

UNIVERZA V LJUBLJANI
VETERINARSKA FAKULTETA

**APLIKACIJA BREZŽIČNEGA
ELEKTROKARDIOGRAMA PRI HOSPITALIZIRANIH
PACIENTIH**

**APPLICATION OF WIRELESS
ELECTROCARDIOGRAM IN HOSPITALISED
PATIENTS**

Ada Krvavica

Špela Likar

Ljubljana, 2017

UNIVERZA V LJUBLJANI
VETERINARSKA FAKULTETA

UDK 636.7.09:616.12-008.318:616.12-073.7:621.39(043.2)

**APLIKACIJA BREZŽIČNEGA
ELEKTROKARDIOGRAMA PRI HOSPITALIZIRANIH
PACIENTIH**

**APPLICATION OF WIRELESS
ELECTROCARDIOGRAM IN HOSPITALISED
PATIENTS**

Ada Krvavica

Špela Likar

Delo je pripravljeno v skladu s Pravilnikom o podeljevanju Prešernovih nagrad študentom pod mentorstvom prof. dr. Aleksandre Domanjko Petrič, Klinika za male živali Veterinarske fakultete Univerze v Ljubljani, in somentorstvom dr. Viktorja Avblja, Institut Jožef Stefan

Ljubljana, 2017

POVZETEK

Ključne besede: Bolezni srca – preprečevanje in nadzor; aritmije – diagnostika; elektrokardiografija – metode; srčna frekvenca; brezžična tehnologija – instrumentacije; signal, računalniške obdelave; psi

Spremljanje srčnega ritma skozi daljše časovno obdobje poveča možnost zaznavanja aritmij. Spremljanje srčnega ritma pri veterinarskih hospitaliziranih pacientih je s konvencionalnim EKG monitorjem skozi daljši čas moteče, saj jim povezava z EKG monitorjem otežuje gibanje po prostoru. Zato se je pojavila težnja po razvoju manjših, udobnejših naprav za merjenje elektrokardiograma (EKG), ki ponujajo možnost uporabe v hospitalnem ali domačem okolju. Aplikacijo brezžičnega EKG senzorja, izdelanega na Institutu Jožefa Stefana, smo izvedli na 27 psih, pri katerih je bil postavljen sum na prisotnost aritmij. Merjenje z brezžičnim EKG senzorjem je trajalo v povprečju 26 minut, pacienti so med snemanjem EKG mirovali ali se gibal. Od 27 meritev smo pri 26 zaznali enako ali večje število tipov aritmij v primerjavi s standardnim EKG. Zato lahko sklepamo, da je delovanje brezžičnega EKG senzorja zanesljivo in s tem primerljivo standardnemu EKG. Daljši čas merjenja z brezžičnim EKG senzorjem v primerjavi s standardnim nam je omogočil večje število zaznanih aritmij v 40,7 % primerov. Brezžični EKG senzor se je zaradi svoje udobnosti, zanesljivosti in možnosti spremljanja srčnega ritma skozi daljše časovno obdobje ter možnosti naknadnega pregleda posnetka, izkazal kot dobro diagnostično sredstvo za zaznavanje aritmij in kot tak izboljša diagnostično vrednost standardnega EKG.

SUMMARY

Key words: heart diseases – preventive and control; arrhythmias, cardiac – diagnosis; electrocardiography – methods; heart rate; wireless technology – instrumentation; signal processing, computer-assisted; dogs

The monitoring of heart rhythm over longer period of time increases the possibility of detecting arrhythmias. Monitoring heart rhythm in ambulatory hospitalized veterinary patients during longer period of times can be challenging due to wires connecting the patients to the monitor. Therefore there has been a tendency to develop smaller, more comfortable electrocardiographic (ECG) devices that can be used in a hospital or home environment. The application of the wireless ECG sensor, made at the Jožef Stefan Institute, was performed on 27 dogs with suspected arrhythmias. The data from wireless ECG sensor was obtained during 15-30 minutes while the patients were standing or moving. Out of 27 measurements, 26 patients had the same number or more arrhythmias found with wireless ECG sensor in comparison to the standard ECG device. A longer measurement time with a wireless ECG sensor compared to the standard ECG allowed us to increase the number of detected arrhythmias in 40.7% of cases. Wireless ECG sensor is comfortable to wear, reliable and enables long-term monitoring of canine cardiac rhythm and offers a subsequent review of the measurements. We can conclude that wireless ECG sensor is a good diagnostic tool for identification of heart rates and arrhythmias and is comparable to standard ECG.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD.....	1
1.1	OPREDELITEV PROBLEMA	1
1.2	CILJ RAZISKOVANJA	1
1.3	DELOVNE HIPOTEZE	2
2	PREGLED LITERATURE.....	3
2.1	MOTNJE SRČNEGA RITMA	3
2.2	ELEKTROKARDIOGRAFIJA	3
2.3	EKG MONITORJI.....	4
2.3.1	Holter monitorji	4
2.3.2	Dogodkovni monitorji	5
2.4	IMPLANTACIJSKI EKG MONITORJI	5
2.4.1	Implantacijski dogodkovni monitorji	6
2.4.2	Brezžični implantat z induktivnim napajanjem za merjenje EKG	6
2.4.3	In vivo brezžični sistem za spremljanje kardiovaskularnih sil in EKG pri poskusnih živalih.....	6
2.4.4	Telemetrijski sistem za diagnostiko spontanih srčnih aritmij.....	7
2.5	PRENOSNI SISTEMI ZA MERJENJE EKG	7
2.5.1	Prenosni brezžični biofotonični in biopotencialni senzorji	7
2.5.2	Neinvazivni brezžični EKG monitoring malih glodavcev	8
2.5.3	Prenosni brezžični senzor za spremljanje avtonomne aktivnosti in socialnega obnašanja pri primatih	8
2.5.4	Sistem za preučevanje EKG in analize vpliva avtonomnega živčnega sistema na funkcijo srca pri ribah	9
2.5.5	ZIO® Patch Monitor	9
2.5.6	NUVANT®	10
2.5.7	AliveCor®	10
2.5.8	SAVVY®.....	11
3	MATERIALI IN METODE.....	12
3.1	MATERIALI	12
3.1.1	Živali, vključene v raziskavo	12

3.1.2	Standardni EKG	12
3.1.3	Brezžični EKG senzor	12
3.1.4	Program VisECG.....	13
3.2	METODE.....	14
3.2.1	Izvajanje meritev	14
3.2.2	Merjeni in opazovani parametri.....	16
3.2.3	Postopki, uporabljeni pri analizi meritev	16
4	REZULTATI.....	22
4.1	PSI.....	22
4.2	DETEKCIJA ARITMIJ V PRIMERJAVI S STANDARDNIM ELEKTROKARDIOGRAMOM	31
5	RAZPRAVA	42
6	SKLEPI.....	46
7	ZAHVALA	47
8	LITERATURA.....	48

KAZALO DIAGRAMOV

Diagram 1: Diagnoze pri pacientih z motnjami srčnega ritma v odstotkih.....	23
Diagram 2: Položaj pacientov med snemanjem brezžičnih EKG posnetkov	26

KAZALO SLIK

Slika 1: Podaljšek EKG senzorja.....	13
Slika 2: Tablica sočasno beleži podatke iz elektrod brezžičnega EKG senzorja	13
Slika 3: Brezžični EKG senzor nameščen na levo stran prsnega koša, negativna elektroda v bližini preddvora, pozitivna elektroda na apeksu levega prekata	15
Slika 4: Senzor pritrjen s samolepilnim trakom	15
Slika 5: Povojev čez prsni koš pričvrščuje brezžični EKG senzor	15
Slika 6: Program VisECG: Pregled mape	17
Slika 7: Program VisECG: Pregled meritve. Zeleni križci predstavljajo srčne utripe	17
Slika 8: Program VisECG: obrni signal	19
Slika 9: Program VisECG: filtriranje signala.....	19
Slika 10: Program VisECG: izbris dogodka.....	20
Slika 11: Program VisECG: srčni ritem s povprečno frekvenco 42 udarcev na minuto	21
Slika 12: Primer artefakta, nastalega pri teku živali.....	27
Slika 13: Artefakti na brezžičnem EKG posnetku zaradi sopenja. S puščicami so označeni EKG kompleksi, vendar jih zaradi artefaktov ni mogoče natančneje določiti.....	27
Slika 14: Motnje signala zaradi britja med merjenjem z brezžičnim EKG senzorjem	28
Slika 15: Izpadi signala kot posledica kratkotrajnih prekinitev v radijski zvezi med EKG senzorjem in tablico (označeni s puščicami). Zeleni križci predstavljajo srčne utripe – os na desni strani grafa prikazuje število utripov v minuti	29
Slika 16: Signal brez motenj po pritrditvi brezžičnega EKG senzorja s povojem. Zeleni križci so srčni utripi – os na desni strani grafa prikazuje število utripov v minuti.....	30

Slika 17: Sprememba amplitude signala zaradi spremembe lege pacienta iz stoječega v ležeči položaj (sprememba lege označena s puščico).....	30
Slika 18: Spremembe signala zaradi gibanja telesa psa – primer signala, medtem ko je pes bruhal (označeno s puščico). Zeleni križci predstavljajo srčne utripe – os na desni strani grafa prikazuje število utripov v minuti	31
Slika 19: Povišanje srčne frekvence ob aritmiji (prezgodnji prekatni udarci), označeno z zelenimi križci – os na desni strani grafa prikazuje število utripov v minuti.....	32
Slika 20: Povišanje srčne frekvence pri prehodu iz mirovanja v gibanje, označeno z zelenimi križci – os na desni strani grafa prikazuje število utripov v minuti.....	32
Slika 21: Atrijska fibrilacija na standardnem EKG s srčno frekvenco 190 utripov na minuto.....	36
Slika 22: Atrijska fibrilacija (povečava kompleksov) s frekvenco 208 utripov na minuto na posnetku brezžičnega EKG senzorja	37
Slika 23: Sinusna bradikardija s povprečno srčno frekvenco 52 utripov na minuto na standardnem EKG	38
Slika 24: Sinusna bradikardija in posamezni prezgodnji prekatni kompleksi (označeno s črnim x) in salve prezgodnjih prekatnih kompleksov trajanja 6 sekund in 4 sekunde (označeno s puščicama) na brezžičnem EKG posnetku. Zeleni križci so srčni utripi – os na desni strani grafa prikazuje število utripov v minuti	38
Slika 25: Normalen sinusni ritem s frekvenco 108 utripov na minuto na standardnem EKG.....	39
Slika 26: Normalen sinusni ritem s frekvenco 90 utripov na minuto s prezgodnjimi preddvornimi udarci (označeni s puščico) na posnetkih brezžičnega EKG-senzorja – izpis v obliki na milimetrskem papirju	39
Slika 27: Sinusni kompleksi in prezgodnji ventrikularni utripi (3. in 4. kompleks) na standardnem EKG-posnetku.....	40

Slika 28: Motnje EKG-signalov na brezžičnem senzorju zaradi sopenja, EKG posnetek ritma je zato neberljiv	41
---	----

KAZALO TABEL

Tabela 1: Pacienti z motnjami srčnega ritma, ki so sodelovali v raziskavi.....	24
Tabela 2: Rezultati analize standardnega 6-odvodnega EKG in EKG z brezžičnega EKG senzorja.....	33

SEZNAM OKRAJŠAV IN SIMBOLOV

v	srčna frekvenca; heart rate
A	ambulantni pacienti; outpatients
ACVIM C1	stopnja srčnega popuščanja po Ameriškem kolidžu interne medicine C1 (bolniki, ki potrebujejo takojšnjo veterinarsko oskrbo in hospitalizacijo); American College of Veterinary Internal medicine stages of disease and failure C1 (identifies patients that require acute, hospital-based therapy)
ACVIM C2	stopnja srčnega popuščanja po Ameriškem kolidžu interne medicine C2 (kongestivno srčno popuščanje, ki se lahko zdravi na domu); American College of Veterinary Internal medicine stages of disease and failure C2 (identifies patients that can be managed as outpatients)
ACVIM D2	stopnja srčnega popuščanja po Ameriškem kolidžu interne medicine D2 (refrakterno srčno popuščanje, ki se lahko zdravi na domu); American College of Veterinary Internal medicine stages of disease and failure D2 (identifies patients that can be managed as outpatients)
CER	dogodkovni monitor; Cardiac event recorder
DKM	dilatativna kardiomiopatija; dilative cardiomyopathy
EKG	elektrokardiogram; electrocardiogram
GDV	sindrom razširitve in zasuka želodca; gastric dilatation volvulus syndrome
H	hospitalizirani pacienti; inpatients
M	pacienti moškega spola; male patients
MDMZ	miksomatozna degeneracija mitralne zaklopke; myxomatous mitral valve disease
Ž	pacienti ženskega spola; female patients

1 UVOD

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Standardni elektrokardiogram (EKG) se v veterinarski medicini uporablja v vsakdanji praksi zlasti za diagnostiko aritmij, ki se pojavljajo pri srčnih kot tudi številnih drugih obolenjih. Z razvojem elektronike v zadnjih letih so razvili številne nove metode, ki zamenjujejo ali dopolnjujejo konvencionalne metode merjenja EKG predvsem z vidika spremljanja srčnega ritma skozi daljše časovno obdobje. Poleg tega, da se aritmije lahko pojavljajo intermitentno, pa pri pasmah psov, dovzetnih za kardiomiopatije, odkritje aritmij predstavlja pomemben znak pri zgodnjem odkrivanju bolezni. Nekatere aritmije ogrožajo življenje, zato je zgodnje odkrivanje toliko pomembnejše. Naši pacienti niso vedno povsem mirni med hospitalizacijo, zato je pomembno, da lahko spremljamo EKG tudi med gibanjem.

Težnja po manjših, udobnejših napravah z manj žicami in možnostjo vsakodnevne uporabe tudi v domačem okolju se je odrazila v razvoju številnih brezžičnih EKG naprav. Dosedanje raziskave na področju brezžičnih EKG snemalnikov prevladujejo predvsem na področju humane medicine (9, 10, 12, 19–24, 27, 30–33). V veterinarski medicini je teh naprav in raziskav na tem področju bistveno manj (2, 22, 23).

1.2 CILJ RAZISKOVANJA

Glavni cilj naših meritev je bila primerjava kakovosti brezžičnega EKG posnetka glede na standardni EKG posnetek in določiti uporabnost brezžičnega EKG senzorja pri hospitaliziranih pacientih. Zanimala nas je kakovost brezžičnih EKG posnetkov pri pacientih v mirovanju in gibanju, detekcija aritmij in udobnost prenašanja nameščenega senzorja.

Želeli smo določiti glavne prednosti in morebitne slabosti brezžičnega EKG senzorja, razvitega na Institutu Jožef Stefan v Ljubljani.

1.3 DELOVNE HIPOTEZE

Pri našem delu smo postavili naslednje hipoteze:

- psi dobro prenašajo brezžični EKG senzor;
- uporaba brezžičnega EKG senzorja je mogoča v mirovanju ali gibanju živali;
- uporaba brezžičnega EKG senzorja je mogoča pri različnih velikostih in pasmah psov;
- detekcija aritmij z brezžičnim senzorjem je primerljiva s standardnim EKG;
- občutljivost brezžičnega EKG senzorja za detekcijo aritmij je večja zaradi monitoriranja skozi daljše časovno obdobje.

2 PREGLED LITERATURE

2.1 MOTNJE SRČNEGA RITMA

Aritmija je vsaka motnja srčnega ritma, ki pomeni odstopanje od normalnega sinusnega ritma oziroma sinusne aritmije pri psu. Je posledica motenj pri nastanku ali širjenju dražljaja, kar vodi v spremenjeno zaporedje vzburjenja bodisi preddvorov, prekatov ali prenosa vzburjenja med preddvori in prekati. Te spremembe lahko vplivajo na hitrost delovanja srca, pravilnost ritma in mesto nastanka akcijskega potenciala ter povzročijo manjše ali večje hemodinamske motnje. Nekatere srčne aritmije so nenevarne in klinično manj pomembne in ne zahtevajo zdravljenja. Nekatere aritmije so maligne in lahko predstavljajo življenjsko ogrožajoče stanje, s kliničnimi znaki, kot so oslabelost, letargija, sinkopa ali nenadna smrt (4, 6).

Na splošno beseda aritmija označuje anomalijo srčnega ritma, čeprav pri psih pojem normalna sinusna aritmija opisuje normalno odstopanje srčnega utripa, povezano z dihanjem (4).

2.2 ELEKTROKARDIOGRAFIJA

EKG je grafični zapis električne aktivnosti srca, ki izvira iz akcijskih potencialov celic srčne mišice med srčnim ciklusom in je glavna metoda za opazovanje motenj v električni aktivnosti srca.

Indikacije za uporabo EKG-ja:

- zgodovina sinkop/napadov ali kronična utrujenost,
- ovrednotenje motenj srčnega ritma in frekvence, slišane pri avskultaciji,
- spremljanje srčnega ritma pacientov med anestezijo ali pri aplikaciji določenih farmakoloških pripravkov,
- spremljanje srčnega ritma kritičnih in internističnih pacientov,
- elektrolitska neravnovesja, povezana z ekstrakardialnimi obolenji in intoksikacijami,
- identifikacija anatomskih sprememb, kot so hipertrofija ali dilatacija miokarda in detekcija perikardialnih obolenj (7).

2.3 EKG MONITORJI

2.3.1 Holter monitorji

Holter monitorji so EKG snemalniki, ki beležijo električno aktivnost srca med gibanjem. Sodobni holter monitorji uporabljajo visokoobčutljiv digitalni snemalnik za zajemanje in shranjevanje podatkov o električni aktivnosti srca od 24 ur pa do 7 dni. Sprva so bili uporabljeni v humani medicini, danes pa se jih uporablja tudi v veterinarski klinični praksi, predvsem pri psih in mačkah (8). Holter monitor kljub novejšim napravam ostaja vodilna naprava oziroma 'zlati standard' za odkrivanje aritmij pri ljudeh (9).

Glavne indikacije za uporabo holter monitorja:

- odkrivanje prehodnih aritmij, povezanih s sinkopo ali občasno slabostjo,
- monitoring pasem z visokim tveganjem za kardiomiopatije,
- vrednotenje frekvence, resnosti in pomena aritmij, odkritih s standardnim EKG,
- spremljanje odziva na antiaritmično terapijo,
- določanje dejanske pojavnosti in vrste aritmije pri pacientih s srčnimi obolenji (5).

24-urni monitoring ima 15–39 % diagnostično zanesljivost. Daljši monitoring znatno poveča možnosti za odkritje aritmij (1). Snemalnik simultano meri dva do tri EKG odvode na prsnem košu (5). Holter monitor zaradi zunanjih žic pacientom omejuje gibanje med nošenjem (1). Dodatna slabost je občutljivost na vodo, zaradi česar morajo pacienti pred tuširanjem odstraniti monitor, zato v tem času nastale aritmije ostanejo neodkrane (11). Mesta za namestitev elektrod pri psih in mačkah se pripravi z britjem dlake ter čiščenjem in sušenjem kože na prsnem košu. Negativna elektroda je nameščena na desni strani v področju trikuspidalne zaklopke, pozitivna elektroda na apeksu levega dela srca. Samolepilni obliži omogočajo pričvrstitev elektrod na kožo, povoj okoli prsnega koša pa zagotavlja, da so elektrode, žice in snemalnik na svojem mestu. Neustrezna namestitev elektrod vodi v nečitljiv zapis ali zapis slabe kakovosti. Ko je monitor pravilno nameščen, se lahko žival vrne domov in normalno izvaja vse aktivnosti. Lastnik oziroma skrbnik živali mora voditi dnevnik očitnih kliničnih znakov (npr. sinkopa) in znatnih sprememb v dejavnosti živali. Žival se spremlja vsaj 24 ur, da se zajame obdobje celotnega cirkadialnega cikla. Ob koncu pridobivanja podatkov se monitor odstrani, podatki pa se analizirajo z računalniškim programom. Za

natančne rezultate in pravilno diagnozo je bistvenega pomena poznavanje programske opreme in normalnih vrednosti EKG živali (6).

Holter monitorji imajo znatno večjo občutljivost pri detekciji aritmij kot standardni EKG monitorji (12).

2.3.2 Dogodkovni monitorji

Dogodkovni monitor (ang. *Event monitor, Cardiac event recorder (CER)*) je ambulantni mikroprocesor s pomnilniško zanko za shranjevanje EKG posnetkov po aktiviranju naprave – aktivira jo oseba, ki je priča "dogodku" (npr. sinkopa, slabost). CER je lahek in ga lahko nosijo tudi majhni psi in mačke brez omejevanja njihove aktivnosti. Za razliko od večine 24-urnih holter monitorjev je za večjo diagnostično vrednost CER pri živalih z intermitentnimi kliničnimi znaki smiselno, da je v uporabi do enega tedna. CER lahko shranjuje do pet različnih enominutnih enokanalnih elektrokardiogramov ali manj daljših. Snemanje je aktivirano s pritiskom na gumb na napravi. Pomnilniška zanka monitorja shrani posnetek EKG v obdobju 30 sekund pred aktivacijo in 30 sekund po aktivaciji. To časovno obdobje se lahko individualno spreminja glede na pacienta. Po enem ali več dogodkih se CER odstrani, podatki se prenesejo na računalnik za analizo in interpretacijo.

Dogodkovni monitor se namesti na prsni koš z dvema samolepljivima elektrodama na bazi in apeksu srca. Za boljšo pričvrstitev in zavarovanje naprave se lahko povije prsni koš. Po namestitvi senzorja se lahko žival prosto giblje in izvaja različne aktivnosti.

Naprava sama ne bo shranila posnetka EKG brez aktivacije, zato je nujno, da dogodek opazi lastnik in pritisne gumb za aktivacijo. V nasprotnem primeru je diagnostika nemogoča (5).

2.4 IMPLANTACIJSKI EKG MONITORJI

Z implantacijskimi napravami za spremljanje električne aktivnosti srca se zmanjša vpliv motečih zunanjih dejavnikov ob snemanju EKG. Artefakte, ki nastanejo zaradi gibanja pacienta in interference z merilnimi žicami, se zmanjša z vstavitvijo implantata, fiksiranjem merilnih senzorjev ter uporabo brezžičnega napajanja naprave in prenosa podatkov. Večina naprav ima omejeno možnost uporabe zaradi omejenega delovanja baterije (12). Njihova

glavna prednost pred površinskimi napravami za merjenje srčnega ritma je dolga življenjska doba (3 leta), kar dodatno poveča možnost detekcije aritmij pri popolnoma asimptomatskih pacientih ali zelo redkih dogodkih (13).

2.4.1 Implantacijski dogodkovni monitorji

Podkožni CER se uporabljajo v primerih, ko so sinkope zelo redke in jih je težko diagnosticirati s 7-dnevnim dogodkovnim monitorjem. Naprave so majhne, da jih je mogoče namestiti pod kožo. Z njimi je mogoče spremljati EKG več kot 18 mesecev. Naprava lahko shranjuje EKG posnetke, ko je aktivirana ob epizodi, lahko pa je programirana tako, da shranjuje podatke, če se ritem srca dvigne ali spusti pod določeno vrednost, ki se jo določi ob namestitvi implantata (5).

2.4.2 Brezžični implantat z induktivnim napajanjem za merjenje EKG

Naprave z induktivnim napajanjem so poleg možnosti dolgotrajne uporabe v kliničnih študijah izkazale svojo učinkovitost in uporabnost za odkrivanje različnih srčnih aritmij. Implantat sam nima baterije, napajanje je izvedeno preko elektromagnetnega prenosa iz zunanega čitalca. Študija z brezžičnim implantatom z induktivnim napajanjem za merjenje EKG je bila izvedena *in vitro* in *in vivo*. 24-urni implantat je bil nameščen v subdermalni prostor na levi strani prsnega koša krav. V primeru implantata za spremljanje EKG pri kravah bi se čitalec nahajal v molznem stroju, kjer se krave molznice nahajajo vsaj dvakrat dnevno (12).

2.4.3 *In vivo* brezžični sistem za spremljanje kardiovaskularnih sil in EKG pri poskusnih živalih

Biotelemetrija predstavlja možnost merjenja fizioloških parametrov pri budnih živalih, ki se lahko prosto gibajo, brez učinkov anestezije in ponavljajočih se operacij. Implantantno telemetrično napravo za merjenje biomehanske sile gibajočih struktur srca skupaj z EKG so preučevali na poskusnih živalih. Sistem temelji na mikrokrmilniku z vgrajenim dvosmernim sprejemnikom radijske frekvence, ki omogoča, da implantat brezžično sprejema in pošilja podatke. EKG signal se meri z elektrodami, nameščenimi direktno na srce, sile pa preko miniaturnega senzorja. Sistem je bil testiran na prašičjem modelu, kjer je sistem prenašal

EKG in podatke o sili v območju 5 m med implantatom in sprejemnikom. Podatki so bili preko uporabniškega vmesnika prikazani in shranjeni na trdi disk prenosnega računalnika. EKG signal in podatke s senzorja za biomehanske sile je mogoče meriti sočasno. Opisani sistem je optimiziran za merjenje sile in EKG, obstaja pa možnost dodajanja več kanalov in s tem povečanja števila opazovanih fizioloških parametrov (14).

2.4.4 Telemetrijski sistem za diagnostiko spontanih srčnih aritmij

Vzroki srčnih aritmij, ki lahko vodijo do nenadne smrti, so v veliki meri neznane. Za preučevanje aritmij na živalskih modelih je bil razvit osemkanalni radijski telemetrični vsadek za neprekinjeno snemanje EKG. Sistem omogoča meritve od nekaj tednov do mesecev, odvisno od menjavanja baterije. Vsadek je sestavljen iz ojačevalcev, analogno-digitalnega pretvornika in krmilnika. Kabel, ki povezuje vsadek in zunanjo enoto na hrbtu živali, služi napajanju in prenosu podatkov. Zunanjo enoto sestavlja prilagojen serijski vmesnik, osnovna plošča na osnovi procesorja, WLAN (ang. Wireless Local Area Network) kartica in baterijsko napajanje. Podatki se prenašajo v računalnik preko paralelnega vmesnika, kjer se shranijo in se nato prenesejo preko WLAN-a na laboratorijski računalnik, kjer se signal analizira in shrani (15).

2.5 PRENOSNI SISTEMI ZA MERJENJE EKG

2.5.1 Prenosni brezžični biofotonični in biopotencialni senzorji

Prenosni brezžični sistem s senzorji, nameščenimi na traku, ovitem okoli prsnega koša pasjega telesa, je namenjen neinvazivnemu spremljanju fotopletizmograma (PPG) in elektrokardiograma (EKG) psa. Skupaj z inercialnimi merilnimi enotami (acelerometri in giroskopi) predstavljajo omrežje na pasjem telesu (ang. *canine-body area network, cBAN*), ki omogoča spremljanje vedenja psa. Elektrode, ki pasivno snemajo EKG, so iz nerjavečega jekla in so koničaste oblike. Tehnologija bluetooth omogoča prenos podatkov na pametni telefon ali računalnik, kjer se podatki shranijo in analizirajo. Opisani sistem je bil razvit z namenom izboljšanja interakcij med psom in človekom, poleg prepoznavanja telesne govorece psa pa spremljanje srčnega utripa in dihanja vodnikom, lastnikom živali in veterinarjem omogoča lažjo interpretacijo pasjega odziva na zunanje dražljaje (16).

2.5.2 Neinvazivni brezžični EKG monitoring malih glodavcev

EKG monitorji, ki so nameščeni na površino telesa pacienta, predstavljajo težavo zlasti v primeru manjših živali. Sedacija živali pripomore k temu, da se živali ne premikajo, vendar sredstva za sedacijo vplivajo na električno aktivnost srca. Razvoj implantacijskih telemetričnih naprav je omogočil zbiranje podatkov na živalih pri zavesti in v kar se da fizioloških pogojih. Kirurški postopek vsaditve naprave je relativno neinvaziven in enostaven. Kljub temu pri uporabi telemetričnih metod predstavljajo oviro prevelika masa naprave pri živalih z minimalno telesno maso, pri zelo bolnih živalih pa lahko kirurški postopek predstavlja tveganje za preživetje. Wang in sod. so beležili EKG novorojenim in odraslim mišim s sistemom perforirane cevi, pri katerem se elektrode namesti na okončine živali, ki štrlijo skozi luknje v cevi. Hamlin in sod. so razvili bipolarno metodo transtorakalnega spremljanja EKG na morskih prašičkih, pri kateri so živali nameščene med dve bakreni plošči v oblazinjeni zanki. Monitoring 6-odvodnega EKG malih glodavcev (miši in hrčkov) omogoča sistem s tunelom, v katerem so štiri EKG senzorji, po eden za vsako tačko živali, ki se jo zapre v tunel. Štiri žice na platformi so povezane z brezžičnim oddajnikom in ojačevalcem. Živali se pred snemanjem EKG za pet minut zapre v tunel s senzorji, tako se zmanjša stres pri živalih. Sistem omogoča merjenje 3-odvodov EKG (L1, L2, L3), odvodi aVR, aVL in aVF so izračunani. Analiza EKG je opravljena s programom Ecg-auto[®], EMKA technologies (8).

2.5.3 Prenosni brezžični senzor za spremljanje avtonomne aktivnosti in socialnega obnašanja pri primatih

Prenosni sistem je zasnovan tako, da omogoča daljinsko spremljanje aktivnosti avtonomnega živčnega sistema primatov (razen pri človeku), z namenom preučevanja živčne funkcije, povezane s socialnim vedenjem v daljšem časovnem obdobju v ambulantnem okolju. Sistem je sestavljen iz oprsnice, na kateri je več senzorjev. Tak sistem omogoča lahek prenos z enega pacienta na drugega. Oprsnica vsebuje majhen snemljiv nizkoenergetski senzorski modul za merjenje elektrodermalne aktivnosti (EDA), EKG, 3-osnega pospeševanja in temperature. Brezžični prenos podatkov na mobilni telefon omogoča tehnologija bluetooth. Tak način prenosa podatkov omogoča prosto gibanje pacienta z nameščeno oprsnico in tudi tistega, ki izvaja meritev. Na mobilnem telefonu mora biti nameščena prilagojena programska oprema

za Android, ki omogoča ogled podatkov v živo ter ustvarjanje opomb. Podatki iz do sedmih primatov se lahko sočasno beležijo na en mobilni telefon in jih je mogoče spremljati ob izvajanju meritev ali pa se prenesejo na oddaljen spletni strežnik. Ta sistem omogoča preučevanje osnovnih mehanizmov in povezave med avtonomno funkcijo možganov in socialnim vedenjem pri živalih in predstavlja možnost pri raziskavah v humani medicini, predvsem na področju avtizma, zlorabi različnih substanc in motenj razpoloženja (17).

2.5.4 Sistem za preučevanje EKG in analize vpliva avtonomnega živčnega sistema na funkcijo srca pri ribah

Električna aktivnost srca pri ribah se prevaja skozi vodo v obliki vzorca, ki se z ventralnega vidika ribjega telesa razprostira naprej in navzdol. Električna prevodnost vode omogoča neinvazivno detekcijo EKG signala z uporabo elektrod, ki sploh niso v stiku z ribo. Srčni utrip je zato mogoče spremljati brez kontaktnih instrumentov. Spektralna analiza srčnega utripa (HRSA) je tehnika, ki ovrednoti ciklične oscilacije med utripnim intervalom srca, ki so odvisne od specifičnih nevronskih in hormonskih mehanizmov. Pri sesalcih se razlike v srčnem utripu pri posamezni živali pojavljajo kot trije značilni frekvenčni pasovi. Najvišje frekvence so povezane z dihanjem, srednje frekvence z baroreceptorskimi vplivi in najnižje frekvence s termoregulacijskimi vplivi. HRSA opredeljuje relativni prispevek posameznih vplivov na variabilnosti srčnega utripa in s tem omogoča preučevanje sprememb v avtonomnem živčnem sistemu, povezanih z različnimi fiziološkimi ali farmakološkimi vplivi, ki se jim mora posameznik prilagoditi. HRSA je bila že uporabljena kot sredstvo za preučevanje avtonomnega nadzora kardiovaskularne homeostaze pri sesalcih, vključno s človekom. Sistem, ki omogoča merjenje EKG pri ribah, predstavlja možnost za preučevanje variabilnosti srčnega ritma v odvisnosti od avtonomnega živčnega sistema tudi pri ribah (18).

2.5.5 ZIO[®] Patch Monitor

»EKG patch monitorji« (ang. EPM) naj bi bili kombinacija holter monitorja ter dogodkovnih monitorjev z možnostjo prenosa in analize podatkov v realnem času. Naprava je z elektrodami pričvrščena na steno prsnega koša, pri čemer sta elektrodi navadno blizu skupaj (okoli 8 cm). EPM imajo običajno 1–3 EKG odvode. Čas snemanja srčnega ritma je daljši kot pri holter monitorju, kar omogoča detekcijo večjega števila aritmij (9). Zio[®] Patch (iRhythm

Technologies, Inc.) brezžični EKG monitor je eden prvih komercialno dostopnih tovrstnih monitorjev z odobritvijo za komercialno rabo v humani medicini s strani FDA (Zvezna agencija za hrano in zdravila, ZDA) leta 2009 (10). Je brez zunanjih žic, enoodvoden, vodoodporen in lahek, srčno delovanje je z njim možno snemati do 14 dni. Na površini ima tudi gumb, s katerim lahko pacienti posebej zabeležijo dogodek, kadar pride do simptomov kot posledice aritmij. Barret in sod. so primerjali Zio[®] Patch s 24-urnim holter monitorjem pri 146 pacientih. Ugotovili so, da bi 81 % pacientov raje nosilo brezžični EKG senzor v primerjavi s holter monitorjem. 90 % zdravnikov, sodelujočih v raziskavi, pa je menilo, da je s podatki, pridobljenimi z napravo, možno doseči končno diagnozo. Skupno gledano je zaradi daljšega časa snemanja brezžični EKG monitor zaznal 35 aritmij več kot holter monitor, kljub temu pa je med sočasnim snemanjem obeh naprav holter monitor zaznal 61 aritmij v primerjavi s 50 aritmijami, zaznanih z Zio[®] Patch napravo. Turakhia in sod., 2013, so z raziskavo, pri kateri je 26751 pacientov nosilo brezžično EKG napravo v povprečju 7 dni, prav tako potrdili uporabnost, udobnost ter visoko diagnostično vrednost naprave (1, 19).

2.5.6 NUVANT[®]

NUVANT[®] je brezžični monitor za detekcijo aritmij. Sestavljen je iz prenosnega snemalnika in enote za prenos podatkov. Za razliko od Zio[®] Patch monitorja, ki beleži in shrani vse podatke EKG in ki omogoča le retrospektivno odkrivanje aritmij, sistem NUVANT prenaša in analizira podatke v realnem času. Senzor se samodejno aktivira, ko pride do določene aritmije, začne spremljati in prenašati EKG. Vsi dogodki se prenašajo v aplikacijo v oblaku, kjer jo lahko analizirajo pooblaščenih elektrokardiografski tehniki (20)

2.5.7 AliveCor[®]

AliveCor[®] naprava je standardiziran, bipolaren, eno-odvoden snemalnik srčnega ritma, ki omogoča sintezo večodvodnega EKG. Napravo sestavlja FDA odobrena strojna oprema (bipolarne elektrode v ohišju, ki se prilega pametnemu telefonu, za snemanje električne aktivnosti srca) in programska oprema za obdelavo, shranjevanje in prenašanje posameznega elektrokardiograma. Aplikacija na pametnem telefonu (AliveECG) spremeni električni signal v ultrazvočni signal. Ko signal sprejme mikrofona na mobilnem telefonu, se signal prikaže na zaslonu (prikaz v realnem času) in se prenese na računalnik v obliki PDF formata (20, 21). V

študiji, v katero so bili vključeni psi, mačke in konji, so preverjali natančno identifikacijo srčnega utripa in ritma z napravo AliveCor® pri živalih z normalnim sinusnim ritmom in spontanimi aritmijami v primerjavi s standardnim 6-odvodnim EKG. Trenutne in povprečne vrednosti srčnega utripa so bile enake v vseh primerih. Polarnost depolarizacije je bila občasno drugačna med AliveCor® in referenčnim EKG pri konjih in psih, pri mačkah se je pojavljala pogosteje. AliveCor® se je izkazal kot natančna naprava za identifikacijo srčnega ritma pri konjih in psih, nekoliko manj pri mačkah (22). Avtorji, ki so primerjali holter monitor in iPhone brezžični EKG snemalnik (AliveCor®) s stališča zaznavanja srčnega utripa pri psih v domačem okolju, navajajo dobro korelacijo omenjenih snemalnikov. Brezžični EKG snemalnik se je poleg dobrega diagnostičnega pripomočka izkazal kot cenejša alternativa Holter monitorja, ki je enostaven za domačo uporabo (23).

2.5.8 SAVVY®

Savvy® je brezžični EKG senzor, ki je od konca leta 2016 dostopen za komercialno rabo. Razvit je bil na Inštitutu Jožefa Stefana in je komercialna različica EKG senzorja, ki smo ga uporabljali za namen te Prešernove naloge. Njegovo delovanje je opisano v poglavju Materiali in metode.

Rashkovska in sod. so prototip brezžičnega EKG senzorja, ki smo ga uporabljali v raziskovalni nalogi, omenjali kot del sistema za oddaljen nadzor vitalnih funkcij bolnika. Sistem naj bi razbremenil hospitalno osebje na ta način, da bi določen čas samodejno opravljaj meritev raznih življenjskih funkcij – telesna temperatura, frekvenca dihanja, srčna frekvenca, krvni tlak – in jih preko žične ali brezžične povezave posredoval na bolnikov terminal. Če bi prišlo do odstopanja določenega parametra sistem sproži alarm in priklič zdravnik. V istem članku je opravljena tudi primerjava brezžičnega EKG senzorja s standardnim 12-odvodnim EKG. Ugotovljena je bila skladnost obeh meritev, hkrati pa je bilo ugotovljeno, da na amplitude EKG vpliva relativni položaj elektrod na srce. Poleg tega je bila ugotovljena korelacija med dihanjem in spremembo impedance prsnega koša (24). Pri meritvah z živalmi sta Brložnik in Avbelj v svojem članku opisala meritve pri dveh psih, pri čemer sta potrdila številne dobre lastnosti senzorja predvsem s stališča točnosti rezultatov, možnosti dolgotrajnejšega merjenja EKG signala, udobnosti nošenja ter enostavnosti za ambulatorno ter domačo uporabo (2).

3 MATERIALI IN METODE

3.1 MATERIALI

3.1.1 Živali, vključene v raziskavo

V raziskavo je bilo vključenih 27 lastniških psov različnih starosti, pasem in obeh spolov, pri katerih je bil postavljen sum na prisotnost aritmij. Motnje srčnega ritma so bile posledica sistemskih ali srčnih obolenj. Psi so bili hospitalizirani zaradi zdravljenja ali pa so okrevali po kirurškem posegu. V našo raziskavo smo vključili tudi paciente, ki so prišli s svojimi lastniki v ambulanto na pregled srca. EKG je bil posnet z dovoljenjem lastnikov.

3.1.2 Standardni EKG

Za meritve standardnega EKG smo uporabili EKG napravo Schiller CARDIOVIT MS-2015 (Schiller, Švica).

3.1.3 Brezžični EKG senzor

Brezžični EKG senzor sestavlja lahek elektronski modul z baterijo in dvema samolepljivima elektrodama (uporabili smo elektrode Skintact® Monitoring ECG Electrodes Premier F-301 ali elektrode Philips 13951C), ki ju lahko pritrdimo na maksimalni razdalji 9 in minimalni razdalji 4 cm. S pomočjo podaljška je mogoče razdaljo tudi povečati, a tega pri naših meritvah nismo uporabili (slika 1). Naprava je zasnovana tako, da omogoča prosto gibanje živali. EKG senzor meri en bipolarni odvod in podatke brezžično prenaša v tablico (Android) v bližini živali s pomočjo bluetooth tehnologije. Na zaslonu tablice oz. pametnega telefona se prikazuje EKG graf, hkrati se podatki zapisujejo v datoteko za kasnejšo podrobnejšo analizo (slika 2). Posnetke EKG-jev smo analizirali na osebem računalniku s programom NevroEKG oz. novejšim programom VisECG, ki je produkt Instituta Jožef Stefan in je prosto dostopen na spletnih straneh Odseka za komunikacijske sisteme (<http://e6-mobile-ecg.ijs.si/>).



Slika 1: Podaljšek EKG senzorja

Figure 1: ECG sensor extender



Slika 2: Tablica sočasno beleži podatke iz elektrod brezžičnega EKG senzorja

Figure 2: Smart device records real-time data from the electrodes

3.1.4 Program VisECG

Program VisECG analysis je programsko orodje za pregled in obdelavo EKG meritev.

Program omogoča nalaganje meritev, shranjenih v datoteki, iz izbrane mape in prikaz meritev na časovnici. Ponuja možnost avtomatskega pregleda mape s statističnimi podatki (število srčnih utripov na časovno enoto, povprečna frekvenca utripov, povprečna standardna deviacija števila utripov na časovno enoto ...) in tabelo s statističnim pregledom posameznih meritev. V tabeli so informacije o času, trajanju in statistikah meritev.

Posamezno EKG meritev lahko podrobneje analiziramo. Meritev se prikazuje v grafu, kjer X-os predstavlja čas, Y-os pa vrednosti izbranega kanala. Za lažjo analizo meritev se lahko premikamo po grafu gor/dol ali povečujemo/pomanjšujemo prikaz v Y-smeri. Imamo možnost hitrega pregleda nad celotnim posnetkom, zato so morebitne spremembe meritve takoj opazne, četudi se taki dogodki redko pojavljajo. Vse posnetke s senzorja je mogoče izpisati v obliki z milimetrskim papirjem za lažje izračune. Pri analizi meritev se lahko

poslužujemo številnih funkcij. Z nizkopropustnim digitalnim filtrom lahko program filtrira izmerjen signal. V primeru meritve signala z negativnimi R-valovi je za lažjo nadaljnjo analizo pomembno, da signal obrnemo. Program omogoča analizo posameznega odseka EKG meritve, s kurzorji se lahko premikamo za en vzorec/dogodek ali izbrišemo izbrani dogodek (del meritve). Omogoča tudi izračun osnovne statistike izmerjenega kanala. Program ponuja prikaz povprečnega srčnega ritma določenega odseka meritve v obliki grafa, ki se izrisuje s polno črto vedno, ko se zaključi samodejna detekcija utripov.

3.2 METODE

3.2.1 Izvajanje meritev

Brezžični EKG senzor je bil nameščen na levo ali desno stran prsnega koša, negativna elektroda v bližini preddvora, pozitivna elektroda na apeksu prekata (slika 3). Stran prsnega koša za namestitev brezžičnega EKG senzorja smo izbrali glede na položaj psa oziroma glede na njegovo udobnost z nameščenim senzorjem (na primer, nekateri psi so po operaciji nepremično ležali na levem boku ali pa pri nekaterih pacientih, kjer bi dodatna manipulacija povzročila stres). Predhodno je bilo potrebno britje dlake na tem področju, da sta samolepljivi elektrodi omogočali boljši stik s kožo. Po potrebi smo senzor pričvrstili s samolepilnim trakom (MicroporTM) (slika 4) ali povejem čez prsni koš psa (slika 5). Psi so med meritvami ležali, sedeli ali so se gibali v kletkah, v prostoru ali v zunanjem okolju. Tablica je bila ves čas snemanja brezžičnega EKG v neposredni bližini pacienta z nameščenim senzorjem oziroma v istem prostoru. Snemanje brezžičnih EKG posnetkov je trajalo povprečno 26 minut (od 15 do 70 minut).



Slika 3: Brezžični EKG senzor nameščen na levo stran prsnega koša, negativna elektroda v bližini preddvora, pozitivna elektroda na apeksu levega prekata

Figure 3: Wireless body ECG sensor placed on the left side of the thorax, negative electrode near atria and positive electrode at the apex of the left ventricle.



Slika 4: Senzor pritrjen s samolepilnim trakom

Figure 4: Wireless ECG sensor placed with self-adhesive tape



Slika 5: Povoj čez prsni koš pričvrščuje brezžični EKG senzor

Figure 5: Bandaging the wireless ECG sensor

Standardni dvominutni 6-odvodni EKG (I., II., III., avR, avF, avL) je bil posnet sočasno, neposredno pred snemanjem brezžičnega EKG ali po njem. Aligatorske sponke, ki so z žicami povezane z EKG napravo, smo namestili na predvidenih mestih (na prednjih okončinah na kožno gubo nad komolčnim sklepom, na zadnjih okončinah na kožno gubo nad kolenskim sklepom), ki smo jih zaradi boljšega stika predhodno navlažili z alkoholom ali gelom. Živali so med merjenjem v večini primerov ležale. Tiste živali, pri katerih bi z ležečim položajem povzročili oteženo dihanje in nelagodje, so med merjenjem stale na mestu.

3.2.2 Merjeni in opazovani parametri

Merjeni parametri na posnetkih standardnega EKG in brezžičnega EKG so bili srčni ritem, morfologija in trajanje EKG valov ter aritmije. V primerih, ko so bili psi med snemanjem brezžičnega EKG aktivni, smo beležili dejavnosti (npr. pitje, bruhanje, vstajanje, tek), ki so vplivale na kateri koli opazovani parameter in povzročile morebitne artefakte v EKG posnetku.

Zanimala nas je kakovost brezžičnih EKG posnetkov pri pacientih v mirovanju in gibanju, frekvenca ugotovljenih aritmij v primerjavi s standardnim EKG, primerjava posnetkov z leve in desne strani, beležili smo vse težave in pozitivna opažanja v zvezi s snemanjem brezžičnih EKG posnetkov.

3.2.3 Postopki, uporabljeni pri analizi meritev

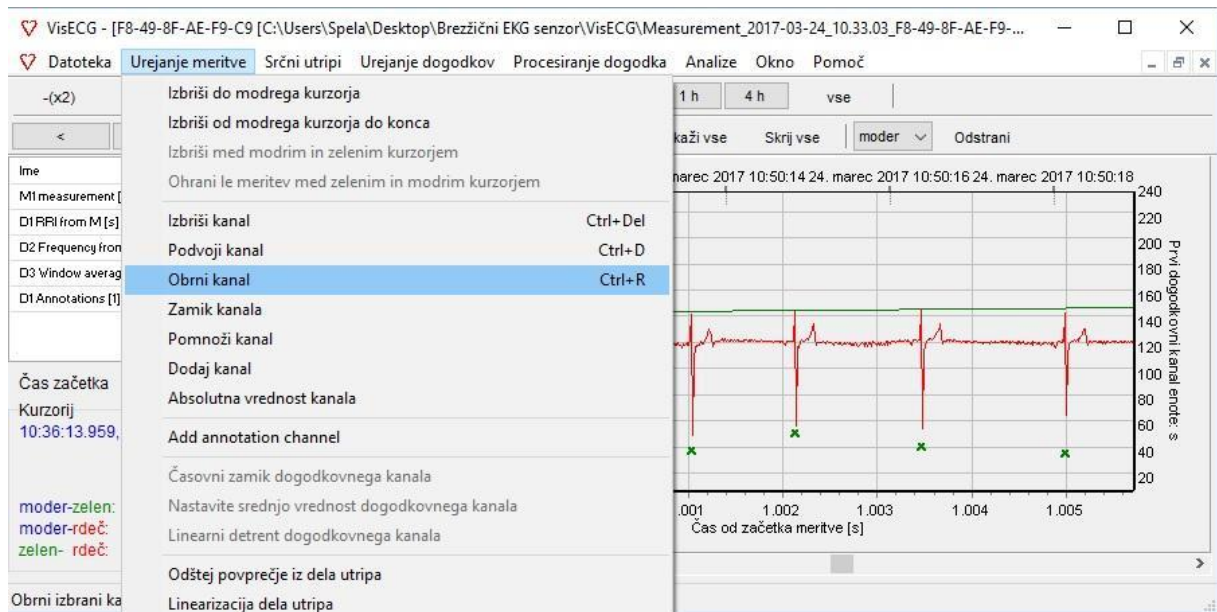
Za pregled meritev v izbrani mapi smo s funkcijo 'Pregled mape' dobili posamezne meritve razvrščene na časovni trak (slika 6). Funkcija 'Prikaži celotni časovni razpon' v razširjeni menijski vrstici prikaže zoom pregled na privzeto velikost časovnega traku (v našem primeru vse meritve EKG v naši raziskavi).

V tabeli kanalov so merilni (signalni) kanali (M), dogodkovni kanali (D) in označevalni kanali (A). Lastnosti posameznih kanalov je mogoče urejati z dvoklikom na ime kanala v tabeli. Kanal, označen z rdečo barvo, je kanal, ki je izbran (I) in je v zadnjem stolpcu tabele. Drugi stolpec tabele (V) določa način prikazovanja kanala v grafu. Stolpec "Y-zoom" določa, kakšno višino v grafu zaseda kanal. Stolpec "Odmik" določa, za koliko višin kanala bo kanal odmaknjen nad prejšnji kanal.

Graf kanalov prikazuje meritev. X-os predstavlja čas, Y-os pa vrednosti izbranega kanala. Leva Y-os predstavlja merilne, desna pa dogodkovne in označevalne signale. Noben merilni kanal ni prikazan v primeru, da je leva os enaka desni. V glavnem oknu v statusni vrstici se prikazuje X-čas v meritvi, na katerem je miška v območju grafa, in Y-vrednost kanala pri tem času.

Za izvajanje številnih operacij je potrebno postavljanje enega ali več kurzorjev (moder, zelen, rdeč). Kurzor se postavi na najbližji vzorec v izbranem kanalu. Položaji kurzorjev, Y-vrednosti izbranega kanala in razlike med kurzorji se prikazujejo pod tabelo kanalov. Slednje pomeni označeno območje med dvema kurzorjema, v katerem so izračunane vrednosti. Kurzorje lahko premikamo za en vzorec ali dogodek in izbrišemo izbrani dogodek.

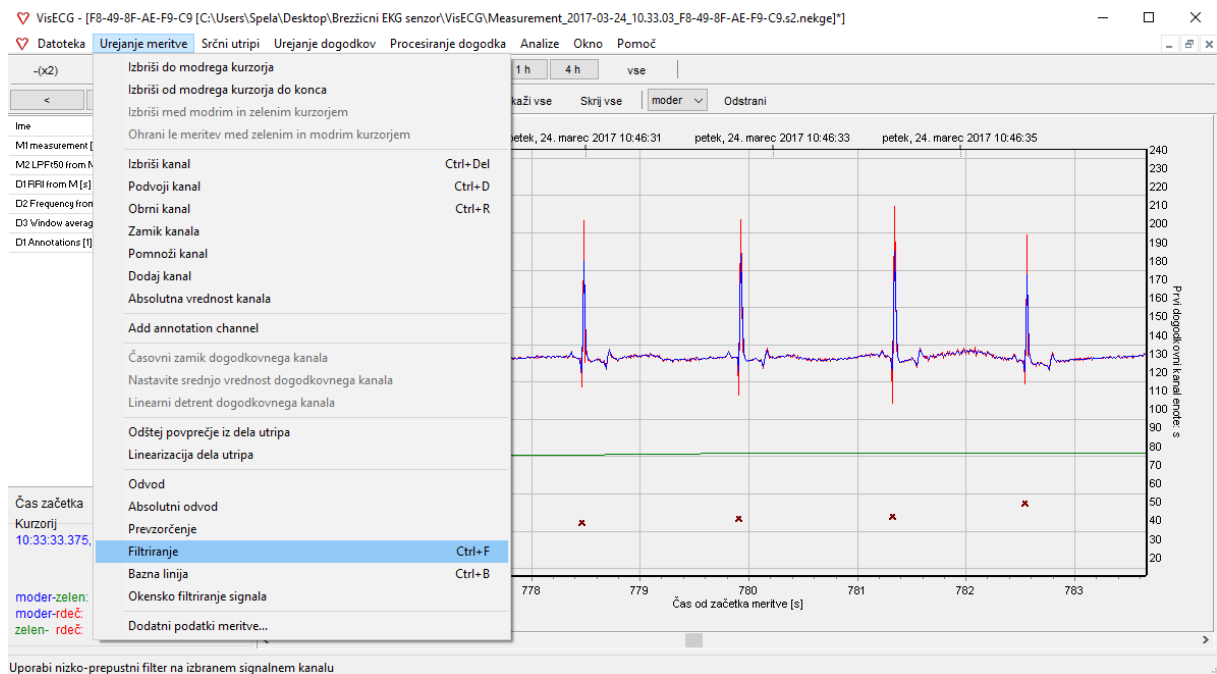
V primerih meritev signala z negativnimi R-valovi (senzor je bil nameščen tako, da sta bili pozitivna in negativna elektroda obrnjeni) smo za lažjo nadaljnjo analizo signal obrnili (slika 8).



Slika 8: Program VisECG: obrni signal

Figure 8: VisECG software: Invert selected channel

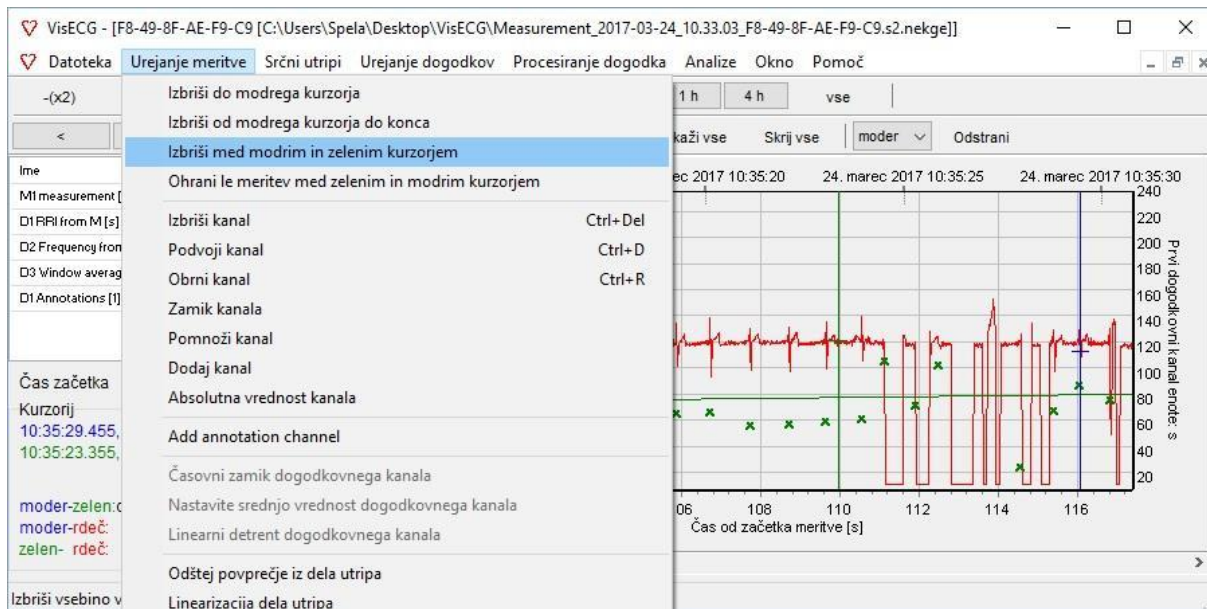
V primerih, kjer je bil na posnetku prisoten šum, ki je motil analizo morfologije kompleksov, smo s funkcijo 'Filtriranje signala' te šume zmanjšali (slika 9).



Slika 9: Program VisECG: filtriranje signala

Figure 9: VisECG software: Filtering the signal

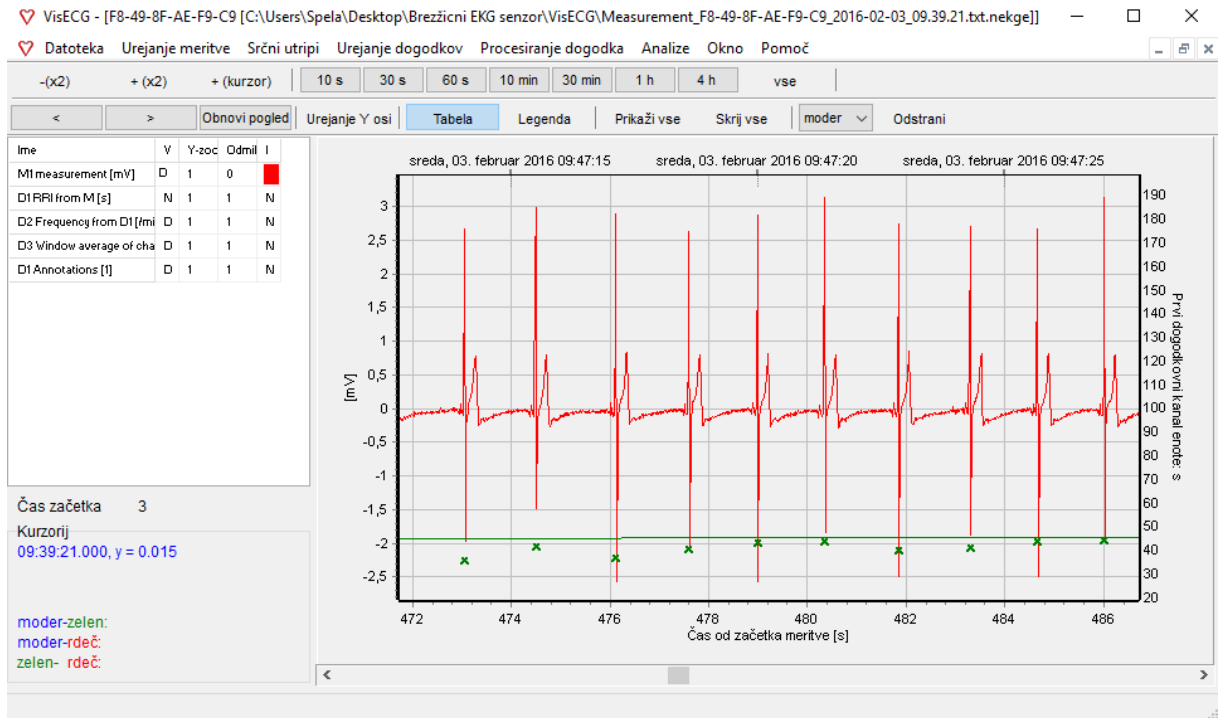
Ob izpadu signala zaradi različnih dogodkov smo se posluževali funkcije 'Izbris dogodka'. Na ta način je posnetek postal preglednejši in bolj reprezentativen za nadaljnje analize (izračun srčne frekvence) (slika 10).



Slika 10: Program VisECG: izbris dogodka

Figure 10: VisECG software: Delete content between blue and green cursor

Graf povprečnega srčnega ritma se izrisuje s polno črto vedno, ko se zaključi samodejna detekcija utripov. Os na desni strani grafa prikazuje število utripov v minuti (slika 11).



Slika 11: Program VisECG: srčni ritem s povprečno frekvenco 42 udarcev na minuto

Figure 11: VisECG software: Average heart rate with 42 beats per minute

4 REZULTATI

4.1 PSI

V raziskavo je bilo vključenih 27 psov različnih starosti, pasem in obeh spolov, pri katerih je bil postavljen sum na prisotnost aritmij zaradi sistemskih ali srčnih obolenj (diagram 1). Pacienti so bili povprečne starosti 9,3 leta (1–15 let) z večinskim deležem samcev (59,3 %). 22 psov je bilo hospitaliziranih med zdravljenjem (15 psov) ali pa so okrevali po kirurškem posegu (7 psov). V našo raziskavo smo vključili tudi paciente, ki so prišli s svojimi lastniki v ambulanto na pregled srca (5 psov). Pri 3 ambulantnih pacientih smo izvajali meritve brezžičnega EKG senzorja še med prostim gibanjem (sprehajanje, tek, skakanje) živali v zunanem okolju (tabela 1).

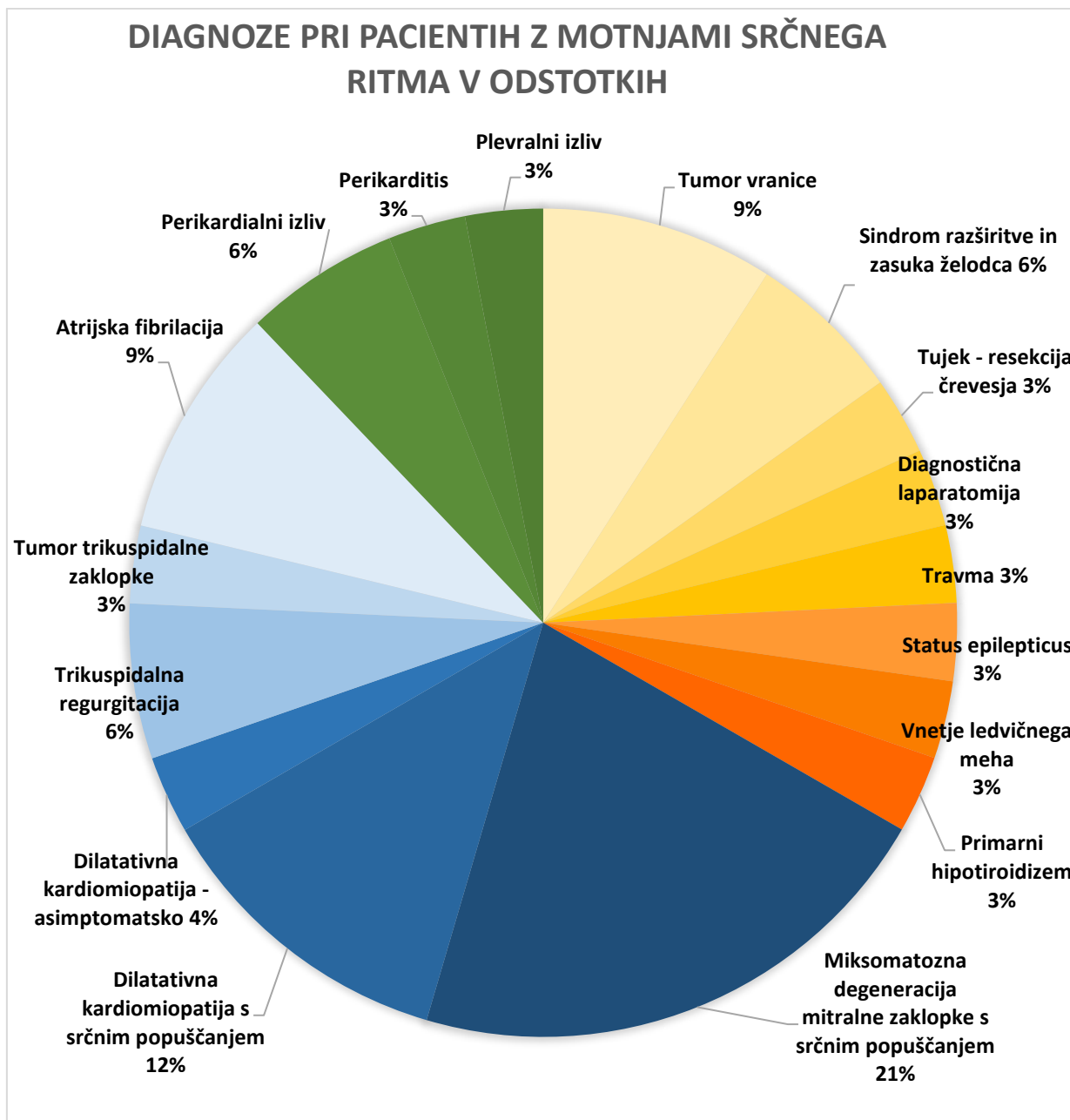


Diagram 1: Diagnoze pri pacientih z motnjami srčnega ritma v odstotkih

Diagram 1: Diagnoses in patients with heart rate disturbances in percentages

Tabela 1: Pacienti z motnjami srčnega ritma, ki so sodelovali v raziskavi

Table 1: Patient with arrhythmias in our research work

Pacient	Diagnoza	Starost	Spol	Pasma	Ambulanta/Hospitalizacija
1	MDMZ, srčno popuščanje	13 let	M	Koder	H
2	MDMZ, srčno popuščanje ACVIM C2	10 let	Ž	koker španjel	H
3	MDMZ, srčno popuščanje ACVIM C2	15 let	Ž	tibetanski terier	H
4	MDMZ, srčno popuščanje	13 let	M	mešanec	H
5	MDMZ, trikuspidalna regurgitacija, srčno popuščanje ACVIM D2	13 let	Ž	mešanec	A in gibanje v zunanjem okolju
6	MDMZ, srčno popuščanje ACVIM C2	11 let	Ž	king Charles španjel	H
7	MDMZ, srčno popuščanje	14 let	M	koton	H
8	DKM, srčno popuščanje ACVIM C2	9 let	M	nemški bokser	H
9	DKM, srčno popuščanje ACVIM C2, atrijska fibrilacija, plevralni izliv	9 let	M	bernardinec	H
10	DKM – asimptomatsko	4 leta	M	doberman	A
11	DKM, srčno popuščanje ACVIM C1	6 let	M	doberman	H
12	DKM, srčno popuščanje ACVIM C1	7 let	M	doberman	H
13	trikuspidalna regurgitacija, atrijska fibrilacija, perikardialni izliv	12 let	Ž	zlato prinašalec	H
14	pielonefritis, perikarditis, perikardialni izliv	13 let	M	češkoslovaški volčjak	H
15	tumor trikuspidalne zaklopke	5 let	M	zlato prinašalec	H
16	atrijska fibrilacija po GDV	10 let	M	bernski planšarski pes	A in gibanje v zunanjem okolju
17	tumor vranice – splenektomija	11 let	M	nemški ovčar	H
18	Tumor vranice – splenektomija	11 let	Ž	nemški bokser	H
19	Tumor vranice – splenektomija	11 let	Ž	hrt	H

Pacient	Diagnoza	Starost	Spol	Pasma	Ambulanta/Hospitalizacija
20	GDV – po kirurškem posegu	1 leto	M	bordojska doga	H
21	GDV – po kirurškem posegu	10 let	M	bernski planšarski pes	H
22	tujek – po kirurški resekcij črevesja	9 let	M	border collie	H
23	primarni hipotiroidizem	8 let	Ž	veliki šnavcer	A in gibanje v zunanjem okolju
24	travma (hemoabdomen, pnevmotoraks)	3 leta	Ž	mešanec	H
25	status epilepticus	2 leti	M	rodezijski grebenar	H
26	diagnostična laparotomija	5 let	Ž	hrt	H
27	naključna najdba aritmij pri pregledu pred anestezijo za rutinski zobni poseg	8 let	Ž	hrt	A

Legenda:

A – ambulantni pacienti

ACVIM C1 – klasifikacija srčnega popuščanja po Ameriškem kolidžu interne medicine, stopnja C1

ACVIM C2 – klasifikacija srčnega popuščanja po Ameriškem kolidžu interne medicine, stopnja C2

ACVIM D2 – klasifikacija srčnega popuščanja po Ameriškem kolidžu interne medicine, stopnja D2

DKM – dilatativna kardiomiopatija

GDV – sindrom razširitve in zasuka želodca

H – hospitalizirani pacienti

M – pacienti moškega spola

MDMZ – miksomatozna degeneracija mitralne zaklopke

Ž – pacienti ženskega spola

Legend:

A – outpatients

ACVIM C1 – American College of Veterinary Internal medicine stages, of disease and failure C1

ACVIM C2 – American College of Veterinary Internal medicine, stages of disease and failure C2

ACVIM D2 – American College of Veterinary Internal medicine, stages of disease and failure D2

DKM – dilative cardiomyopathy

GDV – gastric dilatation volvulus syndrome

H – inpatients

M – male patients

MDMZ - myxomatous mitral valve disease

Ž – female patients

Senzor je bil nameščen na levo (21 psov) ali desno (6 psov) stran prsnega koša. Rezultati meritev niso bili odvisni od lokacije namestitve senzorja.

Med snemanjem so 3 živali negibno ležale v kletki, 21 se jih je gibalo v kletkah ali prostoru, 3 psi so se gibali v zunanjem okolju (diagram 2). Ugotovili smo, da je bil signal enako dober ne glede na to, kje so se živali nahajale. Kovinske kletke niso povzročale motenj v signalu, čeprav smo pričakovali, da bo radijski signal, ki ga oddaja elektroda, oslavljen in da bo zato prenos podatkov moten.

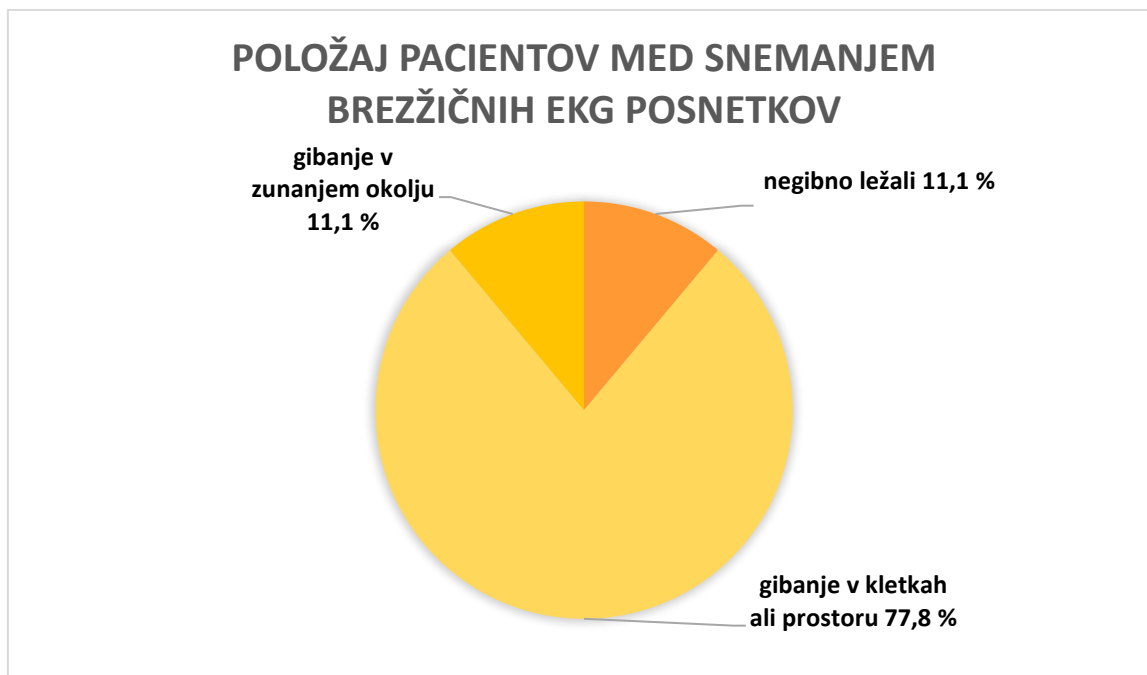
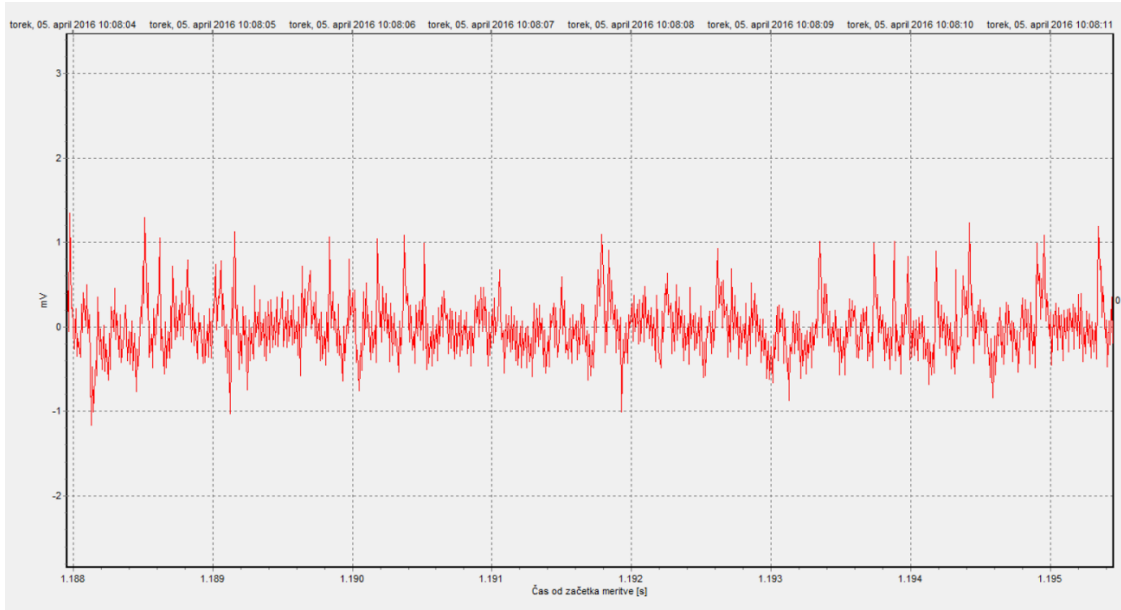


Diagram 2: Položaj pacientov med snemanjem brezžičnih EKG posnetkov

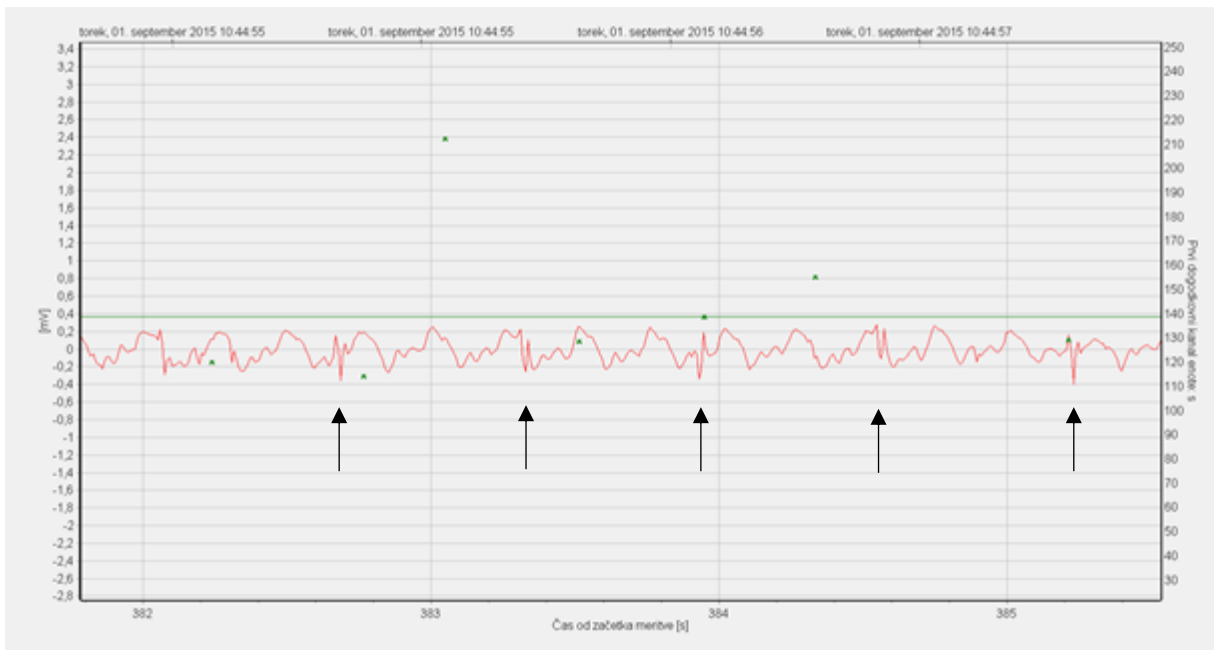
Diagram 2: Positions of the patients during measurements

Pri hitrem gibanju prsnega koša, kot je sopenje, tek ali skakanje, je ocena EKG signala otežena zaradi nastanka številnih artefaktov in sprememb v višini ter obliki signala (slika 12). Moteči dejavniki, ki so oteževali analizo EKG, so bili še sopenje (slika 13), ki se je pojavilo pri treh pacientih, ter britje v času snemanja pri enem pacientu (slika 14).



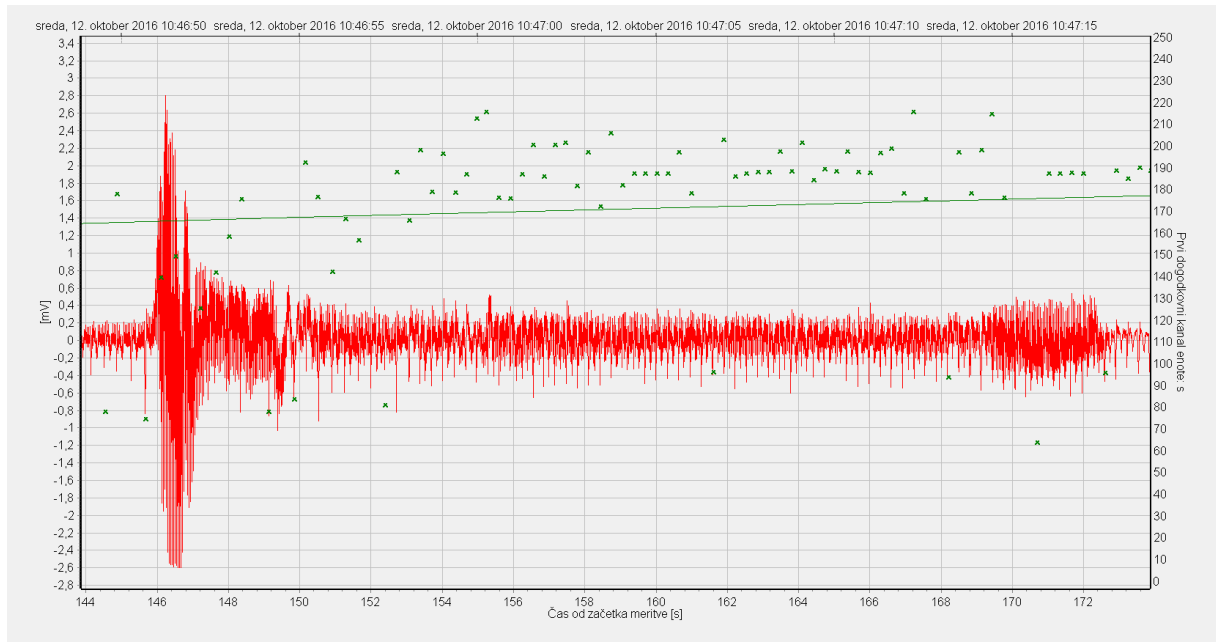
Slika 12: Primer artefakta, nastalega pri teku živali

Figure 12: An example of the artifact due to running



Slika 13: Artefakti na brezžičnem EKG posnetku zaradi sopenja. S puščicami so označeni EKG kompleksi, vendar jih zaradi artefaktov ni mogoče natančneje določiti.

Figure 13: An example of the artifact due to panting. ECG complexes are marked with arrows, but can not be specified more precisely because of the artefacts.

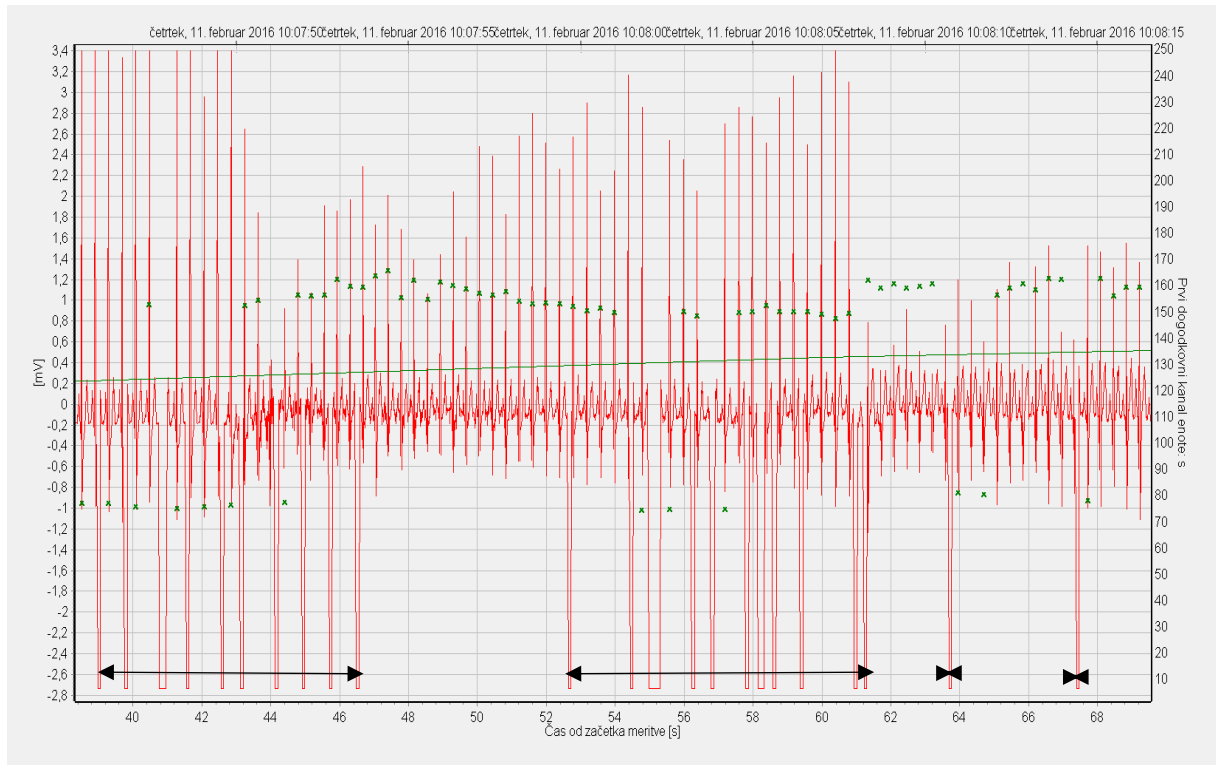


Slika 14: Motnje signala zaradi britja med merjenjem z brezžičnim EKG senzorjem

Figure 14: Signal disturbances caused by shaving during measurements with wireless ECG sensor

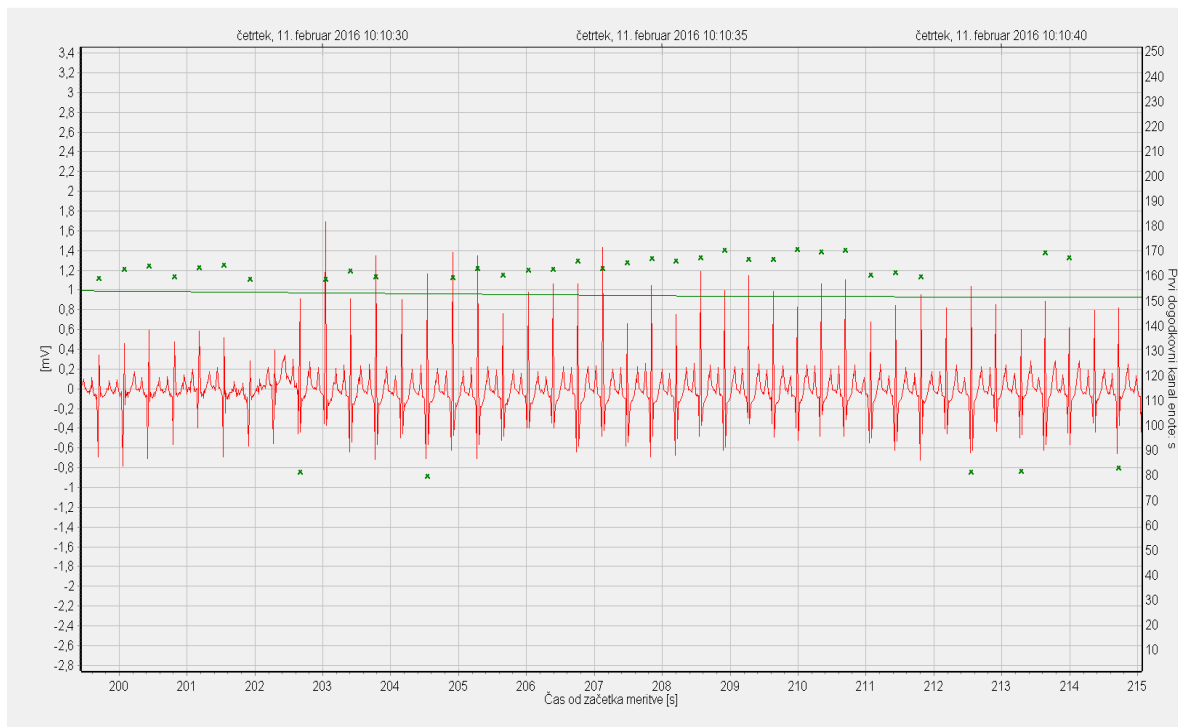
Motnje v signalu je povzročila prekinitev radijske zveze med EKG senzorjem in tablico ali prekinitev stika med elektrodama senzorja in prsnim košem (slika 15). Izpad signala zaradi odpadanja samolepilnih elektrod smo zabeležili v 9 primerih (33,3 % izmerjenih pacientov). Za zmanjševanje artefaktov, povezanih z gibanjem ali odlepljanjem, smo si pomagali z obvezovanjem EKG senzorja ali pričvrstitvijo s samolepilnim trakom (Micropor™) (slika 16).

Amplitude signala so bile odvisne od položaja živali, gibanja in namestitve senzorja (slika 17 in slika 18). Senzor, pričvrščen na prsni koš s povejcem ali samolepilnim trakom, zagotavlja nemoten signal in višje amplitude.



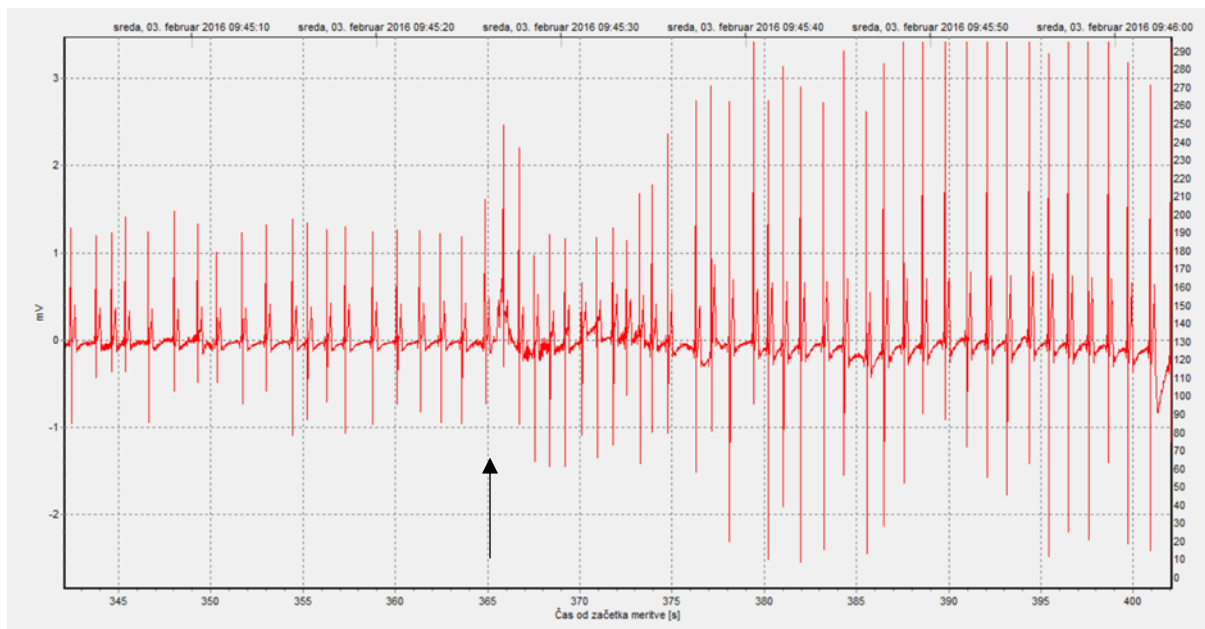
Slika 15: Izpadi signala kot posledica kratkotrajnih prekinitev v radijski zvezi med EKG senzorjem in tablico (označeni s puščicami). Zeleni križci predstavljajo srčne utripe – os na desni strani grafa prikazuje število utripov v minuti

Figure 15: Loss of the signal due to short-term interruptions in the radio connection between the ECG sensor and the smart device (marked with arrows). Green marks represent heartbeats - the axis on the right side of the graph shows the number of beats per minute



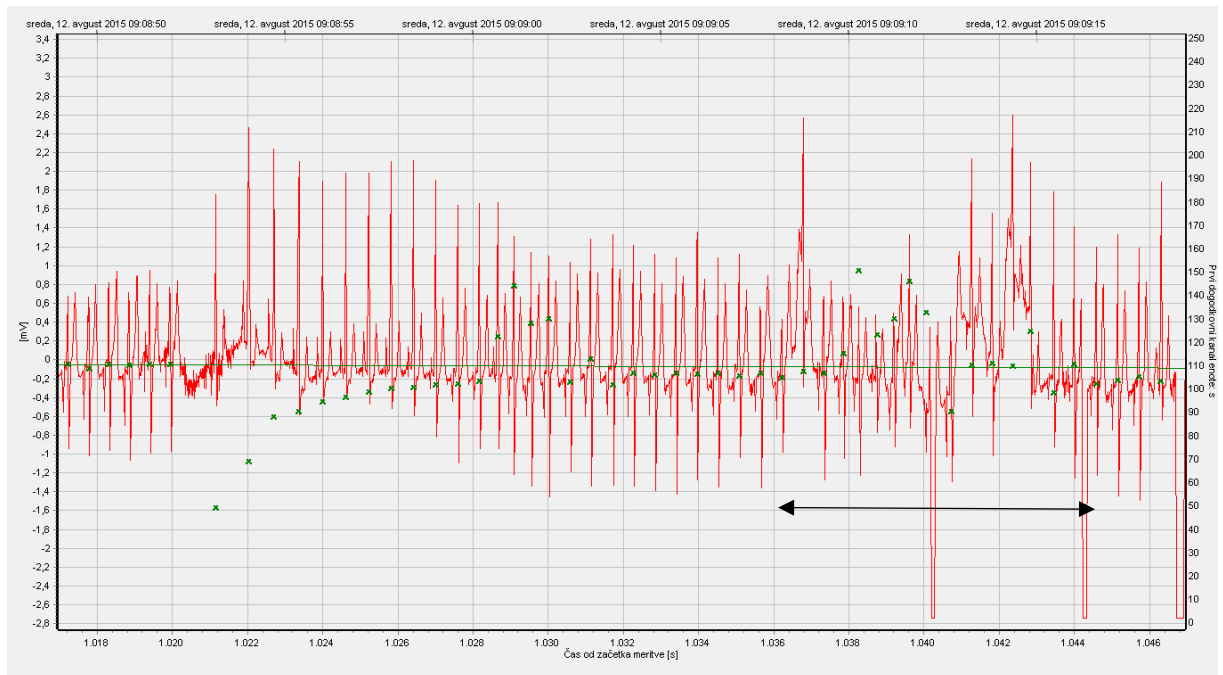
Slika 16: Signal brez motenj po pritrditvi brezžičnega EKG senzorja s povojem. Zeleni križci so srčni utripi – os na desni strani grafa prikazuje število utripov v minuti

Figure 16: Signal with no artifacts after bandaging the wireless ECG sensor. Green marks represent heartbeats - the axis on the right side of the graph shows the number of beats per minute



Slika 17: Sprememba amplitude signala zaradi spremembe lege pacienta iz stoječega v ležeči položaj (sprememba lege označena s puščico)

Figure 17: Change in the amplitude of the signal due to change of the patients' position from the standing to lying (change of the position is marked with arrow)



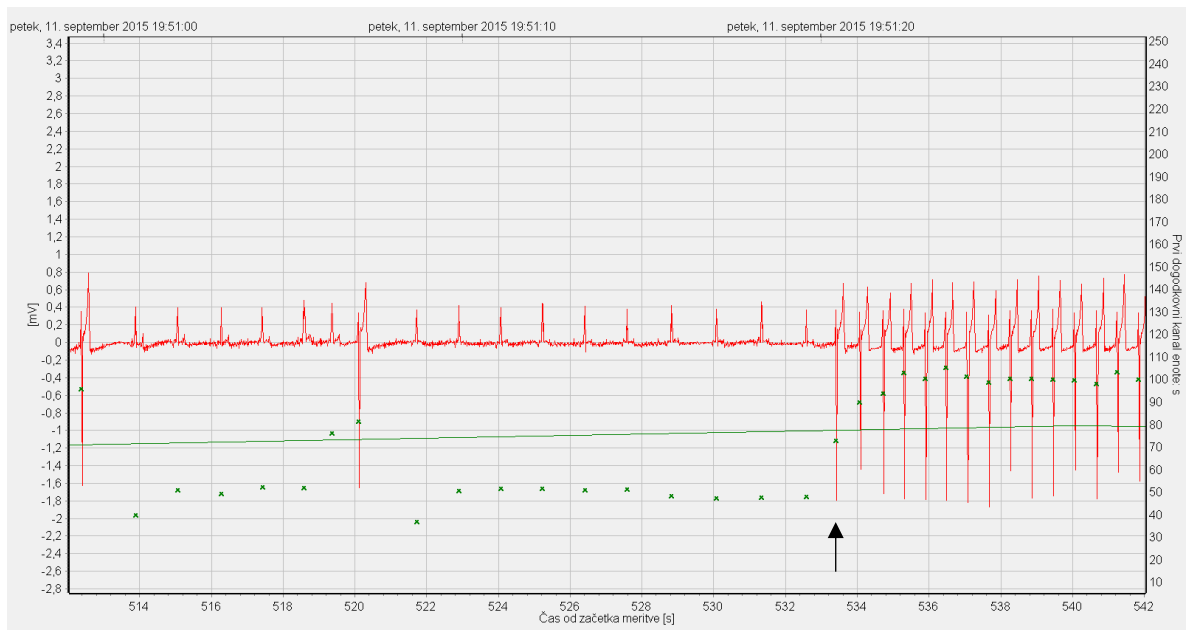
Slika 18: Spremembe signala zaradi gibanja telesa psa – primer signala, medtem ko je pes bruhal (označeno s puščico). Zeleni križci predstavljajo srčne utripe – os na desni strani grafa prikazuje število utripov v minuti

Figure 18: Changes of the signal due to movement of the dog's body – an example of the signal during vomiting (marked with arrow). Green marks represent heartbeats - the axis on the right side of the graph shows the number of beats per minute

4.2 DETEKCIJA ARITMIJ V PRIMERJAVI S STANDARDNIM ELEKTROKARDIOGRAMOM

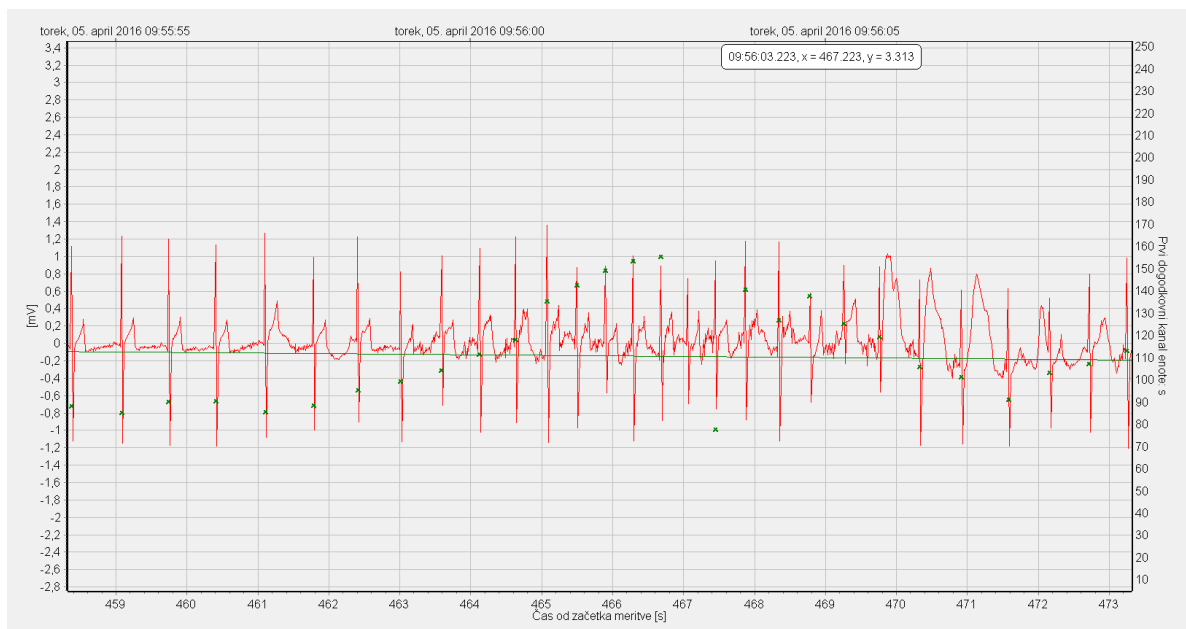
Primerjali smo srčne frekvence in ritem na posnetkih standardnega EKG in brezžičnega EKG senzorja pri 27 pacientih.

V istem časovnem obdobju je bila srčna frekvenca na standardnih EKG posnetkih in posnetkih z brezžičnega EKG senzorja primerljiva. V daljšem časovnem obdobju snemanja pa smo imeli pregled nad spremembami frekvence srca ob različnih dogodkih, kot so razburjenje, gibanje ter aritmije (slika 19 in slika 20).



Slika 19: Povišanje srčne frekvence ob aritmiji (prezgodnji prekatni udarci), označeno z zelenimi križci – os na desni strani grafa prikazuje število utripov v minuti

Figure 19: Increased heart rate during arrhythmia (premature ventricular beats) marked with green marks - the axis on the right side of the graph shows the number of beats per minute



Slika 20: Povišanje srčne frekvence pri prehodu iz mirovanja v gibanje, označeno z zelenimi križci – os na desni strani grafa prikazuje število utripov v minuti

Figure 20: Increased heart rate with the moving of the patient, marked with green marks - the axis on the right side of the graph shows the number of beats per minute

Z brezžičnim EKG senzorjem smo diagnosticirali naslednje aritmije:

- sinusna (respiratorna) aritmija
- preddvorne ekstrasistole
- prekatne ekstrasistole
- preddvorno migetanje
- prekatna tahikardija
- idioventrikularni ritem
- desnokračni blok
- prehodna asistola

Spodnja tabela prikazuje pregled rezultatov analize standardnega 6-odvodnega EKG in EKG brezžičnega EKG senzorja.

Tabela 2: Rezultati analize standardnega 6-odvodnega EKG in EKG z brezžičnega EKG senzorja

Table 2: Results of the analysis of the standard 6-lead ECG in ECG from wireless ECG sensor

Pacient	Diagnoza	Analiza standardnega 6-odvodnega EKG	Dolžina merjenja z brezžičnim EKG senzorjem	Analiza brezžičnega EKG senzorja
1	MDMZ, srčno popuščanje	sinusni ritem (v 130/min)	25 min	sinusni ritem (v 120-200/min)
2	MDMZ, srčno popuščanje ACVIM C2	sinusna tahikardija (v 160/min)	20 min	sinusna tahikardija (v 165/min), intermitentni desnokračni blok (se pojavi v 5. min snemanja)
3	MDMZ, srčno popuščanje ACVIM C2	sinusni ritem (v 108/min)	24 min	sinusni ritem (v 90/min) s posameznimi preddvornimi ekstrasistolami v 1. minuti, nato se nepravilno pojavljajo skozi celoten posnetek
4	MDMZ, srčno popuščanje	idioventrikularni ritem (v 137/min)	18 min	idioventrikularni ritem s posameznimi sinusnimi kompleksi (v 115-135/min)
5	MDMZ, srčno popuščanje ACVIM D2, trikuspidalna regurgitacija	sinusni ritem (v 115/min)	62 min	sinusni ritem (v 135-150/min) s posameznimi preddvornimi in prekatnimi ekstrasistolami
6	MDMZ, srčno popuščanje ACVIM C2	sinusna tahikardija (v 175/min)	20 min	sinusna tahikardija (v 180/min)
7	MDMZ, srčno popuščanje	sinusna tahikardija (v 167/min)	28 min	sinusna tahikardija (v 160/min)
8	DKM, srčno popuščanje ACVIM	sinusni ritem (v 87/min)	29 min	sinusni ritem (v 96/min) s posameznimi prekatnimi

Pacient	Diagnoza	Analiza standardnega 6-odvodnega EKG	Dolžina merjenja z brezžičnim EKG senzorjem	Analiza brezžičnega EKG senzorja
	C2			ekstrasistolami v 2. min snemanja, nato redko tekom posnetka
9	DKM, srčno popuščanje ACVIM C2, plevralni izliv, atrijska fibrilacija	atrijska fibrilacija, prekatne ekstrasistole (v 165/min)	23 min	atrijska fibrilacija (v 150–160/min), pogoste prekatne ekstrasistole – na posnetku po 10. min, nato cca 15/min
10	DKM – asimptomatsko	sinusni ritem (v 79/min)	20 min	sinusni ritem z močno izraženo respiratorno aritmijo (v 99/min)
11	DKM, srčno popuščanje ACVIM C2	atrijska fibrilacija (v 150–190/min)	15 min	atrijska fibrilacija (v 120–210/min)
12	DKM, srčno popuščanje ACVIM C2	sinusni ritem s posameznimi prekatnimi ekstrasistolami (v 150/min)	70 min	sinusni ritem s posameznimi prekatnimi ekstrasistolami (v 120/min) – od začetka posnetka cca 8/min
13	atrijska fibrilacija, trikuspidalna regurgitacija, perikardialni izliv	atrijska fibrilacija s prekatnimi ekstrasistolami (v 124/min)	30 min	atrijska fibrilacija, preddvorne in prekatne ekstrasistole, kratka asistola
14	pielonefritis, perikarditis, perikardialni izliv	prekatna tahikardija (v 163/min)	16 min	sinusna aritmija, določeni deli posnetka prekatna tahikardija (v 150–200/min)
15	tumor trikuspidalne zaklopke	idioventrikularni ritem (v 139/min)	16 min	sinusni ritem, idioventrikularni ritem, parasistola v prvi min posnetka (v 113/min)
16	atrijska fibrilacija po GDV	atrijska fibrilacija (v 213/min)	25 min	atrijska fibrilacija (v 115–134/min)
17	tumor vranice – splenektomija	sinusna bradikardija (v 52/min)	32 min	sinusna bradikardija, posamezne prekatne ekstrasistole, salve prekatnih ekstrasistol dveh morfologij v obdobju 13–30 s – pojavijo se od 5. min snemanja dalje (v 75/min)
18	tumor vranice – splenektomija	sinusni ritem s posameznimi prekatnimi ekstrasistolami (v 90/min)	35 min	sinusni ritem (v 75/min), posamezne prekatne ekstrasistole v 1. min posnetka ter salve ekstrasistol – prekatna tahikardija v 13. min (v 180/min)
19	tumor vranice - splenektomija	prekatna tahikardija (v 149/min)	22 min	prekatna tahikardija z redkimi posameznimi sinusnimi kompleksi (v 120/min)
20	GDV – po kirurškem posegu	sinusni ritem s posameznimi prekatnimi ekstrasistolami (v 70/min)	15 min	slab posnetek zaradi artefatkov (v 90/min)
21	GDV – po kirurškem posegu	sinusni ritem, posamezne prekatne ekstrasistole	19 min	sinusni ritem, posamezne prekatne ekstrasistole od 1. min dalje

Pacient	Diagnoza	Analiza standardnega 6-odvodnega EKG	Dolžina merjenja z brezžičnim EKG senzorjem	Analiza brezžičnega EKG senzorja
		(v 130-140/min)		(v 110/min)
22	tujek – po kirurški resekciji črevesja	sinusna bradikardija (v 43/min)	21 min	sinusna bradikardija (v 44 –58/min)
23	primarni hipotiroidizem	sinusna bradikardija (v 51/min)	20 min	sinusni ritem s posameznimi atrijskimi ekstrasistolami od 2. min dalje (v 104/min)
24	travma (hemoabdomen, pnevmotoraks)	prekatna tahikardija s posameznimi sinusnimi kompleksi (v 156/min)	20 min	atrijska fibrilacija, prekatna tahikardija, atrioventrikularni blok III. Stopnje – se pojavi v 9. min posnetka (v 100–170/min)
25	status epilepticus	sinusni ritem (v 80/min)	30 min	sinusni ritem (v 90/min)
26	diagnostična laparotomija	sinusna bradikardija in idioventrikularni ritem (v 151/min)	25 min	sinusna bradikardija (v HR 64/min), salve prekatnih ekstrasistol, idioventrikularni ritem od 1. min dalje (v 180/min)
27	naključna najdba aritmij pri pregledu pred anestezijo za rutinski zobni poseg	sinusni ritem s posameznimi prekatnimi ekstrasistolami (v 145/min)	15 min	sinusni ritem s posameznimi prekatnimi ekstrasistolami – pojav v 1. minuti, nato zelo pogoste tekom posnetka (v 80–140/min)

Legenda:

v – srčna frekvenca

ACVIM C1 – klasifikacija srčnega popuščanja po Ameriškem kolidžu interne medicine, stopnja C1

ACVIM C2 – klasifikacija srčnega popuščanja po Ameriškem kolidžu interne medicine, stopnja C2

ACVIM D2 – klasifikacija srčnega popuščanja po Ameriškem kolidžu interne medicine, stopnja D2

DKM – dilatativna kardiomiopatija

GDV – sindrom razširitve in zasuka želodca

MDMZ – miksomatozna degeneracija mitralne zaklopke

Legend:

v – heart rate

ACVIM C1 – American College of Veterinary Internal medicine stages, of disease and failure C1

ACVIM C2 – American College of Veterinary Internal medicine, stages of disease and failure C2

ACVIM D2 – American College of Veterinary Internal medicine, stages of disease and failure D2

DKM – dilative cardiomyopathy

GDV – gastric dilatation volvolus syndorme

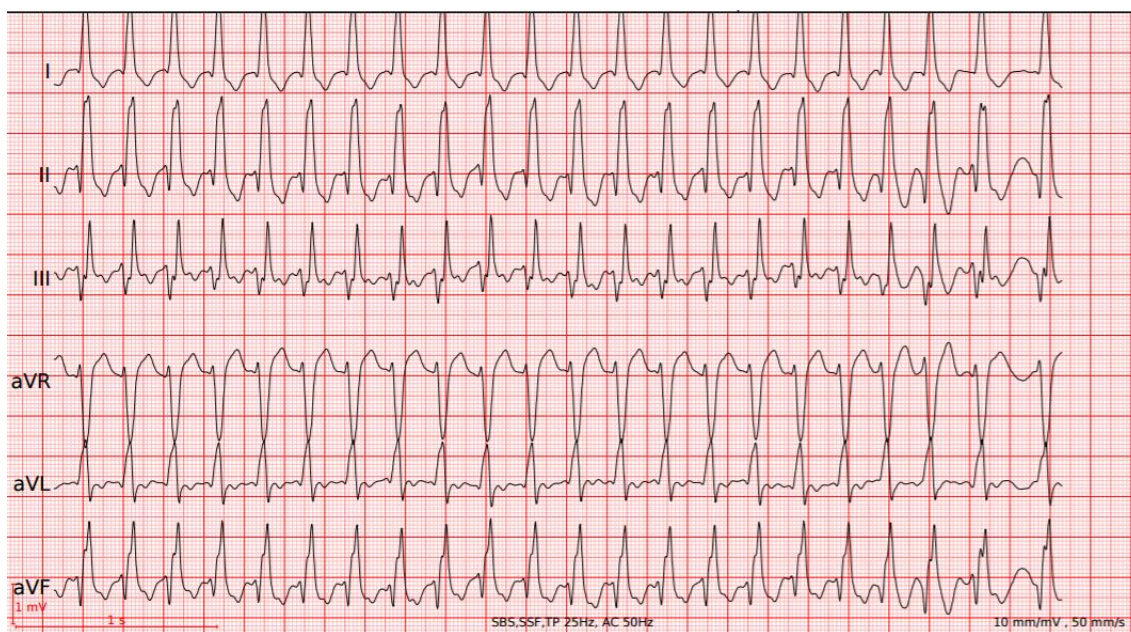
MDMZ - myxomatous mitral valve disease

V 15 primerih (55,5 %) smo s standardnim EKG in brezžičnim EKG senzorjem zaznali enak tip aritmije (oziroma nismo zaznali nobene aritmije). Pri merjenju z brezžičnim snemalnikom skozi daljše časovno obdobje se je pojavilo večje število aritmičnih kompleksov iste aritmije.

Na brezžičnih EKG posnetkih so se aritmični kompleksi iste aritmije pojavljali celoten čas meritve pri 15 pacientih. Pri treh pacientih kljub sumu na prisotnost aritmij v času merjenja

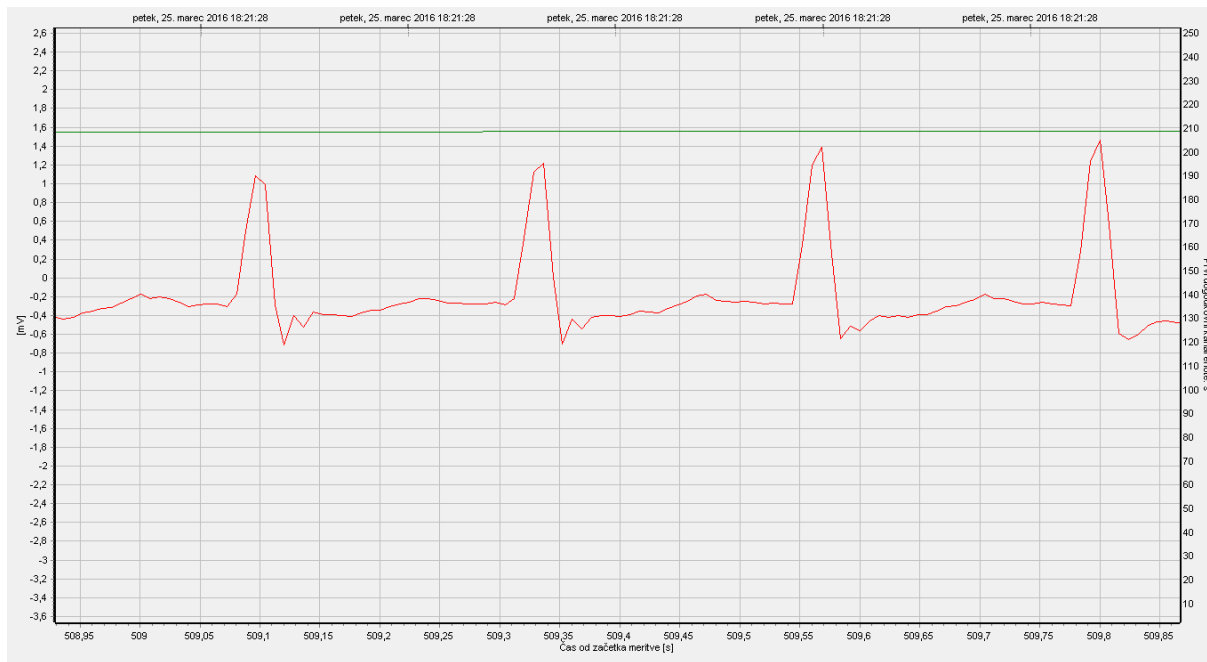
(20-30 minut) nismo zaznali odstopanja od normalnega srčnega ritma. V 8 primerih smo določen tip aritmije zaznali znotraj prvih 13 minut snemanja z brezžičnim EKG senzorjem.

Primer pacienta št. 11: Na posnetku standardnega EKG smo zaznali atrijsko fibrilacijo s povprečno srčno frekvenco 190 utripov na minuto (slika 21). Tudi pri 15-minutnem posnetku z brezžičnim EKG senzorjem smo zaznali atrijsko fibrilacijo s povprečno frekvenco do 210 utripov na minuto (slika 22).



Slika 21: Atrijska fibrilacija na standardnem EKG s srčno frekvenco 190 utripov na minuto

Figure 21: Atrial fibrillation on the standard ECG with heart rate of 190 beats per minute



Slika 22: Atrijska fibrilacija (povečava kompleksov) s frekvenco 208 utripov na minuto na posnetku brezžičnega EKG senzorja

Figure 22: Atrial fibrillation (complex enlargement) with 208 beats per minute obtained by wireless ECG sensor

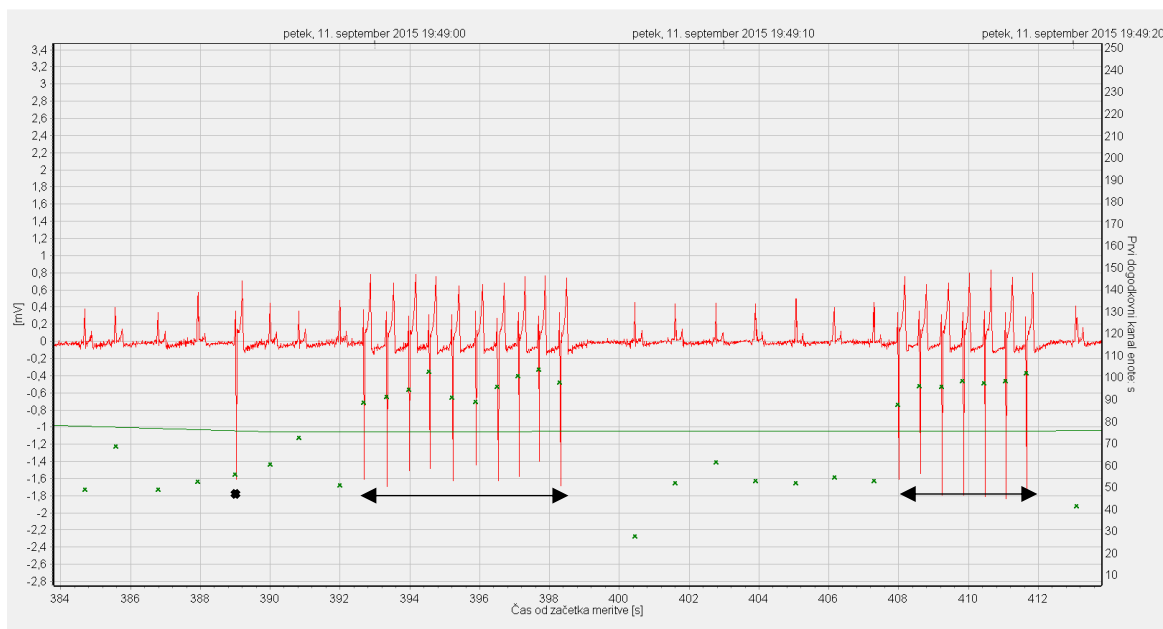
Več vrst aritmij smo na daljših EKG posnetkih brezžičnega senzorja v primerjavi s standardnim EKG zaznali v 11 primerih (40,7 %).

Primer pacienta št. 17: Pri snemanju s standardnim EKG smo diagnosticirali sinusno bradikardijo s povprečno srčno frekvenco 52 utripov na minuto (slika 23). V 30-minutnem posnetku, narejenem z brezžičnim EKG senzorjem, pa smo zaznali še številne posamezne prezgodnje prekatne komplekse ter salve prezgodnjih prekatnih kompleksov (slika 24).



Slika 23: Sinusna bradikardija s povprečno srčno frekvenco 52 utripov na minuto na standardnem EKG

Figure 23: Sinus bradycardia with 52 beats per minute on standard ECG

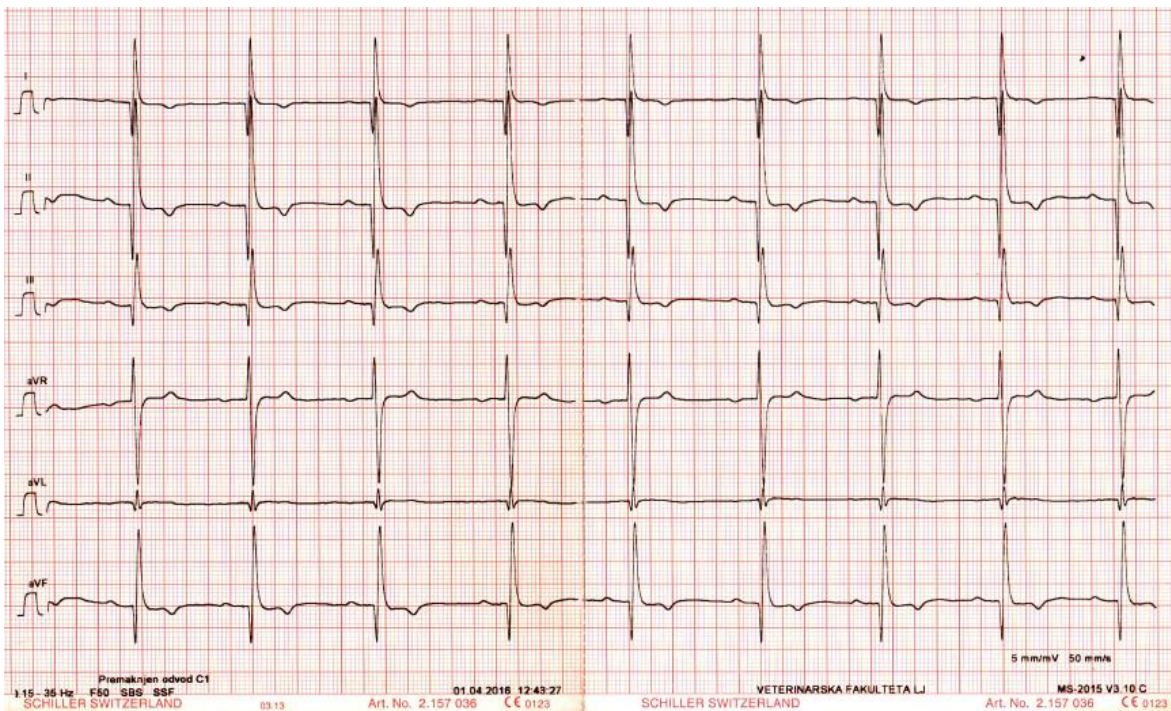


Slika 24: Sinusna bradikardija in posamezni prezgodnji prekatni kompleksi (označeno s črnim x) in salve prezgodnjih prekatnih kompleksov trajanja 6 sekund in 4 sekunde (označeno s puščicama) na brezžičnem EKG posnetku. Zeleni križci so srčni utripi – os na desni strani grafa prikazuje število utripov v minuti

Figure 24: Sinus bradycardia, individual premature ventricular complex (marked with black x) and series of

premature ventricular complexes in duration of 6 and 4 seconds (indicated by arrows) on wireless ECG. Green marks represent heartbeats- the axis on the right side of the graph shows the number of beats per minute

Primer pacienta št 3: Na standardnem EKG je normalen sinusni ritem s srčno frekvenco 108 utripov na minuto (slika 25). Na 24-minutnem posnetku brezžičnega EKG senzorja smo dodatno odkrili še posamezne prezgodnje preddvorne komplekse. Povprečna frekvenca srca v času snemanja je bila 90 utripov na minuto (slika 26).



Slika 25: Normalen sinusni ritem s frekvenco 108 utripov na minuto na standardnem EKG

Figure 25: Normal sinus rhythm with 108 beats per minute on standard ECG



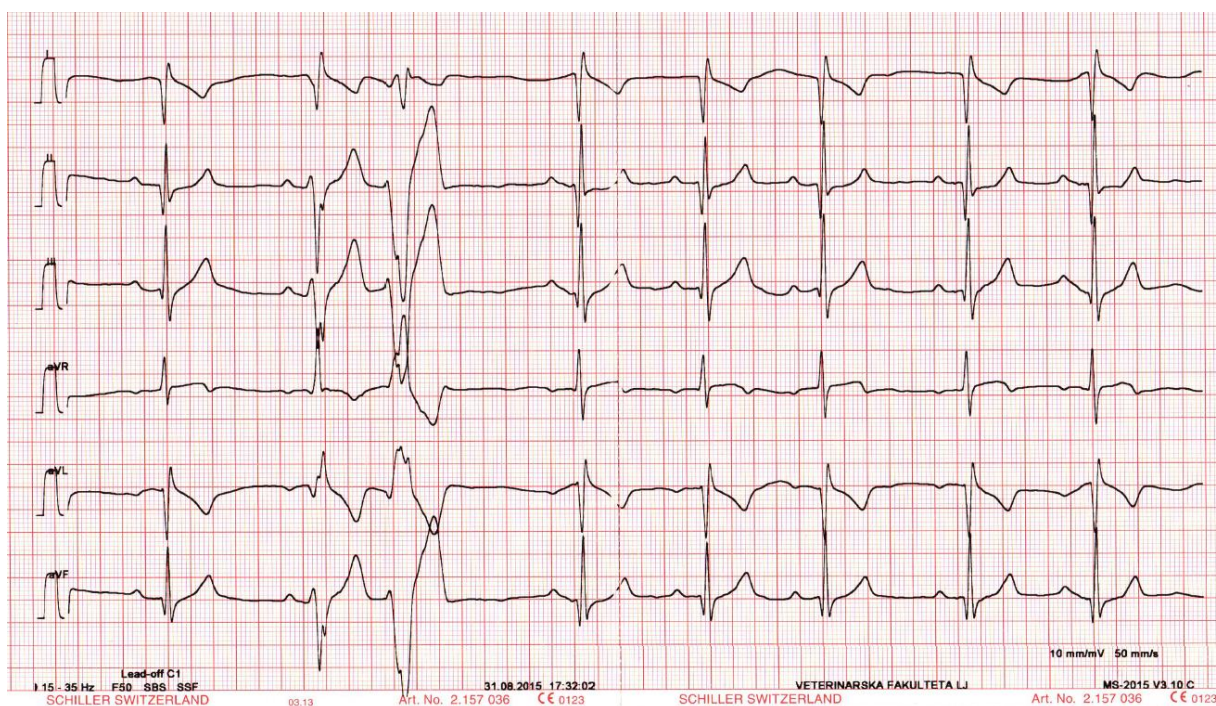
Slika 26: Normalen sinusni ritem s frekvenco 90 utripov na minuto s prezgodnjimi preddvornimi udarci (označeni s puščico) na posnetkih brezžičnega EKG-senzorja – izpis v obliki na milimetrskem papirju

Figure 26: Normal sinus rhythm with 90 beats per minute with premature atrial beats (marked with arrows) on

wireless ECG – printed in millimeter paper form

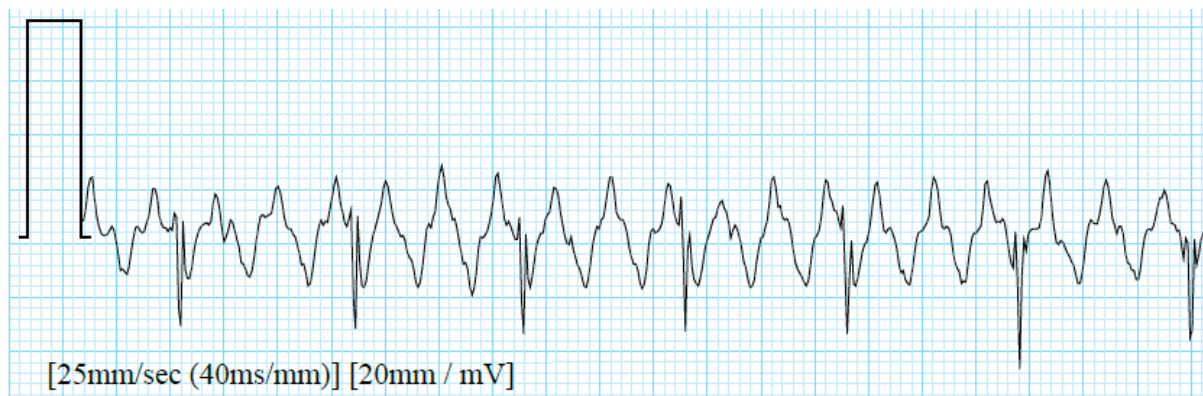
V enem primeru (3,7 %) smo na standardnem EKG zaznali aritmijo, ki pa je kljub daljšemu monitoriranju srčnega ritma z brezžičnim EKG senzorjem nismo diagnosticirali.

Pacient št. 20: Na standardnem EKG je sinusni ritem in posamezni prezgodnji prekatni udarci (slika 27). Posnetek, narejen z brezžičnim EKG senzorjem, je diagnostično manj uporaben zaradi artefaktov, povzročenih s sopenjem. Elektrode se premikajo v ritmu s premikanjem prsnega koša. Tako je vidno, da je pes sopol 4,8-krat v sekundi (slika 28).



Slika 27: Sinusni kompleksi in prezgodnji ventrikularni utripi (3. in 4. kompleks) na standardnem EKG-posnetku

Figure 27: Sinus complexes and premature ventricular beats (3th and 4th complex) on standard ECG



Slika 28: Motnje EKG-signala na brezžičnem senzorju zaradi sopenja, EKG posnetek ritma je zato neberljiv

Figure 28: Artifacts of the ECG signal due to panting on wireless ECG sensor. Recording is therefore unreadable

5 RAZPRAVA

Področje brezžičnih EKG naprav se v zadnjih letih hitro razvija. Večina raziskav se nanaša na njihovo uporabo v humani medicini, kjer so nekateri novi pristopi merjenja EKG že dodobra uveljavljeni (10, 19, 20, 21). Veliko podatkov v strokovni literaturi se nanaša na poskuse na živalskih modelih z namenom kasnejše uporabe na humanih pacientih (8, 12, 14, 15, 17). Podatkov o uporabi novejših pristopov merjenja EKG v veterinarski medicini je precej manj. Vzoru uspešne aplikacije holter in dogodkovnih monitorjev v veterinarski klinični praksi sledijo tudi nekatere novejšje brezžične EKG naprave, ki so se bolj ali manj dobro izkazale v humani medicini (2, 5, 6, 8, 22, 23). V naši raziskavi smo želeli brezžični EKG senzor, ki je bil razvit na Institutu Jožef Stefan in katerega različica je postala komercialno dostopna za uporabo pri ljudeh (Savvy®), aplicirati v veterinarski medicini.

Brezžični EKG senzor smo aplicirali 27 pasjim pacientom različnih starosti in spola, pri katerih smo pričakovali aritmije zaradi sistemskih ali srčnih bolezni. Prve so se pojavljale nepovezano s starostjo pacienta (povprečna starost 7,7 leta z razponom od 1 leta do 11). Aritmije zaradi srčnih bolezni so se praviloma pojavljale pri starejših pacientih s povprečno starostjo 10,1 leta (razpon od 4 do 15 let). Ti rezultati so pričakovani, saj se srčne bolezni po podatkih iz literature navadno pojavljajo pri starejših živalih (6).

V 55,5 % so bili rezultati pri zaznavanju tipa aritmij enaki na standardnem in brezžičnem EKG, kar nakazuje na to, da je brezžični EKG senzor primerljiv pri zaznavanju različnih tipov aritmij in s tem dobra alternativa standardnemu EKG. Tudi drugi avtorji navajajo enake ugotovitve (22, 23). V študiji, v kateri so primerjali EKG s standardnega in brezžičnega EKG snemalnika, so upoštevali tudi razlike med ocenjevalci elektrokardiogramov, česar mi v naši raziskovalni nalogi nismo izvedli. Kljub majhnim odstopanjem v postavitvi diagnoze med tremi kardiologi se je brezžični EKG snemalnik v tej študiji izkazal kot zanesljiva alternativa standardnemu EKG s stališča spremljanja srčne frekvence in tipa aritmij (22). Po podatkih iz literature so številne brezžične EKG naprave primerljive tudi s holter monitorjem, ki je trenutno poleg standardnega EKG v veterinarski medicini največkrat uporabljen (1, 23). Brezžičnega EKG senzorja, ki smo ga uporabljali mi, s stališča zaznavanja aritmij ne moremo primerjati s holter monitorjem, ki je po podatkih iz literature občutljivejši za detekcijo aritmij od standardnega EKG (11). Lahko pa sklepamo, da bi v dodatnih raziskavah dal zadovoljive

rezultate. Z daljšim časom monitoriranja se po podatkih iz literature možnost zaznavanja aritmij znatno poveča, kar smo opazili tudi mi – brezžični EKG senzor je v 40,7 % primerov zaradi daljšega časa snemanja zaznal več tipov aritmij. Nekatere aritmije smo zaznavali redno tekom celotnega EKG posnetka, medtem ko so se druge (na primer blok III. stopnje pri pacientu 24) na posnetku pojavile le enkrat. Ne glede na pogostost aritmij smo pri vseh pacientih le-te zabeležili znotraj prvih 13 minut snemanja. V našem primeru je torej 15 do 30 minutno snemanje v večini primerov zadostovalo, da smo zaznali aritmije, vendar pa smo v naši raziskavi merili EKG pacientom, pri katerih smo zaradi predhodno postavljene diagnoze aritmije pričakovali. Pri treh pacientih kljub pričakovanim motnjam srčnega ritma odstopanj od sinusnega ritma nismo zaznali. V kolikor bi merili paciente, pri katerih so aritmije asimptomatske oziroma se aritmije pojavljajo zelo redko, najverjetneje čas 15 do 30 minut ne bi zadostoval. Po podatkih o drugih podobnih senzorjih iz literature je mogoče sklepati, da bi bil s podaljšanim časom merjenja do 7 dni odstotek zaznanih aritmij bistveno višji (1, 25, 26, 27). Zaradi artefaktov, povzročenih s sopenjem, je bilo manj zaznanih aritmij v enem primeru. S pravilno namestitvijo in obvezovanjem brezžičnega EKG senzorja je mogoče število artefaktov zmanjšati, vendar se ob intenzivnem gibanju prsnega koša tem ni mogoče v celoti izogniti. Možnost spremljanja EKG skozi daljše časovno obdobje nam ponuja tudi spremljanje srčnega ritma in frekvence med mirovanjem, gibanjem, razburjenjem itd. ter spremljanje teh parametrov kot odziv na različne dejavnike okolja. Tudi v literaturi so opisani sistemi različnih merilcev, ki poleg drugih meritev opravljajo tudi meritve EKG, namen katerih je izboljšanje interakcij med človekom in psom ter razumevanje živalskega obnašanja (16, 17).

Brezžični EKG senzor nam ponuja možnost daljšega posnetka – baterija brezžičnega EKG senzorja brez polnjenja zdrži do 3 dni. S tega stališča večina implantacijskih naprav za snemanje EKG ponuja možnost še daljšega snemanja, do treh let, kar še dodatno poveča verjetnost zaznavanja aritmij pri asimptomatskih pacientih (13). Posnetke je možno v celoti pregledati naknadno, zato med merjenjem ob živali ni potrebna prisotnost veterinarja. Tudi večina novejših brezžičnih EKG naprav ponuja enako možnost (2, 5, 6, 8, 12, 14–17, 20, 21). Aplikacijo senzorja se lahko poleg tabličnega računalnika namesti tudi na mobilni telefon, zaradi česar se lahko napravo na pacientu uporablja v domačem okolju pri naravnem obnašanju, s čimer se poveča možnost zaznavanja aritmij. Raziskave kažejo, da je srčna

frekvenca v domačem okolju nižja kot v hospitalnem (23). Brezžični EKG senzor se lahko uporablja na premikajočem pacientu, a je v tem primeru boljše, da se senzor obveže z obvezo, saj tako zmanjšamo artefakte, povezane z gibanjem (1, 9, 10, 21). Kljub artefaktom, ki jih je mogoče relativno dobro obvladovati, je prav možnost merjenja EKG med gibanjem velika prednost pred standardnim EKG in nekaterimi novejšimi brezžičnimi EKG napravami, ki se uveljavljajo v veterinarski medicini (22, 23). Senzor je udoben, relativno lahek in nima žic, zato so ga tudi v naši raziskavi pacienti dobro prenašali. Ima majhno število elektrod in možnost sintetiziranja več odvodnega EKG (31-33). VisECG software omogoča hiter pregled in analizo srčne frekvence in ritma (2, 28). Ponuja hiter pregled nad celotnim posnetkom, zato so morebitne spremembe v ritmu, frekvenci in trajanju valov takoj opazne, četudi se aritmije redko pojavljajo. Zaradi majhnosti se senzor lahko uporablja pri različnih pasmah psov. Senzorja ni potrebno nameščati na točno specifično področje srca, da dobimo diagnostično zadovoljive rezultate. Merjenje je mogoče tako na levi kot na desni strani prsnega koša. V literaturi z novejšimi brezžičnimi EKG napravami, ki so v uporabi v humani medicini, so bili posnetki opravljeni z namestitvijo senzorja na levo prsno področje brez natančne določitve mesta, saj pozicije namestitve EKG elektrod niso standardizirane. V nam dostopnih virih pa ni navedenih podatkov o možnosti snemanja in kakovosti posnetka pri snemanju na desni strani prsnega koša (9, 19, 20, 21). Tudi literaturni podatki z brezžičnimi EKG napravami pri živalih ne navajajo natančnih pozicij elektrod pri snemanju (22, 23). Po naših izkušnjah so se enako dobro obnesle namestitve elektrod na levi ali desni strani prsnega koša. Sprememb v kakovosti posnetka nismo zaznali.

Na EKG posnetkih z brezžičnim snemalnikom je vsaka sprememba amplitude QRS kompleksa odvisna od volumna prsnega koša (24). Primerjava amplitud na standardnem EKG in brezžičnem EKG senzorju zato ne pride v poštev, saj niso primerljive v nobenem odvodu. Tako izgubimo kar nekaj podatkov o stanju srca, ki bi jih sicer s standardnim EKG zaznali (6). Senzor, pričvrščen na prsni koš s povejcem ali samolepilnim trakom, zagotavlja boljši stik elektrod s kožo in zato nemoten signal in višje amplitude signala, kar je še posebno pomembno pri hitrem gibanju prsnega koša, kot je sopenje, tek ali skakanje, kjer je ocena EKG signala otežena zaradi nastanka številnih artefaktov in sprememb v višini ter obliki signala. Seveda so motnje signala pri gibanju pogoste tudi pri holterju in dogodkovnih monitorjih, ki se trenutno uporabljajo za daljše merjenje srčne aktivnosti v veterinarski

medicini (11, 29). Za zmanjševanje števila artefaktov, povezanih z gibanjem, je najboljša rešitev obvezovanje senzorja s povojem, kar pa težav v celoti ne odpravi. Težavo so predstavljale tudi elektrode, ki se niso zadostno pritrdirile na kožo pri 33,3 % pacientov. Jakost pritrditve je odvisna od kakovosti same elektrode, natančnosti britja, sušenja področja in tipa kože. Opazili smo znatno slabšo pritrditev elektrod pri psih z daljšo dlako in psih z mastno kožo ali prhljajem ne glede na kakovost britja. Britje dlake lahko nekaterim živalim predstavlja stres ali je moteče za lastnike. Britje dlake predstavlja še najbolj invaziven del merjenja EKG signala, vendar je potrebno pri vseh EKG napravah, ki se jih namesti direktno na prsni koš (2, 5, 6). Nekateri avtorji navajajo EKG naprave, ki omogočajo popolno neinvazivno merjenje brez britja pri malih glodavcih, psih, mačkah in primatih (8, 16, 17, 18, 23). Vse od teh zato niso nujno uporabne tudi pri psih (8,18). V primerjavi z implantacijskimi EKG monitorji, pri katerih se napravo v večini primerov namesti podkožno, je britje pri površinskih EKG senzorjih, kot je ta, uporabljen v naši raziskavi, s stališča invazivnosti zanemarljivo (5, 12, 14, 15). Poleg elektrod in kože k težavam z namestitvijo senzorja prispeva tudi teža brezžičnega EKG senzorja. Senzor je sicer težak le 21 g, a je zaradi anatomskih značilnosti prsnega koša v stoječem položaju psom vedno postavljen tako, da visi s telesa živali. Zaradi teže, ki vleče dol, prihaja do slabega stika in odlepljanja elektrod, kar vodi v izpade signalov in artefakte. V humani medicini zaradi drugačne anatomije telesa to ne predstavlja problema v taki meri, v veterini pa je zaradi dodatne teže in večje ohlapnosti kože kot pri ljudeh potrebno obvezovanje senzorja ali prelepljenje senzorja s samolepilnim trakom. Po podatkih iz literature o uporabi brezžičnih EKG naprav v humani medicini ni razvidno, da je obvezovanje senzorja pri ljudeh potrebno (9, 19, 21). Pri živalih se poleg obvezovanja senzorja, ki se uporablja pri holter monitorju in dogodkovnih monitorjih, uporabljajo tudi posebej oblikovane oprsnice (5, 6, 16, 17).

V naši raziskovalni nalogi smo ugotovili, da je brezžični EKG senzor kljub relativno zgodnji fazi razvoja na področju veterinarske medicine dober pripomoček za hospitalno rabo. Naši rezultati so spodbudni tudi za rabo senzorja v domačem okolju.

6 SKLEPI

Na osnovi rezultatov naše raziskovalne naloge smo prišli do naslednjih sklepov:

- Psi zaradi udobnosti nošenja brezžični EKG senzor dobro prenašajo in jih ne ovira pri naravnem obnašanju.
- Uporaba brezžičnega EKG senzorja je mogoča v mirovanju.
- Pri uporabi brezžičnega EKG senzorja med gibanjem živali je prišlo do artefaktov, ki jih kljub obvezovanju nismo mogli v popolnosti odpraviti, zato sklepamo, da je senzor pri merjenju v gibanju manj zanesljiv kot v mirovanju.
- Zaradi svoje majhnosti in prilagodljive namestitve na prsni koš je brezžični EKG senzor primeren za uporabo pri različnih velikostih in pasmah psov.
- Od 27 meritev smo pri 26 zaznali enako ali večje število tipov aritmij v primerjavi s standardnim EKG. Zato lahko sklepamo, da je delovanje brezžičnega EKG senzorja zanesljivo in s tem primerljivo standardnemu EKG.
- Daljši čas merjenja z brezžičnim EKG senzorjem v primerjavi s standardnim nam je omogočil večje število zaznanih aritmij v 40,7 % primerov.

7 ZAHVALA

Najprej bi se radi zahvalili mentorjema prof. dr. Aleksandri Domanjko Petrič, ki nama je z veliko znanja in nasveti pomagala pri zbiranju podatkov in izdelavi te naloge, ter dr. Viktorju Avblju za vse spodbudne besede, številne razlage in pomoč pri analizi posnetkov.

Dodatna zahvala gre mag. Maji Brložnik za pomoč v zvezi z brezžičnim EKG senzorjem in spodbudne besede.

Hvala hospitalnemu osebju Klinike za male živali za prijaznost in pomoč pri izvajanju meritev.

Hvala osebju Odseka za komunikacijske sisteme Instituta Jožef Stefan, ker nam je omogočilo uporabo brezžičnega EKG senzorja v naši raziskovalni nalogi.

8 LITERATURA

1. Barret PM, Komatireddy R, Haaser S, et.al. Comparison of 24-hour Holter monitoring with 14-day novel adhesive patch electrocardiographic monitoring. *Am. J. Med.* 2014; 127(1): e95, 11-7. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3882198/> (junij 2017)
2. Brložnik M, Avbelj V. Wireless electrocardiographic monitoring in veterinary medicine. In: MIPRO 2015. Proceedings of the 38th International convention. Opatija: MIPRO, 2015: 375-8.
3. Wess G, Schulze A, Geraghty N, Hartmann K. Ability of a 5-minute electrocardiography (ECG) for predicting arrhythmias in Doberman Pinschers with cardiomyopathy in comparison with a 24-hour ambulatory ECG. *J Vet Intern. Med* 2010; 24: 367–71.
4. Tilley LP, Smith FWK. Electrocardiography. In: Tilley LP, eds. *Manual of canine and feline cardiology*. 4th Edition. St. Louis: Elsevier Saunders, 2008: 49-77.
5. Sleeper MM. Special diagnostic techniques for evaluation of cardiac disease. In: Tilley LP, eds. *Manual of canine and feline cardiology*. 4th Edition. St. Louis: Elsevier Saunders, 2008: 100-104.
6. Côté E. Electrocardiography and cardiac arrhythmias. In: Ettinger SJ, Feldman EC, eds. *Textbook of veterinary internal medicine*. 7th ed. Vol. 2. St.Louis: Elsevier Saunders, 2010: 1159–86.
7. Oyama MA, Kraus MS, Gelzer AR. Rapid review of ECG interpretation in small animal practice. London: Manson Publisching, 2013: 9.
8. Mongue-Din H, Salmon A, Fiszman MY, Fromes Y. Noninvasive restrained ECG recording in conscious small rodents: a new tool for cardiac electrical activity investigation. *Eur J Physiol* 2007; 454: 165–71.
9. Lobodzinski S. ECG patch monitors for assessment of cardiac rhythm abnormalities. *Prog Cardiovasc Dis* 2013; 56: 224–9.
10. Higgins SL. A novel patch for heart rhythm monitoring: is the Holter monitor obsolete?. *Future Cardiol* 2013; 9: 325–33.
11. Miller RH, Lehmkuhl LB, Bonagura JD, et al. Retrospective analysis of the clinical utility of ambulatory electrocardiographic (Holter) recordings in syncopal

- dogs: 44 cases (1991–1995). *J Vet Intern Med* 1999; 13: 111–22.
12. Riistama J, Vaisanen J, Heinisuo S, Harjunpää H, Arra S, Kokko K. Wireless and inductively powered implant for measuring electrocardiogram. *Med Bio Eng Comput* 2007; 45: 1163-74.
 13. Hindricks G, Pokushalov E, Urban L, et. al. Performance of a new leadless implantable cardiac monitor in detecting and quantifying atrial fibrillation: results of the XPECT trial. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 2010; 3: 141–7.
 14. Becksgaard T, Hønge JL, Nygaard H, Jensen MO. In vivo wireless monitoring system of cardiovascular force data. *Cardiovasc Eng Technol* 2015; 6(1): 2-7.
 15. Rollins DL, Killingsworth CR, Walcott GP, Justice RK, Ideker RE, Smith WM. A telemetry system for the study of spontaneous cardiac arrhythmias. *IEEE Trans Biomed Eng* 2000; 47(7): 887-92.
 16. Brugaloras R, Dieffenderfer J, Walker K, et.al. Wearable wireless biophotonic and biopotential sensors for canine health monitoring. In: *SENSORS IEEE 2014. IEEE Proceedings. Valencia, 2014: 2203-6.*
 17. Fletcher RR, Amemori K, Goodwin M, Graybiel AM. Wearable wireless sensor platform for studying autonomic activity and social behavior in non-human primates. In: *Proceedings of the 34th Annual International conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. San Diego, 2012: 4046-9.*
 18. Swanson C. Wireless recording of fish electrocardiograms and analysis of autonomic regulation of cardiac function using heart rate power spectral analysis. *IAAAM Archive, 2001: <http://www.vin.com/apputil/content/defaultadv1.aspx?pId=11257&catId=32285&id=3864739&print=1> (junij, 2017)*
 19. Turakhia MP, Hoang DD, Zimetbaum P, Miller JD, et.al. Diagnostic utility of a novel leadless arrhythmia monitoring device. *Am J Cardiol* 2013; 112: 520–4.
 20. Walsh JA, Topol EJ, Steinhubl SR. Novel wireless devices for cardiac monitoring. *Circulation* 2014; 130(7): 573-81.
 21. Baquero GA, Banchs JE, Ahmed S, Naccarelli GV, Luck JC. Surface 12 lead electrocardiogram recordings using smart phone technology. *J Electrocardiol* 2015; 48: 1-7.
 22. Kraus MS, Brewer FC, Rishniw M, Gelzer AR. Detection of heart rate and rhythm

- with a smartphone-based electrocardiograph versus a reference standard electrocardiograph in dogs and cats. *J Am Vet Med Assoc* 2016; 249: 189-194.
23. Gwinn T, Lee O, Lahmers S. iPhone Wireless ECG assessed heart rate is better correlated with Holter monitor assessed rates than routine in-hospital measures. *J Vet Intern Med* 2013; 27(3): 645 (C-56)
 24. Rashkovska A, Tomašić I, Bregar K, Trobec R. Remote monitoring of vital functions - proof-of-concept system. In: MIPRO 2012. Proceedings of the 35th International convention MIPRO. Opatija; 2012: 463–67.
 25. Wess G, Schulze A, Butz V, et. al. Prevalence of dilated cardiomyopathy in Doberman Pinschers in various age groups. *J Vet Intern Med* 2010; 24: 533–38.
 26. Rosenberg M, Samuel M, Thosani A, Zimetbaum P. Use of a noninvasive continuous monitoring device in the management of atrial fibrillation: a pilot study. *Pacing Clin Electrophysiol* 2013; 36: 328–33.
 27. Schreiber D, Sattar A, Drigalla D, Higgins S. Ambulatory cardiac monitoring for discharged emergency department patients with possible cardiac arrhythmias. *West J Emerg Med* 2014; 15: 194–8.
 28. Rashkovska A, Tomašić I, Trobec R. A telemedicine application: ECG data from wireless body sensors on a smartphone. In: MIPRO 2011. Proceedings of 34th International convention MIPRO. Opatija; 2011: 293–6.
 29. Bright JM, Cali JV. Clinical usefulness of cardiac event recording in dogs and cats examined because of syncope, episodic collapse, or intermittent weakness: 60 cases (1997–1999). *J Am Vet Med Assoc* 1999; 216: 1111–4.
 30. Tomašić I, Trobec R. Electrocardiographic systems with reduced numbers of leads-synthesis of the 12-lead ECG. *IEEE Rev Biomed Eng* 2014; 7: 126–42.
 31. Tomašić I, Trobec R, Avbelj V. Multivariate linear regression based synthesis of 12-lead ECG from three bipolar leads. In: HealthInf 2010: Proceeding of the 3rd International conference on Health Informatics. Valencia, 2010: 216–21.
 32. Trobec R, Tomašić I. Synthesis of the 12-lead electrocardiogram from differential leads. *IEEE Trans Inf Technol Biomed* 2011; 15: 615–21.
 33. Tomašić I, Frljak S, Trobec R. Estimating the universal positions of wireless body electrodes for measuring cardiac electrical activity. *IEEE Trans Biomed Eng* 2013; 60:3368-74.