

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

MĚŘENÍ ZÁKLADNÍCH PARAMETRŮ KARDIOVASKULÁRNÍHO SYSTÉMU POMOCÍ ZÁTĚŽOVÉHO TESTU

MEASUREMENT OF BASIC PARAMETERS OF THE CARDIOVASCULAR SYSTEM USING A STRESS TEST

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Denis Matoušek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

MUDr. Zuzana Nováková, Ph.D.

BRNO 2021

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Biomedicínská technika a bioinformatika**

Ústav biomedicínského inženýrství

Student: Denis Matoušek

ID: 203674

Ročník: 3

Akademický rok: 2020/21

NÁZEV TÉMATU:

Měření základních parametrů kardiovaskulárního systému pomocí zátěžového testu

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Seznamte se s fyziologií a patofyziologií kardiovaskulárního systému se zaměřením na fyziologii tělesné zátěže. Uveďte základní parametry a techniky pro měření využívané v lékařské praxi. 2) Seznamte se s jednotlivými přístroji pro diagnostiku chorob kardiovaskulárního systému včetně záznamového systému pro ergometrické vyšetření, kterým disponuje pracoviště vedoucího práce. 3) Navrhněte protokoly měření. 4) Proměřte základní diagnostické parametry skupin dobrovolníků v klidových podmínkách. Provedte zátěžový test 15 dobrovolníků z řad sportovců a 15 dobrovolníků z řad zdravých osob přibližně stejného věku pod dohledem vedoucího práce. 4) Navrhněte a realizujte program v prostředí Matlab, pomocí kterého naměřená data načtete, zpracujete a provedete potřebné analýzy. 5) Statisticky vyhodnoťte rozdíly v parametrech klidových a zátěžových mezi jednotlivými skupinami. Výsledky diskutujte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] PLACHETA Z, SIEGLOVÁ J, ŠTEJFA M. (1999). Zátěžová diagnostika v ambulanci a klinické praxi (1. vyd.). Praha: Grada Publishing. ISBN: 80-7169-271-9

[2] DOBŠÁK P et al. (2009). Klinická fyziologie tělesné zátěže: Vybrané kapitoly pro bakalářské studium fyzioterapie (1. vyd.). Brno: Masarykova univerzita.

Termín zadání: 8.2.2021

Termín odevzdání: 28.5.2021

Vedoucí práce: MUDr. Zuzana Nováková, Ph.D.

doc. Ing. Jana Kolářová, Ph.D.
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

Bakalářská práce popisuje měření základních parametrů kardiovaskulárního systému pomocí zátěžového testu na bicyklovém ergometru, jejich zpracování a vyhodnocení s následným rozdělením subjektů do jednotlivých kategorií podle jejich fyzické zdatnosti. Hlavním cílem práce je vytvoření skriptu v prostředí MATLAB, který bude využit pro vyhodnocování výsledků měřené osoby v rámci studentských úkolů probíhajících v praktických cvičení z fyziologie na lékařské fakultě Masarykovy univerzity.

Klíčová slova

Ergometrie, tělesná zátěž, index W170, kardiovaskulární systém

Abstract

The bachelor's thesis describes the measurement of basic parameters of the cardiovascular system using a physical test on a bicycle ergometer, their processing and evaluation with the subsequent division of subjects into individual categories according to their physical fitness. The main goal of this work is to create a script in the MATLAB environment, which will be used to evaluate the results of the measured person in the student tasks taking place in practical exercises in physiology at the Faculty of Medicine, Masaryk University.

Keywords

Ergometry, physical activity, index W170, cardiovascular system

Bibliografická citace:

MATOUŠEK, Denis. Měření základních parametrů kardiovaskulárního systému pomocí zátěžového testu. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/134807>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav biomedicínského inženýrství. Vedoucí práce Zuzana Nováková.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Měření základních parametrů kardiovaskulárního systému pomocí zátěžového testu (ergometrie) jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si 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.

V Brně dne:

.....
podpis autora

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucí své práce, paní MUDr. Zuzaně Novákové, Ph.D., za odborné vedení, zapůjčení měřicí techniky, trpělivost, konzultace a užitečné rady, které doprovázely tuto bakalářskou práci.

Dále bych chtěl poděkovat Ing. Marině Ronzhině, Ph.D za konzultace s technickou stránkou práce a užitečné rady.

Chtěl bych poděkovat Ing. Nikol Hunkařové, své přítelkyni Anně Martinkové a rodině za veškerou psychickou i finanční podporu v průběhu studia.

V Brně dne:

.....
podpis autora

Obsah

Úvod.....	7
1. Základní fyziologie kardiovaskulárního systému (KVS).....	8
1.1 Fyziologie srdce	8
1.1.1 Elektrická aktivita srdce.....	8
1.1.2 Mechanická práce srdce.....	10
1.2 Nejčastější parametry pro hodnocení funkce KVS v medicíně	11
1.3 Elektrický srdeční vektor	12
1.4 Elektrokardiografie – EKG	12
2. Tělesná zátěž	16
2.1 Zátěž jako léčebná terapie	16
2.2 Výběr pohybových zátěží a fyziologická účinnost	16
2.3 Typy pohybových zátěží	17
2.4 Riziko nedostatku zátěže.....	17
3. Ergometrie.....	19
3.1 Obecný popis metody.....	20
3.2 Příprava	20
3.3 Princip fungování přístroje.....	20
4. Praktická část	21
4.1 Prostředí MATLAB	21
4.2 Klidové měření základních KV parametrů: klidový záznam EKG.....	22
4.3 Připojení elektrod 12 – ti svodového EKG	22
4.4 Zátěžový test na bicyklovém ergometru	24
4.4.1 Umístění elektrod.....	25
4.4.2 Postup měření pro ergometrické pracoviště.....	25
4.5 Systém pro snímání parametrů – LabChart systém.....	26
5. Zpracování naměřených parametrů v prostředí Matlab	29
6. Souhrn měření	38
6.1 Hodnocení výsledků.....	38
6.2 Provedení výpočtu BMI a zařazení do skupiny	41
6.3 Vyhodnocení BMI.....	42
6.4 Porovnání sportovců a nesportovců	43

6.4.1	Vyhodnocení a diskuse výsledků.....	43
6.4.2	Vyhodnocení.....	43
7.	Diskuse.....	47
8.	Závěr.....	49
9.	Literatura.....	50

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Srdce. Převzato z [3].	11
Obrázek 2 - EKG křivka. Převzato z [9].	13
Obrázek 3 - Přehled svodů. Převzato z [9].	14
Obrázek 4 - Bicyklový ergometr.	19
Obrázek 5 - Ukázka připojení hrudních elektrod na měřeném subjektu	22
Obrázek 6 - Ukázka záznamu klidového EKG	24
Obrázek 7 - Umístění elektrod 2 – svodového EKG. Převzato z [7].	25
Obrázek 8 - Měřicí zařízení PowerLab.	27
Obrázek 9 - Ukázka EKG svodu z prostředí LabChart.	27
Obrázek 10 - Ukázka změn tepové frekvence dopočítávané z EKG záznamu v průběhu celého měření v prostředí LabChart.	28
Obrázek 11 - Vykreslení celkových dat a vybraného úseku	30
Obrázek 12 - Selektovaná data.	31
Obrázek 13 - Detrendovaná data.	32
Obrázek 14 - Detekce píků na signálu bez trendu.	32
Obrázek 15 - Aplikace průměrovacího filtru s velikostí okna 16000 vzorů.	33
Obrázek 16 - Absolutní hodnota signálu bez trendu před mediánovým filtrem.	34
Obrázek 17 - Signál filtrovaný mediánovým filtrem s velikostí okna 5000 vzorků.	34
Obrázek 18 - Získání hodnoty W170 z průměrovacího filtru.	35
Obrázek 19 - Získání hodnoty W170 z mediánového filtru.	35
Obrázek 20 - Dosazení přímky do původních dat.	36
Obrázek 21 - Porovnání výsledné přímky s původními daty s vyznačenou hodnotou W170.	37
Obrázek 22 - Porovnání sportovci a nespportovci.	40
Obrázek 23 - Skupina Sportovci.	40
Obrázek 24 - Skupina nespportovci.	41
Obrázek 25 - Ukázka kódu BMI.	42
Obrázek 26 - Skupina nespportovci.	45
Obrázek 27 - Skupina sportovci.	46

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Připojení elektrod EKG. Převzato z [5, 7, 23].....	23
Tabulka 2 - Ukázka správného uložení dat.....	29
Tabulka 3 - Ukázka nesprávného uložení dat.....	30
Tabulka 4 - BMI kategorie.....	43
Tabulka 5 - Hodnoty měřených skupin.....	44

ÚVOD

Ergometrie je metoda zaměřená na stanovení pracovního výkonu. Zahrnuje několik forem určených pro vyhodnocování reakce či adaptace organismu jedince na zátěž. Její výsledky slouží pro stanovení diagnózy a následnému určení správné léčby nebo ke kontrole účinnosti léčby. Zátěžové testy se používají i v oblasti sportovního lékařství, kde slouží k hodnocení výkonnosti jedince.

V teoretické části práce budou popisovány základní funkce srdce jako centra kardiiovaskulárního systému, který naši fyzickou aktivitu zajišťuje. Pak bude navazovat teorie tělesné zátěže, její rozdělení a popis, jak správně vybrat tělesnou zátěž pro danou situaci a co nejefektivněji ji využít pro prospěch jedince.

Praktická část se zaměří na samotné vyšetření osob před začátkem fyzického výkonu, zahrnující proměření a získání základních antropometrických parametrů (výška, hmotnost, index tělesné hmotnosti – BMI). Dále pak napojení osoby na měřicí přístroje, započítání fyzické zátěže a následné měření a zaznamenávání stanovených hodnot. Tyto hodnoty pak budou přeneseny z prostředí LabChart do programu MATLAB, kde se provede celkové vyhodnocení jedince a jeho porovnání s populačními ukazateli.

1. ZÁKLADNÍ FYZIOLOGIE KARDIOVASKULÁRNÍHO SYSTÉMU (KVS)

Krev teče tělem přes trubicovité orgány, které jsou označovány jako krevní cévy. Síla, která tlačí krev cévami, je vytvářena rytmickými stahy srdce. Cévy, krev a srdce představují společně oběhovou - kardiovaskulární soustavu. Z hydrodynamické stránky se jedná o uzavřený systém [1, 2, 3].

1.1 Fyziologie srdce

Srdce představuje kuželovitý svalový orgán, který je podélnou přepážkou členěn na dvě části, každá část je složena z tenkostěnné síně (atrium) a pevnostěnné komory (ventriculus) [1, 2, 3].

Srdce je vlastně sval, který řadíme mezi typ příčně pruhované svaloviny. Skládá se z jednotlivých svalových buněk – kardiomyocytů. Buňky srdečního svalu jsou krátké, válcovitého tvaru a rozvětvené. Jsou spojeny speciálními spoji (gap junctions = interkalární disky), které zajišťují, že se celé srdce na jeden elektrický impuls najednou stáhne – mluvíme pak o funkčním propojení [1, 2, 3].

Srdce pracuje jako pumpa. Jeho funkce se zakládá na rytmickém střídání kontrakce (systoly) a relaxace (diastoly). Při kontrakci je krev vytlačena do tepen těla. Naopak při relaxaci, krev přivedená žilami plní srdce. Tento koloběh krve v srdci od naplnění síní a komor až k vypuzení krve ze srdce se označuje jako srdeční cyklus.

Srdeční stah (hlavně vypuzovací fáze srdečního cyklu) dává vzniknout tlakové vlně, která se šíří v celé arteriální části cévní soustavy. Nazýváme ji pulzová vlna a je podkladem pro tep nebo-li pulz. V klidovém stavu zdravého člověka bývá tepová frekvence 72 tepů/min. Pro hodnocení činnosti srdce a tím i parametrů kardiovaskulárního systému existuje celá řada metod (např. elektrokardiografie, měření krevního tlaku), které budou popsány níže [1, 2, 3].

1.1.1 Elektrická aktivita srdce

Jednou ze základních vlastností srdečního svalu je jeho automaticita (autonomie) – schopnost samostatně vytvářet vzruchy. Tato vlastnost vychází z existence specializovaných buněk, které vytvářejí tzv. převodní systém srdeční. Anatomicky je

první “nakupenina” těchto buněk lokalizovaná v oblasti pravé srdeční síně a označena jako sinoatriální uzel. Dále se sem zařazují atrioventrikulární uzel, Hissův svazek (přechod ze síně na komory), Tawarova raménka a Purkyňova vlákna.

Tyto specializované buňky se odlišují od buněk pracovního myokardu i jiných obecně vzrušivých (neuron, kosterní svalovina, hladká svalovina) tím, že neumějí udržet tzv. klidový membránový potenciál. Z důvodu přítomnosti tzv. “funny” K^+ kanálu se samy spontánně depolarizují – v lékařské literatuře označováno jako prepotenciál (pomalá spontánní depolarizace) [4, 5].

Z obecného pohledu patří depolarizace a repolarizace buněčných membrán mezi základní schopnosti elektrické aktivity vzrušivých tkání. Vnitřní prostředí polarizované buňky je elektricky negativní, naopak vnější prostředí je elektricky pozitivní. Všudypřítomná sodíko-draslíková pumpa (směňující tři ionty sodíku z vnitřního prostředí za dva ionty draslíku z vnějšího prostředí) a různá vodivost buněčné membrány pro sodík a draslík nastoluje tento klidový stav membrán [4, 5].

Pokud dojde k podráždění buněčné membrány, odpovědí bude vyvolání akčního potenciálu. Při vzniku akčního potenciálu vlákna pracovního myokardu dochází k rychlé změně membránového potenciálu. Během 1 – 2 ms dojde ke změně hodnoty vnitřního prostředí z hodnot -90 mV na hodnotu +20 mV až +25 mV. Tato fáze je označována jako depolarizace. Navazuje částečná repolarizační fáze, která trvá jen chvíli a během ní dojde k poklesu potenciálu o 10 mV. Následuje dlouhá fáze, která je charakteristická právě pro tento myokard. V této fázi se membrána nachází v depolarizovaném stavu a popisuje se jako fáze plató. V konečné fázi repolarizace dochází k návratu membránového potenciálu na klidovou hodnotu. Celková doba trvání akčního potenciálu pracovního myokardu činí 200 – 400 ms. Jednotlivé fáze akčního potenciálu a jejich doba souvisí se změnami propustnosti buněčné membrány pro jednotlivé ionty – Na^+ , K^+ , Ca^{2+} [1, 3, 4, 5].

Elektrickou aktivitu srdce je možné zaznamenávat pomocí metody elektrokardiografie (EKG). EKG má mnoho výhod v jeho užití, jakožto neinvazivní a jednoduchá metoda, která informuje o vážnosti pacientova stavu ve smyslu vykreslení odchylky od pravidelně se opakujícího rytmu srdce spouštěného touto elektrickou aktivitou. Arytmie, která je definována jako porucha tvorby vzruchu nebo převodu vzruchu v srdečním svalu, je častou diagnózou v kardiologii. Další diagnóza, ve které je EKG nápomocné,

je zjištění přítomnosti akutní ischemické choroby srdeční - infarktu myokardu. Při jeho včasném nálezů a započatí léčby pacienta lze zmenšit nebezpečí, které by vyústilo až jeho smrtí [1, 3, 4, 5].

1.1.2 Mechanická práce srdce

Elektrická činnost srdeční svaloviny slouží k vytváření vzruchů a jejich následnému rozšíření do pracovního myokardu. Vzruch slouží jako impulz pro svalovou buňku, která na něj reaguje kontrakcí. Šířící se akční potenciál se „změní“ na svalový stah. Celý systém funguje na principu spřažení elektrické excitace s mechanickou kontrakcí. AP nervového vlákna je přenesen přes nervosvalovou ploténku na svalové vlákno, dochází ke změně polarity jeho membrány, otevírají se vápníkové kanály. Ca^{2+} je důležitý prvek pro mechanismus kontrakce. Každý jednotlivý AP vyvolá vylití Ca^{2+} ze sarkoplazmatického retikula a aktivaci kontraktálních bílkovin (aktin, myosin, tropomyosin, troponin).

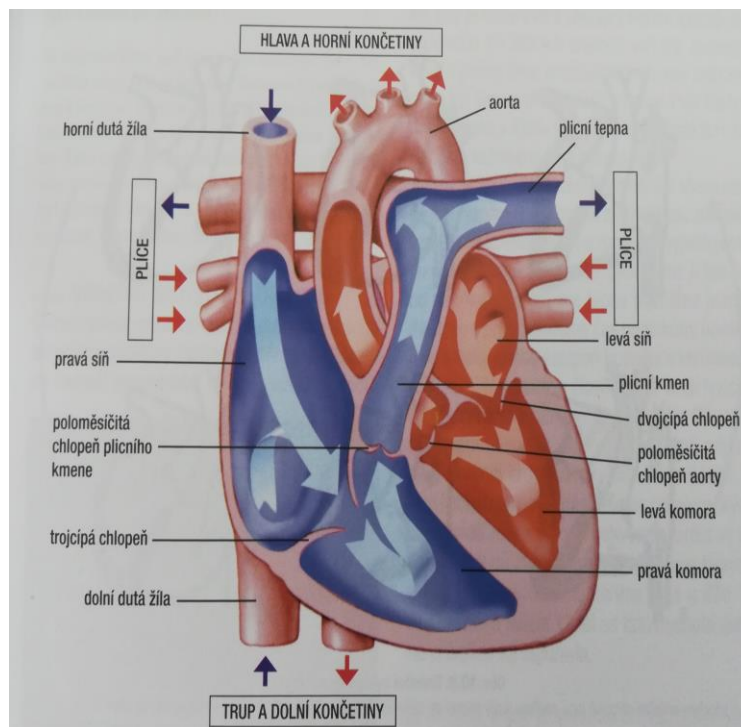
Proudění Ca^{2+} iontů zvýší cytosolovou koncentraci vápníku a dojde k stahu [1, 3, 4].

Srdce vykonává svou práci pomocí kontrakce svalových vláken. Prací se myslí přesun určitého objemu krve vůči určitému odporu (tlak nutný k jeho překonání) – tlakově objemová práce. Srdce také vykonává tzv. akcelerační práci, neboli krvi přiděluje danou kinetickou energii. Hodnoty, které slouží pro výpočet mechanické práce, se během srdeční akce neustále mění (proto se pro výpočet využívá integrál).

Veličina udávající tlakovou sílu proudící krve proti plošné jednotce cévní stěny se nazývá krevní tlak (TK). Hodnoty tlaku krve se odlišují v jednotlivých oddílech krevního řečiště. Největší hodnotu lze naměřit ve velkých arteriích, naopak nejnižší hodnotu je možné nalézt v žilním systému. V běžném užívání slov „krevní tlak“ se rozumí arteriální tlak (tepenný) [1, 3, 4].

Krevní tlak se v průběhu srdečního cyklu mění. V ejekční vypuzovací fázi srdečního cyklu měříme jeho nejvyšší hodnoty – systolický krevní tlak (STK). V plnicí fázi diastoly zase nejnižší hodnoty krevního tlaku označujeme jako tlak diastolický (DTK). Obecně se uvádí hodnota tlaku u zdravého dospělého jedince 120/80 mmHg, kde hodnota 120 poukazuje na hodnotu systolického tlaku a hodnota 80 na hodnotu diastolického tlaku. Pokud hodnoty klesnou pod 100/60 mmHg lékaři diagnostikují

hypotenzi, při zvýšení krevního tlaku nadd hodnoty 140/90 mmHg se jedná o hypertenzi. Hodnoty krevního tlaku jsou nejčastěji ovlivněny stresem, fyzickou zátěží a věkem [1, 3, 4].



Obrázek 1 – Srdce. Převzato z [3].

1.2 Nejčastější parametry pro hodnocení funkce KVS v medicíně

Pro hodnocení mechanické aktivity jsou významné:

- hodnoty krevního tlaku
- hodnoty tepové frekvence a charakteristika pulzu
- echokardiografické parametry – zhodnocení anatomické struktury srdce, jeho pohybu, činnost chlopní, průtokové rychlosti, ejekční frakce
- Rychlost pulzové vlny – hodnocení mechanické činnosti srdce společně se stavem cévního systému (pružnosti cévní stěny).

Pro hodnocení elektrické aktivity:

- EKG – srdeční frekvence, typ srdečního rytmu (pravidelný, sinusový), při patologii – typ arytmie

[6, 7].

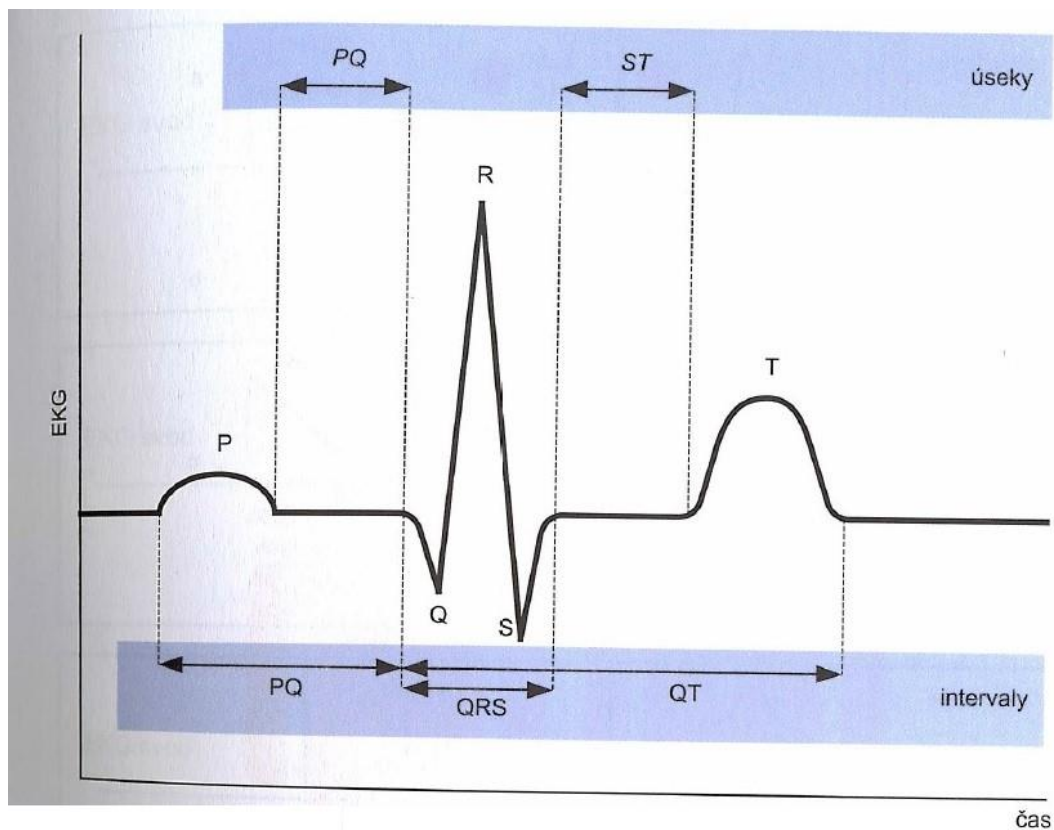
1.3 Elektrický srdeční vektor

Rozmezí, které vymezuje stav buňky v depolarizované a klidové formě se označuje jako dipól. Srdce takový dipól představuje. Vektor je fyzikální veličina, která má směr a velikost a ukazuje nám směr šíření depolarizační vlny po srdci. Suma veškerých elementárních vektorů v srdci v jednotlivých okamžicích dává za vznik okamžitému integrálnímu vektoru srdečnímu. Průběh srdečního vektoru u jedince se zdravým srdcem je stále stejný [5, 8].

Pokud by veškeré buňky byly jednoho druhu (klidově polarizovány nebo depolarizovány), výsledný elektrický vektor by se rovnal nule. Od fáze depolarizace k polarizaci, dochází ke čtyřem stavům, kterými vektor postupně prostupuje. Těmito stavy jsou: depolarizace síní, repolarizace síní, depolarizace komor a repolarizace komor [5, 8].

1.4 Elektrokardiografie – EKG

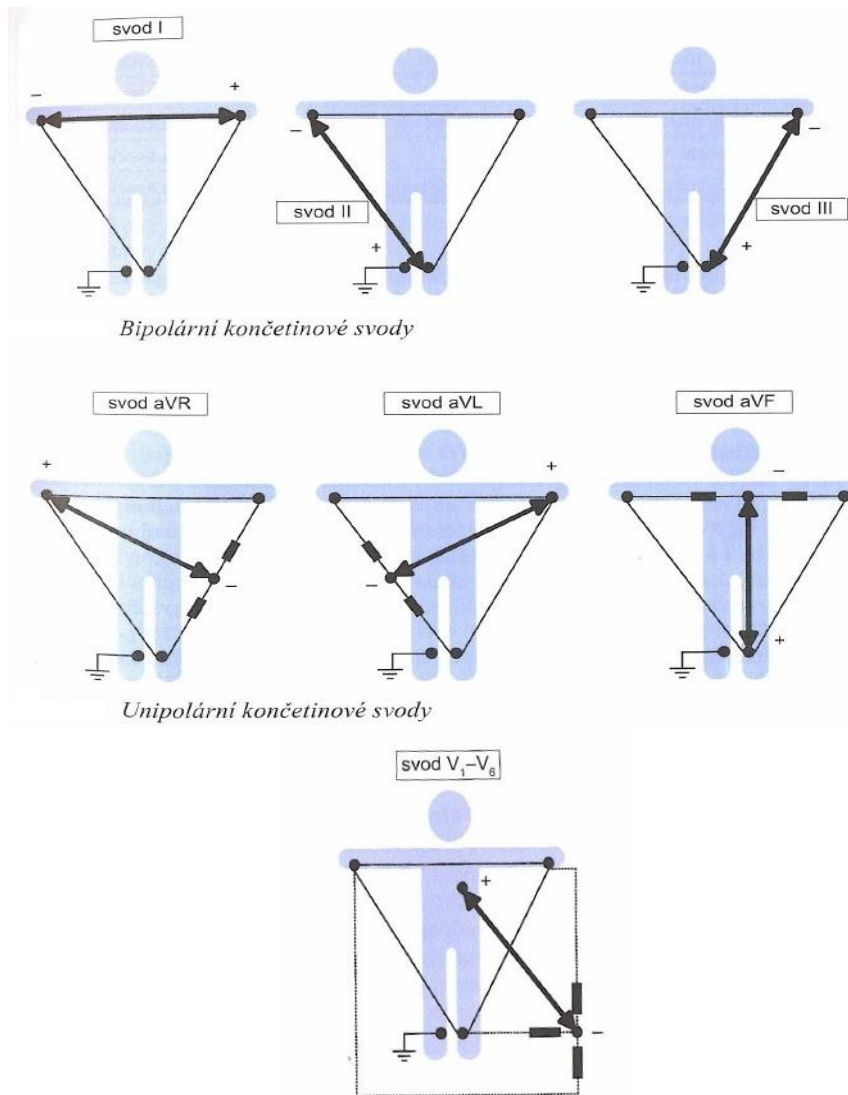
Elektrickou srdeční aktivitu je možné snímat z povrchu srdce (intrakardiálně) nebo z povrchu těla. Podkladem pro toto snímání je napětí tvořené elektrickým polem srdečním. Diagnostická metoda se označuje pojmem elektrokardiografie (EKG) [5].



Obrázek 2 - EKG křivka. Převzato z [9].

K zaznamenávání elektrického srdečního pole jsou použity elektrody. Způsob zapojení těchto elektrod pak vytváří tzv. svod. Pokud jsou zapojené elektrody přiloženy na pravé a levé předloktí horních končetin a levý bérce, zaznamenáváme tímto způsobem průmět elektrického vektoru srdečního ve frontální rovině. Pokud umístíme elektrody na hrudník zaznamenáváme průmět vektoru v horizontální rovině [6, 8].

Rozlišujeme základní dva typy svodů. Svod bipolární zobrazuje rozdíl elektrických potenciálů mezi dvěma aktivními elektrodami. Pokud spojíme aktivní a neaktivní elektrodu, označujeme svod jako unipolární. Při použití elektrod proti velkému odporu, výsledkem bude místo s nulovým potenciálem – Wilsonova svorka. Při propojení elektrody vůči této svorce popisujeme svod unipolární hrudní (V1, V2, V3, V4, V5, V6). Elektrody přikládávané na končetiny mohou vytvořit buď bipolární svod (I, II, III) nebo při zapojení aktivní elektrody s “neaktivní” elektrodou jako spojnicí dvou zbývajících končetinových elektrod dostáváme unipolární končetinové svody (aVR, aVL, aVF) neboli tzv. zvětšené „augmentované“ svody Goldbergovy [6, 8].



Obrázek 3 - Přehled svodů. Převzato z [9].

Výsledkem záznamu je EKG křivka. Záznam zachycuje průběh elektrických dějů na srdci [4, 5, 6, 8].

Křivka EKG začíná vlnou P, která znázorňuje depolarizaci síní, která prochází od počátku až ke konci myokardem síní [4, 5, 6, 8].

Následuje komplex QRS, který znázorňuje depolarizaci komor. QRS komplex je utvářen z několika kmitů, kde jednotlivé kmity nesou vlastní označení. První výchylka, která znamená depolarizaci přepážky mezi pravým a levým srdcem, se označuje jako kmit Q a ve většině svodů míří směrem dolů. Následuje výchylka představující směr depolarizace celé masy obou komor, která je většinou pozitivní a nese název kmit R.

Další výchylku (depolarizace baze levé komory), která směřuje směrem dolů a je v pořadí druhá v tomto směru, je označována jako kmit S.

Po QRS komplexu nastává repolarizace komor v podobě vlny T. Není možné zaznamenat repolarizaci síní, protože QRS komplex tento jev překryje [\[5, 6, 8\]](#).

2. TĚLESNÁ ZÁTĚŽ

Pod pojmem tělesná zátěž je možné si představit např. intenzivní sportovní výkon nebo těžkou fyzickou zátěž. Všechny tyto činnosti vyžadují důkladnou koordinaci funkce orgánových systémů. Hlavní součástí, kterou svalová práce potřebuje, je energetické krytí výkonu.

Dlouhodobá fyzická zátěž působí velkým vlivem na regulační homeostatické mechanismy organismu. Hlavními prvky, ke kterým dochází při fyzické zátěži jsou úbytek tělesných tekutin a snižování až vyčerpání energetických zásob. V momentě, kdy osoba dosáhne svého fyzického limitu, dochází ke snížení výkonu. Doba, která určuje, v jakém časovém horizontu nastane snížení, závisí na adaptaci jedince na stresové faktory [9, 10, 11, 12].

2.1 Zátěž jako léčebná terapie

Fyzickou zátěž lze využít i jako součást léčby pacientů v různých medicínských odvětvích. Rozhodujícím faktorem při určení druhu zátěže pro medicínské účely je výběr správného typu zátěže vhodného pro základní cíl: zlepšit fyzickou zdatnost pacienta po prodělané nemoci či operaci. Tyto informace patří k základní části pohybové léčby, která úzce souvisí s léčebnou rehabilitací. Kinezioterapii (léčebná tělesná výchova – LTV) lze považovat za jednu z klíčových metod, při které je možné dosáhnout příznivého účinku na stav pacientova organismu. Mezi další metody se řadí zdravotní tělesná výchova (ZTV) a v některých případech i tzv. ergoterapie. Ze zahraničních zdrojů lze vyčíst, že pohybová léčba je spojována s dalšími pohybovými aktivitami, jako jsou např. habituální, pracovní, rekreační a sportovní. Všechny tyto činnosti mohou příznivě působit nejen na pohybový systém a celkovou fyzickou výkonnost jedince ale i na jeho psychický stav a celkovou kvalitu života [11, 12, 13].

2.2 Výběr pohybových zátěží a fyziologická účinnost

Pro doporučení a hodnocení vlivu pohybové aktivity bývá klíčovým faktorem fyziologická účinnost. Při výběru činnosti, která se musí provést, je nezbytné se zaměřit

na hodnotu energetické náročnosti, účinek vůči jednotlivým orgánovým systémům a jejich funkcím. Tímto způsobem se dá dospět ke kladnému „neškodnému“ vlivu. Je důležité dbát na tyto informace nejen zvýšenou opatrností, ale i výběr zátěže, jelikož všechny jejich druhy zátěží se odvozují od základních pohybových schopností, mezi které se řadí síla, rychlost, vytrvalost, obratnost (koordinace) a flexibilita. Tělesná aktivita souvisí se všemi velmi úzce a nelze říci, že je možné najít aktivitu, ve které se uplatňuje jenom jedna z daných pohybových schopností (např. rychlost). Každá z pohybových činností je zastoupena v různé míře a rozdílných kombinacích [10, 11, 13].

2.3 Typy pohybových zátěží

Nejčastější přirozená aktivita člověka a mnoho dalších sportovních činností se označují pojmem „vytrvalostní zátěž“. Do této kategorie spadá např. chůze, klus, běhání, jízda na kole, plavání apod., které velice pozitivně dokáží ovlivnit zdraví člověka. Proto je jejich využití u nemocných či oslabených osob nezbytné i v klinické praxi. Za výhodu zmíněné zátěže lze považovat její nenáročnost, a díky vhodnému zapojení oxidačního energetického metabolismu i její pozitivní vliv na organismus.

Nejlepší základní - přirozenou aktivitou člověka je chůze. Její výhody spočívají nejen v nenáročnosti na provedení ale ve srovnání s během nedochází ke škodám na pohybovém systému.

Pokud by se intenzita při aktivitách uvedených v předchozím odstavci zvýšila, jednalo by se o „dynamickou zátěž“. Tento typ využívá střídání intenzity zátěže (u nemocných maximálně do „bezpečného limitu“) a rozšíří pohybové schopnosti člověka (jeho rychlost, sílu, obratnost) [11, 15, 16].

2.4 Riziko nedostatku zátěže

Pravidelná pohybová aktivita při správném provedení, důkladné indikaci a kontrole vede k celé řadě pozitivních vlivů, které se kladně projeví na zdraví člověka – a to jak zdravého i nemocného. Celkový stav pacienta se zlepší, což lze snadno pozorovat na jeho zvýšené fyzické zdatnosti a výkonnosti, odolnosti vůči stresu, vzroste jeho sebevědomí a celkové zlepšení kvality života. Vzhledem k tomu, že každý jsme jedinečný, se tato změna projeví u každého mírně jinak – v závislosti na věku, pohlaví,

zdravotním a funkčním stavu. Je také závislá na druhu, objemu, frekvenci a intenzitě pohybových aktivit [[11](#), [14](#), [17](#), [18](#), [19](#)].

Na druhou stranu existuje velké množství rizikových faktorů, které mohou vést k nedostatku pohybové aktivity (hypokinezi). K hlavním faktorům vzniku hypokineze patří:

- konstituční rizikové faktory (věk, pohlaví, etnický původ, vrozené vady, typ chování)
- vnitřní rizikové faktory (hypertenze, diabetes mellitus, poruchy lipidového metabolismu, obezita, hyperurikemie a další)
- zevní rizikové faktory (kouření, abúzus alkoholu a kofeinu, nesprávná výživa, nadměrný kalorický příjem, časté stresy, nepravidelná životospráva, nedostatek odpočinku)

Podpora vykonávání správné pohybové aktivity u osob s těmito rizikovými faktory je pro zdraví kardiovaskulárního systému, a nejen jeho, velmi důležité [[11](#), [17](#), [19](#)].

3. ERGOMETRIE

Ergometrie je jednou z vyšetřovacích metod v kardiologii a zaobírá se měřením práce. Její název je odvozen ze dvou řeckých slov: „ergon” = práce, „metron”= měřit. Test slouží jako hodnocení odezvy reakce a adaptace organismu na zátěž. Výsledky, které byly získány měřením, napomáhají ve vnitřním lékařství ke stanovení diagnózy, k rozhodnutí o léčbě nebo k zhodnocení účinnosti. Ve sportovní medicíně se využívá především ke klasifikaci výkonnosti měřené osoby [11, 12, 20].

Pro řadu komplexních testů jsou použity různé typy ergometrů – jako např.:

- Bicykl
- Běhátko
- Veslařský ergometr / trenažér
- Průtokový žebřík



Obrázek 4 - Bicyklový ergometr.

3.1 Obecný popis metody

Za nejpoužívanější zátěžovou vyšetřovací metodu v kardiologii je považována bicyklová ergometrie. Během vyšetření se nejčastěji zaznamenávají údaje o elektrické aktivitě srdce (pomocí záznamu EKG) a měří se krevní tlak (většinou ručně). Pomocí bicyklové ergometrie lze diagnostikovat problematiku související s nedokonalým prouděním krve v koronárních cévách nebo cévách dolních končetin ve smyslu jejich zúžení nebo neprůchodnosti. Při tomto výskytu dochází k projevům bolesti např. bolest a tlak v oblasti hrudi pomohou k diagnostice tzv. anginy pectoris (ischemická choroba srdce). Při výskytu srdečních arytmií při zátěži lékař posuzuje jejich závažnost. Pomocí zátěžového vyšetření testujeme i tělesnou výkonnost – jak zdravých osob, tak pacientů (v rámci rehabilitačních programů) [7, 12, 20].

3.2 Příprava

Správnému a přesnému měření předchází především příprava. Osoba, kterou se chystáme měřit, by dvanáct hodin před měřením neměla kouřit ani požit alkohol. Dvě hodiny před výkonem nejíst a nepít kávu. V ranních hodinách si změřit teplotu, která by neměla být zvýšená. Na samotné měření je nejlepší si vzít sportovní oděv a obuv. Před ergometrií se provede měření klidového EKG v ležící poloze osoby. Důležitým faktorem mohou být i léky, které by dotyčná osoba mohla užívat [7, 11, 12, 20].

3.3 Princip fungování přístroje

Pro správnost a přesnost měření je nutné měřenou osobu také správně připravit. Osoba, kterou se chystáme měřit, by dvanáct hodin před měřením neměla kouřit ani pít alkohol. Dvě hodiny před výkonem nejíst a nepít kávu. V ranních hodinách si změřit teplotu, která by neměla být zvýšená. Na samotné měření je nejlepší si vzít sportovní oděv a obuv. Před ergometrií se provede měření standardního klidového EKG (12 svodů) v ležící poloze osoby. Důležitým faktorem mohou být i léky, které by dotyčná osoba mohla užívat [7, 11, 20].

Získané hodnoty ve formě charakteristické EKG křivky, jsou předány odbornému lékaři, který z těchto výsledků může určit diagnózu nebo vyhodnotit míru správné činnosti srdce [7, 20].

4. PRAKTICKÁ ČÁST

Praktickou částí bakalářské práce je provedení měření základních parametrů kardiovaskulárního systému pomocí zátěžového testu (ergometrie), mezi sportovci a nesportovci, a následné zpracování dat ve formě skriptu v prostředí MATLAB a jejich vyhodnocení. Měření byla porovnána a vyhodnocena na základě hodnot správné činnosti kardiovaskulárního systému, a těch hodnot, které takovému stavu přispívají. To se především týká KV, antropometrických a dalších parametrů ovlivňující stav dotyčné osoby.

4.1 Prostředí MATLAB

Název MATLAB popisuje nástroj a zároveň interaktivní prostředí. Z jeho názvu, jehož původ pochází z anglického MATrix LABoratory, lze snadno odhadnout jeho účel. Lze říci, že se jedná o interpret sloužící především pro vědecké a technické výpočty.

Jeho využití spočívá v numerických výpočtech, tvorbě prototypů programů, vývoji grafického uživatelského rozhraní (Graphical User Interface, GUI), nebo k výuce matematiky a technických předmětů na vysokých školách. Základ práce v prostředí MATLAB spočívá v psaní požadovaných příkazů do příkazového řádku. Pro efektivnější práci se preferuje psaní příkazů do skriptů, které po spuštění mohou být uloženy v podobě mezivýpočtů v paměti (Workspace) pomocí zapsaných proměnných [21].

Pro provedení analýz jednotlivých skupin v této práci bylo použito prostředí MATLAB R2020a. Naměřené hodnoty byly zpracovány, filtrovány a v konečné fázi porovnány hodnoty W170, výpočet hodnoty BMI indexu osob a vyhodnocení stavu měřených osob [21].

4.2 Klidové měření základních KV parametrů: klidový záznam EKG

Pro zkoumání stavu měřené osoby byla vybrána metoda 12–ti svodového EKG. Před samotným vyšetřením osobě byly kladeny otázky k zjištění potřebných údajů: věk, výška, hmotnost a osobní anamnéza. Do anamnézy byly zahrnuty faktory, které by mohly mít vliv na celkový stav měřené osoby, popřípadě výskytu kardiovaskulárního onemocnění, například kouření, alkoholismus, obezita, psychické problémy a další. Měřená osoba byla následně tázána, popřípadě vyzvána k souhlasu o provedení praktického vyšetření v rámci ergometrie za přítomnosti zkušeného lékaře.

Toto potvrzení proběhlo ústně nebo písemně ve formě informovaného souhlasu [6, 7, 11, 22].

4.3 Připojení elektrod 12 – ti svodového EKG

Elektrokardiografický záznam, který se snímá z povrchu těla, je složen z dvanácti svodů, které jsou rozděleny do tří skupin. Podlé pokynů tabulky byly použity jednorázové elektrody pro monitoring srdeční frekvence a končetinové klešťové elektrody [6, 7, 9, 22].

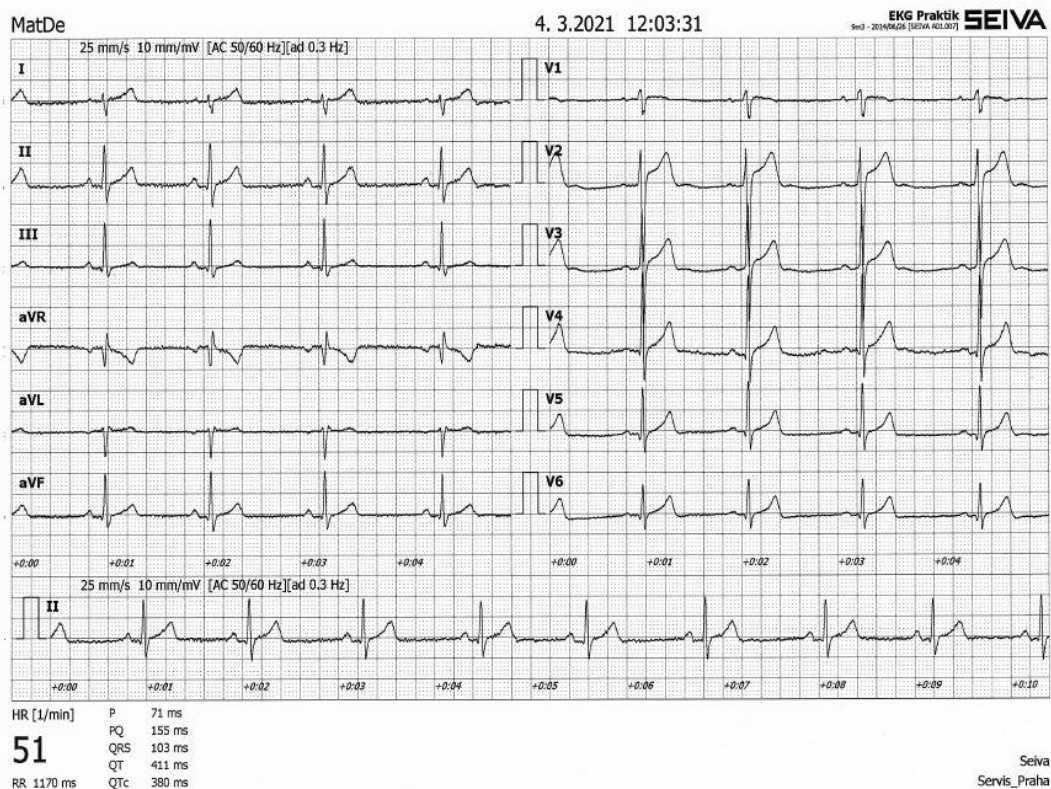


Obrázek 5 - Ukázka připojení hrudních elektrod na měřeném subjektu

Tabulka 1 - Připojení elektrod EKG. Převzato z [5, 7, 23].

	Svod	Zapojení svodu			
Bipolární končetinové svody Einthovenovy	I	+	Levá horní končetina	-	Pravá horní končetina
	II		Levá dolní končetina		Pravá horní končetina
	III		Levá dolní končetina		Levá horní končetina
Unipolární končetinové svody Goldbergovy	aVR	Zesílený svod na pravé horní končetině			
	aVL	Zesílený svod na levé horní končetině			
	aVF	Zesílený svod na levé dolní končetině			
Unipolární hrudní svody Wilsonovy	V1	IV. mezižebří, parasternálně vpravo			
	V2	IV. mezižebří, parasternálně vlevo			
	V3	Mezi V2 a V4			
	V4	V. mezižebří, levá medioklavikulární čára			
	V5	V. mezižebří, levá přední axiální čára			
	V6	V. mezižebří, levá střední axilární čára			

Pro zaznamenávání naměřených hodnot byl použit přístroj SEIVA EKG Praktik. Přístroj byl nastaven na hodnoty „cejchu“ 1mV, což tato hodnota je rovna 10 mm a rychlosti posunu papíru na 25 mm, což odpovídá 1 mm za 0,04 sekundy. Následně byl tento záznam vytisknut pro měřeného jedince, který si jej ponechal [5, 7, 23].



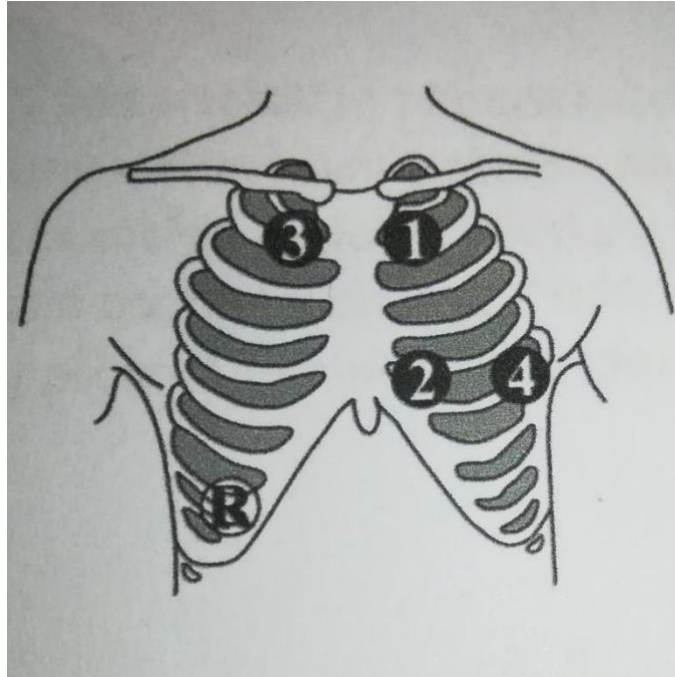
Obrázek 6 - Ukázka záznamu klidového EKG

4.4 Zátěžový test na bicyklovém ergometru

Před započítím bicyklové ergometrie bylo měřeno 12 – ti svodové EKG, pomocí šesti elektrod připevněných na hrudník a čtyř končetinových EKG elektrod s modifikovaným umístěním. Tato část měření je označována jako přípravná fáze, která trvá po dobu jedné minuty. Následně proběhlo měření krevního tlaku, výšky a váhy pro výpočet BMI. Následovně proběhlo seznámení měřené osoby s průběhem měření.

4.4.1 Umístění elektrod

Pro měření bicyklové ergometrie se využívají monitorovací svody, v našem případě dvoukanálové (2 – svodové) EKG. Na měřenou osobu se připevní pět EKG elektrod na jedno použití – čtyři elektrody na hrudník (1 – 4), zbylá elektroda se připojí na záda – viz Obrázek.7 [7].



Obrázek 7 - Umístění elektrod 2 – svodového EKG.

Převzato z [7].

4.4.2 Postup měření pro ergometrické pracoviště

Po připevnění elektrod na hrudník se pokračuje dle standardního protokolu zátěže, který má následujících pět fází, během nichž se kontinuálně zaznamenává EKG [7, 11, 12]

- 1. přípravná fáze – začne se zaznamenávat klidové EKG, tato fáze probíhá 1 minutu.
- 2. zahřívací fáze – nastavená hodnota zátěže na ergometru: 20 W, měřená osoba šlape po dobu 1 minuty a udržuje konstantní rychlost otáček (60/min).
- 3. vlastní fáze zátěže ergometr je naprogramován a automaticky zvedá každé 3 minuty zátěž o 1 W/kg, takže:
 - na ergometru je nastavena hodnota výkonu 1 W/kg (hmotnost měřené osoby * 1 W), měřená osoba šlape 3 minuty s konstantní rychlostí otáček.

- na ergometru se nastaví hodnota výkonu 2 W/kg (hmotnost měřené osoby * 1 W), měřená osoba šlape 3 minuty s konstantní rychlostí otáček.
- na ergometru se nastaví hodnota výkonu 3 W/kg (hmotnost měřené osoby * 3 W), měřená osoba šlape 3 minuty s konstantní rychlostí otáček.
- 4. fáze – zklidnění – nastavená hodnota zátěže na ergometru: 20 W, měřená osoba šlape po dobu 1 minuty a udržuje konstantní rychlost otáček
- 5. fáze – zotavení – měřená osoba sedí v klidu na ergometru (nebo mimo ergometr na židli – pro větší bezpečnost) po dobu 9 minut. Následně se ukončí záznam EKG a jeho výsledky se uloží do počítače pomocí programu PowerLab [7, 11, 12].

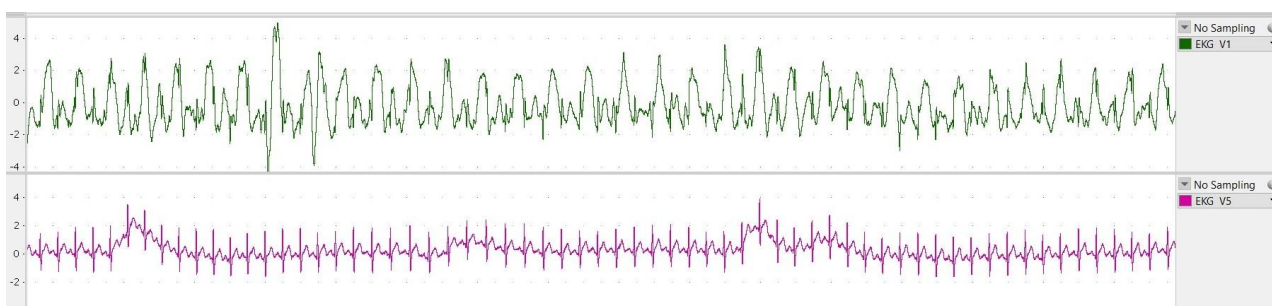
4.5 Systém pro snímání parametrů – LabChart systém

Měřená osoba absolvovala zátěžový test na bicyklovém ergometru značky Kettler podle výzkumného protokolu. Hodnoty, které byly zaznamenány pomocí měřicího zařízení Adinstrument PowerLab (Obrázek 8) se zaznamenaly v podobě typu souboru Labchar Data File [7, 11, 12, 24].

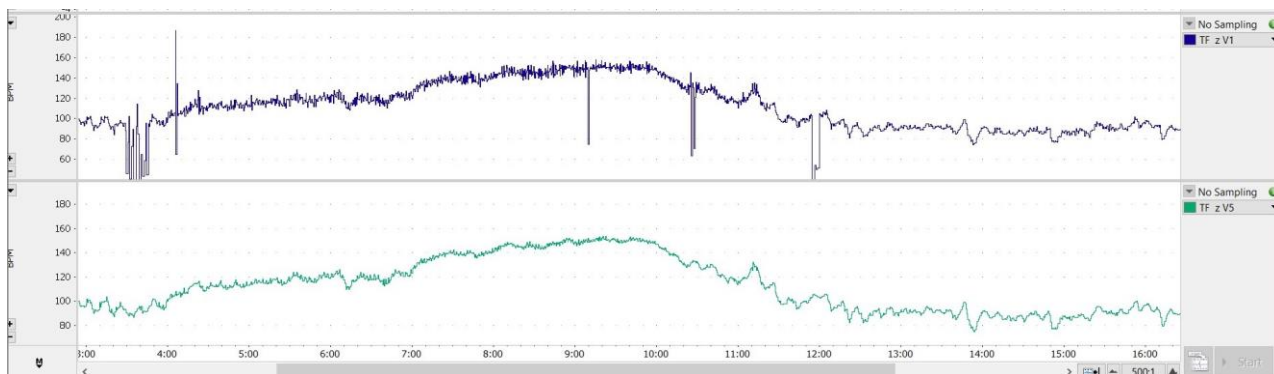


Obrázek 8 - Měřící zařízení PowerLab.

Tento software slouží pro analýzu fyziologický dat, kde v systému LabChart vzniká platforma, která slouží ke spolupráci záznamových zařízení. Tento proces je významný pro získávání biologických signálů z více zdrojů současně a v případě experimentu využívá pokročilé výpočty a grafy [24]. Vykreslení EKG a měření fyzické zátěže v podobě bicyklové ergometrie v prostředí LabChart (Obrázek 9 a Obrázek 10).



Obrázek 9 - Ukázka EKG svodu z prostředí LabChart.



Obrázek 10 - Ukázka změn tepové frekvence dopočítávané z EKG záznamu v průběhu celého měření v prostředí LabChart.

5. ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH PARAMETRŮ V PROSTŘEDÍ MATLAB

Naměřená data byla převedena do prostředí MATLAB a následně vykreslena. Obraz vykresloval hodnoty záznamu ze dvou svodů. Nalézt svod, který zaznamenával kvalitnější hodnoty, především hodnoty, které neobsahovaly šum nebo odlehlé hodnoty (dané nejčastěji pohybovými artefakty), bylo stěžejním krokem pro úspěšnou selekci dat. V praxi, po několikatém prozkoumání dat a rozdílnosti záznamu svodů, bylo zjištěno, že druhý svod měl ve většině případů kvalitnější záznam a proto, bylo nastaveno načítání dat z tohoto svodu. Tento poznatek lze vidět na načtených datech pod názvem „datastart“ a „dataend“ (Tabulka 2). Během zpracování dat došlo k několika poznatkům a rozdílnostem. Ačkoliv měření probíhala stejně (ve většině), zapisování dat se v několika případech lišilo. Zmíněná data „datastart“ a „dataend“ v běžných případech obsahovala dva sloupce o šesti řádcích, které představovaly začátky a konce jednotlivých úseků. Naskytly se i případy, kde tato data měla jeden nebo naopak tři sloupce. Pro automatizaci je nejvhodnější stejný typ zápisu, proto aby program pracoval co nejvíce automaticky, došlo v těchto případech k úpravě dat a přepisu do šestého řádku druhého sloupce. V případě, že došlo k výskytu anomálií v podobě prvního nebo třetího sloupce (viz Tabulka 3), byla vybrána vždy data, která odpovídala hodnotnějšímu zápisu a přepsána do šestého řádku druhého sloupce.

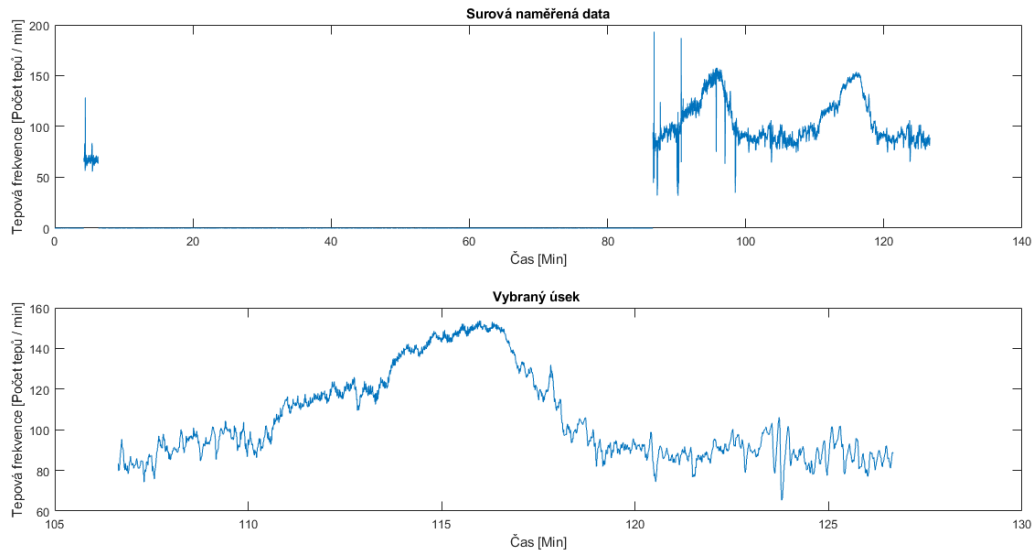
Tabulka 2 - Ukázka správného uložení dat

Datastart		Dataend	
1	378601	63100	1582400
63101	1582401	126200	2786200
126201	2786201	189300	390000
189301	3990001	252400	5193800
252401	5193801	315500	6397600
315501	6397601	378600	7601400

Tabulka 3 - Ukázka nesprávného uložení dat

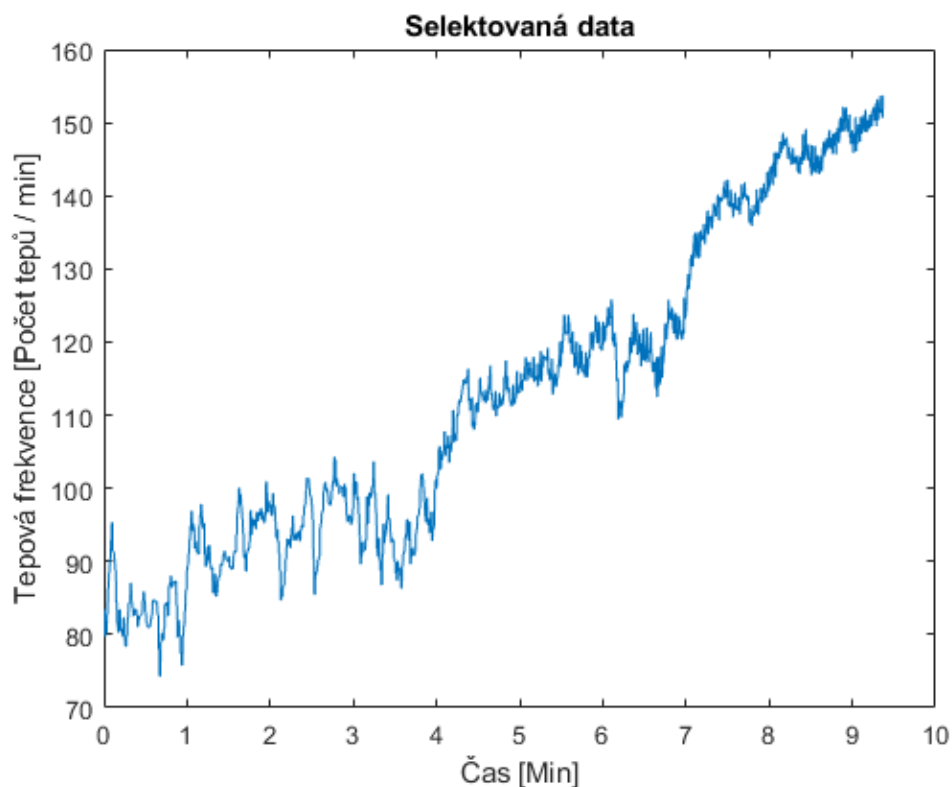
Datastart			Dataend		
1	362401	932101	60400	457350	1963150
60401	457351	1963151	120800	552300	2994200
120801	552301	2994201	181200	647250	4025250
181201	647251	4025251	241600	742200	5056300
241601	742201	5056301	302000	837150	6087350
302001	837151	6087351	362400	932100	7118400

V prvním kroku dochází k vykreslení původních “surových” dat. V tomto momentu lze rozlišit, který ze svodů má kvalitnější hodnoty, které obsahují méně šumu a méně artefaktů. Tento svod je následně vykreslen (viz. Obrázek 11).



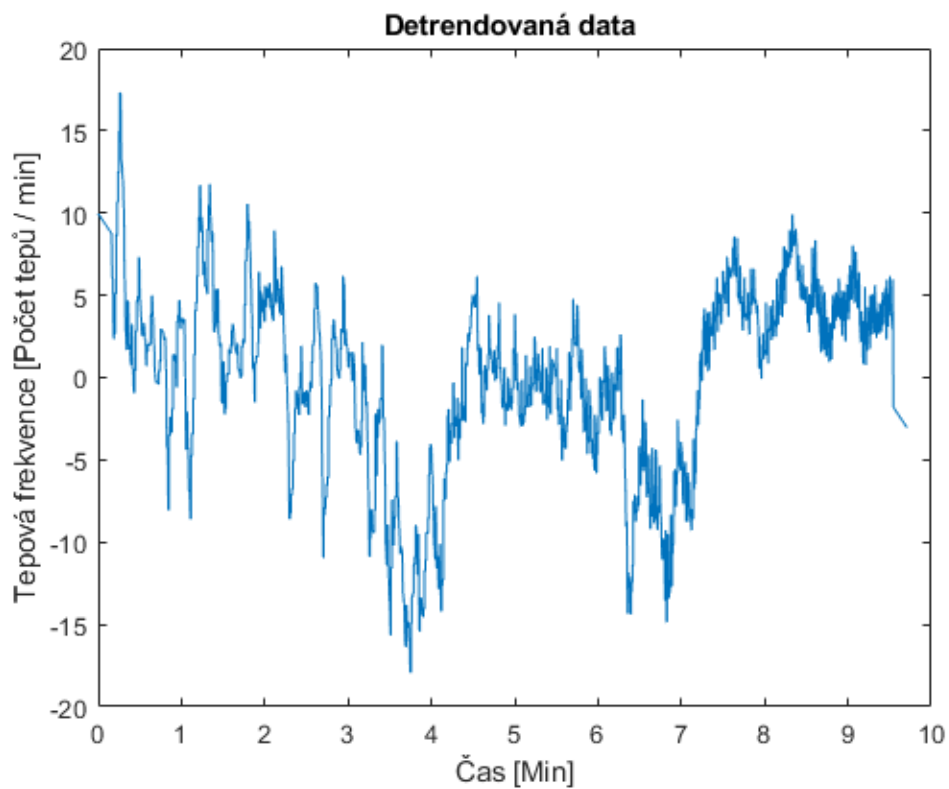
Obrázek 11 - Vykreslení celkových dat a vybraného úseku

Po ořezání přebytečných dat a výběru úseku celého měření, došlo ještě k mírnému zmenšení dat, a to pouze na úsek, kde měřená osoba vykonává fyzickou činnost se zátěží (Obrázek 12).

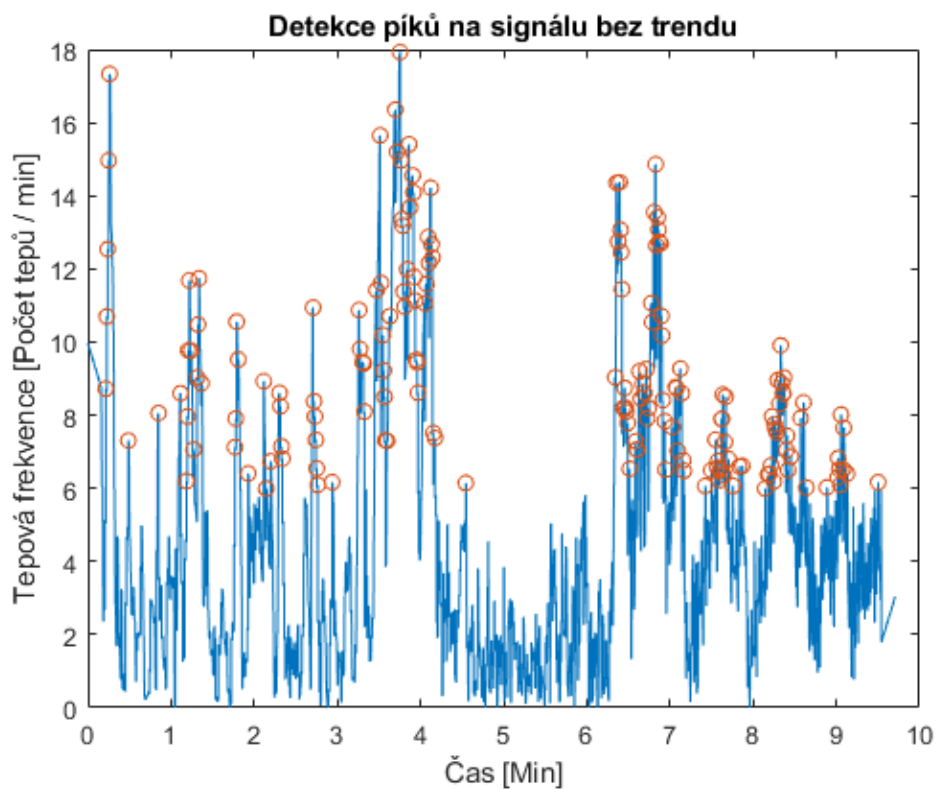


Obrázek 12 - Selektovaná data.

Dále dochází k prodloužení selektovaného záznamu před a za signálem. V prvním případě byly před a za signál přidány nuly. Tyto hodnoty byly nahrazeny za hodnoty průměru jedné šestiny ze začátku signálu. Důvodem byl výskyt dat kolem vyšších hodnot než nula, kde střední hodnota těchto dat nebyla rovna nule. Hodnoty na y – ose zobrazují tepovou frekvenci, která začínala ve většině případů okolo osmdesáti tepů za minutu, tudíž v dosazení nuly před signál by došlo k nesprávnému navázání dat. Z tohoto důvodu se signál stejným způsobem rozšiřuje na konci.

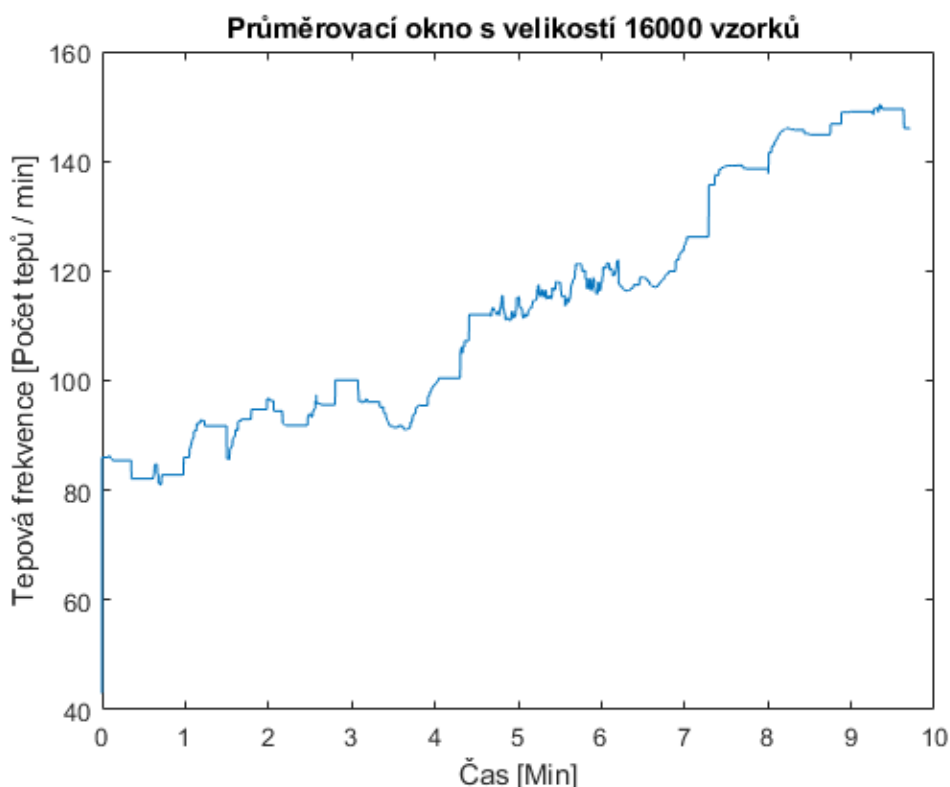


Obrázek 13 - Detrendovaná data.



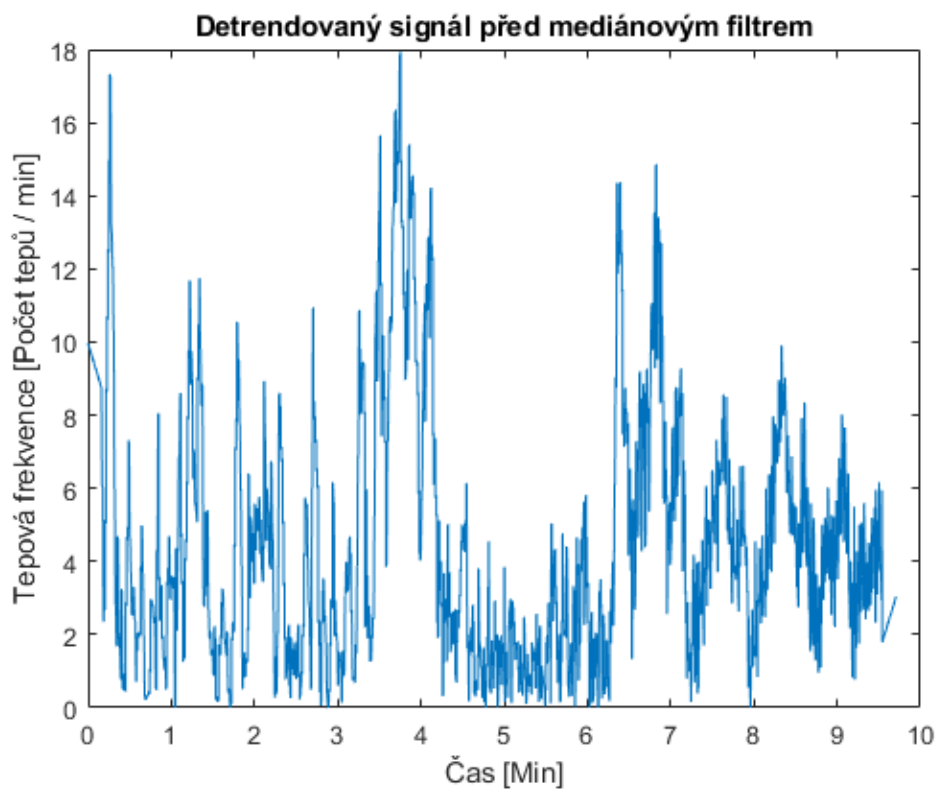
Obrázek 14 - Detekce píků na signálu bez trendu.

Po nalezení píků, které je potřeba odstranit, byla použita metoda klouzavého = posuvného okna. Posuvné okno se lišilo ve velikosti okna a v použití daného typu filtru. První typ, který byl použit byl průměrovací filtr. Velikost okna byla určena empiricky po několika zkouškách různých velikostí. Výsledná velikost byla zvolena na 16000 vzorků, 8000 vzorků před signálem a 8000 za signálem [25, 26].

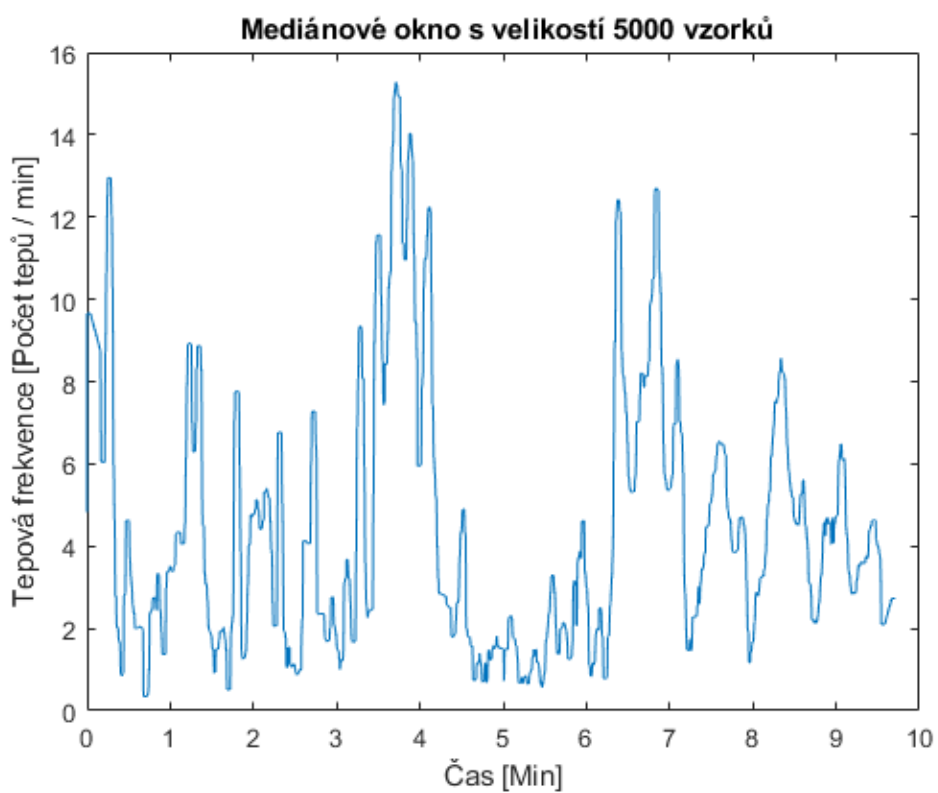


Obrázek 15 - Aplikace průměrovacího filtru s velikostí okna 16000 vzorků.

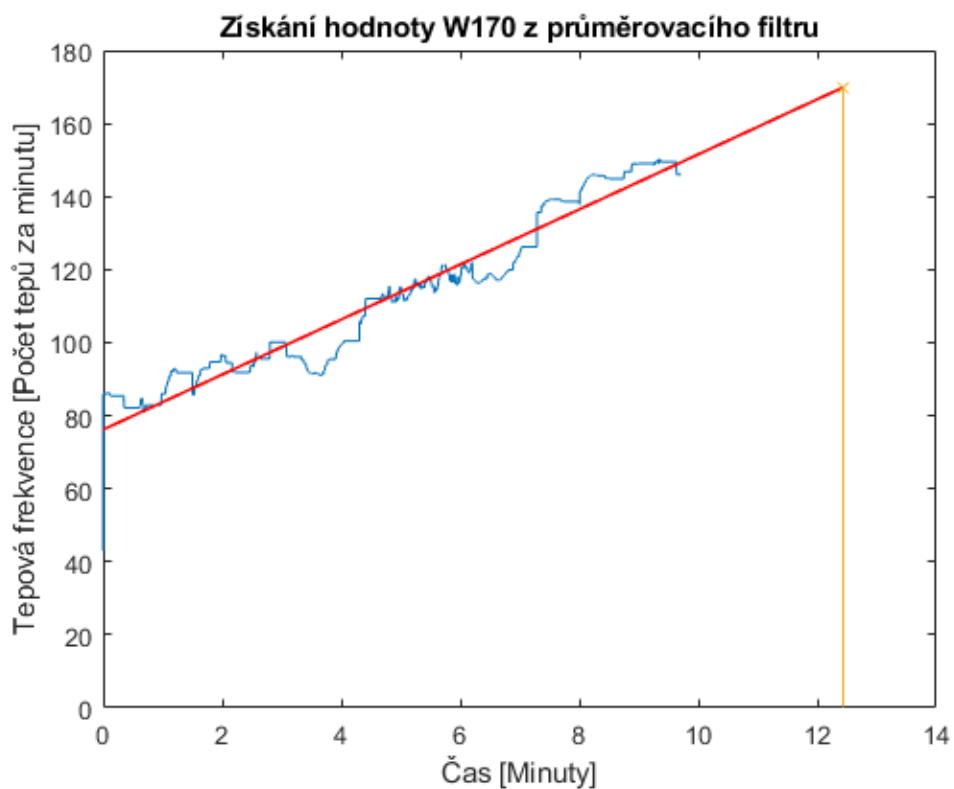
Jako další typ filtru je využíván mediánový s velikostí okna 5000. Pro lepší představu fungování mediánového filtru v praxi – viz rozdíly mezi Obrázek. 16 a Obrázek.17.



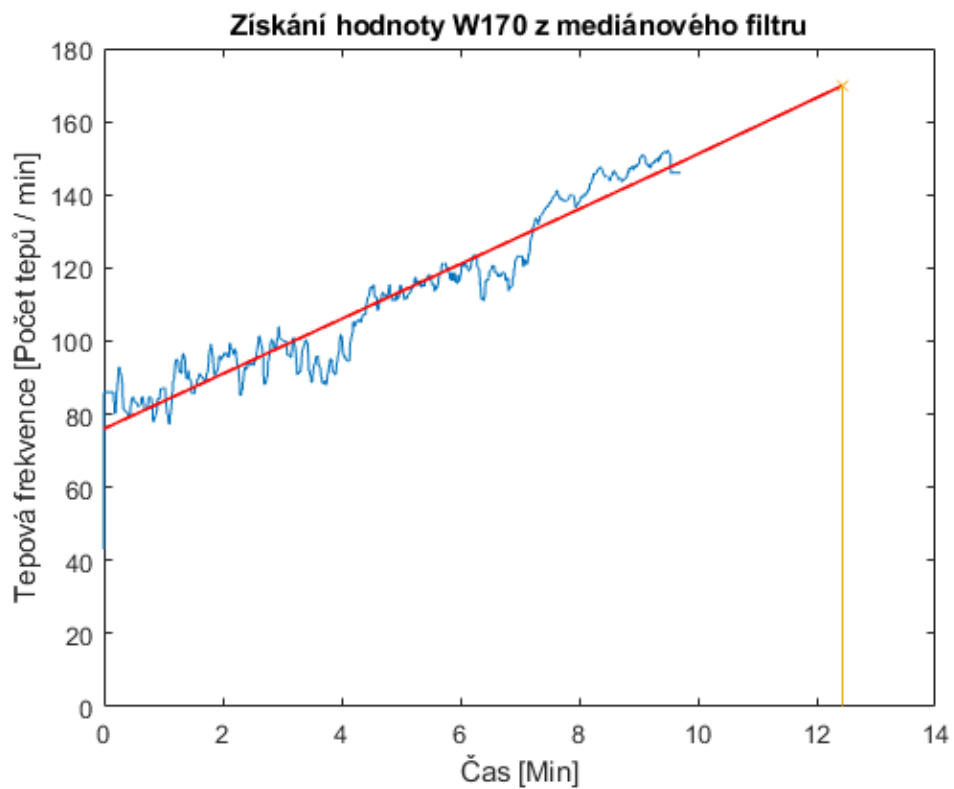
Obrázek 16 - Absolutní hodnota signálu bez trendu před mediánovým filtrem.



Obrázek 17 - Signál filtrovaný mediánovým filtrem s velikostí okna 5000 vzorků



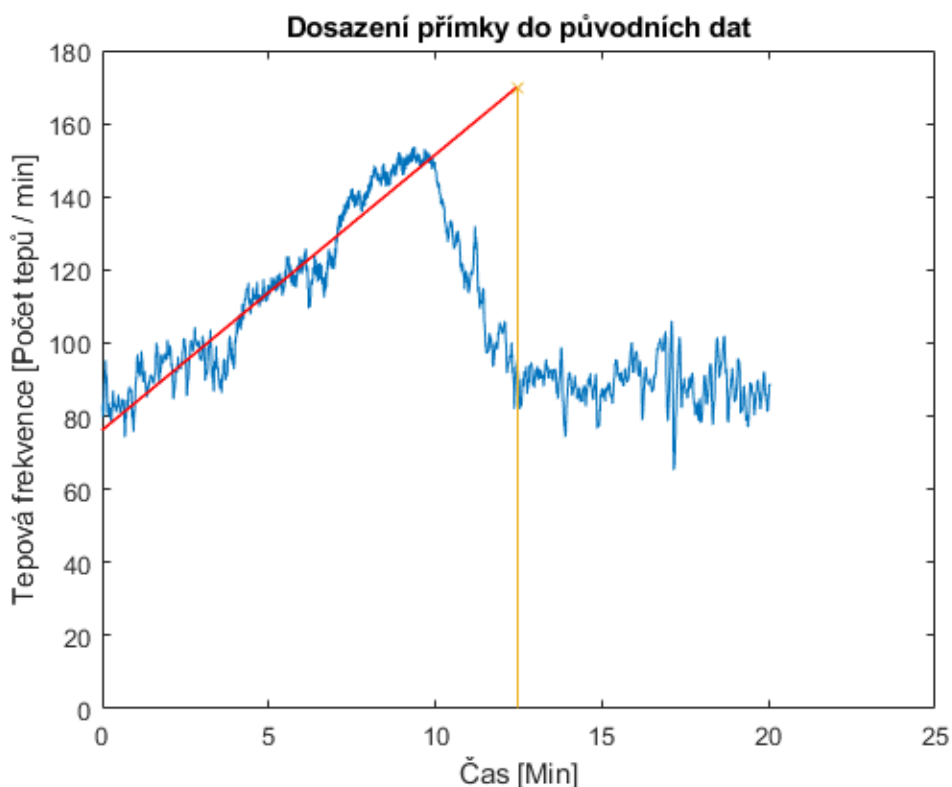
Obrázek 18 - Získání hodnoty W170 z průměrovacího filtru.



Obrázek 19 - Získání hodnoty W170 z mediánového filtru.

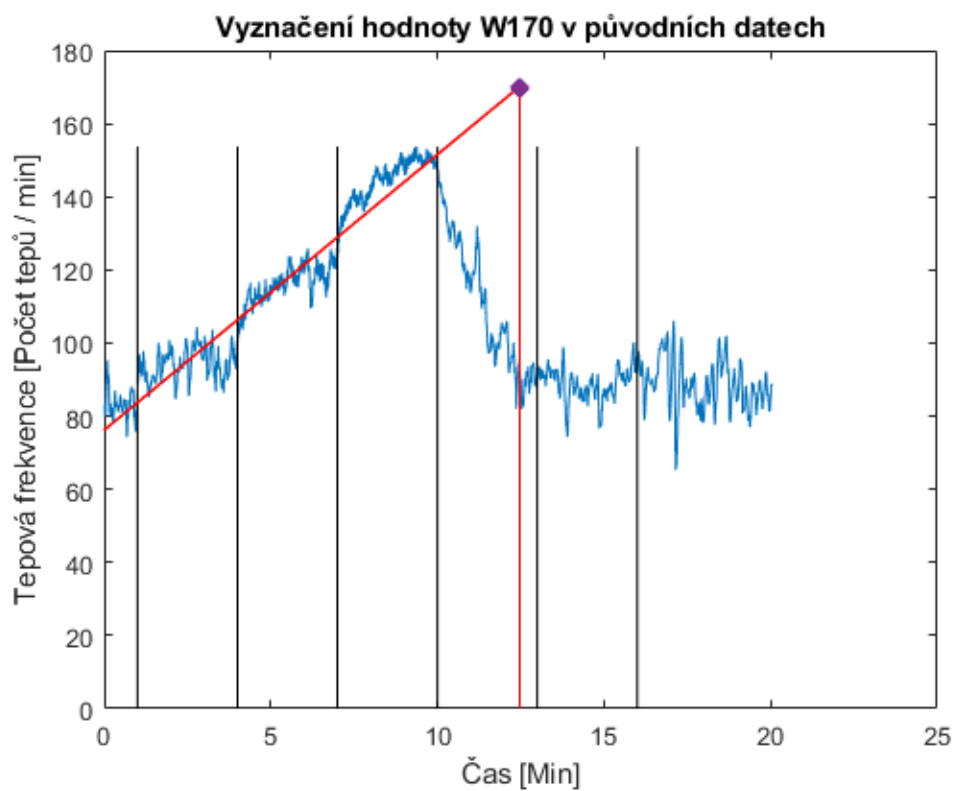
Každým typem filtru byla proložena přímka a následně zaznačena hodnota W170, ať už měřená osoba dosáhla této hodnoty nebo ne (viz Obrázek 18 a 19).

Po vygenerování přímky z průměrovacího filtru, byla tato přímka vynesena na původní naměřené hodnoty (Obrázek 20). Podle tohoto grafu měřená osoba věděla, ve kterém čase dosáhla/ by dosáhla hodnoty W170.



Obrázek 20 - Dosazení přímky do původních dat.

Pro určení přesné hodnoty indexu W170 (tzn. jaké zátěže by bylo dosaženo při sto sedmdesáti tepech za minutu) bylo nutné vyznačit hranice pro jednotlivé úseky zátěže i po již skončeném cvičení, které zasahují do časově následně probíhající již zotavovací/uklidňovací fáze (Obrázek 21). Pomocí tohoto rozdělení byl měřený subjekt zařazen do patřičného úseku a pomocí výpočtu byl vygenerován text, který upřesnil ve které minutě dosáhl hodnoty W170 a jaké hodnoty zátěže dosáhl/ by dosáhl v jednotce W/kg.



Obrázek 21 - Porovnání výsledné přímky s původními daty s vyznačenou hodnotou W170.

6. SOUHRN MĚŘENÍ

Analýza naměřených hodnot se rozděluje do dvou částí. V první části se naměřily antropometrické parametry měřené osoby. Mezi tyto parametry patřily věk, hmotnost a výška. Pomocí těchto hodnot se vypočítalo BMI a na základě dotazů na délku trvající sportovní aktivity a jejího charakteru došlo k zařazení daného jedince do příslušné skupiny (sportovec – více jak pět hodin týdně fyzické aktivity trvající po dobu více jak dva roky; nesportovec – méně jak pět hodin týdně, rekreační typ aktivity).

Druhá část slouží k zpracování přenesených dat z prostředí LabChart do programu MATLAB. V prostředí MATLAB dochází k ořezání hodnot, které sledujeme a odstranění hodnot odlehlých. Pomocí MATLABovské funkce vyjadřující lineární křivku (metoda lineární regrese), se dosáhlo hodnoty W170 (pokud již nebyla dosažena).

Měřené osoby byly rozděleny do dvou skupin – sportovci a nesportovci.

Výsledky měření byly vypsány a pomocí MATLABovského prostředí vykresleny v podobě grafů.

6.1 Hodnocení výsledků

Po absolvování zátěžového testu byly naměřené hodnoty načteny v prostředí MATLAB a po spuštění skriptu vyhodnoceny. Jednotlivé měřené osoby byly rozděleny do skupiny sportovců a nesportovců. Každá osoba z jednotlivé skupiny obdržela výslednou hodnotu W170, která byla automaticky zařazena do skupiny podle míry úspěšnosti zátěžového testu. Původní časová osa byla rozdělena do úseků (skupin). První skupina představuje zátěž 0 – 20 W (zahřívací fáze). Druhá skupina ohraničuje úsek zátěže 1 W/kg. Třetí skupina je soustředěna na hodnoty zátěže 2 W/kg. Čtvrtá skupina ohraničuje úsek zátěže 3 W/kg.

Podle měřených údajů, mužská populace ve věku od 18 – 27 let dosahuje hodnot od 2,0 – 3,4 W/kg a proto skupina tři a čtyři patří mezi nejčastěji dosažené. Naproti tomu většina ženské populace ve věku 18 – 27 let dosahuje hodnot 1,3 – 2,2 W/kg [7, 11, 12, 17].

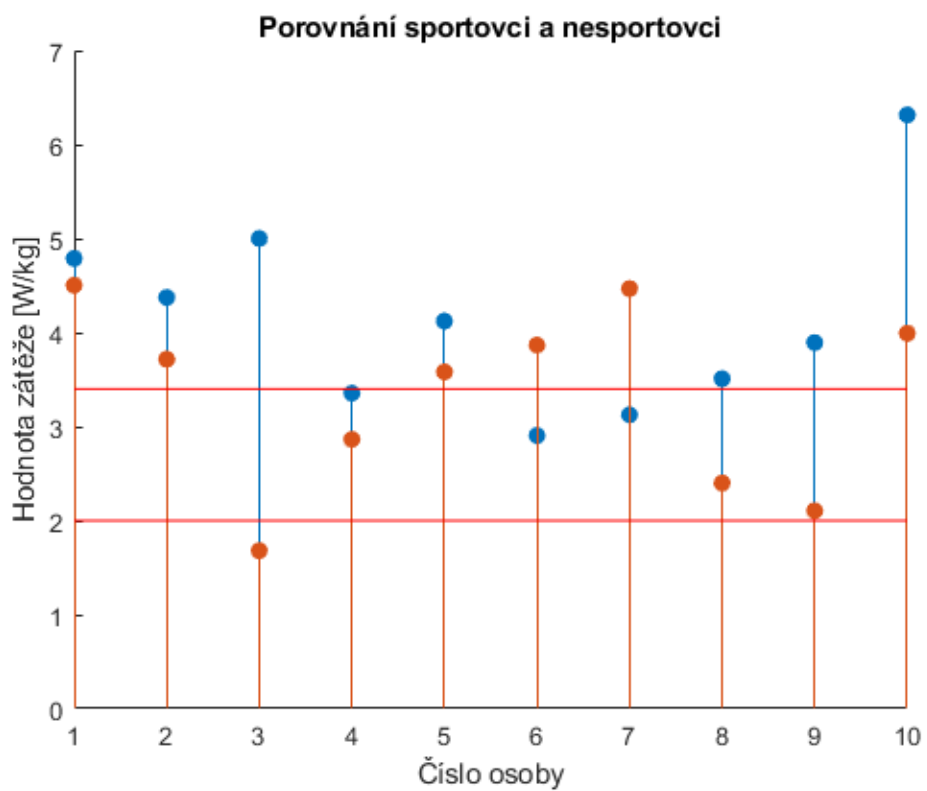
Výsledky měřených osob převyšovaly v některých případech tyto hranice, a proto byly doplněny ještě další dvě hranice. V pořadí pátý úsek rozděluje část od 4 W/kg až

5 W/kg. Tento úsek zahrnuje spíše osoby, které jsou sportovně založeny nebo mají dobrý fyzický výkon z důvodu časté fyzické činnosti (námahy). Poslední ohraničený úsek v pořadí (číslo šest) zabírá úsek hodnot od 5 W/kg až 6 W/kg. Hranice tohoto úseku je nad hranicí výkonu běžného člověka a dostat se do tohoto úseku je doprovázeno pravidelným tréninkem a správnou životosprávou člověka [7, 11, 12, 17]. Každé osobě, která se nechala/nechá změřit a následně jsou-li její hodnoty po měření výkonu při zátěži vloženy do tohoto skriptu v prostředí MATLAB, jsou poskytnuty informace, ve kterém čase a při jaké hodnotě zátěže měřená osoba dosáhla indexu W170. Informace je předána formou věty: „Zátěž v čase 12,4506 minuty byla 4,7887 W/kg. Měřená osoba dosáhla hodnoty W170 v čtvrté fázi zátěže (pátý úsek)“. Tímto způsobem jsou zpracovány údaje měřených osob a po jednotlivém měření a zapsání veškerých hodnot (např. při větším počtu osob) do jednotlivých proměnných „hodnoty“ a „n_hodnoty“, jsou vykresleny tři grafy [7, 11, 12, 17].

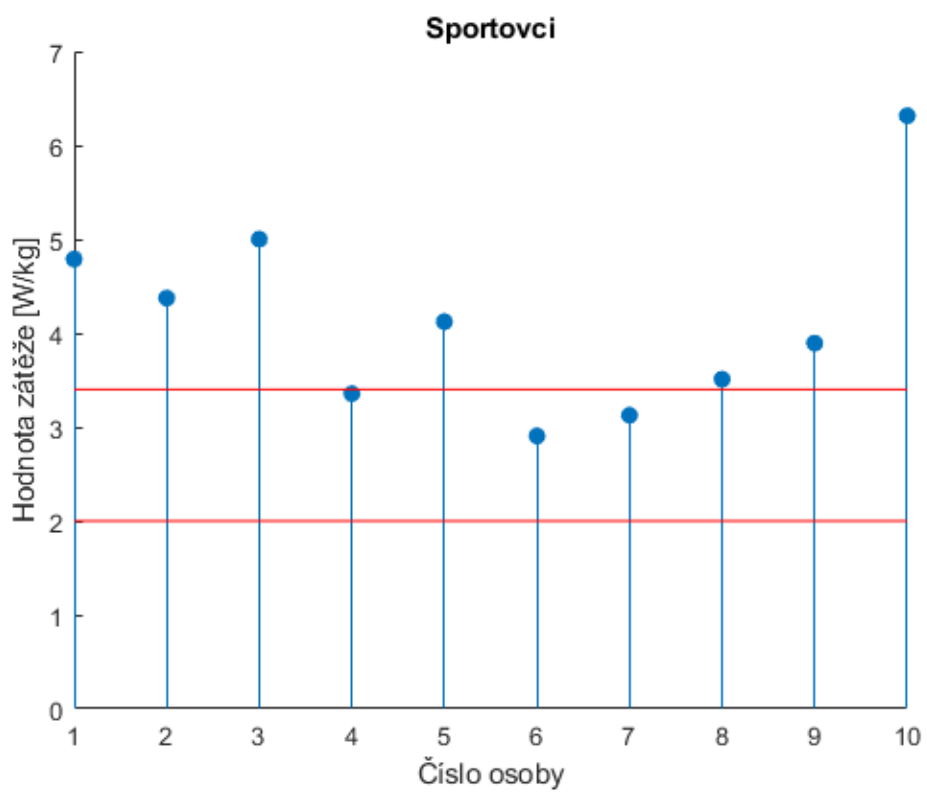
První graf zobrazuje rozdíl mezi první skupinou měřených osob (sportovci) a druhou skupinou (nesportovci) a jejich odlišnosti u jednotlivců. Zároveň jsou do tohoto grafu vyobrazeny dvě přímkové hranice rozmezí výkonnosti zdravého člověka. Následně dojde k vyobrazení samostatných grafů sportovců a nesportovců [7, 11, 12, 17].

V závěrečném výsledku dojde k zprůměrování jednotlivých skupin a vypsání textu v podobě “Průměrný jedinec ve skupině sportovců ve věku 18 – 27 let je nad mezí výkonnosti zdravého člověka. Průměrná hodnota sportovců je 4,1391 W/kg.“ a “Průměrný jedinec ve skupině nesportovců ve věku 18 – 27 let je v mezích výkonnosti zdravého člověka. Průměrná hodnota sportovců je 3,3177 W/kg “.

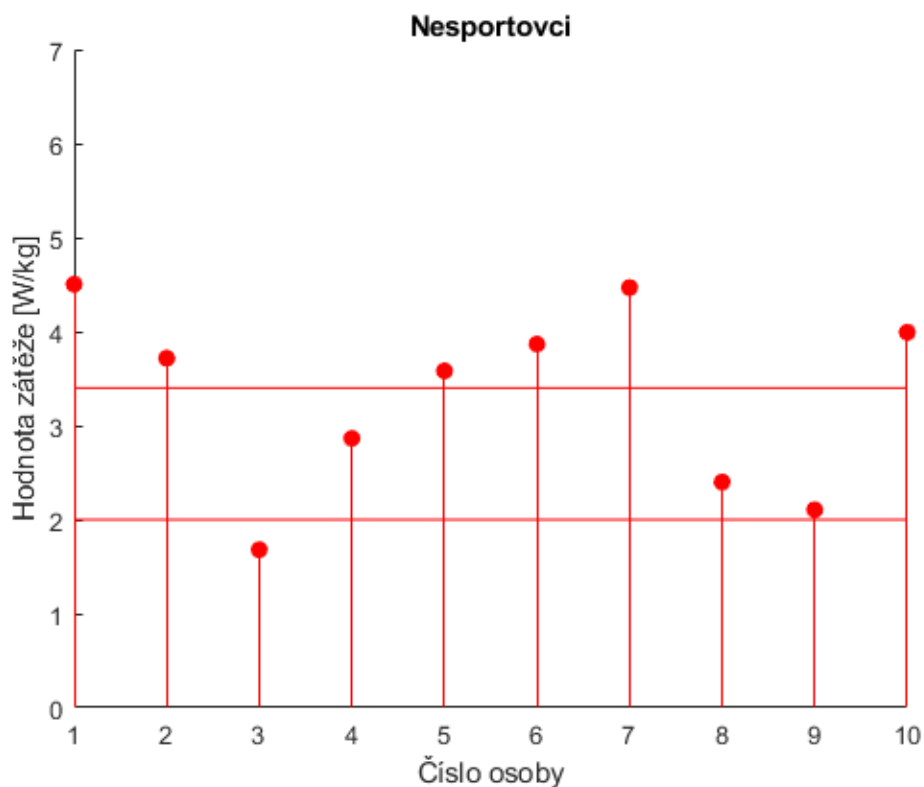
Posledním hodnoceným údajem je výpočet BMI. Po zadání hodnot hmotnost a výška, skript vypočítá hodnotu BMI a vypíše měřené osobě náležitý posudek podle fyziologických norem [7, 11, 12, 15].



Obrázek 22 - Porovnání sportovci a nespportovci.



Obrázek 23 - Skupina Sportovci.



Obrázek 24 - Skupina nesportovci.

6.2 Provedení výpočtu BMI a zařazení do skupiny

U každé měřené osoby byly naměřeny antropometrické parametry. Tyto parametry byly zapsány do prostředí MATLAB. Pomocí výpočtů se dosáhlo hodnoty BMI pro každou měřenou osobu. Hodnota BMI je důležitý ukazatel pro hodnocení stavu výživy, která se označuje jako indikátor podváhy, normální tělesné hmotnosti, nadváhy a obezity (viz Tabulka 4). Hodnotu BMI lze vypočítat jako podíl hmotnosti a druhé mocniny výšky jedince. Tento vzorec byl zapsán do prostředí MATLAB a měřené osoby byly zařazeny do jednotlivých skupin [7, 11, 12, 16].

```

%Výpočet BMI
%Zadejte hmotnost a výšku:
hmotnost=70; %v kilogramech
vyska=1.8; % v metrech
BMI=(hmotnost/(vyska^2));

if BMI<18.5
output=1;
elseif (24.9>BMI>18.5)
output=2;
elseif (24.9<BMI<29.9)
output=3;
elseif (30<BMI<34.9)
output=4;
elseif (39.9<BMI<35 )
output=5;
elseif(40<BMI)
output=6;
end

switch output
case 1
disp('Daný jedinec trpí podváhou')
case 2
disp ('Daný jedinec je v normě.')
case 3
disp ('Daný jedinec má mírnou nadváhu')
case 4
disp('Daný jedinec trpí obezitou 1.stupně')
case 5
disp('Daný jedinec trpí obezitou 2.stupně')
case 6
disp('Daný jedinec trpí obezitou 3.stupně')

end

```

Obrázek 25 - Ukázka kódu BMI.

6.3 Vyhodnocení BMI

Skupiny, do kterých se měřená osoba zařadila, byly navrženy podle následující tabulky (viz Tabulka 4). Hodnota BMI slouží jako statistický nástroj, klinický stav může být rozdílný v rámci konkrétních osob [11, 12, 18].

Tabulka 4 - BMI kategorie.

BMI	Kategorie
< 18,5	Podváha
18,5 – 24,9	Normální váha
25,0 – 29,9	Nadváha
30,0 – 34,9	Obezita 1. stupně
35,0 – 39,9	Obezita 2. stupně
> 40,0	Obezita 3. stupně

6.4 Porovnání sportovců a nespportovců

Měřené osoby byly rozděleny do 2 skupin – sportovci a nespportovci. Každá skupina obsahovala 10 měřených osob. Za ideální měřenou osobu je považován muž ve věku od 20 – 25 let [7].

Jedinec, který se řadil mezi sportovce, by měl splňovat podmínky jako:

- Správná životospráva
- Nekuřák
- Vykonávat sportovní činnost 3 – 4x týdně

Jedinec, který se řadil mezi nespportovce, by měl splňovat podmínky jako:

- Vykonávat pohybovou činnost alespoň 1x týdně
- Nekuřák

6.4.1 Vyhodnocení a diskuse výsledků

Nadcházející kapitola se zabývá statistickým vyhodnocením naměřených hodnot. Výsledky jsou hodnoceny a diskutovány zároveň s možným výskytem chyb.

6.4.2 Vyhodnocení

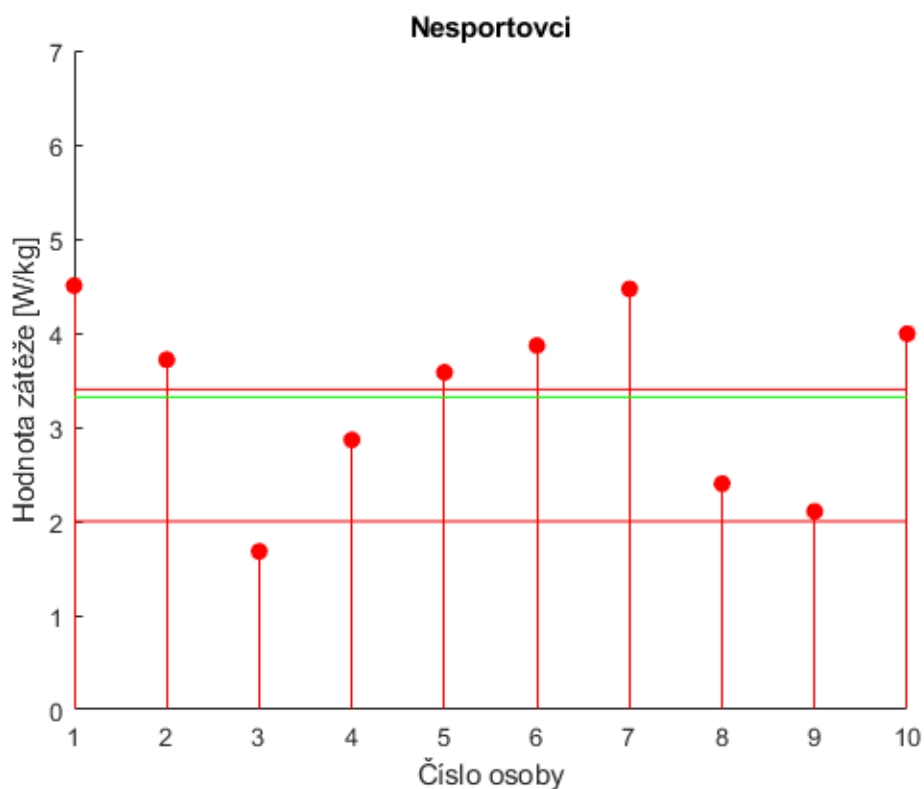
Tabulka č.5 shrnuje naměřená data jednotlivých měřených subjektů a konečný výsledný průměr hodnot z každé skupiny. Hlavními hodnotami jsou hodnoty W170 v jednotlivých úsecích zátěže. Hodnoty času plní význam sekundární reference, v jakém časovém úseku měřený subjekt dosáhl zátěže nebo v jakém časovém úseku by byl dosažen.

Tabulka 5 - Hodnoty měřených skupin

Osoba číslo:	Sportovci [W/kg]	Čas [min]	Nesportovci	Čas[min]
1.	4,7887	12,4506	4,503	11,7078
2.	4,3737	11,3715	3,7166	9,2915
3.	5,0015	13,3373	1,6798	3,3596
4.	3,3557	8,3893	2,8643	7,1608
5.	4,1225	10,7185	3,5822	8,9540
6.	2,9057	7,2642	3,8671	9,6679
7.	3,1253	7,8134	4,4673	11,6151
8.	3,5093	8,7734	2,3997	5,5992
9.	3,8937	9,7343	2,1048	4,9112
10.	6,3148	17,1402	3,9926	9,9816
Průměr:	4,1391	10,6993	3,3177	8,2249

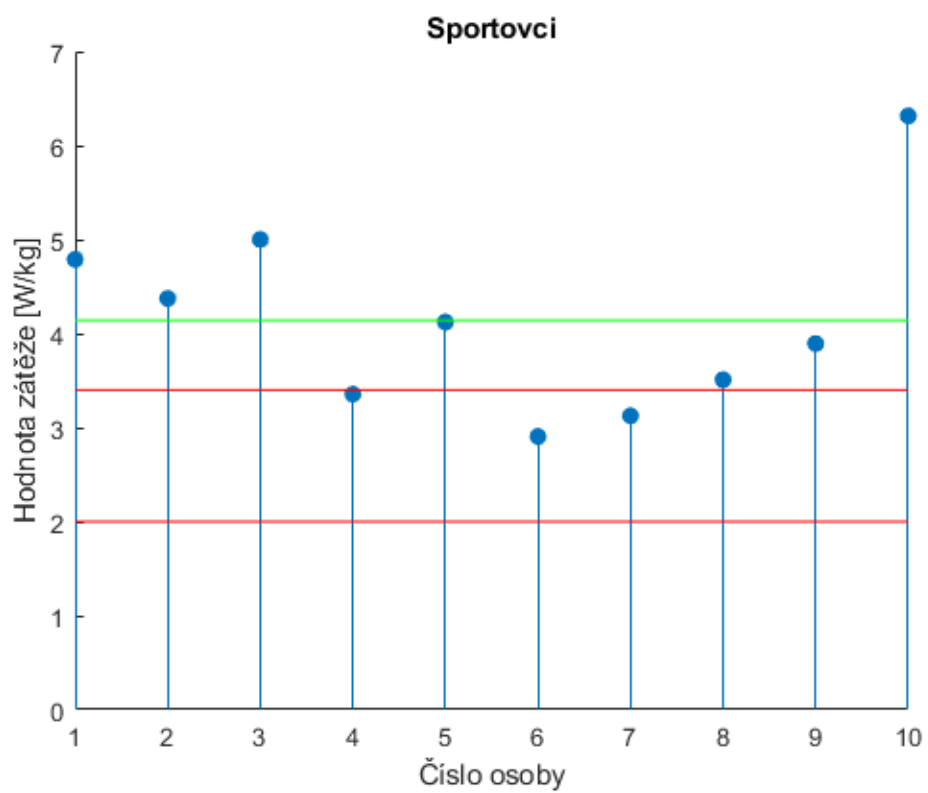
Měřené osoby byly porovnávány s tabulkovými hodnotami, které tvoří červené hranice (Obrázek 22). Tyto hranice definují mez hodnot od 2 – 3,4 W/kg a představují rozmezí výkonnosti zdravého člověka v české populaci [7, 11, 18].

Hodnoty nesportovců dosahují velice dobrých výsledků, kde šest z deseti objektů je nad hranicemi “normočlověka” v české populaci (Obrázek 26). V ohraničené mezi 2,0 – 3,4 W/Kg se nacházejí 3 subjekty – tyto osoby jsou v kondici srovnatelné s českou populací. Pouze jeden subjekt (číslo tři) dosahuje nižších hodnot než je obvyklé pro naši populaci. Průměr skupiny nesportovců při hodnocení indexu W170 je 3,3177 W/kg a spadá do ohraničené meze pro hodnoty zdravého člověka. Lze konstatovat, že průměrný člověk ze skupiny nesportovců spadá právě do tohoto populačního rozmezí.



Obrázek 26 - Skupina nesportovci.

Skupina sportovců v sedmi z deseti případů přesáhla hranici pro zdravého “normočlověka”. Zbylé tři osoby byly v jejím rozmezí, žádná z osob nebyla pod hranicí populace. Nadprůměrnou hodnotu tvoří poslední subjekt ze skupiny sportovců, kde by osoba dosáhla W170 při 6,3148 W/kg. Pro přehlednost byla do grafů (viz Obrázek. 26 a 27) přidána zelená hranice představující průměr veškerých hodnot sportovců/nesportovců. Lze konstatovat, že sportovci splnili očekávání a jejich průměr byl lepší než hranice zdravého “normočlověka” pro českou populaci (viz Obrázek 27).



Obrázek 27 - Skupina sportovci.

7. DISKUSE

Část původního zadání bakalářské práce byla zaměřena na měření kardiovaskulárních parametrů u skupiny sportovců a nespportovců. Mezi sportovně založené jedince byly autorem práce po dohodě s vedoucím domluveny osoby, které vykonávaly stejný druh pohybu (sportu), byli stejnou dobu pod stejnou fyzickou zátěží se stejnou frekvencí tréninků. Tímto způsobem měli být vybráni i nespportovci, kteří vykonávali fyzickou zátěž jen formou rekreační. Z důvodů pandemické situace a uzavření vstupu na pracoviště vedoucího práce tato měření v celém rozsahu nebyla možná. Pokud ano, tak pouze u osob, které studovali na Masarykově univerzitě nebo na VUT FEKT s oborem Biomedicínská technika a bioinformatika. Data, která byla použita na vytvoření skriptu jsou nová data za období březen – duben 2021, které bylo možné naměřit (všichni sportovci a čtyři záznamy nespportovců) a chybějící data (do počtu dvaceti osob) byla použita z databáze LabChartu předmětu Fyziologie cvičení z předešlých let. Limitace dat je dána tím, že chybí přesnější údaje o měřené osobě a dodržení protokolu měření nemuselo být stoprocentní – např. nemusel být brán tak přísný dohled na dodržení stabilních otáček při zátěži na přístroji Kettler. Z těchto důvodů mohlo dojít k zavedení chyby ve výsledcích hodnocení a rozdílnosti výsledků mezi sportovci a nespportovci. [\[7, 10, 18\]](#).

Problematika odlišnosti dat přímo měřených v tomto roce a dat použitých z databáze je již popsána v páté kapitole, kdy při načítání dat je nutné v některých případech načíst ještě další údaje – datastart a dataend. Z důvodu rozdílnosti měření u těchto dat došlo i k odlišnému zápisu. Data by měla v optimálním případě v těchto údajích obsahovat dva sloupce. Každý sloupec po šesti řádcích reprezentuje jeden svod měření. Pokud byla použita data z předešlých let, obsahovala více sloupců. Proto tato data byla přepsána do druhého sloupce šestého řádku, kde v optimálním případě se nachází druhý svod a úsek potřebný pro měření s menším šumem. Aby tento skript působil co nejoptimálněji a nejvíce automaticky, byly tyto hodnoty přepsány a pro budoucí měření ideálně nastaven skript. Hodnoty pro vyzkoušení funkčnosti skriptu je možné stáhnout z odkazu v textovém souboru readme.txt nebo jsou k dispozici u paní MUDr. Zuzany Novákové, Ph.D. na Fyziologickém ústavu LF MU.

Ve vyhodnocení ve skupině sportovců jsme našli tři osoby, které zůstali v rozmezí pro zdravého jedince v české populaci – ačkoliv jsou sportovci a očekávali jsme u nich nadprůměrné výsledky. Toto naše pozorování dokazuje fakt, že v rámci biologických dat existuje určitá interindividuální variabilita, každý je v podstatě jedinečný a naše těla na stejnou zátěž nereagují stejně. Nicméně se nabízí i určitá spekulace daná motivací a koncentrací jedince na daný fyzický výkon i při dodržení stejných podmínek.

Také ve skupině nespportovců se objevila osoba s podprůměrnou fyzickou zdatností. Jednalo se o data osob z databáze, u kterých chyběly přesnější informace. Kromě interindividuální variability v datech můžeme také spekulovat, že se jednalo o ženu či nedodržení domluveného postupu měření.

Pro zajištění co největší přesnosti měřených dat a odstranění systémových chyb byla všechna data snímána pomocí jednorázových elektrod a kabelů připojených do přístroje PowerLab [7, 24].

8. ZÁVĚR

Hlavní cíl bakalářské práce se zaměřením na základní kardiovaskulárních parametry při fyzické zátěži byl splněn. Byl vytvořen skript v prostředí MATLAB, který umožňuje zpracování měřených dat a jejich následné vyhodnocení. Tento skript bude použit jako pomůcka pro studenty medicíny či bakalářských studií při vyhodnocování hodnoty W170 na ergometrickém pracovišti, vyhodnocení fyzického stavu měřené osoby a při výpočtu BMI.

Hlavními výhodami této práce bylo získání parametrů neinvazivními metodami, které byly jednoduché a dobře proveditelné. Každé měření se provádělo podle předem daného protokolu, který při správném postupu zaručuje správnost naměřených výsledků. Jsme si vědomi určitých limitací – existuje řada faktorů, které mohou ovlivnit správnost měření, ať už z pohledu měřící či měřené osoby, nebo přístroje.

Práce obsahuje i výsledky měření s porovnáním měřených osob ve vztahu k jejich každodenní fyzické aktivitě – sportovci versus nesportovci. Výsledky z pohledu zdravotního a výkonnostního odpovídají fyziologickým předpokladům a faktu, že se jedná o biologická data. Souhrnně práce hodnotí i výživový stav jedinců pomocí hodnoty BMI, klidové EKG u části osob bylo zaznamenáno pomocí přístroje SEIVA EKG. Systém PowerLab a prostředí LabChart pomohly při další analýze naměřených dat. Hodnocení fyzického výkonu osob bylo zpracováno v prostředí MATLAB pomocí indexu W170 společně s grafickým zpracováním.

9. LITERATURA

- [1] KOČÁREK, Eduard. *Biologie člověka*. Praha: Scientia, 2010. *Biologie pro gymnázia*. ISBN 978-80-86960-48-7.
- [2] NAVRÁTIL, Leoš a Jozef ROSINA. *Medicínská biofyzika*. Praha: Grada, 2005. ISBN 8024711524.
- [3] KOČÁREK, Eduard. *Biologie člověka*. Praha: Scientia, 2010. *Biologie pro gymnázia*. ISBN 978-808-6960-470.
- [4] LANGMEIER, Miloš. *Základy lékařské fyziologie*. Praha: Grada, 2009. ISBN 9788024725260
- [5] THALER, Malcolm S. *EKG a jeho klinické využití*. Praha: Grada, 2013. ISBN 978-802-4741-932.
- [6] HAMPTON, John R. *EKG stručně, jasně, přehledně*. Praha: Grada, 2013. ISBN 9788024742465.
- [7] NOVÁKOVÁ, Zuzana a Robert ROMAN. *Praktická cvičení z fyziologie a neurověd*. Brno: Masarykova univerzita, 2013. ISBN 978-80-210-6372-3.
- [8] WILHELM, Zdeněk. *Stručný přehled fyziologie člověka pro bakalářské studijní programy*. In *Stručný přehled fyziologie člověka pro bakalářské studijní programy*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita v Brně, 2005. 115 s. ISBN 80-210-2837-8
- [9] KITTNAR, Otomar. *Lékařská fyziologie*. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-802-4730-684.
- [10] (PLACHETA, Zdeněk. *Zátěžová diagnostika v ambulantní a klinické praxi*. Praha: Grada, 1999. ISBN 80-7169-271-9.
- [11] DOBŠÁK, Petr. *Klinická fyziologie tělesné zátěže: vybrané kapitoly pro bakalářské studium fyzioterapie*. Brno: Masarykova univerzita, 2009. ISBN 9788021049659.
- [12] HAVLÍČKOVÁ, Ladislava. *Fyziologie tělesné zátěže I: obecná část. 2.*, přeprac. vyd. Praha: Karolinum, 1999. 203 s.

- [13] DVOŘÁK, Radmil. *Základy kinezioterapie*. 2. přeprac. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého, 2003. ISBN 8024406098.
- [14] CHALOUPKA, V., Jarmila SIEGELOVÁ, Lenka ŠPINAROVÁ, H. SKALICKÁ, I. KAREL a J. LEISSER. Doporučení pro rehabilitaci u nemocných s kardiovaskulárním onemocněním. 1. vyd. Brno: Česká kardiologická společnost, Medica Healthworld a.s., 2006. 50 s. Brno 2006. ISBN 80-239-8480-2.
- [15] ÅSTRAND, Per-Olof. *Textbook of work physiology: physiological bases of exercise*. 4th ed. Champaign, IL: Human Kinetics, c2003. ISBN 9780736001403.
- [16] MÁČEK, Miloš a Jiří RADVANSKÝ. *Fyziologie a klinické aspekty pohybové aktivity*. Praha: Galén, c2011. ISBN 978-80-7262-695-3.
- [17] MCARDLE, William D., Victor L. KATCH a Frank I. KATCH. *Exercise physiology: nutrition, energy and human performance*. 8th edition. Philadelphia: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins, c2015. ISBN 1451193831.
- [18] NEUMANN, Georg, Arndt PFÜTZNER a Kuno HOTTENROTT. *Trénink pod kontrolou: metody, kontrola a vyhodnocení vytrvalostního tréninku*. Praha: Grada, 2005. ISBN 9788024709475.
- [19] HOŠKOVÁ, Blanka, Simona MAJOROVÁ a Pavlína NOVÁKOVÁ. *Masáž a regenerace ve sportu*. 2. vydání. Praha: Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum, 2015. ISBN 9788024630991.
- [20] Ergometrie. *Ulékaře.cz* [online]. 2008, 14.9.2008 [cit. 2021-01-06]. Dostupné z: <https://www.ulekare.cz/clanek/ergometrie-1268>
- [21] DUŠEK, František. Úvod do používání MATLAB. Pardubice: Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická, Katedra řízení procesů a výpočetní techniky, 1997.
- [22] BULÍKOVÁ, Táňa. *EKG pro záchranáře nekardiology*. Přeložil Ludmila MÍČOVÁ. Praha: Grada Publishing, 2015. ISBN 9788024753072.
- [23] TROJAN, Stanislav. *Lékařská fyziologie*. Vyd. 4., přeprac. a dopl. Praha: Grada, 2003. ISBN 8024705125

- [24] Adinstruments: Labchart. *Adinstruments* [online]. [cit. 2021-5-27]. Dostupné z: <https://www.adinstruments.com/products/labchart>
- [25] JAN, Jiří. *Číslicová filtrace, analýza a restaurace signálů*. 2. upr. a rozš. vyd. Brno: VUTIUM, 2002. ISBN 8021429119.
- [26] HLAVÁČ, Václav a Miloš SEDLÁČEK. *Zpracování signálů a obrazů*. Vyd. 3. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 9788001044421.