádro centrálně (1-2)
- množství mitochondrií
 - GER, GA, glykogen, lipidy
- kontraktilní struktury - myofibrily
- SR - příčně probíhá na úrovni Z-linií
 - jsou vytvořeny diády (1T-tubulus +1 cisterna)
- v síních - granula aurikulinu (natriuretický faktor)

řetězec kardiomyocytů

kapilára s erytrocyty

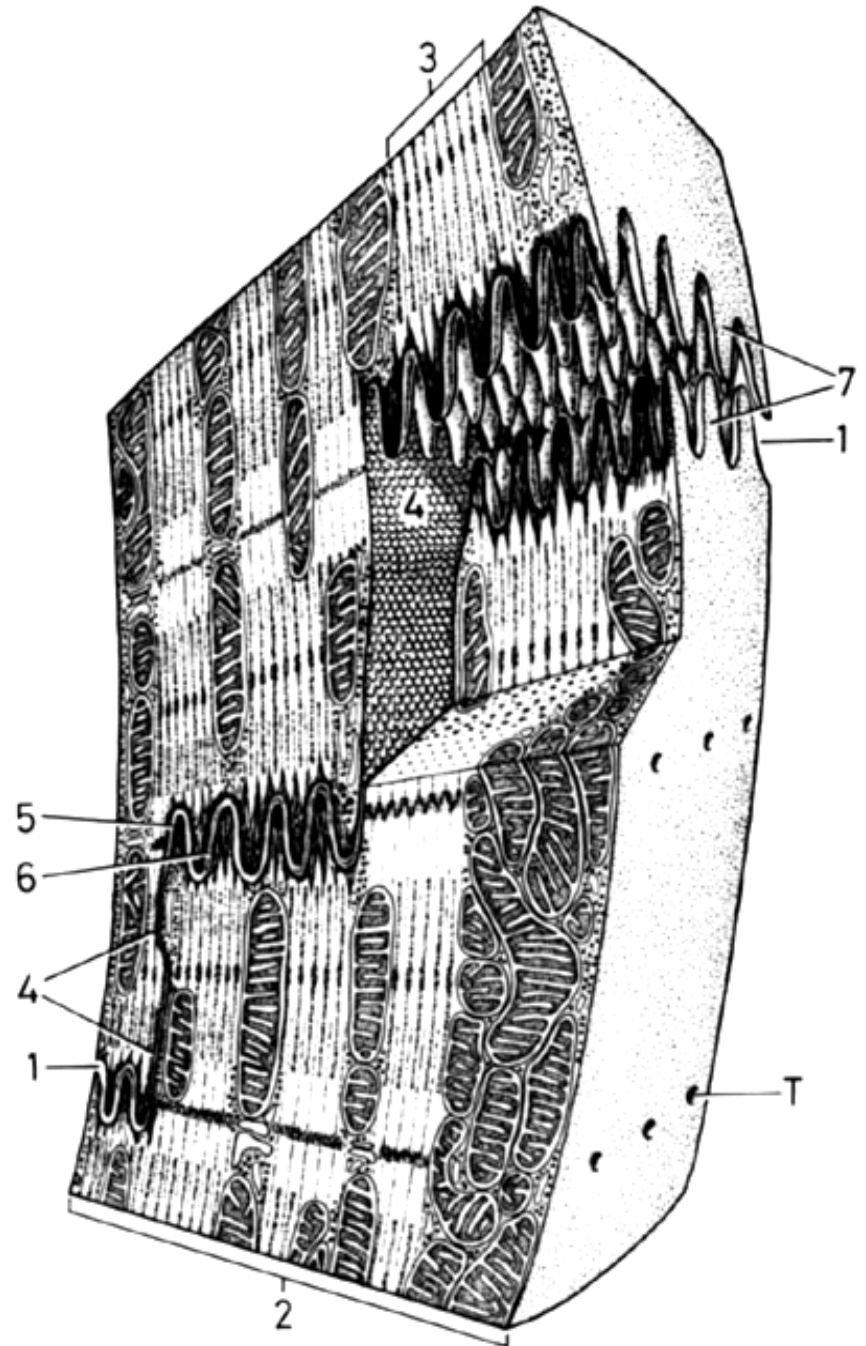


Interkalární disk

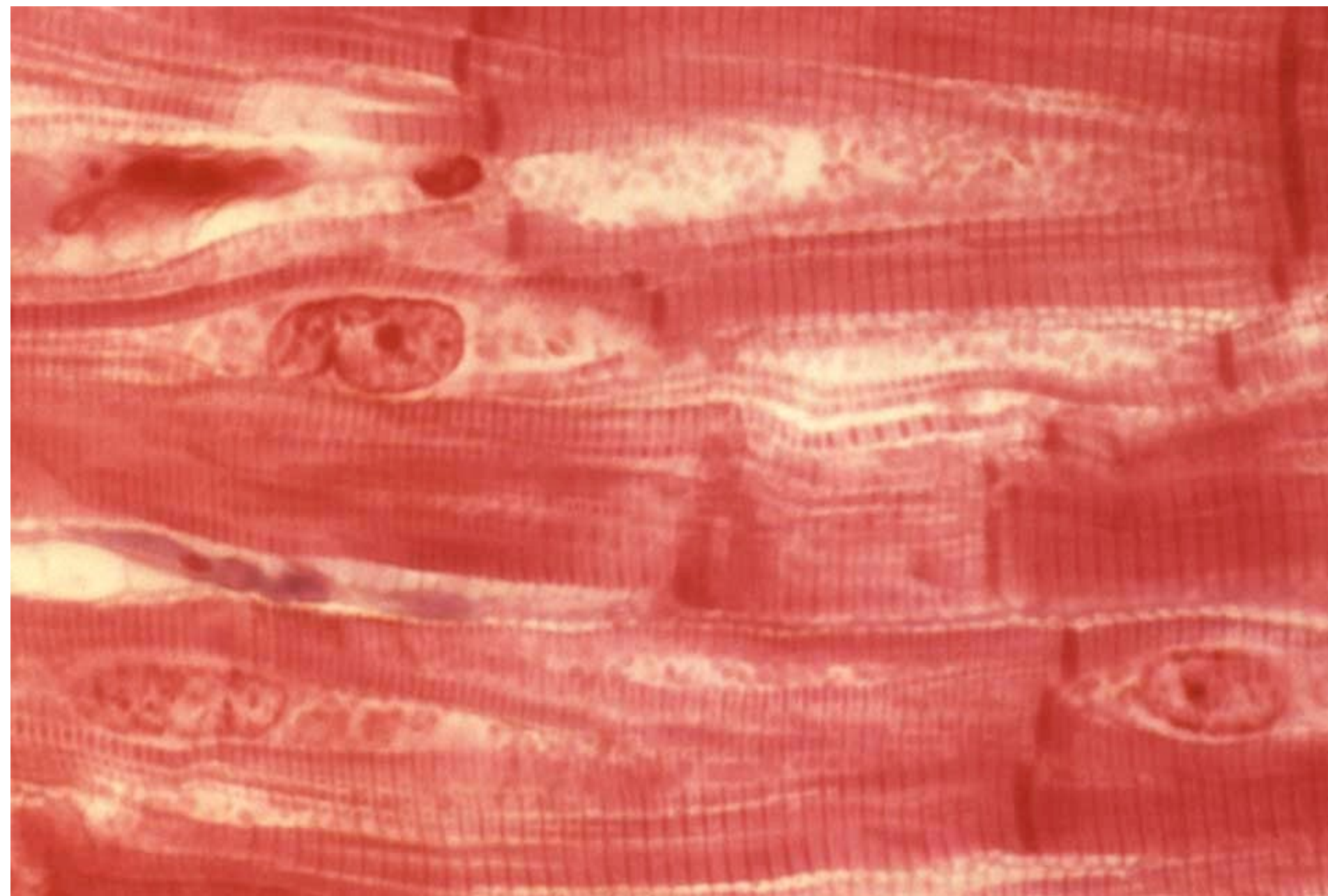


Interkalární disk

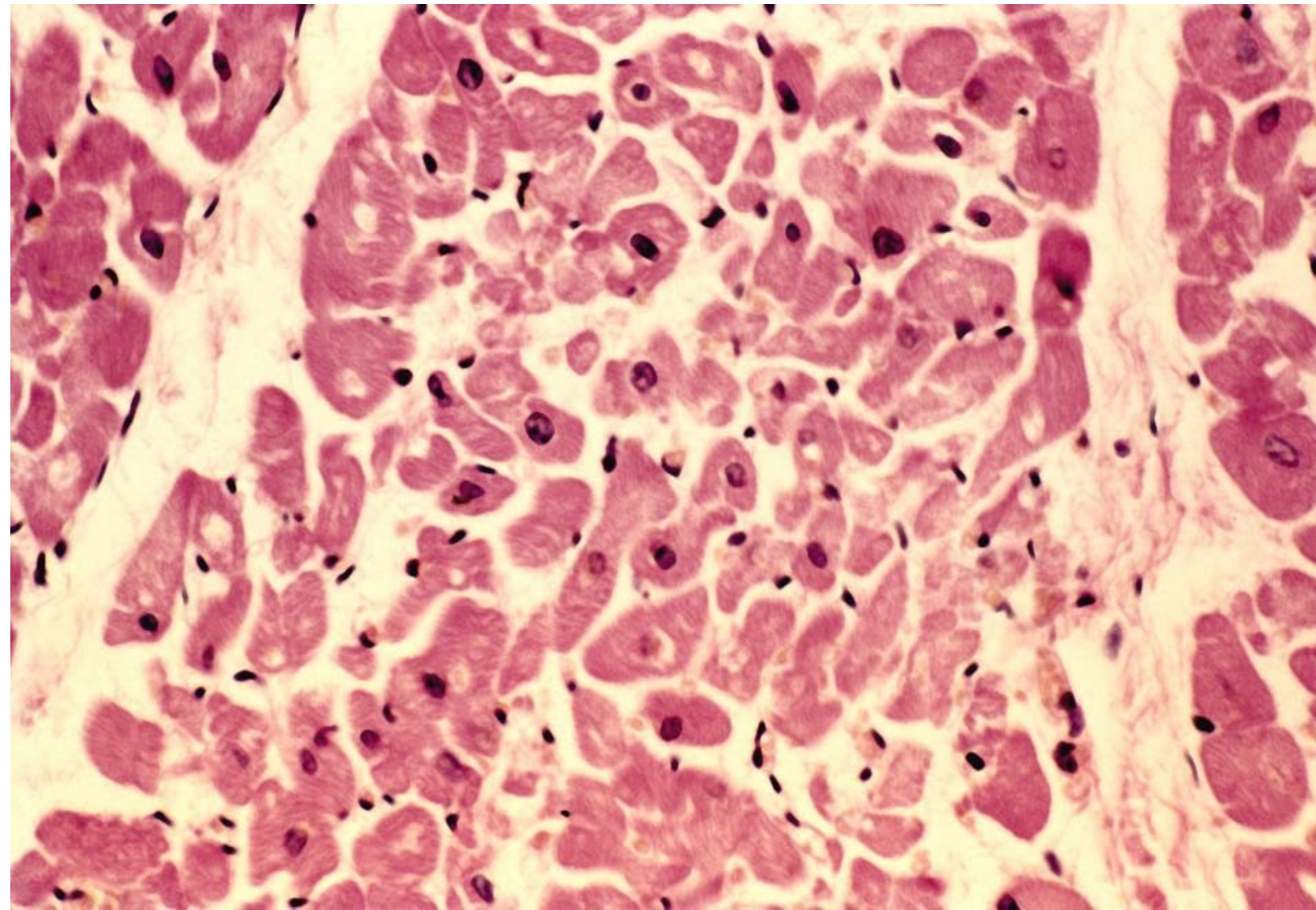
- spojení sousedních kardiomyocytů
- intercelulární spoje
 - *desmosom*
 - *fasciae adherentes*
 - *gap junction (nexus)*



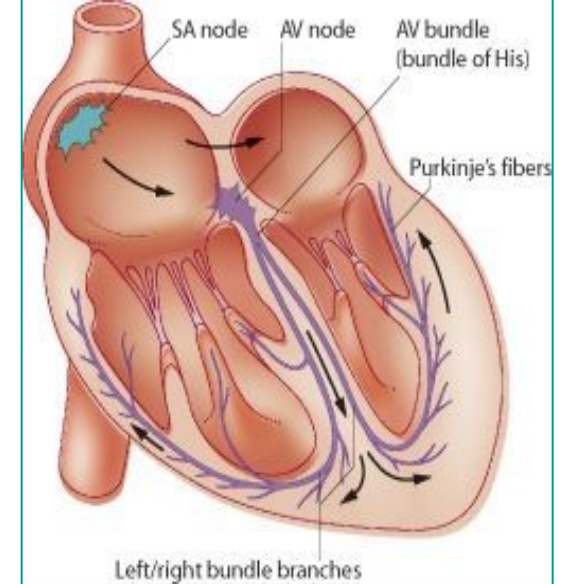




Myokard – kardiomyocyty (HE, příčně)



Vzrušivé (nonkontraktilní) kardiomyocyty



- součást převodního /excitomotorického/ aparátu srdce: **sinusový a síňokomorový uzlík, Hissův svazek** rozdělený na pravé a levé raménko a **Purkyňova vlákna**
- nepočetné myofibrily, zvýšený obsah glykogenu v sarkoplasmě, chybí T-tubuly a interkalární disky, četné nexusy



**Pracovní
kardiomyocyty**

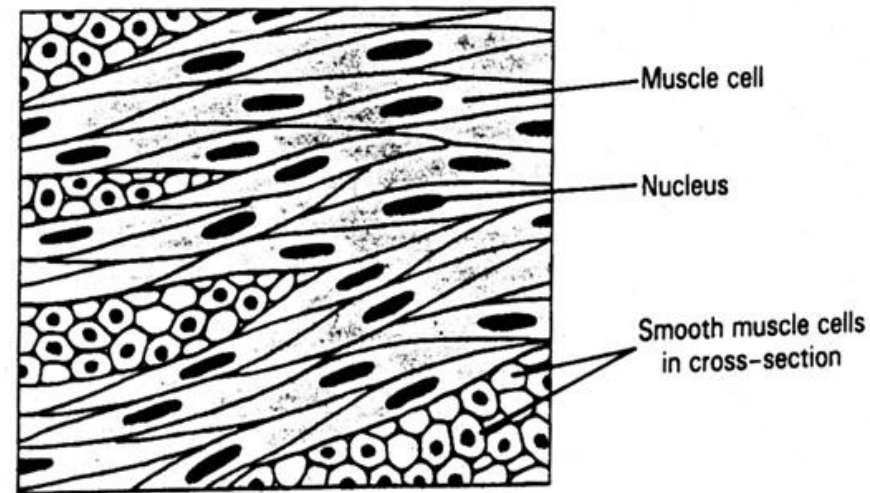
This histological image shows a cross-section of cardiac tissue. The left side is dominated by a dense population of working cardiomyocytes, which are characterized by their elongated, striated appearance and centrally located nuclei. The right side shows a cluster of pacemaker cardiomyocytes, which are smaller, more rounded, and have a more granular cytoplasm with centrally located nuclei. The overall staining is pink and purple, typical of H&E staining.

**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

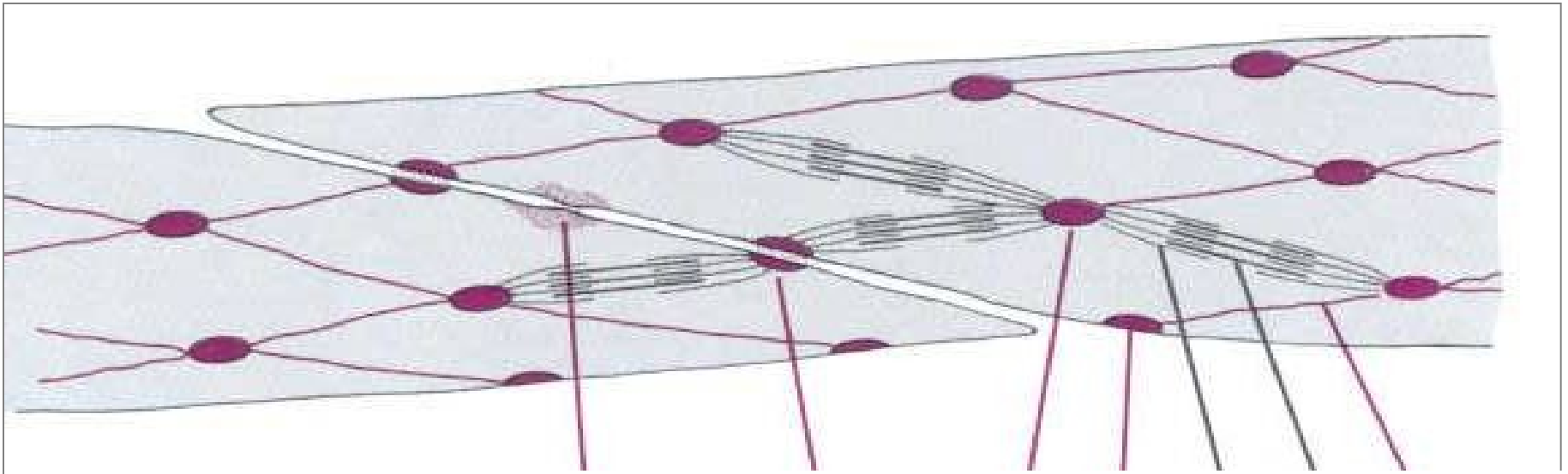
Hladká svalová tkáň



- Schopnost hypertrofie (gravidní uterus – až 10x)
- Jádro (1) – 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

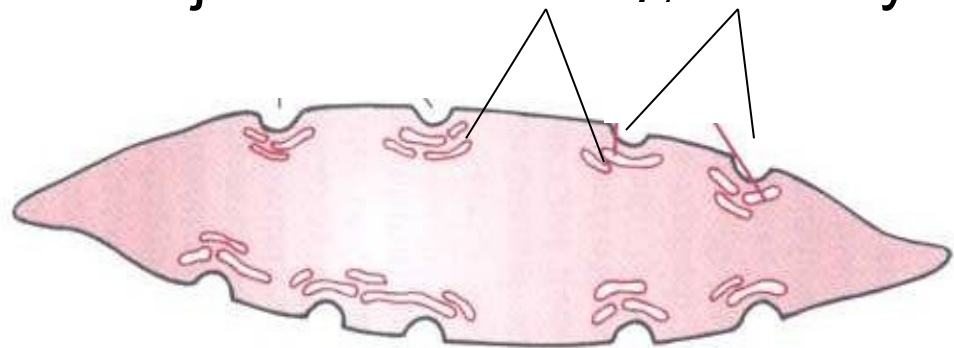
- sarkoplazmatické retikulum: pouze izolované váčky, chybějí terminální cisterny i T-tubuly
- kaveoly (mělké jamky \approx T-tubuly)
- aktinová a myosionová **myofilamenta** uspořádána do složité prostorové sítě, chybí periodické střídání obou typů filament (= nejsou vytvořeny myofibrily)



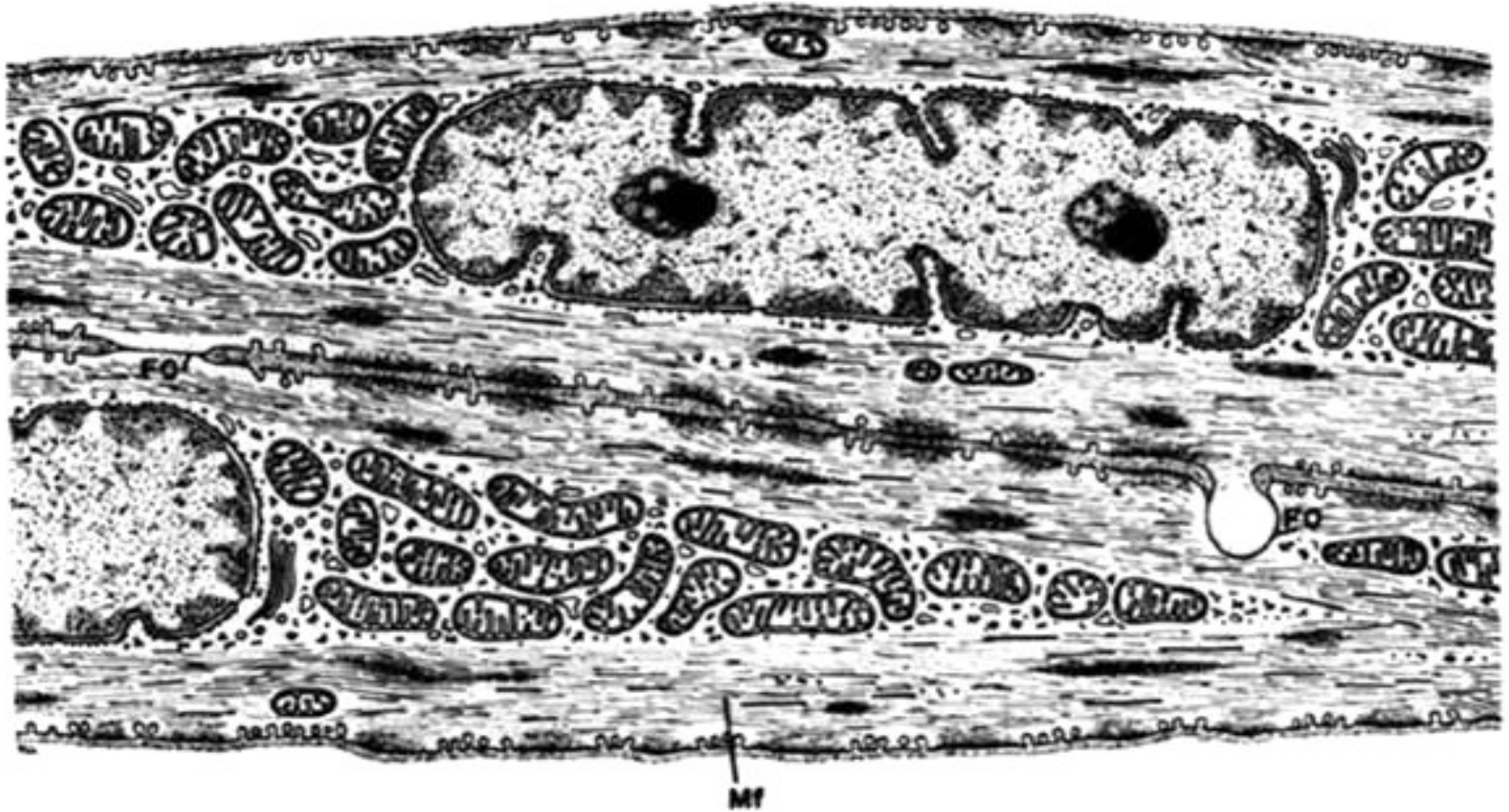
Aktinová myofilamenta – fokálně adherují k sarkolemě nebo do **denzních tělísek** (\approx Z-linie) v sarkoplazmě.

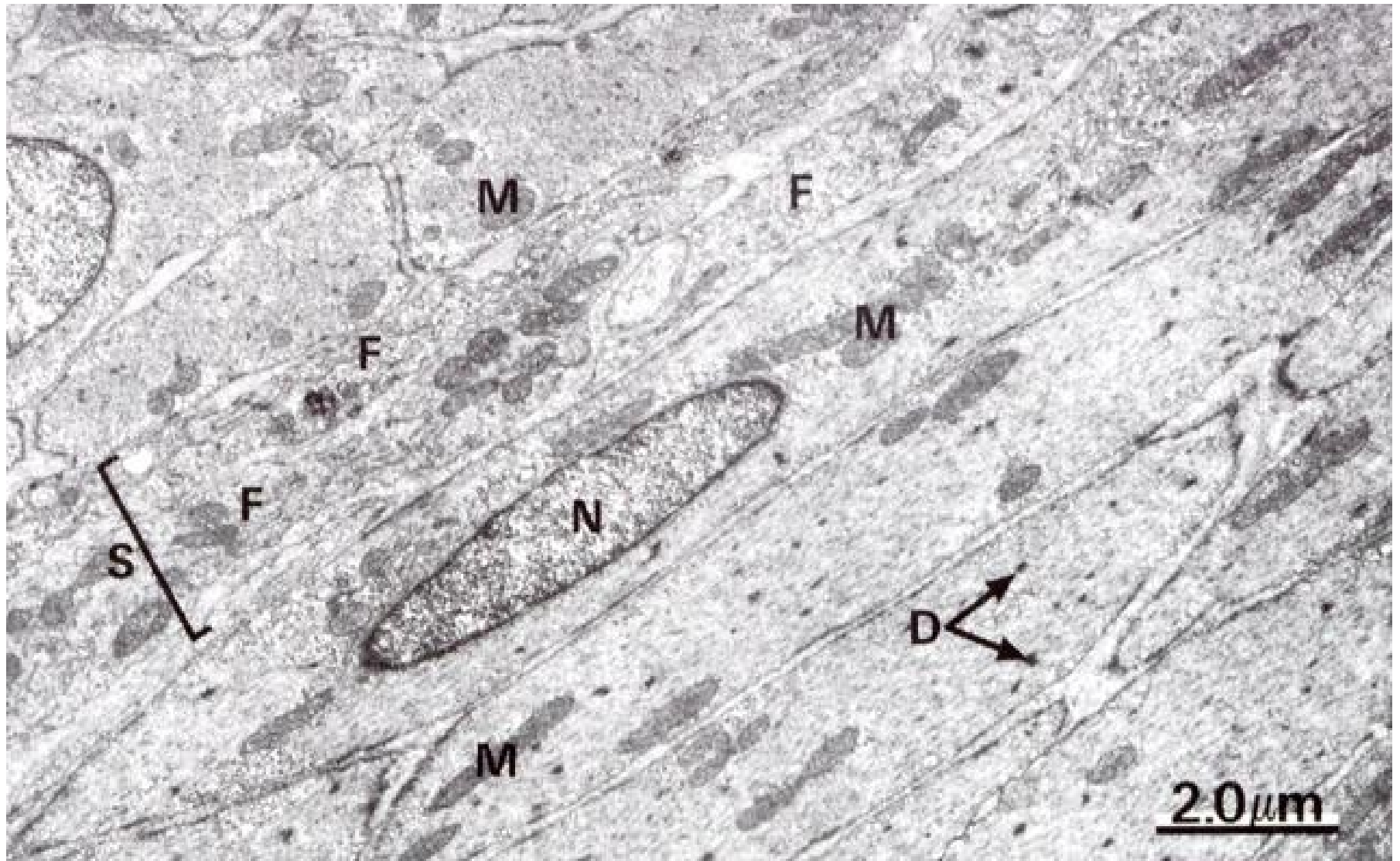
Kalmodulin (\approx troponin) – váže Ca („zvenčí“, z vnitř. zásob)

Sarkoplazmatické retikulum – jen krátké tubuly; kaveoly

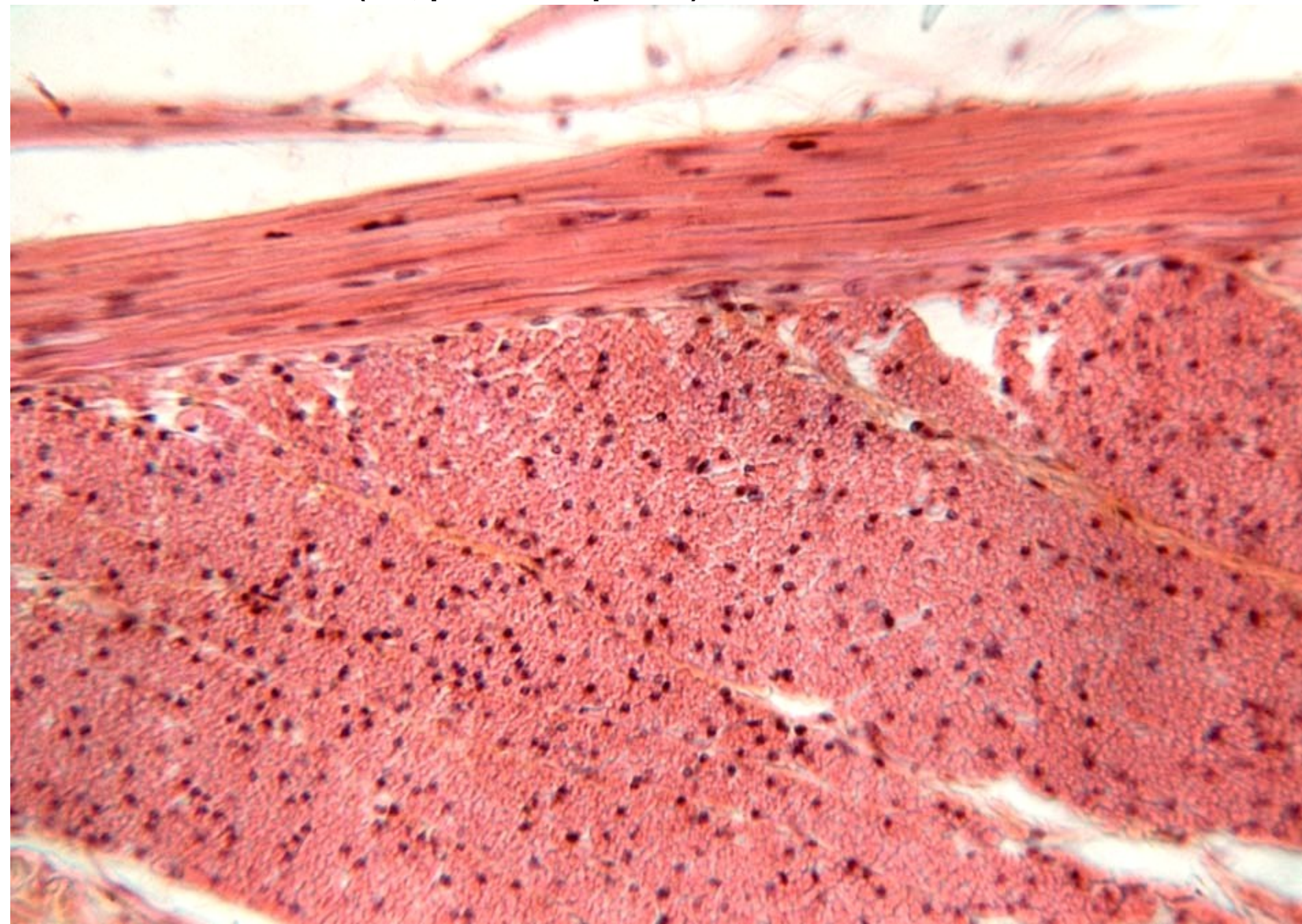


Leiomyocyty (2)

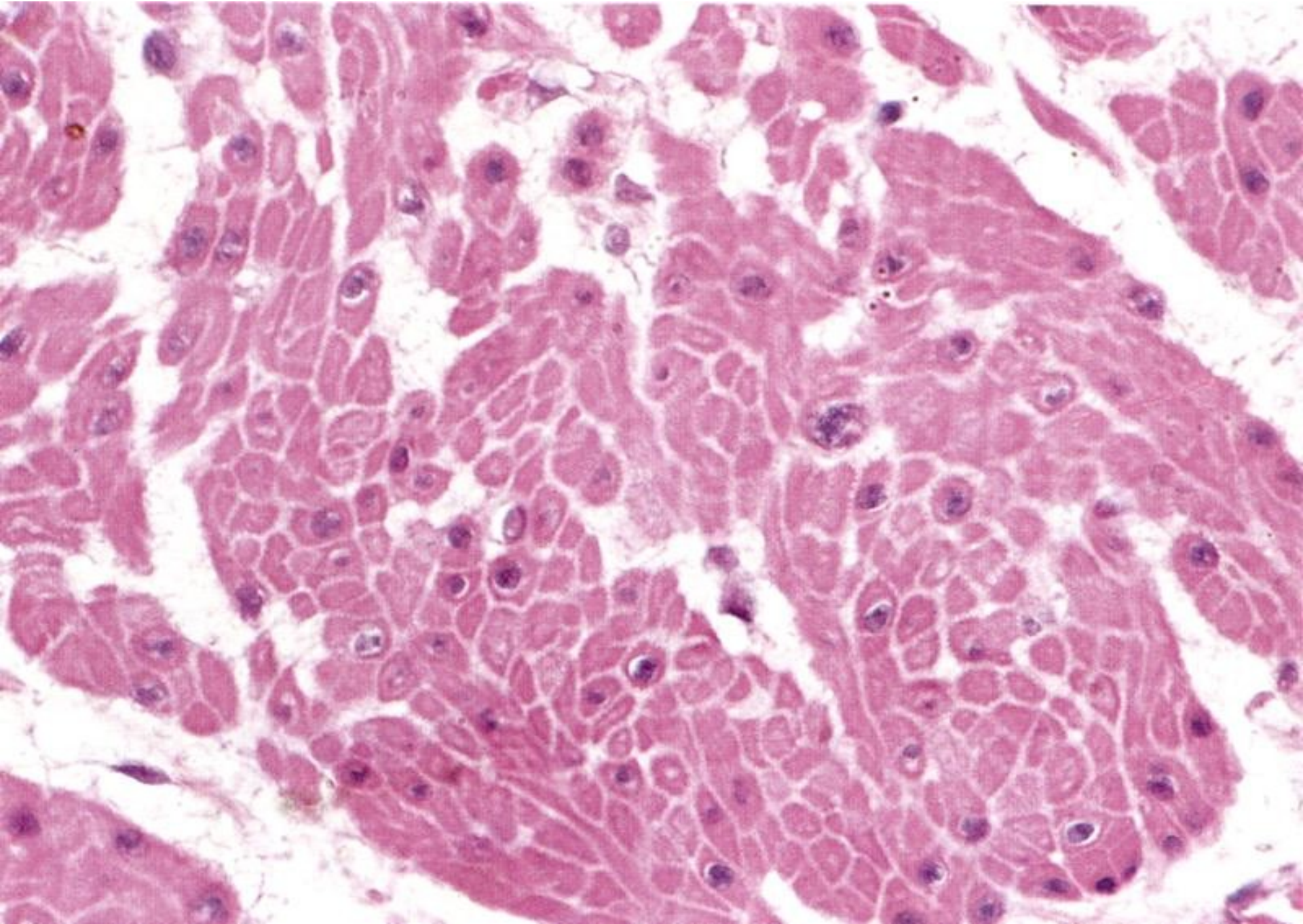




Hladká svalová tkáň (HE, podélně a příčně)

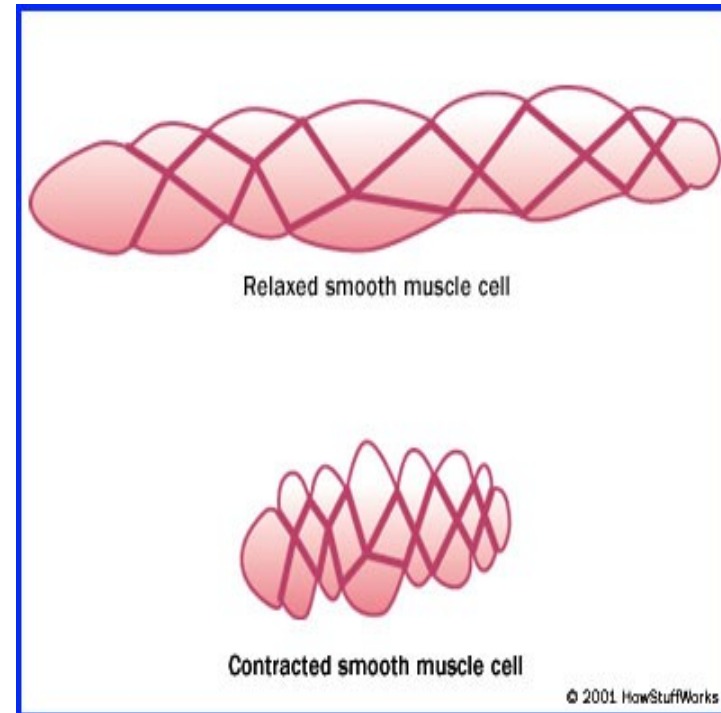


Hladká svalová tkáň (HE, příčně)



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

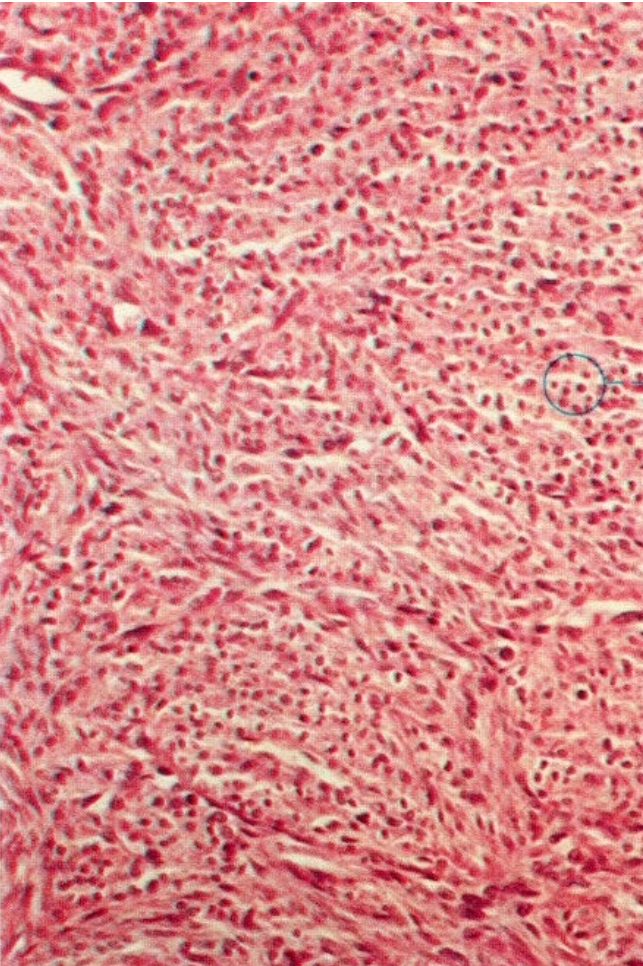
znak	Kosterní tkáň svalová	Srdeční tkáň svalová	Hladká tkáň svalová
Původ	mezoderm (myotomy)	mezoderm (kardiogenní ploténka)	mezenchym
Stavební jednotka	rhabdomyocyt (svalové vlákno)	kardiomyocyt	leiomyocyt
Velikost	tl. 100 μ m d. mm až cm	tl. 10-15 μ m d. 85-100 μ m	tl. 3-10 μ m d. 20-500 μ m
Počet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

Regenerace svalové tkáně

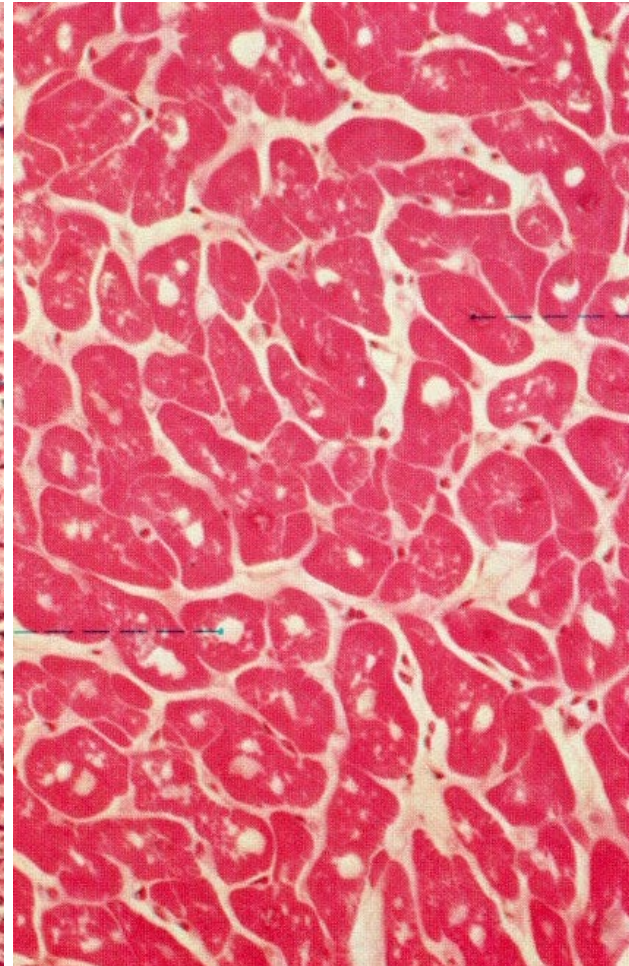
- vysoce diferencovaná tkáň (zejména příčně pruhovaná)
- nízká schopnost regenerace
- srdeční sval se hojí jizvou
- kosterní sval se hojí jizvou + lehce regeneruje ze satelitových bb. (regenerace, růst)
- hladké svalové bb. se dělí a snadno regenerují

svalová tkáň – příčný řez

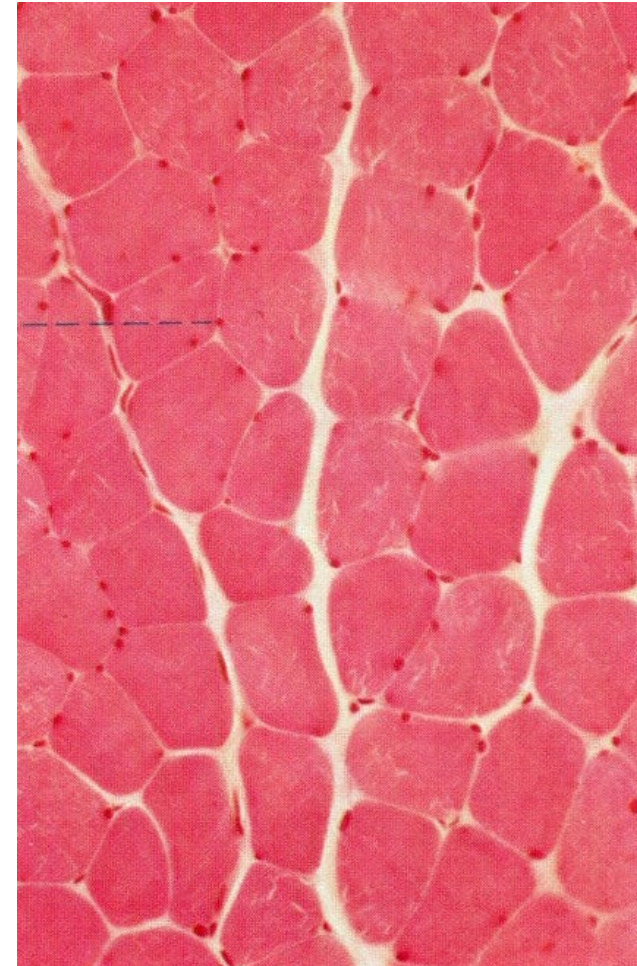
hladká

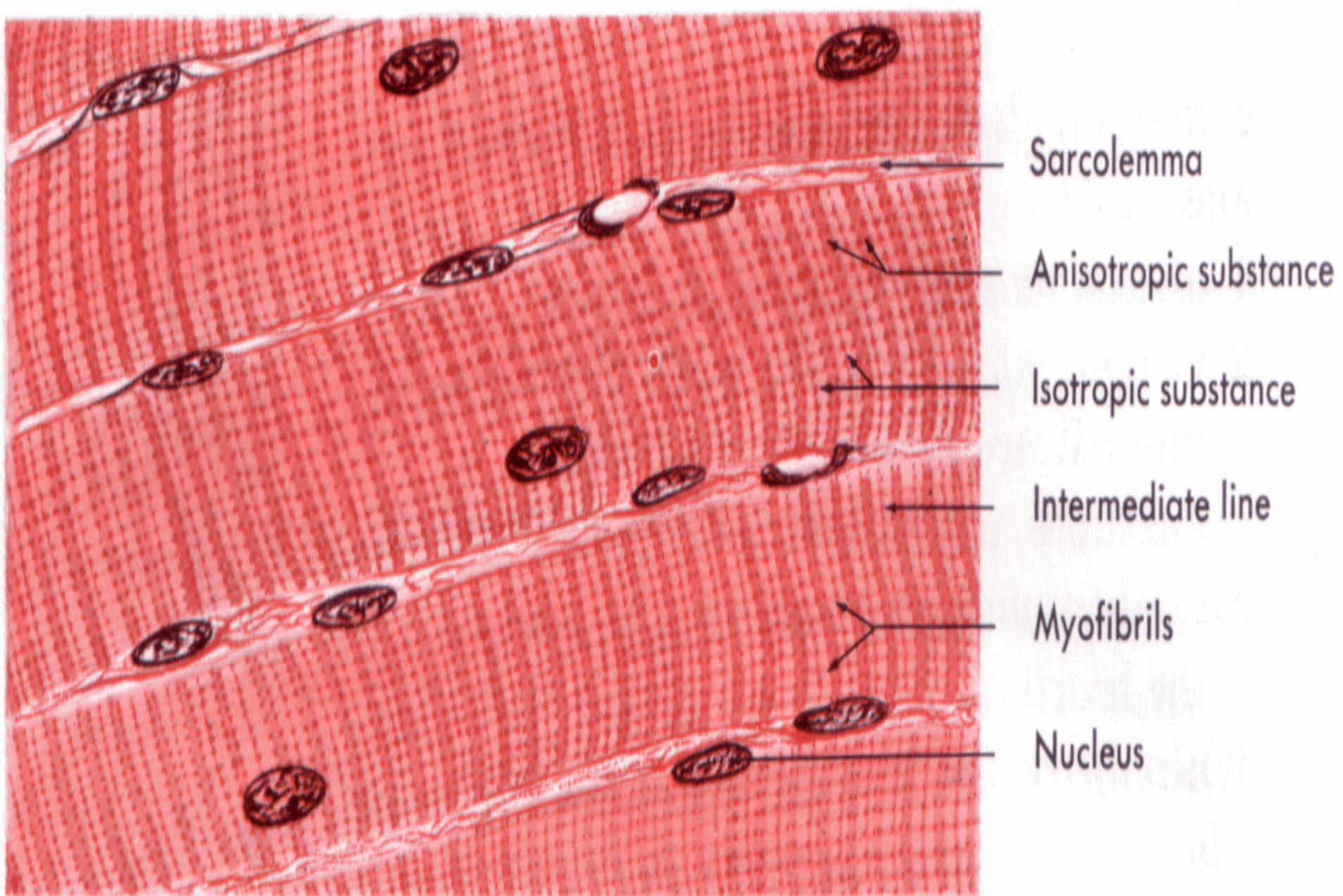


srdeční

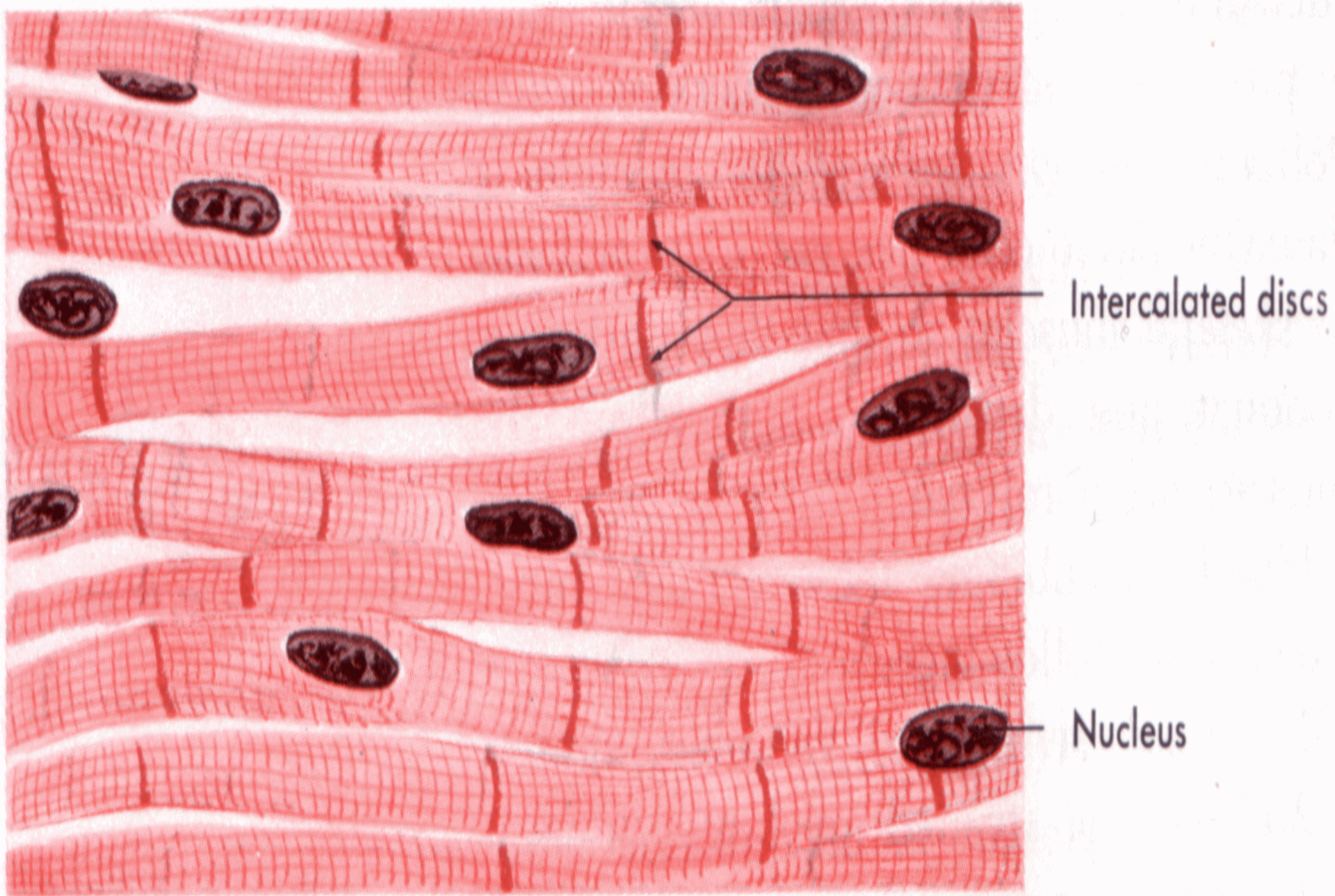


kosterní

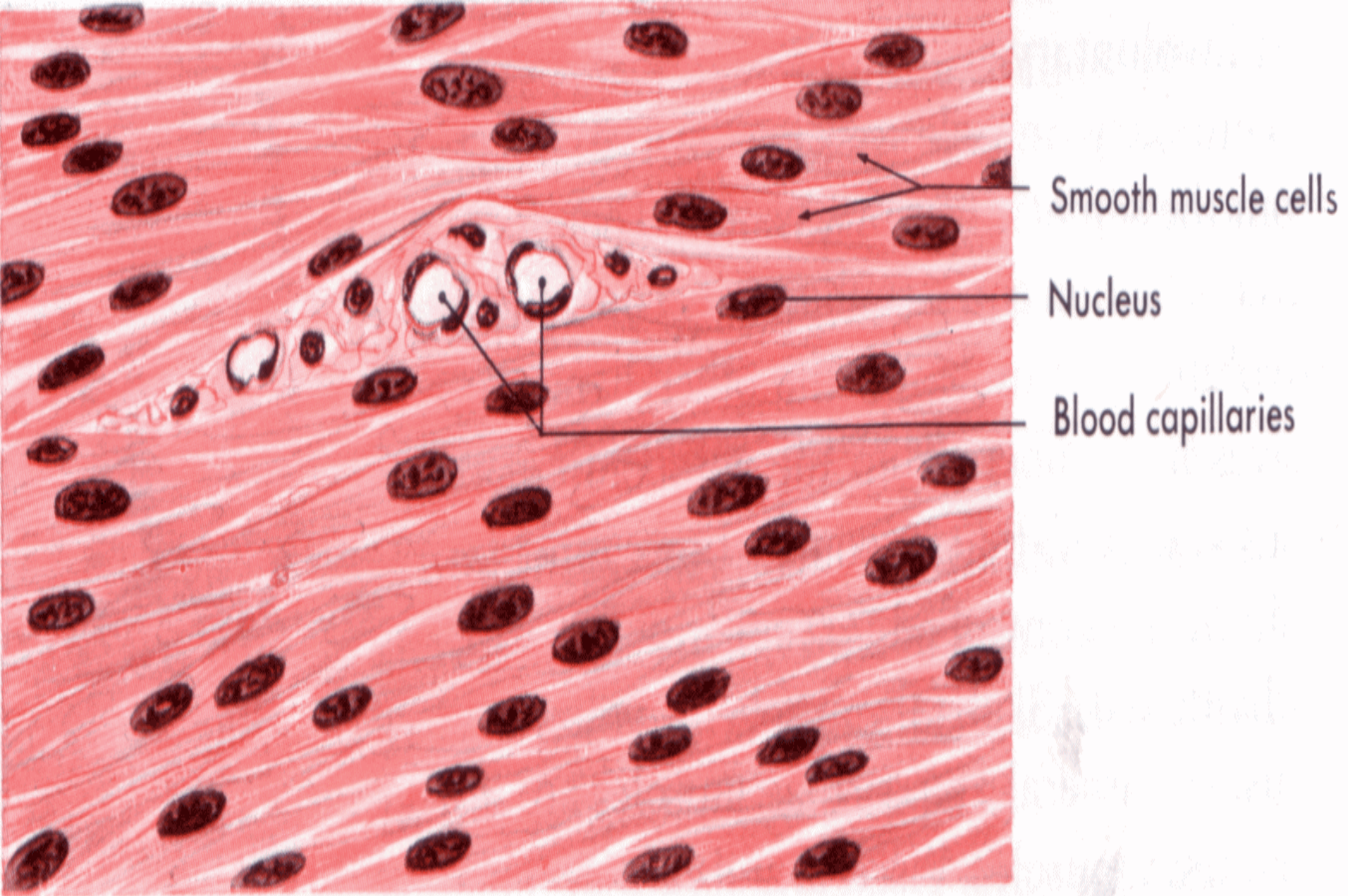




Skeletal or striated voluntary muscle tissue.

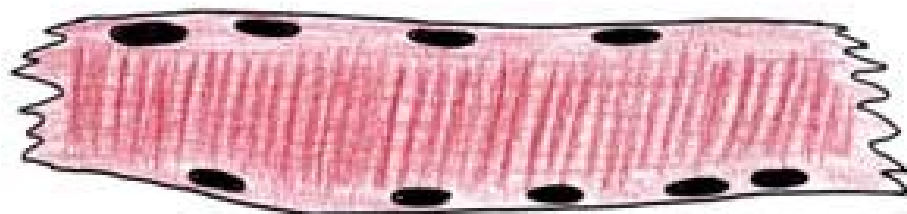


Cardiac or striated involuntary muscle tissue.

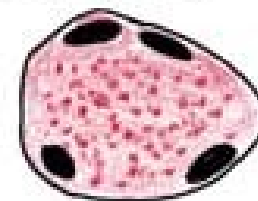


Visceral or nonstriated (smooth) involuntary muscle tissue.

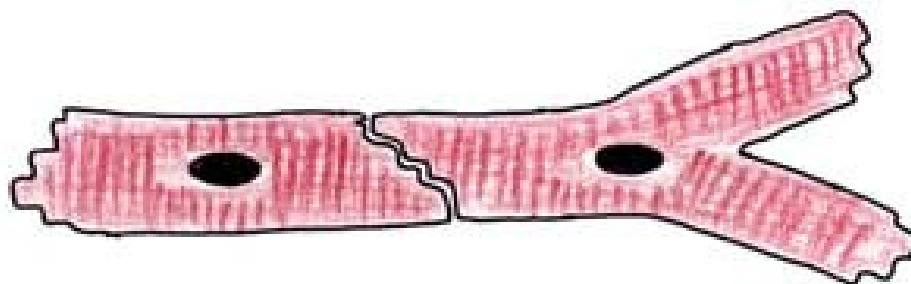
Podélný řez



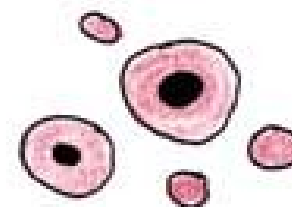
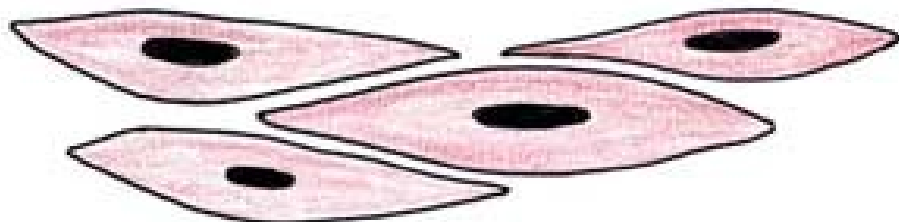
Příčný řez



A



B



C

Děkuji za pozornost



Efferent

Afferent

Flower spray ending

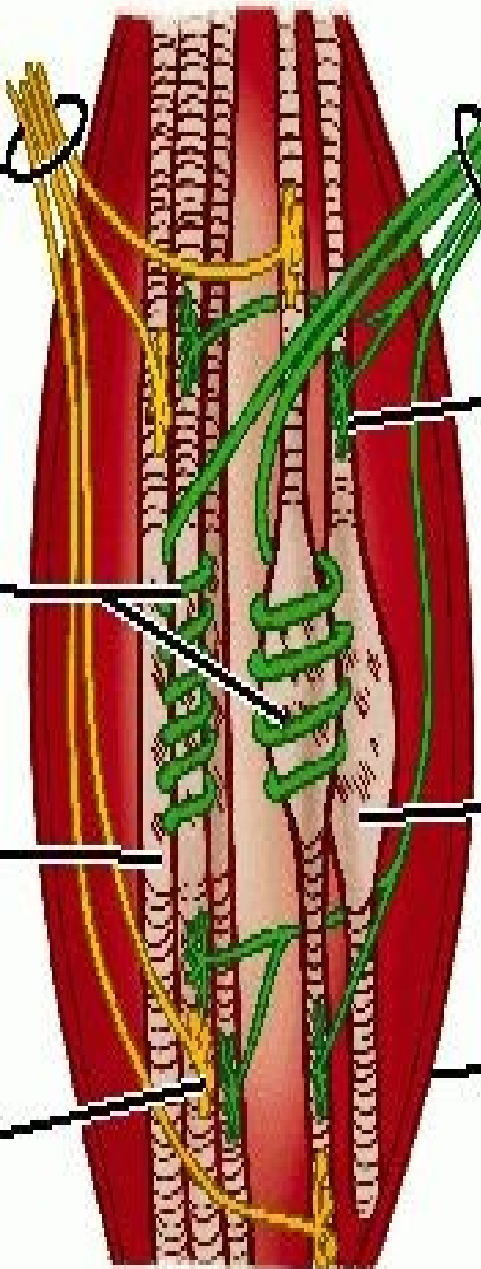
Annulospiral endings

Nuclear bag fiber

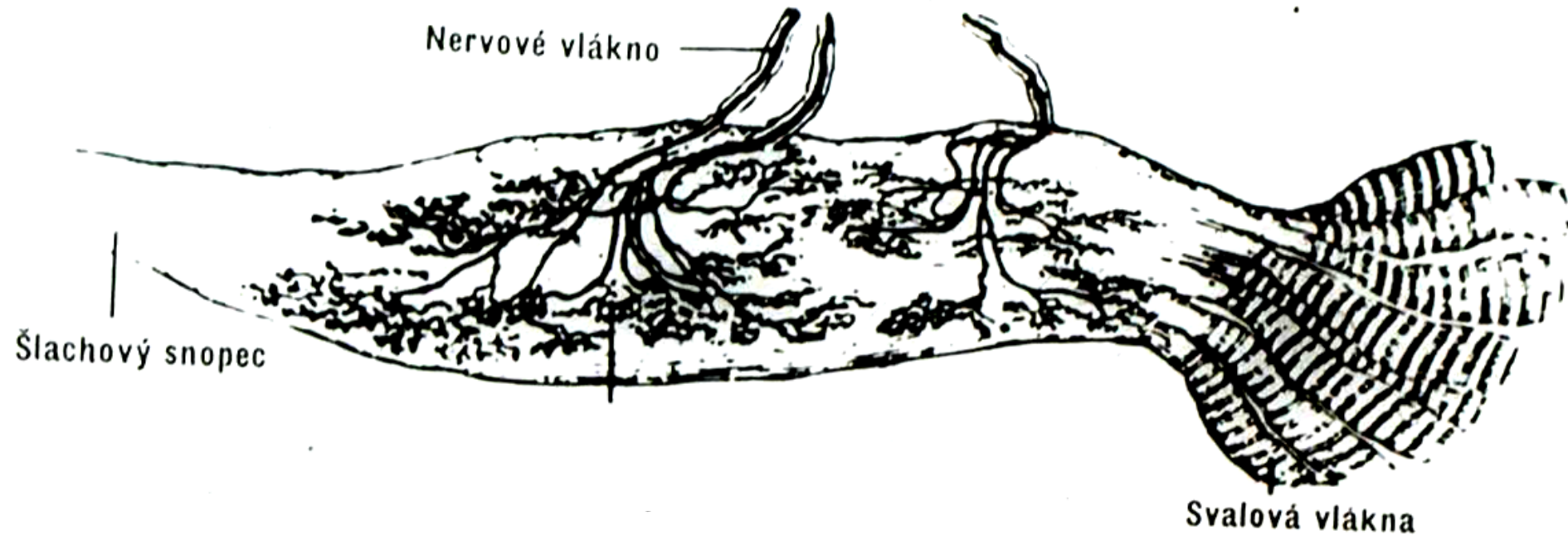
Nuclear chain fiber

Capsule

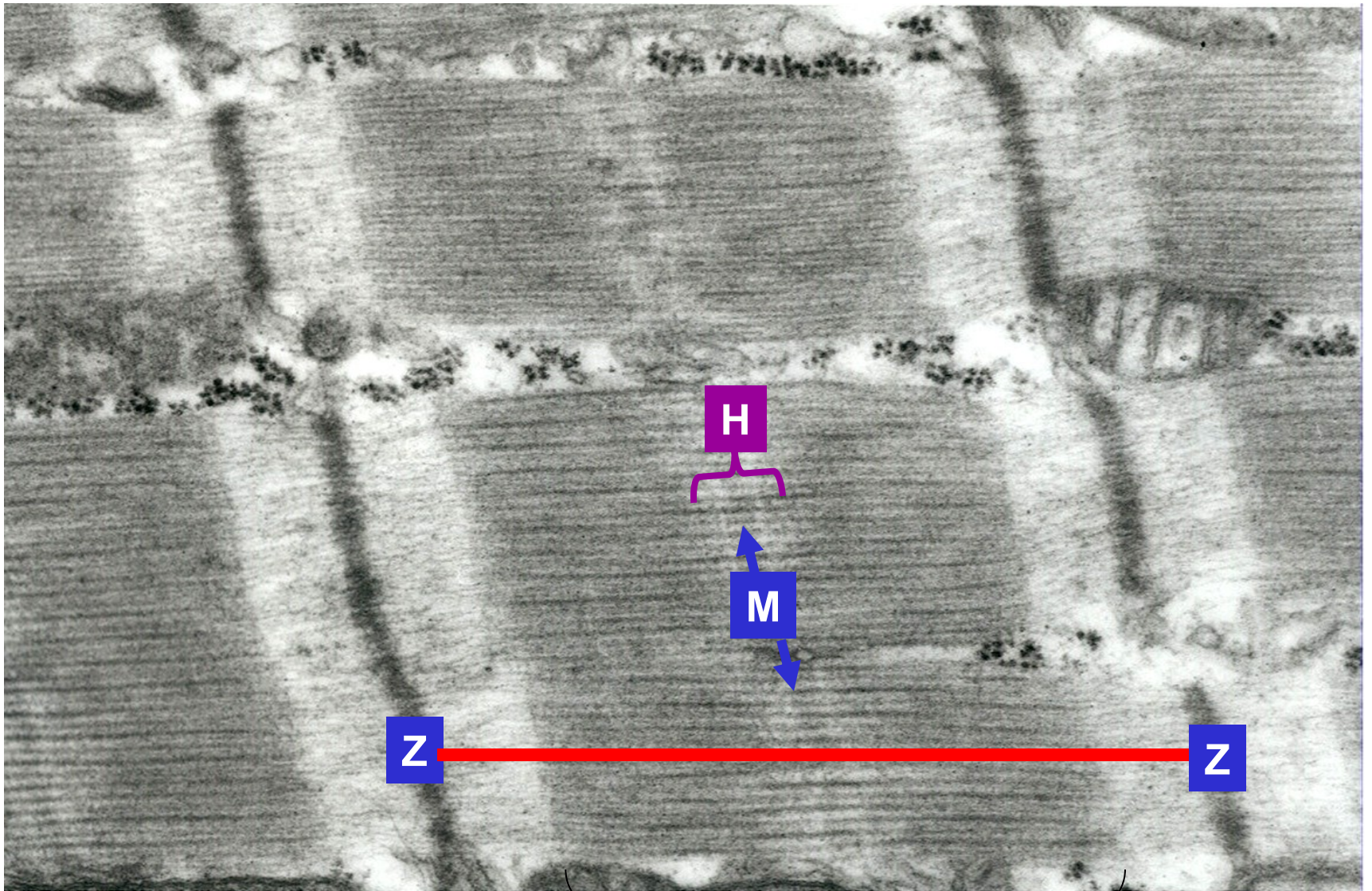
Motor end plate



Golgiho šlachové vřeténko



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



I-proužek

A-proužek

SARKOMERA

