

# Sval

**Svaly** jsou tkáně s elastickými vlastnostmi, schopné po dodání vzrušivého podnětu stahovat a následně relaxovat. Přeměňují tak chemickou energii v pohybovou, a proto zajišťují pohyb jak uvnitř organismu, tak i pohyb celého organismu. Svaly patří k pohybové soustavě a dělíme je do několika tříd – svalstvo příčně pruhované, hladká svalovina, svalovina srdce myokard. Všechny tyto soustavy obsahují kontrakceschopné bílkoviny.

## Obecná stavba svalu

Sval kosterní je složen ze svalové tkáně mezenchymového původu, obsahující **specializované typy buněk**. Svalové struktury jsou pospojovány **vazivem**. Rozlišují se svaly **pomalé** (konající statickou práci, méně výkonné, méně unavitelné – např. posturální svaly) a **rychlé** (umožňují rychlý, intenzivní, ale krátkodobý výkon – např. svaly paže).

Sval obsahuje několik částí: <sup>[1]</sup>

- **Začátek** (origo) – místo začátku svalu.
- **Úpon** (insertio) – místo úponu svalu.
- **Svalové břicho** (venter musculi) – nejmohutnější místo svalu.
- **Šlacha** (tendo) – uspořádané kolagenní vazivo, které sval upíná nejčastěji do kosti, někdy do kůže nebo kloubu.
- **Fascie** (povázka) – pružný vazivový obal svalu. Jsou součástí **osteofasciálních sept**, které tvoří spatia mezi periostem kosti a povrchovou fascií. Tudy se mohou šířit **patologické procesy**.

## Funkční rozdělení svalů

Svaly se funkčně rozdělují: <sup>[1]</sup>

- **Hlavní svaly** – nejdůležitější svaly pro daný pohyb.
- **Pomocné svaly** – svaly spolupůsobící s hlavním svaem.
- **Fixační svaly** – svaly zpevňující pohybující se část těla.
- **Neutralizační svaly** – rušící nežádoucí směry pohybů hlavních a pomocných svalů.

Díky různým funkcím se pak svaly řadí do skupin:

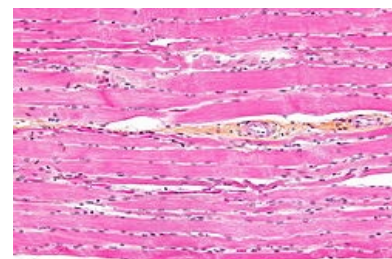
- **Synergisté** – kdy více svalů spolupracuje na jednom pohybu.
- **Antagonisté** – kdy svaly působí opačným pohybem jeden na druhý.
- **Agonisté** – svaly pro pohyb určitého směru působící jako iniciátoři a vykonavatelé.

## Příčně pruhovaná svalovina

Příčně pruhovaná svalovina je základní složkou **kosterního svalstva**. Díky střídání aktino-myozinových komplexů je mikroskopicky patrné příčné pruhování. V lidském těle je kolem 600 kosterních svalů.

Kosterní sval je tvořen **dlouhými cylindrickými mnohojadernými buňkami (syncytium)**, které jsou široké 60–100 µm. <sup>[2]</sup>

Jádra ve svalovém vláknu jsou přitom koncentrována pod cytoplazmatickou membránu, a proto lze kosterní svalovinu dobře rozlišit pod mikroskopem od ostatních typů. Vlákna kosterního svalu obsahují soubor kontraktilních bílkovin **aktinu a myozinu**, které vzájemným klouzáním umožňují stah svalu. Součástí aktinového myofilamenta jsou regulační proteiny – **tropoin a tropomyozin**.



Kosterní sval (HE)

Buňky kosterní svaloviny se sdružují do primárních snopečků (fasciculi), sekundárních snopců a nakonec do snopců vyšších řádů. Struktury jsou pospojovány vazivem, které se označuje jako **epimysium** (<https://mikroskop.wikiskripta.eu/?idx=20038%2B&link=1&cx=630&cy=379&n=22&m=6&q=65&f=0&r=0&annot=8350>) (vrstva obalující celý sval), **perimysium** (<https://mikroskop.wikiskripta.eu/?idx=20038%2B&link=1&cx=630&cy=379&n=22&m=6&q=65&f=0&r=0&annot=8346>) (vrstva obalující svazky vláken) a **endomysium** (<https://mikroskop.wikiskripta.eu/?idx=20038%2B&link=1&cx=630&cy=379&n=22&m=6&q=65&f=0&r=0&annot=8348>) (obalující jednotlivá svalová vlákna). Do vazivových sept poté pronikají **krevní cévy**, tvořící bohatou kapilární síť.

Myofibrila (soubor aktinových a myosinových myofilament) je členěna na pravidelné úseky, tzv. **sarkomery**, které jsou základní funkční jednotkou. Tyto sarkomery obsahují charakteristické linie a zóny:

[3]

- **Z-disky** – ohraničují sarkomeru. V těchto discích jsou ukotvena **tenká aktinová filamenta**.
- **M-linie** – jsou vedeny středem sarkomery a které ukotvují **tlustá myozinová filamenta** v jejich středu.

- **I-proužek (izotropní)** – část sarkomery, kde se aktinová filamenta nepřekrývají s myozinovými.
- **A-proužek (anizotropní)** – tmavší část sarkomery, kde se nachází myozinová filamenta (včetně úseku, kde se myozin překrývá s aktinem).
- **H-zóna** – světlejší část sarkomery, kde se nachází pouze myozinová filamenta.

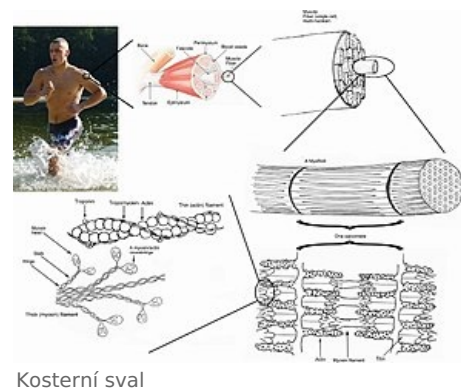
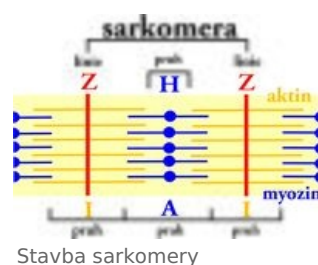
Při kontrakci se zkracuje I-proužek a H-zóna, A-proužek zůstává zachován.

## Molekulární princip kontrakce příčně pruhovaného svalstva

Spočívá v klouzání těžkých myozinových vláken po aktinových filamentech. Molekula myozinu sestává z dlouhé části tvořené dvěma obtáčejícími se polypeptidovými řetězci, na jejichž koncích jsou globulární hlavy. V části krčku této molekuly je místo, které konformační změnou může naklopit hlavu vůči dlouhé části a tím vyvolat pohyb na způsob páky. Tato hlava je přitom orientována proti aktinovému vlákně. Aktinové vlákno je dvoušroubovice vláknitého **F-aktinu**, tvořeného monomery globulárního **G-aktinu**. Po obou stranách dvoušroubovice se nachází molekuly **tropomyozinu** s molekulami **tropoinu**. Troponin obsahuje tři podjednotky:

- **Tn-C** – místo vážící kationty  $\text{Ca}^{2+}$ ;
- **Tn-T** – místo, kde se troponin váže k tropomyozinu;
- **Tn-I** – místo, které zakrývá aktivní místa aktinu pro interakci s myozinem.

Pro interakci filament je naprosto nezbytná přítomnost kationtů  $\text{Ca}^{2+}$ , které se vylíhají ze **sarkoplazmatického** (hladkého endoplazmatického) **retikula** po přenosu excitace z T-tubulů (T tubulus = invaginace sarkolemy) v odpověď na příchozí depolarizační stimul. Vazba  $\text{Ca}^{2+}$  na Tn-C podjednotku troponinu vyvolá **konformační změnu**, kdy se tropomyozin zasune ještě více do žlábků aktinu. Tím je umožněno hlavě myozinu se navázat na aktivní místo (myozin se "opře" o aktin) a aktivovat ATP-ázu. **ATP** se spotřebuje za produkce  $\text{ADP} + \text{P}_i$  a hlava myozinu se nakloní v podélné ose sarkomery – dojde k posunu filament a kontrakci. Vzniká stabilní **rigorový komplex**. Za účasti dalšího ATP se stav relaxuje.



**Rigor mortis** vzniká za předpokladu, že v buňce dojdou zásoby ATP. Spojení se tak nemůže relaxovat.<sup>[3]</sup>

## Druhy kontrakce

Rozlišujeme dva základní druhy kontrakce:

- **Kontrakce isotonická** mění se délka svalu, ale napětí je stejné (např. zvedání břemene).
- **Kontrakce isometrická** mění se napětí svalu, ale délka je stejná (např. přenášení břemene).

## Zdroje energie pro činnost svalu

Jednoznačným zdrojem energie pro sval je **ATP**, které je dodáváno oxidativní fosforylací. Krátkodobé výkony jsou zajišťovány pomocí anaerobní **glykolýzy** (produkce laktátu s následnou bolestivostí svalů). Dalšími zásobami energie jsou reakce **ADP s kreatinfosfátem**, který je defosforylován. Při dlouhodobé práci je využíváno **volných mastných kyselin**, při krátkodobém výkonu je nejdůležitější **glukóza**.<sup>[4]</sup>

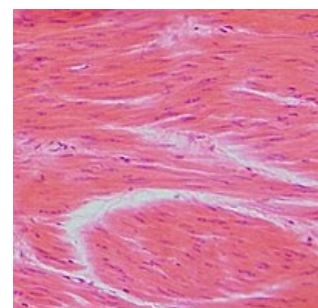
## Hladká svalovina

 *Podrobnější informace naleznete na stránce Hladká svalovina.*

Hladká svalovina tvoří stěny některých orgánů, útroby a cév (vyjma kapilár). Buňky jsou mnohem menší (2–5 × 20–200 μm, max. 500 μm) a vřetenovitého tvaru. Ve světelném mikroskopu nemá příčné pruhování. Nemá ovladatelná vůlí. Její kontrakce je pomalá a přetrvává dlouho.

Buňky hladké svaloviny jsou protáhlejší, vřetenovitého tvaru s jedním jádrem. Aktinová a myozinová filamenta zde probíhají šikmo přes buňku nebo tvoří sítě, nejsou uspořádána v sarkomery. Buňky hladké svaloviny tvoří:

- **Jednotkové hladké svaly** spojené nexy, díky nimž se šíří akční potenciál. Buňky pak fungují jako funkční syncytium (soubunní), kde se kontrakce šíří.
- **Vícejednotkové hladké svaly**, kde buňky nejsou vzájemně propojeny a kontrakce se prakticky nešíří.



Hladký sval (HE)

Princip kontrakce je na několik odlišností obdobný jako v kosterní svalovině. Hladká svalovina nemá nervosvalové ploténky, podráždění se šíří pomocí nexů nebo zvýšenou koncentrací mediátorů v mezibuněčném prostoru. Akční potenciál vzniká buď v tzv. **pacemakerových buňkách**, nebo výměnou  $\text{Ca}^{2+}$  a  $\text{Na}^+$  iontů.<sup>[5]</sup>




## Srdeční svalovina

Nachází se pouze v srdci a zajišťuje jeho neustálou mechanickou činnost. Svalovina je tvořena **kardiomyocyty** (15 x 85–100 µm) <sup>[6]</sup>, které jsou vzájemně propojeny, čímž umožňují jednotný přenos akčních potenciálů všemi buňkami. Kardiomyocyty obsahují jedno až dvě jádra uložená ve středu, hojně mitochondrií a na vzájemných spojeních buněk jsou charakteristické **interkalární disky** <sup>[6]</sup>. V mikroskopu je patrné příčné pruhování díky přítomnosti sarkomer.

Princip kontrakce je opět stejný jako u kosterní svaloviny.

## Odkazy

### Virtuální mikroskop

-  Hladká svalovina - HE (<https://mikroskop.wikiskripta.eu/?idx=20037+>)
-  Kosterní sval - HE (<https://mikroskop.wikiskripta.eu/?idx=20038+>)
-  Kosterní sval - Heidenheinův železitý hematoxylin (<https://mikroskop.wikiskripta.eu/?idx=20040+>)

### Související články

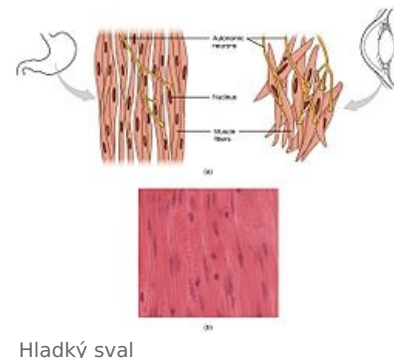
- Seznam svalů
- Svalové vřeténko
- Golgiho šlachové tělísko
- Kontrakce srdečního svalu

### Reference

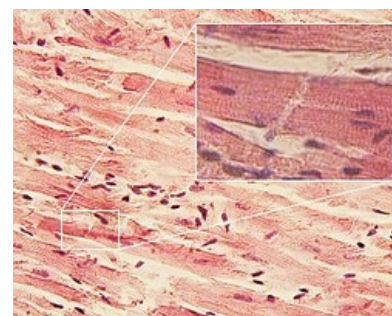
1. ČIHÁK, Radomír. *Anatomie I*. 2. vydání. Praha : Grada, 2001. 516 s. s. 321-322, 325. ISBN 978-80-7169-970-5.
2. JUNQUIERA, L. Carlos, José CARNEIRO a Robert O KELLEY. *Základy histologie*. 1. vydání. Jinočany : H & H 1997, 0000. 502 s. s. 184-186. ISBN 80-85787-37-7.
3. TROJAN, Stanislav, et al. *Lékařská fyziologie*. 4. vydání. Praha : Grada, 2003. 772 s. s. 92-95. ISBN 80-247-0512-5.
4. TROJAN, Stanislav, et al. *Lékařská fyziologie*. 4. vydání. Praha : Grada, 2003. 772 s. s. 103. ISBN 80-247-0512-5.
5. TROJAN, Stanislav, et al. *Lékařská fyziologie*. 4. vydání. Praha : Grada, 2003. 772 s. s. 104-108. ISBN 80-247-0512-5.
6. JUNQUIERA, L. Carlos, José CARNEIRO a Robert O KELLEY. *Základy histologie*. 1. vydání. Jinočany : H & H 1997, 0000. 502 s. s. 198-200. ISBN 80-85787-37-7.

### Použitá literatura

- TROJAN, Stanislav, et al. *Lékařská fyziologie*. 4. vydání. Praha : Grada, 2003. 772 s. s. 91-108. ISBN 80-247-0512-5.
- JUNQUIERA, L. Carlos, José CARNEIRO a Robert O KELLEY. *Základy histologie*. 1. vydání. Jinočany : H & H 1997, 0000. 502 s. s. 184-204. ISBN 80-85787-37-7.
- ČIHÁK, Radomír. *Anatomie I*. 2. vydání. Praha : Grada, 2001. 516 s. s. 321-327. ISBN 978-80-7169-970-5.



Hladký sval



Myokard s detailem na interkalární disk