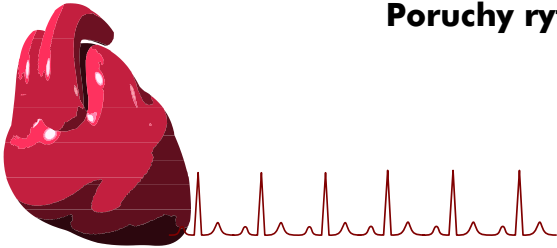
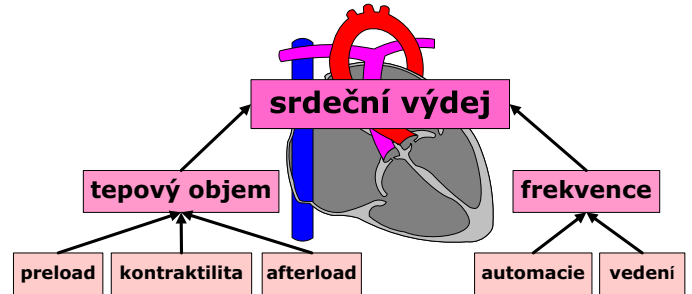


# Elektro(pato)fyziologie

Tvorba a vedení vzruchu v srdci  
Poruchy rytmu

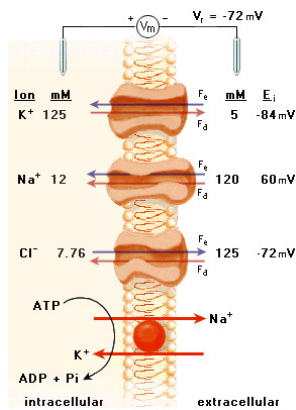


# Srdeční výdej – $CO = SV \times f$



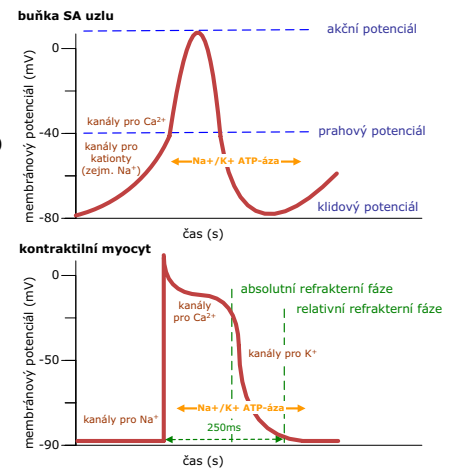
# Klidové membránové napětí

- pro jeden iont
  - Nernstova rovnice
- Pro více iontů
  - Goldmannova rovnice
- Určeno:
  - fixními anionty intracelulárně
  - permeabilitou membrány
    - tj. hustota a vrátkování kanálů
  - $Na^+/K^+$ -ATP-ázou

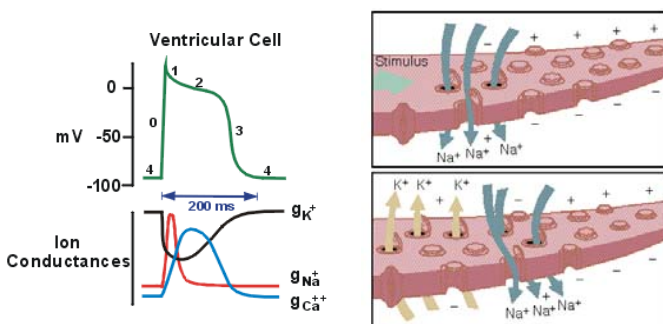


# Srdeční automacie

- Podstatou je fyziologická nestabilita membránového potenciálu P buněk SA uzlu

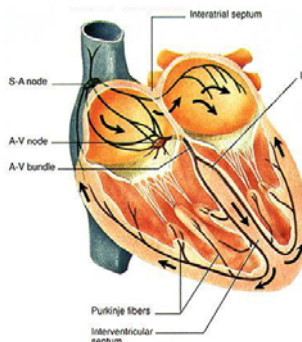


# Časoprostorová koordinace změn potenciálu

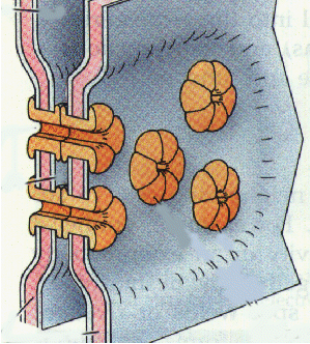


# Převodní systém srdce

- SA uzel
  - internodální síňové spoje
    - Bachmann, Thorel, Wenckebach
- Síňokomorová (AV) junkce
  - AV uzel
  - Hissův svazek
- Tawarova raménka
  - pravé
  - levé
    - přední a zadní fascikulus
- Pukryňova vlákna

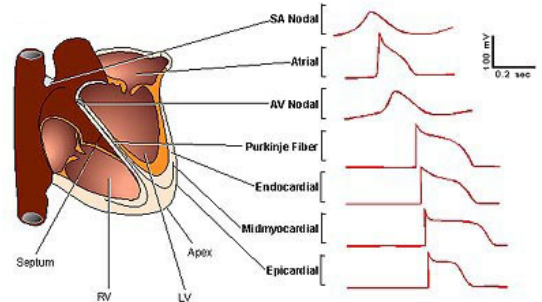


## Vedení mezi kardiocyty

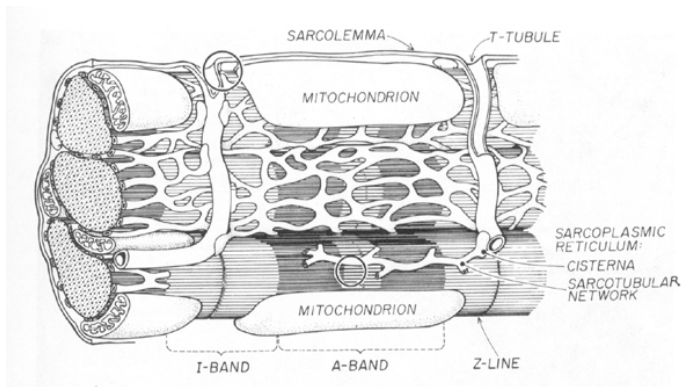


- gap junctions
  - mezibuněčné kanály ( $d=1.5 - 2\text{nm}$ )
  - přestup iontů a malých molekul ( $<1\text{kDa}$ )
  - 4 - 6 podjednotek connexinu

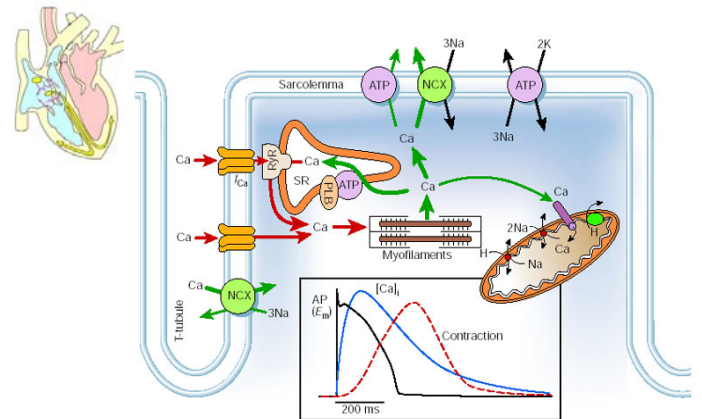
## Dominantní a náhradní pacemakery



## Spojení excitace - kontrakce



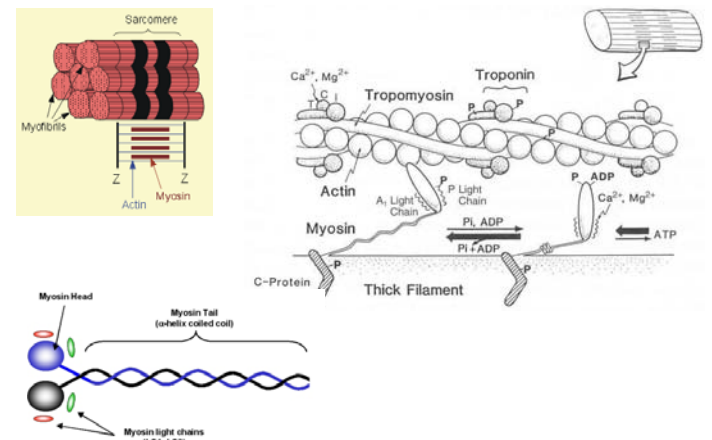
## Spojení excitace - kontrakce



## Iontové kanály

- Vrátkové napětím
  - $\text{Na}^+$  kanál
  - $\text{K}^+$  kanály ( $\text{K}_v$ ,  $\text{K}_{ir}$ )
  - $\text{T-Ca}^{2+}$  kanál,  $\text{L-Ca}^{2+}$  kanál (DHP)
- Vrátkové ligandem s G-proteinem
  - $\text{K}^+$  kanál citlivý na acetylcholin
  - $\text{K}^+$  kanál citlivý na adenosin
- Vrátkové ligandem bez G-proteinu
  - $\text{K}^+$  kanál citlivý na ATP
- Vrátkové mechanickým roztažením

## Kontraktilní aparát



## Klasifikace poruch srdečního rytmu = tj. arytmií

- (1) podle důsledku
  - tachykardie (>100/min, pravidelná), tachyarytmie (nepravidelná)
  - bradykardie (<60/min, pravidelná), bradyarytmie (nepravidelná)
- (2) podle původu
  - supraventrikulární
  - ventrikulární
- (3) podle patogeneze
  - poruchy tvorby vzruchu
    - homotopní
    - heterotopní (ektopie)
    - chaotické (flutter, fibrilace)
  - poruchy vedení
    - blokády
    - preexcitace
- (4) podle etiologie
  - kardiální
    - ischemie, remodelace při selhání a vadách (hypertrofie, dilatace), KMP
  - extrakardiální
    - elektrolytové dysbalance, hypoxie, poruchy ABR

## Poruchy tvorby vzruchu

- Homotopní automacie = v SA uzlu
  - fyziologická
    - sinusová tachy-/bradykardie jako následek aktivace autonomního nervového systému
    - bradykardie sportovců
    - respirační arytmie
  - patologická
    - sinus arrest
      - občasný výpadek následovaný uniklým stahem
    - syndrom nemocného SA uzlu (SSS)
      - záchvatovitá bradykardie event. střídaná paroxysmy tachykardie

A - sinus arrest následovaný uniklým stahem



B - sick sinus syndrom



## Poruchy tvorby vzruchu

- Heterotopní automacie = mimo SA uzel
  - zdrojem automacie jiné místopřevodního systému popř. kontraktilní myocyty
  - pasivní = uniklý rytmus
    - nahrazuje chybějící činnost SA uzlu
      - při sinus arrest nebo poruchách AV vedení
      - vede k bradykardii
  - aktivní
    - extrasystoly
    - spuštěná aktivita - viz dále

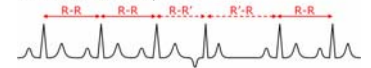
A - pasivní heterotopní (uniklý) rytmus



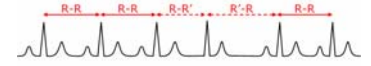
## Extrasystoly

- Síňová
- Junkční
  - nemají vliv na hemodynamiku
  - neúplná kompenzační pauza
  - podkladem mikroreentry
- Komorová
  - vznik distálně od Hissova svazku
    - monotopní vs. polytopní
  - úplná kompenzační pauza
  - podkladem mikroreentry nebo "spuštěná aktivita"
  - často předchází komorovou tachykardií

A - síňová extrasystola



B - junkční extrasystola



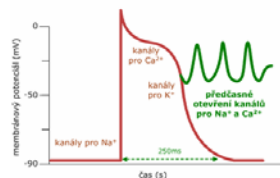
C - komorová extrasystola



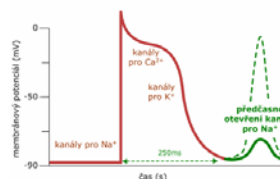
## Spuštěná (triggered) aktivita

- Patologická spontánní periodická depolarizace části myokardu
  - bez impulsu z převodního systému
    - v důsledku nestability membránového potenciálu
  - vede k tachyarytmii v důsledku
    - časné následné depolarizace
      - projevem je komorová tachyarytmie
    - pozdní následné depolarizace
      - projevem je komorová extrasystola nebo tachyarytmie

A - časná následná depolarizace



B - pozdní následná depolarizace



## Syndrom dlouhého QT (LQTS)

- Porucha repolarizace
  - protrahovaný vtok  $\text{Na}^+$  nebo  $\text{Ca}^{2+}$
  - protrahovaný výtok  $\text{K}^+$
- (1) dědičná forma (LQTS1 - 7)
  - mutace v  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}_v^+$  a L- $\text{Ca}^{2+}$  kanálech
- (2) získaná forma
  - některé léky (antibiotika, antidepresiva, diuretika, statiny, ...)
  - genetická dispozice???
- Projev
  - abnormalita EKG, synkopa, křeče, arytmie ("torsades de points"), náhlá smrt

A - normální nález

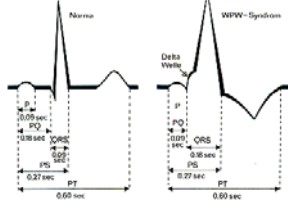
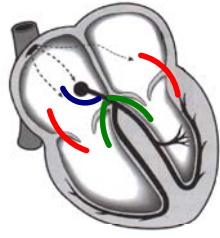


B - syndrom dlouhého QT

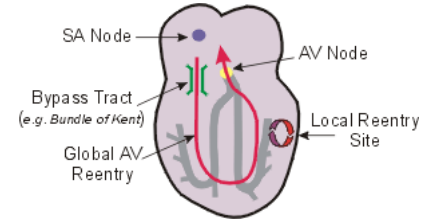
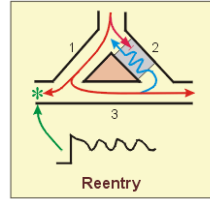
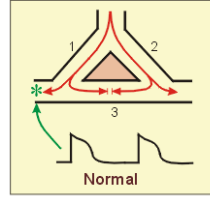


## Poruchy vedení vzruchu

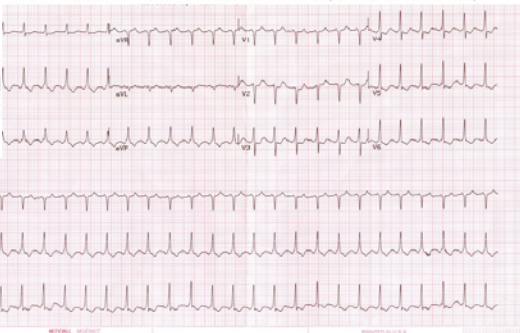
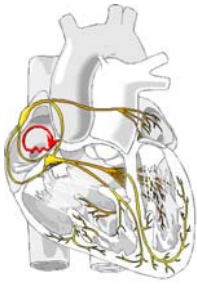
- Šíření vzruchu přidatným svazkem = preexitace
  - akcesorní svazky
    - Kent ■, James ■, Mahaim ■
  - zrychlení AV převodu (zkrácený PQ interval)
  - popř. roztažení QRS ( $\delta$ -vlna)
- konstantní anomálie EKG
  - Wolf-Parkinson-White syndrom (WPW)
  - Lown-Gannong-Levine (LGL)
- reentrantní SVT tachykardie
  - síňová, junkční, atrioventrikulární



## Re-entry fenomén



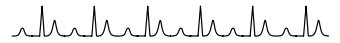
## Supraventrikulární tachykardie



## Poruchy vedení vzruchu

- Blokády
  - SA blokáda
    - 1. - 3. st.
    - projevy
      - nic
      - bradykardie, bradyarytmie
  - AV blokáda
    - 1. - 3. st.
    - projevy
      - nic (1. st.)
      - bradykardie, bradyarytmie
  - blokáda Tawarova raménka
    - projevy
      - nic

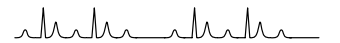
AV blok 1. st.



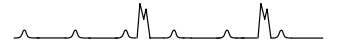
AV blok 2. st. - typ Wenkebach



AV blok 2. st. - typ Mobitz



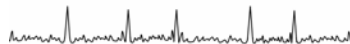
AV blok 3. st.



## Fibrilace a flutter síní

- depolarizace bez zjevného pacemakeru
  - u fibrilace chaoticky se šíří
- negeneruje žádné tlaky
- vyvolávající faktory:
  - dilatace, hypoxie,  $[K^+]$ ,  $[Ca^{2+}]$ ,  $[H^+]$
- Síňová fibrilace
  - fibrilační vlnky (350-600/min)
  - $\downarrow$  CO  $\sim$ 15%
  - frekvence nepravidelná normální nebo tachyarytmie
  - podkladem nejč. dilatace síní, komplikací trombotizace
- Síňový flutter
  - f síní 250-350-min, pravidelná, konstantní převod x:1
  - podkladem reentry nebo časná násl. depolarizace

A - fibrilace síní

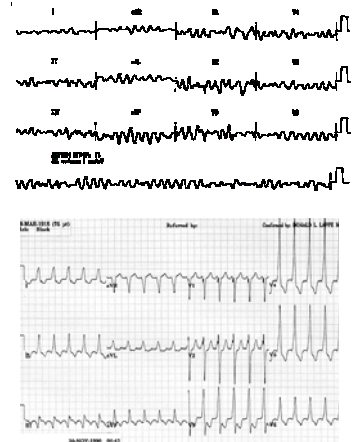


B - flutter síní



## Fibrilace a flutter komor

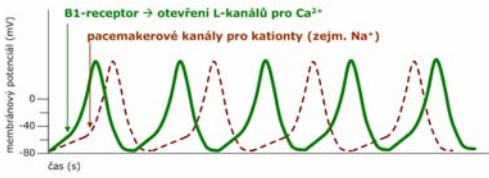
- Fibrilace
  - vlnky  $>$ 300/min
  - navazuje na komorovou extrasystolu, tachykardii nebo flutter
  - fatální pokud nepřerušena
    - ztráta vědomí (10s), smrt mozku (4-5min)
- Flutter
  - vlnky 250-300/min
  - $\downarrow$ CO (diastolické plnění) !!





## Vegetativní stimulace srdce

### A - adrenergní stimulace (SYMPATIKUS)

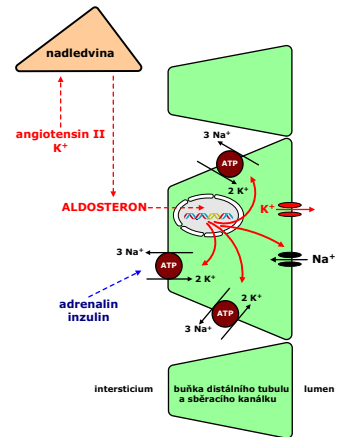


### B - cholinergní stimulace (PARASYMPATIKUS)

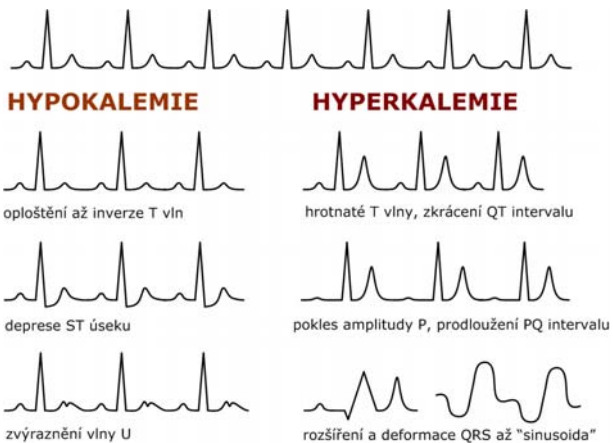


## Hyper- a hypokalemie

- 98% K<sup>+</sup> v ICF
  - 35x více než v ECF (3.8 – 5.5 mmol/l)
  - Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> ATP-áza
- Vysoká permeabilita membrány pro K<sup>+</sup>
  - příspěvek ke klidovému membránovému potenciálu
  - změny kalemie v ECF rychle reflektovány v ICF
- Regulace [K<sup>+</sup>] v ECF – exkrece ledvinami
  - aldosteron, [K<sup>+</sup>], inzulin, adrenalin
- Hyperkalemie
  - zpomaluje depolarizaci, zrychluje repolarizaci
- Hypokalemie
  - zrychluje depolarizaci, zpomaluje repolarizaci



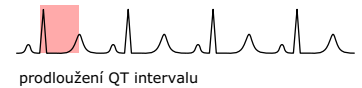
## EKG při změnách [K<sup>+</sup>]



## Hypo- a hyperkalcemie

- Bilance kalcia
  - resorbce z potravy ve střevě (nabídka, vitamin D)
  - exkrece v ledvině (parathormon)
  - resorbce vs. novotvorba kosti (parathormon, kalcitonin)
- Celková plazmatická hladina Ca (2.0 - 2.7 mmol/l)
  - 45 – 50% ionizované Ca
  - Ca vázané na bílkoviny (zejm. albumin)
  - v komplexech s bikarbonátem, fosfátem aj.
    - ionizace kalcia je ovlivněna pH
    - pokles vede ke zvýšení nervosvalové dráždivosti
      - viz parestezie, spazmy, laryngospasmus až tetanie při resp. alkalóze
- Na plazmatickou [Ca<sup>2+</sup>] mají vliv rovněž fosfáty
  - součin koncentrace kalcia a fosfátů je zhruba konstantní
- Hyperkalcemie
  - zrychluje repolarizaci (↓ ST, QT)
- Hypokalcemie
  - zpomaluje repolarizaci (↑ ST, QR)

### HYPOKALCEMIE



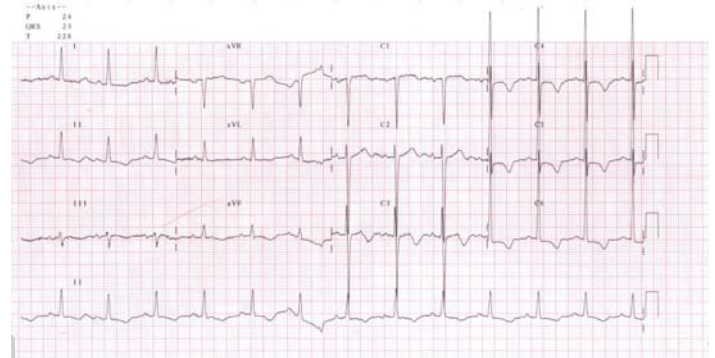
### HYPERKALCEMIE



## Projevy a důsledky arytmií

- Benigní
- Manifestní
  - hemodynamicky významné - vliv na srdeční výdej!!!
  - riziko náhlé smrti
- Subjektivní
  - palpitace
  - vynechání tepu
  - dyspnoe
  - únava
- Objektivní
  - nepravidelný tep
  - synkopa
  - příznaky srd. selhání
  - zástava

## Nejčastější arytmie vůbec?



## Shrnutí důsledků arytmií

původ	tachyarytmie	bradyarytmie
SA uzel	sin. tachykardie	sin. bradykardie
síně	extrasystoly, flutter, fibrilace, paroxysmální a neparoxysmální SVT	syndrom nemocného sinu, uniklé rytmy
AV junkce	paroxysmální SVT	blokády 2. a 3. st.
komory	extrasystoly, tachykardie, (vč. "torsade de pointes"), flutter, fibrilace	

## Praktikum

