



ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

PALMARNO HLAĐENJE I FIZIOLOŠKI ODGOVOR NA AEROBNU TJELESNU AKTIVNOST

PALMAR COOLING AND THE PHYSIOLOGICAL RESPONSE TO AEROBIC PHYSICAL ACTIVITY

Matteo Sergio Pozzi*¹, Helena Štrucelj²

¹Fakultet zdravstvenih studija Sveučilišta u Rijeci, diplomski sveučilišni studij Klinički nutricionizam, Rijeka, Hrvatska

²Fakultet zdravstvenih studija Sveučilišta u Rijeci, Katedra za javno zdravstvo, Rijeka, Hrvatska

*Autor za korespondenciju:

Matteo Sergio Pozzi

Student diplomskog sveučilišnog studija Klinički nutricionizam Fakulteta zdravstvenih studija Sveučilišta u Rijeci, Hrvatska

E-mail adresa za kontakt: matteo.pozzi740@gmail.com

SAŽETAK

Uvod i cilj: Tijekom tjelesne aktivnosti različiti fiziološki sustavi djeluju sinergijski kako bi omogućili prilagodbu organizma. Uvođenjem inovativnog pristupa kao što je palmarno hlađenje, tj. primjena hladnih obloga na dlanovima, istražuje se potencijal za regulaciju tjelesne temperature tijekom tjelovježbe. U istraživanju se analizira utjecaj palmarnog hlađenja na promjenu pulsa, percipiranog napora, tjelesne temperature i opterećenja tijekom aerobne aktivnosti. Cilj je razumjeti može li palmarno hlađenje smanjiti porast tjelesne temperature i percipirani napor i tako doprinijeti redovitoj tjelovježbi, optimizaciji tjelesne aktivnosti i promicanju zdravog načina života kod osoba kod kojih su one otežane zbog napora.

Metode: U istraživanju su sudjelovala 24 studenta dobi od 20 do 23 godine, prosječne tjelesne spremne, kod kojih u trenutku ispitivanja nisu bila prisutna akutna i kronična stanja, odnosno stanja zbog kojih im je liječnik propisao zabranu sportskih aktivnosti. Isključeni su oni osjetljivi na hladnoću te svi s akutnim i kroničnim zdravstvenim stanjima ili ozljedama lokomotornog sustava. Korišten je submaksimalni cikloergometerski *Astrand-Rhyming Cycle Ergometer Test* kako bi se analizirale razlike u navedena četiri parametra između dvaju uvjeta, s palmarnim hlađenjem i bez njega. U statističkoj analizi korišteni su deskriptivni postupci, Wilcoxon test i hi-kvadrat test.

Rezultati i zaključak: Pronađene razlike u pulsu, percipiranom naporu i opterećenju između dvaju uvjeta nisu bile statistički značajne, međutim, statistički značajno niža tjelesna temperatura u uvjetu palmarnog hlađenja potencijalno upućuje na pozitivni efekt palmarnog hlađenja na veću redovitost aerobne tjelesne aktivnosti.

Ključne riječi: aerobna tjelesna aktivnost, fiziološki odgovor, palmarno hlađenje, termoregulacija

ABSTRACT

Introduction and aim: During exercise, different physiological systems work together to help the body adapt. An innovative approach such as palmar cooling, the application of cold packs to the palms of the hands, explores the potential regulation of body temperature during exercise. This study examines the effects of palmar cooling on changes in heart rate, perceived exertion, body temperature and workload during aerobic activity. The aim is to determine whether palmar cooling can reduce the increase in body temperature and perceived exertion and thus contribute to regular exercise, optimizing physical activity and promoting a healthy lifestyle in people whose exercise is impaired by exertion.

Methods: The study involved 24 students aged between 20 and 23 years, all in average physical condition and with no acute or chronic illnesses at the time of the study, i.e., no illnesses that required a doctor-ordered sports ban. Cold-sensitive persons and persons with acute or chronic health problems or musculoskeletal injuries were excluded. The submaximal cycle ergometer test, the *Astrand-Rhyming Cycle Ergometer Test*, was used to analyze the differences in the four parameters between the two conditions with and without palmar cooling.

Descriptive methods, the Wilcoxon test, and the Chi-square test were used for statistical analysis.

Results and conclusion: The differences in the heart rate, perceived exertion, and workload between the two conditions were not statistically significant. However, the significantly lower body temperature in the palmar cooling condition confirms the potentially positive effect of palmar cooling on the consistency of aerobic physical activity.

Keywords: aerobic exercise; physiological adaptation; palmar cooling; thermoregulation

UVOD

Tjelesna aktivnost (TA) prema Svjetskoj zdravstvenoj organizaciji podrazumijeva „svaki tjelesni pokret koji proizvode skeletni mišići i koji zahtijeva potrošnju energije“ (1). Prema preporukama Svjetske zdravstvene organizacije redovita tjelesna aktivnost ključna je za održavanje zdravlja i prevenciju kroničnih bolesti, stoga se na nju treba poticati osobe svih dobnih skupina. Mnogi pojedinci koji nastoje uključiti TA u svakodnevne aktivnosti suočavaju se s izazovima, kako psihičkim, tako i fizičkim. Izazovi se javljaju u obliku osjećaja napora i posljedičnog nedostatka motivacije ili straha od neuspjeha, što često rezultira odustajanjem od daljnjeg uključivanja u TA. Iz tih razloga, kao i s ciljem poticanja TA-a, od ključne je važnosti razumijevanje fiziologije TA-a. Proučavanje fiziologije TA-a uključuje analizu reakcija na vježbanje, što predstavlja uobičajeni stresni podražaj koji zahtijeva koordinaciju svih tjelesnih sustava. Živčani sustav regulira funkcije mišićno-koštano-živčanog sustava, srčanog ritma, disanja, cirkulacije krvi te hormonalne odgovore. Mišićno-koštani sustav omogućuje izvođenje pokreta, kardiovaskularni sustav povećava opskrbu kisikom, dok respiratorni sustav održava pravilnu razmjenu plinova. Ova kompleksna integracija tjelesnih sustava ključna je za prilagodbu tijela na zahtjeve tjelesne aktivnosti (2).

Ovo istraživanje fokusira se na funkciju termoregulacijskog sustava, ključnog za održavanje homeostaze tjelesne temperature (TT) u uvjetima visokog termalnog stresa i stresogenih faktora kao što je TA. Povećanje opterećenja tijekom napora zahtijeva adekvatnu opskrbu mišića kisikom i eliminaciju rezultirajućeg CO₂. Bioenergetska pretvorba, posebno iz glukoze ili masnih kiselina, omogućava mišićima proizvodnju energije (2,3). Respiratorni sustav prilagođava mehanizme disanja za održavanje ispravne razmjene plinova. Kod osoba s normalnom funkcijom dišnog i mišićnog sustava, povećanje srčanog pulsa čini se ograničavajućim faktorom za TA (3). Tijekom TA, ravnoteža termoregulacije ima ključnu ulogu u održavanju fizičke izvedbe jer omogućuje interakciju između metaboličke proizvodnje topline i njezine razmjene s okolinom (4–6). Tijekom TA-a metabolička proizvodnja topline značajno raste, a time raste i potreba za povećanom disipacijom viška topline kako bi se izbjeglo opasno povećanje temperature tkiva. Kako bi se učinkovito uklonio višak toplinske energije tijekom vježbanja, ključne su regulacija vaskularnog tonusa kože i znojenje. Neovisno o razini aerobne spremne pojedinca, važno je izbjegavati značajan porast TT-a, jer je umor usko povezan s postizanjem povišenog, odnosno kritičnog TT-a (> 42 °C). Porast TT-a iznad bazalnih vrijednosti u mirovanju (37 °C) tijekom umjerenog TA-a kod ljudi visoke aerobne spremne povećava razinu umora te smanjuje kvalitetu i trajanje samog TA-a (7). Isto se očekuje i kod ljudi prosječne i niske tjelesne spremne. Intenzivni TA može uzrokovati porast TT-a iznad 38 °C, što mijenja aktivnost prefrontalnog područja mozga te dovodi do centralnog umora i smanjuje vrijeme do iscrpljenosti (7). Također, raniji subjektivni zamor direktno je povezan s prekomjernim porastom TT-a, što može negativno utjecati na aerobnu izvedbu (3,4,8).

Regulacija TT-a obuhvaća bihevioralne i autonomne procese (9). Bihevioralna regulacija uključuje svjesno ponašanje,

poput odabira odjeće ili mijenjanja položaja tijela, dok autonomna regulacija, koju kontrolira hipotalamus, uključuje termalnu percepciju, integraciju i učinkovite termoregulacijske odgovore. Hipotalamus, kao središnji integracijski centar, određuje optimalni TT, tzv. *set point* i aktivira mehanizme stvaranja i gubitka topline kako bi održao ravnotežu TT-a (9–11). Tijekom TA-a, autonomni odgovori, poput vazodilatacije kože i povećanog znojenja, omogućavaju učinkovitu disipaciju topline (12). Neuspjeh učinkovite disipacije topline može rezultirati smanjenjem fizičkih sposobnosti i povećanim percipiranim naporom tijekom aerobnog vježbanja, stoga je održavanje termoregulacije ključno za poboljšanje izdržljivosti i prevladavanje prepreka tjelesnoj aktivnosti (2–5).

Jedna od metoda koja se koristi za regulaciju tjelesne temperature kod aerobnog TA-a je primjena hladnih obloga s ciljem globalnog smanjivanja TT, te posljedično odgađanja rasta pulsa i smanjenja subjektivnog osjećaja napora (13). Osim lokalne disipacije topline, primjenom hladnih obloga na površini tijela, hladi se i krv što ima efekt smanjenja TT (4,14). Razumijevanje fizioloških posljedica integracije hlađenja dlanova u područje aerobnog TA-a od iznimne je važnosti za otkrivanje potencijalnih strategija za optimizaciju izvedbe i poboljšanje fizioloških i psiholoških odgovora na tjelesni napor. Palmarnim hlađenjem, tj. primjenom hladnih obloga na dlanovima, koje karakterizira obilna vaskularna mreža, postiže se brza disipacija topline, čime se održava središnji TT tijekom TA-a (10,12,14). Ovo istraživanje ima za cilj opisati i usporediti rast pulsa, percipirani napor, tjelesnu temperaturu i opterećenje tijekom aerobnog TA-a s primjenom hlađenja dlanova i bez njega, kako bi se ustanovilo može li metoda hlađenja odgoditi i smanjiti njihov rast i posljedično učiniti aerobni TA ugodnijim zbog očekivanog povećanja disipacije topline pomoću hladnih obloga. Istraživanja pokazuju kako receptori hladnoće na dlanovima mogu imati modulacijski učinak na percepciju napora (11,15–17). Aktivirajući neuronske puteve povezane sa subjektivnim osjećajem umora, hlađenje dlanova može predstavljati način za smanjenje percipiranog napora tijekom aerobnih aktivnosti (18–20). To može imati značajnu dobit pri vježbanju i samom ishodu izvedbe (19–21). Stoga, istraživanje može pridonijeti planiranju i poticanju redovitog TA kod pojedinaca koji se suočavaju s psihičkim i fizičkim barijerama zbog subjektivnog osjećaja napora.

U istraživanju je testirano pet hipoteza:

H1: Krivulje rasta pulsa, percipiranog napora i tjelesne temperature kod ispitanika imat će kasniji početak rasta u uvjetu palmarnog hlađenja nego u uvjetu bez palmarnog hlađenja.

H2: Krivulja rasta opterećenja kod ispitanika imat će raniji početak rasta u uvjetu palmarnog hlađenja nego u uvjetu bez palmarnog hlađenja.

H3: Apsolutne razlike pulsa, percipiranog napora i tjelesne temperature između početnog i završnog mjerenja kod ispitanika bit će statistički značajno veće u uvjetu bez palmarnog hlađenja nego u uvjetu palmarnog hlađenja.

H4: Apsolutna razlika opterećenja kod ispitanika između početnog i završnog mjerenja bit će statistički značajno manja u uvjetu bez palmarnog hlađenja nego u uvjetu palmarnog hlađenja.

H5: U uvjetu palrnog hlađenja statistički će značajno veći udio ispitanika moći nastaviti testiranje i u sedmoj minuti nakon isteka šeste minute testa nego u uvjetu bez palrnog hlađenja.

MATERIJALI I METODE

Ispitanici

U ovom opažajnom istraživanju sudjelovala su 23 ispitanika (11 M i 12 Ž) s medijanom dobi od 21 godine, raspona od 20 do 23 godine, bez lokomotornih teškoća i prosječne tjelesne spreme. Kriteriji isključenja bili su osjetljivost na hladnoću, sklonost ozeblinama, stanja zbog kojih je pojedincima propisana zabrana sportskih aktivnosti od strane liječnika i ozljede lokomotornog sustava. Ispitanici su odabrani prigodno, tako da je sudjelovalo prvih 24 studenata Fakulteta zdravstvenih studija Sveučilišta u Rijeci motiviranih za sudjelovanje. Istraživanje je provedeno u Atletskoj dvorani Kantrida u kolovozu 2023. godine. Sportski savez osoba s invaliditetom grada Rijeke ustupio je aparaturu potrebnu za istraživanje. Ispitanici su potpisali informirani pristanak za sudjelovanje u istraživanju. Za provedbu istraživanja dobivena je suglasnost Etičkog povjerenstva za biomedicinska istraživanja Fakulteta zdravstvenih studija u Rijeci.

Metode

Podaci su prikupljeni submaksimalnim cikloergometerskim aerobnim fitness testom *Astrand-Rhyming Cycle Ergometer Test* (Astrand test) koji je zadao računalni program cikloergometra *MONARK LC4-G3*. Prvi dio testa je dvominutno zagrijavanje na cikloergometru s otporom od 0 kpm/min (sila kojom djeluje jedan kilogram mase u standardnoj zemljinoj gravitaciji - $9,80665 \text{ m/s}^2$ po minuti) i kadencom od 40 revolucija po minuti, nakon čega ispitanik staje dok puls ne opadne na 80 do 90 otkucaja po minuti. U drugom dijelu testa ispitanik pedalira 6 minuta s početnim opterećenjem od 450 kpm/min, što predstavlja minimalno opterećenje za koje se ne očekuju razlike među spolovima vezano za prvo mjerenje spomenutih varijabli (22). U slučaju da je razlika broja otkucaja srca nakon 5 i 6 minuta manja od 5 bpm, test se nastavlja još jednu minutu po protokolu koji je zadao računalni program te postoji mogućnost da će neki ispitanici pedalirati 7 minuta. Tijekom testa prikupljani su podaci: puls, percipirani napor, tjelesna temperatura, opterećenje i ukupno vrijeme ispitivanja.

Puls ili broj otkucaja srca (bpm) mjereno je svake sekunde trakom za mjerenje otkucaja srca (Garmin HRM-Dual™).

Percipirani napor mjereno je svake minute standardiziranom Borgovom skalom percipiranog napora (23,24). Borgova skala koristi se za proučavanje stope percipiranog napora tijekom vježbanja u laboratorijskim i kliničkim okruženjima (23). Perceptivne ocjene linearno se povećavaju s opterećenjem i pulsom na cikloergometru. Skalom se mjeri subjektivni percipirani napor, na ljestvici u rasponu od 6 do 20 bodova koji se temelje na pripisivanju brojčanih vrijednosti kvalitativnim usmenim opisima osjećaja napora (od „vrlo, vrlo lagano“ do „maksimalni napor“).

Tjelesna temperatura (°C) mjerena je svake minute beskontaktnim toplomjerom (Berrcom JXB-178). Ovo je jedina odje moguća pristupna metoda mjerenja tjelesne temperature jer metoda kao što je *thermal imaging* nije bila dostupna, a aksilarna, oralna, timpanična ili rektalna metoda nisu primjenjive u ovom slučaju. Prije svakog mjerenja obrisan je znoj s čela ispitanika kako znoj ne bi utjecao na mjerenje.

Vrijednosti opterećenja (kpm/min) i trajanja testa (min) automatizirano zadaje i bilježi cikloergometar s obzirom na vitalne vrijednosti ispitanika prateći specifični protokol Astrand testa koji je zadao računalni program cikloergometra *MONARK LC4-G3*. Nakon prve minute dolazi do povećanja opterećenja od 300 kpm/min ako je puls niži od 100 bpm, odnosno do povećanja od 150 kpm/min ako je puls između 100 – 105 bpm. Nakon druge minute dolazi do povećanja opterećenja od 300 kpm/min ako je puls niži od 110 bpm i ako se povećao za manje od 10 bpm u posljednjoj minuti, odnosno do povećanja od 150 kpm/min ako je puls između 110 – 115 i ako se povećao za manje od 15 bpm u posljednjoj minuti. Nakon treće minute dolazi do povećanja opterećenja od 150 kpm/min ako je puls niži od 120 bpm i ako se povećao za manje od 5 bpm u posljednjoj minuti. Ako je razlika broja otkucaja srca nakon 5 i 6 minuta viša od 5 bpm, test se nastavlja još jednu minutu.

Astrand test primijenjen je kod svih ispitanika po dva puta u istom danu, s odmorom od 15 – 20 minuta između mjerenja. Ispitanici su nasumično podijeljeni u dvije skupine po 12 ispitanika. Prva skupina je prvi test odradila u uvjetu bez palrnog hlađenja, a drugi u uvjetu s primjenom palrnog hlađenja, dok je druga skupina odradila prvi test u uvjetu palrnog hlađenja, a drugi bez primjene palrnog hlađenja. Kako bi se osigurala kvaliteta mjerenja, u uvjetu hlađenja su se za svakog ispitanika koristili oblozi na jednakoj temperaturi. Aplicirani su standardizirani *Hartmann DermaPlast Active* ledeni oblozi. Kako bi se smanjili drugi utjecaji na oscilacije tjelesne temperature, test je proveden u klimatiziranoj prostoriji konstantne temperature zraka.

Jedan ispitanik nije mogao zbog prevelikog napora dovršiti testiranje, pa nije uvršten u analizu. Nije bilo drugih teškoća u istraživanju.

Statistička obrada podataka

Varijable puls, tjelesna temperatura, percipirani napor, opterećenje i vrijeme ispitivanja, kao i apsolutne razlike četiriju parametara između početnog i završnog mjerenja opisane su medijanom, donjim i gornjim kvartilom te rasponom. Mogućnost nastavka ispitivanja u sedmoj minuti nakon isteka šeste minute (da ili ne) opisana je apsolutnim frekvencijama i postocima. Za potrebe testiranja prve i druge hipoteze prikazani su linijski grafikoni prosječnih vrijednosti svake od navedenih varijabli u sedam mjerenja, zasebno za uvjet palrnog hlađenja i uvjet bez palrnog hlađenja, a rezultati su opisani i uspoređeni narativno. Za testiranje treće i četvrte hipoteze korišten je Wilcoxonov test, a za potrebe testiranja pete hipoteze χ^2 test, uz razinu značajnosti $p < 0,05$ za sve testove. Za statističku obradu podataka korišten je program Statistica 14.0.0.15 (TIBCO Software Inc.).

REZULTATI

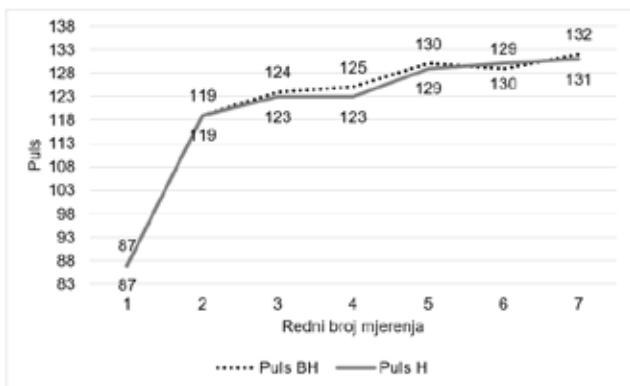
Puls, tjelesna temperatura, percipirani napor i opterećenje u dva uvjeta, bez palmarnog hlađenja (BH) i s palmarnim hlađenjem (H), mjereni su po sedam puta u svakome od dva uvjeta mjerenja.

Deskriptivni podaci o promjenama pulsa u uvjetu BH i H prikazani su u Tablici 1.

Tablica 1. Puls u uvjetu BH i H (N = 23)

Puls	Medijan (Q1, Q3)	Min-Max	Puls	Medijan (Q1, Q3)	Min-Max
BH 1	87 (79, 94)	68-119	H 1	87 (75, 98)	69-127
BH 2	119 (110, 132)	92-147	H 2	119 (108, 131)	91-148
BH 3	124 (111, 134)	104-164	H 3	123 (113, 135)	102-162
BH 4	125 (120, 140)	110-164	H 4	123 (118, 139)	110-170
BH 5	130 (123, 142)	111-170	H 5	129 (123, 140)	110-172
BH 6	129 (125, 143)	111-174	H 6	130 (125, 142)	110-174
BH 7	132 (126, 145)	114-177	H 7	131 (127, 147)	112-179

Usporedni grafički prikaz promjena pulsa u dva uvjeta prikazan je na Slici 1. Obje krivulje pokazuju rast kroz trajanje mjerenja. Početni je prosječni puls jednak u oba uvjeta. Taj se odnos kroz vrijeme više puta izmjenjuje, no vrijednosti se u svakom mjerenju neznatno razlikuju. Završno, sedmo, mjerenje pokazuje kako je puls u uvjetu BH nešto veći u odnosu na puls u uvjetu H.



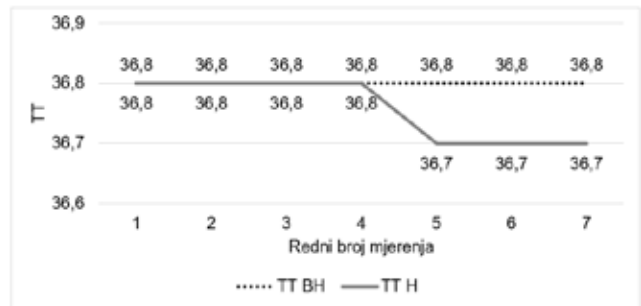
Slika 1. Usporedba krivulja rasta pulsa u uvjetu BH i u uvjetu H

Deskriptivni podaci o promjenama tjelesne temperature (TT) u uvjetu BH i H prikazani su u Tablici 2.

Tablica 2. TT u uvjetu BH i H (N = 23)

TT	Medijan (Q1, Q3)	Min-Max	TT	Medijan (Q1, Q3)	Min-Max
BH 1	36,8 (36,6, 37,2)	36,2-37,6	H 1	36,8 (36,7, 37,3)	36,4-37,9
BH 2	36,8 (36,6, 37,2)	36,2-37,6	H 2	36,8 (36,6, 37,2)	36,4-37,9
BH 3	36,8 (36,6, 37,1)	36,3-37,9	H 3	36,8 (36,7, 37,1)	36,3-37,7
BH 4	36,8 (36,7, 37,3)	36,3-37,9	H 4	36,8 (36,7, 37,2)	36,2-37,8
BH 5	36,8 (36,7, 37,2)	36,3-36,2	H 5	36,7 (36,5, 37,2)	36,2-37,8
BH 6	36,8 (36,7, 37,4)	36,2-37,9	H 6	36,7 (36,3, 37,2)	36,2-38,0
BH 7	36,8 (36,6, 37,3)	36,2-37,9	H 7	36,7 (36,3, 37,0)	36,2-38,1

Usporedni grafički prikaz promjena TT-a u dva uvjeta prikazan je na Slici 2. Do kraja četvrtog mjerenja vrijednosti su u oba uvjeta jednake, nakon čega TT u uvjetu BH postaje veći od TT-a u uvjetu H i ostaje takvim do završnog mjerenja.



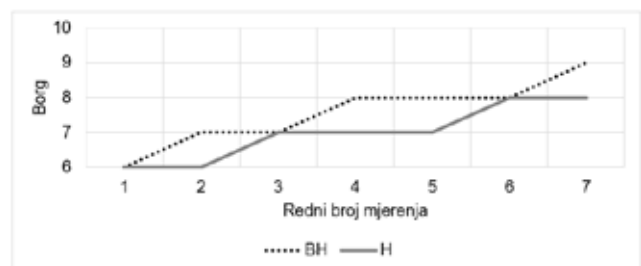
Slika 2. Usporedba krivulja rasta tjelesne temperature u uvjetu BH i H

Deskriptivni podaci o promjenama percipiranog napora u uvjetu BH i H prikazani su u Tablici 3.

Tablica 3. Percipirani napor u uvjetu BH i H (N = 23)

Borg	Medijan (Q1, Q3)	Min-Max	Borg	Medijan (Q1, Q3)	Min-Max
BH 1	6 (6, 6)	6-6	H 1	6 (6, 6)	6-6
BH 2	7 (6, 7)	6-9	H 2	6 (6, 7)	6-9
BH 3	7 (6, 8)	6-10	H 3	7 (6, 7)	6-9
BH 4	8 (7, 8)	6-10	H 4	7 (7, 8)	6-10
BH 5	8 (8, 9)	6-11	H 5	7 (7, 8)	6-11
BH 6	8 (8, 10)	6-12	H 6	8 (7, 9)	6-11
BH 7	9 (8, 11)	7-14	H 7	8 (7, 10)	6-12

Usporedni grafički prikaz promjena u percipiranom naporu u dva uvjeta prikazan je na Slici 3. Vrijednosti percipiranog napora rastu u oba uvjeta kroz trajanje mjerenja. U prvom mjerenju je napor u oba uvjeta jednak. U drugom mjerenju, u uvjetu BH vrijednost percipiranog napora raste dok u uvjetu H ostaje ista. U trećem mjerenju se krivulje ponovo susreću. Percipirani napor u uvjetu BH dalje raste, dok on u uvjetu H ostaje nepromijenjen do petog mjerenja. U završnom mjerenju je napor veći u uvjetu BH u odnosu na napor u uvjetu H.



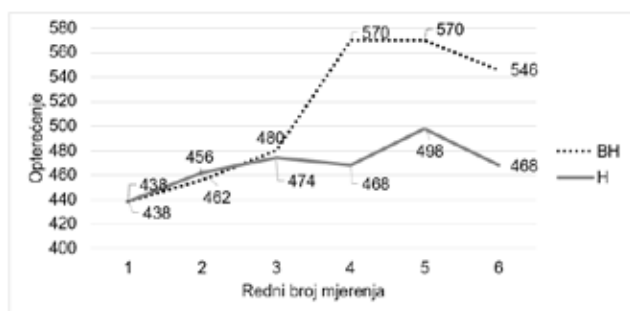
Slika 3. Usporedba krivulja rasta percipiranog napora u uvjetu BH i H

Deskriptivni podaci o promjenama opterećenja u uvjetu BH i H prikazani su u Tablici 4.

Tablica 4. Opterećenje u uvjetu BH i H (N = 23)

Opterećenje	Medijan (Q1, Q3)	Min-Max	Opterećenje	Medijan (Q1, Q3)	Min-Max
BH 1	0 (0-6)	0-18	H 1	0 (0, 0)	0-12
BH 2	438 (432, 468)	420-612	H 2	438 (432, 456)	414-504
BH 3	456 (450, 582)	432-762	H 3	462 (438, 474)	420-38
BH 4	480 (456, 630)	420-906	H 4	474 (450, 720)	426-930
BH 5	570 (438, 732)	426-918	H 5	468 (438, 762)	414-918
BH 6	570 (444, 750)	402-942	H 6	498 (438, 720)	414-900
BH 7	546 (452, 744)	413-906	H 7	468 (452, 744)	420-877

Usporedni grafički prikaz promjena opterećenja u dva uvjeta prikazan je na Slici 4. Zbog grafičkog izgleda i boljeg razumijevanja krivulja na slici nije prikazano prvo mjerenje jer je ono u oba uvjeta jednako nuli. Obje krivulje pokazuju rast do petog mjerenja, nakon čega vrijednosti opadaju. Početno je opterećenje jednako u oba uvjeta i do trećeg mjerenja se neznatno razlikuje. Nakon trećeg mjerenja vidi se skok u vrijednostima opterećenja u uvjetu BH, dok opterećenje u uvjetu H neznatno oscilira do kraja testa.



Slika 4. Usporedba krivulja rasta opterećenja u uvjetu BH i H

Radi testiranja treće i četvrte hipoteze izračunate su veličine i statistička značajnost razlika u pulsu, tjelesnoj temperaturi, percipiranom naporu i opterećenju između početnih i završnih mjerenja s obzirom na uvjet BH i H. Nisu pronađene statistički značajne razlike u veličini promjene između dvaju uvjeta mjerenja za puls, percipirani napor ni opterećenje. Promjena tjelesne temperature veća je u uvjetu H nego u uvjetu BH. Detaljni podaci o provedenim statističkim testovima prikazani su u Tablici 5.

Peta hipoteza ispitana je χ^2 testom, koristeći podatke o broju ispitanika koji su mogli i koji nisu mogli nastaviti ispitivanje u uvjetima BH (2 ispitanika nastavila) i H (4 ispitanika nastavila) u sedmoj minuti. Nije pronađena statistički značajna razlika u udjelu ispitanika koji su mogli nastaviti testiranje u sedmoj minuti između dvaju uvjeta mjerenja ($\chi^2 = 0,19, p = 0,662$).

Tablica 5. Razlike u veličini promjene pulsa, opterećenja, TT-a i napora između početnog i završnog mjerenja u uvjetu BH i H (N = 23)

	Medijan (Q1, Q3)	Wilcoxon test Z (p)
Δ puls BH	18 (7, 26)	0,065 (0,948)
Δ puls H	14 (12, 19)	
Δ TT BH	0 (-0,1, 0,1)	2,103 (0,036)
Δ TT H	-0,1 (-0,4, 0)	
Δ percipirani napor BH	2 (1, 3)	1,166 (0,235)
Δ percipirani napor H	2 (1, 3)	
Δ opterećenje BH	42 (8, 271)	0,471 (0,638)
Δ opterećenje H	54 (-6, 294)	

RASPRAVA

U ovom istraživanju opisani su i uspoređeni rast pulsa, TT-a, percipiranog napora i opterećenja tijekom aerobnog TA-a u uvjetima hlađenja (H) i bez hlađenja (BH). Također, analizirane su apsolutne razlike između početnih (na kraju prve minute testa) i završnih (na kraju šeste minute testa) mjerenja pulsa, TT-a, percipiranog napora i opterećenja u oba uvjeta. Dodatno, analiziran je broj ispitanika koji su mogli nastaviti ispitivanje i nakon šeste minute testiranja u svakom od dvaju uvjeta mjerenja.

Za razumijevanje rezultata testiranja prve i druge hipoteze ključno je analizirati varijablu opterećenja. Početne vrijednosti krivulje rasta opterećenja su jednake u oba uvjeta sve do trećeg mjerenja, nakon čega se vidi porast opterećenja u uvjetu bez hlađenja, suprotno očekivanjima. Iako se očekivalo da će puls biti niži u uvjetu H, rezultati pokazuju manje oscilacije pulsa u uvjetu BH, s češćim ispunjenjem kriterija za povećanje opterećenja. Nasuprot tome, opterećenje u uvjetu H blago oscilira do kraja testiranja, što ne potvrđuje hipotezu o većem opterećenju u tom uvjetu. Rezultati pokazuju očekivani porast pulsa tijekom mjerenja u oba uvjeta, s minimalnom razlikom u početnom mjerenju između uvjeta. Iako se odnosi pulsa mijenjaju tijekom vremena, razlike ostaju zanemarive. Završna mjerenja pokazuju neznatno veći puls u uvjetu BH (Medijan = 132) u usporedbi s uvjetom H (Medijan = 131), a razlike između početnog i završnog pulsa u uvjetu BH nisu velike. To može biti rezultat malih varijacija u osjetljivosti na hlađenje u malom uzorku ispitanika. Također je moguće da odabrani test nije značajno utjecao na puls većine ispitanika zbog kratkog trajanja te male razlike u opterećenju kod prvog i posljednjeg mjerenja. Što se tiče TT-a, u početnom mjerenju vrijednosti su jednake u uvjetu BH i uvjetu H. Od završetka trećeg mjerenja TT-a u uvjetu BH vrijednost je veća od one u uvjetu H. Unatoč neočekivanom padu TT-a u uvjetu H i izostanku očekivanog porasta TT-a u uvjetu BH, opaža se manji TT u uvjetu H nego u uvjetu BH na kraju testiranja. Ovi rezultati u skladu su s rezultatima istraživanja iz 2012. godine o učinku periodičnog palmarnog hlađenja na volumen i izvedbu treninga snage i izdržljivosti. Radi usporedbe s našim rezultatima, ovdje ćemo opisati samo dio rezultata tog istraživanja koji se odnose na aerobnu aktivnost i koji pokazuju da je hlađenje dlanova tijekom vježbanja na traci u trajanju od 16 minuta doprinijelo manjem porastu središnjeg TT-a u završnom mjerenju ($38,4 \pm 0,2^\circ\text{C}$ uz hlađenje dlanova, $39,0 \pm 0,1^\circ\text{C}$ bez hlađenja, $p < 0,01$) (25).

U istraživanju su početne vrijednosti percipiranog napora bile jednake u oba uvjeta. U uvjetu H napor je počeo rasti kasnije. Na kraju je napor bio veći u uvjetu BH, ali razlika između početnog i završnog mjerenja nije bila statistički značajna. Ispitanici nisu doživjeli prekomjernu nelagodu, odnosno nisu prešli stupanj „vrlo lagano“ prema Borgovoj skali tijekom testa ni u jednom od uvjeta (23). Ovo ukazuje na to da možda odabrani test nije bio dovoljno izazovan za ispitivanje razlika u percipiranom naporu između uvjeta zbog ranije spomenutog kratkog trajanja testa ili premalenog ostvarenog povećanja opterećenja. Ovi su rezultati slični rezultatima istraživanja iz 2017. godine o učinku palmarnog hlađenja na TT te kardiovaskularne i perceptivne reakcije tijekom ležećeg bicikliranja, gdje nije opažena statistički značajna razlika u prosječnom percipiranom naporu između dvaju uvjeta (26). Iako naši rezultati nisu potvrdili hipotezu, ipak ukazuju na postojanje razlika u percipiranom naporu koje, unatoč izostanku statističke značajnosti, treba uzeti u obzir.

Rezultati testiranja treće i četvrte hipoteze ukazuju na nepostojanje statistički značajnih razlika u veličini promjena u pulsu, percipiranom naporu i opterećenju između početnih i završnih mjerenja u uvjetu BH i H. Sukladno očekivanome, veličina promjene pulsa veća je u uvjetu BH nego u uvjetu H, a veličina promjene opterećenja manja je u uvjetu BH nego u uvjetu H, no ove razlike nisu statistički značajne. Veličina promjene percipiranog napora jednaka je u dva uvjeta mjerenja. Jedina značajna razlika u veličini promjene zabilježena je u TT-u, gdje je promjena bila veća u uvjetu H u usporedbi s uvjetom BH. Takvi rezultati sugeriraju potrebu pažljivog odabira metoda za mjerenje varijabli. U usporedbi s ostalim istraživanjima koja su pokazala značajnu razliku u vrijednostima, ovdje korišten test nije bio dovoljno intenzivan i dugotrajan, što je rezultiralo izostankom statistički značajnog porasta pulsa, percepcije napora i tjelesne temperature (19–21,27).

Rezultati testiranja pete hipoteze ne pokazuju statistički značajnu razliku između uvjeta BH i H u broju ispitanika koji su mogli nastaviti ispitivanje u sedmoj minuti. U istraživanju iz 2005. godine o učinku palmarnog hlađenja na jednoj ruci za vrijeme aerobnog TA-a pokazuje se značajan utjecaj palmarnog hlađenja na povećanje trajanja TA-a i to za 43 %, s $32,3 \pm 1,7$ na $46,1 \pm 3,4$ minuta u uvjetu H (28).

Iako su u našem istraživanju sudjelovali zdravi i po dobi slični ispitanici, druge varijable, kao što su trenutno opće zdravstveno stanje ispitanika ili fizička priprema, mogle su utjecati na rezultate. Naše istraživanje nije planirano kao eksperimentalno zbog ograničenih resursa, što podrazumijeva određena ograničenja zaključivanja iz njegovih rezultata. Ipak, iako nema jasne statističke potvrde većine hipoteza, rezultati pružaju važan uvid u interakciju između palmarnog hlađenja i promjena u metabolizmu tijekom aerobnog TA-a. Rezultati postavljaju temelj za daljnje istraživanje dinamike ovih interakcija. Iako su neki rezultati bili neočekivani, njihova daljnja analiza može imati važne implikacije na zdravlje, sportsku izvedbu i terapijske svrhe.

Nakon analize različitih istraživanja o učinkovitosti palmarnog hlađenja tijekom TA-a, koja su potvrdila pozitivan učinak ove intervencije na smanjenje mjerenih parametara, postalo je jasno da rezultati ovakvih istraživanja ovise o načinu provedbe testiranja i obilježjima ispitanika. Na primjer, u istraživanju iz 2005. godine o učinku palmarnog hlađenja za vrijeme aerobnog TA-a na bicikli, TT se, u usporedbi s početnim mjerenjem, povećao za $1,8 \pm 0,2^\circ\text{C}$ u uvjetu BH, dok se u

uvjetu H povećao za $1,2 \pm 0,2^\circ\text{C}$ ($p < 0,01$) (18). Istraživanje iz 2005. godine o utjecaju palmarnog hlađenja jedne ruke na duljinu aerobnog TA, pokazuje da je kontinuirano uklanjanje toplinske energije unaprijedilo izvedbu, s testiranjima koja su trajala 50 – 70% duže u uvjetu H (28). Rezultati istraživanja iz 2013. godine o utjecaju palmarnog hlađenja na aerobnu izvedbu trkača pokazuju kako nema značajnih razlika u brzini promjene pulsa i TT-a u uvjetima H i BH tijekom prvih 14 minuta testa, ukazujući na važnost trajanja samog testa (29). Nadalje, za razumijevanje dobivenih rezultata važno je uzeti u obzir istraživanja koja ukazuju na važnost tipa TA-a, kao i modaliteta i same lokacije primjene hlađenja. Istraživanje iz 2012. godine, o učinkovitosti palmarnog hlađenja na anaerobni i aerobni TA pokazuje da je palmarno hlađenje učinkovita strategija za povećanje volumena treninga snage (25). Ukupan broj ponavljanja tijekom treninga sklekova s hlađenjem dlanova povećao se sa 134 na 298, dok nije bilo značajne promjene u ukupnom broju ponavljanja u uvjetu BH (sa 180 na 188) (25). Drugi primjer istraživanja utjecaja palmarnog hlađenja na anaerobni TA, odnosno izvedbu treninga snage, je istraživanje iz 2010. godine koje također daje značajne rezultate (30). Promjene u pulsu bile su značajno različite između uvjeta H i BH (108 ± 26 bpm; 112 ± 26 bpm; $p < 0,05$) tijekom anaerobnog TA-a. Također, prosječno opterećenje u uvjetu H bilo je značajno veće u usporedbi s uvjetom BH (2479 ± 636 kg; 2156 ± 668 kg; $p < 0,01$) (30). Istraživanje iz 2011. godine ukazuje da drugi modalitet hlađenja također ima učinak na aerobnu izvedbu kod trkača. Nošenje hladnog ovratnika rezultiralo je značajno većom pretrčanom udaljenosti (2976 ± 489 metara) u usporedbi s uvjetima bez ovratnika (2823 ± 579 metara; $p = 0,041$) i s neohladenim ovratnikom (2674 ± 532 metara; $p = 0,008$) (31).

U konačnici, dobiveni rezultati mogu pružiti temelj za daljnja istraživanja s ciljem razvoja strategija optimizacije TA-a, terapije i sportske izvedbe. Cilj je bio analizirati fiziološke i perceptivne reakcije tijela, kako bi se bolje razumjelo na koji način palmarno hlađenje utječe na različite varijable tijekom TA-a. Jedan od najznačajnijih rezultata bilo je snižavanje TT-a u uvjetu H, dok je izostao rast TT-a u uvjetu BH. To ukazuje na potencijalni utjecaj palmarnog hlađenja na termoregulacijske procese tijekom aerobnog TA-a. Iako su neki rezultati suprotni početnim očekivanjima, ovo istraživanje pruža vrijedne informacije o prilagodabama tijela na uvjete s palmarnim hlađenjem tijekom TA-a. Palmarno hlađenje ima složen utjecaj na fiziološke i perceptivne reakcije tijela tijekom aerobnog TA-a. Daljnje istraživanje s većim brojem ispitanika, eksperimentalnim dizajnom, dužim testiranjem i raznolikim modalitetima TA-a i metodama mjerenja parametara fiziološkog odgovora moglo bi produbiti razumijevanje tih kompleksnih interakcija i na taj način značajno utjecati na tjelesnu izvedbu.

ZAHVALE

Autori zahvaljuju svim ispitanicima koji su sudjelovali u ovom istraživanju, Atletskoj dvorani Kantrida te Sportskom savezu osoba s invaliditetom grada Rijeke koji je ustupio aparaturu potrebnu za istraživanje.

LITERATURA

1. World Health Organization. World Health Organization. Physical activity. 2022; Dostupno na URL adresi:

- <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/physical-activity>. Datum pristupa 17. kolovoza 2023.
2. Hall JE, Hall ME. Guyton and Hall textbook of medical physiology e-Book [Internet]. Philadelphia: Elsevier Health Sciences; 2020. [citirano: 16. kolovoza 2023]. [str. 621-632, 912-914] Dostupno na: [https://repository.poltekkes-kaltim.ac.id/1147/1/Guyton%20and%20Hall%20Textbook%20of%20Medical%20Physiology%20\(%20PDFDrive%20\).pdf](https://repository.poltekkes-kaltim.ac.id/1147/1/Guyton%20and%20Hall%20Textbook%20of%20Medical%20Physiology%20(%20PDFDrive%20).pdf)
 3. Patel PN, Zwibel H. Physiology, Exercise. [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024. [citirano: 17. kolovoza 2023]. Dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK482280/>
 4. Pitoni S, Sinclair HL, Andrews PJ. Aspects of thermoregulation physiology. *Curr Opin Crit Care*. 2011;17(2):115-21.
 5. Tansey EA, Johnson CD. Recent advances in thermoregulation. *Adv Physiol Educ*. 2015;39(3):139-48.
 6. Rowland T. Thermoregulation during exercise in the heat in children: old concepts revisited. *J Appl Physiol*. 2008;105(2):718-24.
 7. Martínez-Sobrino J, Leibar X, Calleja-González J, del Campo-Vecino J. Effects of heat on performance in resistance sports in the various intensity-duration domains. *Archivos de Medicina del Deporte*. 2022;39(1):41-9.
 8. Timme S, Brand R. Affect and exertion during incremental physical exercise: Examining changes using automated facial action analysis and experiential self-report. *PLoS One*. 2020;15(2):e0228739. doi: 10.1371/journal.pone.0228739.
 9. Schlader ZJ, Vargas NT. Regulation of body temperature by autonomic and behavioral thermoeffectors. *Exerc Sport Sci Rev*. 2019;47(2):116-26.
 10. Romanovsky AA. Thermoregulation: some concepts have changed. Functional architecture of the thermoregulatory system. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2007;292(1):R37-46.
 11. González-Alonso J. Human thermoregulation and the cardiovascular system. *Exp Physiol*. 2012;97(3):340-6.
 12. Wong BJ, Hollowed CG. Current concepts of active vasodilation in human skin. *Temperature*. 2016;4(1):41-59.
 13. Wendt D, Van Loon LJC, Marken Lichtenbelt WD. Thermoregulation during exercise in the heat: strategies for maintaining health and performance. *Sports Med*. 2007;37(8):669-82.
 14. Lim CL. Fundamental concepts of human thermoregulation and adaptation to heat: a review in the context of global warming. *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17(21):7795. doi: 10.3390/ijerph17217795.
 15. Wingo JE, Low DA, Keller DM, Brothers RM, Shibasaki M, Crandall CG. Skin blood flow and local temperature independently modify sweat rate during passive heat stress in humans. *J Appl Physiol*. 2010;109(5):1301-6.
 16. Périard JD, Racinais S, Sawka MN. Adaptations and mechanisms of human heat acclimation: applications for competitive athletes and sports. *Scand J Med Sci Sports*. 2015;25 (Suppl 1) 20-38.
 17. Lim CL, Byrne C, Lee JK. Human thermoregulation and measurement of body temperature in exercise and clinical settings. *Ann Acad Med Singap*. 2008;37(4):347-53.
 18. Hsu AR, Hagobian TA, Jacobs KA, Attallah H, Friedlander AL. Effects of heat removal through the hand on metabolism and performance during cycling exercise in the heat. *Can J Appl Physiol*. 2005;30(1):87-104.
 19. Douzi W, Dugue B, Vinches L, Al Sayed C, Halle S, Bosquet L, i ostali. Cooling during exercise enhances performances, but the cooled body areas matter: A systematic review with meta-analyses. *Scand J Med Sci Sports*. 2019;29(11):1660-76.
 20. Douzi W, Dupuy O, Theurot D, Smolander J, Dugué B. Per-cooling (Using cooling systems during physical exercise) enhances physical and cognitive performances in hot environments. a narrative review. *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17(3):1031. doi: 10.3390/ijerph17031031.
 21. Bongers CC, Thijssen DH, Veltmeijer MT, Hopman MT, Eijsvogels TM. Precooling and percooling (cooling during exercise) both improve performance in the heat: a meta-analytical review. *Br J Sports Med*. 2015;49(6):377-84.
 22. Garcin M, Fleury A, Mille-Hamard L, Billat V. Sex-related differences in ratings of perceived exertion and estimated time limit. *Int J Sports Med*. 2005;26(08):675-81.
 23. Hewitt J. Allied Health Group Resource. 2021 [citirano 17. kolovoz 2023.]. Borg scale of percived exertion . Dostupno na: https://www.health.gov.au/sites/default/files/images/publications/2021/05/allied-health-professional-resource-for-group-therapy-borg-scale_0.jpg
 24. Borg G. Psychophysical scaling with applications in physical work and the perception of exertion. *Scand J Grahn DA, Cao VH, Nguyen CM, Liu MT, Heller HC. Work volume and strength training responses to resistive exercise improve with periodic heat extraction from the palm. J Strength Cond Res*. 2012;26(9):2558-69.
 25. Ruddock AD, Tew GA, Purvis AJ. Effect of hand cooling on body temperature, cardiovascular and perceptual responses during recumbent cycling in a hot environment. *J Sports Sci*. 2017;35(14):1466-74.
 26. Adams EL, Vandermark LW, Pryor JL, Pryor RR, VanScoy RM, Denegar CR, i ostali. Effects of heat acclimation on hand cooling efficacy following exercise in the heat. *J Sports Sci*. 2017;35(9):828-34.
 27. Grahn DA, Cao VH, Heller HC. Heat extraction through the palm of one hand improves aerobic exercise endurance in a hot environment. *J Appl Physiol*. 2005;99(3):972-8.
 28. Scheadler CM, Saunders NW, Hanson NJ, Devor ST. Palm cooling does not improve running performance. *Int J Sports Med*. 2013; 34(8):732-5.
 29. Kwon YS, Robergs RA, Kravitz LR, Gurney BA, Mermier CM, Schneider SM. Palm cooling delays fatigue during high-intensity bench press exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 2010;42(8):1557-65.
 30. Minniti A, Tyler CJ, Sunderland C. Effects of a cooling collar on affect, ratings of perceived exertion, and running performance in the heat. *Eur J Sport Sci*. 2011;11(6):419-29.