

Mechanické charakteristiky svalů

Charakteristika svalů a jejich mechanických vlastností

Struktura kosterního svalu

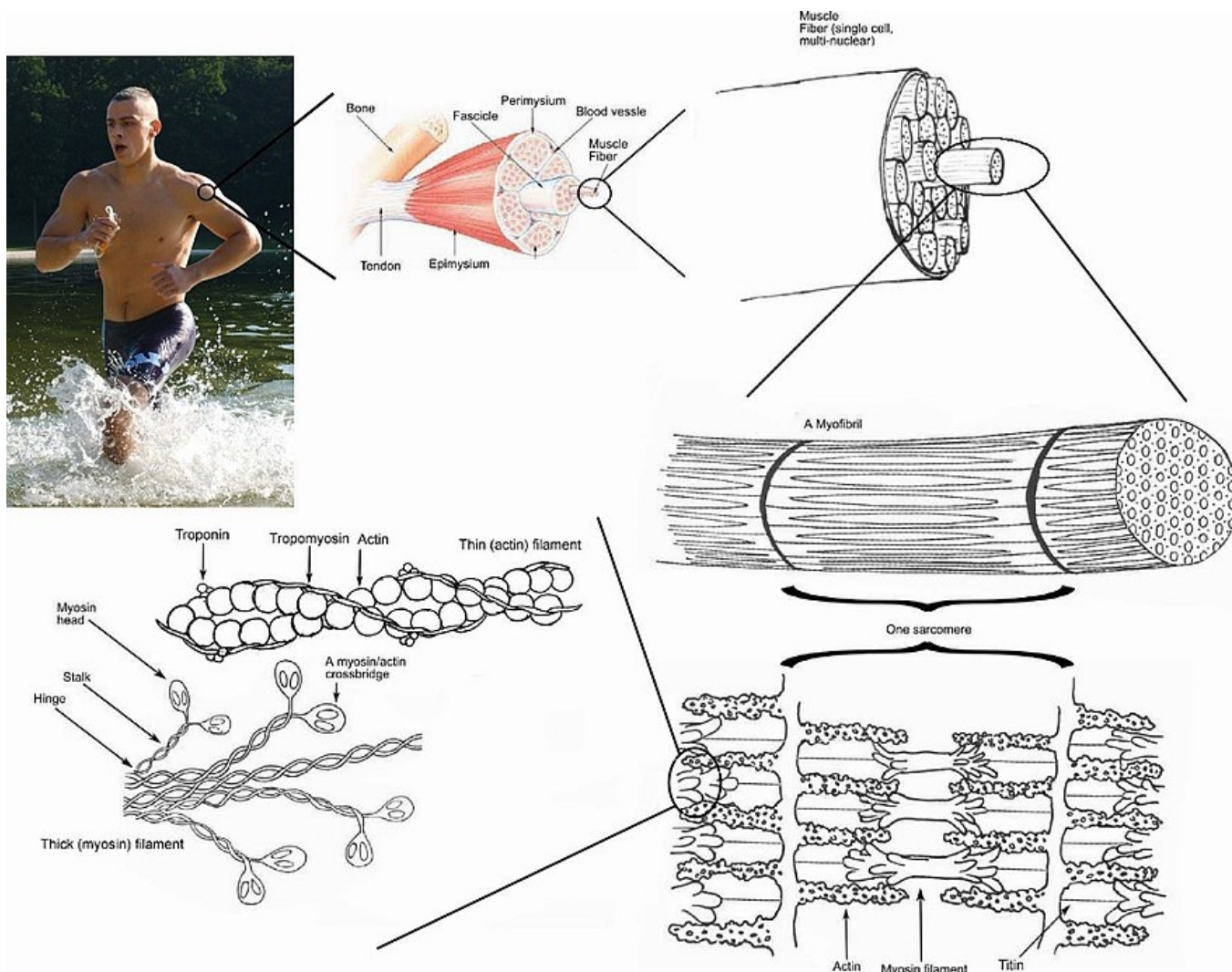
Základní aktivní složkou svalu jsou příčně pruhovaná svalová vlákna.

Ta jsou základem hybné složky pohybového systému. Funkční a biomechanickou jednotkou svalu jsou motorické jednotky – skupiny svalových vláken, které jsou inervovány jedním motoneuronem.

Svalové vlákno je komplexní mnohojaderná buňka, 40-100 mikrometrů silné a až na výjimky 1-40 milimetrů dlouhé. Od okolí je každé svalové vlákno odděleno buněčnou membránou – sarkolemou, která obklopuje cytoplazmu – sarkoplazmu. Sarkomery jsou vlastní kontraktilní jednotkou svalových vláken.

Samotná struktura sarkomer je tvořena paralelně umístěnými myofilamenty – aktinem (v průměru 4nm) a myozinem (v průměru 10nm), které se podle míry kontrakce svalu buď částečně, nebo zcela překrývají. Díky tomuto jedinečnému uspořádání obou bílkovin tak vzniká typický mikroskopický obraz příčně pruhované svaloviny, kdy se střídají izotropní (světlé) a anizotropní (tmavé) pruhy. Izotropní proužek je část sarkomeru, kde se filamenta kontraktilní bílkoviny aktinu nepřekrývají s filamenty myozinovými. Anizotropní proužek tvoří tmavší část sarkomeru, kde se nachází myozinová filamenta (včetně úseku, kde se myozin překrývá s aktinem).

Pružnost sarkomeru podmiňují především bílkoviny titin a nebulin.



Svaly jsou pomocí šlach, složených z tuhého fibrozního vaziva, připojeny k hlavní konstrukci těla, kostře. Šlachy mají značnou pevnost: unesou hmotnost 6-10 kg na 1 mm² průřezu.

Některé svaly (např. mimické) se upínají do kůže, jiné typy do kloubních pouzder.

Šlachy jsou svazky kolagenních vláken uspořádaných rovnoběžně, nebo šroubovitě. Vlákná svalu a vlákná šlach se mezi sebe schodovitě zasouvají. Tah svalových vláken je při kontrakci přenášen v postupně na svalové vazivo, poté na šlachové vazivo a potom na vlastní vlákná šlachy. Tato posloupnost zajišťuje velkou mechanickou pevnost.

Ke kostře se upínají provazcovitě nebo ploše. Tahový záběr kontrahujícího se svalu je měkký a pružný.

Hlavní funkcí svalů je měnit energii chemických vazeb na mechanickou práci. Tuto změnu svaly vykonávají charakteristickým stahem — kontrakcí. Ke kontrakci dochází na základě vzruchů z motorických nervových vláken.

Mechanické vlastnosti svalů

Deformace (změna polohy nebo tvaru) fyzikálních objektů v prostoru a čase je definována jako pohyb. Pohyb živých objektů podléhá nejenom zákonům matematiky a fyziky jako objekty neživé, ale živé objekty jsou schopny i záměrného pohybu, což je jedním ze základních projevů života.

Pro každý pohyb jsou klíčové čtyři vlastnosti svalové tkáně:

- excitabilita: přijímání podnětů a následná odpověď
- kontraktibilita: generace síly a pohybu zkrácením svaloviny
- extenzibilita: schopnost svalové tkáně být protažena — prodloužena
- elasticita: tkáň je schopna se vrátit do původního stavu, ve kterém se nacházela před kontrakcí, nebo extenzí

Kromě aktivních orgánů (svaly) vykonávajících pohyb, se na tomto procesu podílí i pojiva (tj. vazivová, chrupavčitá a kostní tkáň)

Rozlišujeme dvě základní funkce kosterních svalů

- **Funkci kinetickou** — mají v průběhu pohybu pouze právě se pohybující, uvolněné svaly.

Např. pouze m. rectus femoris extenduje koleno.

- **Funkci fixační** mají během pohybu naopak svaly, které jsou stabilizovány a fixovány. Tyto svaly slouží k optimalizaci pohybu.

Např. m. vastus medialis a lateralis fixují extendované koleno.

Pohybové vlastnosti svalů závisí na vnitřní struktuře svalu. Podle ní se mění hlavní mechanické složky pohybu: výška zdvihu a síla, se kterou je pohyb konán.

Sval se při kontrakci zkracuje o 30-40% své délky. Sval, na který nepůsobí deformující síla, je v tzv. klidové délce.

Rychlost svalové kontrakce se pohybuje v rozmezí 25-75 milisekund a závisí na typu svalového vlákna.

Mechanické složky pohybu: výška zdvihu a síla se kterou je pohyb konán, závisí na vnitřní struktuře svalů.

Svaly s paralelně rozloženými podélnými vlákny mají při stejném zkrácení větší délku zdvihu, ale menší sílu než svaly se šikmými snopci (svaly zpeřené).

Ve svalu se zpeřenými snopci je ve stejně velkém břišku zapojeno větší množství krátkých svalových vláken. Sval se může zkrátit o třetinu, někdy až o polovinu délky svých svalových snopců. Pokud se o třetinu kontrahuje sval s podélnou úpravou snopců, má větší výšku zdvihu, ale menší sílu. Pokud se o třetinu kontrahuje sval se zpeřenými snopci, má malou výšku zdvihu, ale velkou sílu.

Svaly s podélnými snopci jsou proto zpravidla upnuty dále od osy kloubu (na povrchu), svaly zpeřené blíže k ose kloubu (v hloubce), protože na malé dráze pohybu se musí uplatnit velká síla. Plocha, jež odpovídá součtu průřezů všech svalových vláken, tj. **fyzilogický průřez svalu (FP)**, je přímo úměrná síle stahu celého svalu.

Z hlediska biomechaniky závisí svalová síla především na:

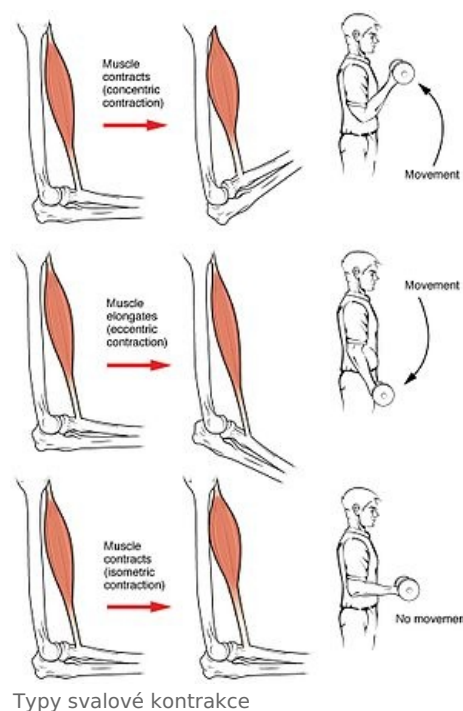
- Počtu svalových vláken — čím více obsahuje sval vláken, tím větší sílu je schopen vyvinout.
- Délce — čím je sval delší, tím větší sílu dokáže obvykle vyvinout.
- Počtu aktivovaných motorických jednotek
- Působení elastické složky svalu a šlachy

Vlastnosti pasivního a aktivního svalu

„Aktivní sval se vyznačuje vyšší tuhostí než sval pasivní. Tuhost svalu roste se stupněm excitace. Nárůst síly, kterou je sval schopen přenášet aktivní kontrakcí, je závislý na míře aktuálního protažení svalu. Schopnost svalu působit aktivní silou při přenosu břemene totiž závisí na míře zasunutí aktomyozinového komplexu, tedy na délce sarkomery.“^[1] Nestimulovaný kosterní sval může být protažen přibližně až o 45% (srdeční asi o 25%) své klidové délky (klidovou délku 100% definujeme podle maxima Gordonovy křivky – viz Izometrická kontrakce).

Elektromyografie

Elektromyografie (EMG) je diagnostická metoda zaznamenávající elektrické napěťové změny (tzv. elektrické potenciály) svalů. Zapisuje časový záznam kontrakcí kosterních svalů. K vlastnímu měření se používají vpichové elektrody, které snímají elektrickou aktivitu určitých motorických jednotek. (Více zde Elektromyografie)



Mechanické zatížení svalů a jeho účinky

Opakovaná intenzivní činnost pohybového aparátu má za následek změny v jeho struktuře v různém rozsahu. Fyzická zátěž vyvolává funkční hypertrofii svalů (růst svalové tkáně), často doprovázenou i částečnou změnou histo-chemické složky vláken. Cílenou izometrickou kontrakcí lze dosáhnout plastické modelace svalů (můžeme si povšimnout především u sportovců). Nedostatek pohybu, hypokinéza, naopak vede k hypotonii až k atrofii svalstva.

Mechanické zatížení můžeme rozdělit do jednotlivých skupin podle délky průběhu svalové kontrakce, síly která je v průběhu zatížení vyvíjena, a zapojení určitých funkčních svalových skupin:

- Silové
- Silově-vytrvalostní
- Obratnostní
- Vytrvalostní
- Silově-vytrvalostní

Na svalový aparát působí řada dalších mechanických faktorů. Rozlišujeme podněty **statické** (působící podnět i objekt působení jsou vzájemně v klidu) a **dynamické** (v případě pohybujícího se objektu působení). Většina mechanických faktorů má negativní i pozitivní účinek působení. Pozitivně využíváme mechanickou energii při léčbě a terapii.



Vyšetření svalové aktivity

Účinky mechanických sil

Gravitace

Gravitační síla působí mezi Zemí a člověkem neustále. Zvětší-li se tíhové zrychlení "g", mluvíme o tzv. přetížení organismu. Rozlišujeme **kladné** a **záporné přetížení**. Při kladném přetížení směřuje síla směrem od hlavy k nohám, při záporném naopak. V situaci, kdy se dostředivá a odstředivá síla rovnají a působí v opačném směru, nastává tzv. beztížný stav. V tomto se snižuje gravitační dráždění, nervosvalová koordinace, klesá svalový tonus a dochází k poruše analýzy polohy v prostoru.

Podtlak

Snížení atmosferického tlaku využíváme léčebně v tzv. **podtlakových komorách**, ve kterých je tlak snížen o 20-40 kPa. Tyto komory mají pozitivní vliv na respirační onemocnění. Exponenciální pokles atmosferického tlaku nastává se zvyšující se nadmořskou výškou.

Přetlak

Přetlaku atmosferického tlaku využíváme v tzv. **přetlakových komorách**. Přetlak se v nich pohybuje v rozmezí 26-54 kPa a jsou vhodné pro léčbu některých plicních onemocnění, otrav, popálenin a těžkých šokových stavů. Vlivem přetlaku může dojít k dekompresnímu syndromu — kesonová nemoc.

Účinky mechanické energie

Účinek mechanické energie je dán impulzem síly vzájemného působení dvou těles. **Negativní účinek** na lidské tělo označujeme jako mechanický úraz. Může vzniknout nárazem, náhlou změnou pohybu, nebo dlouhodobým působením tlaku. Druh úrazu závisí na:

- Velikosti impulsu síly
- Směru působícího impulsu
- Velikosti plochy, na kterou síla působí

Pozitivních účinků mechanické energie využíváme v terapeutických metodách a postupech. Rozlišujeme:

- Léčebný tělocvik — zvýšení pohybové zdatnosti
- Ergoterapii — zvýšení svalového tonu a rozsahu pohyblivosti prací
- Mechanoterapii — různé druhy masáží

Dělení svalů

Rozdělení svalů podle jejich působení

Klouby jsou obklopeny různými skupinami svalů. Jejich různé lokalizace pak působí na systémy pák v různých směrech.

- **Agonisté** jsou svaly, které působí a iniciují pohyb v jednom směru.
- **Antagonisté** jsou svaly vytvářející protichůdný pohyb.
- **Synergisté** jsou svaly uplatňující se při provedení určitého typu pohybu.

Souhra agonistů a antagonistů je důležitá pro stabilizaci samotného pohybu. Působení protichůdných svalových skupin totiž stabilizuje určitou polohu těla a jeho segmenty. Příkladem této souhry jsou svaly břišní stěny, které takto stabilizují vzpřímenou polohu (posturální svaly).

Rozdělení svalů z funkčního hlediska

Podle významnosti zapojení do pohybů

- **Funkce hlavní:** např. m. biceps brachii flektuje předloktí.
- **Funkce vedlejší:** např. m. biceps brachii supinuje předloktí.
- **Funkci neutralizační** pak mají svaly, které ruší nevhodný směr pohybu způsobený hlavními a vedlejšími svaly.

Rozdělení svalů podle jejich vztahu ke kloubům

- **Jednokloubové svaly** mají vztah pouze k jednomu kloubu, nad kterým procházejí.
- **Vícekloubové svaly** procházejí nad více klouby a mají k nim různý vztah.

Druhy svalové kontrakce

Základem svalové funkce je kontrakce — svalový stah. Podle vnějších projevů svalové kontrakce se rozlišuje několik základních druhů kontrakce:

- **Izotonická kontrakce** je kontrakce, při které se mění délka svalu a vnitřní napětí svalu zůstává stejné.
 - **Koncentrická kontrakce** je kontrakce, při které dochází ke zkrácení svalu. Je typická zvětšením objemu svalového břicha a skutečným zkrácením svalu. Sval při tomto typu zkrácení vykonává práci a svalová síla působí ve stejném směru jako pohybující se segment těla. Výsledkem koncentrického smrštění svalu je nejen pohyb prováděný stálou rychlostí, ale i urychlení, akcelerace pohybu. Molekulární podstatu koncentrické kontrakce vyjadřuje klasický model kontrakce — teorie můstků.
 - **Excentrická kontrakce** je kontrakce, při které dochází k prodlužování svalu. Svalové úpony se při tomto typu kontrakce vzdalují. Výsledkem je pohyb, ale převážně pohyb brzdící, decelerační.
- **Izometrická kontrakce** je kontrakce, během které je sval aktivován, ale není generovaný žádný pohyb. Při izometrické kontrakci zůstává délka svalu konstantní — vzdálenost začátku a úponu svalu se nemění. Aktivita svalu je však patrná na změně napětí svalu.

Odkazy

Související články

- Sval
- Biomechanika svalového stahu
- Spojení excitace a kontrakce
- Mechanické vlastnosti tkání — Opěrný a pohybový systém

Reference

1. *KOMPENDIUM,, et al. *Mechanické vlastnosti kosterního svalu* [online]. [cit. 2013-01-09]. <http://biomech.ftvs.cuni.cz/pbpbk/kompendium/biomechanika/vlastnosti_komplex_sval.php>.

Použitá literatura

- NAVRÁTIL, Leoš a Jozef ROSINA, et al. *Lékařská biofyzika*. 1. vydání. Praha: Manus, 2001. 357 s. ISBN 80-902318-5-3
- NAVRÁTIL, Leoš a Jozef ROSINA, et al. *Medicínská biofyzika*. 1. vydání. Praha : Grada, 2005. 524 s. ISBN 80-247-1152-4.
- KOMPENDIUM,, et al. *Mechanické vlastnosti kosterního svalu* [online]. [cit. 2013-01-09]. <http://biomech.ftvs.cuni.cz/pbpbk/kompendium/biomechanika/vlastnosti_komplex_sval.php>.
- ČIHÁK, Radomír a Miloš GRIM. *Anatomie*. 3. vydání. Praha : Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3817-8.