



# Tkáně III ( svalová tkáň)

MUDr. Kateřina Kapounková, Ph.D.

# Svalová tkáň

## Vývoj z mezodermu

### Základní charakteristika:

- Vzrušivost a schopnost stahu a uvolnění ( kontrakce a relaxace) – pohyb a svalové napětí (tonus)
- Aktinová a myozinová myofilamenta ( schopné přeměňovat energii ATP na mechanickou)- vyplňují cytoplazmu

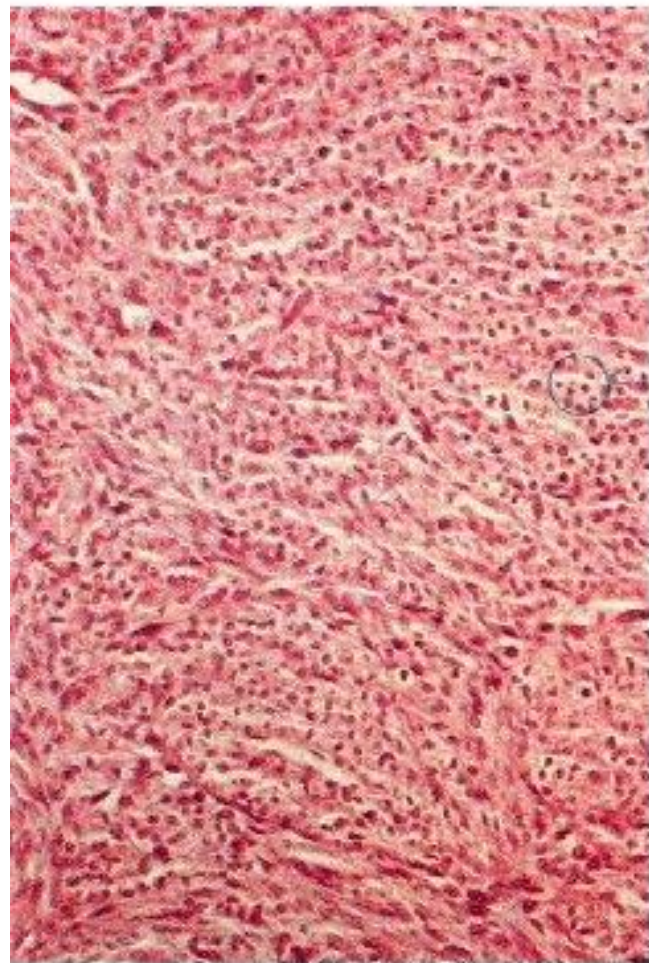
### Dělení svalové tkáně:

- příčně pruhovaná ( kosterní a srdeční)
- hladká

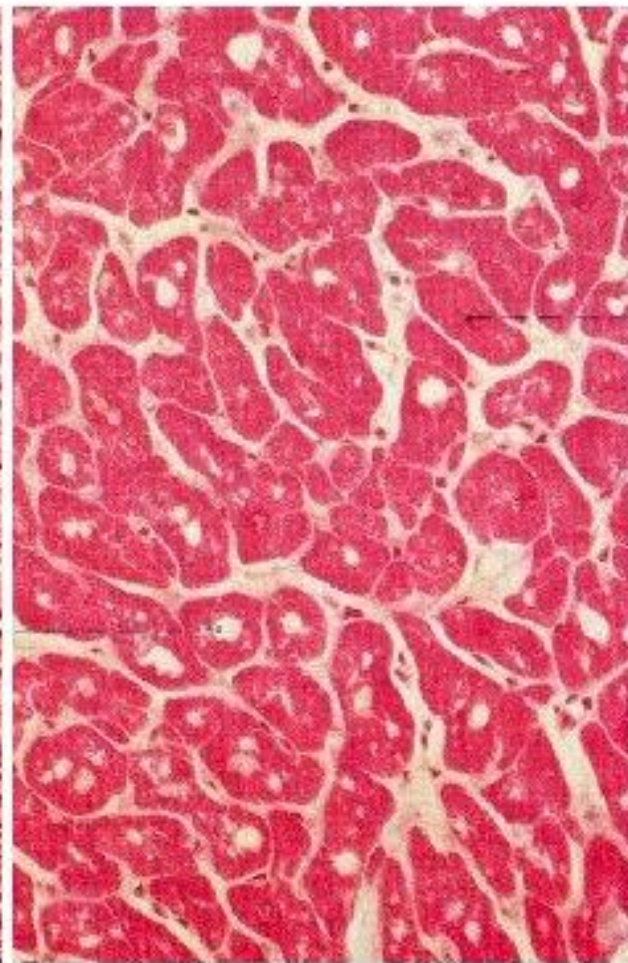


# svalová tkáň – příčný řez

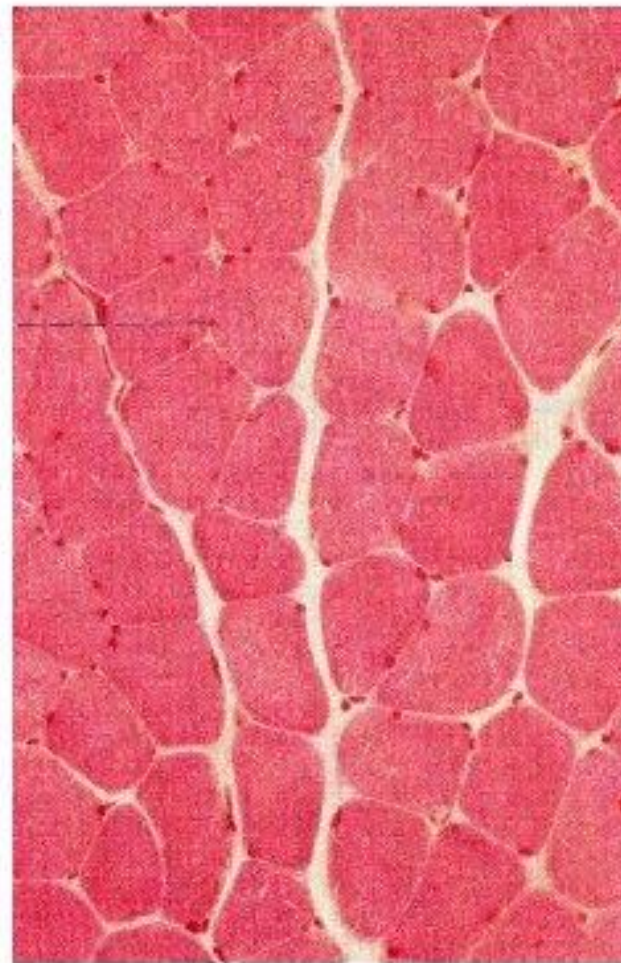
hladká



srdeční



kosterní

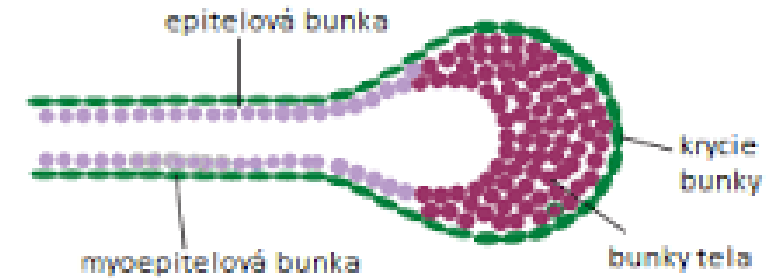




# Další buňky s vyvinutým systémem kontraktlních myofilament

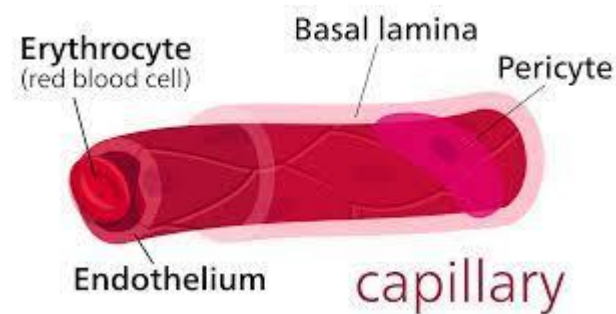
## Myoepitelové buňky

- Kontrakcemi napomáhají vylučovat sekret exokrinních žláz
- Kolem sekrečních oddílů potních a slinných žláz a vývodů mléčné žlázy



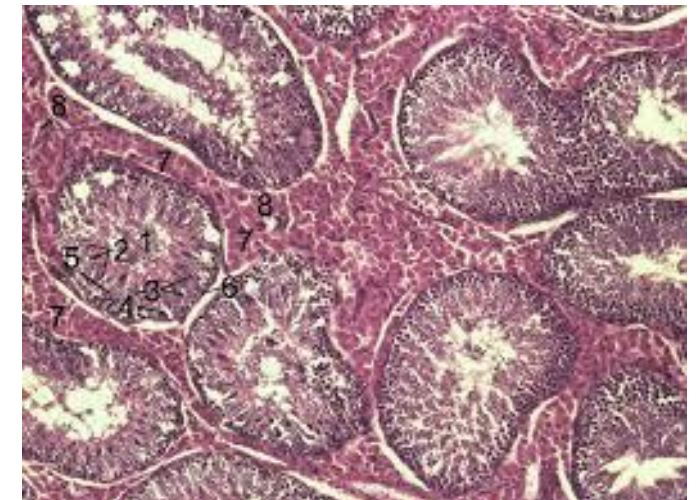
## Pericyty

- Hvězdčovitý tvar, četné výběžky
- Obklopují kapiláry- ovládají průtok krve kapilárami
- V CNS součástí hematoencefalické bariéry
- Podílí se na hojení poškozené cévní stěny



## Myofibroblasty

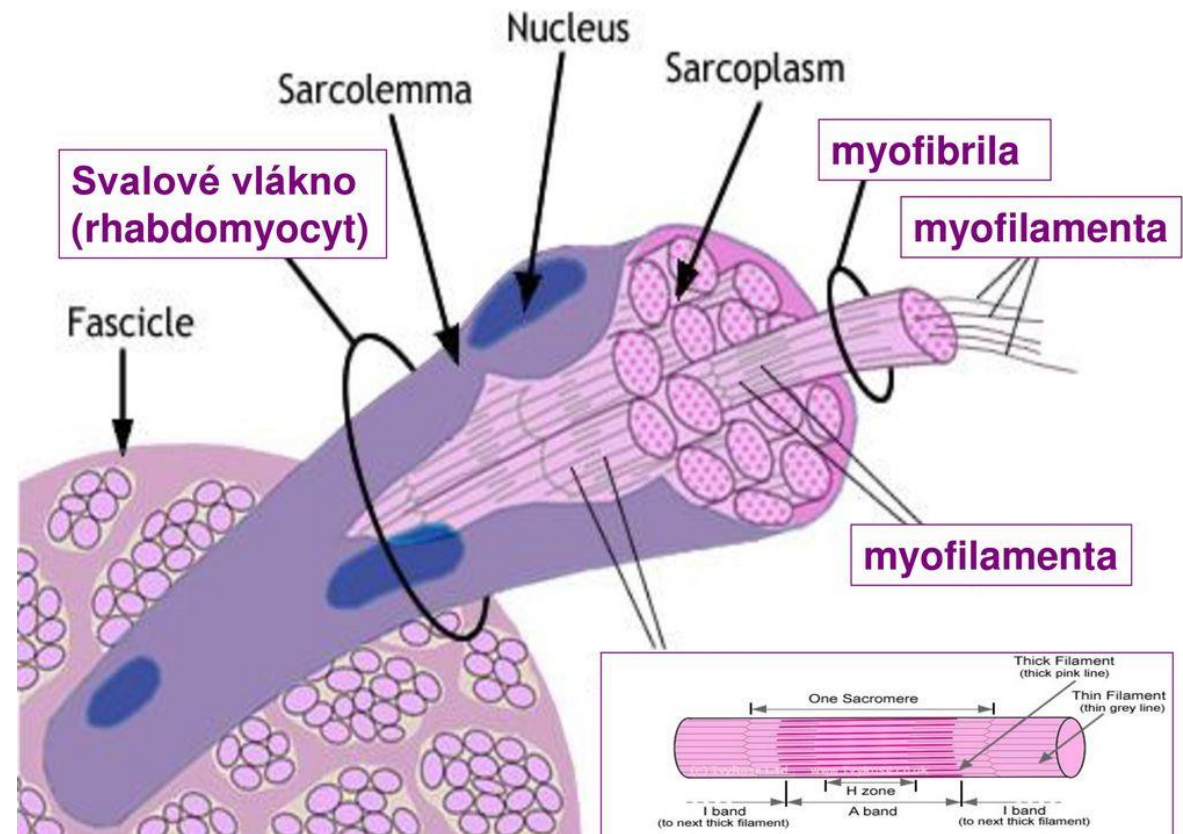
- Vazivové bb, podobné fibroblastům se schopností kontrakce
- Ve fasciích, v perimyziu svalů ( vazivový obal snopců)
- Podílí se na kontrakci jizvy při hojení



# Kosterní svalovina

- Vývojově pochází z myoblastů ( splýváním – svalové vlákno) – dlouhý útvar ( syncytium) s několika set jádry
- 40% hmotnosti lidského těla
- Samostatně nebo ve skupinách, na povrchu kryté fascií (obal z kolagenního vaziva), vlákno dlouhé 1 mm až několik cm
- Každý sval tvořen svalovými snopci ( obsahují svalová vlákna)
- Tvarem svalové vlákno připomíná válec, myofilamenta vyplňují cytoplazmu v syncytiu a vytváří větší celky – **sarkomery**
- Spojováním sarkomer vznikají myofibrily
- Vazivový obal snopců = **perimyzi**um
- Cytoplazma = **sarkoplazma**
- Mitochondrie= **sarkozomy**
- Povrch svalového vlákna – **sarkolema**
- Endoplazmatické retikulum= **sarkoplazmatické retikulum**  
( Ca ionty)
- Kontrakce ovladatelná vůlí ( většinou)
- Inervace míšními a hlavovými nervy ( somatomotorická vlákna)

Mimické svaly – jediné kosterní svaly bez fascie ( výjimka m. buccinator)

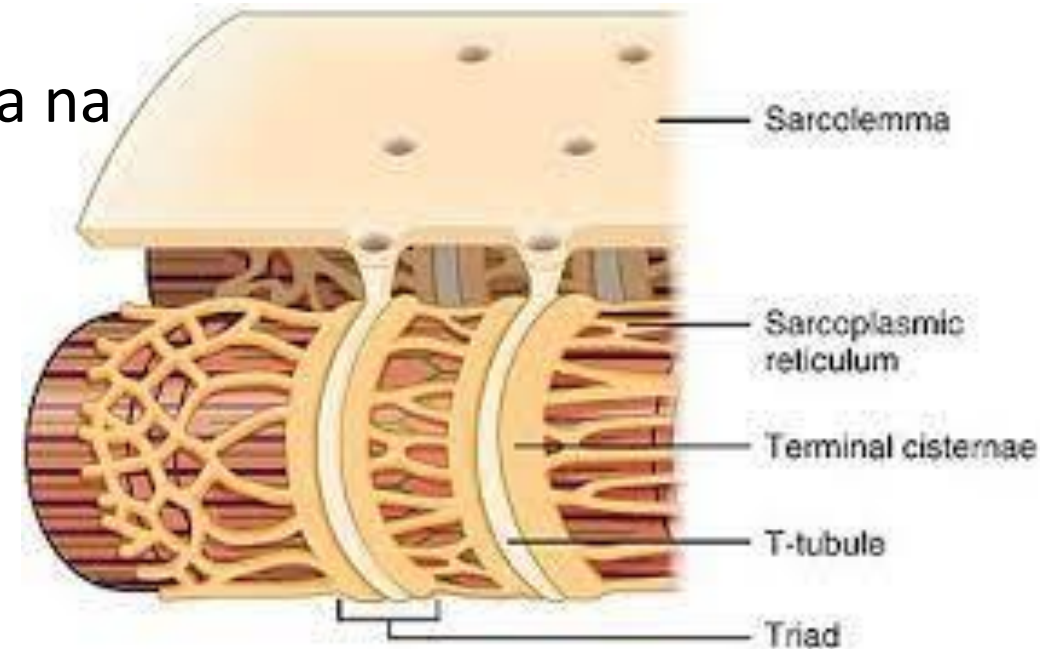


# Svalové vlákno - myofibra

- Vyplněné myofibrilami, utlačují jádra k obvodu syncytia
- Podél myofibril jsou mitochondrie
- Na povrchu sarkolema – vchlípeniny – systém **T- tubulů**

## T-tubulus

- Systém navzájem propojených kanálků
- Zajišťují převod vzruchu z povrchu svalového vlákna na myofibrily
- Synchronizace kontrakcí
- V kolmé rovině na dlouhou osu svalového vlákna
- Triáda- dvě terminální cisterny + T- tubulus

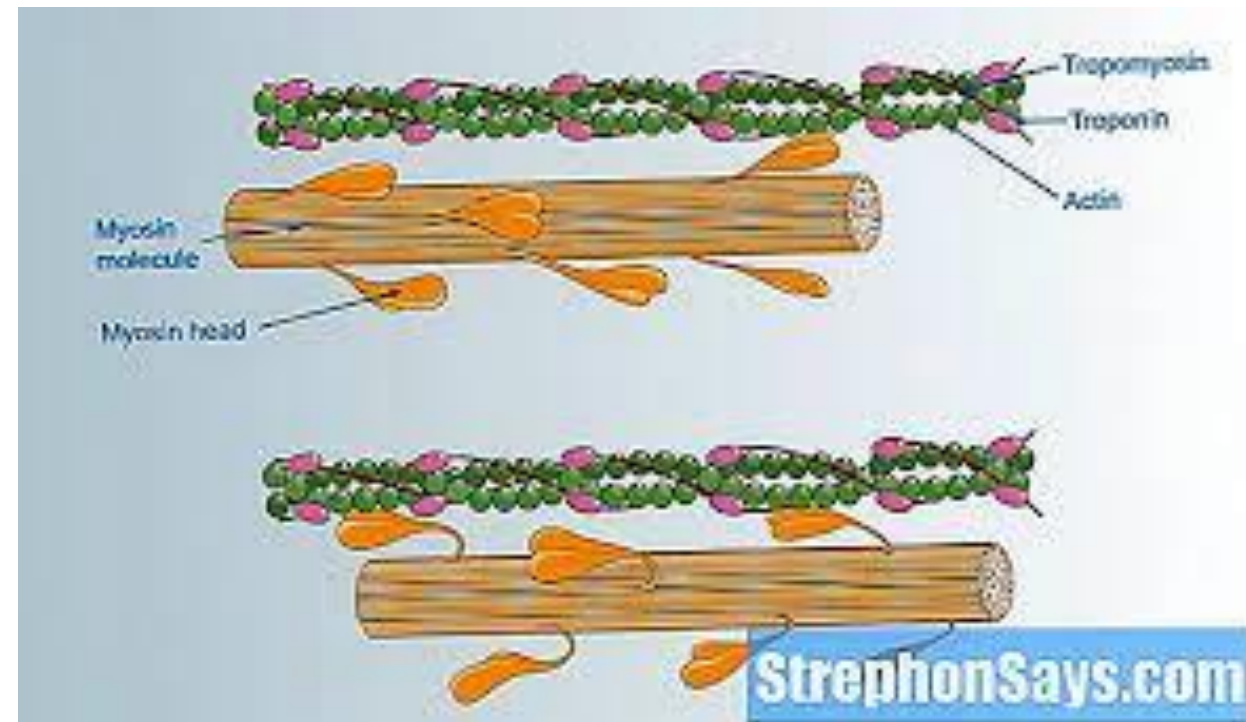


# sarkomera

- Útvar obsahující svalová filamenta
- Stavební podjednotka myofibril (řazení podmiňuje vznik příčného pruhování svalového vlákna)

## Základní stavební jednotky sarkomery

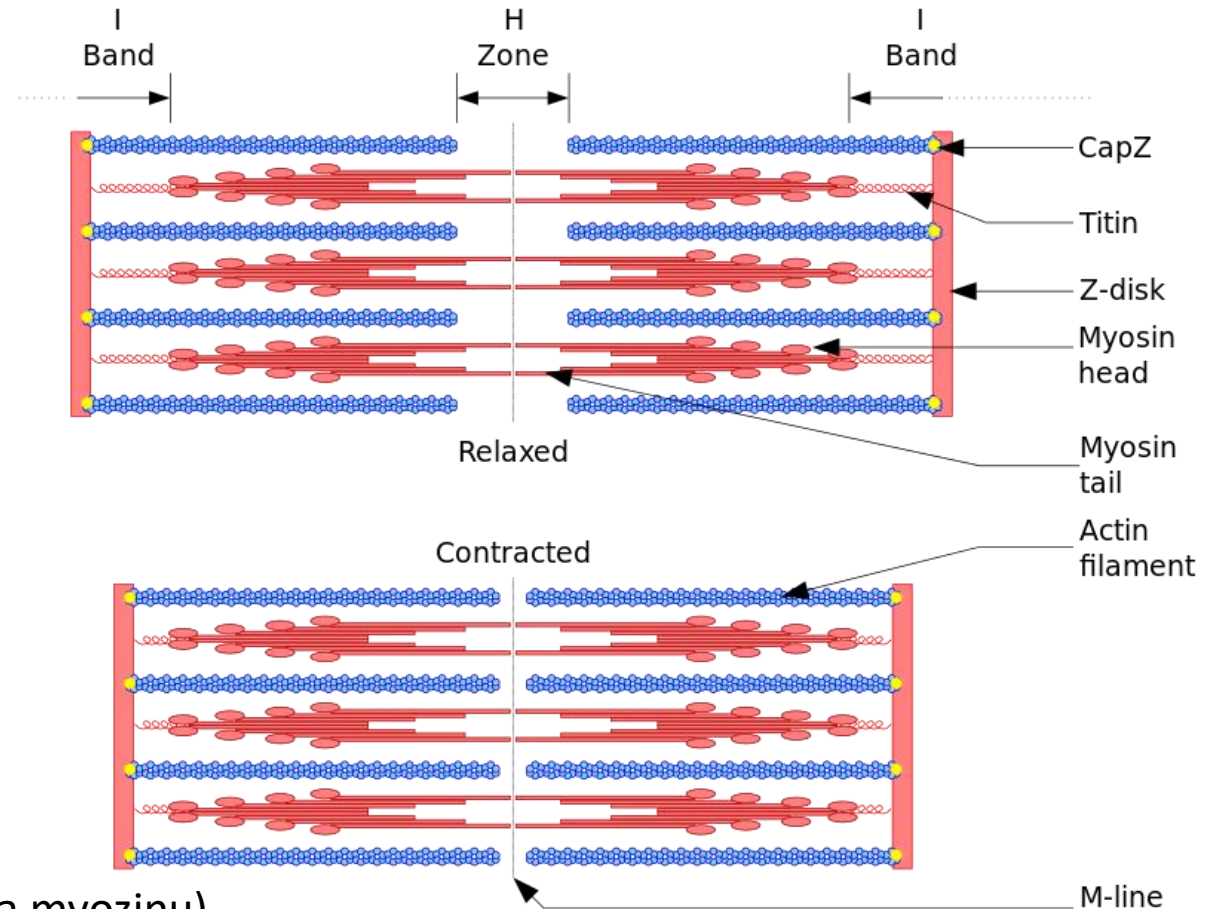
- Aktinové vlákno
- Myozinové vlákno





# Linie a proužky – v elektronovém mikroskopu viditelné struktury

- **Z- linie** : - 2 Z-linie ohraničují jednu sarkomeru
  - zubatý průběh, ukotvení myozinu prostřednictvím titinu, aktin pomocí alfa-aktininu
- **M- linie**:- tmavší linie přesně uprostřed sarkomery
  - enzym kreatinkináza
- **I- proužek**: aktinová myofilamenta ( světlejší proužek)
- **A-proužek**: myozinová filamenta
- **H-proužek**: - vnitřní, světlejší oblast A proužku
  - místo kde myozin nepřekrývá
  - okolo H proužku tmavší oblast ) překrývání aktinu a myozinu)
  - při kontrakci se H-proužek zužuje a následně vymizí



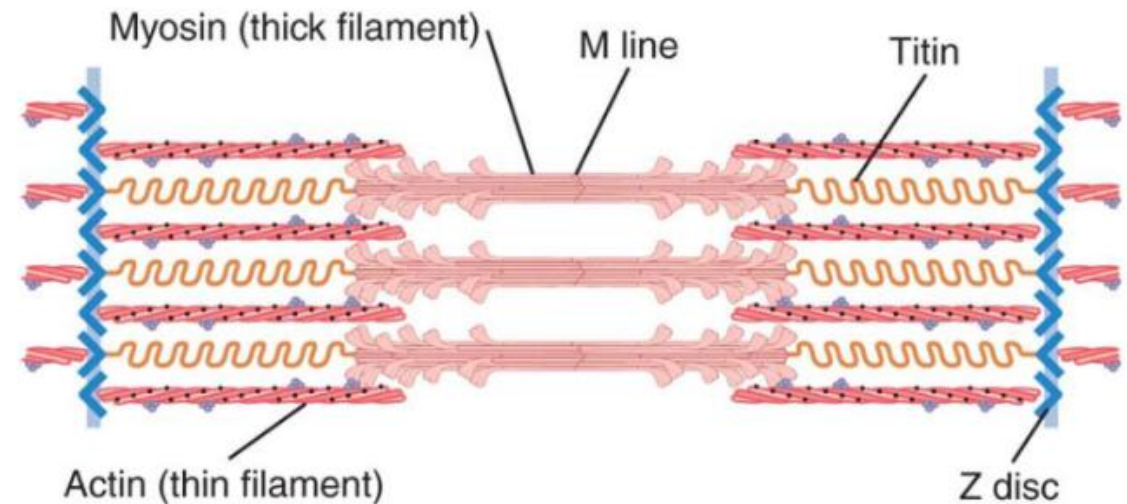


# Proteiny sarkomery

## Titin/konektin

- Velká bílkovina, od Z linie až k M- linii
- Drží sarkomeru pohromadě
- Elastické vlastnosti (podílí se na klidovém napětí svalů)
- Po skončení kontrakce vrací sarkomeru do původní délky
- Tvoří příčné můstky s myozinem a tím zabezpečuje jeho ukotvení v Z-linii

## The Sarcomere



Hall: Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology, 12th Edition  
Copyright © 2011 by Saunders, an imprint of Elsevier, Inc. All rights reserved.

## Nebulin

- Dlouhý protein
- Opřádá aktinová filamenta v celé jejich délce
- Napomáhá aktinu s připojením do Z-linie ( spolu s alfa-aktininen

## Alfa-aktinin

- Zajišťuje připojení aktinu do Z-linie

## Myomezin

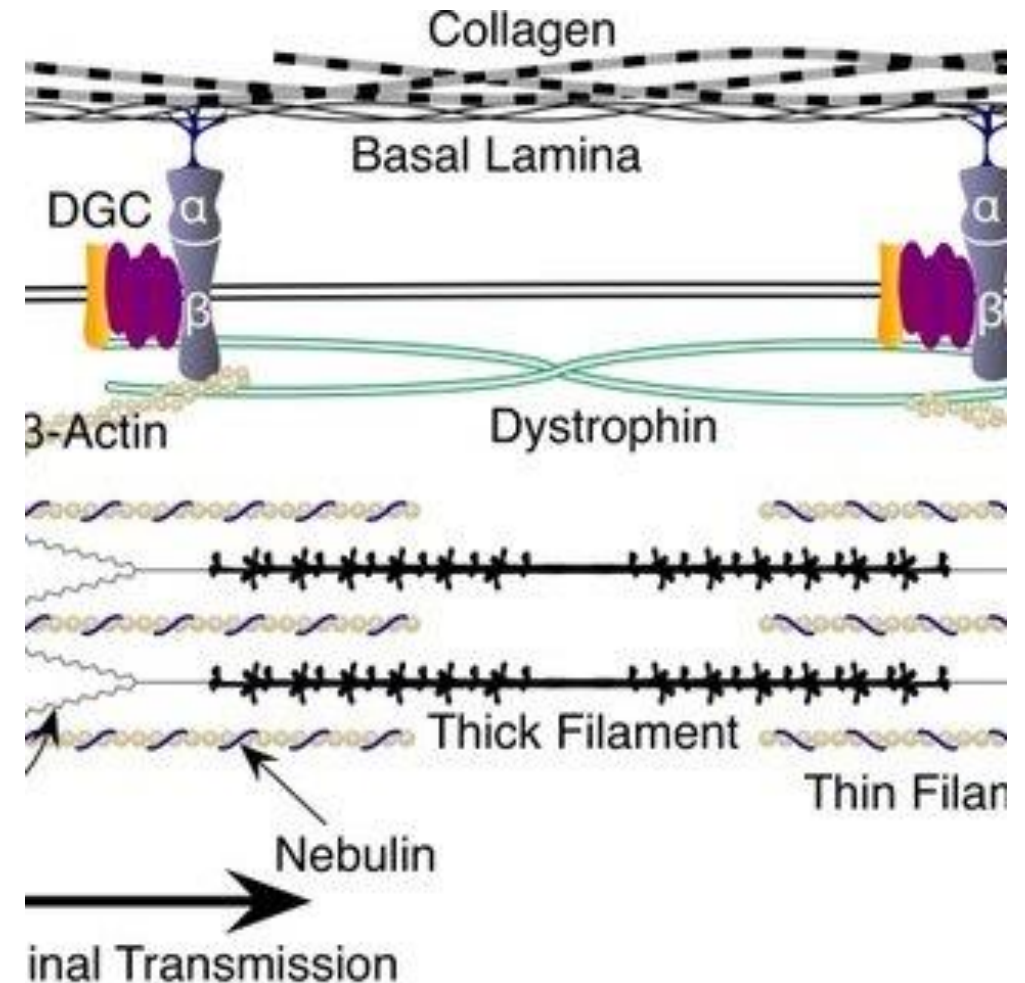
- Propojuj jednotlivá myozinová vlákna mezi sebou v M-linii

## Dezmin

- Hlavní intermediální myofilamentum
- Propojuje souběžně vedle sebe uložené myofibrily v oblasti Z-linie

## Dystrofin

Zajišťuje spojení aktinových myofilament na laminin



# myofilamenta

- Aktin a myozin = hlavní kontraktální jednotky v sarkoplazmě
- Myofibrily uspořádány vedle sebe (vyplňují celou sarkoplazmu)
- Myofibrily jsou pozorovatelné jen v elektronovém mikroskopu, ve světelném pouze příčné pruhování
- Myofilamenta nejsou viditelná ani v elektronovém mikroskopu

## Tenké/ aktinové myofilamentum

- Světlejší oblast sarkomery ( I-proužek)
- Základní proteiny: aktin, tropomyozin, troponin

## Tropomyozin

- Váže se na troponin

## Troponin

- Složený ze 3 částí, každá má svoji funkci

TnT: dělá vazbu troponinu k tropomyozinu

TnC: váže Ca ionty na začátku kontrakce

TnI: pokud se na Tnc nenačká Ca, překrývá tato část vazebné místo pro myozin na aktinovém vlákně

## Tenké myofilamentum





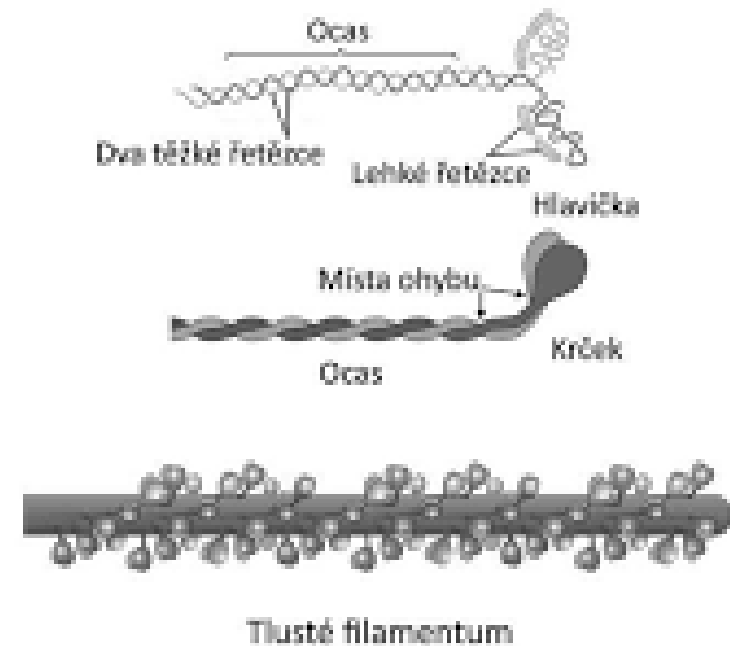
# MYOZINOVÉ (TLUSTÉ) FILAMENTUM

## Tlusté myozinové vlákno

- Ve středu sarkomery (tmavý A-proužek)
- Mezi aktinovými filamenty je nahromaděn velký počet

## Myozin

- Bílkovina s četnými globulárními hlavičkami
- Hlavičky se mohou ohýbat za štěpení ATP
- Hlavičky mají schopnost se navázat na aktin (v klidu překryto podjednotkou troponinu - zamezuje spontánní kontrakci)



Silový trénink může vést k tvorbě trhlinek ( mikrotraumat), poškození aktivuje satelitní kmenové bb, ležící pod bazální laminou. Docestují do místa poškození, rozmnoží se a zacelí poškozené místo + přidají více materiálu - hypertrofie

# Stah - kontrakce

- Vzájemné zasouvání aktinových a myozinových filament mezi sebe
  - Vazebné místo na aktinu kryto troponin-tropomyozinovým komplexem
- Impuls – vyplavení Ca iontů ze sarkoplazmatického retikula do sarkoplazmy



## Mechanismus kontrakce

- Ca ionty se naváží na podjednotku troponinu TnC → změna konfigurace troponin- tropomyozinového komplexu (odhalení vazebného místa pro myozin) → myozinová hlavička se váže na aktin ( energie z ATP) → ohnutí hlavičky myozinu → navázání dalšího ATP a odpojení hlavičky myozinu od aktinu → uvolnění Ca iontů z TnC , ze sarkoplazmy zpět do sarkoplazmatického retikula

# Dělení svalových vláken

**Červená vlákna s vysokým obsahem myoglobinu ( typ I – pomalé oxidativní vlákno**

- Zabarvení – vysoký obsah myoglobinu
- větší počet mitochondrií + kapilární síť
- Menší počet myofibril



ČERVENÁ SVALOVÁ VLÁKNA

**Bílá vlákna s nízkým obsahem myoglobinu ( typ II B – rychlé glykolytické vlákno**

- Větší, vyplněná zcela myofibrilami
- Málo myoglobinu, mitochondrií i málo kapilár

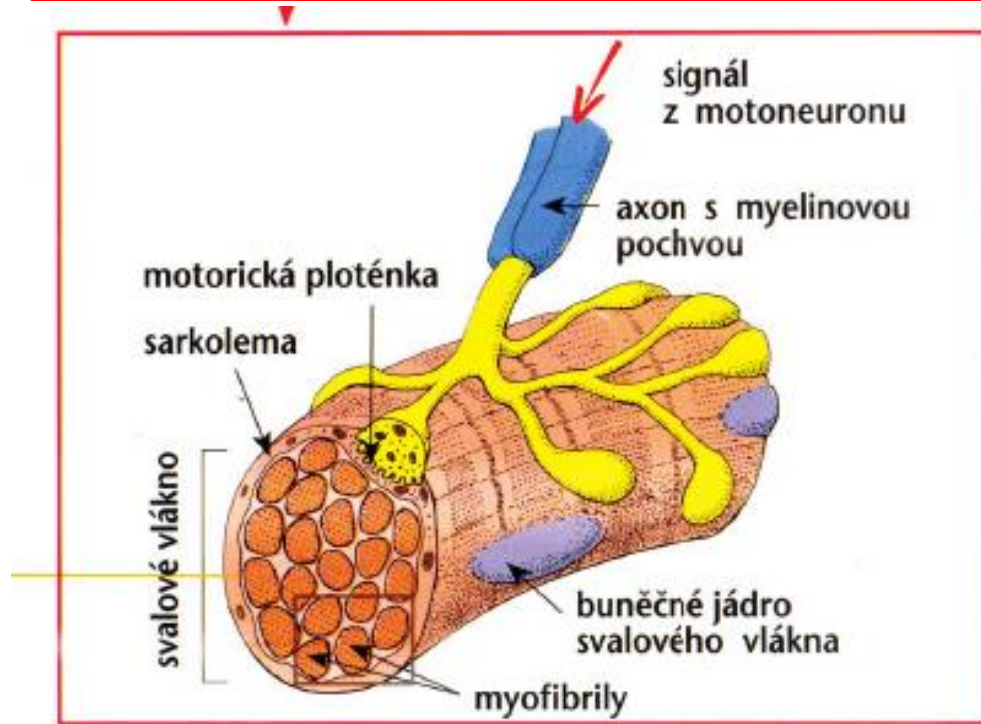


BÍLÁ SVALOVÁ VLÁKNA

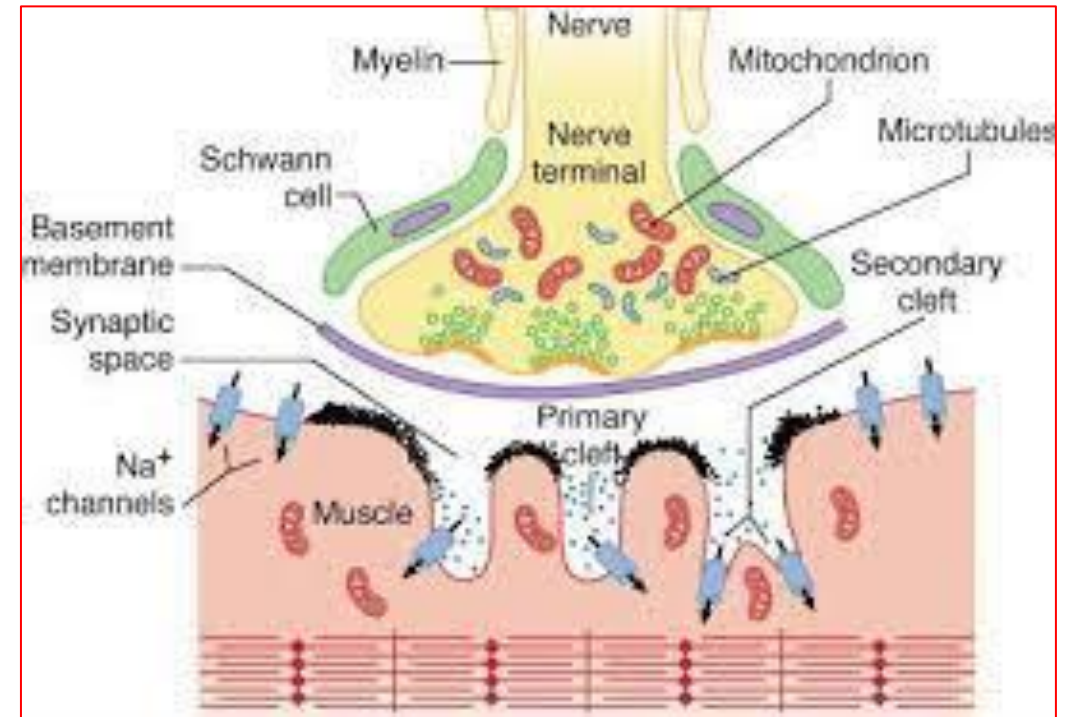
**Červená vlákna s nízkým obsahem myoglobinu ( typ II A – rychlé oxidativněglykolytické vlákno**



# motorická jednotka



# motorická ploténka

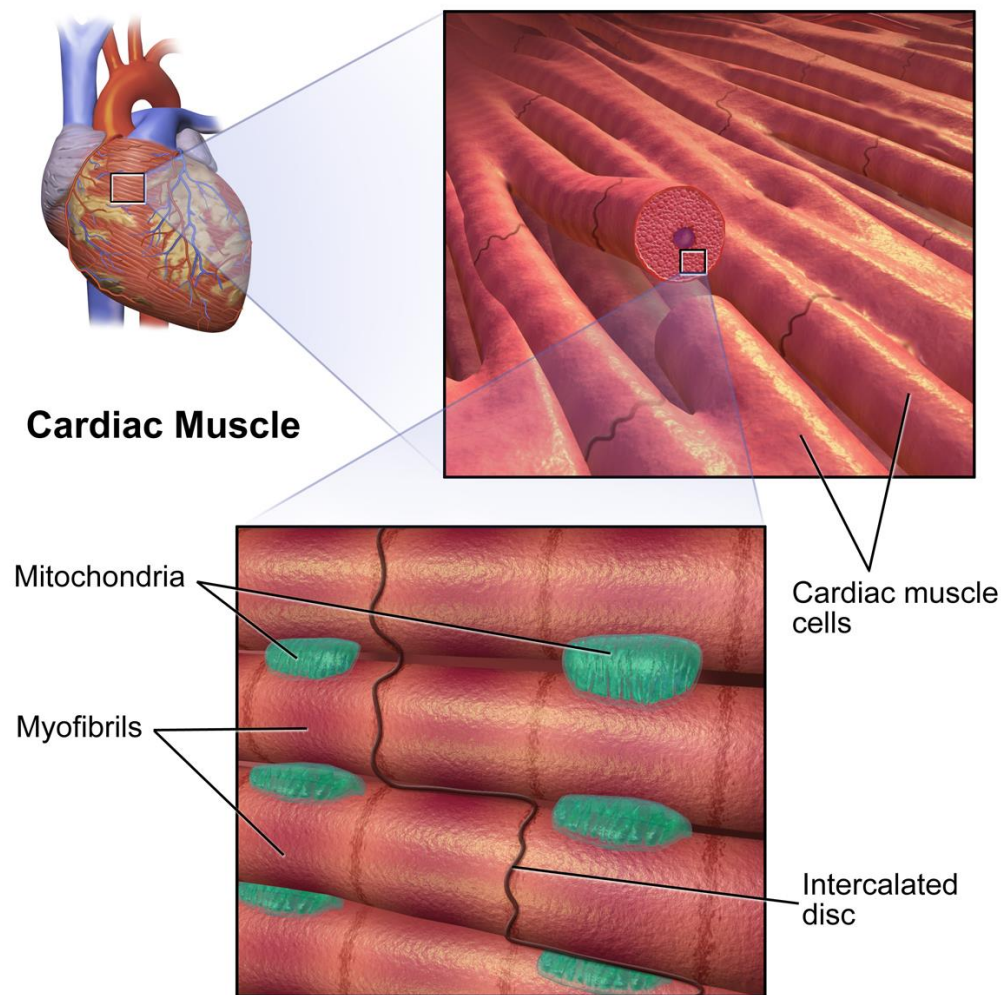


## Svalová křeč ( spazmus)

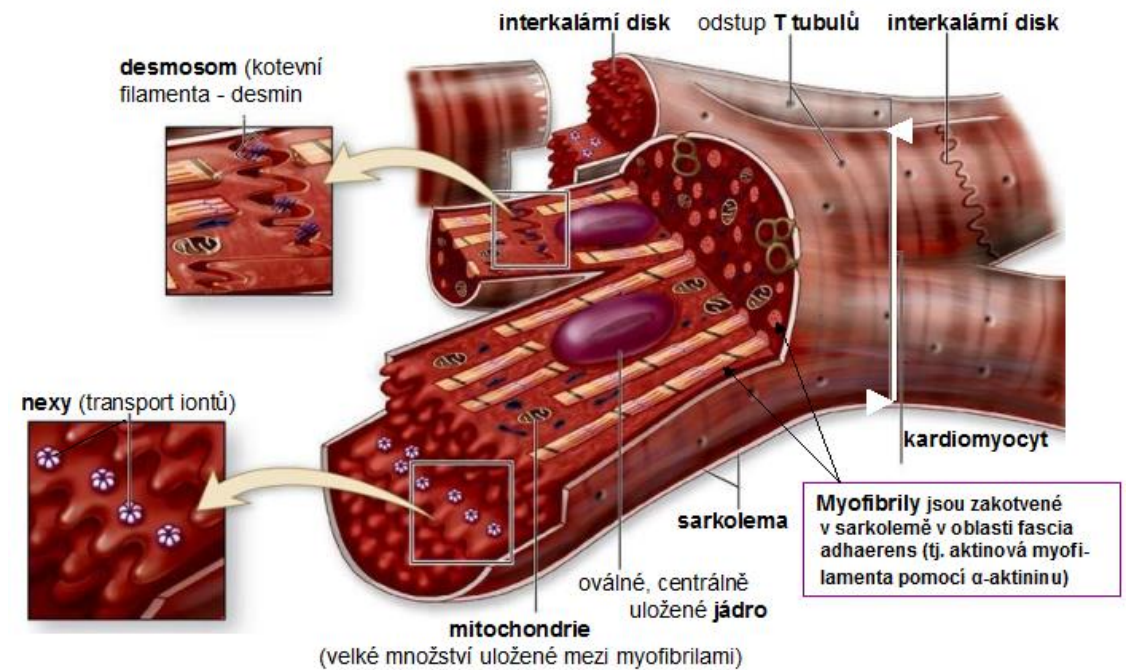
- Přejídná, nechtěná bolestivá svalová kontrakce – záškuby ( klonické křeče) nebo přertrvávající stah ( tonické křeče) nebo kombinace obojího ( tonicko-klonické křeče)
- Hodně příčin vzniku ( v CNS, minerálová dysbalance, únava s acidózou, ischemie, toxické křeče – tetanus)

# Srdeční svalovina

- Složena z jednotlivých buněk (**kardiomyocytů**), vnitřní stavbou podobné příčně pruhované svalovině, vytvářeny ze splanchnického mezodermu
- Buňky protažené do délky s centrálně uloženým jádrem
- S jedním, dvěma, někdy i více buněčnými výběžky, kterými se spojují do podoby sítě
- na povrchu kardiomyocytů je bazální lamina se sítí retikulárních vláken (sarkolema)
- Mezi buňkami řídké kolagenní vazivo s velkým množstvím kapilár (endomyzium)
- Aerobní metabolismus ( G, mastné kyseliny, laktát)
- Až o 40% více mitochondrií než v příčně pruhovaném svalu
- Inervaci zajišťuje vlastní převodní systém ( regulován ANS)
- **interkalární disky** – spojení mezi buňkami, umožňuje převod vzruchů a kontrakci



# Stavba kardiomyocytů



## Sarkolema

- tvořená z plazmatické membrány a bazální laminy + síť retikulárních vláken
- V membráně vchlípení – T- tubuli, vzájemně propojené a dotyk cisteren sarkoplazmatického retikula

## Sarkoplazma

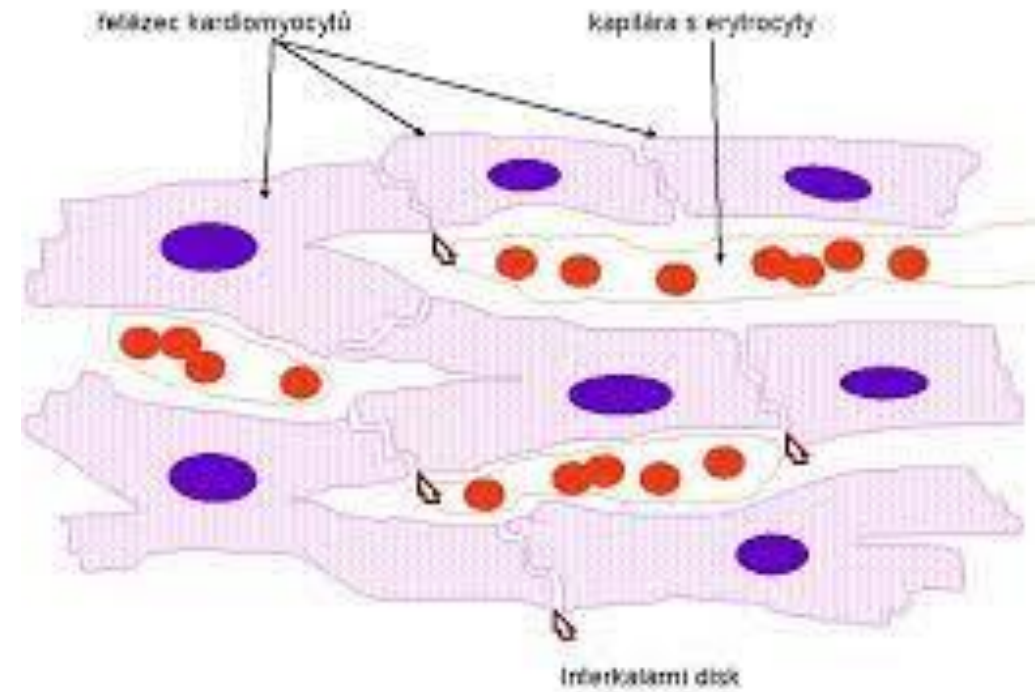
- Obsahuje: jádro ( centrum b), myofibrily ( aktinová a myozinová myofilamenta), endoplazma ( světlejší lem okolo jádra bez myofibril), mitochondrie (mezi myofibrilami, 40% sarkoplazmy), sarkoplazmatické retikulum ( méně vyvinuté než u kosterních svalů, svalovina více závislá na vnější dodávce)



# Mezi kardiomyocyty

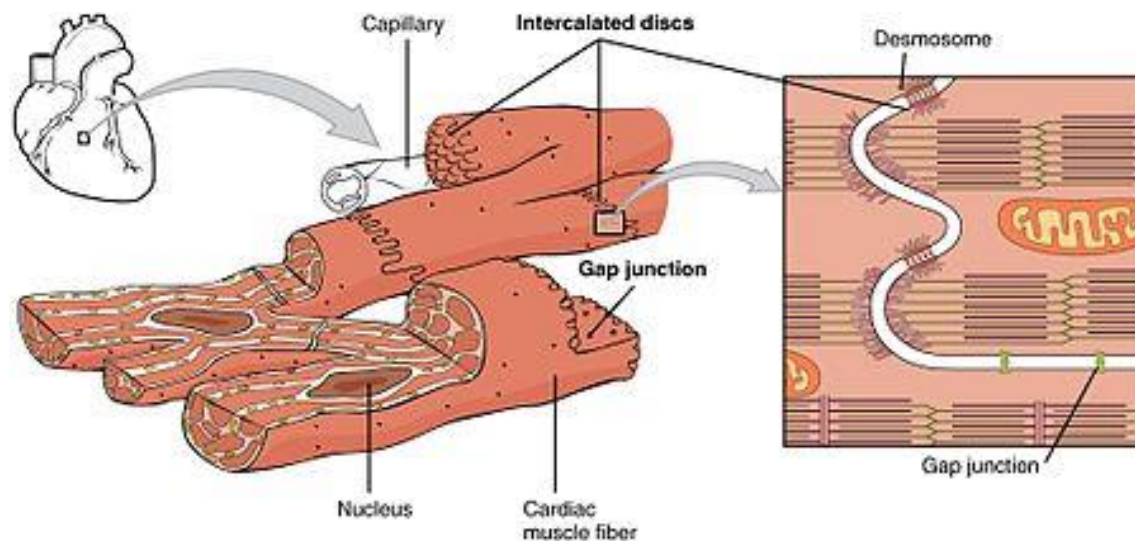
## Interkalární disky ( vmezeřené disky)

- Buněčné spoje tvořené výběžky kardiomyocytů, mohou se větvit



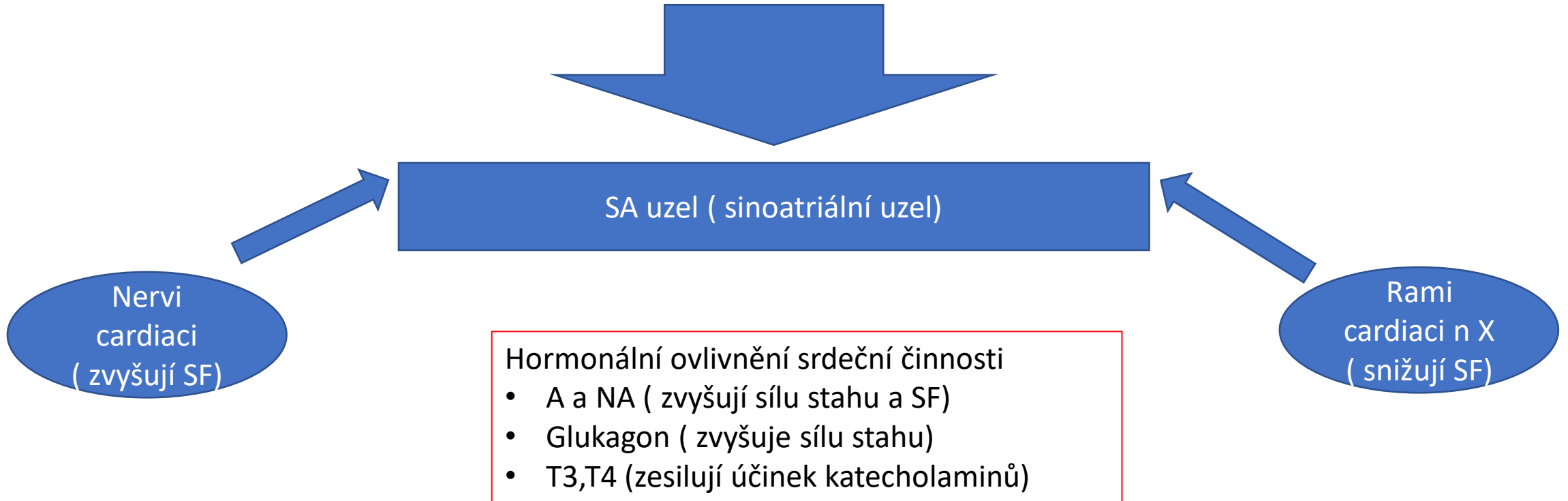
## Endomyzium

- Řídké kolagenní vazivo mezi buňkami s hustou kapilární sítí



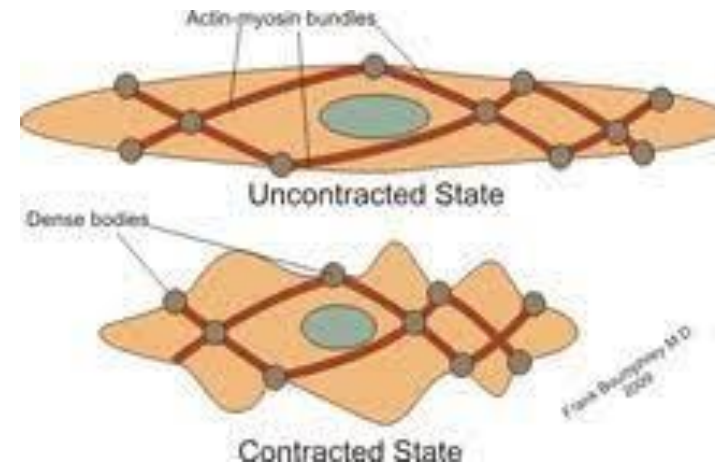
# Řízení srdeční činnosti

Vlastní centra, vytvářející svůj signál ( akční potenciál)



# Hladká svalovina

- Převážně mezenchymového původu
- Nevykazuje příčné pruhování
- Menší vřetenovité buňky pospojované mezi sebou a protažené do délky
- Každá buňka obklopena bazální laminou a sítí retikulárních vláken, mezi buňkami řídké kolagenní vazivo ( + cévy a nervy)- endomyzium
- Jádro v buňkách je protáhlé ( doutníkovité)
- Buňky jsou schopné **syntetizovat složky extracelulární matrix** – kolagen, elastin, proteoglykany
- Stah hladké svaloviny je vůlí neovladatelný
- Součástí stěn cév a vnitřních orgánů, ale i v kůži



# Stavba hladké svaloviny

Buňky ( leiomyocyty)

- Zapadají do sebe díky tvaru, propojené pomocí nexů
- Nejužší část b. naléhá na nejširší místo další b.
- Sarkolema ( chybějí T-tubuli)
- Sarkoplazma: **jádro, aktinová a myozinová myofilamenta** ( nevytváří myofibrily, uspořádána méně pravidelně), **mitochondrie, sarkoplazmatické retikulum** (méně vyvinuté než u příčně pruhované svaloviny), **denzní tělíka** ( útvary v sarkoplazmě, upevňují se zde aktinová vlákna pomocí alfa-aktininu, navzájem spojená dezminem, zajišťují kontrakce tahem tahem za sousední denzní tělíka), **pinocytární váčky** ( koncové póly bb., pinocytóza Ca iontů z extracelulárního prostoru- ke svalové kontrakci)



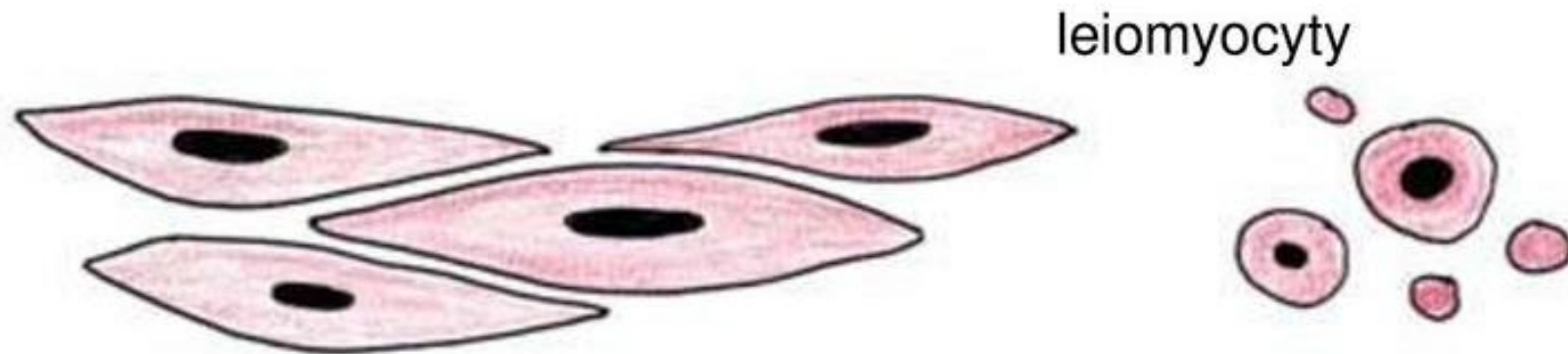
# Mezi leiomyocyty

## Nexy

- spoje mezi bb.

## Endomyzium

- Řídké kolagenní vazivo mezi buňkami s hustou kapilární sítí a inervací



# Výskyt hladké svaloviny v organizmu

- Všechny cévy ( tunica media cév)
- Svalovina orgánů ( dolní dýchací cesty, trávicí trubice, vývodní močové cesty, prostata, žlučové cesty, topořivá tělesa)
- Snopečky svaloviny v kůži a podkoží ( m. arrectores pilorum, prsní dvorec, šourek a velké stydké pysky)

Leiomyom = nezhoubný nádor ( děložní stěna)  
Leiomyosarkom= zhoubný nádor ( kdekoliv v těle)

# Stah- kontrakce hladké svaloviny

- Kontrakce je slabá a pomalá, ale vyžaduje nižší spotřebu ATP než příčně pruhovaná svalovina

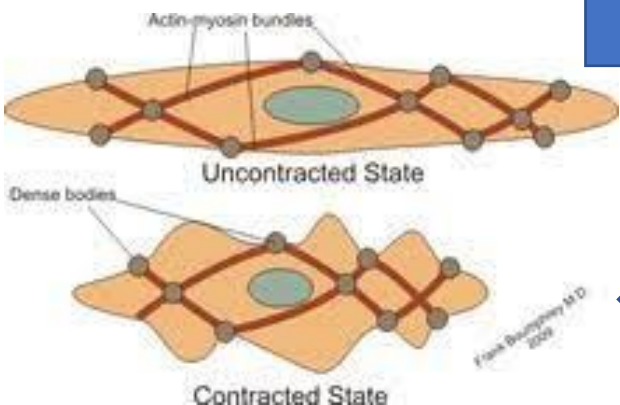
Uvolnění Ca iontů ze sarkoplazmatického retikula

Inervace hladké svaloviny  
Zprostředkovaná ANS ( SY, PA, enterický systém)

Zasouvání aktinových a myozinových myofilament  
(Aktinová filamenta ukotvená v denzních tělískách, myozin v polovině vzdálenosti mezi denzními tělísky)

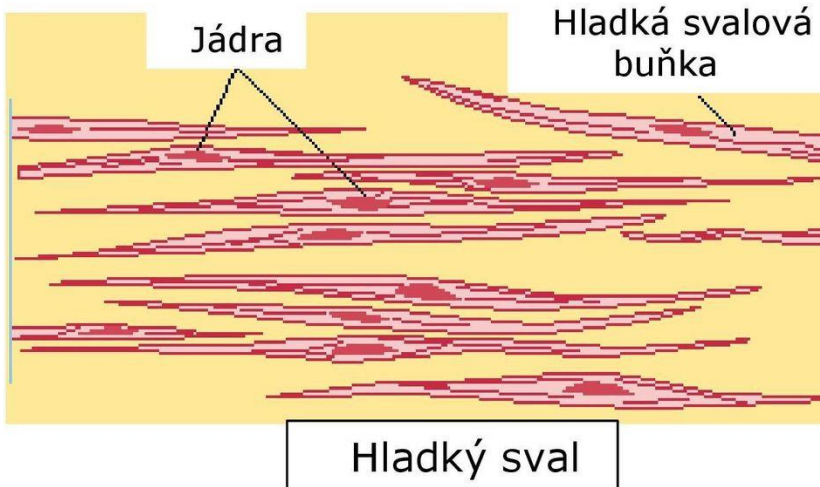
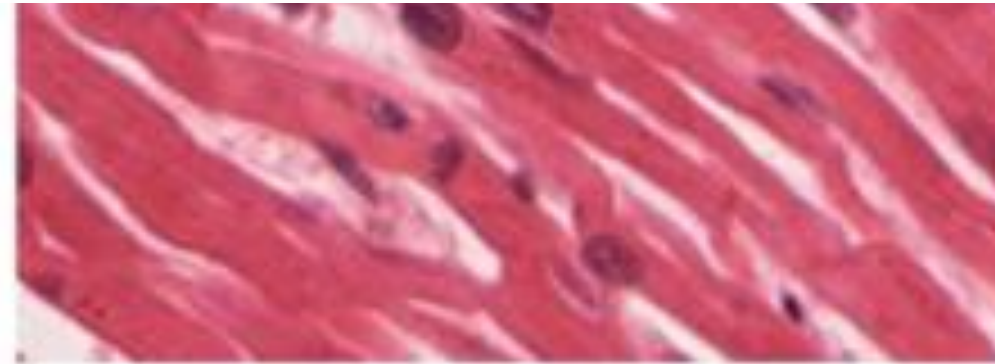
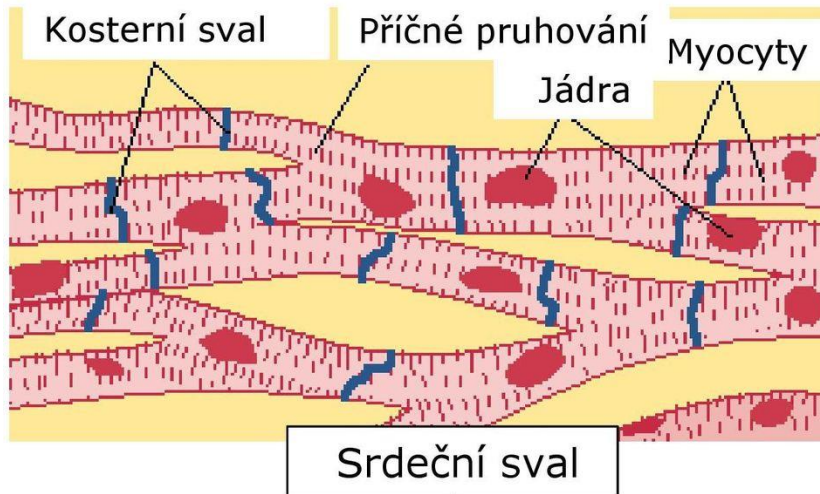
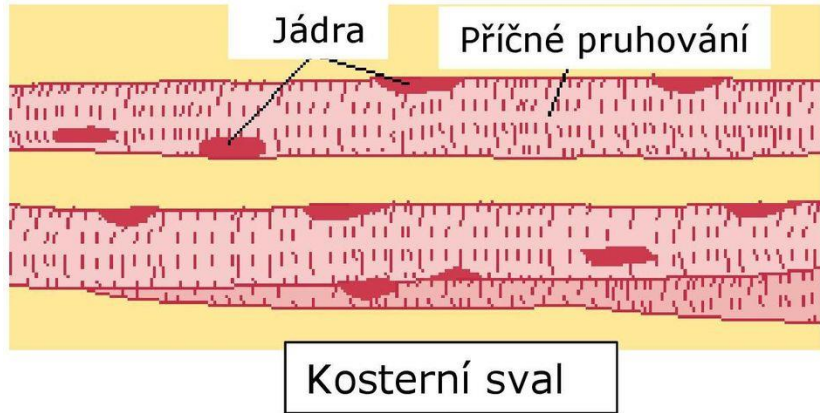
Dezmin spojuje denzní tělíska a rozšiřuje kontrakční vlnu po celé b.

Při kontrakci denzní tělíska přitahována k sobě – dělá to cípatý vzhled b.



	Kosterní svalovina	Srdeční svalovina	Hladká svalovina
Stavební jednotka	Svalové vlákno (syncytium)	kardiomyocyt	leiomyocyt
Tvar základních jednotek	Dlouhá válcovitá svalová vlákna	Větvené bb	Protáhlé vřetenovité bb
Příčné pruhování	ano	ano	ne
sarkomera	Ano, délka průměr 2,5 $\mu\text{m}$	Ano, délka průměr 2,5 $\mu\text{m}$	žádná
mitochondrie	V závislosti na typu vlákna	četné	málo
jádra	Průměrně 30-50 jader na 1 mm délky syncytia na obvodu buňky	1 někdy 2 jádra, okolo světlejší lem cytoplazmy	1 tmavé, doutníkového tvaru uprostřed b
Sarkoplazmatické retikulum	Velmi vyvinuté, tvoří triády s T-tubuly	středně vyvinuté, tvoří diády s T-tubuly	Málo vyvinuté
kontrakce	Rychlá, silná, vůlí ovladatelná, unavitelná	Rychlá, silná, nepřetržitá, neovladatelná vůlí	Pomalá, slabá, neovladatelná vůlí, vytrvalá
Ca se váže na	Troponin c	Troponin c	kalmodulin
inervace	Somatomotorickými myelinizovanými vlákny	Vlastní autonomní systém ovlivňován nemyelinizovanými visceromotorickými vlákny	nemyelinizovanými visceromotorickými vlákny
Motorická ploténka	ano	ne	ne





(b)