

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Centrum sportovních aktivit

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Brno, 2022

Tobiáš Goldschmidt



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

CENTRUM SPORTOVNÍCH AKTIVIT

CENTRE OF SPORTS ACTIVITIES

VALIDITA PŘÍSTROJE VO2 MASTER PRO PRO PREDIKCI MAXIMÁLNÍ SPOTŘEBY KYSLÍKU A MĚŘENÍ KLIDOVÉHO METABOLISMU

VALIDITY OF THE VO2 MASTER PRO DEVICE FOR MAXIMAL OXYGEN CONSUMPTION PREDICTION AND THE MEASUREMENT OF RESTING METABOLISM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tobiáš Goldschmidt

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Mgr. Daniela Chlíbařová, Ph.D.

BRNO 2022

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Sportovní technologie**

Centrum sportovních aktivit

Student: Tobiáš Goldschmidt

ID: 220487

Ročník: 3

Akademický rok: 2021/22

NÁZEV TÉMATU:

Validita přístroje VO2 Master Pro pro predikci maximální spotřeby kyslíku a měření klidového metabolismu

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Proveďte rešerši metodologie a technického provedení měření maximální spotřeby kyslíku a měření klidového metabolismu analyzátozem dýchacích plynů Metalyzer 3B v laboratoři. 2) Seznamte se s metodikou měření maximální spotřeby kyslíku přístrojem VO2 Master Pro včetně všech testových možností mobilní aplikace. 3) Nasnímejte data při měření klidového metabolismu a při testu pro stanovení maximální spotřeby kyslíku klasickou spirometrií a přístrojem VO2 Master Pro alespoň u 20 osob. 4) Určete platnost a spolehlivost dat VO2 Master Pro analyzátoru ve srovnání s klasickou spirometrií. 5) Porovnejte výsledky také v rámci snímaných osob – podle pohlaví, hmotnosti, věku a fyzické zdatnosti. 6) Diskutujte dosažené výsledky a možnosti využití obou technik a rozdílných přístrojů pro praktické měření.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] MONTOYE, A., VONDRASEK, J. D., & HANCOCK, J. B., (2020). Validity and Reliability of the VO2 Master Pro for Oxygen Consumption and Ventilation Assessment. International journal of exercise science, 13(4), 1382–1401. PMID: PMC7523887

[2] MACFARLANE, D.J., WONG, P. (2012). Validity, reliability and stability of the portable Cortex Metamax 3B gas analysis system. Eur J Appl Physiol, 112(7):2539-47, doi: 10.1007/s00421-011-2230-7.

Termín zadání: 28.1.2022

Termín odevzdání: 3.6.2022

Vedoucí práce: Mgr. Daniela Chlíbařová, Ph.D.

doc. PaedDr. Pavel Korvas, CSc.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Meranie maximálnej spotreby kyslíku a kludového metabolizmu sú jedným zo základných stavebných kameňov v testovaní športovcov a medicínskych pacientov. Na toto meranie sa využívajú analyzátory dýchacích plynov. Tieto analyzátory sú väčšinou neprenosné nákladné zariadenia. VO2 Master Pro je na druhej strane prenosný prístroj s rádovo nižšou cenou. Jeho nevýhodou je však že obsahuje len O₂ senzor a nie aj CO₂ senzor narozdiel od prístrojov chápané ako medicínsky štandard.

Cieľom tejto práce bolo stanoviť validitu a odchýlku prístroja VO2 Master Pro pre meranie maximálnej spotreby kyslíku a kludového metabolizmu. Odchýlka pre meranie maximálnej spotreby kyslíku bola $4,15 \pm 4,41$ %. Pre meranie kludového metabolizmu bola odchýlka $41,20 \pm 11,44$ %. Pre meranie maximálnej spotreby kyslíku je VO2 Master Pro validný ale pre meranie kludového metabolizmu validný nie je. Takisto bolo dokázané že veľkosť nameranej hodnoty má nelineárny vzťah ku veľkosti odchýlky pri meraní maximálnej spotreby kyslíku.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

VO2 Master Pro, maximálna spotreba kyslíku, kludový metabolizmus, VO₂peak, VO₂max, RMR, validita

ABSTRACT

Measurements of maximal oxygen uptake and resting metabolic rate are one of the most important things in testing athletes and medical patients. For these measurements are used breath analyzers. These analyzers are usually non-portable costly devices. VO2 Master Pro is on the other hand portable breath analyzer with much lower price. Its biggest disadvantage is that it contains only O₂ sensor and not CO₂ sensor as medically approved devices.

Aim of this study is to determine validity and difference of measurements between VO2 Master Pro and reference device for measuring maximal oxygen uptake and resting metabolic rate. Difference for measuring maximal oxygen uptake was $4,15 \pm 4,41$ %. For measuring of resting metabolic rate difference was $41,20 \pm 11,44$ %. For measuring of maximal oxygen uptake is VO2 Master Pro valid but for measuring of resting metabolic rate it is not. It was also confirmed, that size of measured value have non-linear correlation with size of difference in measuring maximal oxygen uptake.

KEYWORDS

VO2 Master Pro, maximal oxygen uptake, resting metabolic rate, VO₂peak, VO₂max, RMR, validity

GOLDSCHMIDT, Tobiáš. *Validita přístroje VO2 Master Pro pro predikci VO2max a měření klidového metabolismu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Centrum sportovních aktivit, 2022, 61 s. Bakalárska práca. Vedúci práce: Mgr. Daniela Chlíbačková, Ph.D.

Vyhlásenie autora o pôvodnosti diela

Meno a priezvisko autora: Tobiáš Goldschmidt
VUT ID autora: 220487
Typ práce: Bakalárska práca
Akademický rok: 2021/22
Téma záverečnej práce: Validita přístroje VO2 Master Pro pro predikci VO2max a měření klidového metabolismu

Vyhlasujem, že svoju záverečnú prácu som vypracoval samostatne pod vedením vedúcej/cého záverečnej práce, s využitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej záverečnej práce ďalej vyhlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto záverečnej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a/alebo majetkových a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona Českej republiky č. 121/2000 Sb., o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), v znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákonníka Českej republiky č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora*

*Autor podpisuje iba v tlačenej verzii.

POĎAKOVANIE

Rád by som poďakoval vedúcej semestrálnej práce pani Mgr. Daniele Chlíbkovej, Ph.D. za odborné vedenie, konzultácie, trpezlivosť a podnetné návrhy k práci a účastníkom praktickej časti za ich čas a ochotu zúčastniť sa testov.

Obsah

Úvod	11
Ciele práce a výskumné otázky	12
1 Teória	13
1.1 Kludový metabolizmus	13
1.1.1 Rozdiel medzi bazálnym a kludovým metabolizmom	13
1.1.2 Výpočet kludového metabolizmu	13
1.2 Maximálna spotreba kyslíku	14
1.2.1 $VO_2\text{max}$	14
1.2.2 $VO_2\text{peak}$	15
2 Špecifikácia prístrojov	16
2.1 MetaLyzer 3B	16
2.1.1 Technická špecifikácia	16
2.1.2 MetaSoft Studio	17
2.2 VO2 Master Pro	20
2.2.1 Technická špecifikácia	20
2.2.2 Aplikácia VO2 Master	21
2.3 Iné prenosné prístroje na anlyzu dýchacích planov	23
2.3.1 MetaMax 3B	23
2.3.2 COSMED K5	24
3 Testové protokoly	25
3.1 Meranie kludového metabolizmu	25
3.2 Závažový test na zistenie maximálnej spotreby kyslíku	25
3.3 Testované osoby	26
4 Spracovanie dát	27
4.1 Export dát	27
4.2 Štatistická analýza	27
5 Výsledky	29
5.1 Vyhodnotenie porovnania maximálnej spotreby kyslíku	29
5.1.1 Porovnanie rozdielov merania maximálnej spotreby kyslíku podľa pohlavia	31
5.1.2 Porovnanie rozdielov merania maximálnej spotreby kyslíku podľa veku	32

5.1.3	Porovnanie rozdielov merania maximálnej spotreby kyslíku podľa váhy	33
5.1.4	Porovnanie rozdielov merania maximálnej spotreby kyslíku podľa dosiahnutej hodnoty	34
5.2	Vyhodnotenie porovnania kľudového metabolizmu	35
5.2.1	Porovnanie rozdielov merania kľudového metabolizmu podľa pohlavia	37
5.2.2	Porovnanie rozdielov merania kľudového metabolizmu podľa veku	38
5.2.3	Porovnanie rozdielov merania kľudového metabolizmu podľa hmotnosti	39
5.2.4	Porovnanie rozdielov merania kľudového metabolizmu podľa dosiahnutej hodnoty	40
6	Diskusia	41
6.1	Validita prístroja VO2 Master Pro	41
6.2	Vplyv pohlavia, veku, hmotnosti a dosiahnutého výkonu na odchýlku merania prístrojom VO2 Master Pro	42
6.3	Porovnanie presnosti merania VO2 Master Pro s inými analyzátormi dýchacích plynov	43
6.4	Porovnanie výsledkov s inými prácami o validite VO2 Master Pro	44
6.5	Využitie VO2 Master Pro	45
	Záver	46
	Literatúra	48
	Zoznam symbolov a skratiek	55
	Zoznam príloh	56
	A Ukážka informovaného súhlasu	57
	B Ukážka protokolu Resting metabolic activity	58
	C Ukážka protokolu Free	59
	D Ukážka použitého kódu	60

Zoznam obrázkov

2.1	Metalyzer 3-B	17
2.2	Analýza výsledkov protokolu RMR	18
2.3	Zobrazenie merania CPET	19
2.4	Vyhodnotenie tréningových zón protokolu CPET	19
2.5	VO2 Master Pro	21
2.6	Priebeh merania prístrojom VO2 Master Pro	22
3.1	Priebeh záťažového testu	26
5.1	Porovnanie maximálnej spotreby kyslíku pre každého účastníka	29
5.2	Porovnanie boxplotov pre meranie VO ₂ peak	30
5.3	Percentuálny rozdiel VO ₂ peak pre každého účastníka	30
5.4	Percentuálne rozdiely meraní VO ₂ peak na základe pohlavia	31
5.5	Percentuálne rozdiely meraní VO ₂ peak na základe veku	32
5.6	Percentuálne rozdiely meraní VO ₂ peak na základe hmotnosti	33
5.7	Percentuálne rozdiely meraní VO ₂ peak na základe výkonu	34
5.8	Porovnanie kľudového metabolizmu pre každého účastníka	35
5.9	Porovnanie boxplotov pre meranie RMR	36
5.10	Percentuálny rozdiel RMR pre každého účastníka	36
5.11	Percentuálne rozdiely meraní RMR na základe pohlavia	37
5.12	Percentuálne rozdiely meraní RMR na základe veku	38
5.13	Percentuálne rozdiely meraní RMR na základe hmotnosti	39
5.14	Percentuálne rozdiely meraní RMR na základe výkonu	40

Zoznam tabuliek

5.1	Rozdiely meraní VO ₂ peak na základe pohlavia	31
5.2	Rozdiely meraní VO ₂ peak na základe veku	32
5.3	Rozdiely meraní VO ₂ peak na základe hmotnosti	33
5.4	Rozdiely meraní VO ₂ peak na základe výkonu	34
5.5	Rozdiely meraní RMR na základe pohlavia	37
5.6	Rozdiely meraní RMR na základe veku	38
5.7	Rozdiely meraní RMR na základe hmotnosti	39
5.8	Rozdiely meraní RMR na základe výkonu	40

Úvod

Presné meranie spotreby kyslíku či výdaju energie je jedným zo základných stavebných kameňov v športovej, ako aj medicínskej praxi. Z týchto údajov sa môžeme odrážať pri tvorbe personalizovaného tréningového plánu, či jedálničku, alebo pri diagnostike ochorení. Takisto sú jedným z popredných ukazovateľov zdravia jedinca alebo výkonu športovca.

Bežnou praxou je meranie týchto parametrov v záťažových laboratóriách, kde sú však značne obmedzené možnosti testovania. Preto je snaha vyvinúť prenosné prístroje na analýzu dýchacích plynov. Prvé takéto prístroje sa začali objavovať v 80. rokoch 20. storočia. Medzi prvé takéto prístroje patrili prístroje COSMED, Oxycon a MetaMax. Cena týchto prístrojov sa však pohybuje za hranicami dostupnosti pre bežných užívateľov, dokonca sú drahšie ako prístroje používané v záťažových laboratóriách. Ich hlavnou výhodou napriek vysokej cene zostáva fakt, že analyzujú ako spotrebu kyslíku, tak aj výdaj oxidu uhličitého.[24]

V posledných rokoch sa na trhu objavil prístroj VO2 Master Pro ktorý je rádovo lacnejší ako spomenuté prístroje, no má oproti nim jednu nespornú nevýhodu, ktorou je, že analyzuje iba spotrebu kyslíku.[24] Otázkou teda zostáva jeho validita. Od jeho uvedenia na trh sa tejto téme nevenovalo veľa prác a preto stále nie je jasné, či sú použiteľné pre presné meranie spotreby kyslíku a výdaju energie. Ukazuje sa však, že merania spotreby kyslíku prístrojom VO2 Master Pro sú opakovateľné[25] a že sa od štandardnej spiroergometrie líšia o približne 10 %.[24] Problematike validity merania kludového metabolizmu sa nevenovala žiadna dohľadateľná štúdia.

V tejto práci sa preto budem snažiť stanoviť validitu prístroja VO2 Master Pro pre meranie maximálnej spotreby kyslíku ako aj energetického výdaju, konkrétne kludového metabolizmu. Práca je formálne rozdelená do 6 častí. V prvých troch častiach sa venujem teoretickému spracovaniu kludového metabolizmu a maximálnej spotreby kyslíku, špecifikácii použitých prístrojov a popisu testových protokolov. Vo zvyšných troch praktických častiach sa venujem spracovaniu nameraných dát, prezentácii dosiahnutých výsledkov a diskusii k nim.

Ciele práce a výskumné otázky

1. Hlavným cieľom tejto práce je stanoviť odchýlku prístroja VO2 Master Pro od referenčného prístroja Metalyzer 3-B (ktorý je medicínskym štandardom ako v meraní spotreby kyslíka, tak v hodnotení výdaju energie) a na základe odchýlky stanoviť jeho validitu. Pre splnenie tohoto cieľu je potrebné testovanie súboru osôb z bežnej populácie opakovanými testami maximálnej spotreby kyslíku pri záťaži a kludového metabolizmu, ktoré vychádzajú z pochopenia princípov spotreby kyslíku a metabolizmu a tiež rešerše použitých prístrojov a princípov ich fungovania.

Výskumná otázka 1.1: Je prístroj VO2 Master Pro validný pre meranie maximálnej spotreby kyslíku?

Výskumná otázka 1.2: Je prístroj VO2 Master Pro validný pre meranie kludového metabolizmu?

2. Druhým cieľom tejto práce je klasifikovať validitu a odchýlku podľa pohlavia, veku, hmotnosti, či dosiahnutého výkonu. Pre splnenie tohto cieľu je dôležité voliť testované osoby z bežnej populácie, pričom je potrebné dbať na čo najväčšiu rôznorodosť vyššie spomínaných parametrov a skúmať odchýlky vrámci skupín.

Výskumná otázka 2.1: Má pohlavie, vek, hmotnosť, či dosiahnutý výkon vplyv na meranie maximálnej spotreby kyslíku prístrojom VO2 Master Pro?

Výskumná otázka 2.2: Má pohlavie, vek, hmotnosť, či dosiahnutý výkon vplyv na meranie kludového metabolizmu prístrojom VO2 Master Pro?

3. Tretím cieľom tejto práce je porovnať presnosť merania maximálnej spotreby kyslíku a kludového metabolizmu prístrojom VO2 Master Pro od referenčného prístroja s presnosťou iných prenosných analyzéroov dýchacích plynov. Základom pre splnenie tohto cieľa je kvalitná rešerša vedeckých prác zaoberajúcich sa touto tematikou a správna interpretácia a spracovanie namerných dát.

Výskumná otázka 3.1: Dosahuje VO2 Master Pro podobnú presnosť merania maximálnej spotreby kyslíku ako iné, na trhu etablovanejšie, prenosné analyzátory dýchacích plynov?

Výskumná otázka 3.2: Dosahuje VO2 Master Pro podobnú presnosť merania kludového metabolizmu ako iné, na trhu etablovanejšie, prenosné analyzátory dýchacích plynov?

1 Teória

1.1 Kľudový metabolizmus

Pod pojmom kľudový metabolizmus rozumieme spotrebu energie, ktorá plne pokrýva energetický výdaj ľudského tela pokiaľ sa nachádza v kľude. Jeho meranie sa väčšinou uskutočňuje pomocou nepriamej kalorimetrie. Priama kalorimetria meria teplo, teda energiu, vydané ľudským telom do okolitého prostredia pri metabolických dejoch. Nepriama kalorimetria vychádza z poznatku, že pri metabolizácii živín ľudské telo spotrebováva O_2 (kyslík) a vylučuje CO_2 (oxid uhličitý) a teda na základe objemu prijatého O_2 a vylúčeného CO_2 je možné vypočítať spotrebovanú energiu v meranom časovom rámci. Hodnota kľudového metabolizmu sa udáva v jednotkách kJ/deň (prípadne kcal/deň), preto je potrebné namerané hodnoty prepočítať z meraného obdobia na dennú spotrebu energie.[37]

1.1.1 Rozdiel medzi bazálnym a kľudovým metabolizmom

Bazálny metabolizmus označuje minimálnu spotrebu energie potrebnú pre správnu funkciu životne dôležitých orgánov a systémov pracujúcich nepretržite.[37] Bazálny metabolizmus tvorí väčšinu dennej energetickej spotreby ľudského tela. Bežné činnosti zatažujúce organizmus ho zvýšia maximálne o približne 20 %.[38] Z tohoto dôvodu sa často pojmy bazálny (BMR) a kľudový (RMR) metabolizmus zamieňajú. V tejto práci budem používať pre pomenovanie meranej veličiny pojem kľudový metabolizmus (RMR).

Pri meraní kľudového metabolizmu je treba splniť niekoľko dôležitých podmienok, aby namerané hodnoty mohli byť klasifikované ako kľudový metabolizmus. Medzi najdôležitejšie z nich patrí to, že meranie musí prebiehať nalačno, v plnom fyzickom a duševnom pokoji a pri teplote nezatažujúcej telo (táto teplota sa udáva v rozmedzí 18-20°C).[37]

Meranie bazálneho metabolizmu by muselo prebiehať okamžite po prebudení z nočného spánku, aby bol odbúraný vplyv premenných, ako napríklad fyzická aktivita spojená s cestou na miesto merania.[38] Táto podmienka je však ťažko splniteľná, ale aj napriek tomu som sa snažil dosiahnuť podmienok čo najpodobnejších bazálnemu metabolizmu, viz Kapitola 3.1.

1.1.2 Výpočet kľudového metabolizmu

Ak nie je použitá priama kalorimetria, je potrebné kľudový metabolizmus dopočítať pomocou istých rovníc. Je možné použiť rovnice na dopočítanie výdaju energie

(EE) z nepriamej kalorimetrie ale aj rovnice na dopočítanie zo základných antropometrických parametrov (napr. Schoefeldova rovnica pre mužov vo veku 18-29 rokov vychádza z telesnej váhy (TV) viz. Rovnica 1.1).[33] Rovníc na výpočet kľudového metabolizmu je viacero, no ich presnosť sa rôzni a ovplyvňuje ju mnoho faktorov, ako napríklad rasa, pohlavie, obezita, či vek.[18][39]

$$BMR = 15,1 \times TV + 692 \quad (1.1)$$

Pre výpočet výdaju energie (EE) z nepriamej kalorimetrie existuje tiež viacero rovníc (napr. Weirova rovnica viz. Rovnica 1.2).[41] Do týchto rovníc vstupujú premenné spotreba kyslíku (VO_2) a výdaj oxidu uhličitého (VCO_2).

$$EE = (3,94 \times VO_2) + (1,1 \times VCO_2) \quad (1.2)$$

1.2 Maximálna spotreba kyslíku

Ako som spomínal v Kapitole 1.1, pri metabolických dejoch v ľudskom tele potrebuje telo prijať O_2 a vylúčiť CO_2 . Pri zvyšujúcej záťaži sa tieto deje zrýchľujú a teda stúpa aj spotreba O_2 . Schopnosť prijať a spotrebovať kyslík ľudským telom je však obmedzená a teda je možné dosiahnuť túto maximálnu hodnotu pri správne zvolenom teste.[23][37]

1.2.1 $VO_2\max$

Pod pojmom $VO_2\max$ je chápaná taká hodnota spotreby O_2 , ktorá je rovná plateau stavu spotreby O_2 . Plateu stav nastáva, keď aj pri zvyšujúcej sa záťaži spotreba O_2 nerastie, ale stagnuje. Hodnota $VO_2\max$ je objektívnym ukazovateľom dosiahnutia maximálneho výkonu. Nie je však totožná s vrcholovou spotrebou O_2 , pod ktorú sa rozumie spotreba O_2 pri maximálnej tolerovanej záťaži. $VO_2\max$ sa udáva v jednotkách ml/kg/min ktoré vyjadrujú objem spotrebovaného O_2 na kilogram telesnej váhy za minútu.[23] V rámci tejto práce však budem pracovať s jednotkami l/min ktoré udávajú absolútny objem spotrebovaného kyslíku za minútu.

Na zistenie hodnoty $VO_2\max$ sa používa analýza dýchacích plynov počas záťaže. Záťaž je väčšinou formou štandardizovaných záťažových testov na ergometri alebo bežiacom páse. Existujú aj submaximálne testy na predikovanie $VO_2\max$, avšak ich presnosť je spochybniteľná a bolo viackrát dokázané, že rozdiely medzi nimi predikovaným a skutočným $VO_2\max$ môžu byť až vyše 10 %.[11][17] V posledných rokoch prebieha diskusia aj o účinnosti a vhodnosti štandardizovaných testov na priame testovanie $VO_2\max$. [6]

Okrem dosiahnutia plateau stavu VO_2 pri záťažových testoch sa na hodnotenie dosiahnutia VO_{2max} používajú aj iné kritéria. Medzi tieto kritéria patrí napríklad dosiahnutie maximálnej srdcovej frekvencie odhadovanej pre vek, dosiahnutie hodnoty $RER \geq 1,15$ (pomer medzi príjmom O_2 a výdajom CO_2), či obsah laktátu v krvi väčší než 8 mmol/l. Tieto kritéria musíme brať v úvahu keďže plateau stav VO_2 dosiahne v závislosti na testovom protokole len 50-60 % testovaných osôb. Najvyššiu incidenciu majú kritéria pre RER a laktát, tieto kritéria splní vyše 90 % testovaných osôb. Určenie presnej hodnoty VO_{2max} je preto značne problematická úloha.[4][9]

1.2.2 VO_{2peak}

VO_{2peak} označuje maximálny príjem kyslíku nameraný pri záťažovom teste, ktorý mal priviesť testovaného jedinca na hranu maximálnej tolerovateľnej záťaže. Tento termín sa používa aj pokiaľ nevieme s istotou definovať, či testovaná osoba dosiahla alebo nedosiahla VO_{2max} . [42] Ako som spomínal v predchádzajúcej kapitole, určenie VO_{2max} je problematická úloha pričom určenie VO_{2peak} je oveľa jednoduchšie a presnejšie. VO_{2peak} môže tiež slúžiť ako faktor na ohodnotenie fyzickej výkonnosti človeka, no nemal by plne nahrádzať hodnotu VO_{2max} . [12] Hlasy vrámci vedeckej obce sú však nejednoznačné v otázke, či je možné nadobro nahradiť VO_{2max} pri hodnotení fyzickej kondície veličinou VO_{2peak} . [40] V rámci tejto práce budem používať označenie maximálna spotreba kyslíku, alebo VO_{2peak} , pre označenie meranej veličiny pri záťažových testoch.

2 Špecifikácia prístrojov

2.1 MetaLyzer 3B

MetaLyzer 3B je čiastočne prenosné zariadenie na analýzu dýchacích plynov a ventilácie. Bolo vyvinuté nemeckou spoločnosťou CORTEX Biophysik GmbH. Verzia používaná v tejto práci bola uvedená na trh v roku 2017.[46]

2.1.1 Technická špecifikácia

Zariadenie má rozmery 235 mm x 165 mm x 85 mm a váži 940 g. Zdrojom energie je napájanie zo siete a to o napätí 100-250 V a frekvencii 50-60 Hz. Zariadenie je možné napájať aj z externej batérie, kedy je doba výdrže 12 hodín. Zariadenie je ovládané pomocou aplikácie MetaSoft Studio pre operačný systém Windows. Cez aplikáciu je možné spárovať ho so zariadeniami elektorkaridogram, bežecký pás, ergometer, senzor srdcovej frekvencie, senzor saturácie kyslíkom a.i.. Pri mnou vykonávaných testoch som používal ergometer Lode Excalibur a hrudný pás na meranie srdcového tepu Polar H10, ktorý je odporúčaný pre toto zariadenie.[46]

MetaLyzer 3B je možné používať pri teplotnom rozsahu +10 až +35 °C a pri relatívnej vlhkosti až do 100 % (nekondenzujúcej). Obsah kyslíku v atmosfére sa musí pri používaní pohybovať do 25 % a okolitý tlak v rozmedzí 500 až 1050 mbar.[46]

MetaLyzer 3B obsahuje O₂ aj CO₂ senzor. O₂ senzor je typu chemického palivového článku (elektrochemický senzor ktorý meria koncentráciu O₂ na základe reakcie kyslíka vytvárajúcej elektrický potenciál[35]) a CO₂ senzor je typu NDIR (senzor presvieti vzorku plynu infračerveným svetlom a na základe množstva prijatého svetla na prijímači zistí koncentráciu plynu[26]). Senzor objemu dýchacích plynov je typu pneumotachograf s objemovou turbínou (objem dýchacích plynov sa vypočíta z počtu otáčok turbíny[10][32]). Výrobca uvádza presnosť O₂ senzoru 0,1 % objemu prijatého kyslíku, CO₂ senzoru tiež 0,1 % prijatého oxidu uhličitého a prietokového senzoru 50 ml respektíve ± 2 % nameraného objemu plynov.[46]

Kalibráciu analýzy dýchacích plynov treba vykonávať pred každým meraním a vykonáva sa automaticky, kalibráciu analýzy prietoku treba vykonávať pred každou zmenou typu merania a vykonáva sa manuálne pomocou kalibračnej striekačky.[46]



Obr. 2.1: Metylzer 3-B[52]

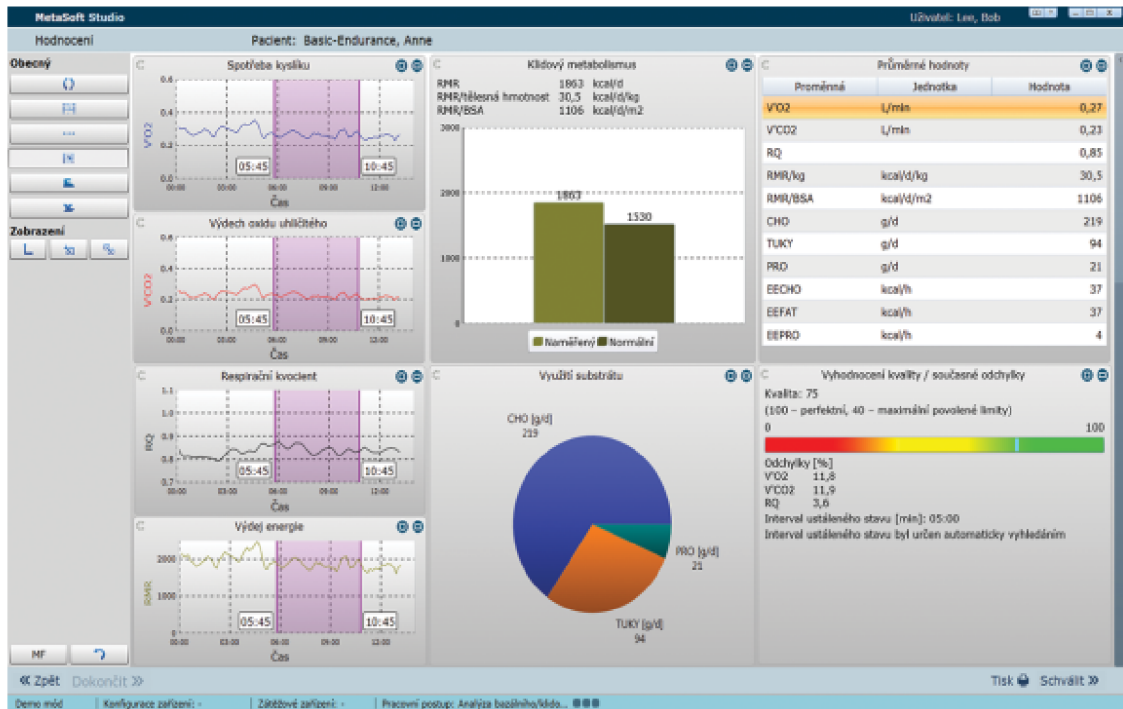
2.1.2 MetaSoft Studio

Program MetaSoft Studio je program spoločnosti Cortex Biophysik GmbH na ovládanie meraní a analýzu výsledkov meraní pre prístroj Metalyzer 3-B a iné produkty ako napríklad MetaMax 3-B. Program je určený pre zariadenia s operačným systémom Windows. V programe je možné ovládať aj ďalšie pripojené zariadenia nevyhnutné pre daný test, ako napríklad bežecký pás alebo ergometer.[46]

V programe je možné ovládať test, spravovať databázu testovaných subjektov, kalibrovat zariadenia použité pri testoch a analyzovať vykonané testy. Program je využiteľný aj v medicínskej praxi, preto obsahuje rozhranie na pripojenie 12 zvodového EKG (elektrokardiogram) a tvorbu lekárskeho správ, či určovanie diagnóz. EKG sa v medicíne využíva v širokom spektre oblastí a je momentálne nevyhnutnou súčasťou medicínskej praxe. Patrí medzi jednu z najjednoduchších metód monitoringu a diagnostiky pacientov. V spojení so spiroergometriou sa využíva pri záťažovom testovaní a testovaní kludového metabolizmu.[16]

V MetaSoft Studiu sú dva základné testovacie protokoly, CPET (Cardiopulmonary exercise testing = záťažová spiroergometria = testovanie kardiologických a spirometrických ukazateľov počas záťaže) a RMR (resting metabolic rate = testovanie kludového metabolizmu). Oba z týchto protokolov vyžadujú rozlišnú kalibráciu použitého zariadenia a ich vyhodnotenie vyzerá rôzne.

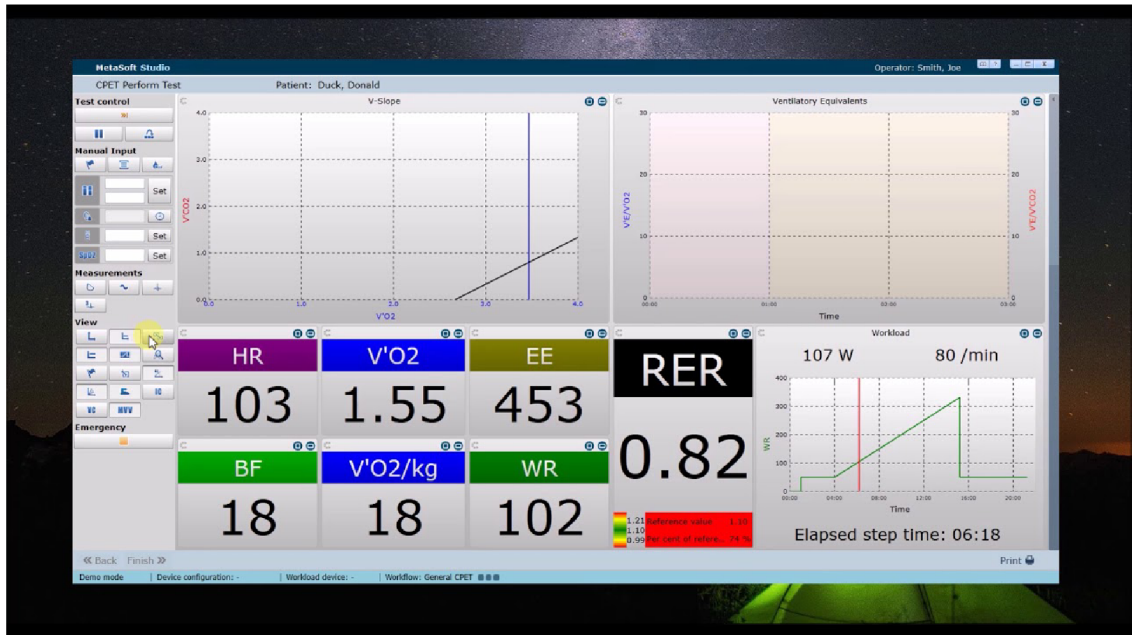
Protokol RMR som využíval na testovanie kludového metabolizmu. Trvanie testu nie je v rámci tohto protokolu obmedzené a teda ho treba ukončiť manuálne. Protokol sa zameriava hlavne na výdaj energie vypočítaný z výmeny dýchacích plynov. Pri analýze merania je možné vybrať z ktorých rovníc sa má hodnota kludového metabolizmu vypočítať, v rámci tejto práce som používal Weirovu rovnicu (viz Rovnica 1.2)[41]. Selekcia úseku z ktorého budeme počítat výsledný kludový metabolizmus prebieha primárne automaticky, avšak je možné nastaviť ju ručne. Vyhodnotenie ďalej obsahuje porovnanie s normálnou hodnotou kludového metabolizmu a mieru



Obr. 2.2: Analýzy výsledkov protokolu RMR[49]

metabolizácie živín počas testu. Normálna hodnota kludového metabolizmu je dopočítaná pomocou Harris-Benedictovej rovnice, resp. jej revízie Mifflinom[22]. Miera metabolizácie jednotlivých živín je dopočítaná pomocou respiračného kvocientu (pomer medzi prijatým kyslíkom a vylúčeným oxidom uhličitým, tento pomer je rôzny pre metabolizáciu cukrov, tukov a bielkovín)[28]. Ukážku vyhodnotenia protokolu je možné vidieť na Obr. 2.2.

Protokol CPET som využíval pri teste maximálnej spotreby kyslíku. V rámci rozhrania tohoto protokolu je okrem nutnej kalibrácie a pripojenia zariadení potrebné aj zvoliť testový protokol ak je využitý pripojený ergometer alebo bežecký pás. Takisto je prítomné rozhranie na určenie zdravotných ťažkostí pacienta a s nimi spojeného automatického ukončenia testu. Počas testu je možné meniť záťaž nezávisle na zvolenom testovom protokole. Takisto je možné meniť zobrazenie meraných dát a je možné kombinovať ich grafické a číselné zobrazenie. Ukážku priebehu CPET protokolu je možné vidieť na Obr. 2.3.



Obr. 2.3: Zobrazenia počas merania pomocou protokolu CPET[48]



Obr. 2.4: Vyhodnotenie tréningových zón pomocou protokolu CPET[50]

Analýza protokolu CPET sa zameriava na hodnotenie fyzickej kondície testovného jedinca. Okrem maximálnych, priemerných a minimálnych hodnôt meraných

parametrov obsahuje aj klasifikovanie testovaného jedinca do výkonnostných skupín na základe týchto parametrov a výpočet záťažových zón. Záťažové zóny a hlavne ventilačné prahy (tiež známe ako aeróbny a anaeróbny prah) sú jeden z najdôležitejších ukazateľov pre športovca pre správne rozvrhnutie tréningu či záťaže pri pretekoch.[21][34] Takisto vo vyhodnotení CPET protokolu je rozrhanie pre určenie lekárskej diagnózy a tvorbu lekárskej správy, nakoľko záťažové testy sú jeden z najdôležitejších ukazateľov pri niektorých srdcových ochoreniach.[1][14]. Ukážku vyhodnotenia tréningových zón je možné vidieť na Obr. 2.4. Prostredie programu je aj v českom jazyku.

2.2 VO2 Master Pro

VO2 Master Pro je prenosné zariadenie na meranie spotreby kyslíku a ventilácie. Bolo vyvinuté Kanadskou spoločnosťou VO2 Master Health Sensors Inc. Verzia používaná v tejto práci bola uvedená na trh spoločnosťou v roku 2020.[47]

2.2.1 Technická špecifikácia

Zariadenie má rozmery 124 mm x 88 mm x 47 mm. Bez masky váži 200 g, s maskou 320 g. Disponuje certifikátom odolnosti typu IP33 (je odolné voči pevným objektom väčším než 2,5 mm a striekajúcej vode v náklone do 60° od vertikálnej osi[7]). Zdrojom energie v zariadení je vymeniteľná AAA batéria bez možnosti nabíjania. Výdrž batérie je udávaná na viac ako 8 hodín. Zariadenie neobsahuje vnútorné úložisko dát, všetky dáta sú v reálnom čase prenášané do zariadenia na ktorom prebieha vyhodnotenie testu. Kompatibilnými zariadeniami sú všetky zariadenia s operačnými systémami iOS a Android. Ovládanie a vyhodnotenie testu prebieha pomocou mobilnej aplikácie. K aplikácii je možné pripojiť aj zariadenia na meranie srdečnej frekvencie, kadencie, rýchlosti, sily či saturácie svalov kyslíkom.[47]

VO2 Master Pro je možné požívať v teplotnom rozmedzí +17 až +45 °C, pri relatívnej vlhkosti 0-70 % a nadmorskej výške do 3000 m n.m.. Silný čelný vietor môže znížiť prenosť merania prístroja. Odporúčané podmienky pre dosiahnutie najpresnejších výsledkov sú použitie v interiéri v dobre vetranej miestnosti bez nadmerného výskytu prachu.[47]

VO2 Master Pro na rozdiel od Metalyzer 3-B analyzuje iba prúdenie O₂ a nie CO₂ a to elektricko-galvanickým senzorom (v senzore prebieha oxidácia olova kyslíkom počas ktorej sa mení chemické zloženie substrátu a teda sa mení prúd generovaný galvanickým článkom[3]). Analýza prietoku plynov sa uskutočňuje pomocou pneumotachografu založenom na rozdieloch tlakov (zariadenie meria tlak plynov pred



Obr. 2.5: VO2 Master Pro[53]

a za zúžením a z rozdielu týchto tlakov je možné dopočítať objem plynov[32]). Výrobca uvádza presnosť merania objemu kyslíku $\pm 1\%$, presnosť prietoku plynov pri kalibrácii kalibračnou strikačkou $\pm 2\%$ a bez kalibračnej striekčky $\pm 4\%$. [47]

Kalibrácia VO2 Master Pro prebieha automaticky po nasadení masky a líši sa na základe zvoleného protokolu a typu náustku. Typy náustkov sú R (pre meranie RMR, VE (ventilácia) 5-50 l/min), M (záťažové merania, VE 15-160 l/min) a L (záťažové merania, VE 25-250 l/min). [47]

2.2.2 Aplikácia VO2 Master

Aplikácia VO2 Master poskytuje používateľské rozhranie na ovládanie meraní pomocou prístroja VO2 Master Pro. Je dostupná pre zariadenia s operačným systémom iOS alebo Android. V aplikácii je možné spravovať pripojené zariadenia, voliť testové protokoly, spravovať profily a merania testovaných osôb, exportovať a prehliadať vykonané merania a ovládať samotné meranie. [47]

Súčasťou aplikácie je 5 prednastavených protokolov a to Resting metabolic test (tento protokol je používaný na meranie kludového metabolizmu), Step test (tento protokol je využiteľný na záťažové testy pri stupňovanom teste), Intervals (protokol primárne na tréning, obsahuje opakujúce intervaly rovnakej intenzity a odpočinkové fázy), Moxy 5-1-5 Assessment (protokol využívaný pri záťažových testoch v kombi-

nácii s prístrojom na meranie okysličenia krvi Moxy) a Free protokol (voľné meranie ktoré netvorí protokoly na základe nameraných dát keďže dáta iba zbiera, používa sa pri neštandardných meraniach). Je možné meniť dĺžku a intenzitu všetkých stupňov všetkých prednastavených protokolov, takisto ako je možné meniť počet stupňov všetkých prednastavených protokolov.[47] V tejto práci som pracoval s protokolmi Resting metabolic test (pri testovaní kludového metabolizmu) a Free (pri testovaní maximálnej spotreby kyslíku).

Pri samotnom meraní je možné zobrazovať namerané dáta v číselnej aj grafickej podobe (viz Obr. 2.6). Nieje však možné tieto dve zobrazenia sledovať simultánne.



Obr. 2.6: Rozhranie aplikácie VO2 Master Pro v priebehu merania[51]

Po ukončení testu kludového metabolizmu je výsledná hodnota vypočítaná pomocou Weirovej rovnice (viz Rovnica 1.2)[41], respektíve jej derivácie do ktorej nevstupuje spotreba oxidu uhličitého. Vo vyhodnotení (viz Príloha B) je možné vidieť aj odporúčania na príjem kalórií pri zvolenej fyzickej aktivite vyrátaný pomocou Mifflin-St. Jeorovej rovnice[22]. Zároveň vyhodnotenie slúži aj ako návod na nastavenie zvoleného cieľa zmeny telesnej hmotnosti. Takisto vyhodnotenie obsahuje zhodnotenie zdravotného stavu testovaného jedinca na základe BMI (index telesnej hmotnosti), HRV (variabilita srdečného rytmu) a rýchlosti metabolizmu. Všetky

tieto hodnoty sú dopočítané z hodnôt nameraných prístrojom VO2 Master Pro či pripojeného zariadenia na meranie tepovej frekvencie a vstupných antropometrických parametrov. Poslednou súčasťou vyhodnotenia je grafické znázornenie meraných dát v čase.

Vyhodnotenie protokolu Free obsahuje len vypočítané priemery meraných veličín a ich zobrazenie v čase keďže protokol Free slúži len na meranie bez preddefinovaného zámeru. Ukážku vyhodnotenia protokolu Free je možné vidieť v Prílohe C. Prostredie aplikácie je iba v anglickom jazyku.

2.3 Iné prenosné prístroje na anlyzu dýchacích planov

Na trhu sa pohybuje okrem VO2 Master Pro aj viacero iných prenosných analyzátorov dýchacích plynov. Medzi najznámejšie z nich patrí MetaMax 3B, COSMED K5 či Oxycon Mobile.

2.3.1 MetaMax 3B

MetaMax 3B je prenosný analyzátor dýchacích plynov od spoločnosti Cortex Biophysik GmbH. Je veľmi podobný už vyššie spomínanému Metalyzer 3-B.

Obsahuje O₂ aj CO₂ senzor. O₂ senzor je typu chemického palivového článku (elektrochemický senzor ktorý meria koncentráciu O₂ na základe reakcie kyslíka vytvárajúcej elektrický potenciál[35]) a CO₂ senzor je typu NDIR (senzor presvieti vzorku plynu infračerveným svetlom a na základe množstva prijatého svetla na prijímači zistí koncentráciu plynu[26]). Senzor objemu dýchacích plynov je typu pneumotachograf s objemovou turbínou (objem dýchacích plynov sa vypočíta z počtu otáčok turbíny[10][32]). Výrobca uvádza presnosť O₂ senzoru 0,1 % objemu prijatého kyslíku, CO₂ senzoru tiež 0,1 % prijatého oxidu uhličitého a prietokového senzoru 50 ml respektíve ± 2 % nameraného objemu plynov.[45]

Ovládať je ho možné pomocou aplikácie MetaSoft Studio pre operačný systém Windows. K počítaču je ho možné pripojiť pomocou rozhrania Bluetooth a to až na vzdialenosť 1000 m. Cez aplikáciu je možné spárovať so zariadením elektrokardiogram, bežecký pás, ergometer, senzor srdečnej frekvencie, senzor saturácie kyslíkom a.i..[45]

Samotné zariadenie váži 580 g a je upevnené na hrudi alebo chrbte testovanej osoby. MetaMax 3B je možné používať pri teplotnom rozsahu -10 až +40°C a pri relatívnej vlhkosti až do 100 % (nekondenzujúcej). Obsah kyslíku v atmosfére sa musí pri používaní pohybovať do 25 % a okolitý tlak v rozmedzí 500 až 1050 mbar.[45]

Aj keď MetaMax 3B je momentálne považovaný za validný prístroj, staršie štúdie ukazujú odchýlku 10-17 % v premenných $\dot{V}O_2$ a $\dot{V}CO_2$ oproti medicínsky certifikovanej spirometrii.[19] Posledná verzia uvedená na trh v roku 2017 však obsahuje rovanké snímače a využíva rovanký softvér ako vyššie spomenutý MetaLyzer 3B.

2.3.2 COSMED K5

COSMED K5 je prenosný analyzátor dýchacích plynov od spoločnosti COSMED S.r.l.. Ide o 4. generáciu jedného z prvých prenosných analyzátorov dýchacích plynov na trhu.[54]

Obsahuje O_2 aj CO_2 senzor. O_2 senzor je typu chemického palivového článku (elektrochemický senzor ktorý meria koncentráciu O_2 na základe reakcie kyslíka vytvárajúcej elektrický potenciál[35]) a CO_2 senzor je typu NDIR (senzor presvieti vzorku plynu infračerveným svetlom a na základe množstva prijatého svetla na prijímači zistí koncentráciu plynu[26]). Senzor objemu dýchacích plynov je typu pneumotachograf s objemovou turbínou (objem dýchacích plynov sa vypočíta z počtu otáčok turbíny[10][32]). Výrobca uvádza presnosť O_2 senzoru 0,02 % objemu prijatého kyslíka, CO_2 senzoru tiež 0,02 % prijatého oxidu uhličitého a prietokového senzoru 100 ml respektíve ± 2 % nameraného objemu plynov.[54]

Ovládať je ho možné pomocou aplikácie OMNIA ktorá je dostupná pre operačný systém Windows. K počítaču je ho možné pripojiť pomocou rozhrania Bluetooth a to až na vzdialenosť 1000 m. Cez aplikáciu je možné spárovať so zariadením elektrokardiogram, bežecký pás, ergometer, senzor srdečnej frekvencie, senzor saturácie kyslíkom a.i.. Zariadením je možné vykonávať aj meranie bez pripojenia k počítaču počas merania. Ovláda sa v tomto prípade pomocou dotykového displeju.[54]

Zariadenie váži 900g a je upevnené na hrudi alebo chrbte testovanej osoby. COSMED K5 je možné používať pri teplotnom rozsahu -10 až +40 °C v nadmorskej výške medzi -600 až 5500 m n.m..[54]

Validita prístroja COSMED K5 bola testovaná vo viacerých štúdiách pričom všetky sa zhodujú, že je validný a že dosahuje odchýlku do 1,5 % vo všetkých meraných premenných. Taktiež niektoré štúdie podotýkajú že presnosť sa zvyšuje so zvyšujúcou fyzickou záťažou testovaného subjektu.[8][13][27]

3 Testové protokoly

3.1 Meranie kludového metabolizmu

Testový protokol na testovanie kludového metabolizmu pozostával z 20 minút ľahu na chrbte v pokoji bez pohybu. Testovaná osoba nebola počas doby testu rušená či rozptyľovaná žiadnymi vonkajšími vplyvmi a bola inštruovaná nepodliehať psychickému stresu. Testovaná osoba sa zúčastnila merania na lačno v ranných hodinách v čo najkratšom možno čase po zobudení. Testovaná osoba tiež nevykonávala žiadnu fyzickú aktivitu mimo najmenej nutnej k presunu do laboratória.[38]

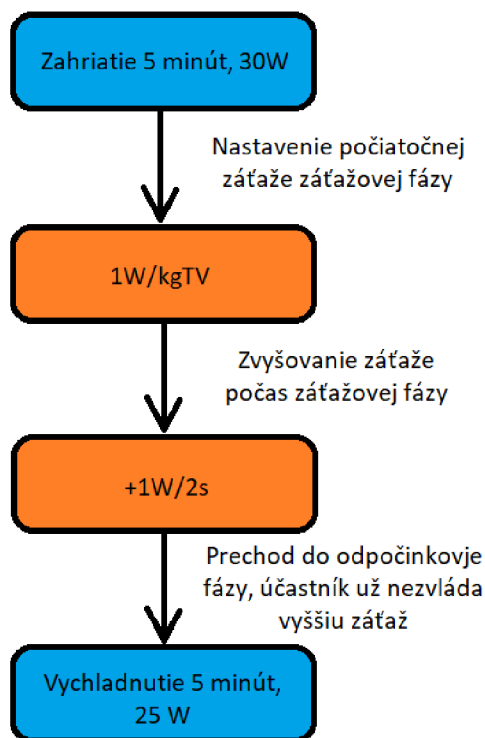
Trvanie testu bolo nastavené na 20 minút aby odpovedalo prednastavenému testu kludového metabolizmu v rozhraní prístroja VO2 Master Pro. Z týchto 20 minút bolo prvých 10 minút chápaných ako upokojujúca fáza počas ktorej dáta nevstupovali do vyhodnotenia a druhých 10 minút ako samotná fáza merania, tiež kvôli kopírovaniu prednastaveného protokolu v ovládacom rozhraní prístroja VO2 Master Pro. Testy oboma prístrojmi prebehli bezprostredne po sebe. Testované osoby boli inštruované, že pred testom nemajú vykonávať náročnú fyzickú aktivitu a vyvarovať sa správania závažne porušujúceho zdravú životosprávu. Pri meraní prístrojom VO2 Master Pro som používali náustok typu R.

3.2 Záťažový test na zistenie maximálnej spotreby kyslíku

Záťažový test na zistenie hodnoty maximálnej spotreby kyslíku som zvolil typu rampový na ergometri. Tento typ testu som zvolil kvôli krátkemu času medzi dvoma testami do maximálnej záťaže, keďže rampový test je subjektívne vnímaný ako menej náročný než stupňový.[4][5][44]

Test začínal 5 minútovou zahrievacou fázou pri ktorej bola záťaž nastavená na 30 W. Po zahrievacej fáze začala záťažová fáza, ktorá začala na 1 W/kgTV a zvyšovala sa o 30 W/min teda 0,5 W/s. Po dosiahnutí subjektívneho maxima testovanej osoby bola záťažová fáza ukončená a testovaná osoba prešla do odдыхovej fáze, ktorá trvala 5 minút a záťaž bola nastavená na 25 W. Diagram popisujúci priebeh testu je vidieť možné na Obr. 3.1. Tento testový protokol bol prebratý zo štúdie.[5]

Testované osoby boli inštruované že pred oboma testami nemajú vykonávať náročnú fyzickú aktivitu a vyvarovať sa správania závažne porušujúceho zdravú životosprávu. Najskôr prebiehal tento test s referenčným prístrojom, následne o 2-7 dní neskôr s prístrojom VO2 Master Pro. Pri meraní prístrojom VO2 Master Pro som používali náustok L.



Obr. 3.1: Znázornenie priebehu záťažového testu

3.3 Testované osoby

Testu kludového metabolizmu sa zúčastnilo 20 osôb, a to 10 mužov a 10 žien. Priemerný vek mužov bol $23,80 \pm 6,18$ rokov, priemerná hmotnosť $66,79 \pm 7,39$ kg, priemerná výška $178,63 \pm 7,13$ cm a priemerné BMI $20,92 \pm 1,89$ kg/m². Priemerný vek žien bol $34,00 \pm 9,98$ rokov, priemerná hmotnosť $68,26 \pm 12,22$ kg, priemerná výška $168,28 \pm 5,57$ cm a priemerné BMI $24,21 \pm 4,88$ kg/m².

Testu maximálnej spotreby kyslíku sa zúčastnilo 20 osôb, a to 10 mužov a 10 žien. Priemerný vek testovaných mužov bol $23,90 \pm 6,22$ rokov, priemerná váha $76,55 \pm 11,67$ kg, priemerná výška $185,06 \pm 6,63$ cm a priemerné BMI $22,36 \pm 3,09$ kg/m². Priemerný vek testovaných žien bol $45,00 \pm 12,73$ rokov, priemerná váha $65,68 \pm 12,70$ kg, priemerná výška $167,82 \pm 8,20$ cm a priemerné BMI $23,27 \pm 4,33$ kg/m².

Všetky testované osoby podpísali informovaný súhlas (viz Príloha A). Testy prebehli v laboratóriách CESA VUT v Brně v súlade so súhlasom etickej komisie k žiadosti č. 6/22s.

4 Spracovanie dát

4.1 Export dát

Exportované dáta z prístroju Metalyzer 3-B boli vo forme súboru obsahujúceho surové dáta pre dané meranie. Pre mňa boli podstatné premenné čas a spotreba kyslíku pre test maximálnej spotreby kyslíku a čas a RMR pre test kludového metabolizmu. Vzorkovacia frekvencia nameraných dát bola premenlivá, keďže záznam vznikal pre každý nádyh, respektíve výdych.

Z prístroju VO2 Master Pro nebolo možné exportovať dáta v surovej forme. Pre test maximálnej spotreby kyslíka som zvolil vzorkovaciu frekvenciu 60 Hz, teda vytvorenie záznamu každú sekundu, kedy sú umelo doplnené chýbajúce hodnoty keďže z tohto prístroju nieje možné vyexportovať dáta v surovej forme. Pre test kludového metabolizmu je možné získať iba finálnu hodnotu RMR počítanú pomocou derivácie Weirovej rovnice (viz Rov. 1.2)[41] z posledných 10 minút testu a nie vývoj RMR v čase.

Dáta som následne spracovával v prostredí Matlab, verzia 2022a. Pri spracovaní dát z testov maximálnej spotreby kyslíku som najskôr vyhledal maximálnu spotrebu kyslíku nameranú referenčným prístrojom, a následne pre záťaž pri ktorej sa vyskytla, vyhledal hodnotu spotreby kyslíku nameranú prístrojom VO2 Master Pro. Pri spracovaní dát z testov kludového metabolizmu som spriemeroval hodnoty kludového metabolizmu namerané referenčným prístrojom medzi 10. a 20. minútou merania, hodnoty nameraná pomocou VO2 Master Pro som načítal z vyhodnotenia jednotlivých testov.

4.2 Štatistická analýza

Všetky výsledky analýzy nameraných dát sú uvedené vo formáte priemer \pm smerodajná odchýlka. Do analýzy dát vstupovali tri parametre. Absolútna odchýlka, počítaná ako rozdiel hodnoty nameranej referenčným prístrojom a VO2 Master Pro v absolútnej hodnote, percentuálna odchýlka, počítaná ako pomer absolútnej odchýlky a hodnoty nameranej referenčným prístrojom a p-hodnota vypočítaná štatistickým testom. Absolútna a percentuálna odchýlka boli vypočítané pre každého účastníka a následne z týchto hodnôt boli vytvorené štatistiky pre všetky skúmané skupiny.

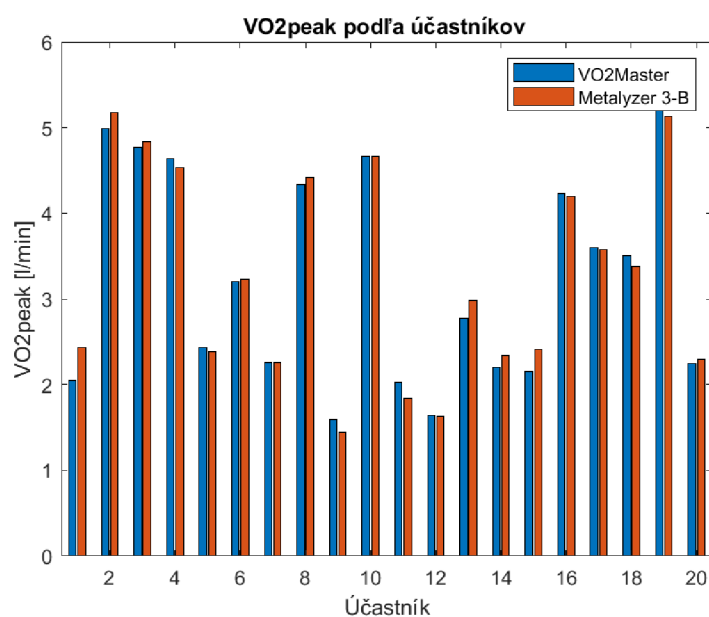
Na otestovanie normality dát pre štatistický test bol použitý Shapiro-Wilkov test (počíta koreláciu medzi reálnym a teoretickým normálnym rozložením dát)[31] s hladinou významnosti $\alpha = 0,05$. Dáta však nevykazovali normálne rozloženie. Normálne

rozloženie nevykazovali ani odchýlky medzi referenčným a nami skúmaným prístrojom. Kvôli absencii normálneho rozloženia bol pre počítanie štatistickej významnosti rozdielov medzi referenčným prístrojom a VO2 Master Pro použitý Wilcoxon signed rank test (neparametrický, párový test ktorý počíta či medián rozdielov dvoch súborov dát je 0)[43] s hladinou významnosti $\alpha = 0,05$. Ak teda p-hodnota po vykonaní tohto testu bola menšia než 0,05, dva porovnávané súbory dát boli považované za rozličné. Pre počítanie štatistickej významnosti odlišnosti medzi skupinami bol použitý Wilcoxon rank sum test (neparametrický, nepárový, tiež známy ako Mann-Whitney U test, počíta či sú mediány dvoch súborov dát podobné)[20] s hladinou významnosti $\alpha = 0,05$, ktorú som pre parametre delené na 3 skupiny korigoval podľa Bonferroniho (pri zisťovaní štatistickej rozlišnosti viacerých skupín je hladina významnosti korigovaná predelením pôvodnej hladiny významnosti počtom porovnávaných dvojíc[29]) na $\alpha = 0,017$. Ak teda p-hodnota po vykonaní testu bola menšia než 0,017, boli dané dve skupiny považované za štatisticky odlišné. Pre výpočet odlišností medzi skupinami vstupovali do štatistického testu percentuálne odchýlky pre jednotlivých účastníkov patriacich do danej skupiny. Ukážku použitia štatistických testov v prostredí Matlab je možné vidieť v Prílohe D.

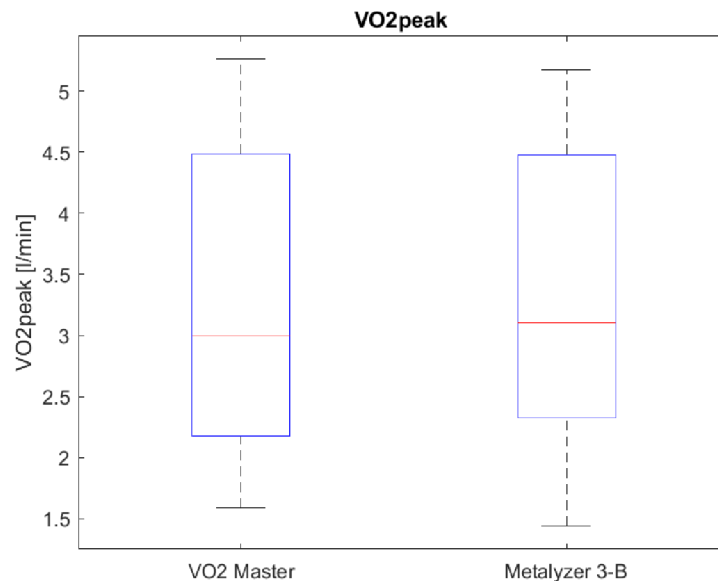
5 Výsledky

5.1 Vyhodnotenie porovnania maximálnej spotreby kyslíku

Priemer nameraných hodnôt VO_2 peak referenčným prístrojom bol $3,26 \pm 1,23$ l/min. Priemer nameraných hodnôt prístrojom VO2 Master Pro bol $3,23 \pm 1,24$ l/min. Hodnoty namerané referenčným a mnou skúmaným prístrojom sa výrazne nelíšia ako pre jednotlivých účastníkov (viz Obr. 5.1), tak pre dáta ako celok (viz Obr. 5.2). Priemerná absolútna odchýlka medzi týmito prístrojmi je $0,12 \pm 0,10$ l/min.

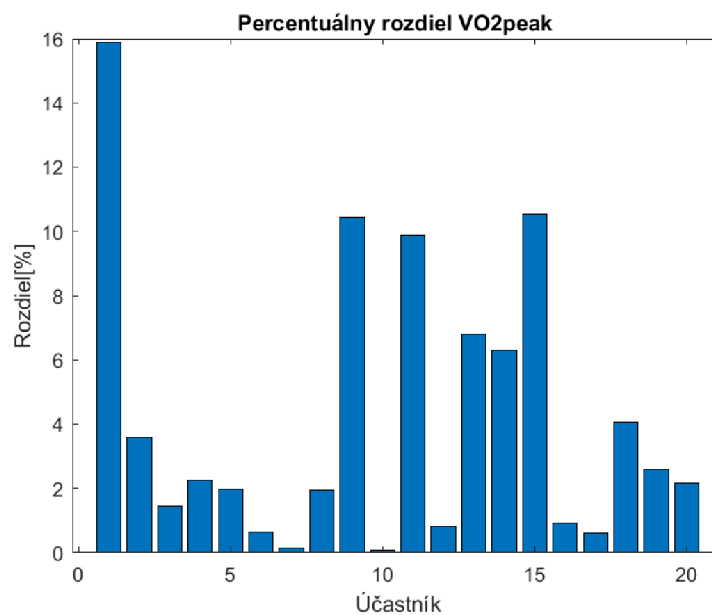


Obr. 5.1: VO_2 peak nameraný u jednotlivých testovaných osôb oboma použitými prístrojmi



Obr. 5.2: Porovnanie boxplotov pre meranie VO₂peak pre každý prístroj

Pri porovaní percentuálnych odchýlok medzi jednotlivými meraniami je tiež možné vidieť, že sa dáta od seba výrazne nelíšia (viz Obr. 5.3). Priemerná percentuálna odchýlka je $4,15 \pm 4,41$ %.



Obr. 5.3: Perc. rozdiel v nameraných hodnotách VO₂peak pre každého účastníka

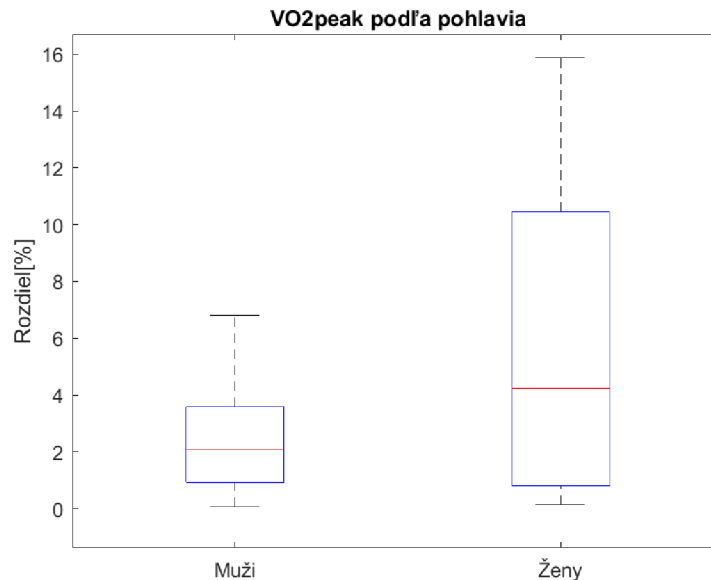
Po vykonaní štatistického testu (Wilcoxon signed rank test[43]) som dosiahol hodnotu $p = 0,58$. Keďže $p > 0,05$, nezamietam nulovú hypotézu a teda môžem tvrdiť že neexistuje štatisticky významný rozdiel v nameraných hodnotách $VO_2\text{peak}$ medzi referenčným prístrojom a prístrojom VO2 Master Pro.

5.1.1 Porovnanie rozdielov merania maximálnej spotreby kyslíku podľa pohlavia

Dosiahnuté odchýlky a p-hodnoty štatistických testov pre meranie $VO_2\text{peak}$ prístrojom VO2 Master Pro na základe pohlavia od referenčného prístroju sú zobrazené v Tab. 5.1. Je zrejmé že pohlavie nemá vplyv na veľkosť odchýlky, čo je možné vidieť aj na Obr. 5.4. Po použití štatistického testu (Wilcoxon rank sum test[20]) vyšlo $p > 0,05$ a teda neexistuje štatisticky významný rozdiel v odchýlkach merania $VO_2\text{peak}$ prístrojom VO2 Master Pro od referenčného prístroju na základe pohlavia.

Pohlavie	Perc. rozdiel [%]	Abs. rozdiel [l/min]	p-hodnota
Muži	$2,43 \pm 1,98$	$0,10 \pm 0,07$	0,77
Ženy	$5,88 \pm 5,52$	$0,13 \pm 0,12$	0,85

Tab. 5.1: Zobrazenie rozdielov medzi meraniami $VO_2\text{peak}$ na základe pohlavia



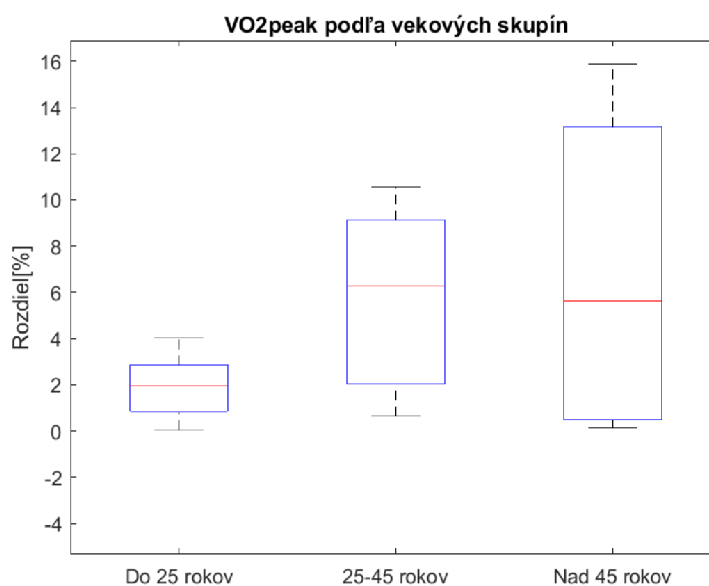
Obr. 5.4: Porovnanie percentuálnych rozdielov medzi meraniami $VO_2\text{peak}$ na základe pohlavia

5.1.2 Porovnanie rozdielov merania maximálnej spotreby kyslíku podľa veku

Dosiahnuté odchýlky a p-hodnoty štatistických testov pre merania VO_2 peak prístrojom VO2 Master Pro na základe veku od referenčného prístroju sú zobrazené v Tab. 5.2. Je zrejmé že s vyšším vekom stúpa aj veľkosť odchýlky, čo je možné vidieť aj na Obr. 5.5. Pre všetky dvojice však po použití štatistického testu (Wilcoxon rank sum test[20]) vyšlo $p > 0,017$ a teda neexistuje štatisticky významný rozdiel v odchýlkach merania VO_2 peak prístrojom VO2 Master Pro od referenčného prístroju na základe veku.

Veková skupina [roky]	Perc. rozdiel [%]	Abs. rozdiel [l/min]	p-hodnota
<25	$1,94 \pm 1,34$	$0,09 \pm 0,06$	0,73
25-45	$5,48 \pm 3,96$	$0,13 \pm 0,09$	0,30
>45	$6,83 \pm 7,66$	$0,14 \pm 0,18$	0,88

Tab. 5.2: Zobrazenie rozdielov medzi meraniami VO_2 peak na základe veku



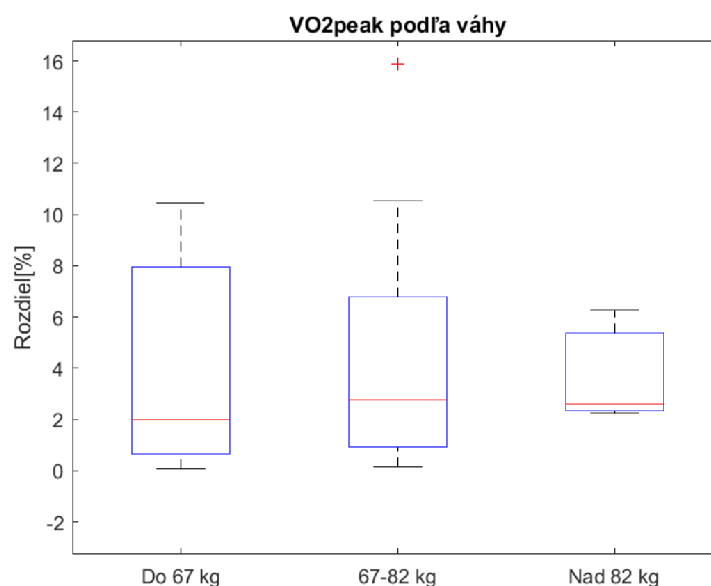
Obr. 5.5: Porovnanie percentuálnych rozdielov medzi meraniami VO_2 peak na základe veku

5.1.3 Porovnanie rozdielov merania maximálnej spotreby kyslíku podľa váhy

Dosiahnuté odchýlky a p-hodnoty štatistických testov pre merania VO_2 peak prístrojom VO2 Master Pro na základe hmotnosti od referenčného prístroju sú zobrazené v Tab. 5.3. Je zrejmé že hmotnosť nemá vplyv na veľkosť odchýlky, čo je možné vidieť aj na Obr. 5.6. Pre všetky dvojice však po použití štatistického testu (Wilcoxon rank sum test[20]) vyšlo $p > 0,017$ a teda neexistuje štatisticky významný rozdiel v odchýlkach merania VO_2 peak prístrojom VO2 Master Pro od referenčného prístroju na základe hmotnosti.

Hmotnostaná skupina [kg]	Perc. rozdiel [%]	Abs. rozdiel [l/min]	p-hodnota
<67	$3,71 \pm 4,48$	$0,07 \pm 0,07$	0,22
67-82	$4,60 \pm 5,11$	$0,14 \pm 0,12$	0,08
>82	$3,71 \pm 2,24$	$0,13 \pm 0,03$	1,00

Tab. 5.3: Zobrazenie rozdielov medzi meraniami VO_2 peak na základe hmotnosti



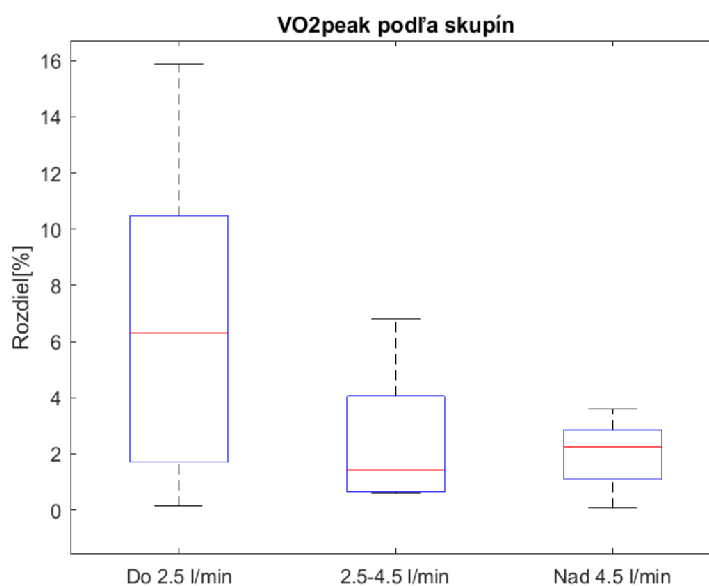
Obr. 5.6: Porovnanie percentuálnych rozdielov medzi meraniami VO_2 peak na základe hmotnosti

5.1.4 Porovnanie rozdielov merania maximálnej spotreby kyslíku podľa dosiahnutej hodnoty

Dosiahnuté odchýlky a p-hodnoty štatistických testov pre merania VO_2peak prístrojom VO2 Master Pro na základe výkonu od referenčného prístroju sú zobrazené v Tab. 5.4. Pod pojmom výkon rozumiem nameranú hodnotu VO_2peak . Je zrejmé, že s vyšším výkonom klesá veľkosť odchýlky, čo je možné vidieť aj na Obr. 5.7. Pre všetky dvojice však po použití štatistického testu (Wilcoxon rank sum test[20]) vyšlo $p > 0,017$, a teda neexistuje štatisticky významný rozdiel v odchýlkach merania VO_2peak prístrojom VO2 Master Pro od referenčného prístroju na základe výkonu.

Výkonová skupina[l/min]	Perc. rozdiel[%]	Abs. rozdiel [l/min]	p-hodnota
<2.5	6,47 ± 5,52	0,14 ± 0,13	0,73
2.5-4.5	2,49 ± 2,48	0,08 ± 0,07	1,00
>4.5	1,99 ± 1,32	0,10 ± 0,07	1,00

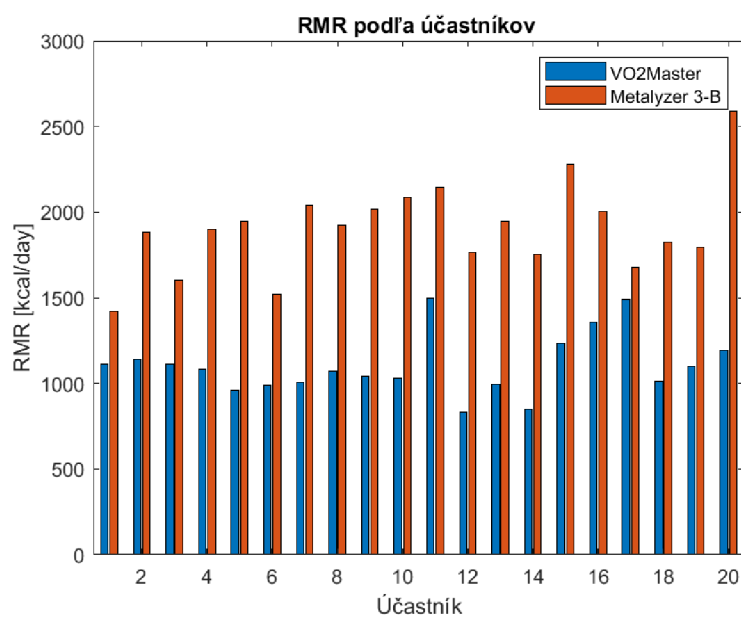
Tab. 5.4: Zobrazenie rozdielov medzi meraniami VO_2peak na základe výkonu



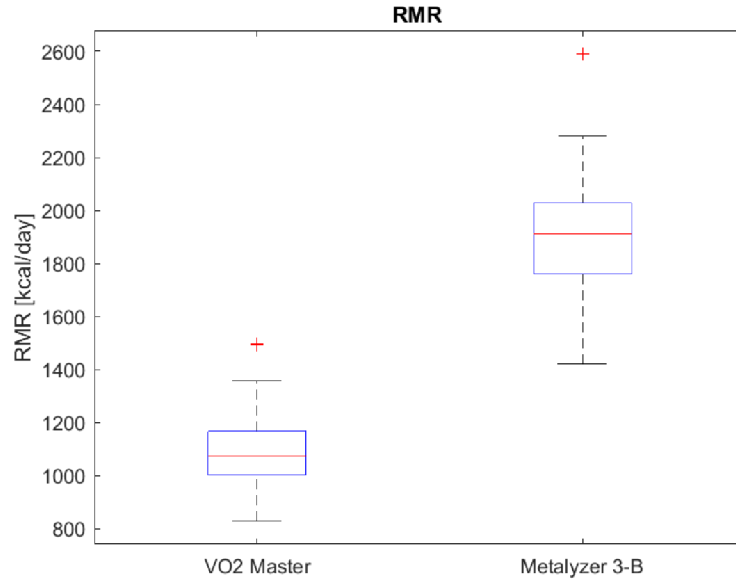
Obr. 5.7: Porovnanie percentuálnych rozdielov medzi meraniami VO_2peak na základe dosiahnutej hodnoty

5.2 Vyhodnotenie porovnania kľudového metabolizmu

Priemer nameraných hodnôt RMR referenčným prístrojom bol $1906,05 \pm 264,41$ kcal/deň. Priemer nameraných hodnôt prístrojom VO2 Master Pro bol $1105,70 \pm 179,39$ kcal/deň. Hodnoty namerané referenčným a mnou skúmaným prístrojom sa výrazne líšia, ako pre jednotlivých účastníkov (viz Obr. 5.8), tak pre dáta ako celok (viz Obr. 5.9). Priemerná absolútna odchýlka medzi týmito prístrojmi je $800,35 \pm 281,70$ kcal/deň.

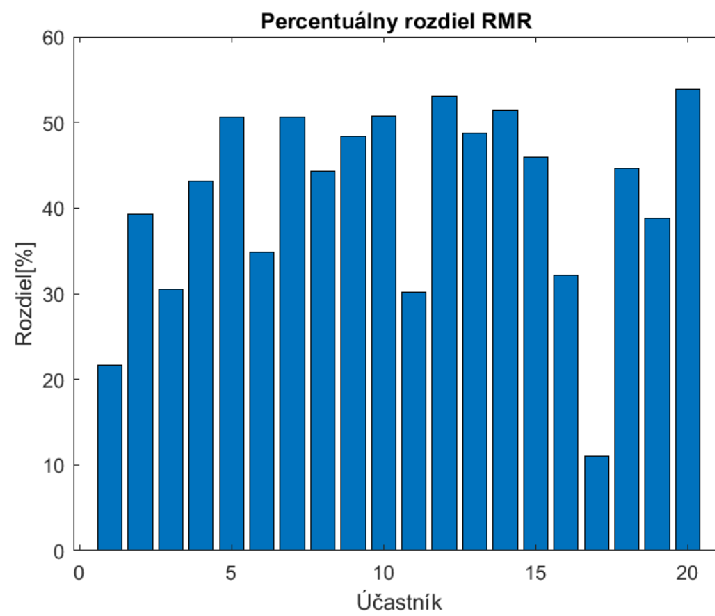


Obr. 5.8: RMR namerané u jednotlivých testovaných osôb oboma použitými prístrojmi



Obr. 5.9: Porovnanie boxplotov pre meranie RMR pre každý prístroj

Pri porovnaní percentuálnych odchýlok medzi jednotlivými meraniami, je možné vidieť, že sa dáta tiež od seba výrazne líšia (viz. Obr. 5.10). Priemerná percentuálna odchýlka je $41,20 \pm 11,44$ %.



Obr. 5.10: Percentuálny rozdiel v nameraných hodnotách RMR pre každého účastníka

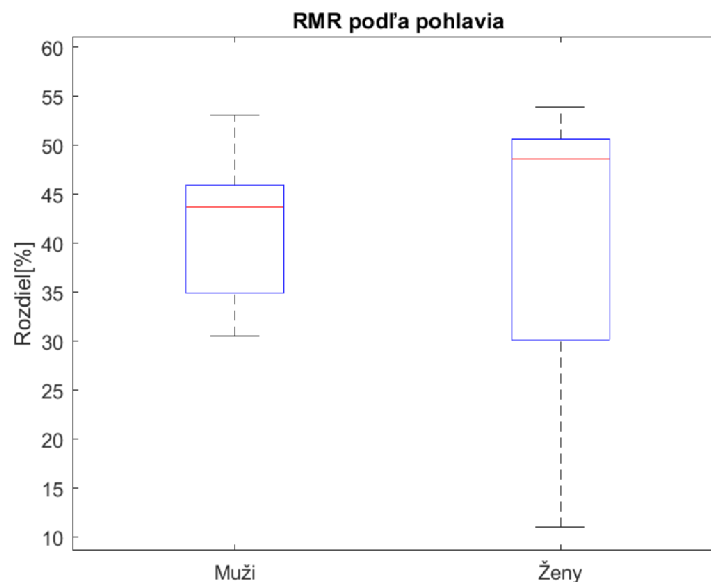
Po vykonaní štatistického testu (Wilcoxon signed rank test[43]) som dosiahol hodnotu $p = 0,00$. Keďže $p < 0,05$, zamietam nulovú hypotézu a teda môžem tvrdiť že existuje štatisticky významný rozdiel v nameraných hodnotách VO_2 peak medzi referenčným prístrojom a prístrojom VO2 Master Pro.

5.2.1 Porovnanie rozdielov merania kľudového metabolizmu podľa pohlavia

Dosiahnuté odchýlky a p-hodnoty štatistických testov pre merania RMR prístrojom VO2 Master Pro na základe pohlavia od referenčného prístroju sú zobrazené v Tab. 5.5. Je zrejmé, že pohlavie nemá vplyv na veľkosť odchýlky, čo je možné vidieť aj na Obr. 5.12. Po použití štatistického testu (Wilcoxon rank sum test[20]) vyšlo $p > 0,05$ a teda neexistuje štatisticky významný rozdiel v odchýlkach merania RMR prístrojom VO2 Master Pro od referenčného prístroju na základe veku.

Pohlavie	Perc. rozdiel [%]	Abs. rozdiel [kcal/deň]	p-hodnota
Muži	$41,86 \pm 7,54$	$793,20 \pm 296,00$	0,00
Ženy	$40,53 \pm 14,79$	$807,50 \pm 359,16$	0,00

Tab. 5.5: Zobrazenie rozdielov medzi meraniami RMR na základe pohlavia



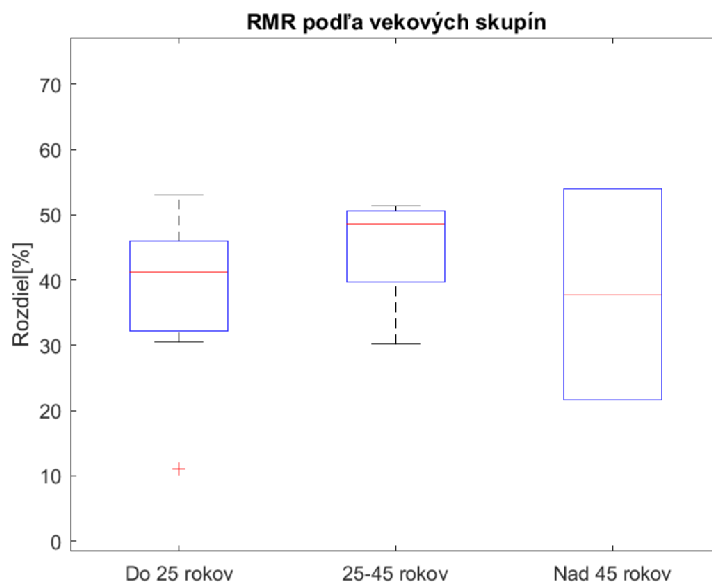
Obr. 5.11: Porovnanie percentuálnych rozdielov medzi meraniami RMR na základe pohlavia

5.2.2 Porovnanie rozdielov merania kľudového metabolizmu podľa veku

Dosiahnuté odchýlky a p-hodnoty štatistických testov pre merania RMR prístrojom VO2 Master Pro na základe veku od referenčného prístroju sú zobrazené v Tab. 5.6. Je zrejmé, že pre všetky vekové skupiny sa veľkosť odchýlky pohybuje v podobných hodnotách, čo je možné vidieť aj na Obr. 5.12, aj keď na základe štatistického testu je odchýlka pre vekovú skupinu nad 45 rokov štatisticky nevýznamná. Pre všetky dvojice po použití štatistického testu (Wilcoxon rank sum test[20]) vyšlo $p > 0,017$ a teda neexistuje štatisticky významný rozdiel v odchýlkach merania RMR prístrojom VO2 Master Pro od referenčného prístroju na základe veku.

Veková skupina [roky]	Perc. rozdiel [%]	Abs. rozdiel [kcal/deň]	p-hodnota
<25	38,90 ± 12,15	747,00 ± 265,50	0,01
25-45	44,93 ± 8,04	854,00 ± 178,65	0,01
>45	37,79 ± 22,81	852,50 ± 770,04	0,50

Tab. 5.6: Zobrazenie rozdielov medzi meraniami RMR na základe veku



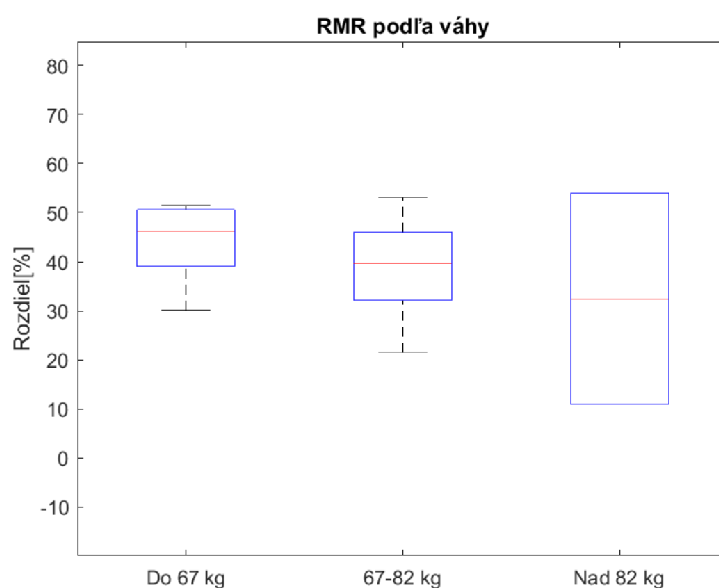
Obr. 5.12: Porovnanie percentuálnych rozdielov medzi meraniami RMR na základe veku

5.2.3 Porovnanie rozdielov merania kludového metabolizmu podľa hmotnosti

Dosiahnuté odchýlky a p-hodnoty štatistických testov pre merania RMR prístrojom VO2 Master Pro na základe hmotnosti od referenčného prístroja sú zobrazené v Tab. 5.7. Je zrejmé, že s rastúcou váhou klesá odchýlka od referenčného prístroja, čo je možné vidieť aj na Obr. 5.12, aj keď na základe štatistického testu je odchýlka pre vekovú skupinu nad 45 rokov štatisticky nevýznamná. Pre všetky dvojice po použití štatistického testu (Wilcoxon rank sum test[20]) vyšlo $p > 0,017$ a teda neexistuje štatisticky významný rozdiel v odchýlkach merania RMR prístrojom VO2 Master Pro od referenčného prístroja na základe veku.

Hmotnostná skupina [kg]	Perc. rozdiel [%]	Abs. rozdiel [kcal/deň]	p-hodnota
<67	43,88 ± 7,69	845,00 ± 172,90	0,00
67-82	38,74 ± 11,33	714,17 ± 274,13	0,03
>82	32,47 ± 30,33	791,00 ± 857,01	0,50

Tab. 5.7: Zobrazenie rozdielov medzi meraniami RMR na základe hmotnosti



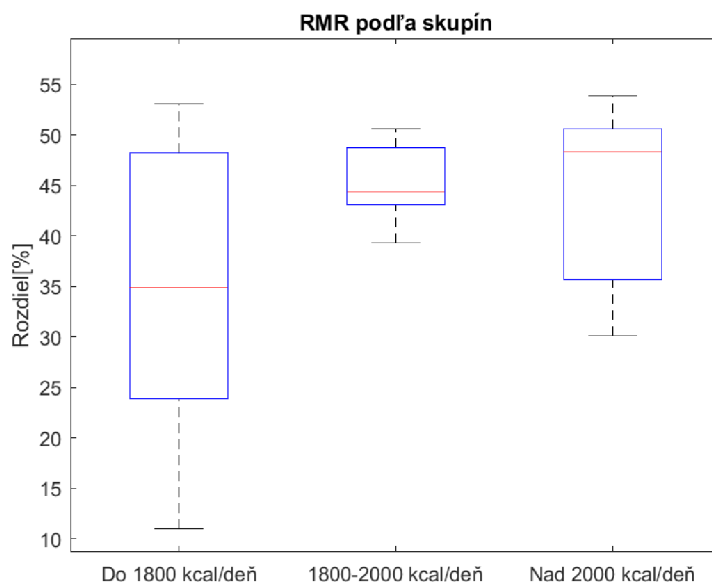
Obr. 5.13: Porovnanie percentuálnych rozdielov medzi meraniami RMR na základe hmotnosti

5.2.4 Porovnanie rozdielov merania kludového metabolizmu podľa dosiahnutej hodnoty

Dosiahnuté odchýlky a p-hodnoty štatistických testov pre merania RMR prístrojom VO2 Master Pro na základe výkonu od referenčného prístroju sú zobrazené v Tab. 5.8. Pod pojmom výkon rozumieme nameranú hodnotu RMR. Je zrejmé že pre nízke RMR sú priemerné odchýlky nižšie aj keď výraznejšie variujú, čo je možné vidieť aj na Obr. 5.14. Výsledok štatistického testu však ukazuje že merania RMR prístrojom VO2 Master Pro sú pre všetky skupiny štatisticky odlišné od meraní referenčným prístrojom. Pre všetky dvojice po použití štatistického testu (Wilcoxon rank sum testMann1947) vyšlo $p > 0,017$ a teda neexistuje štatisticky významný rozdiel v odchýlkach merania RMR prístrojom VO2 Master Pro od referenčného prístroju na základe výkonu.

Výkonová skupina [kcal/deň]	Perc. rozdiel [%]	Abs. rozdiel [kcal/deň]	p-hodnota
<1800	34,49 ± 15,18	578,71 ± 284,64	0,02
1800-2000	45,10 ± 4,07	859,33 ± 91,90	0,03
>2000	44,56 ± 9,46	971,43 ± 261,33	0,02

Tab. 5.8: Zobrazenie rozdielov medzi meraniami RMR na základe výkonu



Obr. 5.14: Porovnanie percentuálnych rozdielov medzi meraniami RMR na základe dosiahnutej hodnoty

6 Diskusia

V tejto bakalárskej práci som sa zameriaval na overenie validity prístroja VO2 Master Pro pre meranie kludového metabolizmu a maximálnej spotreby kyslíku. Testov maximálnej spotreby kyslíku sa zúčastnilo 10 mužov a 10 žien, rovnako tak aj testov kludového metabolizmu sa zúčastnilo 10 mužov a 10 žien. Okrem overenia validity pre vyššie spomínané parametre boli vedľajšími cieľmi tejto práce aj overenie vplyvu pohlavia, veku, váhy a nameranej hodnoty na odchýlku merania a porovnanie odchýlky merania voči ostatným prenosným analyzátorom dýchacích plynov.

6.1 Validita prístroja VO2 Master Pro

Výskumná otázka 1.1: Je prístroj VO2 Master Pro validný pre meranie maximálnej spotreby kyslíku?

Odpoveď: Áno, prístroj VO2 Master Pro považujem za validný pre meranie maximálnej spotreby kyslíku.

Odchýlky v meraní a výsledky štatistických testov pre meranie maximálnej spotreby kyslíku a kludového metabolizmu sa značne líšia. Pre maximálnu spotrebu kyslíku bola priemerná absolútna hodnota odchýlky $0,12 \pm 0,10$ l/min, priemerná percentuálna hodnota odchýlky $4,15 \pm 4,41$ % a výsledok Wilcoxon signed rank testu[43] $p = 0,58$ (viz Kapitola 5.1). Výrobcom deklarovaná presnosť merania objemu kyslíku je ± 1 %.[47] Mnou namerané hodnoty odchýlky sú vyššie ako uvádza výrobca, no táto skutočnosť môže byť ovplyvnená súborom testovaných jedincov. Testované osoby totiž pochádzali z bežnej populácie a väčšina z nich nemala predchádzajúce skúsenosti so záťažovým testovaním čo sa mohlo podpísať na konzistencii ich výkonov naprieč dvoma testami. Nakoľko p-hodnota bola väčšia než hladina významnosti α (viz Kapitola 4.2), priemerná, ako absolútna tak percentuálna, odchýlka dosahovala nízkych hodnôt, a percentuálna odchýlka sa blížila k tej deklarovanej výrobcom, je zřejmé, že prístroj VO2 Master Pro je validný.

Výskumná otázka 1.2: Je prístroj VO2 Master Pro validný pre meranie kludového metabolizmu?

Odpoveď: Nie, prístroj VO2 Master Pro nie je validný pre meranie kludového metabolizmu.

Odchýlky v meraní a výsledky štatistických testov pre meranie kludového metabolizmu sú značne odlišné od výsledkov pre meranie maximálnej spotreby kyslíku. Pre kludový metabolizmus bola priemerná absolútna odchýlka $800,35 \pm 281,70$ kcal/deň, priemerná percentuálna odchýlka $41,20 \pm 11,44$ % a výsledok Wilcoxonho signed rank testu[43] $p = 0,00$ (viz Kapitola 5.2). Z týchto hodnôt je jasné, že VO2 Master Pro nie je validný pre meranie kludového metabolizmu. VO2 Master Pro

nedisponuje CO₂ senzorom[47] ktorým merané hodnoty vstupujú do použitej rovnice pre výpočet kludového metabolizmu (Weirova rovnica, viz Rovnica 1.2)[41]. Tým pádom, je požívaná derivácia danej rovnice do ktorej vstupuje iba O₂. Meranie kludového metabolizmu je možné brať ako extrémne nízke hodnoty VO₂peak. Ako je zrejmé z Tab. 5.4, s klesajúcou hodnotou VO₂peak, stúpa hodnota odchýlky od referenčného prístroju. Z vyššie uvedených skutočností teda logicky vyplýva, že táto výrazná odchýlka je spôsobená nedokonalosťou O₂ senzora použitého v prístroji VO2 Master Pro. Na potvrdenie tejto teórie je však nutný detailnejší výskum v tejto oblasti.

6.2 Vplyv pohlavia, veku, hmotnosti a dosiahnutého výkonu na odchýlku merania prístrojom VO2 Master Pro

Výskumná otázka 2.1: Má pohlavie, vek, hmotnosť či dosiahnutý výkon vplyv na meranie maximálnej spotreby kyslíku prístrojom VO2 Master Pro?

Odpoveď: Pohlavie, vek ani hmotnosť nemajú vplyv na meranie maximálneho spotreby kyslíku prístrojom VO2 Master Pro. Dosiahnutý výkon má však vplyv na meranie maximálnej spotreby kyslíku prístrojom VO2 Master Pro.

Ďalším predmetom skúmania tejto práce bol vplyv pohlavia, veku, hmotnosti a dosiahnutého výkonu na odchýlku prístroja VO2 Master Pro. Výsledky použitého štatistického testu (Wilcoxon rank sum test[20]) naznačujú, že žiadny zo skúmaných parametrov nemá vplyv na odchýlku merania VO₂peak. Keď sa však pozrieme na Tab. 5.1, je zrejmé že ženy dosahujú väčšie odchýlky ako muži. Tiež z Tab. 5.2 je zrejmé, že so stúpajúcim vekom stúpa odchýlka a naopak v Tab. 5.4 je viditeľné, že so stúpajúcim výkonom klesá odchýlka. Nakoľko hodnota VO₂max (resp. VO₂peak) s vekom klesá[38], potvrdzuje sa nelineárna závislosť dosiahnutého výkonu a odchýlky merania. Takisto z Kapitoly 3.3 je zrejmé, že ženy dosahovali vyššieho priemerného veku ako muži, teda je logické, že stúpa aj odchýlka merania. Túto teóriu podporuje aj fakt, že ženy dosahujú nižších hodnôt VO₂max (resp. VO₂peak) ako muži.[38] Po uvážení týchto skutočností je zrejmé, že dosiahnutý výkon má vplyv na veľkosť odchýlky. Pre presnejšie určenie validity pre jednotlivé skupiny je však potrebné zvýšiť počet a variabilitu skúmaných parametrov účastníkov.

Výskumná otázka 2.2: Má pohlavie, vek, hmotnosť či dosiahnutý výkon vplyv na meranie kludového metabolizmu prístrojom VO2 Master Pro?

Odpoveď: Žiadny z týchto parametrov nemá vplyv na meranie kludového metabolizmu prístrojom VO2 Master Pro.

Pre meranie kludového metabolizmu mi tiež štatistický test (Wilcoxon rank sum test[20]) ukazuje, že neexistujú rozdiely v odchýlkach v každom súbore skúmaných skupín, čo naznačuje, že žiadna zo skúmaných skupín nemá vplyv na meranie kludového metabolizmu. Pri pohľade na skupinu s vysokým vekom (viz Tab. 5.6) a skupinu s vysokou hmotnosťou (viz Tab. 5.7), je možné vidieť, že pre tieto skupiny vyšla odchýlka merania VO₂ Master Pro od referenčného prístroja štatisticky nevýznamná. Priemer percentuálnych odchýlok sa však v týchto skupinách pohybuje vo veľmi vysokých hodnotách (>30 %). Obe tieto skupiny obsahovali iba troch účastníkov a teda štatistický test bol ovplyvnený malým počtom testovacích vzoriek. Pre presnejšie určenie validity pre jednotlivé skupiny je však potrebné zvýšiť počet a variabilitu skúmaných parametrov účastníkov.

6.3 Porovnanie presnosti merania VO₂ Master Pro s inými analyzátormi dýchacích plynov

Výskumná otázka 3.1: Dosahuje VO₂ Master Pro podobnú presnosť merania maximálnej spotreby kyslíku ako iné, na trhu etablovanejšie, prenosné analyzátory dýchacích plynov?

Odpoveď: Oproti výsledkom štúdií zaoberajúcich sa validitou iných prenosných analyzátorov dýchacích plynov dosahuje táto práca o validite VO₂ Master Pro podobných alebo výrazne lepších hodnôt spoľahlivosti merania.

V porovnaní s inými analyzátormi dýchacích plynov dosahuje VO₂ Master Pro v otázke validity a odchýlky podobné hodnoty. Pre COSMED K5 viacero štúdií potvrdzuje jeho validitu, deklaruje odchýlku 1,5 % od meranej hodnoty a niektoré štúdie podotýkajú, že presnosť merania sa zvyšuje so zvyšujúcou sa fyzickou záťažou (so zvyšujúcou sa fyzickou záťažou rastie aj VO₂peak).[27] O prístroji MetaMax 3B neexistujú žiadne novšie štúdie, v starších štúdiách (z roku 2012) však dosahoval odchýlku 10-17 %.[19] Posledná verzia uvedená na trh však obsahuje rovnaké senzory O₂ a CO₂ ako Metalyzer 3B ktorý je vedeckou verejnosťou považovaný za medicínsky štandard. Prístroj Oxycon Mobile podľa štúdie z roku 2010[30] dosahuje odchýlku VO₂ 6-14 % pri submaximálnej záťaži a 4,8 % pri maximálnej záťaži. Nakoľko štúdie zaoberajúce sa validitou etablovanejších prenosných analyzátorov dýchacích plynov sú staršieho dáta, je ťažké porovnať výsledky tejto práce s ich výsledkami. Všetky tieto štúdie však aj napriek výrazne horším výsledkom prehlásili skúmané prístroje za validné a teda VO₂ Master Pro môžem tiež prehlásiť za validný pre meranie maximálnej spotreby kyslíku. Dosahuje výrazne nižšie odchýlky ako skúmané prístroje v starších štúdiách a oproti najnovšej štúdii o COSMED K5 nedosahuje výrazne vyššiu odchýlku pri meraní maximálnej spotreby kyslíku.

Výskumná otázka 3.2: Dosahuje VO2 Master Pro podobnú presnosť merania kludového metabolizmu ako iné, na trhu etablovanejšie, prenosné analyzátory dýchacích plynov?

Odpoveď: Neexistuje dostatočne veľké množstvo štúdií zameriavajúcich sa na validitu prenosných analyzátorov dýchacích plynov pre meranie kludového metabolizmu aby som s nimi mohol porovnať výsledky tejto práce. Obecne však odchýlka merania RMR dosiahnutá v tejto práci je oveľa vyššia ako v iných prácach zameriavajúcich sa na validitu merania kludového metabolizmu akýmikoľvek prístrojmi či metódami.

VO2 Master Pro vykazuje oveľa vyššie odchýlky merania kludového metabolizmu ako iné komerčne dostupné dychové analyzátory. COSMED K5 vykazuje odchýlku 5,8-13,4 %, podľa použitého módu merania, pri meraní kludového metabolizmu.[30] Iné štúdie zameriavajúce sa na validitu prenosných analyzátorov sa nezameriavajú na validitu merania kludového metabolizmu. Čo sa však týka iných prístrojov zameriavajúcich sa primárne na meranie kludového metabolizmu, dosahujú odchýlky 1,7-6,8 %.[2]

6.4 Porovnanie výsledkov s inými prácami o validite VO2 Master Pro

Iné štúdie majú rozdielne názory na validitu VO2 Master Pro. Mušič[25] tvrdí, že VO2 Master Pro je validný pre merania maximálnej spotreby kyslíku, aj keď odporúča, aby merania prebiehali v rovnakých kontrolovaných podmienkach a aby sme výsledky porovnávali iba medzi sebou. Montoye et al.[24] tvrdí, že VO2 Master Pro vykazuje dobrú validitu pre meranie maximálnej spotreby kyslíku a popisuje odchýlku <9 %. Naopak však Toulouse et al.[36] tvrdí, že VO2 Master Pro má nízku validitu pre meranie maximálnej spotreby kyslíku pri behu a neodporúča jeho použitie na meranie maximálnej spotreby kyslíku, ako pri testoch v interiéri tak v exteriéri. Táto práca prezentuje nižšie odchýlky ako iné a zároveň potvrdzuje validitu prístroja VO2 Master Pro. Potvrdzuje ju však len pre meranie maximálnej spotreby kyslíku pri cyklistickom teste v interiéri. Pre určenie validity vo vonkajších podmienkach či pri inej pohybovej aktivite je potrebné ďalšie rozsiahlejšie testovanie.

Pre kludový metabolizmus neexistujú žiadne iné štúdie, ktoré by sa zaoberali validitou VO2 Master Pro pre meranie kludového metabolizmu. Absencia CO₂ senzoru v prístroji VO2 Master Pro už iba z povahy rovníc pre výpočet energetického výdaju nabáda k popretiu validity merania kludového metabolizmu prístrojom VO2 Master Pro. Z mnou nameraných výsledkov však vyplýva, že hlavný podiel na revo-
kování validity má nedokonalosť O₂ senzoru. Bolo by však potrebné vykonať viacero

nezávislých štúdií, výrazne zvýšiť počet účastníkov testu alebo zvýšiť počet testov pre jednotlivých účastníkov aby sme mohli s istotou potvrdiť či zamietnuť validitu prístroja VO2 Master Pro pre meranie kludového metabolizmu.

6.5 Využitie VO2 Master Pro

Na základe výsledkov tejto práce odporúčam využívať VO2 Master Pro na testovanie maximálnej spotreby kyslíku u výkonnostných športovcov či na testovanie spotreby kyslíku v submaximálnej a maximálnej úrovni u športovcov. Rozhodne neodporúčam využívať VO2 Master Pro na testovanie kludového metabolizmu či vykonávanie testov maximálnej spotreby kyslíku pre ľudí s obmedzenou pľúcnou kapacitou.

Záver

V tejto práci som sa venoval určeniu odchýlky a validity prístroja VO2 Master Pro. Tématicky je práca rozdelená do dvoch častí, teoretickej (obsahuje Kapitolu 1 - Teória, Kapitolu 2 - Špecifikácia prístrojov a Kapitolu 3 - Testové protokoly) a praktickej (obsahuje Kapitolu 4 - Spracovanie dát, Kapitolu 5 - Výsledky a Kapitolu 6 - Diskusia).

V teoretickej časti som sa venoval popisu a rešerši kludového metabolizmu a maximálnej spotreby kyslíka z fyziologického hľadiska ako aj prístrojov VO2 Master Pro a Metalyzer 3-B z technologického hľadiska.

V praktickej časti som si stanovil tri otázky. Hlavná z nich sa týkala veľkosti odchýlky od referenčnej hodnoty a validity prístroja VO2 Master Pro. V Kapitole 6 som dokázal, že prístroj VO2 Master pro je validný pre meranie maximálnej spotreby kyslíku avšak nie pre meranie kludového metabolizmu. Odchýlky od referenčnej hodnoty pre merania maximálnej spotreby kyslíka boli v absolútnom vyjadrení $0,12 \pm 0,10$ l/min a v percentuálnom vyjadrení $4,15 \pm 4,41$ %. Odchýlky od referenčnej hodnoty pre merania kludového metabolizmu boli v absolútnom vyjadrení $800,35 \pm 281,70$ kcal/deň a v percentuálnom vyjadrení $41,20 \pm 11,44$ %.

Druhá otázka sa týkala vplyvu pohlavia, veku, hmotnosti a dosiahnutého výkonu na odchýlku merania. Po vyhodnotení prevedených testov som dospel k záveru, že vplyv na odchýlku merania maximálnej spotreby kyslíku má iba dosiahnutý výkon (so stúpajúcim výkonom klesá odchýlka) a na meranie kludového metabolizmu nemá vplyv žiadny z vyššie spomínaných parametrov.

Tretia otázka sa zaoberala porovnaním mnou dosiahnutých výsledkov s výsledkami validačných štúdií pre iné prenosné analyzátory dýchacích plynov. Vzhľadom na malé množstvo a staršie dáta vypracovania týchto štúdií je ťažké prísť ku konkrétnemu záveru v tejto otázke. Ukazuje sa však že VO2 Master Pro dosahuje podobných alebo nižších odchýlok ako iné analyzátory dýchacích plynov pri meraní maximálnej spotreby kyslíku, avšak pri meraní kludového metabolizmu dosahuje výrazne vyšších hodnôt. Takisto výsledky tejto práce ukazujú nižšie odchýlky od referenčného prístroja pre meranie maximálnej spotreby kyslíku ako iné štúdie zaoberajúce sa validitou prístroja VO2 Master Pro.

Pre vypracovanie praktickej časti som vykonal dva nezávislé testy (jeden s referenčným a jeden so skúmaným prístrojom) na skupine 20 účastníkov, ako pre meranie maximálnej spotreby kyslíku, tak pre meranie kludového metabolizmu, v laboratóriách CESA VUT v Brne.

Záverom tejto práce teda je, že VO2 Master Pro odporúčam používať hlavne na laboratórne testovanie maximálnej spotreby kyslíku u športovcov na cyklistickom ergometri alebo cyklistickom trenažéri, rozhodne ho však neodporúčam na testovanie kľudového metabolizmu alebo maximálnej spotreby kyslíku u osôb s obmedzenou pľúcnou kapacitou.

Literatúra

- [1] ALBOUAINI, Khaled, Mohaned EGRED, Albert ALAHMAR a David Justin WRIGHT. Cardiopulmonary exercise testing and its application. *Postgraduate medical journal*. The Fellowship of Postgraduate Medicine, 2007, **83**(985), 675-682. ISSN 0032-5473.
- [2] ALCANTARA, Juan M.A., J.E. GALGANI, Lucas JURADO-FASOLI, Manuel DOTE-MONTERO, Elisa MERCHAN-RAMIREZ, Eric RAVUSSIN, Jonathan R. RUIZ a Guillermo SANCHEZ-DELGADO. Validity of four commercially available metabolic carts for assessing resting metabolic rate and respiratory exchange ratio in non-ventilated humans. *Clinical Nutrition*. 2022, **41**(3), 746-754. ISSN 0261-5614. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2022.01.031>
- [3] ALI, Shahood a Jason WALKER. Measurement of gas concentrations (O₂, CO₂, N₂O and volatile agents). *Anaesthesia & Intensive Care Medicine*. Elsevier, 2014, **15**(11), 526-529. ISSN 1472-0299.
- [4] ASTORINO, Todd A, Robert A ROBERGS, Farzaneh GHIASVAND, Derek MARKS a Steve BURNS. Incidence of the oxygen plateau at VO₂max during exercise testing to volitional fatigue. *Journal of exercise physiology online*. American Society of Exercise Physiologists, 2000, **3**(4), 1-12. ISSN 1097-9751.
- [5] BARTON, Monica, Daniel LARSON, David LANTIS, John FARRELL III, Gregory CANTRELL, Shelby SHIPMAN a Rebecca LARSON. *Comparison between VO₂max cycling protocols*. 2014. Dostupné z: [doi://10.13140/RG.2.1.1489.9682](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1489.9682)
- [6] BELTZ, Nicholas M., Ann L. GIBSON, Jeffrey M. JANOT, Len KRAVITZ, Christine M. MERMIER a Lance C. DALLECK. Graded Exercise Testing Protocols for the Determination of VO₂sub2/submax: Historical Perspectives, Progress, and Future Considerations: Historical Perspectives, Progress, and Future Considerations. *Journal of Sports Medicine*. Hindawi Publishing Corporation, 2016, **2016**, 3968393. ISSN 2356-7651. Dostupné z: [doi://10.1155/2016/3968393](https://doi.org/10.1155/2016/3968393)
- [7] BLOCH, Heinz P. Ingress Protection code explained. *World Pumps*. 2009, **2009**(11), 26. ISSN 0262-1762. Dostupné z: [doi:https://doi.org/10.1016/S0262-1762\(09\)70418-3](https://doi.org/10.1016/S0262-1762(09)70418-3)
- [8] DEBLOIS, Jacob P., Lindsey E. WHITE a Tiago V. BARREIRA. Reliability and validity of the COSMED K5 portable metabolic system during walking.

European Journal of Applied Physiology. 2021, **121**(1), 209-217. ISSN 1439-6327. Dostupné z: doi://10.1007/s00421-020-04514-2

- [9] DUNCAN, Glen E., Edward T. HOWLEY a Bradley N. JOHNSON. Applicability of $\dot{V}O_2\text{max}$ criteria: discontinuous versus continuous protocols: discontinuous versus continuous protocols. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 1997, **29**(2). ISSN 0195-9131. Dostupné také z: https://journals.lww.com/acsm-msse/Fulltext/1997/02000/Applicability_of_VO2max_criteria_discontinuous.17.aspx
- [10] FONSECA, Joao A., Altamiro COSTA-PEREIRA, Luis DELGADO, Luis N. SILVA, Manuel MAGALHAES, M. Graca CASTEL-BRANCO a Mariana VAZ. Pulmonary function electronic monitoring devices: a randomized agreement study: a randomized agreement study. *Chest*. Elsevier, 2005, **128**(3), 1258-1265. ISSN 0012-3692.
- [11] GRANT, John A., Amy N. JOSEPH a Philip D. CAMPAGNA. The prediction of $\dot{V}O_2\text{max}$: a comparison of 7 indirect tests of aerobic power: a comparison of 7 indirect tests of aerobic power. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. LWW, 1999, **13**(4), 346-352. ISSN 1064-8011.
- [12] GREEN, Simon a Christopher ASKEW. $\dot{V}o_2\text{peak}$ is an acceptable estimate of cardiorespiratory fitness but not $\dot{V}o_2\text{max}$. *Journal of Applied Physiology*. American Physiological Society, 2018, **125**(1), 229-232. ISSN 8750-7587. Dostupné z: doi:10.1152/jappphysiol.00850.2017
- [13] GUIDETTI, Laura, Marco MEUCCI, Francesco BOLLETTA, Gian Pietro EMERENZIANI, Maria Chiara GALLOTTA a Carlo BALDARI. Validity, reliability and minimum detectable change of COSMED K5 portable gas exchange system in breath-by-breath mode. *PLoS one*. Public Library of Science San Francisco, CA USA, 2018, **13**(12), e0209925. ISSN 1932-6203.
- [14] CHAUDHRY, Sundeep, Ross ARENA, Karlman WASSERMAN, James E. HANSEN, Gregory D. LEWIS, Jonathan MYERS, Nicolas CHRONOS a William E. BODEN. Exercise-induced myocardial ischemia detected by cardiopulmonary exercise testing. *The American journal of cardiology*. Elsevier, 2009, **103**(5), 615-619. ISSN 0002-9149.
- [15] KAWAKAMI, Yasuo, Daichi NOZAKI, Akifumi MATSUO a Tetsuo FUKUNAGA. Reliability of measurement of oxygen uptake by a portable telemetric system. *European journal of applied physiology and occupational physiology*. Springer, 1992, **65**(5), 409-414. ISSN 1439-6327.

- [16] KESSEN, Brian a Kelly WILLIAMSON. The ECG in Clinical Medicine. *Electrocardiogram in Clinical Medicine*. Wiley Online Library, 2020, 1-11.
- [17] KOUTLIANOS, Nikolaos, E. DIMITROS, Thomas METAXAS, Mustafa CANSIZ, A.S. DELIGIANNIS a Evangelia KOUIDI. Indirect estimation of VO₂max in athletes by ACSM-s equation: valid or not?: valid or not?. *Hippokratia*. Hippokratia General Hospital of Thessaloniki, 2013, **17**(2), 136.
- [18] LUY, Sybil Claudine a Oliver Allan DAMPIL. Comparison of the Harris-Benedict Equation, Bioelectrical Impedance Analysis, and Indirect Calorimetry for Measurement of Basal Metabolic Rate among Adult Obese Filipino Patients with Prediabetes or Type 2 Diabetes Mellitus. *Journal of the ASEAN Federation of Endocrine Societies*. Journal of the ASEAN Federation of Endocrine Societies, 2018, **33**(2), 152-159. ISSN 0857-1074. Dostupné z: doi:10.15605/jafes.033.02.07
- [19] MACFARLANE, Duncan J. a P. WONG. Validity, reliability and stability of the portable Cortex Metamax 3B gas analysis system. *European Journal of Applied Physiology*. 2012, **112**(7), 2539-2547. ISSN 1439-6327. Dostupné z: doi:10.1007/s00421-011-2230-7
- [20] MANN, Henry B. a Donald R. WHITNEY. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *The annals of mathematical statistics*. JSTOR, 1947, 50-60. ISSN 0003-4851.
- [21] MCLELLAN, Thomas Martin a James S. SKINNER. The use of the aerobic threshold as a basis for training. *Canadian journal of applied sport sciences. Journal canadien des sciences appliquees au sport*. 1981, **6**(4), 197-201. ISSN 0700-3978.
- [22] MIFFLIN, Mark D., Sachiko T. ST. JEOR, Lisa A. HILL, Barbara J. SCOTT, Sandra A. DAUGHERTY a Young O. KOH. A new predictive equation for resting energy expenditure in healthy individuals. *The American journal of clinical nutrition*. Oxford University Press, 1990, **51**(2), 241-247. ISSN 0002-9165.
- [23] MIKEŠ, Zoltán a Andrej DUKÁT. Ergometria. *Princípy internej medicíny*. 1. Bratislava: Slovak Academic Press, 2001, s. 557-564. ISBN 80-88908-69-8.
- [24] MONTTOYE, Alexander H.K., Joseph D. VONDRASEK a JAMES B. HANCOCK II. Validity and Reliability of the VO₂ Master Pro for Oxygen Consumption and Ventilation Assessment. *International Journal of Exercise Science*. Western Kentucky University, 2020, **13**(4), 1382.

- [25] MUŠIČ, Pia. *Ponovljivost meritev prenosne naprave za merjenje porabe kisika pri rekreativnih tekačih*. Univerza na Primorskem, Fakulteta za vede o zdravju, 2019.
- [26] PANDEY, Sudhir Kumar a Ki-Hyun KIM. The relative performance of NDIR-based sensors in the near real-time analysis of CO₂ in air. *Sensors*. Molecular Diversity Preservation International, 2007, **7**(9), 1683-1696.
- [27] PEREZ-SUAREZ, Ismael, Marcos MARTIN-RINCON, Juan José GONZALEZ-HENRIQUEZ, et al. Accuracy and precision of the COSMED K5 portable analyser. *Frontiers in physiology*. Frontiers, 2018, 1764. ISSN 1664-042X.
- [28] PERONNET, François a Denis MASSICOTTE. Table of nonprotein respiratory quotient: an update: an update. *Can J Sport Sci*. 1991, **16**(1), 23-29.
- [29] RANSTAM, Jones. Multiple P-values and Bonferroni correction. *Osteoarthritis and cartilage*. Elsevier, 2016, **24**(5), 763-764. ISSN 1063-4584.
- [30] ROSDAHL, Hans, Lennart GULLSTRAND, Jane SALIER-ERIKSSON, Patrik JOHANSSON a Peter SCHANTZ. Evaluation of the Oxycon Mobile metabolic system against the Douglas bag method. *European journal of applied physiology*. Springer, 2010, **109**(2), 159-171. ISSN 1439-6327.
- [31] SHAPIRO, Samuel Sanford a Martin B. WILK. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*. JSTOR, 1965, **52**(3/4), 591-611. ISSN 0006-3444.
- [32] SCHERMER, Tjard R.J., Eddy H.A. VERWEIJ, Riet CRETIER, Annelies PELLEGRINO, Alan J. CROCKETT a Patrick J.P. POELS. Accuracy and Precision of Desktop Spirometers in General Practices. *Respiration*. 2012, **83**(4), 344-352. ISSN 0025-7931. Dostupné z: doi:10.1159/000334320
- [33] SCHOFIELD, William N. Predicting basal metabolic rate, new standards and review of previous work. *Human nutrition. Clinical nutrition*. 1985, **39**, 5-41. ISSN 0263-8290.
- [34] SVEDAHL, Krista a Brian R. MACINTOSH. Anaerobic threshold: the concept and methods of measurement: the concept and methods of measurement. *Canadian journal of applied physiology*. NRC Research Press Ottawa, Canada, 2003, **28**(2), 299-323. ISSN 1066-7814.

- [35] TIERNEY, Michael J. a Hyun Ok L. KIM. Electrochemical gas sensor with extremely fast response times. *Analytical Chemistry*. ACS Publications, 1993, **65**(23), 3435-3440. ISSN 0003-2700.
- [36] TOULOUSE, Alex, Dustin JOUBERT, Gary ODEN a Patrick R. DAVIS. Comparison of the VO₂ Master Pro and Cosmed K5 During Walking, Jogging, and Running. *Journal of Science in Sport and Exercise*. 2022, **4**(2), 119-127. ISSN 2662-1371. Dostupné z: doi:10.1007/s42978-021-00146-w
- [37] TROJAN, Stanislav. *Fyziologie: Učebnice pro lékařské fakulty*. 1. Praha: Avicenum, 1987. ISBN 08-027-87.
- [38] TROJAN, Stanislav. *Lékařská fyziologie*. Vyd. 4., přeprac. a dopl. Praha: Grada, 2003. ISBN 80-247-0512-5.
- [39] TVERSKAYA, Rozalia, Russell RISING, Debra BROWN a Fima LIFSHITZ. Comparison of Several Equations and Derivation of a New Equation for Calculating Basal Metabolic Rate in Obese Children. *Journal of the American College of Nutrition*. Taylor & Francis, 1998, **17**(4), 333-336. ISSN 0731-5724. Dostupné z: doi:10.1080/07315724.1998.10718771
- [40] VO₂PEAK, IS IT TIME TO WITHDRAW. Commentaries on Viewpoint: VO₂peak is an acceptable estimate of cardiorespiratory fitness but not VO₂max: VO₂peak is an acceptable estimate of cardiorespiratory fitness but not VO₂max. *J Appl Physiol*. 2018, **125**, 233-240.
- [41] WEIR, J.B. de V. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *The Journal of physiology*. Wiley Online Library, 1949, **109**(1-2), 1-9. ISSN 0022-3751.
- [42] WHIPP, Brian J. a Susan A. WARD. Physiological determinants of pulmonary gas exchange kinetics during exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 1990, **22**(1). ISSN 0195-9131. Dostupné také z: https://journals.lww.com/acsm-msse/Fulltext/1990/02000/Physiological_determinants_of_pulmonary_gas.11.aspx
- [43] WILCOXON, Frank. Individual comparisons by ranking methods. *Breakthroughs in statistics*. Springer, 1992, s. 196-202.

- [44] ZHANG, Yu-Yang, MC JOHNSON, Natalie CHOW a Karlaman WASSERMAN. Effect of exercise testing protocol on parameters of aerobic function. *Medicine and science in sports and exercise*. Division of Respiratory and Critical Care Physiology, Harbor-UCLA Medical Center, Torrance 90509, 1991, **23**(5), 625-630. ISSN 0195-9131. Dostupné také z: <http://europepmc.org/abstract/MED/2072842>
- [45] *Brožúra MetaMax 3B* [online]. Lipsko, Nemecko: CORTEX Biophysik, 2017 [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: https://cortex-medical.com/media/userfiles/Broschueren/2017/METAMAX%203B_ENGLISH_web.pdf
- [46] *Brožúra MetaLyzer 3-B* [online]. Lipsko, Nemecko: CORTEX Biophysik, 2017 [cit. 2021-12-16]. Dostupné z: https://cortex-medical.com/media/userfiles/Broschueren/2017/METALYZER%203B_Brochure_ENGLISH_web.pdf
- [47] *Manuál VO2 Master Pro* [online]. Vernon, Kanada: VO2 Master Health Sensors, 2021 [cit. 2021-12-16]. Dostupné z: <https://vo2master.com/wp-content/uploads/2020/02/Manual20200209.pdf>
- [48] *Metalyzer 3-B - Meranie CPET* [online]. Austrália: BMedical, 2020 [cit. 2022-01-05]. Dostupné z: <https://bmedical.com.au/product/metasoftware-studio-software/>
- [49] MetaSoft Studio - Kludový metabolismus. In: *Compek.cz* [online]. Jičín: COMPEK MADICAL SERVICIES, 2021 [cit. 2022-01-05]. Dostupné z: https://www.compek.cz/signys_images/eshop/obrazky/cortex/MetaSoft__cortex_bazalni_a_klidovy_metabolismus_000.png
- [50] MetaSoft Studio - Hodnotenie výkonnosti. In: *Compek.cz* [online]. Jičín: COMPEK MADICAL SERVICIES, 2021 [cit. 2022-01-05]. Dostupné z: https://www.compek.cz/signys_images/eshop/obrazky/cortex/MetaSoft__cortex_hodnoceni_vykonosti_000.png
- [51] VO2 Master aplikácia. In: *Vo2master.com* [online]. 2906 33 Street Vernon, Canada: VO2 Master Health Sensors, 2021 [cit. 2022-01-05]. Dostupné z: <https://vo2master.com/wp-content/uploads/2020/01/AppMultiView.png>
- [52] Metylzer 3-B. In: *Cortex-medical.com* [online]. Walter-Köhn-Str. 2d, 04356 Leipzig/Germany: Cortex Medical, 2021 [cit. 2022-01-04]. Dostupné z: <https://cortex-medical.com/media/boxes/medium/CORTEX-METALYZER-3B.jpg>

- [53] VO2 Master. In: *Vo2master.com* [online]. 2906 33 Street Vernon, Canada: VO2 Master Health Sensors, 2021 [cit. 2022-01-04]. Dostupné z: https://vo2master.com/wp-content/uploads/2019/09/VO2_Masters_0H2A5116-980x653.jpg
- [54] *COSMED - K5: Wearable Metabolic System for both laboratory and field testing* [online]. Rím, Taliansko: COSMED S.r.l., 2022 [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: <https://www.cosmed.com/en/products/cardio-pulmonary-exercise-test/k5>

Zoznam symbolov a skratiek

BMI	Index telesnej hmotnosti
BMR	Bazálny metabolizmus
CO₂	Oxid uhličitý
CPET	Kardiopulmonárne záťažové testovanie
EE	Výdaj energie
EKG	Elektrokardiogram
HRV	Variabilita srdečného rytmu
O₂	Kyslík
RER	Pomer výmeny dýchacích plynov
RMR	Kľudový metabolizmus
SF	Srdečná frekvencia
VCO₂	Spotreba oxidu uhličitého
VE	Ventilácia
VO₂	Spotreba kyslíku
VO₂max	Maximálna spotreba kyslíku pri plateau stave
VO₂peak	Maximálna spotreba kyslíku
TV	Telesná váha

Zoznam príloh

A Ukážka informovaného súhlasu	57
B Ukážka protokolu Resting metabolic activity	58
C Ukážka protokolu Free	59
D Ukážka použitého kódu	60

A Ukážka informovaného súhlasu

V tejto prílohe je možné vidieť ukážku informovaného súhlasu použitého pre túto prácu. Informovaný súhlas je štandardný pre projekt č. 6/22s vedený Mgr. Danielou Chlíbkovou PhD. a laboratórne testovanie v rámci tejto práce prebehlo v spolupráci s daným projektom.

B Ukážka protokolu Resting metabolic activity

Táto príloha slúži ako ukážka vyhodnotenia merania pomocou protokolu Resting metabolic activity prístroja VO2 Master Pro. Prvá strana obsahuje zhodnotenie nameraných výsledkov a odporúčania pre testovanú osobu spolu s informáciami o testovanej osobe a parametroch testu. Druhá strana obsahuje vysvetlenie nameraných výsledkov, odporúčania na dosiahnutie nastavených cieľov a popis priebehu ich výpočtu. Na zvyšných stranách môžeme vidieť zobrazenie meraných dát v čase. Príloha je v angličtine.

C Ukážka protokolu Free

V tejto prílohe môžeme vidieť ukážku protokolu Free prístroja VO2 Master Pro. Prvá strana obsahuje priemery, maximálne a minimálne namerané hodnoty meraných veličín a informácie o testovanej osobe a parametroch testu. Zvyšná časť správy obsahuje zobrazenie meraných dát v čase. Príloha je v angličtine.

D Ukážka použitého kódu

V tejto prílohe je použitý kód z prostredia Matlab 2022b. Kód obsahuje funkcie na akvizíciu dát z tabuliek namerných hodnôt, výpočet premenných spomínaných v práci, výpočet popisnej štatistiky účastníkov a tvorbu grafov použitých v práci.

Výpis D.1: Ukážka použitého kódu: výpočet skúmaných premenných pre účastníkov rozdelených na skupiny v prostredí Matlab.

```
1 function [T,p_gp] = group_stats(gp_1, gp_2, gp_3)
2 per_diff_avg_1 = mean(gp_1.Var5);
3 per_diff_std_1 = std(gp_1.Var5);
4 per_diff_avg_2 = mean(gp_2.Var5);
5 per_diff_std_2 = std(gp_2.Var5);
6 per_diff_avg_3 = mean(gp_3.Var5);
7 per_diff_std_3 = std(gp_3.Var5);
8 abs_diff_avg_1 = mean(gp_1.diff);
9 abs_diff_std_1 = std(gp_1.diff);
10 abs_diff_avg_2 = mean(gp_2.diff);
11 abs_diff_std_2 = std(gp_2.diff);
12 abs_diff_avg_3 = mean(gp_3.diff);
13 abs_diff_std_3 = std(gp_3.diff);
14 p1 = signrank(gp_1.Var2, gp_1.Var3);
15 p2 = signrank(gp_2.Var2, gp_2.Var3);
16 p3 = signrank(gp_3.Var2, gp_3.Var3);
17 c1 = length(gp_1.Var1);
18 c2 = length(gp_2.Var1);
19 c3 = length(gp_3.Var1);
20 T = table(per_diff_avg_1, per_diff_std_1, abs_diff_avg_1, ...
21         abs_diff_std_1, per_diff_avg_2, per_diff_std_2, ...
22         abs_diff_avg_2, abs_diff_std_2, per_diff_avg_3, ...
23         per_diff_std_3, abs_diff_avg_3, abs_diff_std_3, ...
24         p1, p2, p3, c1, c2, c3);
25 [p12] = ranksum(gp_1.Var5, gp_2.Var5);
26 [p13] = ranksum(gp_1.Var5, gp_3.Var5);
27 [p23] = ranksum(gp_2.Var5, gp_3.Var5);
28 p_gp = table(p12, p13, p23);
29 end
```