

VALIDACIJA PRIMJENE PROGRESIVNOG TESTA OPTEREĆENJA ZA PROCJENU AEROBNOG ENERGETSKOG KAPACITETA NA NOVOKONSTRUIRANOM ELEKTRIČNOM BIKIKLU (DC Bike)

Kirin, Ivana

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Kinesiology / Sveučilište u Zagrebu, Kineziološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:117:334038>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-02**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Kinesiology, University of Zagreb - KIFoREP](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

KINEZIOLOŠKI FAKULTET

(studij za stjecanje akademskog naziva: magistar kineziologije u edukaciji i kineziterapija)

Ivana Kirin

**VALIDACIJA PRIMJENE PROGRESIVNOG
TESTA OPTEREĆENJA ZA PROCJENU
AEROBNOG ENERGETSKOG KAPACITETA NA
NOVOKONSTRUIRANOM ELEKTRIČNOM
BICIKLU (DC Bike)**

Diplomski rad

Mentor:

doc.dr.sc. Tatjana Trošt-Bobić

Zagreb, rujan 2021.

Ovim potpisima se potvrđuje da je ovo završena verzija diplomskog rada koja je obranjena pred Povjerenstvom, s unesenim korekcijama koje je Povjerenstvo zahtijevalo na obrani te da je ova tiskana verzija istovjetna elektroničkoj verziji predanoj u Knjižnici.

Mentor:

doc.de.sc. Tatjana Trošt-Bobić

Student:

Ivana Kirin

SAŽETAK

U sportskoj i medicinskoj dijagnostici koriste se različiti protokoli za mjerenje aerobnog kapaciteta sportaša. U sportovima gdje sama izvedba ovisi o visokoj aerobnoj sposobnosti sportaša najčešće se koristi progresivni test opterećenja. Cilj ovog istraživanja bio je utvrditi pouzdanost novog mjernog instrumenta za određivanje aerobne sposobnosti primjenom progresivnog testa opterećenja. Svrha istraživanja je svakako bila približiti ovakav način testiranja široj populaciji sportaša odnosno validacijom utvrditi pouzdanost ergometra te ga cjenovno približiti svim klubovima kako se ne bi trebale izdvajati velike svote novaca za odlazak u dijagnostičke centre kojih je vrlo malo. Istraživanje se provodilo na deset ispitanika studenata Kineziološkog fakulteta sveučilišta u Zagrebu. Korišten je progresivni test opterećenja na bicikl ergometru sa početnim otporom od 75W te povećanjem od 25W svakih 60 sekundi te održavanjem frekvencije okretaja pedala od 60 okt/min. Nakon provedenog istraživanja svi podaci su uneseni u MS Excel i obrađeni u programu Statistica for Windows. Mjere asimetrije (Skewness) i izduženosti (kurtosis) distribucije korištene su za provjeru osjetljivosti novog mjernog instrumenta. Normalnost distribucije provjerena je s pomoću Kolmogorov-Smirnov (KS) testa. Valjanost i pouzdanost je utvrđena pomoću T-testa. Koeficijent interkoleracije uzet je kao pokazatelj homogenosti varijabli proizašlih iz protokola provedenog na novokonstruiranom električnom biciklu. Nakon provedenog istraživanja dobiveni rezultati ukazuju na to kako su rezultati na novokonstruiranom električnom biciklu ergometru u velikoj korelaciji sa rezultatima na već postojećem ergometru što potvrđuje zadane hipoteze i cilj samog mjerenja.

Ključne riječi: bicikl ergometar, aerobne sposobnosti, sportska dijagnostika, električni bicikl

VALIDATION OF THE APPLICATION OF THE PROGRESSIVE LOAD TEST FOR THE ASSESSMENT OF AEROBIC ENERGY CAPACITY ON A NEWLY CONSTRUCTED ELECTRIC BIKE (DC Bike)

ABSTRACT

Many different protocols are used in sports and medical diagnostics to measure the aerobic capacity of athletes. In sports where the performance itself depends on the high aerobic capacity of the athlete, a progressive load test is most often used. The aim of this study was to determine the reliability of a new measuring instrument for determining aerobic capacity using a progressive load test. The purpose of the research was certainly to bring this way of testing closer to a wider population of athletes, i.e. to determine the reliability of the ergometer by validation and bring it closer to all clubs so that large sums of money should not be set aside to go to diagnostic centers. The research was conducted on ten examinees of students of the Faculty of Kinesiology, University of Zagreb, with an average age of 22 ± 1 . A progressive load test on a bicycle ergometer with an initial resistance of 75W and an increase of 25W every 60 seconds and a cadence maintenance of 60 rpm / min was used. After the research, all data were entered into MS Excel and processed in the program Statistica for Windows. Measures of asymmetry (Skewness) and elongation (kurtosis) of the distribution were used to check the sensitivity of the new measuring instrument. The normality of the distribution was checked using the Kolmogorov-Smirnov (KS) test. Validity and reliability were determined using Factor Analysis. The intercorrelation coefficient was taken as an indicator of the homogeneity of the variables derived from the protocol implemented on the newly constructed electric bicycle. After the research, the obtained results indicate that the results on the newly constructed electric bicycle ergometer are highly correlated with the results on the already existing ergometer, which confirms the given hypotheses and the goal of the measurement.

Keywords: bicycle ergometer , aerobic ability, sports diagnostic, electric bicycle

SADRŽAJ

1. Uvod.....	6
2. Dosadašnja istraživanja	8
2.1. Istraživanja povezana sa aerobnim pragom	8
2.2. Istraživanja na bicikl ergometru	8
3. Ciljevi i hipoteze	10
4. Metode istraživanja.....	11
4.1. Uzorak ispitanika	11
4.3. Organizacija mjerenja	14
4.4 Korišteni ergometri	15
5. Rezultati istraživanja	16
5.1. Deskriptivna analiza	16
5.2. Korelacijska analiza	19
5.3. Utvrđivanje pouzdanosti ergometra	20
6. Rasprava	21
7. Zaključak	23
8. Literatura	23

1. Uvod

Progresivni test opterećenja je najpoznatiji i najčešće primjenjivan test za određivanje aerobnog kapaciteta sportaša. U ovome će se radu koristiti za procjenu aerobnog praga kod ispitanika na način da se je svakih 60 sekundi povećavao otpor za 25W pri frekvenciji okretaja pedala od 60 okretaja /min na način da je početno opterećenje od 50W. Ispitanik daje svoj maksimum te se bilježi rezultat kod najvećeg opterećenja odnosno onaj kada ispitanik više nema dovoljno snage za rad pri frekvenciji od 60 okretaja /min. Puno studija provedeno je za određivanje aerobnoga praga na pokretnom sagu no ovim radom želi se dokazati učinkovitost provođenja testa i na novokonstuiranom bicikl ergometru. Pokretni sag ima prednost u odnosu na bicikl ergometar i druge ergometre s obzirom da omogućava prirodne oblike lokomocije - hodanje i trčanje. Također, izmjerene maksimalne vrijednosti primitka kisika, u odnosu na bicikl ergometar, veće su za oko 5 -15% (Buchfuhrer i sur., 1983; Meyer i sur., 1996; Rowland i sur., 1996; Saltin i sur., 1967, Thys i sur, 1979; Verstappen i sur., 1982; Walsh i sur., 1988). Bicikl ergometar u dijagnostičkim testiranjima osigurava vrlo egzaktno doziranje opterećenja (u Watt-ima) i evaluaciju mehaničke produktivnosti rada, mogućnost dodatnih pretraga i smanjuje rizik od ozljeđivanja zbog samog položaja ispitanika, što je od velikog značaja ako su ispitanici iz populacije starije dobi i rekreativaca. Za određivanje aerobnog energetskeg kapaciteta koriste se progresivni testovi opterećenja, najkorišteniji je test po Bruce-u. Bruce je 1956. godine opisao prvi protokol za provođenje spiroergometrijskog testa na pokretnom sagu, čime je započeo razvoj nove metodologije testiranja. Protokol po Bruce-u je i do današnjeg vremena ostao najprimjenjiviji protokol opterećenja na pokretnom sagu, a standardizirala ga je i Svjetska zdravstvena organizacija (WHO) (Vivacqua i sur., 1992). Potom su razvijeni još brojni protokoli opterećenja na pokretnom sagu, koji se koriste za mjerenje ili indirektnu procjenu maksimalnog primitka kisika (Balke i Were, 1959, Ellestad i sur., 1969, Vivacqua i Hespanha, 1992). Također, bitno je napomenuti da ne postoji specifičan test za direktno mjerenje aerobnog kapaciteta. Različiti autori preporučuju različite dužine trajanja pojedinog stupnja opterećenja (kao i ostalih značajki protokola testa, npr. porasta intenziteta i nagiba sagra) (Pollock i sur., 1976, Froelicher i sur., 1974, Whipp i sur., 1972, 1981, Balke i Ware, 1959). Postupci koji su se u počecima koristili u studijama za evaluaciju aerobnog kapaciteta obuhvaćali su progresivne stupnjeve opterećenja, koji su bili odvojeni kraćim ili dužim vremenskim intervalima. Primarni

zadatak im je bio ostvariti opterećenje pri kojem više nema povećanja primitka kisika u odnosu na prijašnji, niži intenzitet rada. Danas se većinom koriste permanentni testovi opterećenja, u kojima se porast opterećenja ostvaruje porastom opterećenja koje sami ergometar zadaje. Što se tiče same fiziologije aerobnog sustava, on obuhvaća cjelokupnu razgradnju ugljikohidrata i masti u mitohondrijima. „Metabolizam u aerobnom sustavu dijeli se na metabolizam lipida kod kojeg dolazi do razgradnje masti, i aerobnu glikolizu, kod koje dolazi do razgradnje glukoze.“ (Kolić, Šentija, Babić, 2012). U posebnim uvjetima visokog intenziteta kao što je trajni fizički napor ovaj postupak može uključiti i redukciju bjelančevina. Metabolizam masti omogućuje značajne zalihe energije pa je od ključnog značaja kod trajnih tjelesnih aktivnosti. Aerobna glikoliza uključuje potpunu redukciju glikogena te je ključan mehanizam stjecanja energije u načinu rada kod srednjih opterećenja. Pokazatelji koji se u većini slučajeva primjenjuju za evaluaciju aerobnog kapaciteta, točnije dugotrajne izdržljivosti su maksimalni primitak kisika, aerobni i anaerobni prag. Aerobni kapacitet uz ostale funkcionalne i motoričke sposobnosti bitan je preduvjet uspješnog sportaša. Rasprostranjena metoda evaluacije aerobnog kapaciteta sportaša jest progresivan test opterećenja koji se provodi na različitim spravama (pokretni sag, bicikl ergometar ili pak specifični ergometri kao što je to veslački). Pri tome od iznimne je važnosti procijeniti metrijske karakteristike varijabli, koje su rezultante protokola provedenih na različitim spravama. Istraživanja upućuju na moguće razlike između provedbe testa na mehaničkom i električnom bicikl ergometru. Iz tog se razloga često pri opisu provedenog testa progresivnog opterećenja specificira i naziv sprave na kojoj je isti proveden. Pri konstrukciji novih bicikl ergometara, potrebno je validirati primjenu protokola progresivnog testa opterećenja za procjenu aerobnog kapaciteta sportaša na novo konstruiranim ergometrima. Ono po čemu je specifičan ovaj novo konstruirani električni bicikl ergometar je to što je riječ o ergometru sa sensorima za mjerenje sile i brzine ostvarene prilikom vožnje bicikl ergometra iz čega se procjenjuje snaga koja je izravan produkt ova dva parametra, te se otpor automatski prilagođava. Cilj ovog diplomskog rada je validacija primjene progresivnog testa opterećenja za procjenu aerobnog energetskog kapaciteta na novo konstruiranom električnom biciklu. Test bi na taj način bio dostupniji trenerima i trenericama u sportskim klubovima, dijagnostičkim centrima prvenstveno zbog cijene te svoje fleksibilnosti u smislu prijenosa i zauzimanja prostora samoga ergometra. Pogodan je za sportaše raznih kategorija od rekreativaca, ozlijeđenih sportaša te osoba sa invaliditetom do samih profesionalaca zbog svoje

prilagodljivosti pojedincu u doziranju opterećenja koliko je potrebno da bi se dobio željeni trenažni proces.

2. Dosadašnja istraživanja

2.1. Istraživanja povezana sa aerobnim pragom

U istraživanju Kolić, Šentija i Babić (2012) cilj rada bio je usporediti parametre aerobnog kapaciteta, izmjerene pomoću dva testa progresivnog opterećenja na pokretnom sagu različitog trajanja u trkačica. Deset trkačica različitih disciplina podvrgnute su dvama progresivnim testovima opterećenja do iscrpljenja na pokretnom sagu. Breath-by-breath spiroergometrijski podaci usrednjeni su na vremenski period od 30 s, te je drugi ventilacijski (anaerobni) prag (P) određen metodom. Rezultati istraživanja ukazuju da je pri usporedbi rezultata progresivnih testova opterećenja potrebno voditi računa o značajkama primijenjenog protokola, odnosno duljini trajanja testa.

Kako navode autori Plevnik, Vučetić, Sporiš i suradnici (2013) primarni cilj njihovog istraživanja bio je utvrditi razlike između muških i ženskih atletičara koji se natječu u trčanju na 400 m, u parametrima koji procjenjuju ne samo aerobni i anaerobni energetske kapacitet već i druge fiziološke parametre. Trenirani atletičari na 400 m (14 muških i 14 ženskih) dragovoljno su sudjelovali u istraživanju. Svi ispitanici izvodili su inkrementalni *treadmill* test (1 km/h povećanje brzine u minuti, 1,5% nagib). Statistički značajna razlika pronađena je u parametrima za procjenu aerobnog kapaciteta energije u korist muških atletičara. Značajno više vrijednosti anaerobnog kapaciteta pronađene su kod muških (5,7 km/h) sprintera u odnosu na žene 4,5 km/h).

2.2. Istraživanja na bicikl ergometru

Istraživanje provedeno 1978. od strane Moffatt, Stamford, govori kako je utvrđena učinkovitost postupnog povećanja broja okretaja pedala (P) ili otpora (R) tijekom procjene maksimalnog

primitka kisika (VO₂max) na biciklu ergometru. Dvadeset studenata i devet studentica proveli su nasumično dodijeljene diskontinuirane testove maksimalnog stresa P i R. Muški ispitanici odmah su ponovili svaki test unutar iste eksperimentalne sesije. Bez obzira na protokol ispitivanja, VO₂max je bio prilično sličan. Procjene veličine uočenog napora bile su značajno niže za muške ispitanike tijekom P testiranja (P manje od 0,05), a 80% muških ispitanika preferiralo je P testiranje. Nasuprot tome, procjene veličine bile su značajno niže za ispitanice ženskog pola za testiranje R (P manje, 0,05). P testiranje se moglo pouzdano ponoviti unutar iste eksperimentalne sesije, dok je s R ispitivanjem VO₂max značajno smanjen (P manje, 0,05). Zaključeno je da progresivno povećana brzina okretanja pedala nudi fiziološki prihvatljiva sredstva za procjenu VO₂max na biciklu ergometru za muškarce i žene. Osim toga, progresivno povećana stopa pedaliranja nudi perceptivno poželjniji način procjene VO₂max za muškarce, ali ne i za žene.

U istraživanju iz 2010. Takashi, Satoshi, Toshiaki, Mikako, Hayao i suradnici nisu zabilježili istodobno poboljšanje aerobnog kapaciteta i hipertrofije mišića kao odgovor na jedan način treninga. Ispitivali su učinke ciklusa vježbi niskog intenziteta sa i bez ograničenja protoka krvi (BFR) na veličinu mišića i maksimalni unos kisika (VO₂max). Skupina od 19 mladića (prosječna dob ± SD: 23,0 ± 1,7 godina) nasumično je raspoređena u BFR-trening grupu (n = 9, BFR-trening) ili u kontrolnu skupinu koja nije bila u ciklusu, obje skupine trenirale su 3 dana tjedno 8 tjedana. Intenzitet i trajanje treninga bili su 40% VO₂max i 15 min za skupinu BFR-treninga te 40% VO₂max i 45 min za skupinu za kontrolni trening (CON). MRI izmjerena površina presjeka mišića bedara i *musculus quadriceps femoris* volumen mišića povećali su se za 3,4-5,1% (P <0,01), a izometrijska snaga ekstenzije koljena imala je tendenciju povećanja za 7,7% (p <0,10) u skupini koja je trenirala BFR. Nije bilo promjene u veličini mišića (~ 0,6%) i snazi (~ 1,4%) u skupini koja je trenirala CON. Značajna poboljšanja VO₂max (6,4%) i vremena vježbanja do iscrpljenosti (15,4%) primijećena su u skupini koja je trenirala BFR (p <0,05), ali ne i u skupini s treningom CON (-0,1 odnosno 3,9%). Rezultati sugeriraju da biciklističke vježbe niskog intenziteta, kratkog trajanja u kombinaciji s BFR-om poboljšavaju hipertrofiju mišića i aerobni kapacitet istodobno kod mladih muškaraca.

Istraživanje koje je također provedeno 2010. od strane američkih znanstvenika Nielson, George, Vehrs, Hager i Webb imalo je za svrhu razviti model višestruke linearne regresije za predviđanje rezultata VO₂max na traci za trčanje koristeći podatke i sa treningom i bez treninga

pet polaznika fakultetske dobi (53 muškarca, 52 žene) uspješno je završilo test submaksimalnog ciklusa na ergometru i test maksimalne ocjene vježbe na pokretnom sagu. Protokol submaksimalnog ciklusa zahtijevao je od sudionika postizanje stabilnog broja otkucaja srca 70% od maksimalno predviđenog broja otkucaja srca predviđenog za dobi (220 - godine), dok je test vježbanja s maksimalnom ocjenom na traci tražio od vježbača rad do otkaza. Relevantni podaci o submaksimalnom ciklusu ergometra uključivali su srednju vrijednost (\pm SD) koja završava ustaljeni rad srca i završetak rada jednak $164,2 \pm 13,0$ otk/min odnosno $115,3 \pm 27,0$ Watt-a. Relevantni podaci o vježbanju uključivali su prosječnu (\pm SD) tjelesnu masu (kg), percipiranu ocjenu funkcionalnih sposobnosti i ocjenu tjelesne aktivnosti $74,2 \pm 15,1$, $15,7 \pm 4,3$, odnosno $4,7 \pm 2,1$. Ukratko, protokol submaksimalnog ciklusa ergometra i popratni model predviđanja daju relativno točne procjene VO₂max u zdravih ispitanika u studentskoj dobi koji su u trenažnom procesu i oni koji nisu.

Već dugi niz godina nema noviteta na području ergometara, znatna promjena desila se kod prijelaza sa mehaničkog na električni sistem rada ergometara, ali se kod električnih već neko vrijeme kod novijih modela mijenja uglavnom estetika ali ne i performansa. Novokonstruirani električni bicikl ergometar, uz estetsku nudi i funkcionalnu promjenu i olakšava progresiju opterećenja, prilagođava se individualno svakom sportašu bez obzira na fizičku spremnost. Važno je naglasiti kako je novokonstruirani bicikl pouzdan u procjeni aerobnog energetskeg kapaciteta u usporedbi sa standardno korištenim ergometrima koji su skuplji i kompliciraniji za korištenje. U slučaju da istraživanje rezultira jednako pouzdanim ergometrom za procjenu aerobnog energetskeg kapaciteta tada sa njegovom primjenom moguće na jednostavniji način provesti testiranje i procjenu tih sposobnosti.

3. Ciljevi i hipoteze

Cilj ovog diplomskog rada je validacija primjene progresivnog testa opterećenja za procjenu aerobnog energetskeg kapaciteta na novo konstruiranom električnom biciklu. Test bi

na taj način bio dostupniji trenerima i trenericama u sportskim klubovima, dijagnostičkim centrima prvenstveno zbog cijene te svoje fleksibilnosti u smislu prijenosa i zauzimanja prostora samoga ergometra. Pogodan je za sportaše raznih kategorija od rekreativaca, ozlijeđenih sportaša te invalida do samih profesionalaca zbog svoje prilagodljivosti pojedincu u doziranju opterećenja koliko je potrebno da bi se dobio željeni trenažni proces. Prema tome, postavljene su dvije hipoteze:

HIPOTEZE:

H1: Novokonstruirani bicikl ergometar bit će valjan za procjenu aerobnog energetskeg kapaciteta.

H2: Novokonstruirani bicikl ergometar imat će visoku pouzdanost i malu pogrešku mjerenja.

4. Metode istraživanja

4.1. Uzorak ispitanika

Uzorak ispitanika činilo je 10 muških studenata integriranog preddiplomskog i diplomskog sveučilišnog studija Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (prosječne dobi od 23±1 godine). Uvjet za sudjelovanje u istraživanju bio je zdravlje studenata, odnosno ne postojanje nikakvih kardiovaskularnih bolesti koje bi mogle utjecati na izvedbu samog zadatka ili biti rizične za pogoršanje stanja. Prije same provedbe istraživanja, ispitanici su informirani o ciljevima i potencijalnim rizicima, potpisali su informirani pristanak za dobrovoljno sudjelovanje u eksperimentu (odobreno od strane Etičkog povjerenstva Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu).

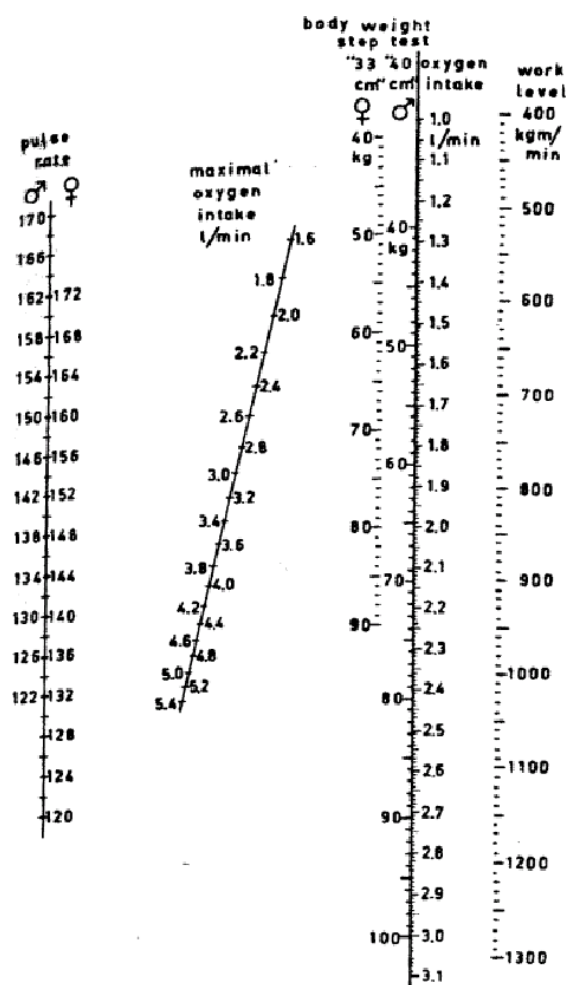
4.2. Opis protokola, mjernih instrumenata i varijabli

Provedeno istraživanje dio je većeg projekta koji se tiče validacije novokonstruiranog električnog bicikla, koji je konstruiran od strane tvrtke DC-Bike. Testiranje se provodilo u prostorijama tvrtke "DC Bike" i dvoranama "Gym4you". Sva testiranja provodila su se pod

epidemiološkim mjerama koje su stupile na snagu donesene odlukom stožera civilne zaštite Republike Hrvatske zbog postojeće situacije sa Korona virusom. U prostoriji tijekom testiranja mjerioci su nosili maske dok je ispitanik test odrađivao bez maske, nakon testa bicikl je propisno dezinficiran. Mjerenje su provodila dva mjeritelja, jedan je promatrao stanje na ekranu ergometra i motivirao ispitanika, dok je drugi mjeritelj pomoću štoperice mjerio vrijeme i zapisivao rezultat ručno u slučaju da oprema zakaže. Test je započinjao sa opterećenjem od 50W te se opterećenje svakih 60" povećavalo za 25W. Mjerni instrument, odnosno novokonstruirani bicikl ergometar sastoji se od bicikla, platforme (za upotrebu u prostorijama), ekrana na volanu bicikla, baterije preko koje se obavljaju funkcije mjerenja i doziranja opterećenja. Ergometar se fiksira na platformu koja ima fiksni magnetni otpor od 750W. U prvoj minuti testiranja bicikl pomaže ispitaniku elektromotorom koji vrši rad od 700W te ispitanik obavlja rad od 50W kojeg također očitava *torque* senzor koji bilježi moment sile te svaku minutu dolazi do smanjivanja pomoći elektromotora od 25W. Ispitanik preko ekrana na biciklu ergometru održava frekvenciju od 60 okt/min, te kada bi frekvencija pala ispod 55 okt/min tada bi se mjerenje smatralo završenim. Na svakoj pedali se nalazi *torque* senzor koji je prethodno kalibriran sa osam referentnih točaka te mjeri opterećenje koje ispitanik vrši na polugu pedale (170mm). Dobivene signale u ADC-u (*Analog digital converter*) iskazuje u Watt-ima. Također postoji cadance senzor u motoru koji pomoću magneta očitava stupanj poluge pedale te po tome izračunava frekvenciju okretaja po minuti. Za mjerenje i praćenje frekvencije srca u svakoj minuti korišten je Polar H10 pulsmetar koji je bilježio proporcionalno povećanje otkucaja srca progresivnim porastom opterećenja. Direktni pokazatelji koji su dobiveni nakon završenog testa su: Peak Power Output (PPO) u Watt-ima, FS, frekvencija okretaja pedala (kadenca), vrijeme provedeno na ergometru (u minutama). Preko ovih egzaktnih varijabli dobivamo procjene VO₂max ($VO_{2max} = (0.01141 \text{ (koeficijent prosječne potrošnje } VO_{2max}) \times PPO) + 0.435 \text{ (potrošnja kisika kod pasivne faze okretaja pedale))$ (Hawley J., Noakes T. 1992)., aerobni prag (82,5% od PPO mjereno u Watt-ima), relativni VO₂max ($VO_2 \times 100 / TM$), maksimalna frekvencija srca pri aerobnom pragu, za procijenu VO₂ max također se može koristiti i tablica prikazana na slici (Slika 1.). Za sve varijable u svim mjerenjima izračunati su centralni i disperzivni parametri: AS (aritmetička sredina), SD (standardna devijacija), minimum (MIN), maksimum (MAX), raspon rezultata (RAS) te pokazatelji asimetričnosti i izduženosti (eng. *Skewness* (SKEW) i eng. *kurtosis* (KURT)). Zatim su provjerene valjanost i pouzdanost novokonstruiranog bicikl ergometra za procjenu aerobnog kapaciteta.

Valjanost novokonstruiranog bicikl ergometra za utvrđivanje aerobnog energetskeg kapaciteta utvrđena je korelacijskom analizom rezultata ispitanika na progresivnom testu opterećenja provedenom na novokonstruiranom ergometru s rezultatima ispitanika na istom testu provedenom na standardnom ergometru (TechnoGym).

Za potrebe procjene pouzdanosti testa ispitanici su dva puta testirani na novo konstruiranom bicikl ergometru u kratkom vremenskom razdoblju. Između dva testiranja ispitanici su se odmarali i ponovno su ispitani nakon 24 sata. Oba su mjerenja izvedena prema identičnom standardiziranom redosljedu te su uvjeti, zagrijavanje i mjeritelj bili isti. Nakon oba ciklusa ispitanici su ponovili retest na novo konstruiranom biciklu nakon tjedan dana.

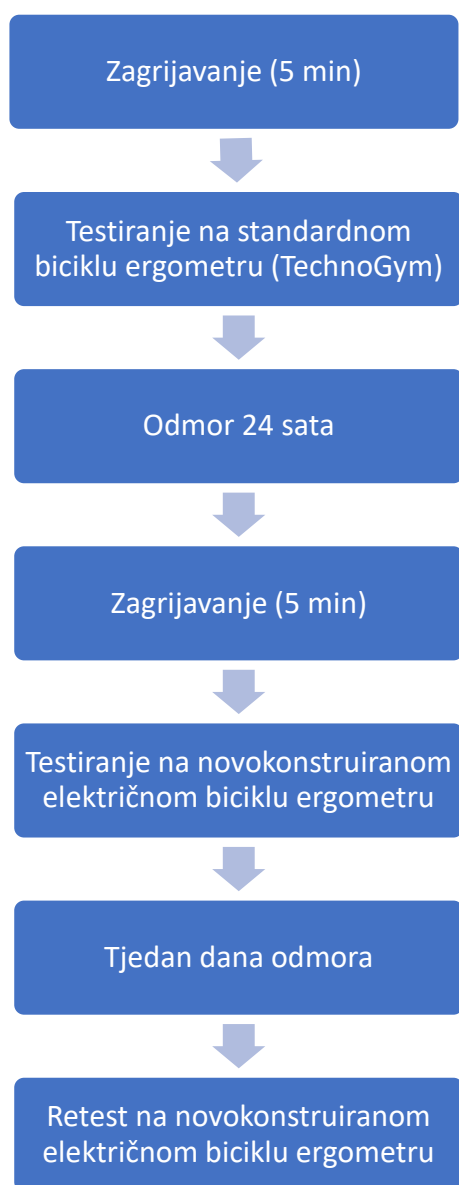


The original nomogram for calculation of aerobic capacity from pulse rate and oxygen intake during submaximal work (cycle test, treadmill or step test.)
(From Åstrand, and Ryhming, 1954.)

Slika 1. Skala za procjenu VO₂ max

4.3. Organizacija mjerenja

Mjerenje (Slika 2.) je započinjalo kratkim zagrijavanjem ispitanika na ergometru umjerenim tempom 5 minuta. Prvo mjerenje obavljeno je na standardnom Technogym ergometru nakon čega je svaki ispitanik imao 24 sata odmora te je zatim odrađen isti test sa identičnim zagrijavanjem na novokonstruiranom biciklu ergometru. Kada su završena oba ciklusa testiranja ispitanici su imali tjedan dana odmora te je nakon tjedan dana nakon istog zagrijavanja ponovljen test na novokonstruiranom biciklu ergometru kako bi se utvrdila pouzdanost mjernog instrumenta.



Slika 2. Shematski prikaz organizacije mjerenja

4.4 Korišteni ergometri

Standardni TehnoGym ergometar je klasični ergometar (Slika 3.) koji se nalazi u sportskim centrima i teretanama. Fiksni ergometar sa kontrolnom pločom na volanu gdje se može vidjeti opterećenje, prevojna udaljenost, frekvenciju okretaja pedale, vrijeme te je moguće izabrati jedan od tri načina rada odnosno tri vrste treninga koje sami bicikl zadaje.



Slika 3. Korišteni TechnoGym bicikl ergometar

Novokonstruirani električni bicikl ergometar (Slika 4.) nije poput standardnih. Sadrži platformu koja se nalazi ispod kotača te se micanjem sa platforme bicikl pretvara u cestovni bicikl. Zbog toga ima prednost nad ostalim ergometrima jer je izrazito lagan i prenosiv. Na upravljaču se nalazi monitor koji pokazuje opterećenje, frekvenciju okretaja pedale te izbacuje graf koji putem pulsmetra na prsima prikazuje u kojoj se zoni nalazi ispitanik.



Slika 4. Novokonstruirani električni bicikl ergometar

5. Rezultati istraživanja

5.1. Deskriptivna analiza

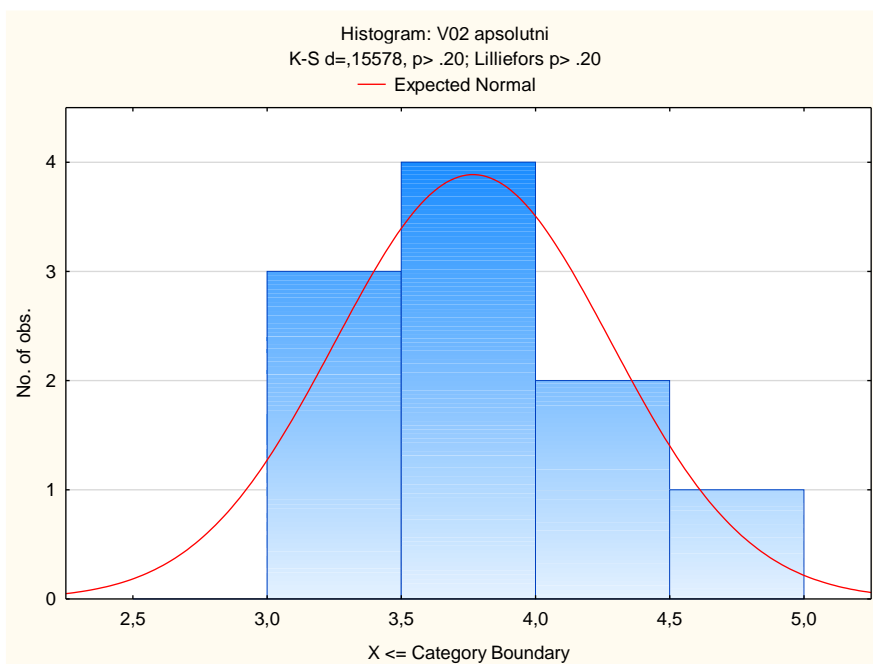
Za sve varijable u svim mjerenjima izračunati su centralni i disperzivni parametri: AS (aritmetička sredina), SD (standardna devijacija), minimum (MIN), maksimum (MAX), raspon rezultata (RAS) te pokazatelji asimetričnosti i izduženosti (eng. Skewness (SKEW) i eng. kurtosis (KURT)). Normalnost distribucije rezultata testirana je Kolmogorow Smirnovljevom testom. Uzorak ispitanika čini 10 muških studenata Kineziološkog fakulteta u Zagrebu (Tablica 1.)

Tablica 1. Osnovni podaci, deskriptivni parametri u varijablama za procjenu aerobnih sposobnosti svih ispitanika.

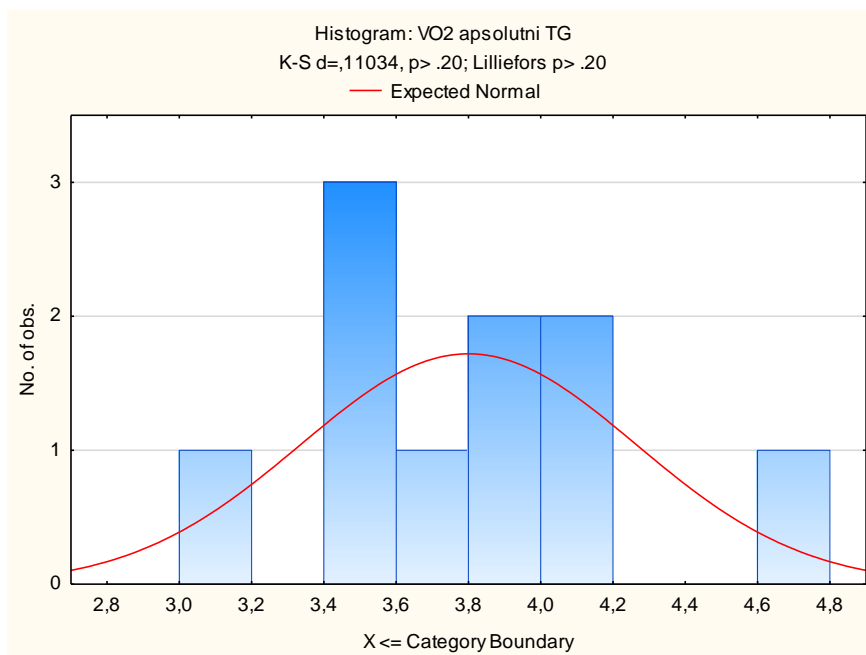
N = 10	AS	Min	Max	Range	SD	Skew	Kurt	KS
VO2 apsolutni	3,77	3,04	4,78	1,74	0,51	0,45	0,47	0,16
VO2 relativni	49,16	38,30	61,30	23,00	6,81	0,37	-0,00	0,13
PPO (W)	299,50	228,00	381,00	153,00	43,85	0,24	0,28	0,13
HR (mirovanje)	70,10	63,00	80,00	17,00	5,92	0,57	-1,02	0,17
HR max	180,50	169,00	188,00	19,00	5,21	-1,09	1,99	0,24
HR (pri anaerobnom pragu)	161,90	151,00	168,00	17,00	5,82	-0,80	-0,48	0,18
VO2 apsolutni TG	3,80	3,04	4,66	1,62	0,46	0,23	0,17	0,11
VO2 relativni TG	49,54	41,26	59,13	17,87	5,73	0,53	-0,66	0,16
PPO TG	296,40	204,00	370,00	166,00	50,23	-0,11	0,18	0,14
HR (mirovanje) TG	70,50	62,00	81,00	19,00	7,53	0,25	-1,92	0,20
HR max TG	183,20	174,00	191,00	17,00	5,00	-0,26	-0,13	0,11
HR (pri anaerobnom pragu) TG	162,60	153,00	172,00	19,00	5,32	-0,06	0,43	0,10
Godine	23,80	21,00	27,00	6,00	1,81	0,09	-0,43	0,15
Težina	77,30	61,00	95,00	34,00	10,59	0,25	-0,74	0,22
Visina	181,40	174,00	193,00	19,00	7,11	0,60	-1,20	0,18

VO2apsolutni maksimalni primitak kisika(ml/min) *VO2relativni* može se izraziti kao broj mililitara kisika po kilogramu tjelesne težine koji osoba može udahnuti u 1 minuti (ml/kg/min) *PPO* power peak output(maksimalna vršna snaga) *HR(mirovanje)* frekvencija srca u mirovanju *HR(pri anaerobnom pragu)* frekvencija srca pri anaerobnom pragu *HR max* maksimalna frekvencija srca *Varijable sa nastavkom TG* vrijede za rezultate dobivene na TechnoGym ergometru

Varijable unijete u tablicu koje imaju nastavak TG odnose se na vrijednosti dobivene na TechnoGym ergometru dok su varijable bez nastavka TG varijable dobivene mjerenjem na novo konstruiranom električnom biciklu ergometru. Histogram i odnos vrijednosti dobivenih mjerenjima na dva korištena mjerna instrumenta u varijabli apsolutni VO2 prikazuje značajan stupanj korelacije. (Slika 5., Slika 6.)



Slika 5. Histogram apsolutnog VO2 novo konstruiranog električnog bicikla ergometra (usporedba sa slikom 6.)



Slika 6. Histogram apsolutnog VO2 već postojećeg TehnoGym ergometra

5.2. Korelacijska analiza

Valjanost novo konstruiranog bicikl ergometra za utvrđivanje aerobnog energetskeg kapaciteta utvrđena je korelacijskom analizom rezultata (Slika 7.) ispitanika na progresivnom testu opterećenja provedenom na novo konstruiranom ergometru s rezultatima ispitanika na istom testu provedenom na standardnom ergometru (TechnoGym). Rezultati korelacijske analize prikazani su u tablici broj 2. Koeficijent korelacije r (mjera valjanosti) kreće se između 0,82 i 0,96. Vrijednost Pearsonovog koeficijenta korelacije kreće se od +1 (savršena pozitivna korelacija) do -1 (savršena negativna korelacija). Predznak koeficijenta nas upućuje na smjer korelacije – da li je pozitivna ili negativna, ali nas ne upućuje na snagu korelacije. Iz tablice se može očitati kako su sve vrijednosti u pozitivnoj korelaciji te vrlo blizu "savršene pozitivne korelacije". Mala odstupanja mogu se pripisati jednoj razlici između dva ergometra koja je minimalna, a to je sami položaj stopala kod mjerenja odnosno kod TechnoGym ergometra postoji fiksator za stopalo koji kod novo konstruiranog bicikla nije predviđen.

Tablica 2. Tablica rezultata korelacijskih vrijednosti

VARIJABLE	KOEFICJENT KORELACIJE (r)
Vo2 apsolutni	0,94
Vo2 relativni	0,96
PPO	0,95
HR (mirovanje)	0,90
HR (max)	0,82
HR(pri aerobnom pragu)	0,89

VO2apsolutni maksimalni primitak kisika(ml/min) *VO2relativni* može se izraziti kao broj mililitara kisika po kilogramu tjelesne težine koji osoba može udahnuti u 1 minuti (ml/kg/min) *PPO* power peak output (maksimalna vršna snaga) *HR(max)* maksimalna frekvencija srca *HR mirovanje* frekvencija srca u *mirovanju* *HR pri aerobnom pragu* frekvencija srca pri aerobnom pragu

5.3. Utvrđivanje pouzdanosti ergometra

Pouzdanost mjernog instrumenta provjerava se metodom test-retest. Pretpostavlja da procedura mjerenja daje konzistentne rezultate kada se fenomen koji se mjeri ne mijenja. Preduvjet je za valjanost odnosno ne možemo mjeriti pojavu ako nam mjerni instrument ne daje konzistentne rezultate. Test-retest pouzdanost mjerenja dobije se ukoliko su rezultati mjerenja fenomena u dvije vremenske točke (pod uvjetom da se fenomen ne mijenja) međusobno visoko korelirani. Analizom korelacije utvrđena je visoka korelacijska povezanost između prvog mjerenja na novo konstruiranom električnom bicikl ergometru sa ponovljenim testom (test-retest) na istom biciklu (Tablica 3. i Slika 8.). Test se provodio tjedan dana nakon prvog mjerenja kako bi se ispitanici dovoljno odmorili te kako bi test bio što vjerodostojniji.

Tablica 3. Prikazani podaci odnose se na pouzdanost testa za ispitivanje aerobnog kapaciteta pomoću novokonstruiranog ergometra

VARIJABLA	VO2 apsolutni	VO2 relativni	PPO	HRmax
Test 1 (AS±SD)	3,77	49,16	299,50	180,50
Test 2 (AS±SD)	3,87	50,35	311,20	180,10
Razlika aritmetičkih sredina (T2-T1 [95%CI])	0,14	0,17	0,31	0,87
T-test	0,67	0,69	0,58	0,90
Cohen's D	1,96	0,17	0,27	0,08

AS aritmetička sredina SD standardna devijacija TEST1 prvo mjerenje TEST2 drugo mjerenje COHEN'S D razlika rezultata dva mjerena izražena u jedinicama standardne devijacije VO2apsolutni maksimalni primitak kisika(ml/min) VO2relativni može se izraziti kao broj mililitara kisika po kilogramu tjelesne težine koji osoba može udahnuti u 1 minuti (ml/kg/min) PPO power peak output (maksimalna vršna snaga) HR max maksimalna frekvencija srca

Cohenovim indexom veličine učinka (ES; razlika (završno minus početno stanje) podijeljena standardnom devijacijom početnog stanja). Veličina učinka od 0,2 smatra se malim učinkom, 0,5 umjerenim i 0,8 velikim učinkom (Cohen, 1997).

6. Rasprava

U treningu kako profesionalnih tako i amaterskih sportaša treneri često pridodaju pažnju razvoju aerobnog kapaciteta kao jednog od najvažnijih elemenata natjecateljske efikasnosti. Posebnost toga pokazatelja je također i nešto kompliciraniji odnosno dugotrajniji proces njegovoga razvijanja. Stoga je naglasak današnjih istraživanja u području razvijanja aerobnog kapaciteta na pronalaženju što efikasnijeg treninga za razvitak aerobnog kapaciteta. Mnoga se istraživanja također usmjeravaju na razvijanje aerobnog kapaciteta kroz trčanje na pokretnom sagu ili veslačkom ergometru no najmanji postotak istraživanja je baziran na biciklu ergometru. Upravo zato kroz ovaj se rad nastojalo se ukazati na prednosti novo konstruiranog bicikla u odnosu na već postojeće ergometre. U ovom istraživanju uspoređivali su se rezultati dobiveni testiranjem ispitanika kroz progresivni test opterećenja na novo konstruiranom bicikl ergometru te na već postojećem TechnoGym ergometru kako bi se utvrdila valjanost i pouzdanost novog ergometra odnosno kako bi se validirao novi mjerni instrument. Važno je naglasiti kako su se mjerenja na oba ergometra odvijala u što je više bilo moguće jednakim uvjetima te po istom standardiziranom progresivnom testu opterećenja koji je već opisan gore u radu. Rezultati pokazuju kako je stupanj korelacije odnosno povezanosti dobivenih rezultata dovoljno visok kako bi se moglo reći da se testovi na novokonstruiranom biciklu uz pomoć navedenih formula za procjenu sposobnosti mogu sa velikom sigurnošću koristiti u dijagnostici stanja sportaša. U kineziologiji i svijetu sporta i rekreacije dogodili su se razni pomaci što se tiče samog praćenja i provođenja trenažnog procesa u odnosu na prijašnje godine. Otkrivanje novih sofisticiranijih tehnologija kako u provođenju treninga tako i u samoj dijagnostici stanja sportaša omogućeno je znatno preciznije utvrđivanje sportaševih fizioloških mogućnosti te se uz pomoć tako preciznih podataka mogu provoditi i planirati bolji treninzi. Tu dolazi do problema ovog rada. Postojanje novih tehnologija koje omogućuju tako precizno praćenje stanja sportaša stavlja problem cjenovne nepristupačnosti za širu populaciju. Postoje razni dijagnostički centri koji su opremljeni sa svom tehnologijom i stručnjacima koji se bave mjerenjima no sve to opet stavlja naglasak na cijenu koja je često previsoka za većinu klubova te si ne mogu svi priuštiti provjeru svojih sportaša. Svjedoci smo i sve češćih iznenadnih smrti ili srčanih udara sportaša na treninzima odnosno utakmicama i to postavlja veliki problem za sportaše i klubove. Često se te stvari događaju upravo zbog cjenovno nepristupačnih sportskih pregleda i dijagnosticiranja stanja sportaša. Cilj ovog rada je bio dokazati da se i uz pomoć jednostavnog i pristupačnog

mjernog instrumenta vrlo lako mogu provesti testovi koji odlično prikazuju stanje sportaša i procjenjuju energetske kapacitete. Maksimalni primitak kisika (VO_{2max}) jako je bitan parametar za svakog trenera i sportaša i stoga se posvećuje velika pažnja njegovom određivanju kod sportaša. Pomoću VO_{2max} , ventilacijskih pragova te frekvencije srca, može se vrlo lako planirati i programirati trening za razvoj aerobnog i/ili anaerobnog kapaciteta. (Dajaković, 2017) U istraživanju su ispitanici provodili isti test na novokonstruiranom biciklu ergometru i na već postojećem ergometru kako bi se utvrdilo postoji li veliko odstupanje u dobivenim rezultatima kod novokonstruiranog bicikla u odnosu na već postojeći. Kako je navedeno gore u radu preko dobivenih egzaktnih varijabli dobivamo procjene VO_{2max} ($VO_{2max} = (0.01141$ (koeficijent prosječne potrošnje VO_{2max}) \times PPO) + 0.435 (potrošnja kisika kod pasivne faze okretaja pedale)), aerobni prag (82,5% od PPO mjereno u Watt-ima), relativni VO_{2max} ($VO_2 \times 100 / TM$), maksimalna frekvencija srca pri aerobnom pragu. Visoki koeficijent korelacije između izmjerenih parametara, te procijenjenih parametara pomoću navedenih formula, potvrđuju da se predloženim formulama i korištenjem novog mjernog instrumenta mogu procijeniti parametri maksimalnog primitka kisika te da se kao takvi mogu vrlo pouzdano koristiti u praksi. Cohenovim indexom veličine učinka (ES; r_{2} (zadnje minus prvo mjerenje) podijeljeno standardnom devijacijom prvog mjerenja provjerena je praktična vrijednost dobivenih rezultata. Veličina učinka kod minimalne vršne snage na pedali smatra se umjerenim učinkom, najvjerojatnije zbog malog vremena za oporavak između test-resta. Dobiveni rezultat varijable frekvencije okretaja pedala ukazuje na to da je mali index učinka. Razlog tome je razlika u mehaničkom prijenosu sila između svakog ergometra. Standardna pogreška mjerenja i koeficijent varijance prikazane su u tablici broj 3. Što je manja vrijednost rezultata to će pouzdanost biti veća. Također je utvrđeno kako bi slučajni odabir ispitanika i redoslijeda provedbe testa dao bolje rezultate za širu populaciju.

7. Zaključak

Temeljem rezultata dobivenih provedbom mjerenja postavljene hipoteze su potvrđene. Novokonstruirani bicikl ergometar valjan je za procjenu aerobnog energetskeg kapaciteta (H1) te je rezultatima mjerenja potvrđena visoka pouzdanost i mala pogreška mjerenja (H2). Stoga je novokonstruirani bicikl ergometar pogodan za testiranje i moguće ga je koristiti na aktivnoj populaciji dok se njegova valjanost na populaciji neaktivnih ili starijih pojedinaca još treba utvrditi.

8. Literatura

Abe, T., Sakamaki, M., Fujita, S., Ozaki, H., Sugaya, M., Sato, Y., & Nakajima, T. (2010). Effects of low-intensity walk training with restricted leg blood flow on muscle strength and aerobic capacity in older adults. *Journal of geriatric physical therapy* (2001), 33(1), 34–40.

Andersson, D. (2004). The Åstrand-Ryhming test/method under the magnifying glass A review of research articles.

Balke, B., Ware, R.W. (1959). An experimental study of physical fitness of air Force personnel. *US Armed Forces Medical Journal*, 29(4), 301-306.

Buchfuhrer, M.J., Hansen, J.E., Robinson, T.E., Sue, D.Y., Wasserman, K., Whipp, B.J. (1983). Optimizing the exercise protocol for cardiopulmonary assessment. *Journal of Applied Physiology*, 55, 1558-1564.

Dajaković, S. (2017). Evaluacija algoritama za procjenu parametara aerobnog energetskeg kapaciteta pomoću ruskog zvona (Diplomski rad). Preuzeto s <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:117:830827>

Froelicher, V.F., Brammell, H., Davis, G., Noguera, I., Stewart, A., Lancaster, M.C. (1974). A comparison of three maximal treadmill exercise protocols. *Journal of Applied Physiology*, 36(6), 720-725.

Hawley, J.A., Noakes, T.D. (1992). Peak power output predicts maximal oxygen uptake and performance time in trained cyclists. *Europ. J. Appl. Physiol.* 65, 79–83
<https://doi.org/10.1007/BF01466278>

Kolić, L., Babić, V. i Šentija, D. (2012). Usporedba pokazatelja aerobnog energetskeg kapaciteta dobivenih različitim protokolima opterećenja u trkačica. *Hrvatski športskomedicinski vjesnik*, 27 (1), 17-23. Preuzeto s <https://hrcak.srce.hr/87701>

Meyer, K., Stengele, E., Westbrook, S., Beneke, R., Schwaibold, M., Gornandt, L., Lehmann, M., Roskamm, H. (1996). Influence of different exercise protocols on

- functional capacity and symptoms in patients with chronic heart failure. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28(9), 1081-1086.
- Moffatt, R. J., & Stamford, B. A. (1978). Effects of pedalling rate changes on maximal oxygen uptake and perceived effort during bicycle ergometer work. *Medicine and science in sports*, 10(1), 27–31.
- Nielson, David & George, James & Vehrs, P. & Hager, Ron & Webb, Carrie. (2010). Predicting VO₂max in College-Aged Participants Using Cycle Ergometry and Perceived Functional Ability. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*. 14. 252-264. 10.1080/1091367X.2010.520244.
- Plevnik, M., Vučetić, V., Sporiš, G., Fiorentini, F., Milanović, Z. i Miškulin, M. (2013). Fiziološke reakcije muških i ženskih sprintera na 400m. *Croatian Journal of Education*, 15 (Sp.Ed.4), 93-109. Preuzeto s <https://hrcak.srce.hr/114960>
- Pollock, M. (1977). Submaximal and maximal working capacity of elite distance runners. Part I: Cardiorespiratory aspects. *Annual NY Academy of Science*, 301, 310-322.
- Rowland, T.W. (1996). *Developmental exercise physiology*. Champaign: Human Kinetics.
- Saltin, B., Astrand, P.O. (1967). Maximal oxygen uptake in athletes. *Journal of Applied Physiology*, 23(3), 353-358.
- Thys, H., Dreezen, E., Vanderstappen, A. (1979). Effect of the modality of exercise on the VO₂max. *Arch Int Physiol Biochim*, 87(3), 565-573.
- Verstappen, F.T.J., Huppertz, R.M., Snoeckx, L.H.E.H. (1982). Effect of training specificity on maximal treadmill and bicycle ergometer exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 3(1), 43-46.
- Viacqua, R., Hespanha, R. (1992). Introducao – Historico- Perspectiva. In: *Ergometriae Reabilitaca em Cardiologia*. Rio de Janeiro, Medsi, 1-6.
- Vučetić, V. (2007.) Razlike u pokazateljima energetske kapaciteta trkača dobivenih različitim protokolima opterećenja. Diss. Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu). Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu
- Walsh, M.L., Banister, E.W. (1988). Possible mechanisms of the anaerobic threshold. A review. *Sports Medicine*, 5, 269-302.

