



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## CENTRUM SPORTOVNÍCH AKTIVIT

CENTRE OF SPORTS ACTIVITIES

# KOMPARACE DAT FYZIOLOGICKÝCH PARAMETRŮ GENEROVANÝCH PŘÍSTROJEM METALYZER 3B V LABORATOŘI S PŘÍSTROJEM METAMAX 3B PRO POUŽITÍ V TERÉNNÍM VÝZKUMU

COMPARISON OF PHYSIOLOGICAL PARAMETER DATA GENERATED BY THE METALYZER 3B IN THE LABORATORY  
AND THE METAMAX 3B FOR USE IN FIELD RESEARCH

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Kříž

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Mgr. Daniela Chlíbařová, Ph.D.

BRNO 2022

# Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Sportovní technologie**

Centrum sportovních aktivit

**Student:** Tomáš Kříž

**ID:** 222684

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2021/22

## NÁZEV TÉMATU:

### **Komparace dat fyziologických parametrů generovaných přístrojem Metalyzer 3B v laboratoři s přístrojem Metamax 3B pro použití v terénním výzkumu**

## POKyny PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Proveďte rešerši způsobů měření maximální spotřeby kyslíku pomocí zátěžového testu v laboratoři klasickou spirometrií a možnosti terénního testování a měření spotřeby kyslíku přenosným telemetrickým systémem. Porovnejte způsoby měření a testování nejen po technické stránce. 2. Zaměřte se na fyziologické parametry, které generuje software MetaSoft Studio. 3. Naměřte data na souboru testovaných osob v laboratoři a v terénu pod vedením odborníků z CESA. 4. Porovnejte naměřené parametry v programu MetaSoft Studio oběma přístroji, jako referenci považujte výsledky z přístrojů pro měření dýchacích plynů v laboratoři. Stanovte reliabilitu a validitu měření jednotlivými přístroji. 5. Diskutujte dosažené výsledky a možnosti využití pro praxi. Popište proměnné, které mohly ovlivnit měření.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] 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.
- [2] MEYER, T., GEORG, T., BECKER, C., KINDERMANN, W. (2001). Reliability of gas exchange measurements from two different spiroergometry systems. *Int J Sports Med*, 22(8):593-7, doi: 10.1055/s-2001-18523.

**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

Se stále větším tlakem na kvalitu sportovních výkonů narůstá potřeba sportovců získávat data pro svůj trénink v podmínkách přirozených pro jejich disciplínu. Tím vzniká tlak na výrobce různých diagnostických zařízení, aby své produkty vyráběli nejen pro měření v laboratořích, ale i ve venkovním prostředí. To s sebou nese nutnost zařízení co nejvíce miniaturizovat, snižovat jejich váhu a celkově je přizpůsobit tak, aby sportovce při výkonu nijak neomezovala. Otázkou zůstává, zda nebudou tyto nezbytné úpravy snižovat přesnost měření. Je skutečně výhodnější upřednostnit přirozené prostředí pro daný sport před přesnými výsledky získanými z laboratoře?

Cílem této bakalářské práce bylo zjistit rozdíly v naměřených fyziologických parametrech dvou rozdílných přístrojů při použití stejného zátěžového protokolu. Jeden z testů probíhal v laboratoři s nepřenosným přístrojem Metalyzer 3B a druhý ve venkovním prostředí s přenosným analyzátozem plynů Metamax 3B. Oba přístroje používané v práci jsou od firmy Cortex. Teoretická část představuje přístroje pro měření výměny plynů od různých výrobců a představuje různé způsoby stanovení  $\dot{V}O_2\max$ . Praktická část zahrnuje změření sledovaných parametrů na obou přístrojích při identickém testovém protokolu. Bylo využito statistických testů (T-test) ke zjištění, zda se výsledky měření u různých parametrů přístrojem Metamax 3B významně odlišují od dat naměřených laboratorním přístrojem Metalyzer 3B. Výsledky statistických testů ( $\dot{V}O_2$  p = 0,54 ;  $\dot{V}CO_2$  p = 0,087; SF p = 0,49;  $\dot{V}E$  p = 0,2; DF p = 0,28; čas p = 0,59) na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .

## Klíčová slova

Spiroergometrie, sportovní diagnostika, metabolický analyzátor, srovnání přístrojů, příjem kyslíku

# Abstract

Increasing quality of the sport performance creates demands related to sports data acquisition which occurs in the natural environment. Such demands are then placed on the equipment manufacturers which need to adapt and adjust equipment for artificial as well as the outdoor environment. Furthermore, required equipment must be substantially reduced in terms of its weight as well as the size to minimize possible interference with the outdoor conditions. The remaining question is to which extent such adjustments influence the validity of the data inquiry and whether laboratory testing should be prioritized before outdoor testing.

This thesis aims to provide a comparison between two oxygen consumption analysers across the unified evidence-based testing protocol. The first half of the testing is made with Metalyzer 3B (laboratory-based equipment), and the second part of the testing is made with Metamax 3B (outdoor-oriented equipment). Both analysers are produced by the Cortex company. The theoretical part of this project introduces the underlying theory of the oxygen consumption analysers and presents various methods used for the establishment of the  $\dot{V}O_2\text{max}$ . The practical part includes the measurements of set parameters on both devices with an identical test protocol. The t-test was used to prove statistical significance between Metamax 3B and Metalyzer 3B. Results of statistical analysis ( $\dot{V}O_2$  p = 0,54;  $\dot{V}CO_2$  p = 0,087; SF p = 0,49;  $\dot{V}E$  p = 0,2; DF p = 0,28; time p = 0,59) within the range of 95% confidence intervals.

## Keywords

Spiroergometry, sport diagnostics, metabolic analyzer, comparison of devices, oxygen uptake



## **Bibliografická citace**

KŘÍŽ, Tomáš. Komparace dat fyziologických parametrů generovaných přístrojem Metalyzer 3B v laboratoři s přístrojem Metamax 3B pro použití v terénním výzkumu [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/142124>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Centrum sportovních aktivit, Centrum sportovních aktivit. Vedoucí práce Daniela Chlíbařová.

# Prohlášení autora o původnosti díla

**Jméno a příjmení studenta:** *Tomáš Kříž*

**VUT ID studenta:** *222684*

**Typ práce:** *Bakalářská práce*

**Akademický rok:** *2021/22*

**Téma závěrečné práce:** *Komparace dat fyziologických parametrů generovaných přístrojem Metalyzer 3B v laboratoři s přístrojem Metamax 3B pro použití v terénním výzkumu*

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si 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.

V Brně dne: 3. června 2022

-----  
podpis autora

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval své vedoucí Mgr. Daniele Chlíbkové, Ph.D. za vedení této práce, projevenou ochotu při hledání vhodných termínů pro realizaci měření a cenné rady.

V Brně dne: 3. června 2022

-----

podpis autora

# Obsah

|   |           |
|---|-----------|
| <b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>   | <b>10</b> |
| <b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>   | <b>11</b> |
| <b>SEZNAM TABULEK.....</b>  | <b>12</b> |
| <b>1. ÚVOD.....</b>   | <b>13</b> |
| <b>2. TEORETICKÁ ČÁST .....</b>   | <b>14</b> |
| 2.1 MAXIMÁLNÍ PŘÍJEM KYSLÍKU (VO <sub>2</sub> MAX).....                                   | 14        |
| 2.2 KRITÉRIA DOSAŽENÍ VO <sub>2</sub> MAX.....  | 14        |
| 2.2.1 VO <sub>2</sub> plató a rozdíl mezi VO <sub>2</sub> max a VO <sub>2</sub> peak..... | 15        |
| 2.2.2 Poměr respirační výměny RER.....  | 16        |
| 2.2.3 Mínotová ventilace.....   | 16        |
| 2.3 ZPŮSOBY STANOVENÍ VO <sub>2</sub> MAX.....  | 17        |
| 2.3.1 Laboratorní testy.....  | 17        |
| 2.3.2 Venkovní testy.....   | 18        |
| 2.3.3 Predikce VO <sub>2</sub> max.....   | 18        |
| 2.4 METODY ANALÝZY VÝMĚNY PLYNŮ .....   | 20        |
| 2.4.1 Breath by Breath.....   | 20        |
| 2.4.2 Mixing Chamber .....  | 20        |
| 2.5 PŘÍSTROJE PRO MĚŘENÍ DÝCHACÍCH PLYNŮ V LABORATOŘI.....                                | 20        |
| 2.5.1 Cosmed Quark CPET.....  | 20        |
| 2.5.2 Ergotik CPET systém .....   | 20        |
| 2.5.3 Vyntus CPX Metabolic Cart.....  | 21        |
| 2.6 PŘÍSTROJE PRO MĚŘENÍ DÝCHACÍCH PLYNŮ VE VENKOVNÍM PROSTŘEDÍ.....                      | 21        |
| 2.6.1 PNOE.....   | 21        |
| 2.6.2 VO <sub>2</sub> master.....   | 21        |
| 2.6.3 Cosmed K5.....  | 22        |
| <b>3. METODIKA .....</b>  | <b>23</b> |
| 3.1 TESTOVANÉ OSOBY .....   | 23        |
| 3.2 TESTOVÝ PROTOKOL .....  | 23        |
| 3.3 POUŽITÉ PŘÍSTROJE .....   | 24        |
| 3.3.1 Metalyzer 3B.....   | 24        |
| 3.3.2 Metamax 3B.....   | 25        |
| 3.3.3 Valiant 2 sport.....  | 26        |
| 3.3.4 InBody 770.....   | 27        |
| 3.3.5 Polar H7 .....  | 27        |
| 3.3.6 Metasoft studio.....  | 27        |
| 3.4 KALIBRACE PŘÍSTROJŮ CORTEX .....  | 27        |
| 3.5 STATISTICKÁ ANALÝZA.....  | 28        |
| 3.5.1 Testování normality dat .....   | 28        |
| 3.5.2 Parametrický test .....   | 29        |
| <b>4. ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT .....</b>   | <b>30</b> |
| 4.1 PŘEDZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT .....   | 30        |

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| 4.1.1     | <i>Popisná statistika naměřených dat.....</i>   | 31        |
| 4.2       | <b>VÝSLEDKY STATISTICKÉHO ZPRACOVÁNÍ SLEDOVANÝCH PARAMETRŮ .....</b>                    | 35        |
| 4.2.1     | <i>Srovnání příjmu O<sub>2</sub> měřené přístrojem Metalyzer 3B a Metamax 3B.....</i>   | 36        |
| 4.2.2     | <i>Srovnání výdeje CO<sub>2</sub> měřené přístrojem Metalyzer 3B a Metamax 3B .....</i> | 37        |
| 4.2.3     | <i>Srovnání srdeční frekvence měřené přístrojem Metalyzer 3B a Metamax 3B.....</i>      | 38        |
| 4.2.4     | <i>Srovnání minutové měřené přístrojem Metalyzer 3B a Metamax 3B.....</i>               | 39        |
| 4.2.5     | <i>Srovnání dechové frekvence měřené přístrojem Metalyzer 3B a Metamax 3B .....</i>     | 40        |
| 4.2.6     | <i>Srovnání dosaženého času při měření venku a uvnitř.....</i>                          | 41        |
| <b>5.</b> | <b>DISKUSE .....</b>  | <b>43</b> |
| <b>6.</b> | <b>ZÁVĚR.....</b>   | <b>46</b> |
|           | <b>LITERATURA.....</b>  | <b>47</b> |
|           | <b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>   | <b>54</b> |

# SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

## Zkratky:

|                      |   |
|----------------------|---|
| FEKT                 | Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií |
| VUT                  | Vysoké učení technické v Brně                       |
| O <sub>2</sub>       | Kyslík  |
| CO <sub>2</sub>      | Oxid uhličitý                                       |
| VO <sub>2</sub> max  | Maximální příjem kyslíku                            |
| VO <sub>2</sub> peak | Vrcholný příjem kyslíku                             |
| RER                  | Poměr respirační výměny                             |
| GESV                 | Gas Exchange System Validator                       |

## Symboly:

|                          |  |             |
|--------------------------|--|-------------|
| <i>VO<sub>2</sub></i>    | příjem kyslíku                             | (ml/min)    |
| <i>VCO<sub>2</sub></i>   | výdej oxidu uhličitého                     | (ml/min)    |
| <i>Q</i>                 | srdeční výdej                              | (l/min)     |
| <i>SF</i>                | srdeční frekvence                          | (tepů/min)  |
| <i>SV</i>                | tepový objem                               | (ml)        |
| <i>EDV</i>               | koncový diastolický objem                  | (ml)        |
| <i>ESV</i>               | koncový systolický objem                   | (ml)        |
| <i>C<sub>(a-v)</sub></i> | rozdíl kyslíku v arteriální a venózní krvi | (ml/100 ml) |
| <i>DF</i>                | dechová frekvence                          | (dechů/min) |
| <i>α</i>                 | hladina významnosti                        |             |
| <i>H<sub>0</sub></i>     | nulová hypotéza                            |             |
| <i>H<sub>A</sub></i>     | alternativní hypotéza                      |             |

## SEZNAM OBRÁZKŮ

|   |    |
|---|----|
| Obrázek 1 Laboratorní přístroj Metalyzer 3B .....   | 25 |
| Obrázek 2 Přenosný přístroj Metamax 3B .....  | 26 |
| Obrázek 3: Srovnání příjmu kyslíku při měření přístrojem Metalizer 3B a Metamax 3B .....          | 36 |
| Obrázek 4: Srovnání výdeje oxidu uhličitého při měření přístrojem Metalizer 3B a Metamax 3B ..... | 37 |
| Obrázek 6: Srovnání srdeční frekvence při měření přístrojem Metalizer 3B a Metamax 3B .....       | 38 |
| Obrázek 7: Srovnání minutové ventilace při měření přístrojem Metalizer 3B a Metamax 3B .....      | 39 |
| Obrázek 8: Srovnání dechové frekvence při měření přístrojem Metalizer 3B a Metamax 3B.....        | 40 |
| Obrázek 9: Srovnání dosaženého času při měření venku a uvnitř .....                               | 41 |
| Obrázek 10: Srovnání dosaženého času pomocí bar-plotu při měření venku a uvnitř.....              | 42 |

## SEZNAM TABULEK

|   |    |
|---|----|
| Tabulka 1: Zátěžový protokol testu „Speed-Only-Protocol“ .....  | 24 |
| Tabulka 2: Popisná statistika antropometrických dat a maximálních dosažených hodnot ve vnitřním prostředí.....  | 31 |
| Tabulka 3: Popisná statistika antropometrických dat a maximálních dosažených hodnot ve venkovním prostředí..... | 31 |
| Tabulka 4: Popisná statistika dat naměřených přístrojem Metalyzer 3B .....                                      | 32 |
| Tabulka 5: Popisná statistika dat naměřených přístrojem Metalyzer 3B .....                                      | 33 |
| Tabulka: 6 Popisná statistika dat naměřených přístrojem Metamax 3B .....  | 33 |
| Tabulka 7: Popisná statistika dat naměřených přístrojem Metamax 3B .....  | 34 |
| Tabulka 8: Výsledky porovnání testovaných parametrů pomocí t-testu .....  | 35 |



# 1. ÚVOD

V dnešní době už se zátěžové testy neprovádí pouze ve vnitřních prostorách laboratoře. S čím dál větší snahou posouvat limity lidské výkonnosti nahoru vyvstává tlak na testování sportovců v prostředí přirozeném pro jejich sport, aby se eliminovalo zkreslení výsledků testů vlivem nepřírodných laboratorních podmínek. Příkladem takového zkreslení může být změna techniky běhu při testu na běžeckém páse.

Firmy vyvíjí přenosné přístroje pro měření různých fyziologických parametrů. Tyto přístroje musí být co nejvíce ergonomicky uzpůsobené pro neomezený pohyb venku. Tím vzniká na výrobce tlak přístroje co nejvíce zmenšovat, vyrábět je co možná nejlehčí, aby se jejich připevněním na sportovce nijak neovlivnil podávaný výkon. Zároveň je také potřeba, aby přístroj byl schopen fungovat na baterii. Tyto požadavky na přenosné přístroje mohou v konečném důsledku ovlivňovat přesnost přístrojů a je potom otázkou, zda je lepší zvolit testování v laboratoři, které je považováno za přesnější, nebo testovat sportovce v jejich přirozeném prostředí. [43][33]

Cílem této bakalářské práce je porovnat přesnost měření různých veličin dvěma metabolickými analyzátory od firmy Cortex při použití stejného testovacího protokolu u vnitřního i venkovního měření. Při vnitřním měření byl použit přístroj Metalyzér 3B, který považujeme za referenční, a venkovní měření probíhalo s přístrojem Metamax 3B. Předpokládáme, že měření přístrojem Metamax 3B bude i přes snahu eliminovat negativní vlivy venkovního prostředí (rychlost a směr větru, teplotu vzduchu aj.) méně přesné než měření přístrojem Metalyzér 3B v laboratorních podmínkách.

## 2. TEORETICKÁ ČÁST

### 2.1 Maximální příjem kyslíku (VO<sub>2</sub>max)

Příjem kyslíku představuje schopnost těla dodávat a využívat kyslík. Maximální spotřeba kyslíku je produktem srdečního výdeje a extrakce kyslíku z oběhu periferními kosterními svaly a je založeno na takzvané Fickově rovnici, která je dána vztahem

$$VO_2 = (Q) \times C_{(a-v)}O_2 , \quad (1)$$

$$VO_2 = (f_c \times SV) \times C_{(a-v)}O_2 , \quad (2)$$

$$VO_2 = (f_c) \times (EDV \times ESV) \times C_{(a-v)}O_2 , \quad (3)$$

Kde VO<sub>2</sub> je příjem kyslíku, Q je srdeční výdej a C<sub>(a-v)</sub> O<sub>2</sub> je rozdíl kyslíku v arteriální a venózní krvi, f<sub>c</sub> reprezentuje srdeční frekvenci, SV tepový objem, EDV je koncový diastolický a ESV koncový systolický objem. [1]

VO<sub>2</sub>max je považovaný za jakýsi zlatý standard v hodnocení kardiopulmonálního zdraví nebo ve sportu slouží k hodnocení zdatnosti jedince. VO<sub>2</sub>max je definováno jako maximální množství kyslíku, které je tělo schopné využít během maximálního výkonu jedince. [2][3]

Maximální příjem kyslíku lze prezentovat dvěma způsoby. V hodnotách absolutních, které jsou udávány v l/min, a naměřené hodnoty jsou v průměru mezi 3 a 4 litry za minutu, ale můžeme se dostávat i na výrazně nižší hodnoty (u lidí s kardiovaskulárním onemocněním) nebo na hodnoty výrazně vyšší (u trénovaných jedinců). Proto se z důvodu rozdílné hmotnosti testovaných jedinců výsledky častěji uvádějí v relativních hodnotách normalizovaných k jejich váze. Tyto hodnoty jsou uváděny v mililitrech na kilogram za minutu a jejich velikost se pohybuje přibližně mezi 10 až 80<sup>+</sup> ml/kg/min. [2] [4]

### 2.2 Kritéria dosažení VO<sub>2</sub>max

Napříč různými studii existuje mnoho možností, jak hodnotit, zda bylo dosaženo maximální spotřeby kyslíku, či nikoliv. Jednotlivé studie se neshodují, která kritéria jsou ta správná, kolik by se jich mělo používat nebo kolik kritérií je třeba splnit, aby se potvrdila platnost dosažení VO<sub>2</sub>max. [5]

Mezi používaná kritéria patří dosažení takzvaného  $VO_2$  plata, naměření určité koncentrace laktátu v krvi, překročení stanovené hodnoty respiračního koeficientu (RER), překročení stanovené procentuální hodnoty predikované maximální srdeční frekvence vzhledem k věku testovaného, dosažení stanovené subjektivní hodnoty na Borgově škále nebo totální vyčerpání účastníka měření a další více specifická kritéria, vzhledem k zvolenému testovacímu protokolu. Mezi nejvíce používaná kritéria patří podle Midgley, který provedl souhrn používaných kritérií mezi lety 2005-2005 v 246 článcích publikovaných ve významných fyziologických časopisech, kritérium na základě dosažení určité hodnoty koeficientu RER. Dominovala hodnota  $RER \geq 1.10$ . Dalším velmi používaným kritériem bylo dosažení stavu plató, zde se ale studie hodně rozcházejí v definování hodnoty plató. [5]

### 2.2.1 $VO_2$ plató a rozdíl mezi $VO_{2max}$ a $VO_{2peak}$

$VO_2$ plató si můžeme zjednodušeně představit jako část měření, kdy i přes zvyšující se zátěž nedochází ke výraznému zvýšení  $VO_2$ . Různé studie popisují různá kritéria určení  $VO_2$ plató [6] [7]. Matematicky můžeme  $VO_2$  plató popsat jako část funkce se sklonem blížícím se nule. V reálném měření nejsou ale hodnoty nikdy až takto výrazně podobné, protože rychlost i hloubka ventilace vykazuje velkou variabilitu. [8]

Velmi často používanou metodou stanovení  $VO_2$  plató, je metoda z padesátých let dvacátého století podle Taylora. Taylor použil testovací protokol, kdy účastníci studie absolvovali několik dní po sobě třímínutový běžecký test na páse, sklon pásu se zvýšil o 2,5 % každý den. Autoři došli k závěru, že když se  $VO_2$  zvýší mezi dvěma stupni zátěže o méně než 150ml/min, bylo dosaženo  $VO_2$ plató. Některé novější práce jsou mnohem přísnější a považují za  $VO_2$ plató, pokud rozdíl dvou  $VO_2$  naměřených 30 s po sobě je menší nebo roven 50 ml/min. Nevýhodou je, že takto striktně nastavená hranice může vést k chybně definovaným  $VO_2$ plató. Někdy může dojít k vytvoření  $VO_2$ plató, i když participant ještě nedosáhl maximální intenzity. To může být způsobeno například sníženou motivací nebo kvůli nízkému prahu bolesti testovaného jedince. Proto některé studie využívají relativní metody, které nemají striktně dané hranice pro dosažení  $VO_2$ plató. Jedna z možností, jak takto určit, že bylo dosaženo  $VO_2$ plató je, pokud rozdíl  $VO_2$  v posledních dvou fázích je menší než polovina, respektive podle jiných prací jedna třetina průměrného rozdílu  $VO_2$  během sub-maximálních fází pro každého konkrétního jedince. [7] [9] [10] [11] [12]

$VO_{2peak}$  označuje nejvyšší hodnotu  $VO_2$  dosaženou během testu, proto je velice jednoduché ji určit. Při zjištění  $VO_{2peak}$  nejsme schopni zaručit, že účastník studie ukončil test z důvodu dosažení maximálního transportu/využití kyslíku, neboť ukončení testu může souviset s nedostatečnou mírou motivace, nižší schopností snášet diskomfort

při maximálním zatížení a s dalšími důvody. Proto nemůžeme definovat hodnotu  $VO_{2peak}$  jako hodnotu  $VO_{2max}$ , ale musíme použít nějaké z výše popsaných kritérií, i tak ale může dojít k chybnému určení maximální spotřeby kyslíku. [13] [14]

### 2.2.2 Poměr respirační výměny RER

Kvociet respirační výměny je dán poměrem vydechovaného oxidu uhličitého a přijímaného kyslíku.

$$RER = \frac{VCO_2}{VO_2}, \quad (4)$$

RER je důležitou metabolickou proměnou. Získávání energie z tuků a cukrů je závislé na poměru oxidu uhličitého produkovaného během oxidace a přijímaného kyslíku. [15] Díky tomu jsme z RER schopni zjistit relativní podíl pro tvorbu vydané energie z tuků nebo z cukrů při zátěži. Protože tuky potřebují pro oxidaci více kyslíku než karbohydráty, jsou hodnoty RER nižší při využívání tuků jako zdroje energie. Teoreticky pokud by hodnota RER byla  $< 0,7$  byla by energie získávána pouze z tuků, v reálné situaci k tomu ale nedochází a energie je obvykle získávána kombinací obou zdrojů, a proto se hodnoty RER pohybují mezi 0.7-1.0. Při maximální zátěži pak dochází k hyperventilaci a RER může přesáhnout hodnotu 1.0, v takovém případě jsou pro tvorbu energie využívány pouze karbohydráty. [16]

Při náročném fyzickém zatížení, když se zvýší produkce  $CO_2$  z důvodu hyperventilace, dochází k zvýšení tvorby a ukládání krevního laktátu. RER reprodukovatelně roste během zatížení, a proto se používá jako parametr pro dokumentaci maximálního zatížení. Různé studie používají RER jako parametr pro stanovení, že jedinec dosáhl  $VO_{2max}$ . Studie uvádějí různé hodnoty jako kritérium, nejčastěji se však objevuje hodnota  $RER \geq 1.10$  nebo  $RER \geq 1.15$ . [2] [5]

### 2.2.3 Minutová ventilace

Minutová ventilace je dechový objem vynásobený dechovou frekvencí. Zvyšující se dechový objem zvyšuje ventilaci účinněji než zvýšení dechové frekvence.

Objemy dýchacích cest, které se neúčastní výměny plynů označujeme jako mrtvý prostor. Anatomický mrtvý prostor zahrnuje nos, ústa, průdušnice, průdušky. Velikost mrtvého prostoru obvykle bývá asi 150 ml. Fyziologický mrtvý prostor zahrnuje alveoly, které jsou ventilované, ale nevyměňují plyny kvůli nízkému průtoku krve. Dechový

objem musí přesáhnout mrtvý prostor, jinak nebudou funkční alveoly ventilovány čerstvým vzduchem.

Pro výměnu plynů je k dispozici pouze vzduch dodávaný do terminálních bronchiolů a alveol. Alveolární minutová ventilace je nižší než minutová ventilace a vypočítá se jako  $[(\text{dechový objem} - \text{mrtvý prostor}) \times \text{dechová frekvence}]$ . [17] Při zatížení minutová ventilace prudce roste a může se dostat i přes hodnoty 120 l/min.

## 2.3 Způsoby stanovení $\text{VO}_2\text{max}$

Způsobů stanovení hodnoty  $\text{VO}_2\text{max}$  je několik. Kvůli konstantním podmínkám, menším nárokům na velikost nebo odolnost přístrojů je nejpoužívanější laboratorní testování. To můžeme provádět několika způsoby podle požadavků klienta. Testování lze provést na běžeckém pásu, cyklistickém ergometru, veslařském trenážeru a dalších přístrojích, včetně těch uzpůsobených pro testování hendikepovaných jedinců. [2]

S rozvíjející se technikou už ale laboratoř není jediným místem, kde lze testovat fyzickou kondici. S přenosnými přístroji lze provádět spirometrické zátěžové testy v prostředí, které je pro sportovce přirozené, ať už na atletickém stadionu, při cyklistickém tréninku, nebo dokonce při testování plavců.

Hodnoty  $\text{VO}_2\text{max}$  lze také určit z predikčních rovnic, které je možné dohledat pro různé přesně specifikované testy. Na tyto testy většinou nepotřebujeme žádné vybavení a jsme z nich schopni alespoň přibližně zjistit hodnotu  $\text{VO}_2\text{max}$ . [18]

### 2.3.1 Laboratorní testy

Laboratorní testy jsou většinou prováděné na běžeckém pásu nebo cyklistickém ergometru do maximálního zatížení, příjem  $\text{O}_2$  a výdej  $\text{CO}_2$  jsou měřeny spirometrií. Existuje nespočet testovacích protokolů, které se odvíjí od zkušeností jednotlivých laboratoří a tradic v dané zemi. Vhodná délka takového maximální zátěžového protokolu je udávána mezi osmi a dvanácti minutami. Ukazuje se, že i kratší testy o délce 5-6 minut dosahují velké úspěšnosti ve zjištění hodnoty  $\text{VO}_2\text{max}$ . Problém pak nastává u protokolů, které jsou naopak delší. U těchto protokolů dochází ke snížení výsledné hodnoty  $\text{VO}_2\text{max}$  z důvodu vyšší tělesné teploty, větší dehydratace, únavy dýchacích svalů a dalších věcí souvisejících s delší zátěží organismu. [19]

Bruce protokol je jedním z historicky nejpoužívanějších testovacích protokolů, používaných při měření na běžeckém pásu. V tomto protokolu se každé tři minuty zvyšuje rychlost a sklon běhacího pásu. Díky vysokým přírůstkům zatížení je protokol považován za náročný a nedoporučuje se osobám s malou funkční kapacitou. [16] [20]

Balkeho protokol využívá ke zvýšení zatížení pouze změnu náklonu běhacího pásu, rychlost je tři míle za hodinu a zůstává konstantní. Jedinec na pásu pouze jde, neběží. Sklon se zvyšuje každé dvě minuty o 2,5 %. Dále existuje modifikovaný Balkeho protokol, který je vhodný a velice populární u lidí s malou funkční kapacitou. Rychlost u tohoto modifikovaného testu je pouze dvě míle za hodinu a sklon se zvyšuje o 3,5 % každé tři minuty až do šestého stupně, zde se sklon sníží o 3,5 % a zvýší se rychlost na 3 míle za hodinu a o od této chvíle se opět zvyšuje pouze sklon o 3,5 % každé tři minuty. [16] [20]

Rampový protokol se provádí na cyklistickém ergometru. U tohoto testu nemáme skokové přírůstky zátěže, ale zátěž se zde kontinuálně zvyšuje například o 1 W každou sekundu [20]. U rampového protokolu jsou testovaní schopni dostat se na stejnou zátěž jako u protokolů se schodovým nárůstem zatížení mnohem rychleji. Také je jedinci vnímán jako méně namáhavý, což může přispět k lepším výsledkům. [21]

### 2.3.2 Venkovní testy

Měření ve venkovním prostředí pomocí přístrojů na analýzu dechových plynů je výrazně mladší způsob zjištění  $VO_{2max}$  než testy v laboratoři. Neexistují tedy žádné tak populární testové protokoly, které by se pro stanovení maximálního příjmu kyslíku používaly. Protokoly se v různých pracích vytvářejí podle potřeb konkrétní disciplíny. [22] [23]

### 2.3.3 Predikce $VO_{2max}$

Existuje mnoho testů, podle kterých lze predikovat  $VO_{2max}$ , některé, například Yo - Yo test, se více hodí pro týmové sporty, jiné pro sporty vytrvalostního charakteru, například Cooper test, Rockport test.

Cooper test se používá ve dvou různých variantách, a to buď běh na 12 minut, kdy se účastník snaží uběhnout co největší vzdálenost (5), nebo v druhé variantě se snaží uběhnout 2,4 km v co možná nejkratším čase (6). Těmto testům odpovídají následující predikční rovnice. [24]

$$VO_{2max}(ml * kg^{-1} * min^{-1}) = \frac{(vzdálenost\ v\ metrech - 504,9)}{44.73}, \quad (5)$$

$$VO_{2max}(ml * kg^{-1} * min^{-1}) = \frac{3.5 + 483}{čas} \text{ na } 2,4\text{km (min)}, \quad (6)$$

U Rockport testu účastníci pouze chodí, lze ho proto využít u méně zdatných jedinců. Účastníci testu mají za úkol ujít jednu míli (1,6 km) v co nejkratším čase. Test by měl probíhat na rovinné trati, ideálně na atletickém stadionu. V poslední minutě testu

se měří tepová frekvence a hodnoty se dosazují do následující rovnice. Je zde také možnost měřit tepovou frekvenci okamžitě po ukončení testu, to ale vede k nadhodnocení predikovaného  $VO_{2max}$ . Rovnice rozlišuje pohlaví, proto dosazujeme pro muže číslo 1 a pro ženy 0. [24]

$$VO_{2max}(ml * kg^{-1} * min^{-1}) = 132.853 - (0,1692 * váha\ v\ kg) - (0,3877 * věk\ v\ rocích) + (6.315 * pohlaví) - (3,2649 * čas\ v\ min) - (0,1565 * tepová\ frekvence), \quad (7)$$

Testem s názvem Yo-Yo IR1/IR2 dokážeme predikovat schopnost jedince regenerovat mezi jednotlivými úseky zatížení. Existují dvě verze tohoto testu. Yo-Yo IR1 se zaměřuje na maximální aktivaci aerobního systému a Yo-Yo IR2 na aktivaci anaerobního. IR1 a IR2 se liší v počáteční rychlosti a v rychlosti zvyšování zatížení při testu. Testy se často využívají v týmových sportech, nejdříve byly využívány hlavně ve fotbale, ale postupně se rozšířily do mnoha sportů. Testy spočívají v běhu mezi značkami, které jsou umístěny 20 m od sebe, sportovec vždy absolvuje běh tam i zpět, celkem 40 m a rychlost je mu udávána zvukem z audio nahrávky. Po dokončení čtyřicetimetrového úseku má sportovec krátkou desetisekundovou pauzu na zotavení. Test končí neschopností sportovce absolvovat trasu v požadované rychlosti. [25] [26]

Hodnoty  $VO_{2max}$  pak lze vypočítat z následujících rovnic:

$$VO_{2max}(ml * kg^{-1} * min^{-1})_{IR1} = \text{absolvovaná vzdálenost(m)} * 0,0084 + 36,4, \quad (8)$$

$$VO_{2max}(ml * kg^{-1} * min^{-1})_{IR2} = \text{absolvovaná vzdálenost(m)} * 0,0136 + 45,3, \quad (9)$$

## 2.4 Metody analýzy výměny plynů

### 2.4.1 Breath by Breath

Tato metoda je používána například i v přístrojích firmy Cortex, využitých v této práci. Breath by Breath systém měří průtok plynů, koncentraci kyslíku a koncentraci oxidu uhličitého v závislosti na čase se vzorkovací frekvencí, která je mnohem větší, než je frekvence dýchání. Průtok a koncentrace měřeného plynu je integrována kontinuálně. U těchto systémů byla zjištěna ve srovnání s metodou Mixing Chamber nižší přesnost v měření  $VO_2$  a  $VCO_2$ . [27] [28]

### 2.4.2 Mixing Chamber

Analyzátory dýchacích plynů využívající tuto metodu používají aktivní směšovací komoru (ventilátor s cirkulací vzduchu) pro odběr vzorků vydechaného vzduchu. Měří průměrný vydechnutý podíl  $O_2$  a průměrný vydechnutý podíl  $CO_2$  přímo ze směšovací komory. Tyto systémy měří metabolickou výměnu plynů s nižším rozlišením než Breath by Breath systémy, ale s vyšší přesností. Tato metoda byla používána například ve starší verzi přístroje Metamax. [27][28]

## 2.5 Přístroje pro měření dýchacích plynů v laboratoři

### 2.5.1 Cosmed Quark CPET

Metabolický analyzátor výměny plynů od firmy Cosmed měří jak příjem  $O_2$  tak výdej  $CO_2$ . Oproti zařízení Metalyzer 3B, použitého v této práci, má tento metabolický analyzátor navíc volbu metody analýzy výměny plynů. Může pracovat jednak v režimu „Breath by Breath“, stejně jako Metalyzér 3B nebo v režimu „Mixing Chamber“. Quark je prvním přístrojem, který je validován na obě tyto metody současně. Softwarovou aplikací pro přístroje firmy Cosmed je OMNIA, která stejně jako Metasoft studio zprostředkovává kalibraci přístrojů, živé zobrazení dat, analýzu dat a připojení zařízení jako elektrokardiogram (EKG), ergomert nebo běžecký pás. [28] [29]

Měření je prováděno s maskou nasazenou na obličej, do které je připojen průtokový senzor, dvoucestný ventil bez zpětného dýchání, plastová hadička pro přenos vydechaného vzduchu do 7litrové směšovací komory a vzorkovací hadička napojená ze směšovací komory na analyzátory plynů CPET.

### 2.5.2 Ergotic CPET systém

Ergotic je zařízení od firmy Love medica, které měří výměnu plynů metodou Breath by Breath. Jako přednost přístroje firma udává možnost měření dětí. Děti mají malou ventilaci, proto je nutné, aby přístroj měl co nejmenší mrtvý prostor, zde je to 20 ml. Firma si zakládá na tom, že maska s průtokovým senzorem, která se nasazuje na obličej,



je co možná nejlehčí a ergonomická. Zařízení používá software Blue Cherry, skrze který se provádí kalibrace přístroje, analýza dat, připojení a ovládání zařízení, např. EKG, ergometr nebo měřič saturace kyslíku. [30]

### **2.5.3 Vyntus CPX Metabolic Cart**

Vyntus CPX je zařízení pro měření výměny plynů velice podobné přístroji Metalyzer 3B. Pro měření průtoku je zde také používána metoda Breath by Breath a je zde využit digitální objemový převodník (). Stejný objemový převodník, který se používá i v Metalyzeru. Zde používaný převodník disponuje o něco větším rozsahem 0 -15 l/s. Analýza O<sub>2</sub> zde probíhá na elektrochemickém principu a analýza CO<sub>2</sub> na principu absorpce infračerveného záření stejně jako u Metalyzeru, ale zařízení je schopno měřit s větším rozsahem. Firma nabízí pět velikostí masky pro co nejlepší připevnění senzorů na obličej. Velkou výhodou zařízení Vyntus CPX je způsob kalibrace. Objemovou kalibraci není nutné provádět ručně pomocí válce o definovaném objemu jako u přístrojů Cortex. Zde kalibrace proběhne automaticky pomocí integrovaného dmychadla. Dvoubodová kalibrace probíhá stejně jako u přístrojů Cortex. [31] Analýza dat, sledování průběhu měření, připojení přístrojů a kalibrace u tohoto přístroje probíhají v softwaru SentrySuite. [32]

## **2.6 Přístroje pro měření dýchacích plynů ve venkovním prostředí**

### **2.6.1 PNOE**

PNOE je přenosný metabolický analyzátor, který je navržený pro měření výměny plynů jak v laboratoři, tak hlavně ve venkovních podmínkách. Přístroj měří výměnu plynů na principu Breat by Breat. Analýza O<sub>2</sub> probíhá pomocí elektrochemického analyzátoru a analýza CO<sub>2</sub> pomocí infračerveného analyzátoru. Zařízení má sportovec umístěné na zádech. Váha celého setu je pouhých 800 g. Člověk, který je testován, má na obličej nasazenou masku a dýchá skrz průtokový senzor. K zařízení lze připojit další senzory jako například snímač srdeční frekvence. Data ze zařízení jsou přenášeny do aplikace, ve které lze data živě sledovat a poté provádět vyhodnocení. [33]

### **2.6.2 VO<sub>2</sub>master**

VO<sub>2</sub>master je přenosný analyzátor příjmu kyslíku. Na rozdíl od ostatních přístrojů nedokáže měřit výdej CO<sub>2</sub>. Jeho velkou výhodou jsou ale rozměry a váha. Sportovec nemusí mít při měření nic víc než masku, na kterou se umístí plastový adaptér, který obsahuje analyzátor příjmu kyslíku. Celý tento set váží pouze 0,32 kg. Plastový adaptér se dodává ve dvou variantách, z nichž jedna obsahuje průtokový senzor, který je schopen měřit průtok 30–160 l/min, a druhá varianta senzor se schopností měřit průtok 40–220 l/min. Obě varianty jsou pak schopné měřit dechovou frekvenci v rozpětí 30 - 80

dechů/min. Do plastového adaptéru se před každým testem vkládá nový jednorázový filtr. [34]

### **2.6.3 Cosmed K5**

K5 je přenosný metabolický analyzátor firmy Cosmed. Podobně jako zařízení od této společnosti určené k měření v laboratorních podmínkách, disponuje K5 možností měřit výměnu plynů dvěma způsoby. Při základním nastavení měří v režimu Breath by Breath, ale volitelně zde můžeme nastavit měření pomocí Mixing chambers. Oproti přenosnému přístroji Metamax 3B, který byl použit v této práci, je K5 schopen měřit průtok vzduchu v rozsahu maximálně 5 l/s, u Metamax 3B je maximální měřitelný průtok až 20,1 l/s. Oba přístroje by měly měřit průtok s velmi podobnou přesností. Oba přístroje jsou vodotěsné, a je proto možné použít je i pro vodní sporty. Umístění přístroje na postroji na zádech je velice podobné přístroji od firmy PNOE. Váha přístroje je 900 g včetně baterie. Stejně jako u Metamaxu, můžeme při měření vidět data v aplikaci na tabletu, který je pomocí Bluetooth s dlouhým dosahem schopen s přístrojem komunikovat na vzdálenost více než 1 km. Na rozdíl od Metamaxu 3B je zde integrovaná GPS. [35] [36]

### **3. METODIKA**

Data do této práce byla poskytnuta z projektu 6/22s vedeného p. Chlíbařovou na CESA. Projekt byl schválen etickou komisí SP VUT a všichni testovaní podepsali informovaný souhlas.

#### **3.1 Testované osoby**

Testovanými osobami bylo patnáct aktivně sportujících jedinců mužského pohlaví, převážně triatlonistů. Všichni testovaní mají platnou lékařskou prohlídku a jsou schopní absolvovat test do maximální intenzity bez újmy na zdraví. Věk testovaných byl  $24,67 \pm 9,13$  let.

Bylo provedeno celkem třicet měření na patnácti osobách. Každý účastník se musel podrobit dvěma testům do vita maxima, což je stav úplného subjektivního vyčerpání. Testy musely být provedeny minimálně s 24 h odstupem. Mezi měřeními venku a uvnitř nesměl být větší rozestup než 14 dní. Testovaní byli požádáni, aby se 24 hodin před testem vyhnuli vysoké fyzické aktivitě. Při testech venku byla snaha volit dny s teplotními podmínkami, co nejvíce podobným podmínkám uvnitř.

#### **3.2 Testový protokol**

Před testem bylo u všech testovaných provedeno měření tělesné váhy, výšky a následně vypočteno BMI. Před samotným začátkem měření bylo nutné přístroj pro měření dýchacích plynů alespoň dvacet minut zahřát a následně provést kalibraci.

Jako testový protokol byl vybrán takzvaný „Speed-Only Protocol“. Při tomto protokolu nejsou dosahovány absolutně nejvyšší hodnoty spotřeby kyslíku, protože se mění pouze rychlost, a ne sklon běžeckého pásu. Pro potřeby této práce bylo však nutné vybrat takový protokol, který lze realizovat i ve venkovním prostředí. [37]

Testování pomocí laboratorní spirometrie Metalyzer 3B probíhalo v laboratoři CESA na běžeckém pásu. Účastníci byli připevněni do závěsného popruhu kvůli eliminaci pádu ve vysokých rychlostech. Před samotným testem v laboratoři se účastníci rozběhali rychlostí 6 km/h. Doba rozběhání byla individuální, maximálně však 6 minut. Následně byl ihned zahájen test.

Samotný test na běžeckém pásu byl nastaven tak, že sklon pásu zůstával konstantně na 1 %, protože tato hodnota sklonu nejvíce odpovídá běhu ve venkovním prostředí. Rychlost běhu začínala na 8 km/h a zvyšovala se o 1,6 km/h každou minutu do 17,6 km/h, následně se zvyšovala pouze o 0,8 km/h stále po jedné minutě až do chvíle,

kdy už účastník nebyl schopen akceptovat rychlost pásu. Po ukončení měření měli testovaní možnost se vyklusat. [37] [38] [39] [40]

Tabulka 1: Zátěžový protokol testu „Speed-Only-Protocol“

| Minuta zatížení | Fáze testu | Rychlost [km/h] |
|-----------------|------------|-----------------|
| 1.-6.           | Rozběhání  | 6               |
| 1.              | Zatížení   | 8               |
| 2.              | Zatížení   | 9,6             |
| 3.              | Zatížení   | 11,2            |
| 4.              | Zatížení   | 12,8            |
| 5.              | Zatížení   | 14,4            |
| 6.              | Zatížení   | 16,0            |
| 7.              | Zatížení   | 17,6            |
| 8.              | Zatížení   | 18,4            |
| 9.              | Zatížení   | 19,2            |
| 10.             | Zatížení   | 20,0            |
| 11.             | Zatížení   | 20,8            |
| 12.             | Zatížení   | 21,6            |
| 13.             | Zatížení   | 22,4            |
| 14.             | Zatížení   | 23,2            |
| 15.             | Zatížení   | 24,0            |
| 16.             | Zatížení   | 24,8            |

Venkovní test s přenosným analyzátozem plynů Metamax 3B probíhal vždy na atletickém stadionu, aby byla zaručena maximální podobnost všech testů. Venkovní protokol byl shodný s laboratorním testem. Testování se nejdříve rozběhali, stejně jako u laboratorního měření. Rychlost začínala opět na hodnotě 8 km/h a zvyšovala se vždy po 1 minutě. Držení správné rychlosti bylo zaručeno předjezdcem na kole, který sledoval rychlost na klasickém tachometru. Běžec se snažil cyklisty držet a byl vždy upozorněn 5 sekund dopředu, že se bude zvyšovat rychlost. Ve chvíli, kdy běžec nebyl schopen akceptovat rychlost jezdce a vzdálil se od něj více jak 5 m, měření bylo ukončeno. Po ukončení měření měli testovaní možnost se vyklusat.

### 3.3 Použité přístroje

#### 3.3.1 Metalyzer 3B

Metalyzer je statický metabolický analyzátor pro měření pulmonální výměny plynů používaný v laboratoři. Pomocí Metalyzera lze měřit příjem O<sub>2</sub>, výdej CO<sub>2</sub>, tepovou frekvenci, ventilaci, teplotu a tlak. Během testování má sportovec nasazenou na obličej

masku, do které se připevní Triple V objemový převodník, přes který sportovec dýchá. K Metalyzeru je také připojeno tříkanálové, 5 svodové EKG, pomocí kterého lze sledovat během testu srdeční činnost.

Měření objemu nadechnutého nebo vydechnutého vzduchu lze u Metalyzeru měřit pomocí dvou různých digitálních objemových převodníků: Triple V nebo DVT. Rozdíl mezi nimi je v rozsahu, kdy Triple V je schopen měřit 0,05 - 20 l/s a DVT 0,1 - 12 l/s. V této práci byl použit Triple V převodník. Měření průtoku plynů je měřeno kontinuálně metodou Breath by Breath a současně je zjišťována koncentrace kyslíku a oxidu uhličitého. Data jsou okamžitě posílána do počítače a v aplikaci Metasoft studio můžeme data sledovat a analyzovat. [41]

### 3.3.2 Metamax 3B

Metamax 3B je přenosný metabolický analyzátor německé firmy Cortex medical, určený k měření terénních kardiopulmonálních zátěžových testů. Skládá se ze dvou modulů stejné velikosti (120 x 110 x 45 mm), z nichž jeden obsahuje měřicí prvky a druhý baterii s výdrží až šest hodin souvislého měření. Váha přístroje je 650 g včetně baterie. Přístroj má zabudovaný barometr pro měření tlaku a teploměr. Data z přístroje jsou ukládána do



Obrázek 1 Laboratorní přístroj Metalyzer 3B

integrováné paměti přístroje, která má kapacitu až 400 h záznamu. Díky telemetrické přijímací jednotce, která se zapojí do počítače, jsme schopni při testu sledovat data i živě. Dosah telemetrické jednotky je až jeden kilometr. Pro připevnění přístroje existuje více druhů postrojů, designovaných speciálně pro různé typy sportovních aktivit. V této práci byl použit postroj určený pro běh, který je připevněn na hrudi sportovce. Celková váha této sestavy, je 1.4 kg. Do modulu pro měření připojujeme DVT objemový/průtokový převodník nebo Triple V převodník, které mají integrovaný tepelný senzor. Tyto

převodníky upevňujeme na masku, kterou si testovaný jedinec nasazuje na obličej. Stejně jako u testů na Metalyzéro je v práci použit Triple V převodník. [42][43]



Obrázek 2 Přenosný přístroj Metamax 3B

### 3.3.3 Valiant 2 sport

Valiant je moderní běžecký pás vyrobený speciálně pro použití ve sportovní medicíně. Velikost pásu sloužícího k běhu je 70 x 190 cm a zvládá zátěž až 225 kg. Pás je poháněn motorem o výkonu až 1,8 kW. Přidávání rychlosti je velice plynulé a lze přidávat rychlost od 1 km/h až do 25 km/h a zároveň na něm lze nastavit sklon až 25 % nebo při dokoupení speciálního nástavce i záporný sklon až 10 %. Sklon lze přidávat po 0,5 % a rychlost po 0,1 km/h. Ovládat zařízení lze buď prostřednictvím počítače nebo manuálně z dotykového displeje. K běhátku lze připojit externí EKG a zařízení pro měření plicních objemů.

K pásu lze připojit mnoho nadstavbového vybavení. K účelům této práce jsme měli k dispozici závěsné zařízení pro eliminaci pádu ve vysoké rychlosti a záchranné tlačítko pro zastavení pásu. [44]

### **3.3.4 InBody 770**

Před testováním byla provedena analýza tělesného složení pomocí přístroje InBody 770. Sportovec při vyšetření drží dvě madla s elektrodami a zároveň na elektrodách stojí. Přístroj posílá tělem velmi malý proud a jednotlivé tkáně kladou proudu různý odpor, ze kterého poté přístroj vypočítá výsledky. InBody 770 rozděluje tělo do pěti segmentů pro získání větší přesnosti měření. Přístroj je schopen dodávat proudy o velikosti 100  $\mu\text{A}$  a 500  $\mu\text{A}$  a frekvenci 50 Hz – 1 kHz [45][46]. K přístroji je možné připojit další vybavení. V této práci byl použit tlakoměr (BPBIO750) a výškoměr (BSM170B).

### **3.3.5 Polar H7**

Pro měření srdeční frekvence byl v obou případech použit hrudní pás značky Polar. Polar H7 vysílá na dvou frekvencích souběžně. Využívá technologii Bluetooth 4.0 a současně vysílá kódovanou frekvenci 5kHz. Hrudní pás se skládá z vysílací jednotky a obvodového pásu, který obsahuje dvě elektrody. Vysílací jednotka je na tento pás připnuta. Dosah signálu je až 10 metrů a životnost baterie až 200 hodin. [47]

### **3.3.6 Metasoft studio**

Pro vyhodnocení dat z přístrojů Metamax a Metalyzer, vyvinula firma Cortex software s názvem Metasoft studio. V programu Metasoft studio se provádí kalibrace přístrojů. Do Metasoft studia lze připojit jednak různé přístroje, ze kterých chceme při testech získávat data, jednak zařízení, na kterých provádíme testování fyzické aktivity, jako například ergometr a běžecký pás. Při samotném měření si buď vybereme ze standardizovaných protokolů nebo si můžeme vytvořit protokol vlastní. Připojený běžecký pás nebo ergometr bude poté zátěž určovat přesně podle něho. Program umožňuje ovládat ergometr a běžecký pás i během samotného testu.

Program Metasoft Studio byl vyvinut primárně k jednoduché analýze dat. Veškerá měřená data vidíme již během probíhajícího testu a po dokončení testu můžeme data analyzovat. Při analýze lze vybrat vhodnou filtraci dat a intenzitu filtrace, například pomocí průměrujícího nebo mediánového filtru. Program nám také vygeneruje report o výsledcích testování, který si můžeme různě modifikovat dle toho, které grafy a data chceme zobrazit. [41]

## **3.4 Kalibrace přístrojů cortex**

Před měřením je důležité přístroj zapnout a počkat minimálně 20 minut, než je přístroj připraven ke kalibraci a měření. Při kalibraci přístroje dbáme na to, aby byl přístroj kalibrován v podmínkách (teplota, tlak, vlhkost), v jakých budeme provádět samotné měření.

Samotná kalibrace se skládá ze tří částí. Minimálně jednou za 30 dní je doporučeno provést dvoubodovou kalibraci pomocí láhve s danou směsí plynu (4-6 % CO<sub>2</sub>, 14-16 % O<sub>2</sub>, bal. in N<sub>2</sub>). Jednobodová kalibrace by měla proběhnout před každým testem, hadičku pro odběr vzorků necháme na volném vzduchu a přístroj se sám zkalibruje podle aktuálního obsahu plynů v prostředí, kde se bude test provádět. Kalibrace objemového převodníku se provádí také minimálně jednou za 30 dní. Modul s převodníkem připojíme do válce o objemu přesně 3 litry a pohybem pístu simulujeme nádechy a výdechy. Při měření ve specifických podmínkách, například při měření ve vysoké nadmořské výšce, je nutné provést také kalibraci analyzátoru tlaku. Tuto kalibraci nemusíme provádět vůbec, pokud se nezmění tlak o více jak 10 mbar. [42][41]

### 3.5 Statistická analýza

Statistickou analýzu využíváme k posouzení toho, jestli naměřená data vyhovují nějakému předem zvolenému kritériu. Důležité je vhodně stanovit hypotézy. Určujeme takzvanou nulovou a alternativní hypotézu. Nulová hypotéza  $H_0$  předpokládá, že mezi dvěma jevy není statisticky významný rozdíl. Alternativní hypotéza  $H_A$  popírá pravdivost nulové hypotézy. Cílem statistického testování je ověřit, zda je nulová hypotéza platná. To dokážeme pomocí vhodně zvoleného statistického testu a testovacího kritéria. V této práci využíváme párový t-test, jehož testovací kritérium nalezneme v tabulkách. Nalezené kritérium se porovnává s vypočtenou hodnotou. Následně mohou nastat případy, kdy kritická hodnota nalezená v tabulce je menší než vypočtená hodnota, v tomto případě zamítáme nulovou hypotézu na dané hladině významnosti a přijímáme alternativní, v opačném případě nulovou hypotézu nezamítáme. Testování probíhá na námi určené hladině významnosti ( $\alpha$ ). V této práci využíváme  $\alpha = 0,05$ . [48][49]

#### 3.5.1 Testování normality dat

Před samotným testováním, je nutné vědět, zda mají data normální rozložení, které je podmínkou pro některé testy. Normální rozložení je symetrické kolem střední hodnoty  $\mu$ , křivka má vždy stejnoměrný zvonovitý tvar. Hodnota průměru odpovídá hodnotě mediánu a platí, že 99,7 % se nachází v intervalu  $\mu \pm 3 \sigma$ .

V případě, že chceme využít některý z parametrických testů musíme normalitu dat ověřit. Nejdříve je dobré využít grafické zobrazení dat pomocí histogramu nebo Q-Q grafu. Následně aplikujeme na data statistické testy. Mezi nejpoužívanější testy patří Shapirov-Wilkův test, který je vhodný i pro malé výběry dat. Dále lze použít test dobré shody nebo Kolmogorovův-Smirnovův test. Normality dat můžeme dosáhnout i vhodnou transformací dat a odstraněním odlehlých hodnot.[48][49]



### 3.5.2 Parametrický test

Parametrické testy se používají v případě, že data vykazují normální rozložení a jsou stejného rozptylu. Jsou silnější než testy neparametrické, proto je vhodné je v případě splnění podmínek využít. Existuje více druhů parametrických testů, které se využívají v závislosti na množství pozorovaných skupin, vztahů mezi skupinami a dalšími parametry. Pro data v této práci je nejvhodnější párový t-test pro zjištění přítomnosti/nepřítomnosti rozdílu mezi skupinami.

$$t_0 = \frac{\bar{d}}{s_d} \cdot \sqrt{n - 1}, \quad (10)$$

kde  $t$  je testová statistika t-testu,  $\bar{d}$  průměr pozorovaných diferencí a  $s_d$  jejich výběrovou směrodatnou odchylkou. Párový t-test má takzvané Studentovo rozdělení pravděpodobnosti s  $n - 1$  stupni volnosti. [49]

## 4. ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT

V této kapitole jsou zobrazeny výsledky statistického zpracování, porovnání jednotlivých fyziologických ukazatelů naměřených v laboratoři a venkovním prostředí. Tabulky se základními parametry jsou zpracované v programu Microsoft Excel a statistické výpočty byly realizovány v programovém prostředí Matlab.

Nejdříve byl pro každou porovnávanou veličinu zobrazen box-plot. Ten graficky zobrazuje data pomocí jejich kvartilů. Krabicová část je ohraničena zespodu 1. kvartilem (25% dat), shora 3. kvartilem (75% dat). V krabicové části se nachází linie, která znázorňuje medián (50% dat). Odlehlé hodnoty jsou vyznačeny jako jednotlivé body. Následně byla zjištěna normalita dat pomocí Shapiro-Wilkovým testu, na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  a také ověřena homogenita rozptylů pomocí F-testu. Pro srovnání dat naměřených uvnitř v laboratoři a venku na atletickém oválu byl zvolen párový T-test. Hladina významnosti byla zvolena  $\alpha = 0,05$ .

### 4.1 Předzpracování naměřených dat

Před provedením statistické analýzy dat, byla nejdříve data předzpracována v programu Microsoft excel, ve kterém jsou data exportována ze softwarového programu Metasoft studio používaném při měření. U všech měření byl odstraněn první rychlostní stupeň, tak aby došlo k ustálení měřených veličin a předešlo se chybám jako pozdější připojení hrudního pásu. Dále byly do statistické analýzy zahrnuty pouze ty rychlostní stupně, které testovaný dokončil v obou absolvovaných testech.

U jednotlivých veličin byl proveden výpočet průměrů v laboratoři a ve venkovním prostředí a ty byly poté porovnávány pomocí statistických testů.

#### 4.1.1 Popisná statistika naměřených dat

Tabulka 2: Popisná statistika antropometrických dat a maximálních dosažených hodnot ve vnitřním prostředí

| Testovaná osoba            | Pohlaví | Věk [rok] | Výška [m] | Váha [kg] | BMI [kg/m <sup>2</sup> ] | VO <sub>2</sub> peak/km [ml/min/kg] | SF max [tepů/min] | DF max [dechů/min] |
|----------------------------|---------|-----------|-----------|-----------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------|--------------------|
| 1.                         | M       | 22        | 1,80      | 67,00     | 20,68                    | 53                                  | 194               | 53                 |
| 2.                         | M       | 23        | 1,75      | 79,50     | 25,96                    | 54                                  | 200               | 48                 |
| 3.                         | M       | 15        | 1,73      | 60,00     | 20,05                    | 67                                  | 208               | 69                 |
| 4.                         | M       | 24        | 1,88      | 80,00     | 22,63                    | 65                                  | 180               | 60                 |
| 5.                         | M       | 48        | 1,84      | 80,50     | 23,78                    | 48                                  | 184               | 43                 |
| 6.                         | M       | 17        | 1,88      | 80,00     | 22,63                    | 59                                  | 186               | 51                 |
| 7.                         | M       | 30        | 1,83      | 70,00     | 20,90                    | 64                                  | 187               | 57                 |
| 8.                         | M       | 27        | 1,91      | 84,00     | 23,03                    | 53                                  | 192               | 60                 |
| 9.                         | M       | 21        | 1,82      | 77,00     | 23,25                    | 69                                  | 196               | 81                 |
| 10.                        | M       | 23        | 1,73      | 71,00     | 23,72                    | 73                                  | 180               | 62                 |
| 11.                        | M       | 43        | 1,79      | 78,50     | 24,50                    | 62                                  | 180               | 70                 |
| 12.                        | M       | 16        | 1,75      | 66,00     | 21,55                    | 60                                  | 196               | 58                 |
| 13.                        | M       | 24        | 1,84      | 76,00     | 22,45                    | 68                                  | 200               | 56                 |
| 14.                        | M       | 20        | 1,84      | 70,00     | 20,68                    | 61                                  | 186               | 63                 |
| 15.                        | M       | 17        | 1,82      | 68,00     | 20,53                    | 70                                  | 216               | 82                 |
| <b>Průměr</b>              |         | 24,67     | 1,81      | 73,83     | 22,42                    | 61,73                               | 192,33            | 60,87              |
| <b>Medián</b>              |         | 23,00     | 1,82      | 76,00     | 22,63                    | 62,00                               | 192,00            | 60,00              |
| <b>Směrodatná odchylka</b> |         | 9,13      | 0,05      | 6,65      | 1,63                     | 7,04                                | 10,29             | 10,64              |

Tabulka 3: Popisná statistika antropometrických dat a maximálních dosažených hodnot ve venkovním prostředí

| Testovaná osoba            | Pohlaví | Věk [rok] | Výška [m] | Váha [kg] | BMI [kg/m <sup>2</sup> ] | VO <sub>2</sub> peak/km [ml/min/kg] | SF max [t/min] | DF max [dechů/min] |
|----------------------------|---------|-----------|-----------|-----------|--------------------------|-------------------------------------|----------------|--------------------|
| 1.                         | M       | 22        | 1,80      | 67,00     | 20,68                    | 49                                  | 187            | 41                 |
| 2.                         | M       | 23        | 1,75      | 80,50     | 26,29                    | 49                                  | 196            | 49                 |
| 3.                         | M       | 15        | 1,73      | 60,00     | 20,05                    | 63                                  | 207            | 76                 |
| 4.                         | M       | 24        | 1,88      | 81,00     | 22,92                    | 64                                  | 177            | 46                 |
| 5.                         | M       | 48        | 1,84      | 80,00     | 23,63                    | 52                                  | 175            | 54                 |
| 6.                         | M       | 17        | 1,88      | 81,00     | 22,92                    | 60                                  | 176            | 55                 |
| 7.                         | M       | 30        | 1,83      | 70,00     | 20,90                    | 59                                  | 182            | 45                 |
| 8.                         | M       | 27        | 1,91      | 83,00     | 22,75                    | 53                                  | 196            | 63                 |
| 9.                         | M       | 21        | 1,82      | 76,00     | 22,94                    | 63                                  | 194            | 60                 |
| 10.                        | M       | 23        | 1,73      | 71,50     | 23,89                    | 61                                  | 167            | 63                 |
| 11.                        | M       | 43        | 1,79      | 78,00     | 24,34                    | 57                                  | 180            | 64                 |
| 12.                        | M       | 16        | 1,75      | 66,50     | 21,71                    | 68                                  | 202            | 46                 |
| 13.                        | M       | 24        | 1,84      | 75,50     | 22,30                    | 63                                  | 191            | 51                 |
| 14.                        | M       | 20        | 1,84      | 70,00     | 20,68                    | 62                                  | 181            | 65                 |
| 15.                        | M       | 17        | 1,82      | 67,00     | 20,23                    | 63                                  | 215            | 72                 |
| <b>Průměr</b>              |         | 24,67     | 1,81      | 73,80     | 22,42                    | 55,80                               | 188,40         | 56,67              |
| <b>Medián</b>              |         | 23,00     | 1,82      | 75,50     | 22,75                    | 61,50                               | 187,00         | 55,00              |
| <b>Směrodatná odchylka</b> |         | 9,13      | 0,05      | 6,67      | 1,68                     | 5,10                                | 12,86          | 10,11              |

Všichni kromě jednoho testovaného spadají dle hodnocení BMI do kategorie normální (18,5 – 24,9) [24], což může být předpoklad pro dobrou fyzickou a zároveň běžickou zdatnost, jelikož váha hraje při běhu velkou roli. Průměrné BMI testovaných bylo ve vnitřním prostředí  $22,42 \pm 1,63$  a při testování venku  $22,42 \pm 1,68$ .

O nadprůměrné zdatnosti vzhledem k normální populaci vypovídají také maximální dosažené hodnoty příjmu kyslíku, neboť všichni testovaní spadají dle tabulky pro muže vydané ASCM do kategorií Excellent nebo Good [24]. Průměrná dosažená hodnota maximální spotřeby kyslíku byla u měření uvnitř  $60,87 \pm 10,64$  a při testování venku  $55,67 \pm 10,11$ .

Tabulka 4: Popisná statistika dat naměřených přístrojem Metalyzer 3B

| Testovaná osoba     | V'O <sub>2</sub> [l/min] | V'CO <sub>2</sub> [l/min] | V'O <sub>2</sub> /kg [ml/min/kg] | RER  | V'E [l/min] | V'E/V'O <sub>2</sub> | V'E/V'CO <sub>2</sub> |
|---------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------------|------|-------------|----------------------|-----------------------|
| Osoba 1             | 2,93                     | 2,96                      | 43,73                            | 1,00 | 77,65       | 24,65                | 24,58                 |
| Osoba 2             | 3,76                     | 3,90                      | 47,25                            | 1,03 | 116,01      | 28,93                | 27,99                 |
| Osoba 3             | 3,25                     | 3,34                      | 54,31                            | 1,02 | 108,44      | 30,59                | 29,92                 |
| Osoba 4             | 4,03                     | 3,99                      | 50,21                            | 0,98 | 128,89      | 29,99                | 30,60                 |
| Osoba 5             | 3,24                     | 3,59                      | 40,49                            | 1,03 | 136,40      | 41,01                | 27,71                 |
| Osoba 6             | 3,75                     | 3,66                      | 46,82                            | 0,97 | 108,86      | 27,16                | 27,90                 |
| Osoba 7             | 3,57                     | 3,53                      | 50,94                            | 0,98 | 99,51       | 25,92                | 26,42                 |
| Osoba 8             | 3,78                     | 3,87                      | 45,01                            | 1,01 | 118,97      | 29,21                | 28,73                 |
| Osoba 9             | 3,83                     | 3,95                      | 50,34                            | 1,02 | 130,00      | 31,57                | 30,86                 |
| Osoba 10            | 3,92                     | 3,69                      | 55,26                            | 0,93 | 116,56      | 27,48                | 29,51                 |
| Osoba 11            | 3,73                     | 3,77                      | 47,48                            | 1,00 | 131,09      | 32,38                | 32,45                 |
| Osoba 12            | 3,39                     | 3,48                      | 51,10                            | 1,02 | 108,77      | 29,79                | 29,18                 |
| Osoba 13            | 3,55                     | 3,60                      | 46,49                            | 1,01 | 111,19      | 29,59                | 29,40                 |
| Osoba 14            | 3,42                     | 3,70                      | 48,78                            | 1,06 | 110,65      | 29,82                | 28,09                 |
| Osoba 15            | 3,60                     | 3,63                      | 53,05                            | 1,00 | 115,64      | 29,69                | 29,71                 |
| Průměr              | 3,58                     | 3,64                      | 48,75                            | 1,00 | 114,58      | 29,85                | 28,87                 |
| Medián              | 3,60                     | 3,66                      | 48,78                            | 1,01 | 115,64      | 29,69                | 29,18                 |
| Směrodatná odchylka | 0,28                     | 0,25                      | 3,89                             | 0,03 | 14,00       | 3,57                 | 1,83                  |

Tabulka 5: Popisná statistika dat naměřených přístrojem Metalyzer 3B

| Testovaná osoba     | SF [tepů/min] | V'O <sub>2</sub> /HR [ml] | VT [L] | DF [dechů/min] |
|---------------------|---------------|---------------------------|--------|----------------|
| Osoba 1             | 175,15        | 16,73                     | 2,52   | 31,06          |
| Osoba 2             | 181,13        | 20,69                     | 2,86   | 40,02          |
| Osoba 3             | 194,70        | 16,58                     | 1,94   | 55,19          |
| Osoba 4             | 154,30        | 25,88                     | 3,04   | 41,73          |
| Osoba 5             | 164,44        | 19,81                     | 3,09   | 43,90          |
| Osoba 6             | 161,76        | 23,02                     | 2,64   | 40,82          |
| Osoba 7             | 171,70        | 20,79                     | 2,17   | 45,44          |
| Osoba 8             | 178,18        | 21,11                     | 2,39   | 49,29          |
| Osoba 9             | 174,45        | 21,64                     | 2,45   | 51,97          |
| Osoba 10            | 155,66        | 24,96                     | 2,10   | 54,87          |
| Osoba 11            | 152,69        | 24,24                     | 2,26   | 56,98          |
| Osoba 12            | 181,43        | 18,62                     | 2,24   | 48,20          |
| Osoba 13            | 171,17        | 20,42                     | 2,62   | 41,76          |
| Osoba 14            | 165,82        | 20,35                     | 2,27   | 47,96          |
| Osoba 15            | 192,91        | 18,50                     | 2,25   | 51,02          |
| Průměr              | 171,70        | 20,89                     | 2,46   | 46,68          |
| Medián              | 171,70        | 20,69                     | 2,39   | 47,96          |
| Směrodatná odchylka | 12,47         | 2,66                      | 0,33   | 6,75           |

Tabulka: 6 Popisná statistika dat naměřených přístrojem Metamax 3B

| Testovaná osoba     | V'O <sub>2</sub> [l/min] | V'CO <sub>2</sub> [l/min] | V'O <sub>2</sub> /kg [ml/min/kg] | RER  | V'E [l/min] | V'E/V'O <sub>2</sub> | V'E/V'CO <sub>2</sub> |
|---------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------------|------|-------------|----------------------|-----------------------|
| Osoba 1             | 2,92                     | 2,80                      | 43,60                            | 0,95 | 79,77       | 25,33                | 26,56                 |
| Osoba 2             | 3,26                     | 3,20                      | 40,44                            | 0,97 | 99,94       | 28,32                | 29,01                 |
| Osoba 3             | 3,10                     | 3,21                      | 51,70                            | 1,02 | 104,94      | 30,76                | 29,87                 |
| Osoba 4             | 4,15                     | 4,07                      | 51,86                            | 0,96 | 118,46      | 26,61                | 27,49                 |
| Osoba 5             | 3,13                     | 3,02                      | 39,08                            | 0,96 | 99,00       | 29,72                | 30,91                 |
| Osoba 6             | 3,91                     | 3,73                      | 48,30                            | 0,94 | 113,36      | 26,98                | 28,48                 |
| Osoba 7             | 3,38                     | 3,27                      | 48,23                            | 0,96 | 91,12       | 25,04                | 26,12                 |
| Osoba 8             | 3,69                     | 3,72                      | 43,88                            | 1,00 | 122,87      | 30,99                | 30,99                 |
| Osoba 9             | 4,02                     | 4,12                      | 52,96                            | 1,01 | 132,34      | 30,39                | 30,13                 |
| Osoba 10            | 3,62                     | 3,42                      | 50,69                            | 0,93 | 108,87      | 27,43                | 29,49                 |
| Osoba 11            | 3,64                     | 3,57                      | 46,68                            | 0,97 | 125,43      | 31,80                | 32,85                 |
| Osoba 12            | 3,33                     | 3,08                      | 50,05                            | 0,91 | 84,21       | 23,54                | 25,84                 |
| Osoba 13            | 3,67                     | 3,62                      | 48,59                            | 0,98 | 117,23      | 30,07                | 30,70                 |
| Osoba 14            | 3,39                     | 3,35                      | 48,42                            | 0,97 | 101,80      | 27,45                | 28,32                 |
| Osoba 15            | 3,42                     | 3,35                      | 51,08                            | 0,96 | 113,09      | 30,00                | 30,96                 |
| Průměr              | 3,51                     | 3,44                      | 47,70                            | 0,97 | 107,50      | 28,29                | 29,18                 |
| Medián              | 3,42                     | 3,35                      | 48,42                            | 0,96 | 108,87      | 28,32                | 29,49                 |
| Směrodatná odchylka | 0,34                     | 0,36                      | 4,07                             | 0,03 | 14,62       | 2,40                 | 1,97                  |

Tabulka 7: Popisná statistika dat naměřených přístrojem Metamax 3B

| Testovaná osoba            | SF [tepů/min] | V'O <sub>2</sub> /HR [ml] | VT [L] | DF [dechů/min] |
|----------------------------|---------------|---------------------------|--------|----------------|
| <b>Osoba 1</b>             | 171,93        | 16,94                     | 2,36   | 34,82          |
| <b>Osoba 2</b>             | 172,39        | 18,80                     | 2,44   | 40,29          |
| <b>Osoba 3</b>             | 193,32        | 15,93                     | 2,05   | 51,17          |
| <b>Osoba 4</b>             | 156,47        | 26,28                     | 2,93   | 39,73          |
| <b>Osoba 5</b>             | 144,66        | 21,47                     | 2,86   | 34,36          |
| <b>Osoba 6</b>             | 157,18        | 24,67                     | 2,80   | 40,11          |
| <b>Osoba 7</b>             | 167,45        | 19,97                     | 2,16   | 41,72          |
| <b>Osoba 8</b>             | 180,41        | 20,31                     | 2,49   | 48,73          |
| <b>Osoba 9</b>             | 172,55        | 23,30                     | 2,60   | 49,70          |
| <b>Osoba 10</b>            | 142,98        | 25,15                     | 2,03   | 53,37          |
| <b>Osoba 11</b>            | 158,30        | 22,77                     | 2,43   | 50,73          |
| <b>Osoba 12</b>            | 178,42        | 18,48                     | 2,36   | 35,40          |
| <b>Osoba 13</b>            | 171,54        | 21,10                     | 2,79   | 41,36          |
| <b>Osoba 14</b>            | 160,83        | 20,77                     | 2,17   | 46,27          |
| <b>Osoba 15</b>            | 192,94        | 17,59                     | 2,19   | 51,49          |
| <b>Průměr</b>              | 168,09        | 20,90                     | 2,44   | 43,95          |
| <b>Medián</b>              | 171,54        | 20,77                     | 2,43   | 41,72          |
| <b>Směrodatná odchylka</b> | 14,51         | 2,98                      | 0,29   | 6,38           |

## 4.2 Výsledky statistického zpracování sledovaných parametrů

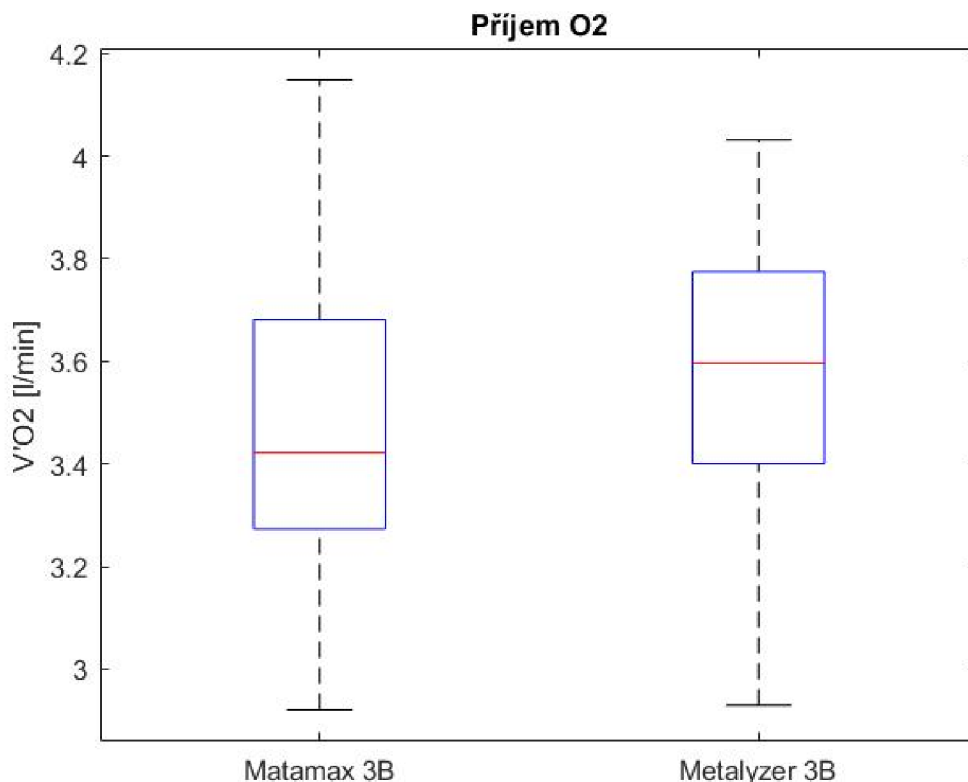
Tabulka 8: Výsledky porovnání testovaných parametrů pomocí t-testu

| Měřená veličina           | Hladina významnosti statistického testu | Vypočtená p-hodnota | Statistická významnost |
|---------------------------|---|---------------------|------------------------|
| V'O <sub>2</sub> [l/min]  | 0,05                                    | 0,54                | NE                     |
| V'CO <sub>2</sub> [l/min] | 0,05                                    | 0,087               | NE                     |
| SF [tepů/min]             | 0,05                                    | 0,49                | NE                     |
| V'E [l/min]               | 0,05                                    | 0,2                 | NE                     |
| DF [dechů/min]            | 0,05                                    | 0,28                | NE                     |
| Čas [min]                 | 0,05                                    | 0,59                | NE                     |

Tato tabulka shrnuje výsledky statistických testů naměřených veličin. Statistická významnost se neprokázala u žádného ze sledovaných parametrů. V'O<sub>2</sub> představuje příjem kyslíku, V'CO<sub>2</sub> je výdej oxidu uhličitého, parametr SF představuje srdeční frekvenci, V'E je minutová ventilace, DF označuje dechovou frekvenci a parametr čas je doba, po kterou byli schopni testování akceptovat zátěž předepsanou protokolem.

V následující části jsou zobrazeny krabicové grafy jednotlivých veličin naměřených přístroji Metalyzer 3B a Metamax 3B. Rozdíly mezi měřeními veličinami nejsou povětšinou nijak výrazné, ale ve většině případů mají měření ve venkovním prostředí větší rozpětí naměřených hodnot. U žádného z měřených parametrů se nevyskytuje velké množství odlehlých hodnot.

#### 4.2.1 Srovnání příjmu O<sub>2</sub> měřené přístrojem Metalyzer 3B a Metamax 3B



Obrázek 3: Srovnání příjmu kyslíku při měření přístrojem Metalyzer 3B a Metamax 3B

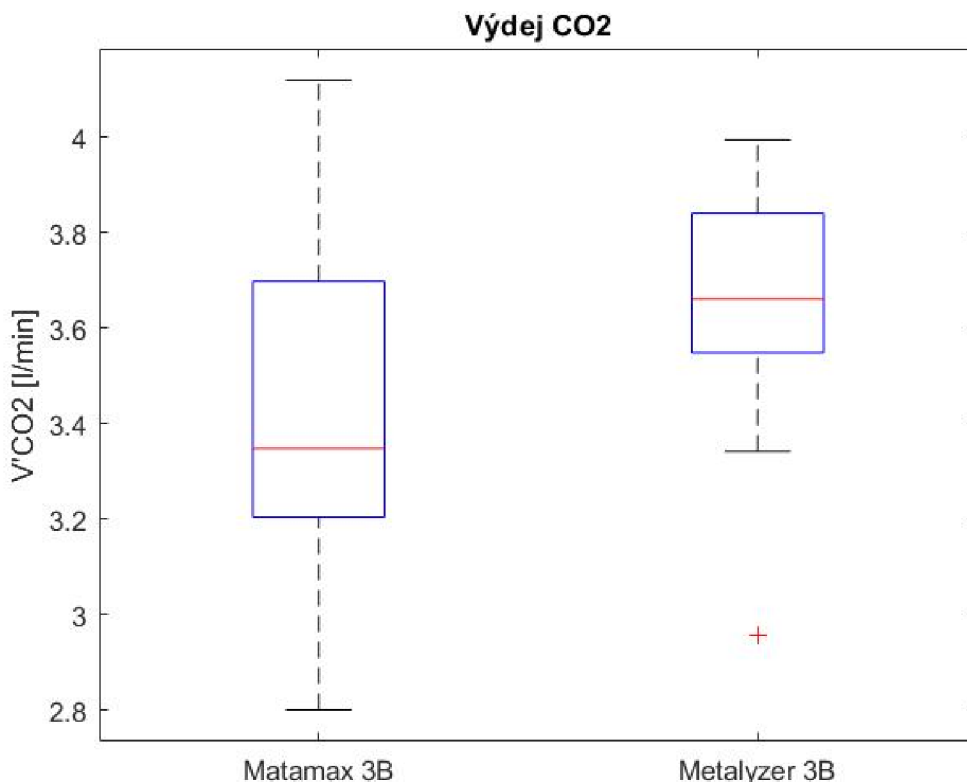
Na obrázku č. 3 je zobrazen krabicový graf, na němž jsou zobrazeny průměry příjmu kyslíku při měření ve vnitřním prostředí přístrojem Metalyzer 3B a průměry ve venkovním prostředí naměřené přístrojem Metamax 3B.

Medián měření ve vnitřním prostředí nabývá hodnoty 3,59 l/min. Většina hodnot při měření přístrojem Metalyzer 3B je v rozmezí hodnot 3,40 až 3,78 l/min. Medián měření ve venkovním prostředí dosahuje hodnoty 3,42 l/min. Většina hodnot při měření přístrojem Metamax 3B je v rozmezí hodnot 3,27 až 3,68 l/min. Ani u jednoho z provedených měření se nenachází žádné odlehlé hodnoty.

Průměr příjmu kyslíku u měření uvnitř byl  $3,58 \pm 0,28$  l/min a u měření venku  $3,51 \pm 0,34$  l/min. U této veličiny nebyla prokázána statistická významnost mezi měřeními ve vnitřním a venkovním prostředí ( $p = 0,54$ ).



#### 4.2.2 Srovnání výdeje CO<sub>2</sub> měřené přístrojem Metalyzer 3B a Metamax 3B



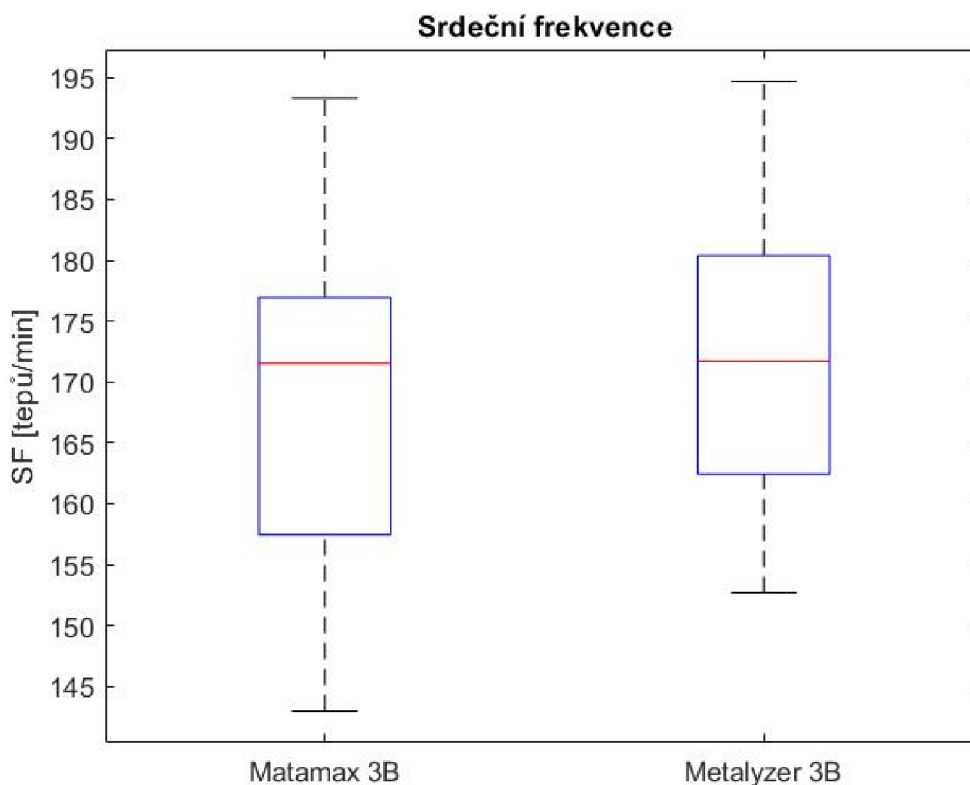
Obrázek 4: Srovnání výdeje oxidu uhličitého při měření přístrojem Metalyzer 3B a Metamax 3B

Na obrázku č. 4 vidíme krabicový graf, na němž jsou zobrazeny průměry výdeje oxidu uhličitého při měření ve vnitřním prostředí přístrojem Metalyzer 3B a průměry ve venkovním prostředí naměřené přístrojem Metamax 3B.

Medián měření ve vnitřním prostředí nabývá hodnoty 3,66 l/min. Většina hodnot při měření přístrojem Metalyzer3B je v rozmezí hodnot 3,55 až 3,84 l/min. Medián měření ve venkovním prostředí dosahuje hodnoty 3,35 l/min. Většina hodnot při měření přístrojem Metamax 3B je v rozmezí hodnot 3,20 až 3,70 l/min. Vyskytla se pouze jedna odlehlá hodnota při měření ve vnitřním prostředí. U této veličiny můžeme pozorovat velký rozdíl mezi rozpětím hodnot naměřených ve venkovním a vnitřním prostředí. Při měření venku bylo rozpětí hodnot 2,80 l/min až 4,12 l/min, což je výrazně vyšší než u měření uvnitř, kde bylo rozpětí hodnot pouze 2,96 l/min až 3,99 l/min.

Průměr výdeje oxidu uhličitého u měření uvnitř byl  $3,64 \pm 0,25$  l/min a u měření venku  $3,44 \pm 0,36$  l/min. U této veličiny nebyla prokázána statistická významnost mezi měřeními ve vnitřním a venkovním prostředí ( $p = 0,087$ )

### 4.2.3 Srovnání srdeční frekvence měřené přístrojem Metalyzer 3B a Metamax 3B



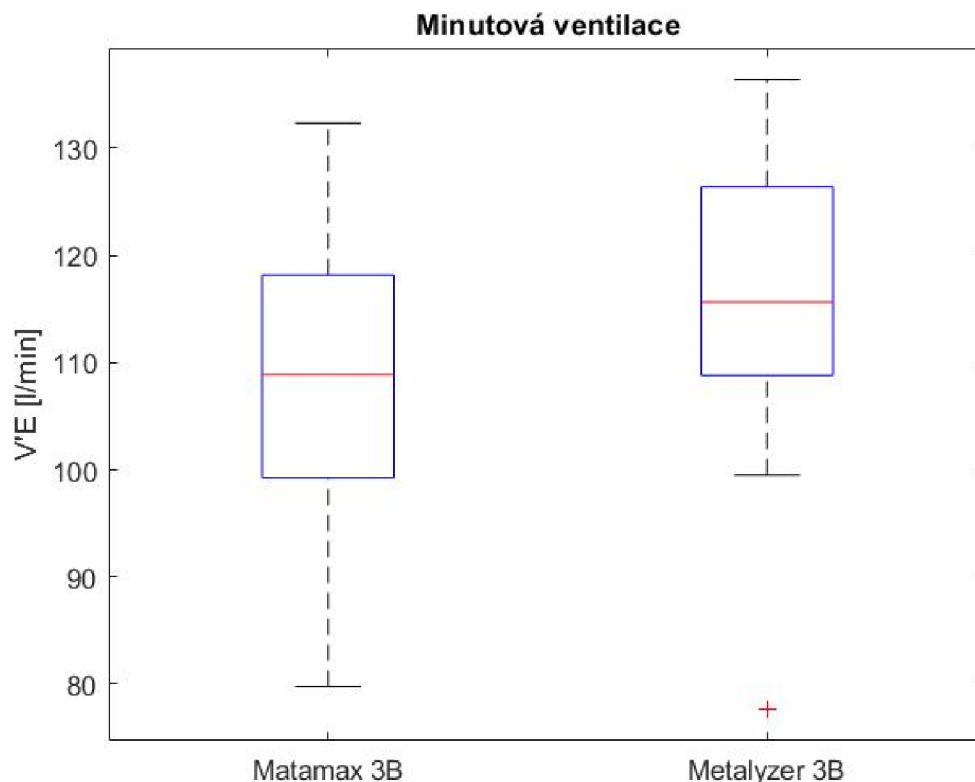
Obrázek 5: Srovnání srdeční frekvence při měření přístrojem Metalyzer 3B a Metamax 3B

Na obrázku č. 6 vidíme krabicový graf, na němž jsou zobrazeny průměry srdeční frekvence při měření ve vnitřním prostředí přístrojem Metalyzer 3B a průměry ve venkovním prostředí naměřené přístrojem Metamax 3B.

Medián měření ve vnitřním prostředí nabývá hodnoty 172 tepů/min. Většina hodnot při měření přístrojem Metalyzer 3B je v rozmezí hodnot 162 až 180 tepů/min. Medián měření ve venkovním prostředí dosahuje hodnoty 172 tepů/min. Většina hodnot při měření přístrojem Metamax 3B je v rozmezí hodnot 157 až 177 tepů/min. Nevyskytly se žádné odlehlé hodnoty. U této veličiny můžeme vidět velmi malé rozdíly mezi měřeními venku a uvnitř.

Průměr srdeční frekvence u měření uvnitř byl  $172 \pm 13$  tepů/min a u měření venku  $168 \pm 15$  tepů/min. U této veličiny nebyla prokázána statistická významnost mezi měřeními ve vnitřním a venkovním prostředí ( $p = 0,49$ )

#### 4.2.4 Srovnání minutové měřené přístrojem Metalyzer 3B a Metamax 3B



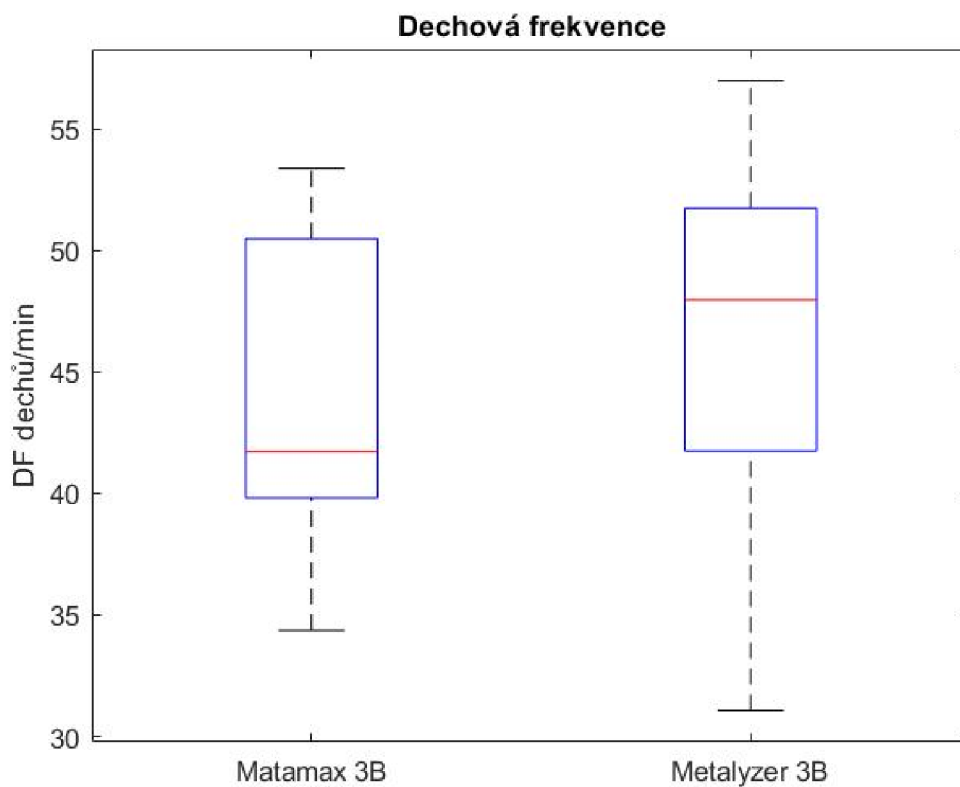
Obrázek 6: Srovnání minutové ventilace při měření přístrojem Metalyzer 3B a Metamax 3B

Na obrázku č. 7 vidíme krabicový graf, na němž jsou zobrazeny průměry minutové ventilace při měření ve vnitřním prostředí přístrojem Metalyzer 3B a průměry ve venkovním prostředí naměřené přístrojem Metamax 3B.

Medián měření ve vnitřním prostředí nabývá hodnoty 115,64 l/min. Většina hodnot při měření přístrojem Metalyzer 3B je v rozmezí hodnot 108,8 až 126,4 l/min. Medián měření ve venkovním prostředí dosahuje hodnoty 108,87 l/min. Většina hodnot při měření přístrojem Metamax 3B je v rozmezí hodnot 79,77 až 118,15 l/min. Vyskytla se pouze jedna odlehlá hodnota při měření ve vnitřním prostředí.

Průměr minutové ventilace u měření uvnitř byl  $114,58 \pm 14$  l/min a u měření venku  $107,5 \pm 14,62$  l/min. U této veličiny nebyla prokázána statistická významnost mezi měřeními ve vnitřním a venkovním prostředí ( $p = 0,2$ ).

#### 4.2.5 Srovnání dechové frekvence měřené přístrojem Metalyzer 3B a Metamax 3B



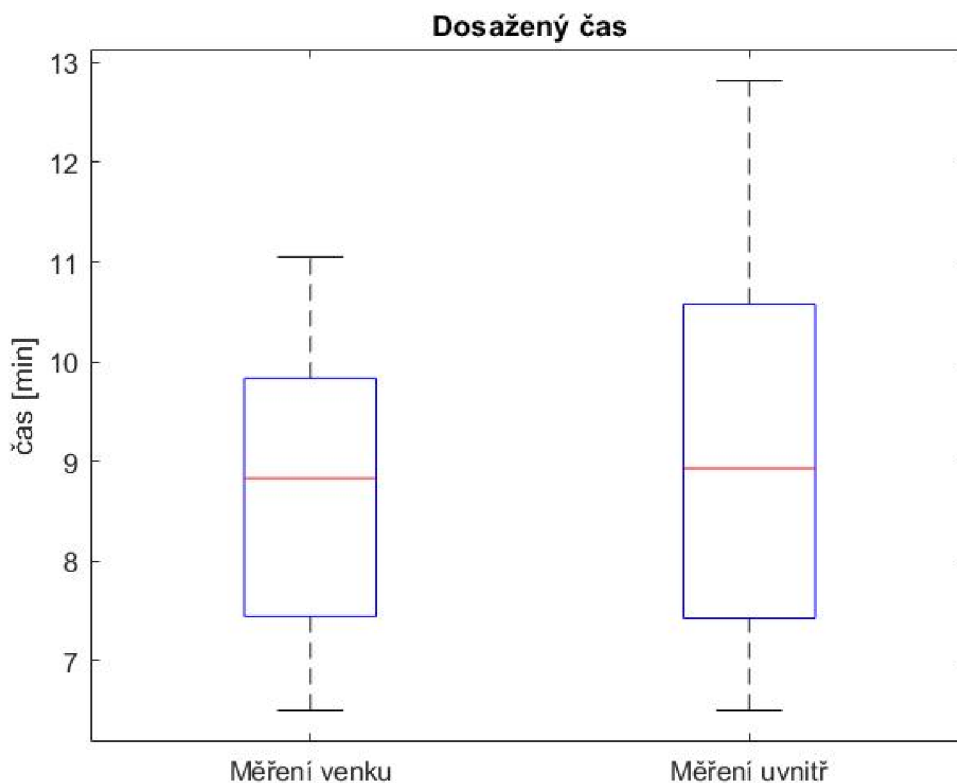
Obrázek 7: Srovnání dechové frekvence při měření přístrojem Metalyzer 3B a Metamax 3B

Na obrázku č. 8 vidíme krabicový graf, na němž jsou zobrazeny průměry dechové frekvence při měření ve vnitřním prostředí přístrojem Metalyzer 3B a průměry ve venkovním prostředí naměřené přístrojem Metamax 3B.

Medián měření ve vnitřním prostředí nabývá hodnoty 47,96 dechů/min. Většina hodnot při měření přístrojem Metalyzer 3B je v rozmezí hodnot 42 až 52 dechů/min. Medián měření ve venkovním prostředí dosahuje hodnoty 41,72 dechů/min. Většina hodnot při měření přístrojem Metamax 3B je v rozmezí hodnot 40 až 50 dechů/min. Nevyskytnuly se žádné odlehle hodnoty. Rozptyl většiny naměřených hodnot byl velmi podobný v obou prostředích, ovšem hodnota mediánu je více odlišná.

Průměr dechové frekvence u měření uvnitř byl  $46,68 \pm 6,75$  dechů/min a u měření venku  $43,95 \pm 6,38$  dechů/min. U této veličiny nebyla prokázána statistická významnost mezi měřeními ve vnitřním a venkovním prostředí ( $p = 0,28$ ).

#### 4.2.6 Srovnání dosaženého času při měření venku a uvnitř

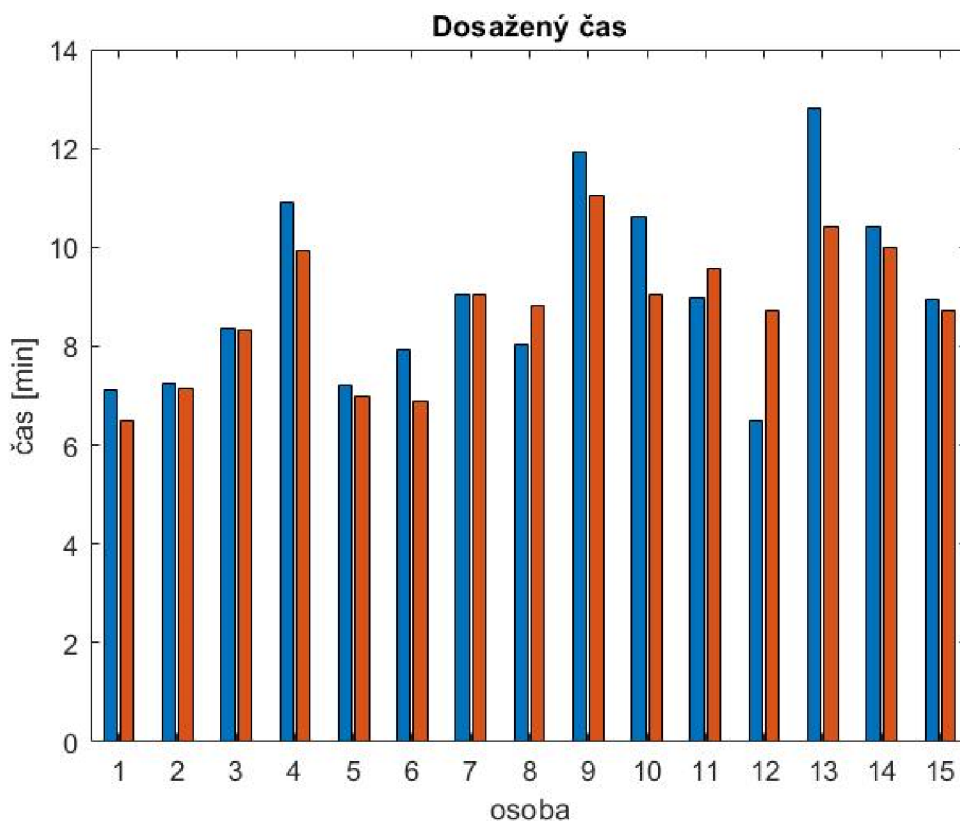


Obrázek 8: Srovnání dosaženého času při měření venku a uvnitř

Na obrázku č. 9 vidíme krabicový graf, na němž je zobrazeno srovnání dosažené zátěže při měření ve vnitřním prostředí přístrojem Metalyzer 3B a ve venkovním prostředí naměřené přístrojem Metamax 3B.

Medián měření ve vnitřním prostředí nabývá hodnoty 8,93 min, což odpovídá zvládnutí téměř celého úseku při rychlosti 18,4 km/h. Většina hodnot při měření přístrojem Metalyzer 3B je v rozmezí hodnot 7,43min až 10,58 min. Medián měření ve venkovním prostředí dosahuje hodnoty 8,83 min. Většina hodnot při měření přístrojem Metamax 3B je v rozmezí hodnot 7,45 až 9,83 min. Nevyskytly se žádné odlehlé hodnoty. Rozptyl naměřených hodnot i medián byl velmi podobný v obou prostředích.

Průměrná dosažená zátěž byla při měření uvnitř byl  $9,07 \pm 1,82$  min, což odpovídá dokončení úseku při rychlosti 18,4 km/h a u měření venku  $8,75 \pm 1,32$  min, to znamená necelý dokončený úsek při rychlosti 18,4 km/h. Při porovnání dosažené zátěže uvnitř a venku nebyla prokázána statistická významnost mezi měřeními ve vnitřním a venkovním prostředí ( $p = 0,59$ ).



Obrázek 9: Srovnání dosaženého času pomocí bar-plotu při měření venku a uvnitř

Na obrázku č. 10 vidíme sloupcový graf, na němž je zobrazeno srovnání dosaženého času pro jednotlivé osoby, kdy testovaný nebyl již dále schopen akceptovat stanovenou rychlost běhu, při měření ve vnitřním prostředí přístrojem Metalyzer 3B a ve venkovním prostředí naměřené přístrojem Metamax 3B.

I když dle statistického testu je rozdíl mezi dosaženým časem venku a uvnitř statisticky nevýznamný, ze sloupcového grafu můžeme vidět, že v jedenácti případech byla osoba schopna vydržet déle běžet uvnitř. V průměru u těchto jedenácti úseků o  $45 \pm 41,4$  sekund déle. V jednom případě dopadly testy venku a uvnitř shodně. A ve třech případech byla vyšší zátěž dosažena při venkovním měření a to o  $72,6 \pm 43,2$  sekund.

## 5. DISKUSE

Se stále se vyvíjejícími technologiemi vzniká možnost kvalitního testování v podmínkách přirozených pro jednotlivé sporty. Nejenže dnes můžeme běžce testovat na atletickém ovále, cyklisty na velodromu nebo dokonce na klasických silnicích, sportovní technologie v poslední době pokročily dokonce do takové míry, že jsme schopni testovat příjem kyslíku a ostatní metabolické parametry například u plavců v bazénu.

Tato práce se zaměřuje na porovnání metabolických parametrů při běžeckém testu do maxima. Data byla naměřena nejprve uvnitř v laboratoři pomocí přístroje Metalyzer 3B a následně ve venkovním prostředí na atletickém ovále přístrojem Metamax 3B, při použití stejného testovacího protokolu. Byly analyzovány veličiny příjem kyslíku, výdej oxidu uhličitého, respirační koeficient, minutová ventilace, dechová frekvence a srdeční tep. Srdeční tep je jediný parametr, který není měřen přístroji firmy Cortex, ale hrudním pásem Polar H7. Tento hrudní pás je použit v obou měřeních, proto u tohoto parametru neporovnáváme rozdíl mezi přístroji, ale spíše stálost srdeční frekvence v čase. Bylo zjišťováno, zda je statisticky významný rozdíl mezi parametry naměřenými uvnitř přístrojem Metalyzer 3B a venku přístrojem Metamax 3B a hlavním cílem bylo zjištění, zda lze kvalitně měřit metabolické parametry pomocí přenosného přístroje Metamax 3B, který je zmenšenou verzí laboratorního přístroje Metalyzer 3B.

Průměry všech sledovaných veličin byly vyšší v laboratorním prostředí. Jelikož se jedná o takové fyziologické parametry, které rostou se zvyšující se fyzickou zátěží, můžeme z této skutečnosti vyvodit, že sportovec je schopen při běhu na pásu dosáhnout vyšší zátěže než při běhu na atletickém ovále. Tomu odpovídá i výsledek porovnání dosažené zátěže venku a uvnitř, kdy jedenáct testovaných bylo schopno déle akceptovat zátěž právě v laboratorních podmínkách, i když dle statistického hlediska nebyla prokázána statistická významnost ( $p = 0,59$ ).

Skutečnost, že testovaní byli schopni ve většině případů dosahovat větší zátěže uvnitř, bychom mohli přisuzovat lepší ekonomice běhu na pásu, studie ale naznačují pravý opak. Běh venku je dle zjištění ekonomičtější a větší hodnoty fyziologických parametrů vznikají v důsledku mírně odlišného zapojení svalů při běhu na pásu, to pak může vést vyššímu energetickému výdeji a zároveň k vyšším sledovaným fyziologickým parametrům [22]. Při běhu na pásu mohou být zároveň nižší nároky na mentální aspekt výkonu, než když testovaní museli akceptovat tempo cyklisty. Dále jsou zde okolnosti, které mohly ovlivnit výkon a tím i sledované veličiny při měření venku, kdy nebylo možné vždy měření absolvovat v naprosto identických podmínkách, jaké jsou v laboratoři a do výsledků mohly výjimečně vstupovat proměnné jako nižší teplota nebo povětrnostní podmínky. Přístroje Metalyzer 3B a Matamax 3B obsahují stejné komponenty, s tím

rozdílem, že v přístroji Metamax 3B jsou zmenšené, tak aby byl přístroj přenosný. Vzhledem k tomuto faktu by se dalo předpokládat, že by měly měřit stejně nebo jen s minimální odchylkou. Z výše zmíněných veličin byl nejmenší rozdíl zjištěn u příjmu kyslíku, kdy průměr naměřených hodnot uvnitř byl pouze o 2,11 % vyšší než průměr hodnot z venkovního prostředí. Druhý nejmenší rozdíl byl u srdeční frekvence ( $p = 0,49$ ), kdy průměr hodnot naměřených uvnitř byl o 2,15 % větší než při měření venku. Jak je již zmíněno výše, zde byly hodnoty měřeny v obou případech stejným zařízením. Větší rozdíly pak byly u parametrů výdeje oxidu uhličitého, kde uvnitř byl průměr hodnot vyšší o 6,07 %. Dále u minutové ventilace ( $p = 0,2$ ), zde byl průměr vyšší o 6,59 % a velmi podobný výsledek byl zjištěn u dechové frekvence ( $p = 0,28$ ), s průměrem uvnitř vyšším o 6,21 % než při měření venku.

Na téma porovnání přístrojů pro analýzu metabolických parametrů nebylo provedeno mnoho studií. Jednou z mála je studie Meyera [51] „Reliabilita měření výměny plynů, u dvou různých spiroergometrických systémů“, kde však bylo měření prováděno na cyklistickém ergometru v obou případech v laboratorních podmínkách, dalším rozdílem bylo, že v této práci byl použit starší model přenosného přístroje Metamax I., který na rozdíl od Matamaxu 3B využívá technologie mixing chamber, zatímco Metamax 3B měří v breath-by-breath módu, stejně jako stacionární přístroj Metalyzer 3B. Bylo zjištěno, že při měření těmito zařízeními nejsou systematické změny ve výměně plynů. Přenosný metabolický analyzátor se dá považovat za reliabilní měřicí přístroj. Těmto výsledkům odpovídají i závěry v naší práci.

Další prací je studie D.J Macfarlanea „Validita, reliabilita a stabilita přenosného analyzátoru plynů Matamax 3B“ [52]. Oproti předchozí studii zde už byl výzkum prováděn s přístrojem Metamax 3B, který je použit i v naší práci. Rozdílné bylo, že výsledky měření Metamaxem 3B v této studii byly porovnávány oproti přístroji Gas Exchange System Validator (GESV). V této studii byla prokázána stabilita i reliabilita přístroje Metamax 3B při porovnání s GESV, ovšem při porovnání s metodou (Douglas bag methoth) nebyla prokázána validita při středně a vysoce intenzivním fyzickém výkonu. Metamax 3B podle této studie parametry příjmu kyslíku a výdeje oxidu uhličitého nadhodnocoval až o 17 %, to se neshoduje s naší prací, kdy výsledky z přístroje Metamax 3B byly oproti těm laboratorním spíše podhodnocené. Je však dobré zmínit, že studie D.J. Macfarlanea byla prováděna pouze na vzorku osmi lidí a porovnání zde bylo oproti jiným přístrojům nebo metodám měření než v naší práci.

Maekawa prováděl v roce 2013 dvě studie, kdy u jedné zjišťoval reprodukovatelnost výsledků přístroje Metamax 3B, při kterém dvakrát opakoval stejný test na vzorku 20ti osob, a došel k závěru, že tento přístroj produkuje v čase stabilní výsledky. [53] Ve stejném roce prováděl studii Yoza, ve které porovnával již zmíněný



přenosný přístroj se stacionárním přístrojem AR-310S. Koeficient vnitrotřídní korelace (ICC) vyšel 0,98, i přes tuto vysokou hodnotu se Yoza domnívá, že přístroj Metamax 3B generuje lehce zkreslené výsledky oproti stacionárnímu přístroji. [54]

Zcela objektivní srovnání výsledků naší práce s uváděnými studii není možné, protože i nejpodobnější studie od Mayera pracuje se starší verzí přístroje Matemax, který měří na jiném principu než ten použitý v naší práci. Výsledky všech studií i naší práce se ale shodují v tom, že rozdíly mezi přístrojem přenosným a stacionárním existují, ale nejsou tak významné, abychom nemohli považovat venkovní měření za validní.

## 6. ZÁVĚR

Tato práce se zabývá porovnáním naměřených fyziologických veličin přístrojem Metalyzer 3B v laboratorním prostředí a přístrojem Metamax 3B ve venkovním prostředí. Účelem je zjištění, zda jsou hodnoty měřené přenosným přístrojem srovnatelné s těmi laboratorními a můžeme je tedy považovat za validní.

V rámci práce bylo provedeno měření na patnácti testovaných osobách, které absolvovaly dvakrát identický běžecký zátěžový protokol do maxima. Jak při testu uvnitř, tak i venku byly měřeny fyziologické parametry příjem kyslíku, výdej oxidu uhličitého, respirační koeficient, minutová ventilace, dechová frekvence a srdeční tep. Následně byly porovnávány hodnoty těchto parametrů naměřených uvnitř a venku.

Nejvíce shodných výsledků bylo dosaženo při porovnání příjmu kyslíku ( $p = 0,54$ ), kdy průměr naměřených hodnot uvnitř byl pouze o 2,11 % větší než průměr hodnot z venkovního prostředí. Jelikož jde o primární parametr, který pozorujeme při fyziologických testech, je tento výsledek pozitivní, protože ukazuje na možnost validního využití přenosných přístrojů, které umožňují testování sportovců v podmínkách přirozených pro jejich disciplínu. Podobného rozdílu bylo dosaženo u srdeční frekvence, zde byl průměr naměřených hodnot uvnitř o 2,15 % větší. U ostatních sledovaných veličin byly rozdíly měření uvnitř vyšší o zhruba 6 %, ale všechny sledované veličiny neprokazovaly statisticky významný rozdíl.

Z naměřených výsledků lze vyvodit, že určité rozdíly mezi měřením přenosným a stacionárním metabolickým analyzátozem existují, nejsou však nijak zásadní a měření přenosným přístrojem bychom mohli považovat za validní, nepotvrdila se tak hypotéza, kterou jsme v úvodu práce stanovili. U všech parametrů byly výsledky při měření venku nižší. Otázkou ale zůstává, zda tyto nižší hodnoty přisuzovat rozdílu mezi přístroji nebo spíše vnějším vlivům, jako povětrnostním podmínkám ve venkovním prostředí nebo psychologickým aspektům, například nižší motivaci následovat běžce na jízdě kole, než akceptovat zvyšující se rychlost běžeckého pásu.

## LITERATURA

- [1] MOH, Har a Jared W COBURN, 2008. Strategies for Cardiopulmonary Exercise Testing of Pectus Excavatum Patients. *Clinics* [online]. São Paulo, Brazil, 01.05.2008, **2008**(63), 245-254 [cit. 2021-10-21]. Dostupné z: doi:10.1590/S1807-59322008000200014
- [2] EVANS, C.H. a R.D. WHITE, 2009. *Exercise Testing for Primary Care and Sports Medicine Physicians* [online]. 2rd. Spring street, New York, USA: Springer Science & Business Media [cit. 2021-10-26]. ISBN 9780387765976. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=jyy7rceM4awC>
- [3] WILLIAMS, Camilla, Mark G. WILLIAMS, Nir EYNON, Kevin J. ASHTON, Jonathan P. LITTLE, Ulrik WISLOFF<sup>1,6</sup> a Jeff S. COOMBES, 2017. Genes to predict VO<sub>2</sub>max trainability: a systematic review. *BMC Genomics* [online]. BMC Genomics, 14.11.2017, 2017(18) [cit. 2021-10-18]. ISSN 1471-2164. Dostupné z: doi:10.1186/s12864-017-4192-6
- [4] HALE, Tudor, 2005. *Exercise Physiology: A Thematic Approach* [online]. 5. West Sussex, England: John Wiley [cit. 2021-10-18]. ISBN 0470869674, 9780470869673. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=Mkl7suyg6n8C>
- [5] MIDGLEY, Adrian W., Lars R. MCNAUGHTON, Remco POLMAN a David MARCHANT, 2007. Criteria for Determination of Maximal Oxygen Uptake. *Sports Medicine* [online]. 01.12.2007, **2007**(37), 1019-1028 [cit. 2021-10-21]. ISSN 1179-2035. Dostupné z: doi:10.2165/00007256-200737120-00002
- [6] HILL, A. V. a Hartley LUPTON, 1923. Muscular Exercise, Lactic Acid, and the Supply and Utilization of Oxygen. *An International Journal of Medicine* [online]. 01.01.1923, **1923**(16), 135-171 [cit. 2021-10-25]. ISSN 1460-2725. Dostupné z: doi:10.1093/qjmed/os-16.62.135
- [7] TAYLOR, H. L., E BUSKIRK a A HENSCHHEL, 1955. Maximal oxygen intake as an objective measure of cardio-respiratory performance. *Journal of applied physiology* [online]. 01.07.1955, **1955**(8), 73-80 [cit. 2021-10-25]. ISSN 0021-8987. Dostupné z: doi:10.1152/jappl.1955.8.1.73
- [8] ROBERGS, Robert A., Dan DWYER a Todd ASTORINO, 2012. Recommendations for Improved Data Processing from Expired Gas Analysis Indirect Calorimetry. *Sports Medicine* [online]. 01.02.2010, **2010**(40), 95-111 [cit.

2021-10-25]. ISSN 1179-2035. Dostupné z: doi:10.2165/11319670-000000000-00000

- [9] GORDON, Dan, Madeleine WOOD, Andrew PORTER, et al., 2014. Influence of blood donation on the incidence of plateau at  $\dot{V}O_{2\max}$ . *European Journal of Applied Physiology* [online]. 01.01.2014, **2014**(114), 21-27 [cit. 2021-10-25]. ISSN 1439-6327. Dostupné z: doi:10.1007/s00421-013-2743-3
- [10] ASTORINO, T. A., J. WILLEY, J. KINNAHAN, S. M. LARSSON, H. WELCH a L. C. DALLECK, 2005. Elucidating determinants of the plateau in oxygen consumption at  $VO_{2\max}$ . *British journal of sports medicine* [online]. 09.2005, **2005**(39), 655-660 [cit. 2021-10-25]. ISSN 1473-0480. Dostupné z: doi:10.1136/bjism.2004.016550
- [11] ROSSITER, H B, J M KOWALCHUK a B.J WHIPP, 2006. A test to establish maximum  $O_2$  uptake despite no plateau in the  $O_2$  uptake response to ramp incremental exercise. *Journal of applied physiology* [online]. 1.4.2006, **2006**(100), 764-770 [cit. 2021-10-25]. ISSN 0161-756. Dostupné z: doi:10.1152/jappphysiol.00932.2005
- [12] BELTRAMI, Fernando G., Del P. DEL P. a Timothy D. NOAKES, 2014. High prevalence of false-positive plateau phenomena during  $VO_{2\max}$  testing in adolescents. *Journal of Science and Medicine in Sport* [online]. 30.8.2013, **2013**(17), 526-530 [cit. 2021-10-25]. ISSN 1440-2440. Dostupné z: doi:https://doi.org/10.1016/j.jsams.2013.07.012
- [13] PAULO, TG, DHARINI, et al., 2018. Commentaries on Viewpoint:  $Vo_{2\text{peak}}$  is an acceptable estimate of cardiorespiratory fitness but not  $Vo_{2\max}$ . *Journal of Applied Physiology* [online]. 25.07.2018, **2018**(125), 233-240 [cit. 2021-10-25]. Dostupné z: doi:https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00319.2018
- [14] POOLE, David a Andrew M JONES, 2017. Measurement of the Maximum Oxygen Uptake ( $VO_{2\max}$ ):  $VO_{2\text{peak}}$  is no longer acceptable. *Journal of Applied Physiology* [online]. 11.04.2017, **2017**(122), 997-1002 [cit. 2021-10-25]. Dostupné z: doi:10.1152/jappphysiol.01063.2016
- [15] COOPER, Christopher a Thomas W. STORER, 2001. *Exercise Testing and Interpretation: A Practical Approach* [online]. 1rd. The Edinburgh Building, Cambridge, UK: Cambridge University Press [cit. 2021-10-26]. ISBN 9780521648424. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=lo3YOjS3NZkC>

- [16] BROWN,, Stanley P., Wayne C. MILLER, a Jane M. EASON, 2006. *Exercise Physiology: Basis of Human Movement in Health and Disease* [online]. Ilustrované vydání. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins [cit. 2021-10-26]. ISBN 9780781777308. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=T-s3OAZdlhsC>
- [17] CARROLL, Robert G., 2007. Elsevier's Integrated Physiology. : *Pulmonary System* [online]. s. 99-115 [cit. 2022-04-25]. ISBN ISBN 9780323043182. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-04318-2.50016-9>
- [18] HEALTHCARE, I. a W. KARWOWSKI, 2006. International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors. HEALTHCARE a W. KARWOWSKI. *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors: 3 Volume Set* [online]. 2. University of Louisville, Kentucky, USA: CRC Press, s. 465-466 [cit. 2021-11-01]. ISBN 0849375479. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=Ih-z6lkTO8EC>
- [19] HELLER, Jan, 2008. *Zátěžová a funkční diagnostika ve sportu: východiska, aplikace a interpretace*. Univerzita Karlova: Karoliun. ISBN 9788024633596.
- [20] BELTZ, Nicholas M, Ann L GIBSON, Jeffrey M JANOT, Len KRAVITZ, Christine M MERMIER a Lance C DALLECK, 2016. Graded Exercise Testing Protocols for the Determination of VO<sub>2</sub>max: Historical Perspectives, Progress, and Future Considerations. *Journal of sports medicine: (Hindawi Publishing Corporation)* [online]. 25.12.2016, **2016**, 1-13 [cit. 2021-11-03]. ISSN 2356-7651. Dostupné z: doi:10.1155/2016/3968393
- [21] BARTON, Monica A., Daniel J. LARSON, David J. LANTIS 1, John W, FARRELL III, Greg S. CANTRELL, Shelby R. SHIPMAN a Rebecca D. LARSON. *Comparison between VO<sub>2</sub>max cycling protocols* [online]. 01.05.2014 [cit. 2021-11-03]. Dostupné z: doi:10.13140/RG.2.1.1489.9682
- [22] MEYER, T, J-P WELTER, J SCHARHAG a W KINDERMANN. Maximal oxygen uptake during field running does not exceed that measured during treadmill exercise. *European Journal of Applied Physiology* [online]. 2003, 1.1.2003, (88), 1-10 [cit. 2021-12-26]. ISSN 1439-6327. Dostupné z: doi:10.1007/s00421-002-0718-x
- [23] SMITH, Phillip a Nicolas BERGER, 2020. Lab and field vo<sub>2</sub>peak testing in highly trained cyclists. *The Journal of Sport and Exercise Science* [online]. 24.1.2020, 2020(4), 1-10 [cit. 2021-12-26]. ISSN 2703-240X. Dostupné z: <https://doi.org/10.36905/jses.2020.01.01>

- [24] RIEBE, Deborah, Johnatan K. EHRMAN, Gary LIGUORY a Meir MAGAL, ed., 2018. *ACSM's guidlenes for exercise testing and prescription: American College of Sports Medicine 's guidlenes for exercise testing and prescription*. 10. Philadelphia: Wolters Kluwer Health. ISBN 9781496339065
- [25] GATZ, G., 2009. Beep Test (Bangsbo YO-YO Intermittent Recovery). *Complete Conditioning for Soccer* [online]. 1. USA: Human Kinetics, s. 13-14 [cit. 2021-11-03]. ISBN 9780736077132. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=j\ p9cb03k7kC>
- [26] BANGSBO, J., F.M IAIA a P. RUSTRUP, 2008. The Yo-Yo Intermittent Recovery Test. *Sports Medicine* [online]. 01.01.2008, **2008**(38), 37-51 [cit. 2021-11-03]. ISSN 1179-2035. Dostupné z: doi:10.2165/00007256-200838010-00004
- [27] BEIJST, Casper, Schep GOOF, Breda ERIC, Pul CAROLA a Wijn P.F.F. Accuracy and precision of CPET equipment: A comparison of breath-by-breath and mixing chamber systems. *Journal of medical engineering & technology* [online]. 31.10.2012, **2012**(37), 2012 [cit. 2021-12-25]. Dostupné z: doi:10.3109/03091902.2012.733057
- [28] NIEMAN, David, Melanie AUSTIN, Dustin DEW a Alan UTTER, 2013. Validity of COSMED's Quark CPET Mixing Chamber System in Evaluating Energy Metabolism During Aerobic Exercise in Healthy Male Adults. *Research in Sports Medicine* [online]. 1.4.2013, **2013**(21), 136-145 [cit. 2021-12-25]. ISSN 1543-8627. Dostupné z: doi:10.1080/15438627.2012.757227
- [29] *Brochure Quark CPET: Cardio Pulmonary Exercise Testing* [Brožura o přístroji]. Řím. Dostupné také z: <https://www.cosmed.com/en/products/cardio-pulmonary-exercise-test/quark-cpet>
- [30] *Brochure Ergostik: Cardio Pulmonary Diagnostics* [Brožura o přístroji]. United Kingdom. Dostupné také z: <https://www.lovedmedical.com/product/ergostik-cpet-system/>
- [31] SOUREN, Tjeu, Edward ROSE a Herman GROEPENHOFF, 2021. Comparison of Two Metabolic Simulators Used for Gas Exchange Verification in Cardiopulmonary Exercise Test Carts. *Frontiers in physiology* [online]. 3.6.2021, **2021**(12) [cit. 2021-12-25]. ISSN 1664-042X. Dostupné z: doi:10.3389/fphys.2021.667386

- [32] *Brochure Vyntus CPX: Powered by SentrySuite*. Germany. Dostupné také z: <https://www.swordmedical.ie/product/vyntuscpx4/>
- [33] TSEKOURAS, E YIANNIS, TAMBALIS, et al., 2019. Validity and Reliability of the New Portable Metabolic Analyzer PNOE. *Frontiers in Sports and Active Living* [online]. **2019**(1), 0-24 [cit. 2021-12-01]. Dostupné z: doi:10.3389/fspor.2019.00024
- [34] MONTOYE, Alexander H K, Vondrasek JOSEPH D a James B HANCOCK II., 2020. Validity and Reliability of the VO2 Master Pro for Oxygen Consumption and Ventilation Assessment. *International journal of exercise science* [online]. 1.9.2020, **2020**(13), 1382-1401 [cit. 2021-12-02]. ISSN 1939-795X. Dostupné z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33042375>
- [35] GUIDETTI, Laura, Marco MEUCCI, Francesco BOLLETTA, Gian Pietro EMERENZIANI, Maria GALLOTTA a Carlo BALDARI. Alidity, reliability and minimum detectable change of COSMED K5 portable gas exchange system in breath-by-breath mode. *PLOS ONE* [online]. 31.12.2018, **2018**(13) [cit. 2021-12-25]. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0209925
- [36] *Brochure K5: Wearable Metabolic System for both Field and Laboratory Testing* [Brožura o přístroji]. Rome. Dostupné také z: [https://www.cosmed.com/hires/K5\\_Brochure\\_EN\\_C04325-02-93\\_A4\\_print.pdf](https://www.cosmed.com/hires/K5_Brochure_EN_C04325-02-93_A4_print.pdf)
- [37] VANHOY, Ryan Adam, 2012. A comparison of two different treadmill protocols in measuring maximal oxygen consumption in highly trained distance [online]. University of North Carolina at Chapel Hill [cit. 2021-10-20]. Dostupné z: file:///C:/Users/Thoma/Downloads/A\_comparison\_of\_two\_different\_treadmill\_protocols\_in\_measuring\_maximal\_oxygen\_consumption\_in\_highly\_trained\_distance\_runners%20(6).pdf. Diplomová práce. University of North Carolina at Chapel Hill. Vedoucí práce Claudio L. Battaglini.
- [38] POKAN, Rochus, G SCHWABERGER, Peter HOFMANN, et al., 1995. Effects of Treadmill Exercise Protocol with Constant and Ascending Grade on Levelling-Off O<sub>2</sub> Uptake and VO<sub>2</sub> max. *International Journal of Sports Medicine* [online]. 06.1995, **1995**(16), 238-242 [cit. 2021-10-20]. ISSN 1439-3964. Dostupné z: doi:10.1055/s-2007-972998
- [39] JONES, A M a J H DOUST, 1996. A 1% treadmill grade most accurately reflects the energetic cost of outdoor running. *Journal of sports sciences* [online]. 08.1996, **1996**(14), 321-327 [cit. 2021-10-20]. ISSN 0264-0414. Dostupné z: doi:10.1080/02640419608727717



- [40] BERRY, Nathaniel, Laurie WIDEMAN, Edgar W SHIELDS a Claudio L BATTAGLINI, 2016. The Effects of a Duathlon Simulation on Ventilatory Threshold and Running Economy. *Journal of sports science & medicine* [online]. University of North Carolina at Chapel Hill , Chapel Hill, NC, USA., 23.5.2016, **2016**(15), 247-253 [cit. 2021-10-20]. ISSN 1303-2968. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4879437/>
- [41] *Operator's Manual MetaLyzer® 3B: Operation, Calibration, Maintenance* [online manuál], Publication No. 931-00-243. Version ML3B 2.1. [cit. 2021-12-25]. Dostupné také z: <https://cortex-medical.com/DE/metalyzer-3B.htm>
- [42] *User Manual: Metamax 3B* [online manuál]. 931-00-227/08. United Kingdom: MIE media research [cit. 2021-12-25]. Dostupné z: <https://cortex-medical.com/DE/METAMAX-3B.htm>
- [43] 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.
- [44] *Specification Lode Valiant 2 Sport* [online specifikace]. Netherlands [cit. 2021-12-25]. Dostupné z: <https://www.lode.nl/en/product/valiant-2-sport/507>
- [45] ALKAHTANI a A. SHAEA, 2017. A cross-sectional study on sarcopenia using different methods: reference values for healthy Saudi young men. *BMC Musculoskeletal Disorders* [online]. 21.03.2017, **2017**(18):119 [cit. 2021-12-02]. ISSN 1471-2474. Dostupné z: doi:10.1186/s12891-017-1483-7
- [46] HOWE, Cheryl A., Riley J. CORRIGAN, Maya DJALALI, Chris MCMANAWAY, Alexandra GRBCICH a Grace Sam AIDOO, 2021. Feasibility of Using Bioelectrical Impedance Analysis for Assessing Youth Weight and Health Status: Preliminary Findings. *International Journal of Environmental Research and Public Health* [online]. 26.09.2021, **2021**(18), 1-13 [cit. 2021-12-02]. ISSN 1660-4601. Dostupné z: doi:10.3390/ijerph18191009
- [47] Polar: Hrudní pás POLAR H7 Bluetooth. *Polar* [online]. [cit. 2022-04-26]. Dostupné z: <https://www.polar-eshop.cz/hrudni-pas-polar-h7-bluetooth-v-ecobaleni>



- [48] PAVLÍK, Tomáš a Ladislav DUŠEK, 2012. Biostatistika. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM. ISBN 978-80-7204-782-6.
- [49] BUDÍKOVÁ,, Marie, Tomáš LERCH a Štěpán MIKOLÁŠ, 2005. Základní statistické metody. 1. Brno: Masarykova univerzita. ISBN 9788021038868.
- [50] MOOSES, M, B TIPPI, K MOOSES, J DURUSSEL a J MÄESTU, 2015. Better economy in field running than on the treadmill: evidence from high-level distance runners. *Biol Sport* [online]. 2015/03/15, 2(32), 155-159 [cit. 2022-04-27]. ISSN 2083-1862. Dostupné z: doi:10.5604/20831862.1144418
- [51] MEYER, T, T GEORG, C BECKER a W KINDERMANN, 2001. Reliability of gas exchange measurements from two different spiroergometry systems. *International journal of sports medicine* [online]. 2001/11/24, 8(22), 593–597 [cit. 2022-04-27]. ISSN 0172-4622. Dostupné z: doi:10.1055/s-2001-18523.
- [52] MACFARLANE, D. J a P. WONG, 2012. Validity, reliability and stability of the portable Cortex Metamax 3B gas analysis system. *European Journal of Applied Physiology* [online]. 2012/07/01, 7(112), 2539–2547 [cit. 2022-04-27]. ISSN 1439-6327. Dostupné z: doi:10.1007/s00421-011-2230-7
- [53] MAEKAWA, HARUKA, KAZUYA TAKADA, TAKAHIRO FUKUGAWA a KOTARO MIKAWA, 2013. Reproducibility of the METAMAX 3B Portable Metabolic System in the Multistep Exercise Test Using the Half-sitting Ergometer. *Rigakuryoho Kagaku* [online]. 2013/10/08, 5(28), 627-630 [cit. 2022-04-27]. Dostupné z: doi:10.1589/rika.28.487
- [54] YOZA, Yoshiyasu, Kazuya TAKADA, Takahiro FUKUGAWA, Haruka MAEKAWA a Kotaro MIKAWA, 2013. Comparison of the Portable Metabolic System (METAMAX 3B) and the Stationary Metabolic System (AE-310S) Using the Multistep Exercise Test and a Half-sitting Ergometer. *Rigakuryoho Kagaku* [online]. 4(28), 487-490 [cit. 2022-04-27]. Dostupné z: doi:10.1589/rika.28.487

## **SEZNAM PŘÍLOH**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>PŘÍLOHA A - SEZNAM SOUBORŮ NA CD .....</b>          | <b>55</b> |
| <b>PŘÍLOHA B - INFORMOVANÝ SOUHLAS S MĚŘENÍM .....</b> | <b>56</b> |

## **Příloha A - Seznam souborů na CD**

Příložené CD obsahuje:

- Elektronická verze práce ve formátu PDF pod názvem Tomáš\_Kříž\_BP
- Statistické zpracování v programu Matlab - verze R2020b
- Data ve formátu .xlsx

# Příloha B - Informovaný souhlas s měřením

**Projekt 6/22s**

**Analýza fyziologických parametrů z dat generovaných spirometrií v laboratoři, přenosným metabolickým analyzátozem Metamax 3B a metabolizérem VO2 Master Pro**

**Projekt je vypracován na základě řešení BP:**

CESA VUT v Brně

**Hlavní řešitel projektu: Mgr. Daniela Chlíbačková, Ph.D**

**Období realizace:** únor 2022 – červen 2024

Vážená paní, vážený pane,

obracíme se na Vás se žádostí o spolupráci na výzkumném projektu, jehož cílem je měření maximální spotřeby kyslíku a klidového metabolismu v laboratoři klasickou spirometrií a také terénní testování a měření přenosnými telemetrickými systémy. Pohybové aktivity (běh, jízda na cyklistickém ergometru), které jsou v průběhu testování prováděny jsou určeny pro zdravou populaci. Účastníci jsou opakovaně testováni pomocí přístrojové techniky, která je bezpečná, bez rizika způsobení úrazu. Testy probíhají v masce určené pro spirometrické testy. Pomocí rozdílných testů (rampový nebo stupňový test) bude prováděna zátěžová spirometrie při běhu na běžeckém pásu a jízdě na cyklistickém ergometru do individuální maximální intenzity zátěže a klidová spirometrie vleže v klidu v laboratoři. Budou využity přístroje: Metalyzér, Metamax 3B, VO2 Master Pro, cyklistický ergometr Excalibur, běžecký pás Ergoline Valiant v laboratoři a také budou prováděny terénní běžecké (simulace laboratorního stupňového testu) a chodecké testy (např. RockPort test a Cooper test) pro predikci maximální spotřeby kyslíku v areálu stadionu CESA. Pokud s účastí na projektu souhlasíte, připojte podpis, kterým vyslovujete souhlas s níže uvedeným prohlášením.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že souhlasím s účastí na výše uvedeném projektu. Řešitelé projektu mě informovali o podstatě výzkumu a seznámili mě s cíli a metodami a postupy, které budou při výzkumu používány, podobně jako s výhodami a riziky, které pro mě z účasti na projektu vyplývají. Souhlasím s tím, že všechny získané údaje budou použity jen pro účely výzkumu a že výsledky výzkumu mohou být anonymně publikovány. Měl/a jsem možnost vše si řádně, v klidu a v dostatečně poskytnutém čase zvážit, měl/a jsem možnost se řešitele zeptat na vše, co jsem považoval/a za pro mě podstatné a potřebné vědět. Na tyto mé dotazy jsem dostal/a jasnou a srozumitelnou odpověď. Jsem informován/a, že mám možnost kdykoliv od spolupráce na projektu odstoupit, a to i bez udání důvodu. Tento informovaný souhlas je vyhotoven ve dvou stejnopisech, každý s platností originálu, z nichž jeden obdrží moje osoba a druhý řešitel projektu. Všechny osobní údaje účastníka budou ošetřeny v souladu s GDPR.

Jméno, příjmení a podpis řešitele projektu: \_\_\_\_\_

v Brně dne: 15. 2. 2022

Jméno, příjmení a podpis účastníka v projektu (zákonného zástupce):

\_\_\_\_\_

v Brně dne: \_\_\_\_\_

**Rozhodnutí etické komise Centra sportovních aktivit Vysokého učení technického v Brně:**

**1. nejsou námitky k navrhovanému projektu, souhlasí s popisem pracovních postupů, které nejsou v rozporu s etickými pravidly a doporučuje jej k realizaci.**

**V Brně 22. 2. 2022**

**předseda etické komise**

doc. PaedDr. Marie Blahutková, Ph.D