

EKG – Elektrokardiografie

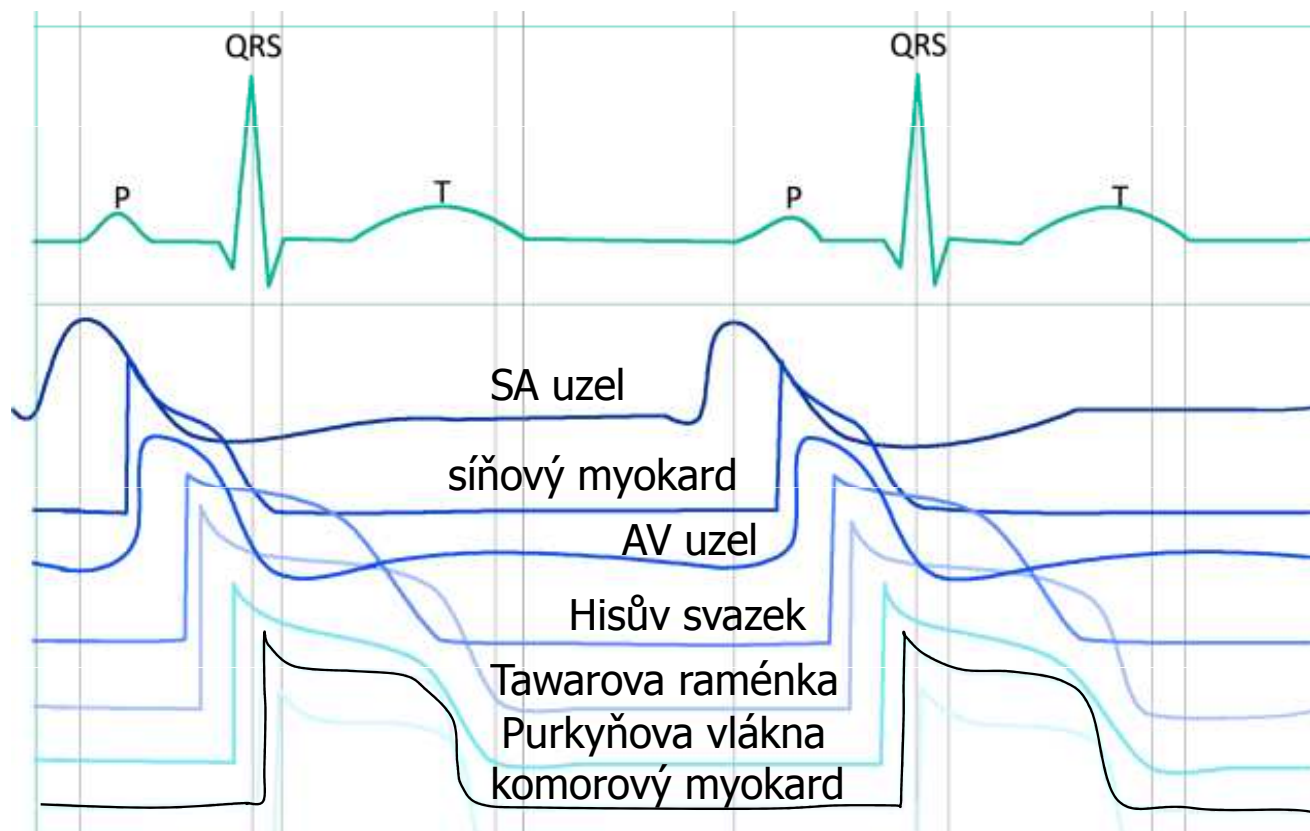
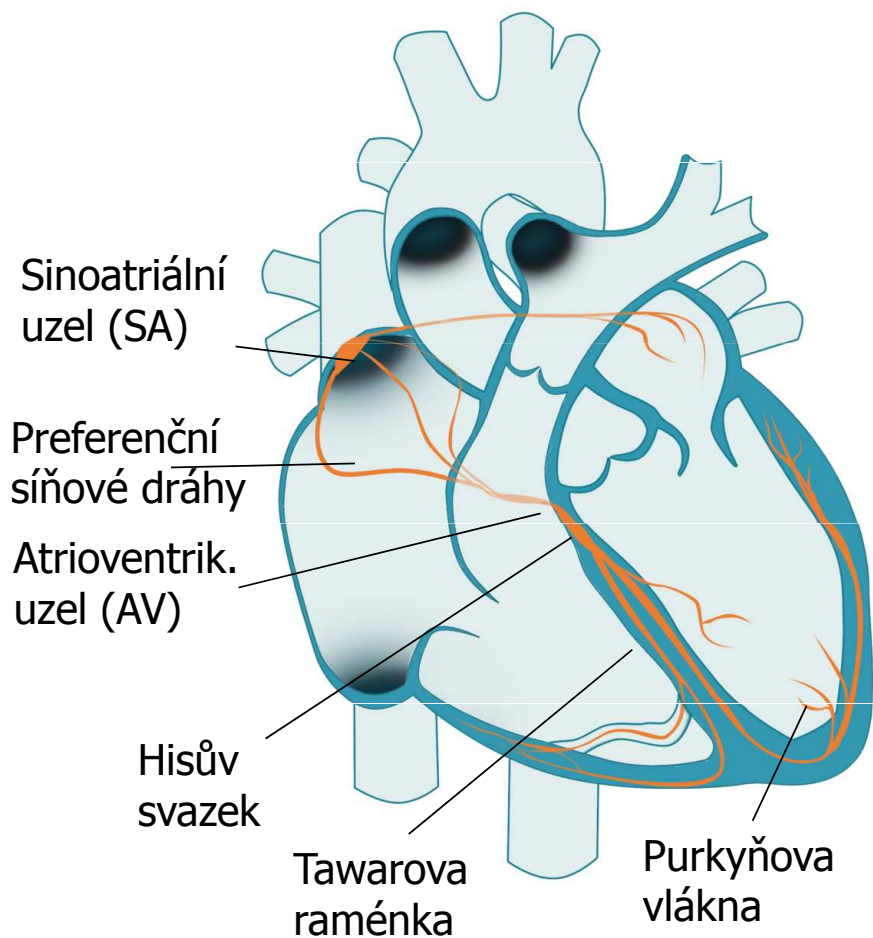
Praktické cvičení z fyziologie (jarní semestr: 4. – 6. týden)

Studijní materiály byly vytvořeny za podpory projektu MUNI/FR/1474/2018

Elektrokardiografie

- Definice: záznam elektrické aktivity srdce z povrchu těla
(záznam el. aktivity srdce se dá pořádit i z jícnových svodů nebo samotného povrchu srdce, ale tyto metody jsou používána jiná pojmenování)
- Pojmy
 - převodní systém srdce
 - potřeby pro záznam EKG
 - končetinové a hrudní svody
 - unipolární a bipolární svody
 - srdeční vektor, elektrická osa srdce

Převodní systém srdeční

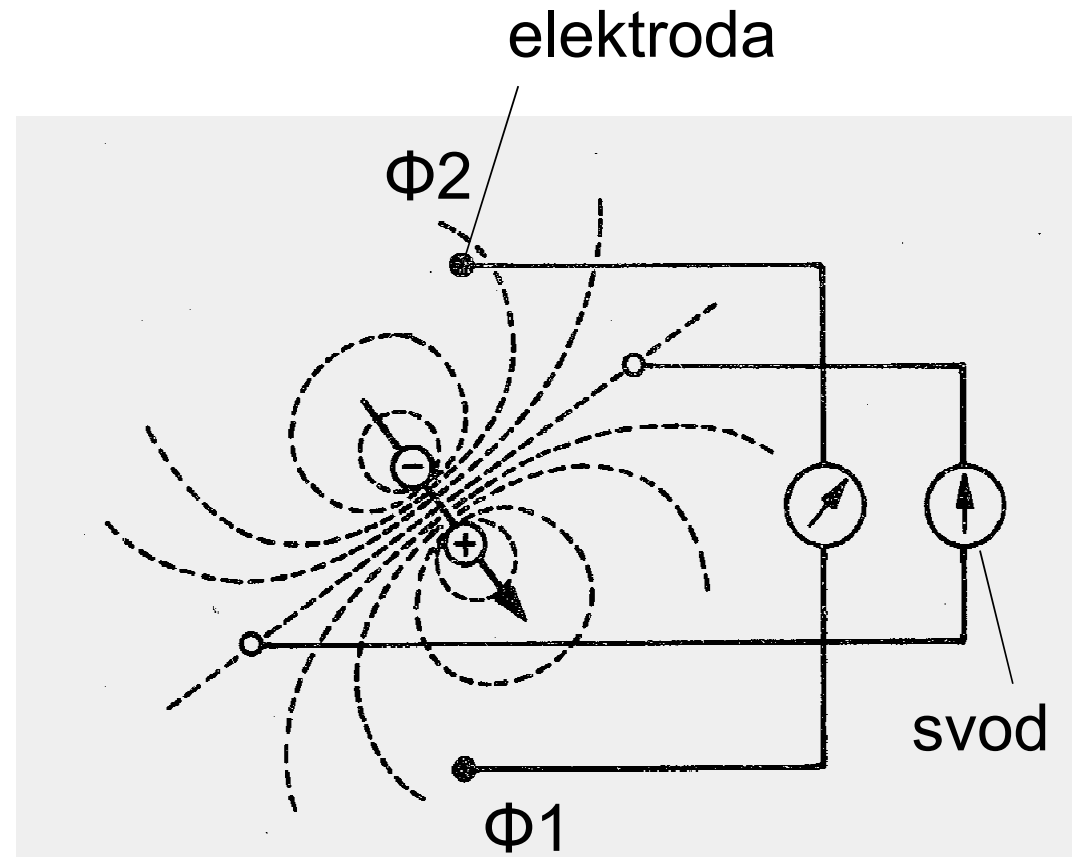


Převodní systém srdeční

- Funkce: Rytmičké vytváření AP a preferenční vedení vzruchu
 - Síň jsou od komor oddělené nevodivou vazivovou přepážkou – jediná cesta přes AV
 - Sinoatriální uzel (SA) – vlastní frekvence 100 bpm (většinou pod tlumivým vlivem parasymptiku), rychlost vedení 0,05 m/s
 - Preferenční internodální síňové spoje – rychlost vedení vzruchu 0,8 – 1 m/s
 - Atrioventrikulární uzel – jediný vodivý spoj mezi síněmi a komorami, vlastní frekvence 40 – 55 bpm, rychlost vedení jen 0,05 m/s (nodální zdržení)
 - Hisův svazek – rychlost vedení 1 – 1,5 m/s
 - Tawarova raménka – rychlost vedení 1 – 1,5 m/s
 - Purkyňova vlákna – rychlost vedení 3 – 3,5 m/s
- } vlastní frekvence 20 – 40 bpm, mají pomalou spontánní depolarizaci, která je tak pomalá, že na obrázcích není moc patrná
- Sinusový rytmus – vzruch začíná v SA uzlu
 - Junkční rytmus – vzruch se tvoří v AV uzlu nebo Hisově svazku
 - Terciální (komorový) rytmus – vzruch je tvořen od Hisova svazku dále
 - Aktivace komorového myokardu – z vnitřní strany k vnější, výrazně synchronizovaná, určená příchodem vzruchu
 - Repolarizace komorového myokardu – opačným směrem, méně ostrá, repolarizační ostrůvky, určená buňkami samotnými
 - Pozn: vlastní frekvence je frekvence vzniku AP neovlivněná nervovým a hormonálním řízením

Elektrický dipól

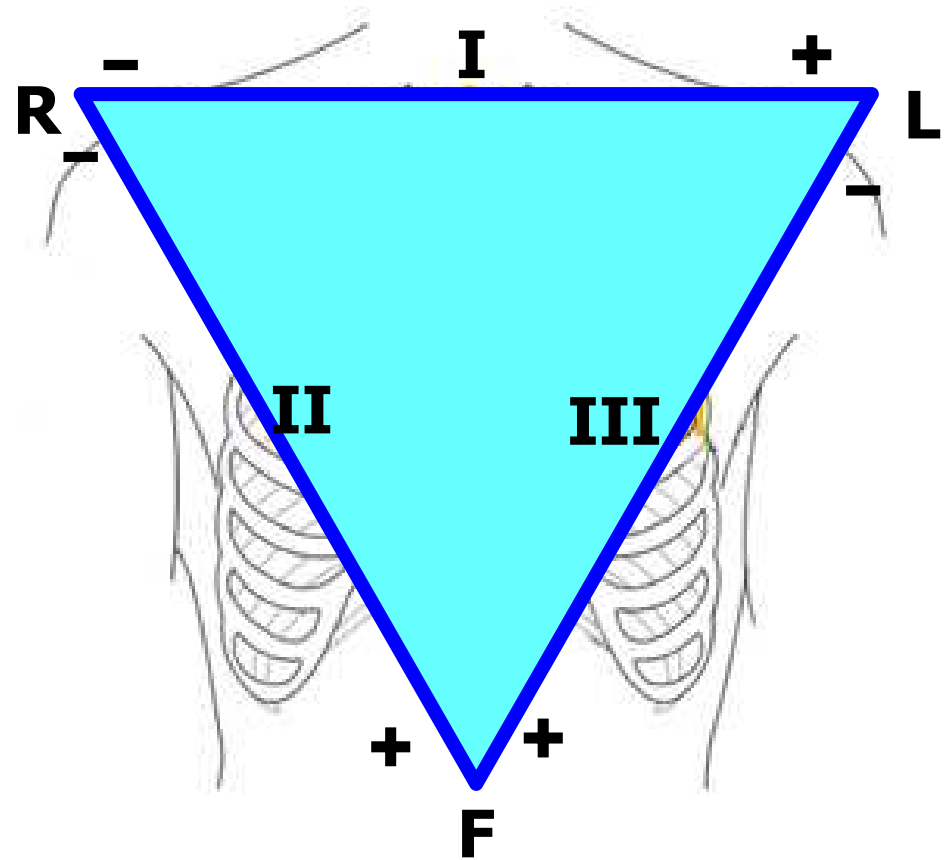
- Elektroda: snímá elektrický potenciál (Φ)
- Elektrický svod: spojení dvou elektrod
- Snímá napětí mezi elektrodami
- Napětí: rozdíl el. potenciálů ($V = \Phi_1 - \Phi_2$)



Einthovenův trojúhelník

(standardní, končetinové, bipolární svody)

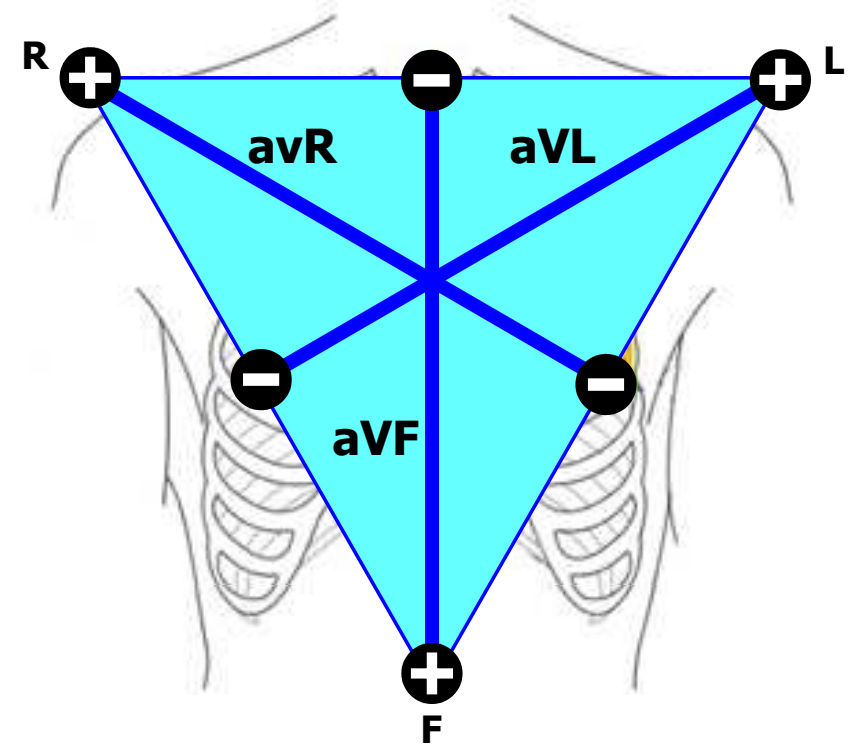
- Bipolární svody:
obě elektrody jsou aktivní
(obě mají proměnný el. potenciál)
- Barvy elektrod:
R: červená, L: žlutá, F: zelená



Goldbergerovy svody

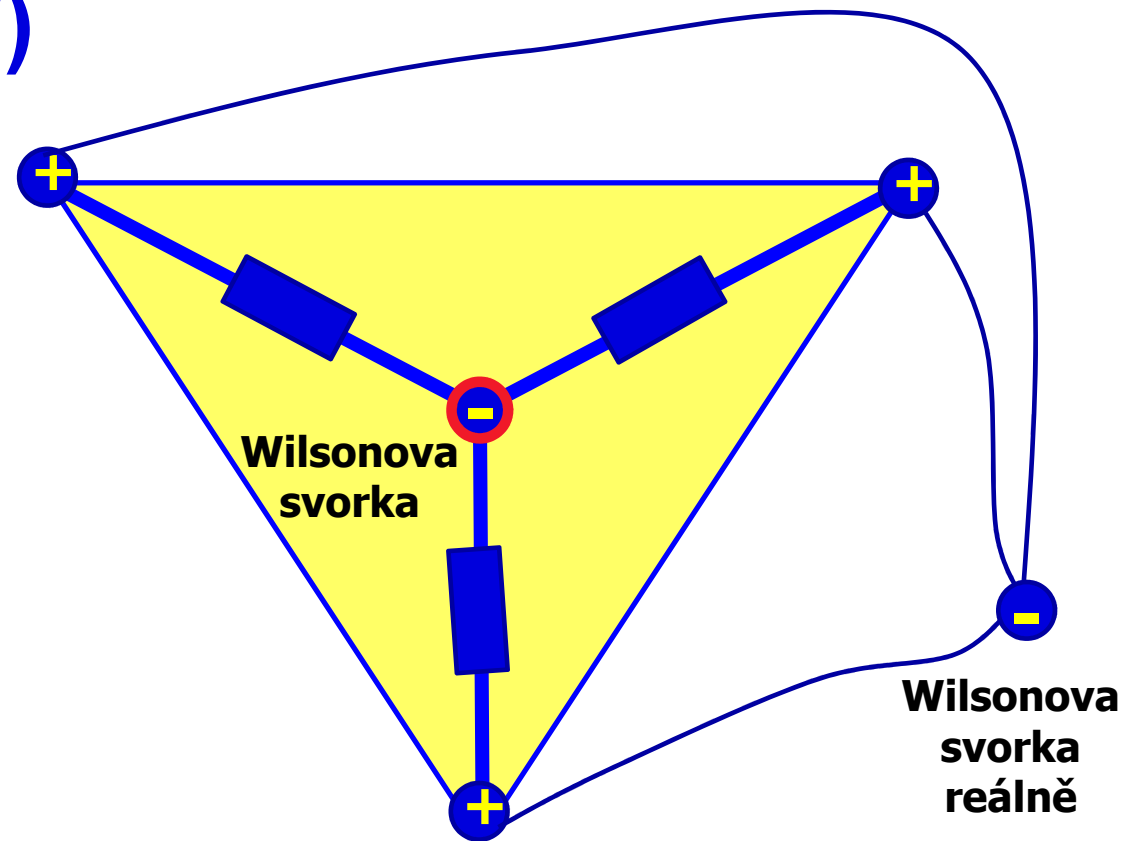
(augmentované, končetinové, unipolární svody)

- Unipolární svody:
jedna elektroda je aktivní (proměnný el. potenciál) a druhá je neaktivní (konstantní el. potenciál, obvykle 0 mV)
- Aktivní elektroda je vždy kladná



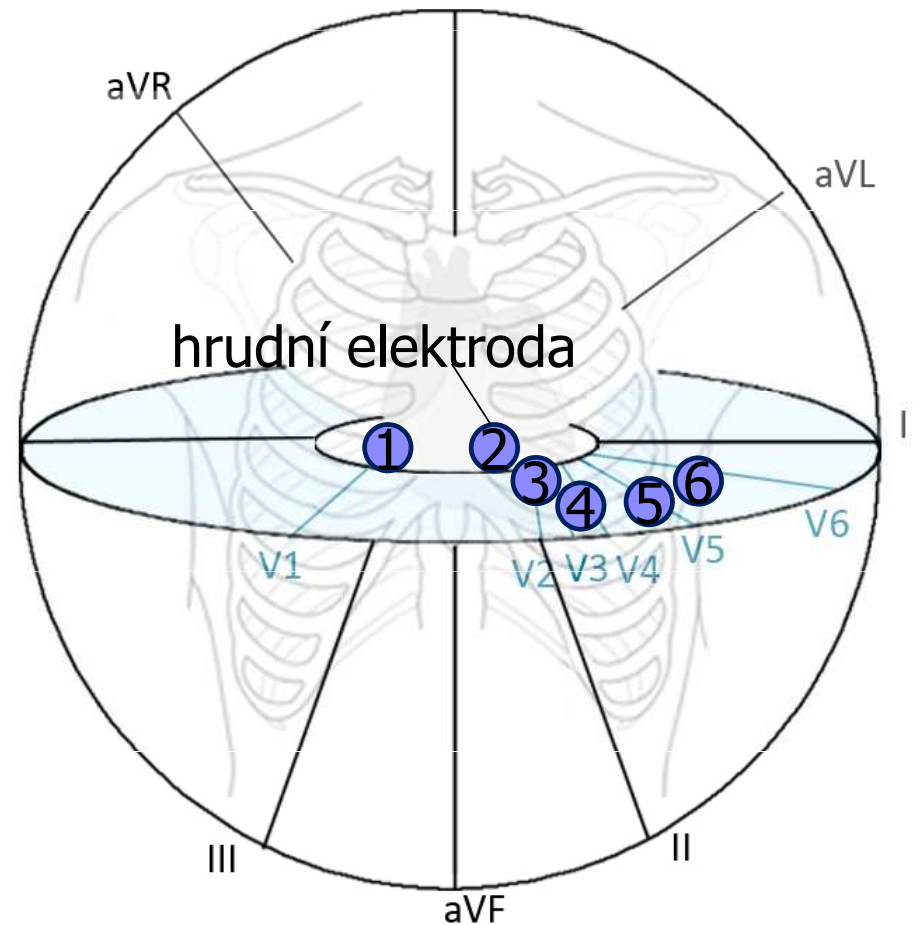
Wilsonova svorka (W)

- Vzniká spojením končetinových elektrod přes odpory
- elektricky představuje střed srdce (reálně je vyvedena stranou nebo dopočítána)
- Neaktivní elektroda (konstantní potenciál)

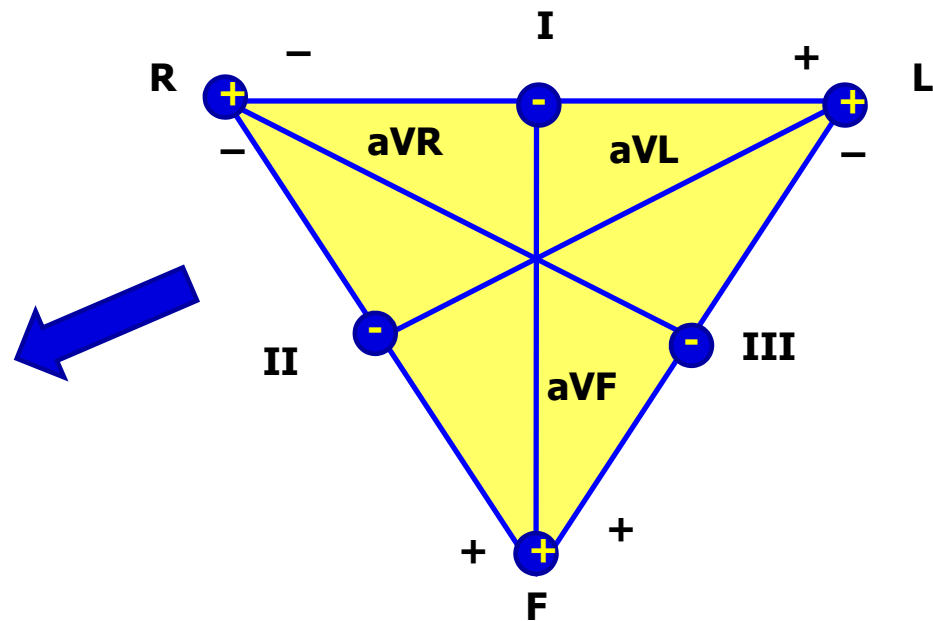
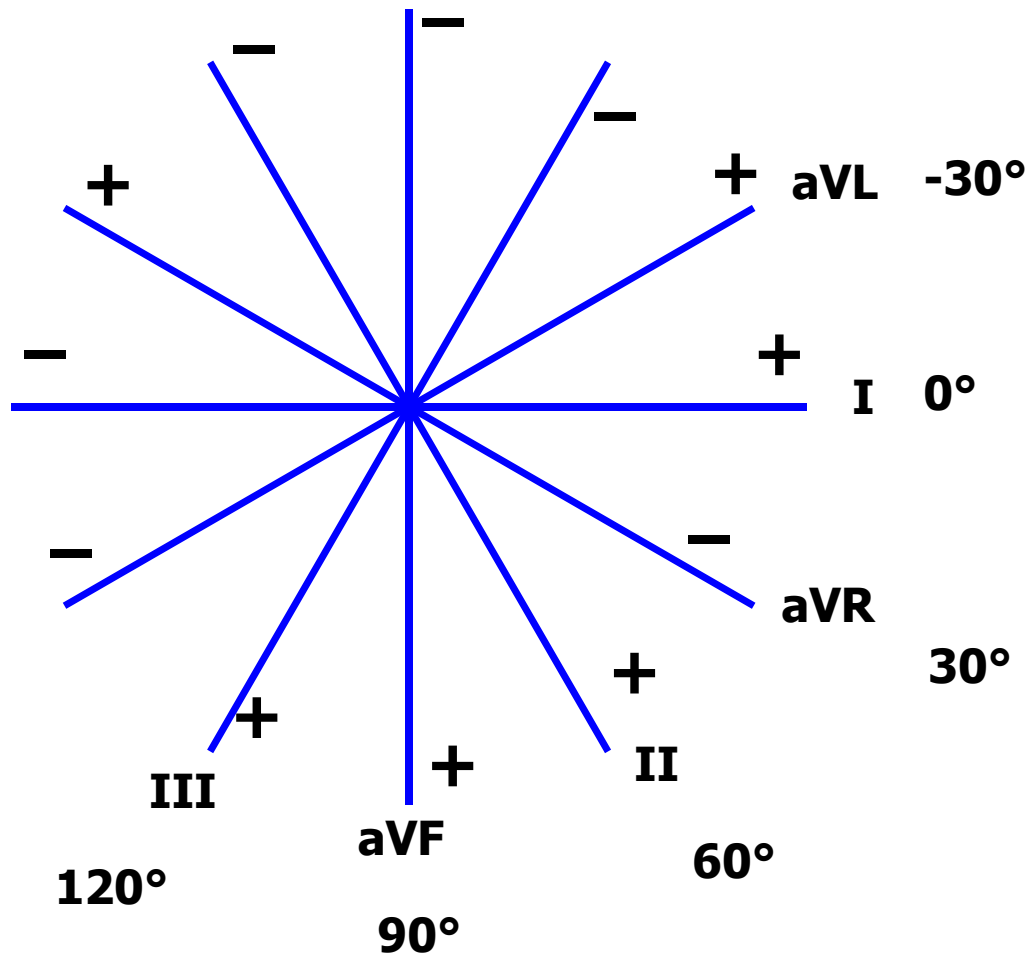


Hrudní svody

- Hrudní svod: spojení hrudní elektrody a Wilsonovy svorky
- Unipolární svody: aktivní je hrudní elektroda (kladná) a neaktivní je Wilsonova svorka (el. potenciál 0 mV)

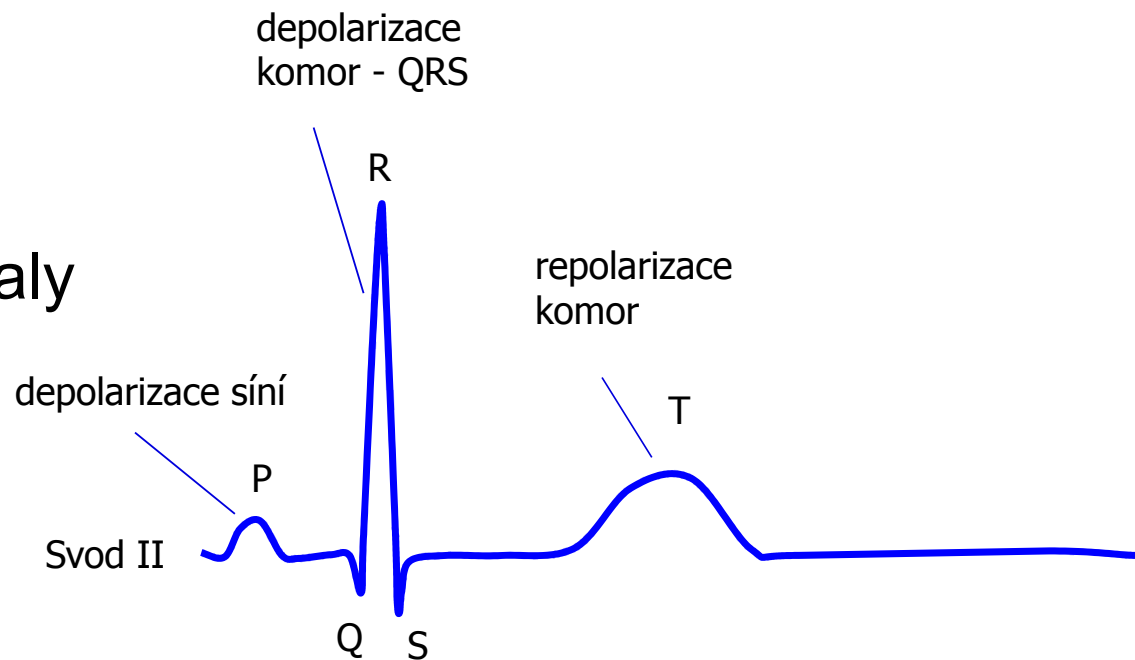


Svody podle Cabrery



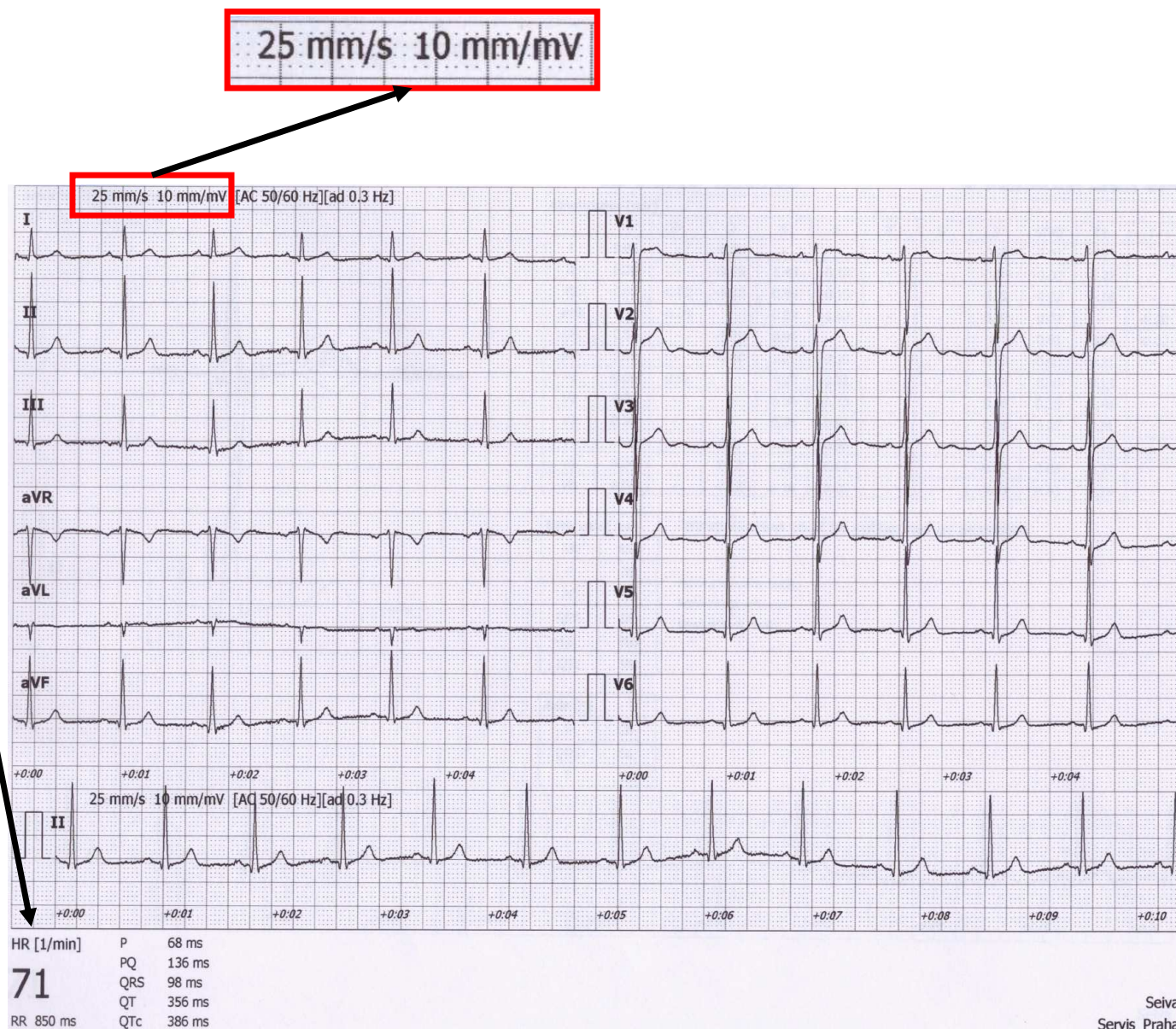
Rozměření EKG

1. Srdeční akce
2. Srdeční rytmus
3. Srdeční frekvence
4. Vlny, kmity, úseky a intervaly
 - P vlna
 - PQ interval
 - QRS komplex
 - ST úsek
 - T vlna
 - QT interval
5. Elektrická osa srdeční



Rozměření EKG

- Milimetrový papír pomůže v rychlém rozměření
 - Podívejte se, jaká je rychlost posunu papíru (zde 25 mm/s)
 - Kontrolní otázka: kolik ms je jeden mm?
 - Hodí se vědět, i kolik mV je jeden mm
- Samozřejmě, počítač dnes již dokáže vyplivnout výsledky, aniž byste nad tím museli přemýšlet. Ale nikdy bezhlavě nevěřte počítači. Výpočet je závislý na kvalitě signálu. Pokud nedoléhají elektrody, hýbe se vám pacient atd, vzniklé artefakty v signálu snadno počítač zmatou. Ale Vás to zmást nemá 😊



1) Srdečné akce

- Pravidelnost vzdáleností mezi QRS komplexy – RR intervaly
- Spočítejte rozdíl: RR – průměrné RR
(stačí, když si vyberete nejkratší a nejdelší RR v záznamu)
- Pravidelná akce: rozdíl $< 0,16$ s
- Nepravidelná akce: rozdíl $> 0,16$ s
 - Obvykle patologická
 - Pozor na významnou sinusovou respirační arytmií – tak je naopak velmi fyziologická. Pokud si nejste jistí, poproste pacienta, ať zadrží dech.
- Pozn: je-li přítomná jedna extrasystola, ale jinak je akce pravidelná, tak ji za pravidelnou označujeme



2) Srdeční rytmus

- Srdeční rytmus se určuje podle zdroje akčních potenciálů, které vedou k **depolarizaci komor**

depolarizace komor je klíčová, protože ta určuje srdeční výdej

- **Sinusový rytmus**

- Vzruch začíná v sinoatriální uzlu
- Na EKG: přítomná vlna P (depolarizace síní), která předchází QRS

- **Junkční rytmus**

- Vzruch vzniká atrioventrikulárním uzlu nebo Hisově svazku, frekvence obvykle 40 – 60 bpm
- Před QRS není přítomná vlna P, QRS má normální tvar (je úzký)
- Srdeční frekvence je nízká
- Depolarizace síní se může na EKG projevit, pokud se vzruch z komor převede na síně
 - vlna je po QRS a má opačnou polaritu, protože probíhá opačným směrem (takže např. ve svodu II bude dolů)

- **Terciální rytmus**

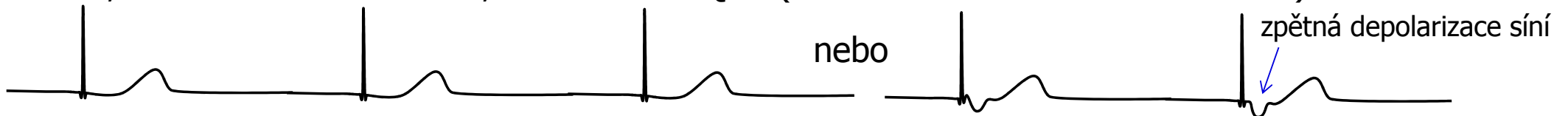
- Vzruch vzniká v dalších částech převodního systému, frekvence 30-40 bpm
- QRS má divný tvar, je širší, protože se v komorách šíří nestandardním směrem

2) Srdeční rytmus

Sinusový rytmus – před každým QRS je přítomna vlna P – vzruch začíná v SA uzlu, ne na něj navázaná depolarizace komor



Junkční rytmus – nejsou přítomné normální vlny P před QRS – vzruch začíná v AV uzlu nebo Hisově svazku, nízká srdeční frekvence, ale normální QRS (v komoře se vzruch šíří normálně)



Terciální (komorový) rytmus – nejsou přítomné vlny normální P vázané na QRS, vzruch začíná někde v komorách – deformované QRS, hodně nízká srdeční frekvence, například AV blok III. stupně



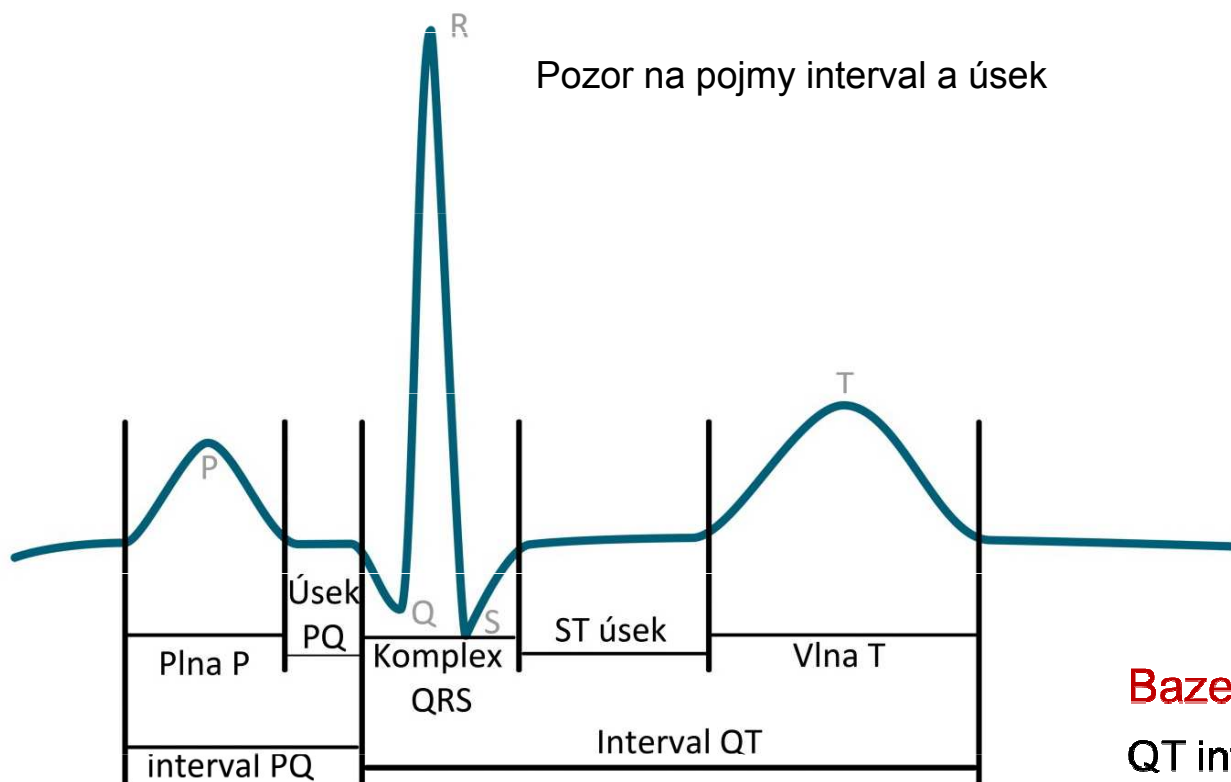
AV blok III. stupně – komory si jedou terciální rytmus, síně si jednou svůj rychlejší rytmus určený SA uzlem, který se ale nepřevádí do komor

3) Srdeční frekvence

- Frekvence stahu komor (protože ta určuje srdeční výdej) na EKG – frekvence depolarizací komor
- HR (heart rate) = $1 / RR$ (jednotky bpm: beat per minute)
- Fyziologická: 60 – 90 bpm v klidu

- Tachykardie: > 90 bpm v klidu
 - Může být sinusová (vyšší aktivita sympatiku, léky, ...)
 - Tachyarytmie: rytmus není sinusový
 - Pokud je $> cca 180$, rytmus s největší pravděpodobností sinusový nebude
- Bradykardie: < 60 bpm
 - Může být sinusová (vyšší aktivita parasympatiku, sportovní bradykardie - fyziologická)
 - Pokud je < 50 bpm, rytmus pravděpodobně sinusový nebude (junkční, komorový)

4) Vlny, kmity, úseky, intervaly



Fyziologický ústav, Lékařská fakulta Masarykovy univerzity

Název	Norma
Vlna P	80 ms
Interval PQ (PR)	120-200 ms
Úsek PQ (PR)	50-120 ms
Kmit Q	-
Komplex QRS	80-100ms
Kmit R	-
Kmit S	-
Úsek ST	80-120 ms
Interval QT	< 420ms
Vlna T	160 ms

Bazettova rovnice: $QTc = \frac{QT}{\sqrt{RR}}$

QT interval závisí na délce RR intervalu
– pro standardizaci je nezbytná korekce
QT intervalu na RR interval

4) Vlny, kmity, úseky, intervaly

Název	Umístění a popis	Fyziologické pozadí	Norma
Vlna P	První kulovitá vlna (Negativní i pozitivní)	Depolarizace síní	80 ms
Interval PQ (PR)	Interval od počátku vlny P po počátek kmitu Q (nebo i R pokud není přítomna Q)	Doba od aktivace SA uzlu po aktivaci Purkyňových vláken	120-200 ms
Úsek PQ (PR)	Konec vlny P do začátku Q (nebo R nebo pokud není Q kmit přítomen)	Kompletní depolarizace síní, převod z AV uzlu na komory	50-120 ms
Kmit Q	První odklon od osy dolů	Depolarizaci septa a papilárních svalů.	-
Komplex QRS	Začátek kmitu R ,kmit R až konec kmitu S	Depolarizaci komor	80-100ms
Kmit R	Výchylka směrem nahoru bez ohledu nato, zda jí předchází či nepředchází kmit Q	Depolarizace komor	-
Kmit S	Odklon od izolinie směrem dolů, následující vlnu R, nezávisle na tom, zda ji předchází nebo nepředchází vlna Q.	Šíření vzruchu na komory	-
Úsek ST	Interval izoelektrické linie mezi koncem QRS komplexu a začátkem vlny T	Kompletní depolarizace komor	80-120 ms
Interval QT	Začíná kmitem Q (nebo R pokud Q není přítomno) a končí koncem vlny T	Elektrická systola	< 420ms
Vlna T	Druhá kulovitá vlna (negativní i pozitivní)	Repolarizace komor	160 ms

4) Vlny, kmity

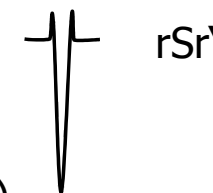
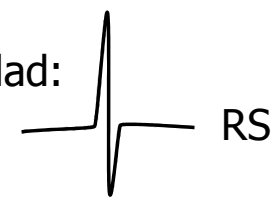
Vlna P:

- Je přítomná?
- Je pozitivní/negativní (nahoru/dolu), jednovrcholová/vícevrcholová, silná(>0,25mV)/normální/slabá?

QRS:

- Q: první negativní kmit
- R: první pozitivní kmit
- S: negativní kmit, kterému předchází pozitivní kmit
- Malý kmit (pod 0,5 mV) je malým písmenem
- Velký kmit je velkým písmenem
- Druhý takový kmit je s čárkou (')

Například:



Vlna T:

- Je pozitivní/negativní/bipolární?
- Má stejnou polaritu jako nejsilnější výchylka QRS?
 - Ano: konkordantní (ok), Ne: dyskordantní (patologie)
- **Bipolární T:**
 - Preterminálně negativní (-/+)
 - Terminálně negativní (+/-)

depolarizace
komor - QRS

repolarizace
komor

depolarizace síní

Svod II

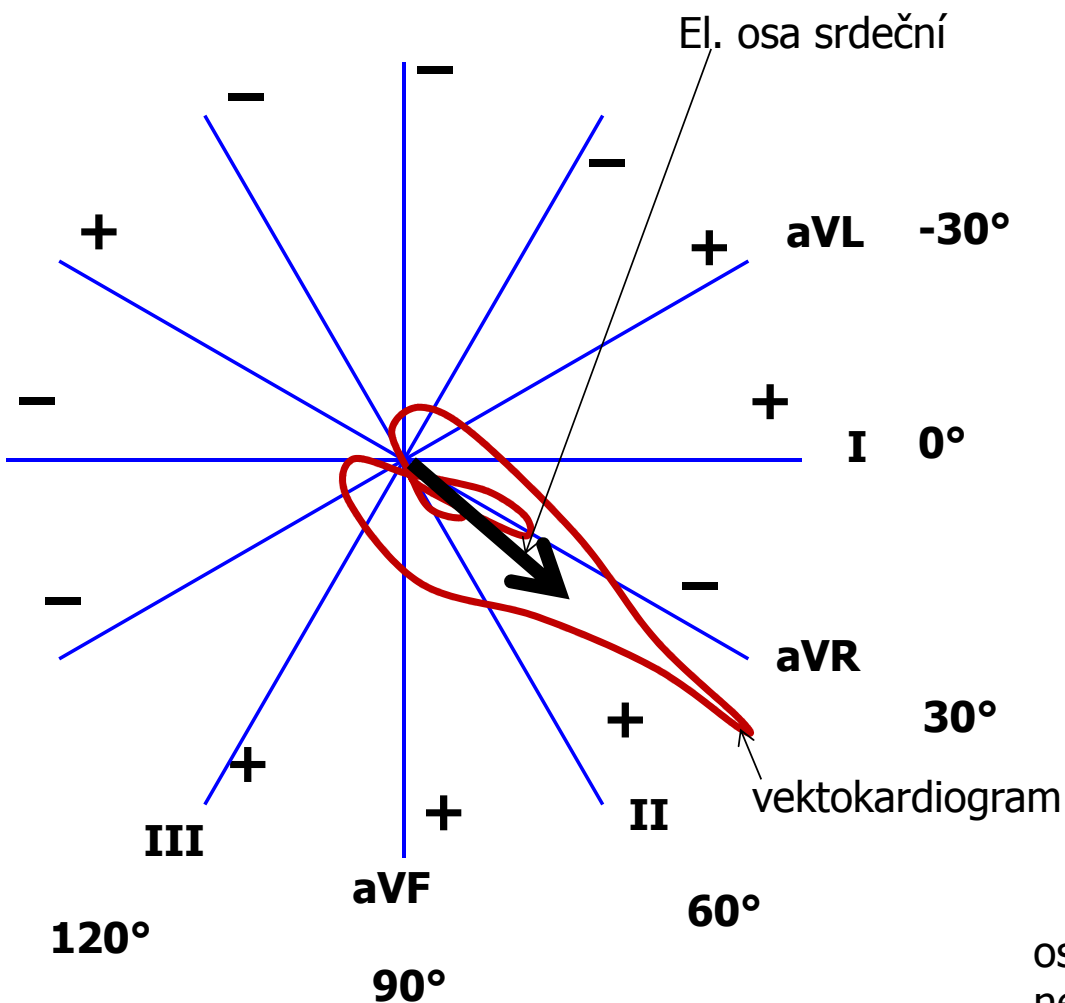
R

T

P

Q S

5) Elektrická osa srdeční



Elektrická osa srdeční: průměrný směr elektrického vektoru srdečního v průběhu depolarizace komor : QRS komplexu

(Ize určit i pro depolarizaci síní: P, nebo repolarizaci komor: T, ale v praktiku budeme řešit jen depolarizaci komor)

Srdeční osa fyziologicky směřuje dolů, doleva, dozadu – odkazuje na reálné uložení srdce v hrudníku

- Zde řešíme pouze frontální rovinu (končetinové svody)
- Osu k sobě „táhne“ největší hmota depolarizující se svaloviny, tedy hlavně LH. Jakékoliv hypertrofie osu odklání k sobě.

Rozmezí fyziologické:

Střední typ $0^\circ - 90^\circ$

Levý typ $-30^\circ - 0^\circ$

Pravý typ $90^\circ - 120^\circ$

Rozmezí nefyziologické:

Deviace doprava: $> 120^\circ$ (např. hypertrofie PK, dextrokardie)

Deviace doleva: $< -30^\circ$ (např. hypertrofie LK, těhotenství, obezita)

osa je změněna i při blokádě Tawar. ramenek
nebo po IM, chybí el. aktivita části komor

Elektrická osa srdeční - výpočet

- Protože se el. osa týká depolarizace komor ve frontální rovině, k výpočtu použijeme QRS komplexy končetinových svodů: I, II, III
- Spočítáme součet kmitů QRS v těchto svodech. Když je kmit dolů, je záporný. Když je kmit nahoru, je kladný. Využije milimetrového papíru. Velikost kmitu bude v mm.

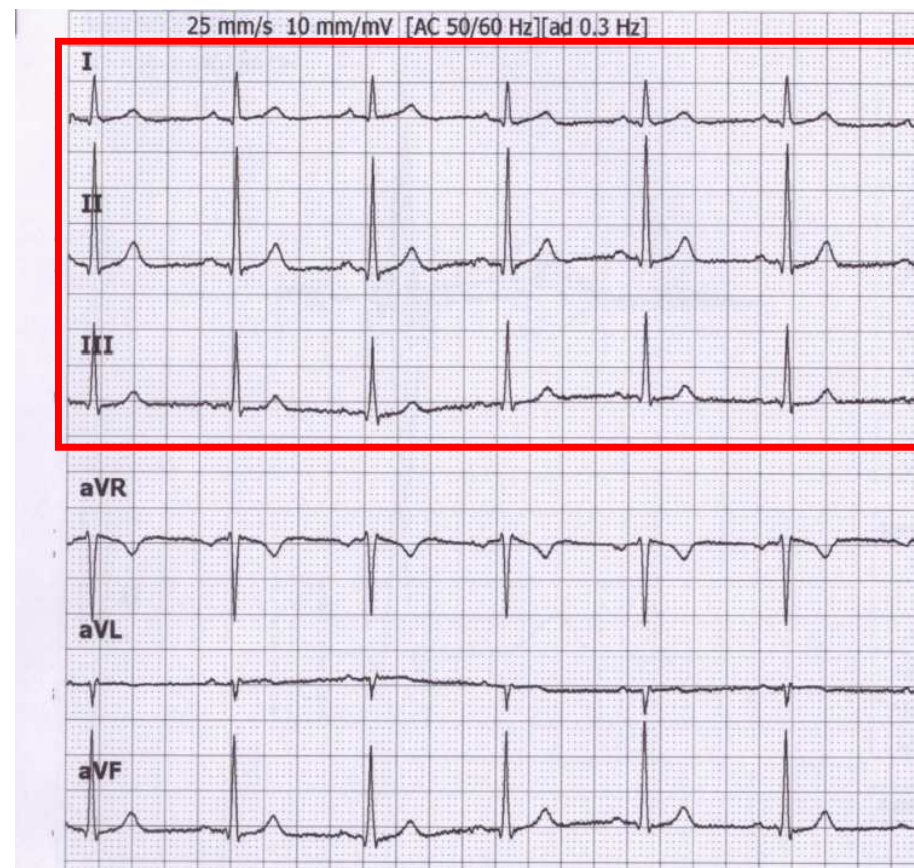
- Svod I: $Q_I = -1$; $R_I = 6$; $S_I = 0$;
 $QRS_I = 5$



- Svod II: $Q_{II} = -1$; $R_{II} = 17$; $S_{II} = -1$;
 $QRS_{II} = 15$



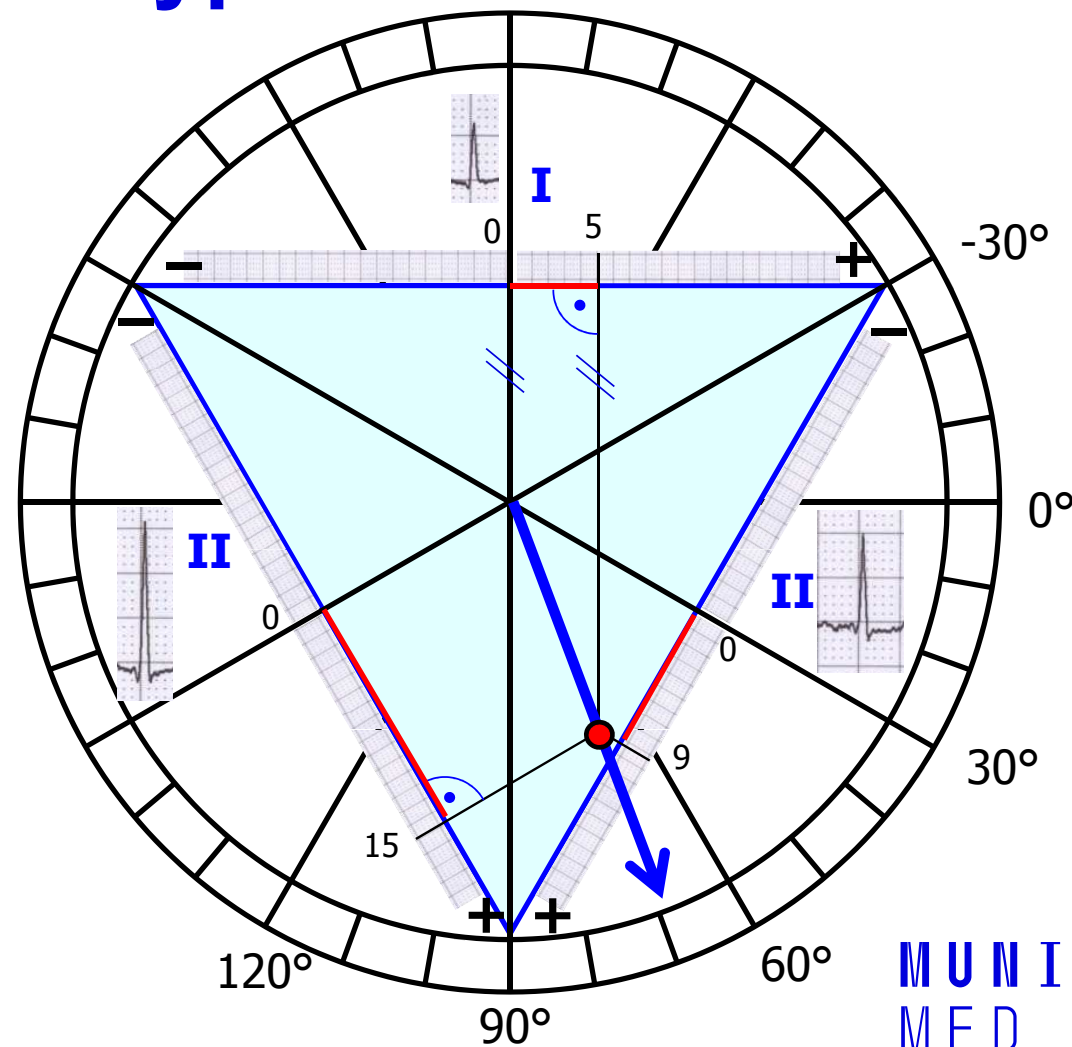
- Svod III: $Q_{III} = 0$; $R_{III} = 10$; $S_{III} = -1$;
 $QRS_{III} = 9$



Elektrická osa srdeční - výpočet

- Zakreslení Svodu III:
 - Analogicky pro $QRS_{III}=9$ zakreslíme přímku
- Nakreslete šipku, která začíná ve středu trojúhelníku a prochází spojnici zakreslených přímek
- Tato šipka ukazuje směr elektrické osy srdeční ve frontální rovině
- Pozn. Pro výpočet el. osy stačí logicky jen přímky ze dvou svodů

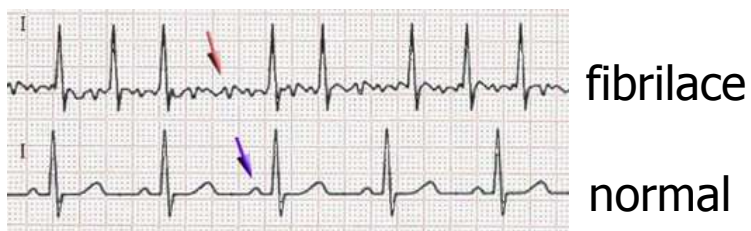
Elektrická osa srdeční pro depolarizaci komor ve frontální rovině je 70°



Diagnostické využití EKG

Arytmie: porucha srdečního rytmu

Fibrilace: nesynchronizovaná aktivita kardiomyocytů



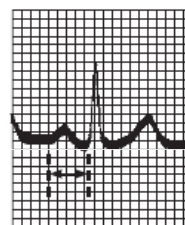
síňová fibrilace
(chybí P, „zubatá“ izolinie, RR nepravidelné, frekvence 80 – 180 bpm)



komorová fibrilace
(srdce nefunguje jako pumpa, poškození mozku po 3 – 5 minutách fibrilace)

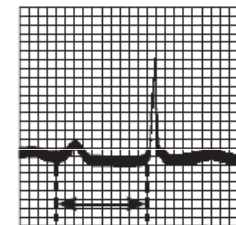
25

Atrioventrikulární blokáda: porucha převodu vzruchu ze síní na komory



PR = 0.16 s

Normal complex

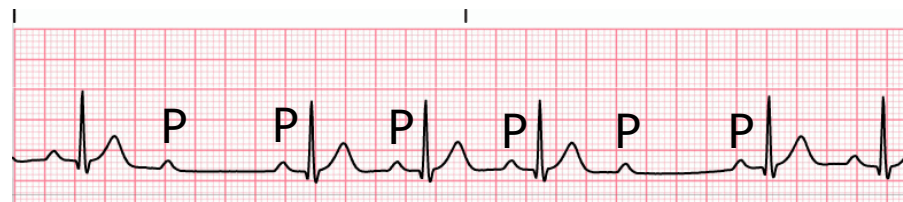


PR = 0.38 s

AV blok I. stupně

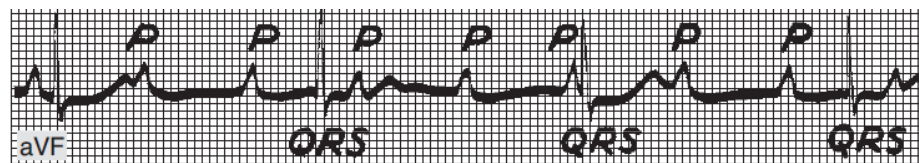
(prodloužení převodu vzruchu ze síně na komory, prodloužený PQ int.)

AV blok II. stupně



(některé vzruchy se nepřevodou: výskyt P, po kterých nenásleduje QRS)

AV blok III. stupně



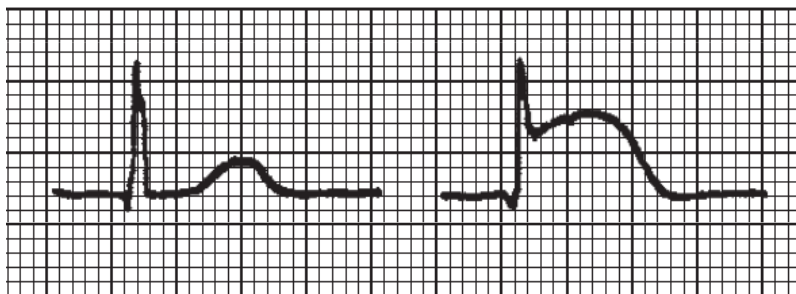
Kompletní blokáda převodu vzruchů ze síní na komory, P a QRS se objevují nesynchronizovaně

Diagnostické využití EKG

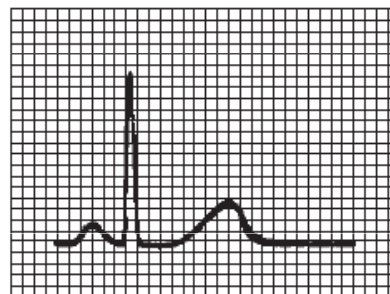
ischemie srdce, infarkt myokardu

A

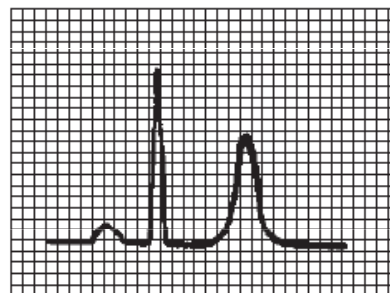
B (elevace ST)



elektrolytová nerovnováha - hyperkalémie



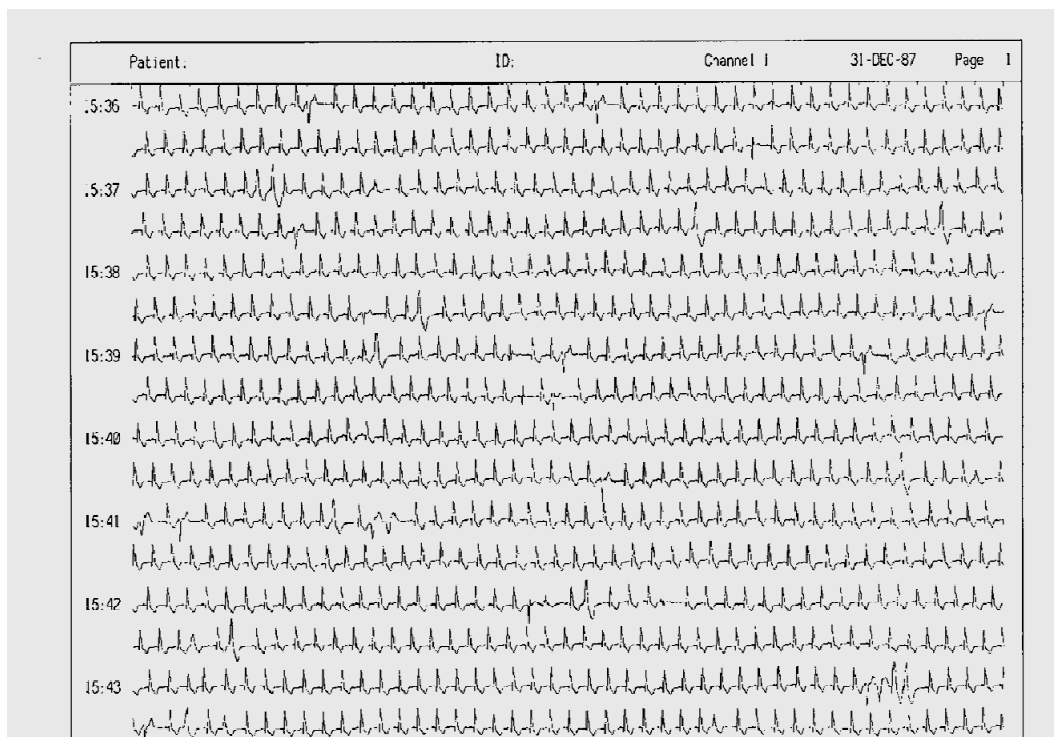
Normal tracing (plasma K^+ 4–5.5 meq/L).



Hyperkalemia (plasma K^+ \pm 7.0 meq/L).

Diagnostické využití EKG

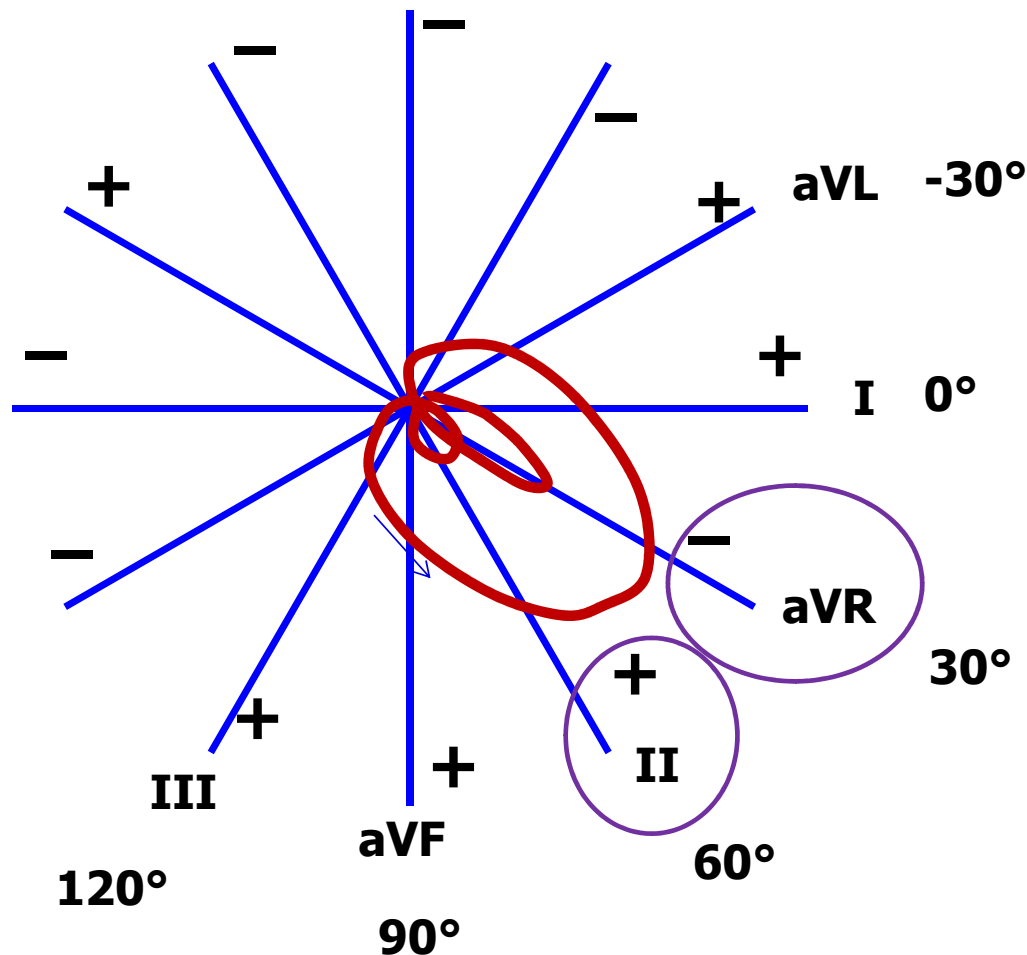
24-hodinové monitorování EKG (Holter)



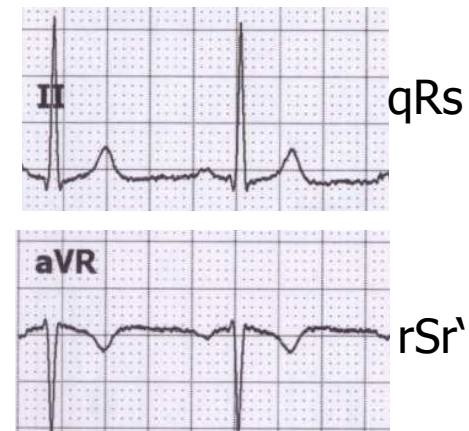
**MUNI
MED**

Dodatek k EKG

Svod II a aVR

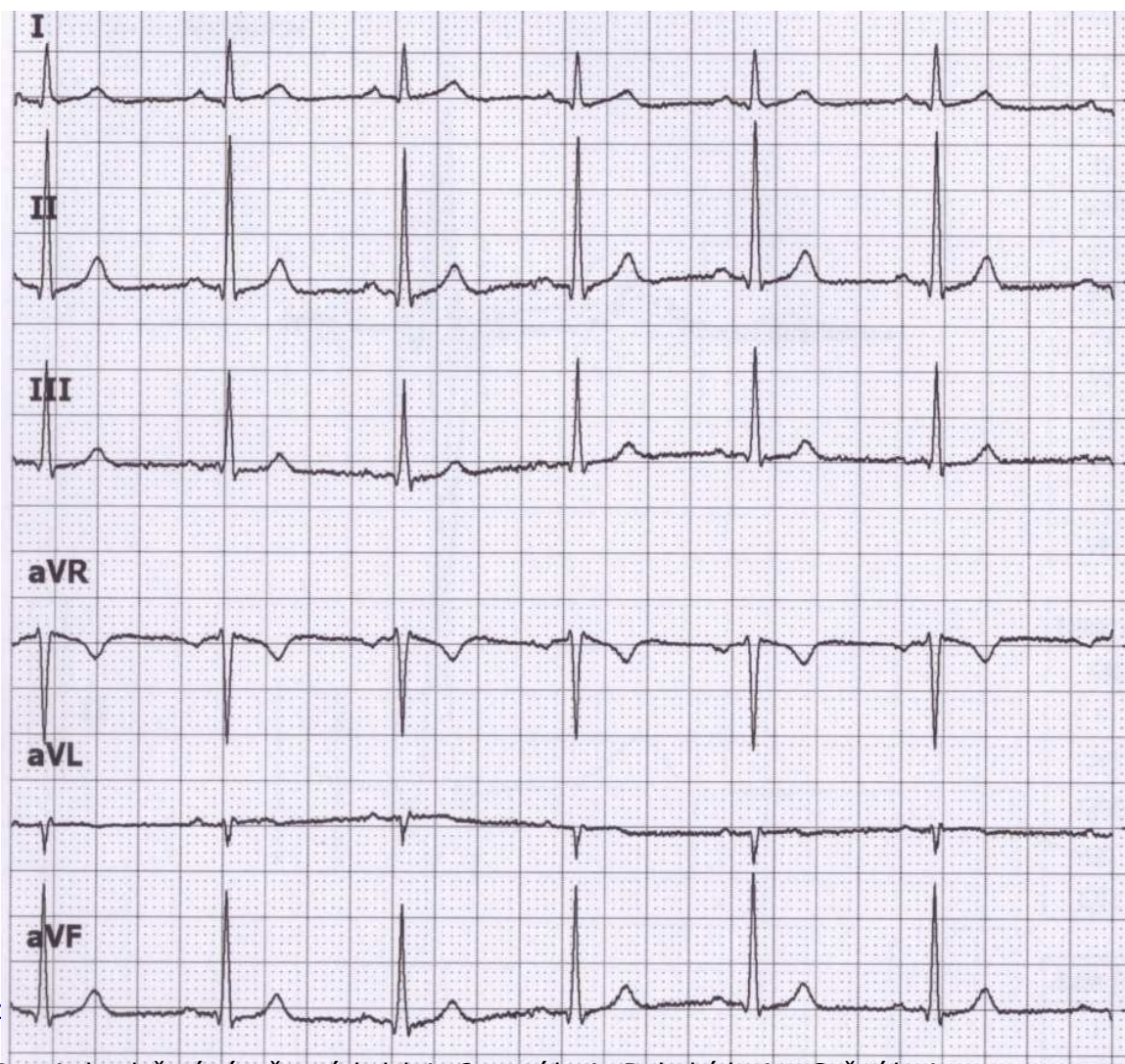


Všimněte si vzhledu EKG ve svodu II a aVR. Oba svody se dívají na elektrickou srdeční aktivitu z podobného úhlu (odchylna jen 30°), ale aVR má opačnou polaritu (dívá se na srdce vzhůru nohama v porovnání s II). Proto jsou svody II a aVR podobné, jen vůči sobě zrcadlově obrácené.



aVR má obvykle negativní T a P

QRS ve svodech a el. osa



výchylky QRS	součet výchylek QRS	Zápis QRS
Q = -1 R = 6 S = 0	QRS = 5	qR
Q = -1 R = 17 S = -1	QRS = 15	qRs
Q = 0 R = 10 S = -1	QRS = 9	qRs
Q = 1 R = -11 S = 0	QRS = -10	rSr'
Q = 0 R = -3 S = 0	QRS = -3	qr'
Q = -1 R = 13 S = -1	QRS = 11	qRs

výchytky součet QRS
QRS

Q = -1
R = 6 QRS = 5
S = 0

Q = -1
R = 17 QRS = 15
S = -1

Q = 0
R = 10 QRS = 9
S = -1

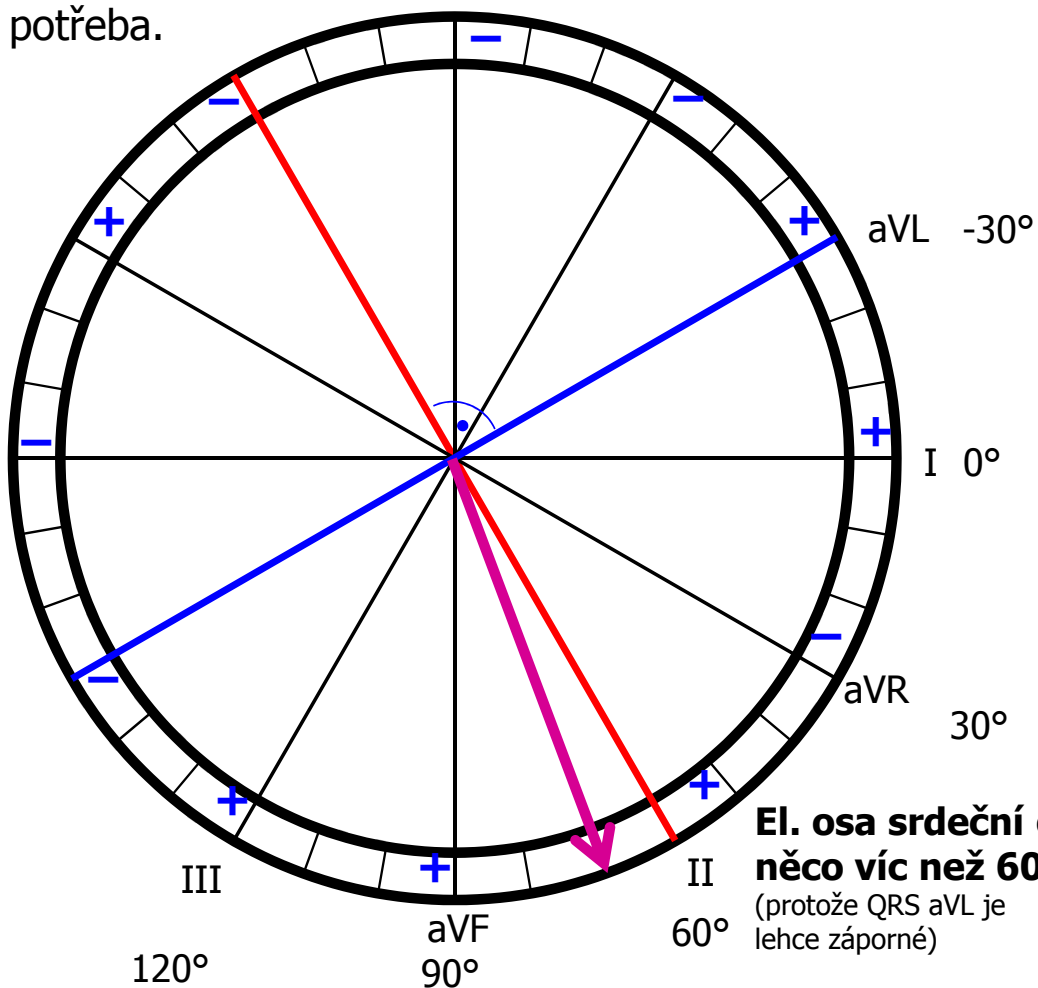
Q = 1
R = -11 QRS = -10
S = 0

Q = 0
R = -3 QRS = -3
S = 0

Q = -1
R = 13 QRS = 11
S = -1

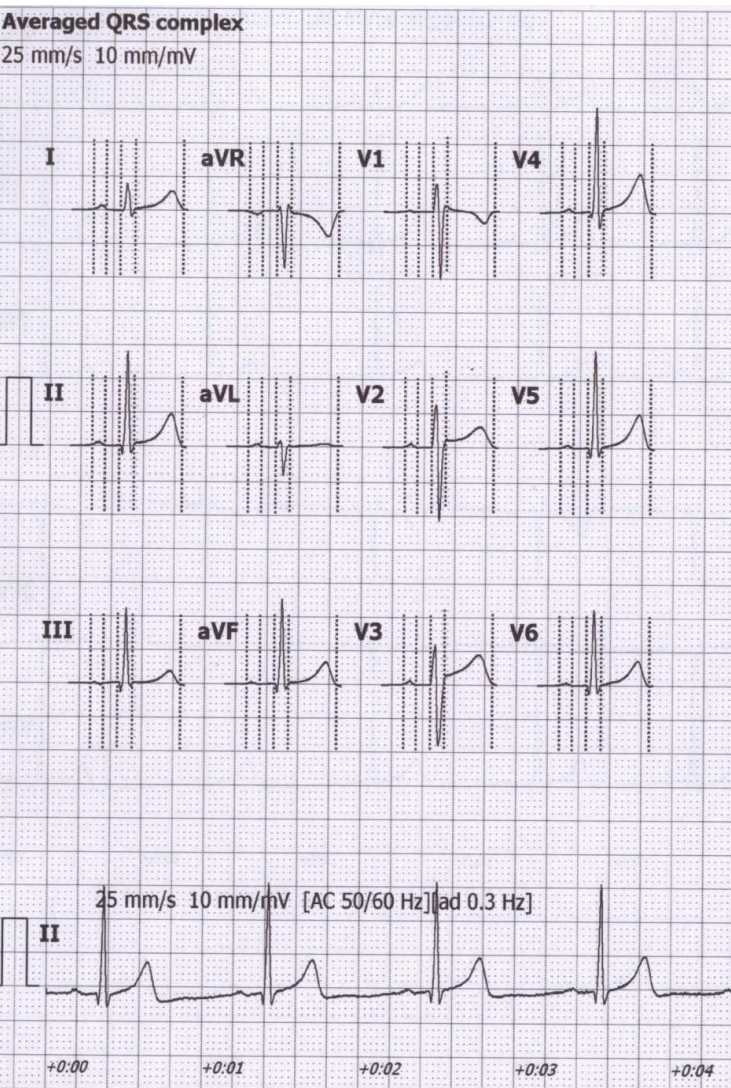
Elektrická osa jinak

Najděte svod s největším a nejmenším součtem výchytek (jen tak od oka) – tyto svody budou na sebe kolmé. Úhel svodu s největším součtem QRS bude určovat přibližně el. osu srdeční. Nebude to dokonale přesné, ale to v praxi ani není potřeba.



El. osa srdeční o něco víc než 60°
(protože QRS aVL je lehce záporné)

Určení elektrické osy srdeční – jak to dopadlo podle počítače?



Amplitudes [mV]											
	P+	P-	Q	R	S	R'	S'	J	ST40	T+	T-
I	0.06	-	-	0.40	-0.09	-	-	0.03	0.03	0.28	-
II	0.05	-	-0.14	1.40	-0.12	-	-	0.03	0.05	0.48	-
III	0.02	-0.03	-0.16	1.10	-0.07	-	-	0.01	0.02	0.21	-
aVR	-	-0.05	-	0.07	-0.85	0.09	-	-0.03	-0.04	-	-0.37
aVL	0.04	-	-	0.11	-0.40	0.05	-	0.01	0	0.04	-
aVF	0.03	-	-0.15	1.25	-0.09	-	-	0.02	0.03	0.34	-
V1	0.02	-0.02	-	0.41	-1.02	0.09	-	0.08	0.03	-	-0.18
V2	0.05	-	-	0.63	-1.10	-	-	0.11	0.11	0.30	-
V3	0.06	-	-	0.59	-0.92	-	-	0.09	0.15	0.42	-
V4	0.05	-	-0.09	1.55	-0.26	-	-	0.04	0.07	0.58	-
V5	0.04	-	-0.16	1.43	-0.14	-	-	0.02	0.05	0.51	-
V6	0.04	-	-0.15	1.12	-0.13	-	-	0.01	0.04	0.37	-

Intervals [ms]	
RR	1031
P	81
PQ	173
QRS	93
QT	401
QTc	395

Interpretation must be authorized by physician

Automatic marker setting
Patient's age unknown
Bradycardia

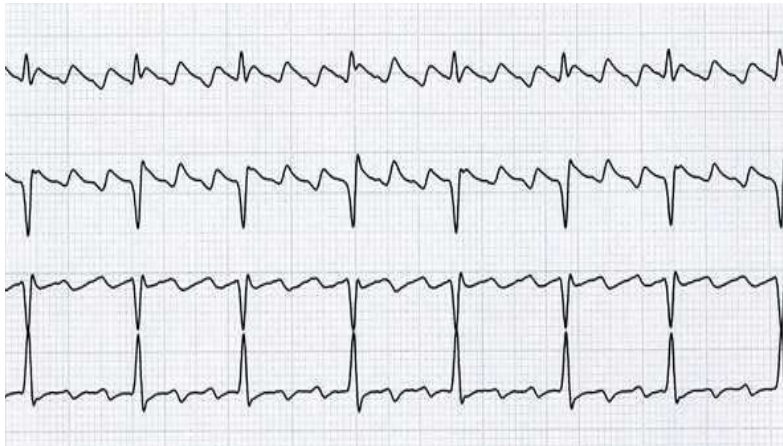
Axis [°]	
P	15
QRS	72
T	49

el. osa pro depolarizaci síní
72° el. osa pro depolarizaci komor
 el. osa pro repolarizaci komor

HR [1/min]

58

Flutter síní

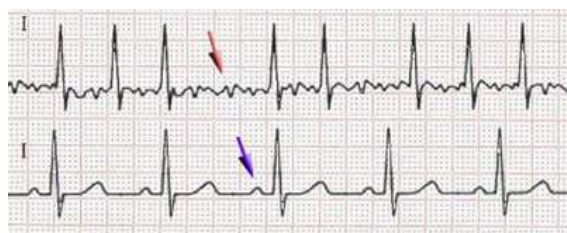


- Pravidelné pilovité zuby mezi QRS. Pravidelné RR, tachykardie.
- Podkladem je krouživý vzruch (re-entry) v síních.
- Pravidelnost je dána počtem „otoček“ vzruchu na převedení na komory (na obrázku: 3 otočky na 1 převedení na komory).
- Pokud flutter nevymizí, mění se ve fibrilaci síní.

Fibrilace

Fibrilace: nesynchronizovaná aktivita kardiomyocytů

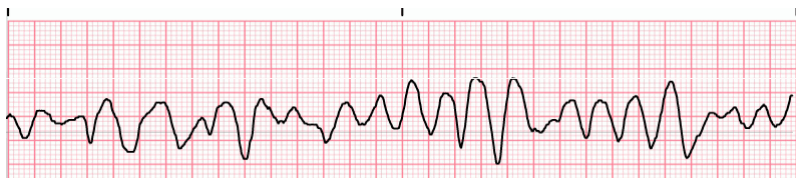
Síňová – chybí P, slabě nepravidelně „zubatá“ izolínie, RR nepravidelné, frekvence 80 – 180 bpm, není život ohrožující, ale vyčerpává srdce



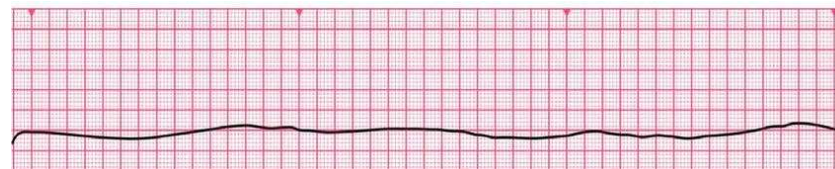
fibrilace

normal

Komorová – srdce nefunguje jako pumpa, nulový srdeční výdej, poškození mozku po 3 – 5 minutách fibrilace, bez včasné defibrilace se kardiomyocyty vyčerpají a přechází v asystolii

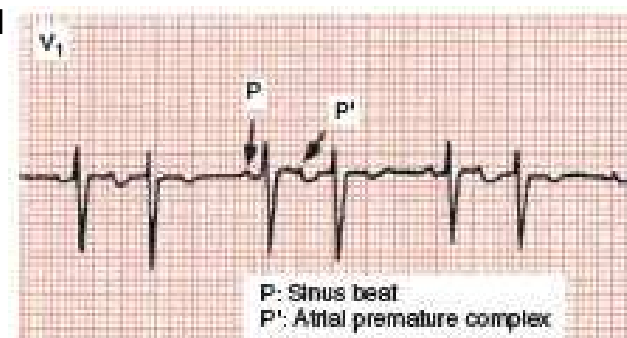
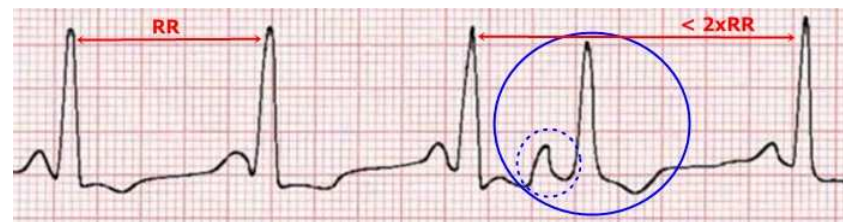


Asystolie – není přítomná elektrická aktivita, nedá se řešit defibrilací



Extrasystoly

- Supraventrikulární – ektopický vzruch vzniká v síni nebo v převodním systému AV
 - QRS komplex extrasystoly má normální tvar (vzruch se komorou šíří normálně),
 - vlna P nemá normální tvar (může být záporná či zakrytá QRS),
 - může být s postextrasystolickou pauzou (pokud se vzruch šíří zpětně síněmi a vybije SA)
- Ventrikulární – ektopický vzruch vzniká v komoře
 - QRS komplex nemá normální tvar („obluda“)
 - při pomalé srdeční frekvenci je bez kompenzační pauzy (extrasystola je vmezeřená mezi normální QRS) o sinusovém rytmu,
 - nebo obsahuje kompenzační pauzu, pokud další vzruch pocházející z SA uzlu přijde v čase, kdy je komora ještě refrakterní



Ventricular Extrasystole



Ischemie srdce

elevace ST
(Pardeho vlna)

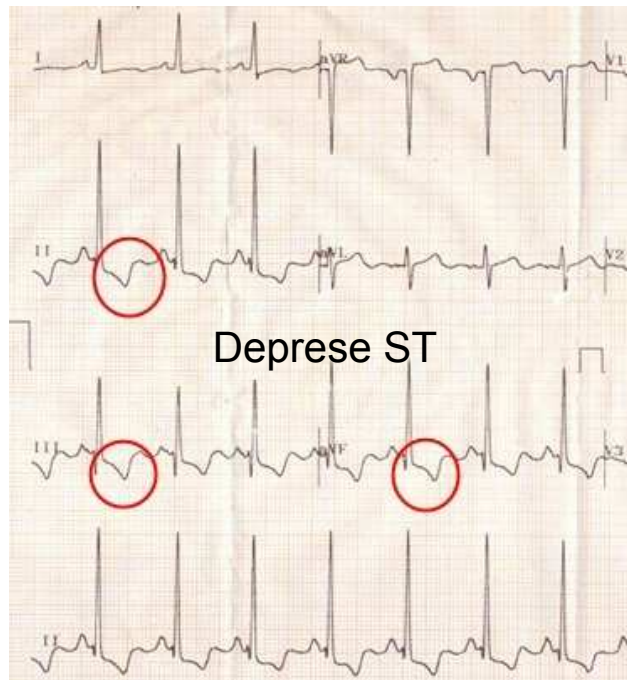
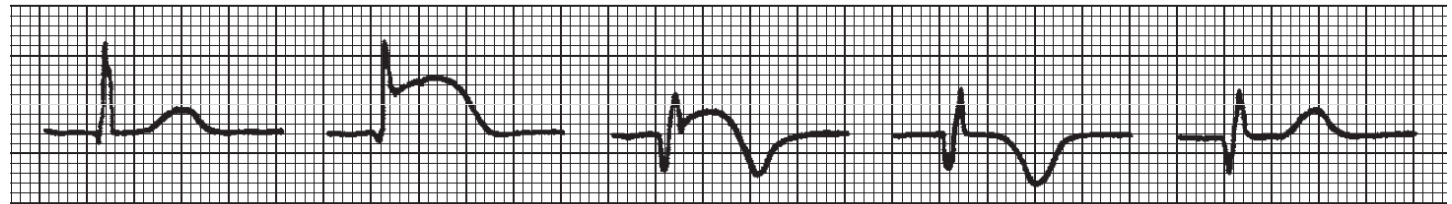
A

B

C

D

E



univerzity

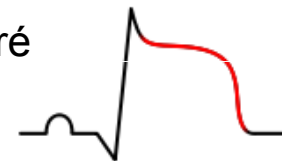
Transmurální infarkt

Patologické Q

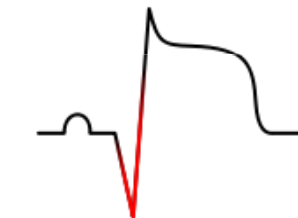
Negativní T (obrácený směr repolarizace)



Elevace ST – některé části tkáně se depolarizují se zpožděním



Patologické Q





11 Rhythms Nurses Need to Know

Basic EKG/ECG Rhythms

Common & Formal Rhythm Names	6 Second Rhythm Strip	Identifiers
S H O C K A B L E	V-Fib Ventricular Fibrillation	 NO PULSE Rate: Unmeasurable Irregular, No P Wave, No QRS
	V-Tach Ventricular Tachycardia	 NO PULSE Wide QRS Rate: Fast (100-250 bpm) Regular, No P Wave, Wide QRS
	Torsade de Pointes Type Of Ventricular Tachycardia	 NO PULSE Rate: Very Fast (200-250 bpm) Tall and Short Waves Irregular, No P Wave, Wide QRS
*Synchronized Cardioversion possible for SVT if medication ineffective.		
SVT* Supraventricular Tachycardia	 Rate: Very Fast (150-250 bpm) Regular, P Wave Hidden, Normal QRS	
STEMI ST Elevation Myocardial Infarction	 ST Elevation Reg or Irreg, P Wave, ST Elevated	
A-Fib Atrial Fibrillation	 ↑ Erratic Waves * QRS normally narrow but not always Irregular, No P Wave, Normal QRS*	
A-Flutter Atrial Flutter	 ↑ "Sawtooth" Pattern Reg or Irreg, No P Wave, Normal QRS	
PVC Premature Ventricular Contraction	 PVC PVC ← No P Waves → Irregular, No P Wave, Wide QRS	
Sinus Brady Sinus Bradycardia	 Rate: Slow (<60 bpm) Regular, P Wave, Normal QRS	
Sinus Tach Sinus Tachycardia	 Rate: Fast (> 100 bpm) Regular, P Wave, Normal QRS	
NSR Normal Sinus Rhythm	 Rate: Normal (60-100 bpm) Regular, P Wave, Normal QRS	