

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

2. LÉKAŘSKÁ FAKULTA

Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství

Martin Harus

**Vliv kadence šlapání na výsledky zátěžového
testu**

Bakalářská práce

Praha 2020

Autor práce: **Martin Harus**

Vedoucí práce: **MUDr. Michal Procházka**

Oponent práce: **MUDr. Kryštof Slabý**

Datum obhajoby: **2020**

Bibliografický záznam

HARUS, Martin. Vliv kadence šlapání na výsledky zátěžového testu. Praha: Univerzita Karlova, 2. Lékařská fakulta, Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství, 2020. 53 s., přílohy. Vedoucí bakalářské práce: MUDr. Michal Procházka.

Abstrakt

Funkční zátěžové vyšetření tvoří nedílnou součást diagnostiky kardiorespiračních onemocnění a také slouží k funkční diagnostice ve sportu. Teoretická část této práce se zaměřuje na znalost reakce jednotlivých orgánových systémů na zátěž v podobě pohybu. Zátěžové vyšetření se řídí různými protokoly. V závislosti na druhu těchto protokolů tělo reaguje jinak, a tím se mění i sesbíraná data. Výsledky testu závisí také na kadenci šlapání při zátěžovém testu. Praktická část sestává z pilotní studie zátěžového testu do maxima s analýzou dýchacích plynů při dvou různých kadicích šlapání (55-65 rpm a 85-95rpm). Cílem práce je zjistit jaké parametry se liší v průběhu zátěžového testu do maxima. Výsledky experimentální části práce ukazují, že statisticky signifikantní rozdíl při různé kadenci vykazuje srdeční frekvence při intenzitě zátěže $1 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ a minutová ventilace v celém spektru intenzity zátěže. Průměrná srdeční frekvence při intenzitě zátěže $1 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ dosáhla hodnoty 134 tepů za minutu při kadenci 55-65 rpm a 149,6 tepů za minutu při kadenci 85-95 rpm. Minutová ventilace při intenzitě zátěže $1 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ dosáhla $32 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ (55 - 65 rpm) a $43,2 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ (85-95 rpm), při maximální intenzitě zátěže dosáhla $100,8 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ (55-65 rpm) a $109,2 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ (85-95rpm).

Klíčová slova

Kadence šlapání, ergometrie, zátěžový test, optimální kadence, zátěž, pohyb

Bibliographic record

HARUS, Martin. Influence of pedaling on the exercise stress test results. Prague: Charles University, 2nd Faculty of Medicine, Department of Rehabilitation and Sports Medicine, 2020. **53 p.**, Appendixes. Supervisor of the work: MUDr. Michal Procházka.

Abstract

The exercise stress test is an important part of diagnostics of cardiorespiratory diseases and it is also used for functional diagnostics in sport. The main theoretical part of this bachelor's thesis is focused on reactions of the organ systems of the human body during performing exercises. A lot of different protocols can be used during the exercise stress test. The reaction of the human body can vary depending on used protocol. This fact can affect the collected data. The results depend on the pedaling cadence during the exercise stress test. The practical section of this bachelor's thesis incorporates a pilot study of the exercise stress testing to the maximal exercise intensity impacted by two different cadencies of pedaling (55–65 rpm and 85–95 rpm). The aim of this study is to find out which parameters of the exercise stress test can vary during increasing intensity to the maximum. Statistically significant difference in pedaling cadences can be noticed in heart frequency at exercise intensity 1 W/kg and minute ventilation during the whole spectrum of the exercise intensity. Average heart frequency at exercise intensity 1 W·kg⁻¹ reached 134 beats per minute at pedaling cadency 55–65 rpm and 149,6 beats per minute at pedaling cadency 85–95 rpm. Minute ventilation at exercise intensity 1 W·kg⁻¹ reached 32 l·min⁻¹ (55–65 rpm) and 43,2 l·min⁻¹ (85–95 rpm), at maximal exercise intensity 100,8 l·min⁻¹ (55–65 rpm) and 109,2 l·min⁻¹ (85–95 rpm).

Keywords

Pedaling cadence, ergometry, exercise stress test, optimal cadence, stress, movement

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně pod vedením MUDr. Michala Procházky, uvedl všechny použité literární a odborné zdroje a dodržoval zásady vědecké etiky. Dále prohlašuji, že stejná práce nebyla použita pro k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze 2020

Martin Harus

Poděkování

Rád bych zde poděkoval vedoucímu své bakalářské práce MUDr. Michalovi Procházkovi za cenné rady a pomoc při psaní této práce. Mé díky patří i pracovníkům oddělení tělovýchovného lékařství FN Motol za pomoc při měření zátěžového testu pro praktickou část mé práce. Dále bych rád poděkoval všem probandům za ochotnou spolupráci.

OBSAH

SEZNAM ZKRATEK	7
ÚVOD	8
1 TEORETICKÁ ČÁST	9
1.1 FUNKČNÍ ZÁTĚŽOVÉ VYŠETŘENÍ	9
1.1.1 Indikace	9
1.1.2 Kontraindikace.....	10
1.2 REAKCE ORGANISMU NA DYNAMICKOU ZÁTĚŽ	11
1.2.1 Neuroendokrinní regulace	11
1.2.2 Dýchací systém.....	13
1.2.3 Kardiovaskulární systém	14
1.2.4 Energetický metabolismus.....	15
1.3 ZÁTĚŽ NA BICYKLOVÉM ERGOMETRU.....	17
1.3.1 Bicyklový ergometr.....	18
1.3.2 Další možnosti zatížení vyšetřovaného.....	18
1.3.3 Možnosti průběhu testování.....	20
1.3.3.1 Test maximální zátěže s analýzou výměny dýchacích plynů.....	21
1.3.3.2 Index W170.....	21
1.4 HODNOCENÍ ÚČINKŮ ZÁTĚŽE NA ORGANISMUS	22
1.4.1 Objektivní hodnocení tělesné zdatnosti	22
1.4.2 Subjektivní hodnocení intenzity zátěže	24
1.5 ZÁTĚŽ A OTÁČKY	26
1.5.1 Metabolická účinnost	26
1.5.2 Biomechanické parametry	28
1.5.3 Neuromuskulární parametry	28
1.5.4 Optimální a preferovaná kadence.....	30
2 PRAKTICKÁ ČÁST	32
2.1 SOUBOR SLEDOVANÝCH OSOB	32
2.2 METODIKA VYŠETŘENÍ	32
2.2.1 Zátěžový protokol	32
2.2.2 Sledované parametry	33
2.2.3 Klidové hodnoty.....	34
2.3 ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ	35
2.3.1 Srdeční frekvence.....	35
2.3.2 Krevní tlak.....	36
2.3.3 Spotřeba kyslíku.....	37
2.3.4 Minutová ventilace.....	38
2.3.5 Subjektivní hodnocení intenzity zátěže	38
2.3.6 Maximální dosažené hodnoty	39
2.3.7 Preferovaná kadence	40
2.3.8 Statistická analýza	40
DISKUSE	42
ZÁVĚR	44
REFERENČNÍ SEZNAM	45
SEZNAM OBRÁZKŮ, GRAFŮ A TABULEK	49
PŘÍLOHY	51

SEZNAM ZKRATEK

ACTH	adrenokortikotropní hormon
AP	anaerobní práh
ATP	adenosintrifosfát
CP	kreatinfosfát
EKG	elektrokardiografie
EMG	elektromyografie
ICHS	ischemická choroba srdeční
J	práce
P	výkon
RPE	rating of perceived exertion, hodnocení subjektivně vnímané zátěže
RPM	revolutions per minute, počet otáček za minutu
SF	srdeční frekvence
SF max	maximální srdeční frekvence
TK	tlak krve
TKd	diastolický tlak krve
TKs	systolický tlak krve
MV	minutová ventilace
VO ₂	spotřeba kyslíku
VO ₂ max	maximální spotřeba kyslíku
VCO ₂	objem vydechaného oxidu uhličitého
W	watt

ÚVOD

Funkční zátěžové vyšetření s v průběhu 20. století stalo nedílnou součástí moderní medicíny. Je to jeden z mála způsobů, který umožňuje přesně zaznamenat parametry zdatnosti vyšetřovaného pacienta a hlavně je porovnávat s ostatními pacienty nebo referenčními hodnotami. Spolu se zvyšováním procenta obézních osob a osob s kardiovaskulárními chorobami v populaci se zátěžové vyšetření stává prostředkem v boji s těmito fenomény.

V případě zátěžového testu na ergometru je proměnným parametrem nejen výkon, ale také otáčky, při kterých pacient musí pracovat, neboli kadence šlapání. Kadence šlapání na ergometru ovlivňuje výsledné hodnoty měřených parametrů. Neméně důležité, ale je, že ovlivňuje i subjektivní vnímání intenzity zátěže pacientem. Z těchto důvodů je třeba zjistit, jakým způsobem ovlivňuje kadence šlapání všechny tyto proměnné. Pokud objasníme reakci orgánových systémů na různé kadence šlapání, můžeme připravit doporučení pro nejvhodnější kadenci. Tato doporučení by byla připravována individuálně pro každého pacienta nebo sportovce.

Praktická část této práce si dává za cíl objasnit základní vztahy vyšetřovaných parametrů a kadence formou pilotní studie na malém počtu probandů. Výsledky této studie by se mohly stát základy pro další studie, které se již zaměří přímo na určité problémy.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Funkční zátěžové vyšetření

Funkční zátěžové vyšetření slouží ke zjištění fyziologické nebo patologické reakce a schopnosti adaptace organismu na fyzickou zátěž. V případě zátěžového testu je touto fyzickou zátěží obvykle svalová práce o určitém výkonu (P) v daném časovém úseku (Novotný 2013).

V klinické praxi se používá nejčastěji jako pomocné vyšetření kardiologických onemocnění, při kterém se mohou projevit příznaky u pacientů, kteří jsou v běžném režimu asymptomaticí. Závěry plynoucí z výsledků se také mohou promítnout do doporučení pro terapii, rehabilitaci a po propuštění pacienta i pro kontrolu a doporučení, případně omezení, dalších pohybových aktivit (Placheta et al. 2001, s. 73-74).

1.1.1 Indikace

Zátěžový test je indikován široké škále pacientů v klinické medicíně, ale i zdravým jedincům z důvodu prevence, kontroly nebo posouzení reakce jejich organismu na zátěž.

Pacienti doporučení k zátěžovému testu spadají zpravidla do dvou následujících skupin. První skupina jsou pacienti, u kterých je zátěžový test indikován v souvislosti s jejich zdravotními obtížemi. U nich se jedná zejména o kardiologické obtíže (ischemická choroba srdeční, angina pectoris, dysrytmie, zátěžová hypertenze). Z dalších indikací stojí jistě za zmínku chronická obstrukční plicní nemoc, cystická fibróza nebo námahová dušnost.

Další pacienti podstupují zátěžový test před nástupem do pohybové terapie, rehabilitace, fyzioterapie a posléze pro kontrolu účinnosti těchto terapií. Zátěžové vyšetření slouží také k posouzení funkčních schopností pacientů před operačními zákroky a po amputacích.

Druhá skupina indikací k zátěžovému vyšetření souvisí se sportovním výkonem. Test se doporučuje dospělým preventivně před započítím pohybové zátěže s vyšším rizikem nebo před intenzivním tréninkem.

Sportovci využívají zátěžového testu pro zjištění vhodného zatížení v tréninku a k zhodnocení efektivity a účinků jejich tréninkového plánu na výkonnost (Radvanský 2011, s. 64-65; Placheta et al. 2001, s. 28-29).

1.1.2 Kontraindikace

Kontraindikace pro absolvování zátěžového vyšetření na ergometru jsou onemocnění, která by se v důsledku zátěže organismu mohla zhoršovat nebo působit další komplikace. Rozdělují se do dvou skupin - absolutní a relativní (Novotný 2013).

Absolutní kontraindikace zcela vylučují proběhnutí testu. Patří mezi ně:

- akutní a hořčnatá onemocnění, úrazy
- nestabilní angina pectoris
- závažné dysrytmie
- maligní hypertenze (TK více než 240/120 mmHg)
- globální respirační insuficience
- hypertrofická kardiomyopatie
- těžké ortopedické a neurologické deficity
- aktivní onemocnění jater, ledvin, štítné žlázy (Placheta et al. 2001, s. 29-30)

V případě relativních kontraindikací se jedná o onemocnění s proměnlivým průběhem nebo s různou mírou kompenzace. Za určitých parametrů stavu pacienta a jeho onemocnění není tedy testem ohrožen je tedy možné zátěžový test provést. V případě dekompenzace nebo akutního zhoršení, je ale pacient k testu kontraindikován (Novotný 2013).

Na pomezí indikace a kontraindikace leží ICHS, která je ve svých závažných formách kontraindikací. V případě střední závažnosti se provádí zátěžový test s cílem vyvolat ischemii, aby se tím zjistila míra funkčního postižení srdce. V závislosti na výsledku zátěžového testu se odvozuje další postup terapie a doporučení pro pacientův budoucí pohybový režim (Chaloupka 2000).

1.2 Reakce organismu na dynamickou zátěž

Reakce organismu na zátěž je složena z okamžitých odpovědí jednotlivých orgánových systémů na stres ve formě fyzické zátěže. V závislosti na intenzitě a druhu zátěže a na délce jejího trvání je možné vyvodit kvalitu a kvantitu změn v organismu, kterými bude reagovat.

Reakci organismu na zátěž ovlivňuje množství faktorů. Mezi hlavní patří věk, který ovlivňuje efektivitu orgánových systémů, jak ve smyslu nedostatečně zralých orgánových systémů dětí, tak oslabení s rostoucím věkem. Mezi muži a ženami můžeme také sledovat rozdíly z důvodu odlišné morfologické stavby těla každého pohlaví. Rozdíly v reakci na zátěž způsobují antropometrické parametry jedince, trendem v poslední době je rostoucí nadváha v populaci. Dalšími ovlivňujícími faktory jsou genetické dispozice, aktuální zdravotní stav a vlivy vnějšího prostředí.

Všechny orgánové systémy na zátěž určitým způsobem reagují, ať už je vyvolána jakýmkoli podnětem. V rámci této práce je podnětem intenzivní fyzická dynamická zátěž (Pastucha 2014, s. 17-19; Placheta et al. 2001, s. 14)

1.2.1 Neuroendokrinní regulace

Začátek fyzické zátěže je určitou formou stresu a tělo na ni odpovídá stresovou reakcí. Už před startem pohybové činnosti tělo reaguje na očekávanou zátěž neuroendokrinní aktivací v podobě podmíněných reflexů a emocí.

V případě zátěže s nízkou intenzitou se na reakci hlavní měrou podílí snížení aktivity parasympatiku a tím relativní nárůst působení sympatiku. Se zvyšující se intenzitou zátěže přichází ke slovu sympatoadrenální systém. Vylučováním katecholaminů (noradrenalin a adrenalin) ovlivňuje cílové orgány přímým působením na jejich sympatické receptory i nepřímo prostřednictvím dalších regulačních hormonů. Množství katecholaminů vypuštěných do oběhu se odvíjí od více faktorů, intenzity a doby trvání zátěže, stupni trénovanosti a dalších podmínkách. Tyto hormony zlepšují schopnost organismu vypořádat se se zvýšenými nároky způsobenými stresem, zátěží. Při dosažení vysoké intenzity zátěže tělo reaguje „poplachovou reakcí“, při které má hlavní slovo působením sympatiku zvýšená sekrece adrenalinu.

Vliv adrenalinu se významně projevuje na srdeční činnosti. Jeho působením se zesilují srdeční kontrakce (inotropie), zvyšuje se jejich frekvence (chronotropie) a rychlost šíření vzruchu převodním systémem (dromotropie). V případě krevního oběhu adrenalin mění distribuci krve v organismu. K vazodilataci dochází v orgánech, na které jsou zvýšeny nároky při zátěži, v koronárních arteriích, kosterní svalovině, plicích a mozku. Vazokonstrikcí se omezí zásobení pro zátěž nedůležité orgány, kůži, ledviny a trávicí ústrojí. Dále adrenalin pomocí glukagonu aktivuje štěpení glykogenu v játrech a svalech (glykogenolýza) a tím uvolňuje energii ke spotřebě během zátěže. Spolu s noradrenalinem spouští lipolýzu pro využití tuku jako zdroje energie při déletrvající zátěži.

Noradrenalin má hlavně vazokonstrikční účinek a tím zvyšuje systolický i diastolický krevní tlak. Spolu s adrenalinem působí inotropně na myokard.

V průběhu minut začíná nastupovat i vliv endokrinní regulace v podobě osy hypotalamohypofyzární, která produkuje další hormony ovlivňující reakci na zátěž. Význam působení těchto hormonů se zvyšuje se zvyšující se intenzitou a dobou zatížení. Podstatný je jejich vliv v případě vysoce intenzivních a dlouhotrvajících zátěžových podnětů.

Pro zajištění energetických požadavků pracujících svalů a zároveň zachování zásob sacharidů v podobě glykogenu se podílí na podpoře lipolýzy růstový hormon spolu s adrenokortikotropním hormonem (ACTH).

Důležitou úlohou hormonů je zabránit ztrátám tekutin. Tělo se během dlouhotrvající zátěže zahřívá a zbavuje se přebytečného tepla pocením a následným odpařováním potu. Omezení zbavování vody jinými cestami má na starost antidiuretický hormon spolu s aldosteronem, které zvyšují zpětnou resorpci vody, resp. osmoticky aktivního sodíku v ledvinách.

Pro potlačení vnímání bolesti a únavy, zvýšení sebedůvěry a navození příjemných pocitů jsou v reakci na stres, včetně fyzické zátěže, vyplavovány endorfiny.

Hormony se uplatňují také v pozátěžových procesech opětovného nastavení rovnováhy v organismu. Jedná se o hormony spouštějící a podporující anabolické procesy, jako například růstový hormon, testosteron a tyroxin (Kittnar 2020, s. 184; Máček 2011 s. 5-6; Pastucha 2014, s. 20; Placheta et al. 2001, s. 14-15; Bernášková 2016, s. 225)

1.2.2 *Dýchací systém*

Fungování dýchacího systému lze definovat pomocí ventilačních a respiračních parametrů. Ventilační parametry slouží k popisu výměny dýchacích plynů mezi plicemi a vnějším prostředím. Respirační parametry popisují podmínky výměny plynů pro vnější respiraci mezi alveoly a kapilárami a také pro vnitřní respiraci mezi kapilárami a tkáněmi, které zásobují.

V případě stupňované intenzity zátěže stoupají se vzrůstající spotřebou kyslíku (VO_2) hodnoty plicní ventilace a výdeje oxidu uhličitého lineárně až do 60-70% maximální spotřeby kyslíku (VO_2 max). Od tohoto bodu se růst těchto dvou parametrů v porovnání s růstem VO_2 stává prudším. Po přechodném vzestupu v nižších intenzitách zátěže dochází od tohoto bodu také k významnému poklesu utilizace kyslíku. S poklesem utilizace přímo souvisí vzestup ventilačního ekvivalentu. Tento bod s hodnotou 60-70% maximální spotřeby odpovídá takzvanému anaerobnímu prahu (AP).

Anaerobní práh je hodnota intenzity zátěže, při které je v rovnováze vznik a utilizace laktátu. Dříve byl určován invazivně z koncentrace laktátu v krvi. Neinvazivně se zjišťuje ventilační anaerobní práh ze souvislosti ventilace a spotřeby kyslíku viz výše. Při zátěži intenzity nižší než je AP, nastává fyziologická únava v řádech desítek minut. Po zvýšení intenzity nad hodnotu AP, ale tělo k této fyziologické únavě dospěje mnohem dříve, v řádu desítek sekund až několika minut.

V běžné populaci se během zátěže může zvýšit dechová frekvence z klidových 14-16 dechů za minutu až k hranici 60-70 dechů za minutu. Dechový objem, činící v klidu 500ml, se zvyšuje na 2,5-3 litry. Z těchto dvou parametrů vychází klidová minutová ventilace na 8-10 litrů za minutu, a to bez ohledu na trénovanost vyšetřovaného. Naopak maximální minutová ventilace se liší velmi. Netrénovaní muži dosahují hodnot 100 l/min, ženy 80 l/min. Vrcholoví sportovci jsou schopni dosáhnout až k úrovni 220 l/min (Máček 2011, s. 16; Pastucha 2014, s. 22-25; Placheta et al. 2001, s. 16-17).

1.2.3 Kardiovaskulární systém

Kardiovaskulární systém reaguje na zátěž jak ve své centrální tak i v periferní části. Reakce je dána zvýšenou poptávkou pracujících svalů po výměně dýchacích plynů a také po přísunu energetických zdrojů. Informace do srdce přichází jednak centrálně zvýšenou aktivitou sympatiku a současně i lokálně pomocí mechanického působení na cévy.

Hlavním ukazatelem výkonu kardiovaskulárního systému je minutový srdeční výdej. Jeho změna je podmíněna dvěma veličinami. Tepovým objemem a srdeční frekvencí. V klidu činí minutový srdeční výdej 5 l/min a při maximální zátěži se v závislosti na trénovanosti může vyšplhat až na 25-40 l/min. Zvyšování srdečního výdeje během zátěže není lineární. Již během první minuty středně těžké zátěže srdce dosáhne až 80% maximálního srdečního výdeje. Markantní podíl na tomto zvýšení má srdeční frekvence, zvýšená působením sympatiku, který se aktivuje už během prvních vteřin zátěže. Po přizpůsobení srdečního výdeje novým požadavkům orgánů na zásobení nastává rovnovážný stav. Při středně těžké zátěži dosáhne srdeční výdej rovnovážného stavu za dvě až tři minuty. Se zvyšující se intenzitou zátěže se tento čas prodlužuje. Nástup rovnovážného stavu se také prodlužuje se zvyšujícím se věkem a se snižující se trénovaností.

Periferní cévní řečiště podléhá během zátěže změnám způsobeným sympatikem a také mechanickým působením na cévní stěnu. Pod těmito vlivy dochází ke změnám v distribuci krve v organismu. V pracujících svalech, koronárních cévách a cévách jater dochází k vazodilataci vzhledem k zvýšeným nárokům na zásobování. Naopak v gastrointestinálním a urogenitálním systému dochází ke kompenzační vazokonstrikci. Specifické je v tomto ohledu krevní řečiště zásobující kůži, ve kterém nejprve vlivem sympatiku dochází k vazokonstrikci, ale následně nastoupí vazodilatace způsobená oxidem dusnatým.

Srdeční frekvence (SF) je v zátěži nejsledovanějším ukazatelem její intenzity. V klidových podmínkách z ní lze odvodit vegetativní naladění organismu a vytrvalostní trénovanost. Nelze však paušálně pro celou populaci určit hodnoty srdeční frekvence odpovídající určité zátěži, protože je ovlivňována mnoha faktory, které je třeba při vyvozování výsledků testu brát v potaz. Mezi tyto faktory patří zejména výše zmíněné vegetativní naladění organismu a vytrvalostní trénovanost. Dalšími vlivy jsou například druh fyzické aktivity, medikace, psychické naladění, hormonální hladiny, tělesná a okolní teplota, stav gastrointestinálního traktu a únava. Hodnota maximální dosažitelné srdeční frekvence se může orientačně vypočítat podle vzorce $SF_{max} = 220 - \text{věk}$ vyšetřovaného. Tímto vzorcem získáme velmi orientační hodnoty a je ve své míře relevantní až od 20 let věku. V referenčních tabulkách se rozpětí pro maximální tepové frekvence pro určitý věk pohybuje v rozsahu okolo 30 tepů (Radvanský 2011, s. 69; Placheta et al. 2001, s. 50; Radvanský 2012; Pometlová a Nohejlová 2016, s. 129).

Tepový objem představuje množství krve, které vypudí levá srdeční komora během jedné systoly. Je dán kontraktilitou svalových vláken myokardu, preloadem, tedy jejich výchozí délkou na začátku kontrakce, a afterloadem, tedy odporem periferního řečiště. Maximálních hodnot dosahuje tepový objem okolo SF 120-130 tepů/min. Při dalším zvyšování intenzity zátěže, tudíž i SF se ovšem tepový objem již dále nezvyšuje nebo může dojít i k jeho mírnému snížení. V závislosti na trénovanosti jsou klidové hodnoty tepového objemu v rozmezí 60-100 ml a v maximu mohou vystoupat na 150-200 ml.

Krevní tlak reaguje na dynamickou zátěž jinak v případě systolického a diastolického tlaku. V klidu se obvykle pohybuje normální hodnota systolického/diastolického tlaku okolo 120/80 mmHg. Systolický tlak se v průběhu dynamické zátěže zvyšuje spolu se zvyšující se intenzitou a maximální hodnoty dosáhne při maximální intenzitě zátěže. Diastolický tlak při dynamické zátěži udržuje svoji hodnotu v podstatě konstantní (Pastucha et al. 2014, s. 25-26; Takase 2012)

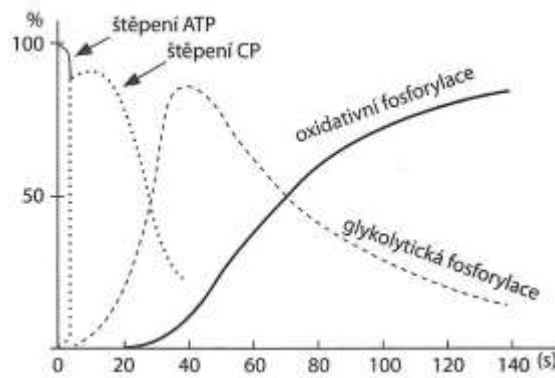
1.2.4 Energetický metabolismus

Každá tělesná zátěž vychýlí organismus z energeticky rovnovážného stavu. Rozsah a doba této výchylky závisí na intenzitě, druhu a trvání dané zátěže a na úrovni adaptace jednotlivce. Lidské tělo uplatňuje pro krytí metabolických požadavků v zátěži tři energetické systémy (Graf 1).

Bezprostředně přístupnou energii pro krátkodobou zátěž vysoké intenzity zajišťuje anaerobní fosfátový systém. Poskytuje ji ve formě makroergních fosfátů adenosintrifosfát (ATP) a kreatinfosfát (CP) během prvních 10-30 vteřin zátěže. Tento rychlý způsob získávání energie pro okamžité upotřebení využívají převážně rychlá glykolytická svalová vlákna typu IIB, ve kterých jsou molekuly ATP a CP přímo uloženy a připraveny ke spotřebě. V krátkém čase 2-3 minut dochází i k rychlé resyntéze těchto molekul pomocí dvou následujících pochodů a v praxi nikdy nemůže dojít k úplnému vyčerpání místních zásob adenosintrifosfátu a kreatinfosfátu.

Glykolytická fosforylace, někdy také označovaná ‚anaerobní glykolýza‘ přichází ke slovu nejvýznaměji v případě intenzivní zátěže. Nastupuje také od začátku zátěže, maximálního využití dosahuje za 40-60 vteřin a posléze její podíl postupně klesá. V případě zátěže s intenzitou nad 60-70% maxima setrvává aktivní spolu s níže uvedenou oxidativní fosforylací. Jako zdroj pro výrobu adenosintrifosfátu využívá glukózu a glykogen. Jako vedlejší produkt vzniká kyselina mléčná (laktát), který se původně považoval za odpadní produkt způsobující svalovou únavu. Laktát může figurovat jako energetický zdroj pro další spotřebu místně nebo jinde v těle, například v myokardu a játrech se metabolizuje přímo.

Nejpomaleji se energie začíná uvolňovat pomocí oxidativní fosforylace. Nastupuje okolo 30 vteřiny zátěže a postupně nabývá na významu v průběhu prvních dvou minut. V případě déle trvající zátěže mírné až střední intenzity je oxidativní fosforylace hlavním způsobem hrazení energetické poptávky. Jako zdroj energie využívá svalový glykogen a triacylglyceroly, krví dopravenou glukózu a mastné kyseliny. Vzhledem k možnosti spalování tukových zásob může oxidativní fosforylace běžet velmi dlouhou dobu, například při vytrvalostních výkonech, a je omezena pouze zásobami energetických zdrojů a schopností transportního systému udržet ekonomicky výhodné dodávky kyslíku (Máček 2011, s. 6-8; Pastucha 2014, s. 32-33; Placheta et al. 2001, s. 23-24).



Graf 1. Časové schéma energetických zdrojů pro zátěž (Máček, Radvanský 2011, str. 8)

Tyto tři systémy se zapojují v závislosti na čase a intenzitě zátěže. Jejich procesy ovšem nefungují izolovaně v určitých fázích zátěže, ale probíhají současně, doplňují se a pouze může převažovat v danou chvíli ten nejvýhodnější. V případě dynamické, postupně se zvyšující zátěže do maxima se postupně podílí na dodávkách energie všechny tři systémy. Významný podíl bude zastávat glykolytická fosforylace vzhledem k vysokému stupni dosažené intenzity zátěže v průběhu zátěžového testu (Máček 2011, s. 7-8; Placheta et al. 2001, s. 24).

1.3 Zátěž na bicyklovém ergometru

„Ergometry jsou speciální přístroje s přesně dávkovatelnou mechanickou zátěží – odporem vůči pracujícím svalům. Vyšetřované osobě je poskytována možnost provádět měřitelný výkon [W] po určitou dobu 16 a vykonat tak práci [$J = W \cdot s$] – cyklickou/acyklickou/lineární, dynamickou/statickou, izokinetickou atd.“ (Novotný 2013).

Pomocí ergometrů se zjišťuje reakce organismu vyšetřovaného na fyzickou zátěž. Užívají se k diagnostice, určení a kontrole terapie nebo pro zjištění zdatnosti zdravých jedinců, případně sportovců. V Evropě je nejpoužívanějším z této skupiny zařízení bicyklový ergometr. Dále se pro měření zátěžové reakce používají běhací pás rumpálový ergometr, veslařský ergometr a další (Placheta et al. 2001, s. 38-40).

1.3.1 Bicyklový ergometr

Bicyklový ergometr obvykle využívá zatížení dolních končetin pacienta v poloze v sedě. Styl fungování vypadá stejně jako na klasickém jízdním kole. Je připojen k počítači, jehož pomocí se kontrolují a ukládají výsledky probíhajícího vyšetření. Během testu se sleduje EKG, tepová frekvence a krevní tlak. Dalšími pozorovanými veličinami mohou být ventilačně-respirační parametry.

Vyšetřovaný na bicyklovém ergometru pracuje zatížen předem nastavitelným výkonem. Dávkuje se v závislosti na hmotnosti vyšetřovaného, ve wattech na kilogram hmotnosti, $W \cdot kg^{-1}$. Moderní používané ergometry jsou elektricky brzděné a výkon vyšetřované osoby u nich nezávisí na počtu otáček za minutu. Pacientovi se nechává možnost volby rychlosti šlapání v rozmezí 55-75 otáček za minutu s možným zrychlením k dosažení maximální zátěže (Radvanský 2009, s. 550).

Rozšíření tohoto druhu ergometru je dáno výhodami jeho používání. Vzhledem k relativně stabilnímu usazení pacienta a při správném nastavení sedla a řidítek má oproti běhátku daleko nižší riziko pádu, hlavně při nečekaném ukončení testu. Zastabilizovaný trup, proti běhátku uvedenému dále, zároveň poskytuje lepší základnu pro elektrody EKG, měření ventilačních parametrů, krevního tlaku a další případná vyšetření v průběhu testu. Přístroj jako takový je jednoduchý na obsluhu, v porovnání s běhacím pásem zabírá méně místa a je finančně méně náročný (Placheta 2001, s. 73-74).

1.3.2 Další možnosti zatížení vyšetřovaného

Běhací pás

V USA se je rozšířenější běhací pás. Využívá rolujícího pochozího pásu, ježož zrychlováním a změnou sklonu, případně jejich kombinací, se nastavuje intenzita zátěže.

Jeho benefity spočívají v přirozenějším a tím pro některé pacienty příjemnějším pohybu. Na rozdíl od bicyklového ergometru zde pracuje i horní polovina těla. V zátěži je zapojeno větší množství svalových skupin a díky tomu na běhátku vyšetřovaný dosáhne o zhruba 5-10% vyšší maximální spotřeby kyslíku a o 5-10 tepů vyšší maximální tepové frekvence v porovnání s bicyklovým ergometrem. V případě testování sportovců se z tohoto důvodu obvykle dává přednost běhátku. Rozdíl se smazává pouze u vrcholových cyklistů navyklých na způsob zátěže, který poskytuje bicykl a bicyklový ergometr.

Nevýhodami jsou zhoršené podmínky pro odebírání EKG, krevního tlaku a ostatní vyšetření. Zároveň je přístroj dražší, prostorově a na obsluhu náročnější než ergometry (Radvanský 2009, s. 550-551), (Radvanský, dostupné online: <https://www.ipvz.cz/vzdelavaci-akce/dokumenty/14397-radvansky.pdf>).

Klikový ergometr

Klikový ergometr používá stejný princip jako ergometr bicyklový, ale se zaměřením na horní polovinu těla. Používá se pouze u určitých indikací, které vylučují podstoupení zátěžového vyšetření na bicyklovém ergometru, například u pacientů upoutaných na invalidní vozík.

Existuje v jednoklikové variantě (rumpál) a dvouklikové variantě. Jednoklikový ergometr používá jedno držadlo pro obě horní končetiny. Dvouklikový ergometr pracuje stejným stylem jako bicyklový, každá končetina má vlastní pohybuující se držadlo. K tomu uzpůsobené bicyklové ergometry mají možnost přestavby na dvouklikový ergometr (Placheta, 2001, s. 39-40).

Speciální typy ergometrů

Hlavně při specifickém tréninku sportovců je možné využít speciálních ergometrů určených přímo pro určitý druh sportu. Jedná se například o plavecké nebo veslovací ergometry vyhovující specifickému pohybovému vzoru. (dostupné na adrese: <https://www.kettler.cz>; <https://vasatrainer.com>)

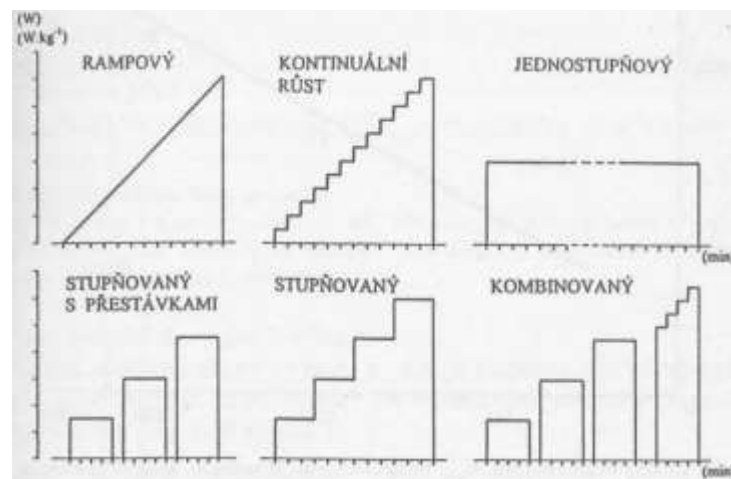
Excentrický ergometr

V nedávné době se jako novinka objevil také excentrický ergometr. Princip fungování excentrického ergometru je opačný než u klasického bicyklového. Je poháněn elektromotorem v opačném směru a svaly dolních končetin tento pohyb musí brzdit. Vykonávají tak excentrickou kontrakci (Várnay et al., 2020, s. 269).

1.3.3 Možnosti průběhu testování

Výběr metodicky správného protokolu při zátěžovém testování je velmi důležitý vzhledem k tomu, že rozdíly v metodice a provedení výrazně ovlivňují výsledky vyšetření. Mezi faktory ovlivňující výsledek testu patří dosažená intenzita zatížení, frekvence dynamické zátěže, doba průběhu testu a typ zátěže. V zásadě dosud neexistují jednotné celosvětově standardizované zátěžové protokoly. Obvykle se před každým testem individuálně stanovuje druh protokolu, intenzita zatížení a doba trvání testu pro každého pacienta individuálně (Radvanský 2011, s. 65; Placheta et al. 2001, s. 73).

Pro testování na ergometrech bylo sestaveno několik základních protokolů vyjadřujících zatížení pacienta v závislosti na čase (Obrázek 1.). Klinicky používané protokoly vychází z těchto základních, případně z jejich kombinace (Placheta et al. 2001, s. 74-75).



Obrázek 1. Základní ergometrické protokoly (Placheta et al. 2001, s. 75)

1.3.3.1 Test maximální zátěže s analýzou výměny dýchacích plynů

Jedním z klinicky nejpoužívanějších protokolů pro test zátěže do maxima spolu s analýzou výměny dýchacích plynů je kombinovaný stupňovaný protokol do střední intenzity zátěže a následně přecházející v kontinuálně rostoucí do maxima (rampový). Stupňovaná část sestává nejběžněji ze dvou stupňů po třech minutách do lehké resp. střední intenzity zátěže dle subjektivního posouzení.

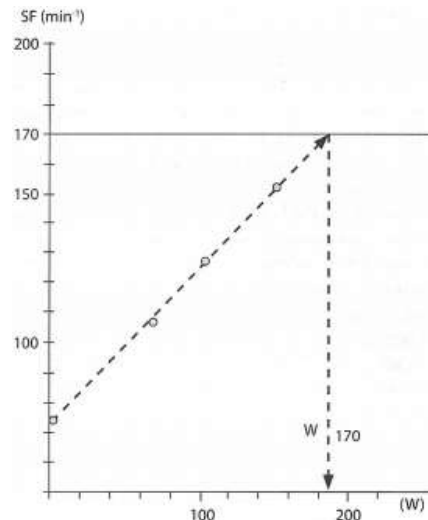
První stupeň je nejčastěji volen s hodnotou $1,0 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ hmotnosti pacienta. Při druhém stupni se zátěž nastavuje na $1,5$ až $2,0 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$, případně až $2,5 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ v případě trénovaných sportovců. Naopak u silně dekompenzovaných pacientů můžou nastavené hodnoty dosahovat pouze $0,5$ resp. $1,0 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ pro první a druhý stupeň zátěže. Po těchto dvou stupních s konstatní zátěží přichází na řadu kontinuálně rostoucí protokol až do maximální intenzity zátěže. Při něm se nastavuje pravidelný vzestup intenzity tak aby pacient dosáhl maxima v průběhu 2-10 minut od přechodu ze stuňovaného na kontinuálně rostoucí protokol (Radvanský, 2011, str. 66).

1.3.3.2 Index W170

Index W170 je používán pro určení vytrvalostní zdatnosti vyšetřovaného na základě tepové odezvy na standardizovanou submaximální zátěž. Stanovuje jakého výkonu je vyšetřovaný schopen dosáhnout při srdeční frekvenci 170 tepů za minutu v rovnovážném stavu.

Stanovuje se lineární regresí ze tří až čtyř stupňů zátěže, viz Graf 2. níže. Při nižším počtu se zvyšuje riziko výskytu chybného výsledku, protože SF je ovlivňována naladěním vegetativního systému. Nejvíce může jeho působení ovlivnit první testovanou zátěž vyprovokovanými emocemi s následným uklidněním pro druhý test a tím dojde k falešně nízkému vzestupu SF. Pro porovnávání výsledků s referenčními hodnotami se stanovený index přepočítává na kilogram hmotnosti pacienta, $\text{W170}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Indikován je pro určení přiměřenosti odpovědi srdeční frekvence na tělesnou zátěž, pro symptomaticky nebo psychicky limitované pacienty a pro nenáročné rozdělení větších skupin na základě zdatnosti. Použití je omezeno vlivy vegetativního systému. Z tohoto důvodu není vhodný pro osoby mladší 15 let a pro časnou diagnostiku chorobných změn (Placheta et al. 2001, s. 49; Radvanský 2011, s. 68-69).



Graf 2. Znárodnění výpočtu W_{170} ze SF tří tříminutových zátěží (Radvanský 2011, s. 68).

1.4 Hodnocení účinků zátěže na organismus

1.4.1 Objektivní hodnocení tělesné zdatnosti

Pojem tělesná zdatnost označuje schopnost organismu adekvátně reagovat na různé vlivy zevního prostředí a vyrovnat se s nimi. Pastucha (str. 17, 2014) říká, že se jedná o připravenost odolávat aktuálním vlivům okolí. Těmito vlivy se myslí zejména tělesná zátěž, ale například také působení chladu nebo naopak horka, hypoxie, změn vlhkosti a dalších na organismus.

Výkon

Výkon udává množství práce vykonané za jednotku času. Jednotkou výkonu je Watt (W). Při zátěžovém testu na bicyklovém ergometru se výkon určuje regulovatelným odporem, který klade ergometr šlapání probanda. Schopnost podat určitý výkon je ovlivněna několika parametry, mezi které patří zejména věk, kondice, zdravotní stav a pohlaví.

Při zátěžovém testování je možné porovnávat jak maximální výkon, tak je možné porovnávat submaximální hodnoty. V případě submaximálního testování je možné využít Index W_{170} viz kapitola 1.3.3.2 výše. Pro hodnocení a porovnávání výsledků mezi jednotlivci a referenčními hodnotami se výkon vyjadřuje v přepočtu na jeden kilogram hmotnosti vyšetřovaného ($W \cdot kg^{-1}$), (Máček 2011, s. 2; Placheta et al., 2001, s. 46).

Srdeční frekvence

Hlavním parametrem používaným ke zhodnocení funkce kardiovaskulárního systému je srdeční frekvence (SF). Udává počet stahů srdce (tepů) za minutu. Klidová srdeční frekvence se pohybuje u zdravých osob nejčastěji v rozmezí 60-90 tepů za minutu.

V zátěži stoupá srdeční frekvence lineárně spolu se vzestupem intenzity zátěže do submaximálních hodnot. Při dalším zvyšování intenzity dochází k postupnému zpomalování vzrůstu SF až do dosažení maximální srdeční frekvence (SF max). Většina literatury uvádí, že je možné orientačně maximální srdeční frekvenci vypočítat ze vzorce $SF_{max} = 220 - \text{věk (roky)}$ s tím, že tato metoda přináší relevantní výsledky až od 20 let věku sledovaného pacienta. Referenční tabulky průměrné maximální tepové frekvence pracují s rozpětím hodnot okolo 30 tepů. (Radvanský 2011, s. 69; Placheta et al. 2001, s. 50; Pomejtllová a Nohejlová 2016, s. 129).

Spotřeba kyslíku

Spotřeba kyslíku (VO_2) v mililitrech za minutu udává množství O_2 z objemu vdechovaného vzduchu, které organismus spotřebuje za jednu minutu. Představuje metabolické schopnosti organismu aerobně zpracovávat živiny a kapacitu transportního systému. Pro interpretaci hodnot v populaci se zohledněním individuálních tělesných proporcí se přepočítává na kilogram hmotnosti, $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$.

Jedním z nejdůležitějších a nejpoužívanějších ukazatelů vytrvalostní tělesné zdatnosti je maximální spotřeba kyslíku ($VO_2 max$). Po přepočtu na kilogram hmotnosti pacienta se výsledná hodnota porovnává s referenčními tabulkami. Referenční hodnoty byly stanoveny z výsledků vyšetření zdatnosti populace při Mezinárodním biologickém programu v letech 1968-1974. Maximální spotřeba kyslíku je závislá na různých proměnných, mezi které patří věk, pohlaví, kondice, aktuální zdravotní stav a další.

Jako maximální se označuje dosažená hodnota, pouze pokud dojde k jasnému překročení anaerobního prahu. Respirační výměnný kvocient, tedy poměr mezi vydechaným CO_2 a přijímaným O_2 , musí dosáhnout hodnoty vyšší než 1,06. Když nejsou tyto podmínky splněny, například z důvodu symptomatických nebo motivačních limitů, tak se dosažená hodnota označuje jako $VO_2 peak$ (Radvanský 2011, s. 69-70; Placheta et al. 2001, s. 61; Radvanský, 2009, s. 549).

Minutová ventilace

Minutová ventilace (MV) udává objem vzduchu, který projde plicemi za jednu minutu. Vypočítává se ze součinu dechové frekvence a dechového objemu. Klidová minutová ventilace se obvykle pohybuje v rozmezí 5-8 l·min⁻¹.

Při zvyšování intenzity zátěže při pohybové aktivitě se pro zvýšení minutové ventilace zvyšují dechová frekvence a objem s co nejvhodnějším poměrem a s ohledem na co nejnižší energetické nároky. Maximální minutová ventilace dosahuje v případě běžné populace hodnot okolo 120 l·min⁻¹, vysoce trénovaní sportovci jsou schopni svou maximální minutovou ventilací dosáhnout až k hodnotám 200 l·min⁻¹. Vzestup minutové ventilace v průběhu zvyšování intenzity zátěže není lineární. K prvnímu růstu dochází v prvních vteřinách zátěže, posléze ve středním spektru intenzity zátěže se růst zpomalí, aby později začala minutová ventilace stoupat znovu ke své maximální hodnotě (Bernaciková, 2012; Máček 2011, s. 10, Pomejtlová a Nohejlová 2016, s. 99).

Poměr respirační výměny

Poměr respirační výměny (RER) je poměrem mezi objemem vydechaného CO₂ (VCO₂) a objemem přijímaného O₂ (VO₂). RER platí pro poměr výměny těchto plynů v plicích. Pro výměnu na buněčné úrovni se používá označení respirační kvocient.

V počáteční fázi zátěžového testu se poměr respirační výměny pohybuje pod hodnotou 1,0. Objem přijímaného O₂ převyšuje objem vydechané CO₂. V okamžiku dosažení poměru 1,0 se hovoří o dosažení anaerobního prahu, nad touto hodnotou RER se zvyšuje objem vydechaného CO₂ nad přijímané O₂. Obvykle dosažený poměr dosažený při maximální intenzitě zátěže činí 1,10-1,25 (Kinnear a Blakey 2014, s. 45-47; Radvanský 2011, s. 70; Placheta et al. 2001, s. 66).

1.4.2 Subjektivní hodnocení intenzity zátěže

Fyzická zátěž v každém organismu vyvolává reakce, které se navenek projevují subjektivními symptomy. Mezi ně může patřit dechová nedostatečnost, bolest nebo svalová únava. Nejvíce používanou metodou posouzení subjektivního vnímání intenzity tělesné zátěže se stala Borgova škála - RPE (Rating of Perceived Exertion). Jedná se o škálu patnácti stupňů se slovním vyjádřením intenzity probíhající zátěže v rozmezí od 6 do 20. Nižší hodnoty jsou vynechány z důvodu nelineární souvislosti subjektivních vjemů s teprve nastupující lehkou zátěží.

Druhá verze Borgovy škály (CR10) má rozsah od 0 do 10 stupňů. Ta se nejčastěji používá pro hodnocení subjektivně vnímané bolesti, nebo dušnosti a pro dětské pacienty. Postupně v průběhu dospívání dětských pacientů se validita odebraných výsledků subjektivního hodnocení intenzity zátěže zlepšuje. Děti do 3 let věku vůbec nejsou schopné v tomto směru spolupracovat. Od 4 do 10-12 let děti používají škálu CR10 a poté už jsou schopny pracovat se škálou RPE. Škála CR10 pro se pro děti často upravuje do obrázkové podoby odpovídající testované fyzické aktivitě pro lepší pochopení (Radvanský 2011, s. 76; Čechovská a Dobrý, 2008).

Škála je umístěna ve formě tabulky (Tabulka 1.) na místě dobře viditelném pro testovaného aby mohl v každém okamžiku během testu označit subjektivní intenzitu zátěže

Borgova - RPE škála	
Číselná hodnota	Slovní hodnota
6	
7	velmi velmi lehká
8	
9	velmi lehká
10	
11	lehká
12	
13	poněkud namáhavá
14	
15	namáhavá
16	
17	velmi namáhavá
18	
19	velmi velmi namáhavá
20	

Tabulka 1. Borgova škála - RPE (Borg 1998)

Experimentální testování ukázalo, že subjektivní hodnocení zátěže pacientem celkem přesně koreluje s objektivními parametry jako je TF nebo spotřeba kyslíku. Stupeň ze škály RPE 6-20 po vynásobení deseti celkem přesně odpovídá aktuální TF. Vztah subjektivního vnímání a objektivních parametrů nicméně může být ovlivněn mnoha faktory. Patří mezi ně psychické naladění pacienta, pohlaví, věk a další (Máček, Radvanský 2011, s. 76; Čechovská a Dobrý 2008).

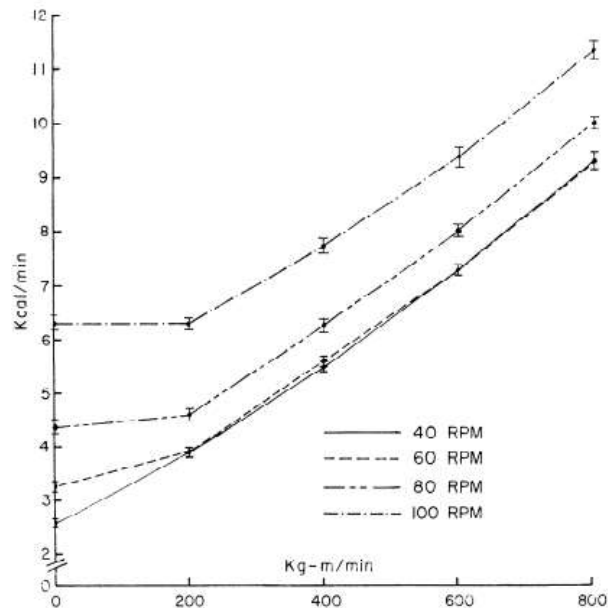
1.5 Zátěž a otáčky

Volba kadence (počtu otáček za minutu) během zátěže s cyklickým opakováním ovlivňuje ekonomiku energetických zdrojů a další biomechanické veličiny. Pochopením těchto souvislostí by bylo možné podat individuální doporučení přizpůsobené potřebám každého jednotlivého vyšetřovaného, protože obdobný cyklický se opakující pohyb neprobíhá pouze při testu na ergometru a na bicyklu, ale i v rámci například plavání, běhu a při dalších pohybových aktivitách (Placheta et al. 2011, str 75; Marais a Pelayo 2003)

1.5.1 *Metabolická účinnost*

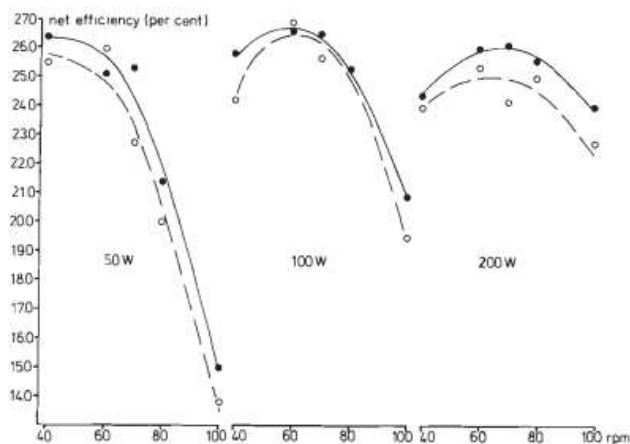
Energie spotřebovaná k vykonání určité práce se pro účely zátěžového testování vypočítává z objemu spotřebovaného kyslíku a respiračního koeficientu.

Energetický výdej organismu roste v závislosti na množství vykonané práce v zásadě lineárně. Kadence šlapání neovlivňuje tuto závislost ve smyslu změny vztahu mezi těmito dvěma veličinami. Se zvyšující se kadencí se mění pouze množství energie potřebné k vykonání stejného množství práce dle Grafu 3. V grafu je k vyjádření výkonu použito starších jednotek ‚kilogram-force meter/minute‘ (Kg-m/min). Převést můžeme 1 Kg-m/min na 0,163 Wattu (Gaesser a Brooks 1975).



Graf 3. Množství vykonané práce a k tomu potřebná energie pro různé kadence šlapání (Gaesser a Brooks, 1975).

Účinnost udává schopnost metabolismu přeměnit energii na vykonanou práci. Vzhledem k výpočtu energie z VO_2 koreluje změna účinnosti při změně kadence se závislostí VO_2 na kadenci. Boning et al. (1984) se v Grafu 4. zaměřil pouze na účinnost části metabolické aktivity způsobené tělesnou zátěží. Vrchol účinnosti se vždy pohybuje okolo 60 rpm a poté začíná klesat s různou strmostí. Porovnává trénované a netrénované subjekty. Pro všechny probandy se se zvyšující intenzitou zátěže posouvá vrchol účinnosti směrem k vyšší kadenci pohybu. Při lehké zátěži 50W je účinnost nejvyšší okolo 40 rpm a postupně se posouvá k 70 rpm při zátěži 200W. Z hlediska metabolické účinnosti roste optimální kadence spolu se zvyšující se intenzitou zátěže.

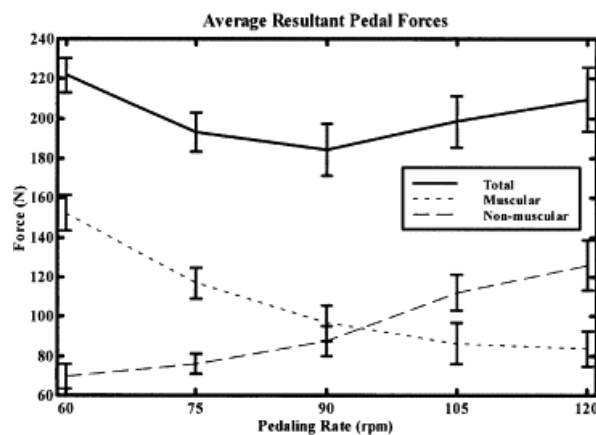


Graf 4. Závislost účinnosti na kadenci pro tři různé intenzity zátěže. Plná čára - trénovaní, přerušovaná - netrénovaní (Boning et al. 1984).

1.5.2 Biomechanické parametry

Na kadenci šlapání závisí dle Zoladz et al. (2000) schopnost svalů dolních končetin vyvinout maximální možnou sílu. Patterson a Moreno (1990) uvádí, že v případě výkonu 100-200 W dochází ke snížení síly šlapání, kterou je potřeba vyvinout na minimum při kadenci okolo 90-100 rpm. Dochází tak ke zvětšení rezervy mezi využitou silou a maximální silou, kterou jsou svaly schopny vykonat, čímž dojde k oddálení svalové únavy. Při rozložení sil působících na ergometr dochází ke stejnému závěru Neptune a Herzog (1999) v Grafu 5. níže. Se zvyšující se kadencí klesá zapojení síly vykonané svaly a zvyšuje se podíl ostatních sil, mezi které patří hlavně setrvačnost a gravitace.

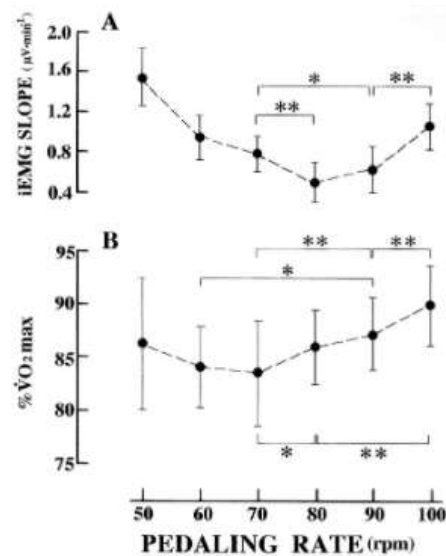
Výsledek kombinace svalových a nesvalových sil dosahuje nejnižších hodnot právě okolo 90-100 rpm. Z hlediska biomechanických parametrů je optimální tato kadence.



Graf 5. Vztah síly a kadence šlapání. Plná čára - celková síla, tečkovaná - svalová síla, přerušovaná - ostatní síly (Neptune a Herzog, 1999).

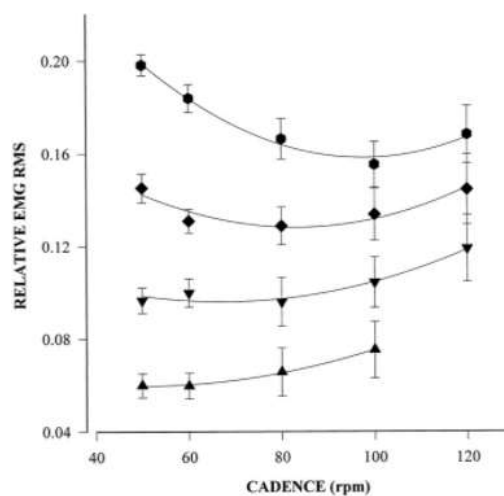
1.5.3 Neuromuskulární parametry

V zátěži je neuromuskulární aktivita sledována pomocí povrchové elektromyografie (EMG). Aktivovaný pracující sval vydává signál, který je zachycen snímací elektrodou. V Grafu 6. je možné pozorovat minimum svalové aktivity musculus vastus lateralis aktivity v oblasti 80-90 rpm při konstantní zátěži. Při nejnižší neuromuskulární aktivitě sval vyvíjí nejnižší možnou sílu, kterou je nutné vykonat, zmíněnou výše. Dochází tedy k prodloužení doby, než dojde ke svalové únavě Takaishi et al. (1996).



Graf 6. Vztah kadence a neuromuskulární aktivity při konstantní zátěži a porovnání se vztahem VO_2 a kadence při totožné konstantní zátěži (Takaishi et al. 1996).

Dle studie MacIntosh et al. (2000) se vztah minimální svalové aktivity potřebné k podání daného výkonu a kadence šlapání mění v závislosti na intenzitě submaximální zátěže. Se zvýšením zátěže dojde k dosažení potřebné minimální svalové aktivity při vyšší kadenci. Vychází ze sledování aktivity sedmi svalů dolní končetiny, které jsou zapojeny do cyklického pohybu na ergometru. V Grafu 7. níže jsou zaneseny průměrné hodnoty z těchto sedmi svalů pro různou zátěž. Můžeme pozorovat progresivní zvyšování kadence při, které dochází k minimální svalové aktivitě. Při vykonávaném výkonu 100 W nastává minimální aktivita při kadenci nižší než 60 rpm a při 400 W se dostává až k hranici 100 rpm.

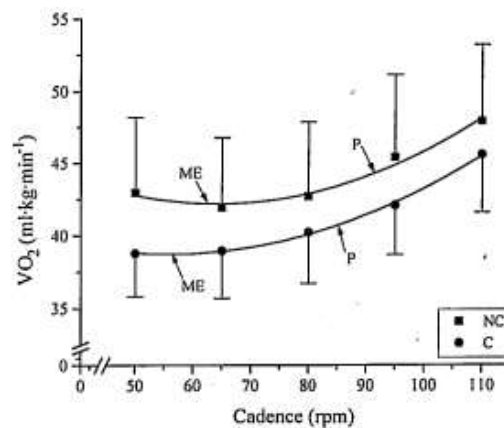


Graf 7. Vztah svalové aktivity a kadence při výkonu 100 W, 200 W, 300 W a 400 W (od spodní křivky k horní) (MacIntosh et al. 2000).

1.5.4 Optimální a preferovaná kadence

Pro dosažení maximálních výsledků při sportovním výkonu nebo diagnostiku vypovídající o stavu pacientova hybného, kardiopulmonálního a metabolického systému bude nalezení optimální kadence klíčem k úspěchu. Při hledání optimální kadence šlapání při zátěžovém testu, nebo pro případné doporučení pohybové aktivity, je třeba vycházet z výše uvedených parametrů, ale zároveň z preferencí každého jednotlivce.

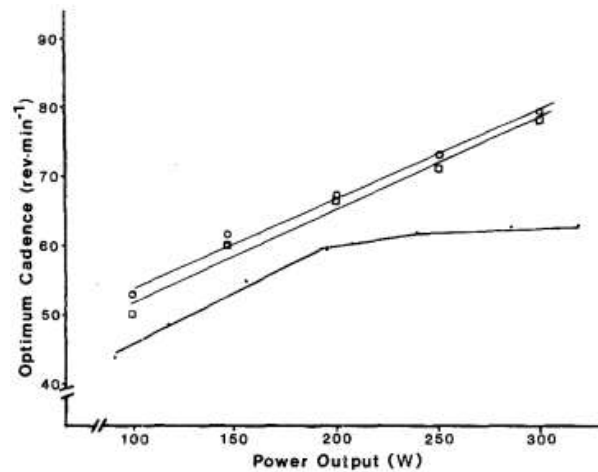
Spontánně volená/preferovaná kadence šlapání dle Marsh a Martin (1993) se značně liší od metabolicky nejvýhodnější kadence na základě VO_2 . Tento výsledek se dá aplikovat jak na trénované cyklisty tak na stejně zdatné necyklisty. Necyklisté mají hodnoty metabolicky nejvýhodnější kadence i preferované kadence vyšší než cyklisté (Graf 8.).



Graf 8. Spotřeba kyslíku cyklistů (C) a necyklistů (NC) při různých kadencích šlapání. Oznámena je nejvyšší účinnost metabolismu (ME), preferovaná kadence (P), (Marsh a Martin 1993).

Takaishi et al. (1996), jejichž studie se věnuje trénovaným cyklistům, přináší obdobné výsledky. Preferovaná kadence šlapání cyklistů koreluje s nejnižší potřebnou aktivitou pracujících svalů a ne s dosažením ideální metabolické účinnosti. Takaishi et al. (1994) při porovnání VO_2 a síly vynaložené svaly dolních končetin při různých kadencích u cyklistů a necyklistů dospěl k závěru, že cyklisté mají naučené schopnosti, díky které mohou při šlapání vynaložit menší sílu než necyklisté. Při výkonu 200 W preferovali necyklisté kadenci 60 (čtyři probandi) nebo 75 rpm (tři probandi) a cyklisté vyšší kadenci 90 rpm (6 probandů), jeden preferoval kadenci 75 rpm.

Při posuzování optimální kadence trénovaných cyklistů respektive necyklistů na základě srdeční frekvence a spotřeby kyslíku dle Coast a Welch (1985) a Seabury et al. (1977), se optimální kadence zvyšuje spolu s rostoucí intenzitou zátěže. Pro trénované cyklisty je růst lineární v celém rozsahu testované intenzity. Necyklistům se od výkonu 200 W optimální kadence téměř nezvyšuje, viz Graf 9. níže.



Graf 9. Vztah optimální kadence a výkonu trénovaných cyklistů dle SF a VO_2 (dvě přímky). Křivka SF pro necyklisty převzata od Seabury et al. (1977), (Coast a Welch 1985).

2 PRAKTICKÁ ČÁST

Praktický výzkum proběhl v zátěžové laboratoři Oddělení tělovýchovného lékařství fakultní nemocnice v Motole ve dvou termínech (22. a 29. 7. 2020). V obou termínech s užitím stejného vybavení a pod vedením stejných osob, autora a vedoucího této práce.

2.1 Soubor sledovaných osob

Výzkumu se zúčastnilo 5 probandů spadajících do věkové kategorie 23-28 let. Jednalo se o tři ženy a dva muže, bez výjimky nekuřáky. Všichni byli pouze rekreačními sportovci, nikdo nepodstupoval systematický tréninkový plán. Nikdo ze souboru probandů netrpěl žádným chronickým kardiovaskulárním onemocněním a neužíval medikaci ovlivňující činnost kardiovaskulárního systému. Charakteristika souboru testovaných je v Tabulce 2, kompletní hodnoty jsou v Příloze 2.

Všichni probandi souhlasili s účastí ve studii podepsáním informovaného souhlasu (Příloha 1.).

Charakteristika souboru			
	průměr	min	max
věk (roky)	24,8	23	28
hmotnost (kg)	68	58	93
výška (cm)	175,6	167	184

Tabulka 2. Charakteristika souboru probandů

2.2 Metodika vyšetření

2.2.1 Zátěžový protokol

Probandi podstoupili 2 zátěžové testy, do maximální intenzity zátěže s analýzou výměny dýchacích plynů. Zátěžové vyšetření proběhlo na elektricky brzděném ergometru, u kterého výkon nezávisí na počtu otáček za minutu.

Protokol byl zvolen kombinovaný se dvěma stupni zátěže a následně kontinuálně zvyšovanou zátěží až do maxima. Intenzity pro každou část testu byly voleny s ohledem na hmotnost pacienta, tedy ve $W \cdot kg^{-1}$. Pro první stupeň jsem zvolil zátěž $1 W \cdot kg^{-1}$, což by dle Radvanského (2011, s. 66) mělo odpovídat chůzi o rychlosti $5,5 km \cdot h^{-1}$ a spotřebě kyslíku $16,5 ml \cdot kg^{-1}$. Pro druhý stupeň $2 W \cdot kg^{-1}$ pro muže, respektive $1,5 W \cdot kg^{-1}$ pro ženy. Každý z těchto dvou stupňů trval 3 minuty.

Kadence pro obě části studie byla zvolena konstantní. Nižší s hodnotou 55-65 otáček za minutu (rpm - revolutions per minute) a vyšší kadence 85-95 rpm. Absolvování testu o vyšší a testu o nižší kadenci proběhlo pro každého probanda v randomizovaném pořadí stejně jako pořadí probandů v rámci jedné části studie. Obě části studie odděloval časový interval 7 dní.

2.2.2 Sledované parametry

Elektrokardiografická křivka byla monitorována v klidu vleže klasickým dvanáctisvodovým provedením. Při přesunu na ergometr byla zvolena modifikace dvanáctisvodového EKG dle Masona a Likara. Končetinové svody byly přesunuty ke kořenům končetin pro zabránění omezování vyšetřovaného při testu. Srdeční frekvence byla měřena klidová před testem. Dále na konci každého stupně, to znamená na konci 3., respektive 6. minuty a poté byla měřena nejvyšší dosažená hodnota v maximálním zatížení.

Krevní tlak byl měřen ve stejných intervalech jako srdeční frekvence. Klidový před testem, na konci 3. a 6. minuty stupňovaného protokolu a nakonec maximální při dosažení maximální intenzity konci kontinuálně zvyšovaného protokolu. Krevní tlak byl měřen rtuťovým tonometrem a fonendoskopem pro auskultační metodu měření TK. Během zátěžového vyšetření byl tlak měřen na pravé horní končetině volně svěšené podél těla.

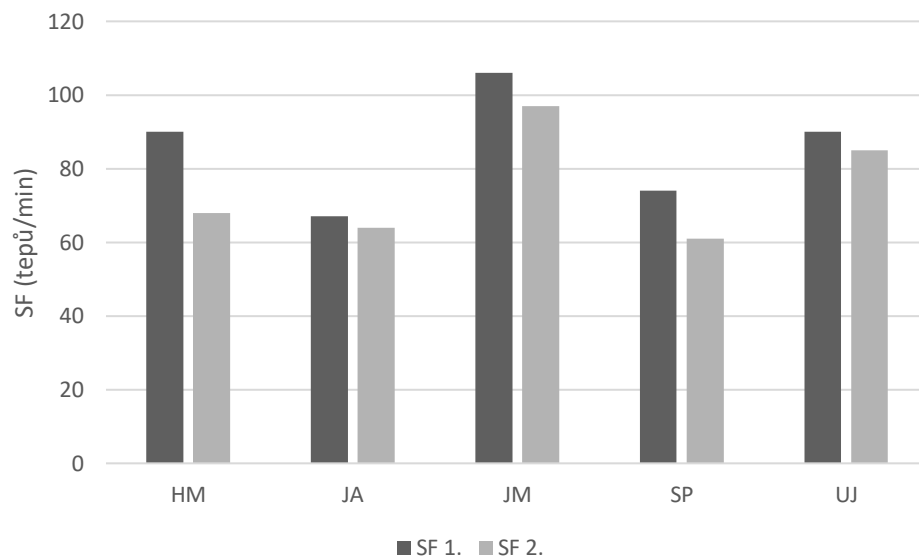
Analýza výměny dýchacích plynů probíhala na konci každého stupně stupňovaného protokolu, tedy na konci 3. a 6. minuty a poté při dosažení maximální intenzity zátěže. Pomocí systému analýzy dýchacích plynů byly zaznamenány parametry objemu spotřebovaného kyslíku (VO_2), minutové ventilace a respiračního kvocientu během zátěže.

Nakonec v průběhu testu ve stále stejných intervalech jako u měření srdeční frekvence a krevního tlaku výše byl každý vyšetřovaný vyzván ke zhodnocení subjektivní intenzity zátěže pomocí Borgovy škály RPE, která se nacházela ve formě tabulky (Tabulka 1) v jeho zorném poli.

2.2.3 Klidové hodnoty

Před každým ze dvou měření byly zaznamenány klidové hodnoty EKG, srdeční frekvence a krevního tlaku. Průměrné, minimální a maximální hodnoty jsou uvedeny níže v Tabulce 3. Kompletní charakteristika skupiny probandů je v Příloze 2.

U všech testovaných probandů bylo možné pozorovat zvýšenou srdeční frekvenci před prvním zátěžovým testem, dle Grafu 10., v případě druhého testu byly hodnoty klidové SF pro všechny probandy nižší. Rozdíl těchto dvou hodnot nebyl u všech probandů stejnoměrný. Největší změna se objevila u probanda HM z 90 na 68 tepů/min, rozdíl činil 22 tepů.



Graf 10. Prorovnění srdeční klidové srdeční frekvence před 1. a 2. testem.

Jednomu z probandů byly naměřeny před oběma testy nízké klidové hodnoty krevního tlaku 85/60 mmHg. Nižší hodnoty v porovnání s ostatními se projevily i během průběhu testu. Tím došlo k posunu průměrného systolického i diastolického tlaku sledované skupiny směrem k nižším hodnotám. Zbytek probandů byl normotenzní.

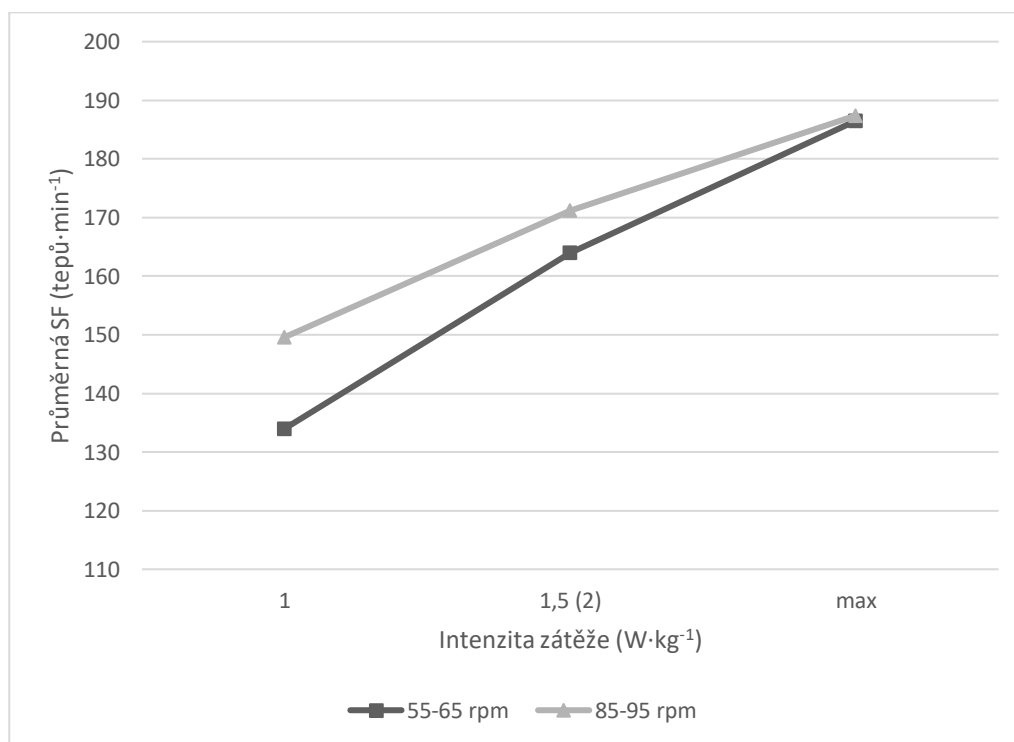
Průměrné, min a max hodnoty klidové SF a TK						
	SF p	SF r	TKs p	TKd p	TKs r	TKd r
ø	79,2	81,2	103	73,75	107	72
min	67	61	85	60	85	60
max	97	106	125	80	120	80

Tabulka 3. Průměr, minimum a maximum klidových hodnot před testem s kadencí 55-65 rpm (p) a 85-95 rpm (r).

2.3 Zpracování výsledků

2.3.1 Srdeční frekvence

V Grafu 11. můžeme pozorovat změnu rozdílu průměrné SF při porovnání testu s kadencí 55-65 rpm a testu 85-95 rpm. V submaximálních hodnotách intenzity zátěže probandi dosahovali při nižší kadenci nižších hodnot srdeční frekvence. S rostoucí intenzitou zátěže se rozdíl mezi hodnotami srdeční frekvence postupně zmenšuje. Pro maximální tepové frekvence je tento rozdíl již minimální. Při nižší kadenci 55-65 rpm činí průměr maximální SF 185,6 tepů/min, při kadenci 85-95 rpm činí 187,4 tepů/min. Kompletní naměřené hodnoty SF jsou uvedeny v Příloze 3 (s.)



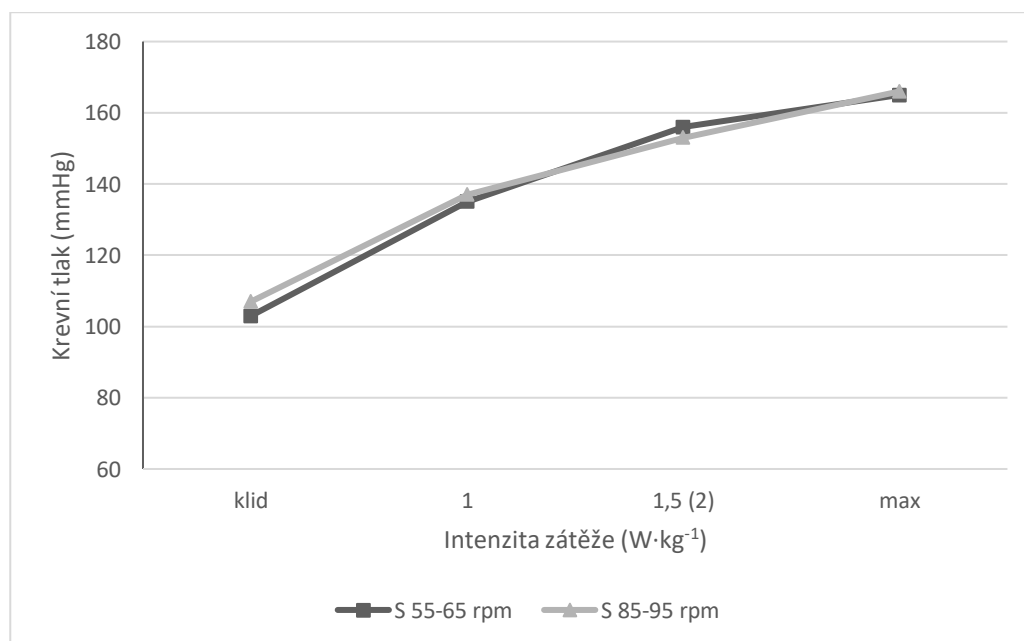
Graf 11. Závislost průměrné srdeční frekvence na kadenci

2.3.2 Krevní tlak

Reakce systolického a diastolického krevního tlaku během dynamické zátěže se liší. Fyziologicky systolický tlak nelineárně vzrůstá se vzrůstající intenzitou dynamické zátěže a maximální hodnoty dosahuje při maximální intenzitě zátěže (Graf). Diastolický tlak se vzrůstající intenzitou dynamické zátěže téměř nemění své hodnoty, a proto mu nadále nebude věnována pozornost. Výsledné hodnoty se obvykle porovnávají s referenčními hodnotami v Tabulce 4. (Placheta et al. 2001, s. 53-56, Takase 2012).

VĚK (roky)	POHL.	50W		100W		150W		W _{max}	
		STK	DTK	STK	DTK	STK	DTK	STK	DTK
12	M	126	72	137	64	-	-	151	57
	Ž	129	71	140	63	-	-	153	58
15	M	132	74	143	67	156	60	172	59
	Ž	132	71	145	63	158	61	174	60
18	M	136	76	149	70	162	64	185	64
	Ž	134	72	148	66	159	65	178	65
25	M	138	80	154	76	168	71	198	71
	Ž	135	75	151	73	162	72	182	72
35	M	139	85	158	81	176	77	206	72
	Ž	137	80	154	75	163	74	191	74
45	M	145	87	165	83	186	80	210	75
	Ž	149	82	167	80	173	76	202	77
55	M	152	91	173	89	192	88	213	83
	Ž	159	88	180	87	187	84	207	82

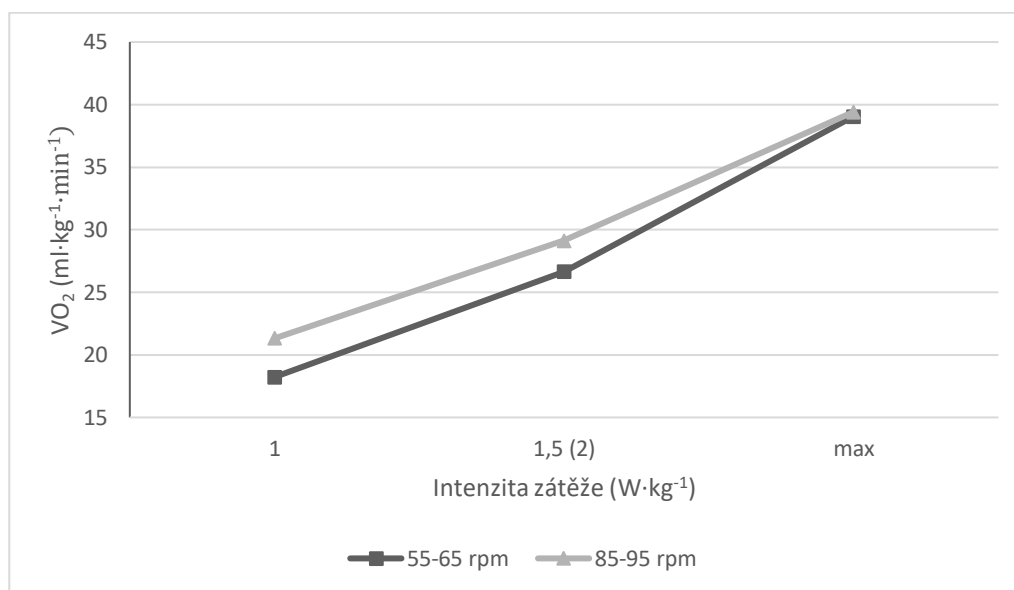
Tabulka 4. Průměrné hodnoty systolického a diastolického krevního tlaku u české populace v mmHg (Placheta et al. 2001, s. 56).



Graf 12. Systolický (S) krevní tlak v klidu a během zátěže s kadencí 55-65 rpm a 85-95 rpm.

2.3.3 Spotřeba kyslíku

Závislost průměrné spotřeby kyslíku na kadenci ukazuje Graf 13. Můžeme pozorovat podobnou tendenci jako v případě závislosti srdeční frekvence na kadenci. Průměrná VO_2 při submaximálních hodnotách intenzity zátěže dosahuje nižších hodnot při kadenci 55-65 rpm. Při maximální intenzitě zátěže se rozdíl mezi kadencemi významně snížil. Průměrná maximální spotřeba kyslíku (VO_2 max) dosáhla hodnoty $39,06 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ pro kadenci 55-65 rpm, resp. $39,42 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ pro kadenci 85-95 rpm.



Graf 13. Závislost spotřeby kyslíku na kadenci

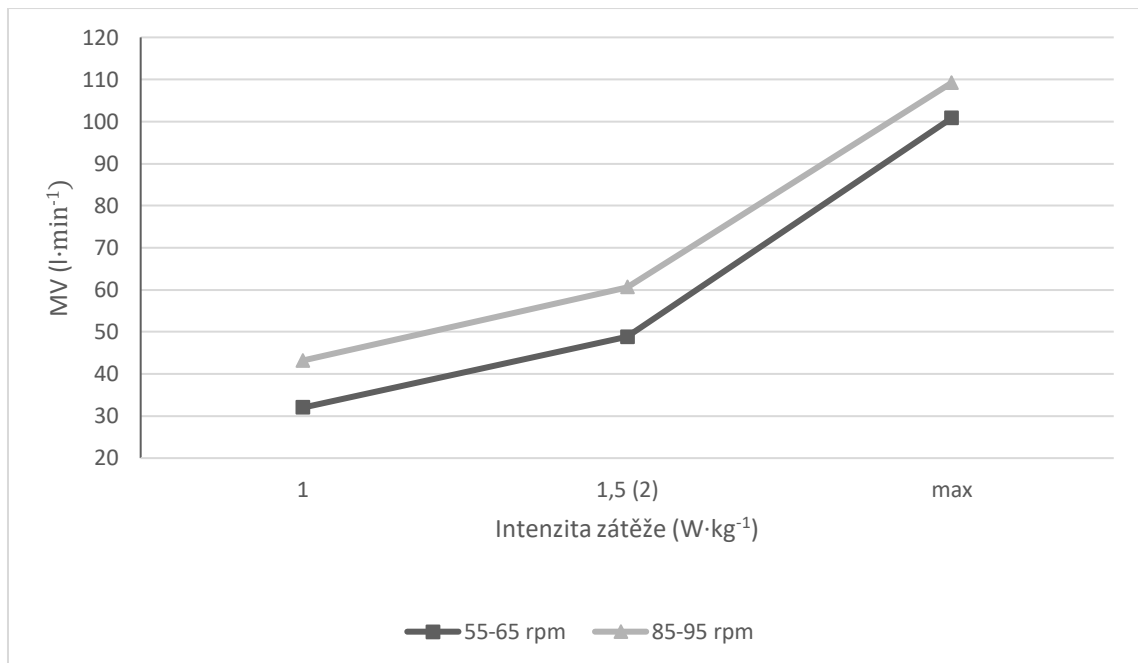
V lehké a střední zátěži má rozdíl v kadenci vliv na dosažené hodnoty VO_2 . Vyšší otáčky způsobují dosahování vyšších hodnot VO_2 pro pokrytí metabolických potřeb pracujících svalů. Se zvyšující se zátěží se dopad kadence na VO_2 snižuje (Tabulka 5.). Kompletní naměřené hodnoty jsou uvedeny v Příloze.

Průměrné hodnoty VO_2 při testech s různou kadencí		
	VO_2 (55-65 rpm)	VO_2 (85-95 rpm)
$1 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$	18,32	21,32
$1,5 (2) \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$	26,64	29,12
$\text{max } \text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$	39,06	39,42

Tabulka 5. Průměrné hodnoty VO_2 pro různý stupeň zátěže při testech s kadencí 55-65 rpm a 85-95 rpm.

2.3.4 Minutová ventilace

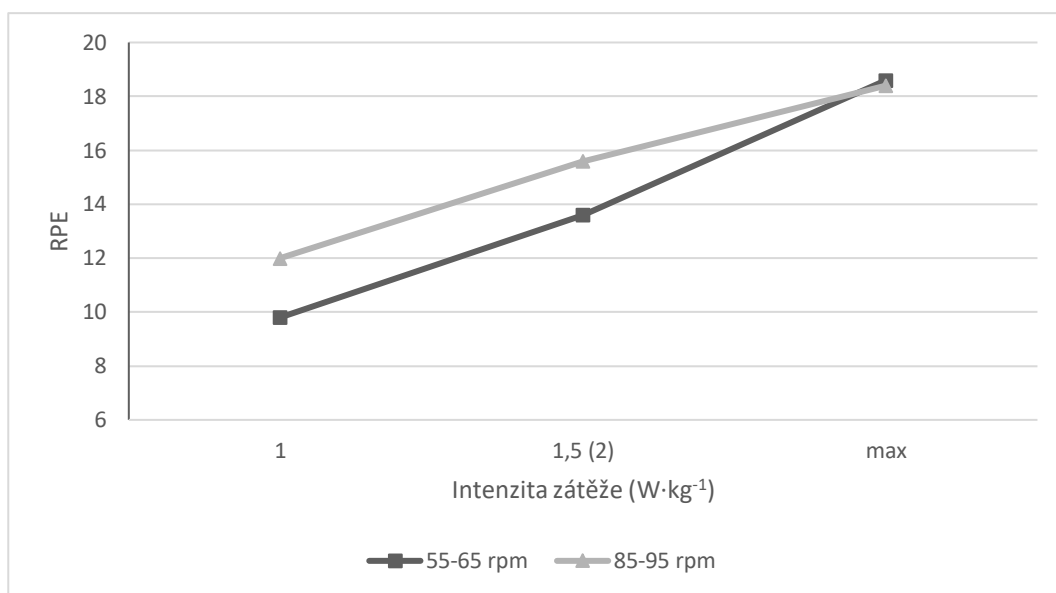
V Grafu 14. je znázorněna závislost minutové ventilace na kadenci šlapání. Se zvýšením kadence můžeme pozorovat zvýšení MV v průběhu celého testovaného spektra intenzity zátěže až do maxima. Hodnota průměrné maximální minutové ventilace dosažené při testu s kadencí 55-65 rpm byla $100,8 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$. Při kadenci 85-95 rpm bylo dosaženo průměrné hodnoty $109,2 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$.



Graf 14. Závislost minutové ventilace na kadenci

2.3.5 Subjektivní hodnocení intenzity zátěže

Pro zhodnocení subjektivně vnímané intenzity zátěže byla použita Borgova škála - RPE s 15 stupni s rozsahem 6-20. Průměrné dosažené hodnoty jsou uvedeny v Grafu 15. níže. Při zátěžích submaximální intenzity byla v případě kadence 85-95 rpm průměrně probandy průměrně subjektivně označována zátěž o téměř přesně dva stupně intenzivnější. Po dosažení maximální intenzity se rozdíl vnímané intenzity pro obě kadence stal minimální, 18,6 pro 55-65 rpm a 18,4 pro 85-95 rpm.



Graf 15. Vztah intenzity zátěže a subjektivně vnímané intenzity pro kadenci 55-65 rpm a 85-95 rpm.

RPE škála subjektivního vnímání intenzity by měla s vysokou přesností odpovídat objektivně měřitelným hodnotám jako je srdeční frekvence a spotřeba kyslíku. Nejlépe RPE koreluje se srdeční frekvencí dle Pandolf (1983).

2.3.6 Maximální dosažené hodnoty

V Tabulce 6. níže jsou uvedeny maximální dosažené hodnoty výkonu, výkonu na kilogram hmotnosti a délky trvání rampového protokolu každého účastníka studie při obou sledovaných kadencích. Všichni probandi dosáhli vyšších hodnot při kadenci 55-65 rpm, kromě probanda HM, který jediný prokazoval vyšší hodnoty při kadenci 85-95 rpm.

Maximální dosažené hodnoty výkonu						
	P_{max} (p)	P_{max} (r)	$P_{max} \cdot kg^{-1}$ (p)	$P_{max} \cdot kg^{-1}$ (r)	t (p)	t (r)
HM	232	246	3,41	3,62	4min 0s	4min 35s
JA	165	156	3	2,84	4min 10s	3min 40s
JM	240	195	2,58	2,09	3min 10s	1min 50s
SP	253	242	3,83	3,67	5min 10s	4min 40s
UJ	134	118	2,31	2,03	2min 20s	1min 30s

Tabulka 6. Maximální dosažené hodnoty výkonu (P_{max}), výkonu na kilogram hmotnosti ($P_{max} \cdot kg^{-1}$) a dosaženého času při rampovém protokolu (t) při kadenci šlapání 55-65 rpm (p) a 85-95 rpm (r). Tučně jsou zvýrazněny vyšší dosažené hodnoty.

2.3.7 *Preferovaná kadence*

Po absolvování obou zátěžových testů byli probandi vyzváni k určení kadence, kterou by preferovali, pokud by měli postoupit další test. Preferované kadence jednotlivých probandů jsou uvedeny v Tabulce 7. níže. Dva účastníci by si zvolili kadenci vyšší 85-95 rpm a tři zvolili kadenci nižší 55-65 rpm. Při porovnání s Tabulkou maximálních dosažených hodnot v předchozí kapitole zjistíme, že až na výjimku probanda UJ všichni zvolili kadenci, při které dosáhli lepších maximálních výsledků ve všech parametrech.

Preferované kadence probandů studie	
Proband	Preferovaná kadence
HM	85-95 rpm
JA	55-65 rpm
JM	55-65 rpm
SP	55-65 rpm
UJ	85-95 rpm

Tabulka 7. Preferované kadence jednotlivých probandů účastnících se studie.

2.3.8 *Statistická analýza*

Pro analýzu statistické významnosti naměřených dat byl využit párový t-test. Pro vypočítání byla využita online kalkulačka dostupná na webové adrese: <https://www.socscistatistics.com/tests/ttestdependent/default.aspx>.

Po zadání odebraných hodnot jednotlivých sledovaných parametrů zátěžového testu aplikace vyhodnotí statistickou významnost rozdílu mezi zadanými hodnotami. V Tabulce 8. a Tabulce 9. níže jsou uvedeny vybrané hodnoty porovnávané pomocí párového t-testu při intenzitě zátěže $1 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ respektive při maximální intenzitě zátěže.

Analýza vybraných dat pro zátěž $1 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$				
parametr	průměr 55-65 rpm	průměr 85-95 rpm	p	statistický rozdíl
SF	134	149,6	0,01552	S
TKs	135	137	0,47662	NS
VO₂	18,32	21,32	0,64242	NS
MV	32	43,2	0,03082	S

Tabulka 8. Statistická významnost rozdílů vybraných parametrů při zátěži $1 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ určená pomocí párového t-testu pro $p < 0,05$. Vysvětlivky: p - hladina významnosti, S - statisticky signifikantní rozdíl, NS - statisticky nesignifikantní rozdíl.

Analýza vybraných dat pro maximální dosaženou zátěž				
parametr	průměr 55-65 rpm	průměr 85-95 rpm	p	statistický rozdíl
SF	185,6	187,4	0,48333	NS
TKs	170	155	0,49535	NS
VO₂	39,06	29,5	0,30233	NS
MV	100,8	109,2	0,02153	S

Tabulka 9. Statistická významnost rozdílů vybraných parametrů při maximální dosažené zátěži určená pomocí párového t-testu pro $p < 0,05$. Vysvětlivky: p - hladina významnosti, S - statisticky signifikantní rozdíl, NS - statisticky nesignifikantní rozdíl.

Z výsledku statistické analýzy můžeme pozorovat několik statisticky signifikantních rozdílů mezi parametry při nižší kadenci 55-65 rpm a při vyšší kadenci 85-95 rpm.

V případě srdeční frekvence (SF) při intenzitě zátěže $1 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ můžeme pozorovat závislost na kadenci šlapání. Po dosažení maximální intenzity zátěže se ovšem závislost na kadenci maže a srdeční frekvence dosahuje obdobných hodnot.

Druhým případem je minutová ventilace (MV). Ta projevuje souvislost s kadencí při intenzitě zátěže $1 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$, ale také při intenzitě maximální. Z toho můžeme usuzovat, že minutová ventilace závisí na otáčkách v celém rozsahu intenzit pohybové zátěže.

DISKUSE

Snahou o nalezení optimální kadence při zátěžovém testování a s tím souvisejícími doporučeními pro pohybové aktivity se již od minulého století zabývala řada prací.

Praktická část této bakalářské práce se snaží zjistit závislost obvykle sledovaných parametrů při zátěžovém vyšetření na kadenci šlapání na ergometru. Těmito parametry jsou srdeční frekvence (SF), objem spotřebovaného kyslíku (VO_2), systolický krevní tlak (TKs), minutová ventilace (MV) a subjektivní vnímání intenzity zátěže (RPE). Odebrané hodnoty poměru respirační výměny (RER) nebyly zahrnuty do vyhodnocení výsledků, protože pravděpodobně došlo k chybě při měření VCO_2 .

Z grafu 10 vyplývá, že u všech probandů byly naměřeny vyšší hodnoty klidové tepové frekvence před prvním zátěžovým vyšetřením, než při druhém vyšetření. Pravděpodobně se jedná o takzvaný předstartovní stav, při kterém dochází k předčasné aktivaci autonomního nervového systému v očekávání určitého výkonu.

Probandi v rámci této studie podstoupili dva zátěžové testy do maximální intenzity zátěže s analýzou výměny dýchacích plynů. Většina prací na téma závislosti výsledků zátěžového testu na kadenci se věnovala výzkumu konstantní intenzity zátěže v různých hladinách (Marais a Pelayo 2003).

Gaesser a Brooks (1975) uvádí v grafu 3, že se zvýšením kadence otáček se lineárně zvýší kalorický výdej v průběhu celého spektra intenzit zátěže, který se vypočítává z VO_2 . V Grafu 13 lze pozorovat, že lineární postup s jejich výsledky vcelku koresponduje pouze v submaximálních hodnotách intenzity zátěže. Mitchell et al. (2019) také uvádí, že v případě submaximální intenzity zátěže se VO_2 zvyšuje s rostoucí kadencí otáček. Při maximální intenzitě zátěže se v našem případě rozdíl maximálních minutových ventilací při různých kadencích téměř smazal.

V experimentální části studie určili probandi svou preferovanou hodnotu kadence ve třech případech 55-65 rpm a ve dvou případech vyšší kadenci 85-95 rpm. Marsh a Martin (1993) ve svém výzkumu porovnávají energetické hledisko (graf 8) a preferovanou kadenci cyklistů a necyklistů při intenzitě zátěže 200W. Necyklisté preferují v průměru kadenci 91,6 rpm a nejnižší spotřebu VO_2 mají při kadenci 62,9 rpm.

Graf 15 subjektivního vnímání zátěže ukazuje, že při submaximální intenzitě má kadence přímý vliv na zvýšení subjektivně vnímané intenzity zátěže. V maximální intenzitě je rozdíl minimální. Závislost subjektivního vnímání intenzity zátěže koreluje při nižší kadenci s Grafem 13, který zaznamenává průběh VO_2 pro kadenci 85-95 rpm a s Grafem 11, průměrné srdeční frekvence pro kadenci 55-65 rpm. Máček a Máčková (2011, s. 76) uvádí, že subjektivně vnímaná intenzita zátěže by měla odpovídat právě spotřebě kyslíku a srdeční frekvenci.

Analýza dat pomocí t-testu ukazuje statisticky signifikantní rozdíl srdeční frekvence při kadenci 55-65 rpm a 85-95 rpm v případě intenzity zátěže $1 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$. Minutová ventilace dle analýzy souvisí s kadencí otáček v průběhu celého spektra intenzity zátěže. Statisticky signifikantnímu rozdílu se blíží i další hodnoty, nejvíce VO_2 při intenzitě zátěže $1 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$. Případné rozšíření souboru sledovaných osob by mohlo rozhodnout, zda je rozdíl v případě VO_2 signifikantní nebo ne.

Z důvodu malého pozorovaného souboru se jedná pouze o pilotní studii, která by mohla určit směr příštích prací zaměřených na určité parametry. Soubor sledovaných osob tvoří pouze pět účastníků. Skupina je navíc nesourodá, tvoří ji dva probandi mužského pohlaví a tři pohlaví ženského. Skladba odebraných výsledků zdatnosti nemůže představovat průřez českou populací, protože věkový průměr souboru je příliš nízký s hodnotou 24,8 let a nepředstavuje průřez populací z morfologického a zdatnostního hlediska.

Pro probandy mužského a ženského pohlaví byl zvolen druhý stupeň zátěže s odlišnou intenzitou, $2 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ pro mužské probandy a $1,5 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ pro probandy ženského pohlaví. Přistoupil jsem k tomu z důvodu prodloužení doby rampového protokolu pro ženy. Vliv na výsledky testu by měl být minimální, protože jinak se protokol naprosto shoduje.

Vzhledem k malému testovanému souboru je obtížné určit praktickou aplikaci výsledků této práce v případě sportovců, pacientů s různými indikacemi podstupujících zátěžový test a i v případě subjektů s nestandardní morfologií (pacienti s nadváhou, až obezitou, nebo naopak podvýživou). Přínosem práce by mohlo být určení parametrů, které projevují závislost na kadenci šlapání, tedy srdeční frekvence při submaximálních intenzitách zátěže a minutová ventilace v celém průběhu zátěžového testu do maxima. Budoucí studie by se mohly zaměřit už přímo na tyto parametry a zkoumat specifické soubory probandů.

ZÁVĚR

Vzhledem ke zvětšujícímu se podílu osob s metabolickým syndromem, kardiovaskulárními chorobami a obezitou se význam funkčního zátěžového vyšetření v diagnostice a terapii bude pravděpodobně stále zvyšovat.

Pro kvalitní využití potenciálu zátěžového vyšetření, nejen ve formě bicyklové ergometrie, je třeba optimalizovat podmínky vyšetření individuálně pro každého pacienta.

Teoretická část této práce si dala za cíl zjistit, jak reagují jednotlivé orgánové systémy na pohybovou zátěž při funkčním zátěžovém vyšetření. Tyto odpovědi organismu se vztahují i na každou další pohybovou zátěž.

Praktická část práce se ve formě pilotní studie se zaměřila na ovlivnění měřených parametrů kadencí šlapání na ergometru. Mnoho studií se věnuje tomuto tématu u vrcholových cyklistů s cílem optimalizovat jejich výkon při dlouhodobé submaximální zátěži. Daleko menší pozornosti se dostává jednomu z nejpoužívanějších protokolů zátěžového testování - zátěžovému vyšetření do maxima s analýzou výměny dýchacích plynů. Proto jsem se zaměřil v praktické části právě na ovlivnění výsledků tohoto protokolu při dvou různých kadencích, nižší 55-65 rpm a vyšší 85-95 rpm. S pomocí párového t-testu jsem došel k výsledku, že největší vliv měl rozdíl v kadenci při intenzitě zátěže $1 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ na srdeční frekvenci. Dalším ovlivněným parametrem byla minutová ventilace, která projevila závislost na kadenci v celém spektru intenzity zátěže. Vzhledem k malému souboru probandů se statisticky signifikantnímu rozdílu blížily i další hodnoty. Pro přesnější analýzu odebraných dat by bylo nutné rozšířit vyšetřovaný soubor probandů.

Výsledky této pilotní studie by se mohly stát základem pro další výzkumy, které by se mohly již specificky zaměřit na určité proměnné. Tím by bylo dosaženo vyšší relevance výsledků.

REFERENČNÍ SEZNAM

- BERNÁŠKOVÁ, Klára, 2016. Žlázy s vnitřní sekrecí. In: ROKYTA, R. et al. Fyziologie. 3. přepracované vyd. Praha: Galén, 207-228. ISBN 978-80-7492-238-1.
- BORG, G. Borg's Perceived exertion and pain scales. 1st ed. Champaign (IL) : Human Kinetics, 1998, 104 s. ISBN 0-88011-623-4.
- BONING, D., Y. GONEN a N. MAASSEN, 1984. Relationship between work load, pedal frequency, and physical fitness. *International Journal of Sports Medicine* [online]. **5**(2), 92–97. ISSN 01724622. Dostupné z: doi:10.1055/s-2008-1025887
- CHALOUPKA, V. ČESKÁ KARDIOLOGICKÁ SPOLEČNOST. Zátěžové testy v kardiologii: Zátěžová elektrokardiografie [online]. [cit. 2015-07-14]. Dostupné z: <http://www.kardio-cz.cz/index.php?&desktop=clanky&action=view&id=95>].
- COAST, J. Richard a Hugh G. WELCH, 1985. Linear increase in optimal pedal rate with increased power output in cycle ergometry. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* [online]. **53**(4), 339–342. ISSN 03015548. Dostupné z: doi:10.1007/BF00422850
- ČECHOVSKÁ, Irena a Lubomír DOBRÝ. Borgova škála subjektivně vnímané námahy a její využití. Tělesná výchova a sport mládeže. Praha: Fakulta tělesné výchovy a sportu Univerzity Karlovy, 2008, 74(3), 37-45.
- Fyziologie tělesné zátěže II. Funkční kapacita a tolerance - vliv tréninku. Laboratorní zátěžové vyšetření a interpretace výsledků: W170, VO₂max, anaerobní práh, Borgova škála, TK, referenční hodnoty zdravé populace, IBP. IPVZ [online]. Essex Junction: IPVZ [cit. 2020-08-10]. Dostupné z: <https://www.ipvz.cz/vzdelavaci-akce/dokumenty/14397-radvansky.pdf>
- GAESSER, Glenn A. a George A. BROOKS, 1975. Muscular efficiency during steady-rate exercise: effects of speed and work rate. *Journal of applied physiology*. **38**(6), 1132–1139.

- Kettler. Kettler [online]. Praha: LIFEsport, 2016 [cit. 2020-08-10]. Dostupné z: <https://www.kettler.cz/coach-e-7975-100/>
- KINNEAR, William a John BLAKEY. A Practical Guide to the Interpretation of Cardio-Pulmonary Exercise Tests [online]. Oxford University Press, 2014 [cit. 2020-08-17]. DOI: 10.1093/med/9780198702467.001.0001. ISBN 9780198702467.
- KITTNAR, Otomar, 2020. Fyziologie krevního oběhu. In: KITTNAR, O. Lékařská fyziologie. 2., přepracované a doplněné vydání. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-247-1963-4.
- MACINTOSH, Brian R., Richard R. NEPRUNE a John F. HORTON, 2000. Cadence, power, and muscle activation in cycle ergometry. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. **32**(7), 1281–1287.
- MARAIS, Gaëlle a Patrick PELAYO, 2003. Strength and Conditioning (Michael Stone Sub-editor: Cadence and exercise: Physiological and biomechanical determinants of optimal cadences -practical applications. *Sports Biomechanics* [online]. **2**(1), 103–132. ISSN 17526116. Dostupné z: doi:10.1080/14763140308522811
- MARSH, Anthony P. a Philip E. MARTIN, 1993. The association between cycling experience and preferred and most economical cadences. *Med Sci Sports Exerc*. **25**(11), 1269–1274.
- MÁČEK, Miloš, 2011. Fyziologie tělesné zátěže. In: Máček, M., Radvanský, J. et al. Fyziologické a klinické aspekty pohybové aktivity. 1. vyd. Praha: Galén, 1-19. ISBN 978-80-7262-695-3.
- MÁČEK, Miloš a Jiřina MÁČKOVÁ, 2011. Odhad intenzity tělesné zátěže dle Borga. In: Máček, M., Radvanský, J. et al. Fyziologické a klinické aspekty pohybové aktivity. 1. vyd. Praha: Galén, 76. ISBN 978-80-7262-695-3.
- MITCHELL, Reid A., Kyle G. BOYLE, Andrew H. RAMSOOK, Joseph H. PUYAT, William R. HENDERSON, Michael S. KOEHLE a Jordan A. GUENETTE, 2019. The Impact of Cycling Cadence on Respiratory and Hemodynamic Responses to Exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise* [online]. **51**(8), 1727–1735. ISSN 15300315. Dostupné z: doi:10.1249/MSS.0000000000001960

- NEPTUNE, R. R. a W. HERZOG, 1999. The association between negative muscle work and pedaling rate. *Journal of Biomechanics* [online]. **32**(10), 1021–1026. ISSN 00219290. Dostupné z: doi:10.1016/S0021-9290(99)00100-1
- NOVOTNÝ, J. MASARYKOVA UNIVERZITA. Zátěžové testy ve sportovní medicíně [online]. Brno, 2013 [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: http://www.fsps.muni.cz/~novotny/ZT_text.pdf.
- PANDOLF, K B, 1983. Advances in the study and application of perceived exertion. *Exercise and sport sciences reviews*. **11**, 118–158. ISSN 0091-6331 (Print).
- PATTERSON, Robert P. a Maria I. MORENO, 1990. *Bicycle pedalling forces as a function of pedalling rate and power output* [online]. 1990. ISSN 15300315. Dostupné z: doi:10.1249/00005768-199008000-00016
- PLACHETA, Zdeněk, 2001. Zátěžové vyšetření a pohybová léčba ve vnitřním lékařství. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita. 179 s. ISBN 8021026146.
- POMETLOVÁ Marie a Kateřina NOHEJLOVÁ, 2016. Dýchání. In: ROKYTA, R. et al. Fyziologie. 3. přepracované vyd. Praha: Galén, 95-116. ISBN 978-80-7492-238-1.
- POMETLOVÁ Marie a Kateřina NOHEJLOVÁ, 2016. Fyziologie srdce a krevního oběhu. In: ROKYTA, R. et al. Fyziologie. 3. přepracované vyd. Praha: Galén, 117-142. ISBN 978-80-7492-238-1.
- RADVANSKÝ, Jiří, 2009. Funkční zátěžové vyšetření nemocných s kardiorespirační poruchou. In: KOLÁŘ, P. et al. Rehabilitace v klinické praxi. 1. vyd. Praha: Galén, 548-554. ISBN 978-80-7262-657-1.
- RADVANSKÝ, Jiří, 2011. Zátěžové vyšetření. In: Máček, M., Radvanský, J. et al. Fyziologické a klinické aspekty pohybové aktivity. 1. vyd. Praha: Galén, 63-65. ISBN 978-80-7262-695-3.
- SEABURY, John J., William C. ADAMS a Melvin R. RAMEY, 1977. Influence of pedalling rate and power output on energy expenditure during bicycle ergometry. *Ergonomics* [online]. **20**(5), 491–498. ISSN 13665847. Dostupné z: doi:10.1080/00140137708931658

TAKAISHI, Tetsuo, Yoshifumi YASUDA a Toshio MORITANI, 1994. Neuromuscular fatigue during prolonged pedalling exercise at different pedalling rates. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* [online]. **69**(2), 154–158. ISSN 03015548. Dostupné z: doi:10.1007/BF00609408

TAKAISHI, Tetsuo, Yoshifumi YASUDA, Takashi ONO a Toshio MORITANI, 1996. Optimal pedaling rate estimated from neuromuscular fatigue for cyclists. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. **28**(12), 1492–1497.

TAKASE, Bonpei, 2012. Exercise stress testing as the significant clinical modality for management of hypertension. *Hypertension Research* [online]. B.m.: Nature Publishing Group, **35**(7), 706–707. ISSN 09169636. Dostupné z: doi:10.1038/hr.2012.47

Vasa. Vasa [online]. Essex Junction: Vasa, 2019 [cit. 2020-08-10]. Dostupné z: <https://vasatrainer.com/product/swim-ergometer-swimming-machine-copy>

ZOLADZ, Jerzy A., Arno C.H.J. RADEMAKER a Anthony J. SARGEANT, 2000. Human muscle power generating capability during cycling at different pedalling rates. *Experimental Physiology* [online]. **85**(1), 117–124. ISSN 09580670. Dostupné z: doi:10.1111/j.1469-445X.2000.01840.x

SEZNAM OBRÁZKŮ, GRAFŮ A TABULEK

Seznam obrázků

Obrázek 1. Základní ergometrické protokoly (Placheta, 2001) strany kde to je výše

Seznam grafů

Graf 1. Časové schéma energetických zdrojů pro zátěž (Máček, Radvanský et al., 2011, str. 8).....

Graf 2. Znázornění výpočtu W_{170} ze SF tří třiminutových zátěží (Máček, Radvanský et al., 2011, s. 68).....

Graf 3. Množství vykonané práce a k tomu potřebná energie pro různé kadence šlapání (Gaesser, Brooks, 1975)

Graf 4. Závislost účinnosti na kadenci pro tři různé intenzity zátěže. Plná čára - trénování, přerušovaná - netrénování (Böning et al., 1984)

Graf 5. Vztah síly a kadence šlapání. Plná čára - celková síla, tečkovaná - svalová síla, přerušovaná - ostatní síly (Neptune, Herzog, 1999).....

Graf 6. Vztah kadence a neuromuskulární aktivity při konstantní zátěži a porovnání se vztahem VO_2 a kadence při totožné konstantní zátěži (Takaishi et al., 1996).....

Graf 7. Vztah svalové aktivity a kadence při výkonu 100 W, 200 W, 300 W a 400 W (od spodní křivky k horní) (MacIntosh et al., 2000)

Graf 8. Spotřeba kyslíku cyklistů (C) a necyklistů (NC) při různých kadencích šlapání. Označena je nejvyšší účinnost metabolismu (ME), preferovaná kadence (P), (Marsh, Martin, 1993)

Graf 9. Vztah optimální kadence a výkonu trénovaných cyklistů dle SF a VO_2 (dvě přímky). Křivka pro necyklisty převzata od Seabury et al. (1977) (Coast, Welch, 1985)

Graf 10. Porovnání srdeční klidové srdeční frekvence před 1. a 2. testem.

Graf 11. Závislost průměrné srdeční frekvence na kadenci.....

Graf 12. Systolický (S) krevní tlak v klidu a během zátěže s kadencí 55-65 rpm a 85-95 rpm.....

Graf 13. Závislost spotřeby kyslíku na kadenci

Graf 14. Závislost minutové ventilace na kadenci

Graf 15. Vztah intenzity zátěže a subjektivně vnímané intenzity pro kadenci 55-65 rpm a 85-95 rpm

Seznam tabulek

<u>Tabulka 1.</u> Borgova škála - RPE (Borg).....
<u>Tabulka 2.</u> Charakteristika souboru probandů
<u>Tabulka 3.</u> Průměr, minimum a maximum klidových hodnot před testem s kadencí 55-65 rpm (p) a 85-95 rpm (r).....
<u>Tabulka 4.</u> Průměrné hodnoty systolického a diastolického krevního tlaku u české populace v mmHg (Placheta, 2001, s. 56).
<u>Tabulka 5.</u> Průměrné hodnoty VO_2 pro různý stupeň zátěže při testech s kadencí 55-65 rpm a 85-95 rpm.....
<u>Tabulka 6.</u> Maximální dosažené hodnoty výkonu (P_{max}), výkonu na kilogram hmotnosti ($P_{max} \cdot kg^{-1}$) a dosaženého času při rampovém protokolu (t) při kadenci šlapání 55-65 rpm (p) a 85-95 rpm (r). Tučně jsou zvýrazněny vyšší dosažené hodnoty...
<u>Tabulka 7.</u> Preferované kadence jednotlivých probandů účastníků se studie.
<u>Tabulka 8.</u> Statistická významnost rozdílu vybraných parametrů při zátěži $1 W \cdot kg^{-1}$ určená pomocí párového t-testu pro $p < 0,05$. Vysvětlivky: p - hladina významnosti, S - statisticky signifikantní rozdíl, NS - statisticky nesignifikantní rozdíl
<u>Tabulka 9.</u> Statistická významnost rozdílu vybraných parametrů při maximální dosažené zátěži určená pomocí párového t-testu pro $p < 0,05$. Vysvětlivky: p - hladina významnosti, S - statisticky signifikantní rozdíl, NS - statisticky nesignifikantní rozdíl.....

PŘÍLOHY

Příloha č. 1: Informovaný souhlas s účastí na studii

INFORMOVANÝ SOUHLAS PACIENTA

Vážená paní/ Vážený pane,

tímto Vás žádám o spolupráci na praktické části mé bakalářské práce prováděné na 2. lékařské fakultě Univerzity Karlovy v Praze v programu fyzioterapie pod vedením MUDr. Michala Procházky. Spolupráce spočívá v absolvování dvou zátěžových testů na ergometru s intenzitou stoupající do maxima, lišícími se kadencí otáček. Sledována budou data z EKG, krevní tlak a ventilační parametry. Rizika spojená s absolvováním testu jsou minimální a test je prováděn pod odborným dohledem. Veškerá sesbíraná data budou anonymizována a všechny veřejně přístupné výstupy budou anonymně citovány a bude s nimi nakládáno bez vazby na Vaši osobu.

Informace o Vaší osobě budou shromažďovány a zpracovávány výhradně pro účely této bakalářské práce a jsou přísně důvěrné. Zajištění ochrany dat vyšetřované osoby je v souladu se zákonem.

Tímto Vás žádám o souhlas s měřením a použitím dat dle výše stanovených podmínek.

Vaše účast je dobrovolná a máte možnost ji kdykoli ukončit.

Děkuji.

Martin Harus

PROHLÁŠENÍ

Souhlasím s poskytnutím informací Martinu Harusovi a MUDr. Michalu Procházce pro účely vypracování bakalářské práce „Vliv kadence šlapání na výsledky zátěžového testu“. Souhlasím s použitím získaných údajů pro účely bakalářské práce a s jejich anonymním publikováním.

Byl/a jsem seznámen/a s průběhem vyšetření a mám možnost od spolupráce kdykoli dobrovolně odstoupit.

V.: Dne:

Jméno:

Podpis: |

Příloha č. 2: Tabulka kompletních klidových hodnot

	věk	pohlaví	hm.	výška	SF P	SF R	TKs P	TKd P	TKs R	TKd R	datum testu P	datum testu R
HM	25	muž	68	184	68	90	95		110	70	29.VIII	22.VIII
JA	28	žena	55	167	67	64	85	60	85	60	22.VIII	29.VIII
JM	23	žena	93	179	97	106	125	80	120	80	29.VIII	22.VIII
SP	25	muž	66	180	74	61	100	75	100	70	22.VIII	29.VIII
UJ	23	žena	58	168	90	85	110	80	120	80	29.VIII	22.VIII
ø	24,8		68	175,6	79,2	81,2	103	73,75	107	72		
min	23		58	167	67	61	85	60	85	60		
max	28		93	184	97	106	125	80	120	80		

Příloha č. 3: Tabulka kompletních hodnot kadence 55-65 rpm

kadence 55-65											
první stupeň		W/kg	SF	TKs	TKd	VO ₂	RER	MV	RPE	Čas rampy	Pmax
	HM	1	120	125	70	17,9	0,89	33	10		
	JA	1	122	115	70	17,1	0,84	22	11		
	JM	1	150	155	80	18,4	0,92	41	11		
	SP	1	115	140	70	21,5	0,89	29	9		
	UJ	1	163	140	70	16,7	1,06	35	8		
	∅		134	135	72,5	18,32	0,92	32	9,8		
	min		115	115	70	16,7	0,84	29	8		
	max		163	155	80	21,5	1,06	41	11		
druhý stupeň											
	HM	2	155	150		29,3	0,98	52	14		
	JA	1,5	153	135	70	23,6	0,93	33	13		
	JM	1,5	178	170	80	23,7	0,96	55	13		
	SP	2	154	175	80	32,4	1,05	48	14		
	UJ	1,5	180	150	70	24,2	1,06	56	14		
	∅		164	156	75	26,64	0,996	48,8	13,6		
	min		153	135	70	23,6	0,93	33	13		
	max		180	175	80	32,4	1,06	55	14		
maximum											
	HM	3,41	182	160		44,2	1,07	118	19	4min	232
	JA	3	185	155	70	36,9	1,07	75	18	4m10s	165
	JM	2,58	189	190	70	32,9	1,1	111	18	3m10s	240
	SP	3,83	186	180	80	50	1,17	107	19	5m10s	253
	UJ	2,31	186	165	70	31,3	1,08	93	19	2m20s	134
	∅	3,03	185,6	170	72,5	39,06	1,098	100,8	18,6		204,8
	min	2,58	182	155	70	31,3	1,07	75	18		253
	max	3,83	189	190	80	50	1,17	118	19		134

Příloha č. 4: Tabulka kompletních hodnot při kadenci 85-95 rpm.....strany kde to je níže

kadence 85-95											
první stupeň		W/kg	SF	TKs	TKd	VO ₂	RER	MV	RPE	Čas rampy	Pmax
	HM	1	145	125		21,2	1,05	46	11		
	JA	1	136	125	70	21,4	1,03	35	13		
	JM	1	174	150	80	24,3	0,93	63	13		
	SP	1	121	140	80	21,3	0,97	31	11		
	UJ	1	172	145	80	18,4	1,1	41	12		
	∅		149,6	137	77,5	21,32	1,016	43,2	12		
	min		121	125	70	18,4	0,93	31	11		
	max		174	145	80	24,3	1,05	63	13		
druhý stupeň											
	HM	2	172	145		31	0,98	58	15		
	JA	1,5	158	145	75	27,9	1,01	46	15		
	JM	1,5	185	165	80	29,8	0,93	82	16		
	SP	2	157	160	70	31,2	1,07	51	16		
	UJ	1,5	184	150	80	25,7	1,08	66	16		
	∅		171,2	153	76,25	29,12	1,014	60,6	15,6		
	min		157	145	70	25,7	0,93	46	15		
	max		185	165	80	31,2	1,08	82	16		
	max										
	HM	3,62	190	170		45,9	1,065	122	19	4m35s	246
	JA	2,84	185	160	70	37,7	1,08	92	18	3m40s	156
	JM	2,09	192	170	80	33,8	0,93	116	18	1m50s	195
	SP	3,67	180	175	70	50,2	1,16	115	20	4m40s	242
	UJ	2,03	190	155	80	29,5	1,08	101	17	1m30s	118
	∅	2,85	187,4	166	75	39,42	1,063	109,2	18,4		191,4
	min		180	155	70	29,5	0,93	92	17		
	max		192	175	80	50,2	1,16	122	20		