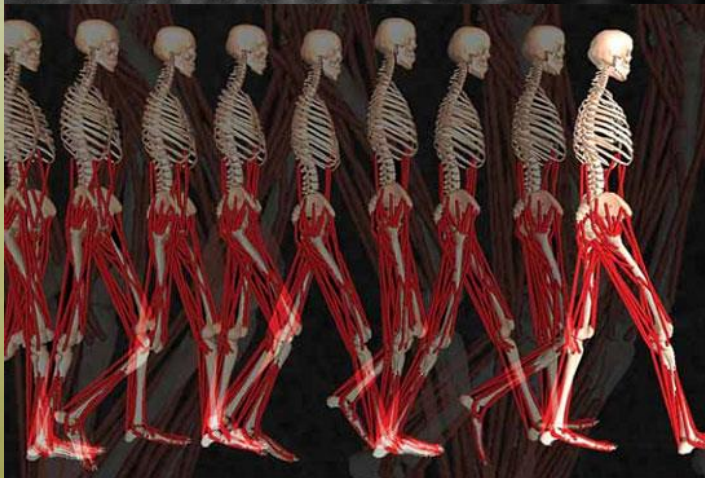
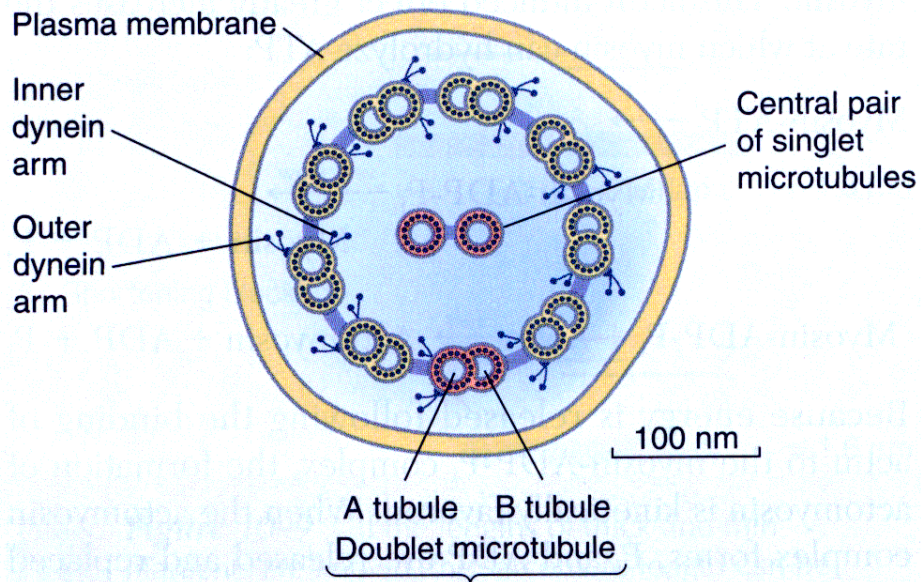


Fyziologické principy pohybu

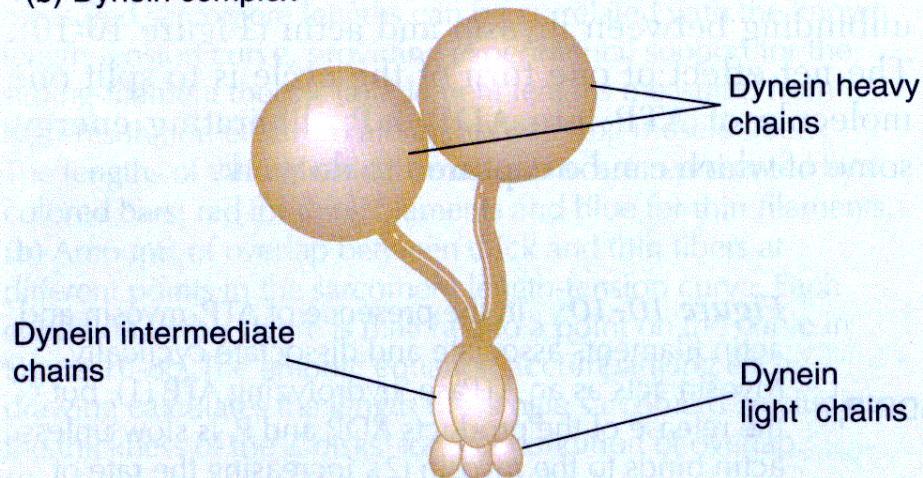


Struktura mikrotubulů a jejich spojení dyneinem

(a) Cilium or flagellum



(b) Dynein complex



(c) Dynein in motion

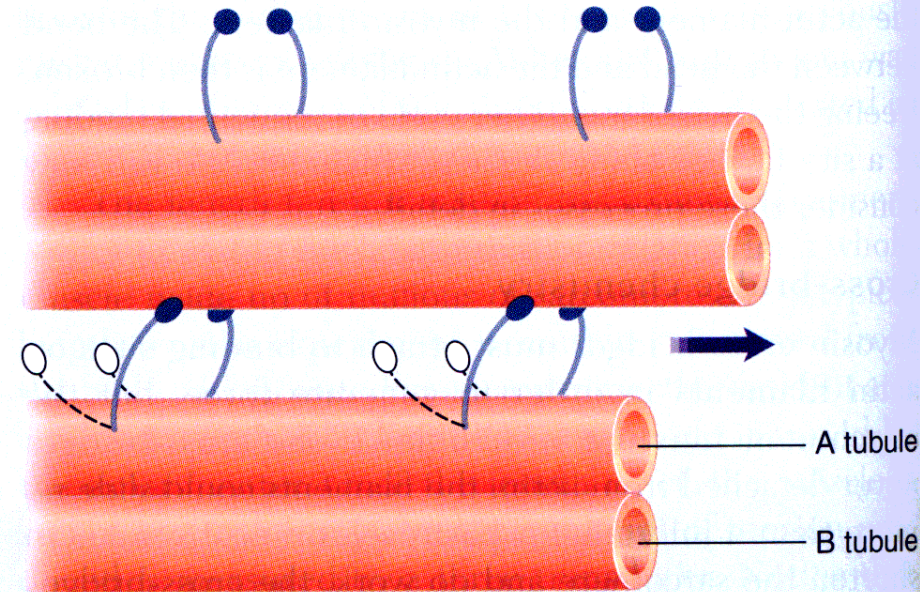
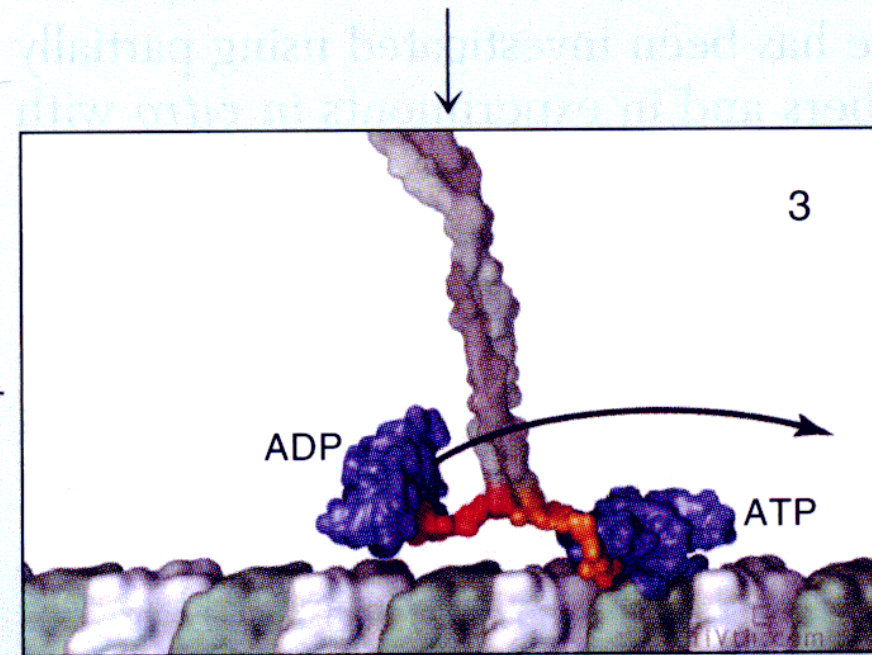
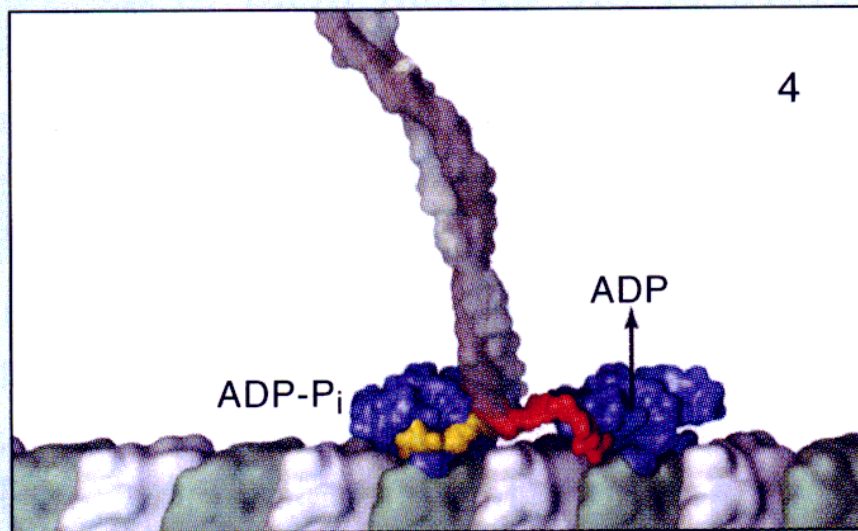
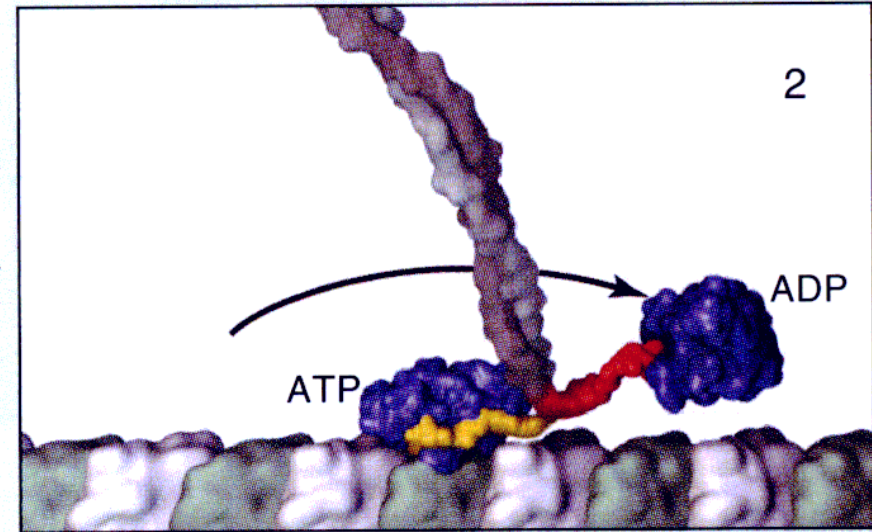
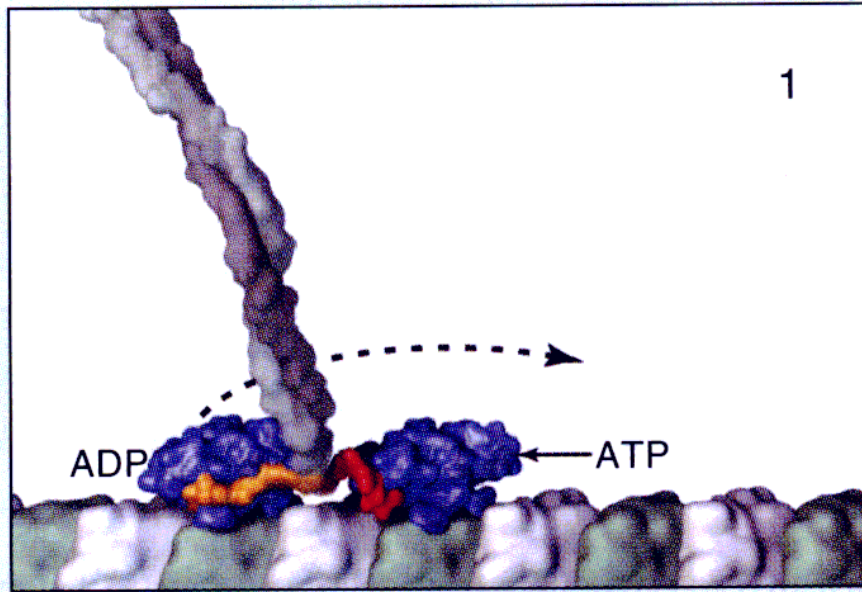
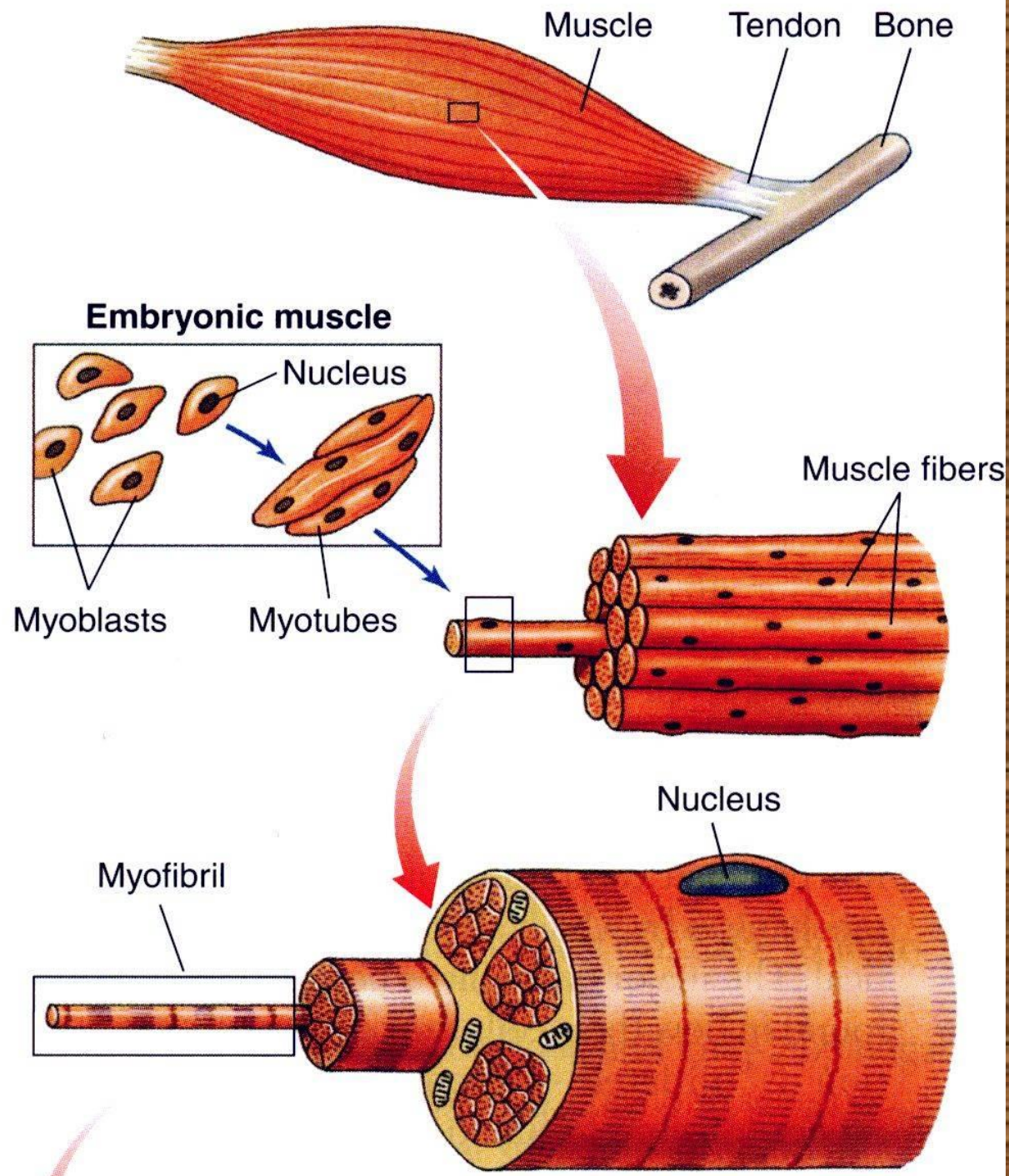


Figure 1 Dynein drives the movement of cilia and flagella. (a) Typical structure of a cilium or flagellum, showing the "9 + 2" arrangement of microtubule pairs and the location of dynein complexes along the tubules. Each microtubule pair consists of an "A" tubule and a "B" tubule, which are not identical. Dynein complexes are anchored along the A tubules. (b) The dynein complex includes two heavy chains with their heads oriented outward, as well as several intermediate and light chains. (c) Dynein causes movement as the two heads bind alternately to the B tubule of the adjacent microtubule pair, producing a "walking" motion and causing the microtubules to slide past one another. [Adapted from Lodish, 2000.]

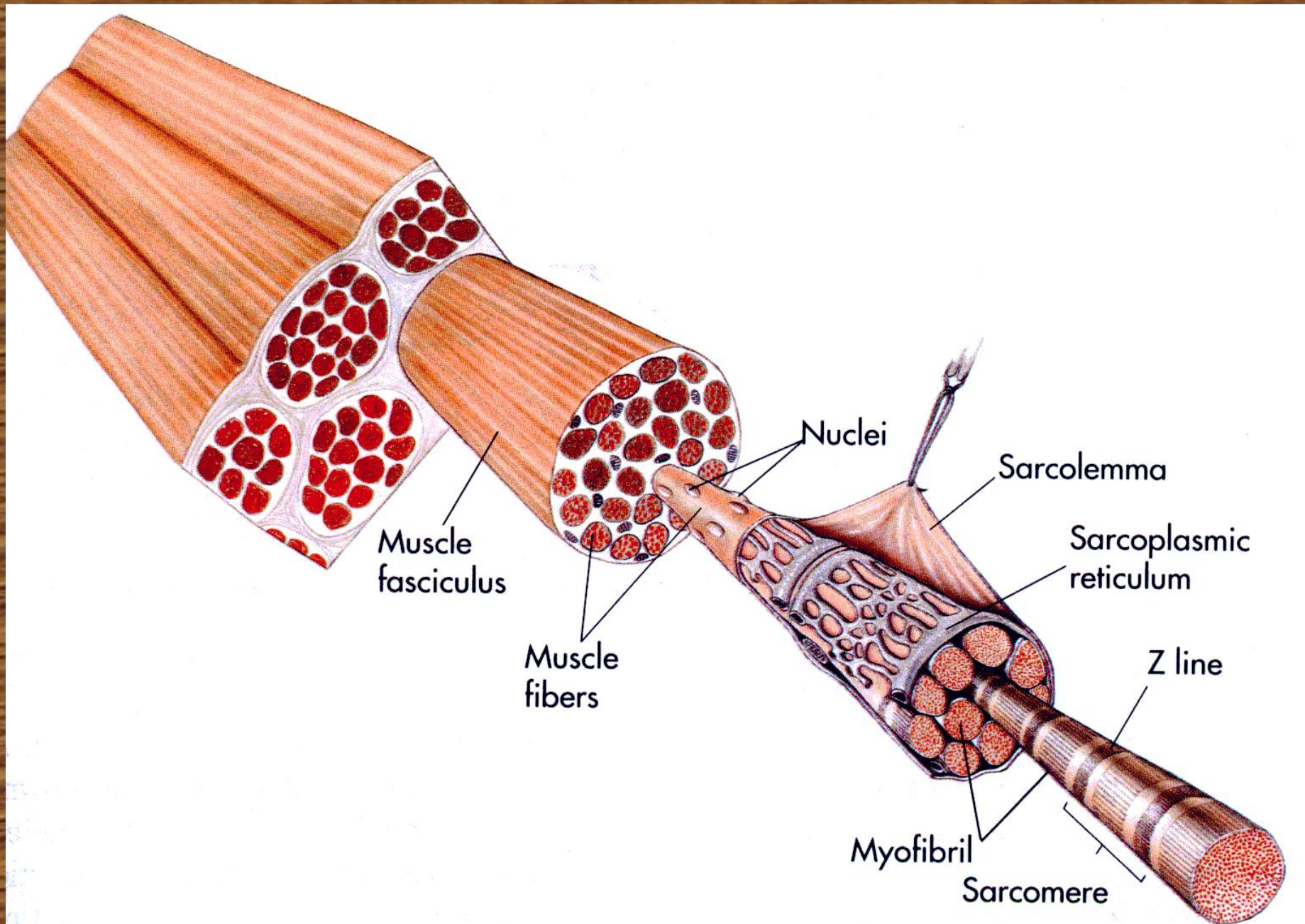
(b) Kinesin in motion



Struktura příčně pruhovaného svalu

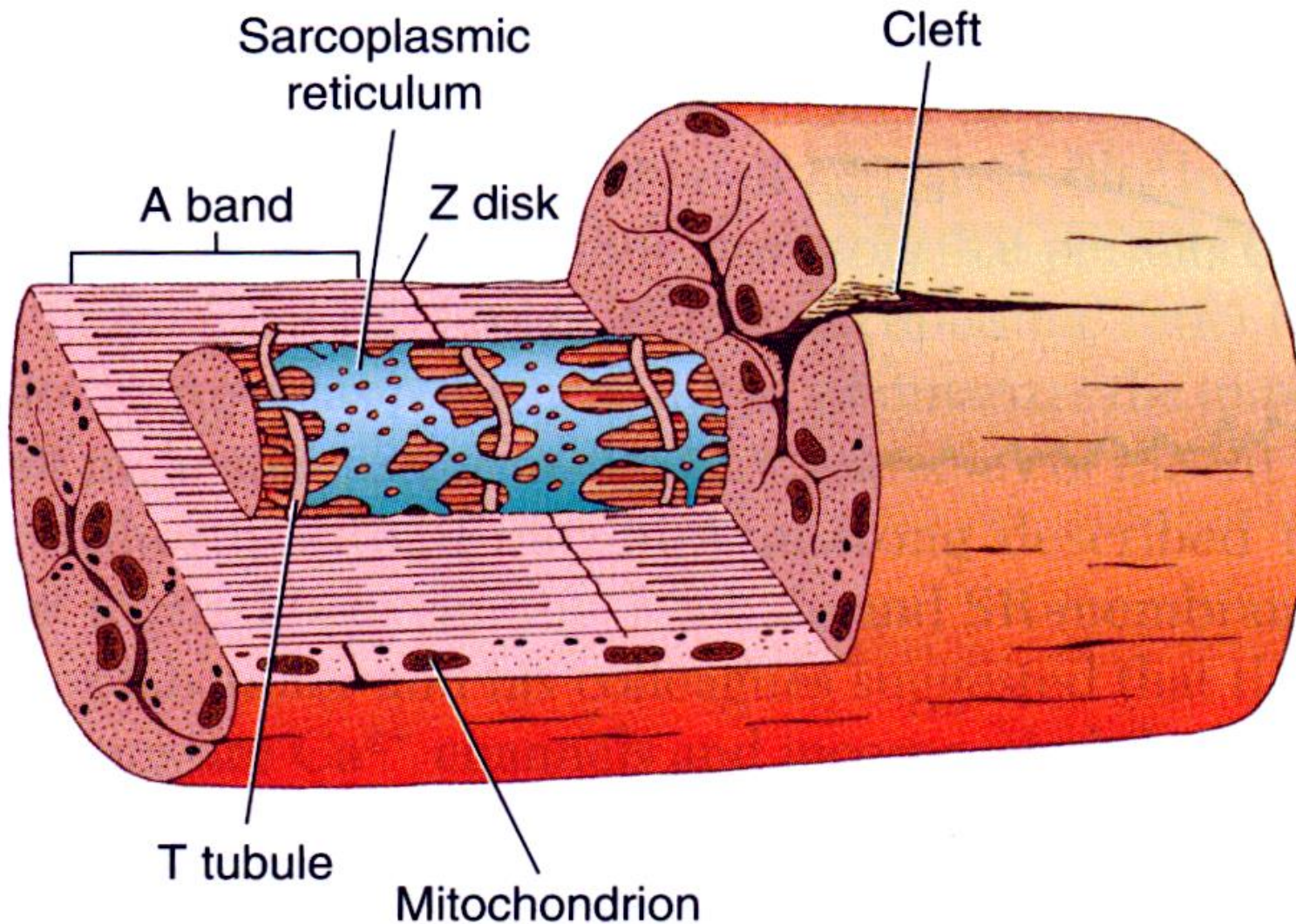


Organizace příčně pruhovaného svalu



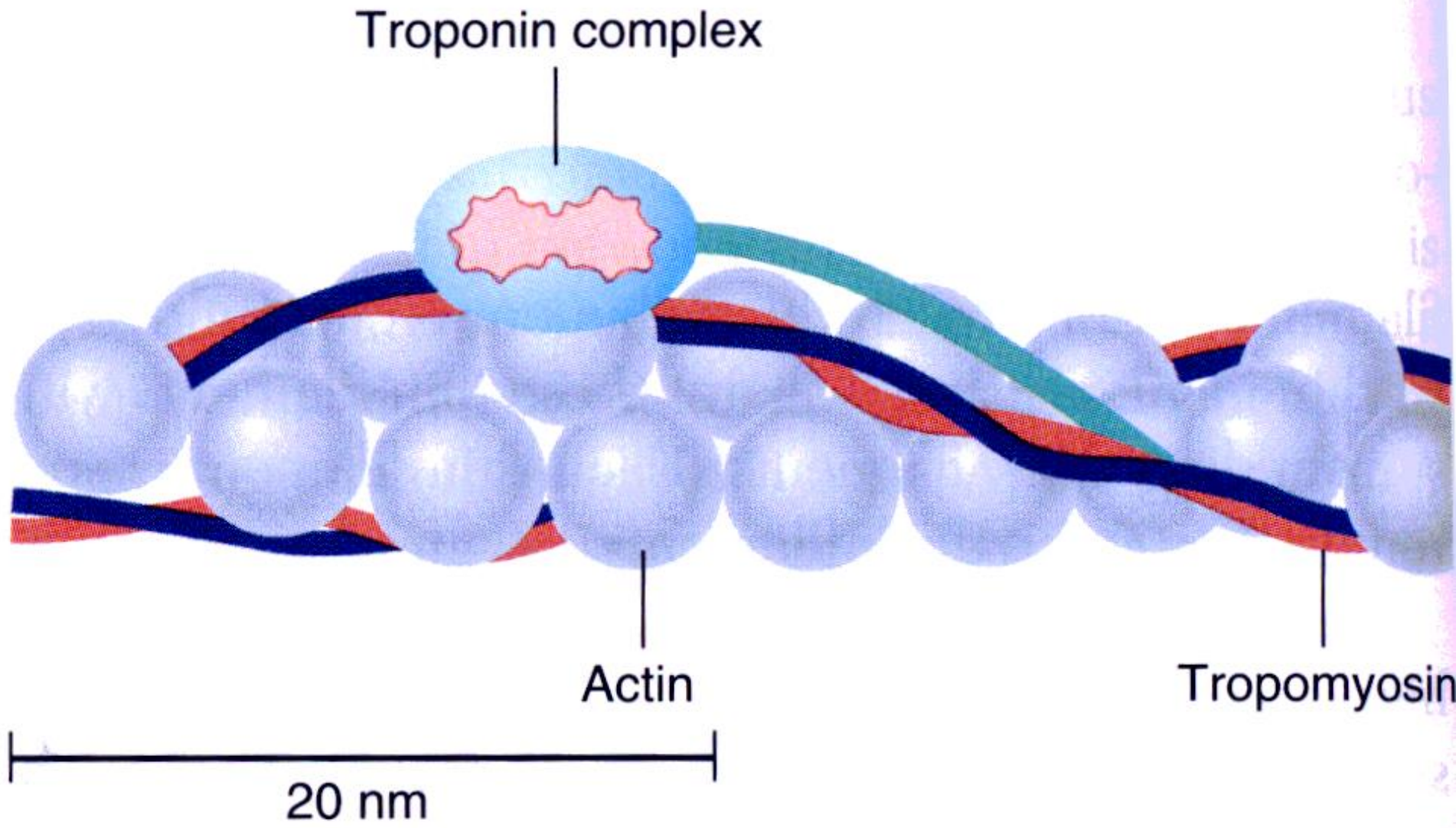
T-tubuly ve svalovém vlákně

Figure 10-22 In crab muscle fibers, the T tubules are located at the A bands, rather than at the Z disks as in frog fibers. Stimulation with an extracellular micropipette produces a local contraction in crab fibers only when the tip of the pipette is placed over an A band. Compared with frog muscle fibers, crab fibers have a larger diameter and contain deep clefts. [Adapted from Ashley, 1971.]

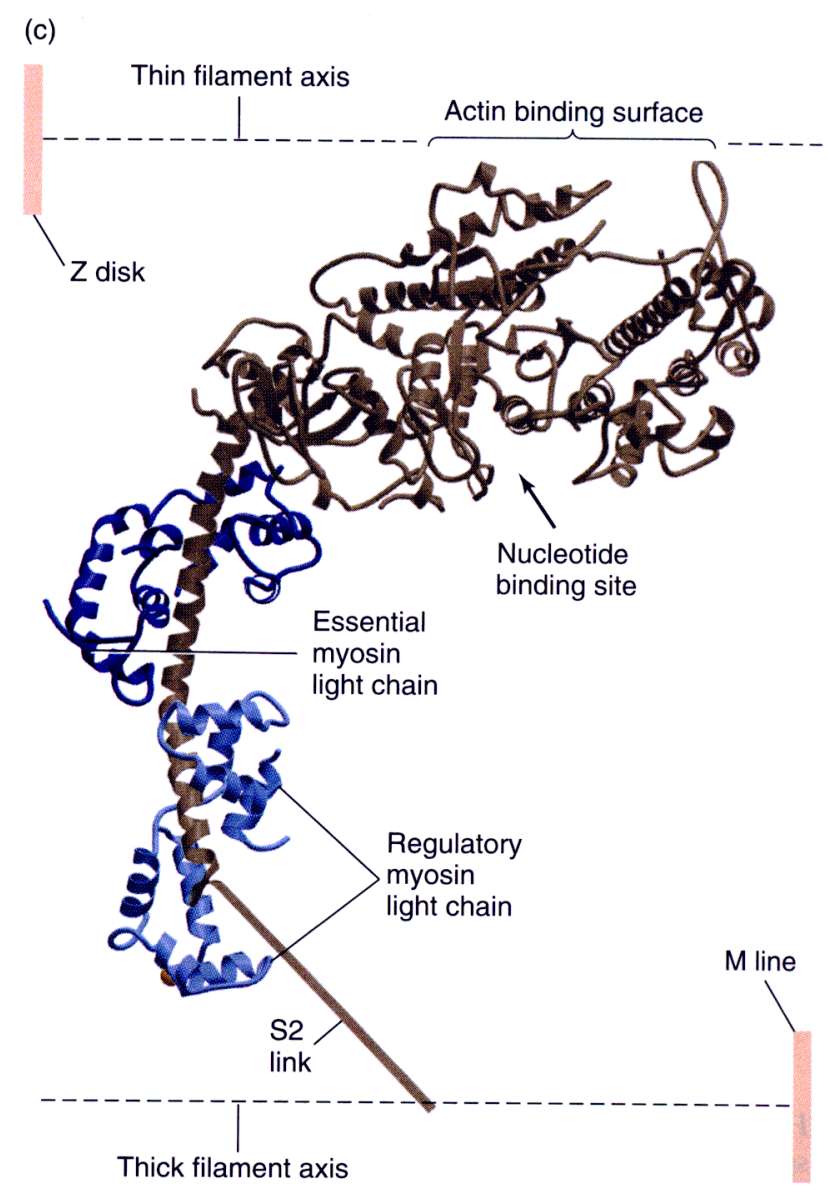
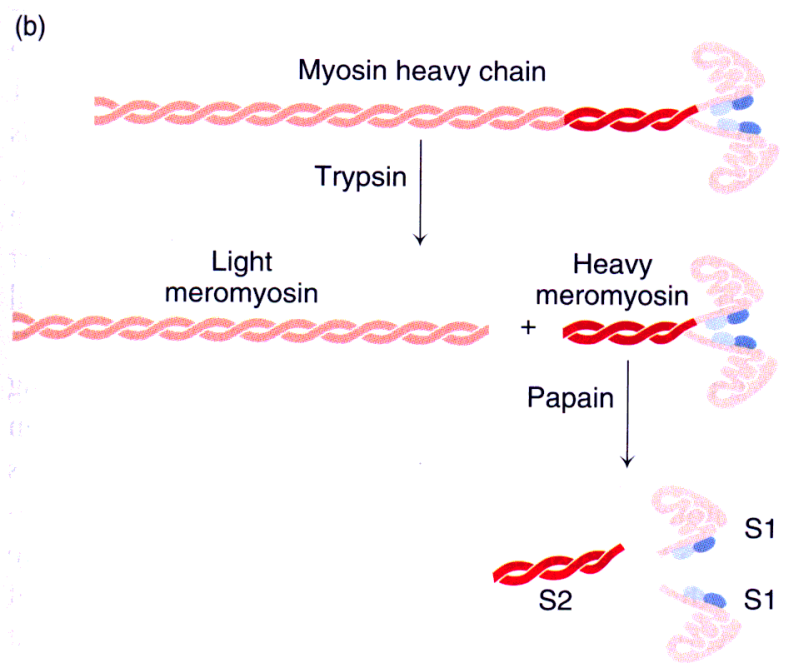
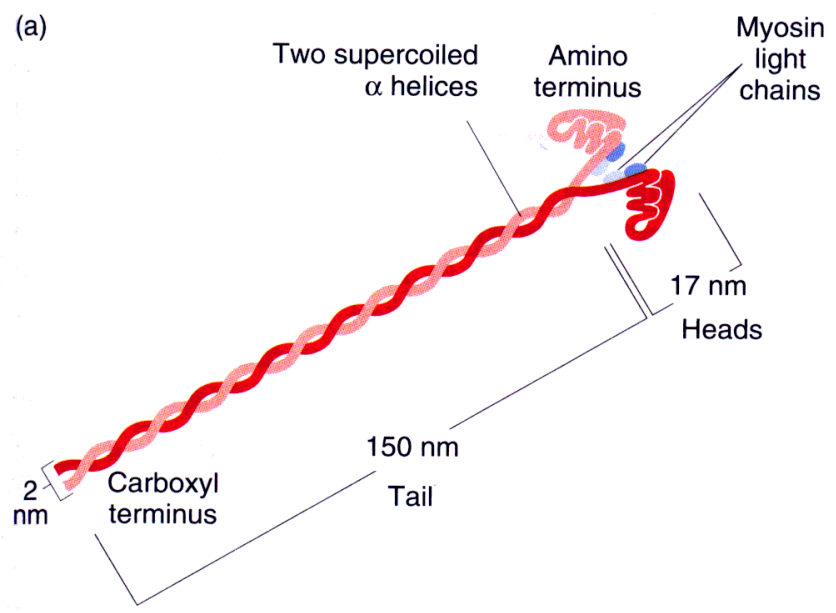


Molekulární struktura aktinu

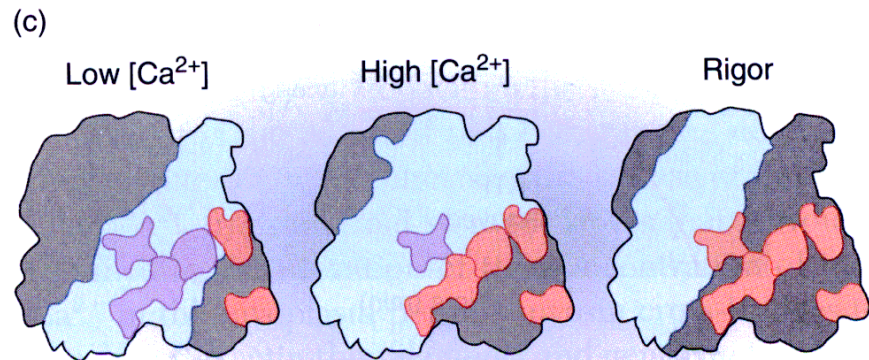
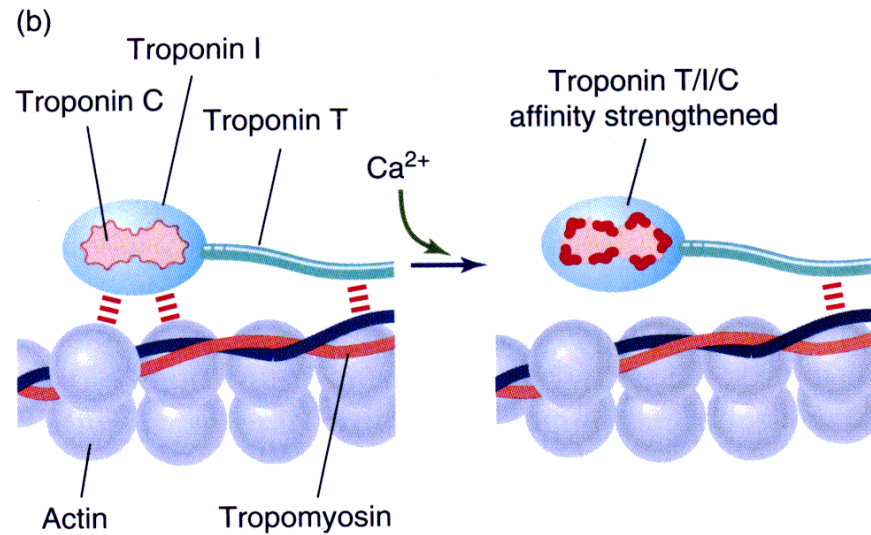
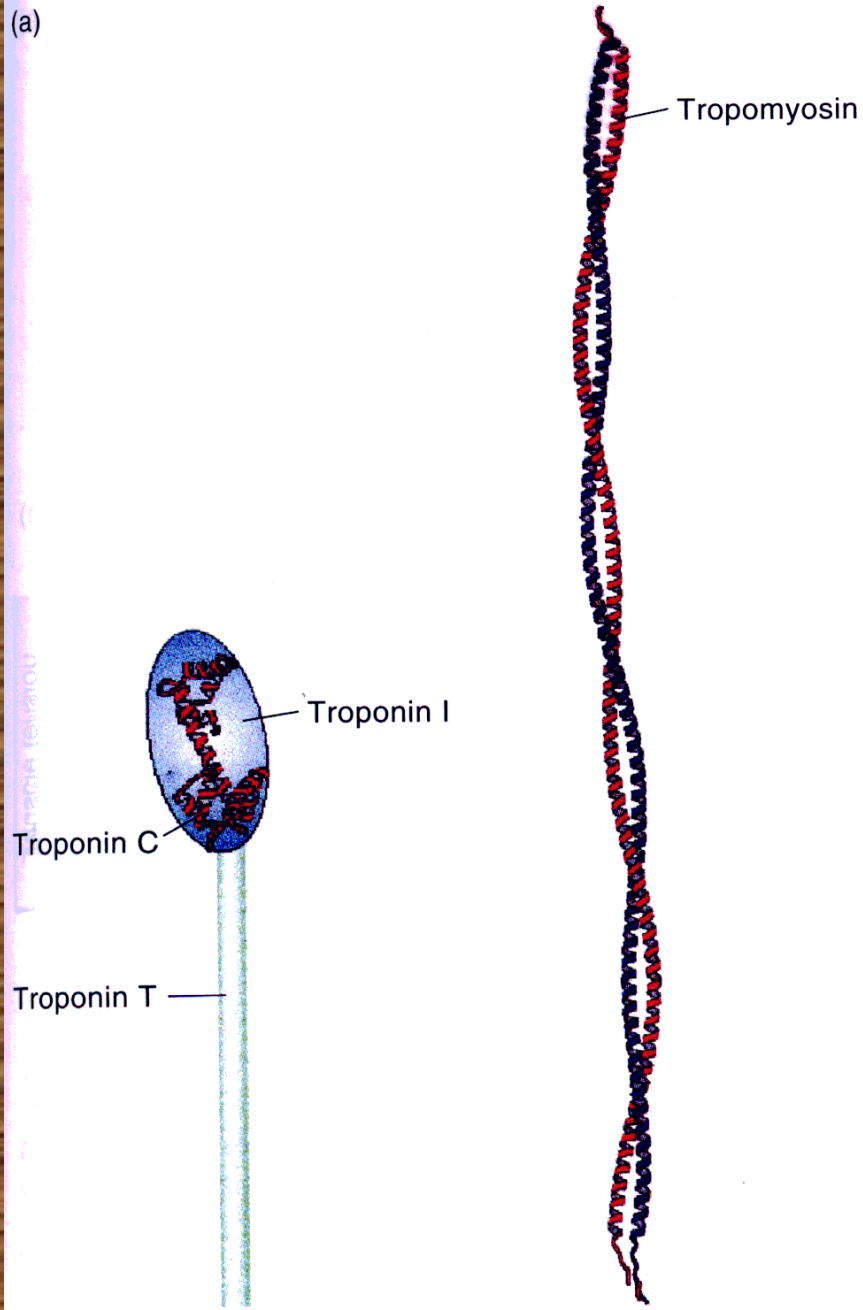
(b)



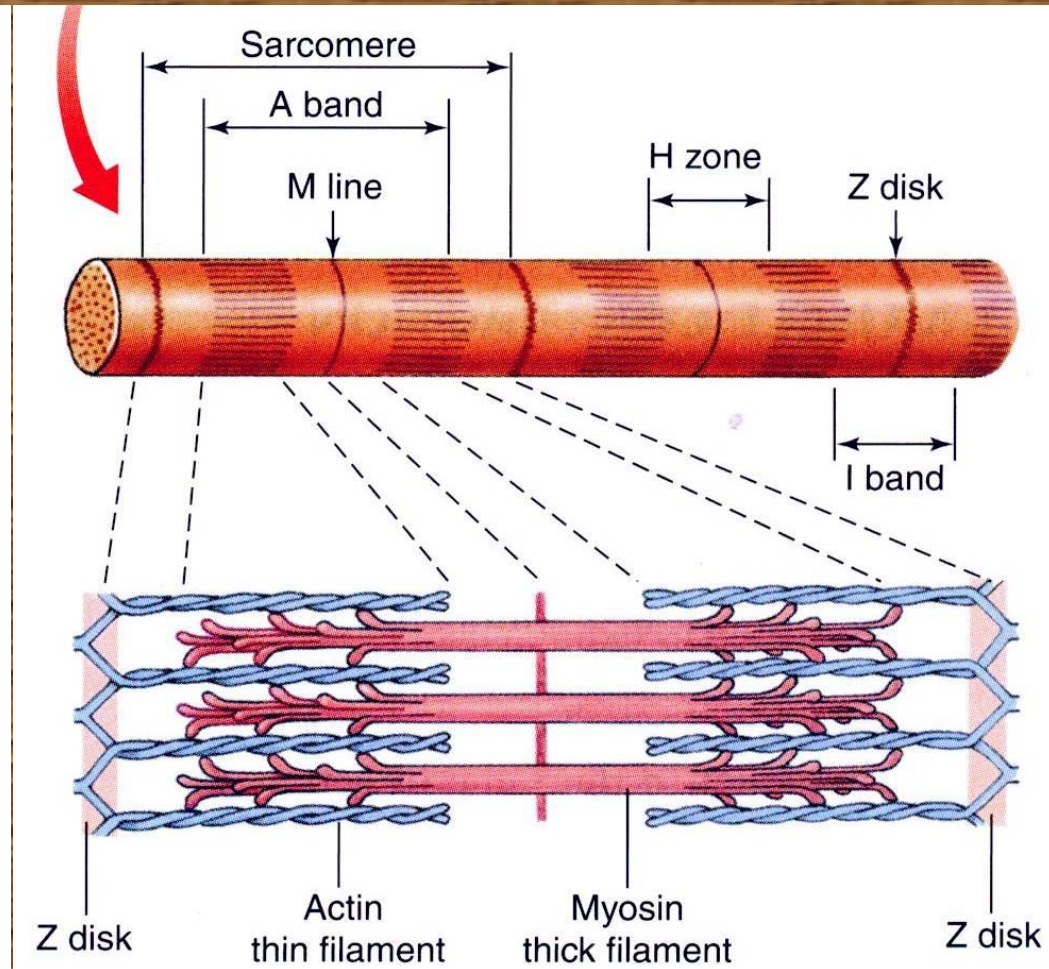
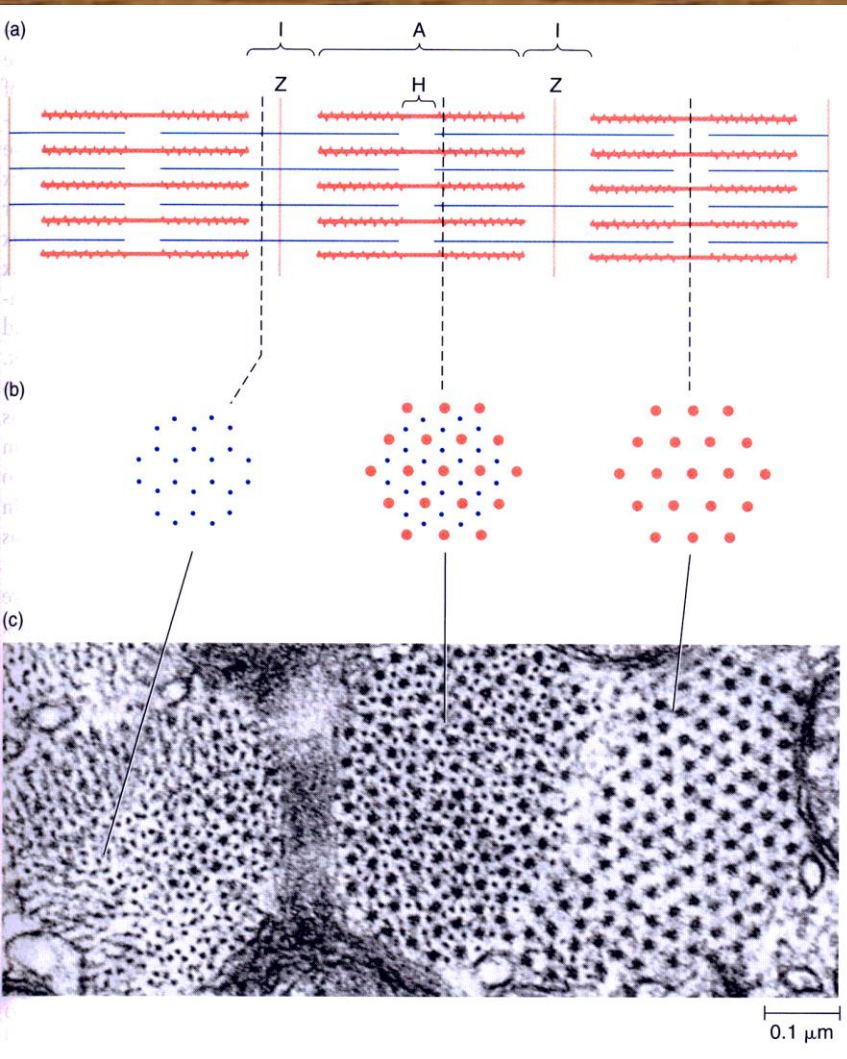
Molekulární struktura myozinu



Troponin a tropomyosin

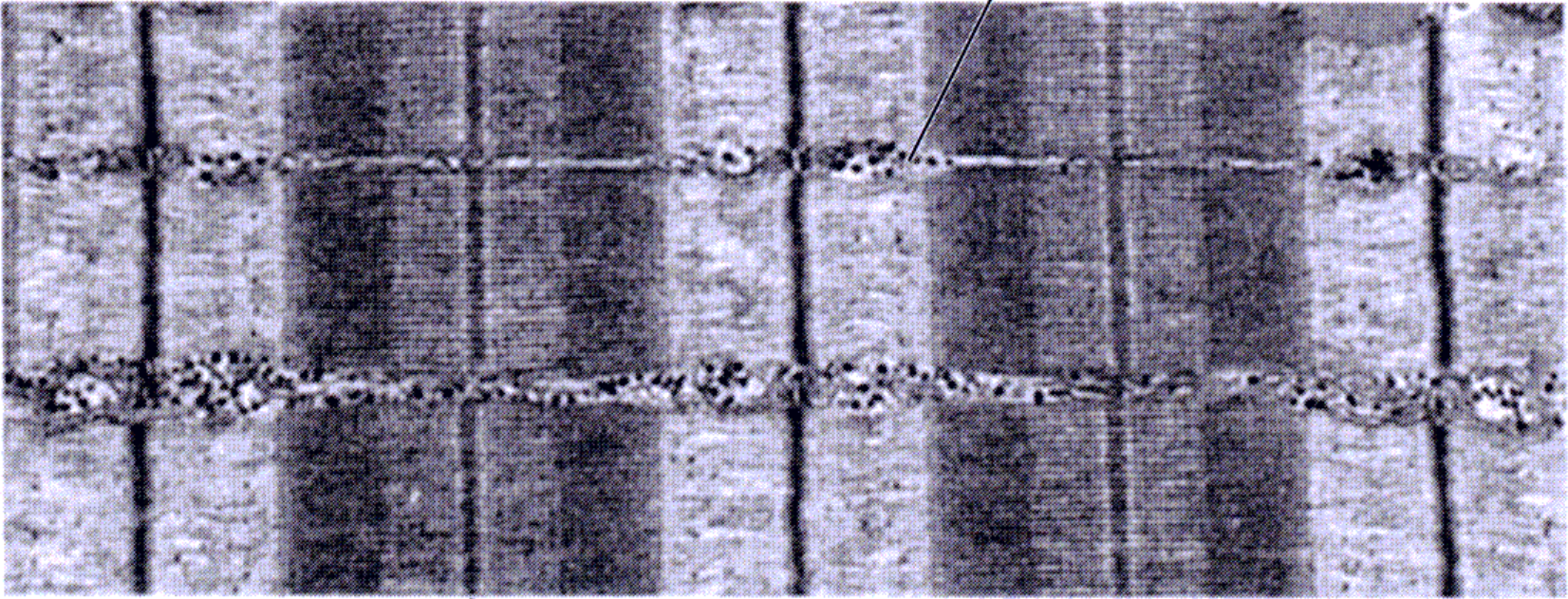


Organizace sarkomery – základní funkční jednotky příčně pruhovaného svalu



Elektronový snímek sarkomery

Glycogen



Myofibrils

I band

H zone

Z disk

A band

Z disk

M line

A band

1 μ m

Nervosvalová ploténka - schéma

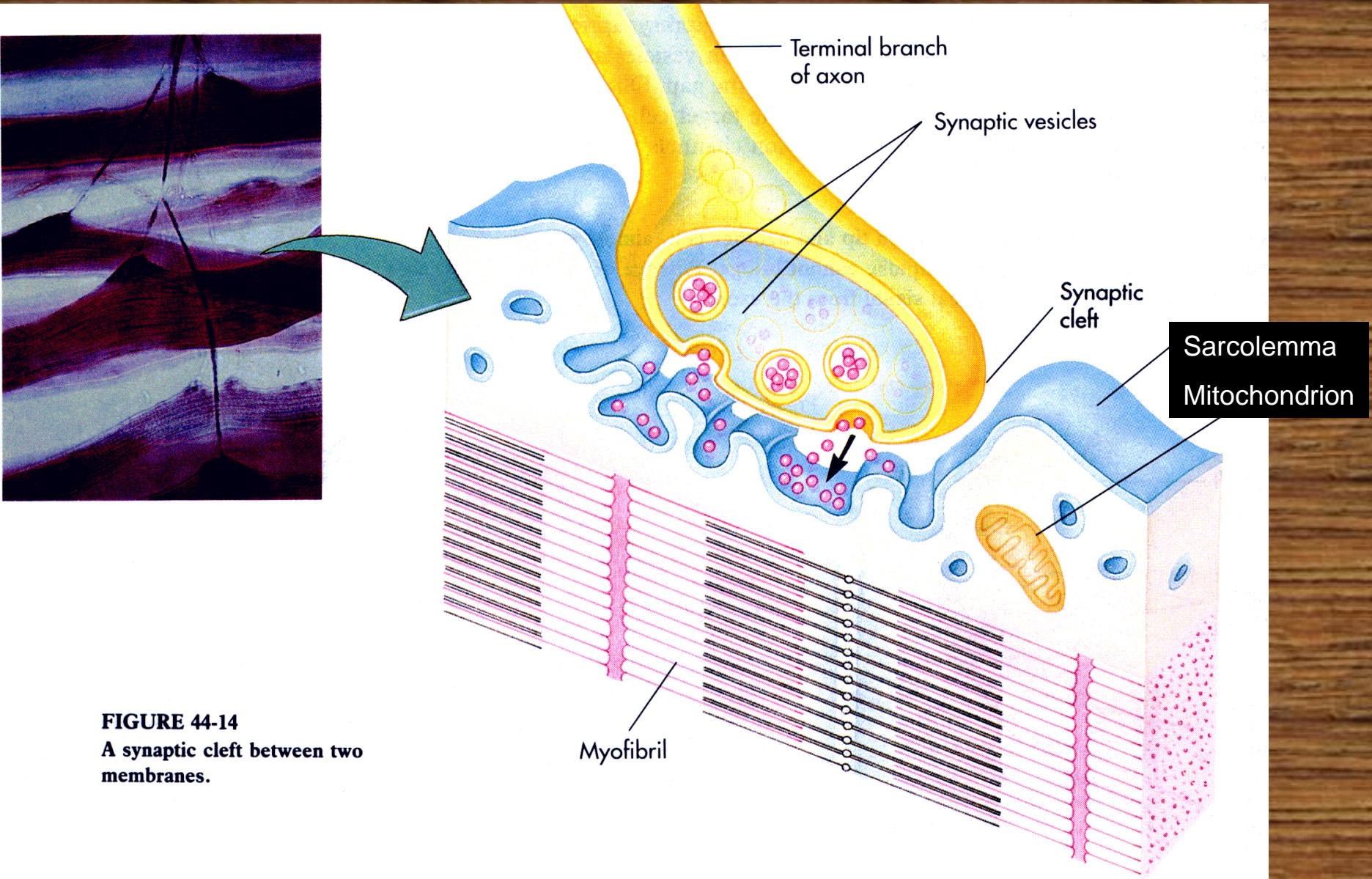
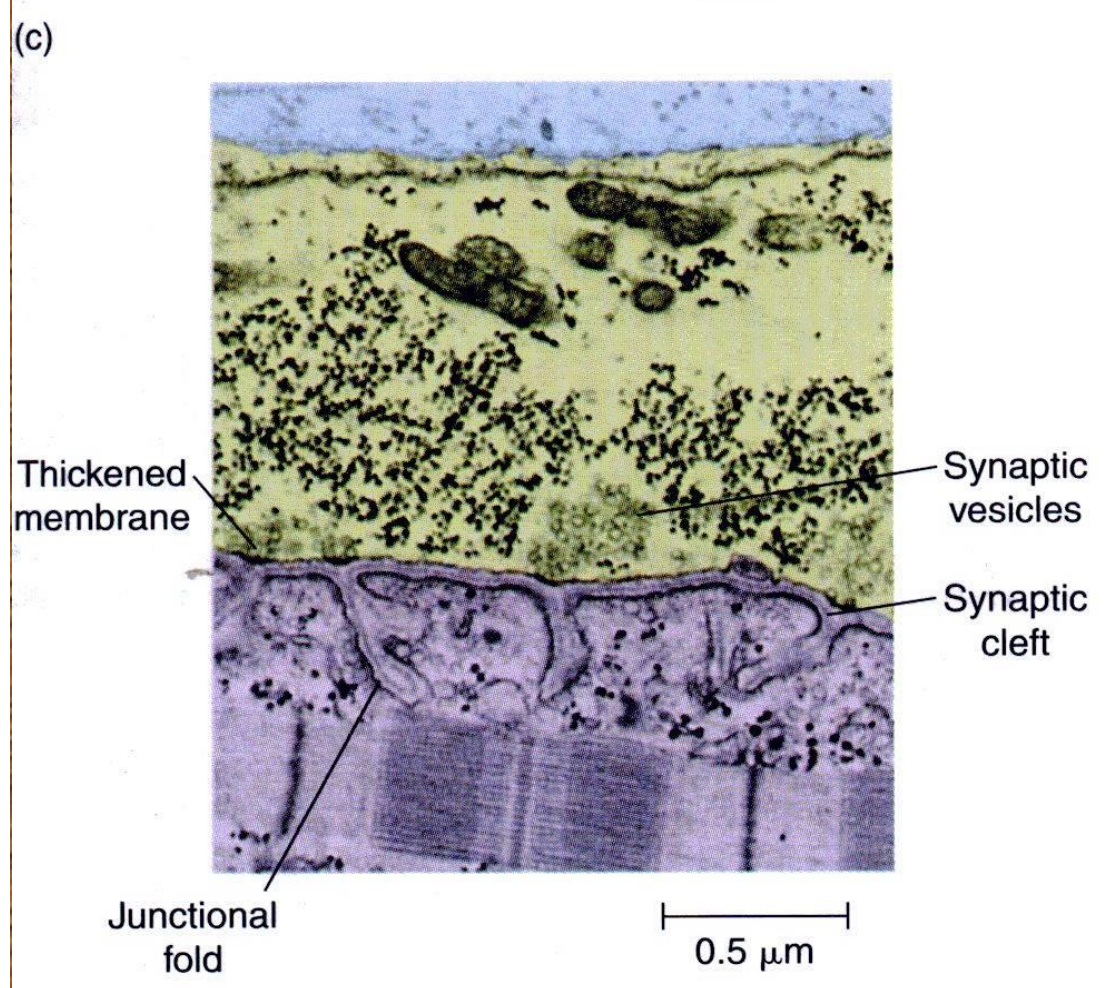
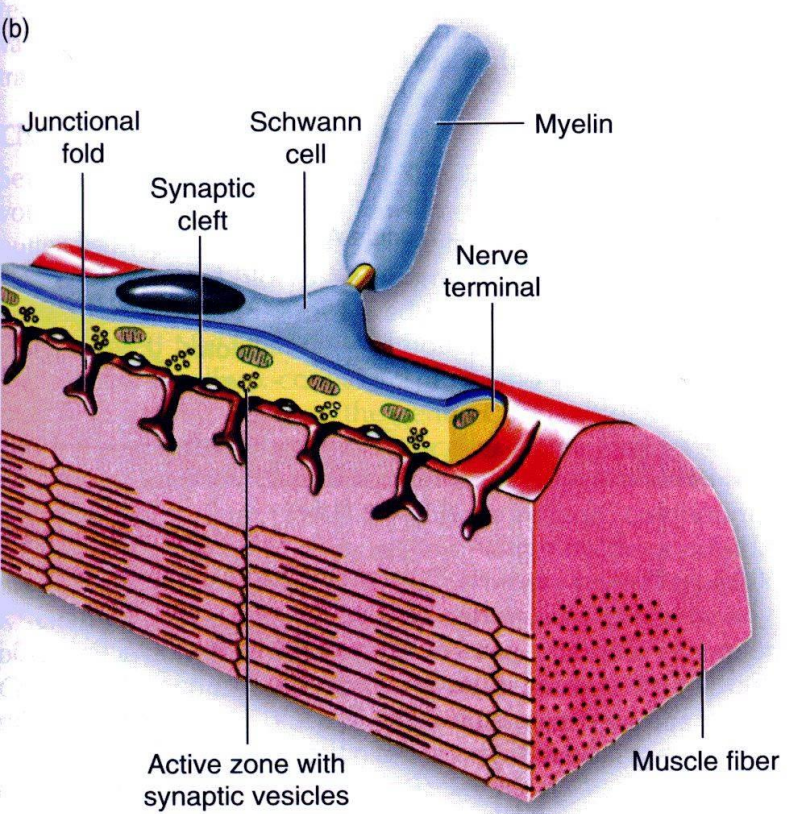
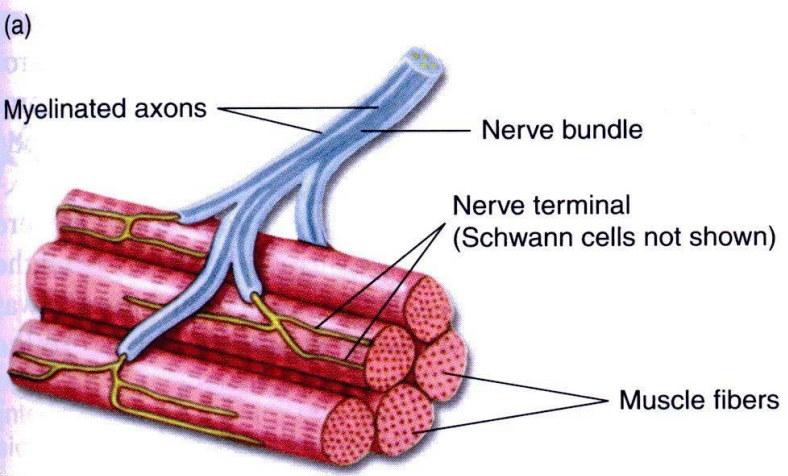


FIGURE 44-14
A synaptic cleft between two membranes.

Nervosvalová ploténka



Hluboká invaginace povrchové membrány – T-tubuly

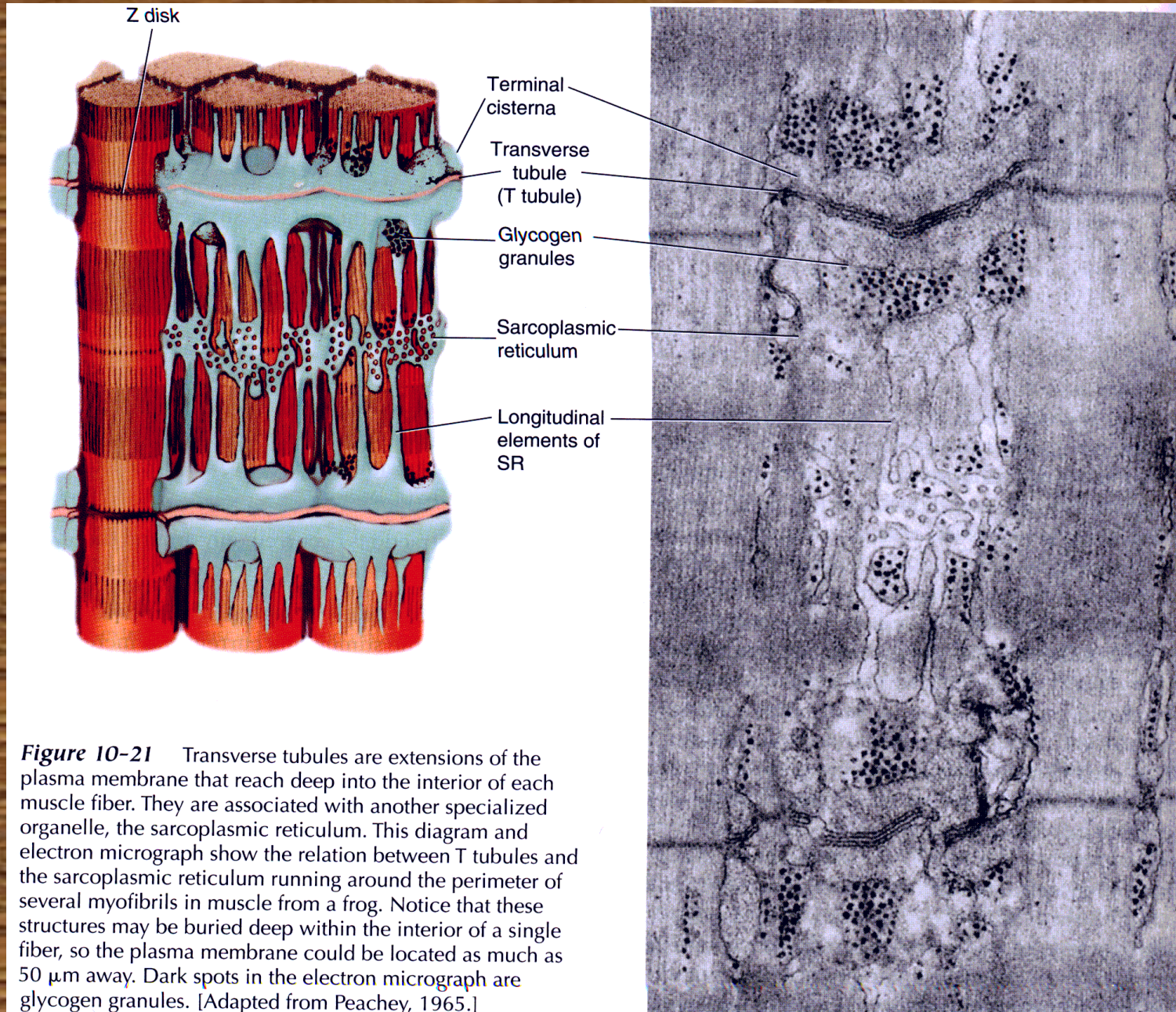
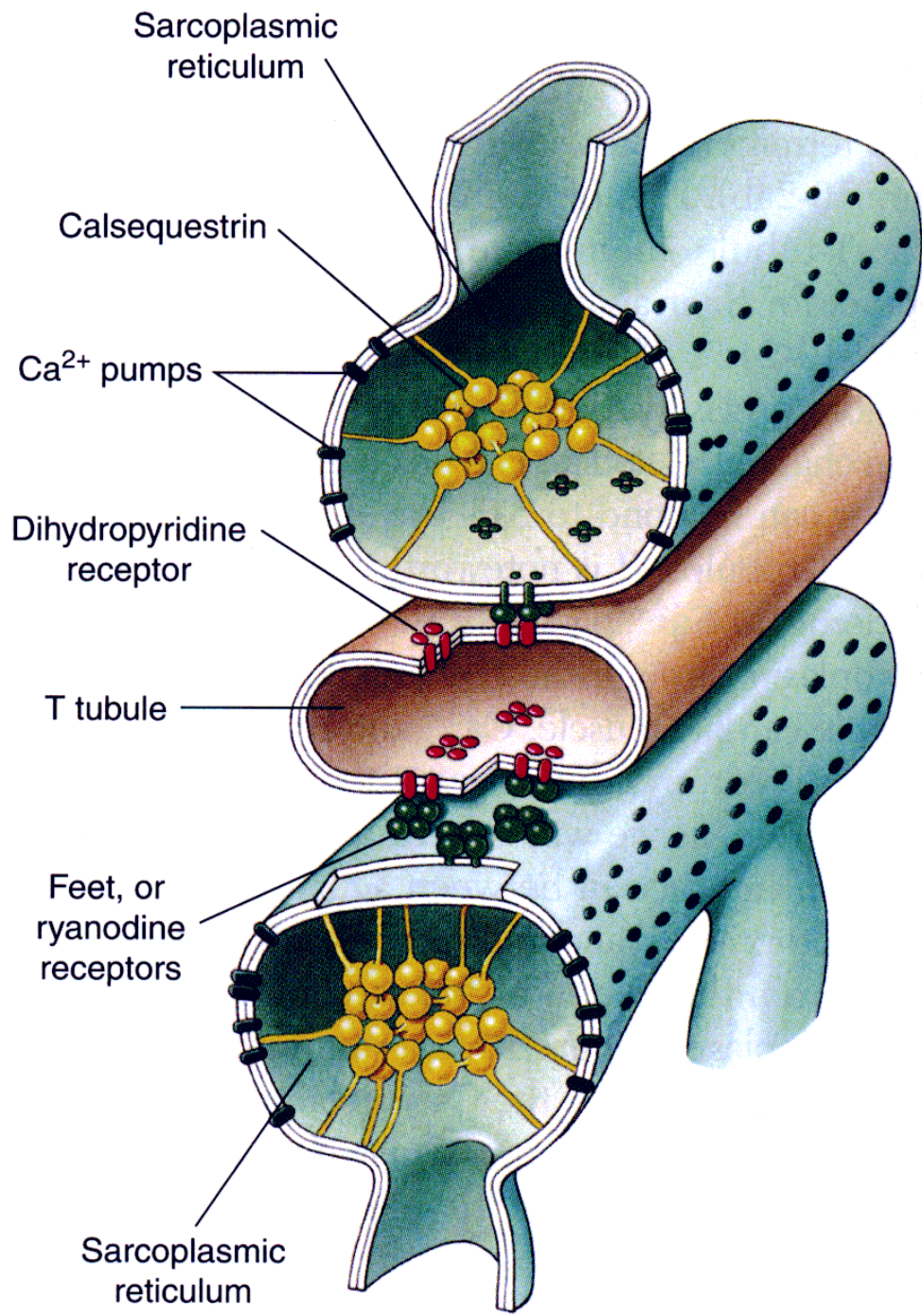


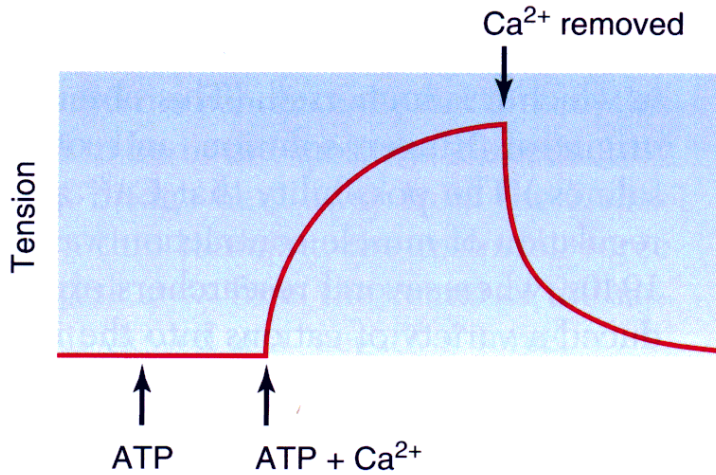
Figure 10-21 Transverse tubules are extensions of the plasma membrane that reach deep into the interior of each muscle fiber. They are associated with another specialized organelle, the sarcoplasmic reticulum. This diagram and electron micrograph show the relation between T tubules and the sarcoplasmic reticulum running around the perimeter of several myofibrils in muscle from a frog. Notice that these structures may be buried deep within the interior of a single fiber, so the plasma membrane could be located as much as 50 μm away. Dark spots in the electron micrograph are glycogen granules. [Adapted from Peachey, 1965.]

**Vápenaté ionty –
spojovací článok medzi
akčným potenciálem a
svalovou kontrakcií**



Vápenaté ionty a svalová kontrakce

(a)



(b)

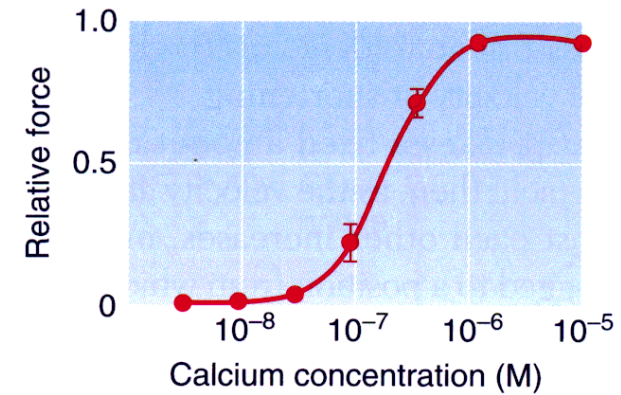


Figure 10-15 Free calcium ions in the cytosol regulate the state of muscle contraction. **(a)** Glycerin-extracted muscle fibers generate tension when they are exposed to Ca²⁺ and ATP. They relax when Ca²⁺ is removed, even if ATP is still present.



(b) The force generated by a skinned muscle fiber varies with the concentration of Ca²⁺ in the surrounding medium. Force increases with increasing Ca²⁺ concentration, up to about 10⁻⁶ M. [Part b adapted from Hellam and Podolsky, 1967.]

Úloha vápníku ve při svalové kontrakci

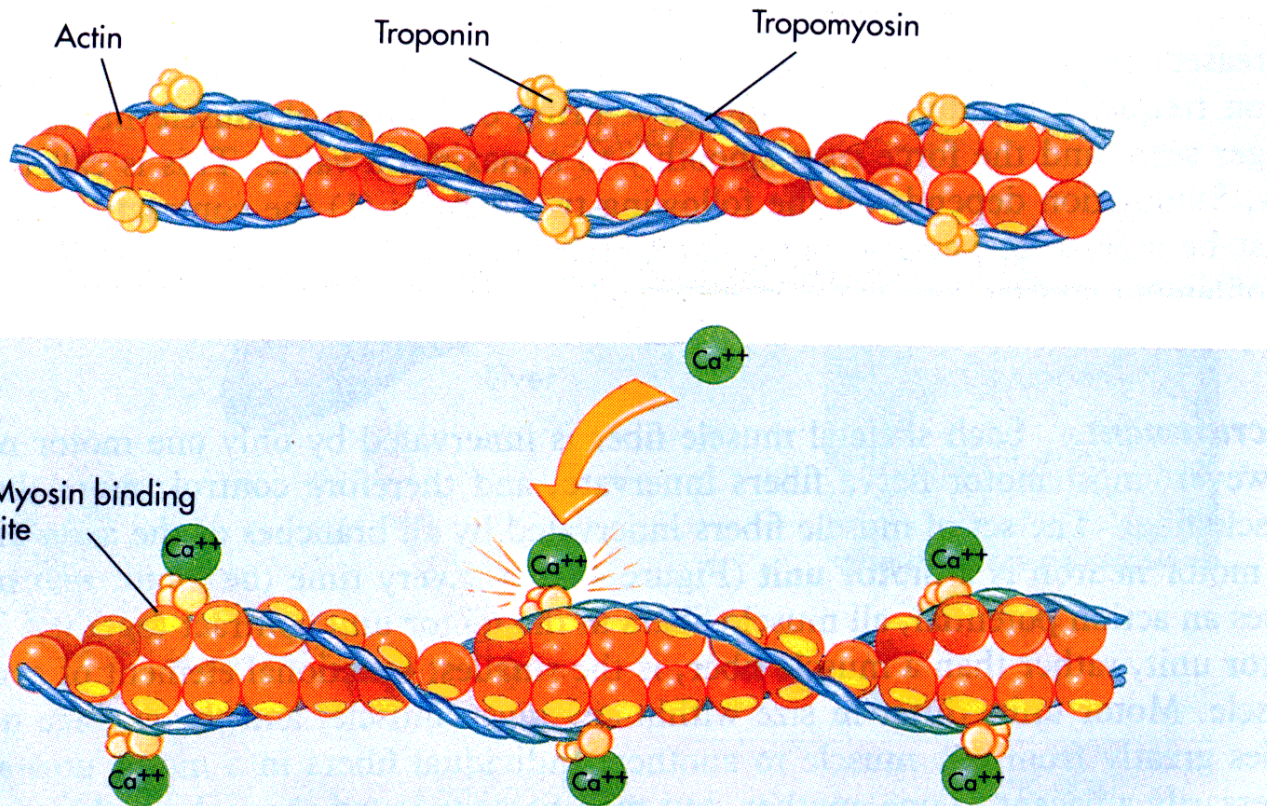
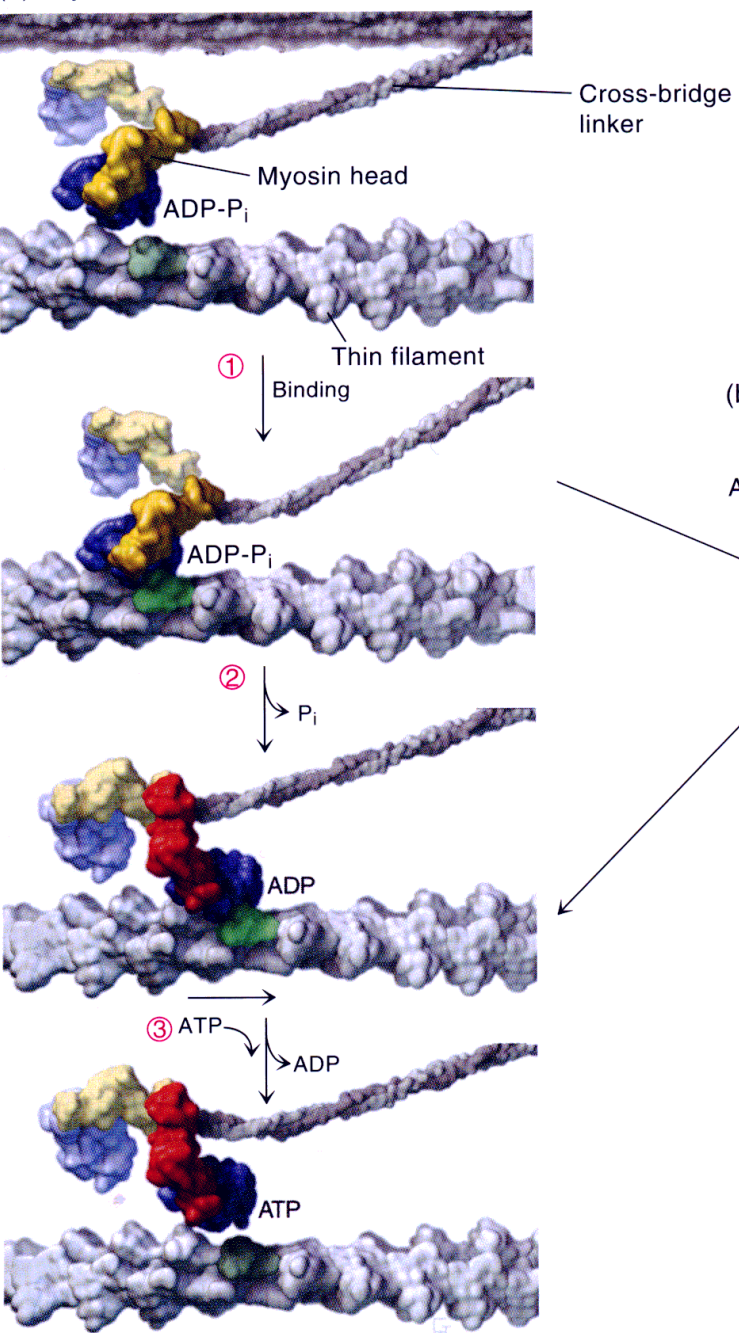


FIGURE 48-17

How calcium controls muscle contraction.

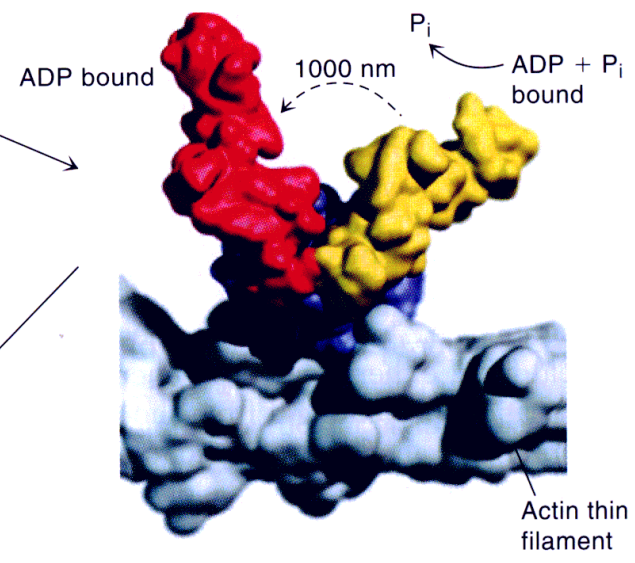
- A** When the muscle is at rest, a long filament composed of the molecule tropomyosin blocks the myosin-binding sites of the actin molecule. Without actin's ability to form links with myosin at these sites, muscle contraction cannot occur.
- B** When calcium ions bind to another protein, troponin, the resulting complex displaces the filament of tropomyosin, exposing the myosin-binding sites of actin, cross-links form between actin and myosin, and contraction occurs.

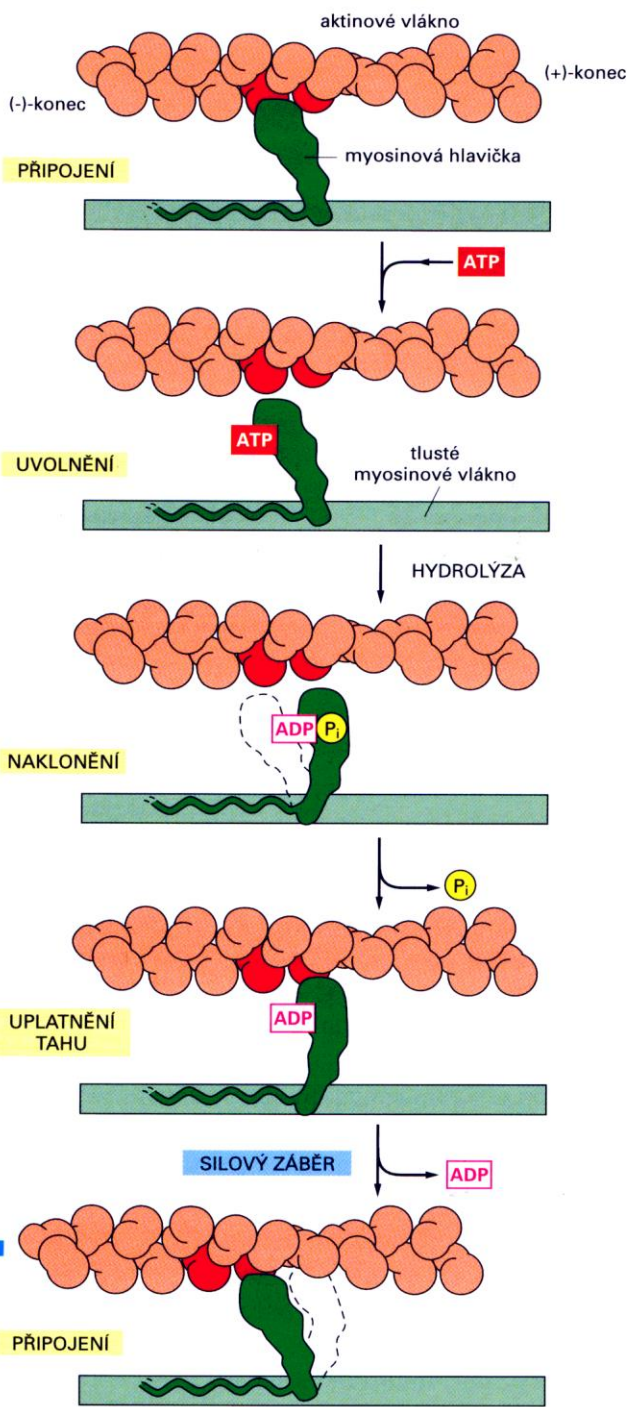
(a) Myosin



Molekulární mechanismus posunu myozinové hlavy po aktinovém vlákně

(b)





PŘIPOJENÍ - Na začátku cyklu je myosinová hlavička bez navázaného nukleotidu pevně spojena s aktinovým vláknem v tzv. *rigorové konfiguraci* (podle *rigor mortis*, což je mrtvolná tuhost). V aktivně se zkracujícím svalu je tato fáze velmi krátká a obvykle se ukončí navázáním ATP.

UVOLNĚNÍ - Molekula ATP se váže k velkému zářezu na „zadní“ straně hlavičky, tedy co nejdále od aktinového vlákna, a okamžitě způsobuje drobnou změnu v konformaci těch domén, které tvoří aktin-vázací místo. To snižuje afinitu hlavičky vůči aktinu a dovoluje mu pohyb podél vlákna. (Prostor tady nakreslený mezi hlavičkou a aktinem zdůrazňuje tuto změnu, i když ve skutečnosti zřejmě zůstává hlavička velmi blízko aktinu.)

NAKLONĚNÍ - Zářez se uzavře kolem molekuly ATP jako škeble a spustí tak mohutnou změnu tvaru, která vede k tomu, že se hlavička posune podél vlákna o přibližně 5 nm. Dojde k hydrolyze ATP, ale ADP a P_i zůstávají vázány k proteinu.

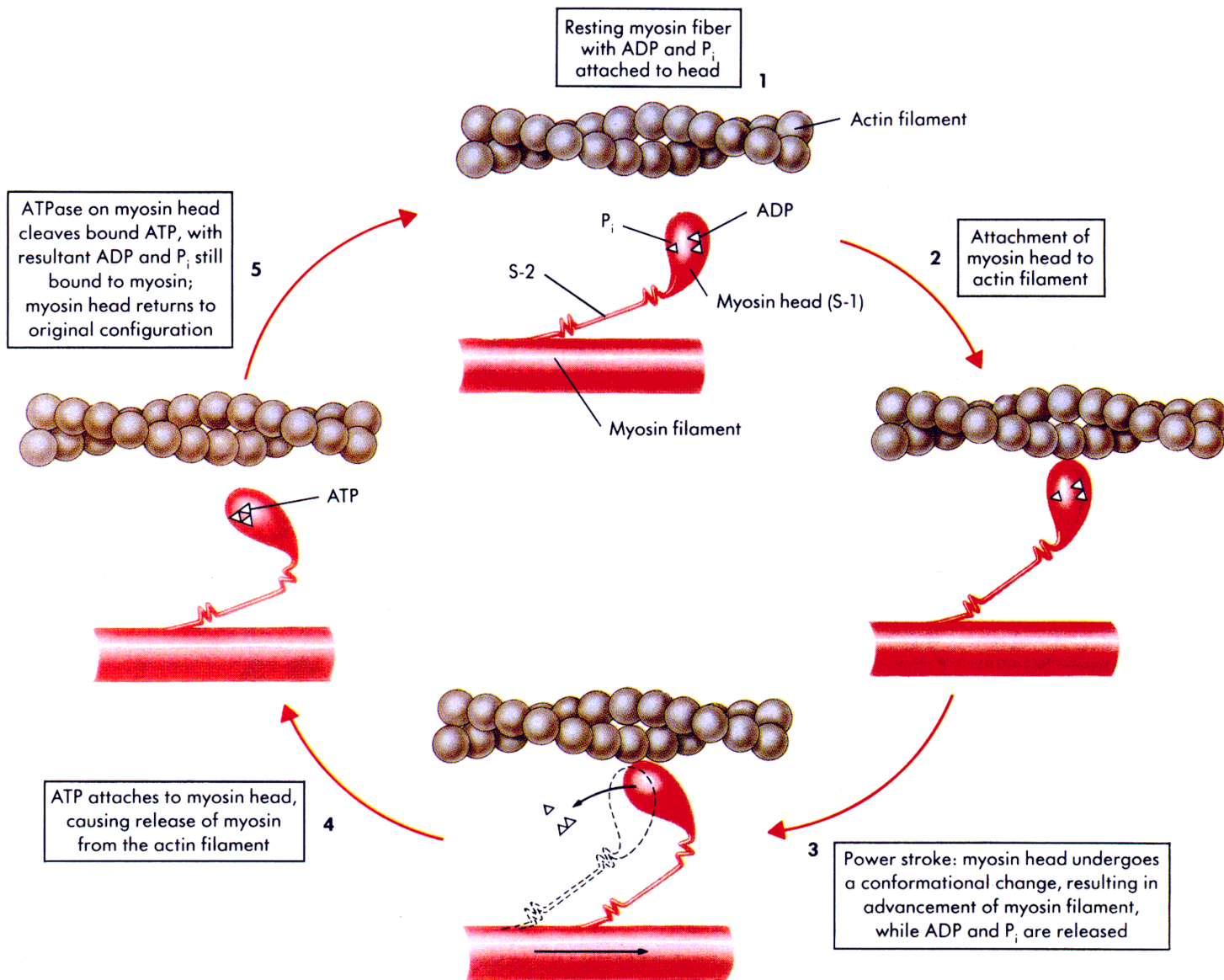
SÍLOVÝ ZÁBĚR - Slabá vazba myosinové hlavičky na novém místě na aktinovém vlákně způsobí uvolnění anorganického fosfátu z hydrolyzy ATP, za současného pevného navázání hlavičky na aktinové vlákno. Toto uvolnění fosfátu spouští „sílový záběr“, což je silotvorná změna tvaru molekuly, při níž hlavička získá zpět svoji původní konformaci. Během sílového záběru ztrácí hlavička navázaný ADP, a vrátí se tak na start nového cyklu.

PŘIPOJENÍ - Na konci cyklu se myosinová hlavička opět octne v těsném sevření s aktinovým vláknem v *rigorové konfiguraci*. Všimněte si, že hlavička se po aktinovém vlákně posunula do nové polohy.

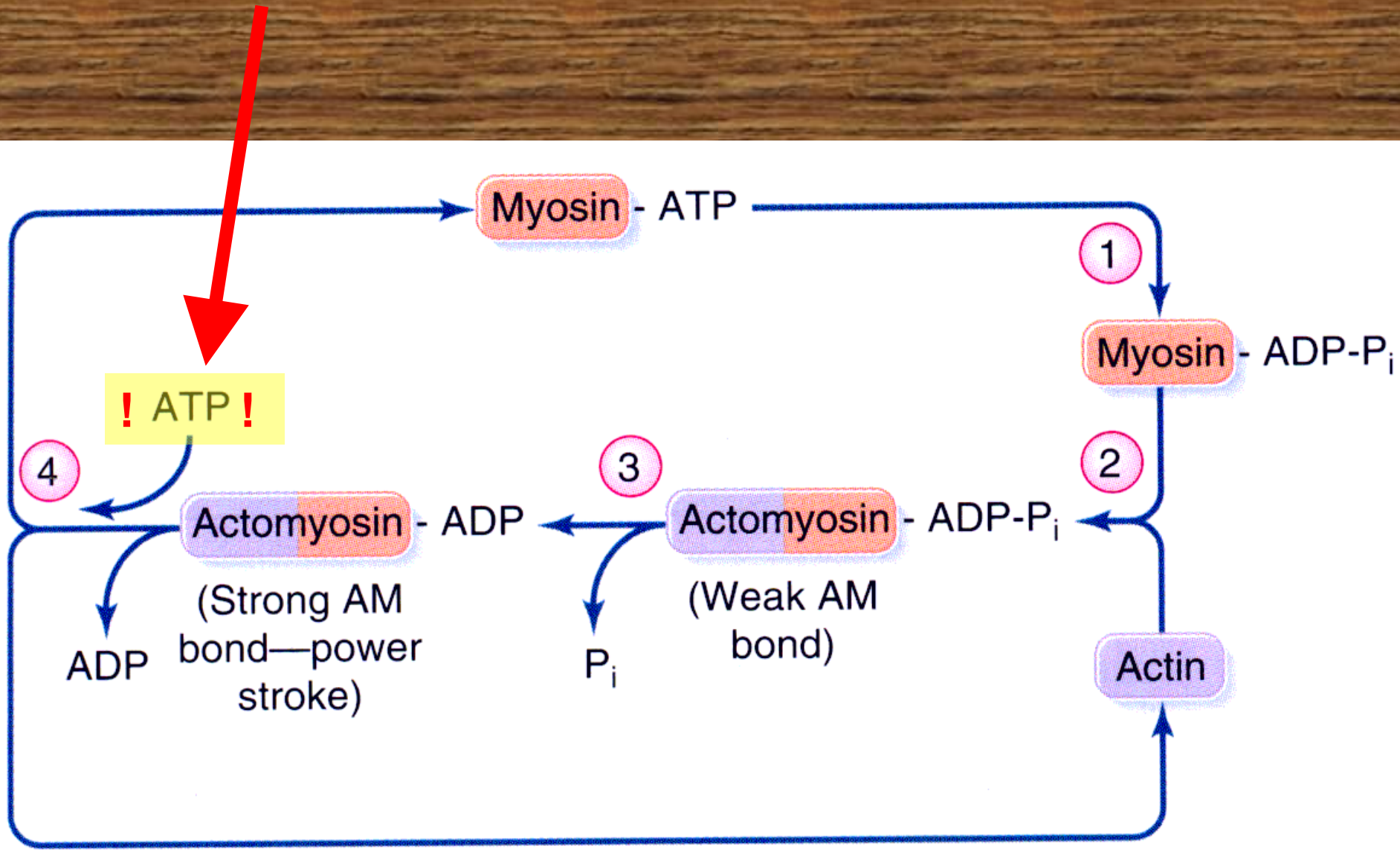
Obrázek 16-37. Cyklus změn pomocí nichž dochází ke „kráčení“ molekul myosinu podél aktinového filamenta.

Schematické znázornění mechanismu posunu myozinové hlavy po aktinovém vlákně

Schematické znázornění mechanismu posunu myozinové hlavy po aktinovém vlákně

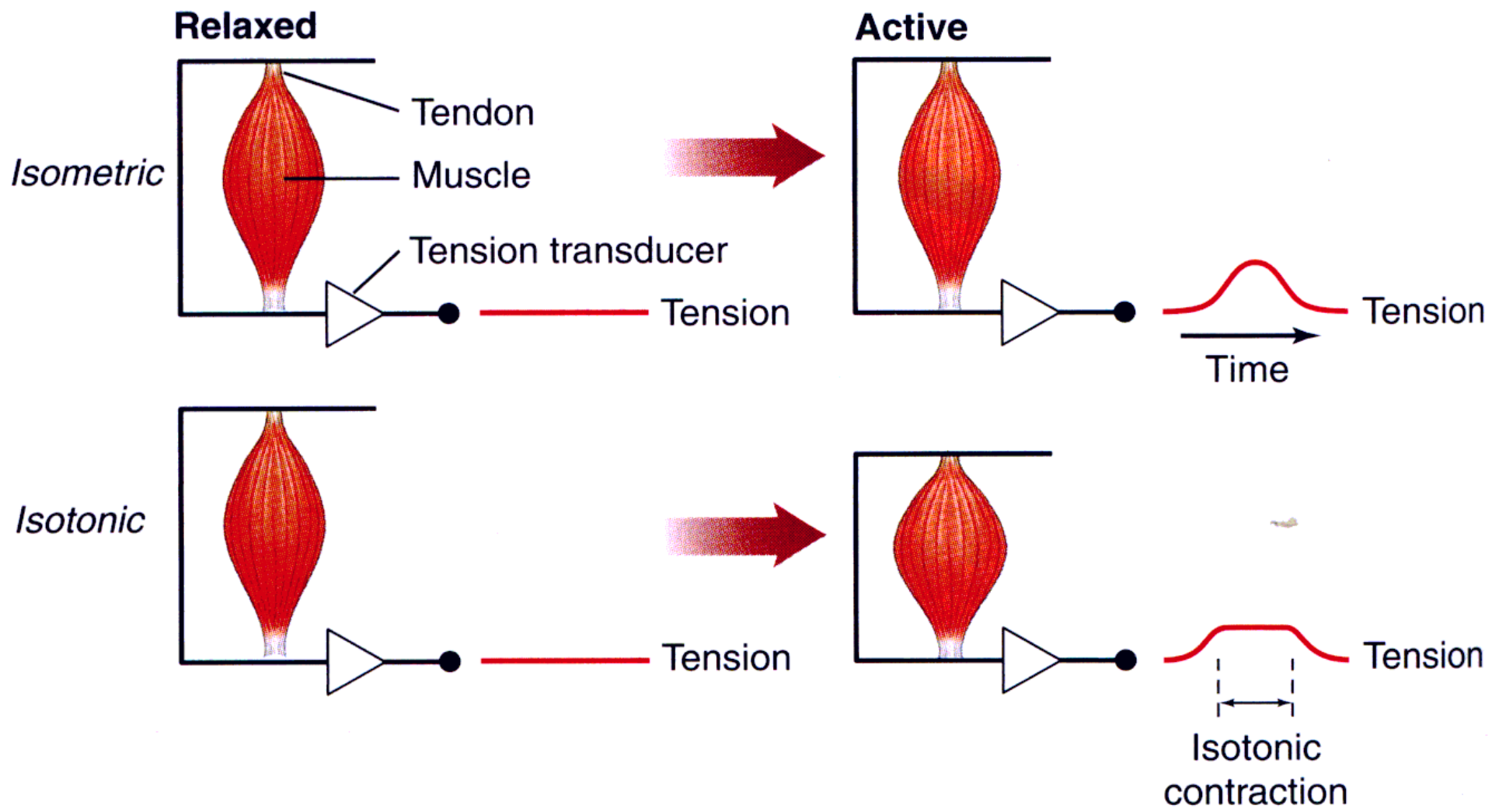


Úloha ATP při tvorbě (rozpadu) aktino-myozinového komplexu

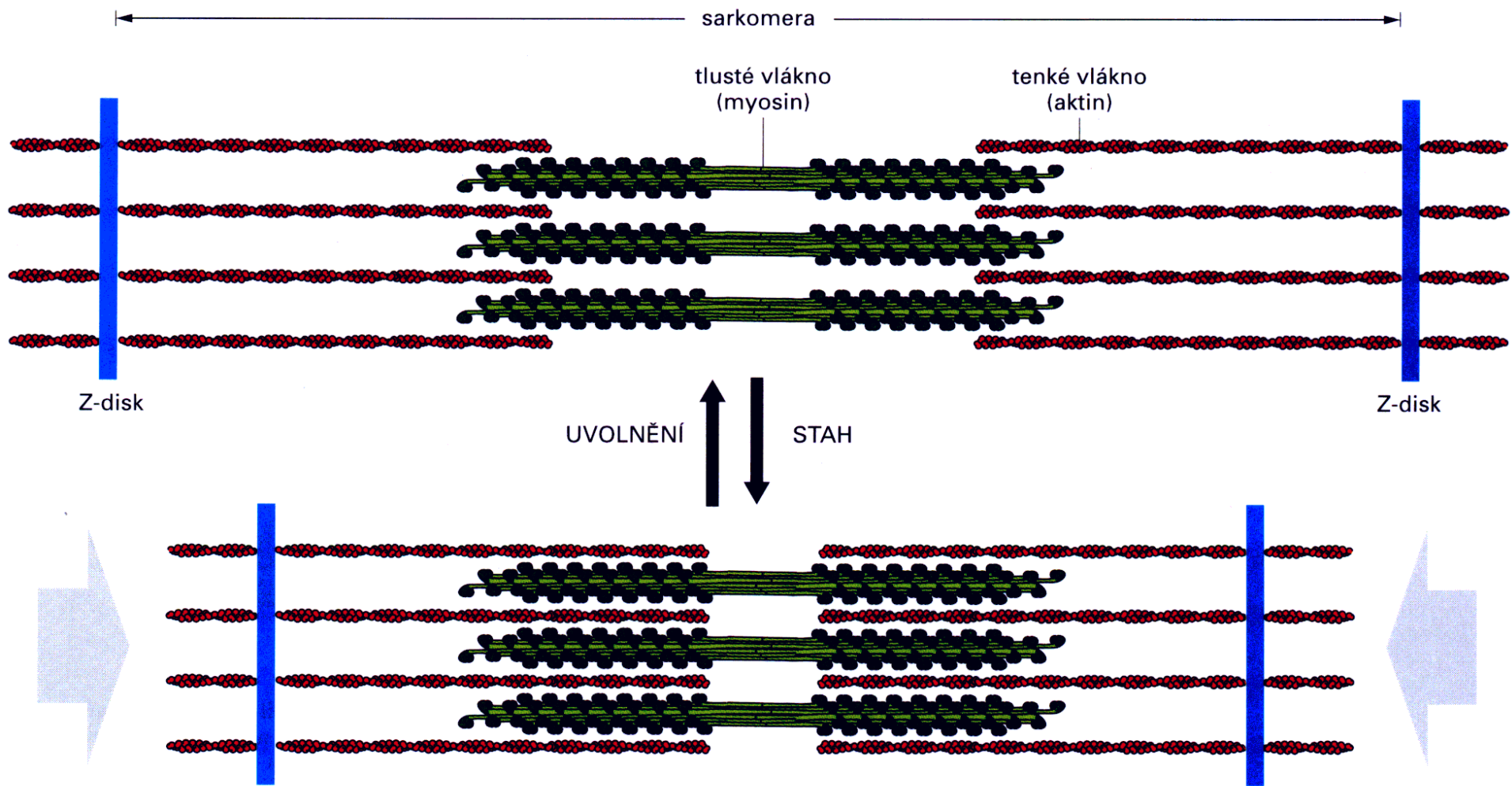


<https://www.youtube.com/watch?v=sIH8uOg8ddw>

Izometrický a izotonický svalová stah



Sarkomera během svalového stahu



Některé charakteristiky sarkomery při svalovém stahu

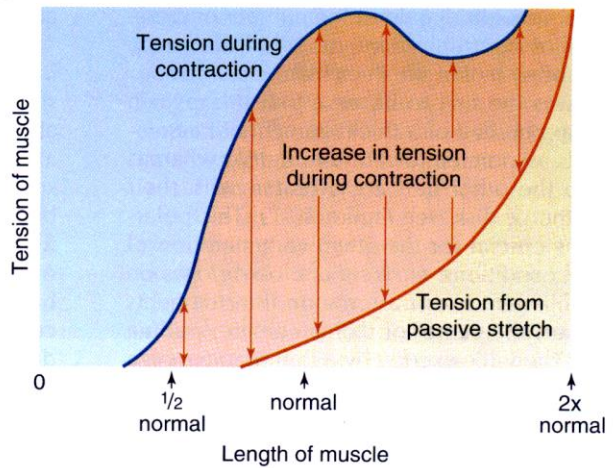
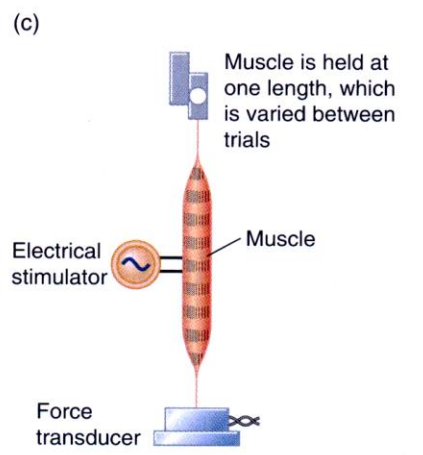
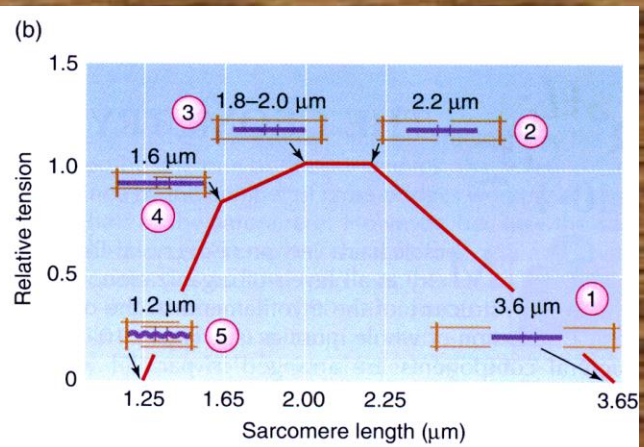
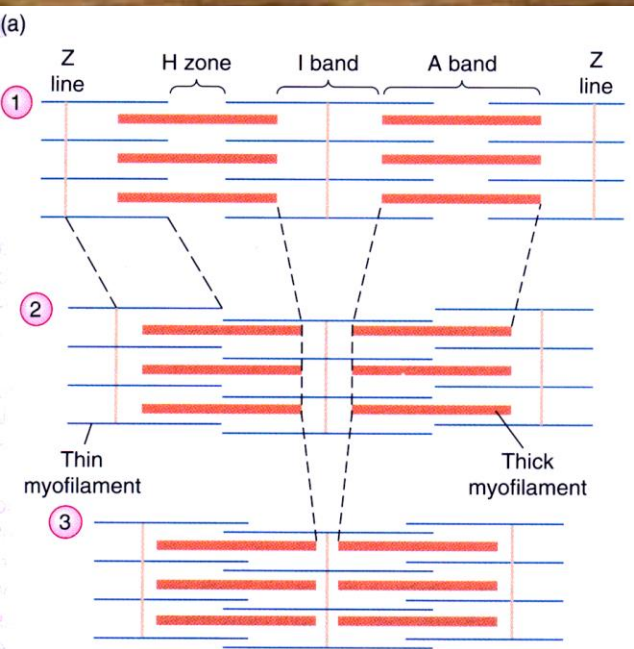


Figure 10-8 The sliding-filament theory states that sarcomeres shorten when their actin and myosin filaments move past each other. (a) Relations of the myofilaments when two sarcomeres shorten. Note that the lengths of the thick and thin filaments remain constant; only the amount by which they overlap changes.

(b) Length-tension curve for a typical vertebrate sarcomere. The length and configuration of the sarcomere are depicted schematically near the curve at critical points. (Lengths exclude the thickness of the Z disks. Adding the width of one-half of a Z disk to each end of the sarcomere would increase each length by 0.05 μm.) The tension produced by the muscle is maximal when the overlap between thick and thin filaments allows the largest number of myosin cross-bridges to bind to actin. Tension drops off with increased length, because the thick and thin filaments overlap less and fewer cross-bridges can bind. It also drops off with decreased length, because thin filaments at the two ends of the sarcomere begin to collide with each other, preventing further

shortening. Skeletal muscle rarely operates over such a broad range of sarcomere lengths because the structure of the skeleton and the joints limits the range of movement. Sarcomere length normally remains within the plateau region of this curve. (c) The length-tension relation for whole muscle. A muscle is removed from the body and placed in an apparatus that allows the length of the muscle to be set and the tension generated by contraction to be measured (left). The red curve on the right shows the reading of the force transducer produced by manipulation of the muscle's length by the experimenter. Due to the physical properties of the muscle, the experimenter must exert more and more force to stretch the muscle to longer and longer lengths. The blue curve shows the reading of the force transducer when the muscle is stimulated to contract at each preset length. The tension produced by the muscle (called the active tension) is the difference between the red and blue curves. Like the tension produced by a single sarcomere, the active tension rises as length increases and then, at even greater lengths, it decreases.

Sumace a svalový tetanus

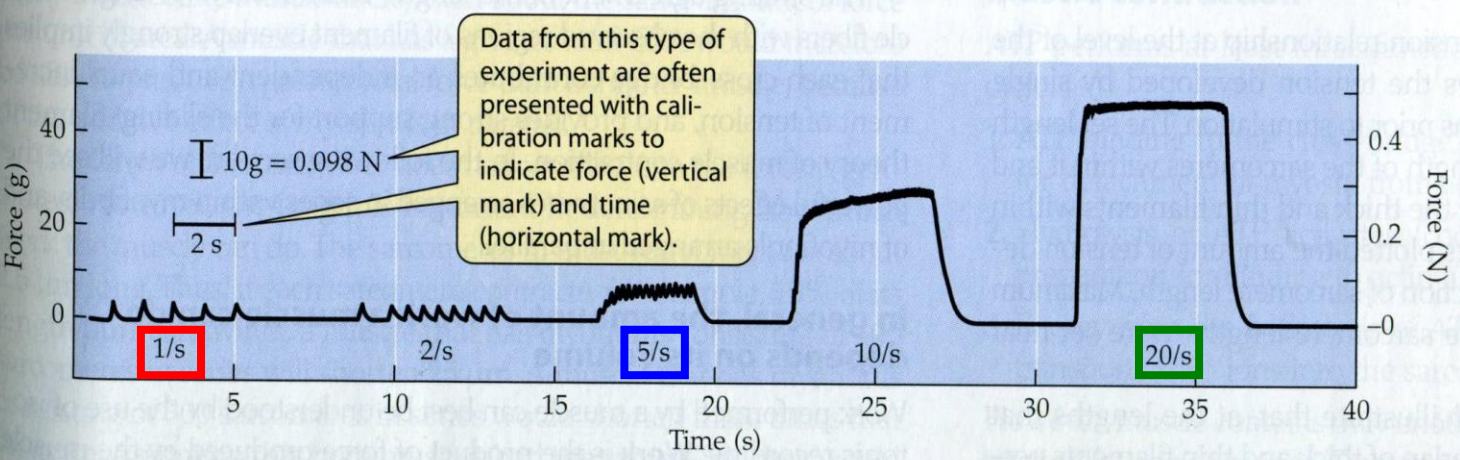
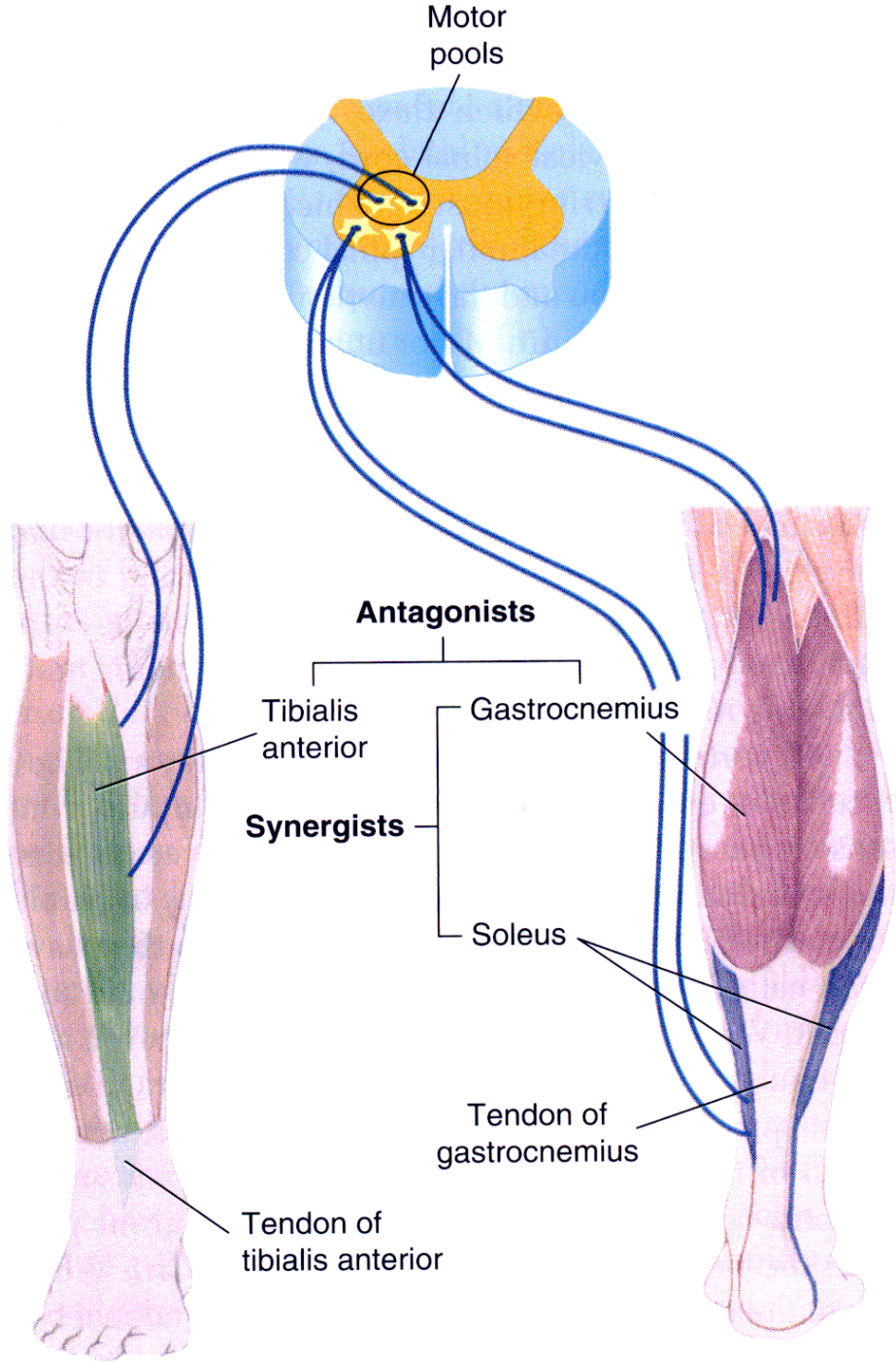


Figure 19.11 Summation and tetanus Increasing the frequency of stimulation produces summation of twitches up to a maximum contractile response called fused tetanus. In this example short trains of stimuli were applied to the sciatic nerve that innervates the gastrocnemius muscle of a frog. The muscle was allowed to rest briefly between trains of applied stimuli. No summation occurred when stimuli were applied at a rate of 1/s. Fused tetanus occurred at a rate of 20/s.

Experimenters use known weights to calibrate the recording apparatus. Because weight is the magnitude of the force of gravity on an object, it is expressed as the product of the mass of the object (in kilograms, kg) times the strength of the gravitational field (9.8 N/kg). Therefore, tension produced by the muscle is accurately expressed in units of newtons (N). (Published values of muscle tension are often expressed in units of grams instead of newtons.)

- Frekvence:**
- 1 stimul za sekundu - k sumaci nedochází
 - 5 stimulů za sekundu - sumace, ale bez tetanu
 - 20 stimulů za sekundu – hladký tetanus



Příklad uspořádání synergistických a antagonistických svalů

Blood

Muscle fiber

Tvorba ATP pro svalový stah

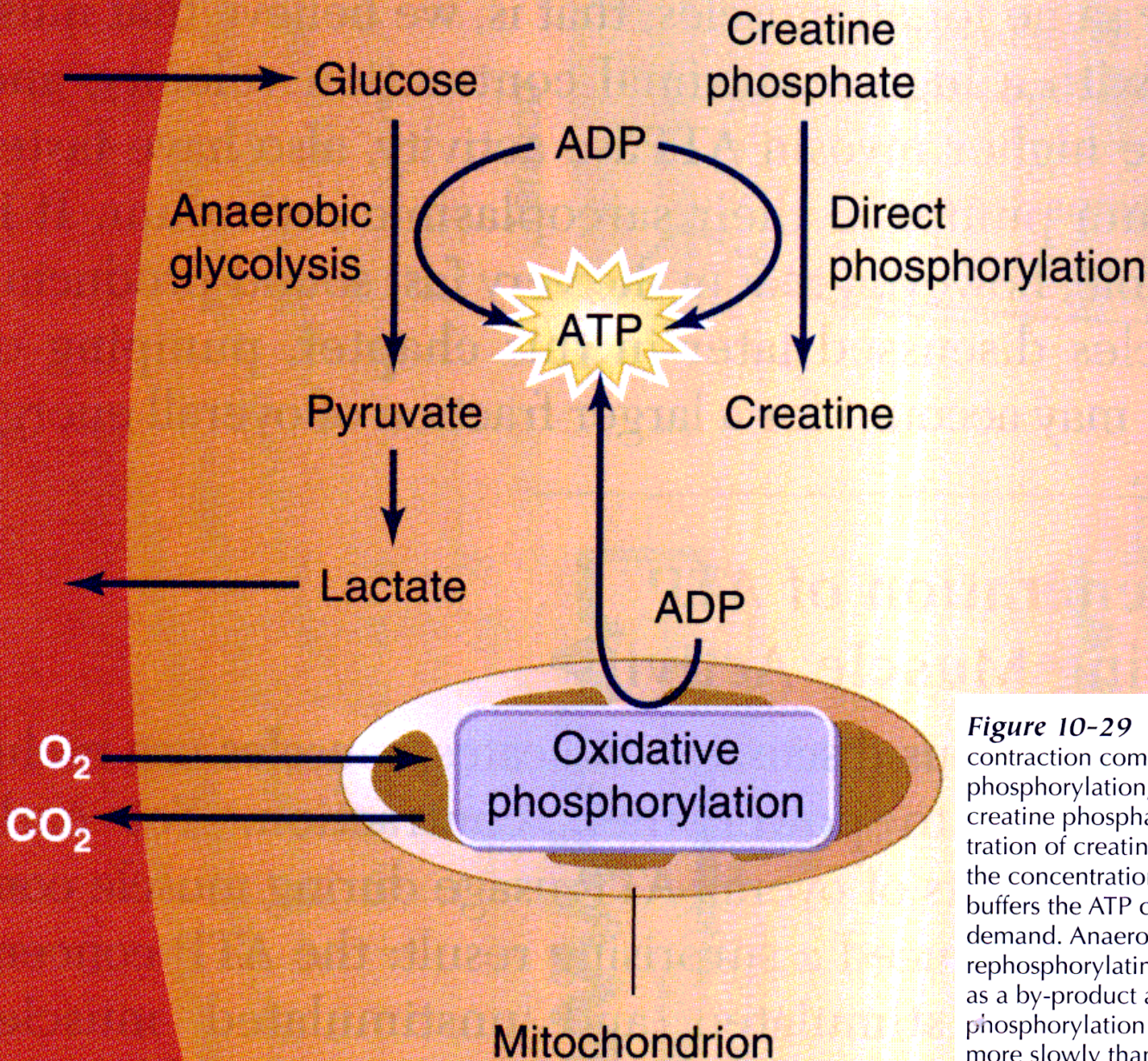


Figure 10-29 The ATP that provides energy for muscle contraction comes from several different sources. In direct phosphorylation, high-energy phosphates are transferred from creatine phosphate to ADP, regenerating ATP. The concentration of creatine phosphate in muscle fibers is higher than the concentration of ATP, so creatine phosphate effectively buffers the ATP concentration during short periods of intense demand. Anaerobic glycolysis metabolizes glucose, rephosphorylating ADP in the process. Lactate accumulates as a by-product and leaks into the blood. Oxidative phosphorylation of ADP regenerates ATP, but produces it more slowly than the other two processes and requires O_2 to proceed (see Chapter 3).

Různé typy svalových vláken



Figure 19.15 Whole muscles typically consist of mixtures of different types of fibers In this transverse section, small-diameter slow oxidative fibers (red) stain dark because of their abundant mitochondria, and they are surrounded by many capillaries (black). Large-diameter fast glycolytic fibers (yellow) have fewer mitochondria and few immediately adjacent capillaries. Fast oxidative glycolytic fibers (orange) are intermediate in diameter and in abundance of capillaries.

Charakteristiky 3 typů kontraktilních svalových vláken

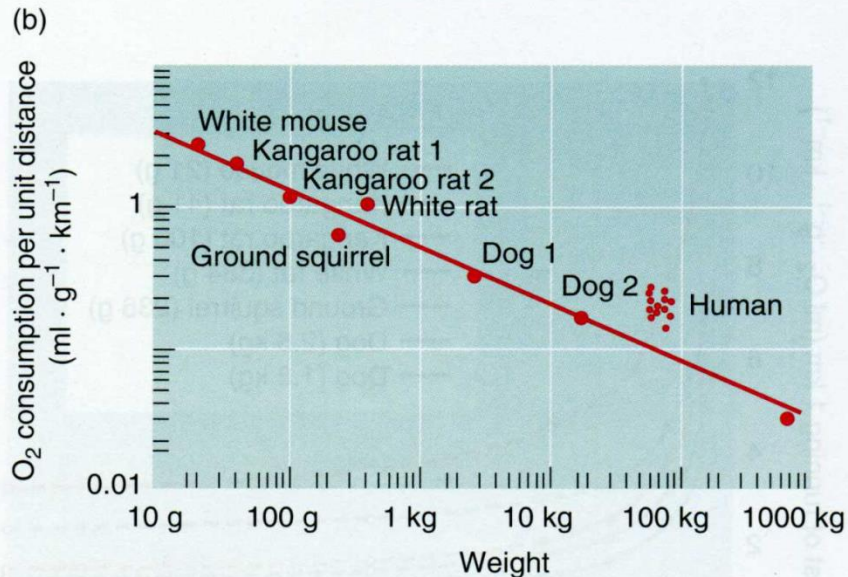
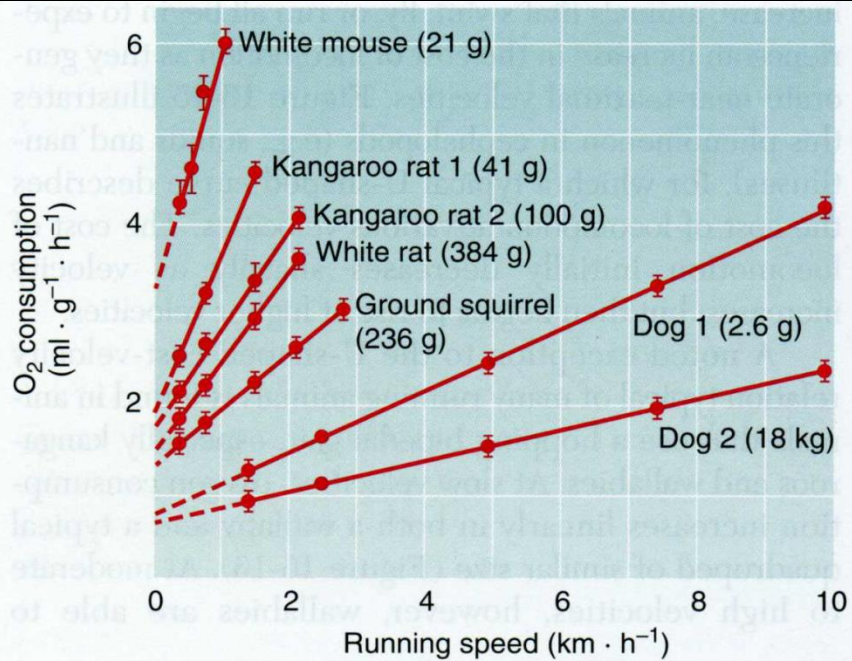
TABLE 19.2 Characteristics of mammalian skeletal twitch muscle fibers

	Slow oxidative (SO) (Type I)	Fast oxidative glycolytic (FOG) (Type IIa)	Fast glycolytic (FG) (Type IIb or IIx)
Myosin ATPase activity	Slow	Fast	Fast
Speed to reach peak tension	Slow	Intermediate to fast	Fast
Duration of twitches	Long	Short	Short
Rate of Ca ²⁺ uptake by sarcoplasmic reticulum	Slow to intermediate	High	High
Resistance to fatigue	High	Intermediate	Low
Number of mitochondria	Many	Many	Few
Myoglobin content	High	High	Low
Color	Red	Red	White
Diameter of fiber	Small	Intermediate	Large
Number of surrounding capillaries	Many	Many	Few
Enzymes for glycolysis	Low	Intermediate	High
Ability to produce ATP using oxidative phosphorylation	High	High	Low
Force developed per cross-sectional area of entire fiber	Low	Intermediate	High
Function in animal	Posture	Standing, walking, rapid repetitive movements	Jumping, bursts of high-speed locomotion
Frequency of use by animal	High	Intermediate to high	Low

Sources: After Silverthorn 2004; Randall et al. 2002; and Sherwood 2004.

Note: The names of different types of skeletal muscle fibers vary in the literature. Slow oxidative fibers are also called Type I; and fast oxidative fibers, Type IIa. The fast glycolytic fibers are Type IIb in small mammals and Type IIx in humans.

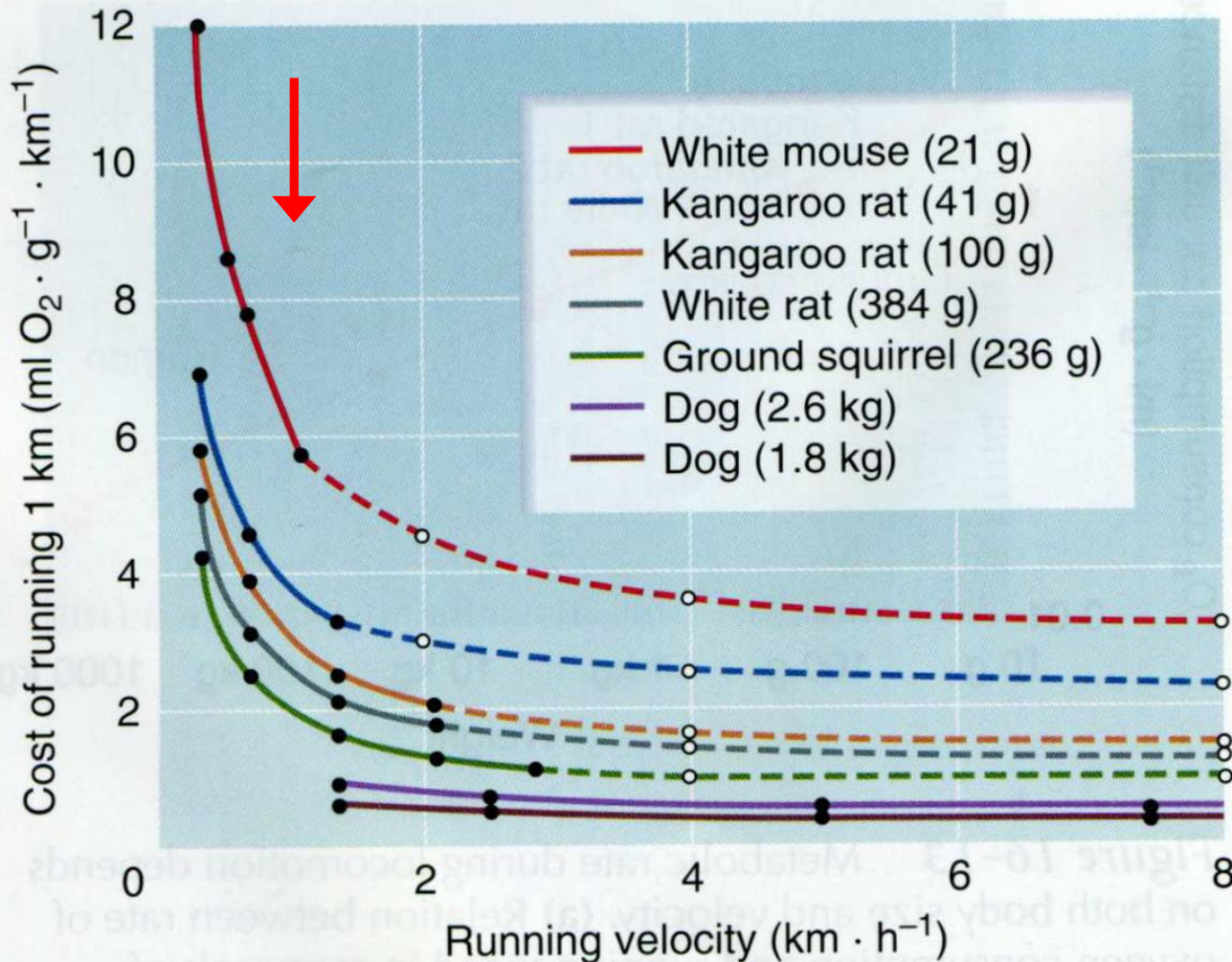
Intenzita metabolismu během pohybu závisí na velikosti těla a rychlosti pohybu



Vztah mezi spotřebou kyslíku a rychlostí pohybu u různě velkých savců = **malí savci musí investovat více energie**

Vztah mezi spotřebou kyslíku na jednotku hmotnosti na kilometr a různou velikostí těla savců = **malí savci musí investovat více energie**

U čtvernohých savců „energetická cena“ transportované hmotnostní jednotky se zvyšující se hmotností klesá

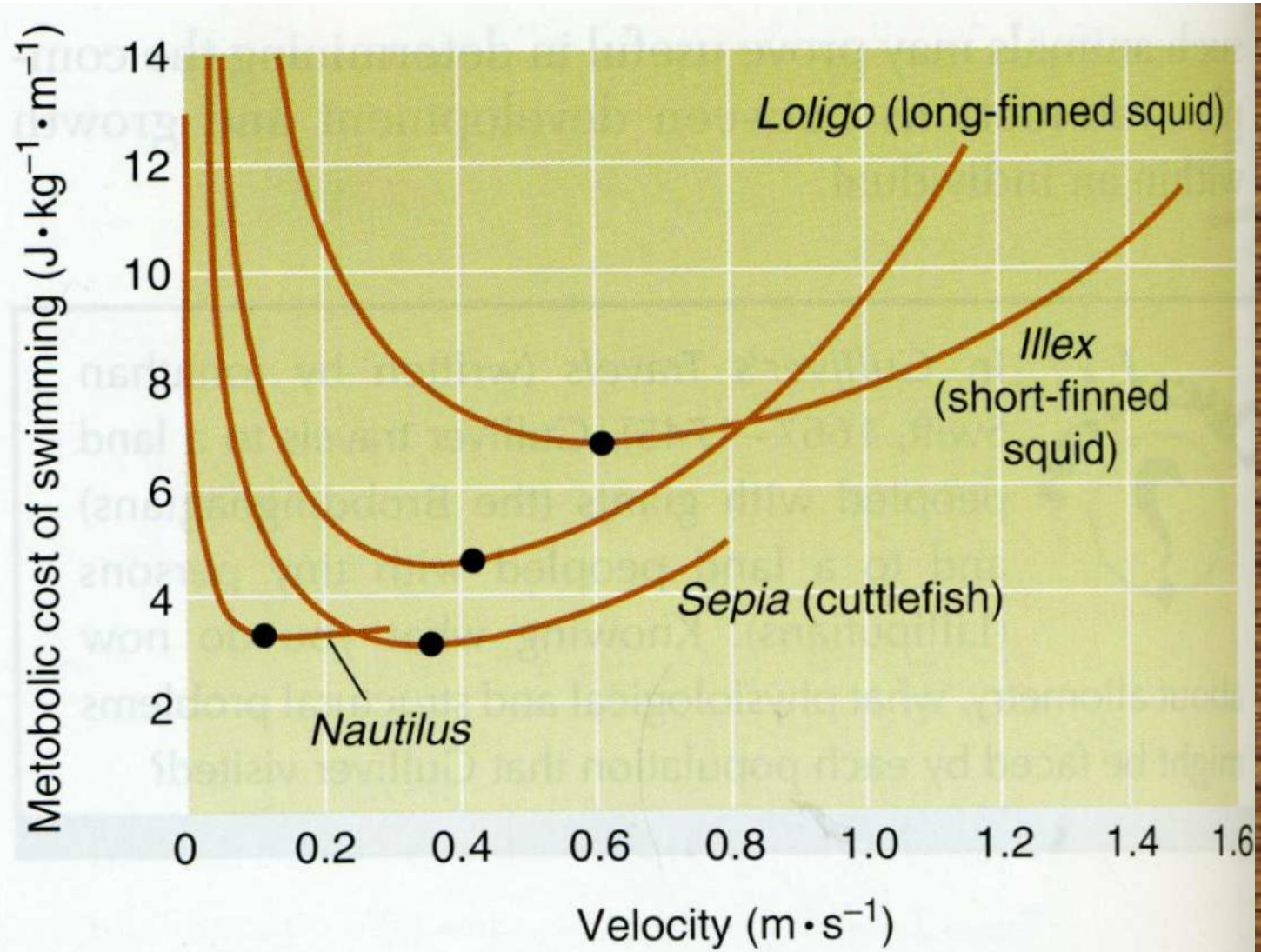


1. Cena energie se zvyšující se hmotností klesá – viz ↓

Pozn.: čárkované části jsou extrapolované, při dalším zvyšování rychlosti by se hodnoty zvyšovaly

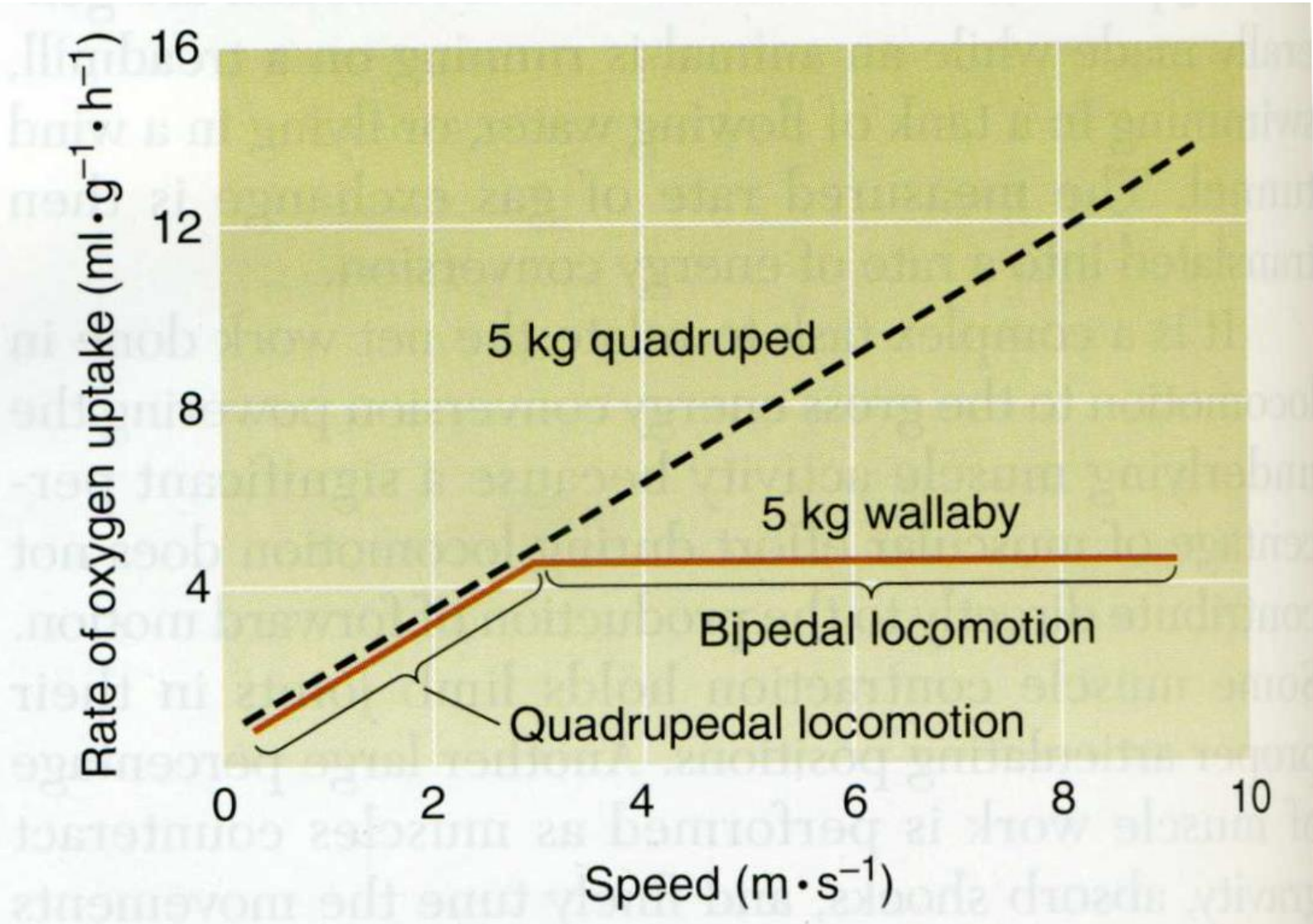
Vztah „metabolické ceny“ a rychlosti pohybu

U-křivka - typická pro vztah „metabolické ceny“ a rychlosti u mnoha živočichů pohybujících se na zemi, ve vzduchu i ve vodě (viz graf). Velmi pomalý i velmi rychlý pohyb jsou z energetického hlediska vůči překonané vzdálenosti nevýhodné

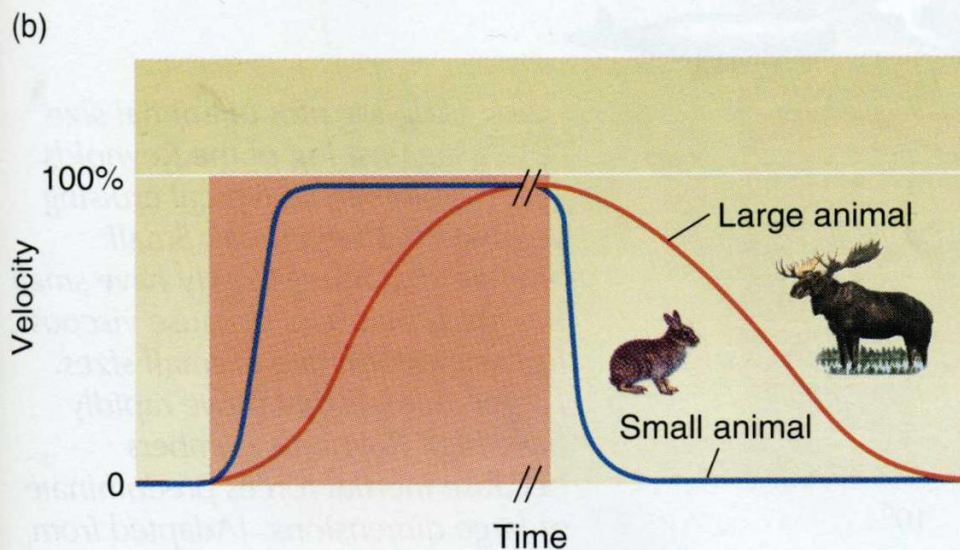
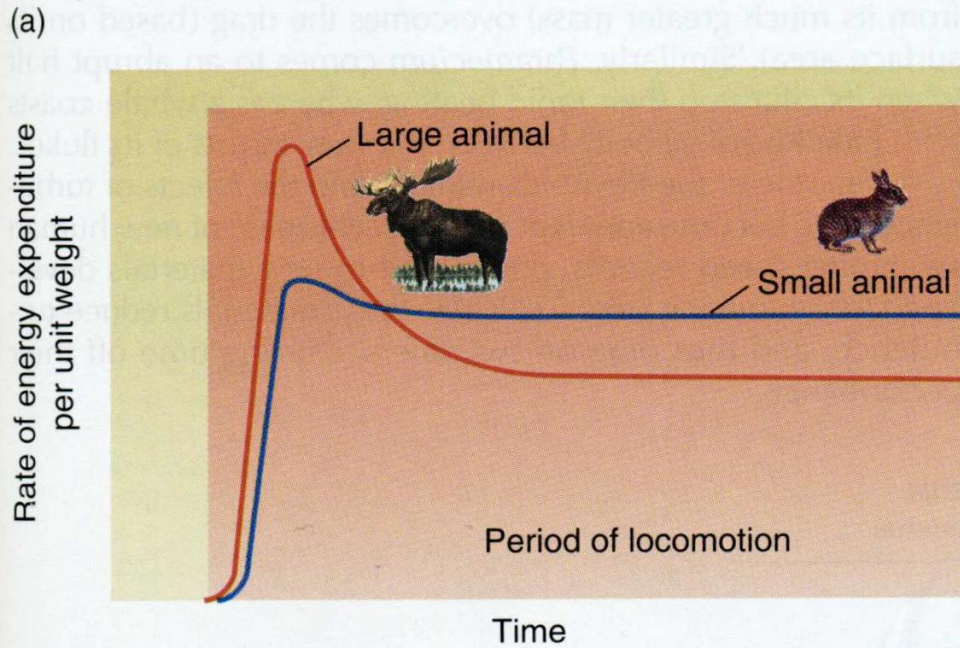


Vztah „metabolické ceny“ a rychlosti pohybu

Situace, kdy U-křivka (viz předchozí obr.) neplatí: změnou čtvernohého pohybu na dvounohý mohou klokani dosáhnout zdánlivě nemožného: zvýšení rychlosti pohybu bez zvýšení spotřeby kyslíku. **Vyšší rychlosti však není dosaženo zvýšením aerobního metabolismu**



„Metabolická cena“ změny rychlosti pohybu u malých a velkých živočichů



Velcí živočichové potřebují více energie na zrychlení hmotnostní jednotky než živočichové malí, ale díky setrvačnosti danou rychlost udržují při nižších energetických nárocích

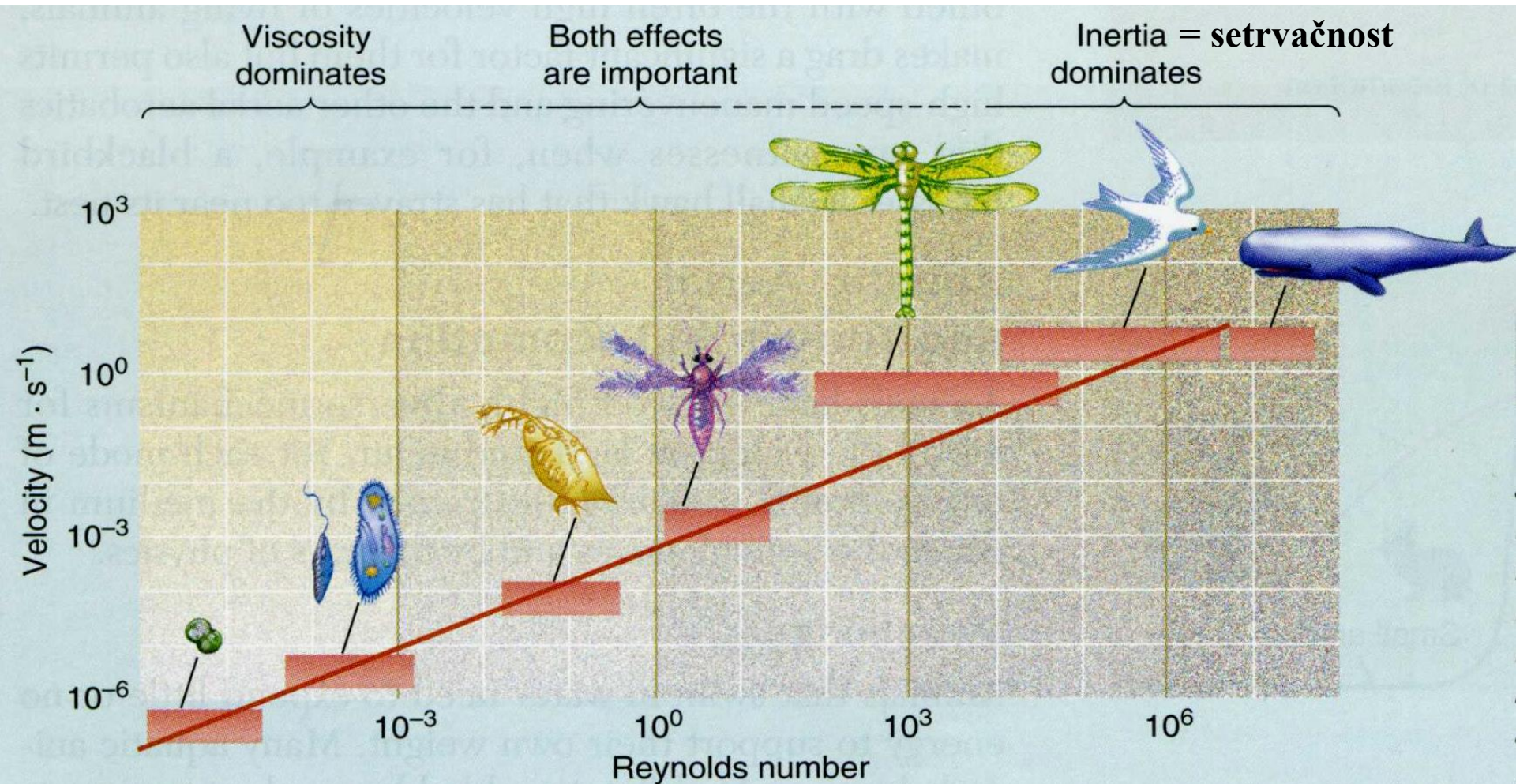
Velcí živočichové zrychlují i zpomalují svůj pohyb (díky setrvačnosti) pomaleji než živočichové malí

34 Reynoldsovo číslo: vztah pohybujícího se objektu a prostředí

Reynoldsovo číslo - udává vztah mezi vlastnostmi pohybujícího se živočicha a daného prostředí: viskozita, odpor, setrvačnost, hmotnost, velikost, povrch, rychlost, tvar

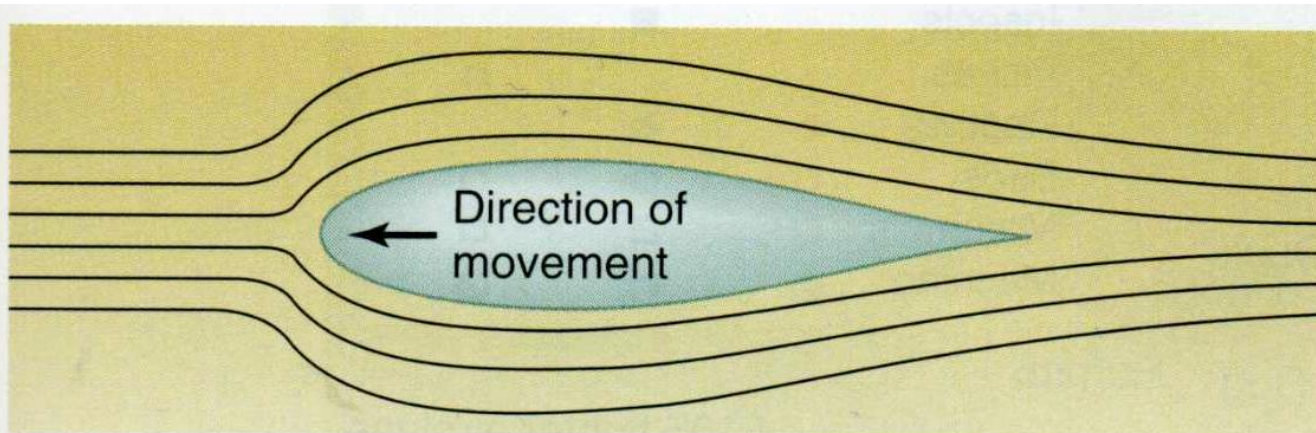
$$Re = \rho VL / \mu$$

ρ - hustota prostředí, V - rychlost objektu, L - rozměr objektu, μ - viskozita prostředí

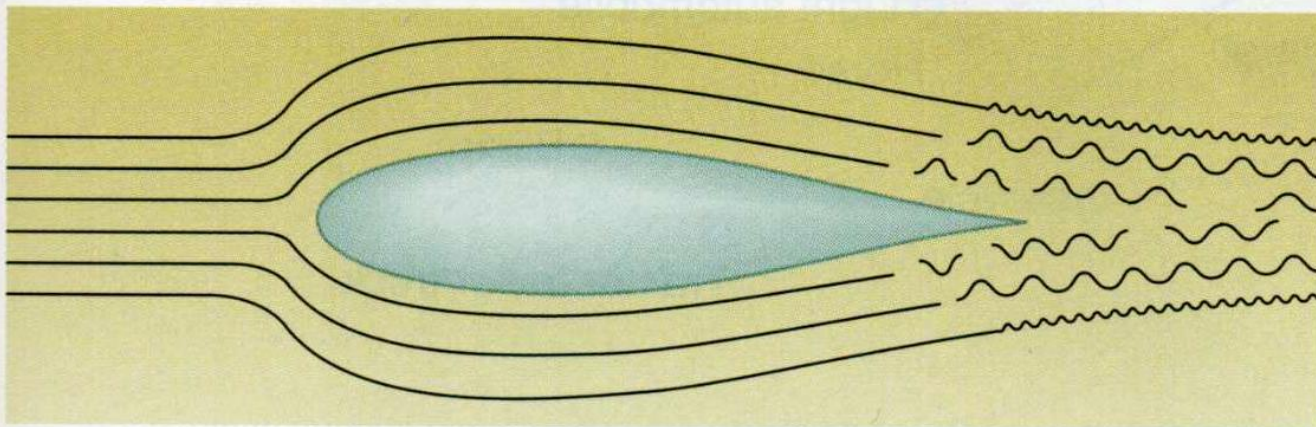


35 Vznik laminárního a turbulentního proudění u pohybujícího se vodního živočicha

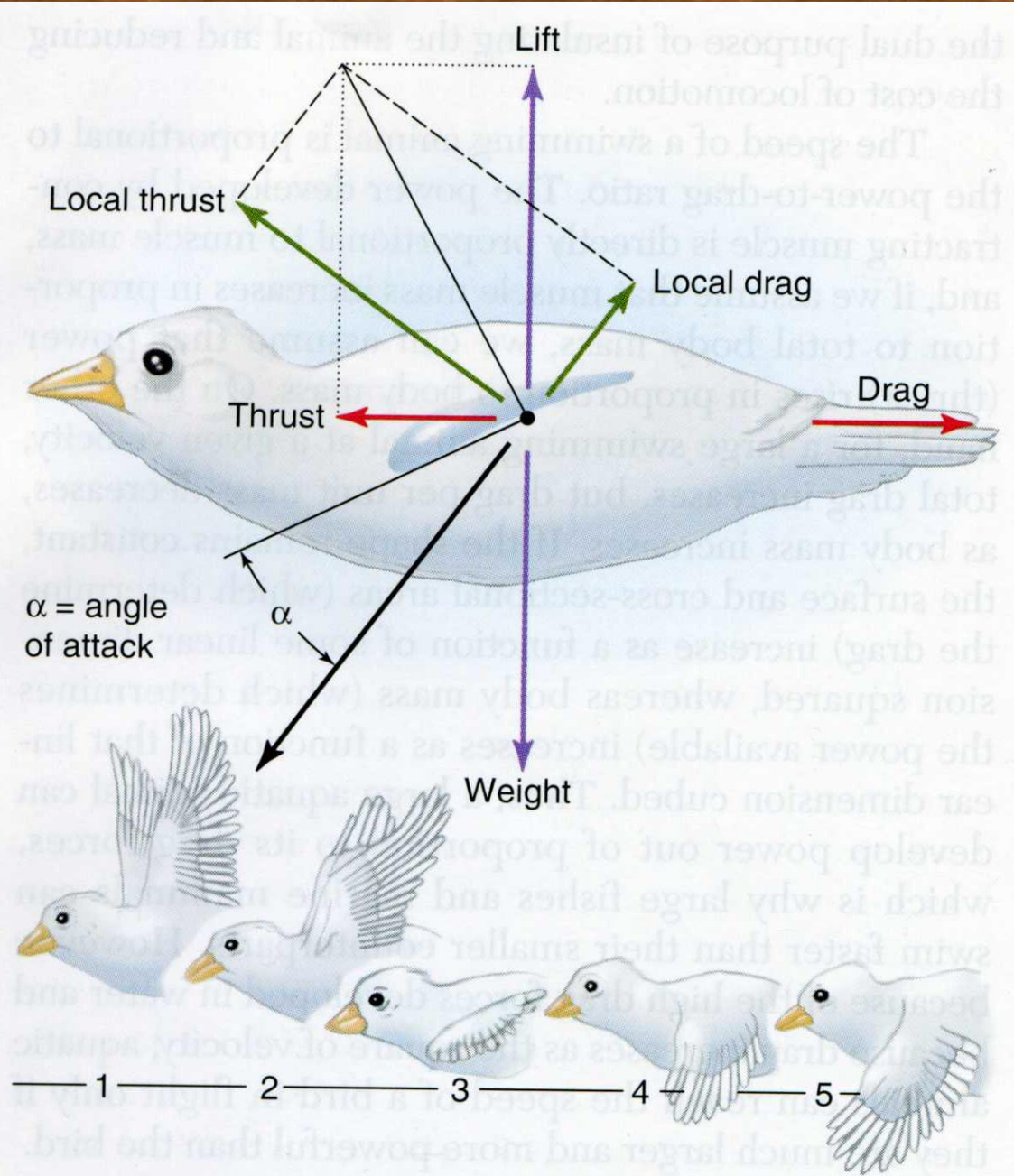
Čím je pohybující se objekt větší a viskozita prostředí nižší, tím větší je rychlost objektu než se začne vytvářet turbulentní proudění



Low velocity — laminar flow



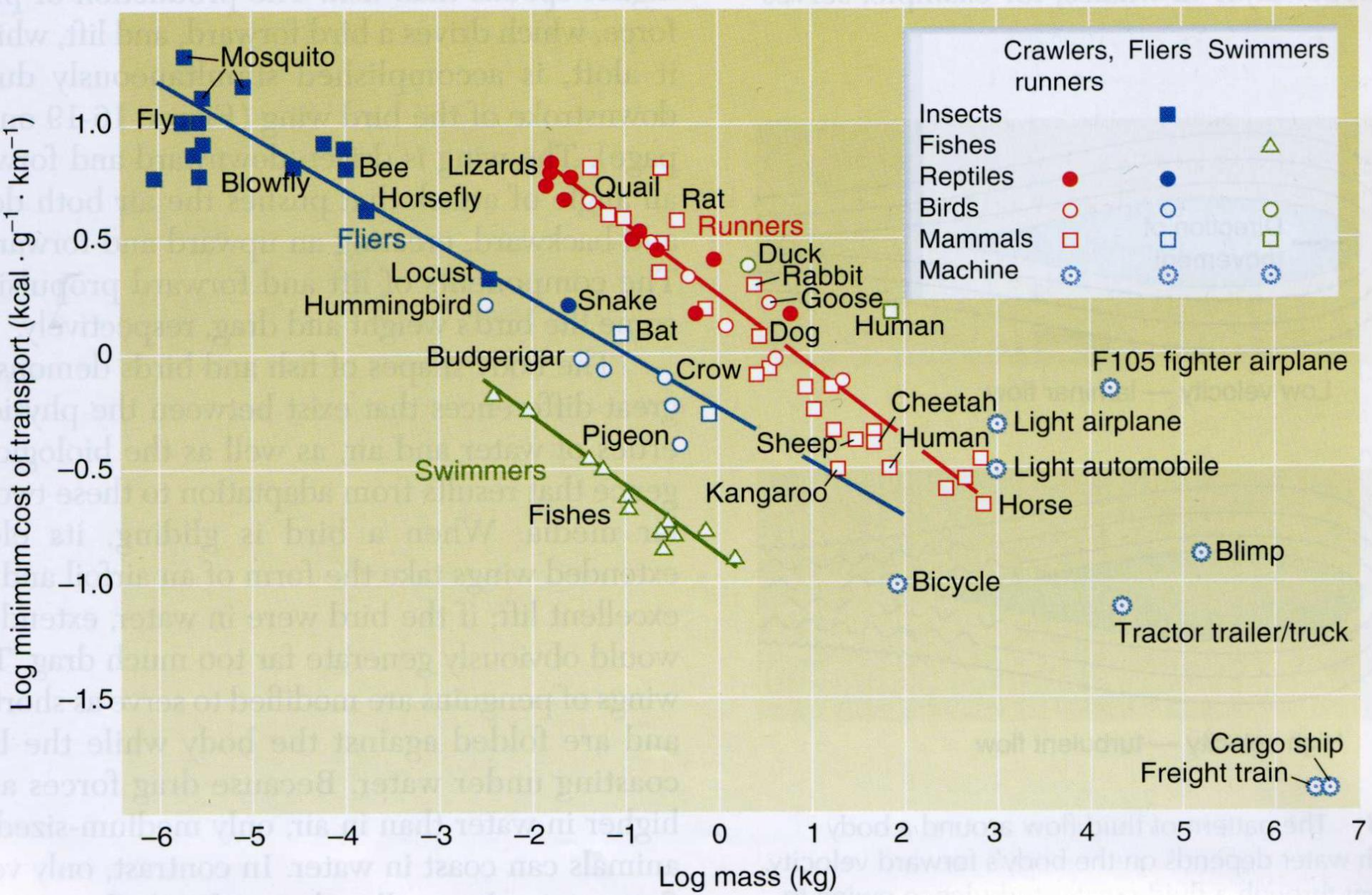
High velocity — turbulent flow



- Na letícího ptáka působí několik sil:**
- tah křídel (thrust)
 - zdvih křídel (lift)
 - odpor vzduchu (drag)
 - tíha zemského pole (weight)

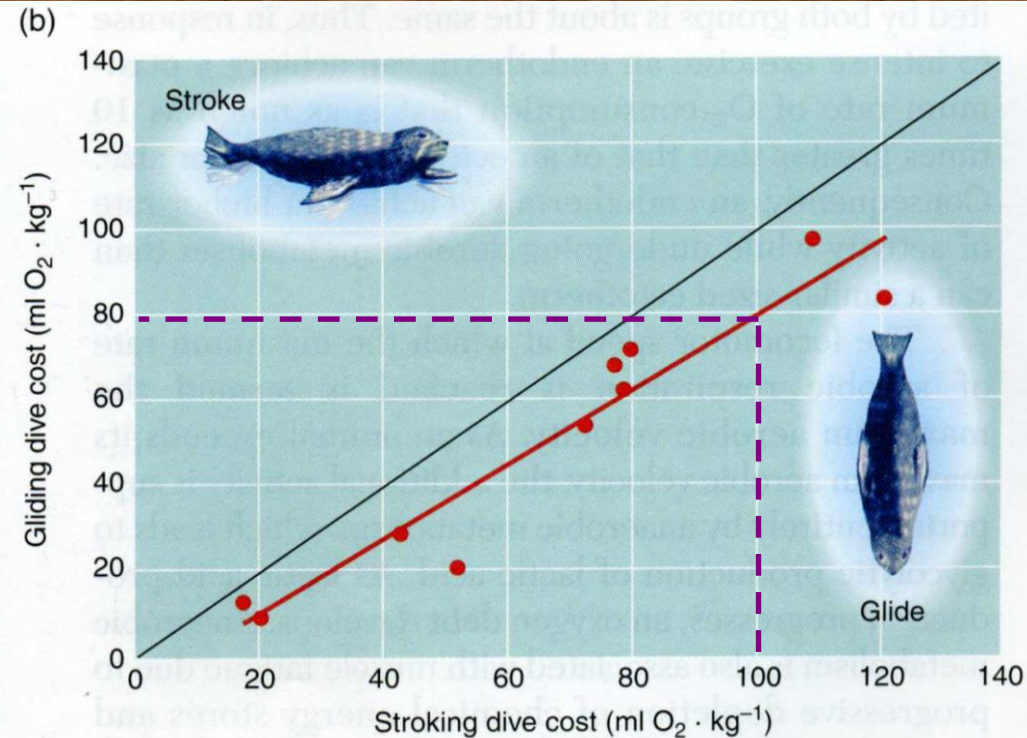
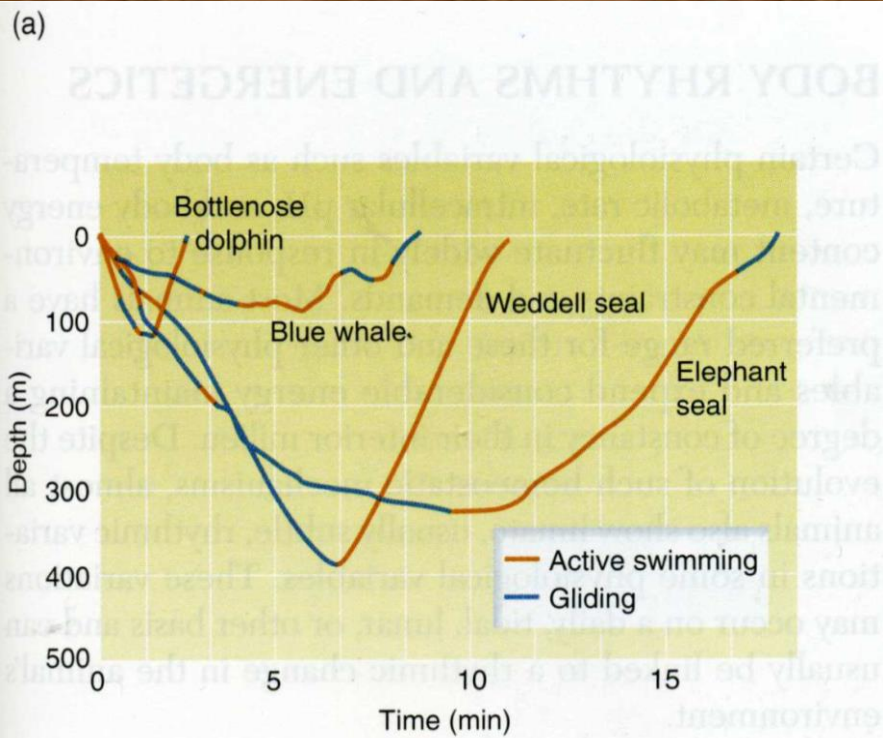
Srovnání energetické náročnosti různých druhů pohybu

Terestrická lokomoce je energeticky nejnáročnější, pohyb ve vodě naopak nejekonomičtější



Šetření energie kombinací aktivního a pasivního způsobu pohybu

- a) Kombinace různých způsobů pohybu u několika mořských živočichů
- b) Srovnání metabolické náročnosti aktivního plavání a pasivního klouzání vodou - pasivní klouzání je asi o 20% energeticky méně náročnější než aktivní plavání: např. tuleň, který spotřebuje 100 ml kyslíku/kg hmotnosti při plavání (viz fialová čárkovaná úsečka), spotřebuje při klouzání za stejných podmínek jen 80 ml kyslíku/kg hmotnosti



Legenda: whale=velryba, seal=tuleň, gliding=klouzání, dive=potápění, stroke=záběr

Uspořádání svalů u ryb

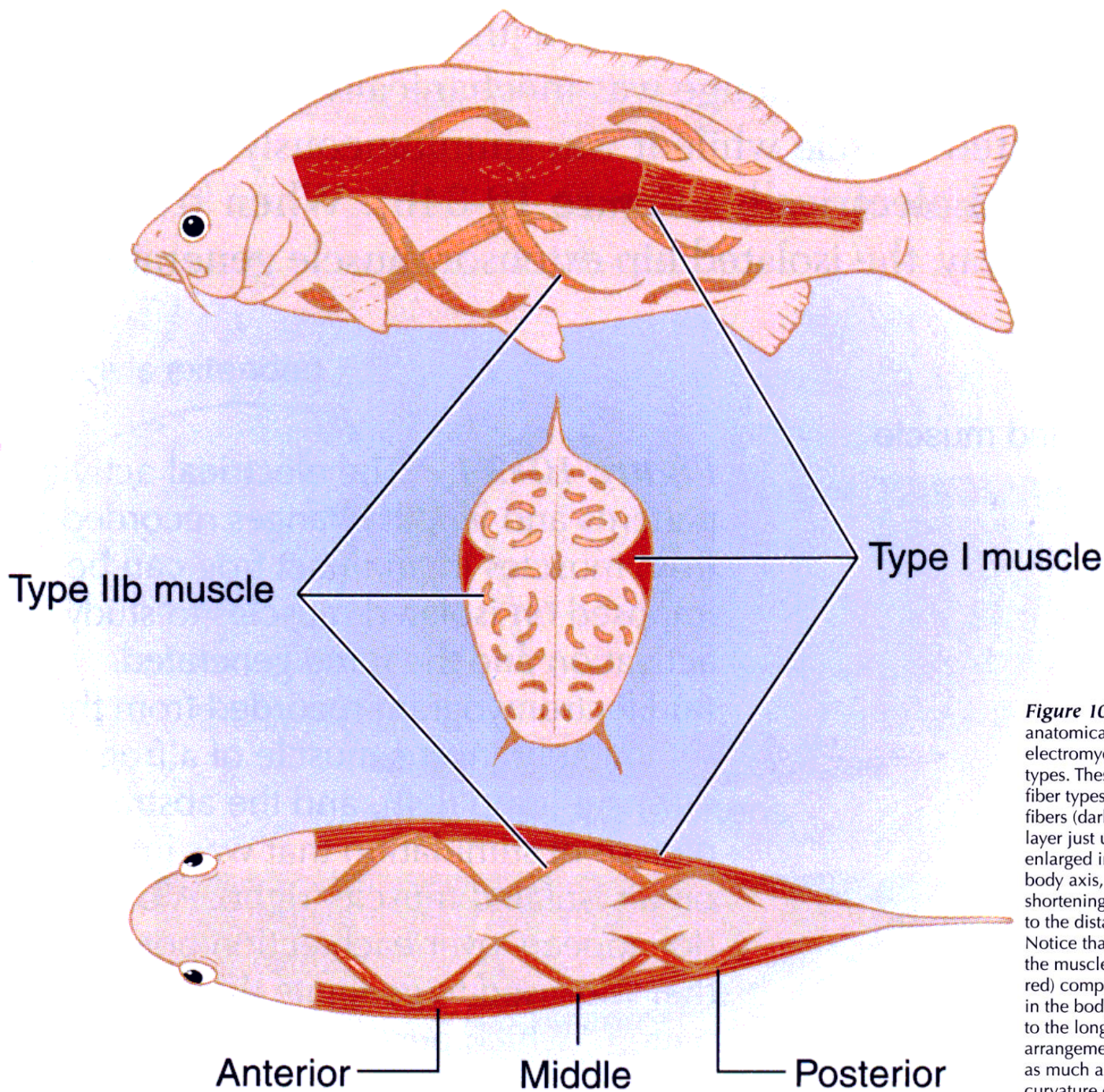
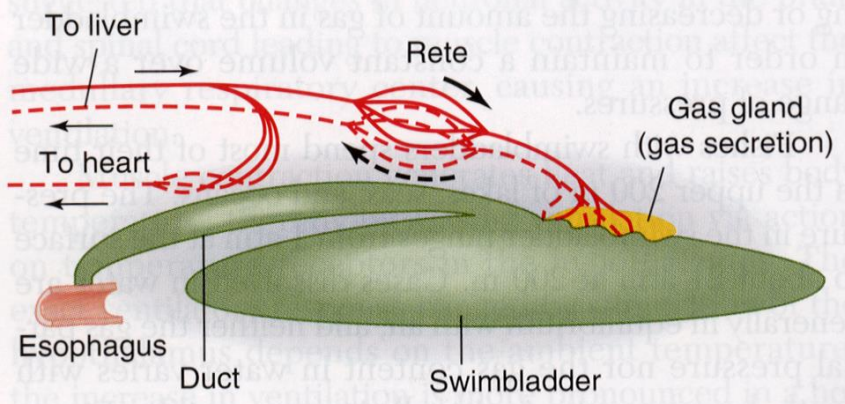


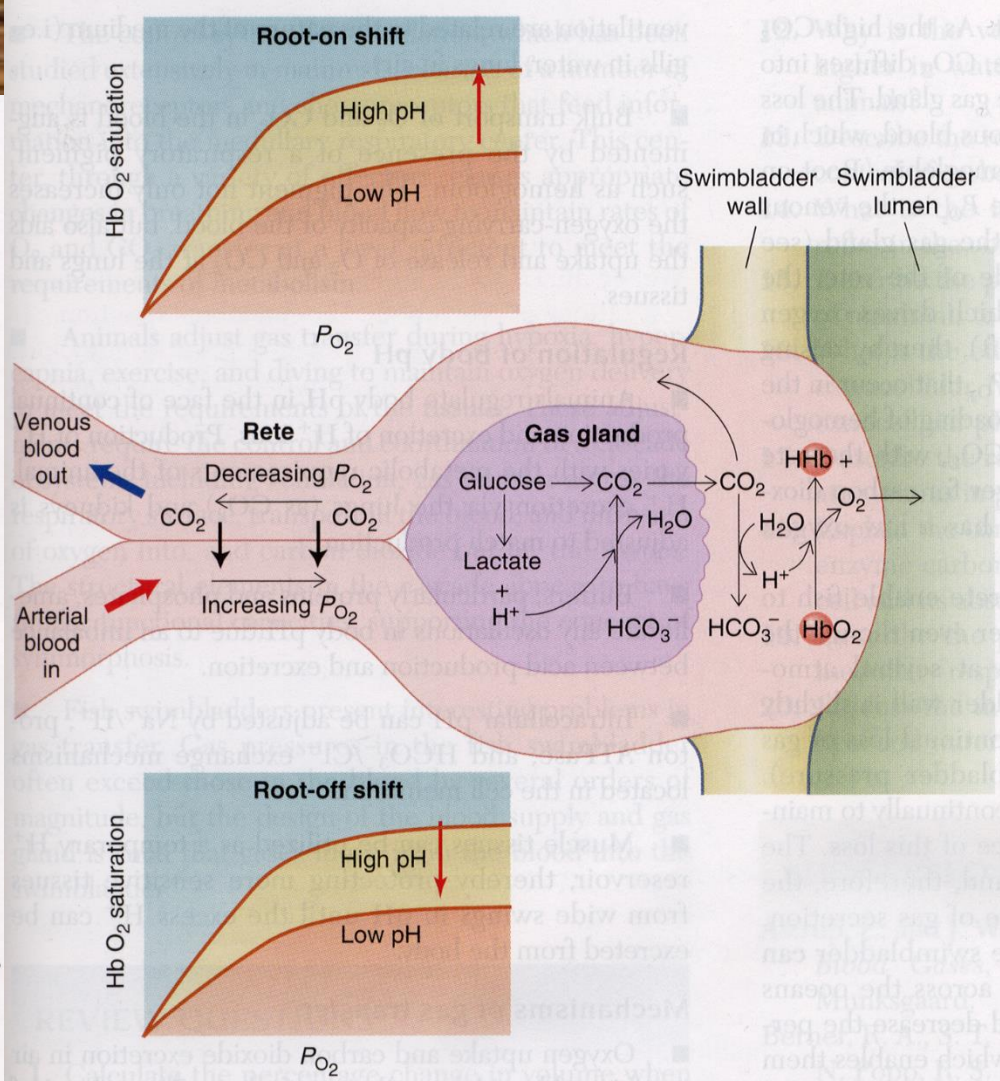
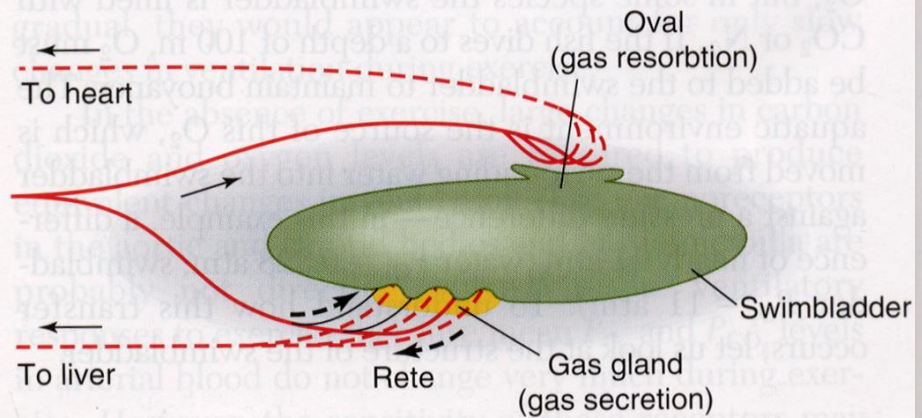
Figure 10-35 In fish, the muscle fiber types are anatomically separate from one another, facilitating electromyographic monitoring of activity in specific fiber types. These diagrams show the arrangement of two muscle fiber types in a carp. Type I (slow-twitch oxidative) muscle fibers (dark red) are found in red muscles, which lie in a thin layer just under the skin; the thickness of this layer has been enlarged in this drawing. These muscles run parallel to the body axis, so the change in sarcomere length during shortening is directly related to the curvature of the spine and to the distance separating the muscle layer from the spine. Notice that details have been omitted from the anterior end of the muscle band. Type IIb (fast-twitch glycolytic) fibers (light red) compose the white muscles, which are located deeper in the body. These muscles run helically, rather than parallel to the long axis of the body. Because of their anatomic arrangement, white muscles need to shorten only about 25% as much as red muscles to produce a given change in the curvature of the body. [Adapted from Rome et al., 1988.]

Plynový měchýř ryb a princip jeho činnosti

(a) Physostome swimbladder

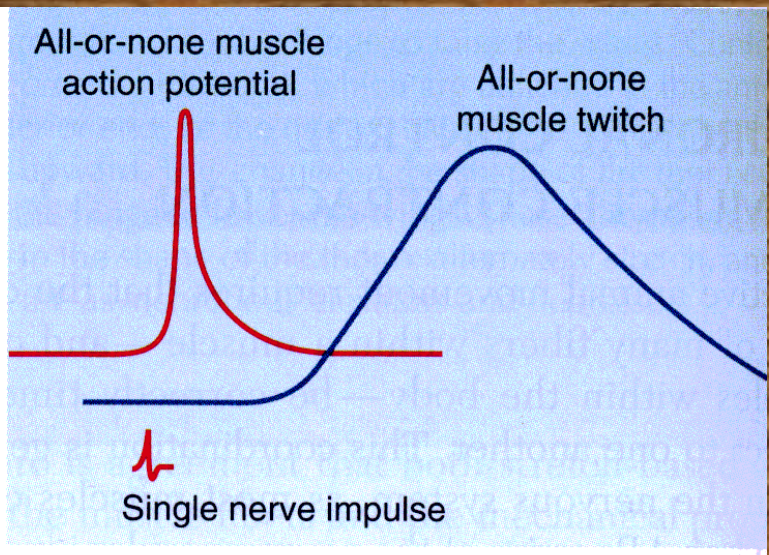
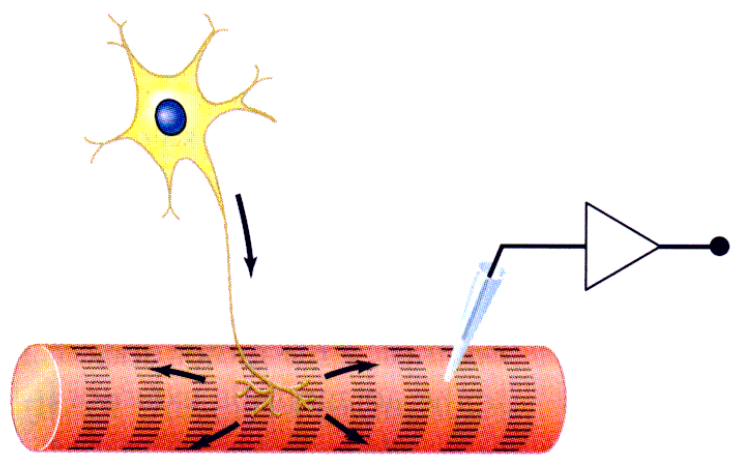


(b) Physoclist swimbladder

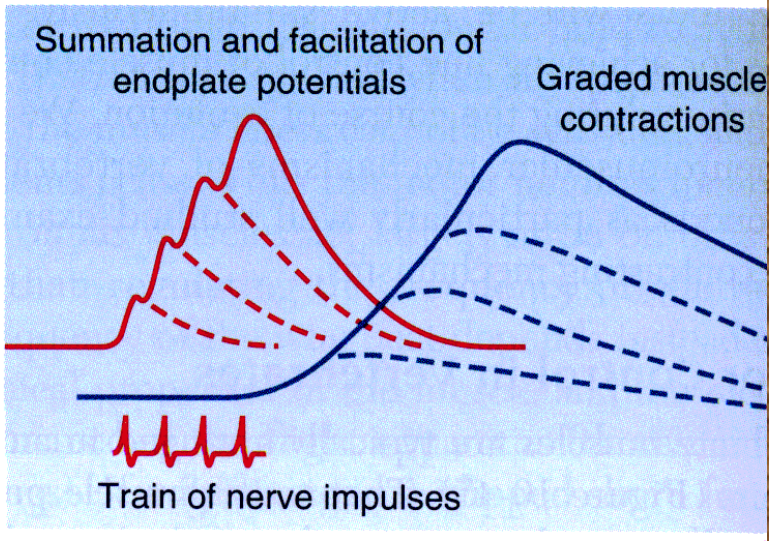
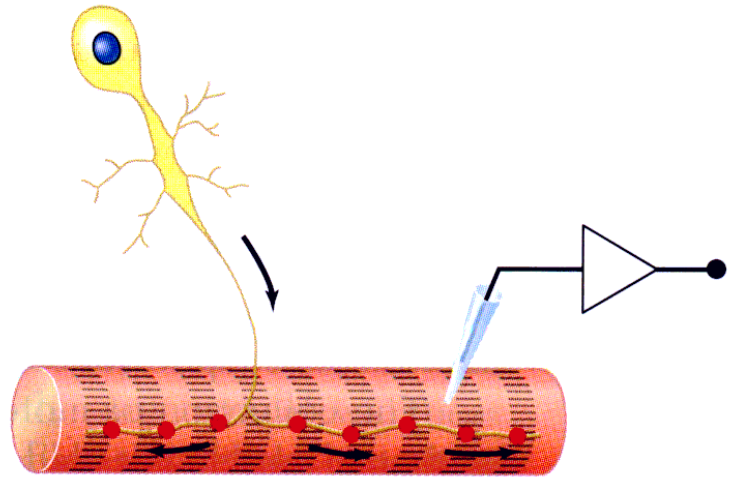


Srovnání svalů obratlovců a bezobratlých

(a) Vertebrate

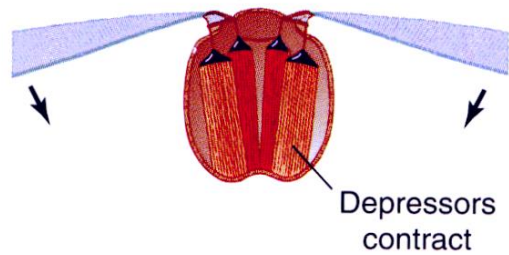
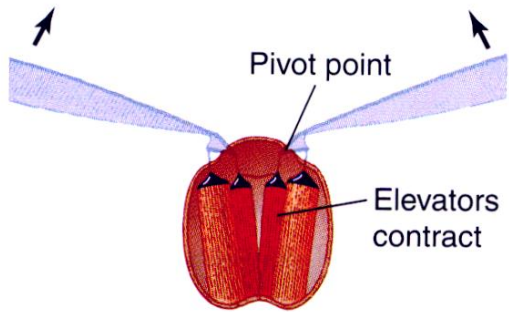
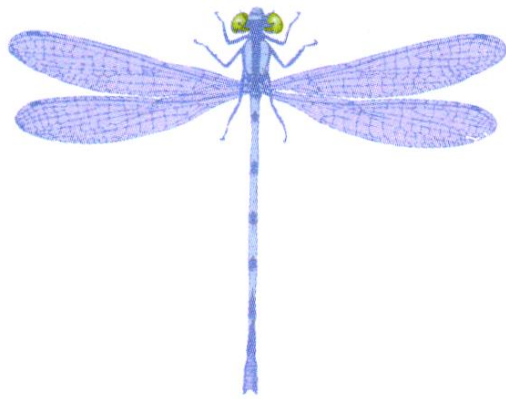


(b) Arthropod

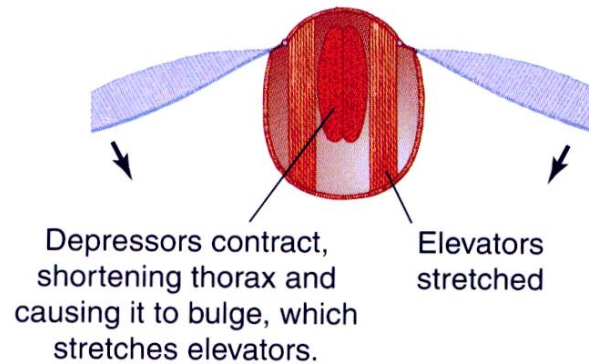
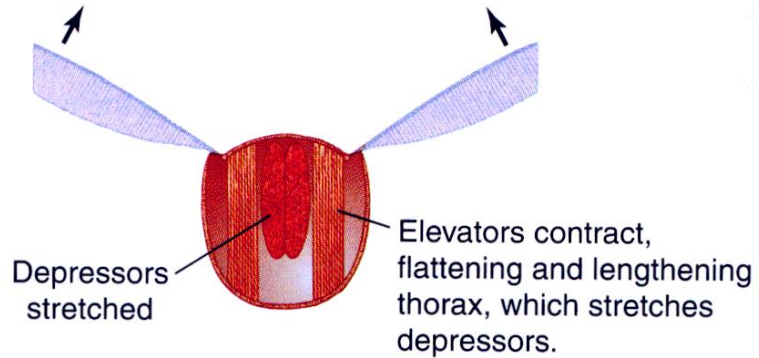
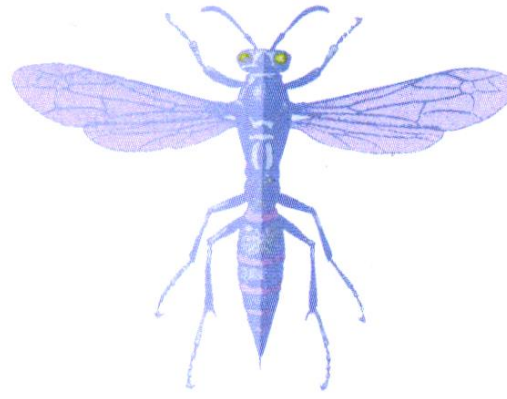


Synchronní a asynchronní létací svaly u hmyzu

(a) Damselfly



(b) Wasp

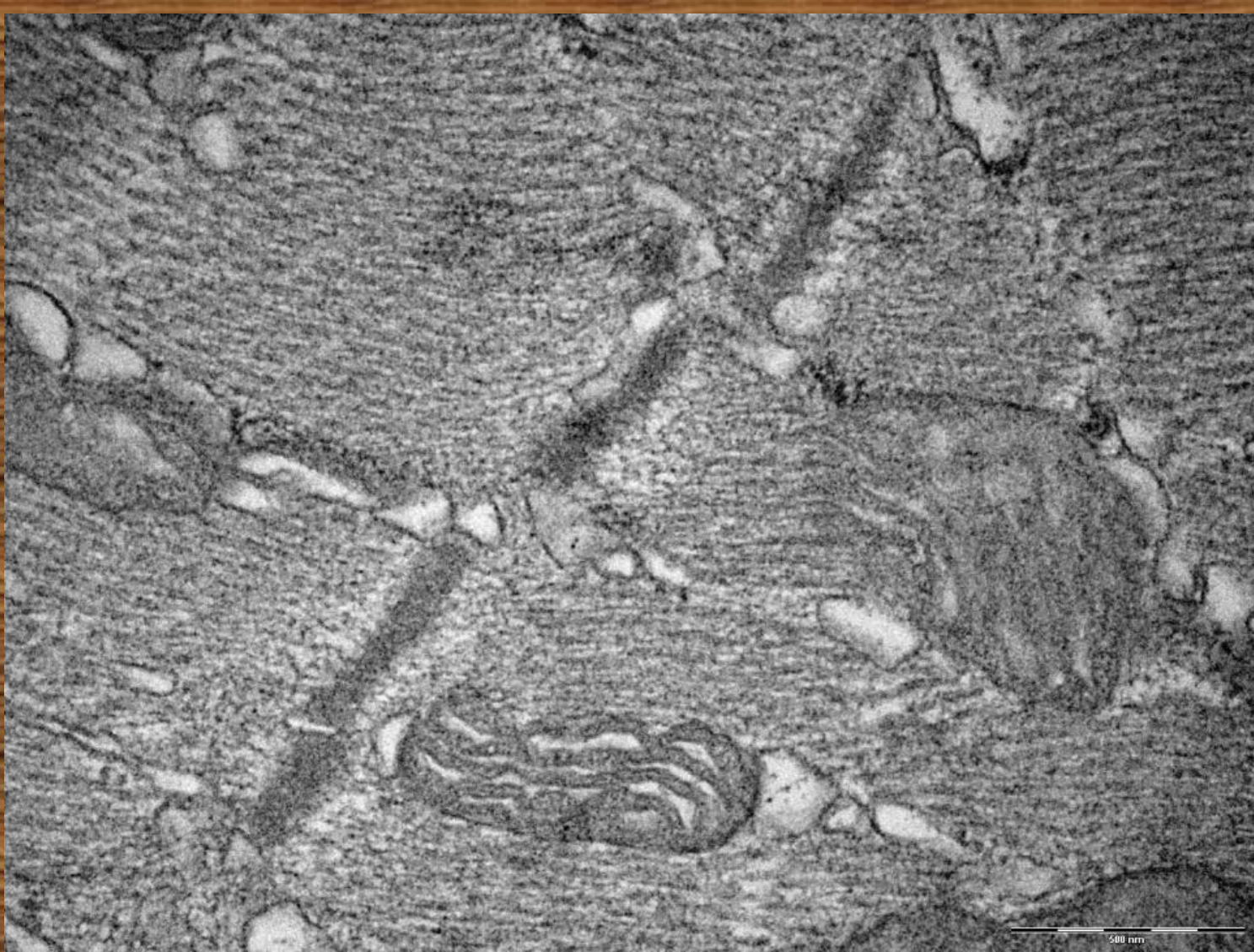


Jak fungují hmyzí asynchronní svaly?

“...do jednoho svalu je vyslán signál, aby se stáhnul, ten jak se stáhne, to vyšle signál tomu druhému, aby se stáhnul, pak se stáhne, zašle to signál tomu prvnímu...”

Neznámý student, jaro 2006

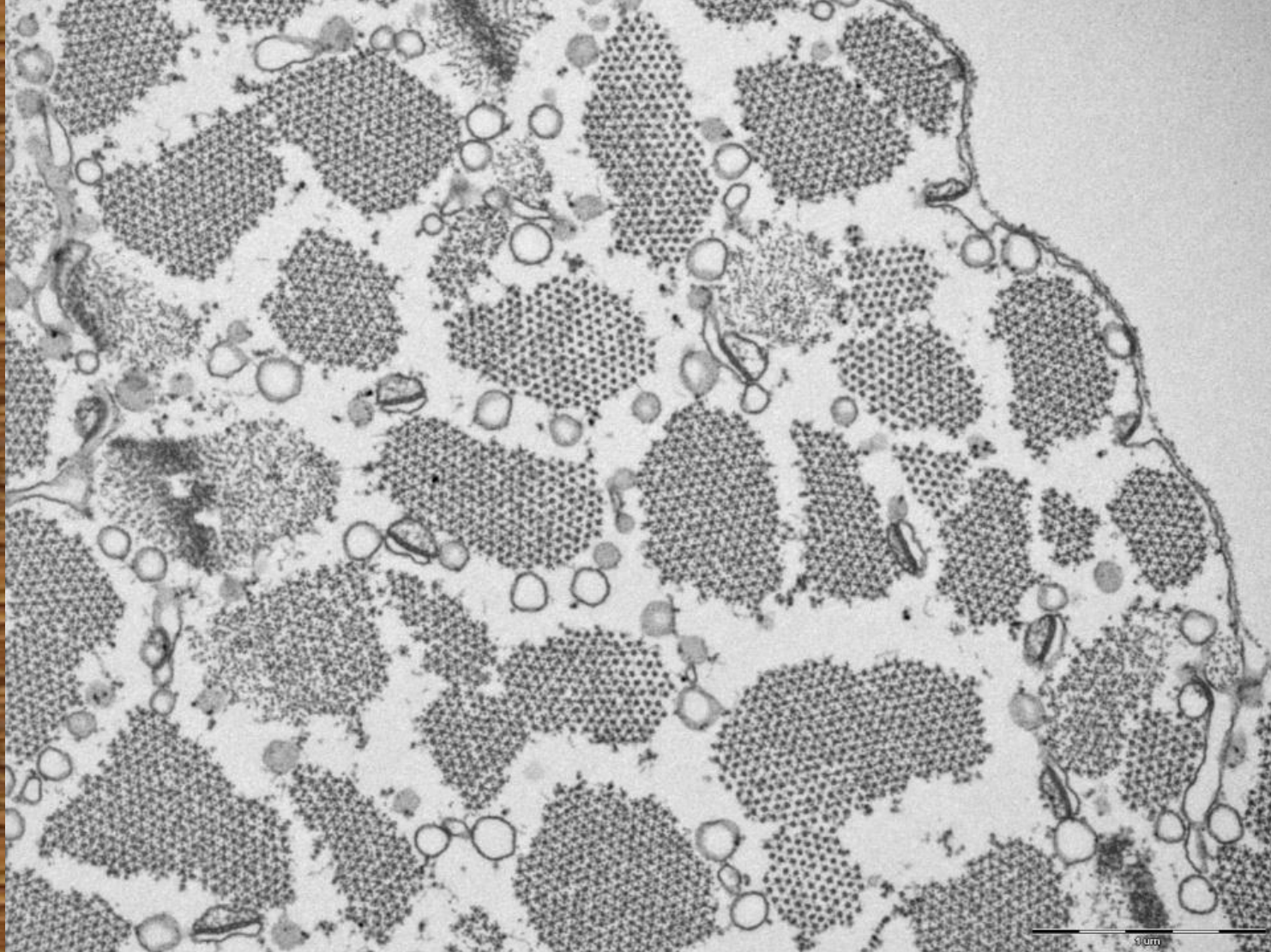
43a



Příčně pruhovaný sval z hlavy ploštice ruměnice pospolné *Pyrrhocoris apterus*

© F.Weyda

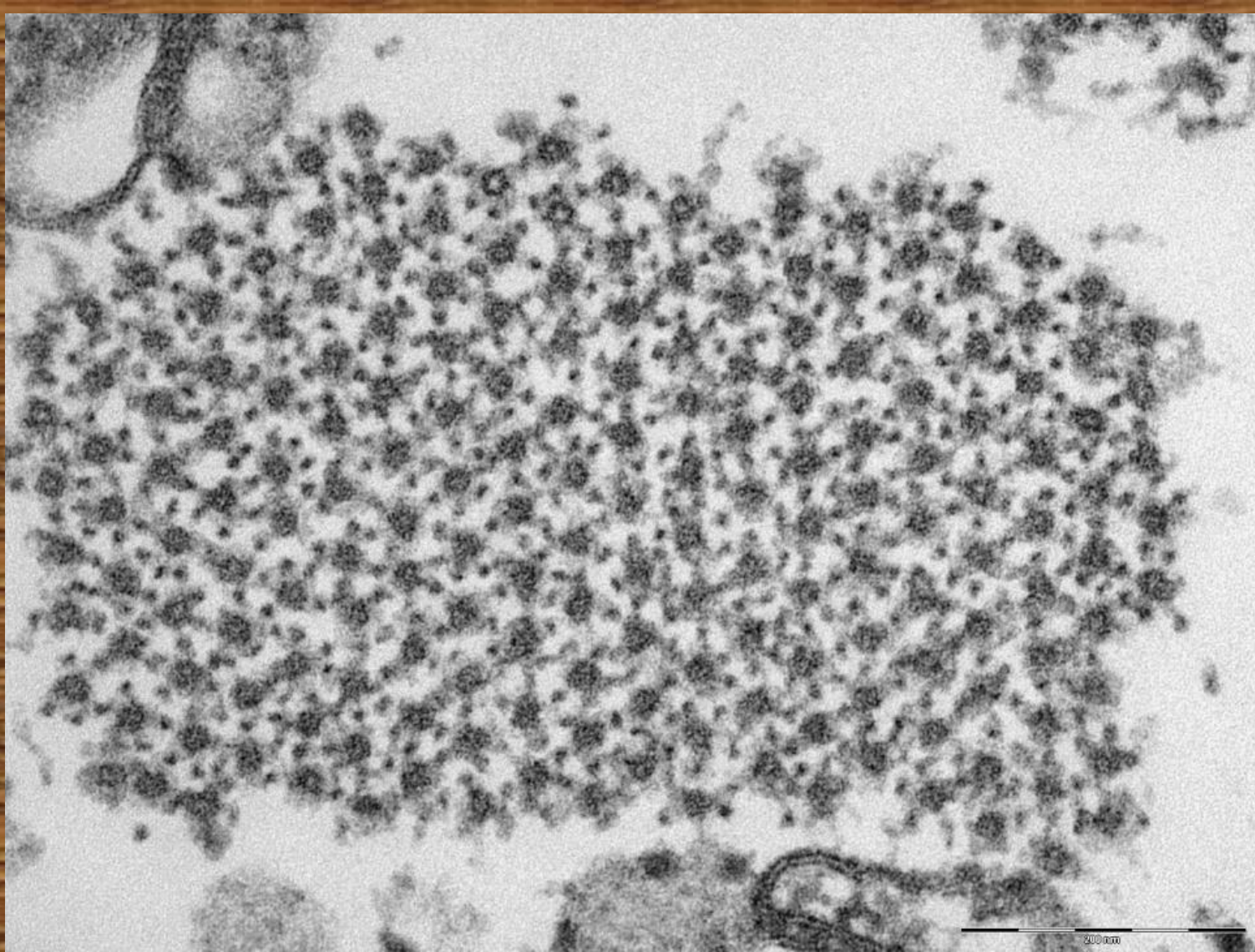
43b



Příčně pruhovaný sval z abdomenu komára rodu *Culex*

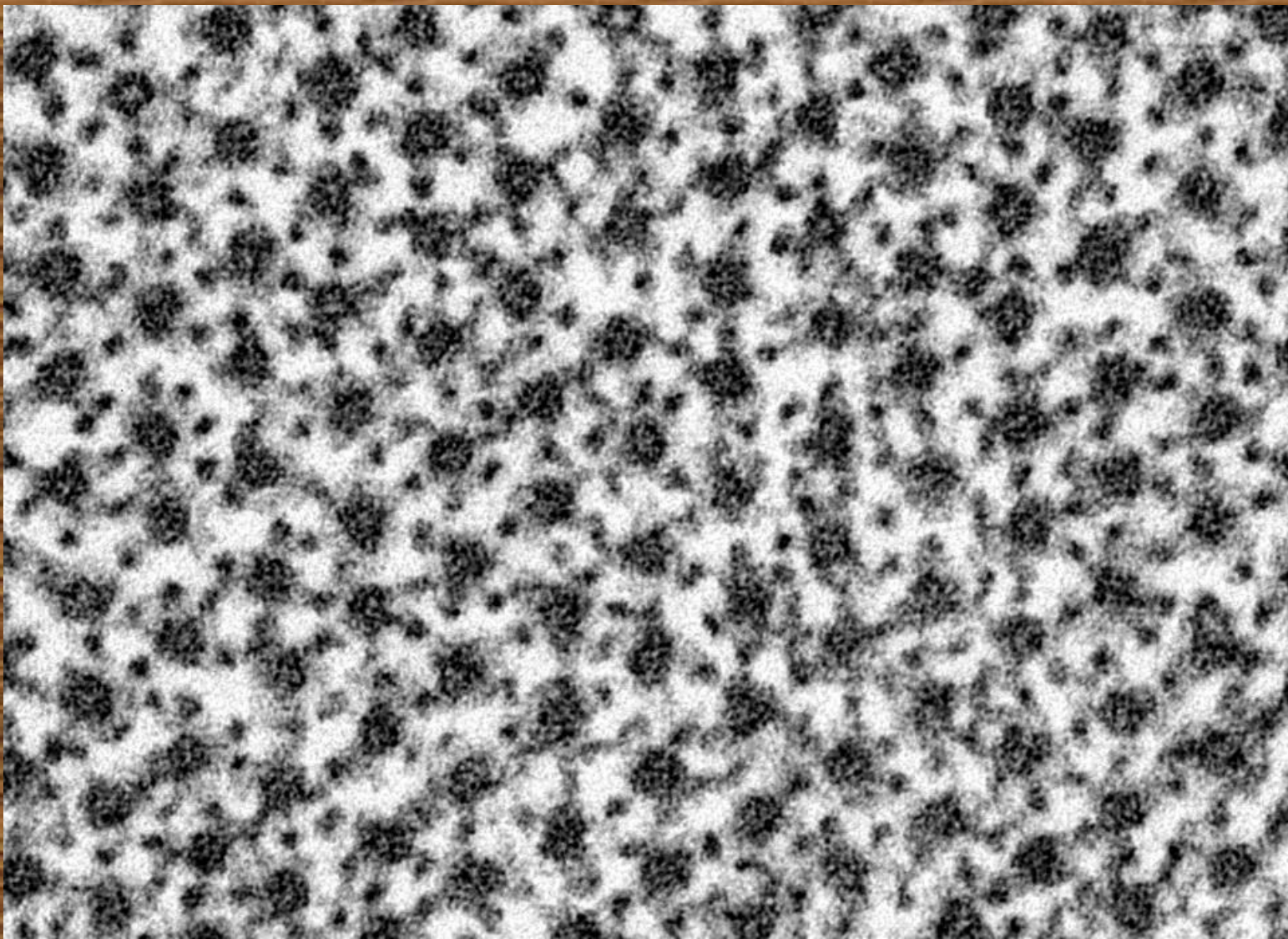
© F.Weyda

43c



Příčně pruhovaný sval z abdomenu komára rodu *Culex* - detail

© F.Weyda

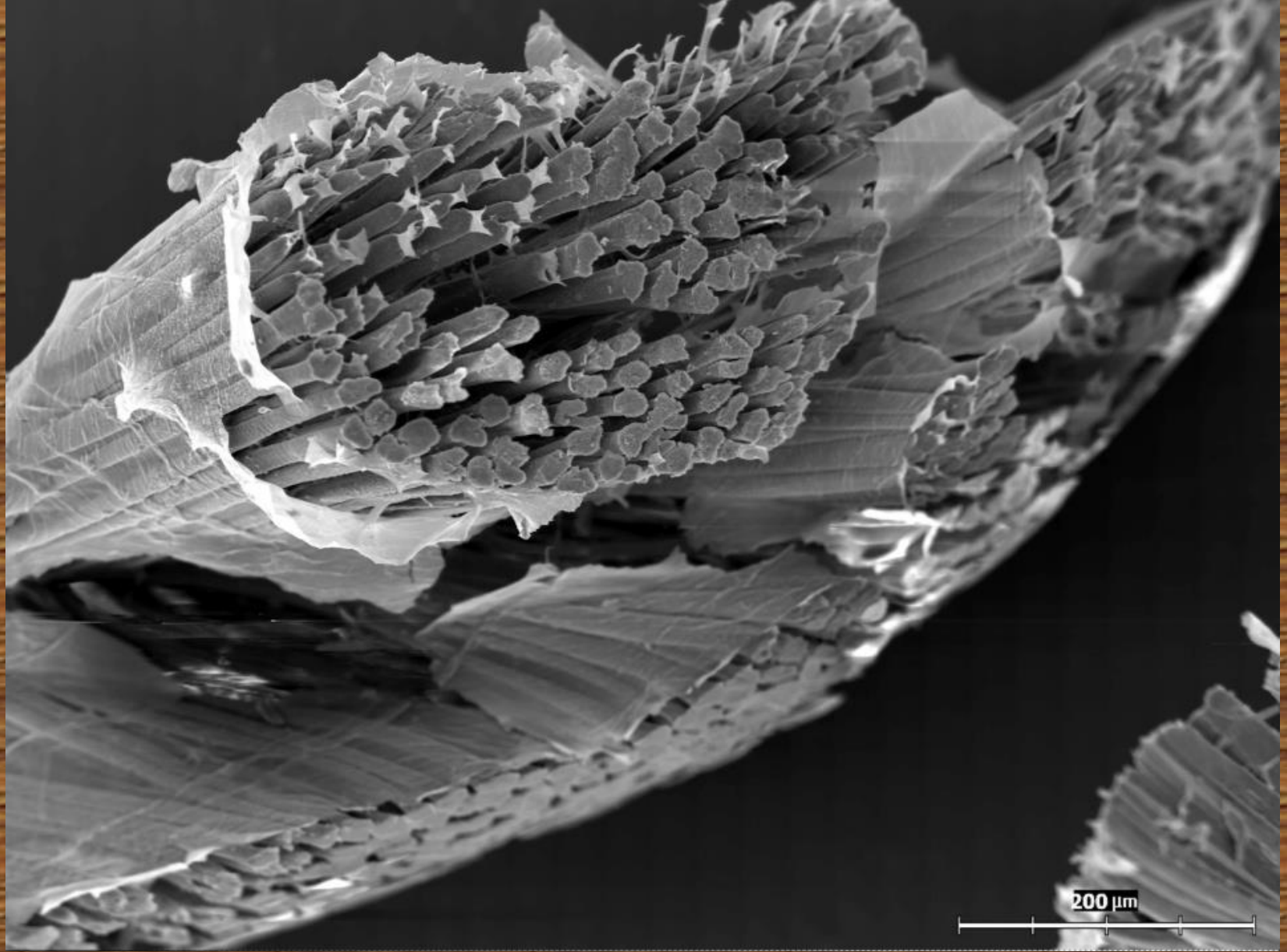


**Příčně pruhovaný sval z abdomenu komára rodu *Culex* – detail po zvýraznění pomocí
obrazové analýzy- program ACC Image Structure and Object Analyser**



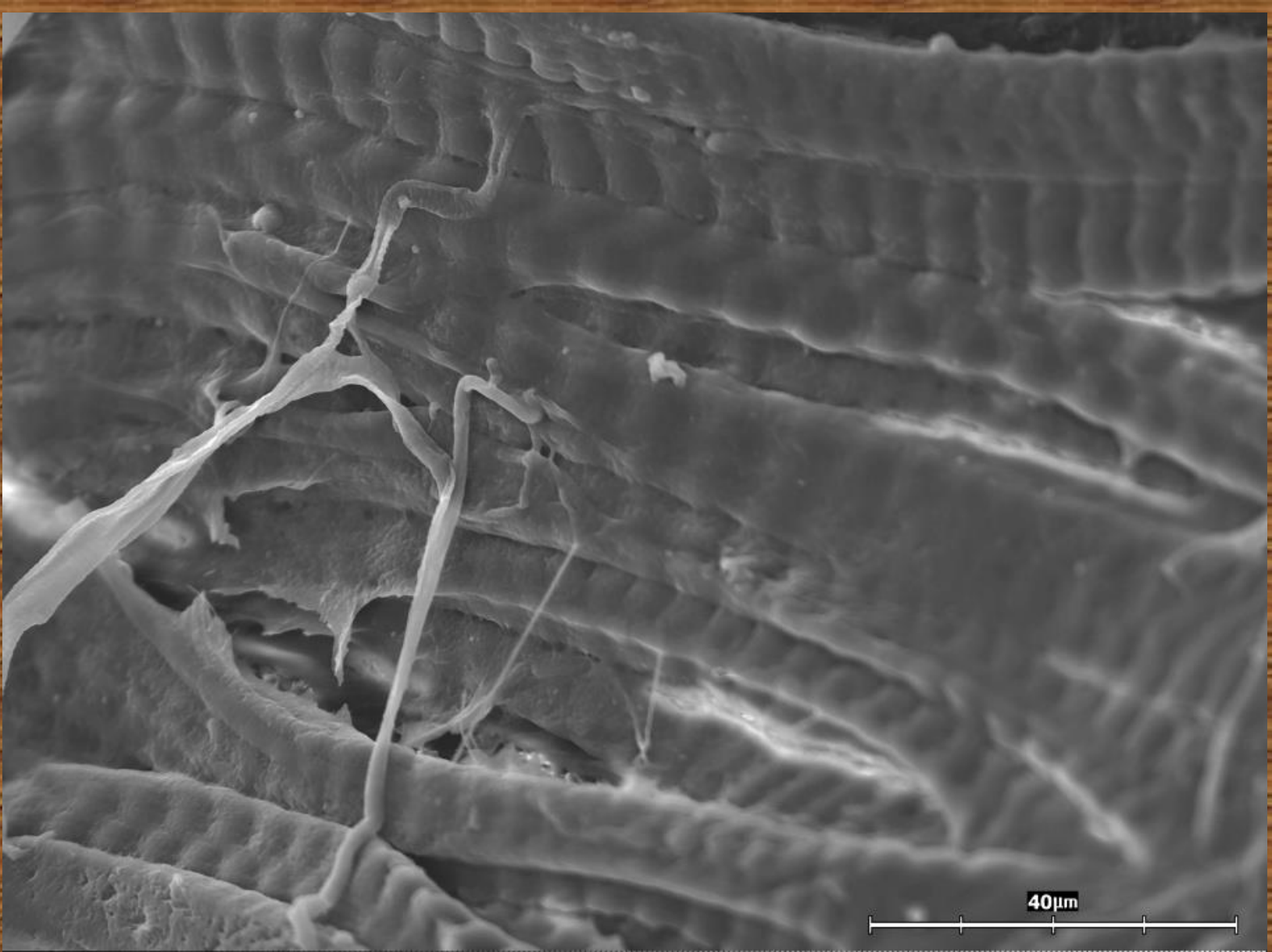
Dělnice včely, thorax, letové svaly

© F.Weyda



Dělnice včely, thorax, nepřímé letové svaly

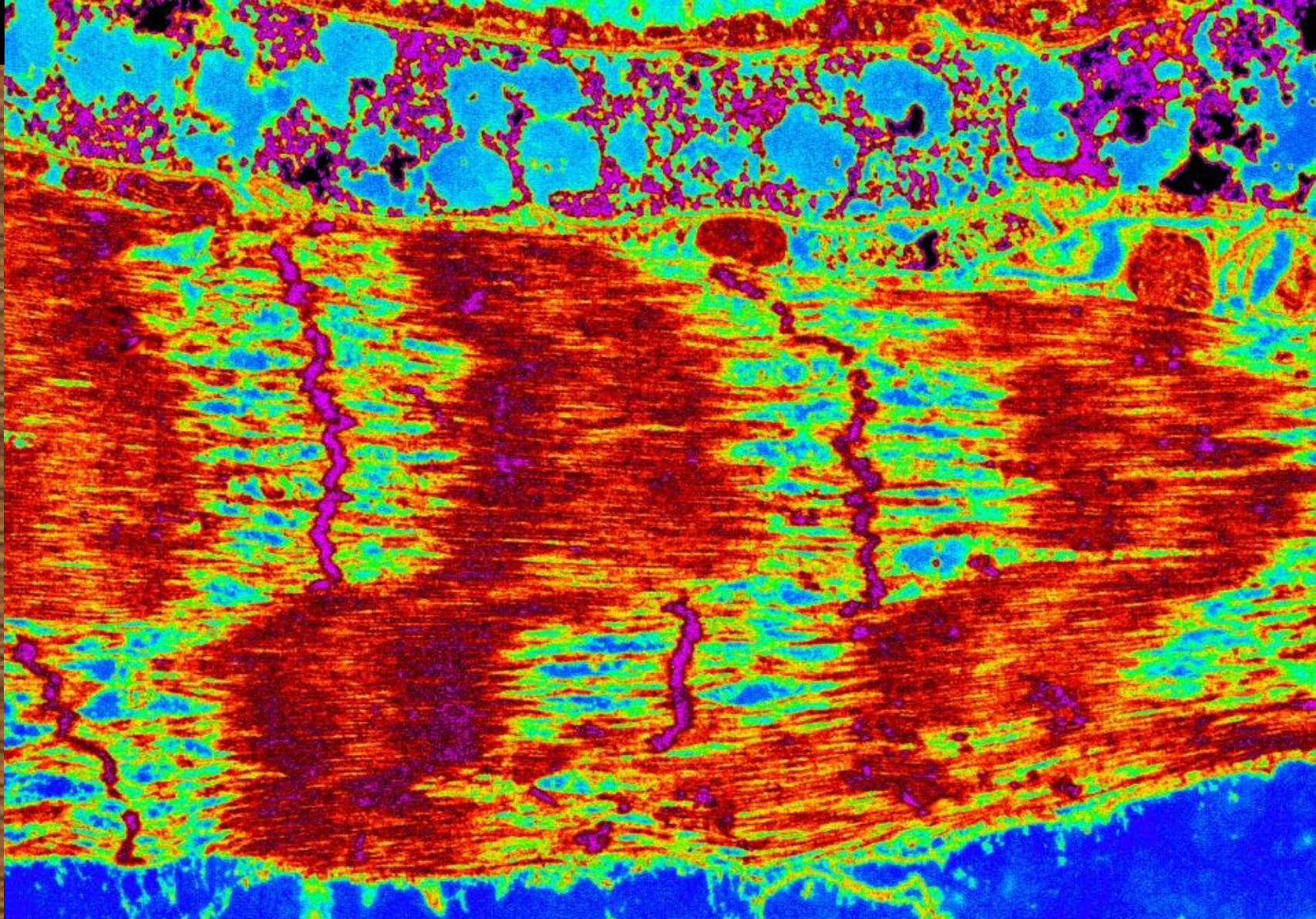
43g



Dělnice včely, thorax, příčně pruhované svaly, připojení tracheí a tracheol

© F.Weyda

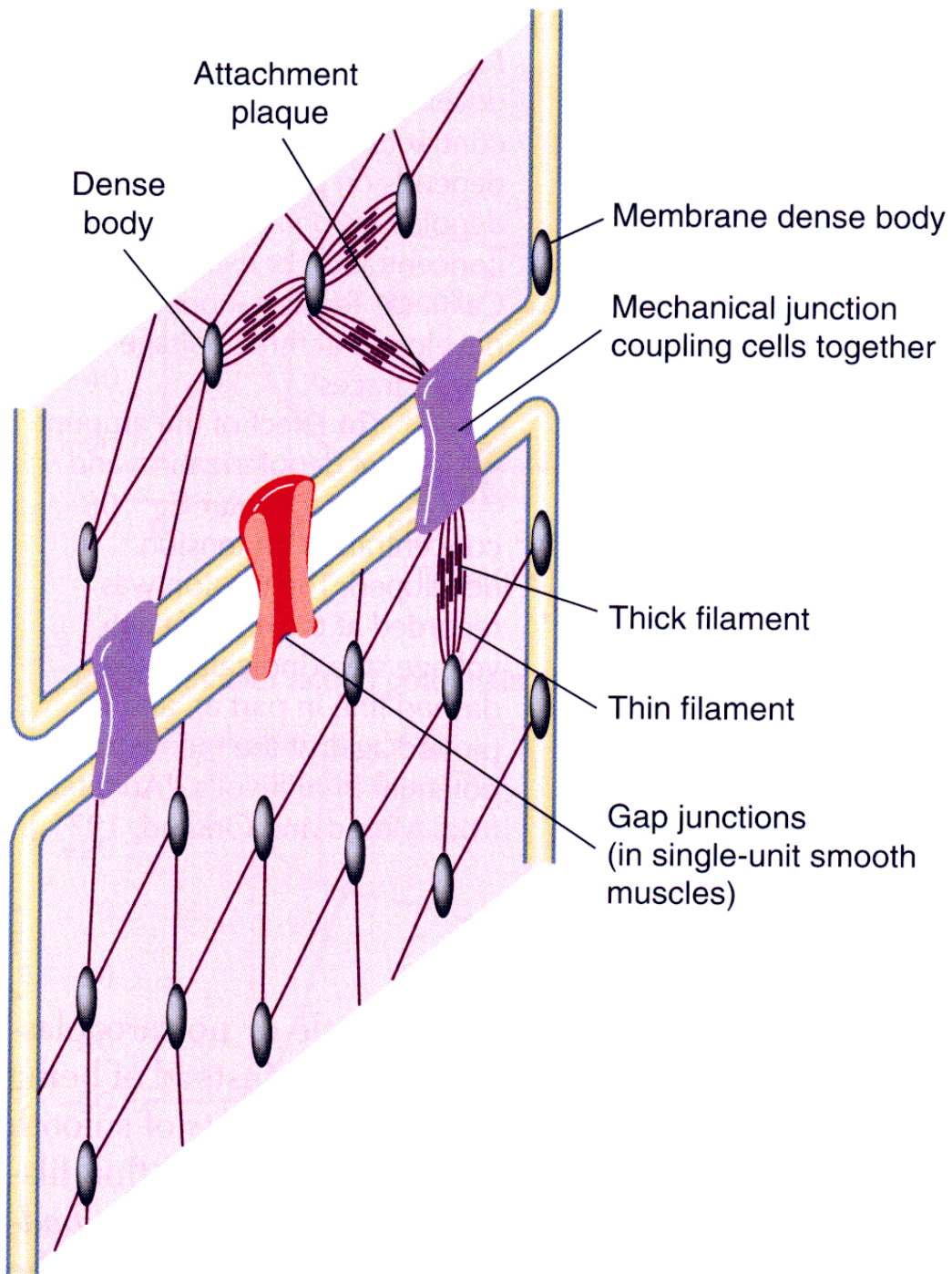
43h



Příčně pruhovaný sval hmyzu, podélný řez, počítačově obarveno

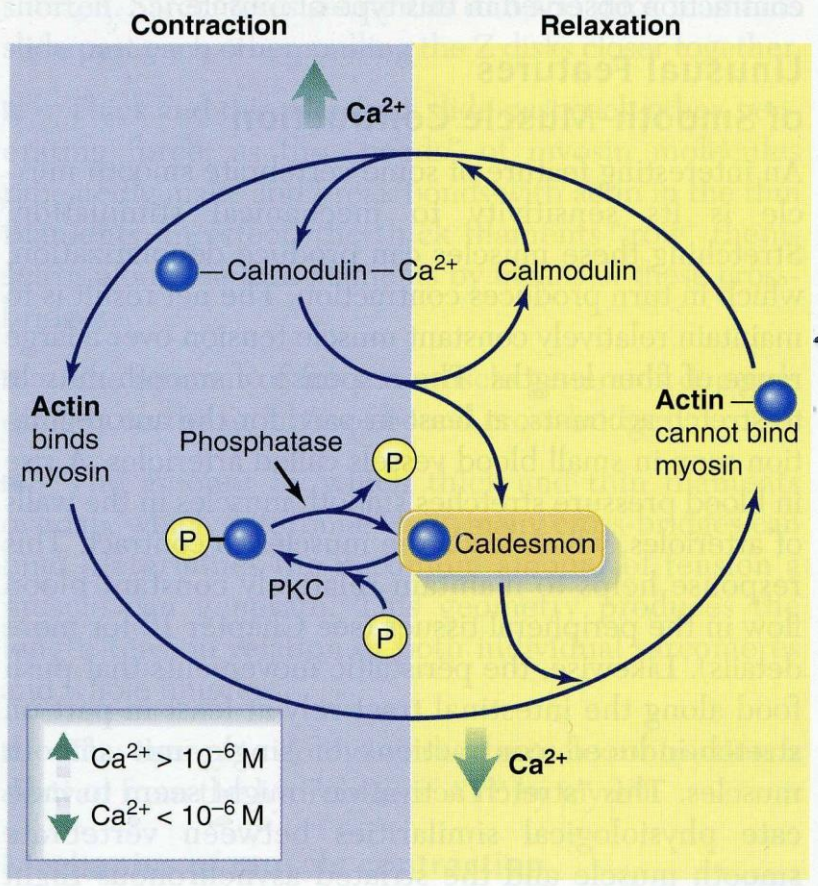
© F.Weyda

Schématické uspořádání hladkého svalu

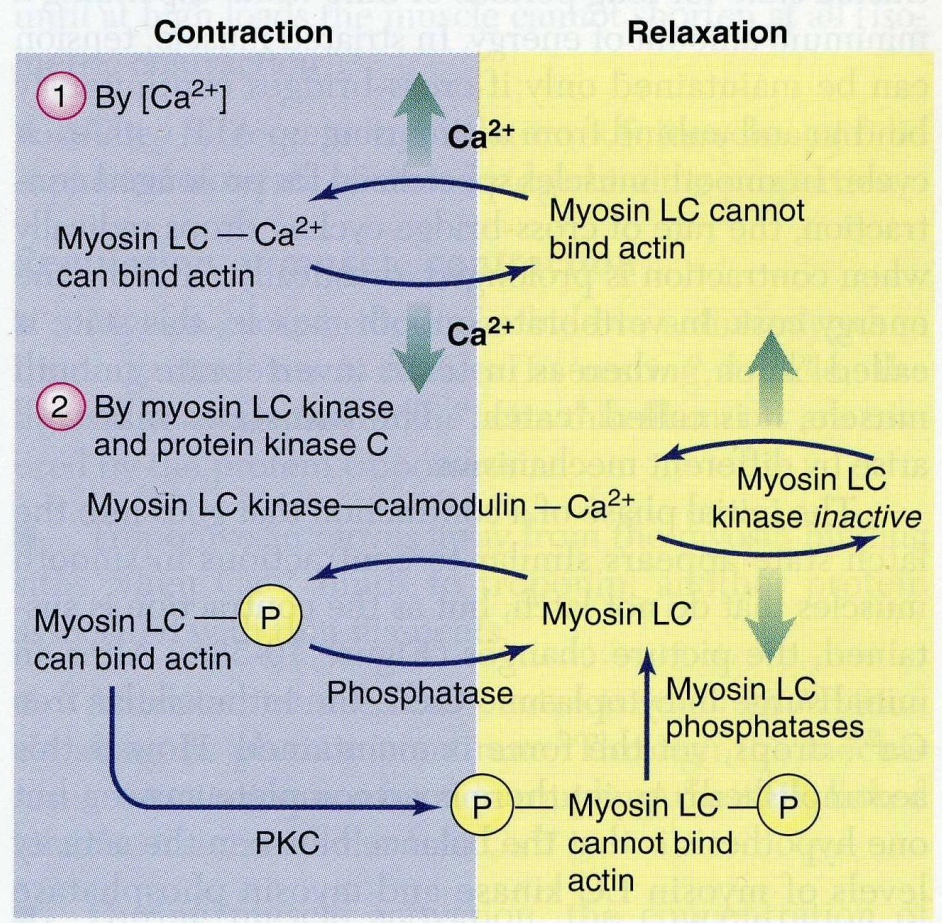


Mechanismy kontroly kontrakcí u hladké svaloviny

(a) Regulation of actin



(b) Regulation of myosin light chains



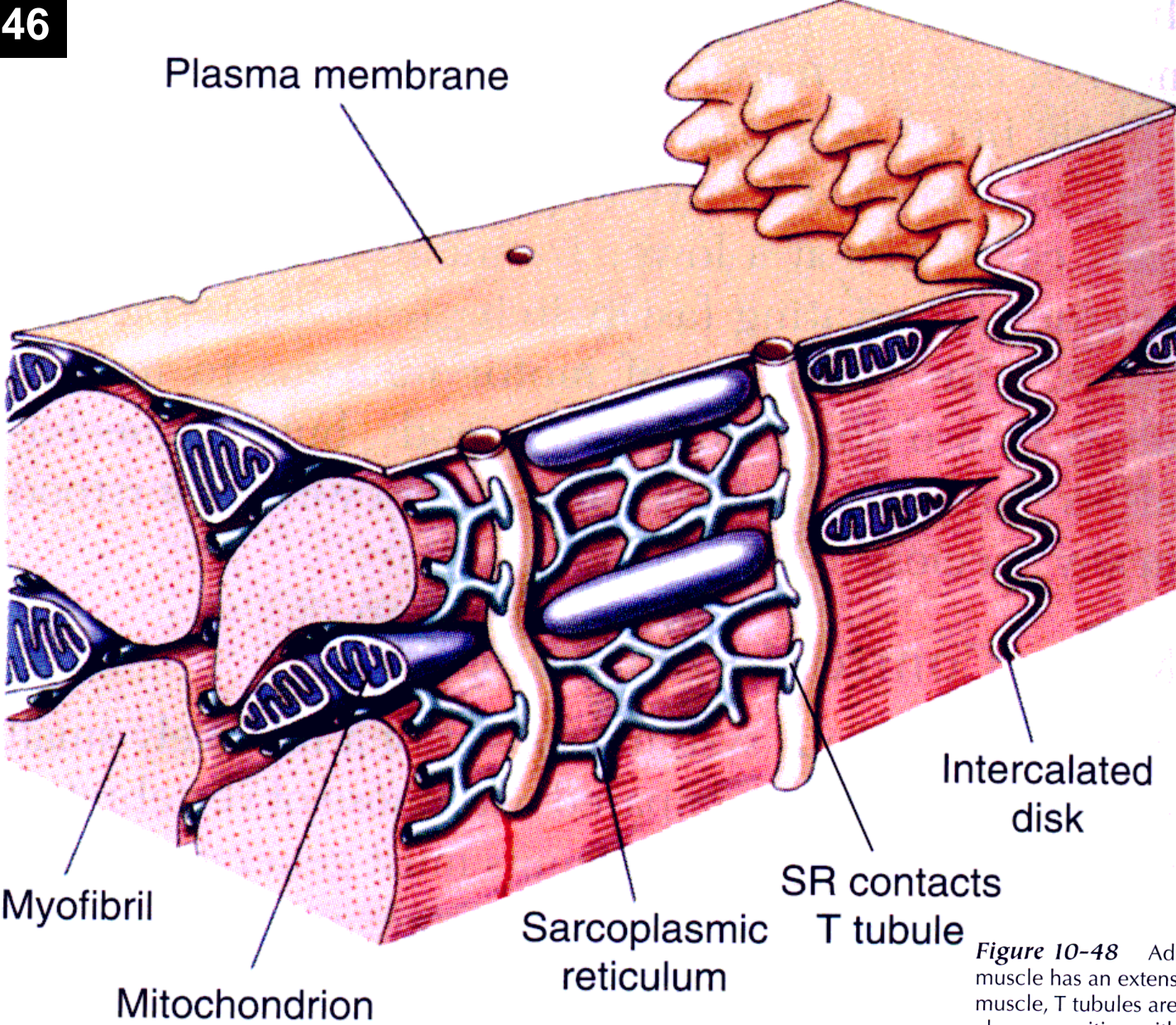
Kontrola přes aktin:

- Odstranění kaldesmonu pomocí kalmodulinu a Ca⁺⁺, pak umožněna vazba myozinu na aktin
- fosforylace kaldesmonu – P-kaldesmon se neváže na vazebné místo na aktin, může se vázat myozin

Kontrola přes myozin:

- přímá vazba Ca⁺⁺ na myozin umožňuje vazbu myozinu na aktin
- fosforylace myozinu – P-myozin se přímo váže na aktin, PKC pak vytvoří P-myozin-P, který brání vazbě A-M

Srdeční svalovina



Plasma membrane

Myofibril

Mitochondrion

Sarcoplasmic reticulum

SR contacts

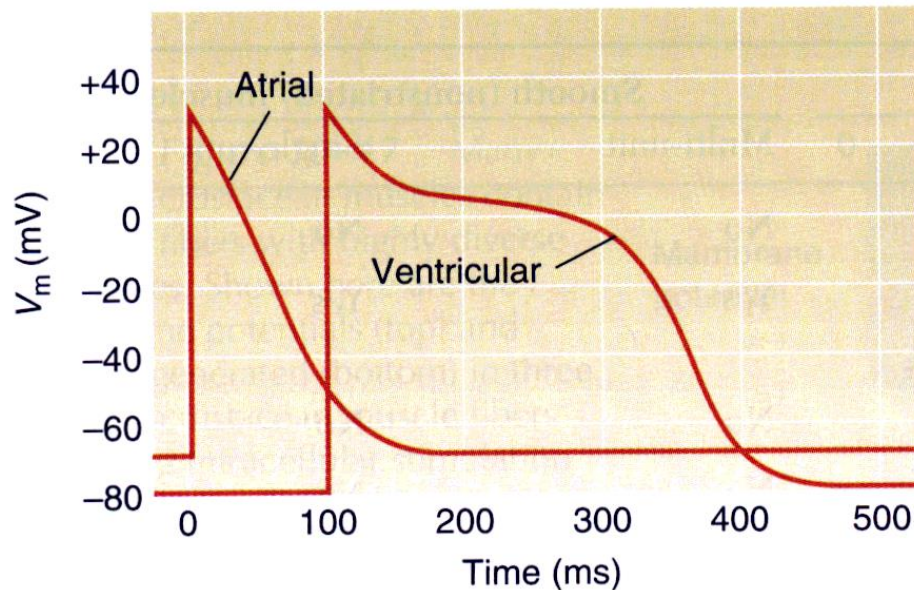
T tubule

Intercalated disk

Figure 10-48 Adult mammalian contractile cardiac muscle has an extensive sarcoplasmic reticulum. As in skeletal muscle, T tubules are associated with Z disks and come into close apposition with the SR. Unlike skeletal muscle fibers, cardiac contractile fibers are connected to one another electrically through intercalated disks, at which the extensive membranes of neighboring cells are coupled by numerous gap junctions and held tightly together by desmosomes. [Adapted from Fawcett, 1986.]

Akční potenciály v srdeční svalovině

(a) Atrial and ventricular action potentials



(b) Ventricular action potentials and force generation

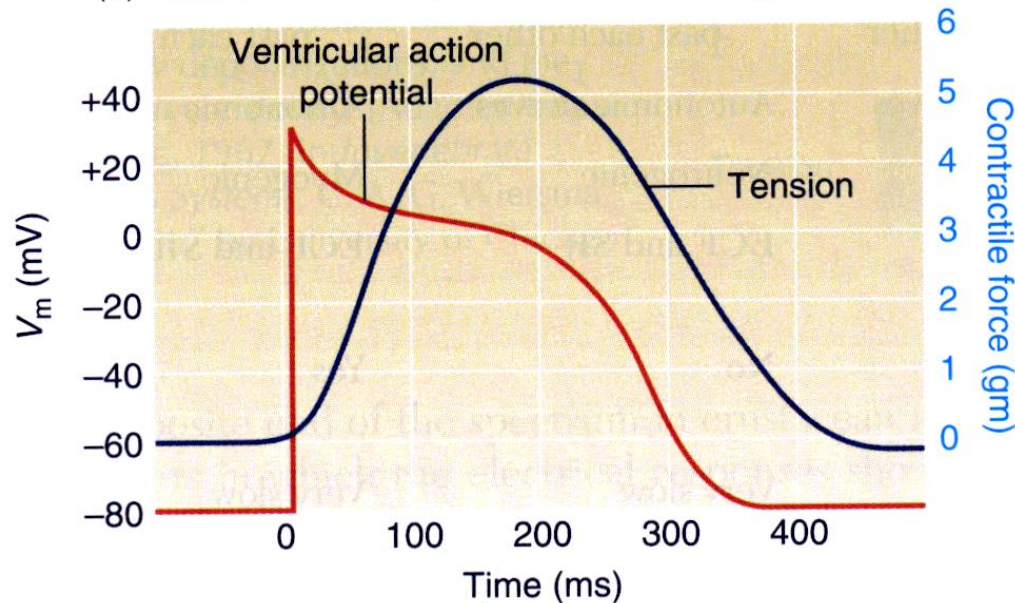
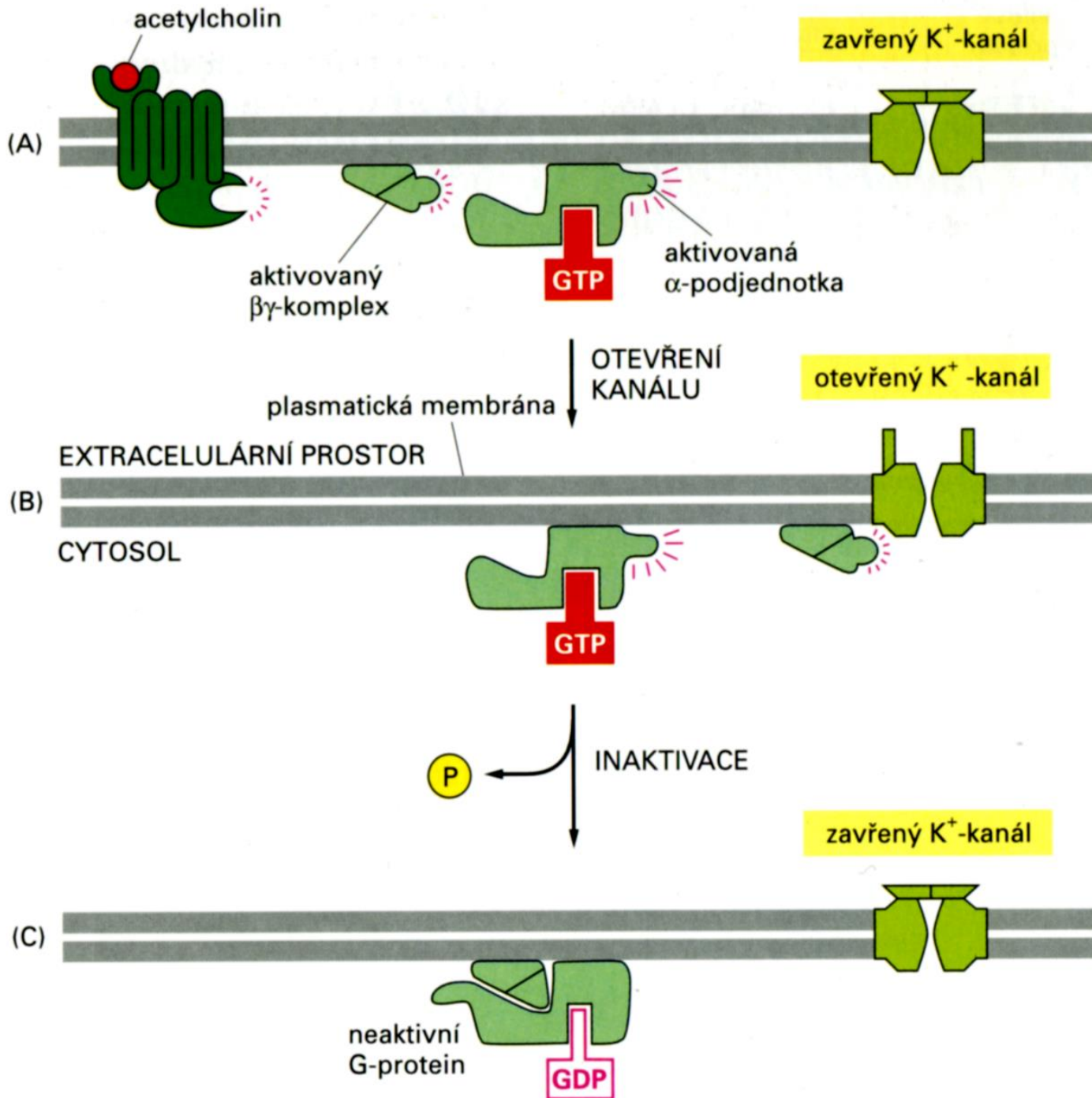


Figure 10-49 Mammalian cardiac action potentials last much longer than skeletal muscle action potentials. **(a)** This graph shows action potentials from muscle fibers in the atria (top two chambers) and ventricles (bottom two chambers) of the heart. Atrial action potentials are shorter than ventricular action potentials and precede them in time by about 100 ms, but the duration of both types of APs greatly exceeds the duration of skeletal muscle APs. **(b)** Action potential and force generation in a ventricular fiber. Notice that the force curve overlaps the AP significantly, which is quite different from skeletal muscle (compare with Figure 10-18). [Adapted from Rhoades and Pflanzer, 1996.]

Mechanismus nervové modulační aktivity buněk srdce



49	Srdeční sval	Kosterní sval	Hladký sval
<i>Nervosvalová ploténka</i>	Ne	Ano	Ne
<i>Vlákna</i>	Rozvětvená	Dlouhá	Krátká
<i>Tropomyozin a troponin</i>	Ano	Ano	Ne
<i>Mitochondrie</i>	Mnoho	Mnoho	Málo
<i>T-tubuly</i>	Ano	Ano	Ne
<i>Počet jader/vlákno</i>	Málo	Mnoho	1
<i>Sarkomera</i>	Ano	Ano	Ne
<i>Syncytium</i>	Ano (disky)	Ne	Ano
<i>Sarkoplazmatické retikulum</i>	Málo	Hodně	Velmi málo
<i>Pacemaker</i>	Ano – rychlý	Ne	Ano – pomalý
<i>Odpověď na podnět</i>	Vše nebo nic	Odstupňovaná	Odstupňovaná
<i>Tetanický stah</i>	Ne	Ano	Ano
<i>Zdroj vápníku</i>	Sarkoplazmatické retikulum + extracelulární tekutina	Sarkoplazmatické retikulum	Sarkoplazmatické retikulum + extracelulární tekutina
<i>Inervace</i>	Autonomní nervy	Somatické nervy	Autonomní nervy
<i>Iniciace kontrakce</i>	Myogenní	Neurogenní	Neuro- i myogenní
<i>Gap junction</i>	Ano	Ne	Ano i ne
<i>Rychlost kontr.</i>	Pomalá	Pomalá i rychlá	Velmi pomalá