



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

CENTRUM SPORTOVNÍCH AKTIVIT

CENTRE OF SPORTS ACTIVITIES

DYNAMICKÁ ZMĚNA TEPOVÉ FREKVENCE PŘI CHŮZI A BĚHU

HEART RATE CHANGES DURING WALKING AND RUNNING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Dominik Smolinský

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jana Kolářová, Ph.D.

BRNO 2022

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Sportovní technologie**

Centrum sportovních aktivit

Student: Dominik Smolinský

ID: 220489

Ročník: 3

Akademický rok: 2021/22

NÁZEV TÉMATU:

Dynamická změna tepové frekvence při chůzi a běhu

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Seznamte se s fyziologií srdce a krevního oběhu. Uvažujte různé zátěže organismu. 2) Seznamte se s časovým průběhem elektrokardiogramu a prostudujte zpracování elektrokardiogramu v časové a frekvenční oblasti. 3) Pro sledování dynamických změn tepové frekvence u zdravých jedinců navrhnete protokol měření. Využijte běžecský pás a zařízení pro kontinuální snímání EKG. 4) Provedte pilotní měření. 5) Naměřte požadovaná data pro dostatečně velkou skupinu jedinců opakovaně pro sledování případných změn u trénujících jedinců. 6) Naměřená data zpracujte a analyzujte vliv rychlosti chůze či běhu na tepovou frekvenci. 7) Výsledky vhodným způsobem prezentujte a diskutujte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] Silbernagl Stefan, Despopoulos Agamemnon: Atlas fyziologie člověka, ISBN: 978-80-247-4271-7.
- [2] Guidelines. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. European Heart Journal (1996) 17, 354–381.

Termín zadání: 28.1.2022

Termín odevzdání: 3.6.2022

Vedoucí práce: doc. Ing. Jana Kolářová, Ph.D.

doc. PaedDr. Pavel Korvas, CSc.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

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

ABSTRAKT

Táto bakalárska práca sa zaoberá sledovaním dynamických zmien srdcovej frekvencie pri chôdzi a behu. Srdcová frekvencia sa počíta z QRS komplexov EKG signálu. Cieľom tejto práce je zosumarizovať teoretické poznatky a následne spraviť meranie jedincov z 2 skupín, zdatných športovcov a menej zdatnejších športovcov. Najprv sa teda rozoberá teoretická časť, kde sú popísané všetky informácie ohľadom kardiovaskulárneho systému, srdcovej frekvencie a HRV. Druhá časť práce je praktická a zaoberá sa konkrétnymi meraniami, ich spracovaním a následnej analýzy. Taktiež popisuje základné prístroje a protokol merania.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

srdcová frekvencia, variabilita srdcovej frekvencie, EKG signál, kardiovaskulárny systém, fyzická záťaž

ABSTRACT

This bachelor thesis is concerned with monitoring dynamic changes in heart rate during walking and running. The heart rate is calculated from the QRS complexes of the ECG signal. The aim of this thesis is to summarize the theoretical knowledge and then make measurements of individuals from 2 groups, fit athletes and less fit athletes. Thus, the theoretical part is discussed first, where all the information regarding the cardiovascular system, heart rate and HRV are described. The second part of the thesis is practical and deals with specific measurements, their processing and statistic analysis. It also describes the basic equipment and measurement protocol.

KEYWORDS

heart rate, heart rate variability, ECG signal, cardiovascular system, physical load

SMOLINSKÝ, Dominik. *Dynamická změna tepové frekvence při chůzi a běhu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Centrum sportovních aktivit, 2022, 47 s. Bakalářská práce. Vedúci práce: doc. Ing. Jana Kolářová, Ph.D.

Vyhlásenie autora o pôvodnosti diela

Meno a priezvisko autora: Dominik Smolinský
VUT ID autora: 220489
Typ práce: Bakalárska práca
Akademický rok: 2021/22
Téma záverečnej práce: Dynamická zmena tepové frekvence při chůzi a běhu

Vyhlasujem, že svoju záverečnú prácu som vypracoval samostatne pod vedením vedúcej/cého záverečnej práce, s využitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej záverečnej práce ďalej vyhlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto záverečnej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a/alebo majetkových a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona Českej republiky č. 121/2000 Sb., o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), v znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákonníka Českej republiky č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora*

*Autor podpisuje iba v tlačenej verzii.

POĎAKOVANIE

Rád by som poďakoval vedúcej bakalárskej práce, pani doc. Ing. Jane Kolářové, Ph.D. za odborné vedenie, konzultácie, trpezlivosť a podnetné návrhy k práci.

Obsah

Úvod	11
1 Kardiovaskulárny systém	12
1.1 Srdce	12
1.1.1 Srdcový cyklus	12
1.1.2 Prevodný systém srdca	13
1.2 Krvný obeh	14
2 Elektrokardiografia	16
2.1 Popis EKG krivky	16
2.2 Zátazové EKG	17
2.2.1 Formy zátáže	17
2.2.2 Intenzita zátazových testov	18
2.2.3 Spôsob zvyšovania zátáže	18
3 Srdcová frekvencia	20
3.1 Faktory ovplyvňujúce srdcovú frekvenciu	20
3.2 Variabilita srdcovej frekvencie	20
4 Fyziológia telesného cvičenia	22
4.1 Reakcia kardiovaskulárneho systému na fyzickú zátáž/cvičenie	22
5 Meranie srdcovej aktivity behom zmeny zátáže	23
5.1 Použité prístroje	23
5.2 Protokol merania	24
5.3 Spracovanie dát	25
5.4 Analýza HRV	28
5.4.1 Nelineárna analýza - Poincarého mapy	28
5.4.2 Analýza vo frekvenčnej oblasti	32
6 Štatistická analýza dát	35
6.1 Porovnanie 3 segmentov protokolu - ANOVA	35
6.2 Porovnanie 2 skupín celkovo - Dvojvýberový ttest	35
6.3 Porovnanie 2 skupín v každej minúte - Dvojvýberový ttest	36
6.4 Porovnanie 2 skupín v každom segmente - Dvojvýberový ttest	36
7 Výsledky	37
8 Diskusia	43

Záver	44
Literatúra	45

Zoznam obrázkov

1.1	Popis srdca a ciev [2]	12
1.2	Prevodný systém srdca (izolovane) [5]	14
1.3	Krvný obeh [7]	15
2.1	Základné označenie vln a intervalov na EKG krivke [11]	17
3.1	Rozdiel medzi vysokou a nízkou HRV [18]	21
5.1	Umiestnenie Farosu na testovanej osobe	24
5.2	Spracovanie EKG signálu	25
5.3	Ukážka nastavenie prahových hodnôt pre detekciu R peakov	26
5.4	Ukážka detekovaných R peakov	27
5.5	Ukážka zle detekovaného R peaku	27
5.6	Ukážka HRV jedného testovaného jedinca	28
5.7	Poincarého mapa RR intervalov v 1-5 minúte	29
5.8	Poincarého mapa RR intervalov v 6-10 minúte	30
5.9	Poincarého mapa RR intervalov v 11-15 minúte	31
5.10	Vplyv sympatika a parasympatika na frekvenčné ukazovatele	32
5.11	Frekvenčné spektrum v 1 segmente merania u testovaného jedinca -	33
5.12	Vývojový diagram frekvenčných ukazovateľov	34
5.13	Vzorec Fourierovej transformácie	34
7.1	Porovnanie 3 segmentov merania, hodnoty - SD1,SD2	37
7.2	Porovnanie 2 skupín	38
7.3	SD1 - Šiesta minúta, kde sa preukázal signifikantný rozdiel medzi skupinami	39
7.4	SD2 - Prva minúta, kde sa preukázal signifikantný rozdiel medzi skupinami	40
7.5	LF a HF v druhom segmente merania	42

Zoznam tabuliek

5.1	Ukážka tabuľky odchýlok SD1 a SD2 u jedného testovaného jedinca. .	31
7.1	Porovnanie 3 segmentov merania	37
7.2	P-hodnoty dvojvýberového ttestu - porovnanie skupín v každej minúte	41
7.3	P-hodnoty dvojvýberového ttestu - porovnanie skupín v každom seg- mente	41

Úvod

V dnešnej dobe už každý človek potrebuje dokonale poznať svoje telo po fyziologickej stránke. Každý už vlastní inteligentné hodinky, kde si meria napríklad počet nachodených krokov za deň alebo taktiež srdcovú frekvenciu. Srdcová frekvencia je dôležitý termín hlavne pre športovcov, ktorí si vďaka nej dokážu zlepšiť tréningový proces, čo im pomôže podávať lepšie výkony. Tejto téme sa venuje táto bakalárska práca. Ako názov témy napovedá, práca sa bude zaoberať dynamickou zmenou tepovej frekvencie pri chôdzi a behu, konkrétne sa budú analyzovať zmeny variability srdcovej frekvencie (HRV) a taktiež rozdiely medzi zdatnými športovcami a menej zdatnými športovcami.

Teoretická časť sa venuje popisu kardiovaskulárneho systému, srdcovej frekvencii a HRV, elektrokardiografii a reakcii kardiovaskulárneho systému na fyzickú záťaž. V tejto časti prebehla základná rešerš v danej problematike, ktorá potom uľahčí analýzu a spracovanie výsledkov v ďalšej časti.

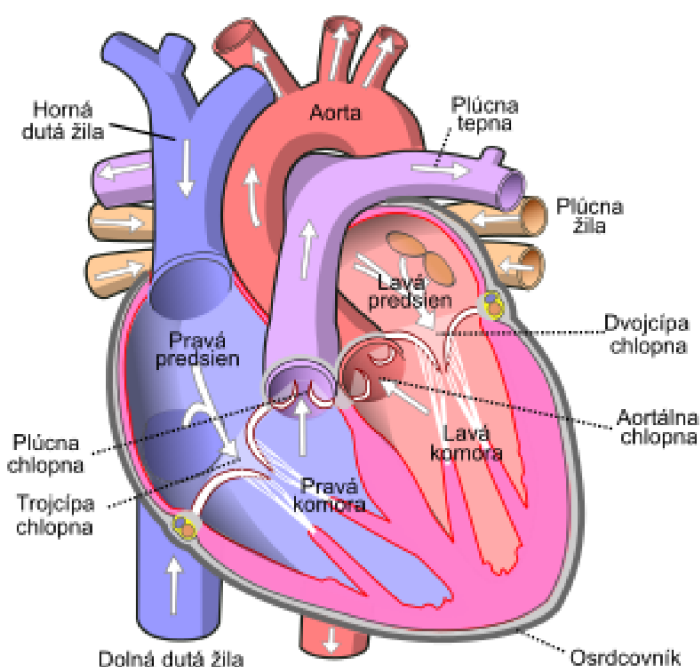
Praktická časť sa zameriava na samotný popis merania a jeho protokolu, spracovaním dát a ich štatistickou analýzou, ktorá je prezentovaná vo výsledkoch.

1 Kardiovaskulárny systém

Kardiovaskulárny systém pozostáva zo srdca, krvných ciev a krvi. Primárna funkcia tohto orgánového systému je prepravovať živiny a krv do všetkých častí tela, neokysličenú krv späť do pľúc a je taktiež dôležitý pre termoreguláciu. [1]

1.1 Srdce

Srdce je svalový orgán, ktorý nepretržite pracuje ako čerpadlo krvi pre telo. Je rozdelené na 2 časti - pravú a ľavú a každá z týchto častí je tvorená komorou a predsieňou. [1]



Obr. 1.1: Popis srdca a ciev [2]

1.1.1 Srdcový cyklus

Srdcový cyklus je zložený z cyklov, ktoré na seba navzájom naväzujú a počas ktorého sa striedajú diastola, kedy celé srdce relaxuje a plní sa krvou, a systola, kedy sa celé srdce sťahuje a vypudzuje krv do obehu.

Na začiatku cyklu, ku koncu diastoly, je srdce uvoľnené. Atrioventrikulárne chlopne sú otvorené, pretože tlak v predsieňach je väčší ako tlak v komorách. Cyklus začína tým, že sinoatrálny uzol zahájí systolu oboch predsiení súčasne, čím sa krv dostane

cez atrioventrikulárne chlopne do komôr, ktoré sa začnú plniť. Tento proces však naplní už len posledných 15-20% komôr, ktoré sa začali pasívne plniť už pri diastole, a to pomocou venózneho tlaku. Plnenie predsiení sa zvyšuje so srdcovou frekvenciou, pretože sa diastola skraca a je teda menej času na plnenie komôr. V EKG sa depolarizácia predsiení prejaví ako vlna P.

Ďalej nasleduje systola komôr, pri ktorej rýchlo rastie tlak v komorách a atrioventrikulárne chlopne sa zavrú, ak je tlak v komorách väčší ako v predsieni. Proces depolarizácii komôr je spojený s QRS komplexom v EKG.

Pokračuje to izovolumetrickou kontrakciou, kedy je tlak v komorách menší a ich objem sa teda nemení.

Srdcový cyklus sa končí vypudením krvi z komôr, pretože ich tlak už je vyšší ako tlak v aorte a pľúcnej tepne, čím sa otvorí atrioventrikulárna chlopňa. Po vypudení krvi sa komory repolarizujú, čo sa na EKG prejavuje vlnou T. Potom nastáva diastola, kedy je srdce znova uvoľnené a cyklus sa začína odznova. [1]

1.1.2 Prevodný systém srdca

Prevodný systém srdca (PSS) je sústava špecializovaných buniek srdcovej svaloviny (viď obrázok 1.2). Tento systém je schopný tvoriť spontánne a pravidelné vzruchy, ktoré spúšťajú stah myokardu – srdcovej svaloviny. Jeho funkciou je vytvoriť vzruch a ďalej ho šíriť, taktiež koordinovať funkciu myokardu pravej a ľavej komory.

Bunky srdcového svalu podľa ich funkcie môžeme rozdeliť do 2 skupín – bunky, ktoré majú schopnosť samostatne vytvárať vzruchy a ďalej ich rozvádzať (PSS) a bunky, ktorých základná funkcia je kontrakcia – pracovný myokard.

Zhluk buniek prevodného systému srdca vytvárajú:

Sinoatrálny uzol

Sinoatrálny uzol je primárnym pacemakerom - je to dané tým, že depolarizácia tu prebieha rýchlejšie ako napríklad v atrioventrikulárnom uzle. Leží v pravej predsieni srdca a vychádzajú z neho vzruchy, ktoré sa ako elektrický potenciál prevádzajú na

Atrioventrikulárny uzol

Leží pri vyústení dolnej dutej žily a taktiež je označovaný ako sekundárny pacemaker. Z tohto uzla vystupuje

Hisov zväzok

Tento zväzok funguje ako hlavná spojka medzi svalovinou predsiení a komorami a zabezpečuje koordináciu medzi systolou predsiení a komôr. Hisov zväzok sa ďalej delí na dve

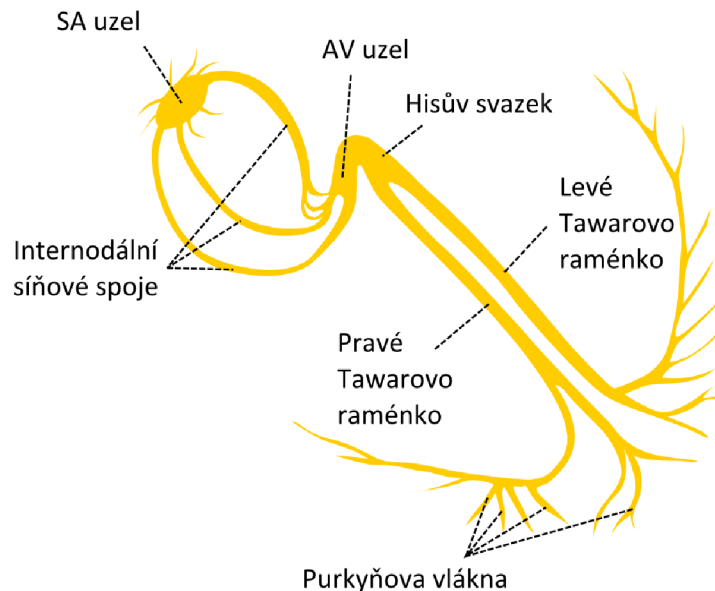
Tawarove ramienka

Pravé Tawarove ramienko vedie vzruch k myokardu pravej komory. Ľavé Tawarove ramienko, ktoré sa delí na predný a zadný zväzok, vedie vzruch k interven-

trikulárnemu septu a myokardu ľavej komory. Tieto ramienka sa následne vetvia na

Purkyňove vlákna

Tieto vlákna rozvádzajú vzruch na pracovný myokard komôr. [4]



Obr. 1.2: Prevodný systém srdca (izolovane) [5]

1.2 Krvný obeh

Krvný obeh je tvorený srdcom a krvnými cievami - tepnami, žilami a vlásoknicami. Krvný obeh umožňuje prúdenie krvi, aby mohla ďalej realizovať svoje funkcie.

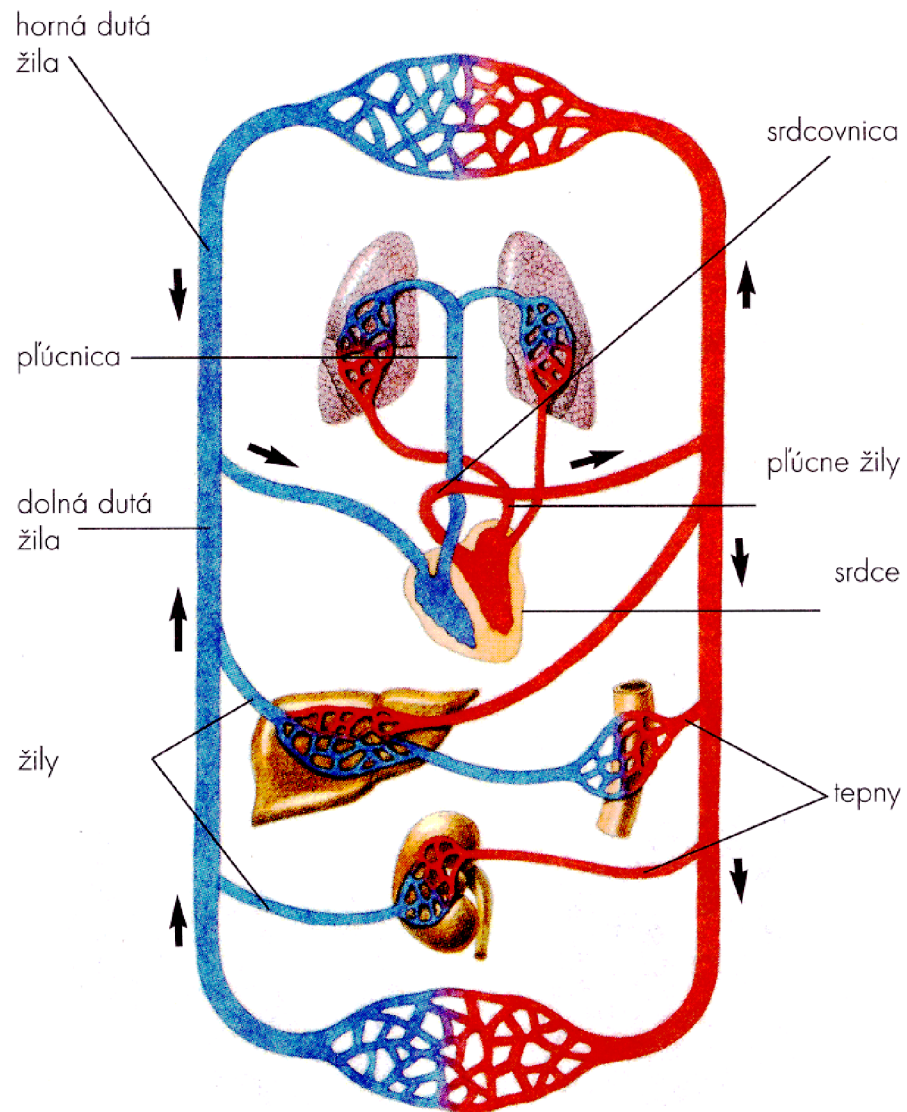
Malý (plúcny) krvný obeh

Do ľavej komory priteká odkysličená krv z ľavej predsene. Z ľavej komory vychádza odkysličená krv plúcnou, na začiatku ktorej je polmesiačikovitá chlopňa, ktorá zabraňuje spätnému toku krvi. Plúcnica sa ďalej rozvetvuje na ľavú a pravú plúcnu tepnu, ktoré vedú odkysličenú krv do pľúc. V pľúcnych kapilárach sa krv okysličí a pomocou dvoch ľavých pľúcnych žíl a dvoch pravých pľúcnych žíl je vedená do ľavej predsene srdca. [6]

Veľký (telový) krvný obeh

Keď sa ľavá predsieň naplní okysličenou krvou, tlakom krvi sa otvorí dvojčípa chlopňa a krv prechádza do ľavej komory. Z ľavej komory vedie srdcovnica okysličenú krv do tela. Na začiatku srdcovnice sa tiež nachádza polmesiačikovitá chlopňa. Následne sa z tela vracia odkysličená krv pomocou žíl, ktoré sa spájajú do hornej a

dolnej dutej žily. Tie končia v pravej predsieni a privádzajú tam odkysličenú krv z celého organizmu. [6]



Obr. 1.3: Krvný obeh [7]

2 Elektrokardiografia

Elektrokardiografia je základná vyšetrovacia metóda aktivity srdca. Jej princíp je založený na snímaní elektrickej aktivity srdca, ktorá sa zobrazuje v podobe elektrokardiogramu (EKG), čo je záznam časovej zmeny EKG. [3]

2.1 Popis EKG krivky

Na opis EKG krivky, ktoré sú diagnosticky dôležité, sa používa niekoľko termínov. Ide o vlny, kmity, intervaly a segmenty, ktoré sú spôsobené elektrickou aktivitou srdca počas srdcového cyklu. Zahrňuje sa tam vlna P, QRS komplex, ST segment a vlna T. Interval je úsek EKG krivky, ktorý obsahuje kmity alebo vlny. Segment je zasa úsek, ktorý obsahuje len izoelektrickú čiaru a nie sú na ňom žiadne zmeny. [8]

1. Vlna P

EKG krivka začína vlnou P, ktorá je prejavom depolarizácii predsiení. P vlna fyziologicky predchádza každý QRS komplex, od ktorého je oddelená PQ segmentom.

2. QRS komplex

Komplex QRS je najvýraznejší prvok krivky a je to obecné označenie pre depolarizáciu komôr. Je zložený z 3 kmitov:

- Q – prvý negatívny kmit, ktorým komplex začína,
- R – každý pozitívny kmit,
- S – všetky negatívne kmity, ktoré nasledujú za R kmitom.

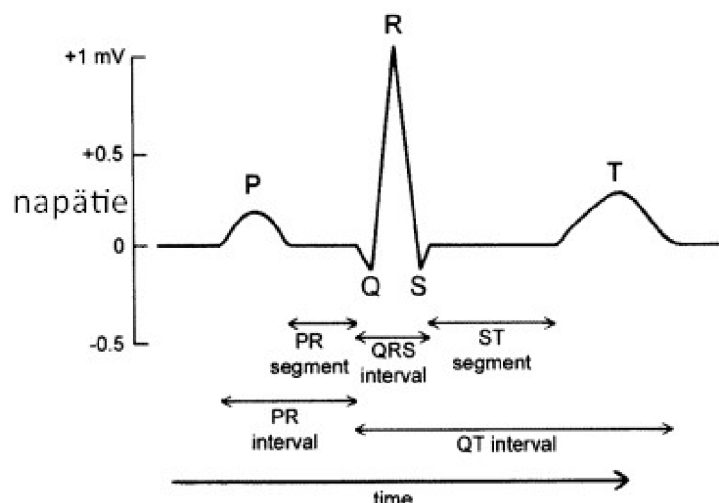
Niektoré z kmitov môžu chýbať alebo sa v komplexe nachádza viacej kmitov – označujú sa R' alebo S'. Doba trvania QRS komplexu sa pohybuje okolo 80-100 ms.

3. ST segment

Po depolarizácii komôr QRS komplexom je ST segment. Jedná sa o úsek medzi koncom QRS komplexu a počiatkom T vlny. Zobrazuje fázu, keď sú komory depolarizované, no ich repolarizácia ešte nezačala. Spravidla je vodorovný, ale môže mať aj odchýlky, ktoré spôsobujú niektoré ochorenia alebo lieky.

4. Vlna T

ST segment končí T vlnou, ktorá reprezentuje na EKG zázname repolarizáciu komorového myokardu. [9] [10]



Obr. 2.1: Základné označenie vln a intervalov na EKG krivke [11]

2.2 Závažové EKG

Pri vyšetrení klienta sledujeme elektrickú aktivitu srdca v klude a postupne záťaž zvyšujeme a sledujeme zmeny spôsobené záťažou. Vzhľadom k tomu, že testovaný jedinec bude v pohybe, je nutné počítať s driftom, brumom a s prítomnosťou myopotenciálov. To znamená, že so stúpajúcou záťažou sa bude rušenie zväčšovať. [12]

V súčasnej dobe sa záťažové EKG testy aplikujú:

- v neinvazívnej diagnostike ischemickej choroby srdcovej
- dokumentácia a posúdenie závažnosti arytmií, hlavne vo vzťahu k **fyzickej záťaži**

2.2.1 Formy záťaže

Organizmus a kardiovaskulárny systém je možné zaťažiť rôznymi spôsobmi. Pri záťažovom teste je dôležité, aby čo najpresnejšie imitoval záťaž, ktorá sa nastaví v protokole merania. Najbežnejších foriem záťaže je:

Mechanická (svalová) záťaž Ide o najfyziologickejšiu formu záťaže, ktorá sa v praxi používa najviac. Svalová práca je vykonávaná ako pozitívna dynamická práca, negatívna dynamická (brzdná) práca, statická udržovacia práca alebo kombinácia týchto typov. Pozitívna dynamická práca je charakterizovaná striedaním svalovej relaxácie a kontrakcie, ktorou výsledkom je pohyb. Pri negatívnej dynamickej práci so svalovou elasticitou zadržiava určitá protisila. Statická udržovacia práca je charakterizovaná udržovaním protiváhy, teda kontinuálnou svalovou kontrakciou proti

vonkajšej sile. Najčastejšie sa využíva dynamická práca, ktorú vieme aplikovať viacerými spôsobmi (bicyklový ergometer, rumpál), v tejto práci však prebiehali záťažové testy na bežacom páse. Výhodou je fyziologická záťaž, ktoré u testovaných jedincov umožňuje dosiahnuť vyššej úrovne maximálnej spotreby kyslíku alebo **srdcovej frekvencie**.

Dalšie formy záťaže sú **statická, izometrická práca, záťaž pomocou kardiostimulácie alebo farmakologicá záťaž**.

2.2.2 Intenzita záťažových testov

Záťažové testy rozdeľujeme podľa intenzity na:

- **Maximálne záťažové testy**

Pri tomto type testu zvyšujeme fyzickú záťaž až do doby, keď dosiahneme maximálnu srdcovú frekvenciu. Tiež sa používa definícia, ktorá tento test popisuje ako test, pri ktorom je dosiahnutá 100% aeróbnej kapacity, podľa Svetovej zdravotníckej organizácie je:

$$\text{srdcová frekvencia} = 220 - \text{vek testovaného jedinca}$$

- **Submaximálne záťažové testy**

Tieto testy používajú intenzitu menšiu než je predpokladaná záťaž pri maximálnom spotrebe kyslíka. Pri tomto type testu dosiahne testovaná osoba 60-75% srdcovej frekvencie. V tejto práci sa pracuje s týmto typom testu, keďže prebieha testovanie aj nie dostatočne zdatných športovcov, ktorí by mohli mať problém s maximálnymi záťažovými testami (svalová únava, atď..).

2.2.3 Spôsob zvyšovania záťaže

- **Jednostupňová záťaž**

Počas testu sa používa iba jeden stupeň záťaže. Príklad tohto testu je schodíkový Masterov test, no v súčasnosti sa už nepoužíva kvôli nízkej reprodukovateľnosti, senzitivite a specificite.

- **Kontinuálna alebo skoro kontinuálna záťaž**

V tomto teste sa záťaž zvyšuje v krátkych časových intervaloch bez prestávky a neočakáva sa pri ňom dosiahnutie rovnovážneho stavu (steady state). Výhodou je rýchle dosiahnutie stropu výkonnosti testovanej osoby.

- **Intermitentná stupňovaná záťaž**

Záťaž sa zvyšuje s krátkymi prestávkami medzi jednotlivými stupňami záťaže, nevhodné sú testy s dlhými stupňami záťaže, ktoré sú prerušované.

- **Kontinuálna stupňovitá záťaž bez prerušenia**

V tomto teste, ako názov napovedá, sa záťaž postupne zvyšuje tak, že jednotlivé záťaže na seba nadvazujú bez prerušenia. Doba trvania jedného stupňa záťaže sa uvádzaju od 2 do 6 min. Práve tento typ zvyšovania záťaže sa použil v protokole merania tejto práce. [13]

3 Srdcová frekvencia

Fyziologicky, srdcová frekvencia(SF) je počet srdcových cyklov, ktorá srdce spraví za minútu. Za fyziologických podmienok môžeme určiť srdcovú frekvenciu z EKG podľa počtu QRS komplexov. Normálna SF je u dospelého človeka v rozsahu 60 až 100 úderov za minútu. Podľa Americkej asociácie srdca(AHA) má trénovaný športovec rozsah SF v klude 40 až 60 úderov za minútu [14]. [15]

3.1 Faktory ovplyvňujúce srdcovú frekvenciu

Ako už bolo spomenuté, normálny rozsah pokojovej SF je u dospelých ľudí 60 až 100 úderov za minútu. Existuje veľa faktorov, ktoré ale srdcovú frekvenciu ovplyvňujú. Pre potrebu tejto semestrálnej práce práce sú to:

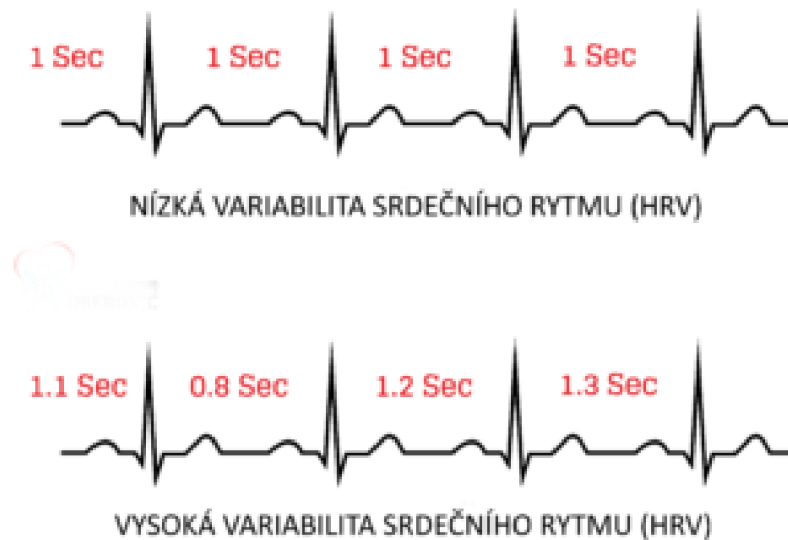
- **Teplota vzduchu:** Pri zvyšovaní teploty srdce pumpuje viac krvi, čiže sa SF zvýši približne o 5-10 úderov za minútu
- **Záťaž:** Pri zvýšenej fyzickej záťaži sa zvyšuje SF, naopak, v kludovom režime je SF nižšia [16]

3.2 Variabilita srdcovej frekvencie

Srdcová frekvencia kolísava v závislosti na stave kardiovaskulárneho systému. Variabilita srdcovej frekvencie (HRV) je fyziologický parameter, ktorý popisuje kolísanie srdečných tepov a vypovedá o aktivite sínusového uzlíka. Aktivita sympatika znižuje HRV a zvyšuje srdcovú frekvenciu, zatiaľ čo parasympatikus zvyšuje HRV a znižuje srdcovú frekvenciu. [12]

HRV riadi autonómny nerovný systém(ANS), ktorý sa delí na 2 zložky - sympatikus, ktorý pripravuje organizmus k obrane, útoku alebo úteku a parasympatikus, ktorý zachováva organizmus v klude. Tento systém má za úlohu regulovať srdcovú frekvenciu, krvný tlak, trávenie a dýchanie - teda reguláciu vnútorného prostredia.

HRV sa dá vysvetliť na príklade, keď je srdcová frekvencia 60 tepov za minútu. Priemerný srdečný tep trvá teda 1000ms(1 sekundu), no niektoré časové intervaly môžu byť kratšie alebo naopak dlhšie. Ak sa teda tieto intervaly medzi tepmi srdca predlžujú alebo naopak skracujú, táto premenlivosť vyjadruje vysokú HRV. Ak sú ale časové intervaly málo premenlivé alebo rovnaké, je to indikátor nízkej HRV (viz. obrázok 3.1).



Obr. 3.1: Rozdiel medzi vysokou a nízkou HRV [18]

Ak má človek vysokú HRV znamená to, že jeho telo reaguje rovnako na obidve zložky ANS. Jse to známka toho, že ANS je vyvážený a telo je schopné sa prispôbiť vonkajšiemu prostrediu. Ak má človek nízku HRV znamená to, že nereaguje na obidve zložky ANS rovnako. Väčšinou lepšie reaguje na sympatikus a vysiela do srdca silnejší signál ako parasympatikus. [17]

Faktory ovplyvňujúce HRV

Tréningové faktory

- Intenzita - so zvyšujúcou sa záťažou sa znižuje HRV
- Nové/nepoznané podnety - nové cvičenie v tréningovom procese znižuje HRV, keďže organizmus nie je pripravený na túto zmenu

Životné faktory

- Alkohol - znižuje HRV
- Stres - znižuje HRV
- Spánok - lepší a kvalitnejší spánok podporuje HRV

Biologické faktory

- Vek - so zvyšujúcim sa vekom sa HRV znižuje
- Pohlavie - ženy majú v porovnaní so ženami nižšie HRV
- Chronické ochorenia - zle vplývajú a znižujú HRV [19]

4 Fyziológia telesného cvičenia

Fyziológia telesného cvičenia je oblasť fyziológie, ktorý sleduje jednotlivé fyziologické parametry a funkcie ako v kľudovom, tak aj vo vyrovnanom stave telesného cvičenia. Hlavné problémy sú spojené s definovaním a vysvetlením rozdielou medzi kľudovým a záťažovým stavom. V problematike telesného cvičenia sa fyziológovia zaoberajú tzv. maximálnou pracovnou výkonnosťou, čo znamená určovanie horných hraníc záťaže. Zatiaľ čo štúdie telesného cvičenia sa zaoberajú iba jednou úrovňou, cvičenie môžeme sledovať pri rôznych úrovniach, ktoré tomu dodajú hĺbku a perspektívu, ktorá nemôže byť dosiahnutá v kľudovom stave (Asmussen,1967). [20]

4.1 Reakcia kardiovaskulárneho systému na fyzickú záťaž/cvičenie

Fyzická záťaž spôsobuje, že krv je pumpovaná srdcom do krvného obehu rýchlejšie a efektívnejšie. Je to spôsobené tým, že kontrakcie myokardu sú účinnejšie a prekrvenie tkanív a orgánov sa zintenzívňuje. Cvičenie znižuje krvný tlak, redukuje stres a pôsobí proti zrážaniu krvi. Tieto všetky veci podporujú a prispievajú kardiovaskulárnemu zdraviu. [21]

Existujú 2 typy cvičenia - aeróbne a anaeróbne.

Aeróbne cvičenie je cvičenie v miernej intenzite záťaže po dlhší časový úsek, v ktorom majú svaly dostatočné množstvo kyslíka.

Anaeróbne cvičenie je opak aeróbneho, a teda je krátkodobé, ale s vysokým stupňom záťaže.

5 Meranie srdcovej aktivity behom zmeny záťaže

Cielom tejto práce je porovnať vplyv fyzickej záťaže na kardiovaskulárny systém, konkrétne tepovú frekvenciu, medzi 2 skupinami. V tejto práci sa pracovalo s analýzou HRV, pomocou ktorej sa zisťovali rozdiely medzi týmito 2 skupinami. Testovaných jedincov bolo celkovo 16. Jednu skupinu tvoria športovci - futbalisti, ktorí trénujú 3-4x do týždňa a druhá skupina sú skôr pasívni športovci, ktorí chodia do posilovne 1-2x do týždňa a okrem toho nerobia žiadny náročnejší šport. Vek testovaných bol od 20 do 24 rokov. Každý športovec vyplnil dotazník International Physical Activity (IPAQ)[26], čo je Medzinárodný dotazník fyzickej aktivity. Podľa tohto dotazníka bolo schopné rozdeliť testovaných jedincov do 2 skupín.

Meranie bolo schválené Etickou komisiou pre biomedicínsky výskum VUT v Brne.

Projekt č.j. EK 01/2022

5.1 Použité prístroje

V meraniach boli použité 3 prístroje - Faros EKG, behací pás a hodinky Apple Watch.

Bittium Faros EKG

Bittium Faros EKG je malý a prenosný prístroj, ktorý zaznamenáva EKG. Tento prístroj sa použil pre viacero dôvodov. Je veľmi ľahký, a teda vôbec neovplyvňuje testovanú osobu pri meraní. Ďalšou jeho výhodou je jeho presnosť, keďže dokáže zaznamenávať signál až vo výške 1000 Hz. Taktiež jeho dáta idú veľmi jednoducho načítať do Matlabu, v ktorom neskôr prebehne spracovanie EKG signálu.

Parametry:

- Jednokanálové EKG
- Vzorkovacie frekvencie - 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz
- Dátový formát EDF (európsky dátový formát)
- Hmotnosť 18g [23]

Behací pás

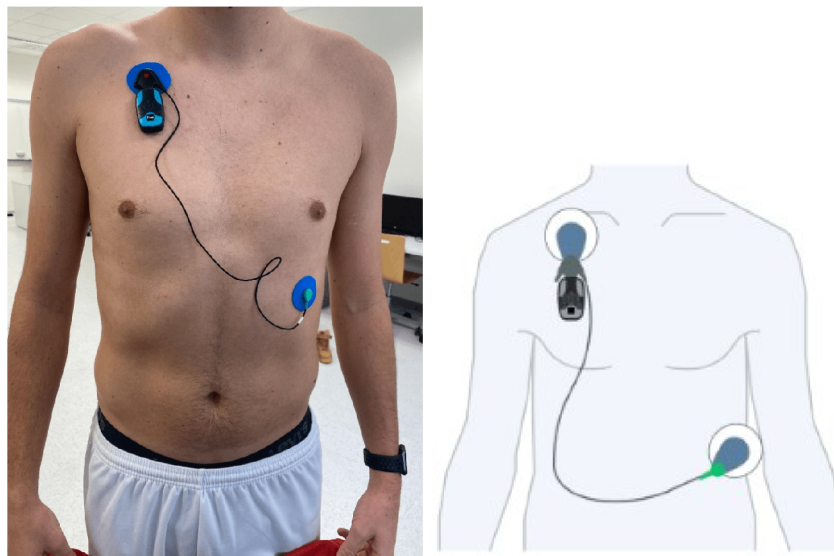
Behací pás SRS RUN SERIES S sa použil na simuláciu behu vo vnútornom prostredí, aby testovaná osoba nebola ovplyvnená vonkajším prostredím. Tento prístroj je veľmi ľahko použiteľný, má prednastavené rýchlosti, ktoré sa využili v meraní a pomocou ktorých sa dosiahla takmer skoková zmena rýchlosti.

Apple Watch

Kedže sa zaznamenáva EKG signál, pomocou ktorého sa bude zisťovať srdcová frekvencia a detekovať R vrcholy, ako orientačná hodnota sa použili inteligentné hodinky Apple Watch SE. Parametry hodínok sú dostačujúce pre kontrolu srdcovej frekvencie, zaznamenávajú čas a tepovú frekvenciu.

5.2 Protokol merania

1. Oboznámenie testovanej osoby s postupom merania a s prístrojmi, ktoré sa použijú pri meraní
2. Vyplnenie dotazníka IPAQ a informovaného súhlasu
3. Nasadenie prístrojov Faros a Apple Watch na testovanú osobu. Faros je jedno-kanálové EKG, čo znamená, že sa použili 2 elektródy. Umiestnenie prebehlo podľa návodu v aplikácii Bittium Faros Manager 3.3.0. Hodinky Apple Watch SE boli umiestnené na ľavé zápästie (viď obrázok 5.1).
4. Testovaná osoba si pred meraním sadne na 2 minúty, aby sa jeho kardiovaskulárny systém dostal do kludového režimu
5. Testovaná osoba sa postaví na bežiaci pás, ktorý sa následne zapne
6. Meranie prebiehalo celkovo 15 minút v 3 segmentoch, a teda každý segment mal 5 minút
7. Prvý segment sa testovaná osoba pohybovala rýchlosťou 4km/hod
8. Po uplynutí 5 minút sa rýchlosť zvýšila na 8km/hod
9. Posledný segment sa rýchlosť znova zvýšila o 2km/hod, a teda testovaná osoba sa pohybovala rýchlosťou 10km/hod

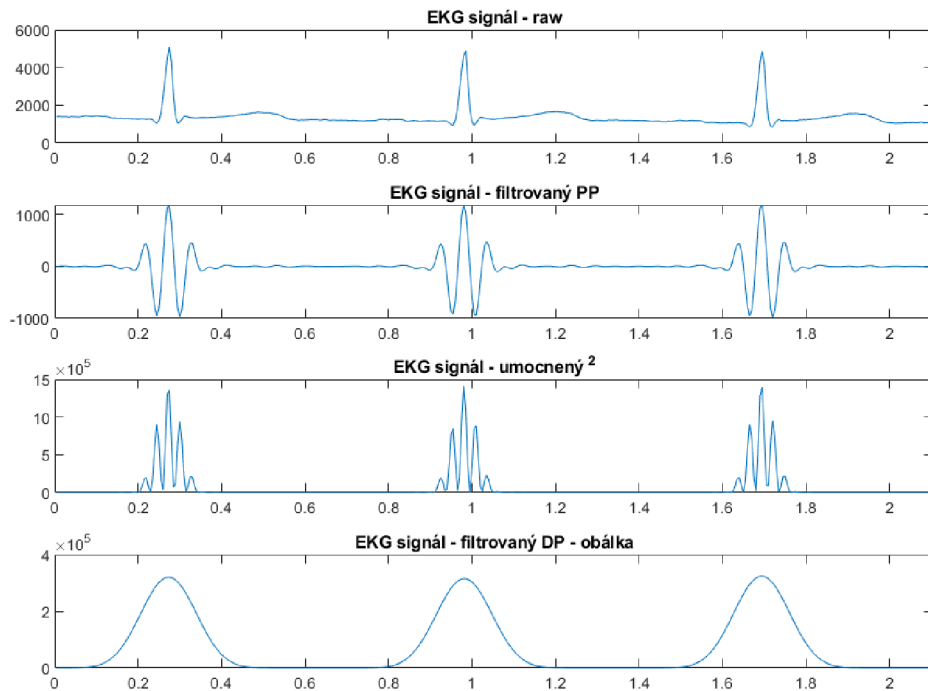


Obr. 5.1: Umiestnenie Farosu na testovanej osobe

5.3 Spracovanie dát

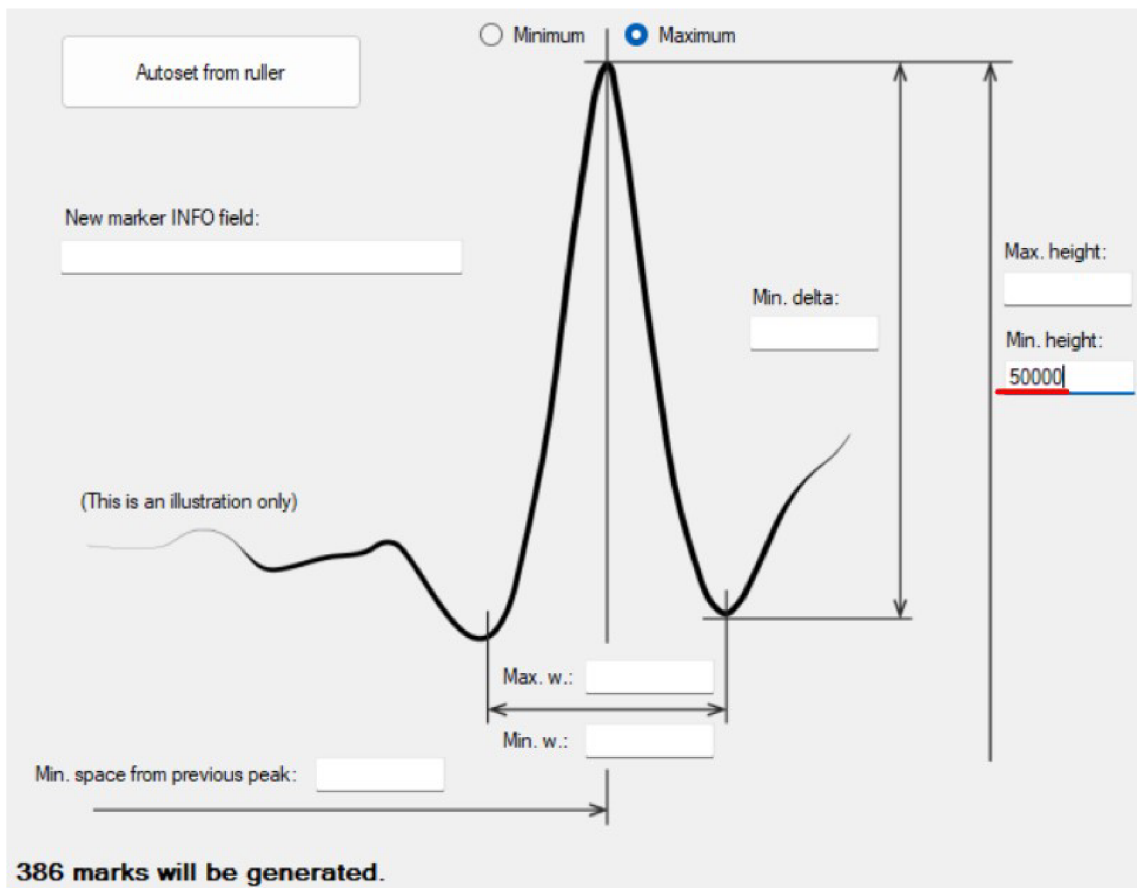
Dáta sa spracovávali vo viacerých programoch, ktoré uľahčili prácu so signálmi. Spracovanie surového EKG signálu prebehlo v prostredí Matlab v.R2021a.

1. Načítanie EKG signálu z Farosu. Signál je vo formáte .EDF, ktorý vie Matlab jednoducho načítať. EKG signál sa zaznamenával so vzorkovacou frekvenciou (fvz) 1000 Hz, pričom potom v programe prebehla zníženie vzorkovania na 200 Hz.
2. Filtrovanie EKG signálu FIR filtrom pásmovej priepusti - $\text{fir1}(51, [11/\text{fvz}/2, 25/\text{fvz}/2], \text{'bandpass'})$.
3. Umocnenie signálu na druhú - $EKG_{\text{umoc}} = EKG_{\text{filt}}^2$ pre zvýraznenie signálu
4. Filtrovanie EKG signálu FIR filtrom dolnej priepusti - $\text{fir1}(41, 1.5/100, \text{'low'})$ pre vyhladenie signálu - výsledný spracovaný kvadrát obálky



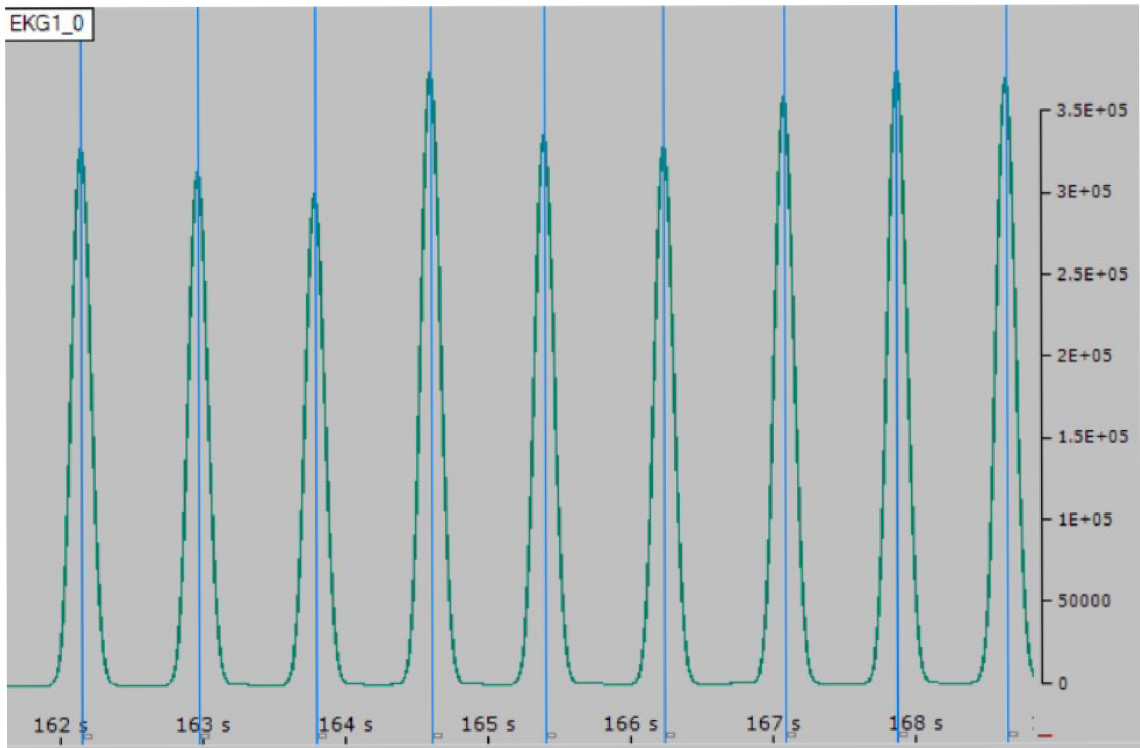
Obr. 5.2: Spracovanie EKG signálu

Detekovanie R peakov prebehlo v programe SignalPlant v.1.2.7.9[24], ktorý okrem detekovanie poslužil na analýzu HRV pomocou Poincareho máp. Ako prvé sa načítal spracovaný signál - kvadrát obálky z Matlabu a potom pomocou rozhodovacieho pravidla nastavili prahy pre správne detekovanie R peakov. Prah sa nastavili pre každý signál zvlášť, aby bolo detekovanie čo najpresnejšie.

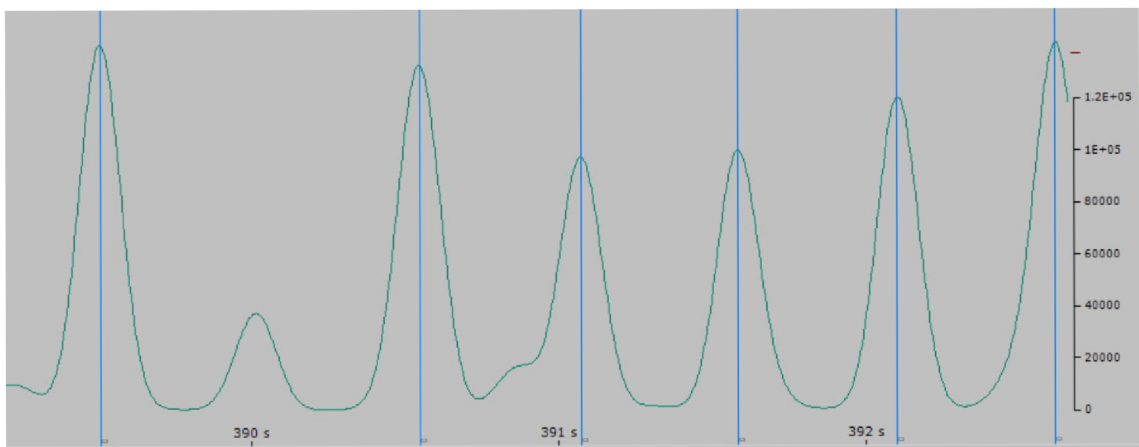


Obr. 5.3: Ukážka nastavenie prahových hodnôt pre detekciu R peakov

V prvom segmente bola úspešnosť detekcie u všetkých testovaných jedincov 100%, no pri zmene rýchlosti a zvýšenia záťaže bol EKG signál viac zašumený, a teda detekcia neprebehla správne. V Signalplante sa ale veľmi jednoducho dajú doplniť/odstrániť zle detekované R peaky, úspešnosť tejto detekcie je teda skoro 100%.



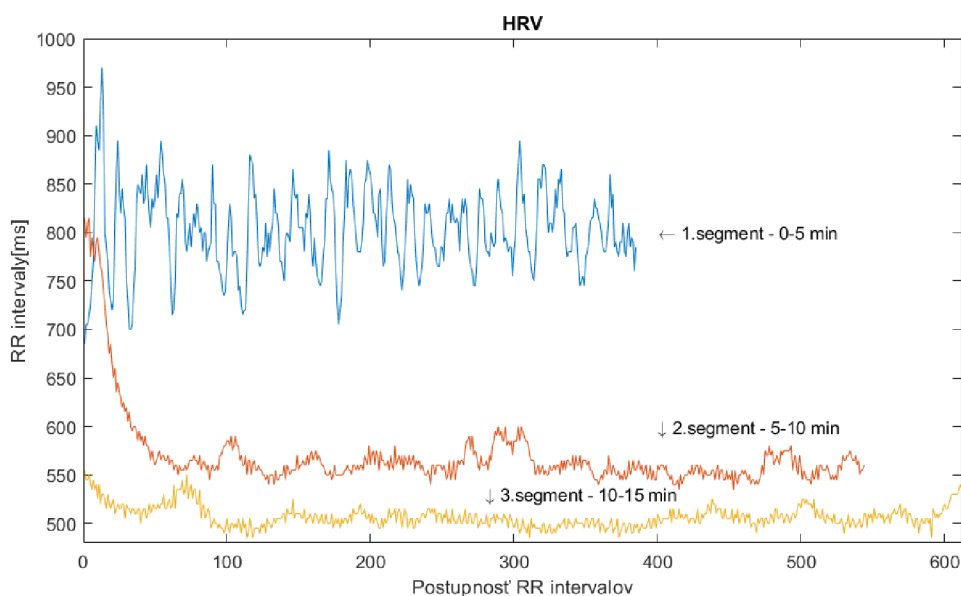
Obr. 5.4: Ukážka detekovaných R peakov



Obr. 5.5: Ukážka zle detekovaného R peaku

5.4 Analýza HRV

Analýza HRV je neinvazívna metóda, ktorá vypovedá o aktivite sínusového uzlíka a používa sa v diagnostike, napr. vyšetrenie pacienta po infarkte alebo na zistenie hypertenzie. Analýza HRV sa prevádza buď v dlhodobých záznamoch o dĺžke 24 až 48 hodín alebo v krátkodobých záznamoch o dĺžke 5 až 20 minút. V tejto práci bude prebiehať iba krátkodobá analýza, keďže dĺžka protokolu merania je 15 minút. Analýza HRV sa taktiež rozdeľuje na lineárne (časová, frekvenčná oblasť) a nelineárne metódy.



Obr. 5.6: Ukážka HRV jedného testovaného jedinca

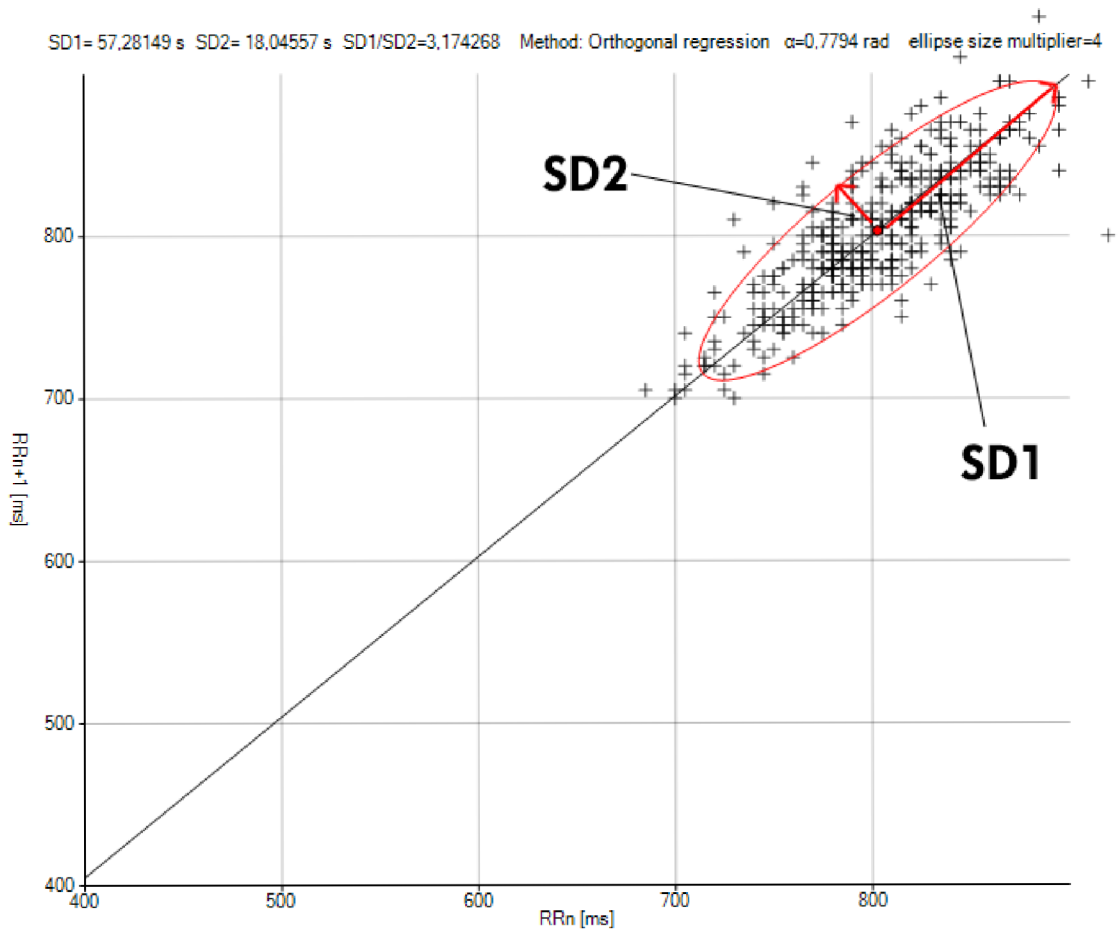
Na obrázku vyššie môžeme vidieť, že v prvom segmente má testovaný jedinec HRV vyššie, keďže je tam väčšia premenlivosť medzi R peakmi. Pri zvyšujúcej záťaži HRV klesá, taktiež sú aj kratšie RR intervaly. Z prvého segmentu na druhý je tá zmena väčšia ako z druhého na tretí, keďže tam je oveľa väčšia zmena záťaže na kardiovaskulárny systém ako v prípade druhej zmeny, kedy už je telo prispôsobenejšie a záťaž sa zdvihla z 8km/hod na 10km/hod.

5.4.1 Nelineárna analýza - Poincarého mapy

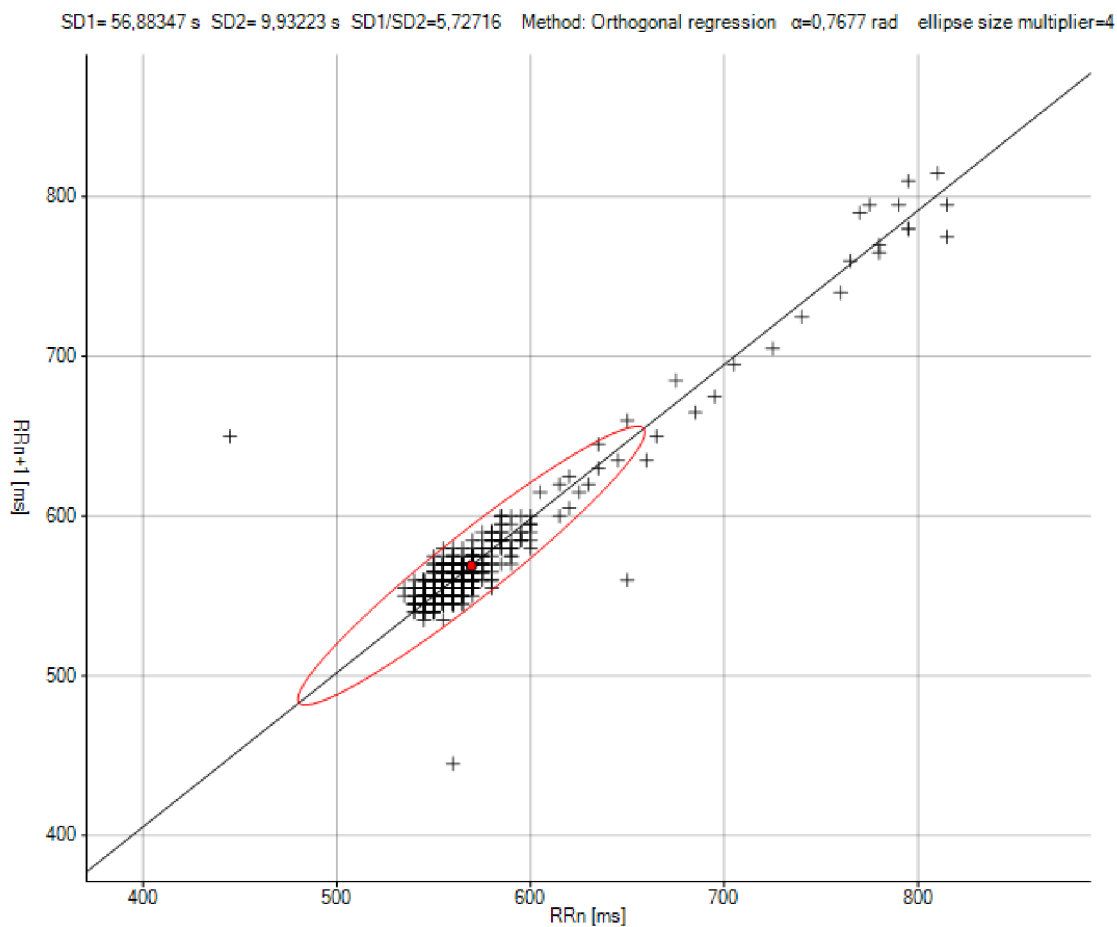
Poincarého mapa je nelineárna metóda analýzy HRV, ktorá sa dá veľmi ľahko interpretovať. Vyjadruje dynamiku HRV prostredníctvom zobrazenia hodnôt každého páru R-R intervalu, vizualizuje koreláciu medzi postupnými RR intervali tým, že zobrazuje $RR(n+1)$ ako funkciu $RR(n)$. Poincarého mapa pracuje s dvomi odchýlkami

- SD1, ktor udáva dlhodobú variabilitu a SD2, ktorý popisuje krátkodobú variabilitu. [12]

Vytvorenie Poincarého máp potrebných pre túto prácu prebehlo v programe SignalPlant, ktorý pomocou RR intervalov vykreslil Poincarého mapy 5.9 s odchýlkami SD1 a SD2, ktoré boli následne zapísané do tabuľky 5.1.

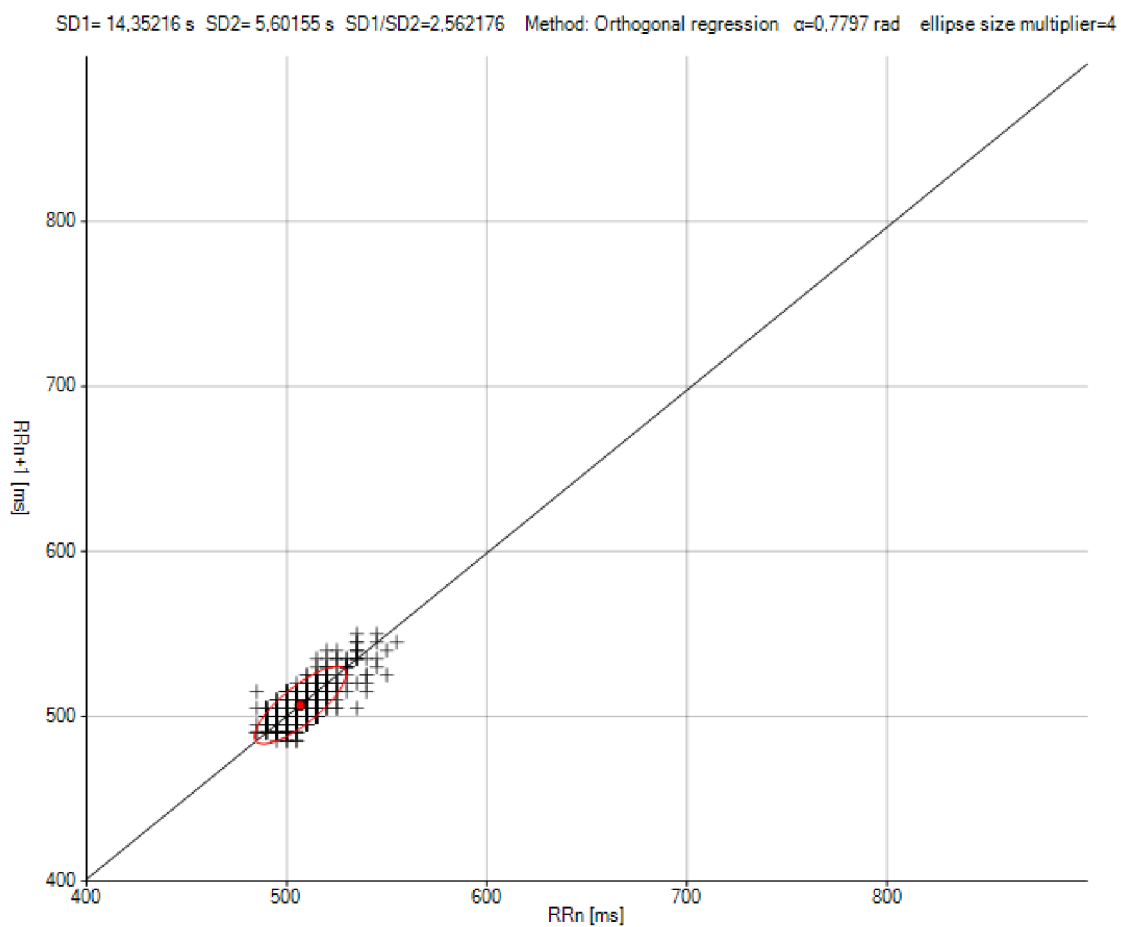


Obr. 5.7: Poincarého mapa RR intervalov v 1-5 minúte



Obr. 5.8: Poincarého mapa RR intervalov v 6-10 minúte

Poincarého mapy napovedajú, že pri zvýšení záťaže odchýlky klesajú, čo je spôsobené tým, že premenlivosť HRV je väčšia a RR intervaly sa skracujú. Pomocou následovnej štatistickej analýzy sa budú porovnávať tieto odchýlky medzi zdatnými a menej zdatnými športovcami.



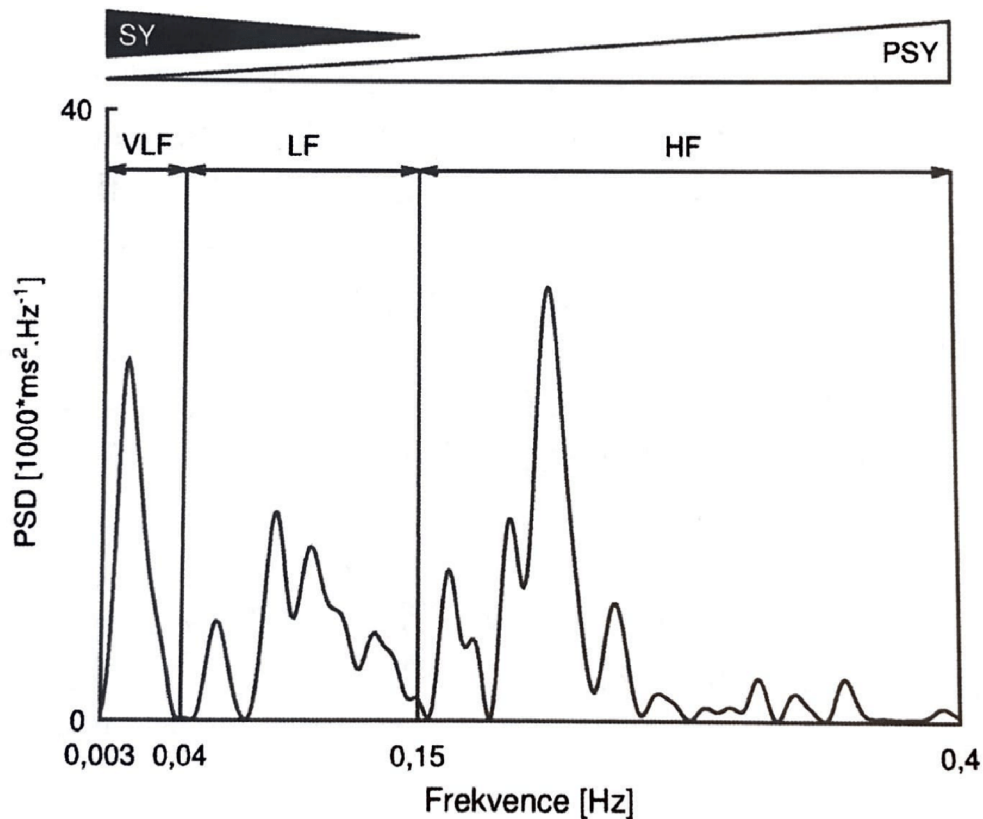
Obr. 5.9: Poincarého mapa RR intervalov v 11-15 minúte

	1 min	2 min	..	6 min	7 min	..	11 min	12 min	..
SD1	87,36	49,73	..	109,37	12,84	..	20,69	7,03	..
SD2	23,95	17,79	..	6,86	5,78	..	5,30	4,27	..

Tab. 5.1: Ukážka tabuľky odchýlok SD1 a SD2 u jedného testovaného jedinca.

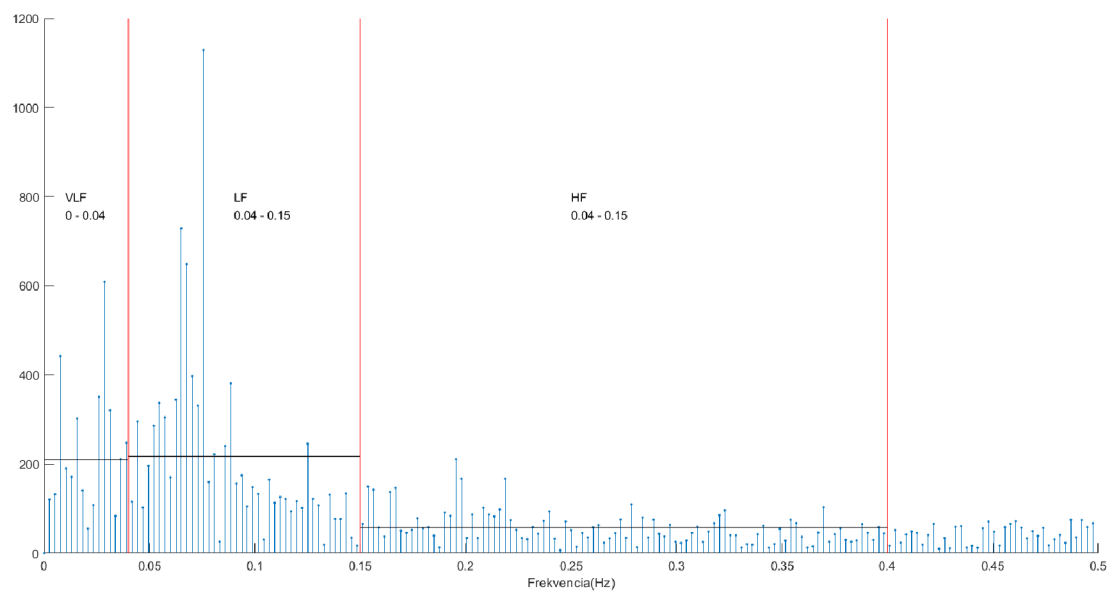
5.4.2 Analýza vo frekvenčnej oblasti

Pre analýzu vo frekvenčnej oblasti sa využili frekvenčné ukazovatele, u krátkodobých záznamov sú to very low frequency - veľmi nízke frekvencie (VLF), low frequency - nízke frekvencie (LF) a high frequency (HF). Uvedené ukazovatele sú v týchto frekvenciách - VLF od 0 od 0.003 do 0.04 Hz, LF od 0.04 do 0.15 Hz a HF od 0.15 do 0.4 Hz.



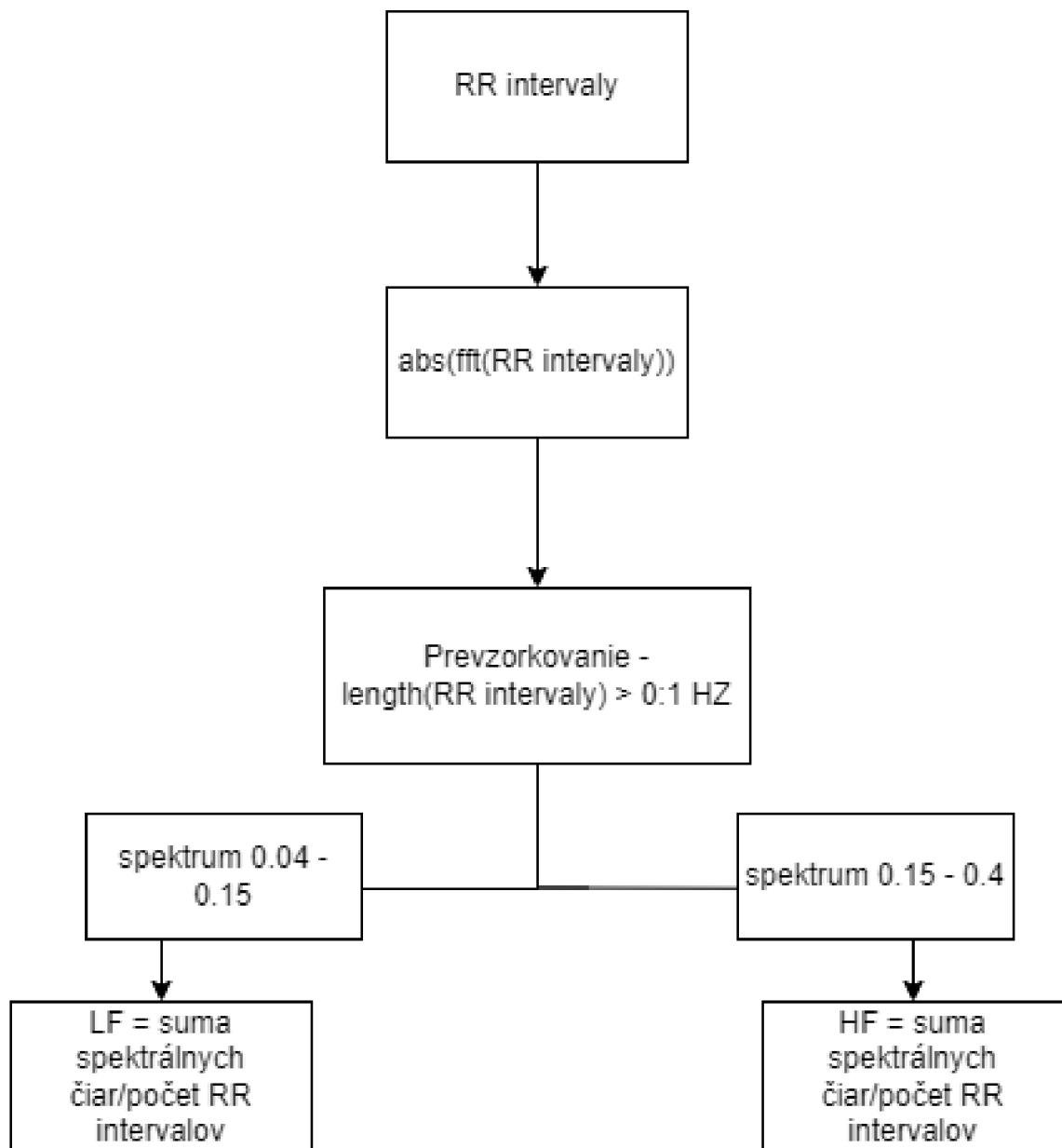
Obr. 5.10: Vplyv sympatika a parasympatika na frekvenčné ukazovatele

Získali sme ich pomocou prevedenia RR intervalov do spektrálnej oblasti pomocou Fourierovej transformácie 5.13. Používa sa neekvidištantné vzorkovanie, ktoré vychádza z toho, že vzorkovacia frekvencia je 1Hz, keďže sa predpokladá normálna srdcová frekvencia človeka 60 tepov za minútu (1 za sekundu, teda 1Hz). Následne sa už spravil priemer spektrálnych čiar v daných segmentoch LF a HF pomocou podelenie sumy spektrálnych čiar v daných frekvenciách ich počtom. Tento proces sa zopakoval pre každého testovaného jedinca v každom segmente merania, výsledky sa zapísali do tabuľky.



[t]

Obr. 5.11: Frekvenčné spektrum v 1 segmente merania u testovaného jedinca -



Obr. 5.12: Vývojový diagram frekvenčných ukazovateľov

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{j\omega t} dt$$

Obr. 5.13: Vzorec Fourierovej transformácie

6 Štatistická analýza dát

Pred samotnými výsledkami prebehla štatistická analýza dát, ktorá pomohla dáta lepšie zanalyzovať a porovnať, či medzi skupinami je alebo nie je rozdiel. V tejto práci sa pracovalo s hladinou významnosti α 0.05.

6.1 Porovnanie 3 segmentov protokolu - ANOVA

Na začiatok sa overilo, či je rozdiel medzi segmentami protokolu štatisticky významný. Vstupom do tohto testu sú odchýlky SD1 a SD2. Ako štatistický test sa použil ANOVA test, čo je parametrický test na analýzu rozptylu pre viac ako 2 skupiny. Predpoklady pre tento test je normalita dát, ktorú zaisťuje centrálna limitná veta, ktorá hovorí, že dáta majú približne normálne rozloženie, ak je počet vzorkov $n > 30$. Druhý predpoklad je homogenita rozptylu, konkrétne sa použil Levenov test, ktorého p-hodnota vyšla 0.3, a teda skupina majú štatisticky rovnaké rozptyly. Vstupom do tohto testu sú odchýlky SD1 a SD2 v každom segmente merania od všetkých testovaných jedincov.

Nulová hypotéza H0: *Medzi 3 segmentami merania nie je štatisticky signifikantný rozdiel*

Alternatívna hypotéza H1: *Aspoň 1 segment merania sa od ostatných líši*

Keď ANOVA zamietá nulovú hypotézu(H0) a prijíma alternatívnu hypotézu(H1), je možné zistiť, ktoré konkrétne skupiny dát sa odlišujú od ostatných. Pomáhajú k tomu **post-hoc testy**, ktoré ukážu rozdiely medzi jednotlivými skupinami.

6.2 Porovnanie 2 skupín celkovo - Dvojvýberový ttest

Dvojvýberový ttest je parametrický test, ktorý porovnáva strednú hodnotu u 2 nezávislých výberov. Predpoklad pre tento test je normalita dát, avšak znova sa použije pravidlo centrálnej limitnej vety, keďže do testu vstupuje viacej ako 30 vzorkov. Vstupom do tohto testu sú odchýlky SD1 a SD2 2 skupín.

H0: *Odchýlky SD1 a SD2 u zdatnejších športovcov sa štatisticky významne nelíšia od skupiny menej zdatnejších športovcov.*

H1: *Odchýlky SD1 a SD2 u zdatnejších športovcov sa štatisticky významne odlišujú od skupiny menej zdatnejších športovcov.*

6.3 Porovnanie 2 skupín v každej minúte - Dvojvýberový ttest

Nakoniec sa kvôli detailnejšej analýze porovnali dáta (SD1, SD2) v každej minúte medzi oboma skupinami. Pomocou Shapiro-Willkov testu sa skontrolovala normalita dát. U niektorých minút vyšli dáta nenormálne, no pomocou boxcoxu prebehla transformácia všetkých dát a následné zopakované testy normality už vyšli pre všetky dáta, a teda sa môže použiť dvojvýberový ttest.

H0: *Odchýlky SD1 a SD2 u zdatnejších športovcov sa štatisticky významne nelíšia od skupiny menej zdatnejších športovcov.*

H1: *Odchýlky SD1 a SD2 u zdatnejších športovcov sa štatisticky významne nelíšia od skupiny menej zdatnejších športovcov.*

6.4 Porovnanie 2 skupín v každom segmente - Dvojvýberový ttest

Keďže táto práca zahrňuje aj analýzu HRV vo frekvenčnej oblasti, bolo potrebné spraviť štatistickú analýzu aj pre frekvenčnú oblasť. Pracovalo sa s LF a HF v každom segmente v 2 skupinách- LF1 a HF1 označujú prvý segment, LF2 a HF2 druhý segment a nakoniec, LF3 a HF3 označujú posledný segment merania. Najprv sa teda skontrolovala normalita dát pomocou Shapiro-Willkov testu. Okrem LF2 u skupiny zdatnejších športovcov a LF3 u skupiny menej zdatnejších boli všetky dáta normálne. U týchto nenormálnych dát a taktiež u dát opačnej skupiny prebehla transformácia pomocou boxcoxu, ktorá prebehla úspešne, a teda sa môže použiť parametrický test. Konkrétne sa použije dvojvýberový ttest, keďže sa bude porovnávať stredná hodnota u 2 skupín. Vstupom do tohto testu je vždy LF alebo HF u každej skupiny. Skupiny sa porovnávali v každom segmente.

H0: *LF a HF u zdatnejších športovcov sa štatisticky významne nelíšia od skupiny menej zdatnejších športovcov.*

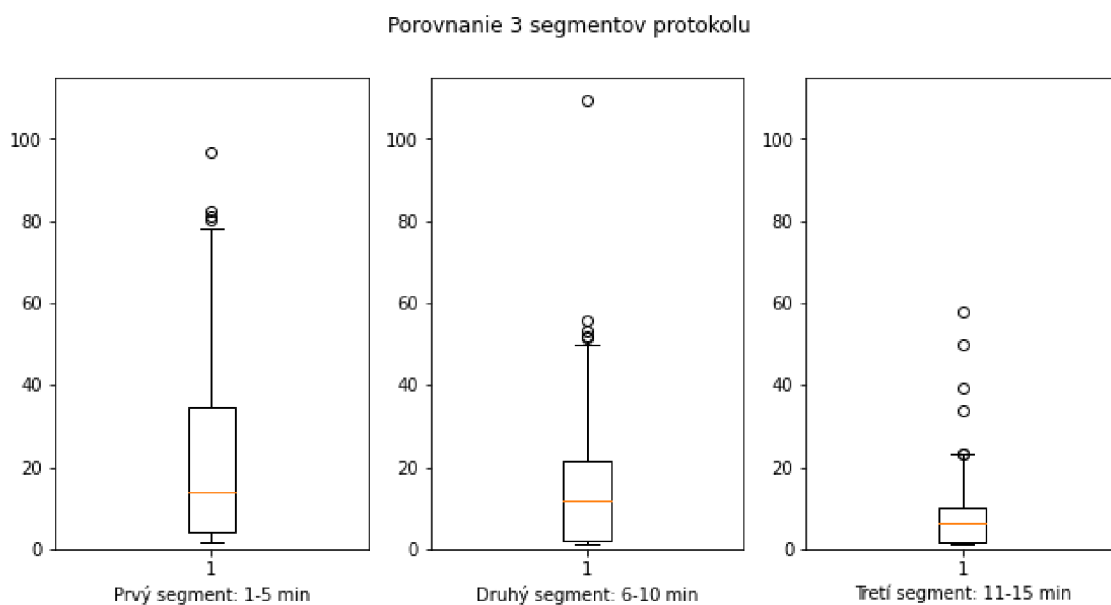
H1: *LF a HF u zdatnejších športovcov sa štatisticky významne nelíšia od skupiny menej zdatnejších športovcov.*

7 Výsledky

Predpoklad pre prvý štatistický test je, že v každom segmente budú odchýlky odlišné, keďže v 1 segmente je rýchlosť 4km/hod, v druhom 8km/hod a v treťom 10km/hod. Konkrétne by tie odchýlky mali byť menšie a menšie, keďže sa znižuje vzdialenosť medzi jednotlivými RR intervalmi, resp. tepmi srdca. Vstupom do testu sú odchýlky všetkých testovaných, rozdelených podľa 3 segmentov merania. Výsledok prvého štatistického ANOVA testu, kde sa analyzovalo porovnanie 3 segmentov merania, bolo zamietnutie H_0 , keďže p-hodnota vyšla $2.33e-20$. Následne sa previedol Scheffeho post-hoc test, ktorého výsledok je v tabuľke 7.1, ktorá ukazuje, že medzi všetkými skupinami je rozdiel. Následne sa zobrazili dáta pomocou boxplotu pre ich lepšiu vizualizáciu.

	4km/hod	8km/hod	10km/hod
4km/hod	1	1.19e-08	8.51e-29
8km/hod	1.19e-08	1	2.4e-08
10km/hod	8.51e-29	2.4e-08	1

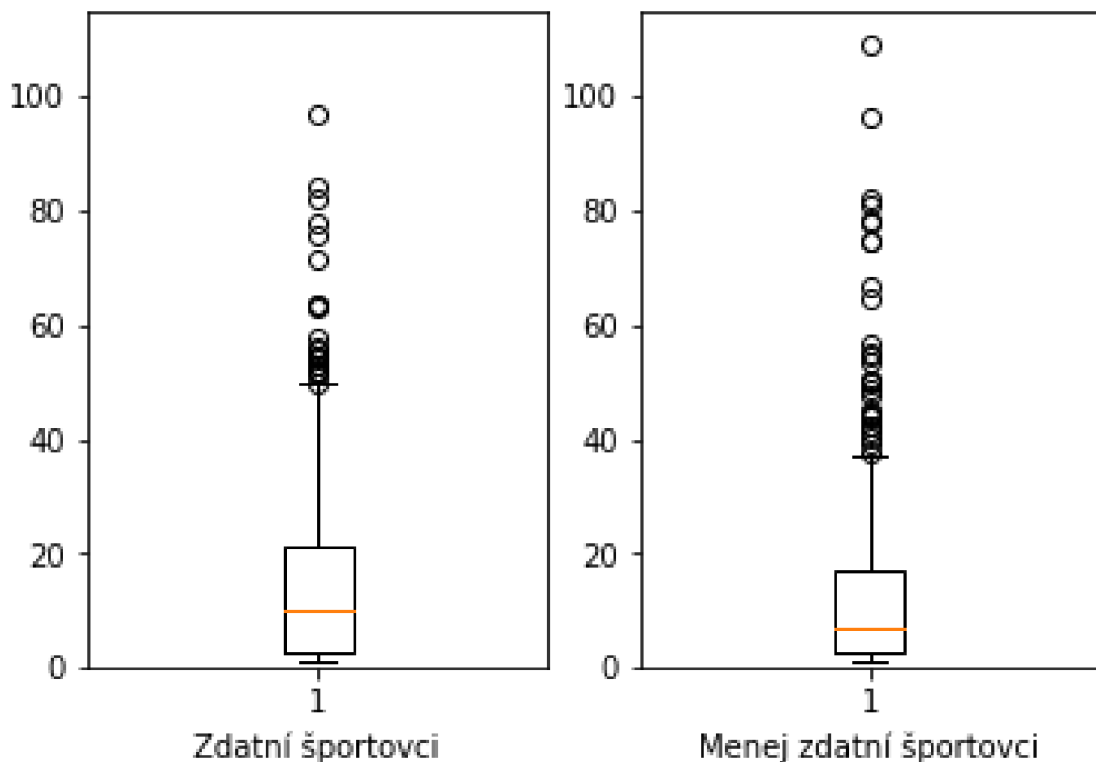
Tab. 7.1: Porovnanie 3 segmentov merania



Obr. 7.1: Porovnanie 3 segmentov merania, hodnoty - SD1,SD2

Predpoklad pre druhý štatistický test, kde sa porovnávala skupina zdatnejších športovcov a menej zdatnejších športovcov, je že prvá skupina bude mať vyššiu HRV, a teda odchýlky budú vyššie ako u druhej skupiny. Vstupom do tohto testu sú odchýlky SD1 a SD2, rozdelené podľa 2 skupín - zdatnejší športovci a menej zdatní športovci. Výsledok tohto testu bolo zamietnutie H_0 , pretože p-hodnota vyšla 0.04, čo znamená, že medzi skupinami je štatisticky významný rozdiel. Pomocou boxplotu, ktorý vizualizuje dáta sa môže povedať, že u zdatnejšej skupiny sú odchýlky vyššie, a teda je vyššia aj HRV, predpoklad sa teda naplnil.

Porovnanie 2 skupín

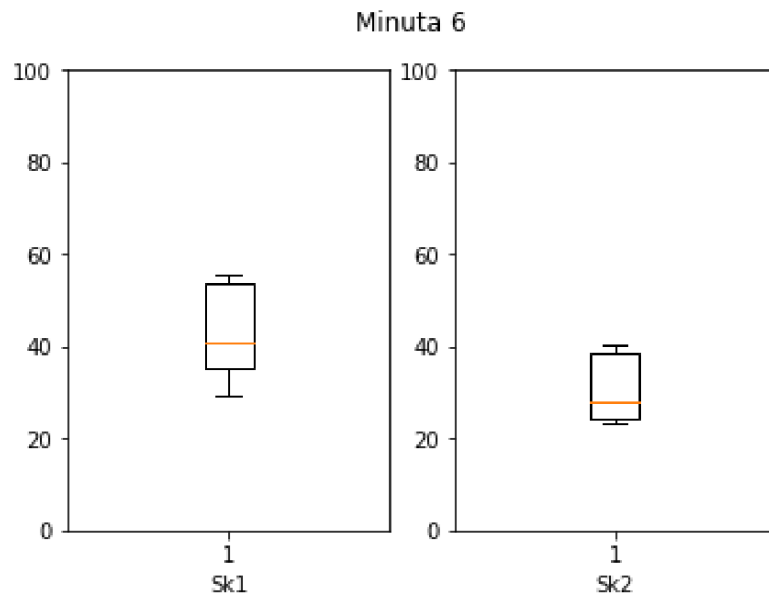


Obr. 7.2: Porovnanie 2 skupín

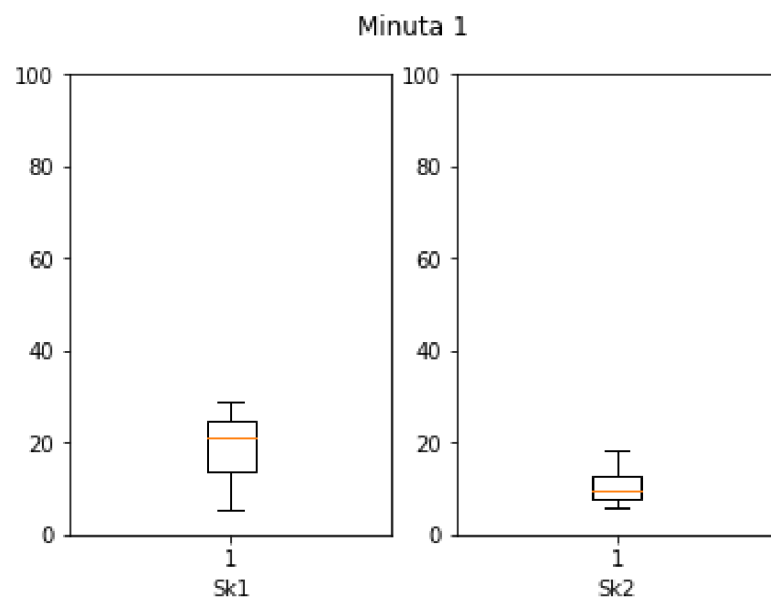
V poslednom štatistickom teste, kde sa analyzovali odchýlky v každej minúte merania je predpoklad, že skupina zdatnejších športovcov má v každej minúte vyššie odchýlky a teda vyššiu HRV. Vstupom do tohto testu sú odchýlky SD1 a SD2 u oboch skupín, budú sa teda porovnávať aj konkrétne odchýlky SD1 a SD2. Výsledok tohto testu sa nachádza v tabuľke 7.2, ktorá ukazuje, v ktorej minúte boli štatisticky významné rozdiely medzi skupinami.

U SD1 sú štatisticky významné rozdiely v 1, 2, 3 a 6 minúte, pretože p-hodnota je menšia ako hladina významnosti a zamietajú sa H_0 . Podľa boxplotu sa môže zhodnotiť, že u skupiny zdatnejších športovcov sú odchýlky a teda HRV vyššie, a teda sa predpoklad splnil.

U SD2, ktorá popisuje krátkodobú variabilitu, bol signifikantný rozdiel iba v 1 minúte behu s p-hodnotou 0.03. V ostatných minútach sa nepreukázal signifikantný rozdiel medzi skupinami.



Obr. 7.3: SD1 - Šiesta minúta, kde sa preukázal signifikantný rozdiel medzi skupinami



Obr. 7.4: SD2 - Prva minúta, kde sa preukázal signifikantný rozdiel medzi skupinami

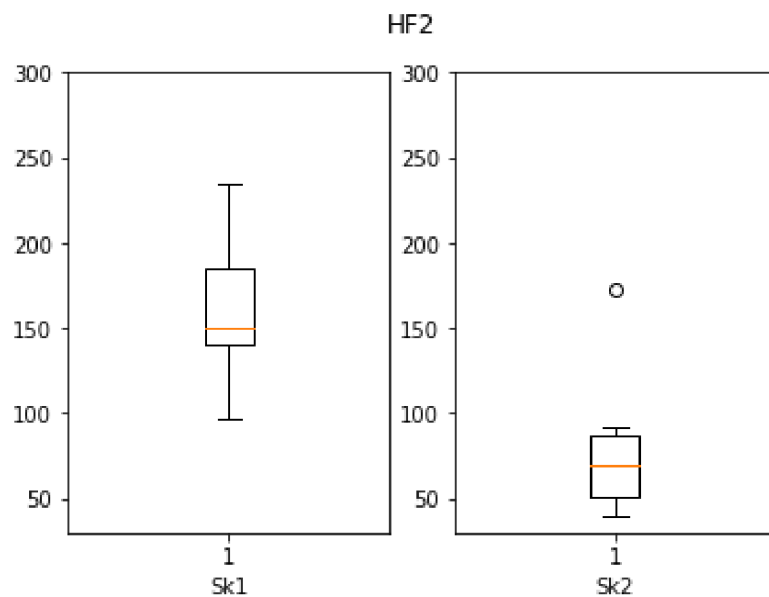
Minúta	P-hodnota (SD2)	P-hodnota(SD1)
1.	0.03	0.04
2.	0.13	0.02
3.	0.07	0.03
4.	0.21	0.35
5.	0.40	0.43
6.	0.44	0.04
7.	0.40	0.32
8.	0.28	0.28
9.	0.32	0.11
10.	0.25	0.39
11.	0.41	0.40
12.	0.25	0.32
13.	0.36	0.43
14.	0.48	0.32
15.	0.22	0.29

Tab. 7.2: P-hodnoty dvojvýberového ttestu - porovnanie skupín v každej minúte

Vo frekvenčnej oblasti prebehol jeden štatistický test, kde sa porovnávali 2 skupiny v každom segmente. Predpoklad je, že hodnoty LF a HF budú väčšie u skupiny zdatnejších športovcov, pretože to značí vyššiu HRV. Vyhodnotenie štatistických testov môžeme vidieť v tabuľke 7.3. V druhom segmente je medzi skupinami štatisticky významný rozdiel, pretože sa zamietá H_0 , keďže sú p-hodnoty menšie ako hladina významnosti. Pomocou vizualizácie boxplotu 7.5 môžeme vidieť, že hodnoty sú väčšie u skupiny zdatnejšej skupiny, čo značí, že ich HRV je vyššia a je teda viacej variabilná. V ostatných segmentov nie je štatisticky významný rozdiel.

Segment	P-hodnota(LF)	P-hodnota(HF)
1.	0.78	0.69
2.	0.03	0.01
3.	0.06	0.07

Tab. 7.3: P-hodnoty dvojvýberového ttestu - porovnanie skupín v každom segmente



Obr. 7.5: LF a HF v druhom segmente merania

Z výsledkov štatistických testov sa teda môže povedať, že náš cieľ a predpoklady boli čiastočne naplnené. Protokol merania bol určený správne, keďže podľa ANOVA testu boli medzi segmentami štatisticky významné rozdiely. Rozdiely medzi skupinami celkovo bol signifikantný, takže aj skupiny na porovnanie boli vybrané správne. Pri detailnejšej analýze, kde sa porovnávali odchýlky 2 skupín medzi sebou, sa očakávalo výraznejšie rozdiely. Tieto nie príliš výrazné rozdiely môžu byť spôsobené viacerými faktormi, napr. pre lepšie porovnanie by muselo byť viac testovaných jedincov v každej skupine a vtedy by sa ten rozdiel preukázal signifikantnejší.

8 Diskusia

Analýza HRV a jej následné porovnanie medzi skupinami zdatnejších a menej zdatnejších športovcov nám ukázalo, že medzi nimi sú rozdiely, ak sme porovnali celkovo všetky odchýlky Poincarého mapy. Pri detailnejšej analýze sa však ukázalo, že sú medzi skupinami štatisticky významné rozdiely len v určitých minútach protokolu, čo môže byť spôsobené napríklad málo testovaných jedincov.

Analýza HRV medzi skupinami, konkrétne medzi bývalými vrcholovými športovcami a zdravými nešportovcami stredného veku, je popísaná v článku[25]. Ako názov článku napovedá, autori porovnávali lineárne a nelineárne metódy analýzy HRV. Ako protokol bol použitý Bruceov bežecový test, v ktorom sa každé 3 minúty zvyšuje rýchlosť a sklon. Autori taktiež používali nelineárnu metódu Poincarého máp (SD1, SD2) a frekvenčnú analýzu pomocou frekvenčných ukazovateľov LF a HF. V porovnaní bývalých vrcholových športovcov so zdravými nešportovcami stredného veku má prvá skupina vyššie odchýlky SD1 o 34% a SD2 o 26, resp.34%. U spektrálnej analýzy pri HF boli vyššie hodnoty u zdatnejšej skupiny o 57%. Pri LF neboli v skupinách signifikantné rozdiely, aj keď skonštatovali, že u zdatnejšej skupiny boli tieto hodnoty vyššie. Môžeme teda skonštatovať, že v porovnaní s touto prácou má naša analýza porovnateľné výsledky.

Záver

Táto práca je zameraná na dynamické zmeny tepovej frekvencie pri chôdzi a behu. Konkrétne sa porovnával kardiovaskulárny systém a analýza HRV medzi skupinou zdatnejších športovcov a menej zdatnejších. Na začiatku sa stanovili určité ciele a predpoklady. Konkrétne prebehlo meranie EKG pomocou jednokanálového EKG záznamníka FAROS pri zvyšovaní záťaže na behacom páse. Prvá časť tejto práce je venovaná teoretickému úvodu do problematiky, popisuje kardiovaskulárny systém, taktiež sa venuje elektrokardiografii, ktorá sa viac do hĺbky venuje záťažovým EKG testom a ich rozdelení. V ďalšej časti teórie je popísaná srdcová frekvencia a jej variabilita, taktiež faktory, ktoré ju ovplyvňujú.

Druhá časť zahŕňa už konkrétnu praktickú časť, kde sa popísali prístroje použité v meraniach a oboznámilo sa s protokolom merania. Ďalej sa ukázalo, ako sa spracovávali jednotlivé EKG signály na RR intervaly pre ich ďalšiu analýzu. Nakoniec sa opísali jednotlivé analýzy HRV - ako nelineárna metóda sa použili Poincarého mapy a ako lineárna metóda analýza frekvenčných ukazovateľov v spektre. Ďalej prebehla štatistická analýza nevyhnutná pre porovnanie či už segmentov merania, aby sa zistilo, či v jednotlivých segmentoch merania je rozdiel a potom prišlo k detailnejšej analýze medzi skupinami v každej minúte. Pomocou tejto štatistickej analýzy sa zistilo, že v určitých minútach merania prišlo k rozdielom medzi skupinami. Môže sa teda konštatovať, že HRV zdatnejších športovcov je vyššie v porovnaní s menej zdatnými športovcami a ich organizmus lepšie reaguje na fyzickú záťaž.

Literatúra

- [1] WARD, Jeremy P. T. a R. W. A. LINDEN. *Physiology at a glance.*, 3rd ed. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell Pub., 2013. At a glance series (Oxford, England). ISBN 978-0470659786
- [2] Anatomy of the heart and blood vessels [online]. [cit. 2022-11-25]. Dostupné z: <https://patient.info/news-and-features/anatomy-of-the-heart-and-blood-vessels>
- [3] SILBERNAGL, Stefan a Agamemnon DESPOPOULOS. *Atlas fyziologie člověka*. 2. čes. vyd. podle 3. něm., přeprac. a rozš. Praha: Grada, 1993. ISBN 80-85623-79-X.
- [4] HANZLOVÁ, Jitka a Jan HEMZA. *Základy anatomie soustavy dýchací, srdečně cévní, lymfatického systému, kůže a jejich derivátů III*. Brno: Masarykova univerzita, 2007. ISBN 978-80-210-4360-2.
- [5] Projevy poruch tvorby a vedení vzruchu na elektrokardiogramu [online] [cit. 2022-01-03]. Dostupné z: https://www.wikiskripta.eu/w/Projevy_poruch_tvorby_a_vedeni_vzruchu_na_elektrokardiogramu
- [6] HOLIBKOVÁ, Alžběta a Stanislav LAICHMAN. *Přehled anatomie člověka*. 5. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2010. Skripta. ISBN 978-80-244-2615-0.
- [7] Srdcovo-cievny systém, vlásoknice, žilky, žily [online]. [cit. 2022-01-02]. Dostupné z: <https://encyklopediapoznania.sk/clanok/6445/srdcovo-cievny-system-vlasocnice-zilky-zily>
- [8] Vlny, kmity, intervaly a segmenty na EKG [online]. [cit. 2022-11-18]. Dostupné z: <https://www.techmed.sk/vlny-kmity-intervaly-segmeny-na-ekg/>
- [9] HAMPTON, John R. *EKG stručně, jasně, přehledně*. Vyd. 1. čes. Praha: Grada, 1996. ISBN 80-7169-153-4.
- [10] Popis EKG [online]. [cit. 2022-11-18]. Dostupné z: https://www.wikiskripta.eu/w/Popis_EKG
- [11] Elektrokardiogram (EKG) [online]. [cit. 2022-11-18]. Dostupné z: https://myokarditida.cz/cs_CZ/diagnostika-a-lecba/diagnostika/elektrokardiogram-ekg/

- [12] KOZUMPLÍK, J. Analýza biologických signálů. Elektronická skripta, ÚBMI VUT Brno, 2018
- [13] WIDIMSKÝ, Jiří a Kateřina LEFFLEROVÁ. *Zátěžové EKG testy v kardiologii*. Praha : Triton, 2000. ISBN 8072540955.
- [14] Live Science. What is normal heart rate? [online]. [cit. 2022-11-25]. Dostupné z: <https://www.livescience.com/42081-normal-heart-rate.html>
- [15] Pulse rate [online]. [cit. 2022-11-25]. Dostupné z: https://www.physio-pedia.com/Pulse_rate
- [16] All About Heart Rate (Pulse) [online]. [cit. 2022-11-25]. Dostupné z: <https://www.heart.org/en/health-topics/high-blood-pressure/the-facts-about-high-blood-pressure/all-about-heart-rate-pulse>
- [17] BOTEK, Michal a *Variabilita srdeční frekvence v tréninkovém procesu: historie, současnost a perspektiva*. Olomouc : Univerzita Palackého v Olomouci, 2017. ISBN 978-80-244-5203-6
- [18] Co je to Variabilita srdečního rytmu (HRV)? [online]. [cit. 2022-02-06]. Dostupné z: oberonic.cz/co-je-to-variabilita-srdecniho-rytmu-hrv/
- [19] Everything You Need to Know About Heart Rate Variability [online]. [cit. 2022-02-06]. Dostupné z: <https://www.whoop.com/thelocker/heart-rate-variability-hrv/>
- [20] WIDIMSKÝ, Jiří. *Kardiovaskulární systém a tělesná námaha*. Praha: Avicenum, 1975. ISBN 08-011-75
- [21] Effects of Exercise on the Heart [online]. [cit. 2022-12-28]. Dostupné z: <https://courses.lumenlearning.com/boundless-ap/chapter/exercise-and-the-heart/>
- [22] Apple Watch SE [online]. [cit. 2022-12-27]. Dostupné z: <https://www.apple.com/sk/apple-watch-se/>
- [23] Bittium Faros 180 [online]. [cit. 2022-12-27]. Dostupné z: <https://shop.bittium.com/product/36/bittium-faros-180-solution-pack>
- [24] SignalPlant [online]. [cit. 2022-02-06]. Dostupné z: <https://www.medisig.com/signalplant/>

- [25] Linear and non-linear analysis of heart rate variability in master athletes and healthy middle-aged non-athletes [online]. [cit. 2022-02-06]. Dostupné z: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1350453313001446?casa_token=6_58Ni7P2loAAAAA:M6axwrHA1S68StgWuFiaXWU-AjAqnlopnNP0sV5BkcV6XaPLXztC8zjRz03Z2VC8rBxWd9cEug#bib0110
- [26] International Physical Activity Questionnaire - Short Form [online]. [cit. 2022-02-06]. Dostupné z: https://storage.googleapis.com/plos-corpus-prod/10.1371/journal.pone.0219193/1/pone.0219193.s010.pdf?X-Goog-Algorithm=GOOG4-RSA-SHA256&X-Goog-Credential=wombat-sa%40plos-prod.iam.gserviceaccount.com%2F20220602%2Fauto%2Fstorage%2Fgoog4_request&X-Goog-Date=20220602T182558Z&X-Goog-Expires=86400&X-Goog-SignedHeaders=host&X-Goog-Signature=b5b220ef2133d5d763274a66f87bcd7b048ba9bf69dc30c050ad3f4ceaa55d82895f8e2dc6504