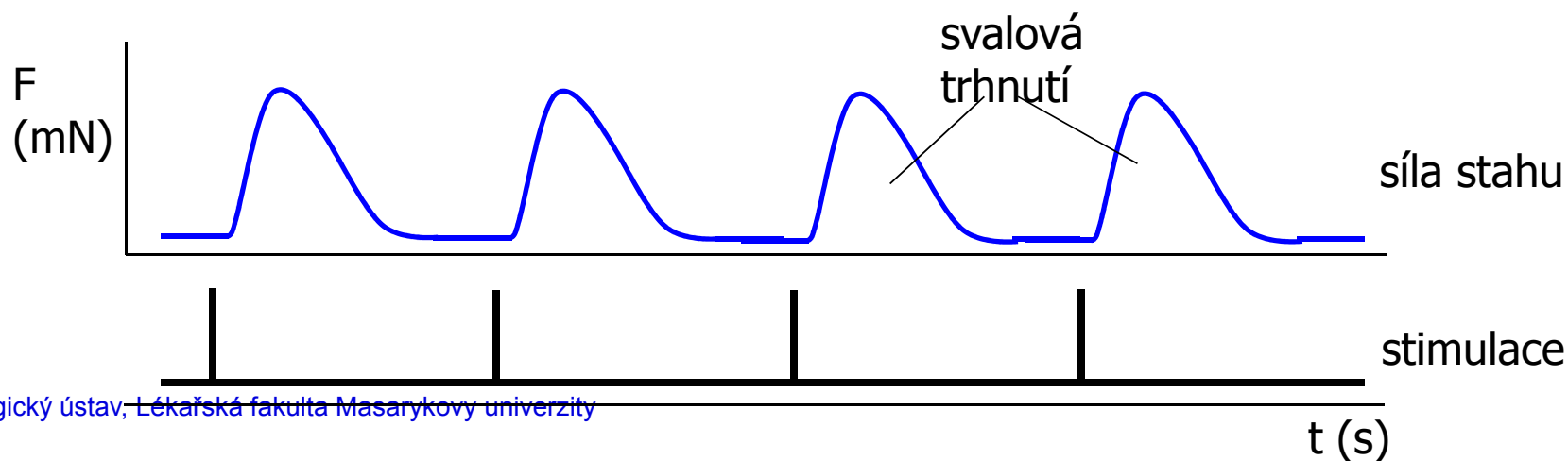


# **Časová a prostorová sumace u kosterního svalu**

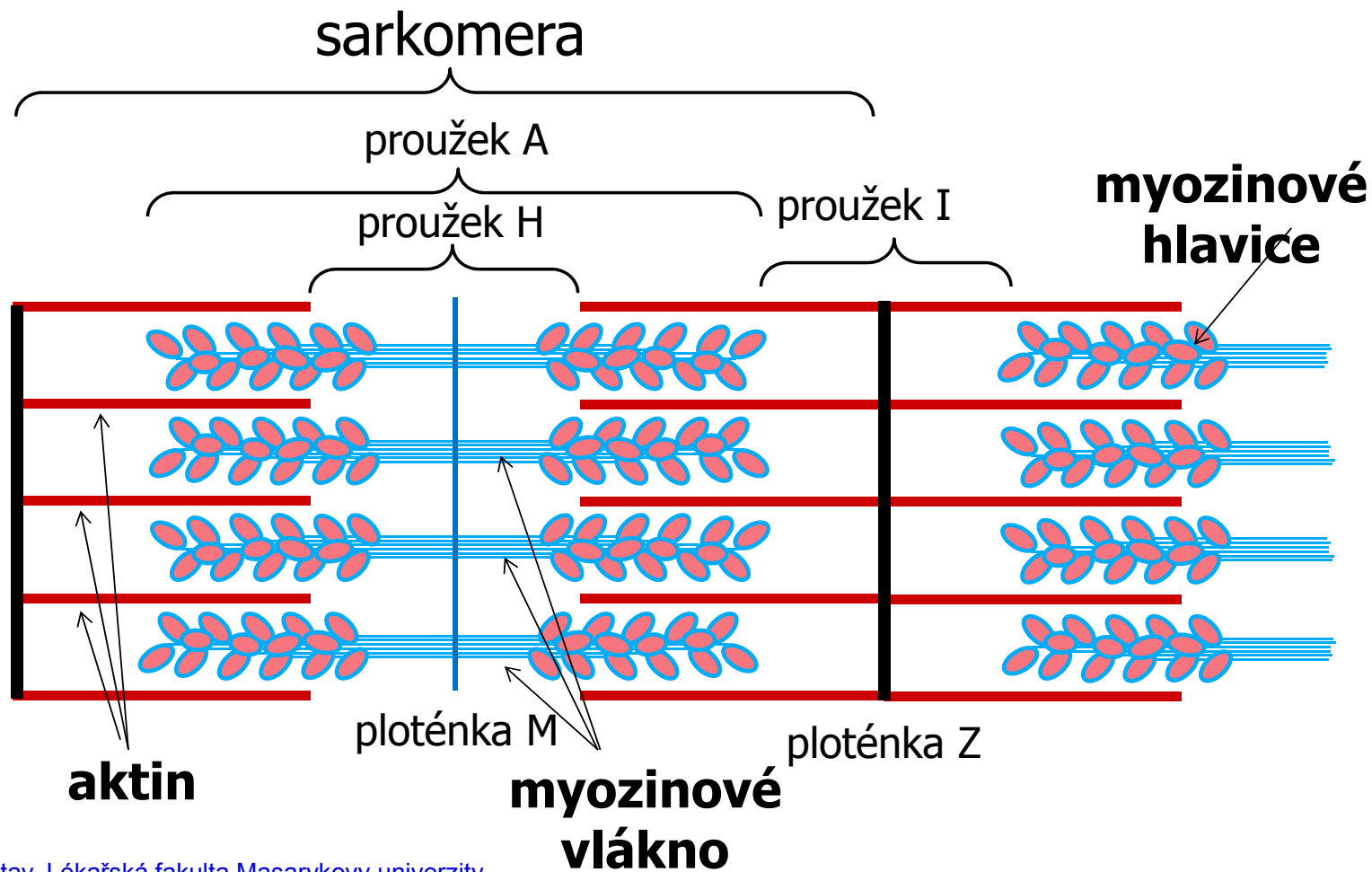
Praktické cvičení z fyziologie (jarní semestr)

# Kontrakce příčně pruhovaného kosterního svalu

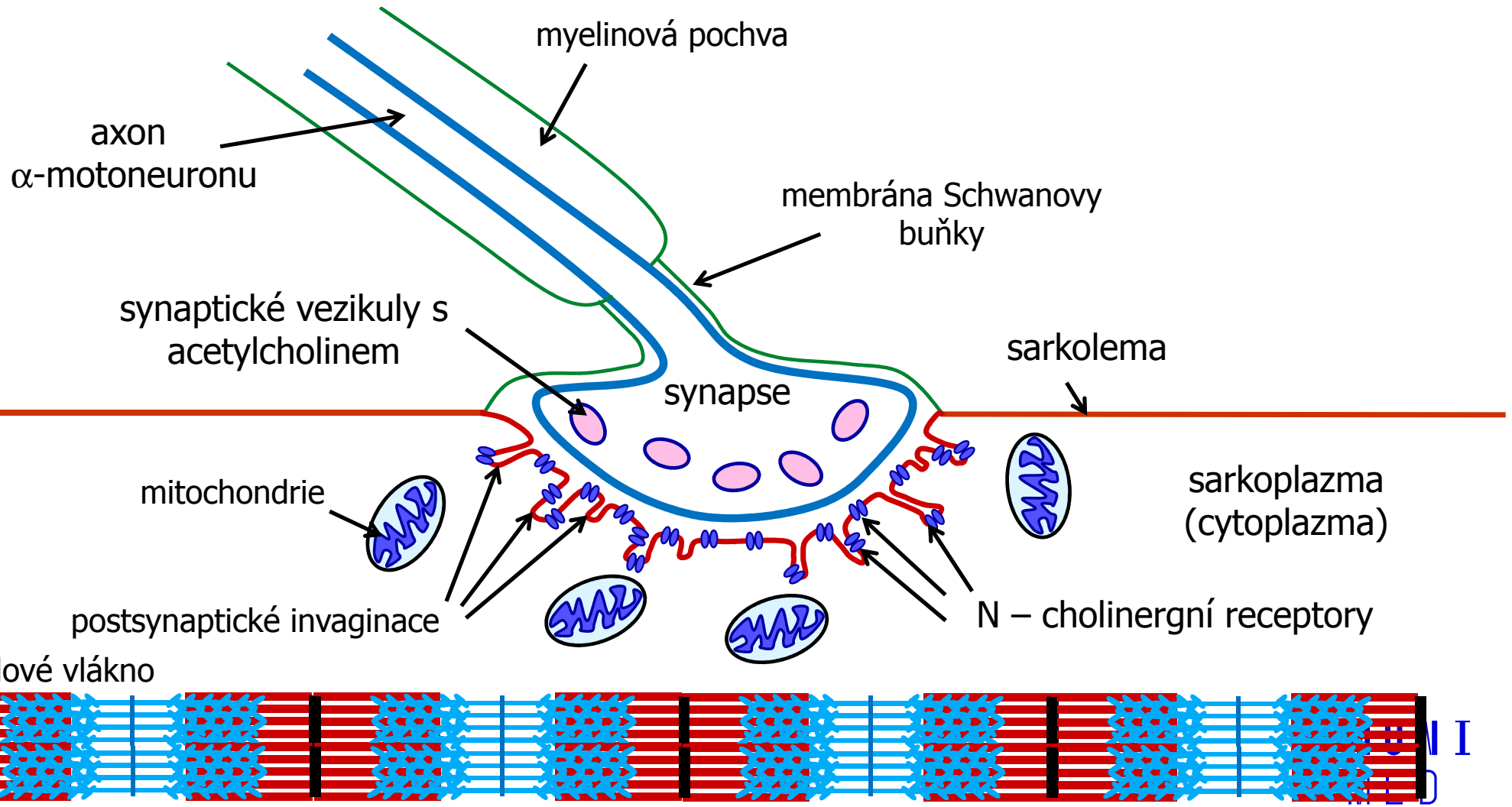
- **Myografie** – metoda umožňující registraci kontrakce svalů
- **Motorická jednotka:**  $\alpha$  - motoneuron a všechna svalová vlákna, která inervuje  
Odpovědí na podráždění  $\alpha$  - motoneuronu je stah svalových vláken inervovaných tímto motoneuronem
- **Svalové trhnutí** – jedna kontrakce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



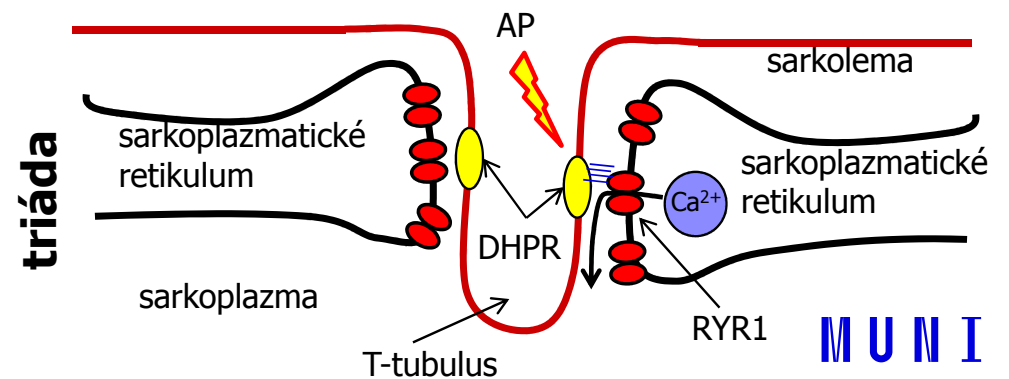
# Nervo-svalová ploténka kosterního svalu



# 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 štěrbiny.
- 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.

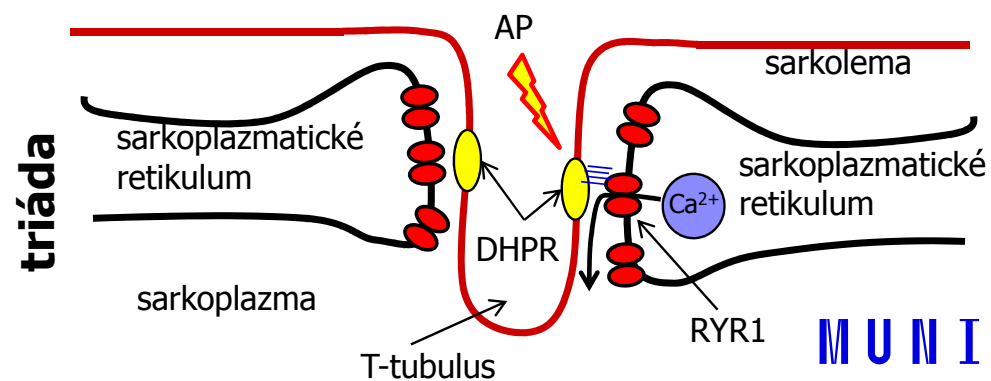


# Vztah excitace – kontrakce u kosterního svalu

## 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 změní 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 hlavic myozinu z aktinu)



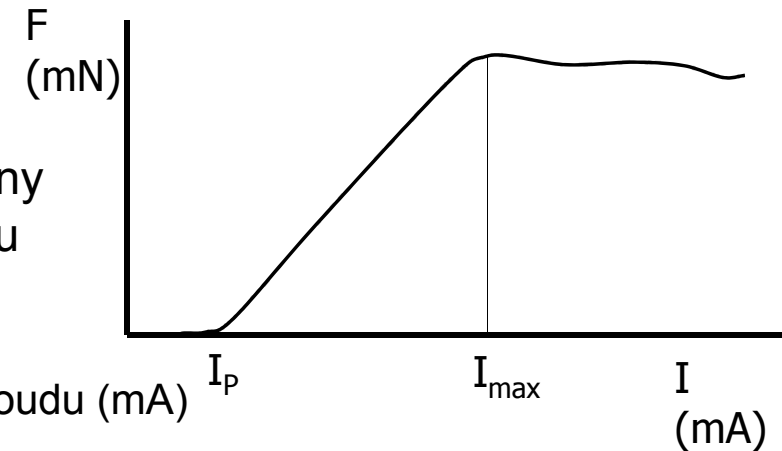
# Prostorová sumace u kosterního svalu

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

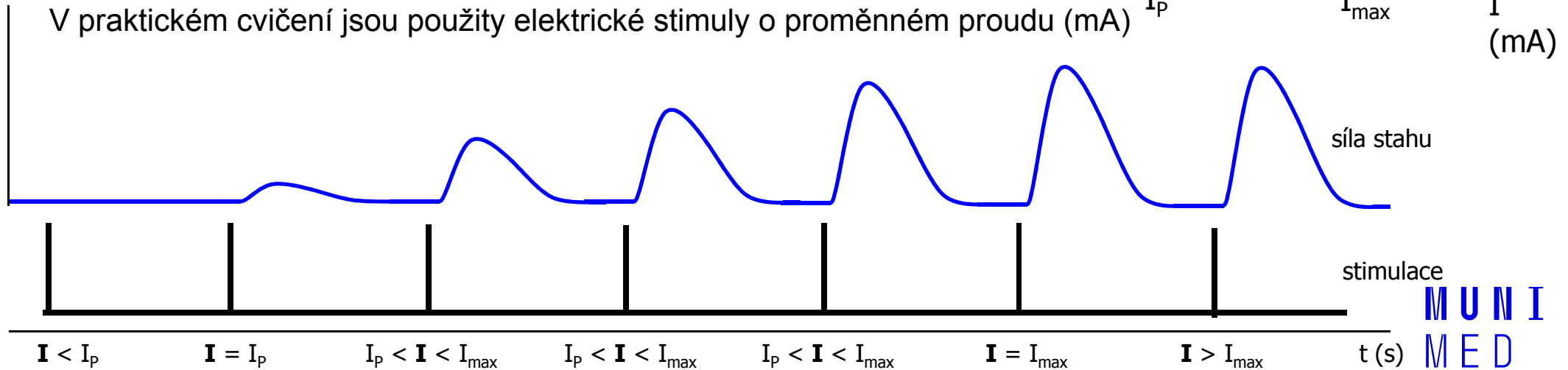
$I$  – intenzita podnětu

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

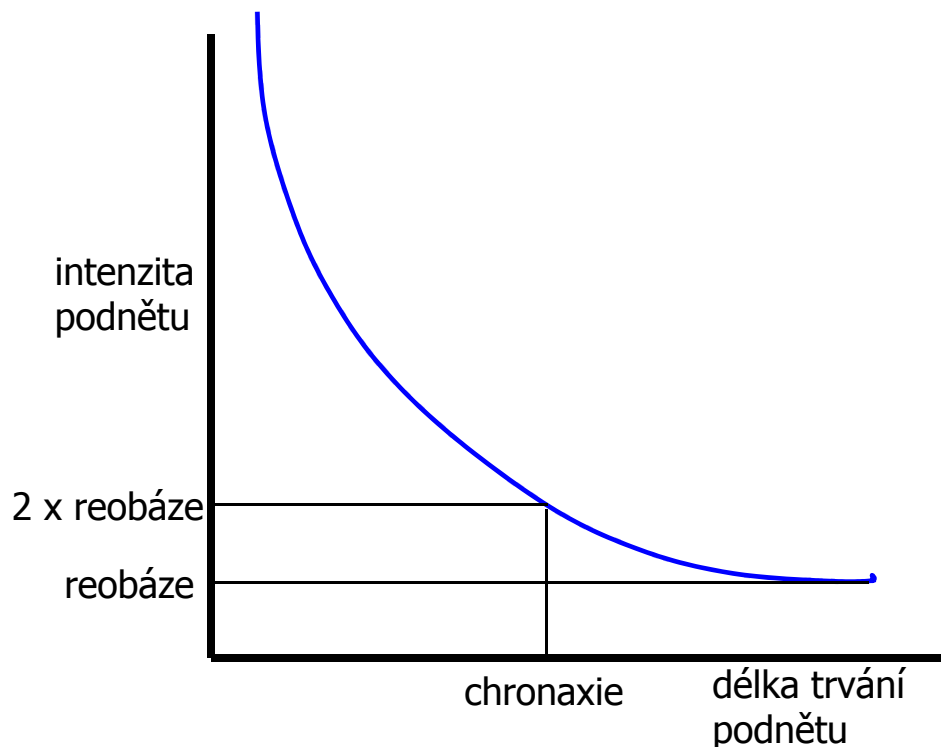
$I_{max}$  – maximální intenzita podnětu – již jsou aktivované všechny motorické jednotky → zvyšování intenzity už nezvýší sílu stahu



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



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



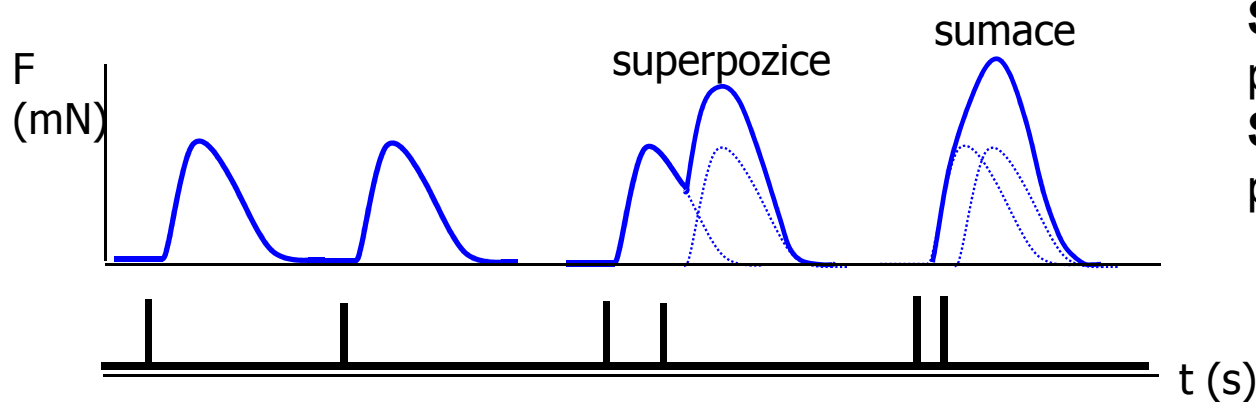
- Čím déle trvá podnět, tím menší intenzita podnětu stačí pro vznik kontrakce
- Čím větší je intenzita podnětu, tím kratší podnět stačí pro vznik kontrakce
- **Reobáze**: nejmenší podnět, při kterém ještě dojde ke kontrakci, tento podnět však musí trvat nekonečně dlouho
- **Chronaxie**: délka podnětu,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



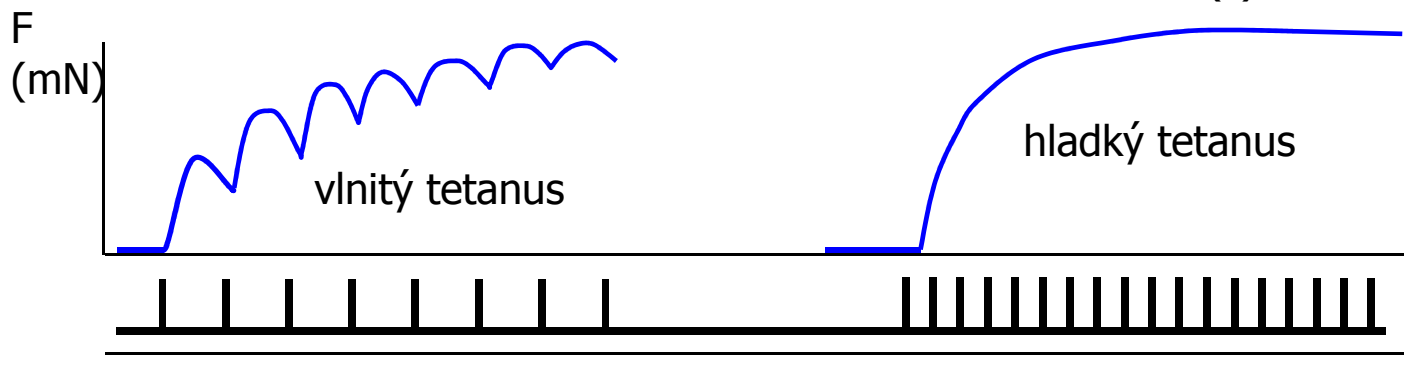
# Časová sumace u kosterního svalu

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

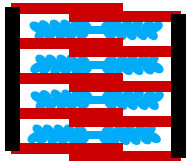


**Vlnitý (neúplný) tetanus** – vzniká při sérii podnětů o frekvenci vedoucí k superpozici  
**Hladký (úplný) tetanus** – vzniká při sérii podnětů o frekvenci vedoucí k sumaci

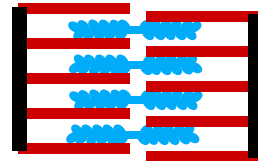
# Autoregulace stahu srdečního svalu

## Heterometrická autoregulace (Frank-Starlingův princip):

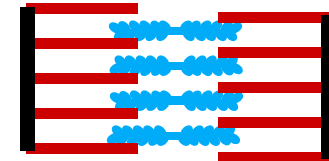
- Se zvyšující se náplní srdce (protažení srdečního svalu) roste síla stahu
- Principy: 1) vzájemný vztah aktinu a myozinu při různém protažení vláken, 2) protažení vlákna zvyšuje citlivost troponinu na vápník



malá náplň srdce



zvýšená náplň srdce



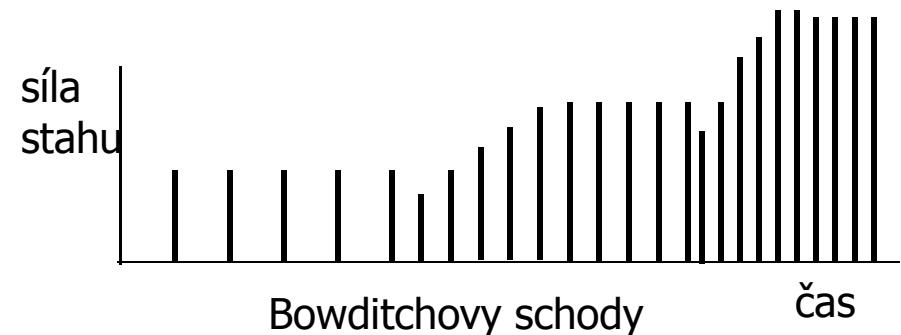
extrémní protažení srdečního svalu

## 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.

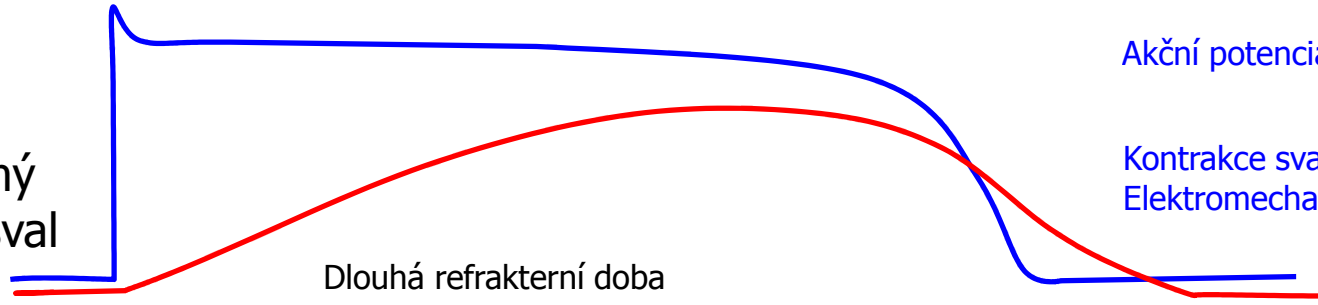


Bowditchovy schody

čas

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

Příčně  
pruhovaný  
srdeční sval



Akční potenciál (AP): cca 250 ms

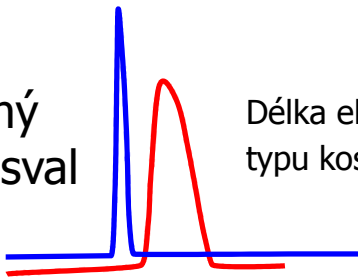
Kontrakce svalu: cca 250 ms

Elektromechanická latence (EML): do 10 ms

Dlouhá refrakterní doba

Délka AP a kontrakce závisí na srdeční frekvenci

Příčně  
pruhovaný  
kosterní sval



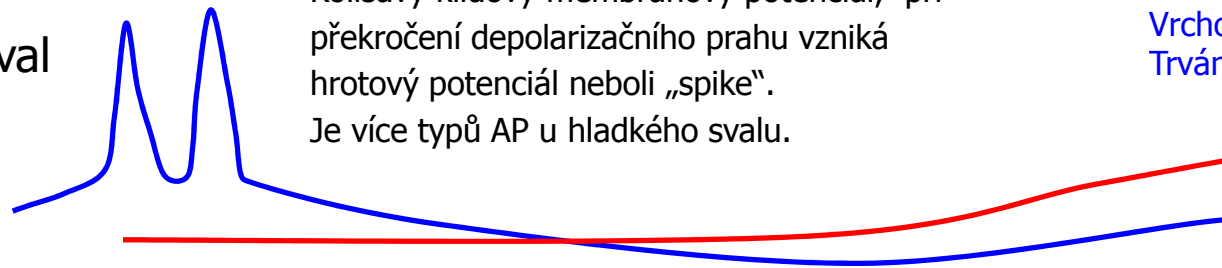
Délka elektromechanické latence a délka kontrakce závisí na  
typu kosterního svalu (typ S nebo F)

AP: 5 ms

EML: do 10 ms

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

Hladký sval



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

AP (hrotový potenciál): cca 50 ms

EML: cca 200 ms

Vrchol kontrakce cca 500 ms od AP

Trvání kontrakce cca 1000 ms

Čas od počátku AP  
(ms)

0

100

200

300

400

MUNI  
MED