

# Utjecaj vježbanja na izo-inercijskom ergometru na dinamiku oporavka srčane frekvencije kod zdravih aktivnih muškaraca

---

Plenča, Antonio

Master's thesis / Diplomski rad

2020

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:221:860387>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-13**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Kinesiology, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



KINEZIOLOŠKI FAKULTET  
SVEUČILIŠTE U SPLITU

Zavod za antropološku kineziologiju i zdravlje

**UTJECAJ VJEŽBANJA NA IZO-  
INERCIJSKOM ERGOMETRU NA  
DINAMIKU OPORAVKA SRČANE  
FREKVENCije KOD ZDRAVIH AKTIVNIH  
MUŠKARACA**

DIPLOMSKI RAD

**Student:**

Antonio Plenča

**Mentor:**

dr.sc. Damir Zubac, znanstveni suradnik

**Sumentor:**

izv. prof. dr.sc. Vladimir Ivančev

Split, srpanj 2020.

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	5
2. DOSADAŠNJE SPOZNAJE.....	7
3. CILJ RADA.....	10
4. HIPOTEZE.....	11
5. METODE RADA.....	12
5.1. UZORAK ISPITANIKA.....	12
5.2. UZORAK VARIJABLI.....	12
5.2.1. OPIS VARIJABLI.....	12
5.3. OPIS EKSPERIMENTALNOG POSTUPKA.....	14
5.4. METODE OBRADJE PODATAKA.....	14
6. REZULTATI I RASPRAVA .....	16
7. ZAKLJUČAK .....	20
8. LITERATURA.....	21

## SAŽETAK

Cilj ove studije bio je utvrditi utjecaj vježbanja na izo-inercijskom ergometru na dinamiku oporavka srčane frekvencije kod zdravih aktivnih muškaraca. Jedanaest zdravih muškaraca posjetilo je laboratorij u pet navrata. Tijekom dva preliminarna mjerenja izmjerene su njihove antropometrijske karakteristike, neki kardiovaskularni parametri u mirovanju te su napravili spiroergometrijsko testiranje na biciklergometru, kako bi utvrdili maksimalni primitak kisika. Istovjetno, podučeni su kako koristiti izo-inercijski ergometar. Tijekom glavnog dijela studije posjetili su laboratorij u tri navrata. Tijekom tih posjeta nasumično su odabrali nisko  $0.025 \text{ kg/m}^2$ , srednje  $0.05 \text{ kg/m}^2$ , te visoko  $0.075 \text{ kg/m}^2$  izo-inercijsko radno opterećenje. Paralelno s tim praćena je njihova srčana frekvencija putem elektrokardiograma tijekom vježbanja i oporavka. Glavni nalazi studije sugeriraju kako je oporavak srčane frekvencije neovisan od manipulacije radnim opterećenjem i kako viša razina kardiorespiratornog fitnesa ne dovodi do bržeg oporavka srčane frekvencije. Nalazi ove studije mogu imati implikacije na bolju i svrsishodniju optimizaciju vježbanja s vanjskim opterećenjem kod zdravih muškaraca.

**Ključne riječi:** Yo-Yo ergometar, srčana frekvencija, oporavak,  $\text{VO}_2\text{max}$ ;

## **ABSTRACT**

### **INFLUENCE OF EXERCISE ON THE ISO-INERTIA ERGOMETER ON THE DYNAMICS OF HEART FREQUENCY RECOVERY IN HEALTHY ACTIVE MEN**

The aim of this study was to determine the effects of variable load exercise (via flywheel ergometer) on the heart rate recovery in healthy, active men. Eleven men visited our laboratory on five separate occasions. During the first two preliminary visits, their anthropometric characteristics and some resting cardiovascular parameters were measured, while the  $\dot{V}O_2\text{max}$ . assessment was performed on a cycle ergometer. During the main portion of data collection, they visited the laboratory on three occasions. During these visits, they were randomly assigned to a low  $0.025 \text{ kg/m}^2$ , moderate  $0.05 \text{ kg / m}^2$  and high  $0.075 \text{ kg/ m}^2$  loading on the flywheel ergometer. In parallel, their heart rate was monitored via electrocardiogram during exercise and recovery. The main findings of the study suggest that heart rate recovery is independent of workload manipulations and that a higher level of cardiorespiratory fitness does not imply faster recovery of the heart rate. The results of this study may have strong implications for better exercise optimization, especially during variable load exercise in healthy men.

**Key words:** Yo-Yo ergometer, heart rate, recovery;  $\dot{V}O_2\text{max}$ ;

## 1. UVOD

Hipertrofija mišića uključuje povećanje veličine skeletnog mišića kroz povećanje veličine njegovih sastavnih stanica. Dva čimbenika doprinose hipertrofiji: sarkoplazmatska hipertrofija, koja se odnosi na povećanu pohranu glikogena u mišićima i hipertrofija miofibrila koja se odnosi na povećanu veličinu miofibrila (Baechle i sur. 2008). Povećanje mišićne mase najčešće dolazi uslijed treninga s opterećenjem. Nasuprot tome, pojam mišićne atrofije podrazumijevamo opadanje mišićne mase uslijed različitih čimbenika kao što su prestanak bavljenja fizičkim aktivnostima, ozljede, neadekvatna prehrana, razne bolesti itd. Mišićna atrofija najčešće se smatra neželjenom posljedicom, a kako bi se ona izbjegla stvoreni su različiti oblici tjelesnog vježbanja i načina treniranja. Jedan od načina je i trening na izo-inercijskom ergometru.

Izo-inercijski trening relativno je novija metoda treniranja koja kao vanjsko opterećenje koristi opterećenje neovisno o utjecaju gravitacije. Većina načina treniranja s vanjskim opterećenjem ograničena je mogućnošću izvedbe u koncentričnoj fazi tako da se ne može postići ekscentrično preopterećenje, za koje se smatra kako dovodi do porasta u mišićnoj masi. Ekscentrično preopterećenje postiže se kad je ekscentrična sila mišićne kontrakcije veća od koncentrične sile. To je vrlo važno jer se može postići puni potencijal treniranja u ekscentričnoj fazi, a s time i maksimalan razvoj mišićne mase, snage i jakosti. Na ovu temu objavljeno je mnogo radova na općoj populaciji, sportašima i kliničkoj populaciji, a velika većina tih radova dokaziva pozitivno djelovanje na porast mišićne mase, jakosti i snage korištenjem izo-inercijskim treningom. Dokazano je kako trening s izo-inercijskim ergometrom (Yo-Yo tehnologija, Stockholm, Švedska) posebno učinkovit u ranom porastu mišićne mase i snage, zato što veliki okretni moment uređaja zahtjeva veliku snagu koja je potrebna za prekid rotacije izo-inercijskog kotača (Seynnes i sur., 2007). Seynnes i sur., (2007) korištenjem ultrazvučne dijagnostike utvrdili su značajan porast poprečnog presjeka (eng. *cross section area*) mišića vastus lateralis uslijed trodnevnog vježbanja na izo-inercijskom ergometru kod opće populacije. Osim toga, brojna druga istraživanja dokazuju da trening na izo-inercijskom ergometru ne samo da pridonosi povećanju snage nego i brojne fiziološke prednosti. Maroto-Izquierdo i sur., (2017) dokazali su da vježbanje na izo-inercijskom ergometru izaziva bolje strukturalne adaptacije nego samo vježbanje na tradicionalnim spravama. Usprkos tome, nedostaje studija koje bi više i detaljnije obuhvatile

odnosno kvantificirale razinu kardiovaskularnog opterećenja tokom, ali i nakon samog vježbanja na izo-inercijskom ergometru.

Srčana frekvencija označava broj srčanih ciklusa, kontrakcija srca mjerenih u nekom vremenskom odmaku najčešće u jednoj minuti. U mirovanju ona se kreće između 60 i 80 otkucaja u minuti, međutim u fizički aktivnih osoba ona često zna biti i ispod 60 otkucaja. Važno je napomenuti da je frekvencija srca jedan od najčešće spominjanih i korištenih parametara putem kojeg se opisuje radno opterećenje i energetske zahtjevi tjelovježbe. Maksimalnom dosegnutom frekvencijom srca moguće je odrediti zone treniranja i optimizirati trenažni postupak. Maksimalni primitak kisika ( $VO_2max.$ ) najčešće se definiše kao maksimalna količina kisika koju organizam može potrošiti u jednoj minuti pri maksimalnoj tjelesnoj aktivnosti (Wertheimer i sur. 2009). Najčešće se mjeri laboratorijskim testovima na pokretnom sagu ili bicikl-ergometru i izražava prema kilogramu tjelesne mase. Tijekom mirovanja primitak kisika u prosjeku iznosi oko 0.25L/min. Povećanjem aktivnosti povećava se potreba za kisikom pa tako se i povećava i primitak kisika. Sportaši najčešće imaju veći primitak kisika od netrenirane populacije kod kojih je isti indikator razine kardiorespiratornog fitnesa i zdravlja. U konačnici, sve navedeni parametri, poput mišićna mase, maksimalnog primitka kisika i frekvencije srca u oporavku mogu ponuditi dobar uvid u razinu kardiorespiratornog fitnesa i općeg zdravlja aktivne populacije.

## 2. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA

S obzirom na samu činjenicu kako je trening na izo-inercijskom ergometru relativno nova metoda treninga i samim time jako zanimljiva, u daljnjem tekstu navode se neka dosadašnja istraživanja koja su provedena i koja su istraživala različite utjecaje vježbanja na FW.

Onambélé i suradnici (2008) proveli su istraživanje na starijoj populaciji ( $69.9 \pm 1.3$  godine starosti) gdje su nasumično odabrali po 12 ispitanika u grupu vježbača na izo-inercijskom uređaju i grupu vježbača koji su trenirali sa slobodnim utezima ekstenzore koljena po tri puta tjedno ukupnog trajanja 12 tjedana. Za dobivanje parametara od interesa korišteni su izokinetička dinamometrija, ultrazvučna dijagnostika, elektromiografija, elektro stimulacija mišića i snimanje magnetskom rezonancom. Utvrđena su značajna poboljšanja u snazi, a također i u funkciji živčano-mišićnog sustava koja su rezultirala boljom ravnotežom koristeći izo-inercijski uređaj u odnosu na trening sa slobodnim utezima (Onambélé, et al., 2008).

Norrbrand i suradnici (2010) proveli su istraživanje na 15 zdravih muškaraca koji su odradili program treninga u 5 tjedana koji je obuhvaćao četiri serije od sedam jednostranih, spojenih koncentričnih i ekscentričnih ekstenzija koljena 2-3 puta tjedno. Dok je 8 muškaraca izvodilo treninge na spravama za dizanje utega (WS), 7 muškaraca treniralo je pomoću izo-inercijskog uređaja (FW). Prije i nakon treninga, mjerena je maksimalna izometrijska sila (MVC) u zadacima nespecifičnim za načine treninga. Volumen svakog pojedinačnog mišića kvadricepsa određen je magnetskom rezonancom. Učinkovitost tijekom 12 vježbi mjerena je korištenim osobinama uređaja. Dok se MVC povećavao ( $P < 0,05$ ) pod svim kutovima izmjerenim u FW, takva je promjena bila manje konzistentna u WS. Zabilježeno je značajno povećanje ( $p < 0,05$ ) izvedbe specifične za zadatak (tj. dizanje tereta) u WS-u. Prosječan rad pokazao je neznatno povećanje porasta FW od 8,7%. Volumen mišića kvadriceps femoris povećao se ( $p < 0,025$ ) u obje skupine nakon treninga. Iako više nego dvostruko veća hipertrofija izražena u FW (6,2%) nije statistički veća od one prikazane u WS (3,0%), sva četiri pojedinačna mišića kvadricepsa FW pokazala su povećan ( $P < 0,025$ ) volumen, dok je u WS samo m. rectus femoris je povećan ( $P < 0,025$ ). Rezultati ovog istraživanja sugeriraju veće mišićne prilagodbe nakon treninga na izo-inercijskom uređaju nego vježbanje na mašinama.

U istraživanju koju su proveli Timón i suradnici (2018) na 12 odraslih muškaraca koji su odradili vježbu čučanj sa šipkom ( $3 \times 8$  ponavljanja, 75-80% 1RM) i vježbu čučanj na izo-inercijskom uređaju ( $3 \times 8$  ponavljanja, maksimalno izvođenje svakog ponavljanja unutar



serije), proučavali su zasićenosti mišića kisikom ( $SpO_2$ , %), ukupnim hemoglobinom (tHb), srčanom frekvencijom (HR), koncentracijom laktata, maksimalnu voljnu izometrijsku kontrakciju, upitnik subjektivnog percipiranog umora (RPE). Rezultati su ukazali da su oba protokola dovela do značajnog smanjenja postotka  $SpO_2$  i tHb-a tijekom serija čučnjeva i značajnog povećanja HR, koncentracije laktata i RPE nakon treninga. Primjerice, protokol čučnjeva na izo-inercijskom uređaju uzrokovao je veće smanjenje postotka  $SpO_2$  od protokola čučnjeva sa šipkom u svakoj grupi vježbi (1. set:  $-67,5 \pm 7,2\%$  nasuprot  $-53,7 \pm 16,2\%$ ; 2. set:  $-67,2 \pm 13,5\%$  nasuprot  $-53,6 \pm 15,4\%$ ; 3. set:  $-68,1 \pm 13,0\%$  nasuprot  $-55,0 \pm 17,0\%$ ), Iako nisu utvrđene razlike na razini mišićnog umora, trening izo-inercijskom uređaju doveo je do većeg fiziološkog stresa od vježbanja čučnja sa šipkom, primjećujući veće smanjenje zasićenosti mišića kisikom i dužu re-oksigenaciju.

Askling i suradnici (2003) istraživali su utjecaj treninga jakosti na izo-inercijskom ergometru. U testiranju je sudjelovalo 30 profesionalnih nogometaša iz dva kluba u Švedskoj. Nasumično su podijeljeni u dvije grupe, trening grupa ( $n=15$ ) i kontrolna grupa ( $n=15$ ), također bio je zastupljen isti broj igrača po pozicijama. Trening grupa provodila je treninge svako 5 dana prvih 4 tjedna dok je drugih 6 tjedana svako 4 dana. Treninzi su se provodili u odmornom stanju i nakon standardiziranog petnaesto minutnog zagrijavanja (trčanje/bicikliranje). Specifični treninzi za mišiće stražnje lože provedeni su u koncentričnoj i ekscentričnoj fazi na YoYo™ izo-inercijskom ergometru (YoYo Technology AB, Štokholm, Švedska) (Berg & Tech, 1994). Izokinetička snaga zgloba i maksimalna brzina trčanja mjerena je u obje skupine prije i nakon perioda treninga, a sve ozljede registrirane su tijekom ukupnog razdoblja od 10 mjeseci. Rezultati su pokazali da je učestalost ozljeda mišića stražnje lože bila manja u trening grupi nego u kontrolnoj skupini. Pored toga, u trening grupi došlo je do značajnog povećanja jakosti i brzine. Međutim, nije bilo očite poveznice između parametara performansi i pojave ozljeda. Ovi rezultati pokazuju da bi dodavanje specifičnog predsezonskog treninga jakosti za mišiće stražnje lože uključujući ekscentrično preopterećenje bilo korisno za elitne nogometaše, kako radi prevencije od ozljeda, tako i sa stanovišta poboljšanja performansi.

Petréi suradnici(2018). proveli su meta-analizu kojom su potvrdili pozitivne učinke treninga snage uslijed vježbanja izo-inercijskom uređaju. Meta-analiza uključivala je 20 eksperimentalnih studija koje su zadovoljile kriterije za uključivanje. Kvaliteta uključenih studija rangirana je prema PEDro skali. Istraživanje je potvrdilo kako trening od 4-24 tjedna na izo-inercijskom uređaju pozitivno utječe na razvoj svih aspekta snage. Dokazi su posebno

snažni prilikom izlaganja ispitanika treningu koji ima za cilj razvoj maksimalne jakosti i snage, osobito kod treniranih mlađih pojedinaca korištenja ovog modaliteta treninga u kraćim, intenzivnijim blokovima.

### **3. CILJ RADA**

Cilj ove studije bio je utvrditi utjecaj različitih razina izo-inercijskog opterećenja (nisko 0.025 kg/m<sup>2</sup>, srednje 0.05 kg/m<sup>2</sup>, te visoko izo-inercijsko radno opterećenje 0.075 kg/m<sup>2</sup>) na odgovor srčane frekvencije u radu i u oporavku. Također, ispitana je uloga razine kardiorespiratornog fitnesa u dinamici oporavka srčane frekvencije.

## **4. HIPOTEZE**

Temeljem dosadašnjih spoznaja i cilja ovog istraživanja mogu se definirat sljedeće hipoteze:

**H<sub>1</sub>**-Pretpostavka je kako će viša razina radnog opterećenja dovesti do sporijeg oporavka srčane frekvencije;

**H<sub>2</sub>**-Viša razina kardiorespiratornog fitnesa potaknut će brži oporavak srčane frekvencije nakon vježbanja na izo-inercijskom ergometru;

## 5. METODE RADA

### 5.1. Uzorak ispitanika

Putem društvenih veza i osobne komunikacije ispitanici su pozvani sudjelovati istraživanju. Posjetili su u laboratorij u dva preliminarna testiranja tjedan dana prije početka glavnog djela istraživanja. Kriterij koji isključuju ispitanike iz istraživanja su: pretilost (indeks tjelesne mase  $>30 \text{ kg/m}^2$ ), pušenje, arterijska hipertenzija ( $\geq 140/90 \text{ mmHg}$ ), prethodna povijest kardiovaskularnih bolesti, aritmija, povijest neuromuskularnih ozljeda, uzimanja lijekova i opijata i sl. Svi ispitanici su donijeli potpisanu izjavu o sudjelovanju nakon što su bili potpuno informirani o proceduri i riziku sudjelovanja prema Helsinškoj deklaraciji. Protokol istraživanja je odobren od Nacionalnog vijeća za Medicinsku etiku Republike Slovenije (broj odobrenja: 120-487/2018/21).

### 5.2. Uzorak varijabli

U predstavljenom radu korištene su sljedeće varijable: antropometrijske karakteristike, kardiovaskularni parametri u mirovanju, radu i oporavku, metabolički parametri izlučeni iz metaboličkog analizatora, iskaz mišićne sile izlučen iz izo-inercijskog ergometra.

#### 5.2.1 Opis varijabli

##### Preliminarna mjerenja

Tijekom preliminarnih mjerenja svi ispitanici su došli u laboratoriju u 7.30 ujutro te nisu konzumirali hranu i piće prije mjerenja. Njihova visina i težina određeni su digitalnim uređajem (Seca 769, Hamburg, Njemačka). Nakon antropoloških mjerenja ispitanici su dobili uputu da legnu na stol u trajanju od 15 min. Na nadlakticu ne dominantne ruke im je postavljena pneumatska manžeta i automatizirani sfigmomanometar (Dash 2000; General Electric, Milwaukee, WI, USA) kako bi izmjerio arterijski tlak u mirovanju poštujući prethodno određene kriterije (Mora-Rodrigues et al., 2018). Srčana frekvencija kontinuirano je praćena pomoću pulsnog oksimetra postavljenog na srednji prst dominantne ruke.

## Test maksimalnog primitka kisika ( $VO_2\text{max.}$ )

Svi ispitanici su kompletirali inkrementni test na bicikl ergometru (Ergoline 900, Hamburg, Njemačka) koji je sinkroniziran sa Cosmed metaboličkom analizatorom (CPET, Quark, Rim, Italija). Prije mjerenja na bicikl ergometru metabolički analizator je kalibriran na mješavinu dva plina poznate koncentracije (sobni zrak, i 16.0% kisika i 5.0% ugljikovog dioksida), a pretvarač volumena turbine je kalibriran koristeći 3 litrenu pumpu (model 5530, Hans Rudolph inc., KC, USA) po preporuci proizvođača. Protokol započinje s 3 minute zagrijavanja postavljenog na 20 W radnog opterećenja i frekvencijom pedaliranja od 70 okretaja u minuti koja se može vidjeti na ekranu kroz cijeli test. Izlazna snaga se postupno povećava za 20 W svako minutu (1W/3sec) sve do potpunog iscrpljenja ili pada frekvencije pedaliranja za 5 okretaja u minuti unatoč jakom verbalnom poticaju od strane istraživača. Nakon završetka inkrementalnog testa svaki ispitanik je kroz dodatnih 5 minuta pedalirao bez opterećenja. Izmjena plinova i minutni ventilacijski protok procijenjeni su na osnovi dah-za-dah putem metaboličkog analizatora. Srčana frekvencija je konstantno praćena s Garmin uređajem (HRM-3 SS, Kansas, USA).  $VO_2\text{ max.}$  prihvaćen je kao najveća vrijednost kroz 20 sekundni prosjek. tijekom zadnje minute testa. Maksimalno dosegnuto radno opterećenje i srčana frekvencija definirani su kao očitavanja postignuta testom prateći prethodno određene smjernice (Rossiter et al., 2006).

## Vježbanje na izo-inercijskom ergometru

Ova vježba je izvedena u uspravnom položaju, bilateralno koristeći izo-inercijski ergometar izvodeći vježbu čučanj. Izo-inercijski ergometar opremljen s tri različite razine izo-inercijskog opterećenja niski, srednji i visoki moment inercije koji odgovaraju težini od 0.025, 0.05 i 0.075  $\text{kg/m}^2$ . Nakon 5 minutnog zagrijavanja na steperu (klupica visine 40 cm) svi ispitanici kreću na izo-inercijski ergometar početno opruženi u koljenskom zglobu. Sukladno smjericama proizvođača, naramenice su postavljene oko prsa i pričvršćene za izo-inercijski ergometar. Nakon izvedbe inicijalnog sub-maksimalnog čučanja kako bi se postiglo ubrzanje kotača, ispitanici izvode dvije serije po sedam ponavljanja čučnja na izo-inercijskom ergometru s maksimalnim naporom (između serija je dvije minute pauze) kao što je prijašnje predloženo od Lundberg i sur. (2019). Prosječna i vršna koncentrična snaga svakog pojedinog ponavljanja prikupljeni su putem frikcijskog enkodera (Chrono jump, Barcelona, Španjolska). Frikcijski enkoder i njegovi senzori postavljeni su na izo-inercijski ergometar sukladno pojašnjenju Illera Domínguez i sur. (2018). Vizualna povratna informacija izlazne snage bila

je prikazana na monitoru istraživačevog kompjutera tijekom cijelog eksperimentalnog protokola. Na po završetku vježbanja primijenjena je subjektivna ljestvica umora (RPE, 1-10) za svakog ispitanika nakon završene tjelovježbe na izo-inercijskom ergometru.

### Kontinuirano praćenje elektrokardiografa

Srčana frekvencija je dobiven iz bipolarnog elektrokardiografa (EKG-a) s tri postavljena odvoda prema ranije utvrđenim smjernicama (Grote et al., 2013). Nakon završetka eksperimentalnog protokola, podatci su vizualno pregledani te su aberantni otkucaj otklonjeni, a sirovi podatci izvezeni su u excelu i raspoređeni u određenim vremenskim intervalima (10 sekundi) karakterizirajući svaku fazu eksperimentalnog postupka relevantnog za statističku analizu: početna točka (1= 290 – 300 s); zagrijavanje na steperu (2= 290 – 300 s); vježba 1 (3 = zadnjih 10 sekundi); odmor ( 4 = 60 – 70 s); vježba 2 ( 5 = zadnjih 10 sekundi). Podatci o oporavku srčane frekvencije nakon vježbanja analizirani su kao srednja vrijednost svake uzastopne 30 sekundne epohe tijekom 5 minuta oporavka kao što je predložio Peçanha et al. (2016). Gledajući parametre oporavka srčane frekvencije, podatci su izračunati kao apsolutna razlika između maksimalnog HR-a (srednji HR, prosječno tijekom zadnjih 10 otkucaja tijekom vježbe) i HR vrijednosti izmjerene na 30, 60 i 300 sekundi u oporavku kako je opisao Peçanha et al. (2016) i Mellis et al. (2014).

### 5.3. Opis eksperimentalnog postupka

Ispitanici su bili randomizirani prema veličini izo-inercijskog opterećenja i svaki ispitanik je bio sam sebi kontrola. Ukupno, izvedena su dva preliminarna i tri eksperimentalna mjerenja. Tijekom preliminarnih testiranja sudionicima je savjetovano da izbjegnu intenzivniju fizičku aktivnost, kofein i konzumaciju alkohola 24 sata prije svakog mjerenja. Nakon završetka preliminarnih mjerenja svi ispitanici su nasumično svrstani u tri različite eksperimentalne grupe odnosno na tri različita momenta inercije (težina) na izo-inercijskom ergometru izvodeći vježbu čučanj. Tijekom prvog posjeta laboratoriju ispitanicima je pregledana povijest bolesti izmjerena im je srčana frekvenciju u mirovanju, krvni tlak i antropometrijske karakteristike. PAR-Q upitnik je korišten za dobivanje informacija o njihovoj fizičke aktivnosti. Na njihovom drugom mjerenju ispitanici su bili upoznati s procedurom testiranja, također određen je i njihov maksimalan primitak kisika. Svi ispitanici su odradili jednu seriju čučnja na izo-inercijskom ergometru (nHance, Barcelona, Španjolska) kako bi se izbjegli utjecaji učenja pokreta na fiziološki odgovor. Tijekom svih eksperimentalnih mjerenja ispitanici su dolazili u laboratorij u isto vrijeme svakog dana, legli bi mirno 10 minuta dok bi

se izmjerili parametri izlučeni iz EKG-a. Eksperimentalni protokol je trajalo u prosjeku 55 do 60 minuta. Svako eksperimentalno mjerenje može se podijeliti na 5 različitih faza: 1) mirno ležanje na deset minuta (prikupljanje podataka i signala); 2) stajanje 5 minuta; 3) 5 minuta zagrijavanja na steperu s metronomom postavljenim na 95 udaraca u minuti; 4) izvođenje dvije serije čučnja na ergometru (između serija 2 minute odmora prema Lundberg i sur. 2019); 5) ponovno vraćanje u ležeći položaj na 5 minuta nakon odrađenog izo-inercijskog ergometra po protokolu koji je predložio Moris (2004). Svi ispitanici završili su sva tri eksperimentalna protokola u jednom tjednu, a razmak između svakog mjerenja bio je 48 sati. Sva mjerenja izvedena su u istom vremenu u danu (između 07:30-11:30 ujutro) u zatvorenoj i klimatiziranoj prostoriji na temperaturi od 20-22°C koristeći istu opremu tijekom istraživanja.

#### 5.4. Metode obrade podataka

Korišten je statistički paket Statistica v. 13.0. (SoftStat, SAD). Deskriptivna statistika distribucije varijabli korištena je prilikom izračuna aritmetičke sredine  $\pm$  standardne devijacije, dok je normalitet distribucije varijabli testiran Shapiro-Wilks testom. Razlike između razine izo-inercijskog opterećenja (nisko, srednje, visoko) analizirane su putem jednosmjerne analize varijance (eng. *one-way ANOVA*), a u slučaju statistički značajnih razlika pristupalo se Bonferroni post hoc testu. Linearna korelacija korištena je kako bi se utvrdila povezanost između maksimalnog primitak kisika ( $VO_2$  max), te različitih indikatora dinamike oporavka srčane frekvencije (HRR30, HRR60, HRR300). Za razinu statističke značajnosti prihvaćena je vrijednost  $p < 0.05$ .



## 6. REZULTATI I RASPRAVA

**Tablica 1.** Karakteristike ispitanika

	Muškarci (n=11)
<i>Antropometrija</i>	
Dob, godine	34 ± 10
Visina, cm	185 ± 6
Težina, kg	85.7 ± 10.3
Indeks tjelesne mase, kg·m <sup>2</sup>	25.1 ± 2.35
<i>Kardiovaskularni parametric</i>	
Srčana frekvencija u mirovanju FS, bpm	64 ± 5
Sistolički krvni tlak SBP, mmHg	118 ± 13
Dijastolički krvni tlak DBP, mmHg	69 ± 9
Srednji arterijski tlak u mirovanju MAP, mmHg	86 ± 7
<i>Kardiorespiratorni parametric</i>	
V <sub>E</sub> (L·min <sup>-1</sup> )	137 ± 23
VO <sub>2</sub> max (mL·kg·min <sup>-1</sup> )	43.6 ± 7.6
RER,	1.20 ± 0.06
FS max. (bpm)	180 ± 8
PPO (W·kg <sup>-1</sup> )	3.4 ± 0.5

**Skraćenice:** BMI - indeks tjelesne mase; FS – srčana frekvencija; SBP - sistolički krvni tlak; DBP - dijastolički krvni tlak; MAP - srednji arterijski tlak; V<sub>E</sub>–minutna plućna ventilacija, VO<sub>2</sub>max- maksimalni primitak kisika, RER –respiracijski koeficijent, FS max–maksimalna srčana frekvencija, PPO –maksimalni iskaz snage; Podaci su prikazani kao aritmetička sredina ± SD.

**Tablica 2.** Srčana frekvencija, izlaz snage i trajanje vježbe na izo-inercijskom ergometru

	Početna vrijednost	Zagrijavanj e	Vježba 1	Odmo r	Vježba 2	Vrijem e	Opterećenj e	Inter .
<b>FS (bpm)</b>								
<i>Niski</i>	66±3	116±3 <sup>\$</sup>	128±3 <sup>\$</sup>	108±3	128±3 <sup>\$</sup>			
<i>Srednji</i>	68±3	119±3 <sup>\$</sup>	136±3 <sup>\$#</sup>	108±3	137±2 <sup>\$#</sup>	-		
<i>Visoki</i>	69±3	118±3 <sup>\$</sup>	138±3 <sup>\$#</sup>	113±3	137±3 <sup>\$#</sup>	-		
<b>Izlazna snaga (W/kg)</b>								
<i>Niski</i>	-	-	8.7±0.5	-	8.9±0.5			
<i>Srednji</i>	-	-	7.1±0.5	-	7.9±0.6 <sup>\$</sup>			
<i>Visoki</i>	-	-	6.8±0.5	-	6.9±0.3	.025	.046	.143
<b>Trajanje vježbe (sec)</b>								
<i>Niski</i>	-	-	12.4±0. 5	-	12.2±0.5			
<i>Srednji</i>	-	-	14.3±0. 7	-	13.9±0.6 #			
<i>Visoki</i>	-	-	14.3±0. 4	-	13.9±0.7 #	.284	.031	.934

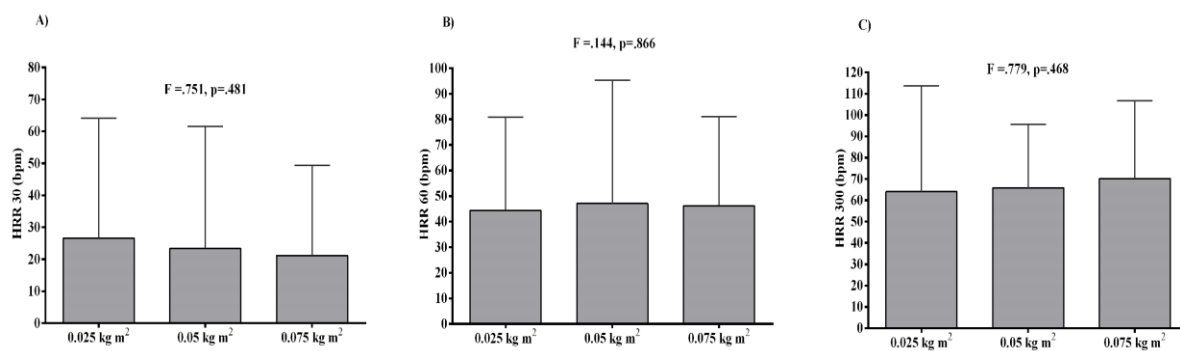
**Skraćenice:** FS – srčana frekvencija; podatci koju su uzeti kao aritmetička sredina± SD;

\* - značajna post hoc interakcija između početne vrijednosti i vježbe 1 i vježbe 2 kroz tri različite razine izo-inercijskog opterećenja.

# - značajan učinak opterećenja - različit od izo-inercijskog opterećenja niske razine.

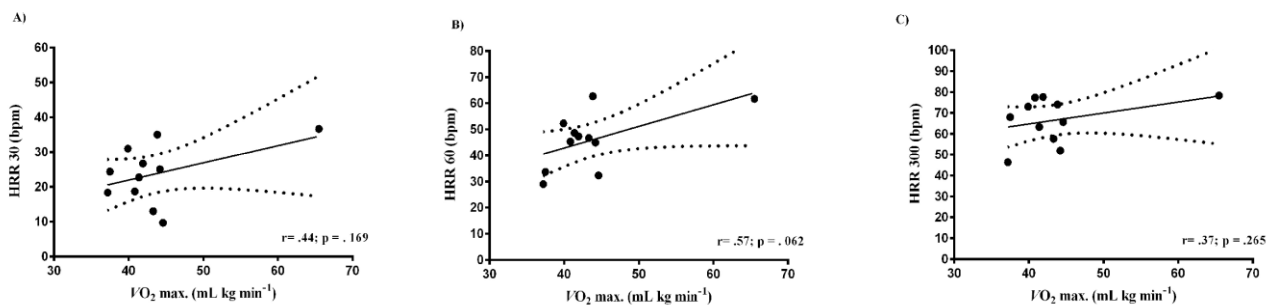
\$ - značajan vremenski učinak između početne vrijednosti i vježbe 1 i vježbe 2

**Graf 1.** Predstavljani su parametri oporavka srčane frekvencije nakon tjelovježbe na izo-  
inercijskom ergometru.



**Skraćenice:** HRR 30, 60, 300 oporavak srčane frekvencije u prvih 30, 60, 300 sekundi  
nakon tjelovježbe; Podaci su prikazani kao aritmetička sredina ± SD

## Graf 2. Korelacijska analiza



**Skraćenice:** HRR 30, 60, 300 oporavak srčane frekvencije u prvih 30, 60, 300 sekundi nakon tjelovježbe;  $\dot{V}O_2 \text{ max.}$  – maksimalni primitak kisika;

## 7. ZAKLJUČAK

Primarni cilj ove studije bio je utvrditi utjecaj različitih razina izo-inercijskog opterećenja (nisko  $0.025 \text{ kg/m}^2$ , srednje  $0.05 \text{ kg/m}^2$ , te visoko  $0.075 \text{ kg/m}^2$ ) na odgovor srčane frekvencije u radu i u oporavku. Sekundarni cilj bio je ispitati utjecaj razine kardiorespiratornog fitnesa na brzinu oporavka srčane frekvencije. Suprotno prvoj hipotezi, dinamika oporavka srčane frekvencije nije bila uvjetovana razinom izo-inercijskog opterećenja. Također, razina kardiorespiratornog fitnesa nije igrala značajnu ulogu u dinamici oporavka srčane frekvencija nakon vježbanja na izo-inercijskom ergometru. Zaključno, glavni nalazi studije sugeriraju kako je oporavak srčane frekvencije neovisan od manipulacije radnim opterećenjem i kako viša razina kardiorespiratornog fitnesa ne implicira brži oporavak srčane frekvencije. Ovim se pokazalo kako srčana frekvencija nije optimalan fiziološki parametar u procjeni obavljenog rada, prilikom vježbanja s vanjskim opterećenjem, što se da objasniti inertnošću srčane frekvencije, kako u kratkotrajnom opterećenju, tako i u oporavku. Ipak, niz je drugih fizioloških parametara mogu dati bolji uvid odgovor organizma na vanjsko opterećenje, poput mjerenja arterijskog tlaka, što može biti cilj budućih istraživanja. Nalazi ove studije mogu imati implikacije na bolju i svrsishodniju optimizaciju vježbanja s vanjskim opterećenjem kod zdravih muškaraca.

Predstavljena studija financirana je od Slovenske istraživačke agencije (ARRS), broj projekta: Z7-9420, voditelj projekta dr. Zubac, D.

## 8. LITERATURA

1. Onambélé, G. L., Maganaris, C. N., Mian, O. S., Tam, E., Rejc, E., McEwan, I. M., & Narici, M. V. (2008). Neuromuscular and balance responses to flywheel inertial versus weight training in older persons. *Journal of biomechanics*, *41*(15), 3133-3138.
2. Petré, H., Wernstål, F., & Mattsson, C. M. (2018). Effects of flywheel training on strength-related variables: A meta-analysis. *Sports medicine-open*, *4*(1), 55.
3. Seynnes, O. R., de Boer, M., & Narici, M. V. (2007). Early skeletal muscle hypertrophy and architectural changes in response to high-intensity resistance training. *Journal of applied physiology*, *102*(1), 368-373.
4. Timón, R., Ponce-González, J. G., González-Montesinos, J. L., Olcina, G., Pérez-Pérez, A., & Castro-Piñero, J. (2018). Inertial flywheel resistance training and muscle oxygen saturation. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, *58*(11), 1618-1624.
5. Berg, H. E., & Tesch, A. (1994). A gravity-independent ergometer to be used for resistance training in space. *Aviation, space, and environmental medicine*, *65*(8), 752-756.
6. Askling, C., Karlsson, J., & Thorstensson, A. (2003). Hamstring injury occurrence in elite soccer players after preseason strength training with eccentric overload. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, *13*(4), 244-250.
7. Fletcher, G. F., Ades, P. A., Kligfield, P., Arena, R., Balady, G. J., Bittner, V. A., ... & Gulati, M. (2013). Exercise standards for testing and training: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*, *128*(8), 873-934.
8. Valenzuela, P. L., Maffiuletti, N. A., Joyner, M. J., Lucia, A., & Lepers, R. (2019). Lifelong Endurance Exercise as a Countermeasure Against Age-Related  $\dot{V}O_2$  max Decline: Physiological Overview and Insights from Masters Athletes. *Sports Medicine*.
9. Peçanha, T., Bartels, R., Brito, L. C., Paula-Ribeiro, M., Oliveira, R. S., & Goldberger, J. J. (2017). Methods of assessment of the post-exercise cardiac autonomic recovery: A methodological review. *International journal of cardiology*, *227*, 795-802.

10. Buchheit, M., & Gindre, C. (2006). Cardiac parasympathetic regulation: respective associations with cardiorespiratory fitness and training load. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 291(1), H451-H458.
11. Morise, A. P. (2004). Heart rate recovery: predictor of risk today and target of therapy tomorrow?.
12. Imai, K., Sato, H., Hori, M., Kusuoka, H., Ozaki, H., Yokoyama, H., ... & Kamada, T. (1994). Vagally mediated heart rate recovery after exercise is accelerated in athletes but blunted in patients with chronic heart failure. *Journal of the American College of Cardiology*, 24(6), 1529-1535.
13. Wertheimer, V., Vučetić, V., & Leko, G. (2009). Methods of determining anaerobic threshold in the water. *Kondicijski trening: stručni časopis za teoriju i metodiku kondicijske pripreme*, 7(1), 11-19
14. Maroto-Izquierdo, S., García-López, D., Fernandez-Gonzalo, R., Moreira, O. C., González-Gallego, J., & de Paz, J. A. (2017). Skeletal muscle functional and structural adaptations after eccentric overload flywheel resistance training: a systematic review and meta-analysis. *Journal of science and medicine in sport*, 20(10), 943-951.
15. Achten, J., & Jeukendrup, A. E. (2003). Heart rate monitoring. *Sports medicine*, 33(7), 517-538.
16. Baechle TR, Earle RW, eds. (2008). Essentials of strength training and conditioning (3rd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics. ISBN 978-0-7360-5803-2