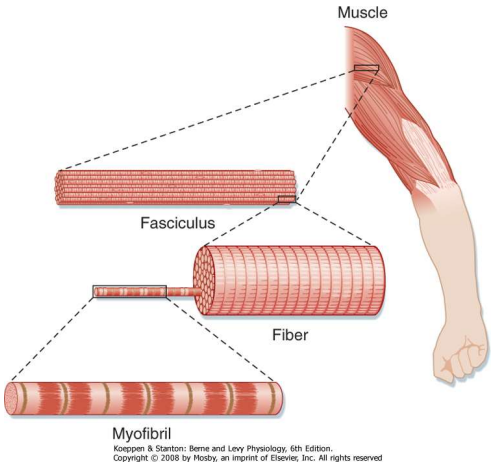
Fyziológia svalstva



- svalstvo = vzrušivé tkanivo
- schopnosť kontrakcie a relaxácie

Rozdelenie
- kostrové svalstvo – priečne pruhovaná svalovina
- hladná svalovina
- srdcová svalovina – myokard priečne pruhovaný sval, ktorý je syncýcium, vlákna sú prepojené a kontrahujú sa pod vplyvom pacemakera – v prednáške o kardiovaskulárnom systéme

Excitácia svalu vzniká
- pôsobením neurotransmiteru (priečne pruhovaný sval a hladký sval)
- elektricky prostredníctvom gap junctions (hladký sval a myokard)
- spontánne (pacemakerovné bunky myokardu, hladkej svaloviny GIT a močovodov)

Priečne pruhovaný sval

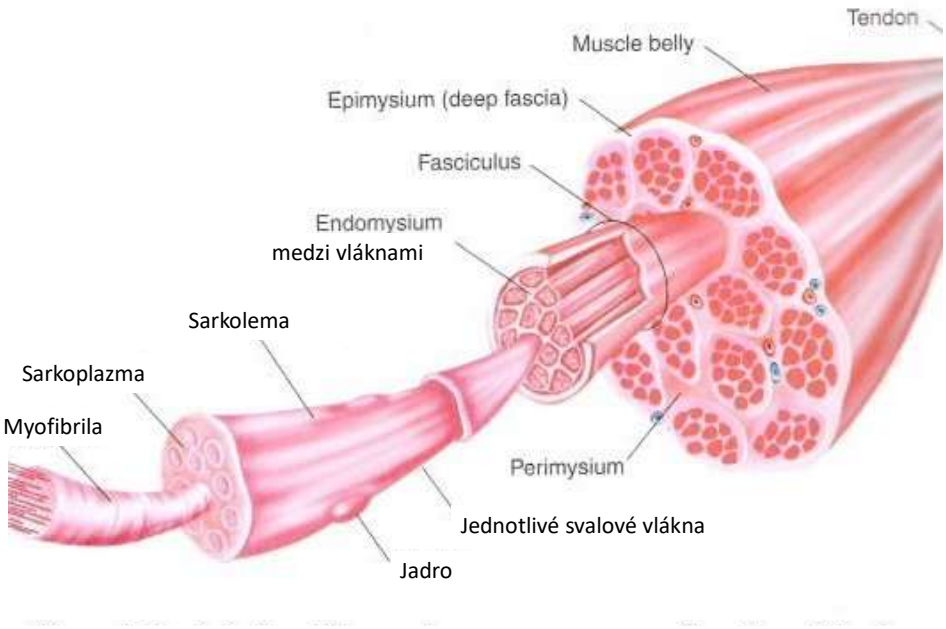
- tvorí 36-45% hmotnosti ľudského tela
- kontrahuje sa excitačne
- svalové bunky – vlákna – sú združené do motorických jednotiek, ktorú tvora vlákna inervované jedným eferentným motoneurónom
- vlákna priečne pruhovaného svalu obsahujú viac jadier
- 10 -100 um široké – 20 cm dlhé
- funkcie:
- pohyb, dýchanie, mimika, reč, termoregulácia, produkcia tepla, optimalizácia činnosti CNS prostredníctvom BDNF (brain derived neurotrophic factor)

Svalové vlákno = svalová bunka

- **Sarkolema** – membrána svalovej bunky (kostrového, srdcového a hladkého svalu) – vedie signál

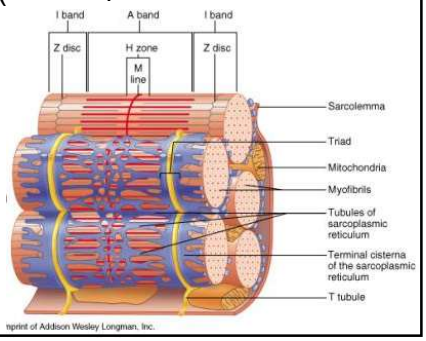
  skutočná membrána (plazmatická membrána) + vonkajší obal (tenká vrstva polysacharidov s kolagénovými vláknami), ktorý prechádza do vlákien šľachy
- **Sarkoplazma** - cytoplazma s organelami
- **Sarkozomy** - mitochondrie
- **Myofibrily** - cylindrické organely – kontraktilné elementy (myofilamenty) **aktínové** a **myozínové** vlákna – špecifická a konštantná dĺžka (niekoľkých μm) - organizované do opakujúcich sa podjednotiek pozdĺž myofibrily – **sarkoméry**
- **Sarkoplazmatické retikulum** s **T- tubulárnym systémom** – vnútorný vodivý systém

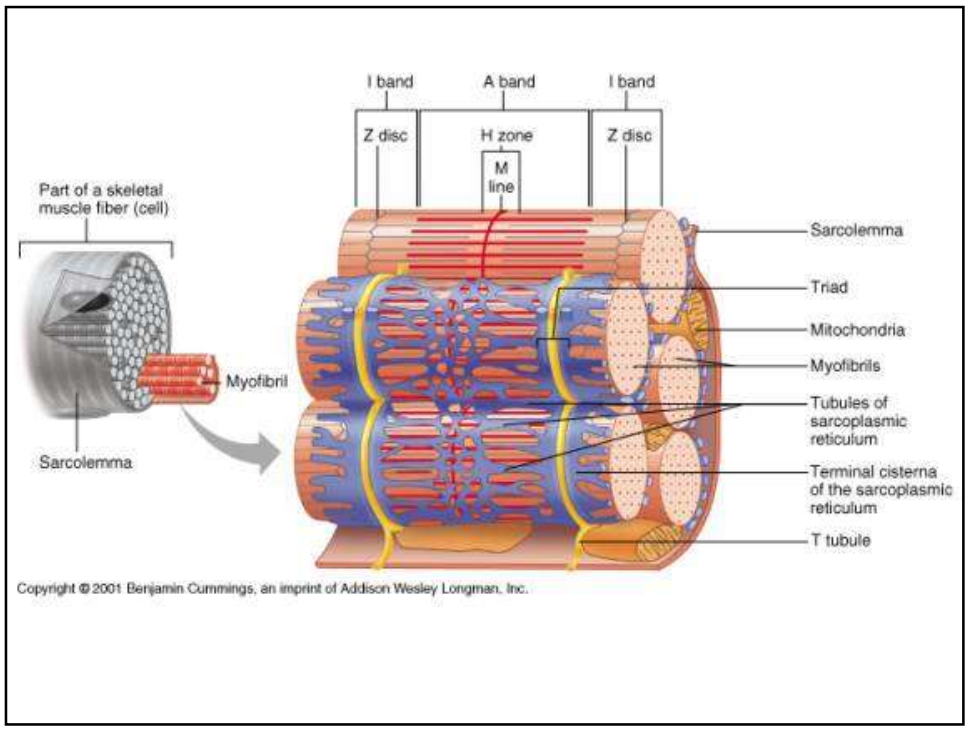
- na povrchu svalu je fascia, ktorá prechádza do šľachy a upína sa na kosť



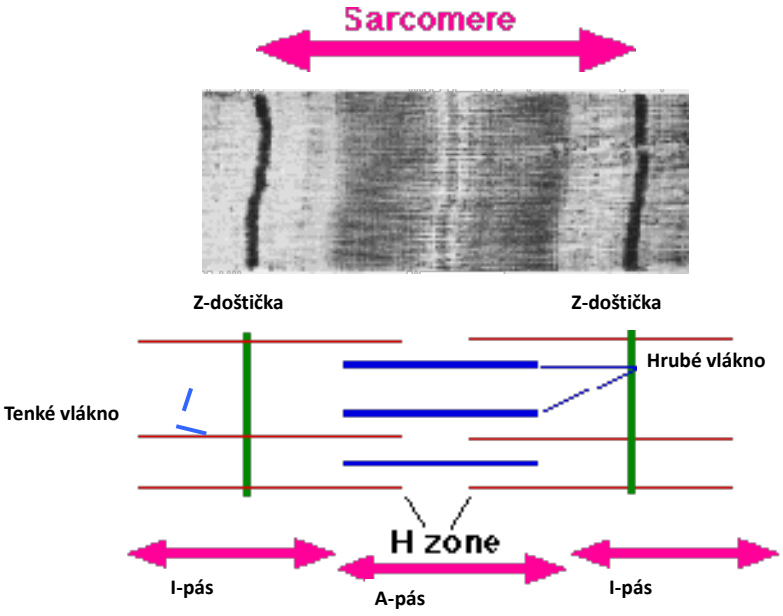
Hlboká štruktúra kostrového svalu

- funkčnou jednotkou sarkoméry je **Z-disk** – Z-línia
- na Z-doštičku sú ukotvené z oboch strán **aktínové** vlákna
- myozínové filamenty majú oba konce voľné a prekrývajú sa s aktínovými vláknami
- **myozínové** vlákna sú v strede sarkoméry spojená bielkovinou, ktorá sa nazýva **M-línia**
- aktínové a myozínové vlákna sa čiastočne prekrývajú a vznikajú tak izotropné (**I-band**) a anizotropné (**A-band**) prúžky
- I-prúžky sú predelné Z-líniami
- vnútorná **H-zóna** je priestor, kde sa vzájomne neprekrývajú.
- pri kontrakci sa I-band a H-band dynamicky menia

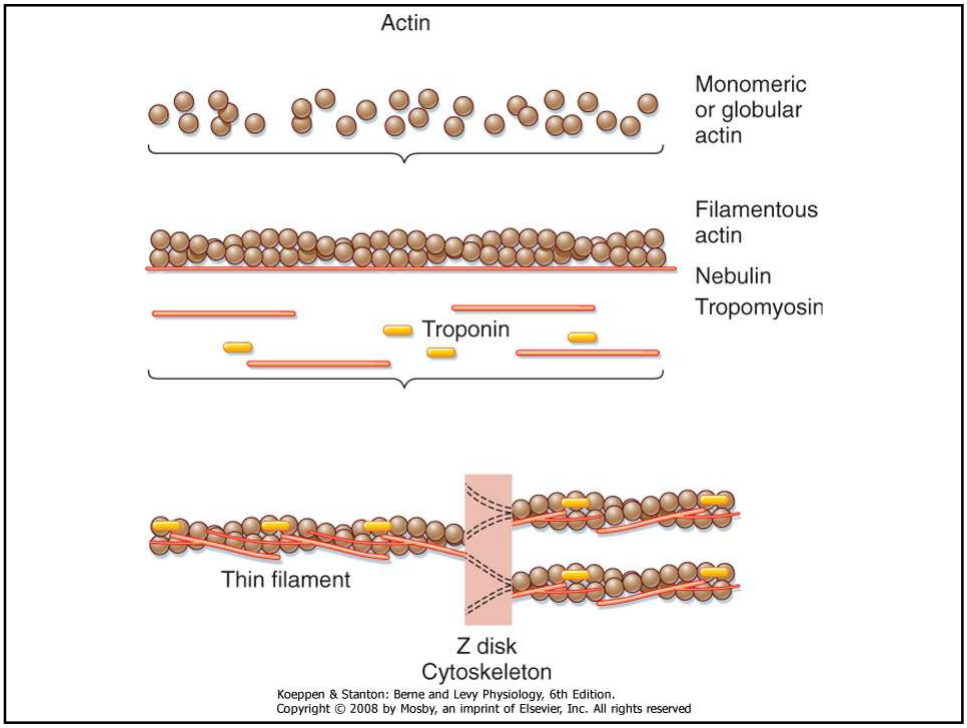


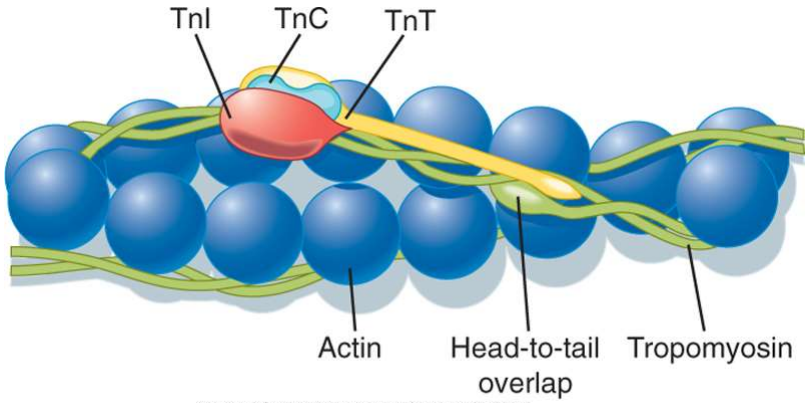


Mikroskopická fotografia a schéma sarkoméry



Aktínové vlákna sú dlhé cca 1um
- sú tvorené aktínom, tropomyozínom a troponínom
- na každej molekule aktínu je aktívne miesto, s ktorým sa počas kontrakcie spájajú priečne mostíky myozínu
- aktínom sa špirálovino prekrúca tropomyozín a v relaxovanom stave prekrýva aktívne miesto aktínového vlákna
- troponín sa pripája k tropomyozínu
- tropnín má tri podjednotky:
- Tn-C – viaže vápenaté ióny
- Tn-T – spája troponín s tropmyozínom
- Tn-I – v kľude zabraňuje tvorbe mostíkov medzi aktínom a myozínom, čo je eliminované väzbou Ca^{2+}
- po naviazaní vápnika na troponín sa aj tropomyzoín zasunie hlbšie do štrbiny vlákna aktínu a môže dôjsť s prepojeniu aktínového a myozínového vlákna

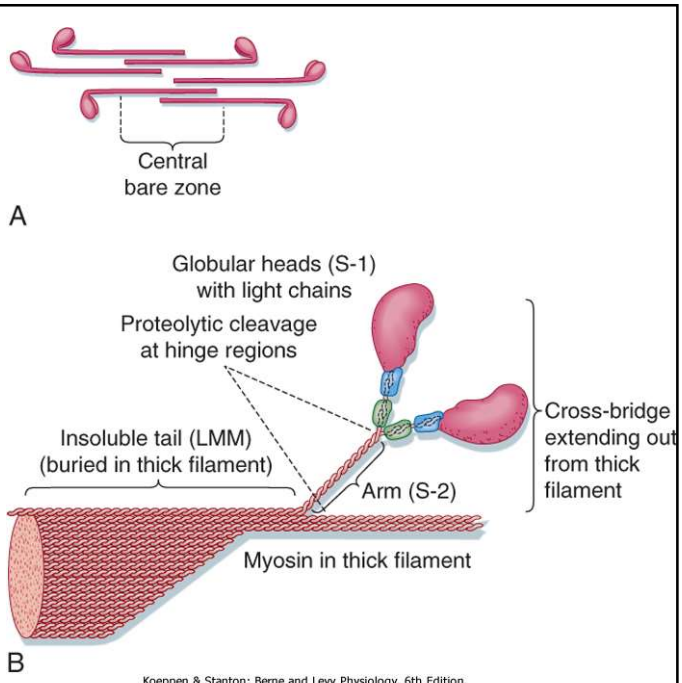




Koeppen & Stanton: Berne and Levy Physiology, 6th Edition.
Copyright © 2008 by Mosby, an imprint of Elsevier, Inc. All rights reserved

Myofibrilové filamenty

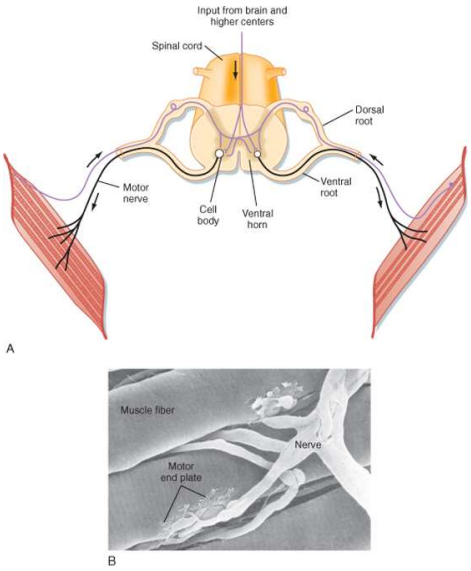
- vlákno má dĺžku 1,6 um a skladá s sa z vyše 200 molekúl myozínu
- hlavicu spája s chvostom ohybná stredná časť, ktorá tvorí vyčnievajúce rameno molekuly
- priestorové usporiadanie myozínu umožňuje kontakt so šiestimi aktínovými filamentami



Koeppen & Stanton: Berne and Levy Physiology, 6th Edition.
Copyright © 2008 by Mosby, an imprint of Elsevier, Inc. All rights reserved

Prepojenie excitácie a kontrakcie u priečne pruhovaného svalu

- axóny miechových motoneurónov vytvárajú s priečne pruhovaným svalom nervovosvalovú platničku



<u>Nervovosvalová platnička (chemická synapsa)</u>

• vlákna kostrového svalu sú priamo riadené nervovým systémom

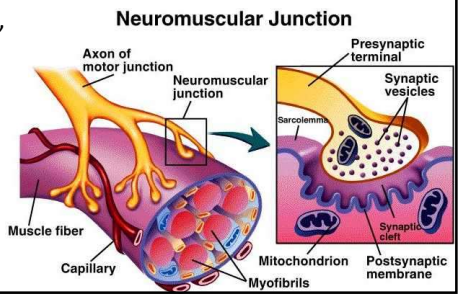
• axóny miechových motoneurónov vytvárajú spolu so sarkolémou nervovo svalové platničky podobné chemickým synapsám

• už nemyelizovaný úsek axónu sa delí na drobné telodendriá, ktoré vytvárajú kontakty s vláknom kostrového svalu

• presynaptické elementy majú rovnakú štruktúru ako bunky v CNS okrem toho, že sú kryté Schwannovou bunkou

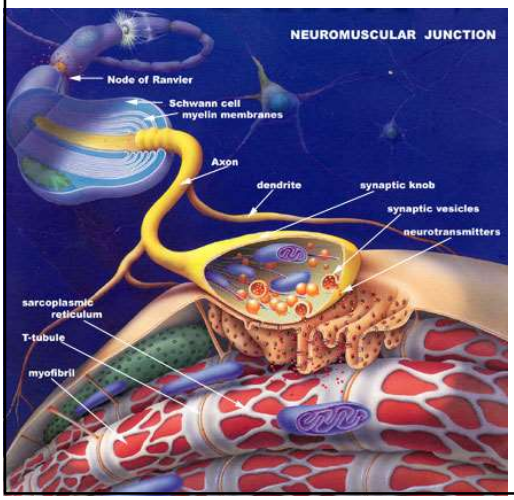
• tvoria sa tu primárne a sekundárne synaptické štrbiny – toto vedie k význačném uzväčšeniu recepčnej plochy synapsie

• invaginácie sú kryté bazálnou membránou, preto sú hrubšie – 50-70 nm



Nervovosvalová platnička (chemická synapsa)

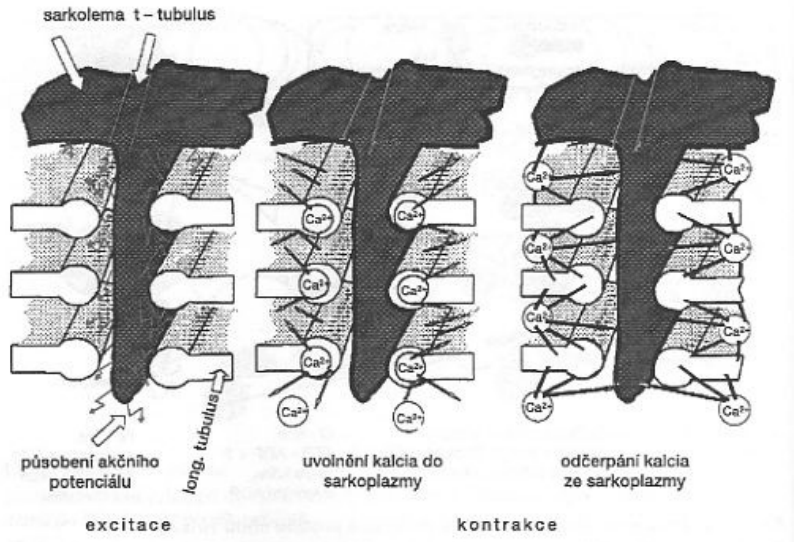
- uvolnenie acetylcholínu sa otvárajú Na+ kanály – vznikne miestna depolarizácia
- Na+ kanálikov je tam veľmi veľa, preto môže svalová bunka na každý vzruch reagovať akčným potenciálom
- nikotínové receptory, Na^+ kanály



z nervových zakončení sa uvoľňujú kvantá mediátora nie len pri akčnom potenciály ale aj náhodne - depolarizácia 1 mV (miniatúrny platničkový potenciál) – nespôsobí akčný poteniál

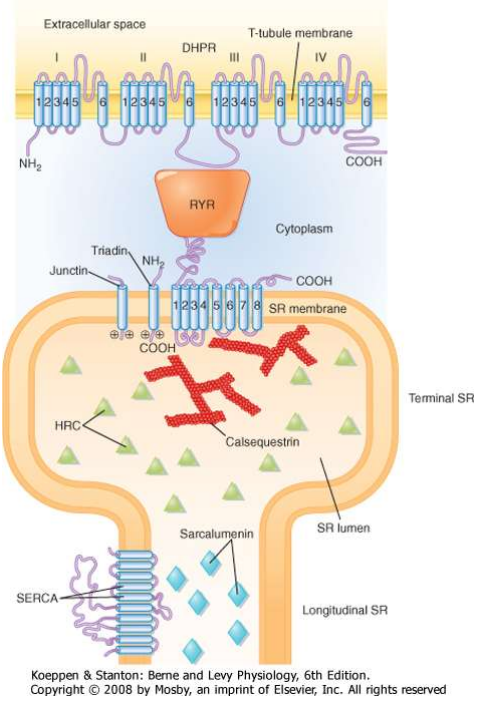
- potom ako neurotransmiter acetylcholín pomocou nikotínových receptorov otvorí kanáliky pre prechod Na^+: miestna depolarizácia
- vniká akčný potenciál, ktorý sa šíri povrchovou membránou aj T systémom
- T systém = vchlípeniny povrchovej membrány
- v tesnom susedstve T systému sa nachádzajú longitudinálne tubuly sarkolazmatického retikula (SR) s cisternami na koncoch
- transverzálny tubulus s dvoma priľahlými cisternami SR vytvára triádu
- následkom akčného potenciálu sa do cytoplazmy dostáva Ca^{2+} zo sarkoplazmatického retikula, ktoré sa nachádza v tesne blízkosti T-tubulov, čo umožní prepojenie aktínového a myozínového vlákna

Triády

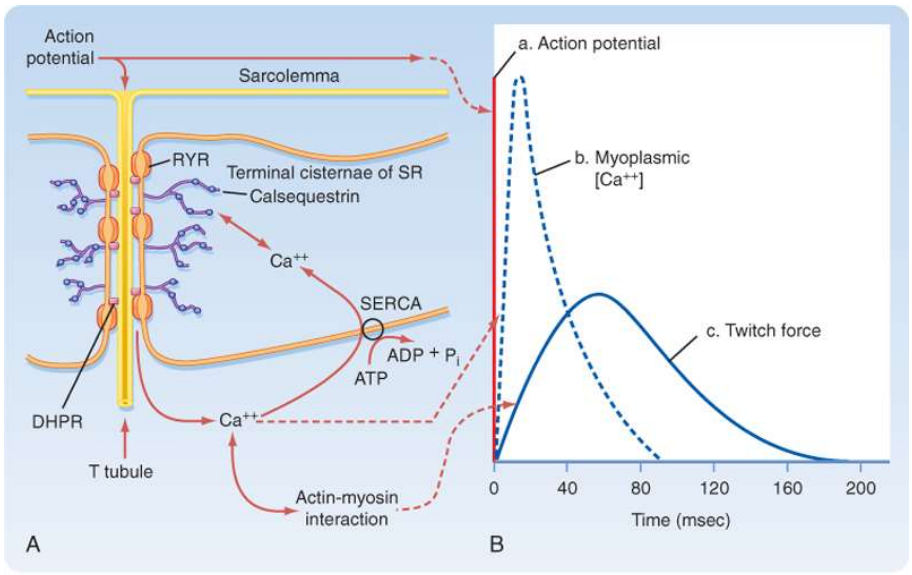


Obr. 3.6 *Akční potenciál*
Působí na retikulum, které uvolní Ca^{2+}, to vyvolá kontrakci a ta odezní vychytáním Ca^{2+} do retikula.

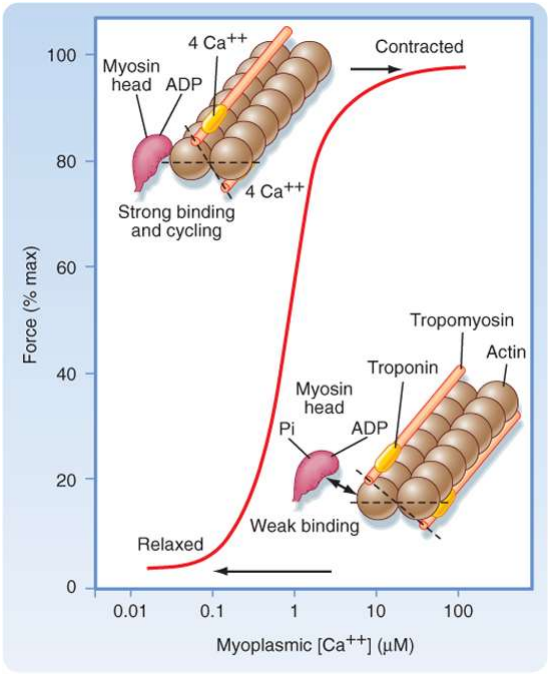
Dihydropyridínový napäťovo riadený receptor v T tubule otvára RYR receptor v SR, ktorý sa na nachádza v tesnej blízkosti



Koeppen & Stanton: Berne and Levy Physiology, 6th Edition.
Copyright © 2008 by Mosby, an imprint of Elsevier, Inc. All rights reserved

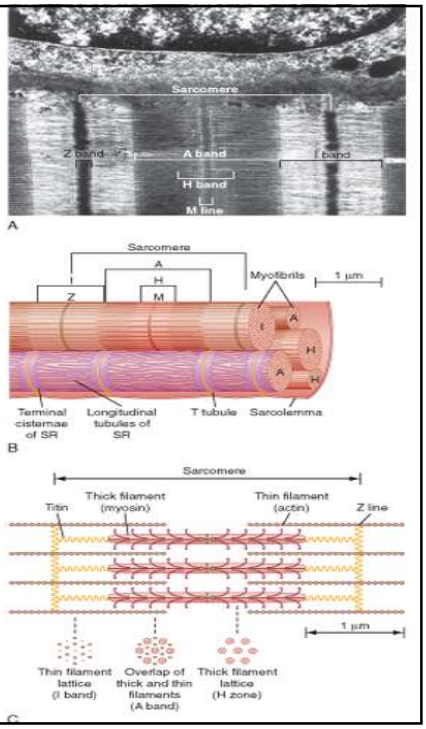


Koeppen & Stanton: Berne and Levy Physiology, 6th Edition.
Copyright © 2008 by Mosby, an imprint of Elsevier, Inc. All rights reserved

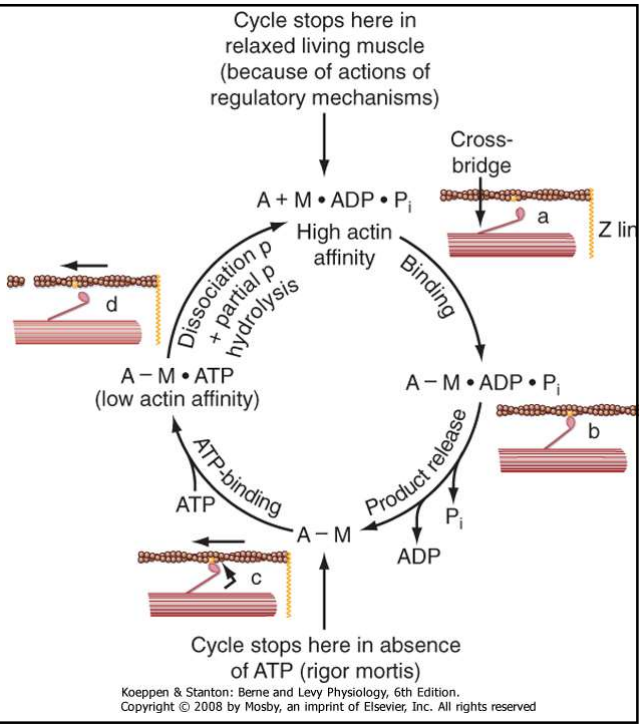


Koeppen & Stanton: Berne and Levy Physiology, 6th Edition.
Copyright © 2008 by Mosby, an imprint of Elsevier, Inc. All rights reserved

- pri kontrakcii sa sarkoléma skracuje a aktínové a myozínové vlákna sa zasúvajú do seba
- myozínové hlavice cyklicky interagujú s aktínovými vláknami
- hlavy myozínových vlákien sú orientované na myozínových vláknach v na oboch stranách od M línie opačným smerom



- v **kľudovom** stave je na hlave viazané **ATP**
- myozínová ATPáza rozštiepi ATP na **adenozíndifosfát (ADP) a fosfát (P)** za uvoľnenia energie
- po **vyplavení vápnika** myozínová hlavica okamžite priľne k aktívnemu miestu na aktínovom vlákne a energia uvoľnená pri štiepení ATP sa použije na ohyb hlavice pričom sa uvoľní ADP a P
- **ADP sa nahradí ATP** čo rozpojí aktínové a myozínové vlákna



Kým je Ca^{2+} a ATP prítomné (pri aktíne a myozíne), cyklus: väzba s aktínom, ohnutie, uvoľnenie a vyrovnanie myozínových hláv pokračuje (kontrakcia).

Ca^{2+} je neustále „pumpované“ (Ca^{2+} pumpou – ATP-ázou) nazad do sarkoplazmatického retikula.

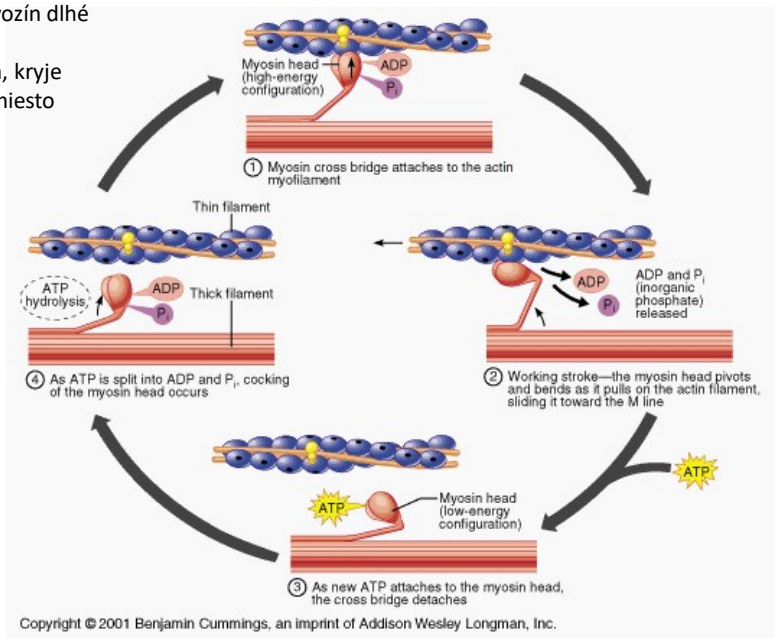
Ca^{2+} koncentrácia sa udržuje vysoká jeho uvoľňovaním zo sarkoplazmatického retikula ďalšími akčnými potenciálmi.

Bez Ca^{2+} sa troponín vráti do tvaru (konformácie), ktorý blokuje väzbové miesta aktínového vlákna – zastavenie kontrakcie.

Keďže je ATP nevyhnutné na uvoľnenie väzby aktínu a myozínu – bez ATP: RIGOR MORTIS.

http://www.youtube.com/watch?feature=endscreen&v=mWPmUqRZYIs&NR=1

tropomyozín dlhé vlákna
troponín, kryje aktívne miesto



Copyright © 2001 Benjamin Cummings, an imprint of Addison Wesley Longman, Inc.

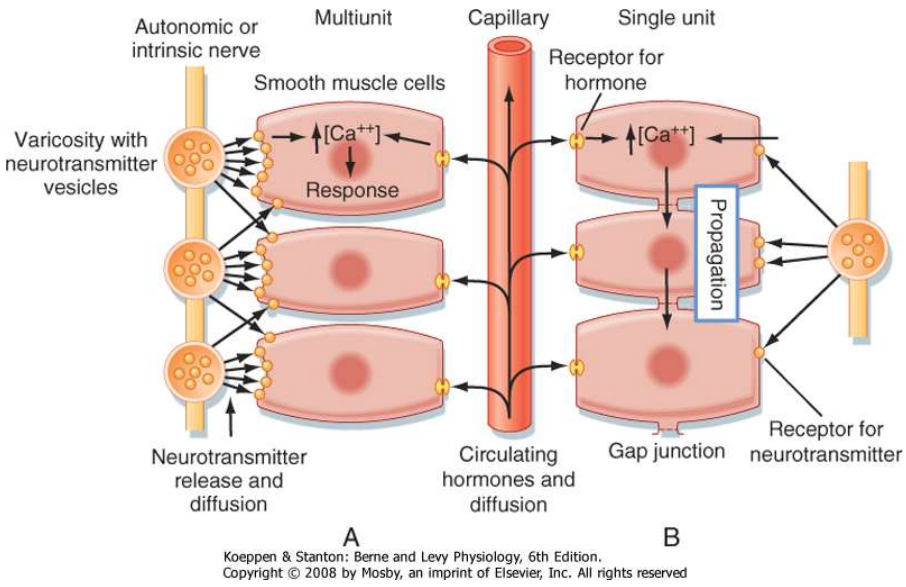
Hladký sval

- nemá priečne pruhovanie
- často syncýcium, môžu obsahovať pacemaker
- alebo sú ich vlákna prísne izolované, osobitne inervované a bez spontánnej činnosti
- nepodlieha vôľovej kontrole
- inervácia autonómnym nervovým systémom
- bunky hladkého svalu majú vretenovitý tvar s hrúbkou 2-5 um a dĺžkou 20-500 um
- malé slabo vyvinuté sarkoplazmatické retikulum
- menej mitochondrií ako kostrový sval
- nachádzajú sa najmä v dutých vnútorných orgánoch
- svojou kontrakciou menia objem resp. tlak v nich
- vyznačujú sa veľkou roztiahnuteľnosťou

Rozdelenie:

- **útrobné svalstvo**
- v stenách tráviaceho systému, žlčníku a žlčovodoch, v močovom mechúre a močovodoch, v stenách tracehobronchiálneho trombu, ciev a maternici
- svalové bunky sú usporiadané vrstiev a zväzkov a vytvárajú nízkoodporové spojky umožňujúce prechod iónov a šírenie excitácie vrámci jednej alebo viacerých svalových vrstiev
- bunky sa kontrahujú ako jedna funkčná jednotka – syncýcium

- **viacjednotkové hladké svaly**
- bunky pracujú samostatne
- majú kolagénovú a glykoproteínovú izoláciu od ostatných buniek
- svaly nastavujúce šošovku a jej lomivosť

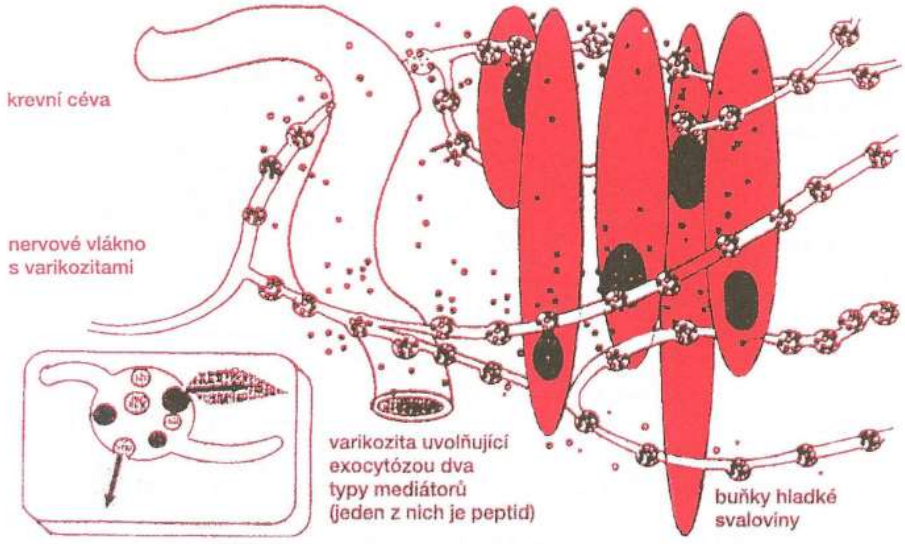


Excitácia hladkého svalu môže nastať:

- nervovo-svalovým spojením
- pôsobením hormónov
- pasívnym roztiahnutím svalu
- pomocou miestnych tkanivových faktorov

Excitácia nervovým systémom:

- nemá nervovo svalovú platničku
- postgangliové vlákno vstupuje do svalu, sieťovito sa rozvetvujú a vytvárajú varikozity
- jeden postgangliový neurón – 20 000 varikozít (guľôčky)
- pri depolarizácii sa uvoľňuje acetylcholín alebo noradrenalín s opačným účinkom (podľa receptora)

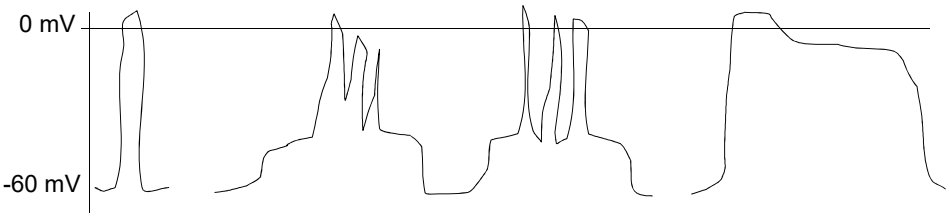


Obr. 3.11 *Schéma vztahů mezi nervovými vlákny a buňkami hladké svaloviny v GIT*

- **hrotový akčný potenciál**
- na základe presunu Ca^{2+} bunky
- 10 – 50 ms

- **pomalovlnový potenciál**
- striedajú sa pomalé vlny depolarizácie a repolarizácie a niekedy môže vzniknúť hrotový potenciál
- vytvára sa presunom Ca^{2+} a Na^{+}

- **akčný potenciál s plató**
- akčný potenciál s oploštením časti akčného potenciálu a následným predĺžením repolarizácie a aj kontrakcie
- 0,3 – 1 s



Excitácia hladkého svalu hormónmi

- noradrenalín, adrenalín, angiotenzín, vazopresín, serotonín, oxytocín, histamín
- len ak má bunka receptory pre daný hormón môže nastať depolarizácia alebo hyperpolarizácia

Excitácia hladkého svalu pasívnym roztiahnutím

- hlavne v útrobných svaloch
- pri postupnom zvyšujúcom sa natiahnutí svalu klesá membránový potenciál a stúpa frekvencia akčných potenciálov
- základnou funkciou je pôsobiť proti nadmernému rozpínaniu sa napr. obsahom

Excitácia hladkého svalu lokálnymi tkanivovými faktormi

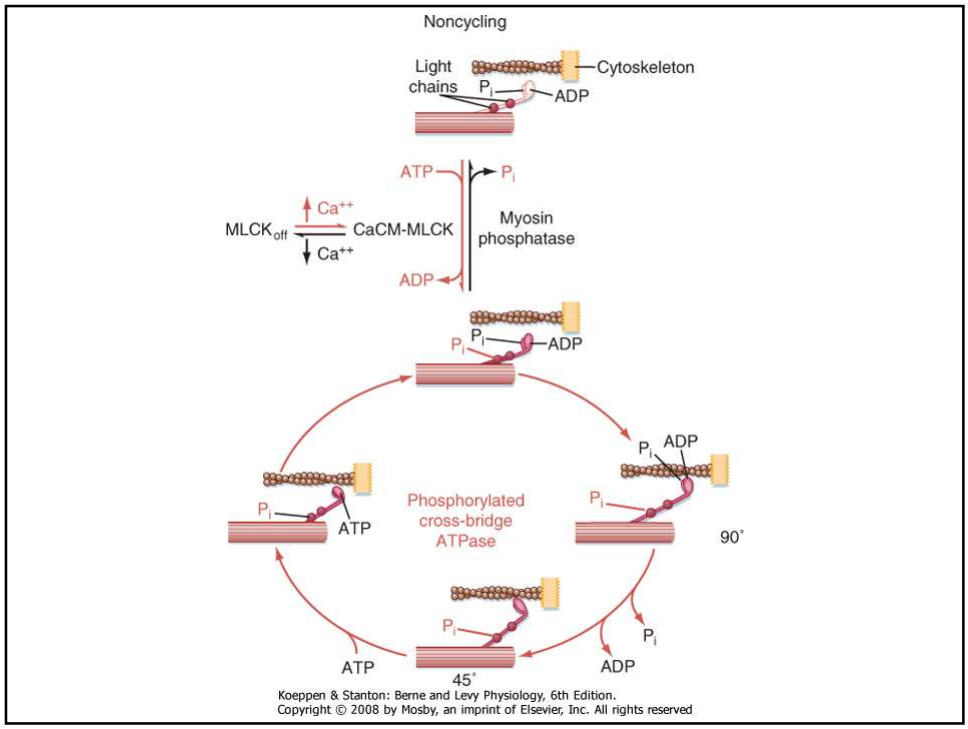
- napr. dilatácia ciev nastavovaná nedostatkom O_2, nadbytkom CO_2, vysokému laktátu a pod.

Kontrakcia hladkého svalu (HS)

- tiež obsahuje **aktínové a myozínové vlákna**, ale sú inak usporiadané ako v priečne pruhovanom svale
- **aktínové vlákna sú ukotvené v zhustených uzlíkoch** a obklopujú myozínové vlákno v pomere **1:15**
- aktínové vlákna **nemajú troponín**

Rozdiely v kontrakcii oproti priečne pruhovanému svalu (PPS)

- cyklus spájania sa aktínových a myozínových vlákien je u HS **pomalší** kvôli pomalej degradácii ATP
- sú **nižšie nároky na energiu**, lebo tonické kontrakcie si nevyžadujú ďalšiu energiu
- jedna **kontrakcia a relaxácia HS trvá aj 30 dlhšie** ako je to u PPS
- **maximálna sila kontrakcie je vyššia u HS** ako u PPS
- HS sa dokážu **viac kontrahovať aj roztiahnuť** ako PPS
- pripájanie hlavíc myozínu spúšťa **kalmodulín so 4 molekulami vápnika**
- HS nemá taký výkonný rezervoár vápnika ako PPS a dostáva sa do bunky hlavne z **extracelulárneho priestoru** cez napäťovo riadené vápnikové kanáliky



Ďakujem za pozornosť

