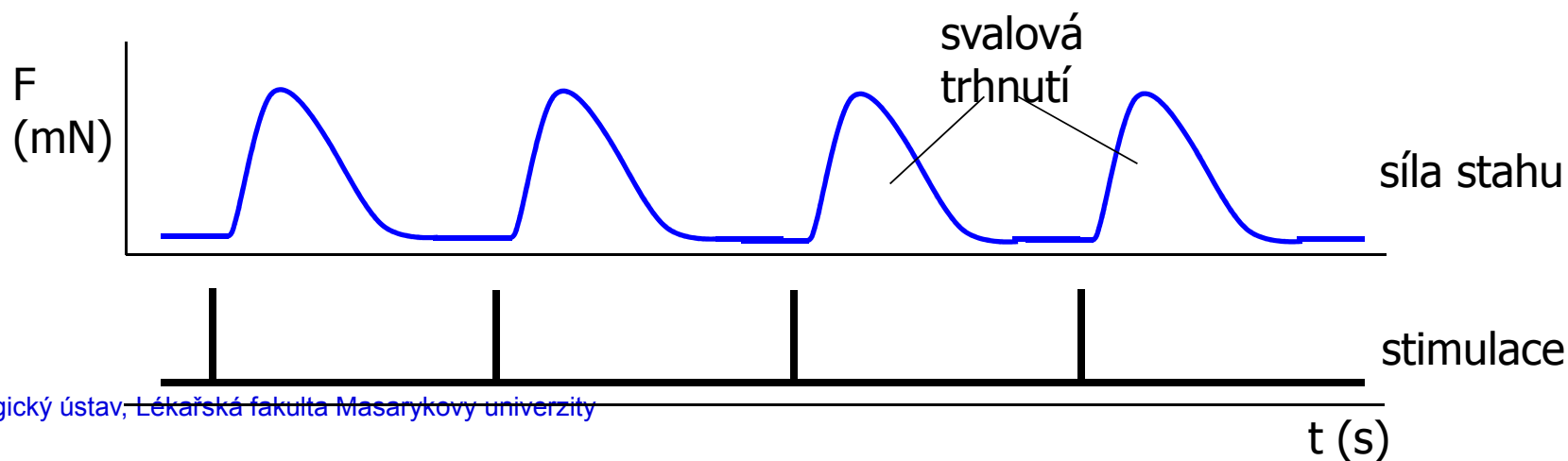


Časová a prostorová sumace u kosterního svalu

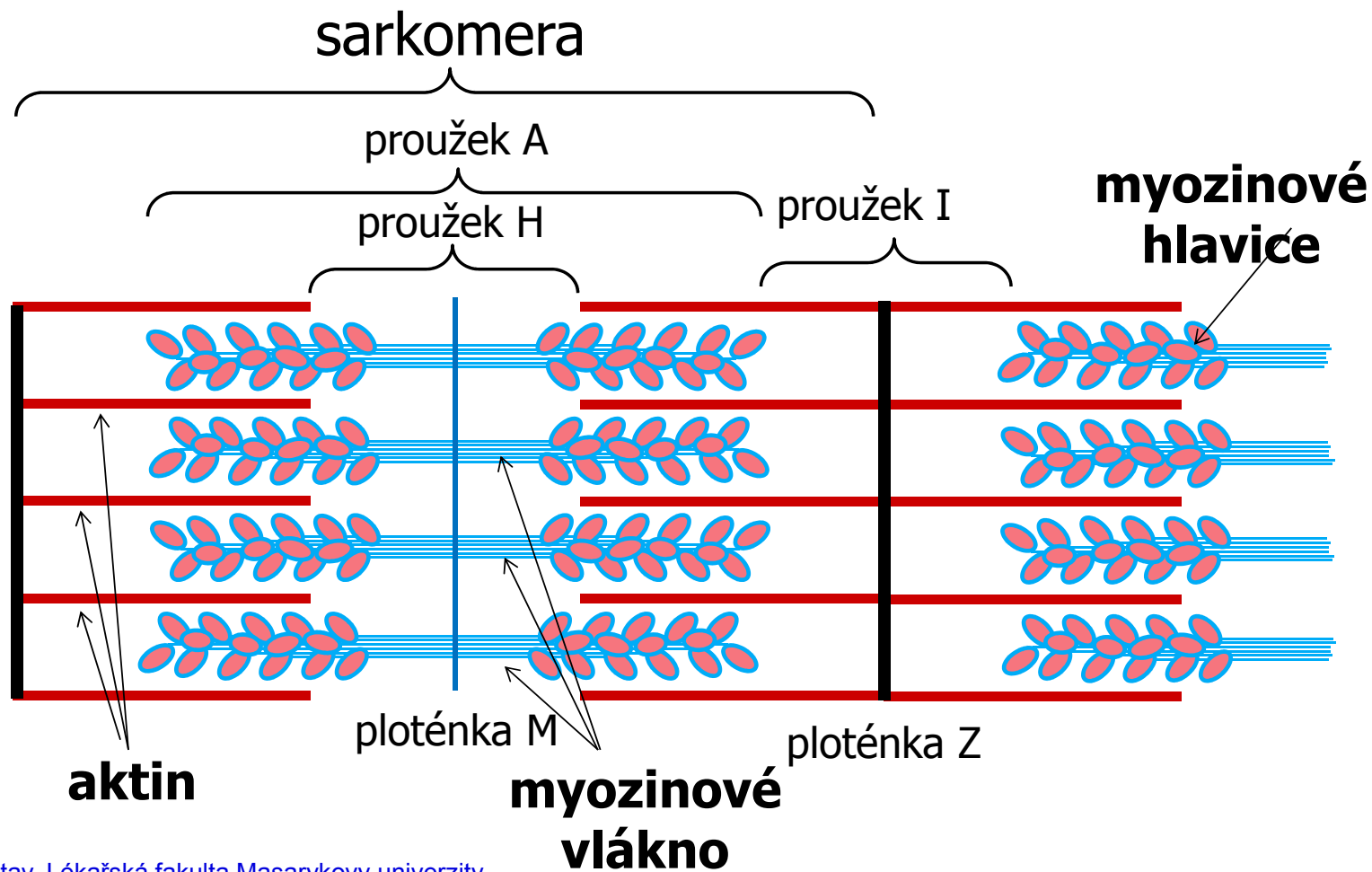
Praktické cvičení z fyziologie (jarní semestr)

Kontrakce příčně pruhovaného kosterního svalu

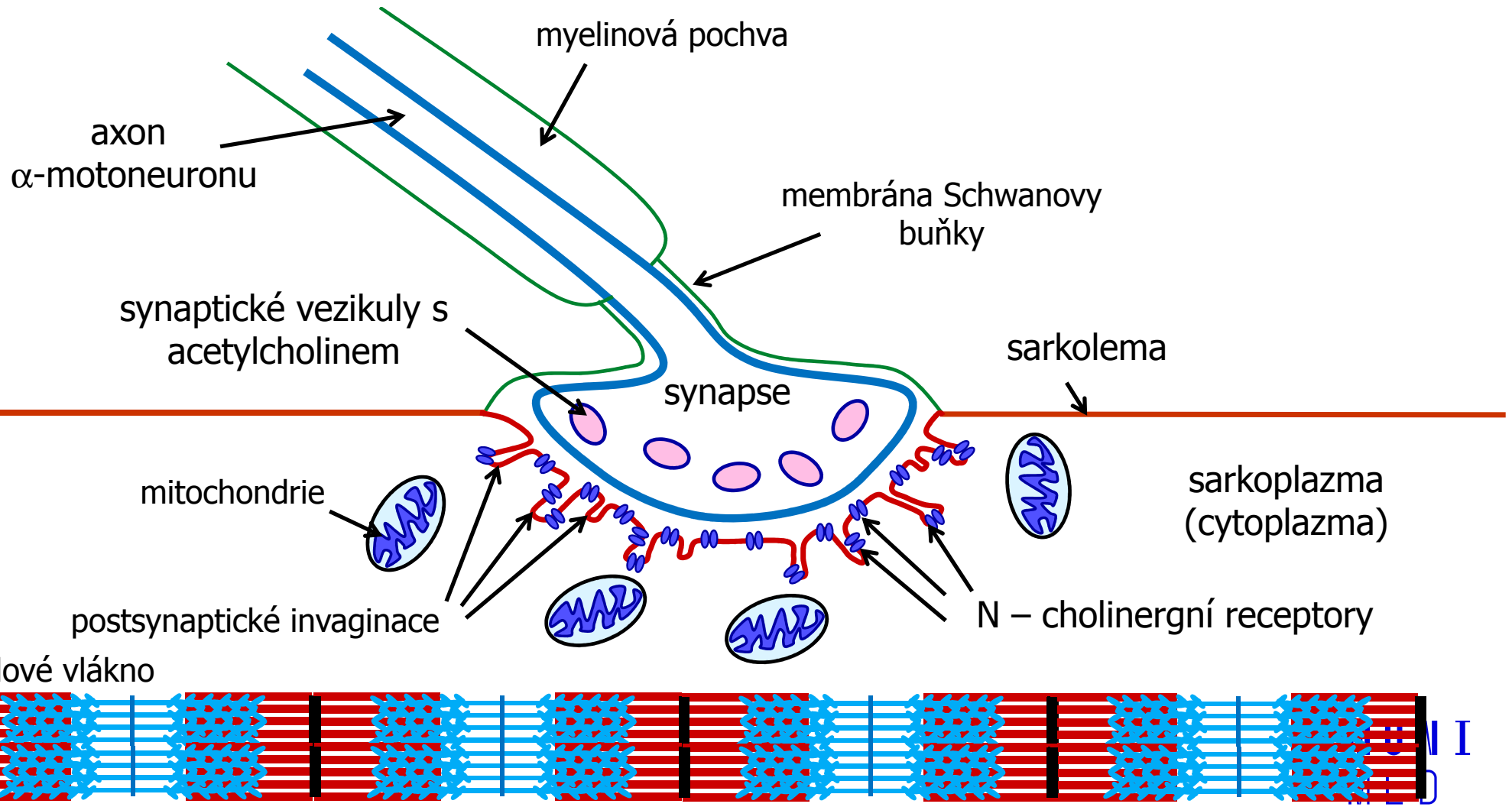
- **Myografie** – metoda umožňující registraci kontrakce svalů
- **Motorická jednotka:** α - motoneuron a všechna svalová vlákna, která inervuje
Odpovědí na podráždění α - motoneuronu je stah svalových vláken inervovaných tímto motoneuronem
- **Svalové trhnutí** – jedna kontrakce svalu vyvolaná jedním podnětem
Jeden stimul – jedno svalové trhnutí
- **Typy svalových vláken:**
 - **S** (pomalé) – málo se unaví, při dlouhodobém výkonu, mnoho mitochondrií, dobře prokrvené, mnoho myoglobinu
 - **F** (rychlé) – rychlé kontrakce, rychle se unaví, hodně glykogenu, málo myoglobinu



Příčně pruhovaný kosterní sval – stavba



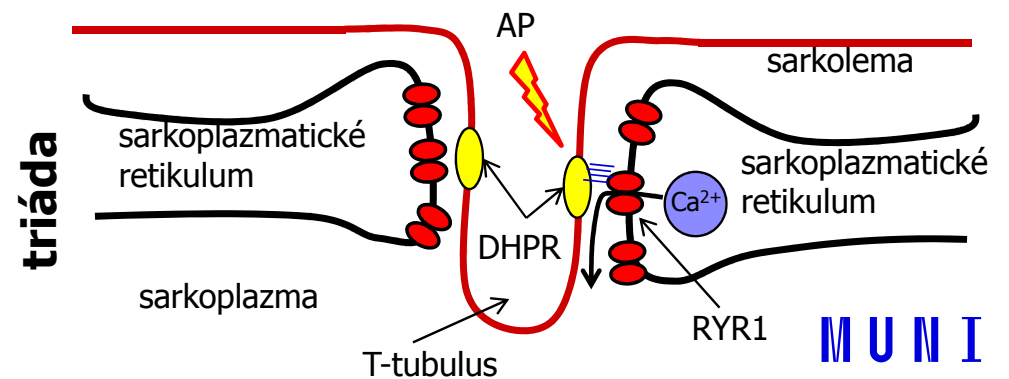
Nervo-svalová ploténka kosterního svalu



Vztah excitace – kontrakce u kosterního svalu

Excitace

- Akční potenciál (AP) se šíří axonem z alfa-motoneuronu k nervo-svalové ploténce.
- Na membráně axonálního zakončení se z vezikul exocytózou uvolní acetylcholin do synaptické štěrbině.
- Acetylcholin se naváže na N-cholinergní receptory v postsynaptické (sarkoplazmatické) membráně.
- Cholinergní receptory jsou spojené s Na^+ kanálem, který se při navázání acetylcholinu otevírá.
- Dochází ke vtoku Na^+ do sarkoplazmy a k lokální depolarizaci sarkoplazmatické membrány → vzniká ploténkový potenciál.
- Pokud nedojde k překročení prahové hodnoty depolarizace pro vznik AP na membráně svalového vlákna, ploténkový potenciál zanikne.
- Sumací více příchozích AP z motoneuronu dojde k sumaci dílčích ploténkových potenciálů, je překročen práh pro AP a otevírají se napěťově vrátkované kanály pro Na^+ .
- Vzniká AP, který se šíří po svalovém vláknu.

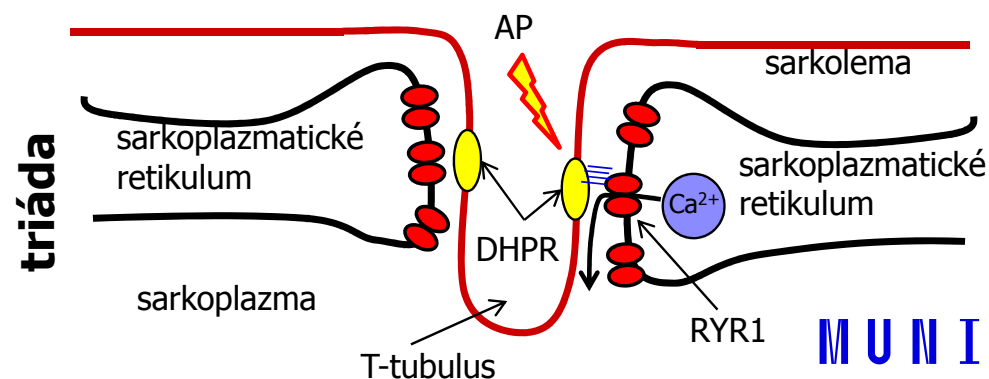


Vztah excitace – kontrakce u kosterního svalu

Kontrakce

- Akční potenciál (AP) se šíří po svalovém vláknu a dostává se do transverzálního tubulu (T-tubulus)
- V sarkolemě v T-tubulu jsou dihydropyridinové receptory (DHPR), které změni svou konformaci
- Interakcí DHPR s ryanodinovými receptory (RYR1) na membráně sarkoplazmatického retikula dochází k otevření vápníkových kanálů
- Vstup Ca^{2+} do sarkoplazmy
- Navázání Ca^{2+} na troponin C - na aktinu se odkryjí vazebná místa pro hlavice myozinu
- Navázání myozinových hlavic na vazebná místa na aktinu (aktin má k myozinu velkou afinitu), ohyb myozinového krčku za spotřeby ATP a posun myozinového vlákna po aktinu
- Pro uvolnění myozinové hlavice od aktinu je třeba ATP
- Dokud je přítomen Ca^{2+} a ATP v cytoplazmě, cyklus posunu myozinových vláken po aktinových pokračuje
- Kontrakce je ukončena, pokud klesne koncentrace Ca^{2+} v cytoplazmě (Ca^{2+} je přečerpán z cytoplazmy Ca-ATPázou do sarkoplazmatického retikula)

Rigor mortis (posmrtná ztuhlost) – kvůli nedostatku ATP nedochází k odčerpání vápníku z cytoplazmy pomocí Ca-ATPázy
→ vznik pevné vazby aktinu a myozinu (ATP je potřeba také pro vyvázání hlavic myozinu z aktinu)



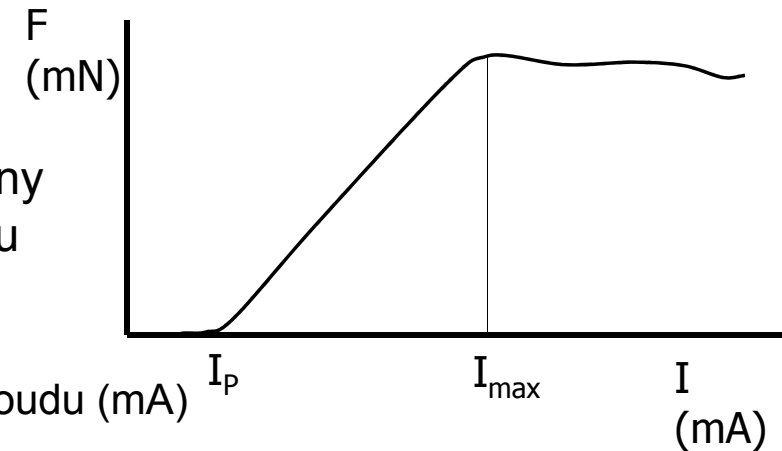
Prostorová sumace u kosterního svalu

- Současná aktivace (nábor) většího počtu motorických jednotek
- Princip: Čím větší podnět, tím větší počet motorických jednotek je nabrán.

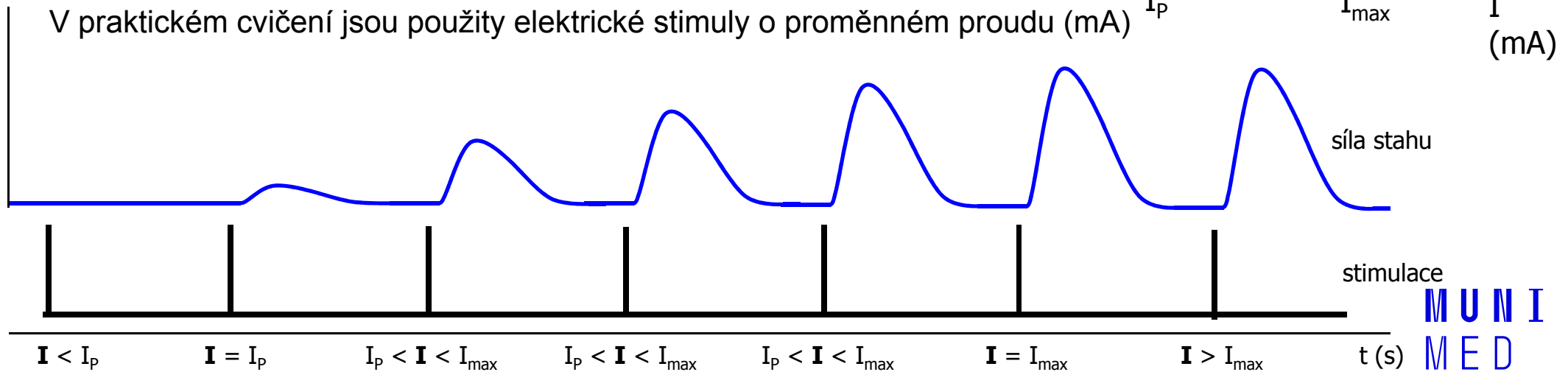
I – intenzita podnětu

I_p – prahová intenzita podnětu – první svalová vlákna se začínají stahovat

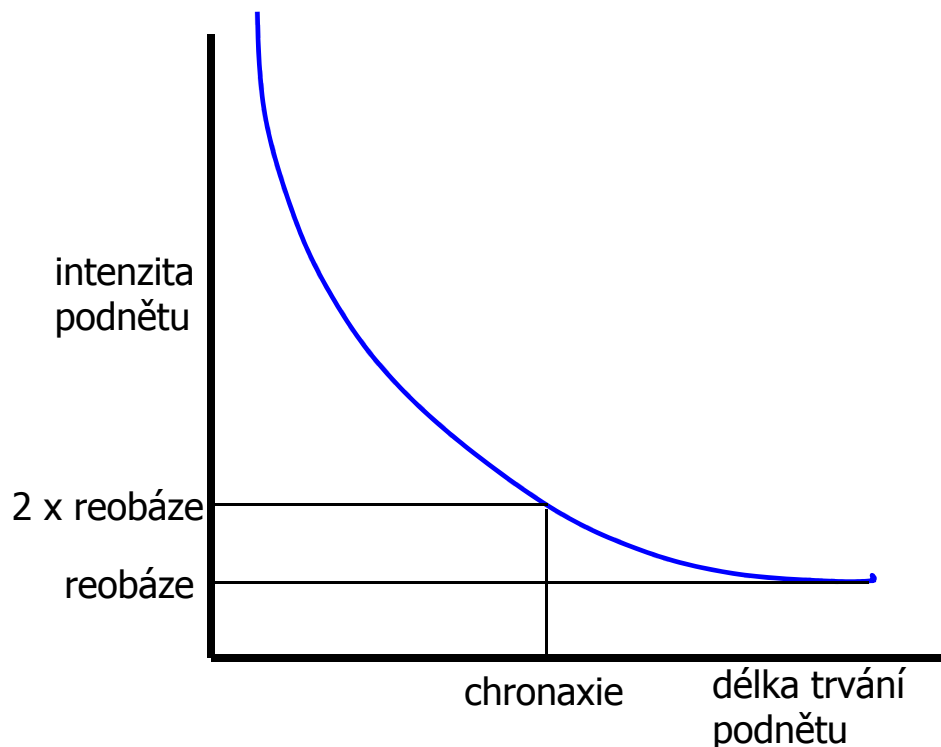
I_{max} – maximální intenzita podnětu – již jsou aktivované všechny motorické jednotky → zvyšování intenzity už nezvýší sílu stahu



V praktickém cvičení jsou použity elektrické stimuly o proměnném proudu (mA)



Závislost vzniku kontrakce svalového vlákna na délce podnětu a jeho intenzitě

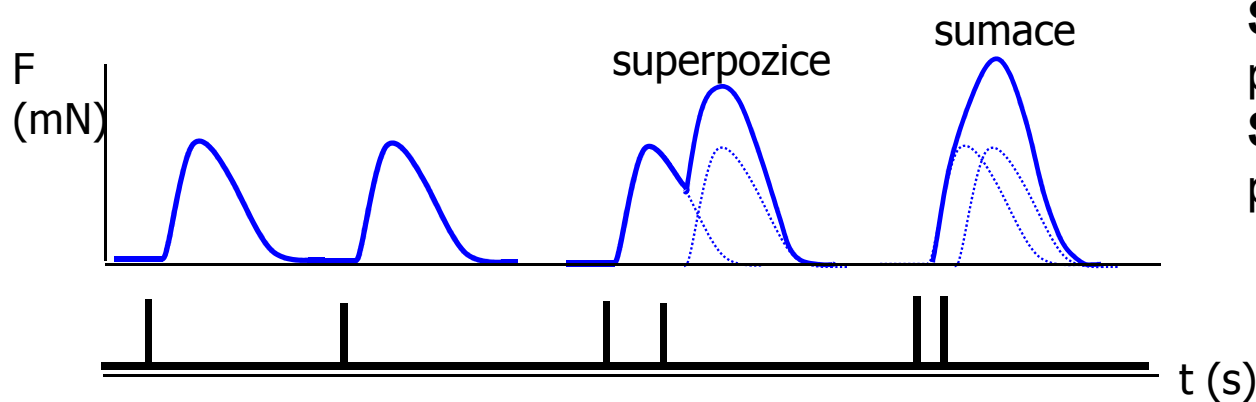


- Čím déle trvá podnět, tím menší intenzita podnětu stačí pro vznik kontrakce
- Čím větší je intenzita podnětu, tím kratší podnět stačí pro vznik kontrakce
- **Reobáze**: nejmenší podnět, při kterém ještě dojde ke kontrakci, tento podnět však musí trvat nekonečně dlouho
- **Chronaxie**: délka podnětu, která je nezbytná pro kontrakci, je-li intenzita podnětu o velikosti dvou reobází

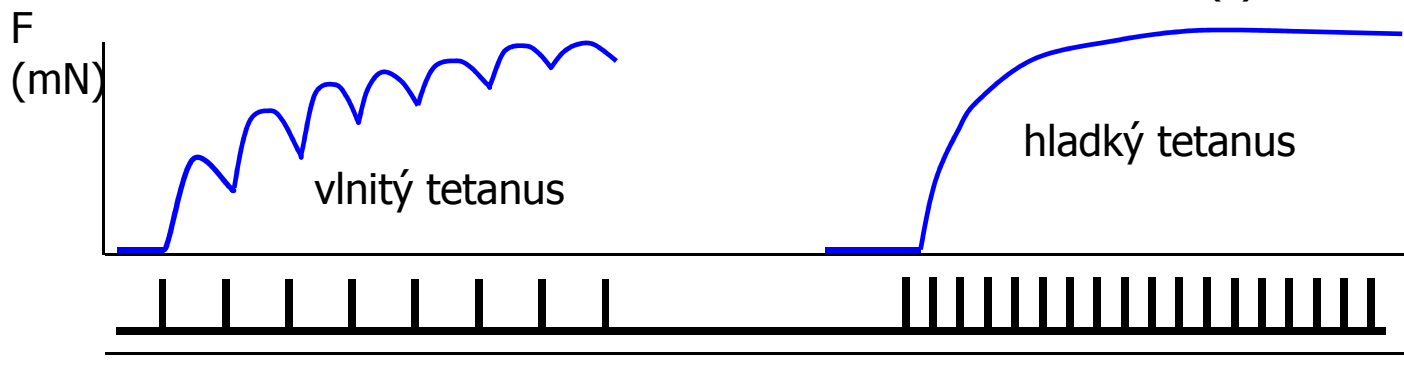
Časová sumace u kosterního svalu

Síla stahu závisí na frekvenci podráždění svalového vlákna (čím vyšší frekvence podráždění, tím větší kontrakce)

Princip: Čím vyšší je frekvence podnětů, tím častěji dochází k vylití vápníku do cytoplazmy a tím méně je času na odčerpávání vápníku z cytoplazmy → vyšší koncentrace vápníku v cytoplazmě → větší síla stahu svalového vlákna



Superpozice – nastává, pokud druhý podnět přichází v čase relaxace vlákna
Sumace – nastává, pokud druhý podnět přichází ještě v čase kontrakce vlákna



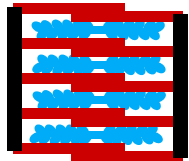
Vlnitý (neúplný) tetanus – vzniká při sérii podnětů o frekvenci vedoucí k superpozici

Hladký (úplný) tetanus – vzniká při sérii podnětů o frekvenci vedoucí k sumaci

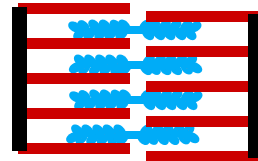
Autoregulace stahu srdečního svalu

Heterometrická autoregulace (Frank-Starlingův princip):

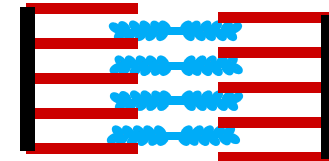
- Se zvyšující se náplní srdce (protažení srdečního svalu) roste síla stahu
- Principy: 1) vzájemný vztah aktinu a myozinu při různém protažení vláken, 2) protažení vlákna zvyšuje citlivost troponinu na vápník



malá náplň srdce



zvýšená náplň srdce



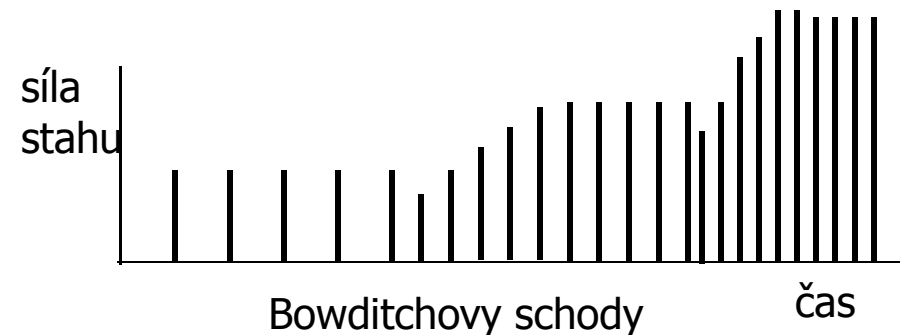
extrémní protažení srdečního svalu

Homeometrická autoregulace (frekvenční jev):

Se zvyšující se srdeční frekvencí dochází ke zvyšování síly stahu.

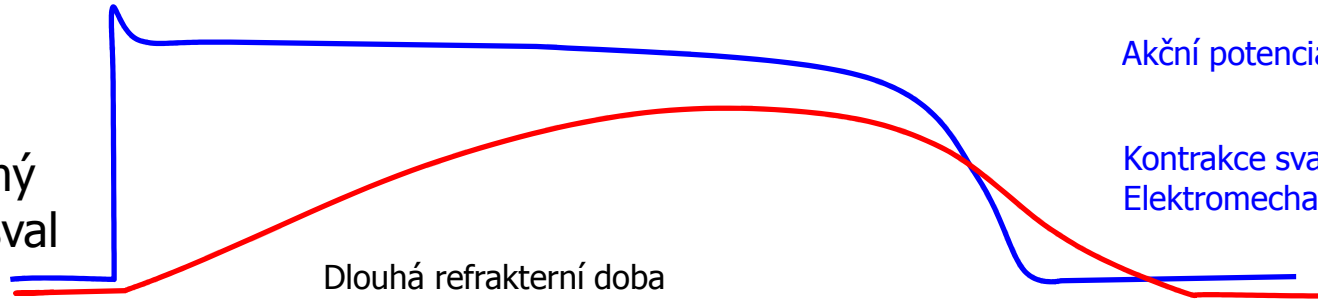
Příčina: Zvyšuje se poměr koncentrace intracelulárního ku extracelulárnímu vápníku

Frekvenční jev je jakousi analogií časové sumace u kosterního svalu, u srdečního svalu však díky dlouhé refrakterní fázi nemůže nastat tetanický stah.



Kosterní, srdeční a hladký sval – časové zarovnání AP a kontrakce

Příčně
pruhovaný
srdeční sval



Akční potenciál (AP): cca 250 ms

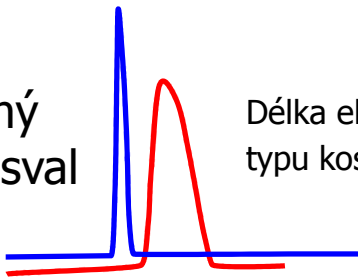
Kontrakce svalu: cca 250 ms

Elektromechanická latence (EML): do 10 ms

Dlouhá refrakterní doba

Délka AP a kontrakce závisí na srdeční frekvenci

Příčně
pruhovaný
kosterní sval



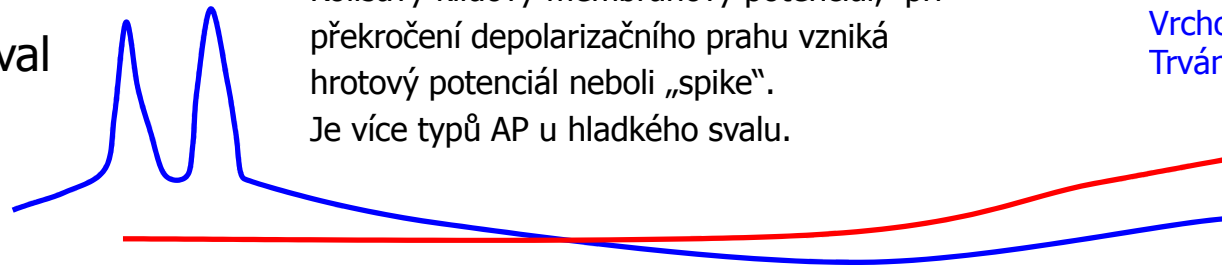
AP: 5 ms

EML: do 10 ms

Trvání kontrakce: průměrně cca 20 ms
(8 - 100 ms dle typu vláken)

Délka elektromechanické latence a délka kontrakce závisí na
typu kosterního svalu (typ S nebo F)

Hladký sval



AP (hrotový potenciál): cca 50 ms

EML: cca 200 ms

Vrchol kontrakce cca 500 ms od AP

Trvání kontrakce cca 1000 ms

Kolísavý klidový membránový potenciál, při
překročení depolarizačního prahu vzniká
hrotový potenciál neboli „spike“.
Je více typů AP u hladkého svalu.

Čas od počátku AP
(ms)

0

100

200

300

400

MUNI
MED