

Monitorace srdečního rytmu implantabilním záznamníkem

Bakalářská práce

Studijní program:

B3944 Biomedicínská technika

Studijní obor:

Biomedicínská technika

Autor práce:

Sára Svobodová

Vedoucí práce:

Ing. Jan Morava

Fakulta zdravotnických studií





Zadání bakalářské práce

Monitorace srdečního rytmu implantabilním záznamníkem

Jméno a příjmení: **Sára Svobodová**
Osobní číslo: D19000022
Studijní program: B3944 Biomedicínská technika
Studijní obor: Biomedicínská technika
Zadávací katedra: Fakulta zdravotnických studií
Akademický rok: **2021/2022**

Zásady pro vypracování:

Cíle práce

1. Rešerše problematiky dlouhodobé monitorace EKG.
2. Popis a analýza snímání EKG implantabilním záznamníkem.
3. Simulace událostí na fantomu loop rekordéru.

Teoretická východiska (včetně výstupu z kvalifikační práce)

- Implantace elektronických monitorovacích záznamníků je metoda pro dlouhodobou až několikaletou monitoraci EKG pacienta pro objasnění (záchyt) méně častých kardiologických obtíží. Tyto systémy jsou programovatelná zařízení a kontinuálně monitorují elektrickou srdeční aktivitu. Disponují pamětí, kam se ukládají epizody dle nastavených parametrů přístroje. Vzhledem k podkožnímu umístění a omezeným možnostem snímání bývá funkce monitoru často ovlivňována vnějšími signály, které jsou pak neadekvátně interpretovány jako vlastní srdeční rytmus. Výstupem z kvalifikační práce bude konferenční příspěvek.

Výzkumné předpoklady

- Pro vypracování bakalářské práce se uvažuje vliv rušivých signálů na správnou detekci implantovaného EKG monitoru. Snímání signálu je ovlivněno adekvátním umístěním záznamníku vůči srdečnímu svalu při implantaci.

Metoda

- Kvalitativní

Technika práce, vyhodnocení dat

- Analýza snímání povrchového EKG implantabilním monitorem pomocí systému dálkové monitorace. Simulace událostí na vzorku přístroje a porovnání s klinickými epizodami.

Místo a čas realizace výzkumu

- Vybraná nemocnice krajského typu. Čas výzkumu: listopad 2021-leden 2022.

Vzorek

- Není určen počet respondentů

Rozsah práce

- 50-70 stran

Forma zpracování kvalifikační práce

- Tištěná a elektronická

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy:
Forma zpracování práce:
Jazyk práce:

tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

- BULAVA, Alan. 2017. *Kardiologie pro nelékařské zdravotnické obory*. Praha: Grada. ISBN 978-80-271-0468-0.
- ČESKO. 2014. Zákon č. 268/2014 Sb. o zdravotnických prostředcích a o změně zákona č. 634/2004 Sb., o správních poplatcích, ve znění pozdějších předpisů. In: *Sbírka zákonů České republiky*. Částka 110, s. 3146-3187. ISSN 1211-1244.
- ČIHÁK, Radomír. 2016. *Anatomie 2*. 3. vyd. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-4788-0.
- ELLENBOGEN, Kenneth et al. 2017. *Clinical cardiac pacing, defibrillation, and resynchronization therapy*. Philadelphia: Elsevier. ISBN 978-0-323-37804-8.
- HAMPTON, John R. 2013. *EKG stručně, jasně, přehledně*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-4246-5.
- HOLUBEC, Luboš. 2017. *Klinická propedeutika v klinických a interních oborech*. Plzeň: Západočeská univerzita. ISBN 978-80-261-0671-5.
- KETTNER, Jiří et al. 2017. *Akutní kardiologie*. 2. vyd. Praha: Mladá fronta. ISBN 978-80-204-4422-6.
- KITTNER, Otomar et al. 2020. *Lékařská fyziologie*. 2. vyd. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-1963-4.
- STŘEDA, Leoš a Petr PANÝREK. 2011. *eHealth a telemedicína*. Praha: High Tech Park. 37 s. ISBN 978-80-254-9508-7.
- TÁBORSKÝ, M., J. KAUTZNER a A. LINHART. 2018. *Kardiologie I*. 2.vyd. Praha: Mladá fronta. ISBN 97880204-4812-5.

Vedoucí práce:

Ing. Jan Morava
Fakulta zdravotnických studií

Datum zadání práce:

30. listopadu 2021

Předpokládaný termín odevzdání:

29. července 2022

L.S.

prof. MUDr. Karel Cvachovec, CSc., MBA
děkan

V Liberci dne 31. ledna 2022

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědoma toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědoma následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

27. července 2022

Sára Svobodová

Poděkování

Rád bych poděkovala všem, kteří přispěli ke vzniku této práce. Konkrétně bych chtěla poděkovat Ing. Janu Moravovi a prof. Ing. Aleši Richterovi, CSc. za vedení práce, poskytnutí materiálů a konzultace. Dále bych chtěla poděkovat své rodině a přátelům za trpělivost a podporu.

Anotace v českém jazyce

Autor:	Sára Svobodová
Instituce:	Technická univerzita v Liberci
Název práce:	Monitorace srdečního rytmu implantabilním záznamníkem
Vedoucí práce:	Ing. Jan Morava
Počet stran:	70
Počet příloh:	6
Rok obhajoby:	2022
Anotace:	<p>Práce se zabývá dlouhodobou monitorací srdečního rytmu pomocí implantabilního srdečního záznamníku. Tato metoda slouží až k několikaleté monitoraci EKG pacienta pro objasnění méně častých kardiologických obtíží. Systémy dlouhodobé monitorace jsou programovatelná zařízení a kontinuálně monitorují elektrickou srdeční aktivitu. Dále práce popisuje snímání záznamníku, zabývá se polohou záznamníku vůči srdci a hypotézy ověřuje na experimentu.</p>
Klíčová slova:	Elektrokardiografie, implantabilní srdeční záznamník, monitorace srdečního rytmu, srdce

Annotation

Author:	Sára Svobodová
Institution:	Technical University of Liberec
Title:	Heart rhythm monitoring with an implantable recorder
Supervisor:	Ing. Jan Morava
Pages:	70
Appendix:	6
Year:	2022
Annotation:	<p>The thesis deals with long-term heart rhythm monitoring using an implantable heart recorder. This method is used to monitor the patient's ECG for up to several years to clarify less frequent cardiac problems. Long-term monitoring systems are programmable devices and continuously monitor the cardiac activity. Furthermore, the thesis describes the scanning of the recorder, deals with the position of the recorder in relation to the heart and verifies the hypotheses in an experiment.</p>
Keywords:	Electrocardiography, heart, heart rhythm monitoring, implantable heart recorder

Obsah

Seznam zkratek	11
Seznam využitých fyzikálních symbolů	12
1 Úvod	13
2 Fyziologie srdce	15
2.1 Převodní systém srdeční	16
2.2 Poruchy srdečního rytmu - arytmie	19
2.2.1 Supraventrikulární tachyarytmie	19
2.2.2 Komorová tachyarytmie	20
2.3 Elektrokardiograf	21
2.3.1 Křivka a popis ideálního povrchového EKG	21
2.3.2 Elektrická osa srdeční	24
3 Dlouhodobá monitorace	25
3.1 Systémy pro dlouhodobou monitoraci EKG	25
3.2 Holterovská monitorace	26
3.3 Kontinuální monitorace EKG	28
3.3.1 Externí příkládací epizodní záznamník	28
3.3.2 Externí smyčkový epizodní záznamník	28
3.3.3 Implantabilní „loop“ rekordéry	29
4 Implantabilní srdeční záznamník	30
4.1 Implantace záznamníku	31
4.2 Provádění pravidelných kontrol	33

4.3	Nastavení snímání a detekce arytmie	34
4.4	Ukládání epizod a přenos dat	35
4.4.1	Ukládání epizod	35
4.4.2	Přenos dat	36
4.5	Funkce přístroje a upozornění	37
5	Vliv polohy implantabilního záznamníku	38
5.1	Elektromagnetické pole	38
5.1.1	Maxwellovy rovnice	39
5.2	Snímání jednosvodového EKG	40
6	Simulace událostí na fantomu záznamníku	43
6.1	Cíle a výzkumné otázky	43
6.2	Metodika výzkumu	43
6.3	Snímání záznamníku	45
6.4	Analýza dat	48
7	Diskuze	50
8	Závěr	51
	Seznam použité literatury	54
A	Přílohy	57
A.1	Seznam příloh	57
A.2	Záznam vodorovné polohy 5V a 2,5ms	57
A.3	Záznam svislé polohy 5V a 2,5ms	57
A.4	Záznam vodorovné polohy 4V a 2ms	57
A.5	Záznam svislé polohy 4V a 2ms	57
A.6	Záznam vodorovné polohy 3V a 2,5ms	66
A.7	Záznam svislé polohy 3V a 2,5ms	66

Seznam zkratek

AV	atrioventrikulární uzel
AVNRT	atrioventrikulární nodální reentry tachykardie
AVRT	atrioventrikulární reentry tachykardie
cm	centimetr
EKG	elektrokardiograf
EMP	elektromagnetické pole
EOS	konec životnosti baterie
FS/AF	fibrilace síní
KES	komorové extrasystoly
KT	komorová tachykardie
/min	za minutu
mm	milimetr
ms	milisekunda
mV	milivolt
PQ interval	interval mezi vlnou P a Q na EKG
QRS komplex	komplex složený z kmitu Q,R a S
RTT	blíží se konec životnosti baterie
SA	sinusový uzel
ST	síňové tachykardie

Seznam využitých fyzikálních symbolů

Symbol	Veličina	Jednotka	Název
B	magnetická indukce	T	tesla
D	elektrické indukce	C/m^2	coulomb na metr čtvereční
H	intenzita magnetického pole	A/m	ampér na metr
E	intenzita elektrického pole	V/m	volt na metr
Φ	magnetický indukční tok	Wb	weber
ρ	hustota volného náboje	C/m^3	coulomb na metr krychlový
J	hustota elektrického proudu	Am^{-2}	ampér na metr čtverečný
ϵ	permitivita vakua	[-]	
μ	permeabilita vakua	[-]	

1 Úvod

Elektrokardiogram je standartní neinvazivní metodou, která poskytuje funkční vyšetření elektrické aktivity myokardu. Pokud pacient trpí poruchou srdečního rytmu stále, EKG je ideálním diagnostickým nástrojem pro její odhalení. Práce se zabývá dlouhodobou monitorací, která se využívá u pacientů trpících srdečními arytmiemi nepravidelně. Záchyt nepravidelně se vyskytujících arytmií na klasickém 12-svodovém EKG není snadný, jelikož jeho záznam trvá jen 30 sekund. Dlouhodobá monitorace srdečního rytmu je tedy výborným diagnostickým nástrojem pro arytmie vyskytující se intermitentně.

S rostoucím vývojem techniky existuje dnes již několik typů záznamníků dlouhodobé monitorace. Holterovská monitorace, která poskytuje kontinuální záznam EKG a zpravidla se používá po dobu 24 hodin. Externí epizodní záznamník, který umožňuje pacientovi spustit záznam EKG, pokud pociťuje příznaky. Implantabilní („loop“) záznamník, který je již implantován pod kůži pacienta a slouží po celou dobu výdrže baterie (až 3 roky). Další variantou jsou „chytré hodinky“, které nahrají 30 sekundový záznam a pomocí aplikace umožňují data poslat na posouzení lékaři.

Implantabilní záznamník je malý přístroj s dlouhou výdrží baterie a jednoduchou implantací, proto je stále častěji využívanou metodou k diagnostice. Monitorace tímto přístrojem nabízí možnost záznamu i pacientům, které epizoda zneschopní, a proto pro ně není vhodný externí epizodní záznamník aktivovaný pacientem samotným.

Cílem práce je řešit problematiku dlouhodobé monitorace srdečního rytmu. Práce popisuje snímání EKG záznamu implantabilním záznamníkem, zabývá se polohou přístroje vůči srdci a hypotézy ověřuje na experimentu. K úspěšnému zachytu srdeční arytmie záleží na poloze záznamníku vůči srdeční ose. V experimentu jsou použity dvě polohy záznamníku a porovnáním výsledných amplitud je vyhodnocena ideální poloha implantace záznamníku.

2 Fyziologie srdce

Srdce je rytmicky se stahující dutý orgán, který funguje jako pumpa. Pod tlakem rozvádí krev v krevním řečišti a zajišťuje tím přenos živin a dýchacích plynů do těla. [1] Je uloženo v hrudním koši za sternem, mírně vlevo a obaleno v osrdečníku (perikardu). Svým tvarem připomíná nepravidelný kužel, jehož hrot (apex) směřuje kaudálně dopředu. Skládá se ze čtyř hlavních částí, z **pravé a levé síně** a **pravé a levé komory** (viz obrázek 2.1).[2] Tyto části od sebe odděluje srdeční skelet a elektricky nevodivá vazivová struktura. Je tak zabráněno šíření vzruchu jiným místem než převodním systémem srdečním.

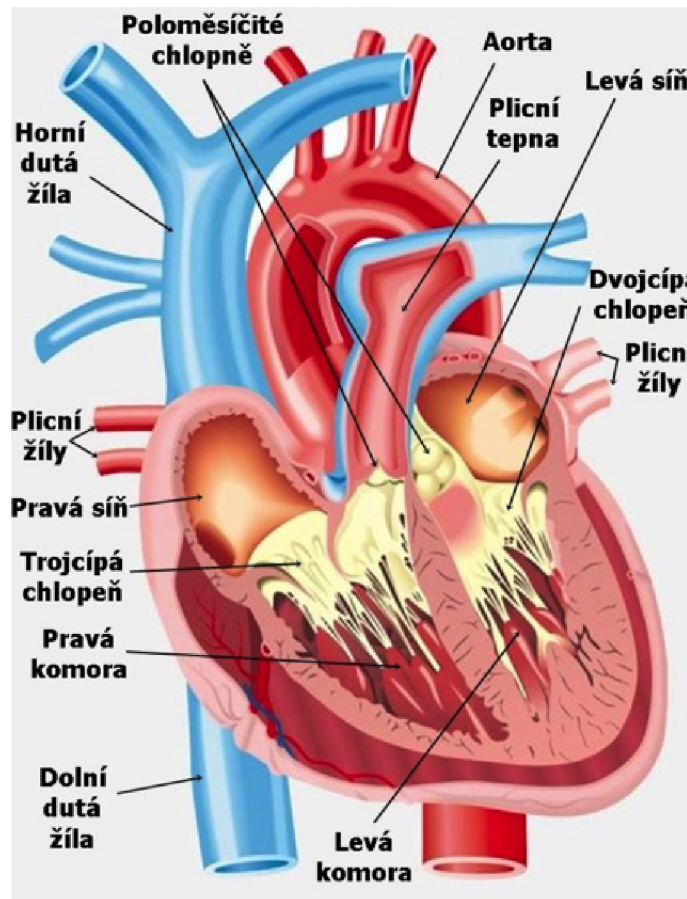
Stěna srdeční se skládá ze třech částí, **endokard**, **myokard** a **epikard**. Endokard je tenká lesklá blána, která vystýlá srdeční dutinu a je pokryta endotelem. Epikard se nalézá pod perikardem a tvoří vnější povlak stěny srdeční. Myokard je vůlí neovladatelná svalovina tvořena příčně pruhovaným svalstvem a z výše uvedených částí se jedná o nejsilnější část stěny. [2]

Srdce je tvořeno dvěma typy buněk, **buňky pracovního myokardu** a **buňky převodního systému srdečního**. Buňky pracovního myokardu mají schopnost kontrakce, oproti tomu buňky převodního systému jsou schopny vytvářet a vést elektrický vzruch. [2] Odpovědí na tento vzruch je právě ona mechanická kontrakce. Správnou součinností převodního systému a pracovního myokardu dochází k optimálnímu plnění či kontrakci síní a komor. [1]

Ke kontrakci síní dochází vždy před kontrakcí komor. Probíhající akční potenciál způsobí depolarizaci buněk myokardu a tím dojde k systole, fázi kontrakce svalových

vláken. Fáze relaxace se nazývá diastola. Tato fáze nastává s určitým zpožděním po repolarizaci buněk. [3] Fáze systoly a diastoly přechází plynule jedna v druhou, a tím je tvořen základ pro srdeční revoluci (tj. smrštění a ochabnutí)[4]

Pomocí elektrod zavedených do srdce [1] či elektrod umístěných na těle můžeme sledovat časové změny elektrického potenciálu způsobené srdeční aktivitou a získat tak křivku, kterou nazýváme elektrokardiogram (EKG) (viz dále).[5]



Obrázek 2.1: Anamotie srdce [6]

2.1 Převodní systém srdeční

Jedná o soubor specializovaných částí myokardu, tyto části vytváří vzruchy, které se šíří svalovinou srdeční a způsobují její kontrakci.[7] Srdeční sval tedy sám vytváří

elektrické signály vedoucí k depolarizaci buněk pracovního myokardu. A ten díky tomu nepotřebuje ke své rytmické činnosti nervy, nervy přicházející do srdce činnost pouze ovlivňují (zrychlují či zpomalují). [2]

Převodní systém srdeční se skládá ze sinusového uzlu (SA), Bachmanova svazku, atrioventrikulárního uzlu (AV), internodálních spojů mezi SA a AV uzlem, Hisova svazku, levého a pravého Tawarova raménka a Purkyňových vláken (viz obrázek 2.2). [7]

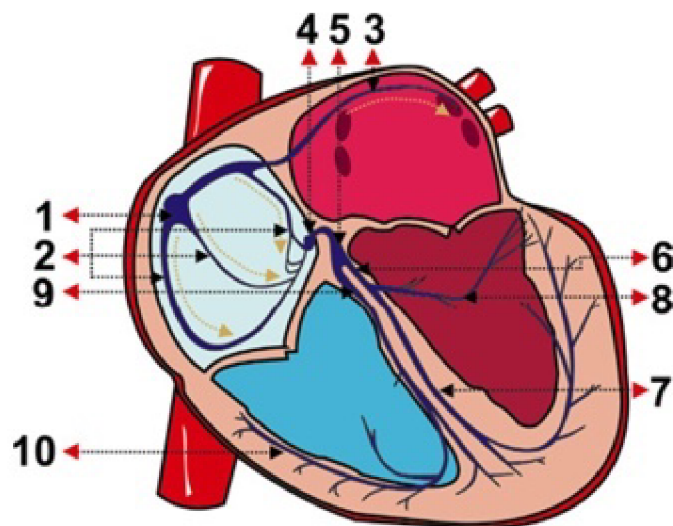
Sinusový uzel, též primární pacemaker, je základní útvar převodního systému. [3] Jedná se o podlouhlý větvenitý útvar, který pomocí vydávaných impulzů určuje základní frekvence srdečních stahů. [2] Obvykle udávaná rychlost elektrických impulzů je 60-90 za minutu. [7] Sinoatriální uzel se nachází epikardiálně v pravé síni při ústí horní duté žíly, je bohatě zásoben krví a vlákny vegetativního nervového systému. [2] Pokud je SA uzel z nějakého důvodu poškozen, jeho funkci přebírají sekundární centra z okolí AV uzlu nebo centra terciální v samotných srdečních komorách.

Sekundární centra z oblasti AV uzlu mají tepovou frekvenci obecně pomalejší okolo 40-60 za minutu. Nejpomalejší frekvenci mají centra terciální, a to okolo 20-40 za minutu.

Vzruch vzniká v SA uzlu, a poté se dále šíří přes obě předsíně. Rychlejší šíření vzruchu umožňuje **Bachmanův svazek** nacházející se na stropě síní. Z SA uzlu se vzruch šíří po pravé síni směrem k AV uzlu. **Atrioventrikulární uzel**, uložený v předsíňovém septu, funguje jako přirozený zpomalovač vedení - pojistka bránící převedení příliš rychlé frekvence ze síní na komory. AV uzel svým zpožděním také zajišťuje dokonalé naplnění komor před jejich stažením. Časové zpoždění mezi aktivací síní a komor je na EKG křivce viditelné jako PQ interval. Pokud by došlo k příliš rychlé aktivitě síní v AV uzlu dochází k filtrování síňové frekvence – ne každý impulz síní bude převeden na komory.

Elektrické spojení mezi svalovinou síní a komor se nazývá **Hisův svazek**. Svazek se dělí na **pravé a levé Tawerovo raménko**. Levé raménko se dále dělí na přední a zadní svazek. Všechny raménka i svazky končí ve větvení **Purkyňových vláken**. Tawerova raménka, svazky i Purkyňova vlákna slouží ke správnému rozvedení elektrického impulzu do všech částí pravé i levé komory, tím dojde k jejich synchronní kontrakci.

Srdeční činnost je tedy ovlivněna čtyřmi vlastnostmi: **automaticitou** (schopnost vytvořit elektrické impulzy), **excitabilitou** (schopnost srdečních buněk odpovídat na el. impulz), **konduktivitou** (schopnost srdečních buněk převést el. impluz) a **kontraktilitou** (schopnost srdečních buněk reagovat na elektrickou stimulaci kontrakcí). [7]



Obrázek 2.2: Převodní systém srdeční [7]

1 - sinoatriální uzel, 2 - šíření impulzu pravou síní, 3 - Bachmanův svazek, 4 - atrioventrikulární uzel, 5 - Hisův svazek, 6 - levé Tawarovo raménko, 7 - levý zadní fascikulus, 8 - levý přední fascikulus, 9 - pravé Tawarovo raménko, 10 - distální ramifikace pravého Tawarova raménka

2.2 Poruchy srdečního rytmu - arytmie

Arytmie jsou souhrným názvem pro poruchy srdečního rytmu. Arytmie se základně dělí podle frekvence na tachyarytmie a bradyarytmie. [7] Tachyarytmie je příliš rychlá srdeční akce, frekvence vyšší než 100 tepů za minutu, oproti tomu bradyarytmie představuje pomalou srdeční činnost pod 50 tepů za minutu. [8] **Bradyarytmie** se může objevovat ve spánku či ve stavu relaxace, fyzické i duševní, nebo za klidových podmínek u sportovců. Dále ji dělíme na sinusovou bradykardii či syndrom chorého sinu. [9]

2.2.1 Supraventrikulární tachyarytmie

Tachykardie se z hlediska vzniku dělí na supraventrikulární a komorové. Supraventrikulární tachyarytmie vznikají v síních a nebo v úrovni atriventrikulární junkce nad větvením Hisova svazku. Některé tachyarytmie vyžadují i zapojení komor (např. AV reentry tachykardie). Mezi supraventrikulární arytmie řadíme sinusové tachykardie, supraventrikulární a fibrilace síní, které jsou nejčastější. [8]

Sinusová tachykardie

Sinusové tachykardie se mohou vyskytovat fyziologicky při zátěži či vlivem léků. Jedná se o srdeční frekvenci nad 100/min.

Síňová tachykardie

Síňové tachykardie (ST) jsou pravidelné tachykardie s frekvencí vyšší než 100/min, jejich původ je kdekoli v svalovině síní s výjimkou SA a AV uzlu. Tyto tachykardie jsou buďto fokálního nebo makroreentry mechanismu. ST nejsou u dospělých příliš časté oproti tomu u dětí tvoří až pětinu všech supraventrikulárních arytmií. [7]

Fibrilace síní

Fibrilace síní (FS) je nejčastější supraventrikulární arytmii. [9] Jedná se o nepravidelnou síňovou aktivitu, která je nepravidelně převáděna na komory. FS je jednou z nejčastějších indikací ke kardistimulaci. [7]

Flutter síní

Typický flutter síní je arytmie způsobená reentry okruhem uvnitř pravé síně, který směřuje většinou proti směru hodinových ručiček. Na EKG se elektrická aktivita síní zobrazuje ve formě vln f s pravidelnou frekvencí 300/min. Síňová aktivita je převáděna na komory obvykle v poměru 2:1, komorová aktivita je tedy 150/min. EKG obraz se popisuje jako „zuby pily“ s chybějící izoelektrickou linií.

Kromě výše zmíněných **supraventrikulárních tachyarytmií**, které mají síňový původ, jsou zde i arytmie, kde je přítomné přídavné elektrické spojení mezi síněmi a komorami. Vzruch tedy může opakovaně kroužit mezi síněmi a komorami okruhem, který zahrnuje AV junkci. Mezi **AV junkční reentry tachykardie** patří **AVRT** (atrioventrikulární reentry tachykardie) a **AVNRT** (atrioventrikulární nodální reentry tachykardie). U AVRT je spojení tvořeno pruhem myokardu, který překlenuje elektricky izolující linii, a tak obchází AV uzel. U AVNRT jsou AV uzel a k němu přilehlé části svaloviny rozděleny na pomalou a rychlou dráhu. Pomalou dráhou je při arytmii veden vzruch ze síní na komory a rychlou dráhou z komor zpět na síně.

2.2.2 Komorová tachyarytmie

Komorové tachyarytmie vznikají v srdeční svalovině komor nebo ve tkáni převodního systému pod úrovní Hisova svazku a nevyžadují ke svému udržení zapojení síní. Komorové tachyarytmie se řadí mezi nejzávažnější poruchy srdečního rytmu. Mezi komorové tachyarytmie patří komorové tachykardie (KT), komorové extrasystoly (KES) a fibrilace komor.

Komorová tachykardie

Komorové tachykardie se nejčastěji objevují v doprovodu strukturálního onemocnění srdce a mechanismem je většinou reentry okolo funkční či anatomické bariéry.

Fibrilace komor

Fibrilace komor je život ohrožující arytmie, která je charakterizována chaotickou rychlou činností komor srdečních. Tento stav vede k oběhové zástavě. Fibrilace komor se objevuje u genetických onemocnění, strukturálního onemocnění srdce a také za nepřítomnosti strukturálního onemocnění srdce.[9]

2.3 Elektrokardiograf

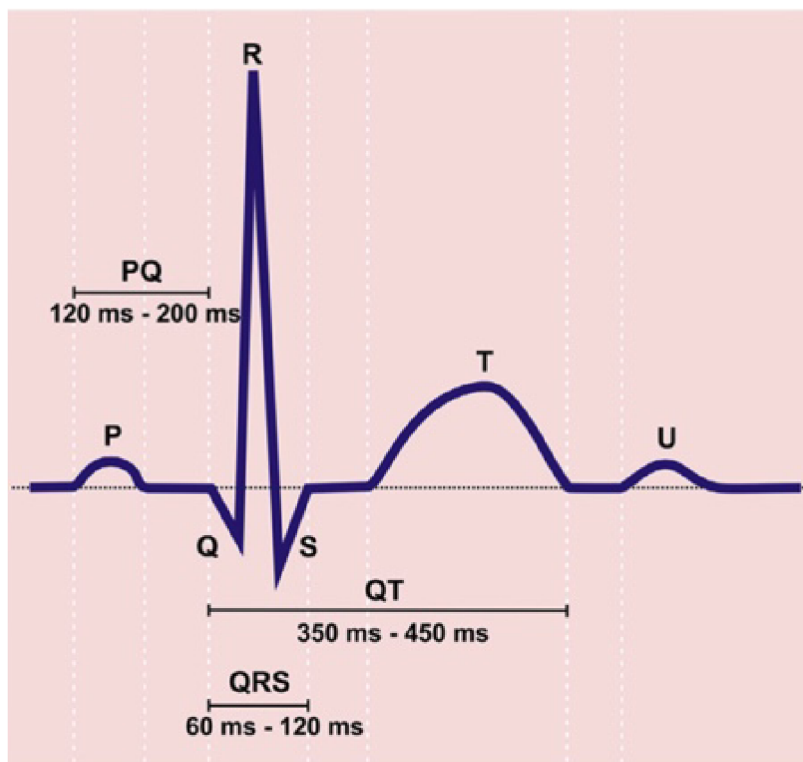
Elektrokardiografie se řadí mezi základní neinvazivní vyšetřovací metody srdce, dokumentace EKG křivky je primární diagnostickou metodou poruch srdečního rytmu. [10] EKG je záznam srdeční aktivity, který je sumací elementárních elektrických polí. Tyto pole vznikají při depolarizaci a repolarizaci myokardu. Snímanou elektrickou aktivitu, respektive směr jejího šíření se dá vyjádřit vektory. K určení velikosti a orientace daných vektorů je nutné použít dvě elektrody, které vytvoří tzv. svod. Pozitivní kmit na EKG bude, pokud vektor srdeční aktivity souhlasí se směrem elektrod. Negativní kmit bude v případě opačném. Na obrázku (viz obrázek 2.3) můžeme vidět ideální křivku z povrchového EKG.

2.3.1 Křivka a popis ideálního povrchového EKG

Běžně se v kardiologii používá 12 svodové EKG, to se skládá ze tří svodů bipolárních končetinových (I, II a III), tří svodů zesílených unipolárních končetinových (aVR, aVL a aVF) a šesti svodů hrudních (V_1 až V_6) [7]

Signály, které jsou zaznamenány jsou obvykle v rozsahu $\pm 2\text{mV}$ a jejich frekvenční rozsah je typicky 0,05 až 150 Hz. U monitorovacích EKG, které detekují pouze R-vlny

je frekvenční rozsah z pravidla nižší (okolo 30 Hz), protože zde není žádána taková rozlišovací schopnost, oproti tomu u EKG diagnostického je frekvenční rozsah až do zmiňovaných 150 Hz. Diagnostické EKG je podrobnější a jsou zde dobře rozlišitelné jednotlivé elementy. Základními elementy, které se rozlišují na elektrokardiogramu jsou: **izoelektrická linie** (osa či rovná čára), **vlna** (výchylka od izoelektrické linie, oblá), **kmit** (výchylka od izolnie rychlejší a strmější než vlna), **komplex** (soubor po sobě rychle jdoucích kmitů), **interval** (časový úsek, který vyjadřuje vzdálenost mezi danými elementy: vlnou či kmitem). [4]



Obrázek 2.3: Ideální EKG křivka [7]

Vlna P reprezentuje depolarizaci síní, nejprve dochází k depolarizaci pravé a poté levé síně. Na EKG se projeví jako menší, oblá a pozitivní vlna. [1] Maximální délka P vlny je 100 ms a její amplituda je do 0,2 mV. Za vlnou P následuje **úsek PQ**, časový úsek od konce P vlny do začátku QRS komplexu. Tento úsek je vyjádřen izolinií a trvá maximálně 100 ms.

Interval PQ je interval od začátku P vlny do začátku kmit Q. V této chvíli dochází k převodu vzruchu ze síní na komory. Interval měří maximálně 200 ms, ale jeho délka je závislá na srdeční frekvenci a v případě AV blokády I. stupně může být výrazně prodloužena.

Repolarizace síní je skryta v průběhu **QRS komplexu**. [11] Ten zobrazuje depolarizaci komor a na jeho konci vzniká mechanická kontrakce komor. QRS komplex je složen ze tří kmitů: **kmit Q** (první a negativní kmit, který je projevem začínající depolarizace srdečních komor), **kmit R** (pozitivní kmit, který zobrazuje postup vzruchu na stěnu komor) a **kmit S** (druhý negativní kmit, který již zobrazuje aktivaci komor myokardu). [4] Doba trvání celého komplexu se pohybuje mezi 60 až 100 ms a jeho amplituda dosahuje až 3 mV. [7]

Úsek ST začíná na konci kmitu S je za normálních podmínek je izoelektický.[1] Úsek končí s počátkem vlny T. Tento úsek je závislý na srdeční frekvenci. **Vlna T** odráží repolarizaci komor a je orientována stejně jako hlavní výchylka QRS komplexu. Tato vlna je nejvíce variabilním prvkem křivky, jak svou délkou trvání, tak amplitudou.

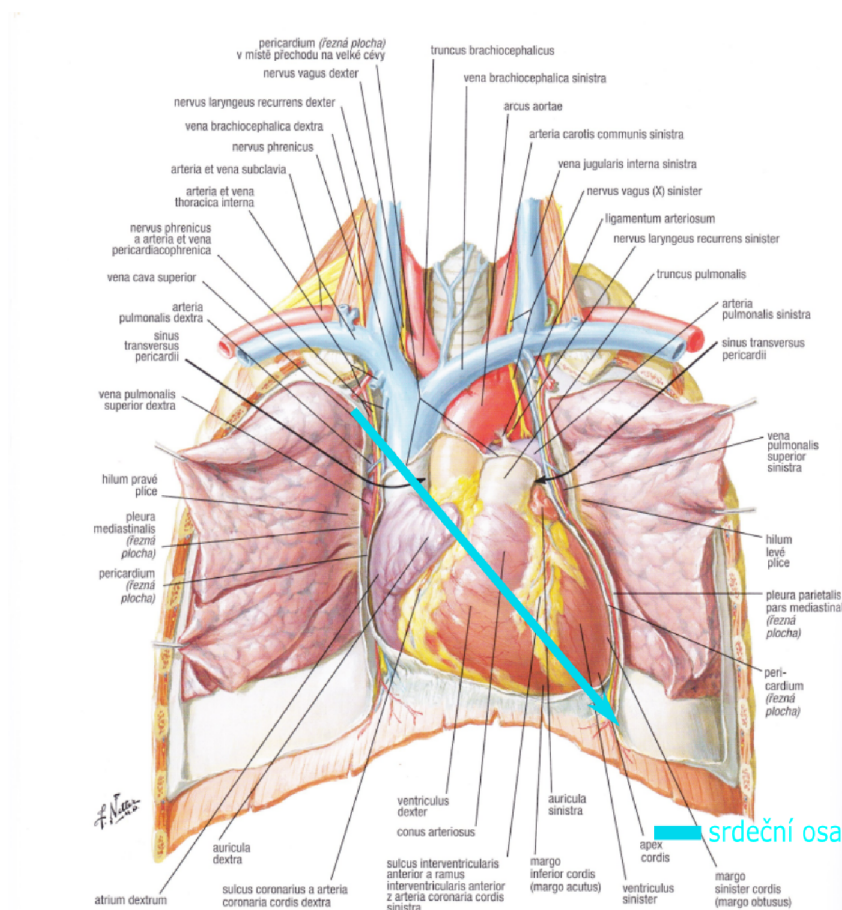
Interval QT je interval trvající od začátku kmitu Q do konce vlny T, pomocí něj je zobrazena depolarizace a repolarizace komor. Délka intervalu QT je závislá na srdeční frekvenci, pohlaví a na věku pacienta, ale měla by trvat do 450 ms. Po vlně T následuje **vlna U**, jejíž původ ani význam není jasný. Většinou se jedná o malou pozitivní vlnu, která kvůli své malé amplitudě bývá špatně rozlišitelná na EKG. [7]

Interval RR je časový odstup dvou po sobě jdoucích QRS komplexů, resp. mezi dvěma kmity RR. Čím vyšší je srdeční frekvence, tím kratší bude interval. [4] V závislosti na frekvenci se doba trvání intervalu pohybuje mezi 600-1000 ms. [7]

2.3.2 Elektrická osa srdeční

Okamžitý stav elektrického pole srdečního je charakterizován výsledným vektorem, tento vektor je součtem všech elementárním elektrických vektorů. Změny v elektrickém poli se odehrávají během depolarizace a repolarizace jednotlivých srdečních částí. Na EKG tedy během vlny P, komplexu QRS a vlny T. Nejdůležitější je elektrická osa **komplexu QRS**, je-li postup depolarizace komor normální, je směr elektrické osy srdeční ve frontální rovině skoro totožný s podélnou osou srdce.

Normální sklon vzhledem k horizontální ose je mezi **-30° a 105°** (viz obrázek 2.4). Pokud je hodnota vyšší než 105° hovoří se o posunu elektrické osy doprava či o vertikální poloze osy srdce. Hodnota nižší než -30° hovoří se naopak o posunu osy doleva či o horizontální poloze osy. [3]



Obrázek 2.4: Normální sklon elektrické osy srdeční [12]

3 Dlouhodobá monitorace

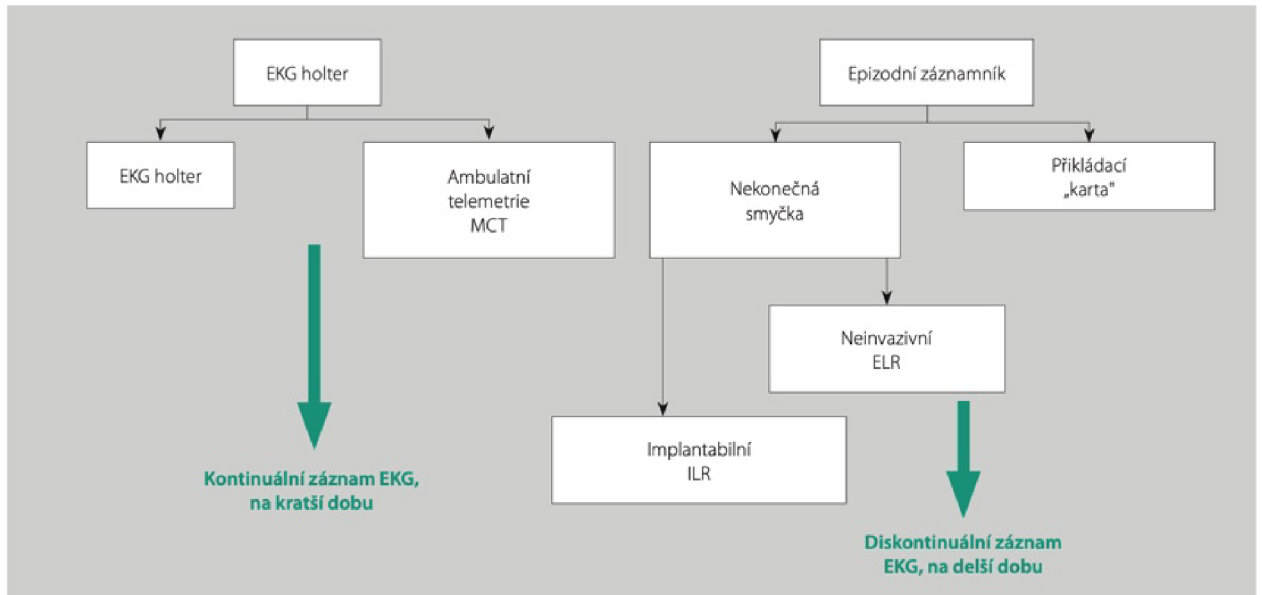
Dlouhodobá monitorace EKG se využívá u pacientů trpících poruchou srdečního rytmu, který se vyskytuje **záchvatovitě** (nepravidelně). Tyto poruchy se nedají zachytit při plánovaných kontrolách pacienta a je potřeba srdeční aktivitu monitorovat po delší časový úsek. [7] Klasické 12-svodové EKG není vhodné pro detekci přerušovaných poruch srdečního rytmu, protože jeho záznam trvá přibližně 30 sekund.

3.1 Systémy pro dlouhodobou monitoraci EKG

Systémů pro dlouhodobou monitoraci je celá řada (viz obrázek 3.1). Kromě níže popsané **holterovské monitorace**, která je velmi často využívaným diagnostickým nástrojem v nemocnicích i u specializovaných odborníků a vzniká díky ní kontinuální záznam EKG na kratší dobu. Je zde i monitorace epizodními záznamníky, a to pomocí **implantabilních „loop“ rekordérů** nebo **záznamníků událostí** (příkládací kartě). [9] Jejich záznam je diskontinuální a na delší časový úsek. Tyto popsané typy dlouhodobé monitorace jsou využívány v lékařských zařízeních a jejich výsledky jsou průkazné a přináší hodnotnou informaci o aktuálním zdravotním stavu pacienta. [13]

Dále se vyskytují systémy, které nejsou odborné nýbrž amatérské. Mezi takové systémy můžeme zařadit **chytré hodinky či náramky**. Chytré hodinky s možností měření EKG záznamu dnes již nabízí mnoho společností. Příkladem jsou například Apple Watch společnosti Apple. Hodinky mají princip měření založený na dvou elektrodách, jedna elektroda je umístěna na boku hodinek a přikládá se na ni prst

a druhá elektroda je na tělu hodinek na ruce. Samotné měření EKG trvá 30 sekund a výsledný signál je vyhodnocen přímo v hodinkách. Algoritmus v hodinkách je schopen rozlišit sinusový rytmus a fibrilaci síní. Hodinky přepošlou naměřená data do aplikace v telefonu, odkud je může uživatel v podobě pdf. odeslat do telemedicínského centra, či svému lékaři. [13]



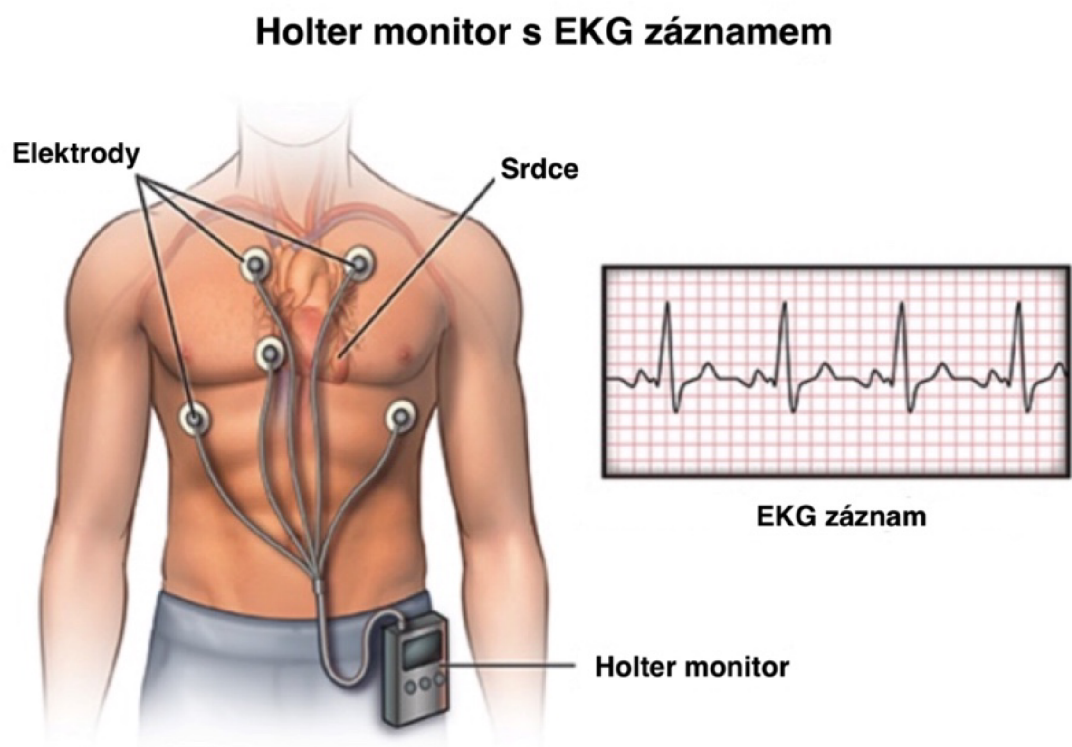
Obrázek 3.1: Typy záznamníků dlouhodobé monitorace [13]

3.2 Holterovská monitorace

Jak již bylo zmíněno, důležitým typem dlouhodobé monitorace EKG je **ambulantní elektrokardiografie** (Holterovské monitorování). Jedná se o výborný diagnostický nástroj, který se využívá při vyšetření presynkopy, synkopy, bušení srdce a dalších příznaků, které mohou být způsobeny arytmií. [9] Přístroj je schopen nahrávat kontinuální EKG záznam. [7] Tento záznam může být zaznamenáván po různě dlouhou dobu, ale zpravidla se jedná o **24 až 72 hodin**.

Záznamník je na baterie a obvykle se nosí kolem krku či pasu. [14] EKG je snímáno pomocí elektrod, které jsou samolepící a přiloženy na dokonale očištěnou kůži. (viz

obrázek 3.2) Většina systémů umožňuje současné snímání ze dvou či více svodů. Pomocí vícesvodového snímání je zajištěna lepší diagnostická přesnost a také se zvyšuje schopnost detekce artefaktů, protože je nepravděpodobné, že by se objevily na obou svodech zároveň. [9] Přístroj může být aktivován i **samotným pacientem**, díky tomu je zaznamenána doba obtíží, což je pro vyhodnocení záznamu potřebné. [7] Pacient by měl zaznamet čas, nástup a povahu potíží, aby mohly být korelovány se získaným EKG záznamem. Diagnosticky významné abnormality srdečního rytmu mohou být zaznamenány, ikdyž pacient příznaky nepocituje. Srdeční frekvenci je důležité analyzovat bezprostředně před nástupem arytmie, podle průběhu frekvence se dá lépe určit typ arytmie a její léčba. Normální 24-hodinový záznam bude obsahovat přibližně **90 000 komplexů**, zatímco rutinní 12-svodové EKG zaznamená 60 srdečních komplexů.



Obrázek 3.2: Holter EKG [15]

Příkladem holterovské monitorace je přístroj Walk 400h od firmy Cardioline. Tento přístroj má několik typů testů, které zaznamená. Jedním z nich je 24-hodinový EKG záznam pomocí deseti-svodového kanálu, z něhož vznikne klasický dvanácti-svodový EKG záznam. Dalším typem je více-denní test, ten má maximální délku 7 dní. K tomuto typu testu se používá pěti-svodový kabel, umístění elektrod závisí na volbě lékaře. Přístroj váží téměř 100 g a napájí se na alkalické baterie typu AA. [16]

3.3 Kontinuální monitorace EKG

3.3.1 Externí příkládací epizodní záznamník

U pacientů, kteří mají příznaky vyskytující se v intervalech **kratších než jeden týden** je nepravděpodobné, že je 24-hodinové záznamníky detekují. Proto je využíván **ruční záznamník** (též zvaný příkládací karta), malé, levné a užitečné zařízení. Tento záznamník umožňuje pacientovi, aby při příznacích zaznamenal svoje EKG po dobu 30s. Pacient nosí přístroj u sebe do té doby, než dojde k epizodě příznaků. Přístroj se **přiloží k hrudní stěně** a zahájí záznam, který se uloží do paměti a je možné ho přehrát ihned a nebo je záznam přenášen pomocí telefonu do EKG přístroje. Do některých přístrojů je možnost i několika nahrávek. Záznamník není **vhodný** pro pacienty, jejichž epizody zneschopní pacienta tak, že není schopen záznamník aktivovat. [9]

Jedním z těchto záznamníků, je například Tele-EKG-karta 100 IR od firmy Viataphone. Záznamník je schopen nahrát až 3 EKG záznamy s trváním 30 sekund, které jsou následně přeneseny do nemocnice.

3.3.2 Externí smyčkový epizodní záznamník

Tento epizodní záznamník zaznamenává EKG záznam prostřednictvím 2 nebo 3 elektrod umístěných na kůži pacienta. Přístroj kontinuálně sleduje EKG pacienta na **principu nekonečné smyčky** a do paměti nahrává automatické abnormality

(podle stanovených parametrů) a nebo úseky zaznamenané pacientem manuálně. Použití je z hygienických důvodů omezeno na **několik týdnů**. Příkladem tohoto externího smyčkového záznamníku je 3100 BT od firmy Vitaphone. Přístroj váží okolo 85 gramů a je schopen zachytit až 15 40-sekundových záznamů. Přístroj též umožňuje transtelefonní přenos EKG záznamů. [17]

3.3.3 Implantabilní „loop“ rekordéry

Jedná se o velmi malé zařízení, které je **subkutánně implantováno** pod kůži pacienta. Využívá se, pokud ani přes opakovaně provedenou neinvazivní Holterovskou metodou **není možné zachytit** srdeční arytmií. Pacient tento záznamník nosí po dobu výdrže baterie, což je asi 3 roky. Přístroj zaznamenává EKG epizody podle předem definovaných kritérií a nebo je aktivován pacientem samotným. Po zachycení arytmiie a jejímu vyléčení nebo po vybití baterie přístroje, se záznamník explantuje. [7]

Příkladem implantabilního záznamníku, kromě níže detailněji popsaného Reveal LINQ od firmy Medtronic, je přístroj Confirm Rx od firmy Abbott. Jedná se o třígramový přístroj s výdrží baterie více než 2 roky. Tělo záznamníku má na obou svých koncích umístěnou elektrodu, pomocí které je snímáno jednosvodové EKG. Záznamník zaznamená epizody a ty následně přenesou pomocí mobilní aplikace myMerlin do nemocnice. [18] V porovnání s **Reveal LINQ má Confirm Rx** kratší dobu přenosu události, častější detekci události, kratší dobu trvání diagnózy skutečných arytmiických událostí a vyšší procento diagnostikovaných pacientů. Přesnost detekce arytmiie u obou implantabilních záznamníků zůstává **optimální**. [19]

4 Implantabilní srdeční záznamník

Implantabilní záznamník je programovatelný přístroj, který slouží k nepřetržité monitoraci EKG pacienta. Jedná se o přístroj Reveal LINQ od firmy Medtronic (viz obrázek 4.1). Záznamník má rozměr 44,8 mm x 7,2 mm x 4 mm, váhu okolo 2,5 gramů a výdrž jeho baterie je až 3 roky. Přístroj je schopen zaznamenat informace o detekované arytmii sám nebo po aktivaci pacientem, který pocítí symptomatickou událost.



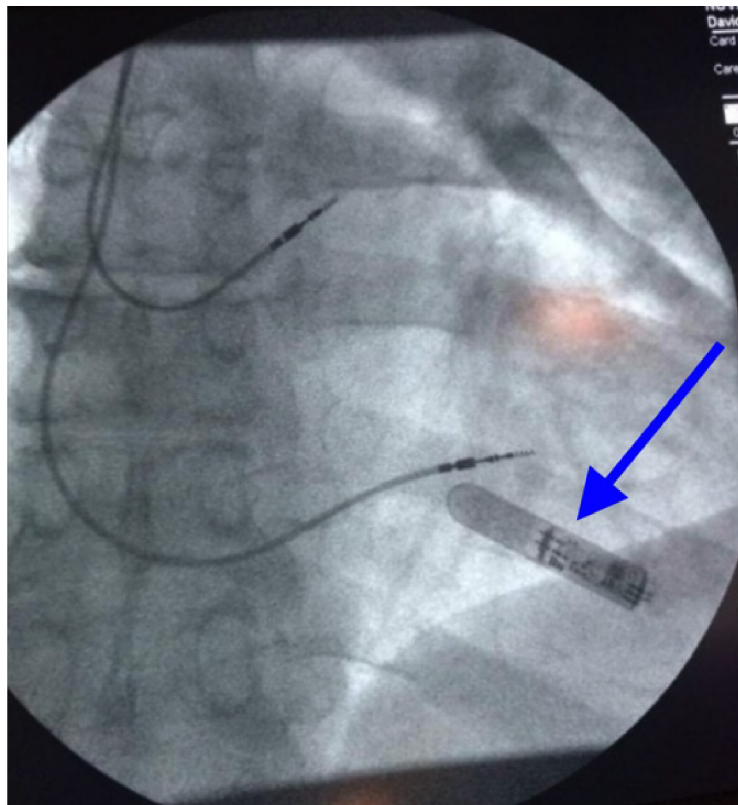
Obrázek 4.1: Implantabilní srdeční záznamník Reveal LINQ [zdroj: autor]

Implantabilní srdeční monitor je bezelektrodový záznamník, který má na svém těle umístěny **dvě elektrody**, pomocí těchto elektrod nepřetržitě snímá subkutánní EKG. Monitor se implantuje pod kůži pacienta.

Přístroj je **indikován** u pacientů s klinickými syndromy nebo stavy zvýšeného rizika srdečních arytmii nebo u pacientů pociťujících přechodné symptomy, které mohou naznačovat srdeční arytmii.[20] Kromě toho roste zájem o použití tohoto monitorování při detekci arytmii po kryptogenní mrtvici a po ablacii fibrilace síní (AF). [21] O kontraindikaci rozhoduje konkrétní stav pacienta.

4.1 Implantace záznamníku

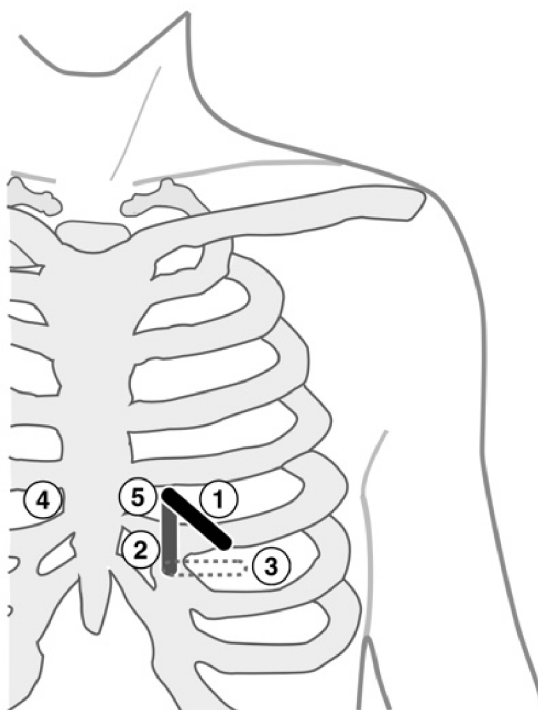
Implantace přístroje má dvě doporučená místa implantace, aniž by bylo potřeba předimplantační mapování povrchu daného místa. Pokud by se přístroj implantoval na jiné místo, je doporučeno předimplantační mapování povrchu za účelem ověření spolehlivosti kvality signálu a snímání amplitudy R-vlny.



Obrázek 4.2: Rentgenový snímek [zdroj: autor]

Nejvhodnějším místem je umístění přístroje nad 4. mezižeberní prostor pod úhlem 45° vůči hrudní kosti. Horní konec přístroje je umístěn přibližně 2cm vlevo laterálně od okraje hrudní kosti, jak je vidět na rentgenovém snímku výše, kde je záznamník označen modrou šipkou (viz obrázek 4.2) **Vhodným** umístěním je přibližně 2 cm nad 4. mezižeberní prostor rovnoběžně s okrajem hrudní kosti.

Pokud nejsou doporučena místa implantace vhodná, lze zvážit použití jiných, volitelných míst, v tomto případě je vhodné použít předimplantační mapování, protože zde může být pozorována nižší spolehlivost kvality signálu. Mapování je provedeno pomocí EKG přístroje v nemocnici. **Volitelné** místo implantace je v místě infra-mamární rýhy do 5. mezižeberního prostoru pod úhlem 90° vůči hrudní kosti (viz obrázek 4.3).



Obrázek 4.3: Místa implantace [20]

1 - nejvhodnější místo implantace, 2 - vhodné místo implantace, 3 - volitelné místo implantace, 4 - umístění EKG elektrody V1, 5 - umístění EKG elektrody V2

Pro implantaci přístroje je nutné provést incizi pod úhlem 90 stupňů pomocí čepele. Poté pomocí nástroje pro zavedení je vytvořena kapsa o správné velikosti a díky tomu je přístroj uveden do správné polohy pro implantaci. Dále se do nástroje pro zavedení vloží píst a ten se stlačí dovnitř. Následně jsou oba nástroje pro zavedení vyjmuty a **záznamník implantován**. Po úspěšné implantaci je třeba **vymazat** data vzniklá při implantaci, **zkontrolovat** údaje o pacientovi a **potvrdit** nastavení parametrů. Je-li pacientovi umožněn záznam symptomů, je třeba ho poučit o způsobu používání ovladače a vysvětlit mu, jaké symptomy by měl zaznamenávat.

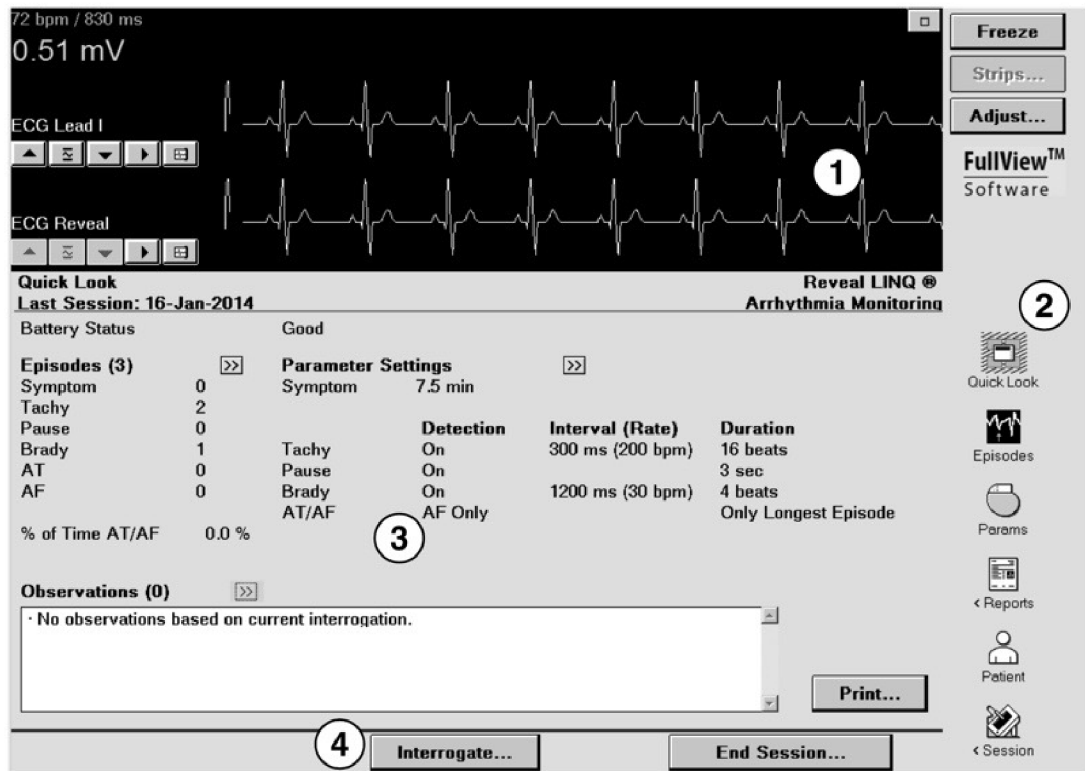
4.2 Provádění pravidelných kontrol

Po samotné implantaci přístroje je důležité naplánovat **pravidelná kontrolní vyšetření** pacienta, při těchto vyšetřeních je možné číst shromážděné údaje a v případě potřeby upravit parametry snímání a detekce epizod. První kontrola pacienta je doporučena 3 měsíce od implantace přístroje, četnost dalších kontrol se odvíjí od stavu stavu pacienta a počtu arytmií. Aby nedošlo ke ztrátě informací přepsáním starších epizod, je vhodné naplánovat kontrolu před zaplněním paměti přístroje.

Kontrola přístroje by měla obsahovat tyto kroky: Kontrola stavu baterie, čtení shromážděných údajů, uložení shromážděných údajů, kontrola snímání, kontrola detekce epizod. Stav baterie přístroje je kontrolován na obrazovce, pokud se na obrazovce objeví hodnota **RRT**, blíží se konec životnosti baterie, poté se objeví zkratka **EOS**, která značí konec životnosti. Po konci životnosti baterie se záznamník musí vyměnit nebo odstranit.

Úvodní okno též zobrazuje počet epizod zaznamenaných od poslední kontroly pacienta (viz obrázek 4.4). Jednotlivé arytmiické epizody se dají prohlížet včetně záznamu EKG. Pomocí těchto nástrojů je možné sledovat vývoj klinického stavu pacienta **krátkodobě i dlouhodobě**. Pokud je paměť pro automaticky detekované příhody i aktivované příhody plná, budou přepsány podrobnosti nejstrašších epizod. Z tohoto důvodu je vhodné při kontrole shromážděné údaje uložit na USB flash.

Kontrola snímání probíhá porovnáním snímání se stopou EKG. Pokud označené události neodpovídají komorovým událostem na EKG, je zde možnost upravit prah citlivosti či periodu zaslepení. Kontrola detekce epizod se dělá porovnáním podrobností v deníku epizod, který si pacient zapisuje, se záznamem EKG epizody a ověřením, že jsou epizody správně detekovány.



Obrázek 4.4: Obrazovka přístroje [20]

1 - okno EKG s ovládacími prvky, 2 - ovládací panel, 3 - hlavní okno, 4 - panel tlačítek

4.3 Nastavení snímání a detekce arytmie

Parametry přístroje lze automaticky nastavit na **nepotvrzené hodnoty** na základě nastavení parametru Reason for monitoring (důvod monitorování) a na základě věku pacienta. Oba tyto parametry je třeba nastavit při implantaci přístroje. Důvod monitorace lze změnit i později při kontrolách pacienta. Mezi možnostmi výběru u para-

metru důvod monitorace patří: synkopa, palpitace, záchvaty, komorová tachykardie, suspektní AF (fibrilace síní), ablace AF, léčba AF a další.

Automatická detekce arytmií je založena na **snímání R-vln**. Je důležité, aby byly snímány všechny R-vlny (všechny komorové události), P-vlny či T-vlny, nejsou pro správné fungování přístroje třeba. Přístroj filtruje signál EKG a omezuje snímání P-vln a T-vln. Filtrovaný EKG signál je porovnán s prahem snímání. **Práh snímání** definuje minimální elektrickou amplitudu, kterou přístroj identifikuje jako snímanou událost. Přístroj využívá dynamický práh snímání, kdy se práh upravuje po snímání R-vlně.

4.4 Ukládání epizod a přenos dat

4.4.1 Ukládání epizod

Epizody, které záznamník detekuje se dají rozdělit na dva druhy: automatické a patientské. **Automatické epizody** jsou detekovány na základě nepřetržitého snímání subkutánního EKG pacienta a analýzy načasování komorových událostí. Záznamník rozlišuje následující 4 typy epizod arytmií: Tachy (komorová tachyarytmie), Brady (bradyarytmie), Pause (asystolie) a AF only or AT/AF (pouze fibrilace síní nebo síňová tachyarytmie/ fibrilace síní). Přístroj ukládá údaje o epizodě a EKG záznam pro každý typ epizody s parametrem Detection (detekce) naprogramovaným na On (zapnuto). Údaje o epizodě se ukládají do deníku epizod, který může obsahovat až 30 epizod bradykardie, pauzy, AT a AF (každého z těchto typů) a až 60 epizod tachykardie. Pokud by již bylo dosaženo zaplnění deníku, budou přepsány nejstarší uložené epizody daného typu údaji nejnovější epizody.

Druhou možností záznamu epizody je **pomocí ovladače**, kdy pacient epizodu zaznamená sám, pociťuje-li symptomy. Pacient může podržet ovladač nad implan- tovaným záznamníkem a stisknutím tlačítka pro záznam symptomů zaznamenat symptomatickou epizodu. Takto je manuálně uložen EKG záznam. Přístroj může

do deníku epizod uložit maximálně 10 epizod aktivovaných pacientem. Po zaplnění deníku budou údaje nejstarší uložené epizody přepsány údaji nejnovější epizody.

4.4.2 Přenos dat

Přístroj přenáší informace každý den do patientského monitoru, **přenos je automatický** a začíná v čase, který byl předem naprogramován při implantaci. Obvykle přenos začíná o půlnoci, kdy se pacient pravděpodobně nachází ve vzdálenosti do 2 m od patientského monitoru. Pro zvýšení pravděpodobnosti úspěchu přenosu, se přenos během 5 hodin několikrát zopakuje. Pokud by nedošlo v tomto časovém úseku k úspěšnému přenosu, přístroj vyčká do následujícího dne a přenos provede znovu. Údaje přenesené do patientského monitoru jsou následně odeslány přes **mobilní telefonní síť na síť CareLink**. Po úspěšném přenosu dat je do patientského monitoru odesláno potvrzující hlášení. Přístroj se dá načíst i manuálně, kdy pacient použije svůj monitor a načte svůj přístroj k přenosu úplných informací na síť CareLink.

Síť CareLink po přijetí údajů bezdrátového přenosu denní kontroly vygeneruje **zprávu o události**. Zpráva obsahuje 30s souhrn EKG pro 1 událost a seznam dalších nálezu pro daný den. Dále se generuje každých 31 dní **souhrnná zpráva**, která obsahuje souhrn informací o všech událostech z bezdrátových přenosů každodenních kontrol, od poslední provedené. Dalším typem generované zprávy, je **úplná zpráva**, ta se vygeneruje, když pacient použije svůj monitor k načtení přístroje a k přenosu úplných informací na síť CareLink. Posledním typem zprávy jsou **aktuální zprávy**, které generuje lékař podle potřeby, a to na webových stránkách sítě CareLink. [20]

K přenosu dat nemusí některé implantabilní záznamníky používat patientskou jednotku, nýbrž **aplikaci v telefonu**. Aplikaci MyMerlin si pacient stáhne do svého mobilního telefonu. Aplikace propojuje telefon s monitorem srdce, automaticky odesílá informace lékaři a také umožňuje zaznamenání patientské epizody[19]. Pro zaznamenání symptomů pacient otevře aplikaci a stiskne tlačítko Zaznamenat symptom.

Po úspěšném přenosu se na telefonu objeví zpráva Úspěch. Epizody zaznamenané záznamníkem se odešlou jakmile bude mít telefon připojení k internetu. [18]

4.5 Funkce přístroje a upozornění

Přístroj nepřetržitě sleduje určenou sadu událostí, které se týkají klinické léčby a výkonnosti systému. Pokud je zachycena událost a je používán patientský monitor, přístroj pošle bezdrátový signál a přenesou souhrnné informace prostřednictvím sítě, dále se upozornění zobrazí na webových stránkách určených pro lékaře. Programátor CareLink nabízí několik způsobů prohlížení a analýzy shromážděných údajů v záznamníku. Lékař může zhodnotit údaje o epizodách a EKG zaznamenané od implantace přístroje či od poslední kontroly pacienta a může sledovat dlouhodobé trendy. [20]

5 Vliv polohy implantabilního záznamníku

Jak bylo popsáno výše, je zde několik možností, na která místa můžeme záznamník implantovat. To, které místo pro implantaci zvolíme, **ovlivní výsledný signál**. Pro popis vlivu polohy implantabilního záznamníku je třeba si nejprve definovat základní pojmy a vztahy z **elektromagnetického pole** v rámci vybraných kapitol.

5.1 Elektromagnetické pole

Elektromagnetické pole (EMP) je složeno z pole **elektrického** a pole **magnetického**. [22] Elektrické pole, elektrický proud, je usměrněný pohyb volných elektricky nabitých částic: elektronů nebo iontů v pevné, kapalně látce či v ionizovaném plynu (tj. v plazmatu). Elektricky nabitá částice nese elektrický náboj (vlastnost mikročástic látky, která se projevuje silovými účinky na podobné mikročástice v jejím okolí). Projevující se silové účinky mezi částicemi závisí na jejich pohybu. **Elektrostatické pole**, vzniká kolem nábojů, které jsou v klidu, kolem nábojů, které jsou v pohybu vzniká **pole elektromagnetické**. Toto pole působí na své okolí silami elektrickými a magnetickými. [23] Působení vnějšího elektromagnetického pole na lidský organismus silně závisí na elektromagnetických vlastnostech tkáně (na její prostorové nerovnoměrnosti, nelinearitě nebo anizotropii) a na orientaci tkáně, která je do prostoru pole vložena. [24]

K popisu EMP slouží čtyři **Maxwellovy-Lorentzovy rovnice** v integrálním a diferenciálním stavu. [25] Dále je vhodné definovat fyzikální pojmy a jednotky dle mezinárodní soustavy SI, které jsou v nich použity.

\mathbf{B} - magnetická indukce v tkáni [T] [kg/s/C]

\mathbf{D} - elektrická indukce v tkáni [C/m²]

\mathbf{H} - intenzita magnetického pole [A/m]

\mathbf{E} - intenzita elektrického pole [V/m]

Φ - magnetický indukční tok [Wb] [Tm²]

ρ - hustota volného náboje [C/m³]

J - hustota elektrického proudu [Am⁻²]

ϵ - permitivita vakua [-]

μ - permeabilita vakua [-]

5.1.1 Maxwellovy rovnice

První z Maxwellových rovnic popisuje elektromagnetickou indukci, Faradayův indukční zákon. Tento zákon říká, že magnetické pole měnící se v čase vytváří pole elektrické s uzavřenými siločárami. Zde je rotace vektoru intenzity elektrického pole \mathbf{E} rovna zaporné derivaci magnetické indukce. [25]

Druhá Maxwellova rovnice je zobecněným ampérovým zákonem, zákon celkového proudu, indukované elektrické pole v těle v důsledku časově proměnlivého magnetického pole generuje proud, tento proud tvoří magnetické pole. [24]

Intenzitu magnetického pole značí \mathbf{H} a rotace jejího vektoru je rovna \mathbf{J} , proudové hustotě a hustotě posuvného proudu. Proudová hustota \mathbf{J} v tkáních je definována pomocí Ohmova zákona (viz rovnice 5.1). Ve kterém je γ vodivost v tkáních. [26]

$$\mathbf{J} = \gamma \mathbf{E} [A/m^{-2}] \quad (5.1)$$

Třetí Maxwellova rovnice vyjadřuje vztah mezi tokem elektrické intenzity a elektrickým nábojem, tedy že siločáry elektrické indukce začínají nebo končí tam, kde je přítomen elektrický náboj. **Čtvrtá Maxwellova rovnice** pojednává o zákonu spojistoti indukčního toku, magnetický indukční tok libovolnou orientovanou uzavřenou plochou S je roven nule. [22]

Po popsání Maxwellových rovnic je vhodné je uvést materiálové rovnice pro lepší pochopení souvislostí mezi veličinami (viz rovnice 5.2 a 5.3). Tyto rovnice jsou pro studium chování elektromagnetického pole v živých tělech velmi důležité. Magnetická indukce \mathbf{B} a intenzita magnetického pole \mathbf{H} jsou spojeny s permeabilitou. μ značí permeabilitu, vzhledem ke slabému diamagnetismu biologických tkání můžeme počítat s permeabilitou vakua, která je přesně definovanou veličinou ($4\pi \cdot 10^{-7}$). Veličiny elektrická indukce \mathbf{D} a intenzita elektrického pole \mathbf{E} jsou spojeny s permitivitou. ϵ značí permitivitu, v tomto případě se jedná také o permitivitu vakua ($8,86 \cdot 10^{-12}$).

$$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H} \quad (5.2)$$

$$\mathbf{D} = \epsilon \mathbf{E} \quad (5.3)$$

Na implantovný přístroj se v našem případě nahlíží jako na pasivní implantát, který nevytváří elektromagnetické pole. [24] K popisu snímání v určité poloze je důležitá rovnice týkající se **proudové hustoty** \mathbf{J} (viz rovnice 5.1), která popisuje lokální rozložení elektrického proudu. Z tohoto vzorce plyne intenzita elektrického proudu, která se dá též vyjádřit jako napětí zdroje na délku vodiče (viz rovnice 5.4).

$$\mathbf{E} = \frac{U}{l} [V/m] \quad (5.4)$$

5.2 Snímání jednosvodového EKG

Jednosvodový EKG záznam vzniká mezi dvěma elektrodami. Měřený signál pak odpovídá rozdílu potenciálů mezi oběma elektrodami. Námí měřené EKG je

subkutánní EKG, které se může lišit od povrchového EKG v důsledku rozdílů ve vzdálenosti elektrod, umístění přístroje v těle a rozdílů mezi impedancemi subkutánních a povrchových kontaktů.

Důležitým parametrem u jednosvodového záznamu je **amplituda R-vlny**. Výchylka amplitudy signálu souvisí se **směrem šíření signálu**, zda se signál šíří k či od záznamníku. **Výchylka amplitudy** bude kladná, pokud se signál bude šířit směrem k záznamníku a záporná pokud tomu bude naopak. Amplituda měřeného signálu závisí na úhlu, který svírá směr šíření s vektorem snímání. V homogenním elektromagnetickém poli platí vztah pro **magnetický indukční tok** Φ , který popisuje závislost na směru působení zdroje elektromagnetického pole na plochu \mathbf{S} (viz rovnice 5.5). Úhel α svírá vektor magnetické indukce s normálovým vektorem plochy.

$$\Phi = \mathbf{BS} \cos \alpha [Wb] \quad (5.5)$$

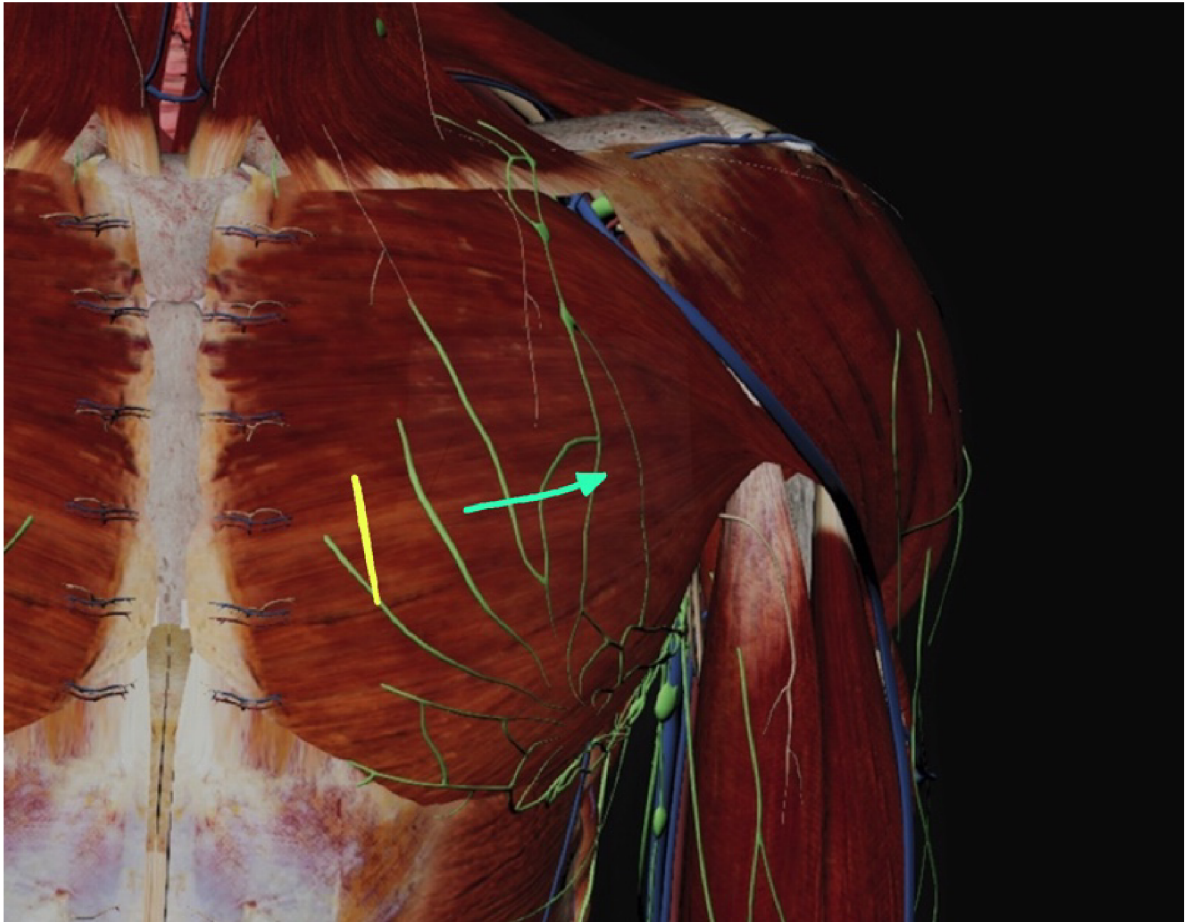
Důsledkem harmonických změn magnetického indukčního toku v nestacionárním elektromagnetickém poli se **indukuje napětí**. Napětí indukované ve smyčce můžeme popsat následujícím vzorcem (viz rovnice 5.6). [26]

$$U_i = \frac{d\Phi}{dt} [V] \quad (5.6)$$

Uvažujeme dvě polohy, jak záznamník implantovat, první z nich je **po směru svalových vláken** prsního svalu. Druhá poloha je **kolmá na směr svalových vláken** a je tedy ve směru ekvipotenciály. Ekvipotenciála je množina všech bodů se stejným potenciálem, v obrázku níže (viz obrázek 5.1) je znázorněna **žlutou linkou**, kolmou na prsní sval. Na obrázku je též **modrou šipkou** znázorněna druhá možnost polohy záznamníku a směr myopotenciálu.

Pokud by byl přístroj implantován na pozici modré šipky, byl by snímán **pouze** myopotenciál prsního svalu a nebyla by zachycena žádná srdeční akce. Ideálnějším případem by byla poloha dle žluté pozice, tehdy by nebyla snímána **téměř žádná** aktivita prsního svalu. Tato poloha ovšem neprotíná elektrickou osu srdce, a proto

by srdeční aktivita zachycena také nebyla. Elektrická osa srdce byla popsána ve fyziologii srdce. Na obrázku ve 2. kapitole (viz obrázek 2.4) je modře znázorněna srdeční osa. Přístroj je tedy nutné **implantovat pod úhlem** (nejčastěji 45°), úhel sice není zcela ideální z hlediska myopotenciálů prsního svalu, ale protíná již srdeční osu. Záznamník má dále pomocí softwaru vyfiltrované potenciály prsního svalu a díky tomu vzniká kvalitní srdeční signál.



Obrázek 5.1: Prsní sval a myopotenciály [27]

modrá šipka - směr šíření vzruchu prsním svalem, žlutá - ekvipotenciála

6 Simulace událostí na fantomu záznamníku

6.1 Cíle a výzkumné otázky

Cílem práce je **simulace událostí** na fantomu implantabilního záznamníku. Tomu předchází rešerše problematiky dlouhodobé monitorace srdečního rytmu. Popis snímání záznamu EKG pomocí „loop” rekordéru, popis jeho implantace, detekce epizod a přenos získaných dat.

6.2 Metodika výzkumu

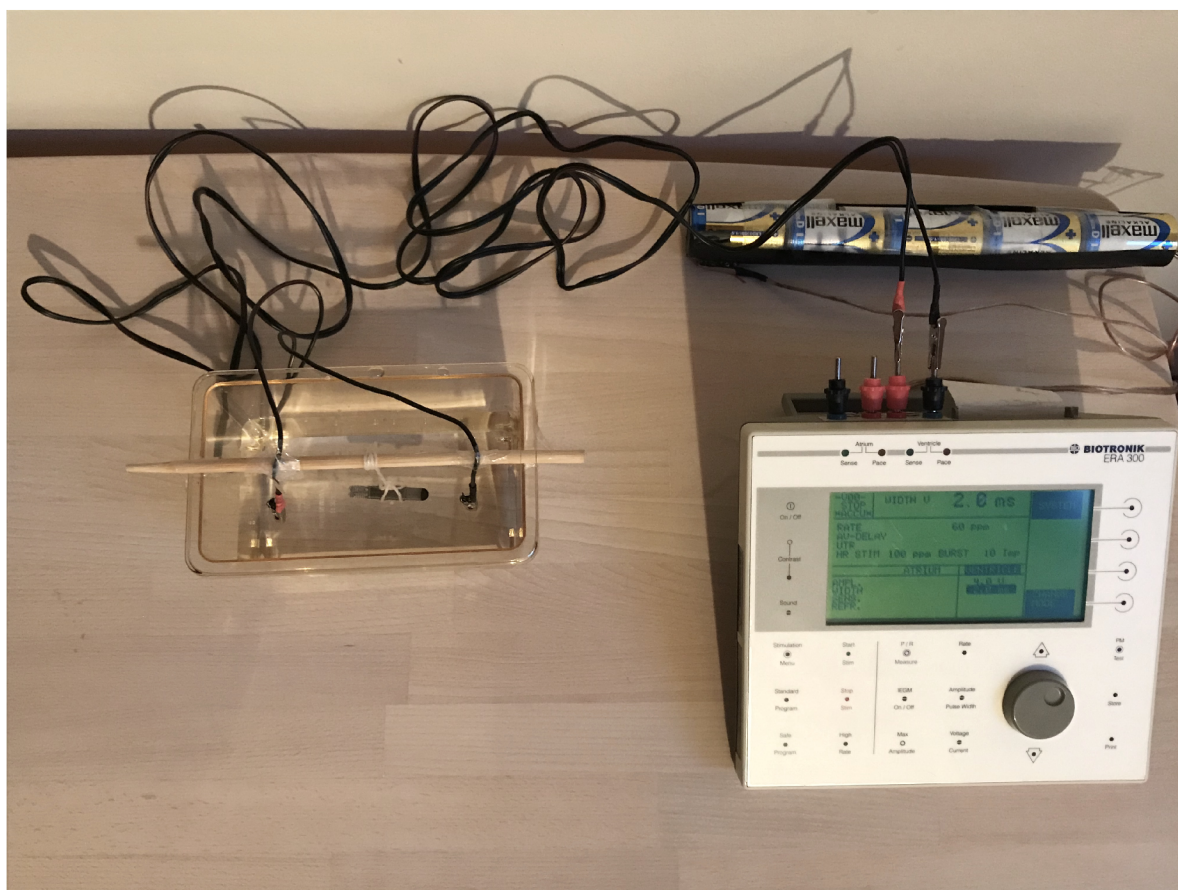
Práce se zabývá implantabilním srdečním záznamníkem. Tento záznamník umožňuje dlouhodobou monitoraci pacienta, který pociťuje příznaky srdeční arytmie. V teoretické části v kapitole 5, byly popsány dvě polohy implantabilního záznamníku. Tyto polohy jsem dále ověřovala na fantomu „loop” rekordéru.

K fantomu jsem potřebovala **generátor** externího elektromagnetického pole a **monitorovací jednotku**, která byla propojená se záznamníkem. Generátor i jednotka mi byly zapůjčeny z oddělení kardiologie v Krajské nemocnici Liberec. Jedná se o generátor Biotronik ERA 300, k jehož napájení slouží alkaické baterie typu D.

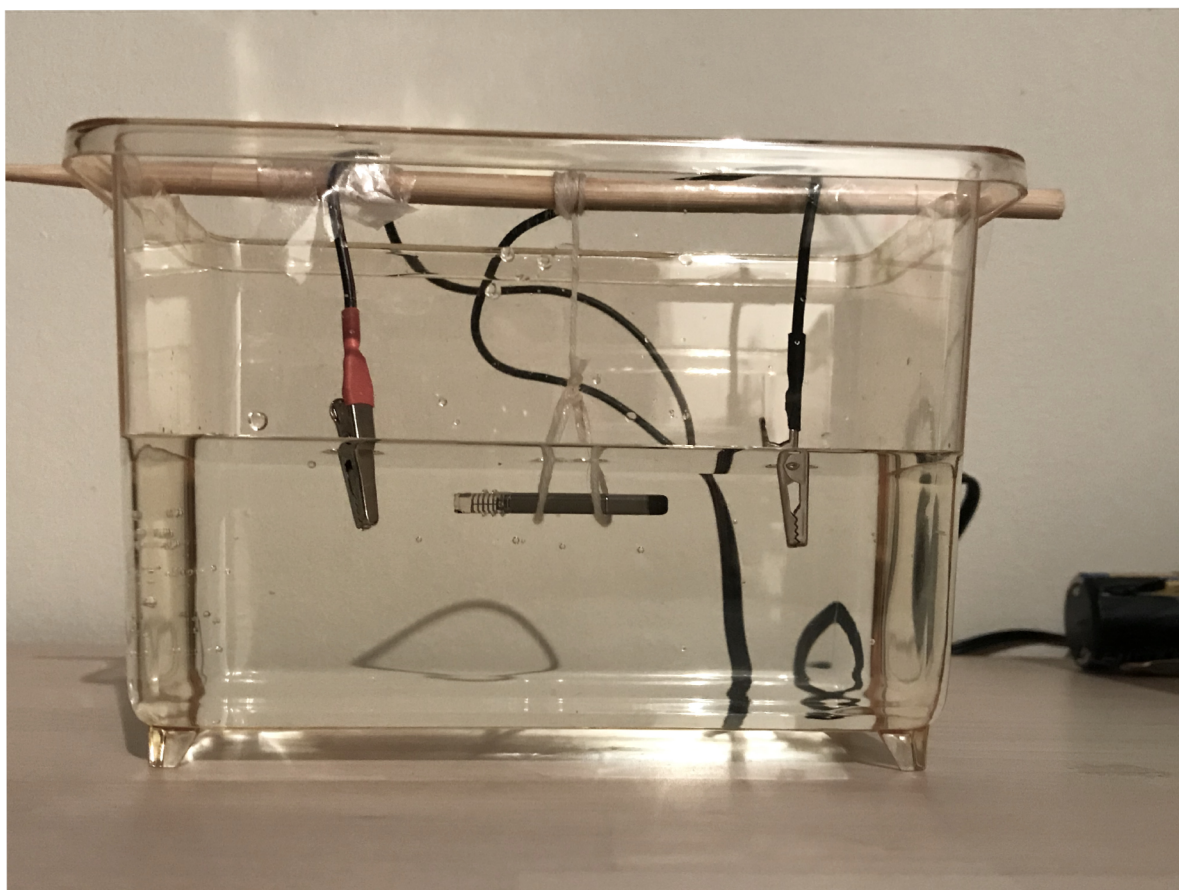
Na **fantom** jsem použila plastovou kádinku o rozměrech 16x10,5x11 cm. Na kádinku jsem umístila dřevěnou tyčku, na kterou jsem poté mohla upevnit záznamník a kabely s elektrodami. Uvažovala jsem dvě polohy, první, kdy záznamník byl umístěn **vodorovně** s podložkou a druhou, kdy byl záznamník vůči podložce **svisle**. Musela jsem tedy vymyslet, jak a čím záznamník uvázat. Nejdříve jsem zkusila záznamník

upevnit tenkou průhlednou bužírkou, ta se ale příliš rozvazovala a také pružila, což znemožňovalo přístroj umístit do přesně považované polohy. Jako druhou možnost jsem zvolila pevný provázek, který byl ideálním řešením. Když jsem veděla, jak upevním záznamník, bylo třeba upevnit elektrody.

Elektrody jsem na jednom jejich konci napojila na generátor, jak je vidět na obrázku níže (viz obrázek 6.1) napojila jsem je na komorový výstup. Tyto elektrody jsem svým druhým koncem připevnila na dřevěnou tyčku pomocí samolepící pásky. Elektrody jsem umístila v 2 centimetrové vzdálenosti od záznamníku i od stěn nádoby (viz obrázek 6.2), aby nedocházelo k žádnému dotyku komponentů. **Monitorovací jednotku** jsem zapojila do zásuvky a plně dobila, abych měla možnost po provedeném měření zrealizovat přenos do nemocnice.



Obrázek 6.1: Připojení generátoru a elektrod [zdroj: autor]



Obrázek 6.2: Umístění elektrod v nádobě [zdroj: autor]

Vodorovná poloha záznamníku

Poté, co jsem měla vše připravené na tyčce, upevnila jsem i tu k nádobě. Na závěr jsem do kádinky nalila 700ml fyziologického roztoku.

6.3 Snímání záznamníku

Nyní, když jsem měla vše připravené, pustila jsem generátor a na něm nastavila parametry. Provedla jsem několik měření a zvolila různá **napětí i šířku pulzu**. Pro ideální zobrazení výsledných amplitud, jsem zvolila co největší šířky pulzů. Na obrázku (viz obrázek 6.1) je vidět, jeden z nastavených parametrů, napětí 4V a šířka pulzu 2ms (záznam viz příloha A5, A6, A7 a A8) . Dále jsem snímala s pa-

rametry: 5V a 2,5ms, 3V a 2,5ms (záznam viz příloha A9, A10, A11 a A12), 4,5V a 2,5ms, 3V a 2ms. Po nastavení parametrů jsem stiskla tlačítko start a začala vytvářet elektromagnetické pole okolo implantabilního záznamníku. Jako první, jsem záznamník měla umístěný **vodorovně s povrchem** (viz obrázek 6.2). Elektromagnetické pole tedy procházelo od jedné elektrody ke druhé. Pro zaznamenání epizody do přístroje, bylo třeba aktivovat **pacientský ovladač** (viz obrázek 6.3). Ovladač je třeba přiložit, co nejbližší k přístroji a stisknout světle modré tlačítko. V tu chvíli se na ovladači rozsvítí modré světlo signalizující nahrávání epizody. Přístroj zaznamená část snímání před aktivací a část po ní. Čas, kdy je stisknut ovladač z důvodu pocíťovaných symptomů, je na výsledném záznamu označen **modrou hvězdičkou**. Po úspěšném záznamu na ovladači zhasne modré světlo a rozsvítí se světlo zelené.



Obrázek 6.3: Ovladač k zaznamenání epizod [zdroj: autor]

Po nahrání několika epizod ve vodorovné poloze pro napětí 3V, 4V a 5V a pro šířku pulzu 2ms a 2,5ms. Jsem provedla přenos pomocí **pacientské jednotky**. Nej-

prve je nutné stisknout šedé tlačítko, následně jednotka naviguje uživatele ke zvednutí čtecího zařízení a jeho přiložení na hrudník pacienta, co nejbližší k záznamníku (viz obrázek 6.4). Já jsem přikládala čtecí zařízení na dlaň, ve které jsem měla již vyjmutý záznamník. Čtecí zařízení je nutné chvíli na hrudníku (dlani) podržet a po další instrukci na displeji jednotky jej znovu položit zpět. Pacientská jednotka po položení čtecího zařízení pošle data na síť CareLink. Po přenosu, se na displeji objeví zelený znak, signalizující, že přenos byl úspěšný (viz obrázek 6.5). Data byla přes síť CareLink odeslána do nemocnice, odkud mi následně byla poskytnuta.

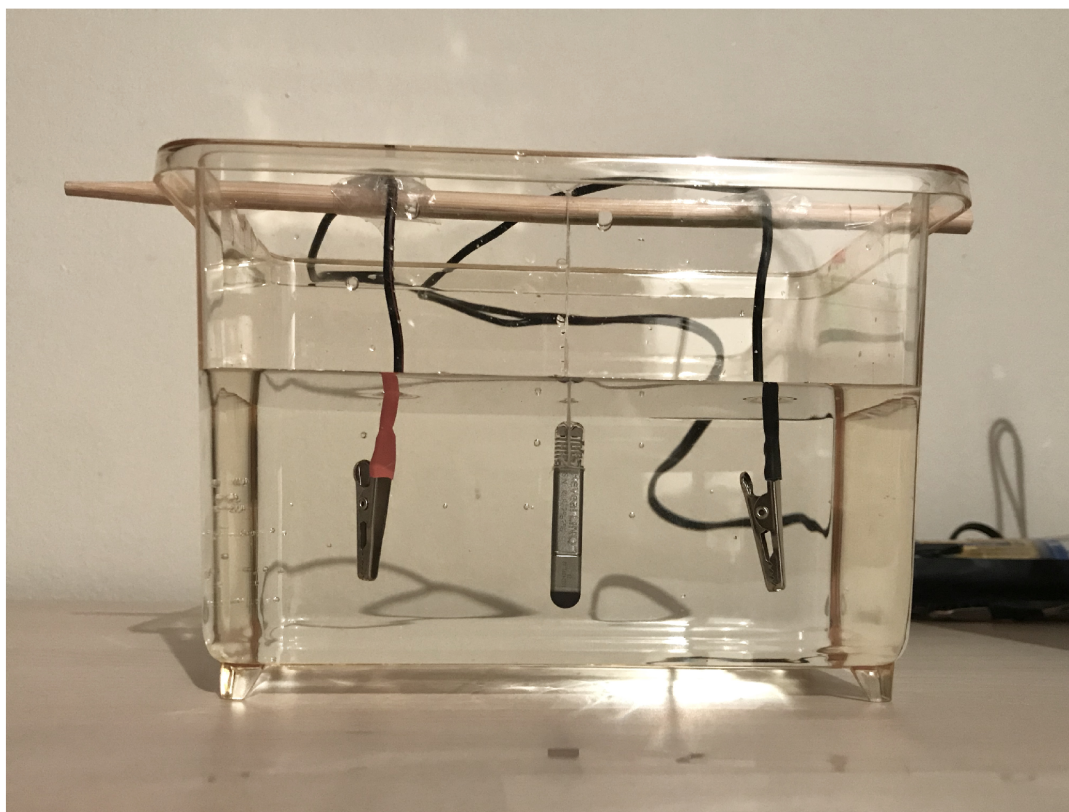


Obrázek 6.4: Pacientský monitor [zdroj: autor]

vlevo - čas načtení záznamníku, vpravo - čas přenosu jednotky na síť

Po naměření a odeslání dat z vodorovné polohy, jsem provedla měření pro **svislou polohu** (viz obrázek 6.5). Upevnění záznamníku jsem provedla pomocí pevného provázku, stejně jako u předchozí polohy. Záznamník jsem více ponořila do vody, aby bylo zajištěno správné snímání obou elektrod. Použila jsem stejné parametry, abych mohla měření správně porovnat. Pro přenos dat jsem následně znovu použila

pacientskou jednotku a čtecí zařízení.



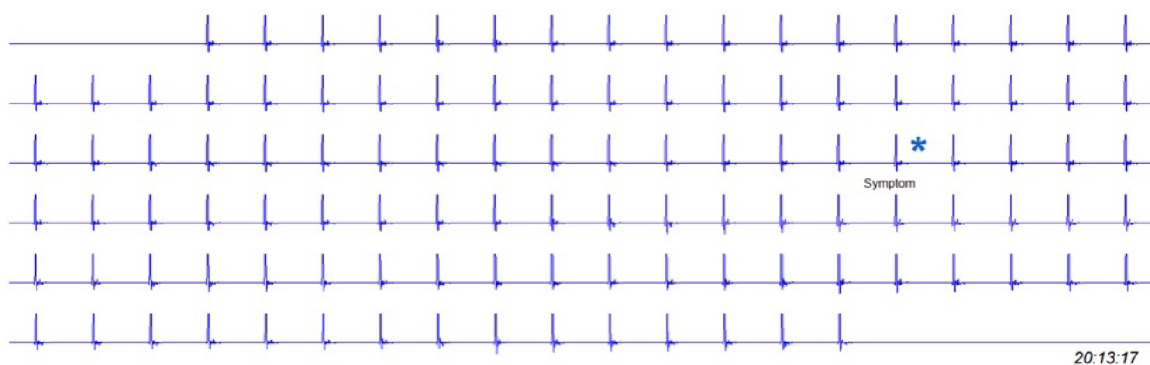
Obrázek 6.5: Svislá poloha záznamníku [zdroj: autor]

Jednotlivá měření jsem prováděla vždy s odstupem několika minut (nejčastěji 10 minut), abych mohla správně určit konkrétní měření a jeho parametry.

6.4 Analýza dat

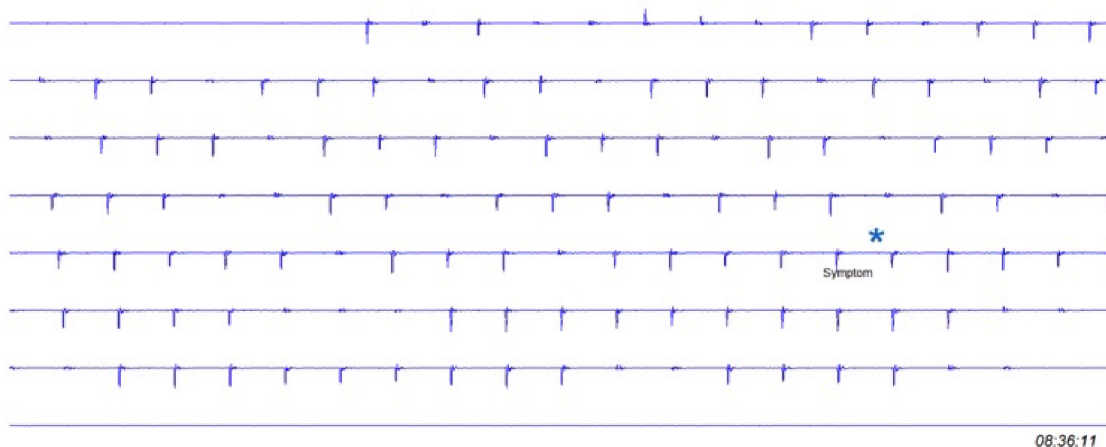
Pro **porovnání** svislé a vodorovné polohy jsem z naměřených dat vybrala parametry 5V a 2,5ms. Tyto parametry se ukázaly jako ideální pro názornost. Z dat je patrné, že při stimulaci ve vodorovné poloze, prochází záznamníkem elektromagnetické pole ve směru snímání (pod úhlem 0°). Záznamník je tedy schopný díky tomu signál kvalitně snímat. Na záznamu jsou velmi dobře patrné **kladné amplitudy** (viz obrázek 6.6 a příloha A.1 a A.2), které jsou zaznamenány v **pravidelných** intervalech. Modrá

hvězdička značí mou aktivaci ovladače a uvedené číslice v dolním levém rohu, čas měření.



Obrázek 6.6: Výřez záznamu vodorovné polohy záznamníku [zdroj: autor]

Záznam ze svislé polohy za použití stejných parametrů je zobrazeny níže (viz obrázek 6.7 a příloha A3 a A4). Data ze svislé polohy zobrazují **nepravidelně** se vyskytující **zápornou amplitudu**.



Obrázek 6.7: Výřez záznamu svislé polohy záznamníku [zdroj: autor]

7 Diskuze

Z mnou naměřených dat vyplývá, že poloha implantabilního záznamníku ovlivňuje jeho snímání. Data jsem naměřila ve dvou předem stanovených pozicích. Výsledky ukazují, že poloha svislá vůči podložce pro záznamník není vhodná, protože pole neprochází záznamníkem od jedné elektrody k druhé, ale oběma najednou. Záznamník snímá rozdíl potenciálů a ten ve svislé poloze téměř není. Záznam je tedy nekvalitní s nepravidelně se vyskytujícími zápornými amplitudami. Oproti tomu poloha vodorovná má snímání kvalitní s výraznými pravidelnými kladnými amplitudami. Elektromagnetické pole zde prochází ve směru záznamníku, od jedné elektrody k druhé.

Byla tedy prokázána správnost popisu snímání v teoretické části. Svislá poloha vůči podložce znázorňuje polohu záznamníku ve směru svalových vláken prsního svalu. Z toho nám vyplývá, že poloha kolmá na svalová vlákna je ideální, protože nebude zachycena aktivita prsního svalu, tato poloha ovšem není vhodná pro zachycení srdeční aktivity. Přístroj je implantován pod úhlem 45 stupňů, aby došlo ke snímání srdeční aktivity, bohužel s tím dochází i ke snímání aktivity prsního svalu. Nejideálnějším způsobem pro snímání by bylo záznamník implantovat přímo na srdeční sval, aby záznam nebyl zarušen pohybem prsního svalu. Implantace na srdeční sval by byla velkou intervencí do těla pacienta. Implantabilní srdeční záznamník se používá pro pacienty, kteří zatím nemají prokázanou žádnou srdeční poruchu, a proto je pro ně takto velký zásah do těla nevhodný.

8 Závěr

Dlouhodobá monitorace srdečního rytmu dnes poskytuje možnost diagnostikovat a včas zachytit srdeční arytmie. Teoretická část této práce nejprve obsahuje znalosti z anatomie a elektrofyziologie srdce. Dále byla popsána dlouhodobá monitorace srdečního rytmu, provedena její rešerše a byly uvedeny konkrétní přístroje pro dlouhodobou monitoraci. Na tuto kapitolu navázala kapitola pojednávající o implantabilním srdečním záznamníku a jeho implantaci, snímání, detekci a ukládání epizod. Závěr teoretické části práce byl věnován vlivu polohy implantabilního záznamníku a byly zde definovány základní pojmy elektromagnetického pole.

V části experimentální byl vytvořen fantom záznamníku a provedeno měření vlivu polohy přístroje vůči elektromagnetickému poli. Bylo provedeno několik měření s různými hodnotami napětí a šířky pulzů. Data naměřená pomocí záznamníku, externího elektromagnetického pole a patientské jednotky byla telemedicínsky přenesena a následně vyhodnocena.

Jedním z cílů bylo fyzikální odůvodnění v teorii, proč má poloha záznamníku vliv na snímání signálu a jeho kvalitu. Tyto předpoklady z teoretické části byly potvrzeny pomocí simulace na fantomu. Simulací byl prokázán vliv polohy implantabilního záznamníku vůči elektrické ose srdeční a bylo dokázáno, že poloha vodorovná má kvalitnější záznam s pravidelnými kladnými amplitudami. Stanovené cíle byly splněny.

Seznam použité literatury

1. Korpas, David. *Kardiostimulační technika*. Praha: Mladá fronta, 2011. ISBN 978-80-204-2492-1.
2. Čihák, Radomír. *Anatomie 3*. Třetí vydání. Praha: Grada, 2016. ISBN 978-80-247-5636-3.
3. Kittnar, Otomar. *Lékařská fyziologie*. 2. vyd. Praha: Grada, 2020. ISBN 978-80-247-1963-4.
4. Penhaker, Marek. *Lékařské diagnostické přístroje: učební texty*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2004. ISBN 80-248-0751-3.
5. Haberl, Ralph. *EKG do kapsy*. 1. české vyd. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4192-5.
6. Šedivý, Dominik. *Čerpadla určená pro náhradu lidského srdce*. Brno, 2014. Dostupné také z: <http://casopisvnitrnilekarstvi.cz/pdfs/vnl/2022/03/03.pdf>.
7. Bulava, Alan. *Kardiologie pro nelékařské zdravotnické obory*. 1. vydání. Praha: Grada, 2017. ISBN 978-80-271-0468-0.
8. Eisenberger, M., A. Bulava a M. Fiala. *Základy srdeční elektrofyzologie a katéetrových ablací*. Vyd. 1. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-3677-8.
9. Bennett, David H. *Srdeční arytmie: praktické poznámky k interpretaci a léčbě*. 1. vyd. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-5134-4.
10. Bulková, Veronika et al. Využití telemedicíny v arytmiologii. *Vnitřní lékařství* [online]. 2022, 68(3), 160–165 [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <http://casopisvnitrnilekarstvi.cz/pdfs/vnl/2022/03/03.pdf>.

11. TÁBORSKÝ, Miloš et al. *Kardiologie*. Praha: Česká kardiologická společnost, 2021. ISBN 978-80-271-1439-9.
12. NETTER, Frank H. *Netterův anatomický atlas člověka*. Brno: CPress, 2016. ISBN 978-80-264-3212-8.
13. BULKOVÁ, Veronika. Dlouhodobá EKG monitorace. *Vnitřní lékařství* [online]. 2021, **67**(1), 16–21 [cit. 2022-07-15]. Dostupné z: <https://www.casopisvnitrnilekarstvi.cz/pdfs/vnl/2021/01/02.pdf>.
14. ADAMEC, Jan a Richard ADAMEC. *EKG podle Holtera: elektrokardiografická interpretace*. 1. vyd. Praha: Galén, 2003. ISBN 978-80-7262-483-6.
15. CORINTEZ, s.r.o. *EKG Holter* [online]. 2018 [cit. 2022-07-05]. Dostupné z: <https://www.corintez.cz/info-pro-pacienty/ekg-holter/>.
16. CARDIOLINE. *Uživatelský manuál walk 400h*. Italy, 2008.
17. CHOVANČÍK, Jan. *Dlouhodobá externí monitorace EKG po katetrové ablacii paroxysmální fibrilace síní* [online]. Brno, 2018 [cit. 2022-07-07]. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/lq8f1/DIZERTACE_JCH_1_12-17_zkouska.pdf.
18. ABBOTT. Confirm Rx ICM [online]. 2017 [cit. 2022-07-07]. Dostupné z: <http://ecc-conference.com/1/mam2017/mam2017-d1-s7-4-Steffel.pdf>.
19. IP, John et al. Accuracy of arrhythmia detection in implantable cardiac monitors: a prospective randomized clinical trial comparing Reveal LINQ and Confirm Rx. *Pacing and Clinical Electrophysiology* [online]. 2020, **43**(11), 1344–1350 [cit. 2022-07-08]. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/pace.14076>.
20. MEDTRONIC, Inc. *Implantabilní srdeční monitor: Příručka pro lékaře*. Minneapolis, 2013.
21. PÜRERFELLNER, Helmut et al. Miniaturized Reveal LINQ insertable cardiac monitoring system: First-in-human experience. *Heart Rhythm* [online]. 2015, **12**, 1113–1119 [cit. 2022-06-18]. Dostupné z DOI: <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2015.02.030>.

22. ŠTOLL, I., J. TOLAR a I. JEX. *Klasická teoretická fyzika*. Vydání první. Praha: Univerzita Karlova, Karolinum, 2017. ISBN 978-80-246-3545-3.
23. ROSINA, J., J. VRÁNOVÁ a H. KOLÁŘOVÁ. *Biofyzika: pro zdravotnické a biomedicínské obory*. 2., doplněné vydání. Praha: Grada, 2021. ISBN 978-80-271-2526-5.
24. RICHTER, A., Ž. FERKOVÁ a V. BITTNER. Impact of External Low-dynamic Magnetic Field on Human Body with Metal Implants, Combination of Energy Conversation Principle and Maxwell Equations. *2019 International Conference on Electrical Drives Power Electronics (EDPE)* [online]. 2019, 235–241 [cit. 2022-07-03]. Dostupné z DOI: [10.1109/EDPE.2019.8883898](https://doi.org/10.1109/EDPE.2019.8883898).
25. SEDLÁK, Bedřich a Ivan ŠTOLL. *Elektřina a magnetismus*. 3.vyd. Praha: Karolinum, 2012. ISBN 978-80-246-2198-2.
26. MORAVA, Jan et al. Vliv polohy kardiostimulační elektrody na detekci elektromagnetické interference. *Elektrorevue* [online]. 2020, **22**(5), 126–130 [cit. 2022-06-08]. ISSN 1213-1539. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Jakub-Zajic-2/publication/353038360_The_influence_of_cardiostimulation_electrode_position_on_the_detection_of_electromagnetic_interference/links/60e56544a6fdcc34864199f0/The_influence_of_cardiostimulation_electrode_position_on_the_detection_of_electromagnetic_interference.pdf.
27. FAKULTA, ZDRAVOTNICKÝCH STUDIÍ. *Vizualizace pitevní stul FZS*. Liberec, 2022.

Seznam obrázků

2.1	Anatomie srdce [6]	16
2.2	Převodní systém srdeční [7]	18
2.3	Ideální EKG křivka [7]	22
2.4	Normální sklon elektrické osy srdeční [12]	24
3.1	Typy záznamníků dlouhodobé monitorace [13]	26
3.2	Holter EKG [15]	27
4.1	Implantabilní srdeční záznamník Reveal LINQ [zdroj: autor]	30
4.2	Rentgenový snímek [zdroj: autor]	31
4.3	Místa implantace [20]	32
4.4	Obrazovka přístroje [20]	34
5.1	Prsní sval a myopotenciály [27]	42
6.1	Připojení generátoru a elektrod [zdroj: autor]	44
6.2	Umístění elektrod v nádobě [zdroj: autor]	45
6.3	Ovladač k zaznamenání epizod [zdroj: autor]	46
6.4	Pacientský monitor [zdroj: autor]	47
6.5	Svislá poloha záznamníku [zdroj: autor]	48
6.6	Výřez záznamu vodorovné polohy záznamníku [zdroj: autor]	49
6.7	Výřez záznamu svislé polohy záznamníku [zdroj: autor]	49
A.1	Záznam vodorovné polohy 5V str. 1	58
A.2	Záznam vodorovné polohy 5V str. 2	59

A.3	Záznam svislé polohy 5V str. 1	60
A.4	Záznam svislé polohy 5V str. 2	61
A.5	Záznam vodorovné polohy 4V str. 1	62
A.6	Záznam vodorovné polohy 4V str. 2	63
A.7	Záznam svislé polohy 4V str. 1	64
A.8	Záznam svislé polohy 4V str. 2	65
A.9	Záznam vodorovné polohy 3V str. 1	67
A.10	Záznam vodorovné polohy 3V str. 2	68
A.11	Záznam svislé polohy 3V str. 1	69
A.12	Záznam svislé polohy 3V str. 2	70

A Přílohy

Tato část obsahuje seznam příloh. Jsou zde vloženy záznamy EKG, které byly zkoumány.

A.1 Seznam příloh

- Záznam vodorovné polohy 5V a 2,5ms
- Záznam svislé polohy 5V a 2,5ms
- Záznam vodorovné polohy 4V a 2ms
- Záznam svislé polohy 4V a 2ms
- Záznam vodorovné polohy 3V a 2,5ms
- Záznam svislé polohy 3V a 2,5ms

A.2 Záznam vodorovné polohy 5V a 2,5ms

A.3 Záznam svislé polohy 5V a 2,5ms

A.4 Záznam vodorovné polohy 4V a 2ms

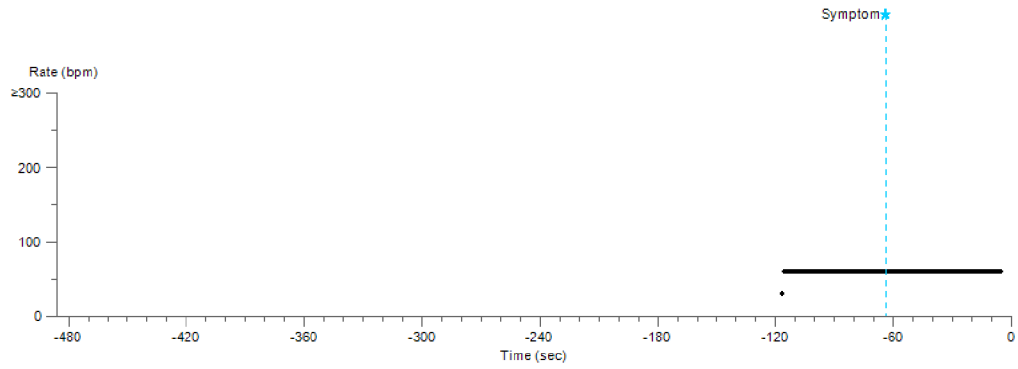
A.5 Záznam svislé polohy 4V a 2ms



1 test



Episode Detail: Symptom (ID# 50)



Assessment Legend: Appropriate Indeterminate Inappropriate

ID#	Assessment	Type	Date	Detected hh:mm	Duration hh:mm:ss	Max V. Rate	Median V. Rate
50		Symptom	20-Jul-2022	20:12			

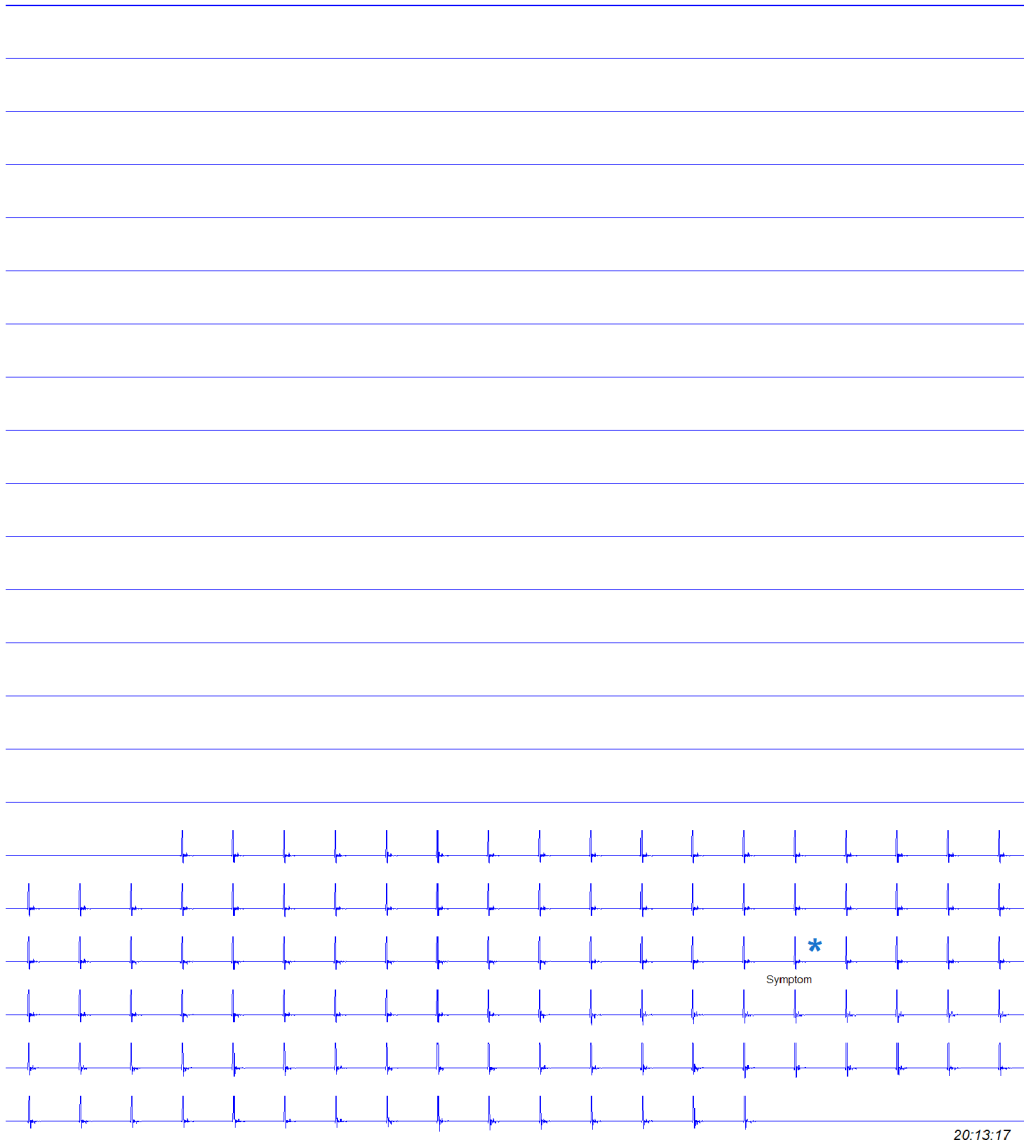
Obrázek A.1: Záznam vodorovné polohy 5V str. 1

Symptom (Patient Activated) ID# 50, 20-Jul-2022

20:05:47

* Symptom (Patient Activated)
■ Automatic Detection Recording ▼ Detected ■ Terminated

10 seconds



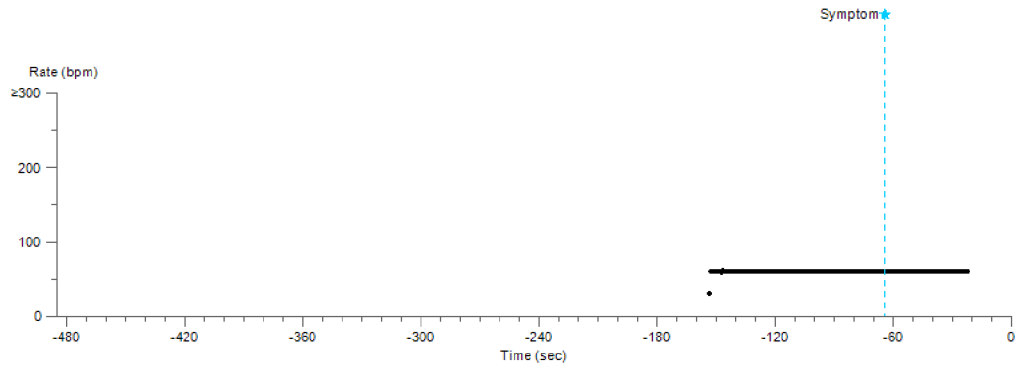
Obrázek A.2: Záznam vodorovné polohy 5V str. 2



1 test



Episode Detail: Symptom (ID# 52)



Assessment Legend: Appropriate Indeterminate Inappropriate

ID#	Assessment	Type	Date	Detected hh:mm	Duration hh:mm:ss	Max V. Rate	Median V. Rate
52		Symptom	21-Jul-2022	08:35			

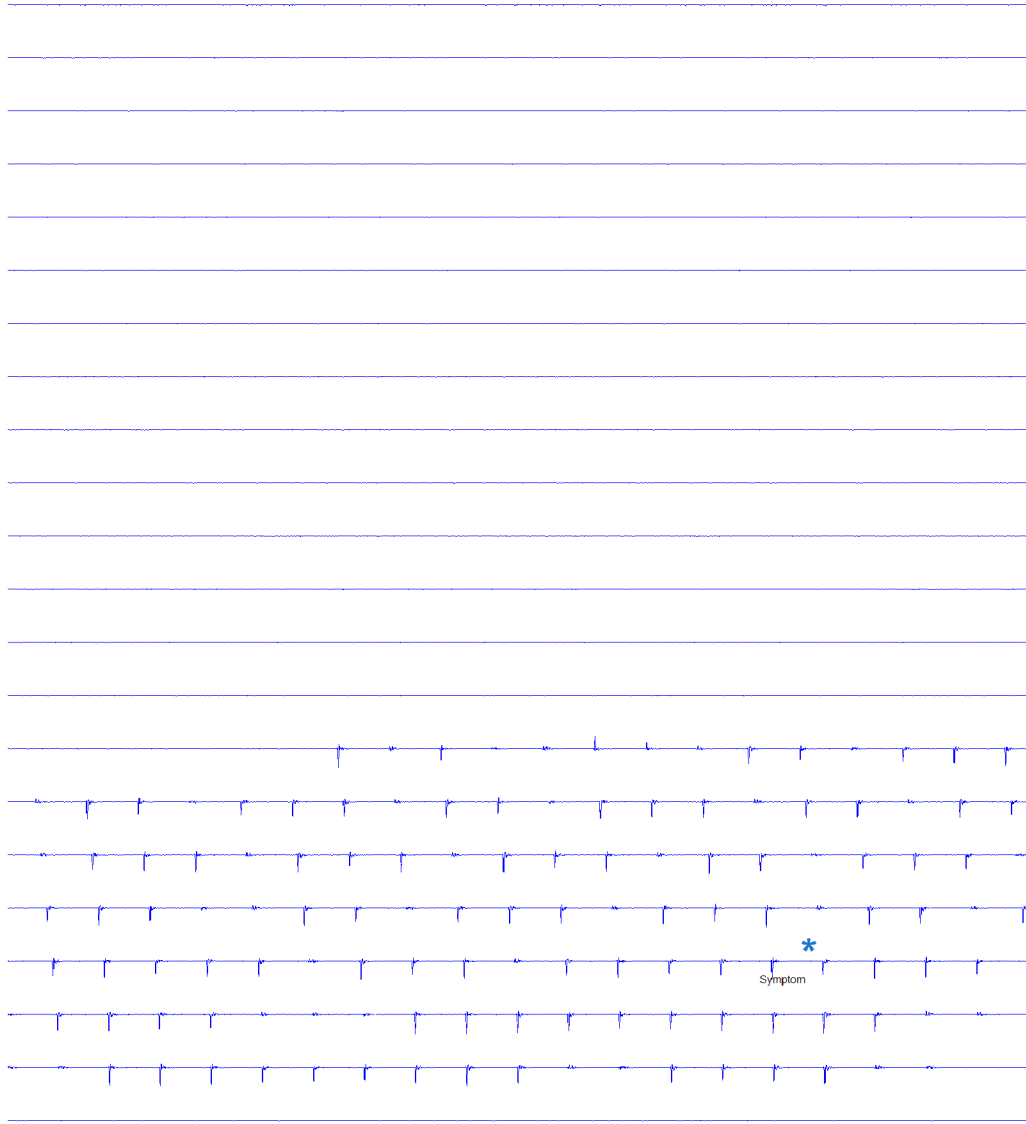
Obrázek A.3: Záznam svislé polohy 5V str. 1

Symptom (Patient Activated) ID# 52, 21-Jul-2022

08:28:41

* Symptom (Patient Activated)
■ Automatic Detection Recording ▼ Detected ■ Terminated

10 seconds



08:36:11

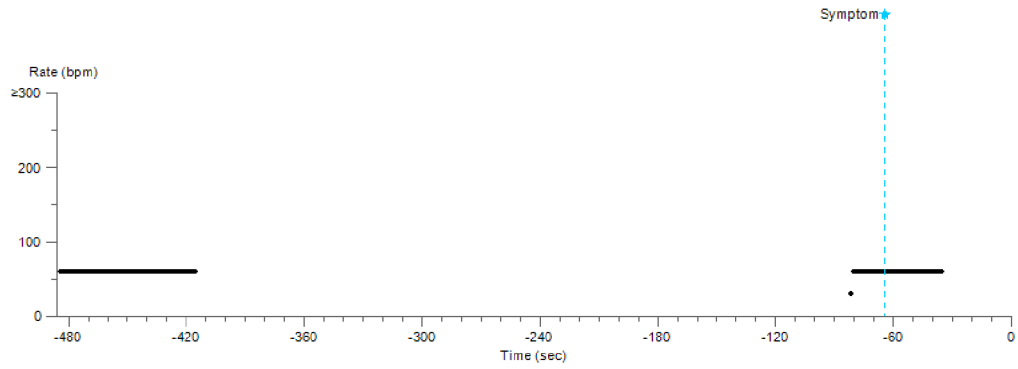
Obrázek A.4: Záznam svislé polohy 5V str. 2



1 test



Episode Detail: Symptom (ID# 49)



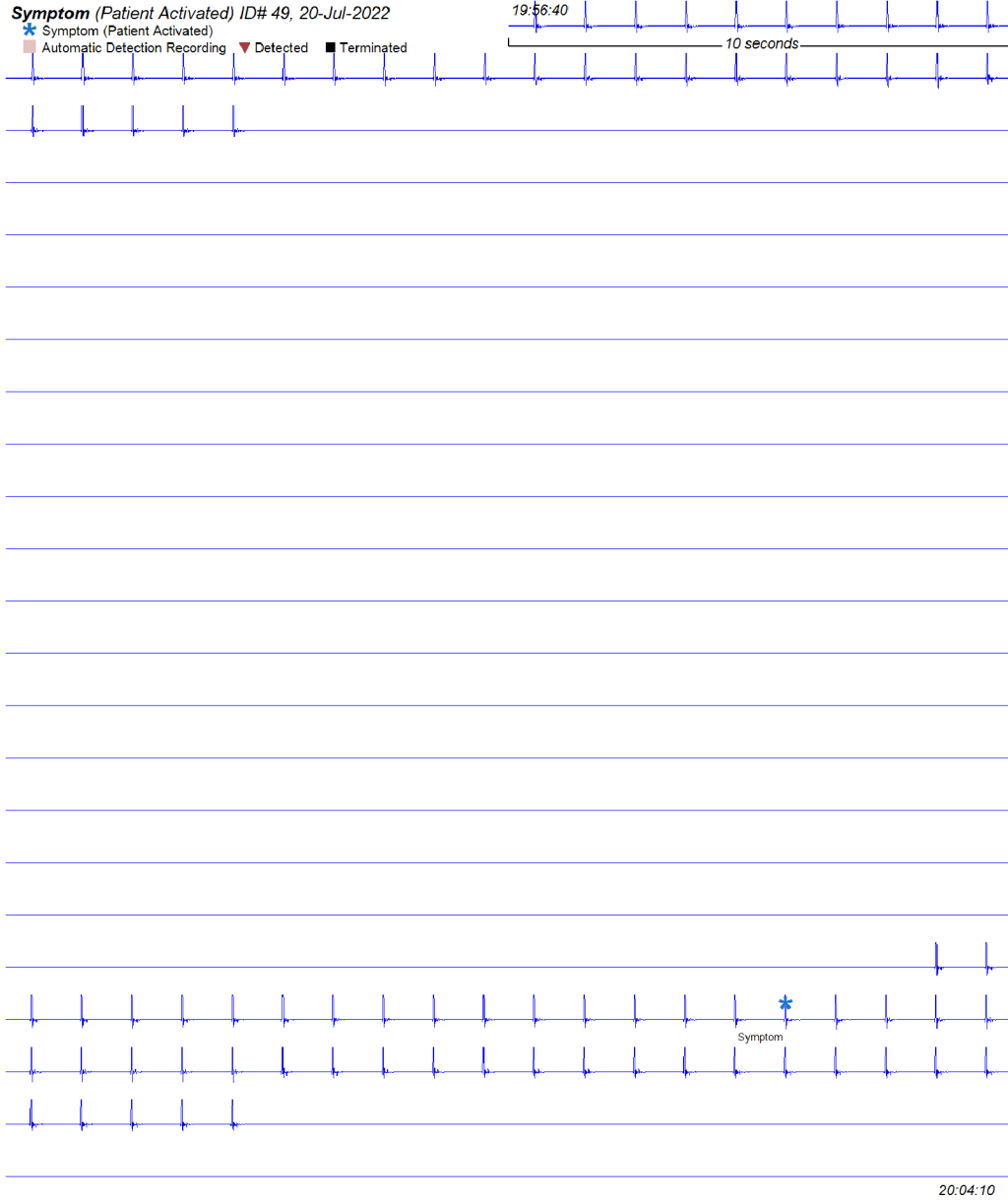
Assessment Legend: Appropriate Indeterminate Inappropriate

ID#	Assessment	Type	Date	Detected hh:mm	Duration hh:mm:ss	Max V. Rate	Median V. Rate
49		Symptom	20-Jul-2022	20:03			

Obrázek A.5: Záznam vodorovné polohy 4V str. 1

Symptom (Patient Activated) ID# 49, 20-Jul-2022

* Symptom (Patient Activated)
■ Automatic Detection Recording ▼ Detected ■ Terminated



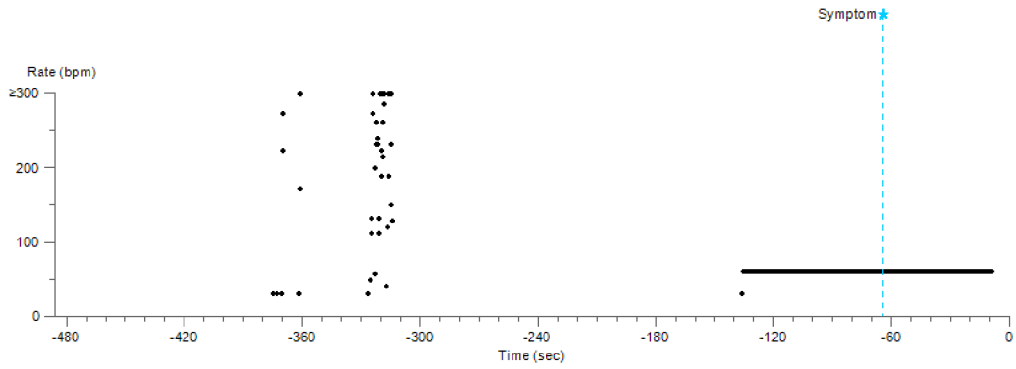
Obrázek A.6: Záznam vodorovné polohy 4V str. 2



1 test



Episode Detail: Symptom (ID# 51)



Assessment Legend: Appropriate Indeterminate Inappropriate

ID#	Assessment	Type	Date	Detected hh:mm	Duration hh:mm:ss	Max V. Rate	Median V. Rate
51		Symptom	21-Jul-2022	08:18			

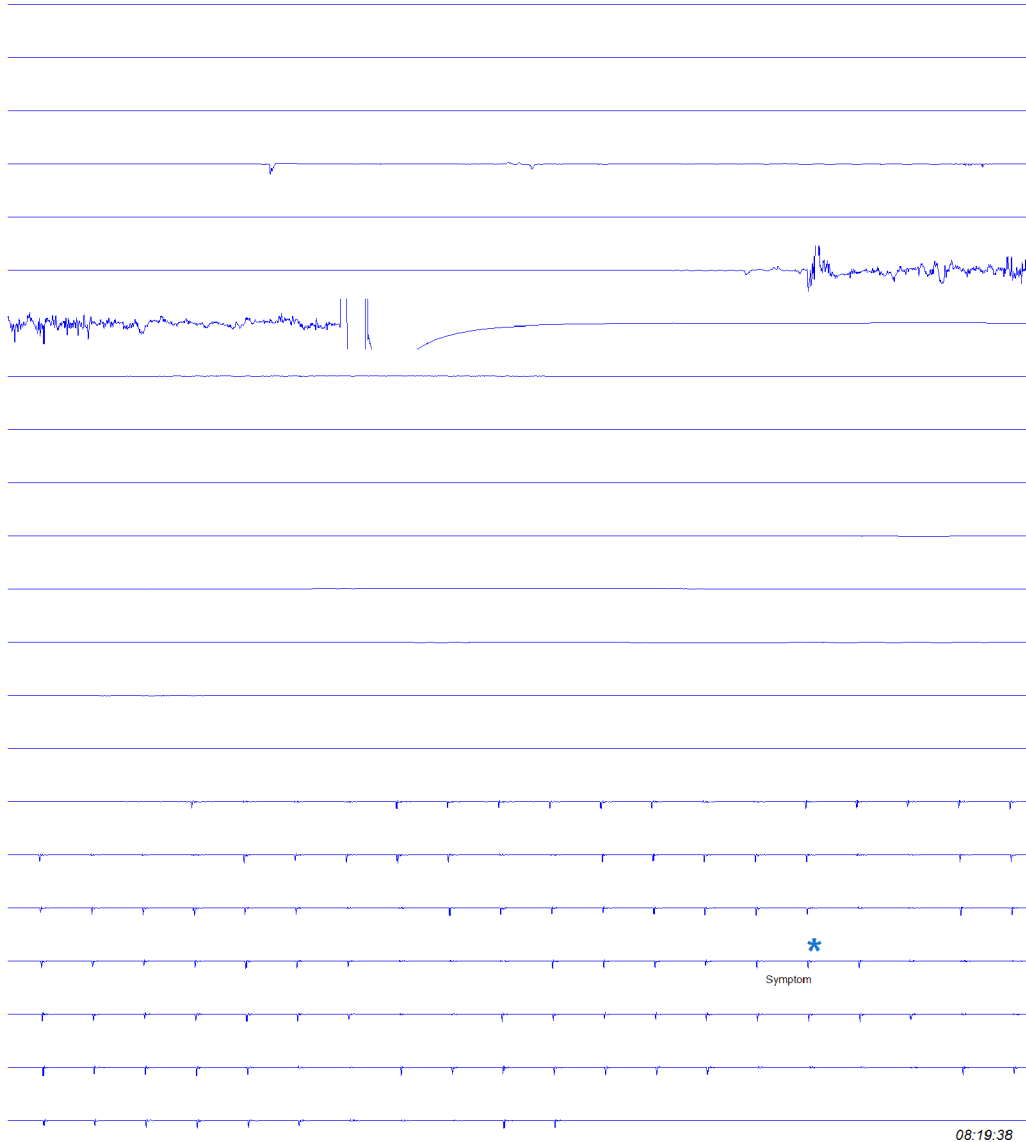
Obrázek A.7: Záznam svislé polohy 4V str. 1

Symptom (Patient Activated) ID# 51, 21-Jul-2022

08:12:08

* Symptom (Patient Activated)
■ Automatic Detection Recording ▼ Detected ■ Terminated

10 seconds



Obrázek A.8: Záznam svislé polohy 4V str. 2

A.6 Záznam vodorovné polohy 3V a 2,5ms

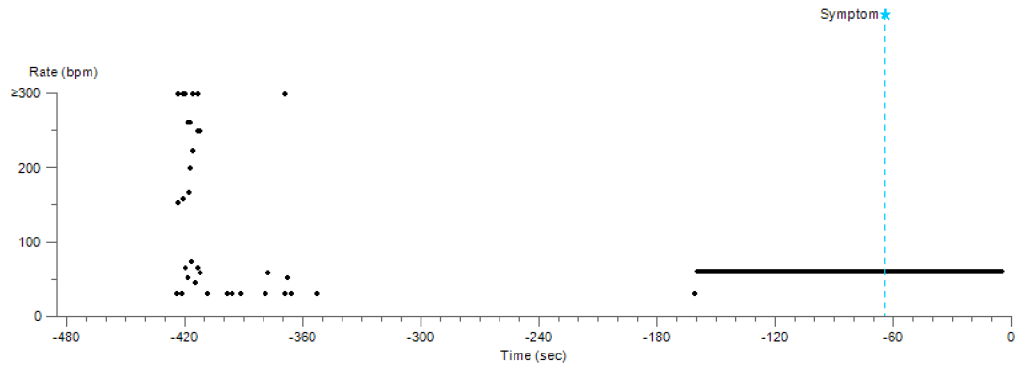
A.7 Záznam svislé polohy 3V a 2,5ms



1 test



Episode Detail: Symptom (ID# 54)



Assessment Legend: Appropriate Indeterminate Inappropriate

ID#	Assessment	Type	Date	Detected hh:mm	Duration hh:mm:ss	Max V. Rate	Median V. Rate
54		Symptom	21-Jul-2022	10:14			

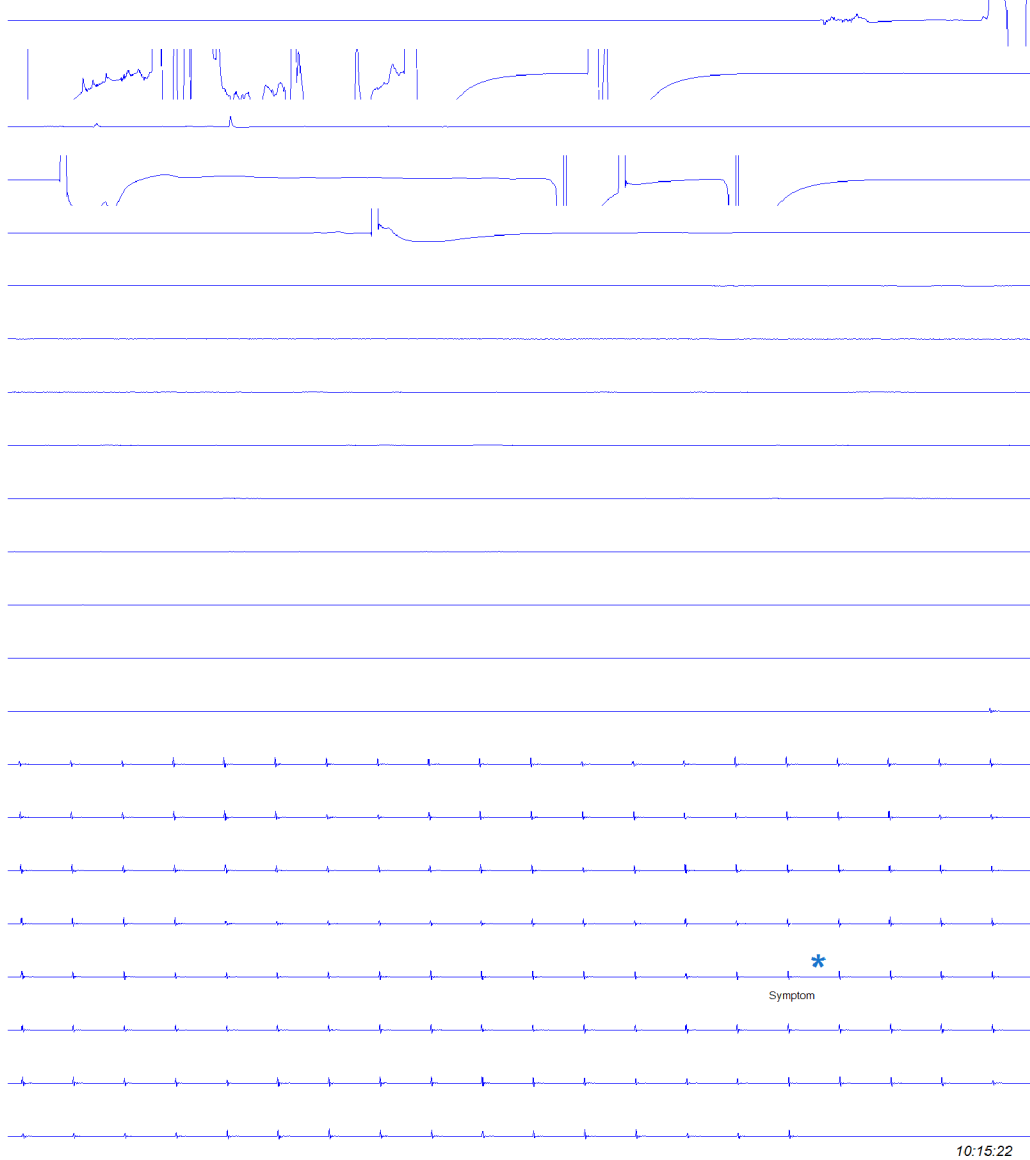
Obrázek A.9: Záznam vodorovné polohy 3V str. 1

Symptom (Patient Activated) ID# 54, 21-Jul-2022

10:07:52

* Symptom (Patient Activated)
■ Automatic Detection Recording ▼ Detected ■ Terminated

10 seconds



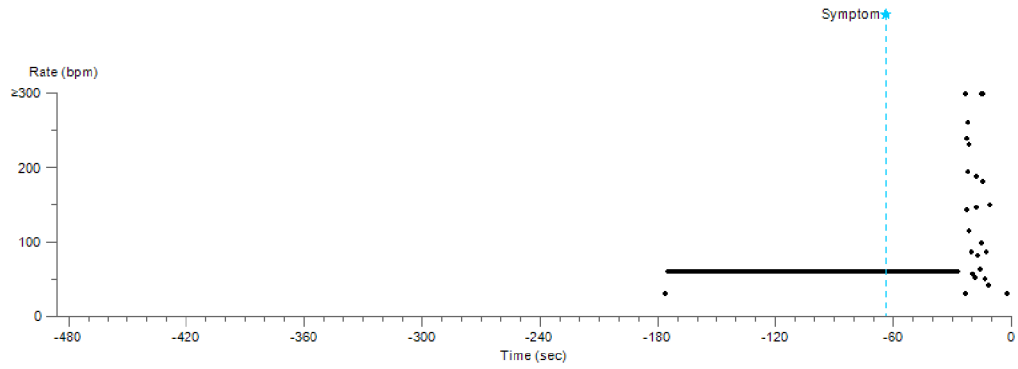
Obrázek A.10: Záznam vodorovné polohy 3V str. 2



1 test



Episode Detail: Symptom (ID# 53)



Assessment Legend: Appropriate Indeterminate Inappropriate

ID#	Assessment	Type	Date	Detected hh:mm	Duration hh:mm:ss	Max V. Rate	Median V. Rate
53		Symptom	21-Jul-2022	08:50			

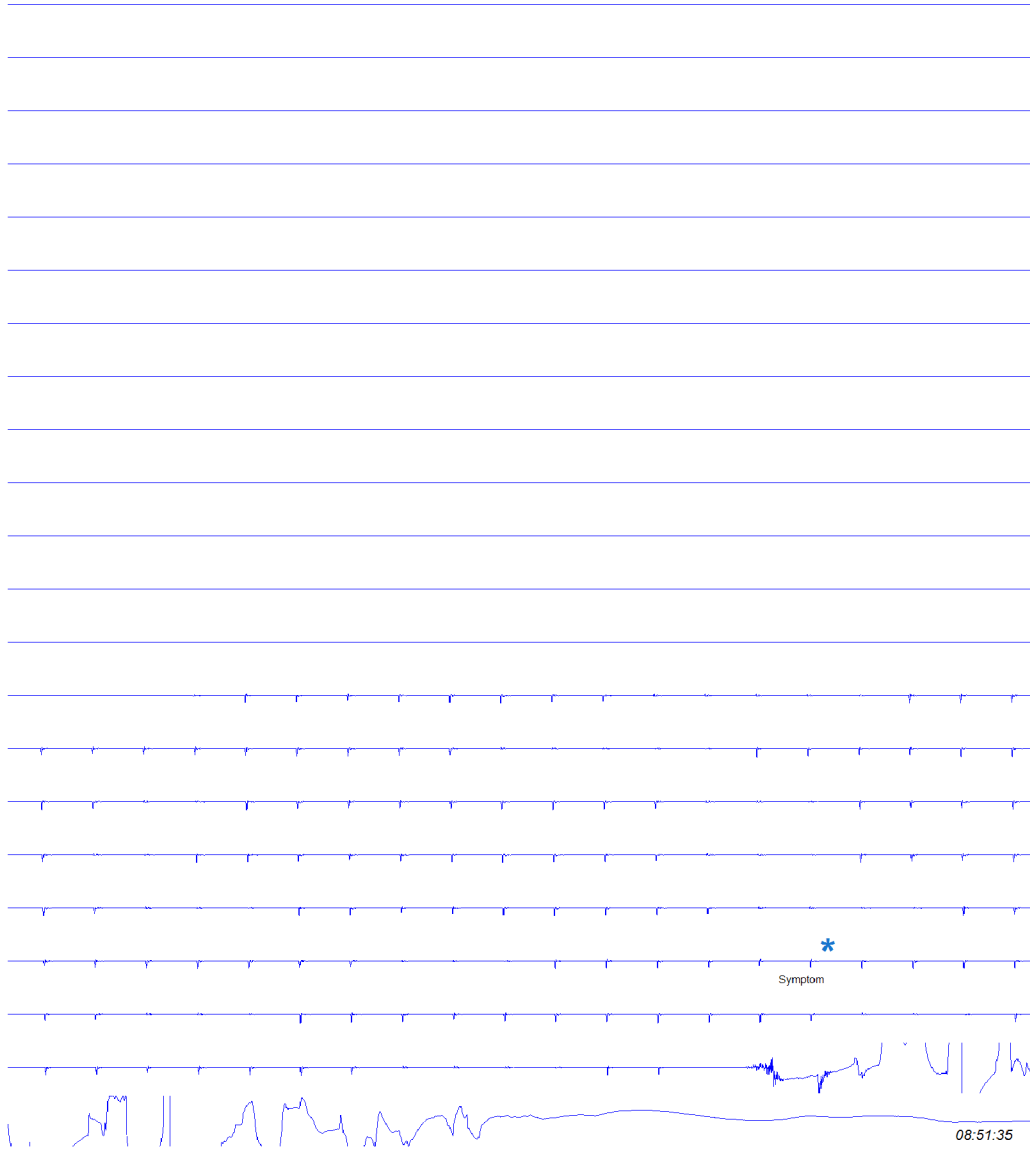
Obrázek A.11: Záznam svislé polohy 3V str. 1

Symptom (Patient Activated) ID# 53, 21-Jul-2022

08:44:05

* Symptom (Patient Activated)
■ Automatic Detection Recording ▼ Detected ■ Terminated

10 seconds



Obrázek A.12: Záznam svislé polohy 3V str. 2