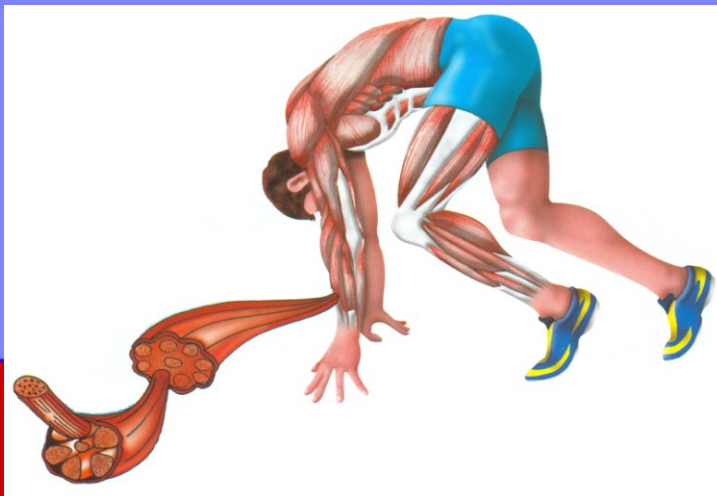


# POHYBOVÁ SOUSTAVA SVALY A TYPY SVALOVÝCH VLÁKEN



# Cíl přednášky

- ◆ stavba svalu, svalové vlákno a miofibrily
- ◆ základy svalové kontrakce
- ◆ typy svalových vláken, ukázka u různých sportovců
- ◆ diagnostika svalových vláken

# Typy svalů

## Kosterní svalová tkáň

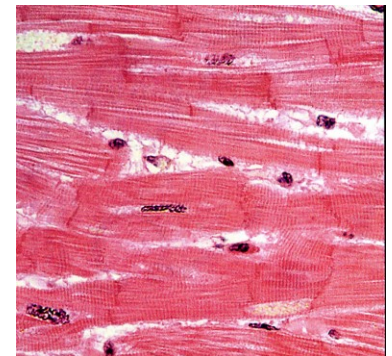
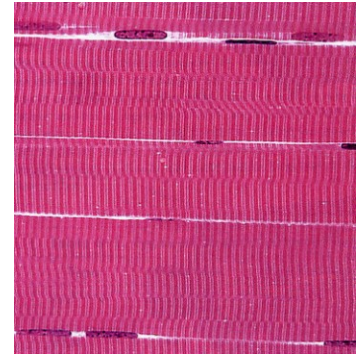
- ♦ ovládaná vůlí; vědomě kontrolovaný
- ♦ přes 600 svalů

## Srdeční svalová tkáň

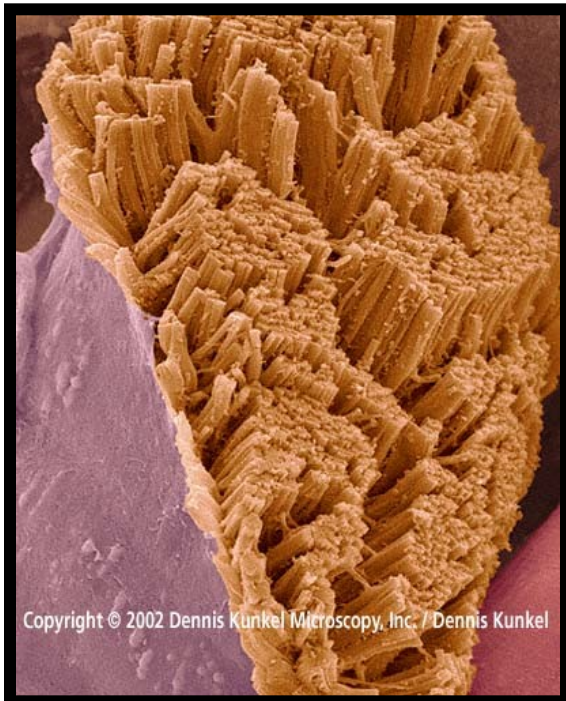
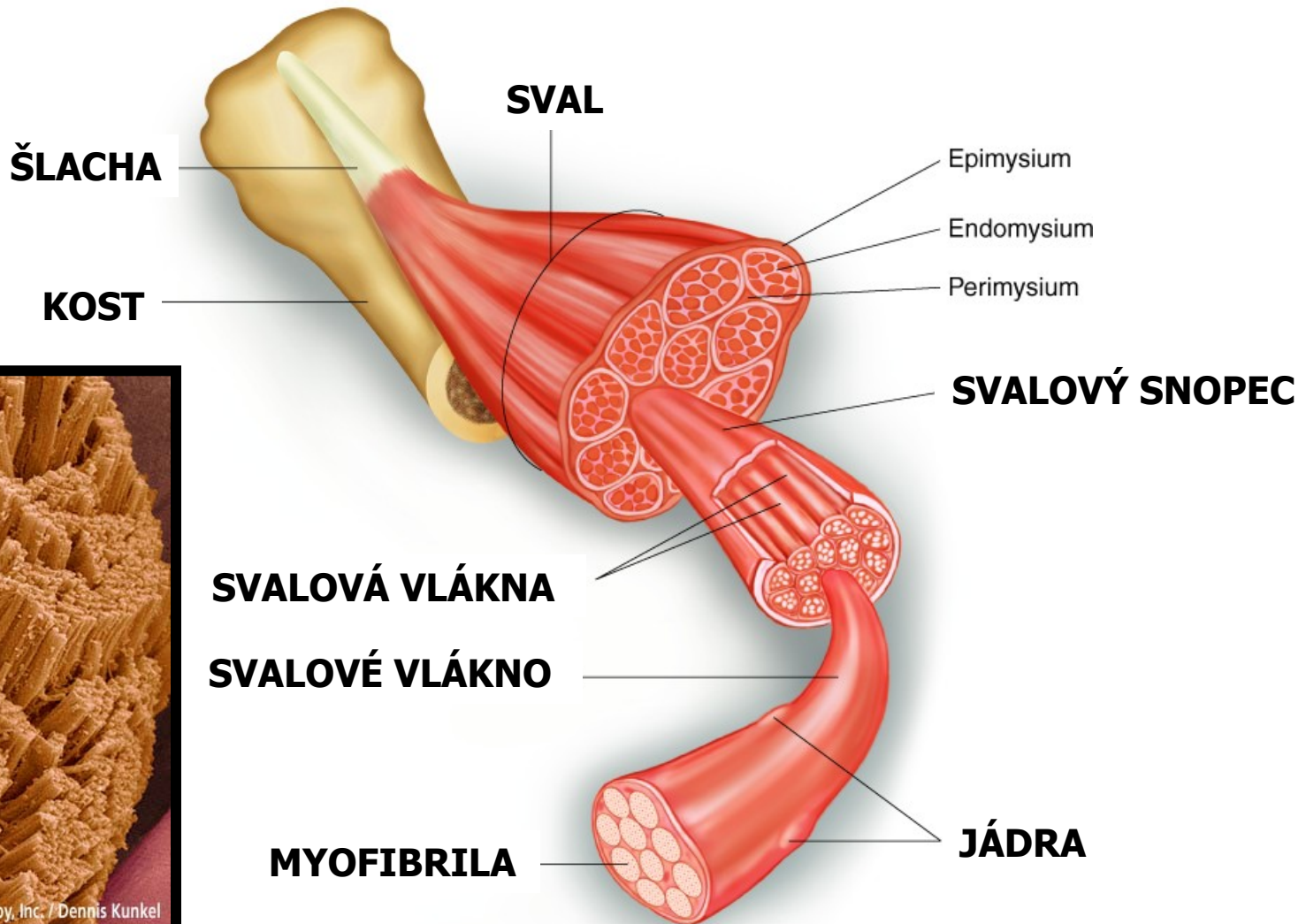
- ♦ neovládaný vůlí, pracuje s asistencí nervového a endokrinního systému

## Hladká svalová tkáň

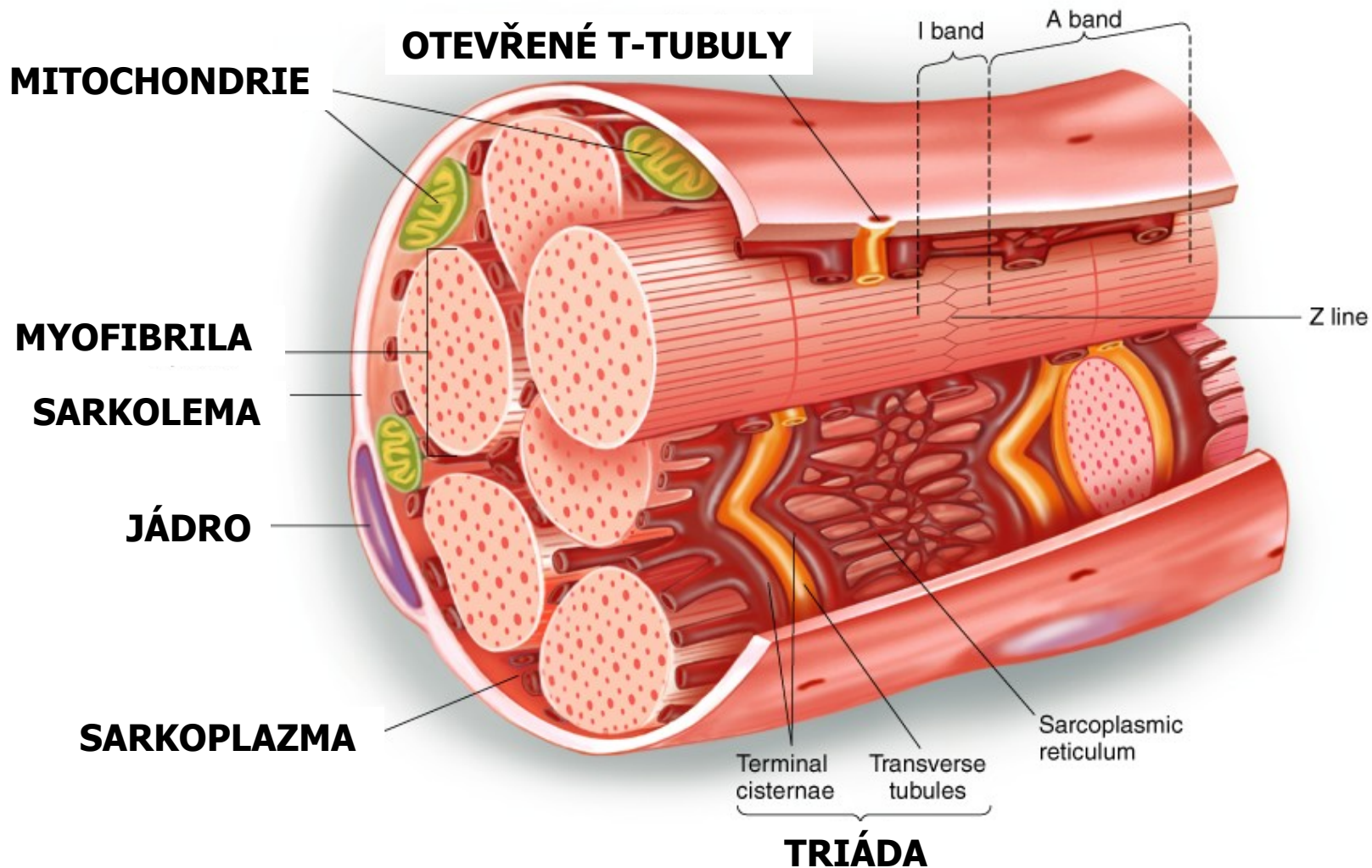
- ♦ vegetativní svaly; ovládané nevědomě
- ♦ ve stěnách cév a vnitřních orgánů



# STRUKTURA KOSTERNÍHO SVALU



# SVALOVÉ VLÁKNO (buňka)



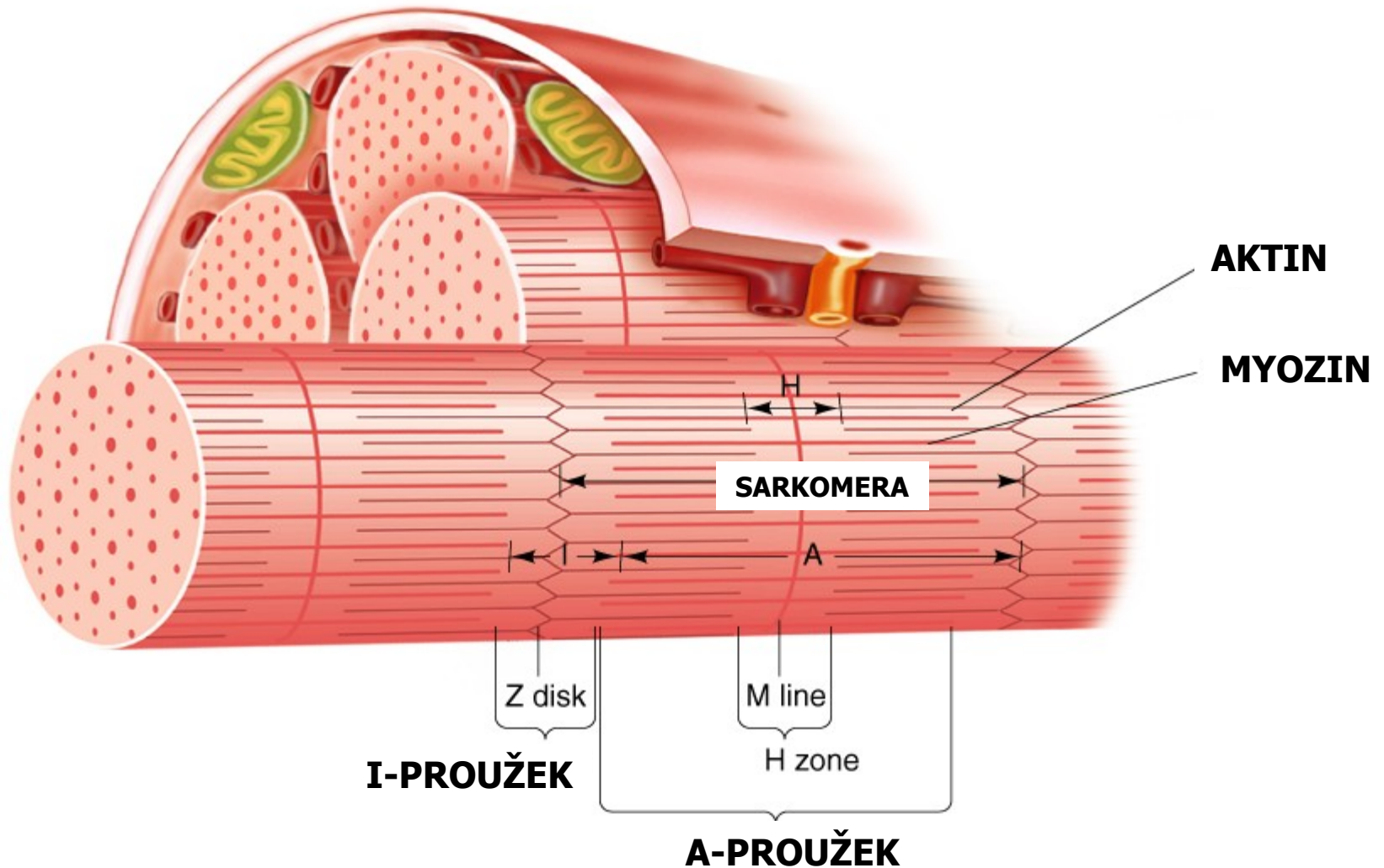
## Svalové vlákno

- ♦ Svalová buňka se nazývá svalové vlákno.
- ♦ Svalové vlákno je ohraničeno plazmatickou membránou nazývanou sarkolema.
- ♦ Cytoplazma svalového vlákna se nazývá sarkoplazma.
- ♦ Uvnitř sarkoplazmy, T-tubuly umožňují transport aktivních látek ke svalovému vláknu.
- ♦ Sarkoplazmatické retikulum obsahuje kalcium.

# MIKROSNÍMEK MYOFIBRIL

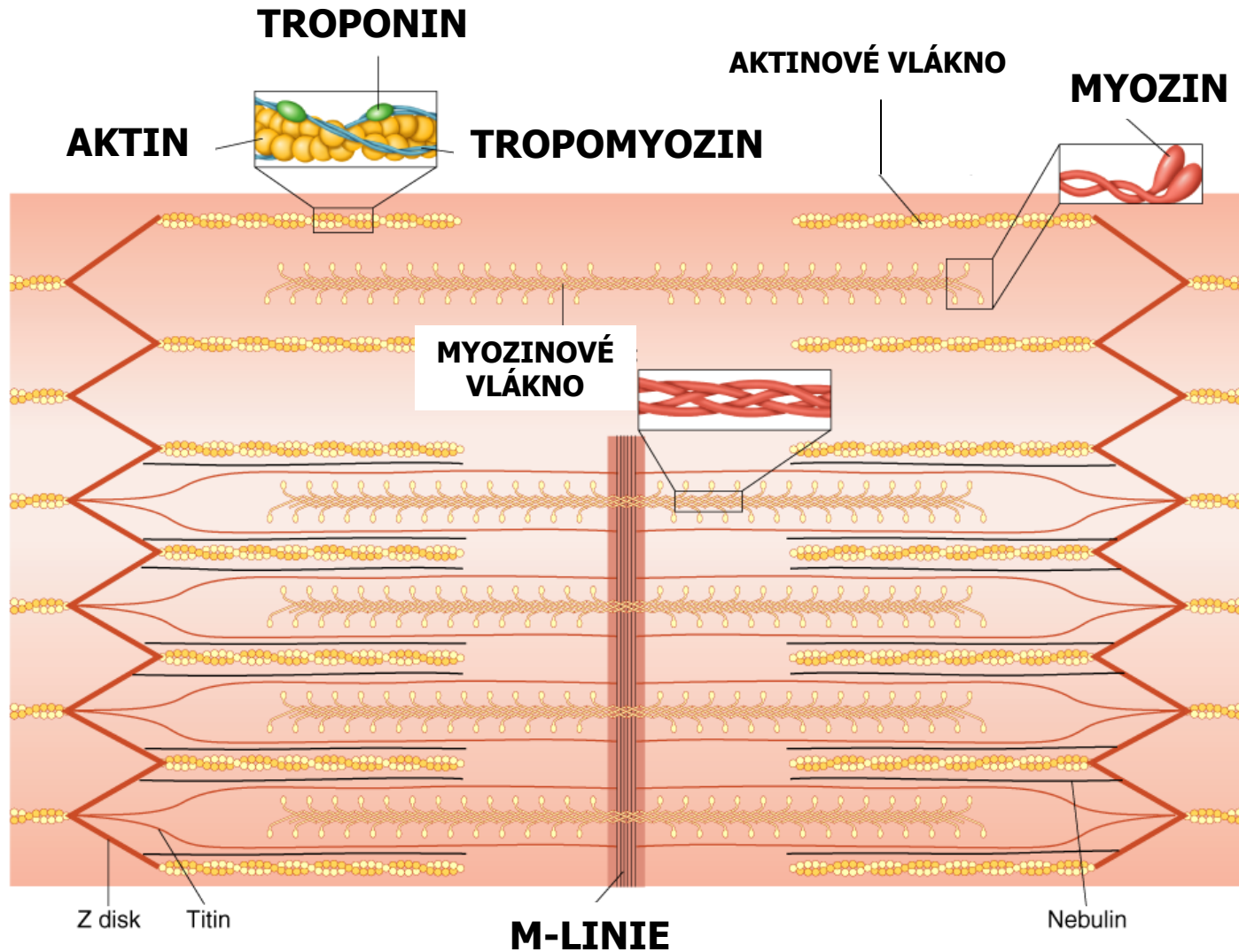


# USPOŘÁDÁNÍ FILAMENT

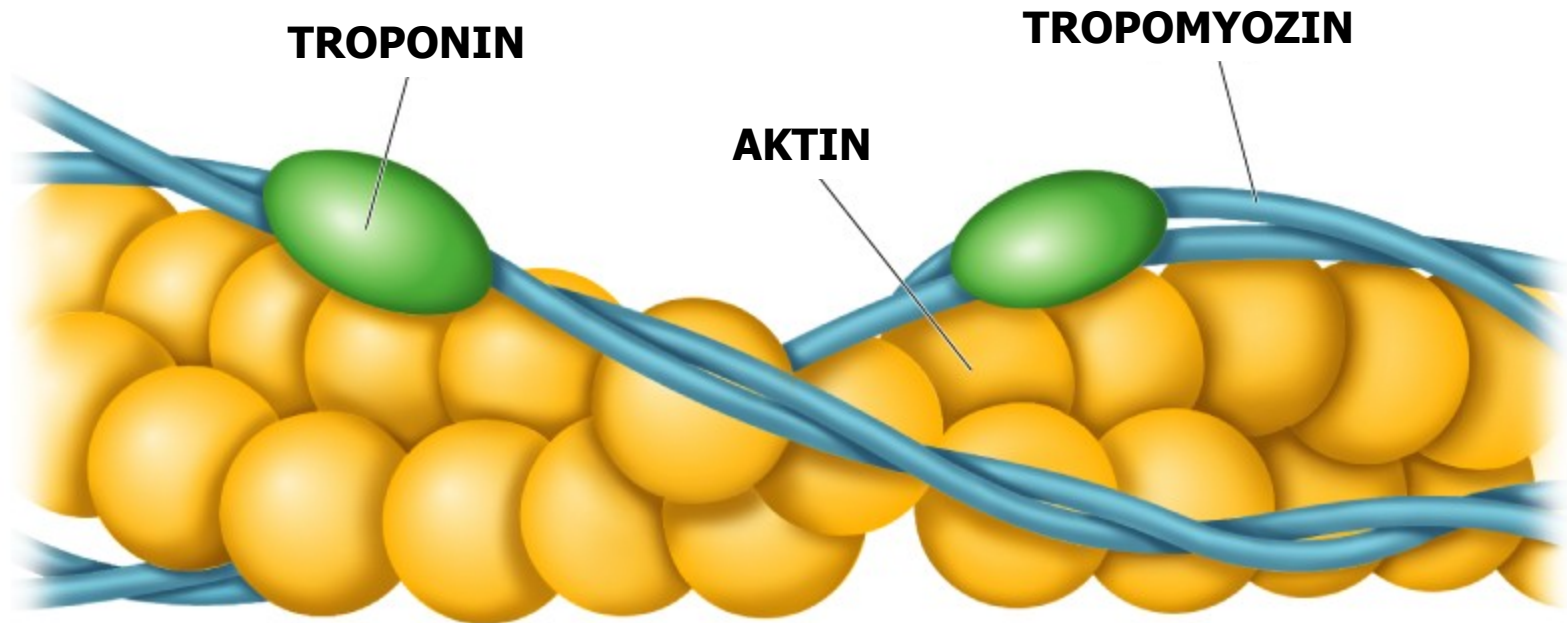




# USPOŘÁDÁNÍ FILAMENT V SARKOMEŘE

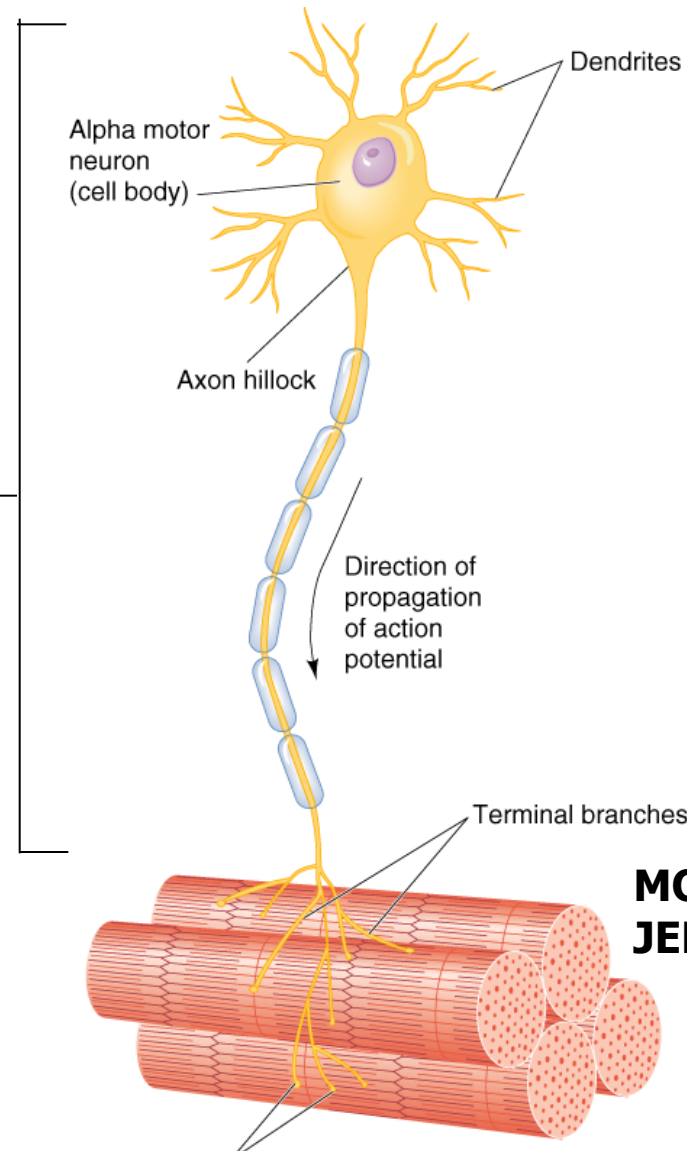


# AKTINOVÉ VLÁKNO



# MOTORICKÁ JEDNOTKA

**MOTONEURON**



**MOTORICKÁ  
JEDNOTKA**

**NERVOSVALOVÁ PLOTÉNKA**

## Myofibrily

- ◆ Myofibrily jsou kontraktilní jednotky kosterních svalů, sval tvoří několik stovek až tisíc myofibril.
- ◆ Myofibrily se skládají ze sarkomer, nejmenších funkčních jednotek svalu.
- ◆ Sarkomera se skládá z vláken dvou bílkovin, myozin a aktin, které jsou zodpovědné za svalovou kontrakci.
- ◆ Myozin je tenké vlákno s kulovitými hlavičkami na jednom konci.
- ◆ Aktinové vlákno tvoří: aktin, tropomyozin, a troponin (připojeno k Z disku).

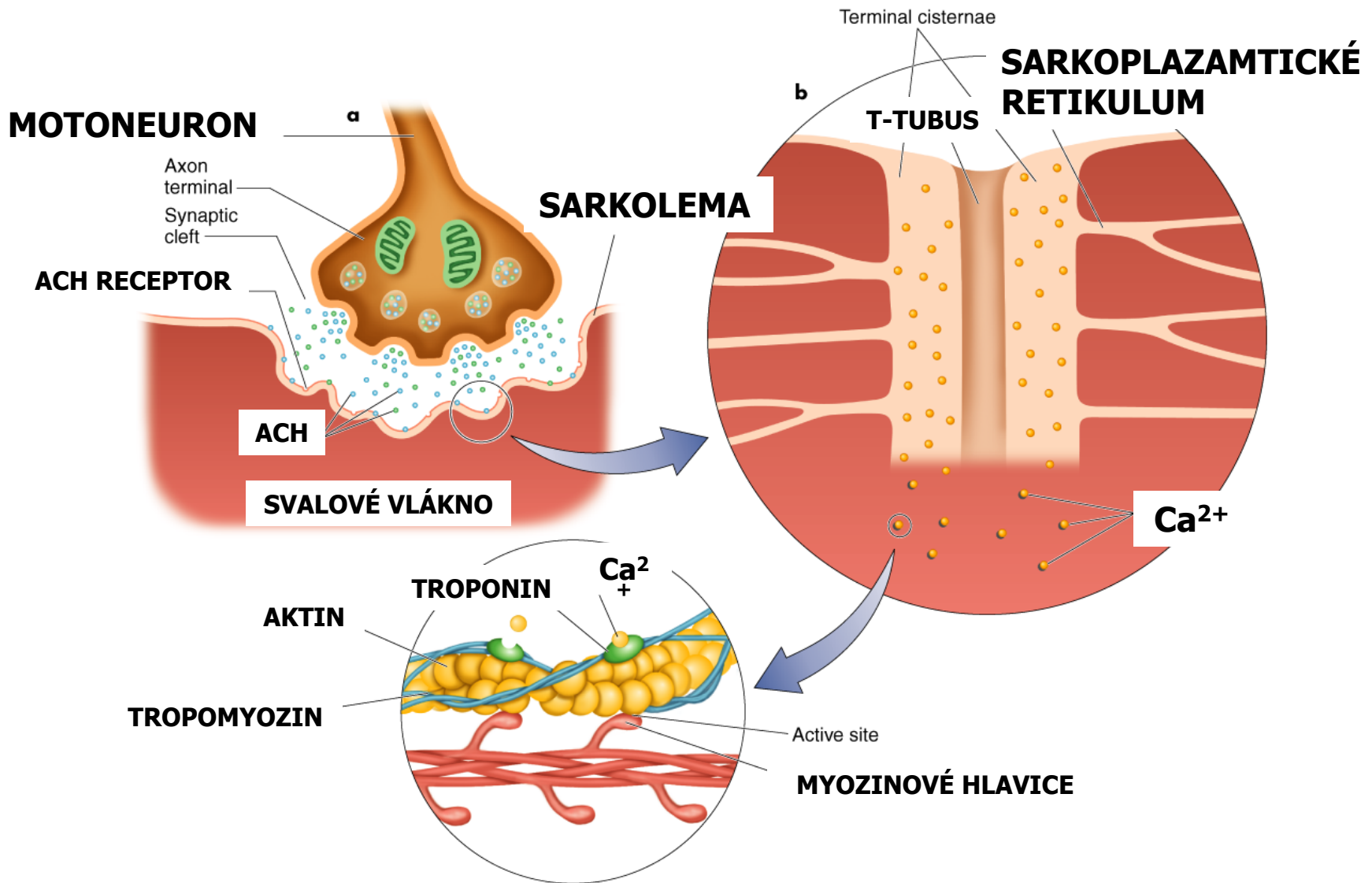
# Podráždění/Kontrakce

1. Motoneuron, vysílající signály z mozku nebo míchy, uvolňuje mediátor (neurotransmitér) tzv. acetylcholin (ACh) z nervosvalové ploténky.
2. Navázáním ACh na receptor způsobí v membráně otevření kanálů pro sodné ionty, a vyvolá tak vznik akčního potenciálu svalové buňky.
3. Akční potenciál se šíří po sarkolemě a skrz T-tubuly k sarkoplazmatickému retikulu, pak se do sarkoplazmy vylijí ionty  $\text{Ca}^{2+}$ .
4.  $\text{Ca}^{2+}$  ionty se váží na troponin na aktinovém vláknu, troponin změní svoji prostorovou konfiguraci a umožní tropomyozinu zanořit se mezi vlákna aktinu, a odkrýt tak jeho aktivní místa.

# Podráždění/Kontrakce

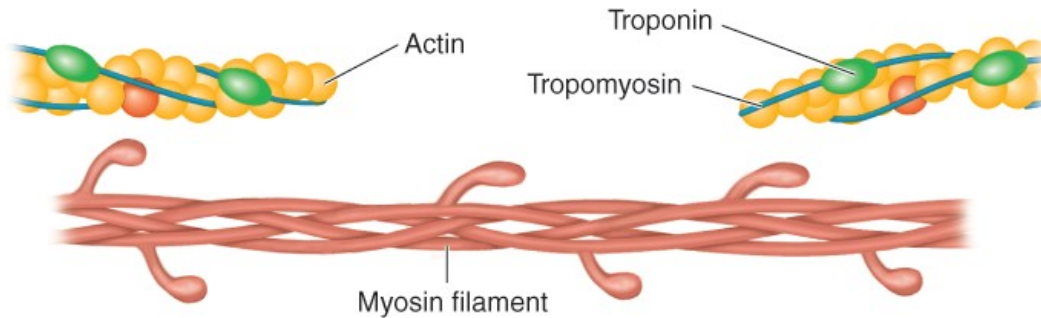
5. Po těchto aktivních místech se „natahují“ hlavy myozinu, kloužou po nich a vytvářejí spojení neboli můstky mezi aktinem a myozinem.
6. Myozinové vlákno tak aktivně přitahuje dvě aktinová vlákna zakotvená do protilehlých Z-proužků, a tím k sobě tyto proužky přitahuje.
7. Výsledkem je zkrácení sarkomery, zkrácení myofibrily, a tím i zkrácení svalu čili svalový stah.
8. Na konci svalové akce jsou vápenaté ionty aktivně pumpovány zpět do plazmatického retikula, kde zůstanou uskladněna do příchodu dalšího akčního potenciálu.

# NERVOUSVALOVÝ PŘENOS

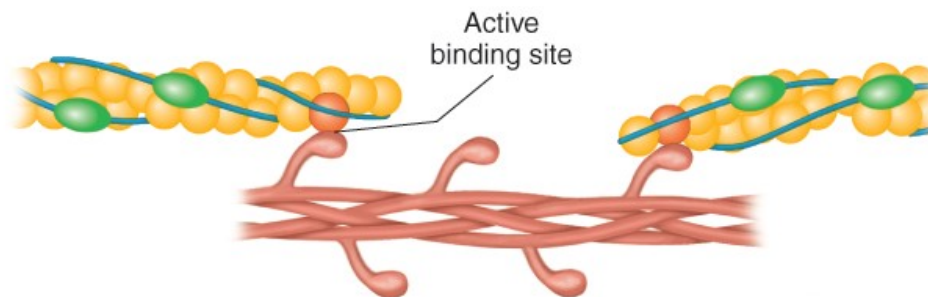


# KONTRAKCE SVALOVÉHO VLÁKNA

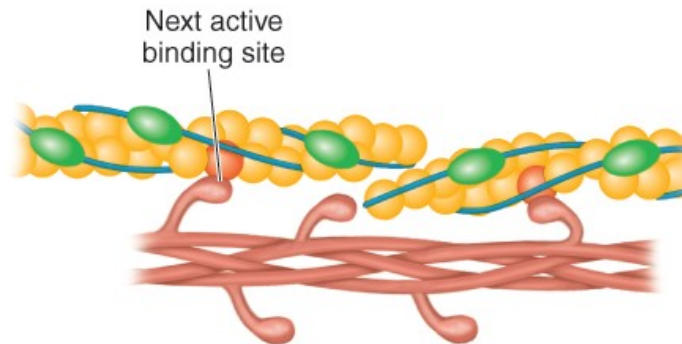
**UVOLNĚNÉ  
SVALOVÉ VLÁKNO**



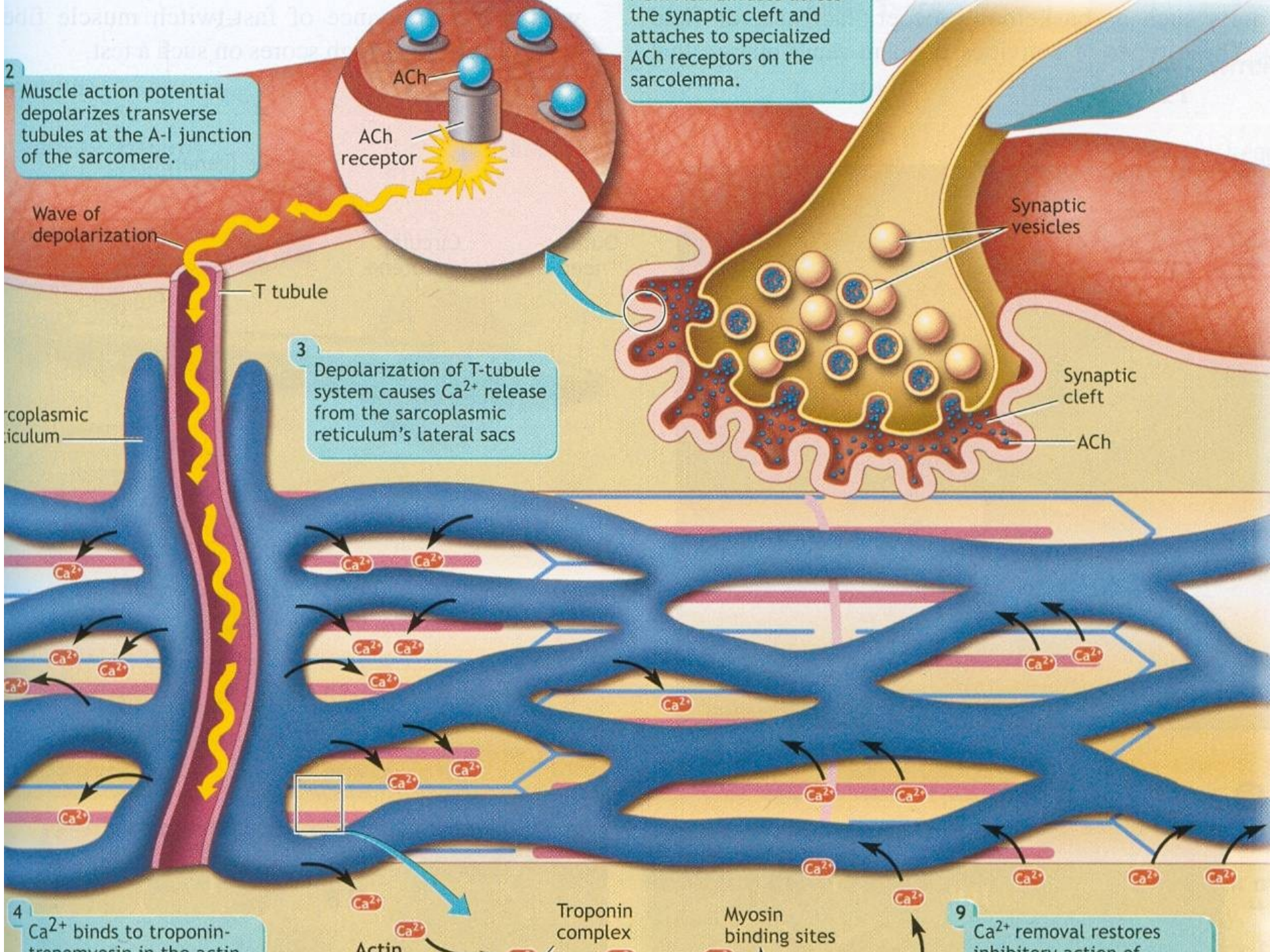
**KONTRAKCE**



**MAXIMÁLNÍ KONTRAKCE**







1 Muscle action potential depolarizes transverse tubules at the A-I junction of the sarcomere.

the synaptic cleft and attaches to specialized ACh receptors on the sarcolemma.

3 Depolarization of T-tubule system causes  $Ca^{2+}$  release from the sarcoplasmic reticulum's lateral sacs

4  $Ca^{2+}$  binds to troponin-tropomyosin in the actin

9  $Ca^{2+}$  removal restores inhibitory action of

Wave of depolarization

T tubule

Sarcoplasmic reticulum

ACh  
ACh receptor

Synaptic vesicles

Synaptic cleft

ACh

Actin  
Troponin complex

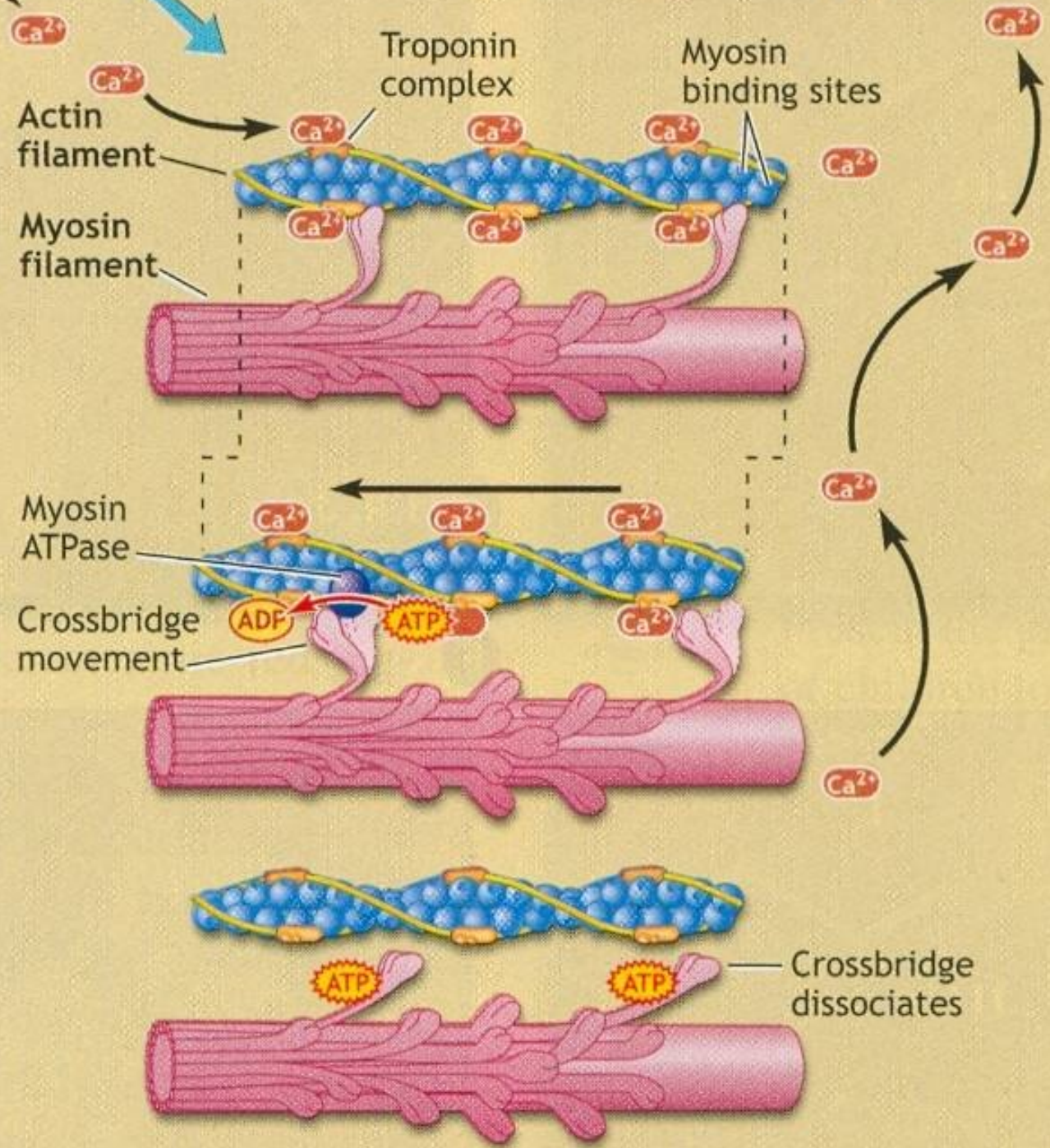
Myosin binding sites

$Ca^{2+}$

troponin-  
n the actin  
is releases  
that pre-  
from combin-  
in.

e action,  
es with  
e to split ATP  
elease.  
ed from the  
e produces  
ridge move-

he myosin  
breaking the  
bond  
crossbridge  
from actin.  
sliding of  
filaments,  
e shortening.

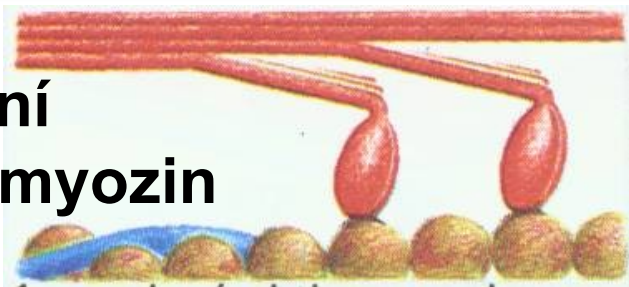


9  
Ca<sup>2+</sup> r  
inhibi  
tropon  
the p  
and m  
dissoc

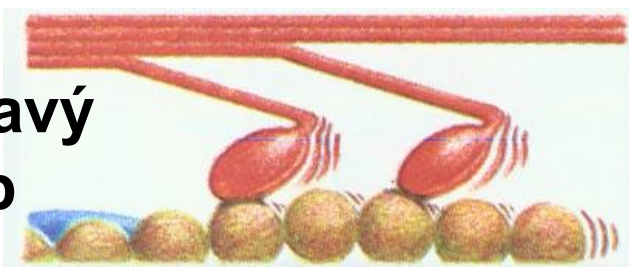
8  
When  
cease  
into t  
reticu  
throu  
requi

7  
Crossb  
contin  
conce  
remain  
memb  
to inh  
tropon  
compl

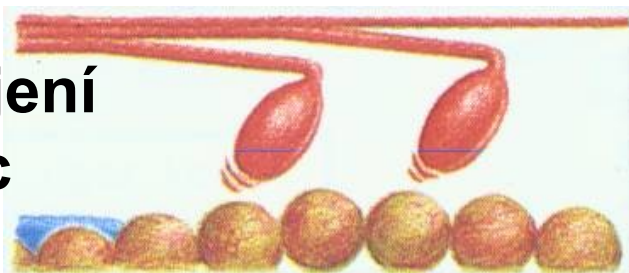
spojení  
aktin-myozin



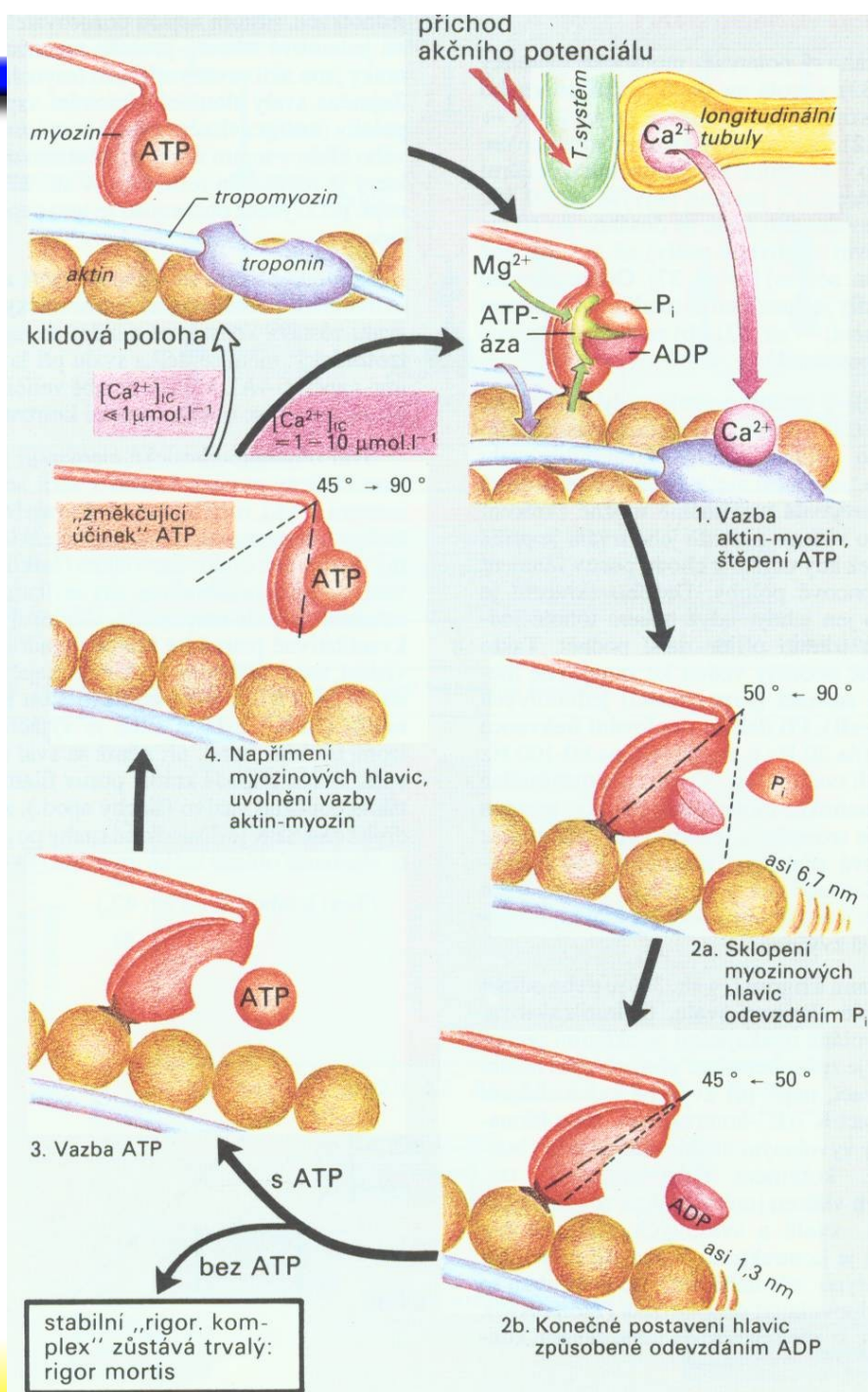
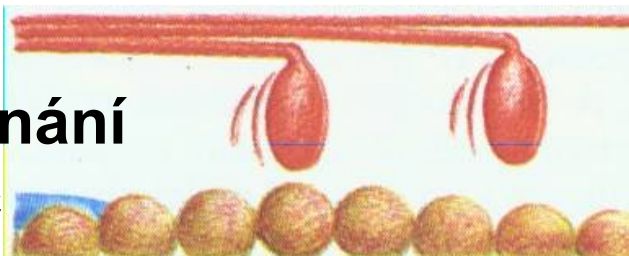
klouzavý  
pohyb



odpojení  
hlavic



narovnání  
hlavic



## Činnost svalového vlákna

- ♦ Svalová práce je zahájena nervovým impulsem.
- ♦ Nerv uvolňuje ACh, který následně propouští sodíkové ionty a depolarizuje buňky. Jakmile jsou buňky úspěšně depolarizovány nastane akční potenciál s uvolněním  $\text{Ca}^{2+}$  iontů.
- ♦  $\text{Ca}^{2+}$  ionty se váží na troponin, který zvedá tropomyozinové molekuly a tím odkrývá aktivní místa na aktinu, kde se mohou potom vázat hlavy myozinových vláken (můstky).

## Činnost svalového vlákna

- ♦ „Klouzání“ myozinových hlav po aktinovém vlákně umožňuje zasouvání vláken a vede ke kontrakci svalové buňky.
- ♦ Svalová práce končí jakmile vápník je pumpován zpět ze sarkoplazmy do sarkoplazmatického retikula, kde je uskladněn.
- ♦ Hlavy odstupující z myozinového vlákna mají ATPázovou aktivitu (jsou schopné štěpit ATP) a zajišťují energii pro svalový stah.

# Pomalé (červené) svalové vlákno (I)

## Slow-Twitch (ST) Muscle Fibers

- ◆ Vysoká aerobní (oxidativní) kapacita a odolnost vůči únavě
- ◆ Nízká anaerobní (neoxidativní, glykolitická) kapacita a svalová síla
- ◆ Pomalá kontrakce (110 ms/svalový tah) a myozinová ATPáza
- ◆ 10–180 vláken v motorické jednotce



# Rychlé (červené) svalové vlákno (IIa)

## Fast-Twitch (FT<sub>a</sub>) Muscle Fibers

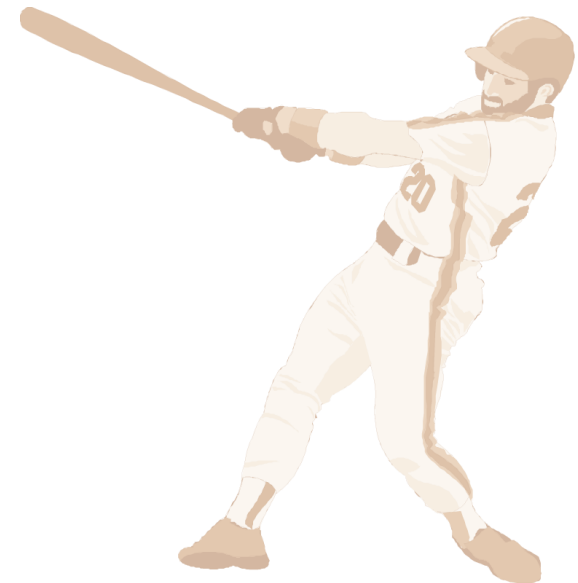
- ◆ Střední aerobní (oxidativní) kapacita a odolnost vůči únavě
- ◆ Vysoká anaerobní (neoxidativní, glykolitická) kapacita a svalová síla
- ◆ Rychlá kontrakce (50 ms/svalový stah) a myozinová ATPáza
- ◆ 300–800 vláken v motorické jednotce



# Rychlé (bíle) svalové vlákno (IIX/IIB)

## Fast-Twitch ( $FT_b/FT_x$ ) Muscle Fibers

- ◆ Nízká aerobní (oxidativní) kapacita a odolnost vůči únavě
- ◆ Vysoká anaerobní (neoxidativní, glycolytická) kapacita s svalová síla
- ◆ Rychlá kontrakce (50 ms/svalový stah) and myosin ATPase
- ◆ 300–800 vláken v motorické jednotce





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

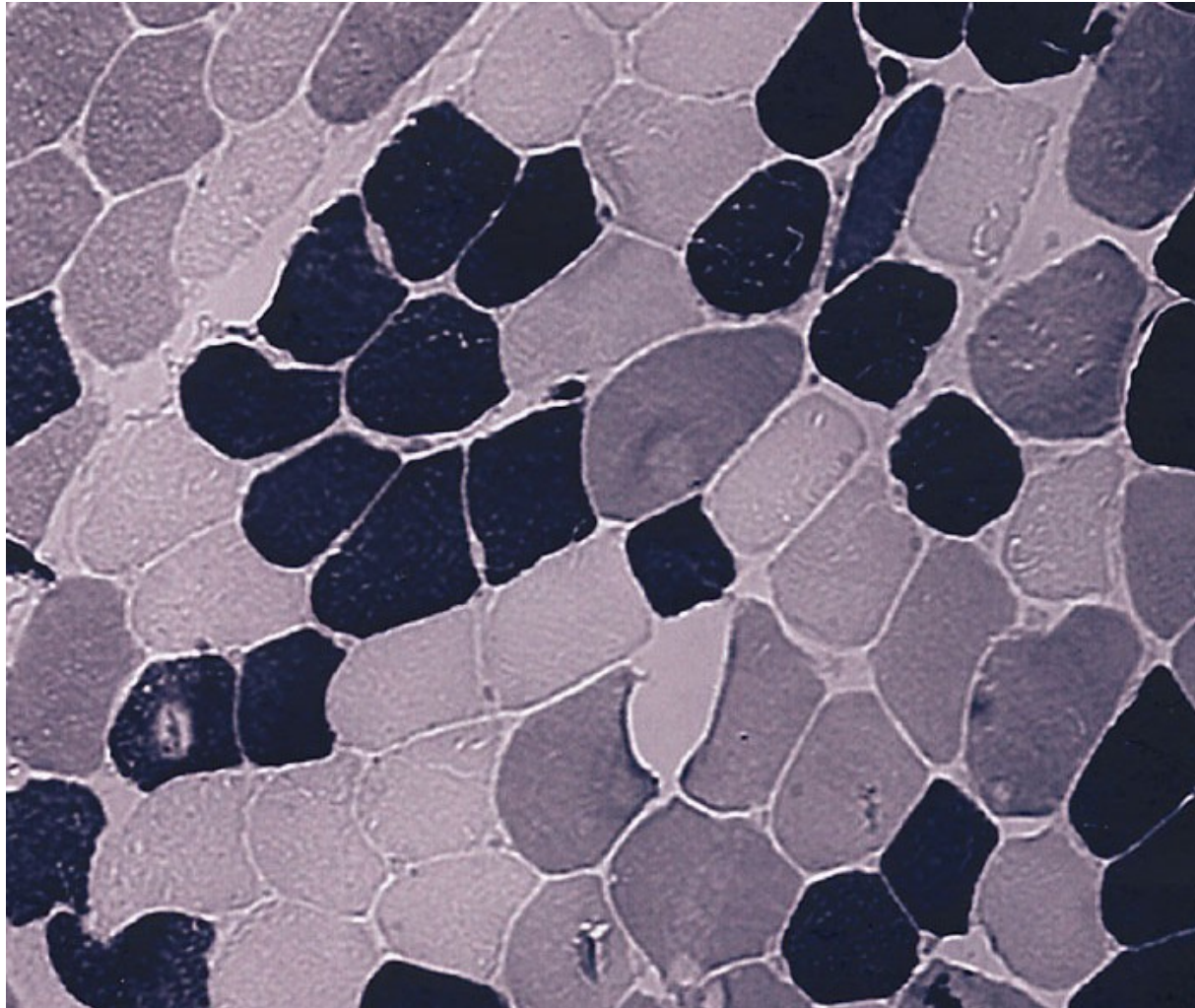
Typ I  
pomalé červené

Typ IIa  
rychlé červené

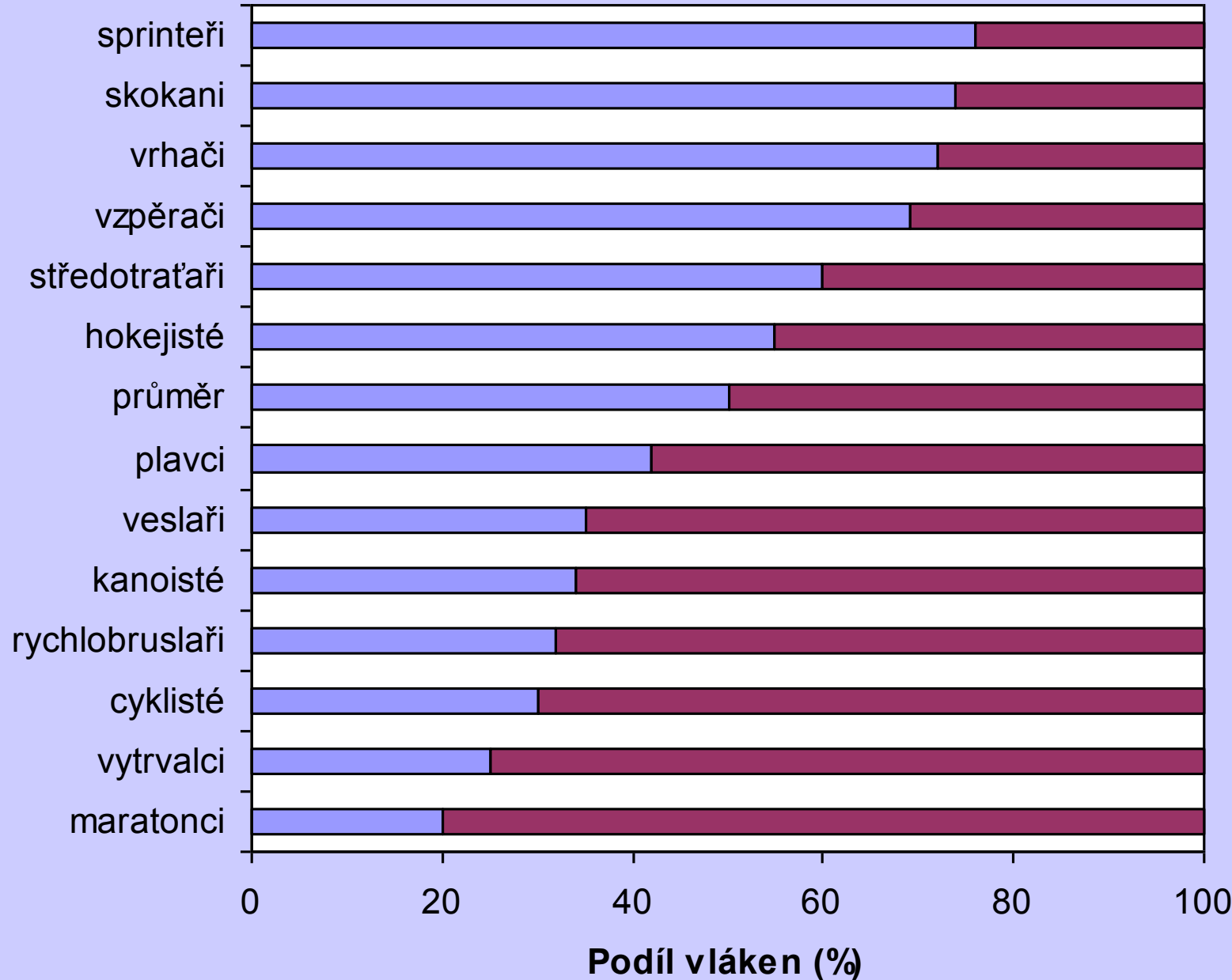
Typ IIx  
rychlé bílé

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>

# POMALÁ A RYCHLÁ SVALOVÁ VLÁKNA



rychlá vlákna pomalá vlákna



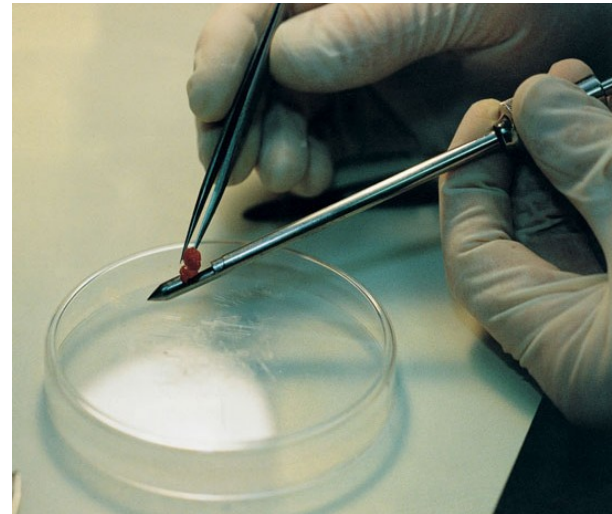
# DIAGNOSTIKA svalových vláken

invazivní metoda – svalová biopsie

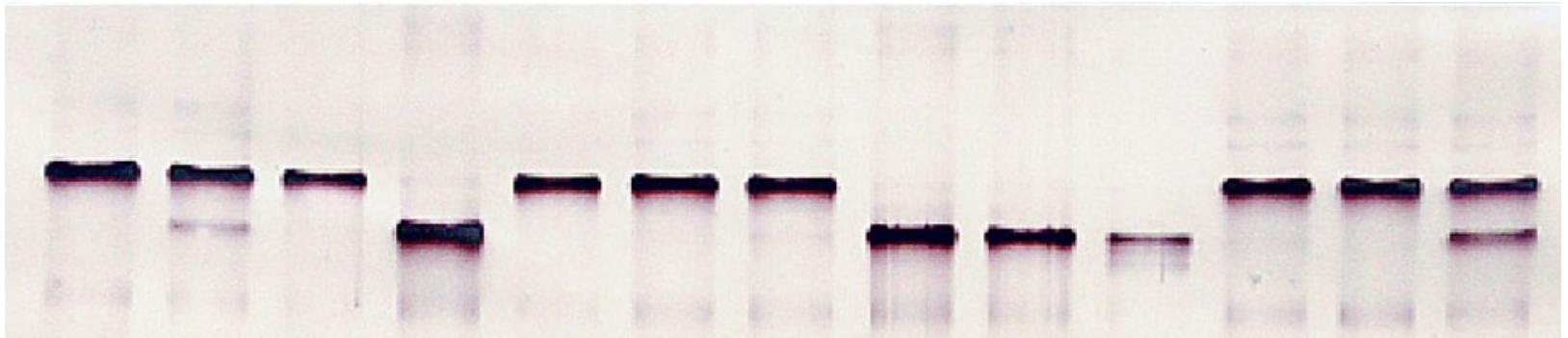
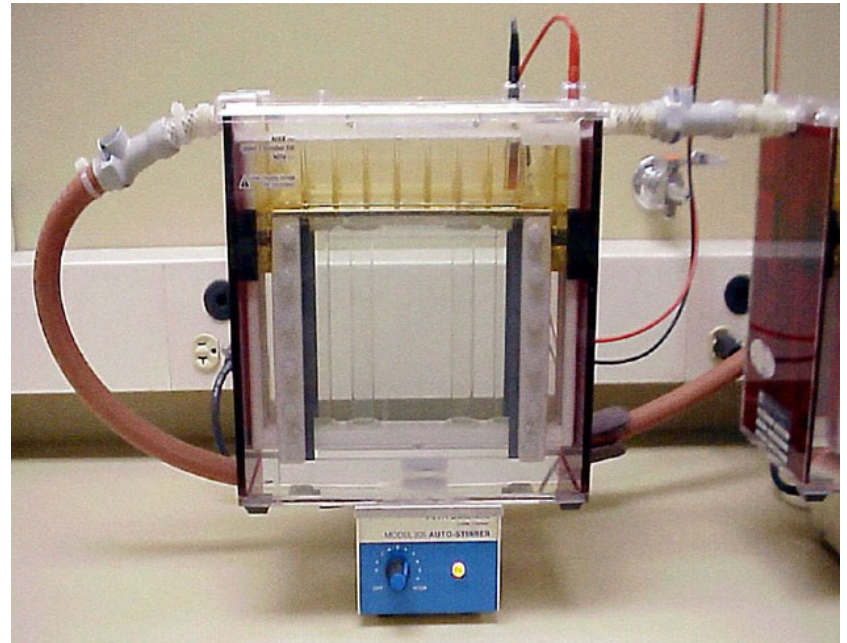
- ▶ magnetická rezonance se současnou analýzou biochemických parametrů snímaného svalu
- ▶ 1MR a následné cvičení s 80%  
< 8 převaha II, 8-12 50%:50%, > 12 převaha I
- ▶ výskoková ergometrie

# SVALOVÁ BIOPSIE

- ◆ Dutou jehlou je odebrán vzorek ze svalu.
- ◆ Vzorek se zmrazí, nakrájí na úzké plátky a zkoumá se pod mikroskopem.
- ◆ To umožňuje určit typ svalových vláken.



# GELOVÁ ELEKTROFORÉZA



# FYZIOLOGIE JEDNOHO SALOVÉHO VLÁKNA



## Typy svalových vláken

- ♦ Svaly obsahují tři typy vláken: I, IIa, IIx.
- ♦ ATPáza v rychlých vláknech rychleji dodává energii pro svalovou práci než ATPáza v pomalých vláknech.
- ♦ Rychlá vlákna lépe vyvinutá sarkoplazmatická retikula, tudíž mohou uvolnit více vápníku.



## Typy svalových vláken

- ♦ Pomalá vlákna mají vyšší aerobní kapacitu a jsou potřebná pro vytrvalostní výkon.
- ♦ Rychlá vlákna jsou lepší pro anaerobní nebo výbušné pohybové aktivity.

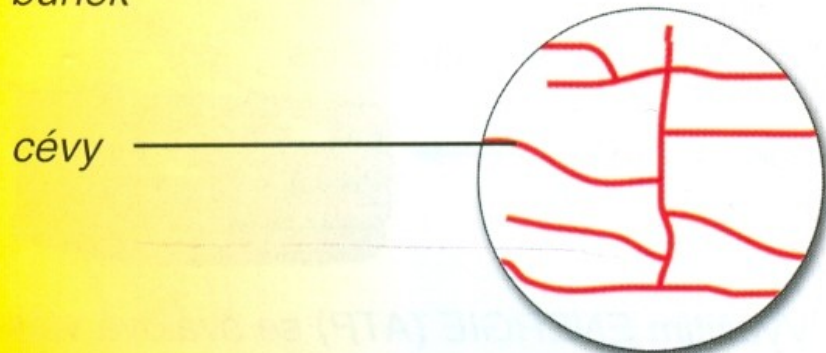
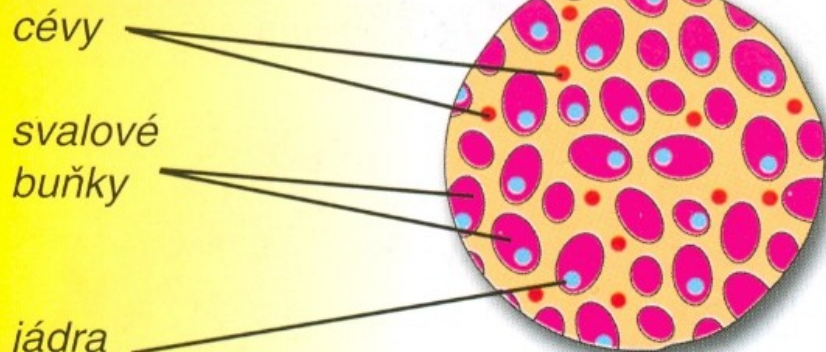
# Adaptační změny

---

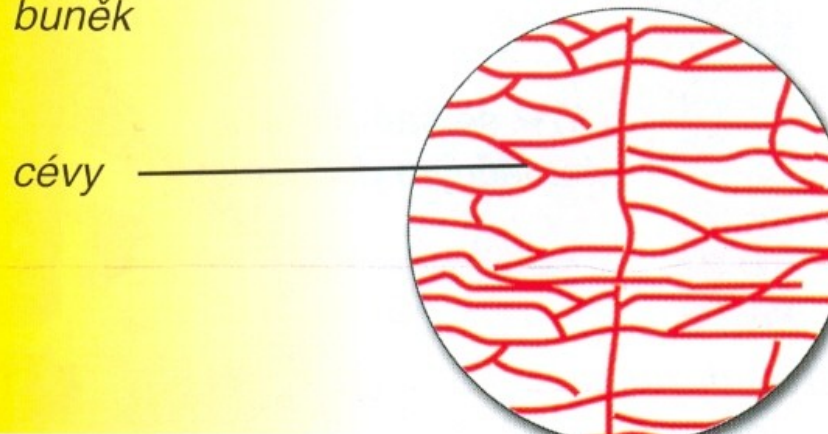
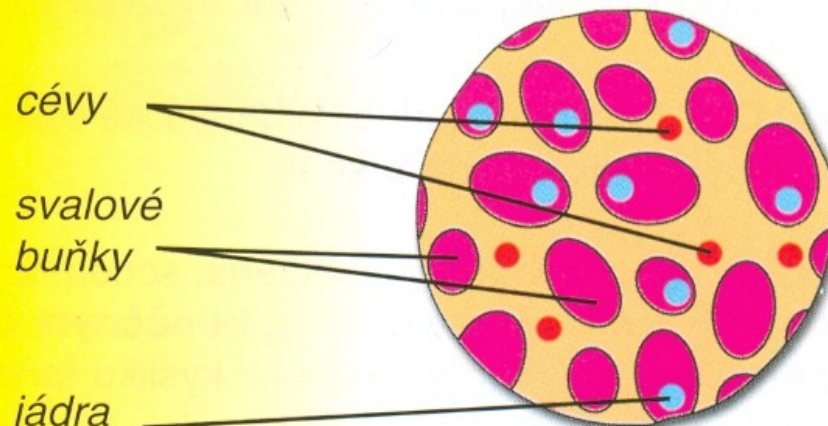
- ve svalech trénovaných jedinců dochází k četným adaptačním změnám:
  - v oblasti strukturní i biochemické, které jsou patrné i za klidových podmínek
  - v metabolické reakci svalu na fyzické zatížení organismu

# Adaptační změny – trénink a svaly

PŘED TRÉNINKEM  
Řez svalem



PO TRÉNINKU  
Řez svalem



# 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	↑	?	?

# Funkce svalů

---

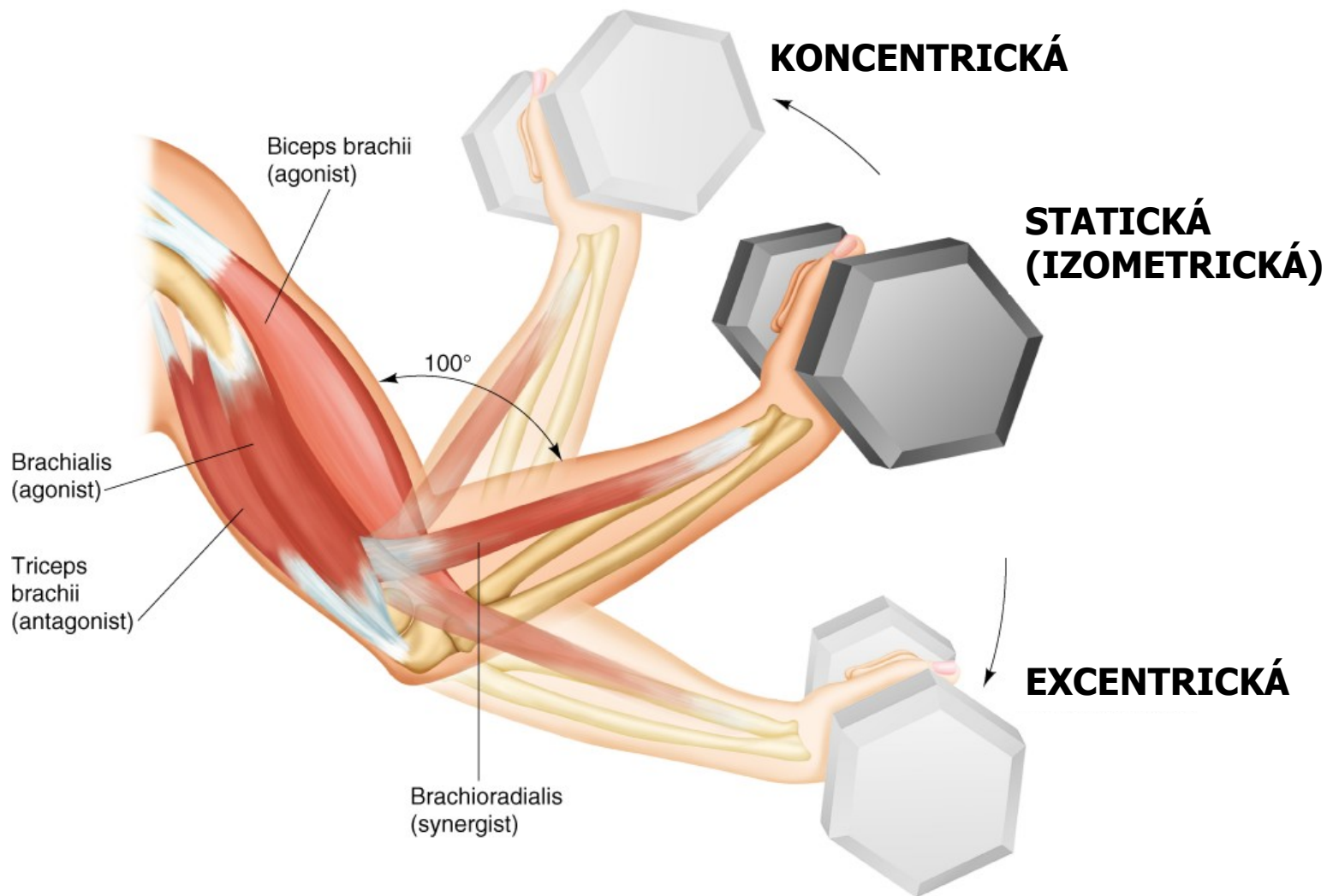
**Agonista** – hlavní vykonavatel pohybu

**Antagonista** – sval vykonávající pohyb v opačném směru

**Synergista** – sval asistující agonistovi, pomáhá vykonávat pohyb ve stejném směru



# TYPY SVALOVÉ KONTRAKCE



# Faktory ovlivňující vznik síly

- ◆ Počet aktivovaných motorických jednotek
- ◆ Typy aktivovaných motorických jednotek (II nebo I)
- ◆ Velikost svalu
- ◆ Počáteční délka svalu
- ◆ Úhel kloubu
- ◆ Rychlost svalové akce (zkrácení nebo prodloužení)



## Použití svalů

- ♦ Svaly podílející se na pohybu označujeme jako: agonisty, antagonisty, and synergisty.
- ♦ Hlavní tři typy svalové kontrakce: koncentrická, statická (izometrická), and excentrická.
- ♦ Všechny klouby mají optimální úhel ve kterém svaly kříží kloub produkující maximální sílu.



# DALŠÍ POJMY

---

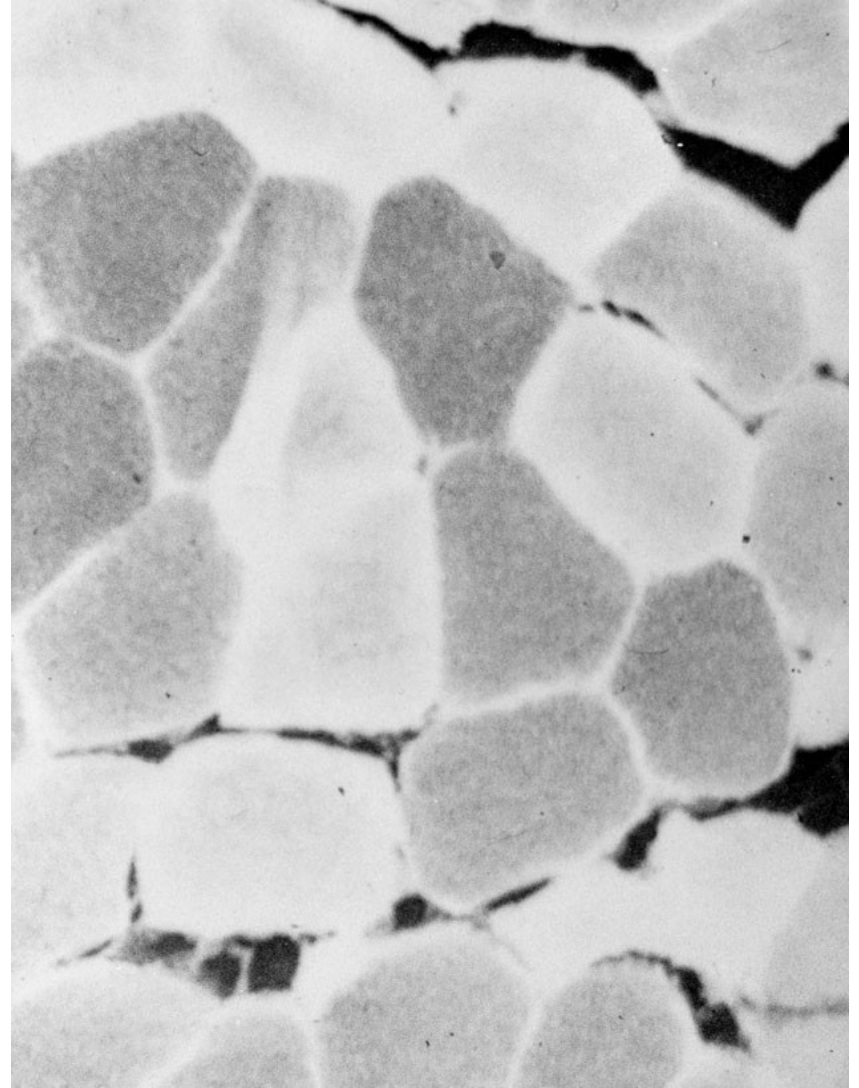
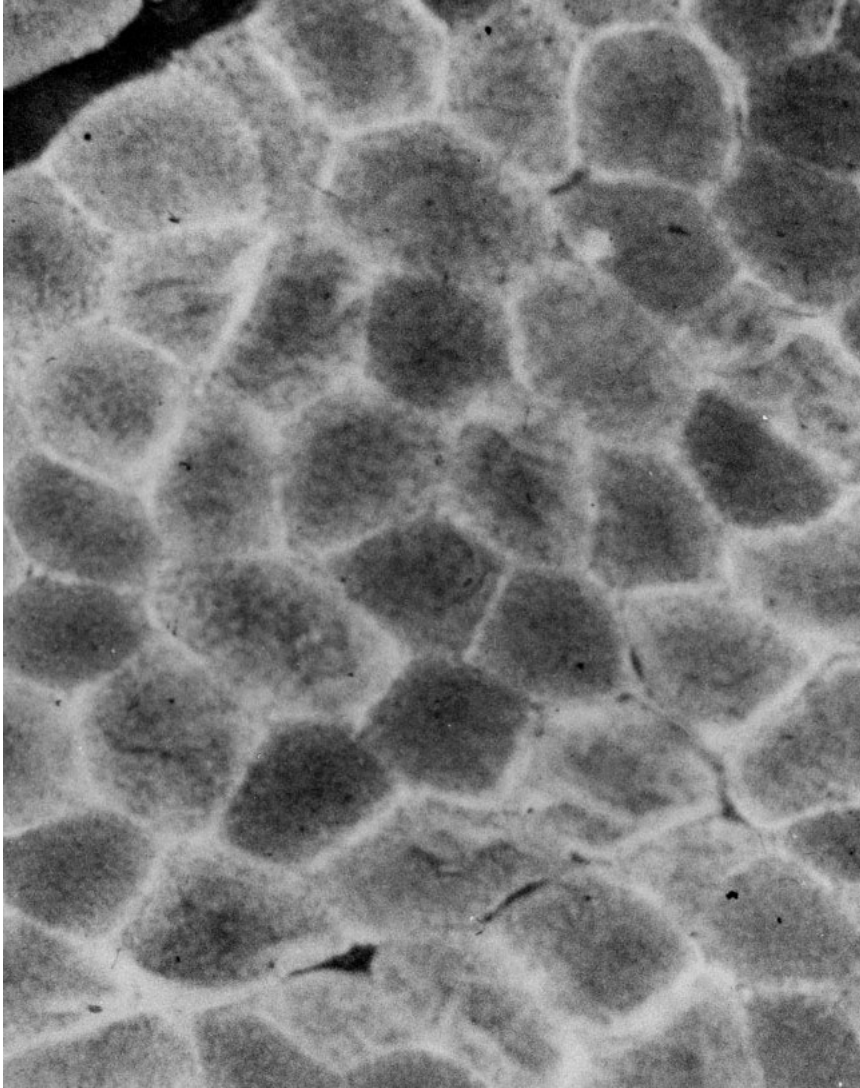
hypertrofie svalových vláken (svalu)

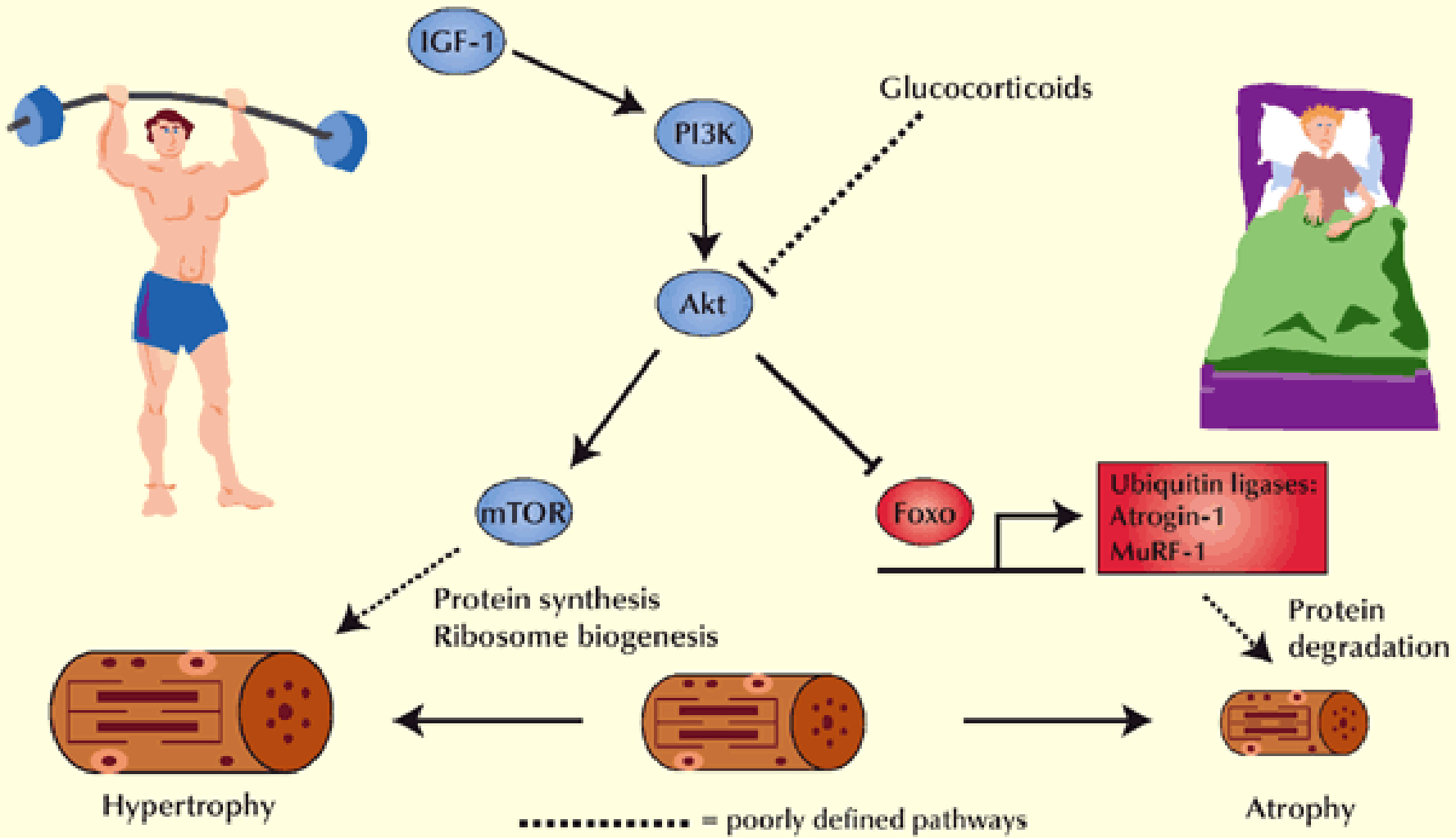
▶ atrofie svalových vláken (svalu)

▶ hyperplazie svalových vláken

▶ svalová horečka

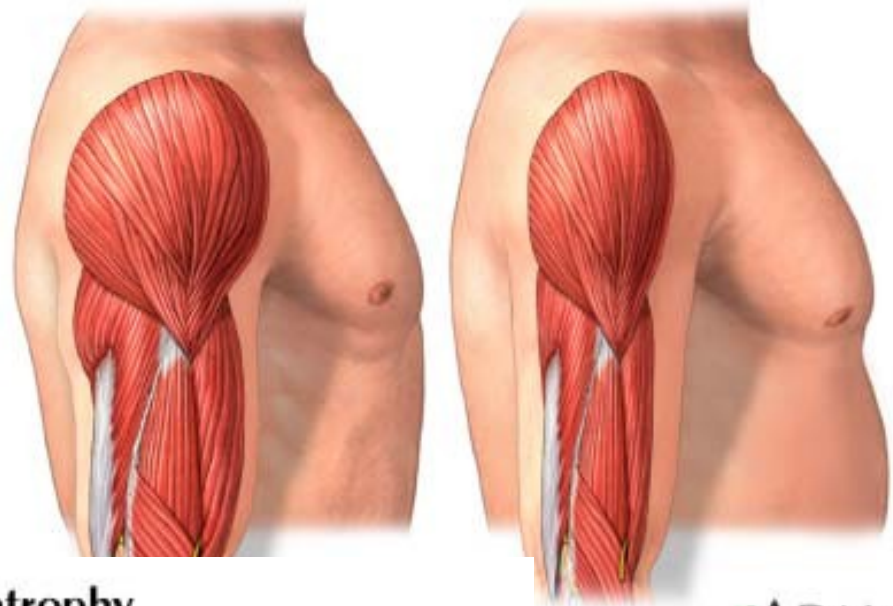
# HYPERTROFIE SVAL. VLÁKEN PO TRÉNINKU





Active

Inactive

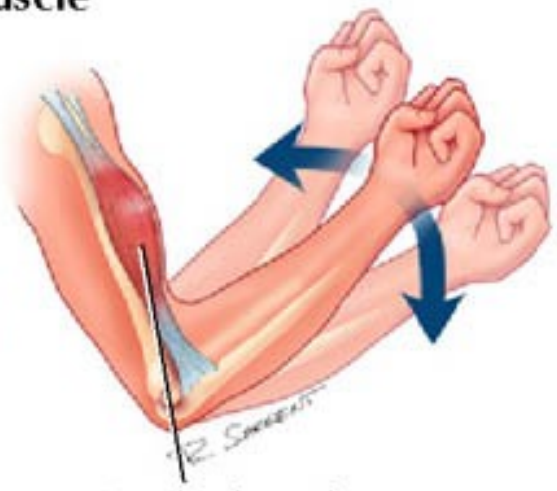


ADAM.

### Effects of atrophy on muscle



Normal muscle

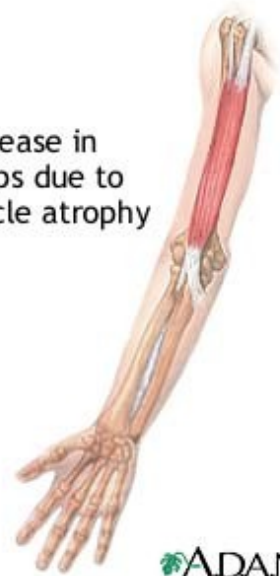


- Atrophied muscle:
- decreased size
  - decreased strength
  - decreased mobility

Normal biceps brachii muscle



Decrease in biceps due to muscle atrophy



ADAM.

Fig. 1

# Definice silových schopností

**Síla** — maximální síla.

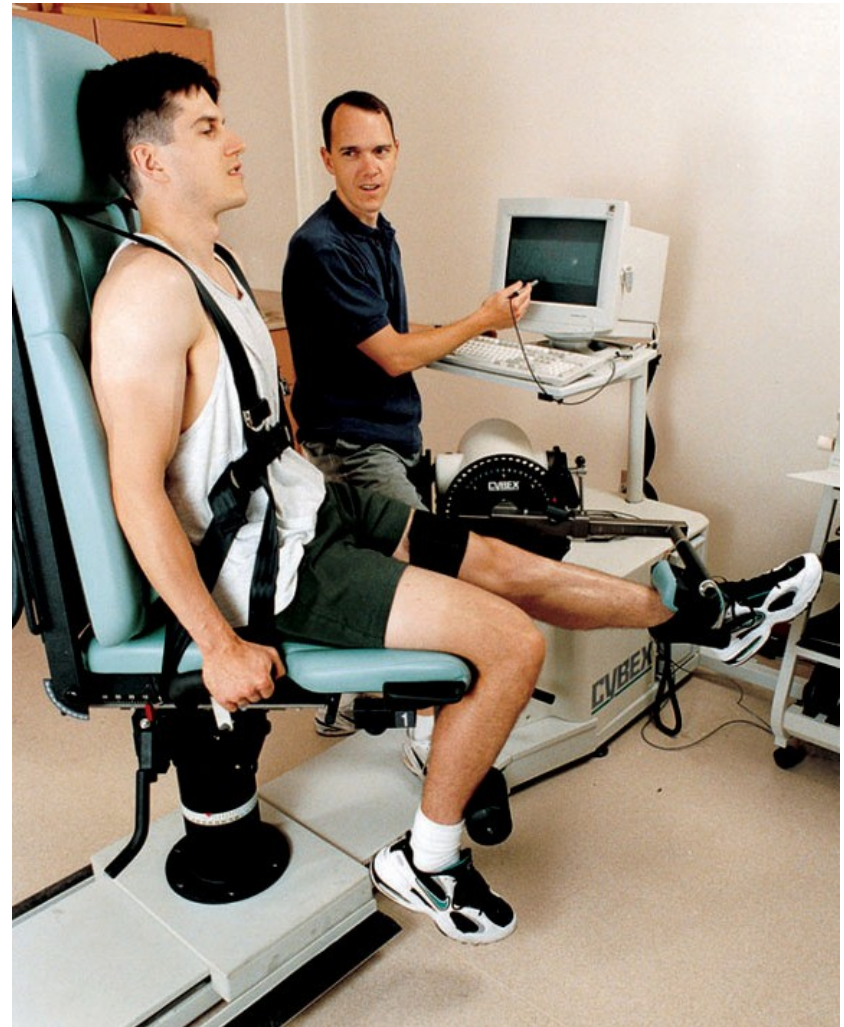
**Výbušná síla** — síla a rychlost pohybu.

**Vytrvalostní síla** — kapacita opakování svalové akce.



# Hodnocení síly

- ♦ Maximální síla se měří speciálními dynamometry (izometrickými a izotonickými - e.g., Cybex)
- ♦ Jedno opakovatelné maximum (1RM) je funkční test, při kterém zjišťujeme jak těžké závaží je člověk schopen uzvednout, stačí uzvednout jedenkrát.



# Základy posilovacího tréninku - faktory

---

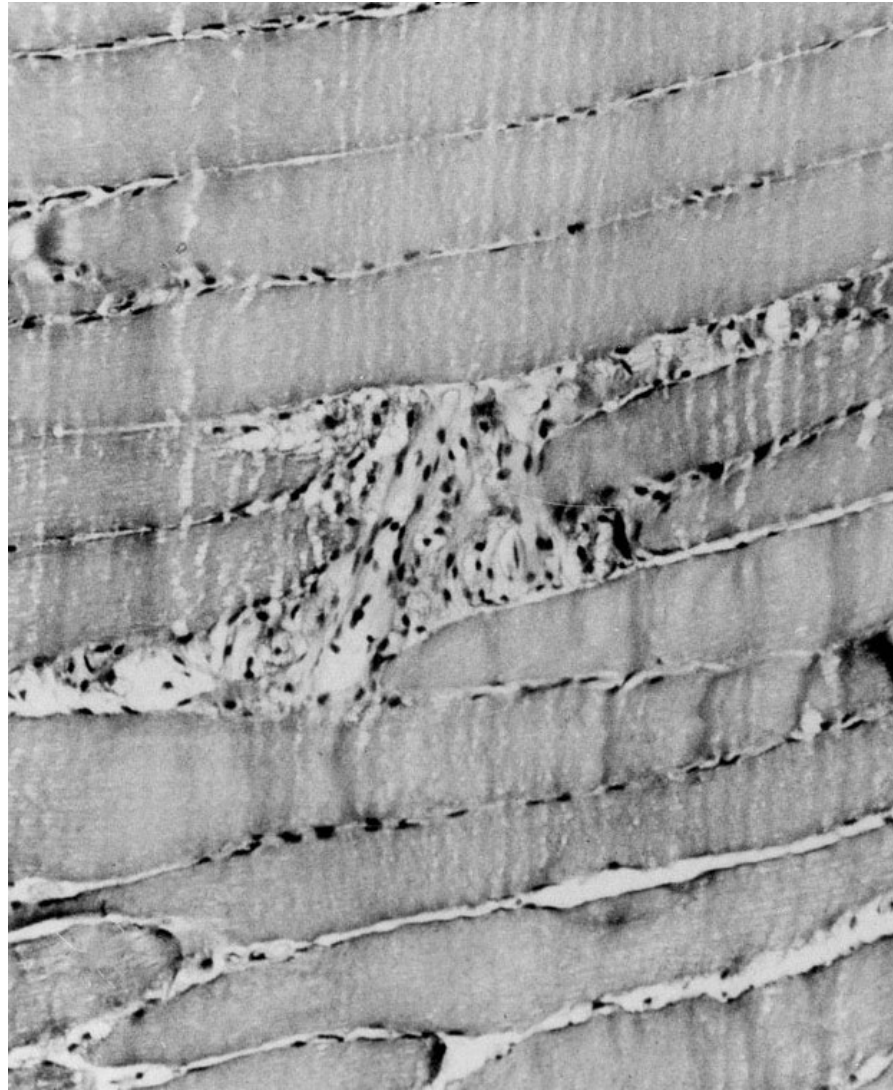
- ◆ Vědět jaké svaly či svalovou skupinu chceme posilovat.
- ◆ Intenzita tréninku (velikost závaží)
- ◆ Počet opakování
- ◆ Počet sérií

# 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 IIa silovým tréninkem.
- ◆ Kombinací vysoké intenzity silového tréninku a krátké intervaly rychlé práce mohou vést ke konverzi vláken I na IIa.



# SVALOVÁ VLÁKNA PO MARATONU



# Typy posilovací trénink

---

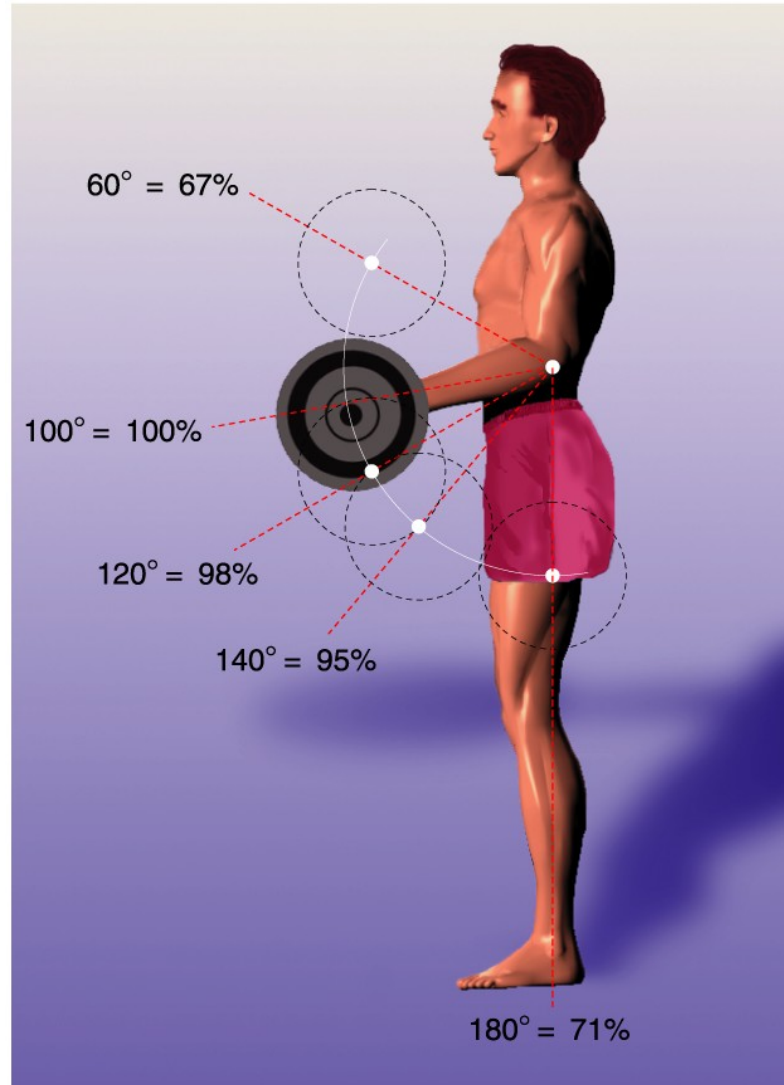
## Trénink statické (izometrické) síly

## Trénink dynamické síly

- ♦ bez závaží (vlastním tělem)
- ♦ se závažím
- ♦ Excentrický trénink
- ♦ Isokinetický trénink
- ♦ Plyometrická metoda

## Elektrická stimulace svalu

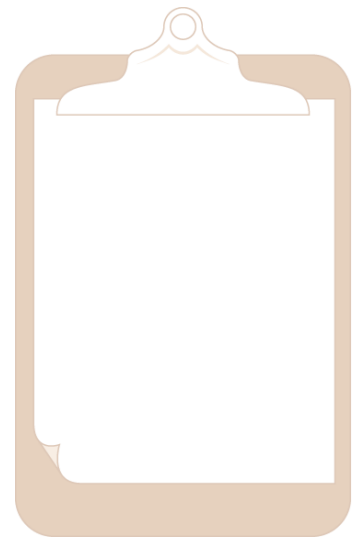
# RESISTANCE TRAINING ACTIONS



# Potřebná analýza

---

- ◆ Jaké svaly potřebuji posilovat?
- ◆ Jakou posilovací metodu zvolím?
- ◆ Jaký energetický systém má být zatížen?



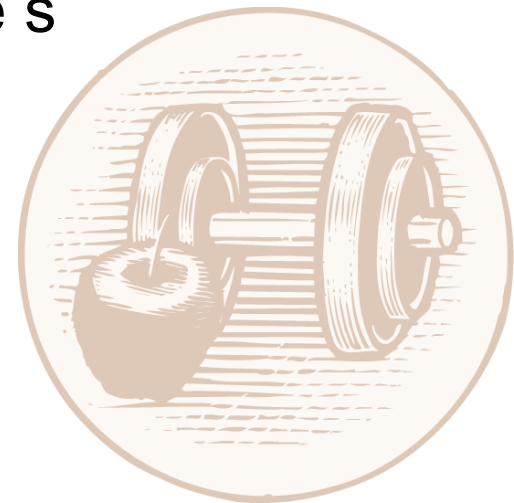
# Výběr vhodného posilovacího tréninku

**Maximální síla** — pár opakování s velkým odporem (kolem 6 opakování), dlouhé přestávky

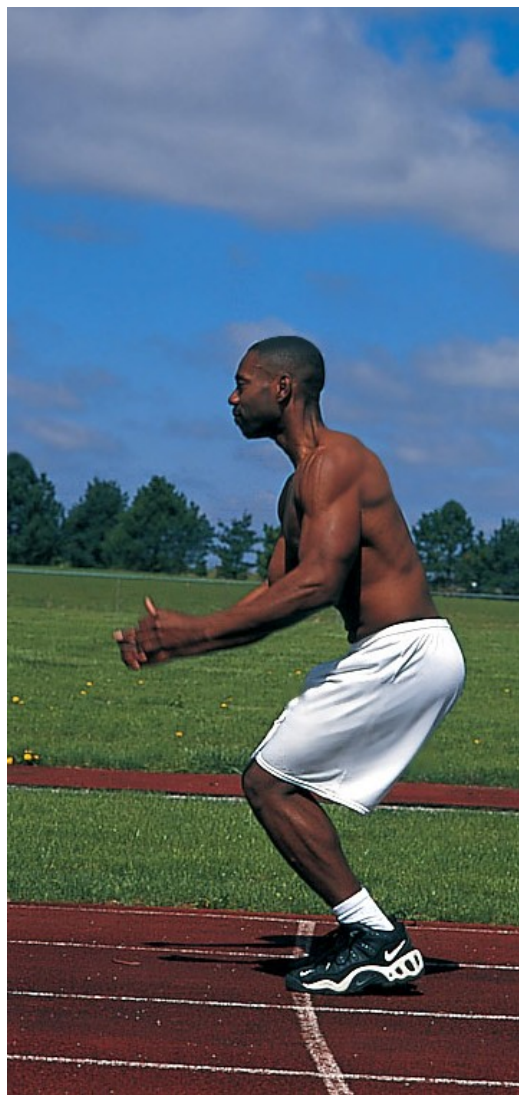
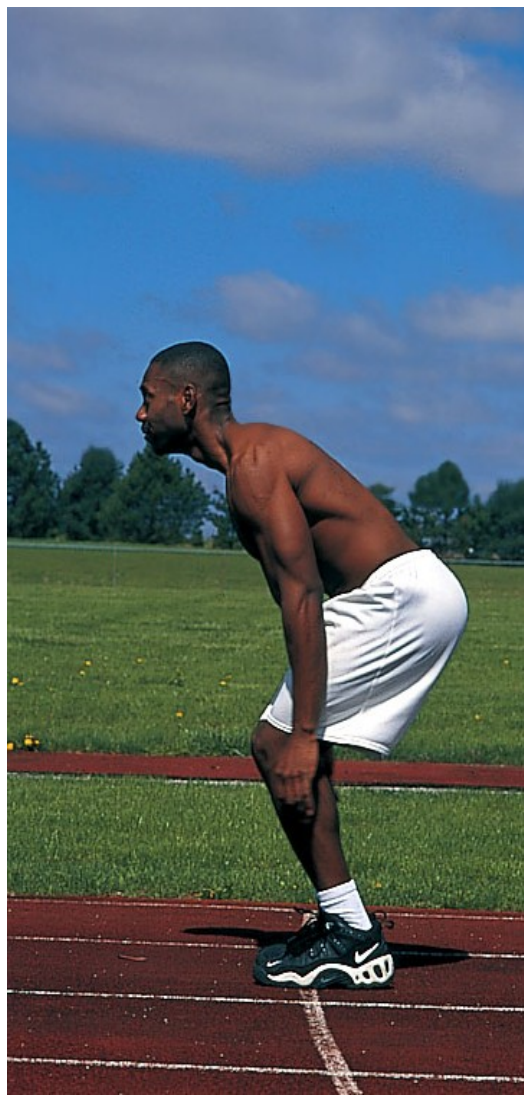
**Vytrvalostní síla** — hodně opakování s malým odporem (20 opakování), krátké přestávky

**Výbušná síla** — několik opakování se středně velkým odporem; důraz kladen na rychlost pohybu

**Zvětšení objemu svalu** — více než 3 série s 6-12 opakováním; krátké přestávky mezi sériemi



# PLYOMETRICKÁ METODA



# Adaptační změny - kosti

Fyzické zatěžování organismu podporuje růst kostí

- ▶ Kost je po celou dobu života metabolicky aktivní (zvyšuje se obsah minerálních látek – Ca)
- ▶ Trénink zvyšuje (i snižuje) hmotnost kostí (vlivem působení parathormonu)
- ▶ Dlouhodobě neúměrně vysoká intenzita tréninkové zátěže produkuje pokles kostní denzity (osteoporózu)
- ▶ Úměrná intenzita produkuje vyšší denzitu diafýz

# Adaptační změny - kosti

---

Intenzivní zatížení mladého rostoucího organismu však vede v některých případech snad vlivem androgenů z nadledvinek k omezení růstu dlouhých kostí do délky předčasnou osifikací chrupavčitých růstových zón mezi hlavicemi a tělem kostí. Kostí jsou potom širší a kratší.

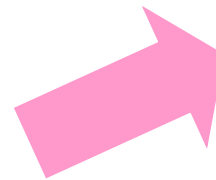
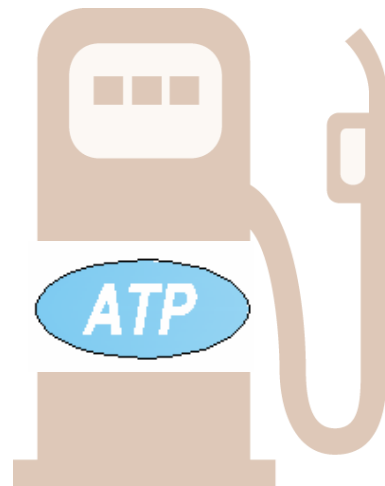
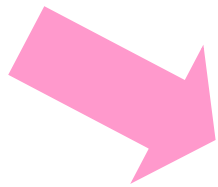


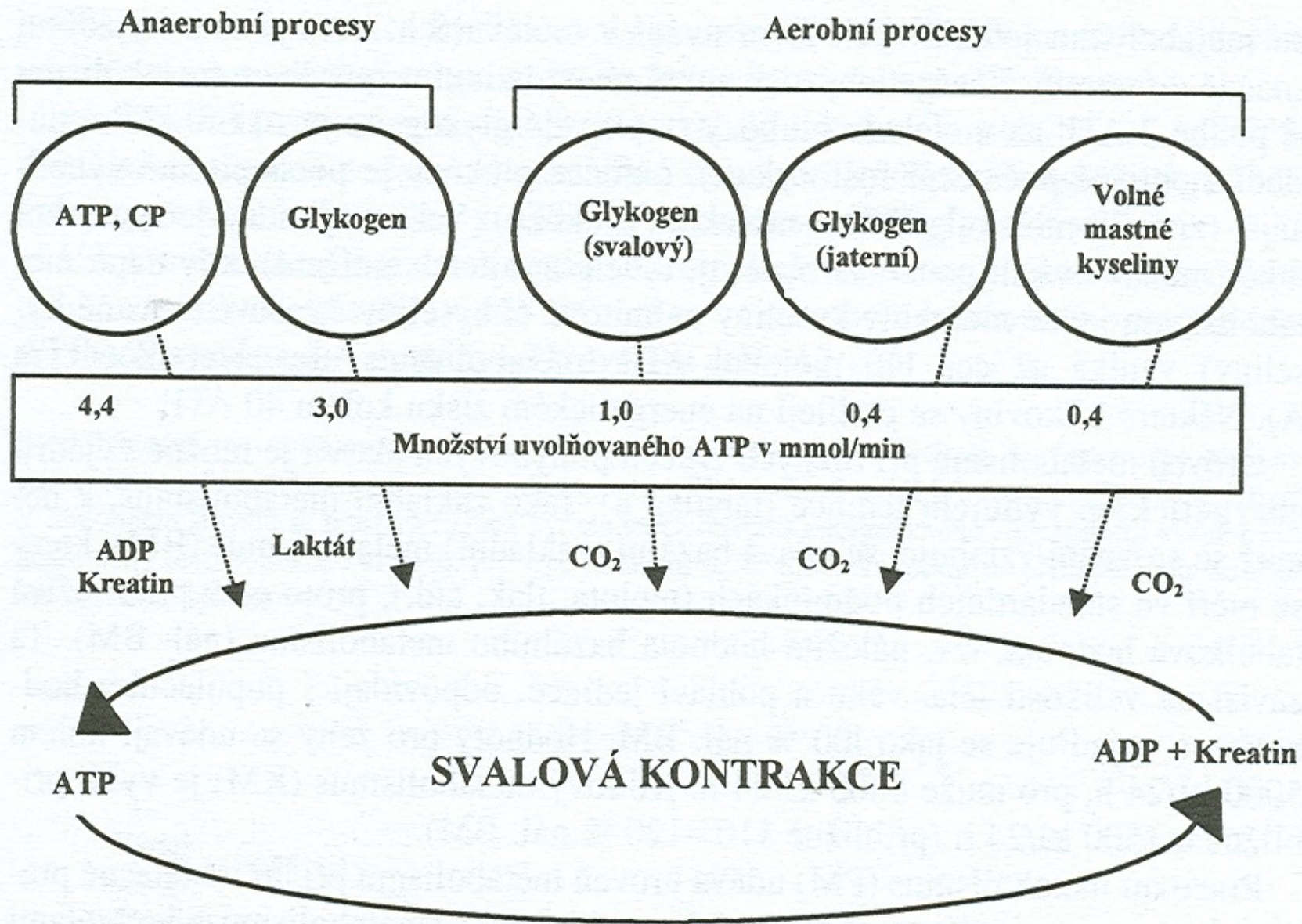
# Adaptační změny – šlachy, vazy, kluby

Zvyšuje se obsah kolagenu a aktivita enzymů

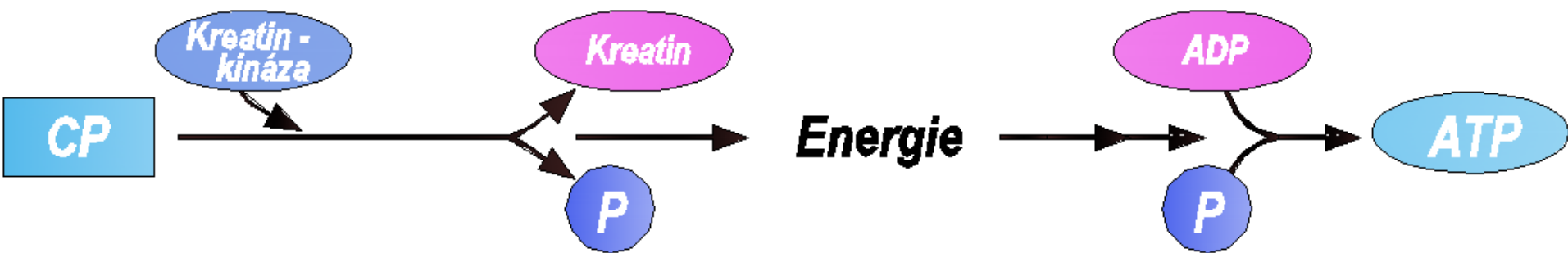
- ▶ Pojivová tkáň je dosti adaptivní
- ▶ Zatížení mění pozitivně tj. posiluje kosti, šlachy i vazy
- ▶ Trvalé přetěžování vede ke vzniku deformujících změn na kloubech, zánětům šlach, bolestem kostí

# Energetické krytí

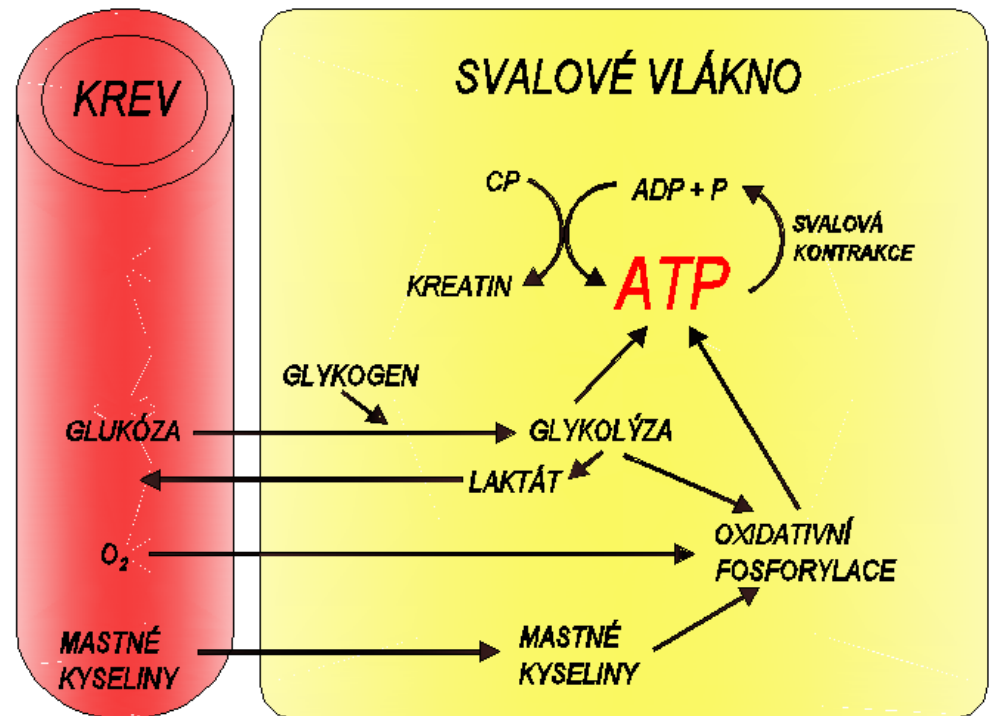




**Obr. 16.** Množství ATP (mmol/min) připadající při svalové kontrakci na jednotku času – informuje o rychlosti resyntézy ATP z ADP podle různých zdrojů a způsobů uvolňování energie a tím o rychlosti poskytování energie různými energetickými systémy (podle Neumann a kol. 1998)



# Energetické krytí



ATP/CP systém

Anaerobní glykolýza

Oxidativní systém

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150

Průběh maximálního výkonu (s)