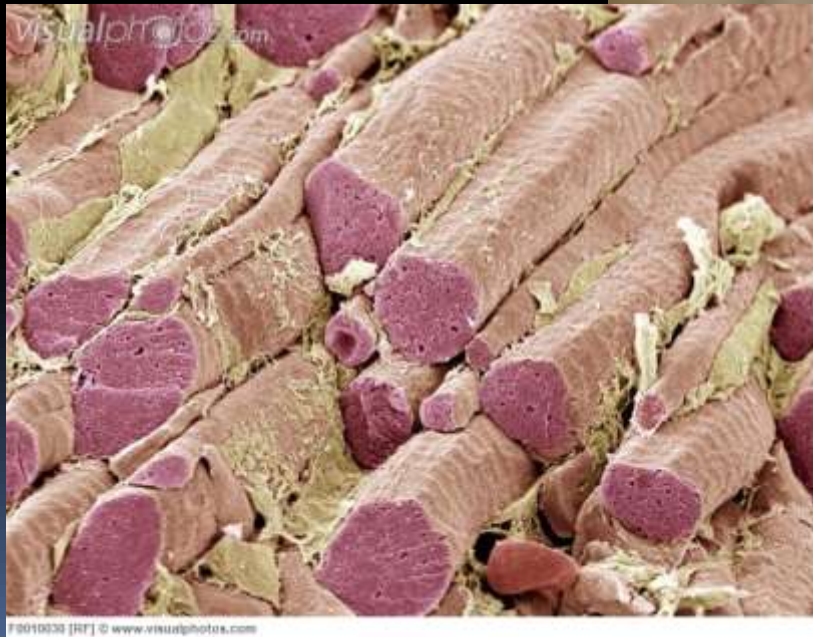
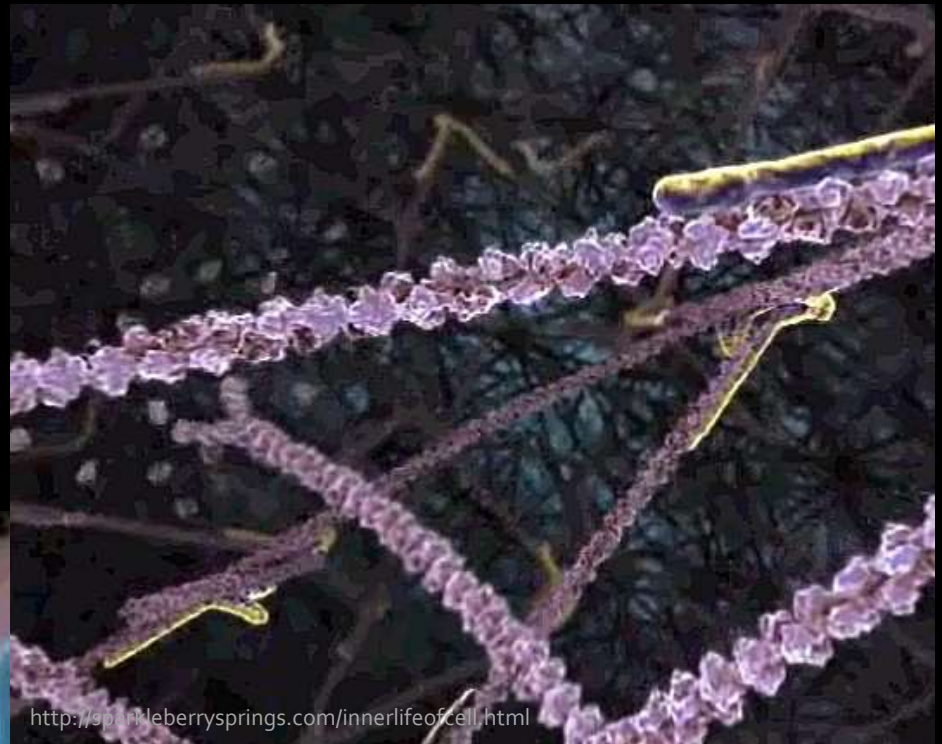


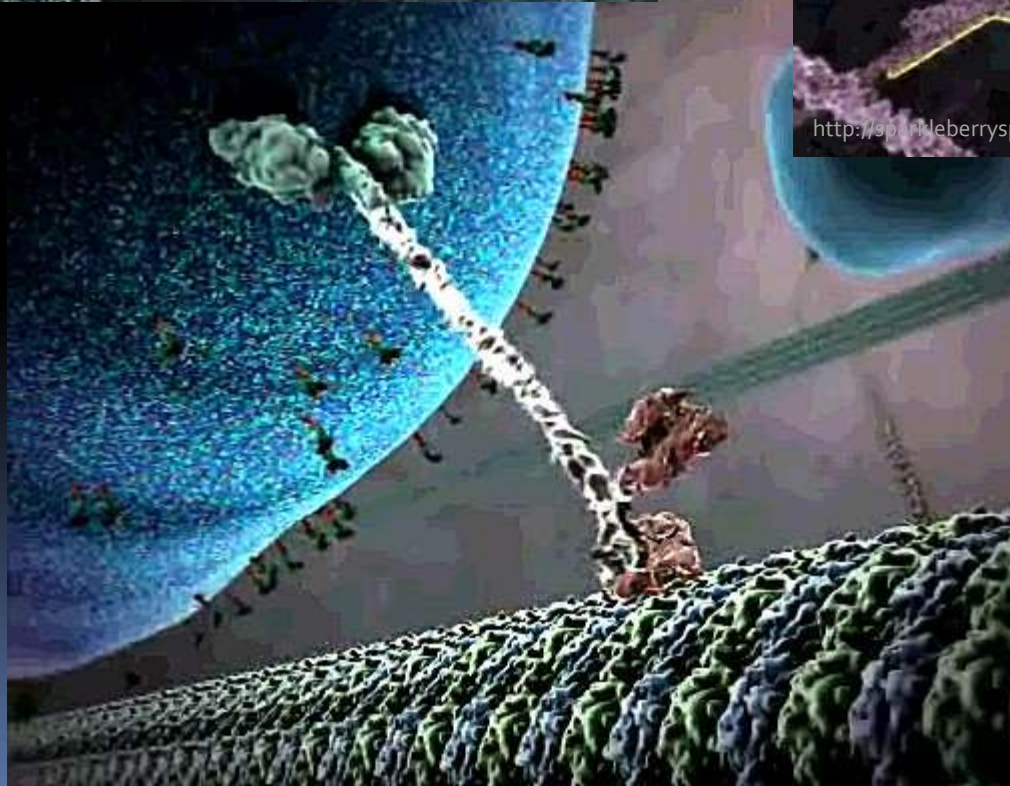
# Pohyb a svaly



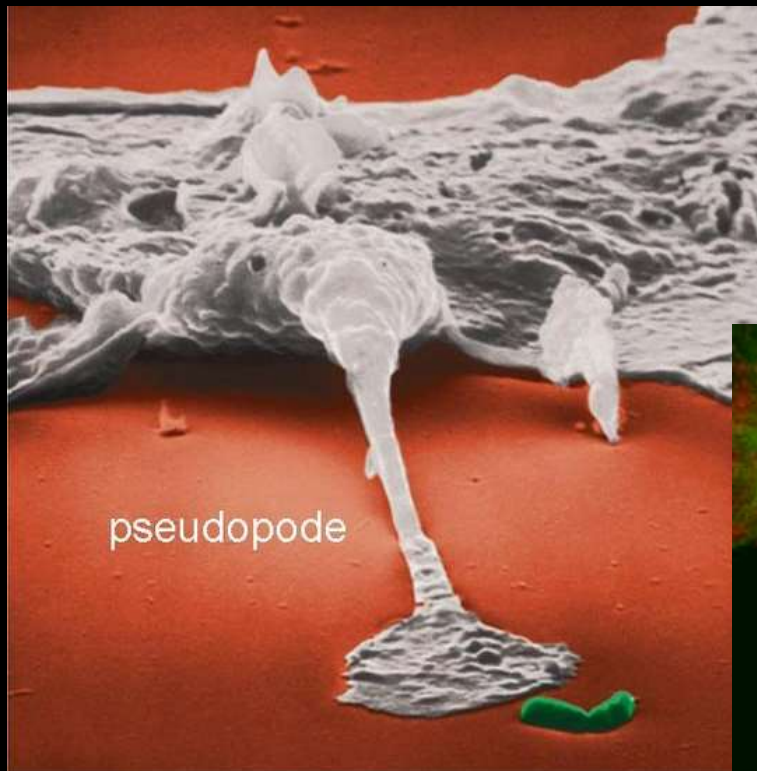
Jeden ze základních rysů  
života.



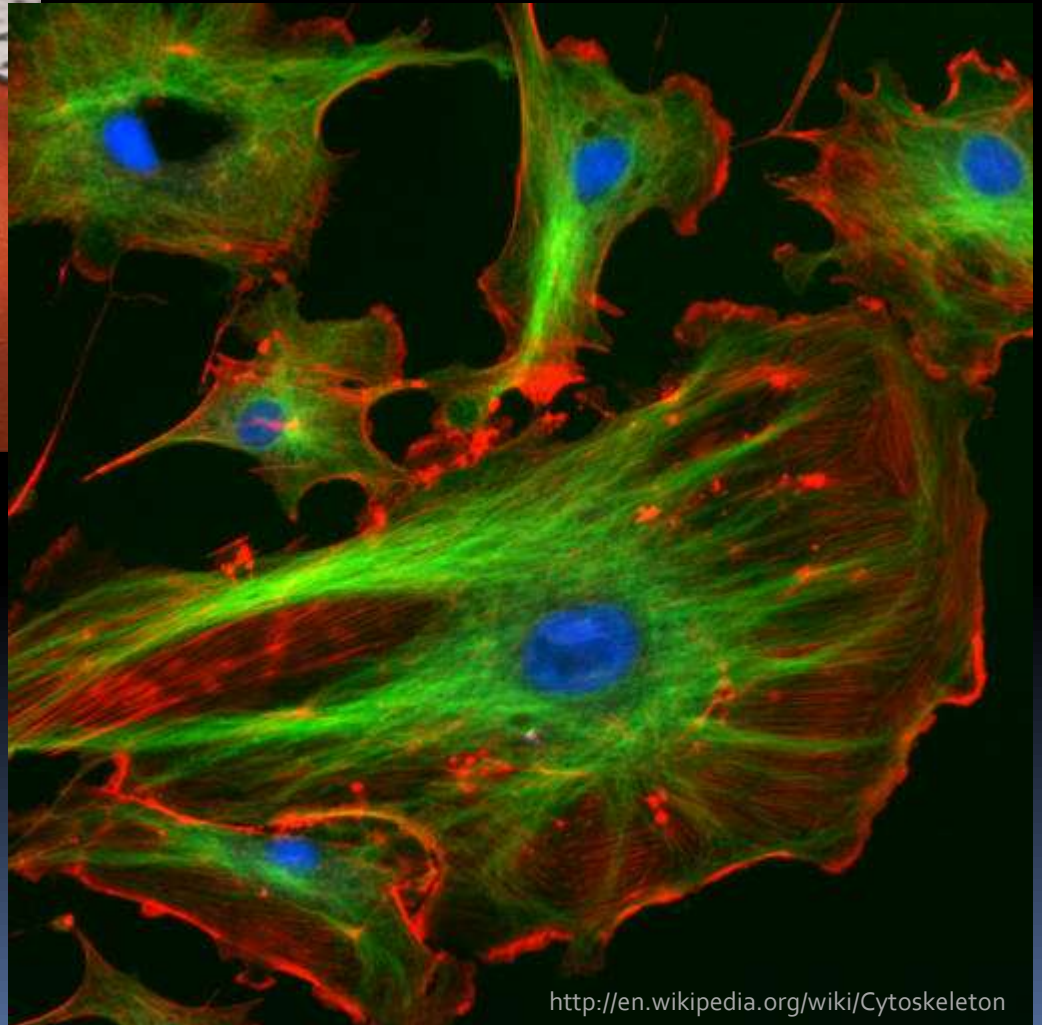
<http://springleberysprings.com/innerlifeofcell.html>



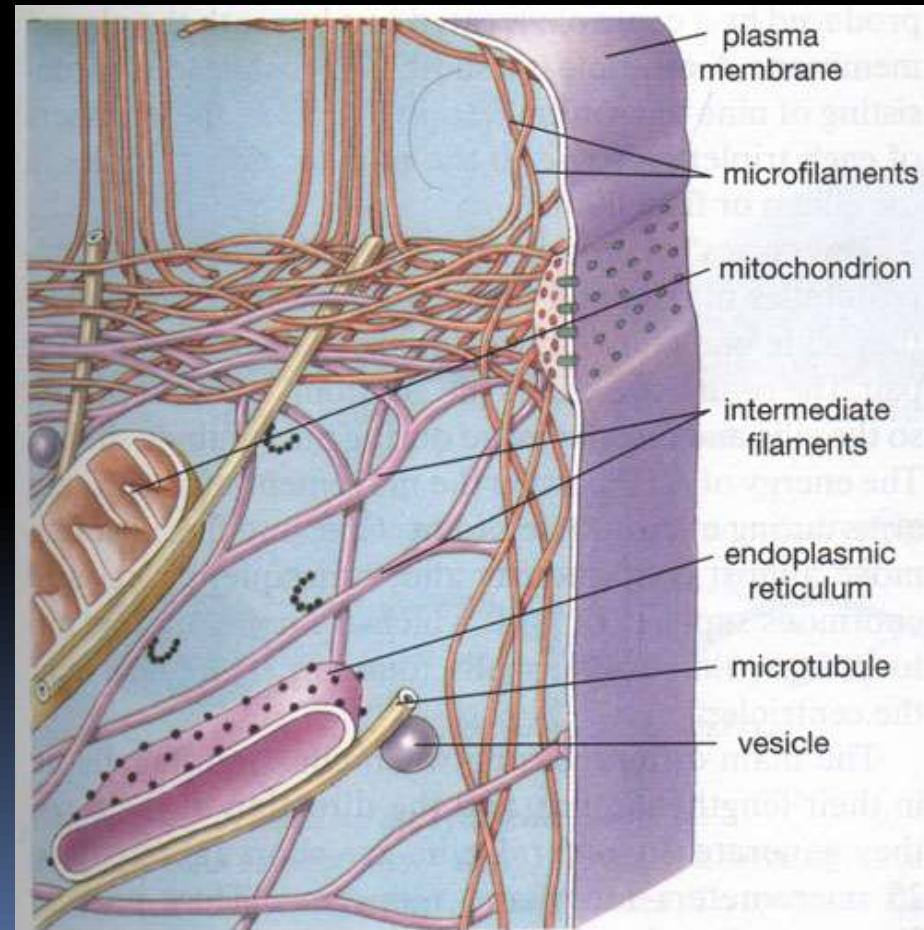
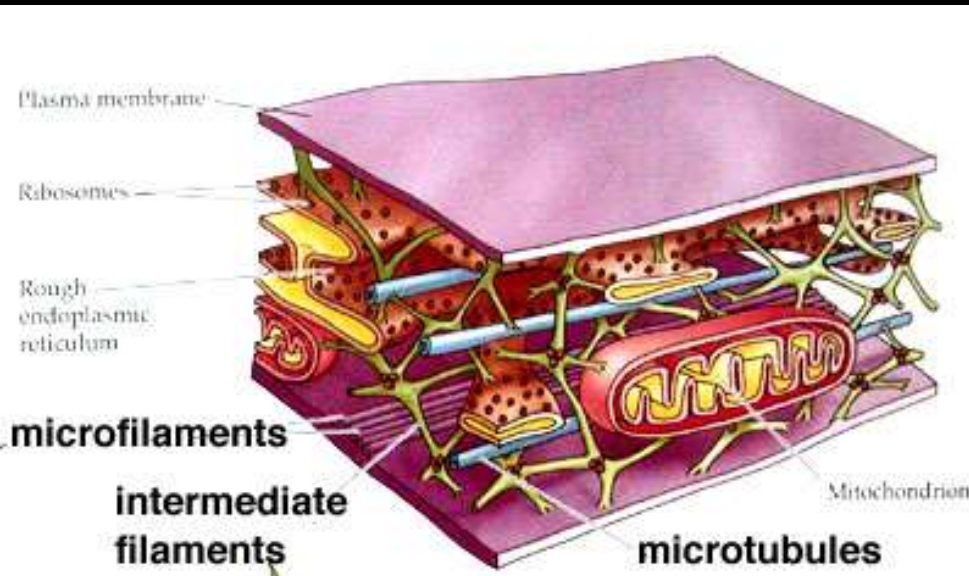
Pohyb v buňce je možný díky cytoskeletu.



Pohyb celých buněk zajišťuje cytoskelet => bez cytoskeletu není aktivní pohyb



# Cytoskelet



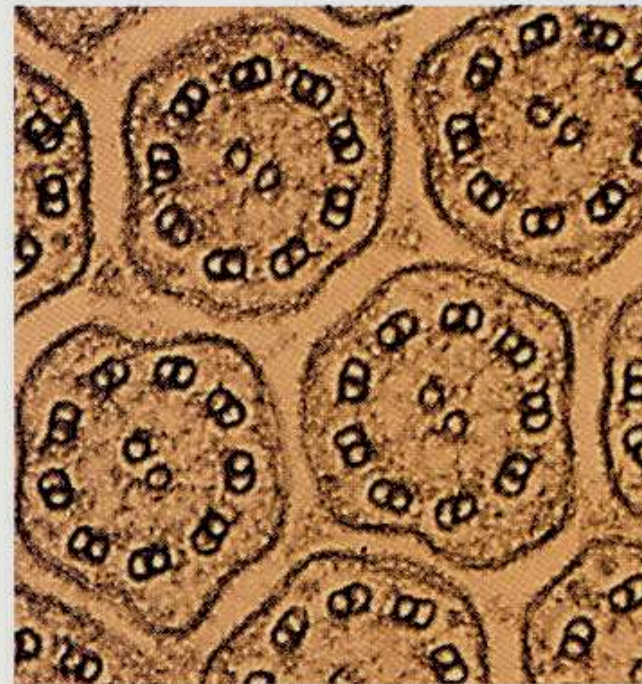
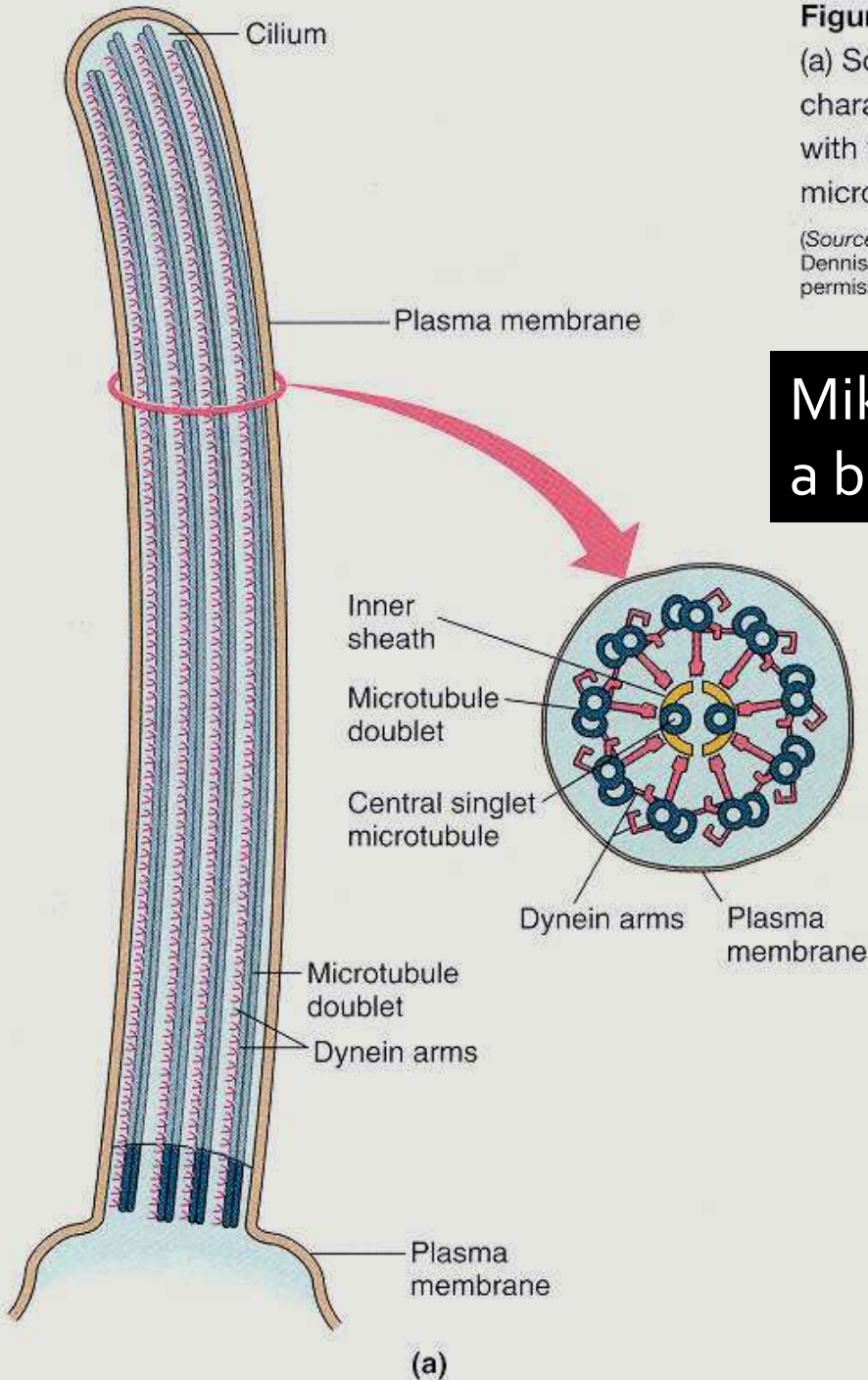
3 typy filament

**Figure 2-27** • Internal structure of cilia and flagella.

(a) Schematic diagram of a cilium in cross-section show characteristic “nine plus two” arrangement of microtubule with the dynein arms and other accessory proteins. (b) Electron micrograph of numerous cilia in cross-section.

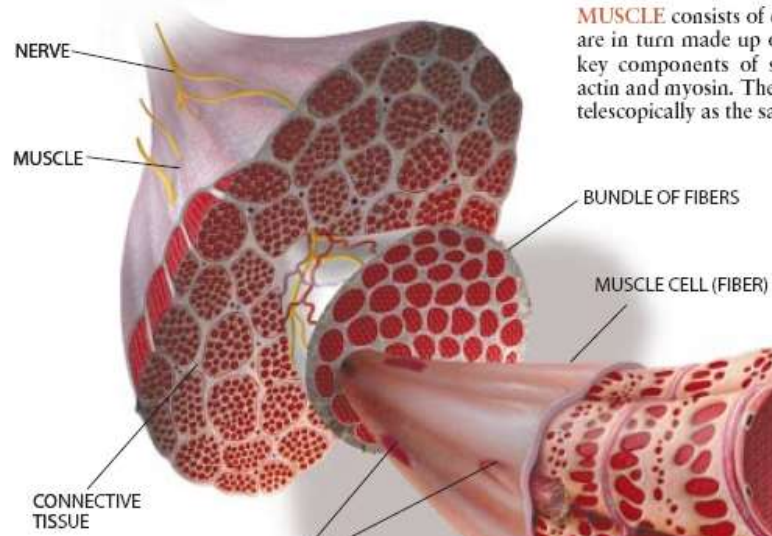
(Source: Adapted from *Molecular Biology of the Cell*, Fig. 10-27, p. 565 by Bruce Alberts, Dennis Bray, Julian Lewis, Martin Raff, Keith Roberts, and James D. Watson. Reprinted with permission of Garland Science/Taylor & Francis Books, Inc.)

## Mikrotubulární struktura řasinky - cilie a bičíku, brvy - flagellum

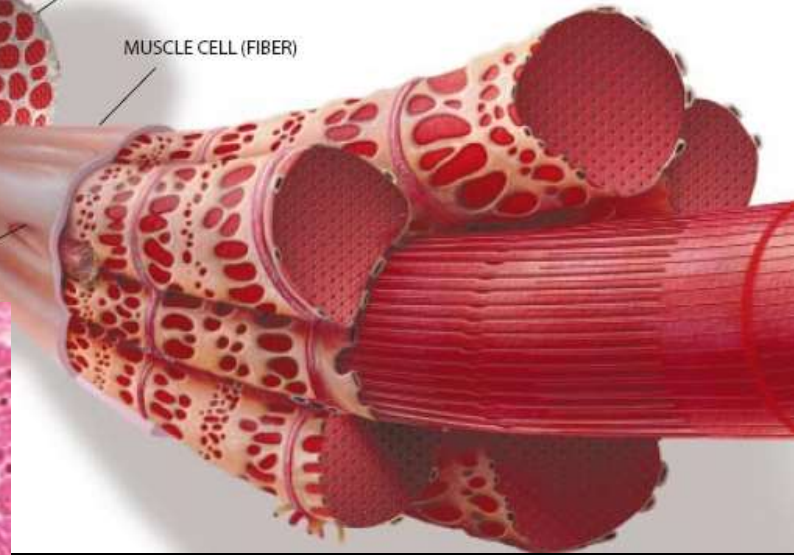
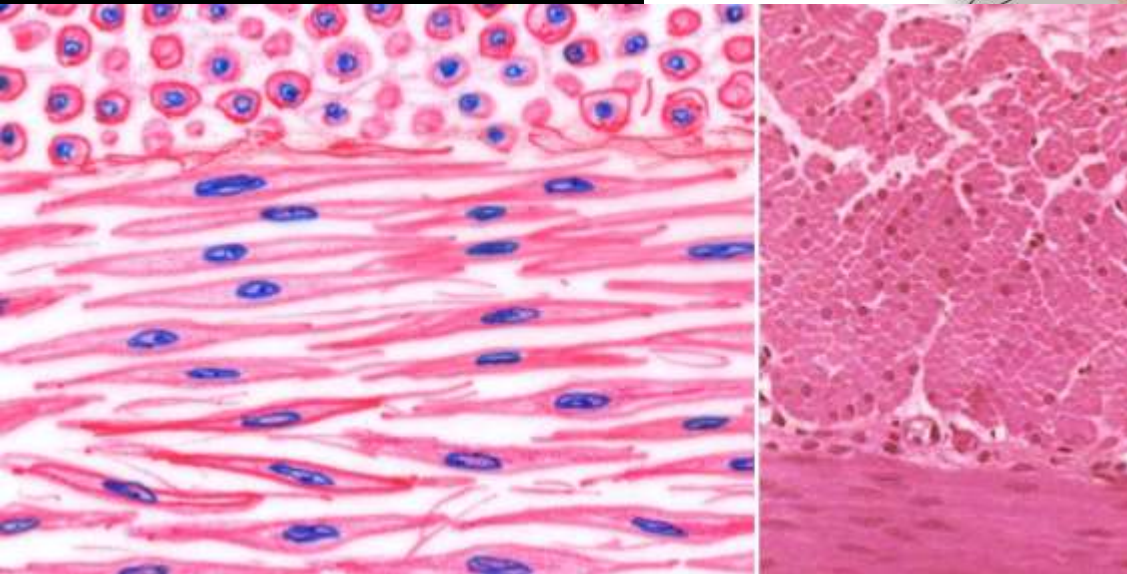


(a)

(b)

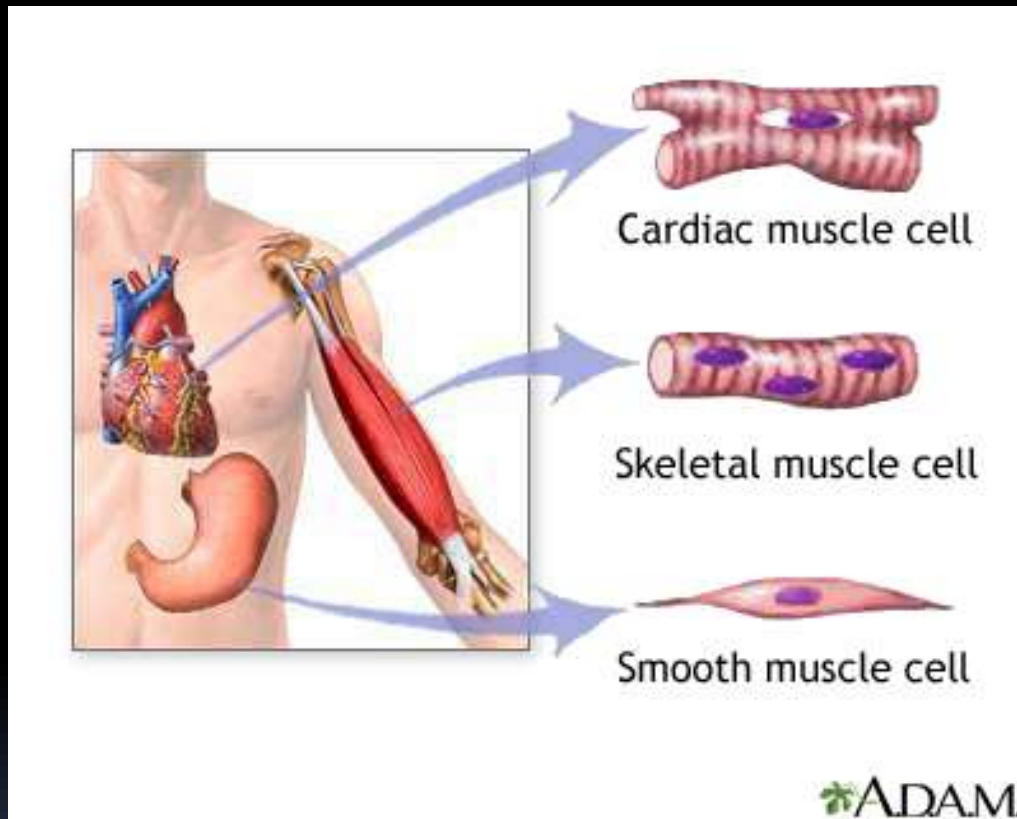


**MUSCLE** consists of cells full of strands called myofibrils, which are in turn made up of contractile units called sarcomeres. The key components of sarcomeres are two filamentary proteins, actin and myosin. These protein molecules slide over one another telescopically as the sarcomere contracts and uncontracts.



Pohyb svalů a tedy i celých živočichů je možný díky uspořádané stažlivosti spolupracujících buněk.

# Tři typy svalů



obratlovci

Cirkulace

Lokomoce

Vnitřní řízení

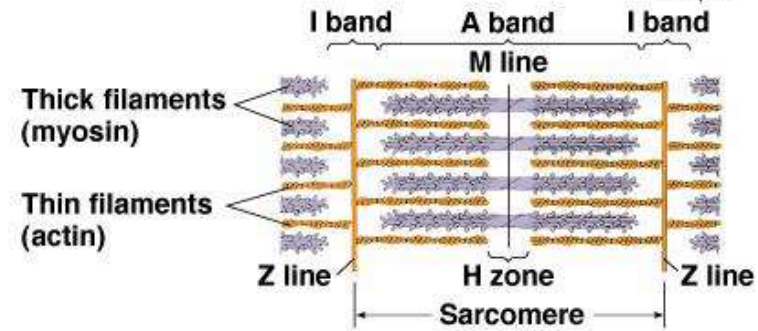
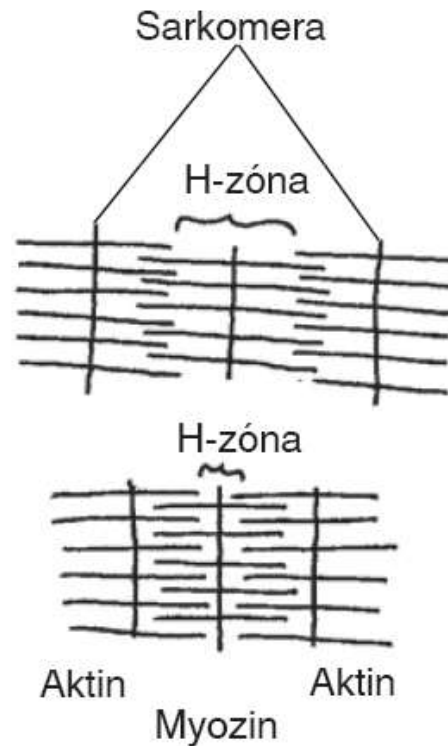
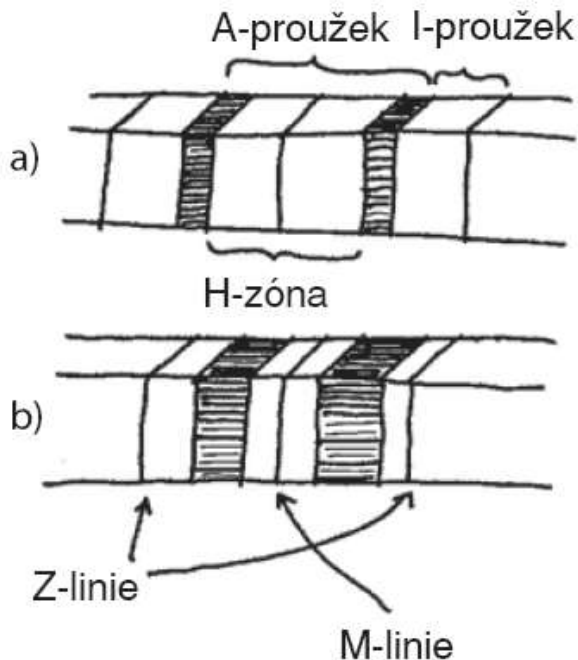
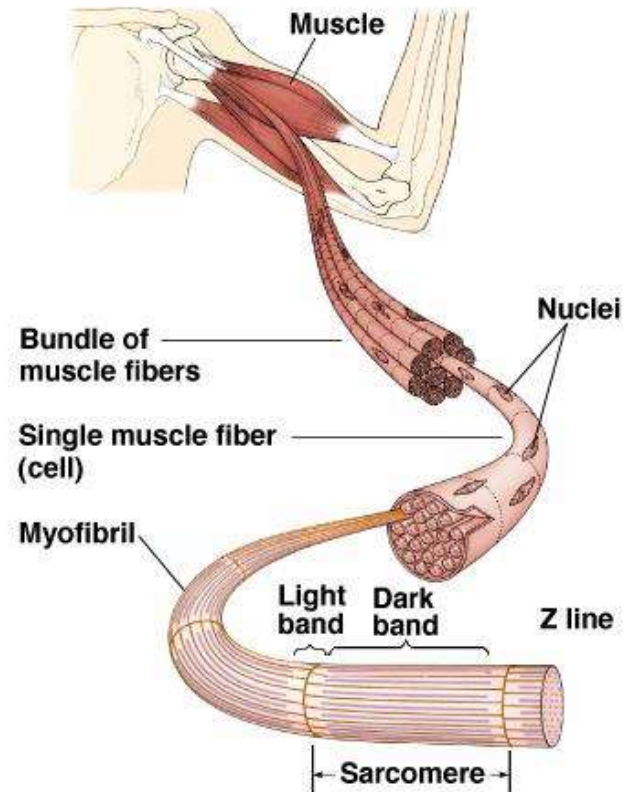
Neplatí u všech živočichů:

U měkkýšů pouze hladká svalovina.

U hmyzu pouze žíhaná.

# Stavba kosterního svalu

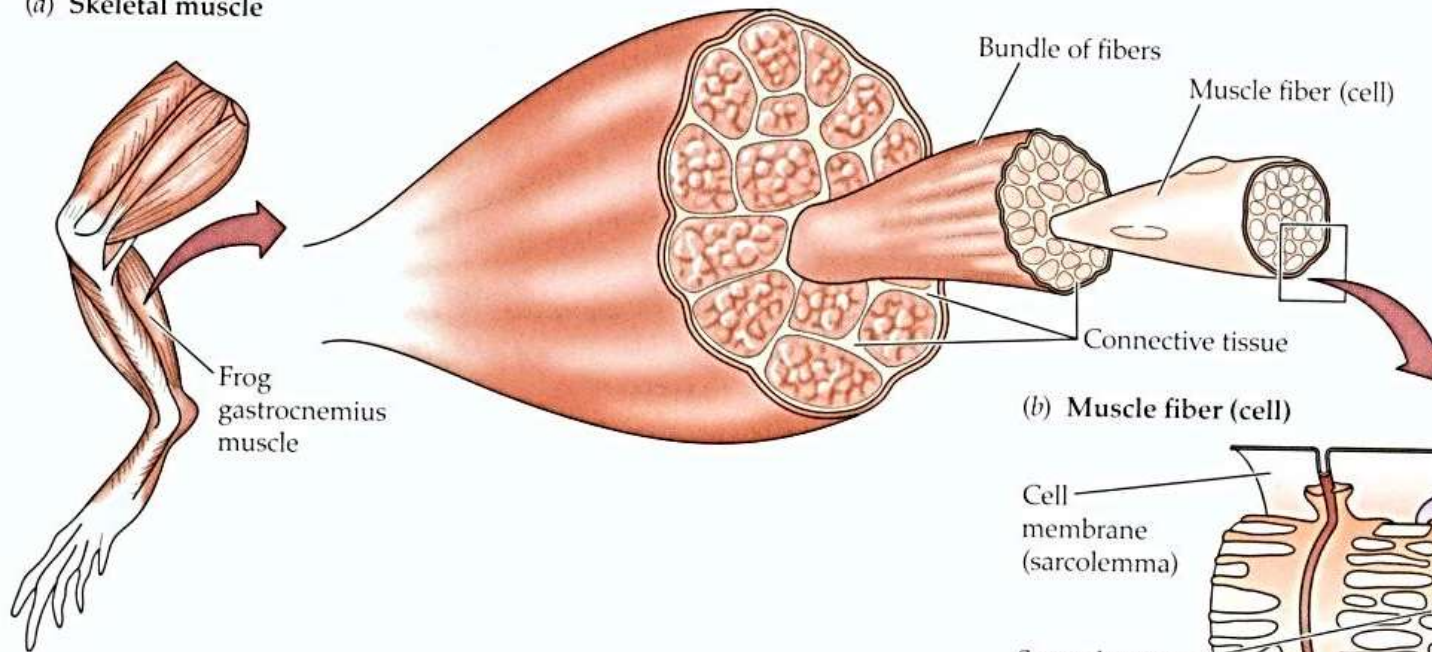
Proužkování kosterního svalu.  
Myofibrila a jejich části.



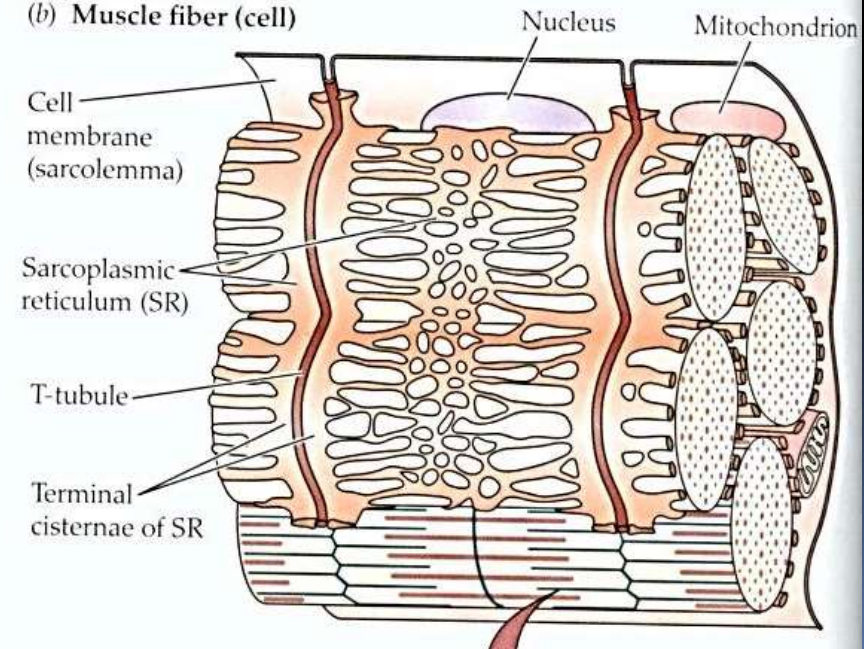


# Stavba kosterního svalu

(a) Skeletal muscle

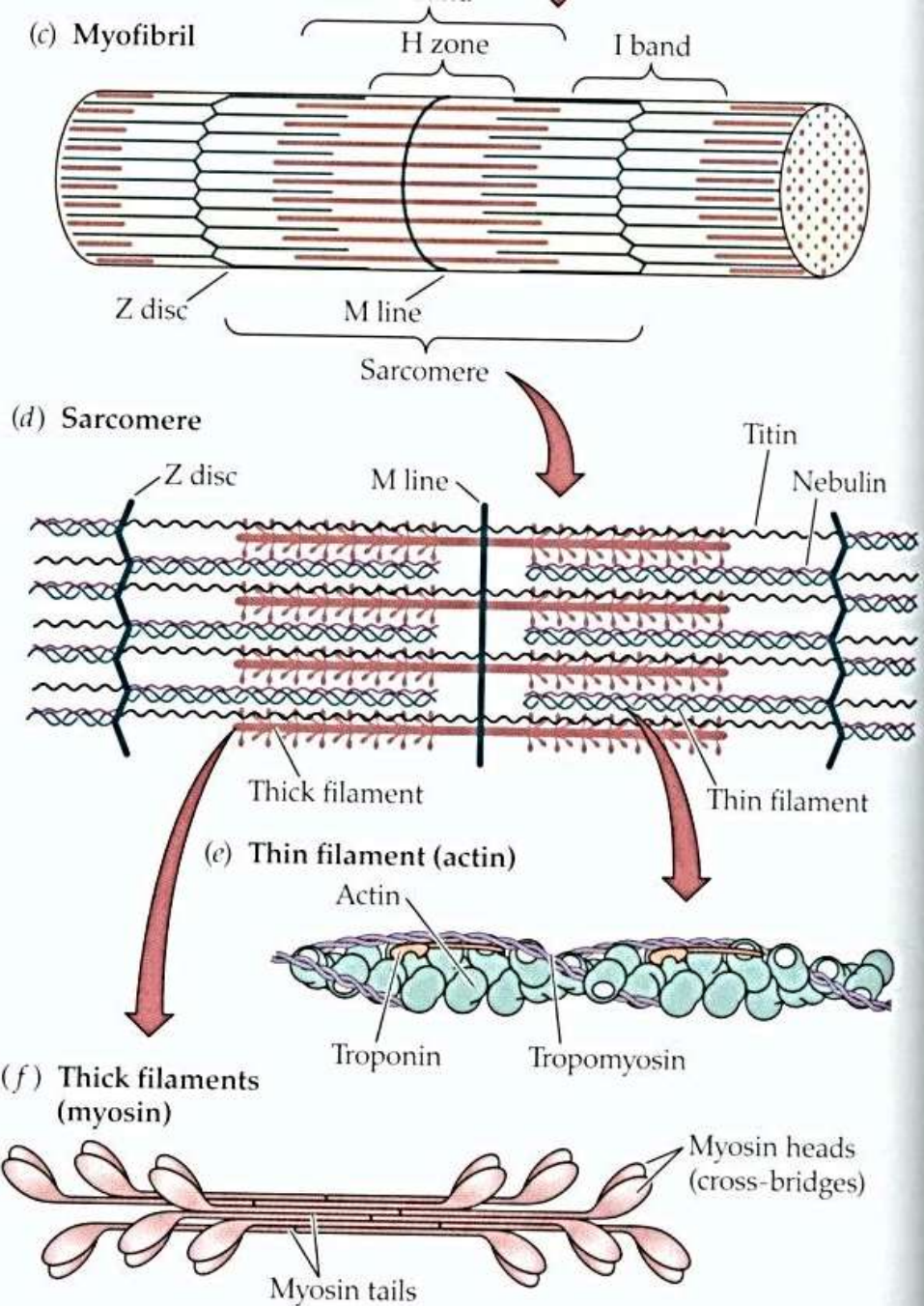
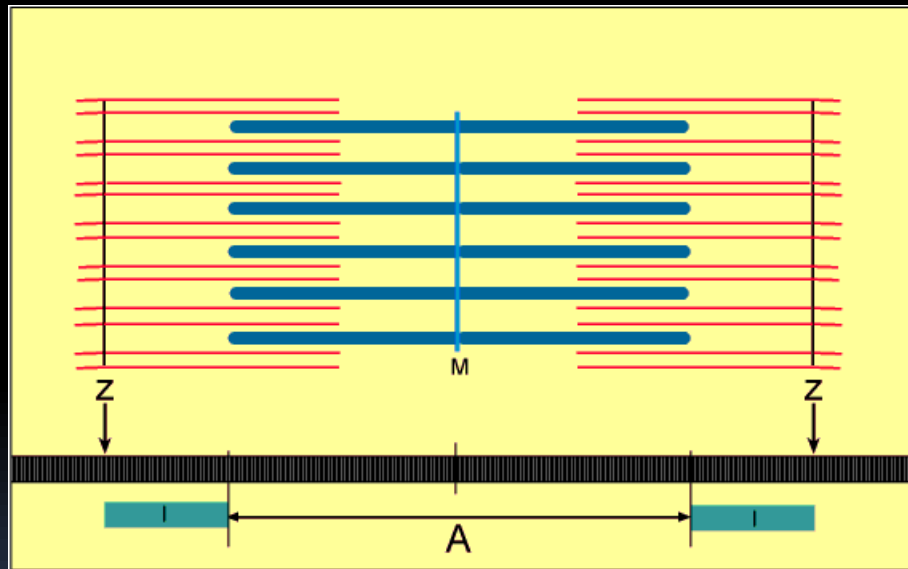


(b) Muscle fiber (cell)



# Stavba myofibrily

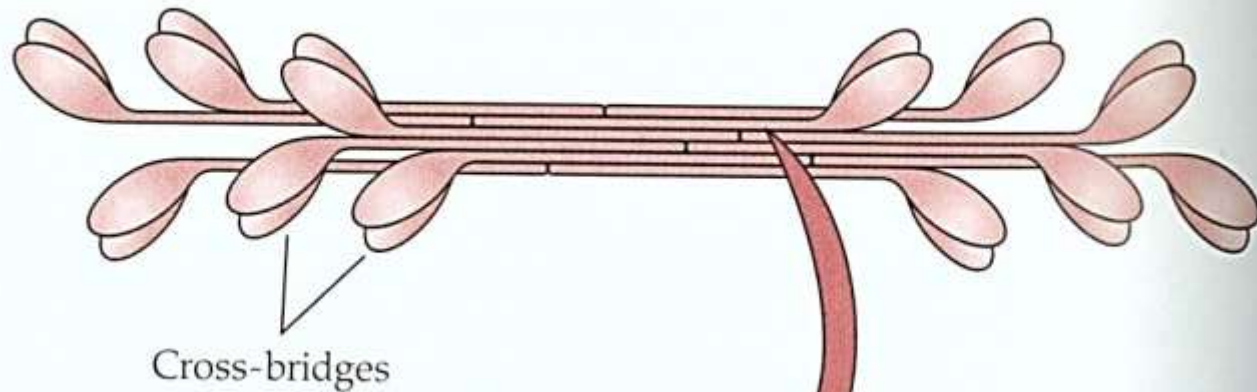
Součásti aktivní, pasivní,  
regulační, elastické



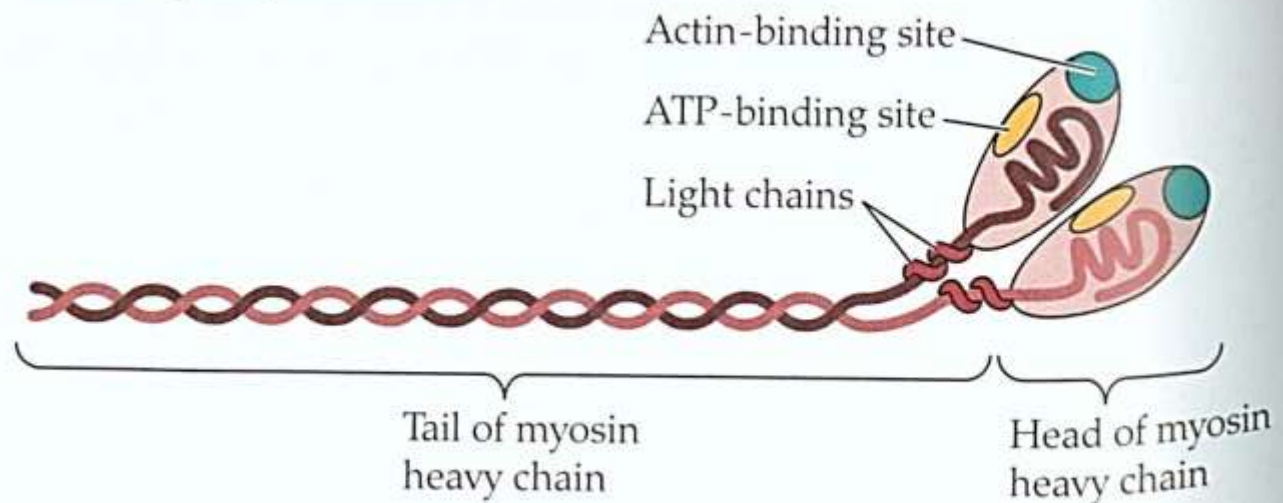
# Stavba myosinové fibrily

Myosinové hlavy mají dvě vazebná místa. Jedno pro ATP s ATPázovou aktivitou, druhé pro aktin.

(a) Myosin molecules of a thick filament



(b) A single myosin molecule

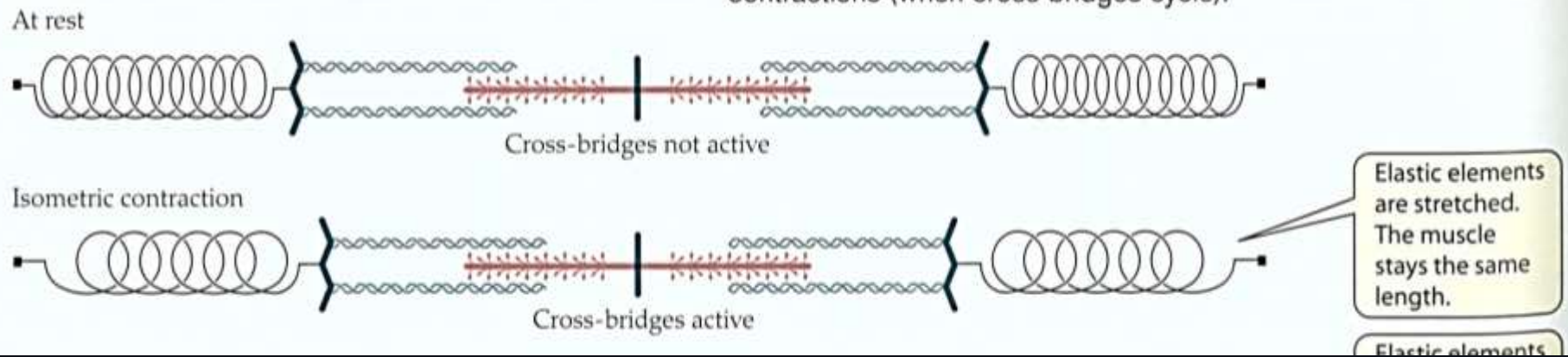


# Animace spolupráce aktinu a myozinu

Spolupráce mnoha můstků – molekulární děje

Molekulární organizace sarkomery

# Stavba myofibrily

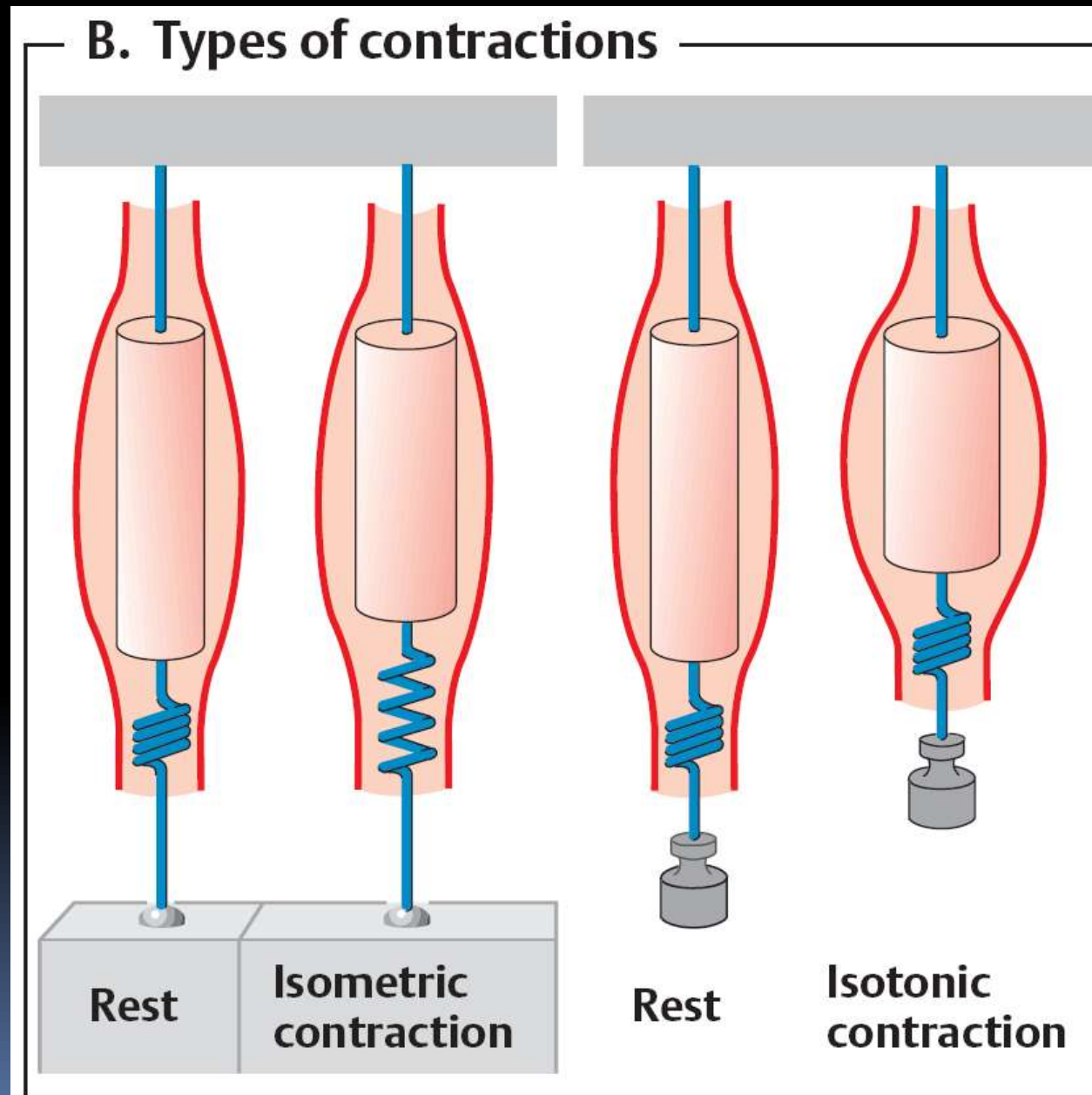


Elastické elementy umožňují izometrickou kontrakci

# Typy stahu

Izometrická a izotonická kontrakce

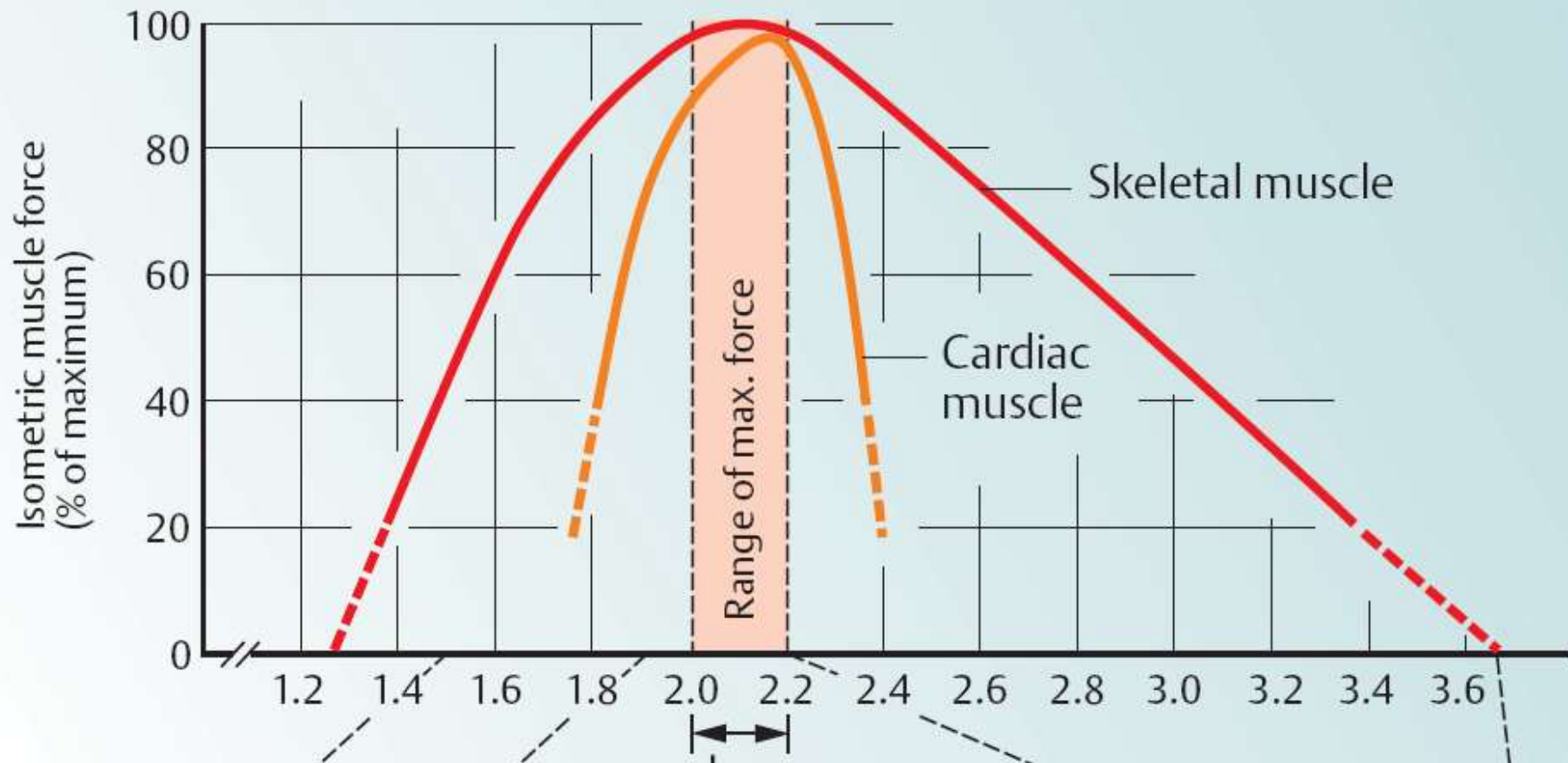
Práce elastických komponent



# Typy stahu

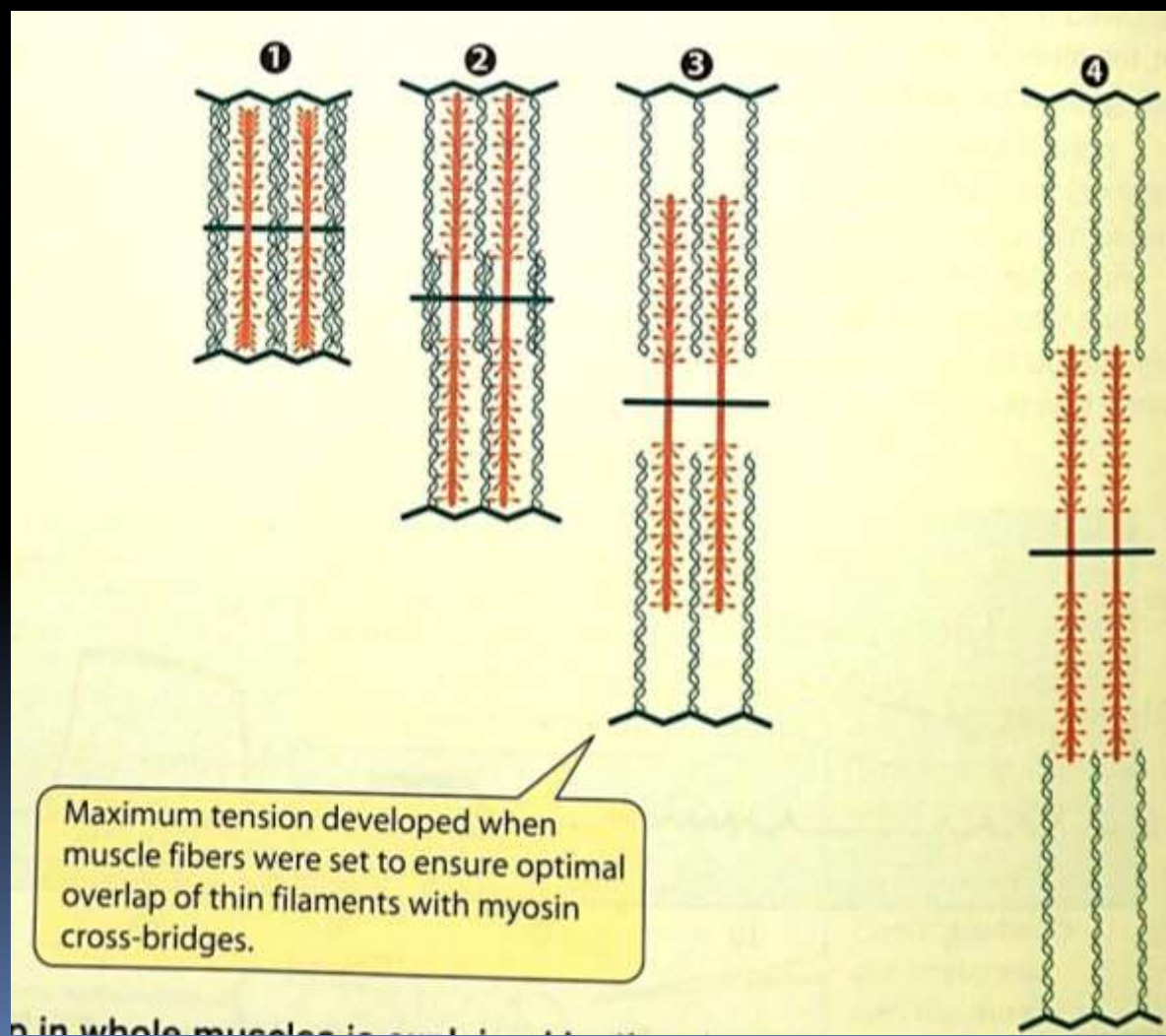
Největší sílu u izometrické kontrakce má sval uprostřed délky sarkomery

## C. Isometric muscle force relative to sarcomere length



# Typy stahu

Největší sílu u izometrické kontrakce má sval uprostřed délky sarkomery





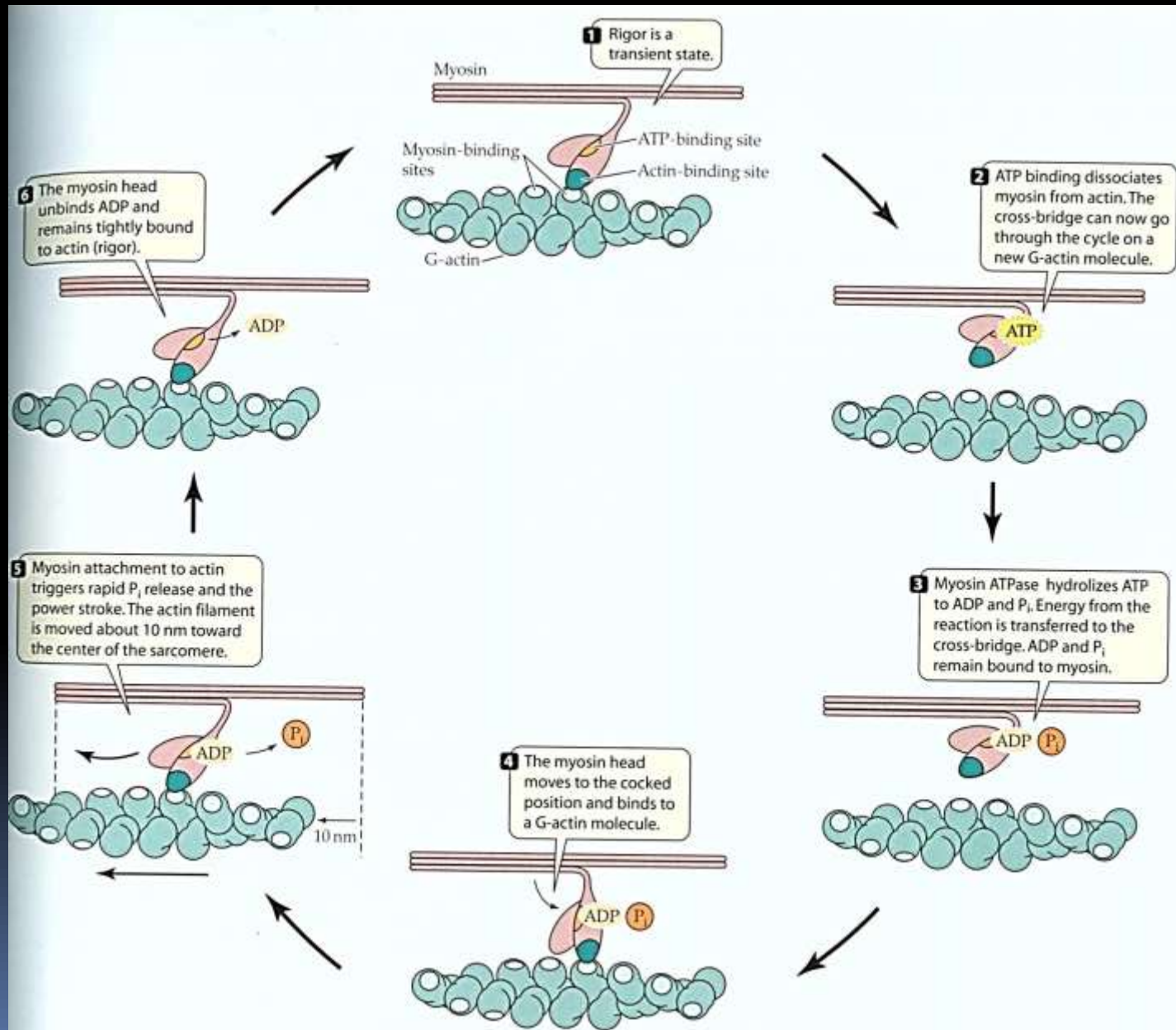
# Cyklus stahu a úloha ATP

Odpojení myosinu od aktinu vyžaduje navázání ATP, čímž se změní konformace vazebného místa, ale není k tomu potřeba energie ATP.

Jak se hlava odpoutá od aktinu, hydrolyzuje ATP. Energie ATP vztyčí hlavu.

Setkání A a M uvolní  $P_i$  a sklápí se hlava. 10nm posun

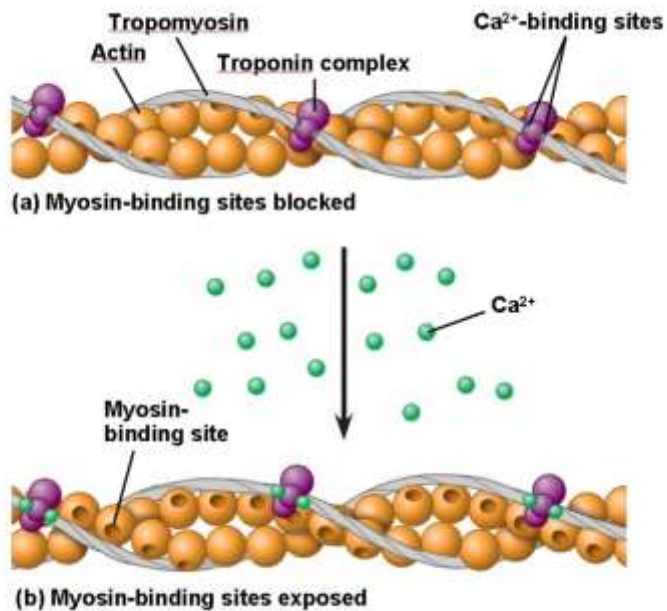
ADP se odpojí, ale A a M zůstávají vázani



# Ca spouští interakci myosinu s aktinem

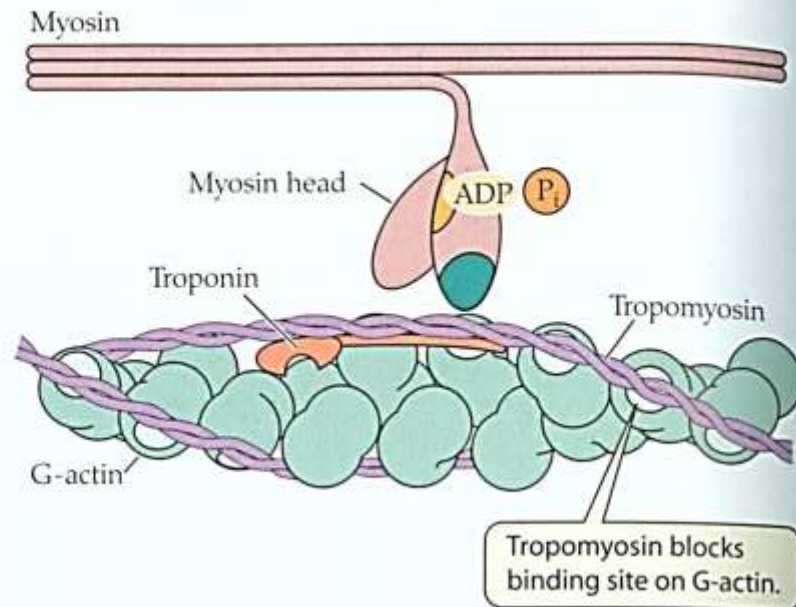
## Vápník iniciuje setkání Myosinu s Aktinem

Fig. 50-26

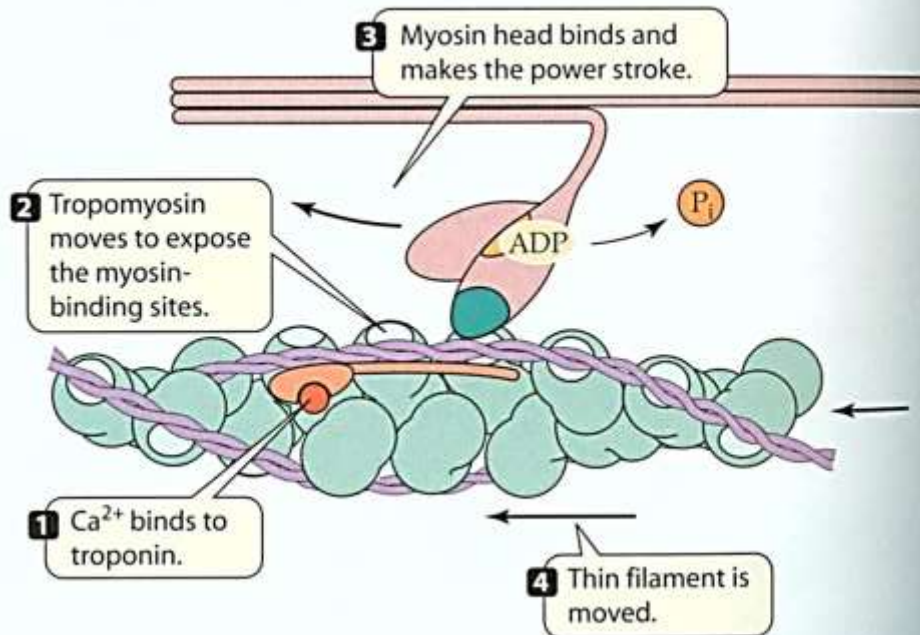


Molekulární události stahu – animace

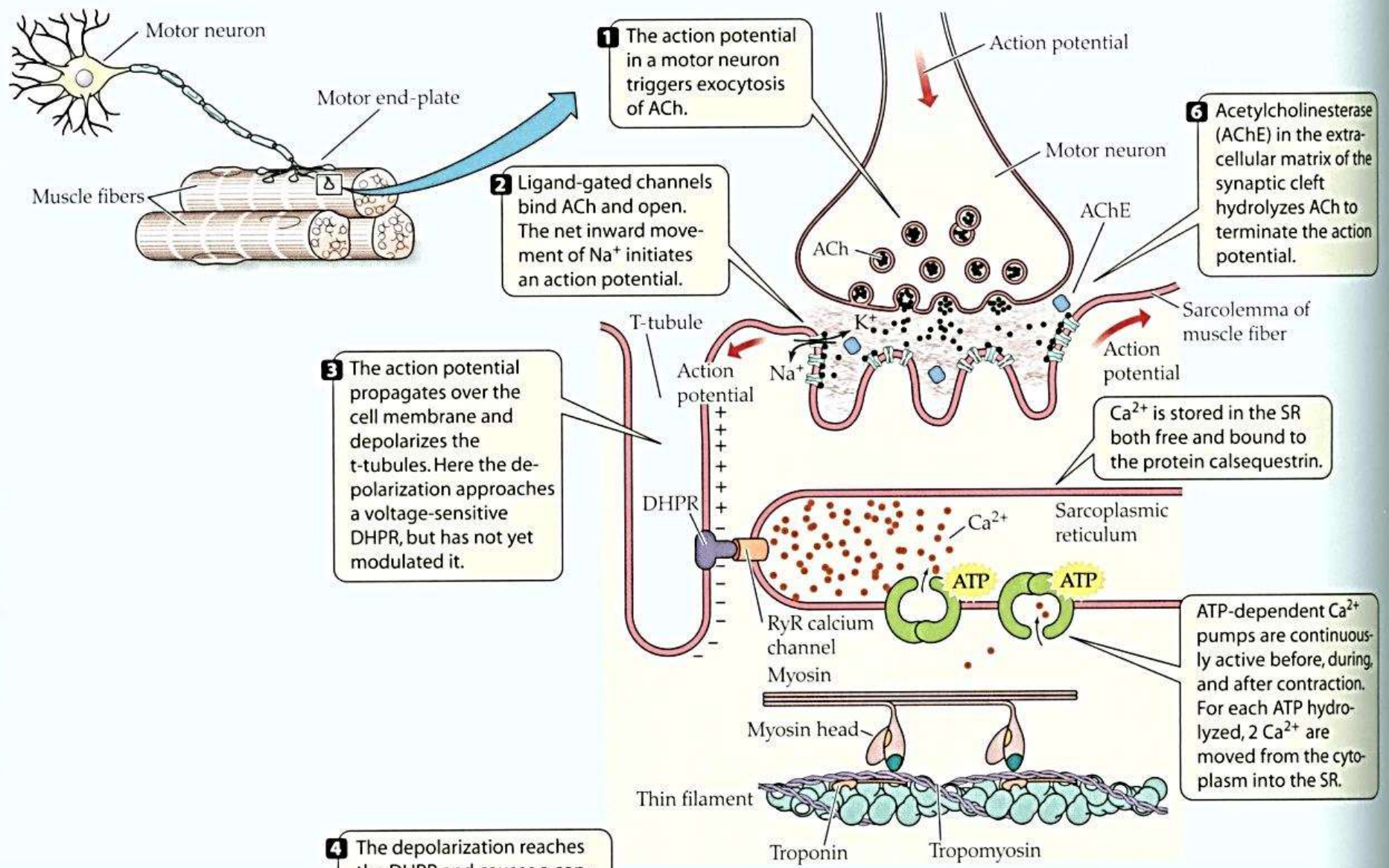
(a) No  $\text{Ca}^{2+}$  ions present in cytoplasm (relaxed)



(b)  $\text{Ca}^{2+}$  ions released from the sarcoplasmic reticulum

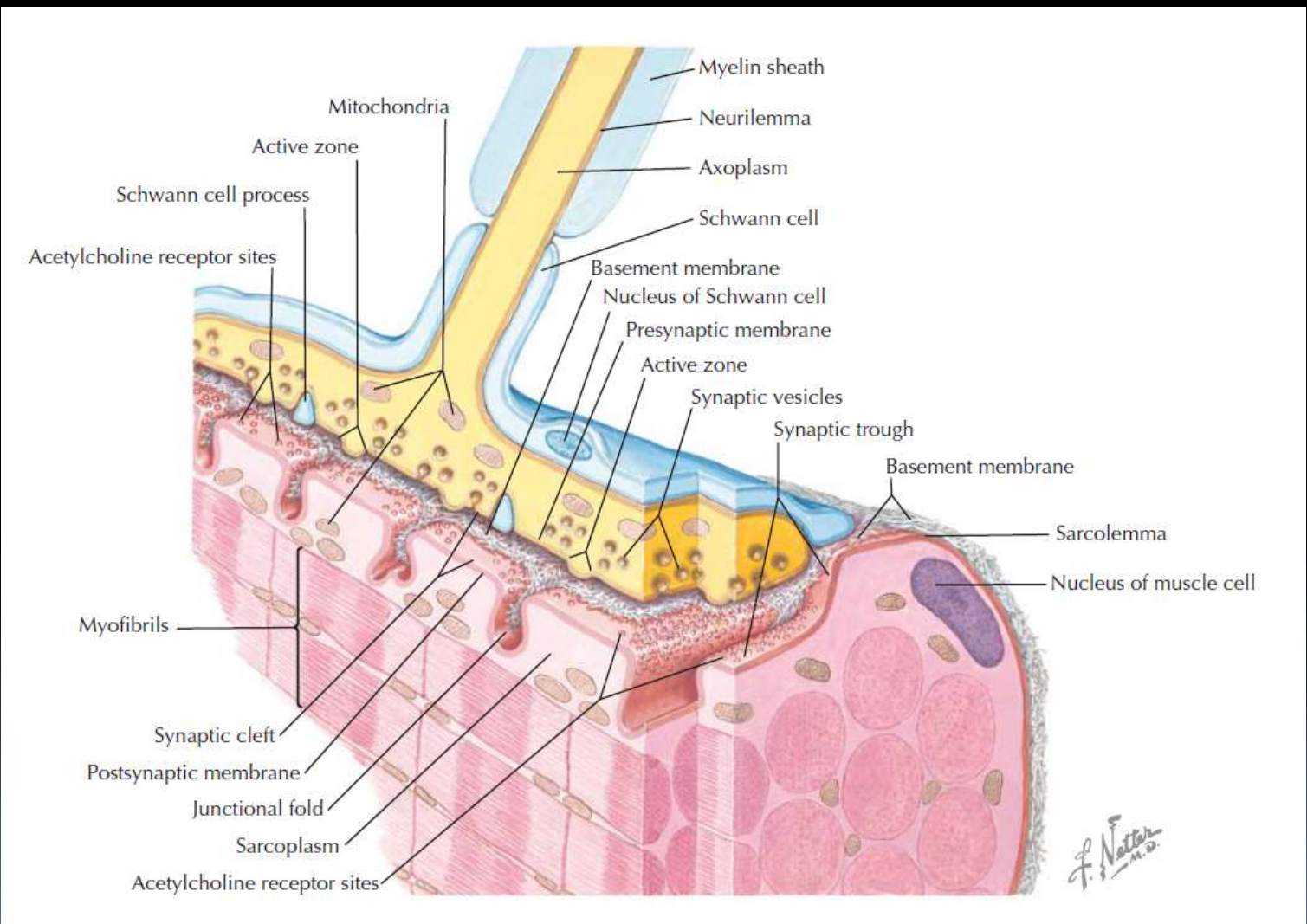


# Spřažení excitace a kontrakce kosterního svalu



# Spřažení excitace a kontrakce kosterního svalu

## Nervosvalová ploténka:



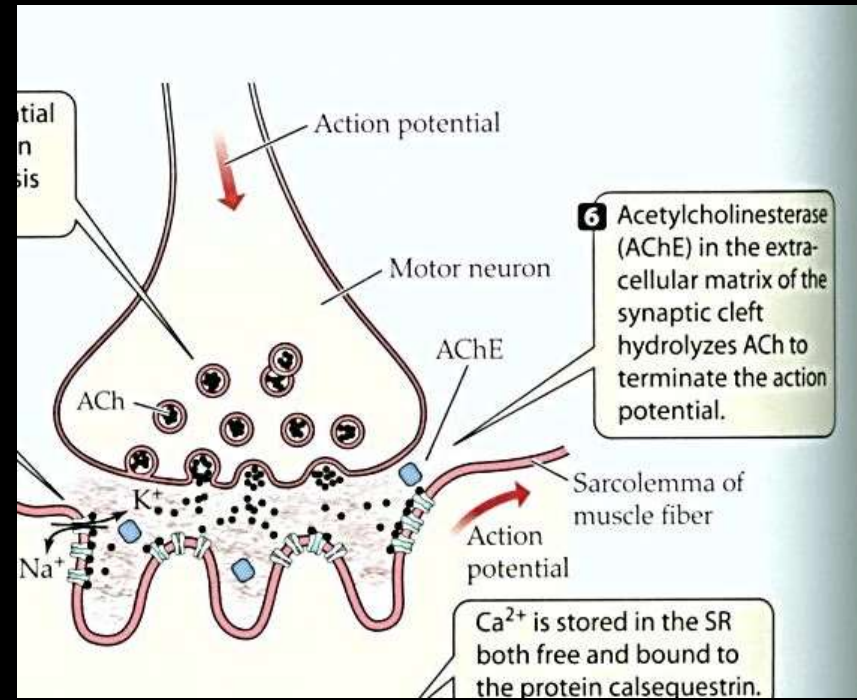
# Spřažení excitace a kontrakce kosterního svalu

Nervosvalovou ploténku může zablokovat:

Kurare, hadí jedy – kompetitivní inhibice receptorů

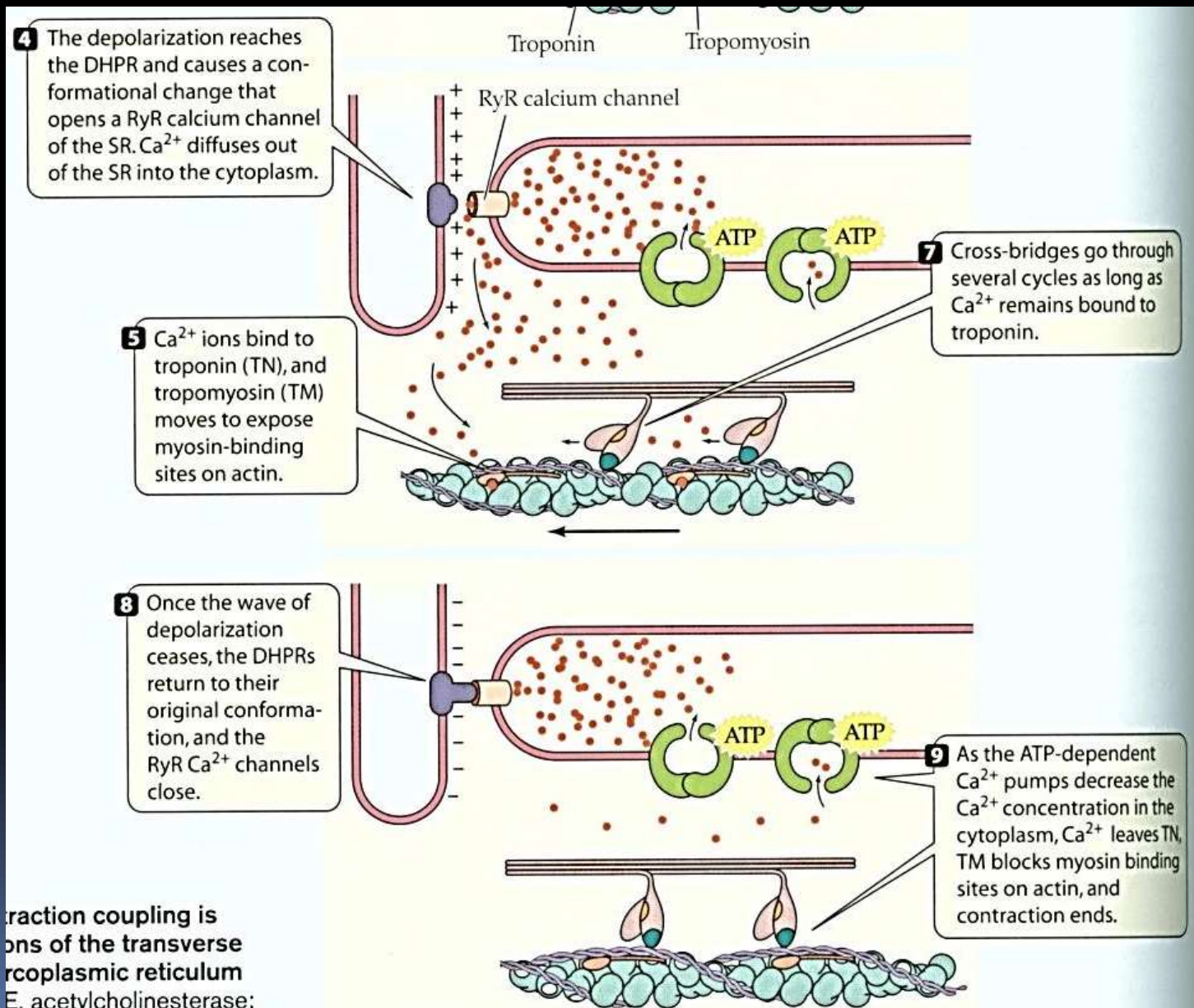
Pesticidy – blokáda AChE

Botulin – rozpad proteinů vezikulární exocyt.

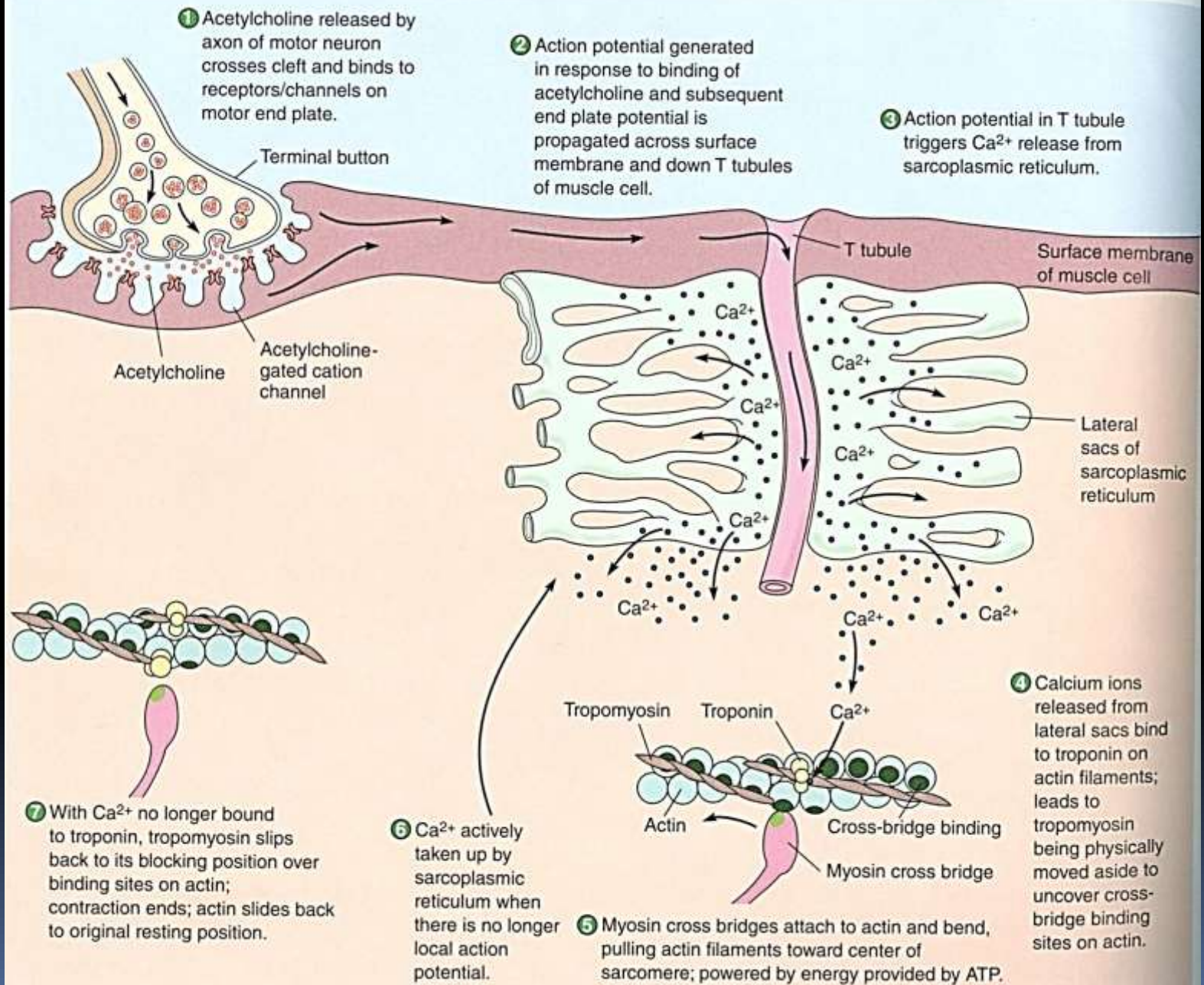


Ionotropní řízení:  
Nervosvalová ploténka

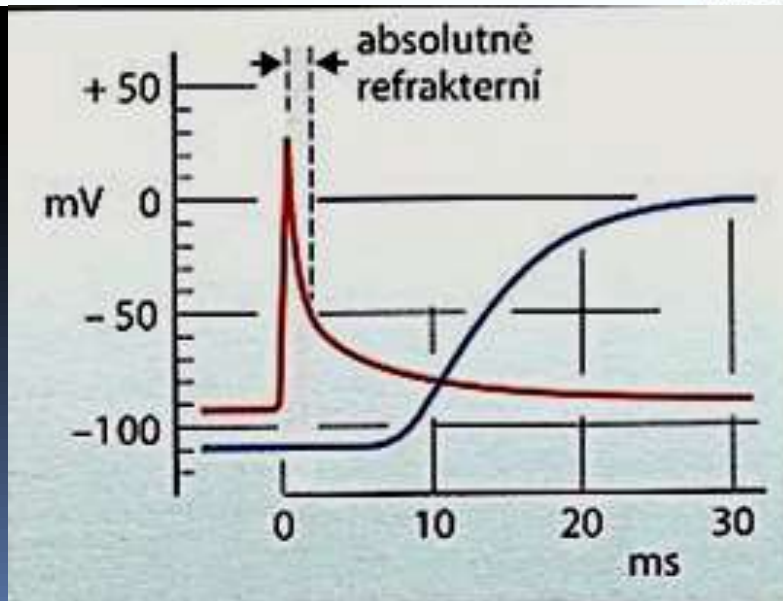
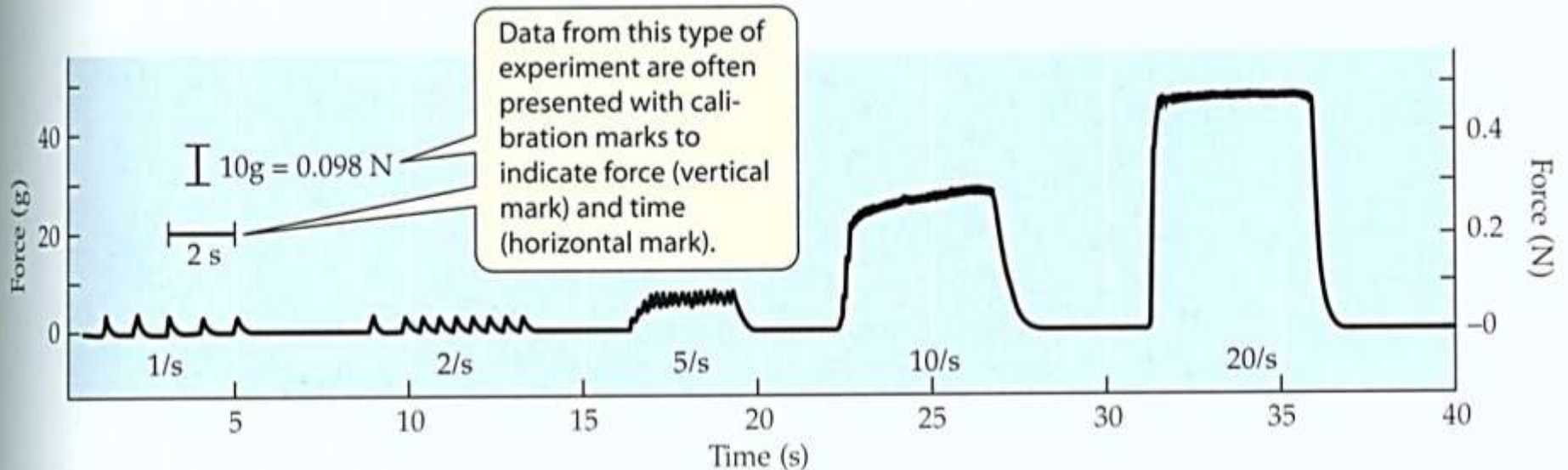
# Spřažení excitace a kontrakce



contraction coupling is  
ions of the transverse  
sarcoplasmic reticulum  
E, acetylcholinesterase;  
D, D, nicotinic receptor



# Odstupňování stahu – časová sumace



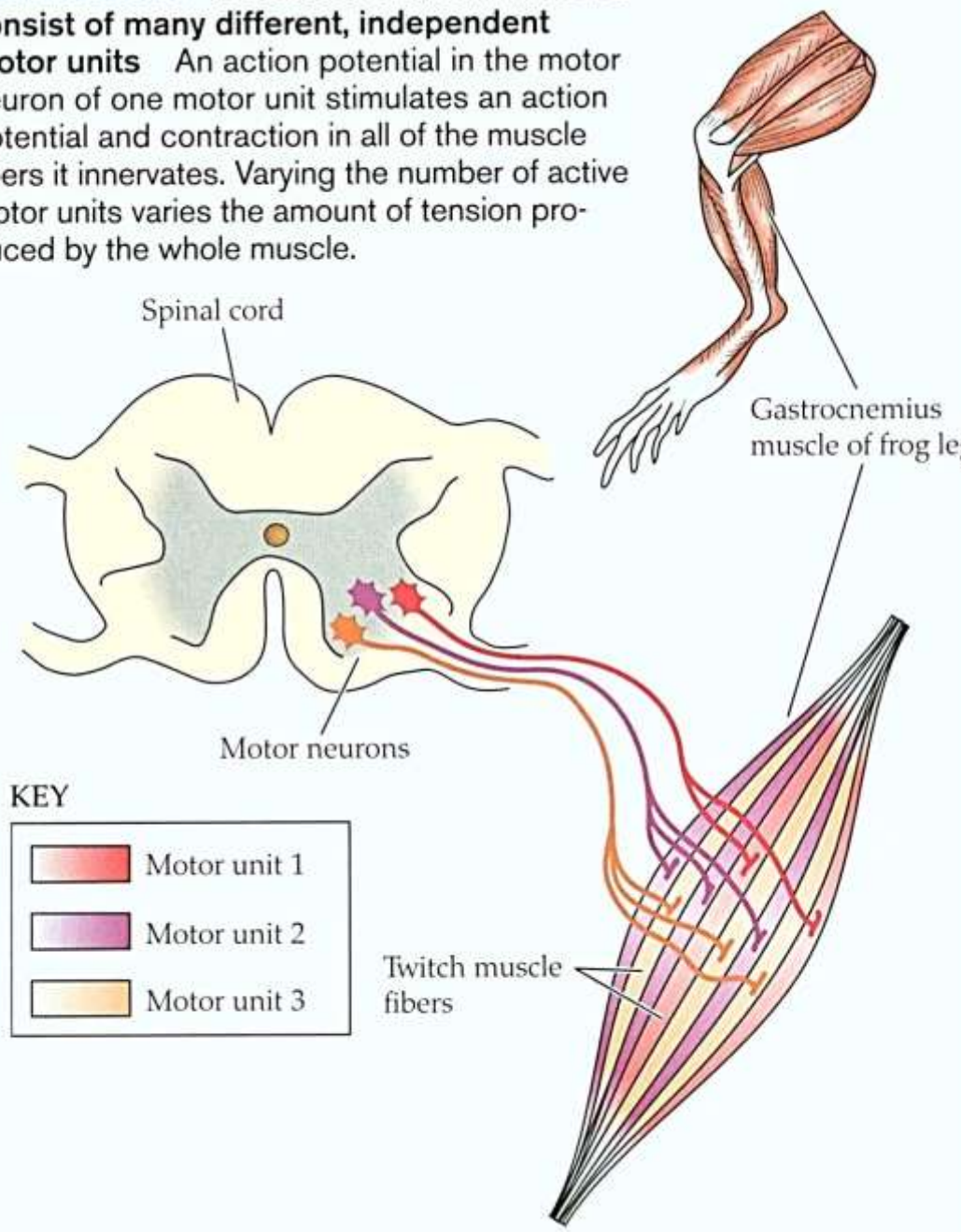
Vyšší frekvence AP udrží sval v trvalém stahu – hladký tet.

Další zvyšování  $f$  zvýší sílu stahu – čas. sumace



# Motorické jednotky a odstupňování stahu – prostorová sumace

**FIGURE 20.15** Vertebrate skeletal muscles consist of many different, independent motor units. An action potential in the motor neuron of one motor unit stimulates an action potential and contraction in all of the muscle fibers it innervates. Varying the number of active motor units varies the amount of tension produced by the whole muscle.

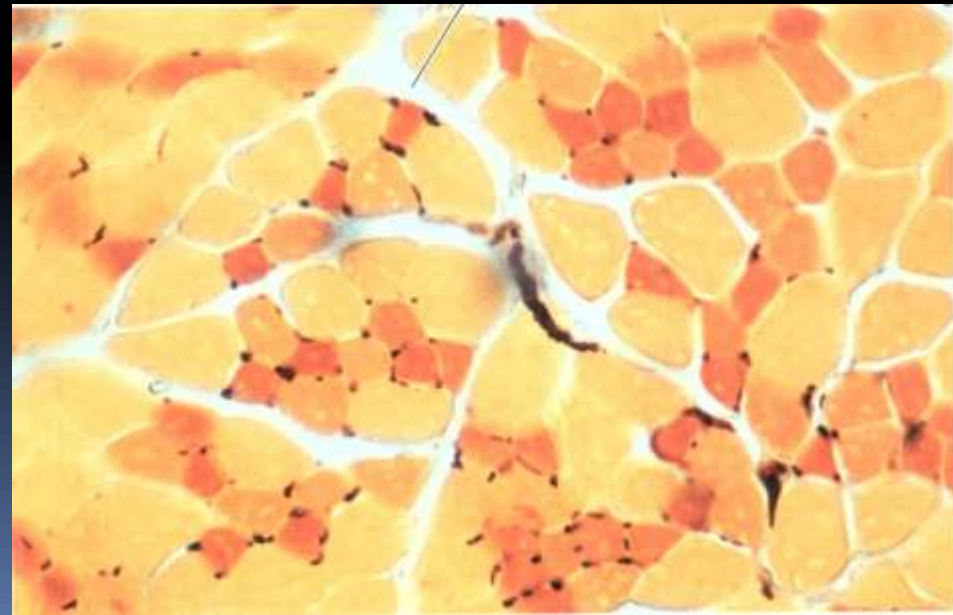


V pracujícím svalu se zapíná více či méně motorických jednotek.  
Tzv. nábořem se odstupňuje síla stahu

# Druhy kosterní svaloviny

U člověka existují tři typy :

- **typ I** (pomalá) – koná vytrvalostní aerobní práci (obsahuje hodně myoglobinu a sarkozomů),
- **typ II** (rychlá)
  - *Ila* má i určitý aerobní potenciál, je pomalejší
  - *Ilb* se uplatňuje při krátkodobých anaerobních výkonech (má málo myoglobinu a sarkozomů, obsahuje hodně myofibril),
- typ I a *Ila* se označuje též jako **svalovina červená** (zbarvení propůjčuje myoglobin), typ *Ilb* jako **bledá**

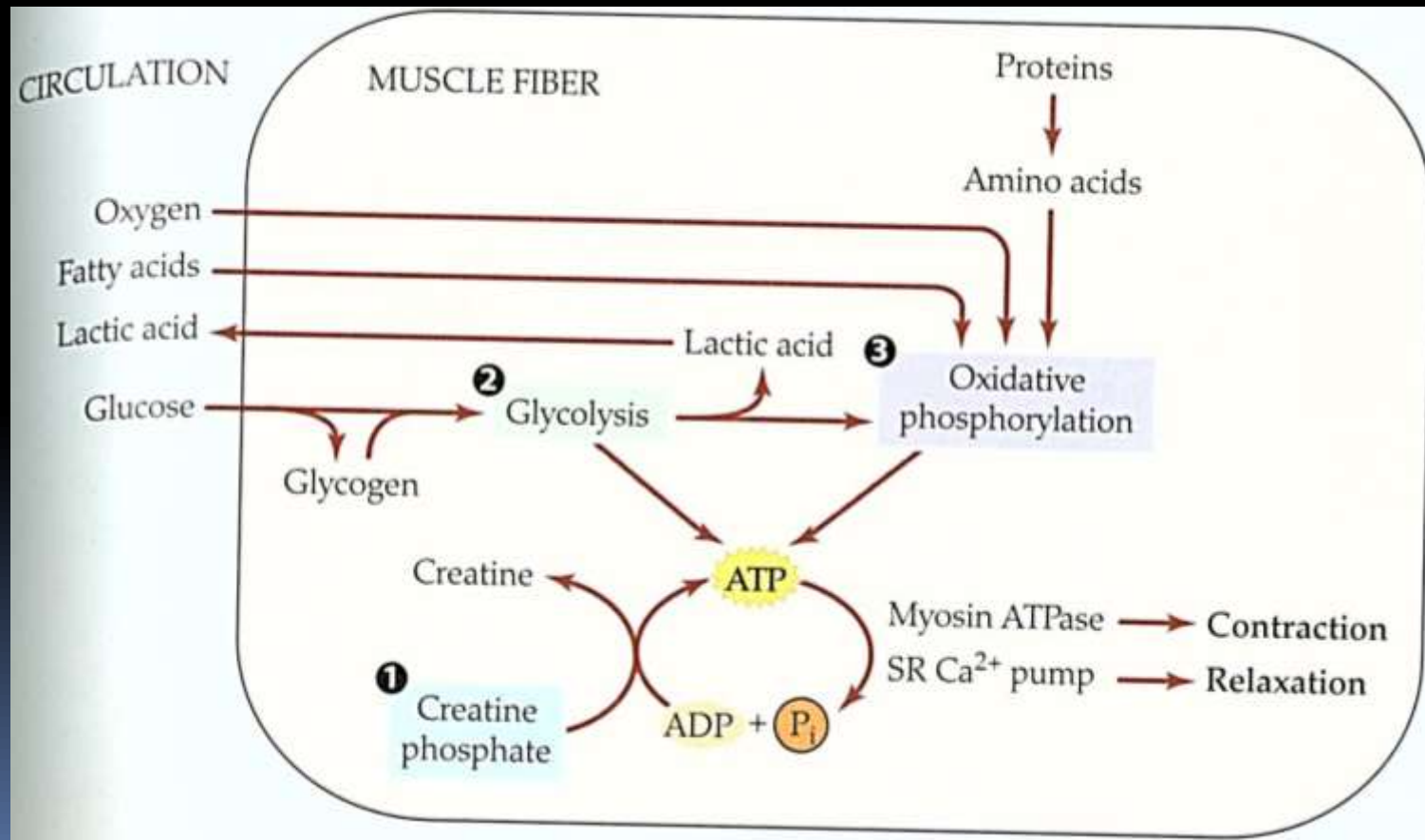


# Druhy kosterní svaloviny - srovnání

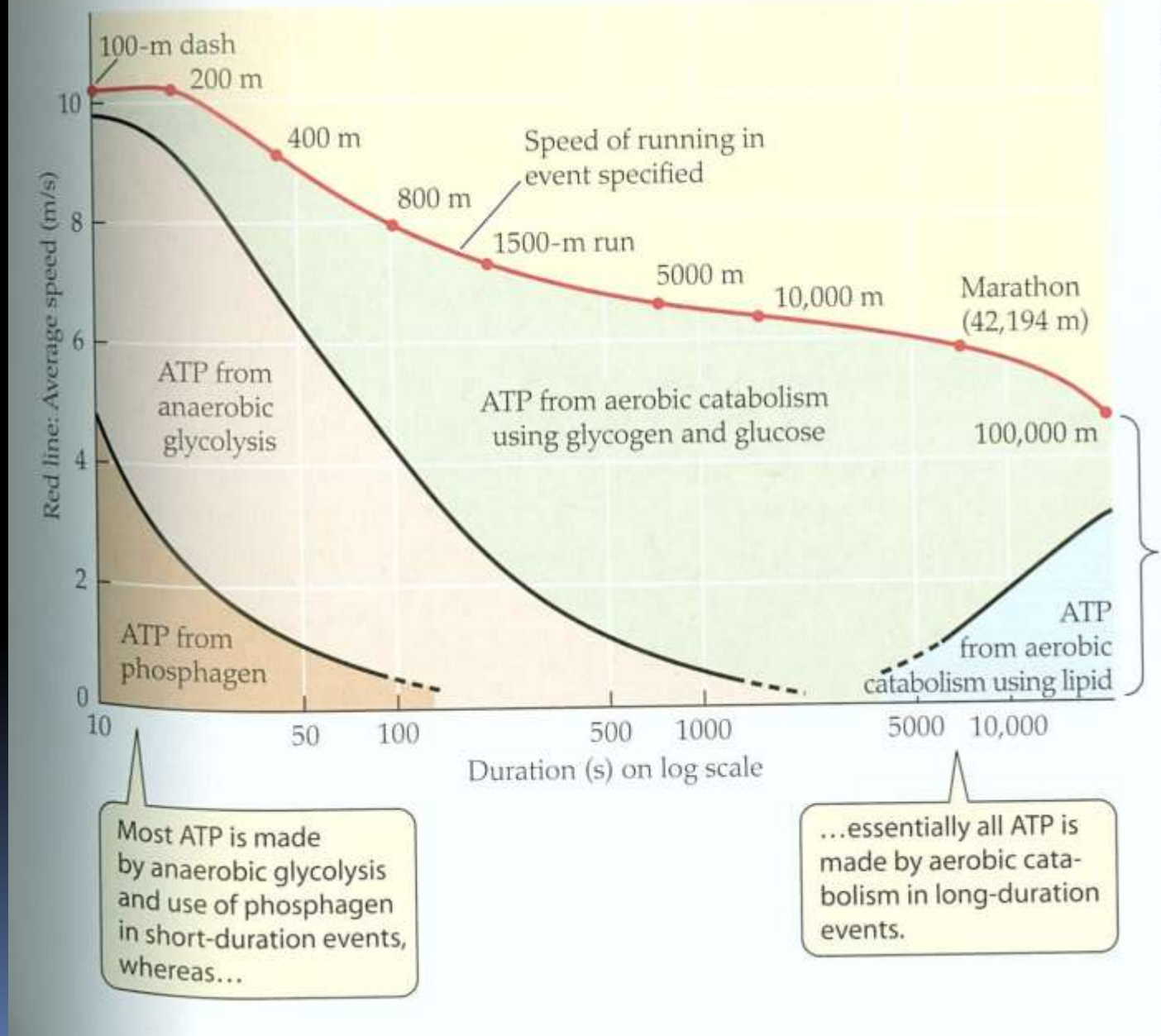
	Slow oxidative (SO)	Fast oxidative glycolytic (FOG)	Fast glycolytic (FG)
Myosin ATPase activity	Slow		Fast
Speed to reach peak tension	Slow		Fast
Duration of twitches	Long		Short
Rate of Ca <sup>2+</sup> uptake by sarcoplasmic reticulum	Slow to intermediate		High
Resistance to fatigue	High		Low
Number of mitochondria	Many		Few
Myoglobin content	High		Low
Color	Red		White
Diameter of fiber	Small		Large
Number of surrounding capillaries	Many		Few
Levels of glycolytic enzymes	Low		High
Ability to produce ATP using oxidative phosphorylation	High		Low
Force developed per cross-sectional area of entire fiber	Low		High
Function in animal	Posture		Jumping, bursts of high-speed locomotion
Frequency of use by animal	High		Low

# Zdroje energie svalového stahu

ATP v centru dění – co je poskytuje a co spotřebovává



# Zdroje energie kosterního svalu závisí na době a intenzitě práce



Rychlost a trvání běhu jdou proti sobě

ATP je asi na 10 kont., což je jen asi 1s v klidu CP – 50 kontrakcí

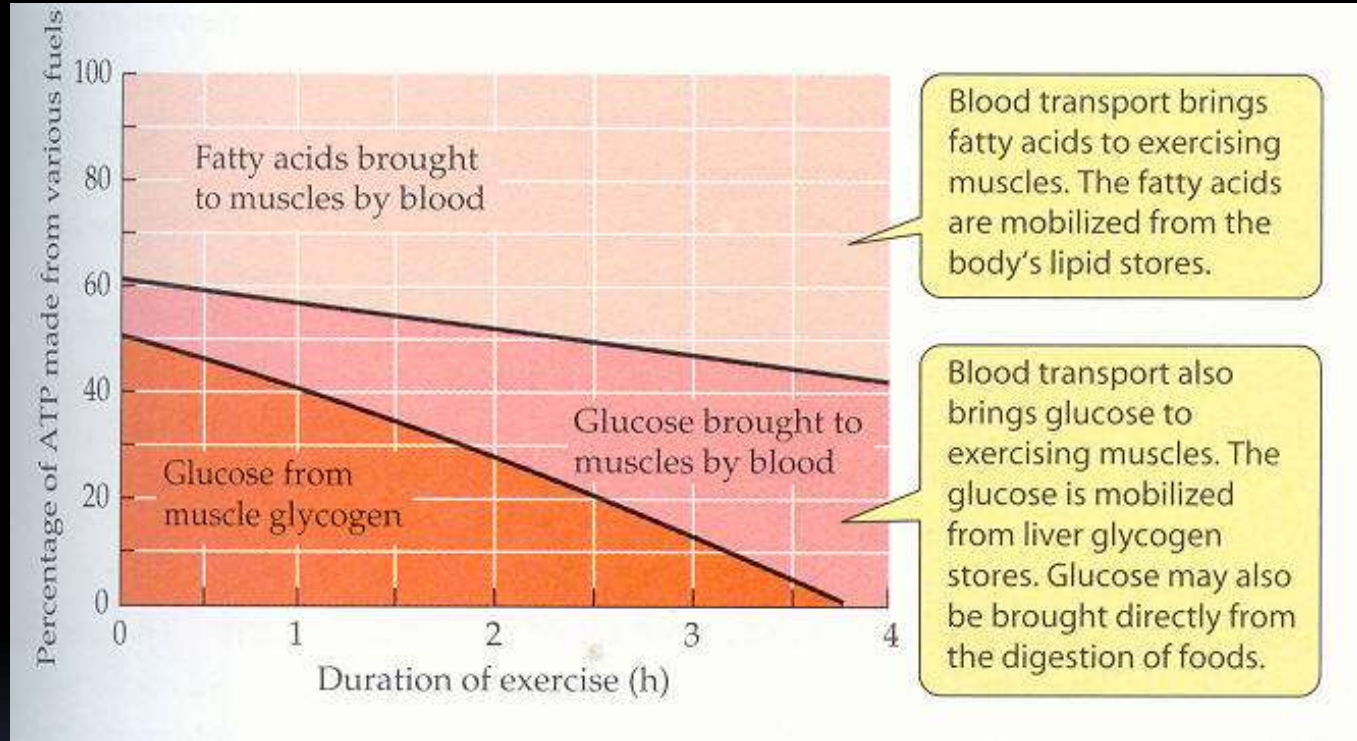
Po delší době:  
Anaerobní glykolýza  
Aerobní cukry  
Aerobní tuky

Most ATP is made by anaerobic glycolysis and use of phosphagen in short-duration events, whereas...

...essentially all ATP is made by aerobic catabolism in long-duration events.

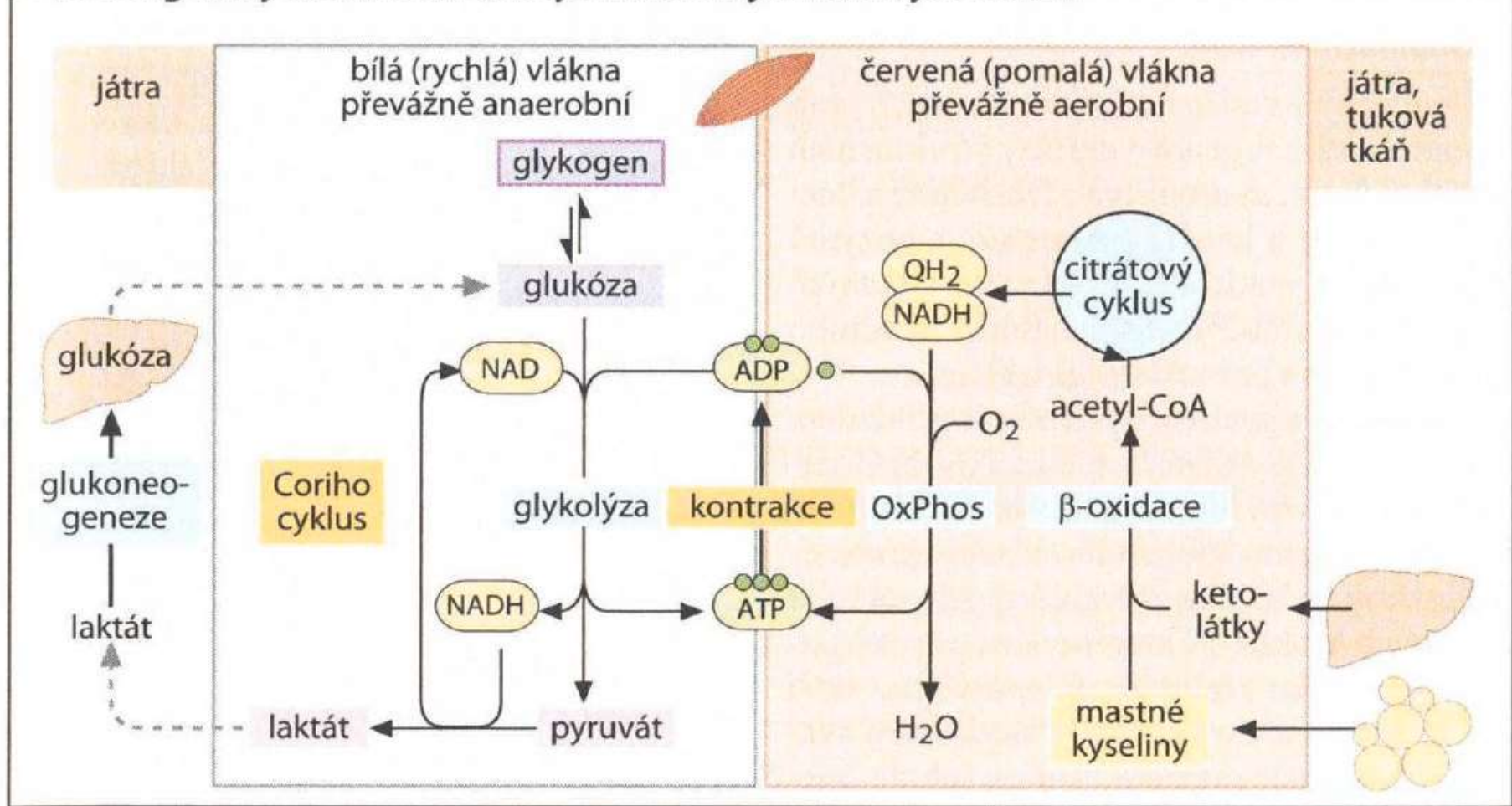
# Zdroje energie kosterního svalu závisí na době a intenzitě práce

Svalový glykogen se vyčerpává a čím dál víc záleží na zásobení živinami krví.



# Červená vlákna mají rezervu kyslíku (myoglobin) Bílá, rychlá vlákna ji nemají a přechází na glykolýzu Potřeba NAD je důvodem vzniku laktátu

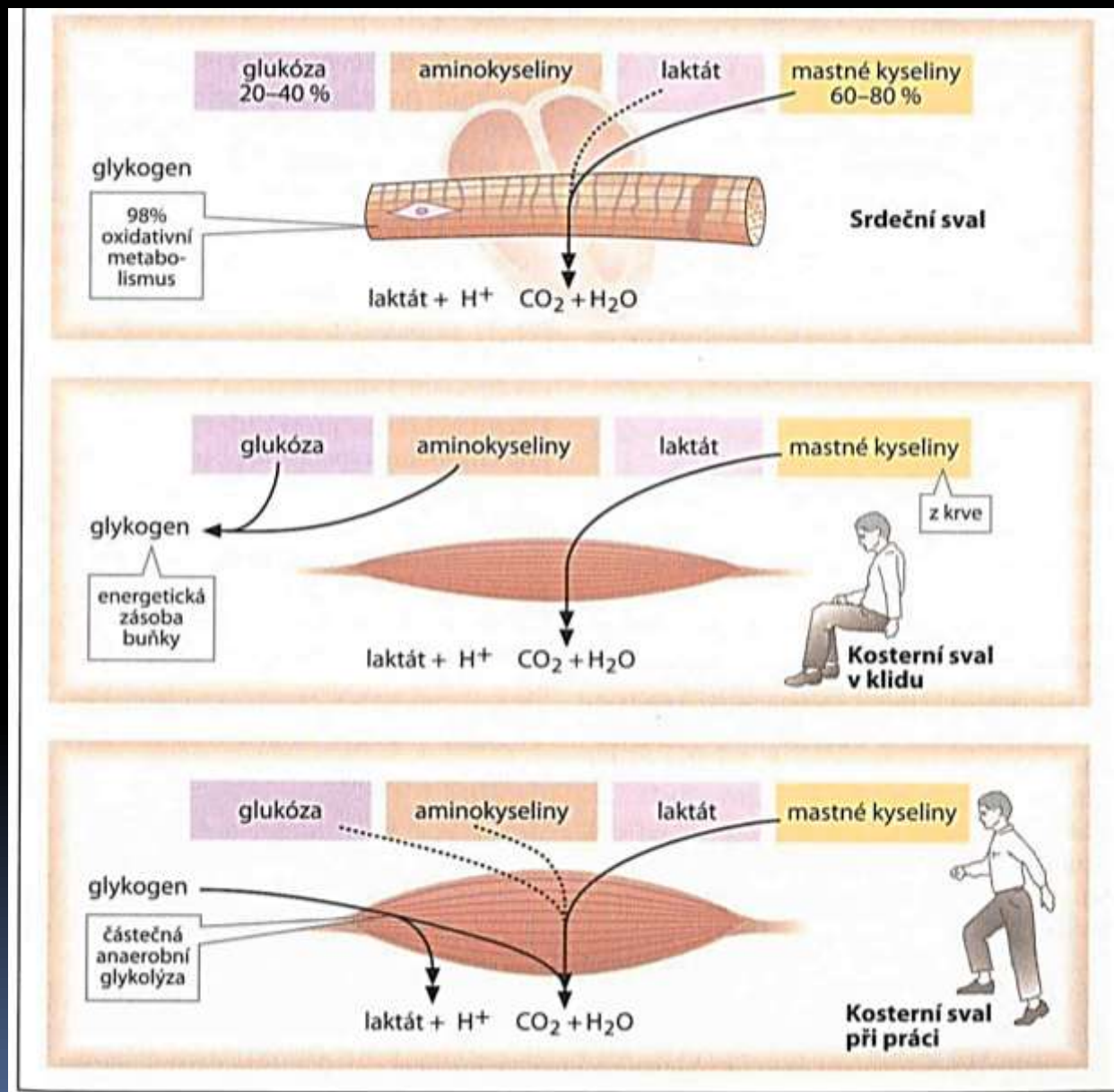
## A. Energetický metabolismus bílých a červených svalových vláken



# Zdroje energie srdce a kosterního svalu

Srdce – především na MK,  
Glc jen při Inzulínové  
stimulaci a vysoké glykémii

Kosterní –  
V klidu na MK, tvoří se  
zásoba glykogenu.  
Při práci 1. min anaerobně,  
pak vyšší prokrvení zajistí  
aerobní metabolismus.





# Srovnání charakteristik 3 základních typů svalů

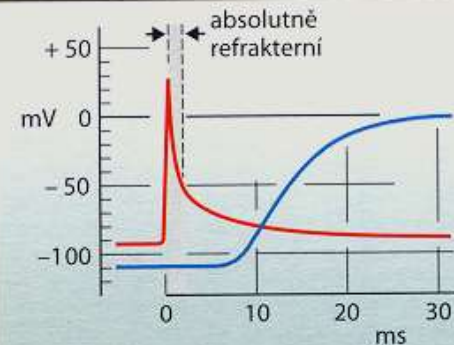
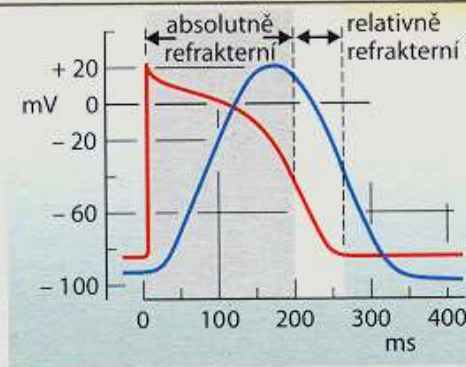
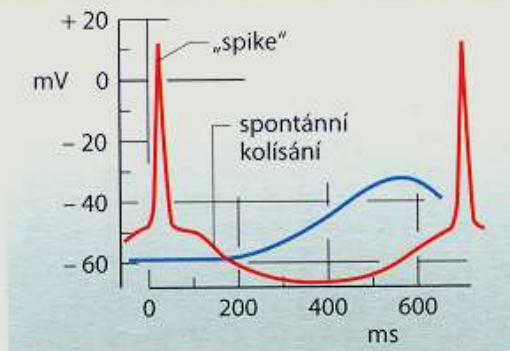
## A. Stavba a funkce hladkého, srdečního a kosterního svalu

### Stavba a funkce

	hladký sval	srdeční sval (příčně pruhovaný)	kosterní sval (příčně pruhovaný)
motorická ploténka	žádná	žádná	ano
vlákna	fuziformní, krátká (max. 0,2 mm)	větvená	cylindrická, dlouhá (max. 15 cm)
mitochondrie	nečetné	četné	nečetné (v závislosti na typu svalu)
buněčné jádro/vlákno	1	1	četná
sarkomera	žádná	ano, délka max. 2,6 $\mu\text{m}$	ano, délka max. 3,65 $\mu\text{m}$
elektrické spřažení	částečné (jednotkový typ)	ano (funkční syncytium)	ne
sarkoplazmatické retikulum	málo vyvinuté	přiměřeně vyvinuté	silně vyvinuté
Ca <sup>2+</sup> -„spínač“	kalmodulin/kaldesmon	troponin	troponin
pacemaker	zčásti spontánně rytmicky činný (1 s <sup>-1</sup> -1h <sup>-1</sup> )	ano (sinoatriální uzel asi 1 s <sup>-1</sup> )	ne (nutný nervový podnět)
odpověď na podnět	změna tonu nebo frekvence rytmu	„vše nebo nic“	odstupňovaná
tetanizovatelný	ano	ne	ano
pracovní rozsah	křivka délka/síla je proměnlivá	na vzestupu křivky síla/délka (viz tab. 2.15 E)	v maximu křivky síla/délka (viz tab. 2.15 E)

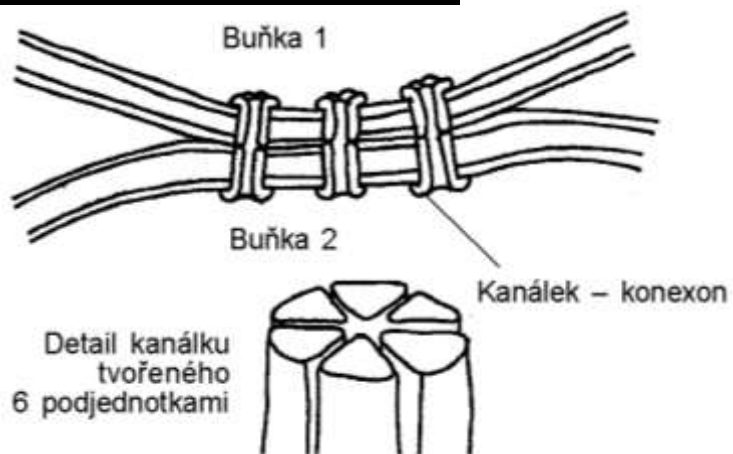
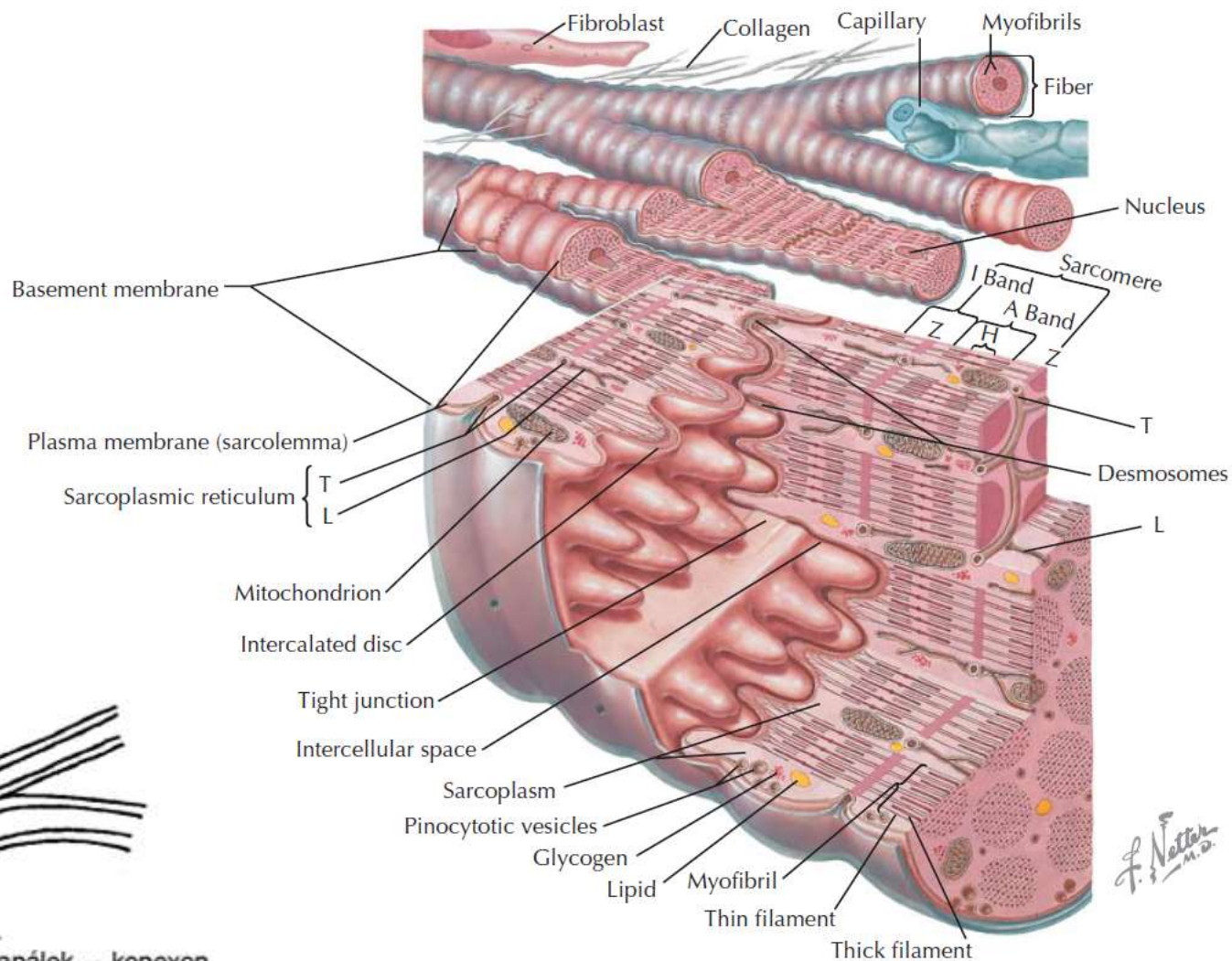
### odpověď na podnět

potenciál —  
napětí svalu —



# Srdeční svalovina - myokard

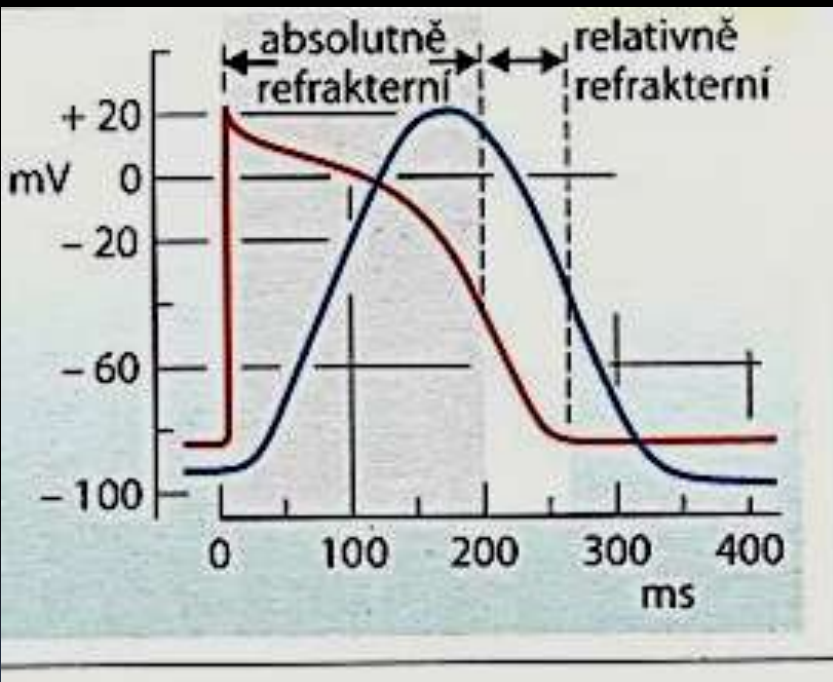
Interkalární disky  
Jsou typem gap  
junction  
Syncytium



Téměř neexistuje možnost odstupňování stahů –  
Není ani časová ani prostorová sumace

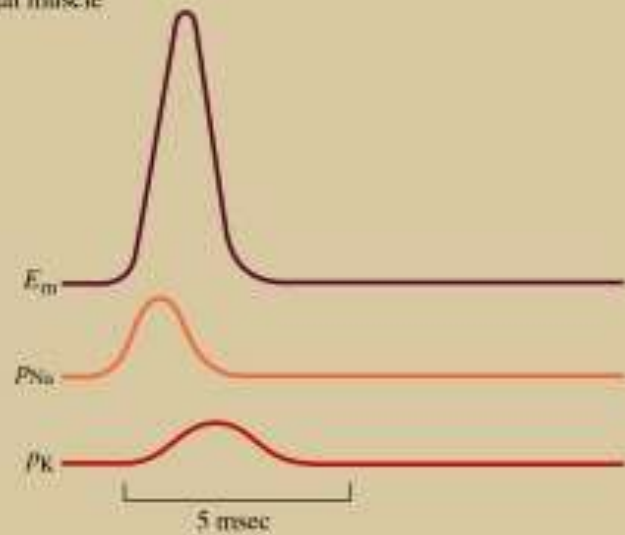
# Ca v myokardu a jeho podíl na tvaru AP

Ca plató – až 500ms trvání

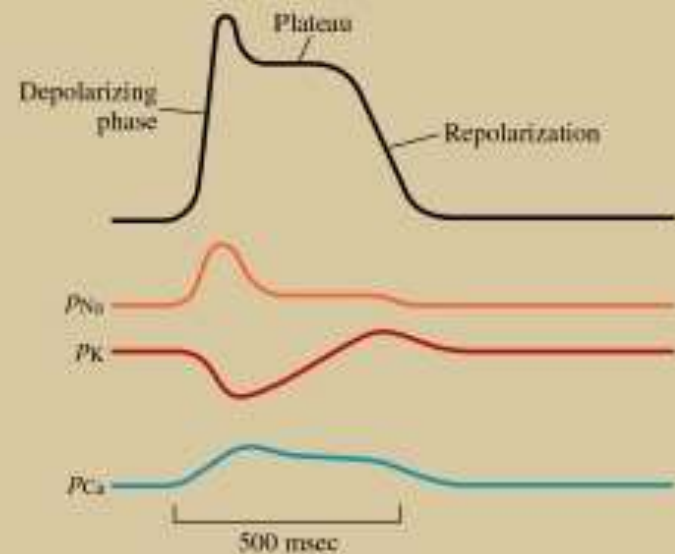


Nelze fyziologicky vyvolat hladký tetanus

A Skeletal muscle



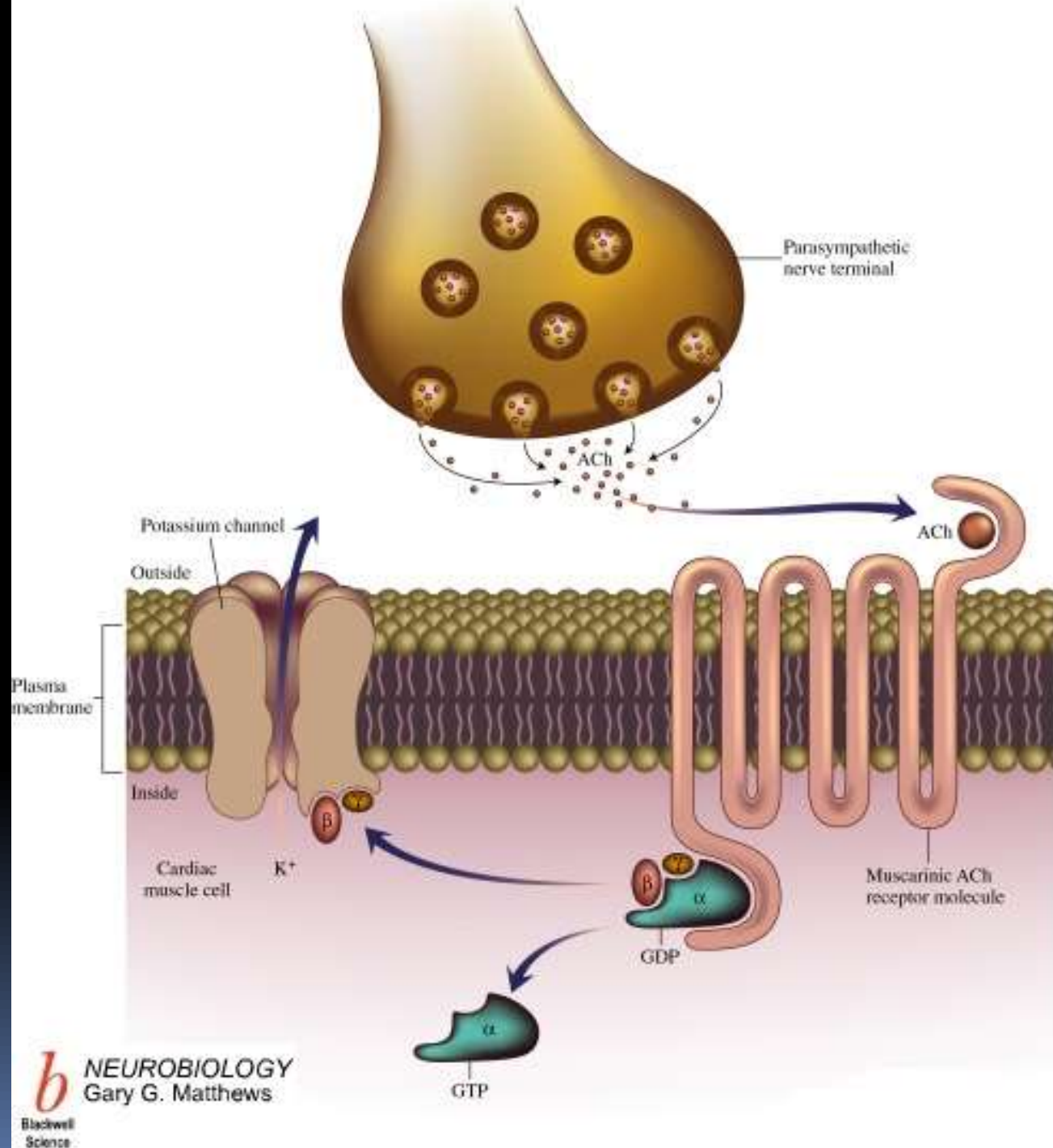
B Cardiac muscle



# Parasympatikus na myokardu

Snižuje dráždivost

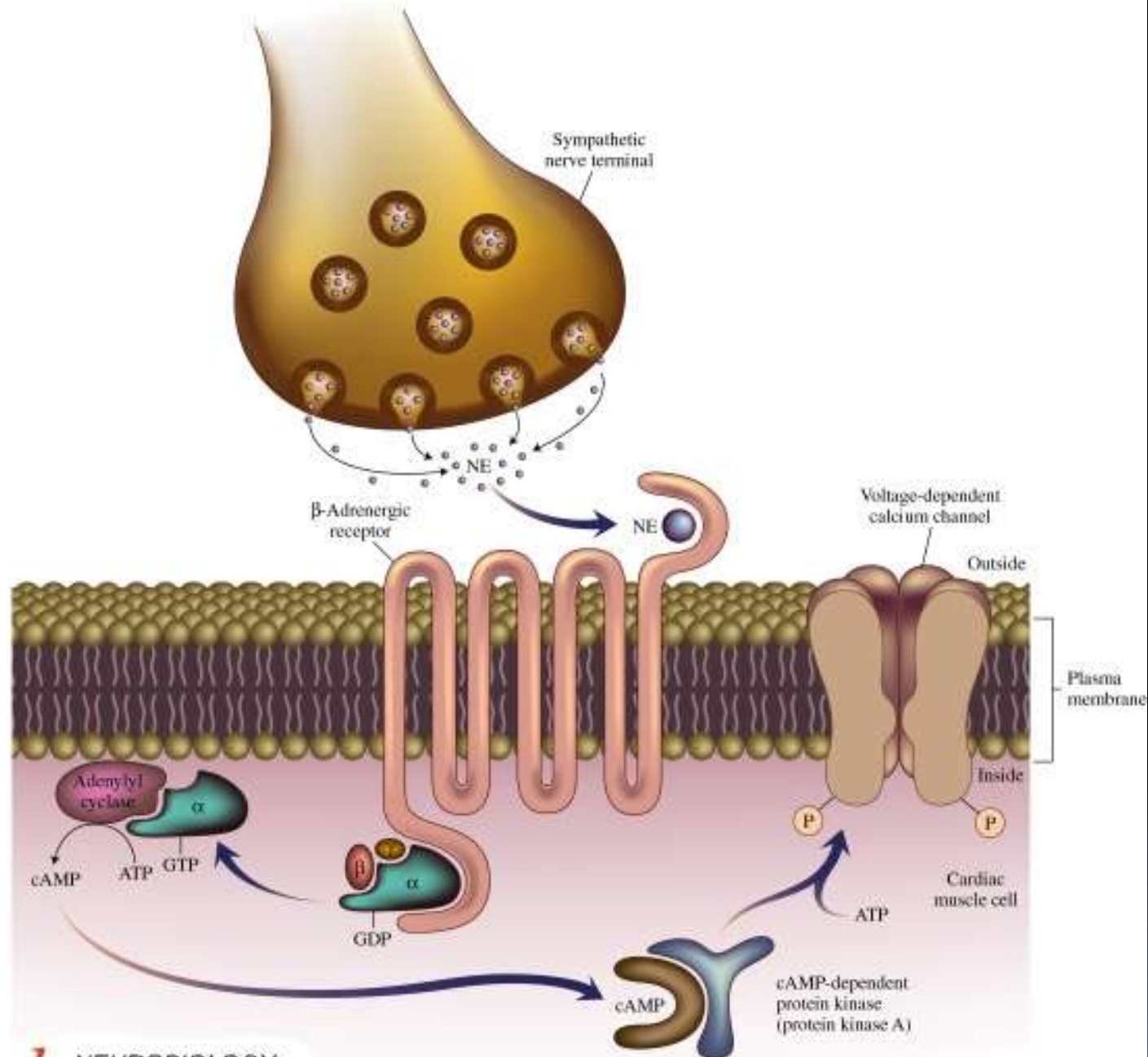
Ach se váže na muskarinový receptor a přes G-protein otevírá K kanál – hyperpolarizuje membránu



# Sympatikus na myokardu

Zvyšuje  
Dráždivost

NA se váže na  
adrenergní  
receptor a přes  
G-protein a  
druhého posla  
otevřává Ca kanál  
– depolarizuje  
membránu

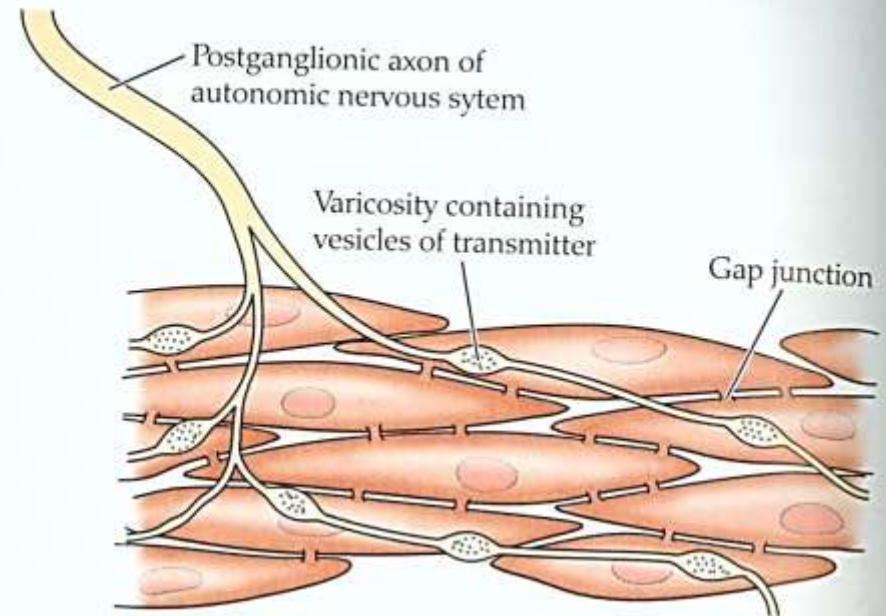


# Hladká svalovina

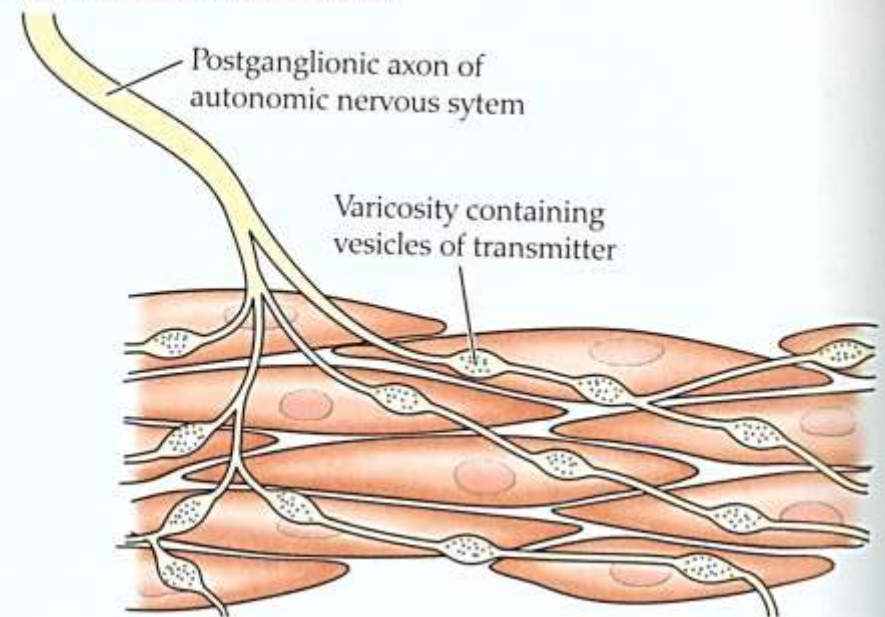
Buňky jsou menší, mají jen jedno jádro, jsou vřetenovitého tvaru, propojené mechanickými spoji zaručujícími přenos síly celým svalem. Nemají transverzální tubuly, troponin, tropomyosin. ATPáza myozinu je mnohem pomalejší, což vede k pomalejší kontrakci, ale udrží stah s mnohem menším vynaložením energie.

Jednotková a vícejednotková organizace podle propojení gap junction

(a) Single-unit smooth muscle



(b) Multiunit smooth muscle



# Hladká svalovina – různé podněty

## A. Smooth muscle fibers according to type of stimulation

### 1 Single-unit fibers

Electrical coupling  
(gap junctions)

Spontaneous stimulation

General contraction

Stomach, intestine, uterus, blood vessels, etc.

### 2 Multi-unit fibers

Stimulated by  
autonomic nerve

Local contraction

Arterioles, deferent duct, iris, etc.

**Stah lze vyvolat:**

Nervově

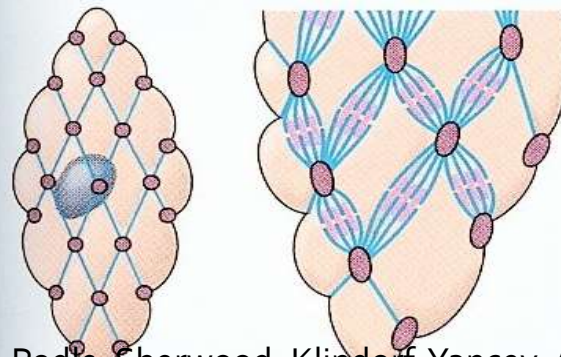
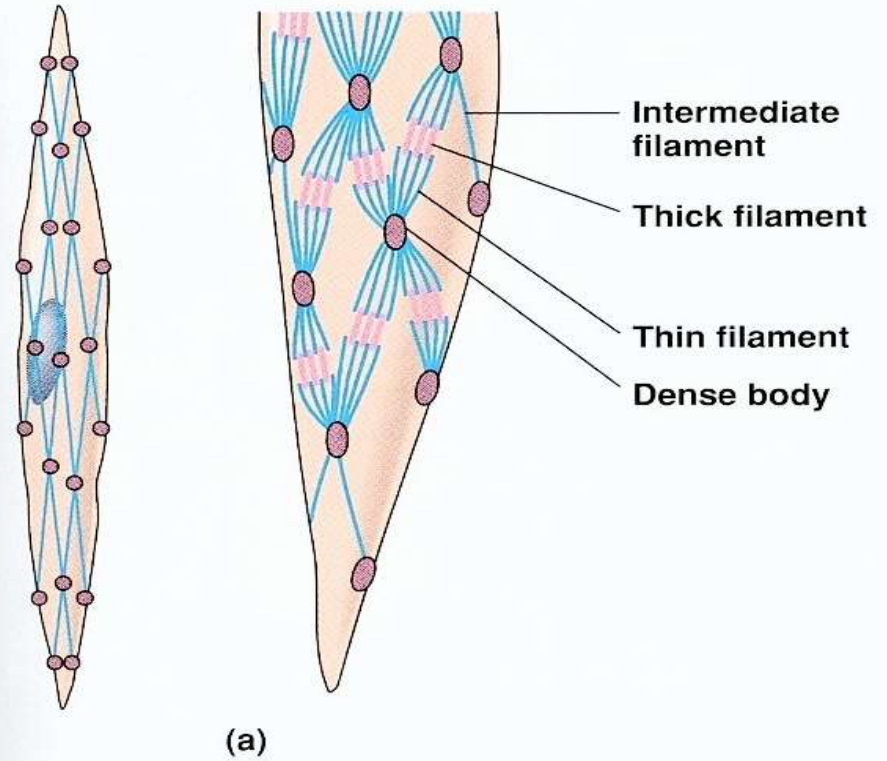
Látkově

Mechanicky

Autonomně - pacemakery

# Hladká svalovina - kontrakce

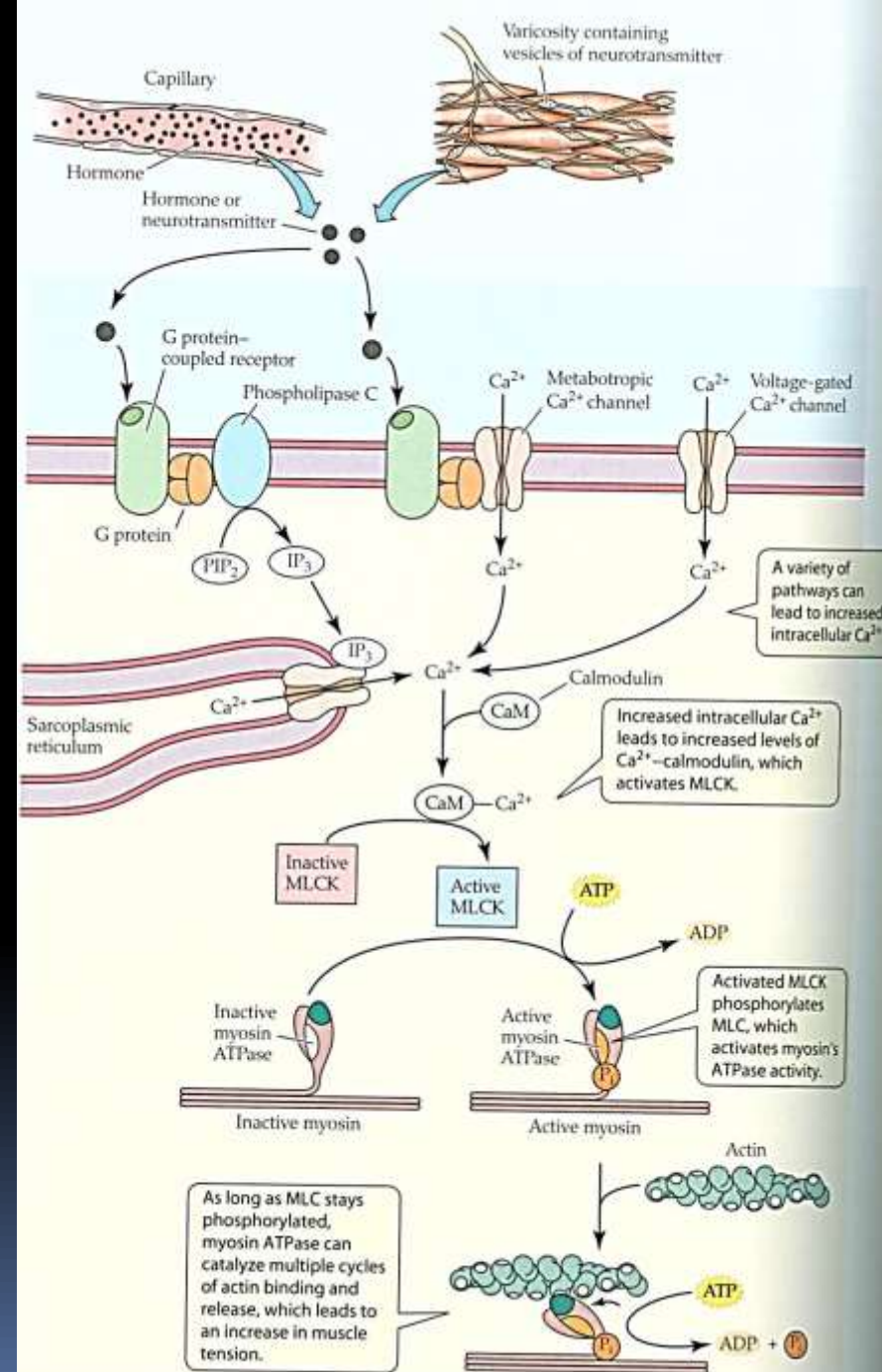
Síťovité propojení aktinu a  
myosinu tvoří proužky

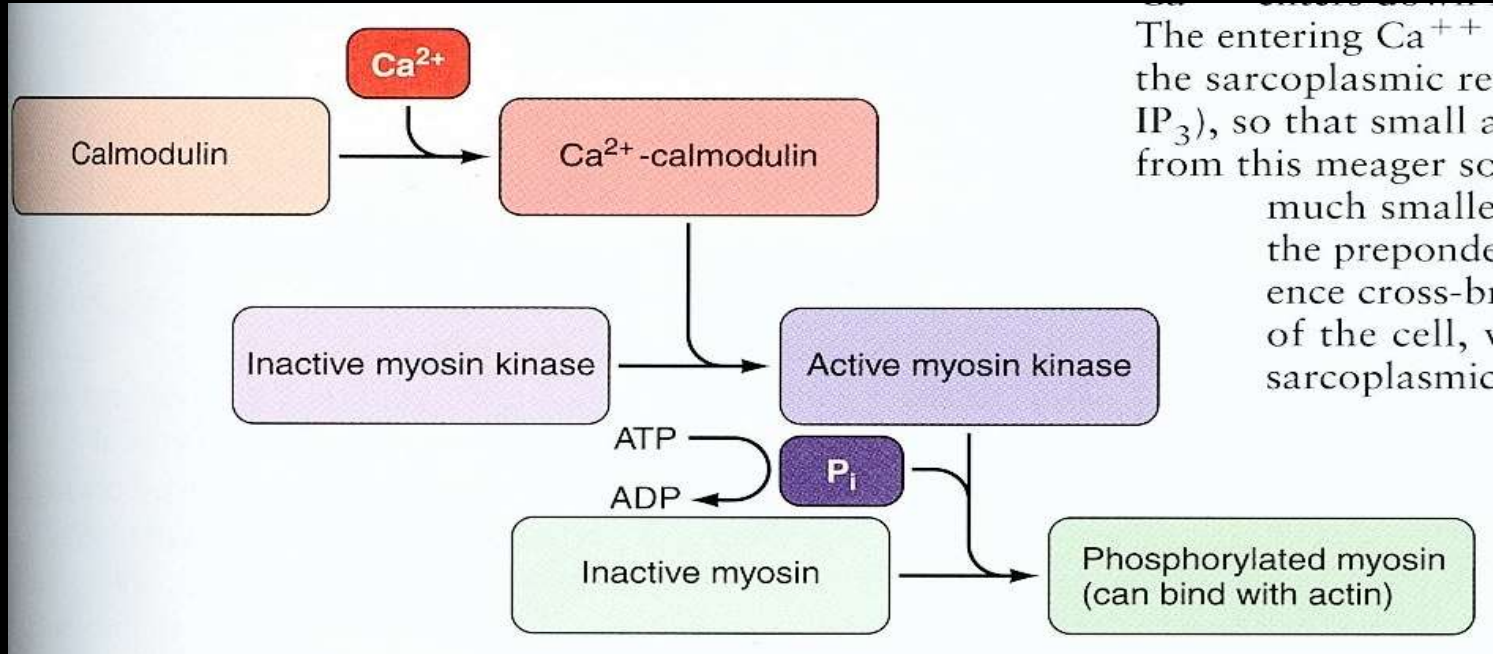




# Hladká svalovina - kontrakce

Řízení stahu je opět přes Ca, ale jinak, přes tlusté (myosinové) vlákno. MLCK (myosin light chain kinase). Fosforyluje jednu myosinovou hlavičku, což vede ke zvýšení ATPázové aktivity a spustí navázání na aktin.





Kalciová aktivace myozinu hladké svaloviny.

Ca<sup>2+</sup> vstupuje po podráždění především z extracelulárního prostoru a v komplexu s kalmodulinem aktivuje myozin kinázu. Ta fosforyluje myozin, který je poté schopen interagovat s aktinem a začít stah

# Hladká svalovina - kontrakce

Citlivá na hormony i mediátory. Avšak různě podle typu receptorů na různých tkáních. Acetylcholin (parasymptický mediátor) vede ke kontrakci svaloviny močového měchýře, ale Adrenalin inhibuje stah. Naopak u většiny cév sympatický noradrenalin způsobí k kontrakci hladké svaloviny ve stěnách.

