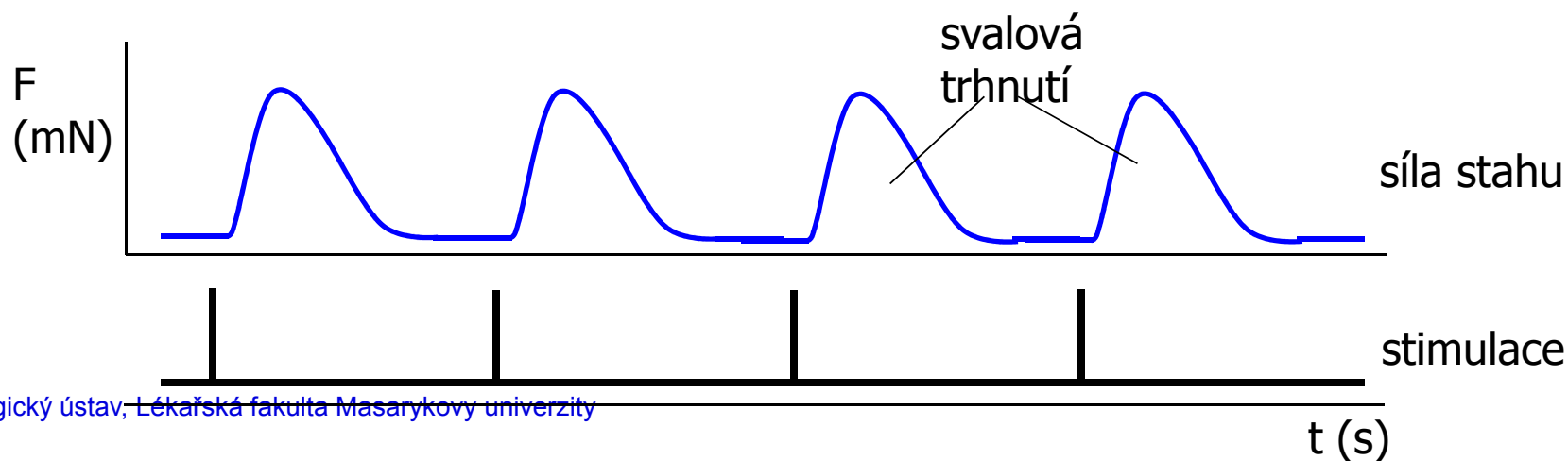


# Časová a prostorová sumace u kosterního svalu

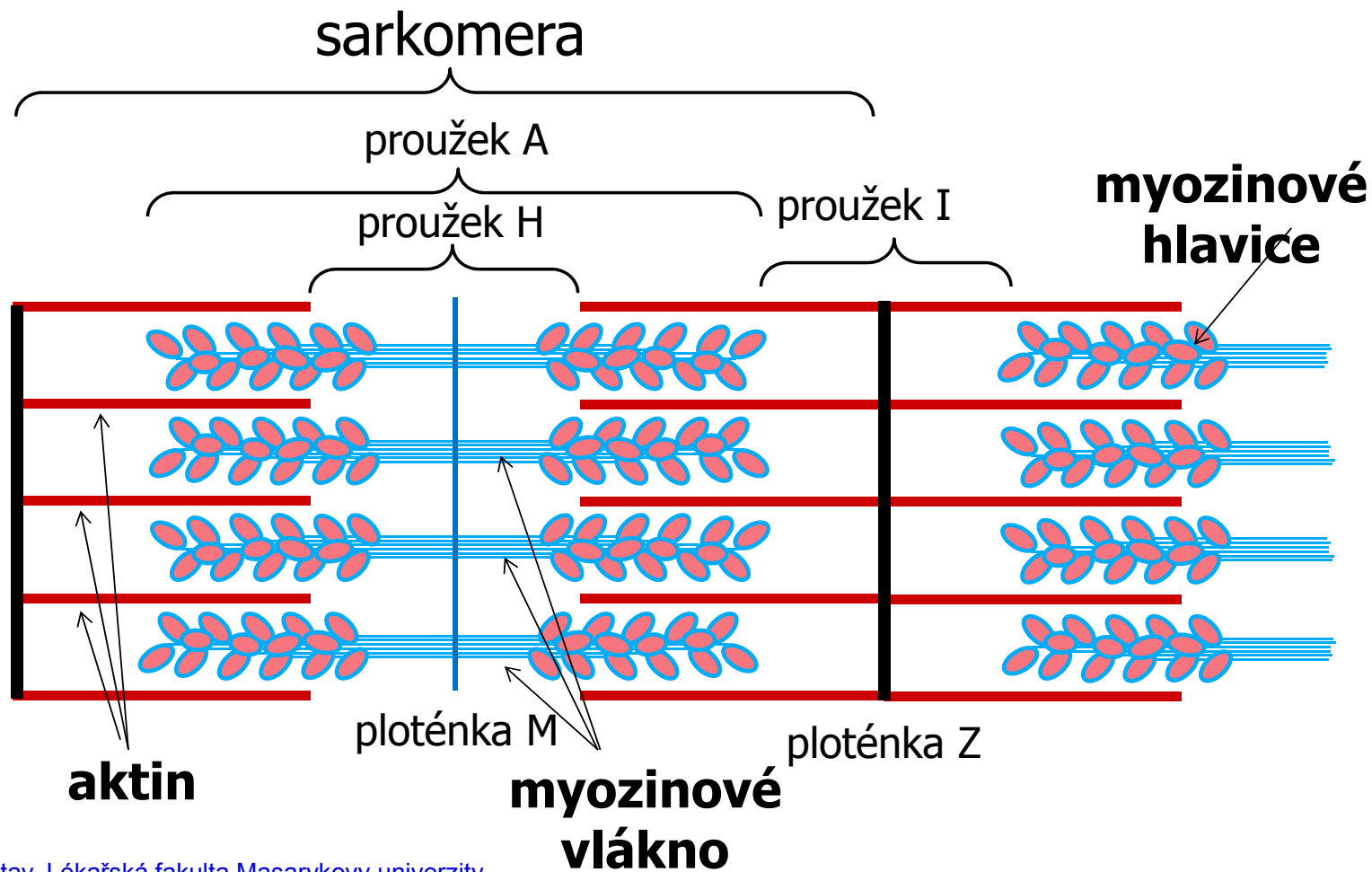
Praktické cvičení z fyziologie (jarní semestr)

# Kontrakce příčně pruhovaného kosterního svalu

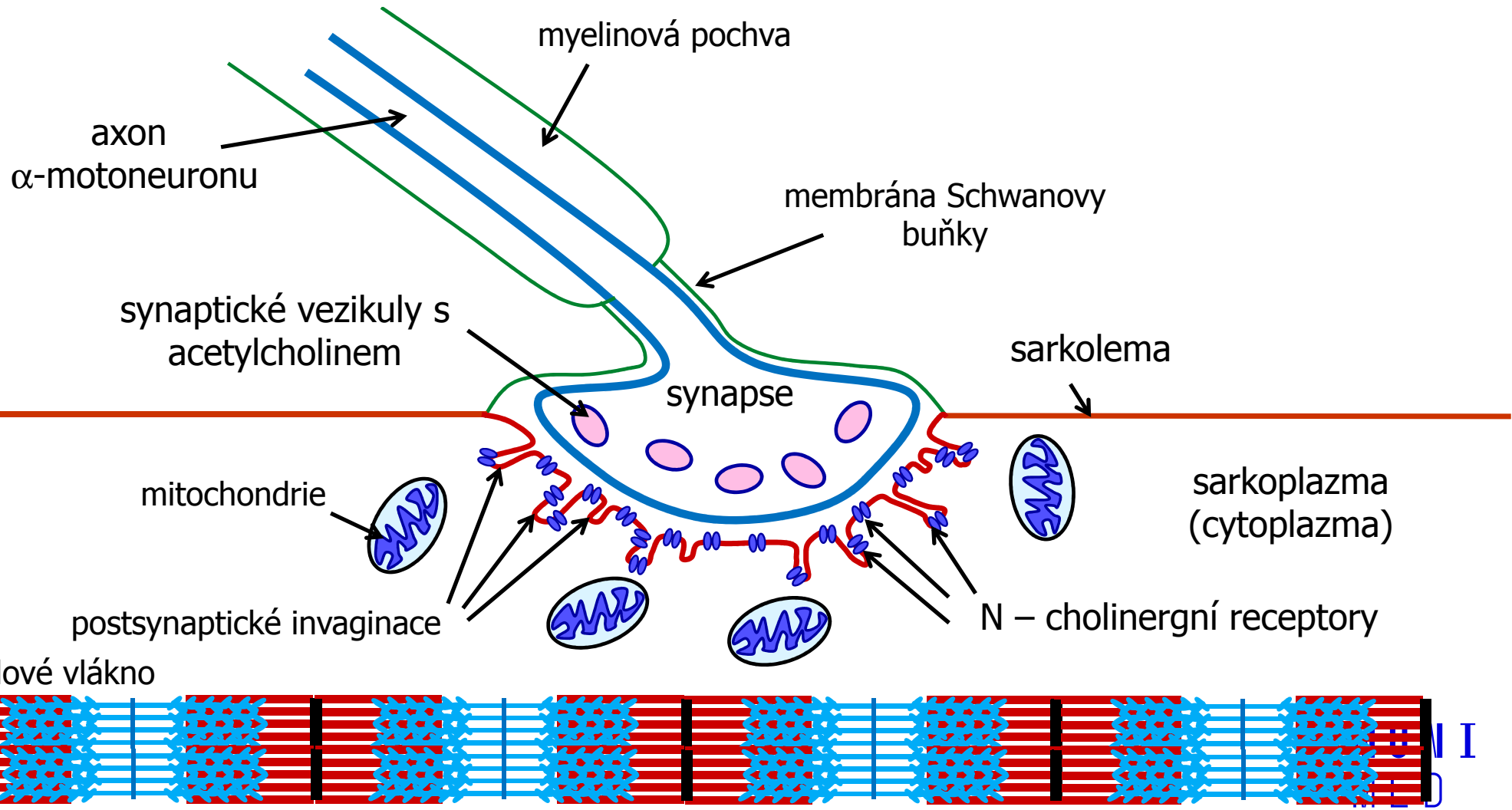
- **Myografie** – metoda umožňující registraci kontrakce svalů
- **Motorická jednotka:**  $\alpha$  - motoneuron a všechna svalová vlákna, která inervuje  
Odpovědí na podráždění  $\alpha$  - motoneuronu je stah svalových vláken inervovaných tímto motoneuronem
- **Svalové trhnutí** – jedna kontrakce 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



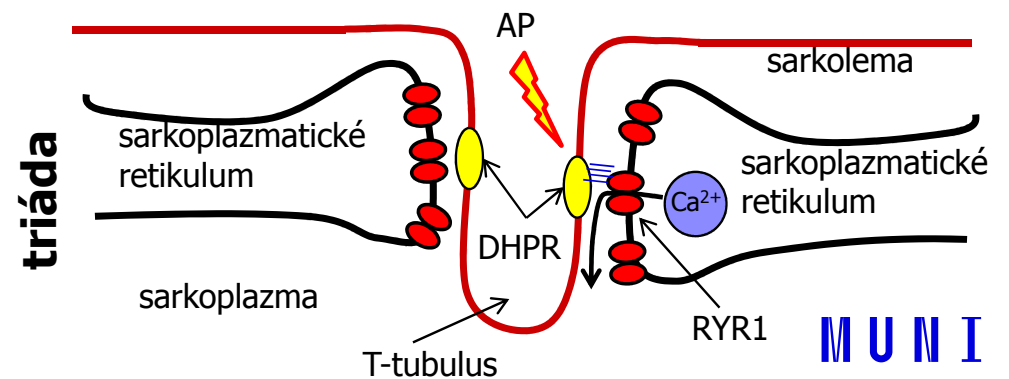
# Nervo-svalová ploténka kosterního svalu



# 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  $\text{Na}^+$  kanálem, který se při navázání acetylcholinu otevírá.
- Dochází ke vtoku  $\text{Na}^+$  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  $\text{Na}^+$ .
- Vzniká AP, který se šíří po svalovém vláknu.

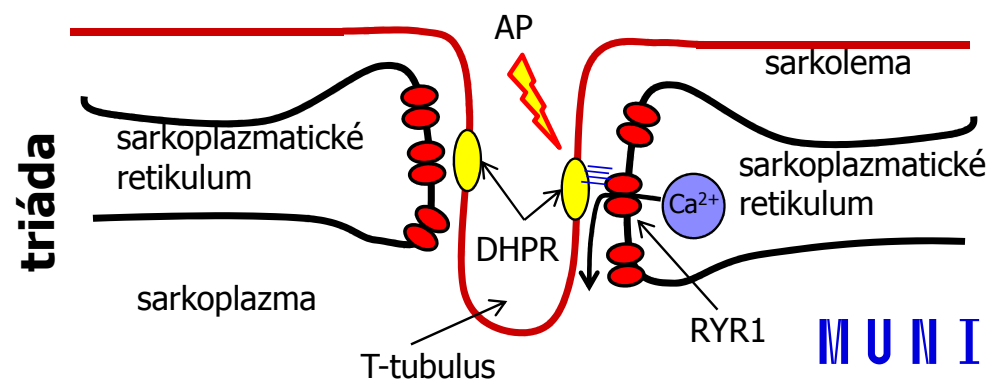


# Vztah excitace – kontrakce u kosterního svalu

## 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  $\text{Ca}^{2+}$  do sarkoplazmy
- Navázání  $\text{Ca}^{2+}$  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  $\text{Ca}^{2+}$  a ATP v cytoplazmě, cyklus posunu myozinových vláken po aktinových pokračuje
- Kontrakce je ukončena, pokud klesne koncentrace  $\text{Ca}^{2+}$  v cytoplazmě ( $\text{Ca}^{2+}$  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 hlavice myozinu z aktinu)



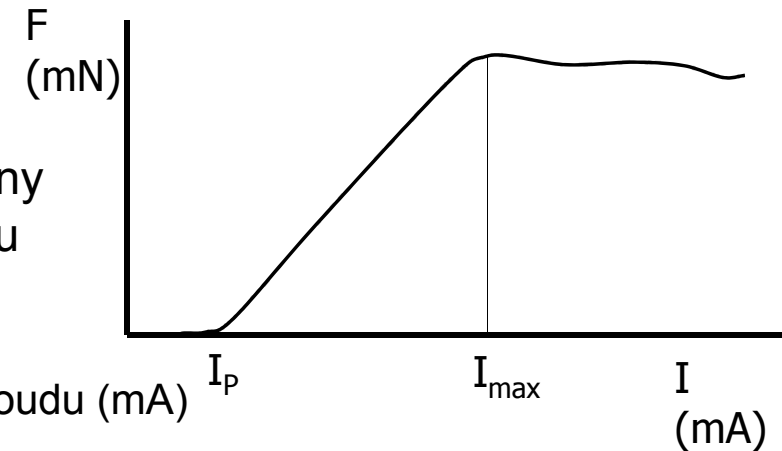
# Prostorová sumace u kosterního svalu

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

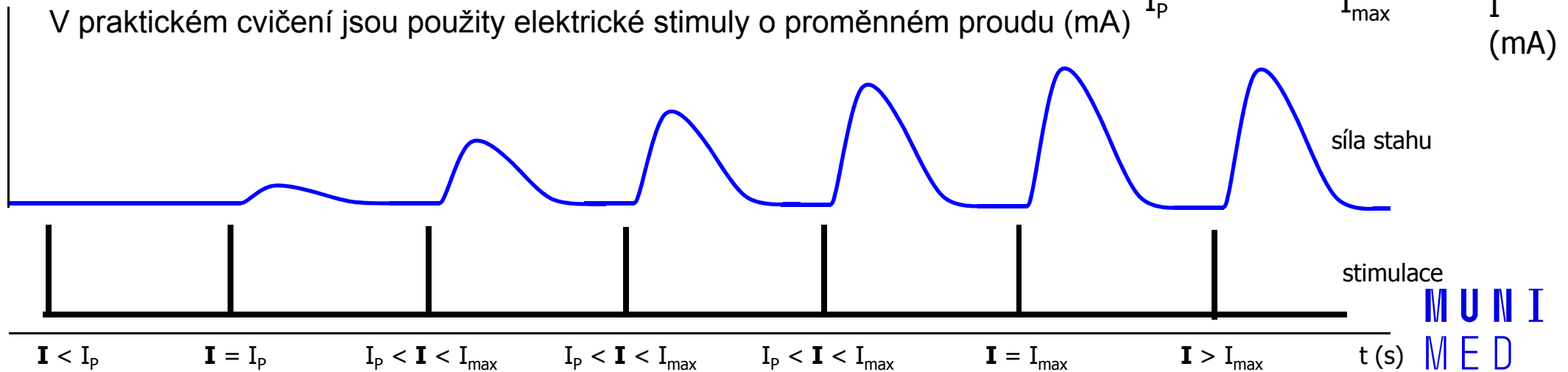
$I$  – intenzita podnětu

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

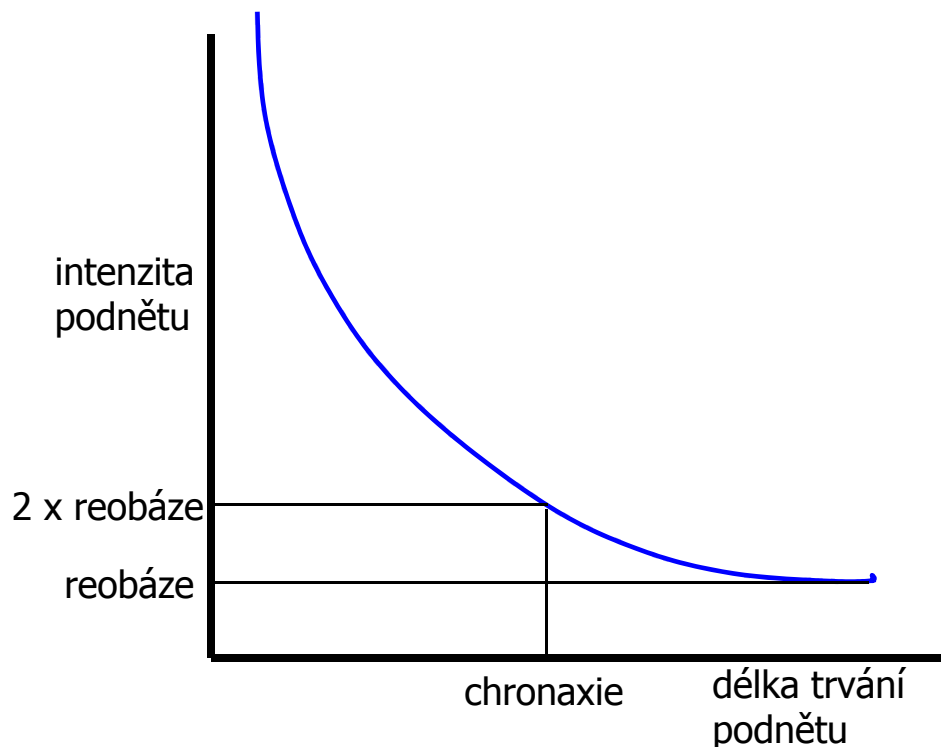
$I_{max}$  – maximální intenzita podnětu – již jsou aktivované všechny motorické jednotky → zvyšování intenzity už nezvýší sílu stahu



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



# Závislost vzniku kontrakce svalového vlákna na délce podnětu a jeho intenzitě



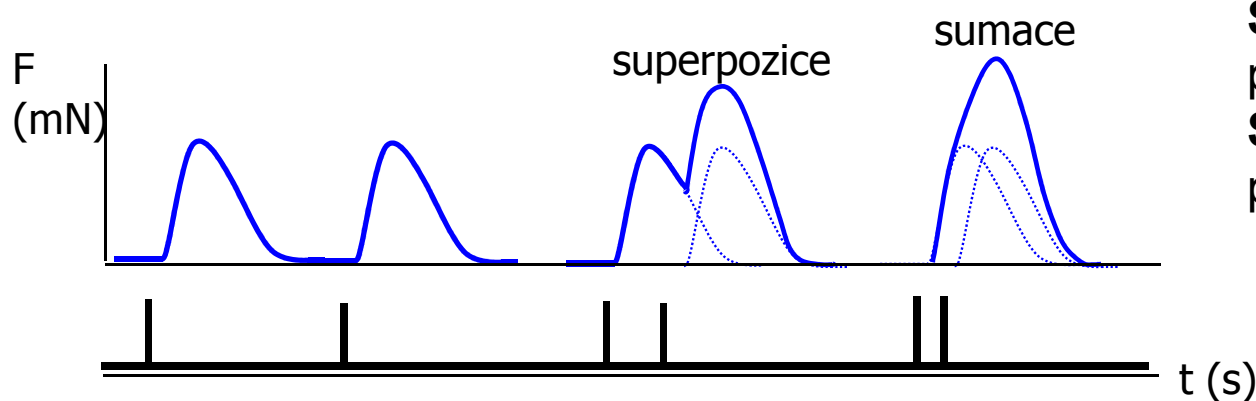
- Čím déle trvá podnět, tím menší intenzita podnětu stačí pro vznik kontrakce
- Čím větší je intenzita podnětu, tím kratší podnět stačí pro vznik kontrakce
- **Reobáze**: nejmenší podnět, při kterém ještě dojde ke kontrakci, tento podnět však musí trvat nekonečně dlouho
- **Chronaxie**: délka podnětu,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



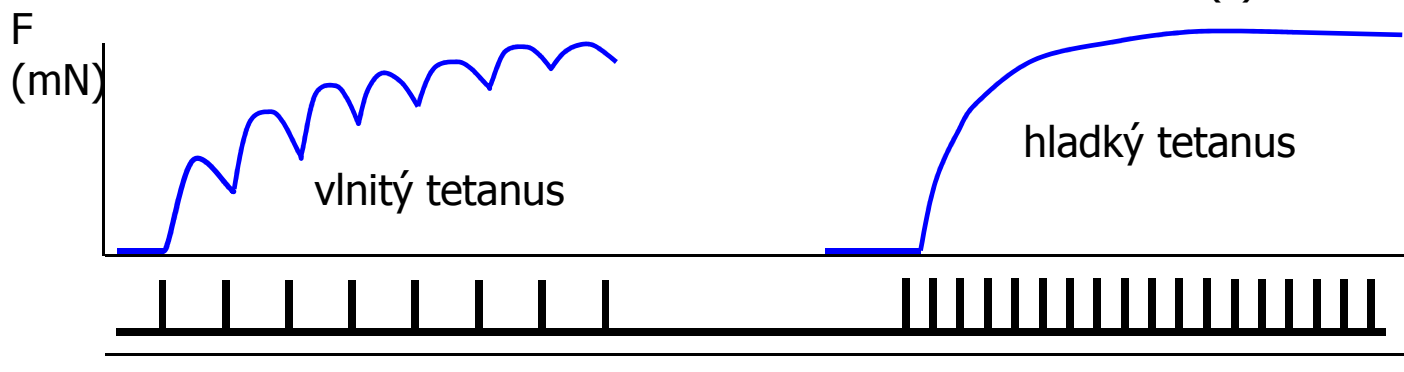
# Časová sumace u kosterního svalu

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

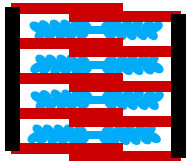


**Vlnitý (neúplný) tetanus** – vzniká při sérii podnětů o frekvenci vedoucí k superpozici  
**Hladký (úplný) tetanus** – vzniká při sérii podnětů o frekvenci vedoucí k sumaci

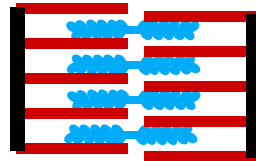
# Autoregulace stahu srdečního svalu

## Heterometrická autoregulace (Frank-Starlingův princip):

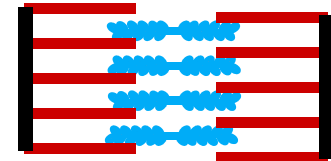
- Se zvyšující se náplní srdce (protažení srdečního svalu) roste síla stahu
- Principy: 1) vzájemný vztah aktinu a myozinu při různém protažení vláken, 2) protažení vlákna zvyšuje citlivost troponinu na vápník



malá náplň srdce



zvýšená náplň srdce



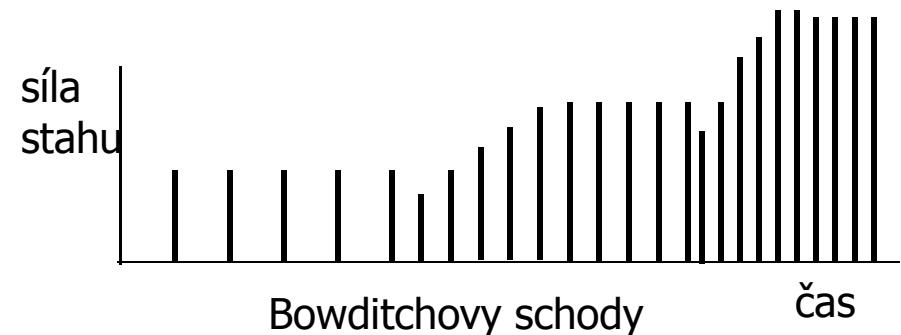
extrémní protažení srdečního svalu

## Homeometrická autoregulace (frekvenční jev):

Se zvyšující se srdeční frekvencí dochází ke zvyšování síly stahu.

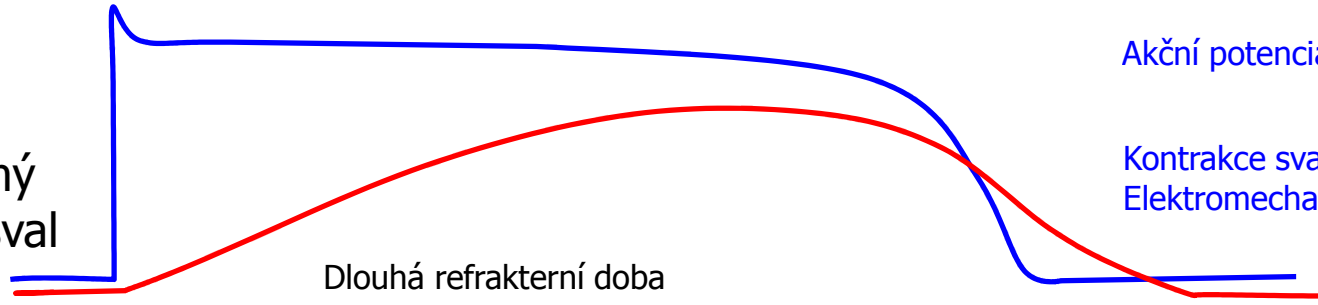
Příčina: Zvyšuje se poměr koncentrace intracelulárního ku extracelulárnímu vápníku

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

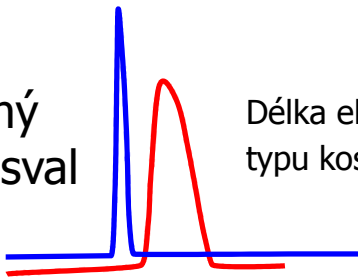
Kontrakce svalu: cca 250 ms

Elektromechanická latence (EML): do 10 ms

Dlouhá refrakterní doba

Délka AP a kontrakce závisí na srdeční frekvenci

Příčně  
pruhovaný  
kosterní sval



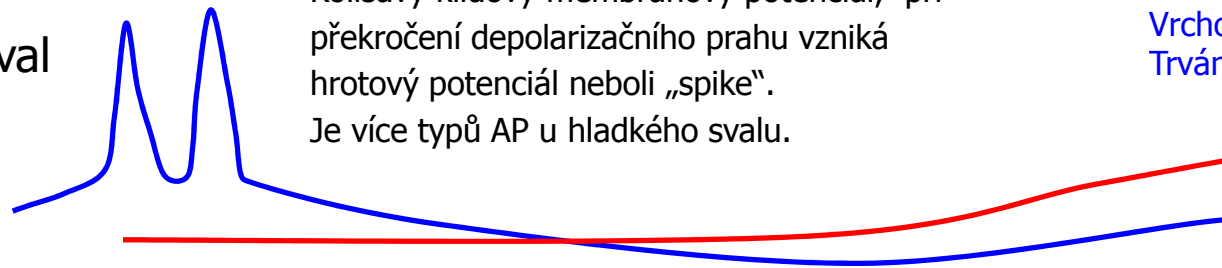
AP: 5 ms

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