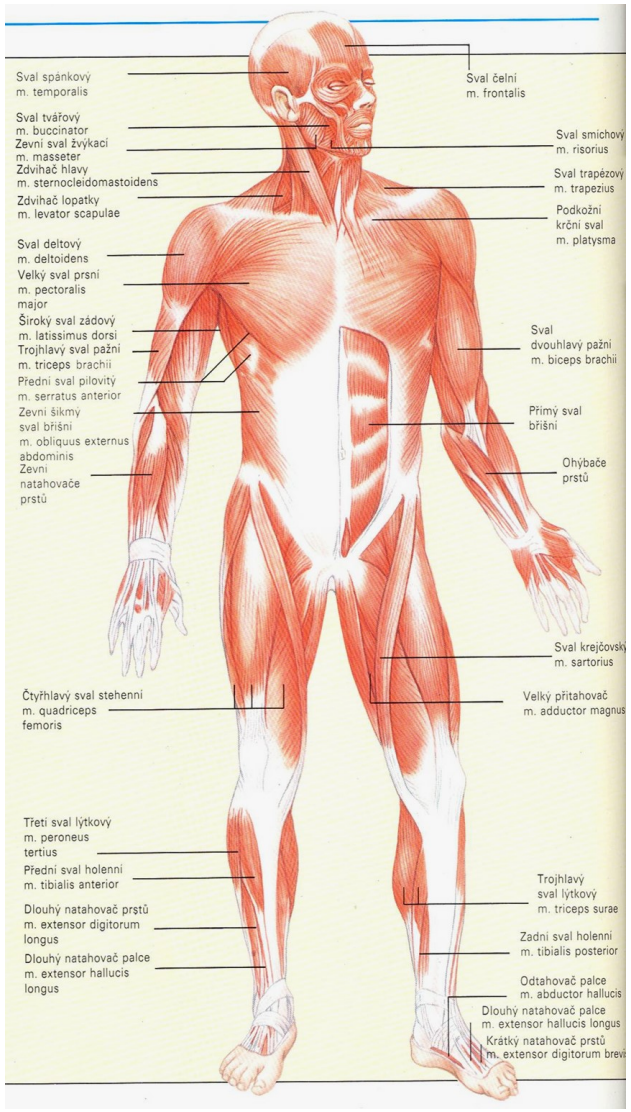
Fyziologie živočichů a člověka

Fyziologie svalu a pohybu

RNDr. Ing. Edvard Ehler, Ph.D.

Svaly – základní stavba a složení



- aktivní složka pohybového aparátu
- **příčně pruhované svaly**
- **šlachy** (tuhé fibrózní vazivo)

- v lidském těle cca 600 svalů
- 30-45% tělesné hmotnosti

  z toho

  – 56% svaly dolních končetin
  – 28% svaly horních končetin
  – 16% svaly trupu a hlavy

Svalová tkáň

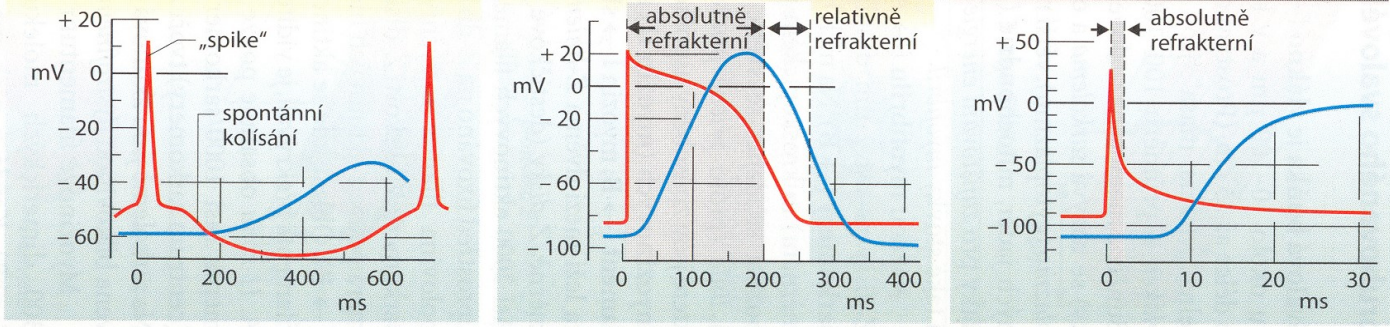
A. Stavba a funkce hladkého, srdečního a kosterního svalu

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 µm	ano, délka max. 3,65 µm
elektrické spřažení	částečně (jednotkový typ)	ano (funkční syncytium)	ne
sarkoplazmatické retikulum	málo vyvinuté	přiměřeně vyvinuté	silně vyvinuté
Ca^{2+}-„spínač“	kalmodulin/kaldesmon	troponin	troponin
pacemaker	zčásti spontánně rytmicky činný ($1\ s^{-1}$–$1\ h^{-1}$)	ano (sinoatriální uzel asi $1\ s^{-1}$)	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

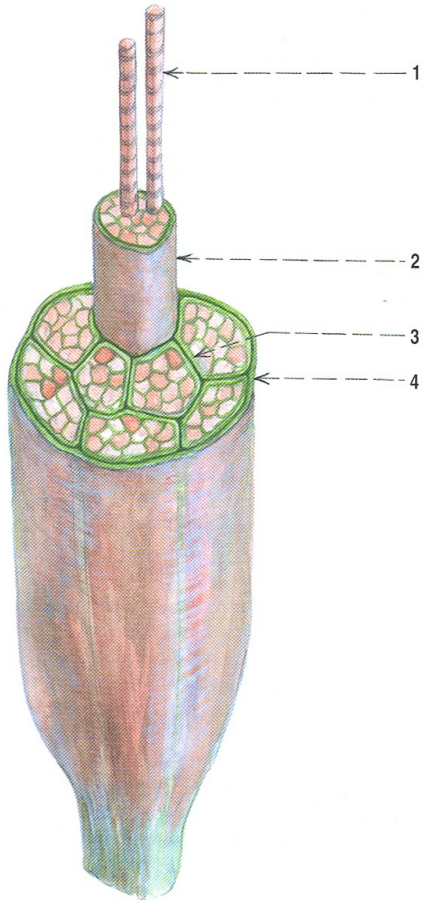
potenciál

napětí svalu

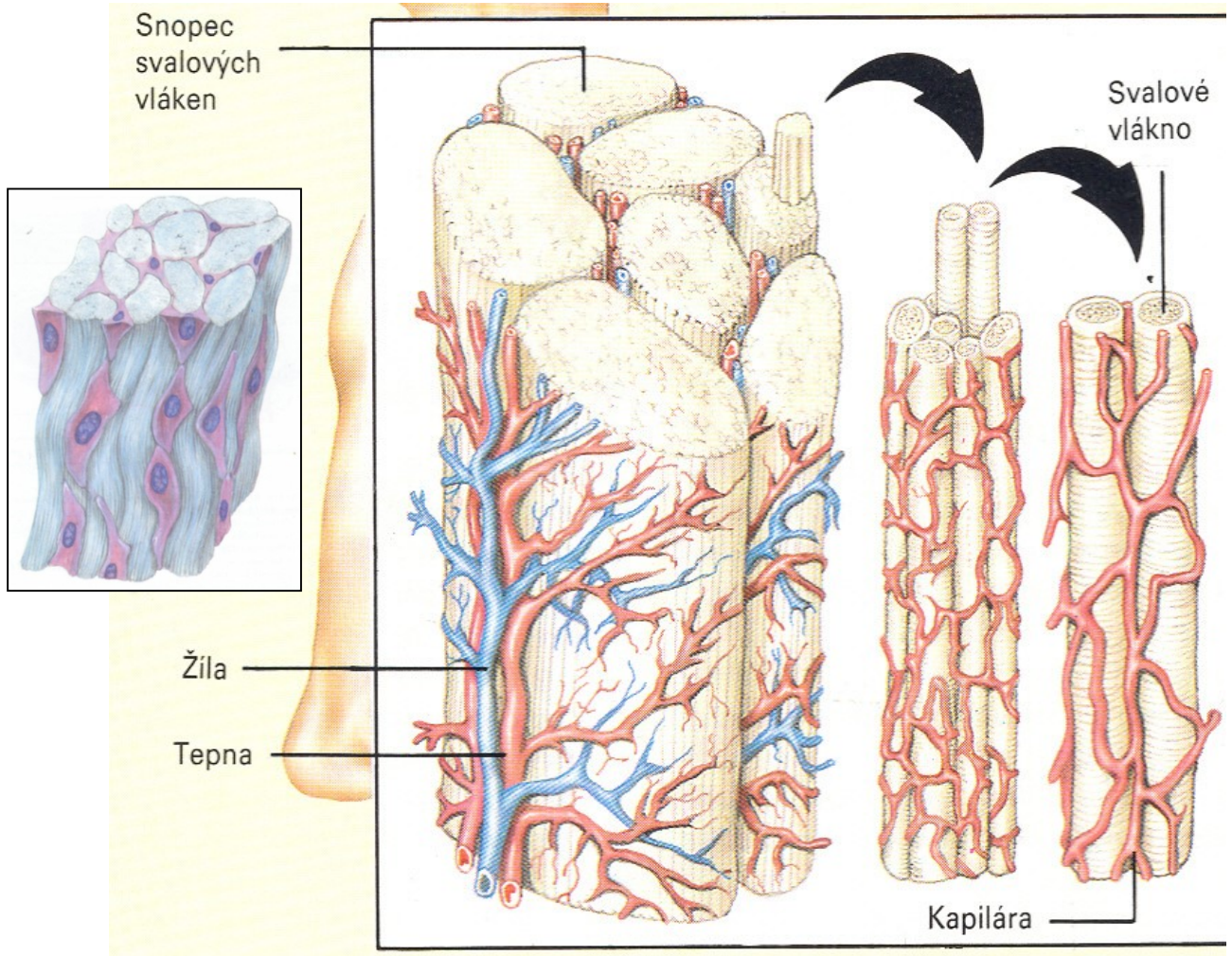


Svaly – základní stavba a složení

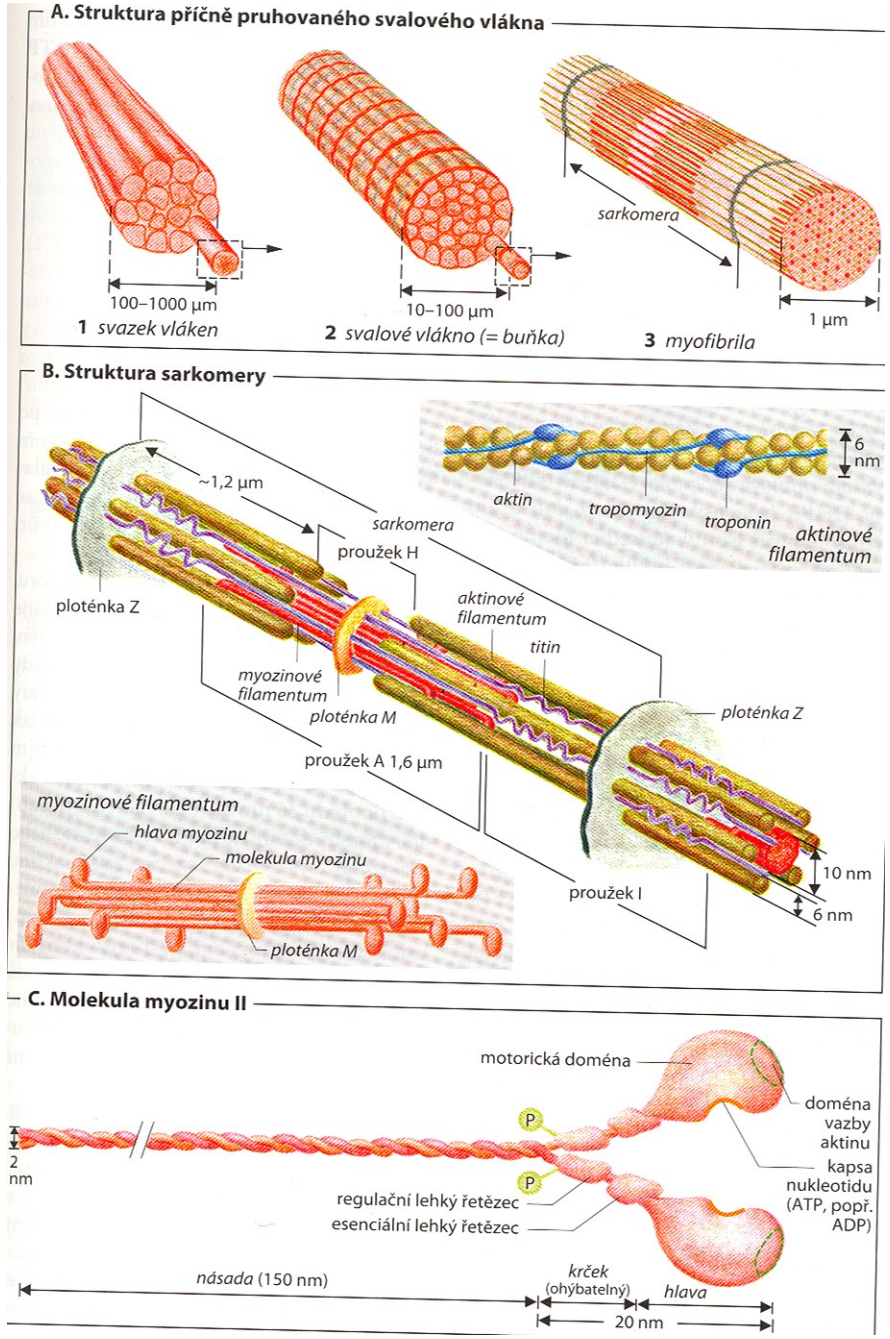
svalové vlákno, svalový snopec, svalová povázka



Obr. 336. STAVBA SVALOVÝCH SNOPCŮ, PERIMYSIUM EXTERNUM ET INTERNUM (schéma)
1 vlákno svalové
2 snopec svalu
3 perimysium internum (endomysium)
4 perimysium externum, vytvářející fascii na povrchu svalu



Svalové vlákno PP svalu



Sarkomera – základní jednotka

Sarkolema – cytoplasmatická membrána

Sarkoplasma – cytoplasma

Sarkoplasmatické retikulum – membránová buněčná struktura, navázána na jadernou membránu, zásobárna Ca2+

Z ploténka – ukotvení aktinových a titinových (connectin) vláken

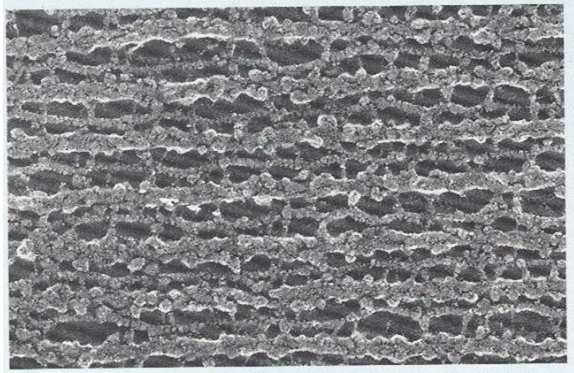
M ploténka – ukotvení myozinových vláken

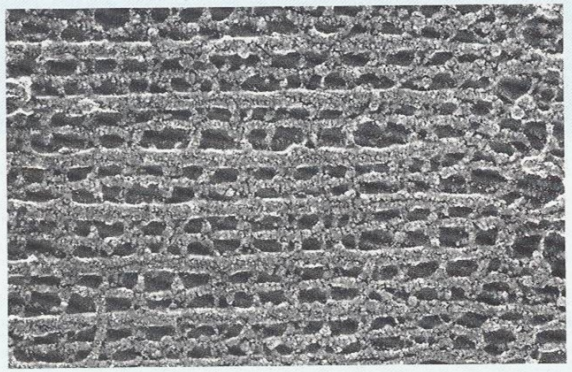
Aktin – „pasivní“ protein, vazebná místa pro myozinová pádla, v klidu blokována troponin-tropomyosinovým komplexem

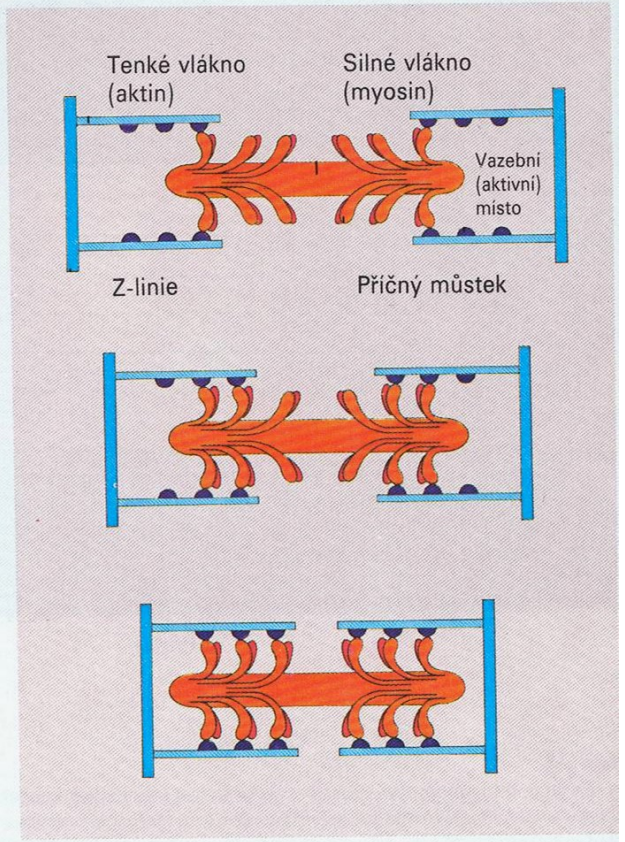
Myozin – „aktivní“ proteinové vlákno, ATPázová aktivita – proteinový motor svalové kontrakce

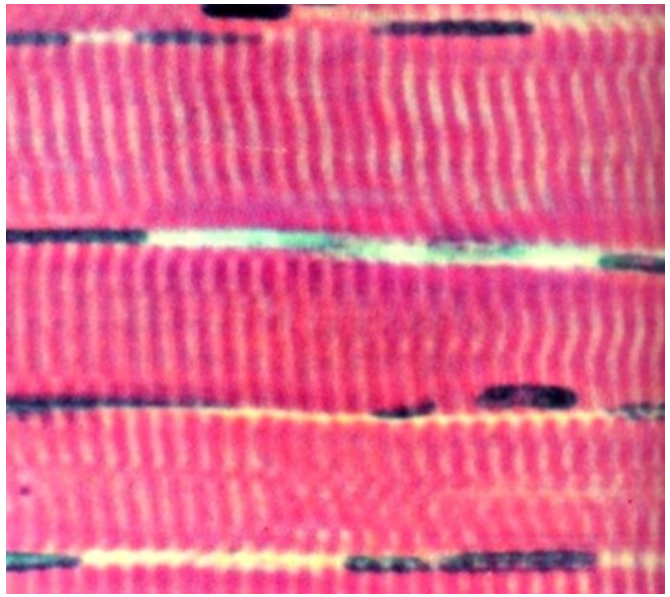
Myoglobin – zásobárna O_2 ve svalu

Svalová kontrakce





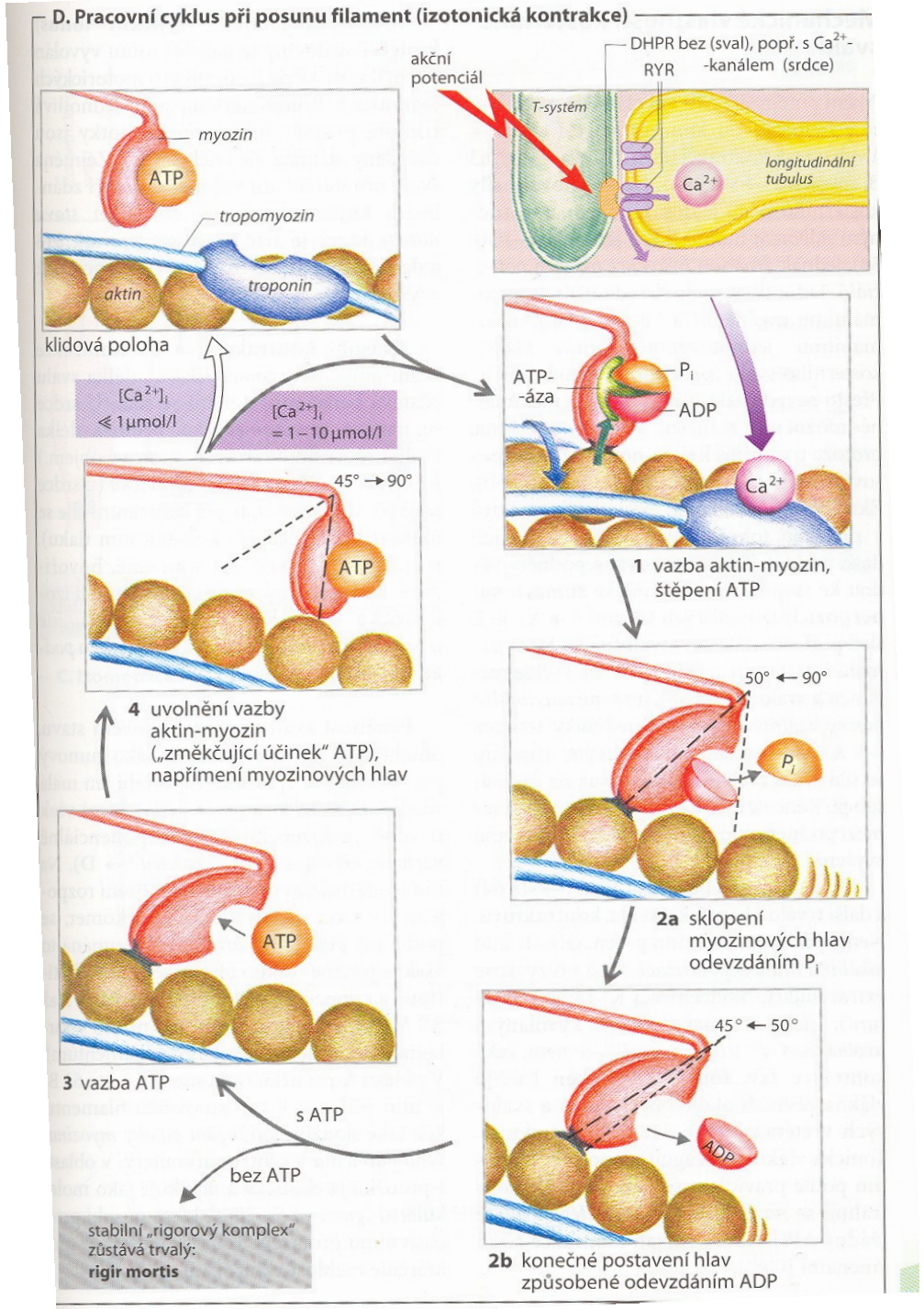




Ve svalovém vláknu nalezneme vlákna dvou bílkovin, aktinu a myosinu, spojená příčnými můstky. Tenká vlákna jsou tvořena aktinem, silná myosinem. Odpočívající sval (viz mikroskopický snímek *vlevo nahoře*) má otevřenou strukturu s jen malým počtem spojení mezi oběma typy vláken. Jakmile se sval začíná kontrahovat, vlákna se po sobě vzájemně posouvají, myosinové „prsty" zapadají do dalších vazebných míst na tenkých vláknech aktinu a vytvářejí tak další příčné můstky. Vznikající struktura je mnohem silnější a hustší (*vlevo dole*).

Svalová kontrakce

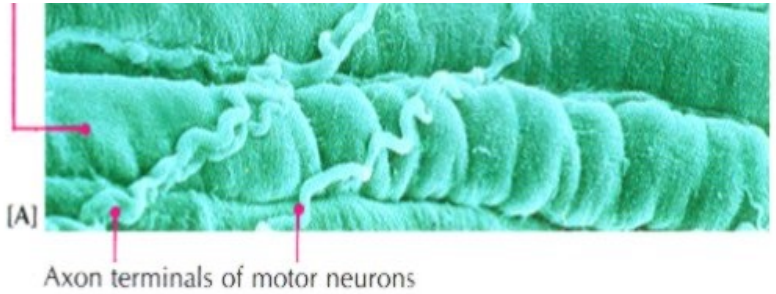
<u>Kontrace</u> je jediný typ odpovědi svalu na elektrické podráždění, a podle její rychlosti dělíme svalová vlákna na ***rychlá*** (25ms) a ***pomalá*** (75ms)

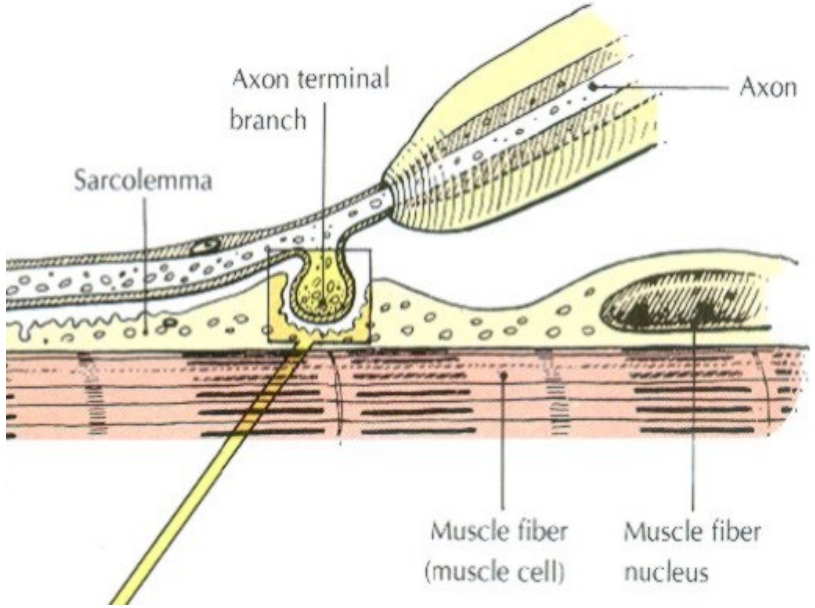


Nervosvalová (motorická) ploténka – inervace kosterních svalů

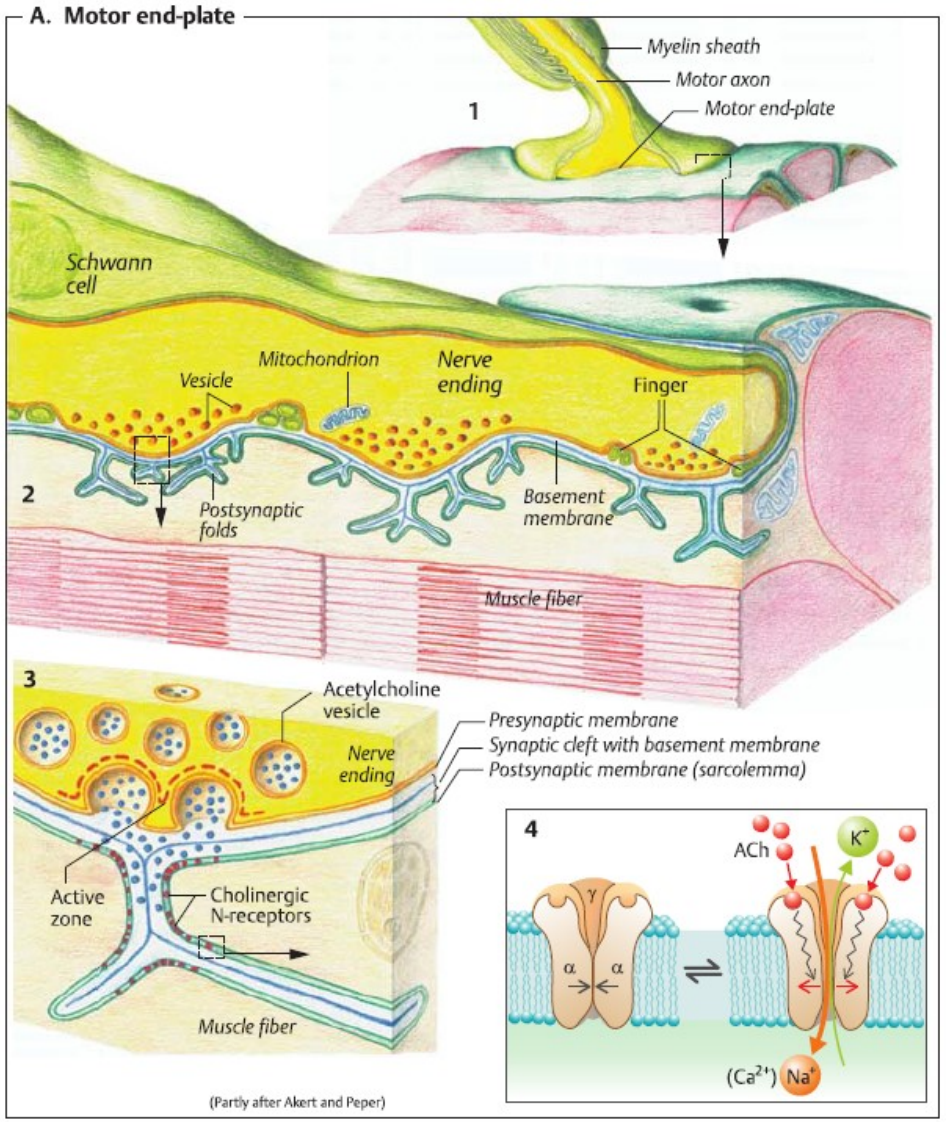
- Inervace pomocí **motoneuronů** z *míchy* nebo z *mozkového kmene*
- NS ploténka má charakter nervové synapse

- **Motorická jednotka** – skupina svalových vláken inervována jedním neuronem. Neodpovídá svalovým snopečkům.
  - Zahrnuje svalová vlákna stejného biochemického typu

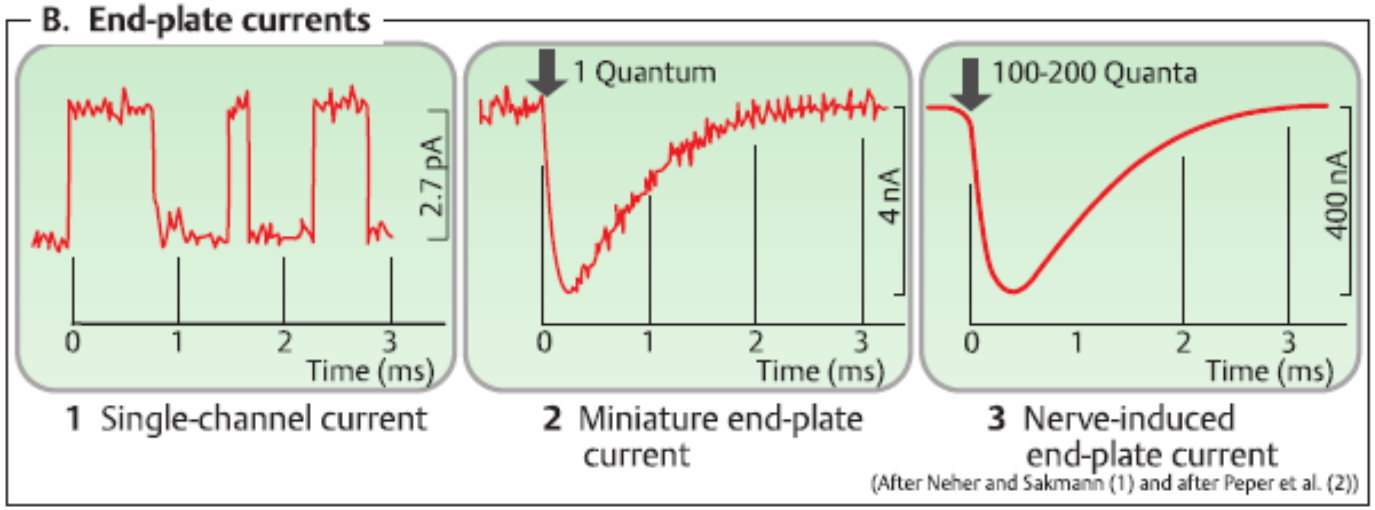




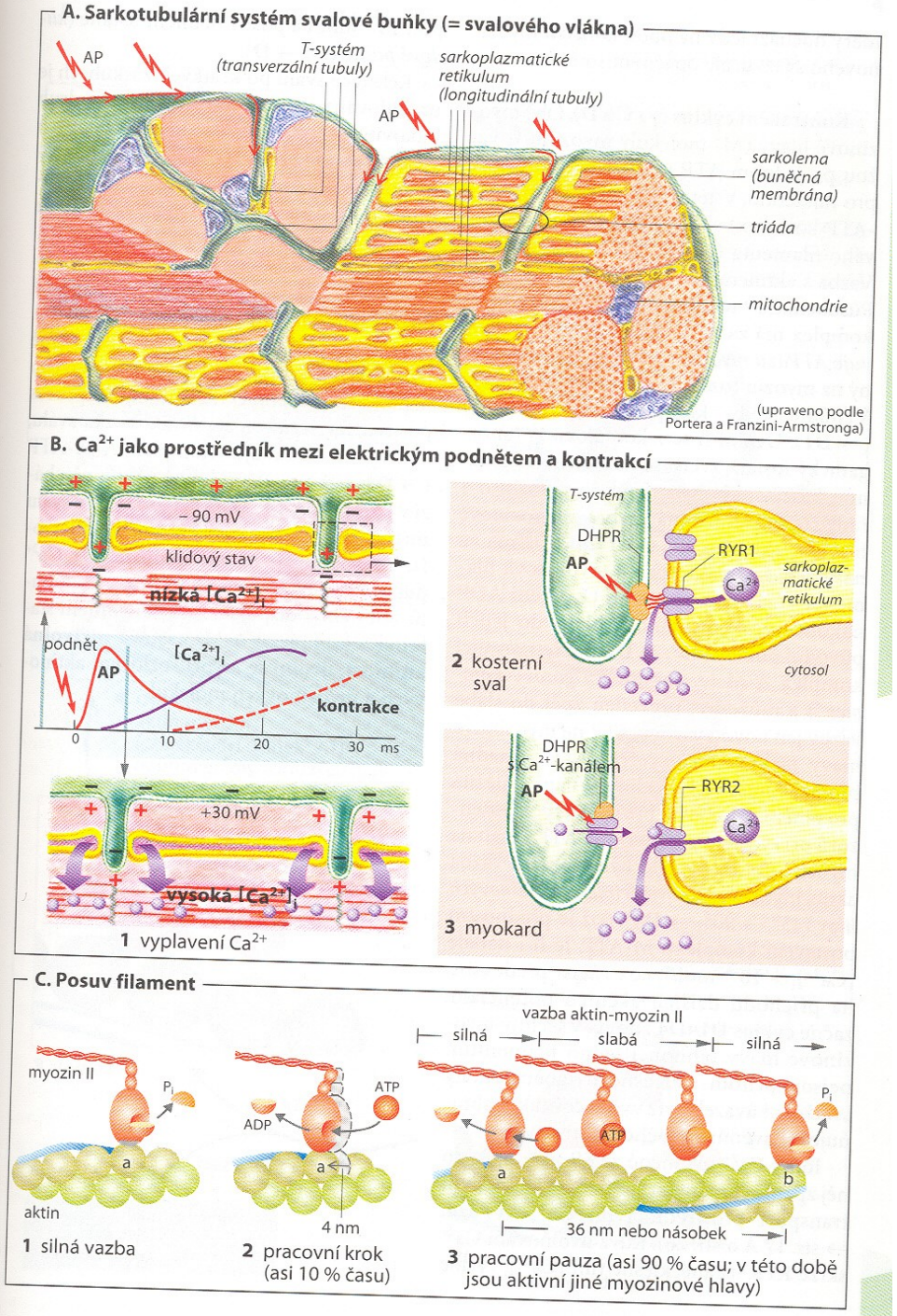
Motorická ploténka



- neurotransmiter – acetylcholin
- obdoba nervové synapse
- velmi úzké propojení nervu a svalu



Nervosvalová (motorická) ploténka – inervace kosterních svalů



Porucha nervosvalového přenosu

- ✓ **Zvýšená únavnost s oslabením svalu**
- ✓ Myotatické reflexy v normě
- ✓ Svalový tonus je přiměřený
- ✓ Nejsou atrofie svalů (jen u chronických)
- ✓ Nejsou specifické reflexy
- ✓ Ve svalech bývají záškuby (fascikulace)
- ✓ **EMG průkaz**

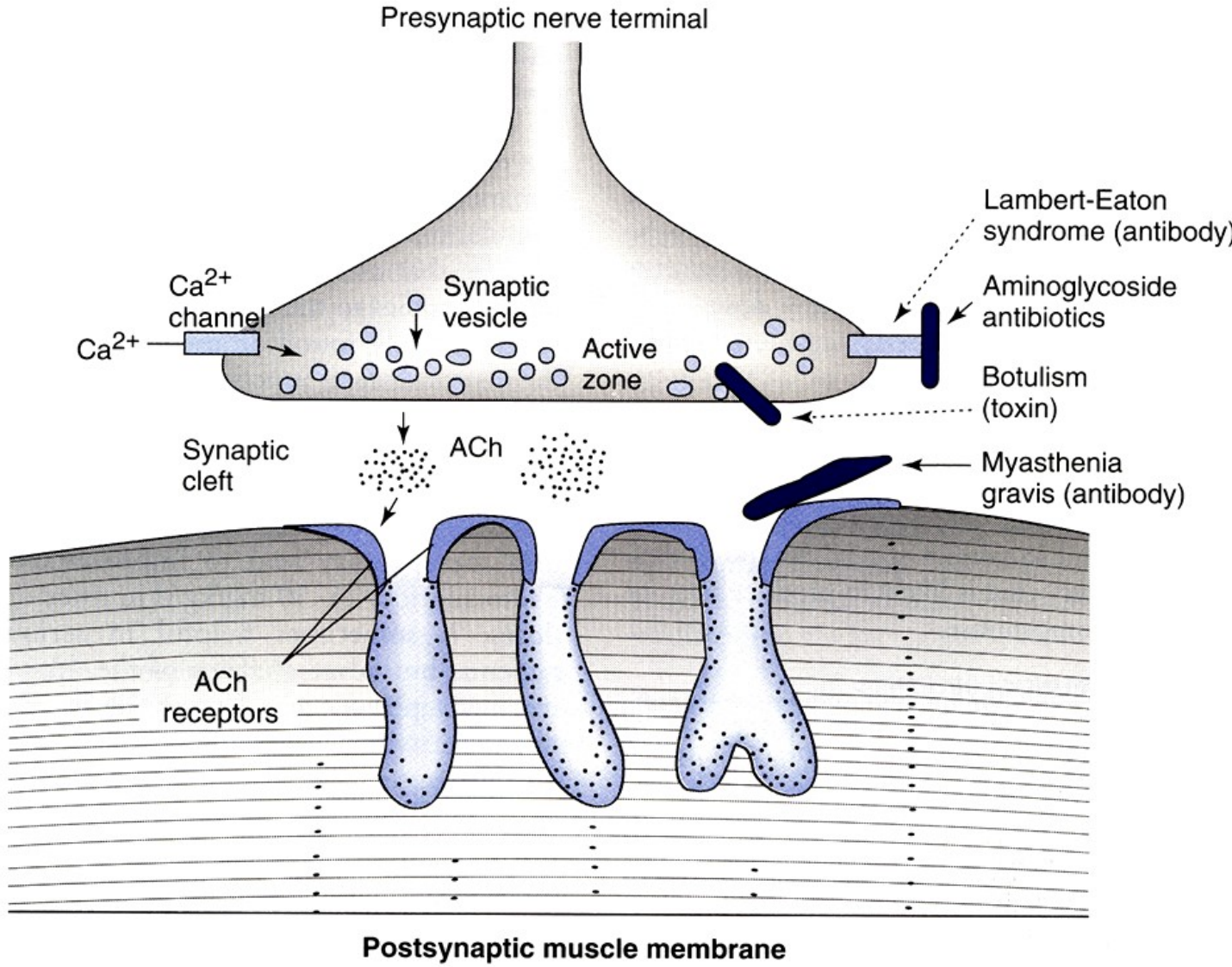


Figure 5–5. Sites of involvement in disorders of neuromuscular transmission. At left, normal transmission involves depolarization-induced influx of calcium (Ca) through voltage-gated channels. This stimulates release of acetylcholine (ACh) from synaptic vesicles at the active zone and into the synaptic cleft. ACh binds to ACh receptors and depolarizes the postsynaptic muscle membrane. At right, disorders of neuromuscular transmission result from blockage of Ca channels (Lambert-Eaton syndrome or aminoglycoside antibiotics), impairment of Ca-mediated ACh release (botulinum toxin), or antibody-induced internalization and degradation of ACh receptors (myasthenia gravis).

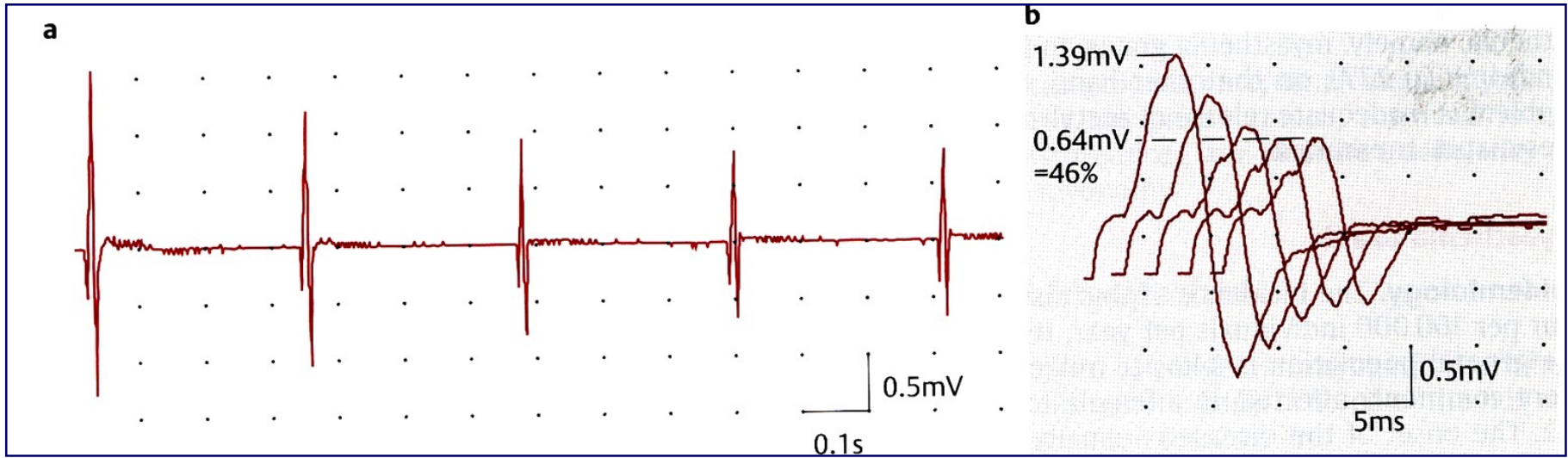
Myasténie

- zvýšená svalová únavnost při zátěži či opakování pohybu
- kolísání v průběhu dne
- diplopie, ptóza, dysartrie, dysfágie, dysfonie, mimika,
- šíjové svaly, paže, dyspnoe

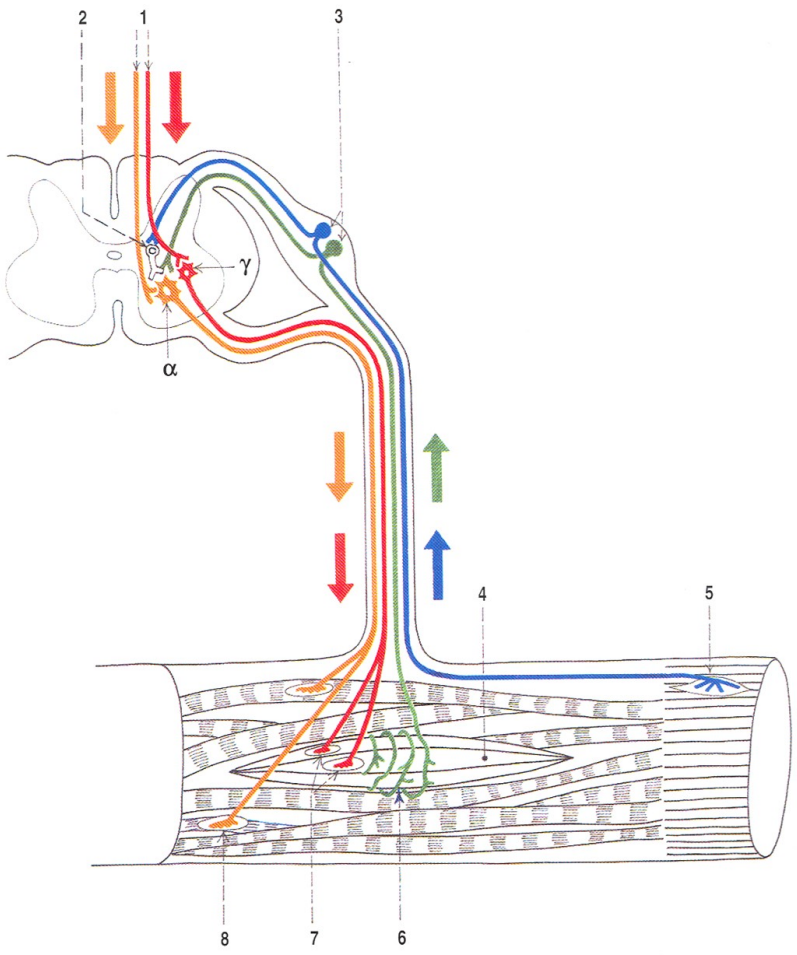
Table 14.**10** **Ossermann classification of myasthenia**

I	Ocular myasthenia, i. e., limited to the eye muscles
IIa	Mild generalized myasthenia
IIb	Moderately severe generalized myasthenia, not involving muscles of respiration
III	Acute, rapidly progressive myasthenia, beginning abruptly and progressing to involve the muscles of respiration within 6 months of onset
IV	Chronic, severe myasthenia; may develop from previous Class I or Class II disease after two years of a relatively stable course
	Patients in Classes III and IV are subject to higher mortality and suffer more frequently from thymoma

Repetitivní stimulace – 3 Hz
(dekrement A-CMP -46%)



Svalové a šlachové vřeténko - *proprioreceptce*



Obr. 340. SCHÉMA FUNKCE SVALOVÉHO VŘETÉNKA (a šlachového vřeténka) – viz text
1 sestupné dráhy ovládající míšní motoneurony
2 vmezeřený neuron (interneuron) s inhibiční funkcí
3 buňky sensitivních vláken ve spinálním gangliu
4 svalové vřeténko s intrafusálními svalovými vlákny
5 šlachové vřeténko, odkud vedou citlivá vlákna informaci o napětí šlachy přes inhibiční interneuron
6 sensitivní nervy vedoucí informaci ze svalového vřeténka
7 motorická nervová zakončení γ-motoneuronu na intrafusálních vláknech
8 motorická zakončení α-motoneuronu na extrafusálních vláknech

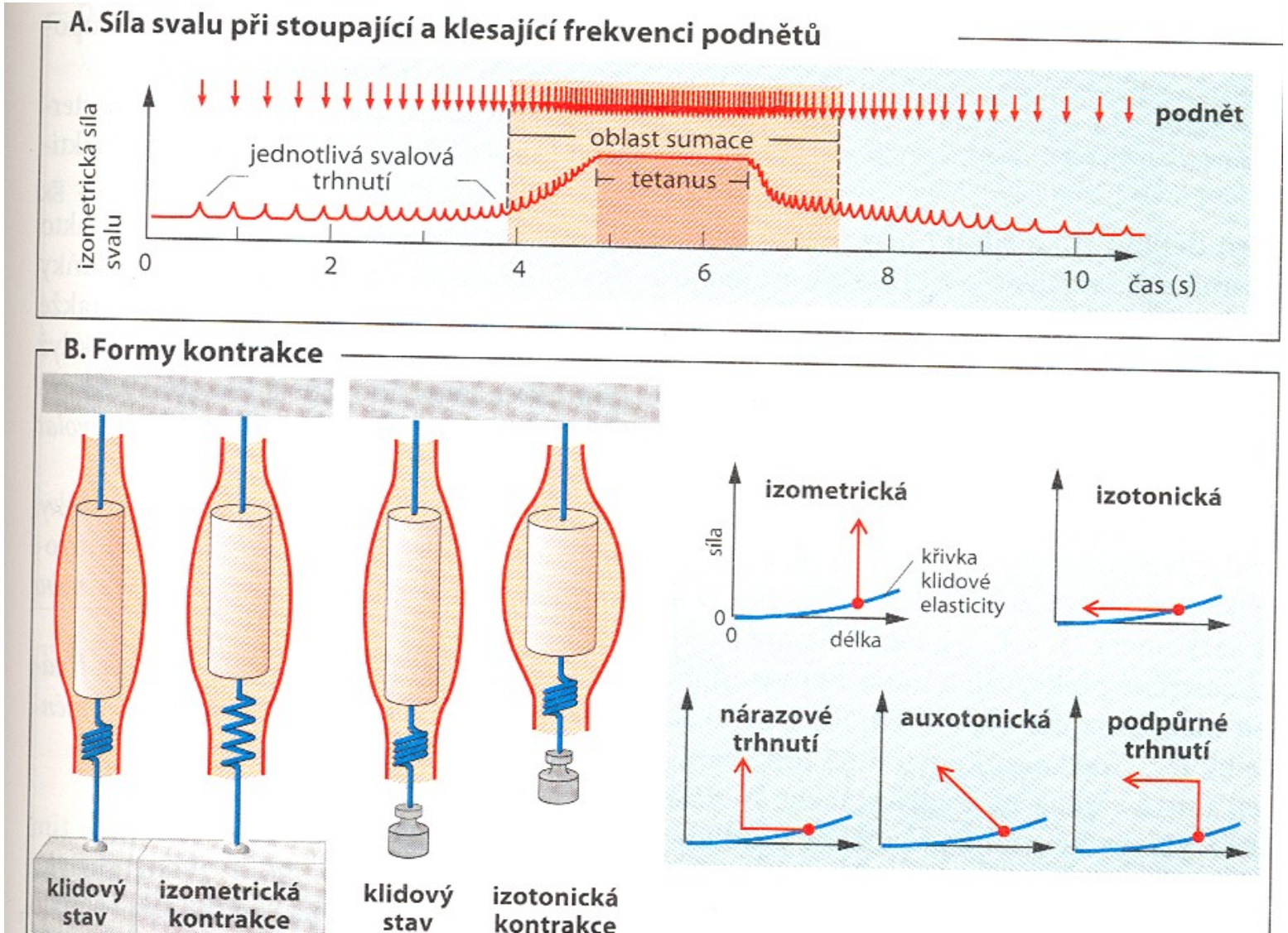
α-motoneurony – velké motorické neurony, inervují extrafusální vlákna (= ty, které nezasahují do sv. vřeténka)

γ-motoneurony – vysílají svá zakončení k intrafusálním svalovým vláknům

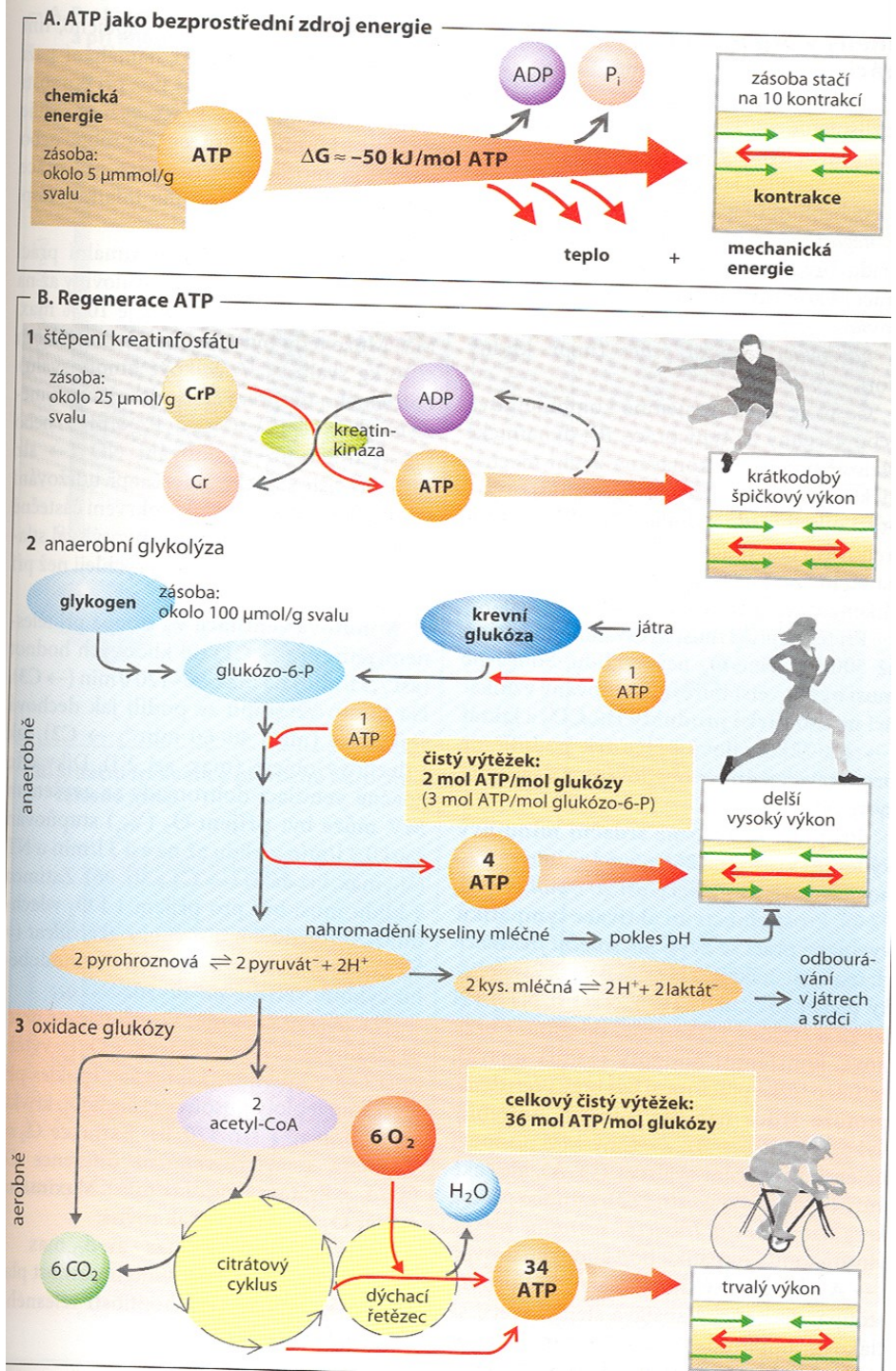
senzitivní vlákna – vedou podměty z SV a ŠV do CNS – stupeň kontrakce a napětí

Podstatou regulace napětí svalů je vyrovnávání této veličiny mezi SV a okolním svalem, za přispění informací ze ŠV. Jednoduchý míšní reflexní oblouk, případně s jedním interneuronem na inaktivaci antagonistů.

Síla svalu a typy kontrakce

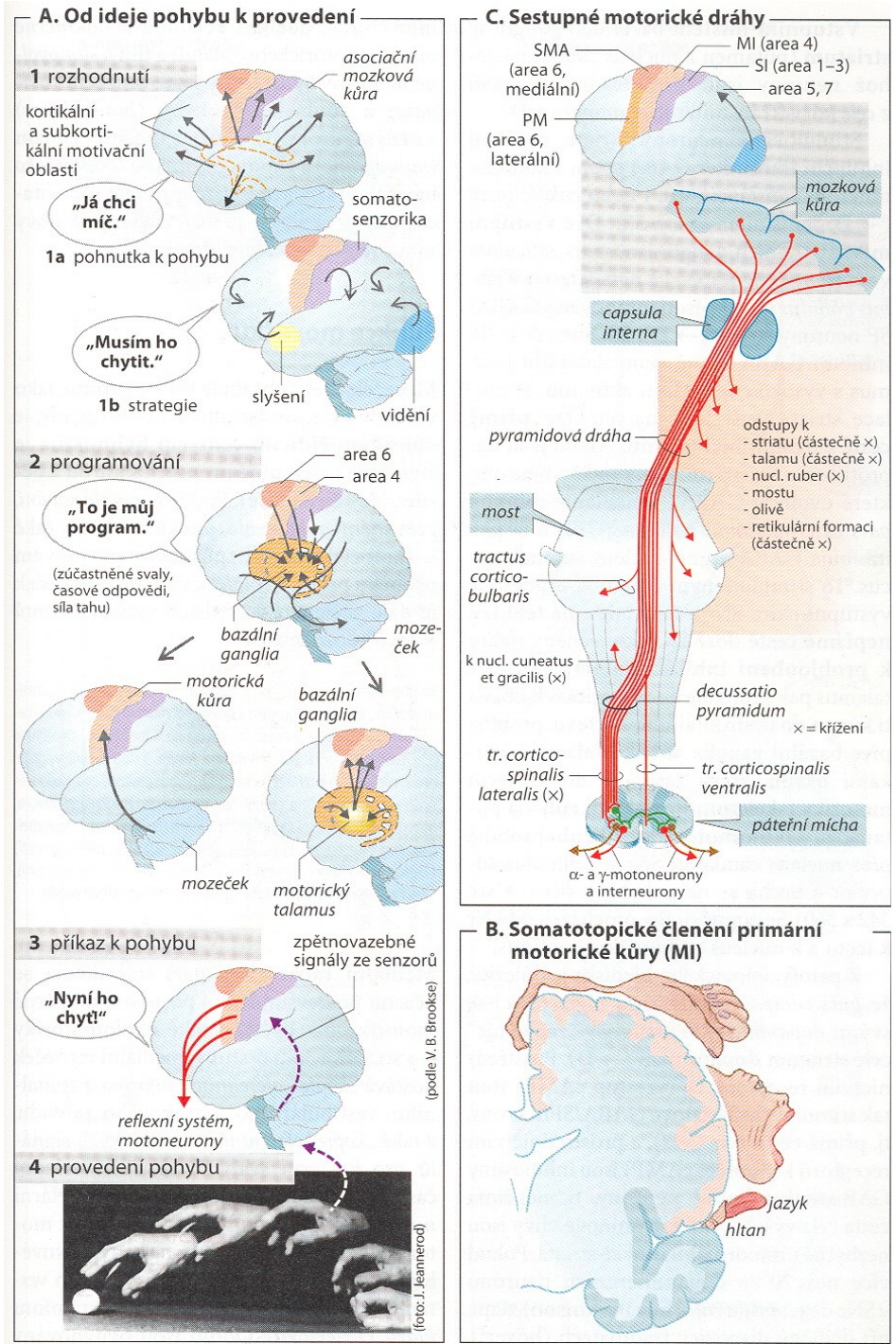


Výživa svalu – dodávání energie a O2

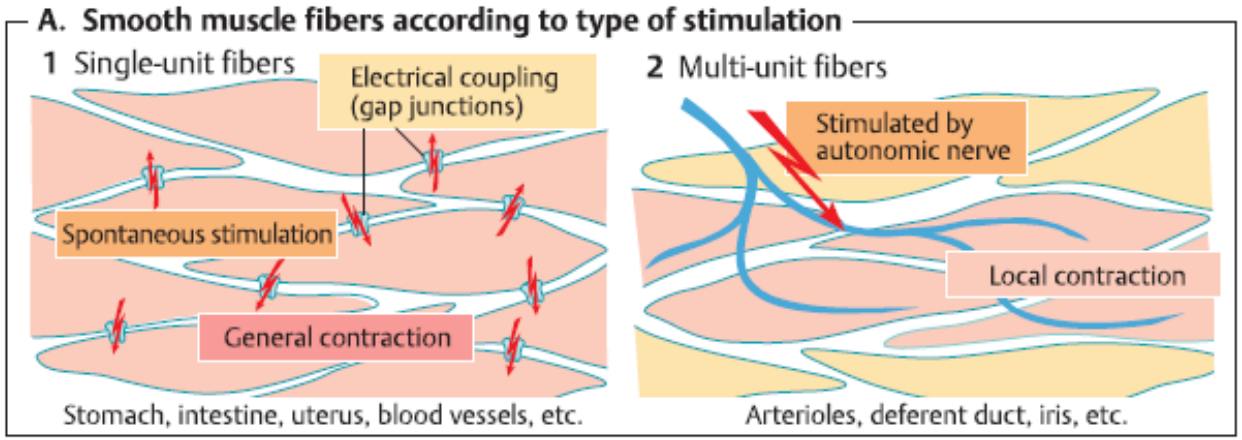


Volní kontrola a automatizované složky pohybu

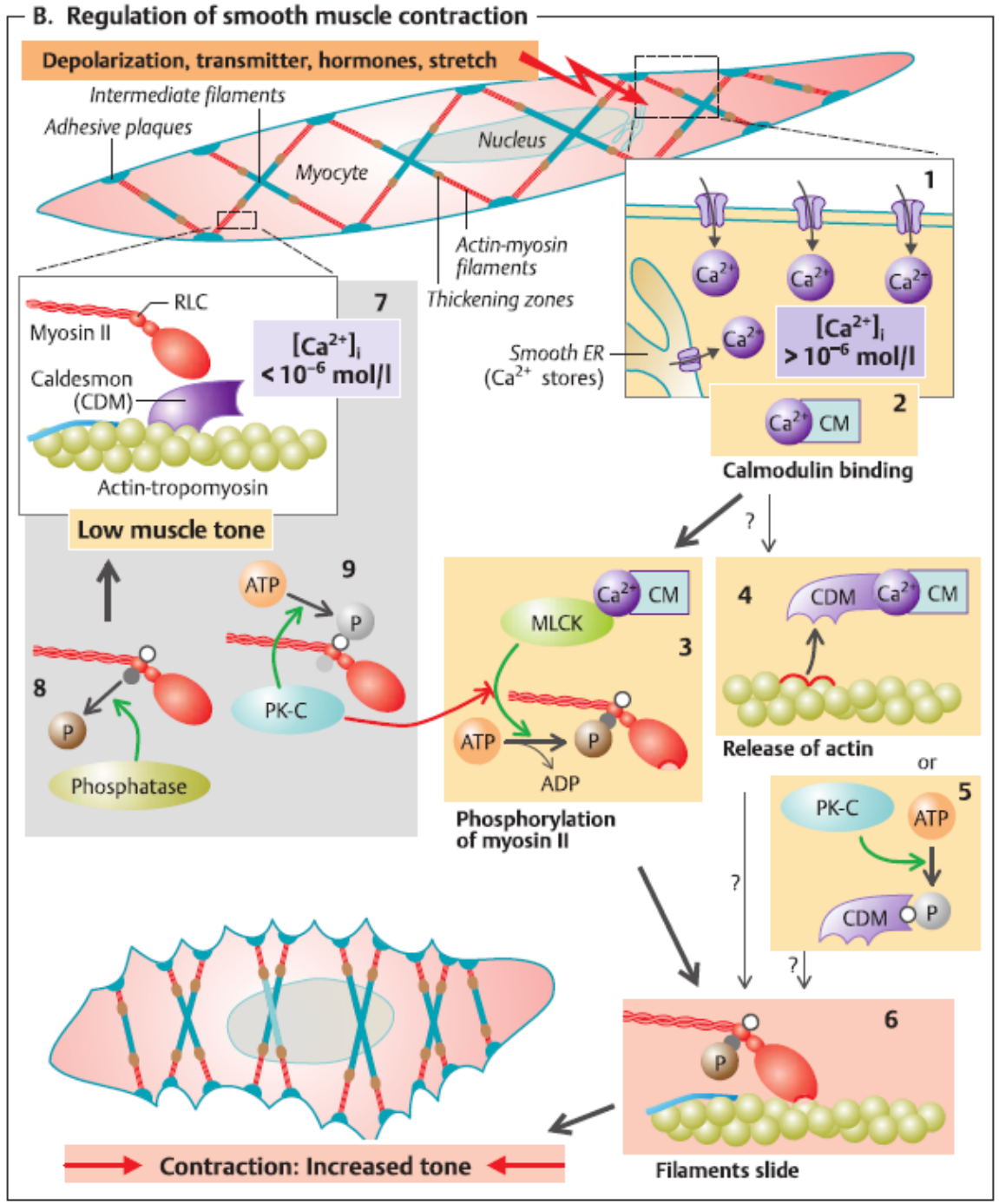
- Cílená motorika: rozhodnutí, programování pohybu (s využitím pohybových stereotypů, povel k pohybu), provedení pohybu



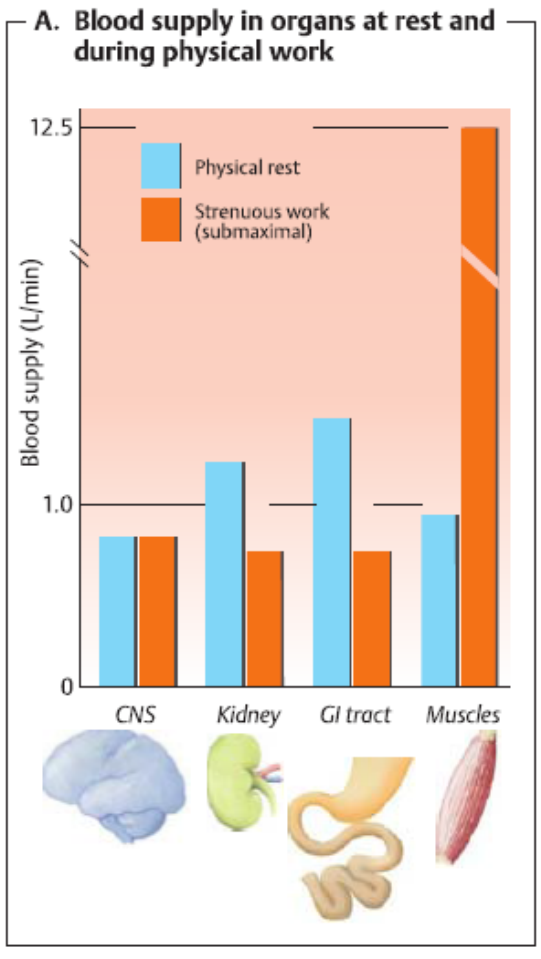
Hladká svalovina

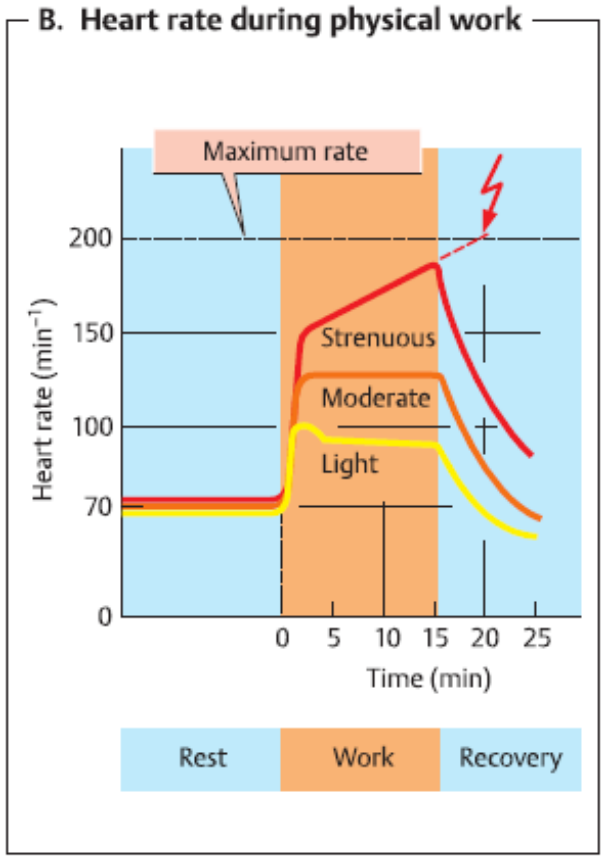


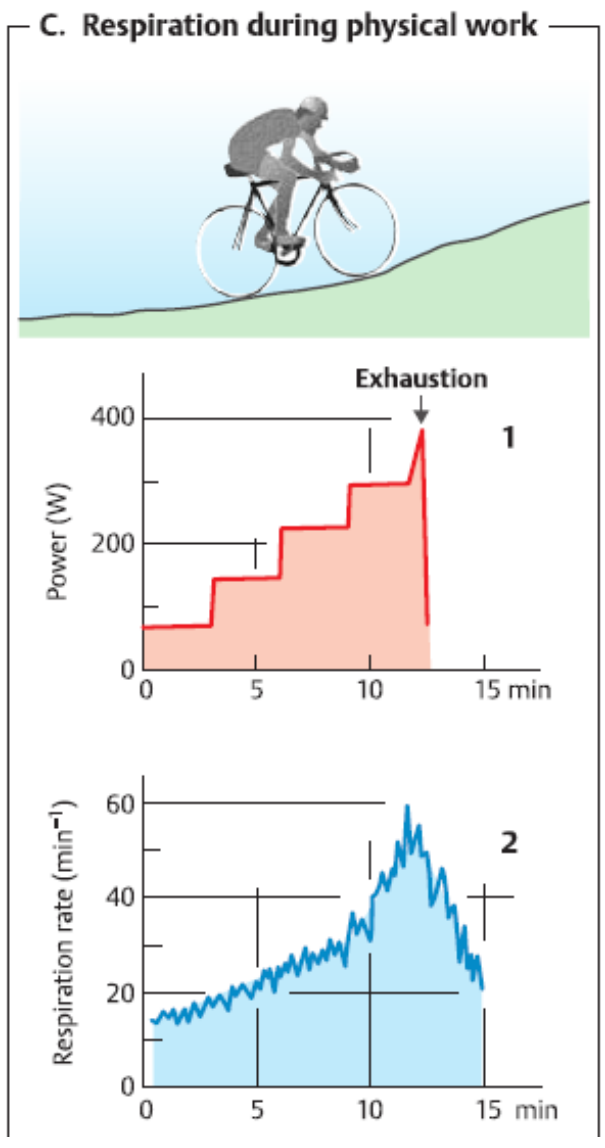
- jednotlivé buňky, neurotransmiter Ach, noradrenalin
- elektrické propojení buněk
- chybí pruhování
- spíše změna tonu, než celková kontrakce
- pacemaker cells – řídící buňky, řídí tonus okolních buněk

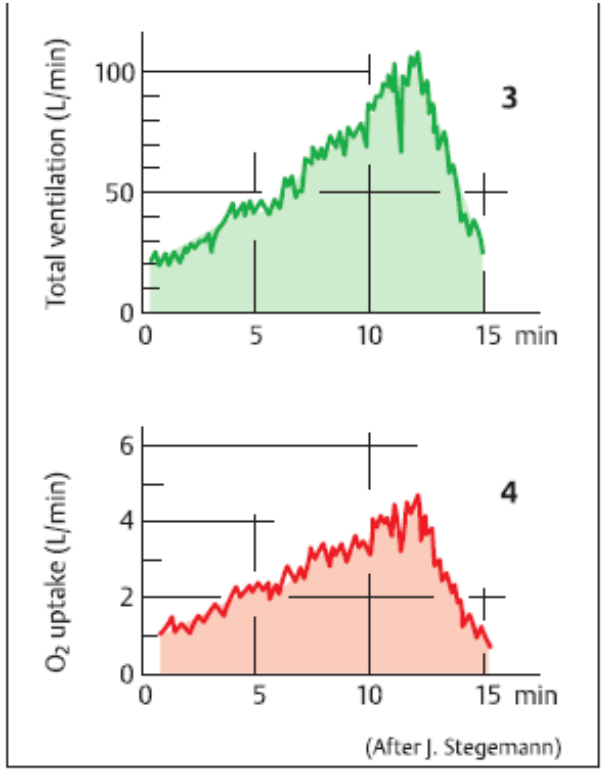


Svalová práce

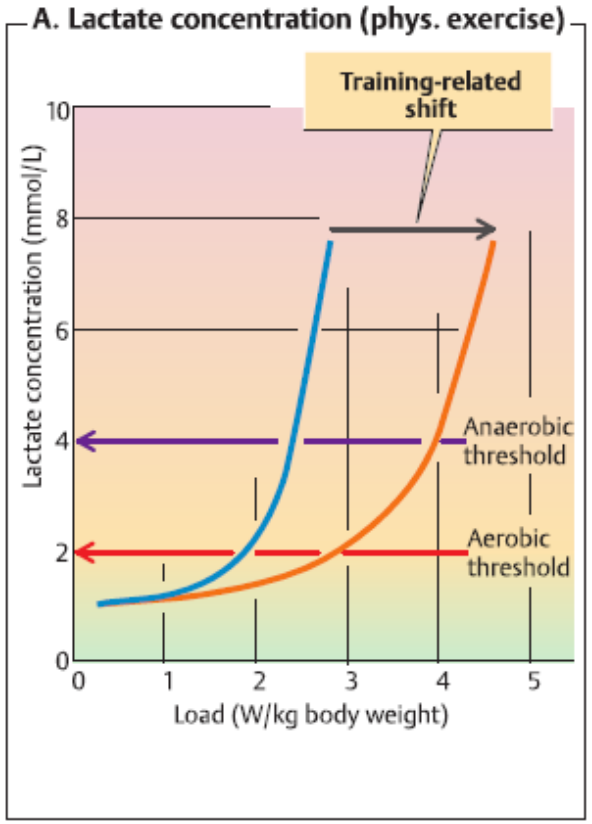


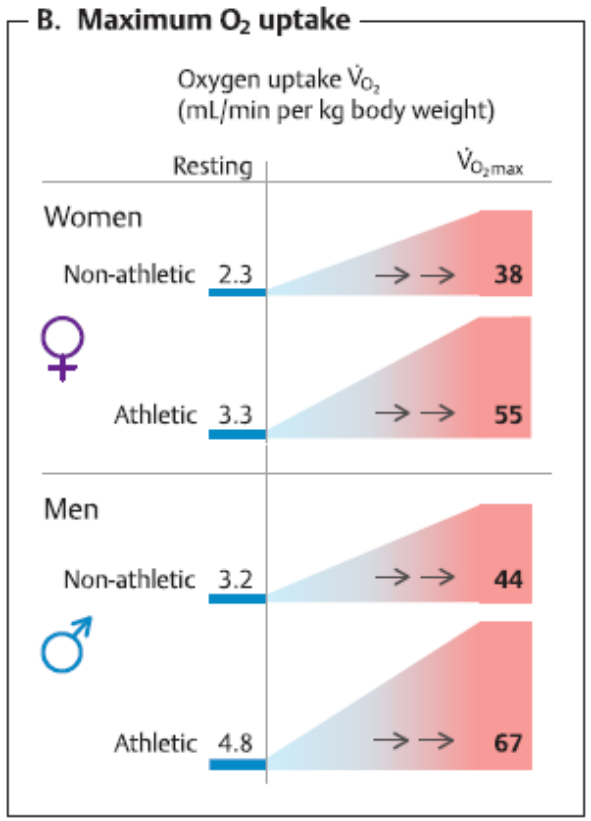


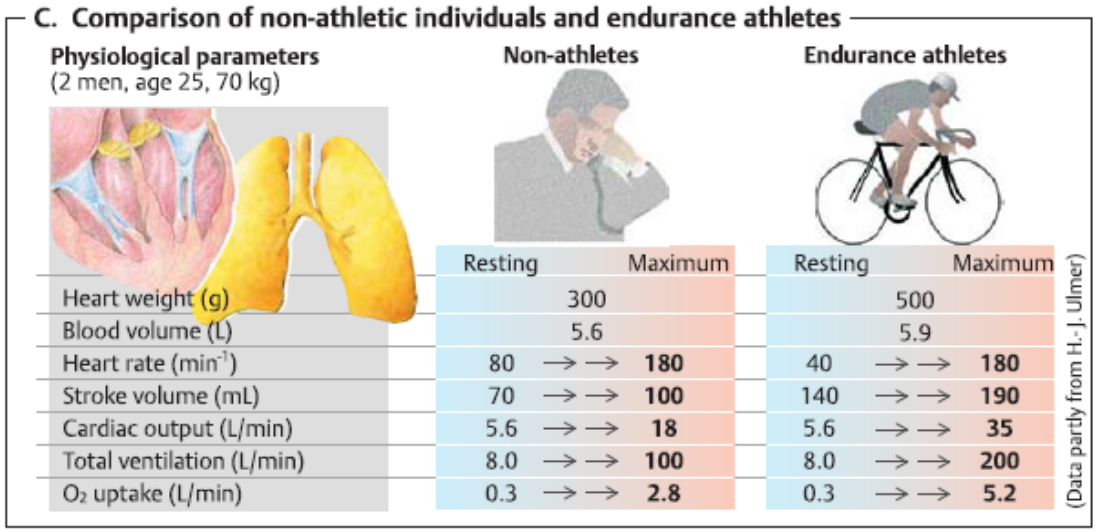


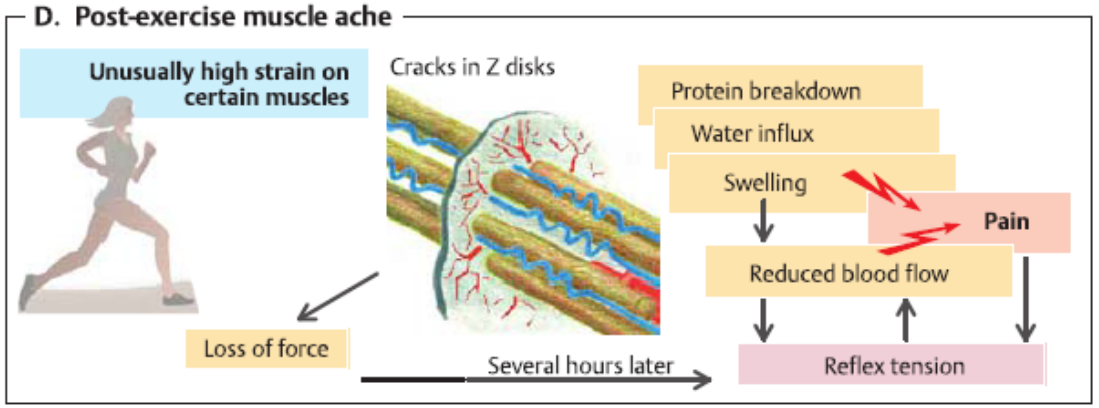


Vliv tréninku na svalovou výkonnost



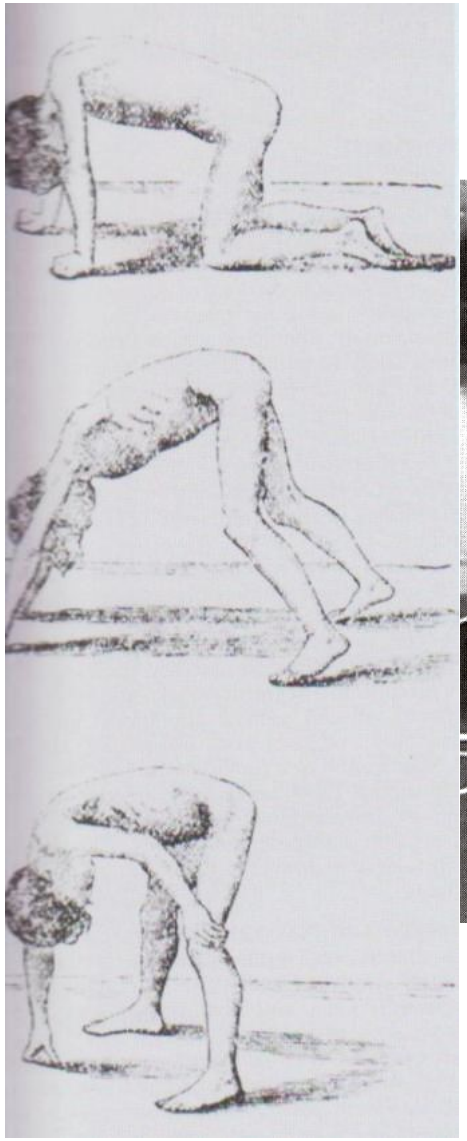




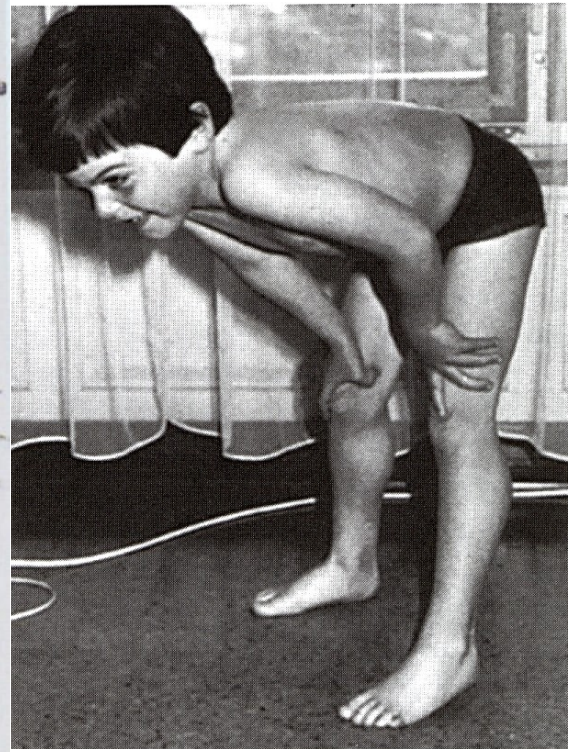


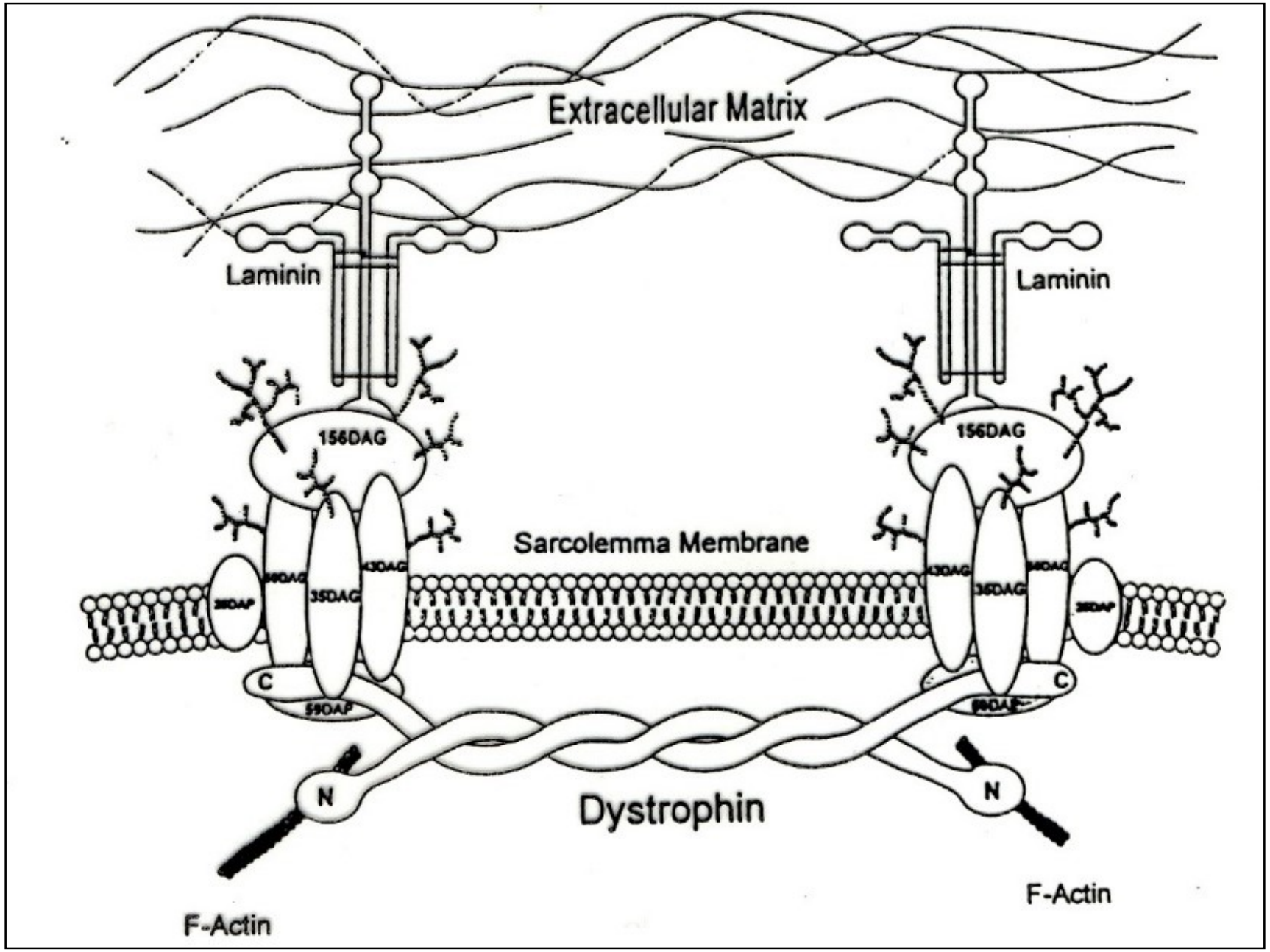
Muskulární dystrofie – DMD, BMD

- Na X vázaná, mutace v DMD genu
- Největší známý gen, hodně nových mutací, frame-shift mutace (DMD), delece tripletů (BMD)
- Většinou matky = přenašečky; synové = postižení (2/3 případů, 1/3 mutace de novo)
- Svalová slabost (progresivní), hypertrofie lýtek, mírná MR, střední délka života = 18 let



Gowersovo znamení




Extracellular Matrix
Laminin
Laminin
156DAG
156DAG
Sarcolemma Membrane
43DAG
35DAG
43DAG
35DAG
C
C
N
N
Dystrophin
F-Actin
F-Actin