

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

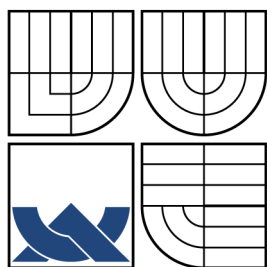
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

EXPERTNÍ SYSTÉM PRO DETEKCI MÍSTA VZNIKU
KOMOROVÝCH EXTRASYSTOL

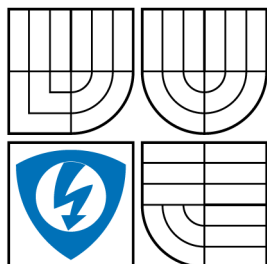
DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ZUZANA SVÁNOVSKÁ



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND
COMMUNICATION
DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

EXPERTNÍ SYSTÉM PRO DETEKCI MÍSTA VZNIKU KOMOROVÝCH EXTRASYSTOL EXPERT SYSTEM FOR DETECTING OF VENTRICULAR EXTRASYSTOLES

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

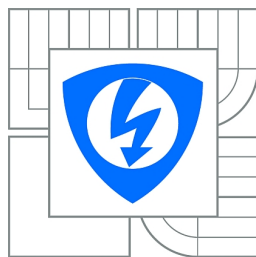
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ZUZANA SVÁNOVSKÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ SEKORA

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav biomedicínského inženýrství

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Biomedicínské inženýrství a bioinformatika

Studentka: Bc. Zuzana Svánovská

ID: 138947

Ročník: 2

Akademický rok: 2014/2015

NÁZEV TÉMATU:

Expertní systém pro detekci místa vzniku komorových extrasystol

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Provedte literární rešerši k problematice detekce komorových extrasystol (KES) na 12svodovém EKG a detekci místa vzniku KES. 2) Navrhněte vhodné algoritmy a rozhodovací stromy pro detekci místa vzniku komorové extrasystoly. 3) Tyto algoritmy a rozhodovací stromy realizujte a ve vhodném programovém prostředí sestavte expertní systém s uživatelským rozhraním pro detekci místa vzniku KES. 4) Ve spolupráci s pracovištěm elektrofyzologie FN u svaté Anny ověřte správnost řešení na dostupných záznamech EKG průběhu. 5) Ověřte a diskutujte účinnost expertního systému v porovnání s ruční detekcí místa vzniku.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] Cardiac electrophysiology: a textbook. [1st ed.]. Editor Michael R Rosen. Mount Kisco: Futura Publishing Company, c1990, xx, 1195 s. ISBN 08-799-3391-7.

[2] CHARNIAK, Eugene. Artificial Intelligence Programming: a textbook. [1st ed.]. Editor Michael R Rosen. New Jersey: LAE, 1987, 533 s. ISBN 08-985-9609-2.

Termín zadání: 9.2.2015

Termín odevzdání: 22.5.2015

Vedoucí práce: Ing. Jiří Sekora

Konzultanti diplomové práce:

prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové 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 části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Komorové extrasystoly jsou ektopické stahy signálu EKG. Použité algoritmy jsou vytvořeny v programu Matlab. Práce zahrnuje nejprve určení, zda hledaná komorová extrasystola pochází z pravé nebo levé komory. Další algoritmus hodnotí výskyt ve výtokovém traktu dané komory. Při nerozhodnosti je použit algoritmus hledající výskyt komorové extrasystoly na jiném místě v levé komoře. Na závěr je určena přesnější oblast výskytu pro snazší nalezení místa vzniku.

KLÍČOVÁ SLOVA

EKG, QRS komplex, R vlna, idiopatické komorové extrasystoly, blokáda Tawarova raménka, levá komora, pravá komora, levý výtokový trakt, pravý výtokový trakt, apex, baza

ABSTRACT

Ventricular premature beats are ectopic changes in the ECG signal. Detection of ventricular extrasystoles on 12leads ECG was created in MATLAB. At first my work involves whether the ventricular premature beats comes from the right or the left ventricle. Another algorithm evaluates the incidence outflow tract of the chamber. If the previous algorithm shows signs of indecision, another algorithm is used for detection of ventricular extrasystoles at another location in the left ventricle. The last step is to narrow the area of detection which makes it easier to find the place of origin.

KEYWORDS

EKG, QRS complex, R wave, idiopathic premature ventricular beats, bundle branch block, left ventricle, right ventricle, left outflow tract, right outflow tract, apex, base

SVÁNOVSKÁ, Zuzana *Expertní systém pro detekci místa vzniku komorových extrasystol*: diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav biomedicínského inženýrství, 2015. 88 s. Vedoucí práce byl Ing. Jiří Sekora

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Expertní systém pro detekci místa vzniku komorových extrasystol“ jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušila autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhla nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědoma následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Brno

.....

(podpis autora)

Děkuji svému vedoucímu diplomové práce Ing. Jiřímu Sekorovi za jeho ochotu a pomoc při tvorbě této práce. Dále bych chtěla poděkovat za pomoc při hodnocení komorových extrasystol, kterou mi poskytli Ing. Jiří Wolf, MUDr. Zdeněk Stárek, Ph.D., MUDr. František Lehar, Ph.D. a MUDr. Jiří Jež.

OBSAH

Úvod	11
1 Komorové extrasystoly	12
1.1 Základní parametry EKG záznamu	12
1.2 12svodové EKG	12
1.3 Dráha vedení vzruchu v komorách	14
1.4 Poruchy nitrokomorového vedení	16
1.5 Elektrická osa srdeční	19
1.6 Definice komorových extrasystol	23
1.7 Klinické charakteristiky KES	24
1.8 Radiofrekvenční katéetrová ablace	24
2 EKG charakteristiky pro lokalizaci místa vzniku KES	28
2.1 Blokáda pravého/levého Tawarova raménka	29
2.2 Pravý/levý výtokový trakt	32
2.3 Kapsičky aortální chlopně	34
2.4 Určení zóny vzniku KES	36
3 Návrh expertního systému	40
3.1 Expertní systém	40
3.1.1 Jazyky expertních systémů	40
3.1.2 Části expertního systému	41
3.1.3 Principy expertních systémů	42
3.2 Použité algoritmy	43
3.2.1 Tvar blokády Tawarova raménka	51
3.2.2 Výtokové trakty komor	52
3.2.3 Lokalizace bližšího místa vzniku	57
3.2.4 Kapsičky aortální chlopně	60
3.2.5 Jiná část levé komory	62
4 Hodnocení 12svodových EKG záznamů	63
4.1 Typ blokády Tawarova raménka	64
4.2 Výtokový trakt pravé/levé komory	64
4.3 Kapsičky aortální chlopně	72
4.4 Určení bližšího místa vzniku	72
4.5 Jiná oblast levé komory	72
5 Diskuse	73

6 Závěr	76
Literatura	77
7 Příloha	82

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Ukázka umístění unipolárních končetinových a hrudních svodů, převzato z [27]	13
1.2	Ukázka vedení vzruchu v srdci, převzato z [9]	14
1.3	Ukázka aktivace septa, převzato z [9]	14
1.4	Ukázka přechodu vzruchu na komory, převzato z [9]	15
1.5	Ukázka aktivace srdečních bazí, převzato z [9]	15
1.6	Ukázka aktivace srdečních bazí, převzato z [9]	16
1.7	Schéma vedení vzruchu v srdci, převzato z [8]	17
1.8	Ukázka 12svodového EKG záznamu tvaru RBBB, převzato z [8]	18
1.9	Ukázka 12svodového EKG záznamu tvaru LBBB, převzato z [8]	19
1.10	Ukázka hexaxiálního referenčního systému, převzato z [3]	20
1.11	Elektrická osa srdeční, převzato z [8]	21
1.12	Ukázka 12svodového EKG s elektrickou osou srdeční $+90^\circ$; (Panel A) a 0° (Panel B), převzato z [8]	22
1.13	Určení časového intervalu KES v porovnání s fyziologickým RR intervalem	24
1.14	Schéma RFA, převzato z [5]	26
1.15	Ukázka prostředí EFV sálu ve FN U Svaté Anny	27
2.1	Ukázka notchingu, převzato z [28]	28
2.2	Ukázka Tawarových ramének spolu s 12svodovým EKG zobrazujících blokádu příslušného raménka, převzato z [11]	29
2.3	KES z pravé komory, převzato z [8]	31
2.4	KES z levé komory, převzato z [8]	31
2.5	Ukázka 12svodového EKG s výskytem KES LVOT a RVOT, převzato z [4]	32
2.6	Anatomie srdce s vyznačením výtokových traktů srdečních komor a kapsiček aortální chlopně, převzato z [32]	34
2.7	Ukázka KES z RVOT volné stěny (A) a septa (B), převzato z [31]	36
2.8	Ukázka KES z oblasti septa RVOT, převzato z [28]	38
2.9	Zóny výskytu KES, převzato z [11]	39
3.1	Základní koncept ES, převzato z [23]	40
3.2	Obecné schéma ES, převzato z [30]	41
3.3	Struktura ES, převzato z [23]	42
3.4	Znalostní hierarchie, převzato z [23]	43
3.5	Rozhodovací strom pro určení tvaru blokády Tawarova raménka	45
3.6	Rozhodovací strom pro levý výtokový trakt	46
3.7	Rozhodovací strom pro pravý výtokový trakt	47

3.8	Rozhodovací strom pro určení KES z kapsiček aortální chlopně	48
3.9	Rozhodovací strom pro KES v oblasti hrotu či baze levé komory . . .	49
3.10	Rozhodovací strom pro KES z pravého výtokového traktu v oblasti baze nebo srdečního septa	50
3.11	Ukázka KES tvaru blokády pravého Tawarova raménka	51
3.12	Ukázka KES tvaru blokády levého Tawarova raménka	52
3.13	Ukázka rS kmitu KES	53
3.14	Ukázka porovnávání amplitud KES s sinusového stahu	54
3.15	Ukázka časového trvání nástupu R vlny KES	55
4.1	Ukázka prostředí expertního systému pro detekci místa vzniku KES .	63
4.2	Ukázka rS kmitu ve svodu V1	66
4.3	Ukázka RS kmitu ve svodu V1	67
4.4	Ukázka poměru R vlny a S vlny ve svodu V2 u RVOT KES	67
4.5	Ukázka poměru R vlny a S vlny ve svodu V2 u LVOT KES	67
4.6	Ukázka pozitivní detekce poměru R vlny a QRS komplexu ve svodu V4 u RVOT KES	68
4.7	Ukázka chybné detekce poměru R vlny a QRS komplexu ve svodu V4 u LVOT KES	68
4.8	Ukázka porovnávání strmosti R vlny ve svodu V3 - nesplnění pod- mínky pro RVOT KES	69
4.9	Ukázka porovnávání strmosti R vlny ve svodu V3 - chybná detekce u KES z LVOT	69
4.10	Ukázka vysoké amplitudy S vlny ve svodu V2	70
4.11	Ukázka nízké amplitudy S vlny ve svodu V2	70
7.1	Celkové schéma expertního systému	85
7.2	Ukázka hodnocení 12svodového EKG záznamu 1. pacienta	86
7.3	Ukázka hodnocení 12svodového EKG záznamu 8. pacienta	86
7.4	Ukázka hodnocení 12svodového EKG záznamu 15. pacienta	87
7.5	Ukázka hodnocení 12svodového EKG záznamu 27. pacienta	87
7.6	Ukázka hodnocení 12svodového EKG záznamu 36. pacienta	88
7.7	Ukázka hodnocení 12svodového EKG záznamu 39. pacienta	88

SEZNAM TABULEK

1.1	Bipolární končetinové svody	12
1.2	Hrudní unipolární svody	13
2.1	Kritéria pro lokalizaci místa vzniku KES v oblasti RVOT, převzato z [12]	38
4.1	Hodnocení typu blokády	64
4.2	Hodnocení výskytu hledaných znaků KES z RVOT na 12svodových EKG záznamech	65
4.3	Hodnocení výskytu hledaných znaků KES z LVOT na 12svodových EKG záznamech	66
4.4	Hodnocení KES na 12svodových EKG záznamech s různou vahou jednotlivých znaků	71
7.1	Hodnocení výskytu hledaných znaků KES z RVOT na 12svodových EKG záznamech	83
7.2	Hodnocení výskytu hledaných znaků KES z LVOT na 12svodových EKG záznamech	84

ÚVOD

Komorové extrasystoly (KES) jsou definovány jako ektopické stahy srdečních komor. Jsou to tedy stahy, které přicházejí předčasně v porovnání s fyziologickým sinusovým stahem. Mohou být doprovázeny dušností či palpitacemi (bušením srdce). V mnoha případech nevyvolávají žádné větší somatické příznaky. Při jejich častějším výskytu však mohou způsobovat vážnější zdravotní obtíže. Léčbou těchto patologických vln je pacientům zvyšována jejich kvalita života.

Léčebnou metodou těchto patologických vln je katetrizační ablace. Pomocí radiofrekvenční energie dochází k vytvoření nevodivé jizvy, která zabrání přenosu nežádoucího vzruchu na srdeční komory. Pro úspěšné odstranění obtíží je však zapotřebí nalezení místa vzniku těchto ektopických vln. V závislosti na místě vzniku komorových extrasystol dochází ke změně tvaru QRS komplexu EKG záznamu a podle této změny je poté vyhodnoceno pravděpodobné místo jejich vzniku.

Ve spolupráci s nemocnicí U Svaté Anny v Brně, konkrétně na elektrofyziologickém sále I. interní kardioangiologické kliniky, vzešel požadavek na vytvoření expertního systému pro detekci místa vzniku komorových extrasystol. Tyto extrasystoly jsou zde vyhledávány a hodnoceny pro jejich následné odstranění katetrizační ablací a zabránění dalším obtížím.

Tato práce navazuje na bakalářskou práci, jejímž úkolem bylo vytvořit program pro detekci komorových extrasystol z 12svodového EKG. Cílem je následné určení místa vzniku těchto detekovaných extrasystol pomocí vytvořeného expertního systému. Dokončením detekce budou získány potřebné informace pomocí sestaveného programu v uživatelském prostředí Matlab.

1 KOMOROVÉ EXTRASYSTOLY

1.1 Základní parametry EKG záznamu

Pokud chceme hodnotit EKG, musíme vycházet ze základních principů registrace EKG záznamu. Všechny svody snímají tentýž elektrokardiografický děj z jiného úhlu pohledu v závislosti na směru svého vektoru. Vsruch se šíří v síních internodálních traktů, v komorách pak cestou Tawarových ramének směrem k hrotu a posléze Purkyňovými vlákny po celé svalovině.

Důležitým faktorem ovlivňujícím tvar výsledné EKG křivky v jednotlivých svodech je konfigurace hrudníku a poloha srdce v hrudníku, která je však variabilní. Každý EKG svod je z geometrického pohledu vektorem, který je definovaný svojí velikostí a směrem. Výsledný tvar EKG křivky v konkrétním svodu závisí na reálném průběhu vektoru šíření vzruchu vůči definovanému vektoru příslušného svodu.[14][8]

Termín QRS komplex je pouze globálním označením depolarizační fáze na EKG křivce. Může mít tvar qR (Qr), RS (rS, Rs), QS či může být tvořen pouze pozitivním kmitem R. Malá či velká písmena rozlišují velikost jednotlivých kmitů.[13]

1.2 12svodové EKG

Pro hodnocení 12svodového EKG je důležité zejména správné umístění elektrod.

Bipolární Einthovenovy svody I, II, a III řadíme mezi končetinové svody. Tyto tři svody tvoří rovnostranný Einthovenův trojúhelník s danými geometrickými závislostmi. Jednotlivé svody snímají rozdíl potenciálů mezi dvěma danými místy. Svod I (potenciál mezi pravou a levou rukou) je značen červenou barvou a umístěn na předloktí pravé horní končetiny (PHK). Svod II (potenciál mezi pravou rukou a levou nohou) má značení žluté a umístění na předloktí levé horní končetiny (LHK). Svod III (potenciál mezi levou rukou a levou nohou) je značen zeleně a je přikládán na levou dolní končetinu (LDK). Pro uzemnění je používána černá elektroda na pravé dolní končetině. Umístění a značení končetinových svodů je znázorněno v tabulce 1.1.

Tab. 1.1: Bipolární končetinové svody

Svod	Označení svodu	Umístění svodu
I	R (červená)	předloktí PHK
II	L (žlutá)	předloktí LHK
III	F (zelená)	LDK

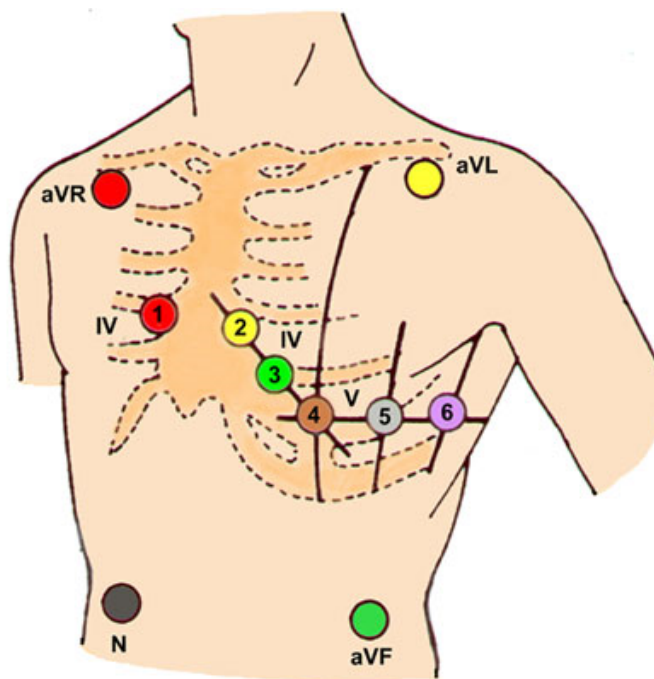
Končetinové unipolární svody jsou značeny písmeny aVR, aVL, aVF. Písmeno *a* zde značí zesílení jednotlivých svodů a písmeno *V* centrální Wilsonovu svorku, proti které je potenciál měřen.

Posledním typem EKG svodů jsou hrudní unipolární (Wilsonovy) svody s označením V1 až V6. Elektroda, proti které je potenciál snímán, vzniká spojením končetinových svodů. Místa umístění těchto svodů na hrudníku jsou znázorněna v tabulce 1.2. [8]

Tab. 1.2: Hrudní unipolární svody

Svod	Označení svodu	Umístění svodu
V1	červená	4. mezižebří parasternálně vpravo
V2	žlutá	4. mezižebří parasternálně vlevo
V3	zelená	mezi V2 a V4
V4	hnědá	5. mezižebří v medioklavikulární čáře
V5	černá	5. mezižebří v přední axilární čáře
V6	fialová	5. mezižebří ve střední axilární čáře

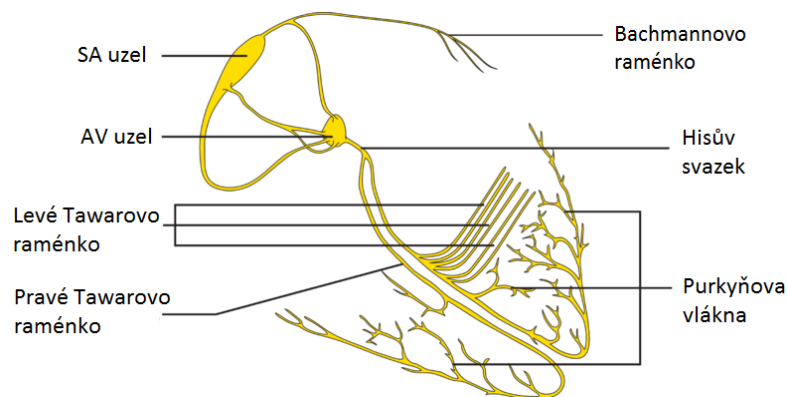
Pro názorné zobrazení umístění unipolárních končetinových a hrudních svodů slouží obrázek 1.1.



Obr. 1.1: Ukázka umístění unipolárních končetinových a hrudních svodů, převzato z [27]

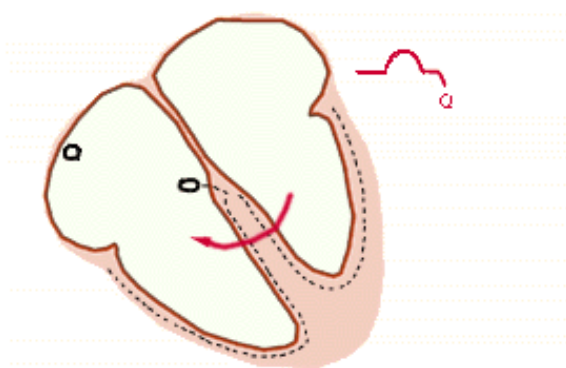
1.3 Dráha vedení vzruchu v komorách

Vzruch je fyziologicky tvořen v SA uzlu (Sinoatriální uzel), dále se šíří svalovinou síní a přes AV uzel (Atrioventrikulární uzel) se dostává do komor. Z komor se dále šíří vysokorychlostním vedením přes krátký Hisův svazek, který se dělí na pravé a levé Tawarovo raménko (obrázek 1.2).[5]



Obr. 1.2: Ukázka vedení vzruchu v srdci, převzato z [9]

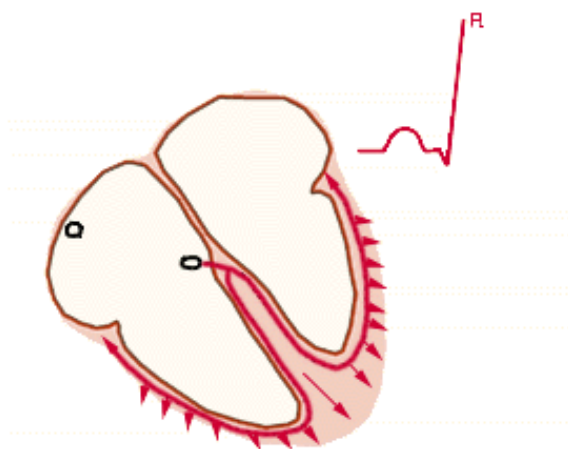
Levé Tawarovo raménko má vlastní větev pro septum. Signál tedy prochází do svaloviny septa rychleji než z pravého raménka a septum se aktivuje zleva doprava, jak je ukázáno na obrázku 1.3.



Obr. 1.3: Ukázka aktivace septa, převzato z [9]

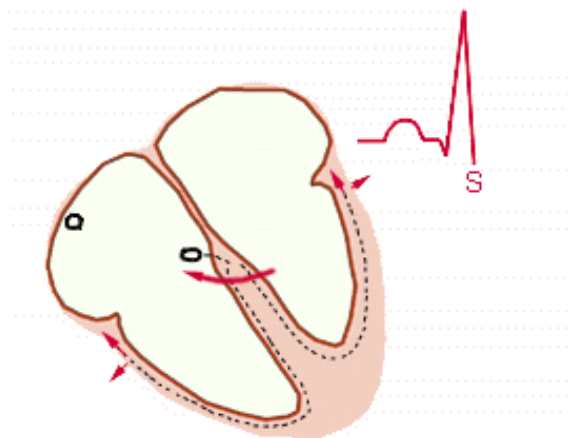
Dále dochází k aktivaci komor směrem od endokardu k perikardu. Nejprve dochází k aktivaci svaloviny v oblasti hrotu. Svalovina levé komory je ve zdravém srdci zhruba třikrát silnější než svalovina pravé komory a vytváří větší elektrický potenciál. Tento potenciál z levé komory překryje potenciál v pravé komoře a na EKG

záznamu se poté zobrazí pouze potenciál z levé komory. Proto je ve svodu V6 viditelný vysoký R kmit a ve V1 kmit S (obrázek 1.4).



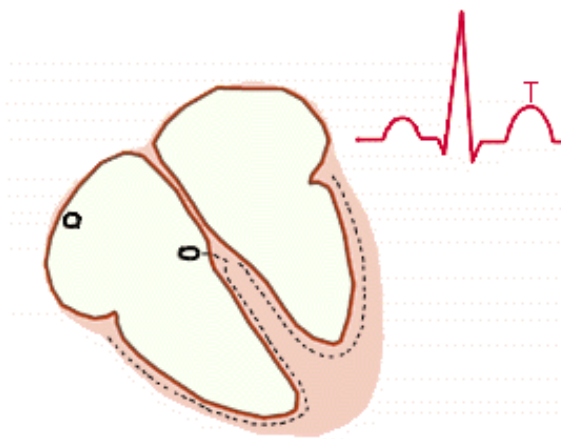
Obr. 1.4: Ukázka přechodu vzruchu na komory, převzato z [9]

Poslední se aktivují srdeční baze. Směr jejich vektoru směřuje nahoru a doprava. Vytváří malý S kmit ve svodu V6 a malý R kmit ve svodu V1 (obrázek 1.5).



Obr. 1.5: Ukázka aktivace srdečních bazí, převzato z [9]

Po aktivaci bazí dochází k repolarizaci komor, která se zobrazí jako T vlna na EKG záznamu (obrázek 1.6). [9]



Obr. 1.6: Ukázka aktivace srdečních bazí, převzato z [9]

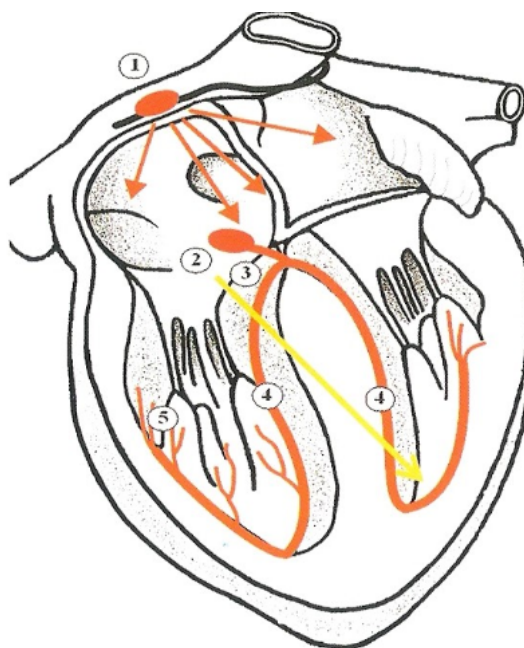
1.4 Poruchy nitrokomorového vedení

Šíření vzruchu distálně od Hisova svazku je zajištěno vodivými vlákny, které tvoří dvě hlavní větve - levé a pravé Tawarovo raménko. Levé Tawarovo raménko má krátký společný kmen a dále se dělí na přední a zadní větev. Všechny hlavní větve probíhají v interventrikulárním septu směrem k srdečnímu hrotu a následně se dále dělí na síť Purkyňových vláken zajišťujících kontakt se svalovinou myokardu. Schéma šíření vzruchu po srdeční svalovině můžeme vidět na obrázku 1.7, kde číslo 1 značí sinoatriální uzel, 2 atrioventrikulární uzel, 3 Hisův svazek, 4 Tawarova raménka a 5 Purkyňova vlákna.

Rychlost vedení vzruchu Tawarovými raménky je stejná a za normálních okolností vzruch dosáhne ve stejném okamžiku ke svalovině levé i pravé komory. Současná kontrakce obou komor začíná v oblasti hrotu a krev je vypuzována směrem k výtokovým traktům. [8][15]

Pokud jsou Tawarova raménka poškozena a vedení je zablokováno, dojde k situaci, kdy je zablokovaná část srdeční svaloviny aktivována později v důsledku přechodu vzruchu z okolní normálně aktivované svaloviny. Dochází ke změně výsledného vektoru šíření vzruchu komorami a ztrátě synchronizace stahu levé a pravé komory s hemodynamickými důsledky. Zablokované vedení přes některé Tawarovo raménko má tedy za následek opožděnou a neuspořádanou depolarizaci komorové svaloviny. Tato neuspořádaná depolarizace se poté projevuje rozšířením a deformací QRS komplexu.[3]

Vedení vzruchu svalovinou trvá déle než vedení vzruchu převodními strukturami. Prodloužená doba celkového trvání depolarizace má za následek rozšíření QRS kom-



Obr. 1.7: Schéma vedení vzruchu v srdci, převzato z [8]

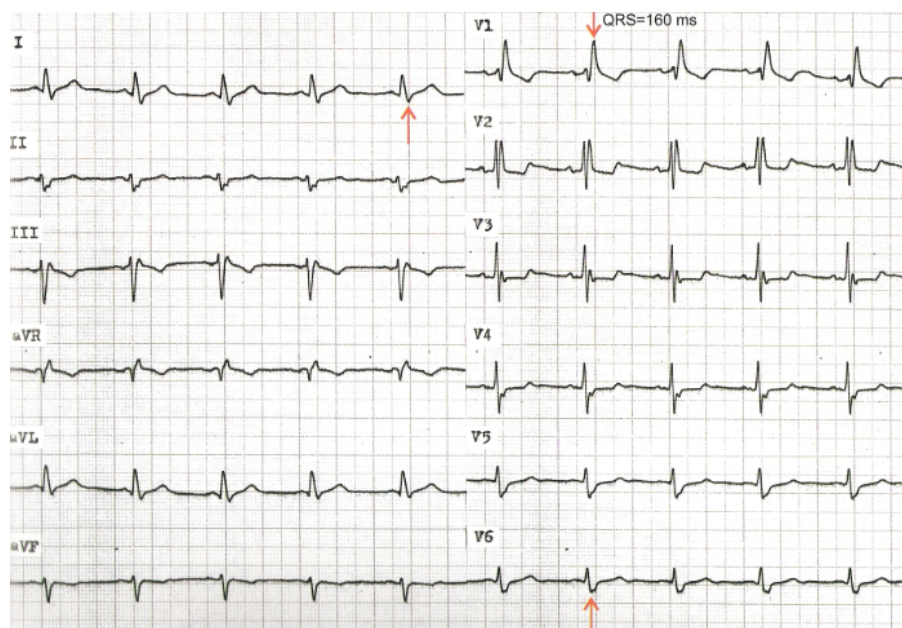
plexu. Tento děj může být trvalý nebo se může jednat jen o přechodnou situaci.

Pravé Tawarovo raménko je křehký a dlouho nevětvený svazek vláken vystupující jako větev z Hisova svazku. Přítomnost získaného bloku pravého Tawarova raménka může naznačovat na akutní či chronické zatížení pravé komory. V případě bloku pravého Tawarova raménka (RBBB - Right Bundle Branch Block) dochází ke změně QRS komplexu až v jeho terminální části. Možné abnormality v iniciální části QRS komplexu značí například jizvu po prodělaném infarktu myokardu (patologické kmity Q). [8] Při bloádě RBBB tedy dochází k opožděné aktivaci pravé komory srdeční, zatímco aktivace mezikomorového septa a volné stěny levé komory probíhá normálně, tzn. počáteční část komplexu QRS je normálního tvaru.[3]

Blok levého Tawarova raménka (LBBB - Left Bundle Branch Block) je blokem bifascikulárním a je vždy považován za patologický děj. Bifascikulární blok znamená kombinaci bloků dvou svazků Tawarových ramének. LBBB doprovází akutní i chronická onemocnění levé komory a je příčinou komorové dyssynchronie, která zhoršuje funkci levé komory. Deformace QRS komplexu začíná již v jeho iniciální fázi a tudíž komplikuje elektrokardiografickou diagnostiku v případě poinfarktové jizvy. V akutní fázi koronárního onemocnění je čerstvý vznik LBBB považován za nepřímou známku akutního infarktu myokardu. [8]

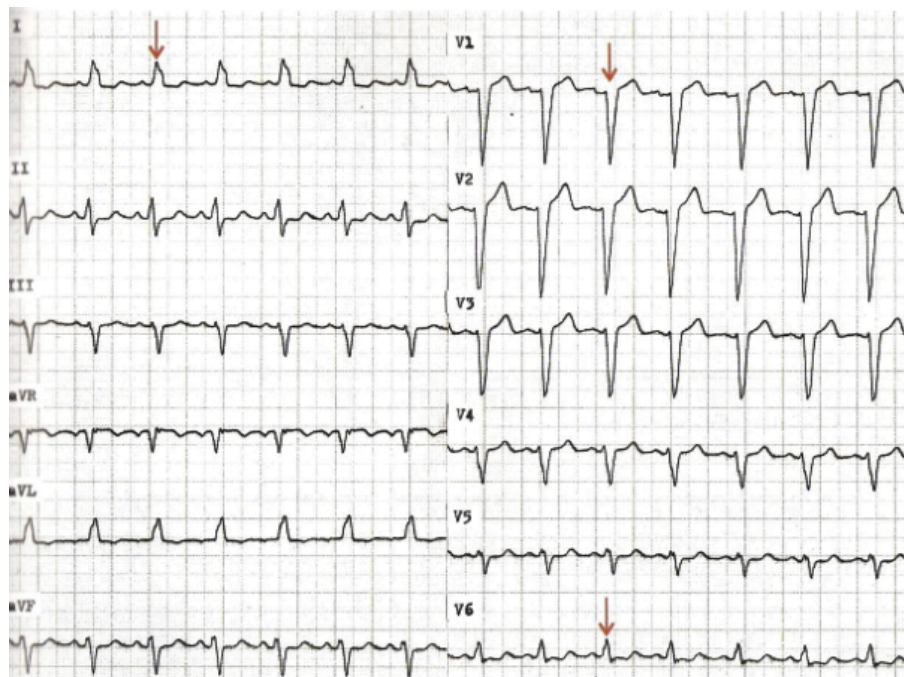
Záznam 12svodového EKG tvaru RBBB je zobrazen na obrázku 1.8. Vysoký R kmit ve svodu V1 je dán opožděnou aktivací činnosti srdce vektorově ve směru zleva doprava. Díky šíření vzruchu je pozitivní R kmit rozšířen a dochází k rozšíření i ce-

lého QRS komplexu. QRS komplex vykazuje vysoký kmit R ve svodu V1 a současně široký kmit S ve svodech I a V6.



Obr. 1.8: Ukázka 12svodového EKG záznamu tvaru RBBB, převzato z [8]

Ukázka LBBB je zobrazena na obrázku 1.9. Základním parametrem je šíře QRS komplexu přesahující 0,11 s. Pro další hodnocení je použito šíření vektoru svalovinou komor vůči vektorům svodů I, V6 a V1. Dochází zde ke změnám již v počáteční fázi QRS komplexu a směr aktivace septa se obrací a probíhá zprava doleva. Probíhá tedy rovnoběžně a stejnosměrně s vektorem ve svodu I a směrem k elektrodě ve svodu V6. QRS komplex zde vytváří pozitivní výchylku a není přítomen kmit Q. Ve svodu V1 naopak dochází k negativní výchylce. Ve druhé fázi tvorby QRS komplexu probíhá celkový vektor směrem zleva doprava. Šíří se po tenké svalovině pravé komory, proto má tvořící se kmit minimální výšku. Ve svodech I a V6 je to pouze malý negativní překmit na vrcholu kmitu R. [8] Svod V1 vykazuje malý pozitivní zákmit. V závěrečné fázi je aktivována levá komora, která plně ovládá celý tvar QRS komplexu, vektorově směrem zprava doleva. Šíření vzruchu probíhá při zablokovaném Tawarově raménku pouze svalovinou levé komory, proto trvá tato část QRS komplexu déle a výsledný kmit je široký. Ve svodech I a V6 je viditelný široký R kmit, který splývá s předchozí částí QRS komplexu do typického tvaru mísmene M. Ve svodu V1 má QRS komplex tvar širokého negativního kmitu QS (splynulý).



Obr. 1.9: Ukázka 12svodového EKG záznamu tvaru LBBB, převzato z [8]

1.5 Elektrická osa srdeční

Za normálních okolností elektrická osa srdeční sleduje mechanickou osu srdce a její vychýlení může mít také vliv na určení místa vzniku komorových extrasystol.

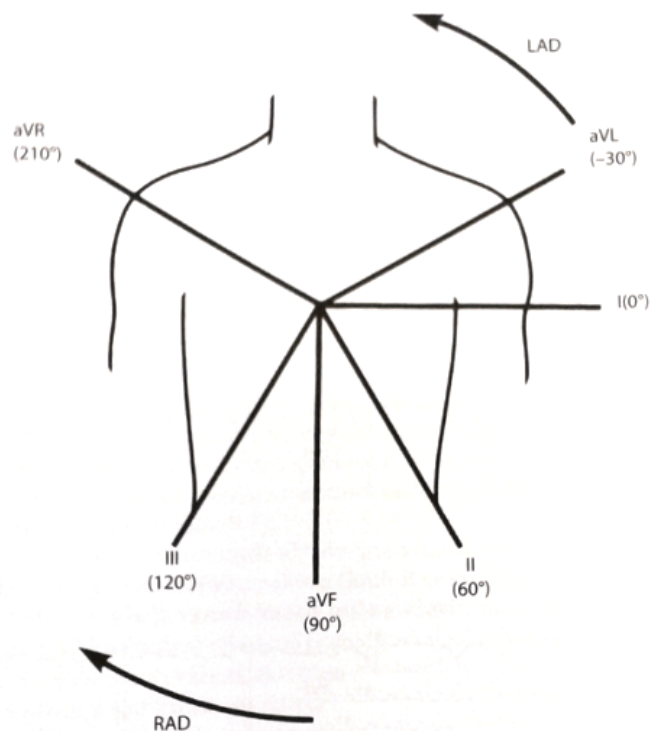
Hexaxiální referenční systém je zobrazením orientace šesti končetinových EKG svodů vzhledem k srdci ve frontální rovině, tj. vertikální rovině, která prochází středem těla a rozděluje ho na přední a zadní část. Vzruch orientovaný směrem nahoru se pohybuje směrem od svodů II, III a aVF a projevuje se negativním kmitem QRS v těchto svodech. Dále se vzruch pohybuje ke svodu aVL, což se projevuje pozitivním QRS komplexem v tomto svodu.

Směrování vzruchu je vyjadřováno úhlovou odchylkou od referenčního svodu I, který je definován jako 0° a to proti směru hodinových ručiček. Například vzruch směřující ke svodu aVL má sklon -30° a vzruch vedoucí ke svodu II má sklon 120° proti referenčnímu svodu I. Ukázka sklonu srdeční osy je zobrazena na obrázku 1.10, kde LAD značí sklon elektrické osy srdeční směrem doleva a RAD sklon srdeční osy doprava.

Elektrická osa srdeční značí výsledný vektor maximálních výchylek komplexu QRS ve frontální rovině. Udává průměrný směr různých elektrických výchylek vznikajících během depolarizace komor.[3]

Základní vztahy jsou:

1. Svody I a aVF jsou na sebe kolmé.



Obr. 1.10: Ukázka hexaxiálního referenčního systému, převzato z [3]

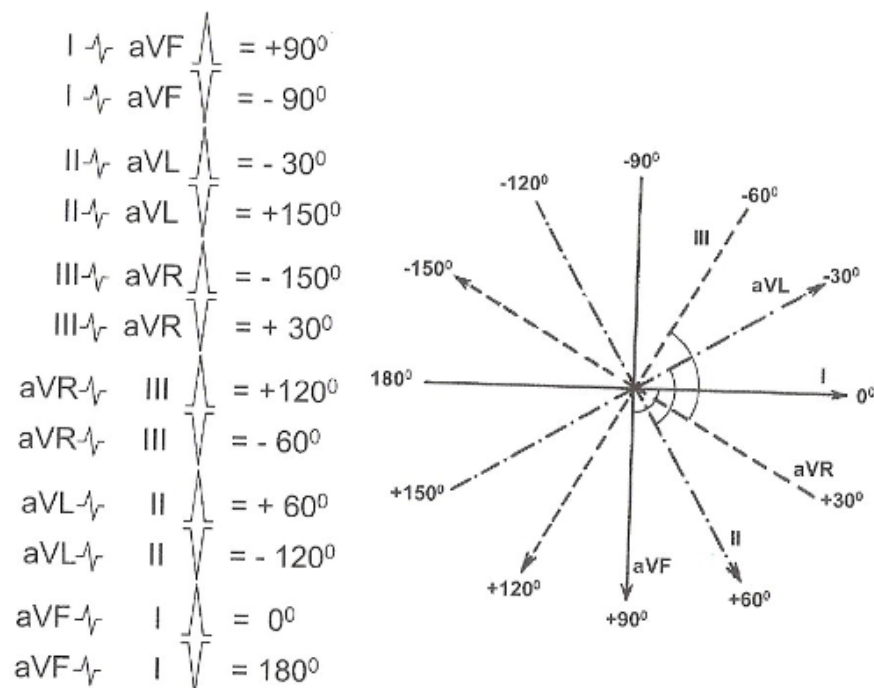
2. Svody II a aVL jsou na sebe kolmé.
3. Svody III a aVR jsou na sebe kolmé.

Pokud elektrická osa srdeční probíhá kolmo vůči některému svodu, pak je v tomto svodu výchylka QRS komplexu, hodnocená v absolutní hodnotě, rovna nule. Tedy nad i pod izoelektrickou linií je stejně vysoká část QRS komplexu.

Víme-li, se kterým svodem probíhá hledaná elektrická osa rovnoběžně a jakým směrem, můžeme určit číselnou hodnotu. Tato představa vyplývá z orbitálního rozdělení pomyslné kružnice Bayleovým hexaxiálním systémem (obrázek 1.11). Bod nula (tedy 0°) je místo, kde svod I ve svém kladném průběhu protíná tuto kružnici. Stupně směrem nahoru (proti směru chodu hodinových ručiček) jsou značeny kladným znaménkem.

Elektrická osa srdeční se může cyklicky měnit spolu se změnou mechanické osy. Geometrický součet bipolárních a unipolárních svodů vytváří Bayleiův hexaxiální systém, který dělí pomyslnou kružnici po 30° . Průběh elektrické osy srdeční můžeme sledovat z pohledu vektorů všech končetinových svodů.

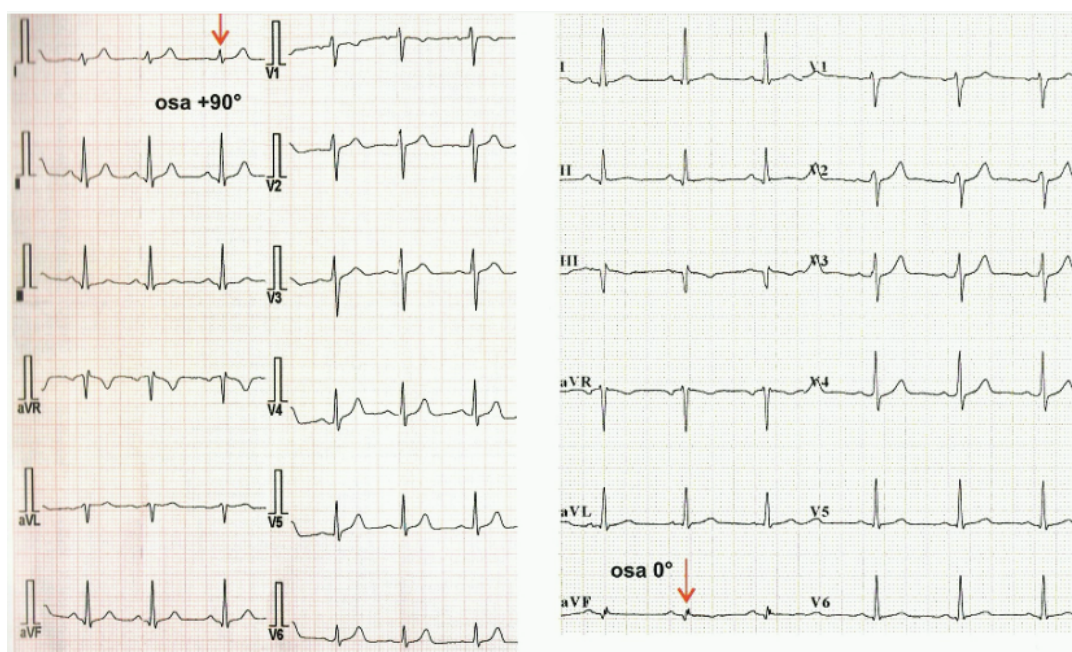
Na obrázku 1.12 vlevo (Panel A) můžeme vidět elektrickou osu srdeční $+90^\circ$, která probíhá kolmo vůči svodu I. Výchylka QRS komplexu v absolutní hodnotě je zde rovna nule. Naopak největší absolutní výchylka QRS komplexu je ve svodu aVF. Při takto vertikálně probíhajícímu vektoru srdeční osy shora dolů je vysoká pozitivní



Obr. 1.11: Elektrická osa srdeční, převzato z [8]

výchylka i ve svodech II a III. Ve svodech aVR a aVL (jejichž vektory probíhají šikmo vzhůru) převažují negativní výchylky. Vpravo na obrázku 1.12 (Panel B) je znázorněna srdeční osa 0° , která probíhá kolmo vůči svodu aVF. V tomto svodu je absolutní výchylka QRS komplexu rovna nule. Současně probíhá rovnoběžně se svodem I, kde je naopak největší kladná výchylka. Při tomto horizontálním průběhu vektoru elektrické osy srdeční zleva doprava je výchylka QRS komplexu ve svodu II více pozitivní, ve svodu III více negativní. Ve svodu aVR je výchylka výrazně negativní a ve svodu aVL naopak pozitivní.[3][8]

Za normálních okolností je tedy výsledný vektor maximálních výchylek komplexu QRS ve frontální rovině mezi svody aVL (-30°) a aVF (90°). Pokud dochází ke stočení osy srdeční doprava od svodu aVF (o více než 90°), jde o sklon elektrické osy srdeční doprava.



Obr. 1.12: Ukázka 12svodového EKG s elektrickou osou srdeční $+90^\circ$; (Panel A) a 0° (Panel B), převzato z [8]

1.6 Definice komorových extrasystol

Komorové extrasystoly (KES) jsou definovány jako předčasné stahy srdečních komor. Ektopický předčasný stah je definován jako stah, který vzniká dříve, než byl očekáván další normálně časovaný stah. Vzruch předčasného komorového stahu není převáděn komorami rychle vedoucím Hisovým-Purkyňovým systémem, ale relativně pomalou komorovou svalovinou. Jejich výskyt v populaci je častý a obvykle nevyvolávají žádné závažnější obtíže. Při výskytu somatických obtíží je pozorována dušnost, závratě, nevolnost či srdeční palpitace. V případě výskytu KES na T vlně předcházejícího stahu, mohou vyvolat fibrilaci komor.[3][15]

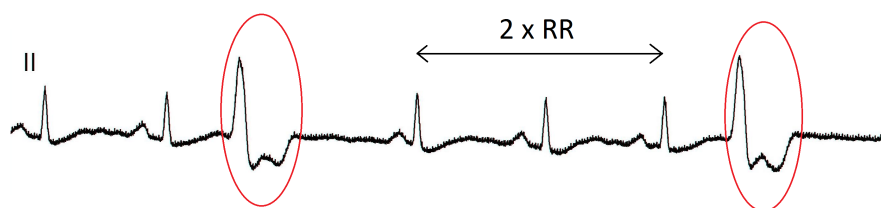
KES jsou typické tvarem QRS komplexu na EKG křivce, který je abnormálně široký a také přítomností kompenzační pauzy. Šířka QRS komplexu zde přesahuje 120 ms a může mít jakýkoli tvar. Charakteristickým znakem KES je také absence P vlny a opačná polarita T vlny vůči dominantnímu kmitu komplexu QRS. Tyto znaky KES jsou přítomny z důvodu vedení vzruchu jinou drahou než fyziologickým Hisovým-Purkyňovým systémem. Ektopické ložisko KES se obvykle nachází v oblasti Purkyňových vláken či přímo ve svalovině komor. Předčasný impuls se šíří na svalovinu druhé komory se zpožděním, protože k jeho vedení dochází v pracovním myokardu. Při výskytu ektopického ložiska ve svalovině pravé komory připomíná tvar KES blokádu levého raménka Tawarova. Při výskytu ektopického ložiska v levé komoře deformace komorového komplexu naopak připomíná blokádu pravého raménka Tawarova. [3][1]

KES vznikají kdekoli ve svalovině komor a jejich vedení po komorách postupuje po svalovině komor mimo struktury převodního systému. Tvar QRS komplexu je charakteristický pro směr šíření daného vzruchu a také určuje místo vzniku dané extrasystoly či jiné rychlé komorové arytmie. Morfologie QRS komplexu extrasystoly s atributy bloku pravého Tawarova raménka (S kmit ve svodu I či R kmit ve svodu V1) předpovídá místo vzniku KES v levé komoře a naopak KES s atributy bloku levého Tawarova raménka (pozitivní R kmit ve svodu I a negativní ve svodu V1) lokalizuje místo vzniku KES v pravé komoře. Tyto informace jsou dále využívány při odstranění těchto arytmií za pomoci katetrizační ablace. [8]

KES obvykle charakterizuje fixní, neměnicí se časový interval, který představuje předcházející interval RR (kratší). Interval RR (delší) za KES nazýváme kompenzační pauzou, která je v tomto případě úplná. Součet stálého časového intervalu a kompenzační pauzy se rovná součtu dvou normálních intervalů RR, jak můžeme vidět na obrázku č. 1.13.

Při analýze RR intervalů zjišťujeme pravidelně se opakující nepravidelnost srdečního rytmu. [1]

Zvláštním druhem KES jsou „maligní“ extrasystoly. Patří mezi ně ty extra-



Obr. 1.13: Určení časového intervalu KES v porovnání s fyziologickým RR intervalem

systoly, které přicházejí tak předčasně, že zasahují do tzv. vulnerabilní fáze srdečního cyklu, tj. do vrcholu a descendentní části T vlny. Tyto KES jsou potencionálně nebezpečné možností spuštění komorové tachykardie s frekvencí extrasystol vyšší než 100 tepů/min či dokonce spuštěním fibrilace komor. [17]

1.7 Klinické charakteristiky KES

Pacienti trpící výskytem předčasných komorových rytů srdečních jsou obvykle sledováni v jejich druhé z pěti dekad se symptomatickými palpitacemi. Může být přítomna synkopa a lehká bolest hlavy, obvykle charakterizována opakovanými záchvaty neudržitelných komorových tachykardií nebo častými KES. Tato arytmie může být vyvolána cvičením, kofeinem a emocionálním stresem. U žen, které jsou více opakovaně postižovány, se KES z oblasti pravého výtokového traktu běžně vyskytují během premenstruačního, premenopauziálního cyklu, také během těhotenství a ukazují na hormonální nestabilitu. [6]

1.8 Radiofrekvenční katéetrová ablace

Katetrizační ablace je dnes považována za metodu první volby pro pacienty trpící výskytem tachyarytmií. Mezi tachyarytmiie řadíme tři a více po sobě následujících srdečních cyklů s frekvencí nad 100 tepů/min, kdy elektrická srdeční akce vychází ze stejného místa.[5] Je prováděna s použitím kontinuální nemodulované radiofrekvenční energie s frekvencí 500-750 kHz a průměrným výkonem 50 W. K určení místa vzniku KES je využíván tzv. pacemapping (mapování pomocí bipolární katodové stimulace). Komory jsou stimulovány v pomalém rytmu 120-140 tepů za minutu podle spojovacího intervalu KES vybraného jako template (vzor). Dochází zde k okulometrickému srovnání nativní KES (spontánně vznikající) s KES získanými za pomoci stimulace.

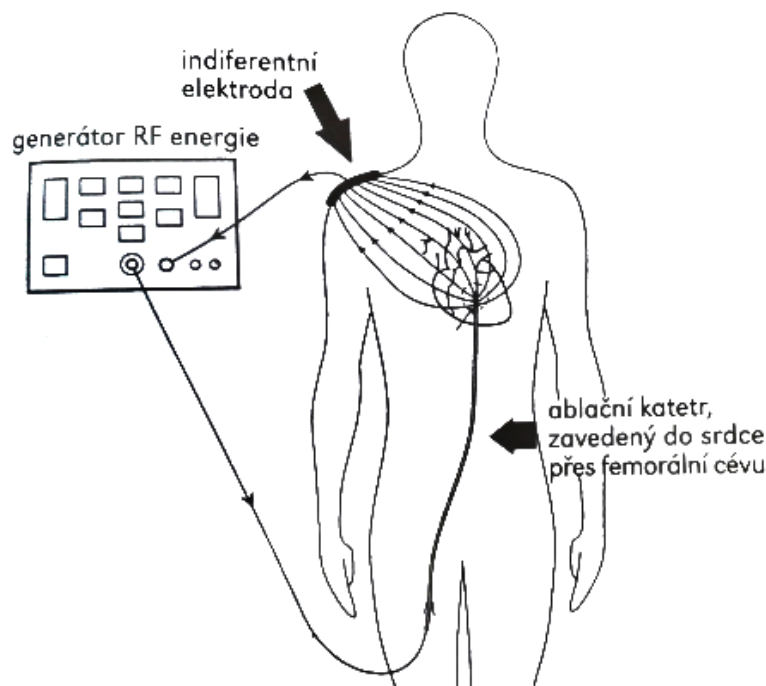
Podstatou RFA je ireverzibilní poškození nebo také zničení dané oblasti odpovědné za vznik nebo šíření arytmie. Výkon probíhá nechirurgickou cestou (bez nutnosti operace srdce), pomocí speciálních tenkých a ohebných elektrod (katétrů). Tento výkon je prováděn na elektrofyzilogickém katetrizačním sále, který je vybaven angiolinkou, zesilovači pro snímání intrakardiálního EKG a dalšími podpůrnými 3D technologiemi. Elektrofyzilogický tým je tvořen lékaři, sálovými sestrami a techniky, kteří se pro narůstající technickou obtížnost používaných zařízení stávají pravou rukou lékařů.

Při vlastním výkonu se za rentgenové kontroly zavede katétr přes femorální žílu nebo tepnu do srdce. Po umístění katétrů v srdci je provedeno elektrofyzilogické vyšetření. Toto vyšetření se skládá ze snímání elektrických signálů z různých míst v srdci. Dochází ke sledování elektrické aktivity v srdci, jejího šíření a také k elektrické stimulaci různých oblastí srdce (sledování rychlosti šíření vynucené elektrické aktivity). Stimulace srdce se využívá také k vyvolání příslušné poruchy srdečního rytmu, která byla u pacienta diagnostikována například při vyšetření pomocí EKG Holteru. V některých případech se mohou v průběhu vyšetření podávat i různé léky, s cílem usnadnit vyvolání hledaného patologického rytmu. Tímto způsobem je možno potvrdit zjištěnou diagnózu, která je předpokladem pro následné odstranění pomocí katetrizační ablace. [20]

Po stanovení nebo ověření diagnózy je provedena terapeutická část výkonu spočívající v aplikaci radiofrekvenční energie do místa zodpovědného za vznik arytmie nebo do místa podílejícího se na šíření patologického vzruchu. Principem je ohřev tkáně procházejícím elektrickým proudem, který rychle mění svoji polaritu. Elektrický proud generovaný zdrojem RF energie prochází tkání pacienta mezi hrotem ablačního katétru a plošnou indiferentní elektrodou, která je obvykle nalepená na zádech pacienta. Pomocí radiofrekvenční ablace dochází k tepelnému poškození tkáně a vzniku koagulační nekrózy působením vysoké teploty. Při teplotě 50-55°C vzniká v myokardu, který je v kontaktu s hrotem katétru, dobře ohraničená nekróza polokulovitého tvaru o průměru 5-8 mm. Cílem ablace je nekrotizace (spálení) místa vzniku arytmie.[5] Velikost dodaného výkonu má vliv na teplotu tkáně a ta poté určuje velikost ablační léze, která je vytvářena z největší části v průběhu prvních třiceti sekund ablace. Při RF ablaci dochází k lokalizovanému odporovému prohrátí tkáně. Doba aplikace RF energie se pohybuje v rozmezí 30-60 s. Pokud se cílová tkáň neprohřeje dostatečně, jde jen o přechodný efekt. Schéma znázorňující princip katetrizační ablace je znázorněno na obrázku 1.14. Po úspěšné aplikaci RF energie se opět provede diagnostické testování s cílem ověřit správný efekt ablace, tedy zda již nedochází k výskytu KES.

Ukázka mapování komory pomocí programů využívaných ve FN U Svaté Anny na EFV sále je zobrazena na obrázku 1.15. Celková doba výkonu od zavedení ka-

tétrů a zahájené mapování do závěrečného testování po ablací se pohybuje v řádech několika hodin. Doba hospitalizace pacienta většinou nepřesahuje 2 až 3 dny.[5]



Obr. 1.14: Schéma RFA, převzato z [5]

Abychom RFA mohli považovat za úspěšnou, musí splňovat následující kritéria:

1. Absence spontánních nebo indukovaných KES bez aplikace isoproterenolu (lék na urychlení srdeční frekvence) a na konci procedury.
2. Absence klinické arytmie po dobu 48 hodin EKG monitorování při vysazení anti-arytmických léků.
3. V případě, že nedojde k opětovnému objevení KES bez užití anti-arytmických léků během následujících tří měsíců po provedení zákroku.

Elektrofyzilogické vyšetření a radiofrekvencní ablace je kurativní výkon s vysokou úspěšností léčby a s dlouhodobým efektem. Oblast elektrofyzilogie se v poslední době rapidně rozvíjí, je obohacena o mnoho podpůrných 3D zobrazovacích a navigačních metod a při léčbě mnoha arytmií se stává metodou první volby.



Obr. 1.15: Ukázka prostředí EFV sálu ve FN U Svaté Anny

2 EKG CHARAKTERISTIKY PRO LOKALIZACI MÍSTA VZNIKU KES

EKG charakteristiky jsou důležitým ukazatelem při predikci místa vzniku KES. Nejdůležitější je nejprve určit o jakou blokádu se jedná. Tedy zda daná KES pochází z pravé nebo levé komory. Tvar blokády Tawarova raménka, prekordiální přechodová zóna, amplituda a šířka R vlny nebo QRS komplexu ve svodech V1 a V2 patří mezi pomocné parametry při lokalizaci místa vzniku KES.

Hodnocení 12svodového EKG je prováděno pomocí kontroly následujících znaků:

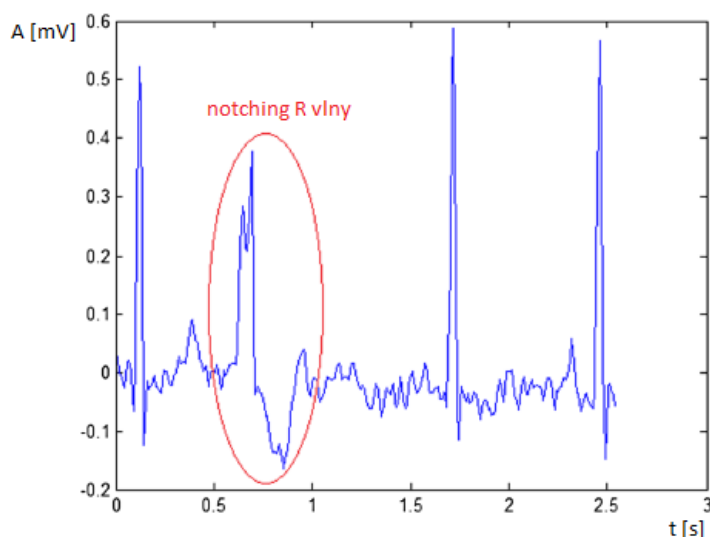
1. Morfologie QRS komplexu ve všech 12 svodech.
2. Průběh QRS komplexu.
3. Místo přechodu R vlny v prekordiálních svodech.
4. Vztah mezi amplitudou R nebo S vlny.

Při hodnocení KES je brán v úvahu jejich průběh, morfologie, amplituda a polarita QRS komplexu.[19][28]

Definujeme dva druhy RR vln:

1. RR' vlna - trifazická, druhý R pík je roven nebo vyšší než první R pík.
2. Rr' vlna - trifazická R vlna, druhý R pík je menší než první nebo monofazická vlna obsahující zákmit po R píku (tzv. notching).

Notching v QRS komplexu je definován jako trifazická R nebo Q vlna s intervalem větším než 20 ms mezi prvním a druhým píkem QRS komplexu. Za existenci notchingu ve 12svodovém EKG považujeme jeho přítomnost alespoň ve třech z šesti končetinových svodů. [28][31] Ukázka notchingu je zobrazena na obrázku 2.1.



Obr. 2.1: Ukázka notchingu, převzato z [28]

Klasifikace KES je prováděna ve 3D. Rozlišujeme směry pozorování:

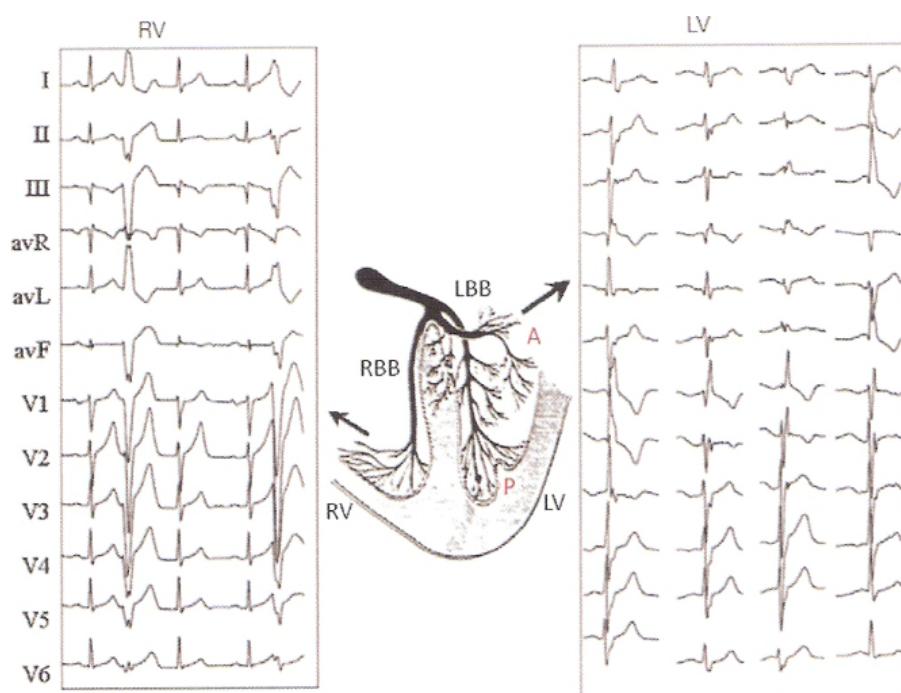
1. Anterior (přední) / Posterior (zadní)
2. Pravý / Levý
3. Superior (vrchní) / Inferior (spodní)

Index průběhu R vlny je počítán dělením průběhu R vlny ve svodu V1 nebo V2 průběhem QRS komplexu.

Velká písmena (Q,R,S) jsou použita v případě výskytu vysoké amplitudy vln ($> 5 \text{ mm}$) a malá písmena značí malou amplitudu těchto vln ($\leq 5 \text{ mm}$).

2.1 Blokáda pravého/levého Tawarova raménka

Úspěšné ablaci KES předchází v první řadě stanovení druhu blokády Tawarova raménka, tedy z jaké komory daná KES pochází. Na obrázku 2.2 můžeme vidět pravé (RBB) a levé (LBB) Tawarovo raménko spolu s částí pravé (RV) a levé komory (LV), kde písmeno A označuje přední svazek Purkyňových vláken a písmeno P označuje zadní svazek.



Obr. 2.2: Ukázka Tawarových ramének spolu s 12svodovým EKG zobrazujících blokádu příslušného raménka, převzato z [11]

K blokáde Tawarova raménka dochází v důsledku vzniku vodivosti v rámci dobře definovaného okruhu zahrnujícího pravou a levou blokádu, spojenou proximálně Hisovým svazkem a distálně septálním myokardiem. Blokáda obvykle nastává u pa-

cientů se strukturální srdeční nemocí, speciálně při dilatované kardiomyopatii. Je charakterizována typickým BB vzorem (podobný sinusovému rytmu) s rychlou frekvencí 180-300 tepů/min, která často způsobuje hemodynamickou nestabilitu. [11]

Blokáda levého Tawarova raménka (Left Bundle Branch Block, LBBB) je méně běžná ve srovnání s blokádou pravého raménka Tawarova (Right Bundle Branch Block, RBBB).

Při úplné raménkové blokádě dochází k rozšíření komplexu QRS nad 120 ms. Blokáda RBBB je charakteristická přítomností sekundárního kmitu R ve svodu V1, tedy QRS komplex je ve svodu V1 vzoru M. Naopak při blokádě LBBB je viditelný rozštěpený komplex QRS ve svodu V6, tzn. vzor M ve svodu V6.[3]

Blokáda pravého raménka Tawarova se projevuje negativním S kmitem ve svodu I a vysokým pozitivním R kmitem ve svodu V1. Původ KES tedy hledáme v levé komoře.[8] Ve svodech z pravého prekordia (V1,V2) je morfologie QRS komplexu popisována jako rSR nebo RSR' vzor.[5] Naopak blokáda levého raménka Tawarova vykazuje vysoký pozitivní kmit R ve svodu I a negativní QS komplex ve svodu V1. Původ KES poté hledáme v pravé komoře.[8] Na EKG záznamu s LBBB pozorujeme rozšířený QRS komplex 0,12-0,18 s a ve svodech z levého prekordia (I, V6) pozitivní QRS komplex s rozštěpeným (bifazickým) vrcholem. Ve svodech z pravého prekordia je hluboký a široký S kmit (morfologie qS nebo QS). Pokud má tachyarytmie tvar LBBB, pak šířka kmitu R nad 30 ms ve V1 a V2 rovněž svědčí pro komorový původ arytmie.[5]

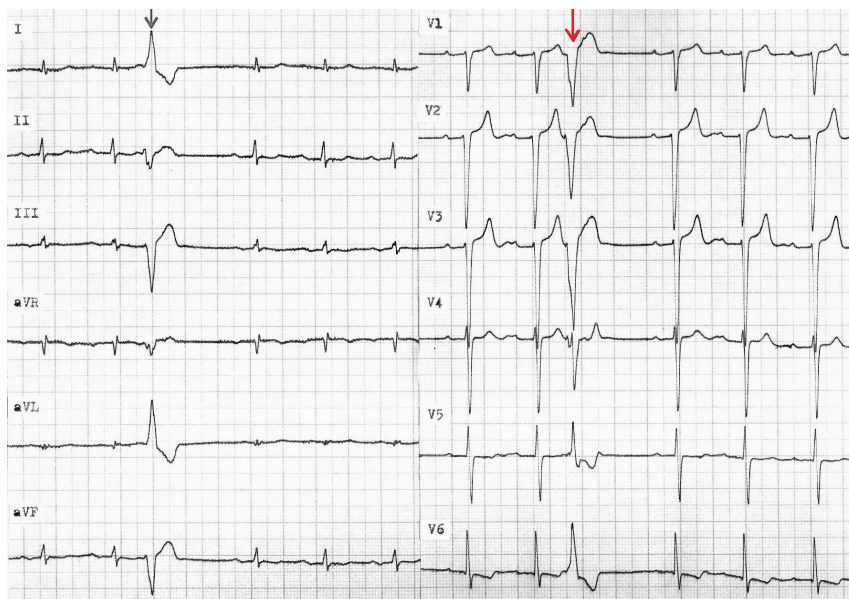
Opožděná aktivace pravé komory srdeční (RBBB blokáda) má za následek:

1. Rozšíření komplexu QRS nad 120 ms.
2. Sekundární R kmit ve svodech obrácených na pravou komoru (V1-V2) - přítomen QRS komplex tvaru M.
3. Široký S kmit v levokomorových svodech a svodu I.

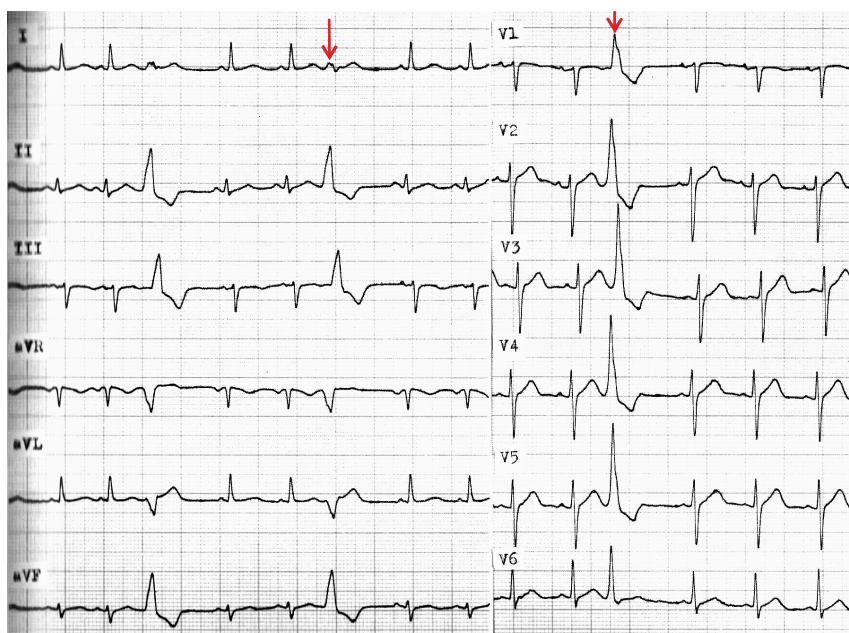
Při blokádě levé komory (LBBB blokáda) probíhá aktivace mezikomorového septa cestou pravého raménka Tawarova a tedy obráceným směrem než normálně (tzn. zprava doleva). Projevuje se tedy následujícími znaky:

1. Počáteční malý negativní kmit q v levokomorových svodech (V5, V6, I a aVL) je nahrazen větším pozitivním kmitem R.
2. Rozvoj širokého rozštěpeného kmitu RR v levokomorových svodech a rozšířený QRS komplex ≥ 120 ms v důsledku opožděné depolarizace levé komory.[3]

Záznam KES na 12svodovém EKG pocházející z pravé komory (LBBB blokáda) a levé komory (RBBB blokáda) je zobrazen na obrázcích 2.3 a 2.4.



Obr. 2.3: KES z pravé komory, převzato z [8]

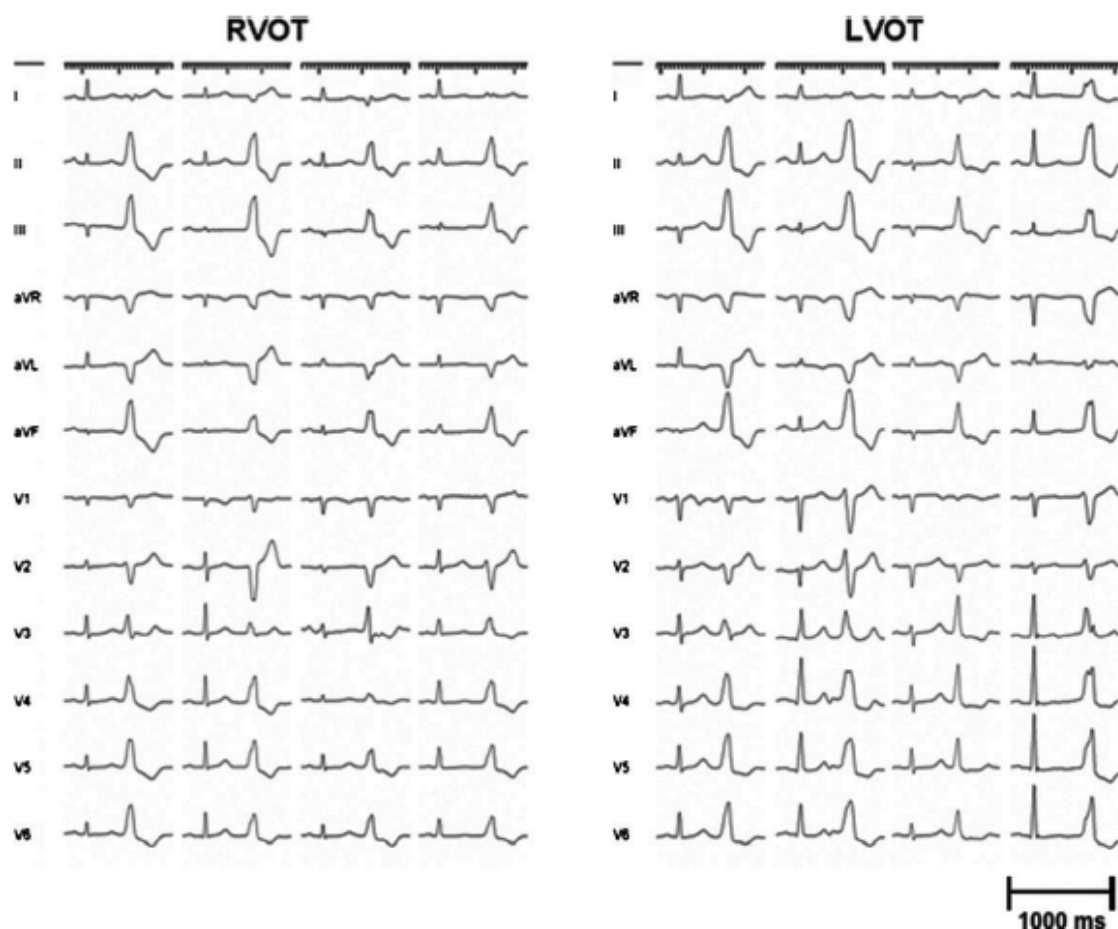


Obr. 2.4: KES z levé komory, převzato z [8]

2.2 Pravý/levý výtokový trakt

Srdce se skládá z levé a pravé komory. Výtokové trakty těchto komor jsou anatomické útvary s častými oblastmi výskytu idiopatických KES.

Hlavní rozdíl mezi KES pocházejících z pravého výtokového traktu (RVOT) a levého výtokového traktu (LVOT) spočívá v hodnocení prekordiálních svodů EKG záznamu. Záznam 12svodového EKG zachycující KES z LVOT i RVOT je zobrazen na obrázku 2.5. KES z RVOT patří mezi nejčastější arytmie ze skupiny idiopatických komorových tachyarytmií. [12]



Obr. 2.5: Ukázka 12svodového EKG s výskytem KES LVOT a RVOT, převzato z [4]

Idiopatické KES z RVOT a LVOT zahrnují inferiorní osu srdeční, tedy pozitivní QRS komplexy ve svodech II, III a aVF.

RVOT KES jsou charakterizovány rS typem S vlny ve svodu V1, naopak pro LVOT KES je typický R, RS nebo Rs typ R vlny ve svodu V1.

Mezi další rozlišení patří hodnocení amplitudy R/S ve svodu V3. Je-li počáteční amplituda R vlny ve svodech V1 a V2 vyšší a poměr R/S větší než jedna nebo roven

jedné, jedná se o LVOT KES. Pokud však poměr R/S nepřesahuje hodnotu jedna, můžeme usuzovat na výskyt RVOT KES.[19][28]

Více přesnější je však porovnávání prekordiálního přechodu R/S se svodech V2 a V3 pomocí poměru zobrazeného ve vztahu 2.1, kde R_K značí amplitudu R vlny detekované KES a S_K amplitudu S vlny detekované KES. R_S představuje amplitudu R vlny sinusového rytmu a S_S amplitudu S vlny sinusového rytmu. Poměr větší nebo roven 0,6 značí výskyt LVOT KES a naopak poměr menší než 0,6 ukazuje na výskyt RVOT KES. Tento poměr vyjadřuje předpoklad, že u KES z LVOT je přítomen R/S přechod sinusového stahu ve stejném svodu nebo dříve než R/S přechod KES. RVOT KES jsou naopak typické R/S přechodem sinusového stahu později než je přítomen R/S přechod u KES. [4]

$$R/S = \frac{\frac{R_K}{R_K+S_K}}{\frac{R_S}{R_S+S_S}} \quad (2.1)$$

Pokud se prekordiální přechod vyskytuje později než ve svodu V4 nebo index R/S amplitudy je menší 0,3 a index průběhu R vlny menší než 0,5, dochází z silnému ovlivnění vzniku KES z pravé strany. Dalším znakem může být také přítomnost S vlny ve svodu I.

Při hodnocení prekordiálního R/S přechodu je tento přechod u KES z RVOT viditelný ve svodu V4. Naopak u LVOT KES je prekordiální přechod viditelný již ve svodech V1 a V2. Prekordiální R/S přechod znázorňuje svod, ve kterém je poprvé přítomen podíl amplitudy R vlny a S vlny větší než jedna.

Amplitudy R vln ve svodech V2 a V3 jsou vyšší u LVOT KES v porovnání s RVOT KES a obsahují vyšší přechodovou zónu. Pokud je poměr Amplitud R vlny a celého QRS komplexu větší nebo roven 0,5, poté je pravděpodobný původ KES v LVOT. [4] Svod V3 je také dobrým ukazatelem rozlišení KES z LVOT a RVOT díky časovému nástupu R vlny. KES z LVOT se vyznačují pomalejším nástupem R vlny v porovnání s RVOT KES. [7]

Pokud srovnáme amplitudy S vln ve svodu V2 a R vln ve svodu V3, můžeme určit daný výtokový trakt, ze kterého zachycená KES pochází. Tento poměr je menší u KES pocházejících z LVOT. V případě, že tento poměr větší než 1,5, poté je předpokládán původ KES v RVOT. Naopak poměr menší než 1,5 je tedy typický pro KES z LVOT. [33]

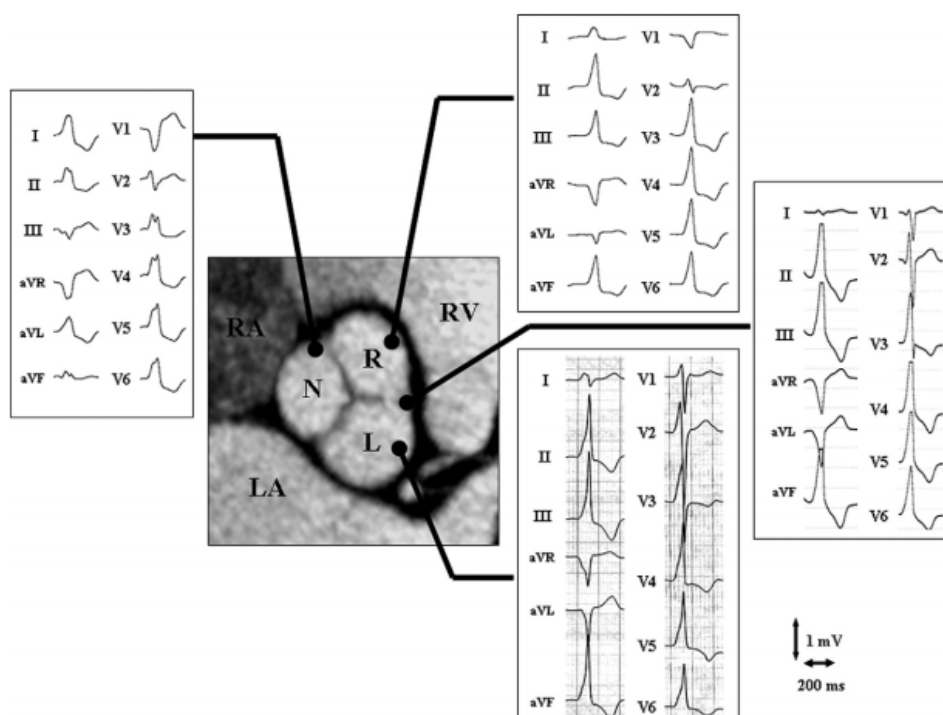
Amplituda S vlny ve svodu V2 je také prokazatelným znakem hodnocení KES. Vyšší amplituda S vlny je přítomna u KES z RVOT. [7]

Idiopatické KES pocházející z pravého výtokového traktu se častěji vyskytují u žen než u mužů a naopak KES z levého výtokového traktu převládají u mužů.[28]

2.3 Kapsičky aortální chlopně

Výtokový trakt komor patří mezi nejčastější místa vzniku KES. Existují však i další místa, ve kterých mohou idiopatické KES vznikat. Patří mezi ně také kapsičky aortální chlopně, které jsou zobrazeny na obrázku 2.6. Aortální chlopeň se dělí na tři části, dvě koronární a jednu nekoronární. Rozlišujeme tedy kapsičku pravé aortální chlopně (Right coronary cusp, RCC), kapsičku levé aortální chlopně (Left coronary cusp, LCC) a kapsičku nekoronární chlopně (Non coronary cusp, NCC). Charakteristiky pro určení místa vzniku KES v oblasti kapsiček aortální chlopně jsou však omezené.[4]

Intrakardiální EKG při výskytu KES z aortální chlopně je hodnoceno z hlediska QRS morfologie, QRS průběhu, elektrické osy srdeční, zóny prekordiálního přechodu, výšky R vln a času maximální výchylky.[32] [26] Pokud je pravděpodobný výskyt KES z levé strany, tedy KES z LVOT, testujeme také možný výskyt těchto KES v kapsičkách aortální chlopně.



Obr. 2.6: Anatomie srdce s vyznačením výtokových traktů srdečních komor a kapsiček aortální chlopně, převzato z [32]

Dvanáctisvodový EKG záznam s vysokými amplitudami R vln v inferior svodech (II, III, aVF) značí původ KES v levé komoře. Tyto amplitudy jsou obvykle vyšší než 15 mV.

Kapsičky aortální chlopně jsou charakteristické těmito znaky:

1. Index průběhu R vlny ve svodech V1 a V2 větší nebo roven 50 %.
2. Poměr amplitud R vlny a S vlny (R/S poměr) ve svodech V1 a V2 větší nebo roven 30 %.
3. Inferiorní osa.

Index průběhu R vlny je dán poměrem celého QRS komplexu ku časovému průběhu R vlny. R/S poměr je definován jako poměr amplitud těchto vln vzhledem k izoelektrické linii.

KES pocházející z kapsičky pravé aortální chlopně (RCC) jsou charakterizovány r nebo M typem pozitivní R vlny a QS nebo QR kmitem ve svodu V1. Dále S nebo rS typem vlny ve svodu V1 a širokou malou vlnou R ve svodu V2. Také vyšší R vlnou ve svodu II než ve svodu III a větším QS vzorem ve svodu aVR než ve svodu aVL. Svod I je u RCC KES pozitivní a QRS průběh je delší než 140 ms. Naopak ve svodech V1 a V2 je viditelný úzký QRS komplex.[26] Prekordiální přechod je přítomen ve svodu V3. [28] KES z RCC se vyznačují přítomností prekordiálního přechodu ve svodu V3. [4]

KES pocházející z kapsičky levé aortální chlopně (LCC) jsou charakteristické M nebo W vzorem ve svodu V1 a prekordiálním přechodem před či ve svodu V2 (časnější než u RVOT KES).[28] KES pocházející z LCC jsou dále definovány jednocestnou R vlnou ve svodech V1-V6 a zámkem na sestupné straně R vlny v inferior svodech (zářez, tzv. notching).[13] QRS komplex zde má tvar blokády LBBB a vyskytují se pozitivní R vlny ve svodech II, III a aVF (stejně jako u RVOT KES). Ve svodu V2 je patrná široká vysoká R vlna.[12] Poměr amplitud R vlny ve svodech II a III (III/II) je větší u LCC ve srovnání s RCC KES. Přesněji pro LCC KES je charakteristický poměr amplitud R vlny ve svodech II a III větší než 0,9. [32] KES z LCC jsou také charakteristické prekordiálním přechodem ve svodu V2. [4]

KES či VT z kapsiček aortální chlopně mají vzor podobný LBBB blokádě, avšak jejich EKG charakteristiky jsou odlišné. Odlišností je průběh R vlny a vyšší poměr R/S amplitudy V1-V2 u LCC KES než u RVOT KES. Pro KES pocházející z kapsiček aortální chlopně jsou tedy charakteristické znaky brzkého prekordiálního přechodu (V1-V2) a pozitivní výchylka ve svodech II, III a aVF.

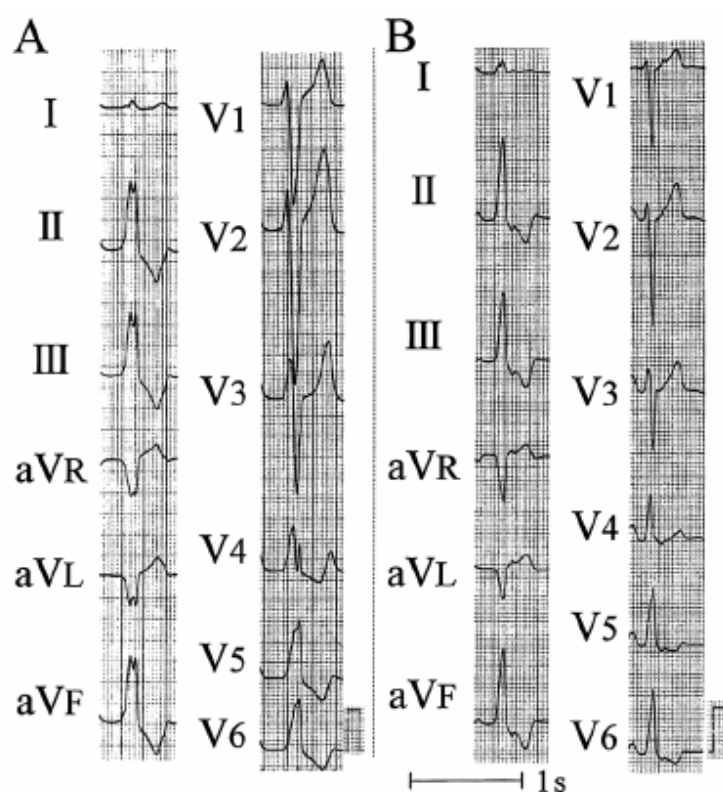
Charakteristiky svědčící pro KES z kapsiček aortální chlopně nejsou vždy sto procentně spolehlivé a v praxi se obvykle nejprve zahajuje mapování ve výtokovém traktu srdečních komor (LVOT). Teprve při neúspěchu se ablace přesouvá dále do kořene aorty.

Rizikem ablace je poškození věnčitých tepen a anatomické souvislosti je poté třeba získat pomocí nástřiku aortálního kmene pomocí katétru nebo intrakardiální echokardiografií. Místa úspěšné ablace se typicky nalézají ve vzdálenosti větší než 8 mm pod ústím koronárních tepen.

2.4 Určení zóny vzniku KES

KES které vznikají v srdečních komorách můžeme hledat v různých oblastech srdeční svaloviny. Rozlišujeme KES vznikající na hrotu či bazi, dále anterior (přední) a inferior (nižší) umístění. Můžeme také určit, zda KES pochází z oblasti septální nebo je uložena spíše laterálně.

KES vznikající v pravém výtokovém traktu mohou pocházet z oblasti septa nebo volné stěny srdeční svaloviny. Většina KES z RVOT však pochází ze septální oblasti (70-80%). KES vznikající ve volné stěně RVOT jsou charakteristické trifazickým RR' kmitem v inferior svodech (II, III, aVF), kde časový interval mezi počáteční a koncovou R vlnou činí 20 ms. U KES vznikajících v septální části RVOT můžeme naopak pozorovat monofazický R kmit ve svodu II. [31] Ukázka 12svodového EKG zachycující KES z volné stěny RVOT (A) a KES z RVOT septa (B) je zobrazena na obrázku 2.7.



Obr. 2.7: Ukázka KES z RVOT volné stěny (A) a septa (B), převzato z [31]

Mezi další rozdílné charakteristiky KES RVOT z volné stěny a septa hodnocené pomocí 12svodového EKG patří hloubka Q vlny ve svodech aVR a aVL, poměr Q vlny ve svodech aVR/aVL, hodnocení amplitudy R vlny ve svodech V1-V2 a přechodová zóna v prekordiálních svodech. Hloubka Q vlny ve svodech aVR

a aVL vykazuje menší hodnotu pro KES z volné stěny (svod aVR: $0,9 \pm 0,3$ mV, svod aVL: $0,6 \pm 0,2$ mV) v porovnání s KES RVOT z oblasti septa (svod aVR: $1,0 \pm 0,2$ mV, svod aVL: $0,9 \pm 0,3$ mV). Poměr Q vlny v těchto svodech je větší u KES RVOT ze septální oblasti ($1,0 \pm 0,4$ mV) v porovnání s umístěním KES ve volné stěně ($0,6 \pm 0,2$ mV). Amplitudy R vln ve svodech V1 a V2 jsou vyšší pro KES RVOT vznikající v oblasti volné stěny (volná stěna V1: $0,3 \pm 0,2$ mV, volná stěna V2: $0,6 \pm 0,3$ mV, septum V1: $0,2 \pm 0,1$ mV, septum V2: $0,4 \pm 0,3$ mV). Přechodová zóna je při septálním umístění KES ve svodu V3 mnohem větší než ve svodu V2 ($V2 \ll V3$). [31]

KES mohou být uloženy volně nebo se mohou vyskytovat ve stěně srdečního septa. Při zkoumání II. a III. svodu EKG se tato dvě umístění liší podle pravidla znázorněného ve vztahu 2.2 pro volné KES a 2.3 pro KES uložené v septu. Znak t_{QRS} značí časový interval délky QRS komplexu, tedy jeho šíři.

$$t_{QRS} \geq 140 \text{ ms} \quad (2.2)$$

$$t_{QRS} < 140 \text{ ms} \quad (2.3)$$

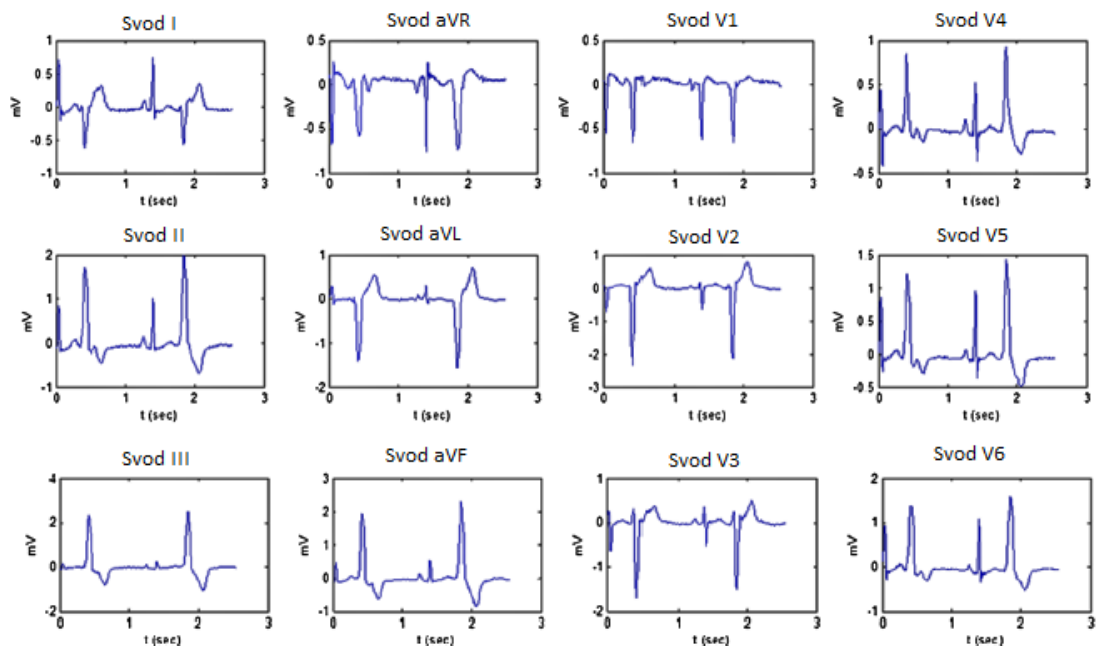
Při výskytu RR' a Rr' vzoru ve svodu II a III můžeme usuzovat na umístění KES volně mimo septum. U KES vznikajících ve volné stěně RVOT je častěji přítomen notching. [28] Naopak, pokud je přítomen vzor běžné R vlny je zde septální výskyt. KES které vykazují septální místo vzniku téměř vždy vykazují LBBB blok. [11] Ukázka EKG záznamu s výskytem KES RVOT ze septa je zobrazena na obrázku 2.8.

Idiopatické KES tvaru LBBB vycházející ze septální části RVOT mají negativní či izoelektrický QRS komplex ve svodu I a poměr R/S menší než jedna ve svodu V4. Pokud KES vychází z volné stěny RVOT, potom je přítomen pozitivní QRS komplex ve svodu I a R/S poměr větší než jedna ve svodu V4.

Idiopatická KES tvaru RBBB vycházející z oblasti LVOT mají výrazný R kmit či QR kmit ve svodu V1 a monofazický R kmit ve svodech II, III, aVF. Pokud vycházejí z mezikomorového septa vlevo, potom je na EKG viditelný sklon osy doleva ve frontální rovině. [5]

Rozlišení proximálního a distálního místa umístění KES je prováděno pomocí počáteční R vlny, respektive její amplitudy ve svodech V1 a V2. Pokud je tato amplituda vysoká ($> 0,2$ mV v obou svodech) jedná se o proximální místo. Naopak pokud je amplituda nízká ($< 0,2$ mV v jednom nebo druhém svodu) jedná se o místo distální.

Na základě polarity QRS komplexů ve svodu I, zákmitů ve svodech II, III a aVF (zářezů, tzv. notching) a přechodové zóny v horizontální rovině v prekordiálních svodech je možné odhadnout místo ložiska ve výtokovém traktu. [12] Jednotlivá



Obr. 2.8: Ukázka KES z oblasti septa RVOT, převzato z [28]

kritéria k lokalizaci fokusu v oblasti RVOT na základě 12svodového EKG jsou zobrazena v tabulce 2.1. Polarita ve svodu I slouží k určení ložiska posteriorně nebo anteriorně. Přítomnost zákmitů ve svodech II, III, aVF a přechodová zóna určují polohu septálně nebo v oblasti volné stěny pravé komory. [12]

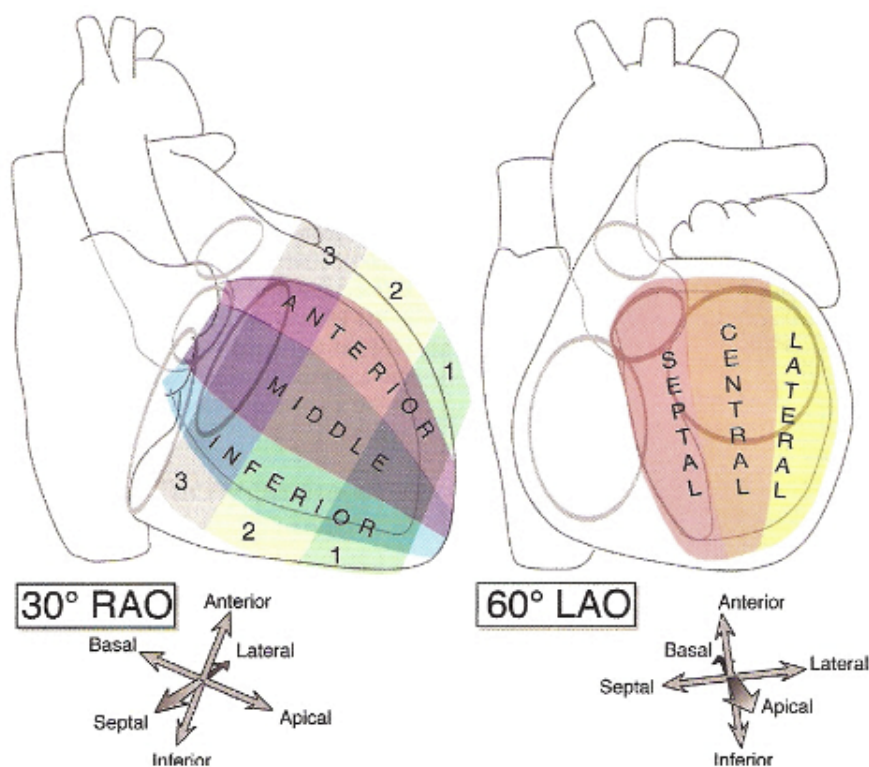
Tab. 2.1: Kritéria pro lokalizaci místa vzniku KES v oblasti RVOT, převzato z [12]

	Mezikomorové septum		Volná stěna PK	
	posteriorně	anteriorně	posteriorně	anteriorně
Polarita ve svodu I	+	-	+	-
Notching ve svodech II, III, aVF	ano	ne	ano	ano
Přechodová zóna	V3	V3	$\geq V4$	$\geq V4$

Bazální část levé komory je tvořena pruhem srdeční svaloviny v okolí mitrální chlopně. Na tuto oblast nasedá aortální chlopeň v horní septální části a deformuje její kruhovitý tvar. Při výskytu KES z bazální části LK můžeme pozorovat na EKG QRS komplex tvaru RBBB a srdeční osu 90° . Při výskytu ložiska KES v laterální oblasti LK je viditelný blok LBBB.[12]

Jestli hledané KES pochází z oblasti baze nebo hrotu levé komory ukazují polarity svodů V4 a aVR. Anterior-inferior osu určujeme pomocí polarity svodů III, V6 a septální-laterální osa vzniku je dána pomocí polarity svodů I a aVL. Jednotlivé zóny jsou vyznačeny na schématu srdečních komor v pravé šikmé projekci (right anterior

oblique – RAO) a levé šikmé projekci (left anterior oblique – LAO) 2.9, kde zóna 1 odpovídá hrotu, zóna 2 je mezi hrotem a bazí a zóna 3 značí oblast baze.



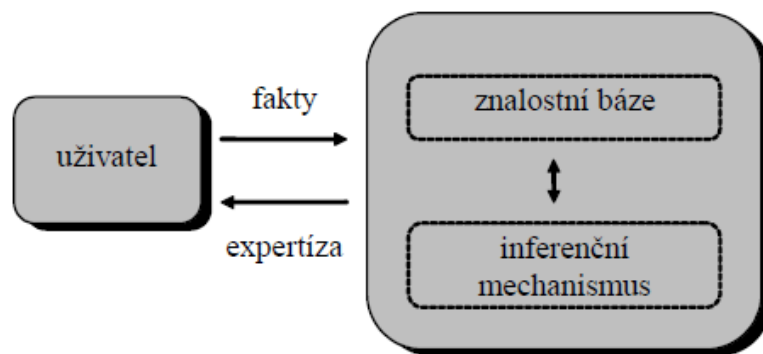
Obr. 2.9: Zóny výskytu KES, převzato z [11]

U pacientů s výskytem levokomorových idiopatických KES může dojít k chybnému mapování v důsledku epikardiálního umístění ektopického ložiska.

3 NÁVRH EXPERTNÍHO SYSTÉMU

3.1 Expertní systém

Expertní systém (ES) je počítačový systém, který zastupuje lidského experta ve vyhodnocování a řešení problémů. ES jsou oblastí umělé inteligence, ve které je používáno specializovaných znalostí k řešení problémů na úrovni lidského experta. Základní koncept ES vychází z představy, že uživatel poskytuje systému fakta a jako odezvu dostává expertní sadu, tedy expertýzu. ES je skládá ze dvou hlavních částí. První částí je znalostní báze obsahující znalosti, které jsou zpracovávány inferenčním mechanismem znázorněným na obrázku 3.1. Inferenční systém tvoří jádro ES. Jeho úkolem je zpracovávat údaje zadané uživatelem a porovnávat je s údaji zjištěnými z báze znalostí. Inferenční mechanismus je v ES zabudován napevno. Základním problémem použití je formulace báze znalostí, tedy naplnění ES. Báze musí být rozšiřitelná, abychom do ní mohli podle potřeby doplňovat fakta a pravidla. Jazyk těchto pravidel musí být formální a musí umožňovat popis všech objektů problémové oblasti a vztahů mezi nimi. Proces generování expertýzy se nazývá inferencí (strojovým usuzováním), která se používá ve spojení s expertýzou generovanou lidským expertem. Uživatelem může být i expert a potom ES slouží jako inteligentní asistent (poradce), který přispívá k větší efektivitě problému. [23][30]

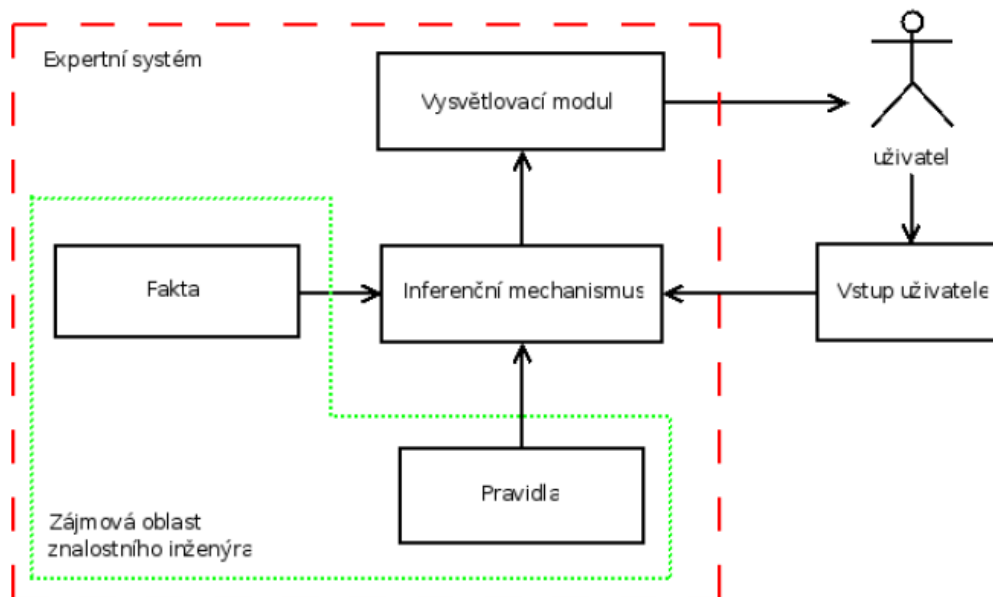


Obr. 3.1: Základní koncept ES, převzato z [23]

Obecné schéma ES s jednotlivými závislostmi je zobrazeno na obrázku 3.1.

3.1.1 Jazyky expertních systémů

Obecné programování zahrnuje tři principy popsané jako: proved', proved' jestliže můžeš, proved' něco smysluplného. První princip představuje klasické procedurální programování zdokonalujících se algoritmů. Druhý princip je nazýván deklarativním programováním a třetí programování se nazývá evolučním.



Obr. 3.2: Obecné schéma ES, převzato z [30]

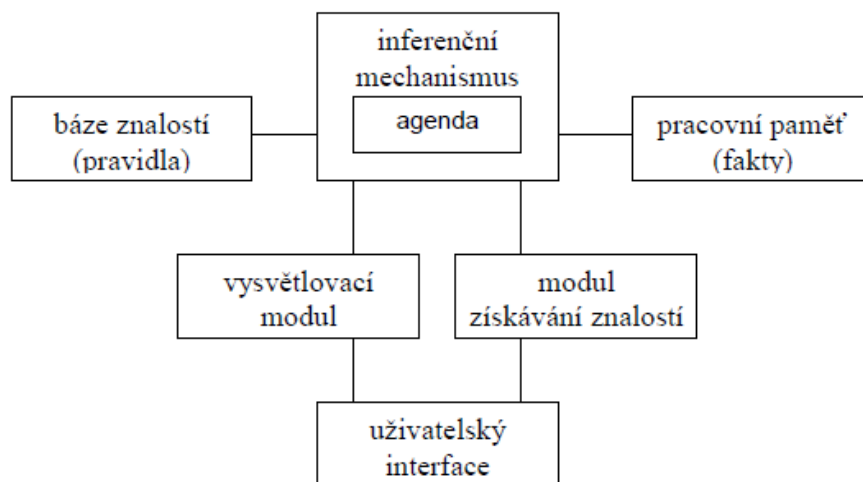
Klasický procedurální styl (algoritmický) spočívá v jednoduchém principu, kdy program je tvořen posloupností příkazů. V každém kroku je definováno co bude následovat. Základní představa deklarativního programování klade důraz na pravidla řešení problémů a odděluje cíle od metod. Deklarativní program je tedy tvořen celky, do kterých jsou seřazeny výrazy reprezentující pravidla.

3.1.2 Části expertního systému

ES se skládá z těchto hlavních částí: [23]

1. Uživatelský interface - představuje spojovací modul, který zabezpečuje komunikaci uživatele s ES.
2. Vysvětlovací modul - popisuje a vysvětluje postup usuzování ES uživateli.
3. Modul získávání znalostí - určený pro vkládání nových znalostí do ES.
4. Pracovní paměť - slouží jako databáze faktů používaných pravidly.
5. Inferenční mechanismus - provádí inferenci, tedy proces usuzování. Vytváří prioritní seznam pravidel a aplikuje tyto pravidla podle seznamu. Rozhoduje, která pravidla jsou splněna předloženými (existujícími fakty).
6. Agenda - představuje soubor pravidel s přiřazenou prioritou vytvořený inferenčním mechanismem.
7. Báze znalostí - složená z databáze pravidel.

Základní části a jejich organizace ES jsou zobrazeny na obrázku 3.3.



Obr. 3.3: Struktura ES, převzato z [23]

3.1.3 Principy expertních systémů

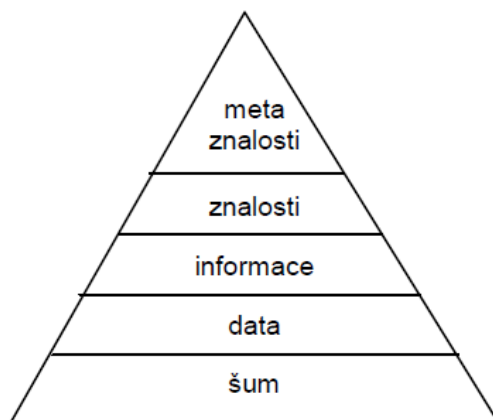
Reprezentace znalostí probíhá pomocí řady technik, mezi které patří například produkční pravidla, sémantické sítě, rámce, znalostní jazyky, koncepční grafy a další.

Pravidla obvykle formulujeme ve formě předpoklad $\rightarrow$ důsledek (příčina $\rightarrow$ následek). Od pravidel očekáváme, že provedu analýzu zadaných údajů (faktů problému) a dodají odpověď. Tomuto postupu řešení ve směru odvozování předpokladu po důsledek říkáme dopředné řetězení. Z hlediska konstrukce v sobě musí pravidla zahrnovat prostor pro otázky, tedy zjišťování údajů od uživatele a zároveň také obsahují logiku pro zpracování těchto údajů, jejich porovnání s fakty a poskytnutí odpovědi. [30]

Procedurální znalosti obvykle popisují postup. Deklarativní znalosti popisují pravidla nějakého faktu a tacitní znalosti, někdy také nazývány nevyslovenými znalostmi, nemohou být popsány jazykem (používány v neuronových sítích).

Znalosti mají v ES význam nejvyšší priority. Můžeme tedy říci, že algoritmus a struktura dat tvoří dohromady program. Znalosti a inferenční mechanismus poté tvoří expertní systém. Znalostní hierarchie, která představuje úroveň významu pro uživatele je znázorněna na obrázku 3.4. Ve spodní části pyramidy znalostní hierarchie je šum, který zaujímá nejnižší pozici a pro uživatele je bez významu. Výše jsou data, která jsou položkami potenciálního významu, avšak mohou být znehodnocená šumem. Data, která jsou již zpracována nazýváme informacemi a obsahují oddělené významné položky. Znalostmi jsou specializované informace, tedy informace zaměřené na danou oblast. Metaznalostmi jsou poté znalosti o znalostech a expertyzách. Metaznalosti mohou sloužit k určování, které znalosti budou použity k analýze a které nikoliv.[23]

Sémantické sítě slouží k lepšímu porozumění přirozenému jazyku. Sítě jsou tvo-



Obr. 3.4: Znalostní hierarchie, převzato z [23]

řeny orientovanými grafy s uzly, které představují jednotlivé objekty (koncepty). Uzly mohou být dále propojené spojeními (hranami) představujícími relace neboli závislosti.

Sémantická síť představuje tzv. povrchní strukturu znalostí. Veškeré znalosti jsou zde obsaženy na úrovni uzlů a relací.[23]

3.2 Použité algoritmy

Algoritmy využívané v expertním systému navazují na algoritmy použité v bakalářské práci se zaměřením na detekci komorových extrasystol. [29] Tato práce detekuje komorové extrasystoly na základě přítomnosti kompenzační pauzy, širokého QRS komplexu a negativní T vlny. Na začátku celého expertního systému je umístěn algoritmus, který rozhoduje, zda se daná hledaná KES nachází v pravé nebo levé komoře. V kapitole 2 jsme již zmínili, že KES pocházející z pravé komory vykazují LBBB a naopak KES z levé komory jsou charakteristické tvarem RBBB. Schéma rozhodovacího stromu, který určuje, který tvar blokády je přítomen, je zobrazen na obrázku 3.5.

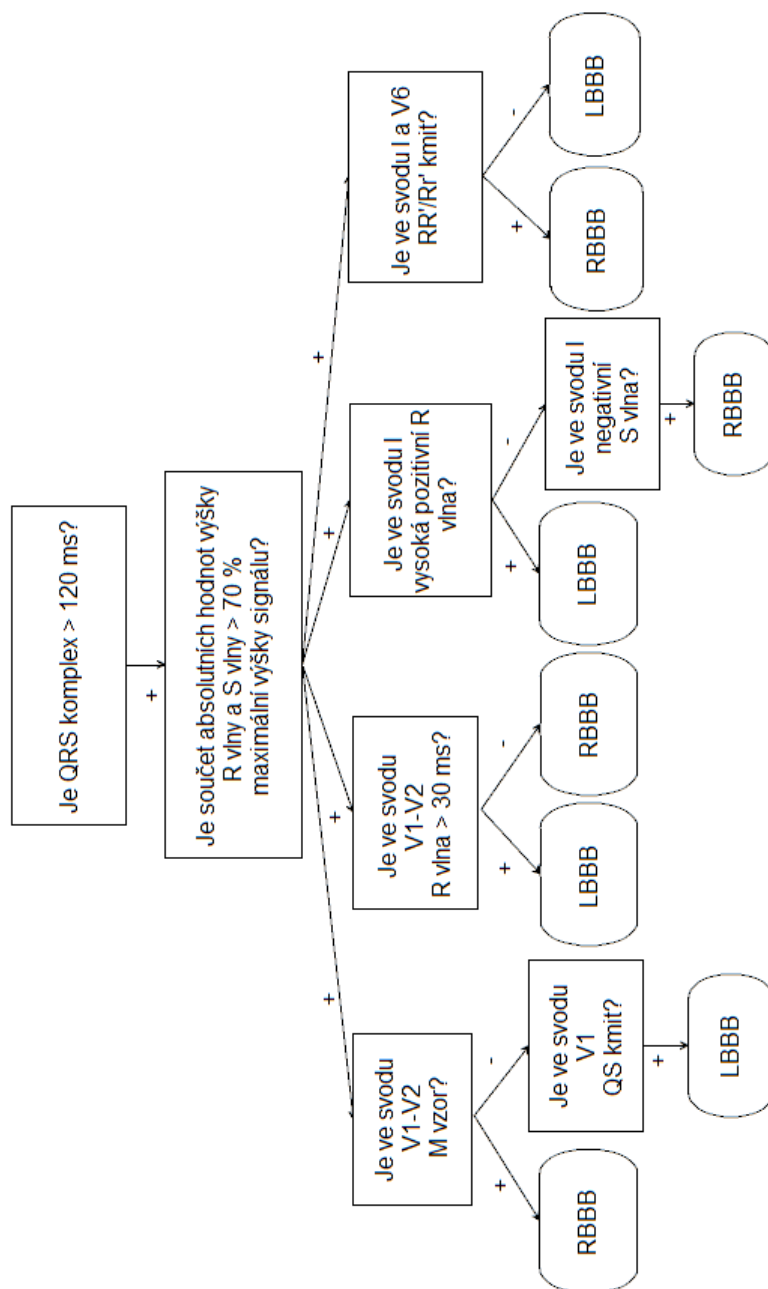
Poté co je zjištěno, zda KES pochází z pravé nebo levé komory, je použit algoritmus, který testuje výskyt KES ve výtokových traktech komor. Pokud v rozhodovacího stromu 3.5 je více výstupů RBBB, usuzujeme na výskyt KES v levé komoře a dále je použit rozhodovací strom pro levý výtokový trakt (LVOT), znázorněn na obrázku 3.6. Naopak pokud se v rozhodovacím stromu 3.5 nachází větší počet výstupů pro LBBB, je pravděpodobný výskyt KES v pravé komoře a dále je používán rozhodovací strom pro pravý výtokový trakt (RVOT), který je znázorněn na obrázku 3.7.

Pokud je analýza výtokových traktů nejasná, díky křížení výtokových traktů před srdečními komorami, mohou se hledané KES nacházet také v kapsičkách aortálních chlopní. Strom potřebný při rozhodování, zda daná KES pochází z kapsičky pravé aortální chlopně (RCC), kapsičky levé aortální chlopně (RCC) či nekoronární chlopně (NCC) je zobrazen na obrázku 3.8.

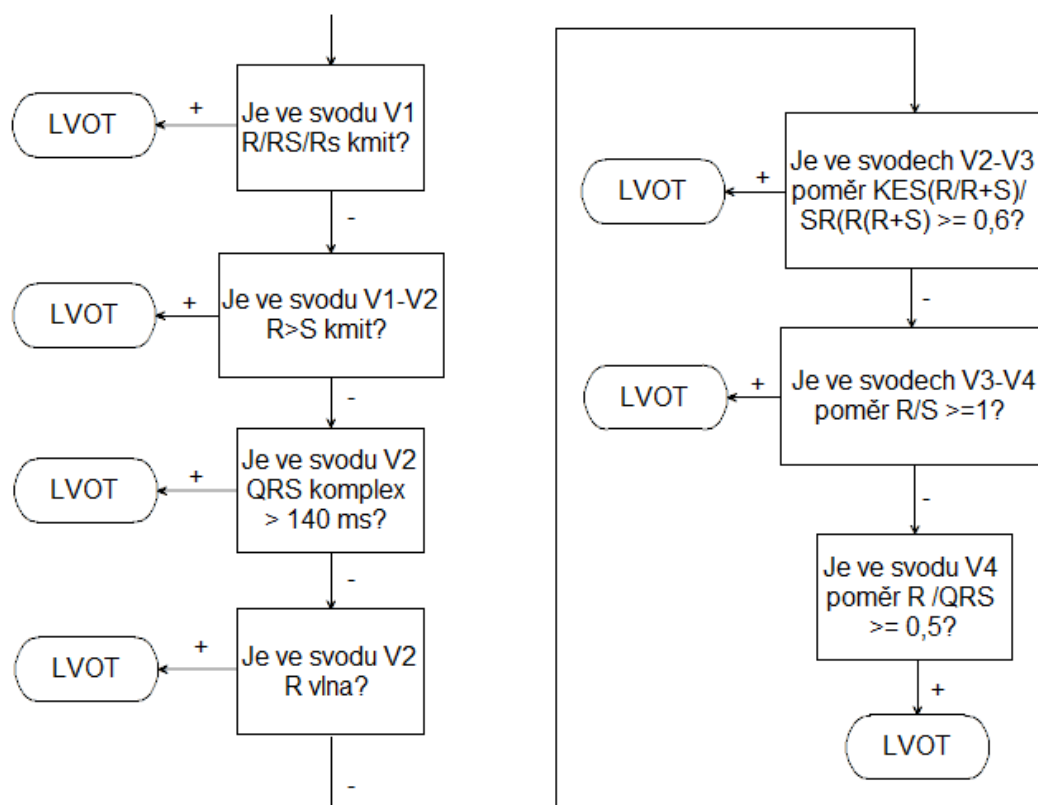
V případě, že jsou nejasné i výsledky rozhodovacího stromu kapsiček aortální chlopně, může být původ KES na jiném místě v levé komoře. O tom, zda hodnocená KES pochází z oblasti báze nebo hrotu levé komory anteriorně (přední oblast) či interiorně (dole ležící, spodní oblast), rozhoduje strom zobrazený na obrázku 3.9.

Při tvorbě rozhodovacích stromů byly použity klasické obdélníkové struktury, které znázorňují dané rozhodovací algoritmy. Oválné tvary značí jednotlivé výstupy. Pokud je splněna podmínka rozhodovacího algoritmu, pokračuje algoritmus podél větve s kladným označením (+), naopak při nesplnění podmínky je použita větev s označením negativním (-).

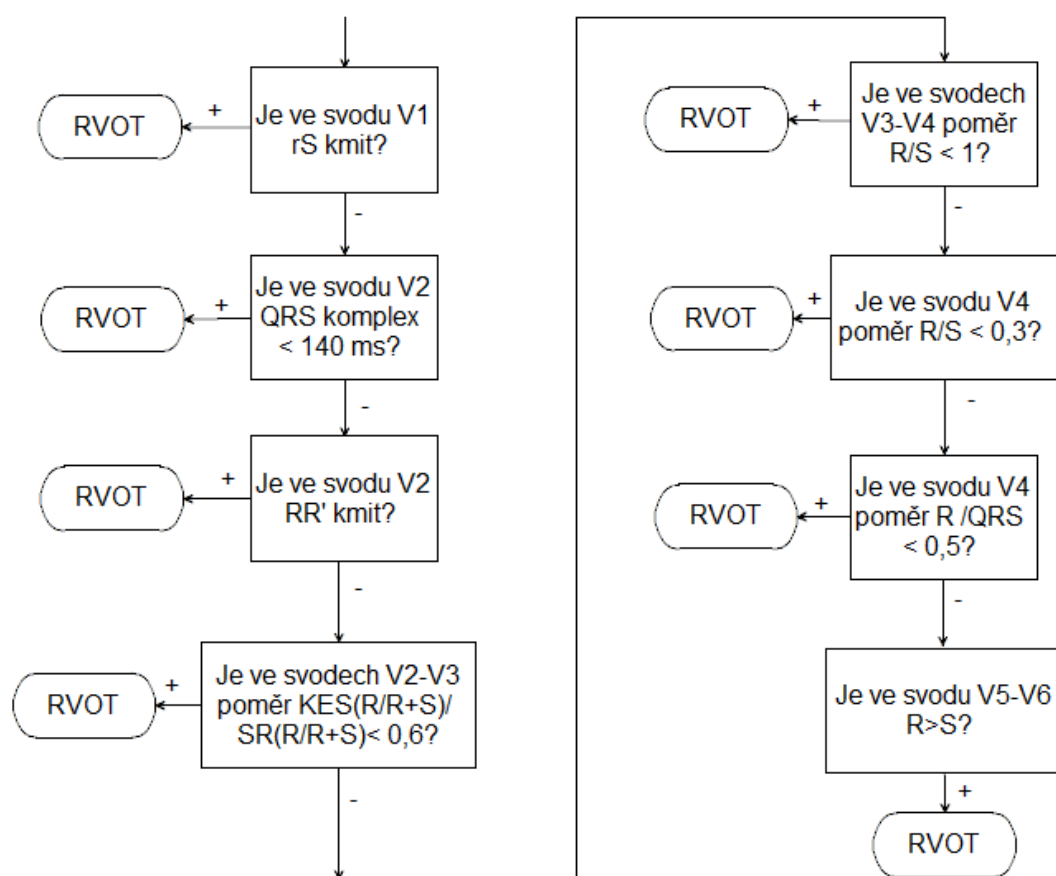
Při průkazu výskytu KES z RVOT, může se daná KES vyskytovat v oblasti volné stěny nebo v oblasti mezikomorového septa. Rozhodovací strom pro danou KES je zobrazen na obrázku 3.10, kde FW značí umístění ve volné stěně (free wall).



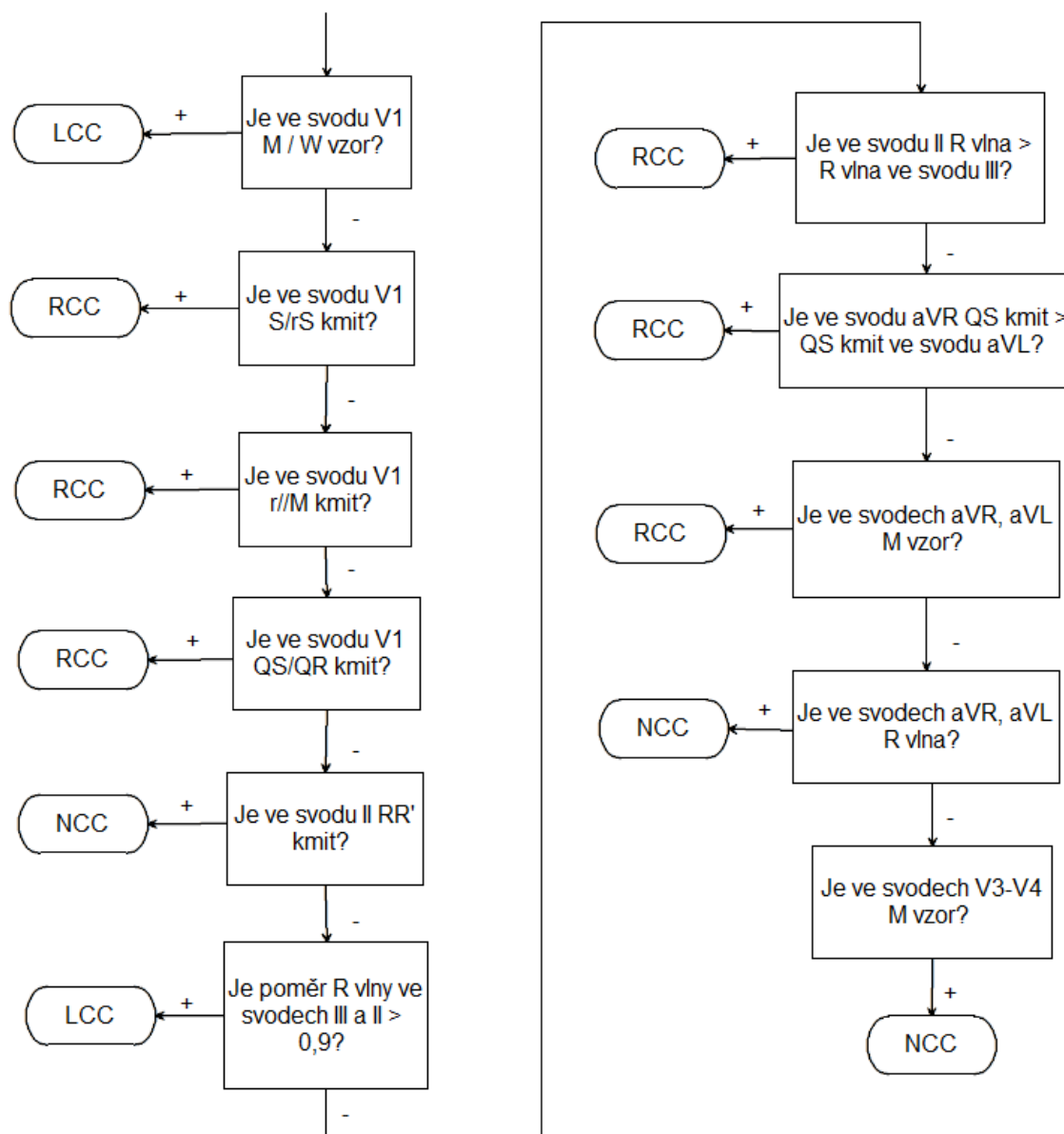
Obr. 3.5: Rozhodovací strom pro určení tvaru blokády Tawarova raménka



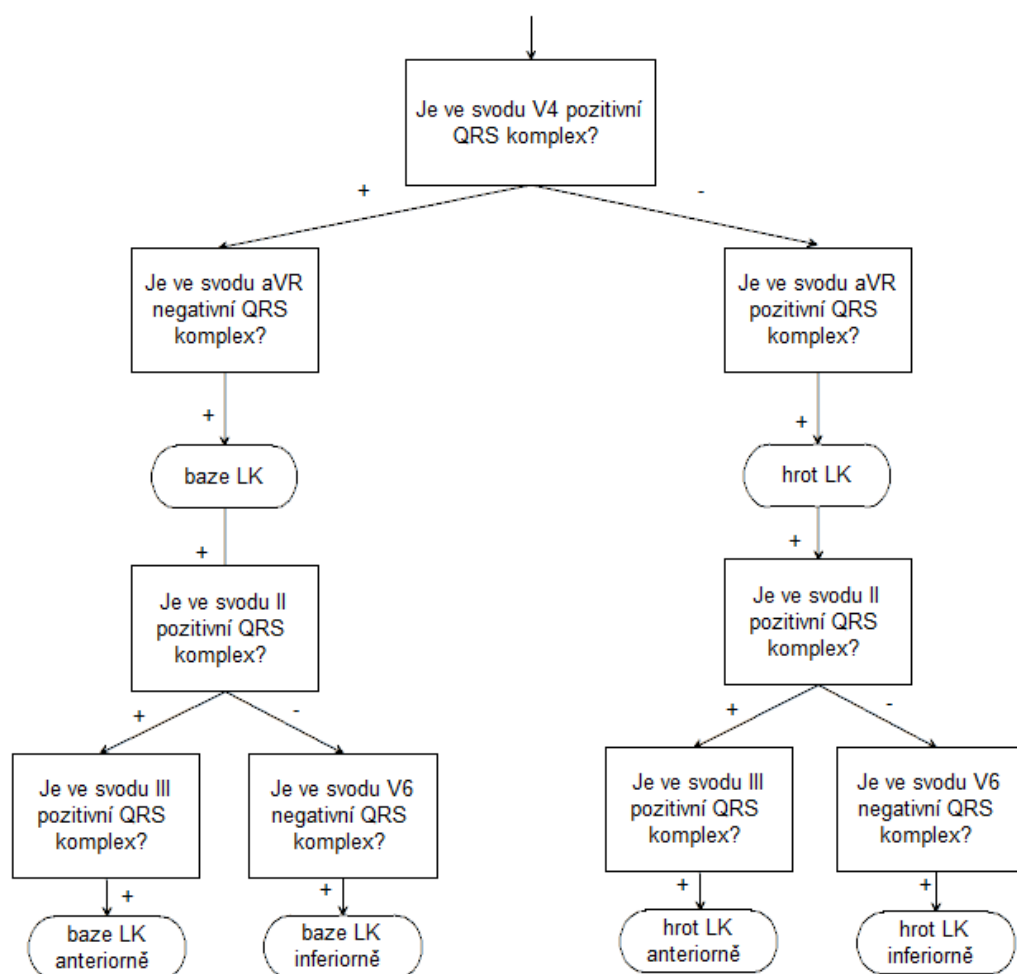
Obr. 3.6: Rozhodovací strom pro levý výtokový trakt



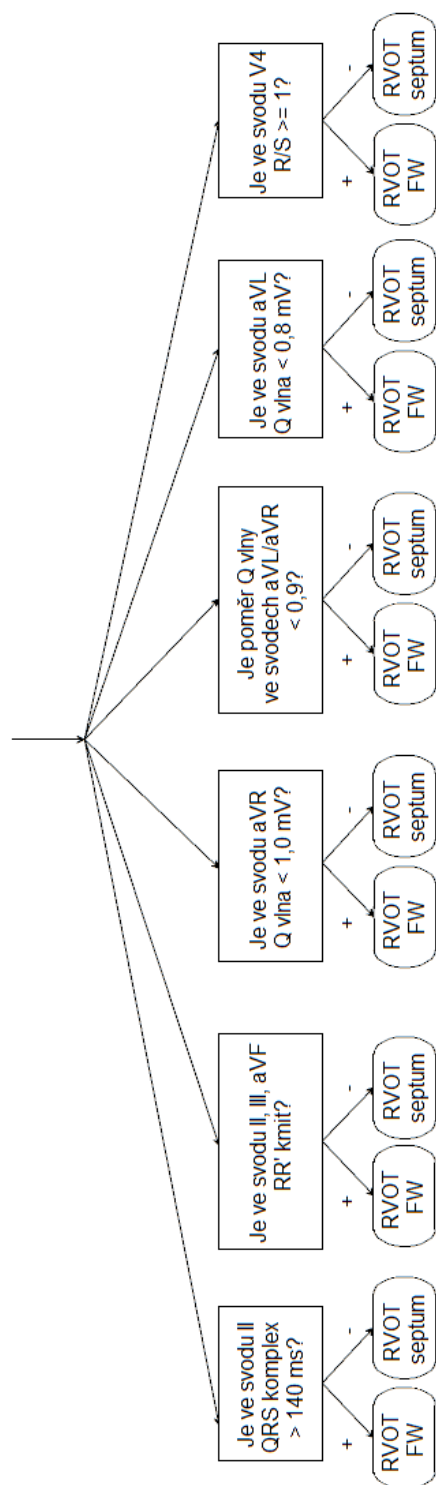
Obr. 3.7: Rozhodovací strom pro pravý výtokový trakt



Obr. 3.8: Rozhodovací strom pro určení KES z kapsiček aortální chlopně



Obr. 3.9: Rozhodovací strom pro KES v oblasti hrotu či baze levé komory



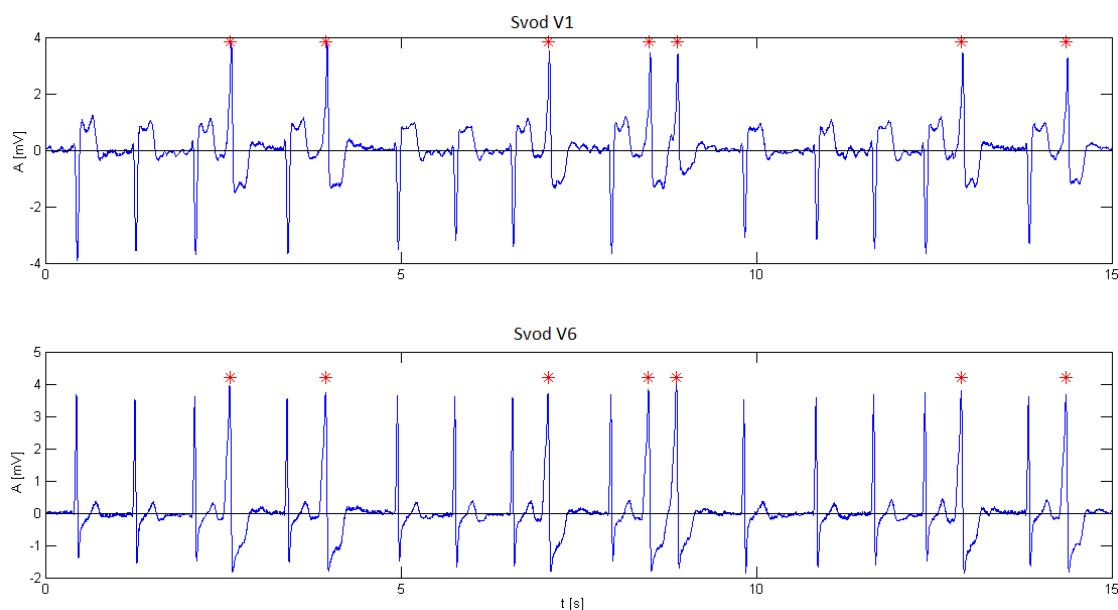
Obr. 3.10: Rozhodovací strom pro KES z pravého výtokového traktu v oblasti baze nebo srdečního septa

3.2.1 Tvar blokády Tawarova raménka

Udává se, že blokáda pravého raménka Tawarova (RBBB - Right Bundle Branch Block) značí výskyt KES v levé komoře a naopak blokáda levého raménka Tawarova (LBBB - Left Bundle Branch Block) výskyt v komoře pravé. Jako základní znaky představující danou blokádu byly použity následující znaky:

1. Pozitivita/negativita svodu V1.
2. Pozitivita/negativita svodu V6.

Znak positivity/negativity svodů V1 a V6 určuje tvar blokády Tawarova raménka. V případě, že je svod V1 více pozitivní a svod V6 více negativní, jedná se o RBBB. Naopak více negativní svod V1 a více pozitivní svod V6 značí LBBB. Pro možnou aberaci QRS komplexu (tzn. pro praxi vždy tato pravidla neplatí), bylo za RBBB považováno i výskyt positivity QRS komplexů u obou svodů V1 a V6. Na obrázku 3.11 je tedy znázorněna ukázka KES tvaru RBBB a na obrázku 3.12 KES tvaru LBBB.

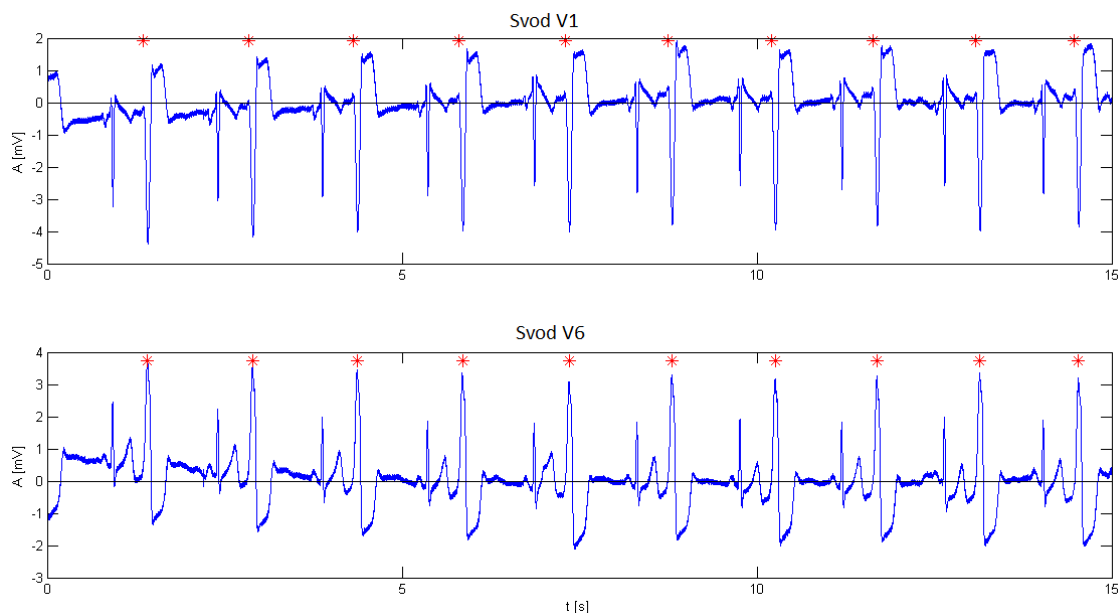


Obr. 3.11: Ukázka KES tvaru blokády pravého Tawarova raménka

Hodnotíme nejprve všechny detekované KES a sledujeme jejich polaritu ve svodech V1 a V6. Pokud KES splňují podmínky vztahu 3.1 nebo vztahu 3.2, poté je viditelný tvar pravého Tawarova raménka, tedy RBBB. Naopak pokud KES splňují podmínky znázorněné ve vztahu 3.3, jde o blokádu raménka levého, tedy LBBB.

$$(|R_{V1}| > |S_{V1}|) \wedge (|R_{V6}| < |S_{V6}|) \quad (3.1)$$

$$(|R_{V1}| > |S_{V1}|) \wedge (|R_{V6}| > |S_{V6}|) \quad (3.2)$$



Obr. 3.12: Ukázka KES tvaru blokády levého Tawarova raménka

$$(|R_{V1}| < |S_{V1}|) \wedge (|R_{V6}| > |S_{V6}|) \quad (3.3)$$

3.2.2 Výtokové trakty komor

Idiopatické KES vznikající ve výtokových traktech pravé či levé komory mají své typické znaky. Při zkušebním testování byl hodnocen výskyt znaků použitých v rozhodovacích stromech 3.7 a 3.6. Protože se ukázalo, že použití příliš mnoha znaků je spíše zmatečné, byly vynechány některé předem definované znaky z důvodu chybné lokalizace či malého výskytu těchto znaků u hledaných KES. Například porovnávání šířky QRS komplexu při hodnocení původu KES z levého či pravého výtokového traktu je zavádějící. Literatura použitá v kapitole 2.4 tento znak hodnotí později u přesnější lokalizace KES v pravé komoře. V této práci byly tedy použity znaky následující:

Výtokový trakt pravé komory (RVOT):

1. Přítomnost rS kmitu ve svodu V1.
2. Poměr amplitud R vlny a S vlny ve svodu V2 menší než 0,996.
3. Poměr KES a sinusového rytmu ve svodech V2 a V3 menší než 0,6.
4. Podíl amplitudy R vlny a QRS komplexu ve svodu V4 menší než 0,5.
5. Sklon průběhu R vlny ve svodu V3 menší než 80 ms.
6. Poměr S vlny ve svodu V2 a R vlny ve svodu V3 větší než 1,5.
7. Amplituda S vlny ve svodu V2 větší než 2 mV.

Výtokový trakt levé komory (LVOT):

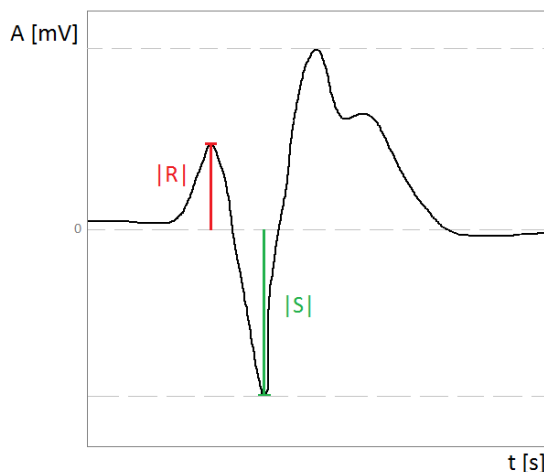
1. Přítomnost Rs nebo RS kmitu ve svodu V1.
2. Poměr amplitud R vlny a S vlny ve svodu V2 větší nebo roven 0,996.
3. Poměr KES a sinusového rytmu ve svodech V2 a V3 větší nebo roven 0,6.
4. Podíl amplitudy R vlny a QRS komplexu ve svodu V4 větší nebo roven 0,5.
5. Sklon průběhu R vlny ve svodu V3 větší než 80 ms.
6. Poměr S vlny ve svodu V2 a R vlny ve svodu V3 menší nebo roven 1,5.
7. Amplituda S vlny ve svodu V2 menší než 2 mV.

Výtokový trakt pravé komory

1. Přítomnost rS kmitu ve svodu V1.

KES vznikající ve výtokovém traktu pravé komory mají obvykle přechodovou zónu ve svodu V3 nebo dříve.[19] Tohoto znaku bylo využito a byl pozorován výskyt Rs kmitu ve svodu V1. Rs kmit zde značí větší amplitudu R vlny v porovnání s S vlnou podle vztahu 3.4. R_{V3} a R_{V2} zde značí R vlny KES ve svodu V1. Tvar QRS komplexu KES s přítomností rS kmitu je znázorněn na obrázku 3.13, amplitudy jsou brány v absolutní hodnotě od izolinie (0 mV).

$$|R_{V1}| < |S_{V1}| \quad (3.4)$$



Obr. 3.13: Ukázka rS kmitu KES

2. Poměr amplitud R vlny a S vlny ve svodu V2 menší než 0.996.

Druhým použitým znakem je porovnávání poměru amplitudy R vlny a S vlny komorové extrasystoly ve svodu V2. Literatura [28] uvádí, že tento poměr pro KES z výtokového traktu pravé komory nepřekračuje hodnotu jedna. Aby byla zajištěna větší přesnost při hodnocení, byla použita hodnota zaokrouhlená

na tři desetinná místa. Zvolená hodnota 0,996 byla použita pro zvýšení přesnosti detekce. Hledaný znak KES pocházející z RVOT tedy musí vyhovovat podmínce 3.5.

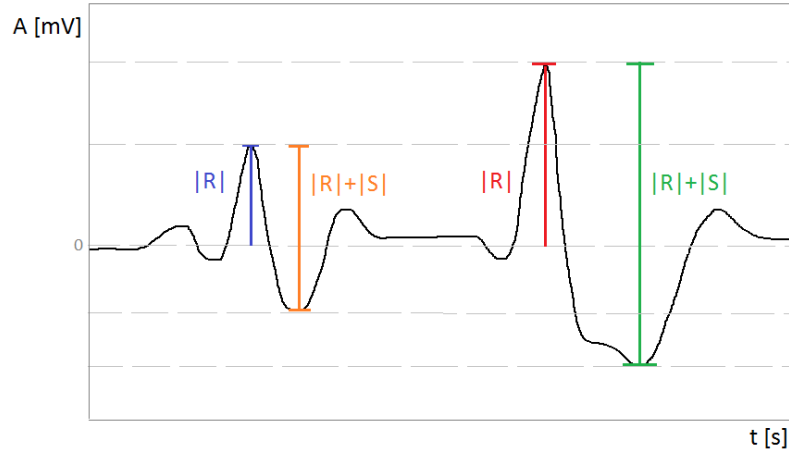
$$\frac{|R_{V2}|}{|S_{V2}|} < 0.996 \quad (3.5)$$

3. Poměr KES a sinusového rytmu ve svodech V2 a V3 menší než 0,6.

Třetím hledaným znakem KES z RVOT je porovnávání amplitud KES a sinusového rytmu (SR) EKG záznamu ve svodech V2 a V3. Byly porovnávány amplitudy R vln a S vln sinusového rytmu a KES pomocí vztahu 3.6 a 3.7, kde R_{V2} , R_{V3} je znakem pro amplitudu R vlny detekované KES ve svodu V2 resp. V3 a S_{V2} , S_{V3} amplitudu S vlny detekované KES ve svodu V2 resp. V3. Stejný princip označení je použit u amplitud sinusového rytmu pouze s malými písmeny. r_{V2} , r_{V3} představuje amplitudu R vlny sinusového rytmu a s_{V2} , s_{V3} amplitudu S vlny sinusového rytmu ve svodech V2 resp. V3. Splněním podmínky 3.6 nebo 3.7 můžeme tedy usuzovat na původ KES z RVOT.

$$\frac{\frac{|R_{V2}|}{|R_{V2}|+|S_{V2}|}}{\frac{|r_{V2}|}{|r_{V2}|+|s_{V2}|}} < 0,6 \quad (3.6)$$

$$\frac{\frac{|R_{V3}|}{|R_{V3}|+|S_{V3}|}}{\frac{|r_{V3}|}{|r_{V3}|+|s_{V3}|}} < 0,6 \quad (3.7)$$



Obr. 3.14: Ukázka porovnávání amplitud KES s sinusového stahu

Poměr amplitud SR a KES je zobrazen na obrázku 3.14. Modrou barvou je zde znázorněna absolutní hodnota amplitudy R vlny sinusového stahu a oranžově součet absolutních hodnot amplitud R vlny a S vlny, tedy amplituda celého QRS komplexu. Obdobně je značena amplituda R vlny KES červenou barvou a celého QRS komplexu barvou zelenou.

4. Podíl amplitudy R vlny a QRS komplexu ve svodu V4 menší než 0,5.

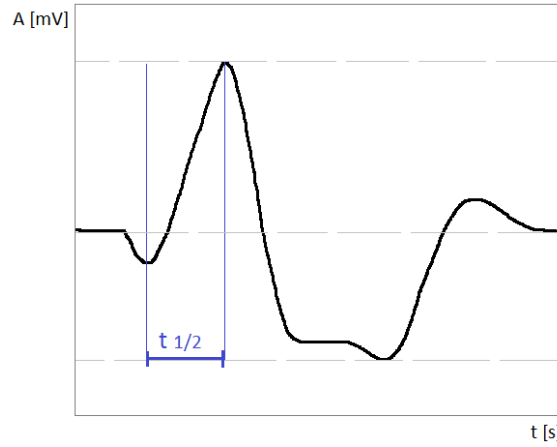
Podíl R vlny a QRS komplexu je také sledovaným znakem při hodnocení KES v oblasti výtokových traktů komor. V případě, že je tento poměr menší než 0,5, je hledaná KES považována za KES z RVOT. KES z RVOT tedy musí splňovat podmínku uvedenou ve vztahu 3.8. R_{V4} udává amplitudu R vlny ve svodu V4 a QRS_{V4} amplitudu celého QRS komplexu ve svodu V4.

$$\frac{R_{V4}}{QRS_{V4}} < 0,5 \quad (3.8)$$

5. Sklon průběhu R vlny ve svodu V3 menší než 80 ms.

KES pocházející z oblasti RVOT se vyznačují rychlejším nástupem R vlny ve svodu V3 než KES z LVOT. Pokud tedy časový úsek od počátku QRS komplexu po maximum R vlny nepřesahuje 80 ms, poté je usuzováno na KES z RVOT podle vztahu 3.9. $t_{R_{1/2}}$ zde znázorňuje časový úsek nástupu R vlny KES ve svodu V3. Na obrázku 3.15 je znázorněn QRS komplex KES s modře vyznačenou dobou trvání poloviny R vlny signálu, tedy jejím nástupem.

$$t_{R_{1/2}} < 0,08 \text{ s} \quad (3.9)$$



Obr. 3.15: Ukázka časového trvání nástupu R vlny KES

6. Poměr S vlny ve svodu V2 a R vlny ve svodu V3 větší než 1,5.

Porovnáním amplitud ve svodech V2 a V3 můžeme hodnotit původ KES v RVOT. Pokud je splněna podmínka ve vztahu 3.10, poté se jedná pravděpodobně o KES z RVOT. Absolutní hodnota amplitudy S vlny ve svodu V2 (S_{V2}) dělená absolutní hodnotou amplitudy R vlny ve svodu V3 (R_{V3}) větší než 1,5 je splněním podmínky RVOT KES.

$$\frac{|S_{V2}|}{|R_{V3}|} > 1,5 \quad (3.10)$$

7. Amplituda S vlny ve svodu V2 větší než 2 mV.

Posledním hodnoceným znakem RVOT KES je přítomnost vysoké amplitudy S vlny ve svodu V2 ve srovnání s LVOT KES, u nichž je tato amplituda mnohem nižší. RVOT KES je vyznačují vyšší amplitudou S vlny ve svodu V2 než 2 mV. Tohoto znaku bylo využito a při splnění podmínky ve vztahu 3.11, kde S_{V2} značí S vlnu ve svodu V2, je detekovaná KES považována za KES z RVOT.

$$|S_{V2}| < 2 \text{ mV} \quad (3.11)$$

Výtokový trakt levé komory

Hodnocení KES z LVOT vychází ze znaků přítomných u KES z RVOT. Znaky použité pro detekci KES z pravého výtokového traktu tedy úzce souvisí s výtokovým traktem levým.

1. Přítomnost Rs/RS kmitu ve svodu V1.

KES z LVOT jsou typické přítomností přechodové zóny dříve než ve svodu V3. Prvním hodnoceným znakem je přítomnost Rs kmitu ve svodu V1, tedy s R vlnou vyšší nebo stejné amplitudy jako je amplituda S vlny podle vztahu 3.12.

$$|R_{V1}| \geq |S_{V1}| \quad (3.12)$$

2. Poměr amplitudy R vlny a S vlny ve svodu V2 větší nebo roven 0,996.

Pokud je poměr amplitudy R vlny a S vlny komorové extrasystoly ve svodu V2 vyšší nebo rovna 0,996, je tato KES považována za KES z LVOT. Vztah 3.13 vyjadřuje tuto podmínku.

$$\frac{|R_{V2}|}{|S_{V2}|} \geq 0.996 \quad (3.13)$$

3. Poměr KES a sinusového rytmu ve svodech V2 a V3 větší nebo roven než 0,6. KES z LVOT jsou charakteristické poměrem R vlny a součtu R vlny a S vlny komorové extrasystoly a sinusového rytmu větším nebo roven hodnotě 0,6. Při porovnání R vlny a S vlny pomocí vztahu 3.14 a 3.15, usuzujeme na původ KES z LVOT.

$$\frac{\frac{|R_{V2}|}{|R_{V2}|+|S_{V2}|}}{\frac{|r_{V2}|}{|r_{V2}|+|s_{V2}|}} \geq 0,6 \quad (3.14)$$

$$\frac{\frac{|R_{V3}|}{|R_{V3}|+|S_{V3}|}}{\frac{|r_{V3}|}{|r_{V3}|+|s_{V3}|}} \geq 0,6 \quad (3.15)$$

4. Podíl amplitudy R vlny a QRS komplexu ve svodu V4 větší nebo roven 0,5. Hodnocením podílu šířky R vlny a QRS komplexu také určíme přítomnost KES z LVOT. Pokud je tento poměr větší nebo roven 0,5, poté je hledaná KES považována za KES z LVOT (vztah 3.16).

$$\frac{R_{V4}}{QRS_{V4}} \geq 0,5 \quad (3.16)$$

5. Sklon R vlny ve svodu V3 větší než 80 ms. R vlny ve svodu V3 s pomalejším (pozdějším) nástupem jsou typické pro KES pocházející z oblasti LVOT. Při splnění podmínky znázorněné vztahem 3.17, je přítomen tento typický pozdější nástup.

$$t_{R_{1/2}} > 0,08 \text{ s} \quad (3.17)$$

6. Poměr S vlny ve svodu V2 a R vlny ve svodu V3 menší nebo rovna 1,5. Amplitudy S vlny a R vlny ve svodech V2 a V3 jsou důležitým ukazatelem KES z LVOT. Pokud je poměr absolutní hodnoty amplitudy S vlny ve svodu V2 a R vlny ve svodu V3 menší nebo rovna 1,5, považujeme detekovanou KES za KES z LVOT podle podmínky 3.18.

$$\frac{|S_{V2}|}{|R_{V3}|} \leq 1,5 \quad (3.18)$$

7. Amplituda S vlny ve svodu V2 menší než 2 mV. KES z LVOT se vyznačují přítomností nízké amplitudy ve svodu V2. Pokud je amplituda nižší než 2 mV, poté je podle podmínky 3.19 považována tato KES za KES z LVOT.

$$|S_{V2}| < 2 \text{ mV} \quad (3.19)$$

Při rozhodování, zda detekované KES pocházejí z oblasti pravého či levého výtokového traktu srdečních komor, je nejprve hodnocen každý znak pro každou detekovanou KES zvlášť. Poté je spočítána suma nadpolovičních znaků a podle tohoto pravidla vyhodnocen výskyt či absence daného znaku výtokových traktů.

3.2.3 Lokalizace bližšího místa vzniku

Komorové extrasystoly obvykle pocházejí z oblastí výtokových traktů srdečních komor. Mohou však také vznikat v jiných místech levé a pravé komory. Pro bližší lokalizaci ložiska zodpovědného za vznik KES (zjizvená tkáň) jsou použity další algoritmy hodnotící výskyt zvolených znaků KES. Na základě výsledků tohoto hodnocení je poté určena přesnější oblast. Místo vzniku v pravé komoře je testováno ve 3D oblasti pomocí následujících parametrů:

1. vpravo/vlevo
2. proximálně/distálně
3. anterior/posterior

Jednotlivá místa lokalizace jsou hodnocena pomocí amplitud a morfologie R vln a S vln 12svodového EKG záznamu.

1. Umístění vpravo/vlevo:

KES které se mají QS kmit ve svodu aVL vyšší amplitudy ve srovnání s kmitem QS ve svodu aVR jsou umístěny na levé straně pravé srdeční komory (3.20). Pokud naopak je tato amplituda ve svodu aVR větší nebo rovna amplitudě ve svodu aVL, vzniká daná KES v pravé části pravé komory 3.21.

$$|QS_{aVL}| > |QS_{aVR}| \quad (3.20)$$

$$|QS_{aVR}| \geq |QS_{aVL}| \quad (3.21)$$

KES vznikající v levé části se také vyznačují přítomností negativní výchylky ve svodu I. Naopak je tomu u KES vznikajících v části pravé. Tento znak je hodnocen pomocí výšek amplitud R vln a S vln ve svodu V1 pomocí vztahu 3.22 pro levou oblast a 3.23 pro oblast pravou.

$$|R_I| < |S_I| \quad (3.22)$$

$$|R_I| > |S_I| \quad (3.23)$$

2. Umístění proximální/distální:

Porovnáváním výšek amplitud ve svodech V1 a V2 je určován směr hledané KES proximálně, tedy v bližší oblasti a v oblasti distální, tedy více vzdálené. Pokud je výška amplitudy R vlny vyšší nebo rovna než 0,2 mV v obou svodech (V1 i V2), poté je usuzováno na vznik proximálně (vztah 3.24). Pokud je však výška amplitudy R vlny nižší než 0,2 mV alespoň v jednom svodu (V1 nebo V2), poté je vznik KES v distální části (vztah 3.25).

$$(|R_{V1}| \geq 0,2) \wedge (|R_{V2}| \geq 0,2) \quad (3.24)$$

$$(|R_{V1}| < 0,2) \vee (|R_{V2}| < 0,2) \quad (3.25)$$

3. Umístění anterior/posterior:

Sledováním amplitud QRS komplexu ve svodu I a prekordiálních svodech (V1-V4) je určován výskyt KES v anteriorní (přední stěna, septum) a posteriorní oblasti (zadní volná stěna). QS komplex přítomný ve svodu I značí anteriorní

oblast vzniku. Naopak monofazická vlna R v tomto svodu ukazuje na oblast posteriorní. K hodnocení dochází pomocí vztahu 3.26 pro septum (anteriorní část) a 3.27 pro volnou stěnu (posteriorní část).

$$|R_I| < |S_I| \quad (3.26)$$

$$|R_I| > |S_I| \quad (3.27)$$

Přítomnost prekordiálního přechodu (první hrudní svod, který vykazuje poměr amplitud R vlny a S vlny vyšší nebo roven jedné (0.996)) také napomáhá určení místa vzniku KES. Pokud je tento přechod přítomen dříve nebo ve svodu V4, považujeme tento znak za anteriorní (vycházející z oblasti septa). Septum pravé komory se také vyznačuje přítomností QS či rS kmitu ve svodu V1. Obě tyto podmínky jsou dány vztahem 3.28, který ukazuje na septální výskyt KES v pravé komoře.

$$\left(\frac{|R_{V4}|}{|S_{V4}|} < 0.996\right) \vee \left(\frac{|R_{V3}|}{|S_{V3}|} < 0.996\right) \vee \left(\frac{|R_{V2}|}{|S_{V2}|} < 0.996\right) \vee \left(\frac{|R_{V1}|}{|S_{V1}|} < 0.996\right) \quad (3.28)$$

Pokud jsou přítomny znaky výskytu KES v oblasti levého výtokového traktu, je hodnocena také možnost, že detekované KES pocházejí i z jiné oblasti levé komory. Pomocí zvolených algoritmů je testován výskyt v oblasti hrotu či baze levé komory.

KES, která vykazuje pozitivitu QRS komplexu ve svodu V4 je považována za bazální (3.29). Pokud detekovaná KES obsahuje pozitivní QRS komplex ve svodu aVR, poté je zde pravděpodobný výskyt v oblasti hrotu levé komory (3.30).

$$|R_{V4}| > |S_{V4}| \quad (3.29)$$

$$|R_{aVR}| > |S_{aVR}| \quad (3.30)$$

Dále je také určeno místo vzniku v anteriorní (přední) a inferiorní (spodní) oblasti levé komory pomocí hodnocení svodů II, III a V6.

Pokud je přítomna pozitivita svodu II a také svodu III, poté je pravděpodobný původ KES v anteriorní oblasti (3.31). Pokud je však přítomna pozitivita svodu II a negativita svodu V6, poté se jedná zřejmě o inferiorní oblast (3.32).

$$(|R_{II}| > |S_{II}|) \wedge (|R_{III}| > |S_{III}|) \quad (3.31)$$

$$(|R_{II}| > |S_{II}|) \wedge (|R_{V6}| < |S_{V6}|) \quad (3.32)$$

Místo vzniku idiopatických KES nám pomáhá určit také skon elektrické osy srdeční. Pokud osa směřuje dolů, jsou viditelné negativní svody II, III a aVF a hledaná KES pochází z dolní části srdečních komor.

3.2.4 Kapsičky aortální chlopně

Při hodnocení 12svodového EKG záznamu není vždy zcela jasné, z jakého místa daná KES pochází. Je proto tedy také testována možnost výskytu ložiska KES v kapsičkách aortální chlopně. V případě, že detekované KES vykazují znaky blokády levého Tawarova raménka a zároveň jsou u nich přítomny znaky KES pocházejících z oblasti levého výtokového traktu, poté jsou testovány také znaky přítomné u KES z kapsiček aortální chlopně. Dále jsou testovány amplitudy R vln ve svodech V1 a V2 a výskyt prekordiální zóny. Jen za předpokladu splnění všech hodnocených znaků je detekovaná KES považována za KES pocházející z této oblasti.

Podmínky vzniku KES v kapsičkách aortální chlopně:

- (a) R vlna s vysokou amplitudou ve svodu V1 a V2.
- (b) Časnější přechodová zóna v prekordiálních svodech.

Vztahy 3.33 a 3.34 jsou použité při ověření platnosti těchto podmínek. R_{V1} , R_{V2} značí R vlnu KES ve svodu V1 resp. V2 a S_{V1} , S_{V2} značí S vlnu KES ve svodu V1 resp. V2.

$$(|R_{V1}| > 30 \% \cdot |S_{V1}|) \wedge (|R_{V2}| > 30 \% \cdot |S_{V2}|) \quad (3.33)$$

$$(|R_{V2}| < |S_{V2}|) \vee (|R_{V1}| < |S_{V1}|) \quad (3.34)$$

Pokud jsou podmínky 3.33 a 3.34 splněny, pokračujeme detailnějším testováním. Tedy zda detekované KES pochází z levé, pravé či nekoronární kapsičky aortální chlopně. KES pocházející z jednotlivých kapsiček mají své typické znaky. Pouze při splnění všech těchto znaků je usuzováno na možný výskyt v těchto oblastech aortální chlopně.

Levá kapsička aortální chlopně

KES pocházející z levé kapsičky aortální chlopně (LCC) je detekována v přítomnosti výskytu M či W vzoru ve svodu V1. Ukázka možného frakcinovaného potenciálu R vlny je znázorněn v kapitole 2 na obrázku 2.1. Frakcinovaný potenciál R vlny je zde definováno RR' kmitem či RSR' kmitem 2. První zvolený vzor představuje dva

píky R vlny namísto jednoho. Druhý zvolený vzor je realizován druhým R kmitem následujícím až za S vlnou komplexu QRS. Hodnocení probíhá pomocí intervalu zvolené délky 100 ms. Po 50 ms (kvůli možnosti zachytit konec první složky R vlny) je zvolen práh na 60 % výšky signálu a při detekci signálu nad tímto prahem je usuzováno na přítomnost frakcinovaného kmitu R. Pro možný záchyt druhé složky bifazické R vlny jako maxima R vlny v těchto signálech je prohledáván úsek vpravo i vlevo od referenčního bodu detekované R vlny. Interval 50 ms je zvolen také proto, že za notching je považován výskyt další R vlny ve vzdálenost větší než 20 ms.[31]

Porovnáváním R vlny ve druhém a třetím svodu můžeme tak určit KES z LCC. Pokud je podíl amplitudy R vlny ve svodu III a R vlny ve svodu II menší než 0.9 [32], poté je daná KES považována za KES z LCC podle vztahu 3.35.

$$\frac{R_{III}}{R_{II}} > 0.9 \quad (3.35)$$

Pravá kapsička aortální chlopně

Literatura [26] uvádí, že KES vznikající v oblasti pravé kapsičky aortální chlopně (RCC) mají ve svodu V1 vyšší amplitudu R vlny v porovnání s amplitudou S vlny. Tento znak je definován jako rS vzor a detekován pomocí vztahu 3.36.

$$|S_{V1}| > |R_{V1}| \quad (3.36)$$

Pokud je amplituda R vlny vyšší ve svodu II v porovnání s amplitudou R vlny ve svodu III, poté je podle literatury [28] detekovaná KES považována za KES z RCC. Tento znak je detekován s použitím vztahu 3.37.

$$|R_{II}| > |R_{III}| \quad (3.37)$$

Posledním použitým znakem idiopatických KES pocházejících z RCC je přítomnost M vzoru ve svodu aVR či aVL [26]. Detekce probíhá stejným způsobem jako detekce rozštěpené R vlny, tedy pomocí prahu definované výšky. Pokud je tento práh signálem při posunu za detekovanou R vlnou překročen, poté je považována tato R vlna za rozštěpenou (obsahující více vrcholů).

Nekoronární kapsička aortální chlopně

KES pocházející z nekoronární kapsičky aortální chlopně (NCC) má také své specifické znaky. Prvním použitým znakem je přítomnost RR' kmitu ve svodu II. Detekce tedy probíhá shodným způsobem jako detekce rozštěpených R vln v kapitole 3.2.3.

Druhým znakem KES z NCC je výskyt monofazické R vlny ve svodu aVR či svodu aVL.

Nakonec je využito předpokladu, že u KES z NCC se ve svodu V3 a V4 objevuje M vzor R vlny. Tedy rozštěpení R vlny tvořené bifazickou R vlnou s více než jedním vrcholem.

3.2.5 Jiná část levé komory

Pokud detekované KES nesplňují první dvě podmínky hodnocené u KES z kapsiček aortální chlopně, tedy přítomnost vysoké R vlny ve svodu V1 a V2 a brzkou přechodovou zónu ve svodu V2 a dříve, poté je testován možný vznik KES v jiné části levé komory.

Hodnocením polarity jednotlivých svodů je určen vznik KES v přední a spodní oblasti hrotu či baze levé komory.

V případě, že detekované KES vykazují ve svodu V4 pozitivní QRS komplex, hodnotíme dále možný vznik KES v oblasti baze a hrotu levé komory. Splněním podmínky znázorněné ve vztahu 3.38 je testován možný výskyt KES v levé komoře.

$$|R_{V4}| > |S_{V4}| \quad (3.38)$$

Pozitivní QRS komplex ve svodu aVR je přítomen u KES pocházející z oblasti baze levé komory (vztah 3.39). Naopak v případě negativního QRS komplexu ve svodu aVR, usuzujeme na výskyt KES v oblasti hrotu (vztah 3.40).

$$|R_{aVR}| > |S_{aVR}| \quad (3.39)$$

$$|R_{aVR}| < |S_{aVR}| \quad (3.40)$$

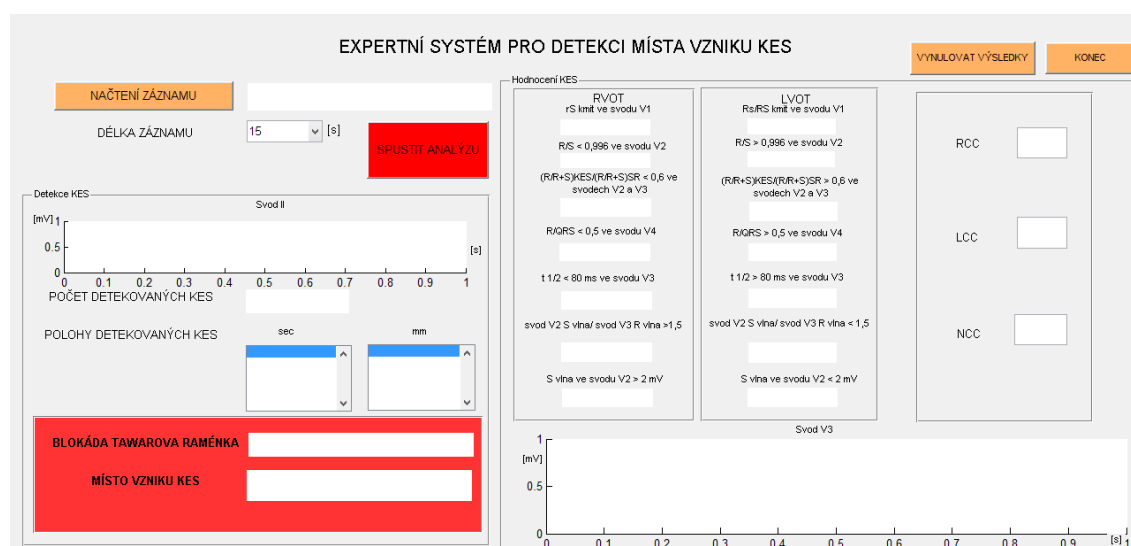
KES z přední části levé komory jsou typické pozitivitou ve svodech II a III. Naopak u KES pocházející ze spodní části levé komory je přítomen negativní QRS komplex ve svodu V6. Podmínka splňující výskyt KES v oblasti přední části levé komory je zobrazena ve vztahu 3.41 a podmínka pro KES ze spodní části levé komory je uvedena ve vztahu 3.42.

$$(|R_{II}| > |S_{II}|) \wedge (|R_{III}| > |S_{III}|) \quad (3.41)$$

$$|R_{V6}| < |S_{V6}| \quad (3.42)$$

4 HODNOCENÍ 12SVODOVÝCH EKG ZÁZNAMŮ

Pacientské záznamy 12svodového EKG byly hodnoceny pomocí expertního systému vytvořeného v prostředí GUI Matlab. Po načtení záznamu je zvolena požadovaná délka detekovaného záznamu. Spuštěním tlačítka SPUSTIT ANALÝZU je zahájena detekce KES. Dále je vypsán počet detekovaných KES a jejich polohy v sekundách a milimetrech. Pro detekované KES je určen tvar blokády Tawarova raménka a místo vzniku KES. Při detekci jsou vypsány hodnocené parametry výtokových traktů a také pravděpodobný výskyt KES v kapsičkách aortální chlopně (RCC - pravá kapsička, LCC - levá kapsička, NCC - nekoronární kapsička). Pro lepší orientaci umístění přechodové zóny je znázorněn svod V3, který je považován za zlomový. Grafické prostředí vytvořeného expertního systému je zobrazeno na obrázku 4.1.



Obr. 4.1: Ukázka prostředí expertního systému pro detekci místa vzniku KES

Díky spolupráci s FN u Svaté Anny v Brně na oddělení elektrofyzologie I. IKAK byly získány záznamy od 40 pacientů trpících výskytem KES z výtokových traktů srdečních komor. Účinnost vytvořených algoritmů a také statistické hodnocení probíhalo na získaných 12svodových EKG záznamech. Záznamy byly získány pomocí záznamového zařízení BARD LabSystem Pro. Toto zapisovací a záznamové zařízení používá k filtraci signálu digitální filtry horní propusti 1-5 Hz, dále také notch filtr na 50 Hz a standardní zesilovače používané na elektrofyzilogickém oddělení. Jednotlivé záznamy dosahují maximální amplitudy 5 mV s použitím vzorkovací frekvence 2000 Hz.

Hodnocení probíhalo na EKG záznamech 40 pacientů. Nejprve byl hodnocen tvar

blokády Tawarova raménka, tedy typický tvar QRS komplexu 12svodového EKG záznamu. Poté byla hodnocena také účinnost detekčních algoritmů (přítomných znaků) u sledovaných pacientů.

4.1 Typ blokády Tawarova raménka

Při určování typu blokády Tawarova raménka jsme vycházeli z předpokladu, že blokáda pravého Tawarova raménka (RBBB) značí původ KES v levé komoře a naopak blokáda levého Tawarova raménka (LBBB) původ v komoře pravé. Při hodnocení záznamů se však ukázalo, tento předpoklad není vždy pravdivý a nelze se na tento předpoklad spoléhat při hodnocení KES z pravé či levé komory. Nejvíce pacientů trpících KES z RVOT vykazovalo znaky blokády pravého raménka Tawarova. Zde je tedy ukázáno, že způsob určení polohy KES podle typu blokády je nespolehlivý. Tabulka 4.1 shrnuje výsledky znaků přítomných blokád u všech 40 pacientů.

Tab. 4.1: Hodnocení typu blokády

Typ blokády	Místo vzniku	Počet pacientů
LBBB	RVOT	8
RBBB	RVOT	15
RBBB	LVOT	7
LBBB	LVOT	10

Určení blokády Tawarova raménka je tedy pouze informační a neovlivňuje žádné další testování.

4.2 Výtokový trakt pravé/levé komory

Hodnocení účinnosti vytvořených algoritmů pro lokalizaci KES z oblasti výtokových traktů srdečních komor probíhalo za pomoci sedmi sledovaných znaků u jednotlivých pacientů trpících výskytem KES. Jednotlivé znaky, které byly podrobně zkoumány jsou označeny čísly 1-7 pro pravý výtokový trakt (RVOT) i levý výtokový trakt (LVOT):

Znaky KES z RVOT:

1. Přítomnost rS kmitu ve svodu V1.
2. Poměr amplitud R vlny a S vlny ve svodu V2 menší než 0,996.
3. Poměr KES a sinusového rytmu ve svodech V2 a V3 menší než 0,6.
4. Podíl amplitudy R vlny a QRS komplexu ve svodu V4 menší než 0,5.
5. Sklon průběhu R vlny ve svodu V3 menší než 80 ms.

6. Poměr S vlny ve svodu V2 a R vlny ve svodu V3 větší než 1,5.
7. Amplituda S vlny ve svodu V2 větší než 2 mV.

Znaky KES z LVOT:

1. Přítomnost Rs nebo RS kmitu ve svodu V1.
2. Poměr amplitud R vlny a S vlny ve svodu V2 větší nebo roven 0,996.
3. Poměr KES a sinusového rytmu ve svodech V2 a V3 větší nebo roven 0,6.
4. Podíl amplitudy R vlny a QRS komplexu ve svodu V4 větší nebo roven 0,5.
5. Sklon průběhu R vlny ve svodu V3 větší než 80 ms.
6. Poměr S vlny ve svodu V2 a R vlny ve svodu V3 menší nebo roven 1,5.
7. Amplituda S vlny ve svodu V2 menší než 2 mV.

Výskyt hledaných znaků KES z daného výtokového traktu byl hodnocen pro každý znak zvlášť a byla určována pravděpodobnost výskytu tohoto znaku z KES z RVOT i LVOT. Výskyt znaku byl určen v případě minimálně polovičního výskytu tohoto znaku v daném svodu 12svodového EKG záznamu. Z tohoto důvodu mohly být v některých případech označeny výskyty znaku KES z RVOT i LVOT zároveň. Tabulky 4.2 a 4.3 shrnují získaná data 12svodových záznamů.

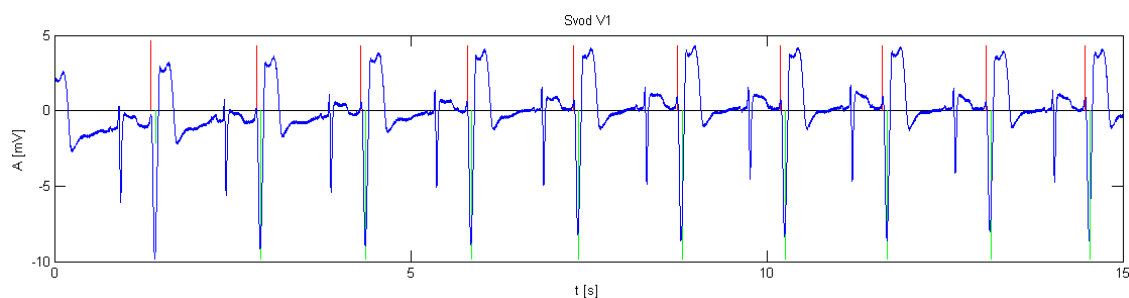
Tab. 4.2: Hodnocení výskytu hledaných znaků KES z RVOT na 12svodových EKG záznamech

Znaky KES z RVOT	Počet KES z RVOT	Počet KES z LVOT
1.	11	12
2.	21	7
3.	16	3
4.	6	0
5.	4	1
6.	17	0
7.	21	9

Tab. 4.3: Hodnocení výskytu hledaných znaků KES z LVOT na 12svodových EKG záznamech

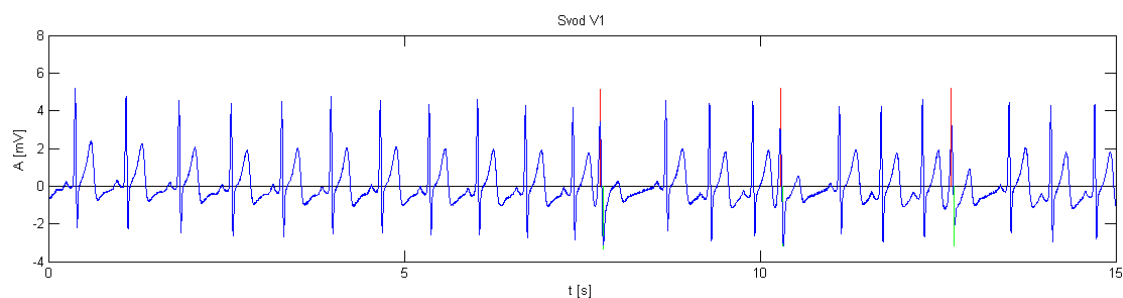
Znaky KES z LVOT	Počet KES z LVOT	Počet KES z RVOT
1.	5	11
2.	11	1
3.	17	13
4.	17	16
5.	16	18
6.	14	7
7.	11	2

Při pohledu na statistické tabulky hodnotící KES z výtokových traktů komor můžeme říci, že RS či Rs kmit ve V1 (1. znak LVOT KES) není prokazatelným a jeho výskyt je vyšší u KES pocházejících z RVOT. Výskyt rS kmitu ve V1 (1. znak RVOT KES) byl přítomen u 28 % pacientů trpících KES z RVOT a 30 % pacientů s výskytem KES z LVOT. Tento znak tedy není zcela prokazatelným znakem pro určení KES z výtokových traktů komor. Ukázka rS kmitu ve svodu V1 12svodového záznamu pacienta trpícího KES z RVOT je zobrazena na obrázku 4.2, kde pozice R vln jsou znázorněny červeně a S vln zelenou barvou. RS kmit ve svodu V1 je znázorněn na obrázku 4.3.



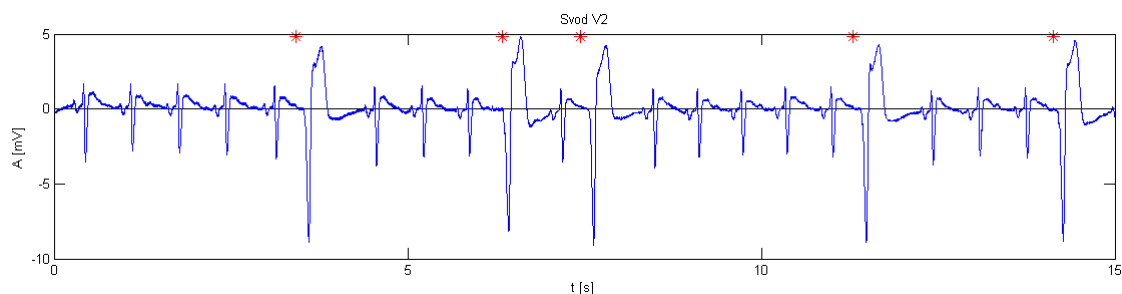
Obr. 4.2: Ukázka rS kmitu ve svodu V1

Naopak poměr amplitud R vlny a S vlny ve svodu V2 (2. znak) se ukázal jako dobrý ukazatel místa vzniku KES. V případě poměru menším než 0,996, svědčícímu pro KES z RVOT, byl tento znak přítomen u 53 % případů. Pouze u 10 % byl tento znak přítomen i u KES z LVOT. Poměr amplitud nejméně 0,996 ukazující na výskyt KES v LVOT byl přítomen u 28 % KES z LVOT a pouze ve 3 % u KES z RVOT. EKG záznam pacienta, který trpí výskytem RVOT KES, je znázorněn na obrázku 4.4. Červenou hvězdičkou jsou detekovány KES splňující 2. znak RVOT KES.

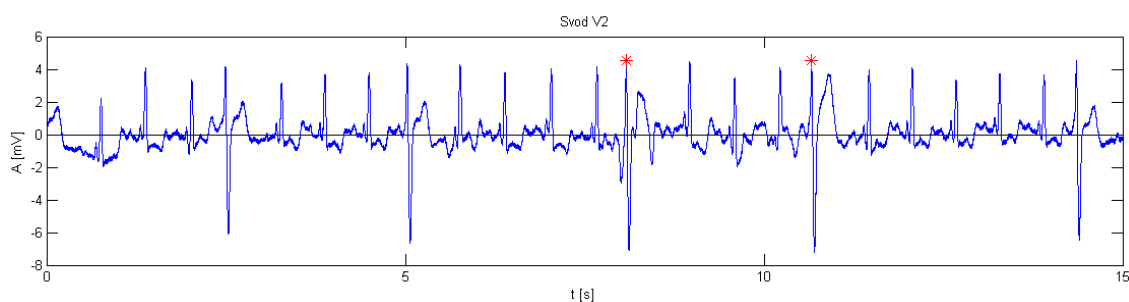


Obr. 4.3: Ukázka RS kmitu ve svodu V1

Chybná detekce 2. znaku RVOT KES na EKG záznamu pacienta s KES z LVOT je na obrázku 4.5. Můžeme zde však opět vidět, že tento znak je pouze menšinově zastoupen a neuplatní se tedy v hodnocení.



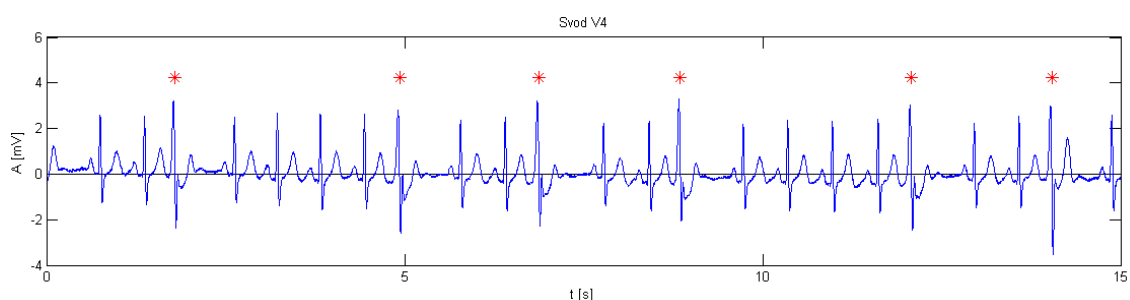
Obr. 4.4: Ukázka poměru R vlny a S vlny ve svodu V2 u RVOT KES



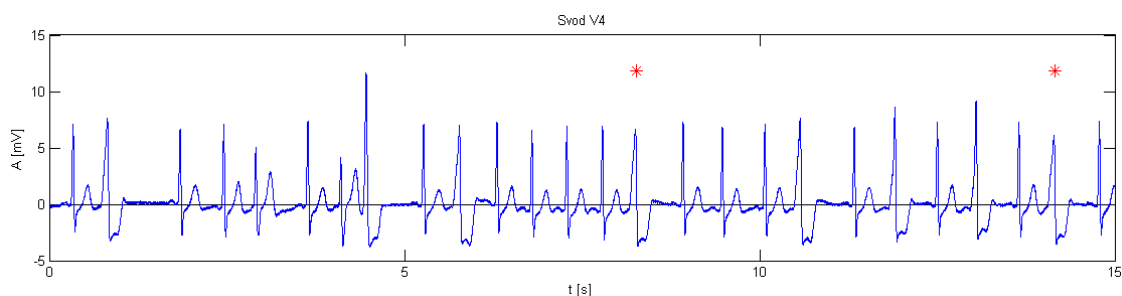
Obr. 4.5: Ukázka poměru R vlny a S vlny ve svodu V2 u LVOT KES

Porovnáváním poměru R vlny a maximálního rozkmitu signálu KES a sinusového rytmu ve svodech V2 a V3 (3. znak) se ukázalo jako účinnější u KES z RVOT. Jde zde o předpoklad, že KES u RVOT změní polaritu oproti sinusovému stahu dříve u RVOT než u LVOT. V 40 % případech byl poměr menší než 0,6 svědčící pro KES z RVOT přítomen u KES z RVOT a u 8 % se tento znak vyskytoval i u KES z LVOT. Naopak u hodnocení KES z LVOT byl tento znak téměř shodně zastoupen - ve 43 % případech byl úspěšně detekován u KES z LVOT a 33 % u KES pocházejících z RVOT.

Podobně jako třetí znak byl také poměr R vlny a QRS komplexu ve svodu V4 (4. znak) účinnější pro správnou detekci místa vzniku KES u KES z RVOT. Pokud KES pocházela z RVOT, byl tento znak (poměr menší než 0,5) nalezen v 15 % případů KES z RVOT a nenalezen u KES z LVOT. Naopak poměr větší než 0,5 předpokládající původ KES z LVOT byl 43 % správně detekován a v 40 % byla prokázána chybná detekce. Pozitivní detekci 4. znaku na záznamu KES z RVOT můžeme vidět na obrázku 4.6. Chybná detekce je znázorněna na obrázku 4.7. Je zde zobrazen záznam pacienta s LVOT KES a červenou hvězdičkou jsou označeny KES vyhodnocující podmínce pro 4. znak KES z RVOT. Avšak díky tomu, že jejich výskyt není nadpoloviční, nedochází k uplatnění tohoto znaku při hodnocení KES.



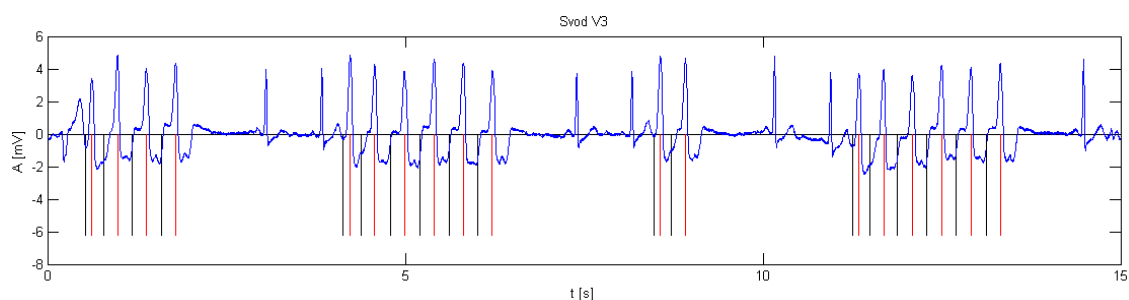
Obr. 4.6: Ukázka pozitivní detekce poměru R vlny a QRS komplexu ve svodu V4 u RVOT KES



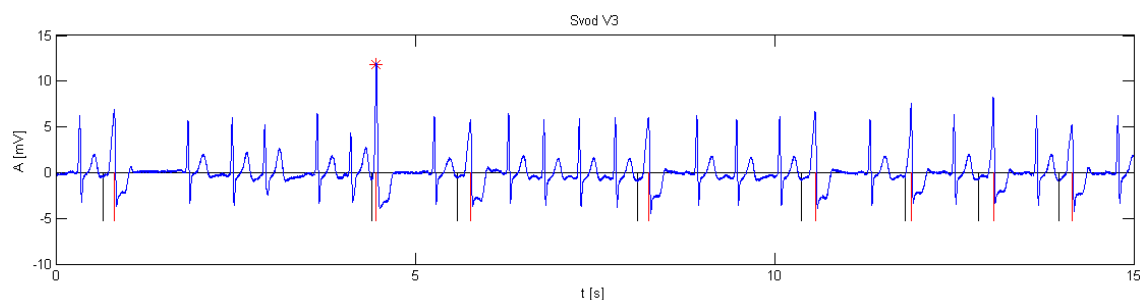
Obr. 4.7: Ukázka chybné detekce poměru R vlny a QRS komplexu ve svodu V4 u LVOT KES

Pátým hodnoceným znakem KES výtokových traktů komor je strmost R vlny ve svodu V3 (5. znak). Hodnocení tohoto znaku ukázalo, že není zcela účinný a nelze podle něho vždy přesně určit odkud detekovaná KES pochází. V případě KES z RVOT je hledána strmost R vlny menší než 80 ms. Správná detekce v tomto případě byla přítomna v 10 % a chybná detekce ve 3 % testovaných záznamů. Při hodnocení KES z LVOT se přítomnost tohoto znaku ukázala dokonce jako zcela nespolehlivá - 40 % správně detekováno a 45 % detekováno chybně. Na obrázku 4.8 je ukázka EKG

záznamu pacienta trpícího KES z RVOT. Černá svislá čara znázorňuje počátek QRS komplexu a červená maximum R vlny. Je zde vidět, že není detekována žádná KES, která by splňovala danou podmínku. Při pohledu na EKG záznam pacienta trpícího KES z LVOT (obrázek 4.9) můžeme vidět, že zde byla zachycena jedna KES odlišné morfologie s kratším intervalem nástupu R vlny, který je typický pro RVOT KES (označena červenou hvězdičkou).



Obr. 4.8: Ukázka porovnávání strmosti R vlny ve svodu V3 - nesplnění podmínky pro RVOT KES

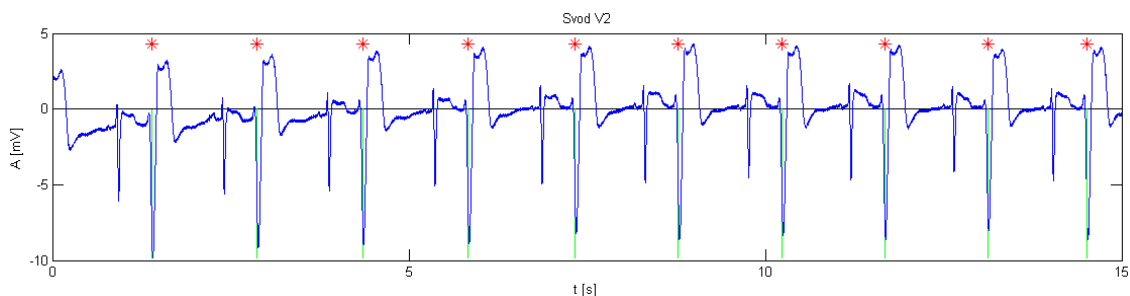


Obr. 4.9: Ukázka porovnávání strmosti R vlny ve svodu V3 - chybná detekce u KES z LVOT

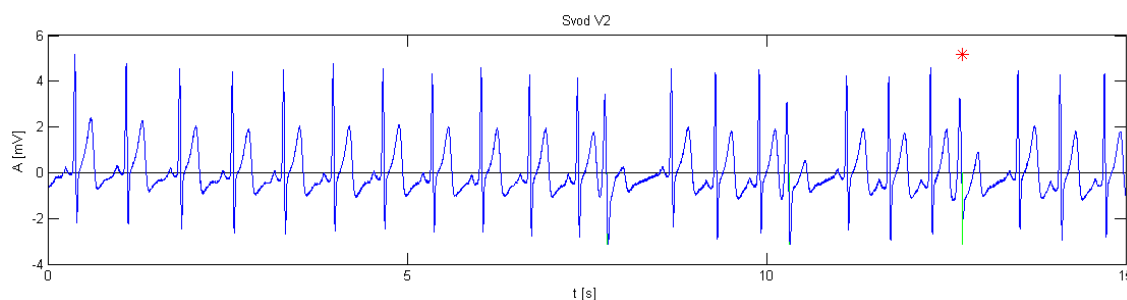
Dalším sledovaným znakem je poměr amplitudy S vlny ve svodu V2 a amplitudy R vlny ve svodu V3 (6. znak). Tento znak se ukázal jako spolehlivý ukazatel při hodnocení KES z RVOT (poměr větší než 1,5). Byl přítomen u 43 % pacientů trpících KES z RVOT a nenalezen u KES z LVOT. Při hodnocení KES z LVOT je předpokládán výskyt tohoto poměru menší nebo roven hodnotě 1,5. U 35 % pacientů byl tento znak pozitivně přítomen a u 18 % byl detekován chybně.

Posledním znakem je hodnota amplitudy S vlny ve svodu V2. Pokud je amplituda větší než 2 mV, je předpokládán výskyt KES z RVOT. Naopak menší amplituda než 2 mV svědčí pro KES z LVOT. U pacientů s KES z RVOT byl tento znak zachycen v 50 % správně a 23 % chybně. Porovnávání této amplitudy u KES z LVOT, mělo znatelně vyšší výskyt u KES z LVOT (správná detekce ve 28 %) než u KES

z RVOT (chybná detekce v 5 %). Ukázka vysoké amplitudy S vlny ve svodu V2 je zobrazena na obrázku 4.10 červenou hvězdičkou. Přítomnost malé amplitudy R vlny ve svodu V2 záznamu pacienta trpícího LVOT KES je zobrazena na obrázku 4.11. Můžeme zde vidět, že jsou přítomny i S vlny s vysokou amplitudou. Tento znak se zde tedy díky zvolenému hodnocení nemusí uplatnit.



Obr. 4.10: Ukázka vysoké amplitudy S vlny ve svodu V2



Obr. 4.11: Ukázka nízké amplitudy S vlny ve svodu V2

Při komplexním hodnocení všech sedmi znaků s použitím stejných vah byla dosažena úspěšnost pozitivní detekce ve všech analyzovaných KES z LVOT (17/17) a 16 KES z RVOT (16/23). Senzitivita detekce LVOT KES byla 100 % a specifita 70 %. RVOT KES vykazovaly senzitivitu 70 % a specifitu 100 %.

Abychom získali vyšší specifitu detekce u KES z LVOT a vyšší senzitivitu detekce u KES z RVOT, použili jsme různé váhy pro hodnocené znaky a dva znaky, které nesplňovaly dostatečnou účinnost při hodnocení, nezařadili do hodnocení. Dále tedy nebyly hodnoceny znaky 1 a 5. Tedy znaky přítomnosti rS/Rs/RS kmitu ve svodu V1 a časový nástup R vlny ve svodu V3 byly detekovány, ale nebyly zařazeny do hodnocení místa vzniku hledaných KES.

Nově použité znaky pro analýzu tedy jsou:

Výtokový trakt pravé komory (RVOT):

1. Poměr amplitud R vlny a S vlny ve svodu V2 menší než 0,996.
2. Poměr KES a sinusového rytmu ve svodech V2 a V3 menší než 0,6.

3. Podíl amplitudy R vlny a QRS komplexu ve svodu V4 menší než 0,5.
4. Poměr S vlny ve svodu V2 a R vlny ve svodu V3 větší než 1,5.
5. Amplituda S vlny ve svodu V2 větší než 2 mV.

Výtokový trakt levé komory (LVOT):

1. Poměr amplitud R vlny a S vlny ve svodu V2 větší nebo roven 0,996.
2. Poměr KES a sinusového rytmu ve svodech V2 a V3 větší nebo roven 0,6.
3. Podíl amplitudy R vlny a QRS komplexu ve svodu V4 větší nebo roven 0,5.
4. Poměr S vlny ve svodu V2 a R vlny ve svodu V3 menší nebo roven 1,5.
5. Amplituda S vlny ve svodu V2 menší než 2 mV.

Zvolením různých vah pro dané parametry použité pro hodnocení detekovaných KES bylo dosaženo lepších výsledků. Za silné rozhodující znaky byly použity znaky 1 a 4, poměr amplitud R vlny a S vlny ve svodu V2 (přítomnost přechodové zóny) a poměr S vlny ve svodu V2 a R vlny ve svodu V3. Znaky 2, 3 a 5 jsou pouze doplňující s vahou 50 %.

Pokud je součet výskytu všech znaků větší než hodnota 2, poté je detekovaná KES považována za KES z daného výtokového traktu.

Při nerozhodnosti se díváme na výskyt prvního znaku a posléze na výskyt znaku pátého, který zajistí, že nedojde k nerozhodnému výsledku.

Výsledky získanými při nestejnoměrné váze jednotlivých parametrů, bylo dosaženo pozitivní detekce u KES z LVOT ve 100 % případech. KES z RVOT byly pozitivně detekovány ve 21 případech (21/23).

Senzitivita detekce KES z LVOT je 100 % a specifita 91 %. KES z RVOT při daném hodnocení vykazuje 91 % senzitivitu a 100 % specifitu detekce.

Tabulka 4.4 zobrazuje počet správně hodnocených detekovaných KES (TP, True Positive), chybně hodnocených detekovaných KES (FP, False Positive), počet správně nehodnocených KES (TN, True Negative) a počet chybně hodnocených KES (FN, False Positive);

Tab. 4.4: Hodnocení KES na 12svodových EKG záznamech s různou vahou jednotlivých znaků

	TP	FP	TN	FN
KES z RVOT	21	0	17	2
KES z LVOT	17	2	21	0

4.3 Kapsičky aortální chlopně

Z důvodu absence pacientů s výskytem KES z kapsiček aortální chlopně nebylo možno vyhodnotit účinnost této detekce. Vyskytl se pouze jeden případ, kdy pacient trpěl výskytem KES z LVOT těsně pod kapsičkou pravé aortální chlopně (RCC). Expertní systém zachycené KES detekoval jako KES z LVOT a RCC. Byla zde tedy ES vyhodnocena možnost výskytu KES v kapsičce aortální chlopně.

4.4 Určení bližšího místa vzniku

Hodnocení bližšího místa vzniku KES probíhalo u KES pocházejících z pravého výtokového traktu (RVOT). K dispozici byly záznamy od 23 pacientů trpících KES z RVOT, z nichž 21 bylo pozitivně detekováno. V sedmi případech byla detekce správně hodnocena při výskytu KES na přední straně RVOT (anteroseptální část) a ve dvou případech byla správně vyhodnocena poloha na zadní straně RVOT (posteriorní část).

Protože detekované KES byly hodnoceny pouze v omezených směrech, tedy anterior (přední část) - posterior (zadní část), vpravo - vlevo, proximálně - distálně, nemá jejich hodnocení velkou vypovídací hodnotu a je spíše orientační při hledání pravděpodobného místa vzniku.

4.5 Jiná oblast levé komory

Pro absenci 12svodových záznamů s výskytem KES z jiné oblasti než jsou výtokové trakty srdečních komor, nemohly být detekční algoritmy pro KES z této oblasti vyhodnoceny. KES z LVOT byly vytvořeným expertním systémem také hodnoceny jako KES s možným výskytem v přední části baze levé komory. Vždy však šlo o chybnou detekci. Tato část rozhodovacího stromu tedy nebyla vyhodnocena a není známa její účinnost při testování místa vzniku KES.

5 DISKUSE

Vytvořený expertní systém pro detekci místa vzniku KES je založen na hodnocení přítomnosti blokády pravého či levého raménka Tawarova. Dále je hodnocen výskyt KES v oblasti výtokových traktů srdečních komor a kapsiček aortálních chlopní. Pokud expertní systém vyhodnotí výskyt KES v RVOT, tedy výtokovém traktu pravé komory, je dále testováno také bližší místo jejich vzniku v pravé komoře. Při výskytu KES ve výtokovém traktu levé komory je testován také možný výskyt detekované KES v jiné oblasti levé komory.

Hodnocení vytvořeného expertního systému probíhalo na 12svodových záznamech od 40 pacientů trpících výskytem idiopatických komorových extrasystol (bez zjevné příčiny). Vyhodnocení probíhalo u pacientů ve věku od 25 do 85 let.

Na počátku tvorby expertního systému bylo předpokládáno, že přítomná blokáda Tawarova raménka udává, zda hledaná KES pochází z pravé či levé komory srdeční. Při výskytu blokády pravého raménka Tawarova je usuzováno na výskyt KES zleva, tedy z oblasti levé komory. Naopak přítomností blokády levého raménka Tawarova, výskyt KES v komoře pravé. Při testování 12svodových záznamů od pacientů trpících výskytem idiopatických komorových extrasystol bylo však prokázáno, že tento předpoklad není vždy pravdivý a není spolehlivým ukazatelem při určení místa vzniku detekované KES. Hodnocení výskytu blokády podle polarity svodů V1 a V6 ukázalo, že největší zastoupení měly KES z RVOT s přítomností blokády pravého Tawarova raménka (38 % případů), dále KES z LVOT s blokádou levého Tawarova raménka (25 % případů). KES s předpokládaným výskytem blokády opačné k místu vzniku KES byly přítomny v téměř shodném zastoupení v méně než 20 % případů.

Dále jsou expertním systémem hodnoceny KES z oblasti výtokových traktů srdečních komor. Tato část je hlavní částí celého programu a má největší vypovídací hodnotu. K dispozici byly 12svodové záznamy od 40 pacientů z nichž 23 pacientů trpělo KES z pravého výtokového traktu a u 17 pacientů byly jejich zdravotní problémy způsobeny výskytem KES z výtokového traktu levého. Hodnocení probíhalo za pomoci testování sedmi parametrů pro každý výtokový trakt samostatně.

Přítomnost rS kmitu ve svodu V1 pro RVOT KES se ukázal být nespolehlivým znakem a vyskytoval se v téměř shodném zastoupení u RVOT (ve 28 % případů) i LVOT KES (30 % případů). Lepší výsledky podával výskyt Rs či RS kmitu ve svodu V1 pro LVOT KES, kdy ve 28 % případů byl přítomen u LVOT KES a ve 13 % u RVOT KES. Toto zastoupení je však stále nízké a nebylo vyhodnoceno za kvalitní při hodnocení místa vzniku KES.

Poměr amplitud R vlny a S vlny ve svodu V2 byl vyhodnocen jako dobrý ukazatel při hodnocení detekovaných KES. Při poměru menším než 0,996 pro RVOT KES byl

tento znak přítomen u 53 % KES z RVOT a pouze v 10 % případů chybně u LVOT KES. Poměr větší než 0,996 charakteristický pro LVOT KES byl přítomen pozitivně ve 28 % a negativně pouze ve 3 % případů.

Poměr KES a sinusového rytmu ve svodech V2 a V3 se ukázal jako dobrý ukazatel pro RVOT KES, v případě poměru menším než 0,6. zde byl tento znak detekován pozitivně ve 40 % a negativně v 8 %. Méně kvalitním ukazatelem místa vzniku KES byl tento poměr u LVOT KES. Zde při poměru větším než 0,6 byl tento znak detekován pozitivně v 43 % a negativně ve 33 %. Je zde tedy viditelný velký výskyt tohoto znaku v obou případech výskytu KES v oblastech výtokových traktů.

Podíl R vlny a QRS komplexu ve svodu V4 byl vyhodnocen jako dobrý ukazatel RVOT KES a nespolehlivý pro KES z LVOT. Pokud byl tento podíl nižší než 0,5, byl přítomen pozitivně v 15 % u RVOT KES a nebyl zde žádný případ chybné detekce. Při podílu větším než 0,5 předpokládajícím výskyt KES z LVOT zde byl tento znak téměř shodně zastoupen u RVOT (43 %) i LVOT KES (40 %).

Sklon průběhu R vlny ve svodu V3 je považován za dobrý znak RVOT KES, v případě, že je tento sklon kratší než 80 ms. Byl zde však zachycen nízký výskyt tohoto znaku a to pouze v 10 % případů. Výhodou tohoto znaku však bylo, že byl přítomen pouze ve 0,25 % u LVOT KES. Naopak sklon větší než 80 ms u LVOT KES se ukázal jako zcela nespolehlivý. Pro tento znak byla pozitivní detekce ve 40 % a negativní chybná detekce ve 45 % případů.

Poměr S vlny ve svodu V2 a R vlny ve svodu V3 byl vyhodnocen jako dobrý ukazatel hodnocení KES z výtokových traktů. Pokud je tento poměr větší než 1,5, předpokládá se vznik KES v RVOT. Při testování byl tento znak přítomen pozitivně ve 43 % a nevyskytoval se u KES z LVOT. Poměrem menším než 1,5 se vyznačují KES vznikající v LVOT. Pozitivní detekce zde byla v 35 % a chybně detekován také v 18 % RVOT KES.

Amplituda S vlny ve svodu V2 byla vyhodnocena za kvalitní znak KES výtokových traktů. V případě, že je ve svodu V2 přítomna vysoká S vlna, tedy větší než 2 mV, jde o RVOT KES. Tento znak byl přítomen v 50 % případů RVOT KES a pouze ve 23 % chybně u KES z LVOT. LVOT KES jsou definovány malou S vlnou ve svodu V2. Pokud je tato S vlna menší než 2 mV, poté je tento znak detekován pozitivně ve 28 % případů a pouze v 5 % také chybně u KES z RVOT.

Hodnocením výskytu daných znaků výtokových traktů se stejnou vahou jsme dospěli k poměrně malé specifitě u RVOT KES a senzitivitě u LVOT KES. Tedy bylo dosaženo 70 % specifity u LVOT KES a 70 % senzitivity u RVOT KES.

Pokud zvolíme některé znaky jako dominantní a jiné nezahrneme do detekce, dospějeme k lepším výsledkům. Za znaky dominantní byly zvoleny poměr amplitud R vlny a S vlny ve svodu V2 a dále také poměr S vlny ve svodu V2 a R vlny ve svodu V3. Poměr amplitud R vlny a S vlny ve svodu V1 (1. znak) a sklon R vlny ve svodu

V3 nebyly zahrnuty do hodnocení kvůli nedostatečné účinnosti při hodnocení místa vzniku KES. Ostatní znaky byly brány pouze jako doplňující s 50 % vahou. Pokud expertní systém zachytil alespoň celé dva z pěti znaků, tedy oba dominantní znaky nebo více znaků doplňujících, byl určen daný výtokový trakt za místo vzniku KES. Při tomto hodnocení bylo dosaženo 100 % senzitivity a 91 % specifity u KES z LVOT a 91 % senzitivity a 100 % specifity u RVOT KES. Zde je tedy viditelné, že LVOT KES jsou vždy správně detekovány. U KES z RVOT je však možnost přítomnosti více různých znaků a proto mohou být někdy chybně označeny za KES z LVOT. Chybná detekce vzniká obvykle při epikardiálním umístění ložiska vzniku KES.

KES z kapsiček aortální chlopně či umístění KES v jiné části levé komory nebylo možné hodnotit pro nedostatek pacientů. Idiopatické KES mají nejvyšší zastoupení v pravém výtokovém traktu, dále ve výtokovém traktu levém. Nižší výskyt je u KES z pravé kapsičky aortální chlopně. V malé míře KES mohou vznikat také v levé aortální kapsičce a ještě menší zastoupení bývá u KES z nekoronární kapsičky aortální chlopně či jiné oblasti srdečních komor.

6 ZÁVĚR

Pro detekci idiopatických komorových extrasystol byl vytvořen expertní systém zaměřený na určení druhu blokády Tawarova raménka a hodnocení komorových extrasystol z výtokových traktů srdečních komor. Dále je testován možný výskyt KES v kapsičkách aortální chlopně či na jiném místě v levé komoře. Hodnocení probíhá na základě zvolených parametrů a podle výskytu či absence těchto znaků je poté rozhodováno, z jaké části srdce daná komorová extrasystola pochází. Důležité je zde samozřejmě správné umístění elektrod 12svodového EKG, které poté slouží k analýze hledaných KES. Hodnocení probíhá zejména pomocí rozdílných tvarů a amplitud QRS komplexů v jednotlivých svodech sledovaných EKG záznamů.

Expertní systém je umístěn do grafického prostředí GUI Matlab. Po načtení záznamu a spuštěním analýzy je vyhodnoceno místo vzniku komorové extrasystoly. Je zobrazen počet detekovaných KES, jejich polohy a tvar blokády Tawarova raménka. Pro zhodnocení analyzovaných parametrů expertního systému je zobrazen výskyt či absence každého měřeného znaku komorových extrasystol z oblasti výtokových traktů srdečních komor. V případě výskytu KES v kapsičkách aortální chlopně je zde také vypsána pravděpodobná přítomnost či nepřítomnost. Pro přehlednost výskytu přechodové zóny je zobrazen také svod V3, který je považován za zlomový při analýze KES z oblasti výtokových traktů.

Výstup hodnocení EKG záznamů sledovaných pacientů pomocí vytvořeného expertního systému ukázal, že spojením pěti hodnocených parametrů různé váhy lze dosáhnout vysoké senzitivity a specifity detekce místa vzniku KES v oblasti výtokových traktů srdečních komor.

Na základě dosažených výsledků práce lze konstatovat, že zadání diplomové práce bylo splněno.

LITERATURA

- [1] BADA, V. *Základy klinické elektrokardiografie*: [vysokoškolská učebnice]. 3. preprac. vyd. Bratislava: Vydavateľstvo UK, 2002, 123 s. ISBN 80-223-1718-7.
- [2] BAMAN, T. S., LANGE, D. C., ILG, K.J., GUPTA, S. K., LIU, T., AL-GUIRE, C., ARMSTRONG, GOOD, E., CHUGH, A., JONGNARANGSIN, K., PELOSI, F., CRAWFORD, T., EBINGER, M., ORAL, H., MORADY, F., BOGUN, F. Relationship between burden of premature ventricular complexes and left ventricular function: Autonomics and Idiopathic Ventricular Arrhythmias. *Heart Rhythm* [online]. 2010, vol. 7, issue 7, s. 865-869 [cit. 2015-04-08]. DOI: 10.1016/j.hrthm.2010.03.036. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1547527110003280>
- [3] BENNETT, D. H. Srdeční arytmie: praktické poznámky k interpretaci a léčbě. 1. vyd. Praha: Grada, 2014, 384 s. ISBN 978-802-4751-344.
- [4] BETENSKY, B. P., PARK, R. E., MARCHLINSKI, F. E, HUTCHINSON, M. D., GARCIA, F. C., DIXIT, S., CALLANS, D. J., COOPER, J. M., BALA, R., LIN, D., RILEY, M. P., GERSTENFELD, E. P. *The V2 Transition Ratio*. *Journal of the American College of Cardiology* [online]. 2011, vol. 57, issue 22, s. 2255-2262 [cit. 2014-11-12]. DOI: 10.1016/j.jacc.2011.01.035. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0735109711012241>
- [5] BYTEŠNÍK, J., ČIHÁK, R. *Arytmie v medicínské praxi*. Vyd. 1. V Praze: Triton, 1999, 179 s. ISBN 80-725-4054-8.
- [6] CALVO, N., JONGBLOED, M., ZEPPENFELD, K., *Radiofrequency Catheter Ablation of Idiopathic Right Ventricular Outflow Tract Arrhythmias*. *Indian Pacing Electrophysiol J*. 2013 Jan-Feb; 13(1): 14–33. Published online Jan 1, 2013.
- [7] CHENG, Z., CHENG, K., DENG, H., CHEN, T. , GAO, P., ZHU, K., FANG, Q. The R-wave deflection interval in lead V3 combining with R-wave amplitude index in lead V1: A new surface ECG algorithm for distinguishing left from right ventricular outflow tract tachycardia origin in patients with transitional lead at V3. *International Journal of Cardiology* [online]. 2013, vol. 168, issue 2, s. 73-73 [cit. 2015-04-14]. DOI: 10.1002/9780470995020.ch62.
- [8] ČIHALÍK, Č., TÁBORSKÝ, M. *EKG v klinické praxi*. Vyd. 1. Olomouc: Solen. ISBN 978-807-4710-155.

- [9] Diagnosing level of AV Block, PA interval, AH interval and HV interval - LearnOnly - Heart [online]. [cit. 2012-11-16]. Dostupné z: <http://www.learnonly.com/2012/07/diagnosing-level-of-av-block-pa.html>.
- [10] DOTSINSKY, I.A, STOYANOV, T.V. *Ventricular beat detection in single channel electrocardiograms*. Biomed Eng Online. 2004 Jan 29;3:3. PubMed PMID: 14750981; PubMed Central PMCID: PMC356927.
- [11] EDITORS, A., A., TÁBORSKÝ, M. *Hands-on ablation: the experts' approach*. Vyd. 1. Olomouc: Solen, 2013, 272 s. Meduca. ISBN 978-193-5395-249.
- [12] EISENBERGER, M., BULAVA, A., FIALA, M. *Základy srdeční elektrofyzologie a katétrových ablací*. Vyd. 1. Praha: Grada, 2012, 263 s. ISBN 978-802-4736-778.
- [13] GE, B., Kang-Ting, JI, Hai-Ge, YE, Jia, LI, Yue-Chun, LI, Ri-Peng, YIN a Jia-Feng LIN. *Electrocardiogram features of premature ventricular contractions/ventricular tachycardia originating from the left ventricular outflow tract and the treatment outcome of radiofrequency catheter ablation*. BMC Cardiovascular Disorders [online]. 2012, vol. 12, issue 1, s. 112- [cit. 2014-11-29]. DOI: 10.1186/1471-2261-12-112. Dostupné z: <http://www.biomedcentral.com/1471-2261/12/112>
- [14] HAMPTON, J. R. *EKG v praxi*: překlad 4. vydání. 2. české vyd. Praha: Grada, 2007, 362 s. ISBN 978-80-247-1448-6.
- [15] HAMPTON, J. R. *EKG stručně, jasně, přehledně*. Vyd. 2., rozš. Praha: Grada, 2005c1996, 149 s. ISBN 80-247-0960-0.
- [16] HASDEMIR, CAN, HIKMET H. AYDIN, HANDAN A. CELIK, EVRIM SIMSEK, SERDAR PAYZIN, MERAL KAYIKCIOGLU, MEHMET AYDIN, HAKAN KULTURSAY, LEVENT H. CAN, LIN, D., Michael P. RILEY a Edward P. GERSTENFELD. *Transcriptional Profiling of Septal Wall of the Right Ventricular Outflow Tract in Patients with Idiopathic Ventricular Arrhythmias: A new surface ECG algorithm for distinguishing left from right ventricular outflow tract tachycardia origin in patients with transitional lead at V3. Pacing and Clinical Electrophysiology* [online]. 2010, vol. 33, issue 2, s. 2255-2262 [cit. 2015-04-08]. DOI: 10.1111/j.1540-8159.2009.02606.x. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0735109711012241>
- [17] HRADEC, J., SPÁČIL, J. *Vnitřní lékařství*. 1. vyd. Editor Pavel Klener. Praha: Karolinum, 2001, 359 s. Scripta. ISBN 80-246-0291-1.

- [18] JEKOVA, I.; BORTOLAN, G., CHRISTOV, I. *Pattern recognition and optimal parameter selection in premature ventricular contraction classification*, Computers in Cardiology, 2004 , vol., no., pp. 357- 360, 19-22 Sept. 2004
- [19] KAMAKURA, S., SHIMIZU, W., MATSUO, K., TAGUCHI, A., SUYAMA, K., KUIRTA, T., AIHARA, N., OHE, T., SHIMOMURA, K., *Localization of Optimal Ablation Site of Idiopathic Ventricular Tachycardia from Right and Left Ventricular Outflow Tract by Body Surface ECG*. Computers in Cardiology 1998; 98: 1525-1533.
- [20] *Katetrizační ablace arytmií*. In: IKEM [online]. 2011 [cit. 2012-12-04]. Dostupné z: <http://www.ikem.cz/www?docid=1004017>
- [21] KHAN, M. *EKG a jeho hodnocení*. 1. české vyd. Praha: Grada, 2005, 348 s. ISBN 80-247-0910-4.
- [22] KOZUMPLÍK, J. *Analýza biologických signálů*. Brno, Elektronická skripta FEKT VUT v Brně, 2011.
- [23] KOZUMPLÍK, J., PROVAZNÍK, I.: *Umělá inteligence v medicíně*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2007, 91 s.
- [24] LAMBA, JASMINE, DAMIAN P. REDFEARN, KEVIN A. MICHAEL, CHRISTOPHER S. SIMPSON, HOSHIAR ABDOLLAH, ADRIAN BARANCHUK, Vance J. PLUMB, G. NEAL KAY, KOICHI TANIGUCHI, AKIHIKO NOGAMI a KOICHI TANIGUCHI. Radiofrequency Catheter Ablation for the Treatment of Idiopathic Premature Ventricular Contractions Originating from the Right Ventricular Outflow Tract: A Systematic Review and Meta-Analysis. Pacing and Clinical Electrophysiology [online]. 2014, vol. 37, issue 1, s. 73-78 [cit. 2015-04-08]. DOI: 10.1111/pace.12243. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/pace.12243>
- [25] LIAN-PIN, W., YUE-CHUN, L., JING-LIN, Z., CHENG, Z., JUN-HUA, Ch., JUN, H., JIA-XUAN, L., JIN, L., JIA, L., KANG-TING, J., JIA-FENG, L., BERGER, T. *Catheter Ablation of Idiopathic Premature Ventricular Contractions and Ventricular Tachycardias Originating from Right Ventricular Septum*. PLoS ONE [online]. 2013-6-25, vol. 8, issue 6, e67038- [cit. 2014-11-29]. DOI: 10.1371/journal.pone.0067038. Dostupné z: <http://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0067038>

- [26] SHIN, S., MD, JOO, H., MD, KIM, J., MD, JANG, J., MD, PARK, J., MD, KIM, Y., MD, Lee, H., MPH, Choi J., MD, Lim, H., MD, Kim, Y., MD. *Episcardial Conduction Properties and Electrocardiographic Characteristics of Premature Ventricular Complexes or Ventricular Tachycardias That Originate at the Aortic Cusp*, Division of Cardiology, Department of Internal Medicine, Korea University Medical Center, Anam Hospital, Seoul, Korea
- [27] SCHMIDT, U. NURSE-ECG: ELEKTROKARDIOGRAFIA WYSOKIEJ ROZDZIELCZOŚCI SYGNAŁOWEJ. [online]. 2006 [cit. 2015-04-06]. Dostupné z: <http://www.staff.amu.edu.pl/fizmed/wektor1.html>
- [28] SOHEILYKHAH, S., SHEIKHANI, A., SHARIF, A., DAEVAEIHA, M.M. *Localization of premature ventricular contraction foci in normal individuals based on multichannel electrocardiogram signals processing*. SpringerPlus [online]. 2013, vol. 2, issue 1, s. 486- [cit. 2014-11-27]. DOI: 10.1186/2193-1801-2-486. Dostupné z: <http://www.springerplus.com/content/2/1/486>
- [29] SVÁNOVSKÁ, Z. *Detekce komorových extrasystol*: bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav biomedicínského inženýrství, 2013. XIII s. Vedoucí práce byl Ing. Jiří Sekora
- [30] ŠENOVSKÝ, P.: *Expertní systémy*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství, 2007, 74 s.
- [31] TADA H, ITO, S., NAITO, S., KUROSAKI, K., UEDA M., SHINBO, G., HOSHIZAKI, H., OSHIMA, S., NAGAMI, A., TAGUGUCHI K. *Prevalence and electrocardiographic characteristics of idiopathic ventricular arrhythmia originating in the free wall of the right ventricular outflow tract*. Circ J. 2004 Oct;68(10):909-14.
- [32] YAMADA, T. H. MCELDERRY, T., DOPPALAPUDI, H., MURAKAMI, Y., YOSHIDA, Y., YOSHIDA, N., OKADA, T., TSUBOI, N., INDEN, Y., MUROHARA, T., EPSTEIN, A. E., PLUMB, V. J., SINGH, S. P., KAY, G. N. *Idiopathic Ventricular Arrhythmias Originating From the Aortic Root*: Lecture Notes from the 2nd ERCOFTAC Summerschool held in Stockholm, 10-16 June, 1998. Journal of the American College of Cardiology [online]. 2008, vol. 52, issue 2, s. 139-147 [cit. 2014-11-23]. DOI: 10.1016/j.jacc.2008.03.040. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0735109708014186>
- [33] YOSHIDA, N., YAMADA, T., MCELDERRY, H. T., INDEN, Y., SHIMANO, M., MUROHARA, T., KUMAR, V., DOPPALAPUDI, H., PLUMB, V.J., G.

- KAY, N.. A Novel Electrocardiographic Criterion for Differentiating a Left from Right Ventricular Outflow Tract Tachycardia Origin: The V2S/V3R Index. *Journal of Cardiovascular Electrophysiology* [online]. 2014, vol. 25, issue 7, s. 747-753 [cit. 2015-04-08]. DOI: 10.1111/jce.12392. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/jce.12392>
- [34] YOSHIDA, N., INDEN, Y., UCHIKAWA, T., KAMIYA, H., KITAMURA, K., SHIMANO, M., TSUJI, Y., HIRAI, M., MUROHARA, T., NAKATA, Y., KUGA, K., NOGAMI, A., AONUMA, K. Novel transitional zone index allows more accurate differentiation between idiopathic right ventricular outflow tract and aortic sinus cusp ventricular arrhythmias: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Heart Rhythm* [online]. 2011, vol. 8, issue 3, s. 349-356 [cit. 2015-04-08]. DOI: 10.1016/j.hrthm.2010.11.023. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1547527110012257>

7 PŘÍLOHA

Statistické hodnocení 12svodových záznamů pacientů s výskytem idiopatických komorových extrasystol je znázorněno v tabulkách 7.1 a 7.2. Je zde zobrazen tvar blokády Tawarova raménka a sledovaných znaků KES z RVOT (R1-R7) a KES z LVOT (L1-L7). Přítomnost daného znaku je označena hodnotou 1 a absence hodnotou 0.

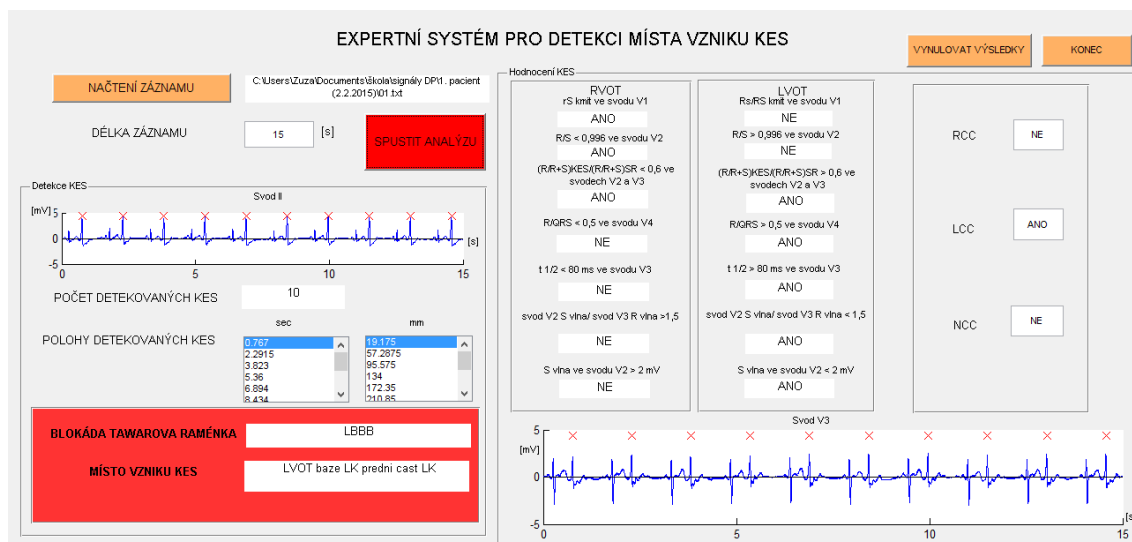
Celkové schéma celého expertního systému je zobrazeno na obrázku 7.1 (strana 85) a znázorňuje všechny použité stromové struktury potřebné pro správnou funkci celého programu. Ukázky výstupu vytvořeného expertního systému při hodnocení 12svodového EKG sledovaných pacientů jsou zobrazeny na obrázcích 7.2 až 7.7 (strana 86 až 88).

Tab. 7.1: Hodnocení výskytu hledaných znaků KES z RVOT na 12svodových EKG záznamech

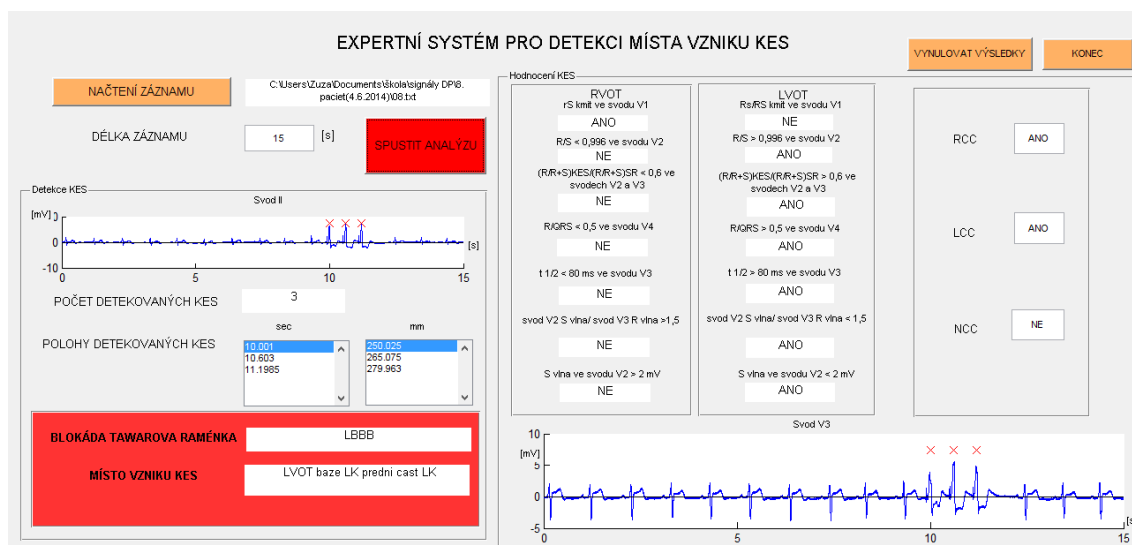
ID	Typ blokady	Místo vzniku	Přítomnost znaku						
			R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
1	RBBB	RVOT	0	1	1	0	0	1	1
2	LBBB	RVOT	1	1	1	1	0	1	1
3	LBBB	RVOT	1	1	1	1	0	1	1
4	LBBB	RVOT	1	1	1	0	1	1	1
5	LBBB	RVOT	1	1	1	0	0	1	1
6	RBBB	RVOT	0	1	1	0	0	1	1
7	RBBB	RVOT	0	1	0	0	0	0	1
8	LBBB	RVOT	1	1	1	1	0	1	1
9	LBBB	RVOT	0	1	1	1	0	1	1
10	LBBB	RVOT	1	1	1	0	0	0	0
11	RBBB	RVOT	1	1	1	0	1	1	1
12	RBBB	RVOT	1	0	0	0	0	0	1
13	LBBB	RVOT	1	0	0	0	0	0	0
14	RBBB	RVOT	0	1	1	0	0	0	1
15	RBBB	RVOT	0	1	0	1	0	1	0
16	LBBB	RVOT	1	1	1	0	0	1	1
17	RBBB	RVOT	1	1	1	0	0	1	1
18	RBBB	RVOT	0	1	1	1	0	1	1
19	RBBB	RVOT	0	1	1	0	0	1	1
20	RBBB	RVOT	1	1	0	0	0	0	1
21	RBBB	RVOT	1	1	1	0	0	1	1
22	RBBB	RVOT	0	1	1	0	1	1	1
23	RBBB	RVOT	0	1	1	0	1	1	1

Tab. 7.2: Hodnocení výskytu hledaných znaků KES z LVOT na 12svodových EKG záznamech

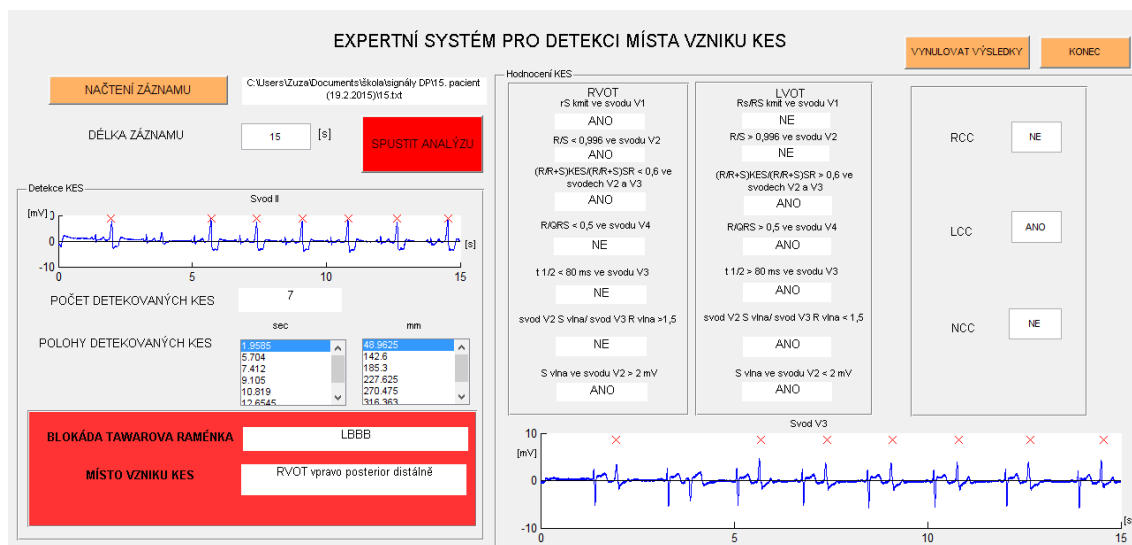
ID	Typ blokády	Místo vzniku	Přítomnost znaku						
			L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
1	RBBB	LVOT	1	1	1	0	0	0	0
2	RBBB	LVOT	0	1	1	1	1	1	1
3	LBBB	LVOT	0	1	1	1	1	1	1
4	LBBB	LVOT	0	0	1	1	0	0	0
5	RBBB	LVOT	1	1	1	1	1	1	1
6	LBBB	LVOT	0	1	1	1	1	1	0
7	LBBB	LVOT	1	1	1	1	1	1	1
8	RBBB	LVOT	1	1	1	1	1	1	1
9	RBBB	LVOT	1	0	1	1	1	1	0
10	LBBB	LVOT	0	1	1	1	1	1	1
11	RBBB	LVOT	1	1	1	1	1	1	1
12	LBBB	LVOT	0	0	1	1	1	1	0
13	LBBB	LVOT	0	1	1	1	1	1	0
14	LBBB	LVOT	0	1	1	1	1	1	1
15	RBBB	LVOT	0	0	1	1	1	1	1
16	RBBB	LVOT	1	1	1	1	0	1	1
17	LBBB	LVOT	0	0	1	1	1	1	0



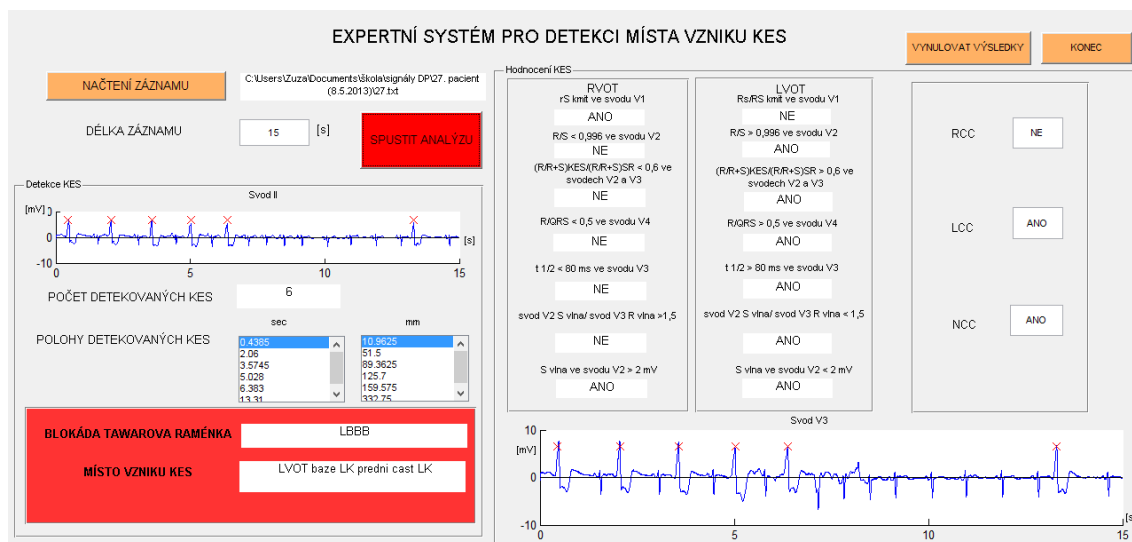
Obr. 7.2: Ukázka hodnocení 12svodového EKG záznamu 1. pacienta



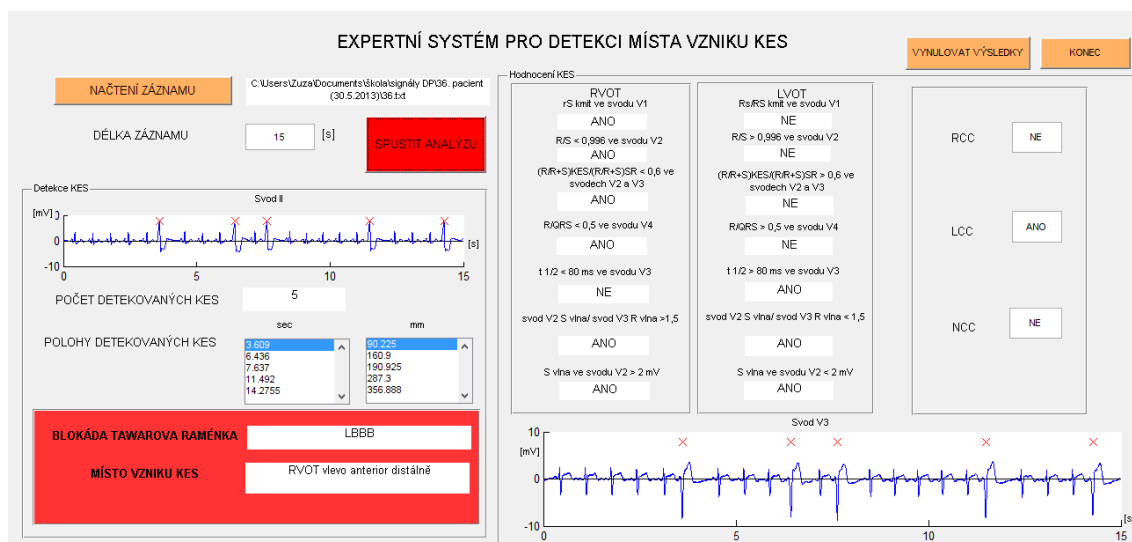
Obr. 7.3: Ukázka hodnocení 12svodového EKG záznamu 8. pacienta



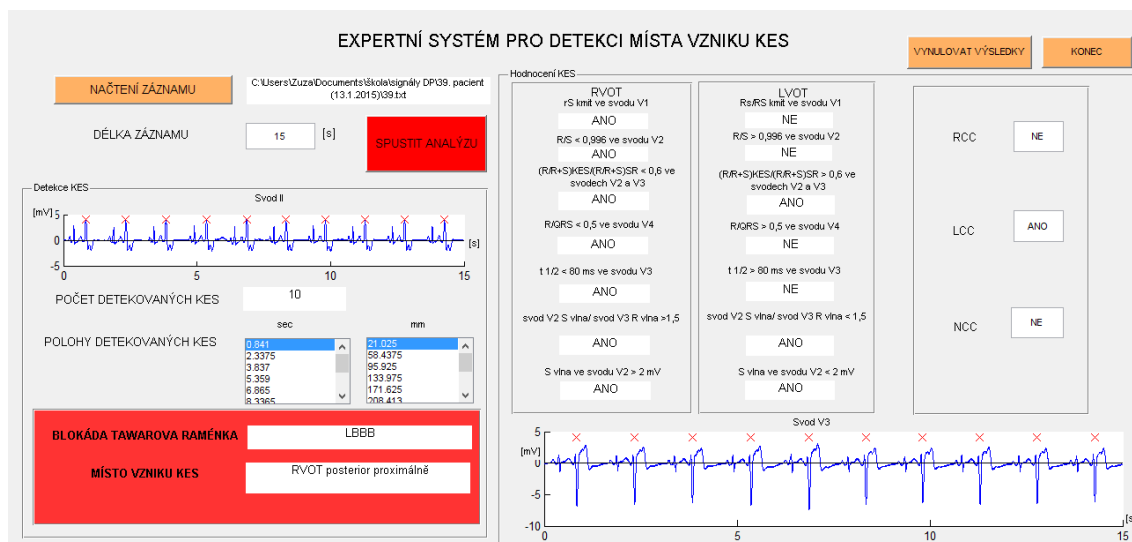
Obr. 7.4: Ukázka hodnocení 12svodového EKG záznamu 15. pacienta



Obr. 7.5: Ukázka hodnocení 12svodového EKG záznamu 27. pacienta



Obr. 7.6: Ukázka hodnocení 12svodového EKG záznamu 36. pacienta



Obr. 7.7: Ukázka hodnocení 12svodového EKG záznamu 39. pacienta