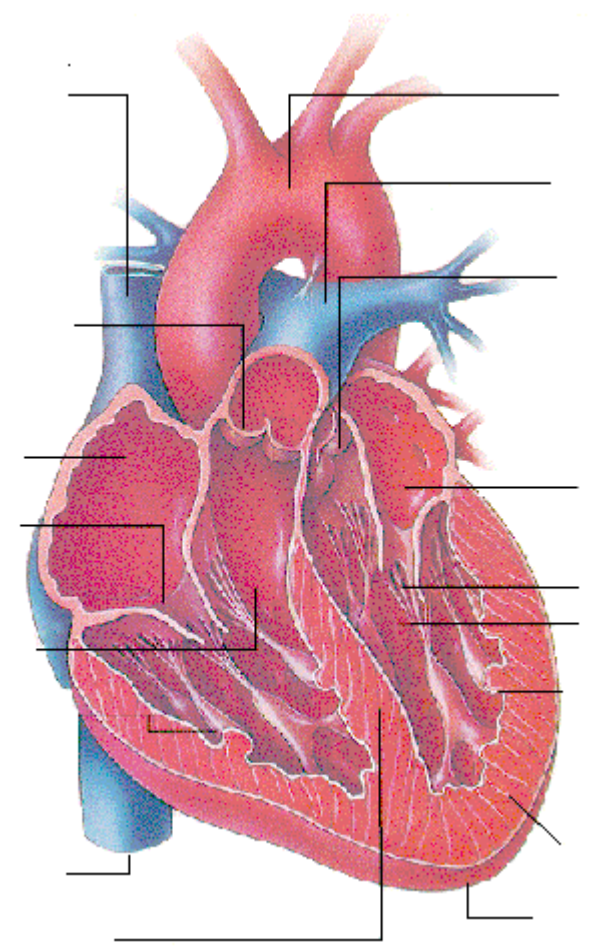


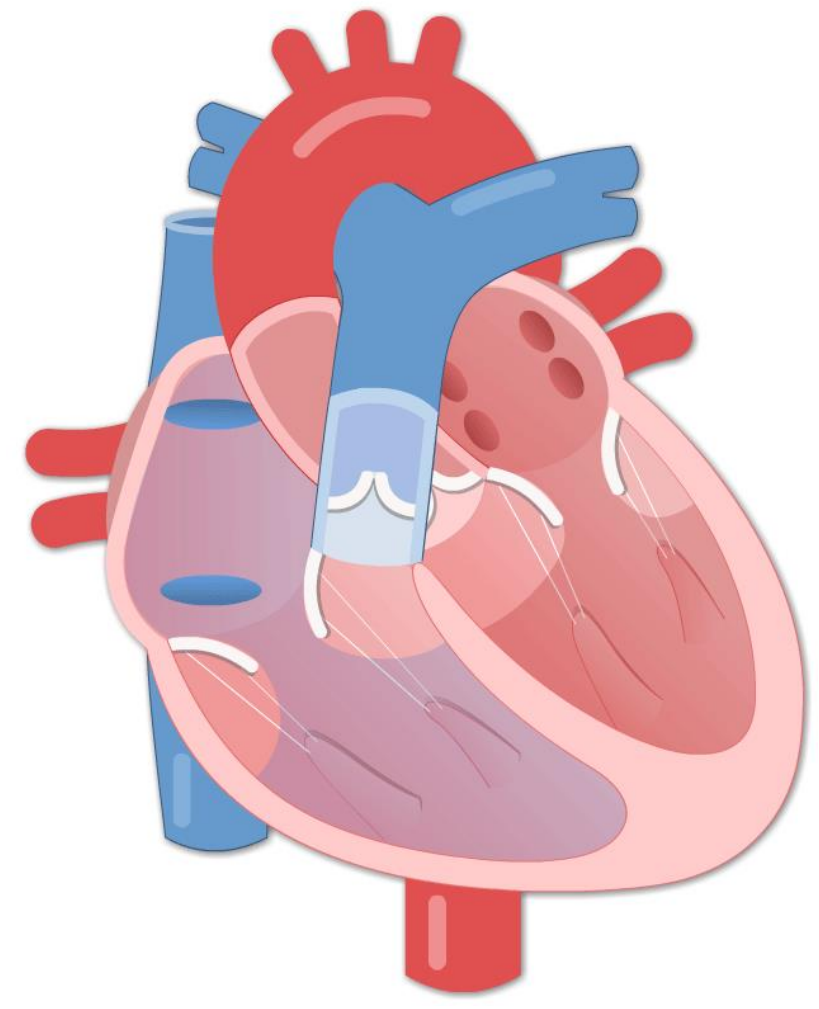
4. PŘEDNÁŠKA – SIGNÁLY SRDCE 1

- **Úvod do EKG**
 - Převodní systém srdeční
 - Geneze EKG křivky
 - Svodové systémy
- **Analýzy EKG**
 - EKG desatero
 - Elektrická osa srdeční
 - Cabrerův kruh
- **Počítačová morfologická analýza EKG**
 - Pan-Tompkinsonův algoritms detekce R špiček
 - Automatická detekce hrotů a vln

SRDCE

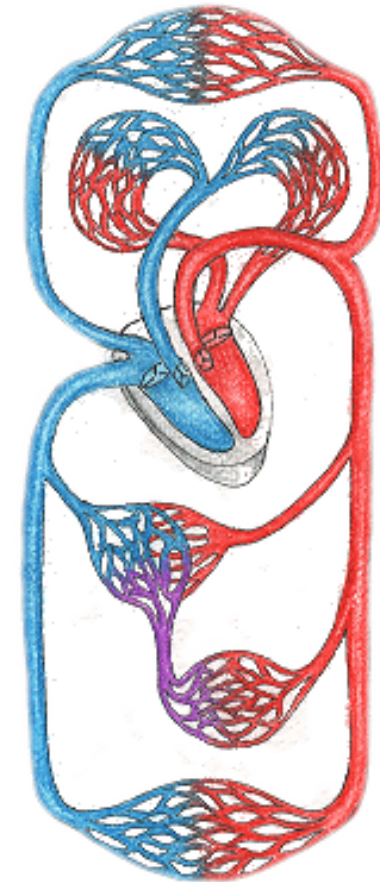
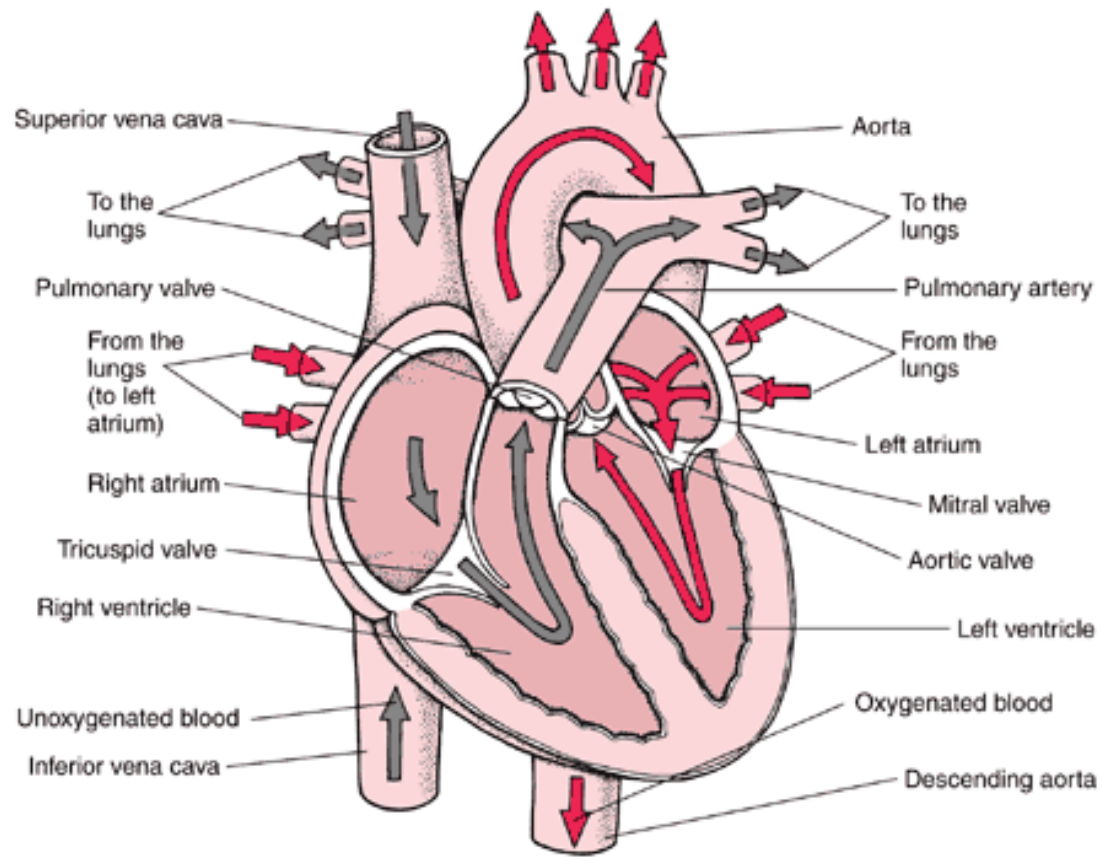


SRDCE

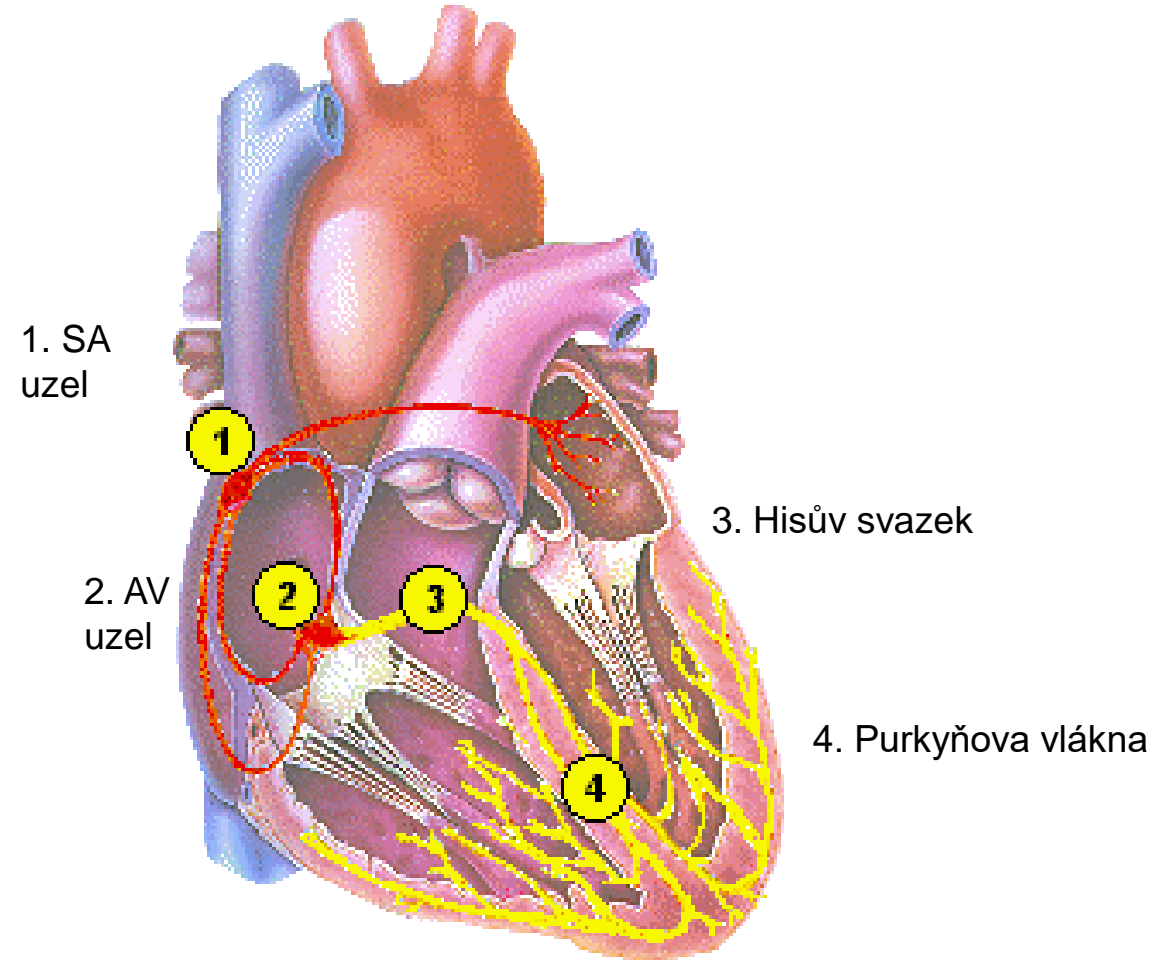


KREVNÍ OBĚH

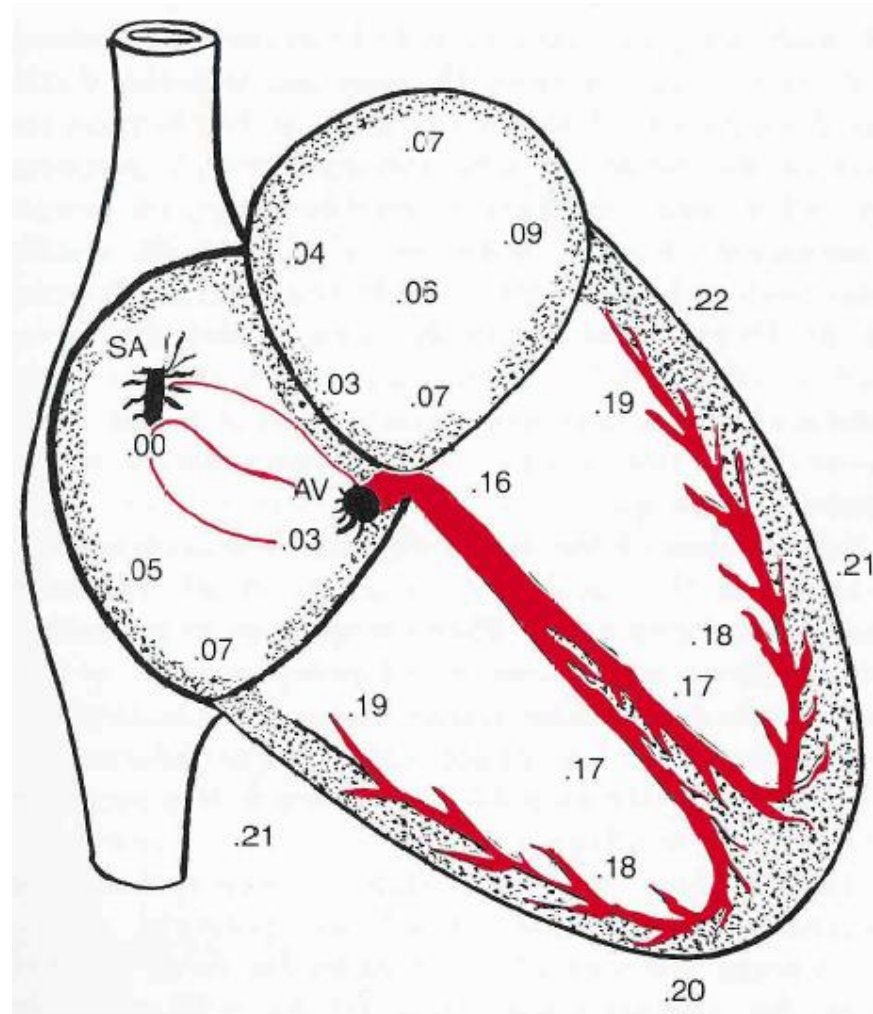
http://pie.med.utoronto.ca/heart_physiology/module/blood-flow.html



PŘEVODNÍ SYSTÉM SRDEČNÍ

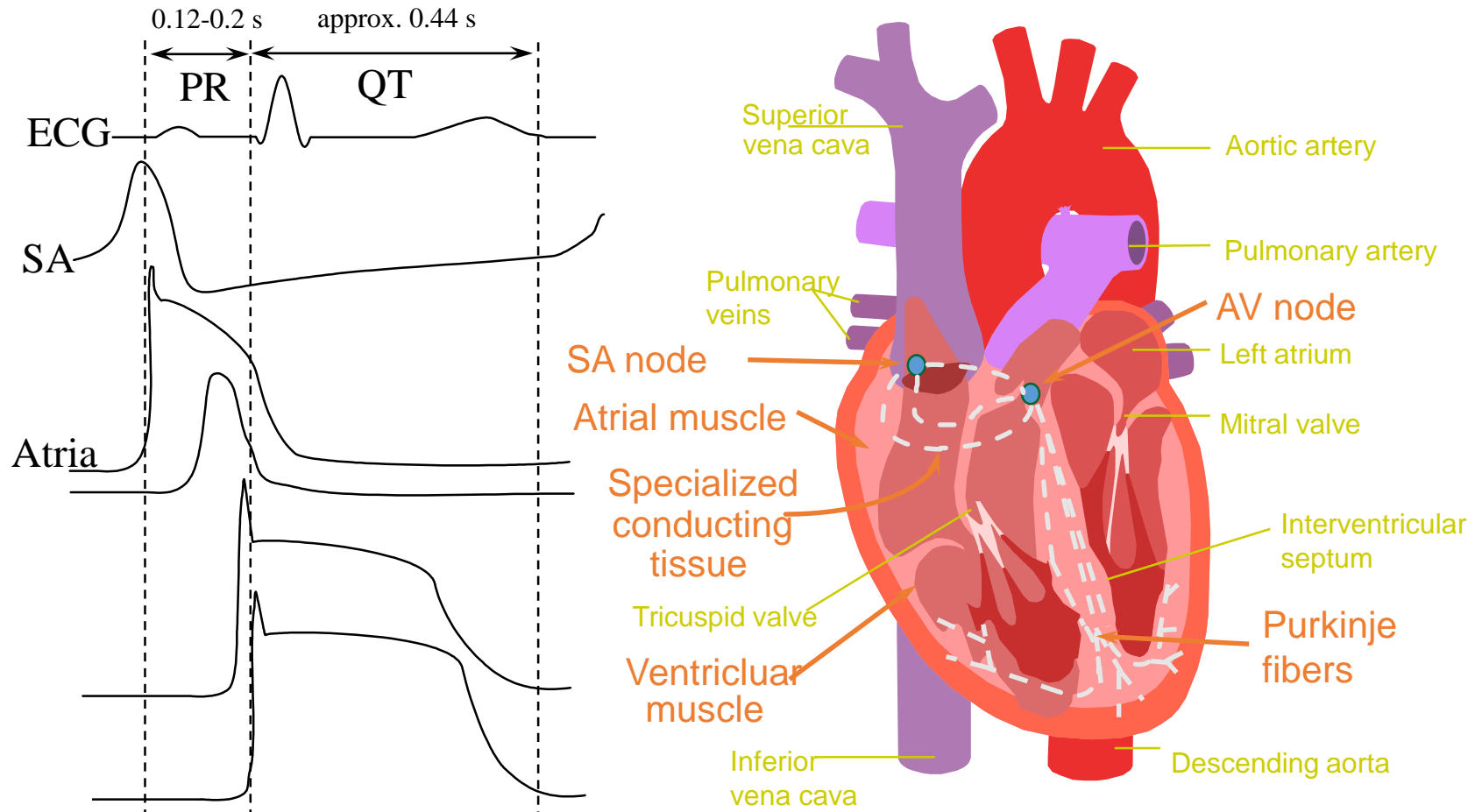


ŠÍŘENÍ DEPOLARIZACE



EKG – geneze

- buňky převodního systému nemají klidový potenciál
- dochází zde ke spontánní depolarizaci

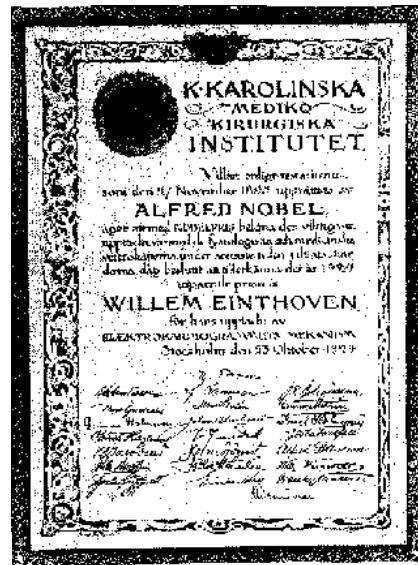


EKG – svodové systémy

Willem Einthoven

(✱ 22.V.1860 - † 29.IX.1927)

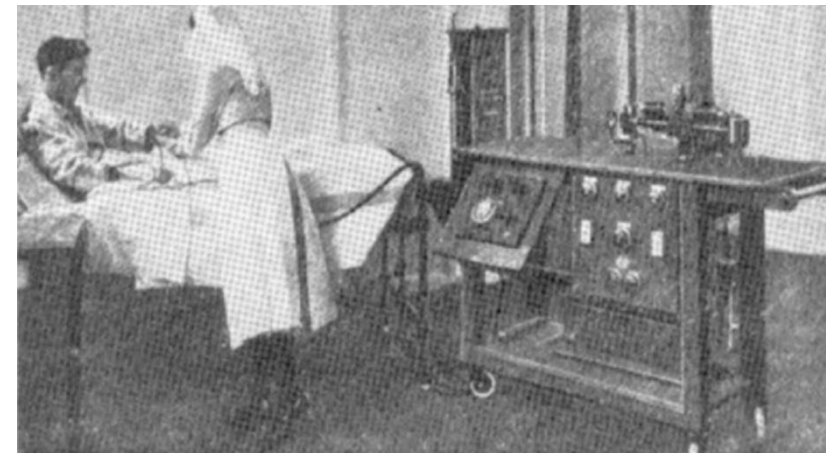
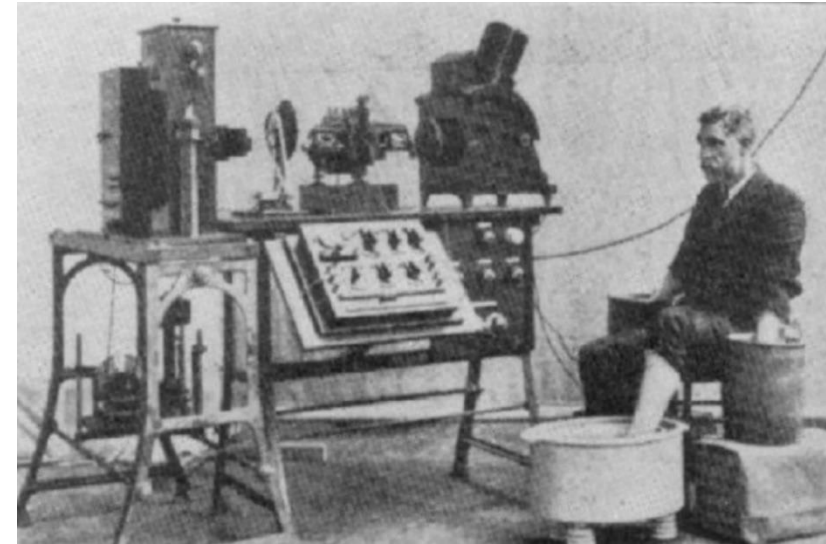
1924 Nobelova cena za vynález
elektrokardiografu



Jeden z typů
kovových
elektrod



mobilní EKG z roku 1920

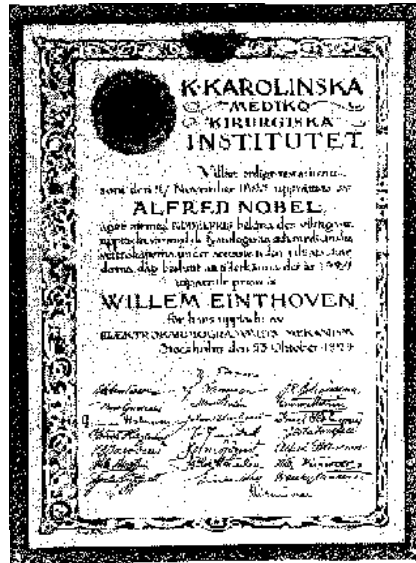


EKG – svodové systémy

Willem Einthoven

(✳ 22.V.1860 - † 29.IX.1927)

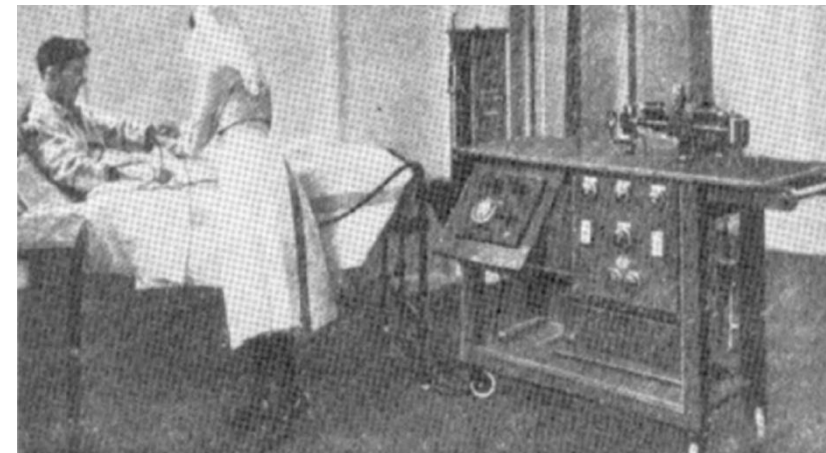
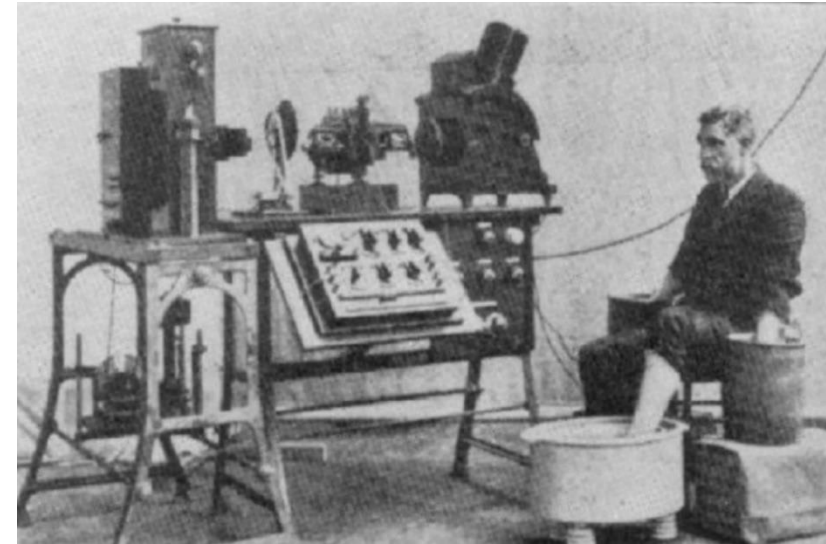
1924 Nobelova cena za vynález
elektrokardiografu



Jeden z typů
kovových
elektrod

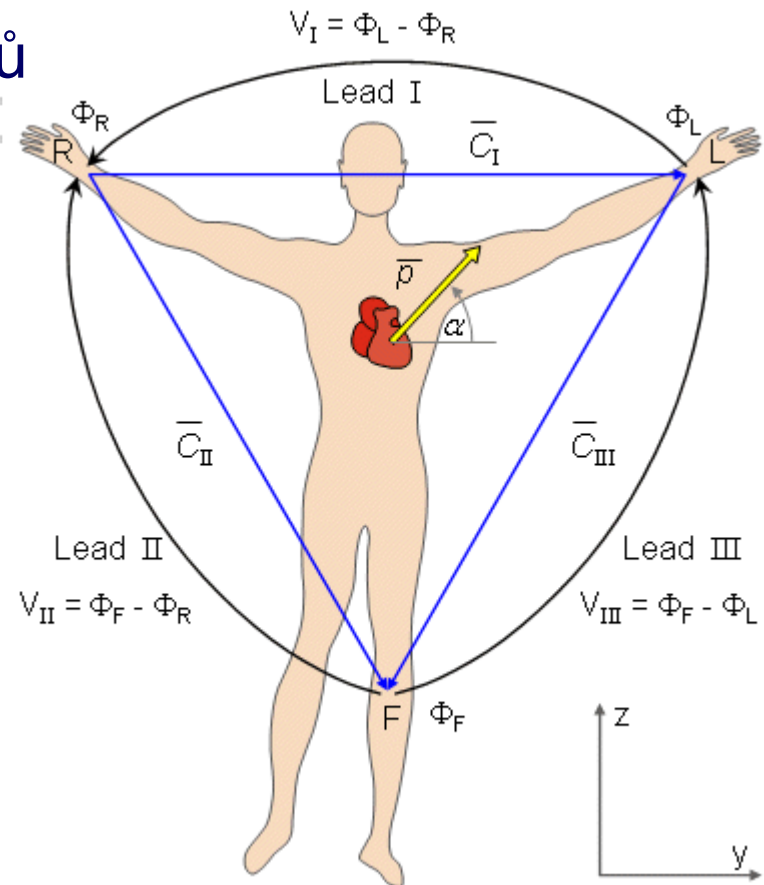


mobilní EKG z roku 1920

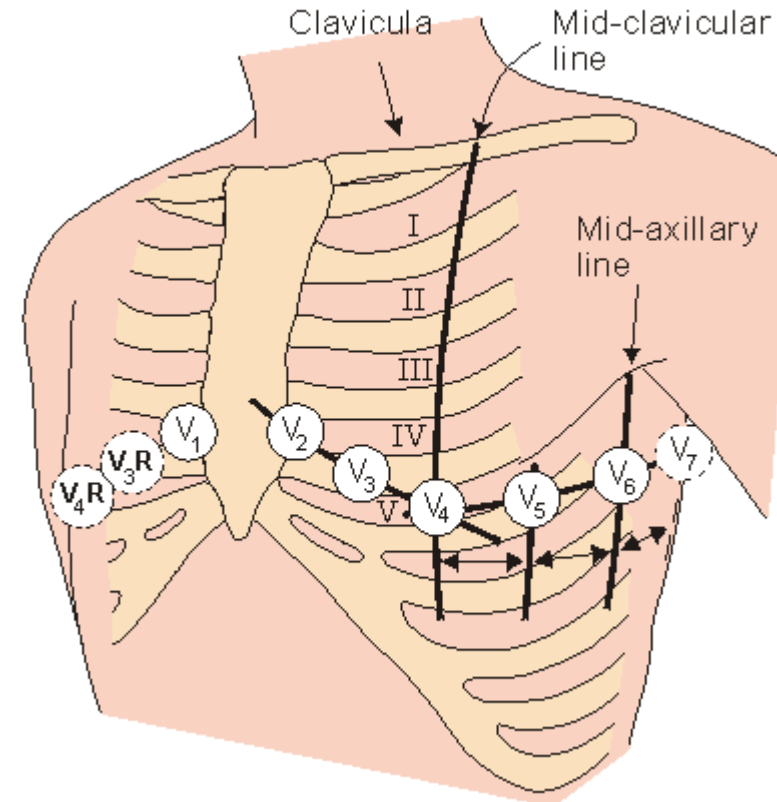
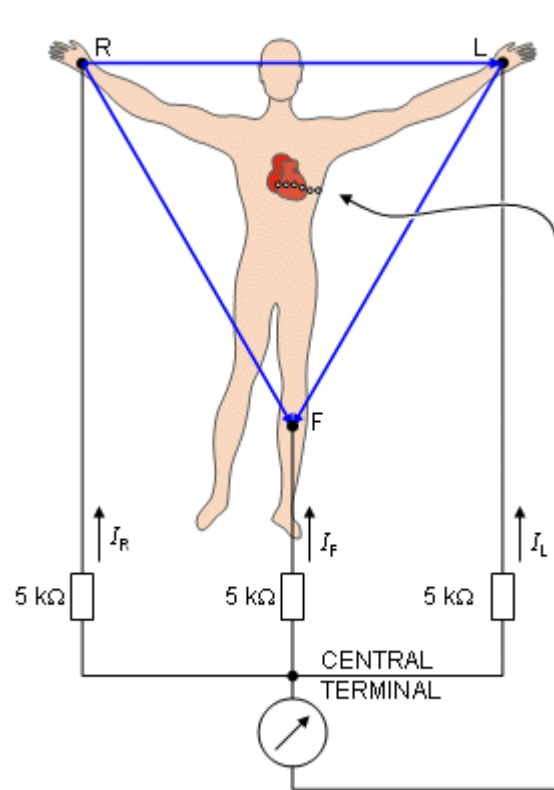


Einthovenovy bipolární končetinové svody

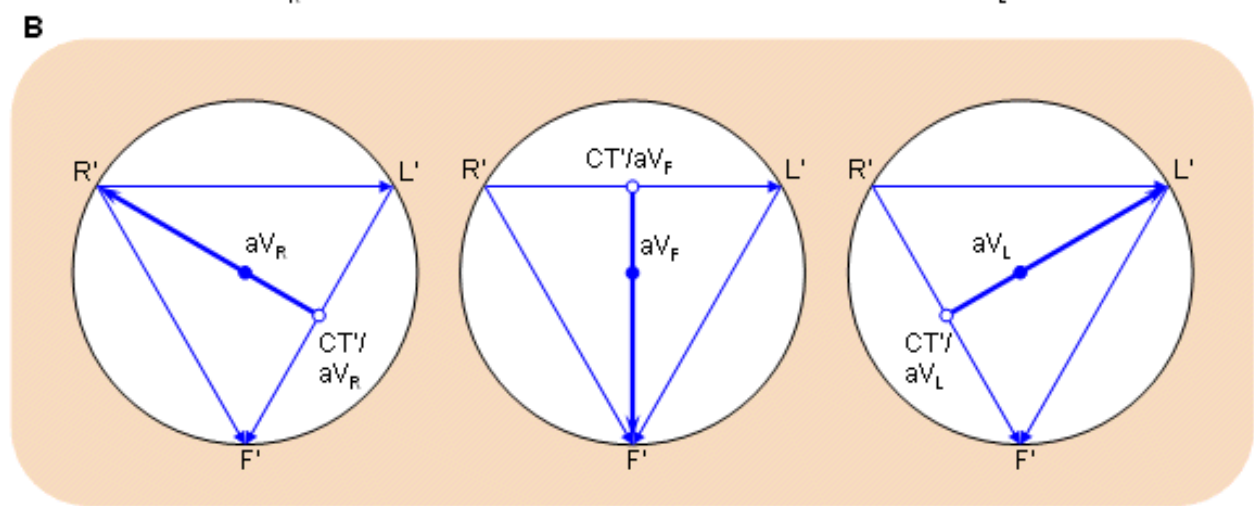
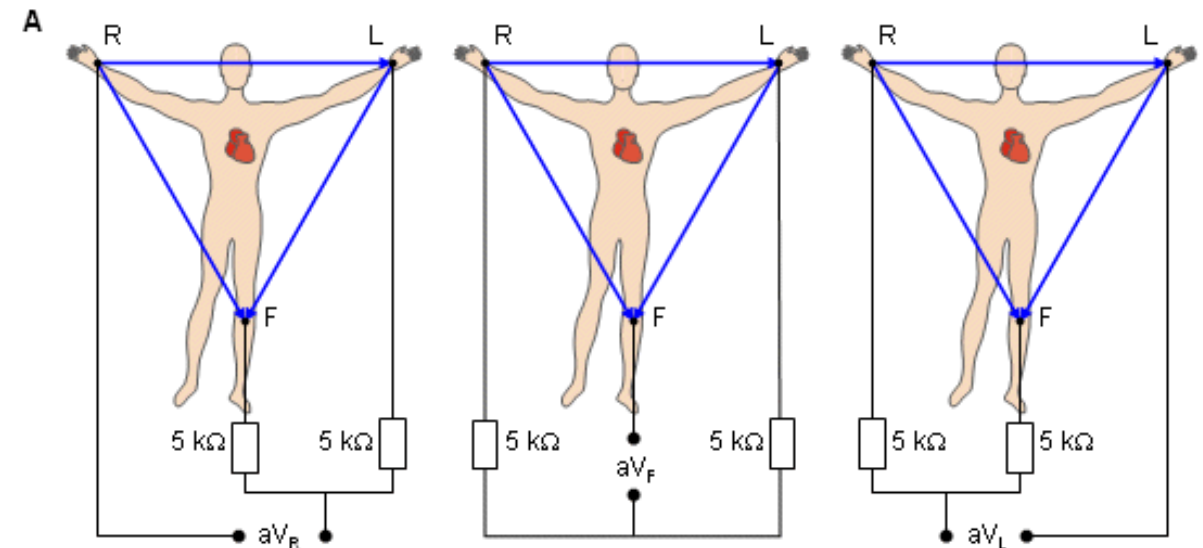
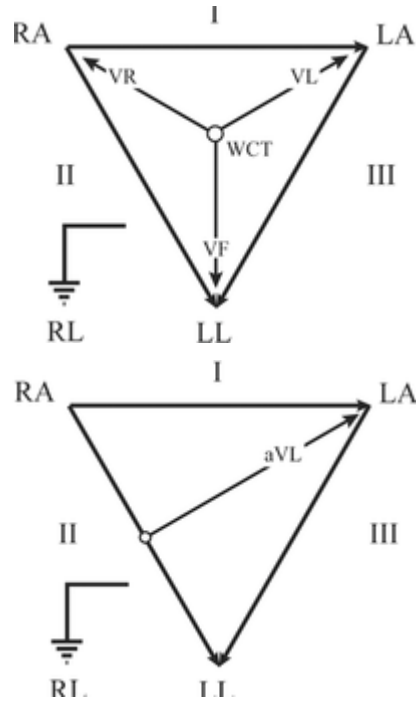
- 3 standardní končetinové svody
- snímáme rozdíl potenciálů



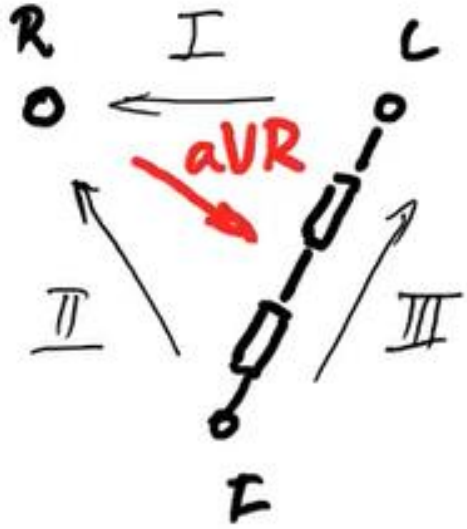
Hrudní unipolární Wilsonovy svody



Goldbergerovy zesílené svody



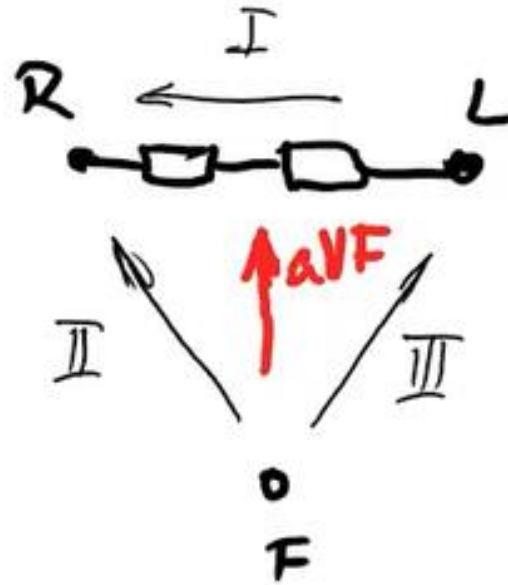
EKG svody



$$aVR - \frac{U_{II}}{2} + U_{I} = 0$$

$$aVR + \frac{U_{III}}{2} + U_{F} = 0$$

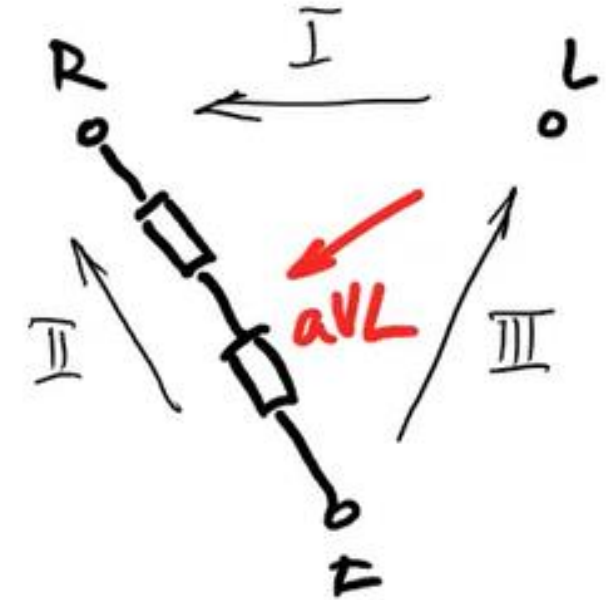
$$aVR = - \frac{U_{I} + U_{II}}{2}$$



$$aVF + \frac{U_{I}}{2} - U_{II} = 0$$

$$aVF - \frac{U_{I}}{2} - U_{III} = 0$$

$$aVF = \frac{U_{II} + U_{III}}{2}$$



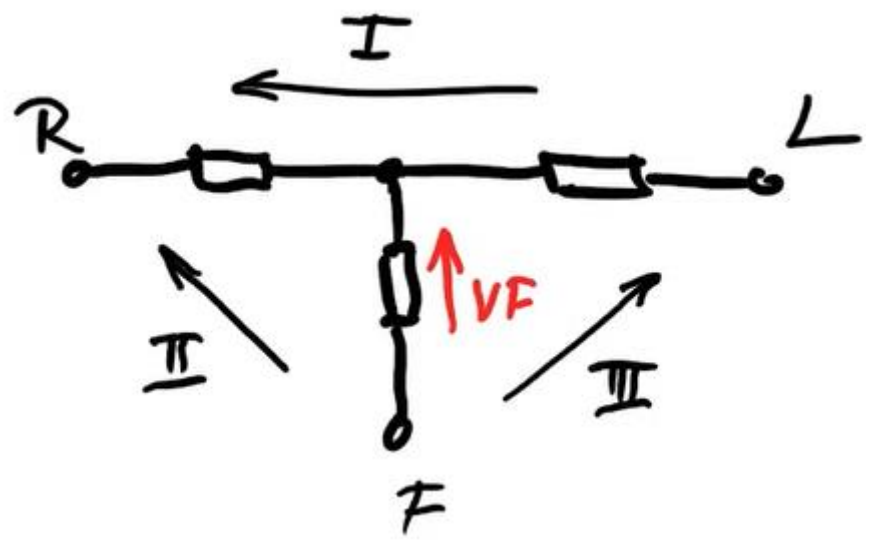
$$aVL + \frac{U_{III}}{2} - U_{I} = 0$$

$$aVL - \frac{U_{II}}{2} + U_{III} = 0$$

$$aVL = \frac{U_{I} - U_{II}}{2}$$

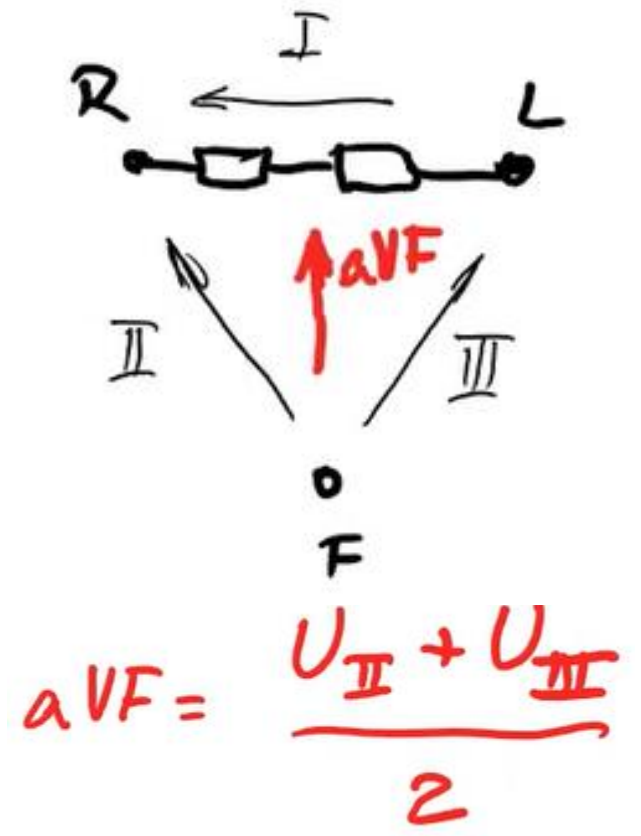
EKG svody

$$-\frac{VF + U_{II}}{R} - \frac{VF}{R} + \frac{-VF \rightarrow U_{III}}{R} = 0$$



$$aVF = \frac{3}{2} VF$$

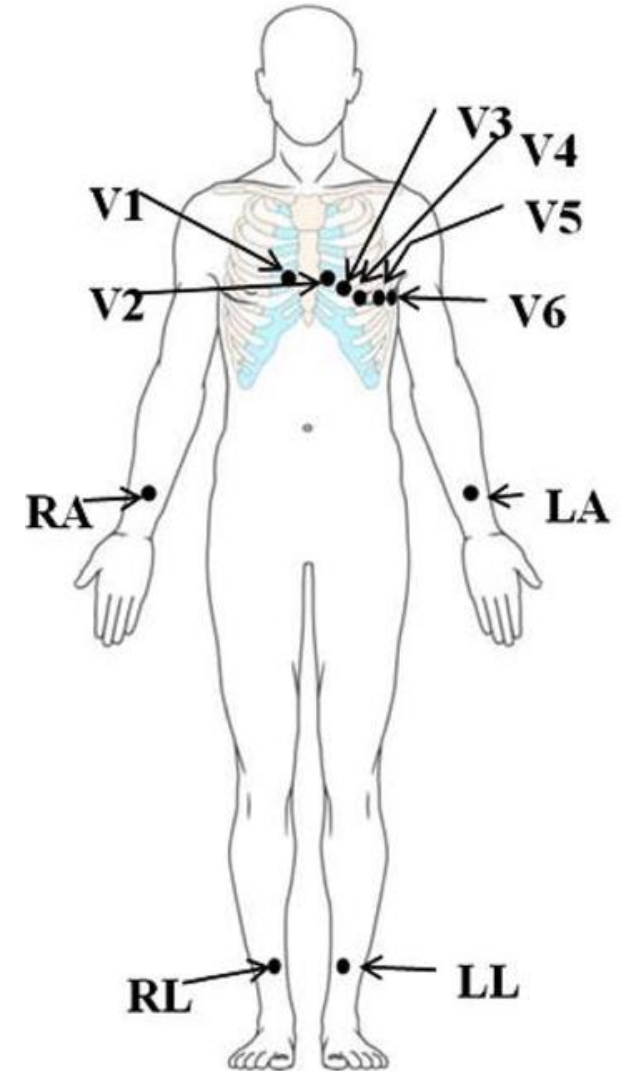
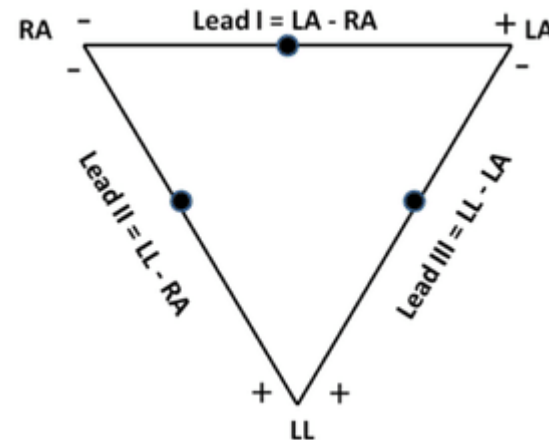
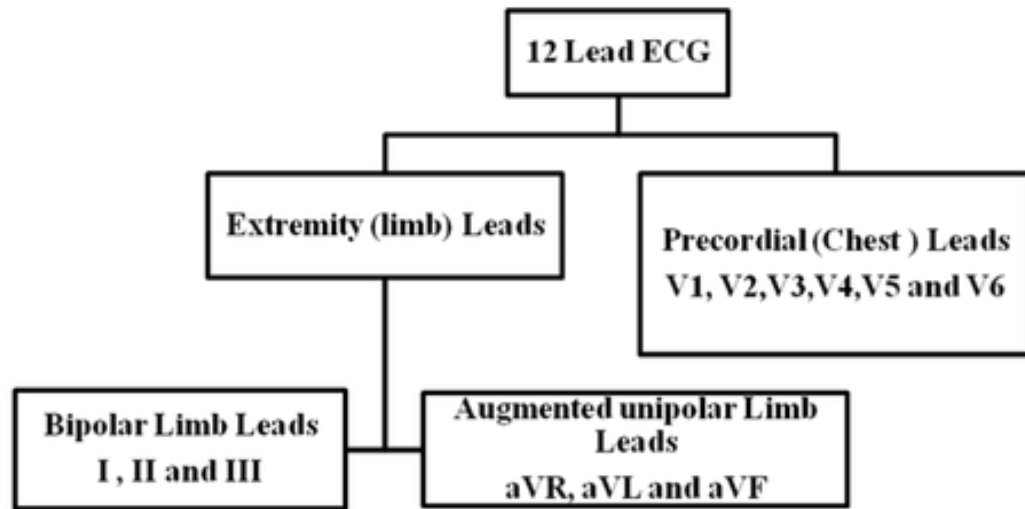
$$VF = \frac{U_{II} + U_{III}}{3}$$



$$aVF = \frac{U_{II} + U_{III}}{2}$$

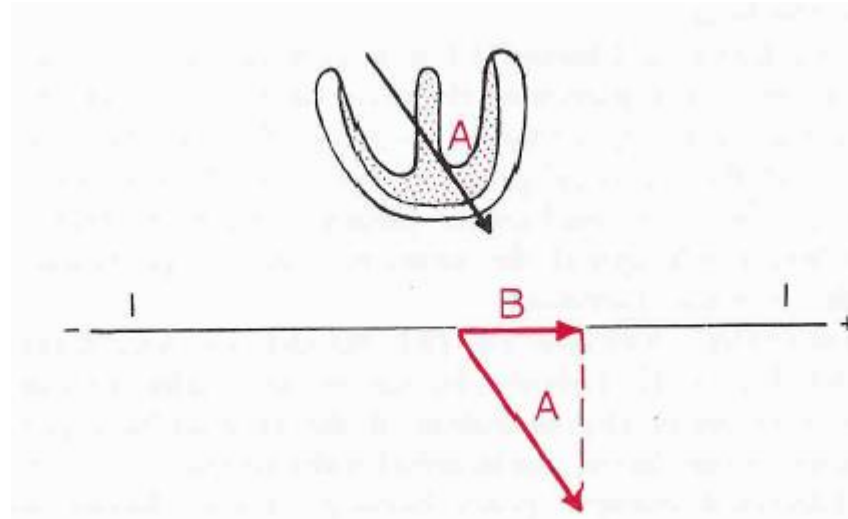
EKG – svodové systémy

- **STANDARDNÍ 12 SVODOVÝ SYSTÉM**
- končetinové svody – I, II, III
- Wilsonovy svody – V1, V2, V3, V4, V5, V6
- Goldbergerovy (zesílené) svody – aVL, aVR, aVF



VEKTOR DEPOLARIZACE

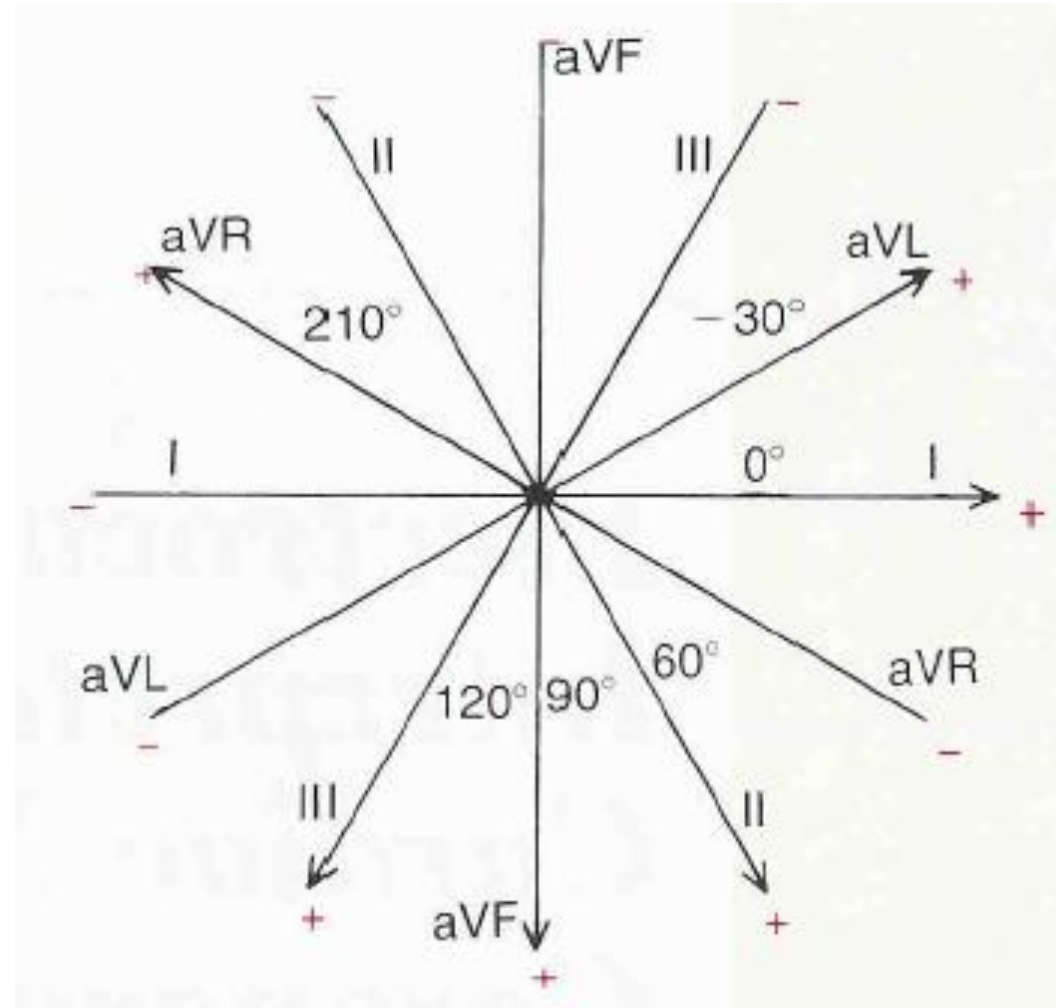
Směr elektrického vektoru při částečné depolarizaci



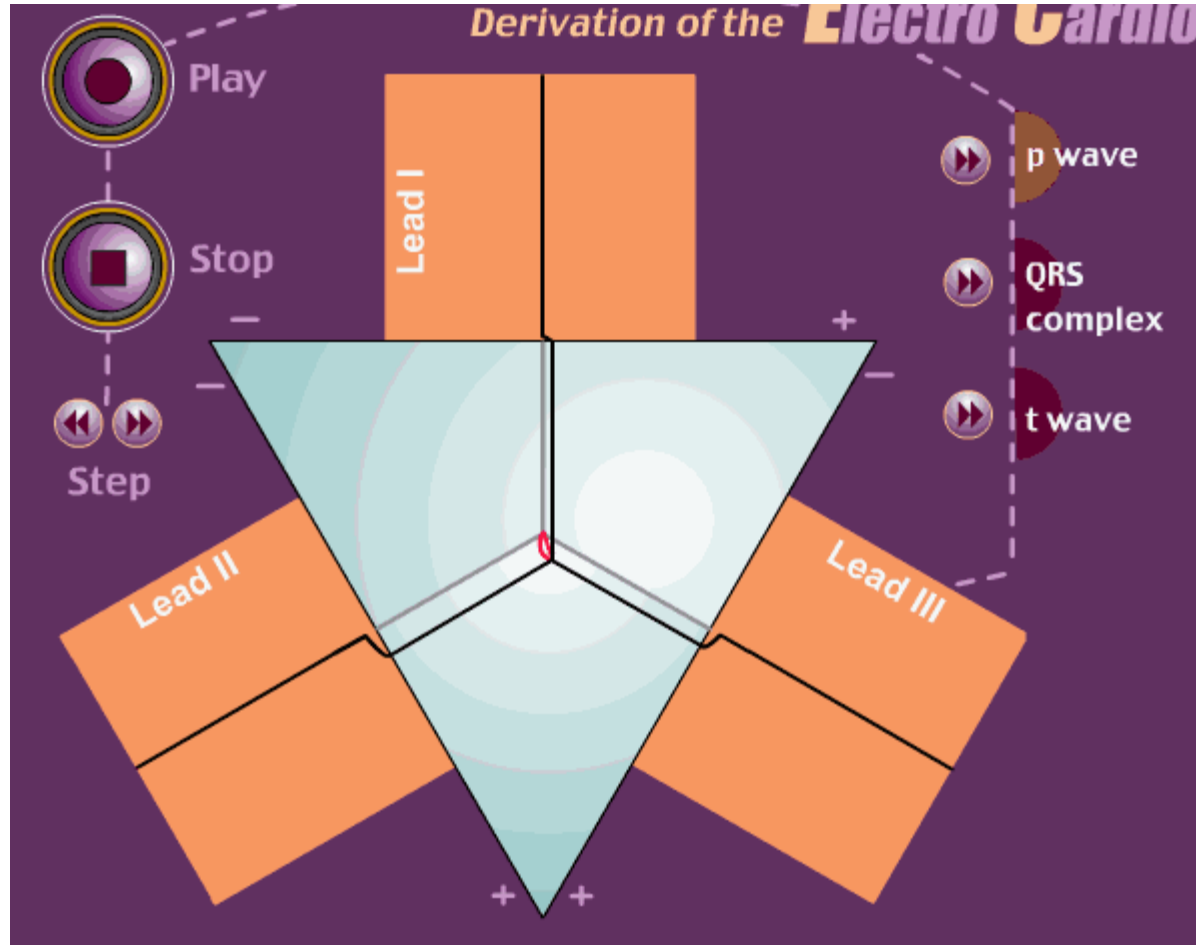
Znázornění vektoru

EKG svody

- Vzájemné úhlové poměry různých svodových systémů
- Cabrerův kruh

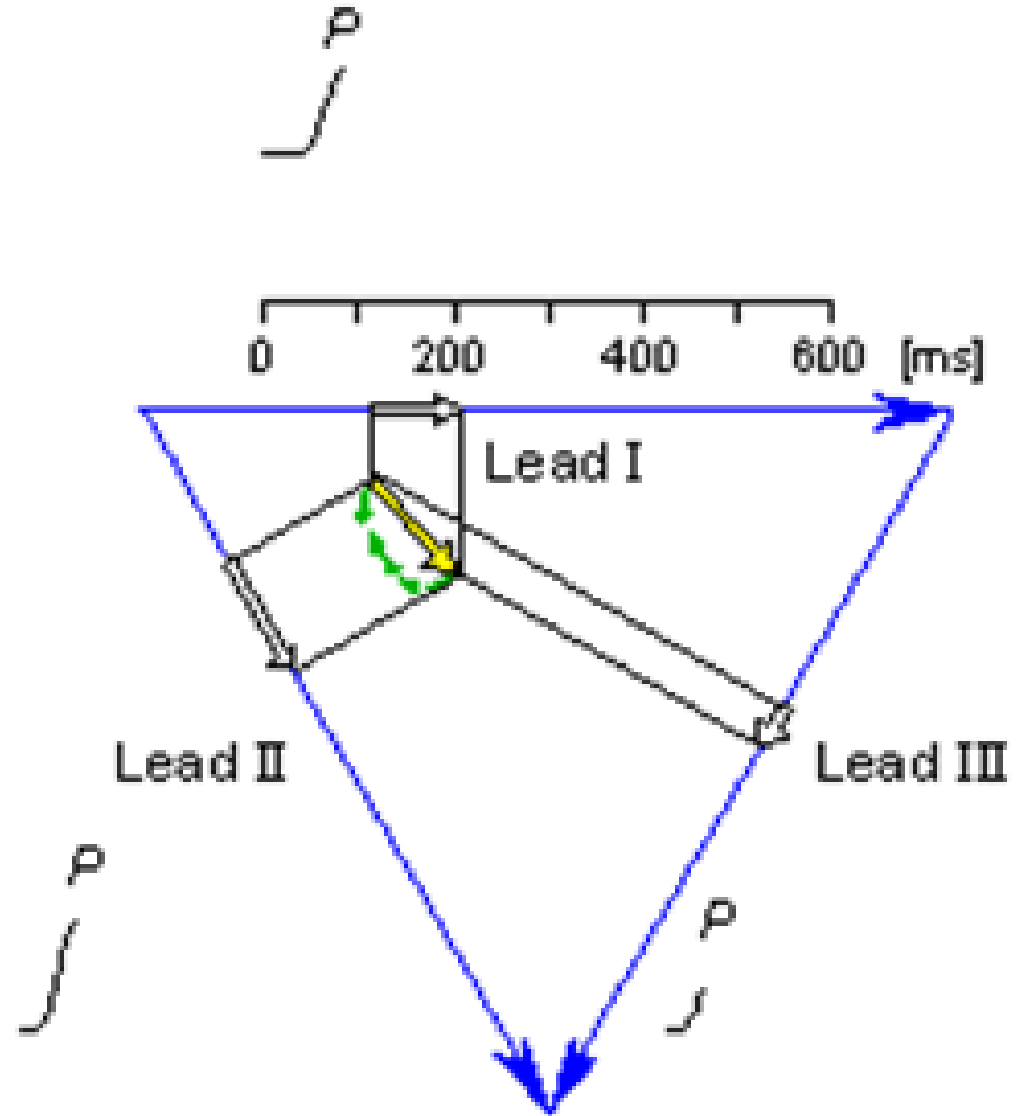
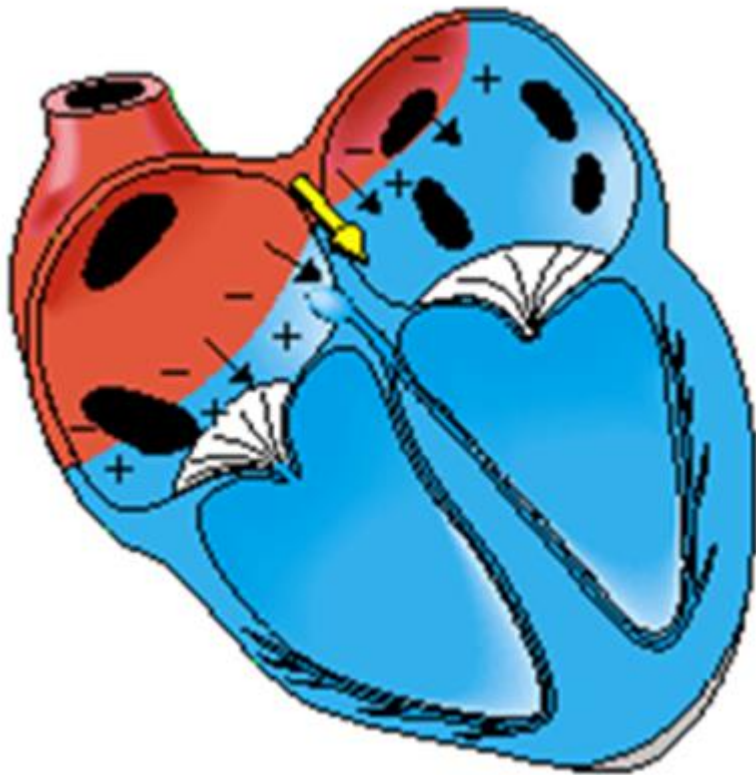


EKG – geneze



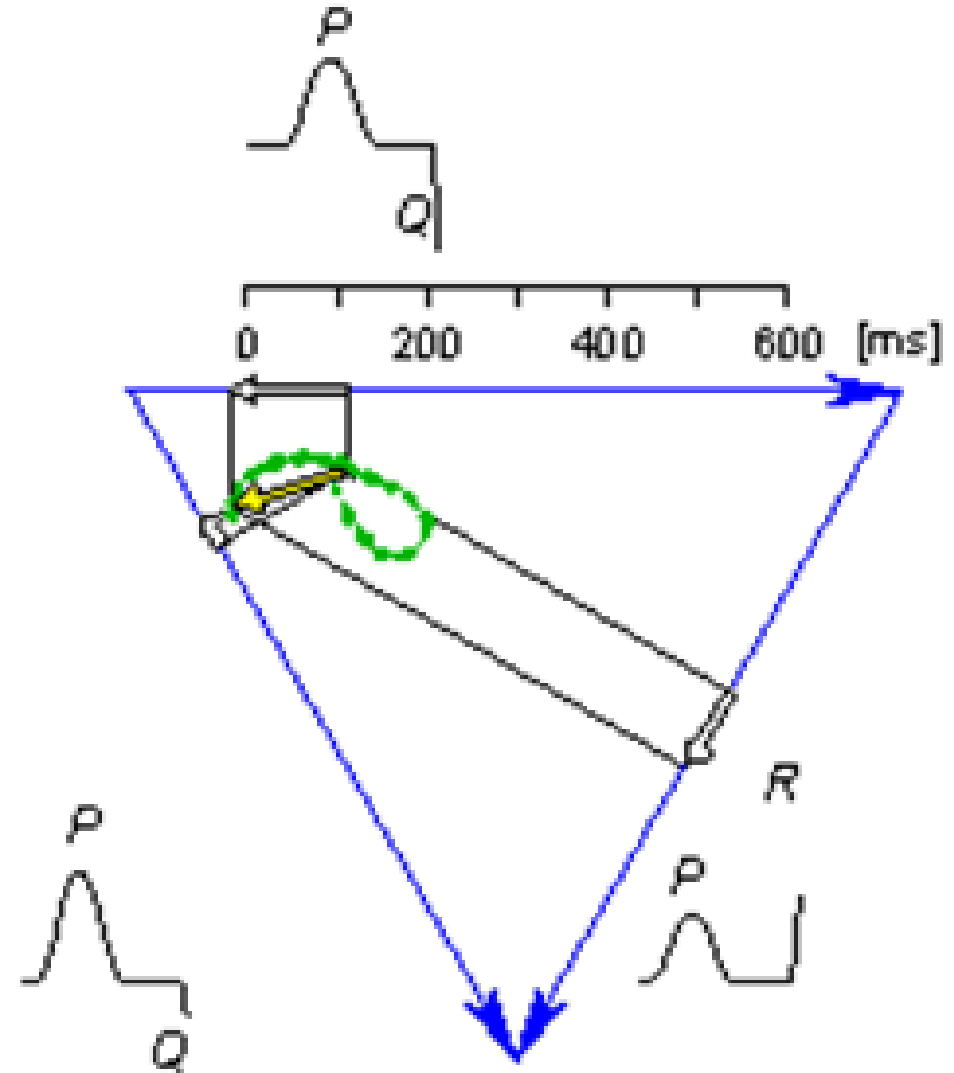
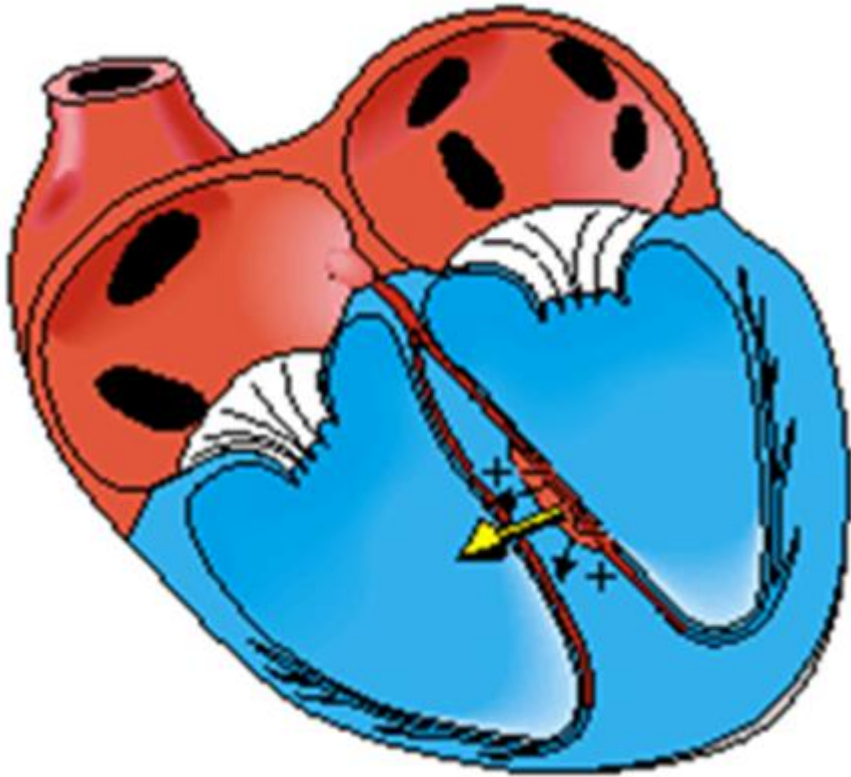
EKG – geneze

- Depolarizace síní
(80 ms)



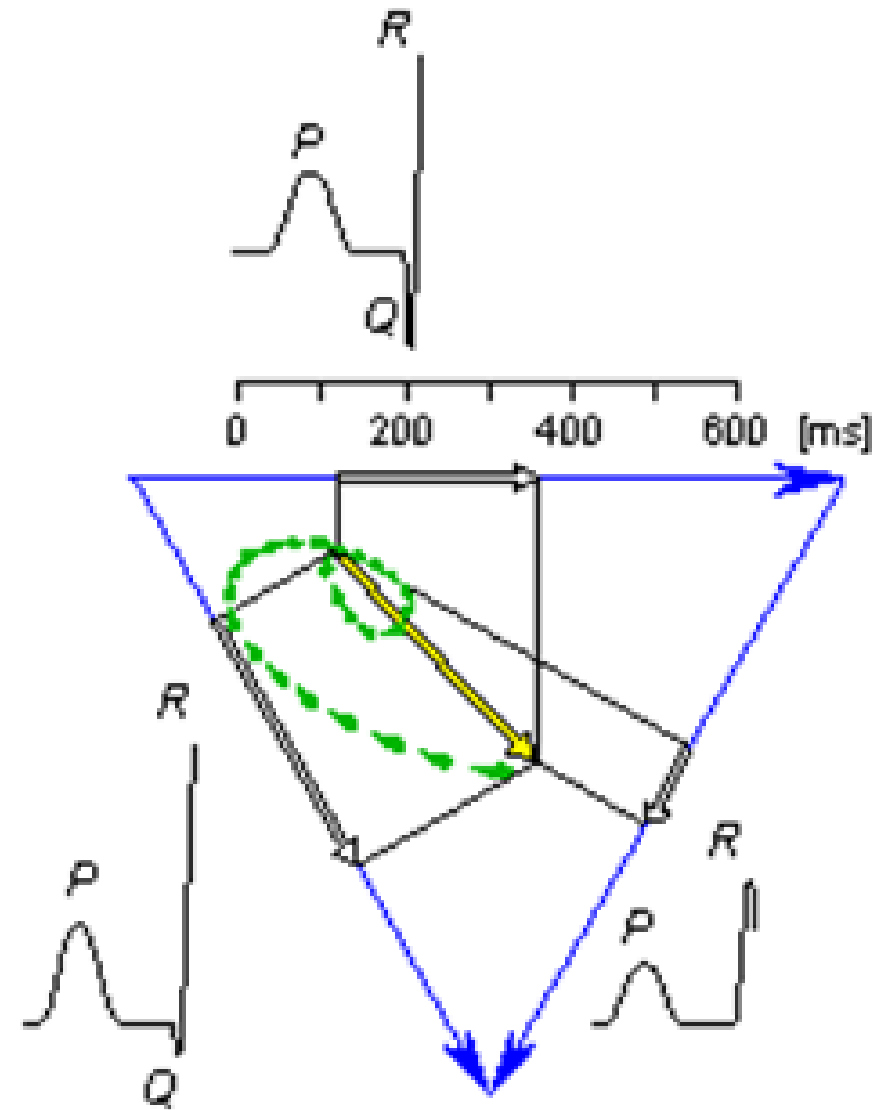
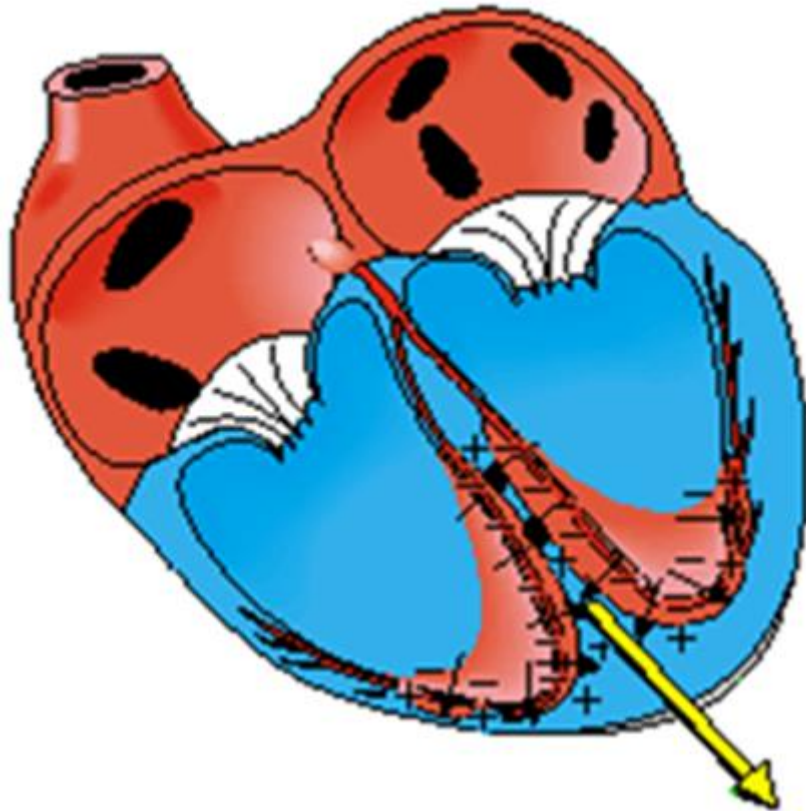
EKG – geneze

- Depolarizace septa
(220 ms)



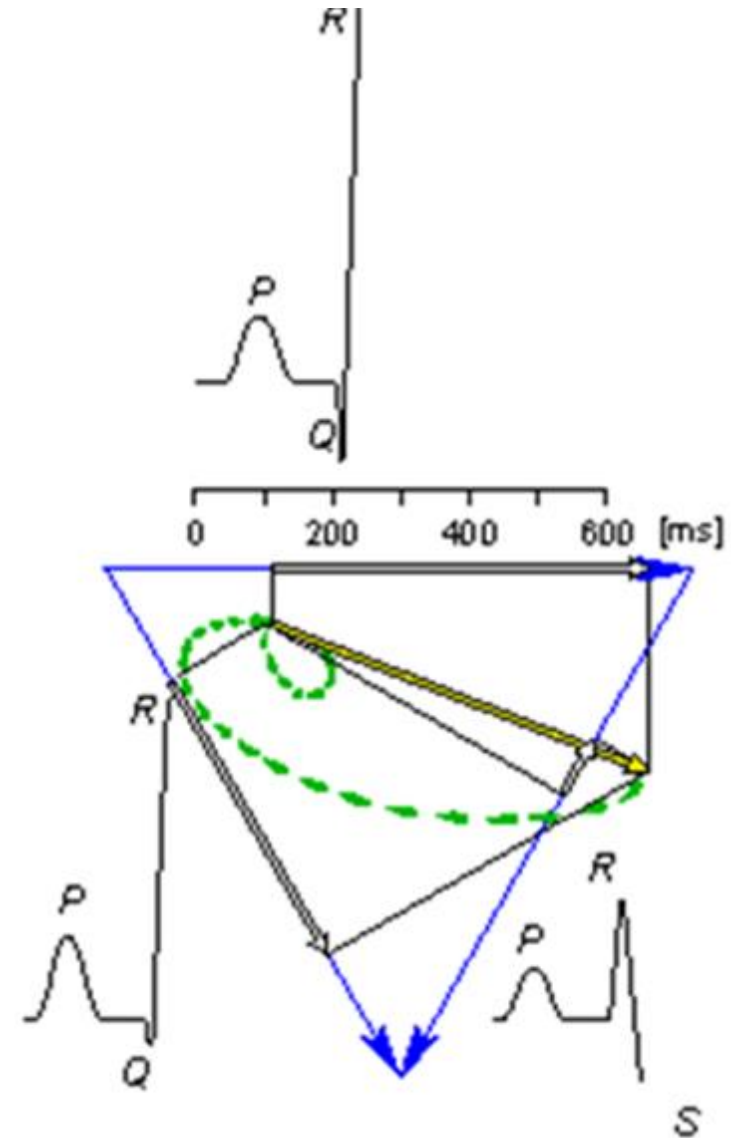
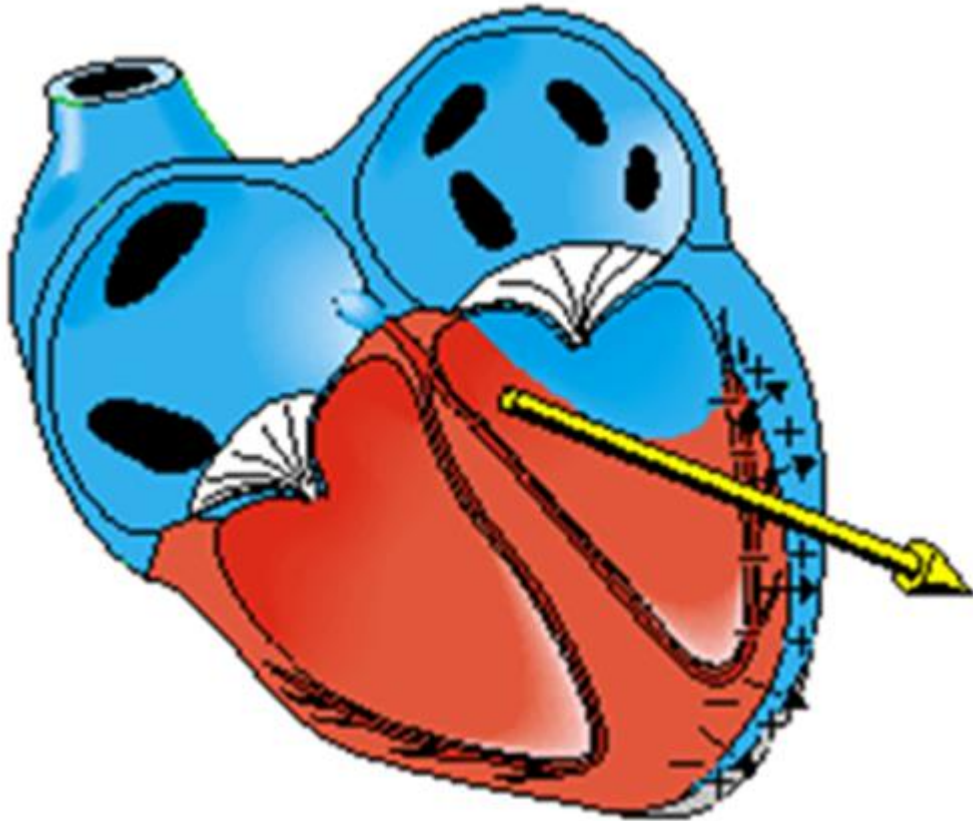
EKG – geneze

- Vrcholná depolarizace
(230 ms)



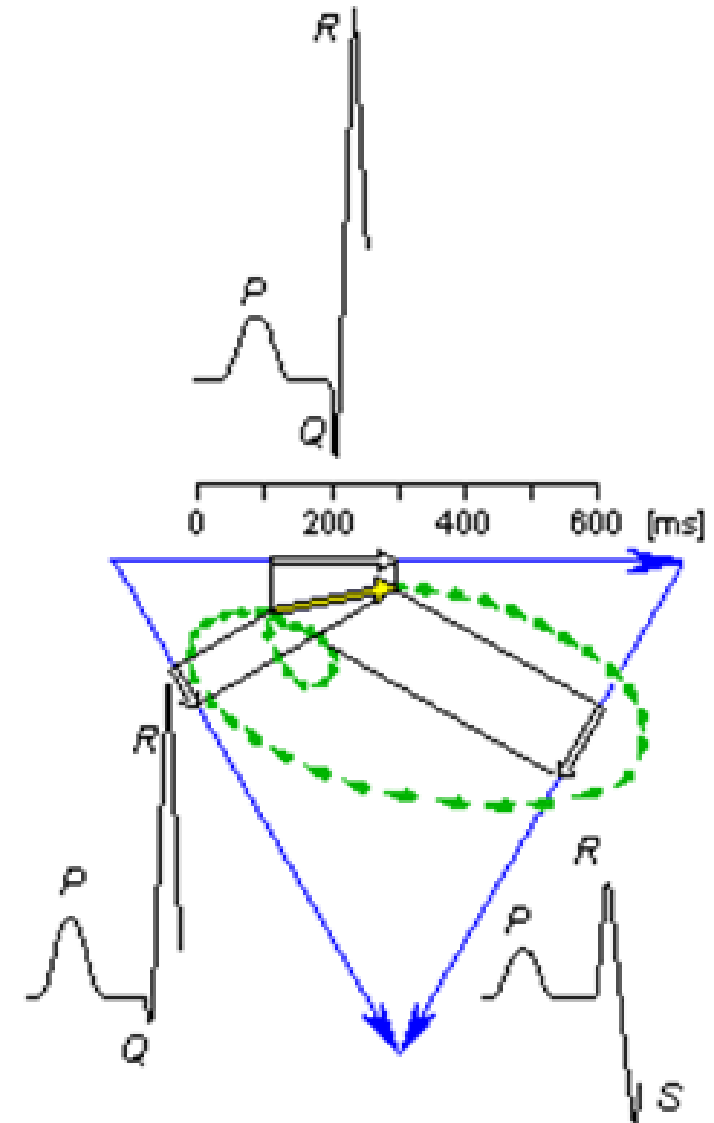
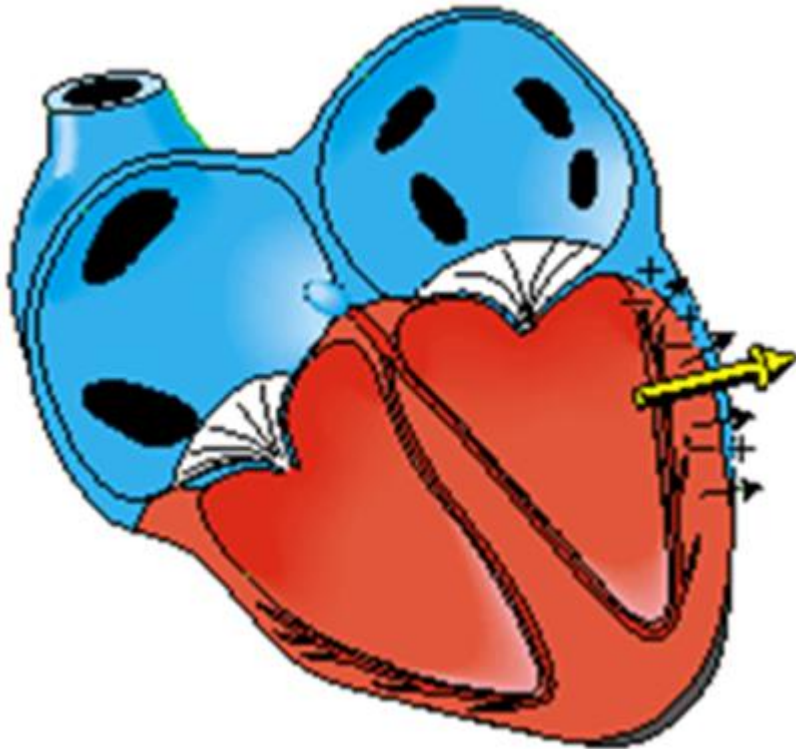
EKG – geneze

- Depolarizace levé komory (240 ms)



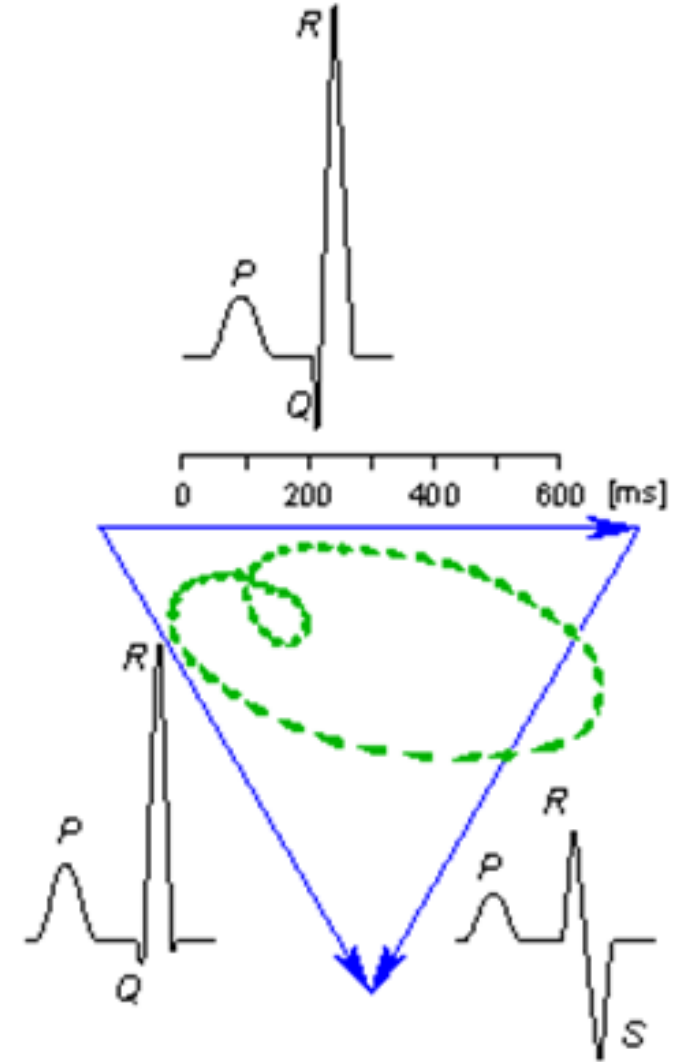
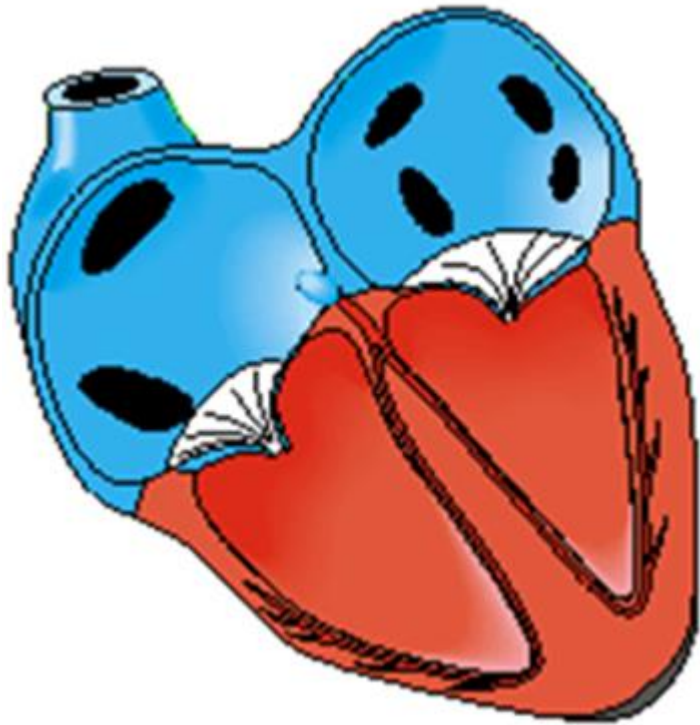
EKG – geneze

- Pozdní depolarizace levé komory (250 ms)



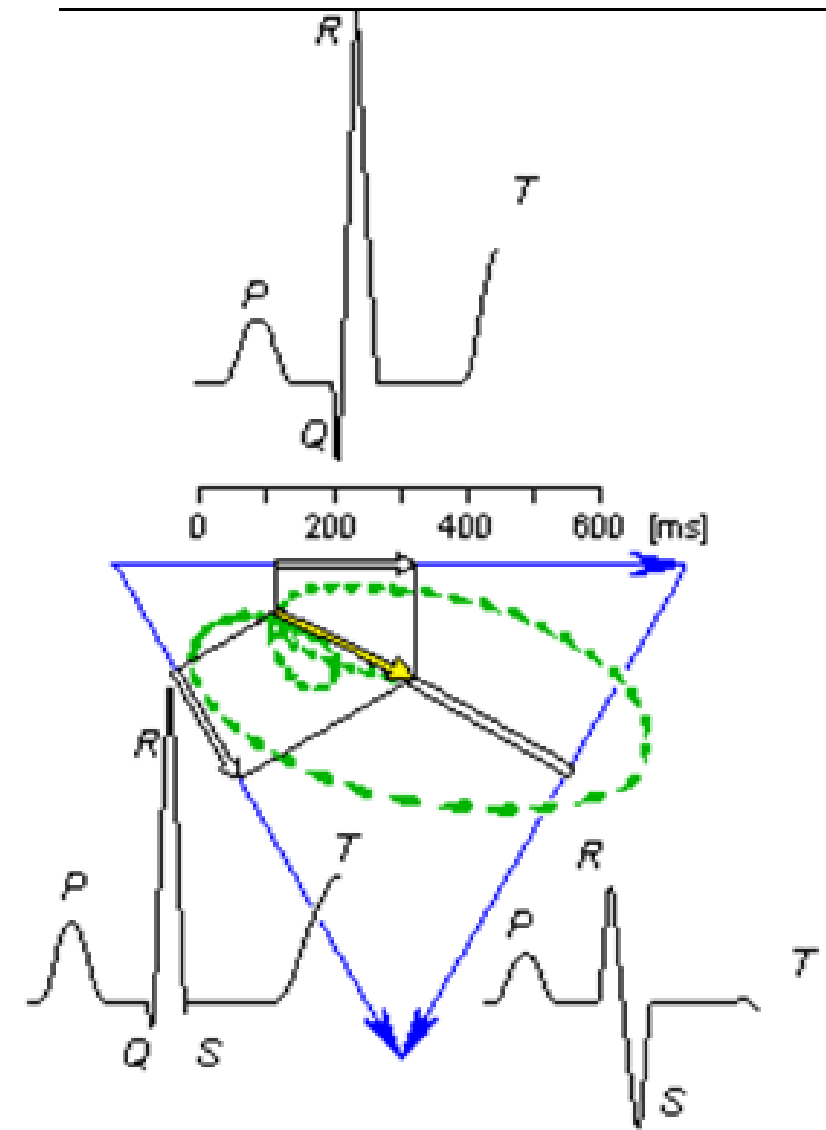
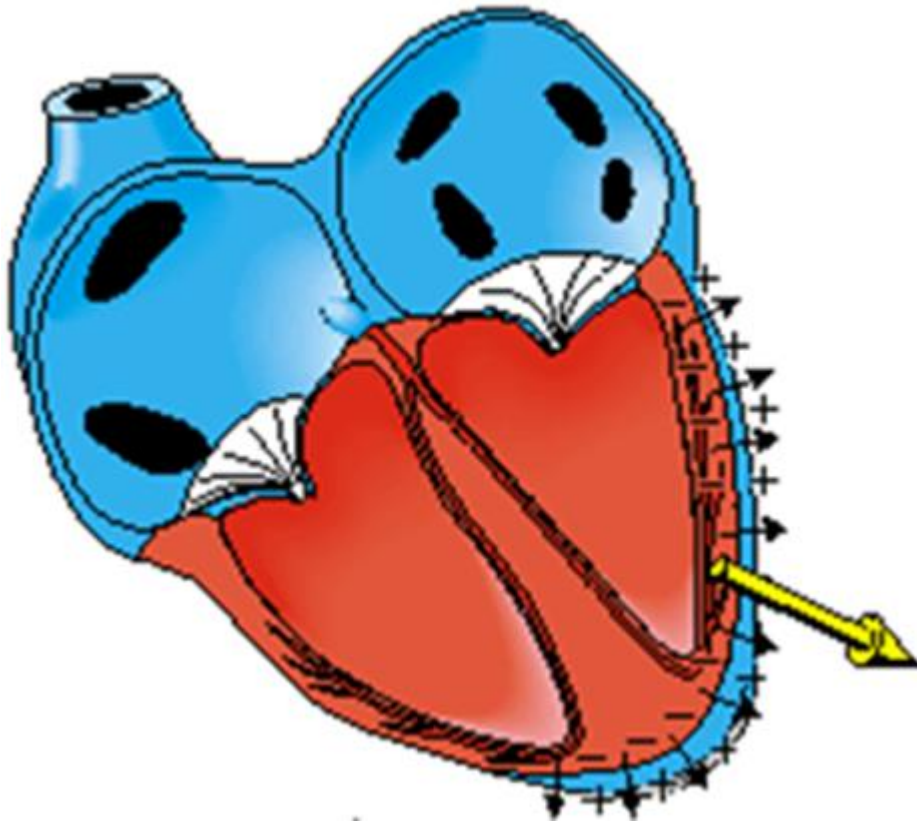
EKG – geneze

- Depolarizace komor
(250 ms)



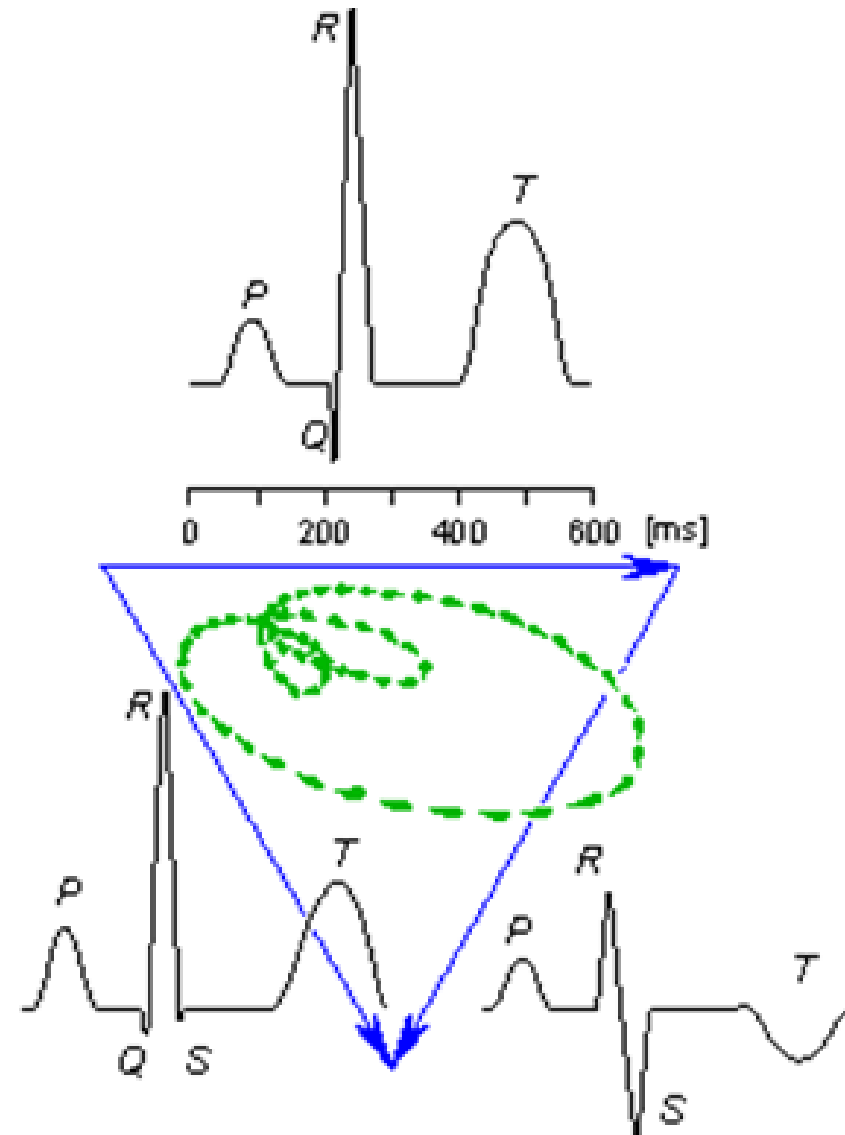
EKG – geneze

- Repolarizace komor (450 ms)

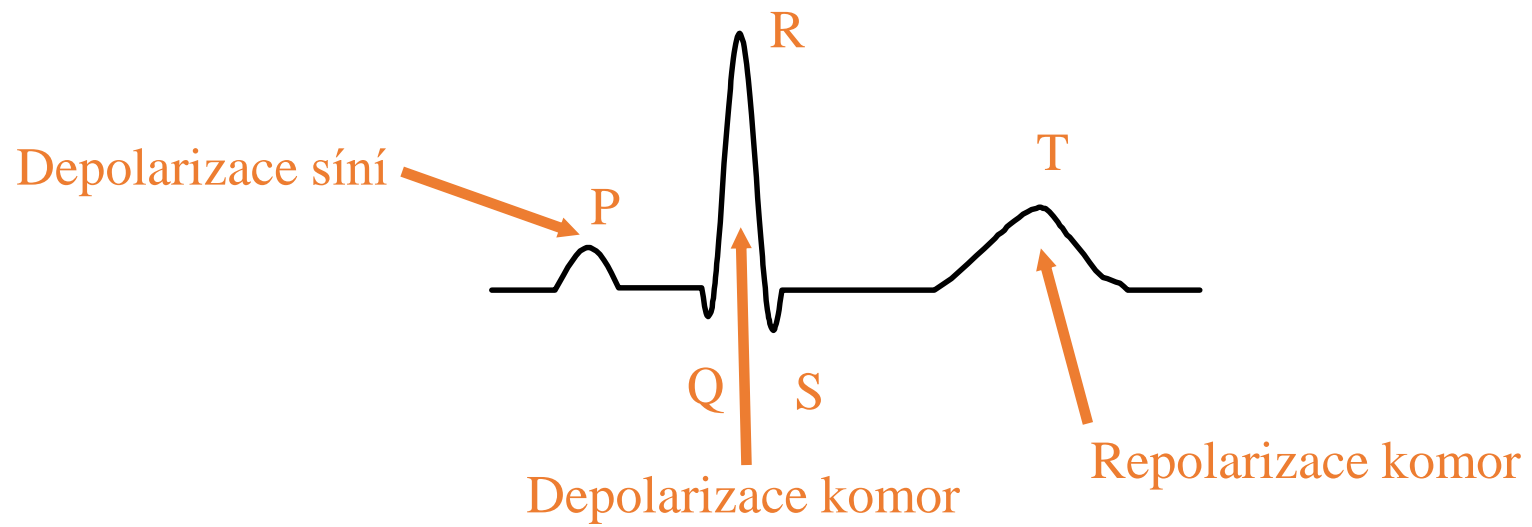


EKG – geneze

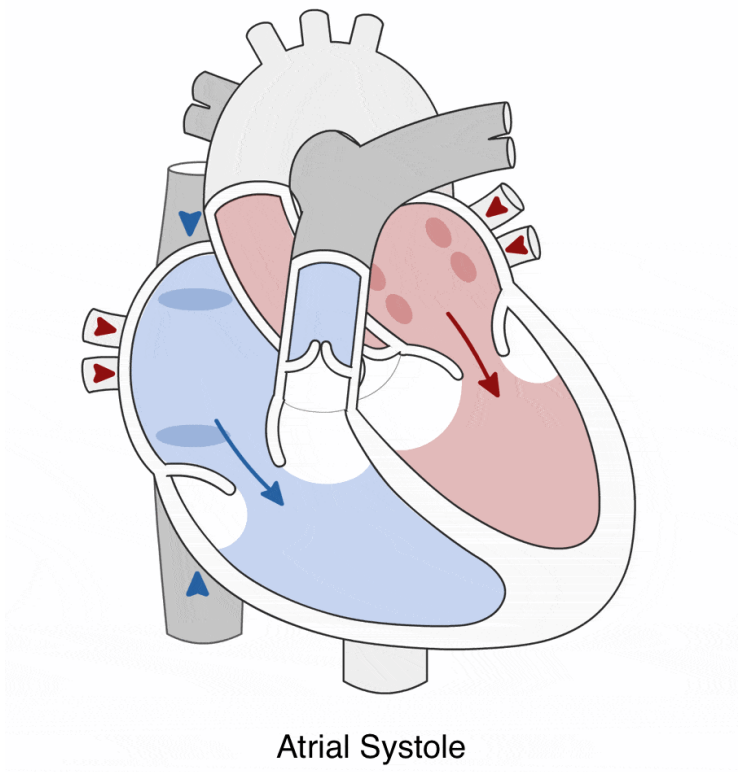
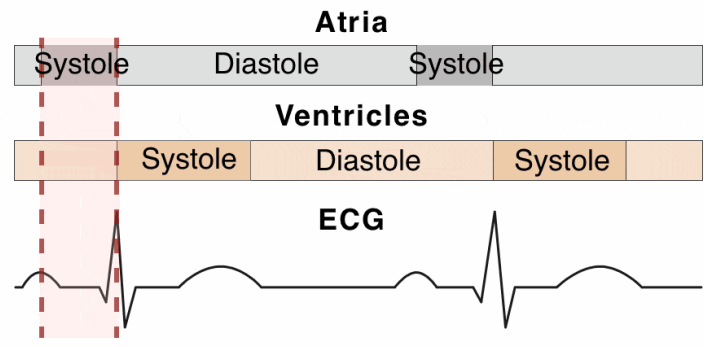
- Repolarizace komor (600 ms)



EKG křivka

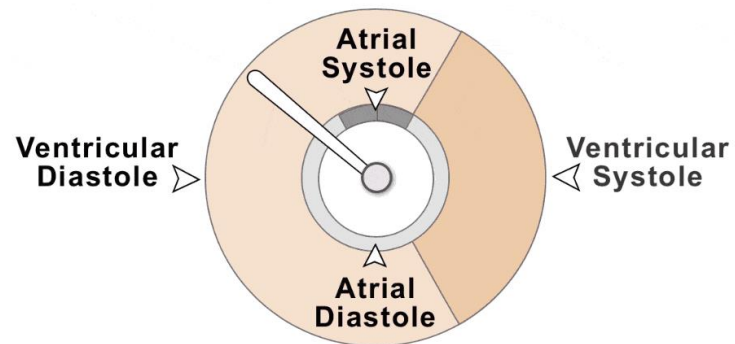
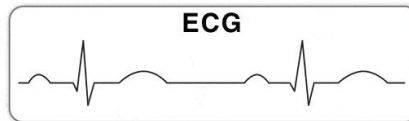
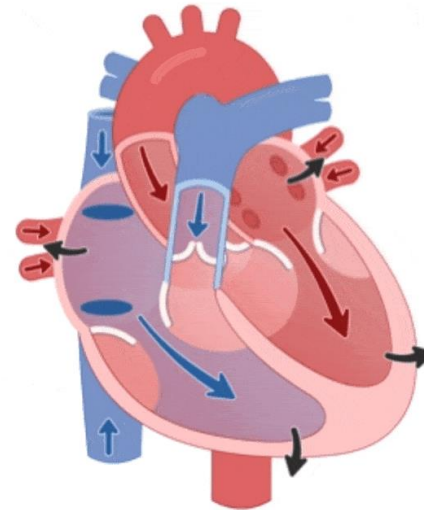


EKG křivka

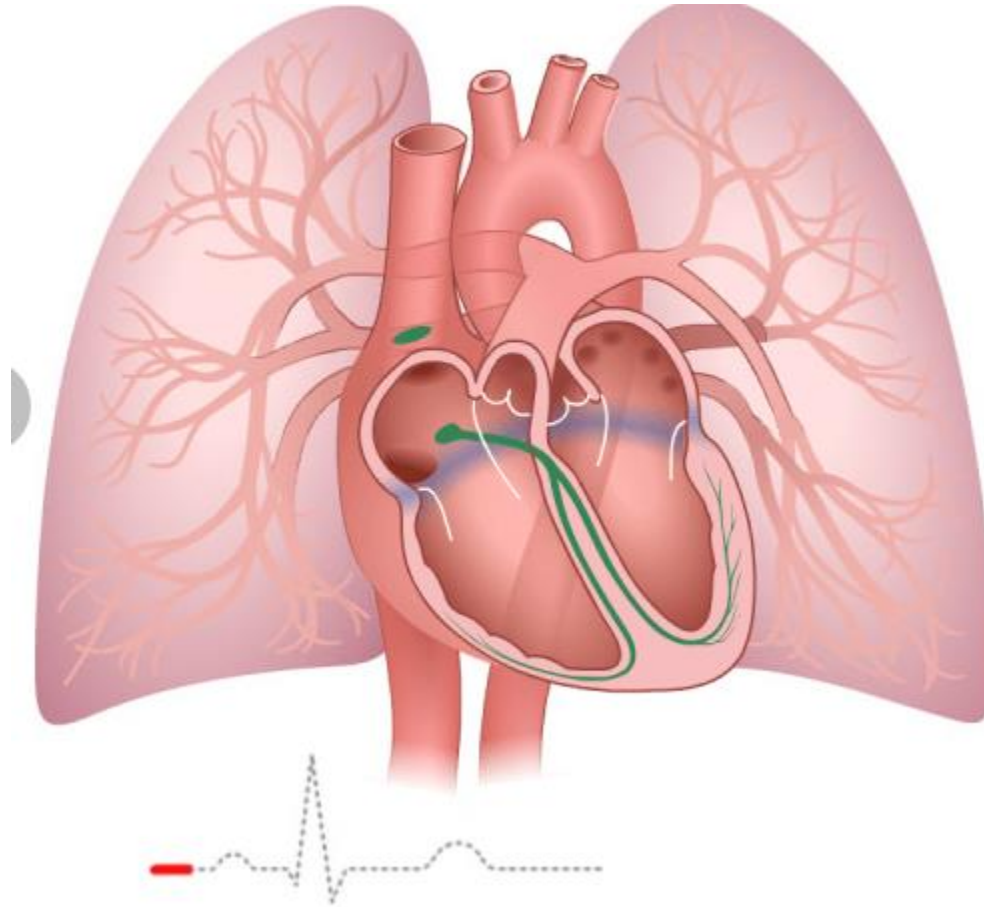


EKG křivka

Phase
Ventricular Filling

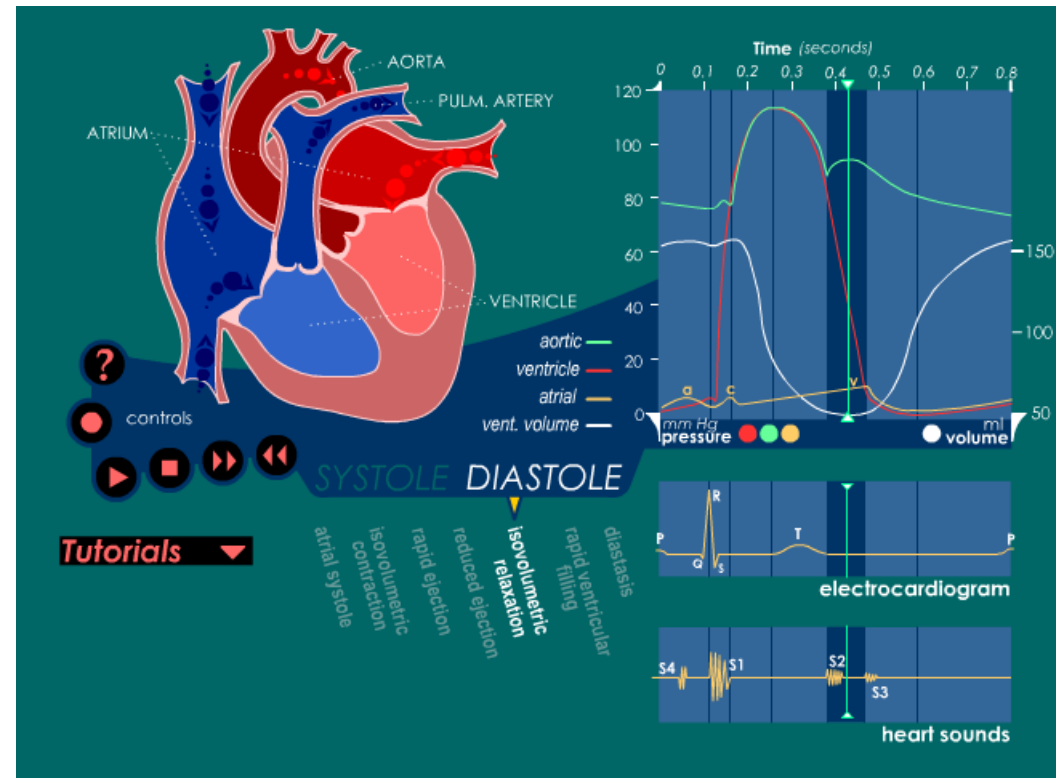


EKG animace



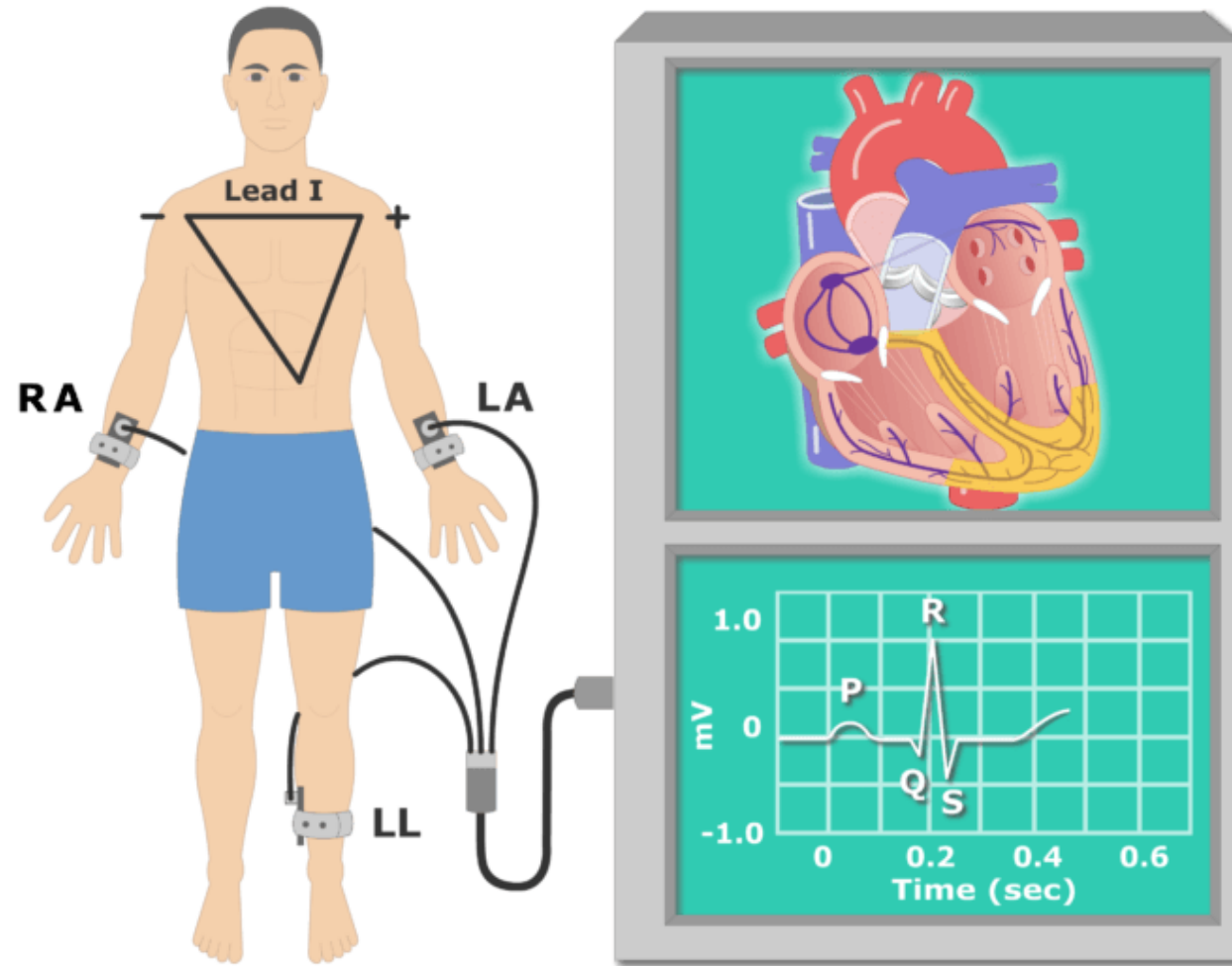
http://pie.med.utoronto.ca/heart_physiology/module/ecg.html

EKG animace



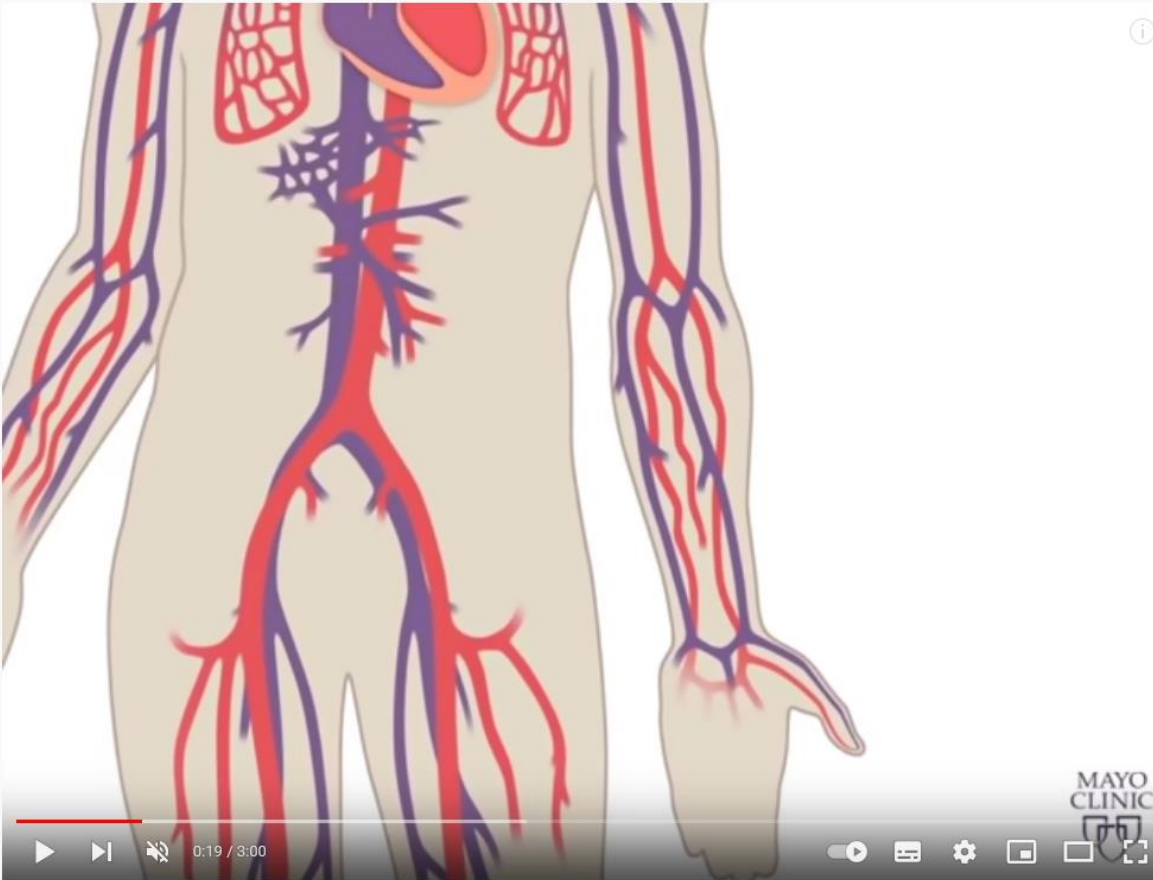
https://library.med.utah.edu/kw/pharm/hyper_heart1.html

EKG animace



<https://www.getbodysmart.com/circulatory-system/ekg>

EKG video (eng)



The diagram illustrates the human circulatory system. The heart is shown at the top center, with red arteries branching out to the lungs and blue veins returning blood from the lungs. Red arteries also branch out to the rest of the body, while blue veins collect blood from the body and return it to the heart. The diagram is overlaid on a faint outline of a human torso and arms.

MAYO CLINIC

0:19 / 3:00

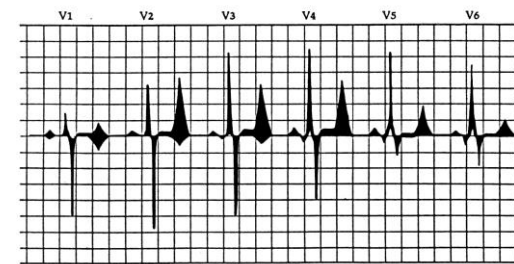
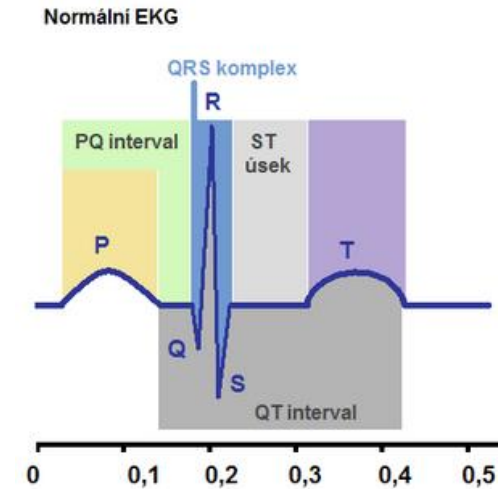
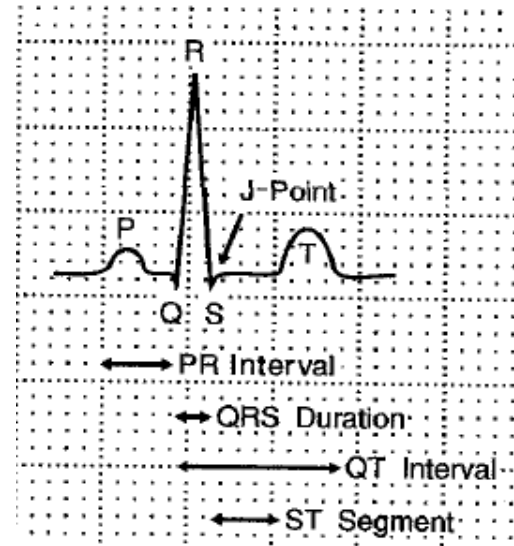
The Heart and Circulatory System - How They Work

5,307,156 views · 19 Jun 2013

53K DISLIKE SHARE CLIP SAVE ...

<https://www.youtube.com/watch?v=CWFyxn0qDEU>

- Na EKG se hodnotí:
 - srdeční frekvence
 - pravidelnost srdeční akce
 - směr elektrické osy srdeční
 - velikost a délka vln P, Q, R, S, T
 - velikost a délka úseků P-Q, Q-R-S, S-T, Q-T
- Fyziologické EKG ovlivňuje:
 - věk
 - konstituce
 - poloha
 - dýchání
 - fyzická zátěž



Klidové EKG

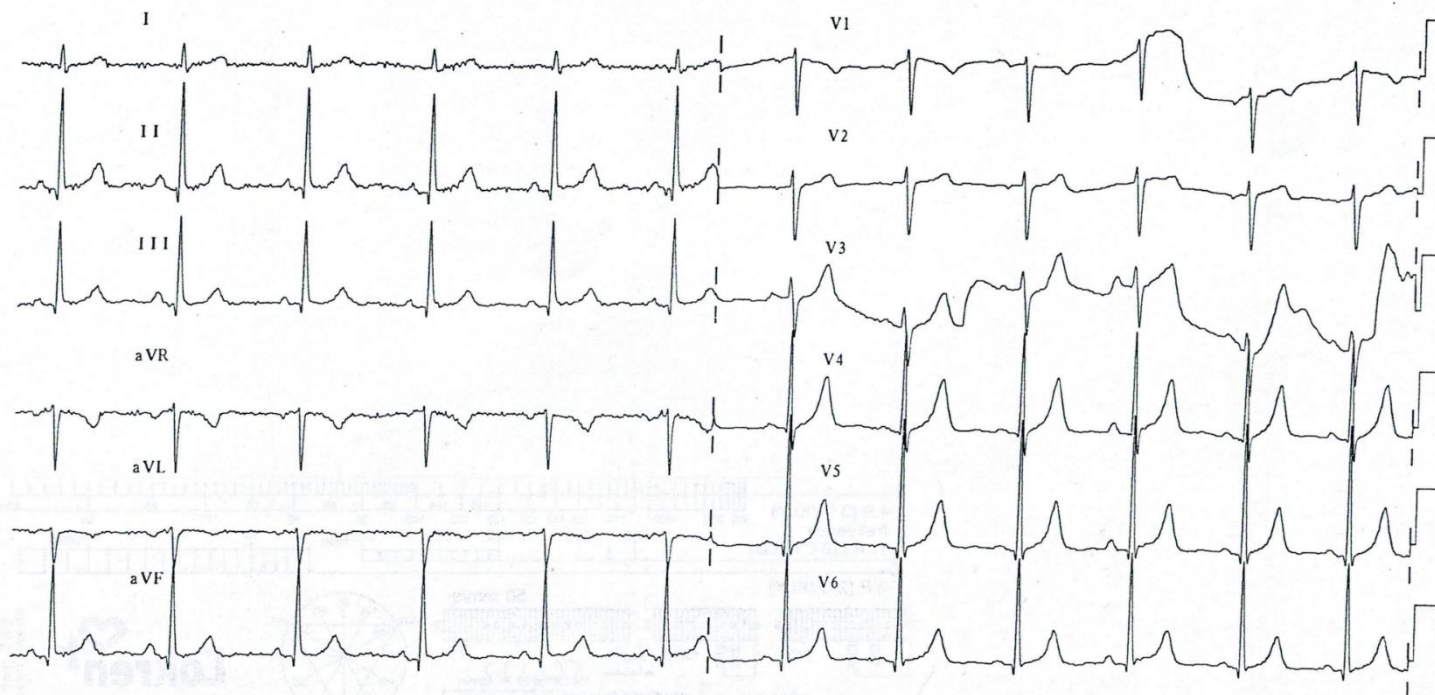
10-Mar-2006 15:49:44

42



Rate 70
 PR 141
 QRSD 96
 QT 393
 QTc 424

--Axis--
 P 70
 QRS 88
 T 71



25 mm/s 10 mm/mV F_{low} 0.5 Hz - 40 Hz W HP708 06029

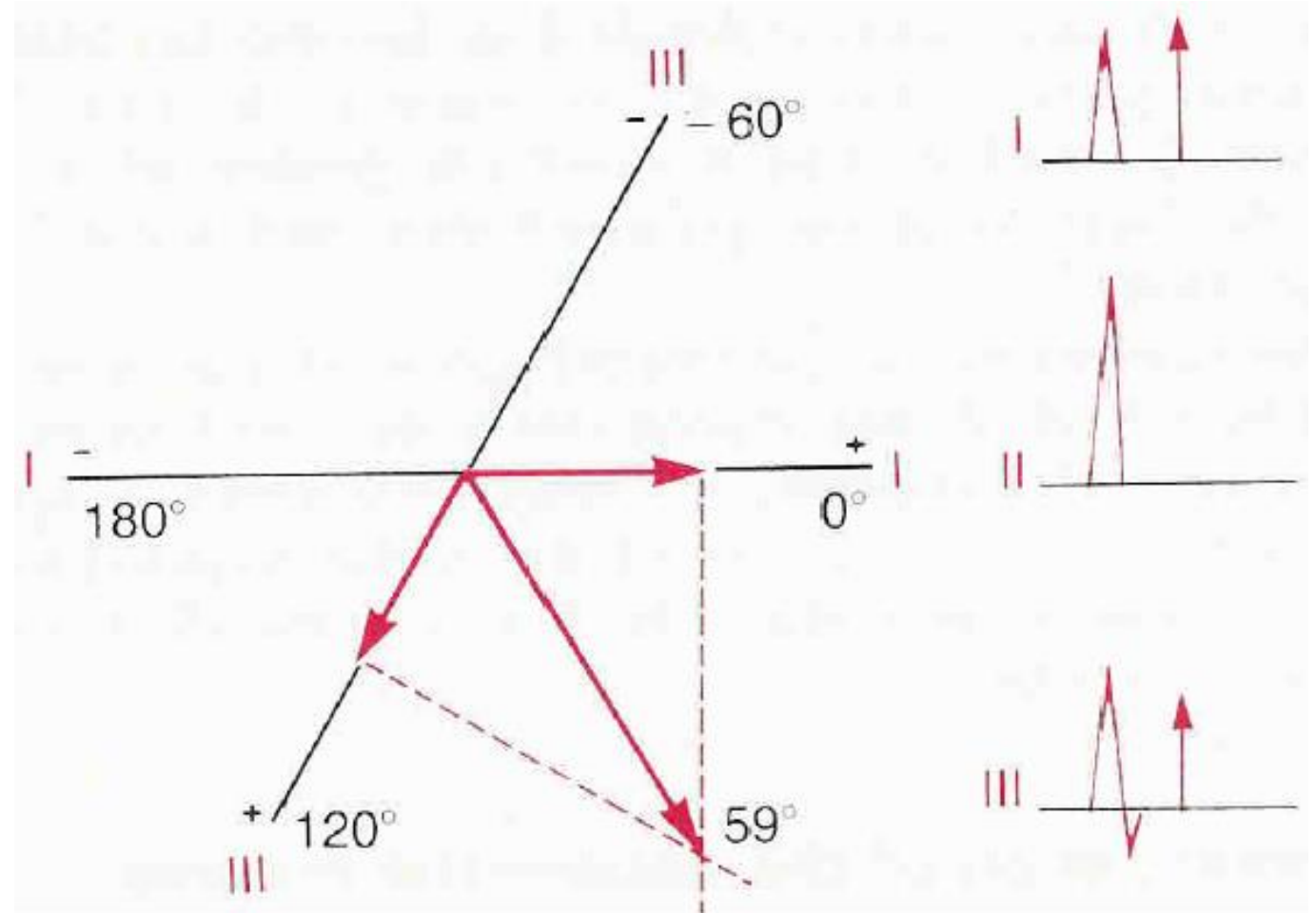
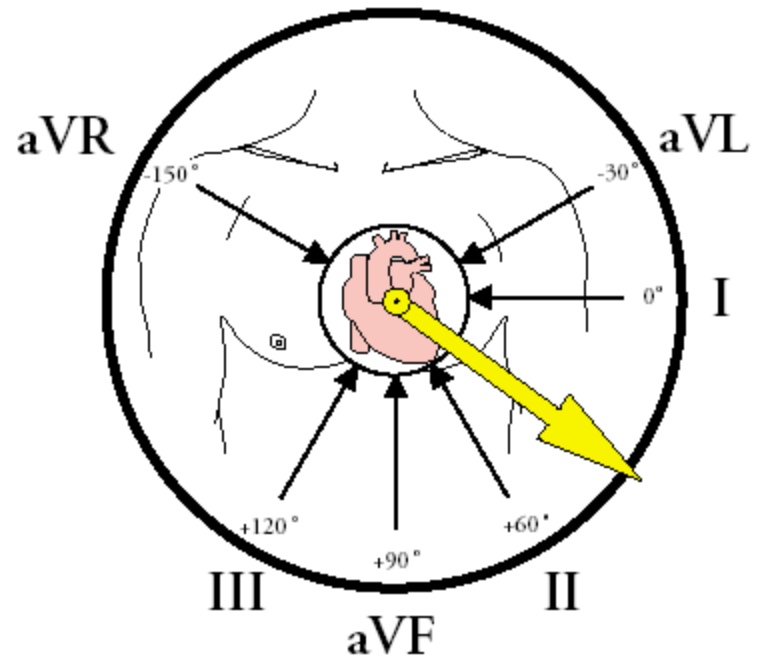
Hodnocení EKG křivky

- EKG desatero

1.	srdeční akce	pravidelná
2.	srdeční rytmus	pravidelný sinusový
3.	srdeční frekvence	v normě, 70 cyklů/min
4.	P vlna	normální
5.	PQ interval	v normě, 4 mm, 160 ms
6.	QRS komplex	v normě, 96 ms
7.	ST úsek	normální v izolinii
8.	T vlna	norma
9.	QT interval	norma, 393 ms
10.	elektrická osa srdeční	fyziologicky, 88°

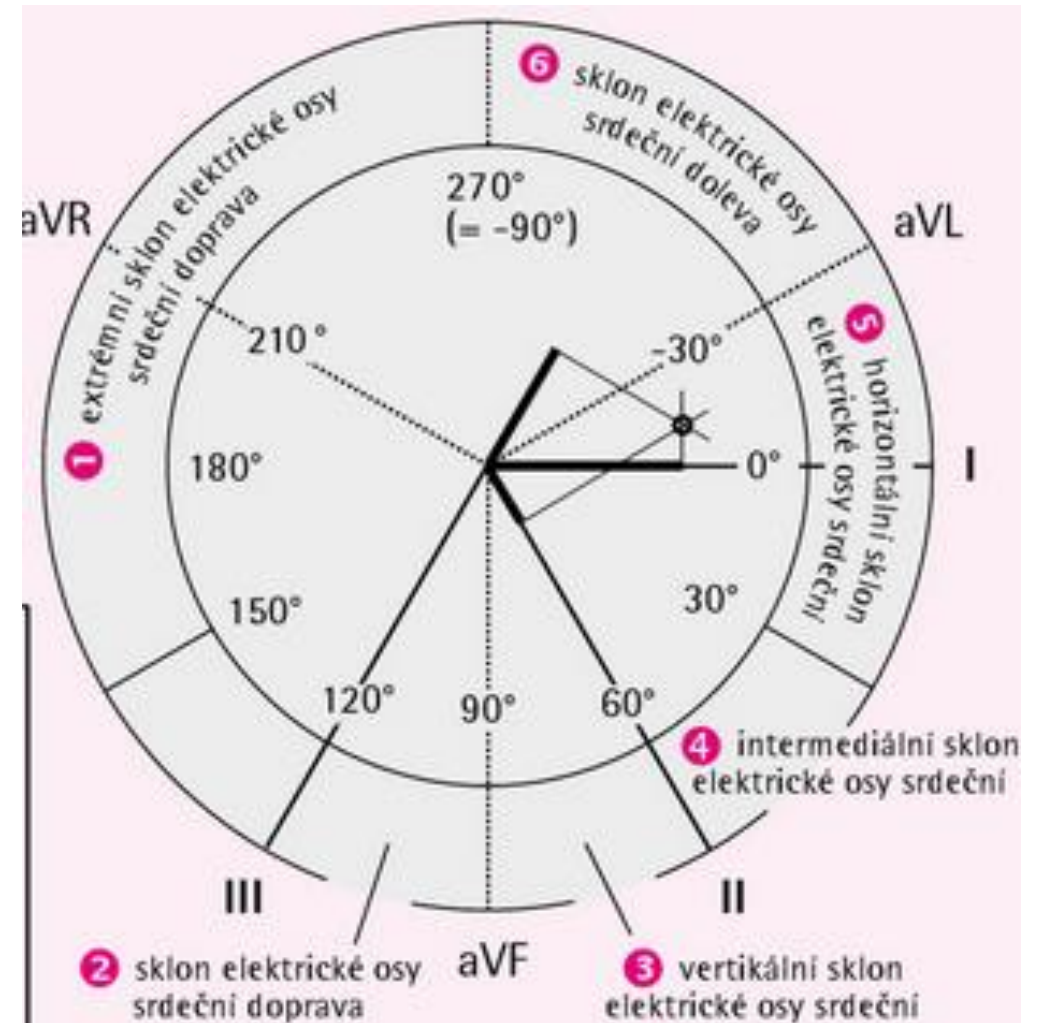
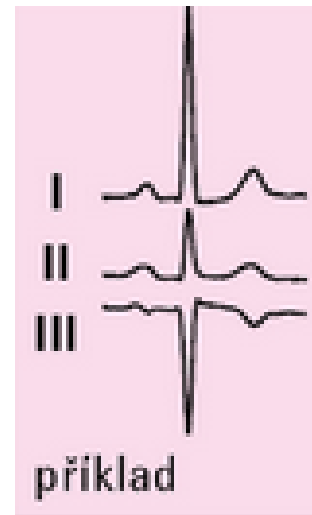
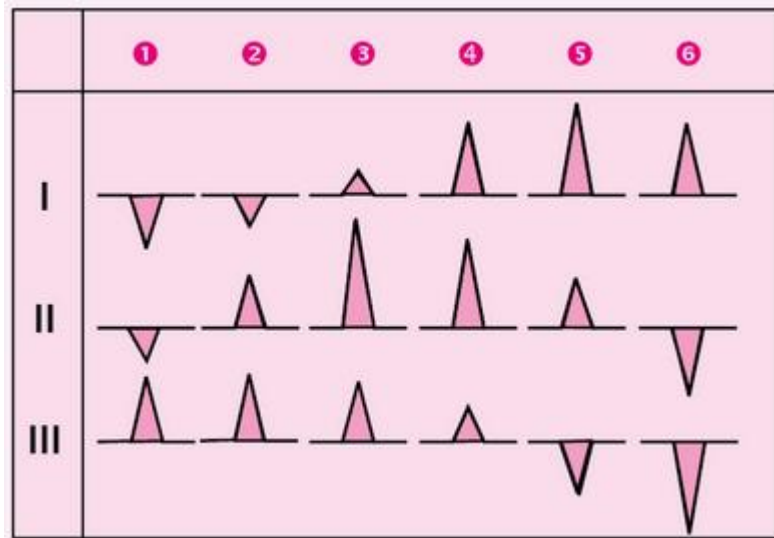
https://www.wikiskripta.eu/w/Popis_EKG

ELEKTRICKÁ SRDEČNÍ OSA

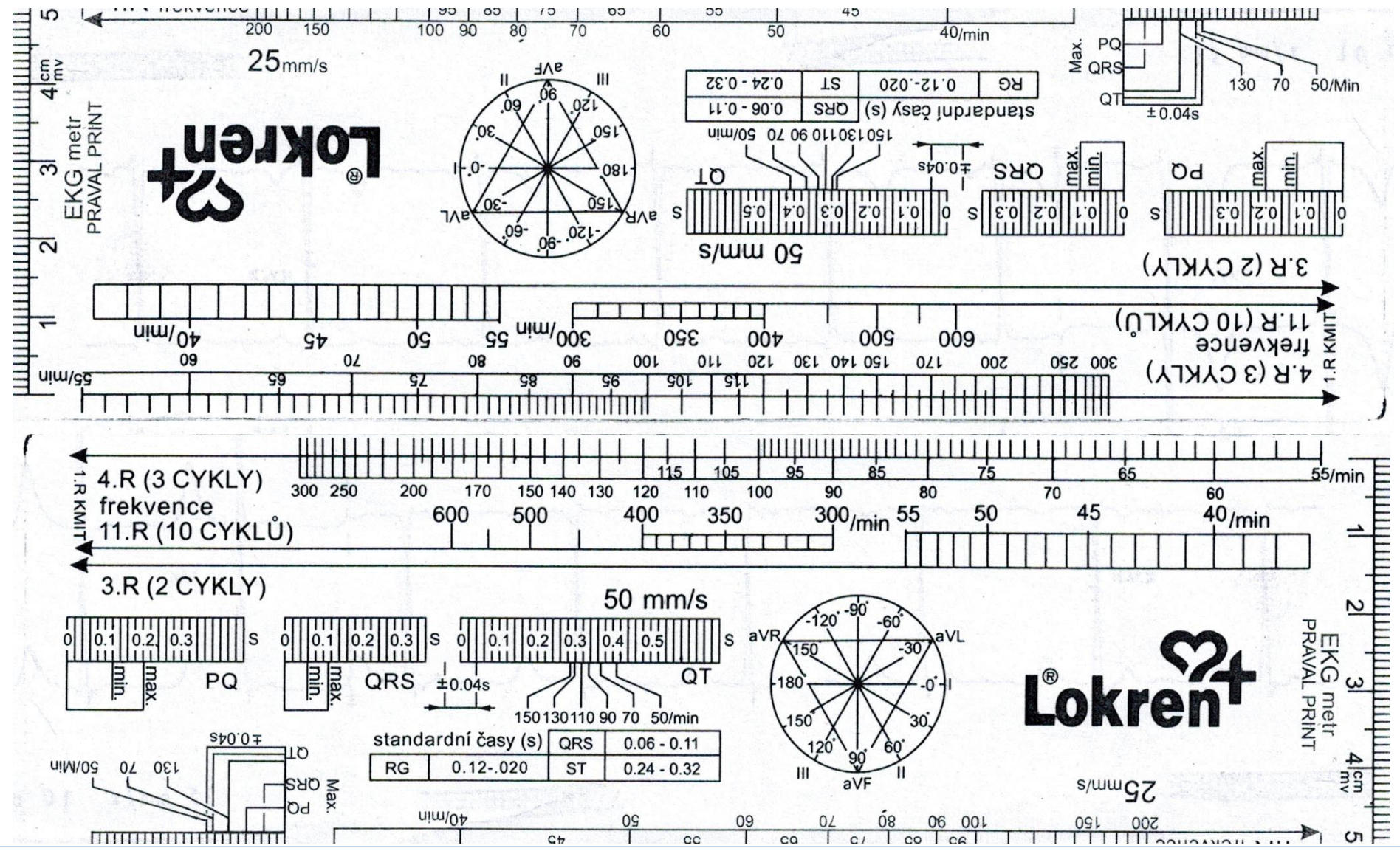


Cabrerův kruh

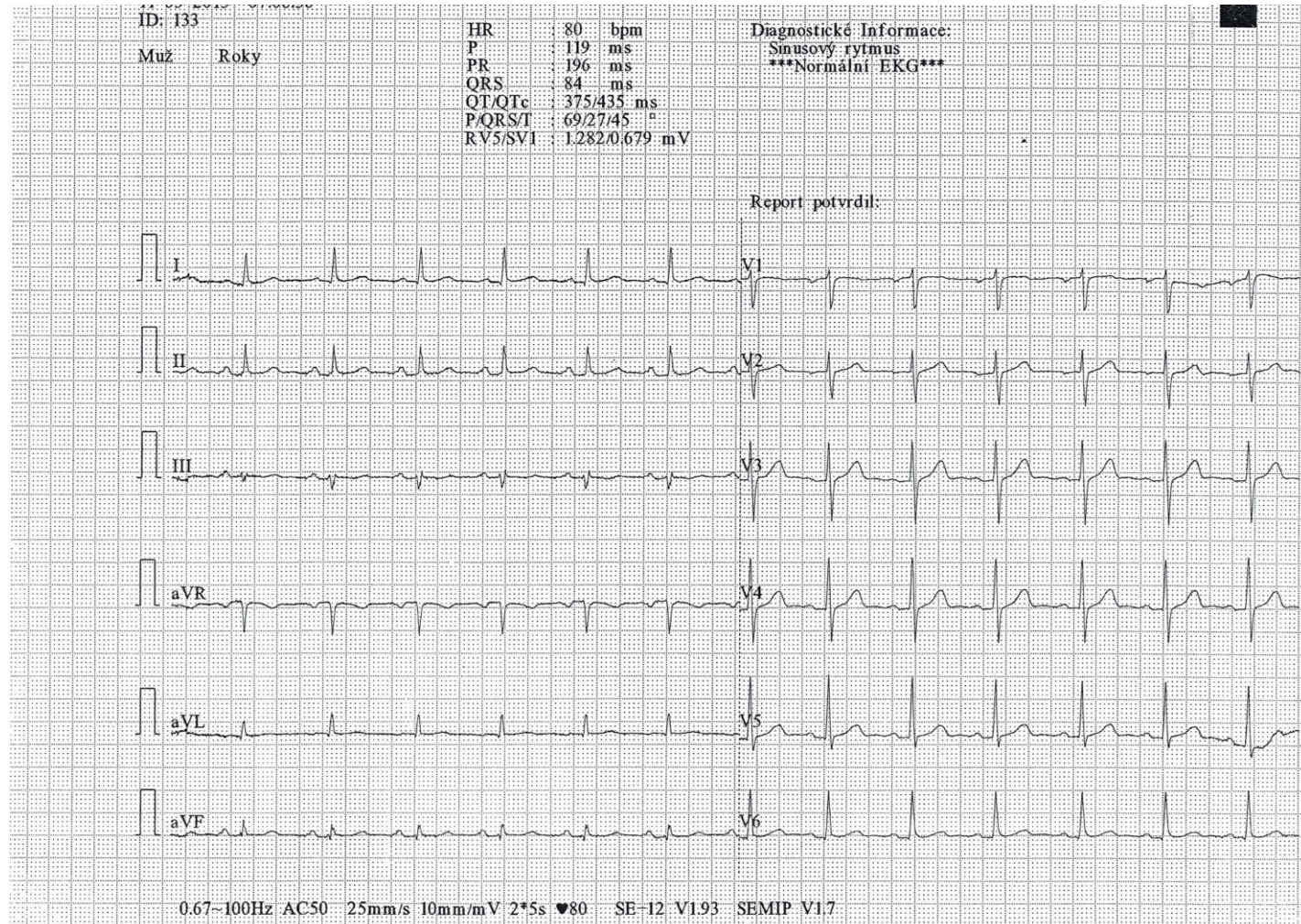
- Určení sklonu elektrické osy srdeční



Kardiologické pravítko



EKG záznam - muž 50 let

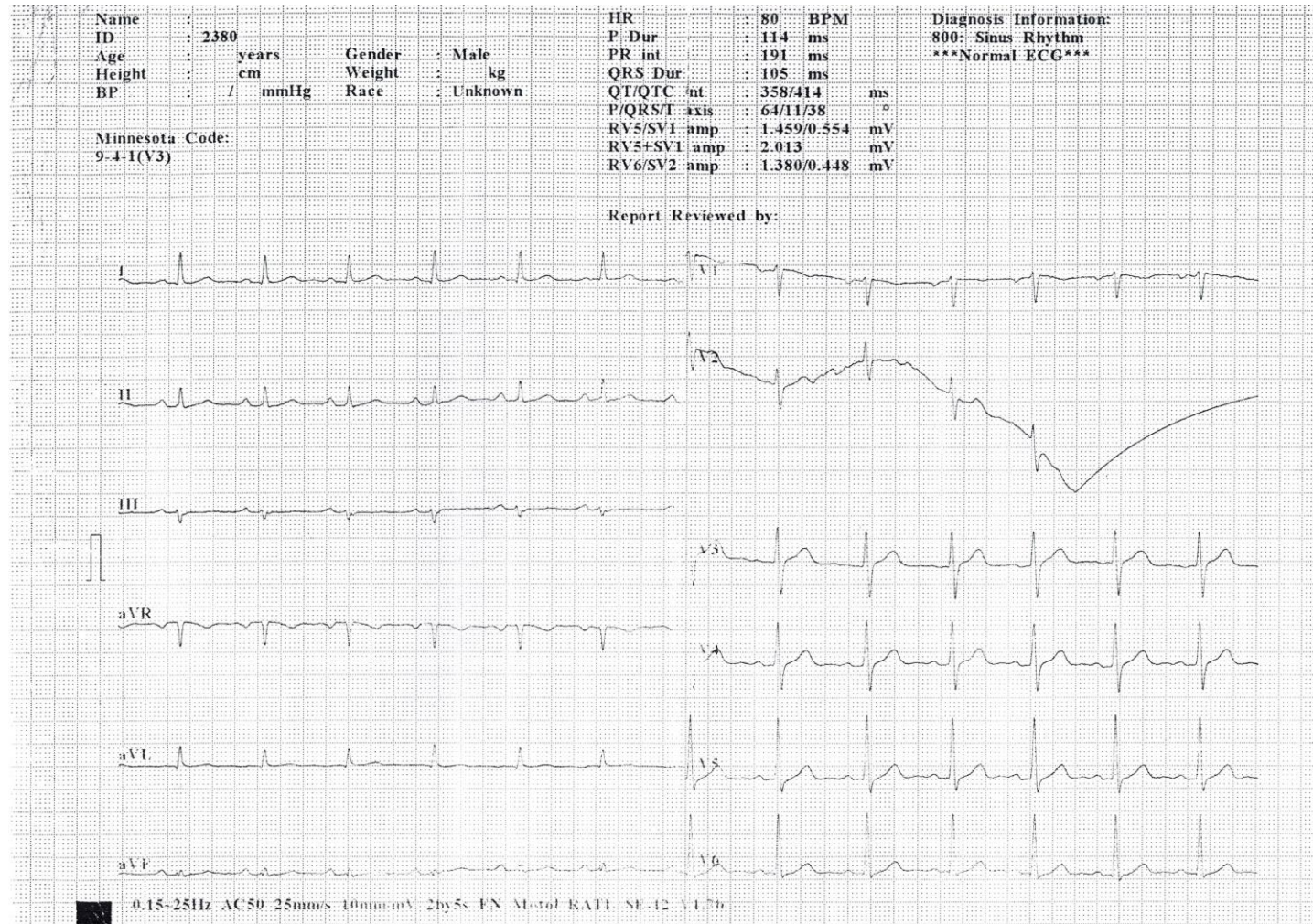


Korigovaný QT interval

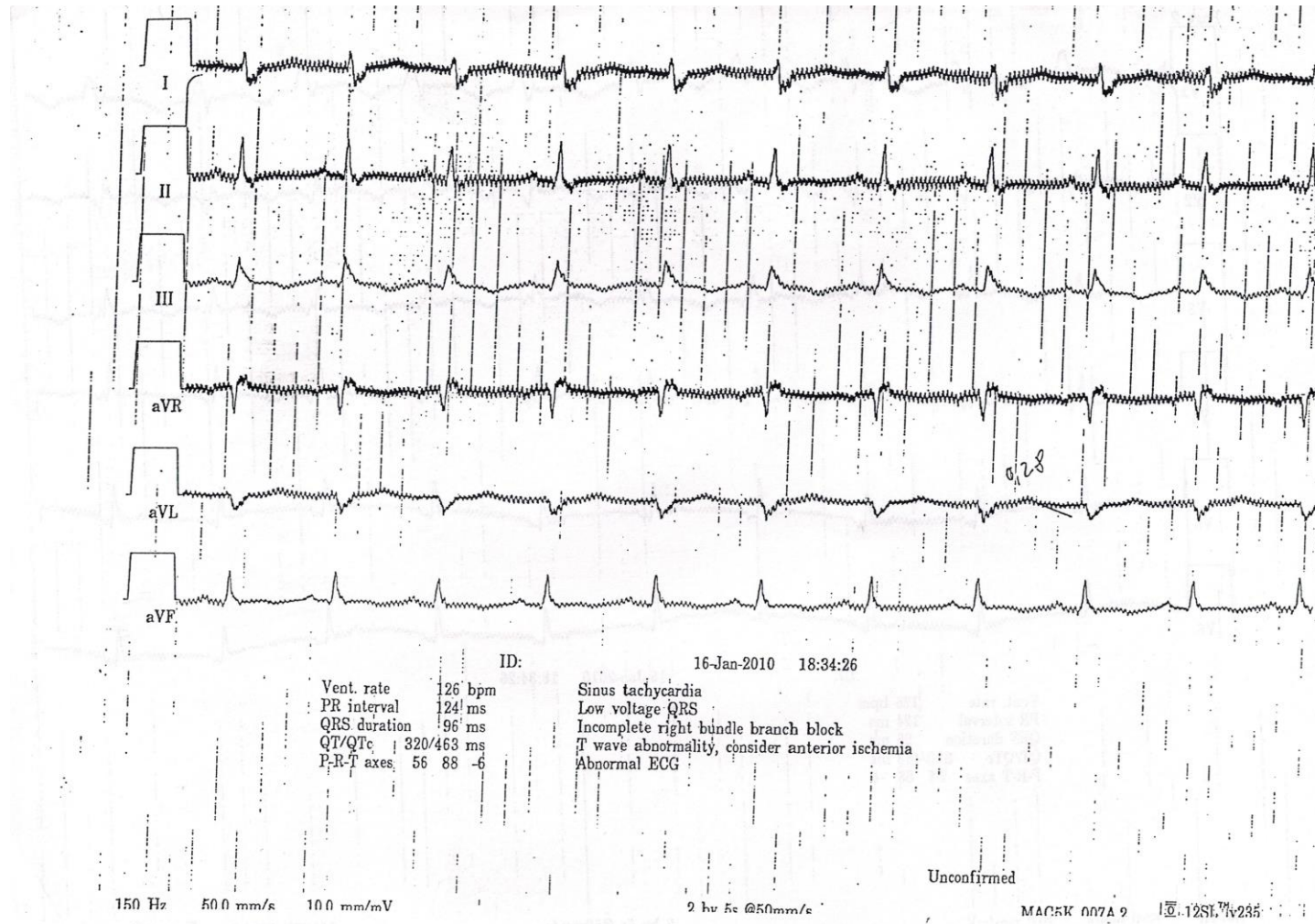
Corrección. Fórmulas

Bazett modificada por Taran y Szilagyi	$QTc = \frac{QT}{\sqrt{RR}}$
Fridericia	$QTc = \frac{QT}{\sqrt[3]{RR}}$
Framingham-Sagie	$QTc = QT + 0,154 (1 - RR)$
Hodges	$QTc = QT + 1.75 (FC - 60)$
Sarma	$QTc = QT (RR)^{\frac{1}{2}}$
Normograma	$QTc = 237 + 0.158 \times RR$ (para FC 60 -100 lpm)
Cobos	$QTc = \frac{QT}{(1+RR)/2}$

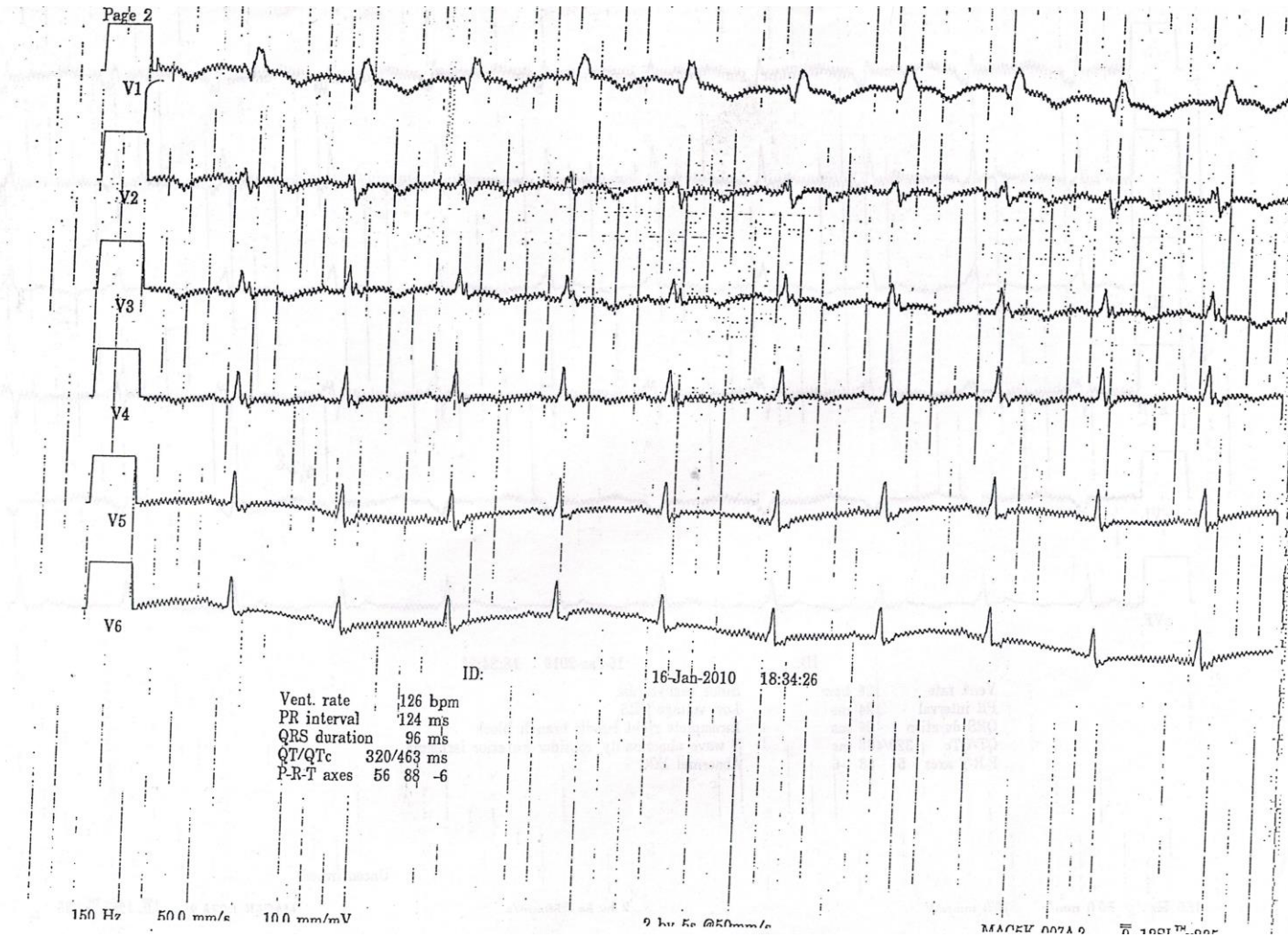
EKG záznam - muž 45 let



EKG záznam - žena 15 let

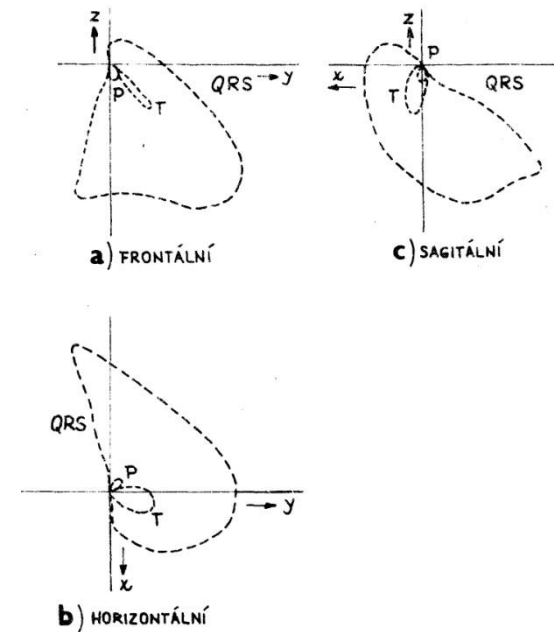
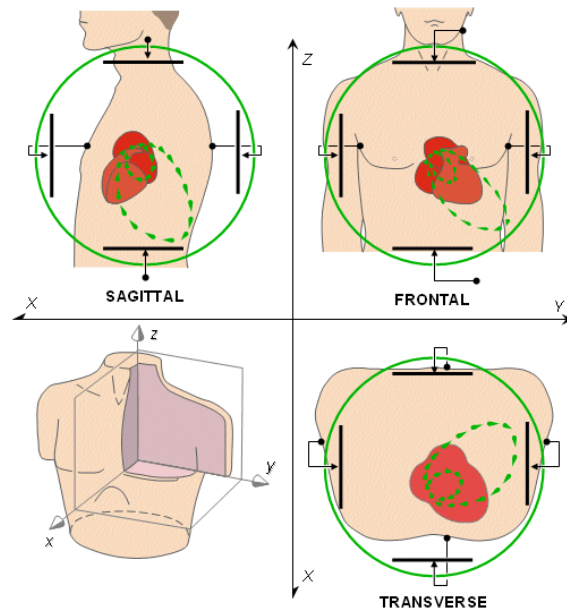


EKG záznam - žena 15 let

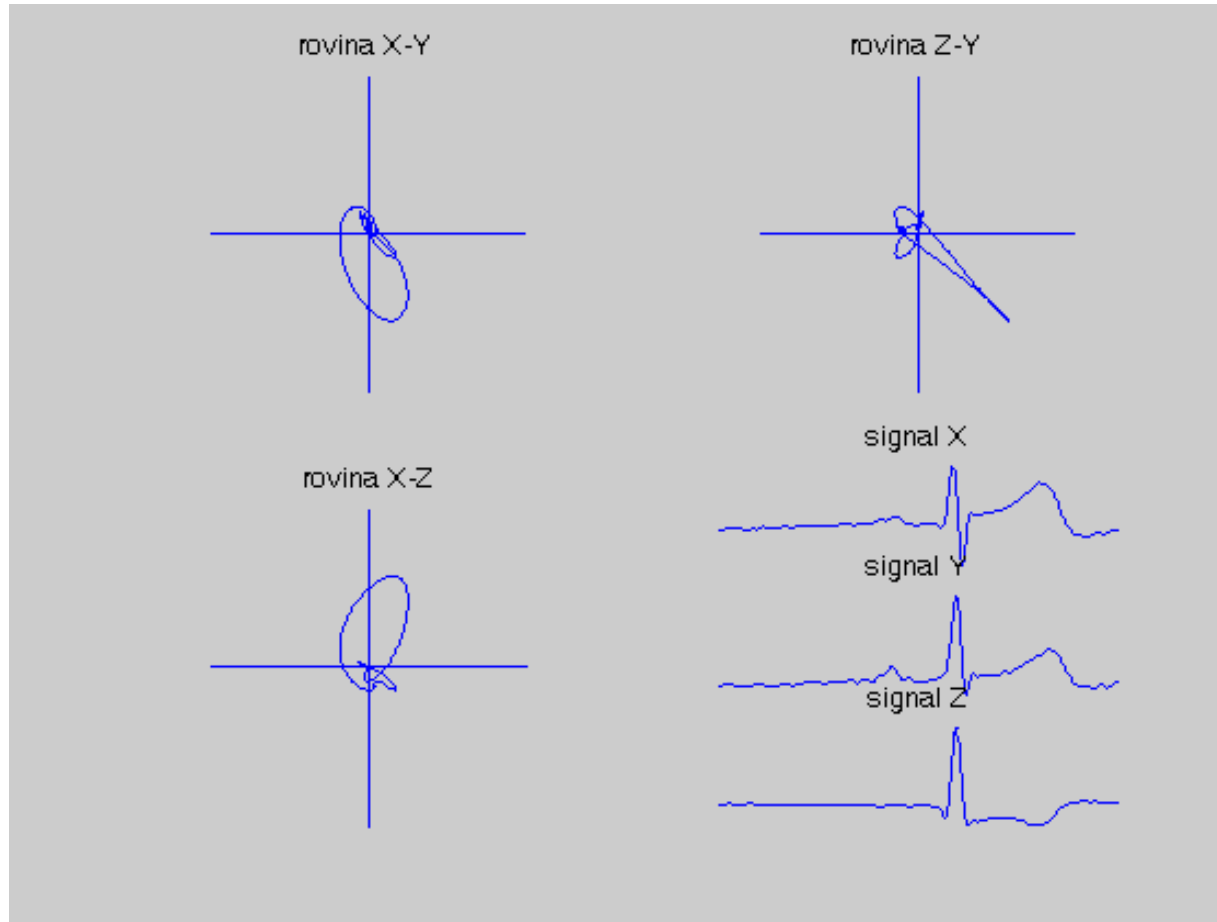


Vektorkardiografie

- vyjadřují prostorové vlastnosti elektrického pole kolem srdce (hrudníku) pomocí tří ortogonálních signálů;
- zobrazení pomocí tří rovinných smyček;



Vektorkardiografie



frontální x-y

horizontální x-z

sagitální z-y

Počítačová morfologická analýza EKG

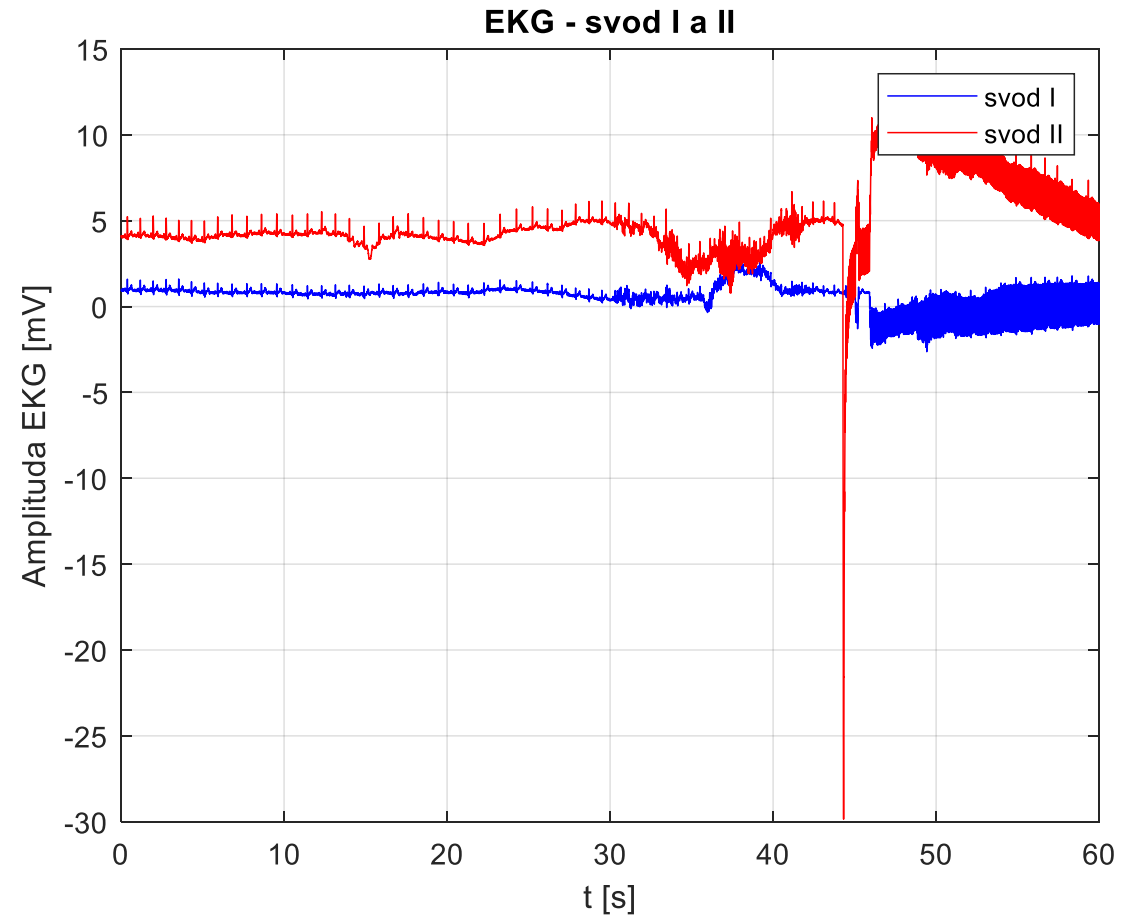
- **Automatizované zpracování a diagnostika v MATLABu**

1. Načtení a zobrazení EKG signálu
2. Výběr 30s úseku a filtrace signálu
3. Vizualizace kroků Pan-Tompkinsova algoritmu
4. Detekce R-špiček pomocí Pan-Tompkinsova algoritmu
5. Výpočet zprůměrovaného cyklu + standardní odchylky
6. Detekce hrotů a vln ve zprůměrovaném srdečním cyklu
7. Výpočet a vizualizace EKG intervalů (PQ, QRS, QT, QTc, P, T)
8. Zobrazení EKG parametrů vůči fyziologickým hodnotám
9. Klinické EKG se šesti frontálními svody
10. Osy elektrického vektoru srdečního
11. Výstupní tabulka a diagnostika

- **Načtení a zobrazení signálu**

- I a II svod EKG signálu

- Měření pomocí svodů I a II (bipolární svody)
- Rozdílná amplituda, baseline drift, artefakty

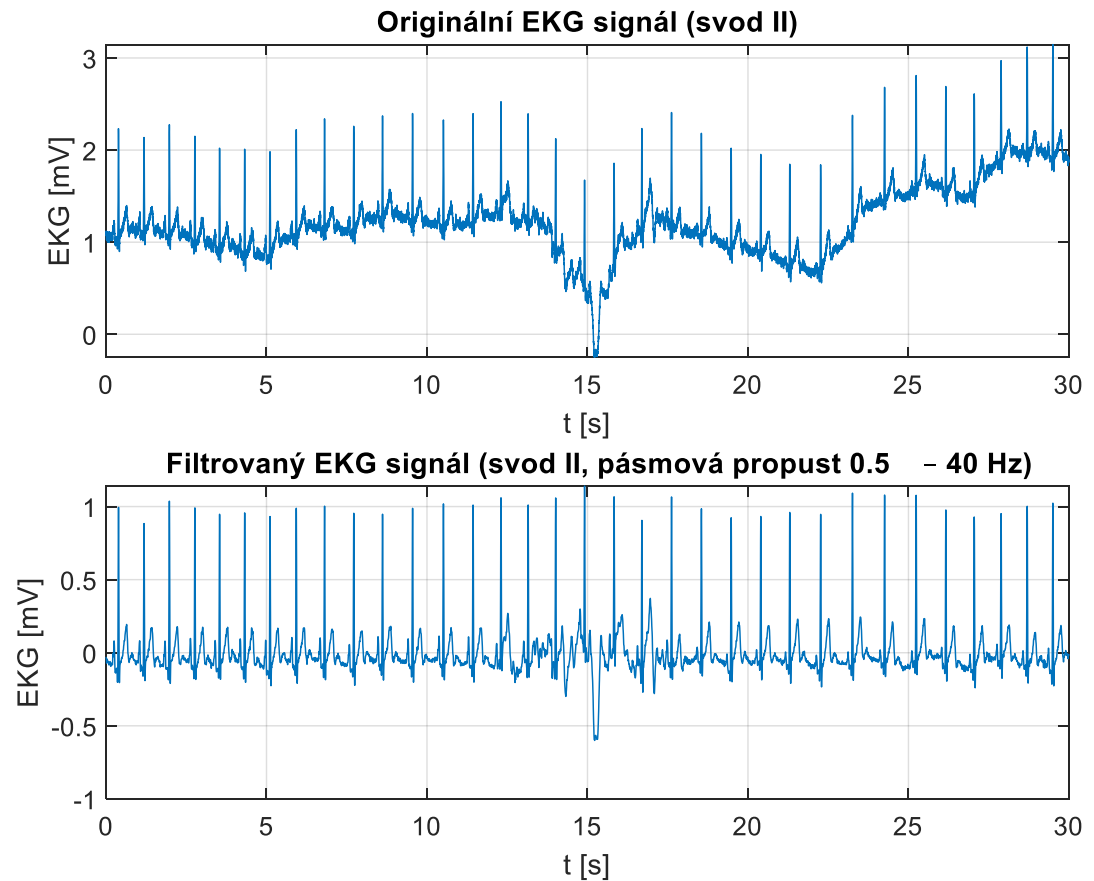


Počítačová morfologická analýza EKG

- **Předzpracování a filtrace signálu**
 - 30s úsek + pásmová filtrace (0.5–40 Hz)

Potřeba odstranit artefakty

(pohyb, dýchání,
nízkofrekvenční složky)



Počítačová morfologická analýza EKG

• Pan-Tompkinsonův algoritmus

○ Obálka, vyhlazení, adaptivní práh, ROI

• 1. FIR diferenciátor

– zvýrazní rychlé změny v EKG signálu

• 2. Umocnění

– zvýrazní větší změny a potlačí malé

• 3. Klouzavý průměr

– vytvoří hladší obálku signálu

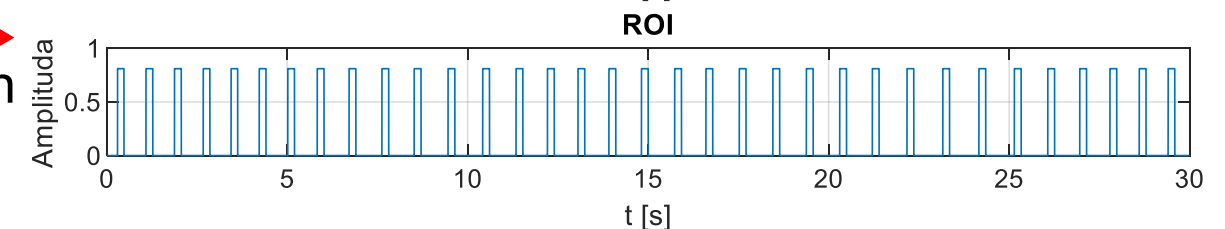
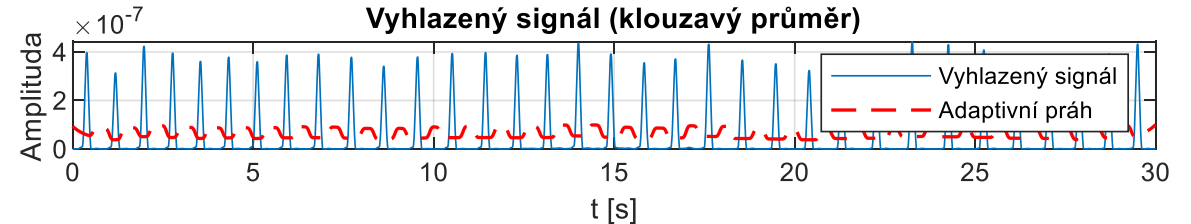
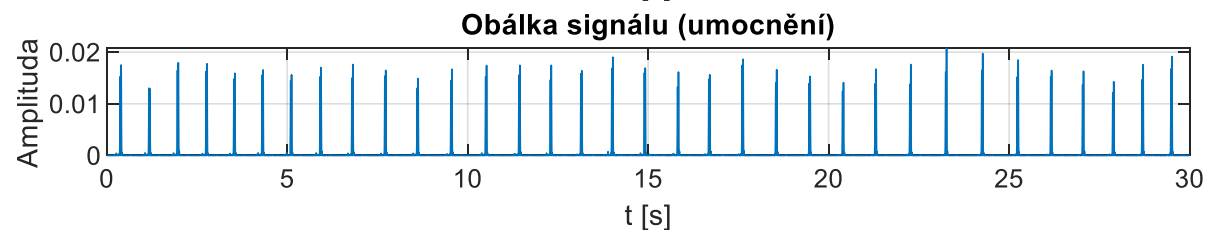
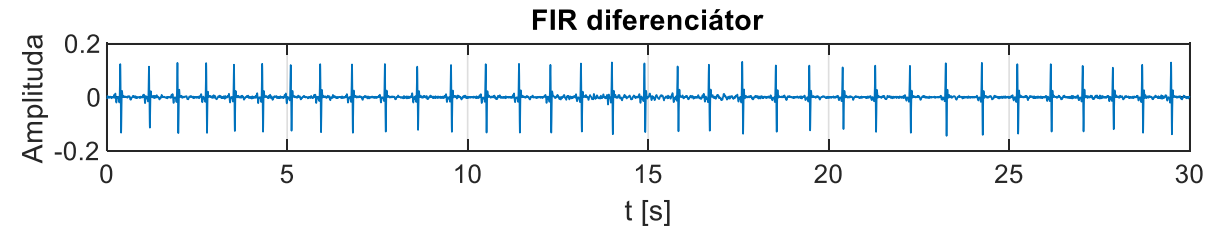
Adaptivní práh

– prahování na základě lokálního maxima
`movmean(ecg_ma, win_len)`

• 4. ROI

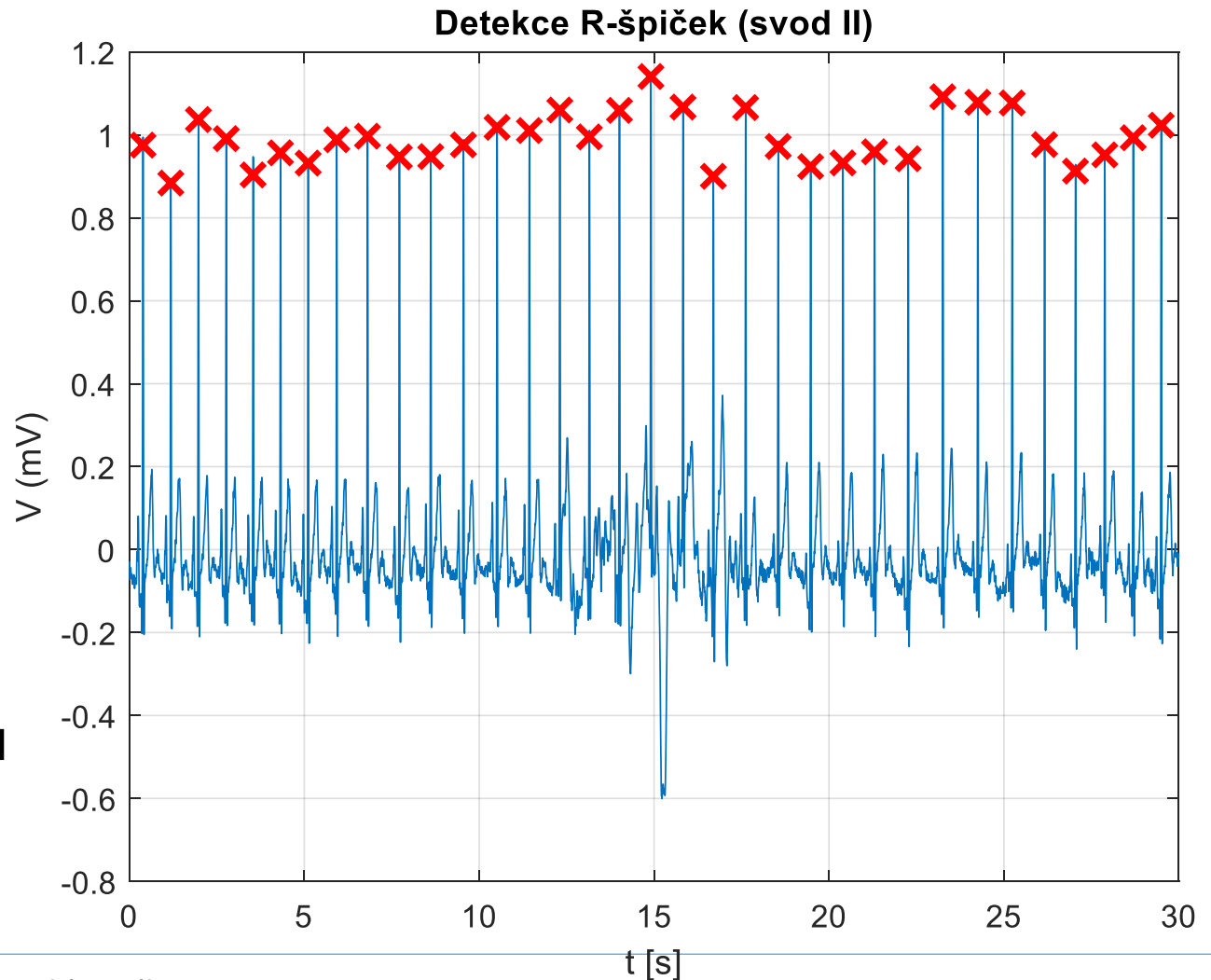
– označení oblastí, kde R-špičky překračují práh

- Jeden z nejznámějších algoritmů pro detekci QRS komplexu
- Robustní vůči šumu a variabilitě amplitudy
- Vhodný pro reálné aplikace i nositelná zařízení



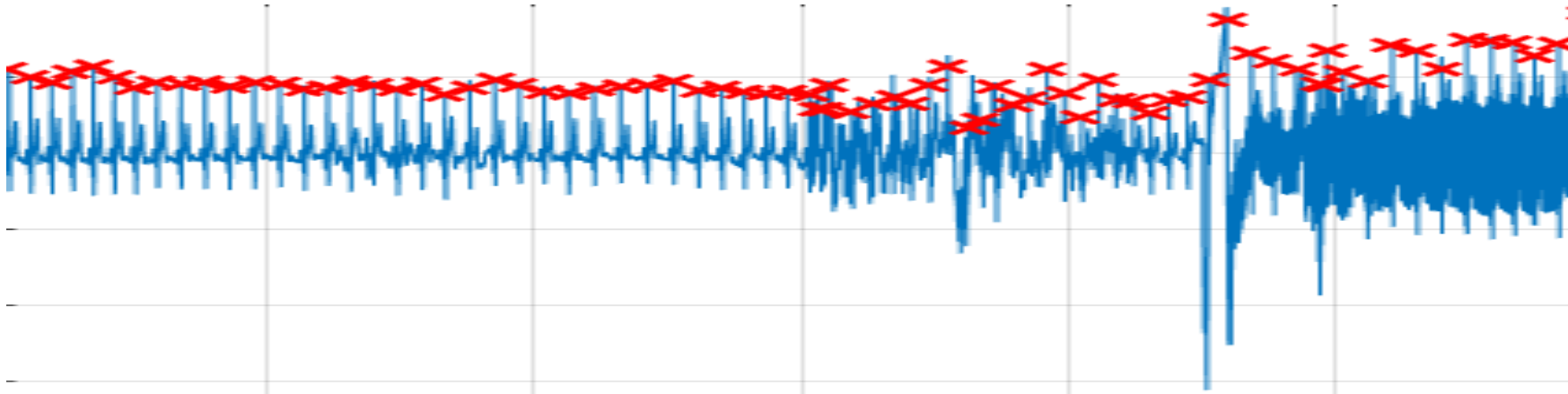
• Detekce R-špiček

- R-špička je dominantní část QRS komplexu
- Referenční bod pro rozdělení cyklu (segmentace)
- Na jejím základě odvozujeme HR, intervaly a středy cyklů
- Detekce vychází z vyhodnocení maxima uvnitř ROI
- Výsledkem je řada časových okamžiků odpovídající srdečním cyklům



Počítačová morfologická analýza EKG

- **Další přístupy k detekci R-špiček**
 - **Vzájemná korelace se šablonou** – srovnání s typickým tvarem QRS komplexu
 - **Vzájemná korelace více svodů** – zvýšení robustnosti detekce
 - **Waveletová transformace**
 - **PCA (analýza hlavních komponent)** – extrakce hlavní morfologie QRS
 - **Strojové učení / klasifikace** – detekce R pomocí trénovaného modelu

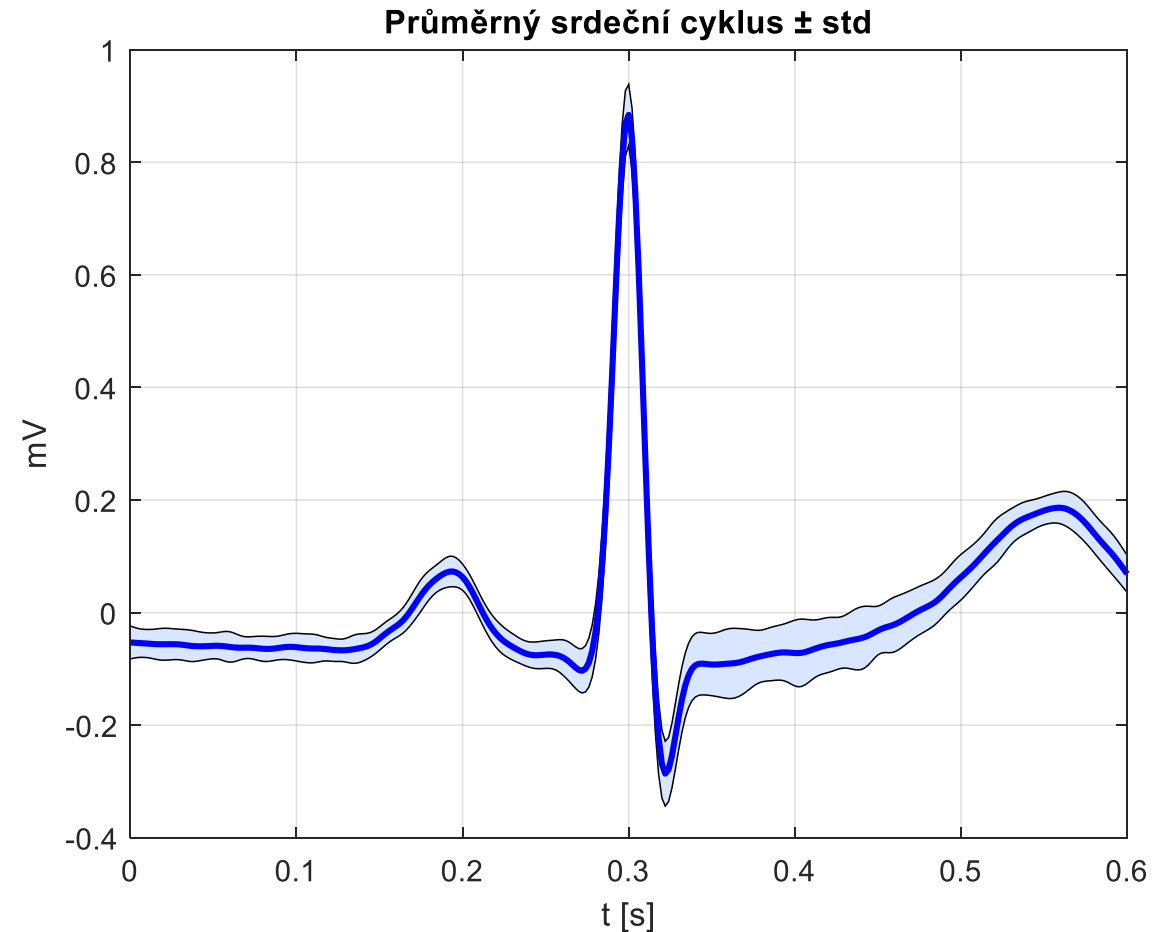


Počítačová morfologická analýza EKG

- **Průměrný srdeční cyklus**

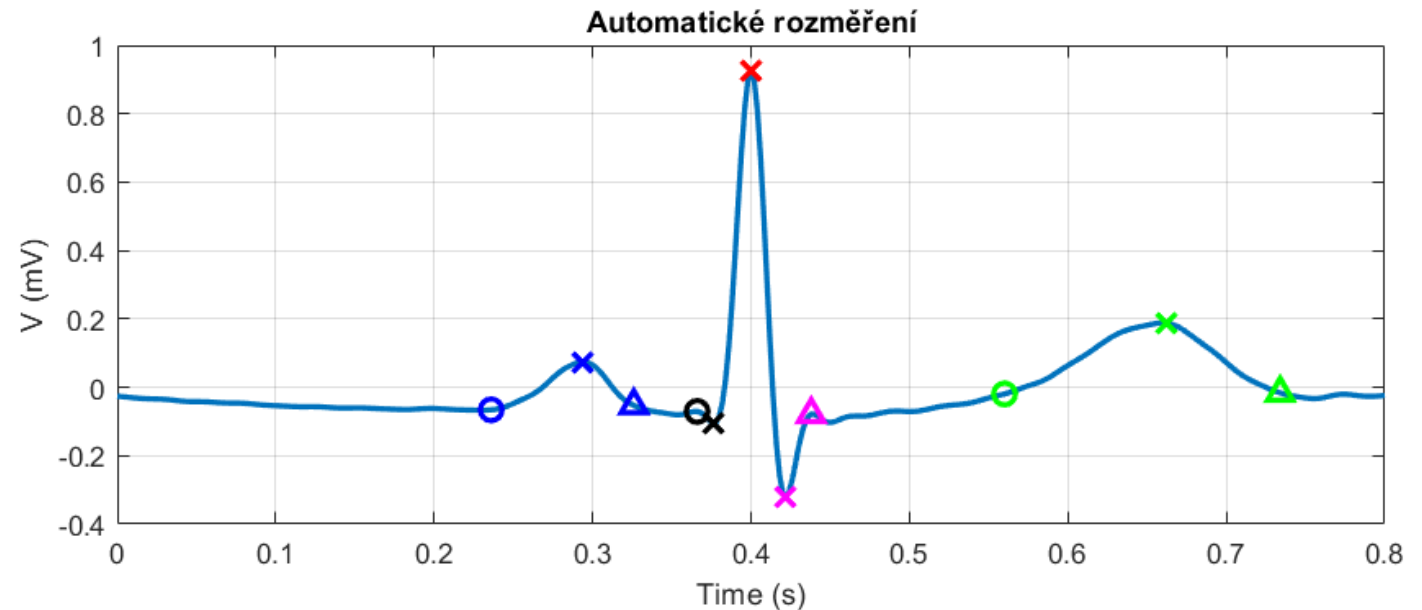
- Výpočet průměrného cyklu a \pm standardní odchylky

- Pro každou detekovanou R-špičku je vybrán segment signálu
- Segmenty jsou časově centrovány, zprůměrovány, a vyhodnocena variabilita
- Výsledkem je robustní reprezentace jednoho cyklu



Počítačová morfologická analýza EKG

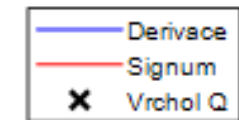
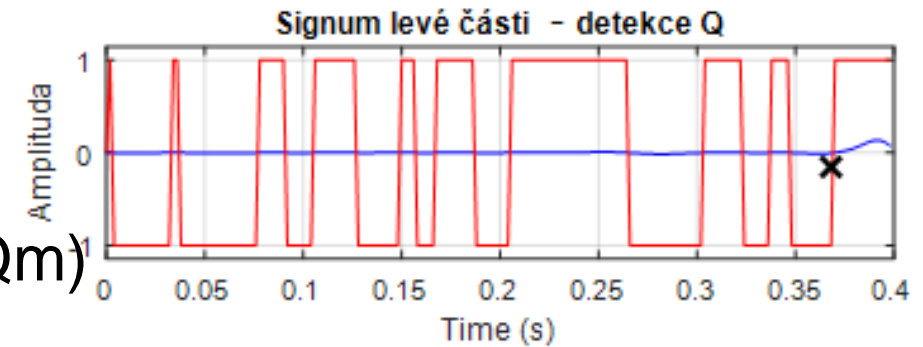
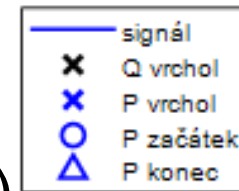
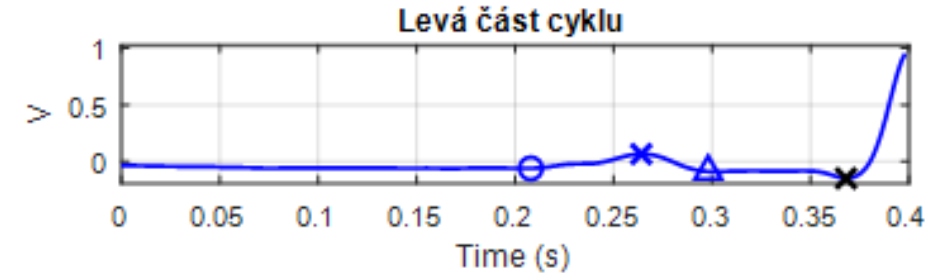
- **Detekce vln a hrotů**
 - segmentace (P, Q, R, S, T)
- Cílem je automaticky detekovat morfologické body v průměrovaném EKG cyklu
- Bodová detekce vychází z R-špiček (Pan-Tompkins)
- **Detekce:**
 - P vlna (Ps, Pm, Pe),
 - **QRS komplex** (Qs, Qm, Sm, Se),
 - T vlna (Ts, Tm, Te)



• Detekce vln a hrotů

○ Levá část cyklu

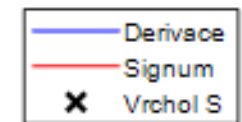
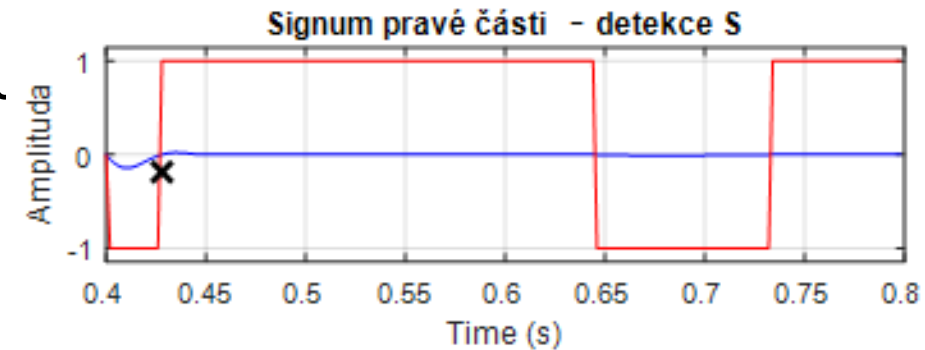
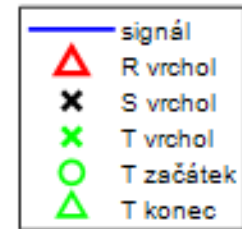
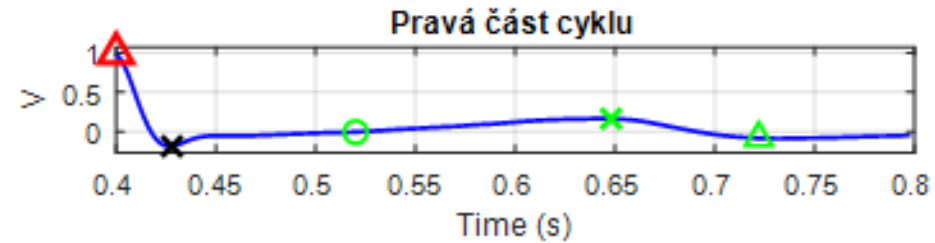
1. **R-špička** (z Pan-Tomkinsova algoritmu)
2. **Qm**: vrchol Q vlny jako lokální minimum před R (změna derivace)
3. **Pm**: vrchol P vlny jako lokální maximum před Qm
4. **Ps**: začátek P vlny (geometrická detekce před Pm)
5. **Pe**: konec P vlny (geometricky mezi Pm a Qm)
6. **Qs**: začátek QRS komplexu (geometrie mezi Pe a Qm)



• Detekce vln a hrotů

○ Pravá část cyklu

1. **Sm**: vrchol S vlny jako první minimum za R (změna d
2. **Tm**: vrchol T vlny jako maximum signálu za S
3. **Ts**: začátek T vlny (trojúhelník mezi Se a Tm)
4. **Te**: konec T vlny (trojúhelník mezi Tm a koncem cyklu)
5. **Se**: konec QRS komplexu (trojúhelník mezi Sm a Ts)



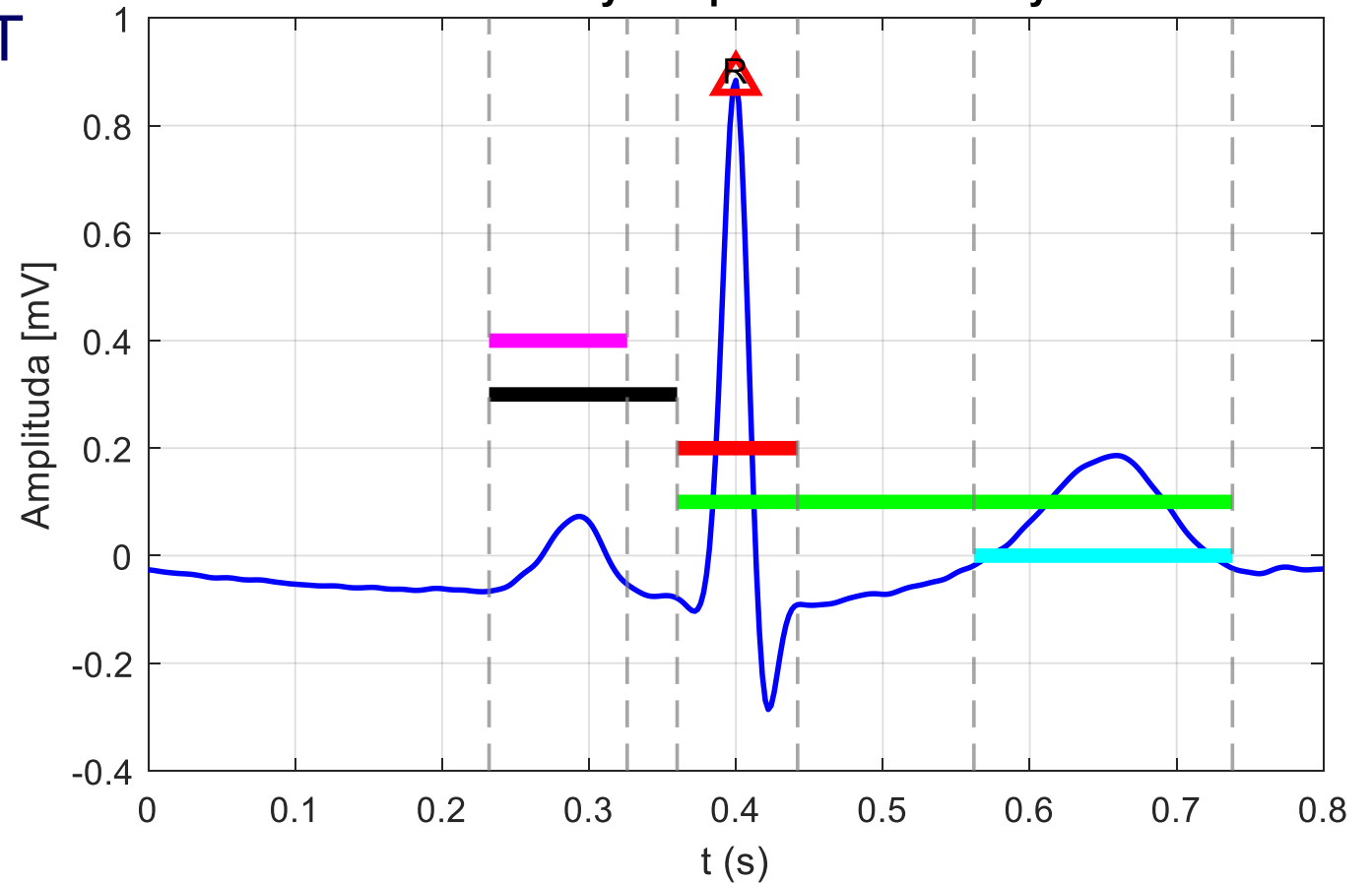
Počítačová morfologická analýza EKG

• Výpočet EKG intervalů

- PQ, QRS, QT, P, T

- PQ interval = $Q_s - P_s$
- QRS délka = $S_e - Q_s$
- QT interval = $T_e - Q_s$
- Intervaly se využívají k diagnostice poruch vedení srdečního rytmu

EKG intervaly ve zprůměrovaném cyklu

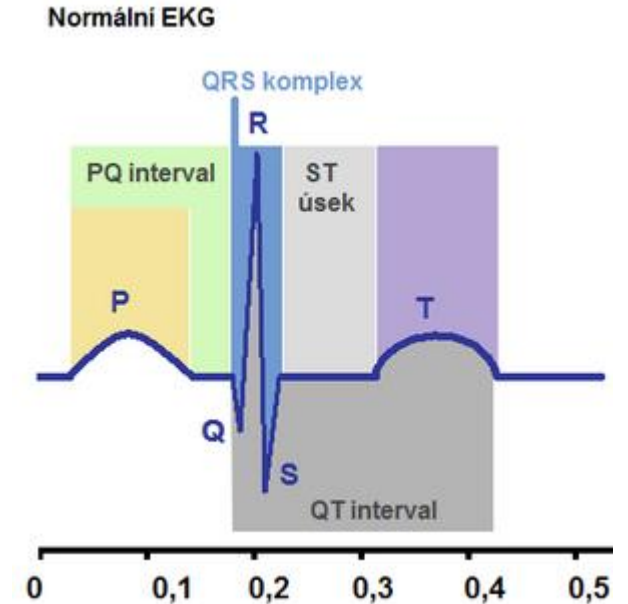


PQ interval
 QRS komplex
 QT interval
 T vlna
 R-špička

Fyziologické hodnoty EKG

- **Srdeční frekvence** od 55 do 90 stahů za minutu
- **Doba trvání QRS** do 0,11 s
- **PQ interval** 0,12–0,20 s
- **QT interval** 0,25–0,50 s
- **QTc interval** 0,35–0,45 s
- **P vlna** v I. a II. svodu pozitivní
(jedna vlna P, která předchází každému QRS)
- **ST úsek** v isoelektrické rovině
- **T vlna** konkordantní
(stejná polarita jako největší kmit QRS komplexu ve svodech I, II a III)
- **Elektrická osa srdeční** mezi hodnotami -30° až $+110^\circ$

https://www.wikiskripta.eu/w/Popis_EKG

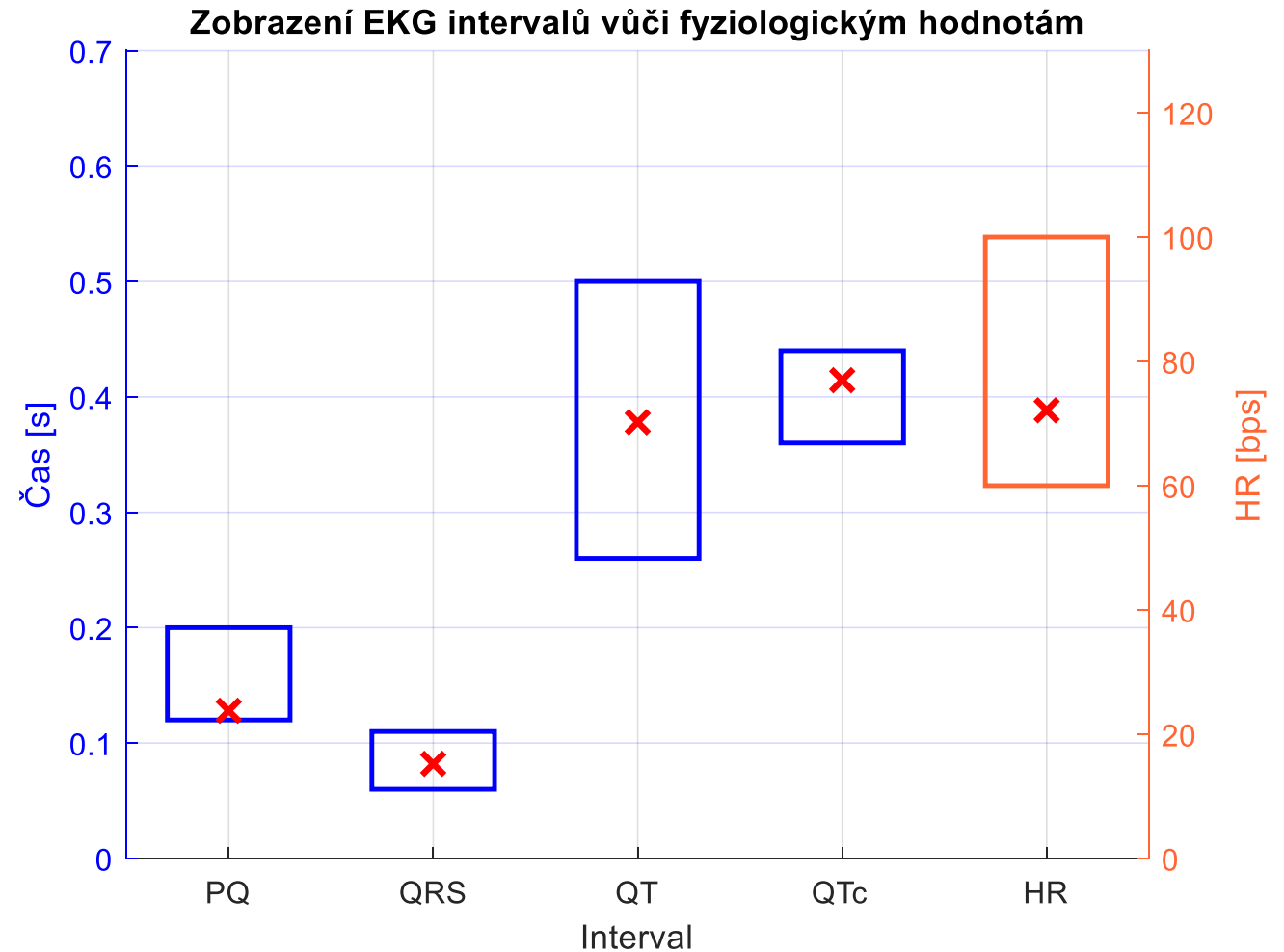


• Porovnání s fyziologií

Porovnání naměřených hodnot s fyziologickými mezerami:

- Srdeční frekvence (HR): 72 bpm
- PQ interval: 0.128 s
- QRS komplex: 0.082 s
- QT interval: 0.378 s
- QTc (Bazettova korekce): 0.414 s

Všechna měření jsou v rámci fyziologických norem.

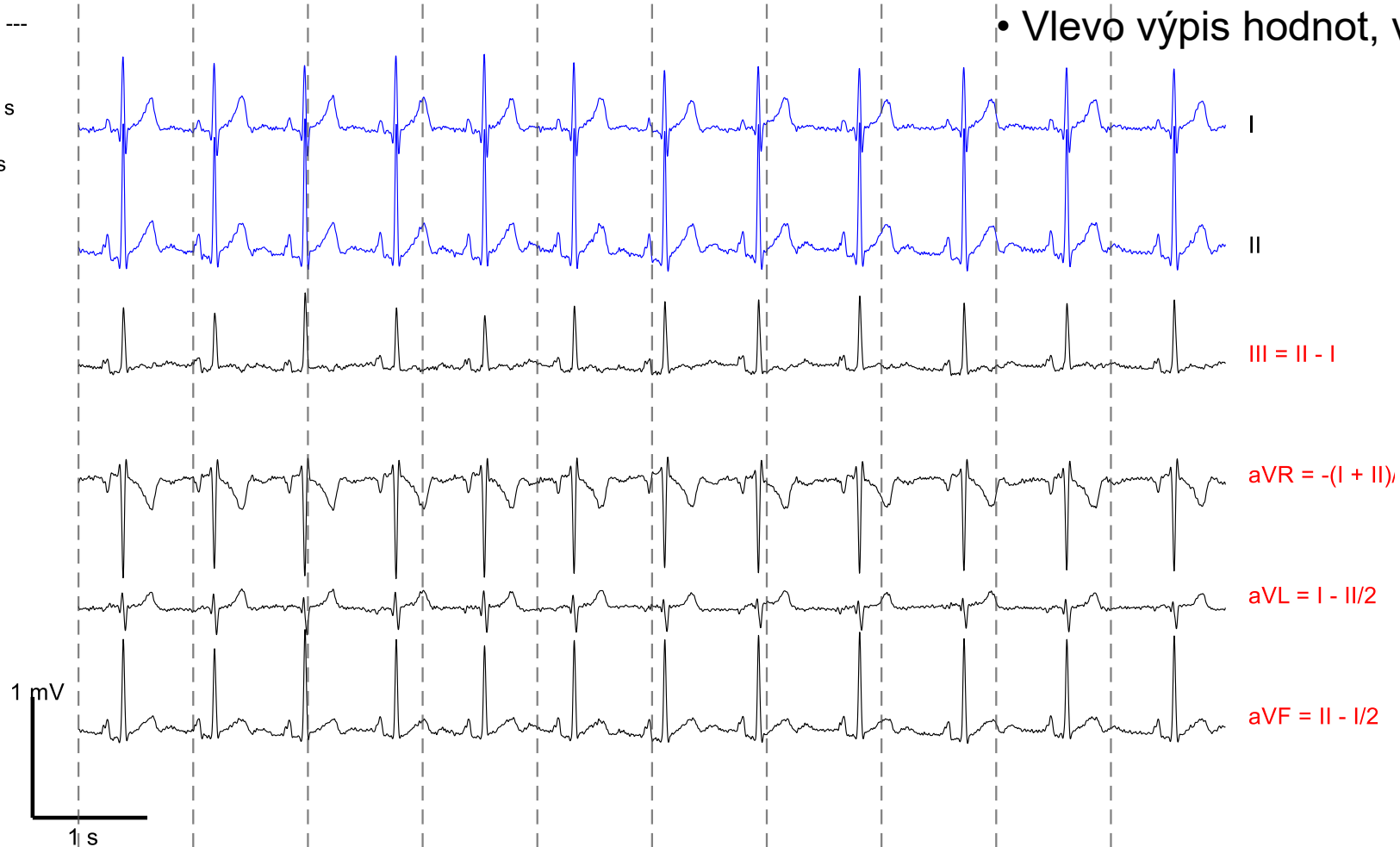


Počítačová morfologická analýza EKG

• Klinické EKG (6 svodů)

Klinické EKG se šesti frontálními svody

--- Parametry ---
HR = 68 bpm
PQ = 0.144 s
QRS = 0.098 s
QT = 0.370 s
QTc = 0.202 s

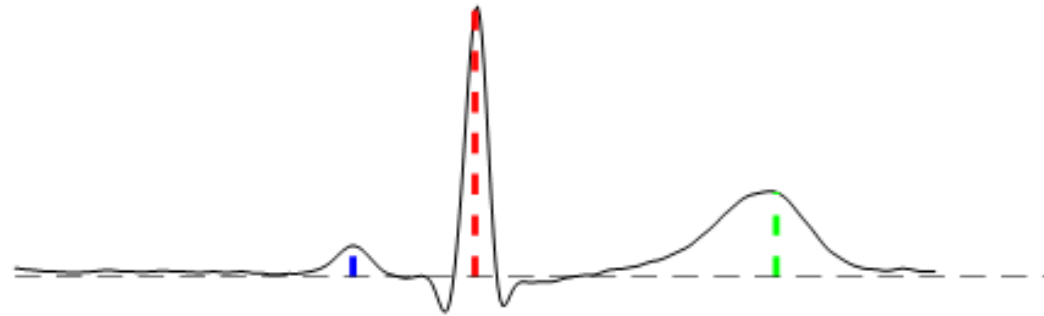


- Svod I a II + odvozené svody III, aVR, aVL, aVF
- Zobrazení reálného klinického záznamu
- Vlevo výpis hodnot, vpravo rovnice svodů

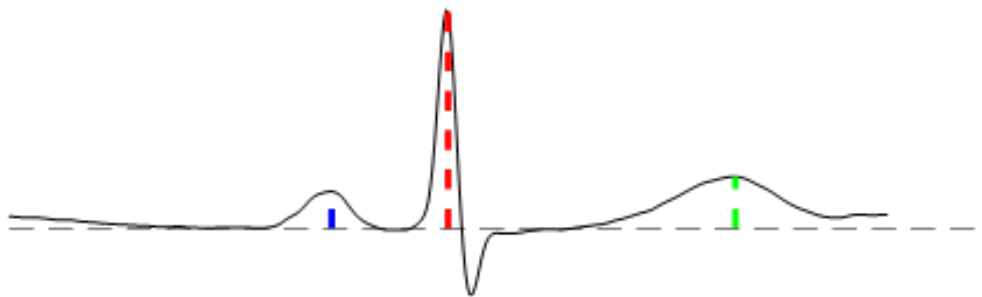
Počítačová morfologická analýza EKG

- Elektrické osy srdeční P, R, T

Svod I (zprůměrovaný cyklus)

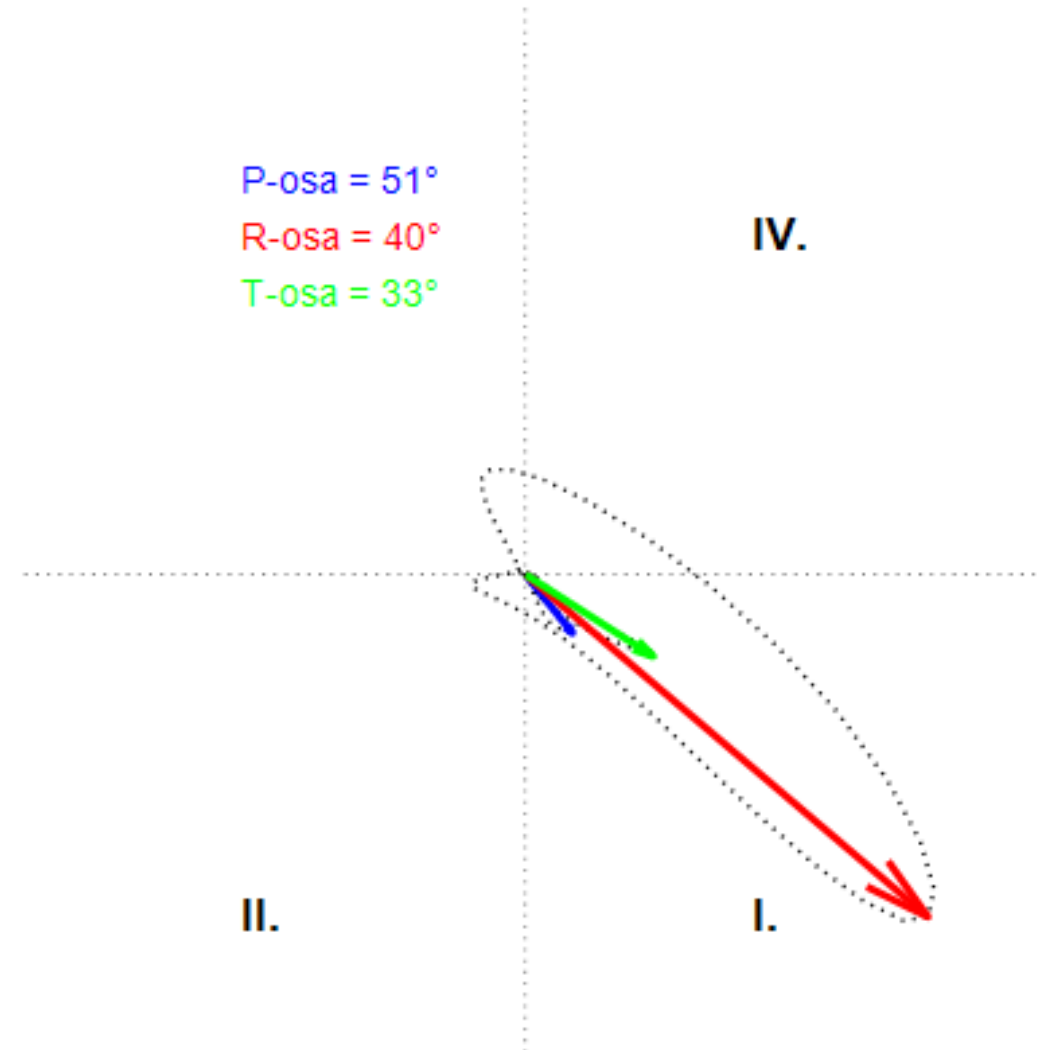


Svod aVF (zprůměrovaný cyklus)



Osy elektrického vektoru srdečního: I vs. -aVF

P-osa = 51°
R-osa = 40°
T-osa = 33°



Počítačová morfologická analýza EKG

• Výstupní hodnoty a diagnostika

✓ Diagnostika EKG hotova!

--- VÝSLEDKY AUTOMATICKÉ ANALÝZY EKG ---

PQ (s) QRS (s) QT (s) QTc (s) HR (bpm)

0.128 0.082 0.378 0.41442 72.12

✓ Výsledek: EKG je v normálním rozmezí.

⚠ QTc interval je mimo normální rozsah!

● Výsledek: EKG vykazuje odchylky od normy.
