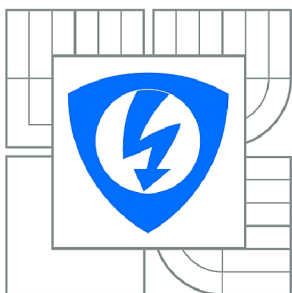


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

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 VYHODNOCENÍ TYPU ARYTMIE PŘI KATÉTROVÉ RADIOFREKVENČNÍ ABLACI SRDEČNÍCH ARYTMÍ

EXPERT SYSTEM FOR ASSESSING THE TYPE OF ARRHYTHMIA DURING CATHETER
RADIOFREQUENCY ABLATION OF CARDIAC ARRHYTHMIAS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

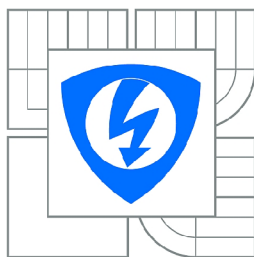
Bc. MICHAELA ŠROMOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ SEKORA

BRNO 2013



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. Michaela Šromová

ID: 116984

Ročník: 2

Akademický rok: 2012/2013

NÁZEV TÉMATU:

Expertní systém pro vyhodnocení typu arytmie při katéetrové radiofrekvenční ablacii srdečních arytmií

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Proveďte literární rešerši v problematice diferenciální diagnostiky srdečních arytmií a v problematice expertních systémů. 2) Nalezněte diagnostické algoritmy pro diferenciální diagnostiku srdečních arytmií. 3) Navrhněte programové řešení vybraných algoritmů. 4) Ověřte navržený expertní systém při katetrizačním výkonu. 5) Proveďte diskuzi získaných výsledků a zhodnoťte účinnost a využitelnost řešení.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] Josephson, M.E. Wellens, H.J.J. Differential diagnosis of paroxysmal supraventricular tachycardia. *Cardiol Clin* 8 (1990), pp. 411–442.
[2] Knight, B.P., Ebinger, M., Oral, H. et al., Diagnostic value of tachycardia features and pacing maneuvers during paroxysmal supraventricular tachycardia. *J Am Coll Cardiol* 36 (2000), pp. 574–582.

Termín zadání: 11.2.2013

Termín odevzdání: 24.5.2013

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

Teoretická část diplomové práce obsahuje stručný popis anatomie a elektrofyzologie srdce, povrchového a intrakardiálního elektrokardiogramu. Práce dále popisuje různé typy srdečních tachykardií, jejich diferenciální diagnostiku a expertní systém. V praktické části práce jsou uvedeny a popsány stromové diagramy popisující programové řešení expertního systému. Následně je zde popsána klasifikace srdečního rytmu užitím expertního systému u 3 typických tachykardií, kde se nachází výpis otázek pokládaných expertním systémem uživateli. Odpovědi na pokládané otázky jsou zdůvodněny v textu a znázorněny na ukázkách intrakardiálních EKG záznamů. Expertní systém byl ověřen při katetrizačních výkonech na 26 pacientech (hodnocených srdečních rytmů bylo 34). Klasifikace typu srdečního rytmu expertního systému a lékaře se shodovala ve 100 % z testovaných případů.

Klíčová slova

Elektrofyzologie, tachykardie, diferenciální diagnostika, katetrizační ablace arytmie, expertní systém.

Abstract

The theoretical part of the thesis contains a brief description of the anatomy and electrophysiology of the heart, as well as both, surface and intracardiac electrocardiograms. The thesis also describes the different types of cardiac tachycardias, their differential diagnosis and what is known as The Expert System. The practical section of the thesis notes and outlines the tree diagrams, and additionally describes various software solutions of The Expert System. Further, the thesis includes the classification of the heart rhythm, using The Expert System method with three typical tachycardia cases, and including a list of questions asked by The Expert System to the user. Answers to all questions asked are being assessed in the text, as well as illustrated in submitted examples of intracardiac ECG recordings. The Expert System has been verified during a series of catheterization procedures on 26 patients (where the evaluated cardiac rhythm was 34). The classification of the type of heart rhythm (per The Expert System) when comparing the results with the doctors coincided in 100 % of tested cases.

Keywords

Electrophysiology, tachycardia, differential diagnosis, catheter ablation of arrhythmia, expert system.

Bibliografická citace

ŠROMOVÁ, M. *Expertní systém pro vyhodnocení typu arytmie při katéetrové radio-frekvenční ablaci srdečních arytmií: diplomová práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 75 s., 2 příl. Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří Sekora.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Expertní systém pro vyhodnocení typu arytmie při katéetrové radiofrekvenční ablací srdečních arytmí jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího semestrálního projektu 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 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 části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne 17. května 2013

.....
podpis autorky

Poděkování

Ráda bych poděkovala Ing. Jiřímu Sekorovi za odborné vedení této diplomové práce, MUDr. Zdeňku Stárkovi, Ph.D, Ing. Jiřímu Wolfovi a Ing. Tomáši Kulíkovi za poskytnuté cenné rady v oblasti elektrofyziologie srdce a Ing. Pavlu Najmanovi za pomoc v oblasti informačních technologií.

V Brně dne 17. května 2013

.....
podpis autorky

Obsah

Úvod	1
1 Elektrofyziologie srdce a jeho snímání	2
1.1 Anatomie srdce	2
1.2 Elektrofyziologie srdce	2
1.3 Elektrokardiogram	3
2 Srdeční arytmie	7
2.1 Tachykardie	7
2.2 Léčba tachykardií – katérová RF ablace	8
2.3 Typy tachykardií	10
2.3.1 Supraventrikulární tachykardie	10
2.3.2 Monomorfní komorové tachykardie	18
3 Diferenciální diagnostika pomocí intrakardiálního EKG	22
3.1 Při sinusovém rytmu	22
3.2 Při běžící arytmii	23
3.3 Báze znalostí expertního systému	24
4 Expertní systém	31
4.1 Architektura expertního systému	31
4.2 Znalostní hierarchie	34
4.3 Aplikace expertních systémů	34
4.4 Druhy expertních systémů	35
4.5 Neurčitost v expertních systémech	38
5 Implementace expertního systému	43
5.1 Výběr programovacího jazyku	43
5.2 Diagnostické algoritmy pro diferenciální diagnostiku srdečního rytmu	44
6 Klasifikace srdečního rytmu užitím expertního systému	55
6.1 Fibrilace síní	55
6.2 Typický flutter síní	57
6.3 Atrioventrikulární nodální reentry tachykardie	60

7 Diskuze získaných výsledků	64
7.1 Zhodnocení účinnosti expertního systému	64
7.2 Zhodnocení využitelnosti expertního systému	66
Závěr	69
Literatura	70
Obsah CD	75
A Klasifikace všech 34 srdečních rytmů užitím expertního systému	76
B Stromový diagram	113

Seznam obrázků

1.1	Převodní systém	3
1.2	Dva rozměřené fyziologické srdeční stahy zobrazeny na EKG	4
1.3	Ukázka sinusového rytmu na intrakardiálním EKG	5
1.4	Ukázka rozměření AH a HV intervalů na intrakardiálním EKG	6
2.1	Způsob zavádění katétru - endokardiálně	9
2.2	Mapovací systém EnSite Velocity a intrakardiální EKG	9
2.3	Sinusová tachykardie	10
2.4	Ukázka typického flutteru síní s AV blokem 4:1	11
2.5	Ukázka atypického flutteru síní na intrakardiálním EKG	12
2.6	Ukázka typické AVNRT na intrakardiálním EKG	13
2.7	Ukázka ortodromní AVRT (WPW syndromu) na intrakardiálním EKG	15
2.8	Ukázka fokální síňové tachykardie na intrakardiálním EKG	16
2.9	Ukázka perzistující fibrilace síní na intrakardiálním EKG	17
2.10	Ukázka izolované perzistující fibrilace síní na intrakardiálním EKG	18
2.11	Ukázka komorové tachykardie	19
2.12	Ukázka 2 komorových extrasystol pocházejících z pravého výtokového traktu	20
3.1	Nepravidelná tachykardie	25
3.2	Warm-up fenomén	26
3.3	Reakce na intravenózní podání adenosinu	26
3.4	Způsob vzniku tachykardie při EFV	28
3.5	Rozdělení AV bloků II. a III. stupně	30
4.1	Základní složky znalostního systému	31
4.2	Rozšířené složky expertního systému	33
4.3	Znalostní hierarchie	34
5.1	Diferenciální diagnostika rytmů s frekvencí 51-99/min	45
5.2	Diferenciální diagnostika bradykardií	45
5.3	Diferenciální diagnostika tachykardií se štíhlým QRS komplexem (A)	46
5.4	Diferenciální diagnostika tachykardií se štíhlým QRS komplexem (B)	47
5.5	Diferenciální diagnostika tachykardií se štíhlým QRS komplexem (C)	48
5.6	Diferenciální diagnostika tachykardií s širokým QRS komplexem (A)	51
5.7	Diferenciální diagnostika tachykardií s širokým QRS komplexem (B)	52
5.8	Diferenciální diagnostika tachykardií s širokým QRS komplexem (C)	53

6.1	Ukázka perzistující fibrilace síní s rozměřenými R-R intervaly	55
6.2	Ukázka perzistující fibrilace síní s rozměřenými P-P intervaly	56
6.3	Ukázka perzistující fibrilace síní se změřenou šířkou QRS komplexu	56
6.4	Ukázka typického flutteru síní s rozměřenými R-R intervaly	58
6.5	Ukázka typického flutteru síní s rozměřenými P-P intervaly	58
6.6	Ukázka stimulace na entrainment v oblasti CTI při typickém flutteru síní .	58
6.7	Ukázka typického flutteru síní se změřenou šířkou QRS komplexu	59
6.8	Ukázka typické AVNRT se změřenou šířkou QRS komplexu a R-R, P-P a H-H intervaly	60
6.9	Ukázka typické AVNRT vyvolatelné ze síně	61
6.10	Ukázka V-A-V odpovědi po komorové stimulaci při AVNRT	61
7.1	Výšečový graf vyhodnocených srdečních rytmů při EFV	66
B.1	Stromový diagram pro hodnocení srdečních rytmů	113

Seznam tabulek

1.1	Důležité intervaly na dvanácti svodovém EKG při sinusovém rytmu	4
1.2	Důležité intervaly na intrakardiálním EKG při sinusovém rytmu	5
1.3	Refrakterní periody na intrakardiálním EKG při sinusovém rytmu	6
3.1	Základní rozdělení arytmií se štíhlým QRS komplexem	24
3.2	Základní rozdělení arytmií s širokým QRS komplexem	24
7.1	Vyhodnocení účinnosti expertního systému	65

Úvod

Terapie srdečních tachykardií katérovou RF ablací je kriticky závislá na správné diagnostice typu tachykardie. Konečná diagnostika tachykardie je prováděna na elektrofyziologickém sále při katetrizačním výkonu pomocí snímání intrakardiálního EKG. Existuje řada různých diagnostických algoritmů pro správné určení typu arytmie. Katétry se zavádí do pacientova srdce pod kontrolou RTG záření. I pro zkušeného elektrofyziologa může být diagnostika složitějších typů arytmii zdlouhavá a komplikovaná. Nabízí se tedy uplatnění pro expertní systém, který by zejména méně zkušeným lékařům pomohl navrhnout správný diagnostický postup.

První, tj. teoretická, část práce obsahuje úvod do problematiky arytmii jako je popis elektrofyziologie srdce a elektrokardiogramu, dále je zde popsána katérová RF ablace srdečních arytmii. Následuje podrobný popis jednotlivých tachykardií a v poslední kapitole, která spadá do teoretické části práce, je rozebírán expertní systém. Tato část obsahuje také diagnostické algoritmy pro diferenciální diagnostiku srdečních arytmii, které budou v druhé, tj. praktické, části práce použity při samotné realizaci expertního systému. Praktická část této práce je zaměřena na realizaci expertního systému, jehož cílem je pomoci méně zkušeným lékařům v diagnostice srdeční tachykardie při katetrizační RF ablací srdeční arytmie. Dále je v této části práce zpracována diskuze získaných výsledků a je zhodnocena účinnost a využitelnost řešení.

Téma diplomové práce rozvíjí část teorie bakalářské práce, která se zabývala hodnocením srdečních arytmii z povrchových EKG signálů.

1 Elektrofyzologie srdce a jeho snímání

Tato kapitola shrnuje základní informace týkající se anatomie a elektrofyzologie srdce, převodního systému a elektrokardiogramu, na něž navazují další kapitoly týkající se arytmií.

1.1 Anatomie srdce

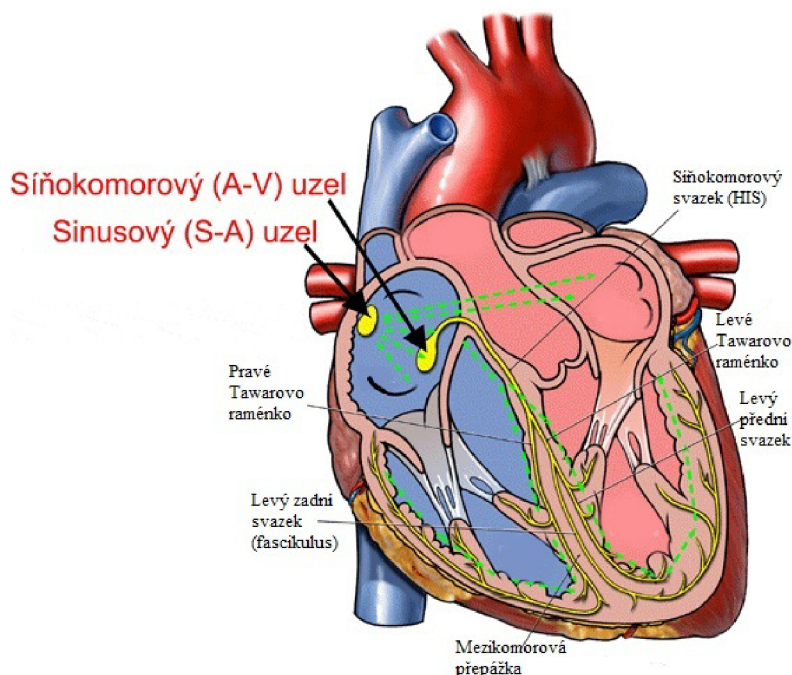
Srdce je dutý nepárový orgán nacházející se v dutině hrudní mezi plicemi (1/3 vpravo a 2/3 vlevo). Skládá se ze čtyř dutin – dvou síní a dvou komor. Do pravé síně vstupuje horní a dolní dutá žíla a do levé síně 4 plicní žíly. Z pravé komory vystupuje plicní kmen a z levé komory aorta. Nejširší stěna se nachází v oblasti levé komory (max. 12 mm) a nejúžší v pravé síni (cca 3 mm). Svalnatější levá komora čerpá krev do vzdálenějších oblastí těla, zatímco pravá komora čerpá krev do plic. Stěna zvaná septum odděluje levou a pravou část srdce. Pravá polovina srdce čerpá odkysličenou krev do plic a levá polovina okysličenou krev do aorty a poté do všech částí těla. Srdeční sval vyžaduje pro svou činnost živiny a kyslík, což je zajištěno koronárními cévami. [4, 18, 43]

1.2 Elektrofyzologie srdce

Každému stahu srdce předchází vlna elektrického podráždění. Ta vzniká za normálních okolností v sinoatriálním (SA) uzlu (viz obrázek 1.1). V klidu generuje SA uzel stahy s frekvencí od 50 do 100 stahů za minutu. S fyzickou námahou se frekvence zvyšuje, aby bylo zajištěno dobré zásobování mozku kyslíkem. Druhým místem, které je schopno generovat vzruchy je atrioventrikulární (AV) uzel. V případě správně fungujícího SA uzlu AV uzel žádné vzruchy netvoří, v opačném případě přebere funkci automacie AV uzel a pracuje s rychlostí 30–50 tepů za minutu, avšak při fyzické aktivitě už nedokáže frekvenci zvyšovat. Jsou i další etáže, níže položená místa, která jsou schopna generovat impulzy, jejichž frekvence je však ještě nižší. [18, 22, 43]

Převodní systém

Depolarizace neboli stah srdeční svaloviny začíná v SA uzlu. Dále se šíří po svalovině obou síní, ale do komor může přestoupit jen z AV uzlu přes Hisův svazek, dále pokračuje na Tawarova raménka a posléze na Purkyňova vlákna (viz obrázek 1.1). V ostatních



Obrázek 1.1: Převodní systém, převzato z [1].

místech jsou od sebe síně a komory elektricky izolovány. Depolarizace postupuje po těchto strukturách s různou rychlostí. Po svalovině síní depolarizace postupuje s rychlostí 1 m/s, AV uzlem 0,2 m/s, Hisovým svazkem, Tawarovými raménky a Purkyňovými vlákny 4 m/s a svalovinou komor 0,5 m/s. Tento rytmus je nazýván rytmem sinusovým. [18, 22, 34, 43]

1.3 Elektrokardiogram

Elektrokardiogram (EKG) je grafický záznam elektrické činnosti srdce zaznamenaný elektrodami v určených místech tělesného povrchu. Elektrokardiograf vytváří záznam elektrických proudů, jejich směru a velikosti, ale zaznamenává také srdeční frekvenci. Jeho podstatou je galvanometr, jehož výchylky se zaznamenávají na registrační papír. [38, 43]

Dvanácti svodové EKG

Standardní EKG je tvořeno dvanácti svody – třemi bipolárními Einthovenovými svody končetinovými (I, II, III), třemi unipolárními Goldbergerovými augmentovanými (zesílenými) svody (aVR, aVL, aVF) a šesti unipolárními svody hrudními (V1–V6). Každý svod představuje jiný úhel snímání srdce, a proto vypadá každá depolarizace v různých svodech odlišně. Jelikož je srdeční sval tvořen přibližně 10^{10} svalových buněk, každý okamžik depolarizace a repolarizace představuje pro velké skupiny buněk různé fáze aktivity. Elektrickou aktivitu každé části si můžeme představit jako vektorovou sílu. Vektor je definován jako síla, která má svou velikost a směr. Všechny okamžité srdeční vektory tvoří elektrickou činnost srdce. Standardní EKG zaznamenává sled 12 okamžitých srdečních vektorů. Na

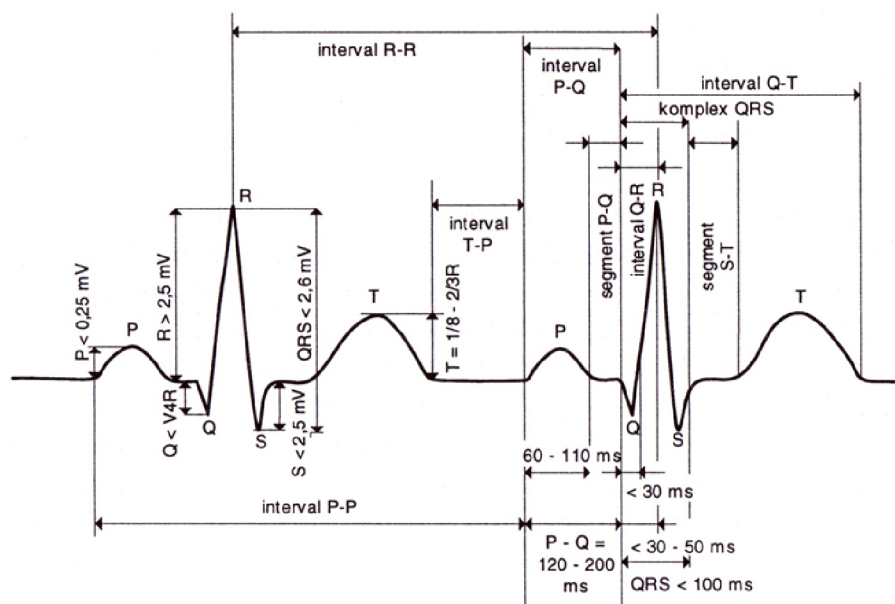
velikost nebo amplitudu zaznamenaných výchylek má vliv hmota depolarizované svaloviny a její vzdálenost od registrující elektrody. Jelikož hmota levé komory je mohutnější než pravé, bude také její výchylka na EKG výraznější. [18, 34, 38, 43]

EKG zachycuje vlnu P, QRS komplex a vlnu T. Důležité zde jsou také délky segmentů a intervalů, jako například interval PR, ST segment apod., ale také délka a výška QRS komplexu. V popisu EKG křivky by nemělo chybět, zda se jedná o sinusový rytmus, tedy zda depolarizace srdeční svaloviny začíná v SA uzlu a vedení vzruchů dále pokračuje přes AV uzel, Hisův svazek, Tawarova raménka a Purkyňova vlákna, jaký je sklon srdeční osy, popis tvaru a délky QRS komplexu a popis vlny T (případně ST segmentu). Délky základních intervalů na dvanácti svodovém EKG jsou uvedeny v tabulce 1.1. [34, 43]

P vlna zobrazuje depolarizaci síní. Za P vlnou můžeme vidět izoelektrickou rovinu, která zobrazuje fázi plató. V tomto okamžiku se uplatňuje krátká pauza v elektrickém vedení vzruchu v oblasti AV uzlu, kdy se chvíli čeká při systole síní na naplnění komor krví. Poté následuje QRS komplex, který je obrazem depolarizace komor. V tomto komplexu je také schována repolarizace síní. Po něm následuje T vlna, která zobrazuje repolarizaci komor (viz obrázek 1.2). [23, 43]

Tabulka 1.1: Důležité intervaly na dvanácti svodovém EKG při sinusovém rytmu [38, 43]

Intervaly	Hodnoty [s]
Interval PR	0,12-0,2 (u dospělých až do 0,22 s)
Vlna P	0,06-0,12 (< 3 malé čtverečky – na výšku i na šířku)
QRS komplex	0,05-0,12 (> 0,12 s znamená pomalé intraventrikulární vedení)
Kmit Q	< 0,04

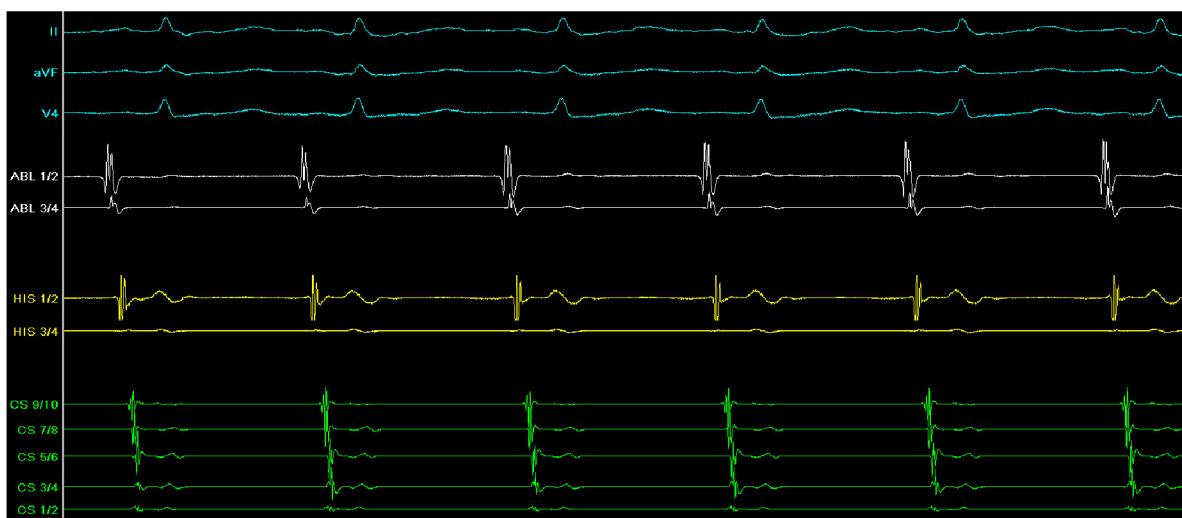


Obrázek 1.2: Dva rozměřené fyziologické srdeční stahy zobrazeny na EKG, převzato z [44].

Intrakardiální EKG

Intrakardiální EKG je grafický záznam srdeční elektrické aktivity, jenž je snímán pomocí do srdce zavedených katétrů. V tabulce 1.2 jsou uvedeny délky základních intervalů na intrakardiálním EKG při sinusovém rytmu a v tabulce 1.3 jsou uvedeny délky refrakterních period na intrakardiálním EKG při sinusovém rytmu.

Fyziologický sinusový rytmus na intrakardiálním EKG je znázorněn na obrázku 1.3 při rychlosti posunu 100 mm/s. První 3 svody shora obrázku jsou záznamy z povrchového EKG, signály označeny jako ABL pocházejí z ablačního katétru, katétr s označením HIS snímá signály z Hisova svazku a 10-polární katétr CS je zaveden do koronárního sinu, který se nachází mezi levou síní a levou komorou a ústí do pravé síně.

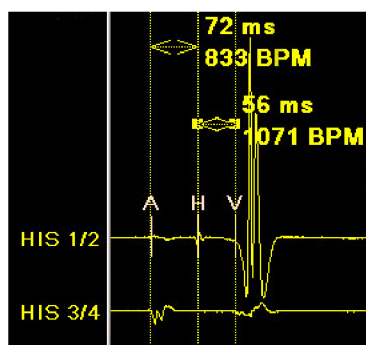


Obrázek 1.3: Ukázka sinusového rytmu na intrakardiálním EKG.

Tabulka 1.2: Důležité intervaly na intrakardiálním EKG při sinusovém rytmu [41]

Intervaly	Hodnoty [ms]
PA	25-55
AH	55-125
HBE	< 30
HV	35-55
QRS	≤ 100
QTc	Muži: ≤ 450 (hraniční hodnota: 430-450), Ženy: ≤ 470 (hraniční hodnota: 450-470)

Vysvětlení tabulky 1.2: PA interval je doba od počátku P vny na povrchovém EKG po 1. výchylku zaznamenanou z katétru umístěného na Hisovu svazku, tento interval podává informaci o intraatriálním vedení. AH, HV intervaly, jenž jsou zobrazeny na obrázku 1.4, se měří na intrakardiálním EKG při sinusovém rytmu pro vyhodnocení AV převodu. AH interval se měří mezi potenciálem síní a potenciálem Hisova svazku, HV interval



Obrázek 1.4: Ukázka rozměření AH a HV intervalů na intrakardiálním EKG.

mezi potenciálem Hisova svazku a potenciálem komor. Potenciály snímané intrakardiálním EKG z oblasti Hisova svazku jsou označovány zkratkou HBE. QRS je délka QRS komplexu a QTc je korekční QT interval, jedná se o QT interval s korekcí na tepovou frekvenci, $QTc = \frac{QT}{\sqrt{RR}}$. V praxi se používá spíše QTc než QT, protože není ovlivován srdeční frekvencí. S výskytem delších QTc intervalů stoupá pravděpodobnost výskytu maligní komorové tachykardie. [8, 36, 48]

Tabulka 1.3: Refrakterní periody na intrakardiálním EKG při sinusovém rytmu. [41]

Refrakterní periody	Hodnoty [ms]
ERP síně	180-330
ERP AV uzlu	250-400 (antegrádně)
ERP komory	180-290

Vysvětlení tabulky 1.3: ERP je tzv. efektivní refrakterní perioda, antegrádní šíření vzruchů znamená šíření směrem ze síní na komory. [35, 48]

Při stimulaci do síně:

- ERP síně: nejdelší vazebný interval stimulu, který nevyvolá depolarizaci síní. Na intrakardiálním EKG se tedy nenachází síňový ani komorový stah. [48]
- ERP AV uzlu (antegrádně): nejdelší A-A interval (interval mezi 2 po sobě jdoucími síňovými potenciály), kdy elektrický impulz již neprojde AV uzlem dále na komory. Na intrakardiálním EKG se nachází stah síní, ale stah komor vypadl. [48]

Při stimulaci do komor:

- ERP AV uzlu (retrográdně): nejdelší V-V interval (interval mezi 2 po sobě jdoucími komorovými potenciály), kdy elektrický impulz neprojde AV uzlem z komor na síně. Na intrakardiálním EKG se nachází stah komor, ale stah síní vypadl. [48]
- ERP komory: nejdelší vazebný interval stimulu, který nevyvolá depolarizaci komor. Na intrakardiálním EKG se tedy nenachází komorový ani síňový stah. [48]

2 Srdeční arytmie

Srdce se stahuje více než stotisíckrát denně, když pumpuje krev do celého těla. Arytmie mohou tuto činnost narušit, a proto vyžadují pečlivé lékařské vyšetření. Všechny rytmy, které nepochází z SA uzlu (tzv. sinusový rytmus), jsou označovány jako arytmie. Arytmie se dělí na dvě základní skupiny, a to tzv. bradykardie, kdy je tepová frekvence nižší než 50/min a tzv. tachykardie, kdy je tepová frekvence vyšší než 100/min. Bradykardie vznikají v důsledku porušení tvorby vzruchů v srdci a/nebo porušeným vedením vzruchů srdcem, jejich léčba spočívá nejčastěji v implantaci trvalého kardiostimulátoru. Katetrizační ablaci srdečních arytmii se léčí tzv. tachykardie. [5, 43]

2.1 Tachykardie

Symptomy tachykardií:

příznaky rychlé srdeční frekvence jsou velmi různorodé. Od palpitací, což je rychlý puls, který pacient sám vnímá, přes nepravidelný srdeční rytmus, závratě, točení hlavy, dušnost, únavu až po bezvědomí, u maligních tachykardií hrozí v případě nedostatečně rychlé pomoci i smrt pacienta. [20, 43]

Dělení tachykardií podle místa vzniku

Velmi důležitým hlediskem je místo vzniku tachykardie. Podle místa vzniku tachykardie rozdělujeme na supraventrikulární a komorové. Supraventrikulární jsou takové, u kterých se místo vzniku nachází v oblasti síní nebo AV uzlu, v druhém případě mluvíme o junkčním rytmu. Jako komorovou tachykardii označujeme takovou, která vzniká v oblasti svaloviny komor, tj. distálně od Hisova svazku. [5, 22, 43]

Mezi supraventrikulární tachykardie (SVT) řadíme např. supraventrikulární extrasystoly (SVES) – tj. předčasné stahy pocházející ze síní, ne však z SA uzlu, dále fokální síňovou tachykardii, tachykardie vznikající na podkladě přídavné dráhy, jako například AVNRT nebo AVRT, dále flutter síní a fibrilaci síní. Mezi komorové tachykardie řadíme např. komorové extrasystoly (KES) – tj. předčasné stahy pocházející z oblasti komor, dále nesetrválé a setrválé monomorfní či polymorfní komorové tachykardie, flutter komor a fibrilaci komor.

Dělení tachykardií podle jejich mechanismu

Supraventrikulární i komorové tachykardie dělíme podle mechanismu na fokální nebo re-entry. Fokální arytmie vznikají z určitého místa (fokusu) ležícího v odlišné oblasti, než se

nachází náš tzv. přirozený pacemaker – SA uzel. Jako fokální se označují také arytmie, které vznikají na podkladě tzv. mikroreentry mechanismu. Při reentry mechanismu arytmie krouží elektrický impulz po různě velké oblasti srdce a aktivuje dále okolní svalovinu. [10, 43]

2.2 Léčba tachykardií – katéetrová RF ablace

Katetrizační ablace srdečních arytmií je metoda, při které se do určitého místa v srdci, které je zodpovědné za vznik či šíření tachykardie, aplikuje pomocí katétru energie, která vytvoří v daném místě lézi. Tento výkon probíhá na katetrizačním sále. Přes ablační katétr se aplikuje střídavý nemodulovaný vysokofrekvenční proud o frekvenci 500–1000 kHz. Ablací generátor generuje RF energii na hrot ablačního katétru. Elektrická energie proudí mezi hrotem katétru a velkoplošnou indiferentní elektrodou, která je umístěna na zádech pacienta. Při průchodu RF proudu se místo dotyku ablačního katétru s tkání zahřívá a dochází k tvorbě léze. Vytvořena jizva není vodivá. Ablací katétrů lze z hlediska konstrukce rozdělit na nechlazené a na katétrů chlazené fyziologickým roztokem. U katétrů chlazených se tvoří větší a hlubší léze v důsledku aplikace vyšší energie. Léčebný postup při katetrizační ablacii je ovlivňován mechanismem tachykardie, přítomností strukturálního postižení srdce, lokalizací a rozsahem klíčového místa tachykardie. [9, 16, 25, 43, 45, 46]

Rizika katetrizační ablace arytmií:

Jako každý invazivní výkon má i katetrizační ablace tachykardií svá rizika, mezi které patří tromboembolické komplikace, poškození převodního systému, poranění cév v místě vstupů katétrů do těla pacienta (obvykle třísla). Při ablacii může dojít také ke vzniku reaktivního perikardiálního výpotku nebo tamponády srdeční. Některé z těchto komplikací vyžadují urgentní řešení. [9, 43]

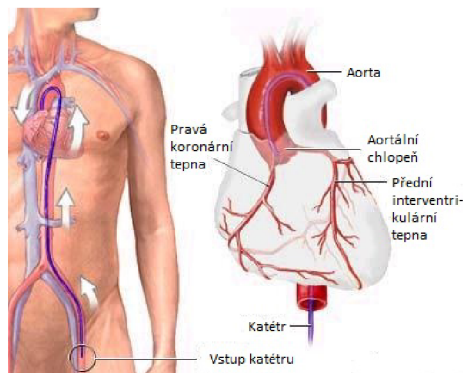
Indikace ke katetrizační ablacii:

Katetrizační ablace je nefarmakologická metoda léčby tachykardií. Indikace je poměrně jednoznačná u typické AVNRT, WPW syndromu a flutteru síní I. typu. U fibrilace síní bývá ablace indikována až po selhání antiarytmické léčby. Při záchytu symptomatické fibrilace síní u mladého člověka by však měla být RF ablace metodou první volby. U pacientů s implantovaným kardioverter-defibrilátorem je ablace indikována v případě opakovaných výbojů nebo v případě recidivujících komorových arytmií. U pacientů s idiopatickými tachykardiemi je ablace indikována při symptomatologii. [16, 43, 45]

Průběh katetrizační ablace:

Většina výkonů se provádí endokardiálně (na obrázku 2.1 je uvedeno zavádění katétru), tj. katétrů jsou do srdce vedeny cévním řečištěm, další možností je epikardiální či chi-

rurgický přístup. Na začátku výkonu pokud není arytmie jednoznačně dokumentovaná a nebo není jasně známý mechanismus je nutné před vlastním výkonem provést elektrofyziologické vyšetření (EFV). Pomocí intrakardiálního EKG je arytmie zmapována a posléze je aplikována RF energie. Méně složité výkony jako je AVNRT, WPW syndrom, flutter síní I. typu jsou mapovány pouze s využitím intrakardiálního EKG a za RTG kontroly. V případě komplexních arytmií se využívají 3D elektroanatomické mapovací systémy – například CARTO 3, CARTO XP, EnSite NavX, EnSite Velocity (viz obrázek 2.2). Některá pracoviště používají také magnetické či robotické naváděcí systémy. Na robotických systémech se v dnešní době dělají hlavně ablace fibrilace síní. Magnetický navigační systém je vhodný převážně pro řešení komorových tachykardií, složitých fokálních síňových tachykardií, případně k epikardiálnímu mapování. Největší výhodou těchto systému je stabilnější přitlak hrotu ablačního katétru k myokardu, díky čemuž se tvoří dokonalejší léze. Délka výkonu se u různých druhů tachykardií liší. RF ablace fibrilace síní, což je nejčastější tachykardie, trvá kolem 3 až 4 hodin. Po ukončení RF ablace se pacientovi vytáhnou z cév katétry a jejich zavaděče a na místo vstupu do žíly či tepny se přiloží zátěž, aby pacient nekrvácel. Zátěž je přiložena po dobu 6–12 hodin, délka přiložení zátěže se liší například podle délky ablace nebo podle toho, zda byly katétry zavedeny žílou či tepnou. [16, 43, 45]



Obrázek 2.1: Způsob zavádění katétru – endokardiálně, převzato z [15].



Obrázek 2.2: Ovladovna – na levých monitorech je zobrazeno intrakardiální EKG, na pravém monitoru mapovací systém EnSite Velocity a v pozadí katetrizační sál.

2.3 Typy tachykardií

2.3.1 Supraventrikulární tachykardie

SVT vznikají buď na principu fokálního nebo reentry mechanismu v oblasti síní nebo AV junkce. Pomocí RF ablace lze často tyto arytmie (jako je např. flutter síní, AVNRT, AVRT) zcela vyléčit. V případě nutnosti aplikování RF energie v oblasti AV junkce, případně v oblasti sinusového uzlu, riziko výkonu stoupá. Úspěšnost RF ablace těchto arytmií je vyšší než 95%. [19]

U paroxysmální fibrilace síní lze dosáhnout také úplného vymizení arytmie, v případě perzistující fibrilace síní je někdy nutné výkon opakovat, ale i u této formy fibrilace síní dochází k vymizení či značné redukci četnosti arytmií. V případě multifokální síňové tachykardie se k RF ablaci přistupuje jen u velmi symptomatické arytmie, jelikož arytmie není dobře řešitelná selektivní RF ablací. [19]

Fyziologická sinusová tachykardie

Tímto termínem se označuje fyziologické zvyšování srdeční frekvence při fyzické či psychické zátěži. Jedná se o zrychlení sinusového rytmu nad 100/min. Tento stav není považován za arytmii. Zvýšení tepové frekvence umožňuje okysličení celého těla. Zrychlený srdeční tep bývá přítomen také při horečce. [20, 43]

Nepřiměřená sinusová tachykardie

Tento druh sinusové tachykardie již je považován za arytmii. Pacient mívá zrychlený puls bez jakéhokoliv podnětu. Tato tachykardie vzniká v SA uzlu stejně jako fyziologický sinusový rytmus, ale zvýšení srdeční frekvence nad 100/min není závislé na zátěži (viz obrázek 2.3). Postupné zvyšování a snižování tepové frekvence je pro tuto arytmii typické. Příčinou vzniku může být větší oblast SA uzlu nebo citlivější buňky SA uzlu na hormony z nadledvin. [20, 43]

- **RF ablace:** při symptomatické nepřiměřené sinusové tachykardii lze podstoupit RF ablací, při níž je cílem modifikovat SA uzel. Tuto arytmii nelze při EFV vyvolat stimulací, avšak reaguje abnormálním zvýšením tepové frekvence na podání isoprenalínu. [11]

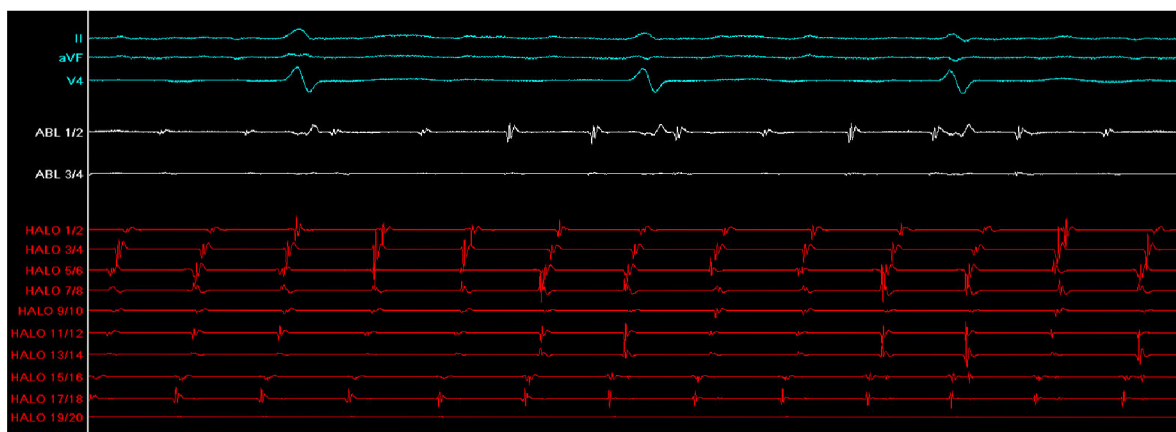


Obrázek 2.3: Sinusová tachykardie, převzato z [14].

Typický flutter síní

Flutter I. typu je pravidelná tachykardie. Pro tento druh arytmie jsou na povrchovém EKG typické pilovité kmity – jinak označovány jako vlny F). Negativní část vlny F je pomalu sestupná a přechází do rychlé vzestupné části. Frekvence komor se pohybuje mezi 100–230/min. Velmi často však vidáme frekvenci síní 300/min, komor 150/min, z čehož vyplývá, že bývá přítomna AV blokáda 2:1, někdy i 3:1. Mechanismus flutteru síní spočívá v reentry okruhu, který se však na rozdíl od reentry okruhů při fibrilaci síní nemění. Tuto arytmii lze z povrchového EKG dobře diferencovat. Reentry okruh krouží po celé pravé síni se zónou pomalého vedení na kavotrikuspidálním isthmu (CTI), jenž se nachází mezi ústním trojčipé chlopně a dolní duté žíly. Ve většině případů se šíří proti směru hodinových ručiček, může se však šířit i po směru hodinových ručiček. [6, 16, 20, 21, 22, 38, 43]

Na obrázku 2.4 je zobrazeno intrakardiální EKG typického flutteru síní, který je zobrazen při rychlosti posunu 100 mm/s. Jedná se o tzv. /uvcounterclockwise flutter síní, tedy šíří se proti směru hodinových ručiček. 20-polární katétr HALO je zaveden do pravé síně. První 3 svody shora obrázku jsou záznamy z povrchového EKG a ABL je záznam z ablačního katétru. Při porovnání svodů z povrchového EKG se svody z EKG intrakardiálního, lze vidět, že na uvedeném obrázku 2.4 je převod ze síní na komory v poměru 4:1.



Obrázek 2.4: Ukázka typického flutteru síní s AV blokem 4:1.

- **Místo léze při RF ablaci:** při katetrizační ablaci typického flutteru síní je cílem vytvoření bloku vedení ve struktuře tzv. kavotrikuspidálního isthmu (můstku). [21]

Atypický flutter síní

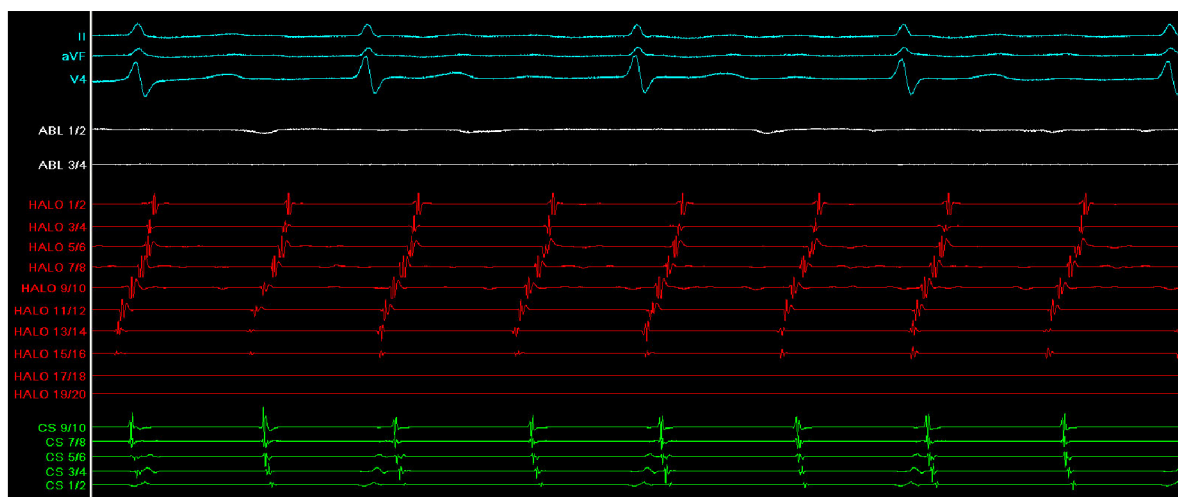
U atypického flutteru síní (flutter II. typu) se reentry okruh nachází ve většině případů v levé srdeční síni a krouží po směru hodinových ručiček. Atypickým flutterem síní je např. **síňová postencizionální reentry tachykardie (IART)**. IART je intraatriální tachykardie typu reentry, jenž je někdy obtížně odlišitelná od typického flutteru síní. Tato tachykardie se objevuje po prodělaném chirurgickém zákroku na srdci, nejčastěji po

operačním výkonu prodělaném ještě v dětství. IART se vyskytuje například po atriotomii pravé síně, po výkonu na mitrální chlopni, po Fontanově operaci nebo po síňové korekci transpozice velkých cév. Objevuje se v dlouhém časovém odstupu (několik let až desetiletí) od chirurgického výkonu. [42]

Ke vzniku IART jsou zapotřebí další modifikující faktory jako například progresse základního kardiologického onemocnění, distenze a fibróza stěny myokardu při hemodynamickém přetížení nebo bradykardie. Tyto faktory přispívají ke změně lokální refrakternosti a mění tak rychlost vedení vzruchů v myokardu, čímž přispívají ke vzniku makroreentry okruhu. Vzruch krouží okolo jizev po chirurgickém zákroku. K udržení reentry okruhu je zapotřebí velká centrální bariéra s lemem zdravé tkáně, která umožní kroužení vzruchů okolo jizvy. [42]

IART bývá velmi symptomatická a často se objevuje u mladších pacientů, jelikož mívají dobrou převodní kapacitu AV uzlu. Je zde tedy zvýšené riziko převodu vzruchu ze síní na komory v poměru 1:1. [42]

Na obrázku 2.5 je zobrazeno intrakardiální EKG atypického flutteru síní, který je zobrazen při rychlosti posunu 100 mm/s. Při síňovém atypickém flutteru se nachází nejčasnější aktivace v CS 9/10. 20-polární HALO katétr je zaveden do pravé síně, 10-polární katétr CS je zaveden do tzv. koronárního sinu. První 3 svody shora obrázku jsou záznamy z povrchového EKG a ABL je záznam z ablačního katétru. Při porovnání svodů z povrchového EKG se svody z EKG intrakardiálního, lze vidět, že na uvedeném obrázku 2.5 je převod ze síní na komory v poměru 2:1.



Obrázek 2.5: Ukázka atypického flutteru síní na intrakardiálním EKG.

• **Shrnutí flutterů síní:**

- Pravidelná tachykardie
- 1 reentry okruh v oblasti síně
- Fr. komor 100–230/min
- Typický/atypický flutter síní

AtRIOventrikulární nodální reentry tachykardie (AVNRT)

Jedná se o nejčastější záchvatovitou (paroxysmální) tachykardií, pro kterou je typická pravidelná frekvence komor se štíhlým QRS komplexem. Mechanismem této tachykardie je reentry okruh uzavírající se v oblasti AV uzlu. Ataky AVNRT mohou trvat v rozmezí několika sekund až hodin, přičemž končí buď spontánně, po tzv. vagových manévrech (masáž karotického sinu) nebo až po aplikaci antiarytmické léčby. [2, 16, 38, 41, 43]

Typická forma AVNRT je „slow-fast“, kdy se elektrický potenciál šíří ze síní na komory pomalou dráhou a zpět se vrací po rychlé dráze. Rychlá dráha je fyziologická, pomalá patologická. Na EKG při běžící AVNRT většinou nejsou patrné vlny P, bývají skryté na konci QRS komplexu nebo QRS komplex těsně následují. Vlny P jsou nejčastěji patrné ve svodu V1. [2, 13, 16, 38, 41, 43]

Atypická „fast-slow“ AVNRT s pozdní retrográdní aktivací síní vzniká opačným způsobem výše uvedené aktivace. V tomto případě se aktivace nejdříve šíří dolů do AV uzlu rychlou dráhou a poté se šíří zpět do síní dráhou pomalou. Na EKG je RP interval delší než interval PR. [2, 13, 16, 38, 41, 43]

Zřídka se vyskytuje v oblasti pomalé dráhy dvojí či dokonce vícenásobné vedení a vzniká tak atypická „slow-slow“ AVNRT. [13, 41]

Atypické AVNRT se vyskytují mnohem méně než AVNRT typické (asi v 5 % případů). Frekvence komor bývá 150–225/min. QRS komplex není širší než 120 ms. [2, 13, 16, 38, 41]

Na obrázku 2.6 je zobrazeno intrakardiální EKG typické atrioventrikulární nodální reentry tachykardie. Rychlost posunu je 100 mm/s. První 3 svody (II, aVF, V4) shora obrázku jsou záznamy z povrchového EKG, ostatní svody jsou již intrakardiální. Záznam z CS katétru je snímán z tzv. koronárního sinu, ve svodech označených HIS lze vidět záznamy snímávané z Hisova svazku, ve svodech označených jako ABL jsou záznamy z ablačního katétru. Při porovnání svodů z povrchového EKG se svody z EKG intrakardiálního, lze vidět, že na uvedeném obrázku 2.6 je převod ze síní na komory v poměru 1:1.



Obrázek 2.6: Ukázka typické AVNRT na intrakardiálním EKG.

- **Místo léze při RF ablaci:** při katetrizační ablaci AVNRT je cílem přerušit pomalou přídatnou dráhu.
- **Shrnutí AVNRT:**
 - Pravidelná tachykardie
 - 1 reentry okruh v oblasti AV uzlu
 - Fr. komor 150–225/min
 - Typická „slow-fast“ AVNRT/atypická „fast-slow“ a „slow-slow“ AVNRT

Atrioventrikulární reentry tachykardie (AVRT)

Jedná se o makroreentry tachykardii, kdy se vzruch šíří velkým okruhem mezi síní a komorou za přítomnosti akcesorní spojky. [2, 43]

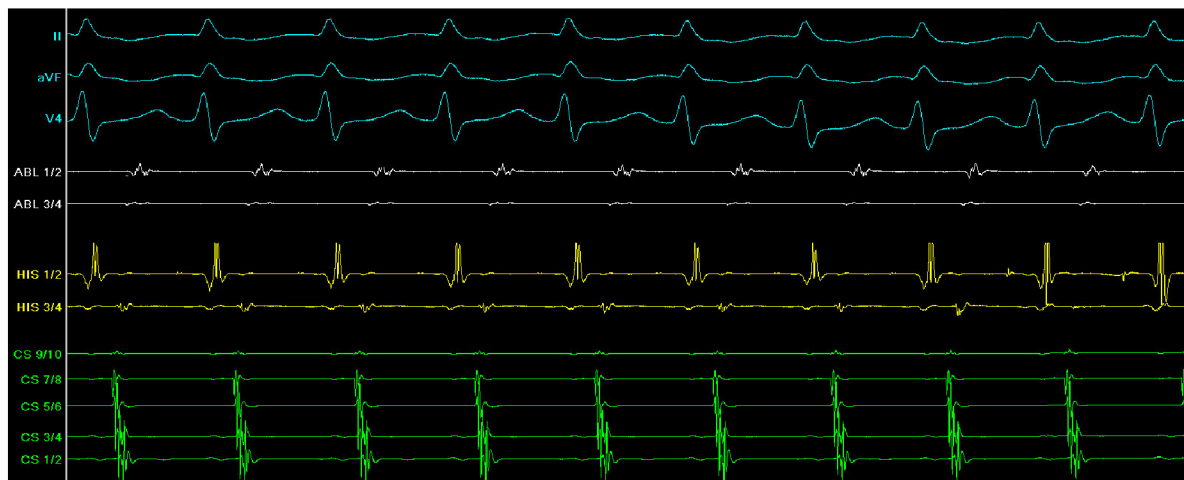
Typická je přídatná (tzn. akcesorní) spojka tzv. Kentovými svazky, která podmiňuje komorovou preexcitaci (Wolff-Parkinson-White syndrom). Akcesorní spojka vede vzruchy jak antegrádně (ze síní na komory), tak retrográdně (z komor na síně) v 80 % případů. 20 % akcesorních spojek vede jen retrográdně a bez preexcitace. [13, 34]

Wolff-Parkinson-White syndrom (WPW syndrom) se řadí mezi preexcitační syndromy. Je zde přítomna patologická vodivá dráha buď mezi levou síní a komorou (typ A) nebo mezi pravou síní a komorou (typ B), která umožňuje rychlý převod vzruchů ze síní na komory. Jak už bylo řečeno, vodivá dráha může mít antegrádní a retrográdní vedení, které vede ke vzniku AVRT. Na EKG je při WPW syndromu viditelné zkrácení PR intervalu a začátek depolarizace komor je zpomalený, což se na EKG záznamu projevuje pomalejším nástupem kmitu R (v počátku kmitu R lze tedy rozeznat tzv. delta vlnu). [34, 43]

AVRT mívá z 95 % ortodromní charakter – vzruch se šíří ze síní na komory přes AV uzel a zpět z komor na síně akcesorní spojkou. P vlna se nachází za QRS komplexem, přičemž QRS komplexy jsou štíhlé s výjimkou aberace vedení. Tepová frekvence se pohybuje mezi 150–250/min. Výrazně méně častý charakter AVRT je antidromní – vzruch se šíří ze síní na komory akcesorní spojkou a zpět z komor na síně přes AV uzel. Pro kroužení vzruchu antidromním směrem jsou typické široké QRS komplexy. Oba směry šíření vzruchů se mohou střídát. Pacienti s WPW syndromem jsou prokazatelně náchylnější ke vzniku fibrilace síní než zdraví jedinci. Pokud se u těchto pacientů manifestuje fibrilace síní, může následně dojít i ke vzniku fibrilace komor, jelikož jsou vzruchy ze síní na komory převáděny extrémně rychle díky vysoké převodní kapacitě akcesorní spojky. Fibrilace komor už výrazně ohrožuje pacienta na životě. [13, 16, 34]

Na obrázku 2.7 je zobrazeno intrakardiální EKG ortodromní AVRT (WPW syndromu). Rychlost posunu je 100 mm/s. První 3 svody (II, aVF, V4) shora obrázku jsou záznamy z povrchového EKG, ostatní svody jsou již intrakardiální. Záznam z CS katétru je snímán z tzv. koronárního sinu, ve svodech označených HIS lze vidět záznamy snímávané z Hisova svazku, ve svodech označených jako ABL jsou záznamy z ablačního katétru. Při porovnání

svodů z povrchového EKG se svody z EKG intrakardiálního, lze vidět, že na uvedeném obrázku 2.7 je AV převod v poměru 1:1.



Obrázek 2.7: Ukázka ortodromní AVRT (WPW syndromu) na intrakardiálním EKG.

- **Místo léze při RF ablaci:** cílem je přerušení akcesorní spojky buď mezi levou síní a komorou nebo mezi pravou síní a komorou.
- **Shrnutí AVRT:**
 - Pravidelná tachykardie
 - 1 makroreentry okruh vedoucí i přes AV uzel
 - Fr. komor 150–250/min
 - Ortodromní (štíhlé QRS komplexy)/antidromní charakter (široké QRS komplexy)

Fokální síňová tachykardie

Při této tachykardii vznikají patologické vzruchy v jednom místě v síní, samozřejmě v jiném než v SA či AV uzlu. Dochází k opakované rychlé depolarizaci v ektopickém fokusu. Mechanismem arytmie může být abnormální automacie, spuštěná aktivita nebo mikroreentry okruh, přičemž 3. možnost je nejméně pravděpodobná. Krátké salvy síňových extrasystol jsou častým nálezem na EKG, naopak setrvalé formy fokální síňové tachykardie jsou vzácné. [16, 21, 33]

Jedná-li se o fokální tachykardii na podkladě abnormální automacie, častým projevem je postupné zrychlování a zpomalování ektopické aktivity. Tato arytmie se dá většinou vyvolat podáním izoprenalinu (lék, který se využívá pro zrychlení tepové frekvence při katetrizační ablaci arytmií na elektrofyziologickém sále, napodobuje reakci srdečního svalu při zátěži), nelze ji však vyvolat stimulačními manévry. Naopak aktuálně běžící tachykardii lze pomocí stimulace potlačit, následně však opět vzniká a její frekvence se postupně zvyšuje. [33]

Jde-li o mechanismus spuštěné aktivity, arytmie lze vyvolat pomocí síňové stimulace nebo extrastimuly. Podání izoprenalinu nebývá k vyvolání tachykardie nutné. Běžící tachykardii lze ukončit rychlejší stimulací síní, ale nelze dosáhnout tzv. entrainmentu. [33]

V případě mikroentry mechanismu je přítomna snadná vyvolatelnost i ukončitelnost arytmie síňovou stimulací i extrastimuly, entrainment tachykardie při stimulaci rychlejší, než je frekvence tachykardie a převrácený poměr mezi vazebným intervalem extrastimulu vyvolávajícího tachykardii a délkou cyklu před prvním stahem tachykardie. [33]

Na obrázku 2.8 je zobrazeno intrakardiální EKG fokální síňové tachykardie. Rychlost posunu je 100 mm/s. První 3 svody (II, aVF, V4) shora obrázku jsou záznamy z povrchového EKG, ostatní svody jsou již intrakardiální. Záznam z CS katétru je snímán z tzv. koronárního sinu, ve svodech označených HIS lze vidět záznamy snímáné z Hisova svazku, ve svodech označených jako ABL jsou záznamy z ablačního katétru. Při porovnání svodů z povrchového EKG se svody z EKG intrakardiálního, lze vidět, že na uvedeném obrázku 2.8 je AV převod v poměru 2:1.



Obrázek 2.8: Ukázka fokální síňové tachykardie na intrakardiálním EKG.

- **Místo léze při RF ablaci:** cílem je zničení buněk s nejčasnější aktivací při tachykardii, tj. fokusu, který arytmií vyvolává.
- **Shrnutí fokální síňové tachykardie:**
 - Pravidelná tachykardie
 - 1 fokus
 - Fr. komor 150–250/min

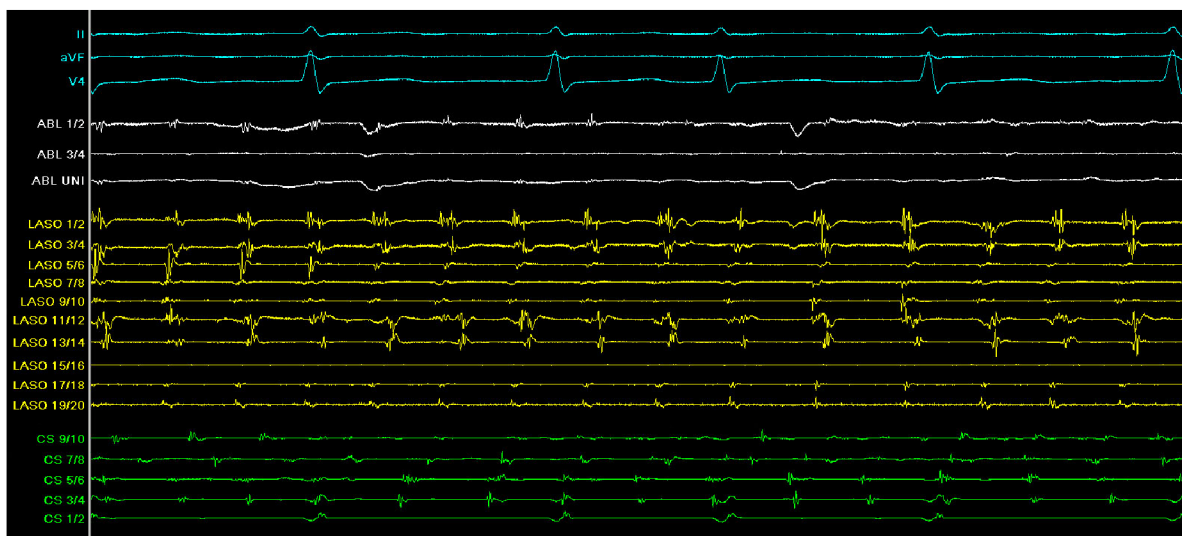
Fibrilace síní

Jedná se o rychlou aktivitu v síních, která se projeví na EKG vlnami P různých morfologií s nepravidelným převodem vzruchů ze síní na komory. Pro tuto tachykardii je typická frekvence síní mezi 400–700/min. AV uzel však propouští jen malou část těchto rychlých pulsů

a to zcela nepravidelně, proto je i frekvence komor nepravidelná. Frekvence komor bývá v rozsahu od 100–180/min. Často je proměnlivá i voltáž QRS komplexů. Mechanismus vzniku fibrilace síní není přesně znám, ale je dáván do souvislosti s existencí ektopických ložisek elektrické aktivity srdce, která tvoří opakovaně impulzy a vedou ke vzniku mnoha mikroentry okruhů v srdeční svalovině síní, nejčastěji v levé síni. Tato elektricky aktivní ložiska se nacházejí nejčastěji v ústích plicních žil. Bylo prokázáno, že při fibrilaci síní dochází k elektrické remodelaci myokardu síní. Jedinci s fibrilací síní mají efektivní refrakterní periodu v síních kratší než zdraví jedinci, dále mají lidé s fibrilací síní v myokardu síní vyšší podíl buněk, které jsou depolarizované částečně. [6, 16, 22, 38, 43, 47]

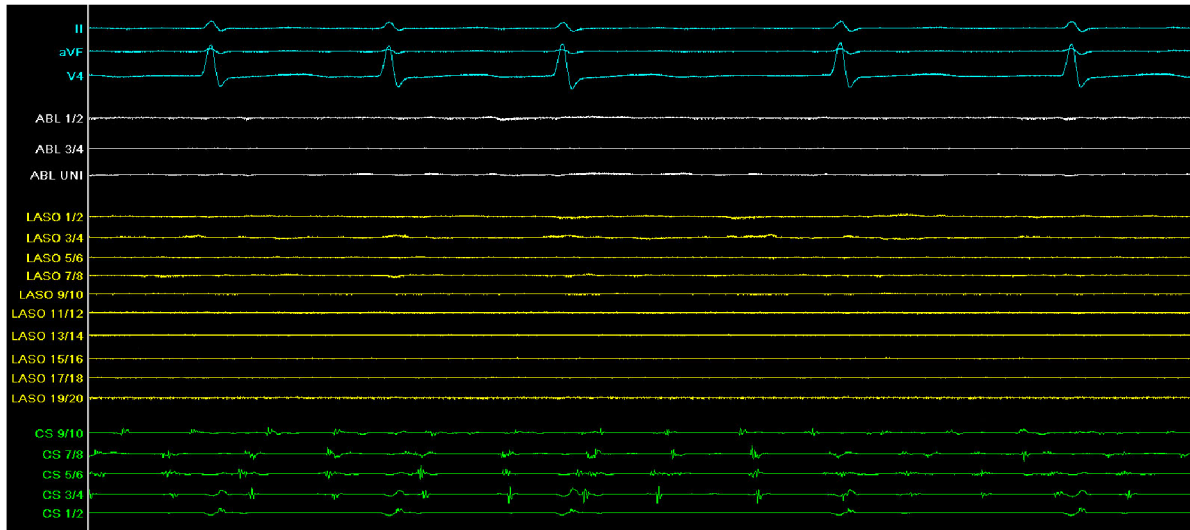
Fibrilace síní je nejčastější tachykardií u starší populace (60 let a více), jelikož vlivem stárnutí myokardu dochází k jizvení srdeční tkáně, což přispívá právě ke vzniku fibrilace síní. [47]

Na obrázku 2.9 je zobrazeno intrakardiální EKG perzistující fibrilace síní při rychlosti posunu 100 mm/s. První 3 svody (II, aVF, V4) shora obrázku jsou záznamy z povrchového EKG, ostatní svody jsou již intrakardiální. Ve svodech označených jako ABL jsou záznamy z ablačního katétru, LASO katétr snímá signály z RSPV, tedy z pravé horní plicní žíly a CS katétr je zaveden v koronárním sinu. Při porovnání svodů z povrchového EKG se svody z EKG intrakardiálního lze vidět, že aktivita v síních je velmi rychlá a chaotická, komory mají výrazně nižší frekvenci, přičemž frekvence komor není pravidelná.



Obrázek 2.9: Ukázka perzistující fibrilace síní na intrakardiálním EKG.

Na obrázku 2.10 je zobrazena perzistující fibrilace síní po izolaci pravé horní plicní žíly (RSPV), rychlost posunu je 100 mm/s. 10-polární katétr CS je zaveden do koronárního sinu, který prochází mezi levou síní a komorou a ústí do pravé síně, zde je aktivita stále chaotická z důvodu běžící fibrilace síní. 20-polární katétr LASO je zaveden do horní plicní žíly (RSPV), zde je aktivita zcela redukována. Tato žíla je odizolována od levé síně, proto se vzruchy ze síně již nepřevádí do RSPV.



Obrázek 2.10: Ukázka izolované RSPV na intrakardiálním EKG (v CS katétru: fibrilace síní, v LASO katétru: průkaz izolované plicní žíly).

- **Místo léze při RF ablaci:** cílem je elektrická izolace plicních žil, ve kterých se nacházejí ložiska spouštějící tuto tachykardii. V případě perzistující fibrilace síní se vytvářejí i další RF linie mezi pravými a levými plicními žilami v levé síni.
- **Shrnutí fibrilace síní:**
 - Nepravidelná tachykardie
 - Velké množství mikroreentry okruhů
 - Fr. komor 150–250/min

2.3.2 Monomorfní komorové tachykardie

Tyto tachykardie vznikají buď na principu fokálního nebo reentry mechanismu v oblasti komor. Pomocí RF ablace lze docílit snížení frekvence četnosti těchto arytmií, případně arytmie i zcela odstranit. V případě splnění indikačních kritérií pro implantaci implantačního kardioverter-defibrilátoru (ICD) jsou tyto pacienti zajištěni i tímto způsobem.

Jedná se o takové arytmie, které vznikají z jednoho místa komorové svaloviny. Depolarizace komor není závislá na depolarizaci síní, dochází k VA disociaci. Tyto tachykardie jsou typické svým širokým QRS komplexem (viz obrázek 2.11) a mohou přejít i do fibrilace komor. Komorové tachykardie se dělí podle základního onemocnění na ischemické a idiopatické. Komorové tachykardie u pacientů se srdečním onemocněním – ICHS, dilatační kardiomyopatií nebo u arytmogenní dysplazie pravé komory vznikají na podkladě reentry okruhu, vzácně mají fokální mechanismus. Komorové tachykardie nemusí být u pacientů se srdečním onemocněním dobře tolerovány a mohou vést i k oběhové zástavě, pacienti jsou tedy ohroženi náhlou srdeční smrtí. Pacienti bez strukturálního srdečního onemocnění mají komorové tachykardie fokálního charakteru a nejsou ohroženi náhlou smrtí. Komo-

rové arytmie je nutné vzhledem k jejich závažnosti jednoznačně diferencovat na EKG od jiných arytmí. [5, 16, 20, 22, 43]



Obrázek 2.11: Ukázka komorové tachykardie.

- **Shrnutí monomorfní komorové tachykardie:**

- Pravidelná tachykardie
- Monomorfní charakter

Komorová extrasystolie

Extrasystolou je označován předčasný stah, který nevzniká v SA uzlu. V případě komorových extrasystol (KES) se jedná o předčasný stah pocházející z oblasti komor. KES má široký QRS komplex (> 120 ms). Po KES často následuje tzv. kompenzační pauza, kdy vzdálenost mezi QRS komplexem před a po KES je rovna přesně dvojnásobku vzdáleností mezi ostatními QRS komplexy. Jasná kompenzační pauza však není podmínkou, může se vyskytovat i neúplná kompenzační pauza nebo vmezeřená KES. Podle vzdáleností mezi KES a T vlnou dělíme KES na časně, pozdní a maligní. O maligní KES se jedná v případě, kdy KES padne do descendentní části T vlny předchozího QRS komplexu. Jedná se o tzv. fenomén R na T, který vede k vyvolání maligní komorové tachykardie. První T vlna za KES má většinou opačný směr než T vlny základního rytmu pacienta. Idiopatické komorové extrasystoly bývají nejčastěji benigní, avšak jejich symptomy mohou být výrazné a jejich důsledkem může být i dysfunkce levé komory srdeční. [12, 29]

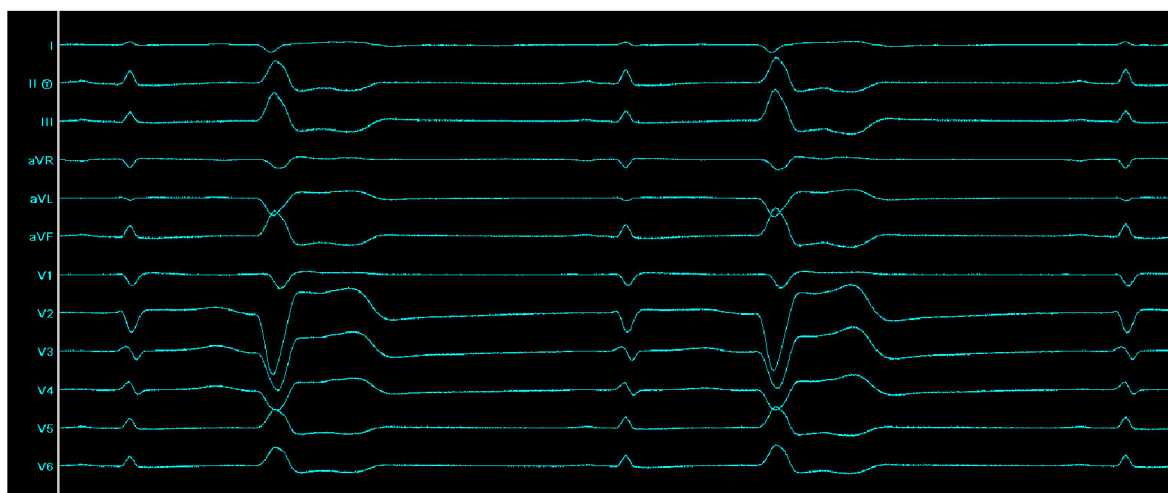
KES se mohou vyskytovat ojediněle, v párech nebo v salvách. Salvou se označuje výskyt 3–5 po sobě jdoucích extrasystol. Je-li jich více, končí však spontánně do 30 s, a jejich frekvence je vyšší než 100/min, tak odpovídají definici nesetrválé komorové tachykardie. Další možností je tzv. bigeminie, kdy se za každým sinusovým stahem objeví jedna extrasystola nebo tzv. trigeminie, kdy jsou každé dva sinusové stahy následovány jednou extrasystolou atd. Při klasifikaci KES z 24hodinové monitorace EKG se používá

orientační hledisko, které vyjadřuje průměrný počet KES za 1 hodinu. Ojedinelé KES se vyskytují (< 5/hod), častější KES (5–39/hod), časté KES (40–140/hod) a velmi časté KES (> 140/hod). [12, 27]

Podle tvaru KES lze zjistit, v jaké oblasti komor extrasystoly vznikají, případně zda se jedná o monomorfní komorové extrasystoly, které vznikají z 1 fokusu, či o polymorfní KES. KES vznikající v levé komoře mají tvar podobný bloku pravého Tawarova raménka, podobně KES vznikající v pravé komoře mají tvar podobný bloku levého raménka Tawarova. Komorové extrasystoly vycházející z výtokového traktu pravé komory (RVOT) mívají na EKG přechodovou zónu ve svodu V4 a svod I má pozitivní výchylky, naopak u extrasystol z výtokového traktu levé komory (LVOT) se přechodová zóna nejčastěji nachází ve svodu V2 a svod I má výchylky negativní. [12, 39]

Střídání úzkého a širokého QRS komplexu při EFV, s maximálně 5 po sobě jdoucími širokými QRS komplexy, naznačuje, že by se mohlo jednat o komorovou extrasystolii.

Na obrázku 2.12 jsou na povrchovém EKG zachyceny 2 komorové extrasystoly pocházející z výtokového traktu pravé komory (RVOT) při rychlosti posunu 100 mm/s.



Obrázek 2.12: Ukázka 2 komorových extrasystol pocházejících z pravého výtokového traktu.

- **Místo léze při RF ablaci:** při EFV se nejdříve zmapuje místo, kde KES vznikají. Následně je do těchto míst aplikována RF energie za účelem odstranění komorové extrasystolie. Nejčastější místo vzniku komorových extrasystol se nachází z endokardiální strany v oblasti RVOT, dále se fokus může nacházet v LVOT nebo na jiných místech v komorách. U části pacientů se fokus spouštějící extrasystoly může nacházet také v epikardiální oblasti. V případě epikardiální lokalizace KES je nutné zvážit, zda rizika epikardiálního přístupu nejsou příliš velká vzhledem k symptomatologii pacienta a případnému riziku progresu dysfunkce levé komory. [12, 29]

Idiopatická komorová tachykardie

Jedná se o monomorfní tachykardii, která se vyskytuje u pacientů bez prokazatelného strukturálního onemocnění srdce. Často je vyvolána psychickou či fyzickou zátěží. Obvykle se jedná o fokální či mikroentry mechanismus tachykardie, která může být nesetvalá nebo setvalá. Nesetvalá komorová tachykardie je definována více než pěti po sobě jdoucími rozšířenými QRS komplexy (tj. > 120 ms) s frekvencí vyšší než 100/min a s trváním do 30 sekund. Setvalou komorovou tachykardií je myšlena taková, která buď vede už v prvních 30 sekundách ke ztrátě vědomí pacienta nebo trvá déle než 30 sekund. Stejně jako při komorové extrasystolii se nejčastěji místo vzniku idiopatických komorových tachykardií nachází ve výtokovém traktu pravé komory. Tato tachykardie vzniká nejčastěji na podkladě spouštěné aktivity nebo abnormální automacie navozené katecholaminy. [28]

Část idiopatických komorových tachykardií pocházejících z levé komory mohou vycházet z tkáně převodního systému (tzv. fascikulární komorové tachykardie) a reagují na blokátory kalciových kanálů (tzv. verapamil-senzitivní komorová tachykardie). **Verapamil-senzitivní tachykardie** vzniká důsledkem intrafascikulárního reentry mechanismu. Tato tachykardie se od ostatních komorových tachykardií liší šířkou QRS komplexů. Jako jediná komorová tachykardie má QRS komplexy štíhlé. [28, 39]

Komorová postencizionální reentry tachykardie (IVRT)

Intraventrikulární reentry tachykardie (IVRT) má monomorfní charakter komorové tachykardie. [42]

Stejně jako u IART se IVRT objevuje po prodělaném chirurgickém zákroku na srdci, nejčastěji po operačním výkonu prodělaném ještě v dětství. IVRT se vyskytuje například po incizi pravé komory (ventrikulotomie). Tato tachykardie se objevuje v kratším časovém odstupu od chirurgického zákroku než IART. [42]

Vzruch krouží kolem jizvy v oblasti komor, jedná se stejně jako u IART o makroentry okruh. [42]

• Shrnutí IVRT:

- Pravidelná tachykardie
- 1 makroentry okruh okolo jizvy v oblasti komor

3 Diferenciální diagnostika pomocí intrakardiálního EKG

Má-li pacient aktuálně běžící sinusový rytmus a nemá arytmii zdokumentovanu na povrchovém EKG, přistupuje se ihned k tzv. elektrofyziologickému vyšetření (EFV), které spočívá v programové stimulaci srdce (síní/komor), jejichž cílem je, za kontrolovaných podmínek, vyvolat klinickou tachykardii pacienta, aby mohl být stanoven mechanismus dané arytmie a její léčba. [31]

Pokud má pacient aktuálně běžící arytmii, je nutné zjistit o jaký typ arytmie se jedná a podle toho volit další postup. Důležité je např. zda arytmie pochází z oblasti síní nebo komor, zda se jedná o pravidelnou či nepravidelnou tachykardii apod..

3.1 Při sinusovém rytmu

Při sinusovém rytmu má pacient tepovou frekvenci 50–100/min. Na intrakardiálním EKG vidíme nejdříve depolarizaci síní, impuls dále prochází Hisovým svazkem a následně jsou depolarizovány komory. Rytmus je tedy pravidelný a depolarizace síní a komor je zcela synchronní. Za těchto podmínek je možné ihned přistoupit k stimulačnímu protokolu. Pomocí stimulací lze například zjistit, zda má pacient přítomnu tzv. akcesorní spojku, AV či VA blokádu atd.. [31]

Není-li arytmie pacienta předem zachycena na povrchovém EKG, přistupuje se k programové stimulaci síní, nejdříve bez a následně s podáním isoprenalinu. V případě, že není žádná SVT vyvolána, přistupuje se k programové stimulaci komor. Měl-li pacient při obtížích i synkopu, přistupuje se rovnou k programové stimulaci komor. [31]

- **Stimulace síní:** se skládá ze *vzestupné stimulace síní*, kdy se zjišťuje tzv. Wenckebachův bod, který poskytuje informaci o frekvenci, při které již nedochází k převedení vzruchů na komory v poměru 1:1, a z tzv. *programové stimulace síní (PSS)*, kdy se vyšetřují např. refrakterní periody – antegrádně (ERP síně, ERP AV uzlu), apod.. Cílem PSS je stanovení převodních vlastností síně a AV uzlu, potvrzení či vyvrácení duality AV vedení, přítomnosti akcesorní spojky a ověření vyvolatelnosti SVT. Na základě tohoto vyšetření je možná přesná diagnostika arytmie a stanovení následující léčby, převážně pomocí RFA. PSS spočívá v umělé stimulaci síně pomocí série 8–10 stimulačních impulsů s fixní frekvencí tak, aby došlo ke stabilizaci refrakterních period, načež následuje extrasystola. Vazebný interval extrasystol je postupně zkracován, dokud není síň refrakterní, stimulační impuls tedy není následován de-

polarizací síní. Při zkracování vazebného intervalu se vedení extrastimulu přes AV uzel postupně prodlužuje (prodloužení AH intervalu), hovoří se o tzv. dekrementálním vedení AV uzlu. Při dostatečně krátkém vazebném intervalu extrastimulu se vzruch není schopen převést na komory z důvodu refrakternosti AV uzlu. Pro vyvolání arytmií lze také využít tzv. „burst pacing“, což je rychlá stimulace krátkými sériemi impulzů s fixní délkou cyklu. [31]

- **Stimulace komor:** se skládá ze vzestupné stimulace komor, stimulace komor s jedním extrastimulem a z programové stimulace komor (PSK). *Vzestupná stimulace komor* k zjištění retrográdního Wenckebachova bodu nemá v praxi zásadní význam, ale lze ji použít při ověřování vyvolatelnosti KT. Pomocí *stimulace komor s jedním extrastimulem* se vyšetřují refrakterní periody – retrogradně (ERP AV uzlu, ERP komory). Cílem *PSK* je vyvolání KT za kontrolovaných podmínek, aby bylo možné zjistit o jaký typ komorové tachykardie se jedná a následně stanovit účinnou léčbu (RFA či implantaci implantabilního kardioverter-defibrilátoru (ICD)). Existuje řada protokolů pro PSK, z nichž většina je založena na narůstající agresivitě stimulace (rychlejší základní frekvence stimulace, 1–3 extrastimuly, případně intravenózního podání isoprenalinu). Pokud po vyvolání komorové tachykardie nedojde do 30 s k samovolné terminaci či pacient upadá do 30 s do bezvědomí, jedná se o pozitivní nález setrvalé KT, PSK se ukončuje a pacient by měl být následně zajištěn pomocí implantace ICD. Podle typu KT a délky jejího trvání se pro přerušování běžící arytmií přistupuje buď k tzv. „overdrive pacing“ (tj. přestimulování tachykardie burstem) či k defibrilaci. [31]

3.2 Při běžící arytmií

Z intrakardiálního EKG lze vyčíst informace o aktivitě síní a komor srdce, tedy zda je akce pravidelná, jaká je frekvence komor, ale i síní, jaká je morfologie jednotlivých vln a QRS komplexů. Důležitá je také znalost charakteru vzniku a ukončení arytmií. Při EFV složitějších arytmií lze vytvořit tzv. aktivační elektroanatomickou mapu arytmií. Ta znázorní místo nejčasnější aktivace mapované tkáně, což také napomůže diferenciální diagnostice dané arytmií. [11]

V tabulce 3.1 jsou rozděleny arytmií se štíhlým QRS komplexem podle pravidelnosti QRS komplexů a synchronie síní s komorami, přičemž synchronními síněmi a komorami je myšlen převod vzruchů ze síní na komory v poměru 1:1.

Tabulka 3.1: Základní rozdělení arytmií se štíhlým QRS komplexem.

Arytmie	Pravidel. QRS komplexy	Nepravidel. QRS komplexy	Synchron. síně a komory	Nesynchron. síně a komory
Fyziologická sinus. tachy.	✓		✓	
Nepřiměřená sinus. tachy.	✓		✓	
Typický flutter síní	✓		✓	✓
Atypický flutter síní	✓		✓	✓
AVNRT	✓		✓	✓
Ortodromní AVRT	✓		✓	
Fokální sínňová tachy.	✓		✓	✓
Fibrilace síní		✓		✓
Verapamil-senzitivní komorová tachykardie	✓		✓	✓

V tabulce 3.2 jsou rozděleny arytmie s širokým QRS komplexem podle pravidelnosti QRS komplexů a přítomnosti VA disociace.

Tabulka 3.2: Základní rozdělení arytmií s širokým QRS komplexem.

Arytmie	Pravidelné QRS komplexy	Nepravidelné QRS komplexy	VA disociace
Monomorfní komor. tachy.	✓		✓
IVRT	✓		✓
Aberace vedení	✓		
Antidromní AVRT	✓		

3.3 Báze znalostí expertního systému

Frekvence síní, komor a jejich poměr

Důležitým údajem je jak frekvence síní a komor, tak jejich vzájemný poměr. Při frekvenci komor do 50/min se jedná o bradykardii. Jsou-li frekvence síní i komor sobě rovny a nachází se v rozmezí 51-99/min, měly by další otázky směřovat k potvrzení či vyvrácení hypotézy sinusového rytmu. Pokud je frekvence síní nad 100/min a je zároveň vyšší než frekvence komor, jedná se o SVT, přičemž lze vyloučit AVRT. Je-li naopak frekvence síní nižší než frekvence komor, která je nad 100/min, jedná se o KT. V případě, že se frekvence síní a komor rovnají může jít jak o SVT, tak o KT a je tedy nutné pro zjištění diagnózy pokračovat dalšími otázkami. [31]

Úzký vs široký QRS komplex

Jedná-li se o tachykardii, tak je nutné nejdříve zjistit, zda pocházející ze svaloviny síní či komor. Změření šířky QRS komplexů nás může navést na místo vzniku tachykardie.

Jsou-li QRS komplexy úzké (≤ 120 ms), jedná se s velkou pravděpodobností o arytmii supraventrikulární. Komorové tachykardie (KT), až na jednu výjimku, tedy mají široké QRS-komplexy. Zmiňovanou výjimkou je tzv. verapamil-senzitivní komorová tachykardie, která má svůj původ v oblasti převodního systému levé komory. Při této arytmii je přítomna VA disociace, což směřuje ke komorovým arytmiím. Pokud jsou QRS komplexy široké (> 120 ms), je nutné odlišit KT od SVT s aberací vedení. [11]

V případě širokého QRS komplexu je dobré nejdříve usuzovat na komorovou tachykardii a teprve v dalším kroku zvážit, nemůže-li se jednat o aberaci komorové aktivace při některé z supraventrikulárních tachykardií nebo o aberantní exciaci při antidromní AVRT nebo při pravidelné síňové tachykardii či flutteru. Střídají-li se při běžící tachykardii úseky s širokými QRS komplexy s úseky s úzkými QRS komplexy, jedná se téměř jistě o SVT s aberací. Je-li morfologie QRS komplexů stejná při tachykardii jako při preexcitaci při sinusovém rytmu, jedná se nejspíše o antidromní AVRT. Je-li aktivita síní pomalejší než aktivita komor, přičemž je přítomna VA disociace, jedná se prakticky jistě o komorovou tachykardii. Jestliže pacient nemá prokazatelné strukturální postižení srdce a má širokokomplexovou tachykardii, jde s největší pravděpodobností o idiopatickou komorovou tachykardii vznikající v oblasti posteriorního fascikulu levého Tawarova raménka. Má-li pacient širokokomplexovou tachykardii a zároveň má i strukturální onemocnění srdce, bude se s největší pravděpodobností jednat o komorovou tachykardii s reentry mechanismem. [11, 27]

Pravidelnost tachykardie

Pravidelná tachykardie je taková, při které se 2 sousední komorové stahy neliší o více než 15 ms. Frekvence komor tedy výrazně nekolísá. [31]

Opakem je nepravidelná tachykardie, která je zobrazena na obrázku 3.1, kde si lze ve vyznačené oblasti všimnout zpomalení, zrychlení a následně opět zpomalení tepové frekvence. Nachází se zde jasně zřetelné komorové stahy, které splňují podmínku, že 2 po sobě následující stahy se liší o více než 15 ms.



Obrázek 3.1: Nepravidelná tachykardie.

„Warm-up“ a „cool-down“ fenomén

Postupné zrychlování a zpomalování frekvence tachykardie je typické pro fokální tachykardie, případně sinusové tachykardie. Na obrázku 3.2 ve vyznačené oblasti lze vidět warm-up fenomén, při němž dochází k postupnému nárůstu tepové frekvence. [33]



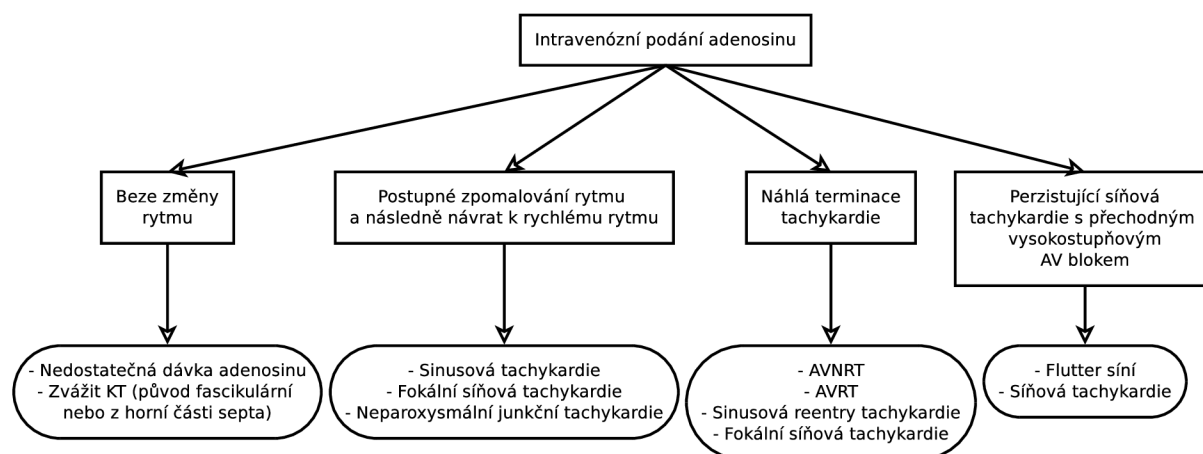
Obrázek 3.2: Warm-up fenomén.

Přítomnost 3 a více morfologií P vln

Tuto podmínku splňuje fibrilace síní a multifokální síňová tachykardie. [9, 47]

Reakce na podání adenosinu

Při pravidelně běžící tachykardii s úzkými QRS komplexy lze také pomocí reakce na intravenózní podání adenosinu usuzovat o jaký druh arytmie se jedná (viz stromový diagram na obrázku 3.3). [45]



Obrázek 3.3: Reakce na intravenózní podání adenosinu.

Vysvětlení stromového diagramu na obrázku 3.3: AVNRT je atrioventrikulární nodální reentry tachykardie, AVRT je atrioventrikulární reentry tachykardie.

Předchází dle intrakardiálního EKG síně komory nebo komory síně

Položení této otázky má smysl v případě, že je AV převod při tachykardii v poměru 1:1. Předchází-li síně komory, jedná se o SVT, v opačném případě o KT.

Přítomnost VA disociace

Tato otázka je vhodná opět je-li AV převod 1:1 a existuje-li podezření na tachykardii pocházející z oblasti komor. [31]

První aktivace v HIS

Je-li 1. aktivace v HIS, jedná se o AVNRT. [41]

Posloupnost aktivace v koronárním sinu (např. v CS katétru)

Koronární sinus se nachází mezi levou síní a komorou a ústí do pravé síně. Je-li dekapolární CS katétr umístěn na správné pozici, lze pomocí posloupnosti aktivace v CS zjistit, zda vzruch pochází z pravé či levé síně. V případě AVNRT jsou síně i komory aktivovány současně. [31, 41]

Směr šíření aktivace po síni (např. v HALO katétru)

Odpovědí na tuto otázku lze v případě typického flutteru síní zjistit, zda se jedná o typický flutter síní kroužící po směru (tj. clockwise) či proti směru hodinových ručiček (tj. counterclockwise). [41]

Entrainment na CTI (případně laterálně od istmu)

Je-li na určitém místě přítomen skrytý entrainment s optimálním „post pacing intervalem (PPI)“, daná oblast se nachází v reentry okruhu. Například v případě skrytého entrainmentu s optimálním PPI na CTI, případně i laterálně od istmu se jedná o typický flutter síní. [31, 41, 45]

PPI je možné hodnotit jen při aktuálně běžící tachykardii, dojde-li stimulací k přerušení tachykardie a nastolení sinusového rytmu, PPI měřit nelze. Optimální PPI je takové, kdy rozdíl mezi PPI a délkou cyklu tachykardie (CL) je do 30 ms. Skrytý entrainment je takový, kdy se neliší pořadí aktivace při stimulaci na entrainment a po této stimulaci, tedy při běžící tachykardii. Manifestní entrainment je takový, kdy se pořadí aktivace při a po stimulaci na entrainment liší. [31, 41, 45]

Aktivační sekvence síní po ukončení komorové stimulace

V případě běžící tachykardie a nepřítomnosti VA disociace, lze SVT rozdělit pomocí reakce na tzv. overdrive stimulaci pravé komory. Overdrive stimulace je taková stimulace,

kteřá je rychlejší než samotná frekvence tachykardie, délka mezi vzruchy při overdrive stimulaci by měla být o 10–60 ms kratší než při samotné tachykardii. Stimulaci nesmí dojít k zastavení běhu tachykardie a musí být splněny 2 podmínky, musí být uchváčeny komory a VA vedení musí být v poměru 1:1. Komory jsou uchváčeny tehdy, když jsou mezi posledními stimulovanými stahy stejně dlouhé intervaly (neprodlužují se a nezkracují). [3]

Jsou-li tyto podmínky splněny, sleduje se dle [3] aktivační sekvence následující po posledním stimulovaném stahu komor:

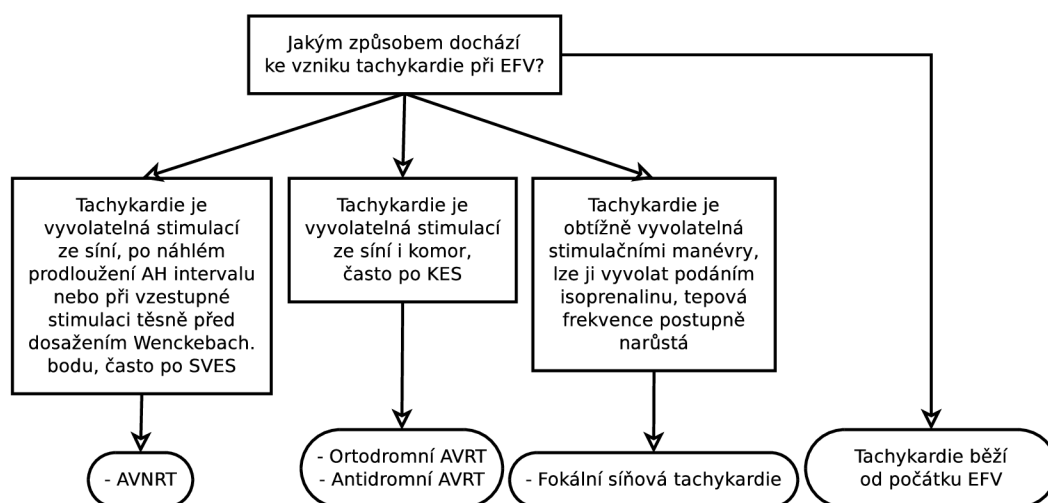
- Odpověď A-V je typická pro AVNRT či AVRT. Nejdříve se tedy aktivují síně a následně komory. AV uzel je retrográdně refrakterní, jelikož při těchto arytmiích dochází k aktivaci přes pomalou dráhu AV uzlu či akcesorní spojku. Antegrádním směrem AV uzel refrakterní není, a proto dojde k převodu hned prvního síňového stahu na komory.
- Odpověď A-A-V je typická pro síňovou tachykardii. V tomto případě se za prvním síňovým stahem nenachází stah komor, a to proto, že AV uzel je antegrádně stále refrakterní, proto se na komory převede až následující síňový stah.

Co předchází kolísání délky cyklu pravidelné tachykardie (např. při změně AV převodu)

Při AVNRT nebo AVRT je změněn nejdříve VV interval a až následně AA interval. Naopak při sinusové či fokální síňové tachykardii dojde nejdříve ke změně AA intervalu a posléze ke změně VV intervalu. [31]

Způsob vzniku tachykardie při EFV

Způsob vzniku tachykardie také napomáhá správné klasifikaci tachykardií (viz stromový diagram na obrázku 3.4). [31]



Obrázek 3.4: Způsob vzniku tachykardie při EFV.

Vysvětlení stromového diagramu na obrázku 3.4: AVNRT je atrioventrikulární nodální reentry tachykardie, AVRT je atrioventrikulární reentry tachykardie.

Vliv bloku Tawarova raménka na délku cyklu tachykardie

Vznikem blokády Tawarova raménka za běhu AVRT dochází ke změně délky cyklu tachykardie. V případě AVNRT nebo fokální síňové tachykardie se délka cyklu tachykardie nastolením blokády Tawarova raménka nemění. [31]

Morfologie a osa P vln na povrchovém EKG

Při sinusovém rytmu, včetně sinusových tachykardií, je morfologie a osa P vln na povrchovém EKG ve svodech II, III a aVF pozitivní, při AVNRT jsou P vlny v těchto svodech negativní. [31]

Hodnota korigovaného PPI

Hodnotu korigovaného PPI lze dle [31] vypočítat pomocí vzorce:

$$dPPI - dCLtachy - (AHstimul - AHtachy), \quad (3.1)$$

kde $dPPI$ je délka PPI, $dCLtachy$ je délka cyklu tachykardie, $AHstimul$ je délka AH intervalu při stimulaci a $AHtachy$ je délka AH intervalu při tachykardii, všechny délky jsou v ms.

Při AVNRT je hodnota korigovaného PPI menší než 110 ms a při ortodromní AVRT je tato hodnota větší než 110 ms.

Dualita vedení AV uzlem

Dualita vedení AV uzlem se posuzuje za sinusového rytmu a je-li přítomna, lze předpokládat přítomnost AVNRT. [31, 41]

• Ukazatele na dualitu vedení AV uzlem

- Přítomnost AVN echa v důsledku retrográdního vedení rychlou dráhou
- Přítomnost skoku při PSS s 1 ES při zkracování vazebného intervalu o 10 ms
- Přítomnost prodloužení PR intervalu při vzestupné stimulaci tak, že přesáhne délku cyklu tachykardie

Retrográdní vedení s dekrementem

Při podezření na AVNRT je při sinusovém rytmu přítomno také retrográdní vedení s dekrementem. [31]

Reakce na kuplety, triplety, „burst pacing“

Aplikace kupletů, tripletů a „burst pacing“ se provádí za účelem vyvolání klinické tachykardie. Nepodaří-li se tachykardii vyvolat ani po podání isoprenalinu, dochází tak ke zne-možnění dalšího studování tachykardie, jelikož cílem PSS i PSK je klinickou tachykardii za kontrolovaných podmínek vyvolat, aby bylo možné určit další postup léčby.

Delta vlna

Přítomnost preexcitace, delta vlny, na povrchovém EKG při aktuálně běžícím sinusovém rytmu svědčí o přítomnosti akcesorní spojky, je tedy vhodné zvažovat možnou přítomnost ortodromní či antidromní AVRT. [31]

Retrográdního vedení bez dekrementu

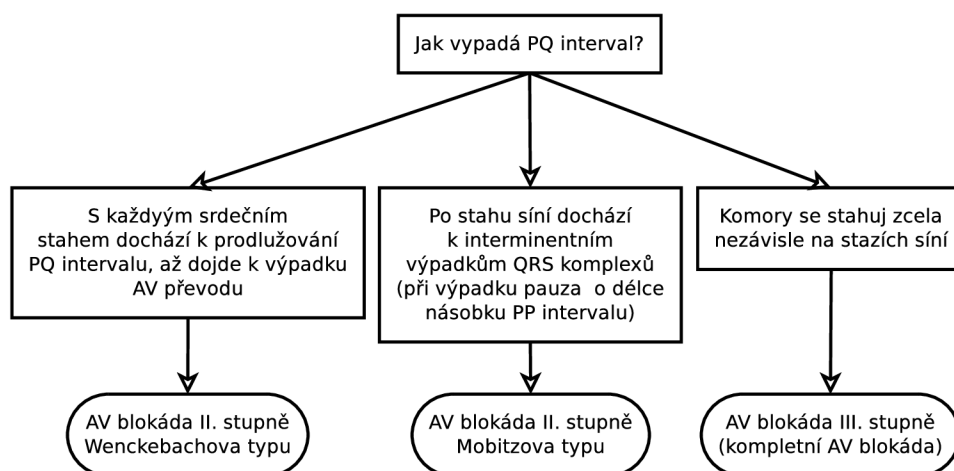
Přítomnost retrográdního vedení bez dekrementu za sinusového rytmu poukazuje také na akcesorní spojku. Vedení tohoto typu bývá tedy přítomno u ortodromní či antidromní AVRT. [31]

AH a PQ interval při bradykardii

Při sinusové bradykardii AH interval není prodloužený, přičemž PQ interval má konstantní délku, a to menší nebo rovnu 0,2 s. Při AV blokádě I. stupně je AH interval také prodloužený a PQ interval konstantní s délkou větší než 0,2 s. [34, 38]

PQ interval při bradykardii

Na obrázku 3.5 je znázorněn stromový diagram rozdělující AV blokády II. a III. stupně. [34]



Obrázek 3.5: Rozdělení AV blokád II. a III. stupně.

4 Expertní systém

Expertní systém je programový systém spadající do skupiny znalostních systémů. Je založen na reprezentaci znalostí expertů z dané oblasti, které využívá k řešení daných problémů. Každý expertní systém je také systém znalostní, obráceně to však neplatí. Expertní systém je navíc schopen zdůvodnit svá rozhodnutí proč postupoval tak, jak postupoval. [30, 37]

Pro expertní systémy je typické oddělení znalostí a inferenčního mechanismu. Bývá přítomna také schopnost rozhodování za neurčitosti a schopnost vysvětlování, tyto dva rysy však nejsou nutnou podmínkou. [30]

Výhody expertních systémů

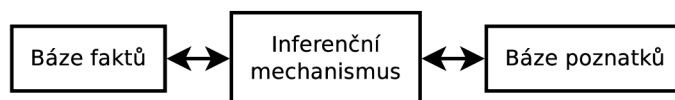
Výhody expertních systémů spočívají ve schopnosti řešit složité problémy, v opakovatelnosti expertíz, v dostupnosti expertíz a ve snížení nákladů na provedení expertíz. Expertní systém může být použit jako trénovací nástroj pro začátečníky nebo k uchování znalostí odborníků. [30]

Nevýhody expertních systémů

Hlavní nevýhody expertních systémů spočívají v nebezpečí chybování ve změněných podmínkách a v neschopnosti rozpoznat meze své použitelnosti. [30]

4.1 Architektura expertního systému

Expertní systém má 3 základní složky shodné se systémem znalostním, tyto 3 složky obsahují tzv. bázi faktů, bázi poznatků a inferenční mechanismus. Na obrázku 4.1 je základní blokové schéma každého znalostního, a tím pádem i expertního, systému. [37]



Obrázek 4.1: Základní složky znalostního systému. [37]

- **Báze poznatků** obsahuje poznatky a heuristiky, jež jsou relevantní pro danou oblast, kterou je expertní nebo znalostní systém určen. Jsou získány od specialistů z daného oboru. Do této báze jsou poznatky uloženy použitím vyhovujícího schématu pro reprezentaci poznatků jako jsou pravidla, rámce atd.. Popisují jak obecné, tak specifické poznatky o dané oblasti a způsoby řešení problémů. [37]

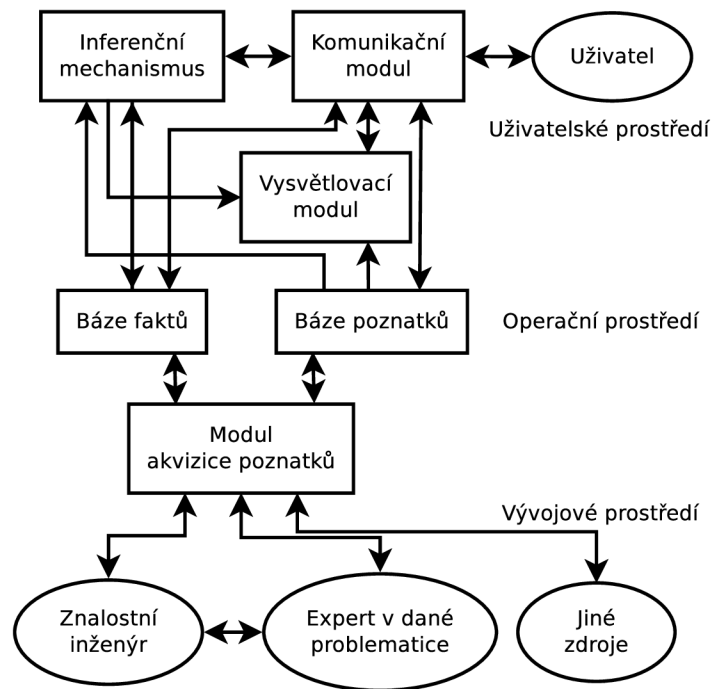
- **Báze faktů** obsahuje informace o konkrétním problému z dané oblasti, jenž má expertní nebo znalostní systém vyřešit. Jedná se tedy o pravdivá specifická tvrzení, která charakterizují konkrétní specifický problém. Jsou zde uloženy samotné informace o dané problematice získané od specialistů v oboru (tj. vstupní údaje a postupně odvozované výsledky). [30, 37]
- **Inferenční mechanismus** je soustava navzájem spolupracujících programů, které zabezpečují procedurální složku činností expertního nebo znalostního systému. *Inference* znamená usuzování nebo odvozování určitých výroků z výroků jiných. Inferenční mechanismus tedy napodobuje uvažování specialisty a je založen buď na odvozování nových poznatků z existujících faktů nebo na strategii prohledávání báze poznatků. [30, 37]

Příklady metod inference [30, 40]:

- *Dedukce*: typ úsudku, kdy závěry vyplývají z předpokladů, postup tedy směřuje z obecných tvrzení ke specifickým.
- *Indukce*: typ úsudku, kdy postup směřuje od specifického tvrzení k obecnému, opak dedukce.
- *Abdukce*: typ úsudku, který směřuje ze správného závěru k předpokladům, jenž ho mohly způsobit.
- *Heuristiky*: pravidla založená na zkušenostech vedoucí k zjednodušení tradičních způsobů řešení.
- *Generování a testování*: metoda pokus/omyl.
- *Analogie*: závěry jsou odvozovány na základě podobností s jinou situací.
- *Defaultní inference (přednastavení)*: nemáme-li specifické znalosti, je úsudek tvořen na základě znalostí obecných (přednastavených).
- *Nemonotonní inference*: v případě nového poznatku, který nekoresponduje s dosavadními znalostmi, se mohou stát dosavadní znalosti neplatnými.

Důležitou vlastností inferenčního mechanismu je také schopnost zpracování neurčitosti, která může být obsažena jak v bázi poznatků, tak v bázi faktů. Možným zdrojem neurčitosti je nepřesnost, nekonzistence, neúplnost dat, dále vágní pojmy či nejisté znalosti. Neurčitost může být zpracovávána například pomocí teorie pravděpodobnosti, faktory jistoty nebo pomocí fuzzy logiky. [30]

Na rozdíl od znalostních systémů, expertní systémy obsahují navíc tzv. vysvětlovací modul. Pro podrobnější popis expertního systému je vhodné uvést rozšířené blokové schéma expertního systému (viz obrázek 4.2), které obsahuje na rozdíl od základního blokového schématu znalostního systému na obrázku 4.1 také komunikační, vysvětlovací, plánovací modul a modul akvizice poznatků. Rozšířené blokové schéma je rozděleno na 3 úrovně prostředí (uživatelské, operační a vývojové). [37]

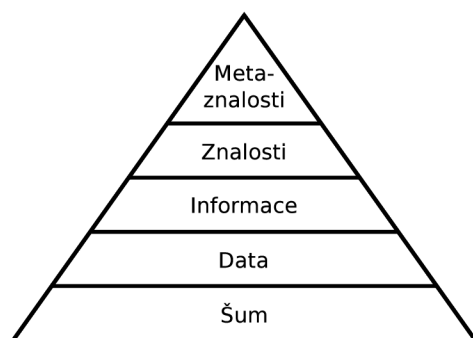


Obrázek 4.2: Rozšířené složky expertního systému. [37]

- *Uživatelské prostředí:* dominuje mu komunikační modul (tj. uživatelské rozhraní), přes něhož uživatel komunikuje s inferenčním mechanismem a vysvětlovacím modulem. [37]
 - *Komunikační modul:* zajišťuje interakci mezi uživatelem a expertním systémem. [37, 40]
 - *Vysvětlovací modul:* jedná se o tu část expertního systému, kterou se expertní systém odlišuje od systémů znalostních. Významem vysvětlovacího modulu je zviditelnění rozhodovací činnosti, čímž je dosaženo vyšší důvěryhodnosti. [37, 40]
 - *Plánovací modul:* je součástí inferenčního mechanismu, jeho hlavní úlohou je koordinace a řízení zpracování pravidel v rámci procesu odvozování, ale také zajištění efektivního využití báze poznatků. [37, 40]
- *Operační prostředí:* dominují mu znalosti o dané problematice uložené v bázi faktů a pravidla, která reprezentují poznatky o dané problematice, jež jsou uloženy v bázi poznatků. [37]
- *Vývojové prostředí:* je zaměřeno na získávání poznatků a to převážně od experta v dané problematice a znalostního inženýra, kteří spolu komunikují. [37]
 - *Akvizice poznatků:* soubor aktivit a nástrojů, pomocí nichž znalostní inženýr s expertem či experty v dané oblasti naplňují bázi faktů a bázi poznatků. Jejich hlavní úlohou je definice pravidel, ověřování správnosti a vyhodnocování získaných poznatků. [37, 40]

4.2 Znalostní hierarchie

Ve znalostní hierarchii je na nejnižší pozici šum, jenž obsahuje znalostní položky, které nemají pro uživatele nebo systém žádný význam. O úroveň výše se nachází data, což jsou položky, která potenciálně význam mají, ale ten je buď skryt nebo částečně znehodnocen působením šumu. Informace jsou již zpracovaná data, která už obsahují oddělené významné položky. Specializované informace jsou znalosti. Znalosti jsou tedy informace, které již jsou zaměřeny na danou oblast. Metaznalosti jsou znalosti o znalostech a expertizách. Znalostní hierarchie je vizualizována na obrázku 4.3. [40]



Obrázek 4.3: Znalostní hierarchie. [40]

4.3 Aplikace expertních systémů

Využití expertních systémů je vhodné, jsou-li splněny následující 2 podmínky [30, 37, 40]:

- Jedná se o rozsáhlou problematiku nebo problematiku složitou neurčitostí vztahů.
- Jedná se o problematiku s opakovanou potřebou řešení a s vysokými finančními náklady, kdy jsou lidští experti buď drazí či méně dostupní.

Typy úloh pro expertní systémy

Expertní systémy mají široký rozsah uplatnění, stěžejní postavení zaujímají v medicíně, informatice, průmyslu či v ekonomice. [32]

V následujícím přehledu jsou uvedeny třídy problémů, jenž jsou vhodné pro řešení pomocí expertních systémů (daný expertní systém běžně spadá i do více tříd) [30, 32, 37, 40]:

- *Diagnostika*: nalezení příčin, jenž vedou k nesprávnému fungování systému.
- *Interpretace*: vysvětlení pozorovaných (naměřených) dat
- *Prognostika neboli predikce*: předpověď pravděpodobných výsledků budoucích událostí na základě událostí v minulosti nebo současnosti.

- *Učení*: inteligentní výuka založená na dotazech uživatelů typů „proč?“, „jak?“, „co když?“.

4.4 Druhy expertních systémů

Expertní systémy lze dělit podle několika kritérií, například podle obsahu báze znalostí, charakteru řešené úlohy, charakteristiky vývoje expertního systému nebo podle způsobu programování. [30, 32]

Dělení expertních systémů podle obsahu báze znalostí

1. **Prázdňé expertní systémy**: jejich báze poznatků a báze faktů je prázdná. Tento druh expertních systémů lze použít pouze při tvorbě diagnostických expertních systémů, plánovací a hybridní systémy mají totiž výrazně problémově závislou bázi znalostí (tj. bázi poznatků a bázi faktů). [30, 32, 37]
2. **Problémově orientované expertní systémy**: jejich báze znalostí (tj. báze poznatků a báze faktů) již obsahuje znalosti o určité problematice. Tyto systémy jsou použitelné jen v určitých problémových oblastech, jelikož typ reprezentace znalostí a inferenční mechanismus jsou s touto oblastí těsně spjatý. [30, 32]

Dělení expertních systémů podle charakteru řešené úlohy

1. **Diagnostické expertní systémy**: úlohou diagnostických expertních systémů je porovnávat předem definované konečné množiny cílových hypotéz a následně určit která z těchto hypotéz nejlépe odpovídá datům konkrétního případu. [30, 32]
2. **Plánovací expertní systémy** Tyto expertní systémy jsou používány v případech, kdy je znám počáteční a konečný stav a je zapotřebí nalézt posloupnost kroků, které vedou k vymezenému cíli. Jejich výsledkem je seznam navrhovaných řešení, každé řešení je ohodnoceno a to podle toho, jak moc odpovídá zadaným požadavkům. Jednou z částí plánovacích expertních systémů je tzv. generátor možných řešení, ten generuje, kombinuje a testuje možná řešení. Inferenční mechanismus ovlivňuje výběr přípustných kroků a řídí testování shody. [30, 32]
3. **Hybridní expertní systémy**: Tyto expertní systémy vznikají spojením architektury diagnostických a plánovacích expertních systémů. Na rozdíl od systémů založených pouze na pravidlech nabízejí hybridní expertní systémy bohatší prostředky pro reprezentaci znalostí. Kombinují pravidla, rámce a objekty. Rámce mohou být využity i pro implementaci sémantických sítí. Například programové prostředí CLIPS patří mezi hybridní systémy využívající objekty a pravidla. Zkratka CLIPS znamená *C Language Integrated Production System*, jedná se o prostředí pro vývoj expertních systémů. Znalosti zde mohou být reprezentovány pomocí pravidel, funkcí či objektů.

CLIPS má vestavěný inferenční mechanismus, jenž rozhoduje o tom, která pravidla budou použita a kdy. Inferenční mechanismus je založen na dopředném řetězení, porovnávání se vzorem a algoritmu Rete. [30, 32, 37]

Dělení expertních systémů podle charakteristiky vývoje

1. **Expertní systémy 1. generace:** charakteristické jsou malými schopnostmi vysvětlování, pouze 1 způsob reprezentace znalostí, přičemž znalosti jsou získávány pouze od expertů. [30]
2. **Expertní systémy 2. generace:** vyznačují se lepšími schopnostmi vysvětlování a kombinovanou reprezentací znalostí (jsou používány například pravidla, rámce, objekty), dále disponují modulární a víceúrovňovou bází znalostí a pracují s prostředky pro automatizované získávání znalostí. [30]

Dělení expertních systémů podle způsobu programování

1. **Pravidlové expertní systémy:** jsou nejrozšířenější třídou znalostních, tedy i expertních, systémů, někdy jsou kombinovány také s jiným typem reprezentace. Tyto systémy se od klasických logických systémů liší možností zpracování neurčitosti a nemonotónnosti uvažování. Poznatky jsou v tomto případě reprezentovány v podobě **pravidel** typu „if – then“. Pravidlové systémy mohou být implementovány 2 metodami, jako inferenční síť nebo jako systém porovnávání se vzorem. [30, 37]
 - **Inferenční síť:** může být reprezentována jako graf s uzly a orientovanými hranami, přičemž uzly reprezentují fakta a hrany pravidla. Jejich použití je vhodné v případech, kdy je počet možných řešení limitován, např. při klasifikaci či diagnostice. Tyto systémy jsou sice jednodušší na implementaci a lépe se u nich zajišťuje vysvětlování, ale na druhou stranu nejsou příliš flexibilní. Pravidla se řetězí, čímž vzniká inferenční síť pravidel. Závěry pravidel jsou fakta, která jsou ve shodě s předpoklady pravidel jiných. Důsledek jednoho pravidla je tedy předpokladem dalšího pravidla, jehož důsledek je zase předpokladem dalšího pravidla. Inferenční síť může být realizována 2 různými metodami, a to jako dopředné nebo zpětné řetězení. [30, 37]
 - Při **dopředném řetězení** interpretuje pravidla s ohledem na známá fakta a postupuje k cíli nebo dojde do takové situace, kdy už není možné odvodit další nový fakt. Dopředné řetězení je vhodné použít v případech zahrnujících syntézu (např. konfigurace, navrhování, plánování, rozvrhování apod.). Vhodnou aplikací pro dopředné řetězení je monitorování a diagnostika řídicích systémů, kdy řízení procesů probíhá v reálném čase. [30, 37]
 - Při **zpětném řetězení** se postupuje od konce a rozhoduje se, zda existující fakta opravdu umožňují dosažení cíle. Toto řetězení je vhodné pro

aplikace, které mají mnohem více vstupů než možných závěrů. Zpětné řetězení lze využít například při klasifikaci nebo diagnostice. V diagnostických systémech se využívá inferenční síť, pokud jsou vztahy mezi fakty dobře známy. [30, 37]

- **Systém porovnávání se vzorem:** závěry pravidel, v porovnání s inferenční sítí, jsou obecnější a lze je chápat jako soubor faktů, jenž mohou, ale nemusí být v souladu se vzory, které jsou popsány v předpokladech jiných pravidel. Vztahy mezi fakty a pravidly nejsou definovány předem, ustalují se až při běhu, kdy dochází ke zmíněnému porovnávání faktů se vzory, jenž se nachází v levých částech pravidel. Jsou-li v levé části pravidla shodné všechny vzory s fakty, v bázi faktů mohou být provedeny akce z pravé části pravidla (např. zápis či smazání faktu z báze faktů). Tyto systémy jsou velmi flexibilní, ale horší je podpora rozhodování za neurčitosti. Uplatnění tyto systémy nachází hlavně v případech, kdy je k dispozici velké či dokonce neomezené množství řešení, např. při plánování, navrhování či syntéze. Systémy porovnávání se vzorem mohou být také realizovány pomocí dopředného nebo zpětného řetězení. [30]
- **Algoritmus Rete:** jelikož je porovnávání se vzorem pomocí dopředného řetězení neefektivní, protože se musí v každém cyklu porovnávat všechna pravidla se všemi fakty z báze faktů, byl vyvinut algoritmus Rete. Jedná se o algoritmus, který zkracuje porovnávací čas na základě síťové struktury, v níž jsou uloženy informace o ztotožnění podmínek s fakty z báze faktů. [30]

CLIPS je programové prostředí, které využívá dopředné řetězení, porovnávání se vzorem a algoritmus Rete. Zpětné řetězení včetně vysvětlovacího modulu je zabudováno v tzv. ECLIPSE. Programovacím jazykem, který využívá řetězení zpětné je např. Prolog. [30]

2. **Nepravidlové expertní systémy:** jsou např. sémantické sítě, rámce a objekty. [30]

- **Sémantická (asociativní) síť:** orientovaný graf s ohodnocenými hranami. Uzly představují objekty a hrany vztahy mezi těmito objekty. Výhodou této sítě je lepší porozumění příčinám a akcím dané problematiky. Důraz je kladen na dědičnost. Ohodnocením hran se vyjadřuje typ vztahu mezi objekty. Nejčastějšími používanými typy jsou „is-a“ vyjadřující vztah být, „part-of“ být částí, „has-a“ vyjadřující vztah mít. Některé vztahy však jsou reprezentovány v různých systémech různě, například „is-a“ a „a-kind-of“ mohou vyjadřovat vztah mezi třídami, stejně tak vztah být instancí může být vyjádřen v jednom systému jako „is-a“ a ve druhém jako „instance-of“. Dalšími používanými typy vyjadřující určitý vztah mezi objekty jsou „number-of“, „connected-to“, „causes“. [17, 30]

- **Rámec:** struktura reprezentující určité stereotypní situace. Rámce jsou používány pro reprezentaci obecných znalostí o třídách objektů a jsou preferovány v tzv. modelovém a případovém usuzování. Jeden rámec může být jak specifikací, tak zobecněním jiných rámců, například rámec *Arytmie* je podrámcem rámce *NemociSrdce* a rámec *Tachykardie* je podrámcem rámce *Arytmie*. Rámec *Arytmie* je tedy specifikací rámce *NemociSrdce* a zároveň zobecněním rámce *Tachykardie*. Rámec tedy, stejně jako sémantická síť, klade důraz na dědičnost, ale na rozdíl od sémantické sítě má charakter tabulky. Každý rámec je tvořen názvem a množinou tzv. atributů. Atributy mohou obsahovat položky, a to např. aktuální či předdefinovanou hodnotu nebo rozsah možných hodnot. Atributy mohou obsahovat také speciální procedury, které se aktivují automaticky nastanou-li určité situace, příkladem takové procedury je „if-needed“, „if-changed“, „if-added“, „if-deleted“. [30]
- **Objekt:** programová struktura, která obsahuje data a metody, přičemž metody pracují s daty. Žádným jiným způsobem než přes metody nejsou data dosažitelná, jedná se o charakteristickou vlastnost objektů, která je označována jako zapouzdření. Dalšími charakteristickými vlastnostmi objektů jsou dědičnost a polymorfismus. Objekt je instancí třídy, třída je tedy složena z objektů, jenž mají totožné vlastnosti (datové složky) a chování (metody). Komunikace mezi objekty probíhá pomocí posílání zpráv, nejčastěji 1 objekt (odesílatel) volá metodu 2. objektu (příjemce), přičemž jsou možné 2 způsoby určení příjemce, a to buď pomocí časné vazby (při kompilaci je určen příjemce zprávy) nebo pozdní vazby (příjemce je určen až za běhu programu). Pomocí pozdní vazby je realizován polymorfismus, který spočívá v možnosti pojmenovat společnou metodu různých objektů totožným jménem, přičemž ji ale může mít každý objekt definovanou odlišně. [30]

4.5 Neurčitost v expertních systémech

Neurčitost je do expertních systémů vnášena pomocí nedostatku informací, které jsou nutné k jednoznačné, správné inferenci. Pracovat s neurčitostí lze pomocí klasické či Bayesovské pravděpodobnosti, dále pomocí faktorů jistoty nebo fuzzy logiky. Neurčitost lze vyjádřit například v prostředí FuzzyCLIPS. [37, 40]

Pravděpodobnostní přístup

Náhodný pokus: takový pokus, při kterém i za dodržení určitých podmínek dochází k různým výsledkům. [24]

Náhodný jev: jakékoliv tvrzení o výsledku náhodného pokusu, o němž lze říct, zda je pravdivé či nepravdivé. Aby bylo možné určit pravděpodobnost náhodného jevu je nutné

provést velké množství pokusů. [24]

Nezávislý jev: jevy jsou nezávislé, pokud pravděpodobnost jednoho jevu nezávisí na jevu jiném. [24]

Definice klasické pravděpodobnosti: jde-li o náhodný pokus s konečnou množinou všech výsledků, u něhož jsou výsledky stejně pravděpodobné a navzájem se vylučují, pak výsledek určíme pomocí vztahu (6.1). Klasická pravděpodobnost nabývá hodnot z intervalu $(0, 1)$. Zabývá se pouze ideálními systémy. [24, 37, 40]

Vztahy pro výpočet klasické pravděpodobnosti, jak uvádí literatury [37, 40]:

- Pravděpodobnost, se kterou nastane 1 jev (jev A)

$$P(A) = \frac{m}{n}. \quad (4.1)$$

Ze vztahu je patrné, že pravděpodobnost nastání jevu A je rovna podílu příznivých jevů m ku všem možným jevům n .

- Pravděpodobnost, se kterou nenastane jev A

$$P(\bar{A}) = 1 - P(A), \quad (4.2)$$

kde jev \bar{A} je opačný jev k jevu A .

- Pravděpodobnost, se kterou nastane více jevů (A, B) současně, které se navzájem neovlivňují – průnik pravděpodobností

$$P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B), \quad (4.3)$$

kde průnik jevů A a B je $P(A \cap B)$ a výsledek současného výskytu jevu A a B je dán součinem pravděpodobností jevů A a B .

- Pravděpodobnost, se kterou nastane jev B , pokud nastal jev A – tzv. podmíněná pravděpodobnost

$$P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B | A), \quad (4.4)$$

kde pravděpodobnost nastání jevu A je $P(A)$ a $P(B | A)$ je podmíněná pravděpodobnost výskytu jevu B , pokud předtím nastal jev A .

- Pravděpodobnost neslučitelných jevů, tj. takových jevů A a B , které nemohou nastat současně a navzájem se neovlivňují – sjednocení pravděpodobností

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B), \quad (4.5)$$

kde sjednocení jevů A a B je $P(A \cup B)$ a výsledek neslučitelných jevů A a B je dán součtem pravděpodobností jevů A a B .

Podmíněná pravděpodobnost může být vyjádřena také pomocí **Bayesova vztahu**, jenž se používá v analýze rozhodování, při sestavování rozhodovacího stromu, v expertních systémech. Znalost, jenž je ve tvaru pravidla $E \rightarrow H$, vyjadřuje, že předpoklad E podporuje závěr (hypotézu) H . Pomocí podmíněné pravděpodobnosti $P(H_i | E)$ určíme neurčitost závěru (hypotézy) H v závislosti na platnosti předpokladu E , $P(H_i | E)$ představuje *aposteriorní pravděpodobnost*. $P(H)$ a $P(E)$ reprezentují *apriorní pravděpodobnosti*, že závěr H a předpoklad E budou platné. Aposteriorní pravděpodobnost (po) vychází ze smyslu a lze být upravována v případě získání nových znalostí ze zkušeností, naopak pravděpodobnost apriorní (před) vychází ze znalostí a nelze být dále upravována. Aposteriorní pravděpodobnost vychází z pravděpodobnosti apriorní. [30, 40]

$$P(H_i | E) = \frac{P(E \cap H_i)}{\sum_j P(E \cap H_j)} = \frac{P(E | H_i) \cdot P(H_i)}{\sum_j P(E | H_j) \cdot P(H_j)} = \frac{P(E | H_i) \cdot P(H_i)}{P(E)}, \quad (4.6)$$

kde H_i je i -tá hypotéza, H_j je j -tá hypotéza a E je předpoklad.

Faktory určitosti

Jinak označovány také jako faktory jistoty byly vyvinuty s cílem odstranit některá slabá místa čistě pravděpodobnostního přístupu. Stejně jako v Bayesovské pravděpodobnosti jsou znalosti vyjádřeny ve tvaru $E \rightarrow H$, přičemž každému pravidlu připadá jeden faktor určitosti (CF), který je rozdílem věrohodnosti (MB) a nevěrohodnosti (MD) daného jevu, vyjadřuje míru důvěry v hypotézu H , pokud je pravdivý předpoklad E . Věrohodností je myšlena subjektivní míra důvěry a nevěrohodností opak. [30, 40]

Míru věrohodnosti lze vyjádřit dle [26] pomocí vztahu

$$MB(H | E) = \frac{P(H | E) - P(H)}{1 - P(H)}, \quad (4.7)$$

kde MB je míra věrohodnosti v hypotézu H s ohledem na případ E a je definována na intervalu $\langle 0, 1 \rangle$.

Míru nevěrohodnosti lze vyjádřit dle [26] pomocí vztahu

$$MD(H | E) = \frac{P(H) - P(H | E)}{P(H)}, \quad (4.8)$$

kde MD je míra nevěrohodnosti v hypotézu H s ohledem na případ E a je definována na intervalu $\langle 0, 1 \rangle$.

Faktor určitosti lze vyjádřit dle [30, 40] pomocí vztahu

$$CF(H, E) = MB(H, E) - MD(H, E), \quad (4.9)$$

kde CF je faktor určitosti, který je definován na intervalu $\langle -1, 1 \rangle$. H je hypotéza a E je případ, MB je míra věrohodnosti, MD míra nevěrohodnosti v hypotézu H s ohledem na případ E.

Dempster-Shaferova teorie

Tato teorie navazuje na teorii pravděpodobnostního přístupu, přičemž odstraňuje některé její nedostatky v podobě reprezentace neznalosti (ignorace) a požadavku na součet měr (důvěry a nedůvěry), který musel být roven jedné. V Dempster-Shaferově teorii se zavádí pojem *míra domnění*, která reprezentuje podporu pravdivému tvrzení, přičemž pravděpodobnost reprezentuje míru, ve které je tvrzení považováno za pravdivé a pojem prostředí, což je úplný systém vzájemně disjunktčních základních hypotéz. [30, 40]

V případě pravděpodobnostního přístupu musí být vždy součet důvěry a nedůvěry ve tvrzení roven jedné, což např. znamená, že pokud „je přítomna VA disociace u třicetiletého pacienta“ bude se s pravděpodobností 0,74 jednat o „komorovou tachykardii“, s pravděpodobností 0,21 o „AV blokádu III. stupně“ a s pravděpodobností 0,05 o „chybu při diagnostice VA blokády“. Výhodou Dempster-Shaferovy teorie je, že pro ohodnocení hypotézy výše uvedeného případu, lze použít hodnoty, které jsou podloženy určitými studii bez nutnosti tyto hodnoty přepočítávat tak, aby jejich součet byl vždy roven jedné.

Fuzzy logika

Fuzzy logika pracuje s tzv. fuzzy množinami, kdy příslušnost prvku k množině není určena jednoznačně, prvek může patřit různou měrou do více množin. Množina se skládá z prvků, přičemž množiny jsou označovány velkými písmeny abecedy (A, B, ...) a jejich prvky písmeny malými (a, b, ...). Fuzzy množina nemá přesně definovány hranice, prvky mohou spadat do více množin s různým stupněm příslušnosti k dané množině, obvykle v intervalu $\langle 0, 1 \rangle$, přičemž 0 by znamenala nepříslušnost k dané množině a 1 absolutní příslušnost. Fuzzy množina, jejichž všechny prvky mají nulové hodnoty funkce příslušnosti, se nazývá prázdnou fuzzy množinou a značí se symbolem \emptyset . Naopak jádrem fuzzy množiny je taková množina prvků, které mají hodnotu příslušnosti rovnou 1. Jsou-li všechny prvky z množiny A také prvky množiny B, pak se množina A nazývá podmnožinou množiny B. Univerzální množina (univerzum), označující se U , je klasická množina s jasně definovanými hranicemi příslušnosti. [30, 37, 40]

Dle [30] je každá fuzzy množina definována dvojicí tvořenou prvkem a hodnotou jeho příslušnosti

$$A = (U, \mu_A), \quad (4.10)$$

kde A je fuzzy množina A v univerzu U , což je klasická neprázdná množina a μ_A je funkce příslušnosti k fuzzy množině A .

Pravdivostní hodnoty lze vyjádřit také slovně, čímž se zabývá tzv. lingvistická logika. Ta dává význam každému slovu pomocí přiřazení do určité fuzzy množiny v intervalu

$\langle 0, 1 \rangle$, např. slova *pravda*, *více-méně pravda*, *spíše nepravda*, *nepravda* jsou hodnoty a jejich významem jsou fuzzy množiny, které jsou definované v určitém univerzu. [37, 40]

5 Implementace expertního systému

Tato kapitola je věnována otázce výběru programovacího jazyku a vytvořeným diagnostickým algoritmům pro vyhodnocení srdečního rytmu, jenž jsou uvedeny ve formě stromových diagramů.

5.1 Výběr programovacího jazyku

Pro implementaci expertního systému byly zvažovány jak imperativní, skriptovací, tak logické programovací jazyky, jako jsou C/C++, MATLAB, Prolog a CLIPS.

Pro implementaci diagnostického expertního systému byl nakonec vybrán logický programovací jazyk Prolog v implementaci Amzi! Prolog + Logic Server, který je založen na zpětném řetězení inferenční sítě. Při tvorbě expertního systému bylo vycházeno z volně dostupných tutoriálů [7]. Výhodou Prologu jako neprocedurálního programovacího jazyka, založeného na logice, je, že se pouze specifikují problémy, ne však přesný způsob jejich řešení. První část systému je založena na principu stromového diagramu, čímž jsou srdeční rytmy rozděleny do skupin. V druhé části systému jsou zjišťovány další vlastnosti daného rytmu, tyto otázky však již mohou být specifické pro určitý rytmus. Díky možnosti kombinování těchto 2 přístupů a inferenční sítě založené na zpětném řetězení se ukázal logický programovací jazyk Prolog jako nejvhodnější.

CLIPS, tj. „C Language Integrated Production System“, je založen na dopředném řetězení, které není pro tvorbu diagnostického expertního systému příliš vhodné. Existuje i modifikace CLIPSu zvaná FuzzyCLIPS, jenž je schopen pracovat s neurčitostí, ale opět využívá dopředného řetězení.

MATLAB je programové prostředí primárně určené pro numerické výpočty. Expertní systém by se dal vytvořit např. pomocí funkcí, kdy každý srdeční rytmus by představoval jednu funkci. Pokud by byly podmínky ve funkci splněny, byl by rytmus vyhodnocen jako správný, v opačném případě by se postoupilo k další funkci. Nevýhodou pro výběr MATLABu jako programového prostředí pro tvorbu expertního systému je to, že by bylo potřeba přesně specifikovat způsob řešení problémů.

V programovacím jazyce C/C++ bylo vytvořeno grafické prostředí pro tvorbu stromových diagramů, což se však následně ukázalo jako nevhodné. I když na některé otázky lze odpovědět u všech srdečních rytmů, např. frekvence či pravidelnost apod., existují otázky, které jsou specifické jen pro určitou skupinu rytmů, či dokonce rytmus jediný, ale pro vyhodnocení daného rytmu je nutné na tyto otázky odpovědět. Z tohoto důvodu se ukázaly logické programovací jazyky jako vhodnější varianta.

5.2 Diagnostické algoritmy pro diferenciální diagnostiku srdečního rytmu

Algoritmy pro diferenciální diagnostiku arytmií spočívají v postupném zodpovězení sady otázek (viz podkapitola 3.3) a jsou zobrazeny ve formě stromových diagramů na obrázcích 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7 a 5.8. Zmíněné diagramy jsou podstromy stromového diagramu, který je celý uveden, pro lepší přehlednost, v příloze B.

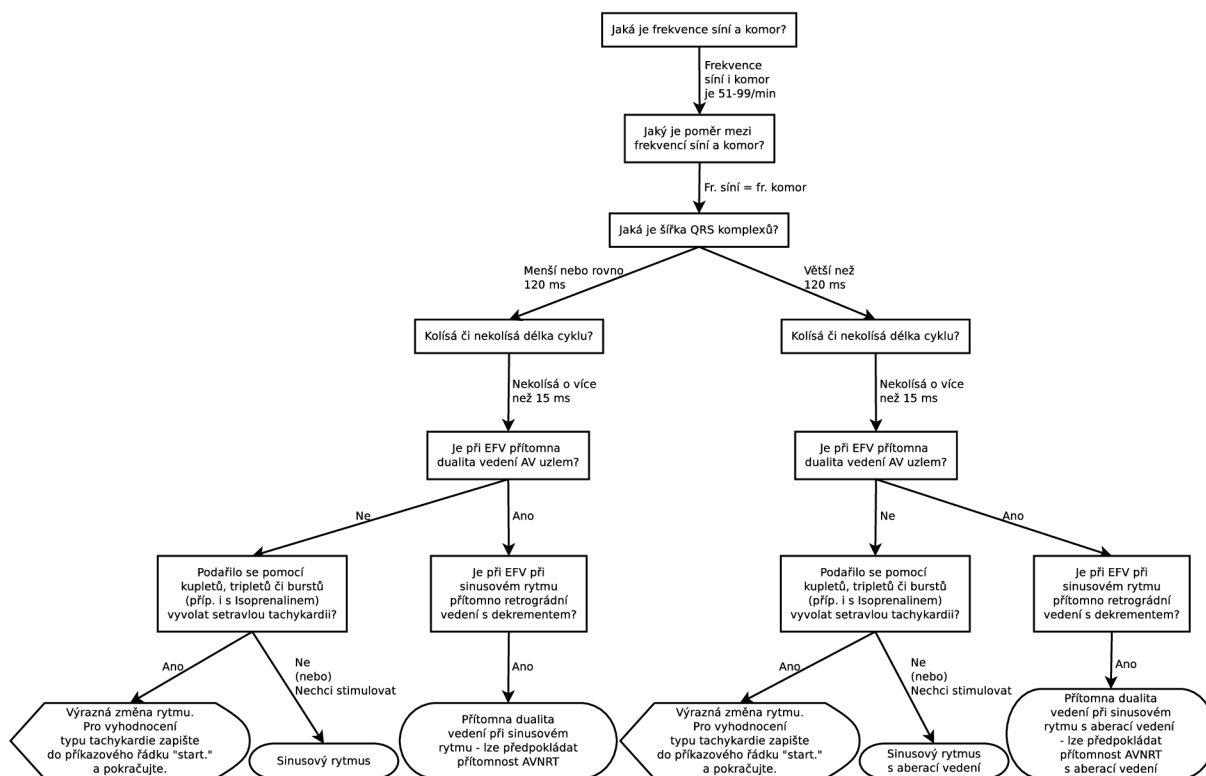
Každá skupina arytmií má určité vlastnosti, které musí nebo mohou být splněny, aby se dal určit druh arytmie. Existují však otázky, které svědčí pro danou arytmií více, jiné méně a jiné arytmií vyvracejí. Hlavním cílem této práce bylo nalézt nejvhodnější otázky pro diagnostiku arytmií při EFV. Jelikož se při různých typech tachykardií nezavádí do pacientova těla stále tytéž typy katétrů, bylo snahou brát v úvahu také tuto skutečnost a vyhnout se tak otázkám, na které by, v opačném případě, bylo časově náročnější odpovídat. Po nalezení vhodného souboru otázek a odpovědí bylo přistoupeno k seřazování otázek tak, aby se došlo po co nejmenším množství odpovědí na otázky k správné diagnostice srdečního rytmu.

Seřazení srdečních rytmů: nejdříve byly seřazeny podle četností arytmií v populaci. Tato metoda se však ukázala jako nevhodná, jelikož by diagnostika jiných arytmií byla velmi zdlouhavá. Bylo tedy přistoupeno k empirickému řazení srdečních rytmů, a to tak, aby nebylo nutné odpovídat na zbytečné otázky, čímž došlo ke zrychlení klasifikace. Výsledný expertní systém pomocí prvních otázek rozdělí arytmie do skupin podle frekvence síní, komor a jejich vzájemného poměru, šířky QRS komplexů, pravidelnosti rytmu apod. Dále jsou každému srdečnímu rytmu přiřazeny pro něj typické vlastnosti. Ne na všechny z těchto otázek je možné či vhodné v danou chvíli odpovědět, proto jsou v expertním systému zavedeny také odpovědi „nevím“. Důvodem může být např. snaha o zamezení nechtěné terminace tachykardie po stimulaci, která je nutná pro zodpovězení dané otázky.

Seřazení otázek: v každém srdečním rytmu expertního systému jsou otázky řazeny postupně od obecných ke specifickým.

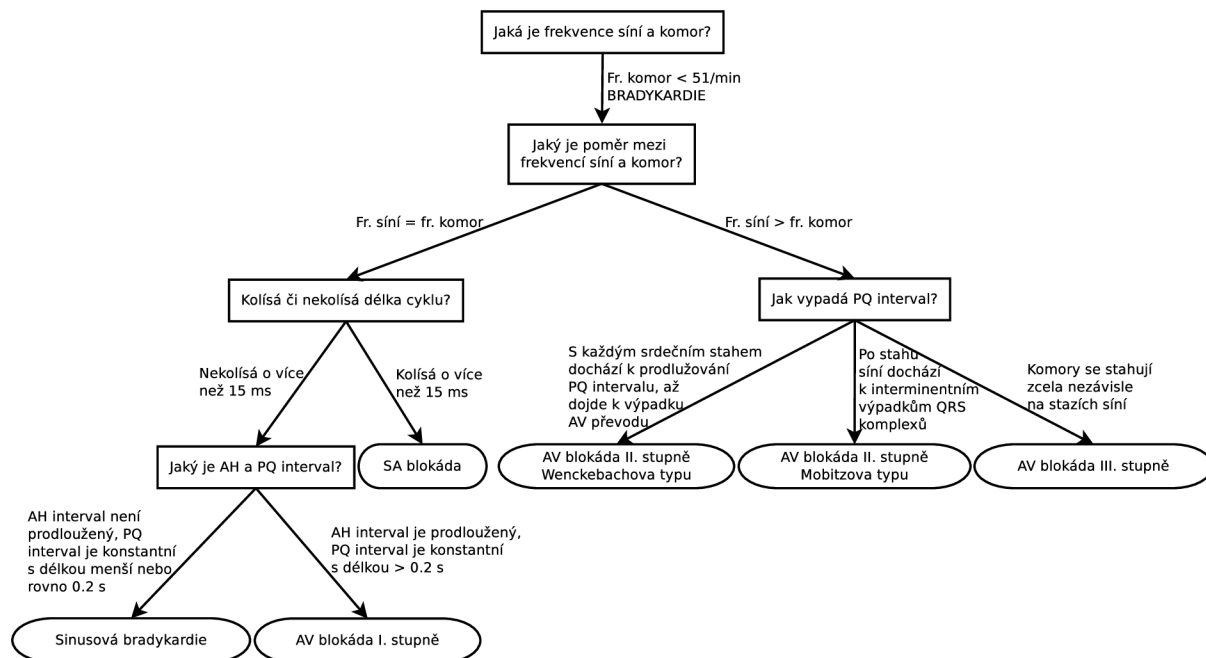
Aby bylo možné odpovídat na pokládané otázky bezchybně, je vždy nutné se ujistit o správném zavedení katétrů.

Na obrázku 5.1 je znázorněn stromový diagram diferenciální diagnostiky rytmů o frekvenci 51-99/min. Po splnění této podmínky se zjišťuje, zda se frekvence síní rovná frekvenci komor. Následující otázkou týkající se šířky QRS komplexů je zjištěno, zda je přítomna aberace vedení. Poslední otázky jsou směřovány tak, aby bylo zjištěno, zda má pacient přítomnou tzv. dualitu vedení AV uzlem, což by naznačovalo, že i když má pacient aktuálně sinusový rytmus, může mít AV nodální reentry tachykardii, která zatím jen nebyla vyvolána. Před konečným vyhodnocením rytmu jako sinusový rytmus byla zavedena otázka, která nabádá lékaře, aby přistoupl k stimulaci pacientova srdce, a to nejdříve pomocí kupletů, tripletů, tzv. „burst pacingem“ a následně i s podáním isoprenalinu. Tyto stimulační manévry se používají k žádanému vyvolání tachykardie. Není-li arytmie vyvolána,



Obrázek 5.1: Diferenciální diagnostika rytmů s frekvencí 51-99/min.

je rytmus vyhodnocen jako sinusový.

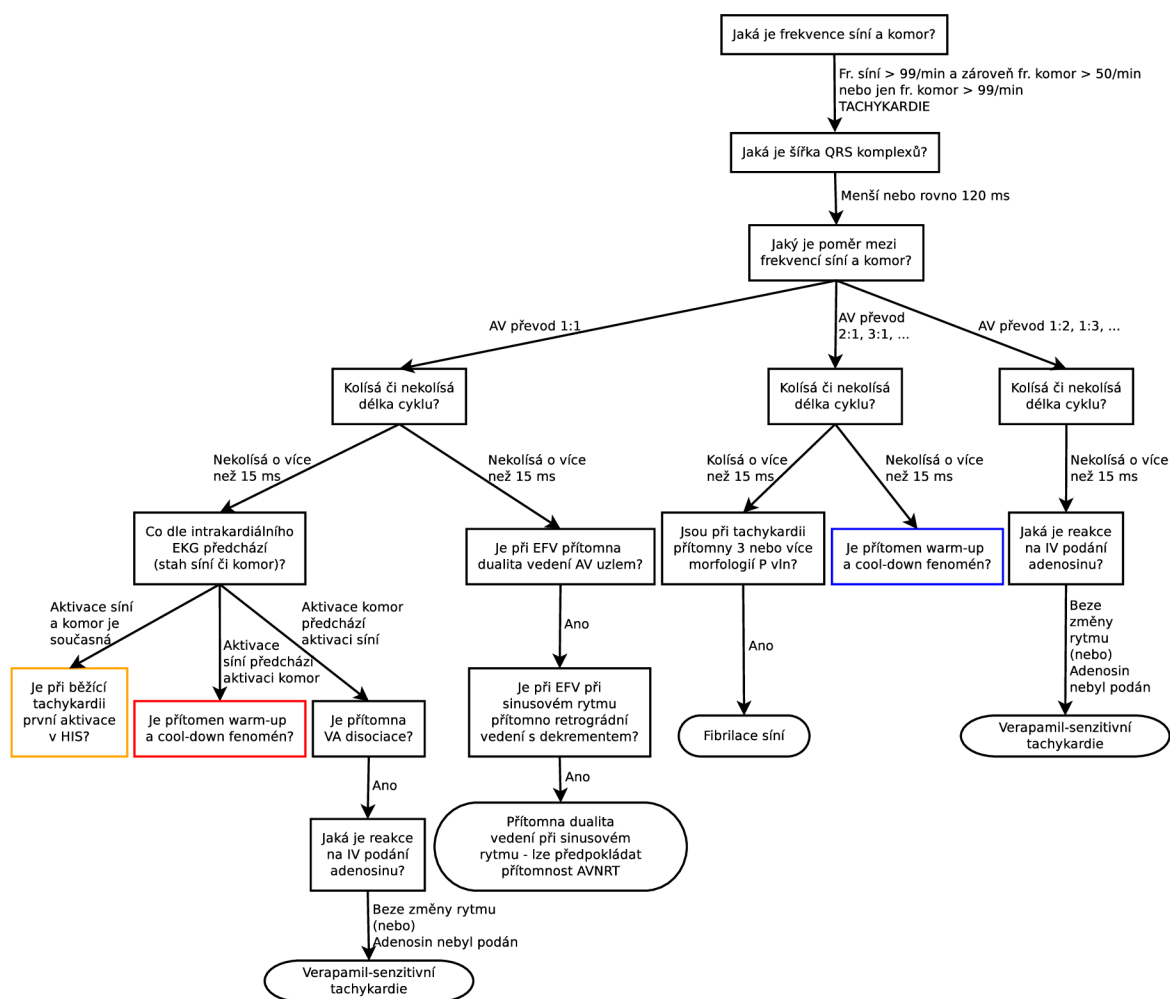


Obrázek 5.2: Diferenciální diagnostika bradykardií.

Na obrázku 5.2 je znázorněn stromový diagram, pomocí něhož jsou diagnostikovány bradykardie, tj. rytmy o frekvenci komor do 50/min. Zjištěním poměru frekvence síní a komor dochází k rozdělení bradykardií do 2 odlišných skupin. V první skupině se frek-

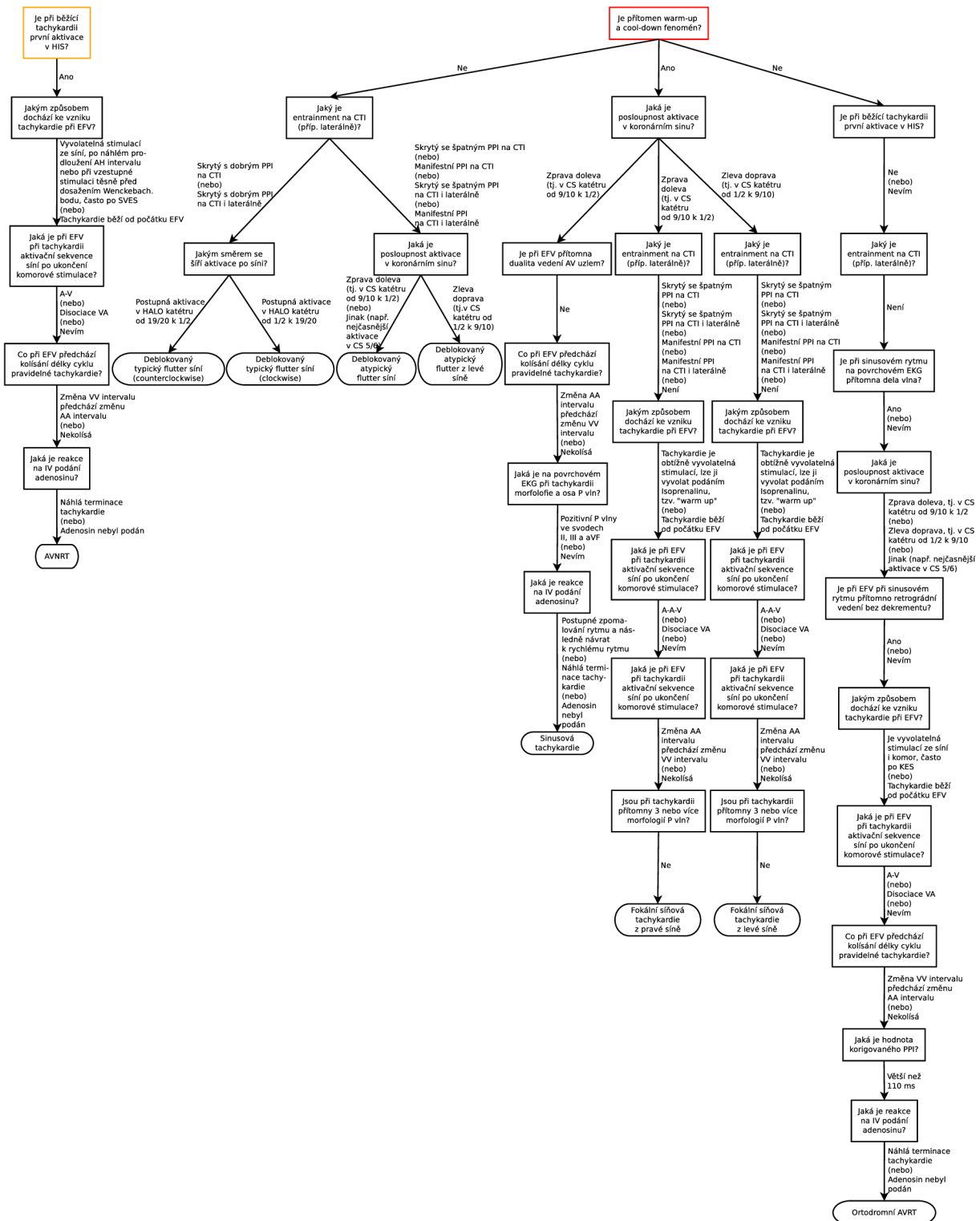
vence síní rovná frekvenci komor. Dochází tak buď jen ke zpomalení sinusového rytmu, čímž vzniká sinusová bradykardie nebo se prodlouží AH interval na konstantní délku nad 0,2 s a dochází k AV blokadě I. stupně nebo jsou některé vzruchy pocházející z SA uzlu blokovány a tehdy se hovoří o SA blokadě. V druhé skupině je frekvence síní vyšší než frekvence komor. Ne všechny vzruchy zde ze síní projdou AV uzlem na komory, čímž dochází k AV blokadě II. stupně nebo jsou síně a komory zcela disociovány a dochází tak k AV blokadě III. stupně.

Postup při diferenciální diagnostice tachykardií s úzkým QRS komplexem je zobrazen na obrázcích 5.3, 5.4 a 5.5. Na obrázku 5.3 se nachází kořen stromového diagramu, oranžově a červeně orámovaný list vede ke stromovému diagramu na obrázku 5.4 a modře orámovaný list ke stromovému diagramu na obrázku 5.5.



Obrázek 5.3: Diferenciální diagnostika tachykardií se štíhlým QRS komplexem (A).

Po zařazení rytmu mezi tachykardie, podle frekvence síní a komor, je zjištěna šířka QRS komplexů, která je v případě stromových diagramů na obrázcích 5.3, 5.4 a 5.5 do 120 ms, a poměr AV převodu. Následuje zjištění pravidelnosti či nepravidelnosti tachykardie. Zodpovězením těchto otázek jsou úzkokomplexové tachykardie rozděleny do základních skupin. Následují otázky, které již mohou být specifické jen pro určité tachykardie.



Obrázek 5.4: Diferenciální diagnostika tachykardií se štíhlým QRS komplexem (B).

Je-li při pravidelné tachykardii přítomen AV převod 1:1, je položena otázka, zda dle intrakardiálního EKG předchází síně komory nebo komory síně, případně zda je aktivace síní a komor současná, čímž je objasněno, zda se jedná o tachykardii pocházející ze síní či komor. Jedná-li se o tachykardii komorovou, jsou kladeny otázky, které potvrdí či vyloučí verapamil-senzitivní tachykardii, která jako jediná komorová tachykardie spadá do úzkokomplexových tachykardií. Jedná-li se o tachykardii, kdy aktivace síní předchází aktivaci komor, dochází ke zjištění přítomnosti „warm-up“ a „cool-down“ fenoménu, který bývá přítomen u fokální síňové tachykardie či sinusové tachykardie. Pokud je „warm-up“ a „cool-down“ fenomén přítomen, jsou nejdříve pokládány otázky vedoucí k vyloučení či potvrzení duality vedení při sinusové tachykardii. Je-li dualita vedení při sinusové tachykardii vyloučena, je položena otázka týkající se posloupnosti aktivace v koronárním sinu. Je-li posloupnost aktivace postupná zprava doleva, tj. od CS 9/10 k CS 1/2, jsou pokládány otázky, které nejdříve potvrdí nebo vyloučí sinusovou tachykardii, je-li opět vyloučena, jsou pokládány otázky, která mohou potvrdit fokální síňovou tachykardii z pravé síně. Je-li posloupnost aktivace v CS postupná zleva doprava, tj. od CS 1/2 k CS 9/10, jsou pokládány otázky potvrzující či vylučující fokální síňovou tachykardii z levé síně. Není-li při AV převodu 1:1 přítomen „warm-up“ a „cool-down“ fenomén, je položena otázka týkající se entrainmentu na CTI, případně laterálně od istmu. Je-li skrytý entrainment s optimálním PPI na CTI nebo i laterálně od istmu, je potvrzen deblokovaný typický flutter síní a následující otázkou je objasněn směr šíření této makroreentry tachykardie, tedy zda se šíří po směru či proti směru hodinových ručiček. V případě, že je entrainment na CTI, případně i laterálně od istmu, buď skrytý s dlouhým PPI nebo manifestní, je položena otázka na posloupnost aktivace v koronárním sinu. Je-li zde šíření aktivace zleva doprava, tedy od CS 1/2 k CS 9/10, je tachykardie vyhodnocena jako deblokovaný atypický flutter z levé síně, šíří-li se aktivace zprava doleva, tj. od CS 9/10 k CS 1/2, nebo jinak, např. nejčasnější aktivace je v CS 5/6, je tachykardie vyhodnocena jako deblokovaný atypický flutter síní. V případě, že jsou síně a komory aktivovány současně, následuje otázka, zda je při tachykardii první aktivace v HIS. Pokud je aktivace v HIS opravdu první, následují otázky, které potvrdí či vyvrátí přítomnost AVNRT. V případě, že aktivace v HIS první není nebo to není známo, přičemž bylo na otázku entrainmentu odpovězeno, že není přítomen, jsou pokládány otázky, které potvrdí či vyloučí ortodromní AVRT.

Pokud má tachykardie AV převod 2:1, 3:1, apod., tedy frekvence síní je vyšší než frekvence komor, jedná se vždy o tachykardii pocházející ze síní. Je-li tachykardie nepravidelná a jsou přítomny 3 nebo více morfologií P vln, je tachykardie vyhodnocena jako fibrilace síní. Je-li tachykardie pravidelná s frekvencí síní vyšší než komor, je položena otázka na přítomnost „warm-up“ a „cool-down“ fenoménu. Pokud je tento fenomén přítomen, je souborem dalších otázek zjišťována přítomnost fokální síňové tachykardie. Pokud „warm-up“ a „cool-down“ fenomén přítomen není, je položena otázka týkající se entrainmentu na CTI, případně laterálně od istmu. V případě skrytého entrainmentu s optimálním PPI, je

tachykardie vyhodnocena jako typický flutter síní a následující otázkou je pomocí postupu aktivace v HALO katétru zjištěno, zda je směr šíření této makroreentry tachykardie po směru nebo proti směru hodinových ručiček. V případě entrainmentu skrytého s dlouhým PPI nebo manifestního je pomocí otázky na posloupnost v koronárním sinu zjišťována přítomnost atypického flutteru síní. Je-li aktivace v CS postupná a zleva doprava, tj od CS 1/2 k CS 9/10, je tachykardie vyhodnocena jako atypický flutter z levé síně. Je-li aktivace v CS postupná, ale zprava doleva, tedy od CS 9/10 k CS 1/2, nebo je nejčasnější aktivace např. v CS 5/6, je tachykardie vyhodnocena jako atypický flutter síní. Je-li na posloupnosti v koronárním sinu odpovězeno, že jsou síně i komory aktivovány najednou, následuje soubor otázek, který vede k potvrzení či vyvrácení AVNRT.

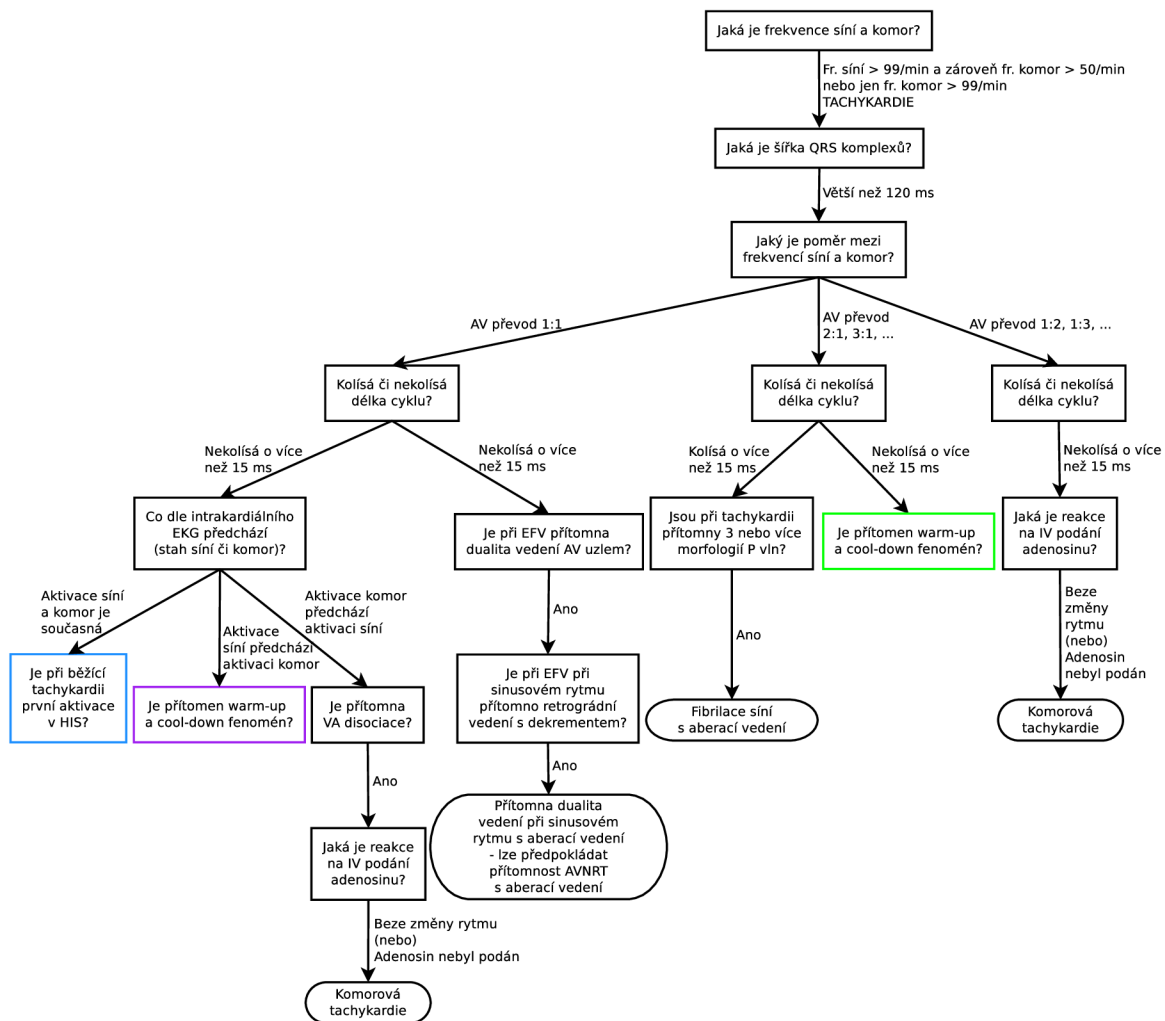
Otázky na verapamil-senzitivní tachykardii jsou pokládány také v případě, že je frekvence komor vyšší než frekvence síní.

Postup při diferenciální diagnostice tachykardií s širokým QRS komplexem je zobrazen na obrázcích 5.6, 5.7 a 5.8. Na obrázku 5.6 se nachází kořen stromového diagramu, tyrkysově a fialově orámovaný list vede ke stromovému diagramu na obrázku 5.7 a zeleně orámovaný list ke stromovému diagramu na obrázku 5.8.

Po zařazení rytmu mezi tachykardie, podle frekvence síní a komor, je zjištěna šířka QRS komplexů, která je v případě stromových diagramů na obrázcích 5.6, 5.7 a 5.8 nad 120 ms, a poměr AV převodu. Následuje zjištění pravidelnosti či nepravidelnosti tachykardie. Zodpovězením těchto otázek jsou úzkokomplexové tachykardie rozděleny do základních skupin. Následují otázky, které již mohou být specifické jen pro určité tachykardie.

Následující stromové diagramy 5.6, 5.7 a 5.8 jsou podobné 5.3, 5.4 a 5.5. Tachykardie pocházející ze síní se zde však liší přítomností aberace vedení. Je zde zavedena typická komorová tachykardie s širokými QRS komplexy. A jsou zde navíc přidány, v případě AVNRT, antidromní AVRT a fokálních tachykardií s aberací vedení, otázky týkající se např. změny délky cyklu při bloku Tawarova raménka.

Je-li tedy při pravidelné tachykardii přítomen AV převod 1:1, je položena otázka, zda dle intrakardiálního EKG předchází síně komory nebo komory síně, případně zda je aktivace síní a komor současná, čímž je objasněno, zda se jedná o tachykardii pocházející ze síní či komor. Předchází-li komory síně, jsou kladeny otázky, které potvrdí či vyloučí komorovou tachykardii. Jedná-li se o tachykardii, kdy aktivace síní předchází aktivaci komor, je zjišťována přítomnosti „warm-up“ a „cool-down“ fenoménu, který bývá přítomen u fokální síňové tachykardie s aberací vedení i u sinusové tachykardie s aberací vedení. Pokud je „warm-up“ a „cool-down“ fenomén přítomen, jsou nejdříve pokládány otázky vedoucí k vyloučení či potvrzení duality vedení při sinusové tachykardii s aberací vedení. Je-li dualita vedení při sinusové tachykardii s aberací vyloučena, je položena otázka týkající se posloupnosti aktivace v koronárním sinu. Je-li posloupnost aktivace postupná zprava doleva, tj. od CS 9/10 k CS 1/2, jsou pokládány otázky, které nejdříve potvrdí nebo vyloučí sinusovou tachykardii s aberací vedení, je-li opět vyloučena, jsou pokládány otázky, která mohou potvrdit fokální síňovou tachykardii z pravé síně s aberací vedení.



Obrázek 5.6: Diferenciální diagnostika tachykardií s širokým QRS komplexem (A).

Je-li posloupnost aktivace v CS postupná zleva doprava, tj. od CS 1/2 k CS 9/10, jsou pokládány otázky potvrzující či vylučující fokální síniovou tachykardii z levé síně s aberací vedení. Není-li při AV převodu 1:1 přítomen „warm-up“ a „cool-down“ fenomén, je položena otázka týkající se entrainmentu na CTI, případně laterálně od istmu. Je-li skrytý entrainment s optimálním PPI na CTI nebo i laterálně od istmu, je potvrzen deblokovaný typický flutter síní s aberací vedení a následující otázkou je objasněn směr šíření této makroreentry tachykardie, tedy zda se šíří po směru či proti směru hodinových ručiček. V případě, že je entrainment na CTI, případně i laterálně od istmu, buď skrytý s dlouhým PPI nebo manifestní, je položena otázka na posloupnost aktivace v koronární sinu. Je-li zde šíření aktivace zleva doprava, tedy od CS 1/2 k CS 9/10, je tachykardie vyhodnocena jako deblokovaný atypický flutter z levé síně s aberací vedení, šířili-li se aktivace zprava doleva, tj. od CS 9/10 k CS 1/2, nebo jinak, např. nejčasnější aktivace je v CS 5/6, je tachykardie vyhodnocena jako deblokovaný atypický flutter síní s aberací vedení. V případě, že jsou síně a komory aktivovány současně, následuje otázka, zda je při tachykardii první aktivace v HIS. Pokud je aktivace v HIS opravdu první, následují otázky, které potvrdí či vyvrátí přítomnost AVNRT s aberací vedení. V případě, že aktivace v HIS první není

nebo to není známo, přičemž bylo na otázku entrainmentu odpovězeno, že není přítomen, jsou pokládány otázky, které potvrdí či vyloučí antidromní AVRT.

Pokud má tachykardie AV převod 2:1, 3:1, apod., tedy frekvence síní je vyšší než frekvence komor, jedná se vždy o tachykardii pocházející ze síní. Je-li tachykardie nepravidelná a jsou přítomny 3 nebo více morfologií P vln, je tachykardie vyhodnocena jako fibrilace síní s aberací vedení. Je-li tachykardie pravidelná s frekvencí síní vyšší než komor, je položena otázka na přítomnost „warm-up“ a „cool-down“ fenoménu. Pokud je tento fenomén přítomen, je souborem dalších otázek zjišťována přítomnost fokální síňové tachykardie s aberací vedení. Pokud „warm-up“ a „cool-down“ fenomén přítomen není, je položena otázka týkající se entrainmentu na CTI, případně laterálně od istmu. V případě skrytého entrainmentu s optimálním PPI, je tachykardie vyhodnocena jako typický flutter síní s aberací vedení a následující otázkou je pomocí postupu aktivace v HALO katétru zjištěno, zda je směr šíření této makroreentry tachykardie po směru nebo proti směru hodinových ručiček. V případě entrainmentu skrytého s dlouhým PPI nebo manifestního je pomocí otázky na posloupnost v koronárním sinu zjišťována přítomnost atypického flutteru síní s aberací vedení. Je-li aktivace v CS postupná a zleva doprava, tj od CS 1/2 k CS 9/10, je tachykardie vyhodnocena jako atypický flutter z levé síně s aberací vedení. Je-li aktivace v CS postupná, ale zprava doleva, tedy od CS 9/10 k CS 1/2, nebo je nejčasnější aktivace např. v CS 5/6, je tachykardie vyhodnocena jako atypický flutter síní s aberací vedení. Je-li na posloupnosti v koronárním sinu odpovězeno, že jsou síně i komory aktivovány najednou, následuje soubor otázek, který vede k potvrzení či vyvrácení AVNRT s aberací vedení.

Otázky na komorovou tachykardii jsou pokládány také v případě, že je frekvence komor vyšší než frekvence síní.

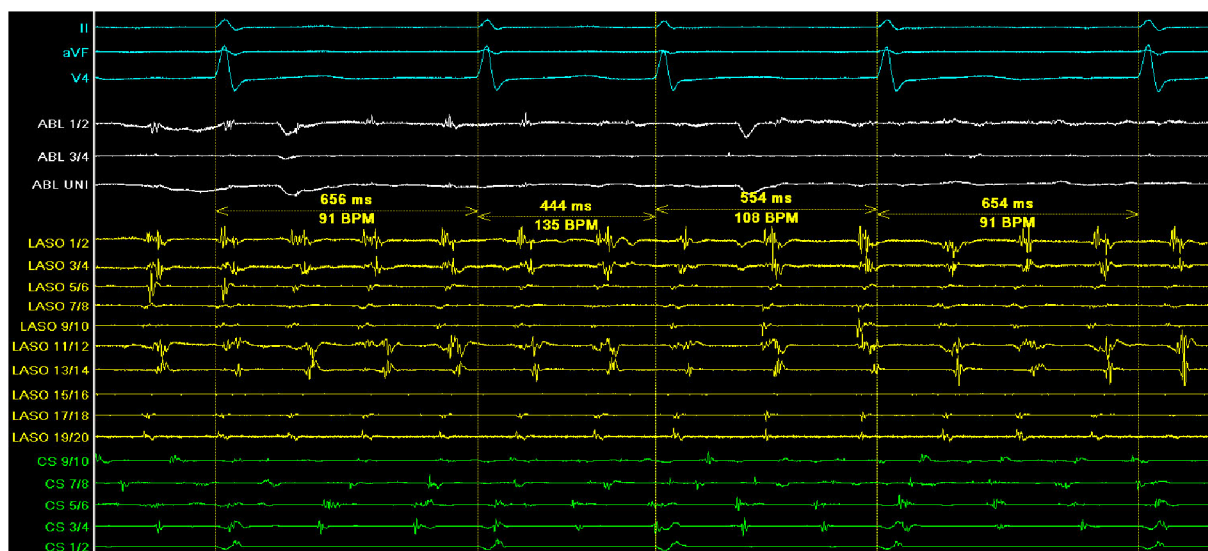
Pokud odpovědi na kladené otázky nesplňují podmínky pro potvrzení ani jednoho uvedeného rytmu, je rytmus vyhodnocen jako neznámý.

6 Klasifikace srdečního rytmu užitím expertního systému

V této kapitole jsou uvedeny 3 příklady klasifikací rytmů z intrakardiálního EKG pomocí expertního systému. Jedná se o fibrilaci síní, typický flutter síní a typickou atrioventrikulární nodální reentry tachykardii. V následujících podkapitolách jsou znázorněny a popsány EKG signály, ze kterých lze vyčíst odpovědi na otázky pokládané expertním systémem.

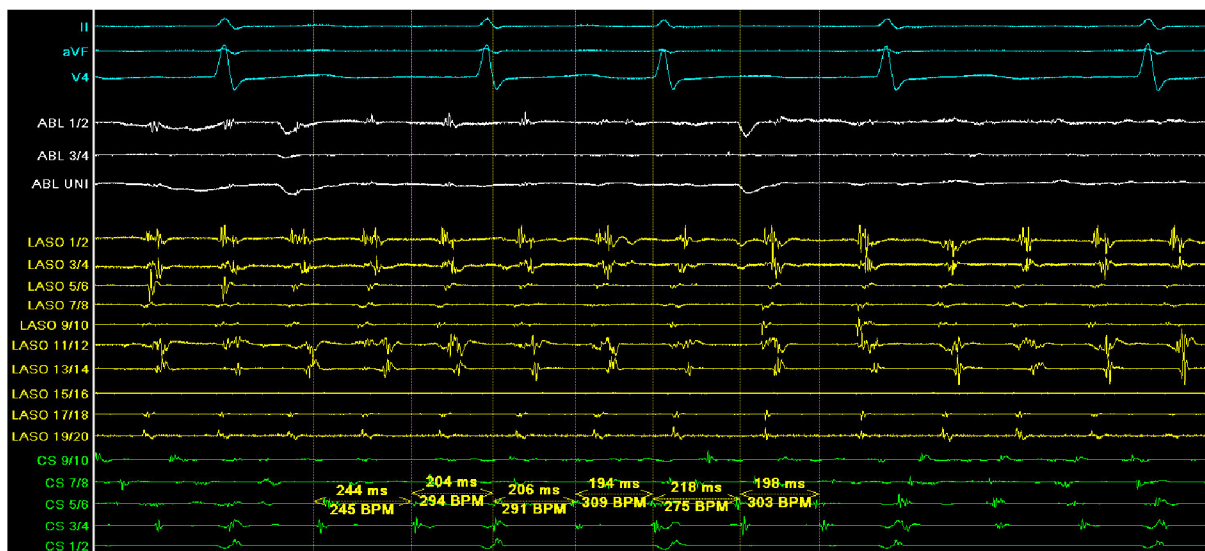
6.1 Fibrilace síní

Na obrázku 6.1 a 6.2 je zobrazeno intrakardiální EKG perzistující fibrilace síní. První 3 svody (II, aVF, V4) shora jsou záznamy z povrchového EKG, ostatní svody jsou již intrakardiální. Ve svodech označených jako ABL jsou záznamy z ablačního katétru, LASO katétr snímá signály z RSPV, tedy z pravé horní plicní žíly a CS katétr je zaveden v koronárním sinu, a na obrázku 6.3 je zobrazeno dvanácti svodové EKG. Na všech třech obrázcích jsou EKG signály zobrazeny při rychlosti posunu 100 mm/s.

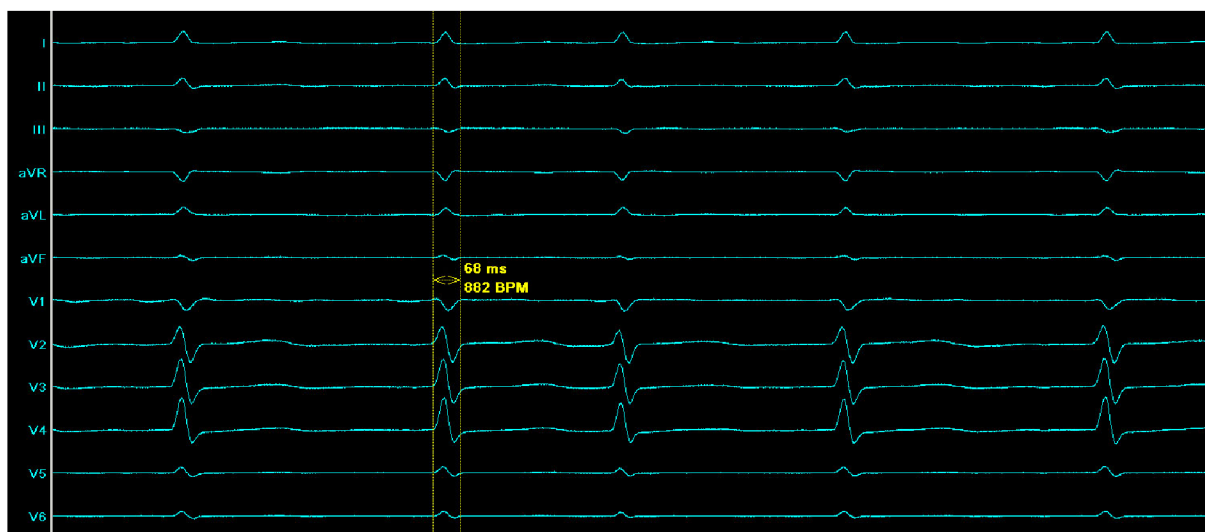


Obrázek 6.1: Ukázka perzistující fibrilace síní s rozměřenými R-R intervaly.

Na obrázku 6.1 je zřetelná nepravidelnost tachykardie, délka R-R intervalu kolísá o více než 15 ms, frekvence komor se na rozměřené části EKG pohybuje v rozmezí 91-135/min. Na 6.2 lze vidět, že aktivita síní je rychlá a chaotická, jsou tedy přítomny P vlny více než 2 morfologií a frekvence síní se na rozměřené části EKG pohybuje v rozmezí 245-309/min.



Obrázek 6.2: Ukázka perzistující fibrilace síní s rozměřenými P-P intervaly.



Obrázek 6.3: Ukázka perzistující fibrilace síní se změřenou šířkou QRS komplexu.

Na obrázku 6.3 je změřena velikost QRS komplexu, která je 68 ms, z čehož vyplývá, že se jedná o úzkokomplexovou tachykardii, tedy bez aberace vedení.

Z uvedených obrázků 6.1, 6.2 a 6.3 lze vyčíst odpovědi na otázky pokládané expertním systémem při vyhodnocování typu srdečního rytmu, v tomto případě fibrilace síní. Následuje výpis pokládaných otázek při této tachykardii, který je uveden ve formátu: **otázka** – *odpověď* – (poznámka).

* **Jaká je frekvence síní?**

– 245/min. (viz obr. 6.2)

* **Jaká je frekvence komor?**

– 91/min. (viz obr. 6.1)

Frekvence síní je 245/min a je větší než frekvence komor, která je 91/min.

* **Jaká je šířka QRS komplexů?**

- *Menší nebo rovna 120 ms.* ✓ (viz obr. 6.3)
- *Větší než 120 ms.*

* **Kolísá či nekolísá délka cyklu (pravidelný, nepravidelný rytmus)?**

- *Nekolísá o více než 15 ms.*
- *Kolísá o více než 15 ms.* ✓ (viz obr. 6.1)

* **Jsou při tachykardii přítomny 3 nebo více morfologií P vln?**

- *Ano.* ✓ (viz obr. 6.2)
- *Ne.*

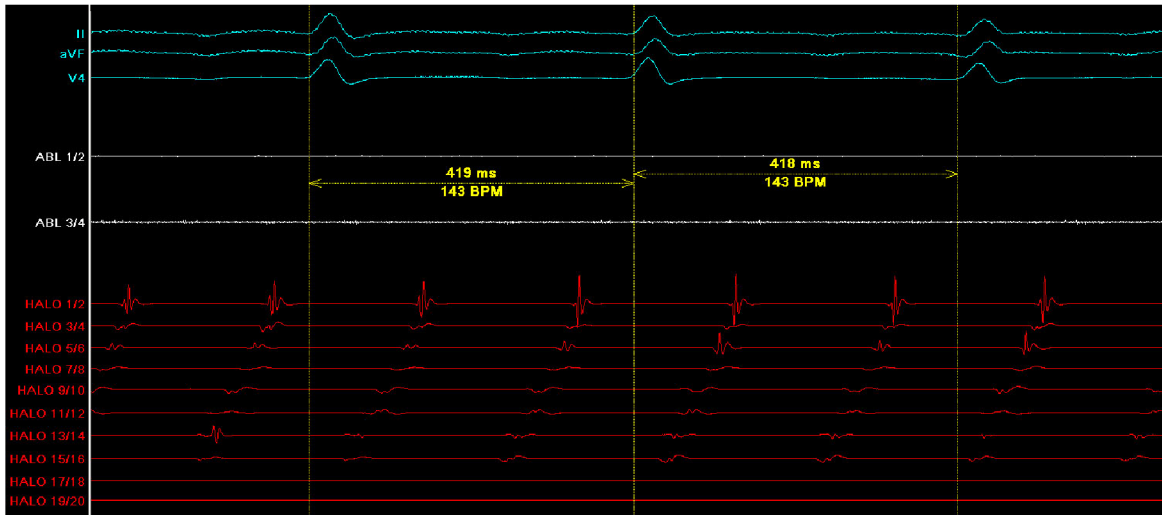
⇒ „Nejpravděpodobněji se jedná o FIBRILACI SÍNÍ. Výsledek nechte ověřit zkušenějšímu kolegovi.“

6.2 Typický flutter síní

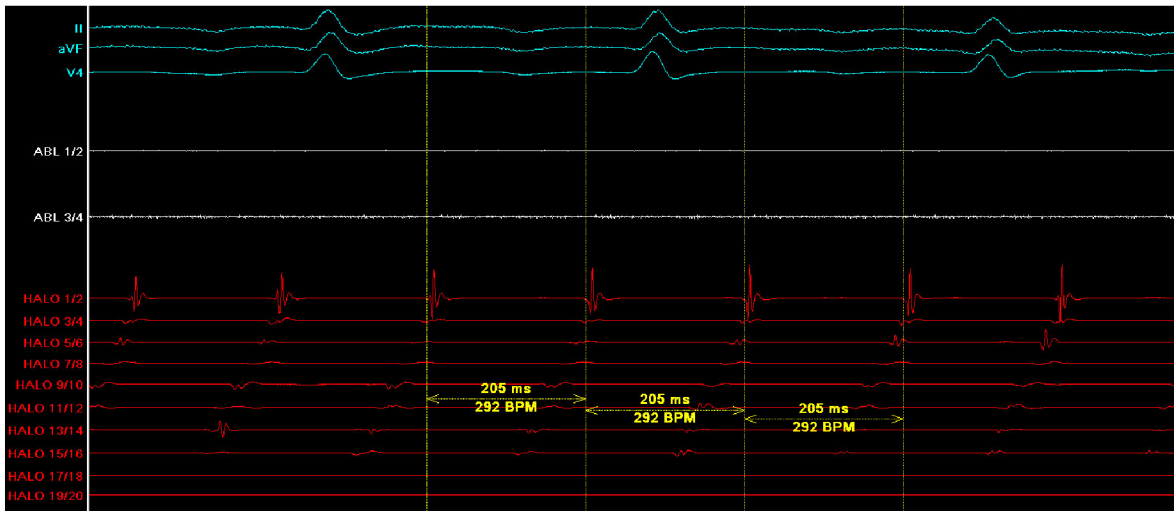
Na obrázcích 6.4, 6.5 a 6.6 je zobrazeno intrakardiální EKG typického (counterclockwise) flutteru síní. První 3 svody (II, aVF, V4) shora jsou záznamy z povrchového EKG, ostatní svody jsou již intrakardiální. Ve svodech označených jako ABL jsou záznamy z ablačního katétru, HALO katétr snímá signály z pravé síně, tedy z pravé síně a CS katétr je zaveden v koronárním sinu, a na obrázku 6.7 je zobrazeno dvanácti svodové EKG. Na všech 3 obrázcích jsou EKG signály zobrazeny při rychlosti posunu 200 mm/s.

Z obrázku 6.5 je zřejmé, že aktivace síní je pravidelná, přičemž frekvence síní je 292/min. Na obrázku 6.4 lze vidět, že se jedná o pravidelnou tachykardii, bez „warm-up“ a „cool-down“ fenoménu, o frekvenci komor 143/min. Na obrázku 6.6 je zobrazena stimulace na entrainment na kavotrikuspidálním istmu, jsou zde zřetelné 3 uchvácené stimulované stahy. Za posledním stimulem je změřena délka PPI, která je 214 ms, následně je změřena délka cyklu síní, která je 202 ms. Rozdíl mezi délkou PPI a délkou cyklu síní je 12 ms, z čehož je patrné, že se jedná o entrainment s optimálním PPI. Jelikož po ukončení stimulace na entrainment nedošlo ke změně aktivace, jedná se o skrytý entrainment. Při porovnání svodů z povrchového EKG se svody z EKG intrakardiálního si lze všimnout, že na obrázcích 6.4, 6.5 a 6.6 je převod ze síní na komory v poměru 3:1. Na obrázku 6.7 je změřena velikost QRS komplexu, která je 72 ms, z čehož vyplývá, že se jedná o úzkokomplexovou tachykardii, tedy bez aberace vedení.

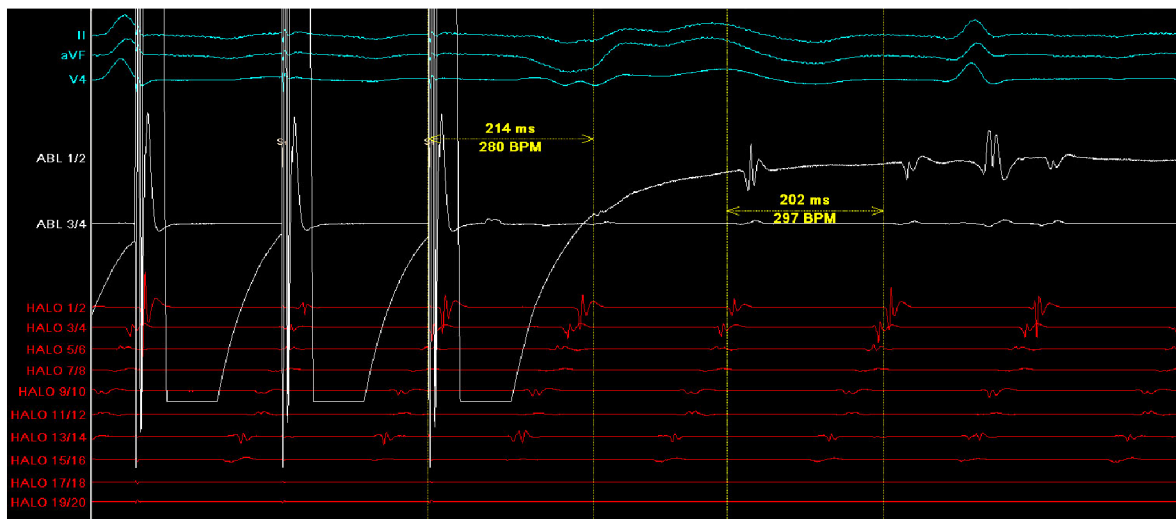
Z uvedených obrázků 6.4, 6.5, 6.6 a 6.7 lze vyčíst odpovědi na otázky pokládané expertním systémem při vyhodnocování typu srdečního rytmu, v tomto případě typického flutteru síní. Následuje výpis pokládaných otázek při této tachykardii, který je uveden ve formátu: **otázka** – *odpověď* – (poznámka).



Obrázek 6.4: Ukázka typického flutteru síní s rozměřenými R-R intervaly.



Obrázek 6.5: Ukázka typického flutteru síní s rozměřenými P-P intervaly.



Obrázek 6.6: Ukázka stimulace na entrainment v oblasti CTI při typickém flutteru síní.



Obrázek 6.7: Ukázka typického flutteru síní se změřenou šířkou QRS komplexu.

* **Jaká je frekvence síní?**

- 292/min. (viz obr. 6.5)

* **Jaká je frekvence komor?**

- 143/min. (viz obr. 6.4)

Frekvence síní je 292/min a je větší než frekvence komor, která je 143/min.

* **Jaká je šířka QRS komplexů?**

- Menší nebo rovna 120 ms. ✓ (viz obr. 6.7)
- Větší než 120 ms.

* **Kolísá či nekolísá délka cyklu (pravidelný, nepravidelný rytmus)?**

- Nekolísá o více než 15 ms. ✓ (viz obr. 6.4)
- Kolísá o více než 15 ms.

* **Je přítomen „warm-up“ a „cool-down“ fenomén?**

- Ano.
- Ne. ✓ (viz obr. 6.4)

* **Jaký je entrainment na CTI (případně laterálně od istmu)? PPI měříme jen při tachykardii. O optimální PPI se jedná v případě, kdy je rozdíl mezi PPI a CL do 30 ms.**

- Skrytý s optimálním PPI na CTI. ✓ (viz obr. 6.6)
- Skrytý s optimálním PPI na CTI i laterálně od istmu.
- Skrytý s dlouhým PPI na CTI.
- Skrytý s dlouhým PPI na CTI i laterálně od istmu.

- Manifestní s dlouhým PPI na CTI.
- Manifestní s dlouhým PPI na CTI i laterálně od istmu.
- Není entrainment.

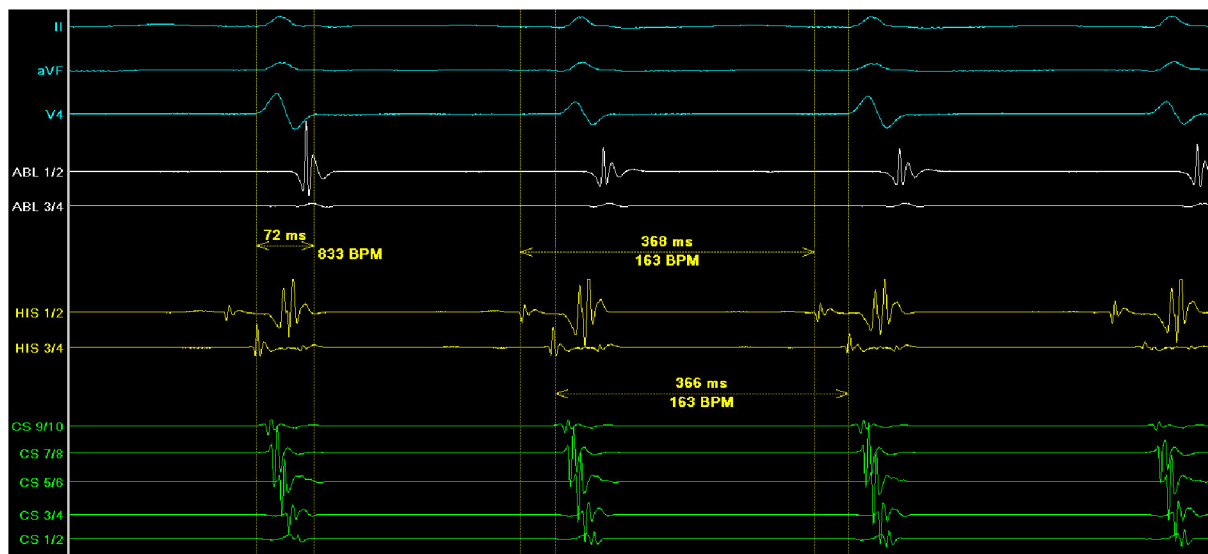
* **Jakým směrem se šíří aktivace po síni (např. v HALO katéttru)?**

- Postupná aktivace od HALO 19/20 k HALO 1/2. ✓ (viz obr. 6.4, 6.5 a 6.6)
- Postupná aktivace od HALO 1/2 k HALO 19/20.

⇒ „Nejpravděpodobněji se jedná o TYPICKÝ FLUTTER SÍNÍ (counterclockwise).
Výsledek nechte ověřit zkušenějšímu kolegovi.“

6.3 Atrioventrikulární nodální reentry tachykardie

Na obrázcích 6.8, 6.9 a 6.10 je zobrazeno intrakardiální EKG typické atrioventrikulární nodální reentry tachykardie. První 3 svody (II, aVF, V4) shora jsou záznamy z povrchového EKG, ostatní svody jsou již intrakardiální. Záznam z CS katéttru je snímán z tzv. koronárního sinu, ve svodech označených HIS lze vidět záznamy snímané z Hisova svazku, ve svodech označených jako ABL jsou záznamy z ablačního katéttru. Rychlost posunu je na obrázku 6.8 200 mm/s a na obrázcích 6.9 a 6.10 100 mm/s.



Obrázek 6.8: Ukázka typické AVNRT se změřenou šířkou QRS komplexu a R-R, P-P a H-H intervalu.

Na obrázku 6.8 je změřena šířka QRS komplexu, která má 72 ms, jedná se tedy o tachykardii úzkokomplexovou, dále si lze všimnout, že komory (viz povrchové EKG) i síně (viz signály z CS katéttru) jsou aktivovány současně, přičemž aktivace v Hisově svazku jim předchází. Při porovnání svodů z povrchového EKG se svody z EKG intrakardiálního, lze vidět, že převod ze síní na komory je v poměru 1:1 při frekvenci 163/min. Na obrázku 6.9 je zobrazena stimulace do síní a následné vyvolání tachykardie o frekvenci 159/min. Na



Obrázek 6.9: Ukázka typické AVNRT vyvolatelné ze síně.



Obrázek 6.10: Ukázka V-A-V odpovědi po komorové stimulaci při AVNRT.

obrázku 6.10 lze vidět ukončení komorové stimulace a následnou aktivační sekvenci síní s V-A-V odpovědí (tedy stimulus-síň-komora).

Z uvedených obrázků 6.8, 6.9 a 6.10 lze vyčíst odpovědi na otázky pokládané expertním systémem při vyhodnocování typu srdečního rytmu, v tomto případě AV nodální reentry tachykardie. Následuje výpis pokládaných otázek při této tachykardii, který je uveden ve formátu: **otázka** – *odpověď* – (poznámka).

* **Jaká je frekvence síní?**

– 163/min. (viz obr. 6.8)

* **Jaká je frekvence komor?**

– 163/min. (viz obr. 6.8)

Frekvence síní a komor jsou 163/min, jedná se tedy o AV převod 1:1.

* **Jaká je šířka QRS komplexů?**

- *Menší nebo rovna 120 ms. ✓ (viz obr. 6.8)*
- *Větší než 120 ms.*

* **Kolísá či nekolísá délka cyklu (pravidelný, nepravidelný rytmus)?**

- *Nekolísá o více než 15 ms. ✓ (viz obr. 6.9)*
- *Kolísá o více než 15 ms.*

* **Dle intrakardiálního EKG:**

- *Aktivace síní předchází aktivaci komor.*
- *Aktivace komor předchází aktivaci síní.*
- *Aktivace síní a komor je současná. ✓ (viz obr. 6.8)*

* **Je při běžící tachykardii první aktivace v HIS?**

- *Ano. ✓ (viz obr. 6.8)*
- *Ne.*
- *Nevím (buď neběží tachykardie nebo není zaveden katétr na Hisově svazku).*

* **Jakým způsobem dochází ke vzniku tachykardie při EFV?**

- *Tachykardie je vyvolatelná stimulací ze síní, po náhlém prodloužení AH intervalu nebo při vzestupné stimulaci těsně před dosažením Wenckebachova bodu, často po SVES. ✓ (viz obr. 6.9)*
- *Tachykardie je vyvolatelná stimulací ze síní i komor, často po KES.*
- *Tachykardie je obtížně vyvolatelná stimulačními manévry, lze ji vyvolat podáním isoprenalinu, tepová frekvence postupně narůstá (tzv. „warm up“).*
- *Tachykardie běží od počátku EFV.*

* **Jaká je při EFV při tachykardii aktivační sekvence síní po ukončení komorové stimulace? („burst pacing“ o CL výrazně kratší (10-40 ms) než je CL tachykardie – pozn. AV převod musí být 1:1 a tachykardie musí být uchvácená).**

- *V-A-A-V.*
- *V-A-V. ✓ (viz obr. 6.10)*
- *Je přítomna VA disociace.*
- *Nevím (např. tachykardie byla terminována).*

* **Co při EFV předchází kolísání délky cyklu pravidelné tachykardie?**

- *Změna AA intervalu předchází změnu VV intervalu.*
- *Změna VV intervalu předchází změnu AA intervalu.*

– *Délka cyklu nekolísá. ✓ (viz obr. 6.9)*

*** Jaká je reakce na intravenózní podání adenosinu?**

– *Beze změny rytmu.*

– *Postupné zpomalování rytmu a následně návrat k rychlému rytmu.*

– *Náhlá terminace tachykardie.*

– *Perzistující síňová tachykardie s přechodným vysokostupňovým AV blokem.*

– *Adenosin nebyl podán. ✓*

⇒ „Nejpravděpodobněji se jedná o AVNRT = ATRIOVENTRIKULÁRNÍ NODÁLNÍ REENTRY TACHYKARDII. Výsledek nechte ověřit zkušenějšímu kolegovi.“

7 Diskuze získaných výsledků

Expertní systém byl ověřen na souboru 26 pacientů (10 žen, 16 mužů) při EFV na elektrofyziologickém sále I. interní kardioangiologické kliniky FN u svaté Anny v Brně a je diskutován v následujících podkapitolách.

7.1 Zhodnocení účinnosti expertního systému

V tabulce 7.1 jsou pro srovnání uvedeny arytmie, se kterými pacienti přišli na EFV, arytmie vyhodnocené expertním systémem a arytmie diagnostikované lékařem.

Vysvětlení zkratk z tabulky 7.1: SVT je supraventrikulární tachykardie, AVNRT je atrioventrikulární nodální reentry tachykardie, TFLS je typický flutter síní, AFLS je atypický flutter síní, FiSi je fibrilace síní, KT je komorová tachykardie, SA blok. je sinoatriální blokáda, VR brady. je vagová reakce a následkem bradykardie, SR je sinusový rytmus, FST z MSS je fokální síňová tachykardie z mezišíňového septa, FST s aberací je fokální síňová tachykardie s aberací vedení, DV při SR je dualita vedení AV uzlem při sinusovém rytmu, abl. CTI je ablace kavotrikuspidálního istmu (dne 26. 3. 2013 byla u pacienta pod ID 9, provedena ablace CTI, i když měl při EFV přítomen jen sinusový rytmus, mimo elektrofyziologický sál měl však zachycen typický flutter síní, byla tedy otestována průchodnost můstku, můstek byl průchozí, což vedlo lékaře k RF ablaci CTI).

Z tabulky 7.1 je patrné, že se klasifikace srdečních rytmů expertního systému shodovala s klasifikací lékaře ve 100 % případů. Do expertního systému byly nad rámec zadání implementovány otázky, z jejichž odpovědí lze usuzovat na místo vzniku arytmie, např. zda arytmie pochází z levé síně. Tento typ otázek byl použit např. u fokální síňové tachykardie či u atypického flutteru síní. Bylo-li hodnoceno místo vzniku arytmie, bylo vyhodnoceno správně až na pacienta pod ID 12. Ten měl fokální síňovou tachykardii s fokusem v mezišíňovém septu. Tato varianta umístění fokusu není v databázi znalostí expertního systému zavedena, takže místo fokusu bylo vyhodnoceno jako z pravé síně. Při dalším zdokonalování expertního systému by bylo možné místo samostatných otázek použít také grafické prostředí, kde by byly u vybraných odpovědí navíc také ukázky intrakardiálních EKG signálů, což by přispělo k přesnějšímu vyhodnocení fokusu při fokální síňové tachykardii.

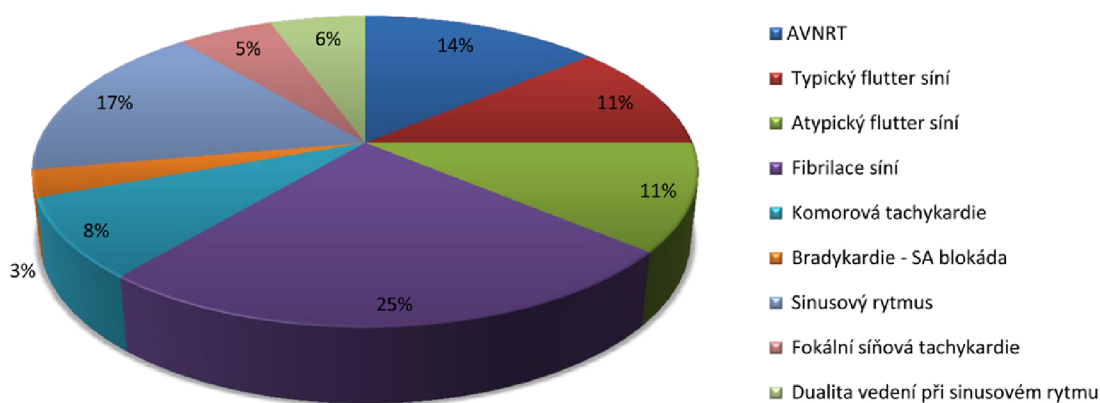
Pacienti přicházející na EFV mají často předem zaznamenané klinické arytmie buď na 12 svodovém EKG, nebo mají záznam z holterovského monitorování EKG. Dále si lze v tabulce 7.1 také všimnout, že na testovaném vzorku 26 pacientů, se arytmie předpokládaná před EFV zcela shodovala s rytmem na elektrofyziologickém sále v 13 případech, tedy v 50 %. Přičemž v případě pacientů pod ID 1, 4, 13, 22 a 26, byla diagnóza upřesněna z SVT na AVNRT a pacientka pod ID 19, měla přítomnou předpokládanou fibrilaci síní

i fokální síňovou tachykardií, avšak ta byla bez aberace vedení. Lze říci, že ve zmiňovaných 6 případech (tj. v 23 %), pod ID 1, 4, 13, 19, 22 a 26, byla předpokládaná arytmie při EFV jen více specifikována.

Tabulka 7.1: Vyhodnocení účinnosti expertního systému.

ID	Datum výkonu (2013)	Pacient			Arytmie		
		Iniciály	Pohlaví	Rok narození	Předpoklad před EFV	Expertní systém	Lékař
1	25. 2.	N. K.	žena	1993	SVT	AVNRT	AVNRT
2	5. 3.	V. M.	muž	1957	TFLS	TFLS	TFLS
3	6. 3.	V. M.	žena	1942	AFLS	AFLS	AFLS
4	12. 3.	U. M.	muž	1970	SVT	AVNRT, FiSi	AVNRT, FiSi
5	12. 3.	H. E.	muž	1966	FiSi	FiSi	FiSi
6	18. 3.	M. J.	muž	1938	KT	KT	KT
7	18. 3.	M. F.	muž	1956	FiSi	FiSi, SA blok.	FiSi, VR brady.
8	19. 3.	H. S.	žena	1977	SVT	SR	SR
9	19. 3.	Ú. L.	žena	1946	FiSi	FiSi	FiSi
10	20. 3.	Ú. F.	muž	1951	FiSi	FiSi	FiSi
11	21. 3.	H. M.	žena	1940	FiSi	SR, AFLS zleva	SR, AFLS zleva
12	22. 3.	L. M.	muž	1996	FST	FST zprava	FST z MSS (abl. zprava)
13	25. 3.	H. M.	muž	1985	SVT	AVNRT	AVNRT
14	25. 3.	S. R.	muž	1948	TFLS	TFLS	TFLS
15	26. 3.	V. L.	muž	1949	TFLS	AFLS zleva	AFLS zleva
16	26. 3.	I. Z.	žena	1964	AFLS	TFLS	TFLS
17	26. 3.	S. L.	muž	1941	TFLS	SR	SR (abl. CTI)
18	27. 3.	G. K.	muž	1967	TFLS	TFLS	TFLS
19	27. 3.	F. M.	žena	1953	FiSi + FST s aberací	SR, FiSi, FST zleva	SR, FiSi, FST zleva
20	29. 3.	S. J.	muž	1948	FiSi	SR, FiSi	SR, FiSi
21	2. 4.	P. J.	žena	1934	KT	KT	KT
22	3. 4.	F. A.	žena	1992	SVT	DV při SR, AVNRT	DV při SR, AVNRT
23	3. 4.	P. A.	muž	1946	FiSi	SR, AFLS	SR, AFLS
24	4. 4.	D. J.	muž	1961	FiSi	FiSi	FiSi
25	9. 4.	R. P.	muž	1949	FiSi	FiSi	FiSi
26	10. 4.	B. M.	žena	1994	SVT	AVNRT	AVNRT

Ve výšečovém grafu na obrázku 7.1 je uvedeno procentuální zastoupení srdečních rytmů vyhodnocených expertním systémem. U vzorku 26 pacientů bylo vyhodnoceno 34 srdečních rytmů, přičemž v uvedeném výšečovém grafu tvoří počet rytmů 100 %. Více srdečních rytmů u jednoho pacienta bylo vyhodnocováno např. v případě, že měl pacient klinickou tachykardií paroxysmální formy. Takoví pacienti měli na počátku elektrofyziologického vyšetření sinusový rytmus a na sále došlo k vyvolání arytmiie. Nejpočetnějším vyhodnoceným rytmem při EFV byla fibrilace síní, následoval sinusový rytmus, AVNRT, flutter síní (typický i atypický), komorová tachykardie, dualita vedení při sinusovém rytmu, fokální síňová tachykardie a jedenkrát se vyskytla SA blokáda. Při porovnání vyhodnocených rytmů expertním systémem a lékařem vyšel, na hladině významnosti 0,01, korelační koeficient 1.



Obrázek 7.1: Výšečový graf vyhodnocených srdečních rytmů při EFV.

7.2 Zhodnocení využitelnosti expertního systému

Expertní systém se ukázal jako využitelný. Snahou bylo minimalizovat počet otázek na takovou úroveň, která by ještě správně klasifikovala rytmy zavedené v expertním systému, přičemž by nezaváděla zbytečné časové zdržení do EFV. Z původního souboru 32 otázek byl počet otázek zredukován na 27.

- Byly odstraněny tyto otázky:
 - Jaká je při EFV délka VA intervalu?
 - * Menší nebo rovno 70 ms.
 - * Větší než 70 ms.
 - Jakým způsobem je tachykardie ukončena?
 - * Antegrádní blok AV uzlu (tj. P vlna na konci tachykardie není následována QRS komplexem).
 - * P vlna na konci tachykardie je následovaná QRS komplexem.

- * KES.
- * Tachykardie nebyla od počátku EFV spontánně terminována.
- Jaký je směr šíření vzruchů?
 - * SA uzel - síně - AV uzel - Hisův svazek - komory.
 - * Jiný.
- Co předcházelo výpadku QRS komplexu?
 - * Vypadl před ním i síňový stah.
 - * Před výpadkem QRS komplexu síňový stah nevypadl.
- Jaká je při EFV při tachykardii posloupnost aktivace v CS katétru?
 - * Koncentrická aktivace síní.
 - * Excentrická aktivace síní.

Závěr

Hlavním cílem teoretické části diplomové práce byl, po stručném úvodu do problematiky, popis tachykardií, jejich diferenciální diagnostiky a expertních systémů. Dále byly uvedeny diagnostické algoritmy pro diferenciální diagnostiku srdečních arytmií, které byly posléze implementovány do expertního systému a jsou ve formě stromových diagramů uvedeny v příloze B.

Nejdříve bylo v programovacím jazyce C/C++ vytvořeno grafické prostředí pro tvorbu stromových diagramů, což se však následně ukázalo jako nevhodné, protože bylo žádoucí kombinovat větvení stromových diagramů se specifickými vlastnostmi arytmií. Na některé otázky lze odpovědět u všech srdečních rytmů, zde je vhodné použít větvení, existují však otázky, které jsou specifické jen pro určitou skupinu srdečních rytmů, či dokonce rytmus jediný, ale pro vyhodnocení daného srdečního rytmu je nutné na tyto otázky odpovědět. Z tohoto důvodu se ukázaly logické programovací jazyky jako vhodnější varianta a bylo přistoupeno k sestavení expertního systému v Prologu.

V programovém prostředí Amzi! Prolog + Logic Server byly srdeční rytmy nejdříve seřazeny podle četností arytmií v populaci. Tato metoda však nebyla vhodná, jelikož by diagnostika jiných arytmií byla velmi zdlouhavá. Následně byla posloupnost srdečních rytmů empiricky upravena tak, aby nebylo nutné odpovídat na zbytečné otázky, čímž docházelo ke zdržování uživatele. Samotné otázky v každém srdečním rytmu jsou postupně seřazeny od obecných ke specifickým. Výsledný expertní systém pomocí prvních otázek rozdělí arytmiie do skupin podle frekvence síní, komor a jejich vzájemného poměru, šířky QRS komplexů, pravidelnosti rytmu apod. Dále jsou každému srdečnímu rytmu, jež je zařazen do expertního systému, přiřazeny pro něj typické vlastnosti. Ne na všechny z těchto otázek je možné či vhodné v danou chvíli odpovědět, proto jsou v expertním systému zavedeny také odpovědi „nevím“. Důvodem může být např. snaha o zamezení nechtěné terminace tachykardie po stimulaci, která je nutná pro zodpovězení dané otázky.

I když se klasifikace srdečních rytmů expertního systému a diagnostika lékaře shodovala na testovaném vzorku 26 pacientů ve 100 % případů, nelze tvrdit, že je účinnost tohoto expertního systému 100 %, jelikož ho nebylo možné otestovat na všech typech arytmií, které jsou do systému zavedeny.

Do expertního systému byly nad rámec zadání implementovány otázky, z jejichž odpovědí lze usuzovat na místo vzniku arytmiie, např. zda arytmiie pochází z levé síně. Tento typ otázek byl použit např. u fokální síníové tachykardie či u atypického flutteru síní. Bylo-li hodnoceno místo vzniku arytmiie, bylo vyhodnoceno správně až na jednoho pacienta, který měl fokální síníovou tachykardii s fokusem v mezisíniovém septu. Tato varianta umístění fokusu nebyla v databázi znalostí expertního systému zavedena, takže místo fo-

kusu nebylo vyhodnoceno správně. Při dalším zdokonalování expertního systému by bylo možné místo samostatných otázek použít také grafické prostředí, kde by byly u vybraných odpovědí navíc také ukázky intrakardiálních EKG signálů, což by přispělo např. k přesnějšímu vyhodnocení umístění fokusu při fokální síňové tachykardii.

Díky sestavení programu v Prologu je možné jednoduše upravovat databázi znalostí expertního systému i přímo za běhu EFV. Expertní systém bude dále vyvíjen i po dokončení této diplomové práce. Je možné, že bude upravena databáze znalostí u arytmií, které zatím nemohly být otestovány během EFV, jelikož se jedná o méně časté arytmie. Posledním krokem by měla být postupná automatizace expertního systému, který by se tak převedl z úrovně otázek a odpovědí na úroveň poloautomatické až automatické klasifikace rytmu z intrakardiálního EKG signálu.

Literatura

- [1] *3. lékařská fakulta – Základy rozšířené neodkladné resuscitace* [online]. [cit. 2012-1-12]. Dostupné z: <http://www.lf3.cuni.cz/cs/pracoviste/anezteziologie/vyuka/studijni-materialy/rozsirena-neodkladna-resuscitace/index.html?month=1&year=2011>.
- [2] *Ablation Therapy of Supraventricular Tachycardia in Elderly: AVNRT and AVRT* [online]. [cit. 2010-12-21]. Dostupné z: http://www.medscape.com/viewarticle/498412_3.
- [3] *American College of Cardiology Foundation – Journal of the American College of Cardiology – Diagnostic value of tachycardia features and pacing maneuvers during paroxysmal supraventricular tachycardia* [online]. [cit. 2012-18-11]. Dostupné z: <http://content.onlinejacc.org/article.aspx?articleid=1126620>.
- [4] *Anatomie — Srdce a cévy — Laik - Kardiochirurgie* [online]. [cit. 2010-12-28]. Dostupné z: <http://www.kardiochirurgie.cz/anatomie>.
- [5] *Anatomie — Srdce a cévy — Laik - Kardiochirurgie* [online]. [cit. 2010-12-30]. Dostupné z: <http://www.kardiochirurgie.cz/poruchy-rytmu>.
- [6] *Atrial fibrillation: Causes - MayoClinic.com* [online]. [cit. 2010-12-15]. Dostupné z: <http://www.mayoclinic.com/health/atrial-fibrillation/DS00291/DSECTION=causes>.
- [7] *Building Expert Systems in Prolog* [online]. [cit. 2013-05-10]. Dostupné z: <http://www.amzi.com/ExpertSystemsInProlog/index.htm>.
- [8] *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>.
- [9] *Doporučené postupy pro diagnostiku a léčbu supraventrikulárních tachyarytmií* [online]. [cit. 2011-04-03]. Dostupné z: http://www.kardio-cz.cz/resources/upload/data/23_31-Guidelines-supraventrikularni_tachyarytmie.pdf.
- [10] *Česká kardiologická společnost* [online]. [cit. 2010-04-03]. Dostupné z: <http://www.kardio-cz.cz/index.php?&desktop=clanky&action=view&id=684>.

- [11] *Klasifikace arytmií a jejich diferenciální diagnostika na povrchovém EKG - ZDN* [online]. [cit. 2012-09-23].
Dostupné z: <http://zdravi.e15.cz/clanek/postgradualni-medicina/klasifikace-arytmii-a-jejich-diferencialni-diagnostika-na-povrch-142408>.
- [12] *Komorové tachydysrytmie - maligní arytmie - Kardiologie - ZDN* [online]. [cit. 2012-10-07].
Dostupné z: <http://zdravi.e15.cz/clanek/priloha-lekarske-listy/komorove-tachydysrytmie-maligni-arytmie-306625>.
- [13] *Medicabáze.cz - váš online lékařský slovník - Detail hesla* [online]. [cit. 2012-09-23].
Dostupné z: http://www.medicabaze.cz/?sec=term_detail&termId=484&tname=Tachyarytmie+supraventrikul%C3%A1rn%C3%AD.
- [14] *Poruchy tvorby vzruchu* [online]. [cit. 2012-1-12].
Dostupné z: <http://ekg.kvalitne.cz/tvorba.htm>.
- [15] *Průvodce pro pacienty před katetrizačním vyšetřením srdce - II. interní klinika kardiologie a angiologie* [online]. [cit. 2012-10-02]. Dostupné z: <http://int2.lf1.cuni.cz/pruvodce-pro-pacienty-pred-katetrizacnim-vysetrenim-srdce>.
- [16] *SANQUIS - 2001/16 Léčba tachyarytmií radiofrekvenční ablací* [online]. [cit. 2010-12-02].
Dostupné z: <http://www.sanquis.cz/index1.php?linkID=art889>.
- [17] *Semantic Networks* [online]. [cit. 2012-16-11].
Dostupné z: <http://www.jfsowa.com/pubs/semnet.htm>.
- [18] *Stavba a funkce srdce, projevy srdeční činnosti, princip EKG* [online]. [cit. 2010-12-28].
Dostupné z: http://www.sz smb.cz/admin/upload/sekce_materialy/Srdce.pdf.
- [19] *Supraventrikulární tachykardie (diagnostika a léčba) - Kardiologie - ZDN* [online]. [cit. 2012-10-11].
Dostupné z: <http://zdravi.e15.cz/clanek/priloha-lekarske-listy/supraventrikularni-tachykardie-diagnostika-a-lecba-306626>.
- [20] *Tachycardia - Symptoms, Treatment and Prevention* [online]. [cit. 2010-12-20].
Dostupné z: <http://www.healthscout.com/ency/68/729/main.html&anno=2>.
- [21] *Tachykardie, MUDr. Jan Šimek, PhD., r. 2010* [online]. [cit. 2012-10-02].
Dostupné z: http://int2.lf1.cuni.cz/Data/files/2.%20intern%C3%AD%20klinika/Medici/download_tachy.pdf.

- [22] *Understanding Arrhythmias and Treatment Options — Videos and Animations — Arrhythmia Answers* [online]. [cit. 2011-04-07].
Dostupné z: <http://health.sjm.com/arrhythmia-answers/videos-and-animations/arrhythmias-and-treatment-options.aspx>.
- [23] *Úvod do elektrokardiografie* [online]. [cit. 2010-12-25].
Dostupné z: mefanet.lfp.cuni.cz/download.php?fid=96.
- [24] *Základy pravděpodobnosti Matematika pro každého online* [online]. [cit. 2012-17-11].
Dostupné z: <http://matematika-online-a.kvalitne.cz/zaklady-pravdepodobnosti.htm>.
- [25] ASCHERMANN, Michael: *Kardiologie*. Galén, Praha, 2004, ISBN 80-7262-290-0.
- [26] BERKA, Petr et al.: *Expertní systémy*. Praha: Vysoká škola ekonomická v Praze, 1998.
- [27] BYTEŠNÍK, Jan: *Doporučené postupy pro diagnostiku a léčbu komorových arytmií* [online]. [cit. 2012-10-08]. Dostupné z: http://www.kardio-cz.cz/resources/upload/data/24_32-Guidelines-komorove_arytmie%20_2.pdf.
- [28] BYTEŠNÍK, Jan, Petr PAŘÍZEK, Dan WICHTERLE, Josef KAUTZNER, Petr NEUŽIL: *Komorové arytmie. Cor et Vasa; 53(Suppl. 1)*.
- [29] CHOVANČÍK, Jan, Martin FIALA, Henryk SZYMECZEK, Radek NEUWIRTH, Renáta NEVŘALOVÁ, aj.: *Idiopatická komorová extrasystolie - katetrová ablace jako léčebná alternativa. Vnitřní lékařství; 52(2)*.
- [30] DVOŘÁK, Jiří: *Expertní systémy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automatizace a informatiky, 2004, 92 s. .
- [31] EISENBERGER, Martin, Alan BULAVA, Martin FIALA: *Základy srdeční elektrofyzologie a katetrových ablací*. Grada Publishing a. s., Praha, 2012, ISBN 978-80-247-3677-8.
- [32] FARUZEL, Petr: *Webový průvodce světem expertních systémů*. Praha: Vysoká škola ekonomická v Praze, Fakulta informatiky a statistiky, 2008, 51 s., Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Petr Berka, CSc. .
- [33] FIALA, Martin, Jan CHOVANČÍK, Petr HEINC, Radek NEUWIRTH, Renáta NEVŘALOVÁ, aj.: *Fokální síňová tachykardie. Klinické projevy, místa vzniku a výsledky katetrové ablace. Vnitřní lékařství; 51(10)*, 2005, [cit. 2012-10-02].
- [34] HAMPTON, John R.: *EKG v praxi, Překlad 4. vydání*. Grada Publishing a.s., Praha, 2007, ISBN 978-80-247-1448-6.

- [35] ISSA, Ziad, John M. MILLER, Douglas P. ZIPES: *Clinical arrhythmology and electrophysiology: a companion to Braunwald's heart disease - 1st ed.* Saunders, Philadelphia, 2009, ISBN 978-1-4160-5998-1.
- [36] JOHNSON, Jonathan N., Michael J. ACKERMAN: *QTc: how long is too long?* *British Journal of Sports Medicine*, 2009, [cit. 2012-10-02].
- [37] KELEMEN, Josef, Aleš KUBÍK, Imrich LENHARČÍK, Peter MIKULECKÝ: *Tvorba expertních systémů v prostředí CLIPS.* Grada Publishing, spol s r.o., Praha, 1999, ISBN 80-7169-501-7.
- [38] KHAN, Gabriel M.: *EKG a jeho hodnocení.* Grada Publishing a.s., Praha, 2005, ISBN 80-247-0910-4.
- [39] KOŽELUHOVÁ, Markéta, Petr PEICHL, Petr HLIVÁK, Robert ČIHÁK, Dan WICHTERLE, aj.: *Spektrum idiopatických komorových tachykardií ve specializovaném centru. Intervenční a akutní kardiologie; 8(5).*
- [40] KOZUMPLÍK, Jiří, Ivo PROVAZNÍK: *Umělá inteligence v medicíně.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2007, 91 s. .
- [41] MURGATROYD, Francis D., Andrew D. KRAHN, George J. KLEIN, Raymond K. YEE, Allan C. SKANES: *Handbook of Cardiac Electrophysiology.* ReMedica Publishing, 2002, ISBN 1901346374.
- [42] PEICHL, Petr: *Katetrizační ablace postincizionálních tachykardií: konečné řešení nebo paliativní léčba? Kardiologická revue; 8 (Suppl.).*
- [43] ŠROMOVÁ, Michaela: *Hodnocení srdečních arytmií.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011, 64 s., 1 příl. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D. .
- [44] ROZMAN, Jiří: *Elektronické přístroje v lékařství.* Academia, Praha, 2006, ISBN 80-200-1308-3.
- [45] SCHMITT, Claus, Isabel DEISENHOFER, Bernhard ZRENNER: *Catheter Ablation of Cardiac Arrhythmias.* Steinkopff Verlag, Darmstadt, 2006, ISBN 3-7985-1575-1.
- [46] STÁREK, Zdeněk, Martin EISENBERGER, Libor ZAORAL, Pavel LEINVEBER, Miroslav NOVÁK: *Radiofrekvenční katetrizační ablace supraventrikulárních arytmií, historie a současnost. Solen – Intervenční a akutní kardiologie; číslo 5, 2006.*
- [47] TÁBORSKÝ, Miloš et al.: *Fibrilace síní.* Mladá fronta a. s., Praha, 2011, ISBN 978-80-204-2572-0.

- [48] ŠTEJFA, Miloš et al.: *Kardiologie, 3., přepracované a doplněné vydání*. Grada Publishing a. s., Praha, 2007, ISBN 978-80-247-1385-4.

Obsah CD

Příložené CD obsahuje 2 složky s následujícími soubory.

1.) **Expertní systém:**

Kód programu je uložen v souborech ES.pro a Native.pro. Ke spuštění programu je potřeba si stáhnout Amzi! Prolog + Logic Server.

- ES ve formátu .zip
 - * ES ve formátu .pro
 - * Native ve formátu .pro
- README ve formátu .txt

2.) **Diplomová práce:**

- Diplomová práce „Expertní systém pro vyhodnocení typu arytmiie při katéetrové radiofrekvenční ablaci srdečních arytmií“ ve formátu .pdf
- Příloha B k diplomové práci ve formátu .pdf

A Klasifikace všech 34 srdečních rytmů užitím expertního systému

Níže lze vidět jaké otázky expertní systém uživateli, u všech 26 pacientů, jimž bylo klasifikováno 34 srdečních rytmů, pokládal, jak na ně bylo odpovězeno a k jakému výsledku systém dospěl.

Klasifikace rytmu paní N. K. (ID: 1)

- * Jaká je frekvence síní? 140/min.
- * Jaká je frekvence komor? 140/min.
Frekvence síní a komor jsou si rovny a jsou 140/min, jedná se tedy o AV převod 1:1.
- * Jaká je šířka QRS komplexů?
 - Menší nebo rovna 120 ms. ✓
 - Větší než 120 ms.
- * Kolísá či nekolísá délka cyklu (pravidelný, nepravidelný rytmus)?
 - Nekolísá o více než 15 ms. ✓
 - Kolísá o více než 15 ms.
- * Dle intrakardiálního EKG:
 - Aktivace síní předchází aktivaci komor.
 - Aktivace komor předchází aktivaci síní.
 - Aktivace síní a komor je současná. ✓
- * Je při běžící tachykardii první aktivace v HIS?
 - Ano. ✓
 - Ne.
 - Nevím (buď neběží tachykardie nebo není zaveden katétr na Hisově svazku).
- * Jakým způsobem dochází ke vzniku tachykardie při EFV?
 - Tachykardie je vyvolatelná stimulací ze síní, po náhlém prodloužení AH intervalu nebo při vzestupné stimulaci těsně před dosažením Wenckebachova bodu, často po SVES. ✓
 - Tachykardie je vyvolatelná stimulací ze síní i komor, často po KES.

- Tachykardie je obtížně vyvolatelná stimulačními manévry, lze ji vyvolat podáním isoprenalinu, tepová frekvence postupně narůstá (tzv. „warm up“).
 - Tachykardie běží od počátku EFV.
- * Jaká je při EFV při tachykardii aktivační sekvence síní po ukončení komorové stimulace? („burst pacing“ o CL výrazně kratší (10-40 ms) než je CL tachykardie – pozn. AV převod musí být 1:1 a tachykardie musí být uchvácená).
- V-A-A-V.
 - V-A-V. ✓
 - Je přítomna VA disociace.
 - Nevím (např. tachykardie byla terminována).
- * Co při EFV předchází kolísání délky cyklu tachykardie pravidelné tachykardie?
- Změna AA intervalu předchází změnu VV intervalu.
 - Změna VV intervalu předchází změnu AA intervalu.
 - Délka cyklu nekolísá. ✓
- * Jaká je reakce na intravenózní podání adenosinu?
- Beze změny rytmu.
 - Postupné zpomalování rytmu a následně návrat k rychlému rytmu.
 - Náhlá terminace tachykardie.
 - Perzistující síňová tachykardie s přechodným vysokostupňovým AV blokem.
 - Adenosin nebyl podán. ✓
- ⇒ „Nejpravděpodobněji se jedná o AVNRT = ATRIOVENTRIKULÁRNÍ NODÁLNÍ REENTRY TACHYKARDII. Výsledek nechte ověřit zkušenějšímu kolegovi.“

Klasifikace rytmu pana V. M. (ID: 2)

- * Jaká je frekvence síní? 250/min.
 - * Jaká je frekvence komor? 113/min.
Frekvence síní je 250/min a je větší než frekvence komor, která je 113/min.
 - * Jaká je šířka QRS komplexů?
 - Menší nebo rovna 120 ms. ✓
 - Větší než 120 ms.
 - * Kolísá či nekolísá délka cyklu (pravidelný, nepravidelný rytmus)?
 - Nekolísá o více než 15 ms. ✓
 - Kolísá o více než 15 ms.
 - * Je přítomen „warm-up“ a „cool-down“ fenomén?
 - Ano.
 - Ne. ✓
 - * Jaký je entrainment na CTI (případně laterálně od istmu)? PPI měříme jen při tachykardii. O optimální PPI se jedná v případě, kdy je rozdíl mezi PPI a CL do 30 ms.
 - Skrytý s optimálním PPI na CTI. ✓
 - Skrytý s optimálním PPI na CTI i laterálně od istmu.
 - Skrytý s dlouhým PPI na CTI.
 - Skrytý s dlouhým PPI na CTI i laterálně od istmu.
 - Manifestní s dlouhým PPI na CTI.
 - Manifestní s dlouhým PPI na CTI i laterálně od istmu.
 - Není entrainment.
 - * Jakým směrem se šíří aktivace po síní (např. v HALO katétru)?
 - Postupná aktivace od HALO 19/20 k HALO 1/2. ✓
 - Postupná aktivace od HALO 1/2 k HALO 19/20.
- ⇒ „Nejpravděpodobněji se jedná o TYPICKÝ FLUTTER SÍNÍ (counterclockwise).
Výsledek nechte ověřit zkušenějšímu kolegovi.“

Klasifikace rytmu paní V. M. (ID: 3)

- * Jaká je frekvence síní? 144/min.
 - * Jaká je frekvence komor? 144/min.
Frekvence síní a komor jsou si rovny a jsou 144/min, jedná se tedy o AV převod 1:1.
 - * Jaká je šířka QRS komplexů?
 - Menší nebo rovna 120 ms. ✓
 - Větší než 120 ms.
 - * Kolísá či nekolísá délka cyklu (pravidelný, nepravidelný rytmus)?
 - Nekolísá o více než 15 ms. ✓
 - Kolísá o více než 15 ms.
 - * Dle intrakardiálního EKG:
 - Předchází stah síní stahu komor. ✓
 - Předchází stah komor stahu síní.
 - * Je přítomen „warm-up“ a „cool-down“ fenomén?
 - Ano.
 - Ne. ✓
 - * Jaký je entrainment na CTI (případně laterálně od istmu)? PPI měříme jen při tachykardii. O optimální PPI se jedná v případě, kdy je rozdíl mezi PPI a CL do 30 ms.
 - Skrytý s optimálním PPI na CTI.
 - Skrytý s optimálním PPI na CTI i laterálně od istmu.
 - Skrytý s dlouhým PPI na CTI.
 - Skrytý s dlouhým PPI na CTI i laterálně od istmu.
 - Manifestní s dlouhým PPI na CTI. ✓
 - Manifestní s dlouhým PPI na CTI i laterálně od istmu.
 - Není entrainment.
 - * Jaká je posloupnost aktivace v koronárním sinu (např. v CS katétru)?
 - Postupně zprava doleva (tj. od CS 9/10 k CS 1/2). ✓
 - Postupně zleva doprava (tj. od CS 1/2 k CS 9/10).
 - Síně i komory jsou aktivovány současně.
 - Jinak (např. nejčasnější aktivace v CS 5/6).
- ⇒ „Nejpravděpodobněji se jedná o ATYPICKÝ FLUTTER SÍNÍ. Výsledek nechte ověřit zkušenějšímu kolegovi.“

Klasifikace rytmu pana U. M. (ID: 4)

- * Jaká je frekvence síní? 192/min.
- * Jaká je frekvence komor? 192/min.
Frekvence síní a komor jsou si rovny a jsou 192/min, jedná se tedy o AV převod 1:1.
- * Jaká je šířka QRS komplexů?
 - Menší nebo rovna 120 ms. ✓
 - Větší než 120 ms.
- * Kolísá či nekolísá délka cyklu (pravidelný, nepravidelný rytmus)?
 - Nekolísá o více než 15 ms. ✓
 - Kolísá o více než 15 ms.
- * Dle intrakardiálního EKG:
 - Aktivace síní předchází aktivaci komor.
 - Aktivace komor předchází aktivaci síní.
 - Aktivace síní a komor je současná. ✓
- * Je při běžící tachykardii první aktivace v HIS?
 - Ano. ✓
 - Ne.
 - Nevím (buď neběží tachykardie nebo není zaveden katétr na Hisově svazku).
- * Jakým způsobem dochází ke vzniku tachykardie při EFV?
 - Tachykardie je vyvolatelná stimulací ze síní, po náhlém prodloužení AH intervalu nebo při vzestupné stimulaci těsně před dosažením Wenckebachova bodu, často po SVES.
 - Tachykardie je vyvolatelná stimulací ze síní i komor, často po KES.
 - Tachykardie je obtížně vyvolatelná stimulačními manévry, lze ji vyvolat podáním isoprenalinu, tepová frekvence postupně narůstá (tzv. „warm up“).
 - Tachykardie běží od počátku EFV. ✓
- * Jaká je při EFV při tachykardii aktivační sekvence síní po ukončení komorové stimulace? („burst pacing“ o CL výrazně kratší (10-40 ms) než je CL tachykardie – pozn. AV převod musí být 1:1 a tachykardie musí být uchvácená).
 - V-A-A-V.
 - V-A-V. ✓
 - Je přítomna VA disociace.
 - Nevím (např. tachykardie byla terminována).
- * Co při EFV předchází kolísání délky cyklu tachykardie pravidelné tachykardie?

- Změna AA intervalu předchází změnu VV intervalu.
- Změna VV intervalu předchází změnu AA intervalu. ✓
- Délka cyklu nekolísá.

* Jaká je reakce na intravenózní podání adenosinu?

- Beze změny rytmu.
- Postupné zpomalování rytmu a následně návrat k rychlému rytmu.
- Náhlá terminace tachykardie.
- Perzistující síňová tachykardie s přechodným vysokostupňovým AV blokem.
- Adenosin nebyl podán. ✓

⇒ „Nejpravděpodobněji se jedná o AVNRT = ATRIOVENTRIKULÁRNÍ NODÁLNÍ REENTRY TACHYKARDII. Výsledek nechte ověřit zkušenějšímu kolegovi.“

Následně došlo k výrazné změně rytmu, a tak byl, pro opětovné vyhodnocení rytmu, použit expertní systém podruhé.

* Jaká je frekvence síní? 352/min.

* Jaká je frekvence komor? 148/min.

Frekvence síní je 352/min a je větší než frekvence komor, která je 148/min.

* Jaká je šířka QRS komplexů?

- Menší nebo rovna 120 ms. ✓
- Větší než 120 ms.

* Kolísá či nekolísá délka cyklu (pravidelný, nepravidelný rytmus)?

- Nekolísá o více než 15 ms.
- Kolísá o více než 15 ms. ✓

* Jsou při tachykardii přítomny 3 nebo více morfologií P vln?

- Ano. ✓
- Ne.

⇒ „Nejpravděpodobněji se jedná o FIBRILACI SÍŇÍ. Výsledek nechte ověřit zkušenějšímu kolegovi.“

Klasifikace rytmu pana H. E. (ID: 5)

- * Jaká je frekvence síní? 276/min.
- * Jaká je frekvence komor? 103/min.
Frekvence síní je 276/min a je větší než frekvence komor, která je 103/min.
- * Jaká je šířka QRS komplexů?
 - Menší nebo rovna 120 ms. ✓
 - Větší než 120 ms.
- * Kolísá či nekolísá délka cyklu (pravidelný, nepravidelný rytmus)?
 - Nekolísá o více než 15 ms.
 - Kolísá o více než 15 ms. ✓
- * Jsou při tachykardii přítomny 3 nebo více morfologií P vln?
 - Ano. ✓
 - Ne.

⇒ „Nejpravděpodobněji se jedná o FIBRILACI SÍNÍ. Výsledek nechte ověřit zkušenějšímu kolegovi.“

Klasifikace rytmu pana M. J. (ID: 6)

- * Jaká je frekvence síní? 206/min.
 - * Jaká je frekvence komor? 206/min.
Frekvence síní a komor jsou si rovny a jsou 206/min, jedná se tedy o AV převod 1:1.
 - * Jaká je šířka QRS komplexů?
 - Menší nebo rovna 120 ms.
 - Větší než 120 ms. ✓
 - * Kolísá či nekolísá délka cyklu (pravidelný, nepravidelný rytmus)?
 - Nekolísá o více než 15 ms. ✓
 - Kolísá o více než 15 ms.
 - * Dle intrakardiálního EKG:
 - Předchází stah síní stahu komor.
 - Předchází stah komor stahu síní. ✓
- POZOR! Nejpravděpodobněji se bude jednat o komorovou tachykardii.

* Je přítomna VA disociace?

- Ano. ✓
- Ne.

* Jaká je reakce na intravenózní podání adenosinu?

- Beze změny rytmu.
- Postupné zpomalování rytmu a následně návrat k rychlému rytmu.
- Náhlá terminace tachykardie.
- Perzistující síňová tachykardie s přechodným vysokostupňovým AV blokem.
- Adenosin nebyl podán. ✓

⇒ „Nejpravděpodobněji se jedná o KOMOROVOU TACHYKARDII. Výsledek nechte ověřit zkušenějšímu kolegovi.“

Klasifikace rytmu pana M. F. (ID: 7)

- * Jaká je frekvence síní? 357/min.
- * Jaká je frekvence komor? 88/min.
Frekvence síní je 357/min a je větší než frekvence komor, která je 88/min.
- * Jaká je šířka QRS komplexů?
 - Menší nebo rovna 120 ms. ✓
 - Větší než 120 ms.
- * Kolísá či nekolísá délka cyklu (pravidelný, nepravidelný rytmus)?
 - Nekolísá o více než 15 ms.
 - Kolísá o více než 15 ms. ✓
- * Jsou při tachykardii přítomny 3 nebo více morfologií P vln?
 - Ano. ✓
 - Ne.

⇒ „Nejpravděpodobněji se jedná o FIBRILACI SÍNÍ. Výsledek nechte ověřit zkušenějšímu kolegovi.“

Následně došlo k výrazné změně rytmu, a tak byl, pro opětovné vyhodnocení rytmu, použit expertní systém podruhé.

- * Jaká je frekvence síní? 38/min.
- * Jaká je frekvence komor? 38/min.
FFrekvence síní a komor jsou si rovny a jsou 38/min, jedná se tedy o AV převod 1:1.
- * Kolísá či nekolísá délka cyklu (pravidelný, nepravidelný rytmus)?
 - Nekolísá o více než 15 ms.
 - Kolísá o více než 15 ms. ✓

⇒ „Nejpravděpodobněji se jedná o SA BLOKÁDU → zapněte stimulaci.“

Klasifikace rytmu paní H. S. (ID: 8)

* Jaká je frekvence síní? 75/min.

* Jaká je frekvence komor? 75/min.

Frekvence síní a komor jsou si rovny a jsou 75/min, jedná se tedy o AV převod 1:1.

* Jaká je šířka QRS komplexů?

– Menší nebo rovna 120 ms. ✓

– Větší než 120 ms.

* Kolísá či nekolísá délka cyklu (pravidelný, nepravidelný rytmus)?

– Nekolísá o více než 15 ms. ✓

– Kolísá o více než 15 ms.

* Je při EFV při sinusovém rytmu přítomna dualita vedení AV uzlem? (AVN echo v důsledku retrográdního vedení rychlou dráhou; skok při PSS s 1 ES při zkracování vazebného intervalu o 10 ms; prodloužení PR intervalu při vzestupné stimulaci tak, že přesáhne CL tachykardie.)

– Ano.

– Ne. ✓

– Nevím, není přítomen sinusový rytmus.

* Udělejte kuplety, triplety, bursty (případně i po podání isoprenalinu). Podařilo se vyvolat setrvalou tachykardii?

– Ano.

– Ne. ✓

– Momentálně nechci stimulovat.

⇒ „Nejpravděpodobněji se jedná o SINUSOVÝ RYTMUS.“

Klasifikace rytmu paní Ú. L. (ID: 9)

- * Jaká je frekvence síní? 275/min.
- * Jaká je frekvence komor? 110/min.
Frekvence síní je 275/min a je větší než frekvence komor, která je 110/min.
- * Jaká je šířka QRS komplexů?
 - Menší nebo rovna 120 ms. ✓
 - Větší než 120 ms.
- * Kolísá či nekolísá délka cyklu (pravidelný, nepravidelný rytmus)?
 - Nekolísá o více než 15 ms.
 - Kolísá o více než 15 ms. ✓
- * Jsou při tachykardii přítomny 3 nebo více morfologií P vln?
 - Ano. ✓
 - Ne.

⇒ „Nejpravděpodobněji se jedná o FIBRILACI SÍNÍ. Výsledek nechte ověřit zkušenějšímu kolegovi.“

Klasifikace rytmu pana Ú. F. (ID: 10)

* Jaká je frekvence síní? 357/min.

* Jaká je frekvence komor? 82/min.

Frekvence síní je 357/min a je větší než frekvence komor, která je 82/min.

* Jaká je šířka QRS komplexů?

– Menší nebo rovna 120 ms. ✓

– Větší než 120 ms.

* Kolísá či nekolísá délka cyklu (pravidelný, nepravidelný rytmus)?

– Nekolísá o více než 15 ms.

– Kolísá o více než 15 ms. ✓

* Jsou při tachykardii přítomny 3 nebo více morfologií P vln?

– Ano. ✓

– Ne.

⇒ „Nejpravděpodobněji se jedná o FIBRILACI SÍNÍ. Výsledek nechte ověřit zkušenějšímu kolegovi.“

Klasifikace rytmu paní H. M. (ID: 11)

* Jaká je frekvence síní? 53/min.

* Jaká je frekvence komor? 53/min.

Frekvence síní a komor jsou si rovny a jsou 53/min, jedná se tedy o AV převod 1:1.

* Jaká je šířka QRS komplexů?

– Menší nebo rovna 120 ms. ✓

– Větší než 120 ms.

* Kolísá či nekolísá délka cyklu (pravidelný, nepravidelný rytmus)?

– Nekolísá o více než 15 ms. ✓

– Kolísá o více než 15 ms.

* Je při EFV při sinusovém rytmu přítomna dualita vedení AV uzlem? (AVN echo v důsledku retrográdního vedení rychlou dráhou; skok při PSS s 1 ES při zkracování vazebného intervalu o 10 ms; prodloužení PR intervalu při vzestupné stimulaci tak, že přesáhne CL tachykardie.)

– Ano.

– Ne. ✓

– Nevím, není přítomen sinusový rytmus.

* Udělejte kuplety, triplety, bursty (případně i po podání isoprenalinu). Podařilo se vyvolat setrvalou tachykardii?

– Ano. ✓

– Ne.

– Momentálně nechci stimulovat.

⇒ „Nová skutečnost → došlo k vyvolání tachykardie. Pro zjištění o jakou tachykardii se jedná napište do příkazového řádku „start.“ a pokračujte.“

* Jaká je frekvence síní? 236/min.

* Jaká je frekvence komor? 95/min.

Frekvence síní je 236/min a je větší než frekvence komor, která je 95/min.

* Jaká je šířka QRS komplexů?

– Menší nebo rovna 120 ms. ✓

– Větší než 120 ms.

* Kolísá či nekolísá délka cyklu (pravidelný, nepravidelný rytmus)?

– Nekolísá o více než 15 ms. ✓

– Kolísá o více než 15 ms.

* Je přítomen „warm-up“ a „cool-down“ fenomén?

- Ano.
- Ne. ✓

* Jaký je entrainment na CTI (případně laterálně od istmu)? PPI měříme jen při tachykardii. O optimální PPI se jedná v případě, kdy je rozdíl mezi PPI a CL do 30 ms.

- Skrytý s optimálním PPI na CTI.
- Skrytý s optimálním PPI na CTI i laterálně od istmu.
- Skrytý s dlouhým PPI na CTI.
- Skrytý s dlouhým PPI na CTI i laterálně od istmu.
- Manifestní s dlouhým PPI na CTI.
- Manifestní s dlouhým PPI na CTI i laterálně od istmu. ✓
- Není entrainment.

* Jaká je posloupnost aktivace v koronárním sinu (např. v CS katétu)?

- Postupně zprava doleva (tj. od CS 9/10 k CS 1/2).
- Postupně zleva doprava (tj. od CS 1/2 k CS 9/10). ✓
- Síň i komory jsou aktivovány současně.
- Jinak (např. nejčasnější aktivace v CS 5/6).

⇒ „Nejpravděpodobněji se jedná o ATYPICKÝ FLUTTER Z LEVÉ SÍŇE. Výsledek nechte ověřit zkušenějšímu kolegovi.“

Klasifikace rytmu pana L. M. (ID: 12)

- * Jaká je frekvence síní? 126/min.
- * Jaká je frekvence komor? 126/min.
Frekvence síní a komor jsou si rovny a jsou 126/min, jedná se tedy o AV převod 1:1.
- * Jaká je šířka QRS komplexů?
 - Menší nebo rovna 120 ms. ✓
 - Větší než 120 ms.
- * Kolísá či nekolísá délka cyklu (pravidelný, nepravidelný rytmus)?
 - Nekolísá o více než 15 ms. ✓
 - Kolísá o více než 15 ms.
- * Dle intrakardiálního EKG:
 - Předchází stah síní stahu komor. ✓
 - Předchází stah komor stahu síní.
- * Je přítomen „warm-up“ a „cool-down“ fenomén?
 - Ano. ✓
 - Ne.
- * Je při EFV při sinusovém rytmu přítomna dualita vedení AV uzlem? (AVN echo v důsledku retrográdního vedení rychlou dráhou; skok při PSS s 1 ES při zkracování vazebného intervalu o 10 ms; prodloužení PR intervalu při vzestupné stimulaci tak, že přesáhne CL tachykardie.)
 - Ano
 - Ne.
 - Nevím, není přítomen sinusový rytmus. ✓
- * Jaká je posloupnost aktivace v koronárním sinu (např. v CS katétru)?
 - Postupně zprava doleva (tj. od CS 9/10 k CS 1/2). ✓
 - Postupně zleva doprava (tj. od CS 1/2 k CS 9/10).
 - Síně i komory jsou aktivovány současně.
 - Jinak (např. nejčasnější aktivace v CS 5/6).
- * Jaký je entrainment na CTI (případně laterálně od istmu)? PPI měříme jen při tachykardii. O optimální PPI se jedná v případě, kdy je rozdíl mezi PPI a CL do 30 ms.
 - Skrytý s optimálním PPI na CTI.
 - Skrytý s optimálním PPI na CTI i laterálně od istmu.

- Skrytý s dlouhým PPI na CTI.
- Skrytý s dlouhým PPI na CTI i laterálně od istmu.
- Manifestní s dlouhým PPI na CTI.
- Manifestní s dlouhým PPI na CTI i laterálně od istmu.
- Není entrainment. ✓

* Jakým způsobem dochází ke vzniku tachykardie při EFV?

- Tachykardie je vyvolatelná stimulací ze síní, po náhlém prodloužení AH intervalu nebo při vzestupné stimulaci těsně před dosažením Wenckebachova bodu, často po SVES.
- Tachykardie je vyvolatelná stimulací ze síní i komor, často po KES.
- Tachykardie je obtížně vyvolatelná stimulačními manévry, lze ji vyvolat podáním isoprenalinu, tepová frekvence postupně narůstá (tzv. „warm up“).
- Tachykardie běží od počátku EFV. ✓

* Jaká je při EFV při tachykardii aktivační sekvence síní po ukončení komorové stimulace? („burst pacing“ o CL výrazně kratší (10-40 ms) než je CL tachykardie – pozn. AV převod musí být 1:1 a tachykardie musí být uchvácená).

- V-A-A-V.
- V-A-V.
- Je přítomna VA disociace.
- Nevím (např. tachykardie byla terminována). ✓

* Co při EFV předchází kolísání délky cyklu tachykardie pravidelné tachykardie?

- Změna AA intervalu předchází změnu VV intervalu. ✓
- Změna VV intervalu předchází změnu AA intervalu.
- Délka cyklu nekolísá.

* Jsou při tachykardii přítomny 3 nebo více morfologií P vln?

- Ano.
- Ne. ✓

⇒ „Nejpravděpodobněji se jedná o FOKÁLNÍ SÍŇOVOU TACHYKARDII Z PRAVÉ SÍŇĚ. Výsledek nechte ověřit zkušenějšímu kolegovi.“

Klasifikace rytmu pana H. M. (ID: 13)

- * Jaká je frekvence síní? 198/min.
- * Jaká je frekvence komor? 198/min.
Frekvence síní a komor jsou si rovny a jsou 198/min, jedná se tedy o AV převod 1:1.
- * Jaká je šířka QRS komplexů?
 - Menší nebo rovna 120 ms. ✓
 - Větší než 120 ms.
- * Kolísá či nekolísá délka cyklu (pravidelný, nepravidelný rytmus)?
 - Nekolísá o více než 15 ms. ✓
 - Kolísá o více než 15 ms.
- * Dle intrakardiálního EKG:
 - Aktivace síní předchází aktivaci komor.
 - Aktivace komor předchází aktivaci síní.
 - Aktivace síní a komor je současná. ✓
- * Je při běžící tachykardii první aktivace v HIS?
 - Ano. ✓
 - Ne.
 - Nevím (buď neběží tachykardie nebo není zaveden katétr na Hisově svazku).
- * Jakým způsobem dochází ke vzniku tachykardie při EFV?
 - Tachykardie je vyvolatelná stimulací ze síní, po náhlém prodloužení AH intervalu nebo při vzestupné stimulaci těsně před dosažením Wenckebachova bodu, často po SVES. ✓
 - Tachykardie je vyvolatelná stimulací ze síní i komor, často po KES.
 - Tachykardie je obtížně vyvolatelná stimulačními manévry, lze ji vyvolat podáním isoprenalinu, tepová frekvence postupně narůstá (tzv. „warm up“).
 - Tachykardie běží od počátku EFV.
- * Jaká je při EFV při tachykardii aktivační sekvence síní po ukončení komorové stimulace? („burst pacing“ o CL výrazně kratší (10-40 ms) než je CL tachykardie – pozn. AV převod musí být 1:1 a tachykardie musí být uchvácená).
 - V-A-A-V.
 - V-A-V.
 - Je přítomna VA disociace.
 - Nevím (např. tachykardie byla terminována). ✓
- * Co při EFV předchází kolísání délky cyklu tachykardie pravidelné tachykardie?

- Změna AA intervalu předchází změnu VV intervalu.
- Změna VV intervalu předchází změnu AA intervalu. ✓
- Délka cyklu nekolísá.

* Jaká je reakce na intravenózní podání adenosinu?

- Beze změny rytmu.
- Postupné zpomalování rytmu a následně návrat k rychlému rytmu.
- Náhlá terminace tachykardie.
- Perzistující síňová tachykardie s přechodným vysokostupňovým AV blokem.
- Adenosin nebyl podán. ✓

⇒ „Nejpravděpodobněji se jedná o AVNRT = ATRIOVENTRIKULÁRNÍ NODÁLNÍ REENTRY TACHYKARDII. Výsledek nechte ověřit zkušenějšímu kolegovi.“

Klasifikace rytmu pana S. R. (ID: 14)

- * Jaká je frekvence síní? 294/min.
 - * Jaká je frekvence komor? 147/min.
Frekvence síní je 294/min a je větší než frekvence komor, která je 147/min.
 - * Jaká je šířka QRS komplexů?
 - Menší nebo rovna 120 ms. ✓
 - Větší než 120 ms.
 - * Kolísá či nekolísá délka cyklu (pravidelný, nepravidelný rytmus)?
 - Nekolísá o více než 15 ms. ✓
 - Kolísá o více než 15 ms.
 - * Je přítomen „warm-up“ a „cool-down“ fenomén?
 - Ano.
 - Ne. ✓
 - * Jaký je entrainment na CTI (případně laterálně od istmu)? PPI měříme jen při tachykardii. O optimální PPI se jedná v případě, kdy je rozdíl mezi PPI a CL do 30 ms.
 - Skrytý s optimálním PPI na CTI. ✓
 - Skrytý s optimálním PPI na CTI i laterálně od istmu.
 - Skrytý s dlouhým PPI na CTI.
 - Skrytý s dlouhým PPI na CTI i laterálně od istmu.
 - Manifestní s dlouhým PPI na CTI.
 - Manifestní s dlouhým PPI na CTI i laterálně od istmu.
 - Není entrainment.
 - * Jakým směrem se šíří aktivace po síní (např. v HALO katétru)?
 - Postupná aktivace od HALO 19/20 k HALO 1/2. ✓
 - Postupná aktivace od HALO 1/2 k HALO 19/20.
- ⇒ „Nejpravděpodobněji se jedná o TYPICKÝ FLUTTER SÍNÍ (counterclockwise).
Výsledek nechte ověřit zkušenějšímu kolegovi.“

Klasifikace rytmu pana V. L. (ID: 15)

- * Jaká je frekvence síní? 281/min.
- * Jaká je frekvence komor? 134/min.
Frekvence síní je 281/min a je větší než frekvence komor, která je 134/min.
- * Jaká je šířka QRS komplexů?
 - Menší nebo rovna 120 ms. ✓
 - Větší než 120 ms.
- * Kolísá či nekolísá délka cyklu (pravidelný, nepravidelný rytmus)?
 - Nekolísá o více než 15 ms. ✓
 - Kolísá o více než 15 ms.
- * Je přítomen „warm-up“ a „cool-down“ fenomén?
 - Ano.
 - Ne. ✓
- * Jaký je entrainment na CTI (případně laterálně od istmu)? PPI měříme jen při tachykardii. O optimální PPI se jedná v případě, kdy je rozdíl mezi PPI a CL do 30 ms.
 - Skrytý s optimálním PPI na CTI.
 - Skrytý s optimálním PPI na CTI i laterálně od istmu.
 - Skrytý s dlouhým PPI na CTI. ✓
 - Skrytý s dlouhým PPI na CTI i laterálně od istmu.
 - Manifestní s dlouhým PPI na CTI.
 - Manifestní s dlouhým PPI na CTI i laterálně od istmu.
 - Není entrainment.
- * Jaká je posloupnost aktivace v koronárním sinu (např. v CS katétu)?
 - Postupně zprava doleva (tj. od CS 9/10 k CS 1/2).
 - Postupně zleva doprava (tj. od CS 1/2 k CS 9/10). ✓
 - Síně i komory jsou aktivovány současně.
 - Jinak (např. nejčasnější aktivace v CS 5/6).

⇒ „Nejpravděpodobněji se jedná o ATYPICKÝ FLUTTER Z LEVÉ SÍNĚ. Výsledek nechte ověřit zkušenějšímu kolegovi.“

Klasifikace rytmu paní I. Z. (ID: 16)

- * Jaká je frekvence síní? 211/min.
 - * Jaká je frekvence komor? 105/min.
Frekvence síní je 211/min a je větší než frekvence komor, která je 105/min.
 - * Jaká je šířka QRS komplexů?
 - Menší nebo rovna 120 ms. ✓
 - Větší než 120 ms.
 - * Kolísá či nekolísá délka cyklu (pravidelný, nepravidelný rytmus)?
 - Nekolísá o více než 15 ms. ✓
 - Kolísá o více než 15 ms.
 - * Je přítomen „warm-up“ a „cool-down“ fenomén?
 - Ano.
 - Ne. ✓
 - * Jaký je entrainment na CTI (případně laterálně od istmu)? PPI měříme jen při tachykardii. O optimální PPI se jedná v případě, kdy je rozdíl mezi PPI a CL do 30 ms.
 - Skrytý s optimálním PPI na CTI. ✓
 - Skrytý s optimálním PPI na CTI i laterálně od istmu.
 - Skrytý s dlouhým PPI na CTI.
 - Skrytý s dlouhým PPI na CTI i laterálně od istmu.
 - Manifestní s dlouhým PPI na CTI.
 - Manifestní s dlouhým PPI na CTI i laterálně od istmu.
 - Není entrainment.
 - * Jakým směrem se šíří aktivace po síní (např. v HALO katétru)?
 - Postupná aktivace od HALO 19/20 k HALO 1/2. ✓
 - Postupná aktivace od HALO 1/2 k HALO 19/20.
- ⇒ „Nejpravděpodobněji se jedná o TYPICKÝ FLUTTER SÍNÍ (counterclockwise).
Výsledek nechte ověřit zkušenějšímu kolegovi.“

Klasifikace rytmu pana S. L. (ID: 17)

* Jaká je frekvence síní? 81/min.

* Jaká je frekvence komor? 81/min.

Frekvence síní a komor jsou si rovny a jsou 81/min, jedná se tedy o AV převod 1:1.

* Jaká je šířka QRS komplexů?

– Menší nebo rovna 120 ms. ✓

– Větší než 120 ms.

* Kolísá či nekolísá délka cyklu (pravidelný, nepravidelný rytmus)?

– Nekolísá o více než 15 ms. ✓

– Kolísá o více než 15 ms.

* Je při EKV při sinusovém rytmu přítomna dualita vedení AV uzlem? (AVN echo v důsledku retrográdního vedení rychlou dráhou; skok při PSS s 1 ES při zkrácování vazebného intervalu o 10 ms; prodloužení PR intervalu při vzestupné stimulaci tak, že přesáhne CL tachykardie.)

– Ano.

– Ne. ✓

– Nevím, není přítomen sinusový rytmus.

* Udělejte kuplety, triplety, bursty (případně i po podání isoprenalinu). Podařilo se vyvolat setrvalou tachykardii?

– Ano.

– Ne. ✓

– Momentálně nechci stimulovat.

⇒ „Nejpravděpodobněji se jedná o SINUSOVÝ RYTMUS.“

Klasifikace rytmu pana G. K. (ID: 18)

- * Jaká je frekvence síní? 286/min.
 - * Jaká je frekvence komor? 141/min.
Frekvence síní je 286/min a je větší než frekvence komor, která je 141/min.
 - * Jaká je šířka QRS komplexů?
 - Menší nebo rovna 120 ms. ✓
 - Větší než 120 ms.
 - * Kolísá či nekolísá délka cyklu (pravidelný, nepravidelný rytmus)?
 - Nekolísá o více než 15 ms. ✓
 - Kolísá o více než 15 ms.
 - * Je přítomen „warm-up“ a „cool-down“ fenomén?
 - Ano.
 - Ne. ✓
 - * Jaký je entrainment na CTI (případně laterálně od istmu)? PPI měříme jen při tachykardii. O optimální PPI se jedná v případě, kdy je rozdíl mezi PPI a CL do 30 ms.
 - Skrytý s optimálním PPI na CTI. ✓
 - Skrytý s optimálním PPI na CTI i laterálně od istmu.
 - Skrytý s dlouhým PPI na CTI.
 - Skrytý s dlouhým PPI na CTI i laterálně od istmu.
 - Manifestní s dlouhým PPI na CTI.
 - Manifestní s dlouhým PPI na CTI i laterálně od istmu.
 - Není entrainment.
 - * Jakým směrem se šíří aktivace po síní (např. v HALO katétru)?
 - Postupná aktivace od HALO 19/20 k HALO 1/2. ✓
 - Postupná aktivace od HALO 1/2 k HALO 19/20.
- ⇒ „Nejpravděpodobněji se jedná o TYPICKÝ FLUTTER SÍNÍ (counterclockwise).
Výsledek nechte ověřit zkušenějšímu kolegovi.“

Klasifikace rytmu paní F. M. (ID: 19)

- * Jaká je frekvence síní? 61/min.
- * Jaká je frekvence komor? 61/min.
Frekvence síní a komor jsou si rovny a jsou 61/min, jedná se tedy o AV převod 1:1.
- * Jaká je šířka QRS komplexů?
 - Menší nebo rovna 120 ms. ✓
 - Větší než 120 ms.
- * Kolísá či nekolísá délka cyklu (pravidelný, nepravidelný rytmus)?
 - Nekolísá o více než 15 ms. ✓
 - Kolísá o více než 15 ms.
- * Je při EFV při sinusovém rytmu přítomna dualita vedení AV uzlem? (AVN echo v důsledku retrográdního vedení rychlou dráhou; skok při PSS s 1 ES při zkrácování vazebného intervalu o 10 ms; prodloužení PR intervalu při vzestupné stimulaci tak, že přesáhne CL tachykardie.)
 - Ano.
 - Ne. ✓
 - Nevím, není přítomen sinusový rytmus.
- * Udělejte kuplety, triplety, bursty (případně i po podání isoprenalinu). Podařilo se vyvolat setrvalou tachykardii?
 - Ano.
 - Ne.
 - Momentálně nechci stimulovat. ✓

⇒ „Nejpravděpodobněji se jedná o SINUSOVÝ RYTMUS.“

Následně došlo k výrazné změně rytmu, a tak byl, pro opětovné vyhodnocení rytmu, použit expertní systém podruhé.

- * Jaká je frekvence síní? 263/min.
- * Jaká je frekvence komor? 128/min.
Frekvence síní je 263/min a je větší než frekvence komor, která je 128/min.
- * Jaká je šířka QRS komplexů?
 - Menší nebo rovna 120 ms. ✓
 - Větší než 120 ms.
- * Kolísá či nekolísá délka cyklu (pravidelný, nepravidelný rytmus)?
 - Nekolísá o více než 15 ms.

– Kolísá o více než 15 ms. ✓

* Jsou při tachykardii přítomny 3 nebo více morfologií P vln?

– Ano. ✓

– Ne.

⇒ „Nejpravděpodobněji se jedná o FIBRILACI SÍNÍ. Výsledek nechte ověřit zkušenějšímu kolegovi.“

Následně došlo k výrazné změně rytmu, a tak byl, pro opětovné vyhodnocení rytmu, použit expertní systém podruhé.

* Jaká je frekvence síní? 120/min.

* Jaká je frekvence komor? 120/min.

Frekvence síní a komor jsou si rovny a jsou 120/min, jedná se tedy o AV převod 1:1.

* Jaká je šířka QRS komplexů?

– Menší nebo rovna 120 ms. ✓

– Větší než 120 ms.

* Kolísá či nekolísá délka cyklu (pravidelný, nepravidelný rytmus)?

– Nekolísá o více než 15 ms. ✓

– Kolísá o více než 15 ms.

* Dle intrakardiálního EKG:

– Předchází stah síní stahu komor. ✓

– Předchází stah komor stahu síní.

* Je přítomen „warm-up“ a „cool-down“ fenomén?

– Ano. ✓

– Ne.

* Je při EFV při sinusovém rytmu přítomna dualita vedení AV uzlem? (AVN echo v důsledku retrográdního vedení rychlou dráhou; skok při PSS s 1 ES při zkracování vazebného intervalu o 10 ms; prodloužení PR intervalu při vzestupné stimulaci tak, že přesáhne CL tachykardie.)

– Ano

– Ne.

– Nevím, není přítomen sinusový rytmus. ✓

* Jaká je posloupnost aktivace v koronárním sinu (např. v CS katétru)?

– Postupně zprava doleva (tj. od CS 9/10 k CS 1/2).

- Postupně zleva doprava (tj. od CS 1/2 k CS 9/10). ✓
 - Síň i komory jsou aktivovány současně.
 - Jinak (např. nejčasnější aktivace v CS 5/6).
- * Jaký je entrainment na CTI (případně laterálně od istmu)? PPI měříme jen při tachykardii. O optimální PPI se jedná v případě, kdy je rozdíl mezi PPI a CL do 30 ms.
- Skrytý s optimálním PPI na CTI.
 - Skrytý s optimálním PPI na CTI i laterálně od istmu.
 - Skrytý s dlouhým PPI na CTI.
 - Skrytý s dlouhým PPI na CTI i laterálně od istmu.
 - Manifestní s dlouhým PPI na CTI.
 - Manifestní s dlouhým PPI na CTI i laterálně od istmu.
 - Není entrainment. ✓
- * Jakým způsobem dochází ke vzniku tachykardie při EFV?
- Tachykardie je vyvolatelná stimulací ze síní, po náhlém prodloužení AH intervalu nebo při vzestupné stimulaci těsně před dosažením Wenckebachova bodu, často po SVES.
 - Tachykardie je vyvolatelná stimulací ze síní i komor, často po KES.
 - Tachykardie je obtížně vyvolatelná stimulačními manévry, lze ji vyvolat podáním isoprenalinu, tepová frekvence postupně narůstá (tzv. „warm up“). ✓
 - Tachykardie běží od počátku EFV.
- * Jaká je při EFV při tachykardii aktivační sekvence síní po ukončení komorové stimulace? („burst pacing“ o CL výrazně kratší (10-40 ms) než je CL tachykardie – pozn. AV převod musí být 1:1 a tachykardie musí být uchvácená).
- V-A-A-V.
 - V-A-V.
 - Je přítomna VA disociace.
 - Nevím (např. tachykardie byla terminována). ✓
- * Co při EFV předchází kolísání délky cyklu tachykardie pravidelné tachykardie?
- Změna AA intervalu předchází změnu VV intervalu. ✓
 - Změna VV intervalu předchází změnu AA intervalu.
 - Délka cyklu nekolísá.
- * Jsou při tachykardii přítomny 3 nebo více morfologií P vln?
- Ano.
 - Ne. ✓
- ⇒ „Nejpravděpodobněji se jedná o FOKÁLNÍ SÍŇOVOU TACHYKARDII Z LEVÉ SÍŇE. Výsledek nechte ověřit zkušenějšímu kolegovi.“

Klasifikace rytmu pana S. J. (ID: 20)

- * Jaká je frekvence síní? 63/min.
- * Jaká je frekvence komor? 63/min.
Frekvence síní a komor jsou si rovny a jsou 63/min, jedná se tedy o AV převod 1:1.
- * Jaká je šířka QRS komplexů?
 - Menší nebo rovna 120 ms. ✓
 - Větší než 120 ms.
- * Kolísá či nekolísá délka cyklu (pravidelný, nepravidelný rytmus)?
 - Nekolísá o více než 15 ms. ✓
 - Kolísá o více než 15 ms.
- * Je při EFV při sinusovém rytmu přítomna dualita vedení AV uzlem? (AVN echo v důsledku retrográdního vedení rychlou dráhou; skok při PSS s 1 ES při zkrácování vazebného intervalu o 10 ms; prodloužení PR intervalu při vzestupné stimulaci tak, že přesáhne CL tachykardie.)
 - Ano.
 - Ne. ✓
 - Nevím, není přítomen sinusový rytmus.
- * Udělejte kuplety, triplety, bursty (případně i po podání isoprenalinu). Podařilo se vyvolat setrvalou tachykardii?
 - Ano.
 - Ne.
 - Momentálně nechci stimulovat. ✓

⇒ „Nejpravděpodobněji se jedná o SINUSOVÝ RYTMUS.“

Následně došlo k výrazné změně rytmu, a tak byl, pro opětovné vyhodnocení rytmu, použit expertní systém podruhé.

- * Jaká je frekvence síní? 277/min.
- * Jaká je frekvence komor? 123/min.
Frekvence síní je 277/min a je větší než frekvence komor, která je 123/min.
- * Jaká je šířka QRS komplexů?
 - Menší nebo rovna 120 ms. ✓
 - Větší než 120 ms.
- * Kolísá či nekolísá délka cyklu (pravidelný, nepravidelný rytmus)?
 - Nekolísá o více než 15 ms.

– Kolísá o více než 15 ms. ✓

* Jsou při tachykardii přítomny 3 nebo více morfologií P vln?

– Ano. ✓

– Ne.

⇒ „Nejpravděpodobněji se jedná o FIBRILACI SÍNÍ. Výsledek nechte ověřit zkušenějšímu kolegovi.“

Klasifikace rytmu paní P. J. (ID: 21)

- * Jaká je frekvence síní? 140/min.
 - * Jaká je frekvence komor? 140/min.
Frekvence síní a komor jsou si rovny a jsou 140/min, jedná se tedy o AV převod 1:1.
 - * Jaká je šířka QRS komplexů?
 - Menší nebo rovna 120 ms.
 - Větší než 120 ms. ✓
 - * Kolísá či nekolísá délka cyklu (pravidelný, nepravidelný rytmus)?
 - Nekolísá o více než 15 ms. ✓
 - Kolísá o více než 15 ms.
 - * Dle intrakardiálního EKG:
 - Předchází stah síní stahu komor.
 - Předchází stah komor stahu síní. ✓
- POZOR! Nejpravděpodobněji se bude jednat o komorovou tachykardii.

* Je přítomna VA disociace?

- Ano. ✓
- Ne.

* Jaká je reakce na intravenózní podání adenosinu?

- Beze změny rytmu.
- Postupné zpomalování rytmu a následně návrat k rychlému rytmu.
- Náhlá terminace tachykardie.
- Perzistující síňová tachykardie s přechodným vysokostupňovým AV blokem.
- Adenosin nebyl podán. ✓

⇒ „Nejpravděpodobněji se jedná o KOMOROVOU TACHYKARDII. Výsledek nechte ověřit zkušenějšímu kolegovi.“

Klasifikace rytmu paní F. A. (ID: 22)

* Jaká je frekvence síní? 88/min.

* Jaká je frekvence komor? 88/min.

Frekvence síní a komor jsou si rovny a jsou 88/min, jedná se tedy o AV převod 1:1.

* Jaká je šířka QRS komplexů?

– Menší nebo rovna 120 ms. ✓

– Větší než 120 ms.

* Kolísá či nekolísá délka cyklu (pravidelný, nepravidelný rytmus)?

– Nekolísá o více než 15 ms. ✓

– Kolísá o více než 15 ms.

* Je při EFV při sinusovém rytmu přítomna dualita vedení AV uzlem? (AVN echo v důsledku retrográdního vedení rychlou dráhou; skok při PSS s 1 ES při zkracování vazebného intervalu o 10 ms; prodloužení PR intervalu při vzestupné stimulaci tak, že přesáhne CL tachykardie.)

– Ano. ✓

– Ne.

– Nevím, není přítomen sinusový rytmus.

* Je při EFV při sinusovém rytmu přítomno retrográdní vedení s dekrementem?

– Ano. ✓

– Ne.

– Nevím.

⇒ „Je přítomna dualita vedení AV ulzu při sinusovém rytmu, lze předpokládat přítomnost AVNRT = ATRIOVENTRIKULÁRNÍ NODÁLNÍ REENTRY TACHYKARDIE. Výsledek nechte ověřit zkušenějšímu kolegovi. Pro vyvolání tachykardie udělejte kuplety, triplety, bursty (příp. i po podání isoprenalinu), podaří-li se tachykardii vyvolat, tak napište do příkazového řádku „start.“ a pokračujte.“

* Jaká je frekvence síní? 223/min.

* Jaká je frekvence komor? 223/min.

Frekvence síní a komor jsou si rovny a jsou 223/min, jedná se tedy o AV převod 1:1.

* Jaká je šířka QRS komplexů?

– Menší nebo rovna 120 ms. ✓

– Větší než 120 ms.

* Kolísá či nekolísá délka cyklu (pravidelný, nepravidelný rytmus)?

- Nekolísá o více než 15 ms. ✓
- Kolísá o více než 15 ms.

* Dle intrakardiálního EKG:

- Aktivace síní předchází aktivaci komor.
- Aktivace komor předchází aktivaci síní.
- Aktivace síní a komor je současná. ✓

* Je při běžící tachykardii první aktivace v HIS?

- Ano. ✓
- Ne.
- Nevím (buď neběží tachykardie nebo není zaveden katétr na Hisově svazku).

* Jakým způsobem dochází ke vzniku tachykardie při EFV?

- Tachykardie je vyvolatelná stimulací ze síní, po náhlém prodloužení AH intervalu nebo při vzestupné stimulaci těsně před dosažením Wenckebachova bodu, často po SVES. ✓
- Tachykardie je vyvolatelná stimulací ze síní i komor, často po KES.
- Tachykardie je obtížně vyvolatelná stimulačními manévry, lze ji vyvolat podáním isoprenalinu, tepová frekvence postupně narůstá (tzv. „warm up“).
- Tachykardie běží od počátku EFV.

* Jaká je při EFV při tachykardii aktivační sekvence síní po ukončení komorové stimulace? („burst pacing“ o CL výrazně kratší (10-40 ms) než je CL tachykardie – pozn. AV převod musí být 1:1 a tachykardie musí být uchvácená).

- V-A-A-V.
- V-A-V. ✓
- Je přítomna VA disociace.
- Nevím (např. tachykardie byla terminována).

* Co při EFV předchází kolísání délky cyklu tachykardie pravidelné tachykardie?

- Změna AA intervalu předchází změnu VV intervalu.
- Změna VV intervalu předchází změnu AA intervalu.
- Délka cyklu nekolísá. ✓

* Jaká je reakce na intravenózní podání adenosinu?

- Beze změny rytmu.
- Postupné zpomalování rytmu a následně návrat k rychlému rytmu.
- Náhlá terminace tachykardie.
- Perzistující síňová tachykardie s přechodným vysokostupňovým AV blokem.
- Adenosin nebyl podán. ✓

⇒ „Nejpravděpodobněji se jedná o AVNRT = ATRIOVENTRIKULÁRNÍ NODÁLNÍ REENTRY TACHYKARDII. Výsledek nechte ověřit zkušenějšímu kolegovi.“

Klasifikace rytmu pana P. A. (ID: 23)

- * Jaká je frekvence síní? 55/min.
- * Jaká je frekvence komor? 55/min.
Frekvence síní a komor jsou si rovny a jsou 55/min, jedná se tedy o AV převod 1:1.
- * Jaká je šířka QRS komplexů?
 - Menší nebo rovna 120 ms. ✓
 - Větší než 120 ms.
- * Kolísá či nekolísá délka cyklu (pravidelný, nepravidelný rytmus)?
 - Nekolísá o více než 15 ms. ✓
 - Kolísá o více než 15 ms.
- * Je při EFV při sinusovém rytmu přítomna dualita vedení AV uzlem? (AVN echo v důsledku retrográdního vedení rychlou dráhou; skok při PSS s 1 ES při zkrácování vazebného intervalu o 10 ms; prodloužení PR intervalu při vzestupné stimulaci tak, že přesáhne CL tachykardie.)
 - Ano.
 - Ne. ✓
 - Nevím, není přítomen sinusový rytmus.
- * Udělejte kuplety, triplety, bursty (případně i po podání isoprenalinu). Podařilo se vyvolat setrvalou tachykardii?
 - Ano.
 - Ne.
 - Momentálně nechci stimulovat. ✓

⇒ „Nejpravděpodobněji se jedná o SINUSOVÝ RYTMUS.“

Následně došlo k výrazné změně rytmu, a tak byl, pro opětovné vyhodnocení rytmu, použit expertní systém podruhé.

- * Jaká je frekvence síní? 226/min.
- * Jaká je frekvence komor? 98/min.
Frekvence síní je 226/min a je větší než frekvence komor, která je 98/min.
- * Jaká je šířka QRS komplexů?
 - Menší nebo rovna 120 ms. ✓
 - Větší než 120 ms.
- * Kolísá či nekolísá délka cyklu (pravidelný, nepravidelný rytmus)?
 - Nekolísá o více než 15 ms. ✓

– Kolísá o více než 15 ms.

* Je přítomen „warm-up“ a „cool-down“ fenomén?

– Ano.

– Ne. ✓

* Jaký je entrainment na CTI (případně laterálně od istmu)? PPI měříme jen při tachykardii. O optimální PPI se jedná v případě, kdy je rozdíl mezi PPI a CL do 30 ms.

– Skrytý s optimálním PPI na CTI.

– Skrytý s optimálním PPI na CTI i laterálně od istmu.

– Skrytý s dlouhým PPI na CTI.

– Skrytý s dlouhým PPI na CTI i laterálně od istmu.

– Manifestní s dlouhým PPI na CTI. ✓

– Manifestní s dlouhým PPI na CTI i laterálně od istmu.

– Není entrainment.

* Jaká je posloupnost aktivace v koronárním sinu (např. v CS katétru)?

– Postupně zprava doleva (tj. od CS 9/10 k CS 1/2).

– Postupně zleva doprava (tj. od CS 1/2 k CS 9/10).

– Síň i komory jsou aktivovány současně.

– Jinak (např. nejčasnější aktivace v CS 5/6). ✓

⇒ „Nejpravděpodobněji se jedná o ATYPICKÝ FLUTTER SÍŇÍ. Výsledek nechte ověřit zkušenějšímu kolegovi.“

Klasifikace rytmu pana D. J. (ID: 24)

* Jaká je frekvence síní? 315/min.

* Jaká je frekvence komor? 94/min.

Frekvence síní je 315/min a je větší než frekvence komor, která je 94/min.

* Jaká je šířka QRS komplexů?

– Menší nebo rovna 120 ms. ✓

– Větší než 120 ms.

* Kolísá či nekolísá délka cyklu (pravidelný, nepravidelný rytmus)?

– Nekolísá o více než 15 ms.

– Kolísá o více než 15 ms. ✓

* Jsou při tachykardii přítomny 3 nebo více morfologií P vln?

– Ano. ✓

– Ne.

⇒ „Nejpravděpodobněji se jedná o FIBRILACI SÍNÍ. Výsledek nechte ověřit zkušenějšímu kolegovi.“

Klasifikace rytmu pana R. P. (ID: 25)

* Jaká je frekvence síní? 291/min.

* Jaká je frekvence komor? 85/min.

Frekvence síní je 291/min a je větší než frekvence komor, která je 85/min.

* Jaká je šířka QRS komplexů?

– Menší nebo rovna 120 ms. ✓

– Větší než 120 ms.

* Kolísá či nekolísá délka cyklu (pravidelný, nepravidelný rytmus)?

– Nekolísá o více než 15 ms.

– Kolísá o více než 15 ms. ✓

* Jsou při tachykardii přítomny 3 nebo více morfologií P vln?

– Ano. ✓

– Ne.

⇒ „Nejpravděpodobněji se jedná o FIBRILACI SÍNÍ. Výsledek nechte ověřit zkušenějšímu kolegovi.“

Klasifikace rytmu paní B. M. (ID: 26)

- * Jaká je frekvence síní? 166/min.
- * Jaká je frekvence komor? 166/min.
Frekvence síní a komor jsou si rovny a jsou 166/min, jedná se tedy o AV převod 1:1.
- * Jaká je šířka QRS komplexů?
 - Menší nebo rovna 120 ms. ✓
 - Větší než 120 ms.
- * Kolísá či nekolísá délka cyklu (pravidelný, nepravidelný rytmus)?
 - Nekolísá o více než 15 ms. ✓
 - Kolísá o více než 15 ms.
- * Dle intrakardiálního EKG:
 - Aktivace síní předchází aktivaci komor.
 - Aktivace komor předchází aktivaci síní.
 - Aktivace síní a komor je současná. ✓
- * Je při běžící tachykardii první aktivace v HIS?
 - Ano. ✓
 - Ne.
 - Nevím (buď neběží tachykardie nebo není zaveden katétr na Hisově svazku).
- * Jakým způsobem dochází ke vzniku tachykardie při EFV?
 - Tachykardie je vyvolatelná stimulací ze síní, po náhlém prodloužení AH intervalu nebo při vzestupné stimulaci těsně před dosažením Wenckebachova bodu, často po SVES. ✓
 - Tachykardie je vyvolatelná stimulací ze síní i komor, často po KES.
 - Tachykardie je obtížně vyvolatelná stimulačními manévry, lze ji vyvolat podáním isoprenalinu, tepová frekvence postupně narůstá (tzv. „warm up“).
 - Tachykardie běží od počátku EFV.
- * Jaká je při EFV při tachykardii aktivační sekvence síní po ukončení komorové stimulace? („burst pacing“ o CL výrazně kratší (10-40 ms) než je CL tachykardie – pozn. AV převod musí být 1:1 a tachykardie musí být uchvácená).
 - V-A-A-V.
 - V-A-V. ✓
 - Je přítomna VA disociace.
 - Nevím (např. tachykardie byla terminována).
- * Co při EFV předchází kolísání délky cyklu tachykardie pravidelné tachykardie?

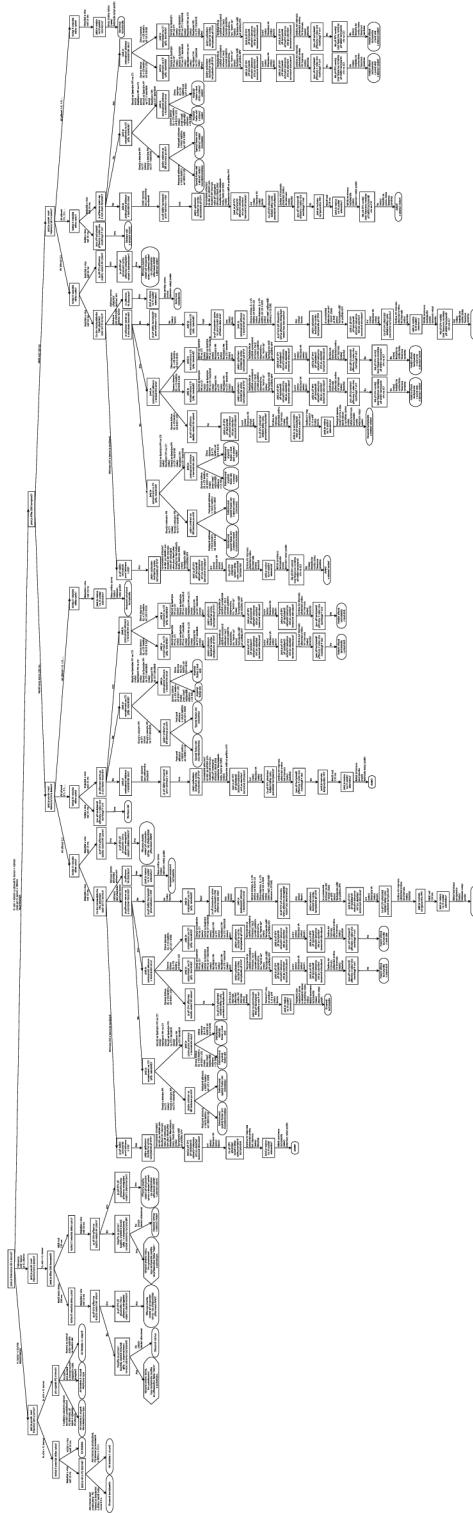
- Změna AA intervalu předchází změnu VV intervalu.
- Změna VV intervalu předchází změnu AA intervalu. ✓
- Délka cyklu nekolísá.

* Jaká je reakce na intravenózní podání adenosinu?

- Beze změny rytmu.
- Postupné zpomalování rytmu a následně návrat k rychlému rytmu.
- Náhlá terminace tachykardie.
- Perzistující síňová tachykardie s přechodným vysokostupňovým AV blokem.
- Adenosin nebyl podán. ✓

⇒ „Nejpravděpodobněji se jedná o AVNRT = ATRIOVENTRIKULÁRNÍ NODÁLNÍ REENTRY TACHYKARDII. Výsledek nechte ověřit zkušenějšímu kolegovi.“

B Stromový diagram



Obrázek B.1: Stromový diagram pro hodnocení srdečních rytmů.