

# FYZIOLOGIE SVALŮ

PŘÍČNĚ PRUHOVANÉ SVALY

HLADKÉ SVALY

NERVOSVALOVÝ PŘENOS

METABOLISMUS SVALU

PROJEVY ČINNOSTI

SVALOVÁ SÍLA

SVALOVÁ PRÁCE a SVALOVÁ ÚNAVA

# FUNKCE SVALOVÉ TKÁNĚ

- slouží k pohybu a udržování polohy organismu v prostoru
- tvoří stěny dutých orgánů a umožňuje jejich funkce

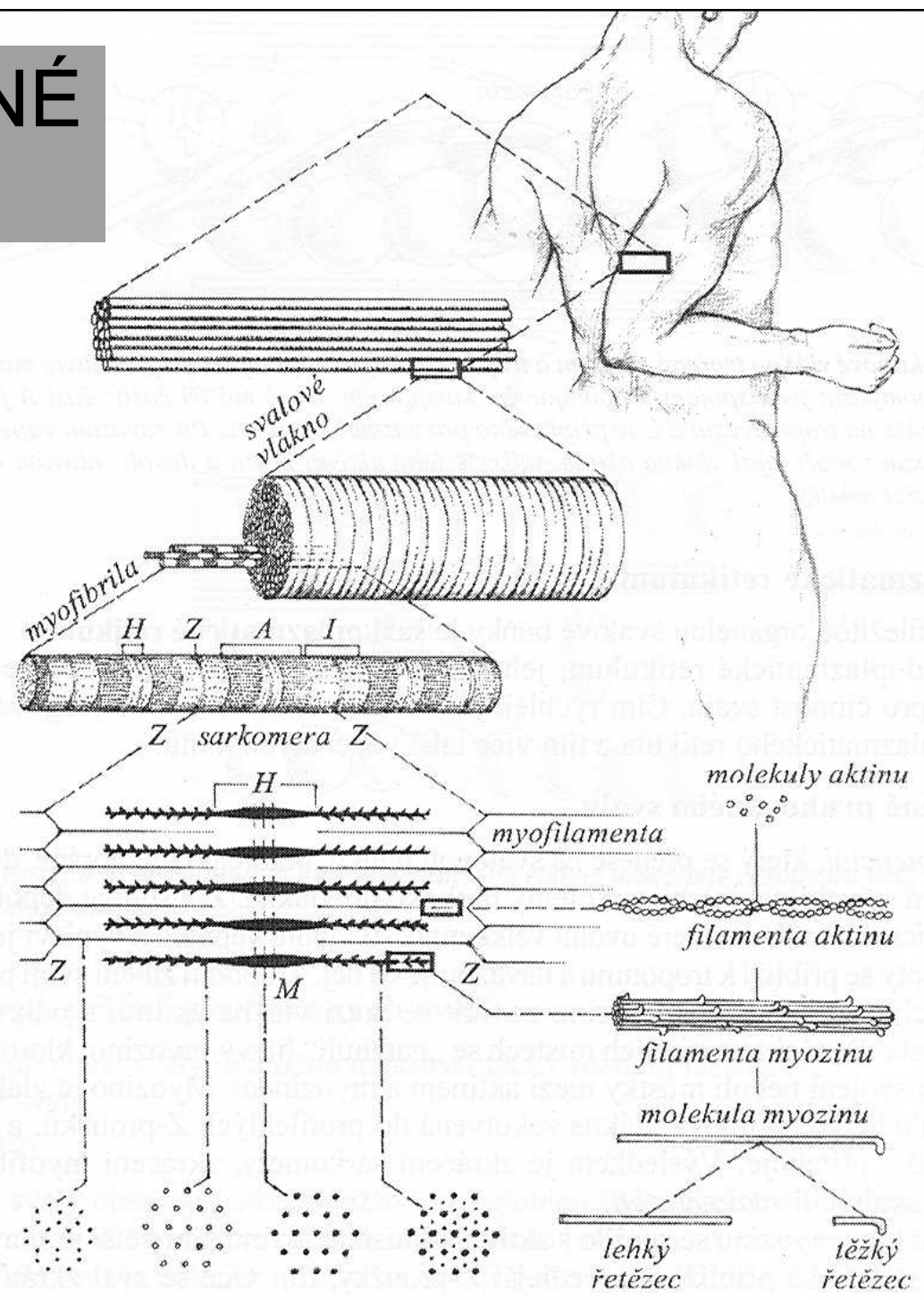
## FYZIOLOGICKÉ VLASTNOSTI SVALŮ

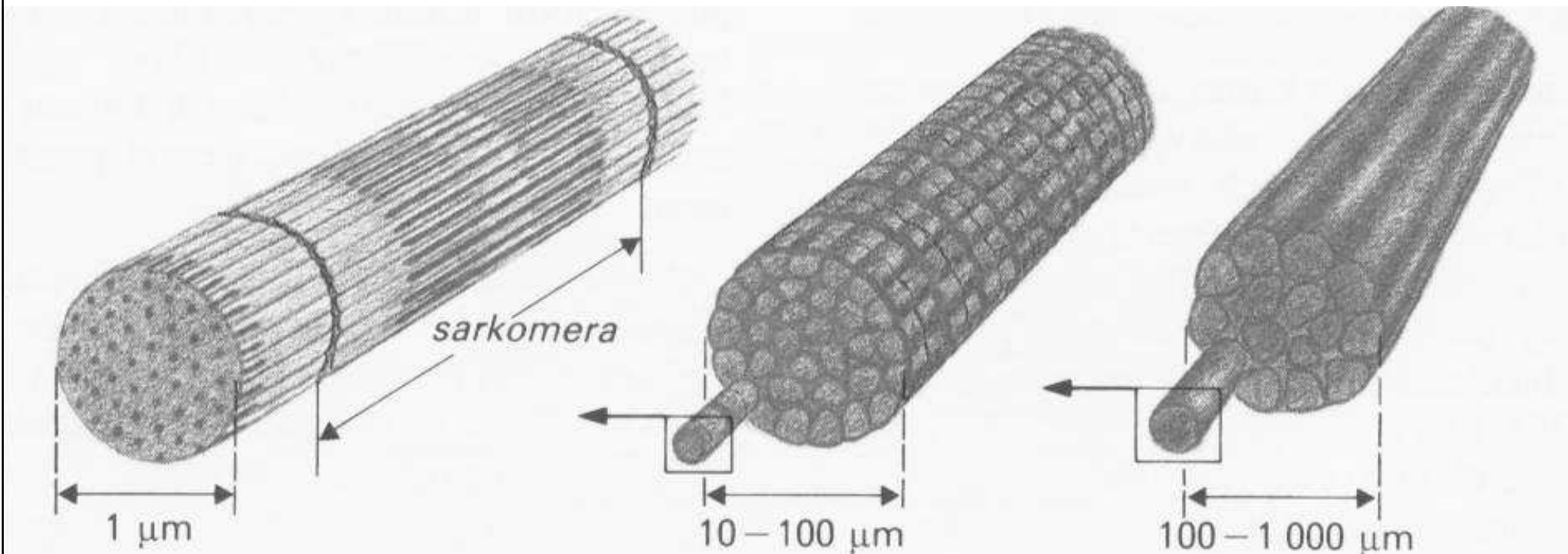
- dráždivost
- stažlivost

## FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI SVALŮ

- pružnost
- pevnost

# PŘÍČNĚ PRUHOVANÉ SVALSTVO





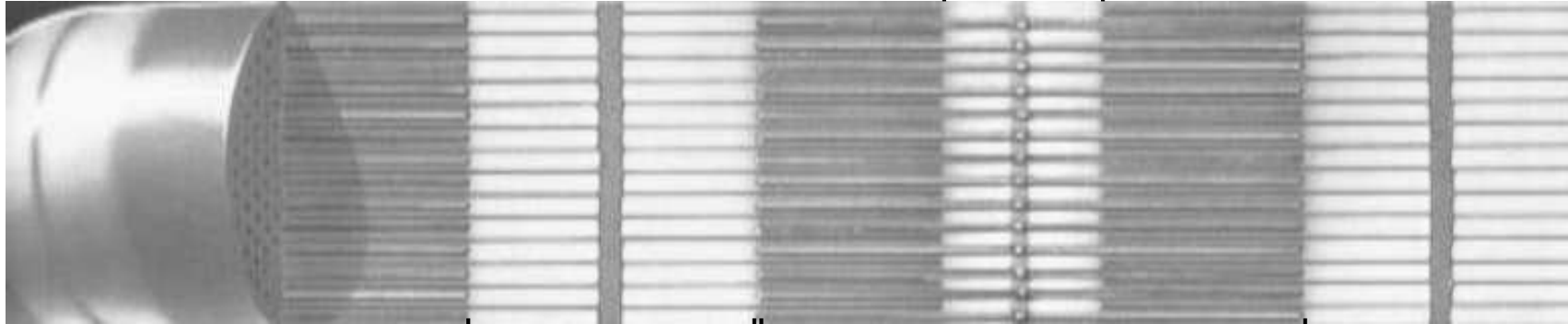
**myofibrila**

**svalové vlákno  
= buňka**

**svazek vláken**

sarkomera

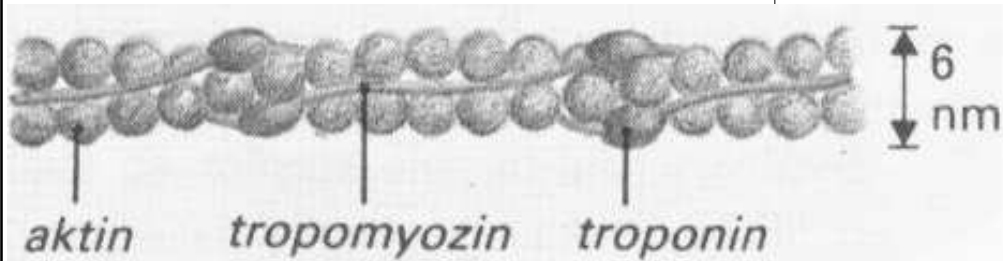
pruh H



pruh I

pruh A

linie Z



sarkomera

proužek H

~ 1,2 μm

ploténka Z

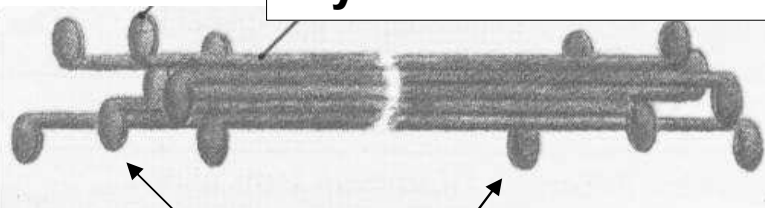
ploténka Z

aktinové filamentum

myozinové filamentum

proužek A 1,6 μm

myozinová molekula



myozinová hlavice

10 nm

6 nm

proužek I

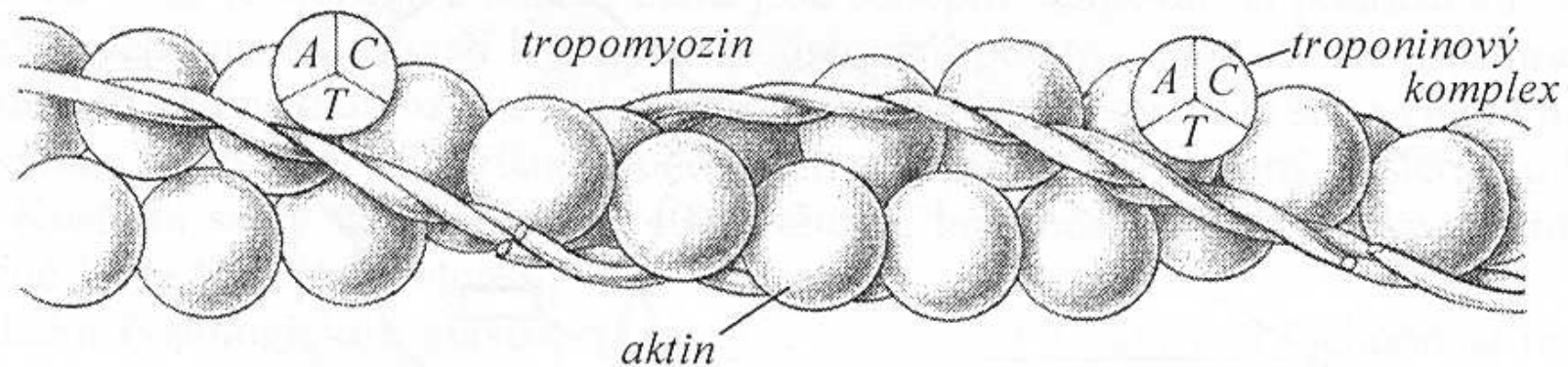
# AKTIN a MYOZIN = kontraktlní aparát svalu

## MYOZINOVÉ VLÁKNO

- tvoří myozinové molekuly, které jsou jedna do druhé zapleteny
- jedno vlákno tvoří více než 200 myozinových molekul
- hlavy odstupující z myozinového vlákna mají ATPázovou aktivitu a zajišťují energii pro svalový stah

## AKTINOVÉ VLÁKNO

- je tvořeno komplexem aktinu, tropomyozinu a troponinu
- aktin je dvojšroubovice s aktivními místy, krytými dvojšroubovicí tropomyozinu, která se otáčí mezi vlákny aktinu
- troponin je regulační bílkovina spojující aktinové a tropomyozinové vlákno a umožňují po navázání  $\text{Ca}^{2+}$  iontů aktivaci celého komplexu



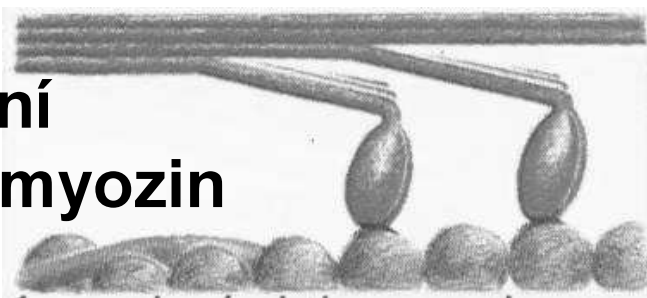
**Obr. 20.2 Aktinové vlákno tvořené aktinem a tropomyozinem.** Tropomyozin kryje aktivní místa na aktinu. Aktin a tropomyozin jsou spojeny troponinovým komplexem, který má tři části: část A je vázána na aktin, T se váže na tropomyozin a C je připraveno pro vazbu  $Ca^{2+}$  iontů. Po navázání vápenatých iontů se tropomyozin zanoří mezi vlákna aktinu, odkryje jeho aktivní místa a dovolí hlavám myozinových vláken vytvářet můstky.

# STAHL PŘÍČNĚ PRUHOVANÉHO SVALU

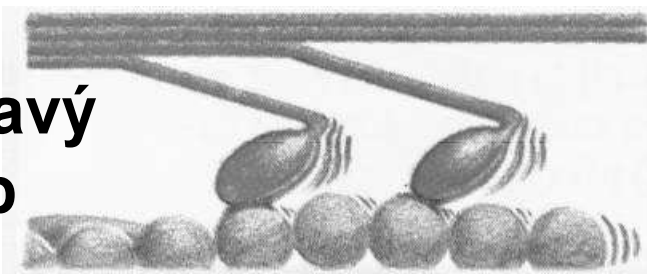
- akční potenciál putuje po membráně, depolarizuje ji a dostává se vchlípeninami sarkolemy hluboko do vlákna
- způsobuje depolarizaci sarkoplazmatického retikula, které uvolní velké množství iontů vápníků a vyplaví je do sarkoplazmy
- Ionty se přiblíží k troponinu a navážou se na něj
- troponin změní svoji prostorovou konfiguraci a umožní tropomyozinu zanořit se mezi vlákna aktinu, a odkrýt tak jeho aktivní místa
- po těchto aktivních místech se „natahují“ hlavy myozinu, kloužou po nich a vytvářejí spojení neboli můstky mezi aktinem a myozinem
- myozinové vlákno tak aktivně přitahuje dvě aktinová vlákna zakotvená do protilehlých Z proužků, a tím k sobě tyto proužky přitahuje
- výsledkem je zkrácení sarkomery, zkrácení myofibril a tím i svalu



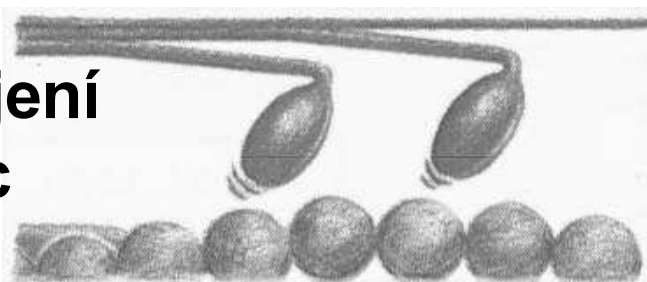
spojení  
aktin-myozin



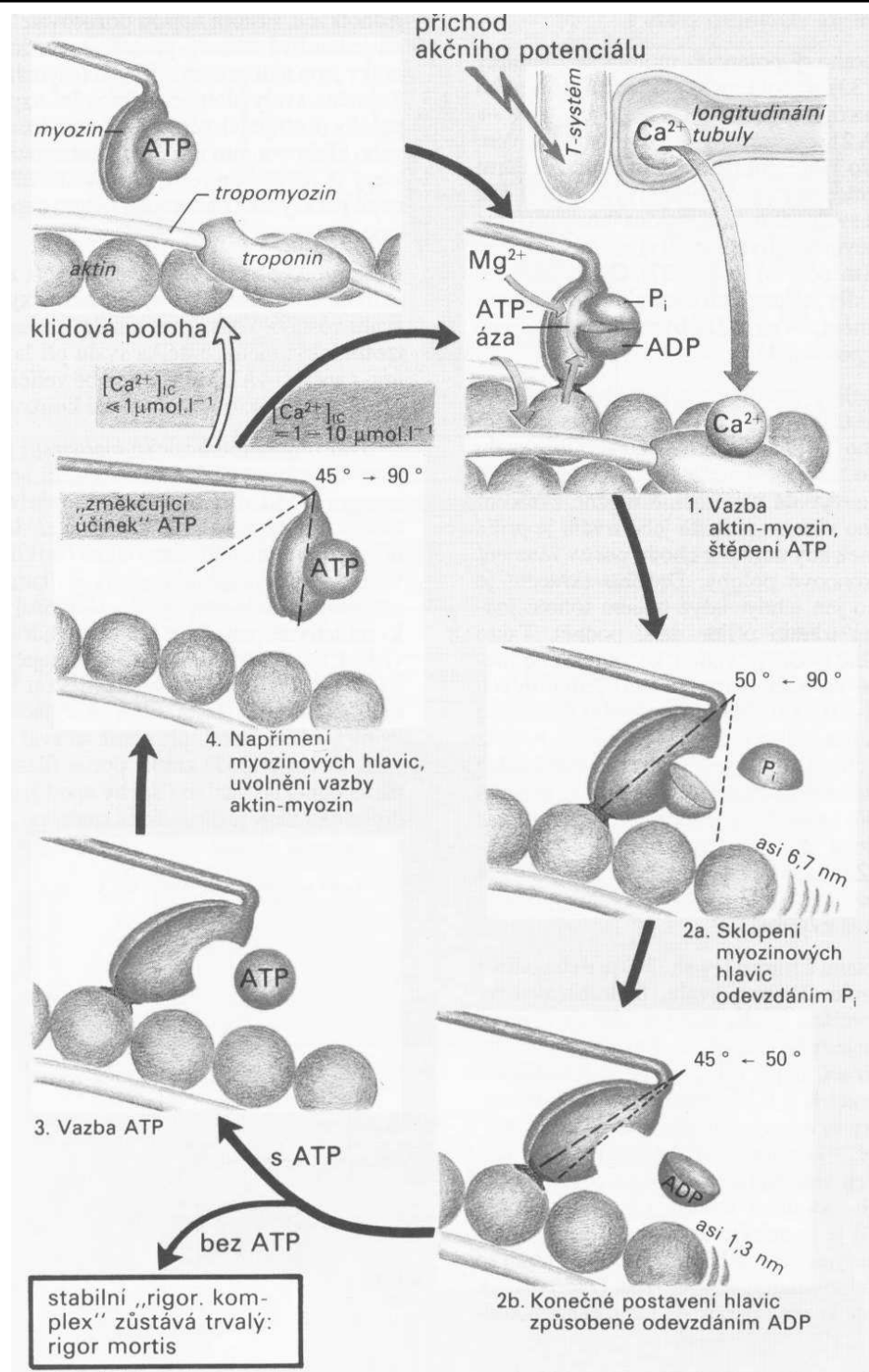
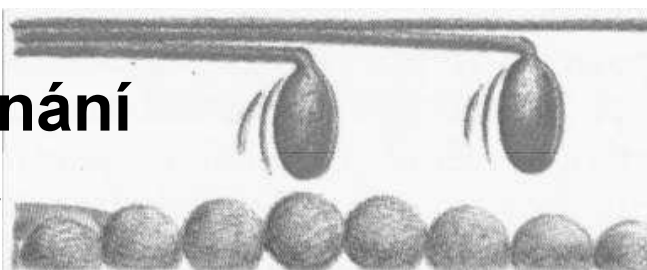
klouzavý  
pohyb



odpojení  
hlavic



narovnění  
hlavic



- čím více hlav myozinu se spojilo s aktivním místem aktinu, tím větší je svalová kontrakce
- čím více se k sobě přiblíží dva vedlejší Z-proužky, tím více se sval zkrátí
- sval se může maximálně zkrátit na 50-70% své klidové délky a prodloužit až na 180% klidové délky

# TYPOLOGIE SVALOVÝCH VLÁKEN

rezistentní k  
unavitelnosti

červené vlákno

typ I.

pomalé oxidativní  
vlákno  
(SO)

rezistentní k  
unavitelnosti

červené vlákno

typ II. A

rychlé oxidativně-  
glykolytické vlákno  
(FOG)

unavitelné

bílé vlákno

typ II. B

rychlé glykolytické  
vlákno  
(FG)

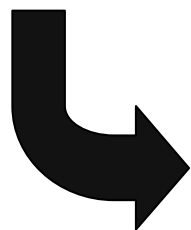
# TYPOLOGIE SVALOVÝCH VLÁKEN

rezistentní k  
unavitelnosti

červené vlákno

typ I.

pomalé oxidativní  
vlákno



- vysoký obsah myoglobinu
- bohatá na mitochondrie
- *obsahují méně glykogenů*
- obsahují více triacylglycerolů
- bohatá kapilární síť
- trvání kontrakce po impulsu až 100 ms

**VYTRVALOSTNÍ ZÁTĚŽ**

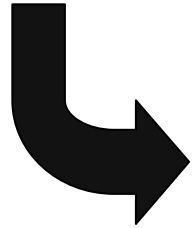
# TYPOLOGIE SVALOVÝCH VLÁKEN

unavitelné

**bílé vlákno**

typ II. B

rychlé glykolytické vlákno



- *nízký obsah myoglobinu*
- *nižší počet mitochondrií*
- *bohatá na glykogen*
- *nízký obsah triacylglycerolů*
- *řidší kapilární síť*
- *trvání kontrakce po impulsu 10 - 40 ms*

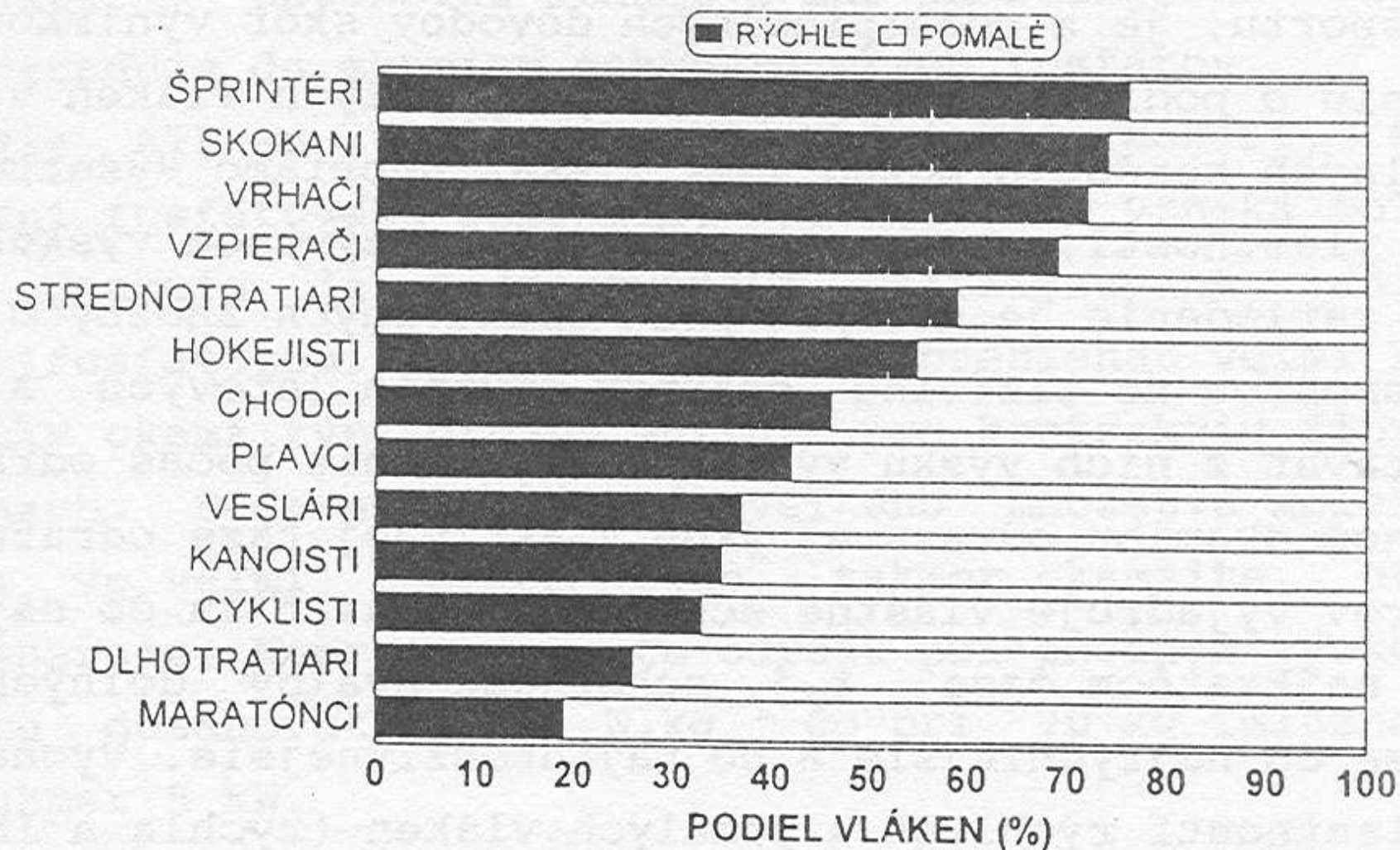
## **RYCHLOSTNÍ ZÁTĚŽ**

*rychlé silové kontrakce nedlouhého trvání*

# ZÁKLADNÉ VLASTNOSTI SVALOVÝCH VLÁKEN

VLASTNOSTI	Typ I pomalé červené pomalé oxidatívne	Typ IIa rýchle červené rýchle oxidatívne	Typ IIb rýchle biele rýchle glykolytické
Rýchlosť kontrakcie	pomalá	rýchla	rýchla
Sila kontrakcie	nizka	stredná	vysoká
Odolnosť voči únave	vysoká	stredná	vysoká
Obsah glykogénu	nizky	vysoký	vysoký
Priemer	malý	stredný	veľký
Hustota mitochondrií	vysoká	vysoká	nizka
Hustota kapilár	vysoká	vysoká	nizka
Aktivita ATP-ázy	nizka	vysoká	vysoká
Glykolytická kapacita	nizka	vysoká	vysoká
Koncentrácia myoglobínu	vysoká	nizka	nizka
Afinita troponinu ku Ca	nizka	vysoká	vysoká
Prah dráždivosti	nizky	stredný	vysoký

*Obr. 2.6. Základné charakteristiky rýchlych a pomalých vlákien*



*Obr. 2.9. Priemerný podiel rýchlych a pomalých vláken u športovcov rôznych špecializácií*

## MOTORICKÁ JEDNOTKA

- příčně pruhovaný sval je řízen motorickými nervovými vlákny z předních rohů míšních
- **motorická jednotka** je soubor svalových snopců, které jsou funkčně závislé na jednom motoneuronu

## MALÁ MOTORICKÁ JEDNOTKA

- 3 – 8 vláken
- např. okohybné svaly, drobné svaly ruky

## VELKÁ MOTORICKÁ JEDNOTKA

- 1500 – 2000 svalových snopců
- např. antigravitační svaly



# HLADKÉ SVALY

- jednotkou hladkého svalu je vřetenovitá svalová buňka s jedním jádrem
- je prostupná rozptýlenými aktinovými a myozinovými vlákny, takže se netvoří proužkování
- aktinová vlákna v buňce hladkého svalu neobsahují troponin a jsou zakotvena do pevných aktinových tělísek, která nahrazují Z-proužek
- tato tělíška jsou buď volně rozptýlena v cytoplazmě, nebo jsou spojena sarkolemou

## STAH HLADKÉHO SVALU

- po aktivaci myozinu se myozinové hlavy navážou na aktivní místa aktinu, přitahují k sobě aktinová tělíška, a tak uskutečňují stah buňky

## TYPY HLADKÉHO SVALU

### VÍCEJEDNOTKOVÝ HLADKÝ SVAL

- je složen z několika na sobě vzájemně nezávislých buněk, které mají každá zvláštní inervaci a které se mohou kontrahovat každá zvlášť; nemají schopnost automacie
- např. musculus ciliaris

### ÚTROBNÍ HLADKÝ SVAL

- je tvořen sty až miliony buněk, které jsou velmi těsně spojeny a chovají se jako jeden celek; mají schopnost automacie
- např. stěny orgánů, děloha, cévy, trávicí ústrojí

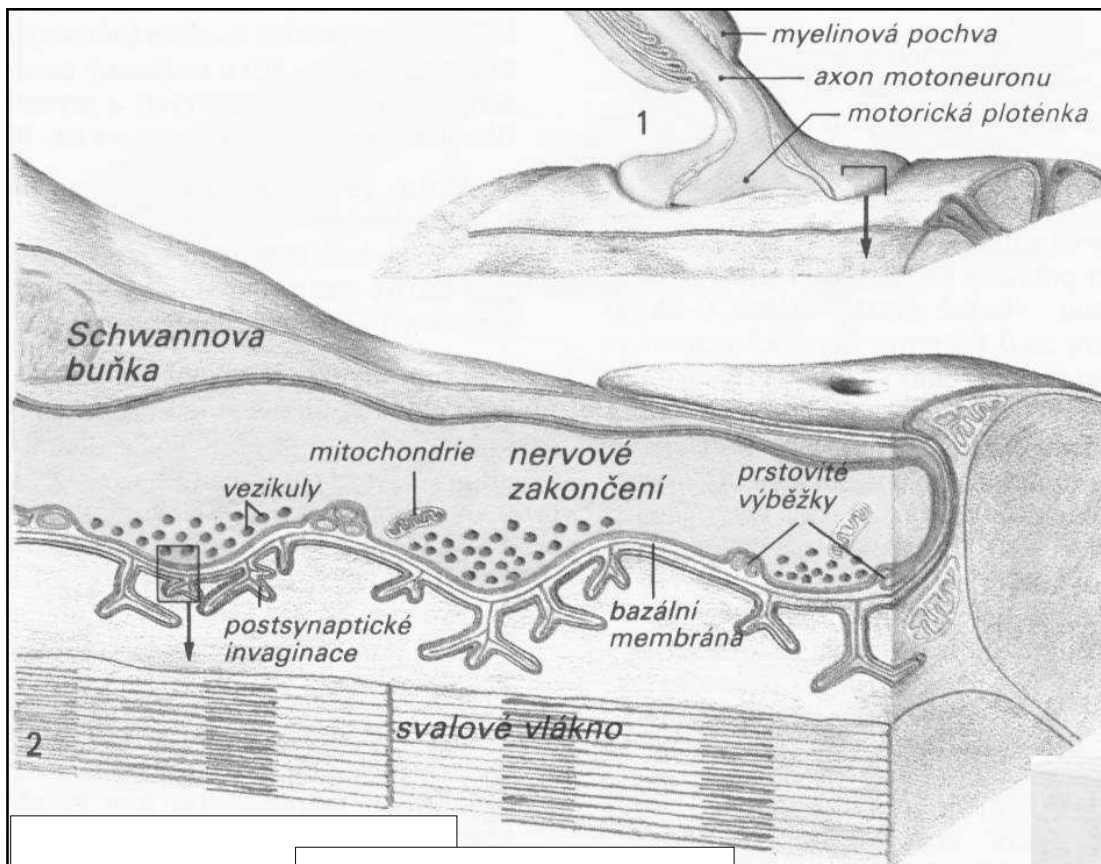
# NERVOSVALOVÝ PŘENOS

## KOSTERNÍ SVAL

### NERVOSVALOVÁ PLOTÉNKA

- v nervové části ploténky se hromadí váčky s mediátorem, které se při průchodu akčního potenciálu nervovým vláknem otevřou do synaptické štěrbině
- mediátor se vyplaví a naváže na postsynaptické receptory
- mediátorem je acetylcholin
- navázání mediátoru na receptor způsobí v postsynaptické membráně otevření kanálů pro sodné ionty, a vyvolá tak vznik akčního potenciálu svalové buňky
- tento potenciál se šíří po celé svalové buňce a T-tubuly je odváděn také k hlubším strukturám
- po aktivaci sarkoplazmatického retikula se do sarkoplazmy vylijí ionty  $\text{Ca}^{2+}$ , které se navážou na troponin, a tím umožní kontrakci

- acetylcholin se po přenosu impulzu uvolňuje z receptoru a odbourává v synaptické štěrbině enzymem acetylcholinesterázou



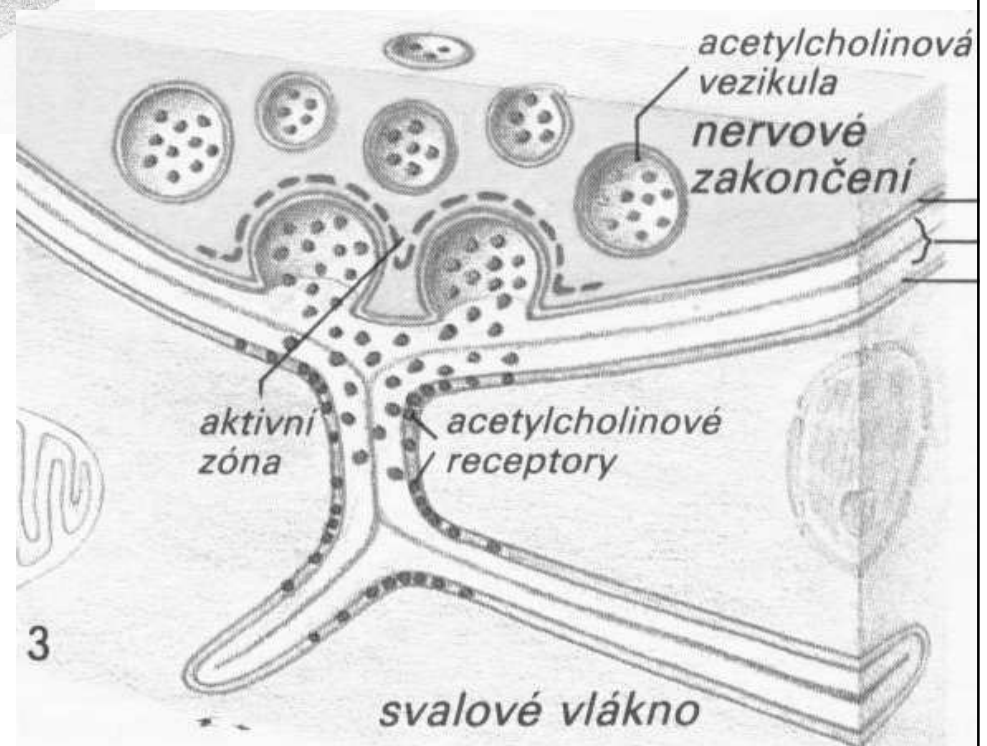
## MOTORICKÁ JEDNOTKA

počet vláken  
inervovaných jedním  
motoneuronem

## MOTORICKÁ PLOTÉNKA

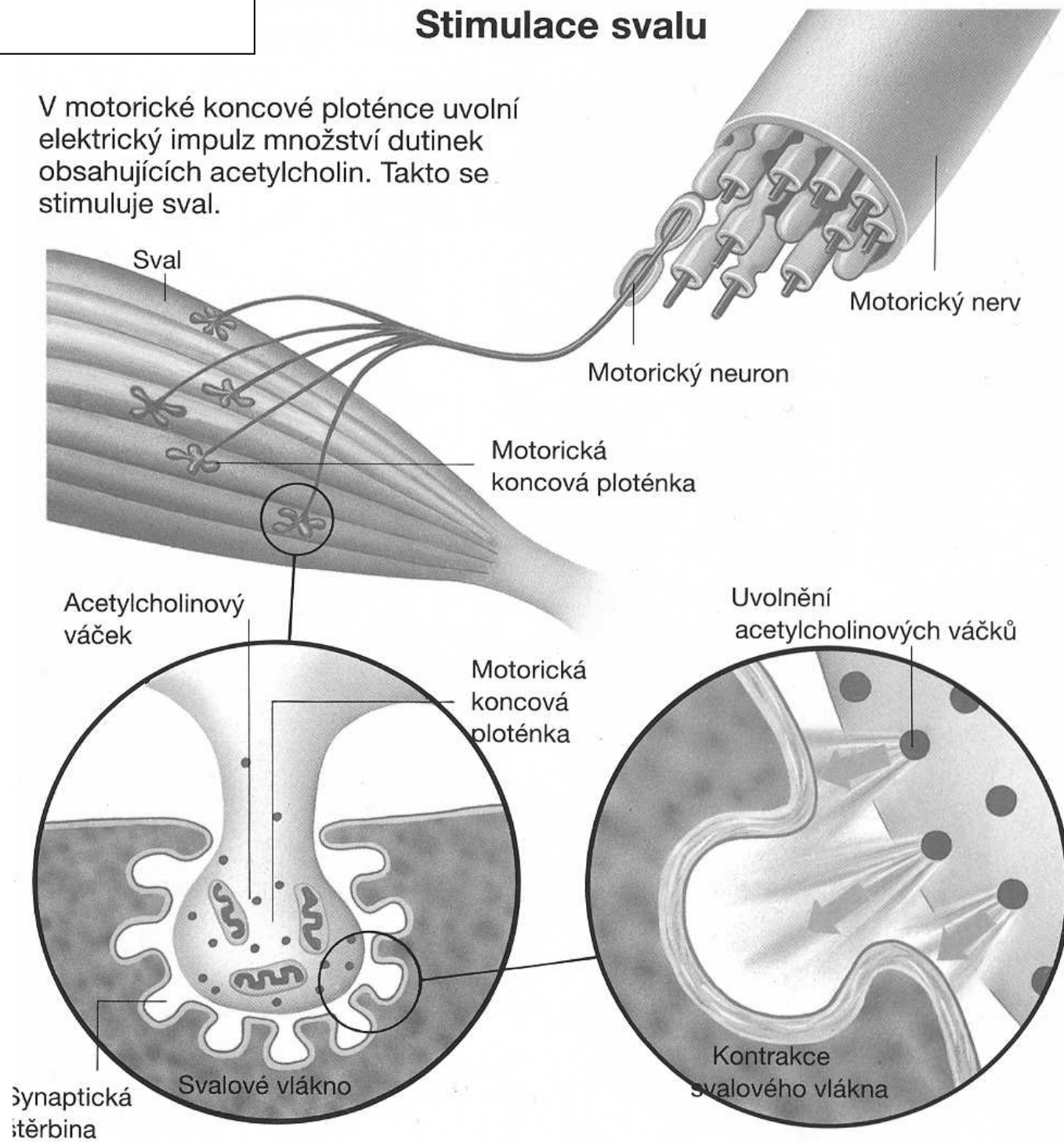
(*synapse*)

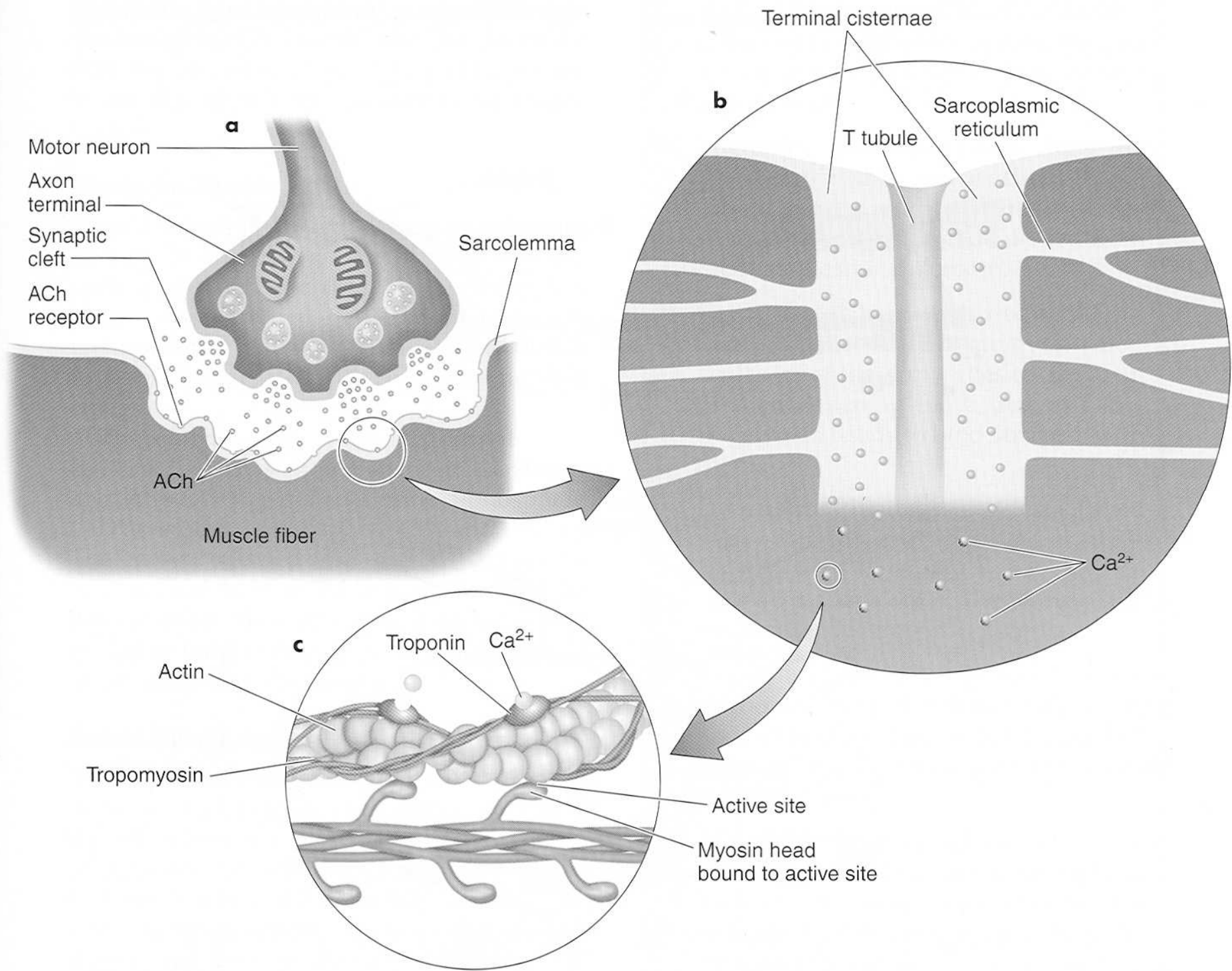
přenos vzruchu  
motoneuronu na  
svalové vlákno



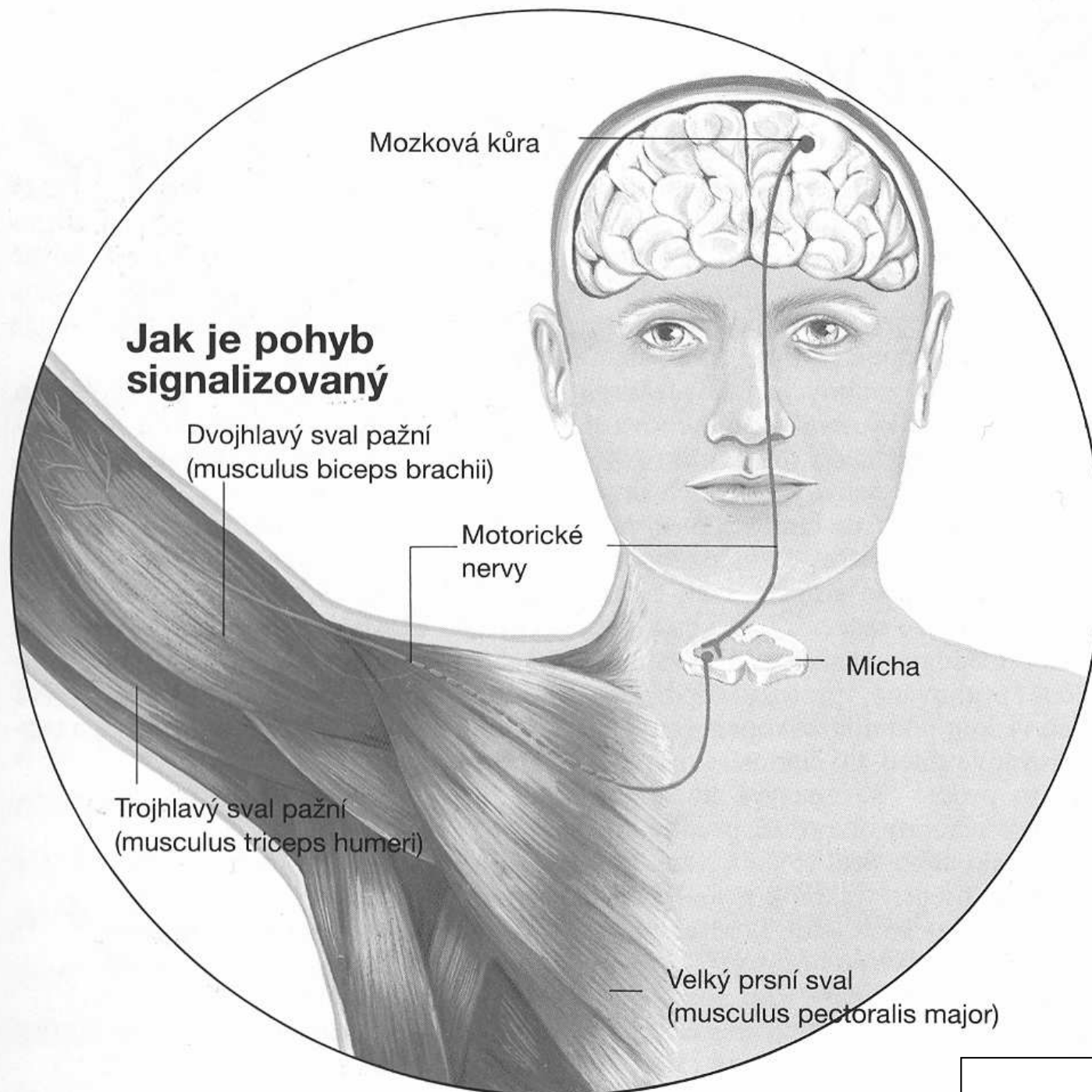
# Stimulace svalu

V motorické koncové ploténce uvolní elektrický impulz množství dutinek obsahujících acetylcholin. Takto se stimuluje sval.





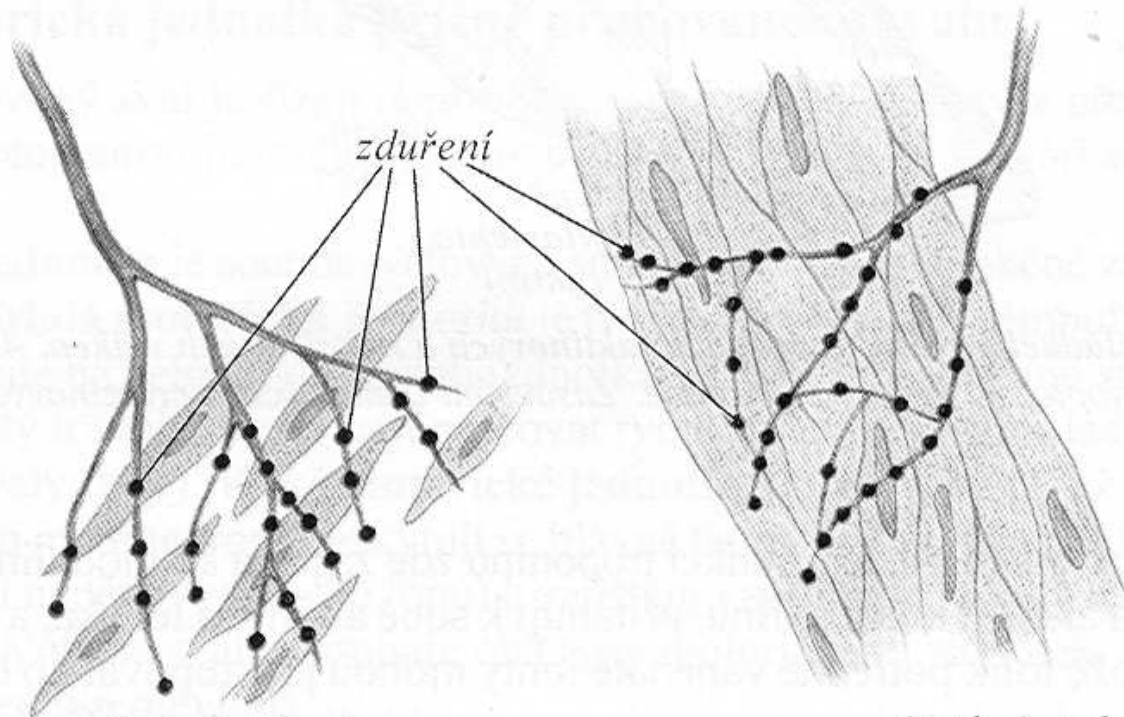
## Jak je pohyb signalizovaný





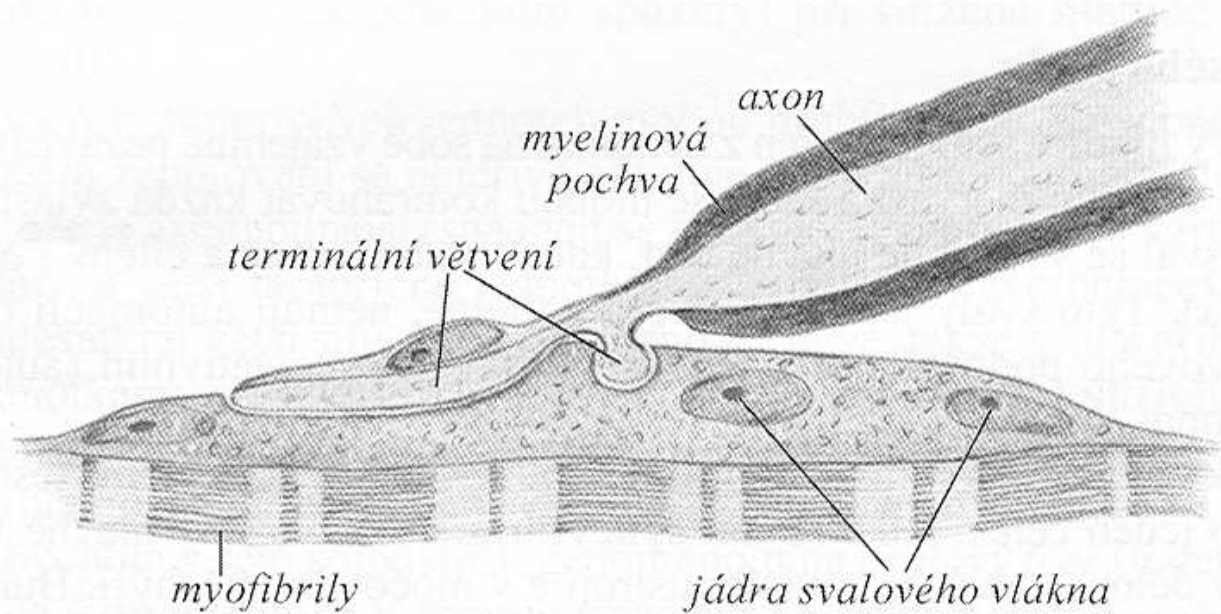
# HLADKÝ SVAL

- na hladkých svalech nejsou vytvořeny speciální struktury pro přenos impulzu
- vegetativní vlákna, jež hladké svaly inervují, se v blízkosti hladkých svalových buněk mohutně větví a na zakončeních vytvářejí terminální zduření (varikozity), která obsahují vezikuly s mediátorem
- receptory pro mediátory jsou přítomny na celé membráně hladkého svalu a při průchodu akčního potenciálu se vyplavený mediátor rozlije po celém jeho povrchu
- navázáním mediátoru na receptory vznikne akční potenciál na hladkém svalu
- mediátory vegetativního nervstva, které výhradně inervuje hladké svaly, jsou noradrenalin a acetylcholin



vícejednotkový  
sval

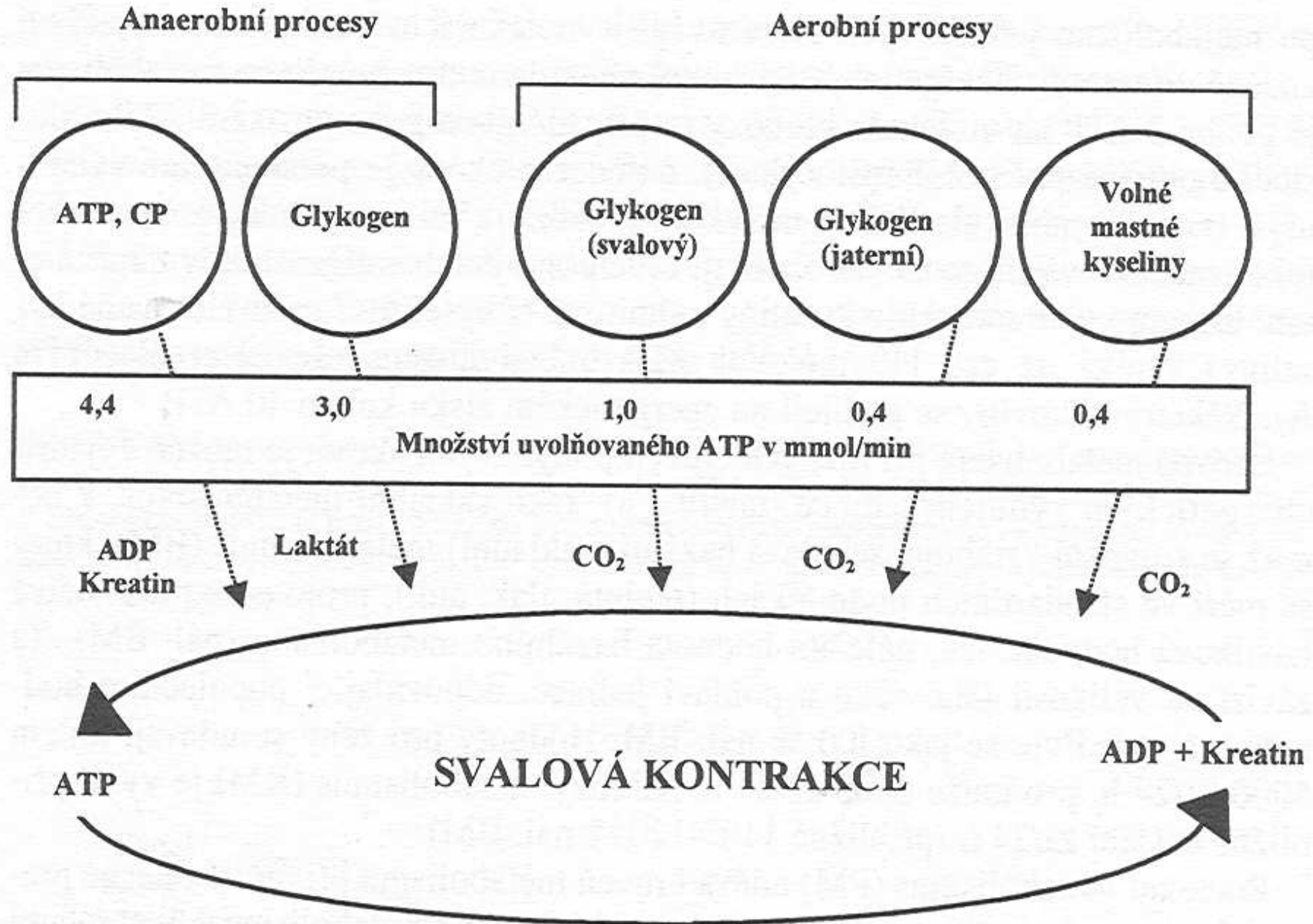
útrobní sval



myofibrily

jádra svalového vlákna

# METABOLISMUS SVALU



# ZDROJE ENERGIE PRO SVALOVOU KONTRAKCI

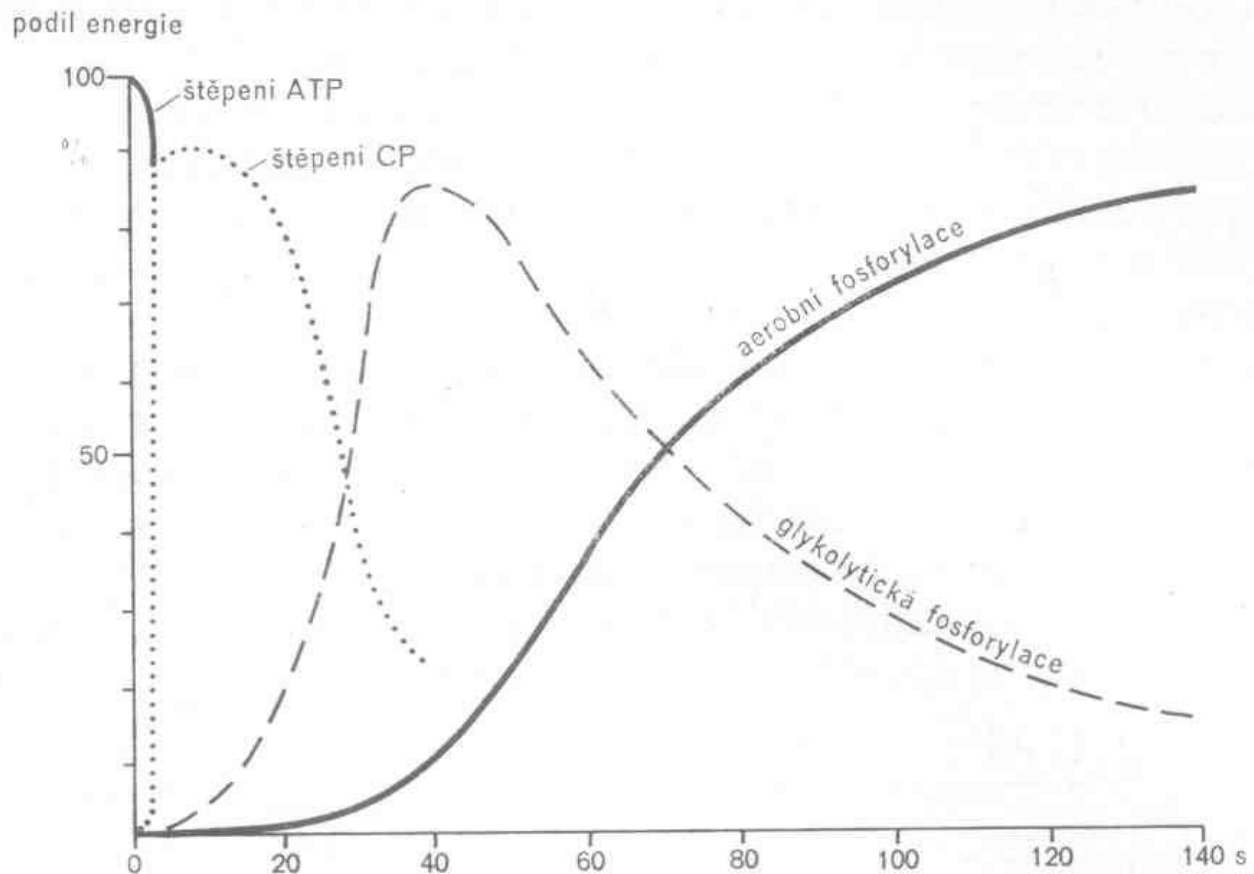
- glycidy, lipidy, proteiny
- štěpí se, eventuálně transformují v produkty intermediárního metabolismu, získáváme z nich ATP
- při málo intenzivní práci čerpána energie ze všech zdrojů
- při intenzivní svalové činnosti jsou hlavním zdrojem cukry

- zásoby ATP na několik vteřin (21-33kJ)
- ATP se neustále obnovuje z CP a z štěpení živin – glycidy, tuky, bílkoviny
- Zásoby:
  - cukry (glykogen 350g – 550g)
  - tuky (5 – 20g)
  - bílkoviny (jako zdroje výjimečně)

# PÁSMA ENERGETICKÉHO KRYTÍ

intenzita zatížení	trvání výkonu	převážné využití	tvorba laktátu	svalová vlákna
rychlostní (max.)	<b>Anaerobní alaktátové</b>		malá	II B
rychlostně-vytr. (submaximální)	15 – 50 s	ATP, CP, anaerobní	maximální	II B a II A
krátkodobá	do 120 s	<b>Anaerobní laktátové</b> anaerobní a aerobní gl.	submax.	II B a II A
střední	do 10 min	aerobní glykolýza	střední a <	II A
dlouhodobá	nad 10 min	<b>Aerobní alaktátové</b> aerobní gl., později tuky	malá	I

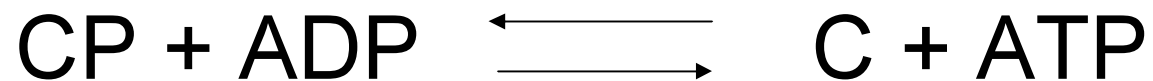
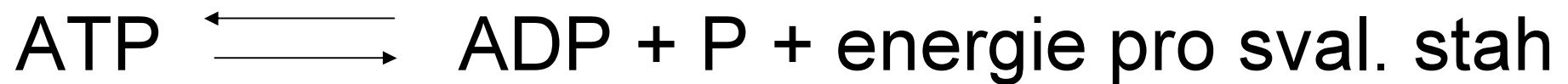
## Podíl energetického krytí v závislosti na trvání zátěže [%]



čas	10s	30s	60s	2m	4m	10m	30m	60m	120m
ANA %	90	80	70	50	35	15	5	2	1
AE %	10	20	30	50	65	85	95	98	99

(Placheta et al., 2001)

# ALAKTÁTOVÝ NEOXIDATIVNÍ ZPŮSOB





# LAKTÁTOVÝ NEOXIDATIVNÍ ZPŮSOB

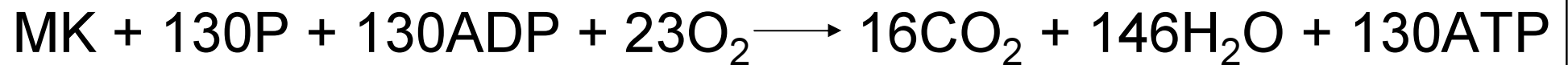
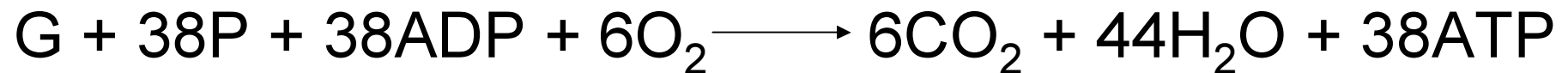


G....glykogen

- metabolická acidóza
- hladina LA v krvi

# OXIDATIVNÍ ZPŮSOB

- nedochází k tvorbě laktátu



PROJEVY ČINNOSTI SVALSTVA

PROJEVY MECHANICKÉ

PROJEVY ELEKTRICKÉ

PROJEVY STRUKTURÁLNÍ

PROJEVY CHEMICKÉ

PROJEVY TEPELNÉ

# PROJEVY MECHANICKÉ

STAH

RELAXACE

- mechanické projevy činnosti svalu se zaznamenávají myograficky

**KONTRAKCE**

**METRIE (DÉLKA)**

**IZO (STEJNÁ) ANIZO (NESTEJNÁ)**  
**STATICKÁ DYNAMICKÁ**

**TONUS (NAPĚTÍ)**

**IZO (STEJNÉ)**

**IZOTONICKÉ**

**IZOMETRICKÁ ANIZOMETRICKÁ**

**ANIZO (NESTEJNÉ)**

**ANIZOTONICKÉ**

**KONCENTRICKÁ EXCENTRICKÁ**

# PROJEVY ELEKTRICKÉ

- membrána každého svalového vlákna je stejně jako u jiných buněk polarizována z vnitřní strany buňky negativně a na povrchu pozitivně
- tento vzniklý klidový potenciál se po stimulaci mění na akční potenciál, který se pak šíří po svalovém vlákně a vyvolává kontrakci
- příčinou vzniku akčního potenciálu ve svalovém vlákně jsou změny v propustnosti membrány pro ionty sodíku, draslíku a případně vápníku v závislosti na podnětu

# PROJEVY STRUKTURÁLNÍ

- Spočívají v zasouvání vláken aktinu mezi vlákna myozinu

# PROJEVY CHEMICKÉ

- aby mohl sval pracovat, potřebuje energii, všechny chemické změny vedoucí k využití energie svalem jsou zahrnuty do chemických projevů činnosti svalstva



# PROJEVY TEPELNÉ

- účinnost svalové práce je nízká, přibližně 20-25%, část energie se vždy ztrácí v podobě tepla
- teplo, které se vytváří, vzniká v okamžicích, kdy ve svalu probíhá nějaký aktivní děj, při němž se spotřebovává energie

TEPLO INICIAČNÍ

TEPLO KONTRAKČNÍ

TEPLO RELAXAČNÍ

## SVALOVÁ SÍLA

- je maximální hmotnost, kterou sval udrží v rovnováze proti gravitaci
- měří se dynamometry (siloměry)

## SVALOVÁ PRÁČE

- je svalová síla působící po určité dráze
- jednotkou je Joule (J)

STATICKÁ

DYNAMICKÁ

# SVALOVÁ ÚNAVA

- dlouhá a silná nebo opakovaná svalová kontrakce vyvolává svalovou únavu
- stupeň únavy odpovídá snížení zásob glykogenu, zvýšené hladině kyseliny mléčné, sníženému pH ve tkáni a změně prokrvení
- svalová únava je signál pro přerušování práce, než dojde k úplnému vyčerpání a případně poškození svalu
- odolnost vůči únavě se dá zvyšovat tréninkem, při němž sval postupně přizpůsobuje svůj metabolismus zvýšené zátěži