

# Fyziologie srdce

## Převodní systém

### Srdeční buněčná elektrofyzilogie

doc. MUDr. Markéta Bébarová, Ph.D.



*Fyziologický ústav*  
*Lékařská fakulta*  
*Masarykova univerzita*



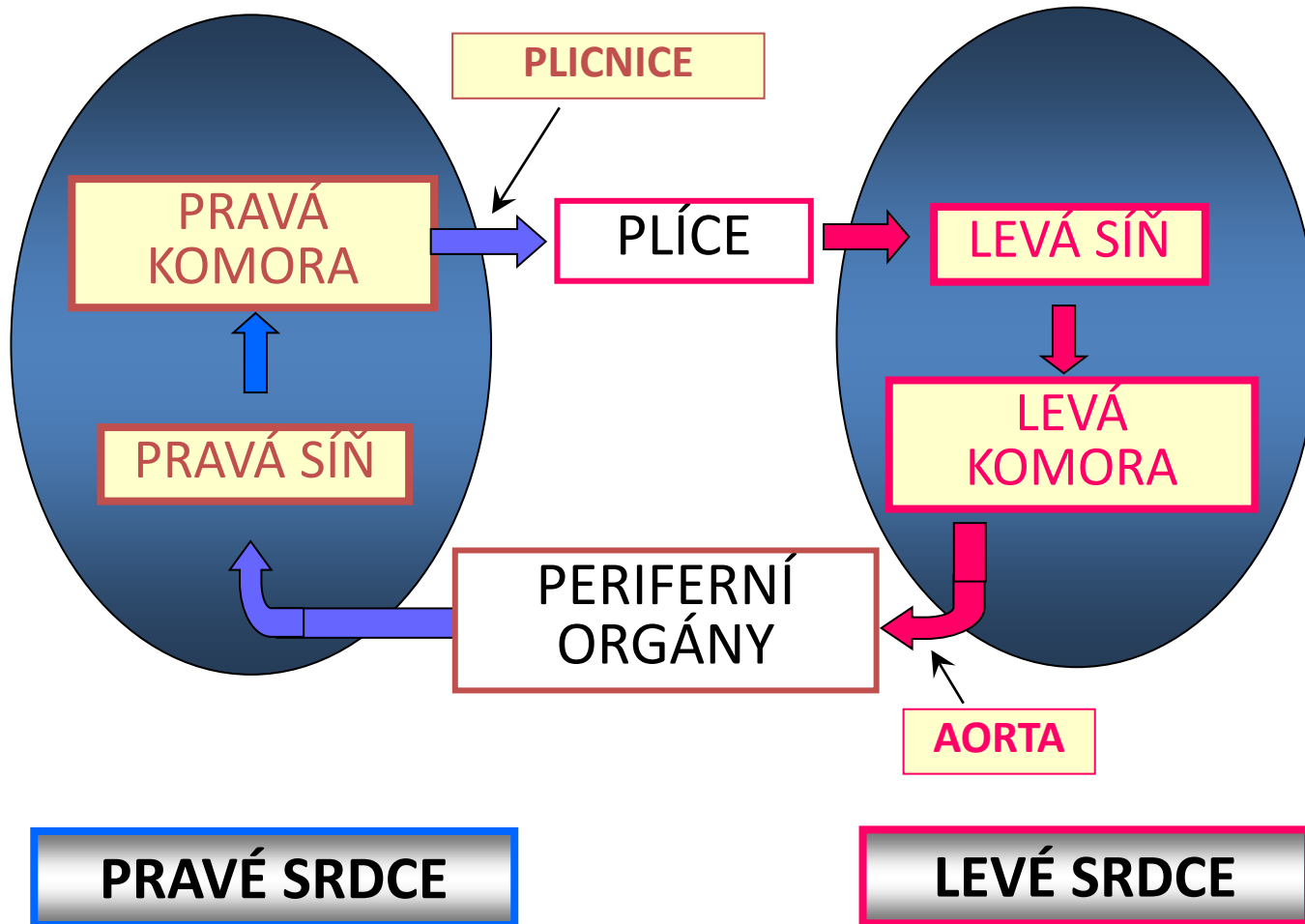
# ORGANIZACE KARDIOVASKULÁRNÍHO SYSTÉMU

## Role kardiovaskulárního systému

- **primární role** - distribuce rozpuštěných plynů a dalších živin
- **několik sekundárních rolí, např.:**
  - rychlý přenos chemické signalizace k buňkám (hormony)
  - termoregulace (přenos tepla z tělesného jádra k povrchu těla)
  - imunitní reakce
- **role srdce:**
  - primární role – pumpování krve
  - endokrinní orgán (natriuretické peptidy)

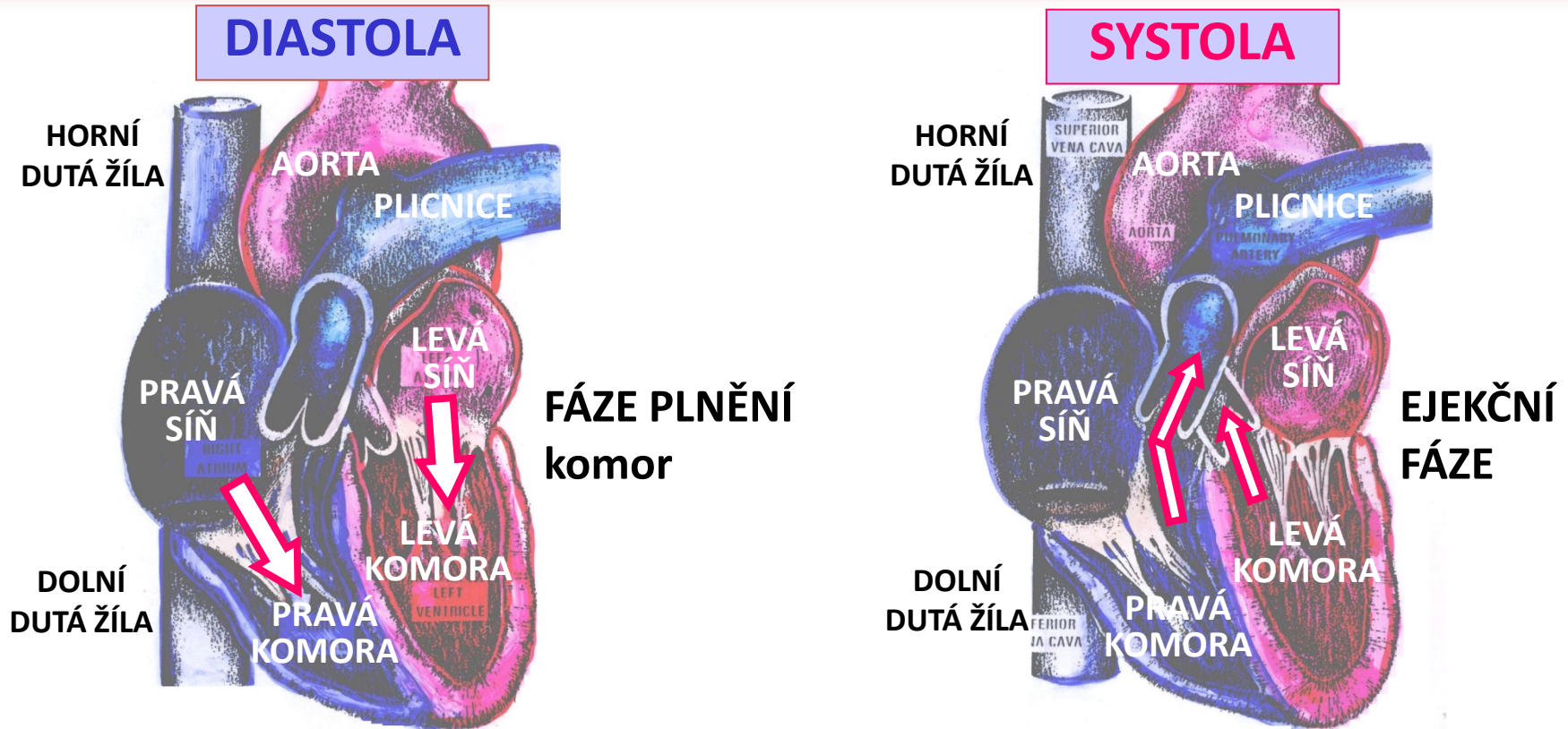
# ORGANIZACE KARDIOVASKULÁRNÍHO SYSTÉMU

## DVĚ SÉRIOVĚ PROPOJENÉ PUMPY



# ORGANIZACE KARDIOVASKULÁRNÍHO SYSTÉMU

## Dvě hlavní fáze srdečního cyklu



JEDNOSMĚRNÉ CHLOPNĚ	DIASTOLA	SYSTOLA
ATRIOVENTRIKULÁRNÍ (mitrální a trikuspidální)	otevřené	zavřené
SEMILUNÁRNÍ (aortální a pulmonální)	zavřené	otevřené

# ORGANIZACE KARDIOVASKULÁRNÍHO SYSTÉMU

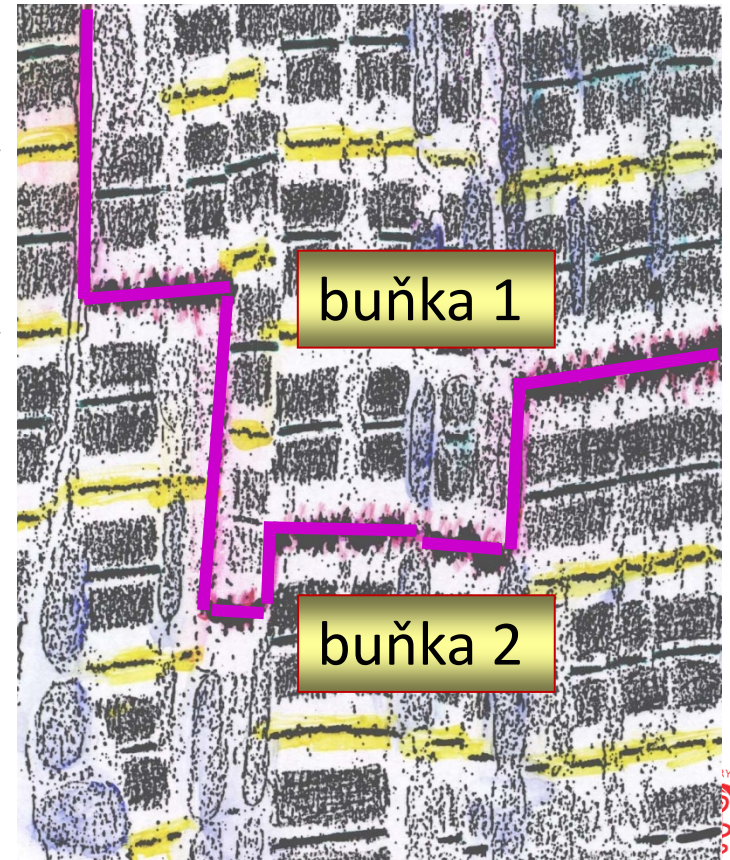
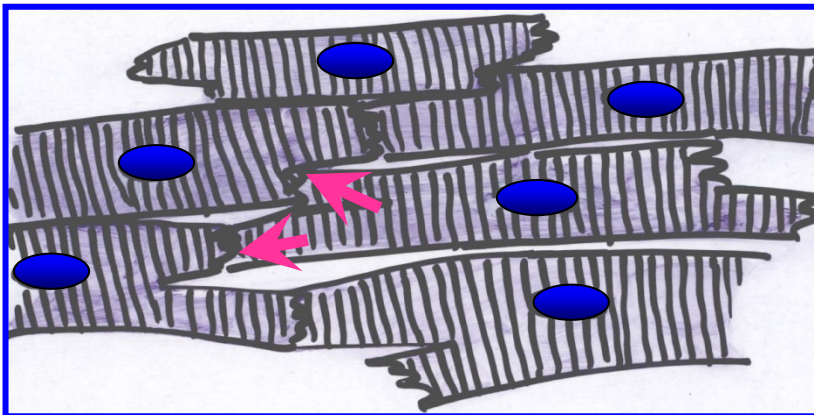
## Dva hlavní typy srdečních buněk

- srdeční buňky pracovního myokardu – specializované pro kontrakci (síňové a komorové buňky)

### FUNKČNÍ SYNCITIUM

- mechanická spojení
- elektrická spojení - **gap junctions**

sarkomera



# ORGANIZACE KARDIOVASKULÁRNÍHO SYSTÉMU

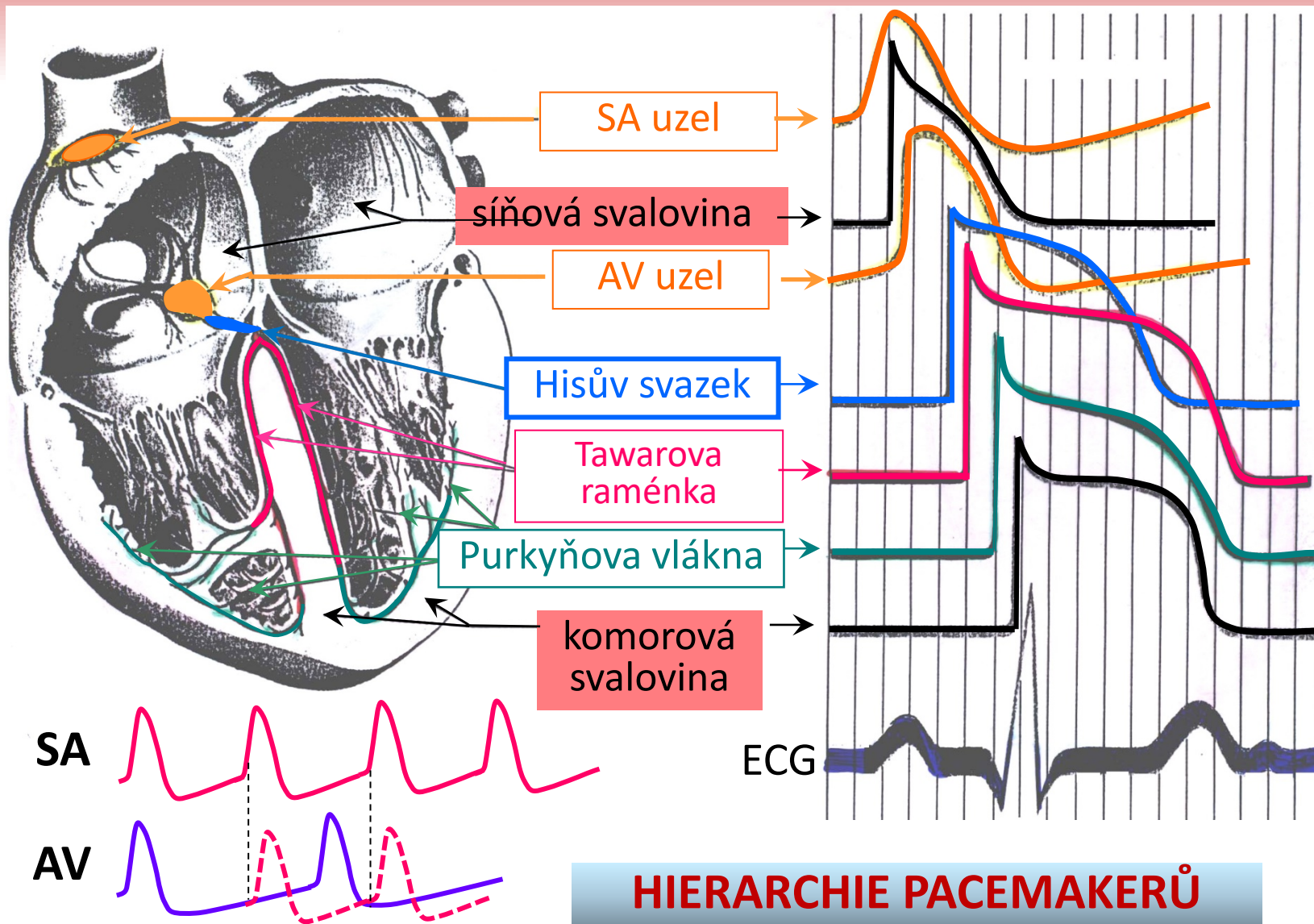
## Dva hlavní typy srdečních buněk

- **srdeční buňky pracovního myokardu** – specializované pro kontrakci (síňové a komorové buňky)
- **srdeční buňky převodního srdečního systému** – specializované pro:
  - automatickou excitaci (pacemakerová aktivita)
  - vedení excitace

### Převodní srdeční systému zajišťuje:

- 1) vznik automatické elektrické aktivity srdce (pacemakerové aktivity), která zahajuje jeho mechanickou aktivitu
- 2) optimální načasování mechanické aktivity srdce jako pumpy

# PŘEVODNÍ SRDEČNÍ SYSTÉM



**HIERARCHIE PACEMAKERŮ**

# PŘEVODNÍ SRDEČNÍ SYSTÉM

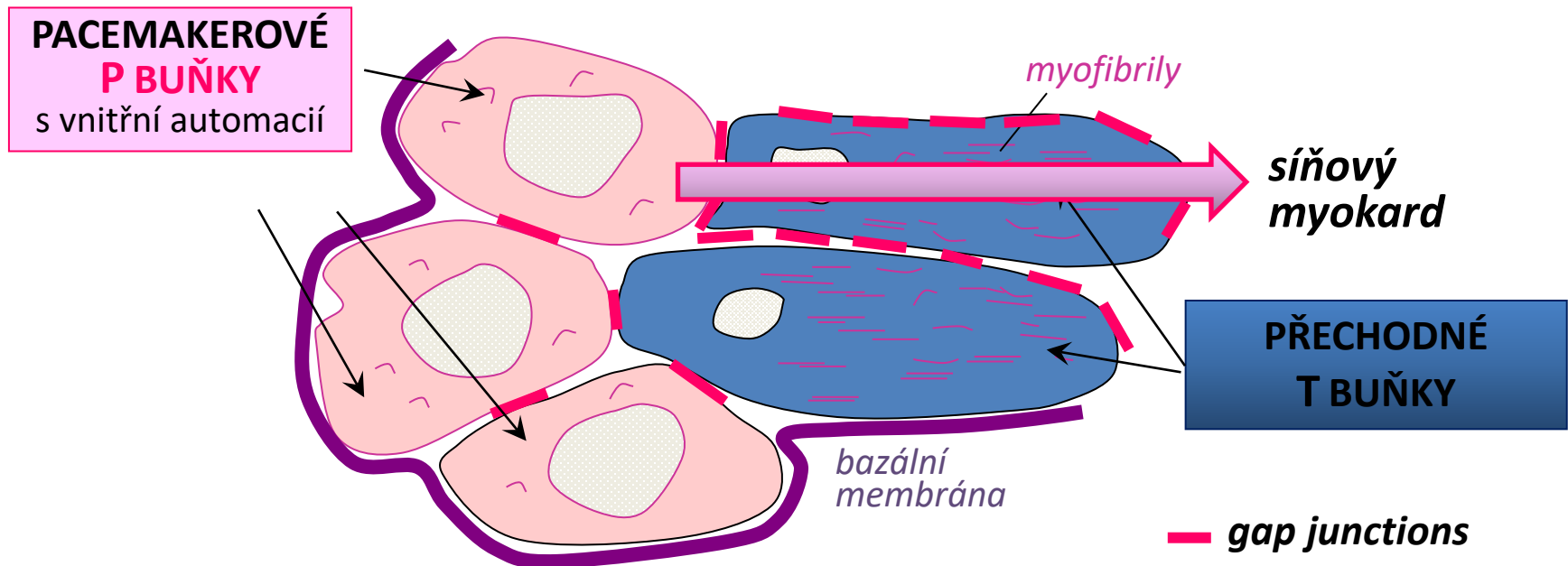
- **SINOATRIÁLNÍ (SA) UZEL**  
**PRIMÁRNÍ pacemaker** (60-100 impulzů/min)



# PŘEVODNÍ SRDEČNÍ SYSTÉM

## SA uzel

### DVA TYPY buněk SA-uzlu



### SICK SINUS SYNDROME

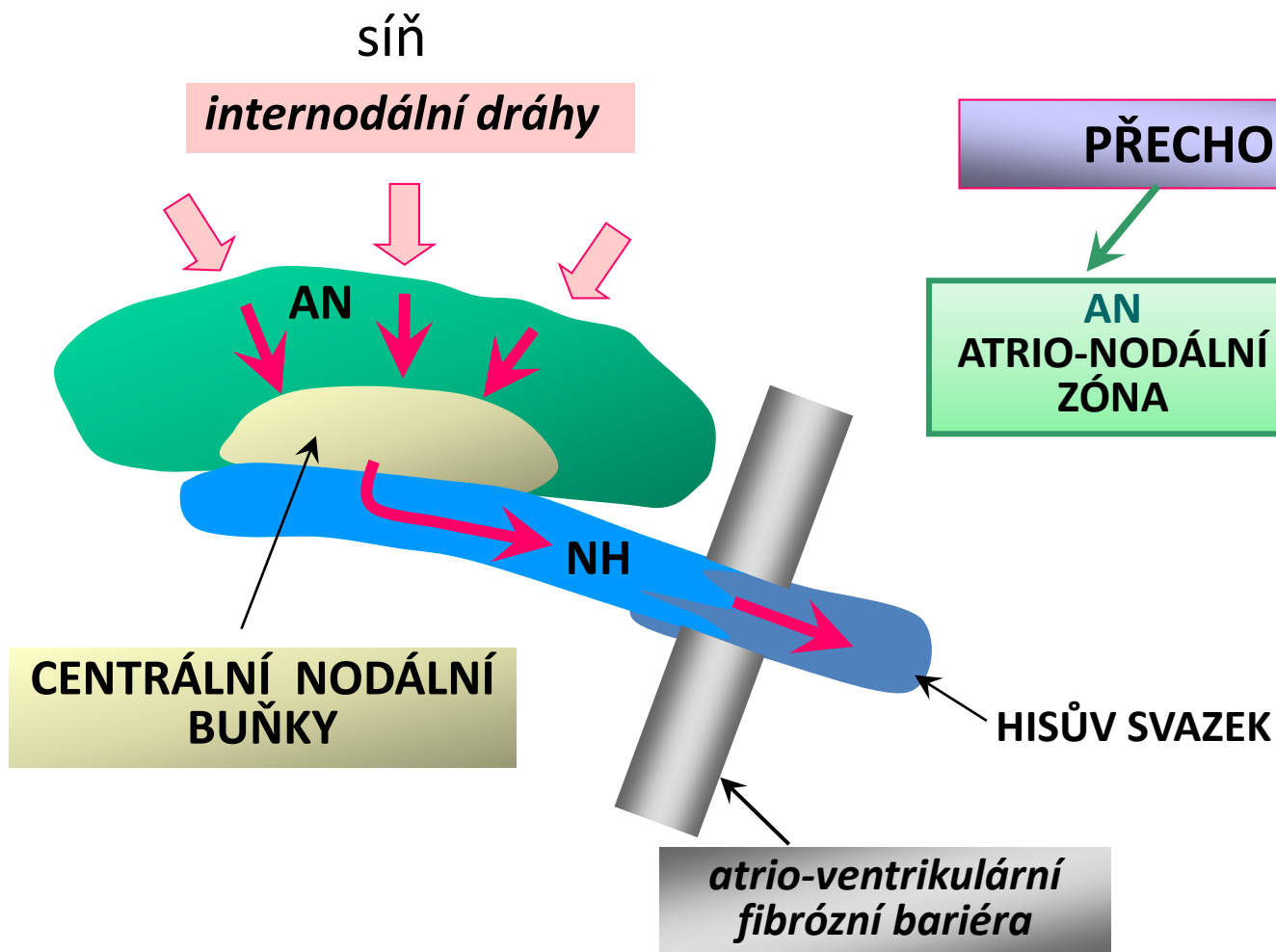
- pacemakerové P buňky jsou poškozeny, aktivita je ↓ nebo zastavena)
- přenos excitace z P buněk na síňové srdeční buňky je omezen či přerušen

# PŘEVODNÍ SRDEČNÍ SYSTÉM

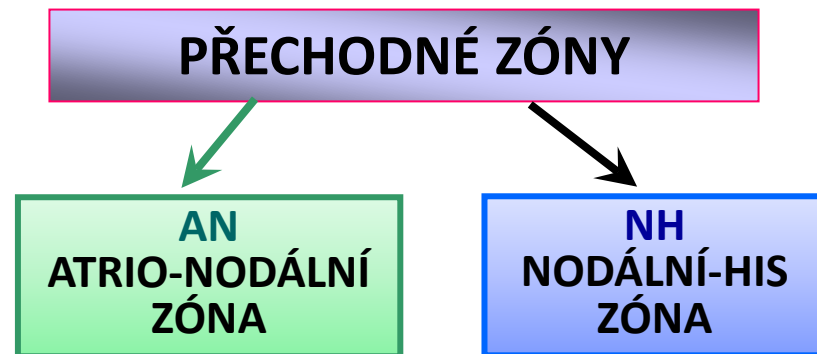
- **SINOATRIÁLNÍ (SA) UZEL**  
**PRIMÁRNÍ pacemaker** (60-100 impulzů/min)
- **ATRIOVENTRIKULÁRNÍ (AV) UZEL**  
**SEKUNDÁRNÍ pacemaker** (40-55 impulzů/min)

# PŘEVODNÍ SRDEČNÍ SYSTÉM

## AV uzel



## TŘI TYPY buněk AV-uzlu



# PŘEVODNÍ SRDEČNÍ SYSTÉM

## AV uzel

- **JEDINÁ CESTA** ŠÍŘENÍ EXCITACE ZE SÍNÍ NA KOMORY (přechodná oblast mezi NH zónou a Hisovým svazkem)
- **ZPOŽDĚNÍ** VE VEDENÍ VZRUCHU ZE SÍNÍ NA KOMORY, ~100 ms (významné pro správné načasování kontrakce síní a komor)
- **NÁHRADNÍ (SEKUNDÁRNÍ) PACEMAKER** (40-55 impulzů/min; význam při *sick sinus syndrome*)
- **FILTR SUPRAVENTRIKULÁRNÍCH ARYTMÍÍ**  
excitace jsou ze síní na komory přenášeny pouze do určité frekvence - 180-200 impulzů/min (ochrana funkce srdce jako pumpy)

# PŘEVODNÍ SRDEČNÍ SYSTÉM

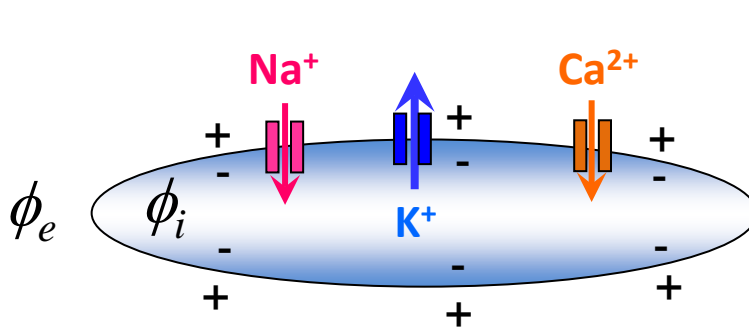
- **SINOATRIÁLNÍ (SA) UZEL**  
**PRIMÁRNÍ pacemaker** (60-100 impulzů/min) 0.05 m/s
- **INTERNODÁLNÍ PREFERENČNÍ DRÁHY** 1 m/s
- **ATRIOVENTRIKULÁRNÍ (AV) UZEL**  
**SEKUNDÁRNÍ pacemaker** (40-55 impulzů/min) 0.05 m/s
- **HISŮV SVAZEK** 1 m/s
- **TAWAROVA RAMÉNKA (LEVÉ A PRAVÉ)** 1 m/s
- **PURKYŇOVA VLÁKNA**  
**TERCIÁRNÍ pacemaker** (25-40 impulzů/min) 4 m/s

**Rychlost vedení excitace v myokardu síní a komor: 1 m/s**

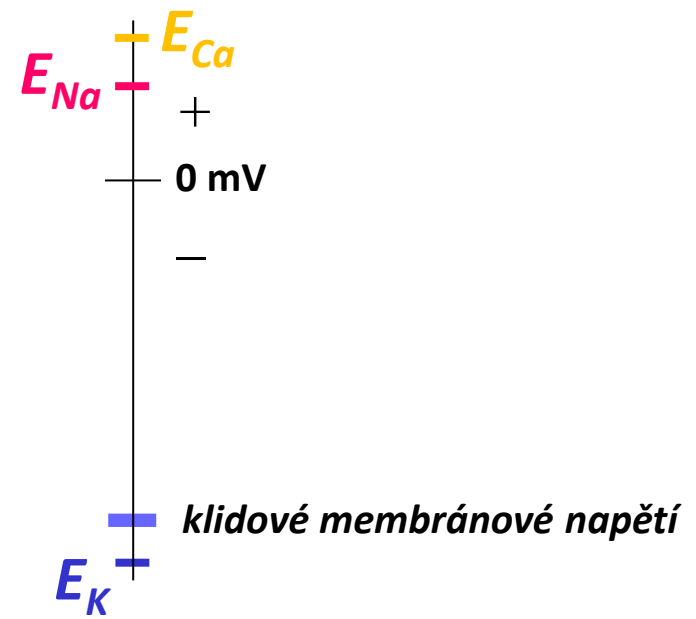
# SRDEČNÍ BUNĚČNÁ ELEKTROFYZIOLOGIE

## Iontové kanály

Pohyb iontů přes otevřené iontové kanály  
po elektrochemickém (koncentračním a elektrickém) gradientu

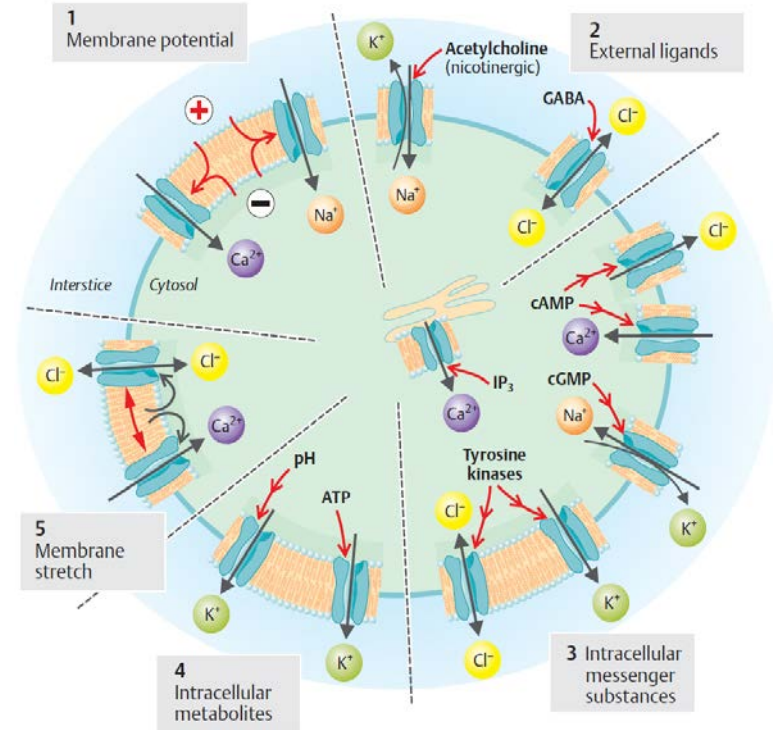
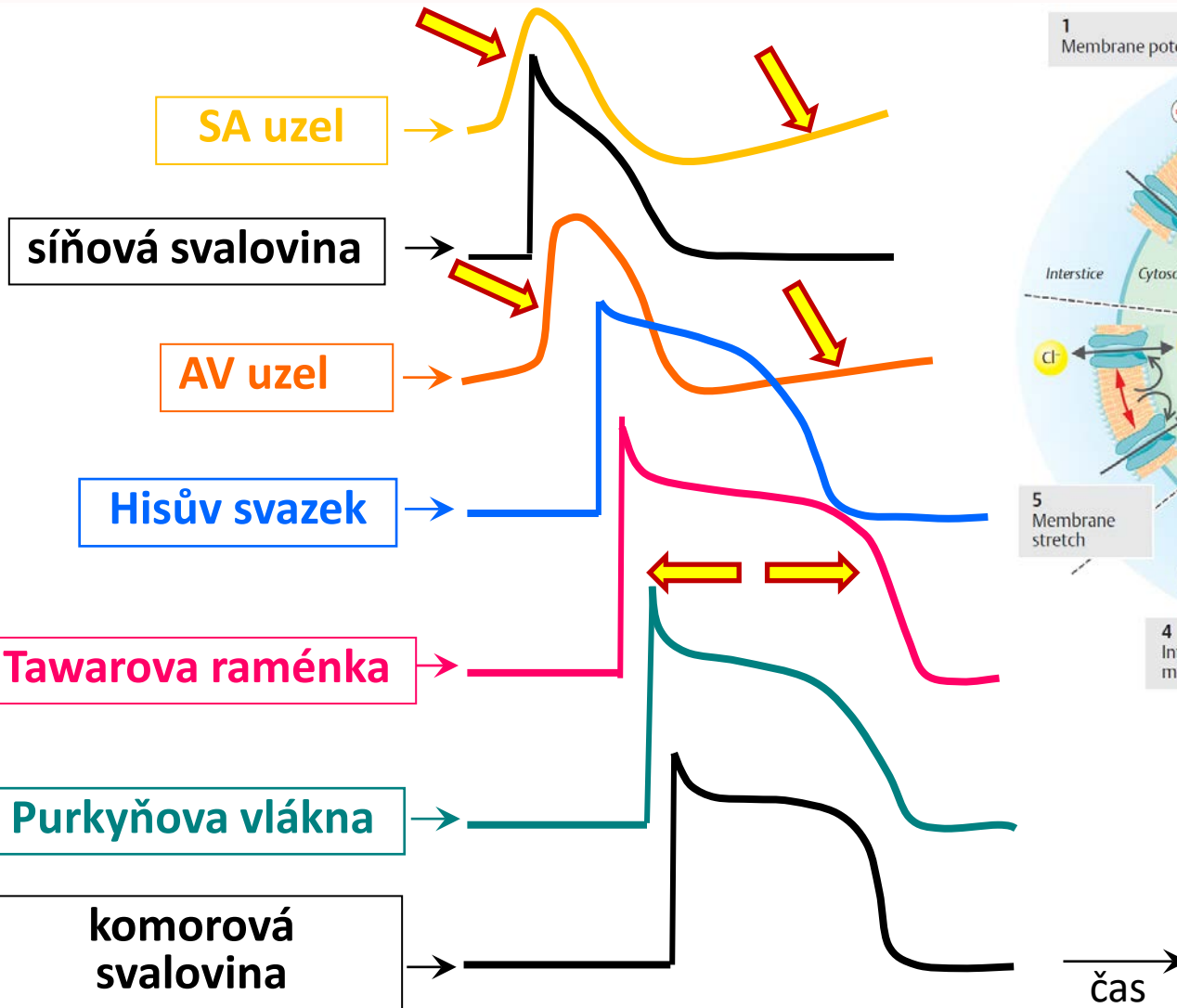


$$V_m = \phi_i - \phi_e$$



# SRDEČNÍ BUNĚČNÁ ELEKTROFYZIOLOGIE

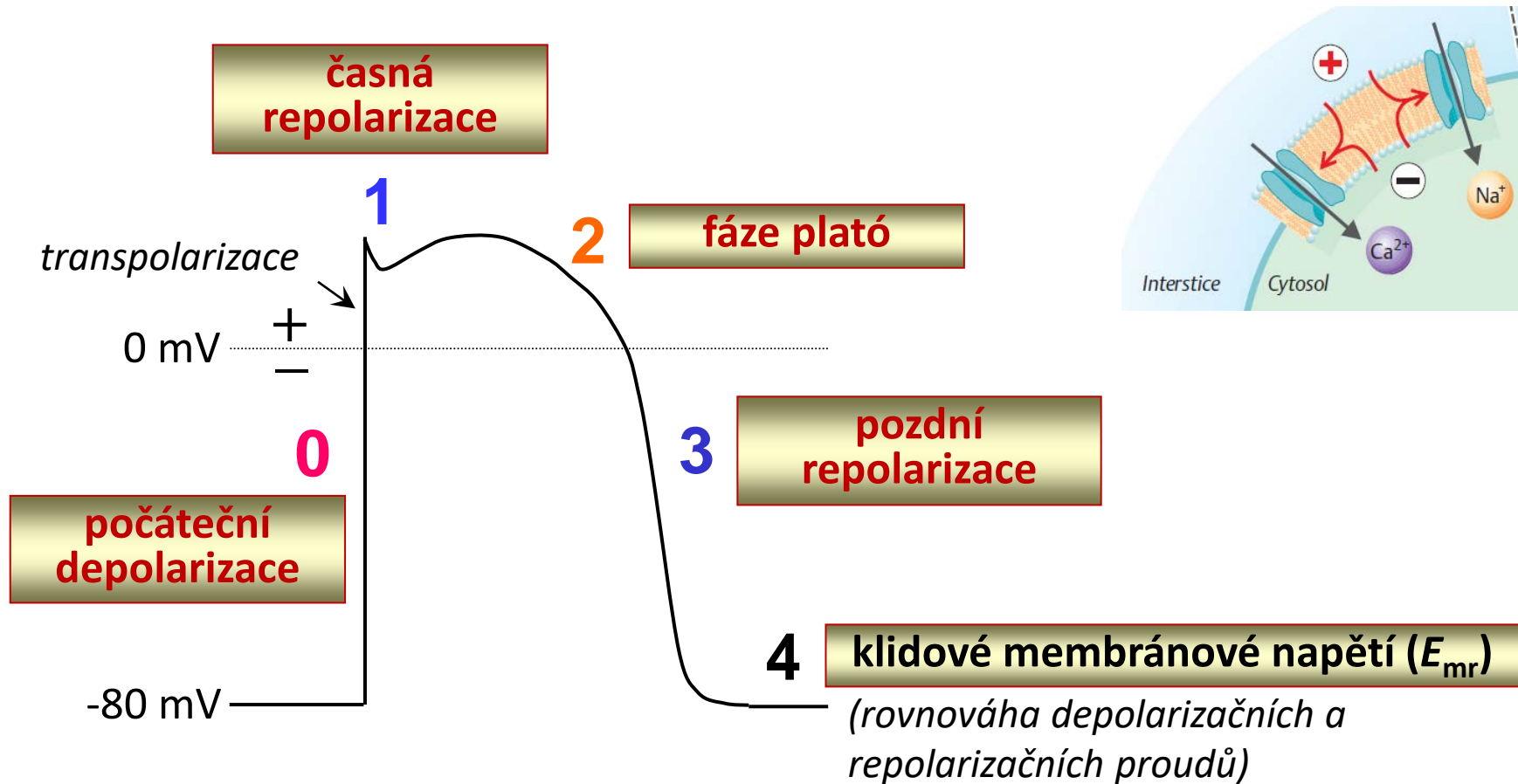
## Iontový podklad akčního napětí



Despopoulos, Color Atlas of Physiology © 2003

# SRDEČNÍ BUNĚČNÁ ELEKTROFYZIOLOGIE

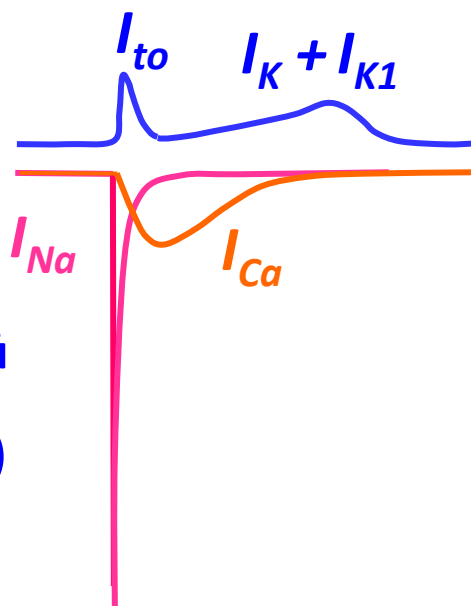
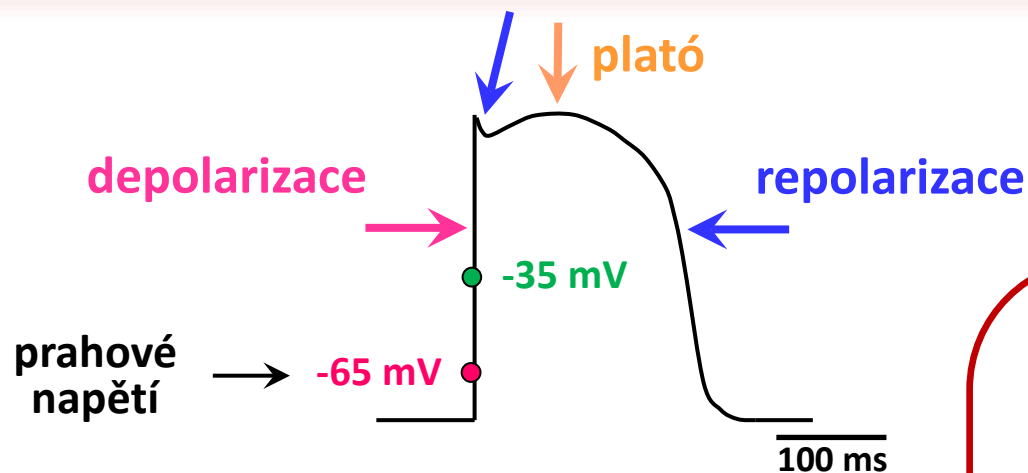
## Iontový podklad akčního napětí



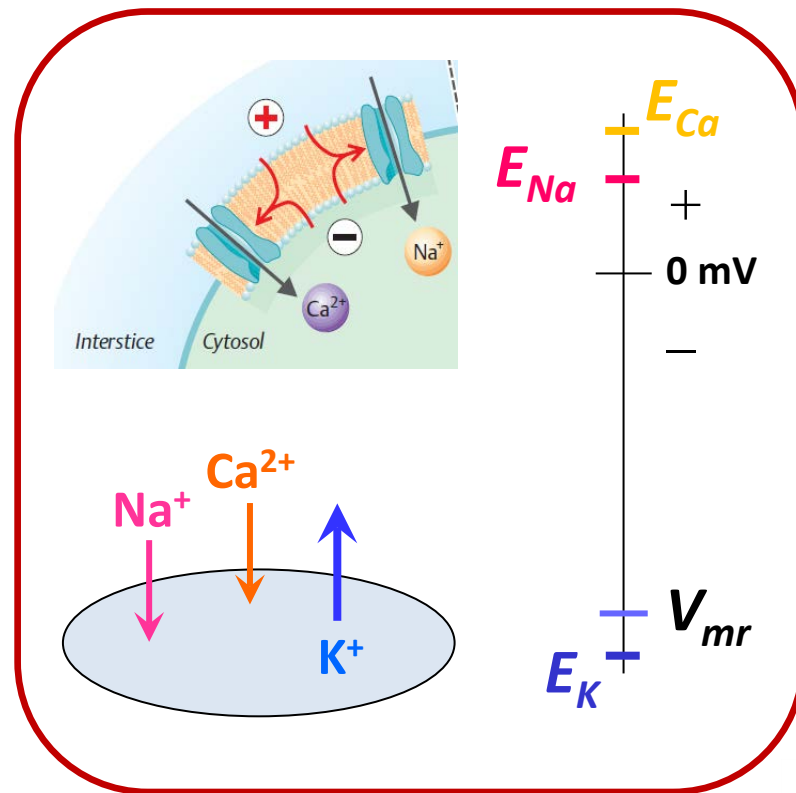


# SRDEČNÍ BUNĚČNÁ ELEKTROFYZIOLOGIE

## Iontový podklad akčního napětí

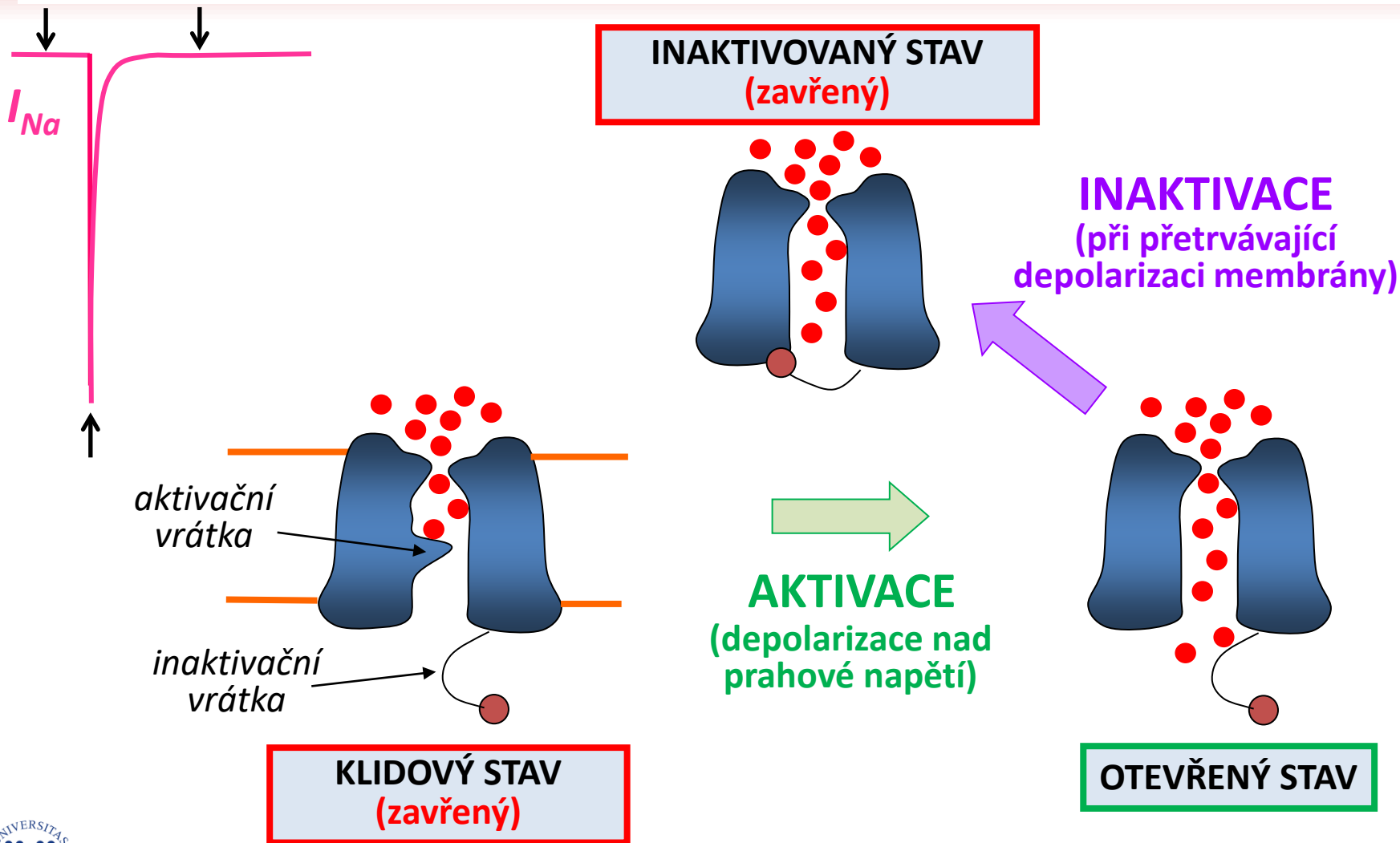


mnoho podtypů draslíkových kanálů (proudů)



# SRDEČNÍ BUNĚČNÁ ELEKTROFYZIOLOGIE

## Iontový podklad akčního napětí



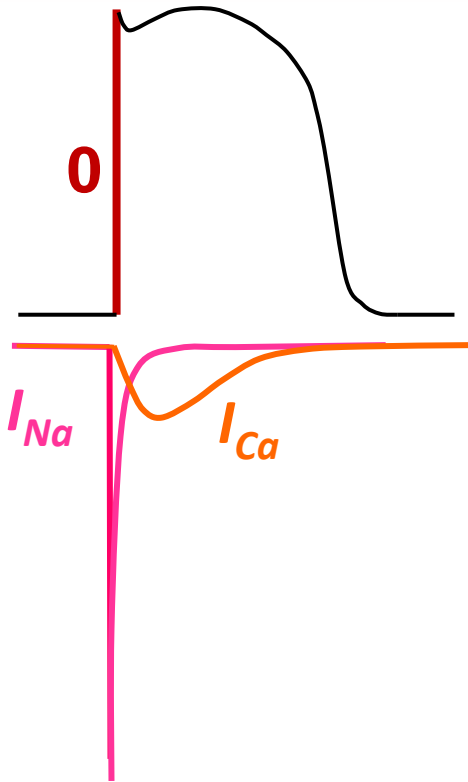
# SRDEČNÍ BUNĚČNÁ ELEKTROFYZIOLOGIE

## Mechanismus depolarizační fáze (fáze 0)

regenerativní (sebeobnovující se) proces

důsledek POZITIVNÍ ZPĚTNÉ VAZBY mezi  
MEMBRÁNOVÝM NAPĚTÍM a VODIVOSTÍ  
MEMBRÁNOVÝCH KANÁLŮ ( $g_{Na}$ ,  $g_{Ca}$ )

pracovní myokard -  $I_{Na}$

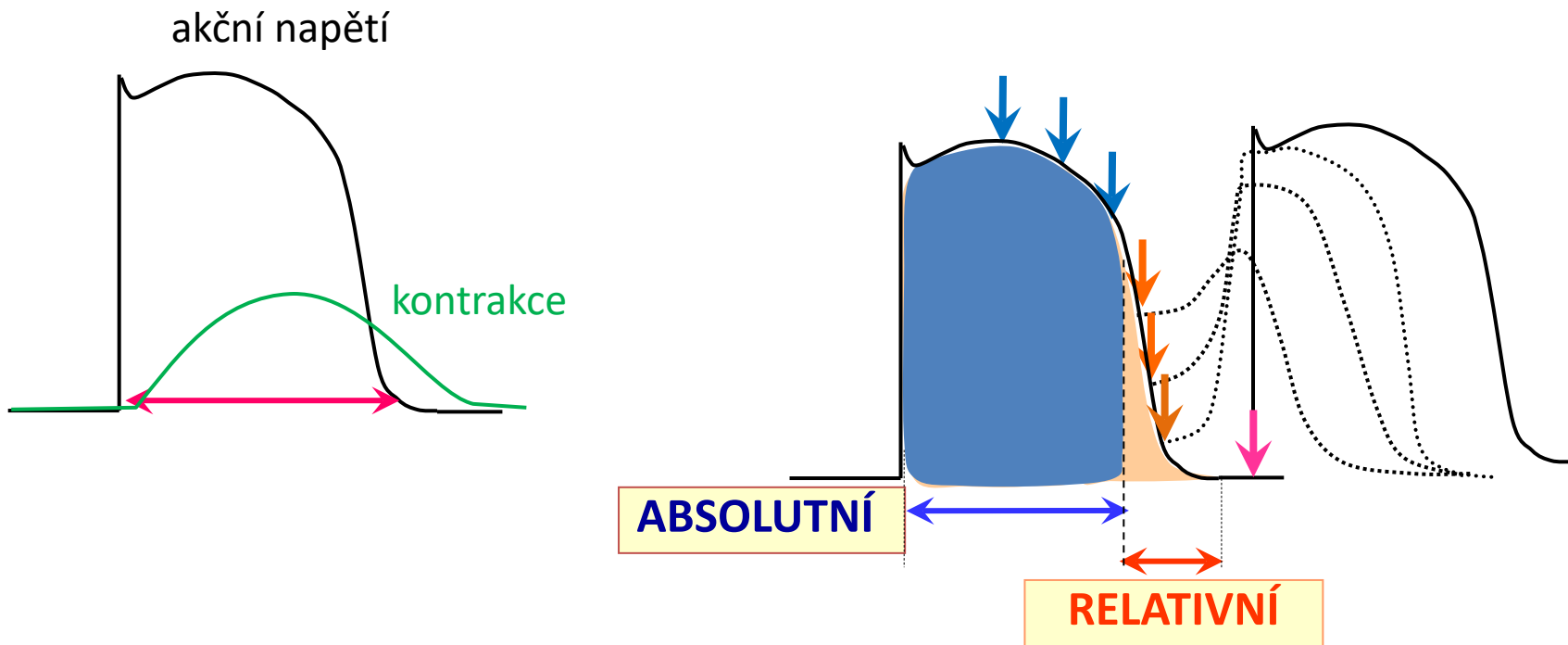


depolarizační proudy

$\uparrow$  depolarizace  $\Rightarrow$   $\uparrow$  vodivost  $Na^+$  ( $Ca^{2+}$ ) kanálů  $\Rightarrow$   $\uparrow I_{Na}$  ( $I_{Ca}$ )  
(přímo úměrná frakci  $Na^+$  ( $Ca^{2+}$ )  
kanálů v otevřeném stavu)

# SRDEČNÍ BUNĚČNÁ ELEKTROFYZIOLOGIE

## Refrakterní perioda – pokles dráždivosti



**ochrana** srdce před:

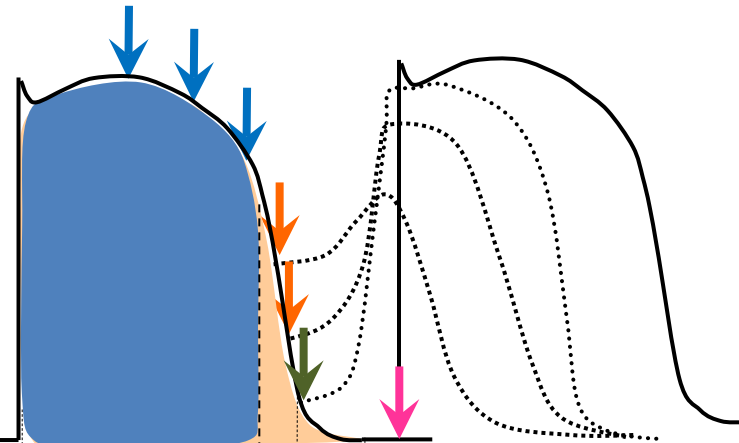
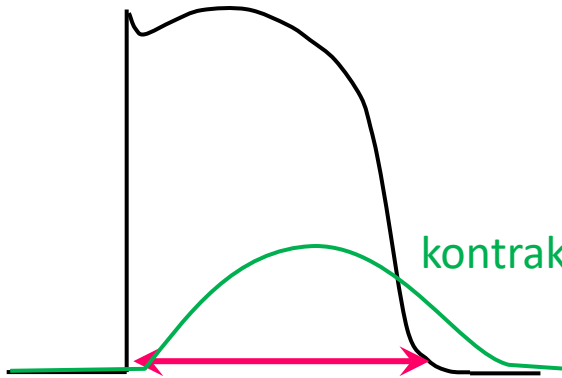
- retrográdním šířením excitace (*reentry*)
- tetanickou kontrakcí při vyšší srdeční frekvenci

# SRDEČNÍ BUNĚČNÁ ELEKTROFYZIOLOGIE

## Refrakterní perioda – pokles dráždivosti

akční napětí

kontrakce



**ABSOLUTNÍ**

**EFFEKTIVNÍ  
REFRAKTERNÍ  
PERIODA**

(ARP + perioda  
nepropagujících se  
odpovědí)

**RELATIVNÍ**

**VULNERABILNÍ PERIODA**  
(propagující se  
odpověď)

zvýšená  
náchylnost  
k fibrilaci  
komor!!!

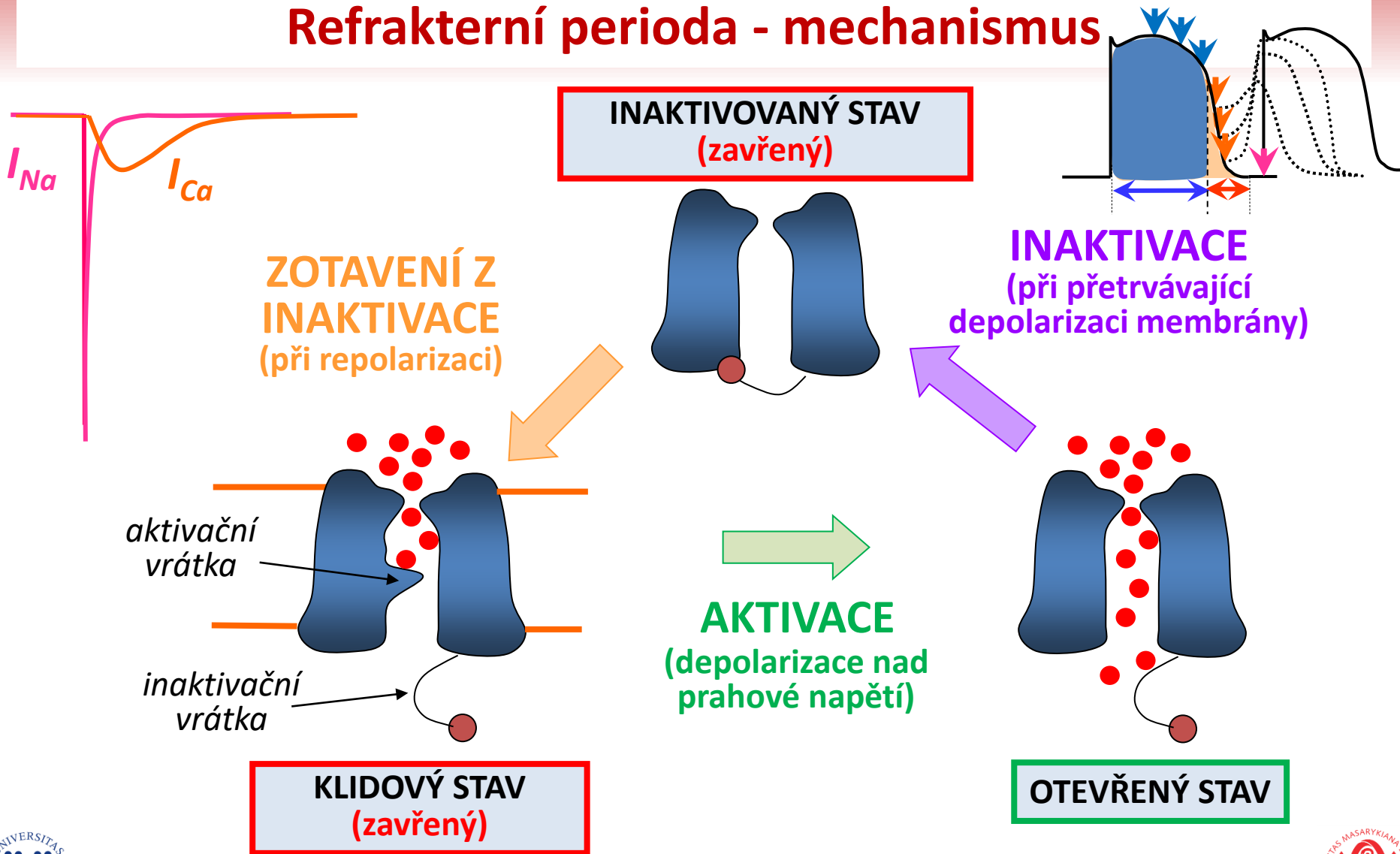
**KLINICKÉ  
ASPEKTY**

EKG

T

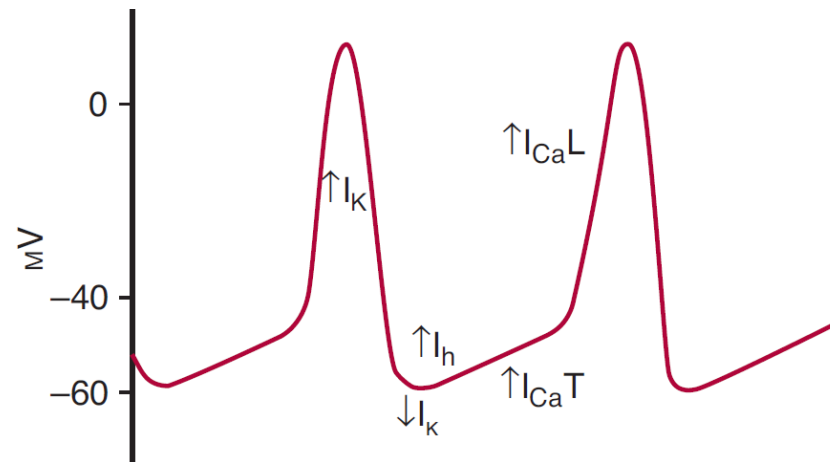
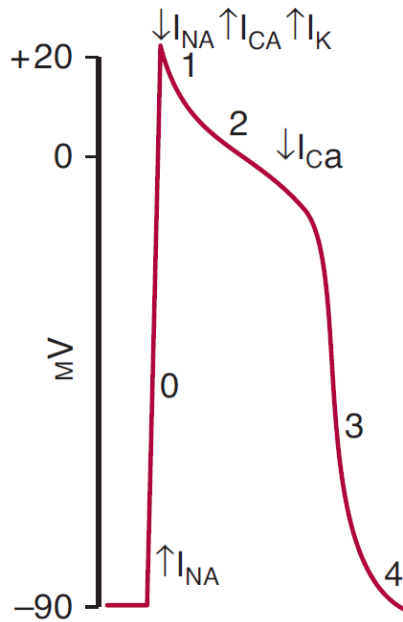
# SRDEČNÍ BUNĚČNÁ ELEKTROFYZIOLOGIE

## Refrakterní perioda - mechanismus



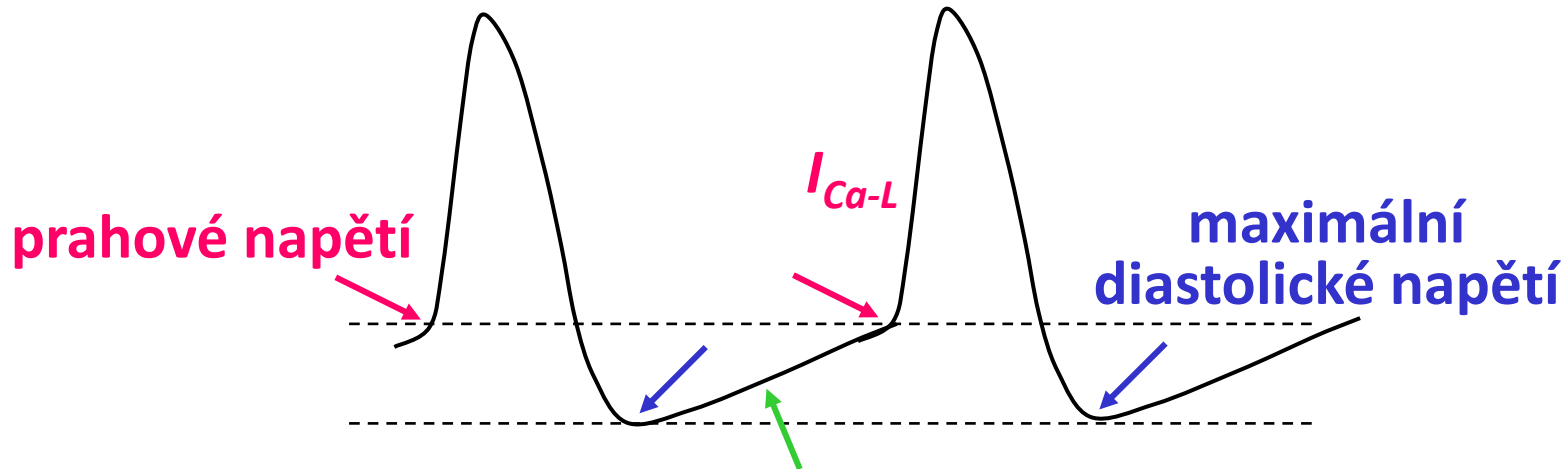
# SRDEČNÍ BUNĚČNÁ ELEKTROFYZIOLOGIE

## Pacemakerová aktivita - mechanismus



# SRDEČNÍ BUNĚČNÁ ELEKTROFYZIOLOGIE

## Pacemakerová aktivita - mechanismus



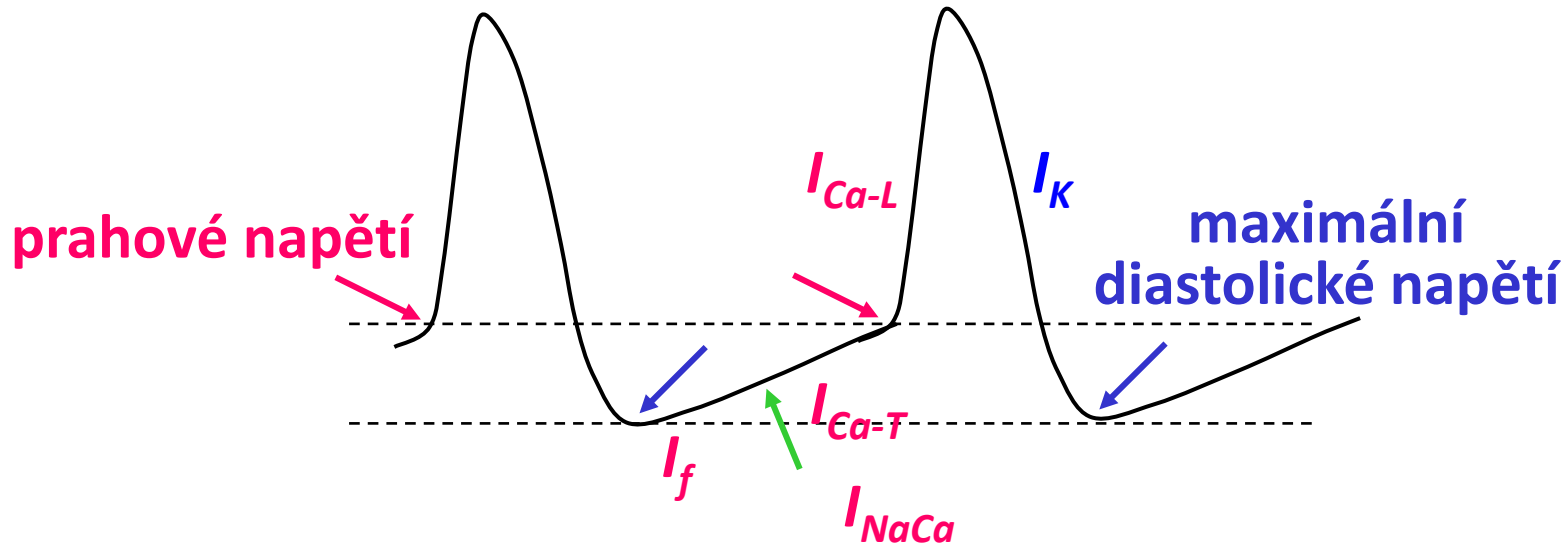
### FAKTORY URČUJÍCÍ SRDEČNÍ FREKVENCI:

- 1) maximální diastolické napětí
- 2) strmost diastolické depolarizace
- 3) prahové napětí pro aktivaci  $I_{Ca-L}$



# SRDEČNÍ BUNĚČNÁ ELEKTROFYZIOLOGIE

## Pacemakerová aktivita - mechanismus

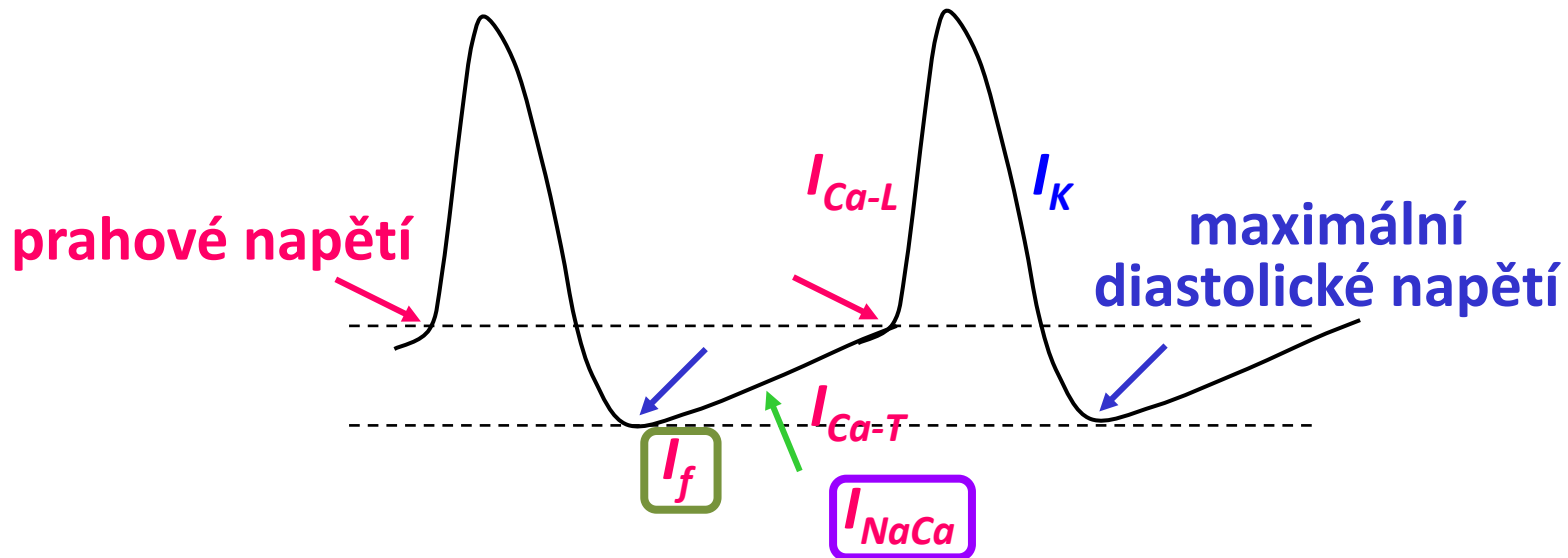


**SLOŽITÝ PROCES, který je VÝSLEDKEM SOUHRY mezi**

- **REPOLARIZAČNÍMI PROUDY, zejména  $I_K$  (včetně  $I_{K,Ach}$ )**
- **DEPOLARIZAČNÍMI PROUDY, zejména  $I_f$ ,  $I_{Ca-T}$  a  $I_{NaCa}$**

# SRDEČNÍ BUNĚČNÁ ELEKTROFYZIOLOGIE

## Pacemakerová aktivita - mechanismus



SLOŽITÝ PROCES, který je VÝSLEDKEM SOUHRY mezi

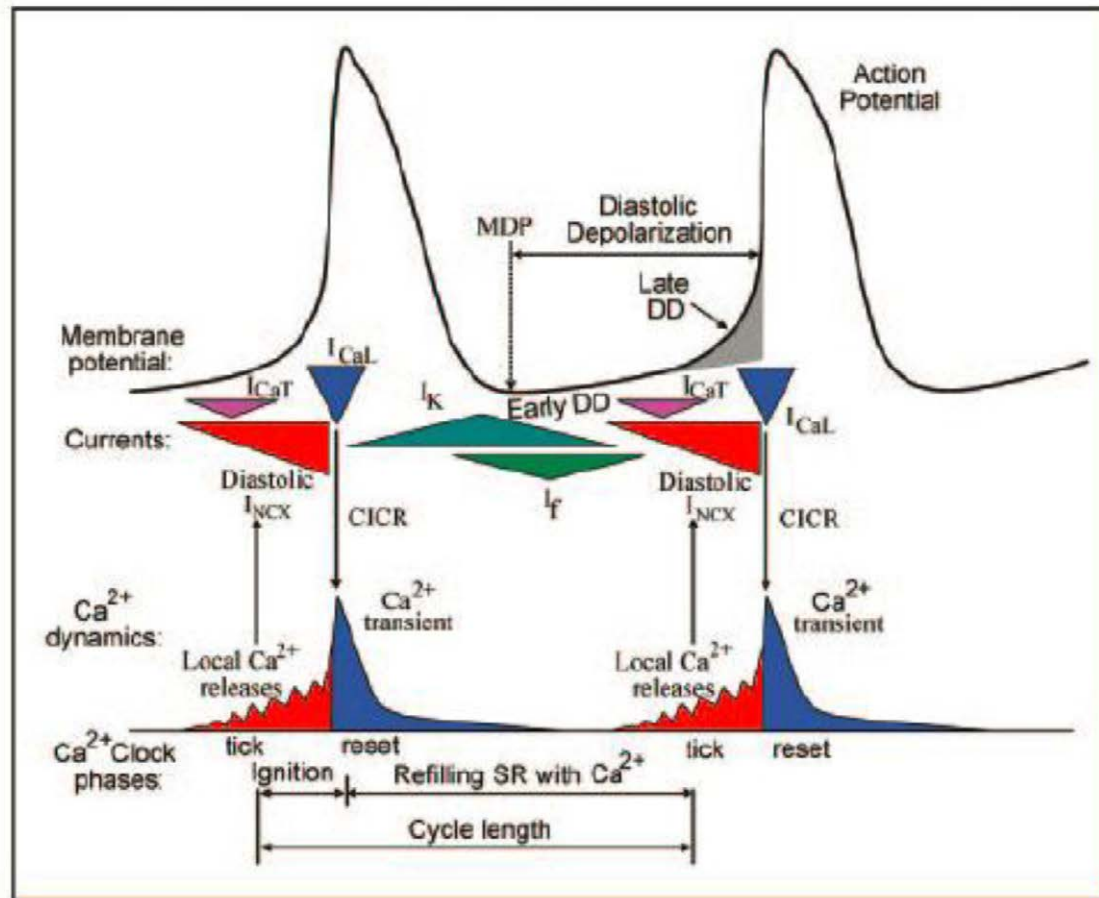
- **REPOLARIZAČNÍMI PROUDY**, zejména  $I_K$  (včetně  $I_{K,Ach}$ )
- **DEPOLARIZAČNÍMI PROUDY**, zejména  $I_f$ ,  $I_{Ca-T}$  a  $I_{NaCa}$

*voltage clock* & *calcium clock*

# CARDIAC CELLULAR ELECTROPHYSIOLOGY

## Pacemaker Activity - Mechanism

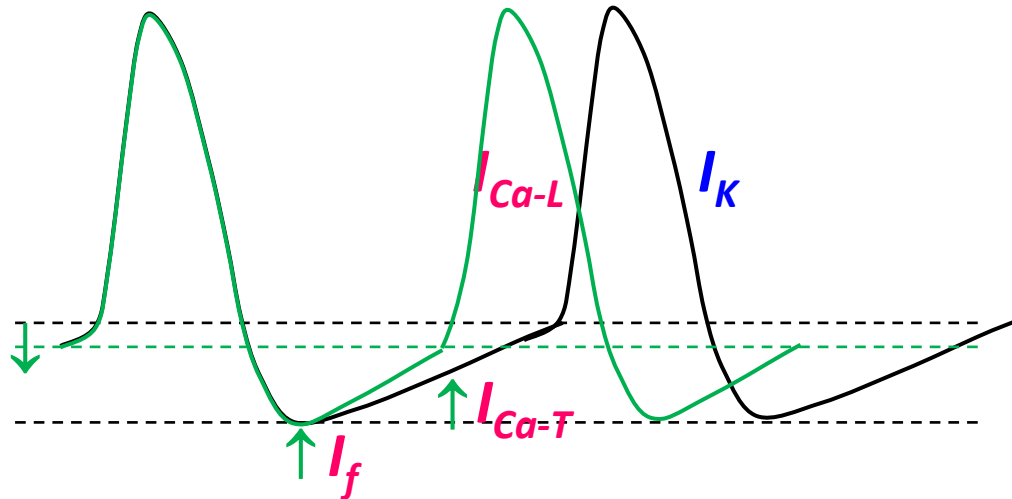
### The coupled-clock pacemaker system



Lakatta et al., Circ Res 2010; 106: 659-673

# SRDEČNÍ BUNĚČNÁ ELEKTROFYZIOLOGIE

## Pacemakerová aktivita - mechanismus

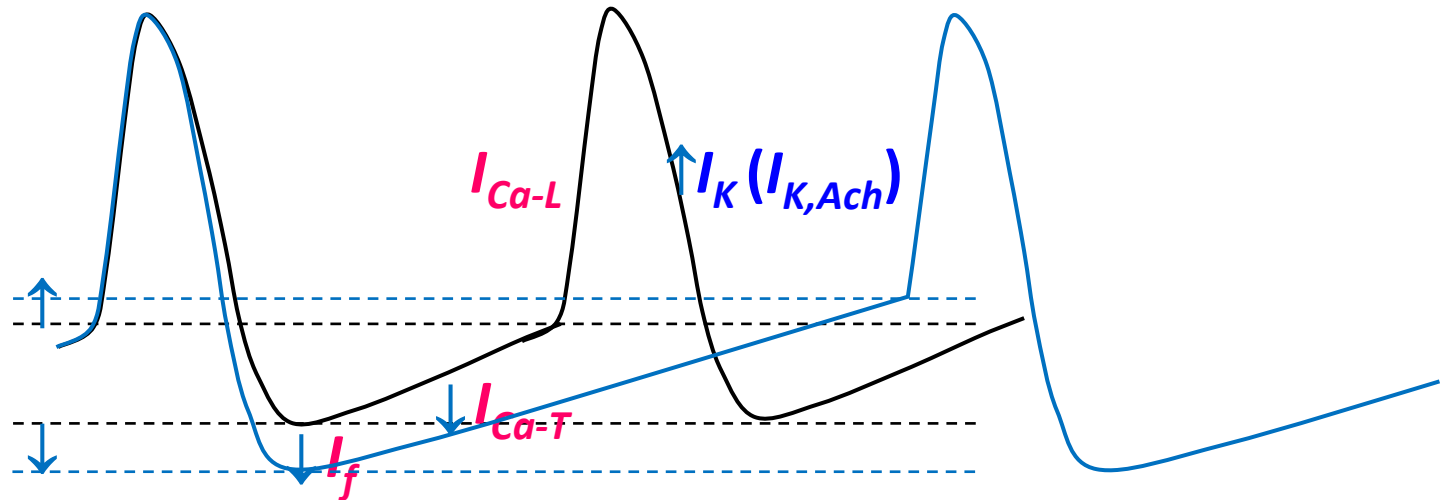


### STIMULACE SYMPATIKU

- $\uparrow$  cAMP  $\longrightarrow$   $\uparrow$   $I_f$  a  $I_{Ca-T}$   $\longrightarrow$   $\uparrow$  strmost diastolické depolarizace  
 $\longrightarrow$   $\downarrow$  prahové napětí pro aktivaci  $I_{Ca-L}$   
( $\uparrow$  excitabilita)

# SRDEČNÍ BUNĚČNÁ ELEKTROFYZIOLOGIE

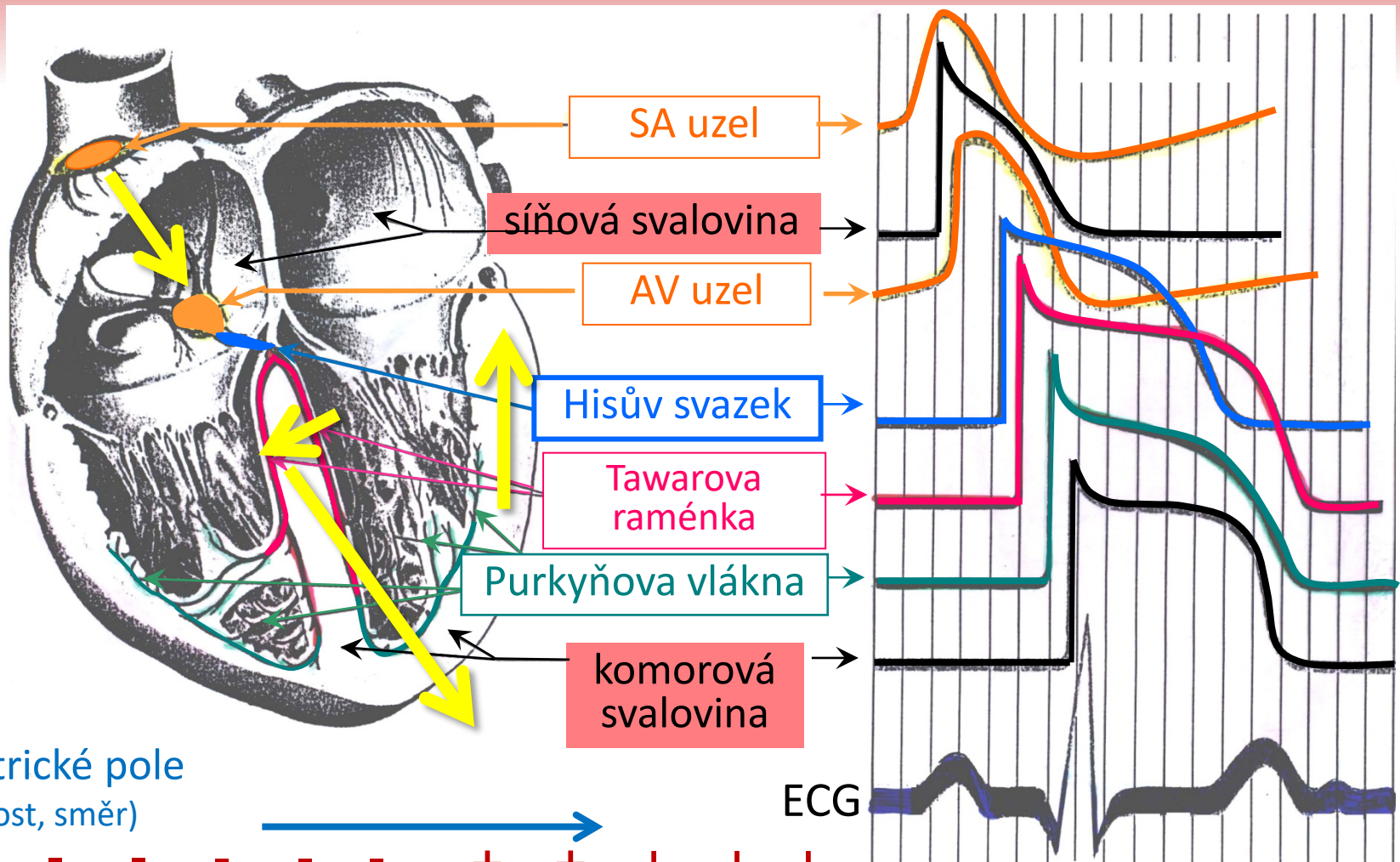
## Pacemakerová aktivita - mechanismus



### STIMULACE PARASYMPATIKU

- $\downarrow$  cAMP  $\longrightarrow$   $\downarrow$   $I_f$  a  $I_{Ca-T}$   $\longrightarrow$   $\downarrow$  strmost diastolické depolarizace  
 $\longrightarrow$   $\uparrow$  prahové napětí pro aktivaci  $I_{Ca-L}$   
( $\downarrow$  excitabilita)
- aktivace  $I_{K,Ach}$   $\longrightarrow$   $\downarrow$  maximální diastolické napětí

# ŠÍŘENÍ EXCITACE SRDCEM



ECG