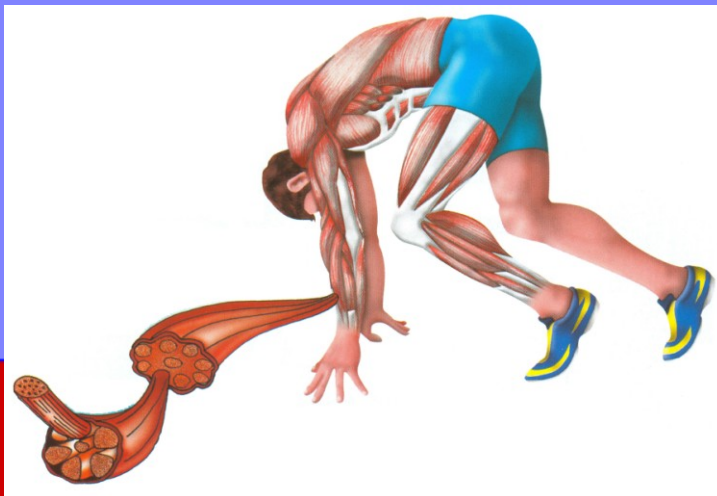


POHYBOVÁ SOUSTAVA SVALY A TYPY SVALOVÝCH VLÁKEN



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

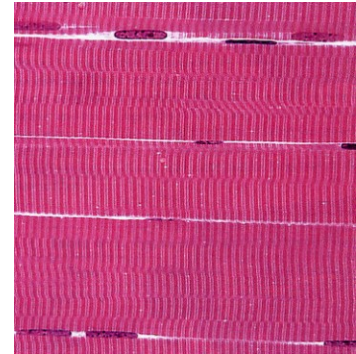
- ♦ ovládaná vůlí; vědomě kontrolovaný
- ♦ přes 600 svalů

Srdeční svalová tkáň

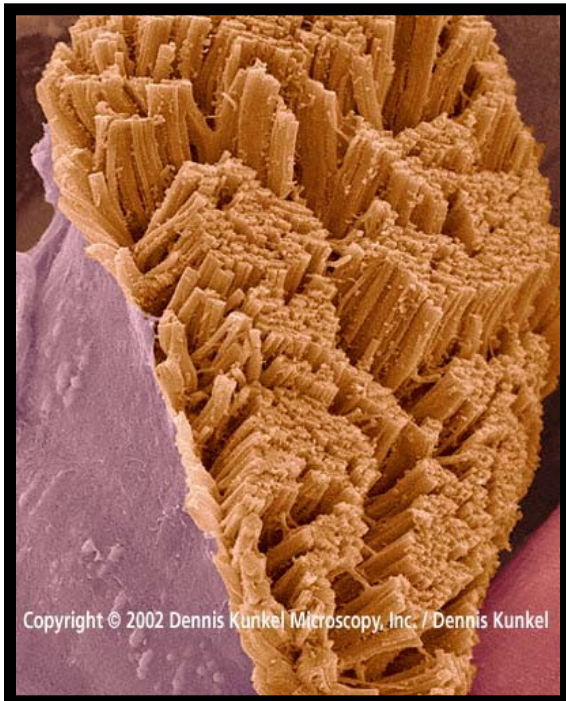
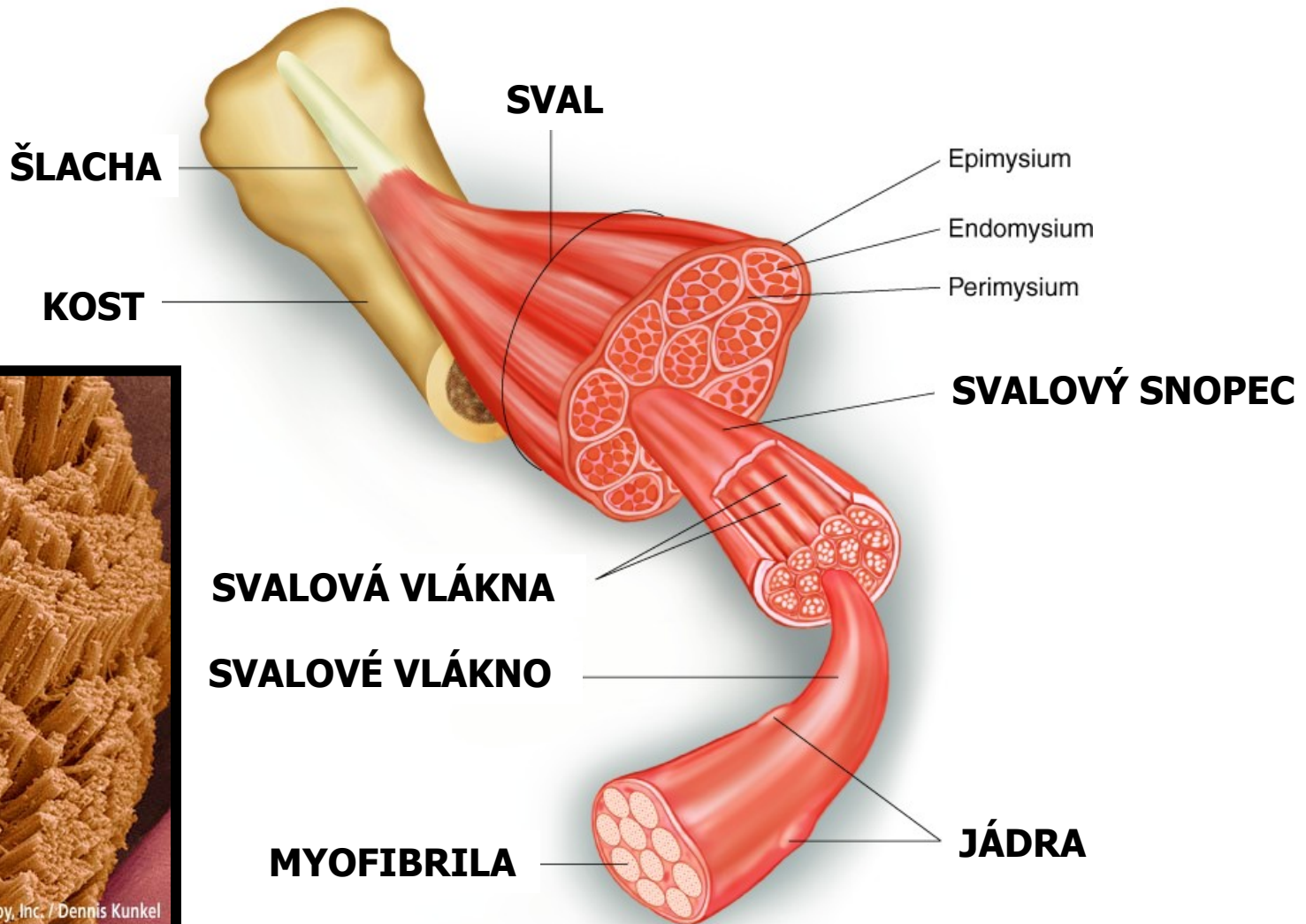
- ♦ neovládaný vůlí, pracuje s asistencí nervového a endokrinního systému

Hladká svalová tkáň

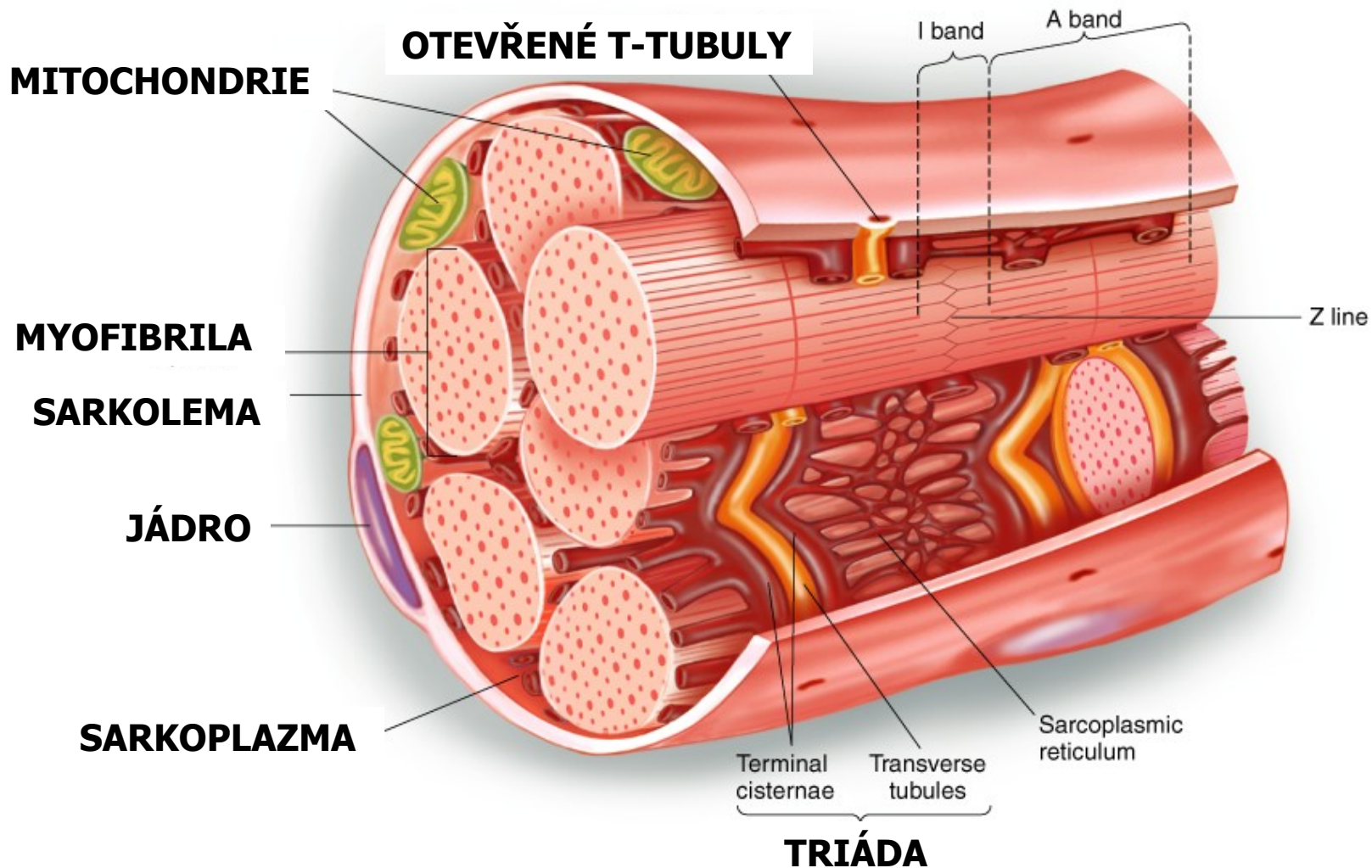
- ♦ vegetativní svaly; ovládané nevědomě
- ♦ ve stěnách cév a vnitřních orgánů



STRUKTURA KOSTERNÍHO SVALU



SVALOVÉ VLÁKNO (buňka)



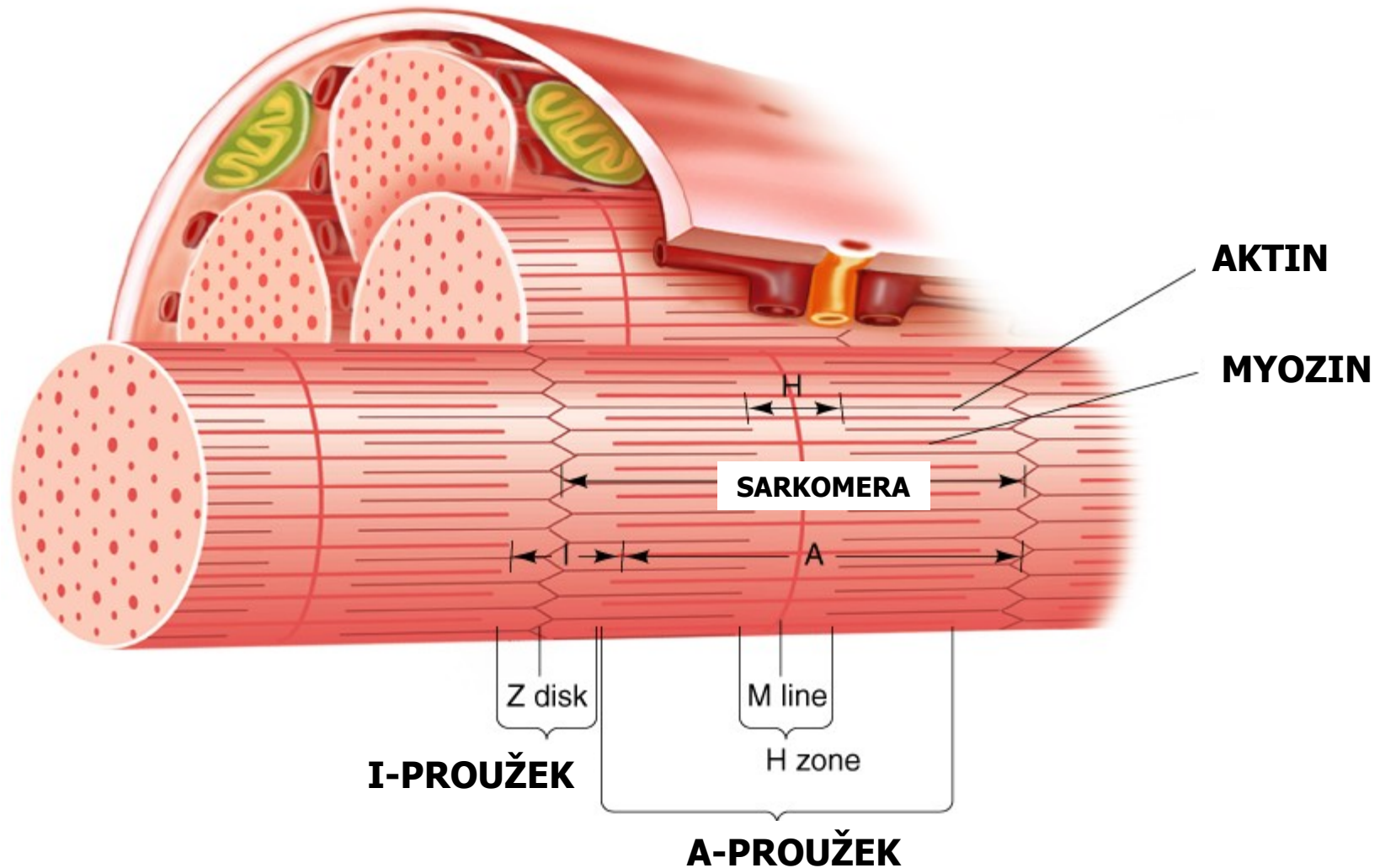
Svalové vlákno

- ♦ 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.

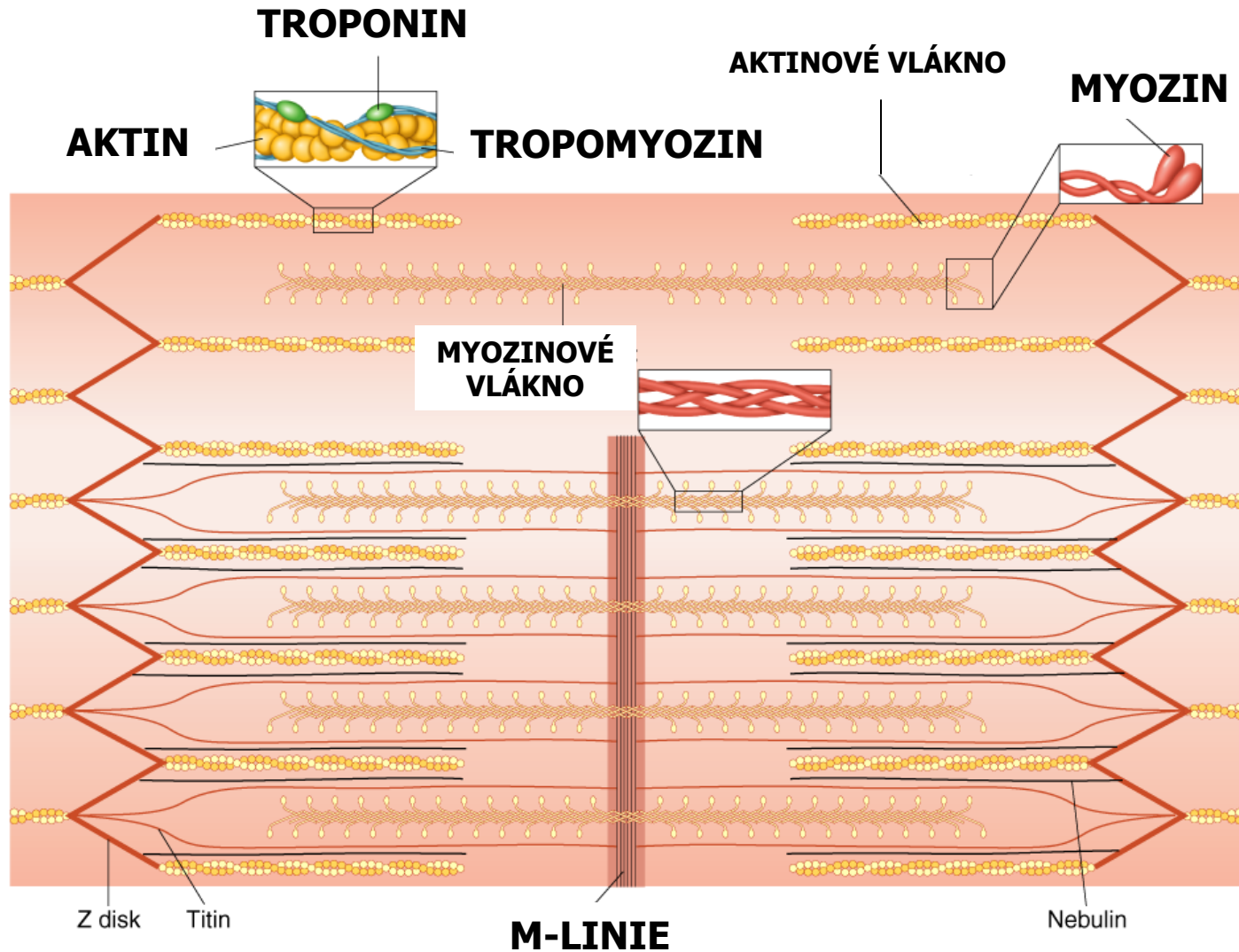
MIKROSNÍMEK MYOFIBRIL



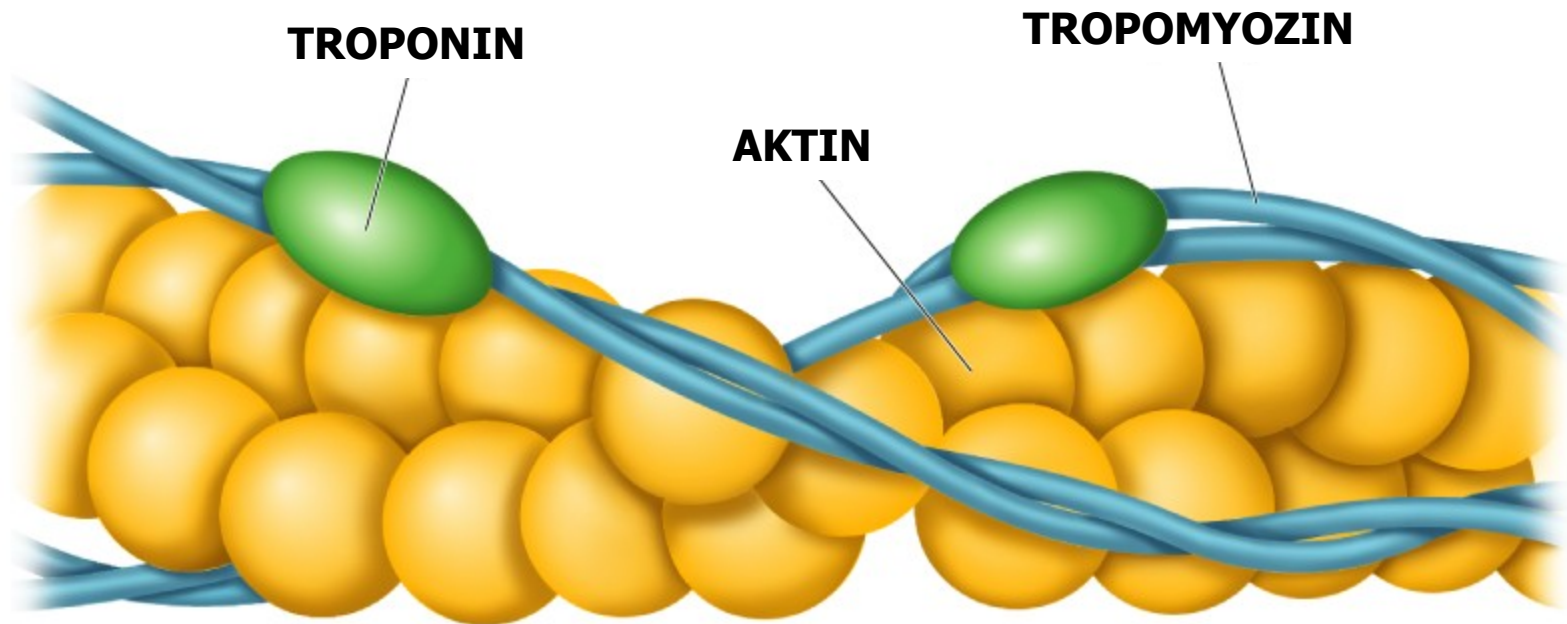
USPOŘÁDÁNÍ FILAMENT



USPOŘÁDÁNÍ FILAMENT V SARKOMEŘE

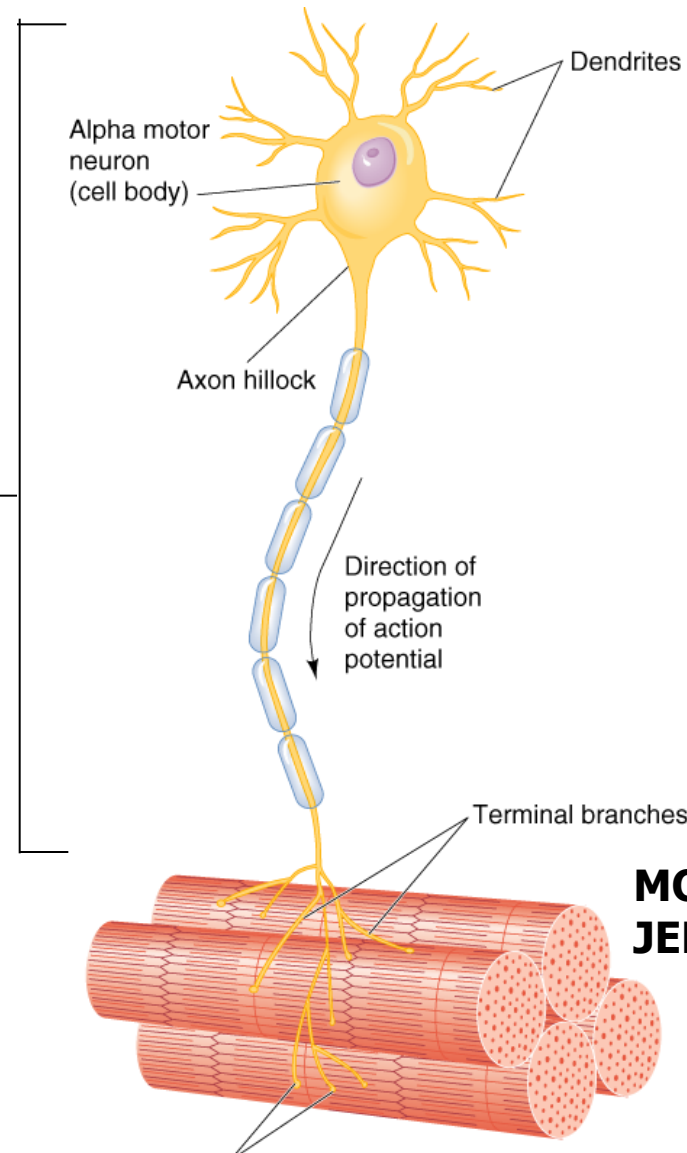


AKTINOVÉ VLÁKNO



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).

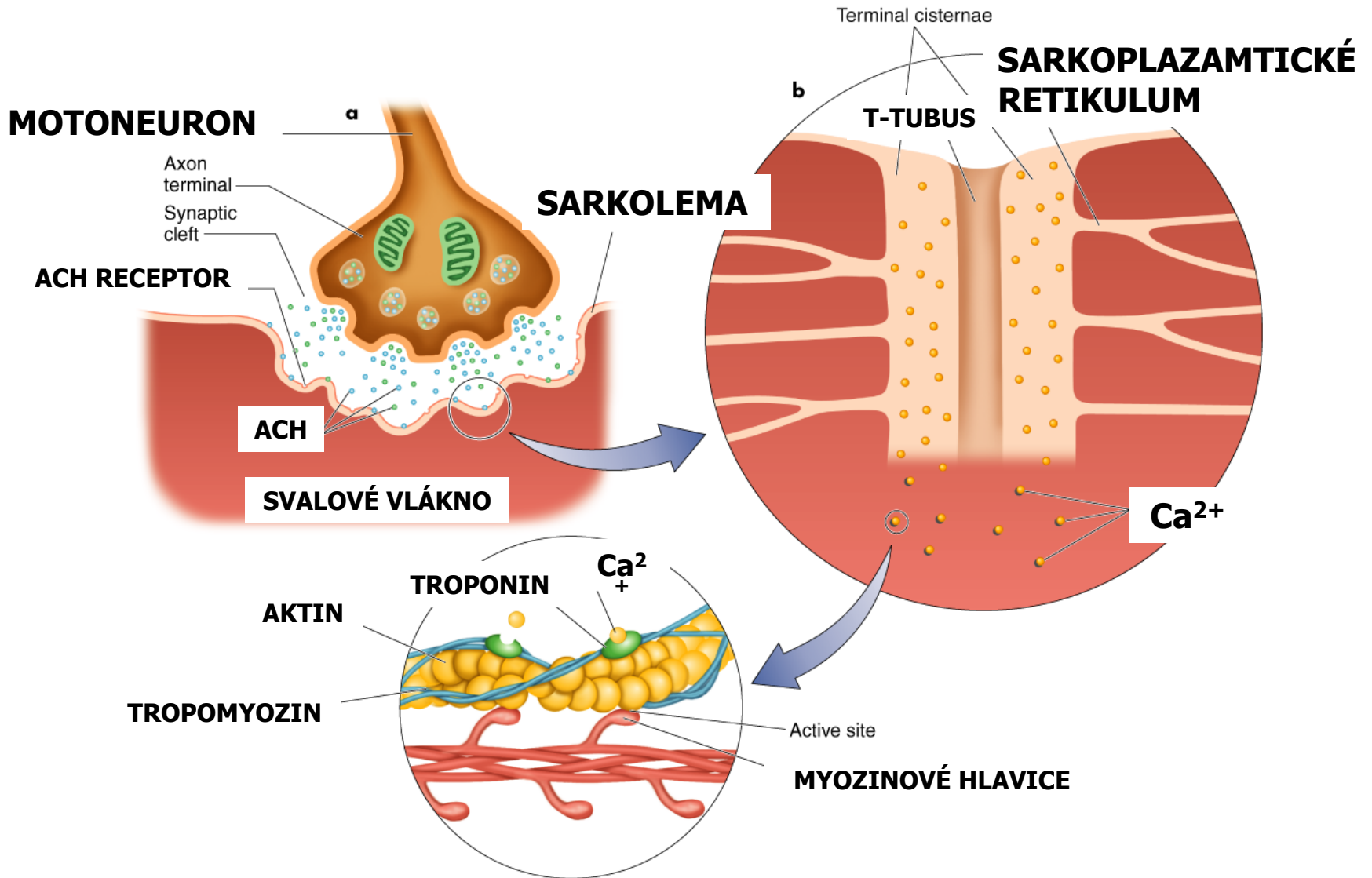
Podráždění/Kontrakce

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 Ca^{2+} .
4. 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

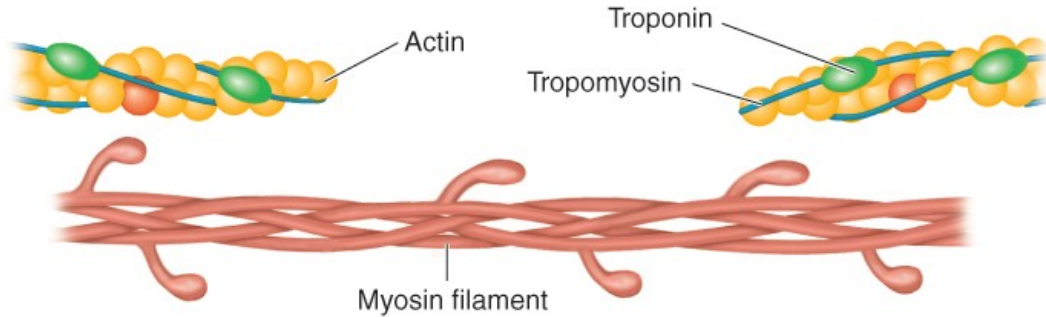
5. Po těchto aktivních místech se „natahují“ hlavy myozinu, kloužou po nich a vytvářejí spojení neboli můstky mezi aktinem a myozinem.
6. Myozinové vlákno tak aktivně přitahuje dvě aktinová vlákna zakotvená do protilehlých Z-proužků, a tím k sobě tyto proužky přitahuje.
7. Výsledkem je zkrácení sarkomery,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

NERVOUSVALOVÝ PŘENOS

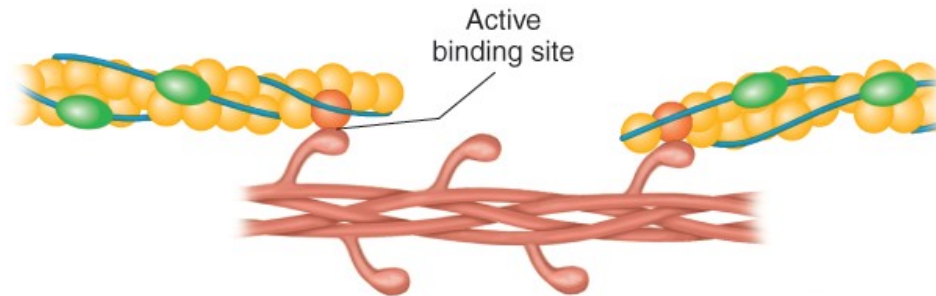


KONTRAKCE SVALOVÉHO VLÁKNA

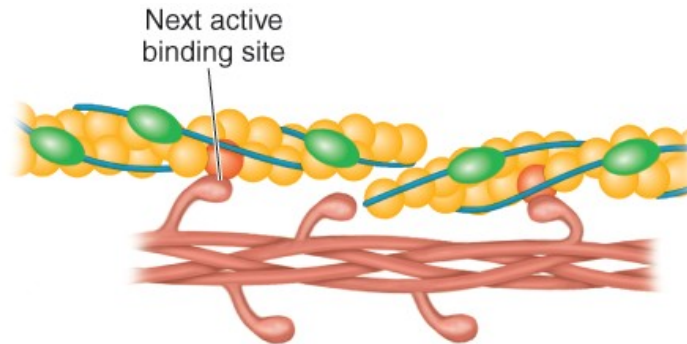
**UVOLNĚNÉ
SVALOVÉ VLÁKNO**

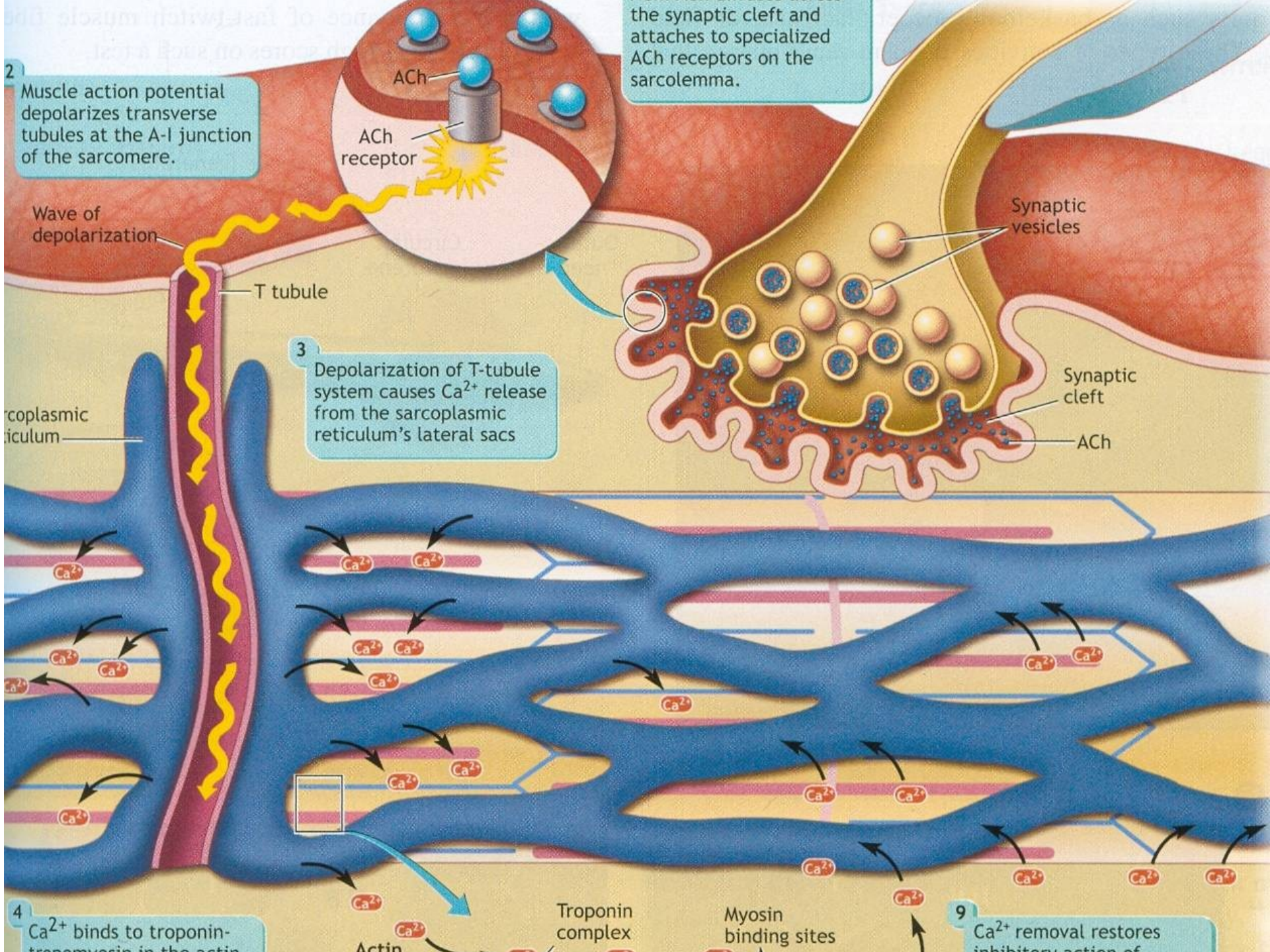


KONTRAKCE



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

Ca^{2+}

Ca^{2+}

Ca^{2+}

Ca^{2+}

Ca^{2+}

Ca^{2+}

Ca^{2+}

Ca^{2+}

Ca^{2+}

Ca^{2+}

Ca^{2+}

Ca^{2+}

Ca^{2+}

Ca^{2+}

Ca^{2+}

Ca^{2+}

Ca^{2+}

Ca^{2+}

Ca^{2+}

Ca^{2+}

Ca^{2+}

Ca^{2+}

Ca^{2+}

Ca^{2+}

Ca^{2+}

Ca^{2+}

Ca^{2+}

Ca^{2+}

Ca^{2+}

Ca^{2+}

Ca^{2+}

Ca^{2+}

Ca^{2+}

Ca^{2+}

Ca^{2+}

Ca^{2+}

Ca^{2+}

Ca^{2+}

Ca^{2+}

Troponin complex

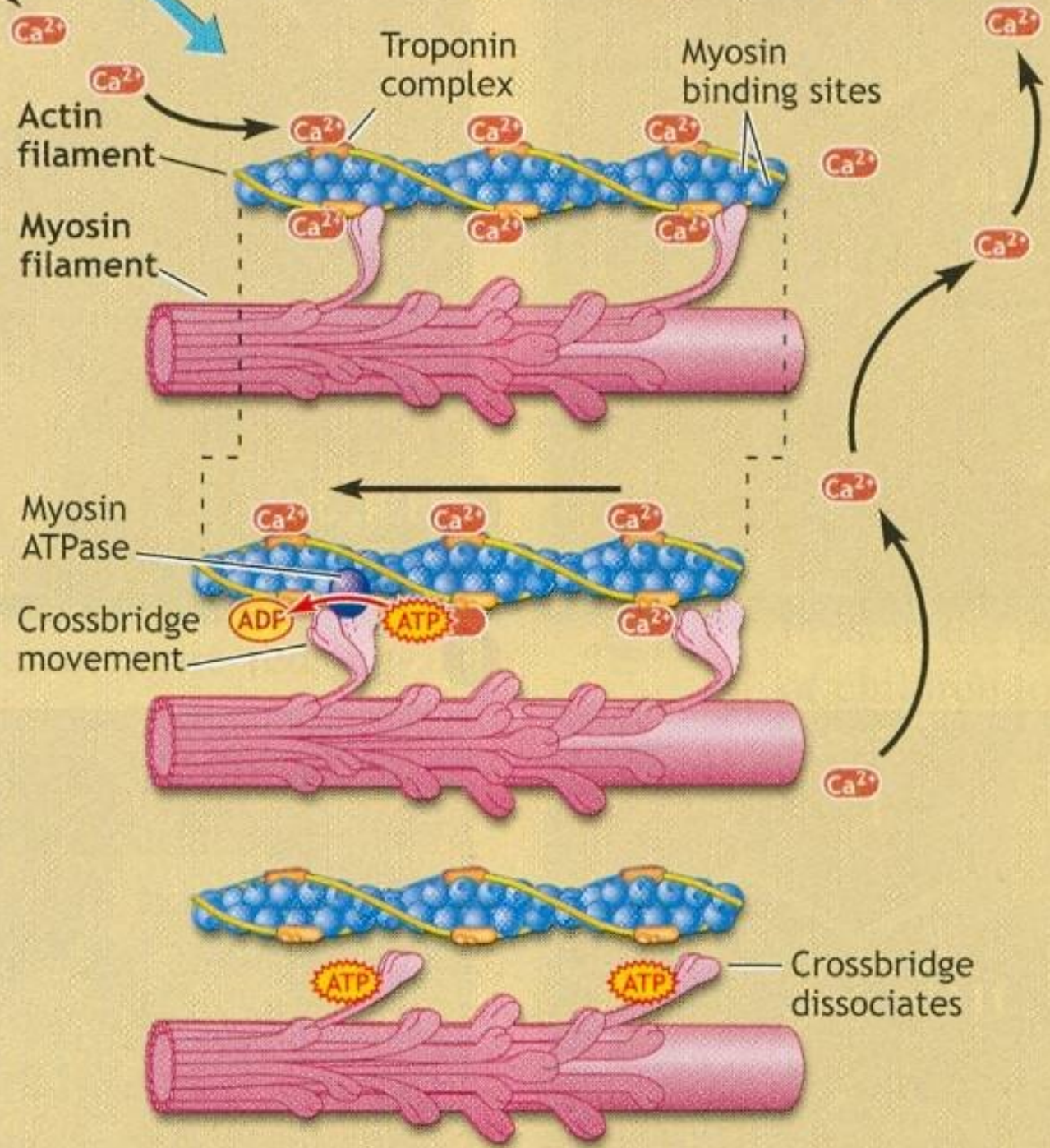
Myosin binding sites

Actin

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.

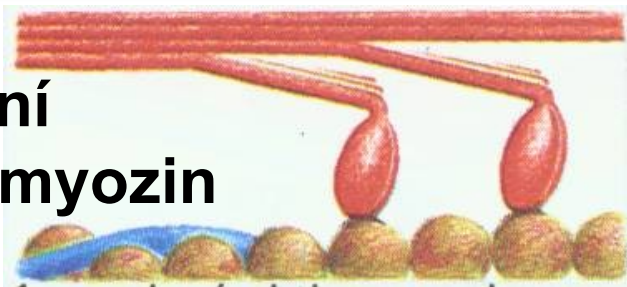


9
Ca²⁺ r
inhibi
tropon
the p
and m
dissoc

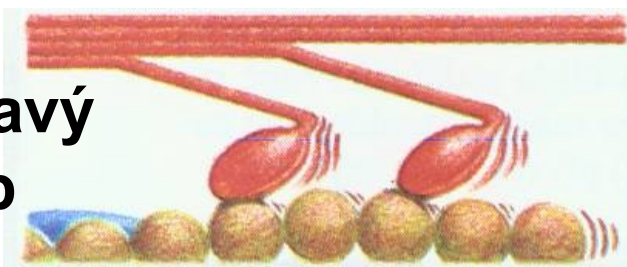
8
When
cease
into t
reticu
throu
requi

7
Cross
contin
conce
remain
memb
to inh
tropon
compl

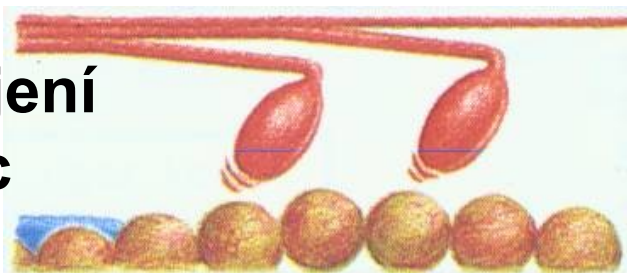
spojení
aktin-myozin



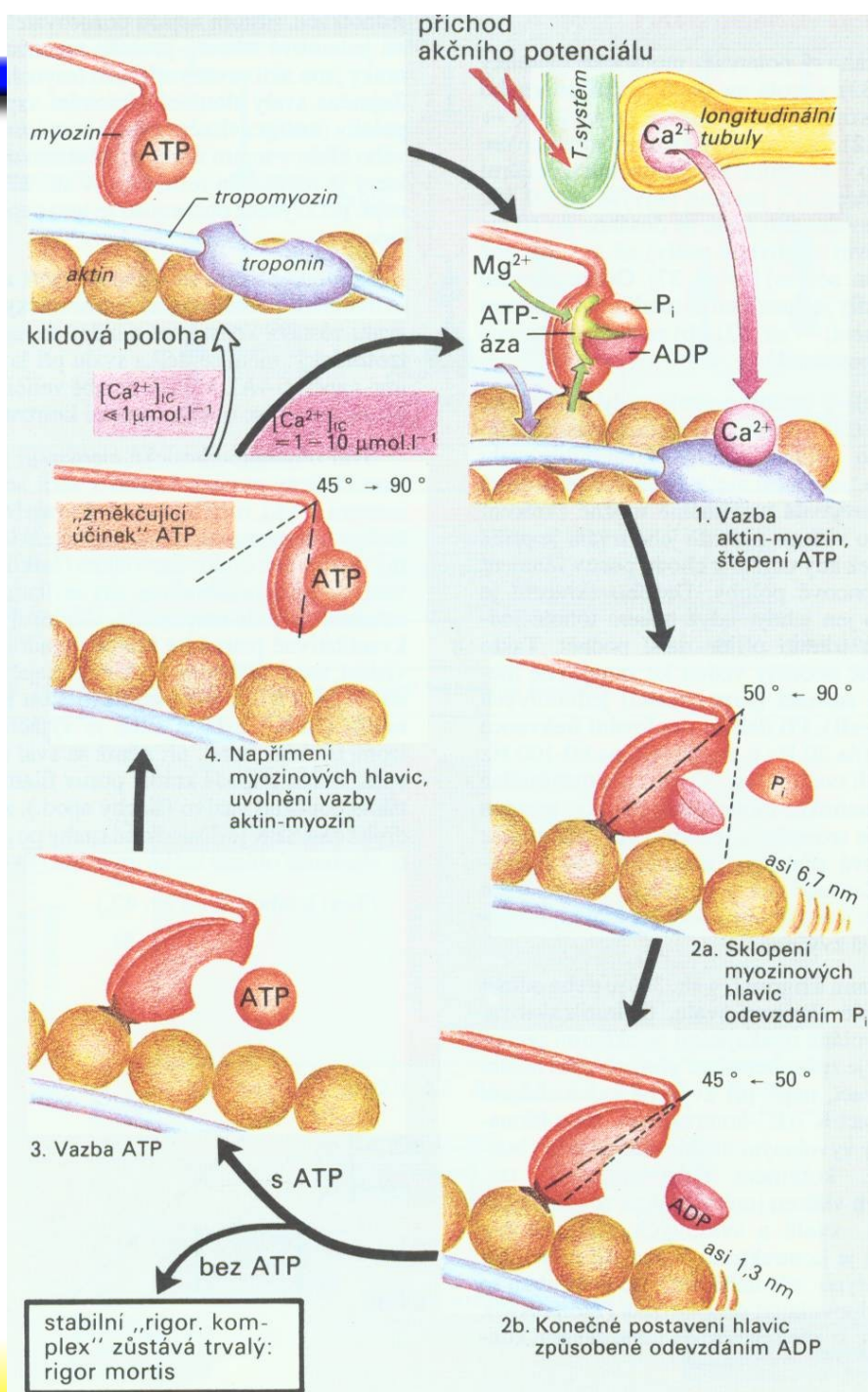
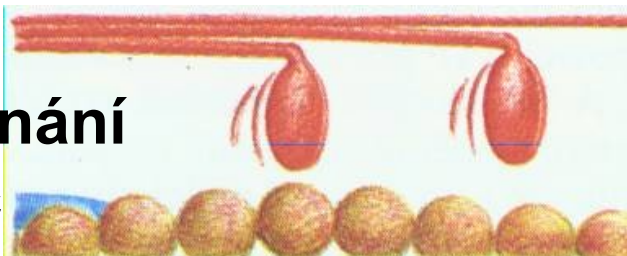
klouzavý
pohyb



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 Ca^{2+} iontů.
- ♦ 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

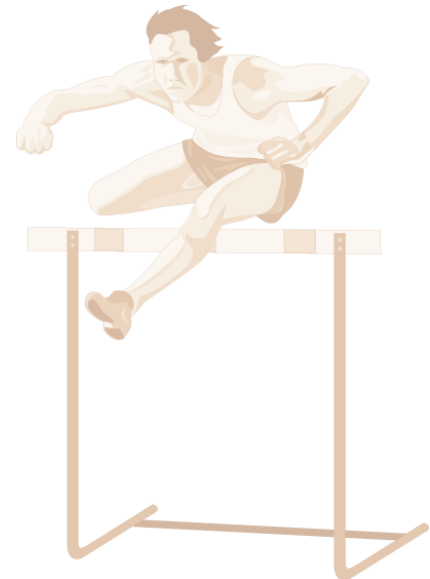
- ◆ Vysoká aerobní (oxidativní) kapacita a odolnost vůči únavě
- ◆ Nízká anaerobní (neoxidativní, glykolitická) kapacita a svalová síla
- ◆ Pomalá kontrakce (110 ms/svalový tah) a myozinová ATPáza
- ◆ 10–180 vláken v motorické jednotce



Rychlé (červené) svalové vlákno (IIa)

Fast-Twitch (FT_a) Muscle Fibers

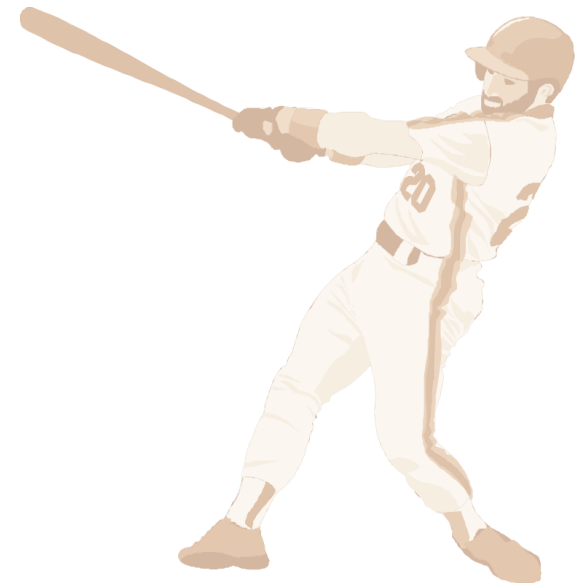
- ◆ Střední aerobní (oxidativní) kapacita a odolnost vůči únavě
- ◆ Vysoká anaerobní (neoxidativní, glykolitická) kapacita a svalová síla
- ◆ Rychlá kontrakce (50 ms/svalový stah) a myozinová ATPáza
- ◆ 300–800 vláken v motorické jednotce



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)

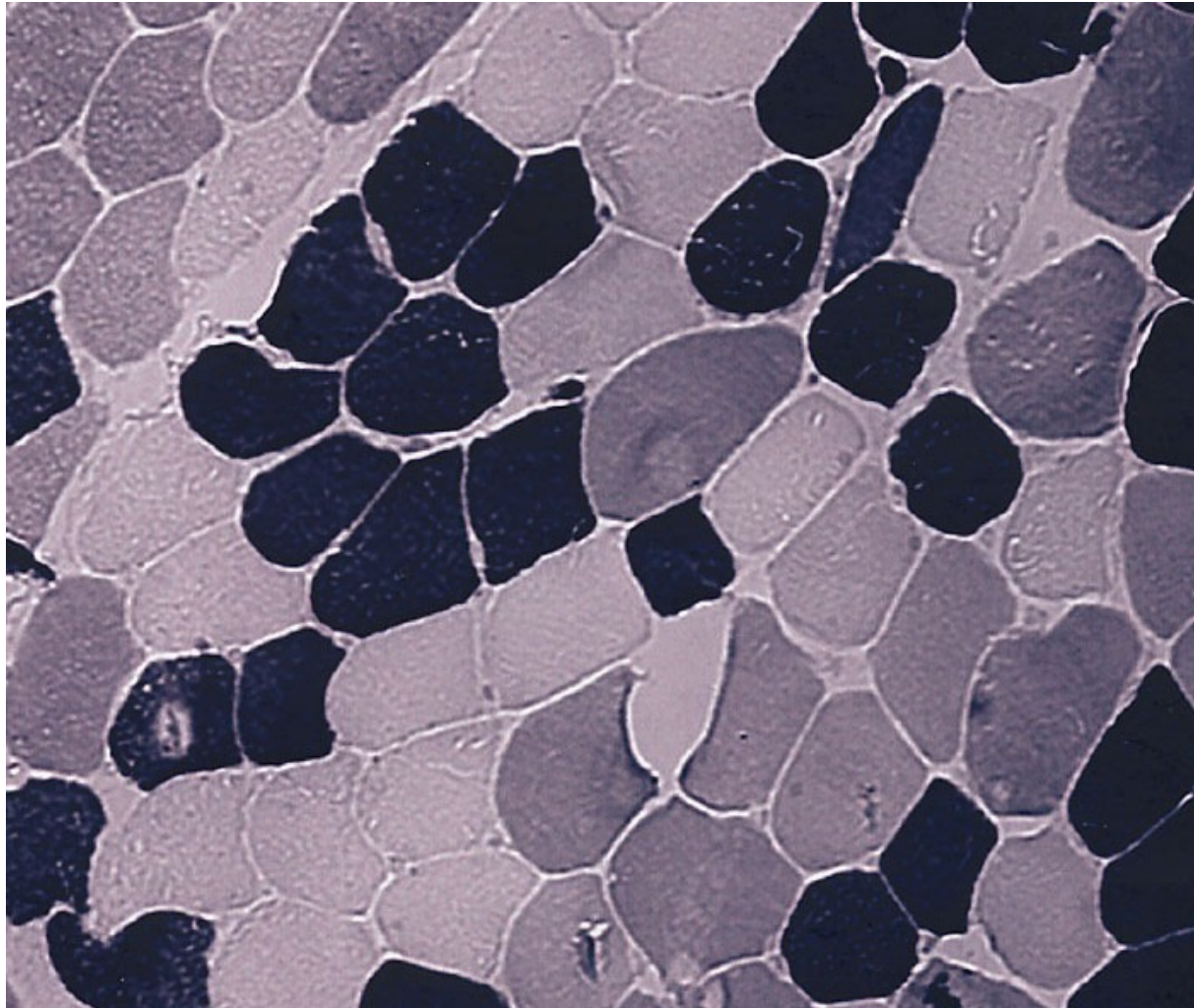
Typ I
pomalé červené

Typ IIa
rychlé červené

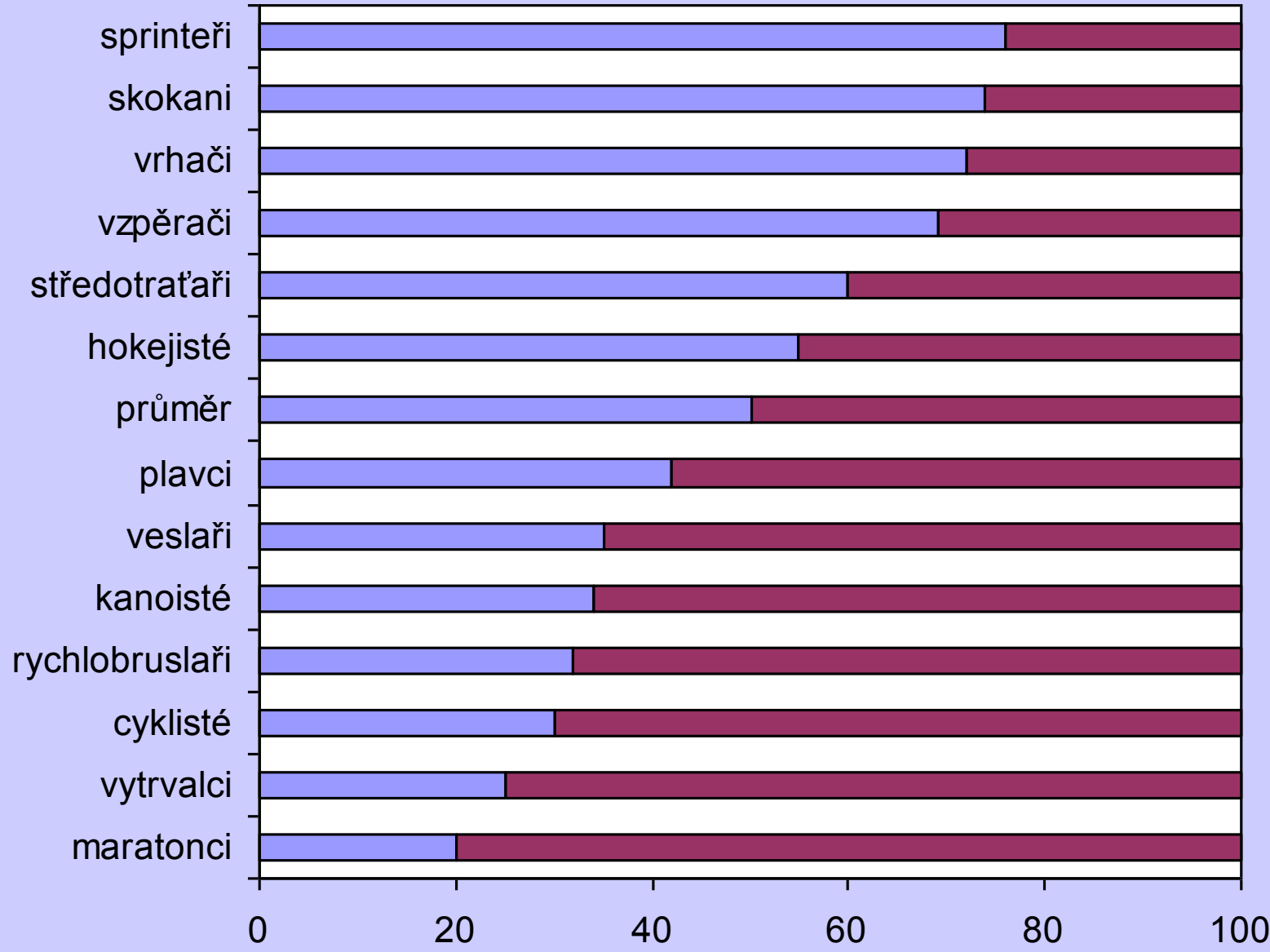
Typ IIx
rychlé bílé

Rychlost kontrakce	pomalá	rychlá	rychlá
Síla kontrakce	nízká	střední	vysoká
Odolnost vůči únavě	vysoká	střední	nízká
Obsah glykogenu	nízký	vysoký	vysoký
Průměr	malý	střední	velký
Hustota mitochondrií	vysoká	vysoká	nízká
Hustota kapilár	vysoká	vysoká	nízká
Aktivita ATP-ázy	nízká	vysoká	vysoká
Glykolytická kapacita	nízká	vysoká	vysoká

POMALÁ A RYCHLÁ SVALOVÁ VLÁKNA



rychlá vlákna pomalá vlákna



Podíl vláken (%)

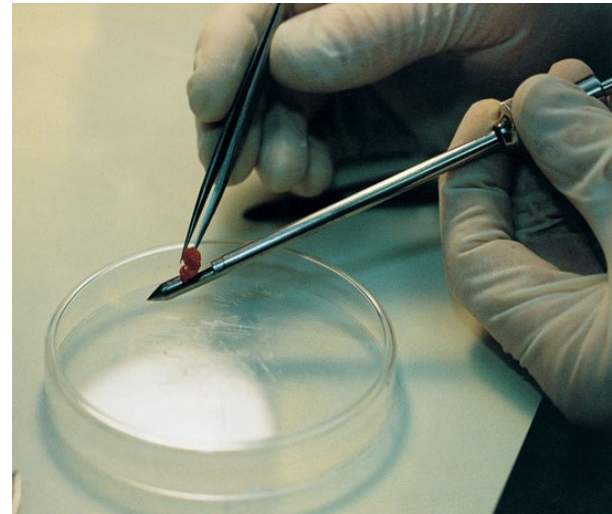
DIAGNOSTIKA svalových vláken

invazivní metoda – svalová biopsie

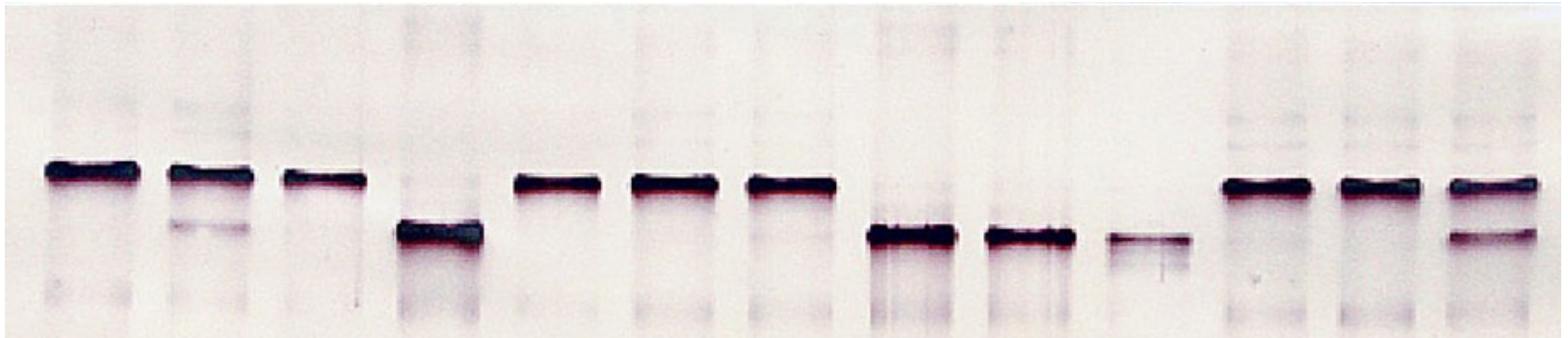
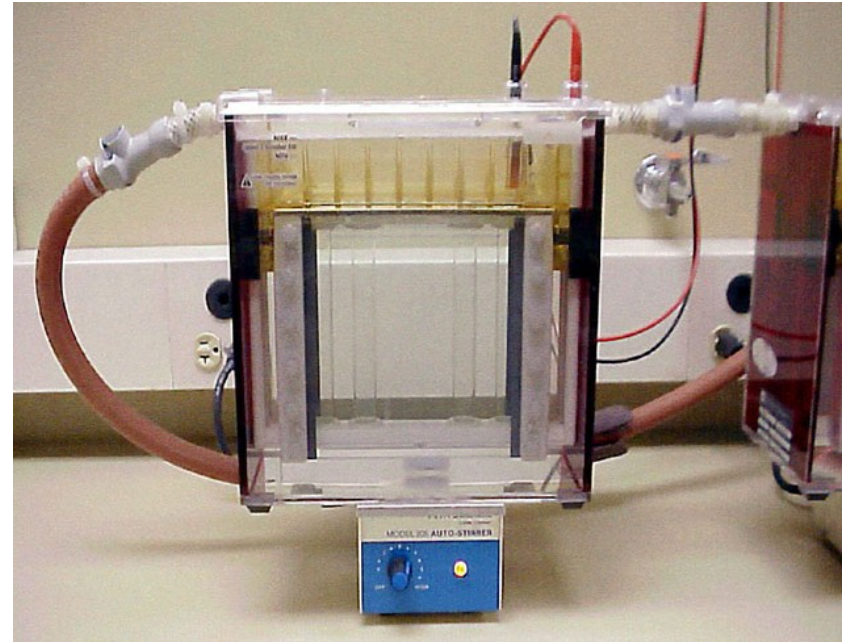
- ▶ magnetická rezonance se současnou analýzou biochemických parametrů snímaného svalu
- ▶ 1MR a následné cvičení s 80%
< 8 převaha II, 8-12 50%:50%, > 12 převaha I
- ▶ výskoková ergometrie

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

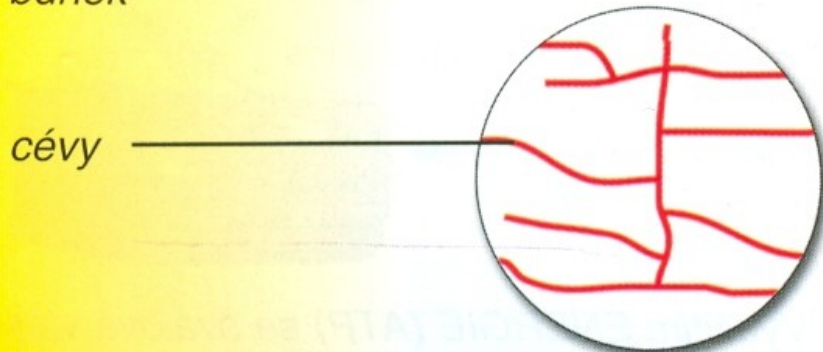
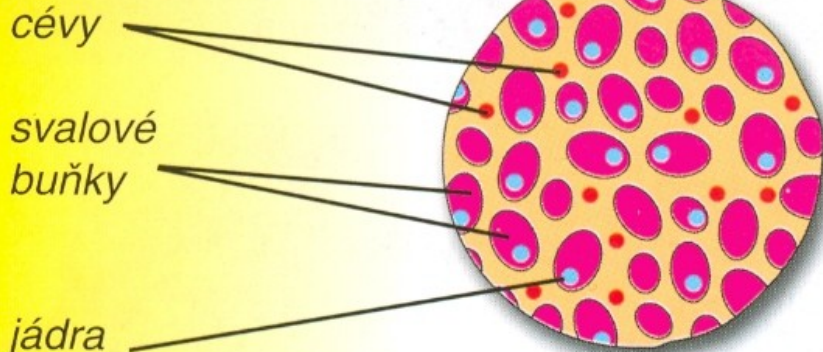
- ♦ Pomalá vlákna mají vyšší aerobní kapacitu a jsou potřebná pro vytrvalostní výkon.
- ♦ Rychlá vlákna jsou lepší pro anaerobní nebo výbušné pohybové aktivity.

Adaptační změny

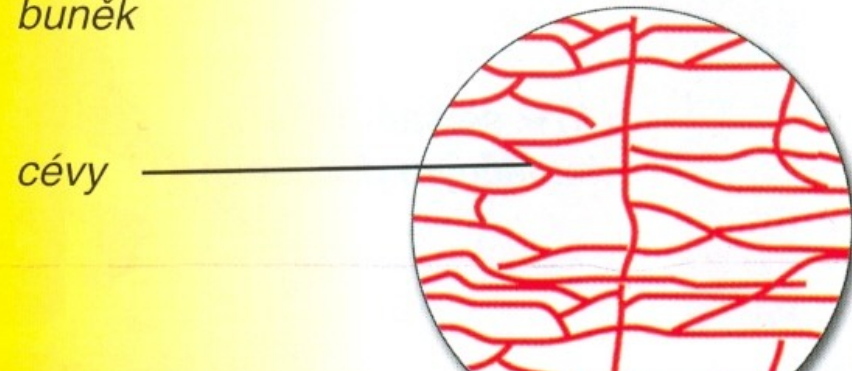
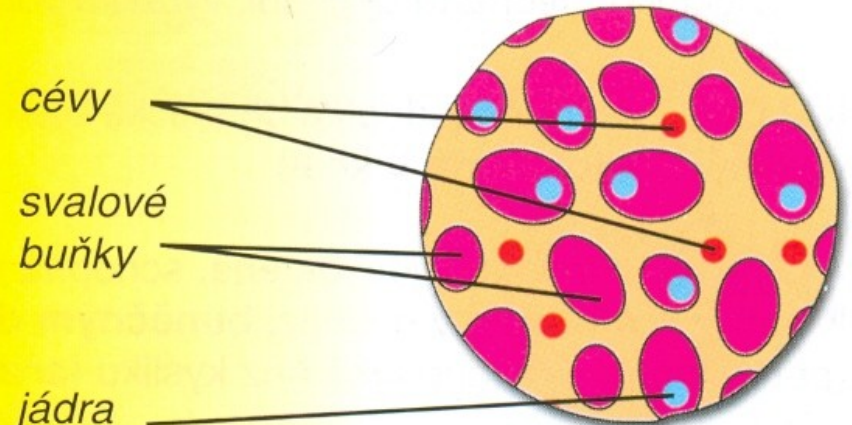
- ve svalech trénovaných jedinců dochází k četným adaptačním změnám:
 - v oblasti strukturní i biochemické, které jsou patrné i za klidových podmínek
 - v metabolické reakci svalu na fyzické zatížení organismu

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 ²⁺ transportní kapacita	↓	?	?
ATP+CP	↑	↑	↑
Glykogen	↑	↑	↑
Triglyceridy	↑	↑	↑
Štěpení makroergních fosfátů	?	rychlejší	rychlejší
Glykolýza	↓	↑	↑
Oxidace glycidů	↑	↑	↑
Oxidace volných MK	↑	?	?

Funkce svalů

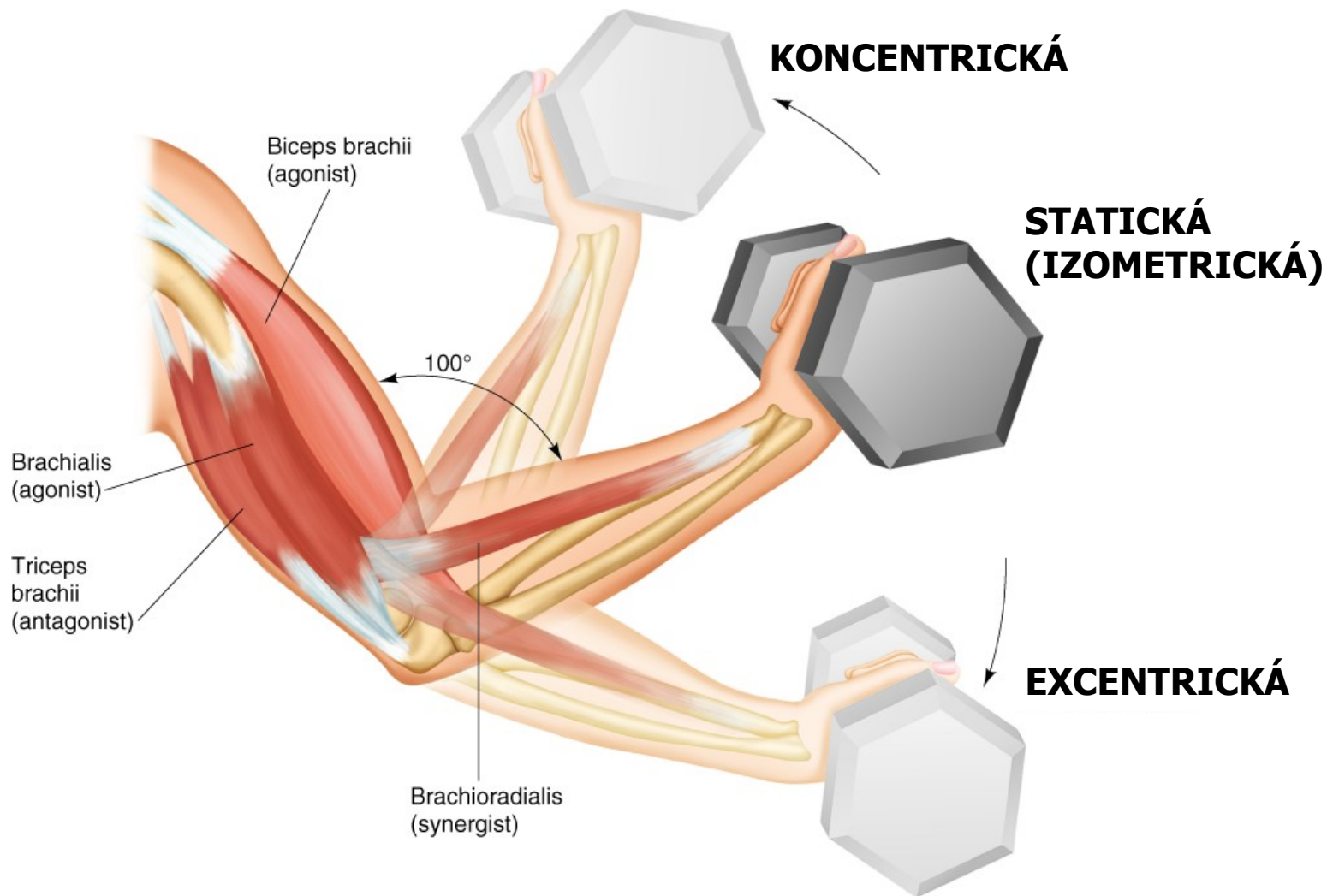
Agonista – hlavní vykonavatel pohybu

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

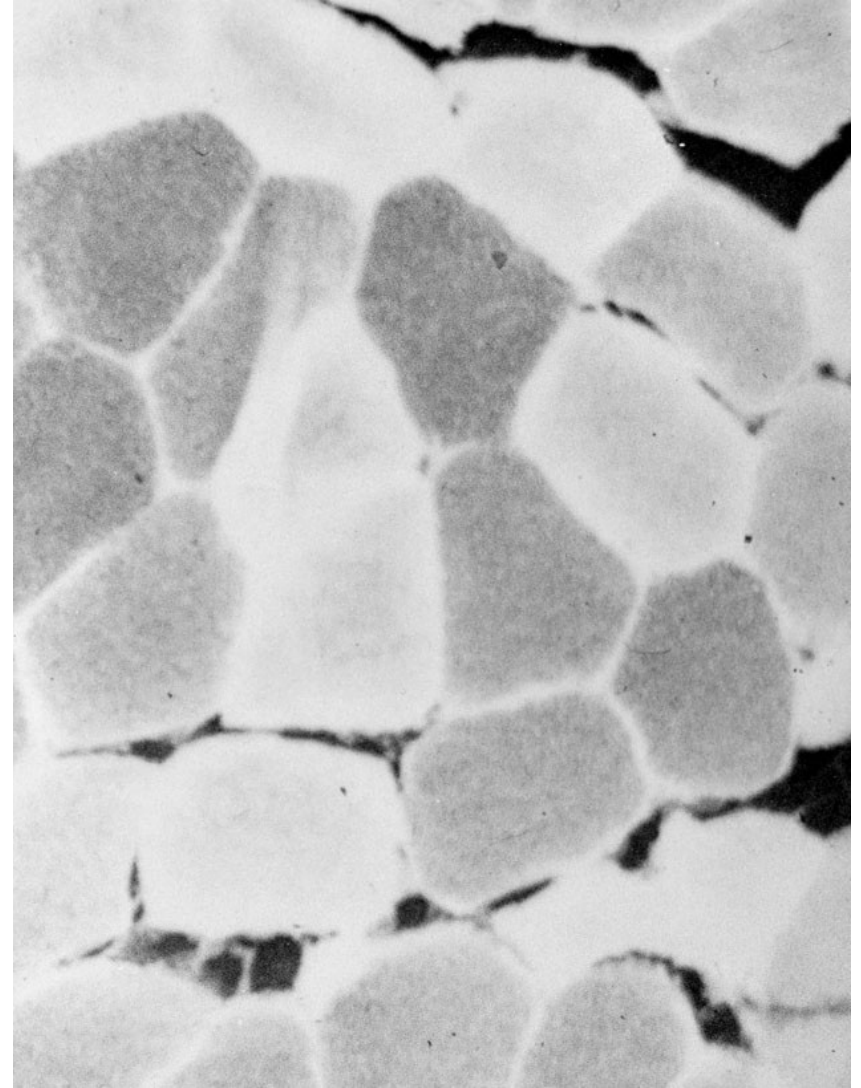
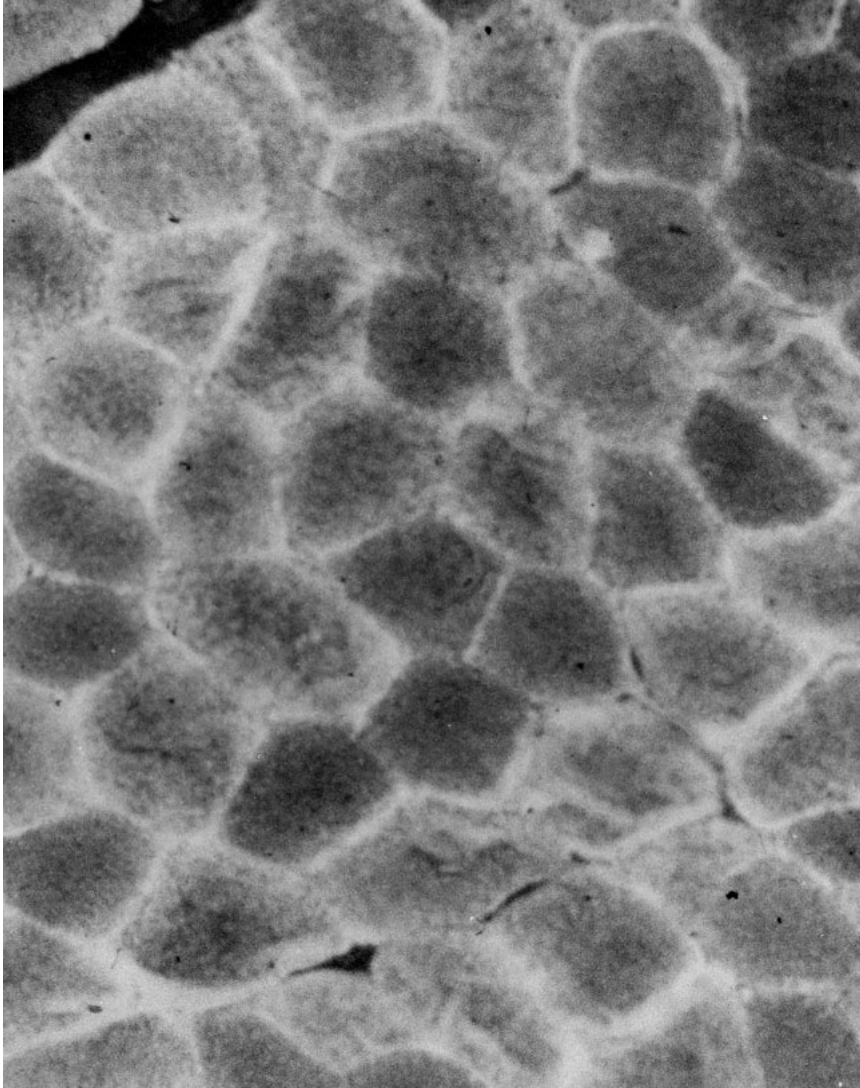
hypertrofie svalových vláken (svalu)

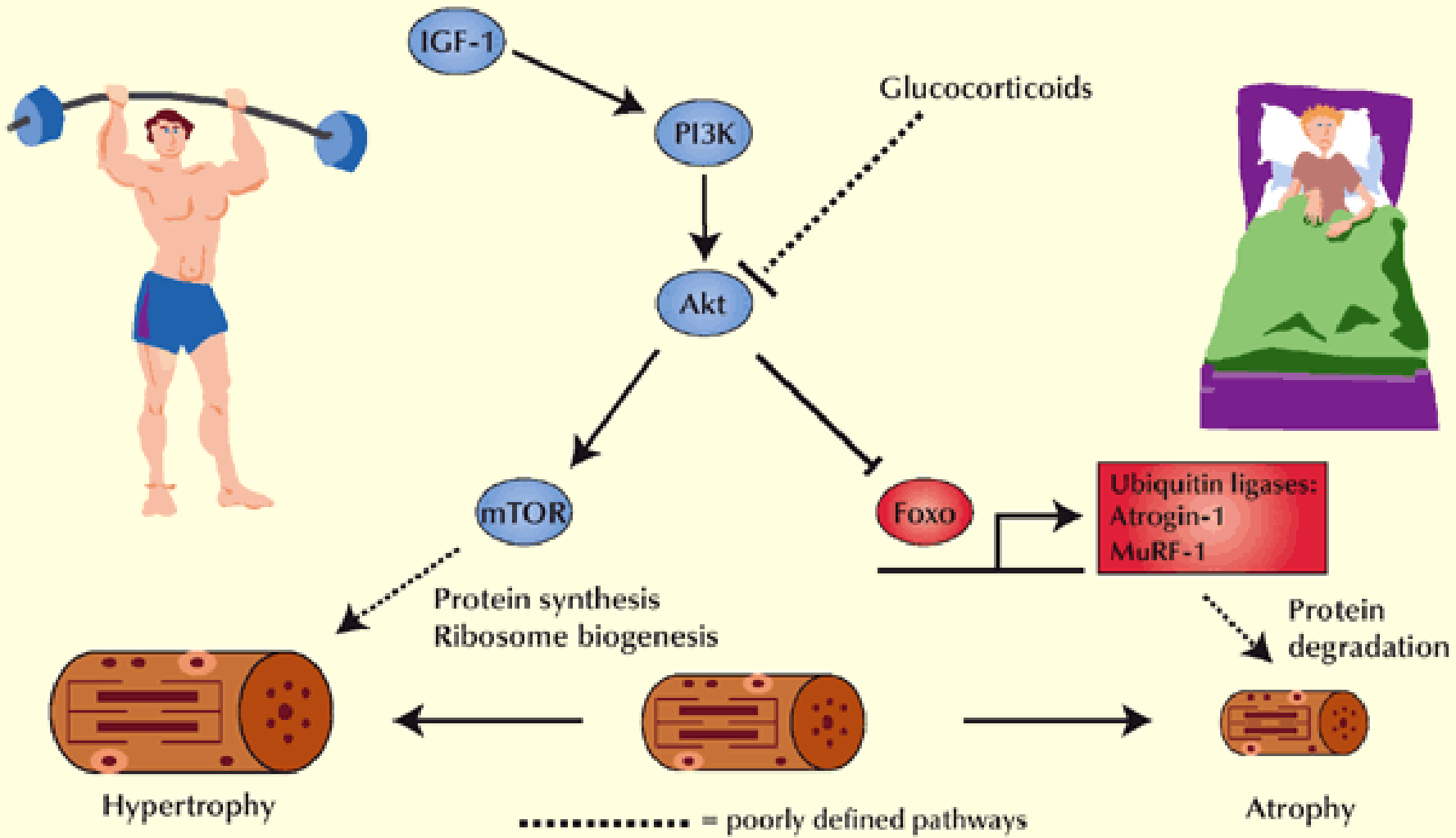
▶ atrofie svalových vláken (svalu)

▶ hyperplazie svalových vláken

▶ svalová horečka

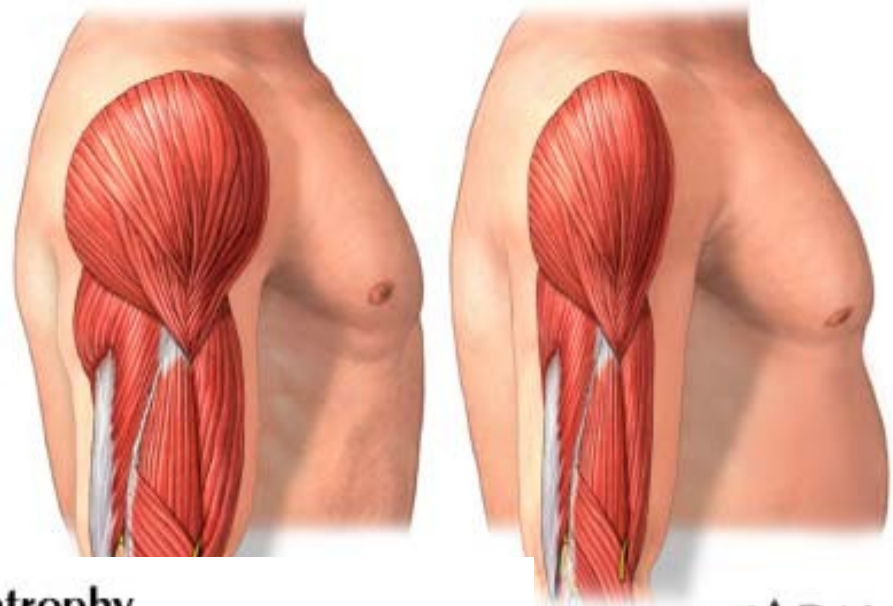
HYPERTROFIE SVAL. VLÁKEN PO TRÉNINKU





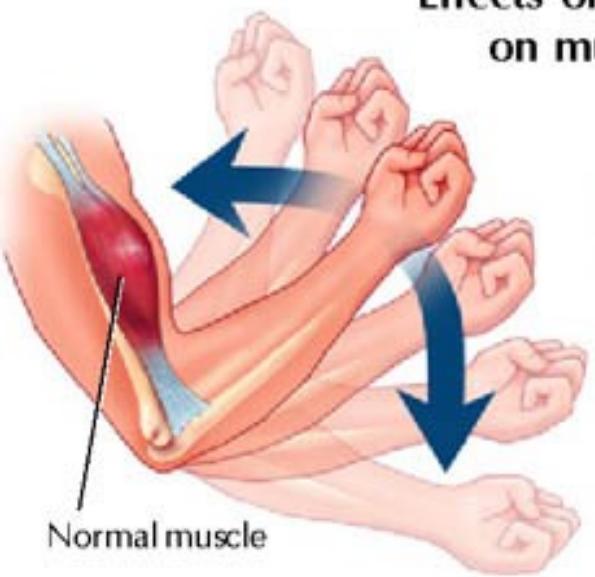
Active

Inactive



ADAM.

Effects of atrophy on muscle



Normal muscle

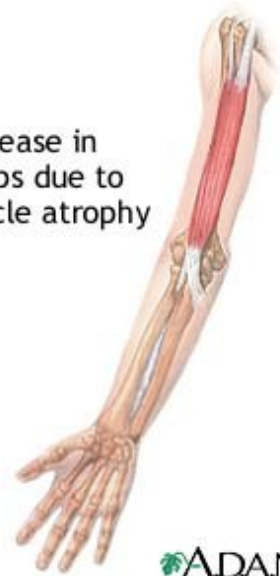


- Atrophied muscle:
- decreased size
 - decreased strength
 - decreased mobility

Normal biceps brachii muscle



Decrease in biceps due to muscle atrophy



ADAM.

Fig. 1

Definice silových schopností

Síla — maximální síla.

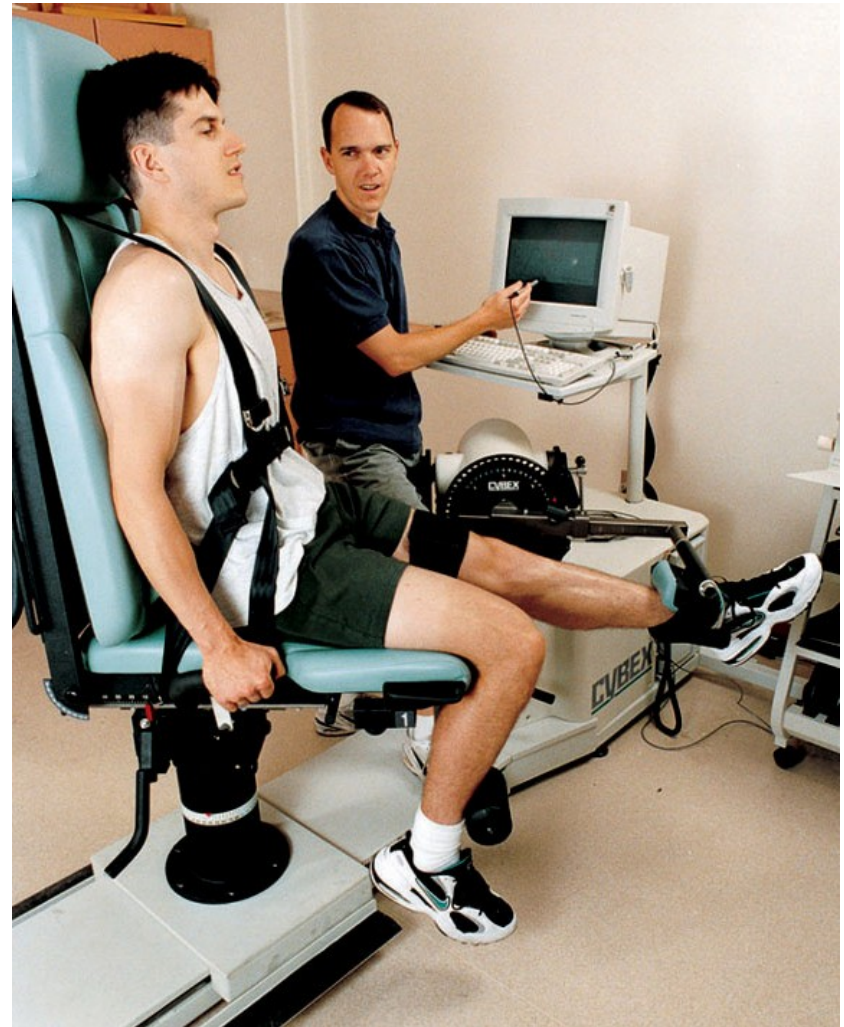
Výbušná síla — síla a rychlost pohybu.

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.



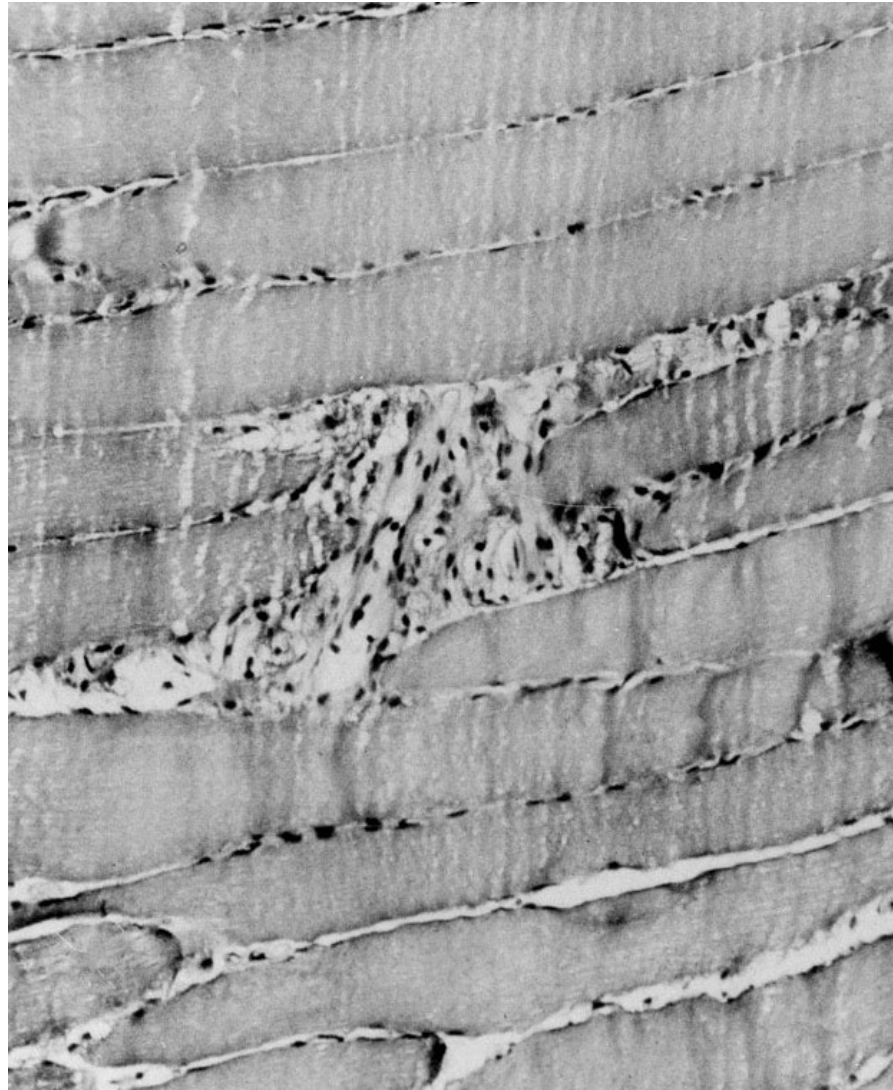
Základy posilovacího tréninku - faktory

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

Je možná změna svalových vláken?

- ◆ Dřívější studie ukázaly, že změna vláken není možná, pouze změna jejich vlastností.
- ◆ Studie křížení inervace ukázaly, 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

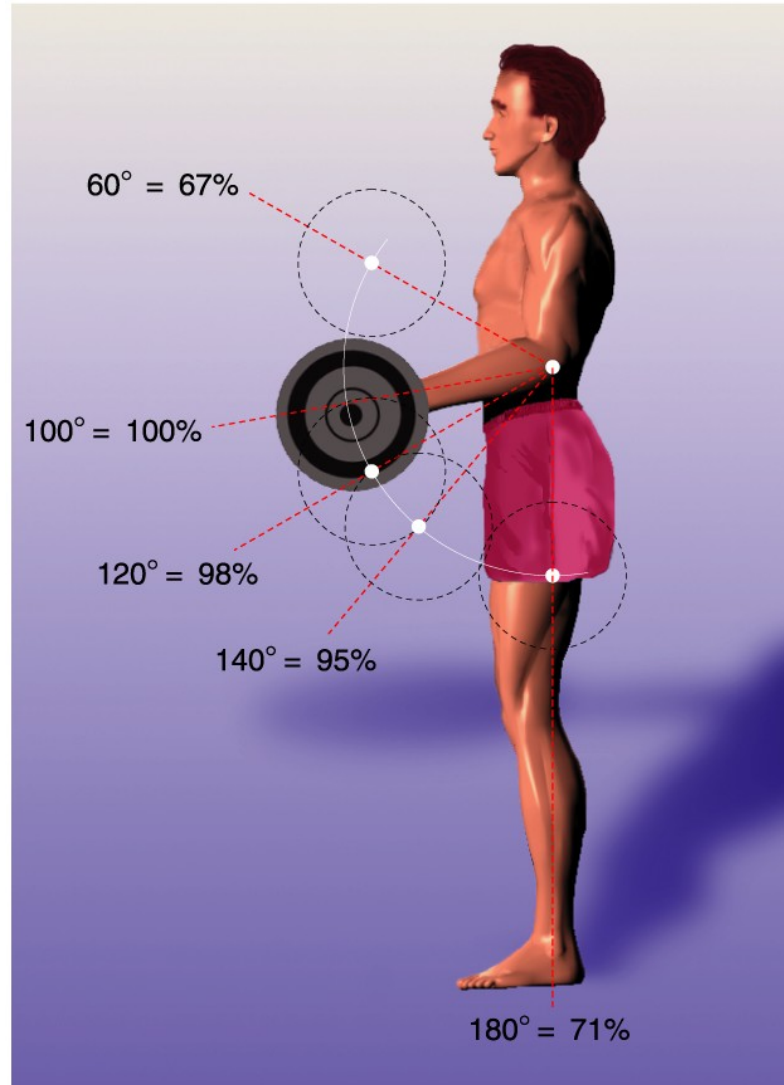
Trénink statické (izometrické) síly

Trénink dynamické síly

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

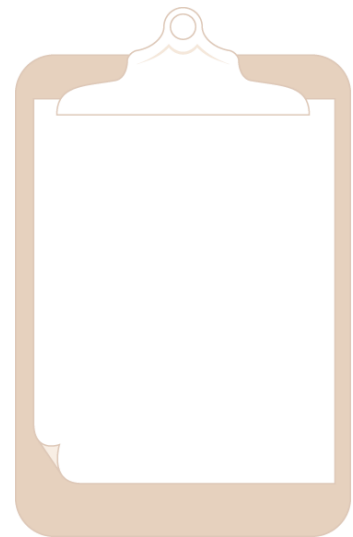
Elektrická stimulace svalu

RESISTANCE TRAINING ACTIONS



Potřebná analýza

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



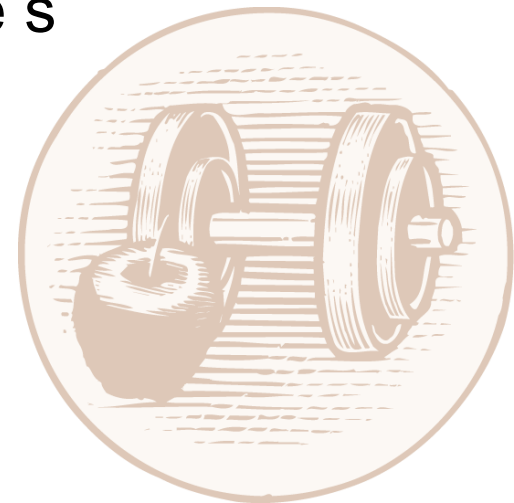
Výběr vhodného posilovacího tréninku

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

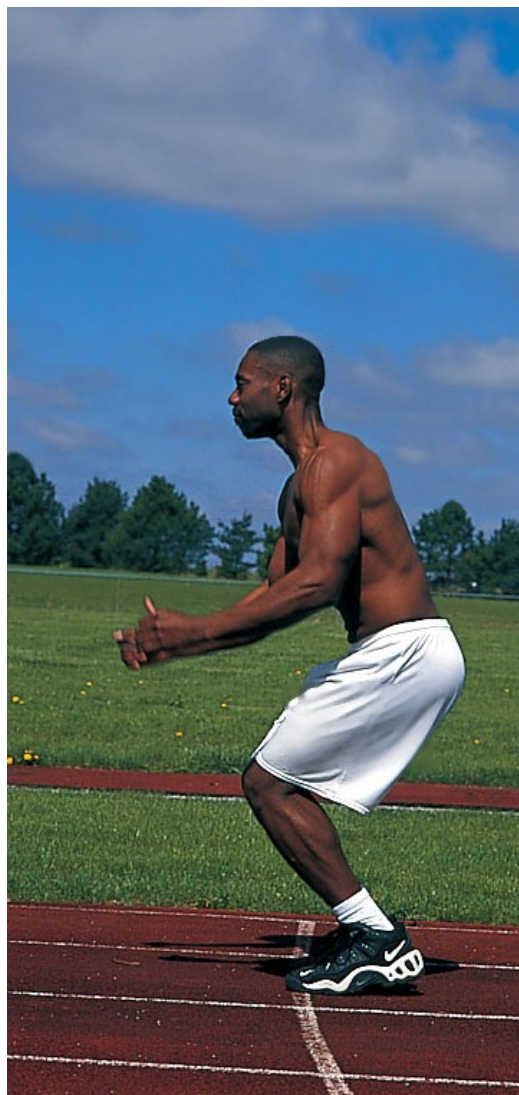
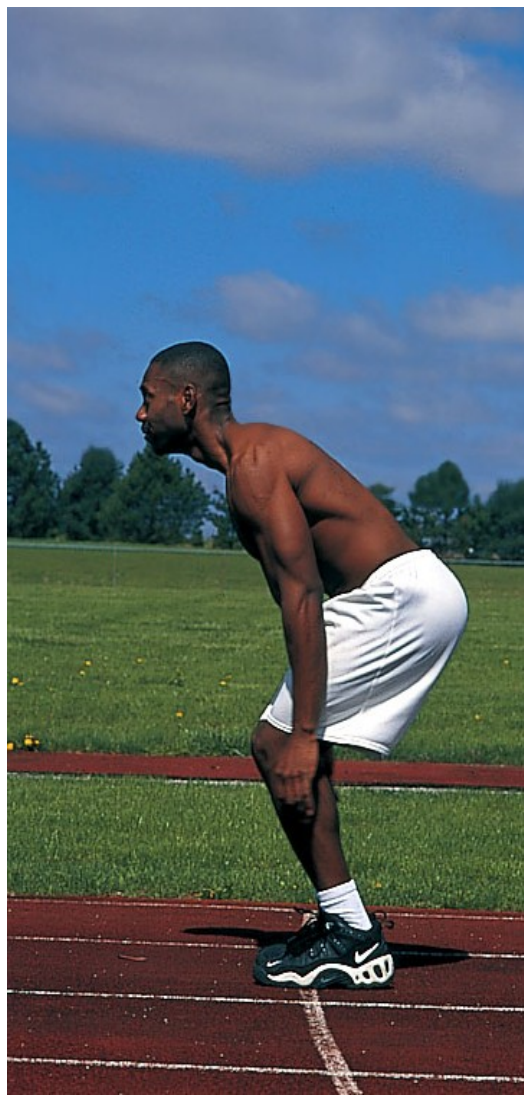
Vytrvalostní síla — hodně opakování s malým odporem (20 opakování), krátké přestávky

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

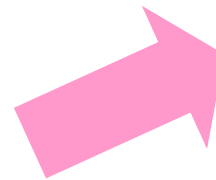
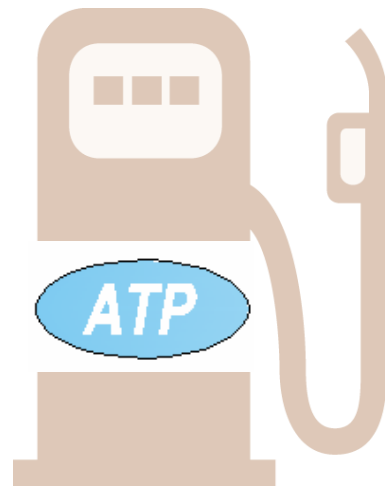
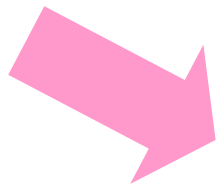
Intenzivní zatížení mladého rostoucího organismu však vede v některých případech snad vlivem androgenů z nadledvinek k omezení růstu dlouhých kostí do délky předčasnou osifikací chrupavčitých růstových zón mezi hlavicemi a tělem kostí. Kostí jsou potom širší a kratší.

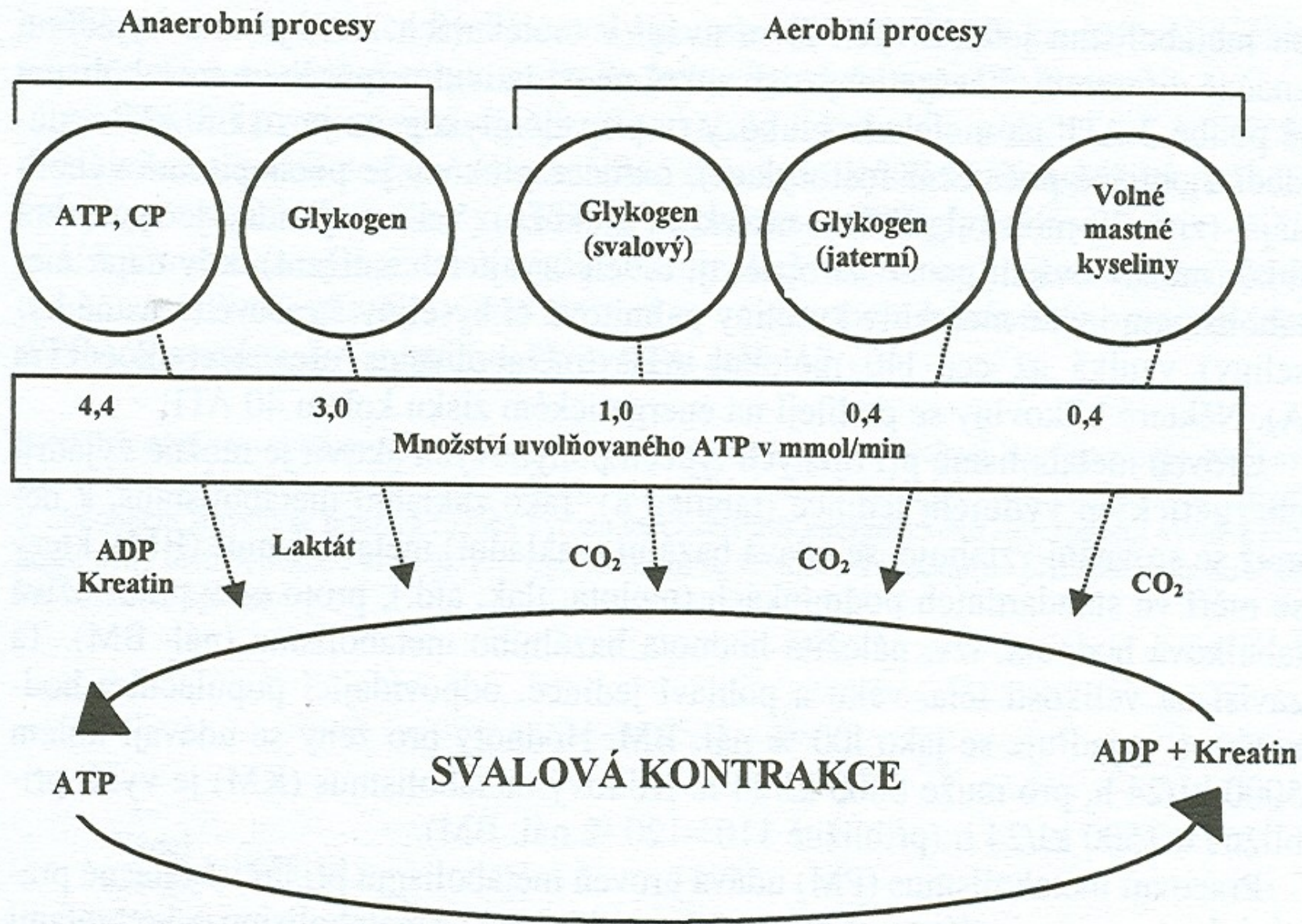
Adaptační změny – šlachy, vazy, kluby

Zvyšuje se obsah kolagenu a aktivita enzymů

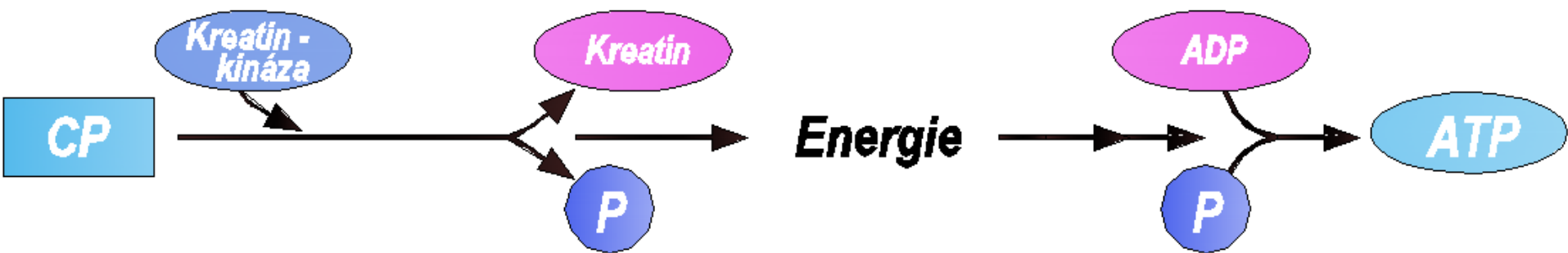
- ▶ Pojivová tkáň je dosti adaptivní
- ▶ Zatížení mění pozitivně tj. posiluje kosti, šlachy i vazy
- ▶ Trvalé přetěžování vede ke vzniku deformujících změn na kloubech, zánětům šlach, bolestem kostí

Energetické krytí

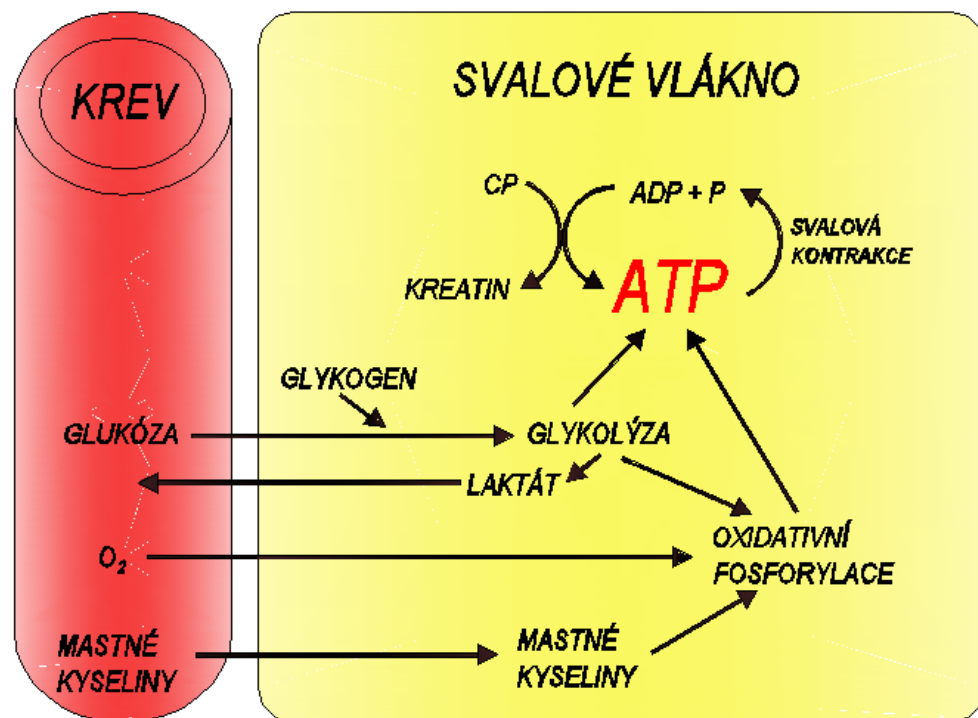




Obr. 16. Množství ATP (mmol/min) připadající při svalové kontrakci na jednotku času – informuje o rychlosti resyntézy ATP z ADP podle různých zdrojů a způsobů uvolňování energie a tím o rychlosti poskytování energie různými energetickými systémy (podle Neumann a kol. 1998)



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)