

**UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE**

**2. LÉKAŘSKÁ FAKULTA**

Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství

**Bc. Lucie Simonianová**

**Srovnání zátěžových protokolů**

**Diplomová práce**

Praha 2018

Autor práce: **Bc. Lucie Simonianová**

Vedoucí práce: **MUDr. Michal Procházka**

Oponent práce: **MUDr. Jan Pokorný**

Datum obhajoby: **2018**

## **Bibliografický záznam**

SIMONIANOVÁ, Lucie. Srovnání zátěžových protokolů. Praha: Univerzita Karlova, 2. Lékařská fakulta, Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství, 2018. 81 s., přílohy. Vedoucí diplomové práce MUDr. Michal Procházka.

## **Abstrakt**

Cílem této práce bylo shrnout současné poznatky literatury o zátěžovém testování. Hlavním záměrem bylo získat informace o v praxi používaných protokolech, jejich indikacích a výhodách, srovnatelnosti a parametrech, které by mohly ovlivnit výsledky. Předmětem praktické části práce bylo srovnání maximálních hodnot fyziologických parametrů (tepová frekvence,  $VO_2$ , minutová ventilace, RER, výkon, a subjektivní vnímání zátěže) získaných ze dvou v Čechách nejčastěji používaných protokolů na bicyklovém ergometru. Srovnávány byly rampový ( $1/3W \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ) a schodovitý ( $1W \cdot kg^{-1}$  každé 3 min) průběh protokolu do maxima. Celkem třináct mladých, zdravých a zdatných probandů (9 mužů a 4 ženy ve věku 20-31 let) absolvovalo dvě oddělená měření, během kterých podstoupili srovnávané protokoly v randomizovaném pořadí. Získané maximální hodnoty byly statisticky analyzovány pomocí párového t-testu. Výsledkem této analýzy bylo, že kromě tolerované doby zátěže jsme u žádného ze sledovaných parametrů nezjistili statisticky významné rozdíly mezi protokoly. Z výsledných hodnot jsme ale odvodili praktické výhody jednotlivých protokolů.

## **Klíčová slova**

zátěžové vyšetření, bicyklová ergometrie, rampový protokol, stupňovitý protokol, spotřeba kyslíku, tepová frekvence

## **Abstract**

The aim of this thesis was to summarize current findings about exercise testing. The main goal was to evaluate protocols used in daily practice, their indications and benefits, comparability and parameters that can influence the results. The purpose of the practical part was to compare the maximal values of physiological parameters (heart rate,  $\text{VO}_2$ , minute ventilation, RER, power output and rated perceived exertion) for the two most commonly used protocols for bicycle ergometry tests in the Czech Republic. We compared ramp ( $1/3\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) and step ( $1\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$  every 3 min) incremental protocols to exhaustion. Thirteen young, healthy and physically fit subjects (9 males and 4 women aged from 20 to 31 years) underwent two tests in separate occasions, during which they performed the protocols in random order. Paired t-test was used to statistically analyze the data. We found no statistically significant differences in these maximal values except for the exercise test time. We deduced some practical benefits of each protocol from obtained data.

## **Keywords**

exercise testing, bicycle ergometry, ramping protocol, incremental protocol, oxygen consumption, heart rate

## **Prohlášení**

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

V Praze 13.8.2018

Bc. Lucie Simonianová

## **Poděkování**

Chtěla bych poděkovat vedoucímu práce, MUDr. Michalu Procházkovi, za trpělivost, kterou měl v průběhu vzniku této práce a za zaštitění výzkumné části práce. Dále děkuji celé své rodině, která mi vždy poskytuje velkou podporu, která mi umožňuje dosáhnout v životě nejrůznějších cílů, včetně dokončení této práce. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat svému příteli za jeho neuvěřitelnou trpělivost, podporu a také pomoc s technickými potížemi, které se vyskytly v průběhu tvorby práce.

## Seznam zkratek

AHA	American Heart Association
ARO	anesteziologicko – resuscitační oddělení
ATP	adenosintrifosfát
CO	srdeční výdej
CP	kritický výkon
CPX	kardiopulmonální zátěžové testování
EKG	elektrokardiogram
HRR	obnova tepové frekvence
ICHS	ischemická choroba srdeční
LA	laktát
LT	laktátový práh
MET	klidový metabolický obrat
MV	minutová ventilace
PO	výkon
PPO	vrchol výkonu
RER	respirační výměnný poměr
RPE	subjektivní vnímání zátěže
RPP	produkt tepová frekvence.krevní tlak
SLE	symptomaticky limitovaná zátěž
TF	tepová frekvence
TF <sub>max</sub>	maximální tepová frekvence
TF <sub>peak</sub>	vrcholová tepová frekvence
TK	krevní tlak
VD	dechový objem
VO <sub>2</sub>	spotřeba kyslíku
VO <sub>2max</sub>	maximální spotřeba kyslíku
VO <sub>2peak</sub>	vrcholová spotřeba kyslíku
VT	ventilační práh

# OBSAH

ÚVOD.....	9
<b>1 PŘEHLED POZNATKŮ .....</b>	<b>10</b>
1.1 INDIKACE ZÁTĚŽOVÉHO TESTOVÁNÍ.....	10
1.2 KONTRAINDIKACE A UKONČENÍ ZÁTĚŽOVÉHO TESTU.....	13
1.3 SLEDOVANÉ PARAMETRY .....	15
1.3.1 Maximální spotřeba kyslíku.....	15
1.3.2 Minutová ventilace .....	20
1.3.3 Ventilační práh.....	21
1.3.4 Kardiovaskulární parametry.....	23
1.3.5 Výkon .....	27
1.3.6 Symptomy.....	29
1.4 VYBAVENÍ ZÁTĚŽOVÉ LABORATOŘE .....	30
1.5 TYP ZÁTĚŽE.....	33
1.6 VÝSTUPY ZÁTĚŽOVÉHO TESTU .....	35
1.7 PROTOKOLY ZÁTĚŽOVÉHO TESTOVÁNÍ.....	37
1.7.1 Submaximální protokoly.....	40
1.7.2 Protokoly do maxima.....	46
<b>2 CÍLE A HYPOTÉZY .....</b>	<b>53</b>
<b>3 METODIKA .....</b>	<b>54</b>
3.1 CHARAKTERISTIKA SOUBORU.....	54
3.2 POSTUP MĚŘENÍ.....	54
3.3 ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ .....	56
<b>4 VÝSLEDKY .....</b>	<b>57</b>
<b>5 DISKUZE .....</b>	<b>63</b>
<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>69</b>
<b>REFERENČNÍ SEZNAM .....</b>	<b>70</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>79</b>
<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>80</b>



## ÚVOD

Zátěžové testování je historicky jedním z nejlevnějších a nejspolehlivějších způsobů, jak zjistit tělesnou zdatnost jedince, odhalit patologie projevující se pouze v zátěži nebo ověřit efekt terapie. Za zátěžový test je možné označit široké spektrum postupů, od terénních testů (šestimínutový chůzový test, test de parler atp.) po testování vyžadující laboratorní vybavení včetně EKG a analyzátoru dechových plynů. Tato práce se zabývá druhou zmiňovanou skupinou testů, které probíhají v zátěžové laboratoři nejčastěji pod dohledem tělovýchovného lékaře.

V současné době se nám díky technickému vybavení naskýtá mnoho možností, jak zátěžové testování nastavit a konkrétně provést. Vzhledem k velmi širokému spektru případů, ve kterých je zátěžové testování indikováno, je dobré test přizpůsobit jeho účelu. Jedním z proměnných faktorů je to, zda se bude jednat o test do maxima nebo pouze do takové úrovně zatížení, ve které bude dosaženo požadovaných hodnot, tedy mluvíme o submaximálním zatížení. Co se týče testů do maxima, v současnosti se nejvíce na bicyklovém ergometru používají dva protokoly, případně jejich kombinace. Jedná se o stupňování zátěže postupně, v (České republice) třímínutových schodech, nebo kontinuálně (tzv. rampa).

Konkrétní doporučení, který protokol zvolit v dané indikaci, není dostupné, proto se obvykle volí jejich kombinace, nejčastěji se jedná o stupňování zátěže ve schodech do submaximální intenzity a rampový průběh ve zbývajících intenzitě do maxima. Předmětem této práce je zjistit, jestli se liší maximální hodnoty získané z výše zmíněných protokolů, tudíž zda jsou skutečně zaměnitelné nebo je jeden z nich vhodnější pro sledování některého parametru.

# 1 PŘEHLED POZNATKŮ

Tělesná zátěž představuje pro řídicí centra potřebu sladit funkce především dvou systémů – kardiovaskulárního a respiračního. Tyto dva systémy se během zátěže musí chovat tak, aby byly schopné pokrýt zvýšenou potřebu výměny plynů na buněčné úrovni pracujících svalů. Oba systémy tak musí spolupracovat tak, aby pokryly zvýšenou potřebu příjmu kyslíku a zároveň stíhaly ventilovat oxid uhličitý jako metabolický produkt pryč z těla. Díky pozorování vnějších respiračních změn se tak dá celkem dobře posuzovat zdraví nebo funkční kapacita obou systémů v jejich pokrytí respiračních požadavků od buněčné po zevní respiraci. Zátěžové vyšetření, během kterého jsou sledovány ventilační parametry tak poskytuje možnost pozorovat tyto procesy během přesně dávkovaného zatížení. Pokud se během zátěžového testu ventilační parametry nesledují, poskytuje také cenné informace (např. co se týče reakce srdeční činnosti na zátěž), ale nemůžeme už sledovat spolupráci obou výše zmíněných systémů v jejich hlavní funkci, což je podpora buněčné respirace. Zátěžové testování nám umožňuje odhalit rozdíl mezi normálními a abnormálními reakcemi na fyzickou zátěž u konkrétních onemocnění, ohodnotit efektivitu spolupráce kardiovaskulárního a respiračního systému, objektivizovat efekt terapie na systém zatížený nějakou patologií. Kromě vysoké efektivity zátěžového vyšetření se také jedná o jeden z nejlevnějších způsobů, jak diagnostikovat onemocnění kardiovaskulárního nebo respiračního systému. (Wasserman, 2012)

Tělesná zdatnost má velký vliv na kvalitu života, nejen u kardiologických pacientů. Nízká fyzická zdatnost zvyšuje riziko smrti z kardiálních (koronárních) příčin. Dorn (Dorn et al., 1999) a jeho kolegové publikovali v roce 1999 výsledky dlouhodobé studie, ve které sledovali pacienty po prodělaném infarktu myokardu 19 let. U těchto pacientů prokázali snížení rizika úmrtí během sledované doby o 10% na každý 1MET zvýšení fyzické zdatnosti.

## 1.1 Indikace zátěžového testování

Indikace provádění zátěžového testu jsou různé. Může se jednat o objasnění obtíží vázaných na sport (především kardiální obtíže, dušnost, bolest na hrudi), odhalení abnormální reakce tlaku krve na zátěž či monitoraci efektu terapie (operační, farmakologické či pohybové), sledování jedinců s chronickým onemocněním (např.

vrozené srdeční vady, cystická fibróza), hodnocení rizika před chirurgickými výkony či třeba hodnocení tělesné zdatnosti amputářů před protézováním. Mezi screeningové účely testu patří pravidelné sportovní prohlídky u aktivních jedinců hodnotící jejich zdatnost a funkční aerobní kapacitu, odhalení asymptomatických srdečních onemocnění (až u 30% dospělých s normálním klidovým EKG odhalí zátěžové vyšetření nějakou abnormalitu) a objektivizace vhodného nastavení zátěže v preventivních a sekundárně preventivních tréninkových programech. (McArdle et al., 2015, str. 897)

Celkově můžeme klinické indikace zátěžového testování rozdělit do tří hlavních skupin: určení funkční rezervy a aerobní kapacity (to se týká kromě zdravých, sportujících jedinců podstupujících sportovní prohlídky také chronicky nemocných pacientů, u nichž je potřeba určit míru snížení zdatnosti a navrhnout rehabilitační program), identifikace hlavních faktorů limitujících fyzickou zdatnost a v neposlední řadě také diagnostické účely. Ty se týkají především chorob jako je zátěží indukované astma, stabilní ICHS, Wolffův-Parkinsonův-Whiteův syndrom, pravo-levý zkrat spojený s neuzavřením foramen ovale projevující se v zátěži, nebo ve výjimečných případech McArdle syndrom. (Roca, Burgos, 2012, str. 143)

Zátěžové testování se dá použít také pro určení rizikovosti zátěže u pacientů se srdečním strukturálním defektem. Mezi takové případy patří zhodnocení myokardiální ischemie při zátěži, především u jednostranných obstrukčních lézí jako stenóza aorty nebo abnormálního perfuze myokardu, která se nezdá vyskytuje u Kawasakiho choroby. Kromě hodnotící funkce má v těchto případech zátěžové testování také prognostickou hodnotu, co se týče mortality. U dlouhodobě probíhající terapie některých chronických onemocnění dochází v důsledku této léčby ke snižování zdatnosti. Zde slouží zátěžový test především ke zhodnocení těchto dopadů léčby a může tak napomoci v rozhodování ohledně dalších terapeutických postupů a rehabilitace. Například splnění určitých hraničních hodnot při zátěžovém testu je jedním z kritérií pro provedení některých velkých operací v abdominální oblasti u starších pacientů. Také u pacientů, u nichž je plánována například kvůli rakovině resekce plic nebo u plánované transplantace plic, je nutné provést zátěžový test. Jednak z toho důvodu, abychom se ujistili, že pacient má dostatečnou kapacitu na to, aby operaci přežil a jednak proto, abychom se, v případě resekce plic, ujistili, že zbývající aerobní kapacita bude dostatečná. (Roca, Burgos, 2012, str.143)

Kromě sledování reakce na zátěž u objasněných diagnóz může zátěžový test napomoci objasnění nově objevené intolerance zátěže, dušnosti nebo zvýšené únavy.

Tyto příznaky mohou pramenit i z nekardiálních příčin, mezi které patří pulmonální defekty, muskuloskeletální nebo hematologické poruchy. (Stephens et al., 2010, str. 426)

Intolerance zátěže může být způsobena mnoha faktory, nejvíce se na ní ale podílejí tři hlavní orgány: srdce, plíce a periferní kosterní svalstvo. Pulmonální příčiny intolerance zátěže se i u respiračních onemocnění, jako je například cystická fibróza, objevují ve 35% případů. Pokud je příčina v periferních svalech, může se jednat jak o primární nervosvalové onemocnění, tak o sekundární poškození svalové tkáně při terapii jiného primárního onemocnění. Nejvýznamnějším příkladem takového poškození je snížená svalová síla v důsledku systémové terapie kortikosteroidy. (Lands, Hebestreit, 2015, str. 283)

Nejčastější indikací u dospělých je podezření nebo již objasněná ischemická srdeční choroba. Kromě jedinců, kteří již měli anginozní bolest či jiné bolesti na hrudi, se testování týká také těch, kteří jsou asymptomaticí, ale vykazují více rizikových faktorů, které poukazují na zvýšené riziko srdeční příhody. Dále se jedná o osoby pracující v rizikové oblasti, jako jsou vojáci z povolání, piloti a podobně a osoby, které vedly spíše sedavý způsob života a chtějí začít s tělesnou aktivitou ve zvýšené míře. Druhé nejčastější využití zátěžového testu u dospělých je u pacientů s poruchou koronárních arterií, kde se využívá, spolu s výsledky dalších vyšetření, ke stratifikaci rizika a prognóze jejich stavu. Kromě toho se zátěžovému testu podrobují také pacienti po prodělaném infarktu myokardu. Většinou se test provádí buď 4-6 dní nebo 2-3 týdny po infarktu a na základě jeho výsledků potom navrhujeme další rehabilitační postup a pohybový program. (Djuric, O'Connor, 2008, str. 507-508)

V případě preventivních sportovních prohlídek se jedná o snahu eliminovat případy náhlé smrti a včasnou identifikaci asymptomatických poruch, především srdeční činnosti. Náhlá smrt při sportu je poměrně vzácná, bez zátěže v rodinné anamnéze těžko predikovatelná. Vzhledem k tomu, že se týká často mladých, sportujících jedinců, bývá mediálně zviditelňována a dlouze probírána, pokud se týká známého sportovce. I proto se snaží sportovní kluby prostřednictvím pravidelných sportovních prohlídek tomuto fenoménu předcházet. Do určité míry se dá riziko náhlé srdeční smrti predikovat z dynamiky srdeční činnosti – především z tepové frekvence. Jouven se svými kolegy (Jouven et al., 2005) zpracoval rozsáhlou studii týkající se necelých šesti tisíc asymptomatických mužů ve věku 42 až 53 let, kteří podstoupili zátěžový test a byli sledováni následujících 23 let. Z testovaných jedinců během této

doby 81 zemřelo na náhlé kardiální selhání. Jednalo se o jedince, kteří vykazovali abnormality v dynamice tepové frekvence jednak během zátěže (nedosáhli vrcholových hodnot, kterých by podle tabulek dosáhnout měli), ale především v recovery fázi. Nejvyšší riziko náhlé smrti z kardiálních příčin popsali u mužů, jejichž tepová frekvence během zátěže stoupla o méně než 89 tepů za minutu a u těch, u kterých TF klesla o méně než 25 tepů za minutu během první minuty po ukončení zátěže. Závěrem této studie je, že profil tepové frekvence během zátěže může určovat riziko náhlé smrti z kardiálních příčin. Abnormality v dynamice TF v zátěži poukazují na dysbalanci vegetativního nervového systému, především na sníženou aktivitu vagu nebo naopak příliš zvýšenou sympatickou aktivitu. U jedinců, u kterých se toto během zátěžového vyšetření zjistí, se poté doporučuje léčba, která tento jev eliminuje.

## 1.2 Kontraindikace a ukončení zátěžového testu

U pacientů s některými diagnózami může zátěžový test představovat riziko převažující jeho benefity. V takových případech je nutné zvážit nutnost zátěžového vyšetření vzhledem k riziku, které by pro daného jedince představoval. Tomu napomáhá důkladné vyšetření pacienta před zátěžovým testem, které by mělo jednak odhalit případné kontraindikace (relativní nebo absolutní), jednak by mělo napovědět, nakolik je důležitost zátěžového testu převažující nad možnými riziky, které by se s ním pojily. Správně provedené vyšetření, včetně důkladně odebrané anamnézy, tak zvyšuje bezpečnost zátěžového testování. Pacienti s absolutními kontraindikacemi by neměli podstupovat zátěžový test do té doby, než jsou tyto podmínky stabilizované nebo vyřešené terapií. Pacienti s relativními kontraindikacemi mohou test podstoupit, pokud převažují benefity testu nad riziky plynoucími ze zátěže. Za určitých podmínek kontraindikace nemusí být překážkou v provedení zátěžového testu. Mezi tyto případy patří stavy časně po akutním infarktu myokardu, po revaskularizační proceduře, voperování bypassu nebo v případech, kdy je třeba posoudit potřebu nebo efekt farmakoterapie. Existují také podmínky, které mohou zkreslit výsledky testu, především diagnostický význam získaného EKG. Jsou to například případy, kdy má pacient blokádu levého Tawarova raménka nebo je na terapii digoxinem. V těchto podmínkách nemá EKG tak přesnou výpovědní hodnotu, zátěžový test ale může poskytnout reliabilní zhodnocení tělesné zdatnosti, především pokud se doplní o analýzu dechových plynů nebo echokardiografii.

Pro dospělé platí tyto absolutní kontraindikace:

- Nedávná změna v klidovém EKG odpovídající ischemizaci, akutnímu infarktu myokardu nebo jiné akutní srdeční příhodě
- Nestabilní angina
- Nekontrolované srdeční arytmie způsobující symptomy nebo hemodynamické změny
- Závažná, symptomatická stenóza aorty
- Nekontrolované srdeční selhání
- Akutní plicní embolie nebo plicní infarkt
- Akutní myokarditida nebo perikarditida
- Disekce aorty (i podezření)
- Akutní infekční onemocnění doprovázené horečkou, otoky lymfatických uzlin a bolestí

Mezi relativní kontraindikace zátěžového testu řadíme tyto stavy:

- Levostranná koronární stenóza
- Stenóza chlopní
- Stavy metabolického rozvratu
- Závažná hypertenze (tlak v klidu neklesá pod 200/120 mm Hg)
- Tachydysrytmie nebo naopak bradydysrytmie
- Hypertrofická kardiomyopatie nebo ostatní obstrukční kardiomyopatie
- Neuromotorické, muskuloskeletální nebo revmatické onemocnění, jehož projevy se zhoršují s pohybem
- Atrioventrikulární blok
- Ventrikulární aneurysma
- Nekontrolované metabolické onemocnění (např. diabetes mellitus, tyreotoxikóza, myxedém)
- Chronické infekční onemocnění
- Mentální insuficience nebo psychogenní onemocnění znemožňující pochopení a řádné provedení testu

(American College of Sports Medicine, 2014, str. 52-53)

Máček a Radvanský (Máček, Radvanský, 2011) uvádějí ještě navíc mezi absolutní kontraindikace těžkou arteriální hypoxemii, stavy globální respirační insuficience, stav do tří měsíců po cévní mozkové příhodě a asthma bronchiale krátce

po záchvatu. Relativní kontraindikace doplňují o těžší formy imunodeficiencí, stav do tří měsíců po tranzitorní ischemické atace a významné anémie.

Standardní zátěžový test by měl být ukončen z důvodu fyziologické únavy. Obvykle dochází k ukončení zátěže na žádost pacienta pro únavu pracujících svalů, dušnost a výjimečně kvůli křečím. Mezi kognitivní limitace, které Palange (Palange et al., 2006) označuje za centrální (charakterizuje je jako „pacient by mohl, ale nechce“), patří zvýšené vnímání příznaků doprovázejících tělesnou zátěž nebo nízká motivace zátěžový test dokončit. Vyšetřující personál ukončuje zátěž před splněním protokolu při projevech, které jsou absolutní indikací k ukončení zátěžového testu. Mezi tyto symptomy patří pokles systolického krevního tlaku o více než 10mm Hg oproti původním hodnotám, závažná angina pectoris, zhoršující se neurologické příznaky (ataxie, vertigo, synkopy), příznaky nedostatečné perfuze (cyanóza nebo přetrvávající ventrikulární tachykardie). (Akinpelu, 2016)

Kromě výše uvedených důvodů lze test ukončit také při splnění diagnostických kritérií, kvůli kterým byl test prováděn. Případně může test přerušit technická závada některého z měřících zařízení. Tomu se snažíme samozřejmě předcházet pravidelnou kontrolou a kalibrací přístrojů před každým měřením. (Stephens et al., 2010, str. 434)

## 1.3 Sledované parametry

### 1.3.1 Maximální spotřeba kyslíku

Spotřeba kyslíku stoupá velmi rychle po začátku dynamické zátěže. Během stupňovaného zátěžového vyšetření dosahuje rovnovážného stavu pod anaerobním prahem během třetí minuty zátěže na daném stupni. Maximální spotřeba kyslíku ( $VO_{2max}$ ) představuje nejvyšší možné množství kyslíku, které je jedinec schopen získat z vdechovaného vzduchu během aktivity velké části kosterního svalstva. Představuje objem kyslíku, který je organismus schopen přetransportovat a využít v rámci buněčného metabolismu pracující tkáně.  $VO_{2max}$  je považována za nejlepší ukazatel vytrvalostní zdatnosti a funkce kardiovaskulárního systému a míry úsilí při měřené aktivitě. Hodnotí se u širokého spektra aktivit. Spotřeba kyslíku bývá často uváděna v jednotkách MET, tedy metabolických ekvivalentech. 1 MET odpovídá přibližně 3,5ml kyslíku na kilogram tělesné hmotnosti za minutu u čtyřicetiletého muže vážícího 70kg. (Akinpelu, 2016)

Maximální spotřeba kyslíku je kromě stylu života ovlivněna také pohlavím, věkem, dědičností a stavem kardiovaskulárního systému. Fletcher spolu s kolegy (Fletcher et al., 2001) uvádí, že nejvyšších hodnot dosahuje  $VO_{2max}$  ve věku 15-30 let, poté postupně s přibývajícím věkem klesá přibližně o 8-10% za dekádu. U šedesátiletého muže odpovídá jeho maximální spotřeba kyslíku 60% jeho  $VO_{2max}$  ve dvaceti letech. Nižší hodnoty u žen jsou dány menším objemem svalové hmoty, objemu krve a hemoglobinu a menším systolickým objemem ve srovnání s muži. Mezi ovlivnitelné faktory určující  $VO_{2max}$  patří styl života, především pohybová aktivita jedince. Mladý, zdravý muž provozující běžné denní aktivity má  $VO_{2max}$  12METs, jedinec stejného věku trénující pravidelně vytrvalostní aerobní formou, má 18-24 METs. Po 3 týdnech inaktivity na lůžku u zdravého muže klesá  $VO_{2max}$  až o 25% původní hodnoty. V porovnání s v Čechách používanými normami (Vávra, Máček, 1988, str. 229-230) autory uváděné hodnoty  $VO_{2max}$  souhlasí a to i v případě vývoje tohoto ukazatele s věkem. Pouze v případě trénovaných jedinců naše normy předpokládají trochu nižší spotřebu kyslíku.  $VO_{2max}$  24 METs by podle českých norem odpovídala téměř šesti směrodatným odchylkám nad normou, což se zdá hodně.

$VO_{2max}$  je spolehlivý a dobře reprodukovatelný ukazatel trénovanosti nebo efektu tréninku v rámci terapie. Významně se snižuje v případě kardiovaskulárního nebo plicního onemocnění. Pomocí zátěžového testu s určováním spotřeby kyslíku tak lze sledovat efektivitu a úspěšnost následné léčby. Určení maximální spotřeby kyslíku je založeno na Fickově rovnici. (Forman et al., 2010)

#### 1.3.1.1 Fickova rovnice

Adolf Eugen Fick byl německý fyziolog, který v roce 1870 objevil způsob, jak vypočítat srdeční výdej během zátěže či v klidu. Výsledky svého výzkumu zformuloval do tzv. Fickovy rovnice:

$$Q_c = V_{O_2} / C_{a-vO_2}$$

kde  $Q_c$  představuje srdeční výdej v l/min,  $V_{O_2}$  spotřebu kyslíku v l/min a  $C_{a-vO_2}$  rozdíl obsahu kyslíku v arteriální a smíšené žilní krvi, tedy arterio-venozní diferenci kyslíku. Z původní Fickovy rovnice se dá velice snadno odvodit vzorec pro výpočet  $V_{O_2max}$  :

$$V_{O_2max} = Q_{cmax} * C_{a-vO_2max}$$

dosazujeme hodnoty se stejnými jednotkami, jako je uvedeno výše. Index  $_{max}$  udává, že se jedná o hodnoty naměřené při maximálním výkonu. Ačkoli byla Fickova rovnice ve své době přelomová, nedala se využít přímo v praxi u lidí. Neexistoval totiž způsob, jak



odebírat vzorky arteriální krve. S metodou, jak tyto vzorky odebírat, přišli až o 60 let později pánové Verner Frossman, AndreCournand a Dickson W. Richards. Za objev metody odběru vzorků krve pomocí arteriálních katetrů dostali v roce 1956 Nobelovu cenu. (Hale, 2003, str. 3)

### 1.3.1.2 Určení spotřeby kyslíku

Díky moderním metodám jsme schopni zjistit maximální spotřebu kyslíku velmi přesně způsobem, jaký navrhl Fick. Ačkoli je často  $V_{O_{2max}}$  stěžejním parametrem nejen studií, ale i běžného testování, metoda odebírání vzorků krve během zátěže se většinou nepoužívá. Vzhledem k invazivnosti metody by se tím značně zkomplikovalo testování v běžné denní praxi, např. u sportovců. Velmi kvalitního odhadu  $V_{O_{2max}}$  jde navíc dosáhnout pomocí analýzy vydechovaného vzduchu během zátěže. Tato metoda vyžaduje pouze záznam o barometrickém tlaku a okolní teplotě testovaného, samozřejmě odběr vydechovaného vzduchu spolu s analýzou frakce kyslíku a oxidu uhličitého v něm a záznam o objemu a teplotě tohoto vydechovaného vzduchu. Metoda zjišťování spotřeby kyslíku v zátěži pouze z analýzy vydechovaného vzduchu je připisována anglickému fyziologovi Johnu Scottovi Haldanovi. Spolu s Angličanem se přepočtem spotřeby kyslíku z vydechovaného vzduchu zabývali také němečtí doktoři J.Gepper a N.Zuntz, kteří postup publikovali sice ve složitější podobě, ale o 24 let dříve než Haldan, který postup zjednodušil. V současné době je tak postup znám jako Gepper-Zuntz-Haldanova transformace. Haldan ale objevil metodu přesné chemické analýzy vydechovaného vzduchu v klidu i v zátěži, která byla pro určování spotřeby kyslíku přelomová. Haldanův plynový analyzátor a Gepper-Zuntz-Haldanovu transformaci potom využíval při svých výzkumech anglický fyziolog Archibald Hill. Spolu se svými kolegy se snažil zjistit, jaký vliv má zátěž na spotřebu kyslíku, v jejich konkrétním případě se jednalo o běh různou rychlostí. Výsledkem jejich studií bylo tvrzení, že s rostoucí rychlostí běhu stoupá i spotřeba kyslíku, ale pouze do bodu, kdy spotřeba kyslíku už neroste bez ohledu na to, jak rychle je ještě subjekt schopný běžet. Tento bod se označuje jako kyslíkové plató a jeho dosažení je v dnešní době jedno z hlavních kritérií pro určení maximální spotřeby kyslíku jedince. (Hale, 2003, str. 13-16)

Dosažení  $VO_2$  plató je ale do určité míry ovlivněno tím, jak často dochází k analýze dýchacích plynů, jestli je tomu tak s každým dechem, každých 15s nebo pouze při měření ostatních sledovaných hodnot, tedy každých 30s. S frekvencí analýzy

dýchacích plynů stoupá i pravděpodobnost zachycení fáze plató bez ohledu na typ protokolu. (Astorino et. al., 2000)

Vzhledem k definování maximální spotřeby kyslíku na základě dosažení ventilačního plató mezi dvěma stupni zátěže, je třeba, aby testovaný jedinec nejen dosáhl svého maximálního výkonu, ale taky jej udržel po určitou dobu. U zdravých a trénovaných jedinců to nebývá problém, ale u osob v dekonkci či u pacientů s kardiovaskulárním, respiračním nebo muskuloskeletálním onemocněním je to prakticky nemožné. Proto se v těchto případech používá k popisu maximálního úsilí vrcholová spotřeba kyslíku ( $VO_{2peak}$ ), tedy maximální dosažená hodnota spotřeby kyslíku bez ohledu na to, jak dlouho byl pacient schopen na této úrovni pracovat nebo zda dosáhl kritérií maxima. Jedná se o klinicky významný parametr, který umožňuje vyčíslit limitaci kardiopulmonálního systému. Aby se daly hodnoty spotřeby kyslíku srovnávat interindividuálně, používá se přepočítání na tělesnou hmotnost. Tento přepočítání upravuje jednotky  $VO_{2max/peak}$  na  $mlO_2 \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ . Ani tato úprava ale není zcela ideální, vztah  $VO_{2peak}$  a tělesné hmotnosti není úplně lineární. Adipozní tkáň spotřebovává podstatně méně kyslíku než odpovídající svalová tkáň, u obézních pacientů tak může být výsledek tímto mírně zkreslen. V klinické praxi se ale i přes tuto nedokonalost převod na hmotnost jedince používá, protože měření hmotnosti aktivní hmoty v těle je značně složité a zátěžové testování by se tak zbytečně prodlužovalo a komplikovalo. (Forman et al., 2010)

Day a jeho kolegové (Day et al., 2003) ve své studii dokázali, že maximální hodnoty  $VO_2$  naměřené bez dosažení plató, tedy hodnoty v některých studiích označované jako  $VO_{2peak}$ , se nijak výrazně neliší od maxima spotřeby kyslíku s dosažením plató. V české praxi považujeme za  $VO_{2max}$  ty hodnoty, kterých bylo dosaženo při splnění kritérií maxima (bez ohledu na plató  $VO_2$ ). Jako  $VO_{2peak}$  označujeme nejvyšší hodnotu spotřeby kyslíku, které bylo dosaženo při předčasném ukončení zátěže a nesplnění kritérií maxima.

Lucía ve své studii (Lucía et al., 2006) uvádí, že pouze 47% testovaných profesionálních cyklistů dosáhlo během zátěže plató ve spotřebě kyslíku. U nesportujících jedinců v kontrolní skupině bylo procento těch, kteří dosáhli plató, ještě nižší, autoři udávají pouze 24%. U těch, kteří plató nedosáhli, došlo k ukončení zátěže až v maximu, což bylo ověřeno jinými ukazateli. Fakt, že ani vrcholoví sportovci zvyklí na extrémní vytrvalostní zátěž a s ní spojené všechny nepříjemné prožitky, nedosáhli všichni plató ve spotřebě kyslíku, se dá vysvětlit dvěma způsoby. První předpokládá, že

u těch, kteří plató dosáhli, existují určité fyziologické odlišnosti, které je zvyhodňují v maximální zátěži. Autoři u těchto sportovců předpokládají vyšší anaerobní kapacitu která jim umožňuje pracovat déle na extrémních intenzitách. Tuto teorii podkládají tím, že u skupiny, která dosáhla plató, byly naměřeny vyšší hodnoty laktátu v krvi v maximu, než u skupiny, která plató nedosáhla. Druhé vysvětlení předpokládá, že k dosažení plató je třeba extrémní motivace a silná vůle, protože se objevuje na extrémních intenzitách zátěže. Podle této teorie by se tedy dalo předpokládat, že plató dosáhnou pouze ti jedinci, kteří mají posunutý práh bolesti a výjimečnou toleranci vůči negativním prožitkům, které maximální zátěž doprovázejí. To, že dosažení plató ve spotřebě kyslíku není dobré brát jako nezbytnou podmínku dosažení maxima, dokládají autoři tím, že kromě maximálního výkonu se výsledné hodnoty (tepová frekvence, RER,  $VO_{2max}$  a ventilace) mezi těmi kdo dosáhli plató a těmi kdo ne významně nelišily. Maximální výkon navíc nebyl přepočítán na hmotnost, tudíž mohlo dojít ke zkreslení výsledků velkými rozdíly v hmotnostech sportovců v obou skupinách.

Mezi další parametry, podle kterých můžeme určit nejvyšší spotřebu kyslíku, patří maximální tepová frekvence, respirační výměnný koeficient (RER) a hladina kyseliny mléčné v krvi. Tyto parametry využíváme v případech, kdy testovaný jedinec nedosáhl (plató) kritérií, jedná se tedy o  $VO_{2peak}$ . (Máček, Radvanský, 2011, str. 70)

Respirační výměnný poměr ( $RER = V_{CO_2}/V_{O_2}$ ) je fyziologický ukazatel toho, zda jedinec při zátěži vynaložil velké úsilí. Díky RER si tak můžeme ověřit, zda byla zátěž ukončena opravdu v objektivním maximu nebo zda k tomu došlo spíše kvůli malé motivovanosti testovaného. Během progresivně zvyšující se zátěže dojde v určité úrovni k překročení limitu syntézy ATP s využitím kyslíku a metabolismus se tak posouvá více k anaerobnímu hrazení energetických nároků. Tato fyziologická změna vede k vyšší acidóze ve svalech, která je kompenzována zvýšeným vydýcháváním  $CO_2$ . RER tudíž stoupá se zvyšující se zátěží a při dosažení  $RER \geq 1,10$  můžeme mluvit o dosažení  $VO_{2peak}$  v maximu zátěže jedince. Naopak, pokud pacient vyžaduje zastavení testu v situaci, kdy je jeho RER menší než 1, ukazuje to na slabou motivaci (pokud nejsou na EKG patrné žádné patologické změny). Nízký RER může také poukazovat na plicní onemocnění, dysfunkci periferních cév, muskuloskeletální onemocnění nebo jiné stavy omezující funkční kapacitu organismu. Na rozdíl od určování maxima v zátěži podle srdeční frekvence, není RER ovlivněn medikací (v případě srdeční frekvence se jedná především o beta-blokátory, které mohou značně zkreslit výsledky) či funkcí

pacemakeru, který bývá u testovaných pacientů poměrně často přítomen. (Forman et al., 2010)

Bentley a McNaughton (Bentley, McNaughton, 2003) spolu s další studií (Pierce et al., 1999) ale poukazují na to, že maximální hodnoty RER mohou být ovlivněny typem protokolu, konkrétně délkou trvání a nárůstem intenzity u jednotlivých stupňů zátěže. Bentley a McNaughton dosáhli významně nižších hodnot RER u protokolu, který využíval delší trvání a nižší přírůstek zátěže než u srovnávacího protokolu, který měl značně strmější průběh (třiminutové schody s přírůstkem 5% předem změřeného maxima versus schody trvající 60s s přírůstkem 30 W za minutu). Pierce potom na základě výsledků ze své studie doporučuje upustit nebo minimálně přehodnotit využití RER jako ukazatele dosažení maxima, zvláště pokud se jedná o testování velmi zdatných a trénovaných jedinců a protokolů s delším trváním jednotlivých schodů.

Hodnoty  $VO_{2max}$  naměřené v několika testech u jednoho jedince se mohou lišit až o 4-6%, pokud je tento jedinec úplně zdravý. V případech pacientů s kardiopulmonálním onemocněním se tyto rozdíly ještě zvyšují. Například u pacientů s chronickou obstrukční plicní nemocí se mohou výsledky  $VO_{2max}$  získané z více testů lišit až o 10%. S těmito rozdíly je proto třeba počítat při srovnávání testů v průběhu terapie či v rámci pravidelného testování sportujících jedinců. Pokud není k dispozici systém pro analýzu dýchacích plynů, lze hodnoty  $VO_{2max}$  odhadnout z normogramů na základě tělesné výšky a hmotnosti jedince. (Noonan, Dean, 2000)

### ***1.3.2 Minutová ventilace***

O zdatnosti jedince a schopnosti jeho organismu reagovat na zvýšené metabolické nároky během zátěže vypovídá také minutová ventilace (MV). Jedná se o ukazatel, jehož hodnota vyplývá z dechového objemu a frekvence dechu. Jde o objem vzduchu vdechnutý za minutu. Udává se v jednotkách l/min, normální, klidová hodnota se udává kolem 6 l/min. To, jak moc se může tato hodnota zvýšit během zátěže, vyplývá ze schopnosti zvětšit dechový objem a dechovou frekvenci tak, aby bylo dýchání efektivní a nedocházelo k hyperventilaci mrtvého prostoru. Během zátěžového testu sledujeme maximální hodnotu MV, která bývá označována jako ventilace v maximu. Přesně jde o objem vzduchu, který může být vdechnutý a vydechnutý během minuty díky volnímu úsilí. (Barret et al., 2010, str. 593)

Vzhledem ke způsobu, jakým je zajištěna ventilace během zátěže (koordinace práce dýchacích svalů a dynamických a statických odporů v dýchacích cestách), může

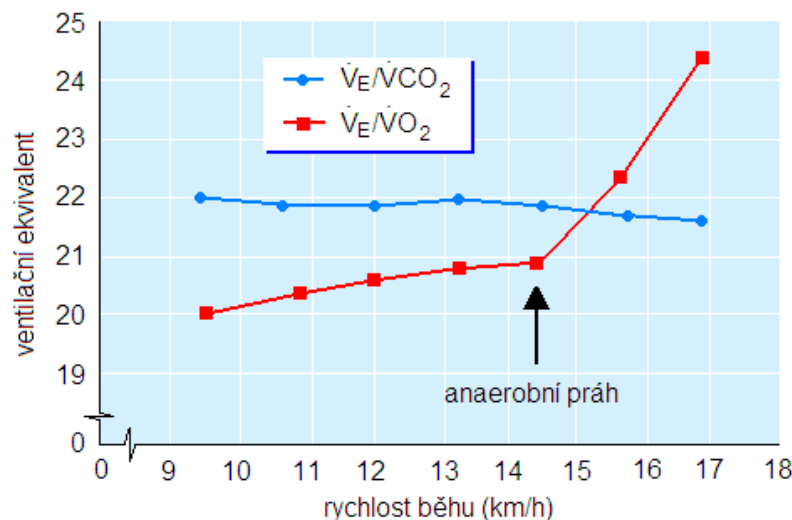
být významně ovlivněna polohou těla. Parciální tlak kyslíku obvykle ani v maximální zátěži neklesá. V některých případech trénovaných sportovců v extrémní zátěži ale může k takovému poklesu dojít i bez toho, že by došlo k omezení výkonnosti. Tento fenomén se vysvětluje buď sníženou citlivostí chemoreceptorů u těchto jedinců, nebo tím, že v takových intenzitách překračuje ventilace hodnoty 200 l/min a při takových extrémních hodnotách už výrazně vzrůstají dynamické odpory v dýchacích cestách, což představuje výrazný nárůst požadavků na práci dýchacích svalů a jejich následné vyčerpání. (Máček, Vávra, 1988)

Dechový objem (VD) se obvykle zvětšuje ihned po začátku zátěže, dynamika jeho zvětšování je proměnlivá a záleží na typu a průběhu zátěže. Dechová frekvence se také zvyšuje ihned od prvních sekund zátěže, od středních až vyšších intenzit zátěže se už příliš nemění. Často dechová frekvence odpovídá rytmu práce, která představuje aktuální zátěž. Při zvyšování dechové frekvence a dechového objemu je třeba najít takový poměr, aby nedocházelo ke zvětšování mrtvého prostoru a neefektivnímu zvětšování dechové práce. MV tak stoupá na začátku zátěže poměrně strmě s tím, jak se zvyšuje frekvence dýchání i dechový objem zároveň. Tento počáteční nárůst se ale postupně během první minuty zátěže zpomaluje a maxima dosahuje až podstatně později. (Máček, Radvanský, 2011, str. 10)

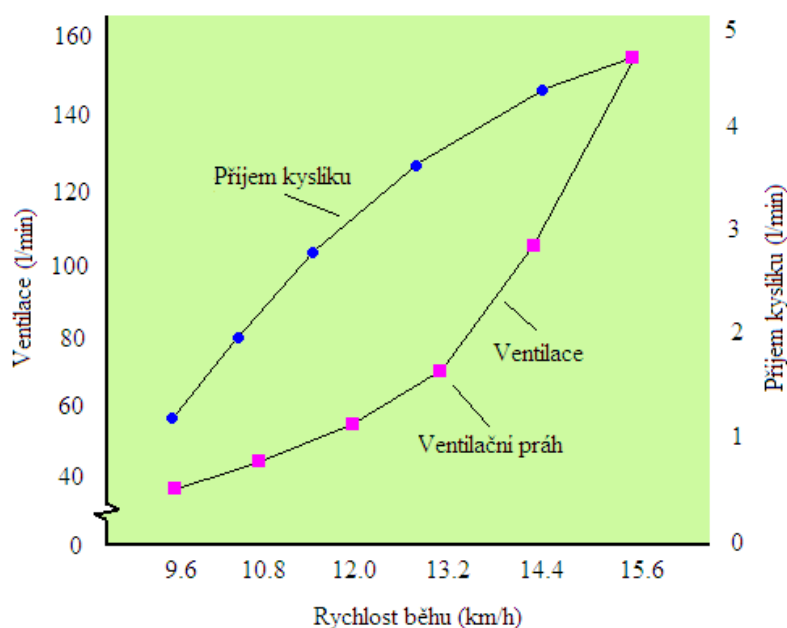
### ***1.3.3 Ventilační práh***

Dalším ukazatelem úsilí vynaloženého při zkoumané aktivitě je ventilační práh (VT). Jedná se o takovou intenzitu cvičení, při které stoupá intenzita anaerobního metabolismu ve svalech a aerobní kapacita metabolismu už nestačí krýt energetické nároky. Stále stoupá ventilace, i objem vydechovaného CO<sub>2</sub>, ale spotřeba kyslíku stoupá méně strmě než pod ventilačním prahem. VT poukazuje na dosažení submaximální intenzity zátěže, nedá se využít pro určení maxima. V klinické praxi má ale významné využití především při plánování pohybové terapie a mapování náročnosti běžných denních aktivit pacienta, které málokdy dosahují maximální úrovně zatížení organismu. U zdravých netrénovaných jedinců se VT objevuje průměrně mezi 45 a 65% VO<sub>2peak</sub>. Toto procento může být ještě nižší u pacientů se srdečním selháním, naopak se zvyšuje trénovaností (ať už se jedná o sportující zdravé jedince nebo kardiologické pacienty podstupující specifickou pohybovou terapii). Ventilační práh lze zjistit graficky pomocí metody V-slope, kdy VT je definován jako bod, ve kterém se změní sklon křivky popisující ventilaci CO<sub>2</sub> a O<sub>2</sub> (viz Obrázek 2). Druhý způsob určení VT je také grafický,

ale jedná se o bod, kdy se protnou 2 křivky, kdy jedna popisuje ventilační ekvivalent ventilace pro  $O_2$  ( $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$ ) a druhá totéž ale pro  $CO_2$  ( $\dot{V}_E/\dot{V}CO_2$ ) (viz Obrázek 1). (Forman et al, 2010)



Obrázek 1 Určení VT z křivek ventilačních ekvivalentů (Bernaciková, 2012)



Obrázek 2 Určení VT pomocí V-slope metody (Bernaciková, 2012)

Ve starších zdrojích je ventilační práh označován jako anaerobní a charakterizován jako taková intenzita dynamické zátěže, při které se ještě neobjevuje zvýšení hladiny laktátu (LA) v krvi. Tato charakteristika, kromě toho, že hladina LA v krvi se musí zjišťovat invazivně, se ale ukazuje jako méně vhodná i proto, že pouze ze vzestupu hladiny LA v krvi se nedá určit, zda bylo dosaženo VT. Tento parametr

nekoreluje sám o sobě s využitím nebo nedostatkem kyslíku ve svalech. Poukazuje pouze na zvýšenou kumulaci nebo naopak sníženou utilizaci kyslíku v pracujících svalových vláknech. Hladina LA je navíc ovlivněna okolní teplotou, potravinami, které testovaný jedinec jedl před testováním nebo opakováním v krátkých intervalech. (Máček, Vávra, 1988, str. 131-133)

### ***1.3.4 Kardiovaskulární parametry***

Kromě ventilačních parametrů hodnotíme během zátěžového testu ukazatele srdeční činnosti, tedy dynamiku krevního tlaku, srdeční činnost odečtenou z EKG a tepovou frekvenci. Právě oběhové ústrojí (jeho centrální složka – srdce i periferní – distribuce krve) označují Máček a Vávra za limitující článek  $VO_{2max}$ . Přítok krve do pracujícího svalu je podobně jako v případě myokardu omezen pouze na dobu trvání relaxace resp. diastoly. Pracovní rytmus a jeho rychlost tak může významně ovlivnit prokrvení svalu. Tudíž můžeme zlepšit prokrvení pracujícího svalu, pokud se nám podaří prodloužit dobu jeho relaxace na úkor doby, po kterou je sval kontrahován. Tréninkem lze zvýšit dodávky kyslíku k pracujícím svalům více cestami. Kromě množství krve, které je do svalu dodáno díky zvýšené kapilarizaci ve svalech, existenci arteriolo-venulozních zkratů a zlepšené regulaci nekapilárních sfinkterů se zlepšuje také schopnost odběru kyslíku z krve. To se děje jednak díky zvýšené teplotě, produkci  $CO_2$  a pH během zátěže a jednak díky zvýšenému množství a aktivitě erytrocytového 2,3-difosfoglycerátu, který má na uvolnění kyslíku z vazby na hemoglobin také pozitivní vliv. (Máček, Vávra, 1988, str.116-120)

Hodnoty naměřené při stupňované zátěži v praxi porovnáváme vzhledem k referenčním tabulkovým hodnotám. Během začátku dynamické zátěže reaguje kardiovaskulární systém téměř okamžitě zvýšením srdeční frekvence prostřednictvím poklesu tonu vagu, který je následován vzestupem sympatického tonu. S tím stoupá se zvyšující se zátěží kromě spotřeby kyslíku také tepová frekvence a systolický tlak. Diastolický tlak oproti tomu zůstává stejný jako v klidu, případně mírně klesá. K tomu dochází díky snížené rezistenci v periferním řečišti, která má za cíl zvýšení perfuze pracujících svalů. Tepová frekvence dosahuje při nižších stupních zátěže rovnovážného stavu během minut, se stoupající zátěží se tento čas prodlužuje. Tepová frekvence stoupá prakticky lineárně se vzrůstající zátěží až do submaximálních hodnot. Tohoto faktu využívají především submaximální testy pro výpočet dalších hodnot. Přibližně na úrovni 75-85% maxima stoupá tepová frekvence již méně strmě až do její maximální

hodnoty ( $TF_{max}$ ). V tomto maximu by měl být zdravý jedinec schopen pokračovat v zátěži v řádu minut. Tato doba je významně ovlivněna jeho zdravotním stavem, zdatností a motivací. U jedinců s kardiovaskulárním onemocněním často během testu nedosáhneme  $TF_{max}$  z důvodu nutnosti přerušení testu pro příznaky, které to vyžadují. Nejvyšší naměřenou hodnotu TF v takových případech označujeme jako symptomaticky limitovanou tepovou frekvenci ( $TF_{peak}$ ). (Placheta, 1999, str. 73)

Zvýšený venozní návrat, zrychlení srdeční frekvence a zvýšená systolická funkce mají za následek zvýšení srdečního výdeje (Cardiac Output, CO), tedy objemu krve přečerpávané srdcem za minutu. U zdravých jedinců se CO zvyšuje při práci horními končetinami a to i u těch, kteří již pracují dolními končetinami v maximální intenzitě. Tento fakt podtrhává tvrzení, že srdeční činnost je nejvíce ovlivňována energetickou poptávkou. U pacientů, u kterých je CO z jakýchkoli příčin limitován, je právě toto omezení důvodem ke snížené výkonnosti. (Forman et al., 2010)

Po ukončení zátěže dochází k poklesu systolického tlaku po dobu asi šesti minut. Může dojít i k poklesu na hodnoty nižší než byl počáteční klidový tlak před zátěží a tento stav může přetrvávat i několik hodin po testu. Hodnoty maximální tepové frekvence jsou ovlivněny mnoha faktory, mezi které patří poloha těla, celkový zdravotní stav, prostředí testování, medikace nebo například objem krve. Delší inaktivita předcházející zátěžovému testu způsobuje akceleraci vzestupu tepové frekvence, která je znakem de kondice. (Fletcher et al., 2001)

Kromě dynamiky srdeční frekvence během zátěže sledujeme také rychlost poklesu TF po ukončení protokolu v rámci recovery fáze. Rychlost, s jakou tepová frekvence klesá, je dána opětovnou aktivací vagu a v anglické literatuře je popisována jako obnova tepové frekvence (heart rate recovery, HRR). Vyšší rychlost odpovídá větší kardiovaskulární zdatnosti. Naopak, pokud tepová frekvence v zotavovací fázi klesá velmi pomalu, poukazuje to na zvýšené riziko úmrtí z kardiovaskulárních příčin, především na vysokou pravděpodobnost přítomnosti ventrikulárních arytmií. (Forman et al., 2010)

Jako hraniční hodnotu pro určení tohoto rizika uvádí Lauer (Lauer, 2005) pokles o méně než 12 tepů za minutu. Významně klinickou výhodou při určování kardiovaskulárních rizik na základě hodnot HRR je to, že výsledné určené riziko není zkreslené ani současným užíváním beta-blokátorů. V těchto případech je samozřejmě snížena maximální tepová frekvence, takže se snižuje rozdíl mezi maximální hodnotou a hodnotou v zotavovací fázi, ale pro určení rizika je stěžejní rychlost poklesu, nikoli



absolutní hodnoty. Arena (Arena et al., 2006) naproti tomu uvádí určité rozdíly v HRR v závislosti na poloze pacienta, tím pádem i rozdílné hodnoty pro určení rizika kardiovaskulárních stavů ohrožujících život. Doporučuje také opakované měření srdeční frekvence v zotavovací fázi, nejlépe 1,2 a 5 minut po ukončení zátěže. Pro pacienty v poloze v leže na zádech v první minutě po ukončení zátěže určuje hranici rizika na poklesu o méně než 18 tepů za minutu, na druhé minutě je tento práh na 22 tepech za minutu.

Klasická auskultační nebo palpační metoda pro měření TF v zátěži by byla během zátěže značně obtížná a nepřesná, proto k záznamu dynamiky tepové frekvence využíváme EKG nebo sporttestery. V zotavení, tedy ve fázi, kdy je pacient již v klidu, můžeme měřit TF palpačně. V takovém případě počítáme počet tepů za 10s a tento počet vynásobíme šesti. U některých nemocných je třeba tepovou frekvenci odhadovat pomocí výpočtů nebo tyto hodnoty odečítat z nomogramů. Pro výpočet maximální tepové frekvence existuje v literatuře více vzorců, nejčastěji se objevují dva vzorce:

$$TF_{max} = 220 - věk(roky), TF_{max} = 210 - (0,65 * věk).$$

K odhadu tepové frekvence je také možné využívat změřené tabulkové referenční hodnoty. Ze zkušenosti z klinické praxe se ale tyto výpočty nedoporučují používat. (Placheta, 1999, str. 73-82)

Tepová frekvence je výrazně ovlivněna složením těla pacienta. Proto u obézních pacientů doporučuje Wyndham využívat (v případě, že je nutné maximální tepovou frekvenci určovat výpočtem) vzorec  $TF_{max} = 200 - (0,5 * věk)$  spíše, než tabulkové hodnoty. (Wyndham, 1967)

Maximální tepová frekvence klesá s věkem kvůli snížené respondibilitě  $\beta_1$  sympatických zakončení, i proto se dá využít orientační výpočet z věku tak, jak je uveden výše. U zdravého člověka stoupá během zátěže srdeční frekvence spolu se stoupajícím  $VO_2$ . Souvislost tepové frekvence a spotřeby kyslíku podtrhuje Fickova rovnice, ve které figuruje srdeční výdej, tedy produkt součinnosti tepové frekvence a systolického objemu. Pokud tento vztah během zátěže není lineární a pacient nedosáhne 85% predikovaného maxima během zátěže v subjektivním maximu, hovoříme o chronotropní inkompetenci. Při predikci maximální srdeční frekvence je také nutné počítat s rozdíly nárůstu TF při zátěži na bicyklovém ergometru a na běhátku, kde na bicyklu bývá dosaženo průměrně až o 10% nižších hodnot. (Forman et al., 2010)

K měření krevního tlaku využíváme nejčastěji nepřímé měření rtuťovým nebo digitálním tonometrem s manžetou přizpůsobenou obvodu paže vyšetřovaného. Šířka

manžety by neměla být menší než 120% průměru končetiny, na které tlak měříme. Pokud není z nějakého důvodu možné měřit krevní tlak přímo v zátěži, je nutné jej změřit nejpozději do 5s po ukončení zátěže. Především hodnoty naměřeného diastolického TK mohou být v zátěži značně zkresleny nepřesností měření, je tak třeba počítat s možnou odchylkou v těchto hodnotách. Další variantou měření TK je invazivní, přímá metoda. Vzhledem k ekonomické a časové náročnosti a riziku vzniku komplikací (hematomy, infekce) se tato metoda používá pouze na vybraných pracovištích a v experimentální oblasti. Stejně jako u srdeční frekvence, i hodnoty krevního tlaku v zátěži lze odečíst z tabulek referenčních hodnot. Z naměřených nebo odhadem získaných hodnot systolického (STK) a diastolického (DTK) krevního tlaku lze získat střední tlak:

$$TK = DTK + \frac{STK - DTK}{3}.$$

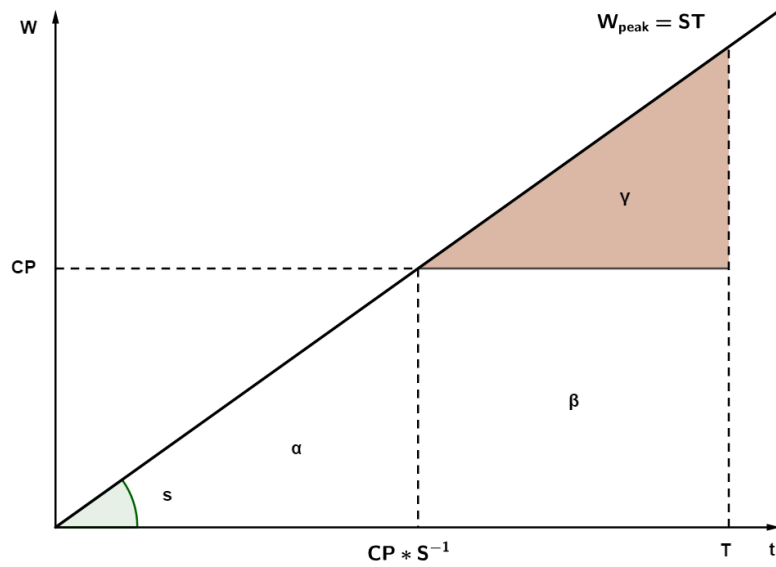
Nepřímým ukazatelem spotřeby kyslíku myokardem je *produkt frekvence\*tlak (RPP)*. Jedná se o hodnotu získanou výpočtem ( $RPP = SF * STK * 100^{-1}$ ) nebo opět odečtenou z tabulkových hodnot. U zdravých a zdatných jedinců jsou hodnoty RPP nižší než u nemocných nezdatných při stejné intenzitě zátěže, u obou skupin by měly dosahovat nejméně 200. (Placheta, 1999, str. 73-82)

V případě fyziologické funkce obou výše zmíněných systémů (tedy ventilace a kardiovaskulárního systému) by neměl v průběhu zátěže parciální tlak kyslíku v krvi klesat. Naopak, pokles saturace krve o více než 5% poukazuje na pravděpodobnou dysfunkci ventilace a perfuze plic. Nicméně i u vrcholových sportovců byl při extrémní zátěži popsán pokles saturace až o 10% bez toho, že by se jednalo o projev patologie. V klinické praxi se saturace měří pomocí pulsních oxymetrů, které fungují na principu detekce oxygenovaného hemoglobinu v arteriální části kapilár. Bohužel, tento levný a jednoduchý způsob je zatížen poměrně velkými odchylkami v měření, které se pohybují mezi 2-3%, což může způsobovat klinicky významný rozdíl. Podstatně přesnější je měření saturace pomocí měření parciálních tlaků plynů přímo z krve. Tento způsob je ale dost náročný a nákladný, proto se ve většině zátěžových laboratoří používá pouze výjimečně. (Forman et al., 2010)

### 1.3.5 Výkon

Dalším ukazatelem zátěže je výkon. Jedná se o zásadní hodnotu, protože podle schopnosti opakovat určitý výkon určujeme tělesnou výkonnost. Výkon jako fyzikální veličina je definován jako práce vykonaná za čas. V ergometrii se využívá většinou přepočít na hmotnost pacienta ( $W/kg$ ), v anglicky psané literatuře se můžeme setkat s jednotkou  $kpm.s^{-1}$ , která odpovídá 9,81 W. Pracovní výkon (PO) odpovídá kromě provedené práce také vydané energii během této činnosti. Podle intenzity a doby trvání zátěže můžeme rozlišovat anaerobní výkon (při vysokých intenzitách a trvání do 5-10s s maximálním úsilím) a aerobní výkon (zátěž vyšší intenzity trvající více než 2min). Kromě jednotek výkonu lze výdej energie během zátěže charakterizovat také jednotkami MET (klidový metabolický obrat). 1 MET, charakterizovaný jako energetický výdej v sedě, v klidu představuje spotřebu  $3,5 ml.min^{-1}.kg^{-1}$ . Jako lehkou práci označujeme intenzitu nižší než 3 MET, střední 3-4,5 MET, těžkou práci charakterizuje výdej 4,6-7 MET, velmi těžkou 7-10 MET. (Máček, Radvanský, 2011, str. 2; Placheta 1999, str. 67-68)

V současné době se stále více zmiňuje pojem kritický výkon (CP). Jedná se o maximální výkon, který lze udržet pouze po minimální dobu. Pod hranicí CP organismus stihá kompenzovat metabolické nároky zátěže, krýt spotřebu kyslíku, hodnoty ATP ve svalech se výrazně nemění. Nad hranicí CP dochází k rychlým změnám v těchto hodnotách a nastupuje jejich vyčerpávání a intolerance zátěže. Práce, kterou lze vykonat nad intenzitou CP ( $W'$ ) je konstantní, ale podle blízkosti intenzitě CP se liší rychlost, jakou se tato kapacita vyčerpá. Koncept kritického výkonu se využívá hlavně v plánování intervalového tréninku, kde výsledný výkon závisí na tom, jak dlouho a s jakou intenzitou probíhá práce na CP a vyčerpává se tak  $W'$  a jak dlouhé a intenzivní jsou pak úseky odpočinku, během kterých se opět kapacita  $W'$  obnovuje. Tato obnova neprobíhá lineárně a její rychlost se ke konci intervalového cvičení snižuje. Pro praktické využití konceptu CP u sportovců, především pro předpovídání nástupu definitivního vyčerpání byl zaveden pojem  $W'_{BAL}$ , zbývající zůstatek  $W'$ . Hodnota kritického výkonu se liší u kontinuální zátěže a zátěže probíhající intermitentně. S tímto faktem je třeba počítat pro případné převádění do praxe a plánování intervalového tréninku, protože hodnoty naměřené při kontinuální zátěže budou nižší a mohlo by tak dojít k podhodnocení potenciálu tréninku. (Jones, Vanhatalo, 2017)



Obrázek 3 Grafické znázornění kritického výkonu a  $W'$  (Adami et al., 2013)

Úhel  $S$  znázorňuje strmou přírůstek zátěže,  $CP$  označuje kritický výkon,  $T$  čas, během kterého dojde k úplnému vyčerpání. Plocha trojúhelníku  $\gamma$  představuje  $W'$ , tedy anaerobní kapacitu. Plocha trojúhelníku pod tlustou čarou odpovídá absolutní celkové maximální práci

### 1.3.6 *Symptomy*

Kromě všech výše uvedených, objektivních, parametrů, sledujeme během zátěže také subjektivní pocity pacienta a symptomy, které mají neméně důležitý klinický význam (jak diagnostický tak prognostický). Subjektivní pocity během zátěžového testování mohou poukazovat na neurologické nebo jiné fyziologické procesy ovlivňující výkon. Podstatně omezovat maximální zátěž během testování mohou nejruznější emoční procesy probanda. Všechny tyto subjektivní dojmy jsou neměřitelné, nelze jim přisoudit jednotnou hodnotu. Proto se během testování pacienta v pravidelných intervalech dotazujeme na jeho subjektivní vnímání aktuální intenzity zátěže. Kvantifikaci subjektivních pocitů nám umožňují škály vnímání intenzity zátěže, mezi nejznámější a nejvyužívanější patří Borgova škála se stupni od 6 do 20, které přibližně odpovídají i tepové frekvenci. (Forman et al., 2010)

Samotný autor nejpoužívanější škály subjektivního vnímání zátěže, Gunnar A.V. Borg, označuje subjektivní pocity jako jeden z nejlepších ukazatelů fyzického úsilí. Škála musí integrovat různé informace přicházející z periferních svalů a kloubů, kardiovaskulárního a respiračního ústrojí a centrálního nervového systému. Všechny tyto signály je pak třeba nějakým způsobem zařadit a klasifikovat v rámci jednotlivých stupňů škály. Zároveň je třeba, aby tato kvantifikace subjektivních pocitů byla srovnatelná interindividuálně, tedy aplikovatelná na všechny bez rozdílu pohlaví, věku, okolností zátěže nebo rodného jazyka. V roce 1962 tak Borg navrhl škálu o 21 stupních s verbálním popisem velmi podobným tomu, který známe z její pozdější verze z roku 1970, kterou sám autor označil jako RPE škálu. Tuto verzi, která obsahuje 15 stupňů, od 6 do 20. Důvodem k přepracování původní verze byla snaha do škály nějakým způsobem integrovat srdeční frekvenci. Stupeň 6 by měl odpovídat přibližně srdeční frekvenci 60 tepů za minutu, stejně tak stupeň 20 200 tepům za minutu. Tyto hodnoty nelze brát jako přesné, jak již bylo uvedeno několikrát, srdeční frekvence je kromě samotné fyzické zátěže ovlivňována mnoha dalšími faktory, jako je nervozita, prostředí zátěže nebo typ zátěže. Pokud se ptáme na ohodnocení subjektivní zátěže několikrát v průběhu testování a zaznamenáme k tomu i aktuální srdeční frekvenci, pak by vzhledem k lineárnímu vzestupu hodnot škály mělo platit, že rozdíl mezi dvěma stupni na škále by měl odpovídat rozdílům v tepové frekvenci:  $R_4 - R_3 = R_3 - R_2$ , tedy například  $17-15=15-13$  a v tepové frekvenci by tím pádem mělo platit totéž:  $170 - 150 = 150 - 130$ . I sám autor označuje svojí RPE škálu za nejlepší pro jednoduché

ohodnocení subjektivního vnímání zátěže při zátěžovém testování i pro doporučování intenzity zátěže při sportu a rehabilitační tělesné výchově. (Borg, 1982)

Stupeň	Subjektivní vyjádření
6	necítím nic
7	velmi velmi lehká
8	
9	velmi lehká
10	
11	lehká
12	
13	trochu těžší
14	
15	namáhavá
16	
17	velmi namáhavá
18	
19	velmi velmi namáhavá
20	

*Tabulka 1 Borgova škála subjektivního vnímání intenzity zátěže (Máček, Radvanský, 2011, str.75)*

## 1.4 Vybavení zátěžové laboratoře

Prostředí zátěžového testování může dost zásadně ovlivnit výsledné hodnoty. Proto je třeba minimalizovat všechny faktory, které by mohly nějakým způsobem výsledky testu ovlivňovat. Mezi tyto faktory patří především prostředí, ve kterém testování provádíme. Zátěžový test by měl probíhat v klidné, tiché, ale zároveň dobře větrané místnosti s udržovanou, pacientovi komfortní, teplotou. Výkon během testu může výrazně ovlivnit vlhkost vzduchu, proto by měl být součástí vybavy zátěžové laboratoře i hygrometr. Barometr a teploměr jsou potřebné, pokud provádíme i analýzu vydechovaného vzduchu. Výhled testovaného jedince by měl být neutrální, neměl by být rušen velkým množstvím hadiček a drátů z měřících přístrojů. Součástí vybavy místnosti, kde testování provádíme, by měla být alespoň jedna židle pro odpočinek po ukončení testování. Zároveň je potřebné vyšetřovací lehátko pro naměření klidových hodnot krevního tlaku, klidového EKG a pro ostatní vstupní vyšetření, jako je měření výšky a hmotnosti. Nezanedbatelnou roli v ovlivňování výsledků hraje také vystupování vyšetřujícího personálu. To by mělo být sebevědomé, jisté a efektivní, počet

vyšetřujících osob by měl být omezený na nutné minimum. Na pacienta by neměl být vyvíjen žádný tlak, proto je důležité mít na každé testování vyhrazený dostatečný časový úsek. Všechna tato opatření jsou poměrně dobře zajistitelná a zároveň výrazně přispívají k získání validních a reliabilních výsledků testu. (American College of Sports Medicine, 2014, str. 62; Wasserman, 2012, str. 129)

Kromě zevních faktorů ovlivňuje výrazně výsledky testu i motivace pacienta a jeho pohybové, koordinační schopnosti. Včetně schopnosti ideálního zapojení respiračních svalů. Díky jejich vyšší aktivitě může být dosaženo lepších výsledků v oblasti ventilačních parametrů. Kromě ventilace je lepším zapojením těchto svalů také zvýšen maximální výkon při testu a prodlouží se doba, během které pacient dosáhne vyčerpání. Aktivaci respiračních svalů a následné změny ve výsledcích testu při protokolu prováděném na ergometru sleduje čínská studie z roku 2015. Zvolili rampový protokol, který byl konstruován tak, aby přírůstek zátěže za minutu představoval 25W. Po počáteční zahřívací fázi bez zátěže instruovali pacienty, aby začali hlasitě křičet ve chvíli, kdy dosáhli 90% svého maxima. Tuto hodnotu získali autoři ve srovnávacím testu, který měření s křikem předcházeli. Výsledkem srovnání s testy, při kterých pacienti nekřičeli, byly vyšší uvedené ventilační parametry a maximální výkon. (Chen et al., 2016)

Co se týče přístrojového vybavení, kromě bicyklového ergometru nebo běhátko, je třeba, aby vybavení laboratoře zahrnovalo rtuťový tlakoměr pro měření tlaku v klidu, v průběhu a po ukončení zátěže. Pro sledování dynamiky srdeční činnosti v zátěži je nutné veškeré vybavení pro záznam EKG. Pokud je součástí zátěžového testu hodnocení ventilačních parametrů, je třeba analyzátor vydechovaného vzduchu. Veškeré přístrojové vybavení by mělo být funkční, pokud možno co nejmodernější, aby nedocházelo ke zkreslení výsledků technickými nedokonalostmi. Pro naprosto přesné výsledky by měly být všechny přístroje před každým testováním zkalibrovány a v delších časových intervalech by měly být podrobovány odbornému servisu a kontrole. (Placheta, 1999, str. 44)

I přes to, že je zátěžové vyšetření poměrně bezpečné, je třeba, aby laboratoř byla vybavena pro případy selhání životních funkcí testovaného. Vzhledem k širokému spektru pacientů, kteří jsou podrobováni zátěžovému testování, může dojít na základě většího zatížení organismu ke komplikacím v podobě srdečních arytmií. I přes správné provedení testu a výběr pacientů, kteří jej podstoupí, může dojít u jednoho z 2500 případů k srdečnímu selhání. (Djuric, O'Connor, 2008, str. 507) Z těchto příčin by měla

být laboratoř jednak propojena komunikačně s jednotkou ARO či koronární jednotkou, jednak by měla být vybavena i přístrojově a farmakologicky. Proto je nezbytnou součástí vybavení defibrilátor, tvrdé, pokud možno sklopné lehátko, intubační souprava, ambu vak, kyslíková tlaková láhev s maskou, odsávačka a vozík nebo nosítka pro rychlou přepravu pacienta. Co se týče léčiv, doporučení AHA vychází z předpokladu, že nejčastěji nastávají komplikace u pacientů s omezenou koronární rezervou. Pro akutní případy by v laboratoři měla být zásoba sympatomimetik, vagolytik, antiarytmik, antihypertenziv, sedativ a analgetik, diuretik a bronchodilatancií. (Placheta, 1999, str. 45; Pina et al., 1995)

Samotnému zátěžovému testu by mělo předcházet důkladné vyšetření pacienta včetně odebrání jeho osobní, rodinné, operační anamnézy k odhalení možných rizik a limitací zátěže.

Kromě těchto údajů je důležité získat co nejpřesnější údaje týkající se užívaných farmak, která by mohla nějakým způsobem ovlivňovat výsledky testu. Mezi tyto patří především betablokátory, které zásadně ovlivňují chování tepové frekvence během zátěže. Proto je v případě, že pacient užívá některé zátěž ovlivňující léky, aby byl před testem řádně poučen a premedikován tak, aby se co nejvíce zmírnil dopad farmak na výsledky zátěže, ale zároveň jej test neohrožoval na zdraví. Kromě toho je třeba zajistit, aby farmaka, která naopak umožňují podat vyšší výkon (bronchodilatancia, analgetika), měla v době testování vrchol svého účinku. Toto načasování medikace je potom důležité dodržet i při všech následujících testováních, aby byly výsledky srovnatelné. Kromě těchto opatření by měl být pacient poučen, aby se 24 hodin před testem vyvaroval abnormální tělesné zátěže, ideálně celý den, ale minimálně 3 hodiny před testem neužíval nikotin či kofein a nejedl těžká jídla. (Máček, Vávra, 1988, str.248-252)

Před měřeným testem by měl být protokol pacientovi řádně představen a vysvětlen, včetně sledovaných parametrů a vlastního účelu testování. Někteří autoři doporučují po tomto představení absolvovat tréninkový protokol. Argumentem pro tento postup je snížení anxiety pacienta, omezení zkreslení výsledků testu neznalostí vybavení (běžeckého pásu či bicyklového ergometru). Tréninkový protokol by měl být prováděn pouze tehdy, pokud je na něj dostatek času a prostoru. Jeho využití před měřeným testem vyžaduje dostatečně dlouhou pauzu mezi těmito dvěma zátěžemi. Pokud by tréninkový protokol byl prováděn na úkor doby pauzy, mohlo by dojít k významnému zkreslení výsledků následného testu. Proto je lepší ho v takovém případě vůbec nedělat. Pokud je to nutné a podmínky to dovolují, je možné



tréninkových protokolů provést více. Počet takových tréninků je závislý jednak na typu a náročnosti protokolu, jednak na testovaném jedinci a jeho funkční kapacitě. (Noonan, Dean, 2000).

## 1.5 Typ zátěže

Během zátěžového testování se jedná o laboratorně modelovanou zátěž, která by měla splňovat několik podmínek, především z praktických důvodů. Zvolená pohybová činnost by měla být co nejbližší přirozenému pohybu, bez velkých nároků na obratnost nebo specializované pohybové dovednosti. Toto doporučení neplatí v případě vrcholových sportovců, kdy volíme zátěž takovou, aby se co nejvíce přiblížila jejich specializaci. Dalším kritériem, které by měla zvolená činnost splňovat, je bezpečnost, tedy aby při zátěžovém testování hrozilo minimální riziko úrazu, pádu nebo jiných nebezpečí. Kromě toho by samotná činnost neměla omezovat sledování nejrůznějších parametrů při zátěži a měla by umožňovat kvantifikovat výkon nebo celkovou vykonanou práci v běžných fyzikálních jednotkách. Účel těchto podmínek je jednak praktičnost a přesnost měření, jednak nám umožňují srovnávat výsledky jak interindividuálně tak mezi jednotlivými laboratořemi. (Máček, Vávra, 1988, str. 236-237)

Zátěžový test se provádí na bicyklovém ergometru, běhátku nebo na klikovém rumpálu u pacientů, u kterých není možné využít předchozí dvě možnosti. V našich podmínkách a v Evropě se využívá více bicyklový ergometr. Jeho hlavní výhody jsou minimální pohyb trupu a horních končetin, což umožňuje snadné a kvalitní měření krevního tlaku a záznam EKG. Mezi další výhody patří malá prostorová náročnost, a oproti běhátku relativně tichý provoz. Využíváme elektricky brzděné ergometry, které umožňují změnu odporu nezávisle na rychlosti otáček pedálů. To je výhodné především ve chvíli, kdy už je pacient unaven a ztrácí motivaci udržovat otáčky na doporučené rychlosti. Ta by měla být mezi 50 a 80 otáčkami za minutu, nejvyšších hodnot vypočítaného  $VO_{2max}$  při submaximálních testech bývá dosaženo při udržované frekvenci 60 otáček za minutu. (Máček, Radvanský, 2011, str. 64)

Vliv rychlosti otáček na výsledný výkon není nijak významný, pokud za stěžejní považujeme výstup ve  $VO_2$ . Naopak, pokud by měl být zásadní konečný nebo nejvyšší naměřený výkon, případně subjektivní únava, pak je to proměnná, která může výsledky významně ovlivnit. Jak uvádí ve své studii Ricardo Dantas de Lucas a jeho kolegové (Dantas de Lucas et al., 2014), regulace rychlosti otáček během zátěže do maxima může

mít vliv na některé ze sledovaných parametrů. Jedná se především o již zmíněné parametry týkající se výkonu: konečný výkon (výkon během posledních 30s zátěže), celkový výkon a kritický výkon, jejichž hodnoty se při příliš vysokých otáčkách snižují. Tyto změny Barker (Barker et al., 2006) vysvětluje potřebou větší vnitřní práce svalů na provedení kontrakcí s vysokou frekvencí. Zároveň se snížením CP s vyšší rychlostí otáček ale zůstává nezměněná  $W'$ .

Oproti testům prováděným na běhátku dochází na bicyklovém ergometru dříve k ukončení zátěže pro únavu stehenních svalů. Proto na něm dosahují pacienti, především ti, kteří nejsou zvyklí na jízdu na kole, nižšího  $VO_{2max}$  o 10-15%, než by tomu bylo u stejných pacientů na běhátku. Tento rozdíl popisuje ve své studii Beltz (Beltz et al., 2016). Ergometry bývají kalibrovány na zátěž ve wattech (W). Vzhledem k tomu, že intenzita zátěže není ovlivněna nesenou hmotností, umožňuje nám to přímou konverzi na minutovou spotřebu kyslíku. Kromě toho je výkon ve wattech jednoduše kvantifikovatelný. Další výhodou kola je možnost testování osob s poruchou koordinace a ortopedickými obtížemi. Každý bicyklový ergometr by měl mít nastavitelnou výšku sedátka a řídítek, aby bylo možné pacientovi individuálně zajistit optimální polohu pro zátěž. (Balady et al., 2010)

Běhátko se využívá nejvíce v zemích Severní Ameriky. Jeho hlavní výhodou je přirozenost pohybu, tedy chůze nebo běhu. Z důvodů možné instability pacientů by mělo mít po celé délce madla, kterých se pacient může případně přidržovat. Tomu se ale snažíme co nejvíce zabránit. Intenzita zátěže na běhátku je regulována jednak měnitelnou rychlostí pásu, jednak nastavitelným sklonem pásu vůči horizontále. Vyšší dosahované hodnoty  $VO_{2max}$  jsou vysvětlovány zapojením většího množství svalové hmoty, změnami perfuze v kapilárním řečišti a nižší oxidaci cukrů, která vede k pomalejšímu rozvoji metabolické acidózy na submaximálních intenzitách zátěže. Na druhou stranu je ale výkon ovlivňován nesenou vahou, tudíž mohou být výsledky testu značně zkreslené např. vysokou hmotností pacienta. (Beltz et al., 2016; Ekblom-Bak et al., 2014)

Srovnatelnost výsledků získaných během zátěžového testu na běhátku a bicyklovém ergometru je otázkou parametrů, které porovnááme. Muscat (Muscat et al., 2015) ve své studii srovnává fyziologické odpovědi na rampový protokol na běhátku a stejný typ protokolu na kole u 15 zdravých mladých mužů. Výsledkem jejího zkoumání bylo, že jako ideální referenční parametr se jeví maximální dosažený výkon ( $W_{peak}$ ) a ventilační práh. Tyto parametry se prakticky nelišily, na rozdíl od  $VO_{2max}$ , RER, tepové

frekvence a minutové ventilace, které byly vyšší u protokolu prováděného na běhátku jak v submaximálních tak maximálních intenzitách. Kromě běžně měřených parametrů byla v této studii zahrnuta i aktivita respiračních svalů, především bránice. I tato aktivita byla vyšší při protokolu na běhátku.

Kromě výše zmíněných nejužívanějších typů zátěže se někdy pro výzkumné vědecké účely využívají i jiné, specializované typy zátěže. Jedná se o laboratorní modelaci specializovaných sportovních činností, jako je plavání (průtočný bazén – water mill), veslování (veslařská lavice) nebo pohyblivý svislý žebřík (ladder mill). Tyto speciální zařízení se snaží co nejvíce napodobit specializovanou sportovní činnost a tím tak umožnit získání co nejlepších výsledků od vrcholových sportovců. Pro širokou veřejnost jsou ale tato zařízení příliš složitá a náročná na techniku a koordinaci, proto je jejich využití spíš výjimečné. (Máček, Vávra, 1988, str. 238)

## 1.6 Výstupy zátěžového testu

Zátěžové testování, při kterém je registrována a hodnocena jak činnost kardiovaskulárního systému, tak i ventilace, bývá označováno v anglicky psané literatuře jako kardiopulmonální zátěžové testování (CPX). Odlišuje se tak od zjednodušených testů, u kterých se registruje pouze srdeční činnost. CPX poskytuje objektivní informace o odpovědi organismu na zátěž stupňované intenzity. Kromě toho nám také umožňuje určit maximální výkonnost organismu a symptomy doprovázející její dosažení. Správně provedený zátěžový test pomáhá určit fyzickou zdatnost jedince, případně může odhalit kardiopulmonální limitace v nižších intenzitách zátěže. CPX ukazuje kapacitu srdce, plic, vaskulárního systému a krve udržet příjem kyslíku a výdej oxidu uhličitého na takové úrovni, aby byla udržena buněčná homeostáza. V případě přítomnosti patologií, které omezují funkční kapacitu organismu, může zátěžové vyšetření pomoci identifikovat postiženou část kardiopulmonálního systému, která je zodpovědná za snížení výkonnosti. (Forman et al., 2010)

Funkční kapacita jako výsledek zátěžového testu může být zjednodušeně kvantifikována jako časový úsek, ve kterém testovaný jedinec toleruje zátěž předepsaného protokolu. Tato volba ale není příliš šťastná a doporučovaná, je totiž velmi snadno ovlivnitelná motivací testovaného, mírou seznámení s testem a prostředím a i samotným typem protokolu. Proto má daleko lepší výpovědní hodnotu vyjadřování funkční kapacity prostřednictvím spotřeby kyslíku, které se zároveň dá provázat

s metabolickým ekvivalentem a je všeobecně uznávána jako ideální i pro interindividuální srovnávání výsledků testů. (Forman et al., 2010)

Na druhou stranu, výstup ze zátěžového testu je často využíván k řízení a navrhování plánu tréninků, ať už v rámci pohybové terapie v sekundární prevenci nebo u vrcholových sportovců. V tomto případě se spotřeba kyslíku nejeví jako zrovna ideální parametr, protože se během tréninku nedá nijak sledovat a měřit. Navíc bylo zjištěno, že hodnoty  $VO_{2max}$  u trénovaných sportovců kolísají v souvislosti s krátkodobými změnami v tréninku. I proto vyvstává otázka, který z parametrů je nejspolehlivějším ukazatelem zdatnosti a zároveň je i prakticky využitelný v tréninku. (Bentley et al., 2007)

Jedním z takových výstupních parametrů je vrchol výkonu (PPO). Využívají jej především cyklisté, u nichž jsou hodnoty výkonu měřitelné i v rámci běžného tréninku, což umožňuje převedení informací ze zátěžového testu do tréninkové praxe. Navíc bylo zjištěno, že hodnoty PPO korelují s  $VO_{2max}$ , proto se dá výkon využít jako výchozí parametr pro odhad  $VO_{2max}$  ze spotřeby kyslíku na submaximální intenzitě. (Bentley et al., 2001)

Bentley (Bentley et al., 2007) ve svém shrnujícím článku ale upozorňuje na nedostatek studií, které by ověřovaly spolehlivost PPO i v rámci protokolů s déle trvajícím stupni zátěže. Výše zmíněná korelace se spotřebou kyslíku byla totiž prokázána u protokolu se stupni trvajícím 60 s. Naopak stupně zátěže trvajících déle než 3 minuty mohou značně zkreslit maximální i průběžné hodnoty spotřeby kyslíku a dalších fyziologických ukazatelů, a to především u netrénovaných jedinců. U těch totiž, na rozdíl od sportovců, narážíme často na nedostatek motivace a nezvyk přetrvávat v zátěži ve vysokých intenzitách delší dobu. I u sportovců, kteří jsou na extrémní zátěž zvyklí, a tudíž jsou schopni díky silné vůli pokračovat v zátěži i přes nepříjemné pocity, které takovou zátěž doprovázejí, se ale můžou objevit rozdíly. To dokazuje studie z roku 2006 (Lucía et al., 2006), která zjišťovala četnost dosažení plató spotřeby kyslíku a souvislost tohoto fenoménu s ostatními maximálními hodnotami. Kromě toho, že fenoménu plató dosáhlo pouze necelých 50% vrcholových cyklistů, zjistili autoři i rozdíly v PPO mezi těmi, kteří plató dosáhli a těmi, kteří ne.

## 1.7 Protokoly zátěžového testování

Aerobní kapacitu organismu lze buď zjistit přímo, testem do maxima, nebo odhadnout z hodnot naměřených při submaximálních testech. Celkově by trvání testu, včetně rozcvičení na velmi nízké intenzitě zátěže a zklidňovací fáze, nemělo překročit 25 minut. Pokud by test trval déle, budou výsledky ovlivněny zvýšením tělesné teploty a motivací pacienta. Fáze rozcvičení by měla předcházet každému testu, trvá přibližně 10 minut. Zklidňovací fáze, po ukončení zátěže, by měla trvat 5-10 minut, během kterých dojde k návratu měřených ukazatelů na klidové hodnoty. Po naměření klidových hodnot, začíná test na nízké, submaximální intenzitě zátěže. Každý stupeň musí trvat 3 minuty, pokud chceme dosáhnout rovnovážného stavu, sledované ukazatele měříme v poslední minutě každého stupně. Můžeme aplikovat standardizované testy, tedy zvyšovat zátěž o jasně definovaný přírůstek zátěže ve wattech odpovídající věku, pohlaví a hmotnosti pacienta, nebo můžeme využít individuálně upravený protokol zohledňující cíl zátěžového testu a stav pacienta. Zátěž zvyšujeme tak, aby každý stupeň zvýšil spotřebu kyslíku o 2-3 METs, tedy o 5-10 ml/kg/min. (Macauley, 2013, str. 144)

Volba mezi maximálním a submaximálním protokolem by měla vycházet jednak z účelu testování, jednak ze stavu pacienta, jeho primárních a sekundárních patologií. Při testování do maxima získáváme přehled o maximální aerobní či funkční kapacitě jedince. U zdravých jedinců, bez kardiopulmonálních či muskuloskeletálních obtíží, je tato rezerva tak velká, že se k jejímu maximu při běžných denních aktivitách prakticky nepřiblíží. V situaci, kdy je tato rezerva snížena nějakou patologií, musí jedinec využívat mnohem větší procento své rezervy, může se i běžně dostávat ke svému funkčnímu maximu při běžných, rutinních aktivitách. U takových pacientů je pak na zvážení, zda je opakovaně zatěžovat testem do maxima, či raději zvolit submaximální test, ze kterého lze odhadnout funkční limitace s relativní přesností. Výstupy ze zátěžových testů, ať už maximálních či submaximálních, lze kromě určení aerobní kapacity organismu využít k diagnostice, feedbacku k terapii (pohybové či farmakologické) nebo volbě ideální zklidňovací strategie po cvičení. Mezi další faktory, které bychom měli zohledňovat při volbě protokolu, patří kognitivní stav, věk, výška a váha pacienta, stav jeho mobility, užívání případných ortopedických či protetických pomůcek, samostatnost, domácí prostředí a běžné aktivity jedince. (Noonan, Dean, 2000)

V minulosti proto bylo provedeno množství studií, které se snažily porovnat jednotlivé protokoly a zjistit nejvhodnější parametry protokolu, které by podchycovaly jednak dosažení co nejvyšších hodnot sledovaných ukazatelů zátěže, jednak by byly využitelné u co nejširší populace. Co se týče testů na bicyklovém ergometru, Buchfuhrer (Buchfuhrer et al., 1983) na základě porovnávání různé strmosti zvyšování zátěže v rampovém protokolu doporučuje využívat střední nárůst zátěže, tedy 30 W/min. Při tomto protokolu bylo dosahováno nejvyšších hodnot  $VO_{2max}$ . Využití poznatků této studie je značně ztíženo tím, že autoři udávají absolutní hodnoty zátěže. Z porovnávání rampového a schodovitého průběhu protokolu na kole vyšly stejné ventilační parametry ( $VO_{2max}$ , anaerobní práh), proto se tyto jeví jako ideální při porovnávání využitelnosti jednotlivých protokolů mezi sebou. (Beltz et al., 2016)

Návrh protokolu a jeho konečná podoba významně ovlivňují výsledné hodnoty, které budou během daného provedení naměřeny. Mezi nejvlivnější proměnné patří úvodní, startovací zátěž, a výše přírůstků v jednotlivých stupních včetně jejich trvání. Tyto faktory mohou ovlivnit jak maximální hodnoty, tak i jejich průběh a dynamiku na nižších, submaximálních intenzitách. Všeobecná doporučení týkající se délky jednotlivých stupňů neexistují, ale většina autorů zmiňuje jako ideální úseky kratší než 3 minuty. V případě déle trvajících úseků už dochází k poklesu maximálních hodnot spotřeby kyslíku. (Bentley et al., 2007)

Stejný autor ve své starší studii (Bentley, McNaughton, 2003) srovnával kromě  $VO_{2max}$  také PPO a VT u dvou protokolů s různě dlouhými stupni zátěže a různě strmým nárůstem intenzity. Jednalo se o testování 9 triatletů na bicyklovém ergometru. První, autory označovaný jako krátký protokol, představoval počáteční zátěž 150W a přírůstek 30W každých 60s. jako druhý následoval protokol, který začínal na 50% PPO z krátkého protokolu a po třiminutových schodech bylo přidáváno vždy dalších 5%. Naměřené maximální hodnoty  $VO_2$  se nelišily, což je ve shodě s výše zmíněnou studií. Naopak PPO a VT byly vyšší u kratšího protokolu, což naznačuje, že doba trvání jednotlivých stupňů zátěže může ovlivnit hodnotu maximálního výkonu. Kromě toho může mít na výkon vliv také počáteční zátěž a celková doba zátěže.

S výsledky výše zmíněných studií souhlasí také Bishop (Bishop et al., 1998), který zjistil, že u středně trénovaných jedinců se hodnoty  $VO_{2max}$  ve srovnání protokolu s minutovými a třiminutovými stupni nelišily. Rozdílné byly pouze hodnoty maximální tepové frekvence a maximální práce ( $W_{peak}$ ). Navíc delší pracovní úseky umožňují lepší měření laktátového prahu (LT). Výstupem z této studie je tedy fakt, že i u

netrénovaných jedinců lze použít delší (3 min) úseky bez toho, že bychom zkusili maximální hodnoty  $VO_2$  a zároveň tak získat reálné hodnoty LT.

Zuniga et al. (Zuniga et al., 2012) publikovali studii, ve které srovnávali kromě maximálních hodnot spotřeby kyslíku, tepové frekvence a subjektivního vnímání zátěže (RPE) a maximálního výkonu také jejich submaximální hodnoty na stejném výkonu u dvou protokolů. Jednalo se o rampový průběh, který byl nastaven tak, aby došlo ke zvýšení zátěže o 15W za minutu (1W/4s), a schodovitý průběh, ve kterém přidávali autoři 30W každé 2 minuty. Díky tomuto návrhu dosáhli autoři toho, že během dvou minut došlo u obou protokolů ke stejnému nárůstu zátěže, pouze jiným způsobem. Co se týče maximálních hodnot tepové frekvence,  $VO_{2max}$  a RPE, stejně jako výše zmíněné studie, ani zde neprokázali autoři významné rozdíly mezi rampovým a schodovitým průběhem protokolu. Hodnoty maximálního výkonu byly vyšší u rampového protokolu, což opět souhlasí se studiemi jiných autorů (Bentley, McNaughton, 2003; Bishop et al., 1998). Co se týče submaximálních hodnot, autoři srovnávali parametry na 30, 60, 90, 120, 150 a 180W u obou protokolů, tedy každé 2 minuty zátěže. U těchto submaximálních hodnot zjistili autoři nižší hodnoty  $VO_2$  i tepové frekvence na rampovém protokolu, hodnoty RPE se nelišily. Tento fakt vysvětluje rozdíl v celkové práci, která byla vykonána na srovnávaných výkonech, kdy u schodovitého průběhu protokolu byla tato práce větší. Na 180W to bylo 65,5kJ na rampovém protokolu versus 75,83kJ u schodovitého průběhu.

Vliv intenzity zátěže, na které protokol začíná, zdůrazňuje studie provedená v roce 2008 Boonem a jeho kolegy. Ti srovnávali vliv strmosti rampového protokolu na bicyklovém ergometru na spotřebu kyslíku, tepovou frekvenci a výkon u studentů sportu a cyklistů. Kromě již zmíněných parametrů sledovali také dobu, jakou probandí vydrželi protokol jet. Zjistili, že doba, po kterou je zátěž tolerována, se s rostoucím sklonem rampy zkracuje, což je poměrně logické. Zajímavé bylo ale jejich zjištění, že tyto rozdíly se objeví pouze v případě, kdy protokol začíná na velmi malé zátěži. Odůvodňují to ztrátou energie při přenosu mechanické energie nohou na ergometr, který klade minimální odpor. Tato ztráta podle nich představuje takový metabolický nárok, že vytvoří rozdíl v tom, jak dlouho bude jedinec schopen tolerovat stále se zvyšující zátěž. Tento fakt se týká především protokolů, které zvyšují zátěž velmi pomalu, prodlužuje se tak doba, kdy musí jedinec pracovat neefektivně. (Boon et al., 2008)

### 1.7.1 *Submaximální protokoly*

Pro získání maximálních hodnot spotřeby kyslíku je logicky nutné zatížit jedince do jeho maxima, pro přesné hodnoty navíc na dvou až třech stupních intenzity v oblasti supramaximální zátěže. Takové testování, je kromě skupiny aktivně sportujících a vrcholových sportovců, dost obtížné. Běžná populace není zvyklá na symptomy doprovázející maximální a supramaximální zátěž, často kvůli nim ukončují test, protože je vyděsí. Proto se v minulosti objevila snaha vytvořit takové testy, které by nezatěžovaly pacienty do těchto supramaximálních intenzit a zároveň by se dala na jejich podkladě určit maximální spotřeba kyslíku. Submaximálních protokolů bylo vyvinuto velké množství, mnohé z nich se používají v klinické praxi. (Wyndham, 1967)

Lockwood (Lockwood et al, 1997) zároveň ale uvádí, že většina těchto protokolů neobstojí ve validačním srovnání s protokoly do maxima. Celkově se ukázalo, že i dobře navržený a správně provedený protokol do submaxima má správnou výpovědní hodnotu pouze ve 23% případech.

Kromě toho, že se jedná pouze o odhadované nebo vypočítané hodnoty sledovaných parametrů, většina submaximálních protokolů se potýká s problematickou aplikací na širokou veřejnost. V naprosté většině se vývoj nového protokolu pro odhad  $VO_{2max}$  týká úzké, specializované skupiny probandů. Proto následné využití v klinické praxi, kde se setkáváme s více typy pacientů s rozdílnými pohybovými návyky a diagnózami, naráží na rozdíly mezi odhadovanými hodnotami a skutečným maximem, kterého by mohl daný jedinec teoreticky dosáhnout. Jedná se většinou o rozdíly v řádech 5-10 %. Největší rozdíly mezi odhadovaným a skutečným maximem se vyskytují u protokolů s velkými skokovými rozdíly intenzity zátěže mezi jednotlivými stupni. (Myers et al., 1991)

Pro určení  $VO_{2max}$  ze submaximální zátěže se využívají v zásadě čtyři mechanismy. První, asi nejčastěji využívaná skupina, používá k odhadu  $VO_{2max}$  maximální tepovou frekvenci. Odhad se provádí z hodnoty tepové frekvence ve steady state na submaximálních intenzitách (tedy intenzitách, kde je tepová frekvence na nižších hodnotách než je 85% maxima odpovídající věku pacienta). Tato skupina zahrnuje testy dle Astranda a Ryhminga, kteří v roce 1954 vyvinuli test, během kterého měříme tepovou frekvenci na jednom stupni zátěže a maximální spotřebu kyslíku odhadujeme z jimi představeného normogramu na základě hodnoty spotřeby naměřené v testu. Minimální spotřeba v tomto normogramu odpovídá 61 tepům za minutu u mužů,



maximální je pak při 195 tepech za minutu. Podobný mechanismus využívá i Maritz, který ale navrhl v roce 1961 protokol se čtyřmi stupni submaximální intenzity. Margaria potom v roce 1965 testoval protokolem se dvěma stupni, ale upraveným normogramem se třemi maximálními tepovými frekvencemi pro možnost testování různorodější populace. Všechny výše uvedené protokoly jsou prováděné na běhátku. (Macauley, 2013, str. 147)

Druhý používaný mechanismus využívá odhadu  $VO_{2max}$  z výkonu dosaženého při zátěži nebo času, po který byla zátěž určité intenzity tolerovaná. Tento typ výpočtu maximální spotřeby kyslíku ale naráží na problém nelineárního vztahu mezi spotřebou kyslíku a intenzitou zatížení, především u protokolů, u kterých se zvyšuje zátěž ve velkých skocích. To se týká například Bruceho protokolu na běhátku, u kterého se odhadovaná hodnota od reálného maxima liší až o 16%. Pro získání co nejpřesnějších hodnot bez analýzy výměny dýchacích plynů je tak třeba volit protokoly s co nejpozvolnějším nárůstem zátěže, přímo se tak nabízí rampový protokol. (Myers et al., 1991)

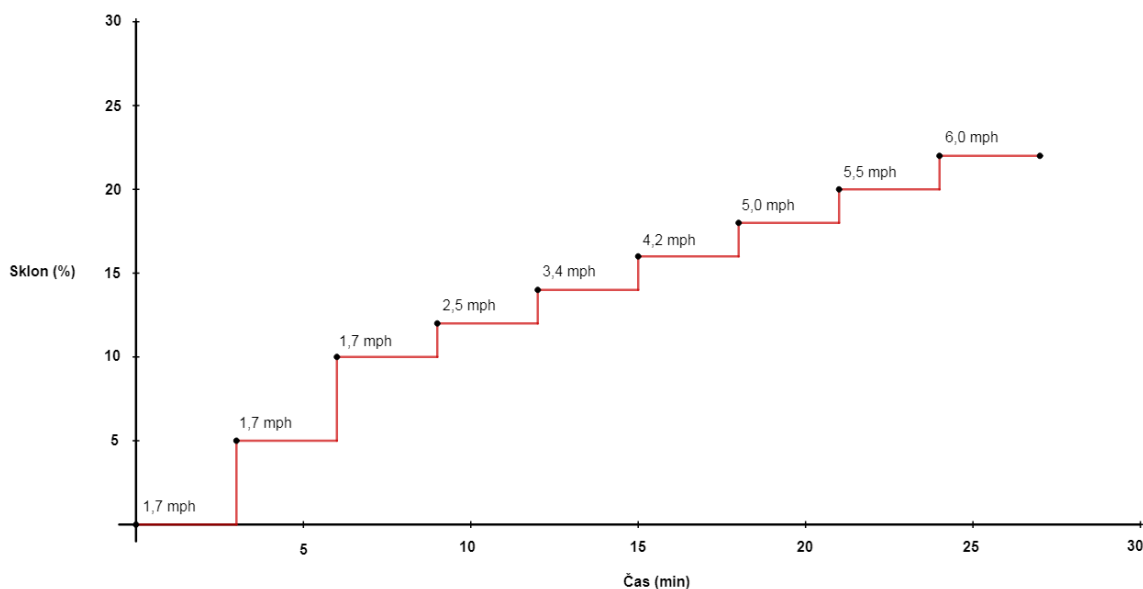
Další skupina využívá známého faktu, že respirační výměnný koeficient dosahuje ve vysokých intenzitách zátěže hodnot větších než 1,0. Na tomto podkladě vytvořili Issekutz, Birkhead a Rodahl (Issekutz et al., 1962) test, při kterém se na několika stupních zátěže měří RER a rozdíl jeho hodnot a hodnoty 1,15 se vynáší na logaritmický graf. Za maximum je považováno dosažení rozdílu 0,4.

Pro pacienty s kardiorespiračním onemocněním byly vyvinuty ještě testy určující maximum podle nelineárního vzestupu minutové ventilace a podle hodnot laktátu a parciálního tlaku  $O_2$  a  $CO_2$  v arteriální krvi. V běžné praxi se ale tyto mechanismy nevyužívají. (Wyndham, 1967)

#### 1.7.1.1 Bruceho protokol

Standardní Bruceho protokol zahrnuje 3 stupně trvajících 3 minuty, provádí se na běhátku s nastavitelným sklonem a rychlostí běžeckého pásu. První stupeň zátěže odpovídá spotřebě kyslíku asi 5 METs, pacient jde rychlostí 2,74 km/h na pásu s 10% sklonem. Na druhém stupni se zvyšuje rychlost na 4 km/h a sklon na 12%. Třetí, poslední stupeň představuje běh rychlostí 5,5 km/h pod sklonem 14%. Zátěž na druhém stupni odpovídá spotřebě 7 METs, na třetím je to 9 METs. Na každém stupni by mělo být dosaženo steady state, proto trvá 3 minuty, sledované hodnoty měříme vždy poslední 2 minuty, každých 30s. Bruceho protokol je v zemích Severní Ameriky

nejpoužívanější metodou k hodnocení zátěžové dušnosti. Je ale podstatně méně vhodný pro testování zdravé, sportující populace, kde nesplňuje cíle testování této skupiny obyvatel. (Sarma, Levine, 2016)



Obrázek 4 Bruceho protokol s více stupni zátěže (Stephens et al., 2010, str. 423)

Modifikovaný Bruceho protokol je upraven pro starší pacienty a pacienty se zátěží limitovanou kardiovaskulárním onemocněním. Ke standardním třem stupňům zátěže přidává ještě dva zahřívací stupně, z nichž každý opět trvá 3 minuty. U obou pacient jde rychlostí 2,74 km/h, mění se pouze sklon běžeckého pásu. V prvním stupni běží pacient po úplné rovině, sklon pásu je 0%, ve druhém stupni se sklon zvýší na 5%. Po těchto dvou stupních pokračuje protokol dalšími třemi stupni tak, jak je uvedeno výše. Oproti jiným protokolům se vyznačuje Bruceho protokol velkými rozdíly zátěže mezi jednotlivými stupni. Tyto velké skoky do určité míry ztěžují odhad křivky vývoje spotřeby kyslíku a ostatních sledovaných hodnot. (Akinpelu, 2016)

#### 1.7.1.2 Submaximální bicyklový test (PWC<sub>170</sub>)

Tento protokol vychází z lineárního vzestupu tepové frekvence při vzrůstajícím výkonu během submaximálního zatížení. Výsledkem testu je výkon na tepové frekvenci 170 tepů za minutu, což je hodnota odpovídající 85% předpokládané maximální tepové frekvence dvacetileté populace. Při provádění protokolu zajistíme měřenému jedinci odpovídající výšku sedátka a madel ergometru, aby jeho výkon nebyl ovlivněn

nevyhovující polohou těla. Poté jej instruuje, aby začal šlapat a udržoval otáčky na 60 za minutu. Ze tří různých intenzit zatížení, které se všechny pohybují v submaximu pacienta, potom můžeme jednoduchým vztahem získat jeho výkon:

$$W = R_o * B_s$$

kde  $W$  představuje výkon,  $R_o$  rychlost otáček, kterou pacient udržuje a  $B_s$  brzdou sílu v kg, kterou překonává v jednotlivých stupních protokolu. Steady state tepové frekvence měříme vždy poslední minutu každého stupně zatížení. Počáteční brzdou sílu a tím tedy i výkon pacienta nastavujeme podle jeho zdatnosti, věku a stavu. Výkon na 170 tepech za minutu poté dopočítáváme z rovnice, protože této tepové frekvence by pacient během submaximálního testu neměl dosáhnout:

$$PWC_{170} \left( \frac{W}{kg} \right) = \frac{\left\{ \left[ \frac{(W_3 - W_2)}{(TF_3 - TF_2)} * (170 - TF_3) \right] + W_3 \right\}}{M},$$

kde  $PWC_{170}$  je výkon na 170 tepech,  $TF_2$  a  $TF_3$  jsou tepové frekvence na stupních 2 a 3,  $W_2$  a  $W_3$  jsou výkony na stupních 2 a 3 a  $M$  je hmotnost pacienta v kg. Tento test je vhodný pro aktivní jedince, stejně tak i pro osoby s výhradně sedavým způsobem života. (Macauley, 2013, str. 149)

Index  $PWC_{170}$  nebo v některé literatuře označovaný jako  $W_{170}$  představuje ukazatel schopnosti organismu přizpůsobit (zrychlit) srdeční frekvenci ve vztahu k intenzitě zátěže a tedy výkonu na bicyklovém ergometru. Představuje ukazatel adaptace organismu na zátěž vyžadující zapojení svalstva dolních končetin, tedy jízdu na kole. Stav kosterního svalstva tento index značně ovlivňuje, původně byl určen pro odhalení různých forem vegetativních poruch, jako je neurovegetativní dystonie nebo neurocirkulační astenie. Při těchto poruchách je  $W_{170}$  výrazně snížen. Postup, jak získat index  $W_{170}$  není unifikovaný, obvykle se využívá 3 stupňů intenzity zátěže (nízká, střední a vyšší), které by měly odpovídat tepové frekvenci 120, 150 a 170 tepů za minutu. Absolutní hodnotu zátěže nastavenou na bicyklovém ergometru je třeba odhadnout na základě zdatnosti testovaného jedince a zkušenostech vyšetřujícího. Zátěž je dobré přepočítávat na hmotnost testovaného jedince v kilogramech, jednak pro přehlednost, jednak pro srovnávání jednotlivých měření mezi sebou. Obvykle se začíná na zátěži 0,5 respektive 1W u zdravých a zdatných jedinců, poté se doporučuje zvyšovat zátěž o 0,5W/kg na dalších stupních. Podle zkušenosti vyšetřujícího a zdatnosti testovaného jedince je ale možné tento postup různě modifikovat a zátěž zvyšovat po větších stupních. Délka trvání jednotlivých stupňů by se měla pohybovat kolem 3

minut, což je čas dostatečný na to, aby bylo dosaženo rovnovážného stavu v tepové frekvenci. (Máček, Vávra, 1988, str. 243-254)

### 1.7.1.3 Ekblom-Bak test<sub>new</sub>

V roce 2012 sestavili švédští fyziologové protokol pro odhad maximální spotřeby kyslíku založený na odhadu z rozdílu tepové frekvence ( $\Delta TF$ ), respektive výkonu dosaženého mezi dvěma stupni zátěže. Vycházeli z toho, že tak dosáhnou přesnějších výsledků, než když se počítá  $VO_{2max}$  z absolutních hodnot na jednom nebo dvou stupních zátěže, kde může být odchylka odhadu od skutečnosti až 10%. Toto tvrzení se jim podařilo prokázat ve srovnávací studii. Protokol je navržen pro mechanicky brzděný bicyklový ergometr tak, aby byl aplikovatelný na co nejširší populaci a byl co nejjednodušeji proveditelný. I proto umožňuje záměnu spotřeby kyslíku za výkon ( $\Delta PO$ ) ve vzorci k vypočítání  $VO_{2max}$ . Pro provedení tohoto protokolu tak potřebujeme pouze ergometr, stopky, zařízení pro měření tepové frekvence a vytištěnou Borgovu škálu intenzity zátěže. Využívá zatížení pacienta na třech stupních, z nichž si dva reguluje pacient sám podle Borgovy škály, která je mu na začátku testování představena a důkladně vysvětlena. Dále je pacient instruován, aby udržoval frekvenci šlapání na 60 otáčkách za minutu. První stupeň, zahřívací fáze, trvá 4 minuty při zátěži 25W. Mezi třetí a čtvrtou minutou měříme celkem čtyřikrát tepovou frekvenci (3,15; 3,30; 3,45; 4,00), z těchto hodnot potom získáme finální hodnotu zprůměrováním. Poté se zvýší zátěž tak, aby jedinec dosáhl subjektivního hodnocení zátěže 13-14 dle Borga. Tato fáze opět trvá 4 minuty, opět během poslední minuty měříme čtyřikrát tepovou frekvenci. Druhý stupeň zátěže je třeba zvolit tak, aby došlo ke zvýšení TF na 120-140 tepů za minutu. Pro jednodušší orientaci sestavili autoři tabulku (viz Tabulka 2), kde 1kp odpovídá zátěži 50W. Po první minutě zvýšeného zatížení se ptáme na subjektivní vnímání. Pokud pacient udává nižší než 10, zvýšíme zátěž o 50W, pokud odpovídá 10-11, zvyšujeme zátěž o 25W, pokud 12-16, necháme pacienta pokračovat, pokud je udávaná hodnota vyšší než 17, ukončíme test a necháme pacienta 20min odpočívat před novým testem, případně testování odložíme na jiný den. Získané naměřené hodnoty lze dosadit do vzorců, které sestavili autoři zvlášť pro muže a pro ženy. Hodnoty  $\Delta PO$  získáme z tabulky, která je součástí manuálu k provedení protokolu (viz Tabulka 3). Pro výpočet  $VO_{2max}$  se využívá vzorec, který je navíc upravený do dvou podob, pro každé pohlaví zvlášť.

Stejně jako u jiných protokolů, pacienti by neměli den před testem kouřit a měli by se vyhýbat abnormální zátěži, 3 hodiny před testem by pak neměli konzumovat těžká jídla. (Björkman, Ekblom-Bak, 2016; Ekblom-Bak et al., 2014).

	<i>Ženy</i>	<i>Muži</i>
<i>Neaktivní</i>	1,0 kp	1,5 kp
<i>Nízká aktivita</i>	1,5 kp	2,0 kp
<i>Střední aktivita</i>	2,0 kp	2,5 kp
<i>Vysoce aktivní</i>	2,5 kp	3,0 kp

*Tabulka 2 Zátěž podle zdatnosti (Björkman, Ekblom-Bak, 2016)*

<i>Výše zatížení (kp)</i>	<i><math>\Delta PO</math> odpovídající výši zatížení</i>
1	32
1,5	64
2	95
2,5	127
3	159
3,5	191
4	222

*Tabulka 3 Výkon odpovídající výši zatížení (Björkman, Ekblom-Bak, 2016)*

### 1.7.2 Protokoly do maxima

Úkolem zátěžového testu je odhalit odpověď organismu na dynamickou zátěž a zhodnotit zdatnost jedince. Především se jedná o funkčně-metabolické ukazatele, jejichž maximální hodnoty standardně vyšetřujeme vyšetřením stupňovanou zátěží do maxima. Postupně dochází k navyšování zátěže až do maxima, kterého by měl pacient dosáhnout mezi 8. a 16. minutou od zahájení testu. To, jestli jej pacient opravdu dosáhl, lze posuzovat podle hodnot RER, který by měl v maximu dosahovat hodnot 1,10-1,25, zda dosáhl ventilačního prahu a podle hodnot tepové frekvence, která by se v maximu měla pohybovat kolem 190 tepů za minutu. Při nedosažení těchto ukazatelů se nejedná o zátěž do maxima, ale o symptomaticky limitovanou zátěž (SLE), případně o řízené zatížení pouze do submaximální intenzity. K ukončení testu před dosažením maxima může kromě (Máček, Radvanský, 2011, str. 63)

Nejspolehlivějším způsobem, jak zjistit funkční kapacitu a maximální spotřebu kyslíku jedince je její přímé změření během zátěžového testu. Stejně jako u submaximálních protokolů, i v zatížení do maxima se neustále vytvářejí nové protokoly a jednotliví autoři přicházejí s novými doporučeními a návody. V zásadě se ale jedná o zátěž stupňovanou buď kontinuálně, mluvíme o rampovém protokolu, nebo ve stupních (schodech). Druhý uvedený způsob bývá jmenován jako standardní vzestupný protokol. (Myers et al., 1991)

Testy do maxima nám stejně, jako výše uvedené testy umožňují zjistit maximální spotřeby kyslíku jedince. Na rozdíl od submaximálních protokolů se ale nejedná o odhad nebo výpočet, ale její přímé změření při zátěži. Vzhledem k náročnosti a míře zatížení organismu při protokolech do maxima by měly být vždy prováděny po předchozím důkladném vyšetření odborným lékařem. Pod dohledem lékaře nebo alespoň erudované sestry by měla proběhnout i samotná zátěž. Vzhledem k velkému množství protokolů, které můžeme využít při testování, a tím pádem i různým výstupním hodnotám  $VO_{2max}$ , se využívají v některých případech po protokolu do maxima ještě tzv. ověřovací protokoly pro  $VO_{2max}$ . Jedná se o zatížení na supramaximální, vyčerpávající, úrovni, tedy vyšší intenzitě, než jaké bylo dosaženo v rámci stupňovaného testu do maxima. Ověřovací protokol následuje po dokončení samotného základního protokolu, většinou s pauzou 5-15 minut. Tato pauza může být vyplněna aktivním odpočinkem (vyšlapávání na kole bez zátěže či běh nízkou rychlostí s 0% sklonem pásu) nebo pasivním odpočinkem. V případě pasivního odpočinku se pak

pauza mezi stupňovaným zatížením a ověřovacím protokolem prodlužuje až na možné maximum 60 minut. Samotný ověřovací protokol představuje jednostupňové zatížení na intenzitě odpovídající 95-130%  $W_{\text{peak}}$  v případě testování na kole, nebo běhu rychlejším o 0,5-1,6 km/h než byla nejvyšší dosažená rychlost při testování na běhátku. Tento závěrečný test by měl ověřit dosažení maxima při stupňovaném zatížení námi zvoleným protokolem, případně odhalit vyšší dosažitelné hodnoty  $VO_{2\text{max}}$ . (Beltz et al. 2016)

Myers (Myers et al., 1991) uvádí jako jednu z výhod rampového protokolu fakt, že se díky kontinuálnímu zvyšování zátěže vyhneme náhlým změnám v neuromuskulárním systému, v náboru motorických jednotek, i v metabolických nárocích, které se pojí se změnou intenzity zátěže ve stupních. Jako ideální uvádí aplikaci protokolu s individuálně nastaveným přírůstkem zátěže tak, aby maxima bylo dosaženo do 10 minut, tedy během všeobecně doporučeného časového rozmezí. Pro ověření svého návrhu zpracoval studii, ve které podrobil 41 probandů postupně šesti různým protokolům, které proběhly v randomizovaném pořadí v různých dnech. Jednalo se o 3 protokoly na běhátku (Bruceho protokol do maxima, modifikovaný Balkeho protokol a rampový protokol s upraveným nárůstem zátěže podle návrhu autorů) a 3 na bicyklovém ergometru (zátěž stupňovaná ve stupních trvajících 2 minuty po 25 W, respektive 50 W a rampový protokol, opět podle návrhu autorů). Všechny protokoly byly prováděny do subjektivního maxima, vnímání intenzity zátěže hodnotili autoři pomocí standardní Borgovy škály vnímání zátěže. Jako parametry ke srovnávání výpovědních hodnot jednotlivých protokolů zvolili autoři kromě tepové frekvence především ventilační parametry (spotřebu kyslíku, produkci  $CO_2$ , minutovou ventilaci a výměnný respirační koeficient). K hodnocení ventilačního prahu si přizvali tři nezájaté pozorovatele, kteří jinak neměli žádné povědomí o prováděném experimentu. Nevýznamnější rozdíly ve ventilačních parametrech (především v maximální spotřebě kyslíku) byly způsobeny typem zátěže, tedy jestli byla zátěž prováděna na běhátku nebo na ergometru. Na běhátku, v případě všech tří protokolů, bylo dosaženo vyšších hodnot sledovaných ventilačních parametrů, včetně ventilačního prahu, než u protokolů prováděných na bicyklovém ergometru. Maximální tepová frekvence se naopak u typů zátěže ani mezi jednotlivými protokoly významně nelišila. Co se týče protokolů na bicyklovém ergometru, ani mezi těmito protokoly nebyly zjištěny významné rozdíly v maximální tepové frekvenci.  $VO_{2\text{max}}$  a spotřeba kyslíku na odpovídající zátěži (výkonu) byla statisticky významně vyšší u rampového protokolu a protokolu s výraznějšími rozdíly mezi jednotlivými stupni (50W/2min) než u protokolu, který

využíval také schody, ale s menšími rozdíly zátěže (25W/2min). U posledního zmiňovaného protokolu byl ale zároveň zkrácen čas, po který probandi byli schopní tolerovat zátěž. Podrobné zhodnocení dynamiky ventilačních parametrů v rámci studie poukázalo na pozitivní efekt malých přírůstků zátěže na proces výměny respiračních plynů a tím i na lepší ilustraci funkční kapacity organismu ve vysokých intenzitách zátěže. Tento fakt je důležitý při navrhování submaximálních protokolů, u kterých není možnost přímé analýzy ventilačních procesů. Na druhou stranu bylo při menších přírůstcích zátěže dosaženo nižších hodnot  $VO_{2max}$ . Autor proto nedoporučuje odhadování zátěžové kapacity na základě výsledných hodnot z protokolů s velkými rozdíly v zátěži mezi jednotlivými schody. V těchto případech bývá takový odhad zatížen velkými nepřesnostmi.

Další studie, která hovoří ve prospěch rampového protokolu, srovnávala maximální srdeční frekvenci, maximální výkon a výkon na 150 respektive 170 tepech za minutu ( $PWC_{150}$  a  $PWC_{170}$ ). Na bicyklovém ergometru provedli s odstupem 2-7 dnů dva protokoly: rampový protokol a protokol s nárůstem zátěže ve stupních. Rampový protokol byl navržen tak, aby byl zakončen fyzickým vyčerpáním během 8-12 minut, začínal na zátěži 25W, která se zvyšovala o 12-15 W/min po velmi malých přírůstcích 4-5W/20s. Během rampového protokolu byla prováděna také analýza výměny dechových plynů s registrací  $VO_2$ . Schodovitý protokol začínal na zátěži 25-75W, která se zvyšovala o dalších 25W každé 2 min, stejně jako rampový protokol, i tento byl ukončen fyzickým vyčerpáním. Oba protokoly trvaly přibližně stejně dlouho a byla u toho i dodržena doporučená doba 10-15 minut. Hodnoty maximální srdeční frekvence se významně nelišily, na rozdíl od výkonu. Jak maximální výkon, tak  $PWC_{150}$  i  $PWC_{170}$  byly vyšší u rampového protokolu a to i po přepočtení na tělesnou hmotnost. Autoři této studie navíc srovnávali výsledné hodnoty s hodnotami, kterých mělo být dosaženo podle referenčních tabulek. Co se týče srdeční frekvence, nezjistili žádné významné odchylky od tabulkových hodnot. Naopak tabulkové hodnoty pro spotřebu kyslíku vyšly z tohoto srovnání jako podhodnocené pro obě pohlaví. Ženy dosáhly také vyšších hodnot ve výkonu, jak v maximálním, tak v hodnotách přepočtených na tělesnou hmotnost. U mužů byly tabulkové hodnoty pro výkon naopak vyšší než ty, kterých dosahovali probandi této studie. (Preisser et al., 2015)

I u rampového protokolu se dá v závislosti na účelu testování změnit několik proměnných tak, abychom dosáhli opravdu maximálních hodnot. Morton (Morton, 2011) navrhl matematický model rampového protokolu, ve kterém je vrcholný výkon



$P_{\text{peak}}$  závislý na konstantách CP a aerobní kapacitě a jediné proměnné, což je sklon ramp. Výsledný vrcholný výkon by měl být s rostoucím sklonem rampy vyšší. Z tohoto modelu vycházela další studie provedená v roce 2013. Autoři (Adami et al., 2013) ověřovali platnost Mortonova modelu na několika protokolech na bicyklovém ergometru do maxima, které se lišily pouze v délce trvání jednotlivých stupňů zátěže, nikoli v celkovém přírůstku zátěže. Ten byl ve všech případech stejný, 25W. Autoři srovnávali 6 různých délek trvání stupňů: 15,30,60,90,120 a 180s a protokol typu Åstrand protokolu. Všechny protokoly kontinuální zátěže se lišily maximálními hodnotami výkonu od intermitentního protokolu typu Åstrand protokolu. Maximální výkon u protokolů navržených autory klesal s rostoucí délkou trvání stupňů zátěže, tedy s klesajícím sklonem rampy, což potvrdilo možnost aplikace Mortonova modelu na kontinuální protokoly s rostoucí zátěží. Zároveň ze své studie vyvozují, že pokud provedeme alespoň 3 různé protokoly kontinuální rostoucí zátěže s různě dlouho trvajících stupni, ale se stejně velkými přírůstky zátěže, můžeme z výsledků vypočítat kritický výkon a maximální aerobní mechanickou práci, což jsou parametry, které spolu se znalostí  $VO_{2\text{max}}$  umožňují navržení ideálního tréninkového programu.

#### 1.7.2.1 Stupňovaný test do maxima na bicyklovém ergometru

Vzhledem k provádění testu na bicyklovém ergometru, budeme dosahovat nižších výsledků pro  $VO_{2\text{max}}$ , než by tomu bylo u testů na běhátku, především tomu tak bude u jedinců, kteří nejsou zvyklí na jízdu na kole. Jak již bylo zmíněno výše, většina autorů udává jako příčinu zapojení menšího množství svalové hmoty během jízdy na ergometru, protokol bývá také dříve ukončen pro únavu stehenních svalů. Stejně jako u všech testů na ergometru je nezbytné upravit výšku sedátka a madel podle pacientovy výšky. (Macauley, 2013, str. 150)

Doporučení pro provádění se liší, Máček a Vávra rozdělují test na 2 části, z nichž jedna slouží jako rozehrívací a trvá asi 75% času a druhá představuje samotnou zátěž do maxima. Pro predehřátí slouží dva až tři stupně zátěže na nižší intenzitě, na jejichž konci by měl testovaný jedinec dosáhnout 70% věkového maxima tepové frekvence. Tato část by dobou trvání neměla přesáhnout 10 minut. Po této fázi doporučují autoři asi minutovou pauzu, kdy má testovaný buďto jen v klidu sedět nebo vyšlapávat na prázdno. Druhá část, stupňovaná do maxima, by měla začínat na takové intenzitě, na jaké skončila část predehřívací. Zátěž potom stupňujeme po půl minutách s takovým přírůstkem, aby bylo dosaženo maxima do pěti minut. Strmost zvyšování

zátěže vyžaduje značnou zkušenost vyšetřujícího personálu a odhad zdatnosti testovaného jedince. Test končí vyčerpáním testovaného. V okamžiku ukončení maximálního testu se výrazně sníží zátěž a instruuje pracujícího jedince, aby vyšlapával alespoň minutu bez zátěže až do chvíle, kdy pocítí celkové zklidnění. To, zda bylo dosaženo skutečného maxima lze posoudit podle několika ukazatelů, mezi které patří především RER, stav testovaného (jeho subjektivní hodnocení zátěže, barva kůže) a maximální dosažená tepová frekvence (měla by se pohybovat alespoň přibližně kolem tabulkových hodnot odpovídajících věku, hmotnosti a pohlaví). Dříve se k posouzení maxima používalo ještě dosažení plató ve spotřebě kyslíku, od tohoto postupu se ale v současné době upouští. Děje se tak díky zjištění ze studií (Lucía et al., 2006; Day et al., 2003), které prokazují, že dosažení nebo nedosažení plató není vždy spojeno s dosažením maxima. (Máček, Vávra, 1988, str.245-246)

#### 1.7.2.2 Sestupný test na běhátku

Beltrami (Beltrami et al., 2011) v roce 2011 publikoval studii na 26 zdravých probandech ve věku 17-47 let, ve které srovnával naměřené hodnoty  $VO_{2max}$  při klasickém, vzestupném protokolu na běhátku, s netradičním protokolem, který začínal na velmi vysoké intenzitě zátěže, která se postupně snižovala. Vycházel se svými kolegy z hypotézy, že i když je během testu dosaženo plató  $VO_2$ , nemusí to nutně znamenat, že bylo dosaženo opravdového maxima organismu. Toto tvrzení je podloženo faktem, že při použití různých protokolů u stejného jedince může dojít k naměření různých hodnot  $VO_{2max}$ . Vytvořili sestupný protokol, který začíná desetiminutovou rozehrívací fází, tedy během rychlostí 10 km/h prvních 5 min a 12km/h druhých 5 min s 0% sklonem běžeckého pásu. Hodnoty pro první fázi protokolu získáme provedením běžného stupňovaného protokolu do maxima, testovaní jedinci tak začínají během 10km/h s 5% sklonem pásu, poté je rychlost zvýšena na tu, které dosáhli jako maximální při předchozím stupňovaném zatížení. Tato fáze trvá asi 1 minutu, poté se rychlost snižuje na 30s o 1 km/h. Snižování rychlosti probíhá o 0,5km/h v postupně se prodlužujících stupních: po 30s, 45s, 60s, 90s a 120s. Dobu trvání jednotlivých stupňů je možné individuálně upravit tak, aby došlo k úplnému vyčerpání testovaného minimálně po 5 minutách. Tímto protokolem dosáhli autoři o 1,0 ml/kg/min vyšších hodnot  $VO_{2max}$ , než u běžného vzestupného protokolu.

### 1.7.2.3 Test do maxima se subjektivně řízenou zátěží

V roce 2011 byl navržen protokol pro bicyklový ergometr umožňující testovanému jedinci řídit zátěž podle vlastního subjektivního pocitu. Tento protokol využívá Borgovu škálu subjektivního vnímání zátěže. Navzdory individuálně řízené absolutní zátěži, zachovává protokol vzestupný charakter. Představuje celkem 5 stupňů, z nichž každý trvá 2 minuty a odpovídá určitému stupni zátěže dle Borga. Před začátkem testu je důležité u tohoto protokolu důkladně škálu pacientovi vysvětlit a umístit ji tak, aby na ni dobře viděl. Je vhodné v průběhu testování i připomínat pacientovi, jaké zátěži by měl jeho výkon odpovídat. Během prvních dvou minut by měla zátěž odpovídat stupni 11 dle Borga, následující dvouminutové stupně by měly zvyšovat subjektivní vnímání zátěže vždy o 2 stupně dle Borga, s tím, že poslední, 5. stupeň, by měl odpovídat maximu, tedy 20 dle Borga. Autoři výsledky získané z tohoto protokolu srovnávali s výsledky z běžného stupňovaného testu do maxima, kdy každý stupeň trval také 2 minuty a zátěž byla zvyšována vždy o 30W. Z tohoto srovnání vyšly vyšší hodnoty  $VO_{2max}$  a  $PO_{peak}$  u subjektivně řízeného protokolu, ostatní fyziologické ukazatele, jako tepová frekvence, minutová ventilace či výměnný respirační koeficient se zásadně nelišily. Tyto výsledky autoři nejsou schopni zcela přesně vysvětlit, ale přičítají je nižší fyziologické náročnosti testu, který si pacient řídí sám. Na nižší náročnost poukazuje nižší vzestup teploty jádra, koncentrace laktátu v krvi a nižší aktivita na EMG. Především nesportující jedinci popisovali menší bolest a diskomfort při subjektivně regulovaném testu, což jsou faktory, kvůli kterým nemusí být během běžného protokolu dosaženo  $VO_2$  plató. (Mauger, Sculthorpe, 2011)

### 1.7.2.4 3-min all-out test

Kromě u nás běžně v praxi využívaných protokolů trvajících přibližně 15 minut, existuje i kategorie kratších protokolů do maxima. Tyto trvají kolem 6 minut a provádí se na bicyklovém ergometru. Předpokládají znalost ventilační prahu a  $VO_{2max}$  testovaného jedince, proto se využívají spíše pro sledování změn způsobených tréninkem než jako diagnostické testy. Úvodní, rozehřívací fáze trvá 5 minut, představuje zátěž na 90% předem zjištěného VT daného jedince. Po této fázi testovaný 5 minut odpočívá. Samotný protokol se pak skládá ze dvou třiminutových částí. Během prvních 3 minut jedinec šlape bez zátěže individuálně zvolenou rychlostí otáček. Poté je vyzván, aby během posledních 5s této fáze zvýšil rychlost otáček na 110-120 za minutu. Pro druhou třiminutovou fázi je nastavena taková zátěž, aby výkon odpovídal 50%

rozdílu mezi VT a  $VO_{2peak}$ . Při této zátěži je jedinec vyzván, aby se snažil udržet co nejrychlejší, jím zvolenou rychlost otáček celé 3 minuty a dosáhl co nejrychleji svého maxima. Aby se zamezilo zvolňování tempa, jedinec by neměl mít přehled o tom, jak dlouho už pracuje na své maximální intenzitě. Zároveň je nutností testovaného celou dobu silně povzbuzovat a motivovat. Tento protokol je vhodný zejména k monitoraci změn CP způsobených tréninkem. (Vanhatalo et al., 2008)

Naopak tento není vhodný k měření a sledování změn  $VO_{2max}$  a  $VO_{2peak}$ . Ačkoli to několik autorů, včetně výše citovaných, nevyklučuje, Sperlich (Sperlich et al., 2011) při srovnání hodnot získaných z 3-min all-out testu a rampového testu do maxima zjistil významné rozdíly. Navíc se výsledky hodně lišily i interindividuálně, proto tento protokol ke sledování výše zmíněných ventilačních parametrů nedoporučuje.

## 2 CÍLE A HYPOTÉZY

Cílem této práce je srovnat maximální hodnoty nejčastěji sledovaných parametrů (tepová frekvence,  $VO_2$ , minutová ventilace, RER, RPE a výkon) získané ze dvou různých protokolů (rampový versus schodovitý průběh) a zhodnotit jejich zaměnitelnost v praxi.

**Hypotéza 1:** Maximální hodnoty ventilačních a kardiovaskulárních parametrů se nebudou lišit.

**Hypotéza 2:** Probandi budou dosahovat u obou protokolů stejného výkonu a budou je subjektivně hodnotit obdobně.

## 3 METODIKA

### 3.1 Charakteristika souboru

Experimentu se účastnilo 13 probandů (9 mužů a 4 ženy) ve věku 20 – 31 let. Všichni vybraní jedinci jsou zdatní (viz Tabulka 4). Většina z nich jsou sportovci provozující různé sportovní disciplíny (florbal, badminton, triatlon, běh, plážový volejbal, plavání) na výkonnostní až vrcholové úrovni. Nikdo ze zúčastněných nemá v anamnéze žádnou závažnou srdeční, respirační nebo interní chorobu, která by mohla být kontraindikací k zátěžovému testu. Všichni také popřeli případy náhlé ztráty vědomí při nebo bezprostředně po ukončení zátěže.

	Muži		Ženy		Celkem	
	průměr	SD	průměr	SD	průměr	SD
Výška (cm)	175,88	7,61	183,00	9,09	176,67	9,11
Hmotnost (kg)	68,25	10,49	71,33	5,73	69,50	9,22
Věk	25,75	3,86	23,33	2,49	25,50	3,80
VO <sub>2max</sub>	53,04	6,38	49,18	1,61	53,61	7,11
VO <sub>2max</sub> SD	+2,42	1,24	+2,88	0,90	+2,60	1,14

Tabulka 4 Charakteristika souboru

Na testování se všichni dostavili zdraví, v obou termínech měření v přibližně stejné aktuální kondici. Všichni zúčastnění již někdy v minulosti absolvovali zátěžový test v rámci pravidelných sportovních prohlídek. Probandi byli instruováni, aby se 24 hodin před měřením vyhnuli neobvykle intenzivní zátěži (závody, výjimečně náročné tréninky apod.) a 3 hodiny před měřením konzumaci kofeinu.

Všichni zúčastnění byli seznámeni s průběhem experimentu, jeho náročností a případnými riziky a podepsali informovaný souhlas, který je součástí přílohy této práce (viz Příloha 1).

### 3.2 Postup měření

Předmětem této práce je srovnání schodovitěho průběhu protokolu s rampovým při zátěžovém testu do maxima. Jednotlivé stupně u schodovitěho protokolu trvaly na základě doporučení literatury (Macauley, 2013) a všeobecné praxe 3 minuty. Vzhledem k očekávané zdatnosti probandů začínal protokol na zátěži 1W/kg. O stejnou hodnotu se pak zátěž zvyšovala na každém dalším stupni až do dosažení maxima. Strmost nárůstu

zátěže u rampového protokolu byla stanovena tak, aby probandi dosáhli za 3 minuty stejné zátěže, jako na prvním stupni schodovitého protokolu. Konkrétní hodnoty jsou uvedeny v tabulce, která je součástí přílohy této práce (viz Příloha 2). Po dosažení maxima byla vždy zátěž snížena na minimum a probandům bylo umožněno dostatečně dlouhé vyšlapání.

Typ protokolu, kterým každý proband začínal experiment, byl volen náhodně. Abychom dosáhli randomizace ale zároveň také rovnoměrného rozložení toho, který protokol byl absolvován jako první, první proband každého termínu měření si vylosoval protokol, kterým začínal. Ostatním byly pak protokoly určovány tak, aby se během jednoho termínu měření pravidelně střídal schodovitý průběh s rampou.

Všechna měření probíhala v zátěžové laboratoři Kliniky tělovýchovného lékařství FN Motol pod odborným dohledem vedoucího práce. Abychom co nejvíce omezili ovlivnění výsledků prostředím, všechny termíny měření proběhly ve stejné laboratoři. Zátěžový test absolvovali všichni na bicyklovém ergometru Ergoselect 200, Ergoline, Německo.

Odebrání anamnézy bylo vzhledem k účelům testování a vybraným probandům zestručněno pouze na odhalení případných kontraindikací k zátěžovému testu a přibližné zmapování sportovních aktivit probandů. Po převlečení do pohodlného sportovního oblečení byla probandům změřena tělesná hmotnost a výška. Před zahájením samotného testu byla každému nastavena výška sedla a madel ergometru tak, aby se cítil co nejvíce komfortně. Každému byl znovu vysvětlen průběh měření a bylo vyzkoušeno vložení náustku do úst, abychom zamezili komplikacím během zátěže na vysokých intenzitách. U většiny probandů se jednalo o jejich několikátý zátěžový test, proto jsme měli situaci poněkud ulehčenou tím, že znali průběh a okolnosti testování ze svých předchozích zkušeností. Po nalepení elektrod EKG byli probandi instruováni, aby párkrát prošlápli bez zátěže, abychom si ověřili, zda je pro ně zvolená poloha sedla, pedálů atd. pohodlná. Poté už jsme pouze testovaného upozornili, aby si drželi (hlídali na displeji ergometru) frekvenci šlapání nad šedesáti otáčkami za minutu a zahájili jsme samotný test.

Na velmi nízkých intenzitách zátěže jsme ještě probandy seznámili s Borgovou škálou hodnocení subjektivního vnímání zátěže a vysvětlili jim její princip. Zda škálu a to, co po nich budeme chtít, správně pochopili, jsme si ověřili ještě na dalších stupních zátěže, které se daly považovat za lehkou nebo střední zátěž, opakovanými dotazy na hodnocení aktuální zátěže.

Tepová frekvence během zátěže byla monitorována pomocí dvanáctisvodového EKG. Před zahájením zátěžového testu proband seděl v klidu na ergometru s již připojeným EKG, aby se odhalily případné srdeční arytmie nebo abnormality EKG.

Ventilační parametry byly registrovány pomocí analyzátoru dechových plynů Oxycon Pro, Jaeger, Německo, který byl před každým měřením kalibrován. Náustek analyzátoru byl probandům podán celkem dvakrát. Poprvé při zkoušení náustku v klidu nebo na velmi nízké zátěži a podruhé ve chvíli, kdy hodnotili zátěž na Borgově škále hodnotou 16 a vyšší a tudíž se dalo předpokládat, že už se blíží ke svému maximu. Tímto jsme se snažili zamezit zkreslení výsledků zanesením náustku slinami při hyperventilaci ve vysoké intenzitě zátěže. I přes toto opatření se to v několika případech stalo, tyto zkreslené výsledky byly proto ze studie vyřazeny (viz tabulka v příloze 2).

Všichni probandi tak absolvovali zátěžový test s registrací tepové frekvence a maximálního výkonu, u většiny byla měřena i ventilace a spotřeba kyslíku.

### 3.3 Zpracování výsledků

Na základě metod používaných ve studiích (Preisser et al., 2015, Zuniga et al, 2012), které se zabývaly podobným tématem, jsme pro statistické zpracování zvolili párový t-test a variační koeficient. Studentův párový t-test je vhodný pro porovnávání tzv. spárovaných variačních dat. Jedná se například o opakovaná měření u jednoho souboru, což je případ našeho experimentu. Hladinu významnosti jsme stanovili  $\alpha=0,05$ .

Maximální tepovou frekvenci jsme určovali z EKG. Jako maximální hodnoty spotřeby kyslíku jsme určovali nejvyšší relevantní dosažené hodnoty (patnáctisekundový průměr), které nám určila analýza dechových plynů v konci zátěže. Stejným způsobem jsme postupovali také při určování RER a ventilace. Hodnotu RPE jsme zjišťovali dotazem na subjektivní vnímání zátěže ihned po jejím ukončení. Nejvyšší dosažený výkon jsme odečítali z monitoru ergometru v okamžiku ukončení zátěže, stejně jako čas.



## 4 VÝSLEDKY

Výsledné průměrné hodnoty včetně směrodatných odchylek a variačních koeficientů ukazuje tabulka níže (viz Tabulka 5). Všech třináct probandů absolvovalo oba testy do maxima bez výrazných komplikací, nikdo neukončil zátěž předčasně. To, že bylo ve všech případech dosaženo maxima, jsme ověřili kromě subjektivního hodnocení a stavu probandů při ukončení testu i podle maximální dosažené tepové frekvence. U většiny probandů jsme mohli využít i ověření podle dosažených hodnot RER. Ve třech případech jsme museli vyřadit některé výsledné hodnoty ventilačních parametrů ( $VO_{2max}$ , RER) ze srovnávání. Přes všechna naše opatření došlo u těchto probandů ke zkreslení výsledků zanesením náustku analyzátoru dechových plynů slinami. Relevantnost získaných hodnot posuzoval zkušený tělovýchovný lékař, vedoucí této práce.

	Rampa			Schody		
	průměr	SD	var. koef.	průměr	SD	var. koef.
Doba zátěže	13:37:32	1:34:56	11,61%	11:48:05	1:40:04	14,13%
Tepová frekvence	184,00	8,74	4,75%	185,04	8,41	4,55%
$VO_{2max}$ (ml.min <sup>-1</sup> .kg <sup>-1</sup> )	54,71	7,56	13,82%	55,15	8,07	14,63%
RER	1,25	0,07	5,79%	1,25	0,09	6,79%
Ventilace (l.min <sup>-1</sup> )	141,00	41,94	29,74%	141,43	39,93	28,23%
Výkon (W)	312,00	62,28	19,96%	312,46	65,42	20,94%
Výkon.hmotnost <sup>-1</sup> (W.kg <sup>-1</sup> )	4,45	0,55	12,36%	4,46	0,63	14,12%
RPE (dle Borga)	18,69	1,14	6,10%	18,77	1,05	5,59%

Tabulka 5 Souhrnné výsledky

	Rampa			Schody		
	průměr	SD	var. koef.	průměr	SD	var. koef.
Doba zátěže	12:05:00	0:36:35	5,05%	10:32:30	0:37:33	5,94%
Tepová frekvence	188,50	4,61	2,45%	190,50	5,94	3,12%
$VO_{2max}$ (ml.min <sup>-1</sup> .kg <sup>-1</sup> )	48,32	3,08	6,38%	49,05	2,47	5,04%
RER	1,25	0,06	4,74%	1,26	0,05	4,31%
Ventilace (l.min <sup>-1</sup> )	92,90	20,78	22,36%	101,05	25,57	25,30%
Výkon (W)	241,50	43,76	18,12%	242,00	36,93	15,26%
Výkon.hmotnost <sup>-1</sup> (W.kg <sup>-1</sup> )	3,98	0,24	6,13%	4,00	0,00	0,00%
RPE (dle Borga)	19,50	0,50	2,56%	19,00	0,71	3,72%

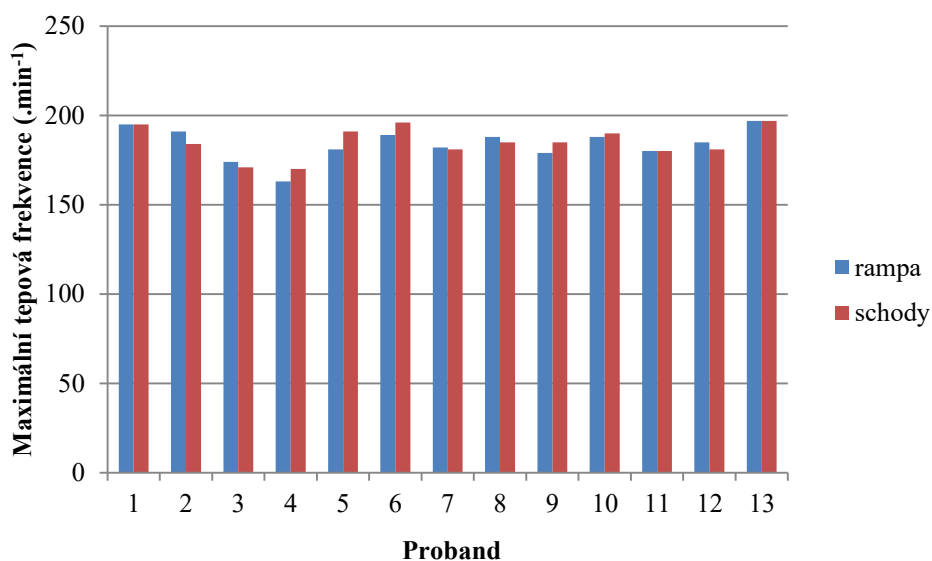
Tabulka 6 Souhrnné výsledky žen

	Rampa			Schody		
	průměr	SD	var. koef.	průměr	SD	var. koef.
Doba zátěže	14:18:40	1:23:13	9,69%	12:21:40	1:40:51	13,60%
Tepová frekvence	182,00	9,37	5,15%	182,61	8,21	4,50%
VO <sub>2max</sub> (ml.min <sup>-1</sup> .kg <sup>-1</sup> )	58,97	6,59	11,18%	59,22	7,95	13,43%
RER	1,24	0,08	6,30%	1,25	0,10	7,74%
Ventilace (l.min <sup>-1</sup> )	165,05	26,21	15,88%	161,61	29,02	17,95%
Výkon (W)	343,33	39,51	11,51%	343,78	48,88	14,22%
Výkon.hmotnost <sup>-1</sup> (W.kg <sup>-1</sup> )	4,66	0,52	11,20%	4,67	0,67	14,29%
RPE (dle Borga)	18,33	1,15	6,30%	18,67	1,15	6,19%

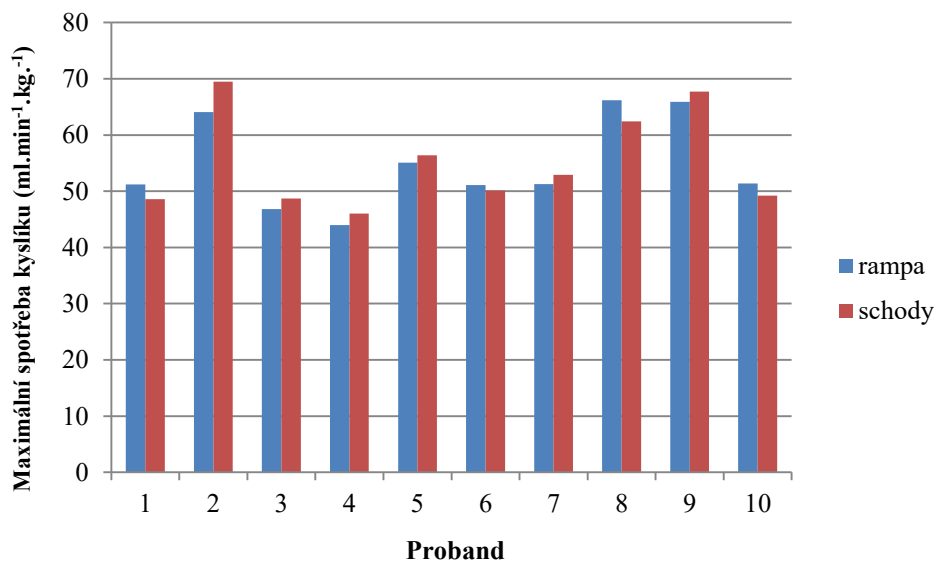
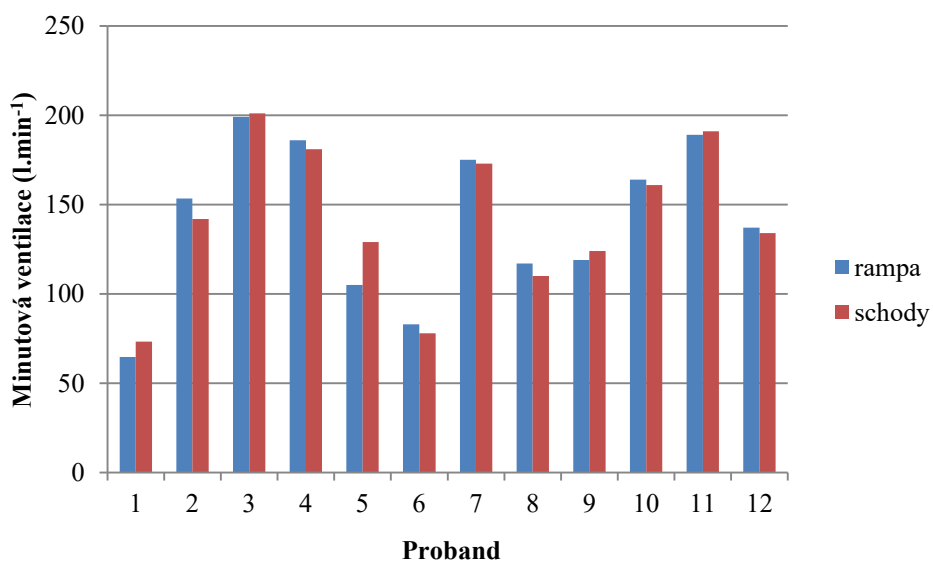
Tabulka 7 Souhrnné výsledky mužů

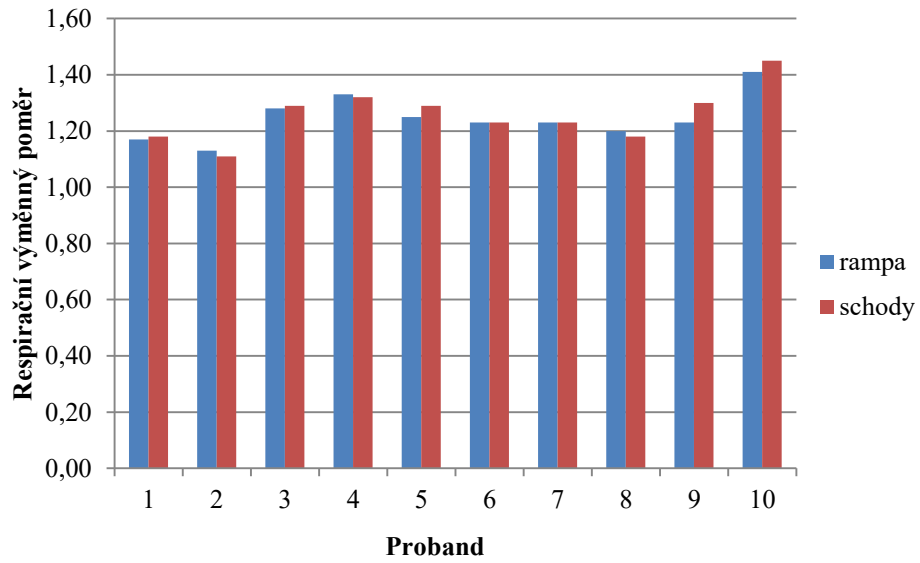
Ze srovnání a statistické analýzy získaných dat jsme zjistili, že maximální hodnoty ani jednoho ze sledovaných fyziologických parametrů se statisticky významně neliší. Variační koeficienty proměnných dosahují pro oba protokoly obdobných hodnot.

Grafické zhodnocení podrobných výsledků předkládáme níže.

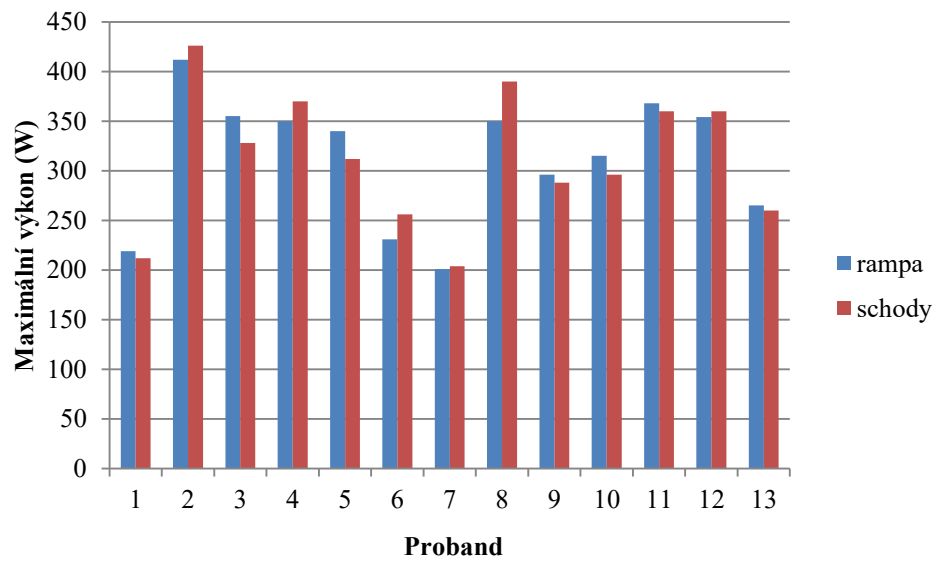


Graf 1 Maximální tepová frekvence

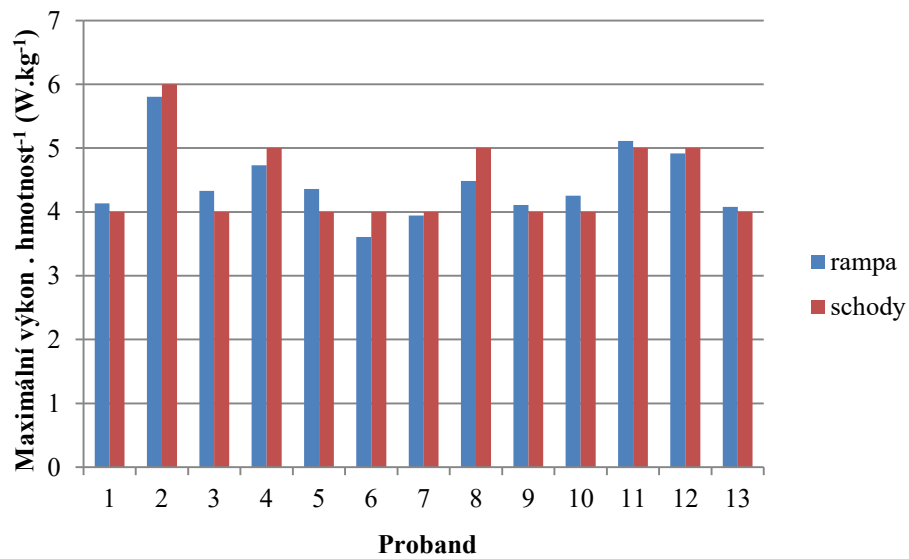
*Graf 2 Maximální spotřeba kyslíku**Graf 3 Minutová ventilace*



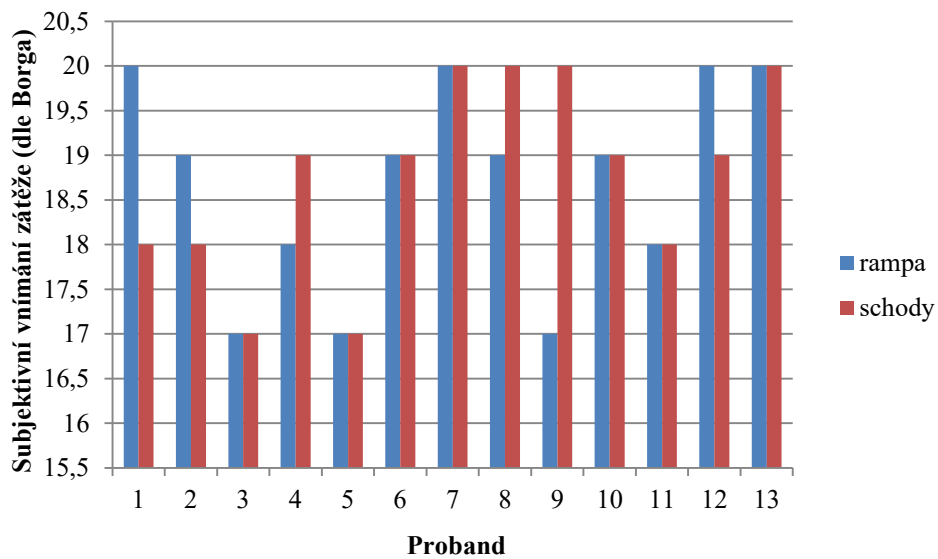
Graf 4 Respirační výměnný poměr



Graf 5 Maximální výkon



Graf 6 Maximální výkon převedený na hmotnost



Graf 7 Subjektivní vnímání zátěže

Jediný parametr, ve kterém se protokoly odlišují ( $p < 0,0001$ ), je doba zátěže, ve prospěch rampového protokolu. Tento parametr ale nebyl hlavním předmětem našeho zkoumání. Získaný poznatek ale může nalézt své využití v praxi.

Výsledky experimentu a statistická analýza potvrdily obě naše hypotézy. Tedy že rozdíly maximálních hodnot kardiovaskulárních a ventilačních parametrů (TF,  $\text{VO}_2$ ,

RER, minutová ventilace), ani maximálního výkonu nebo subjektivního vnímání zátěže mezi rampovým a schodovitým protokolem nejsou statisticky významné.

## 5 DISKUZE

Tato práce měla za cíl srovnat maximální hodnoty dosažené při dvou různých protokolech zátěžového vyšetření na bicyklovém ergometru. Práce shrnuje poznatky o indikacích, kontraindikacích, doporučeních k praktickému provedení zátěžového testu, o parametrech, které jsou během testu sledovány a jejich výpovědní hodnotě. Kromě toho popisuje vybrané konkrétní submaximální i maximální protokoly a z klinických studií zjišťuje srovnatelnost jejich výsledných hodnot.

Zátěžové testování je velmi rozšířený a poměrně levný diagnostický nástroj, který nám umožňuje objektivizovat tělesnou zdatnost, ověřit efekt nebo potřebu farmakoterapie, ale i diagnostikovat patologie, které mohou být v klidu asymptomatické a projevují se pouze v zátěži. Vzhledem k širokému spektru indikací k zátěžovému testu existuje velké množství specifických protokolů, které v případě protokolů do maxima sledují nebo u submaximálních variant výpočtem zjišťují dynamiku konkrétního parametru v zátěži. Pro zátěžové testování (ať už maximální nebo submaximální) se používají nejčastěji dva typy zátěže. Jedná se o testy prováděné na běhátku a testy na bicyklovém ergometru, které jsou v Evropě a České republice častěji používané (Máček, Radvanský, 2011). Proto jsme také zvolili srovnání dvou protokolů na bicyklovém ergometru. To, jakou modalitu zátěže zvolíme, může zásadně ovlivnit výsledné hodnoty, dokonce se jedná o jeden z nejvýznamnějších faktorů, které ovlivňují výsledky zátěžového testu. (Beltz et.al, 2016)

Během zátěžového testu zkoumáme dynamiku kardiovaskulárních parametrů (krevní tlak, tepová frekvence, EKG), ventilačních parametrů (minutová ventilace,  $VO_{2max/peak}$ , RER) a subjektivní vnímání zátěže, k jehož popisu používáme Borgovu škálu. Mezi výstupní parametry, které samy o sobě vypovídají o zdatnosti testovaného, patří kromě výše zmíněných ventilačních parametrů ještě výkon a doba tolerance zátěže (Forman et al., 2010).

Typ protokolu, který k zátěžovému testu zvolíme, může do určité míry ovlivnit výsledné hodnoty. Klinické studie zabývající se problematikou zátěžového testování se proto snaží najít takový postup zvyšování zátěže, aby bylo dosaženo co nejvyšších hodnot co největším množstvím testovaných jedinců. Co se týče délky trvání zátěže, vychází většina autorů z všeobecného doporučení, že by neměla překročit 25 minut (Macauley, 2013; Máček, Radvanský 2011). Často zkoumaným faktorem, který

ovlivňuje získané hodnoty, je doba trvání jednotlivých stupňů v zátěži a strmost nárůstu zátěže v rampovém průběhu. Z různých studií vyplývá, že s prodlužující se dobou trvání stupňů se snižuje hodnota  $VO_{2max}$  a klesá maximální výkon, proto by se v případě stupňovitého průběhu protokolu měl tento parametr pohybovat mezi 60 a 180s (Ekblom, Bak, 2016; Adami et al., 2013; Bentley, 2007; Myers, 1991). Částečně proti tomuto doporučení mluví Bishop et al. (1998), který sice nepopírá tvrzení výše uvedených studií, ale poukazuje na to, že u delších úseků lze lépe určit laktátový práh. Tento fakt zdůrazňuje to, že jeden ideální protokol pro všechny indikace neexistuje.

S dobou trvání stupňů souvisí také strmost zvyšování zátěže. Zde vychází lépe, minimálně co se týče maximálního výkonu, rampový průběh protokolu (Presisser et al., 2015; Zuniga et al., 2012; Myers 1991, Buchfuhrer et al., 1983). V této variantě rostou hodnoty výkonu i  $VO_{2max}$  s rostoucí strmostí rampy (Boon et al., 2008). Tento poznatek se ale týká protokolů do maxima. U submaximálních protokolů naopak velké skokové změny zátěže ztěžují odhad maximální spotřeby kyslíku a zkreslují vypočtené hodnoty (Akinpelu, 2016; Myers 1991). Při navrhování protokolu je třeba odhadnout zdatnost testovaného jedince a na jejím základě vhodně zvolit počáteční zátěž, aby nedošlo ke znehodnocení výsledků vyčerpáním neefektivní prací na počátečních, příliš nízkých intenzitách (Boon et al., 2008). Drtivá většina protokolů využívá stupňování zátěže od nízké intenzity k maximu. Výjimkou byla studie (Beltrami, 2011), která využila maxima změřeného v běžném, vzestupném protokolu, jako počáteční a poté docházelo ke snižování intenzity. Tímto postupem získali autoři vyšší hodnoty  $VO_{2max}$  než z běžného rampového protokolu, vzhledem k časové i fyzické náročnosti tohoto protokolu je ale jeho praktická aplikace značně nepravděpodobná.

Při zpracování dat a výsledků studií, ze kterých jsme chtěli v našem experimentu vycházet, jsme často naráželi na problém, že drtivá většina studií uvádí výsledné hodnoty výkonu nebo velikost přírůstku mezi jednotlivými schody bez převedení na hmotnost těla. Převedení jejich poznatků do dalších prací, včetně této, je tak značně ztíženo.

Při konstrukci protokolů, které jsme v našem experimentu srovnávali, jsme vycházeli z praktických zkušeností vedoucího práce a všeobecných doporučení. Zvolili jsme dva u nás nejčastěji používané způsoby stupňování zátěže do maxima na bicyklovém ergometru. Mimo jiné i proto, aby byly výsledky této práce prakticky využitelné při běžném zátěžovém testování. Stejně jako ve studiích zabývajících se podobnou tematikou (Zuniga et al., 2012; Preisser et al., 2015) jsme navrhli strmost



stoupání zátěže v rampovém protokolu tak, aby probandi dosahovali v určitých časových intervalech (konkrétně po 3 minutách) stejného výkonu, jako tomu bylo u schodovitého protokolu, aby nedošlo ke zkreslení výsledků rozdílnou celkovou náročností protokolů.

Pro náš experiment jsme volili zdatné, sportující jedince, kteří jsou zvyklí na pohyb a výkony v maximu. Chtěli jsme se tak vyhnout možnému předčasnému ukončování zátěže z důvodů nízké motivace nebo nezvyku podávat výkon blížící se maximu, ke kterému může na základě poznatků z literatury (Palange et al, 2007) dojít u nezdatných a nesportujících jedinců. To, že jsme vybrali sportující jedince, nám také pomohlo zvýšit pravděpodobnost toho, že testovaní dosáhnou svého skutečného maxima, eventuelně plató ve spotřebě kyslíku. Tento fenomén není nutný pro určení, zda bylo dosaženo maxima, ale je jedním z ukazatelů toho, že má daný jedinec velký vytrvalostní potenciál a je zvyklý tolerovat všechny nepříjemné prožitky včetně bolesti, které doprovázejí zátěž na velmi vysoké intenzitě (Lucía et al., 2006).

Co se týče sportů, kterým se probandi věnují, převládá vytrvalostní nebo rychlostně – vytrvalostní charakter. Pouze u jednoho probanda převažuje zaměření na rychlost a výbušnost, jedná se o plavecké sprinty. Na základě těchto skutečností jsme mohli očekávat jak velkou zdatnost, tak dosahování nadprůměrných hodnot  $VO_{2max}$ , což se nám ve výsledcích také potvrdilo. Všichni zúčastnění se také byli schopni vydat do svého maxima, čemuž odpovídaly kromě subjektivního hodnocení zátěže a stavu probandů po ukončení testu i hodnoty maximální tepové frekvence a RER. Právě RER byl jedním ze srovnávaných parametrů, ačkoli Pierce et al. (Pierce et al., 1999) poukazuje na možné zkreslení těchto hodnot u vrcholových sportovců. Případně chybě způsobené tímto faktem jsme se vyhnuli vyřazením výsledků, které nebyly relevantní.

Za  $VO_{2max}$  jsme považovali nejvyšší dosažené hodnoty spotřeby kyslíku bez ohledu na dosažení či nedosažení plató, ačkoli někteří autoři (Forman et al., 2010) by některé z těchto hodnot označili za  $VO_{2peak}$ . Tento postup jsme volili jednak v návaznosti na praktickou zkušenost a tradici v českém zátěžovém lékařství, jednak na podkladě výsledků studií (Lucía et al., 2006; Day et al., 2003), které podporují fakt, že hodnoty  $VO_2$  naměřené při dosažení plató spotřeby kyslíku a  $VO_2$  naměřené bez dosažení plató, ale při splnění kritérií maxima, se neliší.

Většina autorů, kteří se zabývali tématem srovnání maximálních hodnot získaných z různých protokolů na bicyklovém ergometru (Preisser et al., 2015; Zuniga et al., 2012; Boon, 2008; Myers 1991, Buchfuhrer et al., 1983) došlo k podobným

výsledkům. Maximální hodnoty tepové frekvence, subjektivní hodnocení zátěže a  $VO_{2max}$  se v drtivé většině nelišily tak, aby se tyto odlišnosti daly považovat za statisticky významné. Co se týče submaximálních hodnot těchto parametrů, vycházely lépe protokoly využívající schodovitý průběh (Adami et al., 2013; Zuniga et al., 2012), což Zuniga zdůvodňuje větší celkovou prací, která musí být v případě schodů vyvinuta na dosažení stejného výkonu na rampě. Všechny srovnávací studie ale zároveň uvádějí, že maximální výkon (PPO) byl vyšší u rampového protokolu. Na základě těchto poznatků jsme i my očekávali podobné výsledky. Ve většině jsme se s výše uvedenými studiemi shodli, a to především v tom, že maximální hodnoty ventilačních parametrů, RPE ani tepové frekvence získaných ze dvou různých protokolů se statisticky významně neliší. Na rozdíl od ostatních nám ale vyšel bez statisticky významného rozdílu i maximální výkon. A to jak jeho absolutní hodnoty, tak i jeho hodnota při přepočítání na hmotnost testovaného jedince. Což je parametr, který ve většině studií chybí a ztěžuje tak reprodukcibilitu získaných výsledků. Tento rozpor by mohl být způsoben tím, že na rozdíl od ostatních studií byli naši probandi vrcholoví nebo výkonnostní sportovci. Oproti běžné, nesportující populaci, na které byly prováděny zmíněné studie, se s nejvyšší pravděpodobností byli schopni vydat do absolutního maxima v obou případech. Kromě toho rozdíly uváděné ve studiích jsou sice statisticky významné, ale nejsou nijak výrazné, jedná se o rozdíly kolem 5%. Navíc v případě studie Zunigy et al. (Zuniga et al., 2012) byli probandi instruováni k udržování nižší frekvence otáček (70/min), což mohlo mít také svůj vliv na výsledné hodnoty výkonu (Dantas de Lucas et al., 2014).

Na základě poznatků jedné ze studií, které se zabývaly podobným tématem (Preisser et al, 2015), jsme se snažili, aby výkony z jednotlivých protokolů nebyly ovlivněny rozdílnou motivací. K tomu podle autorů v jejich studii mohlo dojít, protože všichni probandi absolvovali jako první stejný protokol. Tento fakt vychází z předpokladu, že při prvním měření byli testovaní jedinci jinak motivovaní k dosažení absolutního maxima. Při druhém měření na druhou stranu už věděli, co přibližně očekávat (spíše co se týče jejich výkonu, s průběhem protokolu byli předem seznámeni) a byli tak schopni dostat ze sebe více. Je otázka, který z těchto faktorů měl větší vliv na dosažené hodnoty. Proto, abychom se tomuto vyhnuli, jsme volili pořadí protokolů do určité míry náhodně, ale tak, aby polovina probandů začínala na rampovém protokolu a polovina na schodovitém.

Rozdíly v subjektivním vnímání zátěže byly rovnoměrně rozloženy. Ve třech případech vnímali probandi lépe rampový protokol, ve třech tomu bylo opačně a šest probandů udalo na konci zátěže stejnou hodnotu RPE. Některé rozdíly mohly být způsobeny tím, že se probandi dostavili na jedno z unavenější. Celkově ale získané hodnoty RPE poukazují na to, že bylo ve všech případech dosaženo maxima.

Co se týče toho, který z protokolů byl pro probandy příjemnější, zjistili jsme dva různé názory. Někteří uváděli, že je pro ně rampový průběh příjemnější než schodovitý, díky pozvolnému a stálému zvyšování náročnosti. Na druhou stranu se u schodovitého průběhu některým z probandů lépe udržovala motivace vydržet zátěž ještě o trochu déle. Pokud se proband dostal přes kritické zvýšení zátěže, ta zůstávala na konkrétním stupni stále stejná a šlo tak více o vůli probanda, než tomu bylo u rampového průběhu.

Maximální tepová frekvence se výrazněji lišila ve dvou případech, v obou se jednalo o vyšší tepovou frekvenci v případě schodovitého průběhu protokolu. Z toho v jednom případě vyšší  $TF_{max}$  odpovídal i vyšší výkon a ventilace, ve druhém případě vyšší hodnoty  $TF_{max}$  dalším parametrům neodpovídají. Tato odchylka mohla být způsobena jiným nastavením organismu probanda v případě druhého měření, které v jeho případě probíhalo v odlišnou denní dobu. U ostatních probandů se  $TF_{max}$  lišila úplně minimálně, ve třech případech dosáhli probandi dokonce zcela totožných hodnot.

Jak již bylo zmíněno, v případě maximální spotřeby kyslíku jsme museli výsledky 3 probandů vyřadit pro zkreslení výsledků zanesením náustku analyzátoru dechových plynů. Ze zbylých deseti probandů jich 6 dosáhlo vyšší  $VO_{2max}$  u schodovitého průběhu protokolu. Nejvýraznější rozdíl byl u probanda, který schodovitým protokolem začínal, a vyššímu  $VO_{2max}$  odpovídá i vyšší výkon.

Minutovou ventilaci jsme srovnávali u dvanácti probandů, jednoho jsme vyřadili z již zmíněných důvodů. Zde dosahovali všichni velmi podobných výsledků u obou protokolů. V sedmi případech byla minutová ventilace mírně vyšší u rampového protokolu. Ne ve všech případech tomu ale odpovídala i  $TF_{max}$  případně  $VO_{2max}$ , mohlo se proto jednat o odchylky způsobené vnějšími podmínkami nebo motivací probandů.

V případě respiračního výměnného poměru jsme stejně jako u  $VO_{2max}$  museli 3 probandy ze srovnávání vyřadit (šlo v obou případech o stejné jedince). U zbytku probandů jsme nezjistili žádné výrazné rozdíly mezi oběma protokoly. Nejvýraznějšímu rozdílu, kdy byla hodnota RER vyšší u schodovitého protokolu, odpovídal i vyšší výkon, minutová ventilace a  $VO_{2max}$ .

Výraznější rozdíly (25-40 W) v maximálním výkonu se objevily u tří probandů. U dvou z nich bylo dosaženo vyššího výkonu u protokolu, který absolvovali jako druhý v pořadí. Mohli bychom proto vysvětlovat tyto rozdíly vyšší motivací v případě druhého měření. Tomuto vysvětlení se ale vymyká případ třetího výrazně rozdílného výkonu. Opět se ale jedná o stejného probanda, který absolvoval své druhé měření v jinou denní dobu, tudíž by se rozdíl v jeho případě dal vysvětlit jiným nastavením organismu. Po převedení maximálního výkonu na hmotnost jsme logicky získali obdobná data, co se týče rozdílů ve výkonech na jednotlivých protokolech.

Ve shodě s článkem z roku 2000 (Myers, Bellin, 2000) jsme došli k závěru, že rampový protokol je vhodnější ke sledování podrobné dynamiky změn fyziologických parametrů. To se týká i ukazatelů, které se objevují na submaximálním zatížení, jako je například ventilační práh. Autoři dále vyzdvihují jako jednu z výhod možnost přesnějšího sledování závislosti ischemie na době trvání zátěže, či přesnější odhad spotřeby kyslíku ze získaných dat.

Protokol se schodovitým průběhem je na druhou stranu vhodnější pro sledování krevního tlaku v zátěži. Dá se jednoznačně určit hodnota tlaku na konkrétní zátěži. Kromě toho se jako praktická výhoda jeví kratší doba, za kterou je na tomto protokolu dosaženo maxima. Tato výhoda se dá využít u zdravých sportujících jedinců. Další výhoda, opět praktická, spočívá v jednoduchosti nastavení schodovitého protokolu na ergometru. Na rozdíl od rampového typu, u kterého je třeba přírůstky zátěže vypočítávat.

Zaměnitelnost maximálních hodnot fyziologických parametrů u obou protokolů můžeme na základě našeho experimentu prohlásit za potvrzenou, pokud se testování týká zdravé mužské populace. U žen se domníváme, že bude situace obdobná, ale v tomto případě nemůžeme naše tvrzení podložit dostatečně velkým vzorkem probandů. Jedná se tedy pouze o odhad na základě výsledků 4 probandek, které experiment absolvovaly.

S tím souvisí i hlavní nedostatek práce, kterého jsme si vědomi, a to nerovnoměrné zastoupení pohlaví v testovaném souboru. Kromě toho je praktická využitelnost výsledků našeho experimentu poněkud omezena tím, že byl proveden na dost specifické skupině probandů. K ověření našich výsledků u širší populace včetně pacientů je proto třeba dalších, rozsáhlejších prací.

## ZÁVĚR

V současné době se v České republice pro zátěžové testování nejvíce využívají dva typy protokolů, rampový a schodovitý. Konkrétní doporučení, který z nich u konkrétní indikace použít, neexistují, často se oba kombinují.

Výsledkem našeho experimentu je zjištění, že schodovitý průběh protokolu zátěžového testu na bicyklovém ergometru je u mladých, zdravých a zdatných mužů srovnatelný s rampovým typem. Co se týče maximálních hodnot nejčastěji sledovaných fyziologických parametrů (tepová frekvence, výkon, minutové ventilace,  $VO_2$ , RER a RPE), nezjistili jsme žádné statisticky významné rozdíly. U sportujících, mladých a zdravých žen se domníváme, že budou rozdíly nevýznamné, stejně jako u mužů. Toto tvrzení ale nemůžeme podložit dostatečně velkým vzorkem, proto se jedná pouze o domněnku. Každý z protokolů má svá prakticky využitelná specifika. V případě rampového protokolu byli probandi schopni déle tolerovat zátěž. Z toho vychází náš předpoklad, že je tento typ protokolu vhodnější k podrobnému sledování dynamiky fyziologických ukazatelů, především na submaximálních intenzitách zátěže. Naopak u schodovitého protokolu byli testovaní jedinci většinou schopni dosáhnout stejného nebo vyššího výkonu a maximálních hodnot  $VO_2$  či tepové frekvence za kratší dobu, což může být v každodenní praxi výhodou. Oba protokoly byly subjektivně vnímány přibližně stejně. Z praktického hlediska tak můžeme říci, že rampový a schodovitý protokol u mladých, zdravých a zdatných mužů jsou pro sledování maximálních hodnot fyziologických parametrů v zátěži zaměnitelné. Pro zhodnocení tohoto faktu u širší populace a pacientů je třeba dalších prací.

## REFERENČNÍ SEZNAM

ADAMI, Alessandra, Andrea SIVIERI, Christian MOIA, Renza PERINI a Guido FERRETTI. Effects of step duration in incremental ramp protocols on peak power and maximal oxygen consumption. *European Journal of Applied Physiology* [online]. 2013, 113(10), 2647-2653 [cit. 2018-03-07]. DOI: 10.1007/s00421-013-2705-9. ISSN 1439-6319. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00421-013-2705-9>

AKINPELU, David, YANG, Eric, ed. Treadmill Stress Testing Technique [online]. 2016 [cit. 2017-07-18]. Dostupné z: <http://emedicine.medscape.com/article/1827089-technique>

AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE, Linda S. Pescatello SENIOR EDITOR a Ross Arena ASSOCIATE EDITORS. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. 9th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer/Lippincott Williams, 2014. ISBN 978-160-9139-551.

ARENA, Ross, Marco GUAZZI, Jonathan MYERS a Mary Ann PEBERDY. Prognostic value of heart rate recovery in patients with heart failure. *American Heart Journal* [online]. 2006, 151(4), 851.e7-851.e13 [cit. 2018-02-17]. DOI: 10.1016/j.ahj.2005.09.012. ISSN 00028703. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0002870305008677>

ASTORINO, Todd A., Robert A. ROBERGS, Farzaneh GHIASVAND, Derek MARKS a Steve BURNS. Incidence Of The Oxygen Plateau at VO<sub>2</sub>max During Exercise Testing To Volitional Fatigue. *Journal of Exercise Physiology*. 2000, 3(4). ISSN 1097-9751.

BALADY, G. J., R. ARENA, K. SIETSEMA, et al. Clinician's Guide to Cardiopulmonary Exercise Testing in Adults: A Scientific Statement From the American Heart Association. *Circulation*. 2010, 122(2), 191-225. DOI: 10.1161/CIR.0b013e3181e52e69. ISSN 0009-7322. Dostupné také z: <http://circ.ahajournals.org/cgi/doi/10.1161/CIR.0b013e3181e52e69>

BARKER, Tyler, David C. POOLE, M. Larry NOBLE a Thomas J. BARSTOW. Human critical power-oxygen uptake relationship at different pedalling frequencies. *Experimental Physiology* [online]. 2006, 91(3), 621-632 [cit. 2018-03-06]. DOI: 10.1113/expphysiol.2005.032789. ISSN 09580670. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1113/expphysiol.2005.032789>

BARRET, Kim E. . [ET AL.]. *Ganong's review of medical physiology*. 23rd ed. New York: McGraw-Hill Medical, 2010. ISBN 9780071605670.

BELTRAMI, Fernando G, Christian FROYD, Alexis R MAUGER, Alan J METCALFE, Frank MARINO a Timothy D NOAKES. Conventional testing methods produce submaximal values of maximum oxygen consumption. *British Journal of Sports Medicine*. 2011, 46(1), 23-29. DOI: 10.1136/bjsports-2011-090306. ISSN 0306-3674. Dostupné také z: <http://bjsm.bmj.com/lookup/doi/10.1136/bjsports-2011-090306>

BELTZ, Nicholas M., Ann L. GIBSON, Jeffrey M. JANOT, Len KRAVITZ, Christine M. MERMIER a Lance C. DALLECK. Graded Exercise Testing Protocols for the Determination of  $\dot{V}O_2$  max: Historical Perspectives, Progress, and Future Considerations. *Journal of Sports Medicine*. 2016, 2016, 1-12. DOI: 10.1155/2016/3968393. ISSN 2356-7651. Dostupné také z: <https://www.hindawi.com/journals/jsm/2016/3968393/>

BENTLEY, David J., Lars R. MCNAUGHTON, Dylan THOMPSON, Veronica E. VLECK a Alan M. BATTERHAM. Peak power output, the lactate threshold, and time trial performance in cyclists. *Medicine & Science in Sports & Exercise* [online]. 2001, 33(12), 2077-2081 [cit. 2018-03-04]. DOI: 10.1097/00005768-200112000-00016. ISSN 0195-9131. Dostupné z: <https://insights.ovid.com/crossref?an=00005768-200112000-00016>

BENTLEY, David J. a Lars R. MCNAUGHTON. Comparison of  $W_{peak}$ ,  $\dot{V}O_{2peak}$  and the ventilation threshold from two different incremental exercise tests: Relationship to endurance performance. *Journal of Science and Medicine in Sport* [online]. 2003, 6(4), 422-435 [cit. 2018-07-19]. DOI: 10.1016/S1440-2440(03)80268-2. ISSN 14402440. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1440244003802682>

BENTLEY, David J, John NEWELL a David BISHOP. Incremental Exercise Test Design and Analysis. *Sports Medicine* [online]. 2007, 37(7), 575-586 [cit. 2018-03-04]. DOI: 10.2165/00007256-200737070-00002. ISSN 0112-1642. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.2165/00007256-200737070-00002>

BERNACIKOVÁ, Martina. *Fyziologie*. Brno: Masarykova Univerzita, 2012. ISBN 978-80-210-5841-5.

BISHOP, David, David G. JENKINS a Laurel T. MACKINNON. The effect of stage duration on the calculation of peak  $\dot{V}O_2$  during cycle ergometry. *Journal of Science and Medicine in Sport* [online]. 1998, 1(3), 171-178 [cit. 2018-03-05]. DOI: 10.1016/S1440-2440(98)80012-1. ISSN 14402440. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1440244098800121>

BJÖRKMAN, Frida, Elin EKBLOM-BAK, Örjan EKBLOM a Björn EKBLOM. Validity of the revised Ekblom Bak cycle ergometer test in adults. *European Journal of Applied Physiology*. 2016, 116(9), 1627-1638. DOI: 10.1007/s00421-016-3412-0. ISSN 1439-6319. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s00421-016-3412-0>

BOONE, Jan, Katrien KOPPO a Jacques BOUCKAERT. The response to submaximal ramp cycle exercise: Influence of ramp slope and training status. *Respiratory Physiology & Neurobiology* [online]. 2008, 161(3), 291-297 [cit. 2018-03-05]. DOI: 10.1016/j.resp.2008.03.008. ISSN 15699048. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1569904808000700>

BORG, Gunnar A. V. Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 1982, 14(5), 377-381.

BUCHFUHRER, Mark J., James E HANSEN a Karlman WASSERMAN. Optimizing the exercise protocol for cardiopulmonary assessment. *Journal of applied physiology: respiratory, environmental and exercise physiology*. 1983, 55(5), 1558-1564.



CHEN, Chien-Liang, Nan-Ying YU, Jing-Shia TANG, Shao-Hsia CHANG, Yea-Ru YANG a Lin WANG. Effect of yelling on maximal aerobic power during an incremental test of cycling performance. *Journal of Sport and Health Science*. 2016, 5(4), 456-461. DOI: 10.1016/j.jshs.2015.09.009. ISSN 20952546. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2095254615000964>

DAY, J. R., H. B. ROSSITER, E. M. COATS, A. SKASICK a B. J. WHIPP. The maximally attainable  $\dot{V}O_2$  during exercise in humans: the peak vs. maximum issue. *Journal of Applied Physiology* [online]. 2003, 95(5), 1901-1907 [cit. 2018-07-20]. DOI: 10.1152/jappphysiol.00024.2003. ISSN 8750-7587. Dostupné z: <http://www.physiology.org/doi/10.1152/jappphysiol.00024.2003>

DE LUCAS, Ricardo Dantas, Camila Coelho GRECO, Jeanne DEKERLE, Renato Aparecido Corrêa CARITÁ, Luiz Guilherme Antonacci GUGLIELMO a Benedito Sérgio DENADAI. Test-retest reliability of a 3-min isokinetic all-out test using two different cadences. *Journal of Science and Medicine in Sport* [online]. 2014, 17(6), 645-649 [cit. 2018-03-06]. DOI: 10.1016/j.jsams.2013.09.005. ISSN 14402440. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1440244013001990>

DJURIC, David A a Francis G O'CONNOR. Cardiovascular Testing. *The Sports Medicine Resource Manual* [online]. Elsevier, 2008, 2008, s. 507-519 [cit. 2018-03-22]. DOI: 10.1016/B978-141603197-0.10040-0. ISBN 9781416031970. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9781416031970100400>

DORN, J., J. NAUGHTON, D. IMAMURA a M. TREVISAN. Results of a Multicenter Randomized Clinical Trial of Exercise and Long-Term Survival in Myocardial Infarction Patients: The National Exercise and Heart Disease Project (NEHDP). *Circulation* [online]. 1999, 100(17), 1764-1769 [cit. 2018-03-23]. DOI: 10.1161/01.CIR.100.17.1764. ISSN 0009-7322. Dostupné z: <http://circ.ahajournals.org/cgi/doi/10.1161/01.CIR.100.17.1764>

EKBLÖM-BAK, E., F. BJÖRKMAN, M.-L. HELLENIUS a B. EKBLÖM. A new submaximal cycle ergometer test for prediction of  $\dot{V}O_{2max}$ . *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*. 2014, (24), 319-326. DOI: 10.1111/sms.12014. ISBN 10.1111/sms.12014. Dostupné také z: <http://doi.wiley.com/10.1111/sms.12014>

FLETCHER, G. F., G. J. BALADY, E. A. AMSTERDAM, et al. Exercise Standards for Testing and Training: A Statement for Healthcare Professionals From the American Heart Association. *Circulation*. 2001, 104(14), 1694-1740. DOI: 10.1161/hc3901.095960. ISSN 0009-7322. Dostupné také z: <http://circ.ahajournals.org/cgi/doi/10.1161/hc3901.095960>

FORMAN, Daniel E., Jonathan MYERS, Carl J. LAVIE, Marco GUAZZI, Bartolome CELLI a Ross ARENA. Cardiopulmonary Exercise Testing: Relevant but Underused. *Postgraduate Medicine*. 2010, 122(6). DOI: 10.3810/pgm.2010.11.2225. ISBN 10.3810/pgm.2010.11.2225. ISSN 0032-5481. Dostupné také z: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.3810/pgm.2010.11.2225>

HALE, Tudor. *Exercise physiology: a thematic approach*. Hoboken, NJ: Wiley, c2003. ISBN 04-708-4682-8.

ISSEKUTZ, B., N. C. BIRKHEAD a K. RODAHL. Use of respiratory quotients in assessment of aerobic work capacity. *Journal of Applied Physiology* [online]. 1962, 17(1), 47-50 [cit. 2018-07-10]. DOI: 10.1152/jappl.1962.17.1.47. ISSN 8750-7587. Dostupné z: <http://www.physiology.org/doi/10.1152/jappl.1962.17.1.47>

JONES, Andrew M. a Anni VANHATALO. The 'Critical Power' Concept: Applications to Sports Performance with a Focus on Intermittent High-Intensity Exercise. *Sports Medicine* [online]. 2017, 47(S1), 65-78 [cit. 2018-03-06]. DOI: 10.1007/s40279-017-0688-0. ISSN 0112-1642. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s40279-017-0688-0>

JOUVEN, Xavier, Jean-Philippe EMPANA, Peter J. SCHWARTZ, Michel DESNOS, Dominique COURBON a Pierre DUCIMETIÈRE. Heart-Rate Profile during Exercise as a Predictor of Sudden Death. *New England Journal of Medicine* [online]. 2005, 352(19), 1951-1958 [cit. 2018-03-01]. DOI: 10.1056/NEJMoa043012. ISSN 0028-4793. Dostupné z: <http://www.nejm.org/doi/abs/10.1056/NEJMoa043012>

LANDS, Larry C. a Helge HEBESTREIT. Exercise Testing in CF, the What and How. *Diet and Exercise in Cystic Fibrosis* [online]. Elsevier, 2015, 2015, s. 283-289 [cit. 2018-03-22]. DOI: 10.1016/B978-0-12-800051-9.00032-8. ISBN 9780128000519. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128000519000328>

LAUER, M. Exercise Testing in Asymptomatic Adults: A Statement for Professionals From the American Heart Association Council on Clinical Cardiology, Subcommittee on Exercise, Cardiac Rehabilitation, and Prevention. *Circulation* [online]. 2005, 112(5), 771-776 [cit. 2018-02-17]. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.105.166543. ISSN 0009-7322.

LOCKWOOD, Park, James YODER a Patricia DEUSTER. Comparison and cross-validation of cycle ergometry estimates of VO<sub>2</sub> max. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 1997, 29(11), 1513-1520. ISSN 0195-9131.

LUCÍA, A., M. RABADÁN, J. HOYOS, M. HERNÁNDEZ-CAPILLA, M. PÉREZ, A. SAN JUAN, C. EARNEST a J. CHICHARRO. Frequency of the V·O<sub>2</sub> max Plateau Phenomenon in World-Class Cyclists. *International Journal of Sports Medicine* [online]. 2006, 27(12), 984-992 [cit. 2018-07-30]. DOI: 10.1055/s-2006-923833. ISSN 0172-4622. Dostupné z: <http://www.thieme-connect.de/DOI/DOI?10.1055/s-2006-923833>

MÁČEK, Miloš a Jan VÁVRA. *Fyziologie a patofyziologie tělesné zátěže*. 2. vyd. Praha: Avicenum, 1988.

MÁČEK, Miloš a Jiří RADVANSKÝ. *Fyziologie a klinické aspekty pohybové aktivity*. Praha: Galén, c2011. ISBN 978-80-7262-695-3.

MACAULEY, Domhnall. *Oxford handbook of sport and exercise medicine*. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press, 2013. Oxford medical publications. ISBN 978-019-9660-155.

MAUGER, Alexis R a Nick SCULTHORPE. A new VO<sub>2</sub> max protocol allowing self-pacing in maximal incremental exercise. *British Journal of Sports Medicine*. 2011. DOI: 10.1136/bjsports-2011-090006. ISBN 10.1136/bjsports-2011-090006. Dostupné také z: <http://bjsm.bmj.com/lookup/doi/10.1136/bjsports-2011-090006>

MCARDLE, William D., Frank I. KATCH a Victor L. KATCH. *Exercise physiology: nutrition, energy, and human performance*. Eighth edition. Wolters Kluwer Health, 2015. ISBN 978-1-4511-9383-1.

MORTON, Hugh R. Why peak power is higher at the end of steeper ramps: An explanation based on the “critical power” concept. *Journal of Sports Sciences* [online]. 2011, 29(3), 307-309 [cit. 2018-03-07]. DOI: 10.1080/02640414.2010.534809. ISSN 0264-0414. Dostupné z:

<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02640414.2010.534809>

MUSCAT, Kristina M., Houssam G. KOTRACH, Courtney A. WILKINSON-MAITLAND, Michele R. SCHAEFFER, Cassandra T. MENDONCA a Dennis JENSEN. Physiological and perceptual responses to incremental exercise testing in healthy men: effect of exercise test modality. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. NRC Research Press, 2015, 40(11), 1199-1209. DOI: 10.1139/apnm-2015-0179. ISBN 10.1139/apnm-2015-0179. Dostupné také z: <http://www.nrcresearchpress.com/doi/10.1139/apnm-2015-0179>

MYERS, Jonathan, Nancy BUCHANAN, Doug WALSH a Mark KRAEMER. Comparison of the Ramp Versus Standard Exercise Protocols. *Journal of the American College of Cardiology*. 1991, 17(6), 1334-1342.

MYERS, Jonathan a Daniel BELLIN. Ramp Exercise Protocols for Clinical and Cardiopulmonary Exercise Testing. *Sports Medicine*[online]. 2000, 30(1), 23-29 [cit. 2018-07-19]. DOI: 10.2165/00007256-200030010-00003. ISSN 0112-1642. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.2165/00007256-200030010-00003>

NOONAN, Vanessa a Elizabeth DEAN. Submaximal Exercise Testing: Clinical Application and Interpretation. *Physical Therapy*. 2000, 80(8), 782-807.

PALANGE, P., S. A. WARD, K-H. CARLSEN, et al. Recommendations on the use of exercise testing in clinical practice. *European Respiratory Journal* [online]. 2006, 29(1), 185-209 [cit. 2018-07-31]. DOI: 10.1183/09031936.00046906. ISSN 0903-1936. Dostupné z: <http://erj.ersjournals.com/cgi/doi/10.1183/09031936.00046906>

PIERCE, Sarah J, Allan G HAHN, Allan DAVIE a Evan W LAWTON. Prolonged incremental tests do not necessarily compromise  $\dot{V}O_{2max}$  in well-trained athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*[online]. 1999, 2(4), 356-363 [cit. 2018-07-30]. DOI: 10.1016/S1440-2440(99)80008-5. ISSN 14402440. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1440244099800085>

PINA, I. L., G. J. BALADY, P. HANSON, A. J. LABOVITZ, D. W. MADONNA a J. MYERS. Guidelines for Clinical Exercise Testing Laboratories: A Statement for Healthcare Professionals From the Committee on Exercise and Cardiac Rehabilitation, American Heart Association. *Circulation*. 1995, 91(3), 912-921. DOI: 10.1161/01.CIR.91.3.912. ISSN 0009-7322. Dostupné také z: <http://circ.ahajournals.org/cgi/doi/10.1161/01.CIR.91.3.912>

PLACHETA, Zdeněk. *Zátěžová diagnostika v ambulanci a klinické praxi*. Praha: Grada, 1999. ISBN 80-716-9271-9.

PREISSER, A. M., M. VELASCO GARRIDO, C. BITTNER, E. HAMPEL a V. HARTH. Gradual Versus Continuous Increase of Load in Ergometric Tests: Are the Results Comparable?. POKORSKI, Mieczyslaw, ed. *Body Metabolism and Exercise* [online]. Cham: Springer International Publishing, 2015, 2014-9-26, s. 51-58 [cit. 2018-03-08]. *Advances in Experimental Medicine and Biology*. DOI: 10.1007/5584\_2014\_15. ISBN 978-3-319-10249-8. Dostupné z: [http://link.springer.com/10.1007/5584\\_2014\\_15](http://link.springer.com/10.1007/5584_2014_15)

ROCA, Josep a Felip BURGOS. Exercise Testing. *Clinical Respiratory Medicine* [online]. Elsevier, 2012, 2012, s. 143-153 [cit. 2018-03-22]. DOI: 10.1016/B978-1-4557-0792-8.00010-6. ISBN 9781455707928. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9781455707928000106>

SARMA, Satyam a Benjamin D. LEVINE. Beyond the Bruce Protocol. *Cardiology Clinics*. 2016, 34(4), 603-608. DOI: 10.1016/j.ccl.2016.06.009. ISSN 07338651. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0733865116300431>

SPERLICH, B., M. HAEGELE, A. THISSEN, J. MESTER a H. -C. HOLMBERG. Are Peak Oxygen Uptake and Power Output at Maximal Lactate Steady State Obtained from a 3-Min All-Out Cycle Test?. *International Journal of Sports Medicine* [online]. 2011, 32(06), 433-437 [cit. 2018-03-06]. DOI: 10.1055/s-0031-1271770. ISSN 0172-4622. Dostupné z: <http://www.thieme-connect.de/DOI/DOI?10.1055/s-0031-1271770>

STEPHENS, Paul, Michael G. MCBRIDE a Stephen M. PARIDON. Cardiopulmonary Stress Testing. *Paediatric Cardiology* [online]. Elsevier, 2010, 2010, s. 415-436 [cit. 2018-03-22]. DOI: 10.1016/B978-0-7020-3064-2.00023-0. ISBN 9780702030642. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780702030642000230>

VANHATALO, ANNI, JONATHAN H. DOUST a MARK BURNLEY. A 3-min All-out Cycling Test Is Sensitive to a Change in Critical Power. *Medicine & Science in Sports & Exercise* [online]. 2008, 40(9), 1693-1699 [cit. 2018-03-06]. DOI: 10.1249/MSS.0b013e318177871a. ISSN 0195-9131. Dostupné z: <https://insights.ovid.com/crossref?an=00005768-200809000-00020>

WASSERMAN, Karlman. Principles of exercise testing and interpretation: including pathophysiology and clinical applications. 5th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams, c2012. ISBN 978-160-9138-998.

WYNDHAM, C.H. Submaximal Tests for Estimating Maximum Oxygen Intake. *Canadian Medical Association Journal*. 1967, 96(12), 736-745.

ZUNIGA, Jorge M., Terry J. HOUSH, Clayton L. CAMIC, Haley C BERGSTROM, Daniel A. TRAYLOR, Richard J. SCHMIDT a Glen O. JOHNSON. Metabolic parameters for ramp versus step incremental cycle ergometer tests. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*[online]. 2012, 37(6), 1110-1117 [cit. 2018-07-19]. DOI: 10.1139/h2012-098. ISSN 1715-5312. Dostupné z: <http://www.nrcresearchpress.com/doi/10.1139/h2012-098>

**SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha č. 1: Informovaný souhlas .....	80
Příloha č. 2: Tabulka naměřených hodnot .....	81

## PŘÍLOHY

### Příloha č. 1: Informovaný souhlas

#### INFORMOVANÝ SOUHLAS

**Jméno probanda:**

**Datum narození:**

**Název projektu:** Srovnání zátěžových protokolů

**Pracoviště:** Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství 2. LF UK a FN Motol

**Odpovědná osoba:** MUDr. Michal Procházka

Vážený pane, vážená paní,

byl(a) jste zkontakována(a), abyste se zúčastnil(a) výzkumného projektu v rámci diplomové práce Bc. Lucie Simonianové, *Srovnání zátěžových protokolů*. Cílem práce je zjistit, zda a do jaké míry jsou výsledky zátěžového testu na bicyklovém ergometru ovlivněny typem zvoleného protokolu (schodovitě stupňovaná zátěž versus kontinuálně zvyšovaná zátěž).

Vaše účast v projektu představuje absolvování celkem dvou zátěžových testů na bicyklovém ergometru v odstupech jednoho týdne. Během obou měření vám bude monitorována tepová frekvence pomocí dvanáctivodového EKG a ventilace prostřednictvím analyzátoru dechových plynů. Samotné měření bude trvat přibližně 15 minut, délka zátěžového testu bude záviset na vaší zdatnosti. Projekt se týká protokolů do maxima, proto pojedete do svého subjektivního maxima, na konci testování budete dotazováni na subjektivní vnímání zátěže.

Závažné komplikace zátěžového testu jsou raritní, mezi běžné komplikace patří kolapsový stav z důvodu pozátěžové hypotenze.

Podpisem tohoto formuláře souhlasíte:

- se svou dobrovolnou účastí v experimentální části projektu s možností kdykoliv v průběhu odstoupit a poskytnutím osobních a anamnestických informací
- s anonymním zpracováním a použitím osobních a anamnestických údajů v souladu s platnými právními předpisy a se zákonem č. 101/2000 Sb., o ochraně osobních údajů
- se získáním klinických dat a jejich zpracováním v rámci diplomové práce

V Praze dne

Podpis probanda

Jméno a podpis osoby poskytující informace o projektu



Příloha č. 2: Tabulka naměřených hodnot

Probant	Výška (cm)	Věk	Hmotnost (kg)	Rampa								Schody								
				Průrustek	Doba zátěže	$VO_{2max}$ (ml.min <sup>-1</sup> .kg <sup>-1</sup> )	TF	Výkon (W)	Výkon.hmotnost <sup>-1</sup> (W.kg <sup>-1</sup> )	RER	RPE (dle Borga)	Ventilace (l.min <sup>-1</sup> )	Doba zátěže	$VO_{2max}$ (ml.min <sup>-1</sup> .kg <sup>-1</sup> )	TF	Výkon (W)	Výkon.hmotnost <sup>-1</sup> (W.kg <sup>-1</sup> )	RER	RPE (dle Borga)	Ventilace (l.min <sup>-1</sup> )
1	162	25	53	3W/10s	12:28:00	51,20	195	219	4,13	1,17	20	65	10:56:00	48,60	195	212	4,00	1,18	18	73
2	180	27	71	2W/5s	17:13:00	64,10	191	412	5,80	1,13	19	153	15:18:00	69,50	184	426	6,00	1,11	18	142
3	185	25	82	5W/12s	13:20:00	N/A	174	355	4,33	N/A	17	N/A	11:07:00	N/A	171	328	4,00	1,18	17	N/A
4	185	28	74	5W/12s	14:25:00	N/A	163	350	4,73	N/A	18	199	12:50:00	N/A	170	370	5,00	1,29	19	201
5	195	26	78	5W/12s	14:00:00	N/A	181	340	4,36	1,25	17	186	10:45:00	N/A	191	312	4,00	N/A	17	181
6	173	20	64	7W/20s	11:30:00	46,80	189	231	3,61	1,28	19	105	9:48:00	48,70	196	256	4,00	1,29	19	129
7	167	20	51	3W/10s	11:29:00	44,00	182	201	3,94	1,33	20	83	10:05:00	46,00	181	204	4,00	1,32	20	78
8	178	20	78	5W/12s	14:11:00	55,10	188	350	4,49	1,25	19	175	12:10:00	56,40	185	390	5,00	1,29	20	173
9	181	24	72	2W/5s	12:35:00	51,10	179	296	4,11	1,23	17	117	10:34:00	50,10	185	288	4,00	1,23	20	110
10	174	31	72	2W/5s	15:38:00	66,20	180	368	5,11	1,20	18	164	13:13:00	62,40	180	360	5,00	1,18	18	161
11	176	30	65	7W/20s	12:38:00	51,40	197	265	4,08	1,41	20	137	10:37:00	49,20	197	260	4,00	1,45	20	134
12	164	30	74	5W/12s	12:53:00	51,27	188	315	4,26	1,23	19	119	11:21:00	52,90	190	296	4,00	1,23	19	124
13	190	29	72	2W/5s	14:48:00	65,90	185	354	4,92	1,23	20	189	14:41:00	67,70	181	360	5,00	1,30	19	191
					13:37:32	54,71	184	312	4,45	1,25	18,7	141	11:48:05	55,15	185	312	4,46	1,25	19	141