

Fyziologie svalů

Svalová tkáň

- je složena z buněk, které jsou schopny reagovat na podráždění změnou své délky nebo napětí,
- slouží k pohybu a udržování polohy organismu v prostoru,
- tvoří stěny dutých orgánů a umožňuje jejich funkce.

Typy svalů:

- svaly kosterní (příčně pruhované),
- srdeční (modifikovaný kosterní),
- hladké svaly.

Základní fyziologické vlastnosti:

- dráždivost,
- stažlivost (schopnost reagovat stahem na podněty elektrické, humorální i mechanické)

Základní fyzikální vlastnosti:

- pružnost,
- pevnost.

Příčně pruhované svaly

- jsou složeny z množství svalových vláken tvořených svalovými buňkami válcového tvaru s velkým počtem jader.

Svalové vlákno je ohraničeno **sarkolemou**, membránou stejnou jako u jiných buněk, která má na povrchu plášť tvořený vrstvou polysacharidů a kolagenních vláken, přecházejících ve šlachu.

Sarkolema se místy vychlipuje a tvoří **transverzální tubuly** (*T-tubuly*) – umožňují rychlejší přenos akčního potenciálu dovnitř buněk.

Vlastním **kontraktilním aparátem** buňky jsou **myofibrily** – dlouhá vlákna tvořená aktinem a myozinem; jsou uložena v **sarkoplazmě**.

Aktin a myozin – kontraktilní aparát svalu

- vysoce polymerizované proteiny, které svým uspořádáním způsobují proužkování myofibril,
- ve svalovém vlákne jsou uloženy tak, že stejné proužky leží vedle sebe, a proto vzniká proužkování svalových vláken = příčně pruhovaný sval.

Funkční jednotkou příčně pruhovaného svalu je **sarkomera**, ohraničená dvěma Z-liniemi.

Sarkoplazmatické retikulum

- velice důležitá organela svalové buňky,
- velmi bohaté endoplazmatické retikulum, jehož hlavní funkcí je skladovat vápenaté ionty, nezbytné pro činnost svalu

Stah příčně pruhovaného svalu

Činností akčního potenciálu dojde ke zkrácení sarkomery, zkrácení myofibrily, a tím i ke zkrácení svalu čili svalový stah.

Sval se může maximálně zkrátit na 50 – 70 % své klidové délky a prodloužit až na 180 % klidové délky.

Typy příčně pruhovaných svalů

Makroskopicky lze příčně pruhované svaly rozdělit na 2 typy:

1. červené svaly,
2. bílé svaly

Červené svaly

- obsahují velké množství myoglobinu (bílkoviny vážící ve svalu kyslík), který je červený,
- tento typ svalu se specializuje na aerobní metabolismus (energeticky výhodnější než anaerobní) → šetří energii, ale pracují poměrně pomalu = **pomalé svaly** (např. šíjové svaly)

Bílé svaly

- mají poměrně málo myoglobinu,
- jsou relativně méně prokrvené,
- mají méně mitochondrií,
- mají velmi bohaté sarkoplazmatické retikulum a velké množství glykolitických enzymů,
- specializují se na anaerobní metabolismus a jsou schopny velmi rychlých pohybů,
- spotřebují velké množství energie a velice snadno se unaví.

Většina kosterních svalů v těle je směsí červených a bílých vláken, některé však mají výraznou převahu vláken určitého typu. Šíjová vlákna – červené svaly, okohybná vlákna – bílé svaly. Zajímavé je, že zastoupení jednotlivých typů vláken např. lýtkovém svalu je dáno geneticky.

Motorická jednotka příčně pruhovaného svalu

Příčně pruhovaný sval je řízen motorickými nervovými vlákny z předních roků míšních. Jeden motoneuron inervuje několik svalových vláken a vytváří **motorickou jednotku**.

Motorická jednotka

= soubor svalových snopců, které jsou funkčně závislé na jednom motoneuronu.

Malá motorická jednotka

- je tvořena 3 – 8 vlákny,
- impulz z motoneuronu se rychle převede na celou motorickou jednotku a ta rychle zareaguje stahem,
- tento typ jednotek je častý u svalů, které mají pracovat rychle a jemně (okohybné svaly, drobné svaly ruky).

Velké motorické jednotky

- obsahují 1 500 až 2 000 svalových snopců na jeden motoneuron,

- vyskytují se tam, kde se jedná především o dlouhodobé udržení napětí (svalového tonu) k zajištění vzpřímené polohy těla (př. antigravitační svaly)

Většina svalů obsahuje oba typy motorických jednotek, ale podle funkce svalu vždy jeden typ převládá.

Svalový třes (jeden z mechanismů tvorby tepla v organismu)

- nejprve se zvýší svalový tonus, ale pokud to nestačí, začnou se střídavě nekoordinovaně stahovat svalové snopce.
Nekoordinovanost zapojování vede k tomu, že se svaly nezkracují, ale vzniká svalový třes.

Příčně pruhované svaly jsou řízené vůlí.

Hladké svaly

Jednotkou hladkého svalu je vřetenovitá svalová buňka s jedním jádrem. Je prostoupená rozptýlenými aktinovými a myozinovými vlákny, takže netvoří proužkování.

Aktinová vlákna v buňce hladkého svalu neobsahují troponin a jsou zakotvena do pevných **aktinových tělísek** (nahrazují Z-proužek příčně pruhovaného svalu). Tělíška jsou buď volně rozptýlena v cytoplazmě, nebo jsou spojena se sarkolemou.

Dva typy hladkého svalu:

Vícejednotkový sval

- je složen z několika na sobě vzájemně nezávislých buněk, které mají každá zvláštní inervaci a které se mohou kontrahovat každá zvlášť,
- vyskytuje se hlavně tam, kde je třeba jemný a cílený pohyb (např. *musculus ciliaris*),
- je vůlí neovlivnitelný,
- nemá automacii (schopnost pohybu bez nervového podnětu),
- může být řízen jen vegetativním (autonomním) nervovým systémem.

Útrobní hladký sval

- je tvořen sty až miliony buněk, které jsou velmi těsně spojeny a chovají se jako jeden celek = **syncitium**
- jsou uloženy hlavně ve stěnách dutých orgánů: v děloze, cévách, trávicím ústrojí a v močovém měchýři,
- buňky tohoto typu svalu k sobě přiléhají tak těsně, že z jedné buňky na druhou přecházejí ionty i akční potenciál,
- mají schopnost automacie,
- kromě vegetativního systému mohou být řízeny i hormonálně, látkovými vlivy a reflexně.

Žádný typ hladkého svalu nemůže být řízen vůlí.

Projevy činnosti svalstva

Činnost svalů provázejí různé děje, které jsou buď podmínkou svalové práce (získávání energie, elektrické, strukturní a mechanické změny), nebo následkem práce svalů (tepelné změny).

Projevy činnosti svalstva můžeme rozdělit do několika typů:

- projevy mechanické,
- elektrické,
- strukturální,
- chemické,
- tepelné.

Projevy mechanické

- na první pohled zjevný projev,
- zkrácení a posléze ochabnutí svalu, tedy stah a relaxace

Stah může být:

1. **izotonický** – nemění se při něm tonus (napětí vláken), ale jejich délka (př. lýtkový sval při chůzi, střídavě se protahuje a zkracuje a nemění své napětí),
2. **izometrický** – nemění se délka vláken, ale jejich napětí (př. všechny antigravitační svaly)

Mechanické projevy činnosti svalu se zaznamenávají myograficky.

Projevy elektrické

Membrána každého svalového vlákna je polarizována z vnitřní strany buňky negativně a na povrchu pozitivně. Takto vzniklý klidový potenciál se po stimulaci mění na akční potenciál, který se pak šíří po svalovém vlákně a vyvolává kontrakci. Příčinou vzniku akčního potenciálu ve svalovém vlákně jsou změny v propustnosti membrány pro ionty sodíku, draslíku a případně vápníku v závislosti na podnětu.

Akční potenciál příčně pruhovaného svalu

Klidový potenciál příčně pruhovaného svalu je přibližně -80 až -90 mV a akční potenciál dosáhne hodnoty kolem $+20$ až $+30$ mV; hodnota akčního potenciálu kosterního svalu je tedy přibližně 120 mV.

Akční potenciál kosterního svalu trvá přibližně 10 ms a svým průběhem se velmi podobá akčnímu potenciálu nervového vlákna, který je však kratší (1 až 2 ms).

Akční potenciál hladkého svalu

Hladký sval nemá skutečný klidový potenciál, jeho hodnota neustále mírně kolísá. Udává se hodnota kolem -50 mV. Akční potenciál má hodnotu přibližně 60 mV a délka jeho trvání je poměrně značná: několik milisekund a 3 sekundy.

Průběh může být různý podle typu svalu – buď s fází plató, nebo bez ní, v závislosti na typu svalu.

Akční potenciál srdečního svalu

Hodnota klidového potenciálu srdečního svalu je kolem -80 až -90 mV, akčního potenciálu 120 mV a délka trvání 200 až 300 ms.

Tvar akčního potenciálu je na různých místech srdeční svaloviny různý, v pracovním myokardu je to však vždy průběh s plató.

Projevy strukturální

Projevy strukturální spočívají v zasouvání vláken aktinu mezi vlákna myozinu.

Projevy chemické

Aby mohl sval pracovat, potřebuje energii.

Všechny chemické změny vedoucí k *využití energie* svalem jsou zahrnuty do chemických projevů činnosti svalstva.

Bezprostřední zdroje energie pro sval:

- Adenozintrifosfát – ATP: jeho zásoba vystačí na 1 až 2 sekundy činnosti svalu, proto se zpracovává i kreatinfosfát, jehož zásoba není příliš velká ($7-8$ sekund),
- Glukóza – vznikající ve svalovém glykogenu, z ní může sval získávat energii *aerobně* (aerobní glykolýzou – štěpení za přítomnosti kyslíku, nebo *anaerobně* (anaerobní glykolýzou),
- Mastné kyseliny,
- Aminokyselina z bílkovin (po delším hladovění)

Projevy tepelné

Účinnost svalové práce je nízká, přibližně 20 až 25% , část energie se vždy ztrácí v podobě tepla.

Teplo, které se vytváří, vzniká v okamžicích, kdy ve svalu probíhá nějaký aktivní děj, při němž se spotřebovává energie. Podle toho se teplo dělí na:

- teplo iniciační – vzniká při strukturálních změnách ve svaly,
- teplo opožděné (zotavovací) – objevuje se při aktivním uvádění svalu do výchozího stavu.

Rozdělení iniciačního tepla:

- teplo iniciační *aktivační* – vzniká při aktivaci myozinových hlav,
- teplo iniciační *kontrakční* – vzniká při tvorbě můstků mezi aktinem a myozinem,
- teplo iniciační *relaxační* – vzniká po uvolnění myozinových hlav z aktivních míst na aktinu

Svalová síla

Výsledkem činnosti svalu je svalový stah, jehož charakteristikou je svalová síla = maximální hmotnost, kterou sval udrží v rovnováze proti gravitaci.

Měří se dynamometry (siloměry) a udává se v $[\text{kg}/\text{cm}^2]$, tzn. v kilogramech zvednuté hmotnosti na jeden centimetr čtvereční příčného průřezu svalem. Někdy se udává i v Newtonech (A).

Svalová práce

- je definována jako svalová síla působící po určité dráze,
- její jednotkou je 1 Joule (J).

Práci lze dělit na:

1. Práci statickou: mění se svalový tonus aktivních vláken, nemění se však délka svalu (stah je izometrický),

2. Práci kinetickou: mění se délka svalu, ale nemění se svalový tonus (stah je izotonický)

Svalový výkon

Svalový výkon je práce vykonaná za časovou jednotku.

Svalová únava

- je vyvolána dlouhou a silnou nebo opakovanou svalovou kontrakcí,
- stupeň únavy odpovídá snížení zásob glykogenu, zvýšené hladině kyseliny mléčné, sníženému pH ve tkáni a změně prokrvení,
- je signál pro přerušování práce, než dojde k úplnému vyčerpání a případně poškození svalu, (tento signál má značnou rezervu),
- odolnost proti svalové únavě se dá zvyšovat tréninkem,
- dráždění sympatiku může svalovou únavu zmenšit a oddálit. (Orbeliho fenomén).