UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

2. LÉKAŘSKÁ FAKULTA

Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství

Tereza Májková

Srovnání maximální tepové frekvence při běhu, na bicyklovém ergometru a při plavání

Diplomová práce

Praha 2015

Autor práce: Bc. Tereza Májková

Vedoucí práce: Doc. MUDr. Jiří Radvanský, CSc.

Oponent práce: MUDr. Kryštof Slabý

Datum obhajoby: 1. 6. 2015

Bibliografický záznam

MÁJKOVÁ, Tereza. Srovnání maximální tepové frekvence při běhu, na bicyklovém ergometru a při plavání. Praha: Univerzita Karlova, 2. Lékařská fakulta, Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství, 2015. 76 stran. Vedoucí bakalářské práce Jiří Radvanský.

Abstrakt

Teoretická část práce se zabývá srdeční frekvencí, konkrétně jejími parametry, způsoby měření, řízení a regulaci. Dále pak popisuje problematiku maximálních tepových frekvencí. Praktická část byla prováděna jako experimentální měření maximálních tepových frekvenci u 40 zdravých dospělých probandů (20 mužů a 20 žen) ve věku od 20 do 40let. Maximální tepové frekvence byly snímány pomocí telemetrických měřičů FT4 Polar ® ve 3 typech zátěžových protokolů – v běhu, při jízdě na bicyklovém ergometru a dále při plavání. Výsledná data byla následně statisticky zpracována. Studie potvrdila signifikantní rozdílnost mezi maximálními tepovými frekvencemi naměřenými v běhu, při bicyklové ergometrii a při plavání. Nejvyšších hodnot dosáhlo 95 % měřené populace v běhu a u 98 % byla nejnižší při plavání. Cílem práce bylo porovnat maximální tepové frekvence při konkrétní pohybové aktivitě u vybraného vzorku zdravé populace a porovnat ji s maximálními tepovými frekvencemi zjištěnými na stejném vzorku v jiném typu pohybové aktivity. Upozornit tak na fakt, že volbou zátěžového testovaní můžeme získat odlišné hodnoty maximální tepové frekvence.

Klíčová slova: srdeční frekvence, maximální tepová frekvence, běh, bicyklová ergometrie, plavání, telemetrické měření

Bibliography identification

MÁJKOVÁ, Tereza. Comparison of maximum heart rate while running, on a bicycle ergometer and swimming. Prague: 2nd Faculty of Medicine, Department of rehabilitation and sports medicine, Charles University in Prague, 2015. 76 pages. Supervisor: Jiří Radvanský.

Abstract

Theoretical part of this thesis is focused on a heart rate, especially its parameters, measurement methods and regulation. Moreover describes maximal heart rate issue. Practical part was performed as an experimental measurement of maximal heart rate level of 40 healthy adult probands (20 men and 20 women) between the ages of twenty and forty. Maximal heart rate was measured by telemetry meter FT4 Polar ® in 3 types of exercise tests – running, ergometer cycling and swimming. Results were statistically processed. Study confirmed significant differences in maximal heart rate during running, ergometer cycling and swimming. Highest heart rate was reached while running for 95% of measured volunteers and the lowest heart rate was reached during swimming for 98% of probands. The objective of this thesis was a comparison of reached heart rates during different exercise tests and highlight the evidence of dissimilar maximal heart rate during different exercises.

Keywords: heart rate, maximal heart rate, running, cycle ergometry, swimming, telemetry ratio

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně pod vedením Doc. MUDr. Jiřího Radvanského, CSc. a 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 Tereza Májková

Poděkování

Především bych ráda poděkovala vedoucímu diplomové práce Doc. MUDr. Jiřímu Radvanskému, CSc., za jeho aktivní přístup při vedení práce, trpělivost, věcné připomínky a rady, které mi budou přínosem i nadále do života. Dále bych chtěla poděkovat Janu Kukačkovi za pomoc při statistickém zpracování, také Anežce Klabanové a své rodině za podporu, pomoc při měření a užitečné rady. A také všem probandům, kteří předvedli skvělé maximální výkony.

Seznam použitých zkratek

% HR max	% maximální srdeční frekvence
% HRR	% tepové rezervy
% VO2 max	% maximální spotřeby kyslíku
ACSM	Americká společnost sportovní medicíny (American College of Sports Medicine)
ANOVA	metoda analýzy rozptylu
ANS	autonomní nervový systém
AV	atrioventrikulární
BMI	index tělesné hmotnosti (body mass index)
CO	srdeční výdej (cardiac output)
EKG	elektrokardiografie
FITT -VP	frekvence, intenzita, čas, typ, objem, progrese
GTX	stupňované zátěžové testy (graded exercise tests)
HR	srdeční frekvence (heart rate)
HRDP	hodnota zlomového bodu (heart rate deflection point)
HRmax	maximální srdeční frekvence (maximal heart rate)
HRpeak	vrcholová tepová frekvence
HRR	tepová rezerva
HRV	variabilita srdeční frekvence (heart rate variability)
MET	metabolicky ekvivalent
p	statistická hladina významnosti
QRS	komplex QRS na EKG
r	korelační koeficient
RER	respirační koeficient
SA	sinoatriální
SD	směrodatná odchylka
SLE	subjektivně limitovaná zátěž
SV	tepový objem (stroke volume)
THR	cílová tepová frekvence (target heart rate)
VAT	ventilační aerobní práh
VO2	spotřeba kyslíku
VO2max	maximální spotřeba kyslíku
VO2peak	vrcholová spotřeba kyslíku

VO2R rezerva spotřeby kyslíku

OBSAH

ÚVOD **7**

1 PŘEHLED POZNATKŮ **9**

1.1 SRDEČNÍ FREKVENCE 9
1.2 ŘÍZENÍ A REGULACE SRDEČNÍ FREKVENCE 10
1.2.1 Měření tepové frekvence 13
1.2.2 Parametry tepové frekvence 15
1.3 MAXIMÁLNÍ TEPOVÁ FREKVENCE 19
1.3.1 Stanovení HRmax zátěžovým testováním 20
1.3.2 HRmax na bicyklovém ergometru 22
1.3.3 HRmax na běžeckém trenažéru 23
1.3.4 HRmax v plavání 24
1.3.5 Faktory ovlivňující hodnotu HRmax 25
1.3.6 Intenzita tělesné zátěže určená z HRmax 31

2 CÍLE A HYPOTÉZY **35**

2.1 HYPOTÉZY 35
2.2 CÍLE 35

3 METODIKA **36**

3.1 PILOTNÍ STUDIE 36
3.2 SOUBOR PROBANDŮ 37
3.3 VYUŽITÍ TELEMETRICKÉHO MĚŘIČE KE SNÍMÁNÍ HRMAX 38
3.4 INSTRUKTÁŽ K DOSAŽENÍ MAXIMÁLNÍCH HODNOT 39
3.5 ZÁTĚŽOVÝ PROTOKOL BĚH 40
3.6 ZÁTĚŽOVÝ PROTOKOL BICYKLOVÝ ERGOMETR 41
3.7 ZÁTĚŽOVÝ PROTOKOL PLAVÁNÍ 42
3.8 STATISTICKÁ ANALÝZA 42

4 VÝSLEDKY **43**

4.1 POROVNÁNÍ HRMAX PŘI JEDNOTLIVÝCH ZÁTĚŽOVÝCH PROTOKOLECH 43
4.2 ROZDÍLNOST MEZI PROTOKOLY 46
4.3 VLIV VĚKU NA HRMAX 47
4.4 TESTOVÁNÍ HYPOTÉZ 49

5 DISKUZE **50**

6.1 VLIV VÝBĚRU ZÁTĚŽOVÉHO PROTOKOLU 50
6.2 BĚH 57
6.3 BICYKLOVÁ ERGOMETRIE 59
6.4 PLAVÁNÍ 60
6.5 PŘESNOST SNÍMÁNÍ HR POMOCÍ TELEMETRICKÝCH MĚŘIČŮ 61
6.6 LIMITY DIPLOMOVÉ PRÁCE 62

ZÁVĚR **64**

REFERENČNÍ SEZNAM **65**

SEZNAM PŘÍLOH **73**

PŘÍLOHY **74**

ÚVOD

Fyzioterapeut je osobou, která odborně pomáhá nejen v problematice prevence a léčby onemocnění pohybové soustavy, ale součástí jeho práce je také léčba pomocí pohybových aktivit. Problematika dávkování intenzity pohybových aktivit úzce souvisí s měřením tepové frekvence.

Téma této diplomové práce je zaměřeno na srovnávání maximálních tepových frekvencí u různých typů zátěže, konkrétně při jízdě na bicyklovém ergometru, běhu a plavání. Problematika úzce souvisí s dávkováním intenzity pohybových aktivit. Jejich nedostatek, a s tím spojený nezdravý životní styl, se stávají podstatným zdravotním tématem nejen na území České republiky, ale celosvětově. Množství osob umírajících na onemocnění způsobené fyzickou nečinností, a s tím spojenými komplikacemi, stále přibývá, fyzická inaktivita se stala 4. nejrizikovějším faktorem pro globální úmrtnost. Tato alarmující čísla vedou k tomu, že početná skupina osob se pokouší tento fakt změnit stále více, a v této problematice se mohou obracet na fyzioterapeuta, který má být tím, jenž odborně a správně indikuje všechny parametry pohybových aktivit.

V diplomové práci se snažím poukázat také na fakt různě vysokého nárůstu srdeční frekvence, k čemuž dochází vlivem rozdílné aktivity sympatiku, jakožto hlavního přispěvatele k vysoké akceleraci sinoatriálního uzlu v zátěži. Některá všeobecně známá pravidla týkající se srdeční frekvence v zátěži, která jsou i dnes běžně používána, vycházejí z literatury staré více než 100 let. Ovšem vytvořením některých mylných hodnot určujících intenzitu tělesné zátěže se může snížit benefit, kterého jsme chtěli dosáhnout a jsme schopni také zvýšit potenciální rizika, např. kardiovaskulární, spojená s nevhodnou (nadměrně intenzivní) indikací pohybových aktivit.

Teoretická část je zaměřena na fyziologii tepové frekvence, vlivy na ni působící, způsoby určení preskripce intenzity tělesné zátěže pomocí hodnoty maximální tepové frekvence, a také na rozdílnost prováděných zátěžových vyšetření. Pokoušela jsem se čerpat zejména ze zahraniční literatury. Zdroje staršího data jsou v práci uvedeny především z důvodu jejich historického významu v této problematice, ale také pro to, že řada nových publikací považuje nepřesně určené a nesprávně uvedené regresní rovnice bez intervalu jejich spolehlivosti za standart.

Praktická část zahrnuje studii provedenou na 40 zdravých probandech ve věku 20 - 40 let, u kterých byla snímána maximální tepové frekvence při zátěžovém protokolu v běhu, jízdě na bicyklovém ergometru a v plavání za pomocí telemetrického měřiče FT4 Polar®.

Ráda bych upozornila na fakt, že i fyzioterapeut může být osobou, která dokáže jednoduše provést zátěžové testování v různých podmínkách, které má výpovědní hodnotu, a následně je dokáže využít pro preskripci pohybových aktivit.

Cílem této práce je poukázat na to, že každá osoba může dosáhnout několika rozdílných hodnot tepové frekvence, které lze pro jednotlivé typy pohybové aktivity považovat za maximální. Dalším cílem je stanovit u vybraného vzorku zdravé populace variační šíři maximální tepové frekvence při běhu a porovnat ji s variační šíří téhož parametru, ale v jiném typu pohybové aktivity (plavání, jízda na ergometru). Upozornit tak na to, že druh pohybové aktivity, během které je tepová frekvence měřena, může mít vliv na konečné výsledky, které jsou následně používány k predikci pohybových aktivit.

1 PŘEHLED POZNATKŮ

1.1 Srdeční frekvence

Srdeční frekvence (HR), v tělesné zátěži je jeden z mála dobře snímatelných parametrů, který podává informace o srdeční akci. Ve srovnání s tepovým objemem (SV) nebo srdečním výdejem (CO) ji lze měřit dostatečně přesně a jednoduše, přičemž u zdravého platí v rozmezí střední až téměř maximální zátěže, že SV se již příliš nemění. Proto je dynamika HR u zdravého i dobrým nepřímým ukazatelem změn CO. V tomto důsledku se měření srdeční frekvence používá pro posouzení změn srdečního výdeje a vegetativních změn u cvičení nebo při zotavovací fázi po cvičení, stejně jako údaj sloužící pro preskripci pohybových aktivit. Tepová frekvence je často jediný parametr, který můžeme objektivně a dostupně hodnotit během provádění pohybové aktivity. (Robergs & Landwehr, 2002)

HR je řízena neurální i humorální cestou. Na vzrůstu HR ve střední a těžké intenzitě zátěže se oproti klidu podílí především vzestup tonu sympatiku, tedy míra především sympatikem zprostředkovaného zátěžového stresu.

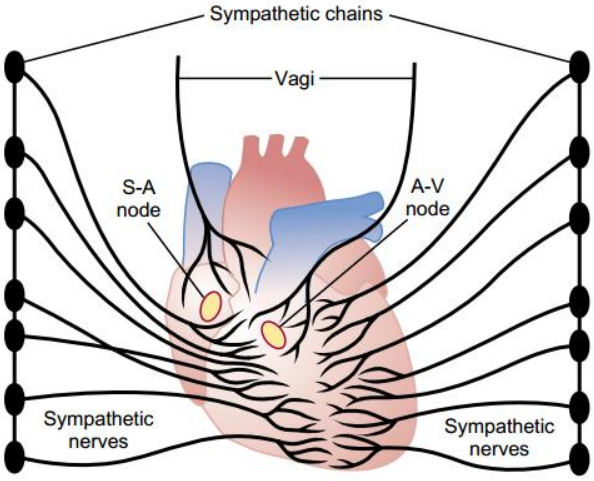
Parametry tepové frekvence jsou odrazem procesů v lidském organismu. Ať se jedná o klidovou HR, maximální tepovou frekvenci (HRmax), nárůst HR během zátěže, zotavovací fázi HR po zátěži nebo variabilitu HR (HRV). Všechny tyto hodnoty jsou označovány autory také jako ukazatelé kardiovaskulárního rizika a především rizika zvýšené úmrtnosti na kardiovaskulární choroby. (Whalen, 2011)

Vzhledem k aktuální dostupnosti telemetrických měřičů, které s poměrně vysokou přesností umí snímat hodnoty HR, je právě tato veličina velmi vhodná k hodnocení i pro fyzioterapeuty, kteří ve své praxi běžně nevyužívají např. elektrokardiografii (EKG).

Pro účely této diplomové práce jsou pojmy tepová a srdeční frekvence ekvivalentní.

1.2 Řízení a regulace srdeční frekvence

Freeman et al. (2006) ve své studii uvádějí, že srdeční frekvence je především ovlivňována přímou aktivitou autonomního nervového systému (ANS), viz Obrázek 1. Konkrétně přes sympatické a parasympatické pleteně ovlivňují autorytmicitu sinusového uzlu, jenž je udavatelem srdečního rytmu a v klidu převládá vliv působení aktivity nervus vagus, tedy parasympatiku. Řízení HR je tedy převážně pod extrakardiálními vlivy, na kterých se podílí také hormony.



Obrázek 1, Inervace srdce ANS, Hall a Guyton, 2011

Histologicky je sinoatriální uzel (SA) složen z pravých embryonálních struktur a atrioventrikulární (AV) uzel z levostranných. To je důvod, proč je SA uzel veden především pravým nervus vagus a pravým sympatikem, a AV uzel oblastí levého vagu a levého sympatiku. Většina sympatických vláken přichází z ganglion stellatum. (Ganong, 2005)

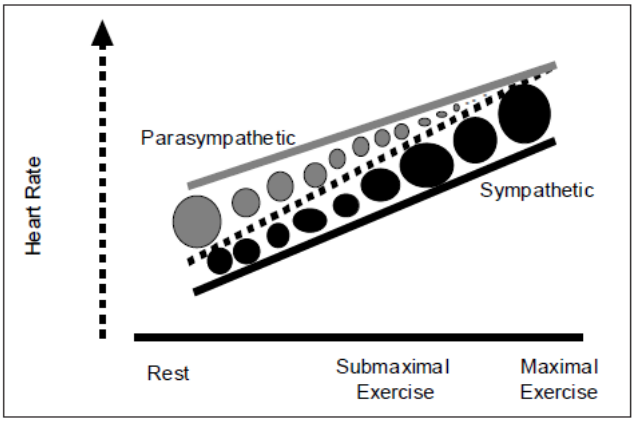
Samotnou srdeční frekvenci ovlivňuje rychlost spontánní depolarizace v SA uzlu. Parasympatikus působí negativně inotropně na myokard síní zvýšením propustnosti pro draslíkové ionty a to vede ke zkrácení akčního napětí. Sympatikus působí pozitivně intropně nejen na síně, ale také na komory. Hormony, které se podílí na řízení HR, jsou: adrenalin, noradrenalin, acetylcholin, glukagon, hormony štítné žlázy, prostaglandin E2 a progesteron. Další popis fyziologie řízení srdeční frekvence, vzhledem k rozsahu a zaměření práce, není uveden. (Kittnar & Mlček, 2009; Nalos, 2014)

Sandercock et al. (2005) také poukazují na to, že bylo prokázáno, že zásahy, které vedou ke snížení sympatické aktivity anebo naopak ke zvýšení parasympatického vlivu, mají chránit před vznikem smrtelných arytmií. Za zásahy nejsou považovány pouze farmakologické vlivy, které jsou k těm to účelům běžně využívané, ale také adaptace vegetativního systému na opakovanou zátěžovou reakci.

Je známo, že abnormality ANS jsou spojeny s rizikem smrti, avšak způsob určení těchto abnormalit je poměrně složitý a vyžaduje sofistikované zařízení a testování. Byly však nalezeny metody např. spektrální analýza HRV, které jsou dostupné a průkazně odráží vliv ANS. Avšak HRV je odrazem ANS zejména v klidu, nikoliv v maximální zátěži. (Dimkpa, 2009)

Ve sportovní medicíně se měření HRV používá především k posouzení adaptace na vytrvalostní trénink. Dlouhodobý aerobní trénink vede k bradykardii, kterou je možno sledovat, kdy HRV slouží jako ukazatel tzv. neinvazivního indexu vagotonie. (Sztajzel, 2004) Některé studie naopak zdůrazňují, že spojení mezi vytrvalostním tréninkem a HRV zůstává neprůkazný. (Borresen & Lambert, 2008; Lee & Mendoza, 2011)

Borresen & Lambert (2008) ve své studii poukazují také na to, že vytrvalostní trénink snižuje klidovou a submaximální tepovou frekvenci, zatímco maximální tepová frekvence se může mírně snížit nebo se tréninkem nemění (více bude rozebráno v kapitole 1.3 Maximální tepová frekvence).



Obrázek 2, Vliv autonomní kontroly na HR v klidu a při zátěži. Parasympatická aktivita se snižuje s narůstající intenzitou zátěže, naproti tomu aktivita sympatiku vzrůstá. Almeida & Araújo, 2003

Mezi další poměrně jednoduché diagnostické a prognostické nástroje určené k odrazu vlivu ANS patří recovery fáze (zotavovací fáze) tepové frekvence po zátěži, která může poukazovat na autonomní nerovnováhu. V rámci regulace zotavovací fáze bylo prokázáno, že trénovaní jedinci mají významně rychlejší zotavovací fázi HR po zátěži, než jedinci netrénovaní. HR recovery je velmi závislá také na dalších faktorech, jako např. stimuly z okolí, emoce, hluk, radost z dobrého výkonu ve sportu, negativní pocity spojené se supramaximální zátěží, bolest a řada dalších. Studie také udávají spojení mezi vytrvalostním tréninkem/aerobní zdatností a recovery fází. Bylo také potvrzeno, že věk takový vliv nemá. (Darr et al., 1988; Cooney et al., 2010; Borresen & Lambert, 2008) Dlouhodobý vytrvalostní trénink tedy vede k regulaci ANS.

Autonomní adaptace je, jak se zdá, alespoň částečně zodpovědná za klidovou bradykardii, která je vidět u dobře aerobně trénovaných sportovců v porovnání s osobami netrénovanými. (Aubert et al. 2003) Avšak některé studie poukázaly na to, že dobře trénovaní jedinci, kteří mají příliš velký objem zátěže, mohou vykazovat sníženou vagální aktivitu nebo zvýšenou sympatickou kontrolu. Tyto změny jsou ovšem odrazem přetížení případně přetrénování. (Lee & Mendoza, 2011; Ielleamo et al. 2002).

Kromě toho ale existuje familiární dědičnost habituální vagové bradykardie, která není vyvolaná adaptací na opakovanou zátěž.

Cvičením indukovaná bradykardie může být dána v důsledku např. zlepšení žilního návratu a zvětšení systolického objemu, což vede podle Frank-Starlingova zákona ke zvýšení kontraktility. Aby se udržel klidový srdeční výkon konstantní, dochází k poklesu HR v odezvě na větší systolický objem, a tyto úpravy jsou očekávatelné u jedinců s lepší aerobní kondicí, bez ohledu na jejich autonomní funkce.(Almeida & Araújo, 2003)

Radvanský & Máček (2011) uvádí, že trénink vede k postupnému klidovému zvýšení aktivity parasympatiku a klesá působení sympatiku. Také, že trénink způsobuje snížení spouštěcí citlivosti SA uzlu. Proces je popsán jako stav, kdy dochází ke snížení spotřeby kyslíku myokardu při stejné zátěži a stejném minutovém výdeji, protože tepový objem se zvyšuje. Konstatuje, že po 4-6 týdnech tréninku dosáhne adaptace organismu takové úrovně, že HR je při stejné submaximální zátěži nižší o 12-14 tepů/minutu proti HR před zahájením tréninků.

1.2.1 Měření tepové frekvence

Metody, které umožňují snímání tepové frekvence, jsou typem zpracování velmi podobné. Vždy se převádí veličina závislá na tepu na jednotlivé elektrické pulsy, které zpracovává elektronický systém, na konkrétní číslo, nejčastěji počet tepů za minutu, které se zapisuje na medium. Veličiny, které se převádí, jsou různé – elektrický signál, akustický signál, změna impedance tkáně, změny tlaku, změny rychlosti proudění krve. Metody se liší zejména ve způsobu využití, dostupnosti a principu snímání.

Palpační metoda

Nepřístrojovou metodou je palpace arteriálního pulsu, k tomuto měření je však zapotřebí časomíra, která zobrazuje sekundy. Ganong (2005) uvádí, že krev vypuzená během systoly do aorty vyvolá tlakovou vlnu, která se stěnou cév šíří na periferii. Vlna rozepínající stěny je označována jako puls neboli tep.

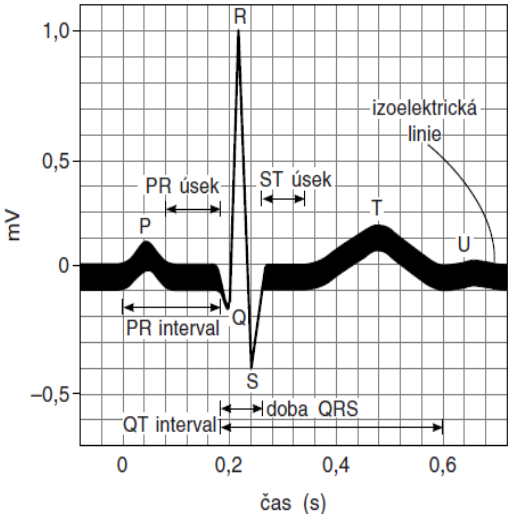
Tep palpujeme 2-3 prsty obvykle na arterii radialis opačné končetiny. Tu nalézáme v místě mezi processus styloideus radii a šlachou musculus flexor carpi radialis. Po nahmatání pulsu počítáme jednotlivé tepy obvykle po dobu půl minuty, tento výsledek vynásobíme dvěma. V případě jakýchkoliv nesrovnalostí a nepravidelností je vhodnější měřit po dobu celé minuty. Tep lze palpovat také na dalších arteriích ¬ a. brachialis, a, femorialis, a. carotis a a. ulnaris.

Elektrokardiografie

EKG neboli elektrokardiografie je metoda snímající elektrickou aktivitu srdce v podobě tzv. elektrokardiografu (grafické zobrazení jednotlivých křivek EKG), viz Obrázek 3. Nejčastěji se měří pomocí 12 svodového EKG – 6 končetinových a 6 hrudních svodů. Ty snímají změny srdečních potenciálů z povrchu těla vznikajících během šíření akčního potenciálu myokardem. Tato metoda je však vhodná především pro laboratorní měření.

Dráha šíření potenciálu v srdci má typický charakter a vytváří vlny, kmity a linie, které odpovídají jednotlivým fázím elektrického srdečního cyklu.

P vlna – depolarizace síní, PQ interval – převod vzruchu ze síní na komory, QRS komplex – depolarizace komor, kmit R = každý pozitivní kmit QRS komplexu, kmit Q = negativní kmit předcházející kmitu R, kmit S = negativní kmit následující za kmitem R, T vlna – repolarizace komor, U vlna – není konstantní, její původ není úplně jasný. (WikiSkripta, 2015)



Obrázek 3, EKG křivka, Ganong, 2005

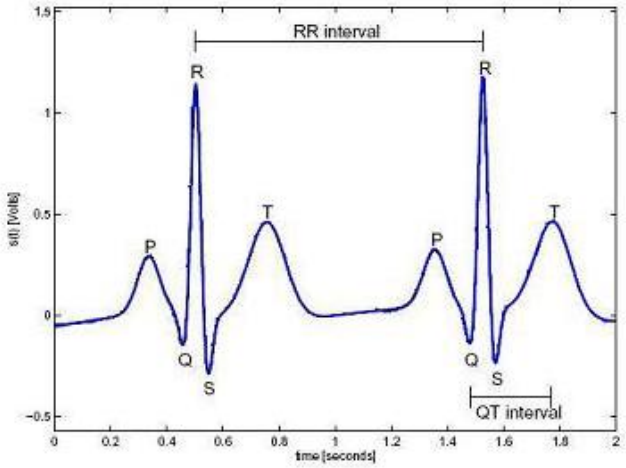
Měření optickou cestou

Další měřiče, které se využívají ke sledování tepové frekvence, jsou pulsní oxymetry. Ty fungují na principu schopnosti pohlcovat světlo protékající arteriální krví. Jedná se o malý přístroj, který se umístí na část těla, která je dostatečně prokrvována, např. prsty nebo ušní lalůček, tato oblast je následně prosvícena sondou, jenž vysílá informace do snímače. Ten již vyhodnocuje data, která se zobrazují na displeji. Oxymetry jsou náchylné na pohyb a otřesy, proto jsou tvarem přizpůsobeny pro lepší kontakt. Jsou však primárně určeny ke snímání saturace arteriální krve. (Šeda, 2010)

Pulsní oxymetr je pro měření tepové frekvence během zátěže nepřesný. EKG je pro běžného uživatele nedostupné, a proto je nejvhodnějším a nejdostupnějším typem měření telemetrie.

Telemetrické měření

Jednou z metod, která je vhodná pro měření tepové frekvence v terénu, je telemetrické měření. Měřiče obsahují detektor R vlny, viz Obrázek 4. Dochází ke snímání jednoho svodu EKG, zde konkrétně pomocí pásu s elektrodami, který je umístěn na hrudníku za pomocí elastického popruhu, více viz kapitola 3 Metodika. Detektor R vln zjišťuje přítomnost QRS komplexu v signálu EKG.



Obrázek 4, R- R interval, Yarlagadda, 2010

Mediem, které snímá tento údaj, je elektronické zařízení zabudované spolu s displejem do hodinkového pouzdra, které již převádí tento údaj na odpovídající hodnoty tepové frekvence. Data mohou být zpracovávána v různých časových intervalech např. pouze ze dvou po sobě jdoucích tepů, případně se jedná o údaj zprůměrovaný z více tepů, tzv. klouzavý průměr. (Radvanský & Máček, 2011; Šeda, 2010)

Telemetrické měřiče mají význam především při sledování tepové frekvence v průběhu pohybových aktivit a nyní jsou dostupné široké veřejnosti, která je využívá především k hodnocení intenzity tělesné zátěže. Měřiče jsou většinou vodotěsné a některé umožňují zaznamenávat také hodnoty průměrné tepové frekvence, maximální tepové frekvence anebo hodnoty tréninkového pásma.

1.2.2 Parametry tepové frekvence

Pro běžného uživatele mohou být informace, které měřič zobrazuje o tepové frekvenci, nic neříkající. Zásadní je, k čemu slouží a jak se dají prakticky použít.

Klidová tepová frekvence je parametr, který se dá velmi jednoduše změřit i palpační metodou. Stejně jako u ostatních parametrů nízká klidová HR je odrazem dobrého zdravotního stavu a vyšší hodnoty souvisí s vyšším rizikem úmrtnosti. (Almeida & Araújo, 2003)

Samotné měření by osoba neměla provádět sama, vhodné je využít telemetrického měřiče, který bude snímat HR během spánku, případně využít palpačního měření druhou osobou během spánku. Pokud je osoba nucena provádět měření sama na sobě, je dobré využít „klidného“ rána a palpačně změřit hodnotu ihned po probuzení. Hodnota skutečné klidové HR je stěžejní, pro následné využití při dávkování intenzity zátěže v procentech tepové rezervy.

Základním údajem, který sledujeme během zátěže, je HR, která by během zátěže měla adekvátně narůstat. Americká společnost sportovní medicíny (2014) neboli American College of Sports Medicine, dále označovaná jako ACSM, jako normální odpověď HR na stupňující se zátěž považuje lineární nárůst HR, který odpovídá zvýšení o 10tepů/1 MET (metababolický ekvivalent). Avšak neudávají tyto informace zcela přesně, protože i zde je přítomna důležitá interindividuální variabilita.

Chronotropní neschopnost může být zaznamenána, jako: dosažení vrcholu HR během cvičení do maxima, které je větší než mínus 2 SD (směrodatné odchylky), to je zhruba 20 tepů/min., podle předpokládané HRmax, jež byla vypočítána predikční rovnicí 220 tepů – věk. A neplatí to pro věk do 30 let. Nebo neschopnost dosáhnout 85 % HRmax z důvodu volní únavy. Tyto hodnoty neplatí pro osoby, které užívají beta blokátory. (ACSM, 2014)

Při kontrole tepové frekvence po zátěži je důležité sledovat tzv. heart rate recovery. Tento parametr se dá definovat jako obnova tepové frekvence, tzn. pokles HR z maximální nebo submaximální zátěže na klidovou úroveň. Bylo prokázáno, že opožděná zotavovací fáze srdeční frekvence je silným nezávislým prediktorem nejen kardiovaskulární, ale i celkové mortality u zdravých dospělých osob. (Cole et al., 1999; Borresen & Lambert, 2008; Darr et al., 1988)

Zvýšení srdeční frekvence během prvních desítek sekund zátěže je v důsledku snížení tonu vagu. Jeho následná reaktivace má nastupovat bezprostředně po ukončení výkonu. Opožděné snížení srdeční frekvence během první minuty po cvičení může být odrazem snížené aktivity vagu a to je opět významný prediktor celkové mortality.

Je také uváděno, že pokud HR během první minuty po maximální zátěži klesala méně než o 12 tepů v aktivní pozici těla, či o 18 tepů v pasivní poloze na zádech, jedná se o nepříznivou prognózu relativního kardiovaskulárního nebezpečí i u asymptomatických jedinců. (Dimkpa, 2009, Cole el al. 1999)

Guidelines ACSM (2014) uvádí, že zotavovací fáze je charakterizována jako pokles HR o ≤ 12 tepů/min během 1 minuty, při klidové chůzi nebo o ≤ 22 tepů/min během 2 minut vleže v klidu.

Dimkpa (2009) také říká, že pozátěžová zotavovací fáze HR neukazuje jen na zvýšené riziko mortality, ale také autonomní dysfunkce, diabetes mellitus, endoteliální dysfunkce a metabolického syndromu. Zásadní je ovšem informace, že zotavovací HR by měla být přidána do ukazatelů kardiovaskulární zdatnosti.

Tyto údaje jsou ale v praxi i ve vědeckých publikacích uváděny méně často a to proto, že mohou být snáze ovlivněny emočně.

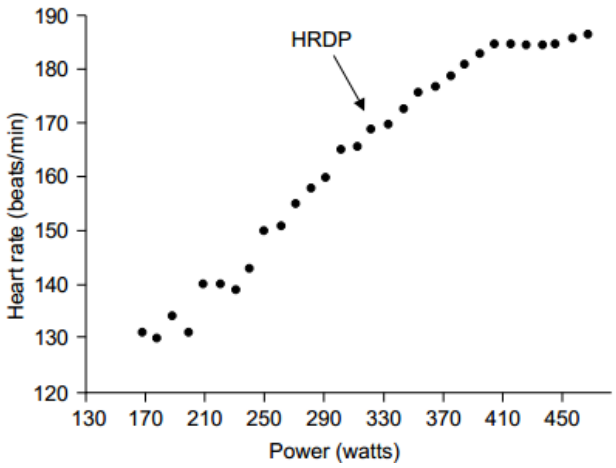
Obnovení HR do odpočinkové úrovně může trvat jednu hodinu po lehkém nebo mírném cvičení, čtyři hodiny po dlouhodobě trvající aerobní zátěži a dokonce až do 24 hodin po intenzivním nebo maximálním výkonu. Zotavovací fáze je závislá na interakci mezi intenzitou cvičení, srdeční autonomní modulací a úrovní tělesné zdatnosti. (Hautala et al., 2001; Terziotti et al., 2001; Dimkpa, 2009)

Dalším parametrem, který je možno získat z měření tepové frekvence, je hodnota zlomového bodu tepové frekvence, anglicky heart rate deflection point (HRDP), pomocí tzv. Conconiho testu. To je jedna z neinvazivních metod, která je dostupná i pro laickou veřejnost.

Conconi et al. v roce 1982 provedli testování na 210 vytrvalostních běžcích, kdy zjišťovali závislost srdeční frekvence na intenzitě zatížení. Běžci probíhali 200 metrové úseky nejprve rychlostí 12-14 km/h, každý následující úsek se rychlost zvýšila o přibližně 0,5 km/h až do rychlosti pro běžce maximální. Byly měřeny časy jednotlivých úseků a posledních 50 m byla snímána tepová frekvence. Hodnoty byly následně zaneseny do grafu, kde se zkoumalo porušení linearity nárůstu tepové frekvence vůči intenzitě zatížení (rychlost běhu) ve vyznačeném bodě (Obrázek 5). Tyto křivky byly porovnány s hodnotami laktátu naměřeného u 10 běžců, kdy byla zjištěna výrazná shoda mezi HRDP a anaerobním prahem. (Bodner & Rhodes, 2000)

Anaerobní práh je obecně přijímán jako měřítko schopnosti provádět zátěž v optimální intenzitě po delší dobu (v řádu desítek minut). Jedná se tedy o intenzitu zátěže nebo úroveň spotřeby kyslíku, při které dochází k nástupu acidózy, a s tím související změny výměny dýchacích plynů. (Bodner & Rhodes, 2000)

Obrázek 5, Conconiho test, Bodner & Rhodes, 2000



Posun anaerobního prahu směrem k maximu svědčí o zlepšení trénovanosti jedince, ale při přetížení se posunuje neadekvátně moc vpravo. Následně se dá vypočítat pásmo intenzity, které se blíží anaerobnímu prahu, ve kterém se může osoba pohybovat po dobu desítek minut, což dlouhodobě vede ke zvyšování vytrvalosti.

1.3 Maximální tepová frekvence

Maximální tepová frekvence (HRmax) je charakterizována jako hodnota srdeční frekvence, které dosáhneme při maximálním zatížení, obvykle ji udáváme jako maximální počet srdečních tepů za minutu. HRmax lze změřit v posledních okamžicích maximální zátěže, která byla ukončena pro vyčerpání, potvrzují Tanaka et al. (2001) a Gulati et al. (2010).

Informace z roku 2010 podle ACMS říkají, že pokud osoba dosáhne své maximální tepové frekvence, pak v tomto stavu dosahuje také maximální spotřeby kyslíku (VO2max), která je u většiny zdravých lidí charakterizována maximálním srdečním výdejem.

Stanovení HRmax může mít také velký klinický význam, i přesto že má velkou variabilitu, některé studie prokázaly, že tento údaj nás informuje o potenciálním poškození chronotropních vlastností sinoatriálního uzlu. HRmax, stejně jako i další parametry HR, je také prediktorem zvýšené úmrtnosti. (Whalen, 2011).

Whalen (2011) říká, že aby bylo možné účinně sledovat HR při cvičení, musíme znát skutečnou HRmax. Důležitý parametr získaný z HRmax je tepová rezerva konkrétní osoby pro ten konkrétní sport, z něhož jsme určili následně procento tepové rezervy. Tento fakt nám umožňuje správně indikovat intenzitu tělesné zátěže. Avšak Whitman (2009) upozorňuje na to, že nejdůležitější není určit z HRmax intenzitu tělesné zátěže, ale zjištění ischemických změn během maximálního zátěžového testu, to ovšem platí pro osoby s potenciálním kardiovaskulárním rizikem, které v mužské populaci strmě stoupá od 35 let.

Hodnota HRmax může být zjištěna pomocí maximálního zátěžového protokolu, ovšem v praxi se často využívají HRmax predikované z rovnic, které nemohou určit tuto hodnotu s velkou přesností, protože jsou vytvořeny z průměrných HRmax, které mají příliš velkou směrodatnou odchylku. Nejčastěji používanou je v 70. letech vytvořená formule 220 – věk, s velikostí jedné směrodatné odchylky ± 7-11 tepů/min, publikovaná Foxem, Haskellem a Naughtonem. (Robergs & Landwehr, 2002)

Je nutné vnímat také fakt, že hlavní je získat co nejvíce výhod ze správně stanovené HRmax, a tím také snížit riziko srdečních události, které by mohly nastat během zátěže. (Ottermann, 2010; Whalen, 2011)

1.3.1 Stanovení HRmax zátěžovým testováním

Reálná HRmax může být stanovena přímo pomocí stupňovaného zátěžového testování (graded exercise tests – GXT). Zátěžové testy jsou však také často nejednotné, a proto mohou výsledky u jednotlivých osob dosahovat rozdílných výsledků, při provedení více typů testování, upozornit na tento fakt je také cílem této práce. Odstupňované maximální zátěžové testy vyžadují, aby subjekty vykonávaly zátěž až do absolutní únavy. Účastníci jsou instruováni, aby pokračovali tak dlouho a tak silně, jak jen možné, až do pocitu vyčerpání. (Whalen, 2011)

Guidelines uvádí, že za opravdové maximuje se dá považovat pouze konkrétní stav, při kterém jsou splněny minimálně 3 ze 4 následujících kritérií: 1) stav, kdy již téměř nedochází ke zvyšování HR během stoupající intenzity zátěže; 2) stav, kdy se spotřeba kyslíku již téměř nemění při stoupající zátěži; 3) respirační koeficient (RER) je větší než 1,1; 4) hodnocení vnímané námahy je větší než 17 na Borgově škále 6-20. (ACSM, 2010)

V případě, že je test ukončen z důvodu dosažení těchto kritérií, a ne samotným testovaným, jedná se o hodnotu, kterou můžeme nazvat jako maximální tepová frekvence. Pokud je však testování zastaveno ze subjektivních důvodů (SLE – subjektivně limitovaná zátěž), které konkrétně pociťuje sám proband, nebo se při testu vyskytl stav (viz níže), který neumožňuje jeho další pokračování, můžeme tuto hodnotu označit jako HRpeak neboli vrcholová hodnota tepové frekvence u osob, u kterých nedosáhneme HRmax, dle příslušných kriterií.

Novější Guidelines z roku 2014 přidávají, že za základní indikace k ukončení zátěžového testu se považuje:

- Příznaky podobné angíně pectoris nebo její nástup
- Stav, kdy poklesla hodnota systolického krevního tlaku o více než 10 mmHg při stoupající zátěži, oproti tlaku naměřeném ve stejné pozici před testováním
- Vzestup krevního tlaku o více jak 250 mmHg systolického a 115 mmHg diastolického
- Dušnost, sípání, křeče v nohou nebo klaudikační obtíže
- Příznaky nedostatečného prokrvení: závratě, zmatenost, ataxie, bledost, cyanóza, nevolnost, nebo studená a vlhká kůže
- Dále se nezvyšující tepovou frekvenci, i přes zvyšování intenzity zátěže

- Zjištěná nápadná změna srdečního rytmu vyšetřená palpačně či auskultačně
- Subjektivní pocit, vyžadující zastavení
- fyzické nebo verbální projevy těžké únavy
- selhání zkušebního zařízení (ACSM, 2014)

Rozhodnutí, zda použít k naměření HRmax maximální nebo sub-maximální zátěžové testy, je závislé na vzdělání personálu, vybavení a především rizikových faktorech a kontraindikacích (viz Příloha 3).

Guidelines ACSM (2014) zařadily mezi základní zátěžové testování bicyklovou ergometrii, testování na běžeckém trenažeru a tzv. step test. Výhodou měření u běžeckých trenažérů je možnost přecházení z chůze do běhu, tento pohyb je pro člověka přirozený a nemusí se jej učit. Pás však vytváří specifické podmínky, které u některých subjektů mohou vyvolávat úzkost, proto je nutné mít k dispozici bezpečnostní zábradlí, oproti ergometru je zde zvýšené riziko pádu a je obtížnější zastavit. Běžecké trenažéry jsou více nákladné, nepřenosné a některé parametry, které hůře měřitelné než při bicyklové ergometrii.

Ergometrie se využívá k diagnostice především v evropských laboratořích. Pořizovací náklady jsou nižší a je zde možné přesnější a snadnější získávání krevního tlaku a kvalitního EKG záznamu. Hlavní problém tito autoři vidí v podceňování lokalizovatelné svalové únavy a tím podhodnocení parametru VO2 (spotřeby kyslíku). (ACSM, 2014)

1.3.2 HRmax na bicyklovém ergometru

Níže uvedená studie si dala za cíl vytvořit nové referenční hodnoty pro rampový protokol na bicyklovém ergometru, protože považovala běžně užívané hodnoty za nízké.

Zvlášť byla provedena studie na ženách a mužích. Rampový protokol na 87 zdravých ženách ve věku 20-80 let byl proveden do vyčerpání, protokol byl ukončen na zátěži, kterou označily na Borgově škále za stupeň 19. Testování začalo na 30 W a každých 30 s bylo přidáno 5 W. Během tohoto testu bylo měřeno mnoho parametrů, pro tuto práci je však důležitá hodnota HRmax viz Tabulka 1. (Farazdaghi & Wohlfart, 2001)

Age groups	Age (years)	Weight (kg)	Height (m)	SBP_{rest} (mmHg)	DBP_{rest} (mmHg)	SBP_{max} (mmHg)	HR_{max} (min^{-1})	$Borg_{max}$	$Load_{max}$ (W)
20–29	24·1 ± 2·2	63 ± 9	1·66 ± 0·07	114 ± 12	73 ± 6	186 ± 12	186 ± 8	18·7 ± 1·0	200 + 26
n = 18 (1)	21·2–28·1	52–82	1·53–1·76	90–135	60–80	165–200	173–202	17–20	146–240
30–39	34·7 ± 3·1	68 ± 14	1·67 ± 0·06	114 ± 8	77 ± 8	190 ± 14	184 ± 8	18·6 ± 1·2	190 ± 31
n = 12 (2)	30·8–39·5	52–95	1·55–1·75	95–120	65–95	160–210	174–198	15–19	140–250
40–49	45·3 ± 2·4	68 ± 9	1·66 ± 0·04	120 ± 11	78 ± 8	199 ± 14	179 ± 10	18·4 ± 0·8	181 ± 28
n = 13 (1)	41·6–49·2	56–90	1·60–1·72	105–140	60–90	175–230	166–192	17–19	140–230
50–59	54·3 ± 3·5	63 ± 10	1·66 ± 0·05	129 ± 14	77 ± 7	204 ± 21	174 ± 10	18·5 ± 1·2	168 ± 24
n = 17 (1)	50·1–59·9	49–95	1·55–1·72	105–160	70–90	160–250	157–195	16–20	125–220
60–69	64·1 ± 3·3	66 ± 12	1·63 ± 0·07	142 ± 21	83 ± 6	213 ± 19	167 ± 10	17·8 ± 1·3	137 ± 14
n = 16 (0)	60·2–69·7	53–95	1·54–1·76	110–190	75–95	165–240	149–190	15–19	115–160
70–79	75·0 ± 3·3	64 ± 12	1·59 ± 0·06	158 ± 27	85 ± 11	216 ± 31	155 ± 14	16·3 ± 2·1	100 ± 18
n = 11 (3)	70·9–79·1	44–85	1·51–1·71	100–190	60–100	175–270	126–171	13–19	75–135

Tabulka 1, Hodnoty naměřené během rampového protokolu u žen, Farazdaghi & Wohlfart, 2001

Je možné je také porovnat s tabulkami vytvořenými českými autory Máčkem & Vávrou (1988) pro ženy při stupňované zátěži na bicyklovém ergometru viz Tabulka 2.

		věk [r.]													
		12		15		18		25		35		45		55	
	$W \cdot kg^{-1}$	x̄	SD	x̄	SD	x̄	SD	x̄	SD	x̄	SD	x̄	SD	x̄	SD
ženy	klid	100	16,7	85	12,2	85	9,0	87	13,4	85	13,2	84	12,9	82	15,1
	0,5											112	17,4	106	17,5
	1,0	137	13,7	139	15,1	133	15,3	132	14,7	126	17,9	134	17,6	129	10,3
	1,5	159	14,4	163	12,2	160	12,7	154	14,1	152	14,1	161	15,8	158	8,3
	2,0	176	11,4	182	9,8	181	9,6	179	11,8	174	11,5				
	max	193	8,2	193	7,2	199	7,5	199	7,3	189	7,9	181	10,2	171	4,6

Tabulka 2, Srdeční frekvence v klidu a při stupňované zátěži na bicyklovém ergometru u žen, uvedeno v tepech za minutu, Máček & Vávra, 1988

Uvedené hodnoty jsou však při porovnání starší literatury vyšší než u studie novější, která považovala běžně používané parametry za nízké. V obou případech je však viditelný vliv agingu na HRmax.

U mužů stejní autoři provedli protokol také u 81 zdravých mužů ve věku 20-80 let. Začínali s počáteční zátěží 50 W a ta se zvyšovala o 5 W za každých 20 s až do vyčerpání. HRmax jsou označeny v Tabulce 3. (Wohlfart & Farazdaghi, 2003)

Age groups	Age (years)	Weight (kg)	Height (m)	SBP_{rest} (mmHg)	DBP_{rest} (mmHg)	SBP_{max} (mmHg)	HR_{max} (min^{-1})	$Borg_{max}$	$Load_{max}$ (W)
20–29	26·3 ± 2·9	80 ± 7	1·80 ± 0·06	124 ± 10	73 ± 6	208 ± 15	191 ± 9	18·8 ± 0·6	303 + 43
n = 14 (3)	22·6 – 29·8	70 – 94	1·72 – 1·89	110 – 145	60 – 85	185 – 240	171 – 204	17 – 19	245 – 395
30 – 39	34·5 ± 25	80 ± 9	1·78 ± 0·07	120 ± 14	78 ± 6	205 ± 18	182 ± 10	18·7 ± 0·9	288 ± 40
n = 16 (1)	30·2 – 37·6	66 – 104	1·66 – 1·94	100 – 150	70 – 85	170 – 235	161 – 200	17 – 20	240 – 380
40 – 49	45·8 ± 2·9	77 ± 11	1·79 ± 0·08	123 ± 12	79 ± 8	215 ± 16	181 ± 12	18·4 ± 1·1	261 ± 48
n = 18 (3)	40·2 – 48·8	60 – 93	1·64 – 1·91	110 – 150	60 – 90	190 – 250	154 – 201	15 – 19	165 – 335
50 – 59	57·3 ± 3·1	82 ± 8	1·81 ± 0·05	132 ± 11	85 ± 8	220 ± 22	170 ± 12	18·2 ± 1·3	257 ± 40
n = 12 (1)	50·5 – 60·0	73 – 94	1·71 – 1·90	120 – 150	70 – 100	180 – 245	150 – 197	15 – 19	215 – 325
60 – 69	65·8 ± 2·8	78 ± 10	1·76 ± 0·05	144 ± 20	85 ± 7	223 ± 35	154 ± 13	16·5 ± 2·3	192 ± 37
n = 11 (3)	61·8 – 69·3	54 – 92	1·66 – 1·83	110 – 170	75 – 100	155 – 280	128 – 177	11 – 19	120 – 265
70 – 79	74·0 ± 2·5	83 ± 10	1·75 ± 0·08	146 ± 18	83 ± 6	232 ± 28	151 ± 9	17·9 ± 1·4	186 ± 24
n = 10 (0)	70·5 – 78·8	70 – 108	1·63 – 1·83	105 – 165	70 – 90	185 – 270	141 – 166	15 – 19	155 – 220

Tabulka 3, Hodnoty naměřené během rampového protokolu u mužů, Wohlfart & Farazdaghi, 2003

Tabulky vytvořené pro muže při stupňované zátěži na bicyklovém ergometru v roce 1988 Máčkem & Vávrou jsou opět vytvořeny pouze do věku 55 let, avšak není zde tolik patrný rozdíl jako u žen.

		věk [r.]													
		12		15		18		25		35		45		55	
	$W.kg^{-1}$	x̄	SD	x̄	SD	x̄	SD	x̄	SD	x̄	SD	x̄	SD	x̄	SD
muži	klid	88	13,7	85	12,2	80	12,3	79	14,0	79	14,0	77	11,0	74	15,8
	0,5														
	1,0	121	12,5	121	10,7	111	14,4	114	12,4	109	14,2	111	11,6	108	16,0
	1,5	136	13,9	138	11,8	134	16,2	134	15,4	131	16,4	133	14,4	131	16,7
	2,0	153	14,0	158	12,8	154	17,8	155	16,9	154	18,4	158	15,1	154	15,0
	max	188	7,7	195	6,9	196	7,8	192	9,1	189	11,9	183	10,7	171	13,0

Tabulka 4, Srdeční frekvence v klidu a při stupňované zátěži na bicyklovém ergometru u mužů, uvedeno v tepech za minutu, Máček & Vávra, 1988

1.3.3 HRmax na běžeckém trenažéru

Studie provedená na 95 zdravých ženách ve věku 19 až 69 let, testovala HRmax pomocí zátěžového protokolu na běžeckém trenažéru. Hodnoty jsou viditelné v Tabulce 5, jako směrodatnou odchylku uvádí autor ±10 tepů/min. (Sheffield et al., 1978)

Stress level	Age (yr)									
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
100% (Max)	198	194	190	185	181	177	172	168	163	159
90% (GXT)	179	175	171	167	163	159	155	151	147	143

Tabulka 5, HRmax u zdravých žen při protokolu na běžeckém trenažéru Sheffield et al., 1978

Protokol v běhu na trenažéru byl proveden také u běžců, viz Tabulka 6. (Yamaji et al., 2008)

Items / Subjects		Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	LBM (kg)	%Fat (%)	$\dot{V}O_2max$ (L·min⁻¹)	$\dot{V}O_2max$ (ml·kg⁻¹·min⁻¹)	HRmax (beats·min⁻¹)	vOBLA (m·min⁻¹)	v$\dot{V}O_2max$ (m·min⁻¹)	vHRmax (m·min⁻¹)	RVE (m·min⁻¹)
Master Runners	$\bar{x}$	56.7**	166.4	60.9*	53.2*	12.6**	3.0*	49.9**	172.3**	212.9**	252.0**	255.4**	260.5**
(20 males)	SE	7.1	7.1	5.9	5.3	1.8	0.5	7.0	9.9	43.6	34.8	36.8	36.5
Young Runners	$\bar{x}$	25.8☆☆	170.1	57.4☆☆	51.6☆	10.1☆	4.1☆	71.9☆☆	186.1☆☆	336.1☆☆	363.6☆☆	363.3☆☆	371.7☆☆
(12 males)	SE	2.5	4.9	4.5	4.2	0.9	0.4	3.5	7.1	17.0	15.8	20.8	12.7
Junior Runners	$\bar{x}$	14.8**	164.6	49.9**	44.7**	10.4*	3.2	64.5**	197.6**	279.3**	310.5**	327.7**	325.6**
(25 males)	SE	1.1	6.7	6.6	5.7	0.8	0.5	4.3	5.6	17.4	21.0	26.1	20.4

Tabulka 6, HRmax v běhu u závodních běžců, Yamaji et al., 2008

Na velkém souboru probandů byla měřena studie, pomocí protokolu na běžeckém trenažéru, která z výsledků vytvořila predikční rovnici pro výpočet HRmax = 211− 0.64·věk. (Nes et al., 2013)

Age groups	HR_{max} (achieved)
19–29 (n = 399)	195 ± 9.9
30–39 (n = 687)	189 ± 10.1
40–49 (n = 923)	183 ± 10.9
50–59 (n = 795)	176 ± 11.6
60–69 (n = 440)	171 ± 12.3
70+ (n = 76)	164 ± 12.4

Tabulka 7, Naměřené HRmax v protokolu na běžeckém trenažéru, Nes et al., 2013

1.3.4 HRmax v plavání

Studie provádějící měření HRmax v plaveckém trenažéru s protiproudem. Bylo testováno 6 subjektů a jejich výsledky byly následně porovnány s teoretickou HRmax vypočítanou dle vzorce (220 – věk) -10tepů. Odečet 10 tepů byl proveden z důvodu provádění testu ve vodním prostředí. (Hubička, 2012)

	dosažená max SF	teoretická max SF	dosažení	rozdíl
proband č.1	196	187	ANO	9
proband č.2	197	190	ANO	7
proband č.3	185	187	NE	-2
proband č.4	174	165	ANO	9
proband č.5	199	188	ANO	11
proband č.6	185	188	NE	-3

Tabulka 8, Hodnoty HRmax (tepy/min) při plavání v porovnání s HRmax dle predikční rovnice 220 – věk, Hubička, 2012

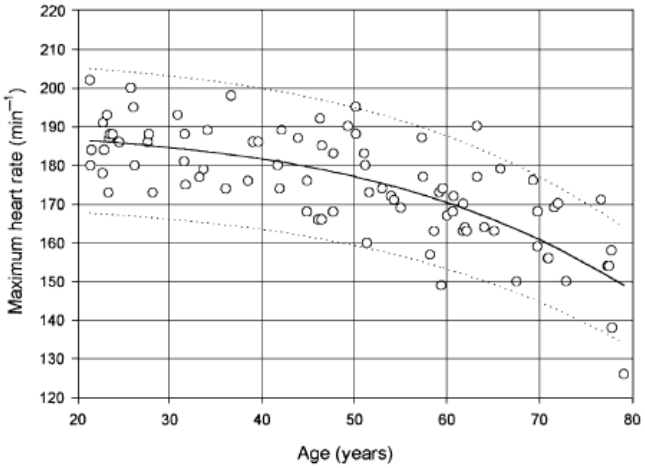
1.3.5 Faktory ovlivňující hodnotu HRmax

Výsledky hodnot HRmax se lišily natolik, že se z tohoto důvodu zjišťovaly faktory, které by tento parametr mohly ovlivnit. Nejčastěji zkoumanými jsou – věk; pohlaví; index tělesné hmotnosti (BMI); maximální spotřeby kyslíku (VO2max); vliv kouření; status prováděné pohybové aktivity tzn. množství pravidelné fyzické zátěže a adaptace na ni nebo vliv genetické predispozice.

Zavorsky (2000) nebo Miller et al. (1993) tvrdí, že na HRmax působí faktory jako kouření, BMI nebo tělesná adaptace na zátěž, jiné studie ale tyto údaje nepotvrzují.

Vliv věku

Nejčastěji publikovaným vlivem je věk, a to konkrétně, že se zvyšujícím se věkem dochází ke snížení HRmax. (Tanaka et al., 2001; Nes et al., 2013; Astrand et al., 1973) Tento jev je viditelný na Obrázku 6.



Obrázek 6, Maximální srdeční frekvence v závislosti na věku. Pokles maximální srdeční frekvence se zvyšuje s věkem. Horní a dolní mez referenčního byly vypočteny jako 110 a 90% očekávané srdeční frekvence. Farazdaghi & Wohlfart, 2001

V zásadě predikční rovnice, které zkoumají hodnotu HRmax berou v úvahu pouze jedinou tuto proměnnou, avšak tyto rovnice se neukázaly být přesné, proto došel Tanaka et al.(2001) k závěru, že další 20% odchylka je stále ovlivněna dalšími faktory jako např. fyzická zdatnost, pohlaví.

Vliv trénovanosti

Vliv fyzické trénovanosti je označován za kontroverzní. Fitzgerald et al. (1997), Tanaka et al. (2001), Engels (1998) a Stein et al. (1999) ve svých studiích uvádí, že trénovanost nebo samotný trénink neovlivňuje rychlost poklesu HRmax.

Robergs & Landwehr (2002), také uvádějí, že po dosažení hodnoty HRmax není možné tuto hodnotu navýšit ani přes zvyšování intenzity zátěže nebo tréninkovou adaptací. Další studie, která zkoumala vliv aerobního tréninku na tepovou frekvenci, potvrzuje, že HRmax nemá tendenci se měnit, na rozdíl od hodnot klidové HR. (Almeida & Araújo, 2003)

S tím nesouhlasí Zavorsky (2000) a tvrdí, že vytrvalostně trénované osoby mohou vykazovat nižší hodnoty HRmax. Také Lester et al. (1968) zjistil, že HRmax u trénovaných sportovců byla menší (198.19 − 0.411 věk) oproti osobám netrénovaným (205.02 − 0.411 věk).

Vliv tréninku na tepovou frekvenci pozoroval již v 50. letech Karvonen. Studie byla provedena na šesti studentech ve věku 20-23let, kteří 4x až 5x týdně běhali na běžeckém tranežéru 30minut po dobu 4 týdnů. U 5 z 6 testovaných došlo k poklesu HRmax (označena jako MR), viz Tabulka 9. (Karvonen, 1957)

Tabulka 9, Vliv tréninku na tepovou frekvenci, Karvonen, 1957

Subject	Runing Speed km/hr			Mean WR	WR / MR-RR × 100	MR			RR			Heart Size cc		
	Begin	End	Δ			Begin	End	Δ	Begin	End	Δ	Begin	End	Δ
O.M. (1) ..	9	9	0	135	60	180	180	— 0	53	51	—2	560	585	+ 25
E.K.	9	9	0	136	60	192	186	— 6	52	48	—4	655	790	+135
K.L.	9	10	+1	137	60	192	174	—18	55	52	—3	525	780	+255
E.H.	11	13	+2	135	71	170	156	—14	52	46	—6	760	715	— 45[1]
O.M. (2) ..	11	13	+2	150	75	186	174	—12	55	50	—5	555	560	+ 5
O.K.	11	14	+3	160	75	192	186	— 6	58	55	—3	670	665	— 5
J. K.	11	14	+3	180	74	224	184	—40	52	48	—4	820	665	—155[1]

Vliv pohlaví

Samotný fakt, že existují referenční tabulky pro HRmax zvlášť pro muže a ženy, by měl jasně poukazovat na to, že pohlaví je faktor, který vliv na HRmax má.

Leč ne všechny studie to potvrzují, např. Nes et al. (2013), kteří prováděli maximální zátěžové testování u 3320 zdravých dospělých osob v zátěžovém protokolu v běhu, nepotvrdili, že by pohlaví mohlo ovlivňovat HRmax.

Vliv výběru zátěžového protokolu

Kravitz (1997), Kist et al. (2008) a Turley et al. (1995) za nejvýznamnější vliv na modalitu HRmax považují různý způsob měření. Fakt, že rozdílné hodnoty HRmax mohou být získány na základě jiného typu provedeného zátěžového protokolu, se v praxi zcela běžně ignoruje.

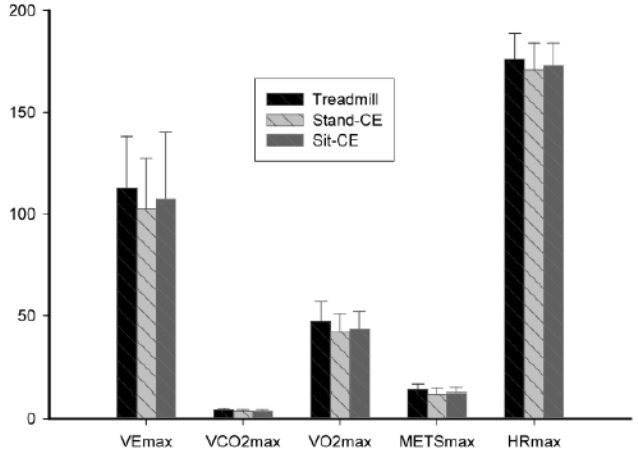
Jistý vliv na výběr prováděného testu má popularita zátěžového testování. V Evropě je nejvíce využívaná bicyklová ergometrie, na rozdíl od Spojených států amerických, kteří naopak preferují měření na běžeckých pásech. (ACSM, 2014)

Zbylé typy jsou specifické pro svoje prostředí nebo charakter pohybu, např. protokol na veslařském trenažéru nebo na rumpálu.

Některé studie se přímo zabývají rozdílnými výsledky získanými při těchto zátěžových protokolech. Penitenti (2004) ve své dizertační práci uvádí, že výsledná HRmax je na ergometru o 5-10% nižší než na běžeckém pásu a vysvětluje to periferní únavou. Tu zmiňují jako problematickou také guidelines od ACSM (2014).

Araújo & Pinto (2005) tvrdí že, podobných hodnot HRmax se dá dosáhnout doslova s trochou píle vyšetřujícího, a pokud zná hodnotu HRmax z běžeckého pásu, na kterém byl protokol proveden dříve, pak je možné dosáhnout i vysoké hladiny HRmax u ergometru.

Při porovnání jízdy na ergometru ve stoje i v sedě, s Bruceho protokolem na běžeckém trenažéru, byly změřeny nejvyšší hodnoty v běhu viz Obrázek 7. Test byl prováděn na 12 osobách ve věku 24,3 ± 8,6 let. (Mitchell et al., 2010)



Obrázek 7, Porovnání parametrů při testu na běžeckém trenažeru a při dvou typech protokolů na ergometru, vsedě a ve stoje. HRmax - běžěcký trenažér = 175 + 13 tepů/min, Standing-ergometr = 166 + 13 tepů/min, Sit - ergometr 173 ± 11 tepů/min Mitchell et al., 2010

Kravitz (1997) srovnával fyziologické reakce na různých druzích cvičebních pomůcek u mužů i žen. U všech subjektů došlo k největšímu nárůstu VO2 pomocí zátěže na běžeckém trenažéru, ve srovnání s jinými druhy zátěže jako lyžování, jízda na kole. Tyto výsledky byly také v korelaci s nižší tepovou frekvencí a nižší spotřebu kyslíku v průběhu ergometrie v porovnání s testy na běžeckém páse.

Kist et al. (2008) vzal výsledky této studie a tytéž testy provedl s jednou obměnou. Snažil se rozdílnost mezi ergometrem a běžeckým pásem smazat zařazením jízdou ve stoje na ergometru ve finální fázi testu. To opravdu přineslo výsledky a naměřil tak stejné hodnoty VO2max a HRmax v obou protokolech.

Kist et al. (2013) se touto problematikou dále zabýval a sledoval kardiorespirační parametry u různých typů zátěžových protokolů. Pro tuto práci jsou hodnotné především rozdílné hodnoty HRmax viditelné v Tabulce 10.

Tabulka 10, Srovnání hodnot HRmax, Kist et al. 2013

HRmax (tepů/min)	**MUŽI**			**ŽENY**		
	Běžecký trenažér	Ergometr ve stoje	Ergometr vsedě	Běžecký trenažér	Ergometr ve stoje	Ergometr vsedě
	174±15	172±15	171±13	177±13	164±12	174±10

Turley et al. (1995) porovnával hodnoty VO2max a HRmax při bicyklové ergometrii a testu na běžeckém pásu a dospěl k závěru, že hodnoty byly signifikantně vyšší na pásu.

Rozdílnost výsledků je viděna především v tom, že během tradičního protokolu prováděného na bicyklovém ergometru je svalstvo horní poloviny těla inaktivní. Není zde proto vynaložena energie na podporu trupu a horních končetin během jízdy a to může mít výrazný efekt na kardiorespirační hodnoty. (Kist et al., 2013)

Studie, která měřila hodnoty HRmax u profesionálních plavců potvrdila, že nejvyšších výsledků bylo dosaženo v běhu (196,1 ±7,5 tepů/min), dále v protokolu na bicyklovém ergometru (189,0 ± 6,6 tepů/min) a nejmenší HRmax byla naměřena při plavání (183,1 ± 7,5tepů/min). (Rodriguez, 2000)

Vliv vodního prostředí

Vliv, který se běžně v zátěžových protokolech příliš neudává, jako ten, který by mohl působit na hodnotu HRmax, je prostředí, ve kterém jsou realizovány. Tato diplomová práce prováděla zátěžové testování také ve vodním prostředí.

Maximální zátěžové testy se ve vodním prostředí běžně neprovádí, přestože došlo k rozvoji telemetrických měřičů, které umožňují snímání HR i pod vodou. Reakce lidského organismu a HR zejména jsou však na vodní prostředí specifické.

Autoři konstatují, že HRmax ve vodním prostředí vykazuje, a to i později od vstupu do vody a také při pohybu ve vodě, nižší hodnoty než při srovnatelné zátěži v běžných podmínkách, myšleno tím na suchu (Houdouvá a Čechovská, 2012; Sheldahl et al., 1987; Holmér et al. 1974;).

Při vstupu do vodního prostředí dojde k poklesu HR klidové a i případně submaximální. Odlišná reakce HR může být zapříčiněna kombinací mnoha faktorů, které jsou od sebe neoddělitelné. Reakce může být dána efektem nižší teploty vody, hydrostatickým vztlakem, diving (ponořovacím) reflexem, hydrostatickým tlakem, vodorovnou pozici těla anebo zapojením jiných svalových skupin při plavání.

Houdová & Čechovská ve své práci pro Českou Kinantropologii (2012) uvádí, že současné doporučení je odečítat 10-13tepů/min pro stejně prováděnou intenzitu zátěže ve vodním prostředí jako na suchu, ale upozorňují na velkou individuální variabilitu.

Autor (rok)	**Doporučované odečtení tepů.min^{-1}**
McArdle et al. (1971)	13 tepů.min^{-1}
McEvoy (1985)	10 tepů.min^{-1}
Hottenrott a Zülch (1995)	10 tepů.min^{-1}

Tabulka 11, Doporučení odečtu 10-13 tepů/min při stejně intenzivní pohybové činnosti ve vodě jako na suchu, Houdová & Čechovská, 2012

Houdová & Čechovská (2012) také uvádějí, že působením hydrostatického tlaku dochází zpočátku ke stlačení měkkých tkání, dále cév v kůži a také podkoží, které se přizpůsobí pomocí baroreceptorů.

Studie, která zjišťovala, zda lze intenzity vypočítané pro pozemní cvičení aplikovat na plavání, prováděla zátěžové testování v běhu na běžeckém trenažéru a v plavání. Naměřené HRmax byly u běhu 183±3 tepů/min a u plavání 174 ± 3tepů/min, rozdíl tedy činí 9 tepů. (Hauber et. al, 1997)

Rodriguez (2000) popisuje, podobný důvod jako byl uváděn v rozdílnosti HRmax v běhu a jízdě na ergometru. Při plavání kraulem dochází k zapojení jiných svalových skupin než při jízdě na bicyklovém ergometru a běhu, kde jsou zapojeny především dolní končetiny.

Oldridge et al. (1979) a Roels (2005) tvrdí, že důvodem nižší HR během plavání než při jízdě na ergometru na suchu je rozdíl v odlišné poloze těla, rozdílnému zapojení svalových skupin a vzniku bradykardické reakce organismu při ponořovacím reflexu.

Dixon & Faulkner (1971) a také Roels (2005) uvádějí, že k poklesu HRmax dochází při plavání z důvodu vyššího systolického objemu způsobeného horizontální polohou těla.

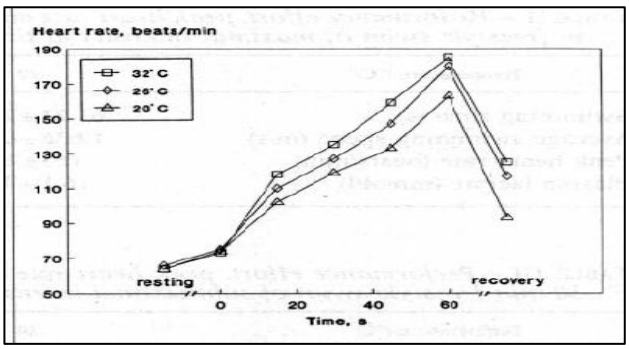
Vliv na HRmax má i teplota vody, ve které je test prováděn. V Tabulce 12 jsou viditelné rozdílné hodnoty při teplotách 20, 26 a 32°C. (Mougios & Deligiannis, 1993)

Temperature (°C)	20	26	32
Swimming time (s)	61.23 ± 2.48	59.28 ± 1.13	58.74 ± 2.05
Average swimming speed (m/s)	1.636 ± 0.066	1.689 ± 0.057	1.704 ± 0.057
Peak heart rate (beats/min)	163 ± 6	180 ± 3	185 ± 4
Plasma lactate (mmol/l)	16.1 ± 4.2	19.1 ± 5.3	19.8 ± 2.9

Tabulka 12, Hodnoty HR peak (tepy/min) při 100metrovém maximálním protokolu v plavání volným stylem v rozdílných teplotách vody, Mougios & Deligiannis, 1993

McArdle et al., (1976) uvádějí, že v teplotách 18–25 °C byly dokonce v jejich studii zaznamenány nižší hodnoty HRmax než v, dle nich označované, termoneutrální teplotě vody 29–35 °C.

Efekt tohoto vlivu je viditelný na grafu (Obrázek 8), který zaznamenává nárůst HR v průběhu prováděného testu.



Obrázek 8, Graf zachycující nárůst HR v průběhu maximální testu v plavání při různých teplotách vody, Mougios & Deligiannis, 1993

1.3.6 Intenzita tělesné zátěže určená z HRmax

Fyzioterapeut je osobou, která má mít odborné znalosti sloužící k předpisu pohybové aktivity. ACSM vytvořili pro rok 2014 guidelines, které říkají, že správný předpis pohybové aktivity má obsahovat všechny komponenty FITT-VP (vysvětleno viz Tabulka 13), abychom dosáhli cílů, které stanovíme, zvýšili množství benefitů, kterých chceme cvičením dosáhnout a snížili jsme množství potencionálních rizik spojených se špatně indikovanou zátěží.

Tabulka 13, Principy preskripce pohybových aktivit, ACSM, 2014

Freguency	Frekvence	Jak často?
Intensity	Intenzita	Jakou silou?
Time	Čas	Trvání. Jak dlouho?
Type	Typ	Jaký druh cvičení zvolit.
Volume	Objem	Množství daného cvičení.
Progression	Progrese	Stupňování zátěže.

Metody k určení intenzity tělesné zátěže jsou rozdílné a mohou pracovat s různými proměnnými. Je zde určitý vztah mezi aktuálními hodnotami (energetický výdej), hodnotami absolutními [VO_2 (spotřeba kyslíku) a METs (jednotky klidového metabolického obratu)]; a hodnotami relativními [%HRR (procento tepové rezervy), %HRmax (procenta maximální tepové frekvence), a %VO_2max (procento maximální spotřeby kyslíku)].

Ty jsou určeny k předpisu intenzity tělesné zátěže, avšak ta se může značně lišit podle typu provedeného zátěžového testu, intenzitě prováděné zátěže a především charakteristice klienta – na hodnotě jeho klidové tepové frekvence, zdatnosti, věku, tělesném složení, náladě, psychickém stavu a jiných faktorech. (ACSM, 2014)

ACSM (2014) také uvádějí, že metoda HRR (tepová rezerva) nebo VO_2R (rezerva spotřeby kyslíku) mohou být vhodnější pro preskripci intenzity tělesné zátěže, protože u %HRmax nebo %VO_2max může být intenzita snadno přeceněna nebo naopak podceněna. Avšak metody HRR a VO_2R nejsou zatím všeobecně přijímány, přehled metod viz Tabulka 14.

Tabulka 14, Přehled metod určených k preskripci intenzity tělesné zátěže, ACSM, 2014

METODA	ZPŮSOB VÝPOČTU
Metoda HRR	[(HRmax/peak – klidová HR) x % požadované intenzity zátěže + klidová HR)]
Metoda VO_2R	[(VO_2max/VO_2peak – klidová VO2) x % požadované intenzity zátěže + klidová VO_2]
Metoda %HR	HRmax/peak x % požadované intenzity
Metoda %VO2	VO_2max/VO_2peak x % požadované intenzity
Metoda MET	[(VO_2max/VO_2peak) / 3,5 mL*kg^{-1}*min-^{1}] x % požadované intenzity

K užití metod založených na tepové frekvenci je nutné znát hodnotu HRmax. K jejímu určení je však obvykle používána rovnice pro její výpočet, nejčastěji 220 – věk. Tato rovnice má jednoduché využití, ale snadno může výrazně podhodnotit nebo nadhodnotit naměřenou HRmax. (Gellish et al., 2007; Gulati et al., 2010; Robergs & Landwehr, 2002; Tanaka et al., 2001)

Intenzita cvičení je pravděpodobně nejdůležitější složkou v preskripci pohybové aktivity. Zpravidla můžeme k předpisu využít procenta HRmax nebo procento tepové rezervy. Autorem určení % HRR je Karvonen, který jako první v roce 1957 publikoval a odcitoval rovnici, viz Tabulka 15. Tato formule je všeobecně přijímaná a publikována. (Karvonen et. al, 1957; Dalleck A. & Dalleck L., 2008)

Tabulka 15, Karvonenova rovnice pro výpočet %HRR

%HRR= [(HRmax – klidová HR) x % požadované intenzity zátěže + klidová HR)] *HRmax = 220 – věk

Hodnoty tepových frekvencí, které Karvonen k výpočtu využívá, jsou však nejednotné. HRmax je dána výpočtem predikční rovnice, kdežto klidová tepová frekvence je reálně změřená na dané osobě, viz Tabulka 16.

Tabulka 16, Výpočet Karvonenovy rovnice, ACSM, 2014

Výpočet %HRR dle Karvonena
Zadání: Určete hodnoty tepového rozpětí pro 40letou ženu v intenzitě tělesné zátěže 50-60%. HR klidová= 70tepů/min HR max= 220- věk (220-40) = 180tepů/min **Formule: THR (cílová tepová frekvence) = [(HRmax – klidová HR) x % požadované intenzity zátěže + klidová HR)]**
1. HRR = (HR max – klidová HR) HRR = (180 tepů * min^{-1} – 70 tepů * min^{-1}) = 110 tepů * min^{-1}
2. %HRR (100% = 110 tepů * min^{-1}) %HRR = požadovaná intenzita x HRR %HRR= 0,5 x 110 tepů * min^{-1} = 55 tepů * min^{-1} %HRR= 0,6 x 110 tepů * min^{-1} = 66 tepů * min^{-1}
3. Požadovaná THR = (%HRR) + klidová HR Dolní limit: THR = 55 tepů * min^{-1} + 70 tepů * min^{-1} = 125 tepů * min^{-1} Horní limit: THR = 66 tepů * min^{-1} + 70 tepů * min^{-1} = 136 tepů * min^{-1}
Tato žena by měla cvičit mezi 125 – 136 tepy/minutu.

Studie, která porovnávala hodnoty dle Karvonenské rovnice a reálné hodnoty dle měření ventilačního aerobního prahu (VAT), ukázala, že u zdatných čtyřicátníků s VO2max okolo 55ml/kl/min se 77% vypočítaných dle Karvonena signifikantně neliší od % vypočítaných dle VAT. Avšak u čtyřicátníků méně zdatných vytváří hodnota dle Karvonenovské rovnice nadnesené číslo a je lepší intenzitu tělesné zátěže predikovat z VAT. (Goldberg et. al, 1988)

Guidelines dle ACSM (2014) říkají, že nelze tyto rovnice doporučit pro univerzální použití. Je vhodné pro větší přesnost získat přímo naměřenou hodnotu HRmax, pakliže tato možnost není proveditelná, můžeme považovat za přijatelné využít rovnice pro odhad u osob, které jsou charakteristicky podobné např. věkem a pohlavím osobám, na kterých byla rovnice v rámci studie vytvořena.

Neznalost skutečné HRmax může být zdrojem chyb v předpisu cvičení. Studie provedená na probandech v průměrném věku 28 let ukázala, že průměrná hodnota naměřená pomocí bicyklové ergometrie byla 180 tepů, to je o 12 tepů méně než u predikční rovnice 220 – věk. Došli také k závěru, že 95% interval spolehlivosti pro HRmax je (bez ohledu na věk, pohlaví a způsob cvičení) asi 22 tepů nad nebo pod střední hodnotou. Proto je provedení přesného testovaní k získání reálné hodnoty HRmax žádoucí. (Londeree & Moeschberger, 1982)

2 CÍLE A HYPOTÉZY

2.1 Hypotézy

Hypotéza 1: Hodnoty maximálních frekvencí budou rozdílné při běhu, na bicyklovém ergometru a při plavání.

Hypotéza 2: Nejvyšších naměřených hodnot maximální tepové frekvence dosáhnou testovaní při běhu.

Hypotéza 3: Nejnižších naměřených hodnot maximální tepové frekvence dosáhnou testovaní při plavání.

Hypotéza 4: Na hodnoty maximálních tepových frekvencí bude mít vliv pohlaví testovaných.

Hypotézy 5: Na hodnoty maximálních tepových frekvencí bude mít vliv věk testovaných.

2.2 Cíle

Tato práce má za cíl změřit maximální tepové frekvence pomocí kódovaných telemetrických měřičů, a to při běhu, při jízdě na bicyklovém ergometru a při plavání u 40 probandů (20 mužů, 20 žen) ve dvou věkových kategoriích. Následně výsledky mezi sebou porovnat, dále upozornit na rozdílnost výsledků, kterých můžeme různým typem měření dosáhnout a poukázat na tento fakt, který se v praxi stále opomíjí.

Dalším cílem je stanovit u vybraného vzorku zdravé populace variační šíři maximální tepové frekvence při běhu a porovnat ji s variační šíří téhož parametru, ale v jiném typu pohybové aktivity (plavání, jízda na ergometru).

3 METODIKA

3.1 Pilotní studie

Pilotní studie se zaměřovala na zjištění, zda podmínky, při kterých budou měřeny jednotlivé HRmax mohou mít vliv na rozdílnost výsledků. Tuto studii prováděli dva probandi, muž 24 let a žena 23 let.

Bylo testováno, zda může mít vliv charakter terénu, při kterém bude měřena HRmax v běhu. Měření proběhlo na rovině, dále na kopcích s různým stupněm sklonu, naměřené HRmax však odpovídaly velmi podobným výsledkům s rozdílem pouhého jednoho tepu, viz Tabulka 17. Za subjektivně nejpřijatelnější se jevila možnost běžet do prudkého kopce, při kterém se pocit maximální zátěže dostavil rychleji, než při běhu na rovině či do kopce s mírným stoupáním, a také tím bylo dosaženo vyššího výsledku.

Další měření proběhlo v rámci hodnocení HRmax při plavání v různých typech bazénů. Měření proběhlo v 50 metrovém a 25 metrovém bazénu s různými teplotami vody. Tato rozdílnost podmínek se opět neprojevila signifikantním odlišností výsledků. Testy byly prováděny dvěma plaveckými styly (kraul, prsa). Na základě této pilotní studie bylo dosaženo závěru, že je vhodnější, aby proband zvolil ten plavecký styl, ve kterém prokazuje větší jistotu provedení a nepociťuje ohrožení ve vodním prostředí.

Tabulka 17, Hodnoty HRmax získané v pilotní studii

	HRmax 50m bazén (26°C)	**HRmax 25 m bazén (29°C)**	**HRmax Běh rovina**	**HRmax Běh s prudkým stoupáním**
Proband 1 muž 25 let	185	186	196	197
Proband 2 žena 23 let	178	178	199	200

3.2 Soubor probandů

Do výzkumu bylo zapojeno 40 zdravých dospělých probandů (20 mužů a 20 žen) ve věku 20-40 let. Věkové rozpětí mělo snížit potencionální rizika, která by testovaného ohrožovala (především kardiovaskulární), vzhledem k tomu, že měření neprobíhalo v laboratorních podmínkách pod lékařským dohledem. Věk testovaných 29,8 ± 5,1, BMI 22,8 ± 2,7, výška 176,3 ± 8,3cm, hmotnost 71,4 ± 12,2kg. Testovaní před samotným měřením vyplnili dotazník (viz Příloha 1), který měl informovat o jejich zdravotním stavu a případných potencionálních rizicích, pro které by nemohli testování provádět. Odpovědi na všechny otázky musely být ne. V souboru testovaných se tedy vyskytují pouze nekuřáci, osoby bez kardiovaskulárního či jiného diagnostikovaného onemocnění, bez medikace.

Skupina měřených je složena jak z mužů a žen trénovaných, tak i osob, které pravidelnou fyzickou aktivitu neprovádějí. Záměrem této práce bylo vybrat skupinu probandů co nejpestřeji, aby odpovídala co nejblíže běžné populaci, ve které se jedinci s různou trénovaností vyskytují nahodile. Osoby taktéž vyplnili dotazník (viz Příloha 2), který informoval o množství pravidelně prováděné pohybové aktivity, který měl za cíl zjistit, jaká je trénovanost v měřené populaci, a také snížit rizika při zátěžovém protokolu.

Všichni testovaní byli instruováni, že by 24hodin před měřením neměli užívat nápoje s přídavkem kofeinu nebo alkohol a měli by se vyvarovat větších fyzických aktivit. Zhruba 3h před testováním by neměli požívat větší porci stravy. Subjektivně by v den měření svou náladu neměli hodnotit negativně a cítit se fyzicky oslabeni a měli by být před zátěží dostatečně hydratováni. Probandi byli také informováni o vhodnosti oděvu k jednotlivým typům prováděných testů.

3.3 Využití telemetrického měřiče ke snímání HRmax

Ke snímání tepové frekvence v průběhu zátěžového testování bylo využito telemetrických měřičů s označením FT4 od firmy Polar®. Měřiče se skládají z elastického pásu, na němž jsou připevněny elektrody a konektor (vysílač s baterií), které snímají hodnotu tepové frekvence a následně ji přenášejí do tréninkového počítače, v tomto případě ve formě digitálních hodinek, viz Obrázky 9 a 10.

Obrázek 9, Elastický pás s elektrodami a konektor

Obrázek 10, Snímač tepové frekvence

Obrázek 11, Umístění hrudního pásu v apozici bránice

Obrázek 12, Upevnění hrudního pásu při plavání

Před samotným měřením byly elektrody navlhčeny a elastický pás byl umístěn do dolní části hrudníku, viz Obrázek 11. Umístění se lišilo, dle anatomických parametrů probandů. Pás byl upevněn s takovou silou, aby došlo ke stabilnímu přilnutí elektrod a zároveň, aby neomezoval dechové pohyby v zátěži.

Vždy došlo před samotným zátěžovým protokolem k porovnání hodnot zobrazovaných telemetrickým měřičem u každého testovaného probanda s reálnou hodnotou změřenou pomocí palpační metody.

Měřiče byly nakalibrovány pro konkrétní osoby (datum narození, váha, výška). Snímání HR bylo zahájeno s počátkem zátěžového testování a to vždy v dostatečné vzdálenosti (minimálně 2metry) od dalšího probanda. Telemetrické měřiče FT4 Polar® jsou kódované, tudíž nedochází po synchronizaci vysílače a přijímače ke snímání tepové frekvence z vysílače jiné osoby. Subjekty, tak mohou provádět zatížení v bezprostřední blízkosti dalšího testovaného, aniž by došlo ovlivnění jejich výsledků.

Hodnota HR byla zkontrolována aspekcí v závěru zátěžového protokolu samotným probandem, aby nedošlo k záměně maximálních hodnot, v případě, že by v průběhu testování došlo k zaznamenání vyšší hodnoty např. z důvodu přítomnosti komorových extrasystol. Telemetrické měřiče FT4 Polar® nekomunikují s počítačem, tudíž nemohlo dojít k vyhodnocení nejvyššího peaku na základě grafického hodnocení snímané HR. Nejvyšší hodnota tak byla odečtena přímo ze snímače, který ji zaznamenává do své paměti a označuje jako maximální.

3.4 Instruktáž k dosažení maximálních hodnot

Jak již bylo v textu uvedeno, základním ukazatelem k ukončení zátěžového protokolu do maxima je hodnota respiračního koeficientu, která je vyšší než 1,1. Avšak přístroje sloužící k analýze dýchacích plynů, nejsou do zátěžových protokolů této diplomové práce zařazeny, z důvodu nevhodnosti a obtížnosti použít tento přístroj do všech typů protokolů.

Hodnocení HRmax probíhalo dle subjektivního hodnocení zátěže probandem, jedná se tedy o subjektivně limitovanou zátěž, kdy je nejvyšší hodnota označována jako HRpeak, kterou však považujeme v daném protokolu za maximální.

Probandi byli vždy před každým zátěžovým protokolem edukováni o jeho průběhu. Testovaný ukončoval zátěž sám na základě subjektivního vnímání maximálního vynaloženého úsilí, tedy měl ukončit zátěž s pocitem nejvyššího vyčerpání, tzv. do vita maxima.

Slovně jim bylo popsáno, že mohou cítit krajní únavu končetin, při které nejsou schopni dalšího tempa, kroku nebo šlápnutí do pedálů. Dále mohou pociťovat stav dušnosti, či jiné symptomy, které by je limitovaly natolik, že by nemohli v protokolu déle pokračovat.

Byli instruováni také dle Borgovy škály 6-20, konkrétně se měli cítit tak, že v konečné fázi protokolu by stupeň intenzity zátěže ohodnotili číslem 17 až 20, tedy velmi, velmi těžká zátěž, s tímto parametrem pracují také ACSM guidelines. Tabulka se škálou jim v průběhu testu předkládána nebyla, vzhledem k nemožnosti provedení v terénu nebo ve vodním prostředí. Následně byli zpětně dotázáni, zda dosáhli této intenzity zátěže.

V průběhu testování byli probandi mohutně hlasově povzbuzováni. Protokol vždy absolvovali minimálně dva probandi simultánně z důvodu navození rivality, a tím maximálního výkonu a intenzity zátěže. Zátěžové protokoly v běhu, na bicyklovém ergometru a při plavání byly prováděny vždy v jiný den a to v pořadí, běh, kolo, plavání.

3.5 Zátěžový protokol běh

Měření probíhalo ve venkovních podmínkách. Před samotným měřením byli probandi instruováni o provedení celého protokolu a byly jim připevněny kalibrované měřiče a hrudní pás. Nejprve byli vyzváni, aby absolvovali přípravnou fázi ve formě rozběhání, která trvala minimálně 10 minut. Probandi měli zvolit své optimální tempo a cílem byla příprava organismu na intenzitní zátěž. Každý tento stav hodnotil subjektivně.

Terén, viz Obrázek 13, byl pro protokol zvolen na základě pilotní studie, celková trasa byla dlouhá přes 500m s převýšením 34 metrů.

Obrázek 13, Terén pro zátěžový protokol běh,www.mapy.cz

Výkonnostně podobní probandi byli zařazeni do skupin po dvou až třech. Po úvodním rozběhání byly opět překontrolovány telemetrické měřiče s aktuální HR palpačně.

Poté bylo zahájeno první měření maximální tepové frekvence. Jednalo se o jednorázový sprint, co nejvyšší možnou rychlostí, až to stavu úplného vyčerpání. Nikdo z naměřených probandů nepotřeboval k dosažení svého maxima více než uvedenou 500metrovou trasu. V polovině tratě se ke sprintujícím přidala další osoba (netestovaná), která měla zajistit zvýšení intenzity prováděné zátěže, podpořit rychlost a nasazení v běhu. Po ukončení běhu samotnými probandy bylo snímání zastaveno a byla odečtena nejvyšší hodnota HR, kterou pro tento protokol považujeme za maximální. Probandi byli dotazováni, zda by intenzitu zátěže označili jako nejvyšší možnou a podle Borgovy škály jí přirovnali k intenzitě 17-20.

Následovala zotavovací fáze ve formě vyklusání nebo chůze až do pocitu zklidnění. Subjekty musely zhodnotit, zda jsou připraveny celý protokol absolvovat znovu. Při druhém měření trvala úvodní fáze rozběhání 5minut, poté testovaní podruhé absolvovali sprint do stavu vita maxima. Zaznamenané hodnoty byly opět odečteny a zaneseny do tabulky s výsledky.

3.6 Zátěžový protokol bicyklový ergometr

Bicyklový ergometr byl individuálně nastaven antropometrickým parametrům probanda. Probandi byli instruováni o průběhu zátěžového testu. Úvodní 10 minutová fáze jízdy byla určena pro hodnocení nastavení ergometru samotným probandem a byla překontrolována spolehlivost zobrazované HR s palpačně naměřenou hodnotou.

Protokol byl zahájen na intenzitě zátěže 1 W/kg po dobu 3 minut. Druhý tří minutový úsek byl zvýšen na 1,5 W/kg. Další úseky byly zvyšovány každých 30s o 0,25 W/kg až do stavu úplného vyčerpání. Proběhlo subjektivní hodnocení a odečtení nejvyšší hodnoty. Po zotavovací fázi byl celý protokol proveden podruhé.

3.7 Zátěžový protokol plavání

Při měření v pilotní studii docházelo k posunu elastického hrudního pásu kaudálním směrem a tím k nepřesnosti snímání HR, proto byla navržena a následně použita v zátěžovém protokolu pomůcka ve formě popruhů z pružné textilní gumy, jež dostatečně upevňovala snímač na hrudníku, aniž by docházelo k ovlivnění měření nebo omezení pohybu při plavání, viz Obrázek 12.

Protokol byl prováděn v bazénu o délce 25metrů a teplotě 27-29 °C. Testovaní si mohli vybrat ze dvou plaveckých stylů – prsa nebo kraul, dle svého hodnocení lepší techniky, při které by snáze mohli dosáhnout maximálních výsledků. Dle plaveckých stylů byli rozděleni do skupin po 3-4 plavcích, kteří po upevnění měřičů s popruhy, nejprve absolvovali 10 minutovou úvodní rozplavbu.

Zátěžový protokol byl prováděn ve formě závodu, aby bylo dosaženo co nejvyššího nasazení probandů, kteří byli před samotným protokolem opět nejprve informováni o jeho provedení a hodnocení intenzity zátěže. Měřiče byly nakalibrovány a porovnány s reálnými hodnotami HR.

Plavání probandi ukončili dle svého subjektivního hodnocení v jakékoliv délce trati. Následovalo odečtení hodnot HR a vyplavání. Po zotavovací fázi byl celý protokol opakován podruhé.

3.8 Statistická analýza

Data získaná z telemetrických měřičů FT4 Polar® byla ručně převedena do tabulkového editoru Microsoft Excel. U každého probanda bylo získáno 6 HRmax (2 v každém protokolu). Jako maximální byla vybrána vyšší naměřená hodnota. Následně byly tyto hodnoty zprůměrovány a vypočítány hodnoty směrodatných odchylek.

K určení rozdělení dat byl použit test normality, konkrétně Shapirův-Wilkův test, na základě jehož výsledků byly vybrány statistické metody ke zpracování výsledků. (Dittami, 2009)

Pro zpracování hypotéz byla použita metoda analýzy rozptylu (ANOVA), byl použit program RapidMiner, stejně tak pro vytvoření histogramu a krabicového grafu.

Korelace a lineární regrese byly zpracovány v programu MedCalc, zde byly vytvořeny i příslušné grafy.

4 VÝSLEDKY

Ve studii této diplomové práce byly měřeny HRmax u čtyřiceti zdravých dospělých probandů ve třech zátěžových protokolech (běh, bicyklová ergometrie a plavání). Kompletní naměřené hodnoty a výsledky jsou k nahlédnutí v Příloze 4.

K hodnocení rozložení normality dat byl použit Shapirův-Wilkův test. Ten vyhodnotil všechna naměřená data jako normálně rozložená v populaci (hodnota W – korelační koeficient je větší než hodnoty určené pro statické hladiny významnosti p) a tudíž pro statistické vyhodnocení výsledků mohly být použity parametrické testy. (Dittami, 2009)

Tabulka 18, Vyhodnocení normality rozložení naměřených dat

	HRmax /SD	W (korelační koeficient)	p = 0,01	p = 0,05	p = 0,10
HRmax běh	190,1 ± 8,5	0.979165348105865			
HRmax bicyklový ergometr	184,7 ± 8,6	0.9875638111791268			
HRmax plavání	174,7 ± 7,8	0.9540135661449707	0.92	0.94	0.95

Maximální srdeční frekvence byly hodnoceny pomocí statistické analýzy rozptylu (ANOVA), kde hladina statistické významnosti byla určena pro p <= 0,05.

4.1 Porovnání HRmax při jednotlivých zátěžových protokolech

Tabulka 19 ukazuje průměrné hodnoty s jejich směrodatnými odchylkami jak v celém souboru, tak v jednotlivých souborech mužů a žen.

Tabulka 19, Naměřené hodnoty celý soubor; muži; ženy

	celý soubor	ženy	muži
Počet	40	20	20
Věk (roky)	29,8 ± 5,1	29,7 ± 5	29,9 ± 5,4
Antropometrická data			
Hmotnost (kg)	71,4 ± 12,2	62,6 ± 6,8	80,2 ± 9,8
Výška (cm)	176,3 ± 8,3	171,2 ± 6,4	181,3 ± 6,8
BMI (kg*m²)	22,8 ± 2,7	21,3 ± 1,7	24,4 ± 2,6
Tepové frekvence (tepy/min)			
Klidová HR (tepy/min)	65,4 ± 8,6	65,3 ± 9	65,5 ± 8,4
HRmax běh (tepy/min)	190,1 ± 8,5	190,8 ± 7,1	189,3 ± 9,8
HRmax bicyklový ergometr	184,7 ± 8,6	186,1 ± 7,3	183,3 ± 9,7
HRmax plavání	174,7 ± 7,8	176,6 ± 4,7	172,8 ± 9,7

ANOVA test, který porovnával výsledky jednotlivých zátěžových protokolů (bicyklový ergometr, běh a plavání) je roven p<=0.001, je tedy statisticky významný.

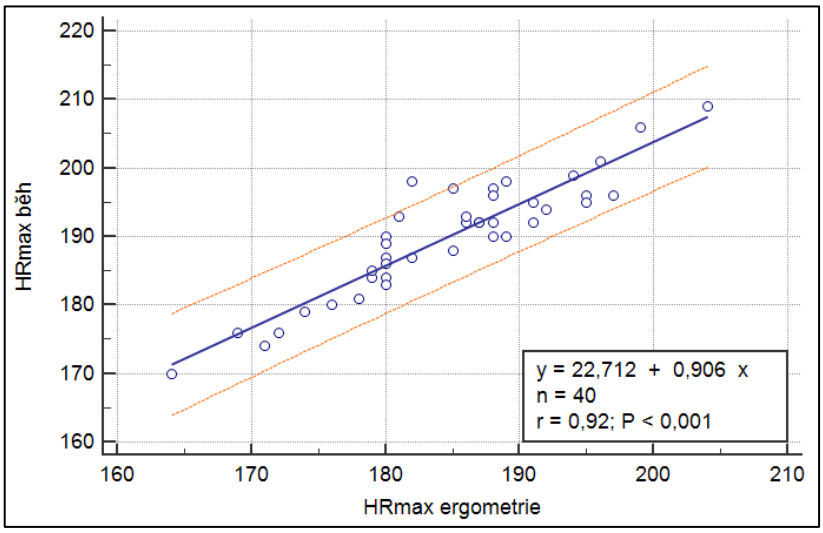
Zatímco vliv pohlaví na hodnoty HRmax se neprokázal jako statisticky nevýznamný, jelikož hodnota p = 0,195, naopak faktor věku byl potvrzen jako statisticky významný (p=0,027). Aging HRmax bude dále graficky popsán, viz 4.3 Vliv věku na HRmax.

U 95 % měřené populace přitom byla nejvyšší HRmax v běhu a u 98 % probandů byla nejnižší HRmax při zátěžovém protokolu v plavání.

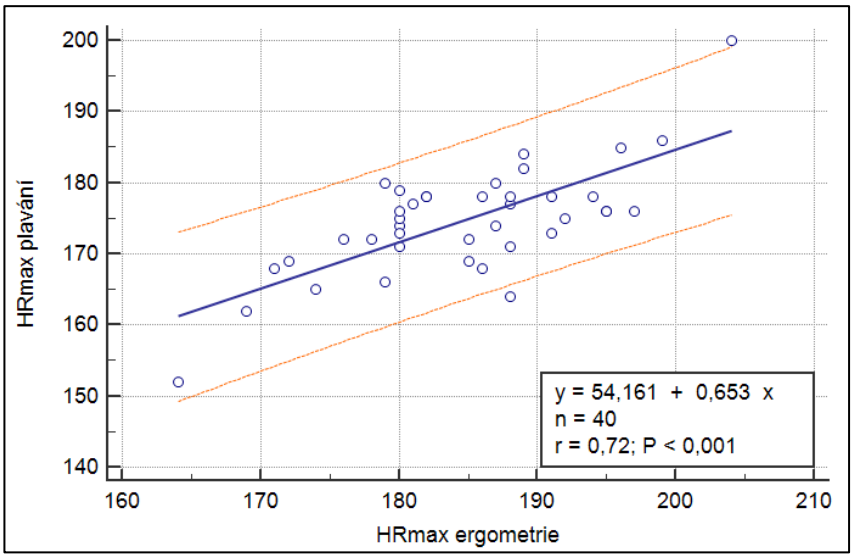
Lineární regrese

Na grafech 1, 2 a 3 je zobrazena lineární regrese mezi HRmax u jednotlivých zátěžových protokolů. Nejsilnější korelace byla zjištěna mezi protokolem v běhu a při bicyklové ergometrii, r = 0,92. Korelace mezi maximálními HR při ergometrii a plavání je r = 0,72. V případě korelace HRmax zjištěných při běhu a při plavání je r = 0,71. Oranžovými čarami je ohraničen 95% referenční interval regresí.

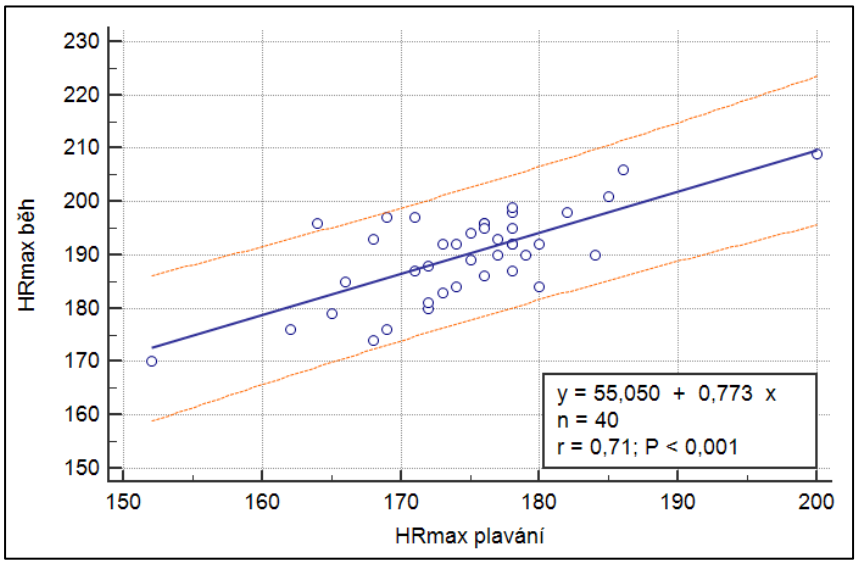
Graf 1, Lineární regrese mezi HRmax v běhu a HRmax při bicyklové ergometrii, kde je korelace rovna 0,92



Graf 2, Lineární regrese mezi HRmax při bicyklové ergometrii a HRmax v plavání, kde je korelace rovna 0,72



Graf 3, Lineární regrese mezi maximálními HR v běhu a v plavání, kde je korelace rovna 0,71



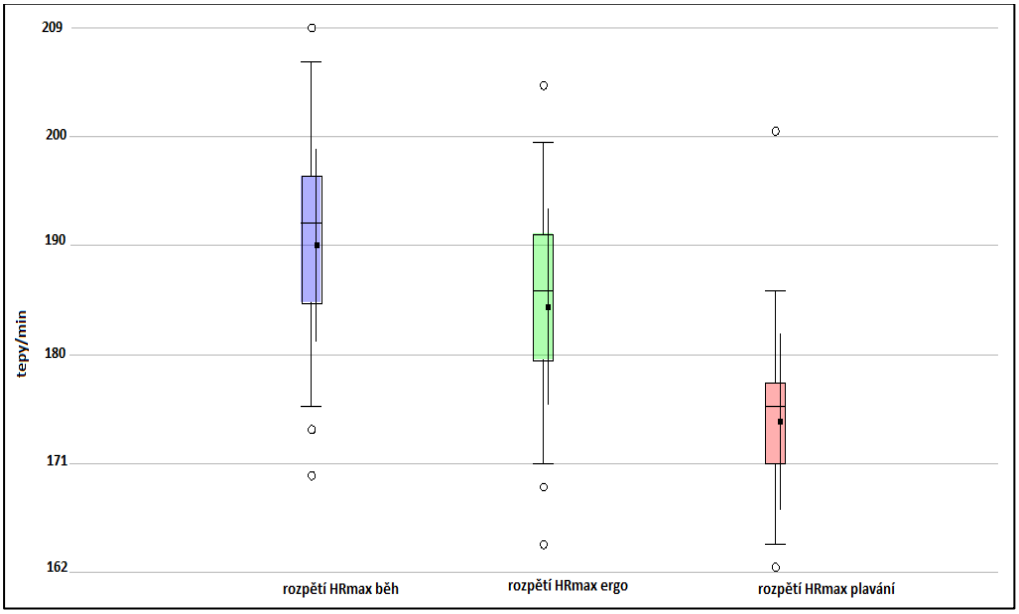
4.2 Rozdílnost mezi protokoly

Tabulka 20, Rozdíly naměřených hodnot HR

	celý soubor
Počet	40
Věk (roky)	29,8 ± 5,1
Antropometrická data	
Hmotnost (kg)	71,4 ± 12,2
Výška (cm)	176,3 ± 8,3
BMI (kg*m²)	22,8 ± 2,7
Tepové frekvence (tepy/min)	
Klidová HR	65,4 ± 8,6
HRmax běh	190,1 ± 8,5
HRmax bicyklový ergometr	184,7 ± 8,6
HRmax plavání	174,7 ± 7,8
Rozdíl běh/ergometr	5,4 ± 3,4
Rozdíl běh/plavání	15,4 ± 6,2
Rozdíl ergometr/plavání	10 ± 6,1
Tepové rozpětí běh	124,7 ± 12,7
Tepové rozpětí ergometr	119,3 ± 12,7
Tepové rozpětí plavání	109,3 ± 13,5

Rozdíly mezi naměřenými hodnotami jsou zobrazeny na následujícím krabicovém grafu 4. Průměrný rozdíl naměřený mezi zátěžovým protokolem v běhu a při jízdě na bicyklovém ergometru je roven 5,4 ± 3,4 tepů/min; mezi během a plaváním je roven 15,4 ± 6,2 tepů/min; mezi ergometrem a plaváním roven 10 ± 6,1 tepů/min. Velikost těchto rozdílů stanovuje variační šíři mezi jednotlivými protokoly.

Graf 4, Srovnání jednotlivých HRmax běh/ergo/plavání (tepů/min)

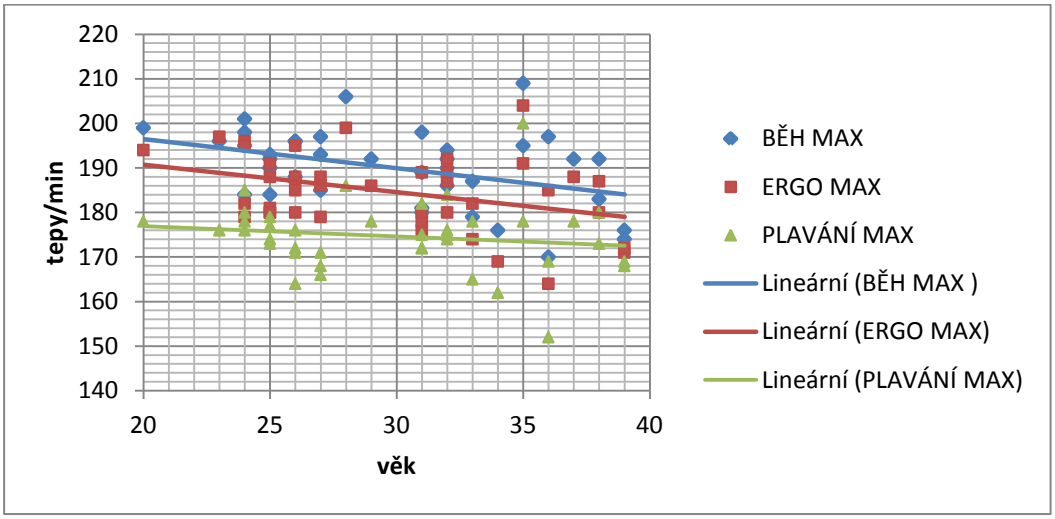


4.3 Vliv věku na HRmax

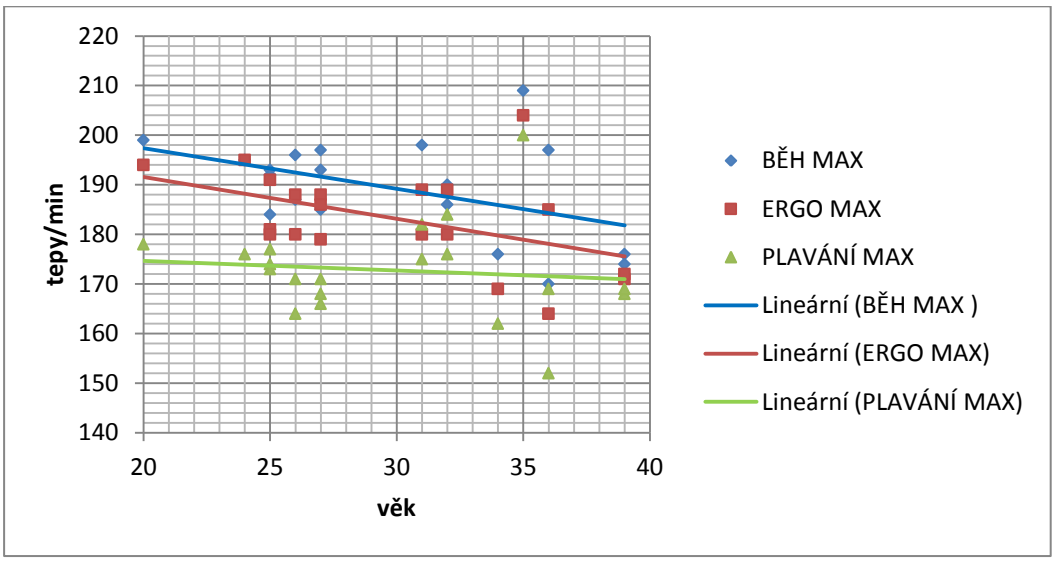
Na následujících grafech (Grafy 5, 6 a 7) je znázorněna závislost HRmax na věku probandů. Vytvořené lineární regresní přímky mají viditelně klesající tendenci.

Obdobný vliv agingu na HRmax je viditelný u běhu a bicyklové ergometrie, avšak v plavání se přímka chová odlišně, viz Graf 5.

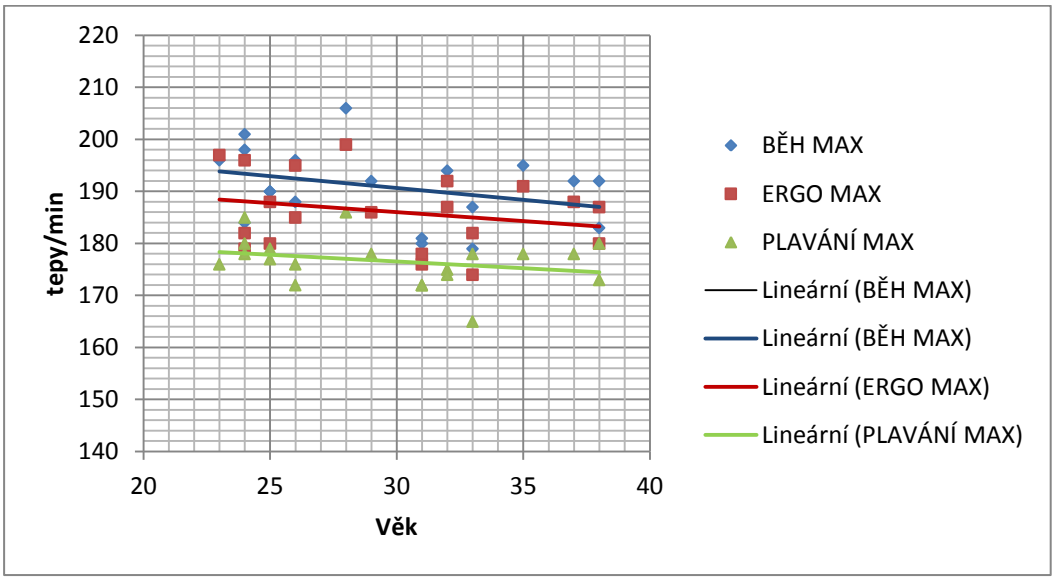
Graf 5, Lineární regresní přímky porovnávající vliv agingu na HRmax u jednotlivých zátěžových protokolů provedených u 40 osob



Graf 6, Lineární regresní přímky porovnávající vliv agingu na HRmax u jednotlivých zátěžových protokolů provedených u mužů



Graf 7, Lineární regresní přímky porovnávající vliv agingu na HRmax u jednotlivých zátěžových protokolů provedených u žen



4.4 Testování hypotéz

Hypotéza 1 byla testovaná pomocí ANOVA testu, kdy byla zjištěna statisticky významná hodnota $p<=0.001$. Tímto můžeme zamítnout nulovou hypotézu $H1_0$: zvolený zátěžový protokol nemá vliv na hodnotu HRmax a musíme přijmout alternativní hypotézu H1, že zvolený zátěžový protokol má vliv na hodnotu HRmax.

Hypotéza 2 - nejvyšších naměřených hodnot maximální tepové frekvence dosáhnou testovaní při běhu, byla naměřena u 95% vybrané populace.

Hypotéza 3, že nejnižších naměřených hodnot maximální tepové frekvence dosáhnou testovaní při plavání, byla naměřena u 98% vybrané populace.

Hypotéza 4 byla testována pomocí ANOVA testu, kdy hodnota $p = 0,195$. Nemůžeme tedy na 95% hladině významnosti zamítnout nulovou hypotézu $H4_0$: na hodnoty maximální tepové frekvence nebude mít vliv pohlaví testovaných.

Hypotéza 5 byla taktéž testována pomocí ANOVA testu, kdy hodnota $p = 0,027$, kterou můžeme na hladině statistické významnosti 95% zamítnout nulovou hypotézu $H5_0$: Na hodnoty maximální tepové frekvence nebude mít vliv věk testovaných. Musíme přijmout hypotézu alternativní H5: Na hodnoty maximálních tepových frekvencí bude mít vliv věk testovaných.

5 DISKUZE

Tato práce má za cíl změřit maximální tepové frekvence pomocí kódovaných telemetrických měřičů, a to při běhu, při jízdě na bicyklovém ergometru a při plavání u 40 zdravých dospělých probandů. Následně výsledky mezi sebou porovnat, dále upozornit na rozdílnost výsledků, kterým můžeme různým typem měření dosáhnout a poukázat na tento fakt, který se v praxi stále opomíjí. Dalším cílem, jak již bylo uvedeno, je stanovit u vybraného vzorku zdravé populace variační šíři maximální tepové frekvence při běhu a porovnat ji s variační šíří téhož parametru, ale v jiném typu pohybové aktivity (plavání, jízda na ergometru).

6.1 Vliv výběru zátěžového protokolu

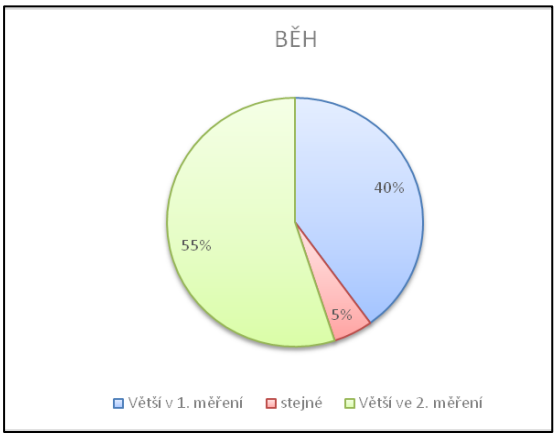
Tato diplomová práce potvrdila, že na hodnoty HRmax má signifikantní vliv ($p<=0.001$) výběr zátěžového protokolu, při kterém je tento parametr snímán. To potvrzují také Kravitz (1997), Kist et al. (2008) a Turley et al. (1995).

U 95% měřených byla HRmax nejvyšší v běhu, u 98% testovaných byla nejnižší HRmax při plavání. Podobných výsledků dosáhl také Rodriguez (2000), který porovnával také tyto tři druhy zátěžových protokolů, avšak ten prováděl studii na profesionálních plavcích.

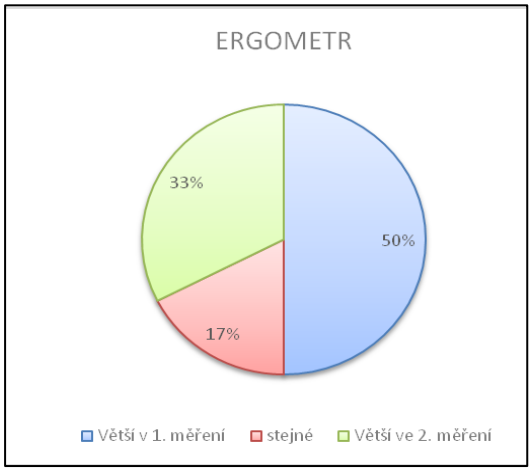
Testování bylo u každého protokolu provedeno dvakrát v krátkém časovém období po sobě, z důvodu předpokládané individuální variability. K výpočtu průměrných hodnot HRmax byla použita pouze vyšší z naměřených hodnot. Autorka studie předpokládala, že naměřená tepová frekvence bude vyšší při druhém prováděném testu.

Na následujících grafech 8, 9 a 10 je zobrazeno v kolika procentech bylo dosaženo HRmax při prvním či druhém měření, případně zda dosáhli testovaní stejných hodnot HRmax při obou pokusech. V prvním měřeném zátěžovém protokolu bylo dosaženo vyšších hodnot v běhu u 40 % vybrané populace, při bicyklové ergometrii u 50 % a při plavání u pouhých 7 %. U druhého snímaného protokolu bylo dosaženo největšího počtu nejvyšších HR u plavání (75 %), dále při běhu (55 %) a nejméně při ergometrii (33 %). U některých probandů byly hodnoty HRmax při obou měřeních identické (v grafech označeno jako stejné). Význam opakování zátěžového protokolu se projevil nárůstem HR především při plavání a stvrdil existenci individuální variability.

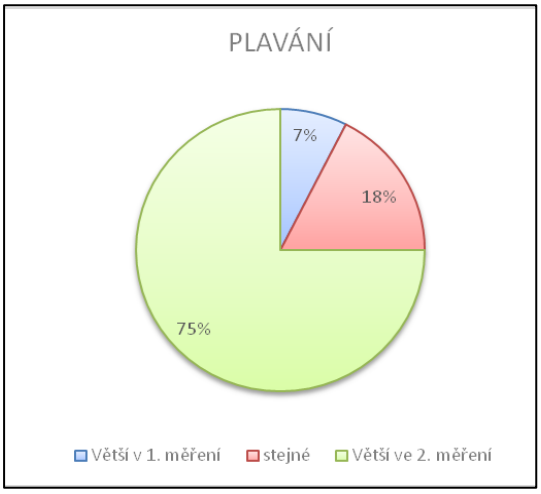
Graf 8, Procentuální zastoupení naměřených HRmax při jednotlivých protokolech v běhu



Graf 9, Procentuální zastoupení naměřených HRmax při jednotlivých protokolech při bicyklové ergometrii



Graf 10, Procentuální zastoupení naměřených HRmax při jednotlivých protokolech při plavání



Rozdílné výsledky v zátěžových protokolech jsou připisovány odlišnému zapojování svalových skupin při běhu, plavání a jízdě na ergometru. Kist et al. (2013) uvádí, že během protokolu prováděného na bicyklovém ergometru je svalstvo horní poloviny těla inaktivní. Není zde proto vynaložena energie na podporu trupu a horních končetin během jízdy a to může mít výrazný efekt na kardiorespirační hodnoty, oproti běhu.

Rodriguez (2000) při porovnání plavání s během a ergometrem uvádí, že při běhu a jízdě na kole dojde k zapojení především dolních končetin a při plavání kraulem se zapojují jiné svalové skupiny (horní končetiny). To potvrzuje Roels (2005). Tvrdí, že pro plavání je potřeba menší množství zapojené svalové hmoty.

Hodnoty naměřené v naší studii jsou porovnány s dalšími studiemi v Tabulce 21.

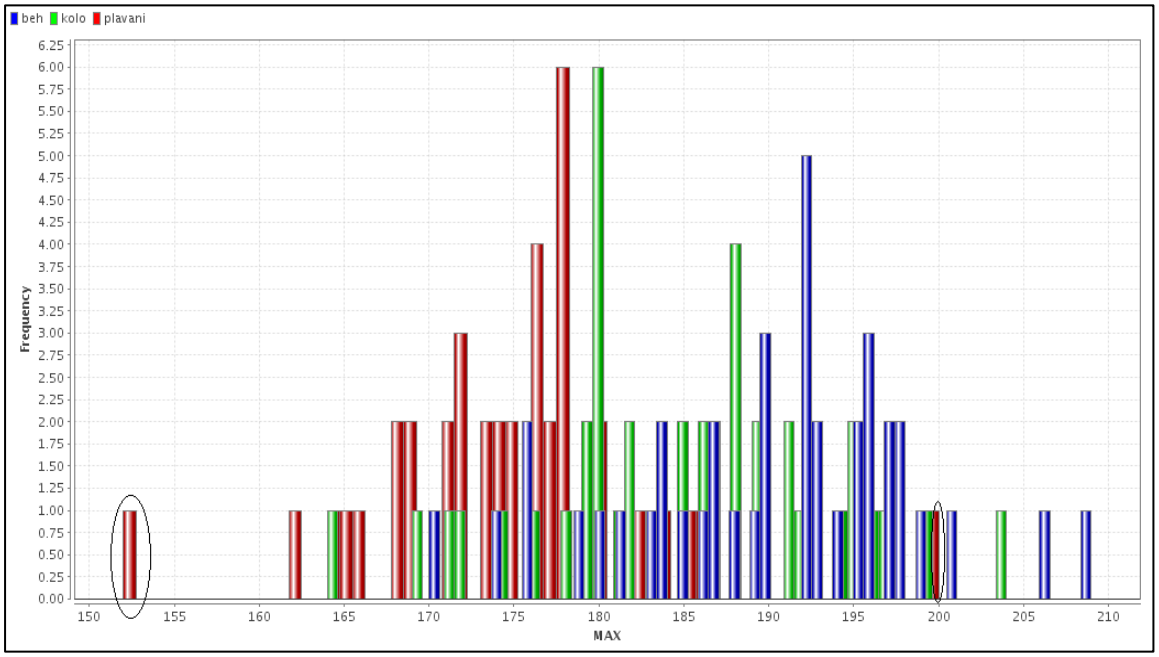
Tabulka 21, Srovnání HRmax při rozdílných zátěžových protokolech

STUDIE (rok)	Soubor probandů; věk ± SD	HRmax Běžecký pás (tepů/min) ± SD	HRmax bycikl.ergometrie (tepů/min) ± SD	HRmax Plavání (tepů/min) ± SD
Májková (2015)	20 mužů 29,9 ± 5,4	189,3 ± 9,8	183,3 ± 9,7	172,8 ± 9,7
Májková (2015)	20 žen 29,7 ± 5	190,8 ± 7,1	186,1 ± 7,3	176,6 ± 4,7
Bouchard et al. (1979)	30 mužů 28 ± 4,5	187,7 ± 9,1	185,7 ± 9,1	-
Roels (2005)	9 plavců 19,6 ± 4,5	-	188,6 ± 7,5	184,6 ± 9,7
Roels (2005)	10 triatlonistů 19,6 ± 4,5	-	188,6 ± 7,5	174,8 ± 9
Kist et al. (2013)	11 mužů 24 ± 7,8	174 ± 15	171 ± 13	-
Kist et al. (2013)	11 žen 23 ± 8,5	177 ± 13	174 ± 10	-
Millard-Stafford et al. (1991)	12 triatlonistů 29,2 ± 3,5	183,7 ± 9,4	177,1 ± 6,5	162 ± 7,5
DiCarlo et al. (1991)	34 plavců 19 mužů 15žen /vysokoškoláků	197 ± 8	-	186 ± 10
Rodriguez (2000)	10 mužů; 5 žen (plavců) 17,5±3,4; 17 ± 1,6	196,1 ±7,5	189,0 ± 6,6	183,1 ± 7,5
Rodriguez (2000)	22 mužů; 11 žen (plavců) 19,3±3,5; 16±1,4	-	188,9 ± 7,2	182,0 ± 8,4
McArdle et al. (1978)	19 plavců 21,1±2,6; 21,4±3,4	198,3 ±9,4	-	176,2 ± 10,1
McArdle et al. (1978)	11 plavců po 10 týdenním běžeckém tréninku 21,1±2,6	před tréninkem 200,6 ± 8,8 po tréninku 196,7 ± 7,9	-	před tréninkem 178,7 ± 9,4 po tréninku 170,8 ± 9,7

Studie také uvádí, že výsledky konečných HRmax může ovlivnit adaptace na prováděnou aktivitu. Proto mohou např. plavci dosáhnout vyšších hodnot než běžná populace. (Roels, 2005) V naší studii však nebyli zařazeni jedinci, kteří by se zaměřovali pouze na jednu z těchto forem pohybových aktivit. Avšak byl např. měřen 35letý amatérský triatlonista, který ovládá principy všech typů pohybových aktivit, které byly použity pro zátěžové protokoly. Jeho výsledky jsou 209 tepů/min v běhu, 204 tepů/min na ergometru a 200 tepů/min při plavání.

Na histogramu (Obrázek 14) jsou viditelné extrémní hodnoty při plavání – zakroužkovány, přičemž 200 tepů patří zmíněnému amatérskému triatlonistovi a druhá hodnota patří netrénovanému 34letému muži. Tyto hodnoty ze souboru vyřazeny nebyly, protože na základě výpočtu normality dat pomocí Shapiro-Wilkova testu byla označena všechna naměřená data, jako normálně (gaussovsky) rozložená.

Obrázek 14, Histogram zobrazující četnost (frequency) naměřených hodnot



Zavorsky (2000) potvrzuje faktor fyzické trénovanosti potažmo také dekondice jakožto vliv působící na HRmax. Vliv trénovanosti ale nepotvrzuje Stein et al. (1991).

U amatérského triatlonisty, který dosahuje maximálního počtu tréninkových hodin za týden v porovnání s hodnotami u zbytku měřené populace (viz Tabulka 22), zřejmě může množství pravidelně prováděné pohybové zátěže působit na HRmax.

Tabulka 22, Tréninkový čas u vybrané měřené populace

tréninkový čas za týden			
průměrný počet hodin/týden	medián	minimum	maximum
4,4 ± SD 4,4	3	0	21

Není zde ale zohledněno, zda nemá na výsledky HRmax triatlonisty efekt také adaptace na konkrétní druh pohybové aktivity a zda by stejných výsledů dosáhl např. veslař, který má identické množství tréninkové času za týden, ale ovládá jiný druh zátěže, než ten, který je použit pro maximální zátěžový protokol.

Zjištění, jaký vliv má množství prováděné pohybové aktivity za týden, v tomto případě označené jako množství tréninkového času za týden, by ovšem potřebovalo rozsáhlejší a samostatnou studii nebo případné rozšíření této práce např. dizertační.

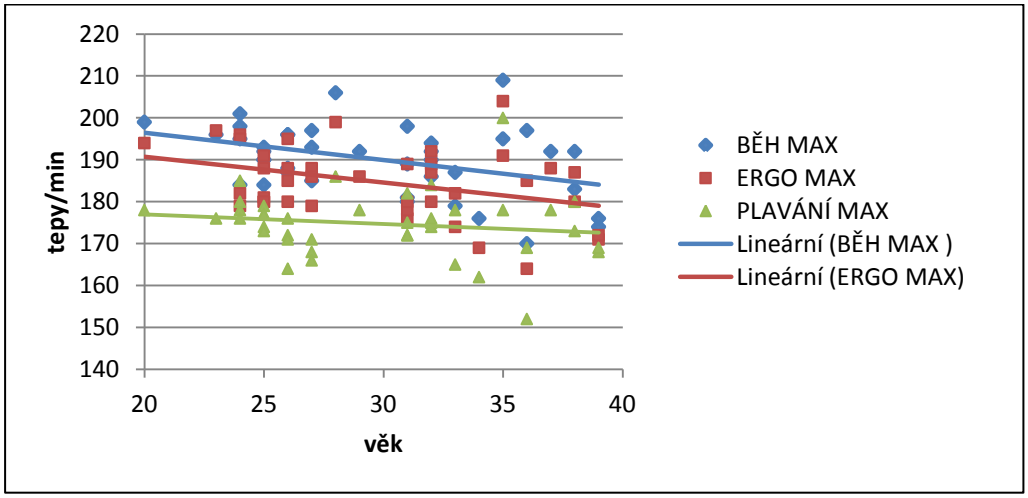
Faktor, který se vícečetně ve studiích potvrdil, je věk. Engels (1998), Tanaka et al., (2001), Nes et al., (2013), Astrand et al., (1973); Christou & Seals (2008) poukazují na to, že HRmax klesá vlivem stárnutí. Engels (1998) odhaduje, že s přibývajícím věkem dochází k snížení o 0,65 tepu v maximu s každým rokem věku.

Tato diplomová práce potvrdila, že na hodnoty maximální tepové frekvence má věk testovaných vliv (p = 0,027).

Na Grafu 11 je zobrazen vliv agingu na HRmax. Je zde patrná viditelná rozdílnost mezi jednotlivými zátěžovými testy. Je zřejmé, že klesání hodnot není tak výrazně strmé u plavání (zelená), jako u běhu (modrá) a bicyklové ergometrie (červená).

Důvodem může být to, že na plavání má vliv mnoho dalších faktorů, které mohou na HRmax působit a které není možno zohlednit u běhu či bicyklové ergometrie, např. vliv vodního prostření, vodorovné pozice těla apod.

Graf 11, Vliv agingu na HRmax



Důvod, proč dochází k poklesu HRmax stárnutím je zatím předmětem studií. Christou & Seals (2008) uvádí, že aging HRmax je nezávislý na pohlaví, habituální fyzické aktivitě a dalších faktorech, a že jeho pokles souvisí se snížením srdečního výdeje. Nebylo potvrzeno, že na aging HRmax může působit snížená aktivita parasympatiku. Vlivem stárnutí dochází ke snížení tonu vagu v klidu u mužů i žen a také při fyzické zátěži se postupně snižuje efekt parasympatiku. Dle této studie tedy nedochází k ovlivnění agingu HRmax tonem vagu.

Aging HRmax je téměř nezpochybnitelný. Predikční rovnice totiž výhradně používají věk, jako jediný parametr, který slouží k výpočtu HRmax a další faktory nezohledňují.

V této diplomové práci se nepotvrdilo pohlaví (p = 0,195) jako faktor, který může působit na hodnoty HRmax. To prokazuje studie z roku 2013, která nepotvrdila statisticky významnou interakci mezi pohlavím testovaných a naměřenou HRmax. (Nes et al., 2013) Přesto většina referenčních hodnot HRmax je rozdělena individuálně pro muže a ženy zvlášť.

Další vlivy např. BMI, kouření, trénovanost, medikace a další by vyžadovaly podrobnější a dlouhodobější zkoumání, které může být předmětem dalších studií.

Rozdíly naměřené mezi protokoly jsou: běh vs. ergometr 5,4 ± 3,4 tepů/min; běh vs. plavání 15,4 ± 6,2 tepů/min; ergometr vs. plavání 10 ± 6,1 tepů/min, tyto hodnoty nám určují variační šíři.

Rozdíly bychom měli brát v potaz při výpočtu tepového rozpětí a z něj následně určené intenzity zátěže. Například, pokud bude klidová HR rovna 70 tepům/min a HRmax naměřená při bicyklové ergometrii rovna 184 tepům/min, je tepové rozpětí 114 tepů/min. Následné procento tepové rezervy by však určovalo intenzitu zátěže optimálně pouze pro jízdu na kole/ergometru. Pakliže by daná osoba zvolila jako zátěž běh, ve které testována nebyla, můžeme k hodnotě HRmax přičíst 5,4 ± 3,4 tepů/min. Konkrétně by tedy variační šíře HRmax pro běh byla mezi 192,8 a 180,6 tepy/min. V případě plavání bychom odečetli od HRmax na ergometru 10 ± 6,1 tepů/min, čili variační šíře HRmax pro plavání by byla mezi 167,9 a 180,1 tepy/min. Výpočet byl proveden s jednou směrodatnou odchylkou, která vymezuje variační šíři pro 68% populace. Pokud bychom chtěli šíři pro 95%, museli bychom počítat se 2SD.

I přesto, že výsledná variační šíře má velké rozpětí, považujeme tento způsob určení HRmax a z něj následně odvozeného procenta tepové rezervy za adekvátní pro použití v praxi. Tímto způsobem můžeme určit přibližnou variační šíři HRmax pro druhy aktivit, které nebyly testovány laboratorně.

Millet et al. (2009) uvádí, že HRmax je v průměru o 5% vyšší při výsledku získaném na běžeckém trenažéru oproti protokolu při jízdě na bicyklovém ergometru. Studie prováděné na triatlonistech, kteří jsou trénovaní v obou sportovních disciplínách, ukázaly, že HRmax je při ergometrii nižší o 6-10 tepů/min oproti běhu.

Kohrt et al. (1989) porovnávali výsledky protokolů v průběhu sezóny a uvádějí, že byly prokazovány relativně stabilní hodnoty vyšší o 5 tepů/min v běhu oproti jízdě na kole.

Houdová & Čechovská (2012) uvádí, že současné doporučení je odečítat 10-13tepů/min pro stejně prováděnou intenzitu zátěže HR ve vodním prostředí jako na suchu, ale upozorňují na velkou interindividuální variabilitu.

Villas-Boas (1989) ve své studii porovnával hodnoty HRmax při plavání a na běžeckém ergometru na suchu. Hodnoty při plavání byly nižší než při běhu, rozdíl byl nižší u žen. Průměrná hodnota HRmax byla při plavání o 7 tepů/min nižší než při běhu. U mužů byl rozdíl do 12 tepů/min a u žen do 2 tepů/min.

6.2 Běh

Zátěžový protokol v běhu byl naměřen v terénních podmínkách. Výsledky ukázaly, že v běhu bylo dosaženo nejvyšších hodnot HRmax v poměru s dalšími naměřenými hodnotami.

Tabulka 23, Hodnoty HRmax naměřené v zátěžovém protokolu v běhu

BĚH	Celý soubor probandů	ŽENY	MUŽI	První měřený protokol	Druhý měřený protokol
HRmax (tepy/min)	190,1	190,8	189,3	188,5	188,6
SD	8,5	7,1	9,8	8,8	8,7

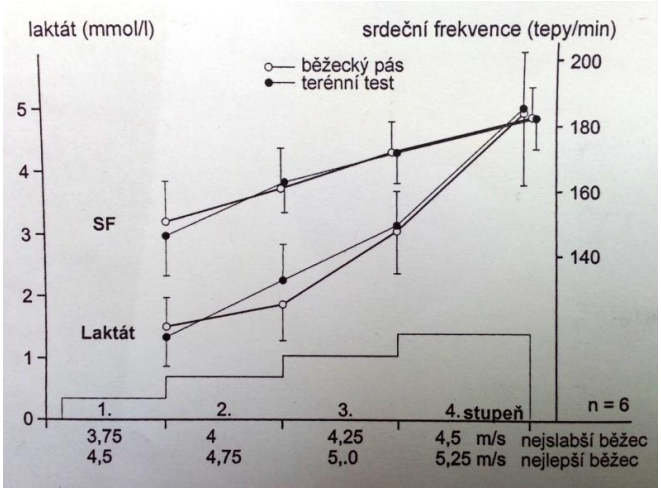
Následující Tabulka 24 srovnává HRmax dosažené v běhu. Nes et al. (2013) však protokol prováděl v laboratorních podmínkách na běžeckém trenažéru, na rozdíl od studie této diplomové práce, která byla provedena v terénu.

Tabulka 24, Porovnání hodnot HRmax v běhu

	HRmax v běhu (tepy/min) Nes et al. (2013)		**HRmax v běhu (tepy/min) Májková (2015)**
19-29 let	195,9 ± 9,9	**20-29 let**	193,1 ± 5,8
30-39let	189 ± 10,1	**30-39 let**	187,0 ± 9,7

Na Obrázku 15 je však viditelné, že při porovnání HR měřené při protokolu na běžeckém páse a HR měřené při terénním testu, bylo dosaženo téměř identických výsledků.

Obrázek 15, Porovnání terénního a laboratorního protokolu v běhu, Neumann et al., 2005



6.3 Bicyklová ergometrie

Protokol v jízdě na bicyklovém ergometru byl proveden v laboratorních podmínkách. Podobně jako u běhu byly naměřeny vyšší hodnoty u většího množství probandů již v průběhu prvního protokolu, viz Tabulka 25.

Tabulka 25, Hodnoty HRmax naměřené při bicyklové ergometrii

Bicyklová ergometrie	**Celý soubor probandů**	**ŽENY**	**MUŽI**	**První měřený protokol**	**Druhý měřený protokol**
HRmax (tepy/min)	184,7	186,1	183,3	183,9	182,9
SD	8,6	7,3	9,7	8,6	8,3

Při porovnání hodnot naměřených v této diplomové práci se HRmax naměřenými studií v roce 2003, která vytvářela tabulkové hodnoty pro protokol při jízdě na bicyklovém ergometru, viz Tabulka 26.

Tabulka 26, Porovnání hodnot HRmax při bicyklové ergometrii

	HRmax ergometrie (tepy/min) (Wohlfart & Farazdaghi, 2003)		**HRmax ergometrie (tepy/min) Májková (2015)**	
20-29 let	muži 191 ± 9	ženy 186 ± 8	muži 186,2 ± 6	ženy 188,7±7,5
30-39 let	muži 182 ± 10	ženy 184 ± 8	muži 180,3 ± 11,9	ženy 183,5 ± 6,4

6.4 Plavání

V diplomové práci byly zjištěny nižší hodnoty HRmax při plavání, než při protokolech prováděných na souši.

Test byl proveden v 25metrovém bazénu o teplotě 27-29°C, která je označovaná jako termoneutrální a tudíž by neměla ovlivnit naměřené hodnoty. (McArdle et al., 1976) Měřena byla pouze tepová frekvence pomocí telemetrických měřičů, pro které byly speciálně pro tuto studii vytvořeny elastické popruhy pro připevnění hrudního pásu, jenž nemá při velké rychlosti plavání dobrou přilnavost. Plavecký styl (kraul, prsa) byl zvolen dle subjektivního hodnocení probandů. Pro zátěžový protokol v plavání je důležité vytvořit dostatečné bezpečnostní podmínky, u měření této studie byl vždy přítomen plavčík.

Tabulkové hodnoty sloužící k porovnání kardiorespiračních parametrů v zátěžovém protokolu při plavání pro jednotlivé věkové kategorie a pohlaví v současnosti k dispozici nejsou. Provádět protokol ve vodě není standardní, plavci i běžná populace je stále měřena v laboratorních podmínkách na ergometru nebo běžeckém trenažéru, i přesto, že byly studiemi prokázány signifikantně rozdílné výsledky. Ovšem vytvoření laboratorních podmínek pro optimální měření protokolu ve vodním prostředí je obtížné. V této diplomové práci byla snímána pouze HR telemetrickými měřiči, které při porovnání hodnot zobrazovaných na displeji a palpačně naměřené HR nevykazovaly rozdílnost.

Nižší hodnoty v plavání jsou připisovány změněné hemodynamice ve vodorovné poloze v plavání. Sníženému množství svalové hmoty zapojenému v plavání oproti běhu. Dále diving reflexu, který vyvolává bradykardii; působení hydrostatického tlaku a vztlaku. Tato studie také uvádí, že při práci ve vodním prostředí je výrazně nižší chronotropní srdeční odezva. (Rodriguez, 2000; Roels, 2005; DiCarlo et al. 1991; Houdová & Čechovská, 2012)

Čechovská (2006), uvádí, že u závodních plavců nedochází, vlivem adaptace na vodní prostředí a dokonalou plaveckou technikou, k výrazně rozdílným výsledkům na suchu nebo ve vodě. Dále, že u plaveckého tréninku se nepočítá s odečty tepů pro vodní prostředí a očekávají se vyšší hodnoty kardiorespiračních ukazatelů.

To potvrzuje studie, ve které bylo zkoumáno, zda budou rozdílné hodnoty při plavání a bicyklové ergometrii u plavců a triatlonistů. U plavců nebyl nalezen signifikantní rozdíl mezi protokoly (kolo 188,6 ± 7,5; plavání 184,6 ± 9,7), dosáhli vyšších hodnot HRmax (tepy/min) v plavání než triatlonisti (plavání 174,8 ± 9). (Roels 2005)

Uvedené studie byly provedeny na závodních plavcích. Tato diplomová práce neobsahovala osobu, která by se zaměřovala pouze na plavání, avšak byl měřen 35letý amatérský triatlonista, který ovládá principy všech druhů pohybových aktivit, které byly použity pro zátěžové protokoly.

6.5 Přesnost snímání HR pomocí telemetrických měřičů

Tato diplomová práce využila ke snímání HR telemetrických měřičů FT4 POLAR®. Jejich přesnost byla hodnocena pouze pomocí porovnání s hodnotami HR naměřenými palpačně.

Jako problematické se jevilo upevnění elastického pásu s elektrodami při plavání, kdy při vyvinutí větší rychlosti, např. při odrazu od stěny bazénu, docházelo k posunu pásu z hrudníku směrem kaudálně. Proto byly vytvořeny pomocné elastické pásy, které umožňovaly, aby elektrody setrvávaly na původním místě. Probandi hodnotili tuto pomůcku kladně a potvrdili, že tento aparát je v pohybech při plavání neomezuje.

Samotné telemetrické měřiče, mohou vykazovat jistou chybu při snímání HR.

Vanderlei et al. (2008) porovnávaly hodnoty získané pomocí telemetrického měřiče POLAR® (model S810i) a údajů z EKG. Studie neprokázala, žádné statisticky významné rozdíly mezi hodnotami VFT, které byly měřeny během cvičení a období odpočinku. Podobných výsledků dosáhl také Gamelin et al. (2006) při porovnání indexů HRV z přístroje POLAR® S810 a EKG ve vodorovné poloze u ortostatické zkoušky.

Oproti tomu Kingsley et al. (2005) porovnával údaje z telemetrického měřiče POLAR® a EKG při stupňovaném testu na bicyklovém ergometru s počátečním zatížením 60 W a následným zvyšováním o 30 W za každé 2 minuty až do únavy testovaného. Poukazuje na to, že bylo dosaženo podobné korelace mezi RR intervaly získanými oběma zařízeními při intenzitě 40 % VO2max, avšak rozdílné indexy byly získány při intenzitě vyšší než 60 % VO2max.

Vanderlei et al. (2008) uvádí, že při sběru dat může dojít k drobným rozdílům, díky rušení signálu z elektrod, které jsou umístěny na pružném pásku, avšak ani to neprokázalo statisticky významné odchylky.

6.6 Limity diplomové práce

Soubor probandů čítá pouze 40 osob, pro zjištění významnějších rozdílů by bylo zapotřebí testovat větší množství probandů ve všech věkových kategoriích. Věkové kategorie (20-40let) byly vybrány z důvodu bezpečnostních, vzhledem k tomu, že u osob nad 40 let je vyšší potencionální riziko kolapsových stavů při maximálních výkonech. Testovaní vyplňovali dotazník, jehož úkolem bylo zjistit, zda jsou vhodní do souboru probandů. U testování nebyl přítomen lékařský dohled.

Dalším limitem této studie je fakt, že protokoly byly prováděny v různých prostředích. Běh v terénu, mohl být ovlivněn teplotními i povětrnostními podmínkami, nebyla zde měřena rychlost běhu ani délka absolvované trati. Na výsledky měření mohl působit odpor vzduchu, který není při testování v laboratorních podmínkách přítomný. Měření na běžeckém trenažéru v laboratorních podmínkách neproběhlo z důvodu nevyhovujících technických podmínek, kdy musí být zajištěna především bezpečnost před pádem. Laboratorní testování vyžaduje také zkušenost testovaného s technikou běhu na trenažéru, aby bylo dosaženo přirozenosti běhu a pocitu stability. Výhodou terénního protokolu je právě fakt, že se jedná o přirozenou pohybovou aktivitu, která nevyžaduje vytvoření uměle navozeného běžeckého stylu.

Měření při jízdě na bicyklovém ergometru proběhlo v laboratorních podmínkách. Zde byla měřena také pouze HR pomocí telemetrických měřičů, nebyly odčítány watty, avšak cílem této práce nebylo zjistit hodnotu intenzity zátěže v maximu.

Nepřítomnost např. dosažené hodnoty wattů, délky uběhnuté/uplavané trati či rychlost prováděného výkonu je dána především technickou náročností snímání více hodnot, kterou prováděl pouze jeden vyšetřovatel.

Dále není k dispozici dostatek literatury, který by se zabýval měřením HRmax v plavání a vytvořil tak normy, se kterými by bylo možné výsledky porovnat. Většina uvedených studií je prováděna na závodních plavcích, kteří mohou dosahovat díky dobré technice plavání, vyšších hodnot HRmax, čili nejedná se o hodnoty použitelné pro běžnou populaci.

Za limit, dle autorky této práce, není považován fakt, že došlo pouze k subjektivnímu hodnocení námahy. Lze namítnout, že mohla nastat situace, kdy nebylo dosaženo opravdového maxima, které by se v laboratorním prostředí hodnotilo dle respiračního koeficientu. Autorka jako zásadní vidí skutečnost, že i při laboratorním měření je proband vyzván k jízdě do vyčerpání a v případě, že ukončil zátěž z důvodu např. únavy dolních končetin nebo dušnosti, před dosažením RER vyššího než 1,1, jsou naměřené hodnoty považovány také jako maximální, i přesto, že se jednalo o subjektivně limitovanou zátěž.

Naopak jako přednost by autorka práce chtěla vyzdvihnout velkou podporu a stimulování testovaných, kteří prováděli protokoly v soutěžním prostředí. Právě podpora a povzbuzení ze stran lékařů při zátěžovém testování mohou být nedostatečné.

ZÁVĚR

Cílem naší experimentální studie bylo porovnat hodnoty HRmax získané při třech druzích zátěžových protokolů, konkrétně při běhu, jízdě na bicyklovém ergometru a při plavání. Poukázat na to, že každá osoba může dosáhnout několika rozdílných hodnot tepové frekvence, které lze pro jednotlivé typy pohybové aktivity považovat za maximální. Dalším cílem je stanovit u vybraného vzorku zdravé populace variační šíři maximální tepové frekvence při běhu a porovnat ji s variační šíří téhož parametru, ale v jiném typu pohybové aktivity (plavání, jízda na ergometru).

Tepová frekvence byla měřena na vybraném vzorku 40 dospělých zdravých osob pomocí telemetrických měřičů FT4 Polar®. V naší studii byla prokázána signifikantní odlišnost mezi HRmax zjištěnými v jednotlivých protokolech. Korelační koeficient byl nejsilnější mezi protokolem v běhu a bicyklové ergometrii (r = 0,92). Koeficient byl slabší mezi ergometrií a plaváním (r = 0,72) a nejslabší mezi během a plaváním (r = 0,71). U 95% měřené populace byla nejvyšší hodnota HRmax naměřena v běhu a u 98% testovaných byla nejnižší při plavání.

V naší studii se nepotvrdilo, že na hodnoty maximálních HR má vliv pohlaví testovaných, zato byl prokázán vliv věku.

Prováděný experiment naznačuje přibližnou variační šíři rozdílu HRmax mezi jednotlivými pohybovými aktivitami. Určuje přesnost, s jakou dokážeme individuálně určit procento tepové rezervy v jiných (u pacienta netestovaných) zátěžových aktivitách, než které byly naměřeny v laboratorních podmínkách. Data naměřená ve studii této diplomové práce potvrzují světové písemnictví.

REFERENČNÍ SEZNAM

ALMEIDA, MARCOS B.; ARAÚJO, Claudio Gil S. Effects of aerobic training on heart rate. Revista Brasileira de Medicina do Esporte, 2003, 9.2: 113-120.

AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE. ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. 8th ed. Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins, 2010; 155.

AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE. ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. 8th ed. Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins, 2010; 155.

ARAÚJO CGS, PINTO VLM. Freqüência cardíaca máxima em testes de exercícios em esteira rolante e em cicloergômetro de membros inferiores. Arq Bras Cardiol. 2005; 85: 45-50.

ASTRAND, I., ASTRAND, P. O., HALLBACK, I. & KILBOM, A. Reduction in maximal oxygen uptake with age. J. Appl. Physiol., 1973, 35, 5, p. 649–654.

AUBERT, ANDRÉ E, BERT SEPS A FRANK BECKERS. Heart Rate Variability in Athletes. Sports Medicine [online]. 2003, vol. 33, issue 12, s. 889-919 [cit. 2015-03-08].

BODNER, M. E., and E. C. RHODES. A review of the concept of the heart rate deflection point. Sports Med. 2000, 30:31–46,.

BORRESEN, JILL; LAMBERT, MICHAEL I. Autonomic control of heart rate during and after exercise. Sports medicine, 2008, 38.8: 633-646.

BOUCHARD, C., P. GODBOUT, J.C. MONDOR a C. LEBLANC. Specificity of maximal aerobic power. European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology. 1979, č. 2., s.85-93

CANADIAN SOCIETY FOR EXERCISE PHYSIOLOGY, Physical Activity Readiness Questionnaire - PAR-Q, www.csep.ca/forms, 2002

COLE, CHRISTOPHER R., EUGENE H. BLACKSTONE, Fredric J. PASHKOW, Claire E. SNADER a Michael S. LAUER. Heart-Rate Recovery Immediately after Exercise as a Predictor of Mortality. New England Journal of Medicine[online]. 1999, vol. 341, issue 18, s. 1351-1357 [cit. 2015-03-06]. DOI: 10.1056/nejm199910283411804.

COONEY, M. T., VARTIAINEN, E., LAAKITAINEN, T., JUOLEVI, A., DUDINA, A., & GRAHAM, I. M. Elevated resting heart rate is an independent risk factor for cardiovascular disease in healthy men and women. American heart journal, 2010, 159(4), 612-619.

ČECHOVSKÁ, I. (2006) Dokumenty – Lekce č. 26 [online]. Přístup dne 27.04.2015

<http://www.ftvs.cuni.cz/elstudovna/index.php?predmet=plavjedna&sec=Doc>.

DALLECK, LANCE a ANGELA DALLECK. The acsm exercise intensity guidelines for cardiorespiratory fitness: why the misuse?. Ournal of Exercise Physiology. 2008, č. 4.

DARR KC, BASSETT DR, MORGAN BJ, THOMAS DP. Effects of age and training status on heart rate recovery after peak exercise. Am J Physiol. 1988; 254:H340-343.

DICARLO LJ, SPARLING PB, MILLARD-STAFFORD ML, RUPP JC. Peak heart rates during maximal running and swimming: implications for exercise prescription. Int J Sports Med 1991; 12:309–312

DIMKPA U. Post-Exercise Heart Rate Recovery: An index of cardiovascular fitness. J Exe Physiol.2009;12:19–22.

DITTAMI, Simon. Shapiro-Wilk Normality Test. [online]. 2009 [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: http://sdittami.altervista.org/shapirotest/ShapiroTest.html

DIXON, R. W. & FAULKNER, J. A. Cardiac outputs during maximum effort running andswimming. J. Appl. Physiol., 1971, 30, 5, p. 653–6.

ENGELS, H.J., ZHU, W. AND MOFFATT, R.J. An empirical evaluation of the prediction of maximal heart-rate. Res Quart Exerc Sport 1998; 69(1): 94-98.

FARAZDAGHI GR, WOHLFART B: Reference values for the physical work capacity on a bicycle ergometer for women between 20 and 80 years of age. Clin Physiol 2001, 21: 682-687,.

FITZGERALD, MARGARET D, TANAKA, HIROFUMI, TRAN, ZUNG V., AND SEALS, DOUGLAS R. Age-related declines in maximal aerobic capacity in regularly exercising vs. sedentary women: a meta-analysis. J of Appl Physiol. 1997, 83: 160-165,.

FOX III, S.M. NAUGHTON, J.P. AND HASKELL, W.L. Physical activity and the prevention of coronary heart disease. Ann Clin Res 1971;3:404-432.

FREEMAN JV, DEWEY FE, HADLEY DM, ET AL. Autonomic nervous system interaction with the cardiovascular systém during exercise. Prog Cardiovasc Dis 2006; 48: 342–362.

GAMELIN, FRANOIS XAVIER, SERGE BERTHOIN a LAURENT BOSQUET. Validity of the Polar S810 Heart Rate Monitor to Measure R-R Intervals at Rest. Medicine & Science in Sports & Exercise [online]. 2006, vol. 38, issue 5, s. 887-893 [cit. 2015-03-04]. DOI: 10.1249/01.mss.0000218135.79476.9c.

GANONG, William F. Přehled lékařské fyziologie. 20. vyd. Praha: Galén, 2005, 890 s.

GELLISH, RONALD L., BRIAN R. GOSLIN, RONALD E. OLSON, AUDRY MCDONALD, GARY D. RUSSI a VIRINDER K. MOUDGIL. Longitudinal Modeling of the Relationship between Age and Maximal Heart Rate. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2007, s. 822-829

GOLDBERG, L. Assessment of exercise intensity formulas by use of ventilatory threshold. CHEST Journal [online]. 1988-07-01, vol. 94, issue 1, s. 95

GULATI M, SHAW LJ, THISTED RA, BLACK HR, BAIREY MERZ CN, ARNSDORF MF. Heart rate response to exercise stress testing in asymptomatic women: the St. James Women Take Heart Project. Circulation 2010: 122: 130–137.

HALL, JOHN E A ARTHUR C GUYTON. Guyton and Hall textbook of medical physiology. 12th ed. Philadelphia, Pa.: Saunders/Elsevier, 2011, 1091 p.

HAUBER, C., R. SHARP a W. FRANKE. Heart Rate Response to Submaximal and Maximal Workloads During Running and Swimming. International Journal of Sports Medicine [online]. 1997, vol. 18, issue 05, s. 347-353 [cit. 2015-04-06]. DOI: 10.1055/s-2007-972644.

HAUTALA A, TULPPO MP, MAKIKALLIO TH, LAUKKANEN R, NISSILA S, HUIKURI HV. Changes in cardiac autonomic regulation after prolonged maximal exercise. Clin Physiol 2001; 21:238-245

HOLMER I, LUNDIN A, ERIKSSON BO. Maximum oxygen uptake during swimming and running by elite swimmers. J Appl Physiol, 1974;36:711–14

HOUDOVÁ, V., ČECHOVSKÁ, I. Srdeční frekvence jako indikátor pohybového zatížení ve vodě. Česká kinantropologie. 2012. Vol 16, No 3 s. 11-25

HUBIČKA, TOMÁŠ. Testování Maximální SF v plaveckém trenažéru. Praha, 2012. Bakalářská práce. Fakulta tělesné výchovy a sportu, UNIVERZITA KARLOVA. Vedoucí práce Daniel Jurák.

CHRISTOU, D. D. a D. R. SEALS. Decreased maximal heart rate with aging is related to reduced -adrenergic responsiveness but is largely explained by a reduction in intrinsic heart rate. Journal of Applied Physiology [online]. 2008, vol. 105, issue 1, s. 24-29 [cit. 2015-04-06]. DOI: 10.1152/japplphysiol.90401.2008.

IELLAMO, F. Conversion From Vagal to Sympathetic Predominance With Strenuous Training in High-Performance World Class Athletes. Circulation[online]. 2002, vol. 105, issue 23, s. 2719-2724 [cit. 2015-03-08]. DOI: 10.1161/01.cir.0000018124.01299.ae

KARVONEN MJ, KENTALA E AND MUSTALA O: The effects of training on heart rate: a longitudinal study. Ann Med Exp Biol Fenn 1957;35:307-315.

KINGSLEY, M., M. J. LEWIS a R. E. MARSON. Comparison of Polar 810 s and an Ambulatory ECG System for RR Interval Measurement During Progressive Exercise. International Journal of Sports Medicine [online]. 2005, vol. 26, 01/02, s. 39-44 [cit. 2015-03-04]. DOI: 10.1055/s-2004-817878.

KIST, WILLIAM B., RITTER, KYLE, GUY, ANDREW, GALES, RENATO, AND PEACE, JOSHUA. Effects of Standing During Cycle-ergometry vs. Treadmill Testing on VO2max, HRmax, Lactic Acid, and EPOC. Med Sci Sport Exerc. 2008, 40(5) Supplement 1: S179.

KIST, WILLIAM. B., RYAN LAWS, KATY BURGESS, HASSAN RIZVI, MEGAN E GLASHEEN, A TIM DELLWO. Comparison of Sitting, and Sitting to Standing Cycle Ergometry versus Treadmill, on Cardiorespiratory Values in Adult Males and Females.Journal of Exercise Physiology, Journal of Exercise Physiology , 2013, Vol. 16 Issue 1, p95

KITTNAR, OTOMAR A MIKULÁŠ MLČEK. Atlas fyziologických regulací. 1. vyd. Praha: Grada, 2009, 316 s.

KOHRT WM, O'CONNOR JS, SKINNER JS. Longitudinal assessment of responses by triathletes to swimming, cycling, and running. Med Sci Sports Exerc 1989 Oct; 21 (5): 569-75

KRAVITZ, LEN. Exercise mode and gender comparisions of energy expenditure at self-selected intensities. Med Sci Sports Exerc 1997; 29(8): 1028-1035.

LEE, C. MATTHEW A ALBERT MENDOZA. Dissociation of heart rate variability and heart rate recovery in well-trained athletes. European Journal of Applied Physiology [online]. 2011, vol. 112, issue 7, s. 2757-2766 [cit. 2015-03-08]. DOI: 10.1007/s00421-011-2258-8.

LESTER, M., L.T. SHEFFIELD, P. TRAMMELL a T.J. REEVES. The effect of age and athletic training on the maximal heart rate during muscular exercise.American Heart Journal [online]. 1968, vol. 76, issue 3, s. 370-376 [cit. 2015-03-13]. DOI: 10.1016/0002-8703(68)90233-0.

LONDEREE, B. R. AND M. L. MOESCHBERGER. Effect of age and other factors on maximal heart rate.Res. 1982, Q. 53:297-304,.

MÁČEK M., VÁVRA J., EDS. Fyziologie a patofyziologie tělesné zátěže. Praha: Avicenum 1988:229-32

McARDLE WD, MAGEL JR, DELIO DJ, TONIER M, CHASE JM. Specificity of run training on gO2max and heart rate changes during running and swimming. Med Sci Sports Exerc 1978; 10:16-19

McARDLE, W., MAGEL, J. R., LESMES, G. R. & PECHAR, G. S. Metabolic and cardiovascular adjustment to work in air and water at 18, 25 and 33 degress C. J. Appl. Physiol., 1976, 1, p. 85–90.

MILLARD-STAFFORD, MINDY, SPARLING PHILLIP B, ROSSKOPF LINDA B A DICARLO LINDA J. Differences in Peak Physiological Responses During Running, Cycling and Swimming. J. Appl. Sport Sci. Res. 1991, č. 4.

MILLER WC, WALLACE JP, EGGERT KE. Predicting max HR and the HR-VO2 relationship for exercise prescription in obesity. Med Sci Sports Exerc 1993:25: 1077–1081.

MILLET, GP, VLECK, VE, AND BENTLEY, DJ. Physiological differences between cycling and running: Lessons from triathletes. Sports 2009, Med 39: 179–206.

MITCHELL J, KIST W, MEARS K, NALLS J, RITTER K. Does standing on a cycle-ergometer, towards the conclusion of a graded exercise test, yield cardiorespiratory values equivalent to treadmill testing? Int J Exer Sci. 2010;3(3):117-125.

MOUGIOS V, DELIGIANNIS A: Effect of water temperature on performance, lactate production and heart rate at swimming of maximal and submaximal intensity. J Sports Med Phys Fitness 1993, 33:27–33.

NALOS LUKÁŠ: Základy fyziologie srdeční mechaniky. Výukový portál Lékařské fakulty v Plzni [online] 2014, [cit. 2015-03-08] Dostupný z WWW: <http://mefanet.lfp.cuni.cz/clanky.php?aid=363>. ISSN 1804-4409.

NES, B. M., I. JANSZKY, U. WISLØFF, A. STØYLEN a T. KARLSEN. Age-predicted maximal heart rate in healthy subjects: The HUNT Fitness Study. Scandinavian Journal of Medicine [online]. 2013, vol. 23, issue 6, s. 697-704 [cit. 2014-11-16]. DOI: 10.1111/j.1600 0838.2012.01445. x. Dostupné z: http://doi.wiley.com/10.1111/j.1600-0838.2012.01445.x

NEUMANN, GEORG, ARNDT PFÜTZNER A KUNO HOTTENROTT. Trénink pod kontrolou: metody, kontrola a vyhodnocení vytrvalostního tréninku. 1. vyd. Praha: Grada, 2005, 181 s. Fitness, síla, kondice. ISBN 8024709473

OLDRIDGE, N. B., HEIGENHAUSER, G. J., SUTTON, J. R. & JONES, N. L. Resting and exercise heart rate with apnea and facial immersion in female swimmers. J. Appl. Physiol., 1978, 45, 6, p. 875–879.

OTTERMANN, BIRGIT. Cyclist Death- heart failure? Health24. 23 March 2010. http://www.health24.com/news/Sport/1-946,55354.asp

PENITENTI RM. Estudo comparativo da freqüência cardíaca em ciclistas e indivíduos ativos [dissertação]. São Paulo: Universidade Bandeirante de São Paulo; 2004.

RADVANSKÝ JIŘÍ a MÁČEK, MILOŠ. Fyziologie a klinické aspekty pohybové aktivity. Praha: Galén, 2011, 245 s.

ROBERGS, R. A. & LANDWEHR, R. The suprising history of the „HRmax = 220-age“equation. Journal of Exercise Physiology, 2002, 5, 2, p. 1–10.

RODRIGUEZ FA. Maximal oxygen uptake and cardiorespiratory response to maximal 400m free swimming, running and cycling tests in competitive swimmers. J Sports Med Phys Fitness 2000;40(2):87–95.

ROELS, B. Specificity of V{middle dot}O2MAX and the ventilatory threshold in free swimming and cycle ergometry: comparison between triathletes and swimmers. British Journal of Sports Medicine [online]. 2005, vol. 39, issue 12, s. 965-968 [cit. 2015-04-09]. DOI: 10.1136/bjsm.2005.020404.

SANDERCOCK, GAVIN R. H., PAUL D. BROMLEY a DAVID A. BRODIE. Effects of Exercise on Heart Rate Variability: Inferences from Meta-Analysis.Medicine & Science in Sports & Exercise [online]. 2005, vol. 37, issue 3, s. 433-439 [cit. 2015-03-01]. DOI: 10.1249/01.mss.0000155388.39002.9d.

SHEFFIELD LT, MALOOF JA, SAWYER JA, ROITMAN D. Maximal heart rate and treadmill performance of healthy women in relation to age. Circulation 1978;57:79–84.

SHELDAHL, Lois M., Felix E. TRISTANI, Philip S. CLIFFORD, C. Vincent HUGHES, Kathleen A. SOBOCINSKI a Robert D. MORRIS. Effect of head-out water immersion on cardiorespiratory response to dynamic exercise. Journal of the American College of Cardiology [online]. 1987, vol. 10, issue 6, s. 1254-1258 [cit. 2015-04-30]. DOI: 10.1016/s0735-1097(87)80127-4.

STEIN, PHYLLIS K., EHSANI, ALI A., DOMITROVICH, PETER P., KLEIGER, ROBERT E. AND ROTTMAN, JEFFERY N. Effect of exercise training on heart rate variability in healthy older adults. American Heart Journal 1999, 138 (3): 567-576.

SZTAJZEL, J. Heart rate variability: A noninvasive electrocardiographic method to measure the autonomic nervous system. Swiss Medical Weekly, 2004, 134, 514-522

ŠEDA, J. Měřič tepové frekvence. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2010. 54 s., 23 s.

TANAKA H, MONAHAN KD AND SEALS DR. Age-predicted maximal heart rate revisited. J Am Coll Cardiol 2001; 37: 153–156.

TERZIOTTI P, SCHENA F, GULLI G, CEVESE A. Post-exercise recovery of autonomic cardiovascular control: a study by spectrum and cross-spectrum analysis in humans. Eur J Appl Physiol 2001; 84:187-194.

TURLEY K, ROGERS D, HARPER K, KUJAWA K, WILMORE J. Maximal Treadmill Versus Cycle Ergometry Testing in Children: Differences, Reliability, and Variability of Responses. Pediatric Exercise Science. February 1995; 7(1):49-60.

VANDERLEI, L.C.M., R.A. SILVA, C.M. PASTRE, F. M. AZEVEDO a M.F. GODOY. Comparison of the Polar S810i monitor and the ECG for the analysis of heart rate variability in the time and frequency domains. Brazilian Journal of Medical and Biological Research [online]. 2008, vol. 41, issue 10, s. 854-859 [cit. 2015-03-04]. DOI: 10.1590/s0100-879x2008005000039.

VILLAS-BOAS, J. P. Valores máximos da freqüência cardíaca obtidos em natação e em tapete rolante. Rev. Port. Med. Desp., 1989, 7, p. 109–125.

WHALEN, Philip. Exercise Sport Science. 2011. PhD Thesis. Coastal Carolina University.

WHITMAN M. Should the attainment of predicted heart rate maximum be used as an exercise test end point?. The Internet Journal of Cardiology. 2009 Volume 9 Number 1.

WIKISKRIPTA. Elektrokardiografie: EKG křivka [online]. 2015 [cit. 2015-04-19]. Dostupné z:http://www.wikiskripta.eu/index.php/Elektrokardiografie

WOHLFART B, FARAZDAGHI GR. Reference values for the physical work capacity on a bicycle ergometer for men – a comparison with a previous study on women. Clin Physiol Funct Imaging, 2003: 23: 166–170.

WWW.MAPY.CZ [online]. 2015 [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: http://www.mapy.cz/zakladni?x=14.3476671&y=50.0759776&z=18&source=stre&id=122008

YAMAJI K, IGUCHI F, HASHIZUME K. Assessment of Running Speed at Predicted Maximal Heart Rate (vHRmax.pred)in Trained Runners. Advances in Exercise & Sports Physiology. February 2008;13(4):101-106.

YARLAGADDA, ARCHANA. Designing a Wireless Heart Rate Monitor with Remote Data Logging. In: ECN [online]. 2010 [cit. 2015-03-06]. Dostupné z: http://www.ecnmag.com/articles/2010/03/designing-wireless-heart-rate-monitor-remote-data-logging

ZAVORSKY GS. Evidence and possible mechanisms of altered maximum heart rate with endurance training and tapering. Sports Med 2000: 29: 13–26.

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Dotazník k diplomové práci 1 74
Příloha 2: Dotazník k diplomové práci 2 75
Příloha 3: Kontraindikace zátěžového vyšetření..... 76
Příloha 4: Výsledky diplomové práce (tabulka) 77

PŘÍLOHY

Příloha č. 1: Dotazník k diplomové práci 1

Dotazník k diplomové práci

Řekl Vám někdy lékař, že máte onemocnění srdce nebo kardiovaskulárního aparátu, a že byste měli dělat pouze fyzickou aktivitu, kterou doporučil lékař?	• Ano • Ne
Cítíte někdy bolest, pocity píchání, bolení nebo tlaku na hrudi v průběhu fyzické aktivity?	• Ano • Ne
Měl jste v průběhu posledního měsíce bolest na hrudi, aniž byste prováděl fyzickou aktivitu?	• Ano • Ne
Pociťujete někdy závratě nebo jste ztratil někdy vědomí?	• Ano • Ne
Máte problémy se svým pohybovým aparátem (kosti, svaly, klouby), které by se mohly zhoršit při fyzické aktivitě?	• Ano • Ne
Předepisuje Vám v současné době lékař nějaké léky?	• Ano • Ne

ZNÁTE JINÝ DŮVOD, PROČ BYSTE NEMĚLI PROVÁDĚT FYZICKOU AKTIVITU?

JMÉNO: **DATUM:**
PŘÍJMENÍ: **PODPIS:**

* Physical Activity Readiness Questionnaire - PAR-Q, Canadian Society for Exercise Physiology www.csep.ca/forms, 2002

Příloha č. 2: Dotazník k diplomové práci 2

Dotazník k diplomové práci

HMOTNOST:
VÝŠKA:
BMI:

STAV TRÉNOVANOSTI ZA POSLEDNÍCH 12 MĚSÍCŮ

JAK ČASTO PROVÁDÍTE FYZICKOU AKTIVITU?

TÉMĚŘ DENNĚ

2X – 3X TÝDNĚ

1X TÝDNĚ NEBO VŮBEC

KOLIK HODIN TÝDNĚ PROVÁDÍTE FYZICKOU AKTIVITU?

KOLIK HODIN DENNĚ STRÁVÍTE PROVÁDĚNÍM FYZICKÉ AKTIVITY?

JAKÉ DRUHY FYZICKÉ AKTIVITY KONKRÉTNĚ PROVÁDÍTE? (DOPLŇTE PÍSEMNĚ)

S tímto souhlasím se zařazením mých údajů do studie. O rizicích studie jsem byl poučen.
DATUM A PODPIS: ……

Příloha č. 3: Kontraindikace zátěžového vyšetření

KONTRAINDIKACE ZÁTĚŽOVÉHO VYŠETŘENÍ

- akutní infekční onemocnění
- akutní zánětlivé onemocnění (perikarditida, myokarditida, akutní fáze autoimunitních chorob)
- dekompenzovaný diabetes mellitus 1. a 2. typu
- astma bronchiale krátce po záchvatu
- elektrická nestabilita myokardu
- hypertenze při farmakoterapii s krevním tlakem v klidu > 200/120 mmHg
- stavy s metabolickým rozvratem
- speciální pozornost, případně zvláštní opatření (přítomnost kardiologa + speciální výbavy na resuscitaci) vyžadují: hemodynamicky významné chlopenní stenózy, zejména aortální, katecholamindependentní dysrytmie, fibrilace komor v anamnéze, Kawasakiho choroba, koronární píštěl, kardiomyopatie
- těžší formy imunodeficiencí
- akutní infarkt myokardu (první 4 dny)
- nestabilní angina pectoris
- závažné poruchy acidobazické rovnováhy
- již dříve zjištěná a dosud neošetřená významná stenóza kmene levé koronární tepny
- disekce aorty
- akutní plicní embolie
- srdeční selhání s klidovými symptomy
- těžká arteriální hypoxémie, globální respirační insuficience
- stav po cévní mozkové příhodě do tří měsíců
- onemocnění hybného systému znemožňující zatížení
- výrazná anémie
- těžší formy thyreopatií a dalších endokrinopatií
- časný stav po plicní embolii

Příloha č. 4: Výsledky diplomové práce

POHLAVÍ	BMI	VÝŠKA	VÁHA	VĚK	KLID HR	B max1	B max2	B MAX	E max1	E max2	E MAX	P max1	P max2	P MAX
F	19,5	165	53	26	80	196	190	196	195	190	195	170	176	176
F	18,8	171	55	25	58	190	185	190	188	182	188	172	177	177
F	24,8	168	70	28	85	204	206	206	198	199	199	182	186	186
F	20,7	163	55	23	51	193	196	196	197	197	197	172	176	176
F	20,3	183	68	24	66	198	192	198	180	182	182	176	178	178
F	21,2	179	68	24	70	196	201	201	196	192	196	182	185	185
F	22,5	170	65	24	52	184	180	184	179	176	179	172	180	180
F	21,3	185	73	25	50	190	183	190	180	177	180	179	179	179
F	24,7	167	69	29	72	191	192	192	186	186	186	177	178	178
F	20,4	164	55	26	66	184	188	188	184	185	185	166	172	172
M	21,2	175	65	24	56	195	193	195	195	186	195	172	176	176
M	23,9	195	91	25	54	192	193	193	181	181	181	176	177	177
M	24,1	180	78	25	58	184	181	184	180	179	180	174	174	174
M	22,0	181	72	25	76	192	191	192	190	191	191	171	173	173
M	22,9	182	76	27	69	194	197	197	188	182	188	170	171	171
M	24,2	182	80	27	73	193	187	193	186	180	186	167	168	168
M	24,8	184	84	27	70	185	182	185	179	177	179	165	166	166
M	30,4	172	90	26	60	182	187	187	180	176	180	170	171	171
M	22,5	170	65	26	72	194	196	196	188	184	188	164	164	164
M	25,0	179	80	20	54	199	196	199	194	190	194	175	178	178
F	21,7	169	62	33	63	185	187	187	182	182	182	176	178	178
F	23,8	174	72	32	69	194	192	194	192	190	192	174	175	175
F	21,2	175	65	31	59	180	177	180	176	175	176	168	172	172
F	21,0	169	60	35	62	194	195	195	190	191	191	177	178	178
F	20,4	170	59	32	75	192	192	192	182	187	187	168	174	174
F	19,8	171	58	38	70	179	183	183	179	180	180	173	173	173
F	19,1	168	54	37	63	189	192	192	188	186	188	178	176	178
F	21,3	162	56	33	67	178	179	179	174	173	174	162	165	165
F	21,0	172	62	31	66	181	180	181	176	178	178	172	172	172
F	22,5	179	72	38	62	189	192	192	186	187	187	180	180	180
M	30,7	175	94	36	70	166	170	170	164	164	164	150	152	152
M	25,7	182	85	34	78	174	176	176	169	167	169	162	160	162
M	21,6	180	70	31	60	198	194	198	186	189	189	181	182	182
M	25,8	192	95	32	70	188	190	190	189	187	189	182	184	184
M	24,4	192	90	36	71	194	197	197	185	180	185	166	169	169
M	24,7	180	80	39	75	172	174	174	170	171	171	168	162	168
M	24,7	190	89	31	63	184	189	189	180	180	180	172	175	175
M	20,8	174	63	35	52	209	209	209	199	204	204	197	200	200
M	22,4	183	75	32	56	182	186	186	180	179	180	175	176	176
M	25,6	178	81	39	72	176	172	176	165	172	172	169	169	169
průměry	22,8	176,3	71,4	29,8	65,4	188,5	188,6	190,1	183,9	182,9	184,7	172,6	174,4	174,7
SD	2,7	8,3	12,2	5,1	8,6	8,8	8,7	8,5	8,6	8,3	8,6	7,6	8,0	7,8