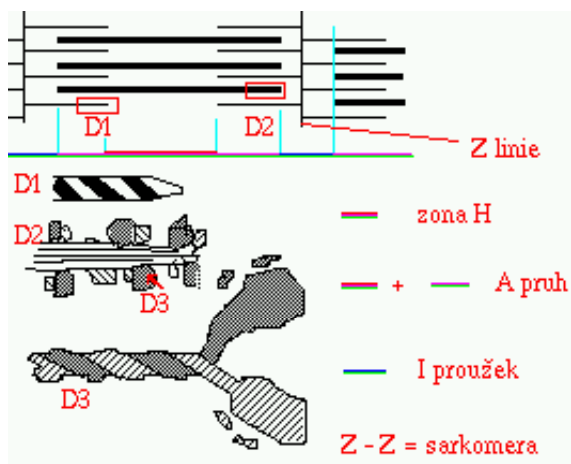


Svalová tkáň

Existují tři typy svalové tkáně, kosterní sval, srdeční sval a hladký sval. Pracují na stejném základu: vzájemné interakci specializovaných bílkovin aktinu a myosinu, avšak v detailech se liší.

Ve svalové tkáni nacházíme silná filamenta, jejichž hlavní komponentou je myosin a filamenta tenká, jejichž hlavní komponentou je aktin. Jsou uspořádány do charakteristické struktury, ukazované na schématu:



Myosin má spirálovitě do sebe stočené dvě velké jednotky, vybíhající jako hlavice na jednom konci. Tyto hlavice jsou každá doprovázena párem nízkomolekulárních jednotek (viz D3). V této oblasti je ATP-asová aktivita, schopná zajistit vazbu na aktin. Jednotky myosinu jsou spojeny do vřeten, zasunutých mezi vlákna aktinu.

Základem vláken aktinu je dvoušroubovnice, skládající se z vláken F-aktinu (viz D1), na nichž je navázán monomerní G-aktin. Navíc jsou zde přítomny regulační proteiny tropomyosin a troponin. Vlákna aktinu jsou ukotvena na linii Z. Komplex aktinu a myosinu mezi dvěma Z liniemi se nazývá sarkomera. V příčně prohozaném a srdečním svalstvu jsou sarkomery uspořádány palisádovitě, takže jednotlivé části různých sarkomer leží vedle sebe a při pohledu optickým mikroskopem splývají. Tím vzniká charakteristické příčné pruhování kosterního a srdečního svalu, na němž rozeznáváme tmavé A proužky a světlé I proužky, které jsou uprostřed rozděleny liniemi Z. Toto pruhování vyniká při některých barveních a rovněž při použití polarizačního mikroskopu. V hladkém svalstvu jsou jednotlivé sarkomery vůči sobě nepravidelně posunuty, takže příčné pruhování není v optickém mikroskopu pozorovatelné. Mezi myofibrily, vytvářenými za sebou ležícími sarkomerami, se zasouvá složitý membránový systém (kosterní a srdeční sval), jehož základem jsou vchlípeniny buněčné membrány svalové buňky, na konci větvené do tvaru T na řezu. V nich (pozor, jedná se fakticky o extracelulární prostředí) je vysoká koncentrace iontů Ca^{2+} , které se mohou velice snadno dostat při otevření kanálů pro vápníkové ionty v této membráně k sarkomerám a katalyzovat reakce, vedoucí ke stahu. Po ukončení stahu jsou vápníkové ionty aktivně vypumpovány zpět do T tubulů. Vzhledem k blízkosti těchto struktur trvá celý děj velice krátkou dobu. U hladkého svalstva nejsou T-tubuly vyvinuty a ionty Ca^{2+} musejí projít skrze jejich cytoplasmu až k sarkomerám, z toho důvodu jsou buňky hladkého svalstva obecně u člověka pomalejší a ne tak přesně ovladatelné jako buňky kosterního svalu (poněkud jiné mechanismy se vyvinuly u bezobratlých, schopných na pomocí hladkého svalstva vykonávat velice rychlé a koordinované pohyby, jako třeba řízení pohybu křídel u hmyzu).

Vlastní energii pro svalový stah dodává štěpení ATP na ADP. Energie pro stah se využije v okamžiku, kdy vazbou iontů Ca^{2+} na troponin C se odkryje vazebné místo pro myosin na aktinu. Následně se uvolní ADP a fosfát, tím dojde k potažení

aktinuke středu sarkomery. Další ATP vazbu uvolní, ale v přítomnosti iontů Ca^{2+} dojde k navázání hlavy myosinu na další úsek aktinu a k pokračování kontrakce. Kontrakce se ukončuje transportem Ca^{2+} zpět do T-tubulů, což vede ke znemožnění vazby aktinu na myosin. Výsledkem je relaxace.

Energie svalu se získává štěpením ATP, jehož je ovšem ve svalové buňce zásoba pouze asi na 1-2 sekundy. Další ATP je vytvářeno třemi pochody:

- přenosem fosfátové skupiny fosfokreatinu na ADP
- odbouráním glukózy z krve nebo ze svalového glykogenu
- aerobní fosforylací (dominuje v klidovém stavu svalů)

Při náhlé zátěži je cca 5-10 sekund pokrýváno přeměnou fosfokreatinu na kreatinin a ATP. Následně kosterní a hladký sval čerpají energii pro svalovou práci **anaerobní glykolýzou** za vzniku kyseliny mléčné. Výsledkem je okyselení svalů a nutnost dodatečně odbourat kyselinu mléčnou přeměnou na kyselinu pyrohroznovou za dodávky kyslíku (proto práce "na kyslíkový dluh"). Při adaptaci na výkon dojde po 50-70 sekundách k rovnovážnému stavu mezi výdejem energie a jejím příjmem ve formě kyslíku, použitým do aerobní fosforylace s využitím glukózy a mastných kyselin. Srdeční sval práce na kyslíkový dluh schopen není a jeho činnost po přerušení dodávky kyslíku proto rychle ustává.

Právě přechod mezi prací na kyslíkový dluh a mezi výkonem při rovnováze transportu kyslíku a výdeje energie je velice náročný. Z tohoto důvodu nejsou nejtěžší např. běhy na dlouhé tratě, ale běh na 250 m, kdy se závodník tomuto přechodu nevyhne. Kratší běh (50 - 100 m) je prováděn u trénovaných celým na kyslíkový dluh, včetně toho, že existují techniky běhu na tyto krátké vzdálenosti se zadržným dechem.

Základní postavení aktinu a myosinu v sarkomeře je pro kosterní, hladký a srdeční sval různé.

Největší přiblížení v základním postavení aktinu a myosinu je ve svalů srdečním, nejvzdálenější od sebe jsou ve svalů hladkém. Důsledkem je různá závislost síly svalů na stupni kontrakce.

Je-li srdeční sval pasívně natažen, stahuje se s vyšší silou, protože při tomto natažení se dostanou všechny hlavice myosinu do kontaktu s aktinem. Při pokračujícím stahu se může srdeční sval dostat do situace, kdy protilehlá vlákna aktinu přijdou do vzájemného kontaktu a překážejí vazbě aktin-myosin, tím síla srdečního stahu v průběhu kontrakce slábne. Srdce proto vypuzuje větší silou krev tehdy, pokud se zvýší návrat krve z žil a je to zajištěno už na úrovni makromolekul sarkomery. Tím je také zajištěno, že jen ve výjimečných případech nastává selhání srdce z nadměrného návratu žilní krve.

Hladký sval má základní postavení opačné, při němž část hlavic myosinu nemá kontakt s aktinem a získává ho v průběhu stahu. Výsledkem je nárůst síly stahu během kontrakce. Uplatňuje se to např. ve stěnách dutých orgánů, které se po zahájení kontrakce stahují se stále vyšší silou. Negativním následkem tohoto stavu je, že pasívně roztažené duté orgány se stěnou obsahující hladké svalstvo mohou zastavit svou činnost.

Sarkomery kosterního svalů jsou ve střední poloze, kdy množství hlavic myosinu, které jsou v kontaktu s aktinem, je po určitou dobu stahů konstantní a vzniká izotonický stah.