

**UNIVERZA NA PRIMORSKEM
FAKULTETA ZA VEDE O ZDRAVJU**

**VELJAVNOST MERITEV PRENOSNE NAPRAVE ZA
MERJENJE PORABE KISIKA**

DIPLOMSKA NALOGA

Študentka: ŠPELA BOKAL

Mentor: doc. dr. BORUT FONDA

Somentor: asist. ALEŠ SUHADOLNIK

Študijski program: študijski program 1. stopnje Aplikativna kineziologija

Izola, 2019

ZAHVALA

Najprej bi se rada zahvalila mentorju doc. dr. Borutu Fondi in somentorju asist. Alešu Suhadolniku, za strokovno pomoč pri izvedbi raziskovalnega dela in za vodenje pri pisanju diplomske naloge. Prav tako se zahvaljujem lektorici Tanji Potočnik. Zahvaljujem se tudi svoji družini za podporo skozi celoten študij.

IZJAVA O AVTORSTVU

Spodaj podpisana *Špela Bokal* izjavljam, da:

- je predložena diplomska naloga izključno rezultat mojega dela;
- sem poskrbel-a, da so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženi nalogi, navedena oziroma citirana v skladu s pravili UP Fakultete za vede o zdravju;
- se zavedam, da je plagiatorstvo po Zakonu o avtorskih in sorodnih pravicah, Uradni list RS št. 16/2007 (v nadaljevanju ZASP) kaznivo.

Soglašam z objavo elektronske verzije diplomske naloge v Repozitoriju UP.

Izola, 10. 9. 2019

Podpis študentke:

Špela Bokal

KLJUČNE INFORMACIJE O DELU

Naslov	Veljavnost meritev prenosne naprave za merjenje porabe kisika
Tip dela	diplomska naloga
Avtor	BOKAL, Špela
Sekundarni avtorji	FONDA, Borut (mentor) / SUHADOLNIK, Aleš (somentor) / VOGLAR, Matej (recenzent)
Institucija	Univerza na Primorskem, Fakulteta za vede o zdravju
Naslov inst.	Polje 42, 6310 Izola
Leto	2019
Strani	V, 23 str., 5 sl., 32 vir
Ključne besede	poraba kisika, prenosne naprave, metabolne meritve, kalorimetrija
UDK	546.21:621.317.7:621.38
Jezik besedila	slv
Jezik povzetkov	slv/eng
Izvleček	<p>Meritve dihalnih plinov tako v športnem, zdravstvenem kot raziskovalnem kontekstu predstavljajo pomembno diagnostično orodje. Skozi zgodovino so se razvili različni sistemi in naprave, ki omogočajo merjenje številnih parametrov v izdihanem zraku. Ob zavedanju pomena specifičnosti vsake športne discipline se je njihov razvoj kmalu usmeril v prenosne naprave, ki omogočajo merjenje izven kontroliranega laboratorijskega okolja. V okviru diplomske naloge smo izvedli raziskavo, katere namen je bil preveriti veljavnost prenosne merilne naprave VO2 Master Pro. Podatke iz dane naprave smo primerjali s stacionarno napravo Cosmed Quark CPET. Vzorec merjencev je obsegal devet oseb, ki se rekreativno ukvarjajo s cestnim kolesarjenjem in triatlonom. Merilni protokol je vseboval prilagojen tristopenjski Lamberts in Lambert submaksimalni kolesarski test, ki so ga merjenci izvajali na kolesarskem ergometru. Analizirali smo tri metabolne parametre (relativno porabo kisika, frekvenco dihanja in ventilacijo) v stanju stabilnega stanja vseh treh stopenj intenzivnosti. Rezultati izmerjenih parametrov so pokazali, da se podatki iz obeh naprav statistično značilno ne razlikujejo. Hipotezo diplomske naloge smo v celoti sprejeli in tako potrdili veljavnost prenosne merilne naprave VO2 Master Pro.</p>

KEY WORDS DOCUMENTATION

Title	Validity of a portable analysing device for oxygen consumption measurement
Type	Diploma work
Author	BOKAL, Špela
Secondary authors	FONDA, Borut (mentor) / SUHADOLNIK, Aleš (somentor) / VOGLAR, Matej (recenzent)
Institution	University of Primorska, Faculty of Health Sciences
Address	Polje 42, 6310 Izola
Year	2019
Pages	V, 23 p., 5 fig., 32 ref.
Keywords	oxygen consumption, portable devices, metabolic measurements, calormetry
UDK	546.21:621.317.7:621.38
Language	slv
Abstract language	slv/eng
Abstract	Respiratory gas assessment represents a common diagnostic approach in sports, health and research field. Throughout the history, different systems and devices have been developed to enable measurements of numerous parameters in the exhaled air. Knowing the importance of sport specifics, its development was quickly focused on portable devices that allow measurements outside the controlled laboratory setting. In this study we conducted an experiment with a purpose to evaluate the validity of portable measuring device VO2 Master Pro. Data from the device was directly compared to Cosmed Quark CPET stationary device. We recruited nine recreational road cyclists and triathletes. Testing protocol consisted of a customized Lamberts and Lambert submaximal cycle test and was performed on a cycling ergometer with three intensity stages. The metabolic parameters (relative oxygen consumption, breathing frequency and ventilation) were analyzed in steady state conditions of all three intensity stages. The results for measured parameters indicate no statistical significant differences between the two devices. We accepted the hypothesis of the study and confirmed the validity of the portable VO2 Master Pro measuring device.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNE INFORMACIJE O DELU	I
KEY WORDS DOCUMENTATION	II
KAZALO VSEBINE.....	III
KAZALO SLIK.....	IV
SEZNAM KRATIC.....	V
1 UVOD	1
1.1 Delitev merilnih sistemov	1
1.2 Razvoj merilnih naprav	2
1.3 Parametri	3
1.3.1 Poraba kisika	3
1.3.2 Ventilacija in frekvenca dihanja.....	4
1.4 Veljavnost merilnih naprav	5
1.4.1 Laboratorijske in terenske meritve	5
1.4.2 Veljavnost.....	5
1.4.3 Dosedanje primerjave.....	5
2 NAMEN, HIPOTEZE IN RAZISKOVALNO VPRAŠANJE	7
3 METODE DELA.....	8
3.1 Vzorec	8
3.2 Merilni protokol	8
3.2.1 Uporabljeni pripomočki in merski instrumenti	8
3.2.2 Cosmed Quark cardio pulmonary exercise testing (CPET)	8
3.2.3 VO2 Master Pro	9
3.3 Potek raziskave.....	11
3.3.1 Predtest z VO2 Master Pro.....	12
3.3.2 Glavni test z VO2 Master Pro	12
3.3.3 Glavni test s Cosmed Quark CPET	12
3.4 Analiza podatkov in statistična obdelava	13
4 REZULTATI.....	14
5 RAZPRAVA	17
6 ZAKLJUČEK.....	19
7 VIRI.....	20

KAZALO SLIK

Slika 1: Prenosna merilna naprava VO2 Master Pro.....	10
Slika 2: Merjenje z napravo VO2 Master Pro	11
Slika 3: Primerjava vrednosti porabe kisika na različnih stopnjah intenzivnosti.....	14
Slika 4: Primerjava vrednosti ventilacije na različnih stopnjah intenzivnosti.	15
Slika 5: Primerjava vrednosti frekvence dihanja na različnih stopnjah intenzivnosti.....	16

SEZNAM KRATIC

ATP Adenozin trifosfat

CPET Cardio Pulmonary Exercise Testing, kardiopulmonalno obremenilno testiranje

RQ Respiratory quotient, respiratorni količnik

1 UVOD

Naprave za analiziranje dihalnih plinov obsegajo širok spekter uporabe. Omogočajo spremljanje številnih parametrov in se lahko uporabljajo v laboratoriju ali na terenu. Primerne so za raziskovanje metabolnih procesov, vrednotenje zdravstvenih stanj in specifično v kontekstu gibalne aktivnosti ter vrhunskega športa. Pri športnikih sta najpogosteje opazovana parametra koncentracija porabljenega kisika in izdihanega ogljikovega dioksida (Macfarlane, 2017).

Merjenje športnikove zmogljivosti je pomembno za snovanje trenažnega procesa, spremljanje napredka in preprečevanje pretreniranosti, tako pri rekreativnih kot vrhunskih športnikih (Macfarlane, 2017). Iz presnovnega vidika se za določanje učinkovitosti najpogosteje uporablja respiratorni količnik (v nadaljevanju RQ). Predstavlja nam podatek o vrsti makrohranil, ki se porabljajo kot primarni vir energije. Tako pri vrednosti RQ 0,7 predstavljajo glavni vir energije maščobe, pri 0,8 beljakovine (vendar se te zaradi minimalne prisotnosti kot vir energije zanemari) in pri vrednosti 1 ali več ogljikovi hidrati (McClave idr., 2003). Katero bo telo uporabljalo, je odvisno od razpoložljivosti hranil in stopnje intenzivnosti (Spriet, 2014).

Skozi več kot sto let je prišlo do velikega napredka merilnih naprav, ki so postajale vse bolj priročne in veljavne (Macfarlane, 2017). Največje razlike med njimi nastajajo pri načinu zbiranja in analizi podatkov (Currell in Jeukendrup, 2008). V zadnjem času se razvoj osredotoča predvsem na prenosne merilne naprave. Te omogočajo meritve v športno specifičnem okolju in tako realnejšo oceno stanja športnika (Macfarlane, 2017). Da bodo naše meritve zagotavljale čim bolj točne rezultate, je pomembno, da izberemo zanesljiv, občutljiv in veljaven testni protokol ter merilno napravo (Currell in Jeukendrup, 2008).

1.1 Delitev merilnih sistemov

Energije, ki se porabi za izvajanje fizične aktivnosti, ni mogoče neposredno izmeriti, zato so se skozi stoletja oblikovale različne merilne metode in naprave. Merjenje porabe energije delimo na direktno in indirektno kalorimetrijo (Kenney, Wilmore in Costill, 2012).

Direktna kalorimetrija deluje na osnovi merjenja oddane toplote med aktivnostjo. Za proizvodnjo energije, potrebne za mišično delo – adenzin trifosfat (v nadaljevanju ATP), se porabi le okrog 40 % energije, pridobljene pri presnovi hranil. Ostalih 60 % se pretvori v toploto, ki so jo že v koncu 19. stoletja z neposredno kalorimetrijo lahko izmerili (Kenney idr., 2012). Njeni začetniki so bili Lavoisier s sodelavci, ki so prvi analizirali porabo energije majhnih živali (Shephard, 2017). Zaradi velikih stroškov in dolgotrajnega merjenja se je direktna kalorimetrija sčasoma opustila (Kenney idr., 2012).

Bolj praktična za uporabo je indirektna kalorimetrija, ki temelji na merjenju volumnov dihalnih plinov. Da bo meritev odražala realno stanje, mora energija nastajati pretežno z aerobnim metabolizmom, kjer je kisik nujen za potek. Med premagovanjem fizičnega napora se pri oksidativni presnovi hranil porablja kisik in nastaja ogljikov dioksid ter voda. Na podlagi

razlike v količini kisika in ogljikovega dioksida v vdihanem in izdihanem zraku lahko tako ocenimo porabo energije v tkivih. Za doseg najtočnejših meritev je potrebno rezultate analizirati v intervalu, ko je merjenec dosegel plato izbranega parametra. Pri aerobnih aktivnostih namreč respiratorni in srčno-žilni sistem ne moreta takoj doseči danih zahtev po kisiku. Potrebni je nekaj minut (povprečno od ene do treh minut), da se zagotovi zadostno količino kisika za delujoče mišice – doseže plato (Kenney idr., 2012).

Znotraj indirektna kalorimetrije sta se glede na način zajemanja podatkov razvila dva sistema, in sicer sistem zaprtega in odprtega kroga (Macfarlane, 2017). V sedanjem času se najpogosteje uporablja sistem odprtega kroga, ki lahko zajema podatke iz vsakega vdiha in izdiha ali pa se zrak zbira v mešalni komori in analizira od tam (Mtaweh, Tuira, Floh in Parshuram, 2018).

1.2 Razvoj merilnih naprav

Področje spirometrije se je začelo razvijati s pomočjo merjenja respiratornih funkcij živali okrog leta 1780. Pri ljudeh so za zajem plinov najprej uporabljali komorne sobe, nato razne vreče in celice. Tako so bili dani merilni sistemi omejeni izključno na laboratorijsko okolje. Začetki prenosnih merilnih naprav segajo v leto 1906, ko je Nathan Zuntz razvil prvo prenosno napravo s sistemom odprtega kroga. Sledil je pomemben izum Claude Gordon Douglasa, ki je razvil novo metodo merjenja preko Douglasove vreče (Macfarlane, 2017). S pomočjo plinometra in kasnejše kemične analize je omogočala meritve kisika in ogljikovega dioksida v izdihanem zraku, ki se je shranil v zbiralni vreči (Macfarlane, 2001). Pomembne omejitve merjenja preko Douglasove vreče predstavljajo nezmožnost analize vdihanega zraka, prisotnost umetnega mrtvega prostora, omejitve volumna zraka in prepustnost zbiralne vreče za nekatere pline (Roecker, Prettin in Sorichter, 2005). Prav tako je za natančno merjenje potrebna izkušnost merilca. Z nekaterimi izpopolnitvami moderne tehnologije ta metoda še danes velja za zlati standard naprav za merjenje dihalnih plinov. Veliko se uporablja kot merilo za ugotavljanje veljavnosti novih naprav (Macfarlane, 2001).

Kmalu je sledil razvoj novega sistema spirometrije odprtega kroga z mešalno komoro. Pri njem izdihan zrak vstopa v plinsko celico, kjer se nato računalniško analizira (Roecker idr., 2005). Prve merilne naprave so bile težke, okorne in z različnimi tehničnimi pomanjkljivostmi. Zahvaljujoč tehnološkemu napredku so znanstveniki skozi leta razvijali in izpopolnjevali vedno priročneje ter zanesljivejše naprave. Razvoj je bil najprej usmerjen v zmanjšanje uhajanja zraka pri maski, izboljšanje senzorjev pretoka zraka, moči baterije in zmanjšanje teže (Macfarlane, 2017). Prav tako so naprave z vidika merjenja in analize podatkov postajale vse bolj avtomatizirane, kar je pripomoglo k hitrejšemu merjenju in manjši potrebni izkušnosti merilca (Macfarlane, 2001). Najbolj uporabljene naprave so bile Cosmed K4/K4RQ, Cortex X1/MetaMax 1 in Aerosport KB1-C (Macfarlane, 2017).

V drugi polovici 20. stoletja so začeli uporabljati nov sistem neposrednega merjenja dihalnih plinov. Njegova inovacija je bila merjenje dihalnih plinov ob vsakem vdihu in izdihu. Leta 1998 je na tržišče prišla tudi prva prenosna merilna naprava Cosmed K4b², ki je vsebovala ta sistem merjenja (Macfarlane, 2017). Njena največja prednost je bila drugačna analiza dihalnih plinov.

Pri merjenju preko Douglasove vreče ali z mešalno komoro so za meritev uporabili izdihan zrak, ki se je skozi daljše časovno obdobje nabral v zbirno mesto (vrečo ali celico). Drugače je pri neposrednem merjenju, kjer se senzorji nahajajo neposredno v maski, analizator pa merjenec nosi na trupu, v neke vrste nahrbtniku. Za razliko od merjenja preko Douglasove vreče analiza pri neposrednem sistemu poteka v realnem času. Z njo so bile omogočene meritve metabolnih parametrov tudi izven stanja platoja, ko prihaja do hitrejših sprememb v izmenjavi zraka (Ward, 2018). Vendar je pri tovrstnem sistemu merjenja prihajalo do nekaterih napak, zato so naprave z uporabo mešalne komore veljale za najbolj veljavne (Macfarlane, 2017).

Beijst, Schep, Breda, Wijn in Pul (2012) so primerjali točnost in natančnost obeh merilnih sistemov pri napravi Cosmed Quark CPET. Rezultati so pokazali večje napake pri neposrednem merjenju kot pri uporabi mešalne komore. Kot glavni vzrok za dane razlike avtorji navajajo tako imenovan čas zakasnitve (Beijst idr., 2012). Ta je odvisen tako od časa, ki je potreben, da izdihan zrak doseže potreben senzor, kot od hitrosti zaznavanja samega senzora. Napake so še posebej pogoste pri višjih intenzivnostih, kjer pride do povečanja ventilacije in s tem povečane vlažnosti, temperature in tlaka zraka (Roecker idr., 2005). Tudi ugotovitve drugih avtorjev kažejo, da pri neposrednem merjenju nastajajo večja odstopanja v časovni uskladitvi pretoka in analize plinov. Da bi se izognili danemu problemu, morajo merilne naprave vsebovati natančne in hitre analizatorje plinov. V primeru uporabe mešalne komore imajo prav tako pomembno vlogo dovolj odzivne povezovalne cevi in zbiralne celice. Medtem je pri napravah, ki uporabljajo neposredno merjenje, zelo pomembna primerno prilagojena programska oprema (Nieman, Austin, Dew in Utter, 2013). Izpostaviti je vredno tudi, da lahko razlike med danima sistemoma nastajajo zaradi različnega načina izračunavanja povprečne količine kisika in ogljikovega dioksida (Beijst idr., 2012). Sistem neposrednega merjenja lahko poleg tega prinaša tudi bolj zahtevno umerjanje naprave, zato moramo biti pri tem postopku še posebej pozorni (Ward, 2018).

Poleg prenosne merilne naprave Cosmed K4b2 so se veliko uporabljali tudi Cortex Metamax 3B/VmaxST, MedGraphics VO2000 in Jaeger Oxycon Mobile. V zadnjem času se napredek usmerja v brezžično tehnologijo, uporabo GPS-a in minimalizacijo (Macfarlane, 2017). Novejše naprave v veliko pogledih presegajo tradicionalno Douglasovo vrečo. Z možnostjo merjenja številnih parametrov se omogoča njihova široka uporaba tako v zdravstvenem kot športnem kontekstu. Avtomatizacija merilnega postopka je prispevala k hitrejši in enostavnejši izvedbi meritev, po drugi strani pa tudi k večji možnosti napak. Potrebno se je zavedati, da v velikem naboru sodobnih naprav še ni izvedenih dovolj raziskav, ki bi potrdile veljavnost in zanesljivost vsake od njih (Hodges, Brodie in Bromley, 2005).

1.3 Parametri

1.3.1 Poraba kisika

Poraba kisika je pri vzdržljivostnih športih eden izmed najpogosteje testiranih metabolnih parametrov. Njegova vrednost nam pove, koliko kisika telo porabi za mišično delo v eni minuti. Enota za porabo kisika je ml/min. Večje kot so njegove vrednosti, bolj učinkovito delujejo

dihalni, srčno-žilni in mišični sistem med izbrano obremenitvijo (Kenney idr., 2012). Pri meritvah dihalnih plinov pogosto zasledimo tudi analiziranje maksimalne porabe kisika. Ta se nanaša na sposobnost največjega privzema kisika in uporabe za mišično krčenje, ki se jo pogosto opisuje kot aerobni energijski potencial (Lasan, 2004).

Med kolesarjenjem za nastanek energije skrbita anaerobni in aerobni metabolni proces (Faria, Parker in Faria, 2005). Prvi za svoje delovanje ne potrebuje kisika in prevladuje pri obremenitvah, ki trajajo do približno treh minut (Biagioli, 2012). Sem spadajo najintenzivnejši napor, kot so šprinti (Faria idr., 2005). Pri daljših aktivnosti se začne povečevati delež energije, proizvedene z aerobnim metabolizmom, kjer ima kisik pomembno vlogo. Ta proces pridobivanja energije postane prevladujoč pri aktivnostih nad 10 minut (Biagioli, 2012). Torej pri kolesarjenju govorimo o pretežno aerobnem naporu, zato je sposobnost proizvodnje dolgotrajne mišične sile odvisna od kisika (Faria idr., 2005).

Kisik se iz pljuč po krvi prenese v mišice in tam v mitohondriju vstopa v oksidativne procese. Njihov glavni produkt je kemična energija, ki je shranjena v obliki molekule ATP. Ta se nato v mišičnem vlaknu veže na miozin, kjer omogoča krčenje in sproščanje mišice. Koliko kisika je na voljo za tvorbo ATP-ja, je v največji meri odvisno od sistemov in organov, ki sodelujejo pri njegovem prenosu in izkoriščanju. Glavni izmed njih so: dihalni in kardiovaskularni sistem, število mitohondrijev, koncentracija oksidativnih encimov, tip mišičnih vlaken in drugi. Pri vzdržljivostnih športih je torej pomembno, da je športnik sposoben porabiti čim več kisika in tako proizvesti veliko energije za dolgotrajna gibanja (Anderson, 2013).

V naši raziskavi smo opazovali relativno porabo kisika, ki predstavlja porabo kisika na kg telesne mase v minuti.

1.3.2 Ventilacija in frekvenca dihanja

Ventilacija predstavlja volumen dihalnih plinov, ki se izmenja med vdihom in izdihom v eni minuti. Sestavljena je iz frekvence dihanja, ki predstavlja število vdihljajev v minuti in volumna vdihanega zraka. Njena enota je l/min. Spreminjanje ventilacije med fizičnim naporom uravnava dihalni center v podaljšani hrbtenjači, ki sprejema informacije iz različnih sistemov in receptorjev našega telesa (Lasan, 2004).

Ventilacija in frekvenca dihanja sta metabolna parametra, ki ju pogosto spremljamo pri vrednotenju športnikove fizične pripravljenosti. Njune vrednosti nam podajo informacije o fizičnem naporu in spremljajočih dogodkih, kot sta mišična utrujenost in izčrpanje zalog glikogena (Nicolo, Massaroni in Passfield, 2017). Povečani porabi kisika na mišičnem nivoju med aktivnostjo sledi povečanje frekvence dihanja in stopnje ventilacije. V primeru stalnega napora ali po dosegu platoja se do določene stopnje dani parametri povečujejo linearno. Razlika nastane pri intenzivnih aktivnostih, kjer pride do hitrih sprememb v krvi. Takrat frekvenca dihanja in ventilacija naraščata hitreje od porabe kisika (Biagioli, 2012). Respiratorne spremembe pri fizični obremenitvi določajo pljučni, žilni in mišični sistem. Hitrejši kot je odziv, učinkovitejše delujejo dani sistemi (Rossister, 2010).

Nicolo, Massaroni in Passfield (2017) so ugotovili, da se kljub relativno natančnim meritvam danima parametroma še ne posveča dovolj pozornosti. Kot njuno pomembno lastnost navajajo dobro časovno odzivnost, saj se hitro povečujeta in zmanjšujeta glede na spreminjanje obremenitve. To je še posebej pomembno pri intervalnih obremenitvah, kjer tako točneje odražata trenutno stanje športnika (Nicolo idr., 2017).

1.4 Veljavnost merilnih naprav

1.4.1 Laboratorijske in terenske meritve

Glede na kraj izvedbe delimo meritve na laboratorijske in terenske. Za katere se bomo odločili, je odvisno od cilja, izbranega testnega protokola in finančnih sredstev (Ušaj, 2003). Z razvojem prenosnih merilnih naprav, merilcev srčnega utripa in drugih senzorjev so terenske meritve postajale vse bolj uveljavljene (Larsson, 2003). Njihova pomanjkljivost se kaže pri zagotavljanju vedno enakih merilnih razmer, ki bi omogočile veljavno primerjavo podatkov. Prav tako lahko omejitve izvedbe danih meritev nastopijo pri izbiri zahtevnejših merilnih protokolov. Pri merjenju športnikove pripravljenosti se tako še vedno veliko uporabljajo meritve v laboratorijih. Njihova glavna prednost je zagotavljanje kontroliranih pogojev, ki bodo enaki za vse merjence ali večje število meritev. Tovrstne meritve s tem ne potekajo v specifičnih okoliščinah športa in lahko prikažejo neveljavne rezultate (Ušaj, 2003).

1.4.2 Veljavnost

Veljavnost merilne naprave pomeni, da naprava omogoča merjenje podatkov, za katere jamči proizvajalec (Currell in Jeukendrup, 2008). Najbolj uporabljena metoda preverjanja veljavnosti merilnih naprav je primerjava parametrov z napravo, ki velja za zlati standard. Tako se veliko novejših naprav za merjenje dihalnih plinov primerja s sistemom z Douglasovo vrečo (Macfarlane, 2001). Za ugotavljanje veljavnosti naprav z neposrednim sistemom merjenja se poleg primerjave z drugo napravo uporabljajo tudi simulatorji izmenjave plinov (Ward, 1018).

Na veljavnost merilnih naprav vplivajo številni elementi. Pri nameščanju naprave je ključnega pomena zagotavljanje tesnjenja. To dosežemo s kakovostnimi cevmi in maskami primerne velikosti. Na začetku vsakega merjenja je zelo pomembno natančno umerjanje senzorjev pretoka in volumna zraka (Masfarlane, 2017). Med mirovanjem in aktivnostjo nastopijo spremembe v temperaturi, vlažnosti in tlaku vdihanega ter izdihanega zraka. Umerjanje se tako priporoča v intenzivnosti, ki bo prisotna tekom merilnega testa (Atkinson, Davison, in Nevill, 2005). Iz tehničnega vidika so potrebni natančni senzori in merilci kisika, ogljikovega dioksida, temperature in tlaka zraka (Atkinson idr., 2005). Ti ne smejo biti preobčutljivi na vlago, ki nastane med povečano ventilacijo (Atkinson idr., 2005). Prav tako je izrednega pomena pravilno vzdrževanje same naprave (Hodges idr., 2005).

1.4.3 Dosedanje primerjave

Prenosne merilne naprave se v raziskavah pogosto primerjajo z laboratorijskimi merilnimi sistemi, katerih veljavnost je bila že preverjena. Eisenmann, Brisko, Shadrack in Welsh (2003)

so izvedli raziskavo, kjer so preverjali razlike v podatkih iz prenosne merilne naprave Cosmed K4b2 in stacionarne merilne naprave Cosmed Quark b2. Merilni protokol je opravilo 21 merjencev in je vseboval test na tekalni stezi s tremi različnimi nakloni. Med merjenimi parametri so rezultati pokazali odstopanja pri porabi kisika, medtem ko podatki za ventilacijo in proizvodnjo ogljikovega dioksida niso pokazali statistično značilnih razlik.

Veliko raziskav veljavnosti se izvaja tudi s primerjavo s trenutnim zlatim standardom, z merjenjem preko Douglasove vreče. Eno izmed njih sta opravila Carter in Jeukendrup (2002), v kateri sta uporabila merilne naprave Oxycon Alpha, Oxycon Pro in Pulmolab EX670. V raziskavi je sodelovalo 10 merjencev, ki so opravili 85 minut kolesarjenja, in sicer 5 merjencev pri intenzivnosti 100 W in 5 merjencev pri intenzivnosti 150 W. Za analizo so izbrali podatke ventilacije, porabe kisika, nastanka ogljikovega dioksida in respiratorni kvocient. Avtorja sta zaključila, da sta napravi Oxycon Pro in Oxycon Alpha veljavni za merjenje porabe kisika, nastanka ogljikovega dioksida in respiratornega kvocienta za intenzivnosti do 150 W v stanju platoja.

Nekateri avtorji za preverjanje veljavnosti izberejo konkurenčno tovrstno napravo. Hailstone in Kilding (2011) sta na ta način primerjala dve prenosni napravi, The Zephyr™ BioHarness™ in Metamax 3b. Vzorec v raziskavi je vseboval 12 merjencev, ki so na tekalni stezi opravili stopnjevani test do izčrpanosti. Za analiziran parameter sta izbrala frekvenco dihanja. Do statistično značilnih razlik med napravama je prišlo samo po dosegu 70 % največje hitrosti tekalne steze.

Merilne naprave lahko primerjamo tudi z uporabo simulatorjev. Carter in Jeukendrup (2002) sta tako primerjala naprave Oxycon Alpha, Oxycon Pro in Pulmolab EX670. Za merilni protokol sta izbrala metabolični simulator s štirimi različnimi stopnjami ventilacije. Merjeni parametri so bili ventilacija, poraba kisika in nastanek ogljikovega dioksida. V raziskavi je največ odstopanj z merilno napravo Pulmolab EX670, in sicer najpogosteje v stopnjah povečane ventilacije. Prav tako je Oxycon Pro izmeril večjo porabo kisika in večji nastanek ogljikovega dioksida. Oxycon Alpha se je tako v tej raziskavi izkazal za najbolj veljavnega.

V naši raziskavi smo preverjali veljavnost prenosne naprave VO2 Master Pro, saj o njej še ni izvedenih študij veljavnosti, v katerih bi jo primerjali z drugimi merilnimi napravami. Dana naprava s sistemom neposrednega merjenja omogoča meritve med aktivnostjo tako v laboratoriju kot tudi na terenu. V realnem času nam poda podatke o relativni porabi kisika, frekvenci dihanja, ventilaciji in nekaterih drugih parametrih.

2 NAMEN, HIPOTEZE IN RAZISKOVALNO VPRAŠANJE

Namen raziskovalne naloge je preveriti veljavnost merilne naprave VO2 Master Pro.

Cilj raziskovalne naloge je ugotoviti, ali so rezultati, dobljeni s prenosno napravo VO2 Master Pro, veljavni in primerljivi z merilno napravo Cosmed Quark CPET. Tako bomo ugotovili, ali je prenosna naprava za merjenje porabe kisika VO₂ Master Pro primerna za uporabo pri vrednotenju športnikove fizične pripravljenosti.

Naše raziskovalno vprašanje je: Ali je VO2 Master Pro veljavna merilna naprava za merjenje metabolih parametrov (relativne porabe kisika, ventilacije in frekvence dihanja) športnikov?

Naša delovna hipoteza je:

H: Podatki, izmerjeni z merilno napravo VO2 Master Pro, se statistično značilno ne razlikujejo od podatkov, izmerjenih z napravo Cosmed Quark CPET.

3 METODE DELA

Pregled literature je bil narejen iz strokovne in znanstvene literature iz sledečih baz podatkov: COBBIS, PubMed, ResearchGate in Google Scholar. Iskanje je potekalo s pomočjo ključnih besed: fiziologija napora (angl. exercise physiology), poraba kisika (angl. oxygen consumption), ventilacija (angl. ventilation), analiza dihalnih plinov (angl. respiratory gas analysis), aerobna kapaciteta (angl. aerobic capacity), veljavnost (angl. validity), kalorimetrija (angl. calorimetry), spirometrija (angl. spirometry), neposredno merjenje (angl. breath-by-breath), metabolne meritve (angl. metabolic measurements), Cosmed, VO2 Master.

Podatke empiričnega dela diplomske naloge smo dobili z metodo merjenja, in sicer z izvedbo testiranja na kolesarskem ergometru. Meritve smo izvedli v laboratoriju Aplikativne kineziologije, Fakultete za vede o zdravju, Univerze na Primorskem.

3.1 Vzorec

Vzorec merjencev je bil sestavljen iz devetih preiskovancev, od tega sedem moškega in dve ženskega spola. Razpon starosti med njimi je znašal od 22 do 47 let, povprečna starost je bila $36 \pm 9,6$ let. Povprečna višina merjencev je znašala $176,6 \pm 6,7$ cm in povprečna telesna masa $74 \pm 14,8$ kg. Vsi so bili zdravi in v času meritev brez poškodb.

Merjence smo povabili k sodelovanju v raziskavi s pomočjo letaka, ki smo ga sami izdelali in objavili na socialnih omrežjih. Zainteresirani so se tako seznanili z zahtevami in potrebno opremo za izvedbo testiranj. Kriterij za primernost preiskovancev je bil rekreativno ukvarjanje s kolesarstvom ali triatlonom. Opozorili smo jih, naj se v času poteka raziskave izogibajo visoko intenzivnim treningom, aktivnosti dan pred meritvijo pa smo v celoti odsvetovali.

3.2 Merilni protokol

3.2.1 Uporabljeni pripomočki in merski instrumenti

Za izvedbo raziskave smo potrebovali prenosno napravo za merjenje porabe kisika VO2 Master Pro (VO2 Master Health Sensors Inc, Vernon, Kanada), stacionarno merilno napravo Cosmed Quark CPET (Cosmed Quark CPET, Rim, Italija), računalnik z ustrezno programsko opremo, kolesarski ergometer (Velotron Computrainer, ZDA) in telefon z namensko aplikacijo.

3.2.2 Cosmed Quark cardio pulmonary exercise testing (CPET)

Po navedbi proizvajalca (Cosmed) stacionarna merilna naprava Cosmed Quark CPET omogoča zajemanje podatkov s sistemom odprtega kroga, in sicer z metodo mešalne komore ali neposrednega merjenja. Z njim lahko izvajajo meritve metabolnih parametrov tako v mirovanju kot med aktivnostjo. Pred vsakim merjenjem je potrebno napravo umeriti po predpisanem protokolu proizvajalca. Cosmed Quark CPET omogoča zajemanje številnih parametrov, med drugimi tudi relativno porabo kisika, frekvenco dihanja in ventilacijo.

Za izvedbo meritev smo potrebovali računalnik z OMNIA programsko opremo, pripomočke za umerjanje, cev, digitalno merilno turbino in silikonsko masko z naglavnim trakom. Maske so na voljo v različnih velikostih, ki omogočajo dobro prilagajanje obrazu in tako zagotavljajo tesnjenje. OMNIA programska oprema je zasnovana posebej za Cosmed naprave in omogoča spremljanje podatkov tako v številski kot grafični obliki.

Najvišja temperatura prostora za pravilno delovanje naprave znaša 26 °C. Tekom naših meritev je znašala okrog 20 °C. Merilna turbina naprave lahko sprejema do 16 l/s pretoka zraka in do 300 l/min ventilacije. Po navedbi proizvajalca natančnost naprave znaša $\pm 2\%$ oziroma 20 ml/s za pretok zraka in $\pm 2\%$ oziroma 200 ml/min pri ventilaciji.

3.2.3 VO2 Master Pro

Prenosna merilna naprava VO2 Master Pro omogoča merjenje s sistemom neposrednega merjenja, ki analizira vsak vdih in izdih. Naprava potrebuje za merjenje eno AAA baterijo, ki omogoča vsaj štiri ure delovanja. Napravo z Bluetooth povezavo povežemo s telefonom iOS sistema, na katerega naložimo njihovo brezplačno aplikacijo. V njej se podatki sproti prikazujejo tako v številčni kot grafični obliki. Naprava je združljiva tudi z zunanjim merilcem srčnega utripa, s senzorjem kadence, hitrosti, moči in mišične oksigenacije. Pred vsakim merjenjem se po povezavi s telefonom avtomatsko sproži umerjanje. Poleg relativne porabe kisika, frekvence dihanja in ventilacije lahko s to napravo merimo tudi nekatere druge parametre.

VO2 Master Pro (Slika 1) je sestavljen iz merilne enote, filtra, ventila in maske. Priložena je le ena velikost silikonske maske, ki pa jo je mogoče zamenjati. Pred vsako uporabo je potrebno vstaviti priložen filter iz vate, ki skrbi za higienske razmere. Na voljo sta dve velikosti ventila, ki določata omejitev merjenja pretoka zraka. Proizvajalec (VO2 Master) priporoča uporabo srednjega ventila pri aktivnostih, ki dosežejo 30 do 160 l/min ventilacije in velikega ventila pri dosegu 40 do 220 l/min ventilacije. V naši raziskavi smo uporabili srednji ventil.



Slika 1: Prenosna merilna naprava VO2 Master Pro

Temperaturno območje delovanja naprave po navedbi proizvajalca znaša od 10 do 45 °C okoljskega zraka. Merjenje je omejeno na 3048 m nadmorske višine, 70 % vlažnosti in 30 km/h vetra. Proizvajalec prav tako navaja veljavnost naprave, ki znaša $\pm 5\%$ za volumen kisika in $\pm 3\%$ za pretok zraka. Naprava VO2 Master Pro ne meri izdihanega ogljikovega dioksida (Slika 2).



Slika 2: Merjenje z napravo VO2 Master Pro

3.3 Potek raziskave

Raziskava je obsegala tri obiske vsakega merjenca, ki so si sledili v obdobju treh dni do enega tedna. Pred vsakim merjenjem smo jim predstavili potek in jih seznanili z merilno napravo. Ko smo pri prvem obisku vsakomur nastavili primerno višino in pomik sedeža, smo vrednosti odčitali in jih zapisali ter uporabili tudi pri ostalih dveh obiskih. Prav tako smo preiskovance opozorili, naj skozi vsa merjenja držijo krmilo na koncu prestavnih ročk. Kadenca obračanja pedal ni bila določena, tako so si jo merjenci prilagodili svojim sposobnostim in navadam ter je znašala med 80 in 100 obratov na minuto.

Prvi obisk je vseboval predtest za določitev merilnih con, ki smo jih potrebovali pri nadaljnjih meritvah. Za spremljanje ventilacijskih funkcij smo v predtestu uporabili merilno napravo VO2 Master Pro. Merjenci so opravili stopnjevani test na kolesarskem ergometru, med katerim smo spremljali ventilacijo in moč obračanja pedal. Test se je pričel z enominutnim kolesarjenjem na 0 W, sledili sta dve minuti na 90 W, nato pa se je za vsaki nadaljnji dve minuti intenzivnosti povečala za 30 W. Dani predtest se je končal, ko je merjenec dosegel 130 l/min ventilacije. Z dobljenimi podatki smo določili cone proizvedene moči, ki so ekvivalent 70, 90 in 100 l/min ventilacije.

Drugi in tretji obisk sta vsebovala glavni test, kjer smo za merjenje parametrov uporabili merilno napravo VO2 Master Pro in Cosmed Quark CPET. Katera naprava je bila uporabljena pri drugem in katera pri tretjem obisku, je bilo izbrano naključno. Merjenci so najprej izvedli

tristopno ogrevanje, ki je trajalo 15 minut. Prilagodili smo ga individualno vsakemu posamezniku, tako da so najprej kolesarili šest minut na intenzivnosti 100 W, nato pet minut na polovični obremenitvi med tretjo in prvo stopnjo ter zadnje štiri minute na 10 W nižji obremenitvi, kot je njihova prva cona v merilnem testu (ekvivalent 70 l/min ventilacije). Po ogrevanju je sledil 3-minutni odmor in nato glavni test. V merilnem delu testa je bil uporabljen prilagojen protokol Lamberts in Lambert submaksimalni kolesarski test (v nadaljevanju LSCT) (Lamberts, Swart, Noakes in Lambert, 2009). Izvajanje glavnega testa se je pričelo z 2-minutnim kolesarjenjem na 100 W, nato je sledilo šest minut na moči, ki je ekvivalent 70 l/min ventilacije, šest minut na moči, ki je ekvivalent 90 l/min ventilacije, in tri minute na moči, ki je ekvivalent 100 l/min ventilacije iz predtesta.

3.3.1 Predtest z VO2 Master Pro

Najprej smo v VO2 Master aplikacijo na mobilnem telefonu vnesli podatke merjenca (ime, priimek, datum rojstva, višino, težo in spol). Nato smo na računalniku odprli Velotron program, v katerega smo že predhodno vnesli zastavljen stopnjevani test. Sledilo je nastavljanje primerne višine sedeža na cikloergometru. Merjencu smo s pomočjo trakov namestili VO2 Master Pro, ga aktivirali in z Bluetooth povezavo povezali s telefonom. Merilna naprava nas je nato avtomatsko opozorila, da mora merjenec zadržati dih za tri sekunde, nato pa je začela z umerjanjem. Merjenec je v tem času počasi obračal pedala brez obremenitve in globoko dihal. Ko je bila naprava pripravljena, smo hkrati pritisnili začetek testa na računalniku in meritve na telefonu. Med testom smo na telefonu opazovali ventilacijo in si pri dosegu 70, 90 in 100 l/min ventilacije zapisali moč obračanja pedal, ki je bila videna na računalniku. Po dosegu 130 l/min ventilacije smo test ustavili in tako končali prvi del meritev.

3.3.2 Glavni test z VO2 Master Pro

Pred merilnim delom smo najprej v Velotron program na računalniku vnesli podatke za ogrevanje ter merjencu nastavili sedež na višino s prvega obiska. Po 15-minutnem ogrevanju in 3-minutnem odmoru smo v mobilni aplikaciji VO2 Master v bazi podatkov poiskali že vnešenega merjenca. Na računalniku smo v Velotron program vnesli podatke o merilnem protokolu. Sledilo je nameščanje naprave VO2 Master Pro. Po prižigu naprave se je le-ta povezala s telefonom in začela z umerjanjem. Merjenec je moral najprej zadržati dih za tri sekunde, nato pa počasi obračati pedala in globoko dihati. Ko je bila naprava pripravljena, smo hkrati pritisnili start na računalniku in telefonu. Test je vseboval dve minuti kolesarjenja na 100 W, nato je sledilo šest minut na moči, ki je ekvivalent 70 l/min ventilacije, šest minut na moči, ki je ekvivalent 90 l/min ventilacije, in tri minute na moči, ki je ekvivalent 100 l/min ventilacije iz predtesta. Po končanem testu smo meritve shranili v aplikaciji.

3.3.3 Glavni test s Cosmed Quark CPET

Pred merilnim delom smo najprej v Velotron program na računalniku vnesli podatke za ogrevanje in merjencu nastavili sedež na višino iz prvega obiska. Pred začetkom vsake meritve je bilo potrebno opraviti umerjanje merilne naprave Cosmed Quark CPET v skladu z navodili proizvajalca. Vsebovalo je umerjanje senzorjev pretoka zraka, plinsko umerjanje in umerjanje

zraka iz prostora. Ko je bila merilna naprava pripravljena, smo v programu Cosmed vnesli podatke merjenca, kot smo jih v aplikaciji VO2 Master (ime, priimek, datum rojstva, višino, težo in spol). Izbrali smo način merjenja, in sicer neposredno merjenje odprtega kroga. Nato smo v Velotron program vnesli podatke o intenzivnosti testa, ki smo jih dobili iz predtesta. Sledila je izbira primerne velikosti maske glede na obraz merjenca in namestitev merilne naprave s pomočjo naglavnih trakov. Za začetek meritve je bilo potrebno v Cosmed programu pritisniti start in nato hkrati na snemanje v Cosmed programu ter začetek testa v Velotron programu. Test je vseboval dve minuti kolesarjenja na 100 W, nato je sledilo šest minut na moči, ki je ekvivalent 70 l/min ventilacije, šest minut na moči, ki je ekvivalent 90 l/min ventilacije, in tri minute na moči, ki je ekvivalent 100 l/min ventilacije iz predtesta. Po končanem testu smo v Cosmed programu meritev shranili.

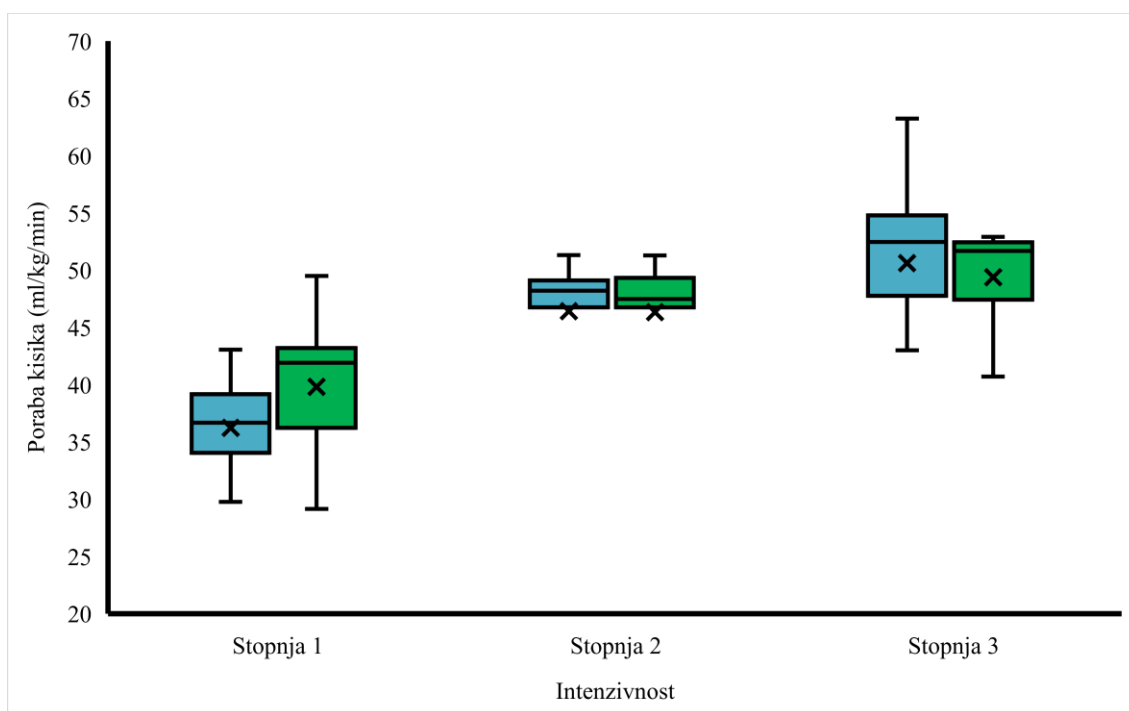
3.4 Analiza podatkov in statistična obdelava

Za analizo izmerjenih parametrov smo najprej potrebovali povprečne vrednosti zadnje minute v vseh treh conah intenzivnosti merilnega testa. Obe merilni napravi omogočata izvoz podatkov v program Microsoft Excel, v katerem smo za vsak parameter oblikovali grafikone kvartilov – škatle z brki. Ta vrsta grafikona nam zelo dobro prikaže razpršenost podatkov. Sestavljena je iz najmanjše vrednosti, prvega kvartila, mediane, povprečja, tretjega kvartila in najvišje vrednosti.

S programom SPSS v.24 smo opravili dvosmerno analizo varianco za ponovljena merjenja s faktorjema *intenzivnost(3) x naprava(2)*. Osredotočili smo se na glavne učinke intenzivnosti in naprave ter pri slednjem v primeru statistično značilne razlike ($p < 0,05$) opravili še *post hoc* t-test brez korekcije.

4 REZULTATI

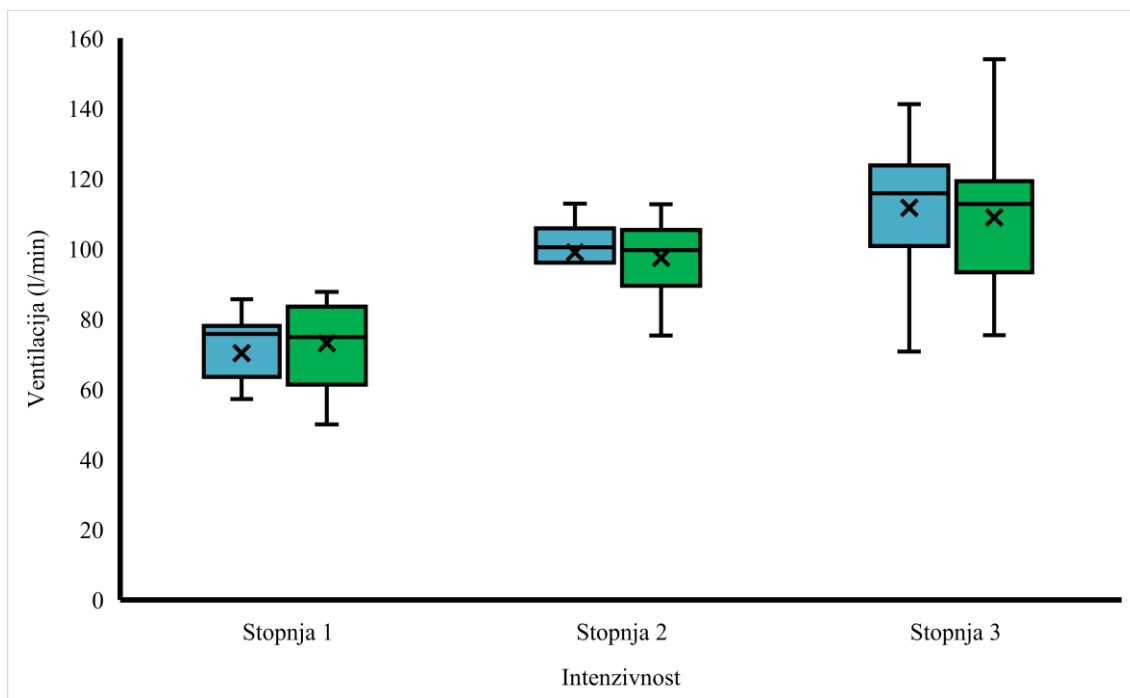
Na Slika 3 je prikazana škatla z brki za vrednosti porabe kisika pri različnih intenzivnostih za obe testirani napravi. Rezultati so pokazali statistično značilno razliko za faktor intenzivnosti ($F_{(2,16)} = 19,1$; $p = 0.000$; $ES = 0,705$). Glavni učinek razlik med napravama ni bil statistično značilen ($F_{(1,8)} = 1,02$; $p = 0.343$; $ES = 0,113$). Interakcija *intenzivnost(3) x naprava(2)* je bila statistično značilna ($F_{(2,16)} = 16,9$; $p = 0.000$; $ES = 0,678$).



Modri stolpci prikazujejo vrednosti naprave VO2 Master Pro, zeleni pa vrednosti naprave Cosmed Quark CPET. Križec označuje povprečno vrednost, notranja črta mediano in brki minimum ter maksimum.

Slika 3: Primerjava vrednosti porabe kisika na različnih stopnjah intenzivnosti.

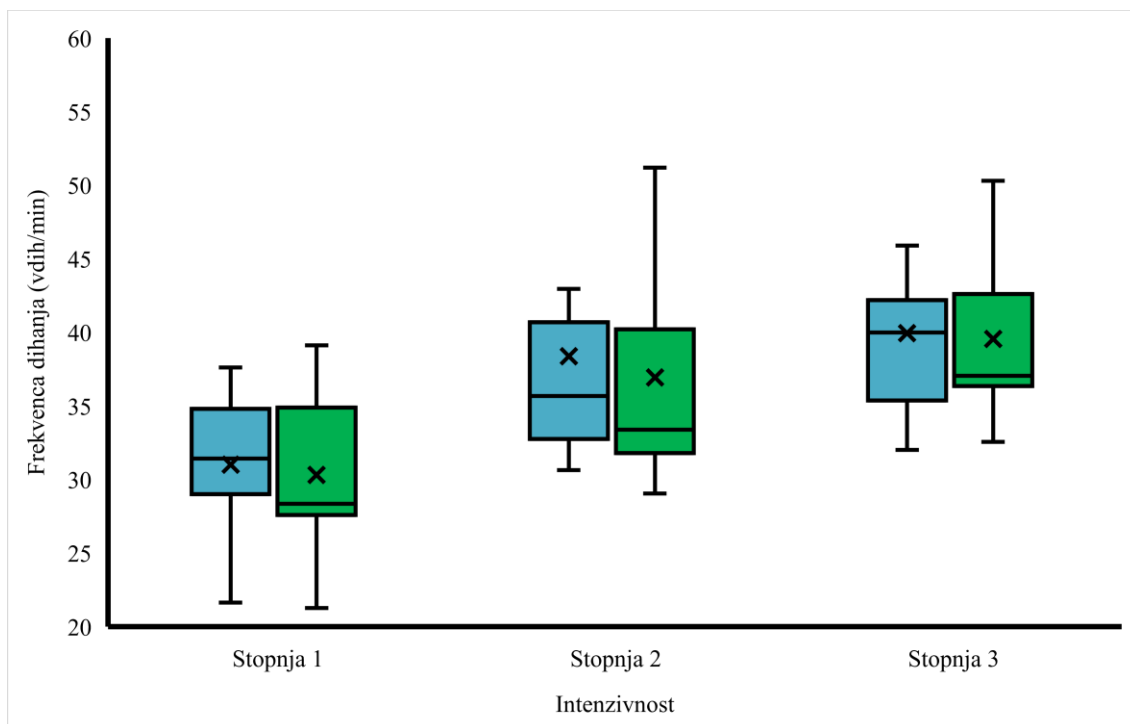
Slika 4 prikazuje škatlo z brki za vrednosti ventilacije pri vseh treh intenzivnostih za obe testirani napravi. Za faktor intenzivnosti so rezultati pokazali statistično značilno razliko ($F_{(2,16)} = 13,5$; $p = 0.000$; $ES = 0,628$). Glavni učinek razlik med napravama ni bil statistično značilen ($F_{(1,8)} = 0,085$; $p = 0,778$; $ES = 0,01$). Prav tako interakcija *intenzivnost(3) x naprava(2)* ni bila statistično značilna ($F_{(2,16)} = 1.30$; $p = 0.30$; $ES = 0,140$).



Modri stolpci prikazujejo vrednosti naprave VO2 Master Pro, zeleni pa vrednosti naprave Cosmed Quark CPET. Križec označuje povprečno vrednost, notranja črta mediano in brki minimum ter maksimum.

Slika 4: Primerjava vrednosti ventilacije na različnih stopnjah intenzivnosti.

Škatla z brki na Slika 5 prikazuje vrednosti frekvence dihanja pri prvi, drugi in tretji stopnji merilnega testa za obe testirani napravi. Rezultati so pokazali statistično značilno razliko za faktor intenzivnosti ($F_{(2,16)} = 11,1$; $p = 0,001$; $ES = 0,582$). Iz njih je razvidno tudi, da glavni učinek razlik med napravama ni bil statistično značilen ($F_{(1,8)} = 0,822$; $p = 0,391$; $ES = 0,093$). Interakcija *intenzivnost(3) x naprava(2)* ni bila statistično značilna ($F_{(2,16)} = 0,327$; $p = 0,726$; $ES = 0,039$).



Modri stolpci prikazujejo vrednosti naprave VO2 Master Pro, zeleni pa vrednosti naprave Cosmed Quark CPET. Križec označuje povprečno vrednost, notranja črta mediano in brki minimum ter maksimum.

Slika 5: Primerjava vrednosti frekvence dihanja na različnih stopnjah intenzivnosti.

5 RAZPRAVA

Namen opravljene raziskave je bil preveriti veljavnost merilne naprave VO2 Master Pro. Ugotavljali smo, ali se rezultati, izmerjeni s prenosno napravo VO2 Master Pro in stacionarno napravo Cosmed Quark CPET, statistično razlikujejo. Rezultati so pokazali, da se poraba kisika, ventilacija in frekvenca dihanja, izmerjene z merilno napravo VO2 Master Pro, statistično značilno ne razlikujejo od podatkov, izmerjenih z napravo Cosmed Quark CPET. Na podlagi tega hipotezo te diplomske naloge v celoti sprejmemo.

Veljavnost testnega modela merilne naprave VO2 Master Pro (Beta verzija 2) sta preverila Vafa in Weber (2017). V raziskavi sta dano napravo primerjala s simulatorjem izmenjave plinov. Testni protokol je vseboval pet stopenj frekvence dihanja. Za merjene parametre sta izbrala porabo kisika, dihalni volumen, delež porabljenega kisika, frekvenco dihanja in ventilacijo. Rezultati so pokazali večja odstopanja pri merjenju porabe kisika pri nizkih ventilacijah. Kot razlog avtorja navajata uporabo velikega ventila in ne srednjega, kot priporoča proizvajalec. Ostali podatki so bili primerljivi s kontrolnimi vrednostmi. Prav tako je bila merilna naprava Cosmed Quark CPET v preteklosti že validirana s strani več raziskav. Eno takih so izvedli Nieman idr. (2013), ki so dano napravo primerjali z merjenjem preko Douglasove vreče. Za meritev z napravo Cosmed so izbrali postopek mešalne komore. Raziskava je vsebovala 32 merjencev, ki so jim izmerili porabo kisika, porabo ogljikovega dioksida, ventilacijo, delež porabljenega kisika, proizvedenega ogljikovega dioksida in respiratorni kvocient. Testni protokol je vseboval dva obiska. V prvem so z Bruce protokolom izmerili največjo porabo kisika, v drugem obisku pa so merjenci opravili štiri stopnje danega protokola. Obe meritvi sta se izvedli na tekalni stezi. Za analizo so vzeli podatke zadnjih 60 sekund prve in druge ter zadnjih 30 sekund tretje in četrte stopnje intenzivnosti testa. Rezultati so pokazali, da se podatki, izmerjeni z napravo Cosmed Quark CPET, statistično značilno ne razlikujejo od podatkov, izmerjenih preko Douglasove vreče, in tako so potrdili veljavnost Cosmed naprave.

Za lažje spremljanje stanja športnika tekom ciklizacije se pogosto uporabljajo submaksimalni testi. Ti s svojo stopnjo intenzivnosti ne povzročajo dolgotrajne mišične utrujenosti in tako ne ovirajo zastavljenega trenajnega procesa (Capostagno, Lambert, in Lamberts, 2016). Prav tako prihaja pri maksimalnih obremenitvah do večjih odstopanj pri merjenju. To se je pokazalo v raziskavi avtorjev Brooks, Carter in Dawes (2013). Primerjali so prenosno merilno napravo The Zephyr Bioharness in stacionarni Cosmed Quark CPET. Na tekalni stezi je 38 merjencev izvajalo 6-stopenjski test do odpovedi, med katerim so spremljali ventilacijo, porabo kisika in respiratorni kvocient. Največja odstopanja so izmerili pri porabi kisika, in sicer v maksimalnih pogojih. Naš testni protokol je vseboval 3-stopenjski submaksimalni test, in sicer prilagojen LSCT test. Veljavnost in zanesljivost danega testa so Lamberts idr. (2009) dokazali z raziskavo, kjer so dani test primerjali s testom 40-kilometrskje vožnje na čas (angl. 40-km time trial test) in testom največje moči (angl. Peak power output test).

V naši raziskavi se podatki o porabi kisika iz obeh naprav statistično značilno ne razlikujejo, kar dokazuje veljavnost prenosne naprave VO2 Master Pro za merjenje tega parametra. Za preverjanje veljavnosti merilne naprave so dani parameter uporabili tudi v raziskavi, ki sta jo

izvedla Brisswalter in Tartaruga (2014). Primerjala sta napravi FitMate™ in K4b2 proizvajalca Cosmed. 50 merjencev je opravilo tristopenjski kolesarski test, iz katerega sta za analizo izbrala podatke zadnjih treh minut vsake stopnje. Rezultati o porabi kisika iz obeh naprav so bili dobro primerljivi. Prav tako sta Foss in Hallén (2005) primerjala vrednosti porabe kisika, in sicer med merilno napravo Oxycon Pro in merjenjem preko Douglasove vreče. 18 dobro treniranih kolesarjev je na elektromagnetnem kolesarskem ergometru opravilo stopnjevani test, test maksimalne porabe kisika in test vožnje na čas. Rezultati so pokazali, da so vrednosti porabe kisika statistično značilno ne razlikujejo.

Rezultati ventilacije so v naši raziskavi pokazali, da sta meritvi danega parametra iz obeh naprav dobro primerljivi, saj ni bilo statistično značilnih razlik. Podobne rezultate so dobili tudi Guidetti idr. (2018), ki so primerjali prenosno napravo Cosmed K5 in metabolični simulator VacuMed. Med 14-stopenjskim merilnim protokolom so opravljali meritve ventilacije, porabe kisika in nastanka ogljikovega dioksida. V raziskavi avtorji navajajo, da med merilno napravo in simulatorjem ni prišlo do statistično značilnih razlik. Z merjenjem ventilacije in drugih parametrov so veljavnost preverili tudi Laurent idr. (2008). V raziskavi so prenosno merilno napravo VmaxST primerjali z meritvami preko Douglasove vreče. 30 merjencev je na tekalni stezi opravilo stopnjevan Bruce test do izčrpanosti. Med testom sta napravi izmerili porabo kisika, nastanek ogljikovega dioksida, ventilacijo in respiratorni kvocient. Rezultati so pokazali, da so vrednosti ventilacije statistično značilno ne razlikujejo.

Pri tretjem parametru, frekvenci dihanja, je naša raziskava pokazala, da glavni učinek razlik med napravama ni statistično značilen. Primerljive rezultate sta dobila tudi Hailstone in Kilding (2011) v raziskavi veljavnosti naprave The Zephyr™ BioHarness™ v primerjavi z napravo Metamax 3b. Vključenih je bilo 12 merjencev, ki so na tekalni stezi opravili stopnjevani test do izčrpanosti. Do dosega 70 % največje hitrosti tekalne steze so bili podatki o frekvenci dihanja primerljivi. Ob presegu te intenzivnosti je prišlo do statistično značilne razlike med napravama.

Pomanjkljivost naprave VO2 Master Pro se kaže v nezmožnosti merjenja metabolne učinkovitosti. Zaradi odsotnosti podatka o količini ogljikovega dioksida v izdihanem zraku, nam dana naprava ne poda izračuna respiratornega količnika. S pomočjo tega parametra bi lahko športniku določili, katero makrohranilo – ogljikove hidrate ali maščobe, njegovo telo uporablja kot primarni vir energije.

6 ZAKLJUČEK

Namen diplomske naloge je bil preveriti veljavnost merilne naprave VO2 Master Pro. Naš vzorec je vseboval devet oseb, ki so dvakrat opravili prilagojen Lamberts in Lambert submaksimalni kolesarski test. Meritve smo izvajali s prenosno napravo VO2 Master Pro in s stacionarno napravo Cosmed Quark CPET. Za analizo smo uporabili podatke porabe kisika, ventilacije in frekvence dihanja iz obeh naprav. Rezultati so pokazali, da se podatki, izmerjeni z merilno napravo VO2 Master Pro, statistično značilno ne razlikujejo od podatkov, izmerjenih z napravo Cosmed Quark CPET. Hipotezo te diplomske naloge v celoti sprejmemo in tako potrjujemo veljavnost prenosne merilne naprave VO2 Master Pro za merjenje porabe kisika, ventilacije in frekvence dihanja med submaksimalno obremenitvijo v nadzorovanem laboratorijskem okolju. Zahvaljujoč priročnosti in preprosti uporabi bodo z njo omogočene meritve v športno specifičnem okolju ter realnejša ocena pripravljenosti športnika.

7 VIRI

- Anderson, O. (2013). *Running science*. Champaign: Human Kinetic.
- Atkinson, G., Davison, R. C. R. in Nevill, A. M. (2005). Performance characteristics of gas analysis systems: what we know and what we need to know. *International journal of sports medicine*, 26, S2–S10. <https://doi.org/10.1055/s-2004-830505>
- Beijst, C., Schep, G., Breda, E. van, Wijn, P. F. F., in Pul, C. van. (2012). Accuracy and precision of CPET equipment: a comparison of breath-by-breath and mixing chamber systems. *Journal of medical engineering & technology*, 37(1), 35–42. <https://doi.org/10.3109/03091902.2012.733057>
- Biagioli, B. D. (2012). *Advanced concepts of personal training*. Florida: National council on strength & fitness.
- Brisswalter, J. in Tartaruga, M. P. (2014). Comparison of COSMED'S FitMate™ and K4b2 metabolic systems reliability during graded cycling exercise. *Scandinavian journal of clinical and laboratory investigation*, 74(8), 722–724. <https://doi.org/10.3109/00365513.2014.930711>
- Brooks, K. A., Carter, J. G. in Dawes, J. J. (2013). A comparison of VO2 measurement obtained by a physiological monitoring device and the Cosmed Quark CPET. *Journal of novel physiotherapies*, 3, 126. <https://doi.org/10.4172/2165-7025.1000126>
- Capostagno, B., Lambert, M. I., in Lamberts, R. P. (2016). A systematic review of submaximal cycle tests to predict, monitor, and optimize cycling performance. *International journal of sports physiology and performance*, 11(6), 707–714. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0174>
- Carter, J. in Jeukendrup, A. (2002). Validity and reliability of three commercially available breath-by-breath respiratory systems. *European journal of applied physiology*, 86(5), 435–441. <https://doi.org/10.1007/s00421-001-0572-2>
- Currell, K., in Jeukendrup, A. E. (2008). Validity, reliability and sensitivity of measures of sporting performance. *Sports medicine*, 38(4), 297–316. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838040-00003>
- Eisenmann, J. C., Brisko, N., Shadrack, D. in Welsh, S. (2003). Comparative analysis of the Cosmed Quark b2 and K4b2 gas analysis systems during submaximal exercise. *The journal of sports medicine and physical fitness*, 43(2), 150-5. Pridobljeno s <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12853896>
- Faria, E. W., Parker, D. L. in Faria, I. E. (2005). The science of cycling physiology and training – Part 1. *Sports medicine*, 35(4), 285–312. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535040-00002>
- Foss, Ø., in Hallén, J. (2005). Validity and stability of a computerized metabolic system with mixing chamber. *International journal of sports medicine*, 26(7), 569–575.

<https://doi.org/10.1055/s-2004-821317>

- Guidetti, L., Meucci, M., Bolletta, F., Emerenziani, G. P., Gallotta, M. C. in Baldari, C. (2018). Validity, reliability and minimum detectable change of COSMED K5 portable gas exchange system in breath-by-breath mode. *PLoS ONE* 13(12): e0209925. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209925>
- Hailstone, J. in Kilding, A. E. (2011). Reliability and validity of the Zephyr™ BioHarness™ to measure respiratory responses to exercise. *Measurement in physical education and exercise science*, 15(4), 293–300. <https://doi.org/10.1080/1091367X.2011.615671>
- Hodges, L. D., Brodie, D. A., & Bromley, P. D. (2005). Validity and reliability of selected commercially available metabolic analyzer systems. *Scandinavian journal of medicine and science in sports*, 15, 271–279. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2005.00477.x>
- Kenney, W. L., Wilmore, J. H. in Costill, D. L. (2012). *Physiology of sport and exercise* (5th ed.). Champaign: Human Kinetics. Pridobljeno s https://www.academia.edu/36989983/W._Larry_Kenney_Jack_Wilmore_David_Costill-Physiology_of_Sport_and_Exercis
- Lamberts, R. P., Swart, J., Noakes, T. D., in Lambert, M. I. (2009). A novel submaximal cycle test to monitor fatigue and predict cycling performance. *British journal of sports medicine*, 45(10), 797–804. <https://doi.org/10.1136/bjism.2009.061325>
- Larsson, P. (2003). Global positioning system and sport-specific testing. *Sports medicine*, 33(15), 1093–1101. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333150-00002>
- Lasan, M. (2004). *Fiziologija športa – harmonija med delovanjem in mirovanjem*. Ljubljana: Fakulteta za šport, Inštitut za šport.
- Laurent, C. M., Meyers, M. C., Robinson, C. A., Strong, L. R., Chase, C., in Goodwin, B. (2008). Validity of the VmaxST portable metabolic measurement system. *Journal of sports sciences*, 26(7), 709–716. <https://doi.org/10.1080/02640410701758685>
- Macfarlane, D. J. (2001). Automated metabolic gas analysis systems. *Sports medicine*, 31(12), 841–861. <https://doi.org/10.2165/00007256-200131120-00002>
- Macfarlane, D. J. (2017). Open-circuit respirometry: a historical review of portable gas analysis systems. *European journal of applied physiology*, 117(12), 2369–2386. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3716-8>
- McClave, S., Lowen, C., Kleber, M., McConnell, J., Jung, L., in Goldsmith, L. (2003). Clinical use of the respiratory quotient obtained from indirect calorimetry. *Journal of parenteral and enteral nutrition*, 27(1), 21–26. <https://doi.org/10.1177/014860710302700121>
- Mtaweh, H., Taira, L., Floh, A. A. in Parshuram, C. S. (2018). Indirect calorimetry: history, technology, and application. *Frontiers in pediatrics*, 6, 257. <https://doi.org/10.3389/fped.2018.00257>

- Nieman, D. C., Austin, M. D., Dew, D. in Utter, A. C. (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*, 21(2), 136–145. <https://doi.org/10.1080/15438627.2012.757227>
- Nicolo, A., Massaroni, C., in Passfield, L. (2017). Respiratory frequency during exercise: The neglected physiological measure. *Frontiers in physiology*, 8, 922. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00922>
- Roecker, K., Prettin, S., in Sorichter, S. (2005). Gas exchange measurements with high temporal resolution: the breath-by-breath approach. *International journal of sports medicine*, 26, S11–S18. <https://doi.org/10.1055/s-2004-830506>
- Shephard, R. J. (2017). Open-circuit respirometry: a brief historical review of the use of Douglas bags and chemical analyzers. *European journal of applied physiology*, 117(3), 381–387. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3556-6>
- Spriet, L. L. (2014). New insights into the interaction of carbohydrate and fat metabolism during exercise. *Sports medicine*, 44(S1), 87–96. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0154-1>
- Ušaj, A. (2003). *Kratek pregled osnov športnega treniranja*. Ljubljana: Fakulteta za šport, Inštitut za šport.
- Vafa, R., in Weber, S. (2017). Accuracy of a miniaturized, face worn VO₂ analyzer. V A. Ferrauti, P. Platen, E. Grimminger-Seidensticker, T. Jaitner, U. Bartmus, L. Becher, M. De Marées, T. Mühlbauer, A. Schauerte, T. Wiewelhove ... E. Tsolakidis (ur.), *Book of abstracts: 22nd Annual congress of the European college of sport science, 5.- 8. junij 2017* (str. 654). MetropolisRuhr – Germany: Westdeutscher Universitätsverlag. Pridobljeno s <https://vo2master.com/validation-study/>
- Ward, S. A. (2018). Open-circuit respirometry: real-time, laboratory-based systems. *European journal of applied physiology*, 118(5), 875–898. <https://doi.org/10.1007/s00421-018-386>