

BIOMECHANIKA

Mechanické vlastnosti tkání a orgánů

● Biomechanika skeletálního svalu

ZÁKL. TYPOLOGIE SVALŮ

- hladká svalovina
- srdeční svalovina
- kosterní svalovina
 - 40-45% hmotnosti
 - > 430 svalů
 - párové uložení (levá/pravá strana)
 - funkce: distribuce zátěže, absorpce nárazů, pohyb segmentů, rezistence proti vnějším silám
 - dynamická x statická práce

KOMPOZICE A STRUKTURA SKELET. SVALU

● sv. vlákno

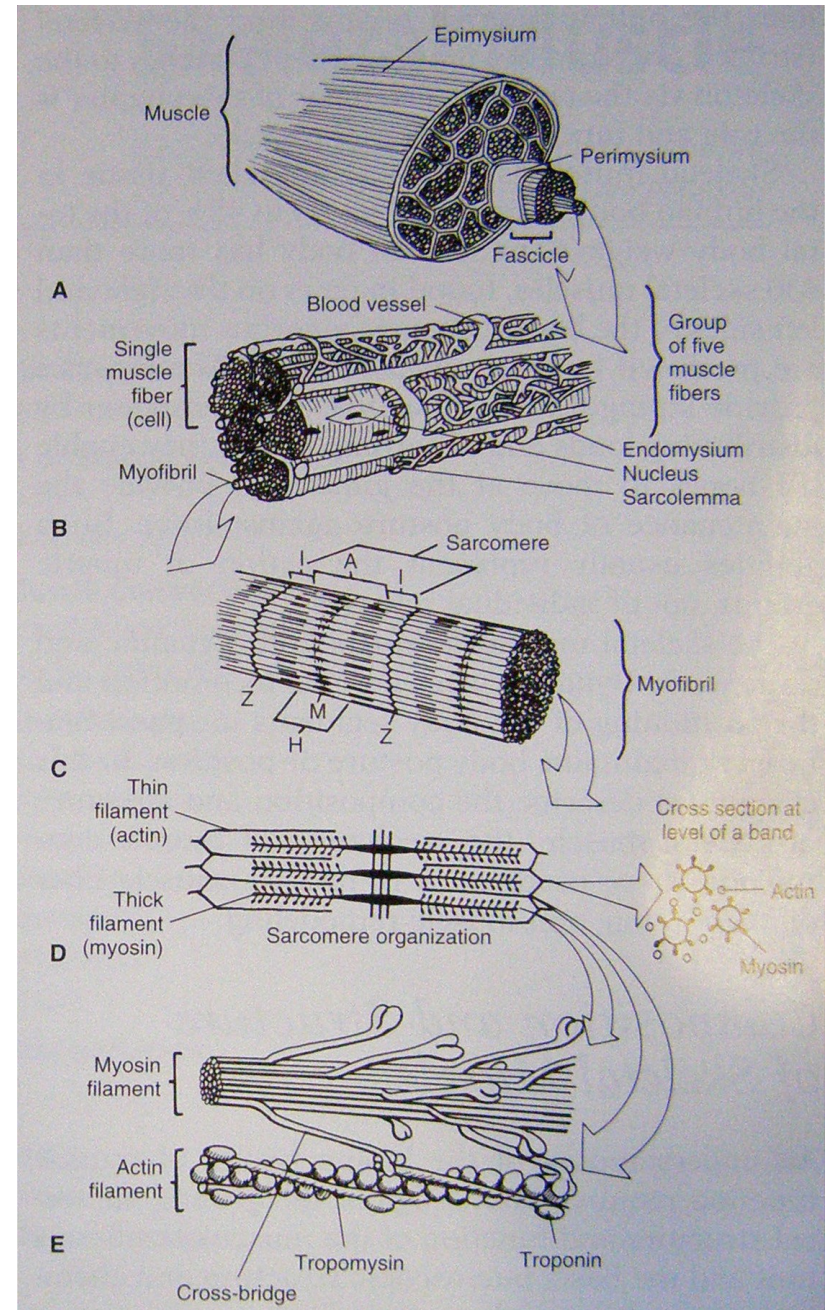
- tloušťka 10 – 100 μm
- délka 1-30 cm

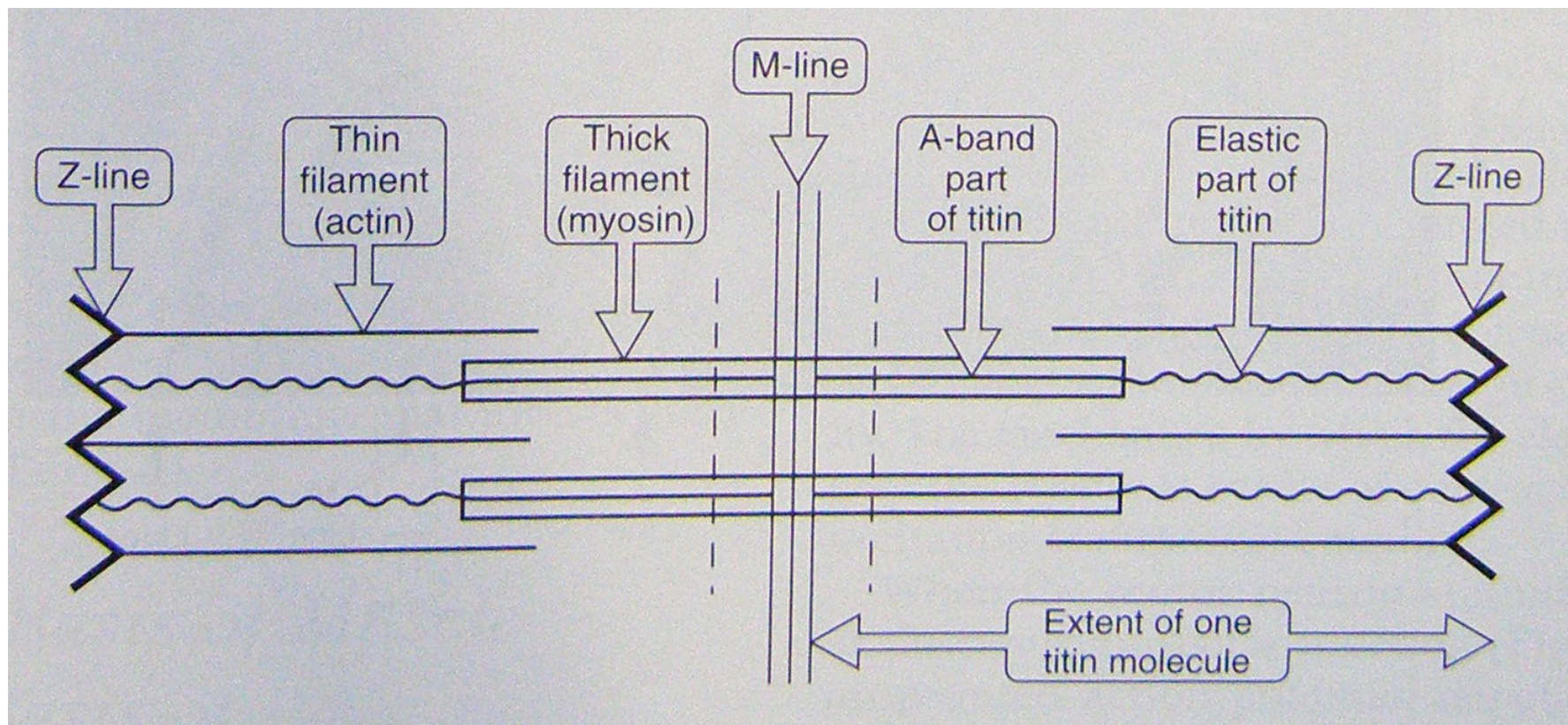
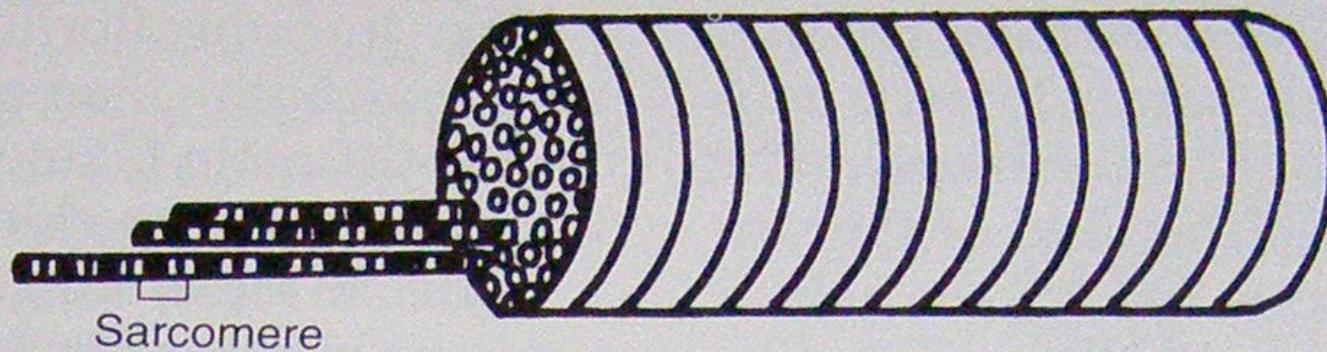
● sval

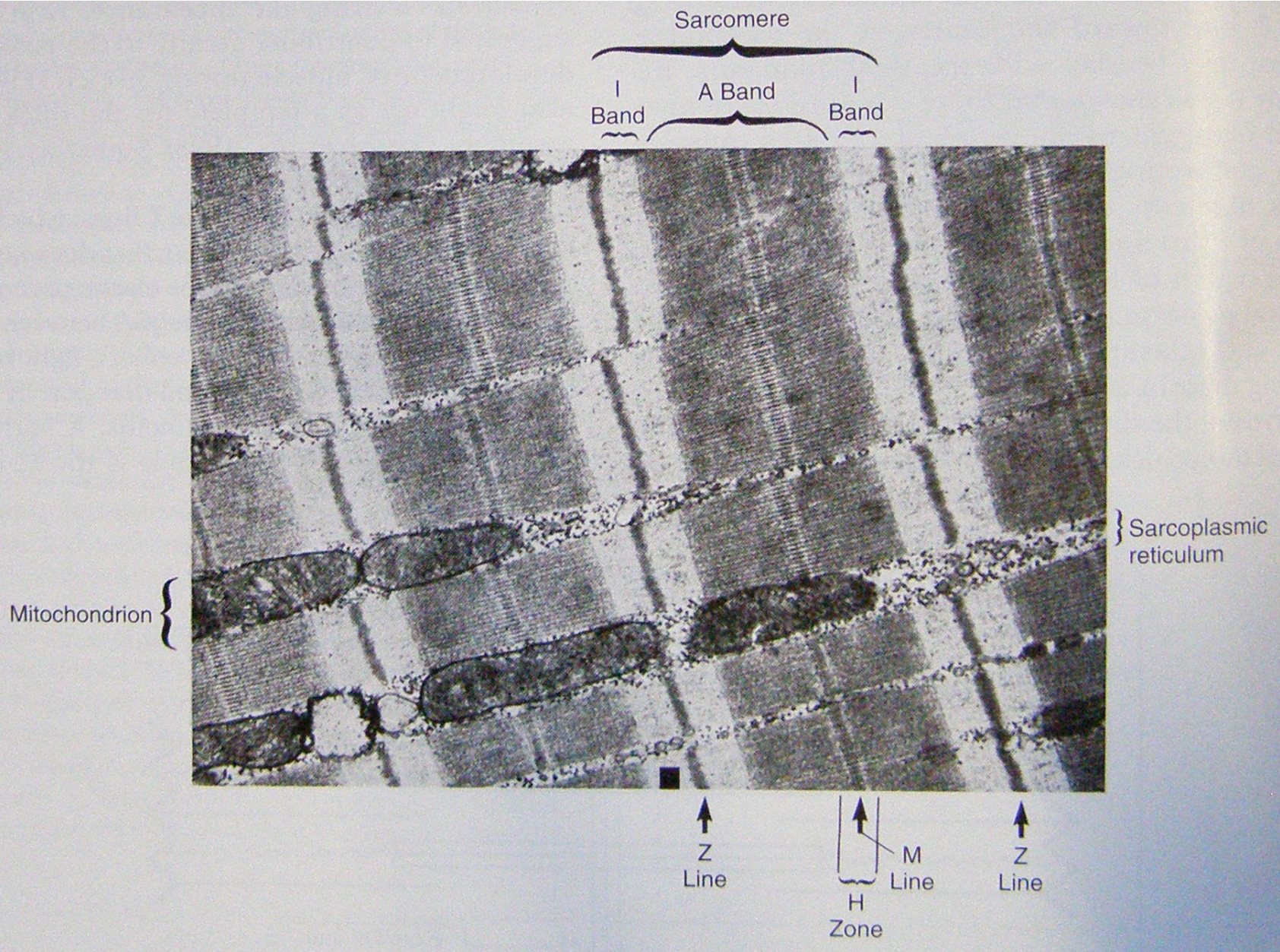
- epimysium - perimysium – endomysium - sv. vlákno – myofibrila - sarkomera – aktin (5 nm) + myosin (15 nm) + titin (elastický) + nebulin (neelastický)

● šlacha

- pokračování perimysia + epimysia
- elastická struktura



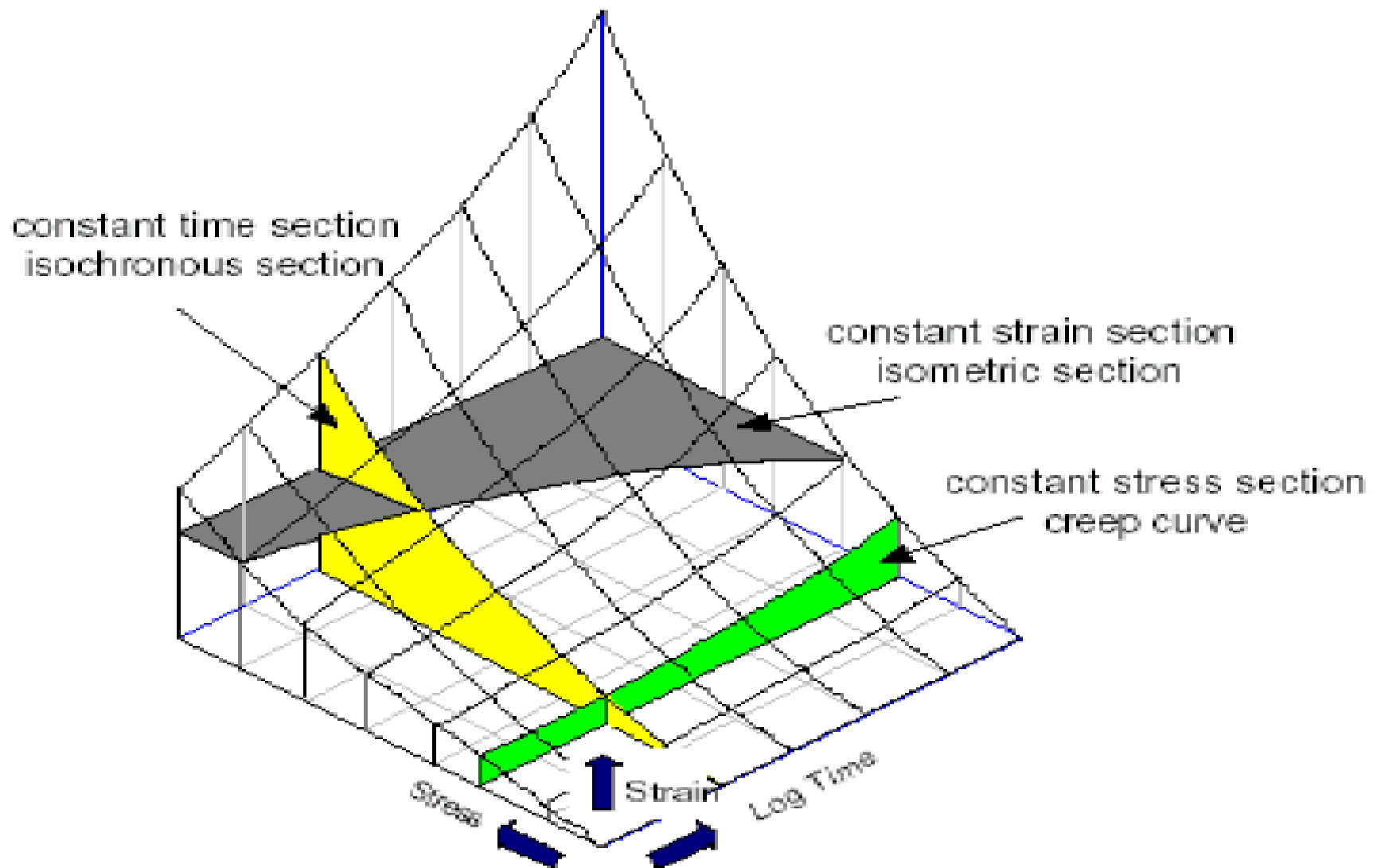




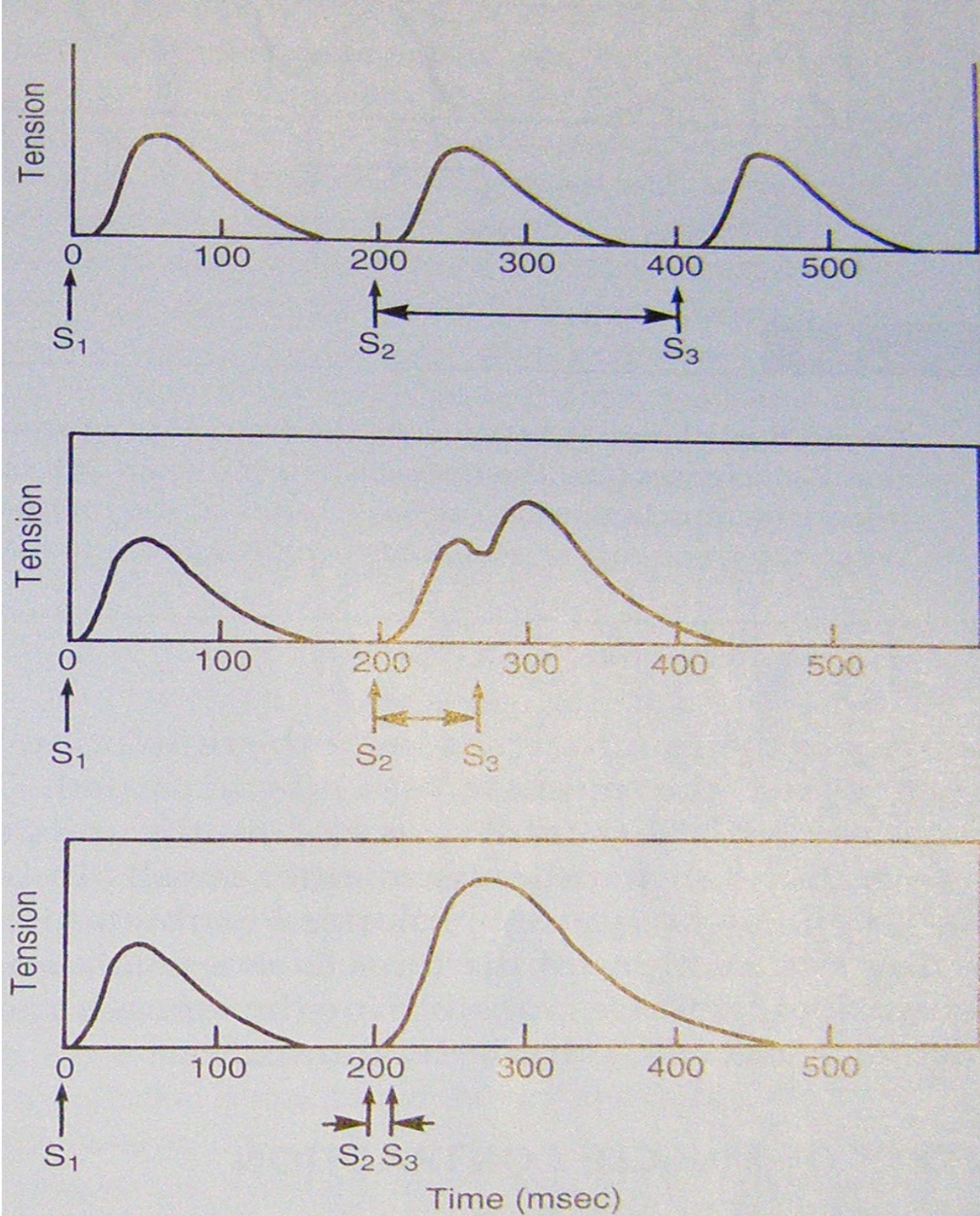
Význam elastických komponent svalu

- vyrovnávání nárůstu a poklesu intenzity sv. kontrakce
- návrat kontraktálních elementů vlákna do původní pozice po ukončení kontrakce
- prevence pasivního nadměrného oddálení aktivních kontraktálních komponent od sebe (aktin – myosin)
- absorpce a disipace energie (viskózní vlastnosti šlachosvalové jednotky)
 - první fáze při stretchingu dána protažením elastických komponent
 - další protažení podmíněno viskózními vlastnostmi

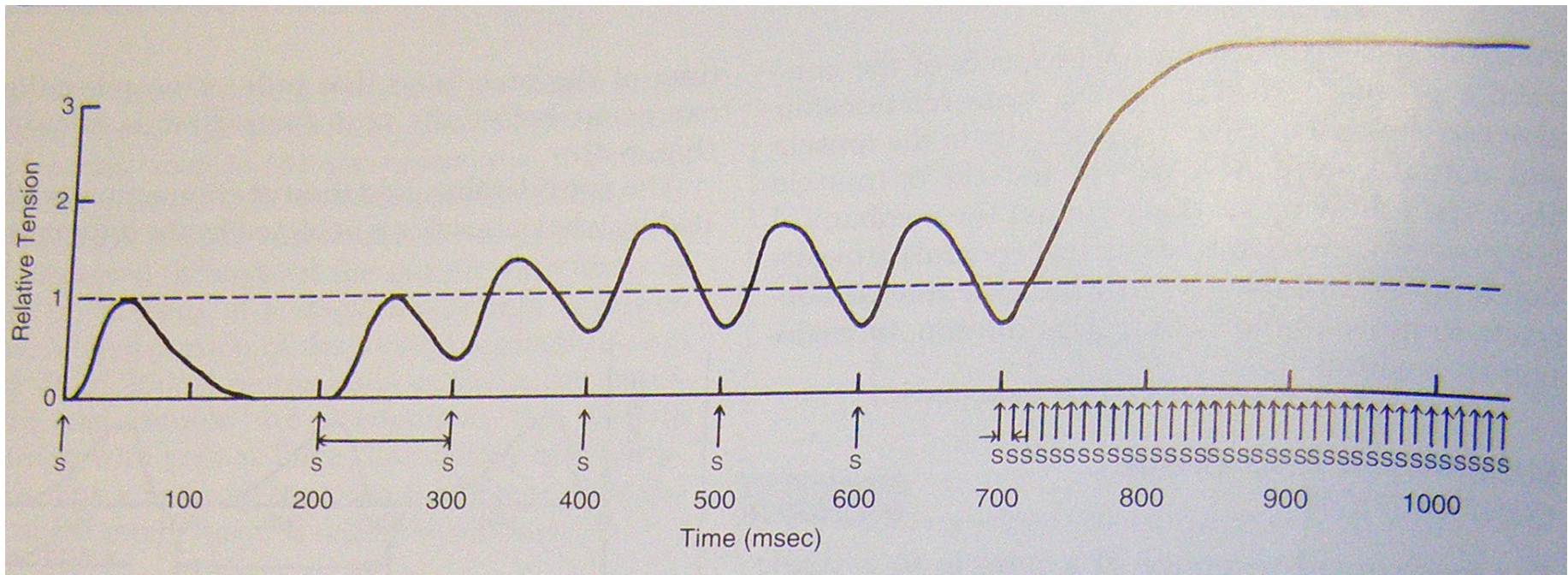
Vztah mezi napětím, deformací a časem



SUMACE elektrických stimulů



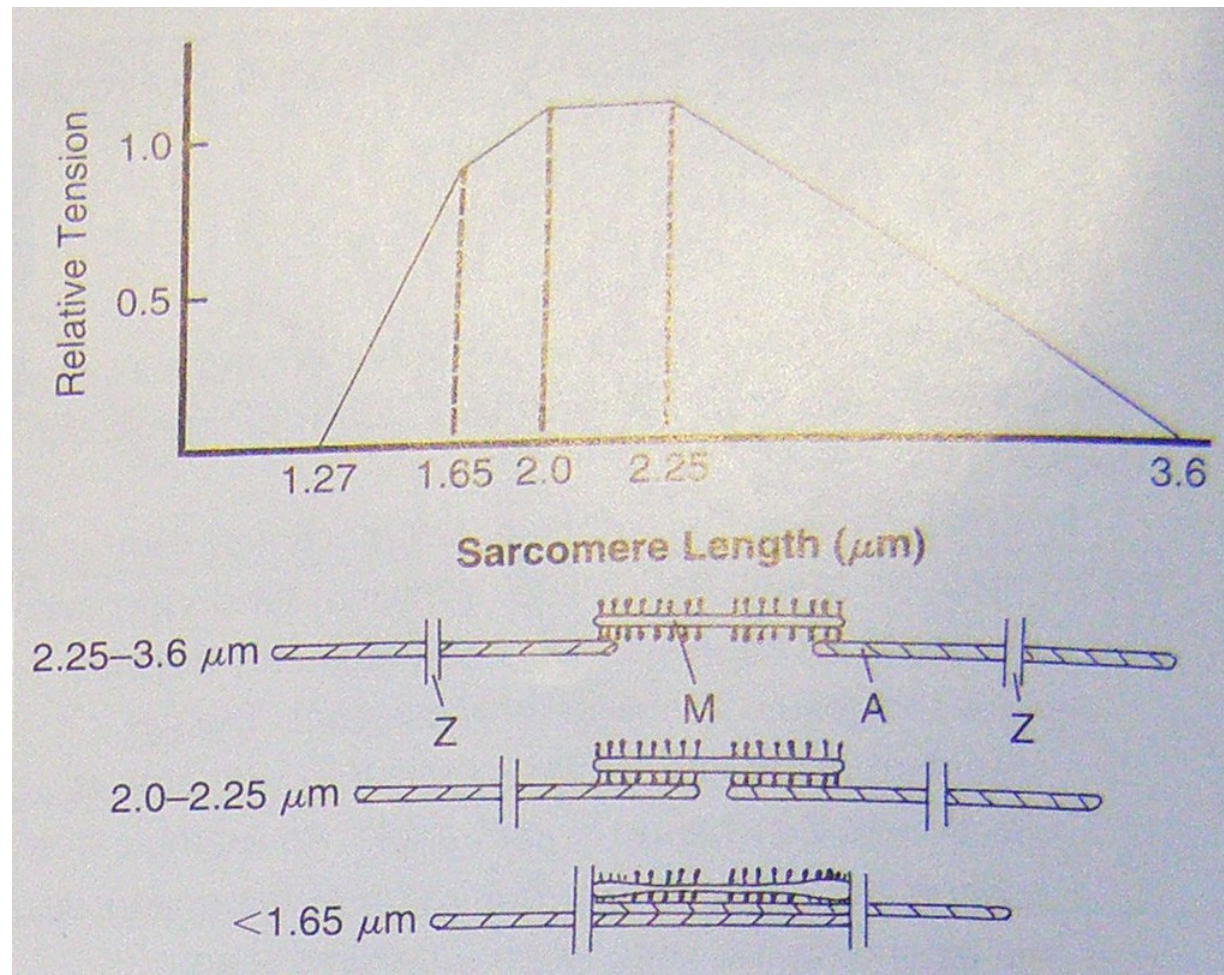
TETANICKÁ KONTRAKCE elektrických stimulů



k sumaci se zvýšenou relativní tenzí svalu dochází při zkracování impulsu z 200 na 100 ms tetanická kontrakce nastává při 100 stimulech/s

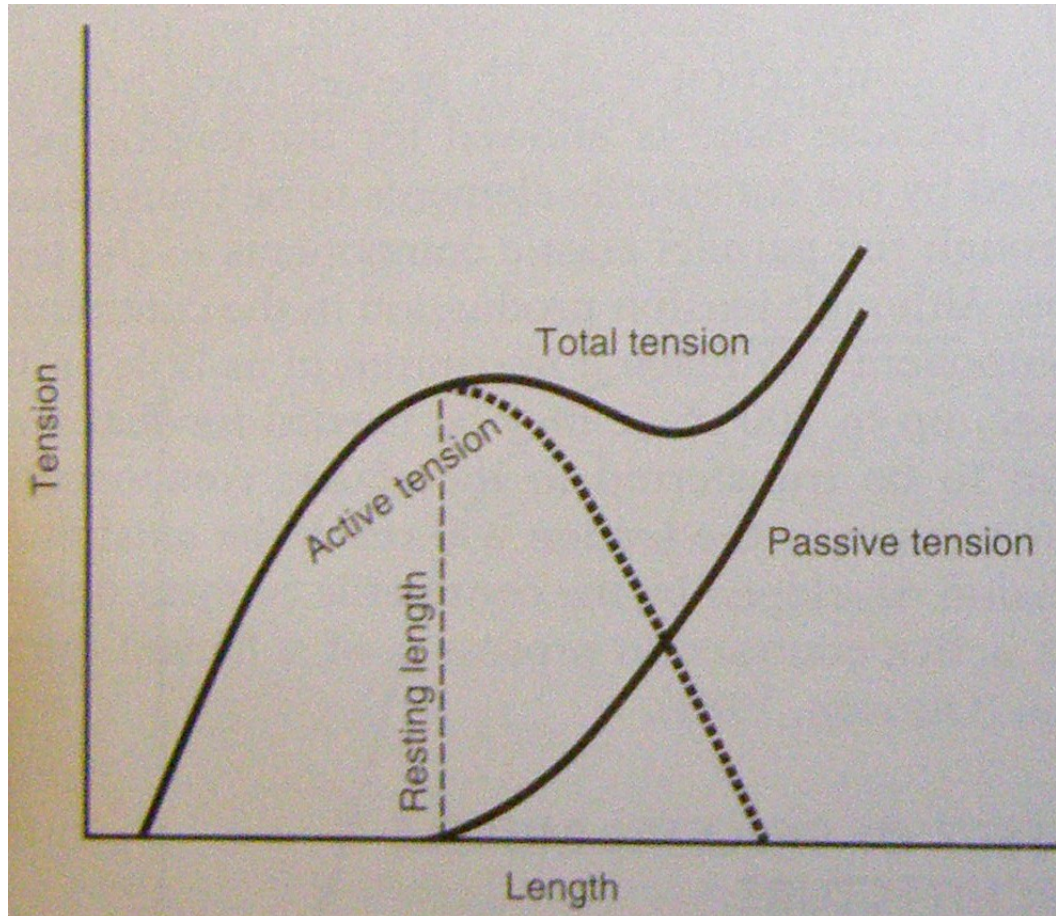
závislost sv. síly

● Vztah délka - napětí (sv. vlákno)



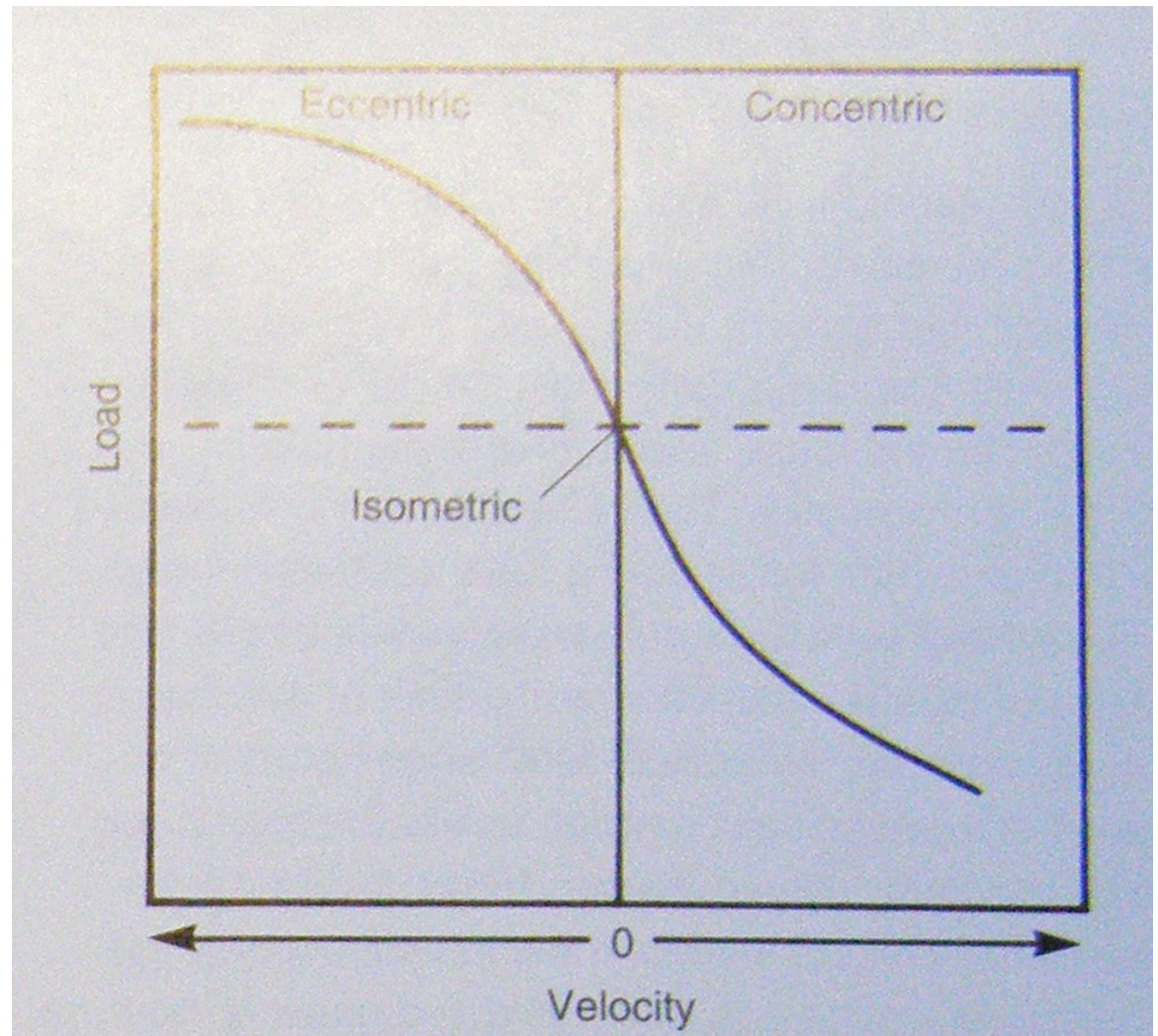
závislost sv. síly

● Vztah délka napětí (sval)



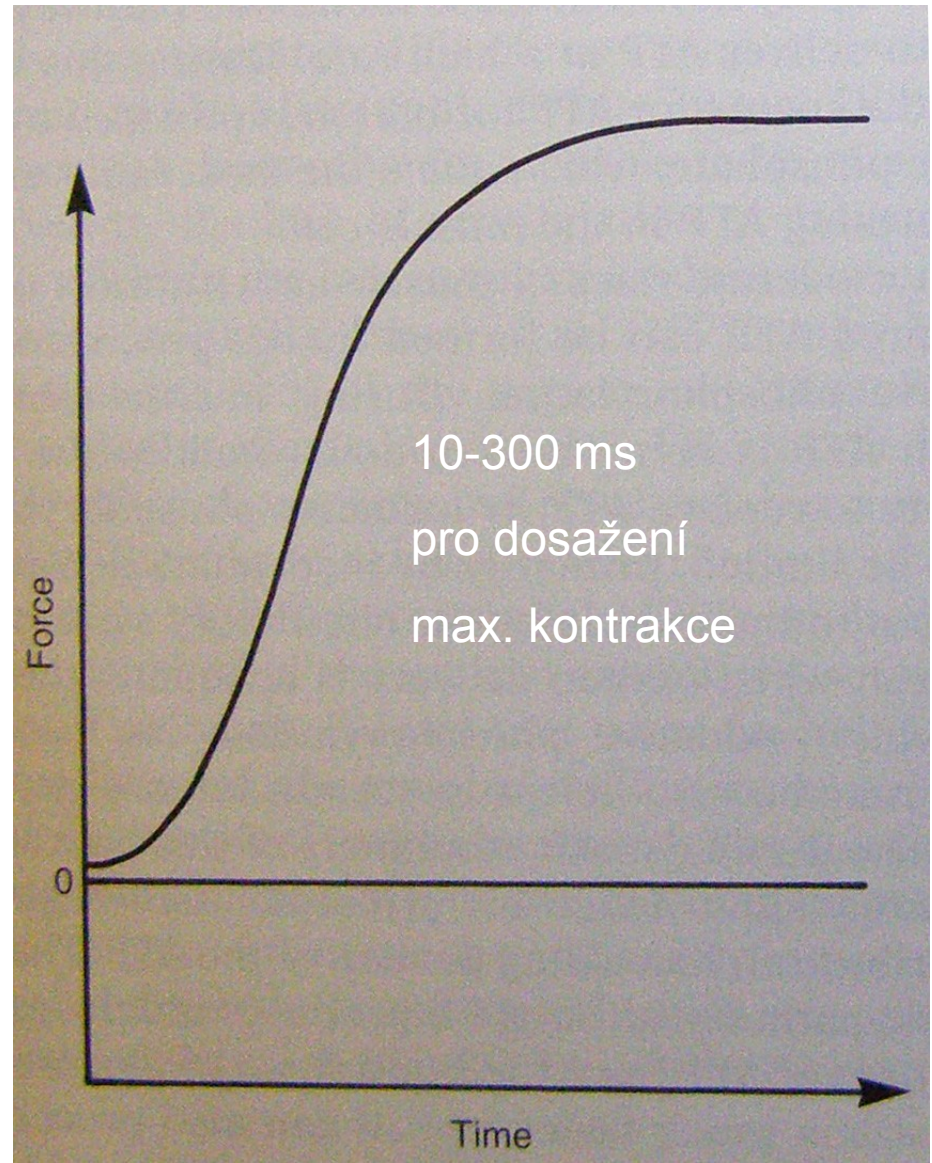
závislost sv. síly

● Vztah zátěž - rychlost



závislost sv. síly

● Vztah zátěž - čas



závislost sv. síly

● Vztah zátěž – typ kontrakce

excentrická



isometrická



koncentrická

Efekt architektiky skeletálního svalu

Uspořádání sv. vláken:

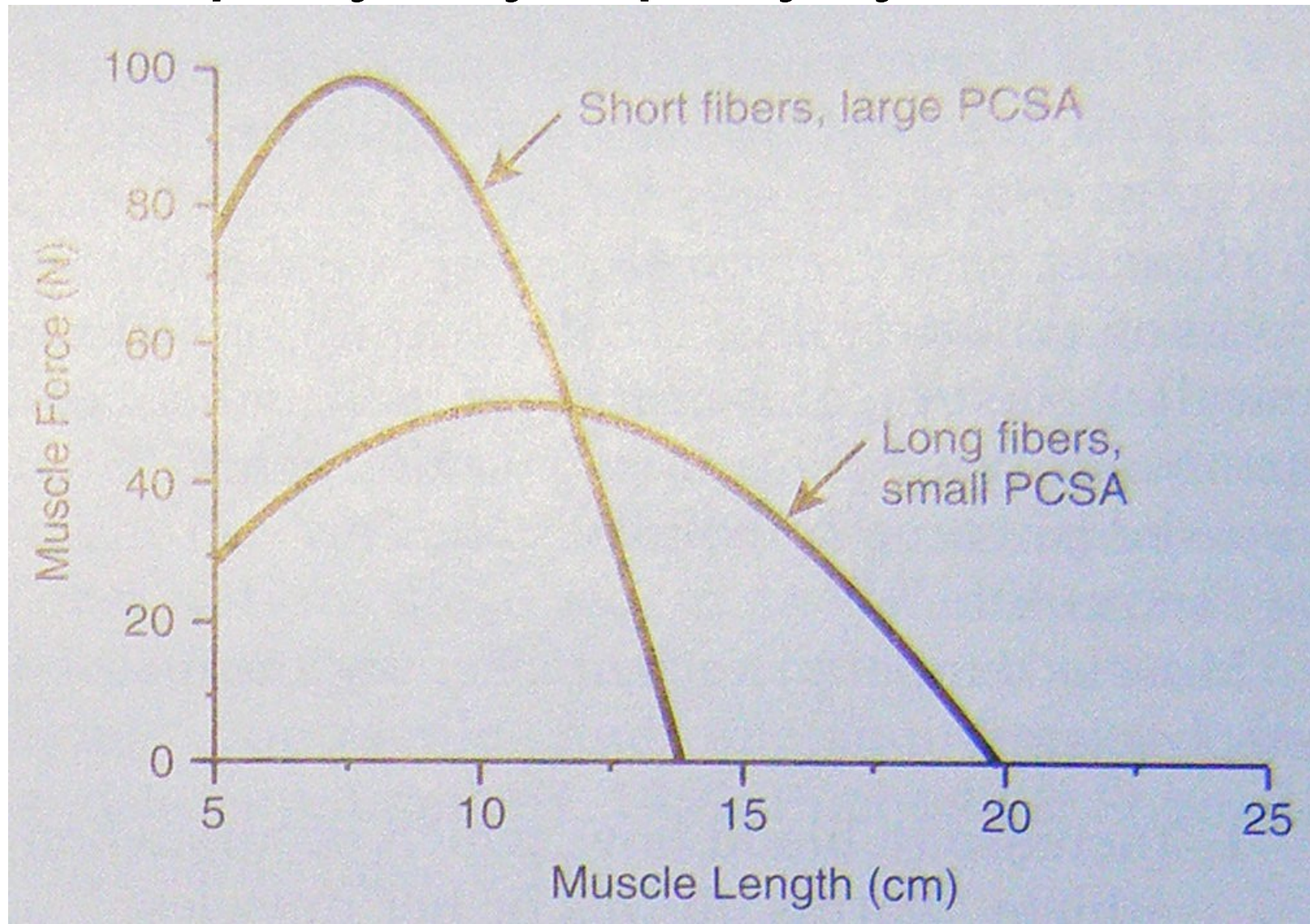
v sérii \leftrightarrow paralelně

Charakter sv. kontrakce:

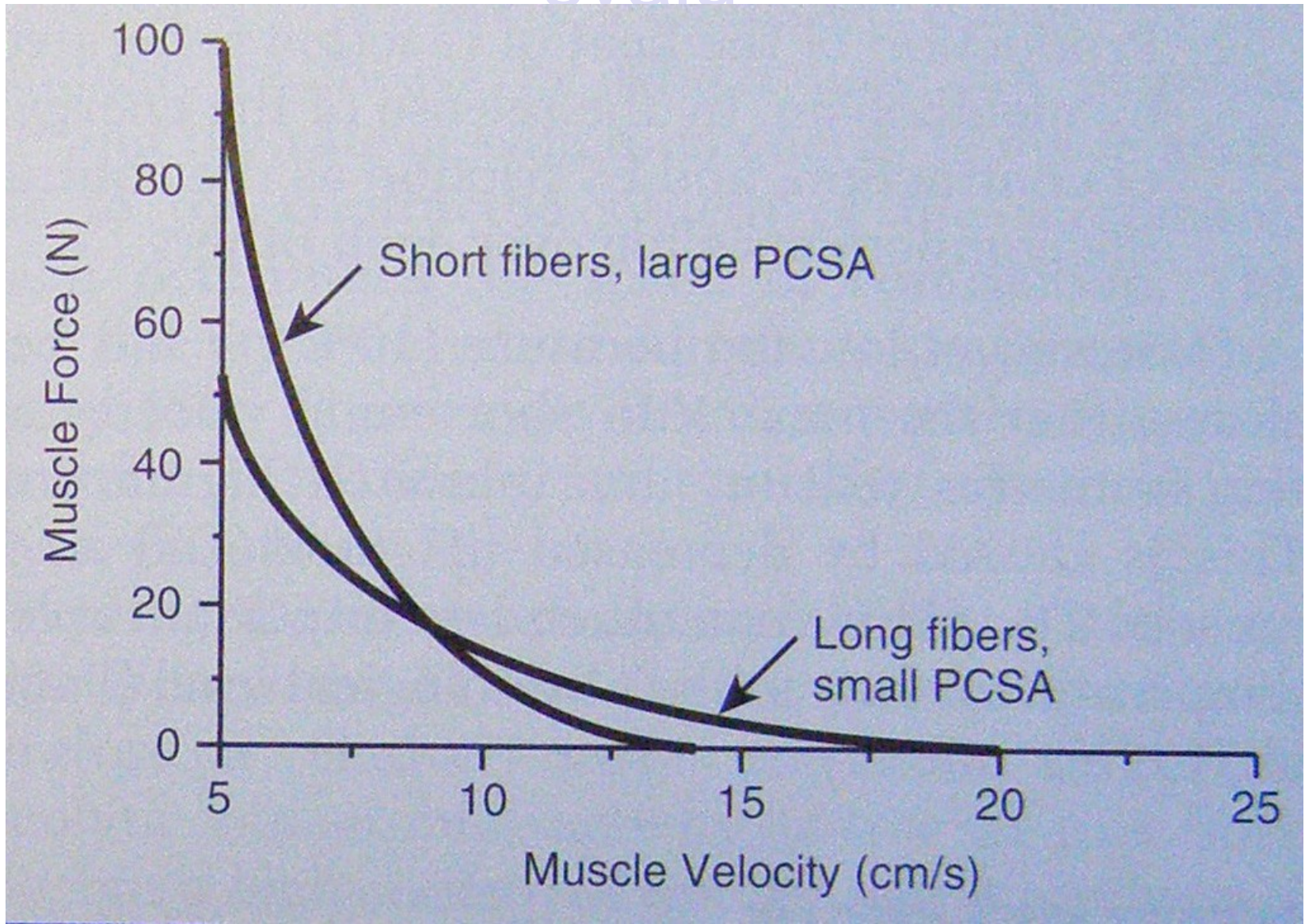
rychlost + prac. rozsah \leftrightarrow max. sv. síla

Efekt architektury skeletálního svalu

páky síly x páky rychlosti



Efekt architektury skeletálního svalu



Properties of Three Types of Skeletal Muscle Fibers

	TYPE I Slow-Twitch Oxidative (SO)	TYPE IIA Fast-Twitch Oxidative- Glycolytic (FOG)	TYPE IIB Fast-Twitch Glycolytic (FG)
Speed of contraction	Slow	Fast	Fast
Primary source of ATP production	Oxidative phosphorylation	Oxidative phosphorylation	Anaerobic glycolysis
Glycolytic enzyme activity	Low	Intermediate	High
Capillaries	Many	Many	Few
Myoglobin content	High	High	Low
Glycogen content	Low	Intermediate	High
Fiber diameter	Small	Intermediate	Large
Rate of fatigue	Slow	Intermediate	Fast

Normální populace:

Typ I: 50-55%

Typ Ila: 30-35%

Typ Iib: 15%

Sprinteři, vrhači koulí:

Typ I: 30%

Maratonci:

Typ I: 80%

Postupný nábor jednotlivých typů sv. vláken:

nízká intenzita zátěže ↔ vysoká intenzita zátěže

SO ↔ FOG ↔ FG

adaptační změny svalů na zátěž



adaptační změny svalu na zátěž

zvýšení
obsahu
ATP
a
kreatinfosfátu

**adaptace
při
rychlostním
tréninku**

změna poměru
sv. vláken
SO/FG
nesignifikantní

zvýšení
rychlosti
utilizace ATP a
kreatinfosfátu
*(rychlejší
maximální
utilizace)*

adaptační změny svalu na zátěž

rozvoj
glykolytického
metabolického
potenciálu kosterního
svalu

**adaptace
při
rychlostně-
vytrvalostním
tréninku**

zvýšení pufrovací
kapacity svalu
(nárazníkové systémy)
a vyšší tolerance
k laktátu (nízké pH)

vyšší aktivita
glykolytických
enzymů
(*fosforyláza,
fosfofruktokináza,
laktátdehydrogenáza*)

lepší utilizace
glykogenu, zvyšuje
se množství
glykogenu
(*superkompensace*)

adaptační změny svalu na zátěž

hypertrofie svalových vláken, především
typu „FG
(*glykolytická, anaerobní*)

adaptace při silovém tréninku

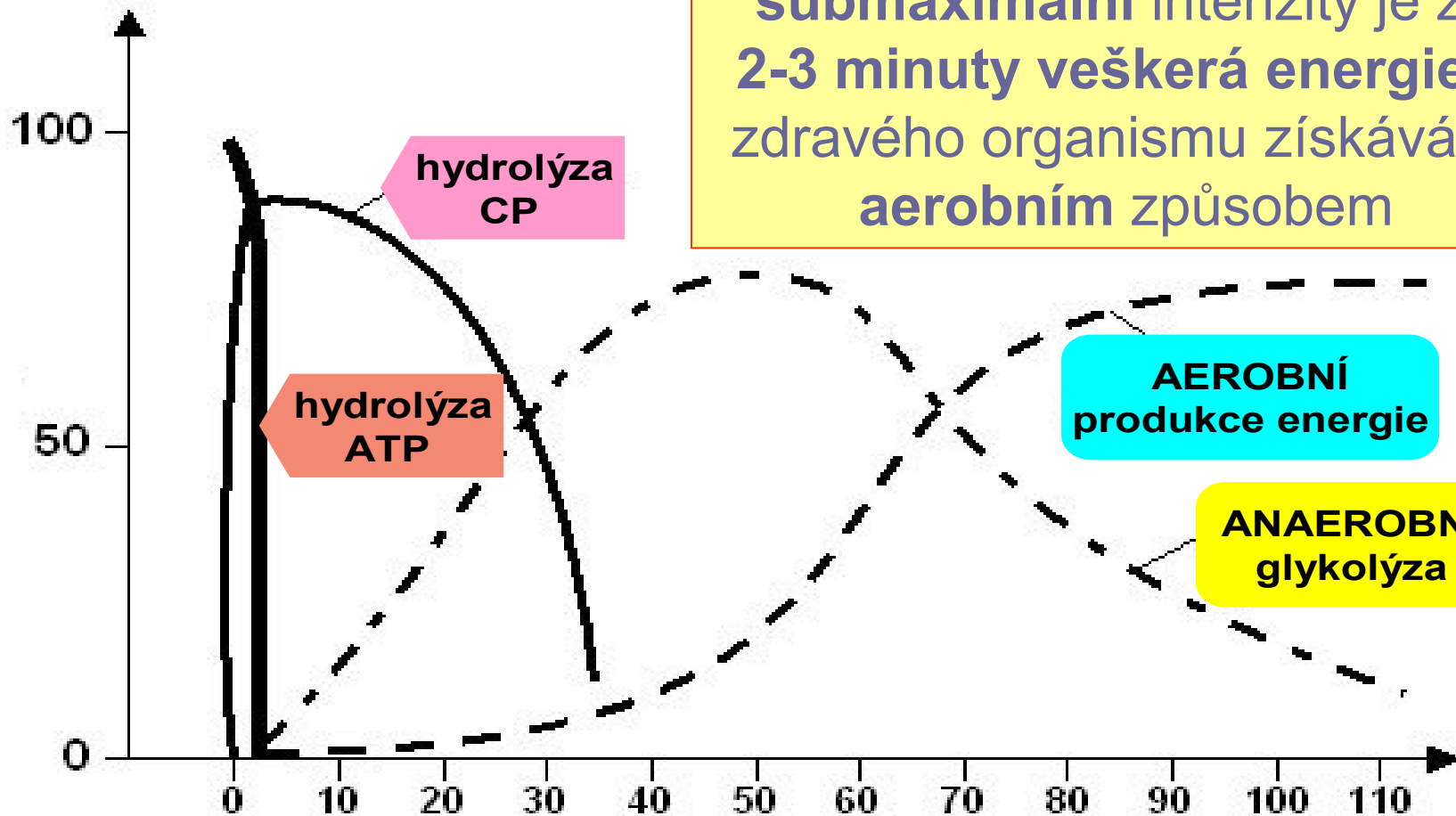
výrazný nárůst
silových
schopností,
(*závisí na
charakteru
zatížení, intenzitě a
objemu*)

zvýšení aktivity
myokinázy
(*regulátor tvorby
ATP ze 2 molekul
ADP*)

Perfuze svalu a energetika

při práci **střední a submaximální** intenzity je za **2-3 minuty** veškerá energie u zdravého organismu získávána **aerobním způsobem**

Proportionální zastoupení energetických jednotlivých substrátů při zátěži (%)

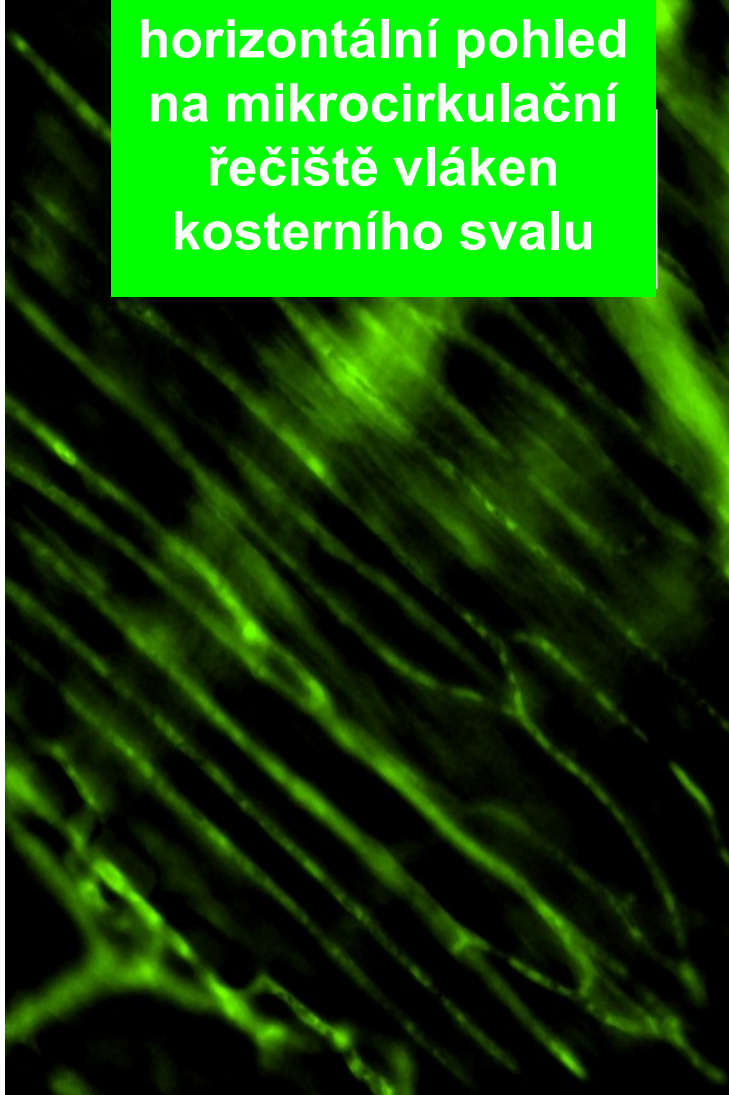


Trvání zátěže (s)

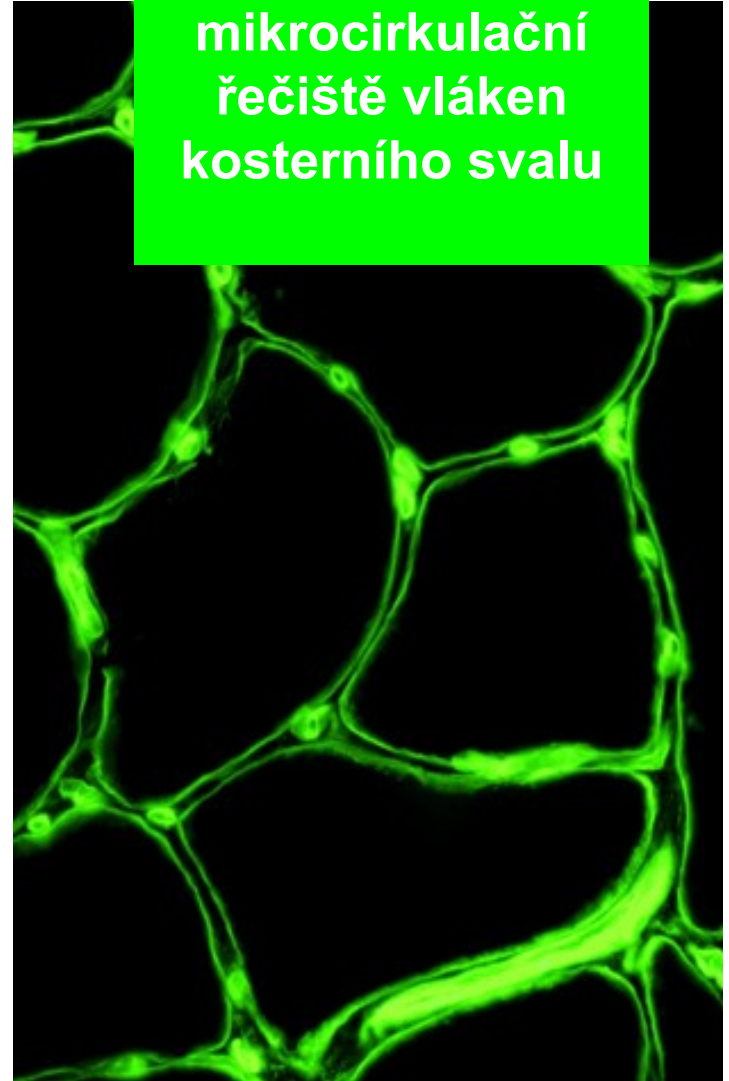
Neovaskularizace

**pohybová aktivita (trénink) silně ovlivňuje
cévní zásobení a krevní průtok ve svalu**

**horizontální pohled
na mikrocirkulační
řečiště vláken
kosterního svalu**



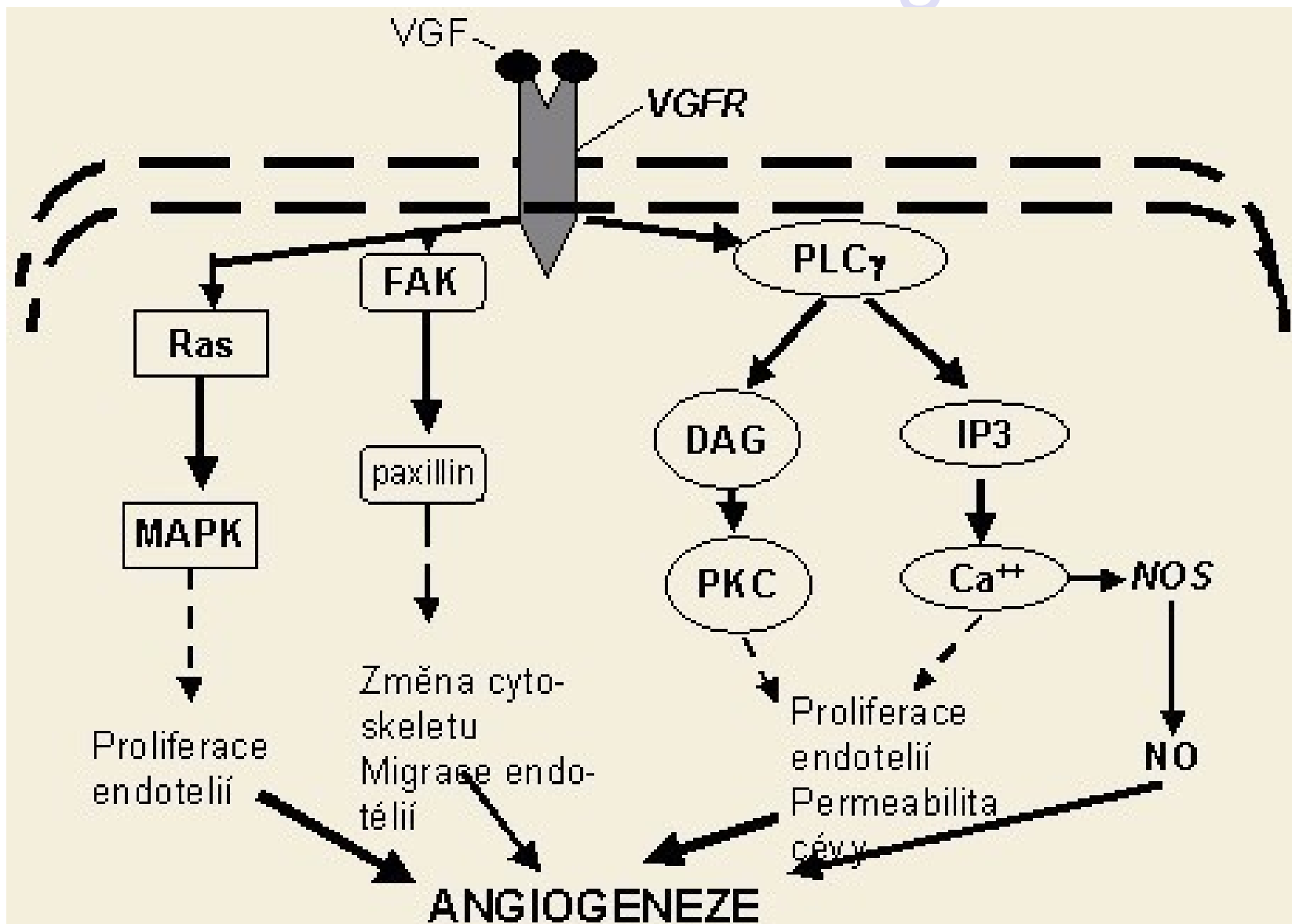
**transverzální
pohled na
mikrocirkulační
řečiště vláken
kosterního svalu**



Angiogenetická kaskáda

- Rozpuštění bazální membrány (vazodilatace → mechanické narušení BM (shear stress) → enzymatické narušení BM (proteázy) → zvýšení permeability stěny cévní (angiogenní faktory) → průnik plasminogenu a fibrinogenu → přeměna na plasmin a fibrin jehož síť je podkladem pro vytváření nové cévy)
- Proliferace a migrace endotelií (Endotelové buňky (vliv angiogenních faktorů) vytvářejí na povrchu cévy "pupeny" → nabývají lokomočních vlastností → zachycují se na fibrinové síti = tj. základ nové cévy)
- Vlastní morfogeneze nové cévy (aktivace pericytů → proliferace fibroblastů s podporou syntézy kolagenu po stimulaci TGF- β , EGF a PDGF → vznik nové stěny cévní a jejího lumen).

Schéma angiogenetického transdukčního signálu



Angiogeneze

Fyziologicky jsou faktory podporující angiogenezi v dynamické rovnováze s faktory, které ji potlačují:

- snížení účinnosti angiogenní aktivity má za následek poruchu hojení ran nebo pomalé hojení zlomenin ...
- zvýšená podpora novotvorby cév se může podílet na patogenezi RA, retinopatie nebo chronického zánětu
- angiogeneze má významnou úlohu v růstu nádorového ložiska a v metastazování.

Faktory ovlivňující svalový výkon



Efekt prestretchingu

Využití energie kumulované v elastických
komponentách

Změny mechanických vlastností myofibril

(využití v PNF)

Efekt teploty

Zvýšení teploty (6-34°C lineární vzrůst sv. síly):

- rychlejší vedení vzruchu (sarkolema) → zvýšení frekvence stimulace → zvýšení sv. síly
 - vyšší enzymatická aktivita sv. metabolismu
- vyšší elasticita kolagenu → vyšší extensibilita šlacho-svalové jednotky → výraznější prestretching

Možnosti zvýšení teploty svalu:

- zvýšení krevního průtoku
- zvýšení intenzity metabolismu
- zvýšení frikce mezi kontraktilními komponentami

pH

- výraznější role pH při nižších teplotách svalu

Efekt únavy

● ATP

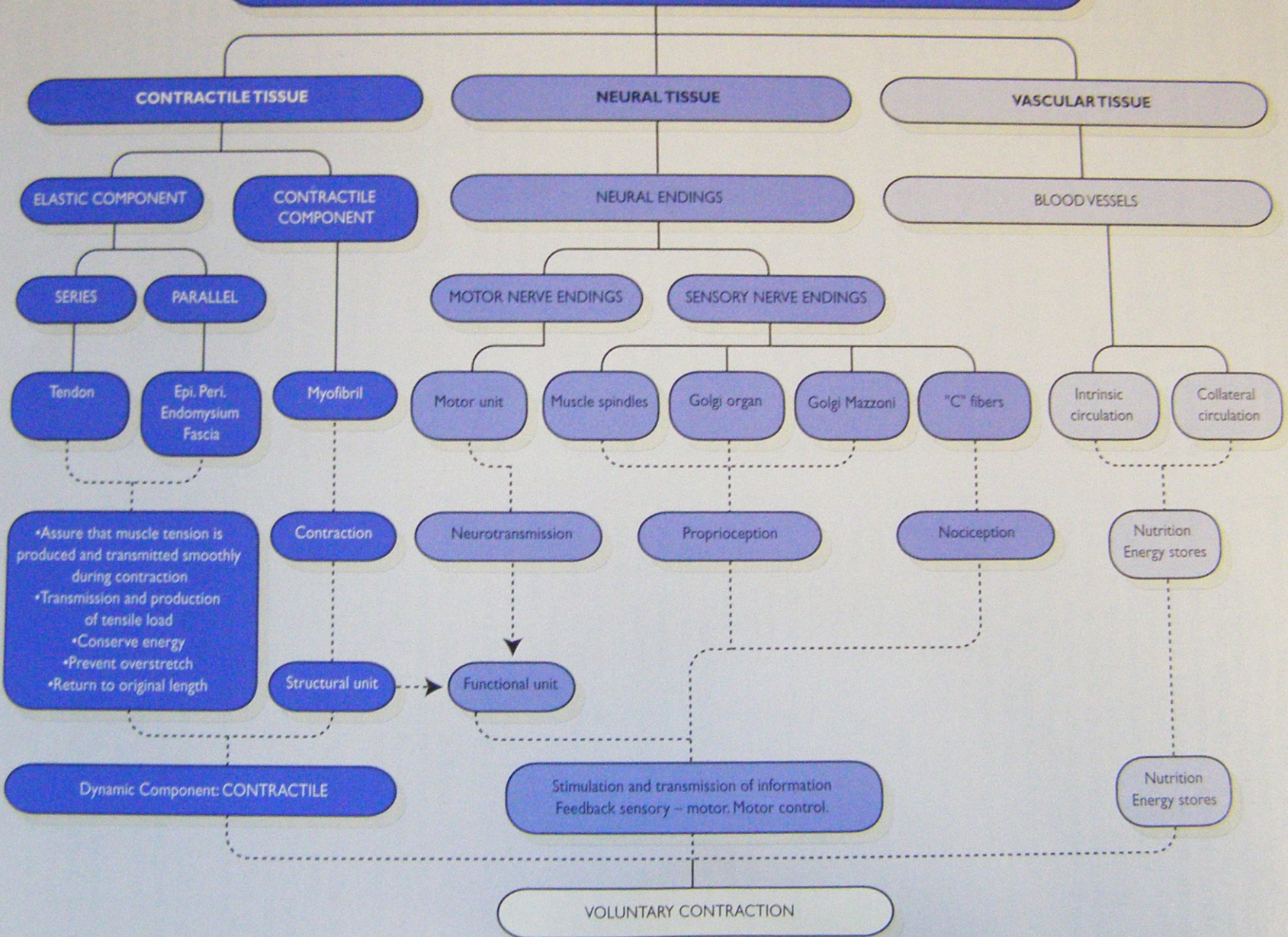
- CP
- Oxidativní fosforylace
- Anaerobní glykolýza

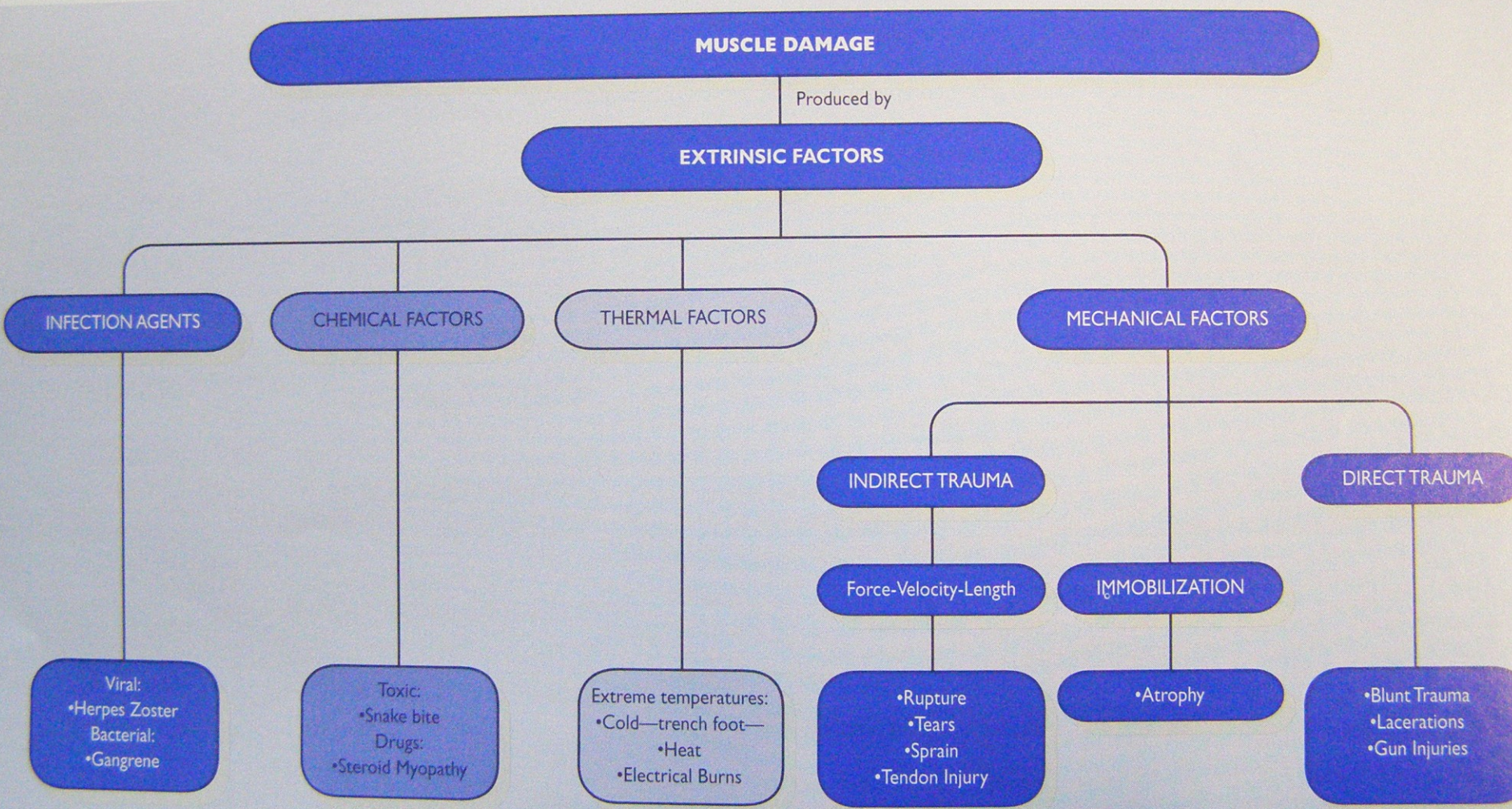
● mechanická účinnost kontrakce

● diferenciacie sv. vláken (závislost na inervaci!!!)

- Typ I. SO
- Typ IIa FOG
- Typ IIb FG

SKELETAL MUSCLE





MUSCLE DAMAGE

Produced by

INTRINSIC DISORDERS

Neuromuscular Disorders

- Dystrophies
- Myopathies
- Muscular Atrophy
- Myasthenia gravis
 - Palsies
- Myothonias

Endocrine and Metabolic Disorders

- Amyloidosis
- Thyrotoxicosis
- Hypopituitarism with myopathy
- Hyperparathyroidism with myopathy
- Myoglobinuria

Circulatory Disorders

- Volkman's Ischemic Contracture
- Crush Syndrome
- Myositis Ossificans

Tumoral Disorders

- Myoma
- Myosarcoma
- Rhabdomyoma

svalové
vlákno

klidový
stav

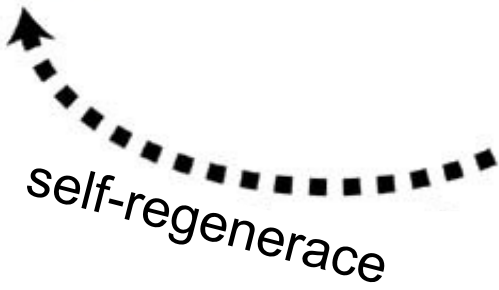
inaktivní progenitorová



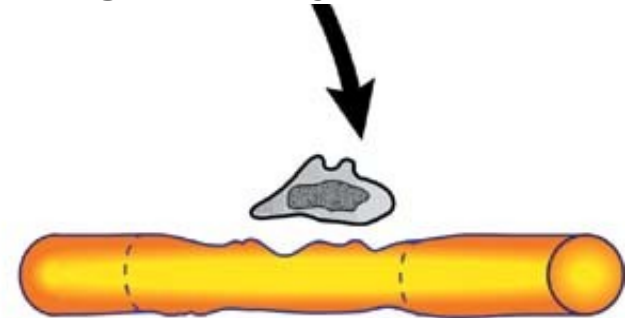
jádro



zvýšená aktivita
progenitorových buněk

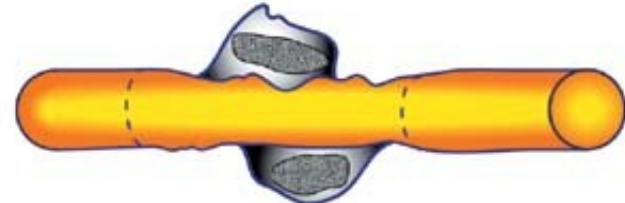


regenerované vlákno
s centrálně uloženým jádrem



chemotaxe progenitorových
buněk k místu poškození

HYPERTROFIE



fúze progenitorových buněk
s poškozeným vláknem

HYPERPLÁZIE



fúze progenitorových buněk
k tvorbě nových myofibril

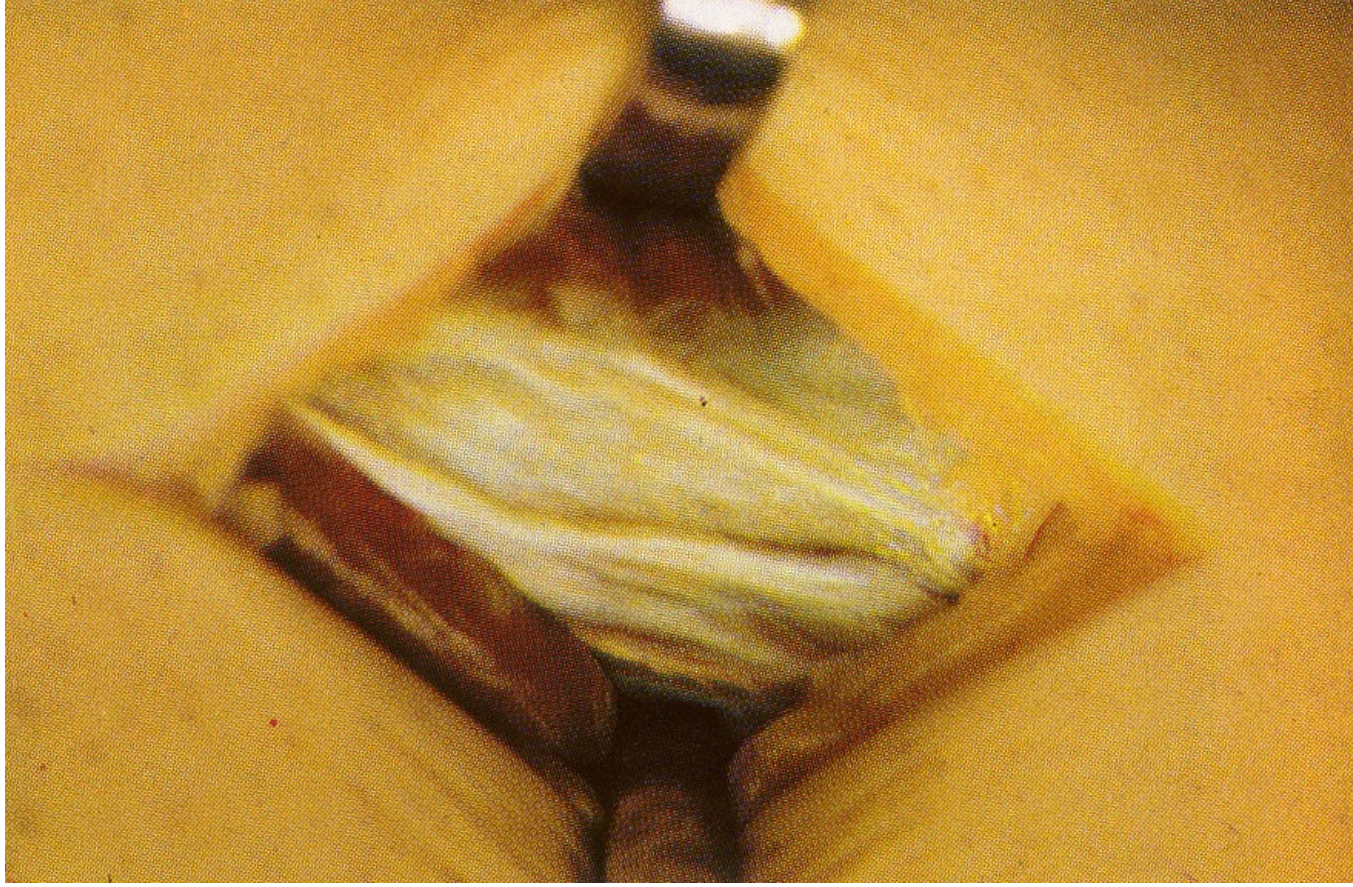
**Úloha
progenitorových
buněk v procesech
svalové regenerace**

Efekt imobilizace

- ↓ množství paralelních sv. vláken (průřezu)
(především SO vlákna z důvodu snížené stimulace nervosvalových plotének ...)
- izometrická cvičení nevyužívající plnou délku svalu nejsou dostačující k prevenci dystrofie vláken (především vláken SO, jako dostačující se jeví pouze pro vlákna FOG)
- imobilizace v protažení svalu má menší dopad na jeho degradaci
- u sportovců převažuje degradace nejvíce rozvinutého typu sv. vláken

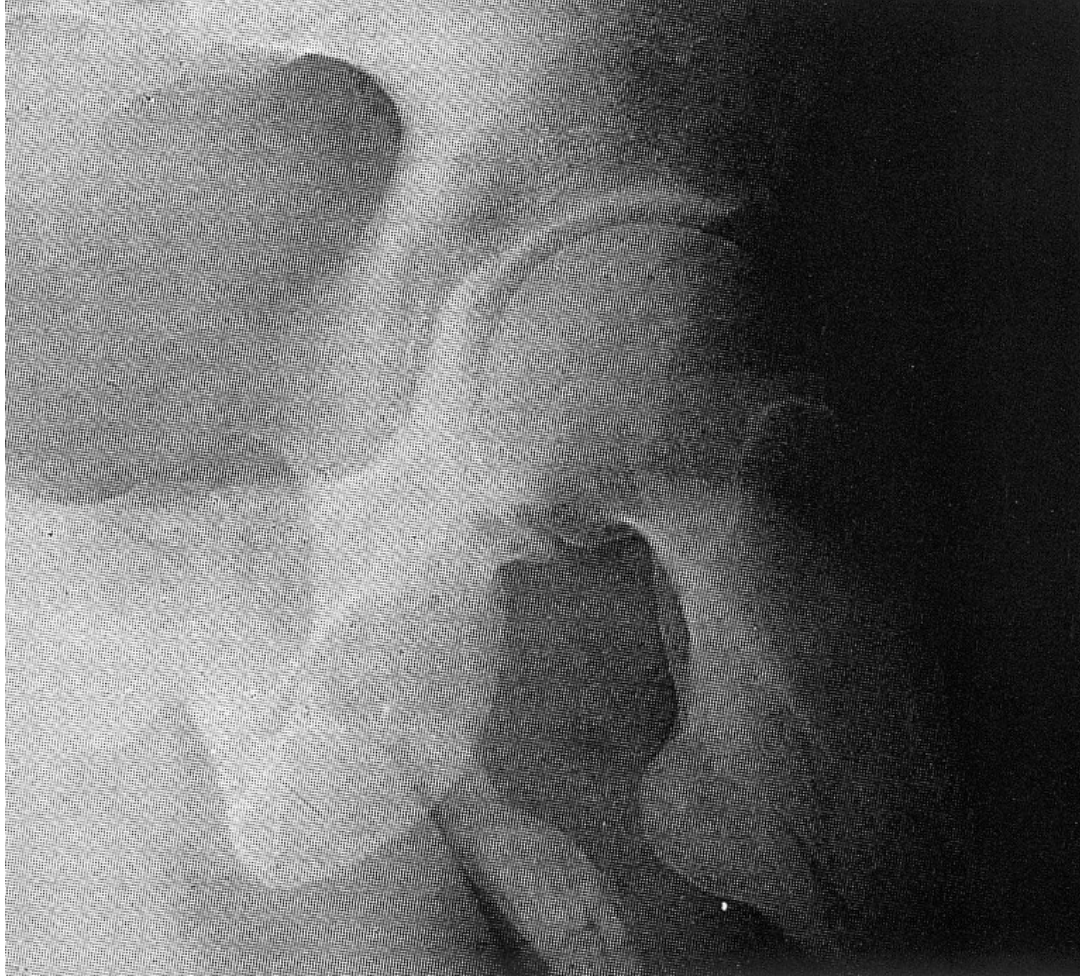
patrný excés jizevnaté tkáně po neadekvátně
léčené parciální ruptuře m. gastrocnemius

Svalová kontraktura



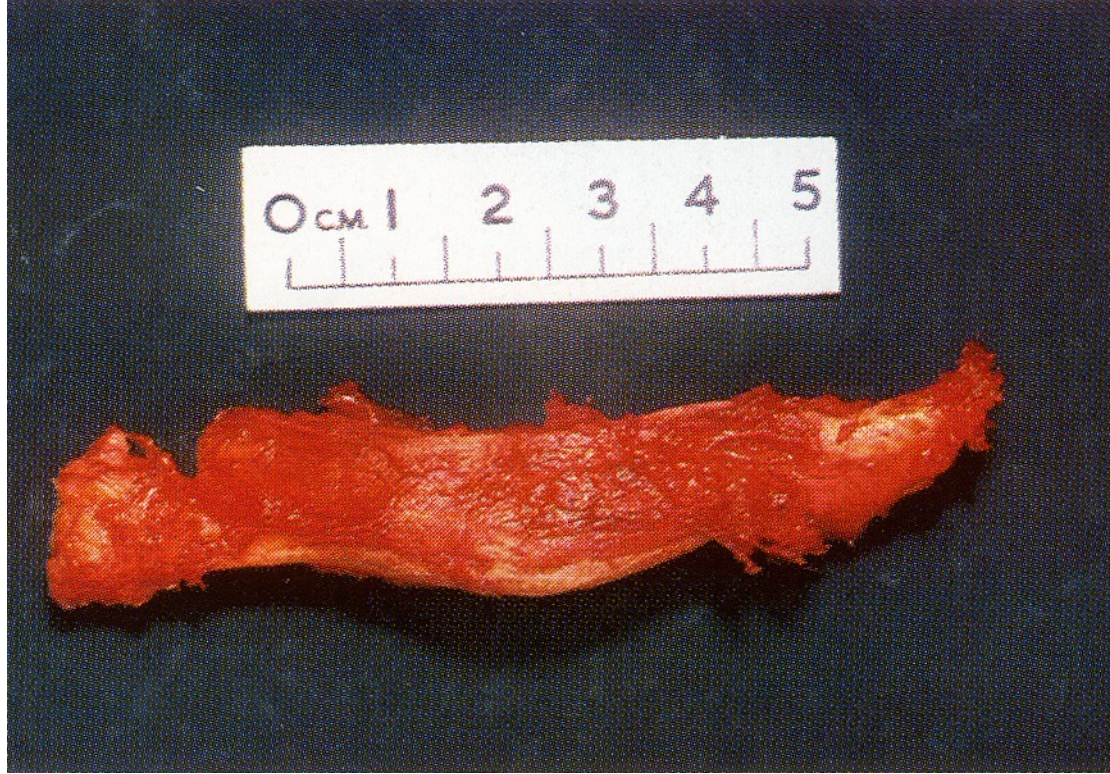
Ektopická kalcifikace - myositis ossificans -

formace kostní tkáně v
adduktoru hráče rugby



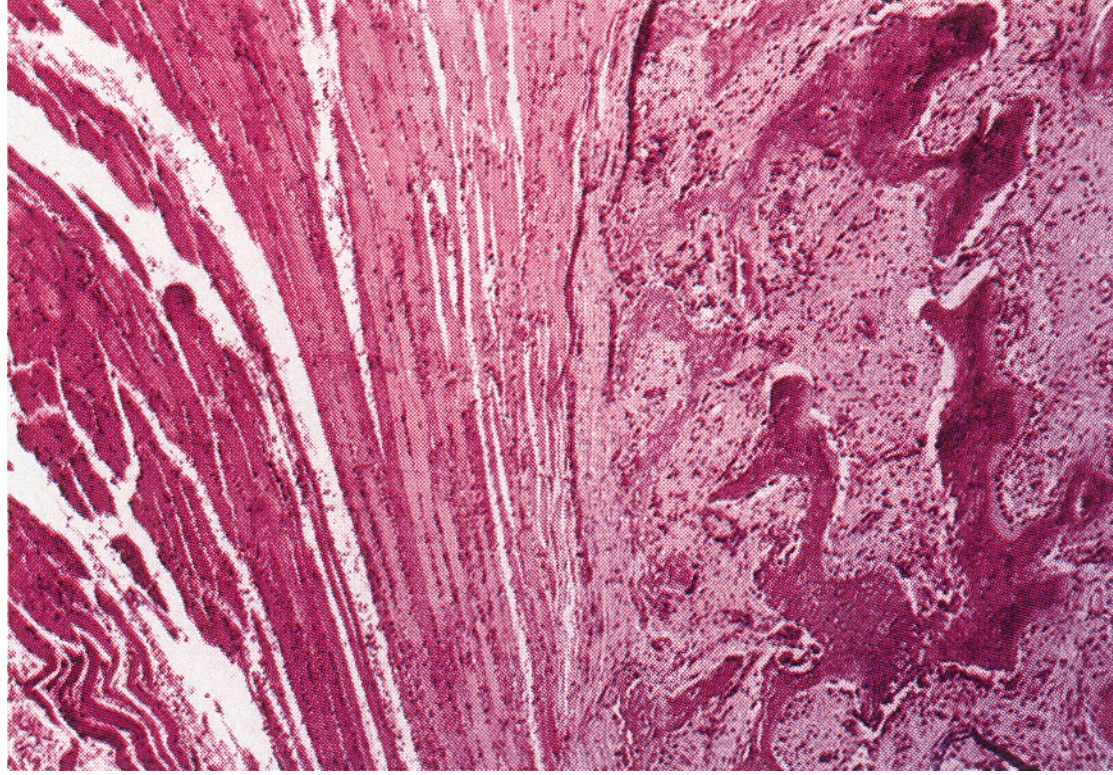
Ektopická kalcifikace - myositis ossificans -

ektopická kost - operační nález

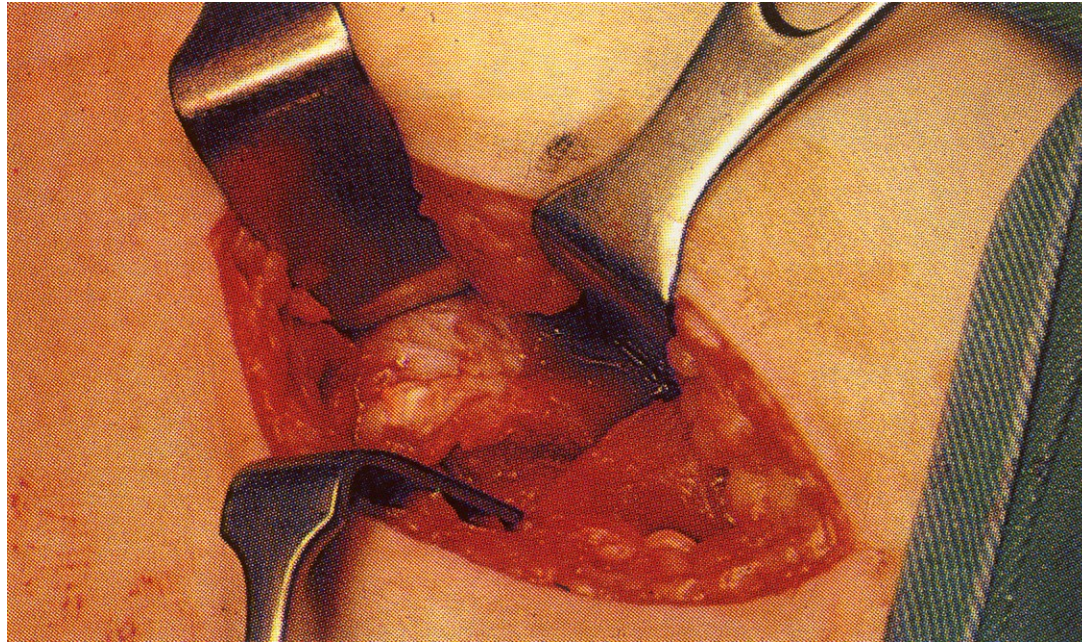


myositis ossificans - histologický nálezn

Ektopická kalcifikace - myositis ossificans -



Kalcifikace v m. gluteus medius

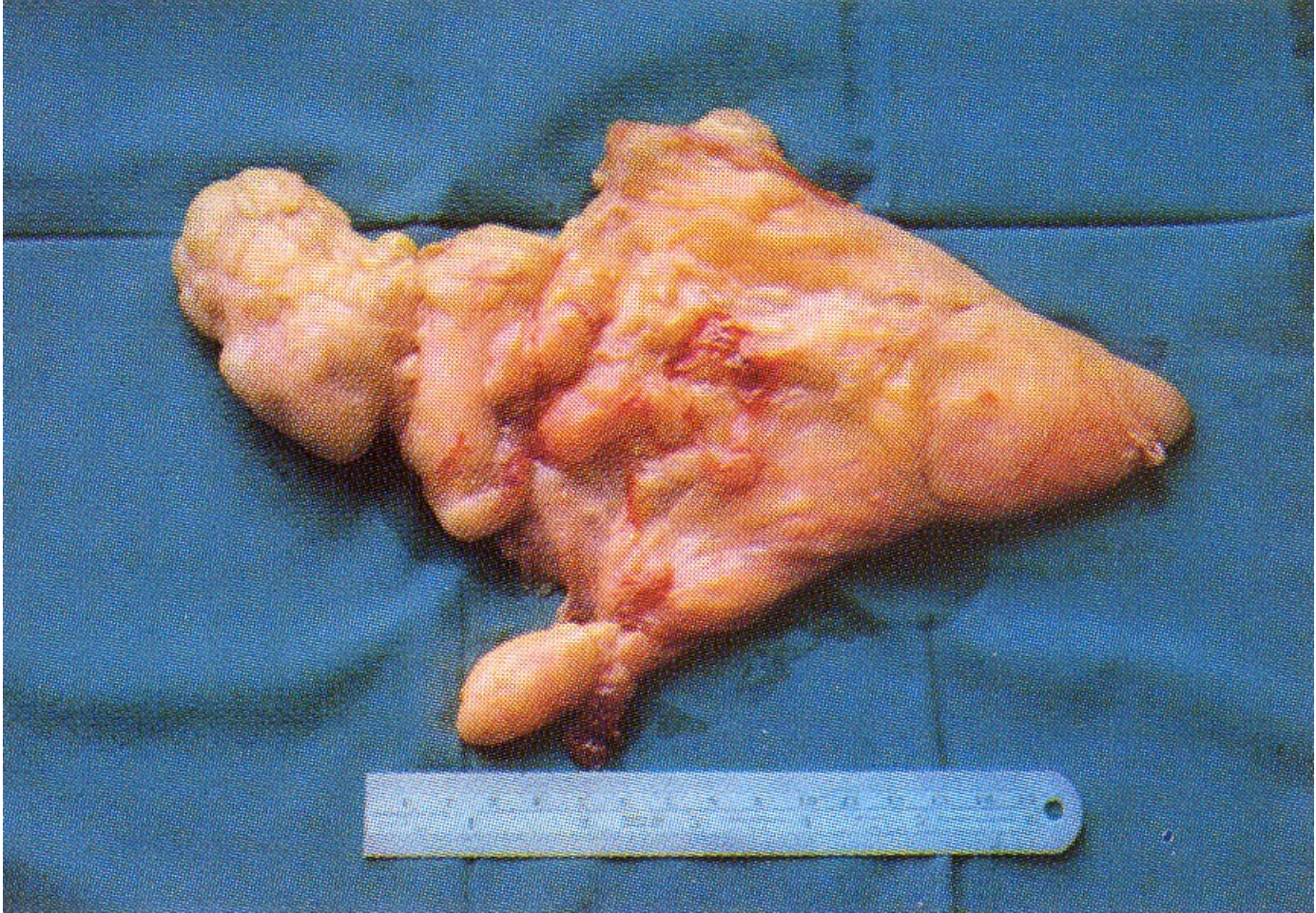


lipom v m. serratus ant.



Lipom

operační nález



Rhabdomyosarkom m. pectoralis major



akutní nástup bolesti kvadricepsu při zátěži - dg. natržení svalu. Negativní efekt terapie a rostoucí edém vedl ke změně diagnózy na akutní krvácení do rhabdomyosarkomu

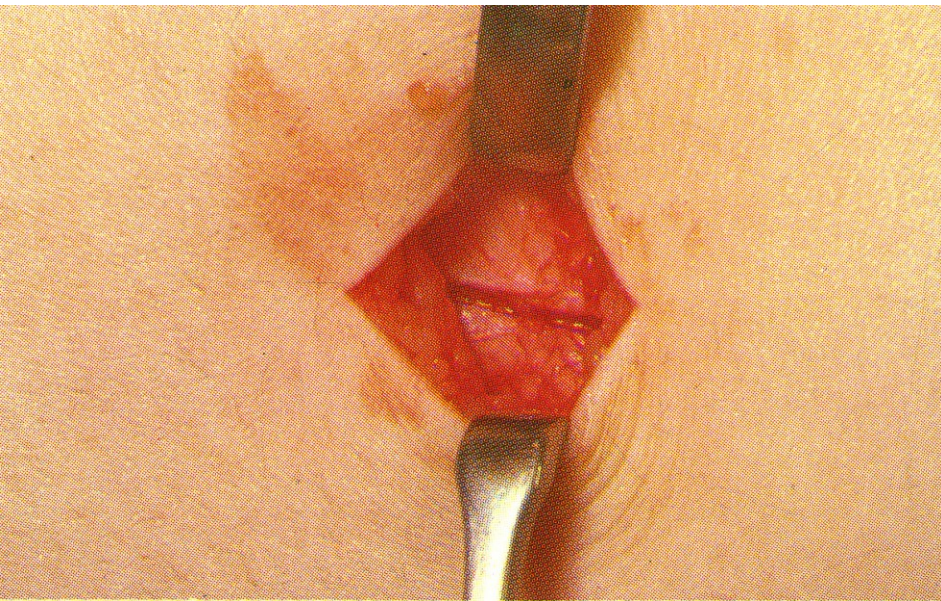
Rhabdomyosarkom



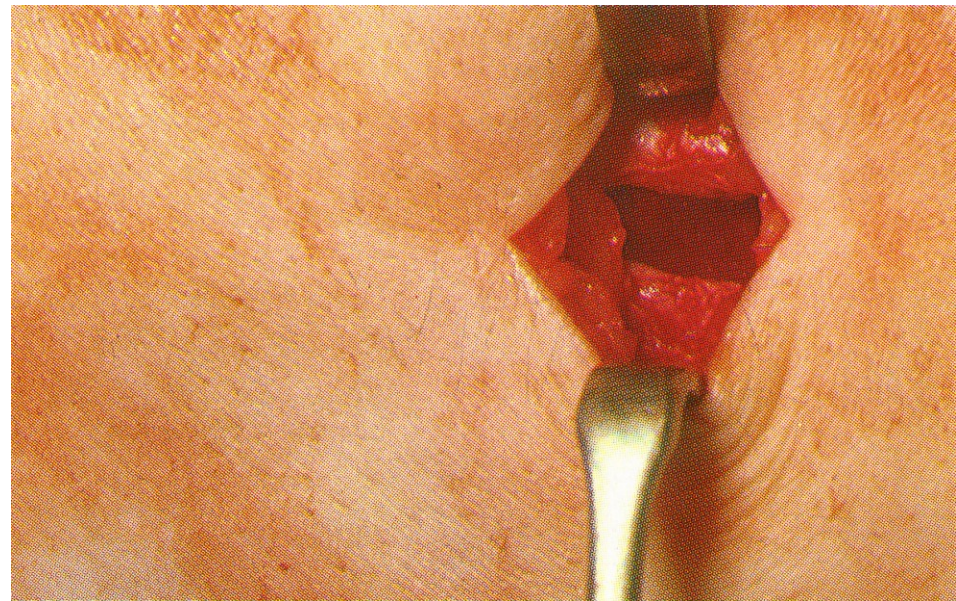
Laterální retinakulum pately



Laterální retinakulum pately



před zákrokem



po laterálním release

Léze v oblasti muskulotendinózní junkce

léze u skokana do dálky po
nekoordinovaném odrazu

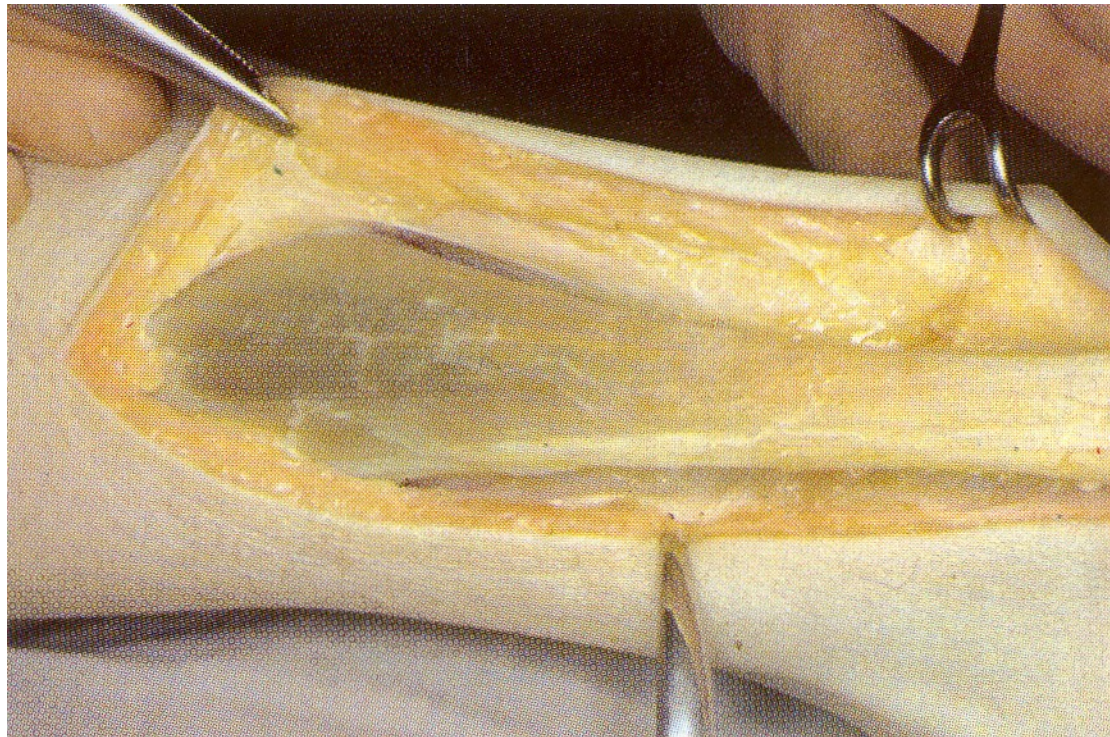


Kongenitální abnormalita v oblasti muskulotendinózní junkce

přímé připojení m. soleus na calcaneus s absencí Achillovy šlachy (přítomna peritenonitis)

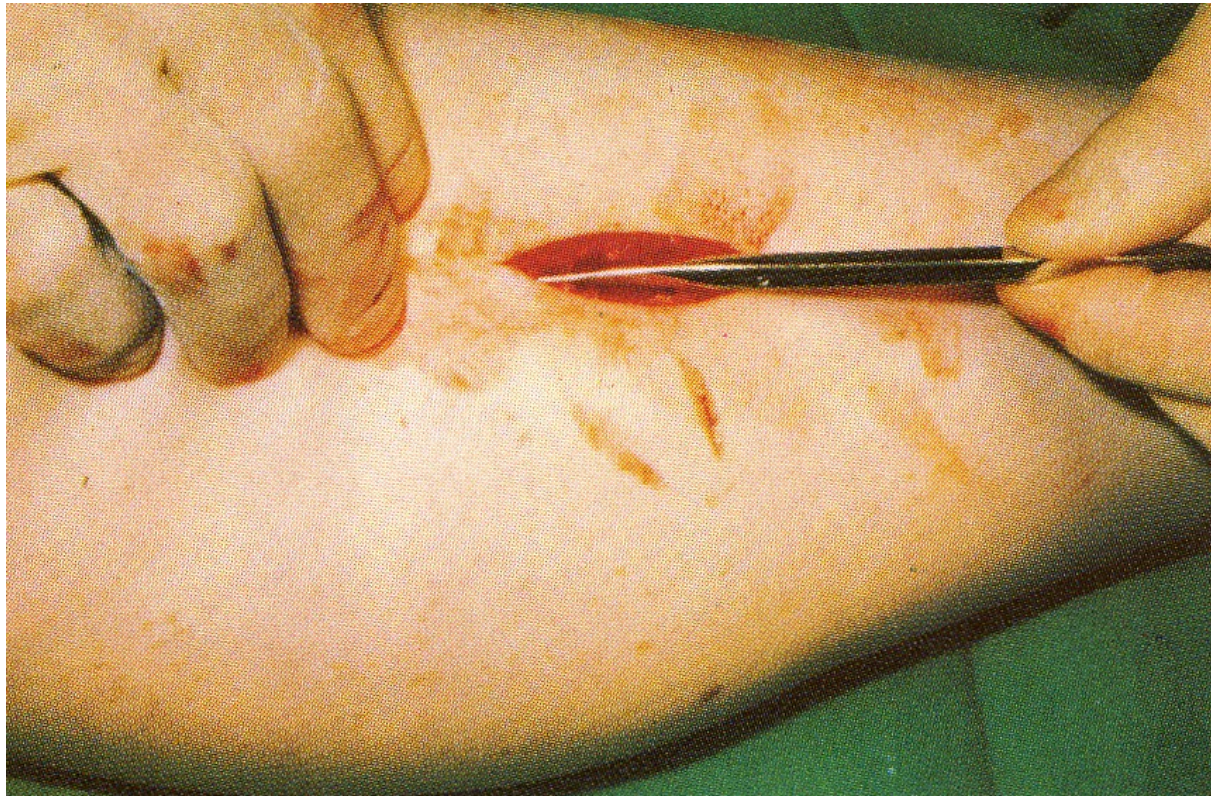


Komplikace steroidní terapie



vápenaté depozity v paratenoniu

Kompartment syndrom



Kompartment syndrom

