

**UNIVERZITA KARLOVA**

**2. LÉKAŘSKÁ FAKULTA**

Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství

**Eliška Dillingerová**

**Srovnání přesnosti měření tepové frekvence  
v zátěži na hodinkách bez hrudního pásu  
a pomocí EKG**

**bakalářská práce**

Praha 2023

Autor práce: **Eliška Dillingerová**

Vedoucí práce: **MUDr. Jan Pokorný**

Oponent práce: **MUDr. Michal Procházka**

Datum obhajoby: **2023**

## Bibliografický záznam

DILLINGEROVÁ, Eliška. Srovnání přesnosti měření tepové frekvence v zátěži na hodinkách bez hrudního pásu a pomocí EKG. Praha: Univerzita Karlova, 2. Lékařská fakulta, Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství, 2023. 63 s., přílohy.

Vedoucí bakalářské práce MUDr. Jan Pokorný.

## Abstrakt

Tato bakalářská práce je zaměřena na „Srovnání přesnosti měření tepové frekvence v zátěži na hodinkách bez hrudního pásu a pomocí EKG“. Cílem této práce je porovnat přesnost měření srdeční frekvence sporttesteru Garmin typu Fenix 5 oproti EKG. Teoretická část pojednává o srdeční frekvenci, jejím měření, EKG, sporttesteru a studiích zabývajících se podobným tématem. Praktická část se věnuje metodice, souboru probandů, měřicí technice a zátěžovému protokolu. Měření srdeční frekvence probíhá za připojení obou přístrojů na dvou modalitách zátěže, a to na běhacím pásu a bicyklovém ergometru.

## Abstract

This bachelor work is focused on „Comparison of accuracy of exercise heart rate measurement in electronic watch without a chest belt - and by ECG“. The objective of this work is to compare accuracy of the heart rate measurement with the sporttester Garmin Fenix 5 and ECG. The theoretical part describes the heart rate, its measurement, ECG, sporttester and studies concentrated on a similar topic. The practical part describes methodology, test group, measuring devices and measurement report. The measuring of heart rate is provided with both devices and with two exercise equipment: a bicycle and a treadmill.

## Klíčová slova

tepová frekvence, přesnost měření, EKG, sporttester, Garmin Fenix 5, bicyklový ergometr, běžecký pás

## Keywords

heart rate, measurement accuracy, ECG, sporttester, Garmin Fenix 5, bicycle, treadmill

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně pod vedením MUDr. Jana Pokorného, uvedla všechny použité literární a odborné zdroje a dodržovala zásady vědecké etiky. Dále prohlašuji, že stejná práce nebyla použita pro získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze 28. 4. 2023

Eliška Dillingerová

## **Poděkování**

Chtěla bych poděkovat MUDr. Janu Pokornému za odborné vedení práce, za poskytnuté rady a připomínky a také všem zúčastněným probandům za spolupráci.

## **SEZNAM ZKRATEK**

ANS = Autonomní nervový systém

AV = Atrioventrikulární

EKG = Elektrokardiografie, Elektrokardiograf

GPS = Global Positioning System

HRV = Heart rate variability = Variabilita srdeční frekvence

LED = Light-Emitting Diode

mV = Milivolt

PPG = Fotopletysmografie

SA = Sinoatriální

SF = Srdeční frekvence

## OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>1 TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
1.1 SRDEČNÍ FREKVENCE .....	10
1.1.1 Řízení srdeční frekvence.....	11
1.1.2 Vliv autonomního nervového systému (ANS) na srdeční frekvenci.....	12
1.1.3 Klidová srdeční frekvence vs. maximální srdeční frekvence.....	14
1.1.4 Srdeční frekvence v zátěži .....	14
1.1.5 Trénink podle srdeční frekvence.....	15
1.2 MĚŘENÍ SRDEČNÍ FREKVENCE .....	16
1.2.1 Historie a vývoj od EKG po sporttester .....	16
1.2.2 EKG a princip měření.....	17
1.2.3 Sporttester a princip měření.....	24
1.2.4 Porovnání výhod a nevýhod obou metod měření srdeční frekvence .....	27
1.2.5 Jiné studie zabývající se přesností měření EKG a sporttesteru.....	27
<b>2 PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>35</b>
2.1 CÍL A HYPOTÉZY .....	35
2.2 METODIKA .....	35
2.2.1 Soubor probandů.....	37
2.2.2 Podmínky při měření .....	38
2.2.3 Měřicí technika .....	38
2.2.4 Zátěžový protokol.....	38
2.2.5 Průběh měření na bicyklovém ergometru .....	39
2.2.6 Průběh měření na běhacím páse (běhátku) .....	41
2.3 STATISTICKÁ ANALÝZA.....	43
2.4 VÝSLEDKY .....	46
2.5 DISKUZE.....	48
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>52</b>
<b>REFERENČNÍ SEZNAM</b> .....	<b>54</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>58</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>59</b>
<b>PŘÍLOHY</b> .....	<b>60</b>

## ÚVOD

Téma své bakalářské práce „Srovnání přesnosti měření tepové frekvence v zátěži na hodinkách bez hrudního pásu a pomocí EKG“ jsem si vybrala na základě svého zájmu o metody zvyšování výkonnosti jednotlivců při sportu.

V dnešní době, kdy stále více lidí vede sedavý způsob života včetně sedavého zaměstnání, je velmi důležité, aby se lidé věnovali pravidelně nějaké pohybové aktivitě. Pohybová aktivita je spolu s kvalitní stravou nejdůležitějším faktorem pro vytvoření a udržení zdravého životního stylu. Každá přiměřená pohybová aktivita je zdraví prospěšná, neboť díky ní lze předcházet mnohým onemocněním (např. kardiovaskulárním, metabolickým, respiračním, atd.), též i civilizačním chorobám a má i pozitivní vliv na psychiku člověka.

Jako velká motivace a podpora k započetí pohybové aktivity či tréninku se v poslední době jeví používání sporttesteru. Jako sporttester je možné využívat buď hrudní pás se sportovními hodinkami, anebo samotné sportovní hodinky.

Výhodou sportovních hodinek je, že si sportovci mohou přímo při pohybové aktivitě nebo i po ní kontrolovat a ukládat nejrůznější parametry, které hodinky dokáží zaznamenávat.

Jedním z parametrů, který je na sportovních hodinkách nejvíce sledovaný, je tepová frekvence. Pokud je požadována největší přesnost měření tepové frekvence, je zapotřebí navštívit lékařské zařízení, které využívá EKG. Ovšem při běžných denních aktivitách, natož při pohybové aktivitě či tréninku, není možné EKG přístroj využít. Tudíž se jako ideální alternativa pro sledování tepové frekvence při pohybové aktivitě jeví sportovní hodinky.

Otázkou je, do jaké míry lze spoléhat na hodnoty srdeční frekvence, které jsou sportovními hodinkami naměřeny. Velmi záleží na typu sportovních hodinek, které jedinec při pohybové aktivitě používá. Existují méně a více kvalitní sportovní hodinky. Mezi ty kvalitnější patří sportovní hodinky od značky Garmin, proto také ve výzkumné části této práce budou použity tyto sportovní hodinky.



Tato práce se v teoretické části zabývá srdeční frekvencí, jejím řízením a jak se srdeční frekvence chová v zátěži. Dále je zde popsáno, jak probíhá měření srdeční frekvence, a to pomocí EKG a sporttesteru. Dále je zde také popsána historie těchto měřících přístrojů, princip měřících metod a jejich porovnání. Poslední část je věnována studiím, které se zabývají podobným výzkumem.

Praktická část se zabývá přesností měření srdeční frekvence. Hlavním cílem této části je porovnat, jak přesně měří sporttester od značky Garmin typ Fenix 5 oproti EKG. V praktické části je zmíněn popis souboru probandů, zařízení, na kterých je měření prováděno, zátěžový protokol, který je použit ve výzkumné části této práce, statistická analýza ke zpracování dat z měření a výsledky získané z výzkumu.

Testování probíhá na dvou přístrojích (bicyklovém ergometru a běžeckém pásu) a také ve více stupních zátěže, aby bylo zjištěno, zda se liší naměřené hodnoty v závislosti na typu pohybové aktivity a její intenzitě.

# 1 TEORETICKÁ ČÁST

## 1.1 Srdeční frekvence

Srdeční frekvence (SF) se vyjadřuje jako počet srdečních stahů za jednotku času. Nejčastěji se jako jednotka srdeční frekvence uvádí tepy za minutu. U běžné dospělé populace se hodnota srdeční frekvence pohybuje přibližně mezi 60–200 tepy za minutu dle míry stresu nebo fyzické zátěže. Je ovlivňována různými faktory jako například věkem, pohlavím, trénovaností, stresem, zatížením, apod. (Javorka, 2008, s. 22 – 26; Magder, 2012; Ganong, 2005, s. 555)

Klidová srdeční frekvence u dětí je přibližně o 10 tepů za minutu vyšší než u dospělých jedinců. Rozdíl je také u žen, které mají většinou vyšší srdeční frekvenci než muži, z důvodu menší velikosti srdečního svalu. Důležitým faktorem ovlivňujícím velikost srdeční frekvence je také trénovanost jedince, kdy adaptovaní jedinci na zátěž mají nižší klidovou srdeční frekvenci. Klidová srdeční frekvence u vytrvalců může být kolem 40 - 50 tepů za minutu. (Benson, 2012, s. 19 – 20; Neumann, 2005, s. 72)

Srdeční frekvence poskytuje informace o aktuálním fyziologickém či patofyziologickém stavu organismu. Pokud se srdeční frekvence zpomaluje, nazýváme tento stav bradykardií, která fyziologicky nastává například ve spánku. Opakem bradykardie je tachykardie, ke které může fyziologicky docházet například v zátěži. Za fyziologické považujeme také kolísání srdeční frekvence během nádechu a výdechu. Během nádechu tepová frekvence roste (vyšší aktivita sympatiku) a při výdechu klesá (vyšší aktivita parasympatiku). (Ganong, 2005, s. 555; Kittnar 2011, s. 188, 201 – 202)

Srdeční frekvence je nejlépe hmatná na tepnách, které jsou blíže k povrchu těla. Nejlépe hmatný puls je na krkavici a radiální tepně. Srdeční frekvenci můžeme zjišťovat palpací, poslechem na hrotu srdce a pomocí elektrických přístrojů (EKG, sporttester). (Magder, 2012)

Měření srdeční frekvence má poměrně velký význam z několika důvodů: lze jím odhalit skryté zdravotní problémy, lze jím hodnotit úroveň aktuální tréninkové zátěže, opakované měření diagnostikuje účinnost tréninku, lze jím určit fázi regenerace, apod. (Tretera, 2021)

Vyhodnocování a sledování srdeční frekvence se stále více využívá též ve sportu, kde slouží jako jeden ze základních parametrů při nastavování tréninkových plánů vedoucích ke zvyšování fyzické zdatnosti. (Benson, 2012, s. 31 – 32)

### 1.1.1 Řízení srdeční frekvence

Řízení srdeční frekvence je především nervové. Za srdeční frekvenci je zodpovědný sinoatriální uzel, který je pod přímým působením autonomního nervového systému. (Trojan, 2003, s. 216 – 217)

#### 1.1.1.1 Elektrická aktivita srdce

Srdce je řízeno elektrickými impulsy, které ovšem na rozdíl od kosterních svalů vznikají přímo v srdci. Pro buňky myokardu platí, že patří mezi vzrušivé tkáně. Je u nich typické, že při podráždění jejich buněčné membrány dochází k elektrické odpovědi, tzv. akčnímu potenciálu. (Kittnar, 2011, s. 190 - 191; Trojan, 2003, s. 216; Sovová, 2006, s. 11 – 13)

Buňky srdečního svalu se nazývají kardiomyocyty a jsou děleny dle funkce na **buňky pracovního myokardu a převodního systému srdečního**. Buňky převodního systému srdečního jsou schopny samovolně tvořit vzruchy a specializují se na elektrickou aktivitu. Buňky pracovního myokardu se specializují na mechanickou čerpací práci srdce. Vzruchy jsou z převodního systému srdečního převáděny na buňky pracovního myokardu, tudíž mechanická práce srdce je reakcí na elektrické vzruchy z převodního systému srdečního. Výsledný elektrický projev je tvořen součtem akčních potenciálů jak z buněk převodního systému srdečního, tak z buněk pracovního myokardu. (Kittnar, 2011, s. 190 – 191; Trojan, 2003, s. 216; Sovová, 2006, s. 11 – 13; Haberl, 2012, s. 11)

#### 1.1.1.2 Převodní systém srdeční

Vzruch srdečního cyklu za fyziologických podmínek samovolně vzniká v sinoatriálním (SA) uzlu, který se nachází v pravé srdeční síni. U buněk SA uzlu dochází ke **spontánní depolarizaci**, kdy klidový membránový potenciál spontánně v klidu mírně klesá, až dosáhne prahové hodnoty a dochází k úplné depolarizaci. Frekvence vzniku impulsů u SA uzlu je 60 impulsů za minutu. (UCEBNICE-EKG.CZ; Hampton, 2003, s. 11 – 13)

Spontánní depolarizace není vlastností pouze SA uzlu, ale celého převodního systému srdečního, přičemž tato schopnost klesá postupně od SA uzlu po Tawarova raménka. (UCEBNICE-EKG.CZ; Hampton, 2003, s. 11 – 13)

Nejrychleji probíhá spontánní depolarizace u SA uzlu, proto se mu také říká primární pacemaker. Atrioventrikulárnímu (AV) uzlu se pak říká sekundární

pacemaker, který nahrazuje SA uzel, pokud u něj dojde k výpadku impulzů. AV uzel pak provádí tvorbu vzruchů o frekvenci 40 – 60 vzruchů za minutu. (UCEBNICE-EKG.CZ; Hampton, 2003, s. 11 – 13)

Z SA uzlu se vzruch dále šíří přes síňová vlákna do AV uzlu, který převádí vzruch se zpomalením na srdeční komory. Následně se vzruch šíří skrz Hisův svazek, který se v komorovém septu dělí na pravé a levé Tawarovo raménko. V komorové svalovině se vzruch dále šíří prostřednictvím Purkyňových vláken. (Hampton, 2003, s. 12; Čihalík, 2013, s. 11)

### 1.1.1.3 Akční potenciál

Všechny vzrušivé tkáně mají schopnost depolarizace a repolarizace vlastních buněčných membrán (neboli změnu membránového potenciálu), přičemž polarizace buňky je dána nerovnoměrným rozložením iontů – intra i extracelulárně. Klidový membránový potenciál má za běžných podmínek hodnotu – 90 mV. (Trojan, 2003, s. 216 – 217)

Akční potenciál v srdečním svalu začíná rychlou změnou membránového potenciálu neboli **depolarizací**. Dochází při ní ke zvýšení membránového potenciálu přibližně na +20 mV. Po depolarizaci následuje **částečná repolarizace**, kdy dochází k poklesu membránového potenciálu na +10 mV. Poté následuje fáze **plató**, při které nedochází ke změně hodnoty membránového potenciálu. Nakonec dochází k obnovení polarizace buňky neboli **repolarizaci**. (Trojan, 2003, s. 216 – 217)

### 1.1.2 Vliv autonomního nervového systému (ANS) na srdeční frekvenci

Velký vliv na řízení srdeční frekvence má autonomní nervový systém, pod jehož neustálým vlivem je SA uzel, který je za srdeční frekvenci zodpovědný. Ke zvýšení srdeční frekvence dochází při zvýšení tonu sympatiku a ke snížení srdeční frekvence při zvýšení tonu parasympatiku. Obecně parasympatikus ve vztahu k srdci zpomaluje srdeční frekvenci, snižuje vzrušivost myokardu, zpomaluje síňokomorový převod a snižuje sílu srdeční kontrakce. Sympatikus naopak zrychluje srdeční frekvenci, zvyšuje vzrušivost myokardu, zrychluje síňokomorový převod a zvyšuje sílu srdeční kontrakce. (Trojan, 2003, s. 229 – 231)

### 1.1.2.1 Variabilita srdeční frekvence (HRV)

Variabilita srdeční frekvence neboli „heart rate variability“ (HRV) měří rozdíl v čase mezi jednotlivými srdečními tepy. Variabilita srdeční frekvence je regulována působením autonomního nervového systému (sympatiku a parasympatiku). Pomocí HRV lze pozorovat aktivitu autonomního nervového systému nebo také jeho nerovnováhu. Při vyšším působení sympatiku jsou naměřené hodnoty HRV nižší, protože se vyskytuje nižší časový rozdíl mezi srdečními tepy. Naopak při vyšším působení parasympatiku jsou naměřené hodnoty HRV vyšší, neboť se vyskytuje větší časový rozdíl mezi srdečními tepy. (Cleveland Clinic, 2021; Whoop, 2021)

HRV je považována za jednu z nejobektivnějších metod určující fyzickou zdatnost a připravenost jedince na výkon. HRV je důležitý parametr, který je velmi hojně pozorován sportovci při pohybových aktivitách. Variabilita srdeční frekvence je důležitá pro trénink, regeneraci a také pro prevenci přetrénování. (Cleveland Clinic, 2021; Whoop, 2021)

Pokud je HRV u jedince vysoká, značí to dobré vyrovnávání se jedince se změnami situací (u sportovců nejčastěji se změnami v zátěži), a tudíž to obvykle poukazuje na dobrou fyzickou zdatnost a odolnost proti stresu. (Cleveland Clinic, 2021; Whoop, 2021)

Pokud je HRV u jedince nízká, poukazuje to na dominanci jedné části autonomního nervového systému. Převaha sympatiku je fyziologická například při pohybové aktivitě a přispívá k lepší toleranci zátěže. Nízká hodnota HRV ovšem může být příznakem aktuálních nebo budoucích zdravotních problémů. (Cleveland Clinic, 2021; Whoop, 2021)

HRV je individuálním parametrem, u kterého není přesně dané, jakou by kdo měl mít hodnotu HRV. Nejlepší informace o jedincově HRV poskytne její dlouhodobé sledování. Pokud se HRV bude jedinci zvyšovat, tak u něj dochází ke zvyšování fyzické zdatnosti. Pokud se HRV naopak bude snižovat, může to značit přetrénování, nedostatečnou regeneraci, nadměrný stres či nějaký zdravotní problém. (Cleveland Clinic, 2021; Whoop, 2021)

Variabilita srdeční frekvence se nejčastěji zjišťuje v laboratorních podmínkách pomocí EKG. V dnešní době jsou ale i sporttestery jako hrudní pásy a sportovní hodinky schopné změřit tento parametr. (Cleveland Clinic, 2021; Whoop, 2021)

### ***1.1.3 Klidová srdeční frekvence vs. maximální srdeční frekvence***

Klidová srdeční frekvence je srdeční frekvence naměřená v klidu, kdy jedinec nevykonává žádnou pohybovou aktivitu. Průměrná klidová srdeční frekvence je rovna přibližně 60 – 80 tepům za minutu. Srdeční frekvence je individuálním parametrem. Například dobře trénovaní jedinci mohou mít klidovou srdeční frekvenci kolem 50 tepů za minutu. Klidová srdeční frekvence se snižuje s přibývajícím adaptací na vytrvalostní zátěž a na základě toho může být dobrým indikátorem pro zjištění trénovanosti jedinců. Fyziologicky se zvýšené hodnoty klidové srdeční frekvence mohou objevit při nedostatečné regeneraci po předchozí pohybové aktivitě. (Benson, 2012, s. 18 – 20; Neumann, 2005, str. 72)

Maximální srdeční frekvence je nejvyšší srdeční frekvence, která je naměřená v okamžiku ukončení zátěže z důvodu vyčerpání. Velikost maximální srdeční frekvence záleží na věku jedince a jeho pohlaví. (Benson, 2012, s. 18 – 20; Máček, 2012)

Maximální srdeční frekvence se získává ze zátěžového vyšetření za pomoci EKG. Zátěžový test ke zjištění maximální srdeční frekvence probíhá v laboratorním prostředí buď na bicyklovém ergometru, nebo na běžeckém pásu. (Radvanský; Máček, 2012)

Jsou dva způsoby, jak může zátěžové vyšetření na bicyklovém ergometru nebo běžeckém pásu probíhat, a to ve formě „rampového protokolu“ či „stupňovitého protokolu“. Při vyšetření pomocí „stupňovitého protokolu“ dochází vždy po určitém časovém úseku, typicky po třech minutách, k navýšení zátěže. Postupně se tedy každé tři minuty zvyšuje zátěž až do vyčerpání jedince. Při vyšetření pomocí „rampy“ dochází k neustálému zvyšování zátěže bez časových rozestupů. (Radvanský)

Maximální srdeční frekvence lze teoreticky odhadnout pomocí známého vzorce 220 tepů – věk jedince. K výsledku tohoto výpočtu 220 tepů – věk se udává odchylka  $\pm 15$  tepů, protože tento vzorec nemusí platit pro každého jedince. Ovšem na to, aby jedinec zjistil svou reálně přesnou maximální srdeční frekvenci, je nejlepší si ji nechat změřit odborníkem při zátěžovém vyšetření. (Máček, 2012; Benson, 2012, s. 28 – 29)

### ***1.1.4 Srdeční frekvence v zátěži***

Při pohybové aktivitě dochází ke změnám ve velikosti srdeční frekvence v důsledku reakce na zátěž, kdy hodnoty srdeční frekvence stoupají. Velikost změny srdeční frekvence záleží na intenzitě zátěže. Ke změně srdeční frekvence dochází již při pohybové aktivitě malé intenzity, například při obyčejné chůzi. Srdeční frekvence se po

svém nárůstu v prvních minutách zátěže postupně ustálí, a to již během prvních pár minut (doba ustálení srdeční frekvence závisí na intenzitě zátěže). Při lehké či střední zátěži dochází k rovnovážným hodnotám srdeční frekvence již během prvních dvou až tří minut, při těžší zátěži to trvá déle. Rovnovážná fáze nastává tím později, čím je jedinec méně trénovaný a starší. V některých případech může docházet k tzv. „startovní horečce“, což znamená, že daný jedinec má krátce po zahájení aktivity velký nárůst srdeční frekvence, například rozdíl třiceti a více tepů za minutu od započetí pohybové aktivity. Srdeční frekvence při „startovní horečce“ časem již tolik neroste a ustálí se. (Máček, 2012; Radvanský)

Vlivem pravidelné opakované pohybové aktivity dochází k postupné adaptaci organismu na zátěž. Adaptace nastává prakticky ve všech systémech, včetně pohybového, kardiovaskulárního, respiračního, atd. Za fyziologickou adaptaci se považuje změna zdraví prospěšná. Opakem adaptace je maladaptace, která zdraví neprospívá. (Máček, 2012)

Mezi adaptace kardiovaskulárního systému patří snížení srdeční frekvence, ekonomizace srdeční práce, větší objem cirkulující krve, větší využívání kyslíku z krve, atd. Mezi adaptace ostatních systémů na zátěž patří například větší odolnost kostí proti tahu a tlaku, větší pevnost vazů a šlach, snížení dechové frekvence, zvýšení počtu svalových receptorů na inzulin, apod. (Máček, 2012)

Postupnou adaptací kardiovaskulárního systému dochází jak ke snižování klidové srdeční frekvence, tak ke snižování srdeční frekvence v zátěži (z původních hodnot před adaptací). Vytrvalostní sportovci, kteří se již dlouhodobě věnují pravidelné pohybové aktivitě (a jsou tedy již dobře adaptovaní), tudíž mohou dosahovat až k hodnotám 50 tepů za minutu klidové srdeční frekvence (taková adaptace trvá měsíce až roky). (Máček, 2012)

### ***1.1.5 Trénink podle srdeční frekvence***

Srdeční frekvence představuje nejdostupnější ukazatel zatížení kardiovaskulárního systému a zároveň představuje spolehlivou veličinu pro posuzování intenzity zatížení. Monitorování srdeční frekvence je vhodné pro správné nastavení tréninkových plánů a také jejich intenzity. (Benson, 2012, s. 40 – 43)

K tomu, aby bylo možné sestavit správný tréninkový plán, je výhodné znát svou maximální tepovou frekvenci, kterou lze nejlépe zjistit při zátěžovém vyšetření u odborníka. Díky srdeční frekvenci můžeme určit tréninková pásma, přičemž

rozlišujeme dvě základní pásma, ve kterých se pohybové aktivity vykonávají, a to aerobní a anaerobní. Anaerobní aktivity jsou aktivity vyšší intenzity, velmi orientačně zhruba takové, při kterých máme již problémy v průběhu aktivity komunikovat. (Benson, 2012, s. 31 – 32)

Aerobní zátěž je zátěž, ve které se běžně sportovci při pohybové aktivitě nacházejí, zatímco do anaerobního zatížení se dostávají, když při pohybové aktivitě či tréninku jdou do maxima svých sil. Pro správnou adaptaci je důležité, aby se jedinci pohybovali i v anaerobním pásmu zátěže, ve kterém dochází k větší adaptaci všech systémů. (Benson, 2012, s. 31 – 35)

U novějších sporttesterů je možné si přímo na sportovních hodinkách nastavit v jakém pásmu (aerobním/anaerobním) by se chtěl jedinec při pohybových aktivitách nacházet. Při přechodu do jiného pásma než jedinec preferuje, hodinky přechod oznámí a jedinec podle toho může upravit své tempo či intenzitu zátěže. Také si lze na sporttesteru nastavit hodnoty srdeční frekvence, ve kterých by se chtěl jedinec pohybovat. Aby si jedinec mohl správně nastavit a následně regulovat tyto hodnoty, je důležité znát svou maximální srdeční frekvenci a podle ní se řídit. (Benson, 2012, s. 28 – 34)

## 1.2 Měření srdeční frekvence

Jako nejspolehlivější a základní metoda měření srdeční frekvence se již od jeho počátků považuje EKG, a proto se využívá jako referenční. Proto bude v následujících částech metoda EKG podrobně popsána. Všechny ostatní metody jsou méně přesné. (Fye, 1994)

### 1.2.1 Historie a vývoj od EKG po sporttester

Elektrokardiograf (EKG) vynalezl jako první Willem Einthoven roku 1902. Tento vynález mnohonásobně zlepšil a ulehčil diagnostiku kardiologických onemocnění. (Fye, 1994)

EKG se klasicky používá pro laboratorní měření, ovšem pro praktické běžné používání je nevhodné hlavně z důvodu objemné velikosti přístroje a nutnosti ležet při měření na lůžku. Proto se postupem času vyvinul EKG holter, jehož účelem bylo, aby mohl vznikat dlouhodobý záznam srdeční aktivity. První Holterův monitor byl vynalezen roku 1947 Normanem Jefferisem Holterem a vážil 38 kg. EKG holter je



v dnešní době menší, váží méně a je snadno přenosný a nejčastěji se používá pro 24 hodinový záznam srdeční frekvence. (Medical Tribune, 2021)

Postupem času se začal jevit zájem o možnost sledování srdeční frekvence především při sportovních aktivitách, ale také při běžných denních aktivitách. Jako první vynalezl optický měřič srdeční frekvence Seppo Säynäjäkangas. Seppo Säynäjäkangas si nechal tento vynález patentovat a také založil firmu „Polar Elektro“, která funguje až dodnes a je jednou z nejpoblárnějších firem, které sporttestery vyrábí. (Sorvoja, 2006, s. 13 – 14)

V roce 1982 přišla na trh firma Polar Electro s prvním bezdrátovým měřičem srdeční frekvence neboli sporttesterem. Při měření tímto sporttesterem, měl jedinec umístěné elektrody na prsou, které pak bezdrátově vysílaly signál do hodinek na zápěstí. Další vývoj těchto sporttesterů byl specializován na určité sporty a jejich speciální parametry. Vývoj sporttesterů se velmi rozmohl a zdokonalil. Také počet firem, které sporttestery vyrábí, se zvýšil. (Neumann, 2005, s. 134)

Sporttestery se nyní mohou využívat ve více formách, a to buď jako hrudní pásy s hodinkami nebo pouze hodinky, které jsou nejen velikostně ideální na běžné denní nošení, ale též se hodí na sportovní aktivity. Sporttestery lze v dnešní době také propojit s chytrým telefonem a jeho aplikacemi, kde je možné si pro trénink nastavit nejrůznější požadavky. U nejnovějších sporttesterů lze dokonce parametry pro trénink nastavovat již na samotných sportovních hodinkách. (Matas, 2013)

Dříve byly ke sporttesterům připojeny externí paměťové karty, které se později mohly vložit do počítače či telefonu a data ze sporttesteru se tam mohly následně přehrát. V dnešní době je to všechno mnohem jednodušší díky bezdrátovému bluetooth připojení, díky kterému se data přenáší přímo z hodinek do počítače či telefonu. Dříve se také ke sporttesterům připojovaly externí krokoměry (byly připojeny k noze či botě), které jsou již v dnešní době zabudované přímo ve sportovních hodinkách. (Matas, 2013)

Není ovšem jisté, do jaké míry se lze na přesnost měření sporttesteru spolehnout. Přesnost měření sporttesteru je také hlavním tématem této bakalářské práce, a to konkrétně u sporttesteru Garmin Fenix 5.

## ***1.2.2 EKG a princip měření***

### **1.2.2.1 EKG**

Elektrokardiografie neboli EKG patří mezi základní vyšetření v kardiologii, které pomáhá k diagnostice srdečních chorob, hlavně poruch srdečního rytmu. EKG

představuje grafický záznam změn elektrické aktivity srdce v čase. Přístroj, pomocí kterého se elektrokardiogram pořizuje, se nazývá elektrokardiograf. Elektrokardiograf je schopný měřit změny napětí na různých místech na lidském těle a zároveň je graficky zpracovat. Snímání EKG je vlastně měření změn napětí mezi dvěma místy na lidském těle. Měření změn napětí závisí nejen na srdeční činnosti, ale také na aktuální činnosti pacienta, jeho psychickém stavu, apod. (Sovová, 2006, s. 14; Navrátil, 2019, s. 125 – 126)

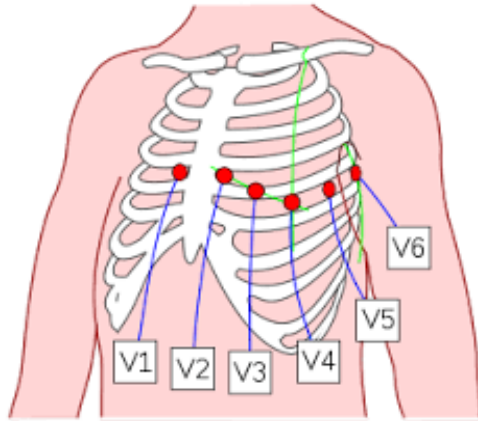
### 1.2.2.2 Princip měření EKG

EKG měří elektrickou aktivitu srdečního svalu. Elektrická aktivita je snímána z povrchu těla elektrodami, které jsou propojeny kabely s EKG. Elektrody jsou připevňovány přímo na kůži, buď gumovými manžetami, pomocí přísavek nebo jako v praktické části této práce se lepí jednorázové samolepící elektrody, na které se poté připevní EKG. (Navrátil, 2019, s. 125 – 126)

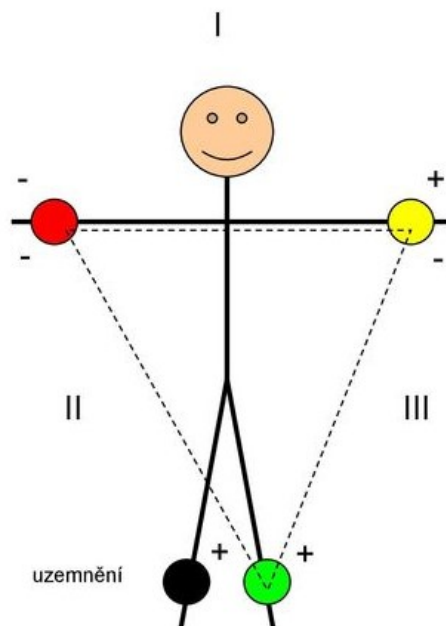
Standardní metodou používanou v praxi je záznam dvanáctisvodového EKG, u kterého se na pacienta připojuje 10 kabelů. Ty jsou na lidské tělo připojovány následovně: 4 jsou končetinové a 6 hrudních. Místa, na která jsou přikládány snímací elektrody, jsou následující: zápěstí pravé a levé ruky, oblast nad kotníkem levé nohy a šest míst na hrudníku. K těmto zmíněným bodům jsou připojeny vodiče (elektrody). K oblasti nad pravým kotníkem se také připojuje jedna elektroda, tzv. neutrální vodič, která ovšem není snímací, ale slouží k neutralizaci rušivých signálů. Tato elektroda se do měření nezapočítává, ale musí být vždy připojena. (Hampton, 2003, s. 16 – 18; Čihalík, 2013, s. 11 – 14; Sovová, 2006, s. 16)

K zápěstí pravé ruky se připojuje červená elektroda, k zápěstí levé ruky žlutá elektroda, ke kotníku pravé nohy černá elektroda a ke kotníku levé nohy elektroda zelená. (Hampton, 2003, s. 16 – 18; Sovová, 2006, s. 16)

Výsledky měření mohou být ovlivněny například nedostatečným kontaktem elektrod s kůží, dále také vadným vodičem vedoucím k elektrodám či kvůli špatnému zapojení. (Sovová, 2006, s. 15 – 16; Haberl, 2012, s. 250 – 255)



Obrázek 1 – Rozmístění hrudních elektrod (www.wikimedia.org)



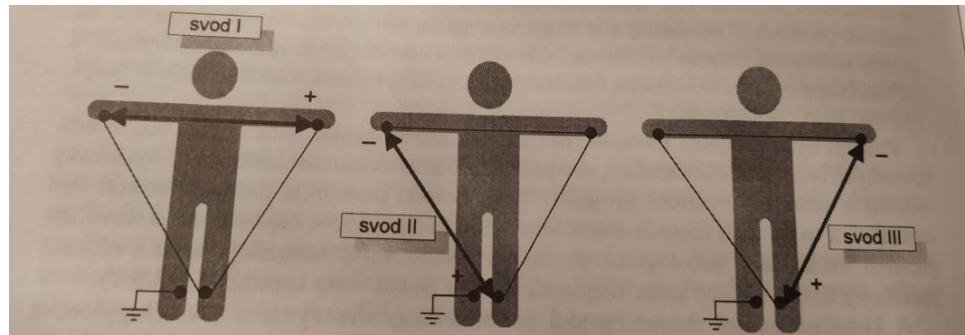
Obrázek 2 – Rozmístění končetinových elektrod (www.docplayer.cz)

Podle počtu míst, ze kterých je EKG snímáno, se rozlišuje EKG na jednosvodové až dvanáctisvodové. Nejčastěji se používá dvanáctisvodové EKG, kdy svod vyjadřuje elektrický obraz srdce. Elektrografické svody jsou místem snímání elektrického signálu z povrchu těla. (Trojan, 2003, s. 280, Navrátil, 2019, s. 126 – 128; Čihalík, 2013, s. 11 – 14; Sovová, 2006, s. 15 – 16)

Svody jsou rozdělovány do tří skupin:

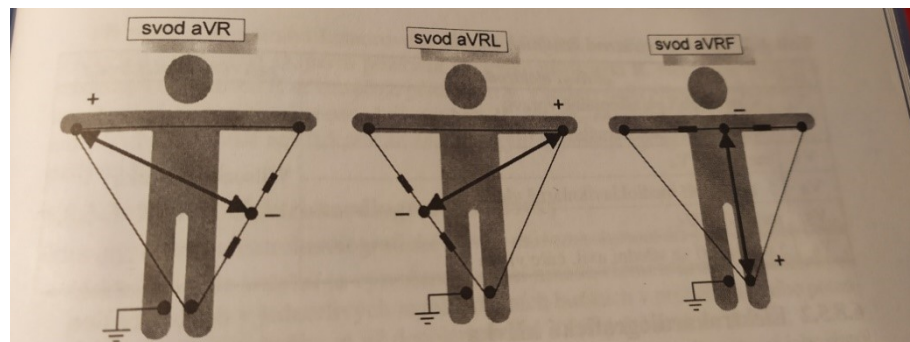
- 1. Bipolární končetinové svody podle Einthovena**, kdy se měří rozdíl potenciálů mezi dvěma aktivními elektrodami, z nichž každá má nenulový potenciál. Elektrody jsou umístěné na obou horních končetinách na zápěstí a levé dolní končetině nad kotníkem a tvoří tzv. Einthovenův trojúhelník, kdy srdce je zhruba v jeho středu. Označují se

římskými číslicemi I, II, III. (Trojan, 2003, s. 280, Navrátil, 2019, s. 126 – 128; Čihalík, 2013, s. 11 – 14; Sovová, 2006, s. 15 – 16)



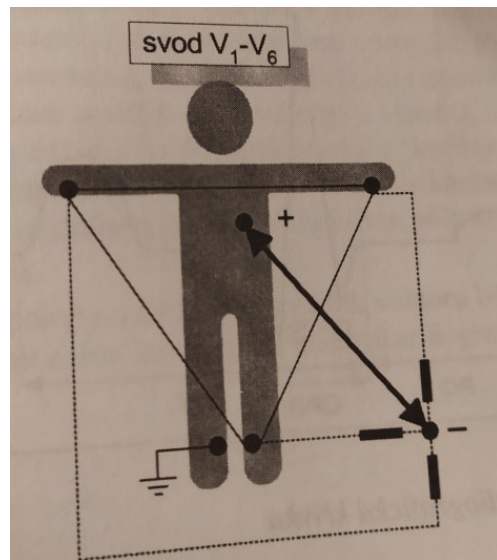
Obrázek 3 – Bipolární končetinové svody (Trojan, 2003, s. 280)

2. **Unipolární augmentované končetinové svody podle Goldberga**, které se značí aVR, aVL, aVF, kdy písmeno „a“ znamená augmentovaný neboli zesílený. Platí zde, že svod jedné končetiny je snímán proti zbývajícím dvěma, které jsou spojeny. (Trojan, 2003, s. 280, Navrátil, 2019, s. 126 – 128; Čihalík, 2013, s. 11 – 14; Sovová, 2006, s. 15 – 16)



Obrázek 4 – Unipolární končetinové svody (Trojan, 2003, s. 281)

3. **Unipolární hrudní svody podle Wilsona**, které sledují elektrickou aktivitu srdce v horizontální rovině. Svody se značí V1–V6, jsou unipolární a zaznamenávají rozdíl potenciálů ze snímaného místa proti nulovému potenciálu, který vznikne spojením elektrod ze všech tří končetin do jednoho bodu přes rezistor 5 000 ohmů, což vytvoří Wilsonovu svorku. (Trojan, 2003, s. 280, Navrátil, 2019, s. 126 – 128; Čihalík, 2013, s. 11 – 14; Sovová, 2006, s. 15 – 16)



Obrázek 5 – Unipolární hrudní svod (Trojan, 2003, s. 281)

Svody I., II., III., aVR, aVF a aVL sledují elektrickou aktivitu ve frontální rovině, zatímco svody V<sub>1</sub>–V<sub>6</sub> sledují elektrickou aktivitu srdce v horizontální rovině. (Trojan, 2003, s. 280, Navrátil, 2019, s. 126 – 128)

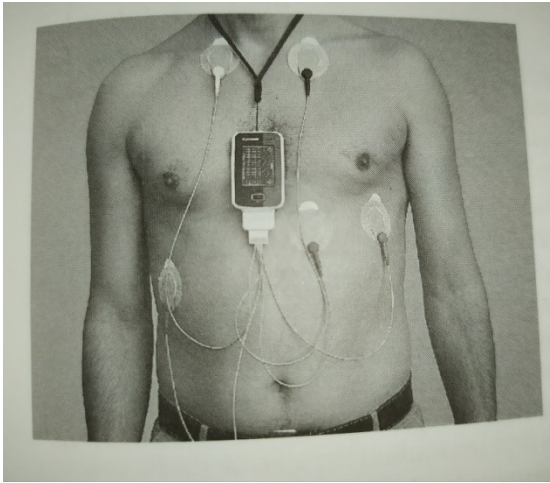
Elektrická aktivita srdce se nejčastěji snímá v úplném klidu vleže na lůžku. Výjimkou pak je zátěžové snímání EKG, kdy pacienti při měření buď jedou na bicyklovém ergometru, nebo chodí či běží (podle velikosti zátěže) na běžeckém pásu. (Navrátil, 2019, s. 128)

### 1.2.2.3 Monitorování EKG podle Holtera

Holter je přístroj, který nepřetržitě sleduje křivku EKG, která je vyhodnocována během monitorování nebo po monitorování. Je užíván v diagnostice srdečních poruch, nejčastěji arytmií, nebo při sledování účinků léčby. Používá se na dlouhodobější záznam, nejčastěji na 24 hodin. Výhodou Holteru na rozdíl od EKG je, že je přenosný a dobře skladný, tudíž ho může mít pacient u sebe celých 24 hodin. Pacient má Holter buď zavěšený kolem krku, nebo ho může dát za pásek či do kapsy. Z praktických důvodů se většinou končetinové elektrody připevňují na trup místo kotníků a zápěstí, poněvadž pacientovi by klasické umístění elektrod při běžných denních aktivitách překáželo a navíc by záznam mohly narušit různé pohybové artefakty. (Navrátil, 2019, s. 129; Nemocnice Na Homolce, 2017; II. interní klinika kardiologie a angiologie 1. LF UK a VFN, 2021; Sovová, 2006, s. 86)

Každý pacient, kterému je Holter předepsaný, dostane také deník, do kterého si zapisuje, když se u něj vyskytnou nějaké symptomy a jejich čas výskytu. Záznamy

z deníku se poté spolu se záznamy z EKG využijí k určení diagnózy. (Navrátil, 2019, s. 129; Nemocnice Na Homolce, 2017; II. interní klinika kardiologie a angiologie 1. LF UK a VFN, 2021; Sovová, 2006, s. 86)



Obrázek 6 – Holter a jeho připojení (Navrátil, 2019, s. 129)

#### 1.2.2.4 Elektrokardiografická křivka

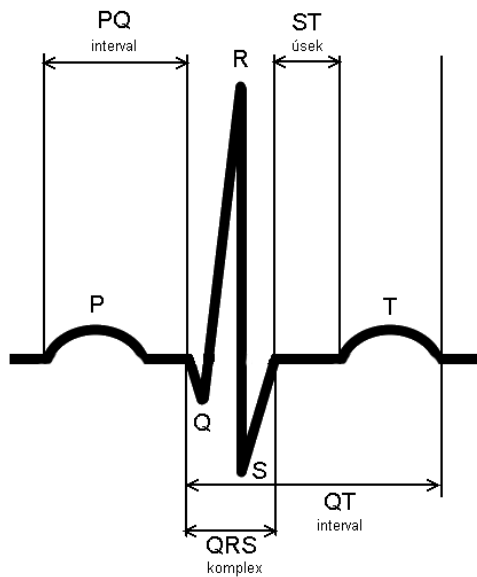
EKG křivka poskytuje informace o srdeční frekvenci, o srdečním rytmu a o vedení vzruchu. (Navrátil, 2019, s. 131)

Na EKG křivce je možné pozorovat vlny, kmity, intervaly a úseky. EKG křivka se fyziologicky skládá z dvou vln: **P** a **T** a dále také ze tří kmitů: **Q**, **R**, **S**. (Navrátil, 2019, s. 131; Trojan, 2003, s. 282 – 283)

**P** vlna představuje depolarizaci obou srdečních síní. Interval **PQ** značí dobu od vzniku impulsu v SA uzlu až po dosažení svaloviny srdečních komor. **QRS** komplex představuje depolarizaci srdečních komor, kdy **Q** je první negativní výchylka a **R** je první pozitivní výchylka. **ST** úsek představuje repolarizační fázi srdečních komor.

**T** vlna představuje ukončení repolarizace srdečních komor. Interval **QT** označuje dobu trvání elektrické aktivity myokardu srdečních komor. Za vlnou **T** se ještě zřídka objevuje vlna **U**, kdy na jejím původu nepanuje shoda. (Navrátil, 2019, s. 131; Trojan, 2003, s. 282 – 283; UCEBNICE-EKG.CZ; Čihalík, 2013, s. 20 – 23; Sovová, 2006, s. 29 – 40)

Repolarizace síní na EKG není vidět, jelikož bývá překrytá **QRS** komplexem. Toto přehledně zobrazuje Obrázek č. 7 níže. (Navrátil, 2019, s. 131; Trojan, 2003, s. 282 – 283; UCEBNICE-EKG.CZ; Čihalík, 2013, s. 20 – 23)



Obrázek 7 – EKG křivka (www.ozp.cz)

Velký význam má pro praxi interval PQ, který je ukazatelem síňokomorového přenosu a také interval QRS, který představuje rozvedení vzruchu po srdečních komorách. (Langmeier, 2009, s. 88 – 90)

Pro diagnostiku má velký význam přítomnost P vlny, popřípadě její velikost a orientace. Pokud není P vlna přítomna, hrozí podezření na nesinusový rytmus. (Štefánek, 2011)

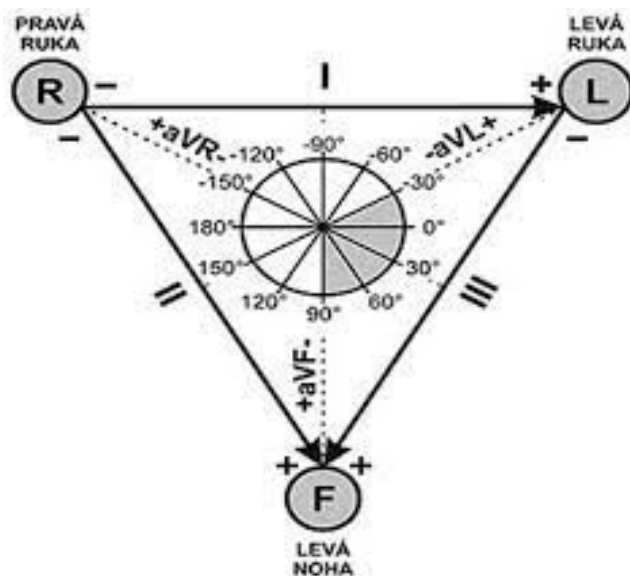
Záznam elektrokardiografické křivky se nejčastěji tiskne přímo z přístroje na pohybující se papír nebo nyní se již hojněji využívá zobrazování přímo na monitoru počítače, kde je možné si daný záznam uložit do jeho paměti. Výhodou přenosu dat z EKG přístroje do počítače je možnost uložení měření a možnost jeho zpětného zobrazení. (Hampton, 2003, s. 14 – 16; Navrátil, 2019, s. 130; Čihalík, 2013, s. 14 – 15)

### Elektrická srdeční osa

Elektrická osa srdeční patří mezi základní parametry potřebné pro vyhodnocení EKG. Elektrická osa je „přímka“, která fyziologicky prochází ze srdeční báze a směřuje k apexu. Elektrická srdeční osa je sumační vektor, který charakterizuje okamžitý stav elektrického srdečního pole na EKG během vlny P, QRS komplexu a vlny T. Nejdůležitější z nich je elektrická srdeční **osa QRS komplexu**, která je obecně známá jako již zmíněná **elektrická osa srdeční**. Elektrická osa srdeční vyjadřuje směr postupující komorové aktivace. Hodnocení směru elektrické osy srdeční je zaměřováno

na vzájemný vztah výchylek QRS komplexů. (Hampton, 2003, s. 22 – 28; Trojan, 2003, s. 292; Čihalík, 2013, s. 15; Haberl, 2012, s. 20 – 24; Medová; Štefánek, 2011)

Normální sklon elektrické osy srdeční vzhledem k horizontální ose se pohybuje mezi  $-30^\circ$  až  $+105^\circ$ . Při sklonu nižším než  $-30^\circ$  hovoříme o posunu elektrické srdeční osy doleva a při hodnotě vyšší než  $+105^\circ$  hovoříme o posunu doprava. Posun sklonu osy doprava může být přítomný u plicní embolie a posun sklonu osy doleva je nejčastější příčinou hypertrofie levé komory. (Hampton, 2003, s. 22 – 28; Trojan, 2003, s. 292; Čihalík, 2013, s. 15; Haberl, 2012, s. 20 – 24; Medová; Štefánek, 2011)



Obrázek 8 – Elektrická osa srdeční (www. encrypted-tbn0.gstatic.com)

### 1.2.3 Sporttester a princip měření

#### 1.2.3.1 Sporttester

Sporttester je zařízení, které se používá k měření a vyhodnocování pohybové aktivity na základě parametrů jako čas, vzdálenost, rychlost, srdeční frekvence, apod. Za sporttester může být považován hrudní pás s hodinkami, ale také pouze samotné hodinky, kdy je snímač pro měření srdeční frekvence zabudován přímo v hodinkách. Samotné sportovní hodinky v dnešní době vykazují podobně přesné hodnoty jako hodinky s hrudním pásem, a proto již není nezbytně nutné za běžných podmínek k hodinkám hrudní pás nosit. (Benson, 2012, s. 18 – 20, 40; Minář, 2017)

Sporttester ve formě samotných sportovních hodinek na rozdíl od EKG není náročný na spotřebu elektrické energie a není nutné používat žádné propojovací kabely.



K jeho měření postačí pouze optický snímač a napájení z baterie hodinek. (Benson, 2012, s. 18 – 20, 40; Minář, 2017)

Existuje několik firem, které vyrábí sporttestery, přičemž mezi ty nejznámější a v měření nejspolehlivější patří firmy Polar, Suunto a Garmin. (Benson, 2012, s. 18 – 20, 40; Minář, 2017)

### 1.2.3.2 Princip měření srdeční frekvence sporttesterem

Pro snímání srdeční frekvence využívá sporttester optického snímače, který se nachází ve spodní části sportovních hodinek. Optické snímače nejčastěji provádějí měření metodou PPG. Metoda PPG se nazývá fotopletysmografie. Je to neinvazivní metoda, která sleduje změnu prokrvení tkáně v čase. (Castaneda, 2018)

PPG zařízení (sporttester) obsahuje světelný zdroj a fotodetektor. Světelný zdroj vyzařuje světlo do tkáně a fotodetektor měří intenzitu odraženého světla. Intenzita odraženého světla je závislá na tom, jaké fyziologické vlastnosti má krev ve tkáni. Jako světelný zdroj se většinou využívá zelené LED světlo (dioda). Je to z toho důvodu, že proniká lépe do hloubky tkáně a tím může poskytovat přesnější výsledky a zároveň není tak náchylné k chybám způsobeným běžným pohybem. (Castaneda, 2018)

PPG signál se skládá z pulzující a překrývající se složky. Pulzující složka zobrazuje změny velikosti objemu krve způsobené srdeční frekvencí a překrývající se složka je tvořena aktivitou sympatiku, respiračního systému a termoregulací. Pulzující složka zobrazuje změny velikosti objemu krve, které jsou způsobené srdeční aktivitou a závisí na systolické a diastolické fázi. (Castaneda, 2018)

### 1.2.3.3 Sporttester Garmin Fenix 5

Pro tuto bakalářskou práci byl zvolen **sporttester Garmin Fenix 5**, který vyrábí firma Garmin. Garmin má na trhu dlouholetou tradici ve výrobě technologických prostředků, které sledují tréninkový proces. Výrobky Garmin by měly přispět k podpoře našeho zdravého a aktivního životního stylu. Získaná data z hodinek představují poměrně přesný odhad hodnot u sledovaných aktivit, ovšem nemohou zaručit stoprocentní spolehlivost. Nejsou to lékařské přístroje, tudíž se nedoporučují používat k lékařským účelům, například k určování diagnóz. (Garmin, 2023a)

Sporttester Garmin Fenix 5 se skládá z náramkových hodinek, které mají zabudovaný vysoce citlivý GPS přijímač, GLONASS (globální družicový navigační

systém), optický senzor pro měření srdeční frekvence a kompas s gyroskopem. Sporttester kontinuálně měří kroky, nastoupaná patra, spánek, apod. Optický senzor je umístěn na spodní straně sporttesteru a používá zelené LED diody ke snímání změn proudění krve. Poskytuje nepřetržité sledování srdeční frekvence, jak v klidu, při aktivitě, tak i ve spánku. (Garmin, 2020)

Jako velmi dobrá vlastnost tohoto sporttesteru se jeví možnost propojení s chytrým telefonem přes aplikaci Garmin Connect, která umožňuje ukládat si veškeré aktivity a tréninky a později je znovu shlédnout. Také je zde možné si vytvořit svůj osobní profil, kde se nastaví cíle aktivit, rozsahy srdečního tepu, výkonnostní zóny, apod. Sporttester učí uživatele porozumět tomu, jaký vliv měl trénink na jejich trénovanost, únavu, přetížení, atd. Velmi přínosné je také zhodnocení potřebné regenerace po aktivitě, díky níž pak budou uživatelé připraveni na nadcházející trénink či aktivitu. (Gamin, 2020; Garmin, 2023a; Garmin, 2023b)

Hodinky se mohou využít na outdoorové i indoorové sporty. Jsou voděodolné a dají se využít při aktivitách, při kterých může dojít ke kontaktu s vodou, jako například při plavání, lyžování, apod. Pro různé sporty má Garmin speciální analytické funkce, kdy například u běhu lze zobrazit délka, frekvence kroku a doba kontaktu se zemí. (Garmin, 2023a; Garmin, 2023b)



Obrázek 9 – Sporttester Garmin Fenix 5 ([www.res.garmin.com](http://www.res.garmin.com))

## ***1.2.4 Porovnání výhod a nevýhod obou metod měření srdeční frekvence***

### **1.2.4.1 Výhody a nevýhody metody EKG**

Největší výhodou této metody je její přesnost. Naopak nevýhodou je, že pro nadměrnou velikost a komplikované připojení přístroje ji lze použít pouze v laboratorních podmínkách a není tudíž vhodná na běžné denní použití. (Castaneda, 2018)

### **1.2.4.2 Výhody a nevýhody metody PPG**

Výhody metody PPG oproti EKG: Jednou z největších výhod monitorování srdeční frekvence pomocí metody PPG oproti EKG je, že pořizovací náklady jsou výrazně nižší. Další výhodou je, že na těle při měření je připojen pouze jeden senzor, zatímco u EKG musí být připevněny nejméně tři elektrody. Jedinec při měření s PPG tudíž není nijak zvlášť omezován. Metoda PPG tedy poskytuje mnohem větší uživatelský komfort a pohodlí. Zařízení s PPG senzorem (sporttester) je snadno přenositelné, resp. je přímo určeno k tomu, aby bylo neustále připevněné k ruce a mohlo tak kdykoliv monitorovat srdeční frekvenci. Další výhodou využití metody PPG pro měření srdeční frekvence je její snadná aplikovatelnost a použitelnost. (Castaneda, 2018)

Nevýhody metody PPG oproti EKG: Měření pomocí PPG je náchylnější k chybám způsobeným pohybem ruky, na kterých jsou sportovní hodinky připevněné, při běžných denních aktivitách. Příjem signálu PPG může být dále negativně ovlivněn ruchy okolního prostředí. (Castaneda, 2018)

## ***1.2.5 Jiné studie zabývající se přesností měření EKG a sporttesteru***

### **1.2.5.1 Studie č. 1**

Spolehlivostí měření srdeční frekvence v porovnání s EKG se zabýval ve své práci „Validity of the Empatica E4 Wristband to Measure Heart Rate Variability (HRV) Parameters: a Comparison to Electrocardiography (ECG)“ Schuurmans et al. (2020).

V této práci jsou zmiňovány sporttestery jako inovativní příležitost ke sledování nejen parametrů srdeční frekvence oproti EKG měření. Výhodou sporttesteru je možnost každodenního a zároveň celodenního využití jak při běžných činnostech, tak

při pohybových aktivitách. Ovšem i zde je zpochybňována validita měření sporttesterem. (Schuurmans, 2020)

Jako sporttester byl v této práci zvolen „Empatica E4 wristband“ a jako srovnávací EKG zde byl použit přístroj „the VU University Ambulatory Monitoring System (VU – AMS)“. „VU – AMS“ je EKG zařízení pro ambulantní použití. Toto zařízení bylo použito v dané práci hlavně z důvodu možnosti použití pro zaznamenání hodnot srdeční frekvence při běžných denních aktivitách. (Schuurmans, 2020)

Validita měření srdeční frekvence u sporttesterů závisí na prováděných pohybech, teplotě, různém kolísání srdeční frekvence, apod. Tyto již zmíněné parametry mohou ovlivnit kvalitu a pravdivost měření. (Schuurmans, 2020)

Schopnost přesného měření sporttesteru „Empatica E4 wristband“ byla již posuzována v jiných studiích, ovšem tyto studie měly své limity. Jedním z limitů předchozích studií například bylo, že měly pouze malý vzorek probandů. Tato studie přináší první porovnání „Empatica E4 wristband“ se „zlatým standardem“ ambulantním EKG „VU – AMS“. (Schuurmans, 2020)

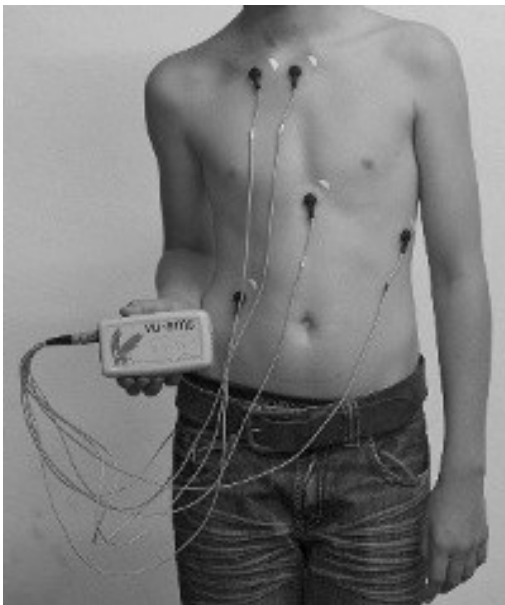
Této studii se zúčastnilo 15 probandů, přičemž měření probíhalo při dvou experimentálních testováních a dvanácti intervenčních sezeních, při kterých měli probandi připevněny jak „Empatica E4 wristband“, tak EKG „VU – AMS“. Všechna intervenční sezení využívala prvky relaxačních a meditačních cvičení. (Schuurmans, 2020)

Probandům byly během experimentálního testování a na začátku každého intervenčního sezení zaznamenány hodnoty srdeční frekvence z obou testovacích přístrojů. Měření také obsahovalo dvakrát zaznamenání hodnot v průběhu meditace během intervenčního sezení. (Schuurmans, 2020)

Závěrem této studie bylo, že „Empatica E4 wristband“ měří stejné hodnoty jako EKG „VU – AMS“. Ovšem při této studii byly používány pouze relaxační a meditační cvičení, tudíž vyplývá, že „Empatica E4 wristband“ jsou vhodné pro měření srdeční frekvence v klidu a při minimálních pohybech a výsledky budou při dodržení těchto podmínek pravděpodobně validní. (Schuurmans, 2020)



Obrázek 10 – Empatica E4 wristband ([www.empatica.com](http://www.empatica.com))



Obrázek 11 – EKG "VU – AMS" ([www.vu-ams.nl](http://www.vu-ams.nl))

### 1.2.5.2 Studie č. 2

Srovnáním přesnosti měření srdeční frekvence u sporttesteru oproti EKG se také zabýval Sarhaddi et al. (2022) ve své práci „A comprehensive accuracy assessment of Samsung smartwatch heart rate and heart rate variability“.

V této studii se porovnávala přesnost měření mezi sporttesterem „Samsung Gear Sport smartwatch“ a EKG typu „Shimmer3“. (Sarhaddi, 2022)

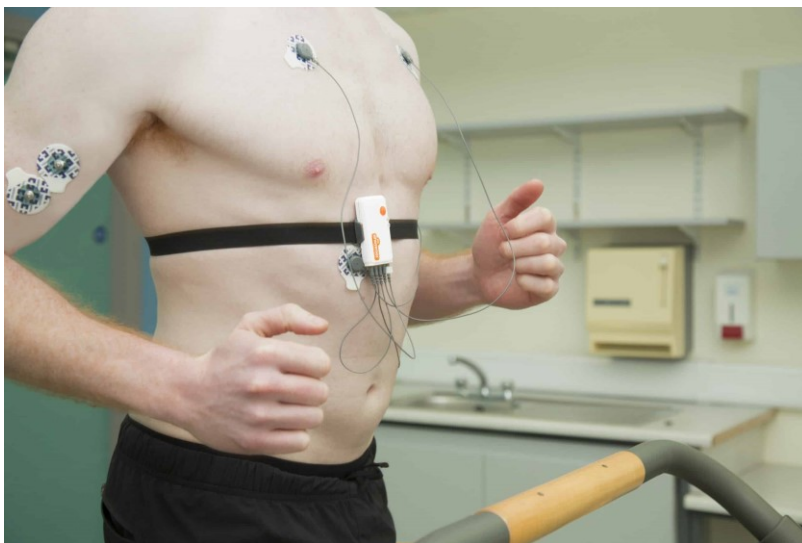
Této studii se zúčastnilo 28 probandů, přičemž zde bylo 14 žen a 14 mužů. Měření k této studii probíhalo 24 hodin, kdy probandi vykonávali běžné denní aktivity,

přičemž se zaznamenávaly hodnoty z obou přístrojů. Měření srdeční frekvence probíhalo jak za bdělého stavu, tak ve spánku. Po ukončení měření byly hodnoty ze sporttestru a EKG porovnány. (Sarhaddi, 2022)

Studie dospěla k následujícím závěrům: Během spánku se všechny hodnoty srdeční frekvence naměřené na sporttestru a na EKG shodovaly. Během denních aktivit byly hodnoty srdeční frekvence uspokojivě přesné, ovšem docházelo k občasnému nadhodnocování měření variability srdečního rytmu (HRV) u sporttestru oproti EKG. (Sarhaddi, 2022)



Obrázek 12 – Samsung Gear Sport smartwatch ([www.cdn.originalky.cz](http://www.cdn.originalky.cz))



Obrázek 13 – EKG "Shimmer 3" ([www.shimmersensing.com](http://www.shimmersensing.com))

### 1.2.5.3 Studie č. 3

Další studie, která se zabývala srovnáním přesnosti měření srdeční frekvence na sporttesteru a EKG byla „Validity of the Polar H10 Sensor for Heart Rate Variability Analysis during Resting State and Incremental Exercise in Recreational Men and Women“, jejímž autorem byl Schaffarczyk (2022).

V této studii se porovnávala přesnost měření srdeční frekvence hrudního pásu typu Polar H10 s třísvodovým EKG Holterem. Jako hlavní parametr pro porovnání přesnosti měření byla určena naměřená srdeční frekvence na hrudním pásu a R-R interval na EKG. (Schaffarczyk, 2022)

Této studii se zúčastnilo 25 zdravých dospělých probandů (14 mužů a 11 žen), kteří před měřením nesměli 24 hodin požit alkohol, kávu, tabák a měli se vyvarovat nějaké náročnější pohybové aktivity (tréninku). (Schaffarczyk, 2022)

Měření srdeční frekvence probíhalo při zapojení obou měřících přístrojů, jak hrudního pásu Polar H10, tak třísvodového EKG Holteru. Měření začalo již před zatížením, kdy proband tři minuty ležel v klidu na zádech a během toho mu byla snímána srdeční frekvence a R-R intervaly. Poté následovalo rampové zatížení na bicyklovém ergometru, kdy počáteční zátěž byla 50 W a vždy po 3,6 sekundě se zátěž zvýšila o 1 W až do probandova vyčerpání. Po zátěži opět následovalo tříminutové měření srdeční frekvence a R-R intervalů v klidu vleže na zádech. (Schaffarczyk, 2022)

Tato studie došla k výsledkům, které poukazují na velmi přesné měření srdeční frekvence hrudním pásem před zátěží, při zátěži i po zátěži, avšak ze statistických výpočtů bylo odebráno 7 ze 75 měření z důvodů chybovosti při měření. (Schaffarczyk, 2022)



Obrázek 14 – Hrudní pás Polar H10 ([www.polar.com](http://www.polar.com))



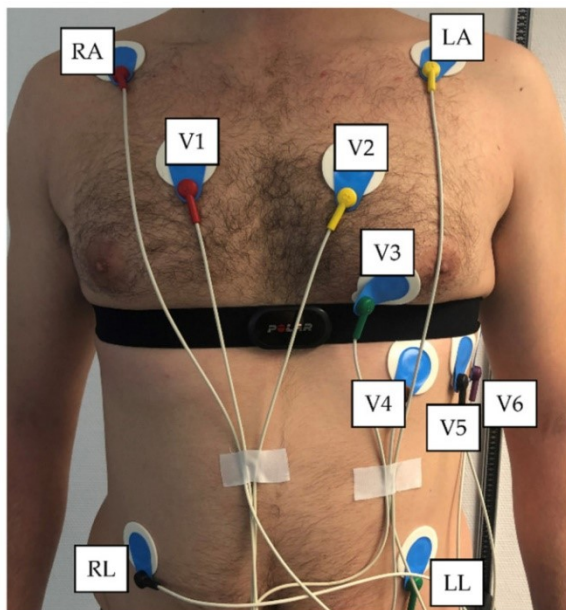
#### 1.2.5.4 Studie č. 4

Srovnáním přesností měření na sportovních hodinkách, hrudním pásem a EKG zároveň se zabývala studie „Validity and reliability of different smartphones applications to measure HRV during short and ultra-short measurements in elite athletes“, jejímž autorem byl Moya-Ramon (2022).

Tato práce se zabývá krátkým a ultrakrátkým měřením variability srdeční frekvence. Toto měření probíhalo pomocí tří přístrojů, a to hrudním pásem Polar H10 propojeným přes bluetooth s mobilní aplikací „Elite HRV“, sportovními hodinkami s PPG senzorem propojenými s „Welltory“ mobilní aplikací a dvanáctisvodovým EKG Holterem typu „F12Plus“. (Moya-Ramon, 2022)

Měření se zúčastnilo 26 profesionálních silničních cyklistů. U každého probanda byla provedena čtyři měření v délce pěti minut. Měření probíhalo ve dvou pozicích, a to vsedě a vleže na zádech. (Moya-Ramon, 2022)

Výsledkem této studie bylo, že jak hodnoty naměřené hrudním pásem, tak hodnoty naměřené chytrými hodinkami s PPG senzorem korelují s hodnotami naměřenými na dvanáctisvodovém EKG Holteru. (Moya-Ramon, 2022)



Obrázek 15 – Hrudní pás Polar H10 a dvanáctisvodové EKG (www.ncbi.nlm.nih.gov)

#### 1.2.5.5 Studie č. 5

Srovnáním přesností měření srdeční frekvence se zabýval také Muggeridge (2021) ve své studii s názvem „Measurement of Heart Rate Using the Polar OH1 and Fitbit Charge 3 Wearable Devices in Healthy Adults During Light, Moderate, Vigorous,



and Sprint-Based Exercise: Validation Study“. V této studii byla porovnávána přesnost měření sporttesteru Polar OH1 a Fitbit Charge 3 s hrudním pásem Polar H10, který byl v této studii brán jako referenční.

Studie se zúčastnilo 20 zdravých dospělých probandů. Výzkumná část této studie se skládala ze dvou částí. První část byla složená ze tří komponent, kdy při všech třech komponentách byla neustále měřena srdeční frekvence. První probíhala 15 minut, kdy probandí seděli na židli a věnovali se aktivitám vsedě. Při druhé probandí absolvovali 10 minut jízdy na bicyklovém ergometru. Ve třetí probandí absolvovali zatížení až do vyčerpání na běžeckém páse. (Muggeridge, 2021)

Druhá část se skládala ze dvou komponent. První z nich se skládala ze čtyř patnáctisekundových maximálních sprintů na bicyklovém ergometru. Druhá byla složená ze čtyř 30 až 50 metrových úseků na běžeckém páse. (Muggeridge, 2021)

Z výsledků této studie se došlo k závěrům, že měření srdeční frekvence sporttesterem Polar OH1 se s minimálním rozdílem shoduje s naměřenými hodnotami hrudního pásu Polar H10. Sporttester Polar OH1 je tudíž vhodný pro měření srdeční frekvence v klidu, při chůzi, běhu i na kole. Přesnost měření srdeční frekvence pomocí Fitbit Charge 3 se nejeví tak přesná při srovnání s hrudním pásem Polar H10. Hodnoty srdeční frekvence naměřené na sporttesteru Fitbit Charge 3 se blížily hodnotám srdeční frekvence naměřeným na hrudním páse pouze v klidu. V zátěži sporttester Fitbit Charge 3 ukazoval velmi odlišné hodnoty ve srovnání s hrudním pásem Polar H10. (Muggeridge, 2021)



Obrázek 16 – Sporttester Polar OH1 ([www.m.media-amazon.com](http://www.m.media-amazon.com))



Obrázek 17 – Fitbit Charge 3 ([www.cdc.originalky.cz](http://www.cdc.originalky.cz))

## 2 PRAKTICKÁ ČÁST

### 2.1 Cíl a hypotézy

Cílem práce je potvrdit nebo vyvrátit tvrzení, že přesnost měření na sportovních hodinkách (sporttesteru) Garmin typu Fenix 5 se blíží přesnosti měření tepové frekvence na referenční metodě – EKG. K tomuto testování byl využit bicyklový ergometr a běžecký pás. Pro tento výzkum byla zvolena skupina 18 probandů.

Hypotézy:

1. Při měření na bicyklovém ergometru budou naměřeny menší rozdíly hodnot srdeční frekvence mezi sporttesterem a EKG oproti běžeckému pásu (běhátku).
2. Rozdíly hodnot při menších zátěžích v časech 5:00, 5:30, 6:00 budou nižší ve srovnání s rozdíly hodnot při těžší zátěži v časech 10:00, 10:30, 11:00.
3. Rozdíly mezi naměřenými hodnotami srdeční frekvence mezi EKG a sporttesterem budou signifikantní.

### 2.2 Metodika

Pro výzkum bylo zvoleno měření na dvou různých modalitách zátěže – na bicyklovém ergometru a běžeckém pásu neboli „běhátku“. Každý proband byl zatížen jak na bicyklovém ergometru, tak na běhátku a každý záznam tepové frekvence byl proveden zároveň na dvou přístrojích: pomocí EKG s modifikovaným zapojením svodů dle Masona a Likara a pomocí sporttesteru Garmin Fenix 5 s optickým senzorem na zápěstí.



Obrázek 18 – Běhátko



Obrázek 19 – Bicyklový ergometr



Obrázek 20 – EKG



Obrázek 21 – Sporttester Garmin Fenix 5

### 2.2.1 Soubor probandů

Probandi byli dotazováni na jejich pohlaví a věk. Dále byli tázáni, zda studují či pracují a kde, také na druh pohybových aktivit, které vykonávají, jejich četnost a úroveň. Na základě dotazování plyne, že do výzkumu bylo zapojeno 18 dospělých probandů, přičemž 14 z nich byly ženy a 4 muži. Věkové rozmezí probandů bylo 21–25 let. Probandi byli studenti vysokých škol, kteří jsou aktivní a vykonávají běžně alespoň nějakou pohybovou aktivitu (ne na vrcholové úrovni).

Probandi byli informováni o průběhu protokolu, že budou 11 minut běžet na běžeckém pásu, 11 minut pojedou na kole a mezi měřeními budou mít 20 minutovou

pauzu na relaxaci. Probandi na měření docházeli ve dvojicích, přičemž každý z dvojice měl jiné pořadí přístrojů, na kterých bylo měření prováděno.

### **2.2.2 Podmínky při měření**

Měření probíhalo v laboratorním prostředí, které bylo klidné a bez okolních rušivých faktorů. Měření probíhalo v odpoledních hodinách od února do října roku 2022.

### **2.2.3 Měřicí technika**

K měření byly použity následující přístroje: Bicyklový ergometr od firmy ERGOLINE typ Ergoselect 200P, běžecký pás od firmy LODE typ Valiant, EKG od firmy BTL typ 08LC a ke snímání srdeční frekvence v průběhu zátěžového testu byly použity hodinky od firmy GARMIN typ Garmin Fenix 5. K testování byly použity programy dostupné na hodinkách, a to program „kolo“ a „běžecký pás“.

### **2.2.4 Zátěžový protokol**

Zátěžový protokol probíhal na bicyklovém ergometru i na běhátku 11 minut, kdy mezi měřeními měli probandi 20 minut na relaxaci.

Při měření na bicyklovém ergometru probandi nejprve jeli 6 minut se zátěží 1 W/kg a následně 5 minut se zátěží 2 W/kg. Tyto časové úseky byly zvoleny z důvodu ustálení tepové frekvence, které bylo potřebné k odečtu hodnot.

Po 5 a 10 minutách došlo k odečtu hodnot jak z EKG, tak ze sporttesteru, kdy hodnoty byly zaznamenány 3x po půl minutě, aby byly od sebe smysluplně daleko a aby byly vyloučeny možné odchylky.

Při měření na běhátku vše probíhalo jako na bicyklovém ergometru, akorát zde byla zvolená rychlost 5 km/h a 10 km/h.

Rychlost 5 km/h na běhátku odpovídá přibližně zátěži 1 W/kg na bicyklovém ergometru a rychlost 10 km/h na běhátku odpovídá přibližně zátěži 2 W/kg na bicyklovém ergometru.

Pro zátěžový protokol byly zvolené tyto hodnoty, neboť 1 W/kg odpovídá přibližně intenzitě běžných denních aktivit a 2 W/kg odpovídá přibližně zátěži rekreačního sportu.

### 2.2.5 Průběh měření na bicyklovém ergometru

Před samotným měřením byly od probandů zjištěny nutné vstupní údaje. Probandi uvedli svou výšku a váhu. Tyto údaje bylo potřeba zadat do programu pro EKG měření a navíc se podle váhy určovala zátěž na bicyklovém ergometru. Následně byly probandům připevněny **jednorázové EKG elektrody**, na které bylo následně připojeno EKG, a také byl probandům připevněn **sporttester (hodinky) Garmin Fenix 5**.

Záznam EKG probíhal v modifikovaném zapojení svodů podle Masona a Likara (s umístěním končetinových svodů na torzo pacienta), běžně používaného v zátěžových laboratořích.



Obrázek 22 – Rozmístění jednotlivých elektrod zepředu

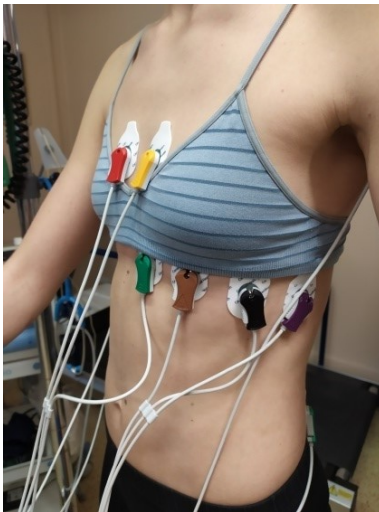


Obrázek 23 – Rozmístění jednotlivých elektrod z boku





**Obrázek 24 – Rozmístění jednorázových elektrod zezadu**



**Obrázek 25 – Připojení EKG zepředu**



**Obrázek 26 – Připojení EKG zezadu**



Po připojení EKG byly probandům nasazeny **hodinky** na pravou ruku tak, aby je pásek ani neškrtl, ale aby ani nebyl moc volný. Důležité bylo umístit hodinky do správné pozice pro měření, která se nachází na velikost šířky nejdálšího článku prstu ruky nad processus styloideus radii a ulnae.

Poté se proband posadil na bicyklový ergometr a podle potřeby byla upravena výška sedla, kdy ideální výška sedla je, když má proband propnuté koleno při proslápnutí směrem dolů.

Dále byla nastavena zátěž na kole na 1 W/kg. Nakonec byl proband instruován, aby udržoval frekvenci mezi 70–80 otáčkami. Po započetí měření následovalo 5 minut jízdy na kole. Následně byly zaznamenány hodnoty v časech **5:00, 5:30 a 6:00**. Při kontrolním měření byla zaznamenána aktuální hodnota srdeční frekvence, kterou zobrazovalo jak EKG, tak hodinky.

Po kontrolním měření následovalo zvýšení zátěže na 2 W/kg. Opět byly zaznamenány hodnoty, tentokrát v časech **10:00, 10:30 a 11:00**. Následně byla činnost ukončena.



Obrázek 27 – Proband při měření na bicyklovém ergometru

### ***2.2.6 Průběh měření na běhacím páse (běhátku)***

Probandům bylo připevněno **EKG** i **hodinky** stejným způsobem, jako je popsáno u zátěžového protokolu pro bicyklový ergometr. Dále se proband postavil na

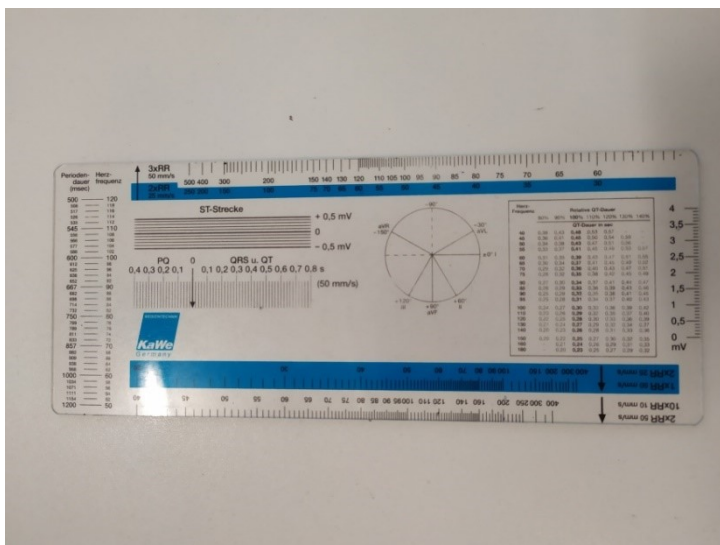
běžící pás a byly mu přilepeny kabely od EKG tak, aby mu co nejméně překážely při chůzi nebo běhu a měření bylo co nejvíce přesné.

Jako první měl proband na páse nastavenou rychlost 5 km/h, která odpovídala rychlé chůzi a kterou proband udržoval do prvního kontrolního měření. Záznam hodnot proběhl v totožných časech jako u bicyklového ergometru, tudíž v časech: **5:00, 5:30 a 6:00**. Následně byla probandovi zvýšena rychlost na běžícím páse na 10 km/hod, což již odpovídalo běhu.

Poté proběhl záznam hodnot v časech **10:00, 10:30 a 11:00**. Toto měření bylo doplněno o vytištění EKG křivky z hrudních svodů pro kontrolu a vyloučení případných pohybových artefaktů. V případě hojného výskytu artefaktů byl použit průměr ze tří srdečních stahů.



Obrázek 28 – Proband při měření na běhátku



Obrázek 29 – EKG pravítko

## 2.3 Statistická analýza

Data získaná z hodinek a EKG byla zapsána do tabulkového editoru Microsoft Excel. Měření se zúčastnilo 18 probandů, ovšem do statistických výpočtů bylo zařazeno pouze 14 z důvodu nepřesností při měření. V jednom případě došlo ke sklouznutí hodinek, kdy rozdíl mezi hodnotami na EKG a hodinkách byl 18 tepů za minutu (proband I. D., viz Příloha č. 1). Ve dvou dalších případech došlo k podhodnocení hodnot, kdy rozdíl byl v rozmezí přibližně od 30 do 50 tepů za minutu (proband A. Z. a D. H., viz Příloha č. 2). V posledním případě šlo o nadhodnocení hodnot, kdy rozdíl byl kolem 30 tepů za minutu (proband A. P., viz Příloha č. 2). K nepřesným výsledkům docházelo hlavně při měření na běhátku, pouze v případě, kdy došlo ke sklouznutí hodinek bylo měření prováděno na bicyklovém ergometru. Tato data nebyla zahrnuta do statistických výpočtů, ale v interpretaci výsledků byla vzata v úvahu.

U každého probanda bylo získáno 24 hodnot srdeční frekvence (12 z hodinek a 12 z EKG). Následně byly tyto hodnoty zprůměrovány a vypočítány směrodatné odchylky (pomocí programu Microsoft Excel).

Záznamy z měření jednotlivých probandů lze nalézt v přílohách (Příloha č. 1 a 2). Následuje příklad měření jednoho z probandů (M. J.). Čísla v závorkách znamenají, v jakém pořadí bylo měření prováděno.

BĚH(2):

Čas (min)	EKG (tep)	Sporttester (tep)
5:00	130	128
5:30	129	129
6:00	124	122
10:00	177	179
10:30	180	179
11:00	180	177

KOLO(1):

Čas (min)	EKG (tep)	Sporttester (tep)
5:00	132	133
5:30	139	138
6:00	131	132
10:00	171	172
10:30	173	174
11:00	177	178

Dále byly hodnoty porovnány v rámci párového T-testu. **Párový T-test** se používá k porovnání dvou vzorků, které lze vzájemně spárovat. Přičemž v této práci jsou porovnávány dvě různé metody měření (EKG a sporttester), které byly aplikované na stejném subjektu. Tento test byl proveden u každého přístroje, na kterém měření probíhalo (běhátko a kolo) a také v každém čase kontrolního měření u obou přístrojů (5:00, 5:30, 6:00, 10:00, 10:30, 11:00).

Jako první bylo potřeba znát počet probandů, na kterých bylo měření prováděno (značeno jako  $n$ ). Zde  $n = 14$ . Dále pro výpočet budeme potřebovat hodnoty  $x$ , což jsou hodnoty získané z EKG a hodnoty  $y$ , které byly získané z hodinek.

U párového T-testu je potřeba otestovat nulovou hypotézu, která říká, že rozdíl středních hodnot měření EKG a měření sporttesterem je nulový, neboli průměr hodnot naměřených sporttesterem odpovídá průměru hodnot naměřených na EKG. K tomu lze dojít následujícím způsobem: (Math and Stats Support Centre, a; Math and Stats Support Centre, b)

1. Byl zjištěn rozdíl mezi hodnotami  $x$  a  $y$  pro každého probanda.
2. Dále byl vypočítán průměr rozdílů, což značíme jako  $m_z$ .
3. Byla vypočítána směrodatná odchylka z rozdílů (pomocí programu Microsoft Excel), značená jako  $s_z$ .
4. Byla vypočítána testovací statistika pomocí vzorce:  $T = m_z / (s_z / \sqrt{n})$ .
5. Aby došlo k určení, zda nulovou hypotézu zamítáme či nezamítáme, je třeba zjistit, zda hodnota testovací statistiky spadá či nespadá do kritického oboru  $W = (-\infty, -t_{1-\alpha/2}(n-1)] \cup [t_{1-\alpha/2}(n-1), \infty)$ .
6. Hodnotu  $t_{1-\alpha/2}(n-1)$  lze najít v tabulkách studentova rozdělení (viz Obrázek 12). Ve vodorovné ose tabulky se dosadí hodnota  $1 - \alpha/2$  a ve svislé ose se dosadí hodnota  $n - 1$ . Protnutí dosazených hodnot určuje výsledek.  $\alpha$  značí hladinu významnosti, která udává sílu provedeného testu. Lze si ji libovolně určit, obvykle se používá 0,05. V našem případě  $1 - \alpha/2 = 1 - 0,05/2 = 0,975$  a  $n - 1 = 14 - 1 = 13$ . Hodnoty 0,975 a 13 na osách tabulky se protnulý do výsledku 2,16. Tudíž  $W = (-\infty; -2,16] \cup [2,16; \infty)$ .
7. Pokud spočtená testovací statistika  $T$  spadá do kritického oboru  $W$ , tak zamítáme (na hladině významnosti 0,05) nulovou hypotézu o nulovosti rozdílu středních hodnot ve prospěch alternativy, že rozdíl středních

hodnot je různý od nuly, neboli průměr hodnot naměřených sporttesterem neodpovídá průměru hodnot naměřených na EKG. Pokud testovací statistika  $T$  nespadá do kritického oboru  $W$ , tak nulovou hypotézu nezamítáme (na hladině významnosti 0,05).

(Math and Stats Support Centre, a; Math and Stats Support Centre, b)

TABLE 5 Percentage points of the  $t$  distribution ( $t_{\alpha}$ )<sup>a</sup>

Degrees of freedom, $d$	$u$								
	.75	.80	.85	.90	.95	.975	.99	.995	.9995
1	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	636.619
2	0.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	31.598
3	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	12.924
4	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	8.610
5	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	6.869
6	0.718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.959
7	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	5.408
8	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	5.041
9	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.781
10	0.700	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.587
11	0.697	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.437
12	0.695	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	4.318
13	0.694	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	4.221
14	0.692	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	4.140
15	0.691	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	4.073
16	0.690	0.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	4.015
17	0.689	0.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.965
18	0.688	0.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.922
19	0.688	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.883
20	0.687	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.850
21	0.686	0.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.819
22	0.686	0.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.792
23	0.685	0.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.767
24	0.685	0.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.745
25	0.684	0.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.725
26	0.684	0.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.707
27	0.684	0.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.690
28	0.683	0.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.674
29	0.683	0.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.659
30	0.683	0.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.646
40	0.681	0.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.551
60	0.679	0.848	1.046	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.460
120	0.677	0.845	1.041	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	3.373
$\infty$	0.674	0.842	1.036	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.291

Obrázek 30 – Tabulka studentova rozdělení ([www. media.cheggcdn.com](http://www.media.cheeggcdn.com))

Jako další byl ve statistice vypočítán **interval spolehlivosti** rozdílu středních hodnot. Interval spolehlivosti má smysl počítat pouze, když nulovou hypotézu zamítáme. 95 % oboustranný interval spolehlivosti pro rozdíl středních hodnot je:  $m_z \pm t_{1-\alpha}(n - 1) * s_z/\sqrt{n}$ . Zde se  $1 - \alpha = 1 - 0,025 = 0,975$  (pro oboustranný interval spolehlivosti se za  $\alpha$  dosadí polovina ze zvolené hladiny významnosti) a  $n - 1 = 14 - 1 = 13$ , výsledné  $t_{1-\alpha}(n - 1) = 2,16$ . Výsledný interval je interval, ve kterém na 95 % leží rozdíl středních hodnot měření EKG a měření sporttesterem, neboli udává pravděpodobný rozdíl průměrů hodnot jednotlivých měření. (Math and Stats Support Centre, a; Math and Stats Support Centre, b)

## 2.4 Výsledky

Na základě získaných výsledků, je možné zhodnotit, že měření přístrojem Garmin Fenix 5 ve srovnání s EKG přístrojem je dostatečně přesné.

Byl vypočítán průměr rozdílů sporttesteru vůči EKG na běhátku (v absolutních hodnotách), který vyšel **2,44**. Toto bylo vypočítáno také u bicyklového ergometru s výsledkem **1,29**. Díky těmto výsledkům lze potvrdit první hypotézu, která říká, že: „Při měření na bicyklovém ergometru budou naměřeny menší rozdíly hodnot mezi sporttesterem a EKG oproti běhátku.“

Byl vypočítán průměr rozdílů sporttesteru vůči EKG na běhátku (v absolutních hodnotách) při lehké zátěži (v časech 5:00, 5:30, 6:00), který je roven **2,62**, a při těžší zátěži (v časech 10:00, 10:30, 11:00), který je roven **2,26**. Totéž bylo vypočítáno také u bicyklového ergometru, kdy při lehčí zátěži byl rozdíl **1,24** a při těžší zátěži **1,33**. Tyto výsledky jednoznačně nepotvrzují druhou hypotézu, která říká, že: „Rozdíly hodnot při menších zátěžích v časech 5:00, 5:30, 6:00 budou nižší ve srovnání s rozdíly hodnot při těžší zátěži v časech 10:00, 10:30, 11:00.“

U párového T-testu při měření na běhátku ani v jednom z časů nebyla zamítnuta nulová hypotéza, což poukazuje na to, že průměry hodnot naměřených sporttesterem odpovídají průměrům hodnot naměřených na EKG, což v praxi znamená, že měření je přesné. To samé nelze říci o hodnotách naměřených na bicyklovém ergometru, kde je ve třech časech nulová hypotéza zamítána a ve třech zamítána není, což poukazuje na to, že průměry hodnot naměřených sporttesterem spíše neodpovídají průměrům hodnot naměřených na EKG, což v praxi znamená, že měření je spíše nepřesné.

Průměrný rozdíl hodnot u bicyklového ergometru (v absolutní hodnotě) je **1,29** se směrodatnou odchylkou 1,18 a u běhátka je průměrný rozdíl hodnot (v absolutní hodnotě) roven **2,44** se směrodatnou odchylkou 2,5. Vzhledem k průměrným tepovým frekvencím 141,7 pro bicyklový ergometr a 138,05 pro běhátko (průměrné tepové frekvence byly spočteny z hodnot naměřených sporttesterem i EKG) jsou rozdíly měření mezi sporttesterem a EKG minimální a tudíž je měření sporttesterem vůči EKG dostatečně přesné.

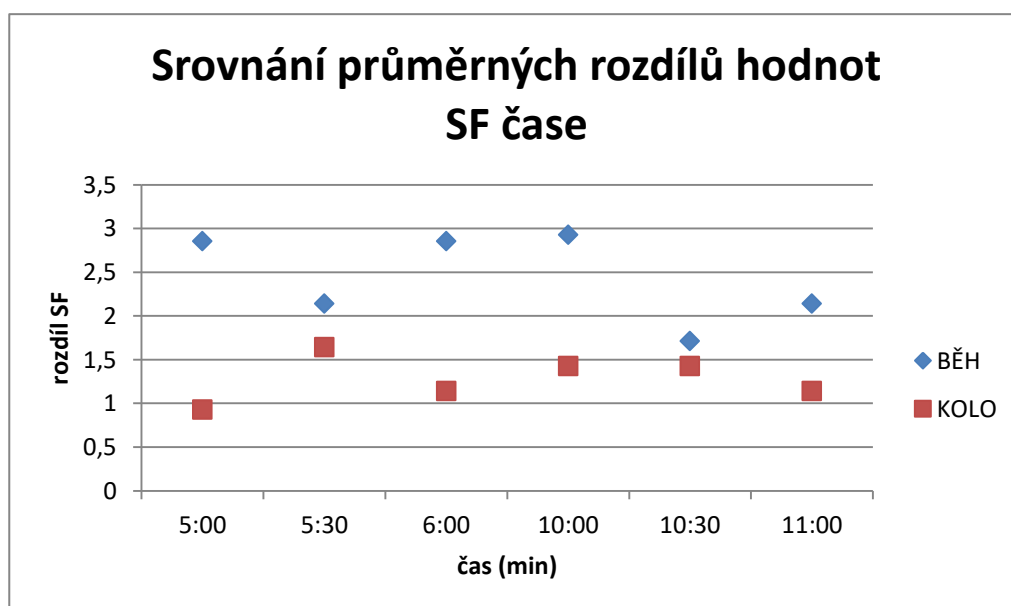
Průměrné rozdíly a jejich směrodatné odchylky ze všech 14 měření, ve kterých nedošlo k chybě (z absolutních hodnot rozdílů měření EKG a sporttesteru):

### BĚH

Čas	Průměrné rozdíly	Směrodatná odchylka
5:00	2,86	2,44
5:30	2,14	1,61
6:00	2,86	4,59
10:00	2,93	1,69
10:30	1,71	1,54
11:00	2,14	1,92

### KOLO

Čas	Průměrné rozdíly	Směrodatná odchylka
5:00	0,93	0,92
5:30	1,64	1,39
6:00	1,14	0,95
10:00	1,43	1,34
10:30	1,43	1,50
11:00	1,14	0,86



Obrázek 31 – Graf srovnání průměrných rozdílů hodnot srdeční frekvence v čase

Výsledky párového T-testu:

BĚH

ČAS	$m_z$	$s_z$	n	T	Zamítáme/ Nezamítáme	Interval spolehlivosti
5:00	0,86	3,74	14	0,86	Nezamítáme	X
5:30	-0,86	2,60	14	-1,23	Nezamítáme	X
6:00	0,57	5,43	14	0,39	Nezamítáme	X
10:00	0,79	3,38	14	0,87	Nezamítáme	X
10:30	0,71	2,23	14	1,20	Nezamítáme	X
11:00	0,86	2,80	14	1,15	Nezamítáme	X

KOLO

ČAS	$m_z$	$s_z$	n	T	Zamítáme/ Nezamítáme	Interval spolehlivosti
5:00	-0,07	1,33	14	-0,20	Nezamítáme	X
5:30	-0,5	2,14	14	-0,87	Nezamítáme	X
6:00	0,86	1,23	14	2,60	Zamítáme	0,86±0,71
10:00	1	1,71	14	2,19	Zamítáme	1±0,99
10:30	1,14	1,75	14	2,45	Zamítáme	1,14±1,01
11:00	0,57	1,34	14	1,60	Nezamítáme	X

## 2.5 Diskuze

Měření se v této bakalářské práci zúčastnilo 18 probandů, ovšem do výpočetní statistiky jich bylo započítáno pouze 14 z důvodu chybovosti při měření u sporttestru oproti EKG. V těchto čtyřech případech byl rozdíl mezi hodnotami sporttestru a EKG velmi výrazný a naměřené hodnoty neodpovídaly skutečnosti.

Důvodů, proč mohou vyjít takto výrazně odlišné výsledky, může být vícero. Jedním z nich může být **nedostatečné utažení pásu** hodinek. Dalším možným důvodem pro nepřesné měření může být **nadměrná potivost** v místě optického snímače.

K některým chybným výsledkům při měření pravděpodobně došlo z důvodu nadměrné potivosti v místě optického snímače. Díky nadměrné potivosti mohlo také dojít k posunutí optického senzoru na hodinkách do nevhodné polohy vzdálené oproti



ideální pozici pro měření. (Ideální umístění optického senzoru je ve vzdálenosti na šířku našeho nejdistančnějšího článku prstu ruky nad processus styloideus radii a ulnae.)

Dalším důvodem chybného měření byl pravděpodobně nedostatečně utažený pásek na hodinkách, díky čemuž optický senzor nemusel zachytit všechny tepy, které se objevily během jedné minuty. Také díky tomu došlo v jednom případě ke sklouznutí hodinek.

Vliv na chybovost měření může mít také prokrvení periferie, kdy například u tzv. „ledových rukou“ vlivem chladu dochází k menšímu prokrvování periferie, vazokonstrikci periferie a puls se stává těžce hmatatelným. Vliv prokrvení periferie by se dal zkoumat, například kdyby jedna ruka se sporttesterem byla při jízdě na bicyklovém ergometru ponořena do nádoby se studenou vodou a druhá ruka se sporttesterem do nádoby s teplou vodou.

Na základě výsledků byla potvrzena první hypotéza, která tvrdí, že: „Při měření na bicyklovém ergometru budou naměřeny menší rozdíly hodnot mezi sporttesterem a EKG oproti běhátku.“ Jako zdůvodnění těchto výsledků se nabízí statická poloha u bicyklového ergometru, kdy se ruka se sporttesterem hýbe minimálně, zatímco v případě použití sporttesteru na běhacím pásu se ruka hýbe více. Na druhou stranu rozdíl 1,15 tepů za minutu není statisticky významný a ani pro praktické hodnocení relevantní.

Druhá hypotéza tvrdí, že: „Rozdíly hodnot při menších zátěžích v časech 5:00, 5:30, 6:00 budou nižší ve srovnání s rozdíly hodnot při těžší zátěži v časech 10:00, 10:30, 11:00.“ Tato hypotéza však nebyla jednoznačně potvrzena. Na běhátku byly naměřeny rozdíly průměrných rozdílů hodnot při vyšší zátěži menší než při nižší zátěži, zatímco na bicyklovém ergometru byly naměřeny rozdíly průměrných rozdílů hodnot při vyšší zátěži větší než při nižší zátěži.

Třetí hypotéza tvrdí, že: „Rozdíly naměřených hodnot srdeční frekvence mezi EKG a sporttesterem budou signifikantní“. Tuto hypotézu lze potvrdit statisticky, ale pro praxi jsou naměřené odchylky (do třech tepů za minutu) nevýznamné.

Na základě závěrů výše uvedených hypotéz lze říci, že bylo dosaženo cíle bakalářské práce, která potvrdila, že přesnost měření tepové frekvence na sportovních hodinkách (sporttesteru) Garmin typu Fenix 5 se blíží přesnosti měření tepové frekvence na EKG. Je ovšem třeba zmínit, že z tohoto výzkumu bylo vyloučeno 22,2 % měření vykazujících zásadní chyby, které neodpovídaly fyziologickým hodnotám.

V první studii, která byla zmiňována v teoretické části této práce a srovnávala sporttester „Empatica E4 wristband“ a EKG typu „VU – AMS“, sporttester měřil srdeční frekvenci přesně pouze v klidu a při pohybové aktivitě vykazoval nepřesné hodnoty srdeční frekvence. Zatímco měření potvrzená touto prací za použití sporttesteru Garmin Fenix 5 vykazují velmi přesné hodnoty jak při nižší, tak při vyšší intenzitě zátěže (1 W/kg i 2 W/kg, a to jak na běhátku, tak na bicyklovém ergometru).

V druhé studii zmiňované v teoretické části, která porovnávala sporttester „Samsung Gear Sport smartwatch“ a EKG typu „Shimmer3“ se naměřené hodnoty srdeční frekvence v klidu a i některé hodnoty v zátěži jeví jako docela přesné. Zatímco u sporttesteru Garmin Fenix 5 se hodnoty v zátěži v porovnání s EKG jeví jako velmi přesné.

Ve třetí studii zmiňované v teoretické části, která porovnávala přesnost měření hrudního pásu Polar H10 s třísvodovým EKG, se hodnoty naměřené na hrudním pásu Polar H10 jak v klidu, tak při zátěži na bicyklovém ergometru jeví přesné. Stejně tak v této práci se hodnoty naměřené sporttesterem Garmin typu Fenix 5 při zátěži na bicyklovém ergometru jeví přesné, a to i pouze jen se sportovními hodinkami bez hrudního pásu. U této studie bylo kvůli chybovosti při měření vyloučeno ze statistických výpočtů 7 ze 75 měření (odchylka představovala více jak 5 %), tudíž chybovost zde činí 9,33 %. Studie číslo 3 tedy vykazuje o 12,9 % nižší chybovost, než byla zjištěna v této práci.

Ve čtvrté studii zmiňované v teoretické části, která porovnávala přesnost měření sportovních hodinek s PPG senzorem s hrudním pásem Polar H10 a dvanáctisvodovým EKG, se hodnoty naměřené na všech třech zařízeních jeví shodné. Stejně tak v této práci při porovnání sporttesteru Garmin Fenix 5 a EKG se hodnoty také jeví přesné.

V páté studii zmiňované v teoretické části, která porovnávala měření sporttesteru Polar OH1 a Fitbit Charge 3 s hrudním pásem Polar H10, se hodnoty srdeční frekvence naměřené na sporttesteru Polar OH1 v klidu, při chůzi, běhu i na kole shodují s hodnotami srdeční frekvence naměřenými na hrudním pásem Polar H10. Fitbit Charge 3 naopak vykazoval shodné hodnoty pouze v klidu a při zátěži se naměřené hodnoty srdeční frekvence lišily. Sporttester Polar OH1 tudíž vykazuje podobnou přesnost při měření srdeční frekvence jako sporttester Garmin Fenix 5. Naopak Fitbit Charge 3 se jeví oproti sporttesteru Garmin Fenix 5 jako méně přesný.

Žádná jiná z uvedených studií kromě třetí nevykazuje chybovost měření na rozdíl od mé práce, kdy 22,2 % probandů bylo vyřazeno ze statistických výpočtů.

Kdyby bylo možné tuto práci zopakovat, tak by bylo zvoleno více probandů, aby byl získán větší vzorek pro statistické výpočty. Dále by bylo také vhodné zvážit měření na dvou sportovních hodinkách různé značky (bez hrudního pásu) současně pro zjištění, které sportovní hodinky poskytují za konkrétních podmínek přesnější měření. Také by bylo vhodné se zabývat vlivem klimatických podmínek na měření.

## ZÁVĚR

Tato bakalářská práce byla zaměřena na téma „Srovnání přesnosti měření tepové frekvence v zátěži na hodinkách bez hrudního pásu a pomocí EKG“.

Tepová frekvence je jednou ze základních veličin, která se využívá při tréninku ke zlepšování fyzické zdatnosti. Kvalitní a přesné měření srdeční frekvence umožňuje spolehlivě setrvat jednotlivci ve zvoleném rozmezí tepové frekvence a po zvolenou dobu, čímž se pak trénink stává nejefektivnější.

Tím, že se kvalitní sportovní hodinky stávají běžnou součástí každodenního života, dostává se do rukou široké veřejnosti nástroj, který jim na každodenní bázi může pomoci zlepšovat svou fyzickou kondici, motivovat je a zároveň třeba i upozornit na možný hrozící zdravotní problém.

V dnešní době je technologie sportovních hodinek již na vysoké úrovni a při použití kvalitních sportovních hodinek jsou naměřené hodnoty tepové frekvence velmi přesné, a ani odchylka od měření prostřednictvím speciálního medicinského přístroje EKG není významná, což potvrdily i výsledky této práce. Cíl této bakalářské práce byl tedy splněn.

Přínos této práce lze tedy spatřovat v tom, že bylo potvrzeno, že kvalitní sportovní hodinky poskytují dostatečně přesná měření srdeční tepové frekvence a lze se jimi řídit při stanovování a plnění tréninkových cílů.

Je nutné však zmínit, že z výzkumu této práce bylo vyřazeno 22,2 % probandů, neboť sporttester u nich naměřil výrazně rozdílné hodnoty srdeční frekvence oproti EKG.

Sporttester Garmin Fenix 5 lze tedy považovat za přesný při měření srdeční frekvence, ale jeho spolehlivost je relativně nízká.

Ve studiích, které se zabývaly podobným tématem, se kromě studie číslo 3 neuvádí vyřazení probandů z důvodů chybovosti naměřených hodnot ze statistických výpočtů na rozdíl od této práce.

Co se týče možných budoucích směrů výzkumu v této oblasti, bylo by možné se zaměřit například na porovnání kvality měření různých druhů sportovních hodinek různých značek (Polar, Apple Watch, Suunto). Vzhledem k tomu, že byla potvrzena spolehlivost měření na sportovních hodinkách bez hrudního pásu, není shledáváno jako přínosné zabývat se dalšími měřeními s hrudním pásem, jelikož další případné zpřesnění bude za srovnatelných podmínek nevýznamné a pro účely sportovního tréninku tudíž zbytečné.

Je třeba zmínit, že měření probíhala za ideálních podmínek a k výsledkům je tedy třeba takto přistupovat. Nebylo například posuzováno, jaký vliv na kvalitu měření má změna klimatických podmínek (teploty, vlhkosti apod). Lze předpokládat, že za deště nebo za extrémnějších teplot budou výsledky měření méně přesné, což by mohly být hypotézy, které by návazná práce měla potvrdit nebo vyvrátit.

## REFERENČNÍ SEZNAM

BENSON, Roy; CONNOLLY, Declan. *Trénink podle srdeční frekvence: jak zvýšit kondici, vytrvalost, laktátový práh, výkon*. Praha: Grada, 2012. ISBN 9788024740362.

CASTANEDA, D.; ESPARZA, A.; GHAMARI, M.; SOLTANPUR, C.; NAZERAN, H. *A review on wearable photoplethysmography sensors and their potential future applications in health care* [online]. 2018 [cit. 15. dubna 2023]. Dostupný z WWW: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6426305/>>.

CLEVELAND CLINIC. *Heart Rate Variability (HRV)* [online]. 2021 [cit. 15. dubna 2023]. Dostupný z WWW: <<https://my.clevelandclinic.org/health/symptoms/21773-heart-rate-variability-hrv>>.

ČIHALÍK, Čestmír; TÁBORSKÝ, Miloš. *EKG v klinické praxi*. Olomouc: Solen, 2013. Meduca. ISBN 9788074710155.

FYE, W. B. *A history of the origin, evolution, and impact of electrocardiography* [online]. 1994 [cit. 15. dubna 2023]. Dostupný z WWW: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8184849/>>.

GANONG, William F. *Přehled lékařské fyziologie*. Dvacáté vydání. Praha: Galén, 2005. ISBN 8072623117.

GARMIN. *FĚNIX® 5/5S* [online]. 2020 [cit. 15. dubna 2023]. Dostupný z WWW: <[https://www8.garmin.com/manuals/webhelp/phenix5/EN-US/phenix\\_5\\_5S\\_OM\\_EN-US.pdf](https://www8.garmin.com/manuals/webhelp/phenix5/EN-US/phenix_5_5S_OM_EN-US.pdf)>.

GARMIN. *Přesnost metrik kondice a sledování aktivity* [online]. 2023a [cit. 15. dubna 2023]. Dostupný z WWW: <<https://www.garmin.com/cs-CZ/legal/atdisclaimer/>>.

GARMIN. *fēnix® 5* [online]. 2023b [cit. 15. dubna 2023]. Dostupný z WWW: <<https://www.garmin.com/en-US/p/552982>>.

HABERL, Ralph. *EKG do kapsy*. Praha: Grada, 2012. ISBN 9788024741925.

HAMPTON, John R. *EKG stručně, jasně, přehledně*. Překlad 6. vydání. Praha: Grada, 2005. ISBN 8024709600.

II. INTERNÍ KLINIKA KARDIOLOGIE A ANGIOLOGIE 1. LF UK A VFN. *Vyšetření EKG dle Holtera* [online]. 2021 [cit. 15. dubna 2023]. Dostupný z WWW: <<https://int2.lf1.cuni.cz/1LFIK-62.html>>.

JAVORKA, Kamil. *Variabilita frekvencie srdca: mechanizmy, hodnotenie, klinické využitie*. Martin: Vydavateľstvo Osveta, 2008. ISBN 9788080632694.

KITTNAR, Otomar. *Lékařská fyziologie*. 2., přepracované a doplněné vydání. Praha: Grada, 2020. ISBN 9788024719634.

LANGMEIER, Miloš. *Základy lékařské fyziologie*. Praha: Grada, 2009. ISBN 9788024725260.

MAGDER, Sheldon A. *The ups and downs of heart rate* [online]. 2012 [cit. 15. dubna 2023]. Dostupný z WWW: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22179340/>>.

MATAS, J. *Využití moderních počítačových a technologických prostředků pro sledování tréninkového procesu*. Plzeň, 2013. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta pedagogická.

MATH AND STATS SUPPORT CENTRE. *Párový t-test* [online]. a [cit. 15. dubna 2023]. Dostupný z WWW: <<https://mathstat.econ.muni.cz/media/12565/pairedtest.pdf>>.

MATH AND STATS SUPPORT CENTRE. *Úvod do testování hypotéz* [online]. b [cit. 15. dubna 2023]. Dostupný z WWW: <<https://mathstat.econ.muni.cz/media/19033/testy.pdf>>.

MÁČEK, M.; RADVANSKÝ, J.; SLABÝ, K.; PROCHÁZKA, M. *Základy zátěžové fyziologie* [online]. 2012 [cit. 17. dubna 2023]. Dostupný z WWW: <<http://tv1.lf2.cuni.cz/wordpress/wp-content/uploads/Zaklady-zatezove-fyziologie.pdf>>.

MEDICAL TRIBUNE. *Monitorace srdečního rytmu po kryptogenní CMP – čím déle, tím lépe* [online]. 2021 [cit. 23. dubna 2023]. Dostupný z WWW: <[https://www.tribune.cz/medicina/monitorace-srdecniho-rytmu-po-kryptogenni-cmp-cim-dele-tim-lepe/?fbclid=IwAR1OGbQlqPvYnOiV-5rCfy\\_dpIFeK10JGcbF1zf-ILs2odqmGbgj-RvzVYQ](https://www.tribune.cz/medicina/monitorace-srdecniho-rytmu-po-kryptogenni-cmp-cim-dele-tim-lepe/?fbclid=IwAR1OGbQlqPvYnOiV-5rCfy_dpIFeK10JGcbF1zf-ILs2odqmGbgj-RvzVYQ)>.

MEDOVÁ, Eva. *Základy EKG* [online]. [cit. 15. dubna 2023]. Dostupný z WWW: <[https://is.vszdrav.cz/el/vsz/zima2020/ZZNAR2686/um/Zaklady\\_EKG.pdf](https://is.vszdrav.cz/el/vsz/zima2020/ZZNAR2686/um/Zaklady_EKG.pdf)>.

MINÁŘ, Marek. *Analýza využitelnosti sporttesterů při orientačním běhu*. Brno, 2017. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Fakulta sportovních studií.

MOYA-RAMON, M.; MATEO-MARCH, M.; PEÑA-GONZÁLEZ, I.; ZABALA, M.; JAVALOYES, A. *Validity and reliability of different smartphones applications to measure HRV during short and ultra-short measurements in elite athletes* [online]. 2022 [cit. 15. dubna 2023]. Dostupný z WWW: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169260722000815?via%3Dihub>>.

MUGGERIDGE, D. J.; HICKSON, K.; DAVIES, A. V.; GIGGINS, O. M.; MEGSON, I. L.; GORELY, T.; CRABTREE, D. R. *Measurement of Heart Rate Using the Polar OH1 and Fitbit Charge 3 Wearable Devices in Healthy Adults During Light, Moderate, Vigorous, and Sprint-Based Exercise: Validation Study* [online]. 2021 [cit. 22. dubna 2023]. Dostupný z WWW: <[https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8088863/?fbclid=IwAR1RljbkgkUu2lGqRAGMoAozgBwWptS7rGpH0\\_Xdx\\_LMALweCMI9111nU](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8088863/?fbclid=IwAR1RljbkgkUu2lGqRAGMoAozgBwWptS7rGpH0_Xdx_LMALweCMI9111nU)>.

NAVRÁTIL, Leoš; ROSINA, Jozef. *Medicínská biofyzika*. 2., zcela přepracované a doplněné vydání. Praha: Grada, 2019. ISBN 9788027102099.

NEMOCNICE NA HOMOLCE. *Holter EKG + 24 hod. monitor TK* [online]. 2017 [cit. 15. dubna 2023]. Dostupný z WWW: <<https://www.homolka.cz/nase-oddeleni/11635-kardiovaskularni-program/11635-kardiologie-kar/11697-pracoviste/neinvazivni-kardiologie/11699-ambulantni-vysetrovaci-metody/11708-holter-ekg-24-hod-monitor-tk/>>.

NEUMANN, Georg; PFÜTZNER, Arndt; HOTTENROTT, Kuno. *Trénink pod kontrolou: metody, kontrola a vyhodnocení vytrvalostního tréninku*. Praha: Grada, 2005. Fitness, síla, kondice. ISBN 8024709473.

RADVANSKÝ, Jiří. *Fyziologie tělesné zátěže II. (přednáška)*

SARHADDI, F.; KAZEMI, K.; AZIMI, I.; CAO, R.; NIELA-VILÉN, H.; AXELIN, A.; LILJEBERG, P.; RAHMANI, A. M. *A comprehensive accuracy assessment of Samsung smartwatch heart rate and heart rate variability* [online]. 2022 [cit. 15. dubna 2023]. Dostupný z WWW: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9731465/>>.

SCHAFFARCZYK, M.; ROGERS, B.; REER, R.; GRONWALD, T. *Validity of the Polar H10 Sensor for Heart Rate Variability Analysis during Resting State and Incremental Exercise in Recreational Men and Women* [online]. 2022 [cit. 15. dubna 2023]. Dostupný z WWW: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9459793/>>.

SCHUURMANS, A. A. T.; DE LOOFF, P.; NIJHOF, K. S.; ROSADA, C.; SCHOLTE, R. H. J.; POPMA, A.; OTTEN, R. *Validity of the Empatica E4 Wristband to Measure Heart Rate Variability (HRV) Parameters: a Comparison to Electrocardiography (ECG)* [online]. 2020 [cit. 15. dubna 2023]. Dostupný z WWW: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7511462/>>.

SORVOJA, Hannu. *Noninvasive blood pressure pulse detection and blood pressure determination*. Oulu: Oulu University Press, 2006. ISBN 951428271X.

SOVOVÁ, Eliška. *EKG pro sestry*. Praha: Grada, 2006. ISBN 8024715422.

ŠTEFÁNEK, Jiří. *EKG obecně* [online]. 2011 [cit. 15. dubna 2023]. Dostupný z WWW: <<https://www.stefajir.cz/ekg-obecne>>.

TRETERA, Michal. *Analýza tepové frekvence maratónce*. Brno, 2021. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Fakulta sportovních studií.

TROJAN, Stanislav. *Lékařská fyziologie*. Vyd. 4., přeprac. a dopl. Praha: Grada, 2003. ISBN 8024705125.

UCEBNICE-EKG.CZ. *EKG* [online]. [cit. 25. března 2023]. Dostupný z WWW: <[http://www.ucebnice-ekg.cz/index.php?option=com\\_content&view=article&id=36&Itemid=117](http://www.ucebnice-ekg.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=36&Itemid=117)>.

WHOOP. *Everything You Need to Know About Heart Rate Variability (HRV)* [online]. 2021 [cit. 17. dubna 2023]. Dostupný z WWW: <<https://www.whoop.com/thelocker/heart-rate-variability->



[hrv/?fbclid=IwAR1JZgUtYyzON145IUcItvN7MJG2I8JsFpqc-kyoPNP10iF4Mjt1yASLW](https://hrv/?fbclid=IwAR1JZgUtYyzON145IUcItvN7MJG2I8JsFpqc-kyoPNP10iF4Mjt1yASLW)>.

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 – Rozmístění hrudních elektrod (www.wikimedia.org).....	19
Obrázek 2 – Rozmístění končetinových elektrod (www.docplayer.cz) .....	19
Obrázek 3 – Bipolární končetinové svody (Trojan, 2003, s. 280).....	20
Obrázek 4 – Unipolární končetinové svody (Trojan, 2003, s. 281).....	20
Obrázek 5 – Unipolární hrudní svod (Trojan, 2003, s. 281).....	21
Obrázek 6 – Holter a jeho připojení (Navrátil, 2019, s. 129) .....	22
Obrázek 7 – EKG křivka (www.ozp.cz).....	23
Obrázek 8 – Elektrická osa srdeční (www.encrypted-tbn0.gstatic.com).....	24
Obrázek 9 – Sporttester Garmin Fenix 5 (www.res.garmin.com) .....	26
Obrázek 10 – Empatica E4 wristband (www.empatica.com) .....	29
Obrázek 11 – EKG "VU – AMS" (www.vu-ams.nl).....	29
Obrázek 12 – Samsung Gear Sport smartwatch (www.cdn.originalky.cz) .....	30
Obrázek 13 – EKG "Shimmer 3" (www.shimmersensing.com).....	30
Obrázek 14 – Hrudní pás Polar H10 (www.polar.com).....	31
Obrázek 15 – Hrudní pás Polar H10 a dvanáctisvodové EKG (www.ncbi.nlm.nih.gov)	
.....	32
Obrázek 16 – Sporttester Polar OH1 (www.m.media-amazon.com).....	33
Obrázek 17 – Fitbit Charge 3 (www.cdc.originalky.cz).....	34
Obrázek 18 – Běhátko.....	36
Obrázek 19 – Bicyklový ergometr .....	36
Obrázek 20 – EKG.....	37
Obrázek 21 – Sporttester Garmin Fenix 5 .....	37
Obrázek 22 – Rozmístění jednotlivých elektrod zepředu .....	39
Obrázek 23 – Rozmístění jednotlivých elektrod z boku.....	39
Obrázek 24 – Rozmístění jednorázových elektrod zezadu .....	40
Obrázek 25 – Připojení EKG zepředu .....	40
Obrázek 26 – Připojení EKG zezadu .....	40
Obrázek 27 – Proband při měření na bicyklovém ergometru .....	41
Obrázek 28 – Proband při měření na běhátku.....	42
Obrázek 29 – EKG pravítka .....	42
Obrázek 30 – Tabulka studentova rozdělení (www.media.cheggcdn.com) .....	45
Obrázek 31 – Graf srovnání průměrných rozdílů hodnot srdeční frekvence v čase.....	47

## **SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha č. 1: Záznamy srdečních frekvencí z měření na bicyklovém ergometru (tabulka)

Příloha č. 2: Záznamy srdečních frekvencí z měření na běhátku (tabulka)

Příloha č. 3: Informovaný souhlas

## PŘÍLOHY

Příloha č. 1: Záznamy srdečních frekvencí z měření na bicyklovém ergometru  
(tabulka)Bicyklový  
ergometr

	5:00	5:30	6:00	10:00	10:30	11:00	
M. J. (EKG)	132	139	131	171	173	177	
M. J. (sporttester)	133	138	132	172	174	178	
V. Č. (EKG)	119	120	117	152	148	153	
V. Č. (sporttester)	117	122	118	152	149	154	
A. Š. (EKG)	128	129	129	167	166	166	
A. Š. (sporttester)	128	130	129	166	167	168	
A. D. (EKG)	95	94	98	132	131	128	
A. D. (sporttester)	94	95	98	132	133	130	
A. K. (EKG)	141	143	143	170	172	171	
A. K. (sporttester)	140	142	141	168	171	171	
B. Z. (EKG)	143	146	144	172	174	180	
B. Z. (sporttester)	143	140	144	177	180	182	
E. D. (EKG)	121	123	124	159	165	165	
E. D. (sporttester)	121	123	126	161	166	165	
E. L. (EKG)	104	105	104	139	138	140	
E. L. (sporttester)	107	104	106	140	140	140	
I. K. (EKG)	153	155	156	182	183	183	
I. K. (sporttester)	153	154	157	184	185	184	
K. D. (EKG)	127	128	122	152	152	158	
K. D. (sporttester)	127	126	122	153	152	158	
N. D. K. (EKG)	129	127	126	155	155	156	
N. D. K. (sporttester)	128	129	127	155	154	157	
R. N. (EKG)	133	136	136	157	158	163	
R. N. (sporttester)	134	135	139	158	158	161	
S. S. (EKG)	113	110	115	148	145	149	
S. S. (sporttester)	114	112	117	151	147	147	
V. B. (EKG)	113	110	108	135	137	136	
V. B. (sporttester)	111	108	109	136	137	138	
A. Z. (EKG)	123	128	127	164	165	165	?
A. Z. (sporttester)	122	128	127	165	166	167	?
A. P. (EKG)	122	115	110	147	142	143	?
A. P. (sporttester)	122	115	118	145	145	142	?

D. H. (EKG)	115	117	125	163	162	157	?
D. H. (sporttester)	120	120	124	163	161	158	?
I. D. (EKG)	135	135	135	167	168	172	?
I. D. (sporttester)	134	134	117	166	168	173	sklouzly hodinky

## Příloha č. 2: Záznamy srdečních frekvencí z měření na běhátku (tabulka)

### Běhátko

	5:00	5:30	6:00	10:00	10:30	11:00	
M. J. (EKG)	130	129	124	177	180	180	
M. J. (sporttester)	128	129	122	179	179	177	
V. Č. (EKG)	116	119	105	165	164	166	
V. Č. (sporttester)	124	123	123	167	164	166	
A. Š. (EKG)	110	106	110	175	173	173	
A. Š. (sporttester)	114	106	110	170	174	173	
A. D. (EKG)	94	94	92	135	140	145	
A. D. (sporttester)	91	89	87	142	141	144	
A. K. (EKG)	130	131	135	180	185	185	
A. K. (sporttester)	128	132	136	181	185	186	
B. Z. (EKG)	114	118	117	180	179	180	
B. Z. (sporttester)	115	117	116	177	179	182	
E. D. (EKG)	105	113	111	157	161	161	
E. D. (sporttester)	112	110	114	159	160	160	
E. L. (EKG)	97	97	95	157	156	160	
E. L. (sporttester)	97	97	94	159	160	163	
I. K. (EKG)	132	138	130	185	186	187	
I. K. (sporttester)	137	135	128	187	187	188	
K. D. (EKG)	113	113	114	175	173	175	
K. D. (sporttester)	112	116	115	179	176	176	
N. D. K. (EKG)	98	95	104	143	140	142	
N. D. K. (sporttester)	95	92	100	139	135	138	
R. N. (EKG)	130	118	120	170	171	170	
R. N. (sporttester)	131	115	120	169	173	172	
S. S. (EKG)	87	88	93	148	147	146	
S. S. (sporttester)	84	89	92	146	149	150	
V. B. (EKG)	96	100	96	153	151	143	
V. B. (sporttester)	96	97	97	157	154	150	
A. Z. (EKG)	106	116	110	165	165	167	?
A. Z. (sporttester)	100	86	87	145	144	144	?
A. P. (EKG)	98	99	98	147	146	146	?

A. P. (sporttester)	137	140	130	147	148	146	?
D. H. (EKG)	95	93	93	153	155	155	?
D. H. (sporttester)	100	101	101	93	97	95	?
I. D. (EKG)	114	114	114	169	170	168	?
I. D. (sporttester)	114	115	116	170	173	172	?

### Příloha č. 3: Informovaný souhlas

#### INFORMOVANÝ SOUHLAS PROBANDA

Vážená paní/ vážený pane,

žádám Vás tímto o spolupráci na výzkumu v rámci mé bakalářské práce s názvem „Srovnání přesnosti měření tepové frekvence v zátěži na hodinkách bez hrudního pásu a pomocí EKG“, v oboru fyzioterapie pod vedením MUDr. Jana Pokorného.

Tato bakalářská práce se zabývá přesností měření srdeční frekvence sporttesterem Grmin Fenix 5 oproti EKG.

Měření bude probíhat na dvou přístrojích, a to na bicyklovém ergometru a na běhacím páse. Na každém z přístrojů bude měření probíhat 11 minut a mezi měřeními bude 20 minut pauza na relaxaci. Při měření na sobě budete mít připojeno EKG a připevněny sportovní hodinky Garmin Fenix 5.

Berte na vědomí, že se jedná o pohybovou aktivitu a s ní běžně spojená rizika. Pokud chodíte do fitness centra na běžecký pás nebo na kolo, tak se těchto rizik obávat nemusíte. Intenzita pohybové aktivity ve výzkumu se nijak neliší od běžných činností, tudíž Vás nečeká nic kontroverzního.

Informace o Vaší osobě a fotografie z výzkumu budou shromažďovány a zpracovávány jen pro potřeby vypracování a prezentování této bakalářské práce a budou brány za zcela důvěrné. Veškerá získaná data budou v práci uvedena pouze pod iniciály jmen a na fotografiích z výzkumu nikde nebude zveřejněna Vaše tvář. Data a fotografie nebudou nijak vázaná na Vaši osobu.

Vaše účast v této studii je dobrovolná a můžete ji kdykoliv ukončit.

Velice Vám děkuji za účast.

Eliška Dillingerová, autorka bakalářské práce, studentka 3. ročníku bakalářského studia na 2. lékařské fakultě Univerzity Karlovy

### PROHLÁŠENÍ

Souhlasím s mou účastí v této studii. Souhlasím s fotografováním a poskytnutím informací Elišce Dillingerové pro účely výše popsané studie. Souhlasím se zpracováním a následným publikováním získaných údajů a fotografií pro účely bakalářské práce v souladu s výše uvedenými informacemi.

V:

Dne:

Jméno:

Podpis: