



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY

A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV BIOMEDICÍNSKEHO INŽENÝRSTVÍ

DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

EXTRAKCE A KLASIFIKACE SÍŇOVÉ
AKTIVITY Z INTRAKARDIÁLNÍCH
ELEKTROGRAMŮ

EXTRACTION AND CLASSIFICATION OF ATRIAL ACTIVITY USING MULTI-SITE
INTRACARDIAC ELECTROGRAMS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jana Vicianová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jakub Hejč



Bakalářská práce

bakalářský studijní obor Biomedicínská technika a bioinformatika

Ústav biomedicínského inženýrství

Studentka: Jana Vicianová

ID: 195200

Ročník: 3

Akademický rok: 2019/20

NÁZEV TÉMATU:

Extrakce a klasifikace síňové aktivity z intrakardiálních elektrogramů

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Seznamte se s principy arytmogeneze supraventrikulárních tachykardií a jejich projevy v intrakardiálních záznamech. Vytvořte literární rešerši na toto téma. 2) Z dostupných dat sestavte vlastní databázi intrakardiálních záznamů a proveďte manuální anotaci síňové aktivity. 3) Navrhněte a implementujte algoritmy pro extrakci síňové aktivity z intrakardiálních signálů. Funkci algoritmů ověřte. 4) Rozšiřte algoritmus o automatické rozpoznání typu síňového rytmu. 5) Vyhodnoťte úspěšnost algoritmu a podrobně diskutujte dosažené výsledky.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] SORNMO L. and LAGUNA P. Bioelectrical signal processing and neurological applications. Academic Press; 1st edition, 2005, 688 s., ISBN: 978-0124375529.

[2] ZIAD F. I., Miller J. M. and ZIPES D. P. Clinical Arrhythmology and Electrophysiology: A Companion to Braunwald's Heart Disease. Elsevier 3rd Edition, 2019, 1120 s., ISBN: 9780323523561.

Termín zadání: 3.2.2020

Termín odevzdání: 5.6.2020

Vedoucí práce: Ing. Jakub Hejč

prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení částí druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Práca sa zaoberá problematikou detekcie aktivity siení využitím intrakardiálnych záznamov. V úvodnej časti sú popísané jednotlivé supraventrikulárne tachykardie s príkladmi ich prejavov v EKG záznamoch. V praktickej časti je v programovom prostredí Matlab zrealizovaný navrhnutý detektor a jednotlivé záznamy sú klasifikované podľa rytmu srdca.

Klíčová slova

Supraventrikulárna tachykardia, Koronárny sínus, EKG, intrakardiálne elektrogramy, detekcia, aktivita siení

Abstract

The work deals with problems of detection of the atrial activity using intracardiac recordings. In the introductory part, individual supraventricular tachycardias with examples of their manifestations in ECG recordings are described. In the practical part, the designed detector is implemented in Matlab and recordings are classified according to the heart rhythm.

Keywords

Supraventricular tachycardia, Coronary sinus, ECG, intracardiac electrograms, detection, atrial activity

Bibliografická citace:

VICIANOVÁ, Jana. *Extrakce a klasifikace síňové aktivity z intrakardiálních elektrogramů*. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/122394>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav biomedicínského inženýrství. Vedoucí práce Jakub Hejč.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou závěrečnou práci na téma Extrakce a klasifikace síňové aktivity z intrakardiálních elektrogramů jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autorka uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušila autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhla nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.“

V Brně dne

.....

podpis autora

Obsah

1	Úvod	1
2	Supraventrikulárne tachykardie.....	2
2.1	Mechanizmy supraventrikulárnych tachykardií	2
2.1.1	Automaticita.....	2
2.1.2	Spúšťacia aktivita.....	2
2.1.3	Reentry.....	3
2.2	Druhy supraventrikulárnych tachykardií	3
2.2.1	Sínusová tachykardia	3
2.2.2	Neprimeraná sínusová tachykardia.....	4
2.2.3	Fokálna atriálna tachykardia.....	4
2.2.4	Flutter siení	5
2.2.5	Makroreentrant atriálna tachykardia	7
2.2.6	Fibrilácia siení	9
2.2.7	Atrioventrikulárna nodálna reentry tachykardia.....	10
2.2.8	Atrioventrikulárna reentry tachykardia	12
3	Detekcia sieňovej aktivity.....	14
3.1	Dáta	14
3.1.1	Elektrogramy koronárneho sínusu	14
3.1.2	Vytvorenie databázy	16
3.1.3	Anotácia	16
3.2	Realizácia	17
3.3	Vyhodnotenie algoritmu	21
3.3.1	Ukážky detekcie	25
4	Klasifikácia sieňovej aktivity	31
4.1	Sínusový rytmus.....	31
4.2	Realizácia detektoru QRS.....	32
4.3	Realizácia klasifikátoru srdečného rytmu	34
4.3.1	Klasifikácia.....	34
4.3.2	Kontrola	36
4.3.3	Ukážky klasifikácie	40
5	Záver	43
	Literatúra	44
	Zoznam symbolov, veličín a skratiek.....	47
	Zoznam príloh.....	48

Zoznam obrázkov

Obrázok 1: Záznam spontánnej iniciácie a ukončenia fokálnej AT (prevzaté z 37 , str. 219).....	5
Obrázok 2: Porovnanie záznamov typického a reverzného flutteru siení, (prevzaté z37, str. 240)	7
Obrázok 3: Záznam maktoreentry ľavej siene, (prevzaté z37, str. 269).....	8
Obrázok 4: Prechod AV reentry tachykardie do fibrilácie siení (prevzaté z37 , str. 292)	10
Obrázok 5: Záznam typickej AV nodálnej tachykardie (prevzaté z 37 , str. 387).....	11
Obrázok 6: Záznam spontánneho ukončenia netypickej AVNRT, (prevzaté z 37 , str. 394),.....	12
Obrázok 7: Záznam WPW syndrómu s pravou akcesórnou dráhou (prevzaté z 37, str. 421).....	13
Obrázok 8: Záznam spontánneho ukončenia ortodrómej AVRT (prevzaté z 37, str. 433).....	13
Obrázok 9: Ukážka umiestnenia intrakardiálnych katétrov (prevzaté z 38)	15
Obrázok 10: Vyznačenie intervalov v intrakardiálnych záznamoch; (prevzaté z 37.)	16
Obrázok 11: Detektor aktivity siení	17
Obrázok 12: Ukážka začiatku detekcie	18
Obrázok 13:Ukážka detekcie	19
Obrázok 14: Ukážka hľadania začiatku a konca aktivity siene.....	19
Obrázok 15: Ukážka výstupu detekcie (posledný záznam) v porovnaní s pôvodnými CS signálmi	20
Obrázok 16: Ukážka úspešnej detekcie sieňovej aktivity	25
Obrázok 17: Ukážka zlyhania detektoru na zázname č.2	26
Obrázok 18: Ukážka chyby detekcie na zázname č.37.....	27
Obrázok 19: Ukážka chyby detekcie na zázname č.39.....	28
Obrázok 20: Ukážka zlyhania detektoru na zázname č.50.....	29
Obrázok 21: Ukážka chyby detekcie na zázname č.84.....	30
Obrázok 22: Detektor QRS komplexov	31
Obrázok 23: Ukážka detekcie QRS komplexov	33
Obrázok 24: Klasifikátor srdečného rytmu	34
Obrázok 25:Záznam číslo 41.....	40
Obrázok 26: Záznam číslo 11.....	41
Obrázok 27: Záznam číslo 16.....	41
Obrázok 28: Záznam číslo 85.....	42

Zoznam tabuliek

<i>Tabuľka 1: Parametre jednotlivých záznamov, vypočítané hodnoty senzitivity a pozitívnej prediktívnej hodnoty</i>	<i>22</i>
<i>Tabuľka 2: Výsledok klasifikácie srdečného rytmu.....</i>	<i>36</i>

1 ÚVOD

Búšenie srdca, slabosť, závraty či bolesť na hrudi sú najčastejšie sa vyskytujúce príznaky supraventrikulárnych tachykardií. Mnoho ráz ich však pacient nespozoruje. Supraventrikulárne tachykardie predstavujú nebezpečné zvýšenie frekvencie srdečných siení vznikajúce v hornej časti srdca. Pri neliečených stavoch a dlhom trvaní môžu viesť až ku zlyhaniu srdca alebo prechodu do fibrilácie komôr. Preto je dôležité skoré určenie druhu a vzniku tachykardie, miesta jej vzniku a zvolenie adekvátnej liečby.

Frekvencia siení je často tak vysoká, že je blokovaná atrioventrikulárnym uzlom, neprevedie sa na komory a spôsobuje nepravidelnosť srdečného rytmu. Výsledok sa prejaví aj na klasickom 12 zvodovom povrchovom EKG zázname. Na rozdiel od komorovej aktivity, sieňová aktivita je vo väčšine záznamov zle viditeľná, prípadne neprítomná. Spôsobené to je QRS komplexami alebo T vlnami, ktoré ju prekrývajú. To predstavuje problém pre úspešnú klasifikáciu poruchy sieňového rytmu. Ako riešenie je možné využiť intrakardiálne záznamy, kde je aktivácia siení lepšie viditeľná. V práci boli použité signály zaznamenané z miesta koronárneho sínusu.

Úvodná teoretická časť práce je venovaná supraventrikulárnym tachykardiám, mechanizmu ich vzniku, rozdeleniu a typickým prejavom. Sú uvedené príklady intrakardiálnych záznamov.

V praktickej časti bol navrhnutý a v prostredí Matlab zrealizovaný algoritmus, ktorý v intrakardiálnych záznamoch nájde oblasť predstavujúcu aktiváciu siení. Na overenie algoritmu boli výsledky porovnané s manuálne anotovanými intervalmi. Na základe výsledku detekcie boli záznamy klasifikované podľa vzniku srdečného rytmu, a to na rytmus sínusový alebo rytmus vznikajúci v inej časti srdca.

2 SUPRAVENTRIKULÁRNE TACHYKARDIE

Každá časť prevodného systému aj pracovného myokardu dokáže spontánne generovať impulzy. Vzruch sa po prevodnom systéme šíri z ložiska pracujúceho s najvyššou frekvenciou, ktoré deaktivuje ostatné ložiská. U zdravých jedincov je to sinoatriálny (SA) uzol, nachádzajúci sa v pravej sieni, generujúci impulzy s frekvenciou 60 až 100 za minútu. V dôsledku rôznych patológií sa zmení frekvencia impulzov, a rytmus srdca tak môže udávať iné ložisko, prípadne viacero ložísk. (1)

2.1 Mechanizmy supraventrikulárnych tachykardií

Mechanizmy spôsobujúce srdcové arytmie sú rozdelené na poruchy tvorby impulzov, tu patrí automaticita a spúšťacia aktivita, poruchy vedenia impulzov, kde zaradujeme reentry, alebo kombináciu oboch.

2.1.1 Automaticita

Automaticita je schopnosť kardiomyocitov spontánne sa depolarizovať, dosiahnuť treshold potenciál (potenciál potrebný na vznik vzruchu), iniciovať a šíriť akčný potenciál aj bez vonkajšej elektrickej stimulácie. Avšak vplyvom srdečných chorôb, liekov, autonómneho nervového systému alebo zmenou koncentrácie extracelulárneho draslíka môže dôjsť k jej zvýšeniu či abnormalite. Zvýšená automaticita znamená zrýchlenie generovania akčných potenciálov fyziologickým tkanivom pacemakera (udávač rytmu). Dochádza k nej v SA uzle alebo latentných pacemakeroch, ktoré sa za určitých podmienok stanú funkčnými. Abnormálna automaticita sa vyskytuje len pri vážnych poruchách membránového potenciálu a môže sa nachádzať skoro kdekoľvek v srdci. Čím vyššiu hodnotu má membránový potenciál, tým rýchlejšia bude frekvencia fokusu (miesto vzniku impulzu). (1) (2) (3)

2.1.2 Spúšťacia aktivita

Spúšťacia aktivita je charakterizovaná ako generácia impulzov spôsobená depolarizačnými osciláciami membránového napätia (afterdepolarizáciami), následne po predošlom impulze. Najčastejšie vzniká v dôsledku poškodenia buniek. Afterdepolarizácie môžu nastať skoro, počas repolarizačnej fázy akčného potenciálu, alebo neskoro, po kompletnej repolarizácii. Na rozdiel od automaticity, spúšťacia aktivita nie je samostatne sa tvoriaci rytmus, ale odpoveď na predchádzajúci impulz. (1) (4)

2.1.3 Reentry

Reentry sa vyskytuje v prípade, kedy vlna akčného potenciálu po aktivácii tkanív nevymizne, ale ostane krúžiť v ohraničenej zóne a znova aktivuje pôvodné miesto vzniku impulzu a nadväzujúcu dráhu. Princípom jej vzniku je prítomnosť jednosmerného bloku, paralelných dráh (najčastejšie oddelených anatomickou prekážkou), z ktorých vedenie jednej dráhy je spomalené a spôsobuje, že impulz nenarazí na oblasť nachádzajúcu sa v refraktérnej perióde, a tým pádom sa nepreruší. Vzruch, ktorý by normálne zanikol, pretože myokard je v refraktérnej perióde, je tak zachovaný. Reentry obvod môže mať rôznu veľkosť a tvar a zasahuje rôznorodé typy buniek. Je to najčastejší mechanizmus sieňových arytmií. (1) (4) (5)

2.2 Druhy supraventrikulárnych tachykardií

Tachykardiu definujeme ako stav, kedy frekvencia siení prevyšuje 100 sťahov za minútu. Ak sa pacemaker nachádza v oblasti nad bifurkáciou Hisovho zväzku, to znamená v sieňach a atrioventrikulárnej (AV) junkcii (spoločný názov pre AV uzol a Hisov zväzok), hovoríme o supraventrikulárnych tachykardiách. Delíme ich na sieňové, pri ktorých sú impulzy generované v sieňach a nodálne so vznikom v AV junkcii. (2)

2.2.1 Sínusová tachykardia

Sínusový rytmus je fyziologická odpoveď pod kontrolou nervového systému, ktorý zvyšuje (sympatikus) a znižuje (parasympatikus) frekvenciu sinoatriálneho uzla v rozmedzí od 60 do 100 úderov za minútu. Ak však frekvencia stúpne nad 100 úderov za minútu, hovoríme o sínusovej tachykardii (ST).

Pri ST je sinoatriálny (SA) uzol neporušený ale disponuje zvýšenou automaticitou. ST je sekundárny symptóm, preto sa vždy vyskytuje ako odpoveď na primárne ochorenie, ktoré stimuluje SA uzol. Frekvencia impulzov málokedy presahuje 170 úderov za minútu a maximálne môže dosiahnuť rýchlosť 220 (mínus vek pacienta) úderov za minútu.

Medzi najčastejšie príčiny radíme fyzickú námahu, bolesť, stres, úzkosť, kofeín, lieky, teplotu, anémiu, hyperthyreózu, hypoxiu, infarkt myokardu a hypotenziu.

Akcia srdca je ostáva pravidelnou, takže je možné pozorovať rovnaké R-R intervaly. P vlny sú horšie viditeľné lebo nasadajú na T vlny a tvoria typické dva hrby. QRS komplex mení amplitúdu. V záznamoch z koronárneho sínusu (CS) je aktivita siení viditeľná ako vlna postupujúca od proximálnej ku distálnej časti katétru nasledovaná aktivitou siení. (2)

2.2.2 Neprimeraná sínusová tachykardia

Neprimeraná sínusová tachykardia (NST) je ST, ktorá nemá príčinu, takže sa nevyskytuje ako sekundárny mechanizmus. Ide o raritnú diagnózu, pri ktorej frekvencia SA uzla neadekvátne stúpa aj pri minimálnej námahe, nezávisle na fyzickom, emocionálnom, patologickom alebo farmakologickom strese. Zvýšená automaticita je bez vysvetliteľnej príčiny, a aj doteraz zostáva nedostatočne porozumená. Za predpokladaný dôvod vzniku sa považuje zmena vnútornej regulácie, sympatovagálna nerovnováha, autoimunitný mechanizmus alebo aj hypersenzitivita SA uzla na molekuly ako adrenalín, noradrenalín, histamín a serotonín. (1) (2)

NST sa prejavuje hlavne cez deň, v pokoji a bez príčiny, s frekvenciou viac ako 100 úderov za minútu a zintenzívnením pri malej fyzickej aktivite. Srdcová frekvencia za 24 hodín priemerne dosahuje viac ako 90 úderov za minútu. Klinická prezentácia NST je značne premenlivá, od pacientov úplne bez príznakov, po jedincov s krátkymi epizódami, až chronickými a neustálymi príznakmi. Dominujúce symptómy sú búšenie srdca (palpitácie), únava, závraty a neschopnosť znášať fyzickú námahu. Ďalej sa môže vyskytnúť aj bolesť na hrudi, nevoľnosť, závraty a synkopa. Prevažujúca väčšina pacientov sú mladé ženy. EKG charakteristiky sú rovnaké ako pri ST. (2) (6) (7)

2.2.3 Fokálna atriálna tachykardia

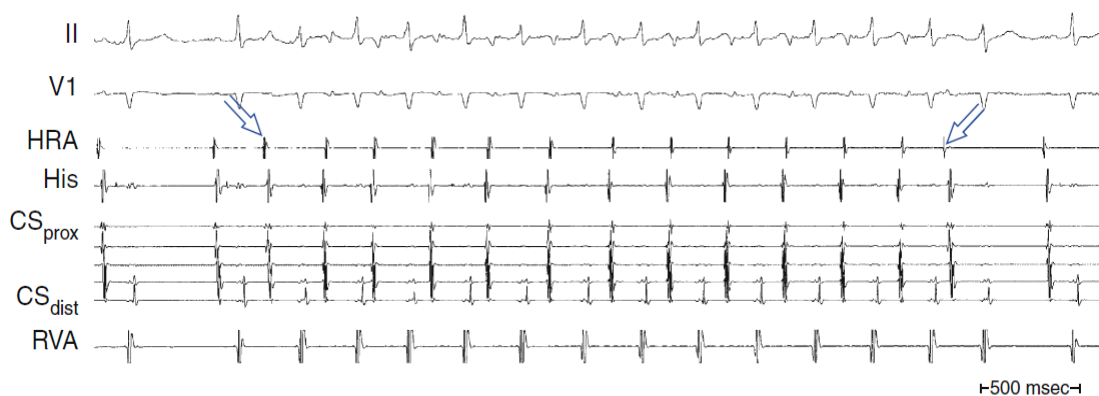
Fokálna atriálna tachykardia (AT) je definovaná ako pravidelný sieňový rytmus s konštantnou rýchlosťou väčšou ako 100 úderov/minútu, pochádzajúci z iného miesta (fokusu) než SA uzol. Príčinou môže byť abnormálna automaticita, spúšťaná aktivita alebo reentry. Zistiť mechanizmus vzniku fokálnej AT je zložité najmä kvôli chýbajúcemu zlatému štandardu v analýze. Nedostatočne reaguje na lieky a môže podnietiť vznik fibrilácie a flutteru siení. (1) (8)

Fokálna AT väčšinou vzniká v pravej sieni, v mieste s priemerom menším ako 2 cm (ohnisku) a odstredivo sa šíri. Približne dve tretiny majú ohnisko rozmiestnené popri dlhej osi crista terminalis, čo môže súvisieť s charakteristickou, výraznou anizotropiou tejto oblasti. Anizotropia (nerovnaké vlastnosti vedenia vo všetkých smeroch), pochádzajúca zo slabých medzibunečných spojov, umožňuje vznik regiónov pomalého vedenia vzruchov, a tak aj vývoj mikroreentry. Ak fokálna AT vzniká v ľavej predsieni, jej najčastejšie miesto pôvodu je ústie pľúcnych žíl predstavujúce až 29% AT. (1) (8)

Až do 10 % pacientov s fokálnou AT trpí tachykardiami vznikajúcimi z viac ako jedného ohniska, takzvanou multifokálnou AT. Multifokálne AT zvyčajne zapríčiňuje zvýšená automaticita. U týchto pacientov AT prejavujú iné

elektrofyzikálne vlastnosti ako fokálne AT s jedným ohniskom. Často zahŕňajú aj ľavú sieň, majú kratšie dĺžky cyklov, dlhší čas aktivácie, meniace sa P vlny a PR intervaly. Frekvencia siení dosahuje 240 až 310 úderov za minútu. Na elektrogramoch sa prejaví nepretržité vlnenie bez izoelektrickej periódy. (1) (9)

Pri fokálnych AT sa vyskytujú typické oddelené P vlny s rýchlosťou 130 až 250 za minútu, s možnosťou až 100 alebo 300 úderov za minútu. Izoelektrické intervaly medzi nimi bývajú jednoznačne definovateľné. Príklad je znázornený na Obrázok 1. Avšak prítomnosťou vysokej rýchlosti a/alebo poruchami vedenia vzruchov môžu byť P vlny široké, a bez izoelektrickej línie. V tomto prípade sa EKG javí ako sieňový flutter. Fokálnu AT charakterizujú dlhé RP intervaly premenlivej dĺžky. Dĺžka cyklu býva dlhšia než 250 milisekúnd, ale môže sa vyskytnúť aj 200 ms cyklus. Pri dlhom pozorovaní sa môže dĺžka cyklu meniť. Epizódy môžu trvať pár sekúnd ale aj niekoľko hodín. Charakteristické sú náhlým nárastom a poklesom rytmu ako je šípkami vyznačené aj na obrázku. (1)



Obrázok 1: Záznam spontánnej iniciácie a ukončenia fokálnej AT (prevzaté z (1) , str. 219)

II = povrchový zvod, V1 = povrchový zvod, HRA = vrch pravej siene, His = Hisov zväzok, CS_{prox}/CS_{dist} = proximálna/distálna časť Koronárneho sínusu, RVA = hrot pravej komory

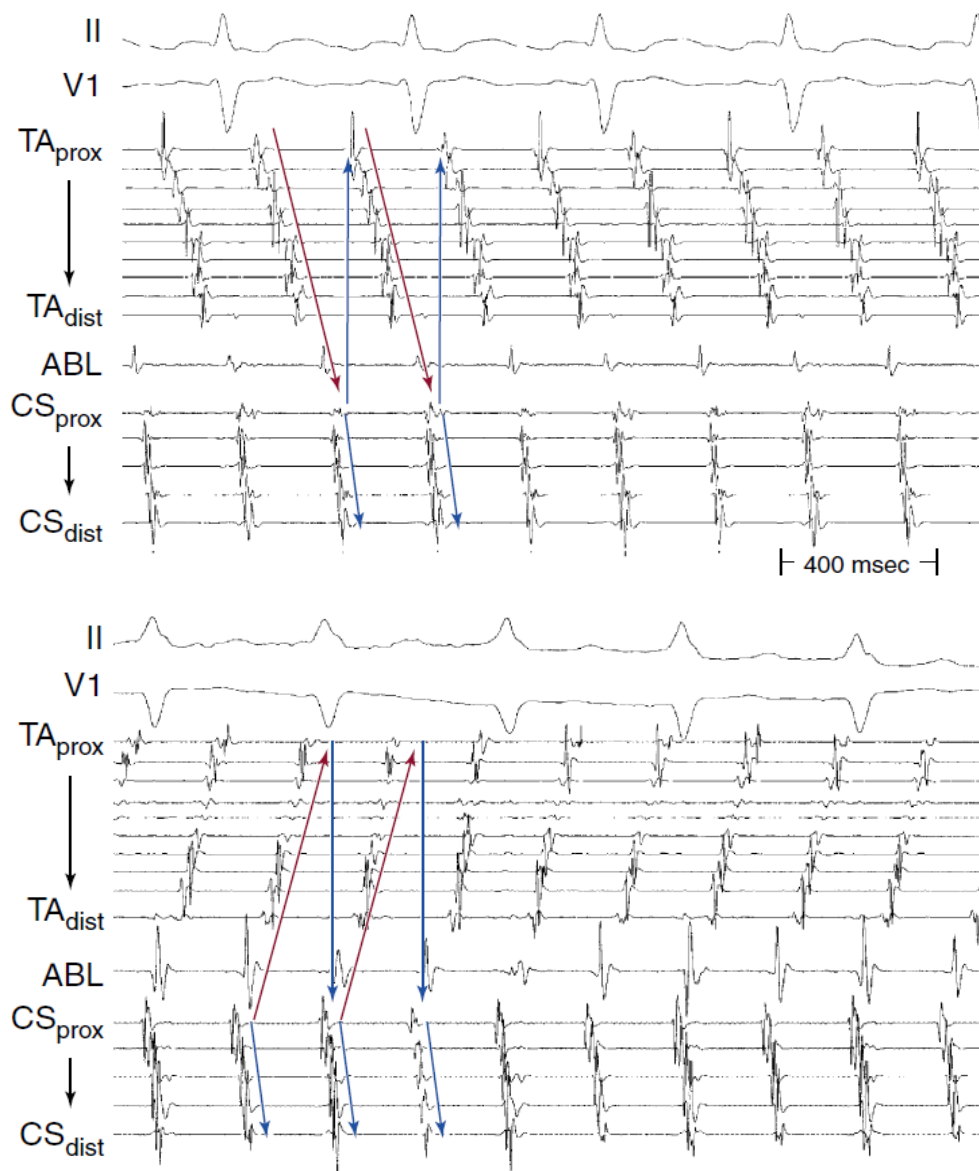
2.2.4 Flutter siení

Flutter siení (AFL) je typ makroreentrantnej (okružnej aktivácie okolo veľkej prekážky) sieňovej tachykardie využívajúci kavotrikuspidálny istmus ako základnú časť svojho obvodu. Kavotrikuspidálny istmus je časť pravej siene medzi ústím dolnej dutej žily, Eustachovou hranou a trikuspidálnym prstencom. Svojou anatómiou poskytuje chránenú zónu pomalého vedenia, nevyhnutnú pre flutter reentry obvod. Mechanizmus pomalšieho vedenia nie je istý. Môže však súvisieť s narastajúcim vekom alebo zväčšením siení, kedy vnútrobunková fibróza dokáže zmeniť hustotu spojenia buniek, a tým vzniká nejednotné vedenie. V porovnaní so zdravými jedincami majú pacienti trpiaci AFL zjavne zväčšený kavotrikuspidálny isthmus a pravú sieň. (1) (2) (10)

AFL rozdeľujeme na dva typy: typický a reverzný. Typický AFL je charakteristický šírením vlny vzruchu proti smeru hodinových ručičiek, pri pohľade spredu. Pri reverznom AFL sa vzruch propaguje v opačnom smere. Tento typ sa vyskytuje len v 10 % prípadov a je náchylný skôr ku vzniku stimuláciou zo spodnej časti pravej komory. Naopak, typický AFL býva vyvolaný rýchlou stimuláciou z osi koronárneho sínusu. (1)

Flutter siení sa na vonkajšom EKG zázname typicky prejaví sieňovými komplexmi s jednotnou morfológiou, polaritou a dĺžkou cyklu v podobe takzvaných zubov píly. Daný prejav u viac ako 95% potvrdzuje AFL. P vlny býva ťažké identifikovať, pretože môžu byť zakryté QRS komplexmi alebo T vlnami (Obrázok 2). Vytrvalá aktivita siení malej amplitúdy je však dobre viditeľné v CS záznamoch, kde nie je rušená aktivitou komôr. Aktivácia postupuje od proximálnej ku distálnej časti katétru, či už ide o typický alebo reverzný AFL. Rozdiel v šírení depolarizácie je viditeľný na elektrogramoch snímaných Halo katétrom (označené TA). Frekvencia siení sa často pohybuje v rozmedzí od 240 do 340 úderov za minútu, je pravidelná a so zmenami medzi cyklami menej než 2%. Dĺžka cyklu je zvyčajne od 190 do 250 milisekúnd. Najmenej v jednom povrchovom zvide môže byť spozorovaná neustála aktivita bez stabilnej izolácie. (1) (11)

Impulz prechádza na komory cez atrioventrikulárny uzol najčastejšie v pomere 2:1 ako je znázornené aj na Obrázok 2. Mechanizmus zabezpečuje ochranný systém AV uzlu, takže impulz sa dvakrát otočí v pravej sieni a raz sa prevedie na komory. Meniace sa vodivé pásmo a iné pomery (4:1, 6:1) sú tiež možné. (1)



Obrázok 2: Porovnanie záznamov typického a reverzného flutteru siení, (prevzaté z (1), str. 240)

hore typický sieňový flutter (šírenie proti smeru hodinových ručičiek) a dole reverzný flutter siení, II = povrchový zvod, V1 = povrchový zvod, TA = Halo katéter umiestnený na trikuspidálnom annule, ABL = ablačný katéter, CS_{prox}/CS_{dist} = proximálna/distálna časť Koronárneho sínusu

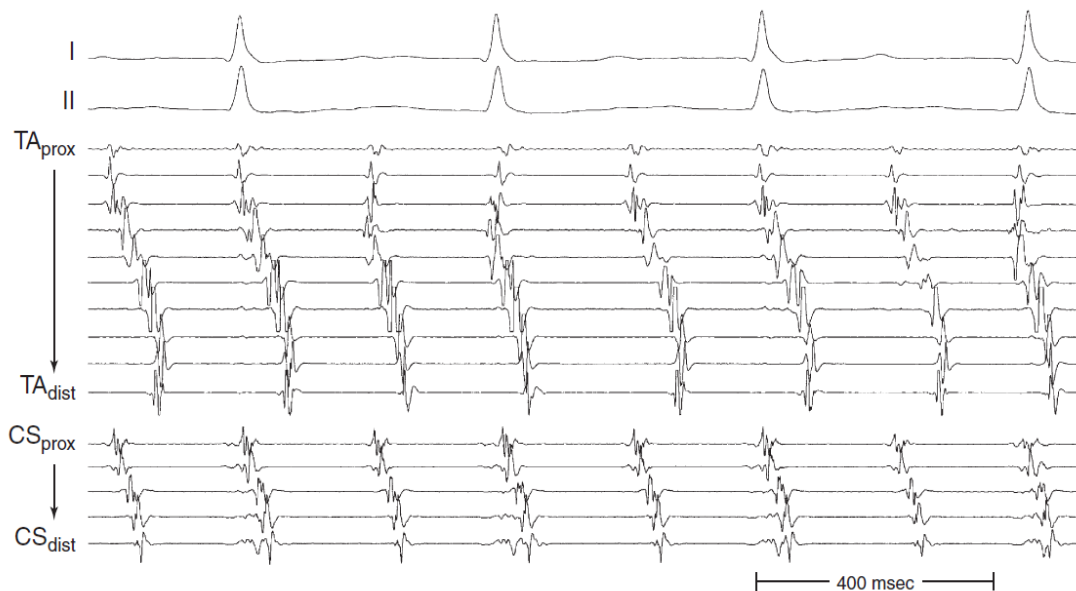
2.2.5 Makroreentrant atriálna tachykardia

Makroreentrant tachykardia siení (MRAT), niekedy nazývaná aj atypický flutter siení, spočíva v reentry aktivácii okolo v centre umiestnenej veľkej prekážky, s priemerom niekoľko centimetrov. Prekážku môžu tvoriť fyziologické, ale aj patologické štruktúry. Vzruch nevzniká v jednom bode, naopak tkanivo srdca je aktivované z rôznych častí reentry obvodu pravej či ľavej siene. (1)

V pravej sieni sa obvod MRAT nachádza v slučke okolo dolnej dutej žily, vnútri kavortikuspidálneho istmu alebo okolo miesta po lézii. Makroreentry ľavej komory sú zriedkavé, a často súvisia alebo sa vyskytujú spolu s fibriláciou siení. Obvod šírenia vzruchu býva rôzny, najčastejšie okolo jazvy, mitrálneho prstenca, pľúcnych žíl alebo ľavého septa. (1) (2)

MRAT sú zvyčajne chronické alebo dlho trvajúce. Pacienti môžu preukazovať príznaky spojené so zvýšenou komorovou aktivitou, stratou synchronizácie AV uzla, alebo zhoršením už existujúcej choroby srdca. Ako aj flutter siení, MRAT môžu prispieť ku tromboembolickým komplikáciám, a nakoniec k mŕtvici. (1)

Morfológia P vln v povrchoých záznamoch EKG je vysoko variabilná, a často prekrytá QRS komplexmi alebo T vlnami (Obrázok 3). Na obrázku sú viditeľné spontánne variácie dĺžky cyklu pravej siene (v záznamoch TA), ale zároveň konštantné dĺžky cyklu ľavej siene (v záznamoch CS), znázorňujúce prítomnosť reentry obvodu v ľavej sieni. Prevod zo siení je v pomere 2:1. Každá druhá aktivita siení je tak súčasná s aktivitou komôr, čo vidieť v CS záznamoch ako splynutie každej druhej aktivity komôr s aktivitou siení. Depolarizácia sa šíri od proximálneho konca katétru ku distálnemu. Dĺžka cyklu dosahuje 220 až 270 ms a frekvencia siení sa mení od 240 do 310 úderov za minútu. Na rozdiel od fokálnej AT s jasnými P vlnami a izoelektrickými intervalmi, pri MRAT takýto prejav nezaznamenáme. (1) (12)



Obrázok 3: Záznam makroreentry ľavej siene, (prevzaté z (1), str. 269)

I = povrchový zvod, II = povrchový zvod, TA = Halo katéter umiestnený na trikuspidálnom annule, CS_{prox}/CS_{dist} = proximálna/distálna časť Koronárneho sínusu

2.2.6 Fibrilácia siení

Fibrilácia siení (AF) je najčastejšie sa vyskytujúca arytmia, zodpovedná za približne jednu tretinu hospitalizácií pre poruchy srdečného rytmu. Predpokladá sa, že fibriláciou siení trpí 4,5 miliónov ľudí v Európe a 2,3 miliónov v Spojených štátoch, no číslo môže byť vyššie kvôli častokrát skrytým príznakom. Výskyt narastá s vekom až na viac ako 10% u osôb starších ako 80 rokov. (1) (2)

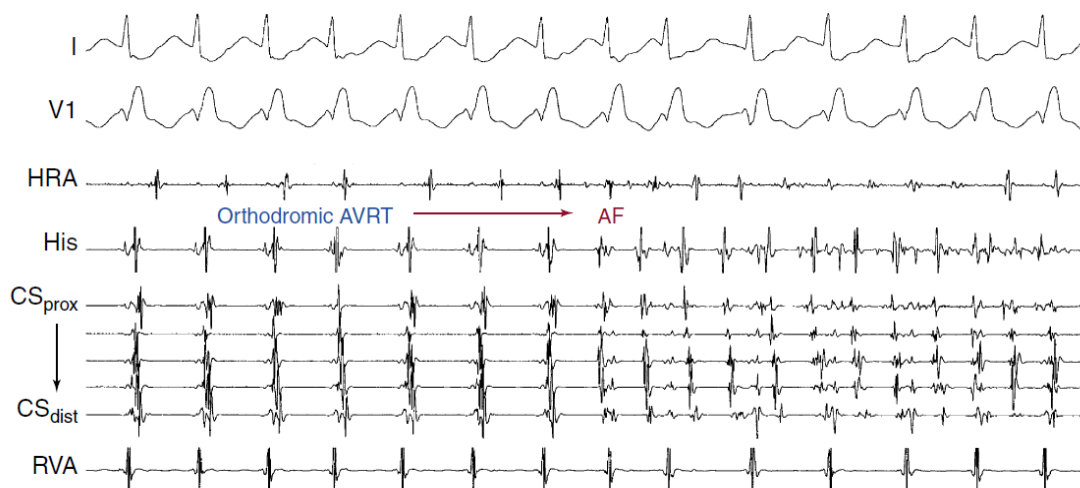
Fibrilácia siení je zhoršujúce sa ochorenie spojené so zvýšeným rizikom vzniku mŕtvice, zlyhania srdca a úmrtnosti. Rýchle kmitanie siení spôsobí, že krv v nich prestane správne prúdiť a vytvorí sa trombus. Trombus po odtrhnutí putuje do mozgu, kde upcháva cievku. U približne polovice pacientov, ktorí utrpeli počiatočnú epizódu sa do dvoch rokov vyvinie opakujúca sa fibrilácia. (1)

Mechanizmus vzniku fibrilácií nie je úplne známy a pravdepodobne ich spôsobujú rôzne okolnosti, napríklad skoré sieňové komplexy. Fibrilácia je udržiavaná viacerými (približne 6) mikroentry obvodmi. Ako potenciálne základy pre vznik AF boli navrhnuté štrukturálne a elektricky zmenené siene, starnutie a degradácia sieňového tkaniva, morfológické choroby srdca, ischémia myokardu, fibróza siení, hypoxia, genetické predispozície či drogy. (1) (2) (13)

Následkom fibrilácie sa prejaví strata koordinovanej kontrakcie siení, nepravidelná odozva komôr, vysoká frekvencia aj zníženie výkonu srdca až o 20%. Pacienti sa najčastejšie sťažujú na nepravidelný, rýchly pulz, nepohodlie na hrudi, ťažkosti pri dýchaní, únavu a závraty. Príznaky fibrilácie môžu byť často skryté. (1)

AF charakterizujú rýchle a nepravidelné fibrilačné vlny, nedostatok jasne definovaných P vln a báza striedajúca rozpoznateľnú aktivitu komôr so skoro rovnou čiarou. Príklad je vidieť na Obrázok 4, kde je znázornený prechod do fibrilácie. Siene kmitajú s frekvenciou od 350 do 600 úderov za minútu. Pri takto početných pulzoch sa synchronizované kontrakcie menia na nepravidelné zášklby, pozorované v intrakardiálnych elektrogramoch. Fibrilačné vlny vykazujú rôznu amplitúdu, morfológiu a intervaly. Tieto zmeny ukazujú na viaceré možné typy aktivácie siení z rozličných miest, v ten istý čas. Elektrogramy sú chaotické, neorganizované s rapídnu aktiváciou. (1)

Frekvencia komôr neliečených pacientov sa pohybuje v rozmedzí od 90 až do 170 úderov za minútu. Ak atrioventrikulárna kondukcia funguje, QRS komplexy sú úzke a fyziologické. Kvôli fyziologickým zmenám refraktérnej doby prevodného systému, zapríčineným náhlou zmenou frekvencie úderov, však dochádza k neprirodzenému prevodu vzruchu. (1)



Obrázok 4: Prechod AV reentry tachykardie do fibrilácie siení (prevzaté z (1), str. 292)

II = povrchový zvod, V1 = povrchový zvod, HRA = vrch pravej siene, His = Hisov zväzok, CS_{prox}/CS_{dist} = proximálna/distálna časť Koronárneho sínusu, RVA = hrot pravej komory

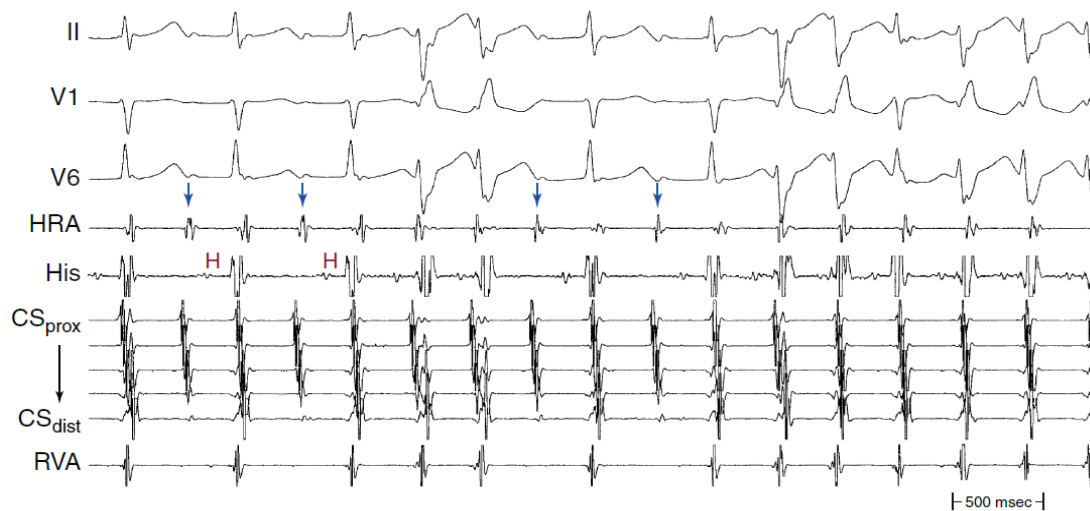
2.2.7 Atrioventrikulárna nodálna reentry tachykardia

Základom pre vznik atrioventrikulárnej nodálnej reentry tachykardie (AVNRT) je fyziológia AV uzla. Jeho plochou prechádza zásobovacia tepna, rozdeľuje ho na dve vetvy, a tak vzniká slučka. Je dôležité porozumieť tomu, že dvojité dráha je prítomná aj u zdravých jedincov, a jej výskyt nutne neurčuje reentry. Slučka je tvorená rýchlou dráhou s dlhou refraktérnou periódou a pomalou dráhou s krátkou refraktérnou periódou. Impulz sa nimi môže šíriť v oboch smeroch, anterogádne (zhora nadol) aj retrográdne (zdola, smerom hore). Pri sínusovom rytme prechádza impulz na komory smerom nadol cez rýchlu dráhu, pričom zablokuje anterogádny impulz z pomalej dráhy. Komory sú tak aktivované len cez rýchlu dráhu. (1) (2) (14)

Reentry vzniká v dôsledku sieňovej (ojedinele komorovej) extrasystoly, pri ktorej sa impulz prevedie na AV uzol v čase, kedy sa jeho časť (pomalá dráha) nenachádza v refraktérnej perióde. Najčastejšie sa vzruch šíri anterogádne po pomalej dráhe, prevedie sa na komory a ostane krúžiť po reentry slučke. Pri smere impulzu nahor cez rýchlu dráhu sú aktivované siene, vznikajú negatívne P vlny a opätovným šírením nadol po pomalej dráhe sa tvoria QRS komplexy. Impulz krúži s frekvenciou 120 až 250 za minútu a udáva rytmus myokardu. (2)

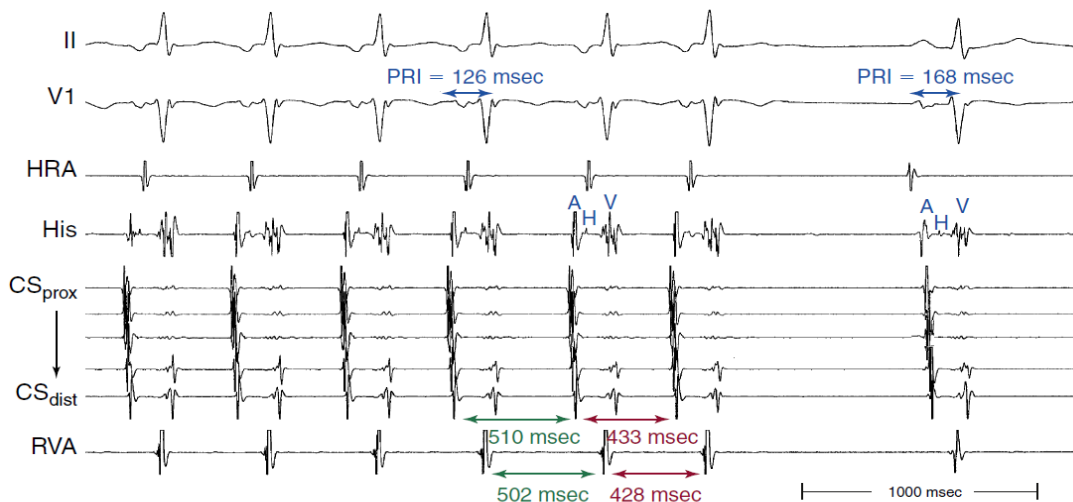
AVNRT zaraďujeme medzi paroxysmálne tachykardie, čo znamená, že vznikajú náhle a samostatne sa ukončujú. Ide o najčastejšiu supraventrikulárnu paroxysmálnu tachykardiu tvoriacu až 60% prípadov. Medzi spúšťacie faktory patrí najmä alkohol, stres, káva, energetické nápoje a únava. Epizódy môžu trvať pár sekúnd až niekoľko hodín. (1) (2)

Pri typickej AVNRT v povrchovom EKG zázname P vlny väčšinou nie sú viditeľné, kvôli súčasnej aktivite siení aj komôr (Obrázok 5). Súčasná aktivácia je viditeľná aj na CS elektrogramoch, kde dochádza ku prekrytiu. P vlna skresľuje začiatok (pseudo q kmit) alebo koniec (pseudo s kmit) QRS komplexu alebo leží priamo v ňom. Ak sa dajú rozoznať, tak sú menšie než pri sínusovom rytme a negatívne. RP interval je veľmi krátky (-40 až 75 milisekúnd) a nemení sa. Akcia srdca je pravidelná medzi 120 až 250 úderov za minútu s úzkymi QRS komplexmi (< 0,12 s). Výnimkou je netypická AVNRT, pri ktorej aktivácia siení predchádza QRS komplexom (Obrázok 6). Dĺžky cyklov sú väčšie a zmenami rýchlosti vedenia cez pomalú dráhu môže dochádzať ku variácii ich dĺžky. Prevod zo siení na komory býva v pomere 1:1, ale môže nastať prevod 2:1. (1) (15)



Obrázok 5: Záznam typickej AV nodálnej tachykardie (prevzaté z (1) , str. 387)

Šípky označujú blokáciu sieňového rytmu, ktorý neprechádza na komory (nie je viditeľný v elektrograme Hisovho zväzku), II = povrchový zvod, V1 = povrchový zvod, V6 = povrchový zvod, HRA = vrch pravej siene, His = Hisov zväzok, CS_{prox}/CS_{dist} = proximálna/distálna časť Koronárneho sínusu, RVA = hrot pravej komory



Obrázok 6: Záznam spontánneho ukončenia netypickej AVNRT, (prevzaté z (1), str. 394),
 PRI = P-R interval, A = sieň, H = Hisov zväzok, V = komora, II = povrchový zvod, V1 = povrchový zvod,
 HRA = vrch pravej siene, His = Hisov zväzok, CS_{prox}/CS_{dist} = proximálna/distálna časť Koronárneho
 sínusu, RVA = apex pravej komory

2.2.8 Atrioventrikulárna reentry tachykardia

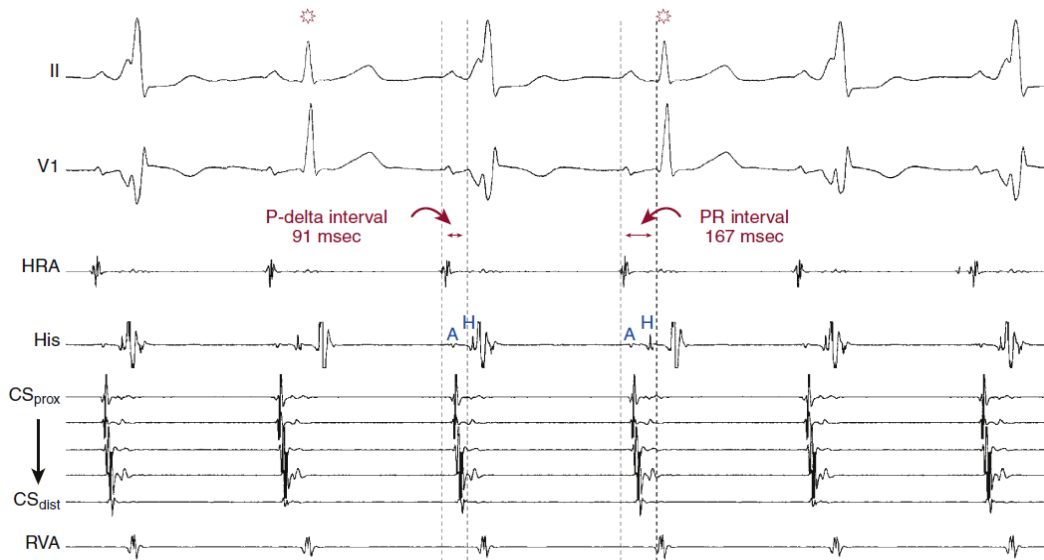
Atrioventrikulárna reentry tachykardia (AVRT) je na rozdiel od AV nodálnej reentry tychykardie (AVNRT) makroreentrantná. Impulz nie je sústredený v AV uzle, ale krúži medzi sieňami a komorami, cez AV uzol, prevodný systém a akcesórnu dráhu. Reentry spúšťa komorová alebo sieňová extrasystola. (2)

Akcesórne dráhy sú pozostatky spojení siení a komôr najčastejšie situované v ľavej stene srdca. Obchádzajú AV uzol aj His-Purkinje systém, čím je narušená prirodzená funkcia AV uzla. Rozlišujeme tri akcesórne dráhy: najčastejšie sa vyskytujúci Kentov zväzok (WPW syndróm), Jamesov zväzok (LGL syndróm) a Mahaimov zväzok (Mahaimov syndróm). (1)

U Wolff-Parkinson-White (WPW) syndrómu prevod na komory nastáva cez rýchlu akcesórnu dráhu. Výsledkom je aktivácia komôr skôr, ako na nich dorazí impulz z AV uzla. Preexcitácia sa spojí s pomalším impulzom z prevodného systému, čím je začiatok QRS komplexu typicky rozšírený a posunutý ku P vlne. PR interval je tým pádom skráteneý (< 120 ms) a QRS komplex rozšírený (> 120 ms). Táto oblasť pomalého vedenia impulzov, nazývaná delta vlna, je charakteristickým znakom WPW (Obrázok 7). Pri väčšom časovom odstupe ku spojeniu nedôjde a delta vlna nie je zaznamenaná (označené hviezdikami). (1) (16)

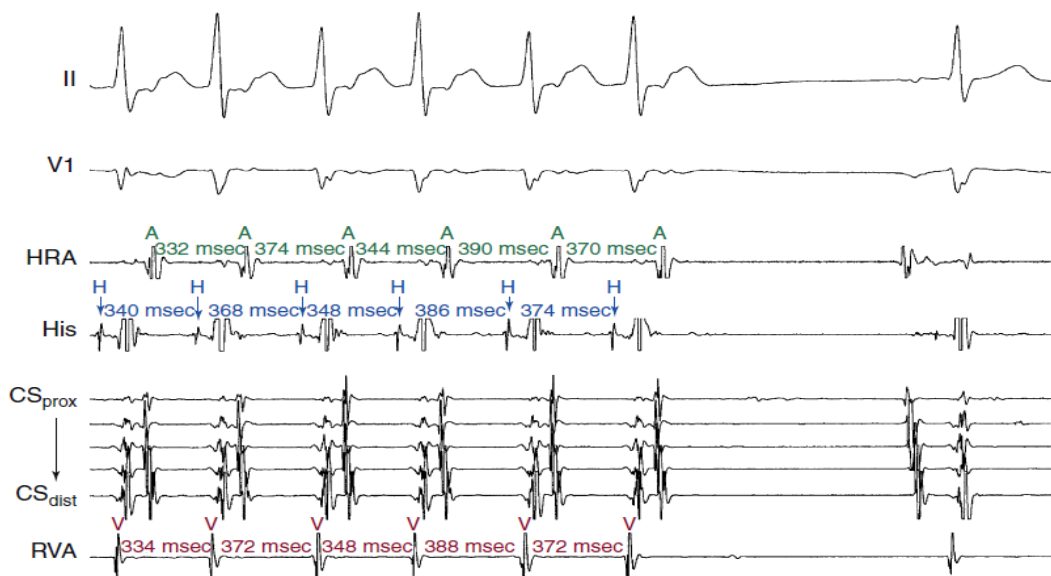
AVRT zaraďujeme do skupiny paroxysmálnych tachykardií. Podľa smeru krúženia impulzu rozoznávame prevažujúcu ortodrómnou (95%) a antidrómnou AVRT. Ortodrómne znamená správnou cestou. Impulzy sa šíria nadol cez AV uzol a prevodný systém, retrográdne akcesórnu spojku prechádzajú na siene. Vznikajú

tak negatívne P vlny, často skryté za T vlnami. Impulz krúži po reentry obvode s frekvenciou 150 až 250 za minútu. Komory sú aktivované ako pri sínusovom rytme, a tak môžu byť pozorovateľné úzke QRS komplexy bez delta vln (Obrázok 8). Keďže súčasťou obvodu sú siene aj komory, aktivácia siení vždy tesne nasleduje aktiváciu komôr a PR intervaly sú pomerne dlhé. Zmenou kondukcie sú pozorovateľné oscilácie dĺžky cyklu. (1) (2) (15)



Obrázok 7: Záznam WPW syndrómu s pravou akcesórnou dráhou (prevzaté z (1), str. 421)

II = povrchový zvod, V1 = povrchový zvod, HRA = vrch pravej siene, His = Hisov zväzok, CS_{prox}/CS_{dist} = proximálna/distálna časť Koronárneho sínusu, RVA = apex pravej komory



Obrázok 8: Záznam spontánneho ukončenia ortodrómej AVRT (prevzaté z (1), str. 433)

II, V1 = povrchové zvody, HRA = vrch pravej siene, His = Hisov zväzok, CS_{prox}/CS_{dist} = proximálna/distálna časť Koronárneho sínusu, RVA = hrot pravej komory, A = aktivita siení, V = aktivita komôr

3 DETEKCIA SIEŇOVEJ AKTIVITY

Cieľom praktickej časti bakalárskej práce bolo navrhnuť a v prostredí Matlab zrealizovať detektor sieňovej aktivity v intrakardiálnych záznamoch, snímaných z Koronárneho sínusu (CS). Najprv bola vytvorená databáza z dostupných súborov, následne boli CS záznamy anotované a spracované. Na základe anotácie bola vyhodnotená úspešnosť algoritmu. Výsledok detekcie bol nakoniec použitý na automatické rozpoznanie sieňového rytmu.

3.1 Dáta

Dátová zostava použitá pre účely práce pozostáva zo 100 záznamov. Každý záznam obsahuje informácie z dvanástich povrchových zvodov (Einthovenove I, II, III; Goldbergerove aVR, aVL, aVF; Wilsonove V1 – V6) a siedmich intrakardiálnych, snímaných na Koronárnom sínuse (CS5 – CS1), a Hisovom zväzku (HIS2, HIS1). Jednotlivé elektrogramy boli nasnímané na pacientoch FN Brno, zahŕňajú fyziologické aj patologické priebehy rôznych druhov tachykardií.

Záznamy sú predspracované pásmovou zádržou na 50 Hz, hornou priepusťou na 0,5 Hz a dolnou priepusťou na 40 Hz. Vzorkovacia frekvencia je 2000 Hz, rozlišovacia schopnosť 0,1 μ V. Ich dĺžky sú rôzne od najkratšieho 1,31s záznamu po 46,68s. Dáta boli poskytnuté vedúcim semestrálnej práce.

Na extrakciu sieňovej aktivity boli použité intrakardiálne záznamy. Konkrétne, aktivita snímaná elektródou umiestnenou na koronárnom sínuse. Pri práci s intrakardiálnymi elektrogrammi (EGM) je dôležité pochopiť ich odlišnosť od povrchových elektrokardiogramov (EKG). Zatiaľ čo EKG snímané z povrchu tela predstavujú sumáciu elektrickej aktivity, EGM sú snímané priamo v štruktúrach srdca. Znázorňujú teda lokálnu aktivitu v najbližšom okolí snímacích elektród.

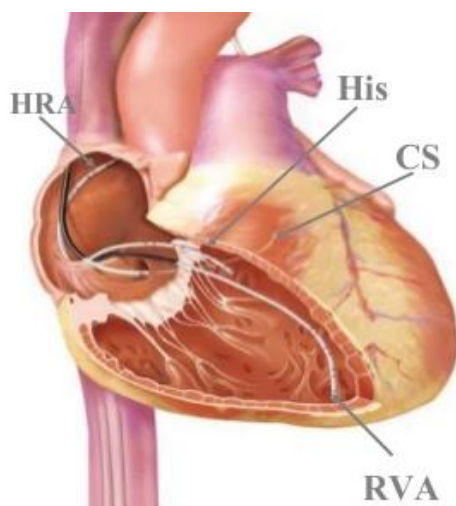
3.1.1 Elektrogramy koronárneho sínusu

CS elektrogramy sú snímané bipolárne, to znamená ako rozdiel potenciálov medzi dvoma elektródami v tesnej blízkosti, s priamym kontaktom so srdečným myokardom. Aktivita z ďalekého poľa a šum prítomné v oboch unipolárnych záznamoch sa tým pádom vyrušia. Výhodou bipolárnych EGM je rozlíšenie medzi blízkou a vzdialenou aktivitou. Naopak ich nevýhoda je citlivosť na smer šírenia depolarizačnej vlny, kedy v prípade vlny kolmej na katéter zmena napätia nie je správne zaznamenaná. EGM snímané z koronárneho sínusu zaznamenávajú aktivitu siení aj komôr, pričom aktivita siení má typicky väčšiu amplitúdu. (17) (18)

Koronárny sínus (CS) je hlavná žilová štruktúra srdca, takzvaný zberný kmeň žilového odtoku. Nachádza sa na pomedzí zadnej steny ľavej siene a komory. Vedie väčšiu časť odkysličenej krvi zo svaloviny ľavej komory, posteriórnej časti pravej komory aj sieňového myokardu naspäť do pravej siene. (2) (19)

Vďaka výhodnej polohe koronárneho sínusu, v blízkosti ľavej siene aj ľavej komory, je pomocou zavedeného katétru možné snímať šíriacu sa sieňovú aj komorovú aktivitu. Elektrogramy snímané z tejto oblasti bývajú stabilné vďaka stálej polohe katétru. Ich ďalšou výhodou je, že sú získané informácie z ľavej siene, pričom katéter nie je v priamom kontakte s telovým krvným obehom, a teda nie je nutné použitie antikoagulačných látok. (20) (21)

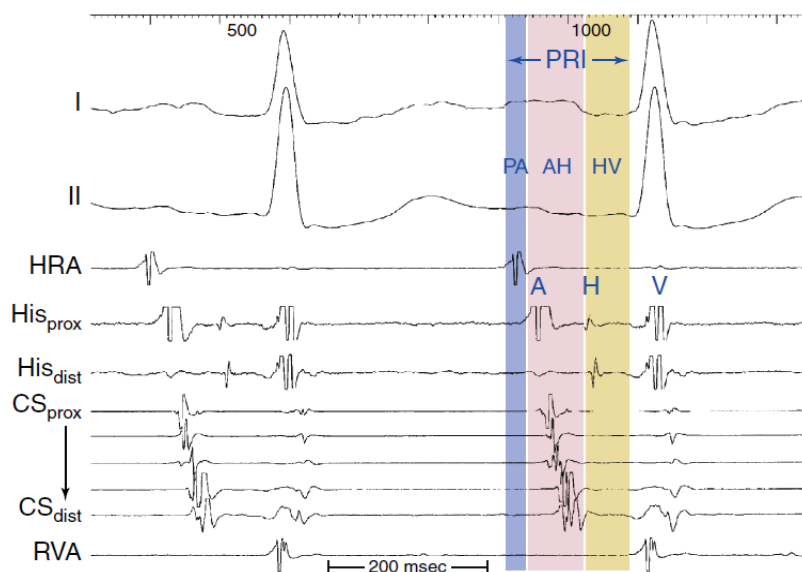
Najbližšie elektródy sú typicky umiestnené bližšie ku sieňam, zaznamenávajú tak lokálne, ostré sieňové elektrogramy a slabé komorové komplexy. Naopak, distálne elektródy CS katétru sa nachádzajú bližšie ku ľavej komore, tým pádom záznam vykazuje menej ostrú, slabú sieňovú aktivitu a ostrejšie, väčšie komorové elektrogramy. Katéter môže byť zavedený zvrchu cez podkľúčnu/krčnú žilu alebo zo spodu cez femorálnu žilu (Obrázok 9). (22)



Obrázok 9: Ukážka umiestnenia intrakardiálnych katérov (prevzaté z (23))

katéter umiestnený na: HRA = vrch pravej siene, His = Hisov zväzok, CS = Koronárny sínus, RVA = hrot pravej komory

Pri normálnom sieňovom rytme je vidieť, ako aktivácia siení postupuje od proximálnych elektród distálne (Obrázok 10). Avšak, posun aktivácie zaznamenaný jednotlivými elektródami závisí na presnom umiestnení katétru v CS, a na prítomnosti tachykardie. V niektorých prípadoch sa vyskytuje súčasná alebo nerovnomerná aktivácia. V intrakardiálnych záznamoch rozoznávame tri zóny: PA (P vlna-sieňový interval), AH (interval sieňový-Hisov zväzok) a HV (interval prevodu od Hisovho zväzku po komory). Pre účely tejto práce je dôležitá časť AH vyznačená ružovou, reprezentujúca aktiváciu siení, ktorá bude detekovaná. (1)



Obrázok 10: Vyznačenie intervalov v intrakardiálnych záznamoch; (prevzaté z (1))

I-II = vonkajšie zvody, HRA = vrch pravej siene, His_{prox}/His_{dist} = proximálna/distálna časť Hisovho zväzku, CS_{prox}/CS_{dist} = proximálna/distálna časť Koronárneho sínusu, RVA = hrot pravej komory

3.1.2 Vytvorenie databázy

Dáta boli exportované do programu Matlab a prvým krokom bolo vytvorenie databázy z dostupných záznamov. Databáza s názvom Data obsahuje názvy súborov, ich dĺžky, vzorkovacie frekvencie, diagnózu určenú odborníkom a jednotlivé záznamy z 19 zvodov pre každý zo 100 súborov. Poskytnuté súbory sú vo formáte .json (JavaScript Object Notation), teda štandardnom textovom formáte výmeny údajov a môžu byť otvorené ako textový súbor. Následne však musia byť parsované pomocou funkcie `jsondecode`.

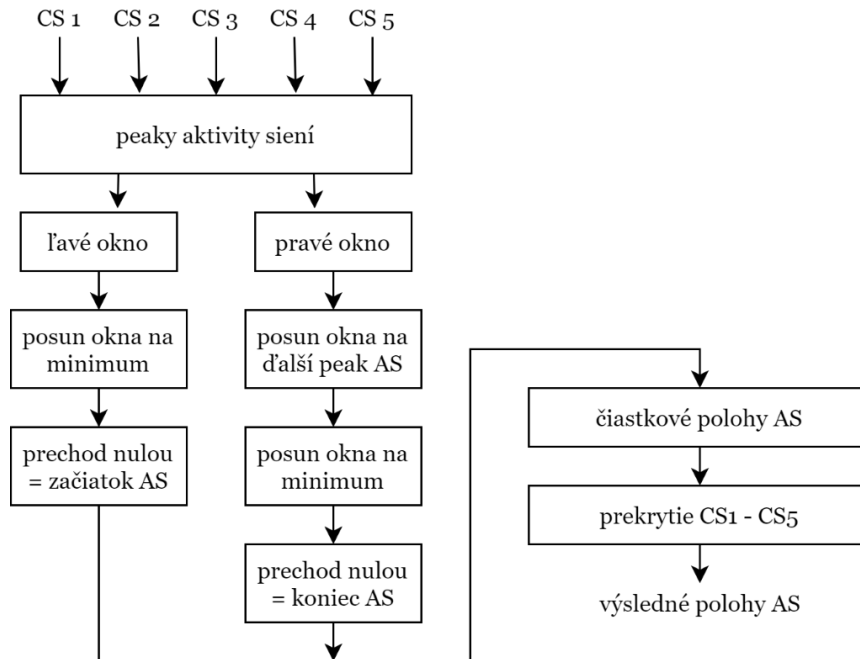
Do databázy boli postupne priradované binárne vektory získané anotáciou a detekciou sieňových aktivít.

3.1.3 Anotácia

Na skvalitnenie procesu anotácie bolo vytvorené grafické používateľské rozhranie s názvom `Annotation_gui`. V programe je možné jednotne približovať a prispôbovať všetkých päť CS záznamov naraz, a následne pomocou funkcie `ginput` označiť predpokladané začiatky a konce jednotlivých sieňových aktivít. Na kontrolu je spolu s CS elktrogrammi zobrazený aj jeden povrchový záznam pre rozoznávanie medzi komorovou a sieňovou aktivitou. Po uložení sa vytvorí binárny vektor, kde jednotky predstavujú výskyt aktivity siení a zapíše sa do databázy. Program taktiež obsahuje funkciu na následné zobrazenie a porovnanie výsledku detekcie s anotáciou a výsledku klasifikácie.

3.2 Realizácia

V nasledujúcej časti je popísaný postup spracovania CS záznamov a detekcia oblastí aktivity siení. Na docielenie výsledku bol navrhnutý vlastný algoritmus. Jeho postup je znázornený na Obrázok 11.



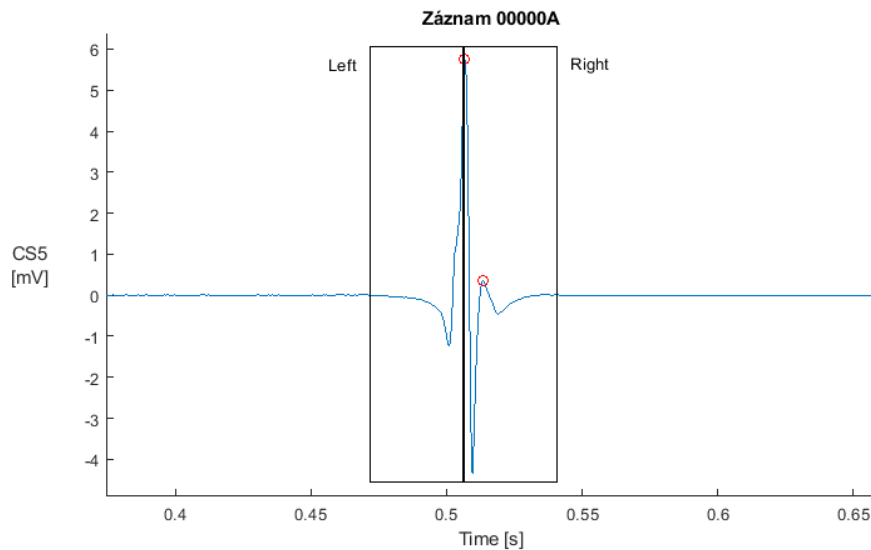
Obrázok 11: Detektor aktivity siení

Algoritmus detekujúci dĺžku trvania aktivity siení je založený na tvare odpovedajúcej aktivácii siení. Tá sa skladá z najmenej dvoch pozitívnych vln obklopených negatívnymi. Zmeny amplitúdy sú rýchle a nepravidelné. Prejavy jednotlivých aktivít siení sa líšia záznam od záznamu, ale aj medzi jednotlivými CS zvodmi jedného záznamu. Každý z piatich CS elektrogramov bol spracovaný osobitne a finálny výsledok bol dosiahnutý prekrytím jednotlivých detekcií.

Ako prvé, bola využitá funkcia `findpeaks`, ktorá vyhľadala maximá pozitívnych vln (peaky) v CS zázname (Obrázok 14, červeným). Hľadanie peakov bolo uskutočnené na základe ich prominencie. Prominencia je parameter, ktorý určuje ako daný pík vyniká svojou výškou v závislosti na jeho okolí. Výška je takto počítaná od vyššieho minima z pravého alebo ľavého okolia peaku a nie od nuly. Minimálna prominencia detekcie bola nastavená na hodnotu 0,25, čo zabezpečilo, že hľadanie nebolo ovplyvnené kolísaním izolácie, šumom prípadne aktivitou komôr.

Následne boli v okolí prvého peaku, príslušnému k danému sieňovému komplexu, vytvorené dve okná, ktoré boli neskôr posúvané na spresnenie detekcie. Jedno na ľavej strane od peaku, druhé na pravej. Okná vymedzujú oblasti, v ktorých bude hľadaný začiatok a koniec aktivity a obe sú o veľkosti 50 vzoriek. Spolu majú

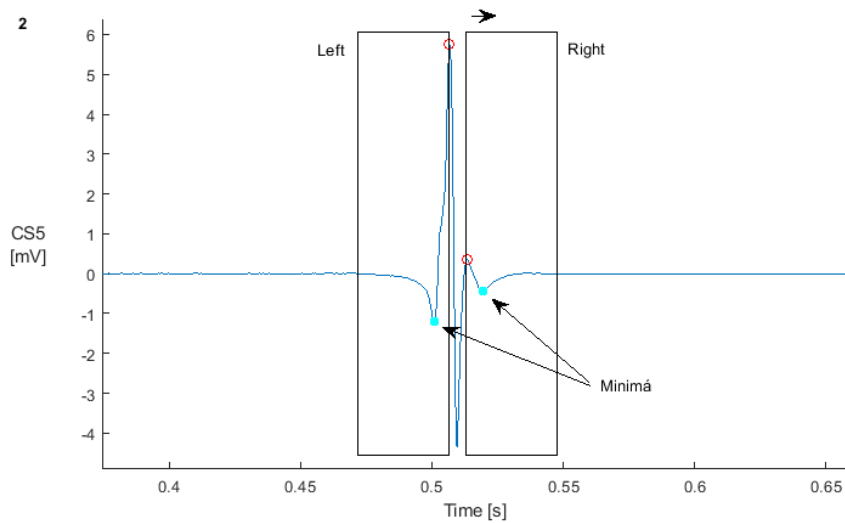
okná veľkosť 100 vzoriek, čo odpovedá 0,05 sekundám. Tento interval je dostatočne dlhý aby sa do neho vošiel celý sieňový komplex.



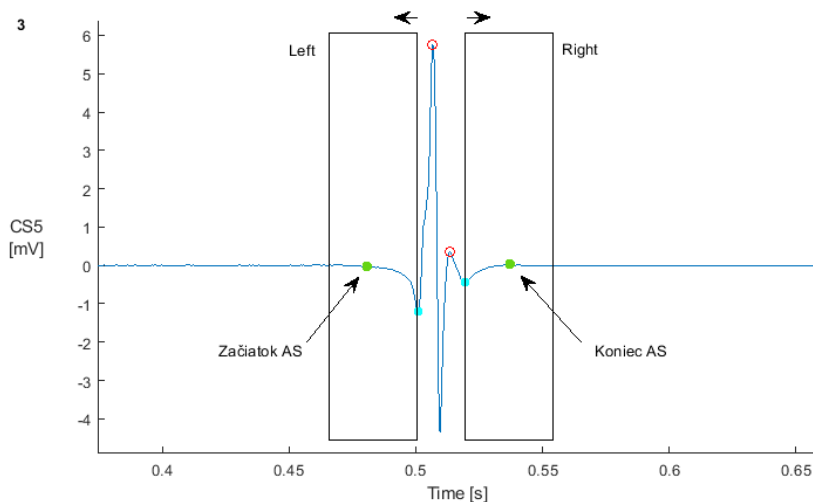
Obrázok 12: Ukážka začiatku detekcie

Hľadanie začiatku sieňovej aktivity prebieha v niekoľkých krokoch. Vieme, že aktuálny vrchol je prvý v poradí z komplexu vrcholov aktivity siene, a že sa pred ním vo väčšine prípadov nachádza negatívna vlna. V ľavom okne bolo teda nájdené minimum predstavujúce vrchol negatívnej vlny (Obr.13, vyznačené farbou cyan) a okno bolo posunuté tak, aby jeho koniec ležal na nájdenom minime (Obr.14). Nakoniec bol v novom, ľavom okne vyhladaný začiatok aktivity, ako najbližší kladný bod minimu (Obr.14, vyznačené zeleným kruhom). V prípade, že sú všetky prvky okna negatívne sa ukázalo za korektné, určiť počiatok ako strednú hodnotu minima a maxima daného okna.

Hľadanie konca sieňovej aktivity sa odohráva obdobne, s krokom navyše. Vieme, že v komplexe peakov sa nachádzajú najmenej dva peaky. Preto bolo najprv potrebné nájsť posledný peak patriaci do komplexu sieňovej aktivity. Týmto bol umožnený posun pravého okna na miesto posledného píku v komplexe (Obr.13). Ak by sa tak nestalo, koniec by bol detekovaný skôr než sa vyskytuje reálny koniec komplexu. Opäť nasledovala detekcia minima v pravom okne, posun okna na hodnotu minima a hľadanie najbližšieho miesta prechodu nulou, teda ukončenia sieňovej aktivity (Obr.č.14, vyznačené zeleným kruhom).



Obrázok 13: Ukážka detekcie



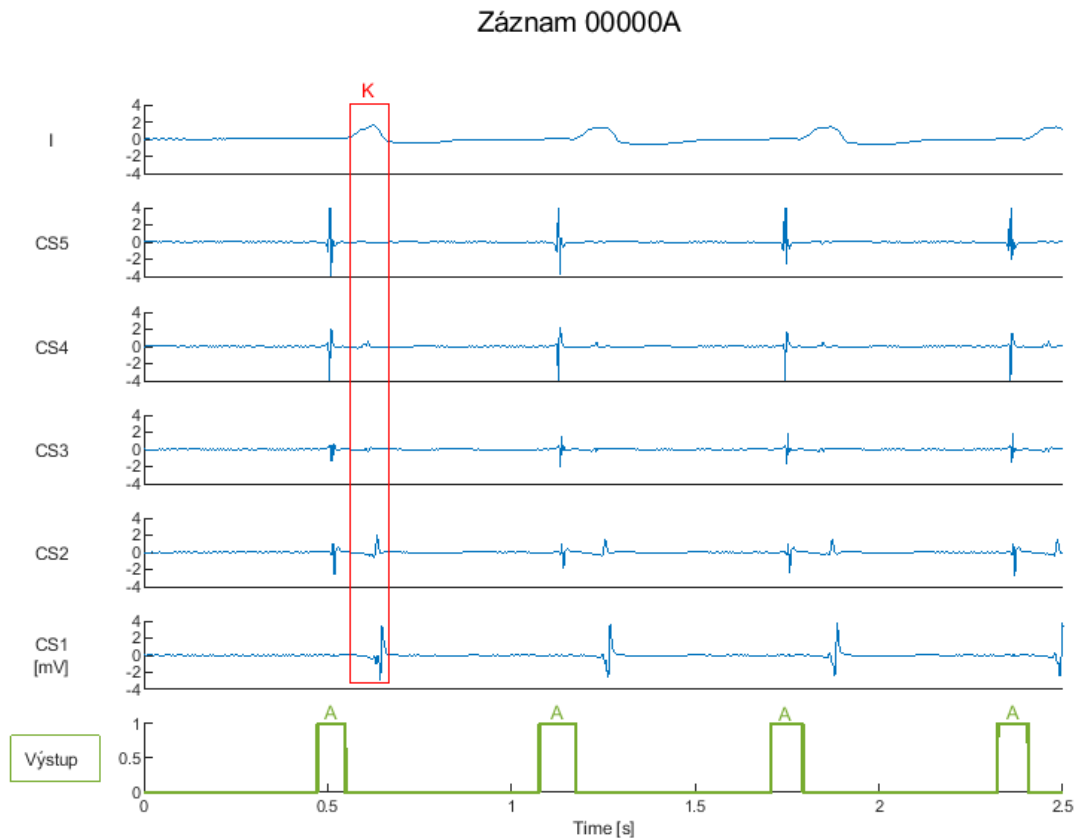
Obrázok 14: Ukážka hľadania začiatku a konca aktivity siene

Malé percento z elektrogramov aktivity siení však nezapadá do tvarovej klasifikácie, na základe ktorej je detekcia postavená a skladajú sa len z jednej pozitívnej vlny. Na dosiahnutie lepšej efektívnosti algoritmu bol teda pridaný krok, ktorý zachytí depolarizáciu siene aj v takomto prípade. Tu však nastáva riziko zachytenia aktivity komôr. Aktivita komôr sa v elektrogramoch z koronárneho sínusu prejavuje rôznorodo. Mení sa jej tvar aj amplitúda. Je to spôsobené polohami elektród CS katétru. Distálna časť katétru je umiestnená bližšie ku komorám, čo sa zväčša prejaví vyššou amplitúdou. Celkovo však máva aktivita komôr menšiu amplitúdu ako sieňová, čo bolo využité pri detekcii. Vrcholy nájdené v prvom kroku, ktoré sú samostatne stojace sú podrobené podmienke na predpoklade nadpriemernosti peaku. Priemer je vypočítaný zo všetkých nájdených vrcholov. V

prípade, že je nájdený peak vyšší než priemer, detekcia jeho začiatku a konca pokračuje. Ak nie, je považovaný za aktivitu komôr a detekčné okno sa posúva na nasledujúci peak.

Ako posledný krok detekcie boli vytvorené binárne vektory pre každý z piatich CS elektrogramov, rovnakej dĺžky ako CS záznam. Kde jednotky predstavujú prítomnosť aktivity siení od určeného začiatku po určený koniec. Finálny vektor pre každého pacienta bol vytvorený prekrytím binárnych vektorov všetkých CS elektrogramov (5 záznamov). Týmto spôsobom bolo docielené, že v detekcii je zahrnutý priebeh šíriacej sa depolarizačnej vlny prejavujúci sa časovým posunom jednotlivých elektrogramov od proximálnej ku distálnej časti katétru.

Výsledný vektor prešiel nakoniec kontrolou správnosti, pri ktorej bolo odstránené prekrytie menšie alebo rovné 1, čo zabezpečilo, že artefakty, prípadný šum či komorové aktivity neboli brané do úvahy. Ukážka výstupu je na obrázku 15 v spodnej časti, zelenou farbou.



Obrázok 15: Ukážka výstupu detekcie (posledný záznam) v porovnaní s pôvodnými CS signálmi
K=Komorová aktivita, A=Aktivita siení

3.3 Vyhodnotenie algoritmu

Na zistenie spoľahlivosti navrhnutého algoritmu detekcie sieňových aktivácií boli výsledky, získané algoritmom, porovnané s manuálne anotovanými záznamami. Ako spôsob kvantifikovania výkonnosti boli zvolené dva základné štatistické parametre, senzitivita a pozitívna prediktívna hodnota testu.

Na umožnenie ich výpočtu boli pre každý záznam spočítané všetky skutočne pozitívne, falošne negatívne a falošne pozitívne detekované oblasti výskytu sieňových aktivít, a to nasledovne:

SP (Skutočne pozitívny) - parameter určujúci počet detekcií, ktorých poloha sa zhoduje s manuálne určenou polohou, teda ležiacich v rámci referenčných bodov, algoritmus aktivitu siene vyhľadal správne;

FN (Falošne negatívny) - parameter určujúci počet detekcií, ktoré v rámci referenčnej oblasti nenastali, algoritmus aktivitu siene nezachytil;

FP (Falošne pozitívny) - parameter určujúci počet detekcií, ktoré nastali v oblasti mimo referenčných pozícií, aktivita bola označená aj napriek tomu, že sa na danom mieste nevyskytuje.

Výsledky sú zosumarizované v

Tabuľka 1. Z týchto parametrov mohla byť určená senzitivita a pozitívna prediktívna hodnota algoritmu.

Senzitivita (Se) určuje mieru schopnosti algoritmu pozitívne indikovať hľadaný úsek signálu. Udáva teda pravdepodobnosť, že algoritmus správne rozozná a určí hľadanú oblasť. Vypočítame ju pomocou vzorca:

$$Se = \frac{\text{počet skutočne pozitívnych}}{\text{počet skutočne pozitívnych} + \text{počet falošne negatívnych}}$$

Pozitívna prediktívna hodnota (PPV, z angl. positive predictive value) udáva pravdepodobnosť, že pozitívne určený výsledok je naozaj pozitívny. Vypočítame ju pomocou vzorca:

$$PPV = \frac{\text{počet skutočne pozitívnych}}{\text{počet skutočne pozitívnych} + \text{počet falošne pozitívnych}} \quad (24) \quad (25)$$

Tabuľka 1: Parametre jednotlivých záznamov, vypočítané hodnoty senzitivity a pozitívnej prediktívnej hodnoty

Číslo	Meno	SP	FP	FN	Se (%)	PPH (%)
1	00000A	17	1	0	100,00	94,44
2	00000B	56	53	4	93,33	51,38
3	00000C	16	0	0	100,00	100,00
4	00000D	38	0	0	100,00	100,00
5	00000E	33	1	0	100,00	97,06
6	00000F	32	0	0	100,00	100,00
7	000001	29	0	0	100,00	100,00
8	00001A	28	0	0	100,00	100,00
9	00001B	24	0	0	100,00	100,00
10	00001C	50	0	0	100,00	100,00
11	00001D	16	0	0	100,00	100,00
12	00001E	42	0	0	100,00	100,00
13	00001F	20	0	0	100,00	100,00
14	000002	21	0	0	100,00	100,00
15	00002A	63	4	5	92,65	94,03
16	00002B	15	1	0	100,00	93,75
17	00002C	32	0	0	100,00	100,00
18	00002D	29	0	0	100,00	100,00
19	00002E	18	0	0	100,00	100,00
20	00002F	87	2	4	95,60	97,75
21	000003	7	0	0	100,00	100,00
22	00003A	21	0	0	100,00	100,00
23	00003B	19	0	0	100,00	100,00
24	00003C	25	0	0	100,00	100,00
25	00003D	45	0	0	100,00	100,00
26	00003E	26	0	0	100,00	100,00
27	00003F	3	0	0	100,00	100,00
28	000004	57	0	0	100,00	100,00
29	00004A	4	0	0	100,00	100,00
30	00004B	82	0	0	100,00	100,00
31	00004C	24	0	0	100,00	100,00
32	00004D	22	0	0	100,00	100,00
33	00004E	64	0	0	100,00	100,00
34	00004F	20	0	0	100,00	100,00
35	000005	21	0	0	100,00	100,00

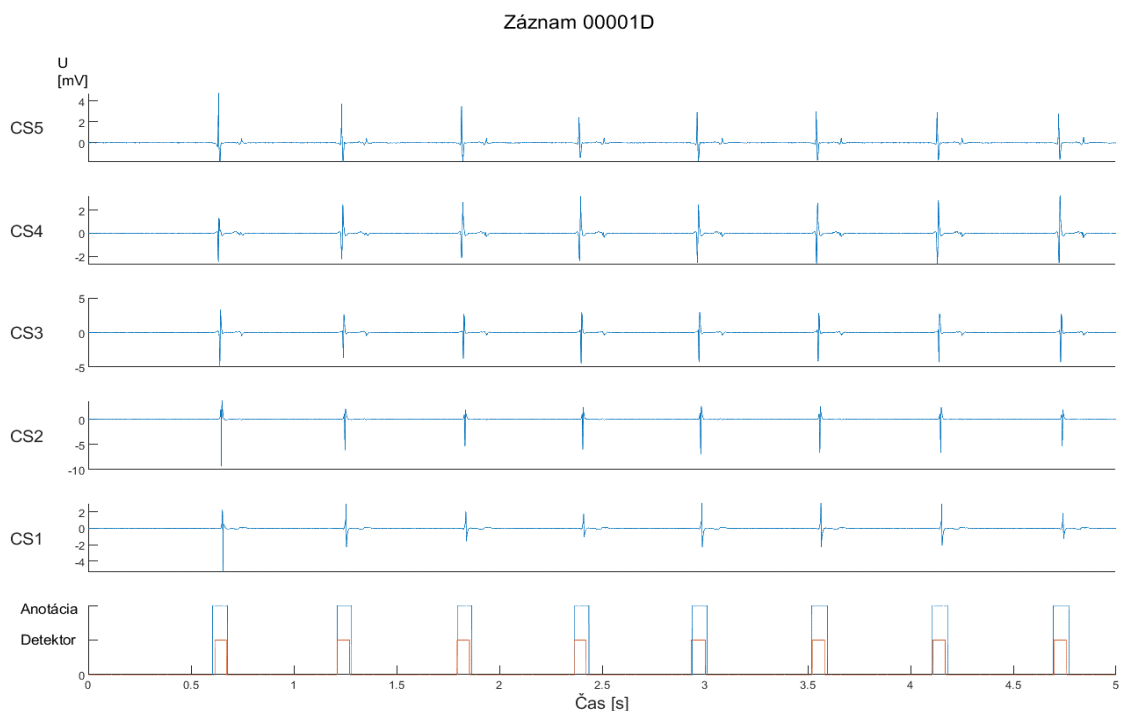
36	00005A	50	0	0	100,00	100,00
37	00005B	15	13	0	100,00	53,57
38	00005C	60	0	0	100,00	100,00
39	00005D	25	14	0	100,00	64,10
40	00005E	18	0	0	100,00	100,00
41	00005F	23	0	0	100,00	100,00
42	000006	12	0	0	100,00	100,00
43	000007	18	0	0	100,00	100,00
44	000008	33	0	0	100,00	100,00
45	000009	30	0	0	100,00	100,00
46	000010	19	0	0	100,00	100,00
47	000011	16	0	0	100,00	100,00
48	000012	48	0	0	100,00	100,00
49	000013	24	0	0	100,00	100,00
50	000014	1	0	53	1,85	100,00
51	000015	21	0	4	84,00	100,00
52	000016	36	0	0	100,00	100,00
53	000017	25	0	0	100,00	100,00
54	000018	76	0	0	100,00	100,00
55	000019	82	0	0	100,00	100,00
56	000020	46	0	0	100,00	100,00
57	000021	38	0	0	100,00	100,00
58	000022	26	0	0	100,00	100,00
59	000023	15	0	0	100,00	100,00
60	000024	47	0	0	100,00	100,00
61	000025	80	0	0	100,00	100,00
62	000026	96	0	3	96,97	100,00
63	000027	29	0	0	100,00	100,00
64	000028	37	0	0	100,00	100,00
65	000029	51	2	0	100,00	96,23
66	000030	84	0	0	100,00	100,00
67	000031	25	0	0	100,00	100,00
68	000032	46	0	0	100,00	100,00
69	000033	19	0	0	100,00	100,00
70	000034	19	0	0	100,00	100,00
71	000035	31	0	0	100,00	100,00
72	000036	45	0	0	100,00	100,00
73	000037	22	0	0	100,00	100,00

74	000038	21	0	0	100,00	100,00
75	000039	21	0	0	100,00	100,00
76	000040	43	0	0	100,00	100,00
77	000041	31	0	0	100,00	100,00
78	000042	31	0	0	100,00	100,00
79	000043	24	1	0	100,00	96,00
80	000044	63	0	0	100,00	100,00
81	000045	24	0	0	100,00	100,00
82	000046	52	1	2	96,30	98,11
83	000047	68	0	0	100,00	100,00
84	000048	11	0	49	18,33	100,00
85	000049	14	0	2	87,50	100,00
86	000050	24	0	0	100,00	100,00
87	000051	93	0	0	100,00	100,00
88	000052	2	2	0	100,00	50,00
89	000053	16	0	4	80,00	100,00
90	000054	62	0	0	100,00	100,00
91	000055	65	0	0	100,00	100,00
92	000056	30	0	0	100,00	100,00
93	000057	27	0	6	81,82	100,00
94	000058	55	0	0	100,00	100,00
95	000059	94	0	1	98,95	100,00
96	000060	59	0	0	100,00	100,00
97	000061	33	0	0	100,00	100,00
98	000062	39	0	0	100,00	100,00
99	000063	112	3	8	93,33	97,39
100	000064	52	0	3	94,55	100,00
Spolu		3660	98	148	96,11	97,39
Priemerná hodnota:					97,15	97,84

3.3.1 Ukážky detekcie

Výsledok štatistického ohodnotenia je senzitivita 97,15% a pozitívna prediktívna hodnota 97,84%. Väčšina záznamov (87%) vykazovala hodnotu senzitivity a pozitívnej prediktívnej hodnoty 100%. Ako príklad je uvedený záznam číslo 11 (00001D). Ide o záznam sínusového rytmu, pri ktorom bolo správne vyhl'adaných všetkých 16 sieňových aktivít a nedošlo ku nesprávnemu označeniu. Depolarizačná vlna siení postupuje od proximálnej časti katétru ku distálnej a aktivity komôr majú malé amplitúdy, čím nenarúšajú detekciu. Na Obrázok 16 je zobrazených všetkých 5 elektrogramov snímaných z koronárneho sínusu, na ktoré bol aplikovaný algoritmus a v spodnej časti sa nachádza porovnanie manuálnej anotácie (modrou farbou) s výsledkom detekcie (červenou). Vektory sa zhodujú s minimálnymi odchýlkami v stotínach sekundy. Všetky prekrytia sú teda klasifikované ako skutočne pozitívne výsledky.

Pre lepšie znázornenie je zo záznamu 11 aj ďalších záznamov zobrazený len časový úsek 5 sekúnd. Záznamy sú totiž príliš dlhé. Na zobrazenie celých záznamov aj s porovnaním je možné využiť vytvorenú aplikáciu Annotation_gui.



Obrázok 16: Ukážka úspešnej detekcie sieňovej aktivity

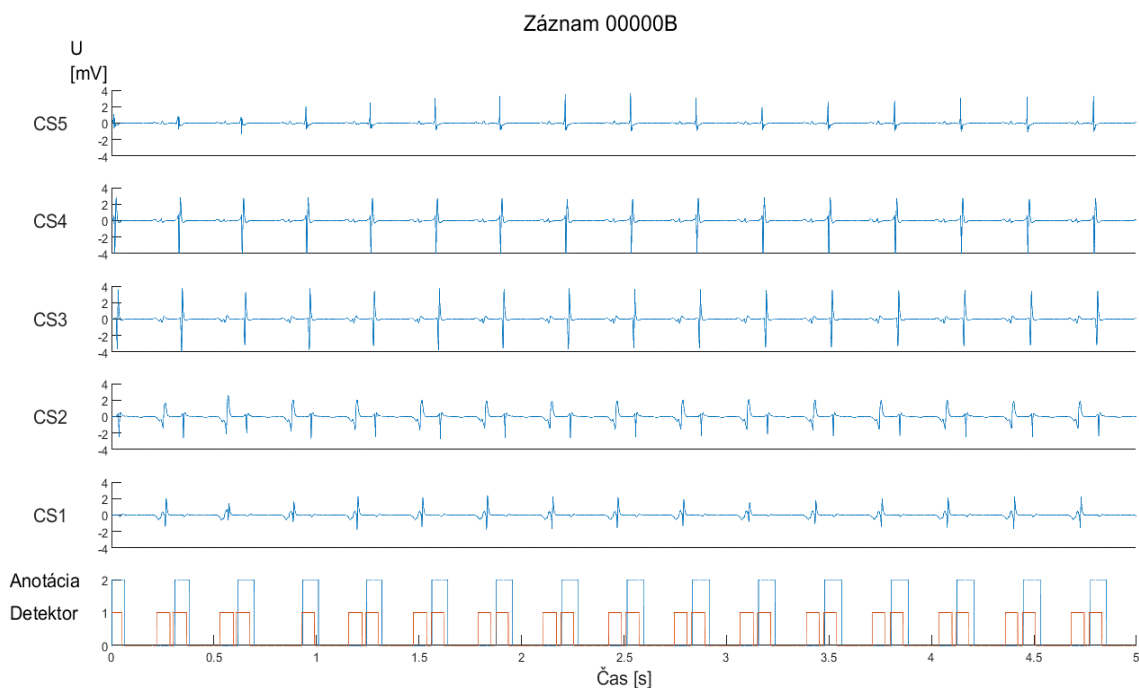
CS 5-1 = koronárny sínus (proximálna-distálna časť)

Z celkového počtu 100 záznamov boli zaznamenané problémy u piatich z nich. V nasledujúcich ukážkach sa zameriam práve na záznamy, pri ktorých urobil algoritmus najviac chýb.

Nasledujúci záznam číslo 2 (00000B) bol nasnímaný pacientovi s AV reentry tachykardiou (Obrázok 17). Zo 60-tich sieňových aktivít boli správne zaznamenané skoro všetky, 4 zachytené neboli. V tomto prípade detektor zlyhal v rozpoznávaní sieňového rytmu od komorového a označil 53 nežiadúcich oblastí navyše. Ide teda o falošne pozitívne výsledky. PPV je len 51,38%. Označenie komorovej aktivity môže byť spôsobené viacerými dôvodmi. CS katéter bol pravdepodobne umiestnený bližšie ku komorám, komorová aktivita má teda vyššiu amplitúdu ako je bežné a pripomína aktivitu siení. Bola nájdená minimálne v 3 záznamoch, čím ju ani posledný krok detekcie nepovažoval za nežiadúcu.

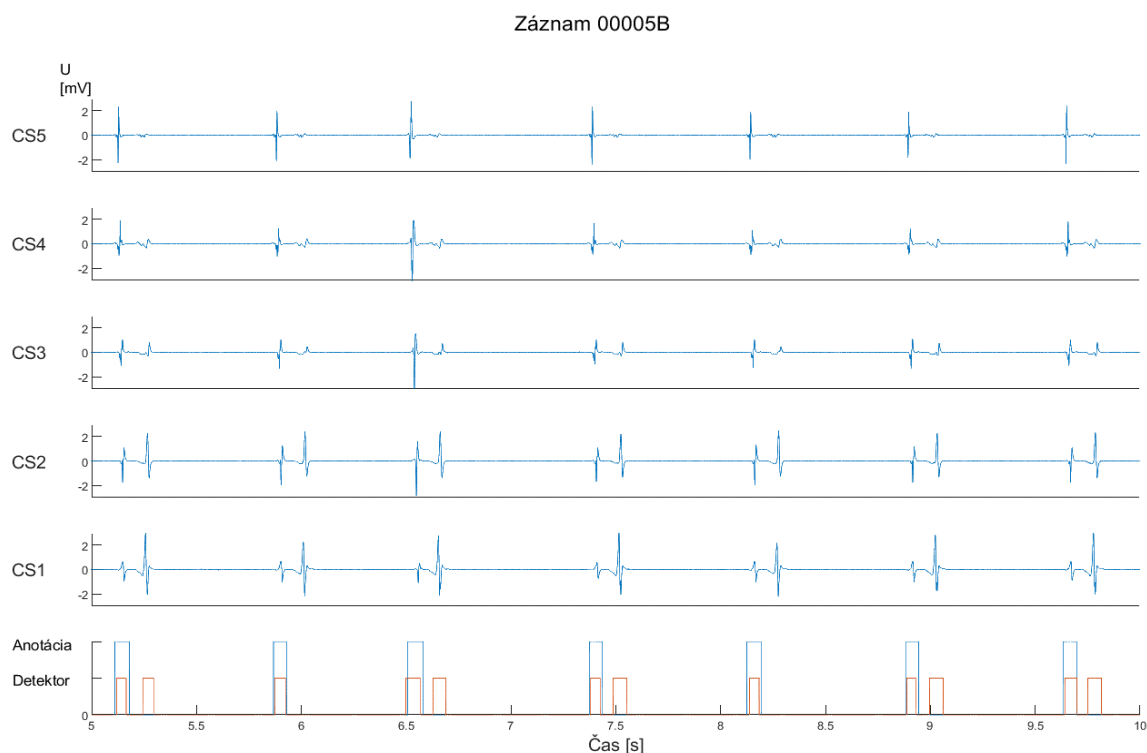
Aktivita komôr sa v CS záznamoch prejavuje rôznorodo. Aby detekcia v tomto prípade prebehla správne by bolo vhodné komorové depolarizácie zo záznamov odstrániť. Daný krok bol pôvodne do algoritmu zahrnutý, no v prípadoch kedy boli siene a komory depolarizované naraz, dochádzalo ku skresleniu signálu a veľkému počtu falošne negatívnych detekcií. Vynechaním tohto kroku bolo dosiahnuté zlepšenie celkového výsledku.

Rovnaká situácia nastala aj pri zázname číslo 37 (00005B). Jedná sa o sínusový rytmus (Obrázok 18). Aj keď senzitivita je 100 %, PPV je 53,57 %. Aktivita komôr je zaznamenaná kvôli pridanému kroku detekcie jednovrcholových aktivít, lebo peaky sú nadpriemernej výšky.



Obrázok 17: Ukážka zlyhania detektoru na zázname č.2

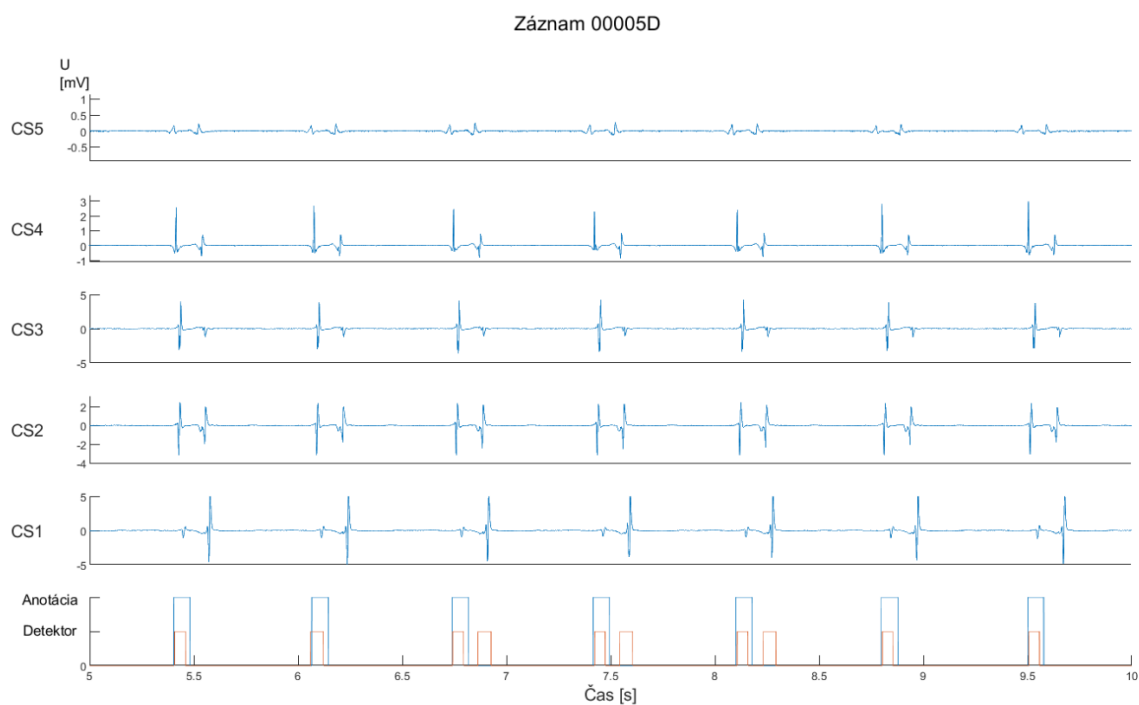
CS 5-1 = koronárny sínus (proximálna-distálna časť)



Obrázok 18: Ukážka chyby detekcie na zázname č.37

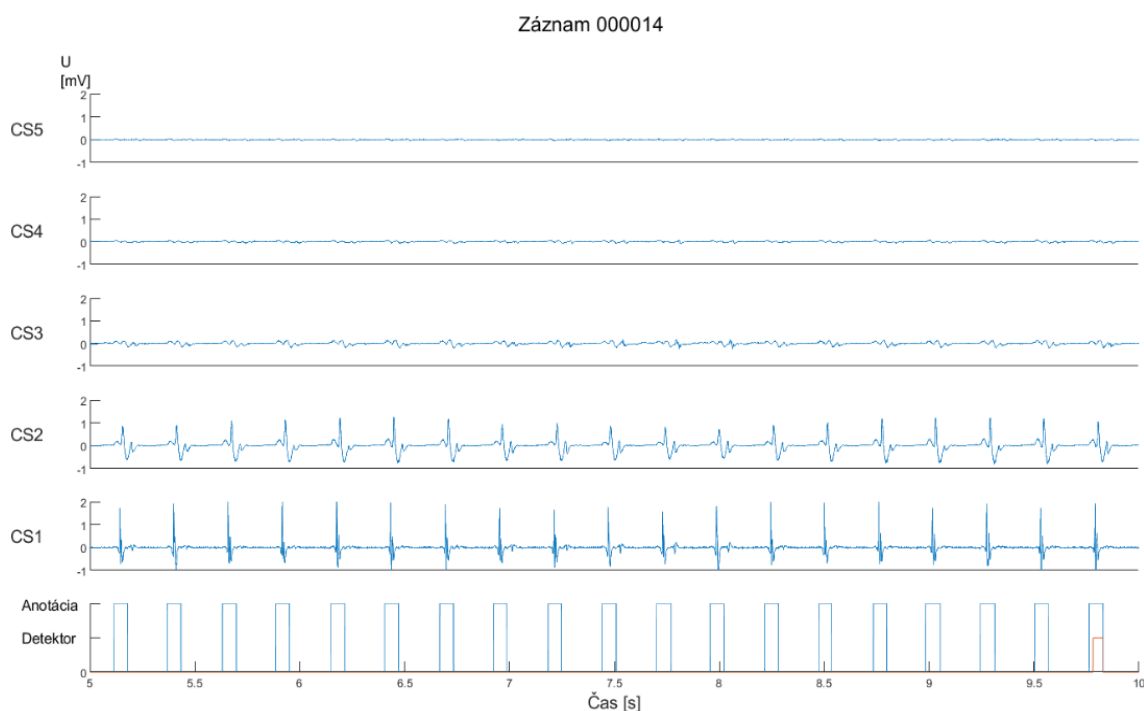
CS 5-1 = koronárny sínus (proximálna-distálna časť)

U záznamu číslo 39 (00005D) bola dosiahnutá hodnota senzitivity 100%, no PPV 64,10%. CS elektrogramy zaznamenávajú sínusový rytmus s predčasnými komorovými kontrakciami (Obrázok 19). Tvar a amplitúda zaznamenaných EGM závisí na type depolarizácie. Amplitúda komorovej aktivity býva podstatne menšia než amplitúda sieňovej. Polohou katétru, abnormálnou depolarizáciou komôr, smerom depolarizačnej vlny vzhľadom ku katétru či menšou vzdialenosťou elektród od zdroja depolarizácie môže byť amplitúda zvýšená. Morfológia predčasných aktivít komôr sa zhoduje s morfológiou hľadanej vlny a amplitúdy sú pomerne vysoké. Detektor tým pádom považoval aktivitu komôr za aktivitu siení a nesprávne ju označil, ako je vidieť v spodnej časti obrázka červenou v čase 6,9s, 7,54s a 8,2s.



Obrázok 19: Ukážka chyby detekcie na zázname č.39
CS 5-1 = koronárny sínus (proximálna-distálna časť)

Záznam AVRT číslo 50 (000014) poukazuje na opačný problém. Nesprávne sítě neboli označené žiadne komplexy/artefakty signálov, ale z celkového počtu 54 sieňových aktivít bola vyhladaná iba jedna (červenou, Obrázok 20). Výsledok predstavuje najnižšiu senzitivitu zo všetkých záznamov. Chyba nastala kvôli tomu, že z 5 CS záznamov sú pre detekciu použiteľné len 2. Elektrogramy z proximálnej časti katétru majú malú amplitúdu alebo aktivitu nezaznamenávajú vôbec, čo mohlo byť spôsobené zlým kontaktom elektród s koronárnym sínusom. Detektor berie do úvahy prekrytie detekcií zo všetkých CS záznamov. Ak sa výsledky nezhodujú, detekcia je považovaná za nesprávnu a neuloží sa, čo sa stalo aj v tomto prípade.

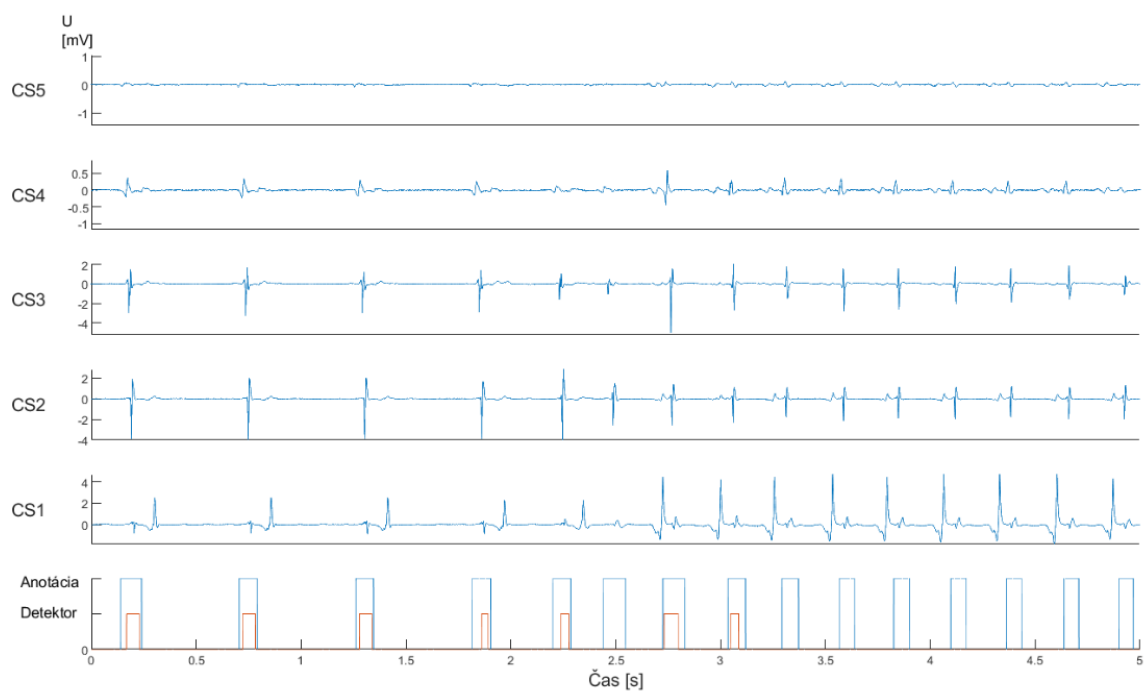


Obrázok 20: Ukážka zlyhania detektoru na zázname č.50

CS 5-1 = koronárny sínus (proximálna-distálna časť)

Záznam číslo 84 (000048) znázorňuje prechod sínusového rytmu srdca do AV reentry tachykardie v čase medzi druhou až tretou sekundou záznamu (Obrázok 21). Pre tento záznam je PPV 100%, ale senzitivita len 18,33%. Elektrogramy z proximálnych elektród neboli vhodné na detekciu. Kvôli malým amplitúdam v prvom kroku neboli nájdené peaky depolarizácií. Dôvodom je pravdepodobne umiestnenie katétru bližšie ku komorám. To spôsobilo aj výrazné, ostré komorové aktivity vysokej amplitúdy viditeľné v poslednom elektrograme CS1, ktoré v sínusovom rytme nasledujú sieňové aktivity a pri AVRT ich predchádzajú. Algoritmus vďaka rozhodujúcemu pravidlu minimálneho prekrytia detekcií zo všetkých CS záznamov správne určil, že sa nejedná o aktivitu siení. V poslednom zázname neprebehla ani detekcia sieňových aktivít. Ich prejav pozostáva len z 1 pozitívnej vlny, ktorá ale nie je zachytená z dôvodu podpriemernej amplitúdy. Celkové prekrytie detekcií tak nestačilo na určenie prítomnosti aktivity siení.

Záznam 000048



Obrázok 21: Ukážka chyby detekcie na zázname č.84
CS 5-1 = koronárny sínus (proximálna-distálna časť)

4 KLASIFIKÁCIA SIEŇOVEJ AKTIVITY

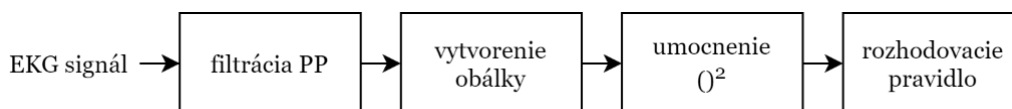
Klasifikácia záznamov prebieha na základe výsledku detekcie aktivity siení. Výstup detektoru – binárny vektor určuje začiatky, konce a trvanie sieňovej aktivity. Poznáme 4 druhy rytmu srdca: rytmus sínusový, sieňový, junkčný (junkcia = AV uzol a Hisov zväzok) a komorový. Záznamy sú rozdelené na dve skupiny: elektrogramy so sínusovým rytmom a elektrogramy s rytmom vznikajúcim v inej časti srdca ako sinoatriálny uzol.

4.1 Sínusový rytmus

Sínusový rytmus (SR) je fyziologický rytmus srdca vznikajúci v sinoatriálnom uzle v pravej sieni, šíriaci sa normálnou dráhou prevodného systému srdca. Komorový komplex tak vždy nasleduje po aktivácii siení. Rytmus je pravidelný a u dospelých dosahuje 60 až 100 úderov za minútu. PQ intervaly sú konštantné od 0,12 do 0,2s a QRS komplexy úzke ($< 0,12s$). Charakteristika PQ intervalu (časový úsek od začiatku P vlny po začiatok QRS komplexu) je v klasifikačnom algoritme využitá ako jeden z hlavných rozpoznávacích parametrov SR. (2)

Aby sme mohli určiť PQ interval je najprv potrebné zistiť polohy QRS komplexov.

Detekcia QRS komplexov predstavuje základ pre spracovanie a rozmeranie EKG signálov rôznych druhov. Depolarizácia komôr (QRS) je najvýraznejší prvok EKG krivky. Prevažná časť jej energie sa nachádza v pásme približne medzi 5 až 20 Hz, maximum dosahuje medzi 10-15 Hz. QRS väčšinou tvoria 3 komponenty, prvá negatívna vlna Q a pozitívny kmit R nasledovaný negatívnym kmitom, vlnou S. Na jeho detekciu sa používa viacero metód, napríklad postupy založené na počítaní prechodov nulou, na umocnení, obálke filtrovaného signálu, prispôbenej filtrácii či odhade okamžitej energie signálu. V tejto práci je využitá detekcia založená na obálke EKG signálu. Schéma algoritmu je na obrázku. (26)



Obrázok 22: Detektor QRS komplexov

4.2 Realizácia detektoru QRS

Vstupný EKG signál (svod I) je najskôr predspracovaný pásmovou prepust'ou. Filter je vytvorený príkazmi `fir1 (N, Wn, 'typ')` a `filtfilt (b, a, x)`. `Fir1` nastavuje parametre filtru. V našom prípade je N (rád filtru) 242. W_n (vektor medzných frekvencií) je na základe charakteristiky QRS komplexu nastavený na 8 a 20 Hz, typ je pásmová prepust'. `Filtfilt` uskutoční následnú filtráciu. Parameter b (čitateľ prenosovej funkcie) určuje príkaz `fir1`, parameter a (menovateľ prenos. funkcie) je 1 (jedná sa o FIR filter) a x je vstupný signál. Filtrácia zvýrazní QRS komplexy a potlačí ostatné zložky signálu ako P, T vlny či rušenie. Zo širokopásmového signálu sa tak stane úzkopásmový.

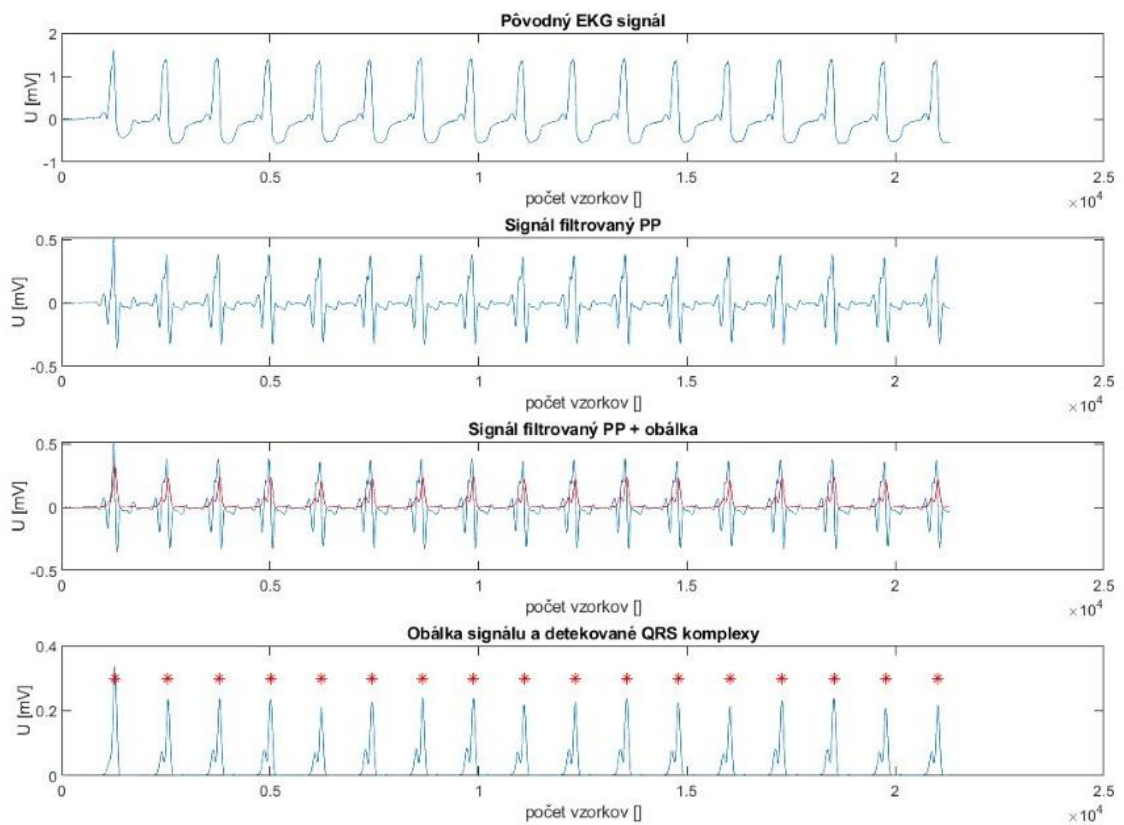
Nasleduje vytvorenie obálky. Proces pozostáva z analytického filtru a umocnenia. Najprv je reálny signál pretransformovaný na analytický. Služi na to Hilbertová transformácia. Jej princíp spočíva v úprave (vynulovaní polovice) spektra získaného Furierovou transformáciou a následným výpočtom spätnej Furierovej transformácie. Analytický signál má tak oproti reálnemu polovičnú šírku spektra. Získame ho aplikovaním funkcie `hilbert` na filtrovaný signál. Obálku vytvoríme absolútnou hodnotou analytického signálu pomocou funkcie `abs`.

Získaná obálka je ďalej umocnená na druhú. Odstránia sa tak záporné hodnoty a obálka sa zvýrazní. Obálka signálu zobrazuje priebeh kopírujúci pôvodný signál.

Posledným krokom detekcie je vyhľadanie R kmitov, čiže maxím obálok. Uskutočňuje sa uplatnením rozhodovacieho pravidla. Na oblasť dlhú 2 s (vyskytuje sa tam minimálne 1 QRS) je aplikovaná učebná fáza, pri ktorej sa určí výška QRS komplexu. Na jej základe je nastavený prah detekcie, a to na 40% výšky QRS. Cyklus postupuje po obálke a v prípade zaznamenania hodnoty prevyšujúcej prah je aplikované okno dĺžky 0,15s (dĺžka QRS). V okne je vyhľadané maximum predstavujúce vrchol QRS komplexu. Nový prah je znovu nastavený na hodnotu 40% posledného vrcholu QRS.

Na obmedzenie nesprávnych detekcií sa po dobu 0,15 s po QRS neočakáva ďalší komplex, pretože komory sa nachádzajú v refraktérnej fázi. Naopak ak do doby 1,66-násobnej dĺžky priemeru predchádzajúcich dvoch intervalov R-R nie je nájdený žiaden komplex, prah je znížený a testuje sa znova. Takéto zníženie prahu je tolerované maximálne 2-krát. Ak QRS komplex nie je nájdený ani po znížení prahu na 10%, detekcia pokračuje ďalej. Ukážka je na Obrázok 23: Ukážka detekcie QRS komplexov.

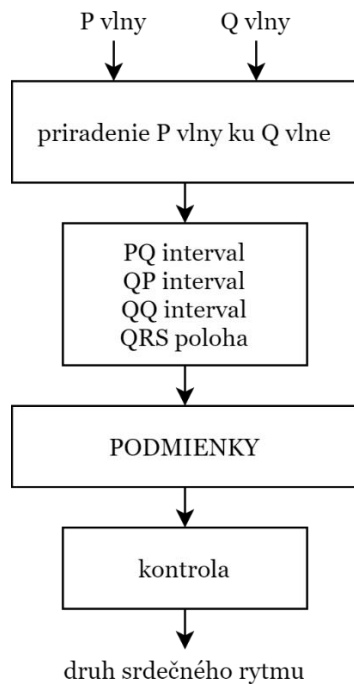
Keďže obálka kopíruje priebeh signálu EKG, je využitá na zistenie začiatku QRS, čiže Q vlny. Začiatok je určený ako prechod z nuly na obálku. (26) (27)



Obrázok 23: Ukážka detekcie QRS komplexov

4.3 Realizácia klasifikátoru srdečného rytmu

Samotná klasifikácia pozostáva z dvoch častí: klasifikovaní každého QRS komplexu zvlášť a následnej kontrole. Postup je znázornený na Obrázok 24: Klasifikátor srdečného rytmu.



Obrázok 24: Klasifikátor srdečného rytmu

Do klasifikátoru vstupujú 2 hlavné veličiny. Začiatky aktivít siení získané algoritmom popísanom v kapitole 3.2 a QRS komplexov získané algoritmom z 4.2. V ideálnom prípade sa ich počty zhodujú, to znamená pred každým QRS sa nachádza vlna P. Databáza ale obsahuje aj rôzne patologické prejavy s nepravidelnou alebo 2:1 atrioventrikulárnou kondukciou, prípadne bol záznam ukončený skôr a QRS sa nezaznamenal, alebo sa záznam začína QRS komplexom bez P vlny. Algoritmus teda ráta aj s takýmito prípadmi.

4.3.1 Klasifikácia

Dátová zostava obsahuje signály so sínusovým, nesínusovým rytmom, ale aj rôznou kombináciou oboch. Preto nie sú záznamy klasifikované ako celok, ale každému QRS komplexu je priradený druh rytmu osobitne. Vznikajú tak striedajúce sa intervaly rôznych druhov rytmu.

Cyklus postupne klasifikuje každý QRS komplex zvlášť. Pred pred QRS komplexom je očakávaná P vlna. Z oblasti medzi aktuálnym a predchádzajúcim QRS komplexom (prípadne začiatkom záznamu) sú teda vybrané všetky aktivity siení,

ktoré sa v nej nachádzajú. V ideálnom prípade je prítomná len jedna. Ak nie, za P vlnu patriacu ku aktuálnemu QRS je považovaná posledná P vlna nachádzajúca sa v tejto oblasti, teda P vlna najbližšia ku QRS. Po priradení je možné, rozdielom začiatku P vlny a začiatku Q vlny, získať dĺžku intervalu PQ.

Je nutné podotknúť, že začiatky aktivít siení vyhl'adané v CS elektrogramoch presne nezodpovedajú začiatkom P vln v záznamoch z povrchových elektród. Môže medzi nimi dochádzať ku časovému posunu v stotínach sekundy. P vlna v povrchovom EKG je totiž získaná sumáciou depolarizácií, prejaví sa tak v nej aj aktivita z pravej siene (väčšinou je depolarizovaná skôr ako ľavá). Naopak CS záznamy zachytávajú prevažne aktivitu ľavej siene. To znamená, že nami získaný začiatok aktivity siení sa môže nachádzať neskôr ako reálny začiatok P vlny v povrchovom zázname. Pre jednoduchšie chápanie ho v tomto texte aj napriek tomu budeme nazývať začiatok P vlny.

Z daného dôvodu nebola využitá podmienka, že minimálna hodnota PQ intervalu je približne 0,12s. Podmienka by sa taktiež nedala uplatniť na sínusovú a neprimeranú sínusovú tachykardiu, pri ktorých sa zvyšuje frekvencia, skracujú PQ intervaly ale rytmus srdca ostáva sínusový.

Aby bol rytmus klasifikovaný ako sínusový, na dvojicu P vlna – Q vlna bolo uplatnených viacero podmienok. Prvou je dĺžka PQ intervalu menšia ako 200 milisekúnd. Pri sínusovom rytme totiž PQ nepresahuje 200 ms. Ďalšou podmienkou je, že P vlna pred QRS musí byť ku QRS bližšie ako P vlna po QRS. Teda prejavy ako skoré komorové depolarizácie alebo reentry tachykardie, pri ktorých sú siene depolarizované až po komorách, nie sú označené ako sínusový rytmus. Podmienka je skontrolovaná porovnaním PQ intervalu s QP intervalom.

Pri súčasnej depolarizácii siení a komôr, napríklad počas reentry tachykardie, fibrilácie siení či flutteru, sa P vlna a QRS komplex prekrývajú. Daný prejav predchádzajúce podmienky zachytiť nemusia. Aby nebol nesprávne klasifikovaný ako sínusový je uplatnená ďalšia podmienka. Vrchol QRS komplexu sa nesmie vyskytovať v rovnakom čase ako aktivita siení v CS zázname. Poloha QRS nájdená QRS detektorom je teda porovnaná s výsledkom detekcie aktivity siení.

Poslednú kontrolnú podmienku tvorí minimálna dĺžka cyklu. Je vypočítaná ako rozdiel začiatku aktuálnej Q vlny a predchádzajúcej Q vlny. Skrátenie dĺžky cyklu pod 300 ms, čiže zvýšenie srdečnej frekvencie, je klasifikované ako nesínusový rytmus.

Ak dvojica P vlna – Q vlna spĺňa všetky dané podmienky je klasifikovaná ako sínusový rytmus, detekcia sa uloží a cyklus sa posúva na ďalšiu dvojicu. Po klasifikovaní každej dvojice zo záznamu nasleduje kontrola výsledku.

4.3.2 Kontrola

Kontrolou je zabezpečené odstránenie abnormálneho nesínusového rytmu, ktorý splnil podmienky a oprava v prípade sínusového rytmu, ktorý podmienky nespĺnil. Nesprávnu klasifikáciu môžu spôsobovať artefakty v signáloch, ktoré narušili procesy detekcie aktivity siení a QRS komplexov alebo zlyhanie detektorov.

Kontrola spočíva vo vyhľadaní dvojíc, ktoré boli klasifikované opačne ako ich blízke okolie a zmene druhu rytmu na druh rytmu okolia. To znamená, že ak boli dvojice P vlna – Q vlna v zázname klasifikované ako sínusový rytmus, a jedna z nich bola nesprávne klasifikovaná ako nesínusový rytmus, kontrolný algoritmus ju zmení na sínusový rytmus. To isté platí naopak, aj v prípadoch viacerých chybných klasifikácií v zázname.

Výsledkom sú intervaly sínusových a nesínusových rytmov. Porovnanie klasifikátoru a diagnózy určenej odborným špecialistom je uvedené v tabuľke 2. Stĺpec s názvom Diagnóza obsahuje názvy druhov tachykardie určené odborným špecialistom: AVRT - Atrioventrikulárna reentry tachykardia, AVNRT - Atrioventrikulárna nodálna reentry tachykardia, FAT - Fokálna sieňová tachykardia, AFL – Flutter siení, AF - Fibrilácia siení, SR - Sínusový rytmus, JR - Junkčný rytmus, PVC - Skoré komorové kontrakcie, PAC - Skoré sieňové kontrakcie, AVB - Atrioventrikulárna blokáda. Stĺpec Rytmus obsahuje druh srdečného rytmu určený klasifikátorom a v stĺpci správnosť je uvedené, či bola klasifikácia správna alebo nie. Výstup klasifikácie je možné zobrazit' aj v programe Annotation_gui.

Tabuľka 2: Výsledok klasifikácie srdečného rytmu

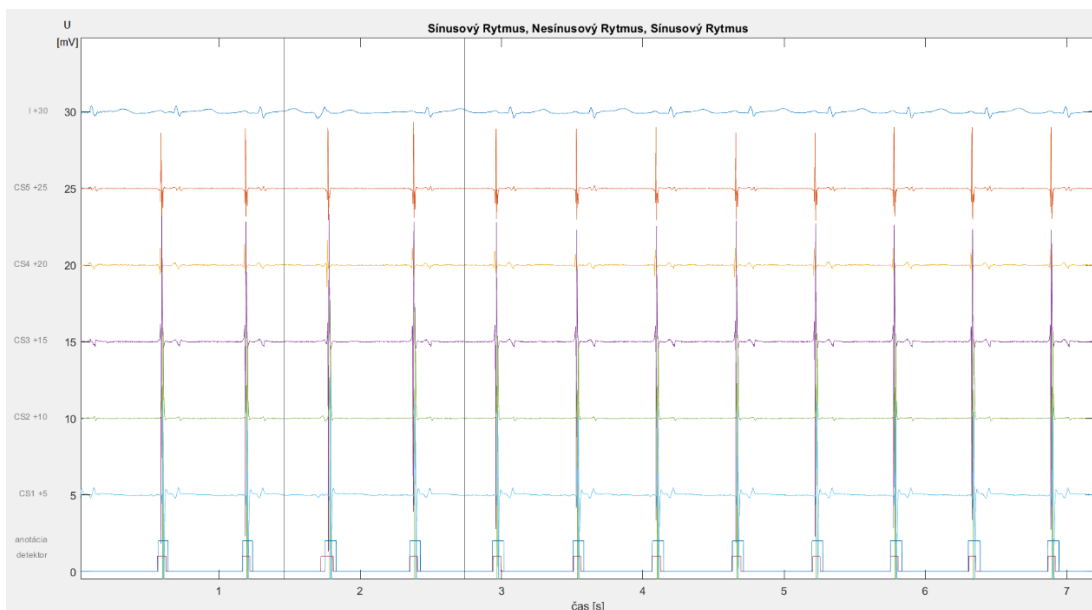
Číslo	Názov	Diagnóza	Rytmus	Správnosť
1	00000A	SR	Zmiešaný	nie
2	00000B	AVRT	Sínusový	áno
3	00000C	SR,PVC	Zmiešaný	áno
4	00000D	AVRT	Nesínusový	áno
5	00000E	SR,AVNRT,PAC	Zmiešaný	áno
6	00000F	SR,JR,FAT	Zmiešaný	áno
7	000001.	SR	Sínusový	áno
8	00001A	SR,JR,PAC	Zmiešaný	áno
9	00001B	SR,AVRT,PVC	Zmiešaný	áno
10	00001C	AVRT	Nesínusový	áno
11	00001D	SR	Zmiešaný	nie
12	00001E	SR,AVRT,PVC	Zmiešaný	áno
13	00001F	SR, AF	Zmiešaný	áno

14	000002.	SR, AF	Zmiešaný	áno
15	00002A	AF, FAT	Nesínusový	áno
16	00002B	SR	Zmiešaný	nie
17	00002C	FAT	Sínusový	áno
18	00002D	SR,FAT	Sínusový	áno
19	00002E	SR	Sínusový	áno
20	00002F	AF, AVRT	Nesínusový	áno
21	000003.	SR	Sínusový	áno
22	00003A	SR	Sínusový	áno
23	00003B	SR	Sínusový	áno
24	00003C	SR, AVNRT	Zmiešaný	áno
25	00003D	AVNRT	Nesínusový	áno
26	00003E	SR, JR	Zmiešaný	áno
27	00003F	SR	Sínusový	áno
28	000004.	AFL	Nesínusový	áno
29	00004A	SR	Sínusový	áno
30	00004B	SR,AVNRT	Zmiešaný	áno
31	00004C	Pace	Nesínusový	áno
32	00004D	SR	Sínusový	áno
33	00004E	AVNRT	Nesínusový	áno
34	00004F	SR	Sínusový	áno
35	000005.	SR,AVRT,PVC	Zmiešaný	áno
36	00005A	AVNRT	Nesínusový	áno
37	00005B	SR	Nesínusový	nie
38	00005C	AVNRT	Nesínusový	áno
39	00005D	SR,PVC	Zmiešaný	nie
40	00005E	SR	Sínusový	áno
41	00005F	SR,PVC	Zmiešaný	áno
42	000006.	SR	Sínusový	áno
43	000007.	AVRT	Nesínusový	áno
44	000008.	SR,PAC,PVC	Zmiešaný	áno
45	000009.	SR,AF,PVC	Zmiešaný	áno
46	000010.	SR,PVC	Sínusový	áno
47	000011.	SR	Sínusový	áno

48	000012.	SR,AVRT,PAC,PVC	Zmiešaný	áno
49	000013.	SR,AVRT,JR	Zmiešaný	áno
50	000014.	AVRT	Nesínusový	áno
51	000015.	SR,PAC,PVC	Zmiešaný	nie
52	000016.	SR,AVNRT,PAC	Zmiešaný	áno
53	000017.	SR,JR,PVC	Zmiešaný	áno
54	000018.	SR,AVNRT	Zmiešaný	áno
55	000019.	AVNRT	Nesínusový	áno
56	000020.	SR,AVRT,PAC	Zmiešaný	áno
57	000021.	AVNRT	Nesínusový	áno
58	000022.	SR,JR	Zmiešaný	áno
59	000023.	SR,PVC,AVB1	Zmiešaný	áno
60	000024.	AVRT	Nesínusový	áno
61	000025.	AF	Nesínusový	áno
62	000026.	AF	Nesínusový	áno
63	000027.	SR,PVC	Zmiešaný	áno
64	000028.	SR,JR	Zmiešaný	áno
65	000029.	FAT	Nesínusový	áno
66	000030.	AFL	Nesínusový	áno
67	000031.	SR,PVC	Zmiešaný	áno
68	000032.	AVNRT	Nesínusový	áno
69	000033.	SR	Sínusový	áno
70	000034.	SR,PVC	Zmiešaný	áno
71	000035.	AVRT	Nesínusový	áno
72	000036.	AVNRT	Nesínusový	áno
73	000037.	Pace,PAC,AVB3	Nesínusový	áno
74	000038.	SR	Sínusový	áno
75	000039.	SR	Sínusový	áno
76	000040.	AVRT	Nesínusový	áno
77	000041.	Pace	Nesínusový	áno
78	000042.	SR	Sínusový	áno
79	000043.	SR,PAC	Sínusový	áno
80	000044.	AVNRT	Nesínusový	áno
81	000045.	SR	Sínusový	áno

82	000046.	SR,AF	Zmiešaný	áno
83	000047.	SR,AVRT	Zmiešaný	áno
84	000048.	SR,AVRT	Zmiešaný	áno
85	000049.	SR	Nesínusový	nie
86	000050.	SR	Sínusový	áno
87	000051.	AVRT	Nesínusový	áno
88	000052.	SR	Nesínusový	nie
89	000053.	SR,AF	Zmiešaný	áno
90	000054.	SR	Sínusový	áno
91	000055.	AVNRT	Nesínusový	áno
92	000056.	SR,JR	Zmiešaný	áno
93	000057.	SR,AF	Zmiešaný	áno
94	000058.	AVNRT	Nesínusový	áno
95	000059.	SR,AF,AFL	Zmiešaný	áno
96	000060.	AVNRT	Nesínusový	áno
97	000061.	AVNRT	Nesínusový	áno
98	000062.	AVRT	Nesínusový	áno
99	000063.	AF	Nesínusový	áno
100	000064.	SR,AVRT,AF	Zmiešaný	áno

Zo všetkých 100 záznamov bola klasifikácia úspešná u 92 z nich. U 5-tich z 8 zle klasifikovaných záznamov nastala chyba kvôli nesprávnemu určení výskytov aktivít siení v časti detekcie, popísaných v časti 3.2. Ukážky detekcie. Na obrázku 25 je ukážka správnej detekcie signálu číslo 41, kde je sínusový rytmus prerušený skorými komorovými depolarizáciami.

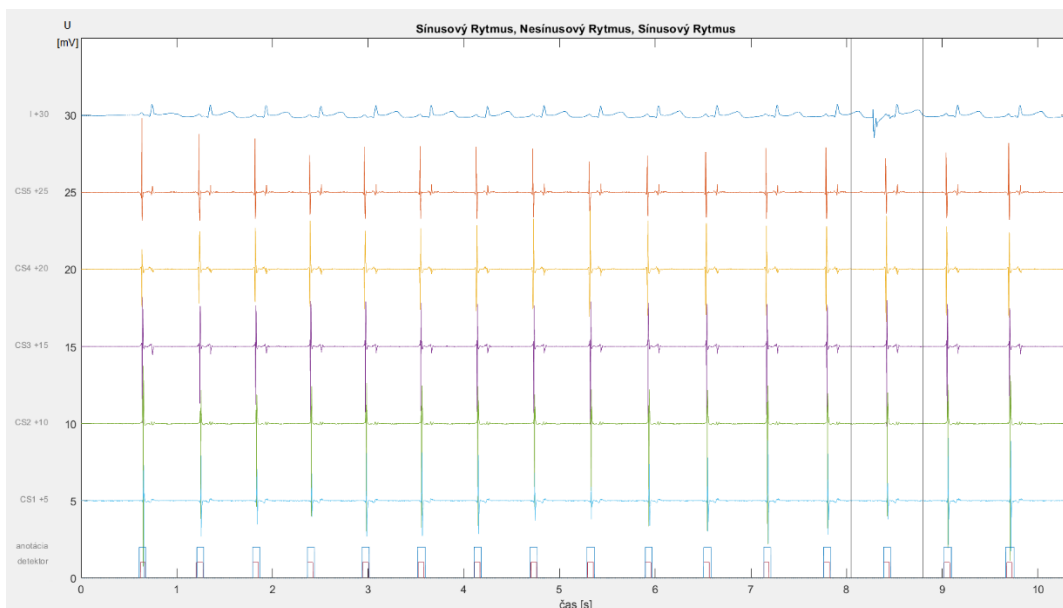


Obrázok 25: Záznam číslo 41

4.3.3 Ukážky klasifikácie

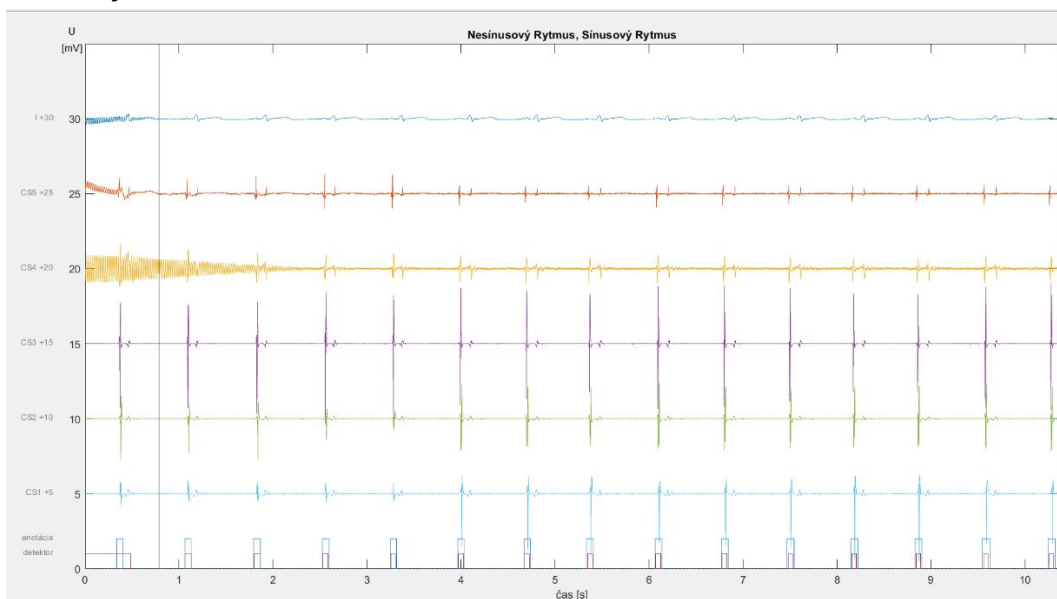
V nasledujúcich ukážkach sa zameriame na záznamy, ktoré boli klasifikované nesprávne, nie však vinou chyby v detekcii aktivít siení.

V zázname číslo 11, ktorý predstavuje priebeh sínusového rytmu, bola klasifikovaná aj oblasť nesínusového rytmu medzi 8 a 9 sekundou. Bolo to spôsobené artefaktom v povrchovom zázname I. Artefakt spôsobil, že v časti detekcie QRS bol označený ako QRS komplex. Tým pádom pri samotnej klasifikácii došlo k určení dvoch po sebe idúcich nesínusových rytmov a nezabrala ani kontrola.



Obrázok 26: Záznam číslo 11

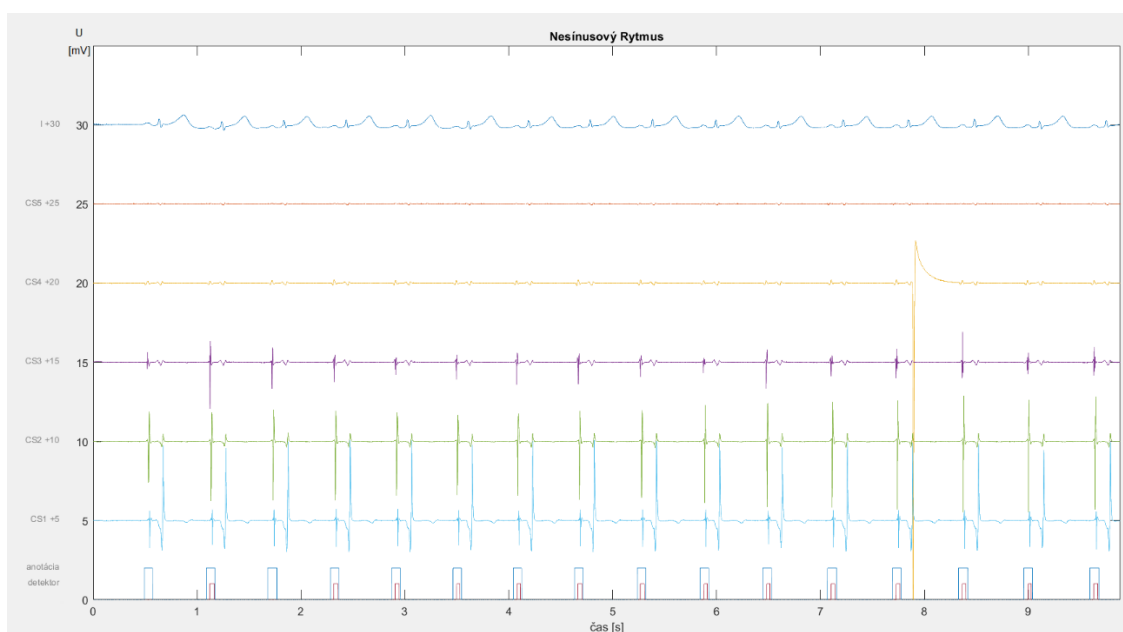
V zázname číslo 16 sa nachádza zvlnenie na začiatku CS záznamov. Zvlnením došlo ku chybnjej detekcii v časti detektoru aktivity siení. Začiatková oblasť tým pádom klasifikovaná nesprávne ako nesínusový rytmus aj keď ide o rytmus sínusový.



Obrázok 27: Záznam číslo 16

Záznam číslo 85 zobrazujúci sínusový rytmus bol nesprávne určený ako nesínusový. Nestalo sa tak chybou klasifikátoru ale chybou v detekcii QRS komplexov. Okrem QRS komplexov boli zachytené aj T vlny. Pred T vlnami, ktoré boli nesprávne označené ako QRS sa ale nenachádzajú P vlny. Z toho dôvodu bol

každý druhý údajný QRS označený za nesínusový rytmus, lebo nesplňoval podmienky. Kontrola tak nesprávne klasifikácie nedokázala odstrániť.



Obrázok 28: Záznam číslo 85

5 ZÁVER

Cieľom bakalárskej práce bolo urobiť literárnu rešerš na tému: Supraventrikulárne tachykardie, vytvoriť databázu z dostupných záznamov a záznamy anotovať. Následne navrhnúť a zrealizovať algoritmus detekujúci aktivitu siení v intrakardiálnych záznamoch a nakoniec rozšíriť algoritmus o klasifikátor srdečného rytmu. V úvode sú podrobne popísané jednotlivé tachykardií, príčiny ich vzniku a príklady prejavov EKG záznamov. Funkcia vytvoreného algoritmu je opísaná v kapitole 4.2 . Kvalita algoritmu bola ohodnotená pomocou dvoch štatistických parametrov. Výsledná senzitivita je 97,15%. Pozitívna prediktívna hodnota bola vypočítaná na 97,84%. Úspešnosť klasifikátoru je 92%.

Literatúra

1. **Issa, Z. F., Miller, J. M., & Zipes, D. P.** *Clinical arrhythmology and electrophysiology: a companion to Braunwald's heart disease (2nd ed.)*. Philadelphia : Elsevier, 2012. ISBN: 978-1-4557-1274-8.
2. **Blahút, Peter.** EKG & Arytmológia (kniha). *TECHmED*. [Online] 22. 11 2017. [Dátum: 15. 11 2019.] <https://www.techmed.sk/ekg-a-arytmologia-kniha/>.
3. **Edward Carmeliet, J. Vereecke.** *Cardiac Cellular Electrophysiology*. Department of Physiology K.U.L. University Leuven Belgium : KLUVER ACADEMIC PUBLISHER, 2012. s. 421. ISBN 978-1-4615-1715-3.
4. **Ovid Technologies, Inc.** *ECG Interpretation*. Philadelphia : Lippincot Williams & Wilkins, 2008. s. 282. ISBN: 0-781-77741-0.
5. **Conover, Mary Boudreau.** *Understanding electrocardiography*. St. Louis, Mo. : Mosby, 2003. ISBN: 0-323-01905-6.
6. **Brian Olshansky, Renee M. Sullivan.** *Inappropriate Sinus Tachycardia*. s.l. : Journal of the American College of Cardiology, Volume 61, Issue 8, 2012. s. 793-801. doi: 10.1016/j.jacc.2012.07.074..
7. **Zipes, Douglas P a Jalife, José.** *Cardiac electrophysiology : from cell to bedside*. Philadelphia, PA : Elsevier/Saunders, 2014. s. 1392. ISBN: 978-1-4557-2856-5.
8. **Rosso R., Kistler PM.** *Focal atrial tachycardia*. s.l. : BMJ Publishing Group, 2010. s. 181-185. Zv. Volume 96, Issue 3. doi: 10.1136/hrt.2008.143552.
9. **ROBERTS-THOMSON, K.C., KISTLER, P.M. a KALMAN, J.M.** *Focal Atrial Tachycardia I: Clinical Features, Diagnosis, Mechanisms, and Anatomic Location*. Melbourne : Pacing and Clinical Electrophysiology, 29: 643-652, 2006. doi: 10.1111/j.1540-8159.2006.00413.x.
10. **García Cosíoa, F., Pastora, A., Núñeza, A., Magalhaesa, A., Awamleha, P.** *Atrial Flutter: an Update*. Madrid : Revista Española de Cardiología (English Edition), Volume 59, Issue 8, 2007. s. 816-831. ISSN: 18855857, DOI:10.1016/S1885-5857(07)60047-4.
11. **Rodriguez Ziccardi, M., Goyal, A., Maani, CV.** *Atrial Flutter*. Treasure Island (FL) : StatPearls Publishing, 2020.
12. **Shoei K. Stephen Huang, Mark A. Wood.** *Catheter Ablation of Cardiac Arrhythmias*. Philadelphia, PA : Elsevier Saunders, 2014. s. 656. ISBN: 978-0-323-24429-9.
13. **Morady, Emile G. Daoud and Fred.** *Pathophysiology of Atrial Flutter*. s.l. : Annual Review of Medicine, 1998. s. 77-83. doi: 10.1146/annurev.med.49.1.77.
14. **Katrtsis, D.G, Camm, J.A.** *Atrioventricular Nodal Reentrant Tachycardia*. s.l. : Circulation, Vol 122, Issue 8, 2010. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.110.936591.

15. **Iaizzo, Paul A.** *Handbook of Cardiac Anatomy, Physiology, and Devices*. New York, NY : Springer Science & Business Media, 2009. s. 700. ISBN: 978-1-60327-371-8.
16. **Chhabra L, Goyal A, Benham MD.** *Wolff Parkinson White Syndrome (WPW)*. Treasure Island (FL) : StatPearls Publishing, 2020. ID: NBK430685.
17. **Brian P Griffin, Samir R Kapadia, Curtis M Rimmerman.** *The Cleveland Clinic Cardiology Board Review*. Philadelphia : Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins, 2013. s. 933. ISBN: 978-1451105377.
18. **Sukit Ringwala, Rishi Arora.** *Fundamentals of Intracardiac Mapping*. [aut. knihy] John M. Miller Shoei K. Stephen Huang. *Catheter Ablation of Cardiac Arrhythmias (Fourth Edition)*. Philadelphia, PA : Elsevier, 2019, s. 76-100. ISBN: 978-0-323-52992-1.
19. **Habib, A., Lachman, N., Christensen, K. N., & Asirvatham, S. J.** *The anatomy of the coronary sinus venous system for the cardiac electrophysiologist*. s.l. : Europace, 2009. DOI: 10.1093/europace/eup270.
20. **Bhargava, Kartikeya, Asirvatham, Samuel J.** *Practical cardiac electrophysiology*. s.l. : Jaypee Brothers Medical Publishers, 2016. s. 950. ISBN: 978-93-86056-79-5.
21. **Sohaib, Afzal.** *Decoding Cardiac Electrophysiology: understanding the techniques and defining the jargon*. Cham : Springer Nature Switzerland AG, 2020. ISBN: 978-3-030-28672-9.
22. **Callans, Jackson J. LiangDavid J.** *Electrophysiologic Testing and Cardiac Mapping*. [aut. knihy] Piccini J., Naccarelli G., Reiffel J. Kowey P. *Cardiac Arrhythmias, Pacing and Sudden Death. Cardiovascular Medicine*. Cham : Springer, 2017, s. 75-86. ISBN: 978-3-319-58000-5.
23. **SlideShare.** *Cardiac Anatomy*. [Online] Taiwan Heart Rhythm Society, 23. 9 2013. [Dátum: 28. 4 2020.] <https://www.slideshare.net/thrs/cardiac-anatomy20120916>.
24. **WikiSkripta.** *Senzitivita testu*. [Online] MediaWiki, 29. 6 2018. [Dátum: 3. 12 2019.] https://www.wikiskripta.eu/w/Senzitivita_testu.
25. *Hodnotenie užitočnosti diagnostických testov (senzitivita, špecificita, pozitívna a negatívna prediktívna hodnota)*. P. Slezák, I. Waczulíková. Bratislava : Lúče života, 2010, Slovenská Rádiológia, s. 42-44. ISSN 1335-0625.
26. **KOZUMPLÍK, Jiří.** *Analýza biologických signálů, Elektronická skripta*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012.
27. **JAN, Jiří.** *Číslíkové zpracování a analýza signálů – stručné skriptum*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. ISBN: 978-80-214-4018-0.

28. Hodosy, Július, a iní. *EKG v praktickom živote*. Bratislava : Univerzita Komenského, 2017. s. 82. ISBN: 978-80-223-4309-1.

Zoznam symbolov, veličín a skratiek

ABL	ablácia
AF	fibrilácia siení
AFL	flutter siení
AH	interval sieňový-Hisov zväzok
AT	atriálna tachykardia
AV	atrioventrikulárny
AVNRT	atrioventrikulárna nodálna reentry tachykardia
AVRT	atrioventrikulárna reentry tachykardia
CS	koronárny sínus
ECG	elektrogram
EKG	elektrokardiograf
His	Hisov zväzok
HRA	vrch pravej siene
HV	interval prevodu od Hisovho zväzku po komory
LGL	Lown-Ganong-Levine
MRAT	makroreentrant tachykardia siení
NST	neprimeraná sínusová tachykardia
PA	P vlna-sieňový interval
PRI	P-R interval
RVA	apex pravej komory
SA	sinoatriálny
ST	sínusová tachykardia
TA	cyklus pravej siene
WPW	Wolff-Parkinson-White

Zoznam príloh