

UNIVERZA V LJUBLJANI

FAKULTETA ZA ŠPORT

# DIPLOMSKA NALOGA

JAKA DOŠLER

LJUBLJANA, 2015

UNIVERZA V LJUBLJANI  
FAKULTETA ZA ŠPORT  
Športna vzgoja

**PREGLED ENAČB ZA DOLOČANJE NAJVIŠJEGA PRIVZEMA KISIKA PRI  
20-METRSKEM STOPNJEVALNEM TEKU**

DIPLOMSKO DELO

MENTOR:

**doc. dr. Gregor Starc**

AVTOR DELA

RECENZENT:

**prof. dr. Anton Ušaj**

**Jaka Došler**

Ljubljana, 2015

## **ZAHVALA**

Za hitre odzive in ves vložen čas ter strokovno pomoč pri izdelavi diplomske naloge se zahvaljujem mentorju dr. Gregorju Starcu. Za pomoč pri analizi podatkov zahvala tudi Aniti. Zahvala tudi recenzentu dr. Antonu Ušaju.

Zahvalil bi se staršem, ki so mi omogočili študij na Fakulteti za šport in mi stali ob strani. Za podporo in pomoč pri študiju gre zahvala tudi Manci.

Zahvala gre tudi vsem ostalim, ki ste mi na kakršenkoli način pomagali pri nastanku diplomske naloge in pri uresničevanju željenih ciljev na Fakulteti za šport.

**Ključne besede:** stopnjevalni tek na 20 metrov, aerobna zmogljivost, enačbe, najvišji privzem kisika

## **PREGLED ENAČB ZA DOLOČANJE NAJVIŠJEGA PRIVZEMA KISIKA PRI 20-METRSKEM STOPNJEVALNEM TEKU**

Jaka Došler

### **IZVLEČEK**

Namen naše naloge je bil narediti pregled obstoječih enačb za izračunavanje najvišjega privzema kisika pri otrocih in rezultate teh enačb primerjati z objektivno izmerjenim najvišjim privzemom kisika slovenskih otrok. V raziskavo je bilo vključenih 105 učencev 6 ljubljanskih osnovnih šol v starosti 11 do 15 let. Vsi so bili testirani na merski nalogi stopnjevalni tek na 20 metrov, med tekom pa smo merili njihovo porabo kisika s prenosno telemetrijsko enoto MetaMax II. S podatki o nekaterih značilnostih otrok smo tudi izračunali najvišji privzem kisika po štirinajstih enačbah. V analizi smo uporabili tiste rezultate tistih otrok, ki so imeli popolne podatke, in tiste, ki so mersko nalogu po oceni meritca opravili maksimalno in vidno utrujeni. Z računalniškim programom SPSS smo korelacijske koeficiente med rezultati različnih enačb ter objektivno izmerjenimi vrednostmi izračunali po Pearsonovi metodi, razlike med rezultati različnih enačb pa preverili z analizo variance. Grafično smo rezultate prikazali s programsko opremo Microsoft Excel. Ugotovili smo, da je najprimernejša enačba za izračun najvišjega privzema kisika pri otrocih na slovenski populaciji Maharjeva A enačba, ki je pokazala rezultate, najbližje objektivno izmerjenemu najvišjemu privzemu kisika. Hipoteze, ki pravi, da obstajajo statistično značilne razlike med rezultati različnih enačb, nismo mogli ovreči, zavnili pa smo hipotezo, ki pravi, da rezultati enačb za izračun najvišjega privzema kisika pri 20-metrskem stopnjevalnem teku, ki vključujejo več spremenljivk, kažejo višjo statistično značilno povezanost z rezultati objektivno izmerjenega najvišjega privzema kisika. Glede na analizo na slovenski populaciji otrok in mladostnikov priporočamo uporabo Maharjeve A enačbe za izračun najvišjega privzema kisika.

**Key words:** shuttle run, aerobic fitness, equations, maximal oxygen uptake

## **REVISION OF EQUATIONS DETERMINING MAXIMUM OXYGEN CONSUMPTION DURING A 20 METER ACCELERATION RUN**

**Jaka Došler**

### **ABSTRACT**

The objective of our seminar work was to revise existing equations for calculating maximal oxygen consumption in children and to compare the equations with objectively measured maximal oxygen consumption in Slovenian children. 105 pupils from 6 primary schools in Ljubljana, aged from 11 to 15, were included in the research. All subjects were measured on a 20 meter shuttle run, using a portable telemetric unit MetaMax II to calculate maximal oxygen consumption. With the obtained data of certain children's characteristics, we were able to calculate maximal oxygen consumption using fourteen different equations. In the analysis, we used the results obtained from children who had all the required data and those who, according to the measuring unit, completed the task as fast as they could and were visibly fatigued. Using the SPSS computer program, we were able to calculate correlation coefficients between the results of different equations and the objectively measured results with the Pearson method. The alterations between equations were checked with a variance analysis. Furthermore, we made a graphic presentation of the results obtained using Microsoft Excel. The analysis showed that the most suitable equation for calculating maximal oxygen consumption in Slovenian children is the Mahar A equation, which provided results closest to the objectively measured maximal oxygen consumption. We could not reject the hypothesis that different equations provide distinctive statistical variances of results, however, we did reject the hypothesis stating that results of maximal oxygen consumption equations during a 20 meter shuttle run, which have several variables, provide a statistically higher correlation with the results of the objectively measured maximal oxygen consumption. We therefore suggest, considering the analysis made on Slovenian children and adolescents, that the utilization of the Mahar A equation be used for calculating maximal oxygen consumption.

# Kazalo vsebine

1 UVOD .....	8
2. PREDMET IN PROBLEM DELA .....	10
2.1 STOPNJEVALNI TEK NA 20 METROV .....	10
2.2 PREGLED ENAČB ZA IZRAČUN NAJVIŠJEGA PRIVZEMA KISIKA .....	17
2.2.1 LEGER .....	17
2.2.2 MAHAR .....	17
2.2.3 BARNETT .....	18
2.2.4 MATSUZAKA .....	19
2.2.5 FERNHALL .....	19
2.2.6 STICKLAND .....	20
2.2.7 FLUORIS .....	20
2.2.8 RUIZ .....	20
3. CILJI IN HIPOTEZE .....	21
4 METODE DELA .....	22
4.1 PREIZKUŠANCI .....	22
4.2 PRIPOMOČKI .....	24
4.3 POSTOPEK .....	24
4.4 ANALIZA PODATKOV .....	24
5 REZULTATI IN RAZPRAVA .....	25
5.1 REZULTATI IZRAČUNOV, S KATERIMI SMO PREVERJALI HIPOTEZO 1 .....	25
5.2 REZULTATI IZRAČUNOV, S KATERIMI SMO PREVERJALI HIPOTEZO 2 .....	27
6 RAZPRAVA .....	35
7 SKLEP .....	37
8 VIRI .....	38

## KAZALO SLIK

Slika 1. Skica poteka stopnjevalnega teka na 20 metrov.....	13
Slika 2. Pričakovana vrednost VO <sub>2max</sub> glede na hitrost in starost.....	15
Slika 3. Ruizova enačba, umetne nevronske mreže.....	20
Slika 4. Delež merjencev po spolu.....	22
Slika 5. Telesna višina .....	23
Slika 6. Telesna teža.....	23
Slika 7. Grafični prikaz rezultatov Ruizove enačbe.....	27
Slika 8. Grafični prikaz rezultatov Legerjeve enačbe.....	27
Slika 9. Grafični prikaz rezultatov Barnett C enačbe .....	28
Slika 10. Grafični prikaz rezultatov Barnett A enačbe .....	28
Slika 11. Grafični prikaz rezultatov Barnett B enačbe .....	29
Slika 12. Grafični prikaz rezultatov Sticklandove enačbe za fante .....	29
Slika 13. Grafični prikaz rezultatov Sticklandove enačbe za dekleta .....	30
Slika 14. Grafični prikaz rezultatov Matsuzaka A enačbe.....	30
Slika 15. Grafični prikaz rezultatov Matsuzaka B enačbe.....	31
Slika 16. Grafični prikaz rezultatov Mahar A enačbe .....	31
Slika 17. Grafični prikaz rezultatov Mahar B enačbe .....	32
Slika 18. Grafični prikaz rezultatov Mahar C enačbe.....	32
Slika 19. Grafični prikaz rezultatov Fernhallove enačbe .....	33
Slika 20. Grafični prikaz rezultatov Flourisove enačbe.....	33

## KAZALO TABEL

Tabela 1: Študije povezanosti najvišjega privzema kisika na dveh testih.....	10
Tabela 2: Stopnje in podstopnje stopnjevalnega teka .....	12
Tabela 3: Območja VO <sub>2max</sub> pri določeni starosti.....	13
Tabela 4: Tabela hitrosti glede na stopnjo .....	15
Tabela 5: Rezultati pearsonovega korelacijskega koeficienta in povprečja glede na enačbo .	25

## 1 UVOD

Aerobna moč je eden od najpogosteje uporabljenih kazalnikov zdravstvenega stanja otrok in mladine. Najvišji privzem kisika ( $\dot{V}O_2\text{max}$ ) pri stopnjevanem povečevanju obremenitve je objektivno merilo aerobne moči in eden najpogostejših parametrov merjenja v fiziologiji. Ena izmed najbolj razširjenih merskih nalog za merjenje  $\dot{V}O_2\text{max}$  pri otrocih in mladostnikih je stopnjevalni tek na 20 metrov, imenovan tudi 20-m multi-stage shuttle run test, Leger test, beep test, bleep test ali pacer, ki ga je leta 1982 razvil Luc Leger s sodelavci na montrealski univerzi (Leger in Lampert, 1982). Ta merska naloga je tudi del različnih merskih baterij, kot sta na primer EUROFIT in FITNESSGRAM.

Pri tej merski nalogi merjenec teče med dvema črtama, ki sta oddaljeni 20 metrov. Ritem teka mu narekujejo piski in na vsak pisk mora merjenec prestopiti črto, se obrniti in steči na drugo stran. Začetna hitrost je 8,5 km/h, vsako minuto pa se poveča za 0,5 km/h. Ko merjenec ne more več slediti piskom in dvakrat zapored zamudi s prestopom črte, se zanj merska naloga konča, rezultat pa navadno zapišemo kot število zadnje stopnje, ki jo je bil še sposoben preteči (Ruiz idr., 2008).

Visoko uporabno vrednost 20-metrskem stopnjevalnemu teku daje ravno možnost posrednega izračunavanja najvišjega privzema kisika, v dosedanji praksi pa so raziskovalci razvili vrsto enačb, po katerih je na podlagi rezultatov te merske naloge mogoče izračunati vrednost najvišjega privzema kisika (prim. Melo, 2011). Zaradi tega, ker so različni raziskovalci v svoje enačbe vključili različne kazalnike, za katere so menili, da so povezani s sposobnostjo privzema kisika, dajejo različne enačbe različne vrednosti.

V mnogih primerih te enačbe temeljijo na uporabi regresijskih enačb, ki so kot kriterij najvišjega privzema kisika iz rezultatov 20-metrskega stopnjevalnega teka upoštevali objektivno izmerjen najvišji privzem kisika, izmerjen z drugimi merskimi postopki, predvsem z merskimi nalogami na tekoči preprogi. Razvoj mobilnih naprav za neposredno merjenje porabe kisika je omogočil objektivno merjenje najvišjega privzema kisika tudi pri terenskih merskih nalogah, kakršen je 20-metrski stopnjevalni tek, kar danes omogoča primerjavo rezultatov različnih enačb z objektivno izmerjenimi vrednostmi najvišjega privzema kisika pri enaki merski nalogi.

Kljub obstoječi mobilni tehnologiji za merjenje porabe kisika je ta v epidemioloških študijah na velikih vzorcih redkeje uporabljena, ker so meritve naprave drage, njihova uporaba pa zaradi potreb po pogosti kalibraciji zamudna. Zaradi tega je smiselno za potrebe epidemioloških študij še naprej izpopolnjevati enačbe, s katerimi bo mogoče posredno vse bolj natančno oceniti najvišji privzem kisika z vključevanjem različnih dejavnikov.

Na področju posrednega izračunavanja je bilo narejenih veliko raziskav, kjer so avtorji primerjali natančnost enačb za izračun najvišjega privzema kisika pri otrocih, pa tudi pri odraslih. V različnih državah sveta so bili rezultati različni. Nekaterim je največjo natančnost pokazala enačba Legerja (1988), drugim Ruiza (2008), tretjim Matsuzake (2004).

V diplomskem delu želimo narediti pregled doslej narejenih enačb za izračun najvišjega privzema kisika pri otrocih s pomočjo stopnjevalnega teka ter rezultate primerjati z objektivno izmerjenim najvišjim privzemom kisika slovenskih otrok. Tako lahko na slovenski populaciji ugotovimo, rezultati katere izmed obstoječih enačb so najbolj skladni z objektivno

izmerjenimi vrednostmi in katera enačba bi bila najbolj uporabna v slovenskih epidemioloških študijah, ki ocenjujejo tudi aerobno vzdržljivost.

## 2. PREDMET IN PROBLEM DELA

### 2.1 STOPNJEVALNI TEK NA 20 METROV

Stopnjevalni tek je uporabna metoda za merjenje aerobne moči ter izračun najvišjega privzema kisika. Znan je pod več imeni, na primer the multi-stage fitness test, bleep test, beep test, pacer test, Leger-test in 20-m shuttle run test (Kavcic idr., 2012). Še posebej pogosto je uporabljan za testiranja nogometnika, hokejistov, rokometnika, tenisačev, igralcev squash-a, rugbyja, pa tudi za testiranja v klubih in šolah. Ponekod ga uporabljajo za predpogoj za vstop v policijo, h gasilcem in k vojakom (Paliczka idr., 1987; Ramsbottom idr., 1988; Koklu idr., 2011; Koropanovski idr., 2011; Aslan, 2013).

Ocena najvišjega privzema kisika na podlagi rezultatov stopnjevalnega teka je seveda zgolj približek. Obstajajo laboratorijske metode, ki ga določajo precej bolj natančno (Bruce Treadmill Test, Cycle ergometer test), vendar pa ti laboratorijski testi niso uporabni za terenske raziskave na velikih vzorcih. V takih primerih si lahko raziskovalci trenutno pomagajo predvsem z različnimi enačbami za izračun najvišjega privzema kisika s pomočjo stopnjevalnega teka.

Test so naredili leta 1982 na univerzi v Montrealu pod vodstvom Luca Legerja (1988). Leta 1983 je bil uradno objavljen, z začetno hitrostjo 8 km/h in stopnjami po 2 minuti trajanja. Test je bil ponovno objavljen v reviji »European Journal of Applied Physiology« leta 1988, (Leger, 1988) takrat z začetno hitrostjo 8,5 km/h in enominutnimi stopnjami trajanja, znan pod imenom »The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness«. Od takrat je nastalo še veliko modifikacij (20 m multi-stage fitness test, 2015).

Najbolj pogost je standardni stopnjevalni tek na 20 metrov, obstaja pa mnogo različic testa:

- Aero Test
- PACER test
- Yo-Yo Endurance Test
- Birtwell 40m Shuttle
- Multistage Shuttle Swim Test
- Intermittent Shuttle Test
- Swimming Beep Test
- multistage field test
- 10m Beep Test
- Walk Test
- Miller 20m Run

Test je bil potrjen kot natančen v primerjavi z laboratorijskim testiranjem in je v različnih študijah pokazal srednje do dobro natančnost (Barnett idr., 1993; Bono idr., 1991; Boreham idr., 1990; Cureton idr., 1977; Krahenbuhl idr., 1978; Leger idr., 1988; Liu idr., 1992, van Mechelen idr., 1986).

Veljavnost te merske naloge je bila v praksi že večkrat preverjena. Matsuzaka (2004) je naredil pregled različnih študij, ki so preučevale veljavnost stopnjevalnega teka na 20 metrov in preverjale povezanost najvišjega privzema kisika na maksimalnem testu na tekoči preprogji in stopnjevalnega teka (tabela 1).

Tabela 1: Statistična povezanost rezultatov različnih enačb za izračunavanje najvišjega prevzema kisika pri 20-metrskem stopnjevalnem teku z objektivno izmerjenimi vrednostmi najvišjega privzema kisika (Matsuzaka idr., 2004)

<b>eksperiment</b>	<b>starost merjencev/leta</b>	<b>število in spol merjencev</b>	<b>enostavni korelacijski koeficient</b>	<b>multipli korelacijski koeficient</b>
Léger in Lambert (16)	24,8 ± 5,5 (moški) 27,3 ± 9,2 (ženske)	(91) M + Ž	,84 (p < ,05)	
Paliczka idr. (30)	26–47	(9) M	,93 (p < ,05)	
Léger idr. (17)	18–50	(77) M + Ž	,90 (p < ,05)	
Ramsbottom idr. (32)	19–36	(36) M (38) Ž (74) M + Ž	,82 (p < ,05) ,89 (p < ,05) ,92 (p < ,05)	
Léger in Gadoury (18)	19–47	(77) M + Ž	,90 (p < ,05)	
Ahmaidi idr. (1)	18–30	(11) M	,76 (p < ,05)	
Sproule idr. (35)	20–35	(20) M + Ž	,86 (p < ,05)	
Berthoin idr. (5)	18–42	(17) M + Ž	,82 (p < ,05)	
Grant idr. (13)	19–29	(22) M	,86 (p < ,05)	
St Clair Gibson idr. (36)	22 ± 3	(20) M	,67 (p < ,05)	
McNaughton idr. (23)	20,1 ± 0,3	(32) M	,82 (p < ,05)	
Wilkinson idr. (41)	22,6 ± 3,4	(27) M + Ž	,91 (p < ,05)	
Neya idr. (28)	20,8 ± 2,2	(21) M	,80 (p < ,05)	
Matsuzaka idr.	18–23	(155) M + Ž		,88 (p < ,05)
van Mechelen idr. (39)	12–14	(41) M (41) Ž (82) M + Ž	,68 (p < ,05) ,69 (p < ,05) ,76 (p < ,05)	
Léger idr. (17)	8–19	(188) M + Ž		,71 (p < ,05)
Boreham idr. (7)	14–16	(23) M (18) Ž (41) M + Ž	,64 (p < ,05) ,90 (p < ,05) ,87 (p < ,05)	
Mahoney (20)	12	(10) M (8) Ž	,83 (p < ,05) ,76 (p < ,05)	
Liu idr. (19)	12–15	(22) M (26) Ž (48) M + Ž	,65 (p < ,05) ,51 (p < ,05) ,69 (p < ,05)	
Anderson (2)	10–12	(13) M	,72 (p < ,05)	

Barnett idr. (4)	12–17	(55) M + Ž		,85 (p < ,05)
McVeigh idr. (24)	13–14	(15) M (18) Ž		,68 (p < ,05) ,85 (p < ,05)
McNaughton idr. (22)	12–16	(50) M + Ž	,87 (p < ,05)	
Fernhall idr. (12)	10–17	(34) M + Ž		,77 (p < ,05)
Pitetti idr. (31)	8–15	(51) M + Ž	,66 (p < ,05)	
Matsuzaka idr.	8–17	(132) M + Ž		,80 (p < ,05)

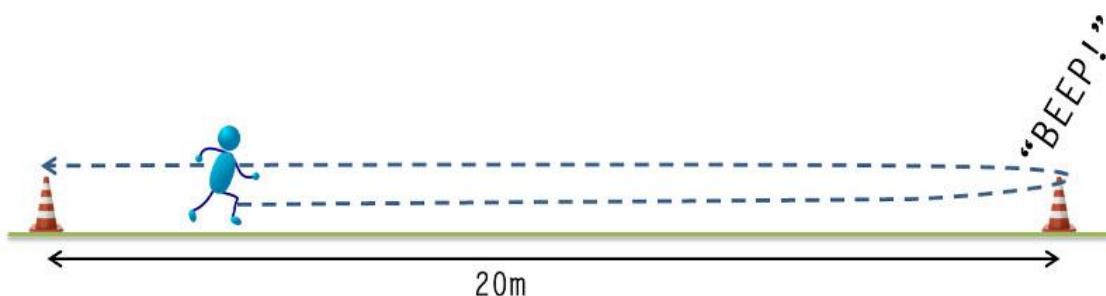
V tabeli 1 so prikazane nekatere študije povezanosti najvišjega privzema kisika na maksimalnem testu na tekoči preprogi in stopnjevalnega teka.

Standardni test ima 21 stopnje in vsaka stopnja je sestavljena iz različnega števila podstopnj.

Tabela 2: Stopnje in podstopnje stopnjevalnega teka na 20 metrov

<b>Stopnja 1</b>	1 2 3 4 5 6 7
<b>Stopnja 2</b>	1 2 3 4 5 6 7 8
<b>Stopnja 3</b>	1 2 3 4 5 6 7 8
<b>Stopnja 4</b>	1 2 3 4 5 6 7 8 9
<b>Stopnja 5</b>	1 2 3 4 5 6 7 8 9
<b>Stopnja 6</b>	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
<b>Stopnja 7</b>	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
<b>Stopnja 8</b>	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11
<b>Stopnja 9</b>	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11
<b>Stopnja 10</b>	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11
<b>Stopnja 11</b>	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
<b>Stopnja 12</b>	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
<b>Stopnja 13</b>	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13
<b>Stopnja 14</b>	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13
<b>Stopnja 15</b>	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13
<b>Stopnja 16</b>	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14
<b>Stopnja 17</b>	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14
<b>Stopnja 18</b>	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
<b>Stopnja 19</b>	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
<b>Stopnja 20</b>	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16
<b>Stopnja 21</b>	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16

V tabeli 2 so prikazane stopnje in podstopnje stopnjevalnega teka na 20 metrov.



Slika 1. Skica poteka stopnjevalnega teka na 20 metrov.

Pridobljeno 5.8.2015, iz: <http://www.5-a-side.com/fitness/the-beep-test-a-comprehensive-guide/>

Za izvedbo testa potrebujemo prostor z nedrsečo površino, označeno cono, 20 metrov prostora in posnetek piskov stopnjevalnega teka (Mahar idr., 2006). »Shuttle run« test je bil zasnovan tako, da določi maksimalno aerobno moč šolarjev, zdravih odraslih ter športnikov. Oseba mora teči naprej in nazaj do označene črte na 20 metrski razdalji, tempo teka pa narekuje zvočni signal. Frekvenca zvočnega signala se poveča za 0,5 km/h vsako minuto, z začetno hitrostjo 8,5 km/h. Če je oseba na črti pred piskom, mora počakati na pisk in šele nato teči dalje. Če je oseba na črti po pisku, dobi opozorilo, da mora teči hitreje. Če oseba po

opozorilu dvakrat zaporedoma zamudi pisk, se testiranje zaključi, rezultat pa navadno zapišemo kot število zadnje stopnje, ki jo je bil še sposoben preteči (Ruiz idr., 2008).

Zaradi postopnega večanja obremenitve se merjenci ogrejejo kar med samim testiranjem. Konstantno spremjanje smeri v gibanju pa merjencem prinaša aktivnost bližje tekmovalni (Ilič in Stojanovič).

Visoko uporabno vrednost 20-metrskem stopnjevalnemu teku daje ravno možnost posrednega izračunavanja najvišjega privzema kisika preko enačb, ki dajejo različne vrednosti. Najvišji privzem kisika je objektivno merilo aerobne moči in tudi eden najpogosteje uporabljenih parametrov v testiranju. V spodnji tabeli bomo pogledali normative, ki so jih postavili na Cooperjevem inštitutu.

Tabela 3: Območje najvišjega privzema kisika glede na starost (Heyward, 1997)

<b>ženske</b>						
<b>starost/ leta</b>	<b>zelo nizko</b>	<b>nizko</b>	<b>srednje</b>	<b>dobro</b>	<b>zelo dobro</b>	<b>odlično</b>
<b>13–19</b>	< 25,0	25,0–30,9	31,0–34,9	35,0–38,9	39,0–41,9	> 41,9
<b>20–29</b>	< 23,6	23,6–28,9	29,0–32,9	33,0–36,9	37,0–41,0	> 41,0
<b>30–39</b>	< 22,8	22,8–26,9	27,0–31,4	31,5–35,6	35,7–40,0	> 40,0
<b>40–49</b>	< 21,0	21,0–24,4	24,5–28,9	29,0–32,8	32,9–36,9	> 36,9
<b>50–59</b>	< 20,2	20,2–22,7	22,8–26,9	27,0–31,4	31,5–35,7	> 35,7
<b>60 +</b>	< 17,5	17,5–20,1	20,2–24,4	24,5–30,2	30,3–31,4	> 31,4
<b>Moški</b>						
<b>starost/ leta</b>	<b>zelo nizko</b>	<b>nizko</b>	<b>srednje</b>	<b>dobro</b>	<b>zelo dobro</b>	<b>odlično</b>
<b>13–19</b>	< 35,0	35,0–38,3	38,4–45,1	45,2–50,9	51,0–55,9	> 55,9
<b>20–29</b>	< 33,0	33,0–36,4	36,5–42,4	42,5–46,4	46,5–52,4	> 52,4
<b>30–39</b>	< 31,5	31,5–35,4	35,5–40,9	41,0–44,9	45,0–49,4	> 49,4
<b>40–49</b>	< 30,2	30,2–33,5	33,6–38,9	39,0–43,7	43,8–48,0	> 48,0
<b>50–59</b>	< 26,1	26,1–30,9	31,0–35,7	35,8–40,9	41,0–45,3	> 45,3
<b>60 +</b>	< 20,5	20,5–26,0	26,1–32,2	32,3–36,4	36,5–44,2	> 44,2

V tabeli 3 so prikazana območja najvišjega privzema kisika pri določeni starosti.

Stage (min)	Max speed (km h <sup>-1</sup> )	Predicted $\dot{V}O_{2\text{max}}$ (ml kg <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup> ) according to speed (km h <sup>-1</sup> ) and age (year)												
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	$\geq 18$
1	8.5	46.9*	45.0*	43.0*	41.1*	39.1*	37.2*	35.2*	33.3*	31.4*	29.4*	27.5*	25.5*	23.6*
2	9.0	49.0	47.1	45.2	43.4	41.5*	39.6*	37.8*	35.9*	34.1*	32.2*	30.3*	28.5*	26.6*
3	9.5	51.1	49.3	47.5	45.7	43.9	42.1	40.3*	38.5*	36.7*	35.0*	33.2*	31.4	29.6
4	10.0	53.1	51.4	49.7	48.0	46.3	44.6	42.9	41.2	39.4*	37.7*	36.0	34.3	32.6
5	10.5	55.2	53.6	51.9	50.3	48.7	47.0	45.4	43.8	42.1	40.5	38.9	37.2	35.6
6	11.0	57.3	55.7	54.2	52.6	51.1	49.5	47.9	46.4	44.8	43.3	41.7	40.2	38.6
7	11.5	59.4	57.9	56.4	54.9	53.4	52.0	50.5	49.0	47.5	46.0	44.6	43.1	41.6
8	12.0	61.5	60.1	58.6	57.2	55.8	54.4	53.0	51.6	50.2	48.8	47.4	46.0	44.6
9	12.5	63.5	62.2	60.9	59.6	58.2	56.9	55.6	54.2	52.9	51.6	50.3	48.9	47.6
10	13.0	65.6*	64.4*	63.1*	61.9*	60.6*	59.4*	58.1	56.9	55.6	54.4	53.1	51.9	50.6
11	13.5	67.7*	66.5*	65.3*	64.2*	63.0*	61.8*	60.6*	59.5*	58.3	57.1	56.0	54.8	53.6
12	14.0	69.8*	68.7*	67.6*	66.5*	65.4*	64.3*	63.2*	62.1*	61.0	59.9	58.8	57.7	56.6
13	14.5	71.9*	70.8*	69.8*	68.8*	67.8*	66.8*	65.7*	64.7*	63.7*	62.7*	61.6	60.6	59.6
14	15.0	73.9*	73.0*	72.0*	71.1*	70.2*	69.2*	68.3*	67.3*	66.4*	65.4*	64.5	63.6	62.6*
15	15.5	76.0*	75.1*	74.3*	73.4*	72.5*	71.7*	70.8*	69.9*	69.1*	68.2*	67.3*	66.5*	65.6*
16	16.0	78.1*	77.3*	76.5*	75.7*	74.9*	74.1*	73.4*	72.6*	71.8*	71.0*	70.2*	69.4*	68.6*
17	16.5	80.2*	79.5*	78.7*	78.0*	77.3*	76.6*	75.9*	75.2*	74.5*	73.8*	73.0*	72.3*	71.6*
18	17.0	82.3*	81.6*	81.0*	80.3*	79.7*	79.1*	78.4*	77.8*	77.2*	76.5*	75.9*	75.3*	74.6*
19	17.5	84.3*	83.8*	83.2*	82.7*	82.1*	81.5*	81.0*	80.4*	79.9*	79.3*	78.7*	78.2*	77.6*
20	18.0	86.4*	85.9*	85.4*	85.0*	84.5*	84.0*	83.5*	83.0*	82.5*	82.1*	81.6*	81.1*	80.6*

Slika 2. Pričakovana vrednost  $Vo_{2\text{max}}$  glede na hitrost in starost.

Pridobljeno 5.8.2015, iz: The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness (Leger, Mercier, Gadoury, Lambert, 1988)

Natančnost rezultata in zanesljivost testa je odvisna od tega, kako strogo se preizkus izvaja v praksi. Obstajajo tudi drugi dejavniki, ki lahko vplivajo na uspešnost, ki jih je treba nadzorovati, če je to mogoče. Posebno moramo biti pozorni na motivacijo in trud testiranca (Armstrong in Welsman, 1997; Armstrong idr., 1988), saj je nerealen rezultat zaradi teh dejavnikov najbolj pogost. S pomočjo stopnjevalnega teka lahko testiramo velike vzorce, ki jih le laboratorijsko skoraj nemogoče testirati, saj so takšna testiranja predraga in predolga.

Tabela 4: Tabela hitrosti glede na stopnjo. Pridobljeno 5.8.2015, iz:  
[https://en.m.wikipedia.org/wiki/Multi-stage\\_fitness\\_test](https://en.m.wikipedia.org/wiki/Multi-stage_fitness_test)

sto-pnja	podsto-pnja	kumulativno število podstopenj	hitrost (km/h)	čas podstopnje (s)	čas stopnje (s)	razdalja stopnje (m)	kumula-tivna razdalja (m)	kumula-tivni čas (mm:ss)
1	8	8	8,5	8,47	67,76	160	160	1:08
2	8	16	9,0	8,00	64,00	160	320	2:12
3	8	24	9,5	7,58	60,63	160	480	3:12
4	9	33	10,0	7,20	64,80	180	660	4:17
5	9	42	10,5	6,86	61,71	180	840	5:19
6	10	52	11,0	6,55	65,45	200	1040	6:24
7	10	62	11,5	6,26	62,61	200	1240	7:27
8	10	72	12,0	6,00	60,00	200	1440	8:27
9	11	83	12,5	5,76	63,36	220	1660	9:30
10	11	94	13,0	5,54	60,92	220	1880	10:31
11	12	106	13,5	5,33	64,00	240	2120	11:35
12	12	118	14,0	5,14	61,71	240	2360	12:37
13	13	131	14,5	4,97	64,55	260	2620	13:42
14	13	144	15,0	4,80	62,40	260	2880	14:44
15	13	157	15,5	4,65	60,39	260	3140	15:44
16	14	171	16,0	4,50	63,00	280	3420	16:47
17	14	185	16,5	4,36	61,09	280	3700	17:48
18	15	200	17,0	4,24	63,53	300	4000	18:52
19	15	215	17,5	4,11	61,71	300	4300	19:54
20	15	230	18,0	4,00	60,00	300	4600	20:54
21	16	246	18,5	3,89	62,27	320	4920	21:56

V tabeli 4 si lahko pogledamo hitrost, razdaljo in različne čase glede na posamezno stopnjo stopnjevalnega teka.

## 2.2 PREGLED ENAČB ZA IZRAČUN NAJVIŠJEGA PRIVZEMA KISIKA

Na področju raziskovanja je bilo narejenih že nekaj enačb za izračun najvišjega privzema kisika tako pri otrocih kot odraslih. Vendar pa so različne enačbe upoštevale različne in različno število parametrov. Nekatere so temeljile zgolj na rezultatih stopnjevalnega teka in starosti (Leger, 1988), medtem ko novejše enačbe upoštevajo tudi nekatere telesne dimenzijs, na primer telesno maso, kožno gubo ... (Ruiz, 2008)

### 2.2.1 LEGER

Leta 1982 sta Leger in Lambert poročala o novo nastalem testu, stopnjevalnem teku na 20 metrov. Natančnost za računanje najvišjega privzema kisika sta preverjala v treh eksperimentih. V prvega je bilo vključeno 188 fantov in deklet, starih 8–19 let. V drugega je bilo vključenih 53 fantov in 24 deklet, starih 39 let. V tretji eksperiment pa je bilo vključenih 139 fantov in deklet, starih 6–16 let, in 81 moških, starih 20–45 let (Leger, Mercier, Gadoury, Lambert, 1988).

Legerjeva enačba omogoča izračun najvišjega privzema kisika iz le dveh parametrov, starosti in hitrosti. Hitrost izračunamo po enačbi s pomočjo podatka o zadnji opravljeni stopnji pri stopnjevalnem teku na 20 metrov. Za parameter starosti pa vstavimo leta starosti.

$$\dot{V}O_2\text{max} = 31,025 + (3,238 \times S) - (3,248 \times \text{starost}) + (0,1536 \times \text{hitrost} \times \text{starost})$$

Hitrost je maksimalna hitrost na stopnjevalnem teku v km/h.

$S = (8 + 0,5 \times \text{zadnja opravljena stopnja stopnjevalnega teka})$ , (Ruiz idr., 2008).

### 2.2.2 MAHAR

Najprej je natančnost enačbe testiral na vzorcu 135 oseb, 74 žensk in 61 moških starosti 12–14 let. Rezultate je želel primerjati z rezultati Legerjeve enačbe, ki jo uporablja za izračun najvišjega privzema kisika FITNESSGRAMM. Želel je narediti natančnejšo enačbo, saj Leger ni upošteval spola, hkrati pa je bila tudi direktna metoda za merjenje  $\dot{V}O_2\text{max}$  takrat še manj natančna. Najvišji privzem kisika je izračunal po enačbah A in B ter po Legerjevi enačbi. Enačba A je upoštevala telesno težo merjenca, enačba B pa indeks telesne mase. Statistična obdelava je pokazala, da sta novi enačbi natančnejši od Legerjeve (Mahar, Welk, Rowe, Crotts, McIver, 2006).

Kasneje je testiral 244 otrok, 126 deklic in 118 fantov, starih med 10 in 16 let. Primerjal je rezultate več enačb, najprej svoji prejšnji enačbi A in B, Legerjevo, Barnettovi, Matsuzakini in novo kvadratno enačbo (Mahar idr., 2011).

### **Kvadratna enačba:**

$$\dot{V}o_2\text{max} = 41,76799 + (0,49261 \times \text{PACER}) - (0,00290 \times \text{PACER}^2) - (0,61613 \times \text{BMI}) + (0,34787 \times G \times A)$$

PACER je seštevek vseh podstopenj.

G je spol, kjer vstavimo za moški spol vrednost 1 in 0 za ženski spol.

BMI je indeks telesne mase.

A je starost v letih (Mahar idr., 2011).

### **Enačba A**

$$\dot{V}o_2\text{max} = 47,438 + (S \times 0,242) + (G \times 5,134) - TM \times 0,197$$

S je vsota vseh podstopenj.

G je spol, kjer vstavimo za moški spol vrednost 1 in 0 za ženski spol.

TM je telesna masa v kilogramih (Mahar idr., 2011).

### **Enačba B**

$$\dot{V}o_2\text{max} = 50,945 + (0,126 \times \text{podstopnje(PACER)}) + (4,946 \times G) - (0,665 \times \text{BMI})$$

PACER je seštevek vseh podstopenj.

G je spol, kjer vstavimo za moški spol vrednost 1 in 0 za ženski spol.

BMI je indeks telesne mase (Mahar idr., 2011).

### 2.2.3 BARNETT

Eksperiment je izvedel na 55 otrocih, 27 fantih in 28 dekletih, starih med 12 in 15 let. Najvišji privzem kisika je bil izmerjen tudi v laboratoriju. Izračunan je bil po enačbi B. Sestavil je tri različne enačbe z različnimi parametri.

#### **Barnett A model:**

$$\dot{V}o_2\text{max} = 25,8 - (6,6 \times \text{spol}) - (0,2 \times TM) + (3,2 \times \text{hitrost v km/h}),$$

kjer vstavimo za moški spol vrednost 0 in 1 za ženski spol.

TM je telesna masa v kilogramih (Ruiz idr., 2008).

**Barnett B model:**

$$\dot{V}o_2\text{max} = 24,2 - (5,0 \times \text{spol}) - (0,8 \times \text{starost}) + (3,4 \times \text{hitrost v km/h}),$$

kjer vstavimo za moški spol vrednost 0 in 1 za ženski spol (Ruiz idr., 2008).

**Barnett C model:**

$$\dot{V}o_2\text{max} = 28,3 - 2,1 \times \text{spol} - 0,7 \times \text{KGТ} + 2,6 \times \text{končna hitrost},$$

kjer vstavimo za moški spol vrednost 0 in 1 za ženski spol. Hitrost je maksimalna hitrost na stopnjevalnem teku, starost je v letih, KGT pa je kožna guba tricepsa. Hitrost =  $(8 + 0,5 \times \text{zadnja opravljena stopnja stopnjevalnega teka})$ , (Ruiz idr., 2008).

## 2.2.4 MATSUZAKA

Prav tako kot pri Barnetu imamo dva modela. Za izračun najvišjega privzema kisika potrebujemo štiri parametre; spol, indeks telesne mase – BMI, starost in hitrost.

**Matsuzaka A model:**

$$\dot{V}o_2\text{max} = 25,9 - (2,21 \times \text{spol}) - (0,449 \times \text{starost}) - (0,831 \times \text{BMI}) + (4,12 \times \text{hitrost v km/h}),$$

kjer vstavimo za moški spol vrednost 0 in 1 za ženski spol, starost je v letih, BMI pomeni indeks telesne mase in hitrost izračunamo po formuli hitrost =  $(8 + 0,5 \times \text{zadnja opravljena stopnja stopnjevalnega teka})$  (Ruiz idr., 2008).

**Matsuzaka B model:**

$$\dot{V}o_2\text{max} = 61,1 - (2,20 \times \text{spol}) - (0,462 \times \text{starost}) - (0,862 \times \text{BMI}) + (0,192 \times \text{PACER laps}),$$

kjer vstavimo za moški spol vrednost 0 in 1 za ženski spol, starost je v letih, BMI pomeni indeks telesne mase in hitrost izračunamo po formuli hitrost =  $(8 + 0,5 \times \text{zadnja opravljena stopnja stopnjevalnega teka})$  (Ruiz idr., 2008).

## 2.2.5 FERNHALL

$$\dot{V}o_2\text{max} = 0,35 \times (\text{PACER}) - 0,59 \times (\text{BMI}) - 4,61 \times (G) + 50,6$$

PACER je seštevek vseh podstopenj.

G je spol, kjer vstavimo za moški spol vrednost 1 in 2 za ženski spol.

BMI je indeks telesne mase (Fernhall, 2010).

## 2.2.6 STICKLAND

Naredil je dve enačbi, ločeni po spolu.  $\dot{V}O_2\text{max}$  izračunamo s pomočjo zadnje polovice stopnje stopnjevalnega teka in spola (Ruiz idr., 2008).

Moški:  $\dot{V}O_2\text{max} = 2,75 \times X + 28,2$

Ženske:  $\dot{V}O_2\text{max} = 2,85 \times X + 25,1$

X je zadnja polovična stopnja stopnjevalnega teka.

V vzorcu je bilo 63 fantov in 62 deklet, starih 18–38 let.

## 2.2.7 FLUORIS

Enačba je primerna le za fante. Izračunamo jo s pomočjo le enega parametra, maksimalne hitrosti.

$\dot{V}O_2\text{max} = (S \times 6,65 - 35,8) \times 0,95 + 0,182$

S je maksimalna hitrost.  $S = (8 + 0,5 \times \text{zadnja opravljena stopnja stopnjevalnega teka})$  (Ruiz idr., 2008).

V vzorcu je bilo 110 fantov, starih približno 21 let.

## 2.2.8 RUIZ

Ruizova enačba umetne nevronske mreže (Ruiz idr., 2008)

**Table 5** Syntax (Excel spreadsheet) of the artificial neural network-based equation to estimate  $\dot{V}O_2\text{max}$  (ml/(kg min)) from 20mSRT performance (stage), sex, age, weight, and height in adolescents aged 13–19 years

$$\begin{aligned}\dot{V}O_2\text{max} (\text{ml}/(\text{kg min})) = & (1/(1 + \exp(-(1/(1 + \exp(-((A1 \times 0.8 + (-0.7)) \times (-1.03329) + (B1 \times 0.114285714286 \\ & + (-1.38571428571)) \times 0.54719 + (C1 \times 0.012213740458 + (-0.406870229008)) \times 0.61542 + (D1 \times 0.0195598978221 \\ & + (-2.76356892177)) \times -0.51381 + (E1 \times 0.0842105263158 + (-0.0684210526316)) \times (-0.92239) + (-0.34242)))) \times \\ & (-0.95905) + 1/(1 + \exp(-((A1 \times 0.8 + (-0.7)) \times (-1.19367) + (B1 \times 0.114285714286 + (-1.38571428571)) \times \\ & (-1.54924) + (C1 \times 0.012213740458 + (-0.406870229008)) \times (-3.18931) + (D1 \times 0.0195598978221 \\ & + (-2.76356892177)) \times 0.77773 + (E1 \times 0.0842105263158 + (-0.0684210526316)) \times 3.31887 + (-0.55696)))) \times \\ & 2.19501 + 1/(1 + \exp(-((A1 \times 0.8 + (-0.7)) \times 1.38191 + (B1 \times 0.114285714286 + (-1.38571428571)) \times (-2.14449) \\ & + (C1 \times 0.012213740458 + (-0.406870229008)) \times 0.0485 + (D1 \times 0.0195598978221 + (-2.76356892177)) \times 0.10879 \\ & + (E1 \times 0.0842105263158 + (-0.0684210526316)) \times (-4.90052) + 0.53905))) \times (-2.567) + (-0.05105))) - \\ & (-0.478945173945))/0.0204587840012\end{aligned}$$

A1 = sex (boys = 1; girls = 2); B1 = age (year, age range 13–19 years); C1 = weight (kg); D1 = height (cm); E1 = stage (0.5). A user-friendly spreadsheet can be found in <http://www.helenastudy.com/scientific.php> (accessed 11 June 2008).

*Slika 3. Ruizova enačba umetne nevronske mreže.*

Pridobljeno 5.8.2015 iz: Artificial neural network-based equation for estimates  $\dot{V}O_2\text{max}$  from the 20 m shuttle run test in adolescents (Ruiz idr., 2007.)

### 3. CILJI IN HIPOTEZE

#### CILJI

Osnovni cilj diplomskega dela je narediti pregled obstoječih enačb za izračunavanje najvišjega privzema kisika pri otrocih in rezultate teh enačb primerjati z objektivno izmerjenim najvišjim privzemom kisika, ki smo ga izmerili na vzorcu otrok iz Slovenije.

Znanstveni doprinos diplomskega dela je, da na podlagi objektivno izmerjenih podatkov o najvišjem privzemu kisika na slovenski populaciji ugotovi, katera izmed obstoječih enačb daje najbolj podobne rezultate objektivno izmerjenemu najvišjemu privzemu kisika pri enaki merski nalogi 20-metrskega stopnjevalnega teka in bi bila najbolj uporabna v slovenskih epidemioloških študijah. Izsledki analize lahko dajejo tudi dobro podlago za določanje nove regresijske enačbe, ki bi temeljila na slovenskih podatkih, in bi dajala za slovenske vzorce natančnejše izračune. Dosedanje raziskave so namreč pokazale, da so enačbe bolj natančne za vzorce, na katerih so bile izdelane, saj kulturno okolje lahko spodbuja ali zavira razvoj aerobnih sposobnosti otrok, kljub temu, da je mehanizem privzema kisika v človeškem organizmu univerzalen. Zaradi tega v populacijah iz različnih kulturnih okolij lahko prihaja do precejšnjih razlik v sposobnosti privzema kisika.

#### HIPOTEZE

Glede na postavljene cilje nameravamo v diplomskem delu preveriti dve hipotezi:

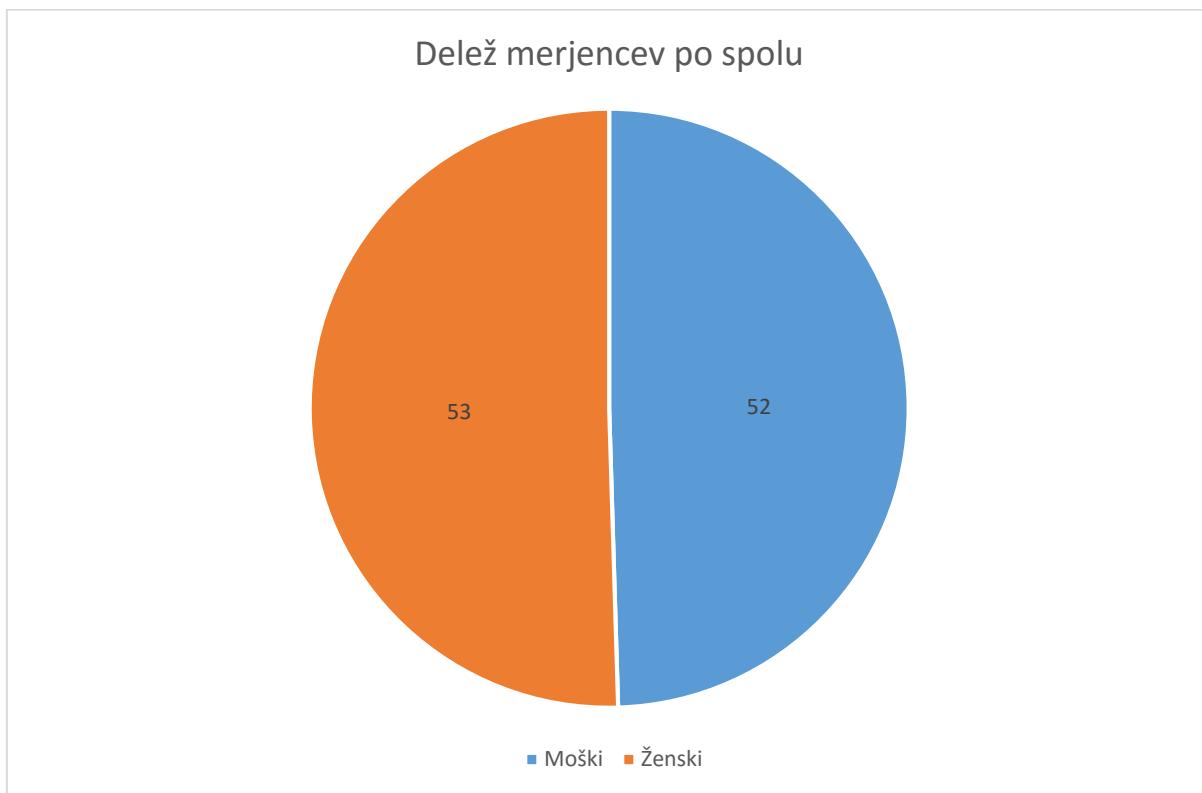
H1: Rezultati enačb za izračun najvišjega privzema kisika pri 20-metrskem stopnjevalnem teku, ki vključujejo več spremenljivk, kažejo višjo statistično povezanost z rezultati objektivno izmerjenega najvišjega privzema kisika.

H2: Obstajajo statistično značilne razlike med rezultati različnih enačb.

## 4 METODE DELA

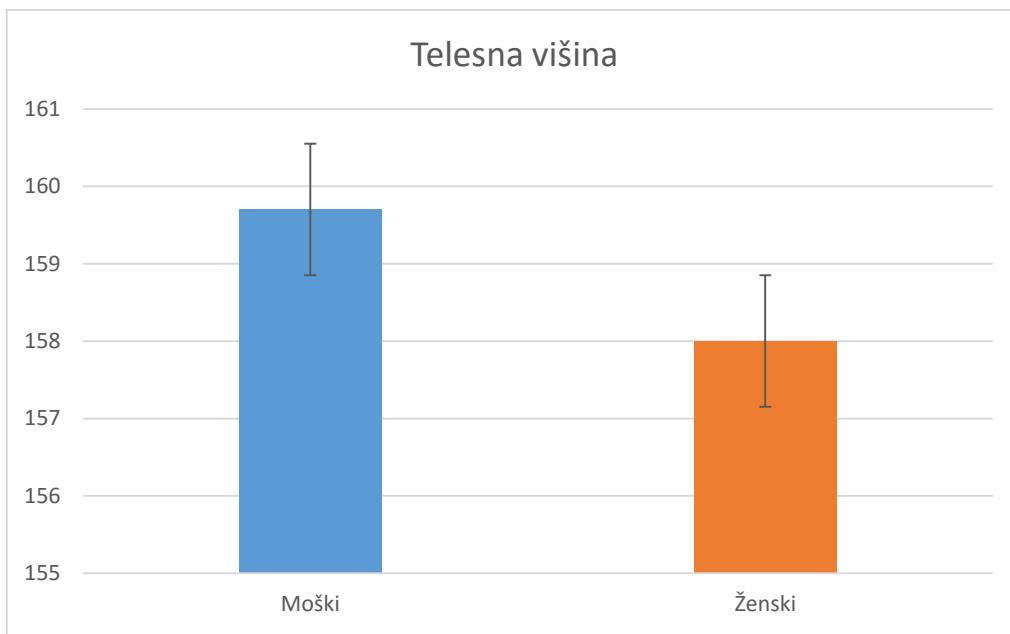
### 4.1 PREIZKUŠANCI

V študijo je bilo vključenih 105 učencev 6 ljubljanskih osnovnih šol, starih od 11 do 15 let. Vzorec je bil selekcioniran le glede na šolo in razred. Vsi so bili zdravi in nepoškodovani ter seznanjeni z zahtevami in cilji eksperimentalnega postopka. Starši vsakega otroka so podpisali pozitivno soglasje z izjavo o seznanjenosti z zahtevami in cilji eksperimentalnega postopka ter morebitnimi tveganji. Študija je bila izvedena kot prospektivna kohortna kvazi-eksperimentalna študija z izvedenimi merjenji v treh zaporednih letih 2006, 2007 in 2008. V analizi smo uporabili tiste rezultate tistih otrok, ki so imeli popolne podatke, in tiste, ki so mersko nalogu po oceni meritca opravili maksimalno in vidno utrujeni.



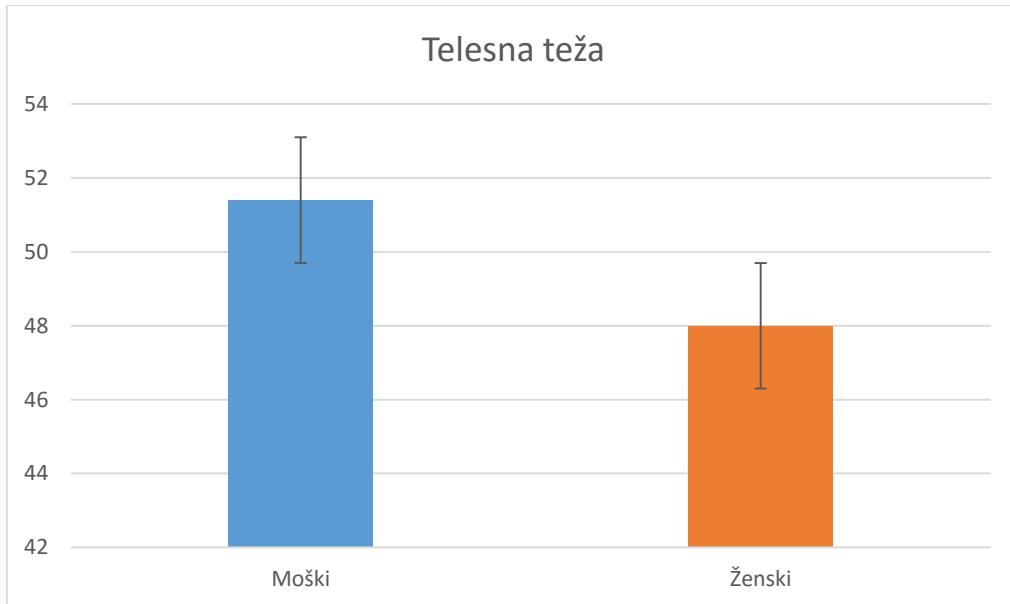
Slika 4. Delež merjencev po spolu

Na sliki 4 je prikazan delež merjencev po spolu. V analizo je bilo vključenih 53 deklet in 52 fantov.



Slika 5. Telesna višina

Na sliki 5 vidimo, da so fantje v povprečju višji od deklet, saj je povprečna vrednost njihove telesne višine  $159,7 \pm 7,8$  cm, povprečna vrednost višine deklet pa  $158 \pm 7,2$  cm.



Slika 6. Telesna teža

Na sliki 6 vidimo, da so bili fantje v povprečju težji od deklet s povprečno telesno maso  $51,4 \pm 12,3$  kg, povprečna telesna masa deklet pa je bila  $48 \pm 12,3$  kg.

## 4.2 PRIPOMOČKI

Kardiorespiratorno komponento smo preverili s pomočjo določanja najvišjega privzema kisika s prenosno telemetrijsko enoto MetaMax II (Ergospirometry System, Cortex Biophysik GmbH, Nemčija), ki velja za zanesljivo metodo (Larson in sod., 2004), uporabno tudi v pediatrični populaciji (Steene-Johannessen in sod., 2009) pri testu 20-metrskega stopnjevalnega teka. Ta test velja za zanesljivega pokazatelja aerobnega fitnesa v pediatrični populaciji (van Mechelen, Hlobil in Kemper, 1986) in je standardni test za oceno aerobne moči (Olds in sod., 2006). Stopnjevalni tek je bil izveden s pomočjo standardiziranega zvočnega posnetka, predvajanega na predvajalniku zgoščenk. Telesno maso merjencev smo izmerili s prenosno medicinsko tehtnico (Tanita Body Fat Monitor TBF-543, Tokio, Japonska), višino pa s prenosnim stadiometrom (Sieber-Hagner, Švica).

## 4.3 POSTOPEK

Vsakemu merjencu smo razložili potek meritev. Ko so merjenci opravili testno nalogo, smo zapisali končni cikel stopnjevalnega teka. Vsak merjenec je tekel sam, med tekom pa smo merili njegovo porabo kisika s prenosno telemetrijsko enoto MetaMax II. Na podlagi rezultatov 20-metrskega stopnjevalnega teka bomo izračunali najvišji privzem kisika po enačbah različnih avtorjev in jih primerjali z objektivno izmerjenimi vrednostmi. Telemetrijska enota je bila pred vsako meritvijo kalibrirana po predpisanim postopku proizvajalca. V vsakem letu je bil vsak merjenec izmerjen približno v istem mesecu v jeseni. Za kazalnik  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  smo vzeli najvišjo zabeleženo vrednost med izvajanjem stopnjevalnega teka, ki je bila pri vseh merjencih dosežena tik pred zaključkom teka.

## 4.4 ANALIZA PODATKOV

Za statistično obdelavo smo uporabili programsko opremo IBM SPSS, za grafično pa programsko opremo Microsoft Excel. Korelacijske koeficiente med rezultati različnih enačb ter objektivno izmerjenimi vrednostmi smo izračunali po Pearsonovi metodi, razlike med rezultati različnih enačb pa z analizo variance.

## 5 REZULTATI IN RAZPRAVA

V nadaljevanju prikazujemo rezultate v zaporedju glede na predhodno postavljeni hipotezi (H1 in H2).

### 5.1 REZULTATI IZRAČUNOV, S KATERIMI SMO PREVERJALI HIPOTEZO 1

**Hipoteza 1:** Rezultati enačb za izračun najvišjega privzema kisika pri 20-metrskem stopnjevalnem teku, ki vključujejo več spremenljivk, kažejo višjo statistično povezanost z rezultati objektivno izmerjenega najvišjega privzema kisika.

Analiza je pokazala, da se med rezultati enačb za izračun najvišjega privzema kisika pri enačbah, ki vsebujejo več spremenljivk, kažejo statistično značilne povezanosti, ko jih primerjamo z rezultati objektivno izmerjenega najvišjega privzema kisika (glej tabelo 5).

Preverjali smo tudi statistično povezanost rezultatov različnih izračunov in objektivno izmerjene vrednosti po spolu, kjer se je pokazalo, da se je najvišja statistično značilna povezanost pri fantih pokazala pri Ruizovi enačbi ( $r = 0,821$ ,  $n = 52$ ,  $p = 0,000$ ), pri dekletih pa pri enačbi Mahar A ( $r = 0,862$ ,  $n = 53$ ,  $p = 0,000$ ). Ker se je skupno gledano najvišja povezanost pokazala pri enačbi Mahar A, je iz praktičnega razloga pri terenskih raziskavah bolj ekonomično uporabljati to enačbo tudi pri fantih, saj v tem primeru pri ocenjevanju najvišjega privzema kisika uporabljamo iste kazalnike.

Tabela 5: Rezultati Pearsonovega korelacijskega koeficienta in povprečja izračunanih vrednosti glede na enačbo

enačba	Pearsonov korelacijski koeficient	rang glede na vrednost Pearsonovega korelacijskega koeficienta	povprečna vrednost	število spremenljivk, ki so v enačbi	statistična povezanost
MaharA	0,881	1	51,413	3	,000
Fernhall	0,878	2	48,353	3	,000
Mahar kvadratna	0,865	3	48,036	4	,000
MaharB	0,857	4	46,283	3	,000
BarnettA	0,853	5	46,103	3	,000
MatsuzakaB	0,837	6	46,055	4	,000
Ruiz	0,834	7	44,833	5	,000
MatsuzakaA	0,832	8	45,919	4	,000
BarnettB	0,795	9	46,837	3	,000
Leger	0,784	10	43,549	2	,000
Stickland Ž	0,777	11,5	39,927	1	,000
Stickland M	0,777	11,5	42,307	1	,000
BarnettC	0,774	13	45,849	3	,000
Flouris	0,763	14	32,355	1	,000

Tabela 5 prikazuje rezultate Pearsonovega korelacijskega koeficienta, rang glede na njegovo vrednost, povprečje in število spremenljivk v enačbi.

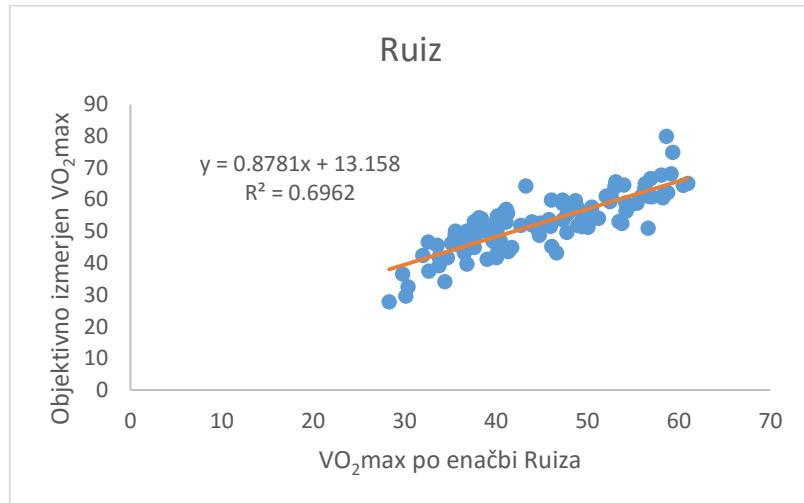
Povprečna vrednost objektivno izmerjenega najvišjega privzema kisika je bila 52,526.

Na podlagi vseh rezultatov v tabeli 1 našo hipotezo, ki se glasi »rezultati enačb za izračun najvišjega privzema kisika pri 20-metrskem stopnjevalnem teku, ki vključujejo več spremenljivk, kažejo višjo statistično povezanost z rezultati objektivno izmerjenega najvišjega privzema kisika,« zavrnemo.

## 5.2 REZULTATI IZRAČUNOV, S KATERIMI SMO PREVERJALI HIPOTEZO 2

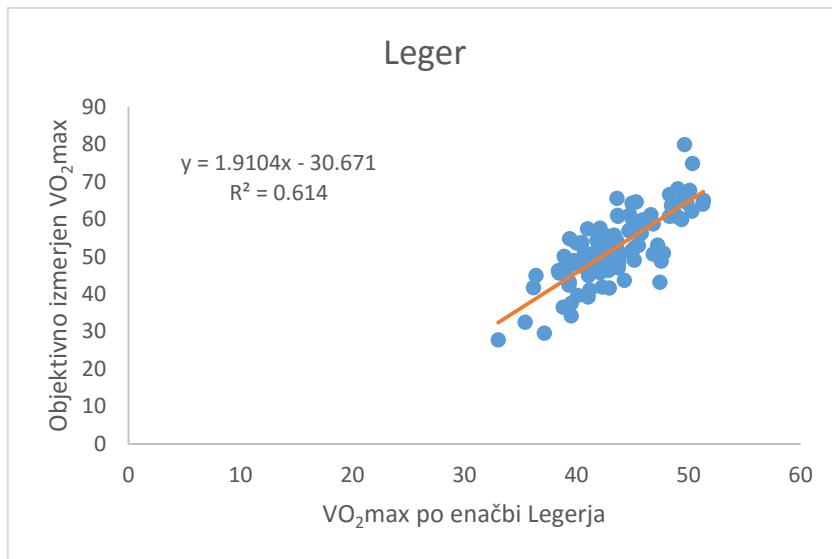
**Hipoteza 2:** Obstajajo statistično značilne razlike med rezultati različnih enačb.

V nadaljevanju najprej prikazujemo grafični prikaz rezultatov enačb avtorjev glede na objektivno izmerjen najvišji privzem kisika.



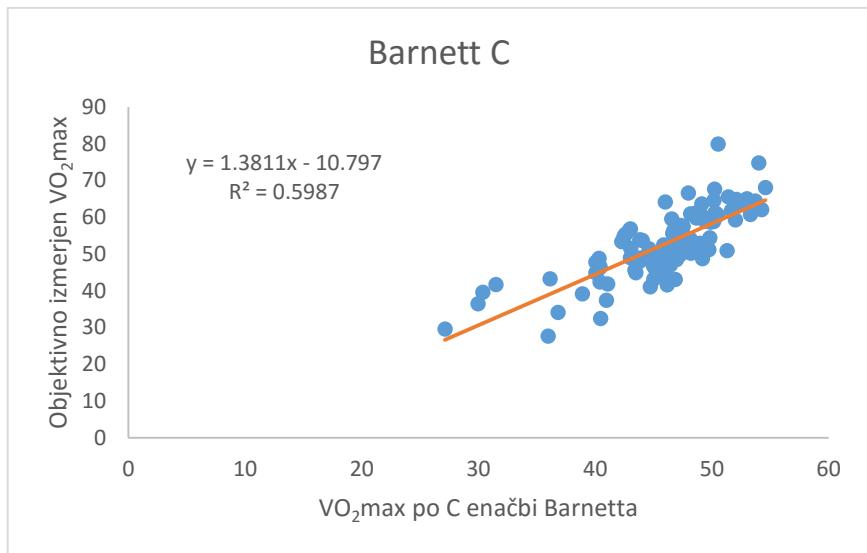
Slika 7. Grafični prikaz rezultatov Ruizove enačbe

Na sliki 7 vidimo, da je vrednost R kvadrat 0,6962, kar pomeni, da lahko enačba zgreši rezultat v približno 30 % primerov.



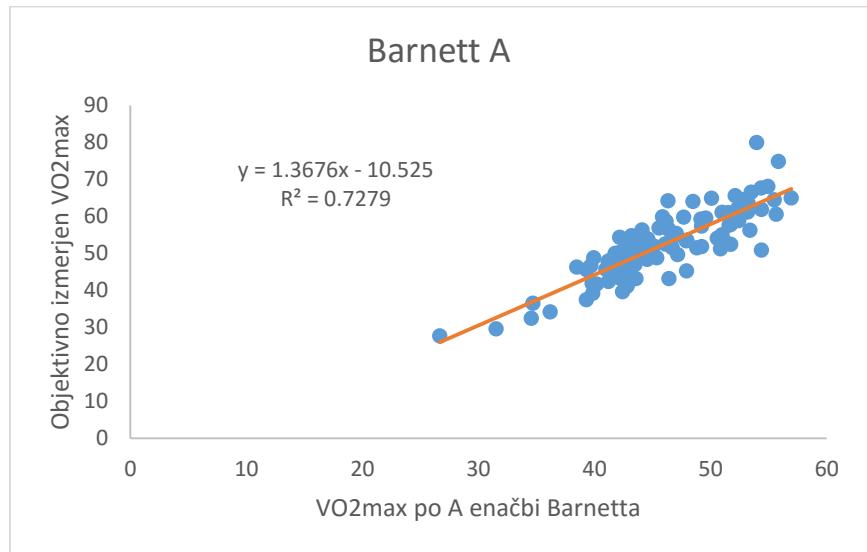
Slika 8. Grafični prikaz rezultatov Legerjeve enačbe

Na sliki 8 vidimo, da je vrednost R kvadrat 0,614, kar pomeni, da lahko enačba zgreši rezultat v približno 38 % primerov.



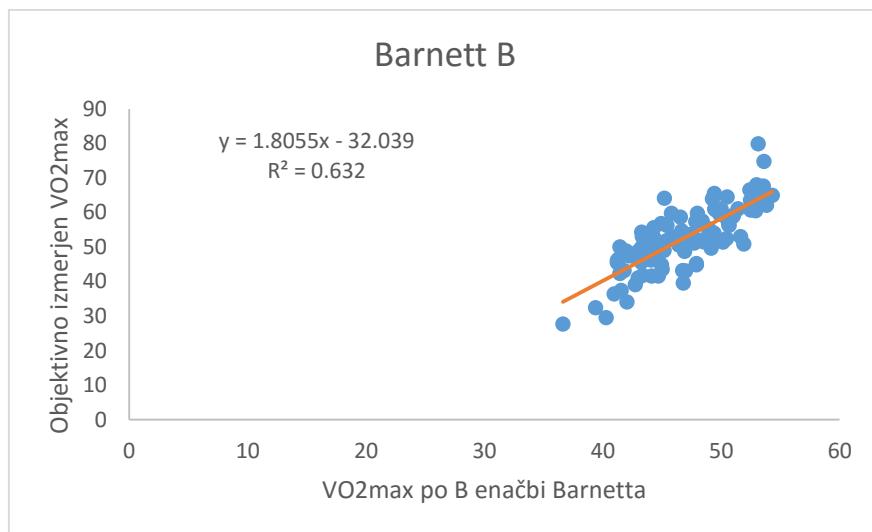
Slika 9. Grafični prikaz rezultatov Barnett C enačbe

Na sliki 9 vidimo, da je vrednost R kvadrat 0,5987, kar pomeni, da lahko enačba zgreši rezultat v približno 41 % primerov.



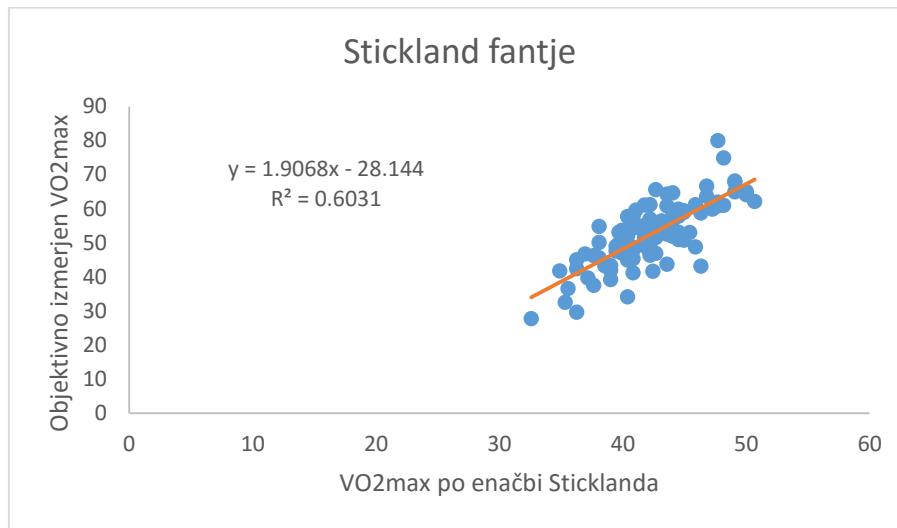
Slika 10. Grafični prikaz rezultatov Barnett A enačbe

Na sliki 10 vidimo, da je vrednost R kvadrat 0,7279, kar pomeni, da lahko enačba zgreši rezultat v približno 27 % primerov.



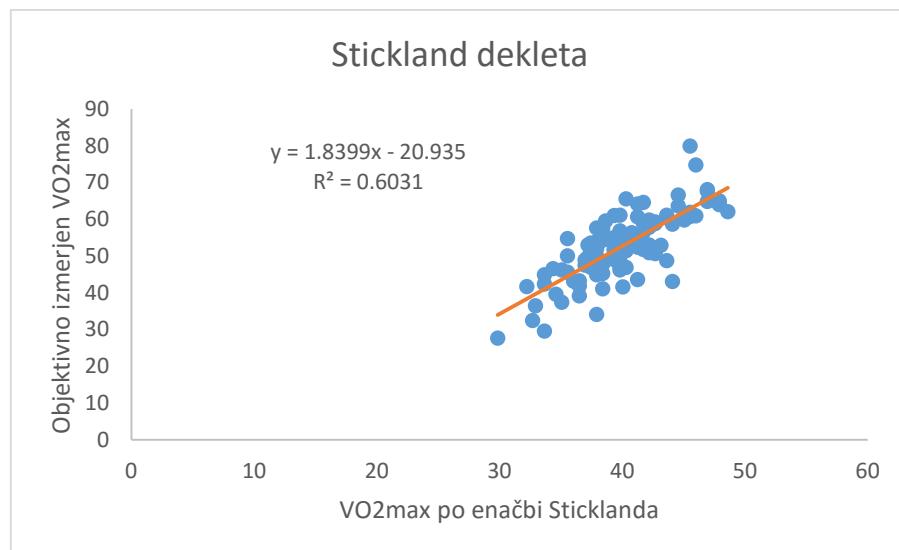
Slika 11. Grafični prikaz rezultatov Barnett B enačbe

Na sliki 11 vidimo, da je vrednost R kvadrat 0,632, kar pomeni, da lahko enačba zgreši rezultat v približno 37 % primerov.



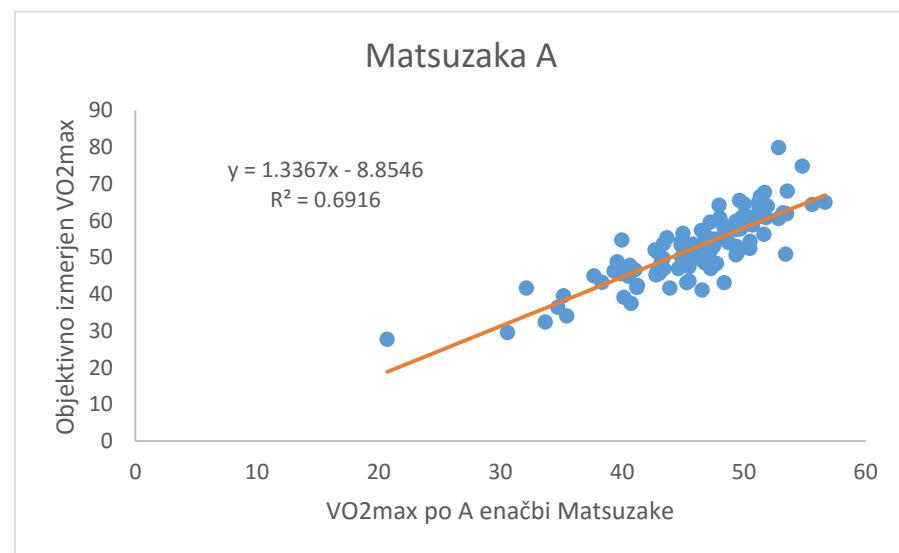
Slika 12. Grafični prikaz rezultatov Sticklandove enačbe za fante

Na sliki 12 vidimo, da je vrednost R kvadrat 0,6031, kar pomeni, da lahko enačba zgreši rezultat v približno 40 % primerov.



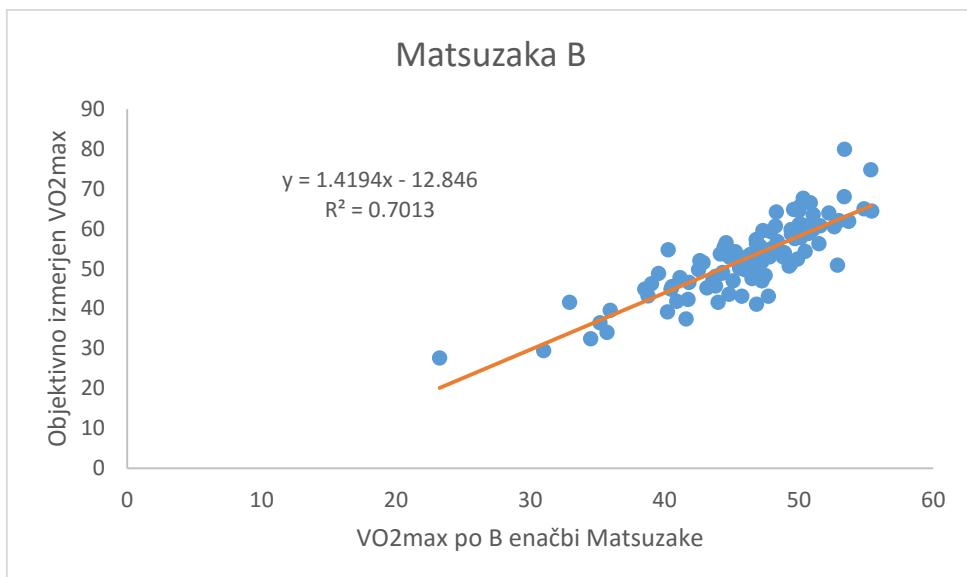
Slika 13. Grafični prikaz rezultatov Sticklandove enačbe za dekleta

Na sliki 13 vidimo, da je vrednost R kvadrat 0,6031, kar pomeni, da lahko enačba zgreši rezultat v približno 40 % primerov.



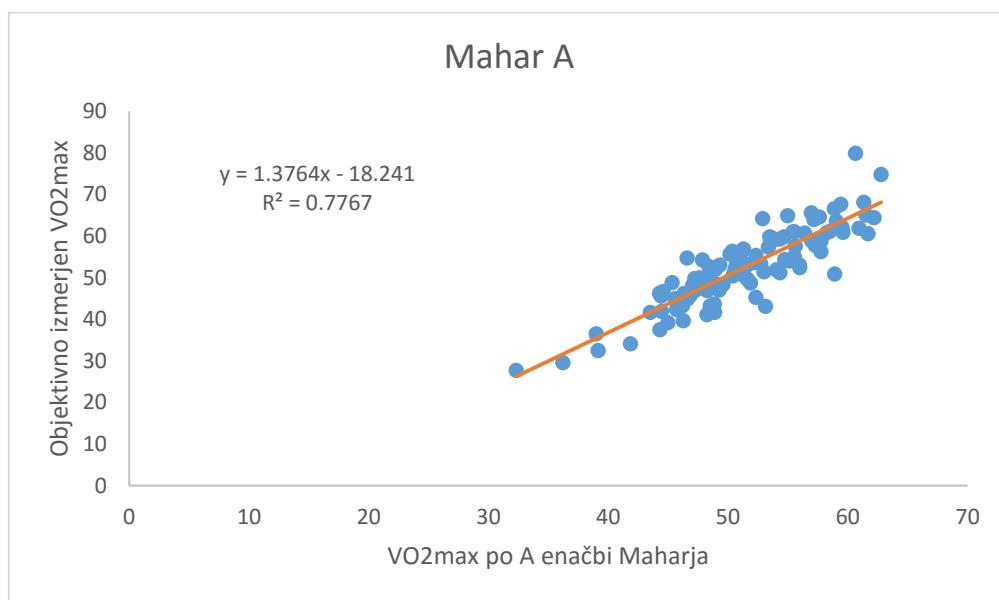
Slika 14. Grafični prikaz rezultatov Matsuzaka A enačbe

Na sliki 14 vidimo, da je vrednost R kvadrat 0,6916, kar pomeni, da lahko enačba zgreši rezultat v približno 31 % primerov.



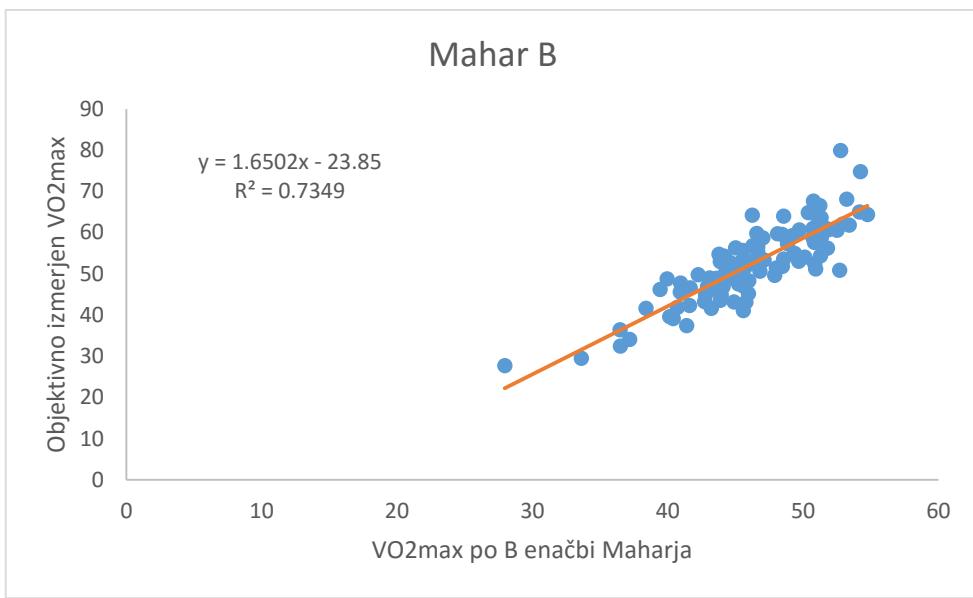
Slika 15. Grafični prikaz rezultatov Matsuzaka B enačbe

Na sliki 15 vidimo, da je vrednost R kvadrat 0,7013, kar pomeni, da lahko enačba zgreši rezultat v približno 30 % primerov.



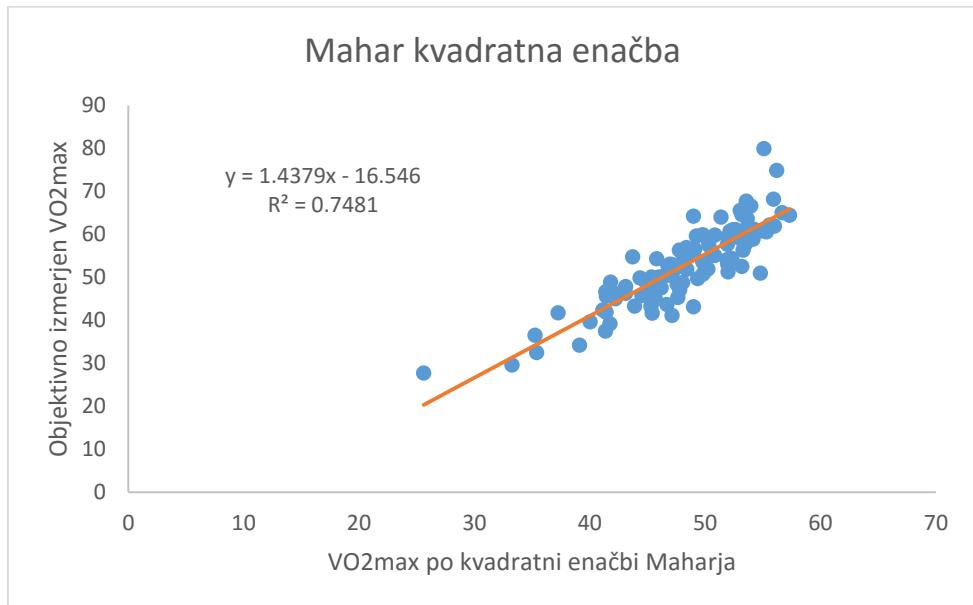
Slika 16. Grafični prikaz rezultatov Mahar A enačbe

Na sliki 16 vidimo, da je vrednost R kvadrat 0,7767, kar pomeni, da lahko enačba zgreši rezultat v približno 22 % primerov.



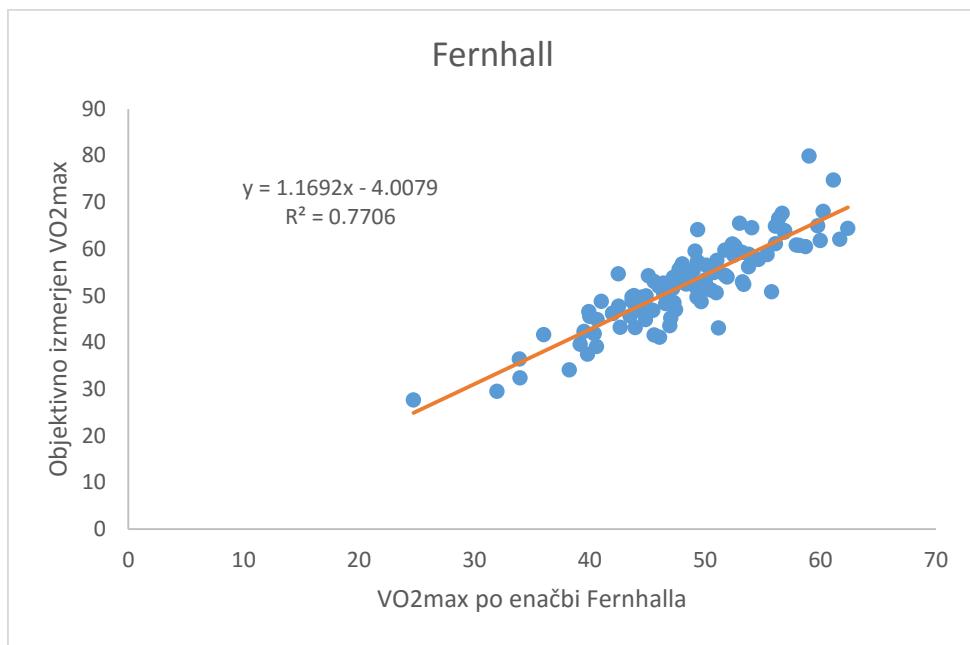
Slika 17. Grafični prikaz rezultatov Mahar B enačbe

Na sliki 17 vidimo, da je vrednost R kvadrat 0,7349, kar pomeni, da lahko enačba zgreši rezultat v približno 24 % primerov.



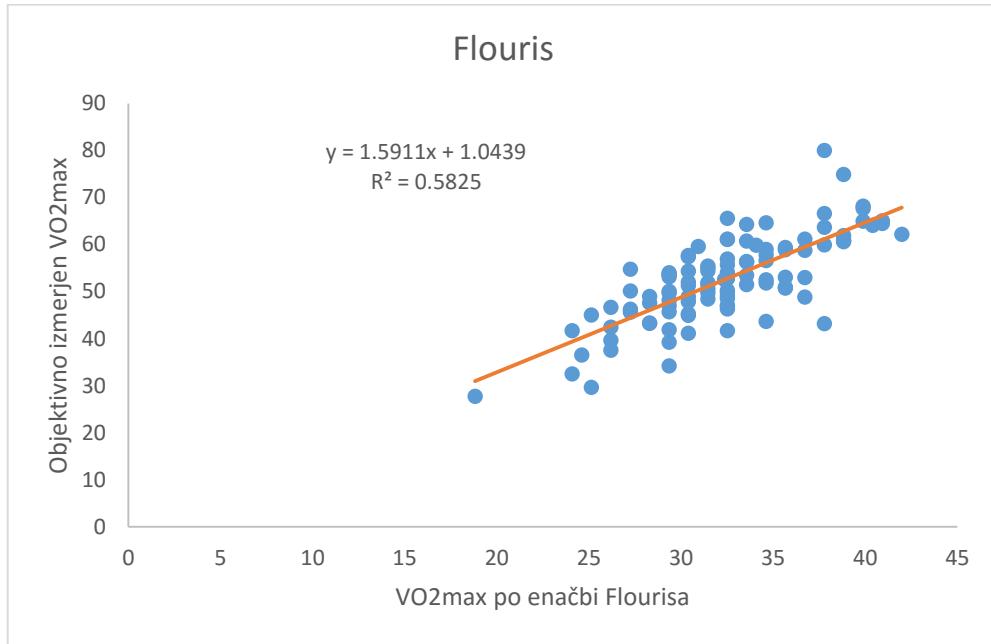
Slika 18. Grafični prikaz rezultatov Mahar C enačbe

Na sliki 18 vidimo, da je vrednost R kvadrat 0,7481, kar pomeni, da lahko enačba zgreši rezultat v približno 25 % primerov.



Slika 19. Grafični prikaz rezultatov Fernhallove enačbe

Na sliki 19 vidimo, da je vrednost R kvadrat 0,7706, kar pomeni, da lahko enačba zgreši rezultat v približno 22 % primerov.



Slika 20. Grafični prikaz rezultatov Flourisove enačbe

Na sliki 20 vidimo, da je vrednost R kvadrat 0,5825, kar pomeni, da lahko enačba zgreši rezultat v približno 41 % primerov.

Grafični prikaz izmerjenega in izračunanega najvišjega privzema kisika za 14 enačb: Ruiz, Leger, Barnet A, B in C, Stickland M in Ž, Matsuzaka A in B, Mahar A, B in kvadratna enačba, Fernhall in Flouris.

Iz slik od 7 do 20 je razvidno, da enačbe pojasnjujejo med 58 % in 78 % variance, kar pomeni, statistično gledano kažejo na visoko do zelo visoko povezanost. Še vedno pa to pomeni, da lahko najnatančnejša enačba zgreši v 22, najmanj natančna pa v 42 % primerov.

Razlike med rezultati različnih enačb smo preverili s testom analize variance one way ANOVA. Ker je bila ena izmed enačb narejena specifično glede na spol, smo analizo izvedli posebej pri dekletih in posebej pri fantih.

Ker je bil Levenov test homogenosti variance statistično značilen tako pri fantih kot pri dekletih, smo za post-hoc primerjave uporabili Games-Howellov test homogenosti variance.

Analiza variance je pokazala, da na ravni  $p < ,05$  obstajajo statistično značilne razlike med rezultati različnih enačb tako pri fantih [ $F(13, 714) = 68,595, p < ,001$ ] kot tudi pri dekletih [ $F(13, 728) = 45,795, p < ,001$ ].

Pri fantih se je pokazalo, da obstajajo statistično značilne razlike med izračuni po različnih formulah, v primerjavi z objektivno izmerjenim rezultatom pa se je pokazalo, da statistične razlike ne obstajajo zgolj pri formuli Mahar A.

Pri dekletih je post-hoc test ravno tako pokazal statistično značilne razlike med izračuni po različnih formulah, vendar pa se je pokazalo, da ni statistično značilnih razlik med objektivno izmerjenim najvišjim privzemom kisika ter formulami Stickland, Matsuzaka A in B, Mahar B in Mahar kvadratna.

Na podlagi rezultatov analize variance ne moremo ovreči hipoteze 2, ki pravi, da obstajajo statistično značilne razlike med rezultati različnih enačb.

## 6 RAZPRAVA

V analizi se je pokazalo, da je za rabo v terenskih raziskavah za izračun najvišjega privzema kisika na populaciji slovenskih otrok najbolj primerna enačba Maharja A, ki jo izračunamo po naslednji enačbi in vsebuje naslednje parametre:

$$\dot{V}O_2\text{max} = 47,438 + (S \times 0,242) + (G \times 5,134) - TM \times 0,197$$

### Parametri:

S je vsota vseh podstopenj.

G je spol, kjer vstavimo za moški spol vrednost 1 in vrednost 0 za ženski spol.

TM je telesna masa v kilogramih (Mahar idr., 2011).

Prednost te enačbe je tudi v tem, da za izračun najvišjega privzema kisika potrebujemo zgolj vsoto vseh podstopenj, spol in maso.

Manj parametrov od enačbe Mahar A je vsebovala originalna enačba Legerja, Mercierja, Gadourya in Lamberta (1987), ki so ugotovili koeficient zanesljivosti 0,89 pri otrocih. Merjenci so opravljali stopnjevalni tek na 20 metrov, po njem pa so izračunali  $\dot{V}O_2\text{max}$  po prvi nastali enačbi. Eناčba je bila čisto osnovna, vsebovala je le dva parametra, hitrost in starost. Po prvi raziskavi jih je sledilo še več.

Tudi enačba Sticklanda, Petersena in Bouffarda (2003) je imela manj parametrov od enačbe Mahar A, v naši analizi pa se je pokazalo, da pri fantih Legerjeva enačba vseeno daje nekoliko natančnejšo oceno od Sticklandove in obratno pri dekletih.

Ruiz idr. (2009) so primerjali rezultate med objektivno izmerjenim  $\dot{V}O_2\text{max}$  in izračunanem po petih različnih enačbah: po enačbi Barnetta A in B, Legerja, Matsuzake in Ruiza. Vzorec merjencev je obsegal 26 deklet in 22 fantov starosti 14–15 let. Najbolj natančna je bila Barnettova B enačba, zato so jo priporočili za računanje  $\dot{V}O_2\text{max}$  pri mladini v starosti 13–19 let.

Študija primerjave natančnosti enačb v primerjavi z objektivno izmerjenim  $\dot{V}O_2\text{max}$  pri 90 fantih in dekletih starih 8–10 let pri stopnjevalnem teku je primerjala enačbe Legerja, Barnetta (A, B in C enačbe), Fernhalla ter A in B enačbo Matsuzake. Analiza je pokazala najbližje objektivno izmerjenemu  $\dot{V}O_2$  enačbo Fernhalla in Matsuzake. Vseeno so predlagali iskanje natančnejših enačb (Melo idr., 2010).

Ruiz idr. (2007) so razvili enačbo za izračun  $\dot{V}O_2\text{max}$  s pomočjo stopnjevalnega teka, ki je kot prva vsebovala več parametrov in konstant. Na 122 fantih in 71 dekletih starosti 13–19 let so naredili študijo, kjer so primerjali vrednosti  $\dot{V}O_2\text{max}$ , dobljenega po objektivni metodi s prenosno masko, ter dobljenega po enačbah. Študija je primerjala večje število enačb; enačbo Legerja, vse tri Barnettove, Sticklandovo, Flourisovo, Matsuzakine 4 enačbe, dve za

otroke in dve za odrasle, Maharjevo enačbo ter novo razvito ANN oz. Ruizovo enačbo. V analizi so dokazali, da je formula bolj natančna od prejšnjih.

Chatterjee, Banarjee in Das (2010) so tudi primerjali izmerjen in izračunan  $\dot{V}O_{2\text{max}}$ . V raziskavo je bilo vključenih 36 deklet starosti 14–16 let. Primerjali so rezultat  $\dot{V}O_{2\text{max}}$ , izračunan po Legerjevi enačbi ter po novi enačbi iz Indije, z objektivno izmerjenim. Ugotovili so, da je računanje  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  s pomočjo enačb in stopnjevalnega teka dovolj natančna metoda.

V brazilski študiji, kjer so testirali 90 fantov in deklet 13–17 let so tudi primerjali natančnost različnih enačb z objektivno izmerjenim  $\dot{V}O_{2\text{max}}$ .  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  so računali po enačbah Legerja, Barnetta in Kuipersa. Po analizi priporočajo uporabo Kuipersove in Barnettove enačbe za fante in Legerjevo enačbo za dekleta (Ernesto, se Silva, Pereira in de Melo, 2015).

Bandyopadhyay (2011) je pri primerjal rezultat  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  po Legerjevi enačbi z rezultatom objektivno izmerjenega. Ugotovil je, da enačba ni dovolj natančna in primerna za merjenje na populaciji indijske mladine.

Matsuzaka idr. (2004) so preverjali natančnost izračuna  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  s stopnjevalnim tekom na Japonskih otrocih. V raziskavo je bilo vključenih 62 fantov in 70 deklet starih 8–17 let. Za izračun  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  priporočajo enačbe Matsuzake na Japonski populaciji.

Mahar idr. (2011) so ugotovili še večjo natančnost izračunanega  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  glede na Legerjevo in prejšnje Maharjeve enačbe z novo Maharjevo enačbo Kvadratnega modela, ki pa se v našem primeru ni pokazala kot natančnejša od Maharjeve enačbe A.

V primerjavi z ostalimi raziskavami je naša raziskava obravnavala večje število enačb, največja prednost naše raziskave pa je bila v tem, da je rezultate enačb primerjala z objektivno merjenim najvišjim privzemom kisika pri isti merski nalogi. V povprečju so druge študije primerjale po štiri enačbe za izračun najvišjega privzema kisika, v naši študiji pa smo primerjali 14 enačb različnih avtorjev.

## 7 SKLEP

V prvem delu smo predstavili problematiko stopnjevalnega teka, možnost izračunavanja najvišjega privzema kisika preko tega testa in ugotovitve strokovnjakov, ki so se ukvarjali z njegovo problematiko. Glede na to, da smo v literaturi našli kar štirinajst enačb za izračun najvišjega privzema kisika pri otrocih in mladostnikih v zadnjih tridesetih letih, ugotavljamo, da je zanimanje za rabo tovrstnih analitskih orodij veliko. Vseeno pa se je pokazalo, da različne enačbe dajejo precej različne ocene najvišjega privzema kisika, kar kaže na to, da so enačbe zelo odvisne od vzorcev, ki so bili uporabljeni v raziskavah. Njihova osnovna slabost je v tem, da so nastale na podlagi primerjave z merskimi postopki drugačne vrste (maksimalni test na tekoči preprogi, cikloergometer), kar pomeni, da niso uporabljale istovrstnega kriterija najvišjega privzema kisika.

Nekatere enačbe so bile zelo kompleksne in so vsebovale več spremenljivk, vendar se je v naši raziskavi pokazalo, da večje število spremenljivk ni zagotovilo boljše napovedi najvišjega privzema kisika. Za terensko raziskovanje je to pozitivna ugotovitev, saj pomeni, da je doseganje optimalne natančnosti mogoče tudi z manj spremenljivkami. V terenskem raziskovanju je ekonomičnost meritev zelo pomembna, saj so raziskovalci pogosto omejeni s časom in urniki, zaradi česar je v njihovem interesu pridobiti čim bolj natančne rezultate s čim manj postopki.

Za izračunavanje najvišjega privzema kisika na slovenski populaciji otrok priporočamo enačbo Maharja A, ki se je v analizi pokazala za najbolj natančno izmed vseh štirinajst enačb. Enačba je za terensko raziskovanje uporabna predvsem zaradi le treh potrebnih spremenljivk. Pri fantih se je izkazalo, da je izmed vseh štirinajstih enačb ravno ta edina, katere rezultati se statistično značilno ne razlikujejo od rezultatov objektivno izmerjenega najvišjega privzema kisika. Kljub temu, da se je pri dekletih to pokazalo tudi pri nekaterih drugih enačbah, je z vidika ekonomičnosti pa tudi z vidika najvišje statistično značilne povezanosti te enačbe z objektivno izmerjenim najvišjim privzemom kisika pri dekletih tudi pri tej populaciji priporočljiva uporaba te enačbe.

Glede na aktualnost tematike in razvoj mobilnih tehnologij merjenja najvišjega privzema kisika je pričakovati, da bodo raziskovalci v prihodnosti enačbe še izpopolnili, vendar pa bi bilo priporočljivo, da meritve najvišjega privzema kisika izvedejo z isto mersko nalogo, na podlagi katere z enačbami ocenjujejo ta parameter.

## 8 VIRI

- Aslan, A. (2013). Cardiovascular responses, perceived exertion and technical actions during small-sided recreational soccer: Effects of pitch size and number of players. *Journal of human kinetics*, 38, 95-105.
- Bandyopadhyay, A. (2013). Validity of 20 meter multi-stage shuttle run test for estimation of maximum oxygen uptake in female university students.
- Bogdan, I., in Marko, S. Shuttle-run test for assessment of aerobic abilities.
- Boreham, C. A., Paliczka, V. J., in Nichols, A. K. (1990). A comparison of the PWC170 and 20-MST tests of aerobic fitness in adolescent schoolchildren. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 30(1), 19-23.
- Cairney, J., Hay, J. A., Faught, B. E., Léger, L., in Mathers, B. (2008). Generalized self-efficacy and performance on the 20-metre shuttle run in children. *American Journal of Human Biology*, 20(2), 132-138.
- Chatterjee, P., Banerjee, A. K., in Das, P. (2011). A Prediction Equation to Estimate the Maximum Oxygen Uptake of School-Age Girls from Kolkata, India. *The Malaysian journal of medical sciences: MJMS*, 18(1), 25.
- Cooper, S. M., Baker, J. S., Tong, R. J., Roberts, E., in Hanford, M. (2005). The repeatability and criterion related validity of the 20 m multistage fitness test as a predictor of maximal oxygen uptake in active young men. *British journal of sports medicine*, 39(4), e19-e19.
- Ernesto, C., da Silva, F. M., Pereira, L. A., in de Melo, G. F. (2015). Cross Validation of Different Equations to Predict Aerobic Fitness by the Shuttle Run 20 Meters Test in Brazilian Students. *Journal of Exercise Physiology Online*, 18(1).
- Köklü, Y., Alemdaroğlu, U., Koçak, F., Erol, A., in Fındikoğlu, G. (2011). Comparison of chosen physical fitness characteristics of Turkish professional basketball players by division and playing position. *Journal of human kinetics*, 30, 99-106.
- Koropanovski, N., Berjan, B., Bozic, P., Pazin, N., Sanader, A., Jovanovic, S., in Jaric, S. (2011). Anthropometric and physical performance profiles of elite karate kumite and kata competitors. *Journal of human kinetics*, 30, 107-114.
- Larsson PU, Wadell KME, Jakobsson EJI, Burlin LU, Henriksson-Larsen KB. Validation of the MetaMax II portable metabolic measurement system. *Int J Sports Med*. Feb 2004; 25(2): 115-123.
- Leger, L. A., Mercier, D., Gadoury, C., in Lambert, J. (1988). The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness. *Journal of sports sciences*, 6(2), 93-101.
- Mahar, M. T., Guerieri, A. M., Hanna, M. S., in Kemble, C. D. (2011). Estimation of aerobic fitness from 20-m multistage shuttle run test performance. *American journal of preventive medicine*, 41(4), S117-S123.

- Matsuzaka, A., Takahashi, Y., Yamazoe, M., Kumakura, N., Ikeda, A., Wilk, B., in Bar-Or, O. (2004). Validity of the multistage 20-m shuttle-run test for Japanese children, adolescents, and adults. *Pediatric exercise science*, 113-125.
- Melo, X., Santa-Clara, H., Almeida, J. P., Carnero, E. A., Sardinha, L. B., Bruno, P. M., in Fernhall, B. (2011). Comparing several equations that predict peak  $\text{Vo}_2$  using the 20-m multistage-shuttle run-test in 8–10-year-old children. *European journal of applied physiology*, 111(5), 839-849.
- Paliczka, V. J., Nichols, A. K., in Boreham, C. A. (1987). A multi-stage shuttle run as a predictor of running performance and maximal oxygen uptake in adults. *British Journal of Sports Medicine*, 21(4), 163-165.
- Ramsbottom, R., Brewer, J., in Williams, C. (1988). A progressive shuttle run test to estimate maximal oxygen uptake. *British Journal of Sports Medicine*, 22(4), 141-144.
- Ruiz, J. R., Ramirez-Lechuga, J., Ortega, F. B., Castro-Pinero, J., Benitez, J. M., Arauzo-Azofra, A., ... in HELENA Study Group. (2008). Artificial neural network-based equation for estimating VO<sub>2max</sub> from the 20m shuttle run test in adolescents. *Artificial intelligence in medicine*, 44(3), 233-245.
- Ruiz, J. R., Silva, G., Oliveira, N., Ribeiro, J. C., Oliveira, J. F., in Mota, J. (2009). Criterion-related validity of the 20-m shuttle run test in youths aged 13–19 years. *Journal of sports sciences*, 27(9), 899-906.
- Stickland, M. K., Petersen, S. R., in Bouffard, M. (2003). Prediction of maximal aerobic power from the 20-m multi-stage shuttle run test. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 28(2), 272-282.
- 20m Multistage Fitness Test (Beep Test) Instructions.* (5.8.2015). Topend sports. Pridobljeno iz <http://www.topendsports.com/testing/tests/20mshuttle.htm>