

KONDIČNÍ TRENÉR
Fyziologie sportu 2/12
Fyziologie a patofyziologie kosterních svalů

Jan Novotný
2017

SVALOVÁ PRÁCE →
→ POHYBY SEGMENTŮ TĚLA V KLOUBECH



VIDEO: Kraul

<https://www.youtube.com/watch?v=5HLW2AI1nk>

SVALOVÁ PRÁCE →

→ POHYBY SEGMENTŮ TĚLA V KLOUBECH

JEDNODUCHÉ

- **flexe – extenze**
- **dukce:** addukce, abdukce, radiální/ulnární dukce
- **rotace:** vnitřní/zevní, pronace/supinace
- **posun**

SLOŽITÉ

cirkumdukce, ...

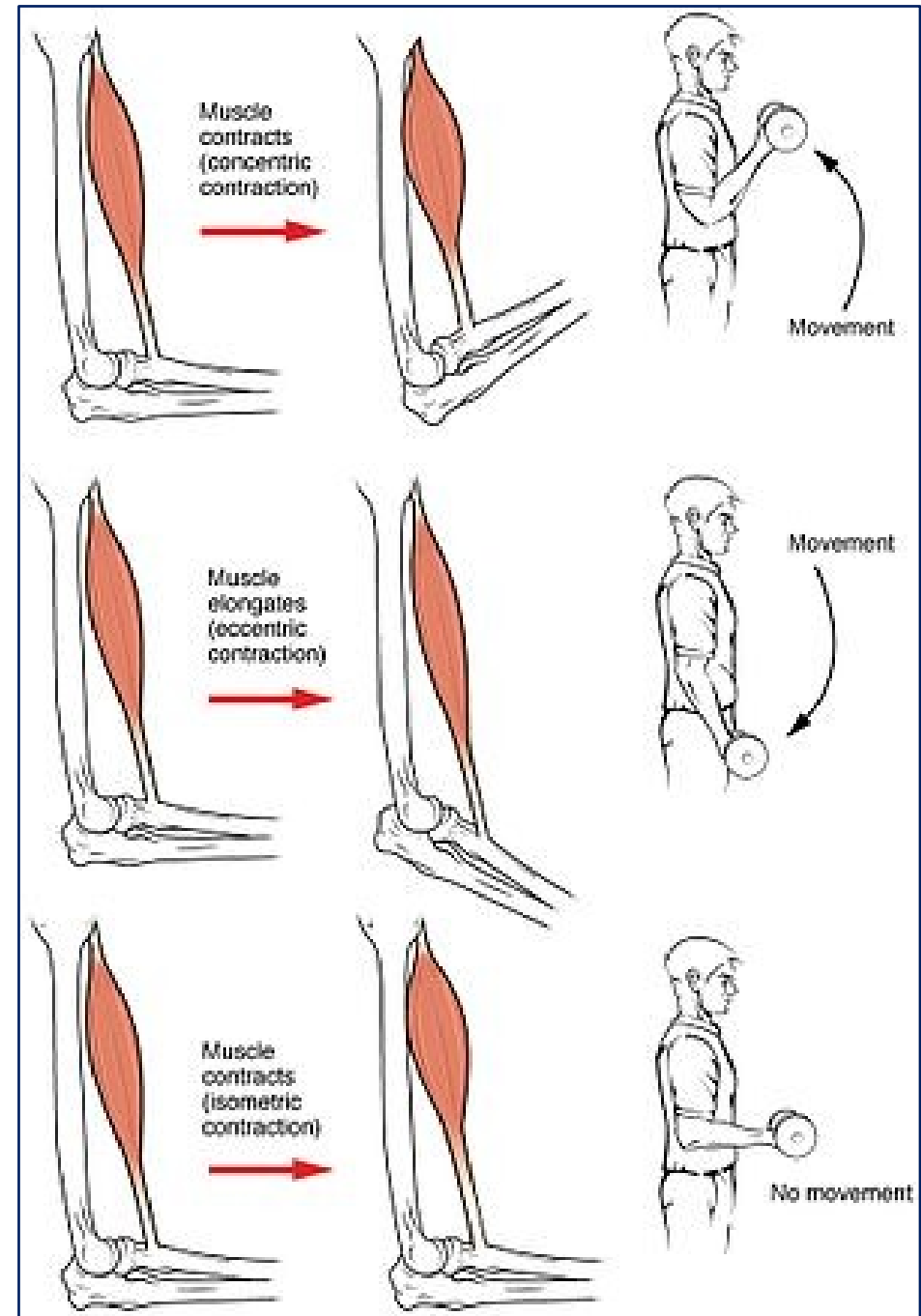
TYPY SVALOVÝCH KONTRAKCÍ

DYNAMICKÁ (ANIZOMETRICKÁ)

- **koncentrická** - se zkrácením svalu
- **excentrická** – s prodloužením svalu

STATICKÁ (IZOMETRICKÁ) – beze změny délky svalu

IZOTONICKÁ – beze změny svalového napětí



VIDEO: Typy svalových kontrakcí

<https://www.youtube.com/watch?v=T3OiOJ6-x34>

SOUHRA SVALŮ →

ÚČELNÉ POHYBY SEGMENTŮ TĚLA A STABILIZACE V KLOUBECH

SVALY

HLAVNÍ

- agonisté

NEUTRALIZAČNÍ

- antagonisté, na kontralaterální straně

POMOCNÉ

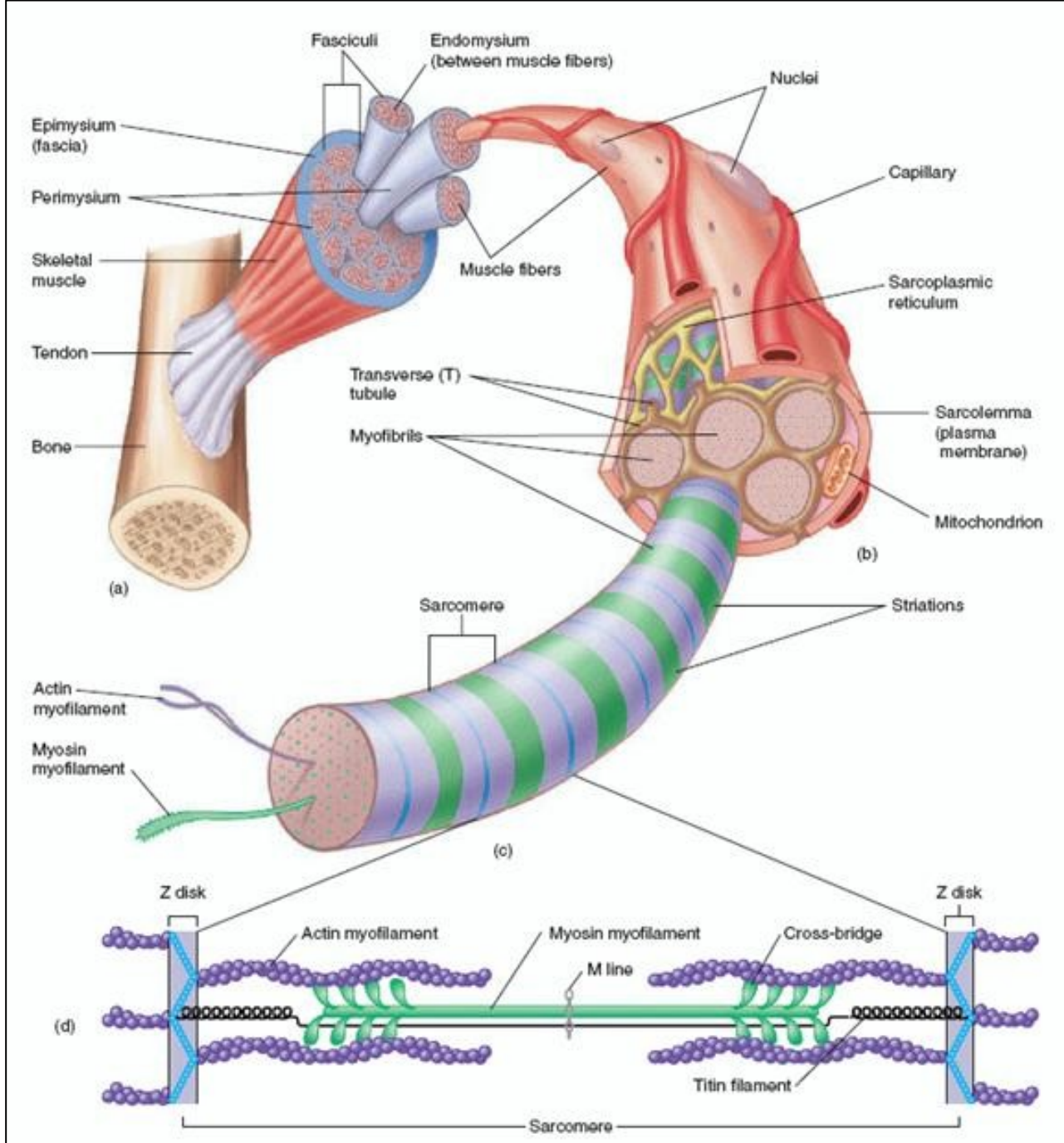
- synergisté

FIXAČNÍ

- stabilizátory

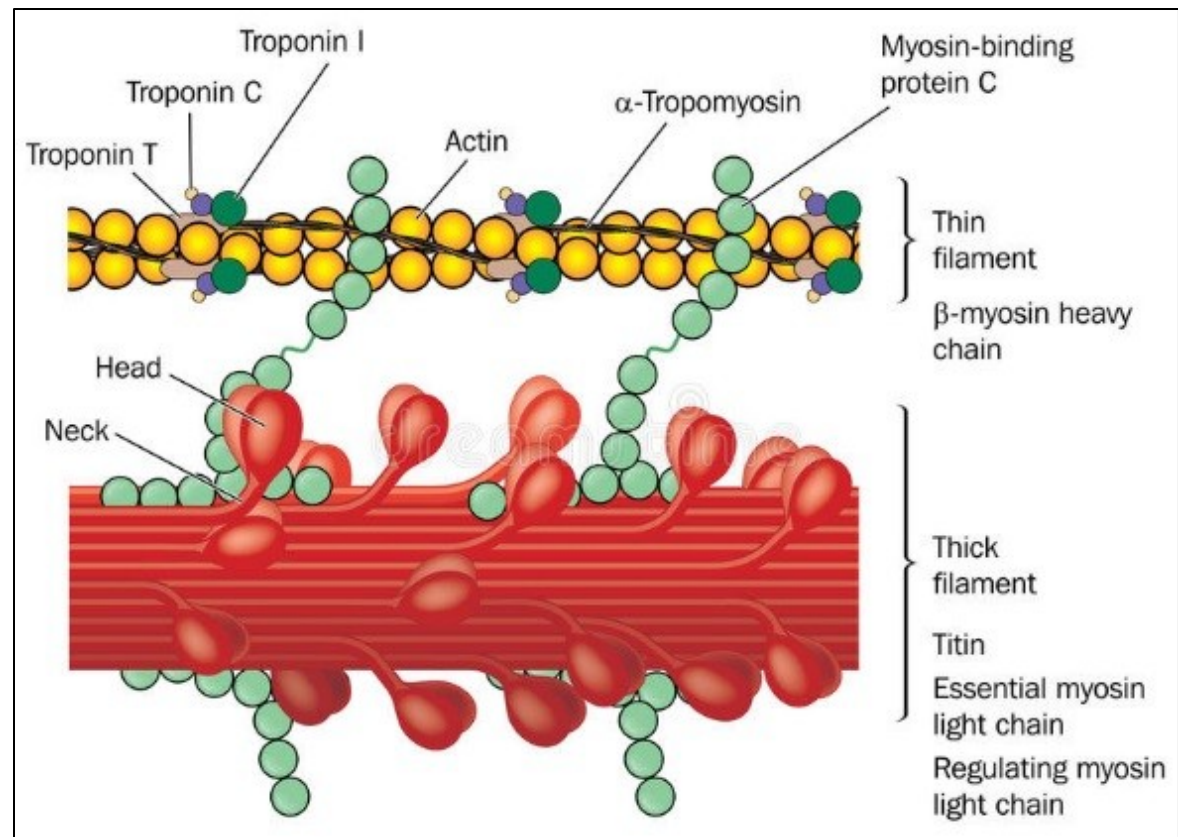
Příklad: Zjednodušený přehled **agonistů** a **synergistů** horních končetin pro plavání způsobem kraul

Fáze plavání	Pohyby v kloubech	Hlavní agonisté a synergisté
Pohon plavce vpřed tlakem vody dozadu	Palmární, radiální a ulnární flexe zápěstí, flexe a extenze v loketním kloubu, flexe a addukce a vnitřní rotace pažní kosti ramenním kloubu.	Mm. manus et antebrachii - flexores digitorum et carpi, m. pectoralis major et minor, m. latissimus dorsi, m. biceps brachii, m. triceps brachii, m. brachialis, m. teres minor et major, m. subscapularis
Přípravná fáze přenos paží nad vodou a natažení paží dopředu	Flexe v loketním kloubu a dorzální flexe v rameni. Zevní rotace a elevace paže v ramenním kloubu, extenze loketního kloubu, extenze zápěstí.	M. deltoideus - pars posterior, m. rhomboideus major et minor, m. supraspinatus, m. teres minor. M. deltoideus - pars lateralis et anterior, m. trapezius - pars superior, m. elevator scapulae, m. biceps brachii, m. coracobrachialis, m. infraspinatus, m. supraspinatus



Stavba svalu

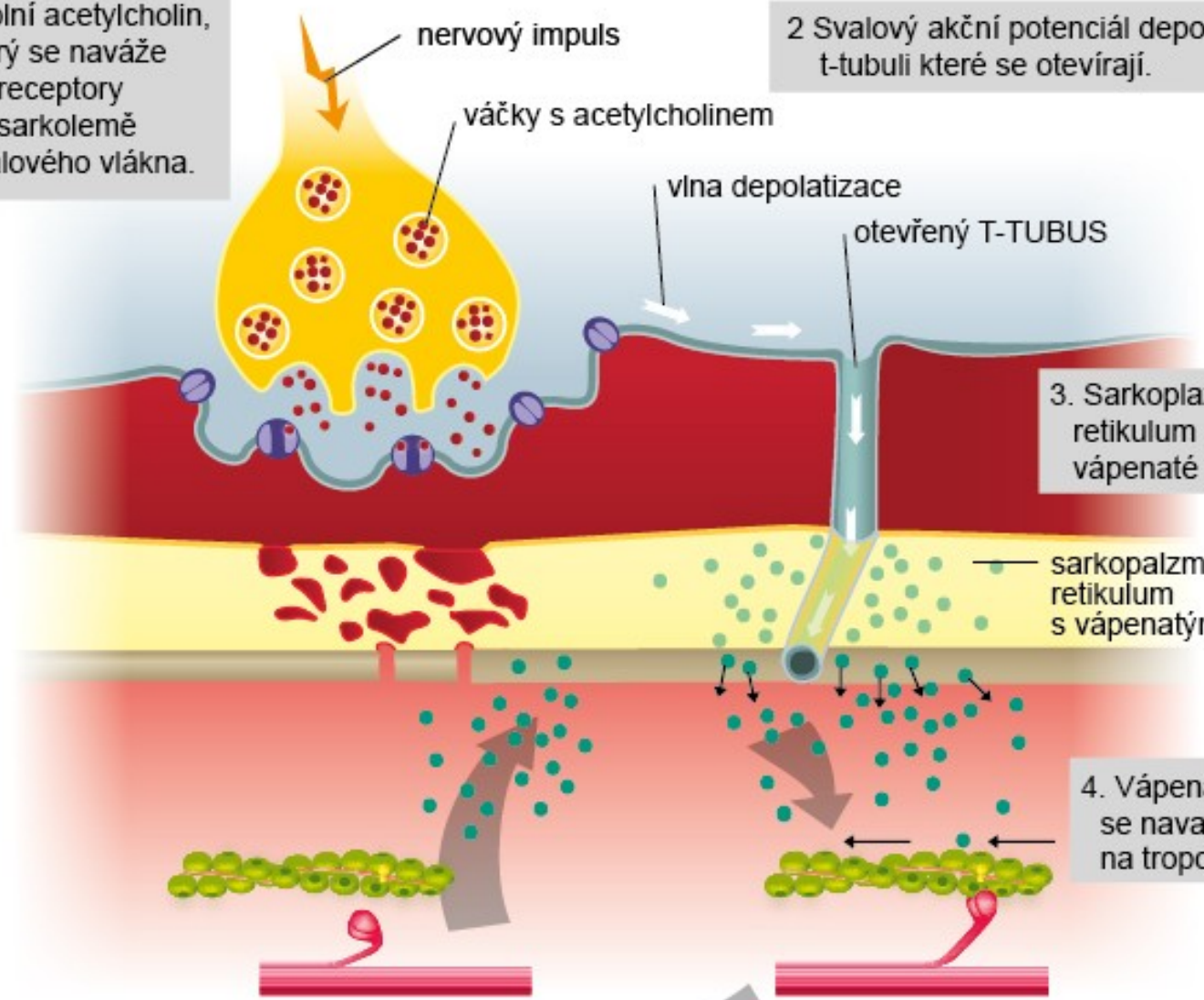
KOST - (ÚPON) - ŠLACHA
 SVALOVÉ BŘÍŠKO - SVALOVÉ SNOPCY -
 SVALOVÁ VLÁKNA (myo-fibres) ... typy -
 MIKROVLÁKNA (myo-fibrils) -
 KONTRAKTILNÍ BÍLKOVINNÁ VLÁKNA (myo-filaments)
 ... Actin + Tropomyosin, Myosin



Funkce svalu

1. Nervový impuls uvolní acetylcholin, který se naváže na receptory na sarkolemě svalového vlákna.

2 Svalový akční potenciál depolarizuje t-tubuli které se otevírají.



3. Sarkoplazmatické retikulum uvolňuje vápenaté ionty.

4. Vápenaté ionty se navazují na tropomyozin.

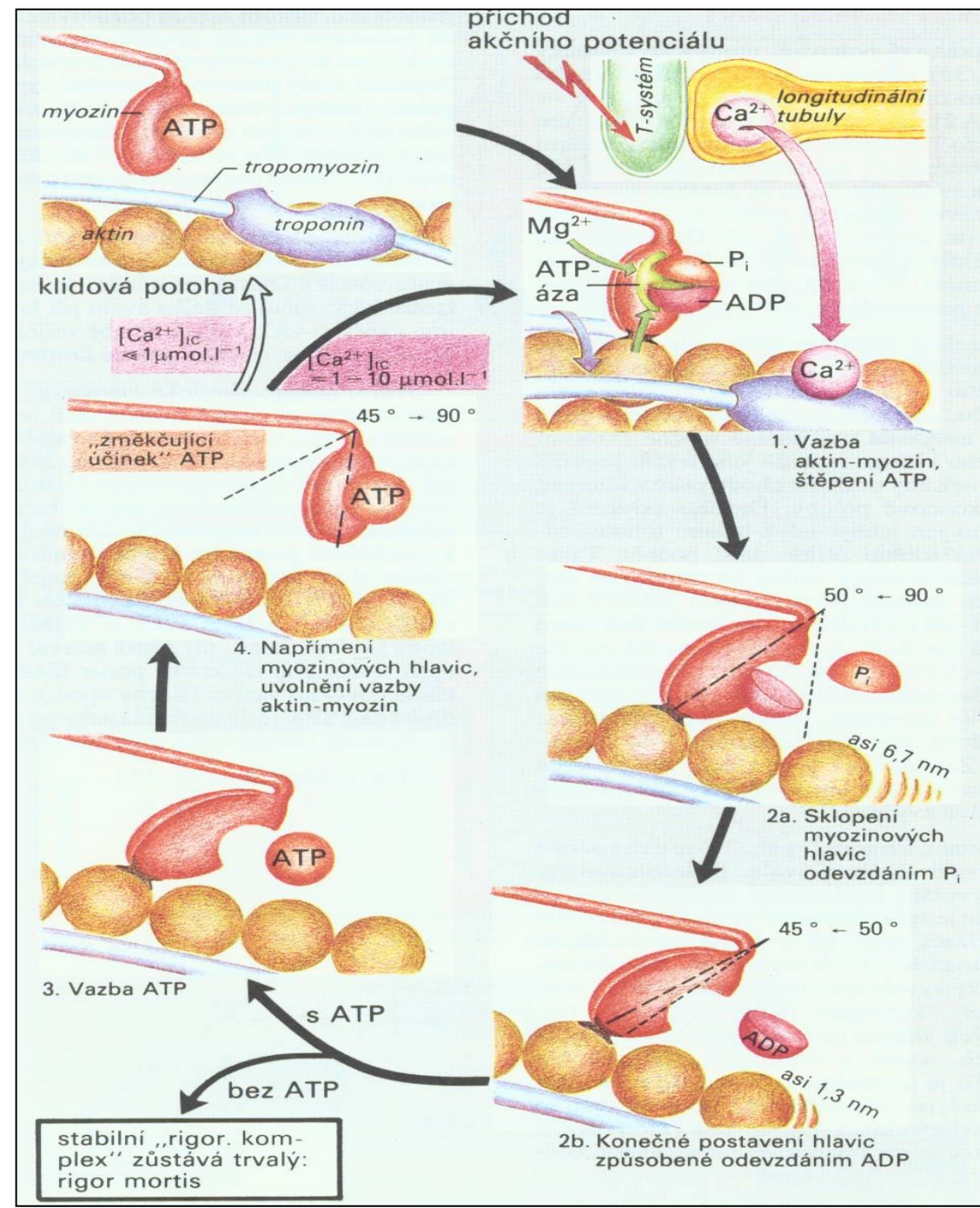
6. Po ukončení kontrakce se vápenaté ionty vrací do sarkoplazmatického retikula.

5. Následně dochází ke svalové kontrakci. ATP se štěpí.

Funkce svalu

PŘEMĚNA ENERGIE: CHEMICKÁ → MECHANICKÁ

(Silbernagl, Despopoulos, 2004)



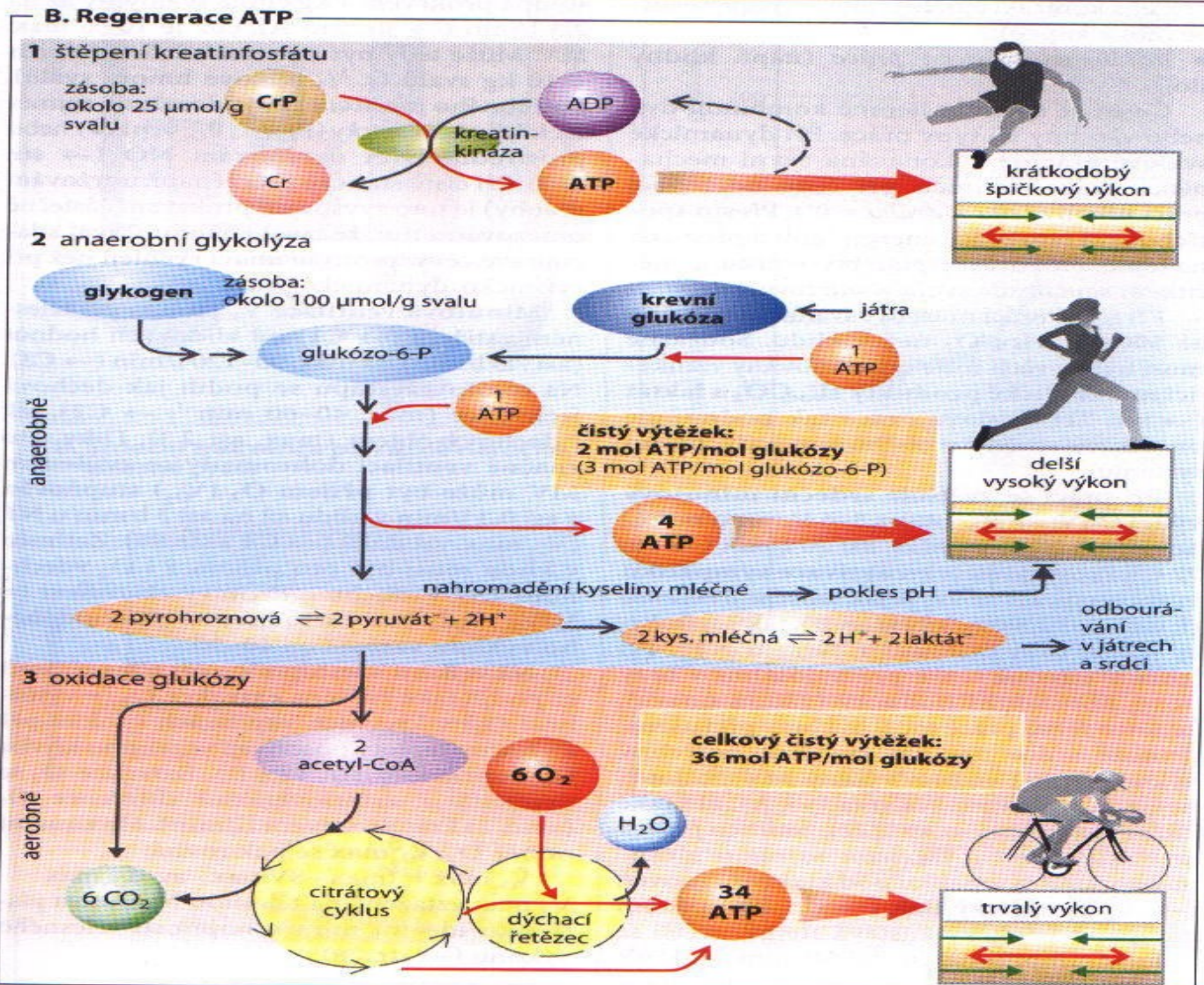
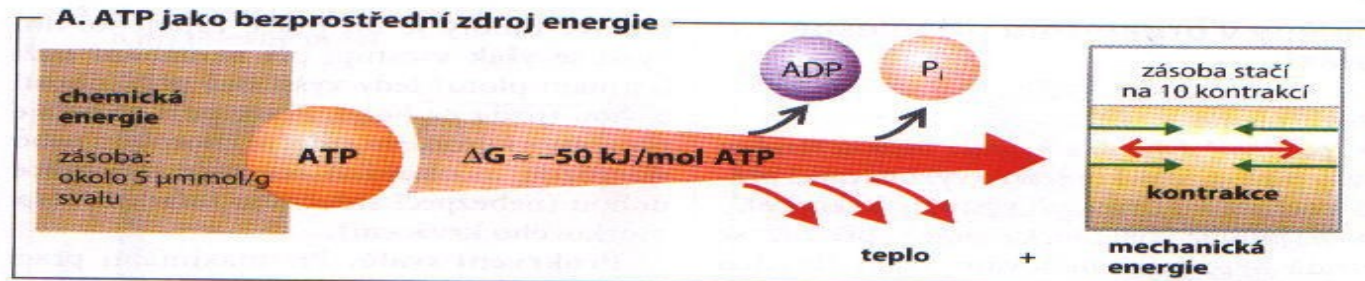
Funkce svalů

SVALOVÁ PRÁCE → POHYB SEGMENTŮ TĚLA

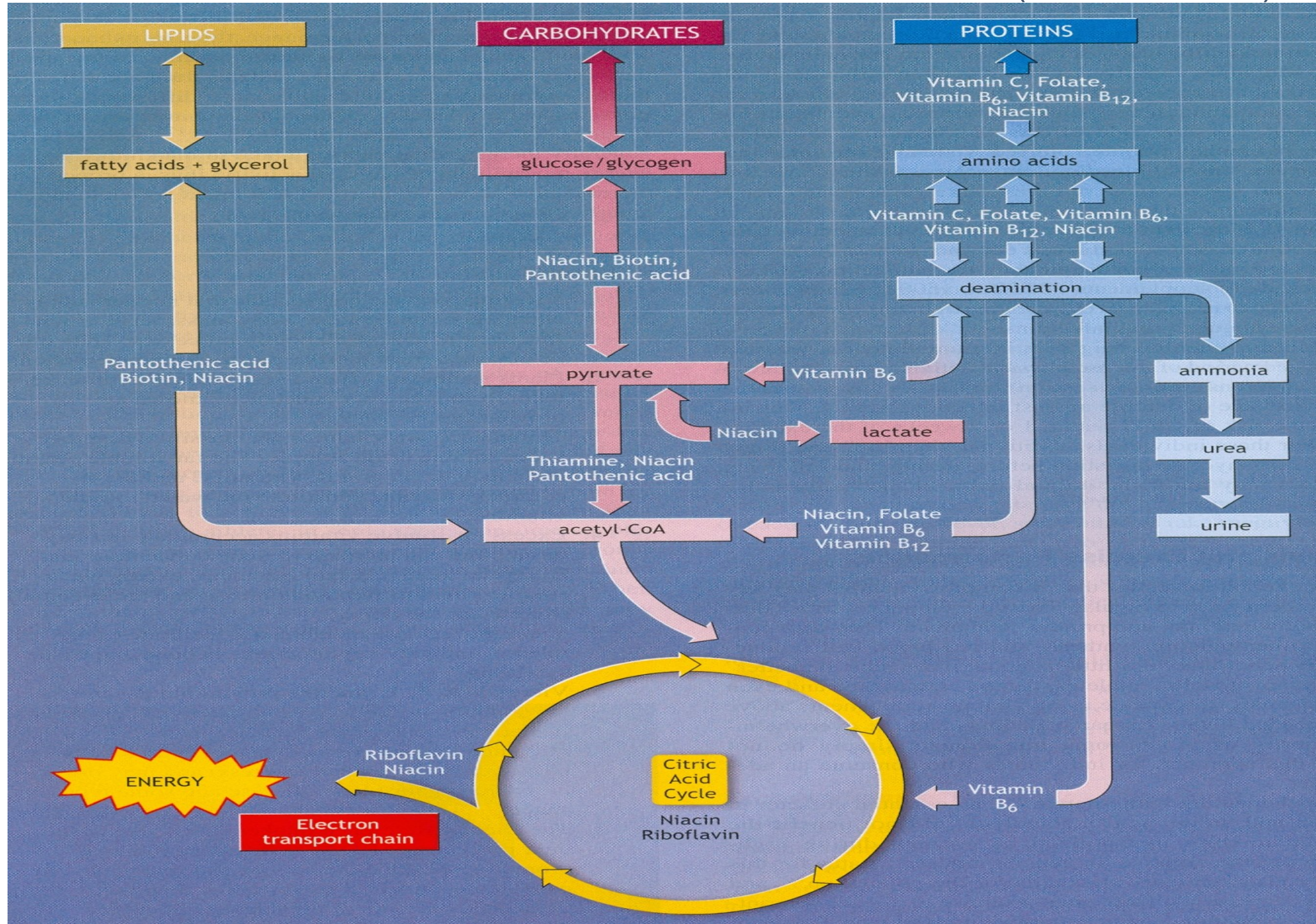
Obnovování zdroje energie

(ATP – adenosin trifosfát)

(Silbernagl, Despopoulos, 2004)



ENERGETICKÝ METABOLISMUS PRO PRÁCI SVALU (McArdle, 2007)



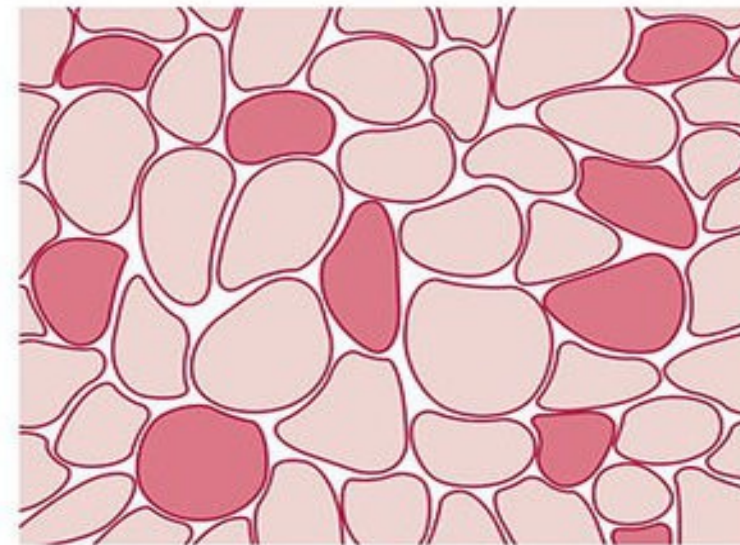
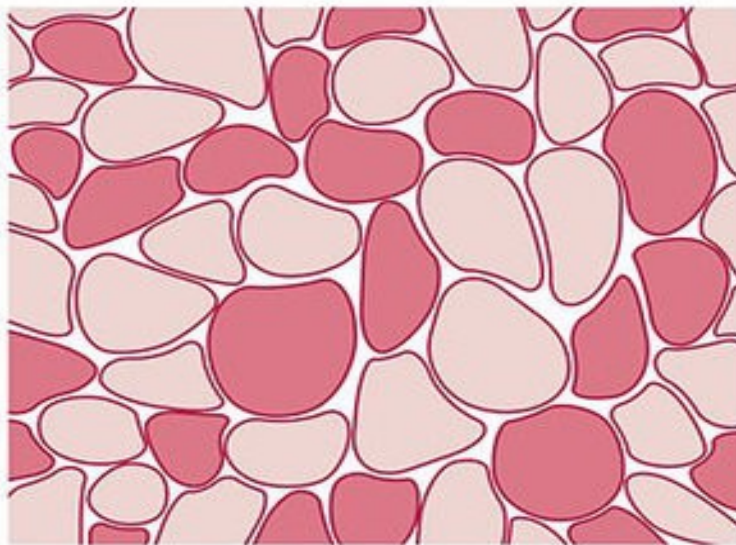
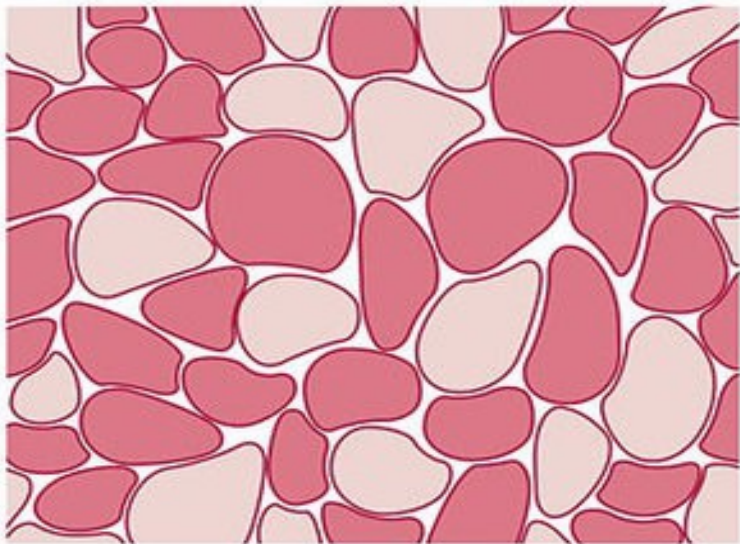
TYPY SVALOVÝCH VLÁKEN ?

pomalá - červená - typ I, SO (slow oxidative)

rychlá – bílá - typ II, FG (fast glycolytic)

Podíl typů vláken na složení svalů elitních atletů (%)

<i>Disciplína</i>	I	IIa a IIx(b)
<i>Vytrvalostní běžci</i>	70-80	20-30
<i>Sprinteři</i>	25-30	70-75
<i>Nesportovci</i>	47-53	47-53

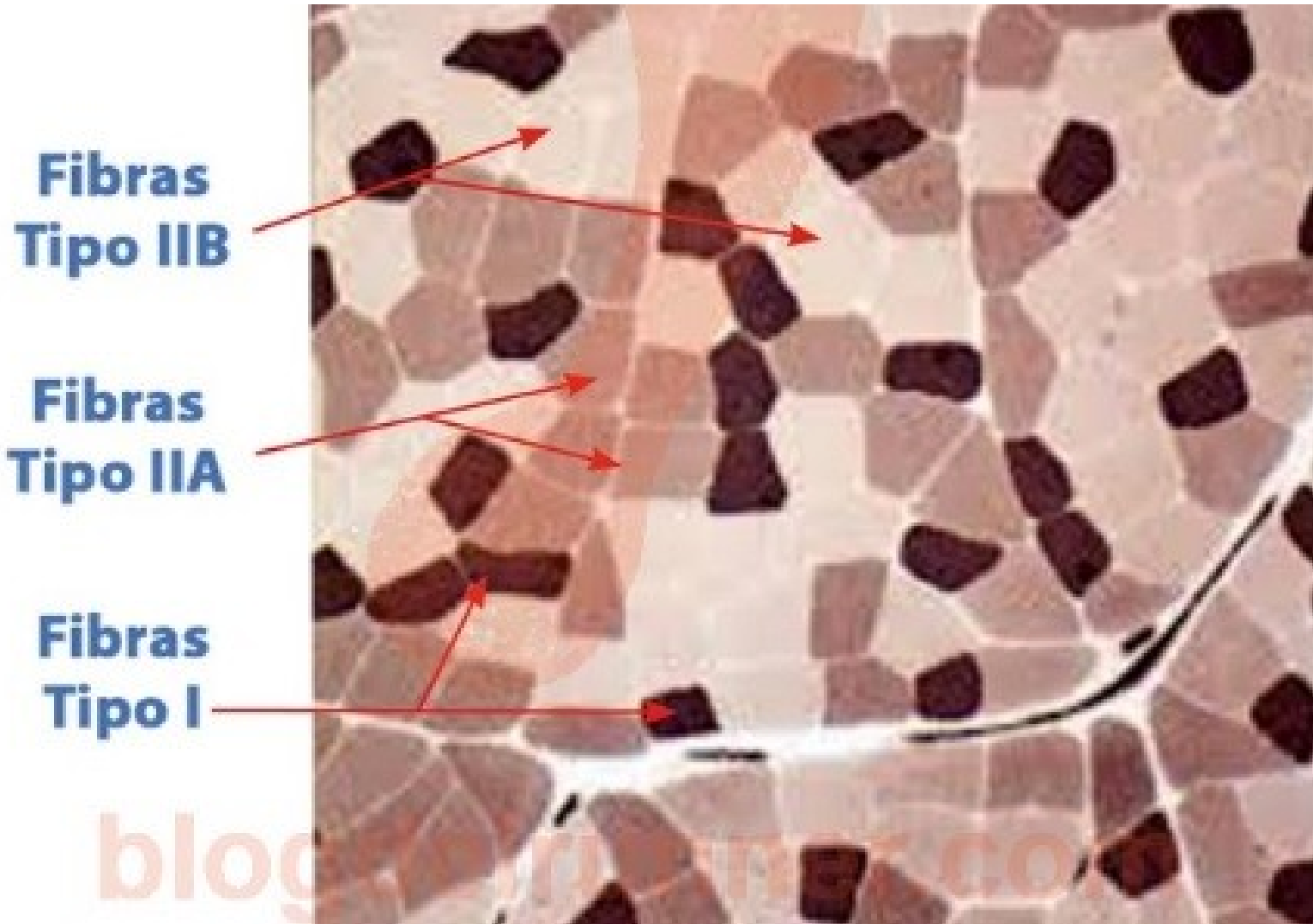


TYPY SVALOVÝCH VLÁKEN

Pomalá – „červená“ - **typ 1**, (SO - slow oxidative)

Rychlá – „červená“ - **typ 2A** (FOG - fast oxidative glycolytic)

Rychlá – „bílá“ - **typ 2X a 2B** (FG – fast glycolytic)



Základní vlastnosti různých typů svalových vláken

(upraveno dle Hamar, Lipková 1998)

vlastnosti	typ I	typ IIa	typ IIx
rychlost kontrakce	POMALÁ	RYCHLÁ	RYCHLÁ
síla kontrakce	NÍZKÁ	STŘEDNÍ	VYSOKÁ
odolnost vůči únavě	ODOLNÁ	ODOLNÁ	UNAVITELNÁ
metabolismus	OXIDATIVNÍ	OXIDATIVNÍ GYLKOLYTICKÝ	GLYKOLYTICKÝ
obsah glykogenu	NÍZKÝ	VYSOKÝ	VYSOKÝ
hustota mitochondrií	VYSOKÁ	STŘEDNÍ	NÍZKÁ
hustota kapilár	VYSOKÁ	STŘEDNÍ	NÍZKÁ
aktivita ATPázy	NÍZKÁ	VYSOKÁ	VYSOKÁ
glykolytická kapacita	NÍZKÁ	VYSOKÁ	VYSOKÁ
průměr vlákna	MALÝ	STŘEDNÍ	VELKÝ

ZMĚNY PODÍLU TYPŮ SVALOVÝCH VLÁKEN

m. extensor digitorum longus

1 ↔ **2A** ↔ **2X** ↔ **2B**

1 ↔ **2A** ↔ **2X** ↔ **2B**

m. soleus

Vysokofrekvenční stimulace (hypertyreóza)

→ → → → → → → → → →

1 ↔ **2A** ↔ **2X** ↔ **2B**

← ← ← ← ← ← ← ← ← ←

Nízkofrekvenční stimulace (hypotyreóza)

Změny podílu různých typů svalových vláken po vytrvalostním tréninku

(Powers, 2007)

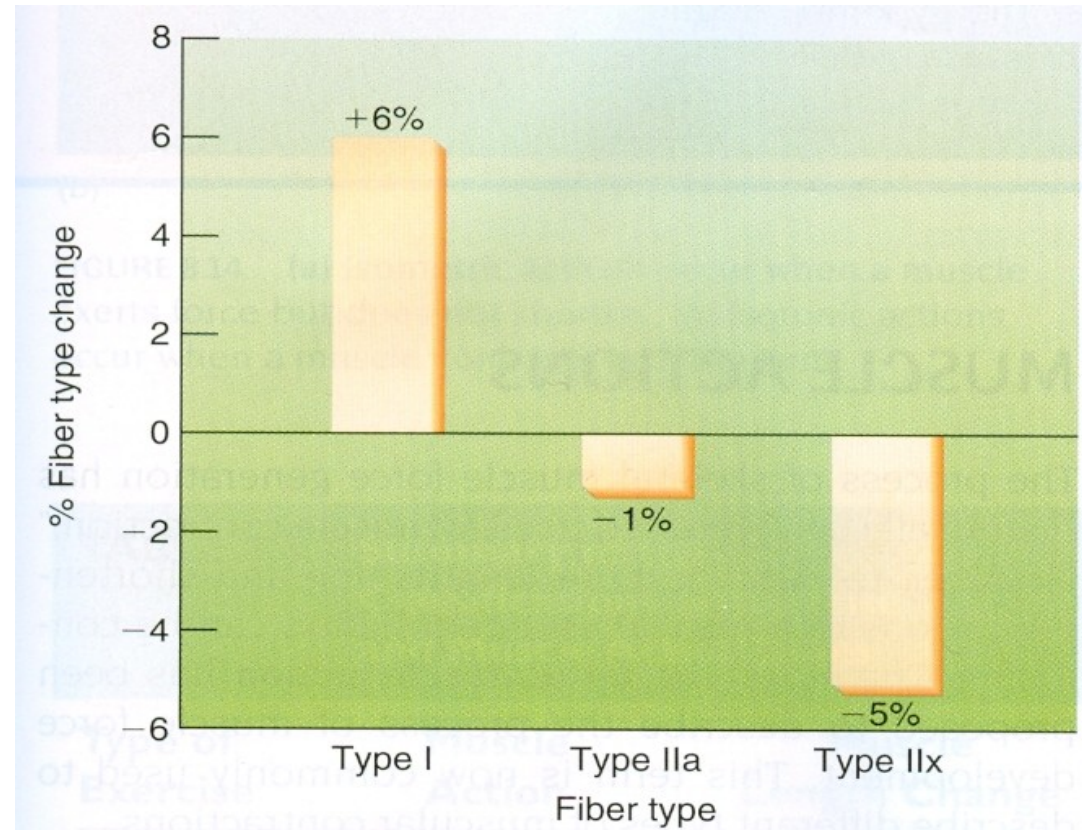
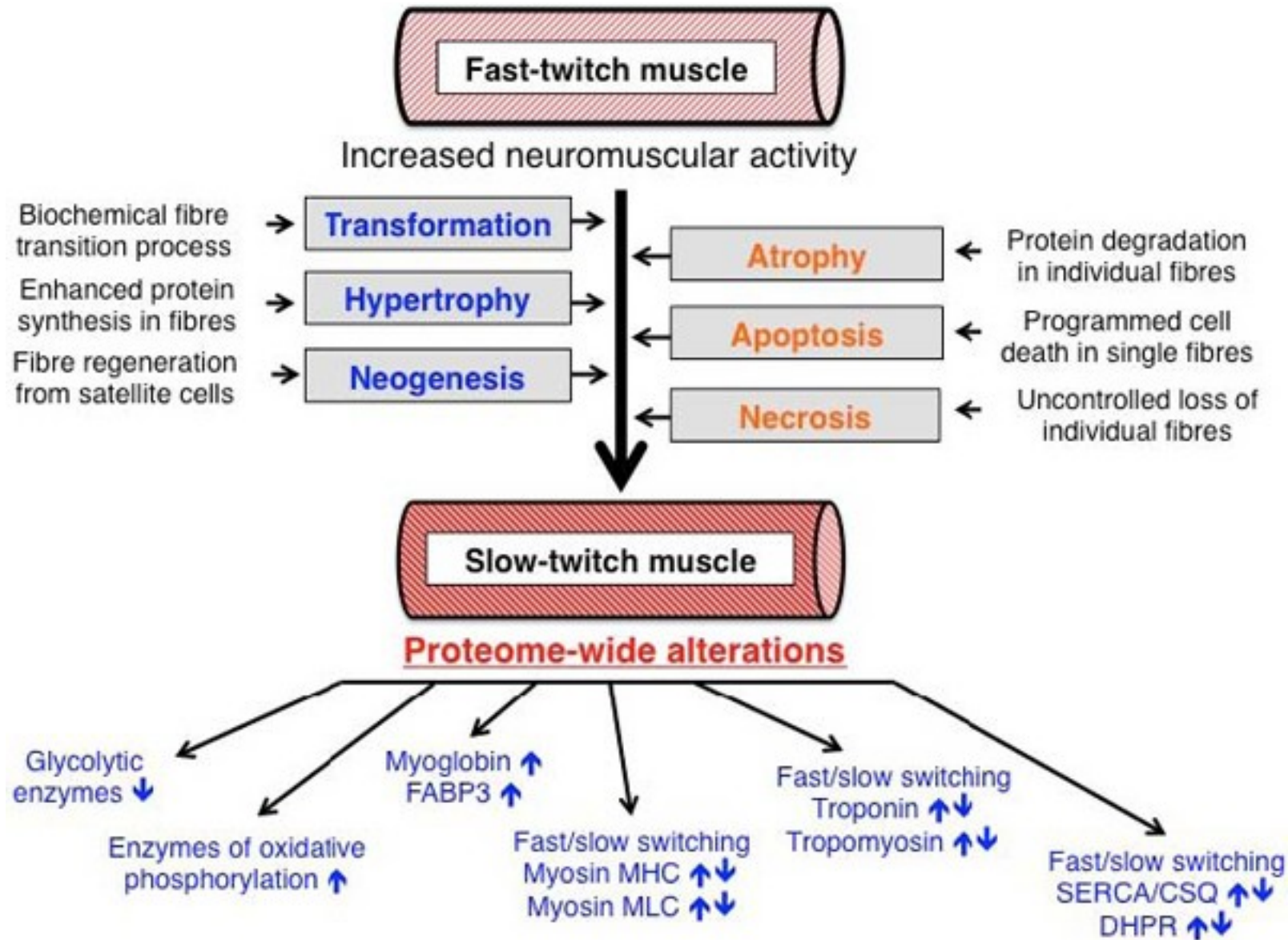


FIGURE 8.13 Effects of 16 weeks of endurance exercise training (i.e., 3–4 days/week at 50–60% $\dot{V}O_2$ max) on human skeletal muscle fiber types. Note that exercise training promoted a significant fast-to-slow shift in muscle fiber type resulting in a net reduction in the percent of fast type IIx fibers and an increase in the percent of slow, type I fibers. Data are from Short et al. (90).

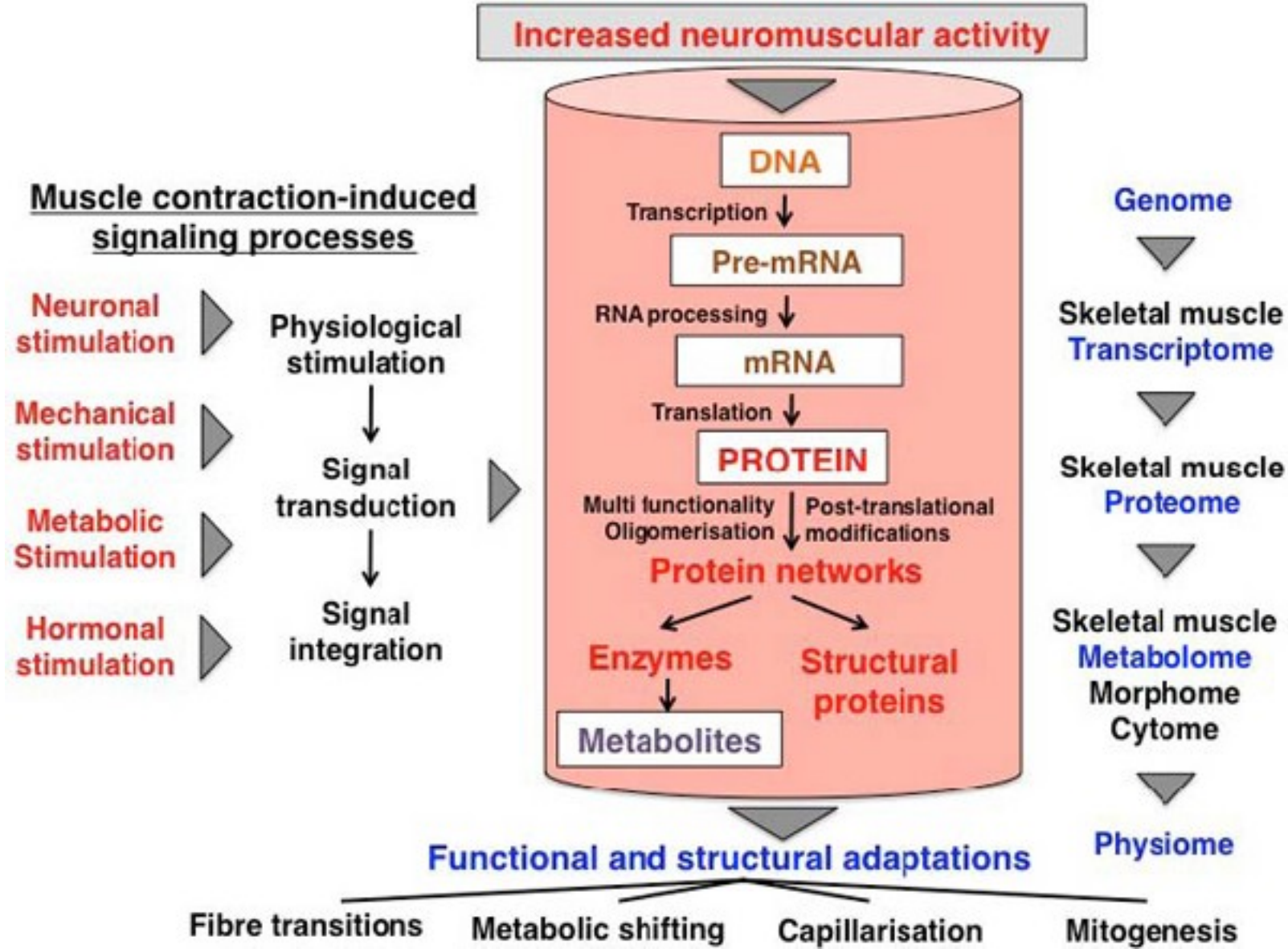
PŘEMĚNA RYCHLÝCH SVALOVÝCH VLÁKEN NA POMALÁ

<http://www.oapublishinglondon.com/article/565>



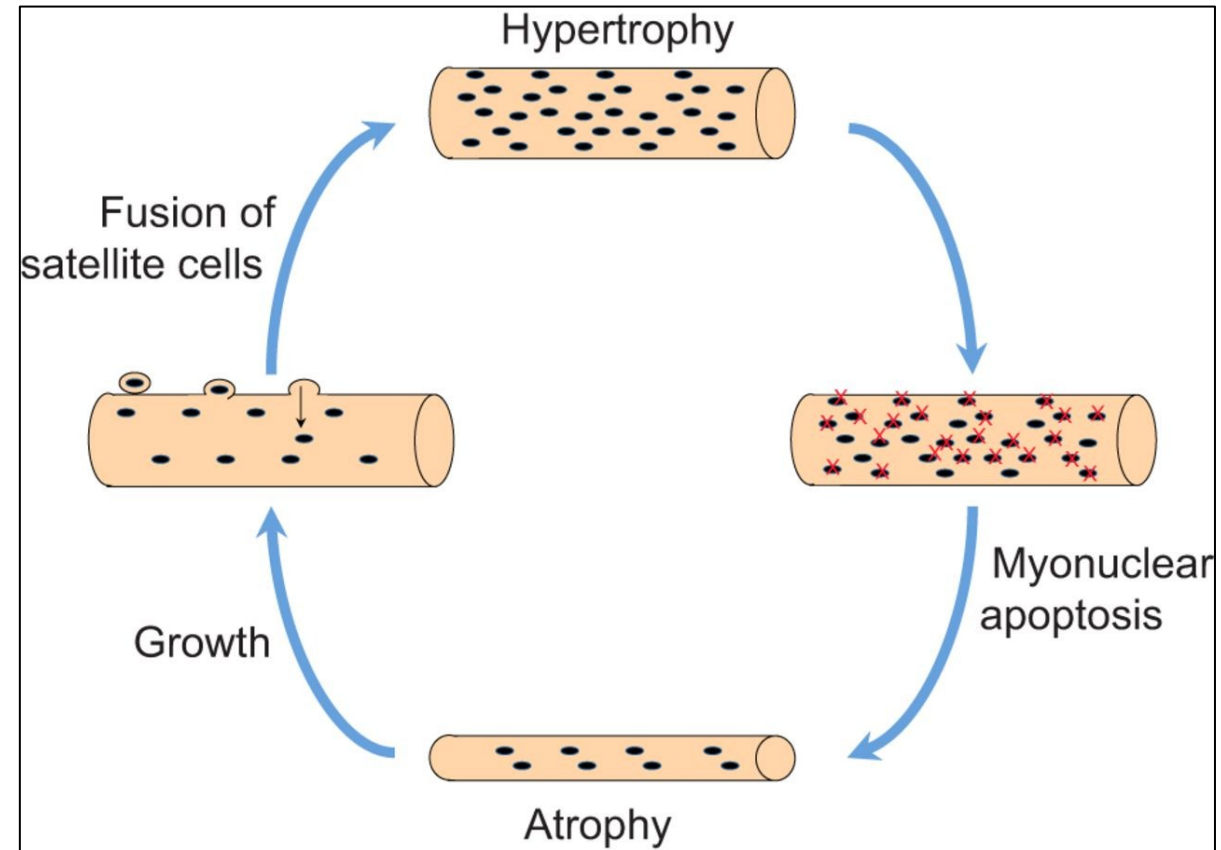
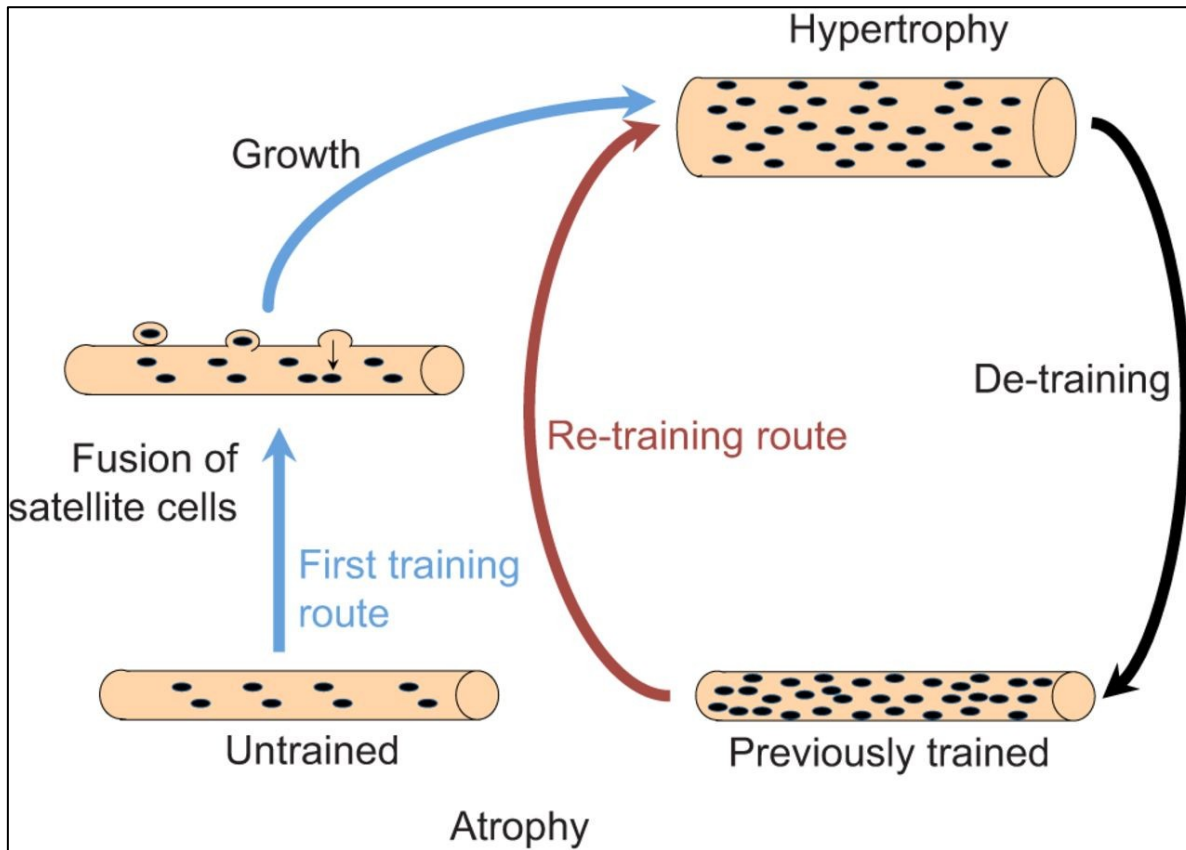
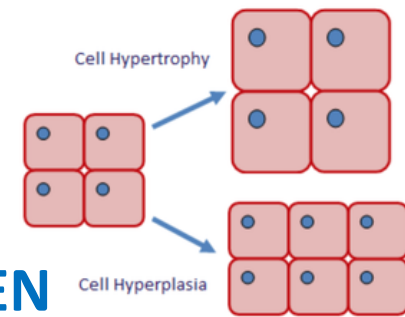
MECHANIZMY HYPERTROFIE SVALOVÝCH VLÁKEN A PŘEMĚNY RYCHLÝCH VLÁKEN NA POMALÁ

<http://www.oapublishinglondon.com/article/565>



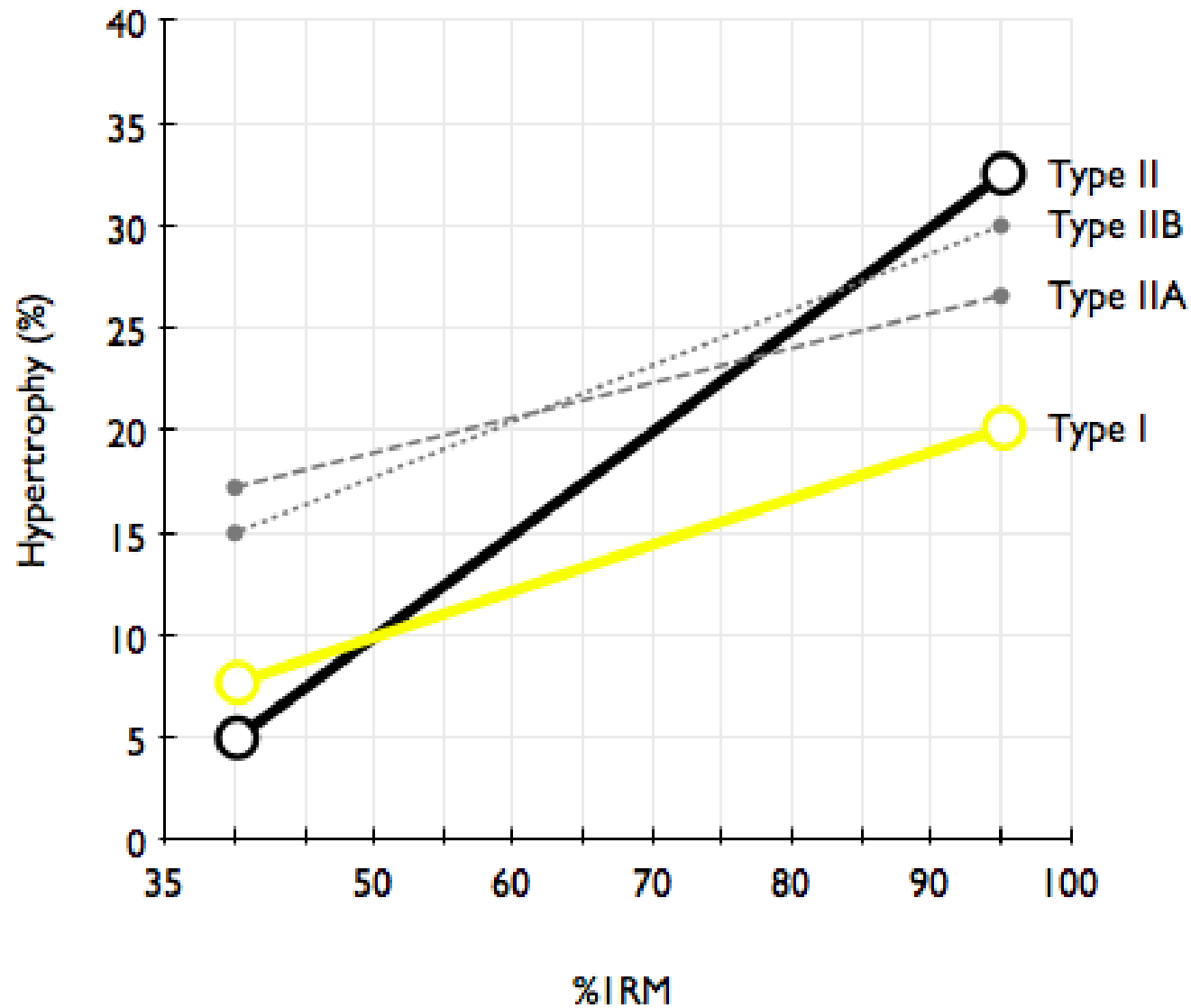
MECHANIZMY → HYPERTROFIE / HYPOTROFIE SVALOVÝCH VLÁKEN

<http://jeb.biologists.org/content/219/2/235>



HYPERTROFIE RŮZNÝCH TYPŮ SVALOVÝCH VLÁKEN

<http://danogborn.com/underestimating-type-i-fibres/>



KŘEČE SVALU (cramps)

PŘÍČINY - MECHANIZMY

- **usilovné anaerobní cvičení (anaerobní glykolýza) - izometrické / dynamické (sprint)**
→ ↑ senzitivita na Ca^+ / ↑ koncentrace Ca^+ v buňce → **[fixace vazby Aktin-Myozin]**
- **vyčerpávající vytrvalostní zátěž, podchlazení, hypohydratace**
→ ↓ prokrvení svalové tkáně → ↓ ATP → přesun K^+ z buňky do ECT
→ myolýza → přesun K^+ z buňky do ECT
- **↓ příjem Mg^+ , Na^+ (iontový nápoj) → ↓ Mg^+ v plazmě**

PROJEVY

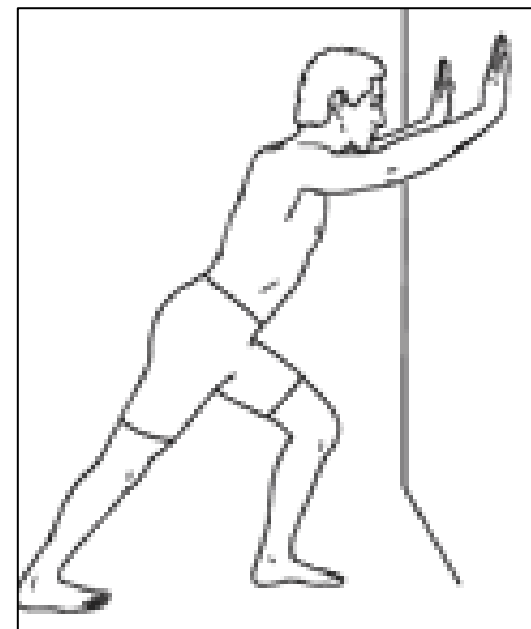
- **dlouhodobá kontrakce svalu** (neschopnost relaxace) a
- **bolest svalu** (minuty – hodiny)

PRVNÍ POMOC

- **pasivní natažení svalu**
- zahřátí, masáž

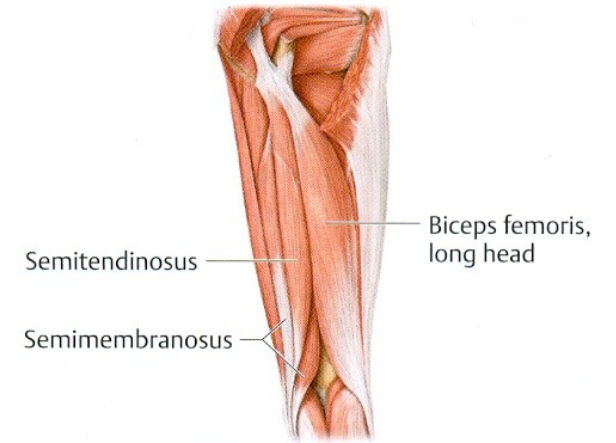
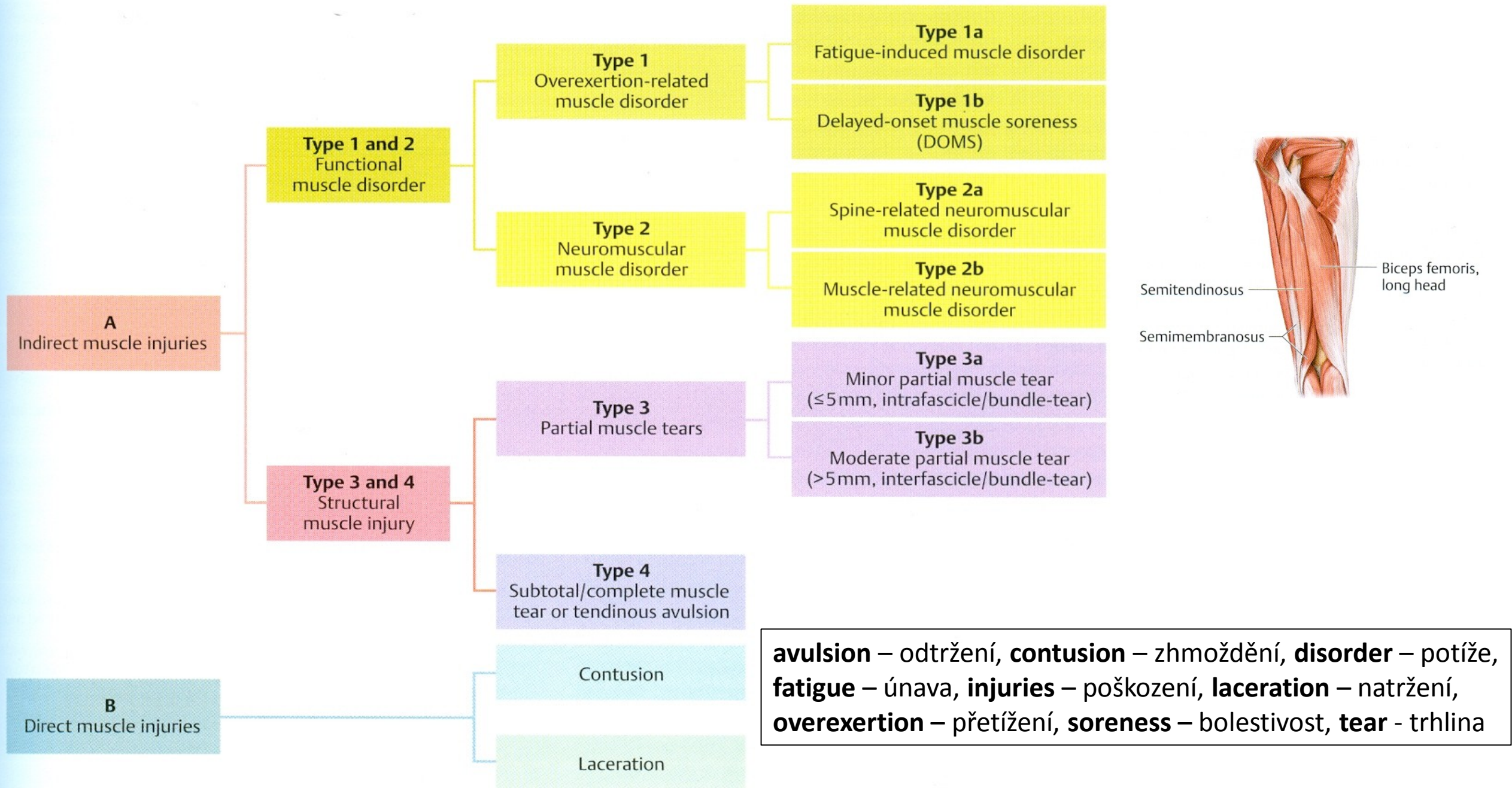
PREVENCE

- **odstranění příčin**



Klasifikace akutního poškození svalů podle 2011 Munich Consensus Conference

[Müller-Wohlfarth HW. et al. Terminology, classification, patient history, and clinical examination. In: Müller-Wohlfarth HW. et al. (eds.). *Muscle Injuries in Sports*. Thieme: Stuttgart, 2013: pp. 135-167.]



avulsion – odtržení, **contusion** – zhmoždění, **disorder** – potíže, **fatigue** – únava, **injuries** – poškození, **laceration** – natržení, **overexertion** – přetížení, **soreness** – bolestivost, **tear** - trhlina

FUNKČNÍ POŠKOZENÍ SVALU (trvání s léčbou < týden)

bolestivý problém svalu bez zjevného makroskopického poškození vláken

(1a)

Omezené zvyšující se napětí podél svalu (ztuhnutí) **po přetížení** - při změně tréninku, povrchu kurtu ...

SVALOVÁ BOLEST PŘI POHYBU, ZTUHLOST SVALU

(1b)

Více rozšířená bolestivost po svalu **po nezvyklém brždění** pohybu s excentrickými kontrakcemi nebo **po dlouhotrvajícím metabolickém přetížení**

SVALOVÁ BOLEST, ZTUHLOST A SLABOST I V KLIDU,

(2a)

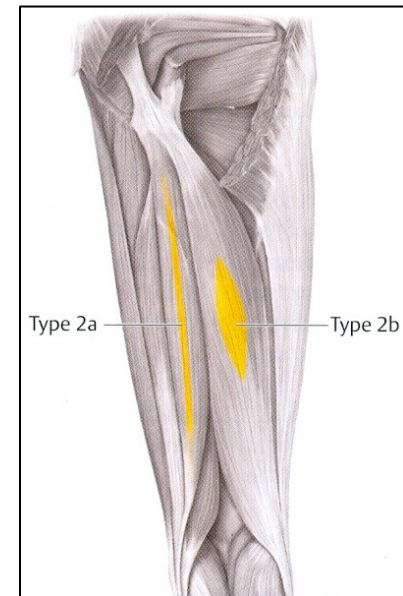
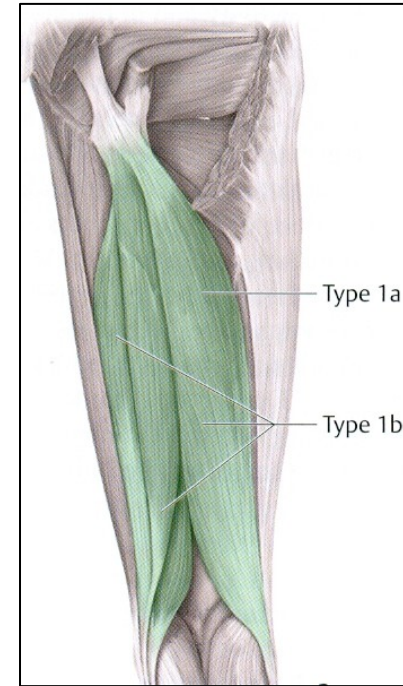
Omezené zvyšující se napětí podél svalu **v důsledku funkční nebo strukturální vertebrogenní poruchy** (lumbální, sakroiliakální, ...)

BOLESTIVÁ ZTUHLOST SVALU, TUPÁ AŽ BODAVÁ BOLEST – ZHORŠUJÍCÍ SE SE SVALOVOU AKTIVITOU

(2b)

Vřetenovitě omezená oblast zvýšeného svalového napětí **v důsledku dysfunkce neuro-muskulárního řízení** (reciproční inhibice)

BOLESTIVOST – ZVYŠUJÍCÍ SE S ROSTOUCÍ SVALOVOU ZTUHLOSTÍ A NAPĚTÍM



STRUKTURÁLNÍ POŠKOZENÍ SVALU

zjevné makroskopické poranění

(3a)

Akutní poranění svalu – **malé natržení** maximálně v rozsahu svalového snopce (< 5 mm; trvání s léčbou 10-14 dnů)

NÁHLÁ OSTRÁ BODAVÁ (JEHLOVÁ) BOLEST PO POCITU „PRASKNUTÍ (KŘUPNUTÍ)“

(3b)

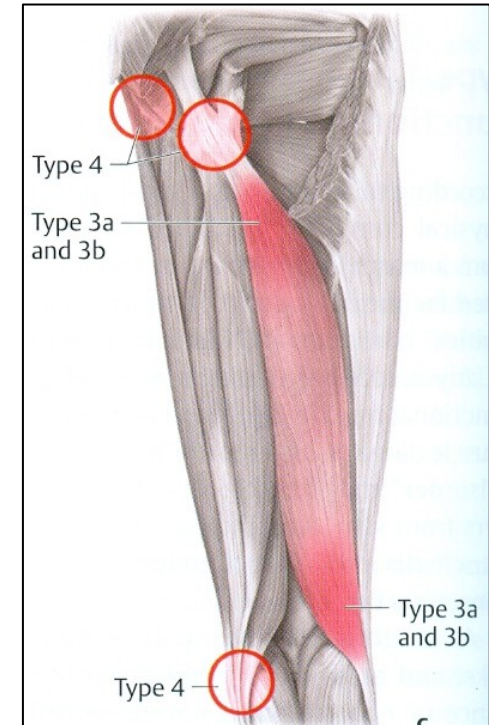
Akutní poranění – **větší natržení** větší než snopec (> 5 mm; trvání s léčbou ~6 týdnů)

OSTRÁ BODAVÁ BOLEST, ČASTO ZŘETELNÉ NATRŽENÍ V OKAMŽIKU PORANĚNÍ – KŘUPNUTÍ S NÁSLEDNOU NEUTUHAJÍCÍ BOLESTÍ

(4)

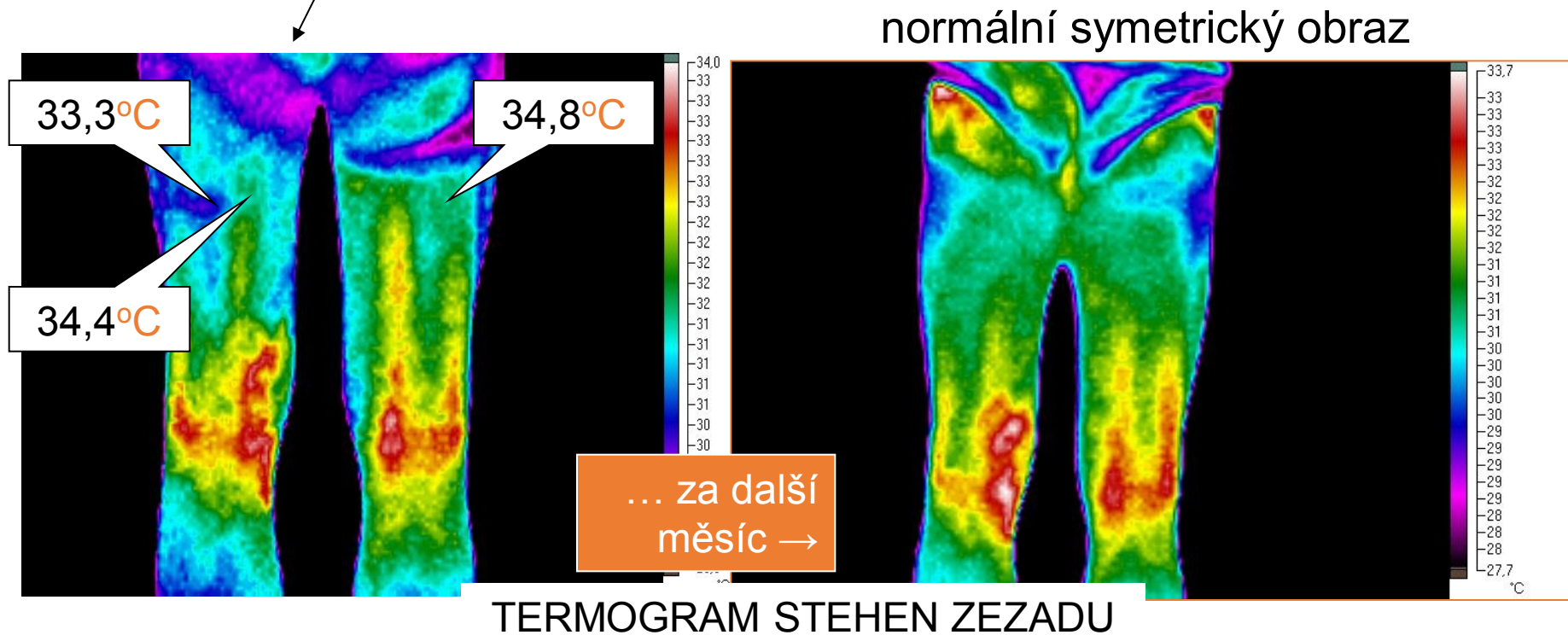
Akutní poranění – **velké natržení až kompletní přetržení** svalu s distrakcí jeho bříska a odtržením šlachy (trvání s léčbou > 12 týdnů)

NÁHLE VZNIKLÁ TUPÁ BOLEST PO VÝRAZNĚJŠÍM KŘUPNUTÍ



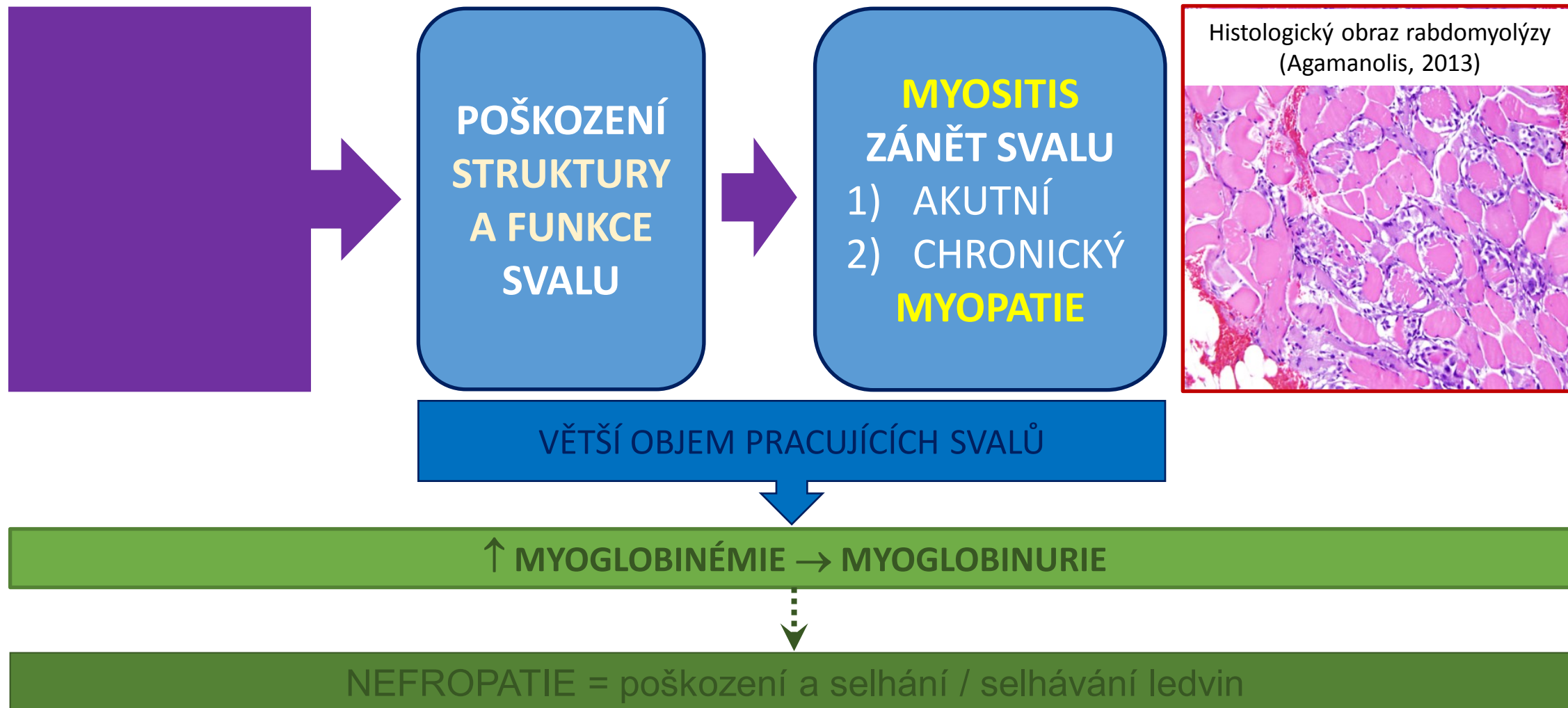
Termografie v diagnostice poranění svalu

Triatlonista, 53 r., 3 měsíce po parciální ruptuře m.biceps femoris. sin.
• **HYPOTERMNÍ LOŽISKO** (o 1,5°C proti druhé straně)



Definice

= rozpad - nekróza buněk kosterních svalů (Bednařík, 2001)



Riziko rabdomyolýzy při cvičení a sportu

Klasifikace, diagnostika, příznaky

KLASIFIKACE POŠKOZENÍ KOSTERNÍCH SVALŮ

American College of Cardiology & American Heart Association & Lung a Blood Institute Clinical Advisory (Pasternak, 2002)

	Myopatie	jakékoliv poškození svalů
1	Myalgie	svalová bolest nebo křeč s kreatinkinázou (CK) < horní hranice normy
2	Myositis	svalové symptomy se zvýšenou CK < 10x horní hranice normy
3	Rabdomyolýza	svalové symptomy se zvýšenou CK > 10x horní hranice normy

Norma CK: od 0,2 do 3-4 $\mu\text{kat/l}$ v séru; do 200 $\text{U}\cdot\text{l}^{-1}$ (u mužů a starších spíše vyšší než u mladších a žen)

KLASIFIKACE RABDOMYOLÝZY (O'Connor et al., 2013)

VYČERPÁVAJÍCÍ	MÍRNÁ	STŘEDNĚ ZÁVAŽNÁ	TĚŽKÁ	PRUDKÁ	IZOLOVANÁ
kolaps homeostázy	ALT/AST < 3xN	ALT/AST > 3xN 1 den	ALT/AST > 3xN 3 dny	s acidózou	homeostáza, $\uparrow\text{Mb}$?

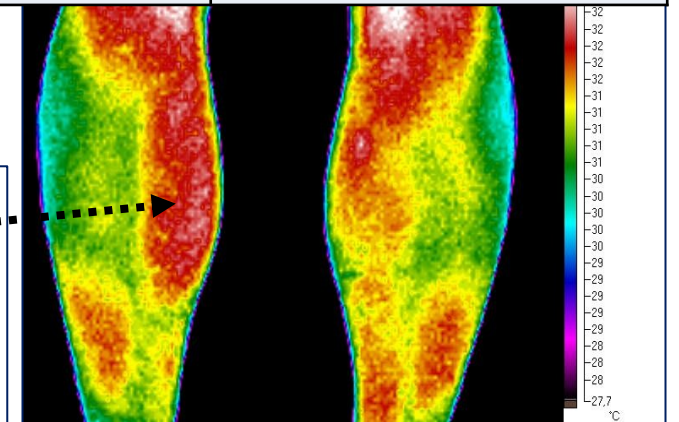
\uparrow Myoglobin v krvi \rightarrow v moči \rightarrow tmavá moč

TERMOGRAM LÝTEK ZE ZADU u 40 letého badmintonisty po tréninku

vyšší teplota caput mediale m. gastrocnemius

MYOSITIS - ZAČÍNÁJÍCÍ RABDOMYOLÝZA ?

(archiv autora - Laboratoř sportovní medicíny FSpS MU)





POHYBOVÁ AKTIVITA → RABDOMYOLÝZA (RM)

Cooper et al.(2002): 20 min běh s kopce (75%VO₂max) → OXID.STRES? → RM

Overgaard et al.(2004): RM u 24 mladých zdravých mužů a žen po běhu:

- běh 10 km → ↑ enzymů svalových buněk (LD, CK) v mezibuněč. prostoru
- běh 20 km → ↑↑ LD, CK ..

Lin & Wang (2005). „Rhabdomyolysis in 119 students after repetitive exercise“
(17-18 letí chlapci a děvčata; 120 kliků v 5 minutách)

Kabíček a kol. (2006): Opakovaná RM u 10 letého chlapce po fotbale se spolužáky

Anzalone et al. (2010): Smrt 19 letého fotbalisty v důsledku RM po tréninku (lifting se zátěží, sprinty).

Kahanov et al. (2012) RM u 19 letého (amer.) fotbalisty po tréninku.

Parmar et al.(2012): RM u 26 letého muže po 30 min spinningu.

Ciccolella et al. (2014): RM u 23 letého medika po 8 mílích běhu v rámci laboratorního pokusu.

RM u 14 letého žáka po 100 dřepch.

RM u 21 letého muže po 50 min „fit“ cvičení (sed-leh, malé činky).

Shinde et al. (2015): RM s následným akutním poškozením ledvin u 20 letého muže 3 dny po těžkém cvičení v tělocvičně.

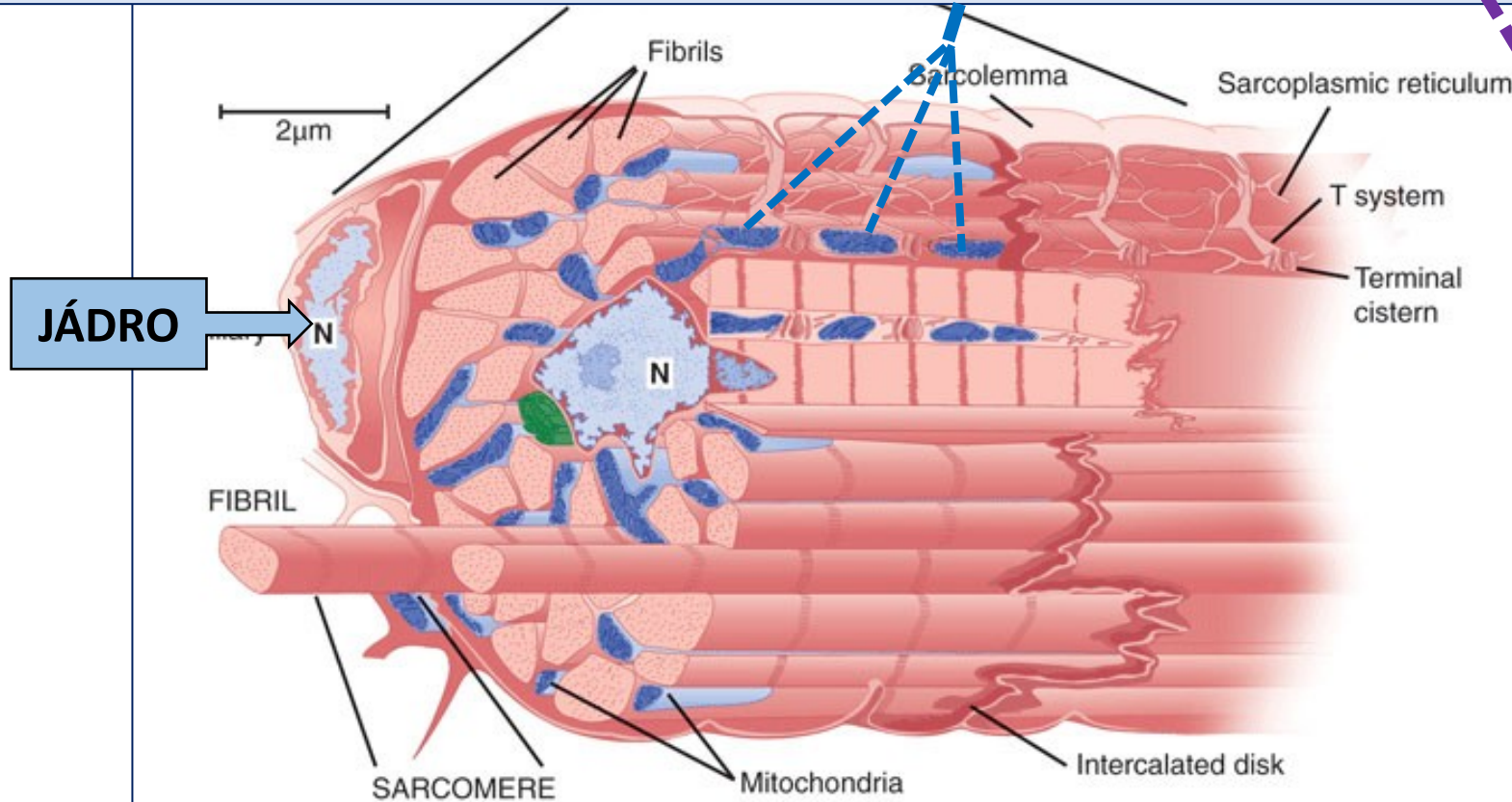
Riziko rhabdomyolýzy při oxidačním stresu v tréninku

Mechanismus působení ROS

Peroxidace lipidů → ničení **membrán mitochondrií - myocytů** → .. krev → další tkáně ..

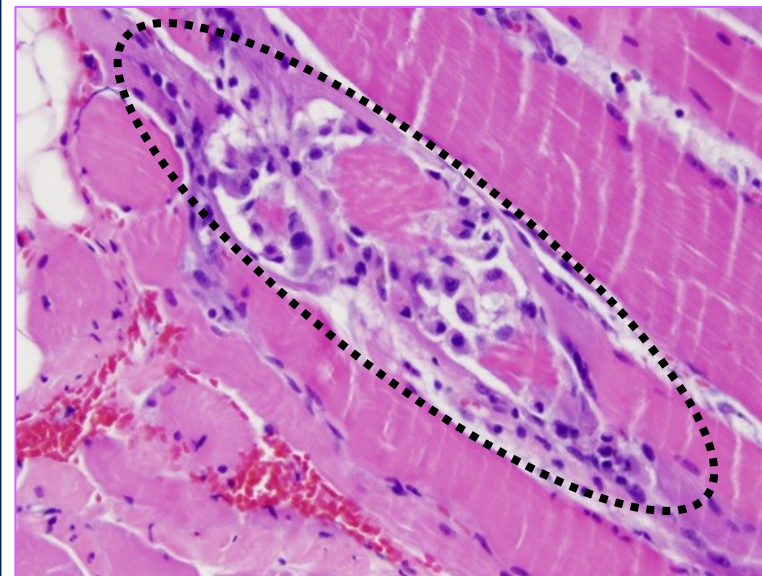
Oxidace proteinů → ničení **enzymů, hormonů, nosičů látek, struktur** intra- a extracelulárně

Poškození **DNA** v jádrech buněk – **genů**



<http://www.medicinehack.com/2011/06/cardiac-muscles-properties-morphology.html>

RABDOMYOLÝZA



Riziko rabdomyolýzy při cvičení a sportu

Příčiny – mechanismy vzniku – příznaky – následky - komplikace



<https://leytonsportsmassage.com>

VYČERPÁVAJÍCÍ VÝKON + VROZENÁ DISPOZICE

↑aerobní intenzita + ↓ příjem tekutin

HYPERTERMIE

HORKO

příjem ↑vody bez iontů

MECHAN. STRES

ACIDÓZA
ACIDURIE

↓sval.
glykogen

**HYPOHYDRATACE
HYPOVOLÉMIE**

**HYPO-
NATRÉMIE**

NÍZKÁ ZDATNOST
Užití antiflogistik, statinů, alkoholu; zranění, infekce, ...
VROZENÉ ENZYMATICKÉ DEFEKTY
Myofosforyláza (McArdler sy), Carnitinpalmitoyltransferáza, Myoadenylátdeamináza ..
Užití creatin-mono-hydrátu

RABDOMYOLÝZA

SLABOST,
BOLEST, ÚNAVA

DYSRYTMIE
SRDCE
EKG:



V krvi ↑
CK, LDH, ALT, AST,
K⁺, PO₄³⁻, Mb, Urea

TMAVÁ MOČ
V moči ↑
Mb, Urea,
KM

**SYNDROM
LÓŽE
(COMPARTMENT)**

NEFROPATIE (TUBULY) → AKUTNÍ ... CHRONICKÁ

KOAGULOPATIE

SMRT

SELHÁNÍ LEDVIN

První pomoc a lékařská péče

Clarkson (2007), Milne (2012), Keltz et al. (2013)

- 1. dosažení a udržení dobré hydratace a mineralizace**
(nepodávat K⁺),
- 2. odstranění místní a celkové hypertermie**
- 3. přesun do zdravotního zařízení**
4. 1.+2. podle výsledků biochemického vyšetření
+ podpora činnosti ledvin (dialýza) a srdce

Kjerulf Greer et al. (2007)

Podávání „větvených“ esenciálních aminokyselin
(izoleucin, leucin, valin)

→ ↓ ukazatelů myolýzy (CK a LDH).

Howatson et al. (2010)

Třešňový džus → ↓ ukazatelů myolýzy, zánětu a antioxidační aktivity.

Podávání samotných antioxidantů (vit. C, E, A) je logické, ale nejsou důkazy o jejich příznivém vlivu (Bloomer et al., 2005).



(Iannetta, 2015 <<http://www.denverpost.com/2015/07/13/endurance-athletes-turn-to-hydration-by-iv-despite-medical-skepticism/>>)

Riziko rabdomyolýzy při cvičení a sportu

Prevence 1/2: Omezit zátěž podle stavu sportovce před a v průběhu výkonu

(Armstrong et al., 2010; Hew-Butler, 2013)

DLOUHODOBÝ STAV

- vyšší věk, nízká hmotnost,
- dřívější myopatie,
- celková infekce,
- hypotyreóza, zhoršené jaterní a ledvinné funkce,
- nedostatku vitamínu D.

AKTUÁLNÍ STAV PŘED STARTEM A PŘI VÝKONU

- alkohol, analgetika, antiflogistika, jiné drogy,
- vyčerpání zdrojů energie,
- poruchy metabolismu minerálů (především K^+ a Na^+),
- přehřátí, podchlazení, otoky,
- pobodání hmyzem, zranění,
- poruchy dýchání a oběhu,
- svalová slabost, bolest, křeče
- bolest hlavy, zmatenost, závratě, zvracení

VROZENÉ DISPOZICE

- Neobvyklá slabost, únava a bolest svalů nebo křeče po zatížení.
- Zjištění deficitu enzymů; genetika.



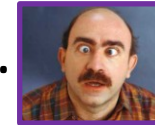
Prevence 2/2: Odstranění příčin



❑ NEVHODNÉ ZÁTĚŽE (Hew-Butler, 2013)

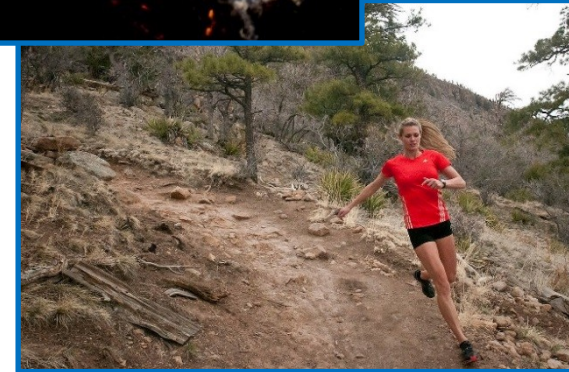
- vyčerpávající kontinuální dlouhodobé výkony ve vedru,
- vyčerpávající excentrické cvičení (běh s kopce).

Neřídit se pravidlem „žádná bolest = žádný trénink“.



❑ VHODNÁ ZÁTĚŽ

- „Lehké“ až „namáhavé“ cvičení
- s příjemným pocitem
- s přestávkami na regeneraci.



Preventivní **podávání antioxidantů** (vit. C a E) se nedoporučuje, protože to potlačuje vlastní protioxidační schopnosti (glutathion)

(Leonardo Mendonça et al., 2014).

Pravidelné lehké až středně namáhavé cvičení zlepšuje vlastní antioxidační schopnosti

(Goon et al., 2009).



Závěry

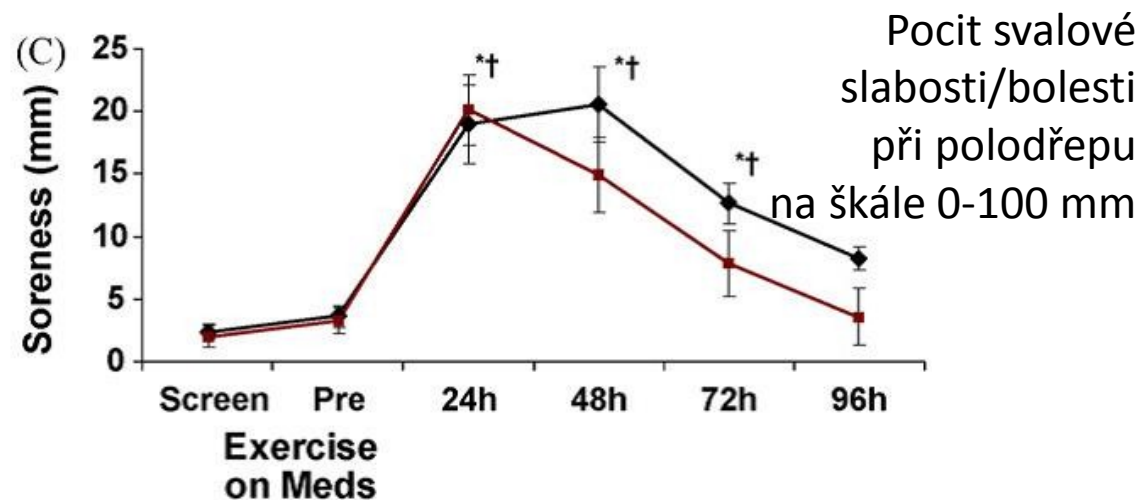
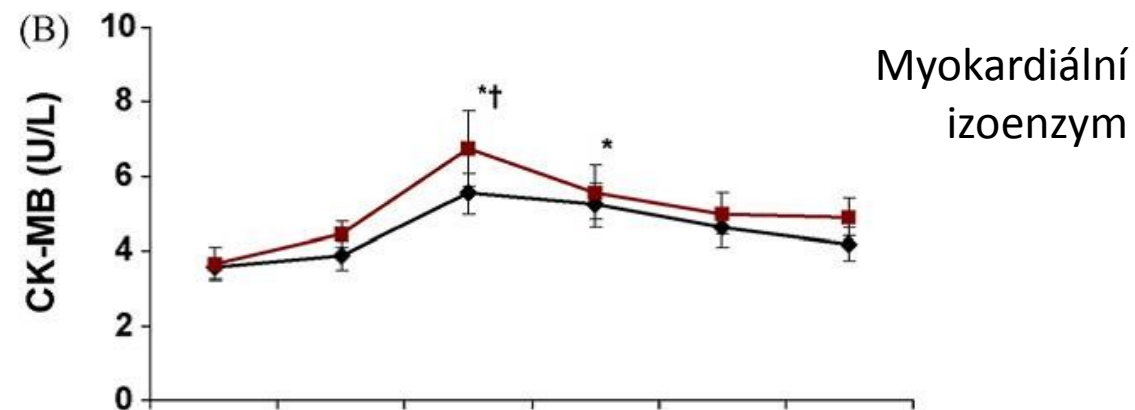
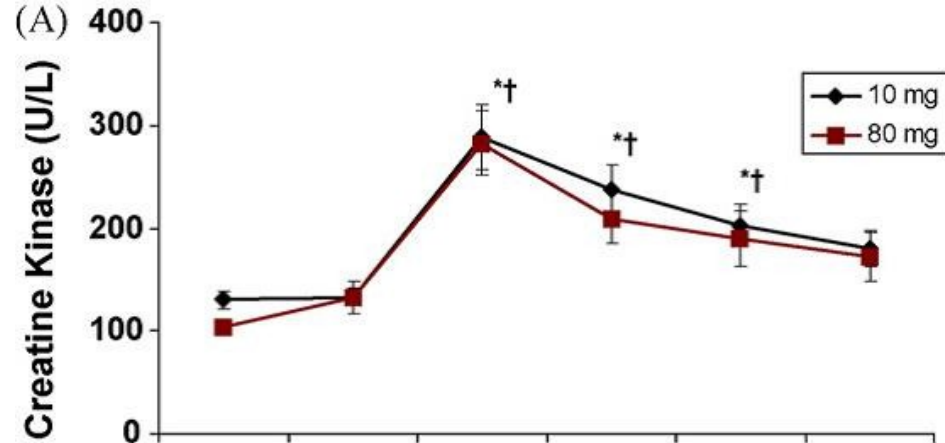
1. **Intenzivní cvičení** → riziko **RABDOMYOLÝZY** → selhání ledvin
2. **Doporučuji sportovcům a jejich trenérům rozumně**
 - volit druh a objem sportovní zátěže **podle stavu sportovce,**
 - zvyšovat intenzitu a objem fyzické zátěže **postupně**
 - **vnímat a respektovat odezvu těla na zátěž a případně ji ukončit,**
 - **vždy dostatečně podporovat regeneraci sil (voda, ionty, energie).**
3. **Sportovní trenéři, cvičitelé a rodiče jsou zodpovědní za zdravotní stav svých svěřenců/dětí.**



Děkuji Vám za pozornost.

Myopatie sportovců užívajících statiny

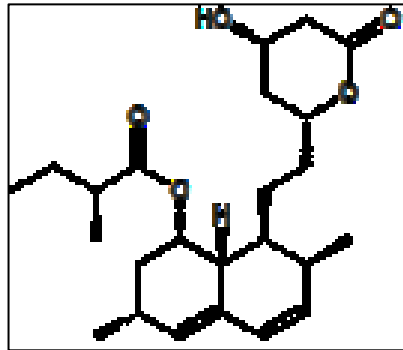
Muži (atorvastatin 10 a 80 mg) + 3x15 minut chůze s kopce
na běhátku se sklonem -15%, rychlostí na 65% tabulkové HRmax
(Kearns et al., 2008)



Myopatie sportovců užívajících statiny

Chemická struktura lovastatinu

(<http://www.wikiskripta.eu/index.php/Statiny>).



ETIOPATOGENEZE

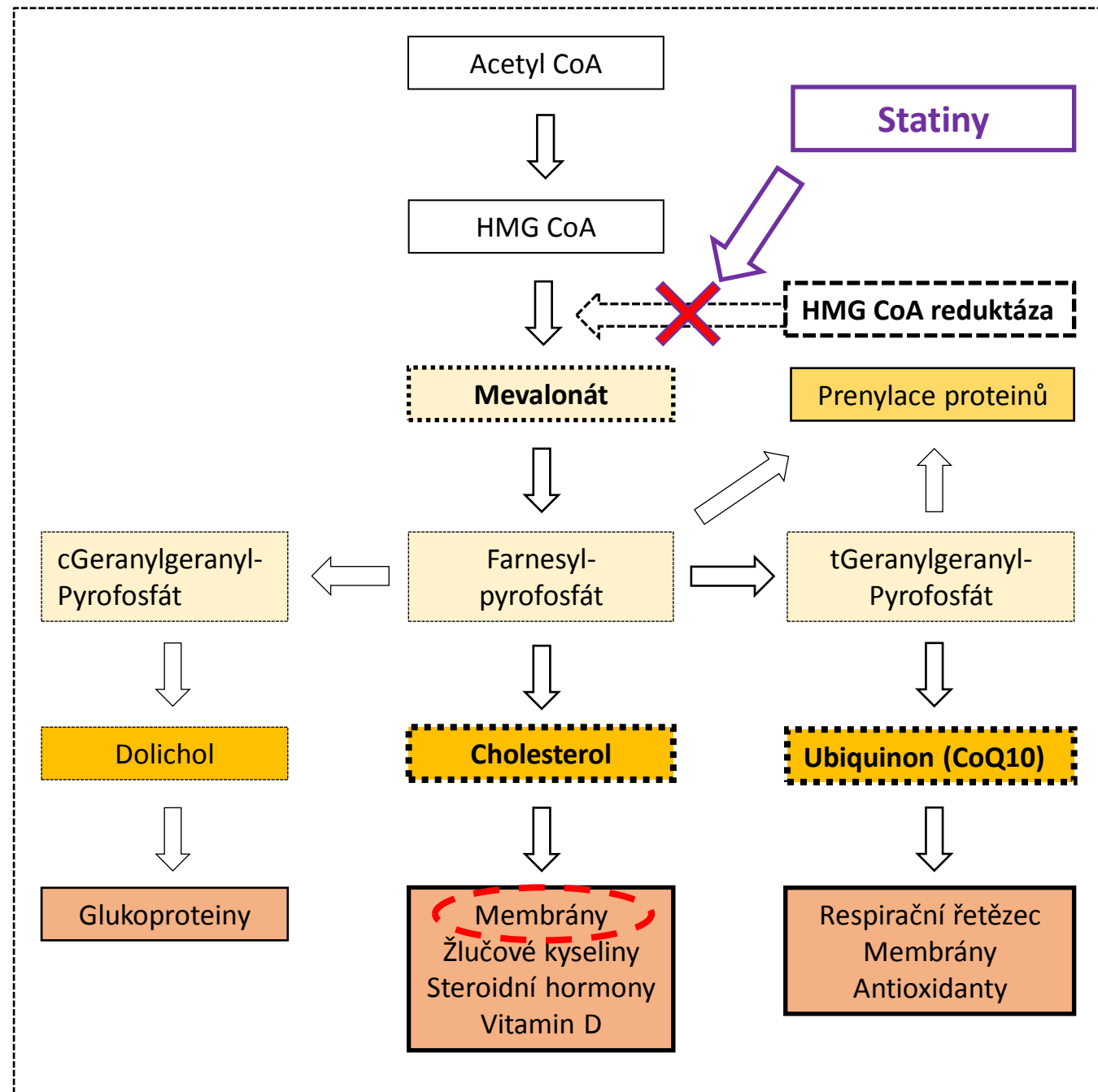
POŠKOZENÍ SVALŮ STATINY

(DiStasi et al., 2010; Sathasivam, 2012)

Vysvětlivky

CoA - koenzym A,

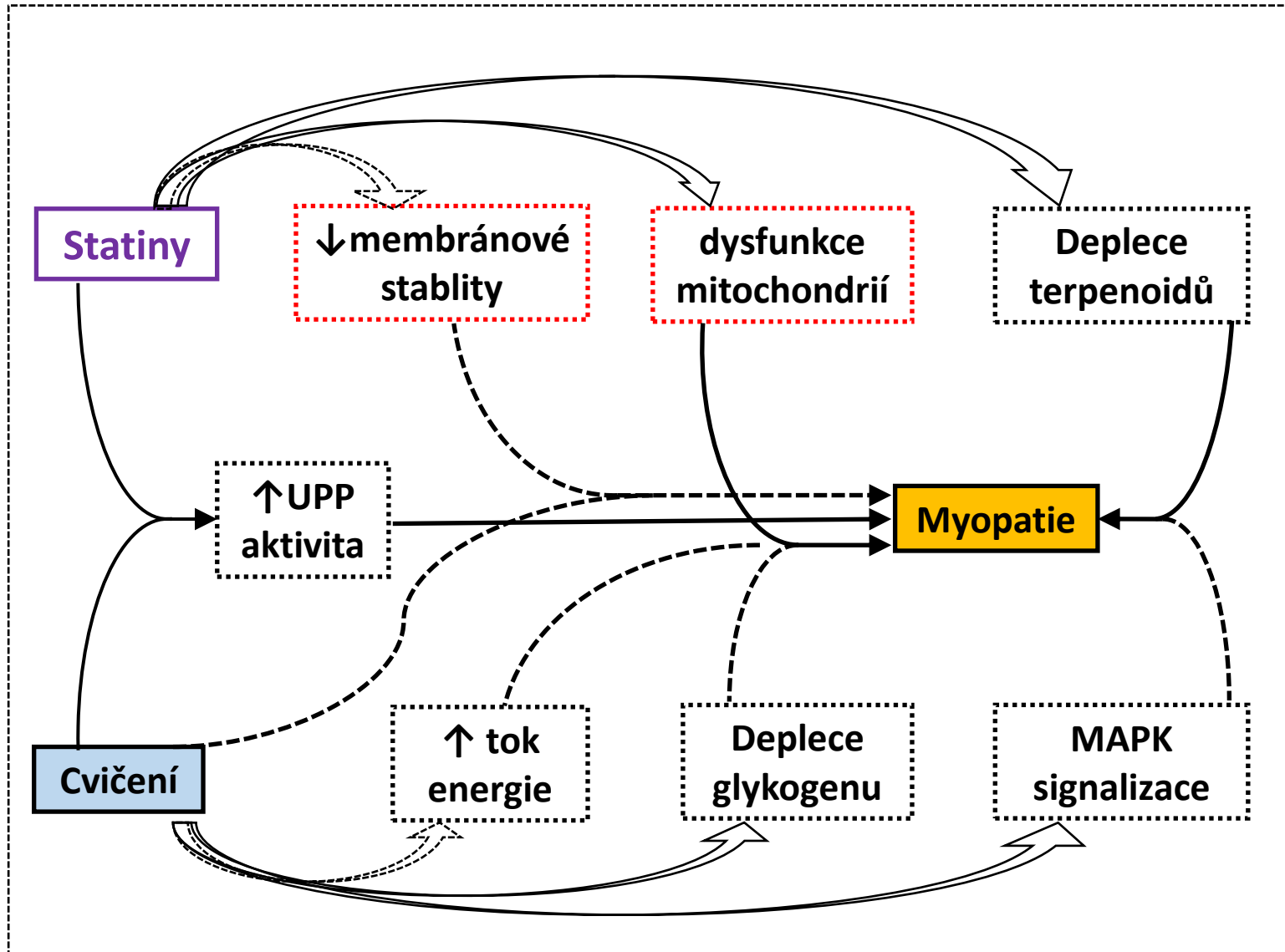
HMG CoA – 3-hydroxy-3-methylglutaryl-koenzym A.



Myopatie sportovců užívajících statiny

POTENCIÁLNÍ ETIOPATOGENEZE STATINOVÉ RABDOMYOLÝZY PŘI CVIČENÍ

(Meador a Kimberly, 2010).



Vysvětlení

U cvičících uživatelů statinů se objevuje zvýšená ubiquitin–proteázové aktivita (UPP) a větší poškození mitochondrií.

Cvičení zvyšuje tok energie, jenž má výraznější dopad na poškozené mitochondrie.

Cvičení také aktivuje cestu mitogen-aktivované protein-kinázy (MAPK), což může vést ke glykogenové depleci.

Terpenoidy jsou i dolichol (účastník syntézy glykoproteinů) a ubiquinon (koenzym Q10, článek respiračního řetězce v mitochondriích).

Myopatie sportovců užívajících statiny

DIAGNOSTICKÝ POSTUP PŘI STATINOVÉ MYOPATII (Sathasivam, 2012)

Vysvětlivky

CK – kreatinkináza, TSH – tyreostimulační hormon
(hypercholesterolémie z hypotyreózy?)

