

Univerzita Palackého v Olomouci
Fakulta tělesné kultury

**VLIV ZÁTĚŽOVÉHO PROTOKOLU NA VÝSLEDKY
MAXIMÁLNÍHO ZÁTĚŽOVÉHO TESTU**

(Diplomová práce)

Autor: Martin Růžička, učitelství pro střední školy,
tělesná výchova – biologie

Vedoucí práce: RNDr. Aleš Jakubec, Ph.D.

Olomouc 2013

Jméno a příjmení autora:	Martin Růžička
Název diplomové práce:	Vliv zátěžového protokolu na výsledky maximálního zátěžového testu
Pracoviště:	Katedra přírodních věd v kinantropologii
Vedoucí diplomové práce:	RNDr. Aleš Jakubec, Ph.D.
Rok obhajoby diplomové práce:	2013

Abstrakt:

Cílem práce bylo zjistit, jaký vliv má trvání zátěžových stupňů na výsledky maximálního zátěžového testu. Výzkumu se zúčastnilo 12 dobrovolníků (muži). Průměrný věk testovaného souboru byl $24,33 \pm 1,92$ let, tělesná výška $179,17 \pm 4,80$ cm a hmotnost $76,75 \pm 6,18$.

Na běžeckém ergometru LODE Valiant (Nizozemí) absolvovali všichni probandi dva maximální zátěžové testy s odlišným protokolem spočívajícím v rozdílném trvání zátěžových stupňů. Odstup mezi měřeními byl jeden až dva týdny. Analýza dechových plynů byla provedena analyzátozem ZAN Ergo USB 600 (Německo). Srdeční frekvence byla snímána pomocí hrudního pásu Polar (Finsko).

Statisticky významné rozdíly jsme zjistili u trvání zátěžového testu. To při krátké variantě protokolu činilo průměrně $602,50 \pm 20,06$ s a při dlouhé $760 \pm 48,43$ s. Ostatní sledované parametry se statisticky významně nelišily. Například průměrná hodnota $VO_2\max$ činila při krátké variantě protokolu $58,02 \pm 5,45$ ml/kg/min a při dlouhé $58,00 \pm 4,27$ ml/kg/min, průměrná hodnota $SF\max$ $191,85 \pm 5,54$ tep/min a $192,38 \pm 6,74$ tep/min. U testovaného souboru jsme nezjistili vliv použitých zátěžových protokolů na hlavní sledované parametry. Z hlediska úspory času proto můžeme doporučit kratší variantu protokolu.

Klíčová slova: maximální spotřeba kyslíku, trvání zátěžového stupně

Souhlasím s půjčováním diplomové práce v rámci knihovních služeb.

Author's first name and surname: Martin Růžička
Title of the doctoral thesis: The impact of load protocol on result of maximal exercise test
Department: Department of natural Sciences in Kinanthropology
Supervisor: RNDr. Aleš Jakubec, Ph.D.
The year of presentation: 2013

Abstract:

The aim of this work was to determine the influence of the duration of the stress levels on a maximum stress test results. The research sample consisted of 12 volunteers (men). The average age of the test group was 24.33 ± 1.92 years, height 179.17 ± 4.80 cm and a weight of 76.75 ± 6.18 cm.

All probands completed two maximal exercise tests on the treadmill ergometer LODE Valiant (Netherlands). Each test was evaluated with a different protocol in which assessing was based on the difference in the duration of stress levels. The distance between measurements was one to two weeks. Analysis of breathing gas was provided by an analyzer ZAN 600 USB Ergo (Germany). Heart rate was measured by using a Polar chest strap (Finland).

Statistically significant differences were found in the duration of the stress test. The short format of the protocol indicated the average 602.50 ± 20.06 s whereas the long format was 760 ± 48.43 s. Other monitored parameters did not differ significantly. Up to the measurements, the short format of protocol value the average of $\dot{V}O_2\text{max}$ with 58.02 ± 5.45 ml/kg/min while the long one with 58.00 ± 4.27 ml/kg/min. The former case indicated average SFmax 191.85 ± 5.54 beat / min and 192.38 ± 6.74 beat / min. The different protocols did not show any significant control over the results of stress tests on the monitored parameters, but in terms of time savings, we recommend a shorter format of the protocol.

Keywords: maximum oxygen consumption, duration of the load step

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně pod vedením RNDr. Aleše Jakubce, Ph.D., uvedl všechny použité literární a odborné zdroje a dodržel zásady vědecké etiky.

V Olomouci dne 20. 4. 2013

Děkuji RNDr. Aleši Jakubcovi, Ph.D. za vedení, pomoc, cenné rady a za čas, který mi věnoval při zpracování diplomové práce. Také děkuji všem, kteří se podíleli na výzkumu jako probandi.

OBSAH

Seznam použitých zkratk	9
1. ÚVOD	10
2. PŘEHLED POZNATKŮ	12
2.1 Vědní obor fyziologie	12
2.1.1 Charakteristika oboru	12
2.1.2 Zařazení fyziologie mezi vědní obory	12
2.1.3 Tělovýchovné lékařství	12
2.2 Energetický metabolismus	13
2.2.1 Energetický výdej	13
2.2.2 Energetické zdroje pro svalovou práci	13
2.3 Srdeční frekvence, SF (Heart rate, HR)	17
2.4 Maximální spotřeba kyslíku	18
2.5 Transportní systém	21
2.5.1 Dýchací systém	21
2.5.2 Kardiovaskulární systém	22
2.5.3 Reakce organismu na tělesné zatížení	25
2.6 Zátěžové testování	27
2.6.1 Obecná charakteristika zátěžového testování	27
2.6.2 Druhy a zdroje zatížení	27
2.6.3 Indikace zátěžových testů	28
2.6.4 Kontraindikace zátěžových testů	29
2.6.5 Rozdělení zátěžových testů	29
2.6.6 Spiroergometrie	30
2.6.7 Ergometry	32
2.6.8 Zátěžové protokoly pro běžecký ergometr	35
2.6.9 Kritéria maximálního vytížení	39
3. CÍLE A HYPOTÉZY	41
4. METODIKA VÝZKUMU	42
4.1 Výzkumný soubor	42
4.2 Organizace měření	42
4.3 Výzkumné metody	43

4.3.1 Měření tělesného tuku a výpočet BMI	43
4.3.2 Měření vitální kapacity	43
4.3.3 Testy do vita maxima.....	44
4.3.4 Statistické zpracování.....	44
5. VÝSLEDKY	46
5.1 Antropometrické vyšetření	46
5.2 Spirometrické vyšetření.....	47
5.3 Spiroergometrické vyšetření	48
5.4 Subjektivní vnímání zátěžových protokolů	53
6. DISKUSE	55
6.1 Antropometrické vyšetření	55
6.2 Spirometrické vyšetření.....	57
6.3 Spiroergometrické vyšetření	57
6.4 Subjektivní vnímání zátěžových protokolů	59
6.5 Limity studie	60
7. ZÁVĚRY	61
8. SOUHRN	62
9. SUMMARY	64
10. REFERENČNÍ SEZNAM	66
11. SEZNAM PŘÍLOH	69

Seznam použitých zkratk

$\%VO_2\text{max}$	procento maximální spotřeby kyslíku
ATP	adenosintrifosfát
a-v	arteriovenózní diference
BMI	Body Mass Index
CP	kreatinfosfát
DF	dechová frekvence
M	aritmetický průměr
MET	jednotka klidového metabolismu
Q_s	systolický (tepový) objem
R	respirační kvocient
SD	směrodatná odchylka
SF	srdeční frekvence
SF_{max}	maximální srdeční frekvence
TK	krevní tlak
VCO_2	množství oxidu uhličitého
V_E	plicní ventilace
VO_2	spotřeba kyslíku
$VO_2\text{max}$	maximální spotřeba kyslíku

1. ÚVOD

Pohyb je jeden ze čtyř základních atributů života, spolu s dráždivostí, rozmnožováním a látkovou výměnou. S rozvojem vědy a techniky pokračuje snižování potřeby spontánní tělesné aktivity. Mění se i její charakter (z převážně vytrvalostní na silovou), což může mít v důsledku negativní vliv na zdravotní stav člověka. Právě nedostatek pohybové aktivity (hypokineze) v dnešní době patří k základním rizikovým faktorům přispívajícím ke vzniku civilizačních chorob. Důsledky hypokineze mohou být rozdílné a závisí také na dalších faktorech (vrozené dispozice, nesprávná výživa, častý stres, kouření, znečištění životního prostředí, atd.). Vhodná pohybová aktivita může přispět ke zmírnění negativních vlivů výše zmíněných faktorů, nebo dokonce i k jejich odstranění. Pravidelná, správně prováděná a vhodně indikovaná pohybová aktivita má řadu pozitivních vlivů na organismus zdravého i nemocného člověka. Může vyvolat příznivé funkční i morfologické změny jednotlivých orgánových systémů. Má též kladný celkový vliv na organismus projevující se především zvýšením fyzické zdatnosti a výkonnosti, lepší tolerancí stresu, zvyšováním sebevědomí a zlepšením způsobu a kvality života (Placheta et al., 2001; Vilikus, Brandejský, & Novotný, 2004).

V současné době je velkým přínosem (zejména v oblasti tělovýchovného lékařství a v oblasti sportu) funkční diagnostika tělesné zdatnosti a preskripce pohybové aktivity. Za jedno z nejlepších fyziologických kritérií aerobní zdatnosti je obecně považována maximální spotřeba kyslíku (VO_2max), označována také jako maximální aerobní výkon. Pro určení VO_2max a dalších ukazatelů tělesné zdatnosti se v oblasti tělovýchovného lékařství využívá zátěžové testování. Existuje celá řada zátěžových testů, které se mohou lišit charakterem prováděné činnosti, intenzitou zatížení, délkou jejich trvání atd. V praxi je často problematické určit vhodný zátěžový test pro konkrétního pacienta.

V naší práci jsme se zaměřili na maximální zátěžové testování pomocí spiroergometrie. Zátěžové testy jsme prováděli na běžeckém ergometru se současnou analýzou vydechovaných plynů. Na Katedře přírodních věd v kinantropologii Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci se

pro sportující jedince nejčastěji používají dvě varianty zátěžových protokolů. Obě varianty se od sebe liší délkou trvání zátěžových stupňů (0,5min a 1 min). V naší práci jsme chtěli zjistit a ověřit, jestli výsledky laboratorního vyšetření do víta maxima na běžeckém ergometru jsou u sportujících jedinců ovlivněny rozdílným trváním zátěžového testu a jestli je rozdíl v subjektivně vnímaném úsilí mezi oběma provedenými protokoly.

2. PŘEHLED POZNATKŮ

2.1 Vědní obor fyziologie

2.1.1 Charakteristika oboru

Fyziologie je věda, která se zabývá jevy a pochody odehrávajícími se v živém organismu. Zkoumání těchto jevů probíhá na systémových, orgánových, buněčných i subbuněčných úrovních. Zásadní roli zde hrají řídicí systémy organismu (imunitní, nervový, endokrinní), které slouží k udržování stálosti vnitřního prostředí ve vztahu k měnícím se podmínkám vnějšího i vnitřního prostředí (Bartůňková, 2006).

2.1.2 Zařazení fyziologie mezi vědní obory

Fyziologie patří mezi funkční vědy, které spolu s morfologickými a vývojovými vědami můžeme souhrnně označit jako vědy o člověku. Vědy o člověku řadíme spolu s dalšími vědami, jako jsou: zoologie, botanika do obsáhlého oboru biologie. Samotná biologie potom patří mezi vědy přírodní.

Fyziologie má další aplikované formy jako jsou fyziologie tělesných cvičení, zátěžová fyziologie či fyziologie sportu (Bartůňková, 2006). Tyto aplikované formy fyziologie mají společné to, že se zabývají tělesnou aktivitou. Po odborné medicínské stránce se komplexně zabývá tělesnou aktivitou další obor, který s nimi úzce souvisí, v České republice se označuje jako tělovýchovné lékařství. V ostatních zemích se často setkáváme s označením sportovní medicína, nebo zátěžová fyziologie (Vilikus, Brandejský, & Novotný, 2004).

2.1.3 Tělovýchovné lékařství

Tělovýchovné lékařství (dále jen TVL) navazuje na poznatky antické medicíny o vztahu mezi zdravím a pohybem. Novodobý rozvoj této disciplíny je spojen se jménem J. E. Purkyně. Pojem tělovýchovné lékařství vychází ze sokolských tradic. V roce 1948 byl zřízen Ústav tělovýchovného lékařství na

Univerzitě Karlově v Praze. Byl to první ústav sportovní medicíny na světě. V dnešní době pracuje TVL s osobami zdravými, rekreačně i výkonnostně sportujícími nebo s pohybově inaktivními, oslabenými či chronicky nemocnými. V současnosti je velkým přínosem tohoto oboru především funkční diagnostika tělesné zdatnosti a preskripce pohybové aktivity (Vilikus, Brandejský, & Novotný, 2004).

2.2 Energetický metabolismus

2.2.1 Energetický výdej

Energetický výdej je nejvíce ovlivněn prací kosterního svalstva, což je jedna ze složek energetického metabolismu. V klidu využívají svaly asi 1/3 spotřebované energie. Při vysoké zátěži mohou spotřebovávat až 95 % energie. Při svalové práci však dochází k velkým ztrátám energie přeměnou v teplo (cca 75–80 %). Znamená to, že svaly pracují s účinností 20–25 %. Čím je intenzivnější zátěž, tím je práce svalů méně účinná. Účinnost svalové práce klesá s rostoucím věkem (v 55 letech asi o 30 % ve srovnání s pětadvacetiletým jedincem). U žen je asi o 20–25 % nižší než u mužů. Energetický výdej je ovlivněn při dané svalové činnosti mnoha faktory: rychlostí pohybu, sklonem svahu, hmotností neseného břemene atd. (Vilikus, Brandejský, & Novotný, 2004).

2.2.2 Energetické zdroje pro svalovou práci

Existence každého živého organismu je podmíněna látkovou výměnou mezi vnějším prostředím a organismem samotným. Uvnitř organismu probíhají energetické procesy a přeměny látek. Pro všechny platí zákon zachování energie, který zjednodušeně říká, že každá energie může vzniknout pouze přeměnou jiné formy energie a žádná energie se nemůže ztratit, může se však opět přeměnit na jinou formu.

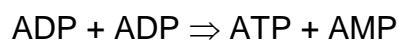
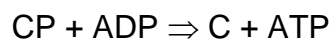
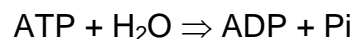
Člověk získává téměř veškerou energii potřebnou k životu z chemické energie látek obsažených v potravě, nebo z energetických substrátů, které tvoří energetické rezervy lidského těla. Ostatní možnosti příjmu energie jsou za běžných podmínek zanedbatelné (Vilikus, Brandejský, & Novotný, 2004).

Chemické reakce, které zajišťují vznik energetických zdrojů, můžeme rozdělit do třech vzájemně provázaných systémů (Evans & White, 2009).

1) Systém ATP-CP

Bezprostředním zdrojem energie pro svalovou práci je adenosintrifosfát (ATP), jehož chemická energie se dále může přeměňovat v energii mechanickou a tepelnou. ATP se při uvolnění energie hydrolyzuje na energeticky chudší látku adenosindifosfát (ADP). ADP může uvolněním fosfátové vazby předat energii k resyntéze ATP za vzniku adenosinmonofosfátu (AMP). V buňkách lidského těla je zásoba ATP omezená a tak musí docházet průběžně k jeho resyntéze. K obnově ATP je v buňkách určitá zásoba kreatinfosfátu (CP). ATP a kreatinfosfát jsou nazývány fosfageny. Podle Plachety et al. (2001) mohou tyto zdroje energie při vykonávání vysoko-intenzivní práce vystačit na 20–30 s. Pro následnou resyntézu ATP (fosforylaci) slouží energie, která se uvolňuje při odbourávání makroergních substrátů, zejména cukrů a tuků (Handzo et al., 1980; Placheta et al., 2001).

Chemické reakce zajišťující energii v prvních fázích výkonu:



2) Anaerobní (fosforylace) glykolýza

Reakce anaerobní glykolýzy probíhají v buněčné cytoplazmě bez přítomnosti kyslíku, je to řada postupně jdoucích chemických reakcí. Anaerobní fosforylace

je umožněna redukcí koenzymu nikotinamidadeninukleotidu (NAD), který přenáší vodíkový elektron. Glukóza se mění až na kyselinu pyrohroznovou (pyruvát), který je dále redukován na laktát (LA). NADH^+ je tím oxidován a schopen přijmout vodíkový elektron. To umožňuje další cyklus glykolýzy pro tvorbu energie k přeměně ADP na ATP (Handzo et al., 1980). Celá reakce probíhá pomaleji v porovnání se štěpením kreatinfosfátu a k její aktivaci dochází také s několika sekundovým zpožděním (Hamar & Lipková, 2001).

Anaerobní fosforylace se účastní na resyntéze ATP malým podílem již na začátku intenzivní práce. Svého maxima ale dosahuje asi po 40-50 s. S přibývajícím dobou zatížení její podíl postupně klesá, při vyšších intenzitách (nad 60-70% maxima) však tento způsob přeměny energie přetrvává společně s rozvíjející se oxidační fosforylací (Placheta et al., 2001).

Pokles aktivity anaerobní glykolýzy úzce souvisí s jejím vlastním produktem, kyselinou mléčnou (laktátem). Hromadění laktátu postupně okyseluje vnitřní prostředí svalových buněk a snižuje aktivitu enzymů anaerobní glykolýzy. Pronikáním laktátu ze svalových buněk do krve také dochází k dráždění dýchacího centra, které způsobí nepříjemné subjektivní pocity nedostatku kyslíku. Dnes již víme, že laktát není odpadní produkt metabolismu, ale je to látka, ve které je ukryto dostatečné množství energie, jež může být dále využito. Za přítomnosti kyslíku využívá laktátu jako energetického substrátu například myokard. Další možností využití laktátu je jeho resyntéza na glukózu v jiných orgánech nebo v dalších aktivních svalech (Máček & Máčková, 1997).

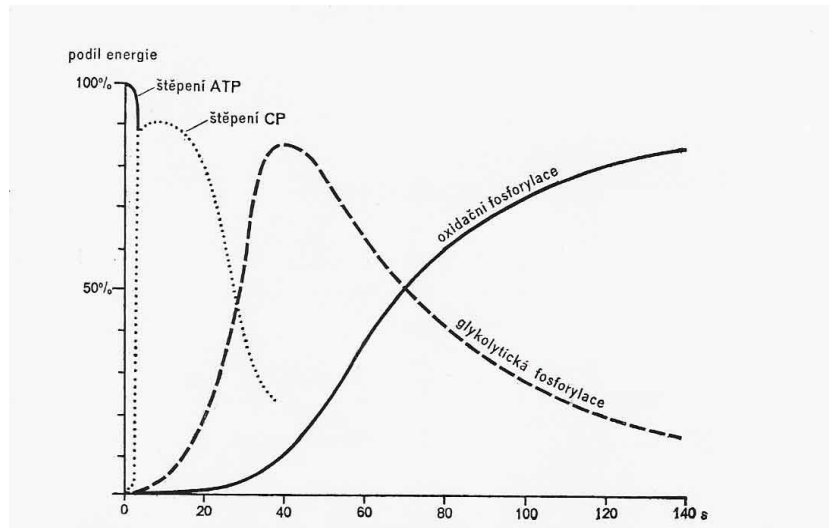
3) Aerobní (fosforylace) glykolýza

Tento způsob resyntézy ATP může probíhat pouze při dostatečné dodávce kyslíku do pracujících svalů. Jako substrát se v procesech oxidace uplatňují především glukóza, glykogen a mastné kyseliny (Hamar & Lipková, 2001). Hlavním zdrojem energie pro aerobní fosforylaci je oxidace substrátového vodíku kyslíkem na metabolickou vodu, což je uskutečňováno oxidoredukčními

enzymy v mitochondriálním respiračním řetězci. Pyruvát je oxidován v cyklu kyseliny citrónové (Krebsův cyklus) na finální produkty H_2O a CO_2 . Krebsův cyklus je středem energetických reakcí, protože se v tomto cyklu setkává i metabolismus aminokyselin. V Krebsově cyklu se také mohou spalovat mastné kyseliny. Při úplné oxidaci substrátů dochází k produkci velkého množství energie (Handzo et al., 1980; Placheta et al., 2001).

Podle Hamara a Lipkové (2001) se s postupným prodlužováním doby zatížení zvyšuje podíl aerobních procesů na celkovém energetickém krytí svalové práce. Už v počátečních fázích svalové práce se však organismus snaží využívat zásoby kyslíku ve svalových buňkách, které jsou vázány na myoglobin. Důvod, proč se organismus snaží pracovat aerobně co možná nejdříve, je podle Seligera (1980) ten, že anaerobní získávání energie má mnohem menší účinnost. Anaerobní glykolýza totiž dává energii na obnovu 2 molekul ATP z jedné molekuly glukózy. Při oxidativní fosforylaci glukózy však poskytuje energii pro obnovu 38 molekul ATP. Tento mechanismus je tedy devatenáctkrát účinnější.

Placheta et al. (2001) uvádí, že jednotlivé procesy od sebe nemůžeme izolovat, protože tvoří jeden metabolický systém probíhající společně již od začátku svalové aktivity. Jaký je podíl uplatnění energetických zdrojů v daný okamžik, závisí přitom na intenzitě a trvání zátěže. Při statické i dynamické zátěži zvyšované do maxima se zapojují postupně všechny tři procesy. Nejvíce se však podílí anaerobní fosforylace s případnou kumulací laktátu a dalších metabolitů, což může vést ke vzniku metabolické acidózy. Pokud je zátěž prováděná konstantní intenzitou, převládá fosforylace oxidační. Při krátkodobých a střednědobých výkonech (< 45 min) se převážně spalují cukry, při dlouhodobých zátěžích (> 45 min) vzrůstá podíl oxidace tuků (Obrázek 1).



Obrázek 1. Podíl jednotlivých zdrojů na celkové úhradě energie v závislosti na čase (upraveno podle Keul, Doll, & Kepler, 1969).

2.3 Srdeční frekvence, SF (Heart rate, HR)

Srdeční frekvence se spolu s tepovým objemem podílí na vytváření minutového srdečního objemu ($Q_s \cdot \text{min}^{-1}$). SF proto může sloužit jako nepřímý ukazatel zatížení organismu. U zdravého člověka je srdeční frekvence dána aktivitou sinusového uzlíku. V klidu činí asi 70 cyklů za jednu minutu. SF není stále strojově stejná ani ve zcela klidových podmínkách. Délka po sobě následujících srdečních cyklů (na EKG intervalů R-R) kolísá v různých časových periodách. Z praxe je známé, že jedna z period je spojena s dýcháním. Při nádechu se R-R intervaly zkracují, při výdechu se prodlužují. Srdeční frekvence je výsledkem interakce sympatiku a parasympatiku, která ovlivňuje aktivitu sinusového uzlu (Bartůňková, 2006; Vilikus, Brandejský, & Novotný, 2004; Seliger, 1980).

Bartůňková (2006) uvádí, že je srdeční frekvence nejpřístupnějším a proto nejčastěji měřeným parametrem při sportovní činnosti. Existuje ale celá řada faktorů, které ji mohou ovlivnit:

- trénovanost (především vytrvalostní trénink),

- genetická dispozice (vrozená vagotonie, sympatikotonie),
- poloha těla (vleže nižší, ve stoje vyšší, jedná se o uplatnění, baroreceptorového reflexu),
- teplota tělesného jádra (vzestup teploty o 1 stupeň vede ke zvýšení SF o 10 tepů.min⁻¹),
- intenzita a typy fyzické zátěže,
- klimatické podmínky (v horkém prostředí stoupá, v chladném klesá),
- psychická zátěž (před zkouškou dochází ke zvýšení SF až na 140 tepů.min⁻¹),
- trávení (při trávení se SF zvyšuje),
- látkové vlivy (adrenalin, kofein nebo efedrin SF zvyšují).

2.4 Maximální spotřeba kyslíku

Maximální spotřeba kyslíku je nejcennějším ukazatelem při posuzování kardiorespirační zdatnosti. Můžeme se též setkat s názvem maximální aerobní kapacita. Mezinárodně se pro ni používá zkratka VO₂max. Tato hodnota představuje nejvyšší množství kyslíku, které je organismus schopný přijmout při intenzivním tělesném zatížení za jednu minutu. VO₂max je velice dobrým měřítkem pro posuzování maximálních aerobních schopností organismu, protože množství kyslíku, které je jedinec schopný využít, určuje také množství energie, jež bude k dispozici pro práci svalů. Pokud chceme srovnávat hodnoty VO₂max u různých osob, musíme je vztáhnout k tělesné hmotnosti. Pro tento případ používáme relativní spotřebu kyslíku vyjádřenou v [ml.min⁻¹.kg⁻¹]. U vrcholových vytrvalců se mohou hodnoty VO₂max pohybovat kolem 80 až 100 ml.min⁻¹.kg⁻¹. Vrcholové vytrvalkyně mají hodnoty asi o 25 % nižší než muži, to znamená asi 60 až 80 ml.min⁻¹.kg⁻¹. Relativní hodnota VO₂max dosahuje svého vrcholu přibližně ve věku 12 let a potom postupně klesá (Máček & Máčková, 1997; Hamar & Lipková, 2001; Vilikus, Brandejský, & Novotný, 2004).

Pokles můžeme vystihnout pomocí lineárních rovnic:

$$VO_{2\max} \cdot \text{kg}^{-1}_{\text{muži}} = - 0,691 \text{ věk} + 51,2 [\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}]$$

$$VO_{2\max} \cdot \text{kg}^{-1}_{\text{ženy}} = - 0,556 \text{ věk} + 40,7 [\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}]$$

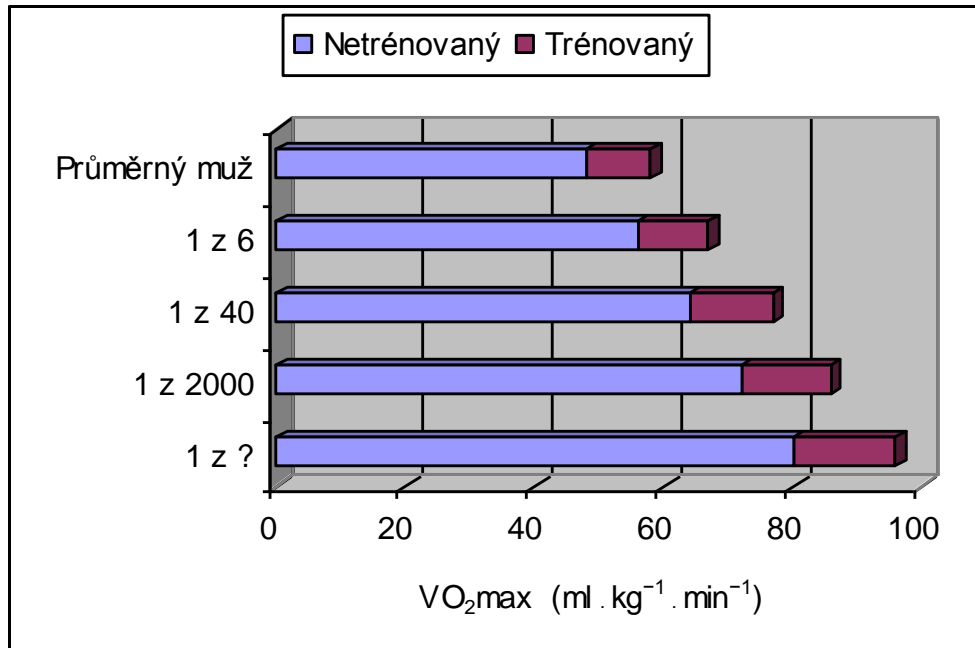
Výpočet spotřeby kyslíku můžeme podle Wilmore a Costil (2004) také vyjádřit pomocí minutového srdečního výdeje ($SF \cdot Q_s$) a arteriovenózního rozdílu mezi obsahem kyslíku $(a-v)O_2$ pomocí Fickovy rovnice:

$$VO_{2\max} = (SF \cdot Q_s)_{\max} \cdot (a-v)O_{2\max} \cdot 10^{-2}$$

Praktické určení maximální spotřeby kyslíku provádíme pomocí tzv. spiroergometrického vyšetření (kapitola 2.6.6). Nejčastěji k tomu používáme speciální bicyklový ergometr, nebo běžecký pás. Při postupně se zvyšující intenzitě zatížení měříme množství proventilovaného vzduchu, procentuální úbytek kyslíku a přírůstek oxidu uhličitého mezi nadechovaným a vydechovaným vzduchem (Hamar & Lipková, 2001).

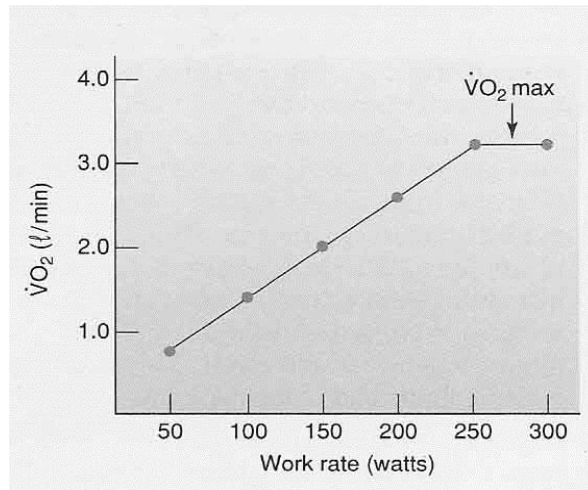
Máček a Radavský (2011) uvádějí, že maximální spotřeba kyslíku je individuální hodnotou, která je ze značné části dána dědičností. Tento podíl se odhaduje na 25–40 %, někteří autoři uvádějí až 60 %. Podle Hamara a Lipkové (2001) je potenciál rozvoje maximální spotřeby kyslíku tréninkem velice omezený. Průměrné zlepšení zpravidla nepřesahuje 10–30 % od počáteční úrovně (Obrázek 2). Wilmore a Costil (2004) ale popisují případy, při kterých bylo zjištěno navýšení $VO_{2\max}$ během dvanáctiměsíčního vytrvalostního tréninku o 28 %. Geneticky není daná pouze hodnota $VO_{2\max}$, ale také rozsah jejího přírůstku vlivem vytrvalostního tréninku. Znamená to, že i když budou různí sportovci provádět stejně náročný trénink, může být u některých jedinců zlepšení $VO_{2\max}$ rozdílné. Zlepšení se potom může projevit za kratší, nebo delší časovou jednotku. Jak je uvedeno výše, průměrná možná hodnota zlepšení $VO_{2\max}$ tréninkem se pohybuje v rozmezí 10–30 %, pokud je ale jedinec obzvlášť dobře disponovaný, může tréninkem zvýšit maximální

spotřebu kyslíku až o 50 % (Hamar & Lipková, 2001).



Obrázek 2. Dědičnost a maximální spotřeba kyslíku (upraveno podle Shephard & Astrand, 1992).

Hodnota VO₂ při svalové práci je velice úzce spjata s vykonávanou intenzitou práce (W). Při plynulém zvyšování intenzity zatížení lineárně stoupá spotřeba kyslíku až do úrovně dané funkční zdatnosti testované osoby. V určitém bodě i přes zvyšování zátěže spotřeba kyslíku dále nestoupá, ale stagnuje na určité úrovni. Tento okamžik označujeme jako plató (Obrázek 3). Chybějící energie, potřebná na krytí svalové práce začne převyšovat možnosti aerobního metabolismu. Hromadící se kyselina mléčná vede k subjektivně nepříjemným pocitům a testovaný je nucen přerušit zatížení (Cooper & Storer, 2001; Hamar & Lipková, 2001; Vilikus, Brandejský, & Novotný, 2004).



Obrázek 3. Změny ve spotřebě kyslíku při stupňovaném zatížení. Pozorované plató $\dot{V}O_2$ představuje $\dot{V}O_{2max}$ (Powers & Howley, 1997).

2.5 Transportní systém

Transportní systém je tvořený komplexem orgánových systémů, které na sebe navzájem navazují svými funkcemi. Zajišťují přísun kyslíku a energetických zdrojů do pracujících svalů i dalších tkání a odsun oxidu uhličitého a jiných metabolitů. K hlavním složkám transportního systému patří dýchací a kardiovaskulární systém. Kapacita transportního systému se udává hodnotou $\dot{V}O_{2max}$ (Placheta et al., 2001).

2.5.1 Dýchací systém

Celý proces dýchání probíhá ve třech základních mezistupních:

- 1) přesun kyslíku do a oxidu uhličitého z plic (plicní ventilace),
- 2) výměna dýchacích plynů mezi plicními sklípky a kapilární krví,

3) transport krve z plic k pracujícím svalům a výměna dýchacích plynů mezi krví a svalovými buňkami.

Plicní ventilace (V_E) představuje součin dechové frekvence (DF) a jednorázového dechového objemu (V_T). Její hodnoty se v klidu pohybují okolo $6 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$. Z proventilovaných 6 litrů vzduchu zůstanou v organismu asi 4 % kyslíku. Při zvyšující se intenzitě zatížení roste potřeba tkání získávat kyslík, proto dochází k nárůstu jednotlivých ventilačních parametrů. Dýchání se nejprve zrychluje a v zápětí i prohlubuje. Minutová ventilace roste až do hodnoty anaerobního prahu lineárně s intenzitou zatížení. Následné zvyšování intenzity pohybové činnosti vede k zapojení anaerobní glykolýzy a tím k vyšší produkci laktátu. Zvýšená koncentrace laktátu vyvolá metabolickou acidózu, která je regulována bikarbonátovým pufracím systémem. Při chemické reakci se z H_2CO_3 uvolňuje oxid uhličitý, jehož zvýšená koncentrace vede k dráždění dýchacích center, což vede k hyperventilaci. Minutová ventilace se tak zvýší až na $100\text{--}120 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$. Wilmore a Costil (2004) tvrdí, že maximální minutová ventilace závisí na velikosti těla. U trénovaných sportovců může dosáhnout až $200 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$.

Vitální kapacita (maximální množství vzduchu, které vydechneme po maximálním nádechu) je v zatížení využívána jen na 60–70 %, protože hlubší dýchání by bylo energeticky příliš náročné. Dechová frekvence dosahuje až 30–50 dechů za minutu. Při vyšších hodnotách se stává dýchání příliš rychlé a povrchní, přestává být ekonomické (Máček & Máčková, 1997; Hamar & Lipková, 2001).

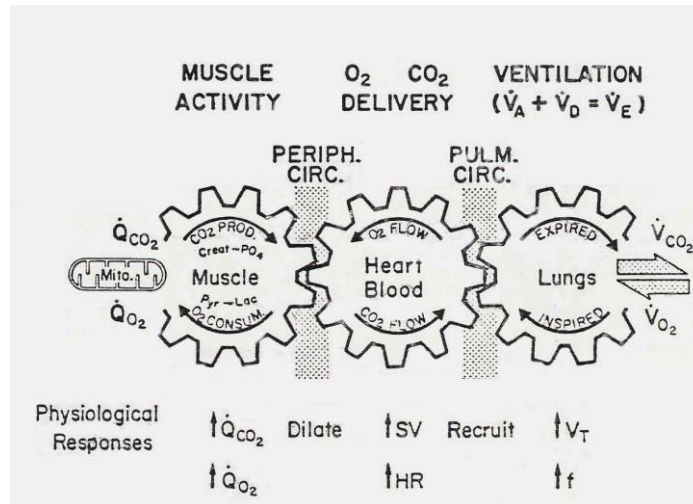
2.5.2 Kardiovaskulární systém

Hlavní úlohou srdečně-cévního systému při tělesném zatížení je transport kyslíku z plic do pracujících svalů. Tento systém také zabezpečuje odvádění oxidu uhličitého a jiných zplodin energetického metabolismu, transport

hormonů na místo jejich působení, nebo odvádění vznikajícího tepla z pracujících svalů. Při zvýšené potřebě kyslíku při tělesném zatížení musí být zvýšený i minutový objem srdeční $Q_s \cdot \text{min}^{-1}$. Jeho hodnota v klidu při systolickém objemu 70 ml a srdeční frekvenci 70 úderů za minutu se pohybuje okolo $5 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$. Pokud postupně zvyšujeme intenzitu zatížení, zvyšuje se především systolický objem. Při intenzitě okolo 40–50 % VO_2max ale dosahuje systolický objem svého maxima, což je asi 100 ml. Na zvyšování minutového objemu srdečního se tedy uplatní pouze nárůst srdeční frekvence. Při maximálním zatížení tak může organismus při SF 200 úderů za minutu a systolickém objemu 100 ml dosáhnout okolo $20 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ (Hamar & Lipková, 2001).

Máček a Máčková (1997) tvrdí, že minutový srdeční objem stoupá při zátěži lineárně se spotřebou kyslíku. Tepový objem se ale při zátěži nijak dramaticky nezvyšuje. Přesněji řečeno se zvýší nejvýše na hodnoty, které odpovídají hodnotám vleže. Je to tím, že se vleže, stejně tak jako při tělesné práci, díky svalové pumpě zvýší venózní návrat a o tuto hodnotu se zvýší tepový objem. Tepový objem se zvyšuje u trénujících vytrvalců až po mnohaměsíčním tréninku jako adaptace na objemovou zátěž.

Na příjmu kyslíku a jeho využití ve svalech se podílí více fyziologických funkcí (Obrázek 4). Tvoří je plicní ventilace, difúze kyslíku z plicních sklípků do krve, jeho transport z plic do svalů (závislý na množství erytrocytů, hemoglobinu a zejména výkonnosti srdce), extrakce kyslíku z krve do pracujících svalů a jeho využití ve svalových buňkách (Hamar & Lipková, 2001).



Obrázek 4. Schéma fyziologických mechanismů zabezpečujících transport a využití kyslíku (Wasserman et al., 1987).

Vysvětlivky: QO_2/QCO_2 – spotřeba kyslíku/produkce oxidu uhličitého;

V_T/f – dechový objem/dechová frekvence;

SV/HR – systolický objem/srdeční frekvence;

VO_2/VCO_2 – příjem kyslíku/výdej oxidu uhličitého.

Podle Hamara & Lipkové (2001) jsou limitující články maximálního výkonu především výkonnost srdce a schopnost extrahovat kyslík z krve protékající pracujícími svaly. Ani při intenzivním tělesném zatížení totiž nepřechází do buněk všechno přiváděný kyslík. U jedinců s velmi dobrou výkonností srdce a hodnotami VO_{2max} nad $75 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ se potom jako limitující faktor uplatňují procesy difúze kyslíku z plic do krve. Máček & Máčková (1997) uvádějí, že při maximálním zvýšení SF jsou fáze systoly a diastoly zkrácené. V klidu je poměr mezi trváním systoly a diastoly 2:3, ale při vysokých hodnotách SF se zkracuje diastola a poměr je až 4:1. Zatímco vypuzení systolického objemu není problém, zkrácení diastoly vede k poklesu dodávaného objemu krve a ke snížení minutového srdečního výdeje. U netrénovaných jedinců může být také limitujícím faktorem výkonu kapacita

mitochondriálních oxidačních enzymů. Podle Astrand et al. (2003) jsou nejvíce limitujícími články maximálního aerobního výkonu zejména hodnoty maximálního tepového objemu a maximálního minutového srdečního výdeje. Handzo et al. (1980) uvádí, že dalším faktorem, který za určitých okolností může nabýt převládajícího vlivu, je termoregulace a hospodaření s tekutinami. Při nedostatečném odvodu tepla, nebo při velkých ztrátách potu totiž organismus přestává usilovat o podání vysokého výkonu a stává se pro něj prvořadým zabezpečení tepelné regulace.

2.5.3 Reakce organismu na tělesné zatížení

Reakce na tělesnou zátěž je bezprostřední odpověď řady orgánových systémů na vykonávanou svalovou práci. Její kvalitativní a kvantitativní hodnota závisí na druhu, délce trvání a intenzitě zátěže. Reakce na zatížení se může postupně měnit v důsledku vytváření adaptací. Adaptace je přitom schopnost orgánových systémů přizpůsobovat se funkčně i morfologicky mnohonásobně opakovaným, dlouhodobým vlivům zátěže (Placheta et al., 2001).

Předstartovní stav

Je stav organismu, který je navozen ještě před očekávaným zatížením organismu. U trénovaných sportovců vzniká na základě podmíněného reflexu. U méně trénovaných vzniká předstartovní stav spíše na emočním základu. Napomáhá rychleji přejít ze stavu klidu do stavu plného výkonu. Pro předstartovní stav je charakteristické vyšší vylučování katabolických hormonů (adrenalinu a noradrenalinu), vyšší intenzita glykolytických procesů (vzestup glykémie, rozpad jaterního glykogenu) a zvýšení některých funkcí organismu (zvýšení SF, DF, TK, VE, VO₂). U některých sportovců může probíhat předstartovní stav již několik hodin před startem očekávaného výkonu

(Bartůňková, 2006; Seliger, 1980).

Rozcvičení

Je záměrné ovlivnění funkcí organismu pohybovou činností. Slouží k tomu, abychom optimálně připravili lidské tělo na co nejlepší sportovní výkon. Rozcvičení působí jak centrálně (zvyšuje funkci vegetativně inervovaných orgánů, snižuje narušení homeostázy, optimalizuje dráždění CNS), tak i lokálně (zvyšuje efektivitu svalové práce, mobilizuje metabolické reakce). Rozcvičení také vede k důležitým změnám v prokrvení aktivního pohybového systému. Zvýšeným energetickým výdejem se uvolňuje více tepelné energie, což vede k zahřátí svalů a metabolismus zde probíhá větší rychlostí. Rychleji také probíhá svalová kontrakce a relaxace, nebo uvolňování kyslíku v pracujících svalech. Pokud se svalová teplota zvýší o 1 °C, vede to ke zvýšení buněčného metabolismu asi o 13 % (Bartůňková, 2006; Seliger, 1980).

Máček a Radavský (2011) ale uvádějí, že v řadě studií, bylo prokázáno, že samotné zvýšení teploty pracujícího svalu nemá rozhodující vliv na kinetiku spotřeby kyslíku a změny krevních plynů, ačkoliv došlo ke zvýšení teploty svalů pomocí nahřívání bez aktivního cvičení. Teprve současná intenzivní zátěž i zahřátí svalů se projevuje výrazným efektem. Intenzita rozcvičení by se měla ideálně pohybovat mezi 40–60 % následné zátěže. Správné rozcvičení pak vede k dosažení lepšího výkonu i k prodloužení doby, která uplyne do vyčerpání.

Zapracování

Zapracováním je rozuměna doba, která uplyne od počátku sportovního výkonu do plné výkonnosti. Intenzita zatížení by se v průběhu zapracování měla zvyšovat plynule. V této fázi dochází ke zlepšení produktivity práce a dochází k optimálnímu vyladění neurohumorálních funkcí (Bartůňková, 2006; Seliger, 1980).

Máček a Máčková (1997) uvádějí, že při zátěži mírné intenzity trvá zapracování asi 1 až 2 minuty, při střední intenzitě zatížení se tato fáze

prodlužuje na 3 až 4 minuty a při maximální intenzitě stoupají některé ukazatele trvale až do ukončení zátěže, nebo se při vyvrcholení výkonu může objevit určité plató, což je známka počínajícího vyčerpání.

2.6 Zátěžové testování

2.6.1 Obecná charakteristika zátěžového testování

Pravidelná pohybová aktivita je zásadní pro zdravý životní styl člověka. Pro mnoho mužů a žen je velice důležité cvičení, které napomáhá udržet vysokou kvalitu života s přibývajícím věkem. Pro mnohé sportovce je pak samotné cvičení podstatou jejich živobytí. V tomto kontextu má tedy pro nás hodnocení pohybových schopností značný význam. Zátěžové testování nám přináší prostředky k posuzování schopnosti člověka plnit specifické pohybové úkoly. Dále nám zátěžové testování umožňuje kvantifikovat atletickou výkonnost, může odhalit limitující faktor sportovního výkonu, diagnostikovat onemocnění, vyhodnocovat odpověď lidského těla na fyzické zatížení, nebo nám pomáhá při správném doporučení takových pohybových aktivit i sportovních odvětví, které mají pozitivní vliv na upevnění zdraví, zvýšení tělesné zdatnosti v závislosti na věku, nebo zdravotním stavu člověka. Některé zátěžové testy lze provádět s minimálním technickým vybavením, jako jsou hodinky a vhodný prostor. U jiných testů je zapotřebí důmyslnějšího zařízení, které umožňuje získat podrobnější soubor dat (Cooper & Storer, 2001).

Podstatou zátěžových testů podle Soulka (1995) není hodnocení vlastního výkonu, ale sledování fyziologických změn, probíhajících při přesně dávkované intenzitě tělesného zatížení.

2.6.2 Druhy a zdroje zatížení

Díky zátěžovému testování můžeme sledovat odezvy organismu na různé typy zatížení. Podle Cinglové (2002) můžeme organismus zatížit: pohybem,

změnou polohy těla, hypoventilací, chladem, teplem, snížením nebo zvýšením parciálního tlaku kyslíku, psychicky, farmakologicky, elektricky atd. V praktické části naší práce jsme využili spiroergometrie na běhacím pásu, proto se budeme dále věnovat pouze zátěži fyzické.

Zatížení pohybem se rozlišuje na zatížení statické a dynamické. Statické je způsobeno izometrickou kontrakcí. Dynamické je založeno na izotonické kontrakci svalových skupin. Nejčastěji se u zátěžových testů setkáváme s dynamickým typem zatížení, jako je šlapání na kole, chůze, nebo běh (Cinglová, 2002; Placheta et al., 2001). Mezi základní prostředky pro zátěžové testování v laboratorních podmínkách patří běžecké a bicyklové ergometry (kapitola 2.6.7).

2.6.3 Indikace zátěžových testů

Indikační rozsah je široký, protože zátěžová vyšetření jsou užitečná v celé řadě praktických a preventivních oborů. Důležité je, aby byly při vyšetření vždy dodržovány základní zásady (bezpečnost, účelnost, hospodárnost).

a) Fyzická zdatnost

Základní indikací zátěžového testu u zdravých sportovců je zjišťování vlivu tréninku na fyzickou zdatnost. Změna tréninku, stravy, tréninkového prostředí, časový výpadek v tréninku, nemoc, psychická zátěž, změna biorytmu a další faktory mohou fyzickou zdatnost ovlivnit. Proto je při takovémto zásahu do tréninku indikace zátěžového testu vhodná.

b) Volba vhodné sportovní disciplíny

U mladých začínajících sportovců může výsledek zátěžového testu napovědět, pro jakou sportovní disciplínu má testovaný jedinec nejlepší předpoklady. Dispozice pro aerobní zdatnost se totiž do značné míry dědí. Udávaná míra dědičnosti aerobních schopností se v literatuře často liší

(viz kapitola 2.4).

c) Preskripce pohybové aktivity

Pomocí výsledků zátěžového testu můžeme stanovit optimální týdenní frekvence tréninku, dobu trvání tréninkové jednotky, nebo doporučit takovou intenzitu tréninkové zátěže, která bude pro daného sportovce dostatečně efektivní.

d) Prevence zdravotních komplikací

Existuje mnoho patologických změn v lidském organismu, které se nemusí projevit při běžném vyšetření v klidových podmínkách. Tyto změny se pak mohou projevit při fyzické zátěži. Mezi nejčastější zdravotní komplikace patří poruchy srdečního rytmu (Vilikus, Brandejský, & Novotný, 2004).

2.6.4 Kontraindikace zátěžových testů

Aplikace zátěžového testování není vhodná pro každého. Existuje řada onemocnění, která nedovolují provádět zejména některé maximální zátěžové testy. Placheta et al. (2001) uvádí jako kontraindikace například: závažné dysrytmie, akutní plicní embolizaci, maligní hypertenzi, těžkou plicní hypertenzi, chronické onemocnění jater, ledvin, štítné žlázy, dále těžké ortopedické poškození, některé psychické poruchy, nebo stavy po komplikovaném infarktu myokardu.

2.6.5 Rozdělení zátěžových testů

V praxi se můžeme setkat s celou řadou zátěžových testů a jejich modifikací. Často tak dochází k tomu, že se dosažené výsledky nedají dostatečně přesně srovnávat (Placheta et al., 2001). Zátěžové testy můžeme rozdělit podle mnoha kritérií, např. podle intenzity, frekvence, zdroje zatížení, délky trvání, nebo

podle typu zátěže.

Rozdělení zátěžových testů podle Soulka (1995)

- 1) Orgánová soustava
 - a) Oběhová
 - Jednoduché zkoušky – Schellongova, Letunovova...
 - Složitě zkoušky – bicyklová, běhátková ergometrie...
 - b) Dýchací
 - Jednoduché zkoušky – Flackova, apnoická pauza...
 - Složitě zkoušky – spiroergometrie...
 - c) Vegetativní systém – ortostatická, kinostatická zkouška...
 - d) Jiná – biomechanické hodnoty v moči, séru...
- 2) Metabolické schopnosti
 - a) Aerobní testy – Conconiho, Cooperův, Legerův...
 - b) Anaerobní testy – Cummingův, Wingateský...
- 3) Intenzita zatížení
 - a) Nízká – test W130...
 - b) Střední – chodecký test...
 - c) Submaximální – CHR test...
 - d) Maximální – Legerův, Margarinův test...
- 4) Místo provedení
 - a) Laboratorní testy – bicyklová ergometrie...
 - b) Terénní testy – Cooperův, Legerův test...
- 5) Výkonnostní úroveň vyšetřovaných
 - a) Školní TV
 - b) Rekreační sport
 - c) Výkonnostní sport
 - d) Vrcholový sport

2.6.6 Spiroergometrie

Omezená reprodukovatelnost funkčních zkoušek využívajících jako zdroje

zatížení vlastního pohybu a nestandardní a přesně nedefinovatelné zatížení vedlo k vypracování ergometrických metod, při kterých lze výkon vyšetřované osoby přesně dávkovat. Pokud sledujeme při vyšetření kromě hodnot SF i hodnoty ventilační (minutová plicní ventilace, spotřeba kyslíku atd.), mluvíme o spiroergometrii. V současné době patří mezi hlavní zátěžové vyšetřovací metody. V nedávné minulosti byla tato metoda časově velice náročná, vydechovaný vzduch se shromažďoval do gumových vaků a následně byl analyzován. Výsledky se potom získávaly výpočtem a graficky. Dnes využíváme pro spiroergometrické vyšetření speciální automatizované přístroje, které umožňují získávat data v průběhu vyšetření, poskytovat digitální i grafické informace atd. Zdrojem zatížení při spiroergometrických vyšetřeních bývají různé typy specializovaných ergometrů. Samotné vyšetření pak probíhá zpravidla v laboratoři (Soulek, 1995; Cinglová, 2002).

Výsledky, dosažené při zátěžových testech jsou ovlivněny řadou faktorů. Podle Plachety et al. (2001) sem patří vlastnosti probanda (věk, pohlaví, výška, hmotnost, psychické faktory, zdravotní stav atd.), podmínky prostředí (relativní vlhkost, teplota, tlak, proudění vzduchu, denní doba atd.), metodické podmínky (zkušenosti personálu, druh zatížení, technická úroveň vybavení atd.).

Prostředí laboratoře by proto mělo být klidné a klimatizované, relativní vlhkost by se měla pohybovat v rozmezí 40–60 % a teplota 18–22 °C. Technické vybavení laboratoře by mělo být dokonale funkční, bezpečné a pravidelně kontrolované. Samozřejmostí by měla být také lékárnička pro první pomoc. Wilmore a Costil (2004) uvádějí rozdíly naměřených hodnot srdeční frekvence při konstantním zatížení v závislosti na vnějších podmínkách (Tabulka 1).

Tabulka 1. Změny ve velikosti tepové frekvence při běhu rychlostí 14 km/h na běhacím pásu v závislosti na vnějších podmínkách (upraveno podle Wilmore & Costil, 2004)

Vnější podmínky	Tepová frekvence (tepy.min ⁻¹)	
	Klidový stav	Běh
Teplota (50% vlhkost)		
21 °C	60	165
35 °C	70	190
Vlhkost (21 °C)		
50%	60	165
90%	65	175

2.6.7 Ergometry

Ergometrů je více druhů: běhací koberec, bicyklový ergometr, rumpálový ergometr, veslařský ergometr, průtočný bazén a jiné. U každého z nich můžeme najít výhody a nevýhody (Vilikus, Brandejský, & Novotný, 2004).

Bicyklový ergometr

V Evropě patří k nejběžnějším dynamickým vyšetřovacím metodám. Základním přístrojem je upevněný bicykl. Prováděný výkon je daný odporem brzdící síly a frekvencí otáček pedálů. Výkon můžeme dávkovat v relativních hodnotách přepočtených na kilogram tělesné váhy nebo absolutně. Jeho velkou výhodou je, že při velmi intenzivní činnosti zůstává horní polovina těla poměrně v klidu, což umožňuje snadnější měření EKG záznamu, snadnější odebírání krve během zátěže apod. Další nesporné výhody jsou: nízké riziko úrazu a přesné měření výkonu ve wattech. Jeho nevýhodou je, že klade velké nároky na svalstvo dolních končetin, což může způsobit lokální svalovou únavu. V takovém případě může být výsledná hodnota VO₂max zkreslena, protože vyčerpání kardiorepiračního systému nedosáhlo možného maxima. Další

nevýhoda je, že na bicyklovém ergometru nelze dosáhnout absolutně nejvyšší hodnoty $VO_2\text{max}$. Maximální hodnota spotřeby kyslíku je na bicyklovém ergometru asi o 8–15 % nižší než na běhacím pásu. Je to způsobeno tím, že na běhátku je při zátěži zapojeno více svalových skupin (Cinglová, 2002).

Klikový ergometr (rumpál)

Kliková ergometrie se nejčastěji používá u pohybově hendikepovaných pacientů, kteří ze zdravotních důvodů nemohou absolvovat jiný způsob testování. Vyšetřovaná osoba točí klikou střídavě, nebo oběma rukama současně. U tohoto typu zatížení je zapojené poměrně malé procento svalů, takže nedochází k celkovému vytížení kardiorepiračního systému. Zátěž horních končetin je velice namáhavá a test bývá často předčasně ukončen pro svalovou únavu (Placheta et al., 2001; Cinglová, 2002; Vilikus, Brandejský, & Novotný, 2004).

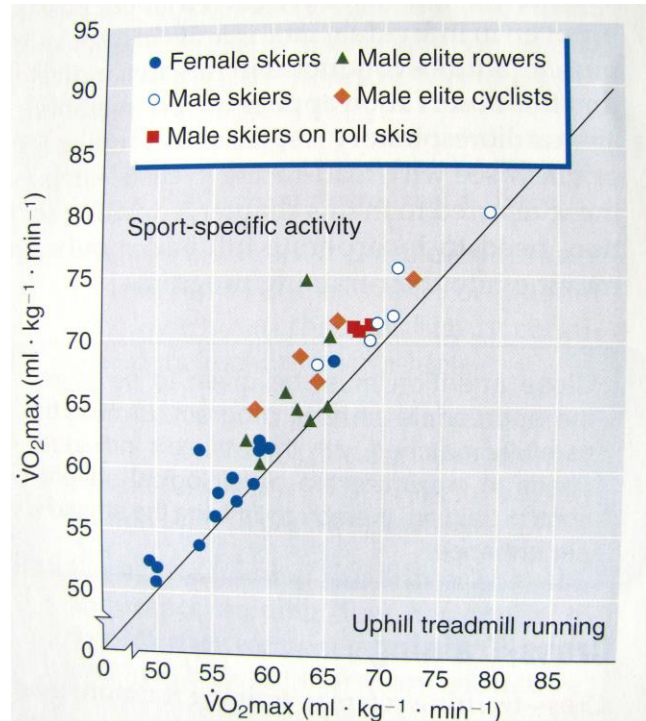
Běhací koberec (běhátko, treadmill)

Tento ergometr je konstruovaný na principu nekonečného pásu, proti jehož pohybu se testovaná osoba pohybuje během, nebo chůzí. V USA a Kanadě se používá velice často. U nás se používá pouze na několika specializovaných pracovištích. Testy prováděné na běhátku mají prakticky stejný význam a splňují podobné cíle jako bicyklová ergometrie. Intenzitu zatížení můžeme regulovat změnou rychlosti pohybu pásu, nebo změnou úhlu sklonu pásu. Kombinace obou možností nám umožňuje vytvářet širokou škálu různých testových protokolů. Jako výhody běhátko lze uvést: relativně přirozený pohyb pacienta, dynamické zatížení velkých svalových skupin, možnost dosažení maximálních hodnot spotřeby kyslíku. Nevýhodami jsou: pořizovací cena, hlučnost, prostorová náročnost, nebezpečí pádu pacienta (Placheta et al., 2001; Cinglová, 2002; Vilikus, Brandejský, & Novotný, 2004).

MacDougall, Weber a Green (1991) uvádějí určitá doporučení pro provádění maximálních zátěžových testů, ve kterých je naším cílem stanovit maximální aerobní kapacitu sportovce.

- a) Počáteční fáze zátěžového protokolu musí probíhat dostatečně nízkou intenzitou zatížení. Měla by sloužit jako rozcvičení. Pokud bychom nastavili příliš vysokou zátěž od začátku testu, nemuseli bychom dosáhnout skutečně maximálních hodnot na konci testu.
- b) Rychlost zvyšování intenzity zatížení musí být dostatečně pomalá, aby nedocházelo k hromadění laktátu a k následné lokální svalové únavě, ale zároveň dostatečně rychlá, aby samotné vyvrcholení testu nepřišlo příliš pozdě. V ideálním případě by měl mít test minimálně 4 stupně zatížení a délka jeho trvání by se měla pohybovat v rozmezí 8–14 min.
- c) Druh prováděného cvičení při zátěžovém testu by se měl co nejvíce podobat cvičení, na které je sportovec zvyklý. Můžeme proto tvrdit, že neexistuje univerzální zátěžový test, který by se ideálně hodil na každého sportovce. Jednoduše řečeno: běžec by měl být testovaný na běhacím pásu, veslař na veslařském ergometru, cyklista na bicyklovém ergometru atd. Velice zajímavou studii uvádí Wilmore a Costil (2004). Této studii se zúčastnili profesionální sportovci (běžci na lyžích, veslaři a cyklisté). Každý sportovec absolvoval dvě měření VO_{2max} . První měření proběhlo při maximálním zátěžovém testu na běžeckém ergometru, druhé měření proběhlo při provádění sportovcovi specifické disciplíny. Výsledkem této studie bylo, že téměř všichni jedinci dosáhli vyšších hodnot VO_{2max} při provádění své disciplíny (Obrázek 5). Konkrétně běžci na lyžích dosáhli v průměru o 3,1 % lepších výsledků, veslaři o 4,2 % a cyklisti dokonce o 5,6 % vyšších naměřených hodnot VO_{2max} .
- d) Při provádění maximálních zátěžových testů, jejichž cílem je zjištění maximální aerobní kapacity pacienta, je důležité zapojit velké svalové

skupiny (MacDougall, Weber, & Green, 1991).



Obrázek 5. Porovnání $\dot{V}O_2\text{max}$ dosažené na běhacím ergometru a $\dot{V}O_2\text{max}$ dosažené při specifické sportovní disciplíně elitních sportovců (Wilmore & Costil, 2004, 297).

2.6.8 Zátěžové protokoly pro běžecký ergometr

Množství různých zátěžových protokolů nám umožňuje vybrat ten nejvíce vhodný pro vyšetřovanou osobu. Při výběru protokolu musíme vždy brát v potaz celý soubor charakteristik vyšetřovaného pacienta. Především množství jeho pohybové aktivity, jeho zdravotní stav, kondici, věk, pohlaví, váhu, stravovací zvyklosti, záliby atd. (Evans & White, 2009).

Vzhledem k dvěma variantám zvyšování intenzity zatížení (změna rychlosti pohybu, změna úhlu sklonu pásu) existuje více možností metodických postupů:

- a) zvyšuje se rychlost pásu, sklon zůstává stejný,
- b) nemění se rychlost pásu, zvyšuje se úhel sklonu,
- c) zvyšuje se rychlost pásu i jeho sklon.

V zahraničí (USA, Kanada) se velice často setkáváme s vyjádřením dosahovaného výkonu při zátěžovém testování pomocí bazálního metabolického ekvivalentu (METS). METS je zkratka, která popisuje, kolik energie je potřeba k provedení vykonávané aktivity. Jeden MET přitom představuje zatížení, které je vyjádřeno spotřebou kyslíku $3,5 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$, což je hodnota odpovídající klidovému výdeji energie (pokud ležíme, nebo sedíme). Pomocí násobků MET můžeme vyjádřit, kolikrát jsme zvýšili náš energetický výdej. Například při rychlosti běhu 5,5 km/h a sklonu stoupání 14 % dosahujeme přibližně 8 METS (Tabulka 2). Pomocí násobků metabolického klidového ekvivalentu tedy můžeme vyjadřovat náročnost vykonávané práce (Evans & White, 2009).

Tabulka 2. Přibližná hodnota MET dosažená na běhacím ergometru v závislosti na rychlosti a sklonu pásu (upraveno podle Evans & White, 2009)

Délka trvání (min)	Rychlost (km/h)	Sklon (%)	MET – muži	MET - ženy
1	2,7	10	3,2	3,1
2	2,7	10	4,0	3,9
3	2,7	10	4,9	4,7
4	4,0	12	5,7	5,4
5	4,0	12	6,6	6,2
6	4,0	12	7,4	7,0
7	5,5	14	8,3	8,0
8	5,5	14	9,1	8,6
9	5,5	14	10,0	9,4
10	6,8	16	10,7	10,1
11	6,8	16	11,6	10,9
12	6,8	16	12,5	11,7
13	8,0	18	13,3	12,5
14	8,0	18	14,1	13,2
15	8,0	18	15,0	14,1

Vysvětlivky: MET – bazální metabolický ekvivalent

Mezi nejčastěji používané metodické postupy vyšetření patří Balke-Wareův a Bruceův protokol. Existuje ale celá řada dalších protokolů (Naughtonův, Ellestandův, Weberův atd.) nebo jejich modifikací.

Balke-Wareův protokol - byl vytvořený již v roce 1959. Hlavním úkolem tohoto protokolu bylo určování spotřeby kyslíku v závislosti na měnícím se stupni zatížení. Změna zatížení je způsobená zvyšováním sklonu pásu při konstantní rychlosti. Balk-Wareův protokol má 27 různých stupňů zatížení. Již od prvního stupně je rychlost pásu nastavená na 5,3 km/h a sklon pásu je 0 %. Každou následující minutu se mění stupeň zatížení tím, že roste sklon pásu o 1 %. Maximální možný sklon je tedy 26 %. Test je vhodný i pro starší pacienty, kteří nejsou schopni rychle běžet. Každá změna stupně zatížení odpovídá přibližně energetickému ekvivalentu 0,5 MET (Evans & White, 2009).

Bruceův protokol - byl vytvořený v roce 1963 a sloužil hlavně pro

diagnostiku onemocnění srdce a plic. Dnes je tento protokol nejčastěji používaným zátěžovým protokolem ze všech. Pro změnu zatížení využívá postupné zvyšování rychlosti i sklonu pásu. Existuje také celá řada jeho modifikací. Samotný test trvá celkem 21 min. Má 7 stupňů zatížení. Každý stupeň trvá 3 min. Rychlost pohybu i velikost úhlu pásu je u jednotlivých stupňů pevně daná: 2,7; 4,0; 5,5; 6,8; 8,0; 8,8; 9,7 km/h. Velikost úhlu sklonu pásu je od prvního stupně nastavená na 10 % a s každým následujícím stupněm roste o 2 % až na konečných 22 % (Tabulka 3).

Astrandův protokol - využívá pro změnu zatížení stejně jako Balke-Wareův protokol pouze změnu sklonu pásu. Test je určený zejména pro aktivně sportující, nebo velmi zdatné jedince, u kterých se nevyskytují žádné známky plicních či srdečních chorob. Důvodem je vysoká konstantní rychlost pohybu pásu (8 km/h).

Naughtonův protokol - pracuje s malou rychlostí pásu (3,2 km/h) a je tedy vhodný pro vysoce rizikové pacienty (Evans & White, 2009).

Tabulka 3. Přehled vybraných zátěžových protokolů (upraveno podle Evans & White, 2009).

Stupeň	Bruceův protokol			Naughtonův protokol			Astrandův protokol		
	v (km.h ⁻¹)	sklon (%)	t (min)	v (km.h ⁻¹)	sklon (%)	t (min)	v (km.h ⁻¹)	sklon (%)	t (min)
1	2,7	10	3	1,6	0	2	8,0	0	3
2	4,0	12	3	3,2	0	2	8,0	2,5	2
3	5,5	14	3	3,2	3,5	2	8,0	5,0	2
4	6,8	16	3	3,2	7,0	2	8,0	7,5	2
5	8,0	18	3	3,2	10,5	2	8,0	10,0	2
6	8,8	20	3	3,2	14,0	2	8,0	12,5	2
7	9,7	22	3	3,2	17,5	2	8,0	15,0	2
8				3,2	21	2	8,0	17,5	2
9				3,2	24,5	2	8,0	20,0	2

2.6.9 Kritéria maximálního vyčerpání

Při hodnocení maximálních zátěžových testů může nastat problém v posouzení toho, zdali testovaný jedinec dosáhl skutečně svých maximálních hodnot, nebo ukončil test příliš brzy. Dosažení svého maxima totiž vyžaduje jistou míru volných schopností. S blížícím se koncem testu totiž přibývá nepříjemných pocitů (nedostatek kyslíku, bolest zapojených svalových partií), které se dají do jisté míry překonat. Nejčastěji sledovaným parametrem při provádění maximálních zátěžových testů je VO_{2max} . Aby bylo možné poznat, zda dosáhl testovaný svého skutečného maxima, používají se různá kritéria. Za nejméně spolehlivá se považují subjektivní kritéria. Vyšetřovaná osoba ukončí zátěž, když se cítí vyčerpaná. Toto kritérium je ale často nespolehlivé a velice souvisí s motivací k provedení zátěžového testu. Za objektivní a do značné míry spolehlivé považuje Evans a White (2009), Vilikus, Brandejský a Novotný (2004) následující spirometrické ukazatele:

- 1) Srdeční frekvence by měla dosáhnout maximální hodnoty. Průměrná maximální hodnota se udává jako $220 - \text{věk}$. Maximální tepová frekvence je ale značně individuální hodnotou a proto se pro dosažení maximálního vyčerpání používá hodnota o 10 úderů za minutu nižší než je teoretické maximum.
- 2) Respirační kvocient (R, RQ, RER) by měl být vyšší, než 1,15. Hodnota R na konci maximálního zátěžového testu je jedním z nejpoužívanějších kritérií pro dosažení maximálního vyčerpání. R je poměr vyloučeného CO_2 ke spotřebovanému O_2 . Za klidových podmínek závisí hodnota R na složení stravy (poměr příjmu sacharidů, tuků a bílkovin). Při smíšené stravě se pohybuje R nejčastěji v rozmezí 0,80–0,85. Při intenzivnější zátěži R začíná stoupat, protože se začíná uplatňovat ve větší míře anaerobní uvolňování energie. Rostoucí koncentrace kyseliny mléčné stále více stimuluje bikarbonátový nárazníkový systém, vzniká nestálá kyselina uhličitá, která se rozkládá na vodu a oxid uhličitý. Oxid uhličitý je následně vydechovaný ve

větší koncentraci a hodnota R stoupá. Respirační kvocient můžeme vyjádřit rovnicí: $R = VCO_2/VO_2$

- 3)** Hodnota VO_{2max} dosáhne „plató“ a dále již nestoupá. V literatuře se setkáváme s názvem „levelling of“. Intenzita vyjádřená ve watech může ještě stoupat, ale VO_{2max} se už nemění a může naopak poklesnout. Za dosažení plato VO_{2max} považuje Shephard a Astrand (1992) stav, kdy se hodnota VO_2 nezvyšuje větší rychlostí než $2 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ při stále rostoucí intenzitě zatížení.
- 4)** Ventilační ekvivalent pro kyslík (VEO_2) vyšší než 3,5 l (na spotřebování 100ml O_2 musí testovaný naventilovat nejméně 3,5 l vzduchu).
- 5)** Hladina laktátu v krvi po tělesném zatížení vyšší než 7 mmol/l.

3. CÍLE A HYPOTÉZY

Hlavní cíl

Hlavním cílem naší práce je zjistit a ověřit, jestli výsledky laboratorního vyšetření do vita maxima na běžeckém ergometru jsou u sportujících jedinců ovlivněny rozdílným trváním zátěžových stupňů.

Dílčí cíl

Posoudit vhodnost využití zátěžového protokolu se stupni v trvání 0,5 a 1 min.

Hypotézy

H0 - Není rozdíl mezi hodnotami $VO_2\text{max}$ dosaženými při použití protokolu se zátěžovými stupni v trvání 0,5 a 1 min.

Výzkumné otázky

- 1) Jaký mají vliv protokoly se zátěžovými stupni v trvání 0,5 a 1 min na běžně používané parametry maximálních zátěžových testů?
- 2) Je rozdíl v subjektivně vnímaném pocitu úsilí při zátěžovém protokolu se stupni v trvání 0,5 a 1 min?
- 3) Je vztah mezi subjektivně vnímaným pocitem úsilí a hodnotou $VO_2\text{max}$?
- 4) Je vztah mezi subjektivně vnímaným pocitem úsilí a hodnotou $W\text{max}$?

4. METODIKA VÝZKUMU

4.1 Výzkumný soubor

Výzkumu se zúčastnilo 12 dobrovolníků (muži) bez zjevných projevů onemocnění. U všech byl zajištěn informovaný souhlas, vyhodnoceno klidové EKG a krevní tlak. Průměrný věk testovaného souboru byl $24,33 \pm 1,92$ let, tělesná výška $179,17 \pm 4,80$ cm a hmotnost $76,75 \pm 6,18$ kg. Testovaný soubor nebyl sestaven na základě náhodného výběru, jednalo se o amatérské sportovce (studenti FTK).

4.2 Organizace měření

Před samotným zátěžovým vyšetřením proběhlo měření (tělesná výška, hmotnost) a výpočet základních tělesných parametrů (procenta tělesného tuku a BMI) vyšetřovaných osob.

Na běžeckém ergometru LODE Valiant (Nizozemí) absolvovali všichni probandi dva maximální zátěžové testy s odlišným protokolem spočívajícím v rozdílném trvání zátěžových stupňů (kapitola 4.3.3). Před provedením prvního zátěžového testu byla měřena také vitální kapacita u všech vyšetřovaných osob.

Každý jedinec byl předem seznámen s následujícími požadavky:

- použít vhodný oděv a obuv,
- poslední jídlo pozřít maximálně 3 hodiny před začátkem testu,
- dostatečný spánek před testováním,
- 12 hodin před měřením nekouřit a nepít alkohol,
- 24 hodin před měřením neabsolvovat náročný fyzický trénink.

4.3 Výzkumné metody

4.3.1 Měření tělesného tuku a výpočet BMI

Body Mass Index (BMI) byl vypočítán z naměřených hodnot hmotnosti a tělesné výšky podle vzorce: $BMI = \text{tělesná hmotnost} / (\text{tělesná výška})^2$

Pro určení množství tělesného tuku jsme použili metodu podle Pařízkové (1962). Sečtením naměřených hodnot 10 kožních řas a následným použitím tabulek jsme získali množství podkožního tuku vyjádřené v procentech. Tloušťku kožních řas jsme měřili pomocí Bestova kaliperu na pravé straně těla na těchto místech:

- 1) tvář - pod spánkem na spojnici tragion-alare,
- 2) krk - nad jazykou,
- 3) hrudník I - na předním ohraničení axilární jámy nad okrajem m. pectoralis major,
- 4) hrudník II - v přední axilární čáře ve výši 10. žebra,
- 5) paže (triceps) - v polovině vzdálenosti acromion-olecranon,
- 6) záda - pod dolním úhlem lopatky,
- 7) břicho - v mediální třetině vzdálenosti pupek – přední trn kyčelní,
- 8) pánev (bok) - nad hřebenem kosti kyčelní v průsečíku s přední axilární čárou,
- 9) stehno - nad čéškou,
- 10) lýtko - pod fossa poplitea (kolení jamka).

4.3.2 Měření vitální kapacity

K měření vitální kapacity jsme použili analyzátor ZAN Ergo USB 600. Testovaná osoba nejdříve provedla pět klidových dechových cyklů, poté následovaly tři po sobě jdoucí maximální nádechy a výdechy. Nejvyšší

dosažená hodnota byla zaznamenána a následně použita pro srovnání s předpokládanou hodnotou vitální kapacity.

4.3.3 Testy do vita maxima

Na běžeckém ergometru LODE Valiant absolvovali všichni probandi dva maximální zátěžové testy s odlišným protokolem spočívajícím v rozdílném trvání zátěžových stupňů. Odstup mezi měřeními byl jeden až dva týdny; pořadí protokolů bylo voleno náhodně. Analýza dechových plynů byla provedena analyzátozem ZAN Ergo USB 600. Srdeční frekvence byla snímána pomocí hrudního pásu značky Polar.

Oběma zátěžovým protokolům předcházelo 5minutové rozehtání (rozklusání) při rychlosti 8 km/hod a to nejprve 4 minuty při sklonu 0 %, v páté minutě se sklon zvýšil na 5 %. V další minutě se zvyšuje rychlost na 10 km/h, sklon pásu zůstává 5 %. Od tohoto okamžiku se protokoly začínají lišit. V první variantě (dále krátký protokol) se zátěž zvyšuje každých 30 sekund, při druhé variantě (dále dlouhý protokol) každých 60 sekund. Zvyšování zátěže se nejprve odehrávalo zvyšováním rychlosti a to vždy o 1 km/h. Po dosažení rychlosti 15 km/h již vzrůstá jen sklon a to o 2 %. Když se začaly projevovat známky únavy, která nedovolovala udržet rychlost běhu s rychlostí pásu, použili jsme slovní povzbuzení. Pokud se situace nezlepšila a vyšetřovaný nám dal předem domluvené znamení, test byl ukončen. Po skončení testu následovalo několikaminutové vyklusání.

4.3.4 Statistické zpracování

Data, získaná provedením zátěžových testů, jsme převedli nejprve do programu Microsoft Excel. Následné statistické zpracování jsme provedli v programu SPSS 17. Pro vyhodnocení výsledků byly použity vzhledem k malému vzorku testovaných osob neparametrické statistické metody: Wilcoxonův test pro vzájemné srovnání výsledných hodnot jednotlivých parametrů zátěžových testů; chi-kvadrát pro nominální data

a Spearmanův korelační koeficient pro hledání korelací mezi subjektivním vnímáním probandů a vybranými parametry zátěžového testu.

5. VÝSLEDKY

5.1 Antropometrické vyšetření

Soubor mužů byl zastoupen 12 jedinci ve věku od 22 do 29 let. Průměrný věk testovaného souboru byl $24,33 \pm 1,92$ let, tělesná výška $179,17 \pm 4,80$ cm a hmotnost $76,75 \pm 6,18$ kg. BMI byl v průměru $23,88 \pm 1,72$ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ množství tělesného tuku $8,36 \pm 3,87$ % (Tabulka 4).

Tabulka 4. Antropometrická charakteristika souboru

	Věk (roky)	Hmotnost (kg)	Výška (m)	BMI ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$)	Tuk (%)
1	23	72	1,80	25,0	7,2
2	24	82	1,81	22,2	7,7
3	22	79	1,86	22,8	13,7
4	22	73	1,76	23,6	14,9
5	26	75	1,69	26,3	8,9
6	24	73	1,74	24,1	6,6
7	29	87	1,83	26,0	13,2
8	24	86	1,80	26,5	5,1
9	24	72	1,79	22,5	5,4
10	24	79	1,85	22,8	5,7
11	26	77	1,81	23,5	2,3
12	24	66	1,76	21,3	9,6
M	24,33	76,75	179,17	23,88	8,36
SD	1,92	6,18	4,80	1,72	3,87

Vysvětlivky: BMI – Body Mass Index, M – průměrná hodnota,
SD – směrodatná odchylka.

5.2 Spirometrické vyšetření

U testovaného souboru se hodnoty vitální kapacity pohybovaly od 4 700 ml do 6900 ml, predikované hodnoty vitální kapacity od 4 930 ml do 6000 ml a % predikované hodnoty vitální kapacity plic od 84 % do 131 % (Tabulka 5).

Tabulka 5. Hodnoty vitální kapacity, predikovaná VC a % predikované VC u testovaného souboru

	Pred. VC (ml)	VC (ml)	% pred. VC
1	5 630	5790	103%
2	5 390	4 700	87%
3	5 660	6 300	111%
4	5 930	6 540	110%
5	5 557	6 520	117%
6	5 630	5980	106%
7	5 810	5 880	101%
8	5 260	6 890	131%
9	4 930	5 370	109%
10	5390	5440	101%
11	6 000	5 040	84%
12	5 690	6 900	121%
M	5 573	5945	106,75%
SD	297	713	13,21%

Vysvětlivky: VC – vitální kapacita, pred. VC – predikovaná vitální kapacita, % pred. VC – procento predikované vitální kapacity, M – průměrná hodnota, SD – směrodatná odchylka.

5.3 Spiroergometrické vyšetření

Pomocí programu SPSS 17 jsme použili Wilcoxonův test pro porovnání jednotlivých ventilačně respiračních, kardiovaskulárních a časových ukazatelů mezi oběma provedenými variantami zátěžového testu. Průměrně dosažené hodnoty nebyly statisticky významně rozdílné ($p > 0,05$) u maximální srdeční frekvence, maximální spotřeby kyslíku, ventilačního ekvivalentu pro kyslík a oxid uhličitý ani u maximální minutové ventilace. Jako statisticky významné jsme vyhodnotili rozdíly u průměrně dosažených maximálních hodnot podaného výkonu, délky trvání testu, výdeje oxidu uhličitého a respiračního kvocientu. (Tabulka 8).

Maximální hodnoty srdeční frekvence se pohybovaly u probandů v krátkém protokolu (změna stupně po 30 sekundách) v průměru $191,85 \pm 5,54$ tep.min⁻¹ a v dlouhém protokolu (změna stupně po 60 sekundách) $192,38 \pm 6,74$ tep.min⁻¹. Průměrné hodnoty maximální spotřeby kyslíku byly $58,02 \pm 5,45$ ml.kg⁻¹.min⁻¹ u krátkého a $58,00 \pm 4,27$ ml.kg⁻¹.min⁻¹ u dlouhého protokolu. Rozdíl mezi průměrnými hodnotami VO₂max u obou testů jsme vyhodnotili jako statisticky nevýznamný, proto přijímáme naši nulovou hypotézu:

H₀ - Není rozdíl mezi hodnotami VO₂max dosaženými při použití protokolu se zátěžovými stupni v trvání 0,5 a 1 min.

Průměrná doba trvání krátkého protokolu činila $602,5 \pm 20,06$ s, dlouhý protokol trval v průměru $760 \pm 40,03$ s. V sedmi případech z dvanácti byla naměřená hodnota VO₂max vyšší u krátkého protokolu. U téže varianty byly hodnoty maximální srdeční frekvence u poloviny testovaných probandů vyšší. Doba trvání testu byla ale u téhož protokolu ve všech případech kratší (Tabulka 6).

Tabulka 6. Maximální hodnoty kardiovaskulárních, respiračních a časových ukazatelů u testovaného souboru

	SFmax (tep.min ⁻¹)		VO ₂ max (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)		VCO ₂ max (l.min ⁻¹)		t max (s)	
	A	B	A	B	A	B	A	B
1	197,27	195,35	63,82	63,60	5,57	5,03	630	810
2	193,52	193,85	62,75	57,13	6,04	5,39	600	810
3	186,48	182,85	51,27	52,17	4,99	4,69	600	660
4	195,03	192,17	55,01	58,50	4,52	4,56	600	750
5	184,94	183,73	57,72	57,17	4,91	4,63	570	720
6	201,41	205,00	65,93	62,03	5,66	4,81	630	750
7	189,01	197,00	52,15	52,08	5,31	5,24	600	780
8	193,75	201,60	56,03	56,21	5,27	5,38	570	720
9	186,93	189,00	56,44	55,98	4,75	4,63	630	810
10	184,25	188,75	61,86	60,10	5,54	5,66	600	780
11	191,97	186,66	63,51	65,87	5,34	5,55	600	810
12	197,67	192,64	49,80	55,13	4,12	3,79	600	720
M	191,85	192,38	58,02	58,00	5,17	4,95	602,50	760,00
SD	5,54	6,74	5,45	4,27	0,54	0,53	20,06	48,43

Vysvětlivky: A – krátký protokol, B – dlouhý protokol, SFmax – maximální srdeční frekvence, VO₂max – maximální spotřeba kyslíku, VCO₂max – maximální výdej oxidu uhličitého, tmax – délka trvání testu, M – průměrná hodnota, SD – směrodatná odchylka.

U vyšetřovaného souboru se u krátkého a dlouhého protokolu pohybovaly maximální hodnoty minutové ventilace v průměru 141,45±15,58 a 139,25±17,50 l.min⁻¹. Průměrné hodnoty maximálního ventilačního ekvivalentu pro kyslík byly 30,71±3,09 a 30,10±2,63 l. Průměrné hodnoty

maximálního ventilačního ekvivalentu pro oxid uhličitý činily $26,33 \pm 1,82$ a $27,07 \pm 2,14$ l. Respirační kvocient byl při maximální zátěži v průměru $1,16 \pm 0,05$ a $1,11 \pm 0,05$. Maximální dosažený výkon se v průměru pohyboval $7,79 \pm 51 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ u krátkého a $6,54 \pm 48 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ u dlouhého protokolu.

Ze všech dvanácti případů byly hodnoty maximální minutové ventilace v osmi případech vyšší u krátkého protokolu. U téhož protokolu byly maximální hodnoty ventilačního ekvivalentu pro kyslík vyšší přesně u poloviny případů. V sedmi případech byly u dlouhého protokolu vyšší maximální hodnoty ventilačního ekvivalentu pro oxid uhličitý. Maximální hodnoty respiračního kvocientu byly vyšší v devíti případech u krátkého protokolu. Maximální podaný výkon byl ve všech případech vyšší u krátkého protokolu a to v průměru o $1,25 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ (Tabulka 7).

Tabulka 7. Maximální hodnoty dosaženého výkonu a ventilačně-respiračních ukazatelů u testovaného souboru

	$V_{E\max}$ (l.min ⁻¹)		$V_{E\text{O}_2\max}$ (l)		$V_{E\text{CO}_2\max}$ (l)		R_{\max}		W_{\max} (W.kg ⁻¹)	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
1	150,76	126,33	31,57	26,47	26,00	24,10	1,21	1,10	8,38	6,94
2	170,35	166,82	31,92	34,26	27,20	29,80	1,17	1,15	7,68	6,98
3	153,80	143,18	36,64	33,37	29,59	29,33	1,24	1,14	6,96	6,25
4	126,69	120,71	30,33	27,12	26,97	25,38	1,13	1,07	7,66	6,95
5	135,13	138,95	30,01	31,22	26,46	28,92	1,14	1,08	6,96	5,49
6	157,14	149,04	31,62	31,87	26,88	30,02	1,18	1,06	7,66	6,23
7	130,40	139,00	27,52	29,38	23,56	25,38	1,17	1,16	7,70	6,26
8	150,78	149,83	29,98	29,83	27,43	26,81	1,09	1,11	7,70	6,27
9	121,34	119,06	28,63	28,23	24,47	24,56	1,17	1,15	8,38	6,94
10	146,96	163,43	28,94	33,12	25,54	27,78	1,13	1,19	8,39	6,96
11	131,03	144,60	25,79	27,41	23,60	25,08	1,09	1,09	8,39	6,96
12	123,02	110,02	35,57	28,86	28,29	27,71	1,25	1,04	7,64	6,21
M	141,45	139,25	30,71	30,10	26,33	27,07	1,16	1,11	7,79	6,54
SD	15,58	17,50	3,09	2,63	1,82	2,14	0,05	0,05	0,51	0,48

Vysvětlivky: A – krátký protokol, B – dlouhý protokol, $V_{E\max}$ – maximální minutová ventilace, $V_{E\text{O}_2\max}$ – ventilační ekvivalent pro kyslík, $V_{E\text{CO}_2\max}$ – ventilační ekvivalent pro oxid uhličitý, $W_{\max.kg^{-1}}$ – maximální výkon, R_{\max} – respirační kvocient, M – průměrná hodnota, SD – směrodatná odchylka.

Tabulka 8. Statistická významnost rozdílu kardiovaskulárních, časových a ventilačně-respiračních ukazatelů mezi krátkým a dlouhým protokolem

	Varianta testu	M	SD	p
SFmax (tep.min ⁻¹)	A	191,85	5,54	NS
	B	192,38	6,74	
VCO₂max (l.min ⁻¹)	A	5,17	0,54	*
	B	4,95	0,53	
VO₂max (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	A	58,02	5,45	NS
	B	58,00	4,27	
Wmax (W.kg ⁻¹)	A	7,79	0,51	**
	B	6,54	0,48	
t (s)	A	602,50	20,06	**
	B	760,00	48,43	
V_Emax (l.min ⁻¹)	A	141,45	15,58	NS
	B	139,25	17,50	
V_EVO₂max (l)	A	30,71	3,09	NS
	B	30,10	2,63	
V_EVCO₂max (l)	A	26,33	1,82	NS
	B	27,07	2,14	
Rmax	A	1,16	0,05	*
	B	1,11	0,05	
Sklon pásu (%)	A	12,39	1,75	**
	B	8,52	1,71	

Vysvětlivky: A – krátký protokol, B – dlouhý protokol, V_Emax – maximální minutová ventilace, V_EO₂max – maximální hodnoty ventilačního ekvivalentu pro kyslík, V_ECO₂max – maximální hodnoty ventilačního ekvivalentu pro oxid uhličitý, Max – maximální hodnoty respiračního kvocientu, SFmax – maximální srdeční frekvence, VO₂max – maximální spotřeba kyslíku, VCO₂max – maximální výdej oxidu uhličitého, Wmax – maximální výkon, t – délka trvání testu, M – průměrná hodnota, SD – směrodatná odchylka, p – hladina statistické významnosti, Statisticky významné rozdíly hodnot jsou označeny * 0,01 < p ≤ 0,05; ** 0,01 < p ≤ 0,01; NS – není statisticky významný rozdíl.

5.4 Subjektivní vnímání zátěžových protokolů

Po dokončení obou zátěžových testů jsme provedli s každým probandem rozhovor. Zajímalo nás, jestli pociťovali probandi nějaké rozdíly mezi oběma protokoly a jestli dosáhli svého subjektivního pocitu maxima. Dále jsme zjišťovali, jaký byl důvod jejich pokynu pro ukončení testu a jaký protokol jim vyhovoval více.

Na základě výpovědí všech probandů jsme nejprve pomocí statistické metody chi-kvadrát zjistili, že signifikantně více vyhovoval probandům dlouhý protokol (hladina statistické významnosti $p = 0,039$). Konkrétně vyhovoval probandům dlouhý protokol více v osmi případech, v jednom případě proband nepociťoval rozdíl mezi oběma protokoly a ve třech případech vyhovoval více probandům krátký protokol (příloha 4).

Pomocí Spearmanova korelačního koeficientu jsme následně nenašli statisticky významnou korelaci mezi tím, že by byly dosaženy vyšší, nebo nižší hodnoty $VO_2\text{max}$ a $W\text{max}$ u varianty testu, která probandovi více vyhovovala. Na základě našich výsledků (Tabulka 9) tvrdíme, že není vztah mezi subjektivně vnímaným pocitem úsilí a hodnotami $VO_2\text{max}$ a $W\text{max}$.

Tabulka 9. Korelace hodnot $VO_2\max$ a $W\max$ se subjektivně vnímaným pocitem úsilí

proband	$VO_2\max$ ($ml.kg^{-1}.min^{-1}$)		rozdíl	$W\max.kg^{-1}$ ($W.kg^{-1}$)		rozdíl	pocit
	A	B		A	B		
1	63,82	63,60	0,22	8,38	6,94	1,43	A
2	62,75	57,13	5,62	7,68	6,98	0,71	B
3	51,27	52,17	-0,91	6,96	6,25	0,71	-
4	55,01	58,50	-3,50	7,66	6,95	0,71	B
5	57,72	57,17	0,55	6,96	5,49	1,47	B
6	65,93	62,03	3,91	7,66	6,23	1,42	B
7	52,15	52,08	0,08	7,70	6,26	1,44	B
8	56,03	56,21	-0,18	7,70	6,27	1,43	A
9	56,44	55,98	0,45	8,38	6,94	1,43	A
10	61,86	60,10	1,76	8,39	6,96	1,43	A
11	63,51	65,87	-2,36	8,39	6,96	1,43	B
12	49,80	55,13	-5,33	7,64	6,21	1,42	B
r			-0,04			0,053	
p			0,99			0,871	

Vysvětlivky: A – krátký protokol, B – dlouhý protokol, $VO_2\max$ – maximální spotřeba kyslíku, $W\max$ – maximální výkon, pocit – subjektivní pocit dosažení lepšího výkonu (pomlčka značí, že nebyl vnímaný rozdíl mezi protokoly), r – Spearmanův korelační koeficient, p – hladina statistické významnosti, statisticky významné hodnoty jsou označeny * $0,01 < p \leq 0,05$; ** $0,01 < p \leq 0,01$.

6. DISKUSE

6.1 Antropometrické vyšetření

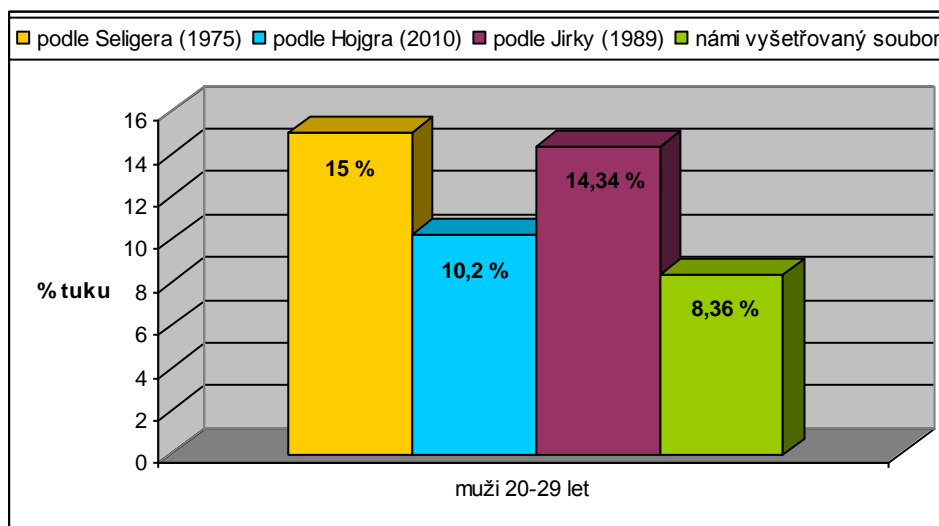
Díky antropometrickému vyšetření našeho testovaného souboru můžeme tvrdit, že jsou průměrné hodnoty BMI $23,88 \pm 1,72 \text{ kg.m}^{-2}$ normální. Evans a White (2009) uvádějí, že za normální se považují hodnoty, které se pohybují v rozmezí $18,5\text{--}24,9 \text{ kg.m}^{-2}$. Vilikus, Brandejský a Novotný (2004) tvrdí, že body mass index je sice často používaný pro orientaci o základní tělesné stavbě vyšetřovaného, ale výsledná informace není zcela spolehlivá. Vyplývá to ze skutečnosti, že při posuzování výsledku stanovení BMI není respektován individuální „trojpoměr“ (robotické kostry, rozvoje muskulatury, množství tělesného tuku). Na množství tělesného tuku bývá často právě z hodnoty BMI nesprávně poukazováno. Může totiž nastat situace, při které u robustního svalnatého jedince s minimálním množstvím tělesného tuku naměříme stejné hodnoty BMI jako u jedince s velkým množstvím tělesného tuku. Proto musíme hodnotu BMI posuzovat opatrně.

Průměrné hodnoty tělesného tuku u našeho testovaného souboru byly $8,36 \pm 3,87 \%$. Tento výsledek naznačuje, že náš soubor byl tvořen z aktivně sportujících jedinců (Tabulka 10). Podle Jirky et al. (1989) se hodnoty tělesného tuku pohybují u špičkových sportovců věnujících se aerobním sportům v rozmezí 6 % až 12 %.

Tabulka 10. Hodnocení tělesného tuku (upraveno podle Vilikus, Brandejský, & Novotný, 2004)

Množství tuku (%)	Hodnocení
≤ 9,9	Velmi nízké
10-11,9	Nízké
12-13,9	Snížené
14-15,9	Normální
16-17,9	Zvýšené

Graficky znázorněné porovnání naměřených hodnot tělesného tuku našeho souboru s průměrnými hodnotami množství tělesného tuku udávanými jinými autory (Obrázek 6).



Obrázek 6. Srovnání námi naměřených průměrných hodnot procenta tuku s hodnotami udávanými Jirkou et al. (1989), Seligerem (1975) a Hojgrem (2010).

6.2 Spirometrické vyšetření

Pomocí spirometrického vyšetření jsme zjistili, že hodnoty vitální kapacity (VC) plic u našeho testovaného souboru byly v průměru $5,945 \pm 713$ l, což poukazuje na dobrou funkci dýchacího systému a značnou trénovanost probandů. Seliger (1980) uvádí jako průměrné hodnoty VC u průměrného 25letého muže 5006 ml, u sportovců potom 5735 ml. Měřením VC se také zabývali Astrand et al. (2003), který uvádí jako průměrné hodnoty studentů sportovních studií hodnoty 5390 ml. Podle Havlíčkové et al. (2004) se průměrné hodnoty VC u trénovaných sportovců pohybují v rozmezí 5000–8000 ml. Pokud absolutní hodnoty VC vztáhneme k velikosti povrchu těla, můžeme ji vyjádřit jako % pred. VC. U trénovaných sportovců se % pred. VC pohybují podle Havlíčkové et al. (2004) v rozmezí od 120–140 %. Náš soubor vykazoval hodnoty % pred. VC v průměru $106,75 \pm 13,21$ %. V našem testovaném souboru byli ale dva jedinci s poměrně nízkými hodnotami % pred. VC (87 % a 84 %). Nižší hodnoty VC je ale nelimitovaly v dosažení nadprůměrných hodnot $VO_2\max$. V jejich případě se například u krátkého protokolu jednalo o hodnoty ($62,75 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ a $63,51 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$).

6.3 Spiroergometrické vyšetření

V naší práci jsme použili dva různé zátěžové protokoly, které se v samotném zadání lišily pouze délkou doby trvání jednotlivých zátěžových stupňů. Při testu č. 1 (krátký protokol) se zátěžový stupeň měnil po 0,5 min a při testu č. 2 (dlouhý protokol) to bylo každou 1 min. Odlišná délka zátěžových stupňů způsobila, že celková doba trvání testu č. 2 byla signifikantně delší, v průměru to bylo o 157,5 s. MacDougall, Weber a Green (1991) uvádí jako ideální dobu maximálního zátěžového testu 8–14 min. Obě naše varianty testového protokolu svou dobou trvání vyhověly této podmínce (Tabulka 8). Protokol č. 1 byl tedy časově kratší, ale zároveň u něho byly dosaženy signifikantně větší maximální hodnoty dosaženého výkonu ($W_{\max}\cdot\text{kg}^{-1}$), v průměru to bylo o $1,25 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$. Větší maximální dosažený výkon u krátkého protokolu byl podle našich úvah způsobený kratšími výdržemi v jednotlivých zátěžových stupních.

Vyšetřovaná osoba se potom za kratší dobu trvání dostala na vyšší zátěžový stupeň testu (byl dosažený větší sklon pásu). Průměrně dosažený maximální sklon pásu byl u krátkého protokolu o 3,87 % větší než u dlouhého protokolu. V naší studii bylo také u krátkého protokolu dosaženo signifikantně větších průměrně naměřených hodnot VCO_2max a $Rmax$ (Tabulka 8)

Máček a Máčková (1997), Fletcher et al. (2001) uvádějí průměrné hodnoty VO_2max zdravého 25letého muže $43 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$. Cooper a Storer (2001) posuzuje podle dosažených hodnot VO_2max tělesnou zdatnost (Tabulka 11). Průměrné výsledky maximální spotřeby kyslíku u našeho testovaného souboru se pohybovaly v pásmu nadprůměrných hodnot u obou provedených variant zátěžového tesu. U krátkého protokolu $58,02 \pm 5,45 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ a u dlouhého protokolu $58,00 \pm 4,27 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$. Mezi oběma výsledky nebyl nalezen signifikantní rozdíl, což potvrdilo naši nulovou hypotézu, že není rozdíl mezi hodnotami VO_2max dosaženými při použití protokolu se zátěžovými stupni v trvání 0,5 a 1 min. Statisticky nevýznamné byly rozdíly mezi maximálními hodnotami srdeční frekvence, minutové ventilace a ventilačního ekvivalentu pro kyslík a oxid uhličitý (Tabulka 8).

Tabulka 11. Tělesná zdatnost mužů (20-29 let) vyjádřená pomocí maximální spotřeby kyslíku (upraveno podle Cooper et al., 2001)

Tělesná zdatnost	Nízká	Uspokojivá	Střední	Dobrá	Vysoká
VO_2max ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$)	≤ 32	33-35	36-43	44-47	≥ 48

V naší práci jsme zkoumali vliv délky trvání zátěžových stupňů na výsledné hodnoty sledovaných parametrů. Při zátěžovém testování ale mohou být maximální dosažené hodnoty (VO_2max , $SFmax$) závislé na druhu zatížení. Z literatury (Cinglová, 2002; Wilmore & Costil, 2004) víme, že u běžné populace jsou naměřené hodnoty VO_2max na běžeckém ergometru vyšší asi

o 8–12 %, než při bicyklové ergometrii. Rozdílným druhem zatížení se zabýval také Dalleck, Kravin a Robert (2004), kteří porovnávali maximální zátěžový test na běžeckém a eliptickém ergometru. Ve výsledcích studie nebyly žádné statisticky významné rozdíly v hodnotách $VO_2\text{max}$, $SF\text{max}$, a $R\text{max}$.

Rundel (1996) se zabýval otázkou, jestli rozdílný typ zátěže (běžecký ergometr a speciální běžecký ergometr pro jízdu na kolečkových lyžích) má vliv na výsledné parametry maximálního zátěžového testu. Došel k výsledkům, že při jízdě na kolečkových lyžích bylo dosaženo signifikantně nižších hodnot $VO_2\text{max}$, $SF\text{max}$ a hladiny laktátu v krvi. Zjistil také, že při stejné hodnotě tepové frekvence (84 % maximální tepové frekvence) byla u kolečkových bruslí naměřena nižší hodnota VO_2 , ale zároveň signifikantně vyšší hladina laktátu v krvi. Podle Rundel (1996) je tedy důležité, aby sportovci prováděli zátěžové testování při stejném typu zatížení, jaké vyžaduje jejich sportovní disciplína.

S otázkou, jak může ovlivnit rozdílný sklon běžeckého pásu výsledky zátěžového testu, se v literatuře setkáváme méně. Tzvetkov (2009) zjišťoval, zdali má vliv na výsledky zátěžového testu rozdílný protokol na běžeckém ergometru. U prvního protokolu byly zátěžové stupně měněny pouze změnou rychlosti pásu (z počátečních 6 km/h se rychlost zvyšovala každých 90 s o 1,2 km/h až do ukončení testu). Druhý protokol byl založený na kombinaci změny rychlosti a změny sklonu pásu (nejdříve se zvyšovala pouze rychlost do 13 km/h, následně už pouze sklon až do ukončení zátěže). Ve výsledcích byl zjištěn významný rozdíl v průměrných hodnotách celkové doby trvání protokolu (16,85 min u prvního a 15,96 min u druhého protokolu), dále také v průměrných hodnotách $R\text{max}$ (1,11 u prvního a 1,16 u druhého protokolu). Jako statisticky nevýznamné byly vyhodnoceny rozdíly mezi oběma protokoly v hodnotách ($VO_2\text{max}$, $SF\text{max}$, V_EVCO_2 , $V_{E\text{max}}$).

6.4 Subjektivní vnímání zátěžových protokolů

Z našich výsledků víme, že krátký protokol (změna zátěžového stupně po 0,5 min) vyhovoval probandům méně, ačkoliv při něm bylo dosaženo signifikantně

vyššího maximálního výkonu. Vysvětlujeme si to tím, že vyšší podaný výkon za kratší časovou jednotku vedl k vyššímu produkci CO₂, což poukazuje na to, že došlo pravděpodobně k většímu zakyselení organismu než u dlouhého protokolu (změna zátěžového stupně po 1 min). Zakyselení organismu je způsobeno hromadící se kyselinou mléčnou v pracujících svalech při převaze anaerobního způsobu krytí energie. To následně vede k subjektivně nepříjemným pocitům a testovaný je nucen přerušit zatížení.

6.5 Limity studie

Mezi hlavní limity naší studie patří poměrně nízký počet probandů, při kterém se může na zkreslení výsledku negativně projevit jen jediná výraznější odchylka. Testovaný soubor nebyl vytvořen náhodným výběrem, byl založen na dobrovolnosti studentů Fakulty tělesné kultury. Výsledky nemusí být platné pro obecnou populaci. Také je třeba zmínit, že hodnocení subjektivního vnímání úsilí může být do jisté míry zavádějící. Subjektivní vnímání totiž závisí například na momentálním psychickém rozpoložení probandů.

7. ZÁVĚRY

Lze konstatovat, že se nám v této diplomové práci podařilo splnit stanovený hlavní i dílčí cíl a odpovědět na položené výzkumné otázky.

Statisticky významné rozdíly mezi oběma provedenými variantami zátěžového testu (krátký protokol – změna zátěžového stupně po 0,5 min; dlouhý protokol – změna zátěžového stupně po 1 min) jsme našli v průměrně dosažených hodnotách: $W_{max} \cdot kg^{-1}$, R_{max} , VO_2max , dále v celkové délce trvání zátěžových protokolů a také v maximálním dosaženém sklonu běžeckého pásu. Ve srovnání s dlouhým protokolem byla u krátkého protokolu celková doba trvání v průměru o 157,5 s kratší; maximálně dosažený sklon pásu byl o 3,87 % větší; hodnota $W_{max} \cdot kg^{-1}$ byla průměrně o 1,25 $W \cdot kg^{-1}$ větší; VO_2max o 0,22 litru větší a R_{max} o 0,05 větší než u dlouhého protokolu.

Maximální spotřeba kyslíku byla u našeho souboru v průměru o 0,03 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ větší u krátkého protokolu. Tento rozdíl nebyl vyhodnocený jako statisticky významný a proto přijímáme nulovou hypotézu:

H_0 - Není rozdíl mezi hodnotami VO_2max dosaženými při použití protokolu se zátěžovými stupni v trvání 0,5 a 1 min.

Průměrně dosažené hodnoty SF_{max} byly o 0,53 $tep \cdot min^{-1}$ vyšší u dlouhého protokolu. Tento rozdíl také nebyl vyhodnocený jako statisticky významný.

Při subjektivním hodnocení absolvovaných testů více probandům vyhovoval v osmi případech dlouhý protokol. Ve třech případech vyhovoval probandům více protokolů krátký. V jednom případě proband nepocítoval rozdíl mezi oběma protokoly. Kratší protokol vyhovoval probandům signifikantně méně než dlouhý protokol. Subjektivní vnímání pocitu úsilí u provedených protokolů a dosažené hodnoty VO_2max a W_{max} mezi sebou vzájemně nekorelovaly.

U testovaného souboru jsme nezjistili vliv použitých zátěžových protokolů na základní sledované parametry, kterými jsou VO_2max , nebo SF_{max} . Na základě našich výsledků můžeme tedy doporučit obě tyto varianty maximálního zátěžového testu pro další používání. Z hlediska úspory času můžeme doporučit kratší variantu protokolu.

8. SOUHRN

Při maximálním zátěžovém testování jsou doporučovány různé protokoly, jejichž rozdílnost spočívá jak v délce trvání jednotlivých zátěžových stupňů, tak i v navyšování zátěže. Při správně zvoleném zátěžovém protokolu by měl proband dosáhnout co nejvyšší, nejlépe maximální intenzity zatížení, podat maximální výkon, dosáhnout maximální spotřeby kyslíku.

Hlavním cílem práce bylo zjistit a ověřit, jestli výsledky laboratorního vyšetření do vita maxima na běžeckém ergometru jsou u sportujících jedinců ovlivněny rozdílným trváním zátěžových stupňů. Dílčím cílem pak bylo posoudit vhodnost využití zátěžového protokolu se stupni v trvání 0,5 a 1 min.

Výzkumu se zúčastnilo 12 dobrovolníků (muži). Průměrný věk testovaného souboru byl $24,33 \pm 1,92$ let, tělesná výška $179,17 \pm 4,80$ cm a hmotnost $76,75 \pm 6,18$ kg. Testovaný soubor nebyl sestaven na základě náhodného výběru, jednalo se o amatérské sportovce.

Všichni probandi absolvovali na běžeckém ergometru dva maximální zátěžové testy s odlišným protokolem spočívajícím v rozdílném trvání zátěžových stupňů. Odstup mezi měřeními byl jeden až dva týdny; pořadí protokolů bylo voleno náhodně. V průběhu každého testu byla provedena analýza dechových plynů.

Oběma zátěžovým protokolům předcházelo 5minutové rozeběhání (rozklusání) při rychlosti 8 km/hod a to nejprve 4 minuty při sklonu 0 %, v páté minutě se sklon zvýšil na 5 %. V další minutě se zvyšuje rychlost na 10 km/h, sklon pásu zůstává 5 %. Od tohoto okamžiku se protokoly začínají lišit. V kratší variantě se zátěž zvyšuje každých 30 sekund, při delší variantě každých 60 sekund. Zvyšování zátěže se nejprve odehrávalo zvyšováním rychlosti a to vždy o 1 km/h. Po dosažení rychlosti 15 km/h již vzrůstá jen sklon a to o 2 %. Test byl ukončen při dosažení subjektivního pocitu maxima.

Statisticky významné rozdíly mezi oběma testy jsme zjistili u celkové doby trvání zátěžového testu, dále u dosaženého maximálního sklonu pásu a u hodnot W_{max} , R_{max} , VCO_{2max} . Ostatní sledované parametry se

statisticky významně nelišily. Například průměrná hodnota $VO_2\text{max}$ činila při krátké variantě protokolu $58,02 \pm 5,45 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ a při dlouhé $58,00 \pm 4,27 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$, průměrná hodnota $SF\text{max}$ $191,85 \pm 5,54 \text{ tep.min}^{-1}$ a $192,38 \pm 6,74 \text{ tep.min}^{-1}$.

9. SUMMARY

The maximum stress tests can be assessed by various protocols while the difference is based on the duration of stress levels and loading. The best chosen protocol is crucial for an individual to achieve the highest possible, preferably the maximum intensity of load and give maximum performance to reach maximum oxygen consumption.

The main objective of this work was to determine and verify that the laboratory results of *vita* maximum measured on the treadmill ergometer in active sport individuals are affected by the different duration of the stress test. The operational objective was to assess the appropriateness of the stress protocol with degrees and duration at 0.5 and 1 min.

Research was attended by 12 volunteers (men). The average age of the test group was 24.33 ± 1.92 years, height 179.17 ± 4.80 cm and a weight of 76.75 ± 6.18 cm. The test file was compiled on the basis of random selection and made of amateur athlete.

All probands completed two maximal exercise tests on the treadmill ergometer LODE Valiant (Netherlands). Each test was evaluated with a different protocol in which assessing was based on the difference in the duration of stress levels. The distance between measurements was one to two weeks; protocol order was chosen randomly. Analysis of breathing gas was provided by an analyzer ZAN 600 USB Ergo (Germany).

Both stress tests were preceded by a 5-minute warm-up (moderate intensity) at a speed of 8 km/h and first four minutes at a slope of 0 %. In the first fifth minute, the slope increased to 5 %. In another minute speed increases to 10 km/h, the slope remains with 5 % of increase. From this stage, the protocols differ. In the shorter test format, the level of loading increases every 30 seconds, the longer test format suggests increase of the loading level with every 60 seconds. Increasing the load is first directed through the speed which rose by 1 km/h, but after reaching the speed of 15 km/h, the loading conducted the test by rising the slope by 2 %. The test was terminated after reaching

a subjective feeling of maximum performance.

Statistically significant differences were found in the duration of the stress test. Further significant differences between the tests were the peak of maximum inclination of the strip, the W_{max} , R_{max} and VCO_2_{max} values. Other values did not make significant differences for testing. Other monitored parameters did not differ significantly. Up to the measurements, the short format of protocol value the average of VO_2_{max} with 58.02 ± 5.45 ml/kg/min while the long one with 58.00 ± 4.27 ml/kg/min. The former case indicated average SF_{max} 191.85 ± 5.54 beat/min and 192.38 ± 6.74 beat/min.

10. REFERENČNÍ SEZNAM

- Åstrand, P. O., Rodahl, K., Dahl, K. A., & Strømme, S. B. (2003). *Textbook of work physiology: physiological bases of exercise* (4th ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Bartůňková, S. (2006). *Fyziologie člověka a tělesných cvičení*. Praha: Karolinum.
- Bartůňková, S., Havlíčková, L., Heller, J., Koblíková, E., Melicha, J., & Vránová, J. (1996). *Praktická cvičení z fyziologie pohybové zátěže*. Praha: Karolinum.
- Cinglová, L. (2002). *Vybráné kapitoly z tělovýchovného lékařství*. Praha: Karolinum.
- Cooper, Ch. B., & Storer, T. W. (2001). *Exercise testing and interpretation*. Port Chester, NY, USA: Cambridge University Press.
- Dalleck, L. C., Kravin, L., & Robergs, R. A. (2004). Maximal Exercise Testing Using the Elliptical Cross-trainer and Treadmill. *Journal of Exercise Physiology*, 7(3), 94-101.
- Evans, C. H., & White, R. D. (2009). *Exercise Testing for Primary Care and Sports Medicine Physicians*. NY, USA: Springer.
- Fletcher, G. F., Balady, J. G., Amsterdam, A. E., Chaitman, B., Eckel, R., Fleg, J., Froelicher, F. V., Leon, S. A., Rodney, R., Simons-Morton, G. D., Williams, A. M., & Bazzare, T. (2001). Exercise Standards for Testing and Training. *American Heart Association*, 104, 1694-1740.
- Hamar, D., & Lipková, J. (2001). *Fyziológia telesných cvičení*. Bratislava:

Polygrafické středisko UK.

Handzo, P., Máček, M., Dražil, V., Hájková, M., Horák, J., Javůrek, J., Jirka, Z., Kučera, M., Máčková, J., Rouš, J., & Vávra, J. (1980). *Tělovýchovné lékařství*. Praha: Avicenum.

Havlíčková, L., Bartůňková, S., Dlouhá, R., Melichna, J., Šrámek, P., & Vránová, J. (2004). *Fyziologie tělesné zátěže I. Obecná část* [Učební texty]. Praha: Univerzita Karlova, Fakulta tělesné výchovy a sportu.

Hojgr, B. (2010). *Porovnání různých metod měření procenta tuku v těle*.

Diplomová práce, Masarykova univerzita, Fakulta sportovních studií, Brno.

Jirka, Z., Kosová, A., Stejskal, P., Vizinová, H., & Wagner, K. (1989). *Praktikum z tělovýchovného lékařství*. Olomouc: rektorát Univerzity Palackého.

Keul, J., Doll, E., & Keppler, D. (1969). *Muskelstoffwechsel*. München: Johann Ambrosius Barth.

MacDougall, J. D., Wenger, H. A., & Green, H. J. (1991). *Physiological Testing of the High-Performance Athlete*. (2th ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

Máček, M., & Máčková, J. (1997). *Fyziologie tělesných cvičení*. Brno: Masarykova univerzita.

Máček, M., & Radavský, J. (2011). *Fyziologie a klinické aspekty pohybové aktivity*. Praha: Galén.

Pařízková, J. (1962). *Rozvoj aktivní hmoty a tuku u dětí a mládeže*. Praha: Státní zdravotnické nakladatelství.

Placheta, Z. (1988). *Submaximal exercise testing*. Brno: Univerzita J. E. Purkyně.

Placheta, Z., Sieglová, J., Svačinová, H., Štejf, M., Jančík, J., Homolka, P., &

- Dobšák, P. (2001). *Zátěžové vyšetření a pohybová léčba ve vnitřním lékařství*. Brno: Masarykova univerzita.
- Powers, S. K., & Howley, E. T. (1997). *Exercise Physiology: Theory and Application to Fitness and Performance*. Madison: Brown and Benchmark.
- Riegrová, J., Přidalová, M., & Ulbrichová, M. (2006). *Aplikace fyzické antropologie v tělesné výchově a sportu*. Olomouc: Hanex.
- Rundell, K. V. (1996). Differences between treadmill running and treadmill roller skiing. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 10(3), 167-172.
- Seliger, V. (1975). *Metody a výsledky celostátního výzkumu fyzické zdatnosti obyvatelstva* (Vols. 2). Praha: Univerzita Karlova.
- Seliger, V., Vinařický, R., & Trefný, Z. (1980). *Fysiologie tělesných cvičení*. Praha: Avicenum.
- Shephard, R. J., & Astrand, P. O. (1992). *Endurance in sport*. Oxford: Blackwell.
- Soulek, V. (1995). *Přehled biologicko-medicínských předmětů 2*. Hradec Králové: Gaudeamus.
- Tzvetkov, S. (2009). The reproducibility of the ventilatory anaerobic threshold determinativ methods among two maximal treadmill exercise protocols in elite orienteers. *Physical Education and Sport*, 7(1), 45-53.
- Vilikus, Z., Brandejský, P., & Novotný, V. (2004). *Tělovýchovné lékařství*. Karolinum: Praha.
- Wasserman, K., Hansen, J. E., Sue, D. Y., & Whipp, B. J. (1987). *Principles of Exercise Testing and Interpretation*. Philadelphia: Lea&Febiger.
- Willmore, J. H., & Costill, D. L. (2004). *Physiology of sport and exercise* (3th ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

11. SEZNAM PŘÍLOH

1. Subjektivní názory probandů na absolvované zátěžové testy.
2. Tabulka pro výpočet procenta tuku z hodnot součtu deseti kožních řas.
3. Běžecský ergometr LODE Valiant na Katedře přírodních věd v kinantropologii UP v Olomouci.
4. Tabulky se statistickým zpracováním údajů subjektivního vnímání použitých protokolů.

Příloha 1. Subjektivní názory probandů na absolvované zátěžové testy.

Protokol č. 1 – (krátký) změna zátěžového stupně po 30 s.

Protokol č. 2 – (dlouhý) změna zátěžového stupně po 60 s.

Testovaná osoba č. 1

Probandovi krátký protokol nevyhovoval, protože změna rychlosti a změna velikosti sklonu na něj byla příliš rychlá. Podle jeho slov se nestíhal přizpůsobit jednotlivým stupňům zatížení dostatečně rychle. U dlouhého protokolu se cítil lépe. Vyhovovala mu pozvolnější změna intenzity. Subjektivně se dostal v protokolu č. 2 více do maxima.

Testovaná osoba č. 2

Proband po absolvování obou zátěžových testů tvrdil, že u testu č. 1 měl pocit lokálního zakyselení jednotlivých svalových partií, konkrétně šlo o lýtkové svaly. U testu č. 2 měl pocit lepšího dosaženého výkonu.

Testovaná osoba č. 3

Proband nedokázal subjektivně porovnat, nebo vyjádřit, který ze dvou absolvovaných zátěžových testů pro něj byl přijatelnější.

Testovaná osoba č. 4

Probandovi se zdál test č. 1 horší. Měl pocit, že se u tohoto testu unavil dříve svalově. Test ukončil z důvodu lokálního zakyselení svalů dolních končetin. Při testu č. 2 mu více vyhovovalo to, že změny rychlosti a sklonu byly ve větších časových odstupech. Subjektivně dosáhl lepšího maximálního výkonu.

Testovaná osoba č. 5

Probandovi vyhovoval více test č. 2. Subjektivně zde podal lepší výkon než u testu č. 1. Podle jeho názoru ho částečně limitovalo u testu č. 1 lokální zakyselení svalů dolních končetin, které nastalo z důvodu příliš prudkého

sklonu pásu v závěru testu.

Testovaná osoba č. 6

Proband měl pocit, že dosáhl lepších hodnot v testu č. 2. U testu č. 1 mu vadil prudký sklon pásu v závěru testu. Podle jeho názoru ho limitovala práce dolních končetin, ačkoliv dechově měl ještě rezervu k dosažení lepšího výkonu.

Testovaná osoba č. 7

Probandovi vyhovoval více test č. 2. Měl pocit, že se v minutových intervalech mezi změnami rychlosti a sklonu stihl dechově přizpůsobit na zatížení lépe než u varianty č. 1, kde měl poloviční čas mezi jednotlivými stupni zatížení. Podle jeho tvrzení dosáhl svého maximálního výkonu u varianty č. 2 postupně a rovnoměrně. U varianty č. 1 došlo k dosažení jeho subjektivního maxima příliš náhle.

Testovaná osoba č. 8

Probandovi se jevil test č. 1 snáze proveditelný, po testu se necítil tolik unavený a vyčerpaný, měl pocit, že u tohoto testu nedosáhl 100% svého možného výkonu. Druhá varianta testu, tedy test č. 2 se zdál probandovi náročnější, protože musel být delší dobu ve vysokém zatížení. Subjektivně si myslel, že dosáhl většího výkonu než u první varianty testu.

Testovaná osoba č. 9

Pro probanda byl vyhovující více test č. 1 z toho důvodu, že měl test kratší dobu trvání a zdánlivě pro něj byl intenzivnější. Vyšší sklon u této varianty mu nedělal žádný problém. Test č. 2 byl pro probanda zdlouhavý. Nevyhovovala mu delší doba v průběhu testu, kdy byl se svým výkonem těsně pod subjektivním maximem.

Testovaná osoba č. 10

Pro probanda byla snesitelnější varianta č. 1, protože byla kratší. Měl pocit,

že dosáhl lepšího výkonu právě u testu č. 1. U varianty č. 2 vadila probandovi delší fáze testu, kdy měl pocit, že již nemůže, ačkoliv ještě nebyl na 100% svého subjektivního maxima.

Testovaná osoba č. 11

Probandovi více vyhovovala varianta č. 2, tedy pozvolnější zvyšování intenzity zatížení. Zároveň si ale proband nebyl jist, jestli u této varianty neskončil příliš brzy. Měl pocit, že měl ještě malou rezervu ve svém výkonu. U testu č. 1 probandovi nevyhovoval vyšší sklon pásu ke konci testu. Měl pocit, že ho limitovala práce dolních končetin.

Testovaná osoba č. 12

Proband po absolvování obou testů měl dojem, že při testu č. 1 zapojoval více svalů na nohou, protože musel přizpůsobit svůj styl běhu vyššímu sklonu. Ke konci testu ho limitovala únava dolních končetin. U testu č. 2 tvrdil, že je test více závislý na dechových schopnostech a vyhovoval mu více.

Příloha 2. Tabulka pro výpočet procenta tuku z hodnot součtu deseti kožních řas (Riegrová, Přidalová, & Ulbrichová, 2006).

mm	Muži 17-50	Ženy 17-50	Muži 50-80	mm	Muži 17-50	Ženy 17-50	Muži 50-80	mm	Muži 17-50	Ženy 17-50	Muži 50-80
30	1,5	-	12,8	73	12,7	12,5	18,2	116	18,5	20,4	21,0
31	1,9	-	13,0	74	12,9	12,7	18,3	117	18,6	20,6	21,1
32	2,3	-	13,2	75	13,0	12,9	18,4	118	18,7	20,7	21,1
33	2,7	-	13,4	76	13,2	13,1	18,5	119	18,8	20,9	21,2
34	3,1	-	13,6	77	13,4	13,4	18,5	120	18,9	21,0	21,2
35	3,5	-	13,7	78	13,5	13,6	18,6				
36	3,8	0,4	13,9	79	13,7	13,8	18,7	125	19,9	21,7	21,5
37	4,1	0,8	14,1	80	13,8	14,0	18,8	130	20,0	22,4	21,7
38	4,5	1,3	14,2					135	20,4	23,0	21,9
39	4,8	1,7	14,4	81	14,0	14,2	18,8	140	20,9	23,7	22,2
40	5,1	2,1	14,6	82	14,2	14,5	18,9	145	21,3	24,3	22,4
				83	14,3	14,7	19,0	150	21,8	24,9	22,6
41	5,4	2,6	14,7	84	14,5	14,9	19,1	155	22,2	25,4	22,8
42	5,7	3,0	14,8	85	14,6	15,1	19,1	160	22,6	26,0	23,0
43	6,0	3,4	15,0	86	14,8	15,3	19,2	165	23,0	26,5	23,1
44	6,3	3,8	15,1	87	14,9	15,5	19,3	170	23,3	27,0	23,3
45	6,6	4,2	15,3	88	15,0	15,7	19,3	175	23,7	27,5	23,5
46	6,9	4,5	15,4	89	15,2	15,9	19,4	180	24,0	28,0	23,7
47	7,2	4,9	15,5	90	15,3	16,1	19,5	185	24,4	28,5	23,8
48	7,4	5,3	15,7					190	24,7	28,9	24,0
49	7,7	5,6	15,8	91	15,5	16,3	19,5	195	25,1	29,4	24,2
50	7,9	6,0	15,9	92	15,6	16,4	19,6	200	25,4	29,8	24,3
51	8,2	6,3	16,0	93	15,7	16,6	19,7	205	25,7	30,2	24,5
52	8,4	6,6	16,1	94	15,9	16,8	19,7	210	26,0	30,6	24,6
53	8,7	7,0	16,3	95	16,0	17,0	19,8	215	26,3	31,0	24,8
54	8,9	7,3	16,4	96	16,1	17,2	19,9	220	26,6	31,4	24,9
55	9,1	7,6	16,5	97	16,3	17,3	19,9	225	26,9	31,8	25,0
56	9,4	7,9	16,6	98	16,4	17,5	20,0	230	27,1	32,2	25,2
57	9,6	8,2	16,7	99	16,5	17,7	20,1	235	27,4	32,6	25,3
58	9,8	8,5	16,8	100	16,6	17,9	20,1	240	27,7	32,9	25,4
59	10,0	8,8	16,9					245	27,9	33,3	25,5
60	10,2	9,1	17,0					250	28,2	33,6	25,7
				101	16,8	18,1	20,2				
				102	16,9	18,2	20,2				
				103	17,0	18,4	20,3				
61	10,4	9,4	17,1	104	17,1	18,6	20,4	260	28,7	34,3	25,9
62	10,6	9,7	17,2	105	17,3	18,7	20,4	270	29,1	35,0	26,2
63	10,8	9,9	17,3	106	17,4	18,9	20,5	280	29,6	35,6	26,4
64	11,0	10,2	17,4	107	17,5	19,0	20,5	290	30,2	36,2	26,6
65	11,2	10,5	17,5	108	17,6	19,2	20,6	300	30,5	36,8	26,8
66	11,4	10,7	17,6	109	17,7	19,4	20,6				
67	11,6	11,0	17,7								
68	11,8	11,2	17,7								
69	12,0	11,5	17,9	110	17,9	19,5	20,7	310	30,9	37,3	27,0
70	12,2	11,8	17,9	111	18,0	19,7	20,7	320	31,3	37,8	27,2
				112	18,1	19,8	20,8	330	31,7	38,4	27,4
				113	18,2	20,0	20,9	340	32,0	38,9	27,6
71	12,3	12,0	18,0	114	18,3	20,1	20,9	350	32,4	39,4	27,7
72	12,5	12,2	18,1	115	18,4	20,3	21,0	360	32,5	39,9	27,9

Příloha 3. Běžecský ergometr LODE Valiant na Katedře přírodních věd v kinantropologii UP v Olomouci.



Příloha 3. Tabulky se statistickým zpracováním údajů subjektivního vnímání použitých protokolů.

POCIT

	Observed N	Expected N	Residual
0	1	4.0	-3.0
1	3	4.0	-1.0
2	8	4.0	4.0
Total	12		

Test Statistics

	POCIT
Chi-Square	6.500
df	2
Asymp. Sig.	.039

Vysvětlivky: 0 – proband nepocítoval rozdíl mezi protokoly, 1 – proband měl pocit dosažení lepších výsledků u krátkého protokolu, 2 – proband měl pocit dosažení lepších výsledků u dlouhého protokolu, Observed N – pozorovaný počet probandů, Expected N – očekávaný počet probandů, Residual - rozdíl mezi pozorovaným a očekávaným počtem probandů, Chi-Square – statistická metoda Chi-kvadrát, A symp. Sig. – statistická významnost (p).