

Fyziologie svalové činnosti

Syllabus

2) Obecný úvod

4) Kosterní svaly

- a) funkční stavební jednotky
- b) akční pot., molekul. podklad kontrakce, elektromech. spřažení
- c) sumace, tetanus, závislost délka – síla
- d) nervosvalové spojení
- e) metabolismus, energetika, typy sv. vláken
- f) motorická jednotka, denervace, EMG

6) Hladké svaly

- a) funkční stavební jednotky
- b) akční pot., molekul. podklad kontrakce, elektromech. spřažení
- c) řízení hladkých svalů

7) Srdeční sval

Svaly – ob. vlastnosti

dráždivost

tvorba akčního potenciálu

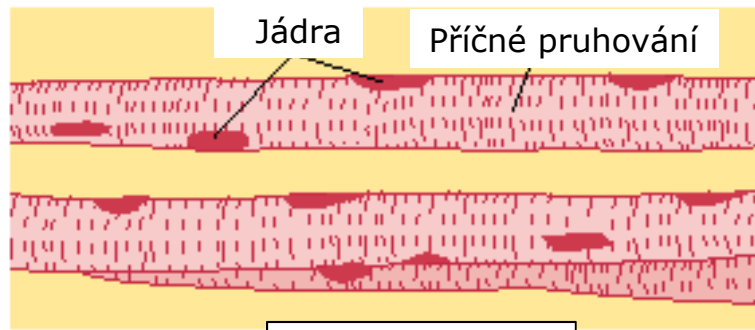
a

kontraktilita

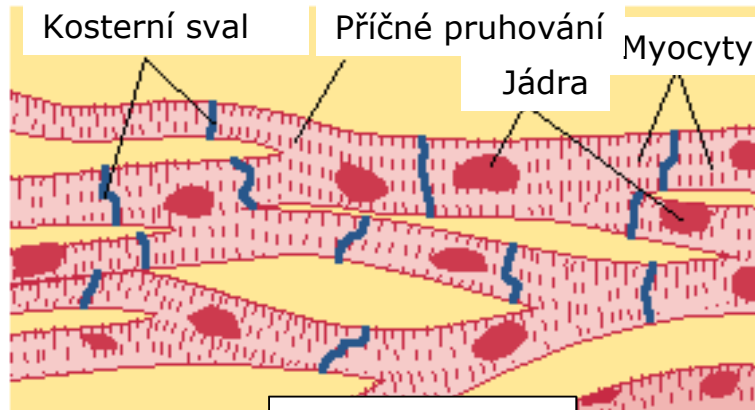
převod chemické energie na mechanickou

Složení svalové buňky

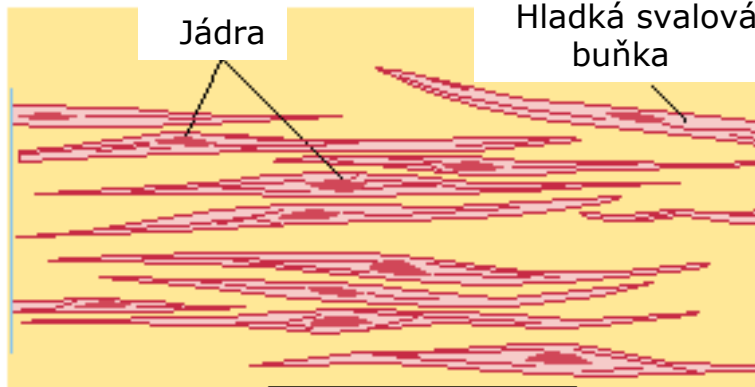
- 75% H₂O, 20% proteiny, 1% anorganické látky
- Mg²⁺, K⁺, Ca²⁺, Fe³⁺, ATP, ADP, glykogen, kreatinfosfát, myoglobin
- bílkoviny: aktin, troponin, tropomyozin, myozin, titin



Kosterní sval



Srdeční sval



Hladký sval

Kosterní svalstvo

kontraktilní elementy
(paralelní)

elastické elementy
(sériové) – šlachy

svalové vlákno – mnohojad.
buňka, sarkolemma

T-tubuly

+

terminální cisterny
sarkoplasmatického retikula
= TRIÁDA

Sarkomery – opakující se
pravid. uspořádaná
myofilamenta:

tenká aktinová
(aktin, tropomyosin, troponin)

tlustá myosinová
(myosin-II; těžké a lehké řetězce)

F-aktin – polymerizovaný G-aktin,
300–400 podjednotek, 43 kD

tropomyosin – vláknitá molekula, 70 kD

troponin – 3 podjednotky:

T – vazba k aktinu a tropomyosinu

C – vazebné místo pro Ca^{2+}

I – inhibice vazby myosinu na aktin

myosin – 460 kD, délka 134 nm, vláknitá
molekula s 2 hlavičkami (vazba aktinu,
ATPasová aktivita)

Kontrakce

zkrácení sarkomery posunem myofibril proti sobě
„Teorie klouzajících filament“

Sprážení excitace a kontrakce

po dráždění nervu se z nerv. zakončení uvolní Ach

vazba na nikotinový receptor
otevření Na⁺ kanálů, depolarizace, šíření AP

depolarizace způsobí otevření vápníkových kanálů
v membráně sarkoplazma-tického retikula
(DHP rec. v T-tubulu)

zvýšení intracelulární koncentrace Ca²⁺
aktivuje tropomyozinový komplex, dojde k cyklickému vytváření příčných můstků
(přítomnost ATP, Mg²⁺ a Ca²⁺)

Relaxace

Vápník je aktivně transportován zpět do sarkoplazmatického retikula, kde je vázán kalsekvestrinem.



Klidová koncentrace Ca²⁺ v sarkoplazmě je 10⁻⁷ mol.l⁻¹.

Změny koncentrací iontů po akčním potenciálu jsou vyrovnány Na-K ATPasou

Záškub

reakce na jednotlivé podráždění nervu,
přenos přes nervosvalovou ploténku

elektrický projev: **akční potenciál**
(depolarizace svalové membrány)

Tetanus

Vztah délka – napětí

Nervosvalové spojení

Acetylcholin-nikotinový receptor

Jak zablokovat nervosvalový přenos

- obsadit nikotin-acetylcholinový receptor: **kurare**
- zpomalit exocytózu ACh vesiklů: **botulotoxin**
- utlumit ACh-esterázu: **neostigmin, fyzostigmin**
- **karbachol**: otevře ACh kanály, ale není degradován ACh-esterázou ... trvalé spasmy

Motorická jednotka: všechna svalová vlákna zásobená 1 neuronem

~4 svalová vlákna
v laryngeálních svalech

~100 vláken v zádových
svalech

~ 1000 v DK

Typy svalové kontrakce

Izometrická

nemění se délka svalu, jenom napětí
(posturální svaly), práce nulová

Izotonická

mění se délka svalu, napětí je stálé
(sval vykonává práci – pohyby)

Auxotonická

mění se délka svalu i napětí
(sval vykonává práci, složitější pohyby např. chůze)

Metabolismus svalů

zdroje energie pro sval:

okamžité

ATP

adenosin ~ PO_3 ~ PO_3 ~ PO_3

fosfokreatin

krátkodobě

glukóza anaerobně

(s produkcí laktátu)

sprint: 85% spotřeby

3km: 20%

dlouhodobě

nižší zátěž

volné mastné kyseliny

vyšší zátěž

glukóza aerobně

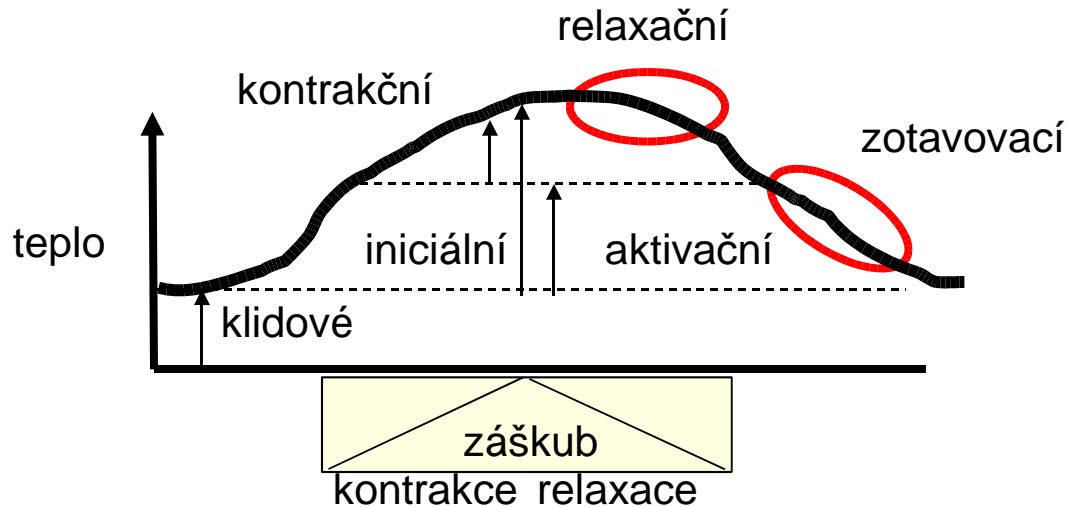
(z glykogenových zásob)

Energetická bilance

- během těžší svalové práce nestačí aerobní mechanismy
- po skončení výkonu spotřeba kyslíku klesá pomalu: **kyslíkový dluh**
odstranění laktátu, doplnění zásob ATP, kreatinfosfátu, glykogenu a kyslíku vázaného na myoglobin
- proto stoupne spotřeba O_2 po cvičení z 0.3 L/min na ~ 5 L/min

Tvorba tepla

- účinnost isotonické kontrakce cca 50%, isometrické 0%



Svalová únava

snížení kontrakční kapacity po dlouhodobé svalové práci

Nahromadění laktátu, který disociuje a snižuje pH a zpomaluje metabolické enzymy

Vyčerpání glykogenu

Nahromadění anorganického fosfátu

Útlum nervosvalového přenosu

Typy svalů (glykolytické a oxidativní vlastnosti)

Pomalý (červený) I.

dlouhá, pomalu vznikající kontrakce

malá vlákna

bohaté cévní zásobení

energie z FFA

mnoho mitochondrií

mnoho myoglobinu

vytrvalé

Rychlý (bílý) IIb.

krátká, rychlá kontrakce

silná vlákna

slabší cévní zásobení

mnoho glykolyt. enzymů

méně mitochondrií

rozsáhlé sarkopl. ret.

rychle unavitelné

Hladký sval

Klidový potenciál

Spřažení excitace a kontrakce

Ca²⁺ vstupuje do bb.

- napětím řízenými kanály
- mechanickým napnutím řízenými kanály nebo
- chemicky řízenými kanály

Ca²⁺ se váže na kalmodulin, aktivují kinázu lehkých řetězců myoglobinu (MLCK)

MLCK fosforyluje myoglobin, který se stává aktivním a dochází k cyklické tvorbě můstků

Vícejednotkový hladký sval

GIT, cévy, resp. trakt, GU

řízen jako celek: KMP modulován cirkulujícími hormony, mění se frekvence spontánní aktivity

Jednojednotkový hladký sval

oko: duhovka a řasnaté těleso

jednotlivé buňky řízeny samostatně