

## Zátěžová Fyziologie 2. Hodina Řízení pohybu Nervosvalová Adaptace

svalová kontrakce, svalová hypertrofie,  
vaskularizace, svalové bolesti, DOMS

Mgr. Martina Bernaciková, Ph.D.

Mgr. Aleš Řehoř, Mgr. Vojtěch Grün

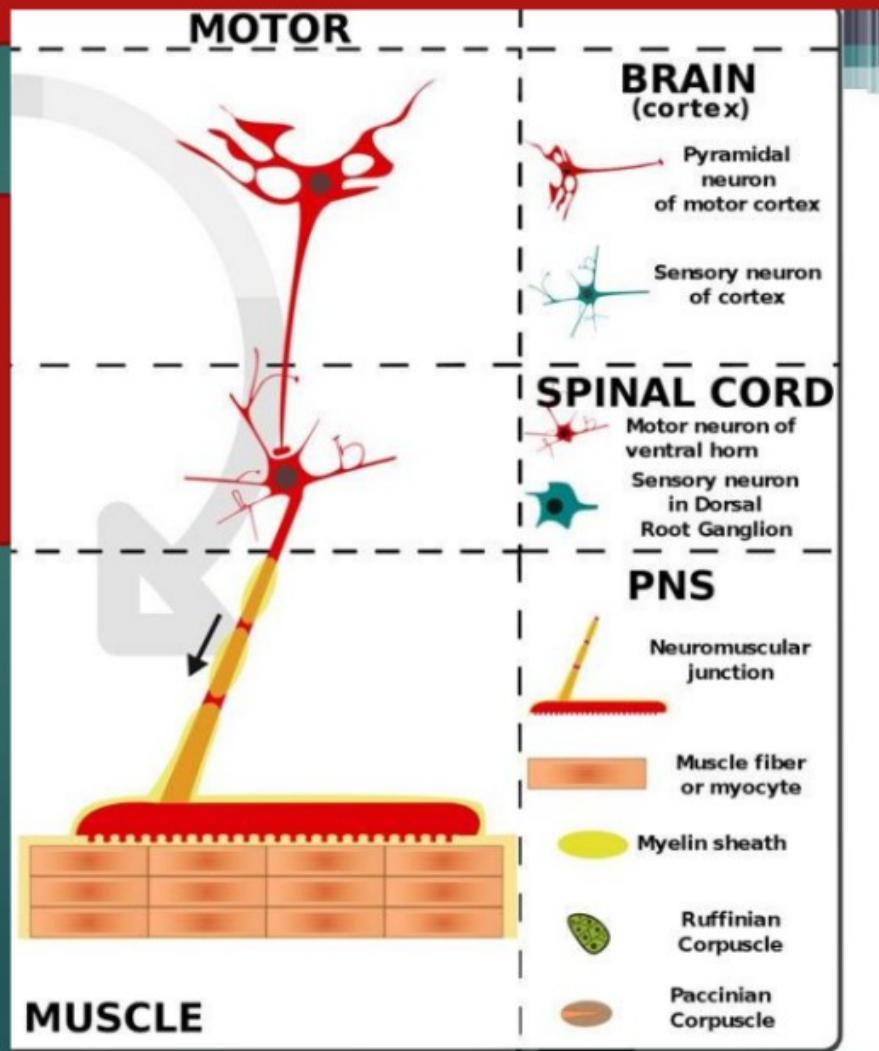
bp4051 bk4051 Jaro 2022

# Motorické neurony ( alfa, gama, mozková kůra)

Motorická jednotka = motoneuron + všechna příčně pruhovaná svalovina kterou inervuje

## Malá motorická jednotka

U svalů zajišťujících jemné pohyby ( okohybné svaly, svaly hlasivek)  
3-8 vláken

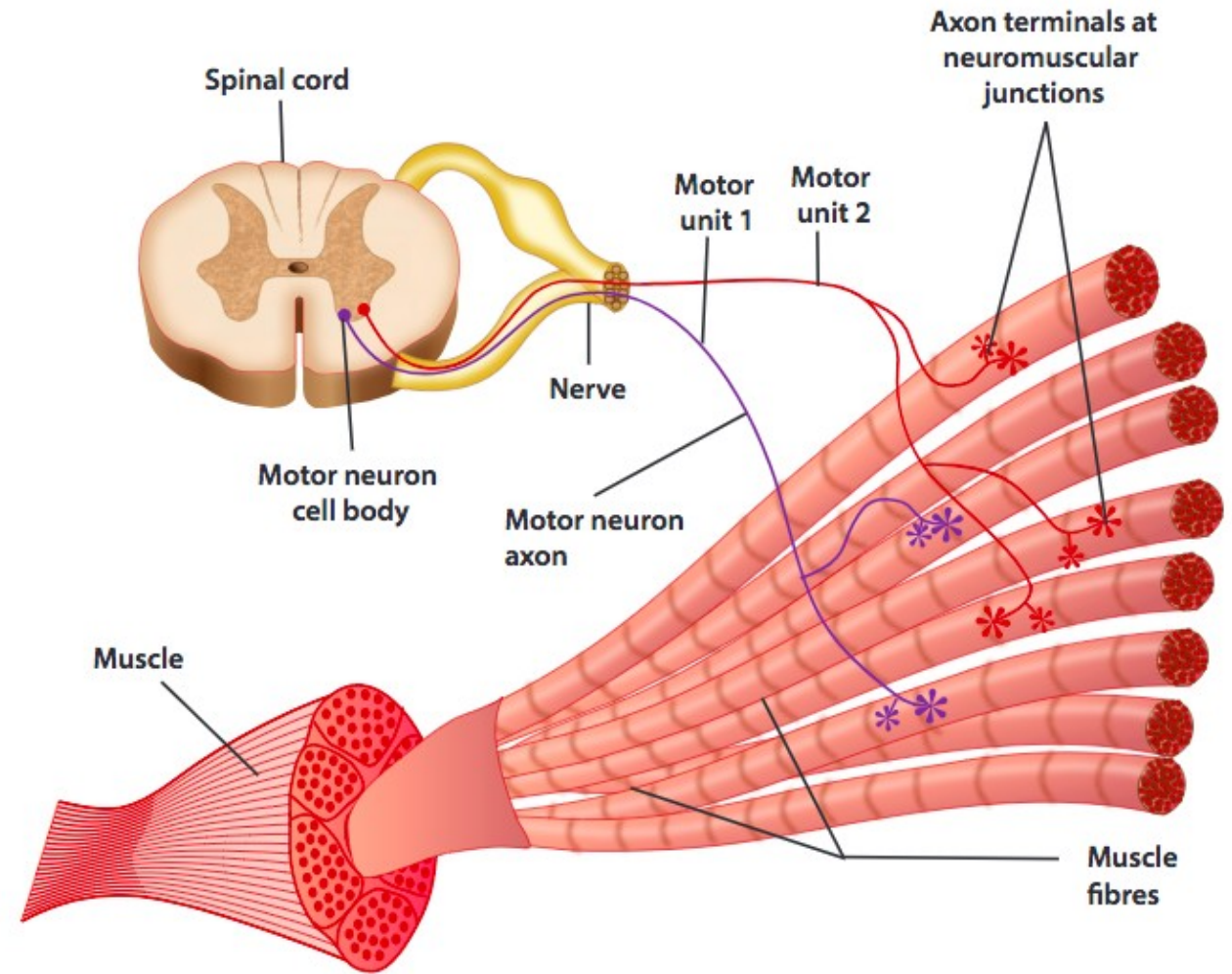


## velká motorická jednotka

Svaly vykonávající hrubé pohyby ( svaly zad, stehna)  
1500-2000 vláken

## Motorické neurony – MJ motorická jednotka

- Motorická jednotka se skládá z jednoho motorického neuronu a určitého počtu svalových vláken, na které přímo působí (inervuje).
- Kosterní svaly jsou inervované motorickými nervy, které vycházejí z neuronů, z předních (ventrálních) rohů míšních



Axon of motor neurons extend from the spinal cord to the muscle. There each axon divides into a number of axon terminals that form neuromuscular junctions with muscle fibers scattered throughout the muscle.



# Řízení pohybu



Dvě složky: 1, **vydávání pokynů** ( motorická vlákna končící u efektoru)

2, **zpětná vazba** ( příjem informací v jakém stavu jsou orgány jak jsou splněné příkazy)

Na řízení se podílí : **CNS** ( korová a podkorová centra, mozeček)

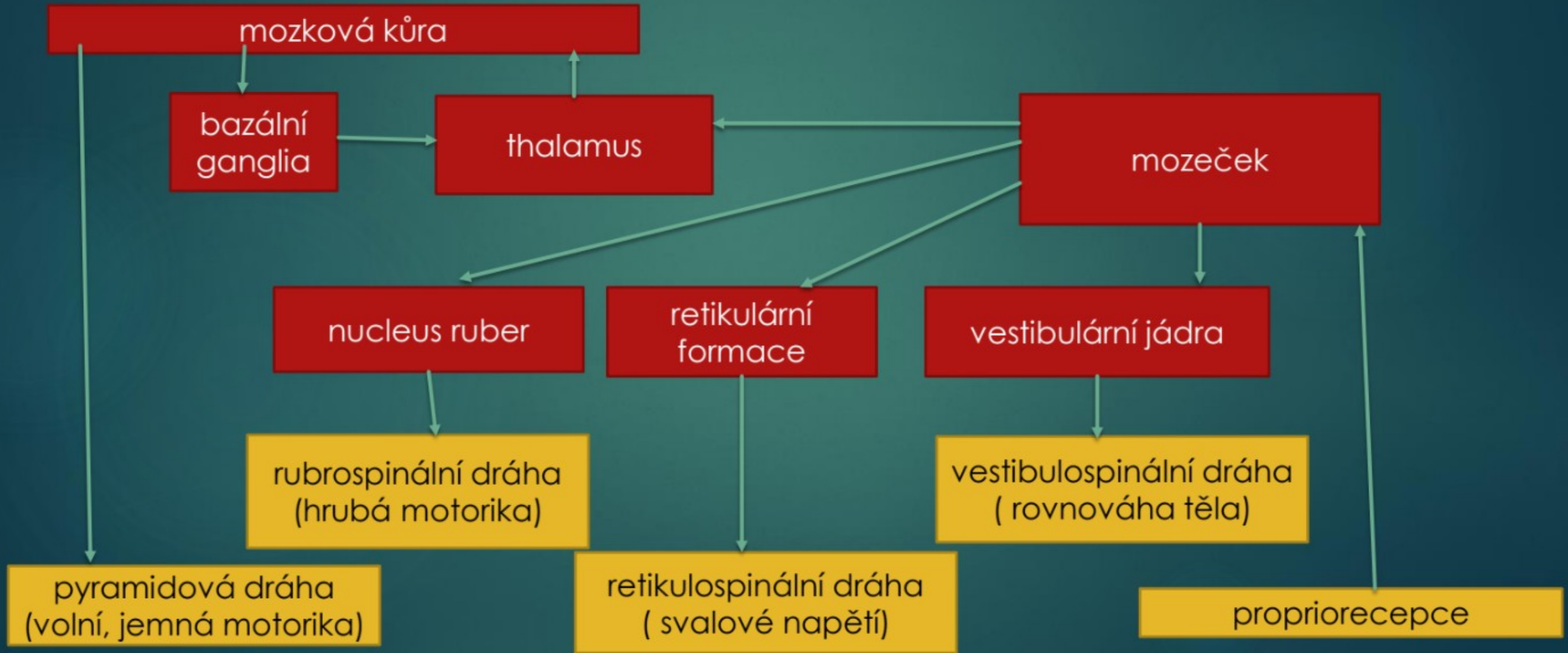
**motorické a senzitivní dráhy**



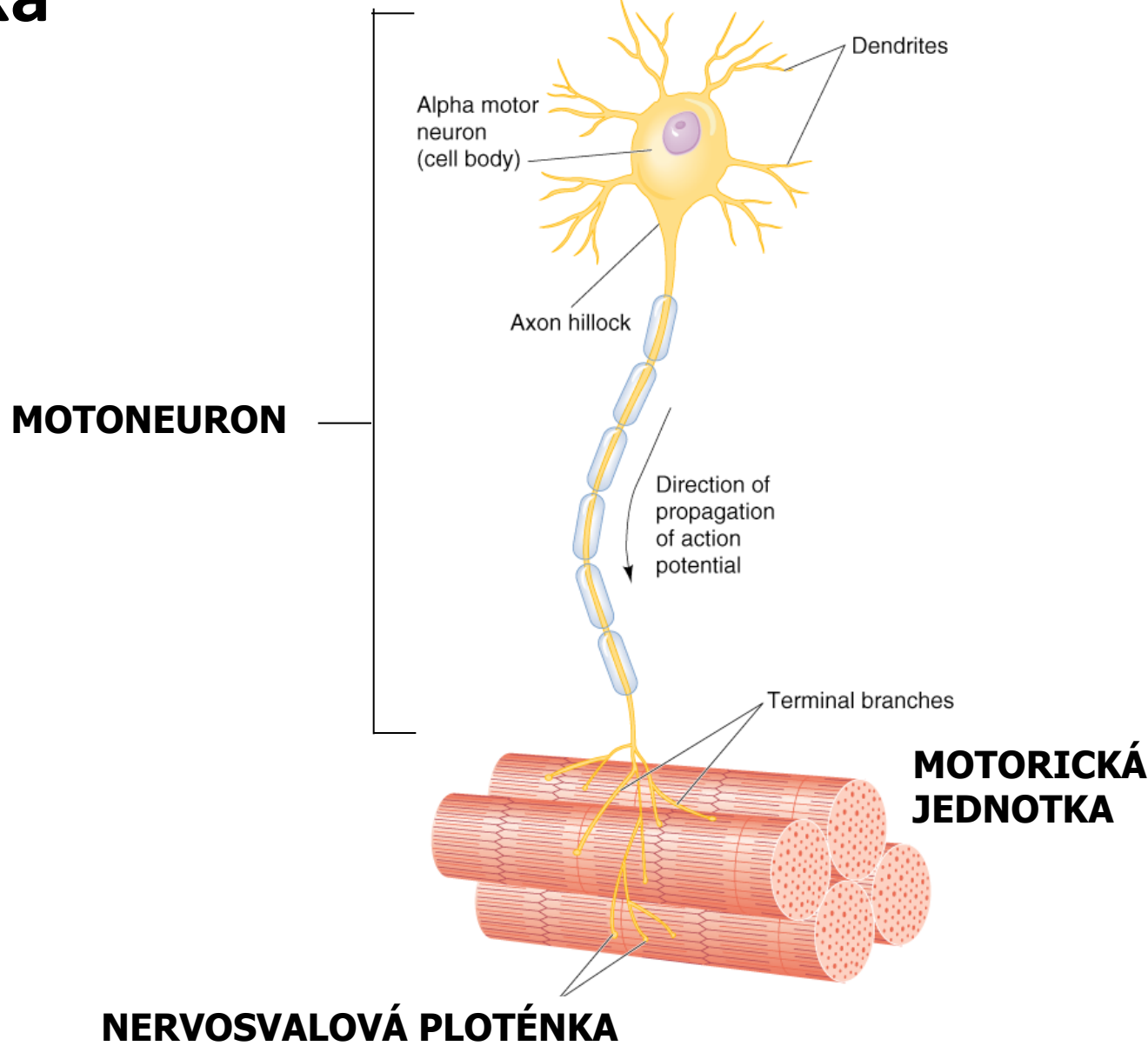
# Motorické okruhy

Motorické okruhy : kůra mozková, bazální ganglia a thalamus

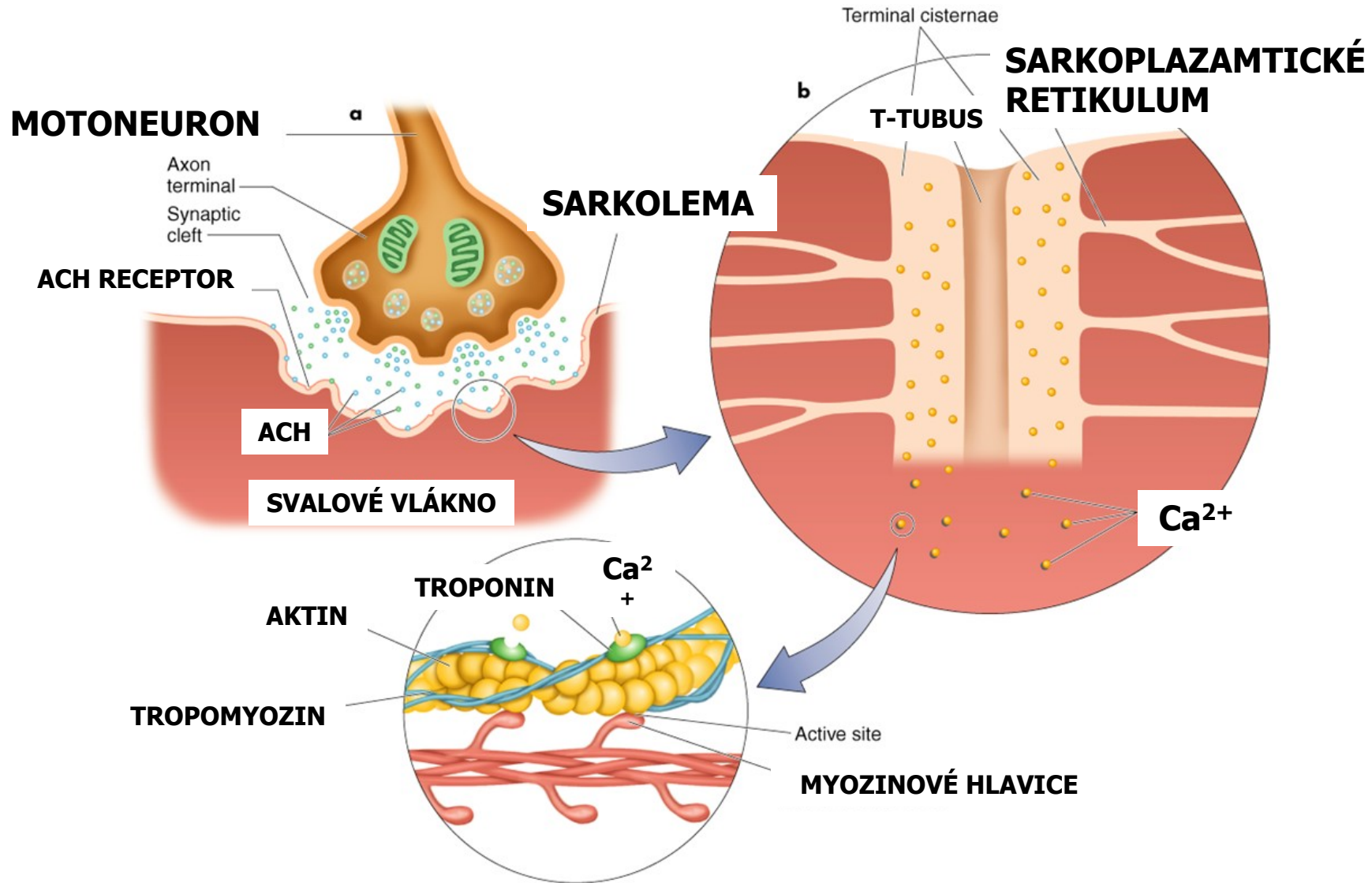
kůra mozková – 3 motorické oblasti



# Motorická jednotka



# NERVOSVALOVÝ PŘENOS





**TABLE 8.1** Characteristics of Human Skeletal Muscle Fiber Types

| <b>Characteristic</b>                  | <b>FAST FIBERS</b> |                 | <b>SLOW FIBERS</b> |
|--|--------------------|-----------------|--------------------|
|  | <b>Type IIx</b>    | <b>Type IIa</b> | <b>Type I</b>      |
| Number of mitochondria                 | Low                | High/moderate   | High               |
| Resistance to fatigue                  | Low                | High/moderate   | High               |
| Predominant energy system              | Anaerobic          | Combination     | Aerobic            |
| ATPase activity                        | Highest            | High            | Low                |
| V <sub>max</sub> (speed of shortening) | Highest            | Intermediate    | Low                |
| Efficiency                             | Low                | Moderate        | High               |
| Specific tension                       | High               | High            | Moderate           |

(Powers, Howley 2007)



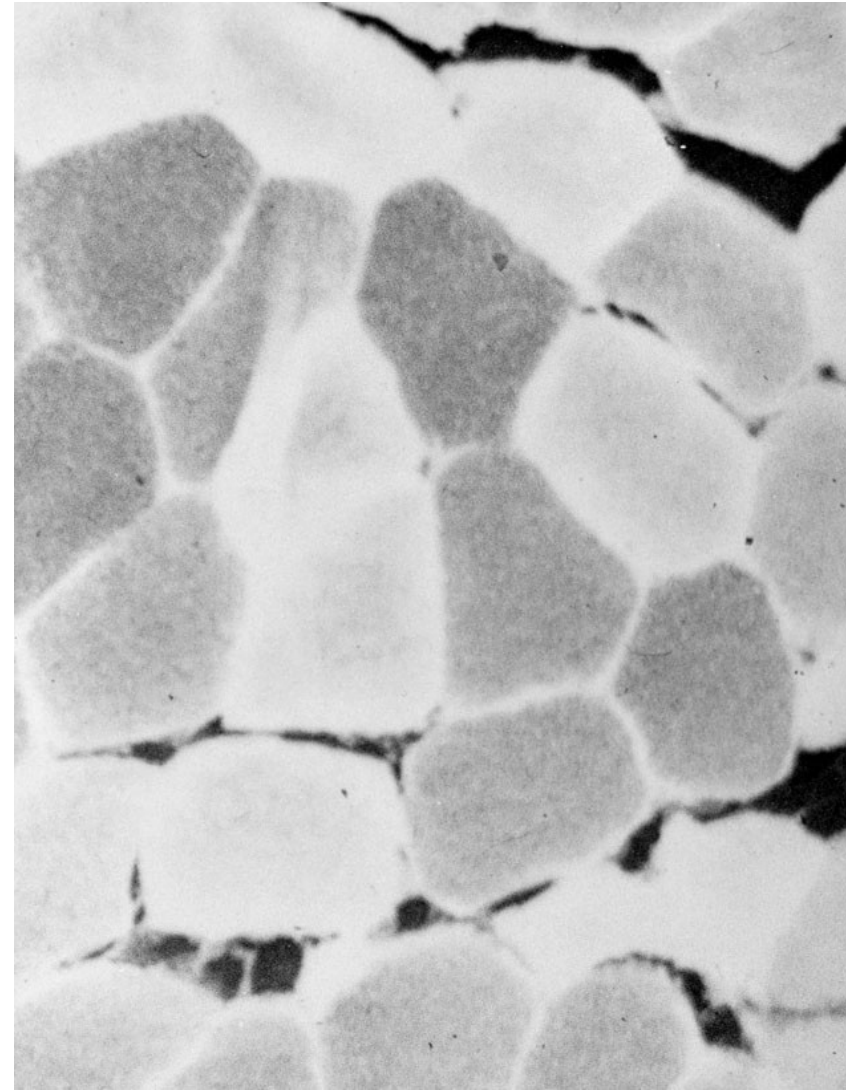
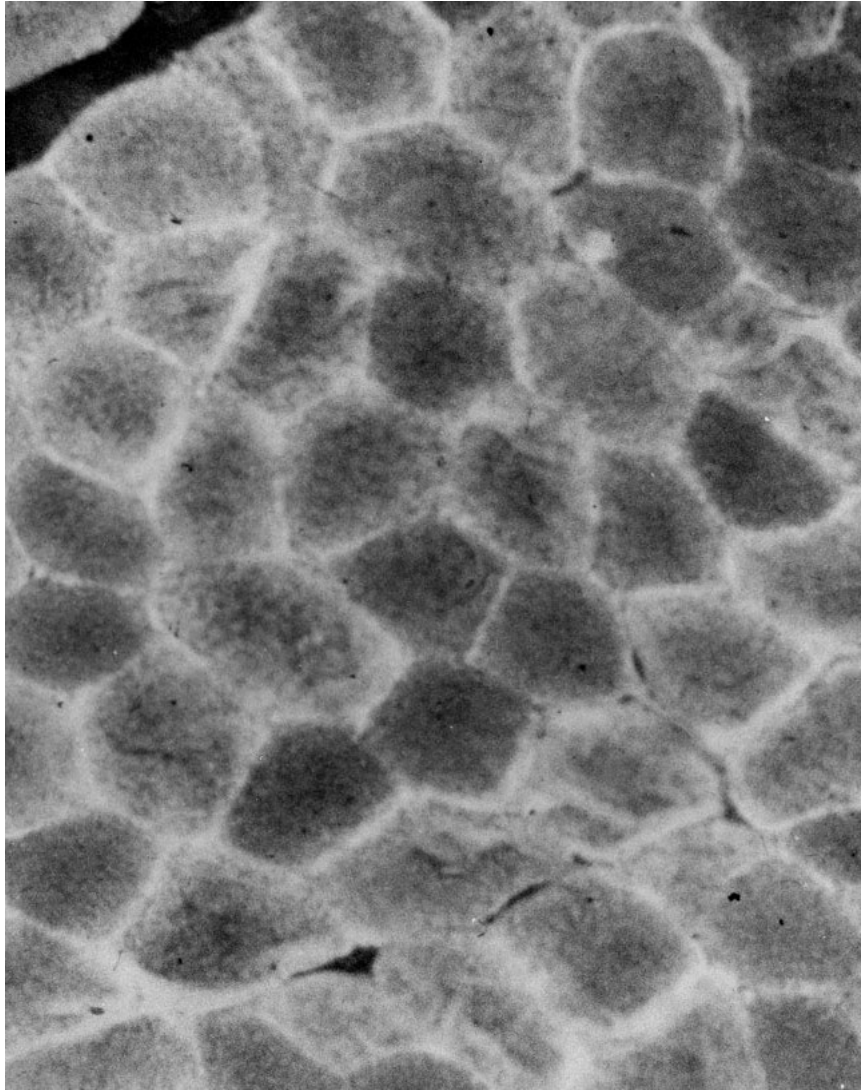
# Základní vlastnosti sval. vláken (I, IIa, IIx)

|                       | Typ I<br>pomalé červené | Typ IIa<br>rychlé červené | Typ IIx<br>rychlé bílé |
|-----------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------|
| Rychlost kontrakce    | <b>pomalá</b>           | <b>rychlá</b>             | <b>rychlá</b>          |
| Síla kontrakce        | <b>nízká</b>            | <b>střední</b>            | <b>vysoká</b>          |
| Odolnost vůči únavě   | <b>vysoká</b>           | <b>střední</b>            | <b>nízká</b>           |
| Obsah glykogenu       | <b>nízký</b>            | <b>vysoký</b>             | <b>vysoký</b>          |
| Průměr                | <b>malý</b>             | <b>střední</b>            | <b>velký</b>           |
| Hustota mitochondrií  | <b>vysoká</b>           | <b>vysoká</b>             | <b>nízká</b>           |
| Hustota kapilár       | <b>vysoká</b>           | <b>vysoká</b>             | <b>nízká</b>           |
| Aktivita ATP-ázy      | <b>nízká</b>            | <b>vysoká</b>             | <b>vysoká</b>          |
| Glykolytická kapacita | <b>nízká</b>            | <b>vysoká</b>             | <b>vysoká</b>          |

# Morfologická adaptace svalů

- Nárůstu svalové hmoty říkáme **Svalová hypertrofie**
- **Hypertrofie** – nárůst průřezu svalového vlákna, je způsoben nárůstem počtu kontraktilních proteinů a nárůstem extracelulárního matrixu, čímž je podpořen další nárůst
- Ve většině literatury rozlišujeme mezi dvěma typy hypertrofie – **Myofibrilární** a **Sarkoplazmatická**
- **Myofibrilární hypertrofie** je způsobena nárůstem, ale i zvýšením počtu kontraktilních a strukturálních elementů, čímž dochází také k paralelnímu nárůstu sarkomer
- **Sarkoplazmatická hypertrofie** je způsobena nárůstem sarkoplazmatického objemu a nekontraktilních proteinů, což může vést k nárůstu svalové hmoty, bez výrazného vlivu na vliv svalové síly (Schoenfeld, 2010)

# HYPERTROFIE SVAL. VLÁKEN PO TRÉNINKU





# SVALOVÁ HYPERTROFIE

## SARKOPLAZMATICKÁ

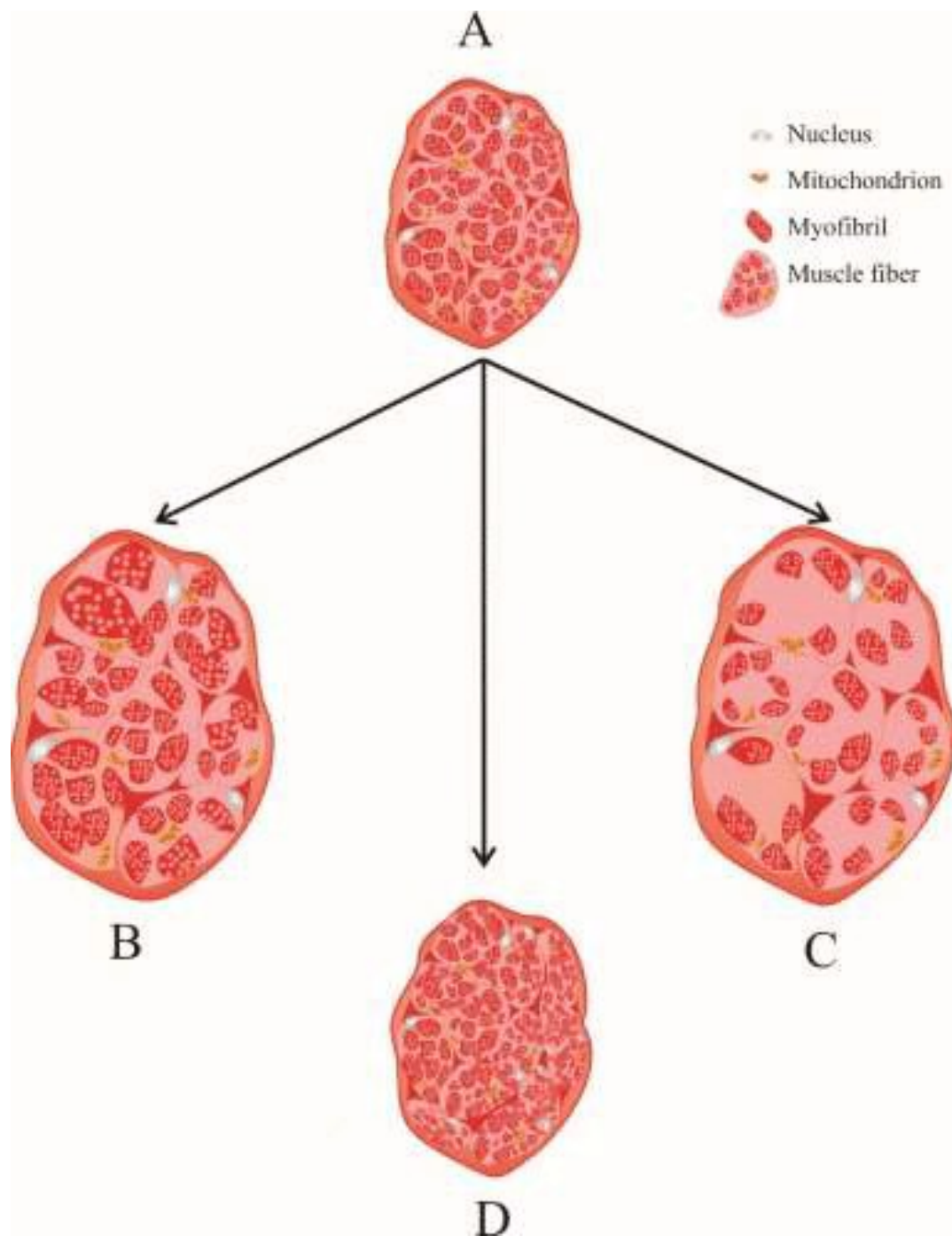


## MYOFIBRILÁRNÍ

- obvyklejší u kulturistů
- synonymum: nefunkční hypertrofie (zvětšuje se především objem, ne síla)
- zvyšuje se objem sarkoplazmy
- zvýšené ukládání svalového glykogenu
- růst organel (mitochondrie)
- zvýšení nekontraktilních bílkovin

- obvyklejší u vzpěračů
- synonymum: funkční hypertrofie
- růst myofibril (množení kontraktilních bílkovin)

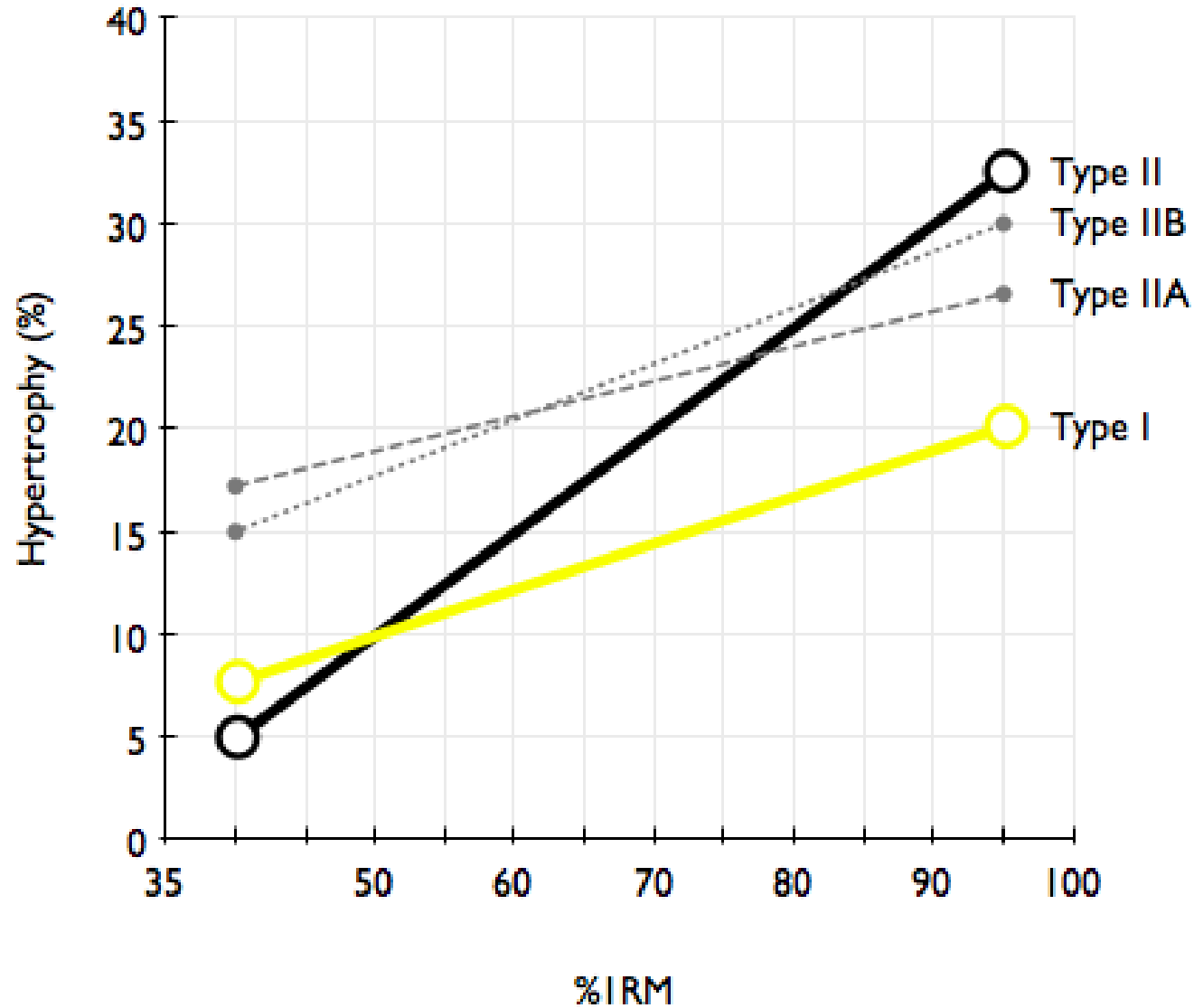
MYOFIBRILÁRNÍ HYPERPLAZIE ?



A: normální svalové vlákno  
B: myofibrilární hypertrofie  
C: sarkoplazmatická hypertrofie  
D: hyperplazie myofibril ?

# HYPERTROFIE RŮZNÝCH TYPŮ SVALOVÝCH VLÁKEN

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

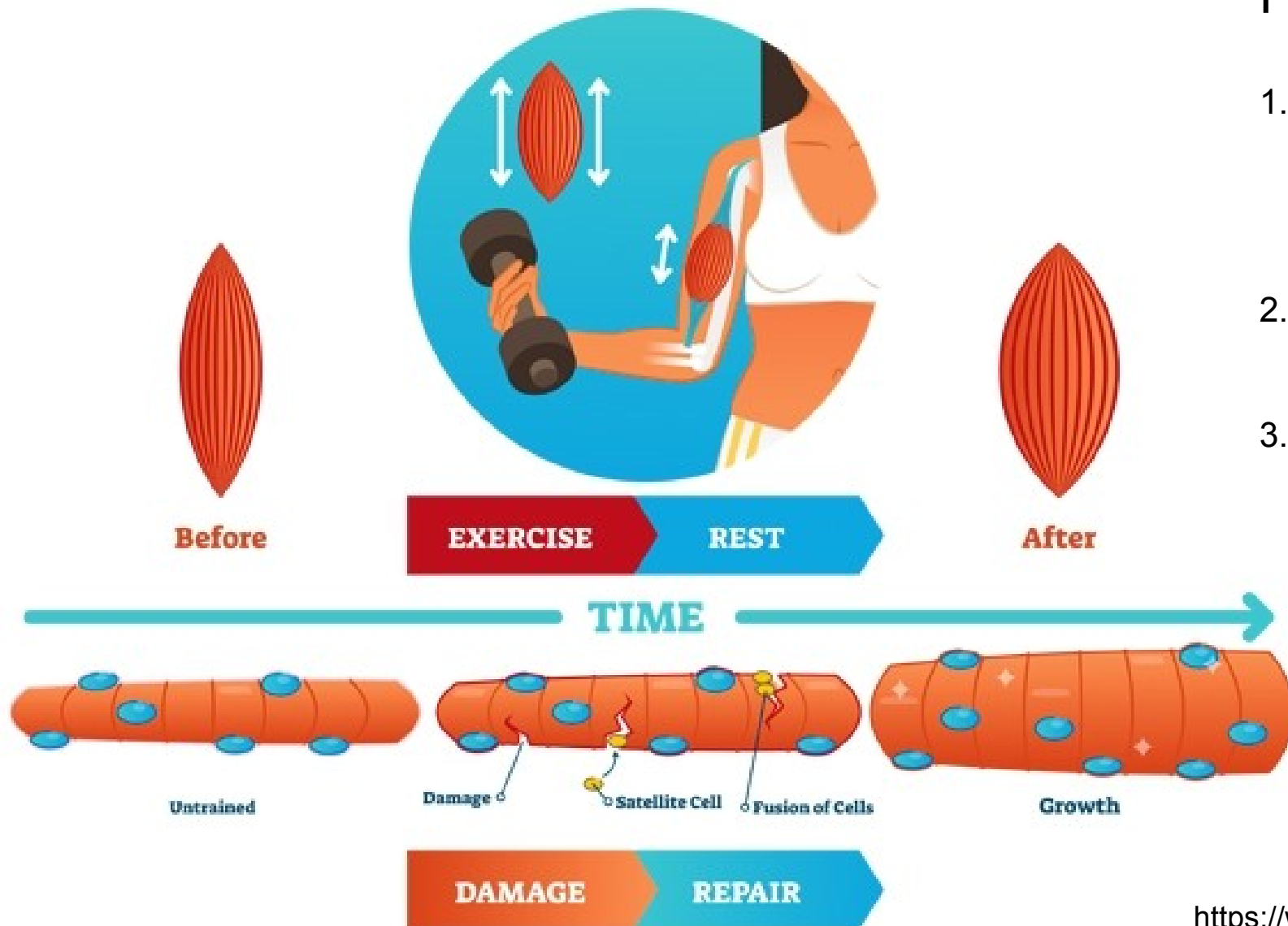




# HOW MUSCLES GROW

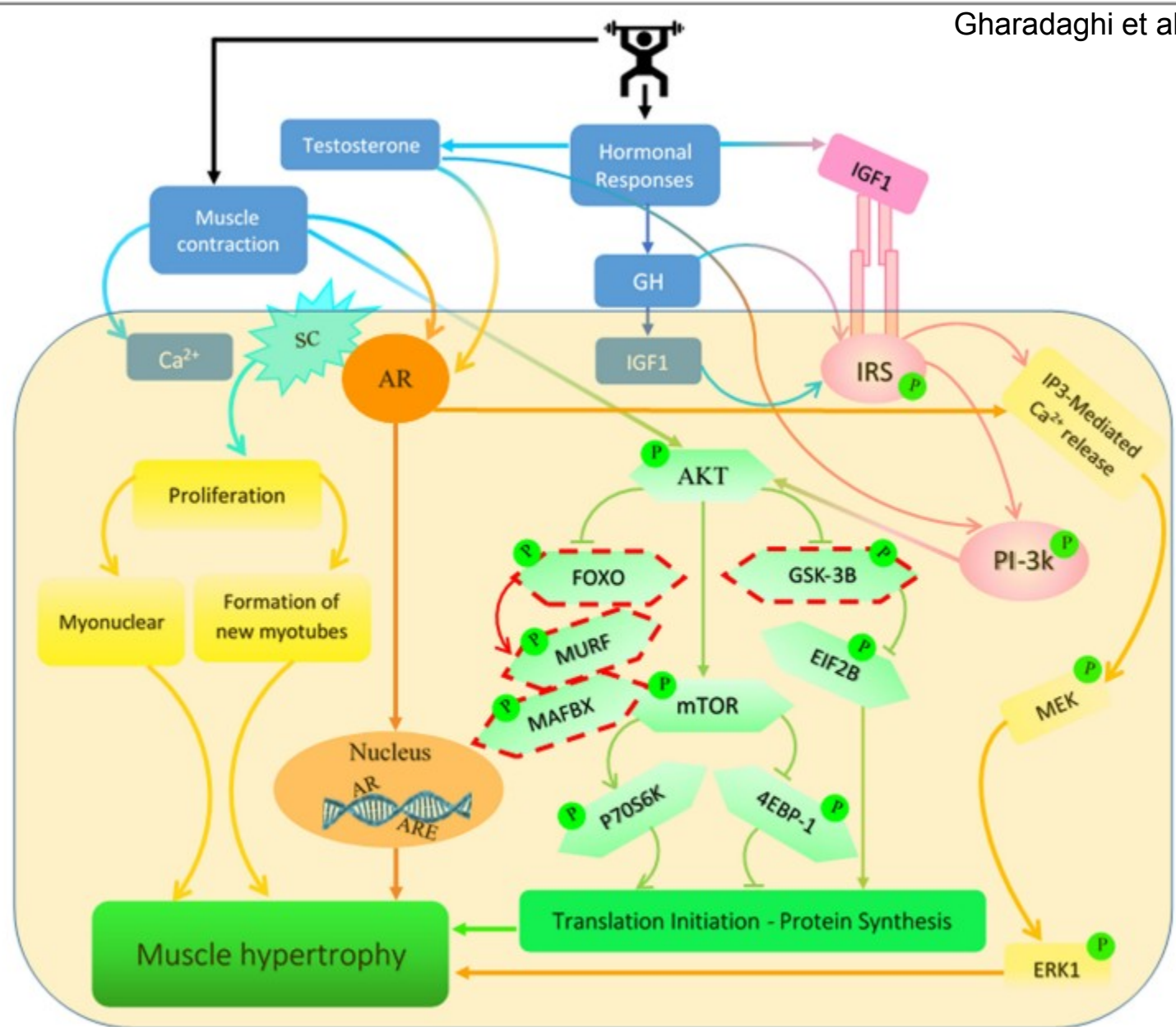
## PROCES HYPERTROFIE:

1. STIMULACE ODPOROVÝM TRÉNINKEM  
→ POŠKOZENÍ SVALOVÝCH VLÁKEN  
→ SPUŠTĚNÍ ZÁNĚTLIVÉ REAKCE  
(podpora zotavení) - DOMS
2. OPRAVA SVALOVÝCH VLÁKEN v průběhu zotavení (satelitní buňky)
3. RŮST SVALU



# HORMONY A CYTOKINY SPOJENÉ S HYPERTROFIÍ:

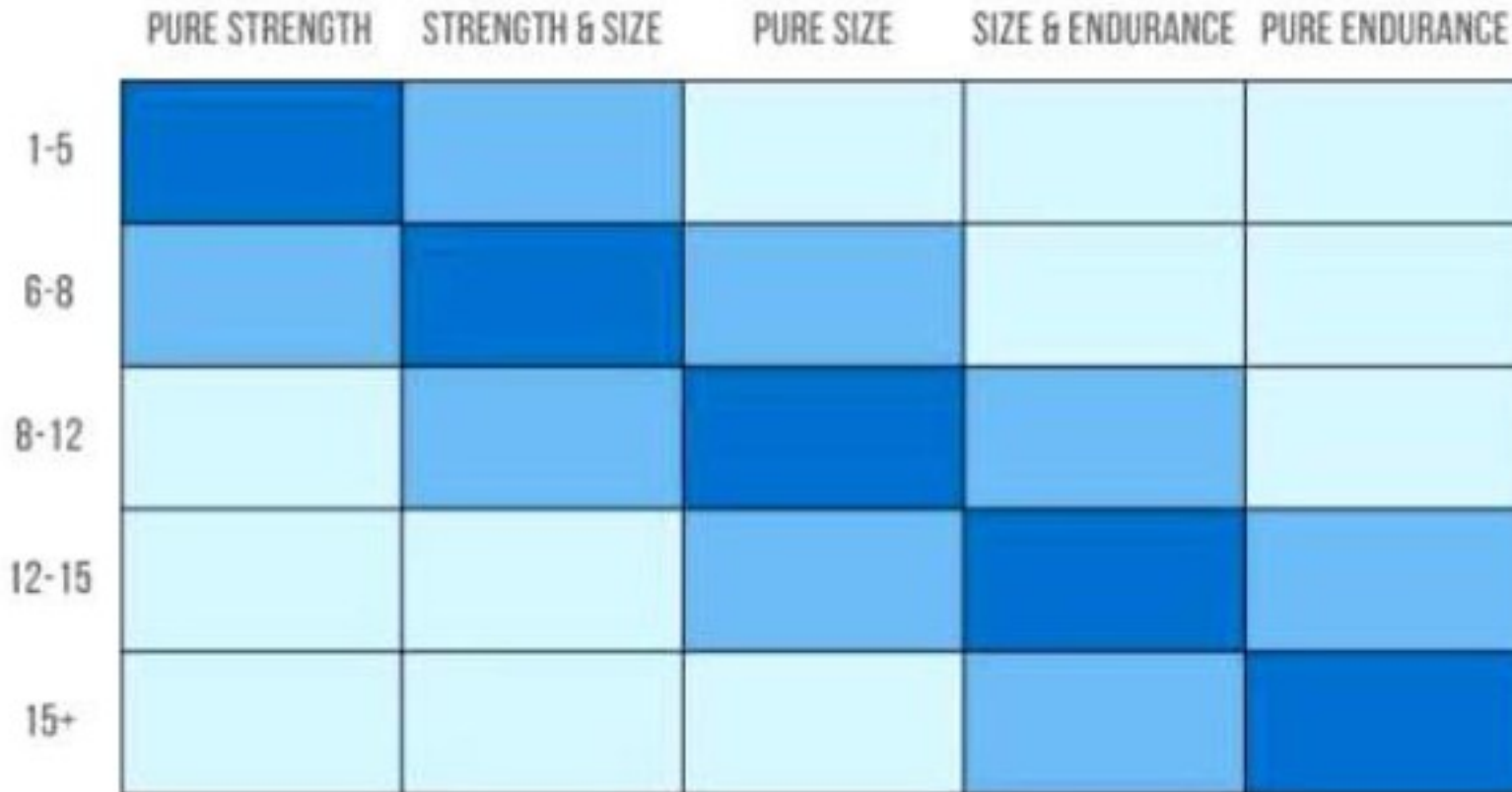
- TESTOSTERON (↑ glukózy)
- RŮSTOVÝ HORMON → IGF 1
- IGF 1 (Insulin-Like Growth Factor)
  - zvýšení syntézy bílkovin
- IL-5, IL-6 (cytokiny: Interleukin-5, Interleukin-6)
  - protizánětlivé procesy



**FIGURE 1** | Signaling pathways regulated by testosterone, growth hormone (GH) and insulin-like growth factor 1 (IGF-1) are induced by resistance exercise (RE). RE has been shown to increase the concentration of these hormones which activate several different signaling pathways in the muscle. These pathways lead to increases in muscle protein synthesis (MPS) and net protein accretion which result in an increase in muscle mass. SC, satellite cell; AR, androgen receptor; IRS, insulin receptor substrate; ARE, androgen response element. \*Dashed outline represents inhibitory protein cascades.

# Počet opakování pro určitý typ silového tréninku

## WHAT PEOPLE THINK:



DARKER BLUE = LARGER EFFECT

## Repetition Continuum



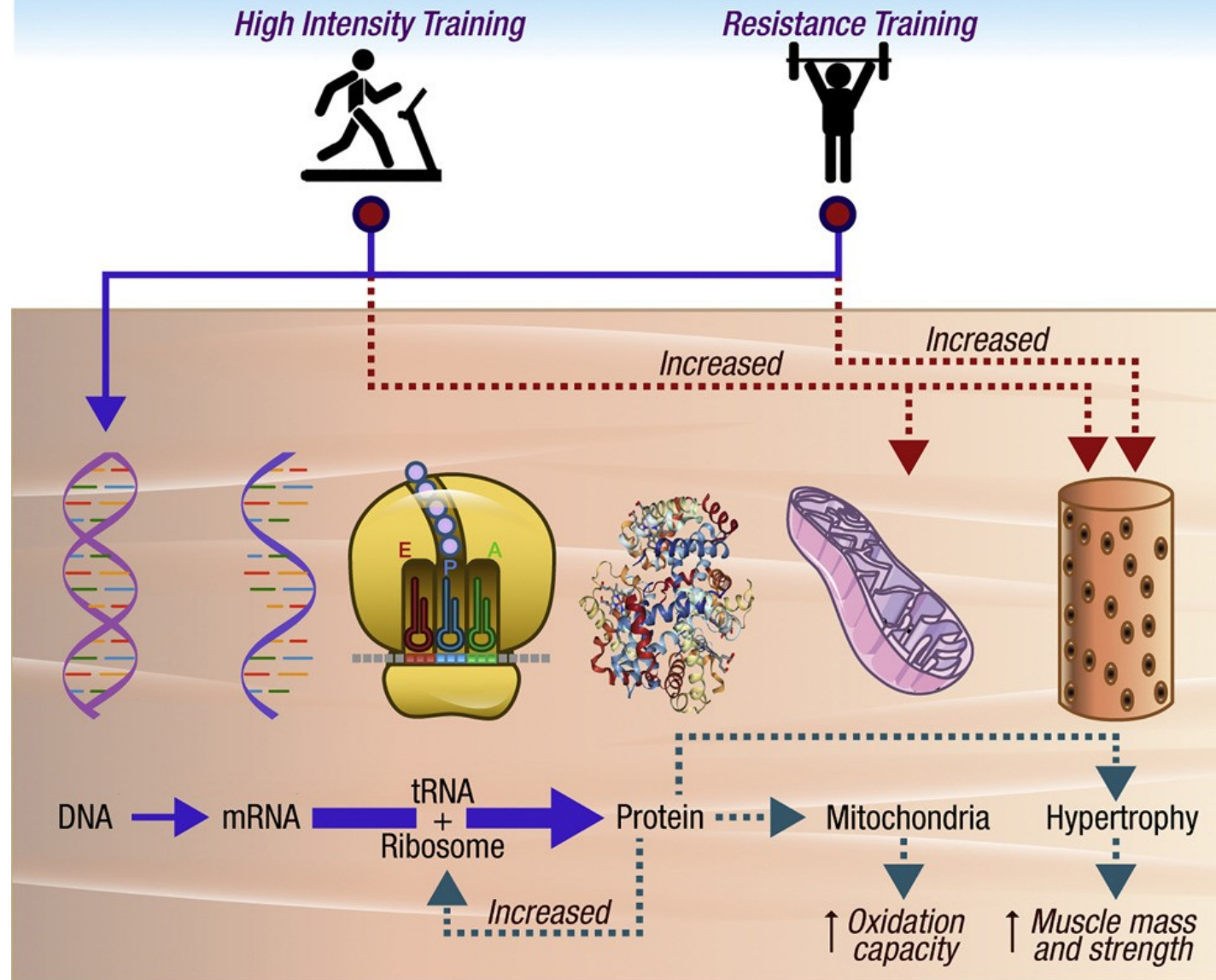
- Kolik týdnů?
- Kolikrát týdně?



# Adaptace svalů na vytrvalostní trénink

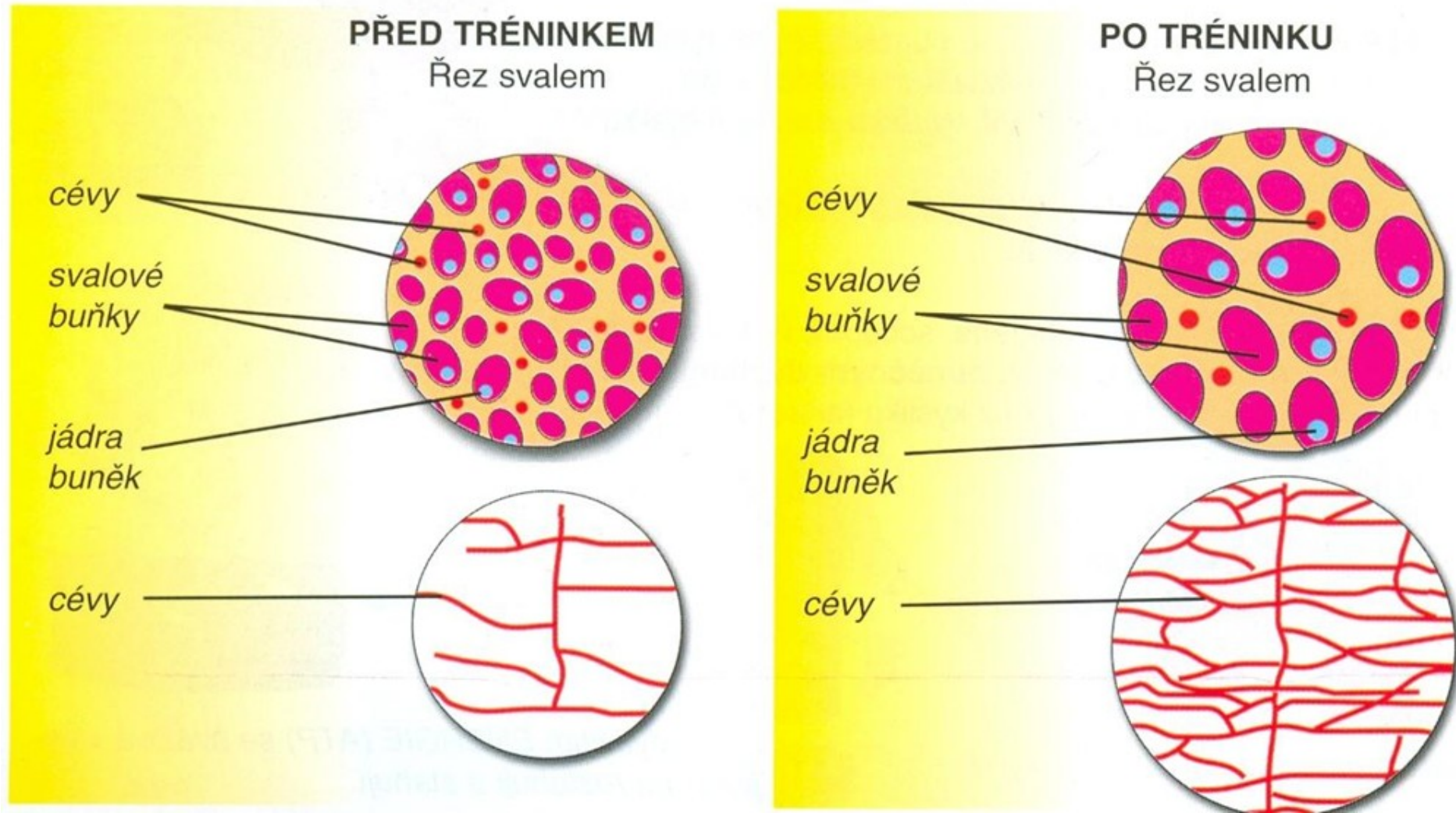
- ◆ ↑ počtu/povrchu mitochondrií (+ ↑ enzymů)
- ◆ ↑ respirační aktivity svalových vláken:
  - ↑ obsahu myoglobinu (protein, který váže kyslík) – zvyšuje zásobu  $O_2$  ve svalu
- ◆ ↑ vaskularizace (obklopení jednotlivých vláken větším počtem kapilár – zásobování svalů kyslíkem)
- ◆ pomalejší využití svalového glykogenu a glukózy v krvi, větší závislost na oxidaci tuků a menší produkce laktátu při cvičení dané intenzity

# 12 Weeks Exercise Training in Younger and Older People



*Skeletal Muscle Adaptation to Exercise Training*

# Adaptační změny – trénink a svaly



# Vliv odlišného řízení pohybové aktivity (tréninku) na vlastnosti kosterního svalu

|                                       | VYTRVALOST | RYCHLOST  | SÍLA      |
|---------------------------------------|------------|-----------|-----------|
| Počet krevní kapilár                  | ↑          | ?         | ?         |
| Povrch mitochond. membrán             | ↑          | ↑         | ↓         |
| Příčná aera sval. vláken              | variabilní | ↑         | ↑         |
| Ca <sup>2+</sup> transportní kapacita | ↓          | ?         | ?         |
| ATP+CP                                | ↑          | ↑         | ↑         |
| Glykogen                              | ↑          | ↑         | ↑         |
| Triglyceridy                          | ↑          | ↑         | ↑         |
| Štěpení makroergních fosfátů          | ?          | rychlejší | rychlejší |
| Glykolýza                             | ↓          | ↑         | ↑         |
| Oxidace glycidů                       | ↑          | ↑         | ↑         |
| Oxidace volných MK                    | ↑          | ?         | ?         |



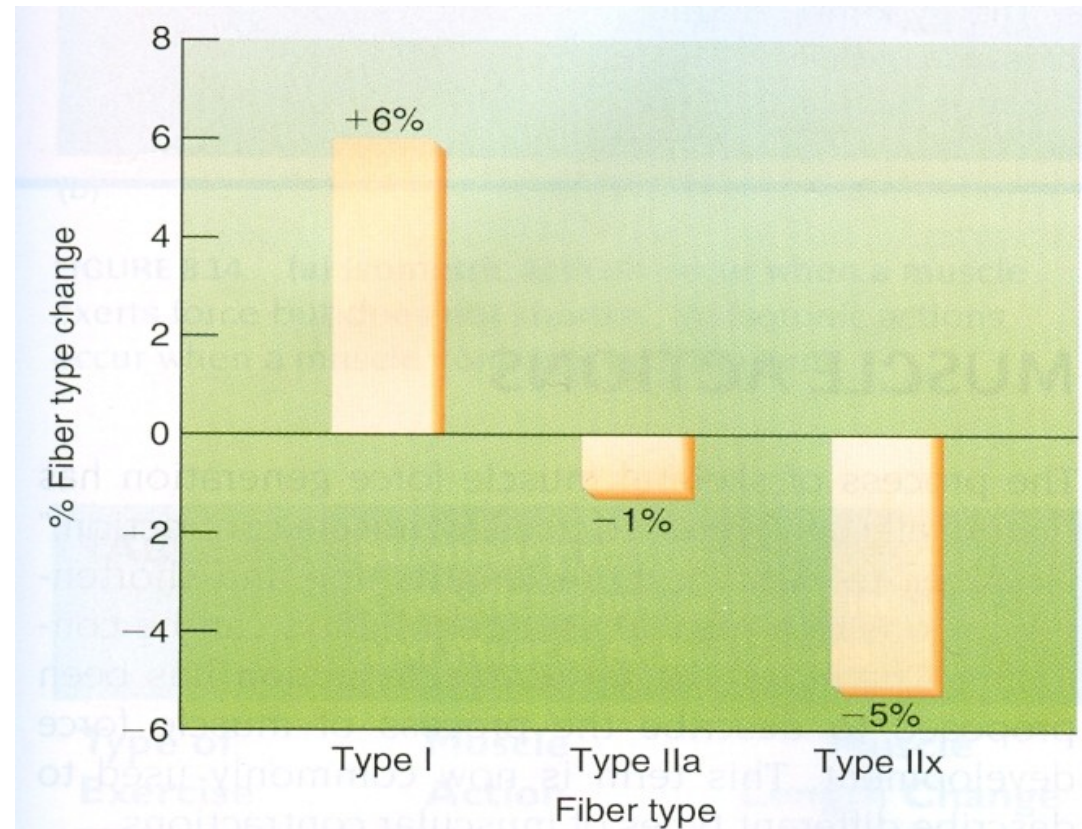
# Je možná změna svalových vláken?

---

- ◆ Dřívější studie ukázali, že změna vláken není možná, pouze změna jejich vlastností.
- ◆ Studie křížení inervace ukázali, že nepatrné změny jsou možné.
- ◆ Možná změna z IIx na IIa, a z IIa na I vytrvalostním tréninkem, a IIx na IIa silovým tréninkem.
- ◆ Kombinací vysoké intenzity silového tréninku a krátké intervaly rychlé práce mohou vést ke konverzi vláken I na IIa.

# 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).

# AKTIVITA

PRÁCE VE SKUPINĚ (cca 4 lidi)

| <b>ADAPTACE SVALU NA SILOVÝ<br/>A RYCHLOSTNÍ TRÉNINK</b> | <b>ADAPATCE SVALŮ NA<br/>VYTRVALOSTNÍ TRÉNINK</b> |
|--|---|
|  |   |
|  |   |
|  |   |
|  |   |
|  |   |

# AKTIVITA

DISKUZE ve dvojicích  
SVALOVÉ BOLESTI, SVALOVÉ KŘEČE



# BOLESTI SVALŮ PŘI/PO ZATÍŽENÍ – příčiny a časová osa

| AKUTNÍ BOLEST                            | DOMS<br>(svalová horečka, svalovica)           | SVALOVÉ KŘEČE  |
|--|--|--|
| NAHROMADĚNÍ ODPADNÍCH LÁTEK PŘI ZATÍŽENÍ | PŘEVAŽUJÍCÍ EXCENTRICKÁ KONTRAKCE BĚHEM ZÁTĚŽE | DEHYDRATACE A ZTRÁTA MINERÁLŮ  |
| OTOK TKÁNÍ                               | STRUKTURÁLNÍ POŠKOZENÍ SVALOVÝCH BUNĚK         | ZVÝŠENÍ AKTIVITY SVALOVÝCH VŘETÉNEK A POKLES AKTIVITY ŠLACHOVÝCH TĚLÍSEK   |
|  | ZÁNĚTLIVÉ REAKCE UVNITŘ SVALU                  | PŘETRVÁVAJÍCÍ AKTIVITA MOTONEURONŮ ODCHYLUJÍCÍ SE OVLÁDÁNÍM NA ÚROVNI MÍCHY VYVOLANOU PŘETÍŽENÝM A UNAVENÝM SVALEM |
|  |  | SVALOVÁ ÚNAVA  |
| NA KONCI TRÉNINKU, PŘI ZAČÁTKU ZOTAVENÍ  | DEN AŽ DVA PO NÁROČNÉM TRÉNINKU                | PO INTENZIVNÍM POCENÍ  |
|  |  | BĚHEM NÁROČNÉ SOUTĚŽE, IHNED PO SKONČENÍ SOUTĚŽE   |

# KŘEČE SVALU (cramps)

## PŘÍČINY - MECHANIZMY

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

## PROJEVY

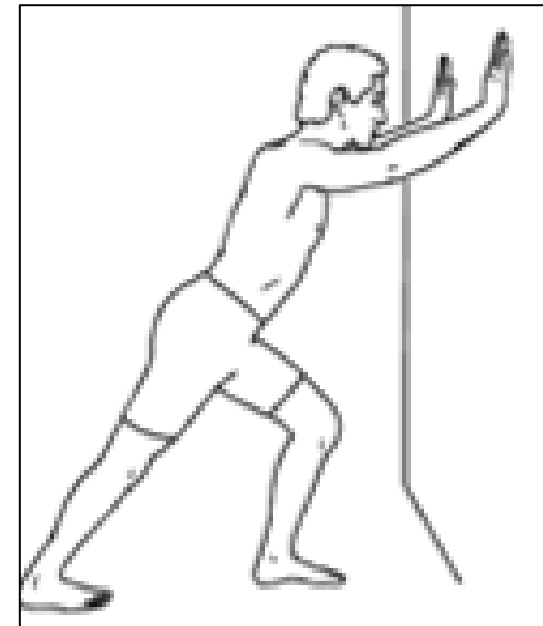
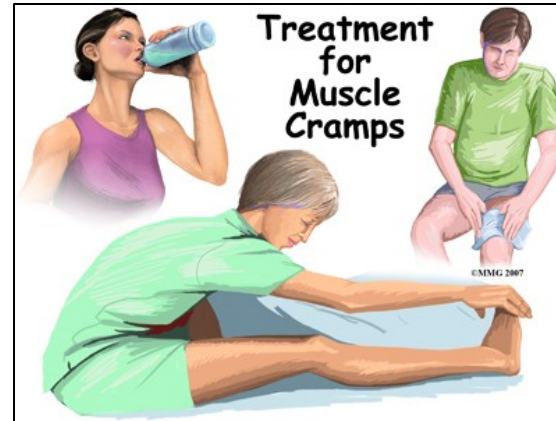
- **dlouhodobá kontrakce svalu** (neschopnost relaxace) a
- **bolest svalu** (minuty – hodiny)

## PRVNÍ POMOC

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

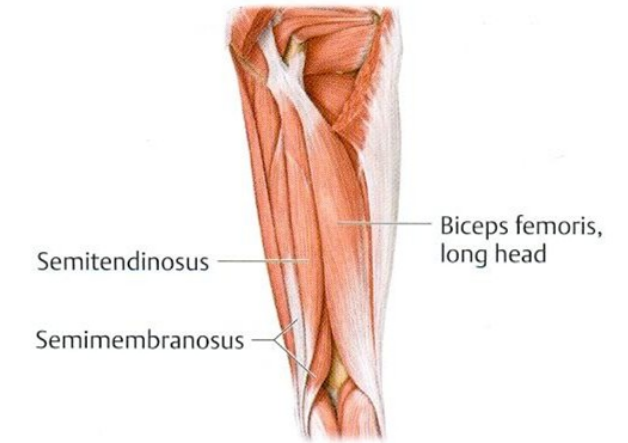
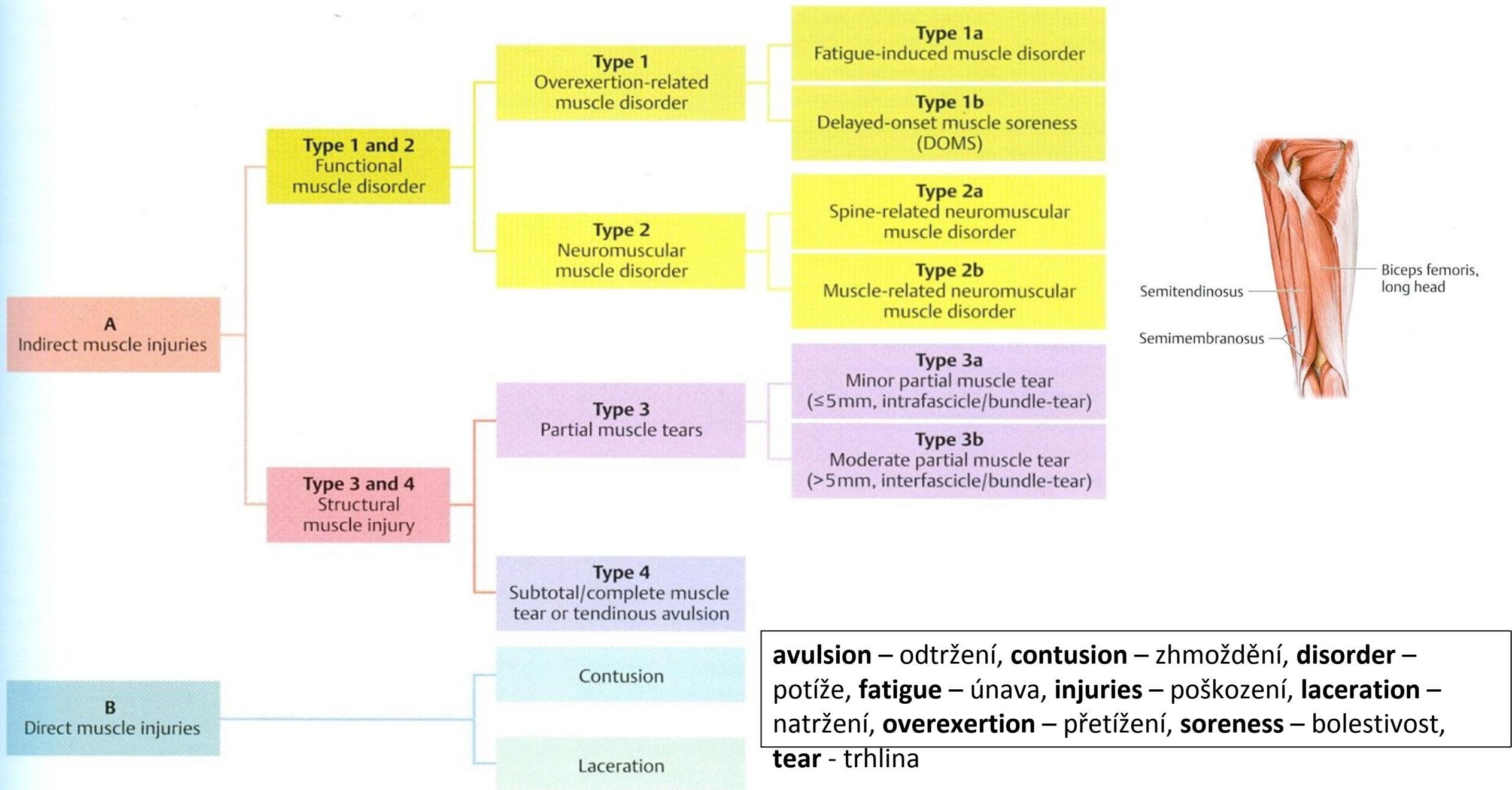
## PREVENCE

- **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)

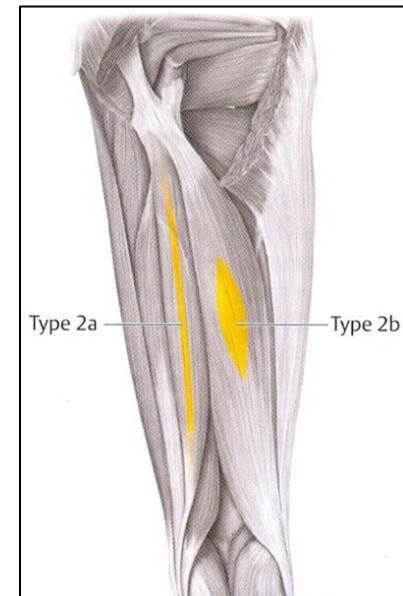
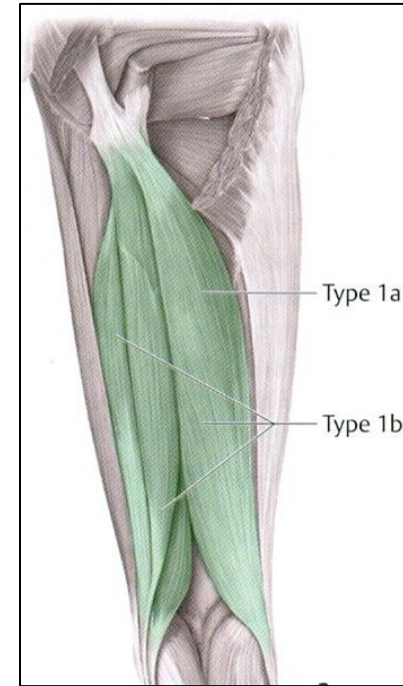
Omezené zvyšující se napětí podél svalu **v důsledku funkční nebo strukturální vertebrogenní poruchy** (lumbální, sakroiliakální, ...)

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)

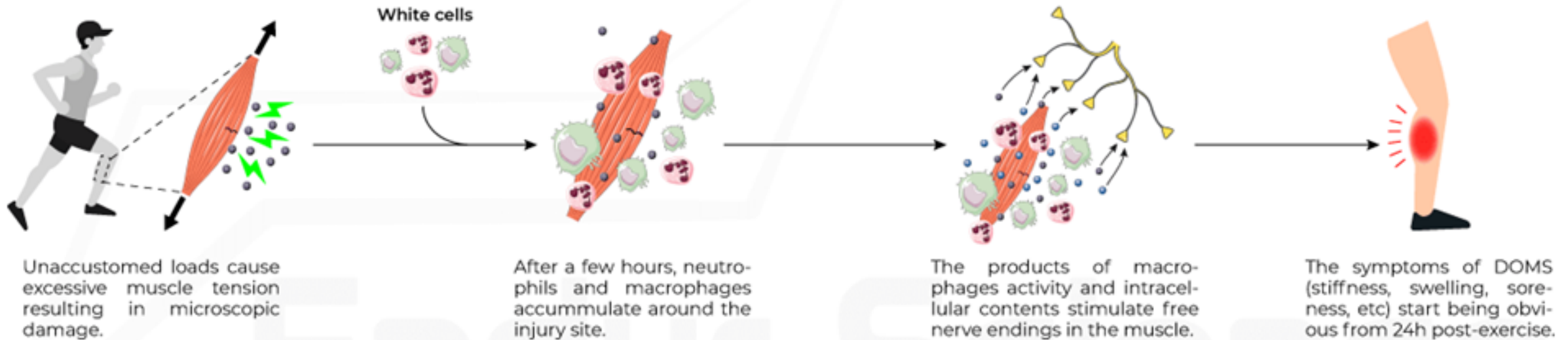
BOLESTIVOST – ZVYŠUJÍCÍ SE S ROSTOUCÍ SVALOVOU ZTUHLOSTÍ A NAPĚTÍM





# Delayed-Onset Muscle Soreness

## PROPOSED MECHANISM by Armstrong and Smith

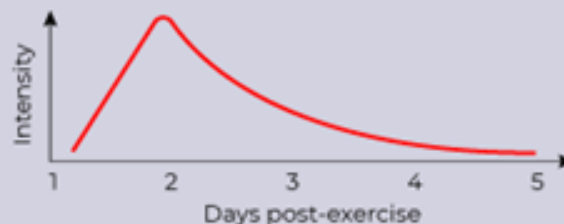


### Eccentric actions cause greater DOMS

In eccentric actions, large loads are supported by a **smaller cross-sectional area** than in concentric contractions.



### How much does it last?



### Lactate hypothesis

Unaccustomed exercises that barely increase lactate levels are associated with greater DOMS than familiar exercises with higher lactate concentrations.



## 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 NEUTUCHAJÍCÍ BOLESTÍ

#### (4)

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

NÁHLE VZNIKLÁ TUPÁ BOLEST PO VÝRAZNĚJŠÍM KŘUPNUTÍ

