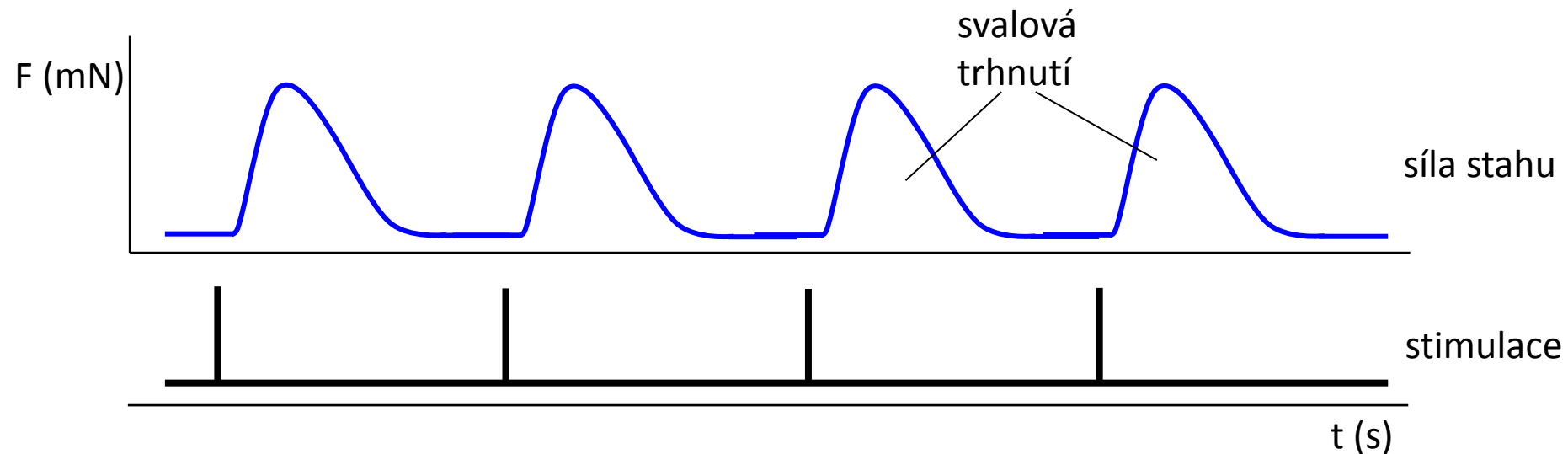


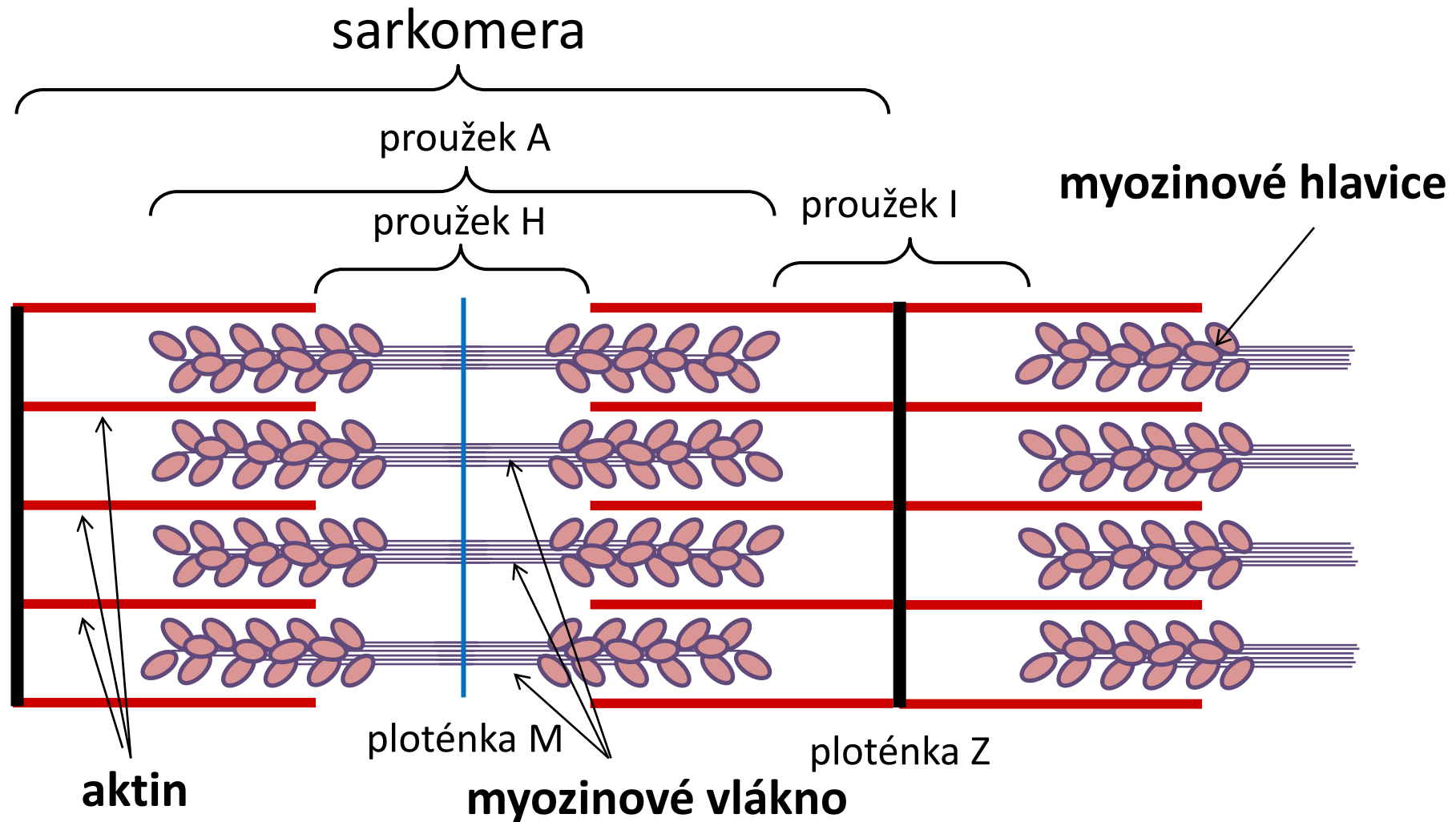
(VIII.) Časová a prostorová sumace
u kosterního svalu

Kontrakce příčně pruhovaného kosterního svalu

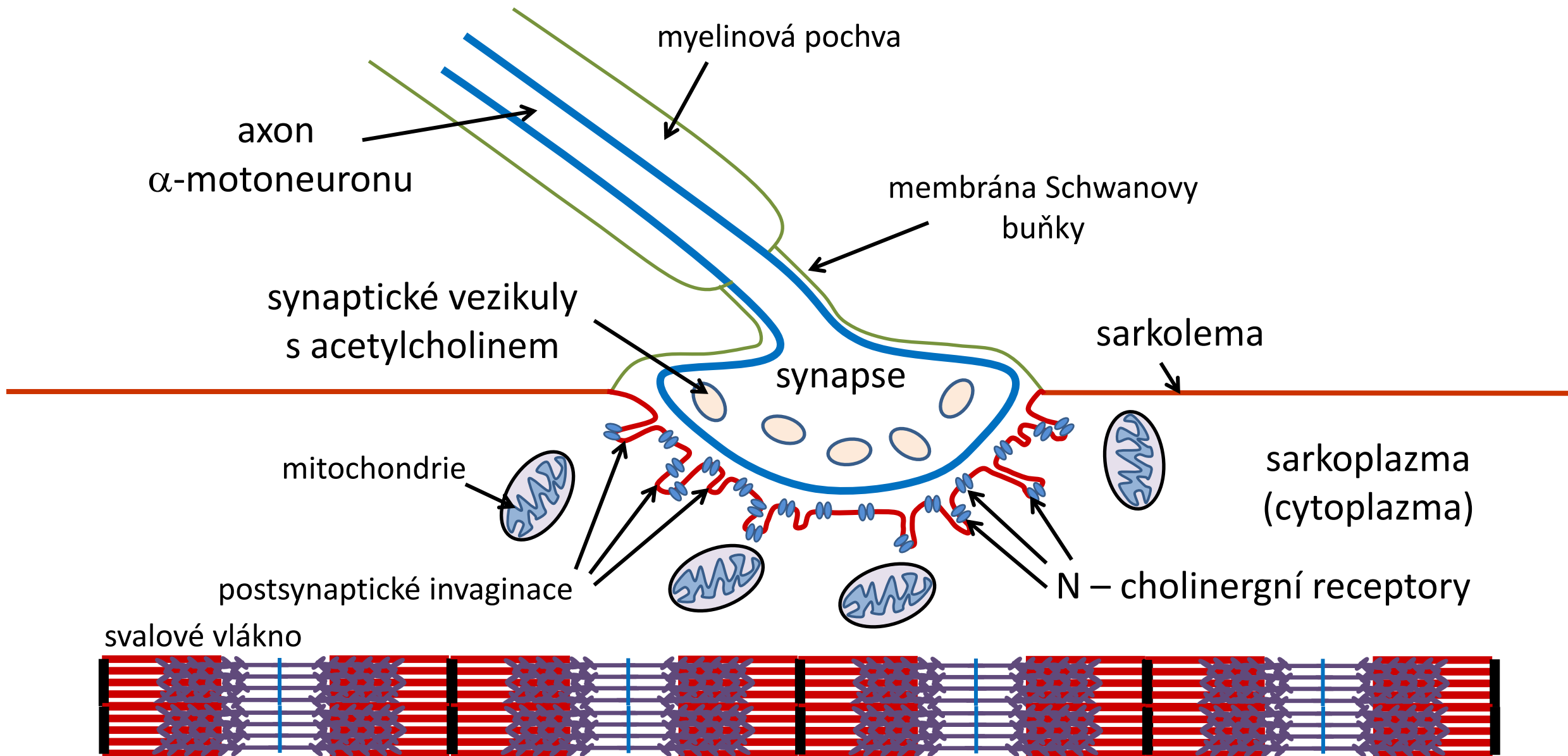
- **Myografie** – metoda umožňující registraci kontrakce svalů
- **Motorická jednotka:** α - motoneuron a všechna svalová vlákna, která inervuje
Odpovědí na podráždění α - motoneuronu je stah svalových vláken inervovaných tímto motoneuronem
- **Svalové trhnutí** – jedna kontrakce svalu vyvolaná jedním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



Vlákno příčně pruhovaného kosterního svalu – stavba



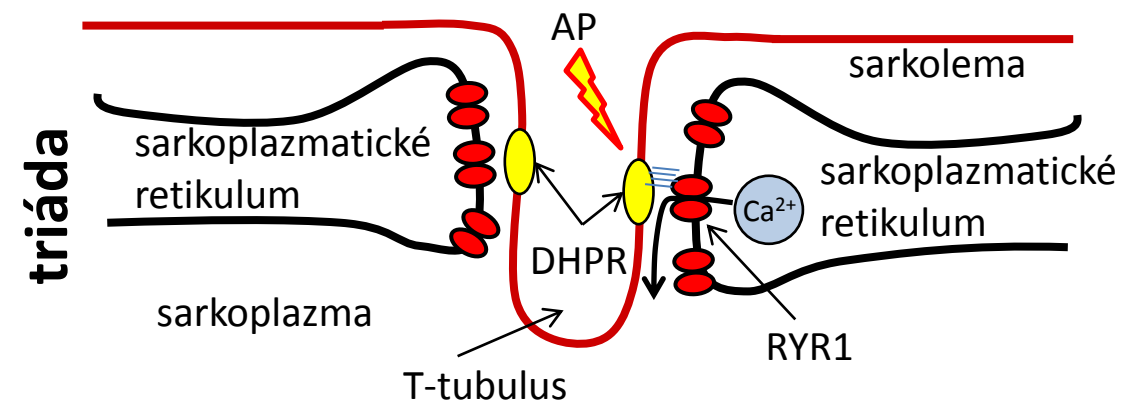
Nervo-svalová ploténka kosterního svalu



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 napětově vrátkované kanály pro Na^+ .
- Vzniká AP, který se šíří po svalovém vláknu.

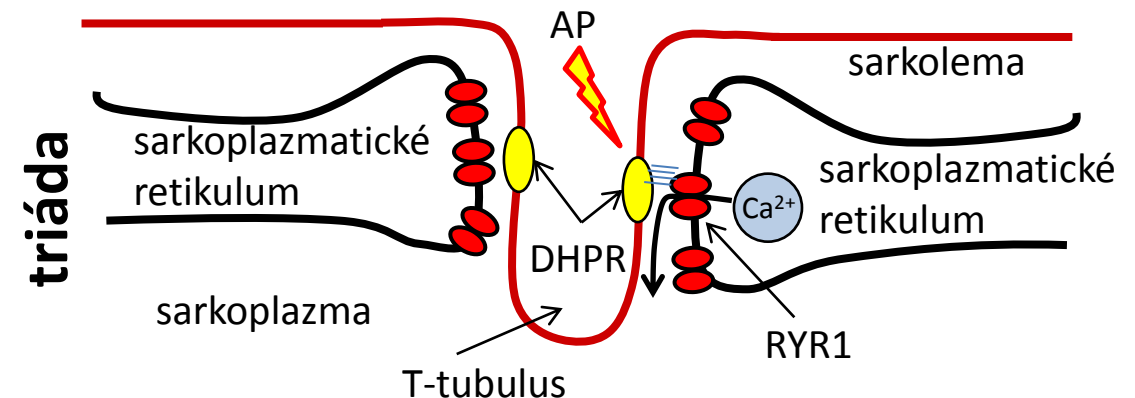


Vztah excitace – kontrakce u kosterního svalu

Kontrakce

- Akční potenciál (AP) se šíří po svalovém vláknu a dostává se do transversálního tubulu (T-tubulus)
- V sarkolemě v T-tubulu se nacházejí dihydropyridinové receptory (DHPR), které změní 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 hlavice myozinu z aktinu)



Prostorová sumace u kosterního svalu

Současná aktivace (nábor) většího počtu motorických jednotek

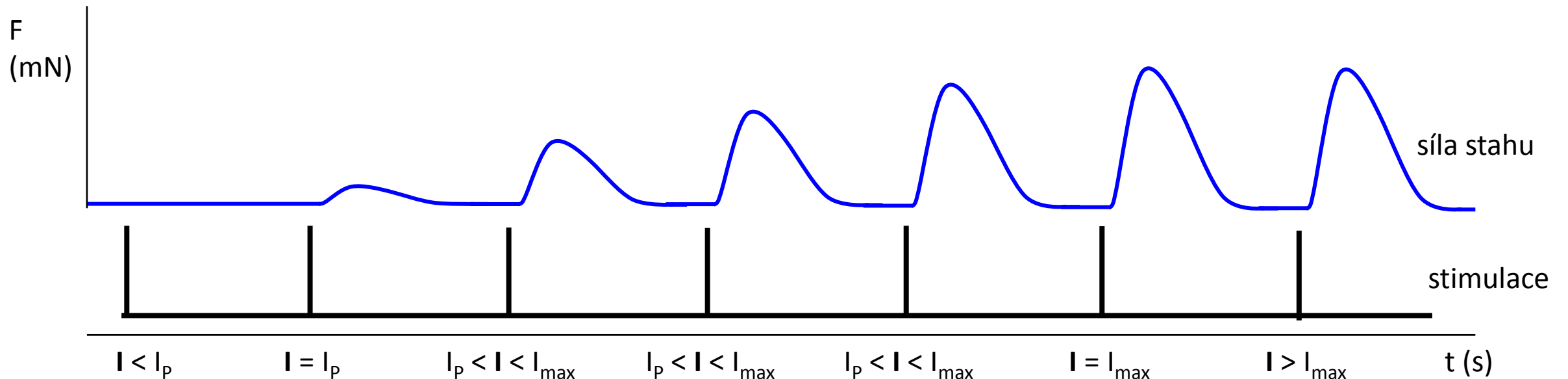
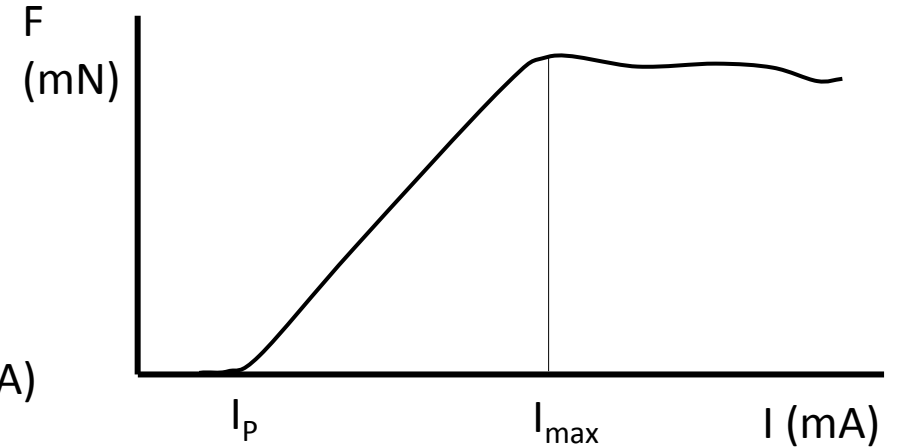
Princip: Čím větší podnět, tím větší počet motorických jednotek je nabrán.

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)

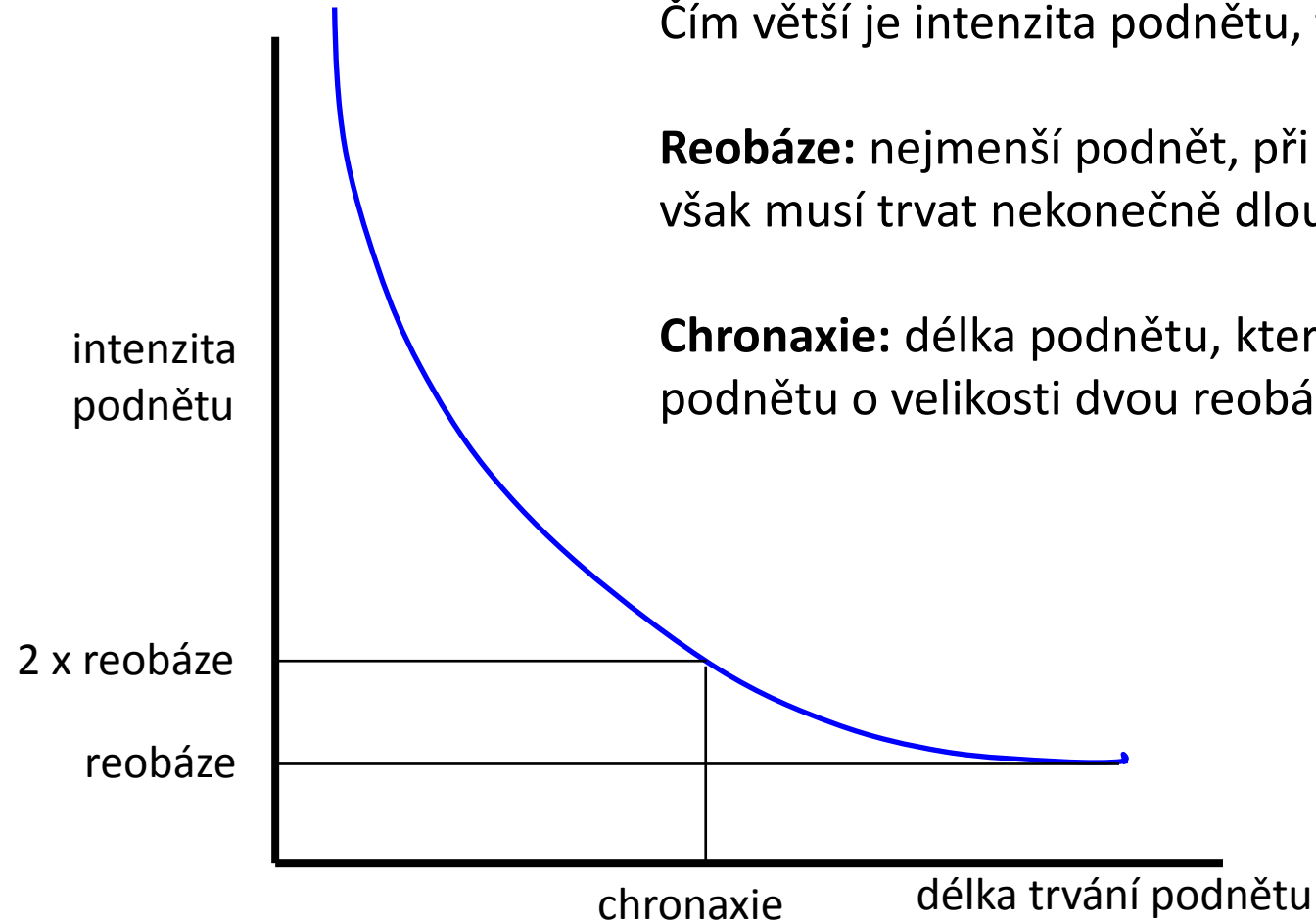


Závislost vzniku kontrakce svalového vlákna na délce podnětu a jeho intenzitě

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

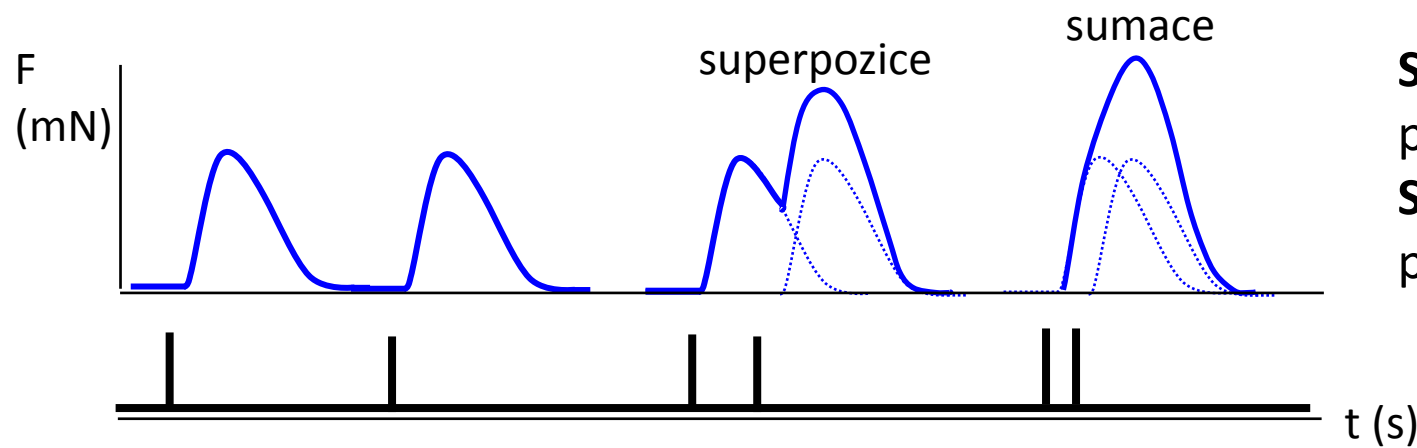
Chronaxie: délka podnětu, která je nezbytná pro kontrakci, je-li intenzita podnětu o velikosti dvou reobází



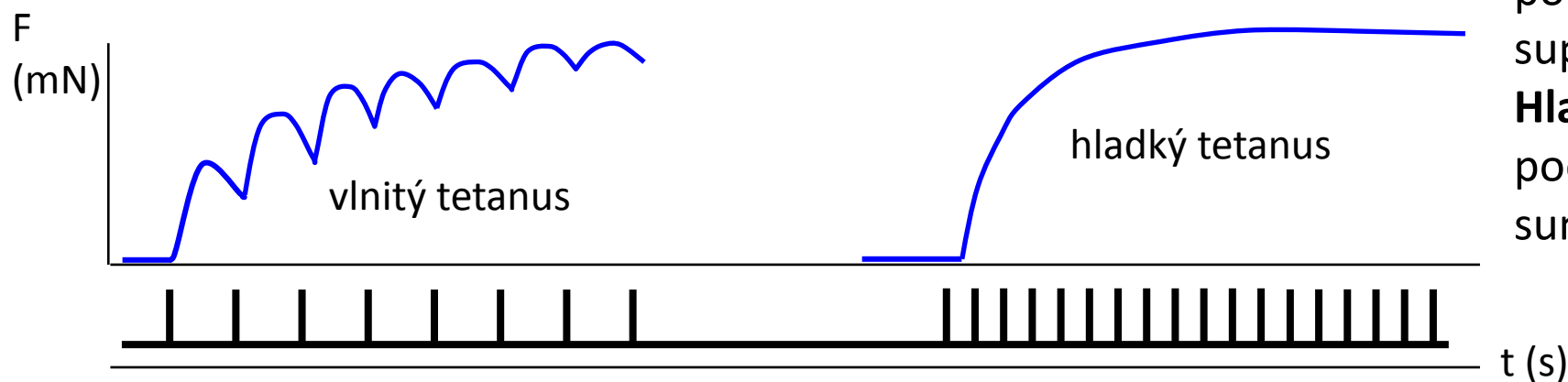
Časová sumace u kosterního svalu

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



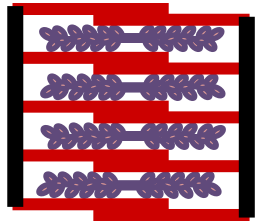
Vlnitý tetanus – vzniká při sérii podnětů o frekvenci vedoucí k superpozici
Hladký tetanus – vzniká při sérii podnětů o frekvenci vedoucí k sumaci

Autoregulace stahu srdečního svalu

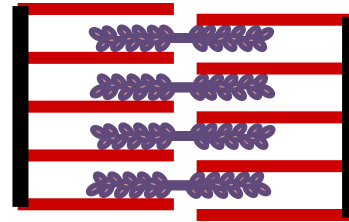
Heterometrická autoregulace (Frank-Starlingův princip):

Se zvyšující se náplní srdce (protažení srdečního svalu) roste síla stahu

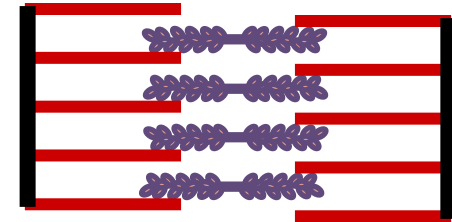
Principy: 1) vzájemný vztah aktinu a myozinu při různém protažení vláken,
2) protažení vlákna zvyšuje citlivost troponinu na vápník



malá náplň srdce



zvýšená náplň srdce



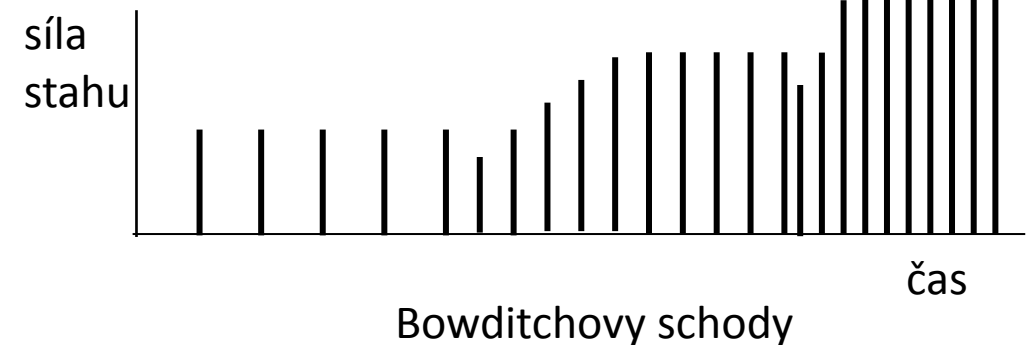
extrémní protažení
srdečního svalu

Homeometrická autoregulace (frekvenční jev):

Se zvyšující se srdeční frekvencí dochází ke zvyšování síly stahu.

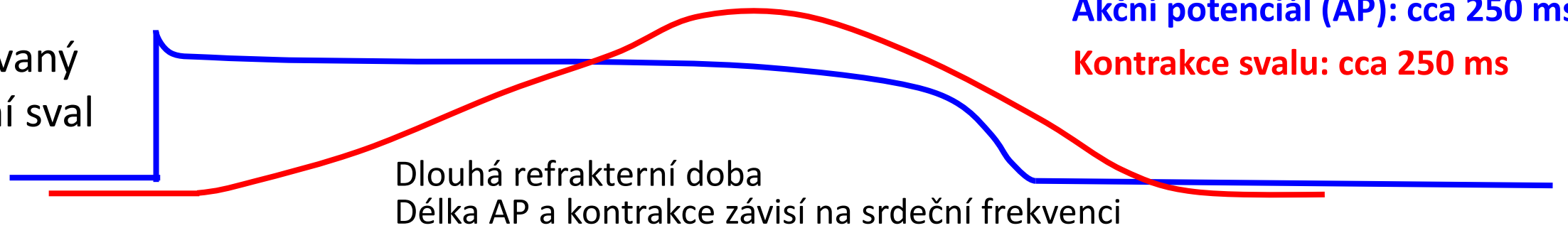
Příčina: Zvyšuje se poměr koncentrace intracelulárního ku extracelulárnímu vápníku

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

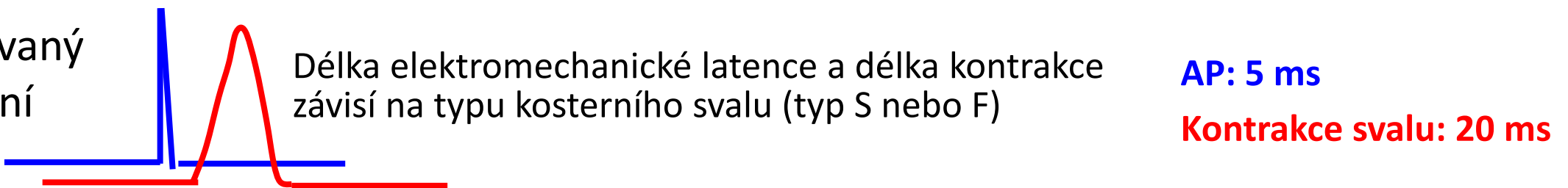


Kosterní, srdeční a hladký sval – časové zarovnání AP a kontrakce

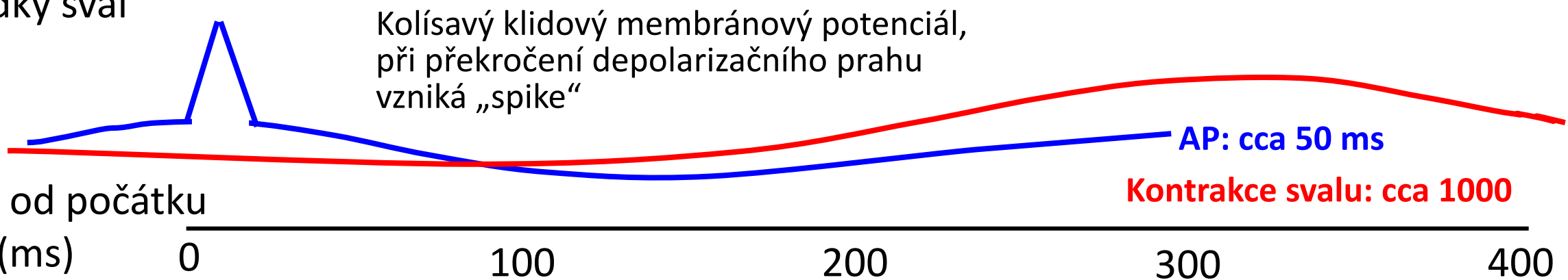
Příčně
pruhovaný
srdeční sval



Příčně
pruhovaný
kosterní
sval



Hladký sval



Čas od počátku
AP (ms)

0

100

200

300

400