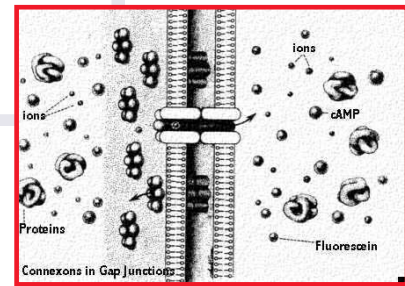
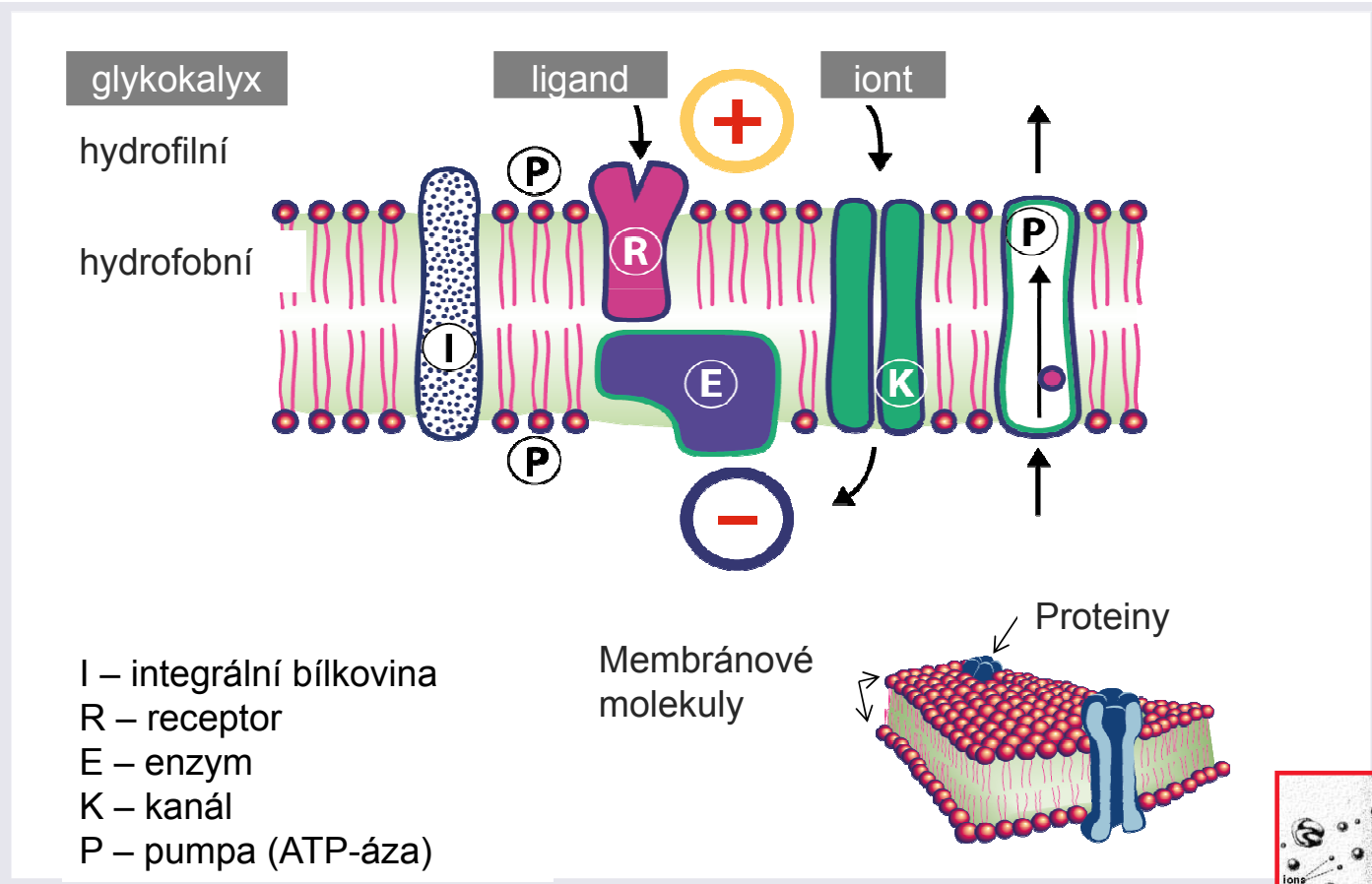


**MUNI  
MED**

**EXCITABILNÍ MEMBRÁNA.**

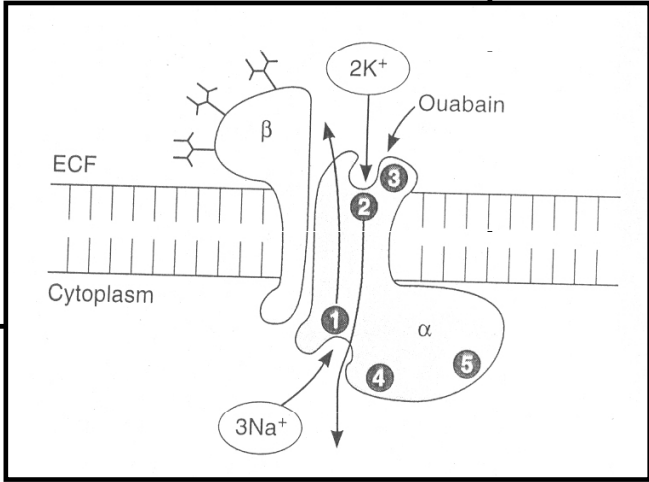
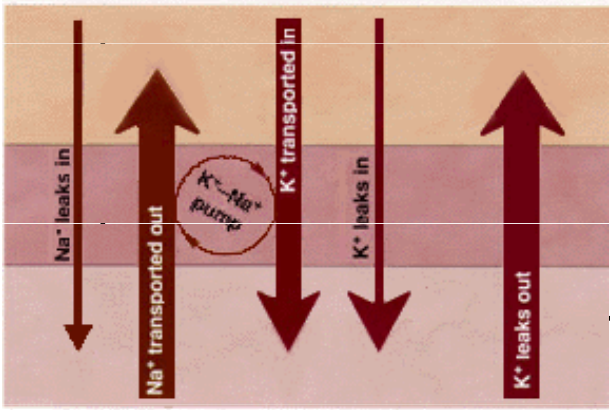
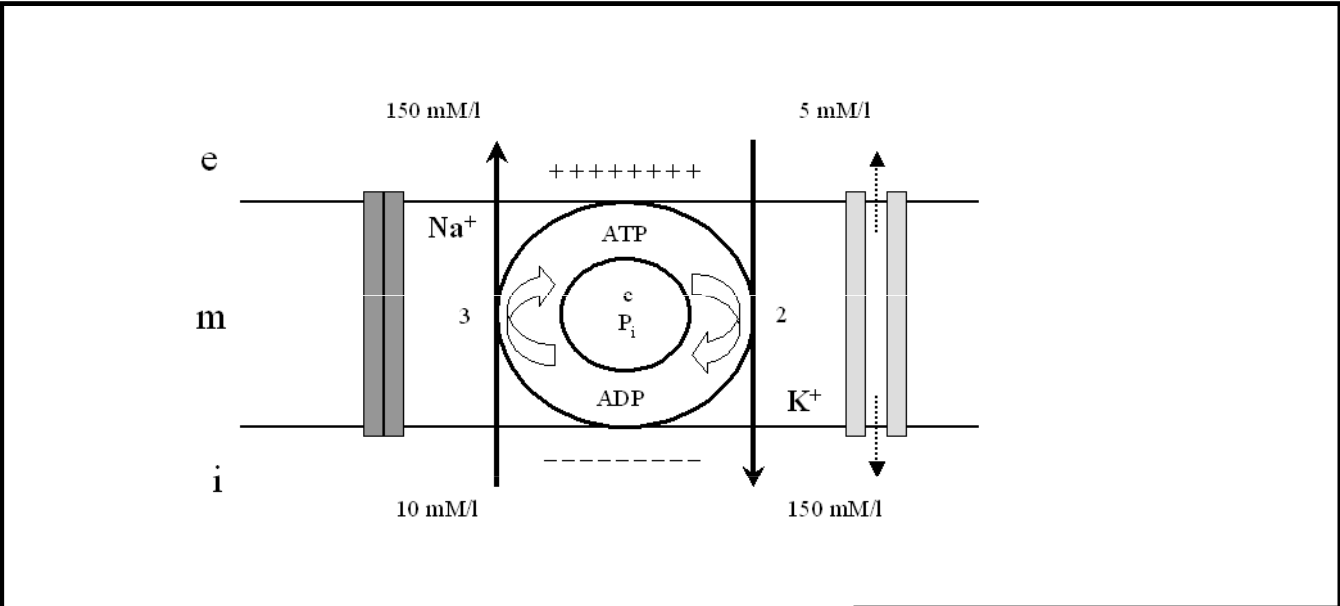
**ELEKTRICKÝ PŘENOS INFORMACE.**

# PLAZMATICKÁ MEMBRÁNA



Nexus (gap junction) →

# SODÍKO- DRASLÍKOVÝ VÝMĚNÍK



# KLIDOVÝ MEMBRÁNOVÝ POTENCIÁL

**Je výsledkem:**

- ✓ **rozdílné propustnosti buněčné membrány pro ionty sodíku ( $\text{Na}^+$ ) a draslíku ( $\text{K}^+$ )**
- ✓ **přítomnosti sodíko-draslíkové pumpy v buněčných membránách, která toto nerovnoměrného rozložení iontů intracelulární a extracelulární tekutiny podporuje**

## Fenomény uplatňující se při klidovém membránovém potenciálu

- ✓ Malá propustnost (permeabilita) membrány pro  $\text{Na}^+$
- ✓ Vysoká permeabilita membrány pro  $\text{K}^+$
- ✓ Primárně aktivní transport:  $\text{Na}^+$  ven z buňky a  $\text{K}^+$  do buňky (dáno přítomností  $\text{Na}^+$ - $\text{K}^+$  ATPázy, v poměru: 3  $\text{Na}^+$  ven / 2  $\text{K}^+$  dovnitř)
- ✓ **Uvnitř buňky zůstávají anionty bílkovin a fosfátů**

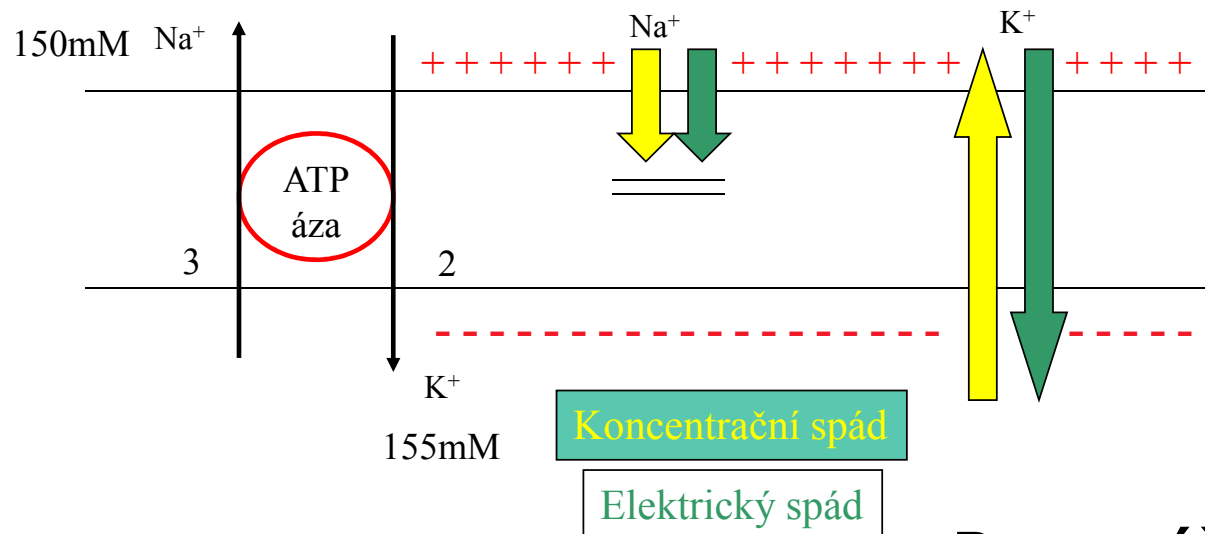
(díky tomu měříme elektrické napětí mezi vnějškem a vnitřkem buňky)

uzavíráme, že :

**Buněčná membrána je v klidu**

**POLARIZOVÁNA**

# KLIDOVÉ MEMBRÁNOVÉ NAPĚTÍ



Nernstova rovnice:

$$E_x = \frac{R \cdot T}{F} \ln \frac{(C_{x_{out}})}{(C_{x_{in}})}$$

$$I_x = g_x \cdot (E - E_x)$$

**Rovnovážný potenciál**

$$E_{Na} = +40 \text{ mV}$$

$$E_K = -90 \text{ mV}$$

$$E_{Cl} = -70 \text{ mV}$$

$$E_{Ca} = +60 \text{ mV}$$

$$E_r = -85 \text{ mV}$$

MUNI  
MED

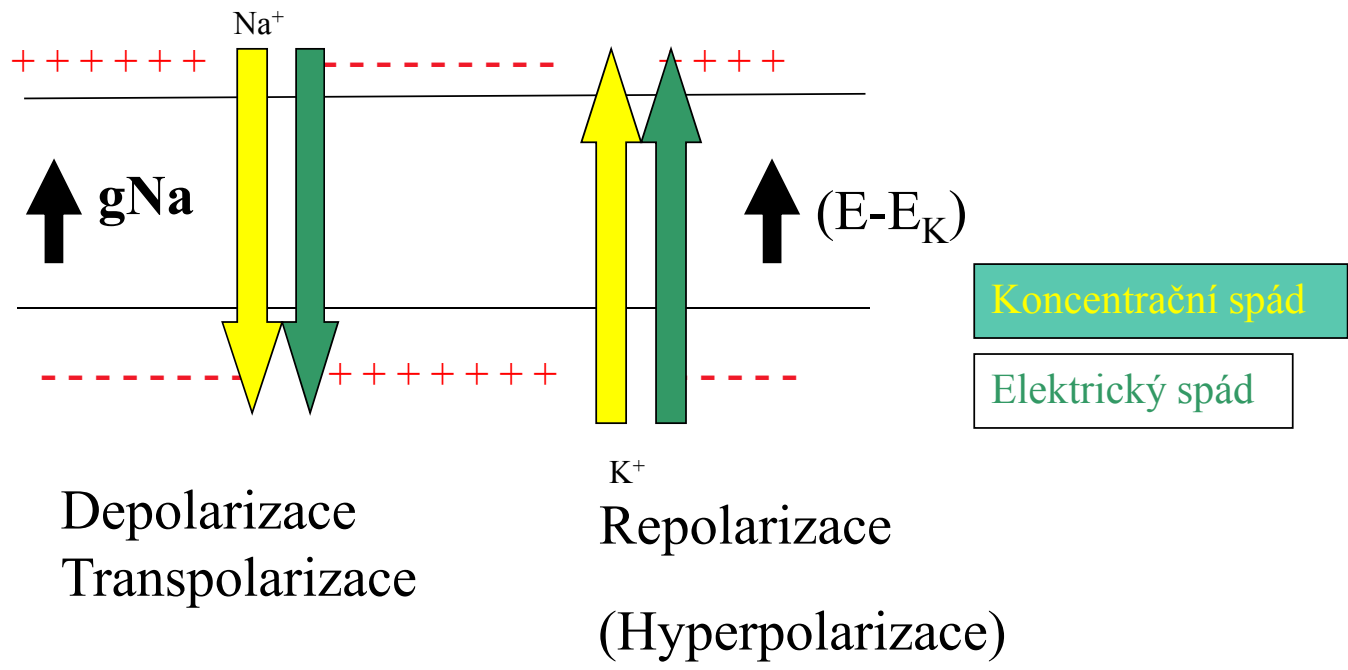
- Pro jednotlivé ionty jsme schopni vypočítat tzv. ROVNOVÁŽNÝ potenciál podle NERNSTOVY ROVNICE
- V této souvislosti se nejvíce mluví o draslíku, protože jeho rovnovážný potenciál se nejvíce blíží hodnotě klidového membránového potenciálu  
( $E_k = -70\text{mV}$ )
- $E_k$  – rovnovážný potenciál draslíku znamená, že síla pohánějící difuzi  $K^+$  ven (chemický gradient) je právě tak velká jako síla potenciálu působícího v opačném směru (elektrický gradient)
- pro sodík:  $E_{Na} = +40\text{mV}$

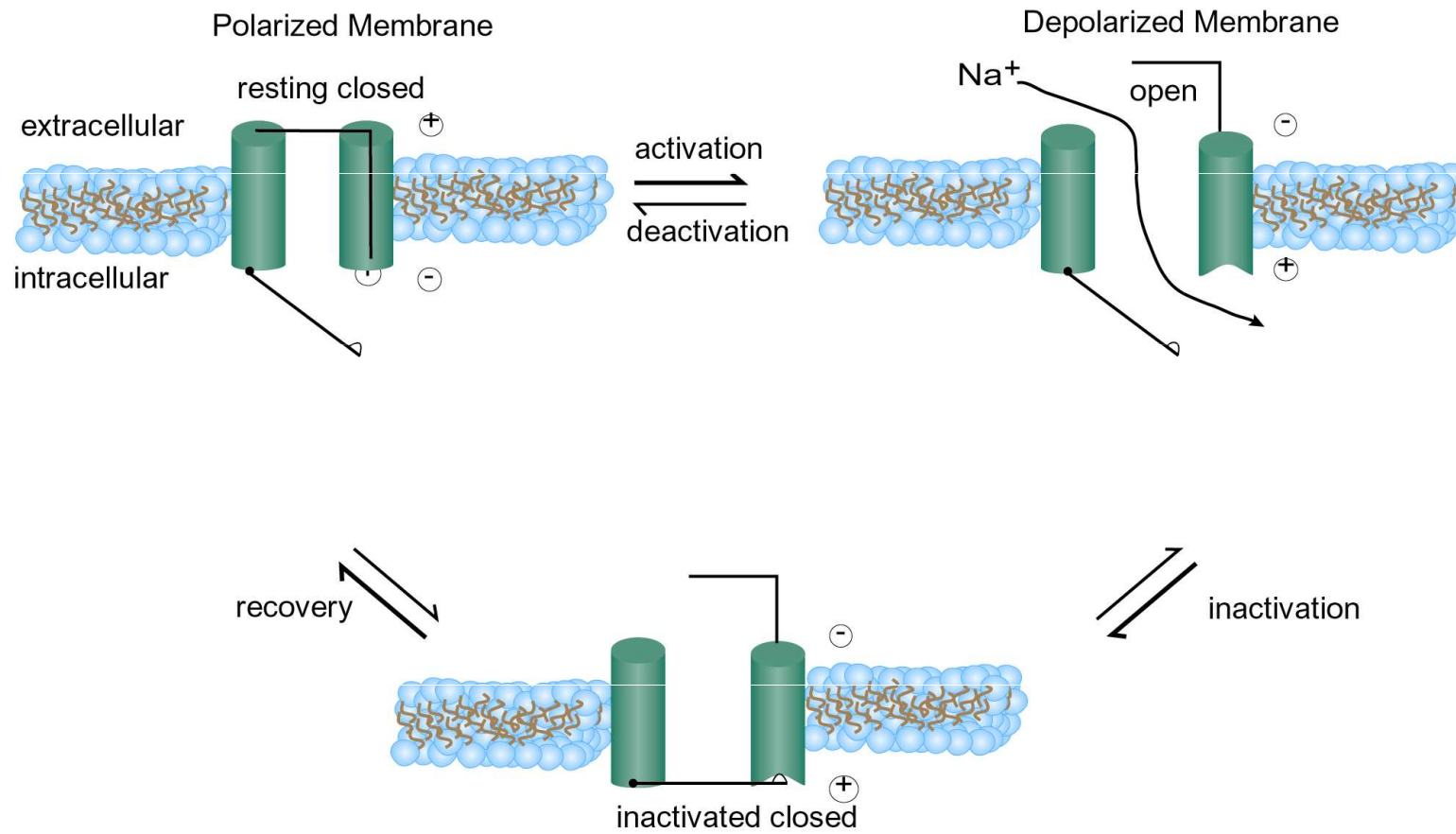


# Fyziologický význam klidového membránového napětí

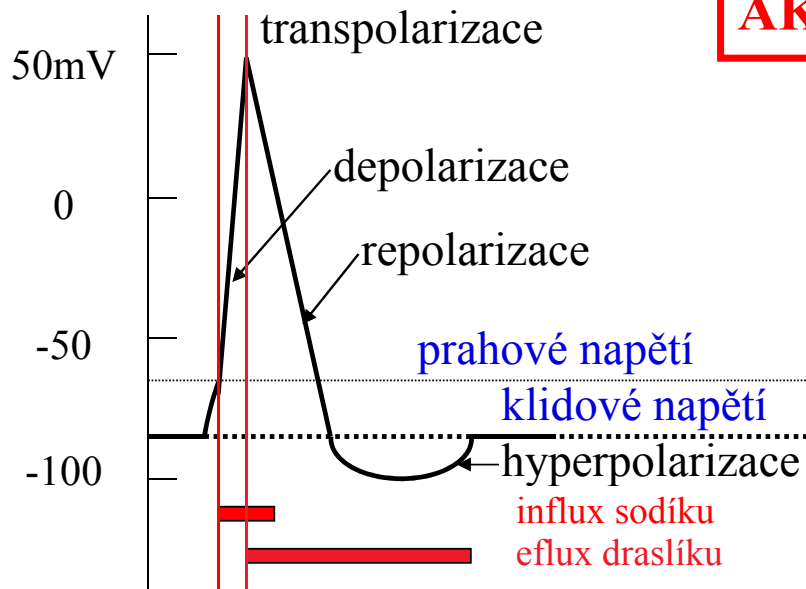
- Buňky jej užívají k regulaci svých fyziologických funkcí k nimž patří:
  - ✓ propustnost membrán svalových a nervových buněk pro ionty
  - ✓ intracelulární uvolňování vápníku pro svalovou kontrakci
  - ✓ uvolňování nervových přenašečů v nervovém systému

# AKČNÍ NAPĚTÍ



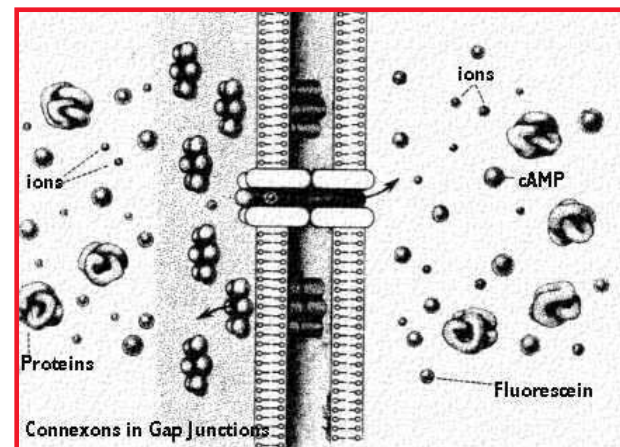
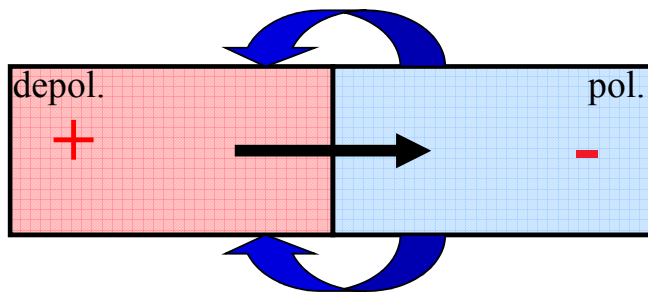


# AKČNÍ NAPĚTÍ



- Jednotka vzruchové aktivity
- Reakce „Vše nebo nic“
- Šíření bez dekrementu („domino efekt“)
- **Refrakterita**

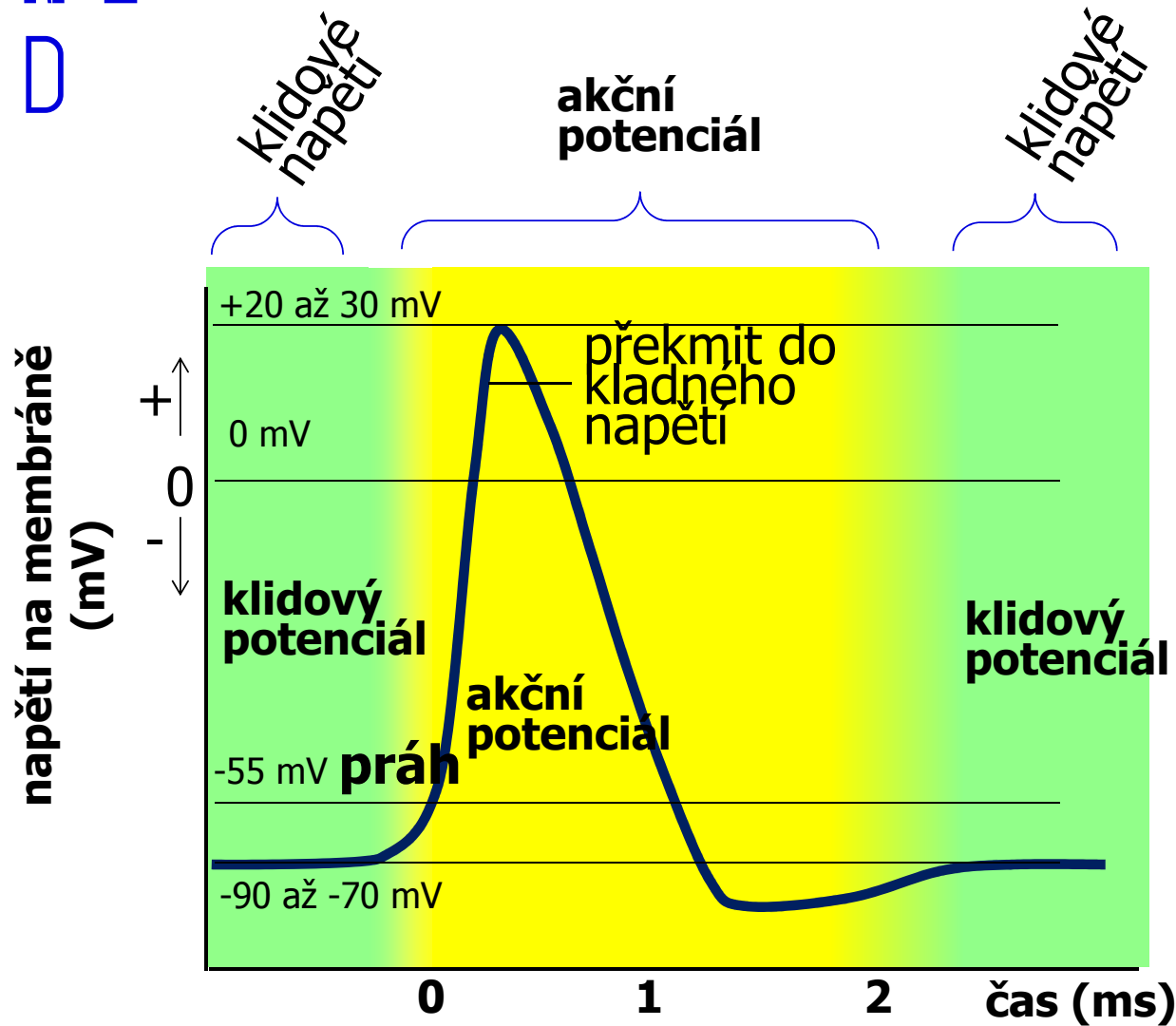
## Lokální proud



Šíření s dekrementem

# M U N I Klidové napětí a akční potenciál

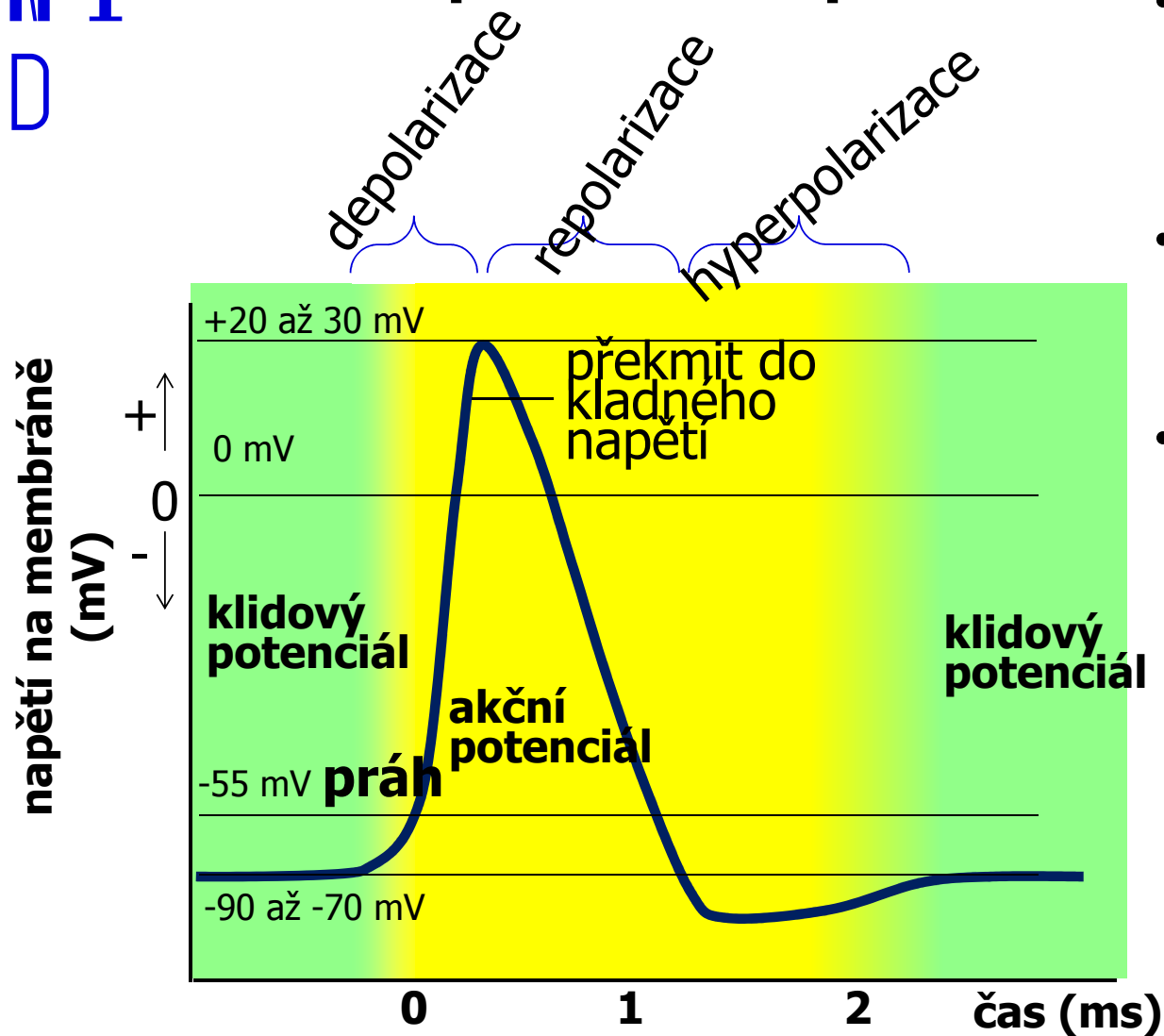
## M E D



### Klidové napětí:

- na membráně buňky za klidových podmínek
- uvnitř buňky je záporný náboj, na povrchu buňky je kladný náboj
- buňka je nepropustná pro  $\text{Na}^+$
- uvnitř buňky je větší koncentrace  $\text{K}^+$ , mimo buňku je větší koncentrace  $\text{Na}^+$
- koncentrace  $\text{K}^+$  uvnitř je menší než koncentrace  $\text{Na}^+$  vně → záporný náboj uvnitř buňky

# Klidové napětí a akční potenciál



## Akční potenciál (AP)

- Pokud je překročena prahová hodnota napětí (-55 mV), vzniká na membráně akční potenciál
- **Fáze depolarizace**
  - otevírají se kanály pro  $\text{Na}^+$
  - $\text{Na}^+$  vstupuje do buňky
- Zákon vše nebo nic – nepřekročí-li se práh, žádný AP, překročí-li se práh – vzniká AP
- **Fáze repolarizace**
  - kanály pro  $\text{Na}^+$  jsou znovu zavřeny
  - $\text{K}^+$  vystupuje z buňky
  - $\text{Na}^+$  je pumpován ven
  - Napětí se dostává zpět ke klidovým hodnotám

# AKČNÍ POTENCIÁL (AP)

- **Podrážděním vzrušivých buněk** (svalových nebo nervových) se klidové membránové napětí může změnit v **AKČNÍ napětí**
- AP vzniká podle **zákona: „vše nebo nic“**
  - k jeho vzniku je potřeba dostatečně silného podnětu (tzv. **nadprahový podnět**)
  - jeho další **šíření** probíhá **bez ztráty** jeho velikosti

# Fyziologický význam akčního potenciálu

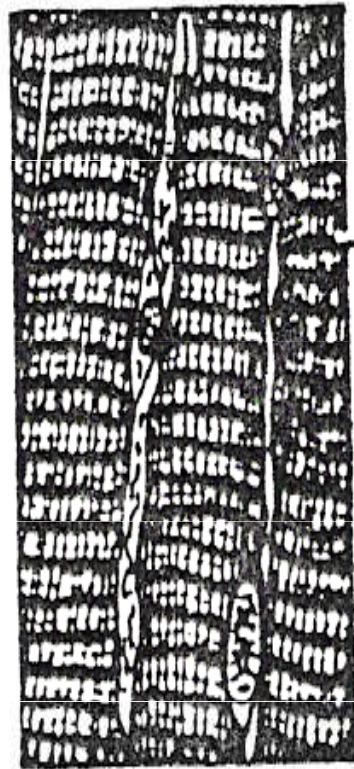
- změnou klidového membránového potenciálu v akční potenciál se:
  - ✓ kódují a přenášejí informace v živých systémech (nervová soustava)
  - ✓ spouští se svalová kontrakce (svalstvo)



Stavba a funkce	hladký sval	srdeční sval (příčně pruhovaný)	kosterní sval (příčně pruhovaný)
motorická ploténka	žádná	žádná	ano
vlákna	fuziformní, krátká (max. 0,2 mm)	větvená	cylindrická, dlouhá (max. 15 cm)
mitochondrie	nečetné	četné	nečetné (v závislosti na typu svalu)
buněčné jádro/vláknko	1	1	četná
sarkomera	žádná	ano, délka max. 2,6 $\mu\text{m}$	ano, délka max. 3,65 $\mu\text{m}$
elektrické spřažení	částečně (jednotkový typ)	ano (funkční syncytium)	ne
sarkoplazmatické retikulum	málo vyvinuté	přiměřeně vyvinuté	silně vyvinuté
Ca <sup>2+</sup> „spínač“	kalmomodulin/kaldesmon	troponin	troponin
pacemaker	zčásti spontánně rytmicky činný (1 s <sup>-1</sup> –1h <sup>-1</sup> )	ano (sinoatriální uzel asi 1 s <sup>-1</sup> )	ne (nutný nervový podnět)
odpověď na podnět	změna tonu nebo frekvence rytmu	„vše nebo nic“	odstupňovaná
tetanizovatelný	ano	ne	ano
pracovní rozsah	křivka délka/síla je proměnlivá	na vzestupu křivky síla/délka (viz tab. 2.15 E)	v maximu křivky síla/délka (viz tab. 2.15 E)
odpověď na podnět			



A

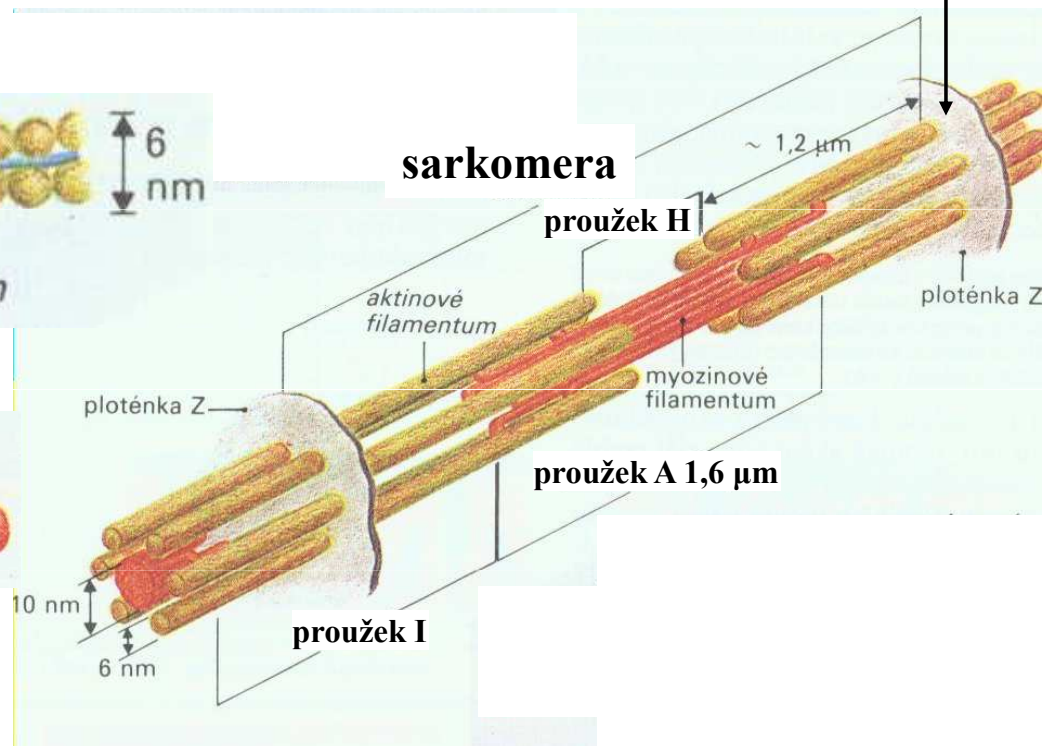
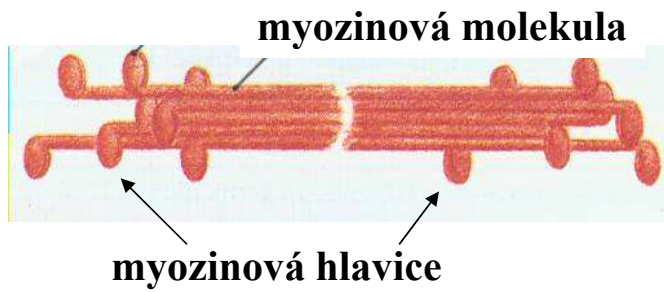
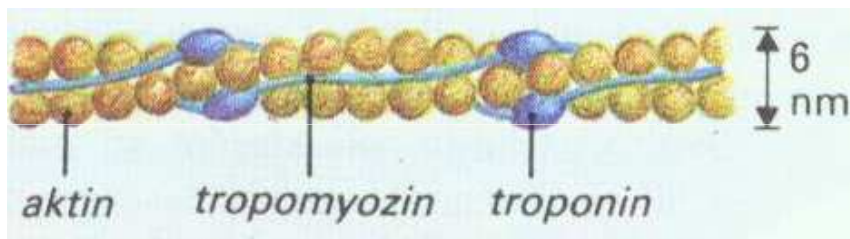
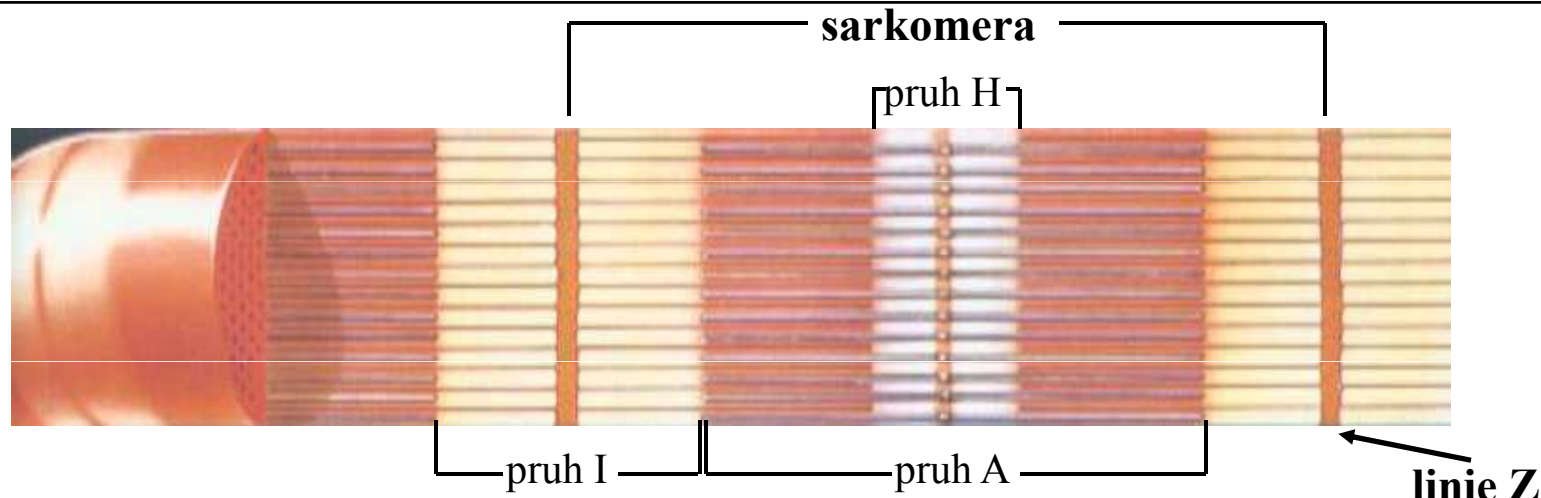


B

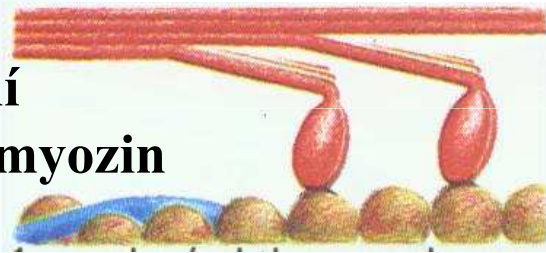


C

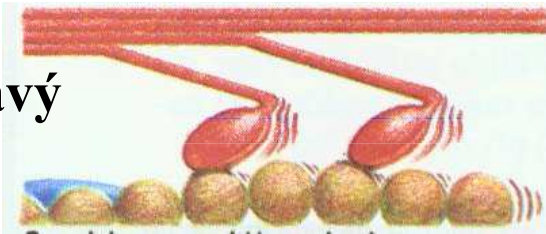




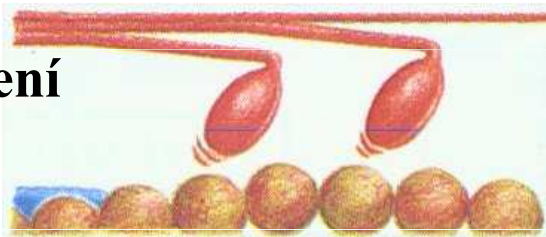
**spojení  
aktin-myozin**



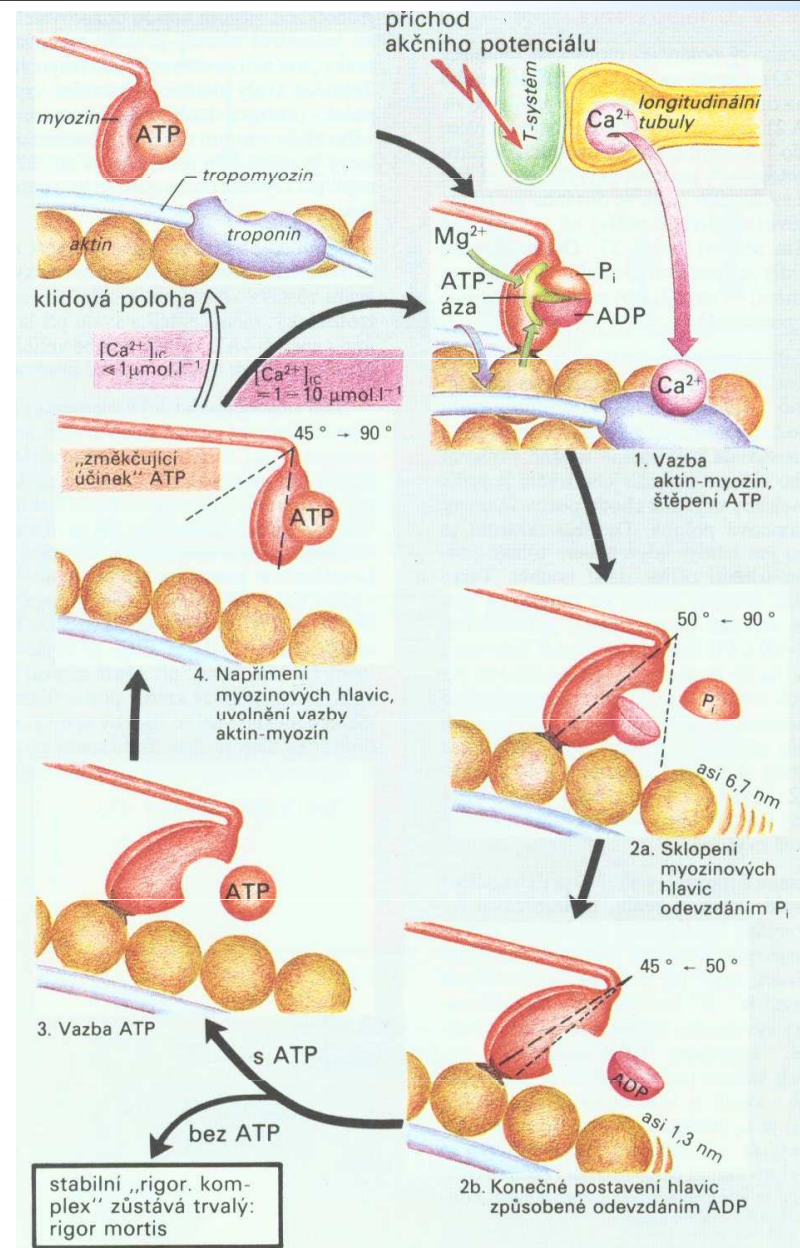
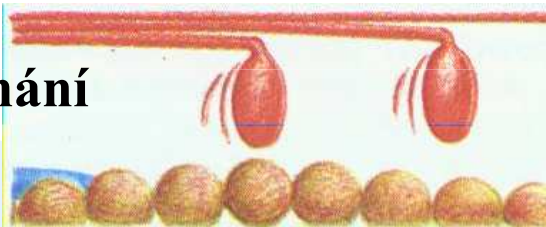
**klouzavý  
pohyb**



**odpojení  
hlavic**



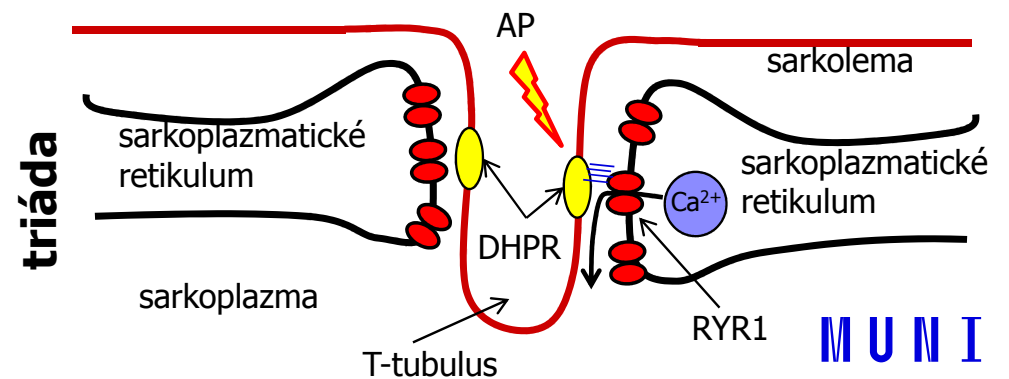
**narovnění  
hlavic**



# 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.

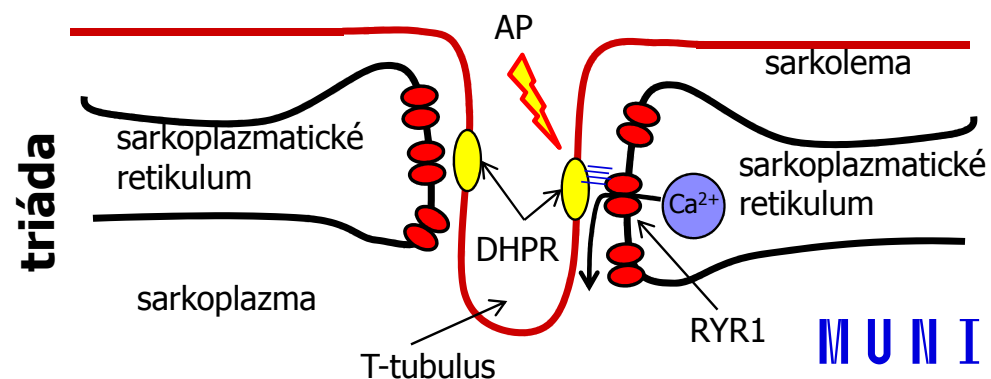


# Vztah excitace – kontrakce u kosterního svalu

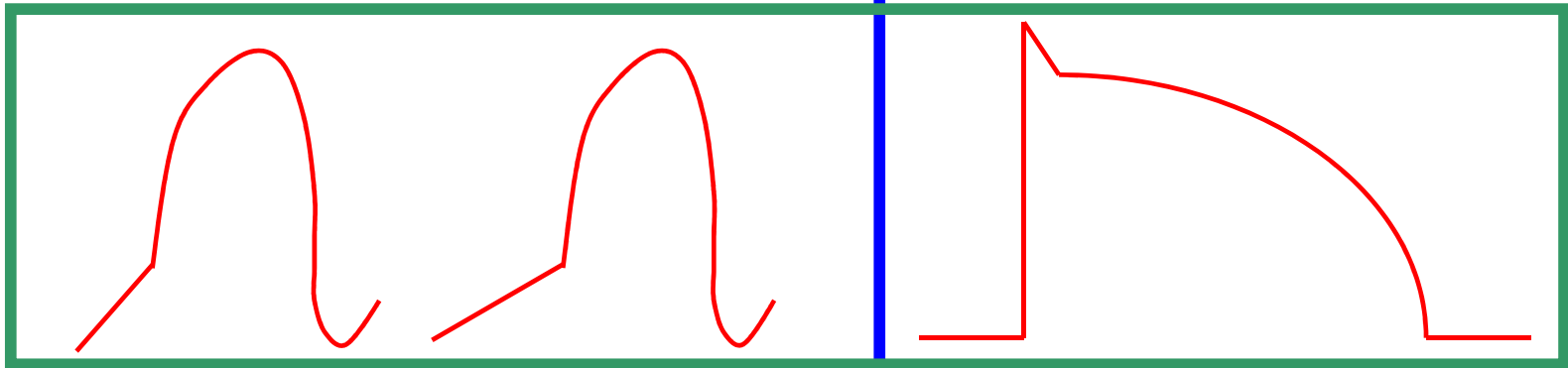
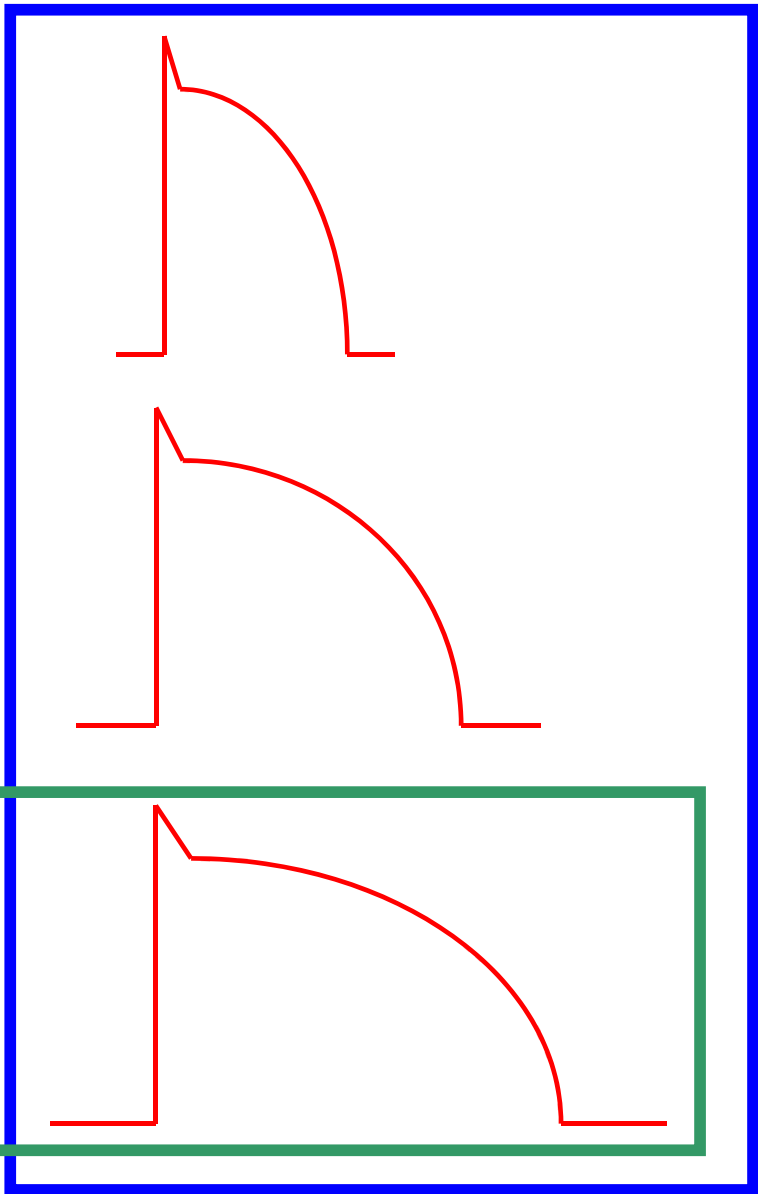
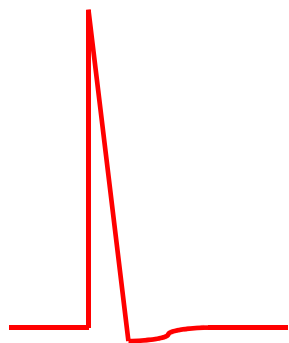
## Kontrakce

- 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)

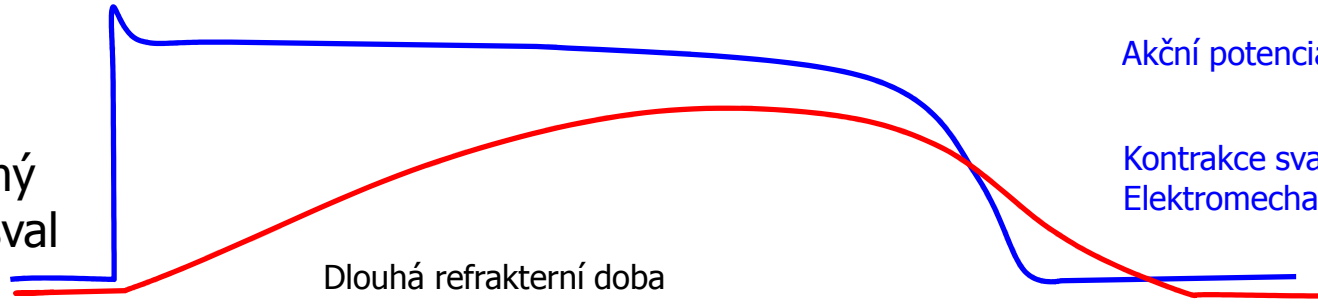






# Kosterní, srdeční a hladký sval – časové zarovnání AP a kontrakce

Příčně  
pruhovaný  
srdeční sval



Akční potenciál (AP): cca 250 ms

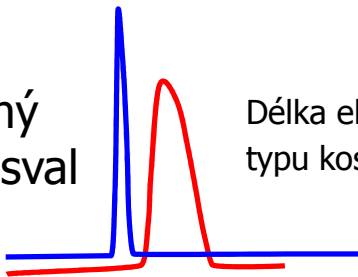
Kontrakce svalu: cca 250 ms

Elektromechanická latence (EML): do 10 ms

Dlouhá refrakterní doba

Délka AP a kontrakce závisí na srdeční frekvenci

Příčně  
pruhovaný  
kosterní sval



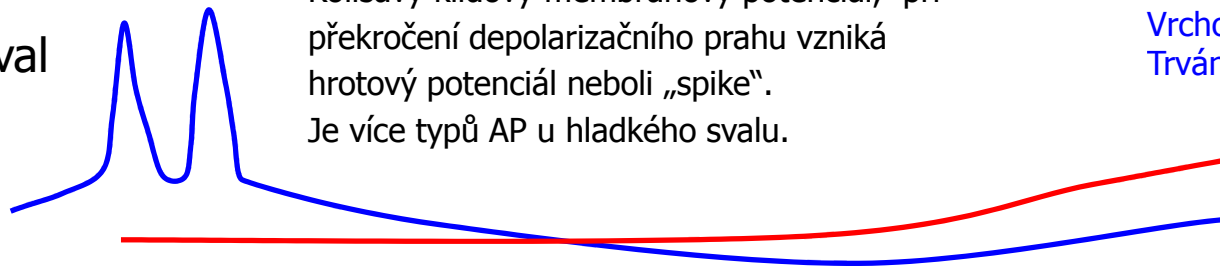
AP: 5 ms

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

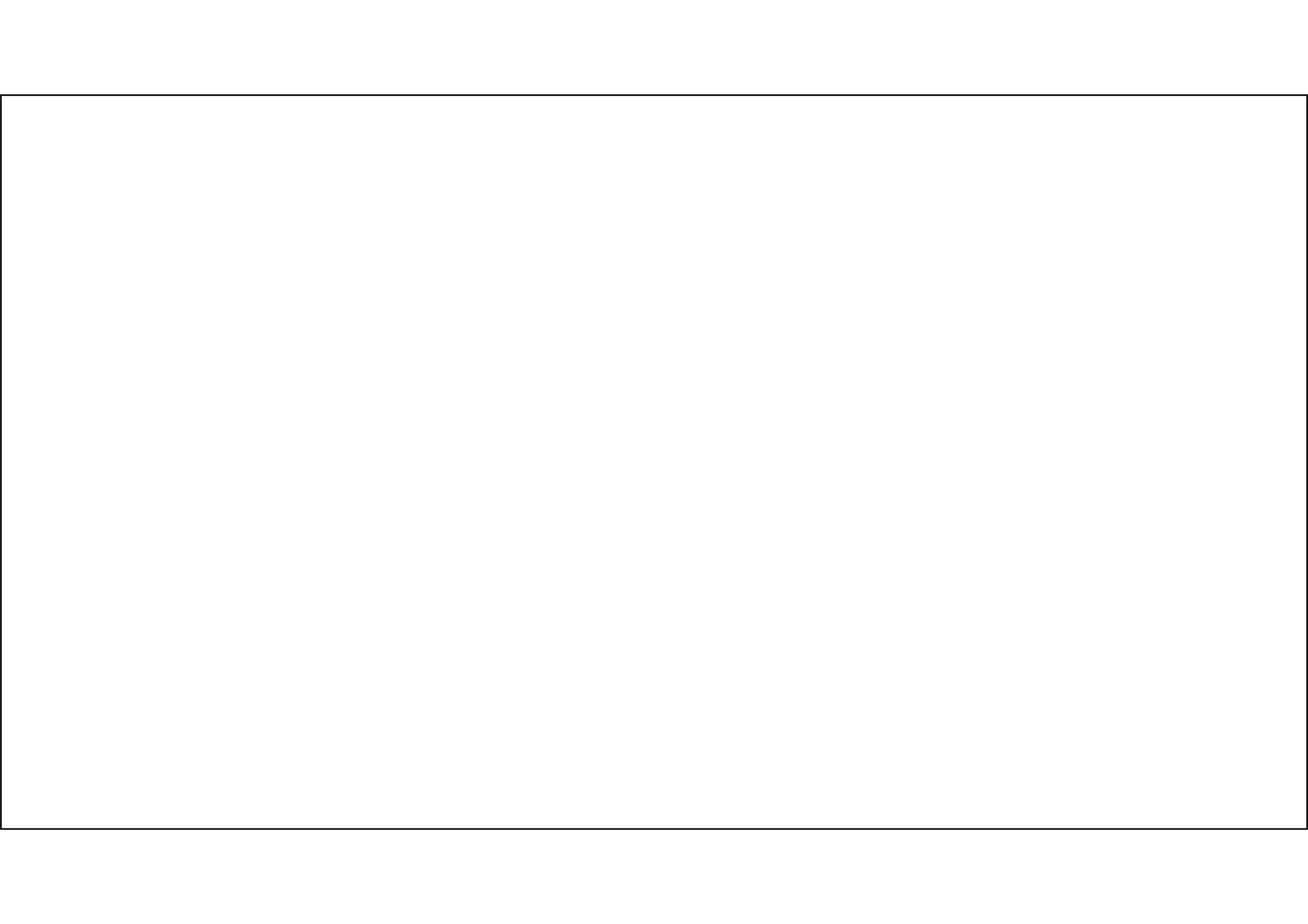
200

300

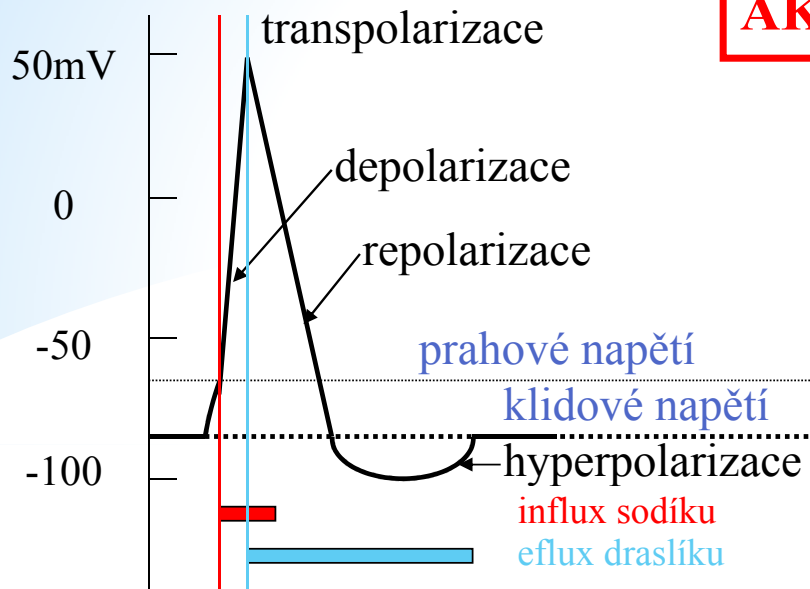
400

MUNI  
MED



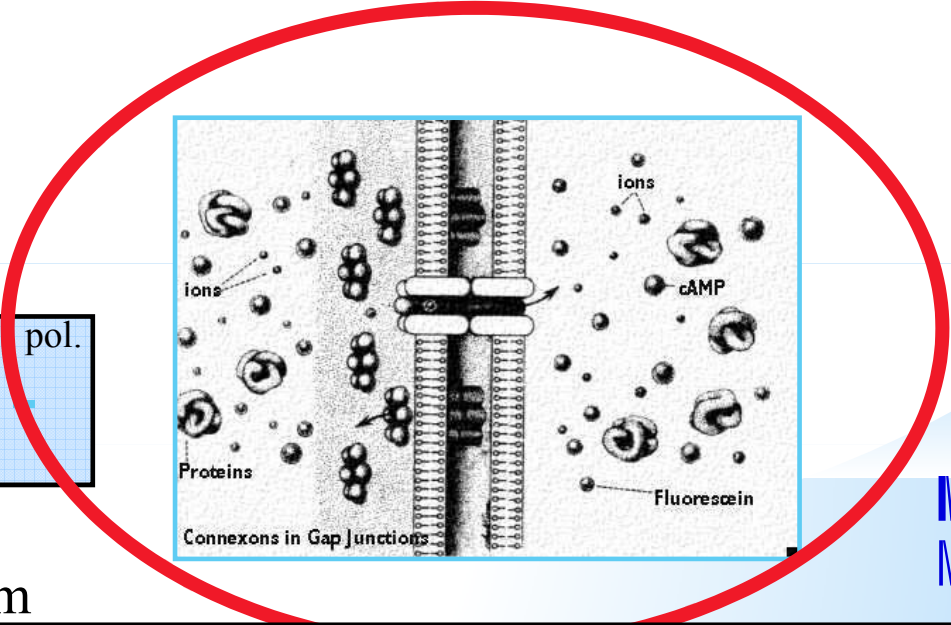
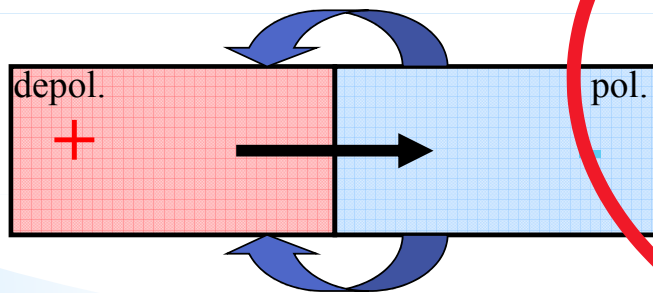


# AKČNÍ NAPĚTÍ



- Jednotka vzruchové aktivity
- Reakce „Vše nebo nic“
- Šíření bez dekrementu („domino efekt“)
- **Refrakternita**

## Lokální proud



- **KLIDOVÉ MEMBRÁNOVÉ NAPĚTÍ JE PODMÍNKOU DRÁŽDIVOSTI (EXCITABILITY)**
- **ZÁVISÍ NA VYSOKÉ KLIDOVÉ VODIVOSTI PRO DRASLÍK**

**AKČNÍ NAPĚTÍ JE PROPAGOVANÝ ELEKTRICKÝ SIGNÁL GENEROVANÝ RYCHLÝM PROUDEM SODÍKU DO BUŇKY**

- **AKČNÍ NAPĚTÍ PŘEDSTAVUJE JEDNOTKU INFORMACE**
- **KÓDOVÁNÍ INFORMACÍ JE V TOMTO SYSTÉMU ZAJIŠTĚNO ZMĚNOU FREKVENCE AKČNÍCH NAPĚTÍ**

# Příklad: Nervo-svalová ploténka kosterního svalu

