

## Přeměna chemické energie v mechanickou

Molekulám schopným této energetické přeměny se říká *molekulární motory*. Nejklasičtějším příkladem je svalový myosin (posouvá se po aktinu), ale patří sem i ATP-syntáza (vyrovnávání gradientu iontů přes membránu a syntéza ATP je spřažena rotací jejího "rotoru") nebo různé enzymy účastníci se transkripce a translace (polymerázy, helikáza).

## Svaly

### Obecné vlastnosti

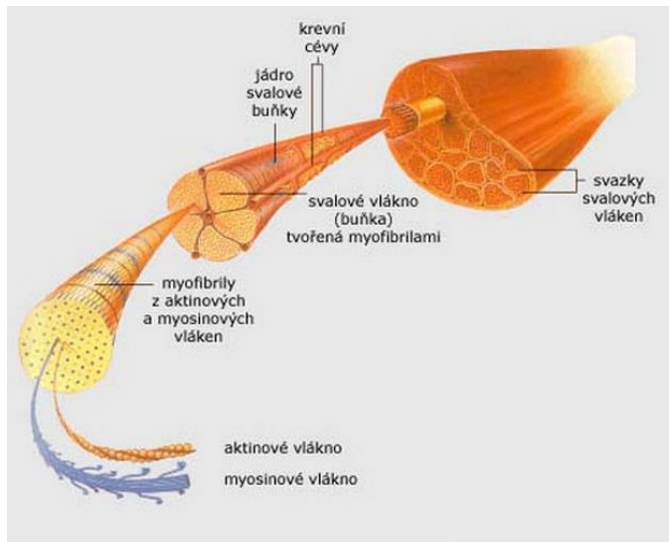
#### *druhy kontrakce*

- *isotonická* (napětí konst., délka se mění. Příklad: „ideální pohyb“)
- *isometrická* (napětí se mění, délka konst. Příklad: třeba když držím košík kam někdo přidává věci)

#### *druhy svalů*

- *příčně pruhované*
  - Obsahují dlouhé multijaderné buňky (svalová vlákna), MAJÍ sarkomery.
  - ovladatelné vůlí, rychlá kontrakce, rychlá únava.
  - „Takové ty svaly, o kterých víme“.
- *hladké*
  - Mnoho jednojaderných buněk, každá má svůj kontraktibilní cytoskelet.
  - kontrakce pomalá, neovladatelná vůlí
  - Aktinové a myosinové filamenty NEJSOU uspořádány v sarkomerách
  - Vyskytují se třeba okolo cév, vnitřních orgánů, zorniček.
- *Srdeční*
  - jednojaderné buňky, které MAJÍ krátké sarkomery a jsou spojeny můstky, takže se vzruch šíří napříč celým srdcem (=srdeční stah).

## Struktura příčně pruhovaného svalu

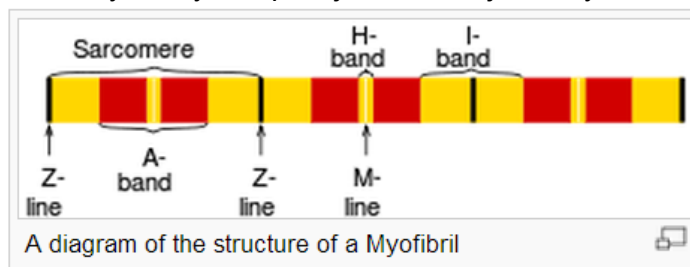


*Hierarchie uspořádání (od nejtlustšího k nejtenčímu)*

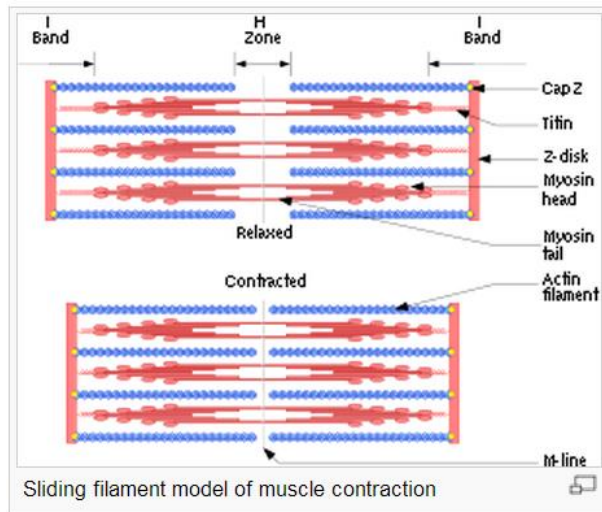
- sval ->
- svazek/snopec svalových vláken ->
- svalové vlákno (dlouhá tenká mnohojaderná buňka, může být dlouhá jako celý sval) ->
- myofibrily ->
- filameny (tenké=hlavně aktin, tlusté=hlavně myosin)

*Struktura myofibrily*

Podél myofibrily se opakují strukturální jednotky zvané sarkomery:

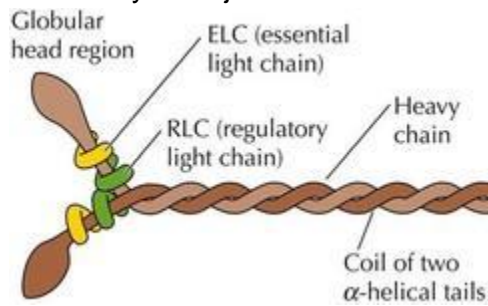


## Detail sarkomery



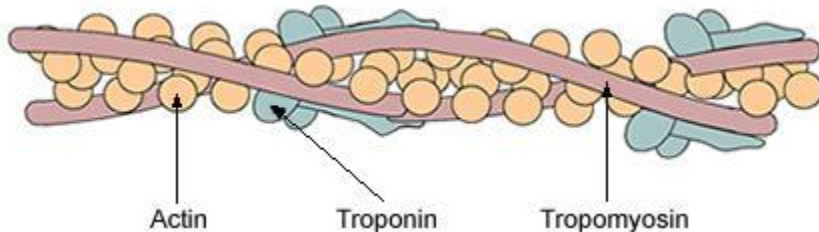
Délka sarkomery je asi 2,5 mikronů.

**Silné filanty:** “to růžový s hlavičkama z předchozího obrázku, co je natažené mezi jednotlivými *Z-disky* na kraji”. Tvoří je agregát mnoha molekul *myosinu*. Struktura jednoho dimeru myosinu je:



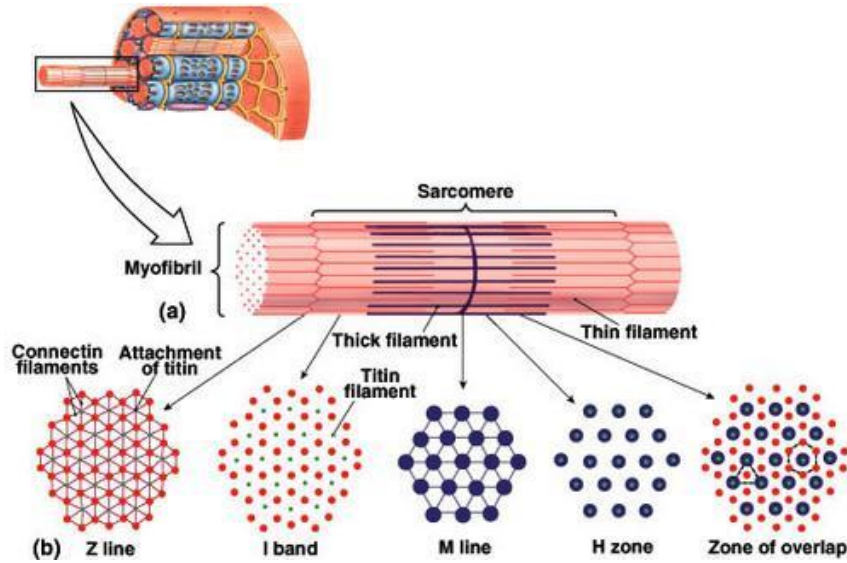
2 těžké řetězce jsou do sebe zapleteny (“*coiled coil*” struktura, vzniká pomocí hydrofobního efektu = hydrofob. aminokyseliny se k sobě “lepí”), každý z nich má hlavičku (*head*, N-konec) a ocásek (*tail*, C-konec). Lehké řetězce jsou zodpovědné za odklon hlavičky.

**Tenké filanty:** “na obrázku detailu sarkomery je to to modrý s mezerou uprostřed”, z 60% tvořeno *aktinem*. Jedná se o polymer, přičemž jednotlivé monomery aktinu se skládají tak, že výsledek vytváří zdání šroubovice.

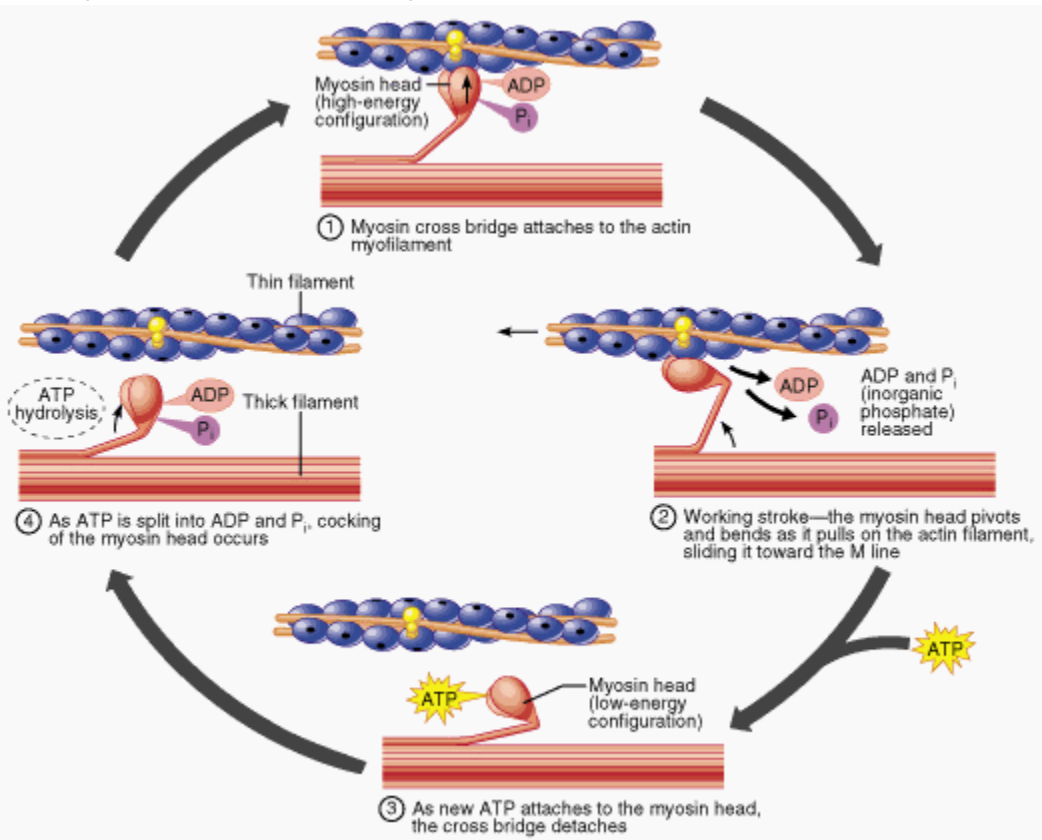


Při kontrakci svalu hlavičky *myosinu* změni konformaci a sklopí se, čímž se od aktinu odstrčí, a ve výsledku se *Z-disky* přitáhnou k sobě. Tím sval může konat práci.

Průřez myofibrilou



Detail cyklu interakce aktinu a myosinu



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

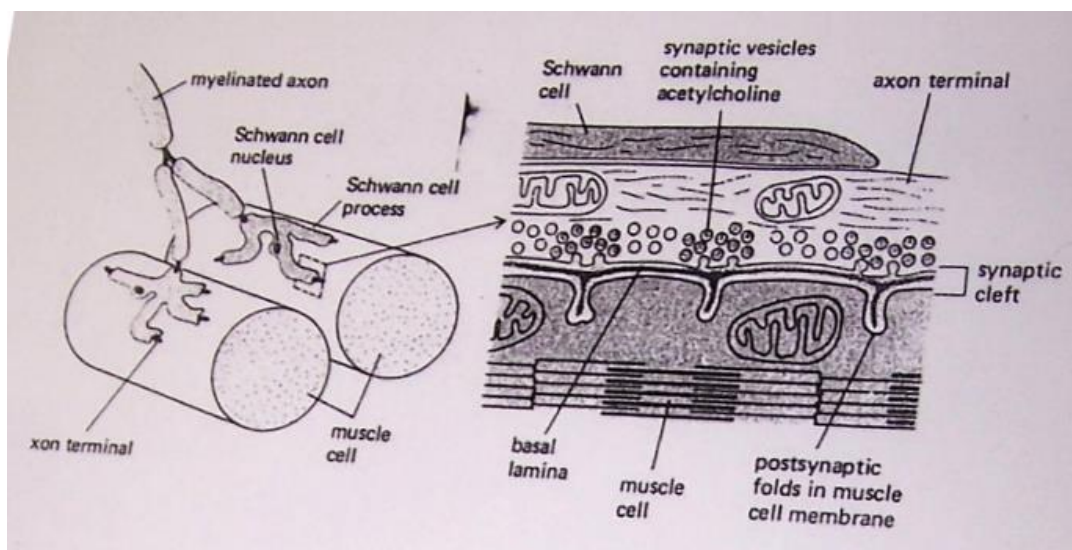
Jak je vidět, spotřebuje se při cyklické změně konformace myosinové hlavičky ATP, která právě představuje tu chemickou energii na vstupu.

Energie z hydrolýzy ATP na ADP se ale konkrétně spotřebuje na vrácení hlavičky myosinu do připraveného stavu. Samotný silový záběr je spojen s uvolněním ADP a P z komplexu aktin-hlavička.

## Regulace kontrakce

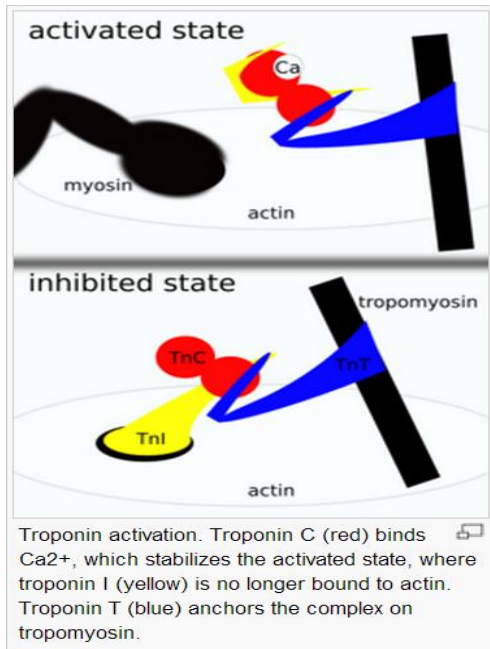
Jak se stane, že se sval kontrahuje právě tehdy když chceme?  
Napřed se podívejme, jak je do svalu přiveden nervový vzruch:

### Neuro svalová ploténka



Po axonu dorazí nervový vzruch, do mezery mezi axonem a svalovou buňkou („synaptic cleft“) se vyleje neurotransmiter, což po pár dalších krocích vede k tomu, že sarkoplasmatické retikulum (druh hladkého endoplasmatického retikula) obklopující myofibrily uvolní dovnitř ionty  $\text{Ca}^{2+}$  (podrobněji o přenosu signálu na [http://en.wikipedia.org/wiki/Excitation%E2%80%93contraction\\_coupling](http://en.wikipedia.org/wiki/Excitation%E2%80%93contraction_coupling), říká se tomu excitation-contraction coupling).

Abychom pochopili, co v myofibrile dělají vyplavené ionty vápníku, podíváme se na detail připevnění myosinové hlavičky:



Součástí *aktinového* vlákna jsou i molekuly *tropomyosinu*, které v základním stavu ucpávají vazebná místa pro myosinové hlavičky *myosinového* vlákna. Ionty  $Ca^{2+}$  uvolněné ze sarkoplazmatického retikula se navážou na *troponin*, který změní konformaci a odkryje vazebné místo pro *myosin*. Tím se spustí navazování a opětovné disociování *myosinu* (*“cross bridge cycling”*) vedoucí ke kontrakci svalů. Jak napovídá slovo *cycling*, opakuje se cyklicky, dokud je přítomno ATP a  $Ca^{2+}$ .

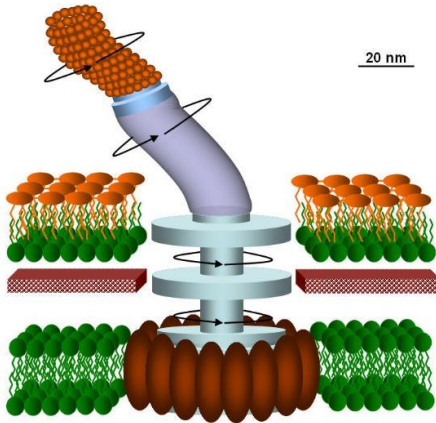
### Parametry stahu

Cykly jednotlivých hlaviček jsou **asynchronní** (aby se sval nestahoval v rázech nýbrž plynule). Jedna hlavička stáhne cca 5 cyklů (~5 ATP) za sekundu.

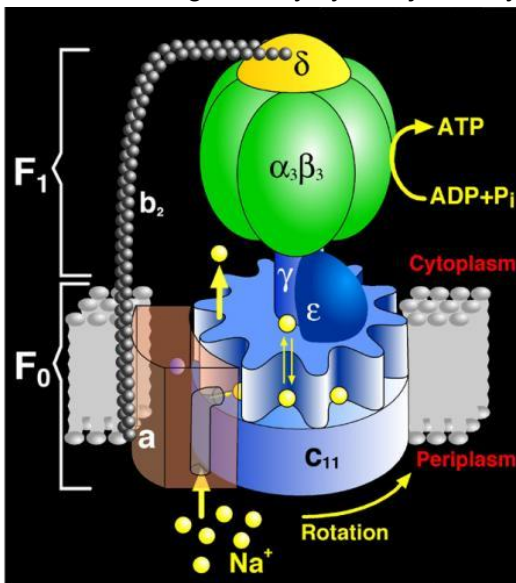
### Celulární transport, pohyb organel a buněk...

- myosin dokáže přemísťovat „náklad“ posouváním po aktinových mikrofilamentech, které tvoří část cytoskeletonu
- myosin a aktin také zajišťuje stah cytoplasmatické membrány a její zaškrcení při dělení buňky (tzv. *kontraktilní prstenec*)
- kinesiny a dyneiny = takové ty „chodící proteiny“, které kráčí po cytoskeletálních vláknech mirkotubulinu a transportují různé vesikuly apod. Také mají na starosti seřazení a následné oddělení chromozomů při mitóze.
- Určitý druh dyneinů je zodpovědný za pohyb některých bičků prvoků. „Hlavy“ dyneinů jsou zde fixované a jejich „nohy“ kráčí po dvou vláknech tubulinů. Když to dělá mnoho dyneinů synchronizovaně, tubuliny po sobě kloužou a bičík se kroutí.

- *Mot komplex*: gramnegativní bakterie mají dvojitou cytoplasmatickou membránu oddělenou peptidoglykanem. Některé z těchto bakterií mají bičík poháněný tzv. *mot-komplexem*, což je rotor poháněný vyrovnáváním gradientu iontů přes vnitřní membránu. Bičík se pak kroutí jako lodní šroub.



- *ATP-syntáza*: protein (ukotvený u eukaryot ve vnitřní membráně mitochondrií), který využívá vyrovnávání gradientů iontů (ne vždy  $\text{Na}^+$  jako na obrázku) napříč touto membránou k syntéze ATP. Opačný proces zajišťují různé ATPázy: za hydrolyzy ATP různé iontové gradienty vytvářejí, a taky se při tom točí.



### Proteiny replikace a transkripce

Schopnost přeměny chemické energie na mechanickou mají i DNA/RNA polymerázy, neboť využívají energie chemických vazeb nejen na prodlužování molekul nukleových kyselin, ale i na pohyb sebe sama. Dále proteiny jako helikáza, topoizomeráza...