

SVEUČILIŠTE U SPLITU

Podružnica

SVEUČILIŠNI ODJEL ZDRAVSTVENIH STUDIJA

SVEUČILIŠNI PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ

Fizioterapija

Luka Pecotić

**UTJECAJ HLAĐENJA EKSTREMITETA NA
IZDRŽLJIVOST U PROFESIONALNIH DŽUDO
SPORTAŠA**

Završni rad

Split, 2023.

SVEUČILIŠTE U SPLITU

Podružnica

SVEUČILIŠNI ODJEL ZDRAVSTVENIH STUDIJA

SVEUČILIŠNI PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ

Fizioterapija

Luka Pecotić

**UTJECAJ HLAĐENJA EKSTREMITETA NA
IZDRŽLJIVOST U PROFESIONALNIH DŽUDO
SPORTAŠA**

**THE EFFECT OF EXTREMITY COOLING ON THE
ENDURANCE OF PROFESSIONAL JUDO ATHLETES**

Završni rad/Bachelor's Thesis

Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Joško Božić, dr. med.

Split, 2023.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

ZAVRŠNI RAD

Sveučilište u Splitu

Sveučilišni odjel zdravstvenih studija

Prijediplomski studij fizioterapija

Znanstveno područje: Biomedicina i zdravstvo

Znanstveno polje: Kliničke medicinske znanosti

Mentor: Izv. prof. dr. sc. Joško Božić, dr. med.

UTJECAJ HLAĐENJA EKSTREMITETA NA IZDRŽLJIVOST U PROFESIONALNIH DŽUDO SPORTAŠA

Luka Pecotić

SAŽETAK

Cilj istraživanja: Utvrditi utjecaj hlađenja središnje tjelesne temperature korištenjem rukavica za hlađenje na mišićnu izdržljivost u profesionalnih džudaša.

Ispitanici i postupci: U istraživanje je ukupno uključeno 7 profesionalnih džudaša. Istraživanje je provedeno kao randomizirano, križno ispitivanje koje se sastojalo od dva treninga na zračnom biciklu. Svaki trening sastojao se od četiri serije s trominutnim periodom odmora. U periodima odmora u jednom od treninga ispitanici su koristili CoolMitt® rukavicu za hlađenje, a u drugom za vrijeme odmora nije korištena nikakva tehnologija. Glavni ishod istraživanja bio je ukupni volumen treninga.

Rezultati: Prosječna dob sedam profesionalnih džudaša (2 žene i 5 muškaraca) bila je $23,0 \pm 4,7$ godina, a prosječno vrijeme treniranja džuda bilo je $16,6 \pm 3,9$ godina. Profesionalni džudaši ostvarili su ukupno veći volumen treninga ako su u pauzama koristili rukavice za hlađenje, nego ako iste nisu koristili ($37,2$ ($28,6 - 50,4$) kJ vs. $35,1$ ($27,0 - 41,6$) kJ, $p = 0,016$). Profesionalni džudaši u prosjeku nisu dulje vremena održali intenzitet vježbe na barem 85% RM1 u niti jednoj od serija ako su u pauzama koristili rukavice za hlađenje, nego ako iste nisu koristili ($p = 0,652$). Nadalje ispitanici su percipirali svaku seriju tjelovježbe kao podjednako umarajuću neovisno o tome jesu li trening radili s ili bez rukavice za hlađenje ($p = 0,422$). U džudaša koji imaju bolje sportske uspjehe nije uočena razlika u volumenu treninga uslijed korištenja rukavice u odnosu na džudaše s lošijim sportskim uspjesima ($34,0$ ($25,1 - 48,7$) kJ vs. $36,9$ ($35,1 - 40,1$) kJ, $p = 0,949$).

Zaključak: Korištenje rukavica za hlađenje povećalo je ukupni volumen treninga na zračnom biciklu u profesionalnih džudaša, a percipirani umor nije pokazao ovisnost o primjeni rukavice za hlađenje.

Ključne riječi: džudo, hlađenje, izdržljivost, profesionalni sportaši

Rad sadrži: 45 stranica, 11 slika, 1 tablica, 43 literaturnih referenci

Jezik izvornika: hrvatski

BASIC DOCUMENTATION CARD

BACHELOR THESIS

University of Split

University Department for Health Studies

Bachelor of Physiotherapy

Scientific area: Biomedicine and health care

Scientific field: Clinical medical sciences

Supervisor: Assoc. prof. Joško Božić, MD, PhD

THE EFFECT OF EXTREMITY COOLING ON THE ENDURANCE OF PROFESSIONAL JUDO ATHLETES

Luka Pecotić

SUMMARY

Objectives: To determine the effect of cooling on the core body temperature using cooling gloves on muscular endurance in professional judo athletes.

Subjects and methods: A total of 7 professional judo athletes were included in the research. The research was conducted as a randomized, crossover trial consisting of two training sessions on an air bike. Each workout consisted of four sets with a three-minute rest period. During the rest periods in one of the training sessions, the test subjects used a CoolMitt® glove for cooling, and in the other during the rest period, no technology was used. The main outcome of the study was the total training volume.

Results: The average age of seven professional judo athletes (2 women and 5 men) was 23.0 ± 4.7 years, and the average time of judo training was 16.6 ± 3.9 years. Professional judo athletes achieved a higher overall training volume if they used cooling gloves during breaks than if they did not (37.2 ($28.6 - 50.4$) kJ vs. 35.1 ($27.0 - 41.6$) kJ, $p = 0.016$). Professional judo athletes did not maintain the exercise intensity at least 85% of RM1 for a longer time in any of the sets if they used cooling gloves during the breaks than if they did not use them ($p = 0.652$). Furthermore, the subjects perceived each exercise series as equally tiring, regardless of whether they did the training with or without a cooling glove ($p = 0.422$). In judo athletes who have better sports success, no difference in training volume due to the use of gloves was observed in comparison to judo athletes with worse sports success (34.0 ($25.1 - 48.7$) kJ vs. 36.9 ($35.1 - 40, 1$) kJ, $p = 0.949$).

Conclusions: The use of cooling gloves increased the total training volume on the air bike in professional judo athletes, and perceived fatigue did not show dependence on glove use.

Keywords: cooling, endurance, judo, professional athletes

Thesis contains: 45 pages, 11 figures, 1 table, 43 references

Original in: Croatian

Sadržaj

SADRŽAJ	III
1. UVOD.....	1
1.1. FIZIOLOGIJA MIŠIĆNE KONTRAKCIJE.....	1
1.1.1. Struktura mišića	1
1.1.2. Kontrakcija mišića	3
1.1.3. Ekscitacija mišića	8
1.2. ENERGETIKA I ZAMOR MIŠIĆA.....	11
1.2.1. Energetika mišića	11
1.2.2. Zamor mišića	12
1.3. UTJECAJ TRENINGA NA MIŠIĆNU FUNKCIJU.....	13
1.3.1. Trening otpora, osnovna načela i koncept	13
1.3.2. Vrste otpora u treningu	14
1.4. COOLMITT® TEHNOLOGIJA.....	17
2. CILJEVI I HIPOTEZE.....	20
3. ISPITANICI I POSTUPCI.....	21
3.1. ISPITANICI I KRITERIJI UKLJUČENJA/ISKLJUČENJA	21
3.2. POSTUPCI	21
3.3. STATISTIČKA ANALIZA	24
4. REZULTATI.....	25
5. RASPRAVA.....	29
6. ZAKLJUČAK.....	33
7. LITERATURA.....	34
8. ŽIVOTOPIS.....	39

Zahvala

Zahvaljujem svom mentoru izv. prof. dr. sc. Jošku Božiću i dr. sc. Marku Kumriću, dr. med. na strpljenju, vremenu, pomoći i savjetovanju prilikom izrade ovoga rada.

Zahvalan sam na svakoj sekundi provedenoj s vama, jer je uistinu bilo jedinstveno i neponovljivo iskustvo. Nadam se da je ovo tek početak jedne profesionalne suradnje, ali najvažnije od svega i velikog prijateljstva.

Hvala džudo klubu „Student“ iz Splita i svim njegovim sportašicama i sportašima što su pristali sudjelovati u ovom istraživanju.

Zahvaljujem svojoj obitelji i prijateljima na nesebičnoj podršci i ljubavi koja me pratila na ovom životnom putu. Posebno hvala mom didu koji bi sigurno bio najponosniji čovik na svitu i čiji mi osmjeh i prisustvo najviše nedostaje.

Najzahvalniji sam svojoj majci koja me od samih početaka bodrila, podržavala, a ponekad i s pravom kritizirala, ali sve u namjeri da postignem najviše ciljeve.

Neizmjerne sam sretan što je imam jer bez nje ne bi bio ni upola čovjek, a kamo li fizioterapeut kakav se nadam jednog dana biti.

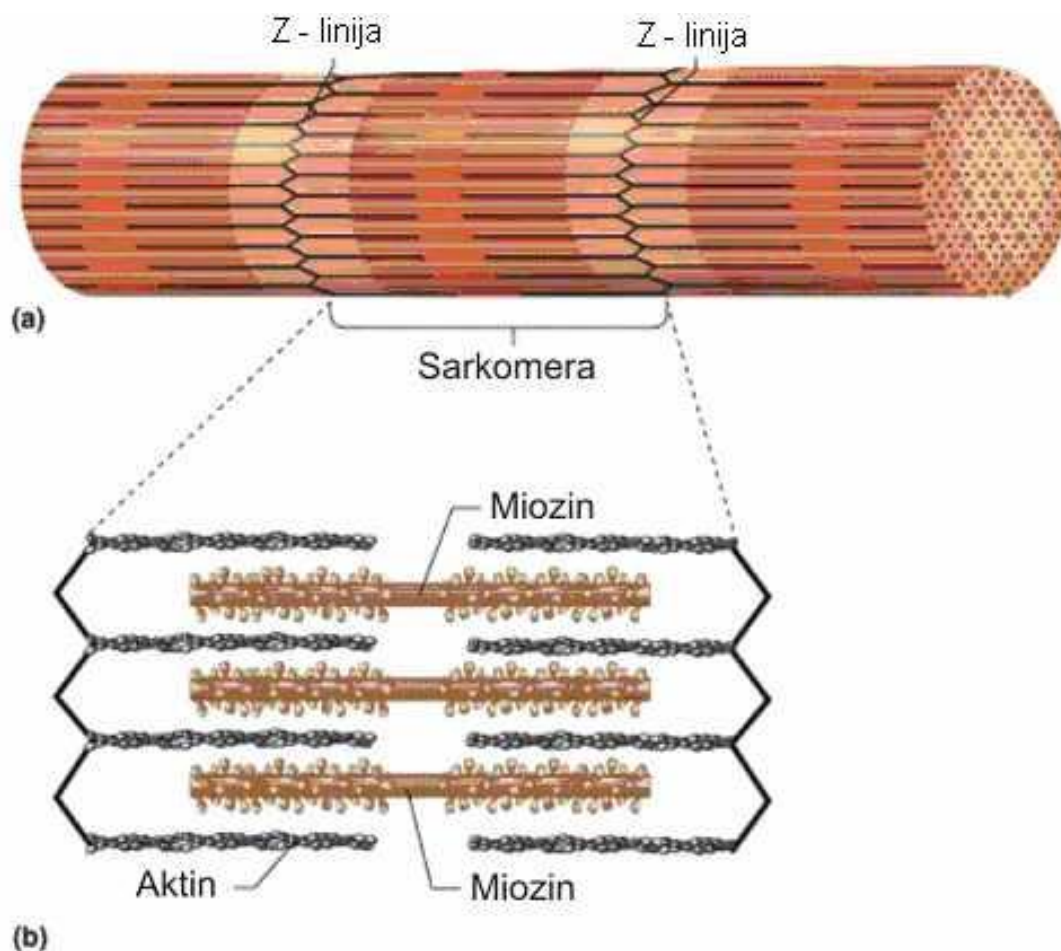
1. UVOD

1.1. FIZIOLOGIJA MIŠIĆNE KONTRAKCIJE

1.1.1. Struktura mišića

Ljudski lokomotorni sustav sastoji se od skeletnog i mišićnog dijela, od čega oko 40% tjelesne mase zauzima skeletno mišićje, dok srčano i glatko mišićje čine 10% (1). Svaki skeletni mišić sastavljen je od mnogobrojnih vlakana, prosječnog promjera 10 do 80 μm (1). Nadalje, svako od tih vlakana ima svoje podjedinice. Gotovo svako vlakno inervira jedan živčani završetak, koji se nalazi blizu njegovog središnjeg dijela te se u većine skeletnih mišića vlakna protežu čitavom dužinom mišića. Arhitektura mišićnih vlakana nije fiksna nego se dinamički mijenja tijekom kontrakcije. Moderne ultrazvučne metode mogu vizualizirati ravninu vlakana i tetivnog tkiva za koje se vežu, a uz to pružaju sliku dinamične mišićne arhitekture *in vivo* (2). U novije vrijeme koristi se izraz prijenosni omjer mišića (engl. *architectural gear ratio*, „AGR“), koji se definira kao omjer skraćanja mišića i skraćanja mišićnih vlakana (2). Mišićni prijenos podliježe istim principima kao bilo koji drugi prijenosni sustav, a to znači da se povećanje brzine događa na račun smanjenja sile. U mišićima sa većim omjerom prijenosa (AGR), koji nastaju uslijed rotacije mišićnih vlakana, sila koja se stvara na zglobu manja je od ukupne sile koju stvaraju vlakna. Stoga, način na koji mišići mijenjaju svoj oblik tijekom kontrakcije temelji se na brzini i snazi mišića (2). Složena interakcija između brojnih dijelova skeletnog mišićja oblikuje njihove mehaničke izvedbe. Interakcija između aktina i miozina ključan je fiziološki mehanizam u mišićnoj kontrakciji, no novije spoznaje o trodimenzionalnom prikazu mišićne kontrakcije ukazuju da i brojne druge strukture mišića (kolagenska vlakna, tekućina i prijenosni omjer mišića) utječu na brzinu i snagu mišićne kontrakcije (2). Skeletno mišićno vlakno ima tanku membranu koja ga oblaže, a naziva se sarkolema (1). Sastoji se od dva dijela, takozvane plazmatske membrane ili prave stanične membrane te od polisaharidne tvari, koja sadrži mnoga tanka kolagenska vlakna i čini tanki vanjski sloj. U svim završetcima mišićnih vlakana tetivno vlakno se spaja s vanjskim slojem sarkoleme. Zatim, tetivna se vlakna vežu u snopove te nadalje tvore tetive mišića, da bi u konačnici spajale okolne kosti s pojedinim mišićem. Sva mišićna vlakna imaju između nekoliko stotina i nekoliko tisuća miofibrila, a grade ih aktinske i miozinske niti. Aktinske su niti tanje i u svakoj miofibrili ih ima 3000, dok su

miozinske niti deblje te ih ima oko 1500, a upravo su te velike polimerizirane proteinske molekule zadužene za mišićnu kontrakciju (1). U miofibrilama možemo naizmjenično vidjeti svijetle i tamne pruge, zbog toga što aktinske i miozinske niti djelomično ulaze jedne među druge (Slika 1).



Slika 1. Građa sarkomere skeletnog mišića. (Preuzeto i prilagođeno prema: Roberts TJ, Eng CM, Sleboda DA, Holt NC, Brainerd EL, Stover KK, Marsh RL, Azizi E. The Multi-Scale, Three-Dimensional Nature of Skeletal Muscle Contraction. *Physiology* (Bethesda). 2019;34(6):402-8.)

Svijetle pruge ili I-pruge imaju samo aktinske niti te su izotropne za polariziranu svjetlost. S druge strane tamne pruge, odnosno A-pruge anizotropne su za polariziranu svjetlost i imaju miozinske niti te krajeve aktinskih koje su preklopljene s miozinskim (1). Miozinske niti imaju takozvane poprečne mostove, odnosno male izdanke čijim međusobnim djelovanjem s aktinskim nitima dolazi do kontrakcije. Još jedna od struktura unutar mišića je Z-ploča, koja je građena od različitih nitastih bjelančevina u odnosu na

prethodno spomenute aktinske i miozinske niti. Z-ploča povezuje susjedne miofibrile tako što prolazi od jedne do druge, ali i poprečno kroz samu miofibrilu. To je razlog zašto cijelo mišićno vlakno, baš kao i pojedine miofibrile, ima svijetle i tamne pruge, što u konačnici rezultira tome da srčani i skeletni mišići imaju prugasti izgled. Prostor između dviju susjednih Z-ploča zove se sarkomera i u kontrahiranom mišićnom vlaknu ima duljinu od oko 2 μm , te se pri toj dužini aktinske i miozinske niti potpuno preklapaju, dok se vrhovi aktinskih niti tek počinju međusobno preklapati (1). Važno je za istaknuti da mišić razvija najjaču silu kontrakcije upravo pri toj dužini. Za stabilan usporedni položaj aktinskih i miozinskih niti odgovorna je jedna od najvećih bjelančevinskih molekula u tijelu, titin. To je velik, elastičan protein, a proteže se između Z-linije, kroz pola I-trake i preko debele niti završava na M-liniji (3). Zbog svoje gipkosti molekule titina omogućuju kontrakciju sarkomere, tako što služe kao okosnica za pridržavanje aktinskih i miozinskih niti u potrebnom položaju. Sastoji se od dva kraja od čega je onaj elastični povezan sa Z-pločom, kako bi moglo doći do promjene dužine tijekom relaksacije i kontrakcije sarkomere, dok drugi kraj ostaje čvrsto povezan s miozinskom niti. Kako bi se osigurao pravilan i dugotrajan rad mišića između miofibrila nalazi se unutarstanična tekućina, sarkoplazma. Sarkoplazma sadrži mnoge bjelančevinske enzime te kalij, magnezij i fosfat, a uz to i vrlo velik broj mitohondrija, koji opskrbljuju miofibrile energijom iz molekula adenozin-trifosfata (ATP). Unutar sarkoplazme nalazi se endoplazmatska mrežica posebne građe, koja ima ulogu u kontroli skladištenja, oslobađanja i ponovnog unosa kalcija te mišićne kontrakcije (1).

1.1.2. Kontrakcija mišića

1.1.2.1. Osnovni mehanizmi mišićne kontrakcije

Za pravilno poticanje i tijek mišićne kontrakcije potreban je odgovarajući redosljed. Prvi korak je da akcijski potencijal stigne do završetka motoričkog živca na mišićnim vlaknima (1). Na tom mjestu luči se mala količina neurotransmitera acetilkolina, koji djeluje lokalno na membranu mišićnog vlakna tako što regulira otvaranje kationskih kanala, koji su transmembranski proteini membrane. Slijedi otvaranje kanala, koji su regulirani ligandom acetilkolinom, da bi došlo do difuzije velikih količina natrijevih iona unutar membrane vlakna, što izaziva lokalnu depolarizaciju te se

time postiže otvaranje natrijskih kanala reguliranih naponom. Ovakav slijed događaja rezultira stvaranjem akcijskog potencijala na membrani. Taj se isti potencijal zatim širi duž membrane vlakna mišića identično kao i uzduž membrane živčanog vlakna. Zatim dolazi do depolarizacije mišićne membrane, a time kroz središte mišićnog vlakna prođe veliki dio električne struje akcijskog potencijala. Kalcijevi ioni služe pri pojavi privlačnih sila između miozinskih i aktinskih niti, izazivajući kontraktilni proces tako što dovode do njihovog međusobnog klizanja (1,4). U konačnici nakon djelića sekunde kalcijevi ioni se vraćaju u sarkoplazmatsku mrežicu putem membranske kalcijске crpke i tamo se pohranjuju do dolaska novog akcijskog potencijala. Ovim postupkom uklanjanja kalcijevih iona iz miofibrila završava proces mišićne kontrakcije (1,4).

1.1.2.2. Molekularni mehanizam mišićne kontrakcije

Kada se mišić nalazi u relaksiranom stanju njegovi krajevi aktinskih niti, smještenih između dviju susjednih Z-ploča, vrlo se malo preklapaju. S druge strane, kada se nalazi u kontrahiranom stanju, aktinske su niti uvučene među miozinske, zbog čega se njihovi krajevi međusobno više preklapaju (1). Zatim aktinske niti privlače Z-ploče put krajeva miozinskih niti. To je mehanizam klizanja niti prilikom kojeg dolazi do mišićne kontrakcije. Ipak, potrebno je shvatiti uzrok međusobnog klizanja aktinskih i miozinskih niti. Naime, riječ je o silama koja nastaju međusobnim djelovanjem njihovih poprečnih mostova. U stanju mirovanja tih sila nema, no pojavom i širenjem akcijskog potencijala duž mišićnog vlakna, doći će do otpuštanja značajne količine već spomenutih kalcijevih iona iz sarkoplazmatske mrežice. Oni zatim započnu kontrakciju okružujući miofibrile i aktiviranjem sila između aktinskih i miozinskih niti. Da bi se ovaj proces mogao odvijati više puta potrebna je energija, koja potječe iz molekula ATP-a, a one se nadalje razlažu na adenozin-difosfat (ADP) te se u tom procesu oslobađa potrebna energija (1).

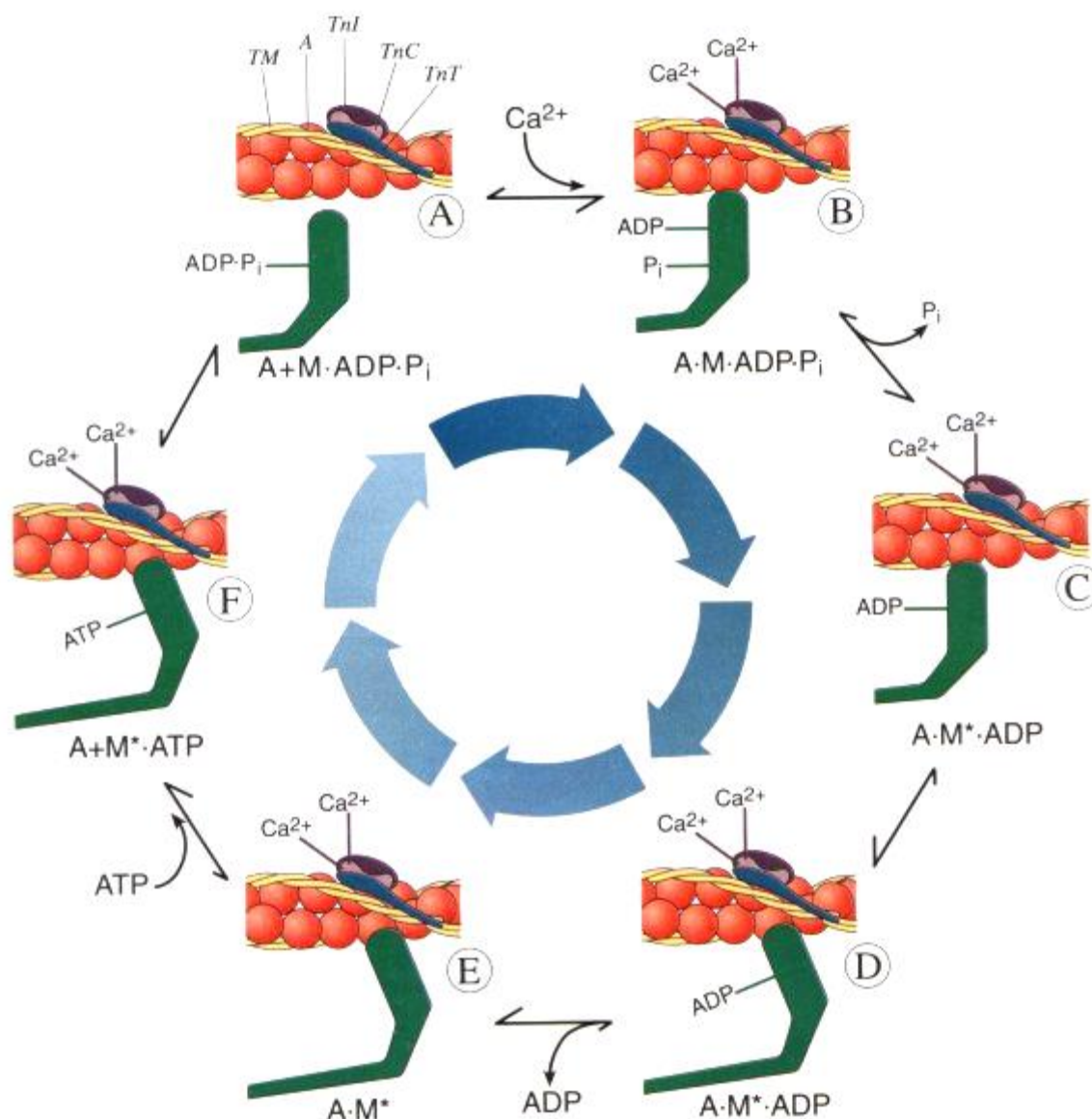
Nadalje, svaka od prethodno spomenutih kontraktilnih niti ima svoja molekularna svojstva, koja joj omogućuju pravilan i ciljan rad. Tako je molekularna masa pojedine miozinske molekule okvirno 480.000, koja kasnije tvori miozinsku nit te u konačnici jedan kraj reagira sa završetcima dviju aktinskih niti (1,4). Miozinska molekula sastavljena je od dva teška i četiri laka lanca, od čega je molekularna masa svakog teškog lanca otprilike 200.000, a lakoga oko 20.000. Ta dva teška lanca međusobno tvore

dvostruki heliks ili rep molekule, tako što se ovijaju jedan oko drugoga. Jedan kraj od svakog takvog lanca tvori miozinsku glavicu, globularnu polipeptidnu tvorbu te se dakle na jednom kraju heliksa molekule nalaze dvije slobodne glavice. Četiri laka lanca su također sastavni dijelovi miozinskih glavica te se u svakoj nalaze po dva lanca koji reguliraju njezinu funkciju tijekom kontrakcije mišića (1,4). Miozinska se nit sastoji od otprilike 200 pojedinih miozinskih molekula, a njihovi repovi skupljaju se u snopiće i tako tvoje tijelo niti, dok veliki broj glavica molekula strši prema van. Jedan dio tijela svake molekule baš kao i glavica pruža se postrance i time stvara ručicu, a njezina funkcija je odmicanje glavice od tijela niti. Nadalje, glavice i ručice koje zajedno strše zovemo poprečni mostovi, a svaki od njih savitljiv je na dvama mjestima zvanima zglobovi. Jedan je mjesto odvajanja ručice od tijela, a drugi mjesto spajanja glave i ručice te tako uzglobljenje sudjeluju u procesu kontrakcije (1,4).

Jedno od važnih svojstava glavice za mišićnu kontrakciju je enzimsko djelovanje kao razgrađivač molekula ATP-a, zvan ATP-aza. Tijekom kontrakcije mišića miozinske glave međusobno djeluju s tankom niti u asinkronom redosljedu, u kojem se približavaju bodljikavom kraju niti (3). To je uzrokovano skraćanjem mišića uslijed pomicanja kontraktilnih proteina u kojem dolazi do naknadnog oslobađanja ADP + Pi (oslobođeni anorganski fosfat prilikom hidrolize ATP-a u ADP). Ovaj proces omogućuje brzo vezanje ATP-a, odvajanje glave miozina od aktina i ponovno uključivanje s tankom niti dalje prema bodljikavom kraju. Ovo kruženje se događa asinkrono među miozinskim glavama svakog debelog filameta te rezultira povlačenjem Z-linija jednih prema drugima, što rezultira skraćanjem mišića (3).

Glede aktinskih niti one sadrže aktin, troponin i tropomiozin te njihovu osnovu tvore dva lanca bjelančevinske molekule F-aktina, odnosno dva svijetlije obojena lanca (3). Slično kao i miozinska molekula, lanci su međusobno zavijeni u dvostruki heliks, od čega se svaki lanac sastoji od polimeriziranih molekula G-aktina. Na svakoj molekuli G-aktina nalazi se jedna molekula ADP, za koju se pretpostavlja da je aktivno mjesto na tim nitima s kojim kasnije reagiraju poprečni mostovi miozina te tako uzrokuju kontrakciju. Svaka aktinska nit dugačka je oko 1 μm , a njezine su osnovice čvrsto umetnute u Z-ploče. Molekule tropomiozina spiralno su omotane oko postraničnog dijela heliksa F-aktina te u stanju mirovanja prekrivaju aktivna mjesta na lancu. Troponin je naime, kompleks triju labavo povezanih bjelančevinskih podjedinica te svaka ima svoju posebnu ulogu u

kontroli mišićne kontrakcije. Sastoji se od troponina I, koji ima veliki afinitet prema aktinu, zatim od troponina T, čiji je afinitet povezan s tropomiozinom i od treće podjedinice troponina C s afinitetom prema kalcijevim ionima (Slika 2).



Slika 2. Molekularni mehanizmi u pozadini mišićne kontrakcije. (Preuzeto i prilagođeno prema: Matoničkin I, Erben R. Opća zoologija. Zagreb: Školska knjiga; 1994.)

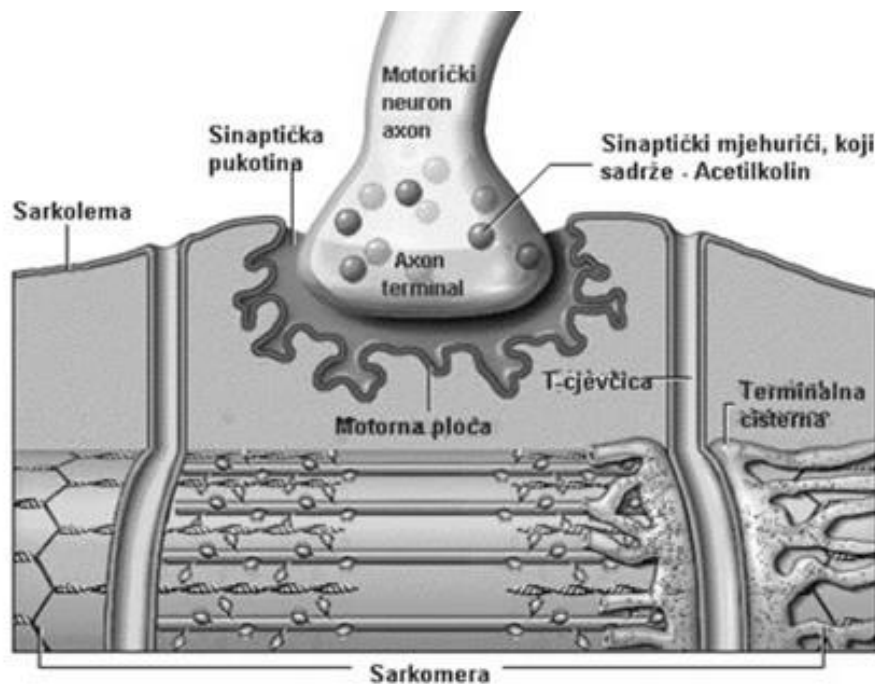
Kontrakcijski se proces vjerojatno pobuđuje upravo zbog velikog afiniteta troponina prema kalcijevim ionima. Kada uzmemo „pročišćenu“ aktinsku nit, točnije bez

kompleksa troponin-tropomiozin, ali uz prisustvo ATP-a i magnezijevih iona brzo se i čvrsto veže s glavicama miozinskih molekula. Međutim, ako na nit dodamo spomenuti kompleks do vezanja neće doći, što sugerira da navedeni kompleks u relaksiranom mišiću sprječava taj proces (4). Kako bi do kontrakcije ipak došlo potrebno je inhibirati taj inhibicijski učinak troponin-tropomiozin kompleksa. Iako nije točno razjašnjen proces znamo da velika količina kalcijevih iona koči taj inhibicijski učinak kompleksa. Najjednostavnije rečeno, pretpostavlja se da vezivanjem kalcija za troponin C, troponin-tropomiozin kompleks promijeni svoju konformaciju i time otkriva aktivna mjesta na aktinu, što dalje omogućava privlačenje miozinskih glavica i uzrokuje kontrakciju. Kod vezivanja glavice za aktivno mjesto, dolazi do znatne promjene molekularne sile između ručice i glavice poprečnog mosta te se zbog te promjene sile glavica nagne prema ručici i tako povlači aktinsku nit, što zovemo zamah (4,5). Zatim se glavica automatski odvoji od aktivnog mjesta i ponovno zauzme ispruženi položaj te se od tu kasnije veže na novo aktivno mjesto na aktinskoj niti i tako se taj cijeli proces ponavlja. Sila kontrakcije je teorijski veća, što je broj poprečnih mostova u dodiru s aktinskim nitima veći, jer svaki most djeluje zasebno (4,5).

Ništa od navedenog ne bi bilo moguće bez energije. Naime, za vrijeme kontrakcije velik broj molekula ATP-a se razgrađuje u ADP te što je veći rad kojeg mišić obavlja, to je veća i količina razgrađenog ATP-a, poznato pod nazivom Fennov učinak (3). Taj se proces dijeli u više koraka, od čega prvi započinje prije same kontrakcije, kada se za ATP vežu glavice poprečnih mostova. Tada se ATP razgradi na ADP i fosfati ion, no oni ostaju vezani uz glavicu te se on samo uspravi prema aktinskoj niti, ali ne dolazi do vezivanja. Zatim se kalcijevi ioni vežu za kompleks troponin-tropomiozin, što otkrije aktivna mjesta na aktinskoj niti te tada dolazi do vezivanja miozinskih glavica (3). Sljedeći je korak prethodno opisani proces, koji zovemo zamah, a energija kojom se on aktivira je bila pohranjena u glavici pri razgradnji ATP-a. Nakon toga, kada se glavica poprečnog mosta nagne, dolazi do otpuštanja ADP-a i fosfatnog iona te se na to isto mjesto veže nova molekula ATP-a i tako dovodi do odvajanja glavice od aktina. Ovim činom odvajanja pokreće se novi ciklus cijelog ovog procesa i on se ponavlja sve dok aktinske niti ne povuku Z-membranu uz sami vrh miozinskih niti ili dok ne dođe do prevelikog opterećenja mišića (1).

1.1.3. Ekscitacija mišića

Za pravilan rad skeletnih mišića potrebno je da su mišići inervirani debelim, mijeliniziranim živčanim vlaknima, koji polaze iz prednjih rogova kralježnične moždine, a zatim se poslije ulaska u trbuh mišića dijele i podražuju do nekoliko stotina vlakana skeletnih mišića (6). Svaki spoj živčanog završetka i mišićnog vlakna zove se neuromuskularna spojnica te u samo dva posto mišića postoji više od jedne spojnice. Živčano vlakno naime, tvori splet razgranatih živčanih završetaka, a oni se utiskuju u mišićno vlakno no nalaze se u potpunosti izvan njegove plazmatske membrane. Čitava ta struktura zove se motorička završna ploča i nju prekriva jedna ili više Schwannovih stanica, čija je uloga izolacija završne ploče od okolne tekućine (6). Pojam sinaptički žlijeb odnosi se na uvrnuće membrane, dok se prostor između završetka aksona i membrane mišićnog vlakna zove sinaptički prostor ili pak pukotina. Na samom dnu tog žlijeba postoje mnogobrojni mali nabori mišićne membrane, zvane subneuralne pukotine, a njihova uloga je povećavanje aktivne površine za sinaptičku prijenosnu tvar. U aksonskim završcima nalaze se brojne molekule ATP-a, smještenih unutar mitohondrija te su prijeko potrebni za sintezu ekscitacijskog transmitora acetilkolina. On se naime, stvara u citoplazmi živčanog završetka i vrlo brzo apsorbira u sinaptičke mjehuriće, gdje ga razgrađuje velika količina enzima acetilkolinesteraze (6,7). Na unutarnjoj strani membrane živčanog vlakna postoje guste prečke te se s njihovih objiju strana nalaze bjelančevinske čestice, odnosno kalcijски канали regulirani naponom. Građa neuromuskularne spojnice prikazana je na Slici 3.



Slika 3. Građa neuromuskularne spojnice. (Preuzeto i prilagođeno prema: Omar A, Marwaha K, Bollu PC. Physiology, Neuromuscular Junction. StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023.

Kada akcijski potencijal prođe kroz živčani završetak, dolazi do otvaranja tih kanala, pa kalcijevi ioni prelaze u unutrašnjost živčanog završetka iz sinaptičkog prostora (6,7). Iako se o ovom procesu za sada dosta toga samo pretpostavlja, ono što je sigurno jest da se zbog ulaženja kalcijevih iona acetilkolin oslobađa i da se mjehurići prazne na gustim prečkama. U membrani mišićnog vlakna nalaze se i mnogobrojni mali acetilkolinski receptori, odnosno ionski kanali regulirani acetilkolinom. Nalaze se uglavnom ispod područja gustih prečki, odakle se kasnije acetilkolin oslobodi u sinaptički prostor, odnosno oko ulaznog dijela subneuralnih pukotina. Kroz te kanale prolazi znatno veći broj natrijevih nego bilo kojih drugih iona, jer postoje samo dva pozitivna iona velikih koncentracija, a to su natrijev ion u izvanstaničnoj tekućini i kalijev ion u unutarstaničnoj. Drugi razlog je taj što s unutarnje strane mišićne membrane postoji negativni potencijal od -80 do -90 mV, što znači da će istovremeno privlačiti pozitivno nabijene ione u unutrašnjost (natrij) i sprječavati pozitivno nabijene kalijeve ione da izađu (6,7). Da bi ipak došlo do otvaranja tih kanala, potrebno je dovesti veliki broj natrijevih,

odnosno pozitivnih iona unutar vlakna i tako postići lokalnu pozitivnu promjenu potencijala, zvanu potencijal završne ploče. Zahvaljujući tome pobuđuje se akcijski potencijal, koji kasnije širenjem duž mišićne membrane dovodi do mišićne kontrakcije (5,6,7).

Nakon oslobađanja acetilkolina u sinaptički prostor, dokle god ga ima, on aktivira svoje receptore. Acetilkolin se zadržava u sinaptičkom prostoru svega nekoliko milisekunda kako bi se spriječilo neprekidno ponovno podraživanje mišića (6,7,8). Da bi ga se eliminiralo tolikom brzinom postoje dva načina od čega se prvim uklanja veći dio acetilkolina, a to je razgradnja putem acetilkolinesteraze, koja ispunjava sinaptički prostor. Drugi način je uklanjanje male količine acetilkolina iz sinaptičkog prostora difuzijom. Pojam lokalnog potencijala, odnosno potencijala završne ploče odnosi se na nagli ulazak natrijevih iona u mišićno vlakno prilikom otvaranja kanala reguliranih acetilkolinom. Ta pojava dovodi do promjene električnog potencijala u pozitivnom smjeru za 50 do 75 mV, a takav porast membranskog potencijala živca izaziva i više nego dovoljan podražaj da potakne otvaranje što većeg broja natrijskih kanala i tako pobudi akcijski potencijal membrane mišićnog vlakna (6,8). Iako je princip pobuđivanja i provođenja akcijskog potencijala isti kod živčanih i mišićnih vlakana, ipak postoje pojedine kvantitativne razlike. Membranski potencijal mirovanja je u obje vrste vlakana isti, odnosno od -80 do -90 mV, ali zato akcijski potencijal u skeletnom mišiću traje peterostruko dulje nego u debljim, mijeliniziranim živcima, preciznije traje 1 do 5 milisekunda. Brzina provođenja potencijala u mišićima je tek 1/13 brzine provođenja u živcima, to jest 3 do 5 m/s (8). S obzirom na debljinu mišićnog vlakna, nije neobično da potencijal koji putuje njegovom površinom ne dođe do unutrašnjosti vlakna.

Upravo zbog toga postoje T-cjevčice odnosno poprečne cjevčice, koje prolaze kroz čitavo mišićno vlakno te kada akcijski potencijal stigne do njih, uzrokuju otpuštanje kalcijevih iona u mišićno vlakno (6,7,8). Ti ioni su uzrok kontrakcije mišića a navedeni se proces zove sprega podraživanja i kontrakcije. T-cjevčice su unutarnji produžetci stanične membrane, odnosno spajaju duboku unutrašnjost mišića i njegovu izvanstaničnu tekućinu. Jedan od bitnih dijelova ovog procesa podraživanja i kontrakcije je sarkoplazmatska mrežica sa svoja dva dijela. Prvi, vanjski dio predstavljaju velika proširenja, takozvane završne cisterne, a drugi dio su uzdužne cjevčice koje okružuju čitavu površinu kontraktilnih miofibrila (6). Ta mrežica sadrži vrlo veliku količinu

kalcijevih iona, koji su ključan faktor u procesu kontrakcije mišića. U stanju mirovanja njihova količina u citosolu je $<10^{-7}$ M, što je premala količina za pojavu bilo kakve kontrakcije, no kada dođe do pravilnog podražaja otpusti se dovoljno kalcijevih iona te sada njihova koncentracija iznosi 2×10^{-4} M, odnosno poveća se 500 puta te predstavlja čak 10 puta veću količinu nego što je potrebno za kontrakciju. Taj period naglog porasta kalcija nazivamo plima i predstavlja trenutak u kojem nastaje mišićna kontrakcija (6,7).

1.2. ENERGETIKA I ZAMOR MIŠIĆA

1.2.1. Energetika mišića

Aktivan mišić, zahvaljujući kemijskim reakcijama, proizvodi energiju u obliku rada i topline (9). Da bi mišić mogao započeti nekakvu radnju potrebna je energija koja se dobiva iz molekula ATP-a (10). Pri tome je potrošnja ATP-a veća od mogućnosti ponovnog stvaranja kroz proces glikogenolize i oksidacije glikogena. U mišićnim stanicama takozvana „Lohmannova reakcija“ se katalizira zahvaljujući kreatin kinazi. To je reverzibilna reakcija u kojoj se ATP i kreatin dobivaju iz ADP-a i fosfokreatina. Kada dođe do zamora mišića razina fosfokreatina pada na nisku razinu zajedno sa razinom ATP-a dok se koncentracija ADP-a poveća. U takvom stanju razina AMP-a se također poveća i razgrađuje uz pomoć AMP deaminaze na inozin monofosfat (IMP) i amonijak (NH_3) (10). Glikogen je vrlo važna komponenta, jer služi kao zaliha energije ugljikohidrata za proizvodnju ATP-a te postoje tri podstanične lokalizacije (9). Prva najveća smještena je između miofibrila i blizu sarkoplazmatske mrežice i mitohondrija, zvana intermiofibrilarni glikogen. Drugi je smješten unutar samih miofibrila, uglavnom u sarkomeri i zove se intramiofibrilarni glikogen. Naposljetku, treća vrsta je subsarkolemarni glikogen, smješten ispod same sarkoleme, točnije uz lipide, jezgru i mitohondrije. U fiziologiji glikogen se smatra gorivom za izvođenje vježbi te ukoliko njegovih zaliha nema dovoljno, mišić neće moći obaviti željenu funkciju (9). Kroz proces glikogenolize anorganski fosfat i ADP se resintetiziraju u ATP, a uz to se i obilno prisutni glikogen u mišićima pretvara u ATP i laktat (10). Ipak, mnogo značajniji proces je oksidacija glikogena, jer proizvodi 12 puta više ATP-a u odnosu na glikogenolizu, a u konačnici se iz glikogena dobiju ATP, ugljikov dioksid i voda (10).

1.2.2. Zamor mišića

Zamor je sveprisutna pojava u svakog pojedinca koji obavlja nekakvu fizičku aktivnost, a manifestira se kao osjećaj umora, iscrpljenosti i nemogućnosti obavljanja pojedinog zadatka (9,11). Ukoliko dođe do nakupljanja zamora, može doći do progresije i u konačnici se razvijaju kronični sindrom umora (engl. *Chronic Fatigue Syndrome*, CFS), sindrom pretreniranja (engl. *overtraining*), pa čak i imunološka disfunkcija (9,11,12). Mišićni zamor je smanjenje proizvodnje energije ili maksimalne sile u odgovoru na kontraktilnu aktivnost i dijelimo ga na centralne i periferne komponente. Ukoliko je riječ o centralnom umoru, nastaje u središnjem živčanom sustavu, koji smanjuje podražljivost mišića. S druge strane, periferni umor nastaje zbog promjena na neuromišićnoj spojnici ili distalno od nje (9,11). Za stvaranje sile u mišićima odgovorni su kontraktilni mehanizmi te u slučaju disfunkcije na bilo kojoj razini, ionskoj, živčanoj, vaskularnoj ili energetske, može doći do mišićnog zamora.

Neki od metabolita koji utječu na kontrakciju su vodikovi ioni, anorganski fosfor, laktati, toplinski protein šoka (engl. *Heat Shock Protein*, HSP), slobodni kisikovi radikali (engl. *Reactive Oxygen Species*, ROS) i orozomukoid (9). Sila koja se stvori u mišiću izravno ovisi o tim metabolitima posebice o razinama ADP-a vodikovog iona i anorganskog fosfora (10,11,12). Također, iznimno je bitna cirkulacija krvi i adekvatno opskrbljivanje mišića kisikom, za aerobnu proizvodnju ATP-a i uklanjanja nusprodukata metaboličkih procesa u tom mišiću (9,10,11). Jedna od važnih zadaća krvi je dovođenje kisika do aktivnog mišića, jer time omogućava daljnji pravilan rad. Dokazano je da smanjena razina kisika u mišiću ima izravne posljedice na stvaranje mišićnog zamora. Nadalje, prilikom izvođenja vježbi visokog intenziteta osoba dosegne svoj maksimalni aerobni kapacitet (VO_2 max), a potražnja mišića za još ATP-a ne može se zadovoljiti povećanim dovođenjem kisika i tako se narušava ravnoteža metaboličke homeostaze, što u konačnici rezultira stvaranjem zamora (9).

1.3. UTJECAJ TRENINGA NA MIŠIĆNU FUNKCIJU

1.3.1. Trening otpora, osnovna načela i koncept

Trening otpora (engl. *Resistance Training*, RT) podrazumijeva primarno intervenciju uz pomoć različitih vježbi i koristi se za razvoj snage i stimulaciju mišićne hipertrofije, odnosno povećanje mišićne mase (13). Taj proces čini ključnu komponentu fizičkih priprema u raznim sportovima zbog izravne povezanosti između površine mišićne snage i presjeka. Hipertrofija mišića nastaje kada sinteza mišićnih proteina nadilazi njihovu razgradnju, što rezultira pozitivnom neto ravnotežom proteina u kumulativnim periodima. Kako bi se dodatno postigla ta pozitivna ravnoteža potrebno je adekvatno nahraniti mišić nakon treninga, odnosno dati mu dovoljnu količinu proteina da bi se smanjila razgradnja samoga mišića (13). Što se tiče treninga s otporom, ključ je da ga otežavamo s vremenom tako što mijenjamo pojedine varijable poput redoslijeda vježbi, broja izvedenih serija i ponavljanja, brzine izvođenja te trajanja razdoblja odmora između pojedinih vježbi i njihovih serija (14).

U treningu s otporom učestalost se obično izražava frekvencijom, odnosno količinom vježbi za pojedinu mišićnu skupinu u nekom vremenskom razdoblju. Na to izravno utječu parametri poput volumena i intenziteta treninga te broja mišićnih skupina koje se treniraju po treningu, ali i razina sposobnosti pojedinca koji te vježbe izvodi (14). Otpor možemo izazvati manualno, odnosno kada druga osoba pruža silu u suprotnom smjeru pri izvođenju neke vježbe, zatim vježbama na različitim spravama, vježbama sa tjelesnom težinom i pomicanjem nekakvog stacionarnog predmeta (15). Nadalje, vježbe u kojih su vrijednost generirane unutarnje sile i primijenjenog vanjskog opterećenja izjednačene nazivamo izometrijskim vježbama. Za te vježbe je karakteristično da nema pokreta u zglobu prilikom aktivacije mišića. S druge strane, vježbe kod kojih dolazi do pokreta u zglobu nazivaju se dinamičke te ovisno o tome je li vanjska sila veća ili manja u odnosu na generiranu unutarnju silu, razlikujemo ekscentričnu i koncentričnu kontrakciju (15). Kada otpor primjenjujemo konstantnom brzinom, nazivamo ga izokinetički.

Da bi moglo doći do ekscentrične kontrakcije, prethodno moraju uslijediti ili koncentrična ili izometrička kontrakcija, jer aktiviraju mišić i izazivaju njegovu početnu napetost. Tako je primjerice kvadriceps zadužen za stabilizaciju koljena u potpunoj

ekstenziji i stvara početnu napetost za kontakt noge prilikom ciklusa hoda. Upravo to omogućava naknadnu ekscentričnu kontrakciju kvadriicepsa, koji apsorbira vanjsku silu prilikom uspostavljanja kontakta tako što uspori fleksiju koljena (15). Glavne smjernice u doziranju treninga s opterećenjem temelje se na istraživanjima provedenim na netreniranim pojedincima (14). U profesionalnih sportaša osnovni princip ostaje isti, no moramo uzeti u obzir neke druge čimbenike koje rekreativci nemaju, primjerice povratak od ozljede, ili natjecanje koje se bliži u skorije vrijeme. Nadalje, u nekim od tih studija, ukupni volumen treninga (engl. *Total Training Volume*, TTV) predstavlja ukupnu količinu podignute težine, ali postoji mogućnost izvođenja krivih zaključaka s obzirom da u prethodnim studijama frekvencije treninga s otporom nisu bile ujednačene, a upravo TTV može biti pokazatelj povećanja mišićne mase i snage (14).

Američki fakultet sportske medicine (engl. *American College of Sports Medicine*, ACSM) predlaže jednu do tri serije po vježbi od osam do dvanaest ponavljanja sa 70 do 85% jednog maksimuma ponavljanja (engl. *1 repetition max*, RM1 za početnike (13). Nadalje, za napredne pojedince preporučuju tri do šest serija od jednog do dvanaest ponavljanja s opterećenjem od 70 do 100% RM1. Međutim, novija literatura pokazuje mnogo širi raspon mogućnosti treninga (13). Nekoliko istraživanja utvrdilo je da trening niskog opterećenja (30 do 60% RM1) rezultira sličnim rezultatima po pitanju hipertrofije u usporedbi s treninzima umjerenog i visokog opterećenja (>60% RM1) pri kojima se javlja voljni umor (13). Štoviše, postizanje voljnog zamora ne mora biti nužno za postizanje rezultata u hipertrofiji, posebice kada se u obzir uzme trening visokog opterećenja (13). U hipertrofiji mišića, primijećena je važnost veće frekvencije RT-a koja je u izravnom odnosu sa održavanjem visoke stope sinteze mišićnih proteina (engl. *muscle protein synthesis*, MPS) nakon odrađenog treninga s otporom (14). Provedena istraživanja utvrdila su da netrenirani sportaši imaju duži vremenski period sinteze proteina u usporedbi s utreniranim pojedincima (14).

1.3.2. Vrste otpora u treningu

Ovisno o životnoj dobi pojedinca, fizičkoj spremi, utreniranosti, ciljevima i sličnim parametrima, moramo se prilagoditi, odnosno izabrati najbolju vrstu otpora za pojedinu osobu. Jedna od najstarijih i najdugotrajnijih vrsta otpora pri vježbanju je

manualni, a razlog tomu je njegova jednostavnost primjene i neovisnost o opremi (15). Naime, prije profesionalnih sprava za vježbanje, elastičnih traka i sličnog, koristilo se znanje zdravstvenih stručnjaka za primjenu primjerene sile i otpora na pojedinca dok vježba. Manualni otpor može se koristiti u gotovo svakoj situaciji gdje proces rehabilitacije ili treninga zahtijeva nekakav otpor pri vježbanju, no nailazimo na njegov nedostatak u kasnijem stadiju zbog potrebe za sve većom silom, primjerice u elitnim rangovima sporta. Još jedna od prednosti manualnog otpora je što u slučaju slabosti ili bolnosti mišića zdravstveni stručnjak modulira otpor znatno jednostavnije od primjerice nekakve sprave i tako pruža kvalitetniji izvođenje vježbi. Također, manualne tehnike poput PNF-a (engl. *Proprioceptive Neuromuscular Facilitation*), koriste se i za pravilno učenje obrazaca pokreta te se često indicira u pojedinaca kako bi bolje facilitirali pravilnu mišićnu aktivaciju i stabilizaciju (15). U PNF-u jedna ruka služi za facilitaciju, tako što pruža otpor dinamičkoj kontrakciji, dok druga potiče izometrijsku kontrakciju i stabilizaciju. Nadalje, još jedna od prednosti je što postoje slučajevi u kojima je potrebna mogućnost iznenadne promjene brzine u izvođenju pokreta, a manualnim tehnikama je to znatno lakše postići u usporedbi s drugima. Razlog zašto se manualne tehnike i dalje koriste u velikoj mjeri i opstaju toliko dugo je upravo njihova fleksibilnost, odnosno mogućnost prilagodbe stručnjaka koji ih izvodi na gotovo sve zahtjeve pojedinca i potencijalne izazove s kojima se može susresti u trenažnom procesu.

Osnovni princip manualnih tehnika, odnosno otpora je postavljanje pojedinca u pravilan početni položaj i omogućavanje pravilnog obrasca pokreta kroz fizički kontakt. Također, potrebno je imati kvalitetnu komunikaciju s osobom kako bi što bolje dozirali otpor i ostale segmente u vježbanju na obostrano zadovoljstvo. Kako bi spriječili nelagodu ili mišićni umor potrebno je dozirati ove vježbe kroz osobnu evaluaciju osobnog napretka, ali i komunikaciju s istim te tako postepeno otežavamo vježbe kroz promjenu intenziteta otpora, brzine ili vrste kontrakcije (15).

Još jedna od vrsta otpora u treningu bazira se na vježbama s utezima, odnosno dodatnom težinom na postojeću tjelesnu. To je uglavnom vrsta treninga na koju se odlučuju „*bodybuilderi*“ i „*powerlifteri*“ i omogućuje vrlo veliki izbor težina, ali se koristi i u raznim profesionalnim sportovima za razvoj mišićne mase, eksplozivnosti i izdržljivosti (15). Prednost ove vrste otpora u odnosu na manualni je mogućnost bolje progresije, odnosno u kasnijem stadiju trenažnog procesa opterećenje se može znatno više

povećati utezima nego rukom te tako dolazi do većeg napretka. Dodatna prednost je što se pri različitim položajima tijela i utega mogu postići različite vrste kontrakcija, a naravno možemo i izravno birati brzinu izvođenja pojedine vježbe (15). U istraživanju kojeg su proveli Remy Gerard i suradnici, razmatran je učinak ekscentričnog treninga snage (engl. *Eccentric Strength Training*, EST) na mišiće zadnje lože u usporedbi s koncentričnim treningom (16). Dobiveni rezultati ukazali su na veće povećanje duljine mišićnih snopova, debljine i snage snopova u ekscentričnom u odnosu na koncentrični trening, što potvrđuje prednost treninga s utezima, jer pojedincu pružamo mogućnost da radi na obje ili samo jednoj od ovih kontrakcija (16). Ipak, najveća prednost ove vrste otpora i vježbanja, posebice u usporedbi s vježbama na spravama, je što zahtijevaju aktivaciju mišića za posturalnu stabilizaciju uz sam mišić koji se aktivira u pojedinoj vježbi (15). Ovo naravno može biti i „dvosjekli mač“, jer ukoliko pojedinac ne razumije pravilan položaj za izvođenje pojedine vježbe i ne zna ga zadržati, može doći do ozbiljnih ozljeda. Kako bi spriječili neželjeni ishod potrebno je sa manjom težinom naučiti sportaša pravilnoj formi izvođenja svake vježbe te kasnije povećavati otpor, uz naravno kontinuirani nadzor pokreta (15). Uz to, postoje izokinetički uređaji koji su dizajnirani da čitavim opsegom pokreta pružaju maksimalan otpor (15). Sam otpor određuje pojedinac ovisno o njegovoj brzini izvođenja pokreta te tada dinamometar u uređaju stvara jednaku silu suprotnog smjera i na taj način pruža otpor, što je naravno pozitivan segment ovakvog vježbanja jer se opterećenje jednostavno dozira. Kod novijih izokinetičkih uređaja računalnim programima omogućeno je i testiranje i treniranje pojedinih dijelova tijela pri različitim kutovima, brzinama, snazi, ekscentričnoj i koncentričnoj kontrakciji, ali i pasivan pokret. Unatoč tome što većina ovih uređaja ima i izometrički i izotonički otpor, većinom se na njih referira kao uređaje izokinetičkih sposobnosti. Glavna prednost ovih uređaja je njihova mogućnost široke primjene na vrlo široku skupinu mišića zahvaljujući raznim dodatcima, ali i sigurnost koju omogućavaju prilikom treninga i testiranja, jer se otpor na mišić dozira proporcionalno pojedinačnoj snazi (15). Pri testiranju mišića može se odrediti fiksna brzina i opseg pokreta koji želimo testirati te na taj način bilježimo maksimalnu snagu pri jednom ponavljanju i izdržljivost pri većem broju ponavljanja. Ovo je izuzetno korisno primjerice pri povratku profesionalnih sportaša nakon ozljede ili operativnog zahvata, kako bi precizno odredili stanje mišića. Testiranje se uglavnom provodi na način da mjerimo parametre pojedinog mišića pri dvije ili tri različite brzine

kako bi osigurali što preciznije i točnije rezultate, koji se obrađuju u računalnom programu. Još jedna značajna prednost je što dobivamo uvid u odnos između agonista i antagonista, čija neravnoteža vrlo često dovodi do ozbiljnih ozljeda poput pucanja križnih ligamenata te tada znamo na čemu trebamo raditi (15). U pasivnom modu imamo nekoliko vrsta izvođenja vježbi i davanja otpora, ovisno o cilju koji želimo postići. Ukoliko želimo mobilizirati zglob, zatražimo od pojedinca da se opusti i dozvoli da uređaj razgiba pojedini dio tijela. S druge strane, ako želimo trenirati snagu prva opcija je da osoba gura u istom smjeru s pokretom kojeg izaziva uređaj i tako potičemo koncentričnu kontrakciju, a druga opcija je da gura u suprotnom smjeru od uređaja i tako trenira ekscentričnu kontrakciju (15). Prednost ovoga je što u pojedinim postoperativnim slučajevima pojedinac nema dovoljnu početnu snagu za izvođenje pokreta, ali može pružati otpor u kasnijoj fazi pokreta. Ovakav princip treninga i pružanja otpora zaista ima zapanjujuće veliku količinu prednosti u odnosu na druge metode, jer je idealan za mnogobrojne slučajeve. Ipak, mana im je cijena i manjak dostupnosti u svakodnevnim fitness centrima te ovisnost o zdravstvenom stručnjaku, koji mora znati koristiti uređaj pravilno i izvući njegov maksimum (15).

1.4. COOLMITT® TEHNOLOGIJA

Jedna od glavnih stavki fizičke spreme sportaša je trening s otporom zbog optimizacije snage, eksplozivnosti, izdržljivosti i ostalih komponenti. Kako bi to postigli potrebno je kontinuirano imati vrlo visok volumen treninga te mnogi sportaši pribjegavaju korištenju zabranjenih supstanci (engl. *Performance Enhancing Drugs*, PED), jer im omogućava brži oporavak, povećanu snagu i izdržljivost (17). Također, postoje mnoge studije koje su dokazale da postoji optimalna temperatura tijela za maksimalne performanse mišića. Tijekom treninga temperatura korištenog mišića se drastično i neizbježno povećava iznad te optimalne razine te cirkulirajuća krv pokušava tu toplinu raspršiti kroz kožu. Ljudski termoregulacijski sustav prilikom povišenja temperature potiče vazodilataciju krvnih žila i time povećava protok krvi, no on nije jednak za sva područja. Samo gola područja kože mogu prilagoditi povećani priljev krvi, gdje se ispod same kože nalaze jedinstvene krvožilne strukture, koje služe kao tjelesne grijalice. Ohlađena venozna krv koja se vraća iz tih područja u srce, miješa se sa toplom

venoznom krvi iz aktivnih tkiva. Dakle, učinak lokalne mišićne aktivnosti na različita tkiva i organe ovisi o dvije stavke. Prva je temperatura pomiješane krvi koja izlazi iz srca, a druga je regionalna distribucija tog minutnog volumena srca. Količina topline koja se može odstraniti ovisi o razlici u temperaturi između mišića i krvi, ali i o samom protoku krvi kroz taj mišić. Iz toga se može zaključiti da ako ohladimo cirkulirajuću krv, povećavamo količinu topline koju ta ista krv može primiti iz aktivnog mišića tijekom treninga s otporom. Dakle, ukoliko mišića temperatura ograničava izvedbu i rezultate sportaša, ovim putem bi to trebali poboljšati (17). Već je u brojnim istraživanjima dokazana djelotvornost hlađenja tijela i njegovih pojedinačnih segmenata u oporavku sportaša, jer smanjuje mišićni umor, upale i edeme (18).

Do sada su provedena istraživanja u kojima se pojedina metoda hlađenja, primjerice prekrivanje mišića hladnim oblozima, koristila izravno na aktivno područje i rezultirala su poboljšanjem u broju izvođenja pokreta i povećanoj snazi (17). Također, u novije vrijeme sve je popularnija metoda uranjanja tijela do vrata u hladnu vodu odmah nakon treninga zbog dokazanih djelotvornih učinaka na brži oporavak sportaša (18). Nadalje provedena su i istraživanja u kojima se hladio samo dlan između serija u vježbi i rezultati su bili također pozitivni, odnosno uočeno je povećanje izdržljivosti (17). Ono što još uvijek treba dokazati jest utječe li povišena tjelesna temperatura izravno na volumen rada ili pak hlađenje dlana poboljšava odgovore volumena rada na trening.

U istraživanju kojeg su proveli Dennis i suradnici testirani su učinci izmjene tjelesne temperature i periodičnog hlađenja dlana na izvedbu ispitanika u treningu s otporom. Njihovih 67 ispitanika bili su volonteri u dobi između 19 i 23 godine, koji nisu profesionalni sportaši i nisu imali drugih zdravstvenih problema te nisu uzimali lijekove (17). Rezultati su pokazali veći broj ponavljanja, odnosno volumen vježbe, prilikom „*bench press-a*“ s istim opterećenjem kod grupe koja je koristila ovu metodu hlađenja. Nadalje, jedanaest ispitanika pokazali su veći napredak prilikom izvođenja zgibova uz hlađenje dlana u usporedbi sa drugom skupinom, koja je između serija samo odmarala. Osim poboljšanja u broju ponavljanja skupina koja je hladila dlan, pokazala je povećanje snage na „*bench pressu*“ tako što su u zadnjoj seriji mogli dignuti veću težinu u odnosu na skupinu koja nije koristila metodu hlađenja (17). Naše će istraživanje koristiti istu patentiranu metodu hlađenja, tzv. CoolMitt® rukavicu (Slika 4), a provesti će se u visoko-

utreniranih profesionalnih džudo sportaša s ciljem ukazivanja na utjecaj hlađenja dlana na oporavak i izdržljivost u toj populaciji.



Slika 4. CoolMitt® sustav za hlađenje ekstremiteta.

2. CILJEVI I HIPOTEZE

Hipoteze:

1. Profesionalni džudaši ostvariti će ukupno veći volumen treninga ako u pauzama koriste rukavice za hlađenje, nego ako isti ne koriste.
2. Profesionalni džudaši moći će dulje vremena održati intenzitet vježbe na barem 85% RM1 u drugoj trećoj i četvrtoj seriji ako u pauzama koriste rukavice za hlađenje, nego ako iste ne koriste.
3. Vrijeme vježbanja pri intenzitetu od barem 85% RM1 u prvoj seriji neće se značajno razlikovati između profesionalnih džudaša neovisno o tome rade li trening s ili bez rukavice za hlađenje.
4. Profesionalni džudaši će percipirati svaku seriju osim prve kao manje zahtjevnu ukoliko u pauzama koriste rukavice za hlađenje, nego ako iste ne koriste.
5. U džudaša koji imaju bolje sportske uspjehe bit će manja razlika u volumenu treninga uslijed korištenja rukavice u odnosu na džudaše s lošijim sportskim uspjesima

Glavni cilj ovog istraživanja

- utvrditi utjecaj hlađenja središnje tjelesne temperature korištenjem rukavica za hlađenje na mišićnu izdržljivost u profesionalnih džudaša

Specifični ciljevi ovog istraživanja su:

- usporediti utjecaj rukavica za hlađenje između skupine džudaša s boljim i skupine džudaša s lošijim sportskim uspjesima
- utvrditi utjecaj hlađenja središnje tjelesne temperature korištenjem rukavica za hlađenje na subjektivni osjećaj zamora u profesionalnih džudaša

3. ISPITANICI I POSTUPCI

Ova randomizirano ukrižno nezaslijepljeno istraživanje provedeno je na Katedri za patofiziologiju i Laboratoriju za kardiometabolička istraživanja Medicinskog fakulteta u Splitu u razdoblju od svibnja 2023. do srpnja 2023. godine. Istraživanje je odobreno od strane Etičkog povjerenstva Medicinskog fakulteta Split te je provedeno u skladu sa svim etičkim principima. Svi ispitanici su upoznati s detaljima ovog istraživanja te su potpisali informirani pristanak za sudjelovanje u istom.

3.1. ISPITANICI I KRITERIJI UKLJUČENJA/ISKLJUČENJA

Uključni kriteriji za ovo istraživanje bili su: zdravi pojedinci 18-35 god. koji se profesionalno bave džudom, a treniraju isti najmanje 10 godina. Profesionalni status definiran je postizanjem zapaženih međunarodnih rezultata te prisutnošću minimalno 10 treninga tjedno u programu. Isključni kriteriji za ovo istraživanje bili su prisutnost kronične srčane, bubrežne ili gastrointestinalne bolesti, akutna infekcija, maligna bolest, psihički poremećaji te značajan invaliditet. Uz to, ako bi u bilo kojem trenutku za vrijeme provođenja studije došlo do značajnih nuspojava, ispitanik bi automatski bio isključen iz daljnjeg tijeka studije.

Ispitanici su stratificirani u dvije skupine s obzirom na najzapaženiji međunarodni rezultat. Da bi ga se svrstalo u „bolju“ skupinu, ispitanik je morao osvojiti barem jednu medalju na nekom od sljedećih džudo natjecanja: Olimpijske igre, Svjetsko prvenstvo, Europsko prvenstvo, Grand Slam, Grand Prix, Svjetski kup ili Europski kup.

3.2. POSTUPCI

Ispitanici su bili podvrgnuti dvama treninzima, u jednom od kojih se u pauzama koristio uređaj za hlađenje središnje tjelesne temperature CoolMitt™ (Arteria Technology, Inc., Florida, SAD). Uređaj se sastoji od nekoliko glavnih dijelova (Slika 5): glavna operativna jedinica, posuda za hlađenje i rukavica.

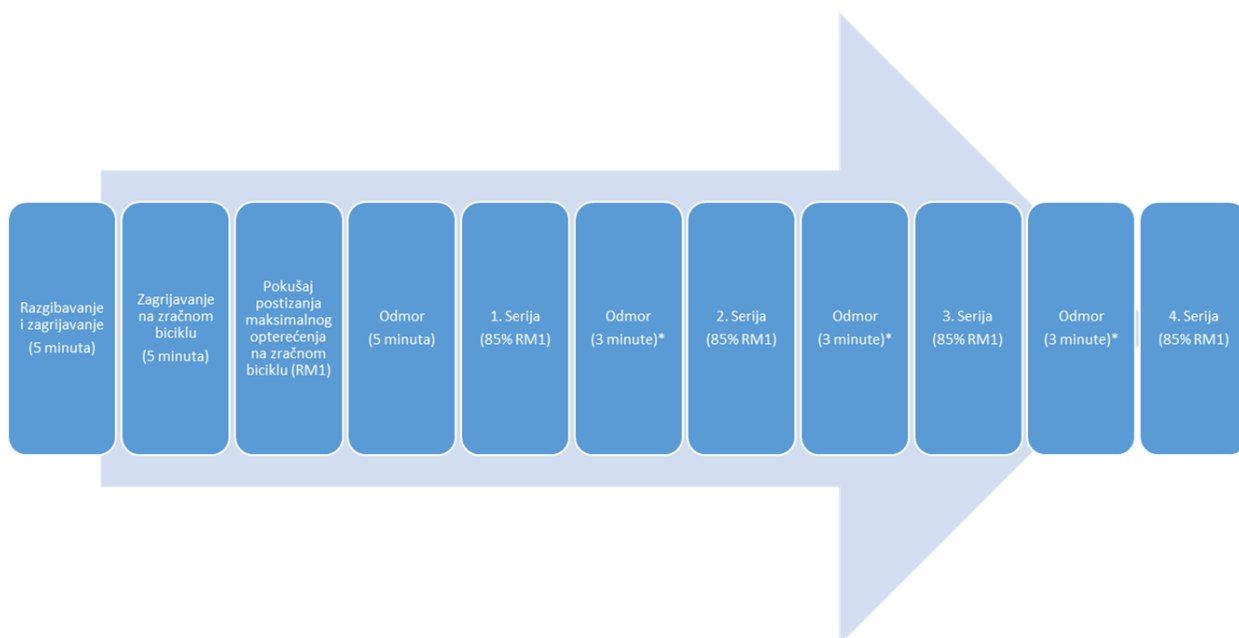


Slika 5. Dijelovi CoolMitt™ sustava za hlađenje

Ispitanike smo randomizirali na način da je dio ispitanika prvo radio trening bez pa onda s rukavicom za hlađenje ili obrnuto ne bismo li izbjegli tzv. *carryover* efekt. Naime, pretpostavka je da će sam trening utjecati na performans na idućem treningu (bilo lošiji učinak zbog umora, ili bolji zbog efekta treninga na mišićnu funkciju. Treninzi su razdvojeni vremenskim intervalom od 7-9 dana. Oba treninga sastojala su se od standardiziranog zagrijavanja (ukupno 10 minuta, od čega 5 minuta na spravi na kojoj je izvođena studija, ne prelazeći 60% maksimalne srčane frekvencije) i glavnog dijela, koji se sastojao od ukupno jednog pokušaja RM1 i 4 serije u kojem je cilj bio održati barem 85% RM1. Vježba od interesa bila je bicikliranje (rukama i nogama) na zračnom biciklu Assault AirBike (Assault Fitness Products, Carlsbad, SAD) (Slika 6). Tijek vježbe izveden je na standard način, a samu pravilnost izvođenja vježbe i režim zagrijavanja nadzirao je magistar kineziologije. Glavni ishodi od interesa bili su ukupan „volumen“ treninga (izražen kao fizikalna veličina rada (J)), vrijeme pri intenzitetu tjelovježbe od barem 85% RM1 i subjektivna procjena umora nakon svake serije. Protokol treninga prikazan je na **Slici 7**.



Slika 6. Zračni bicikl Assault AirBike.



Slika 7. Protokol treninga. * ovisno o treningu, u vrijeme odmora je ili korištena CoolMitt™ rukavica ili nije korišten nikakav uređaj

Prije početka studije ispitanicima se uzela iscrpna anamneza te su podvrgnuti detaljnom fizikalnom pregledu i mjerenju sastava tijela bioimpedancijskom vagom Tanita DC360-S (Tanita, Tokio, Japan). Prije izvođenja vježbe, svi ispitanici su podvrgnuti elektrokardiografiji i mjerenju arterijskog tlaka ne bi li se utvrdila sigurnost izvođenja treninga. Tijekom trominutnih intervala, poslije svake serije ispitanicima je postavljena CoolMitt™ rukavica. Za vrijeme treninga ispitanici će između svake serije usmeno prijavljivati subjektivni osjećaj zamora, a nakon treninga će također izvijestiti o istom (Ljestvicom od 1 do 10).

3.3. STATISTIČKA ANALIZA

Svi podaci od interesa analizirani su pomoću programa MedCalc (MedCalc Software, Ostend, Belgija, verzija 22.009) i Prism 6 za Windows (verzija 6.01, GraphPad, La Jolla, CA, SAD). Kategorički podaci prikazani su kao apsolutni broj (n) i postotak (%), dok su kontinuirani podaci prikazani kao medijan (interkvartilni raspon). Raspodjela podataka analizirana je putem Kolmogorov-Smirnov testa. Za usporedbu kontinuiranih varijabli korišten je Mann-Whitneyjev U test. Glavni ishodi studije analizirani su Friedmanovim testom s *post hoc* Conoverovim testom i Wilcoxonovim testom. *P*-vrijednost <0,05 je smatrana statistički značajnom za sve usporedbe.

4. REZULTATI

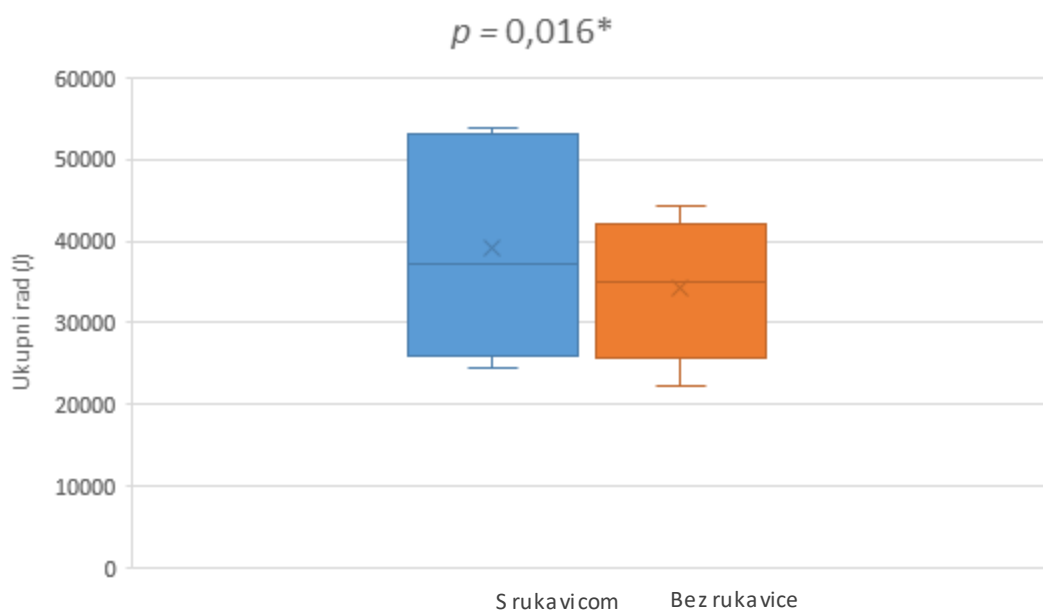
U ovo je istraživanje ukupno uključeno 7 profesionalnih džudaša (2 žene i 5 muškaraca). Prosječna dob ispitanika bila je $23,0 \pm 4,7$ godina, a prosječno vrijeme treniranja džuda bilo je $16,6 \pm 3,9$ godina. Antropometrijske karakteristike i ostali relevantni podaci o ispitanicima prikazani su u Tablici 1.

Tablica 1. Osnovne karakteristike ispitanika.

Parametar	Profesionalni džudaši (n = 7)
Dob, godine	$23,0 \pm 4,7$
Muški spol, n (%)	5 (71,4)
Tjelesna visina, m	$1,84 \pm 0,07$
Tjelesna masa, kg	$102,3 \pm 13,1$
Indeks tjelesne mase, kg/m^2	$30,1 \pm 3,4$
Vrijeme treniranja, godine	$16,6 \pm 3,9$
Tjedni broj treninga	9 ± 1
Sistolički tlak, mmHg	123 ± 9
Dijastolički tlak, mmHg	81 ± 6
Hipertenzija, n (%)	0 (0)
Hiperlipidemija, n (%)	0 (0)
Pušač, n (%)	0 (0)

Podaci su prikazani kao aritmetička sredina \pm standardna devijacija ili kao n (%).

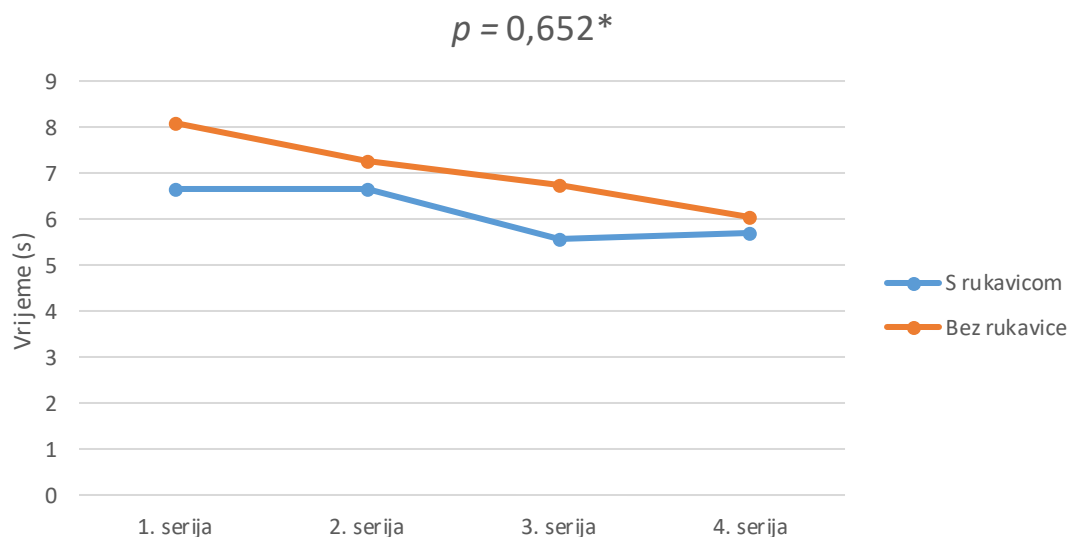
Profesionalni džudaši ostvarili su ukupno veći volumen treninga (mjereno u fizikalnoj veličini rad (J)) ako su u pauzama koristili rukavice za hlađenje, nego ako iste nisu koristili ($37,2$ ($28,6 - 50,4$) kJ vs. $35,1$ ($27,0 - 41,6$) kJ, $p = 0,016$) (Slika 8).



Slika 8. Usporedba ukupnog rada između treninga s rukavicom i bez nje. P

* Wilcoxonov test

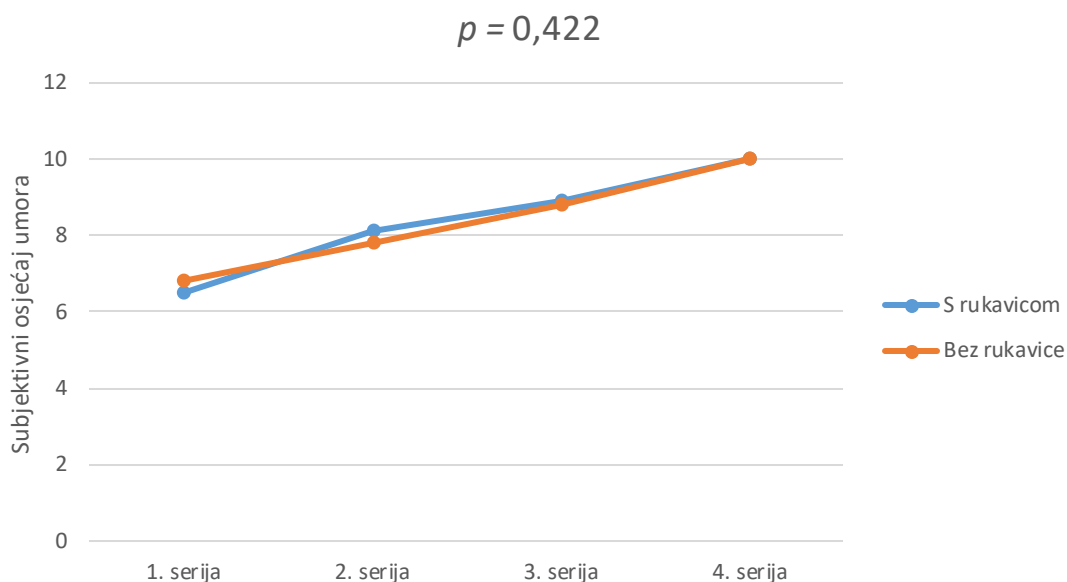
Profesionalni džudaši u prosjeku nisu dulje vremena održali intenzitet vježbe na barem 85% RM1 u niti jednoj od serija ako su u pauzama koristili rukavice za hlađenje, nego ako iste nisu koristili ($p = 0,652$) (Slika 9).



Slika 9. Usporedba vremena provedenog po seriji pri intenzitetu vježbe na barem 85% RM1 između treninga odrađenog s rukavicom i bez iste.

*Friedmanov test s *post hoc* Conoverovim testom.

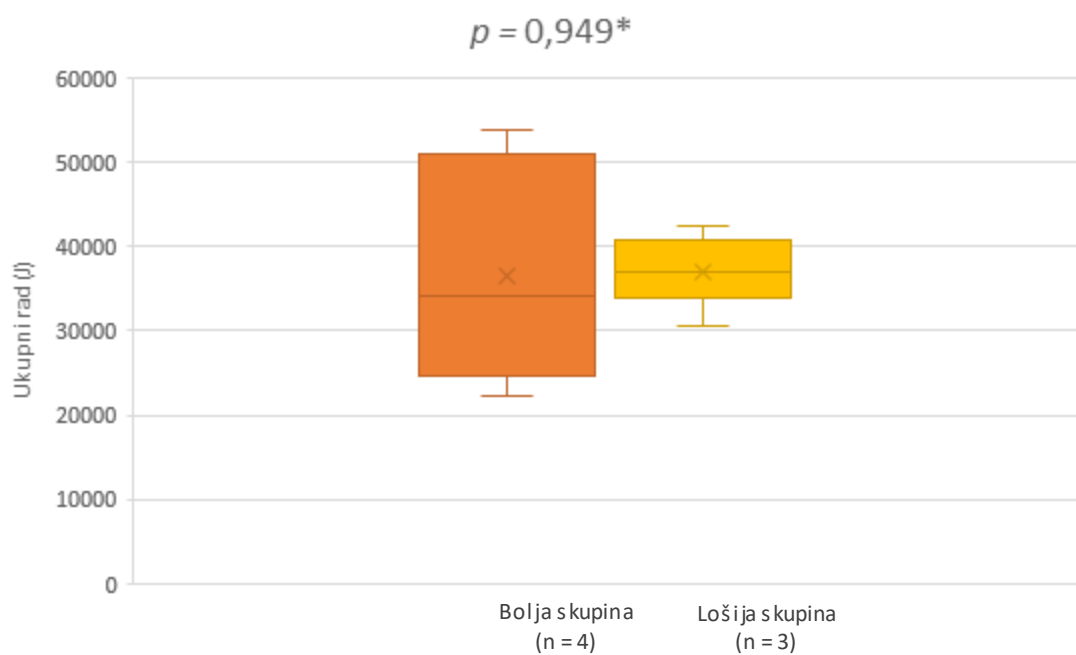
Profesionalni džudaši percipirali su svaku seriju tjelovježbe kao podjednako umarajuću neovisno o tome jesu li trening radili s ili bez rukavice za hlađenje ($p = 0,422$) (Slika 10).



Slika 10. Usporedba subjektivne procjene umora nakon serije između treninga odrađenog s rukavicom i bez iste.

*Friedmanov test s *post hoc* Conoverovim testom.

U džudaša koji imaju bolje sportske uspjehe nije uočena manja razlika u volumenu treninga uslijed korištenja rukavice u odnosu na džudaše s lošijim sportskim uspjesima (34,0 (25,1 – 48,7) kJ vs. 36,9 (35,1 – 40,1) kJ, $p = 0,949$) (Slika 11).



Slika 11. Usporedba ukupnog rada između skupine ispitanika s boljim i skupine ispitanika s lošijim sportskim uspjesima.

* Mann-Whitneyjev U test

5. RASPRAVA

Rezultati našeg istraživanja pokazali su da profesionalni džudaši koji su koristili rukavicu za hlađenje CoolMitt® ostvarili veći volumen treninga u usporedbi sa sportašima koji istu nisu koristili. Ipak, prilikom vježbanja u drugoj, trećoj i četvrtoj seriji, nisu uočene značajne razlike u izdržljivosti na 85% RM1 između tih dviju skupina. Također, u našem istraživanju nije dokazana povezanost sportskih uspjeha s boljim rezultatima u povećanom volumenu treninga, niti je subjektivni osjećaj umora bio manji prilikom korištenja rukavice za hlađenje. Iscrpnom pretragom literature nismo uspjeli pronaći istraživanje u kojem se ispitivao utjecaj iste ili slične tehnologije na

Različite tehnike hlađenja prije i tijekom izvođenja vježbi dovode do poboljšanja u izdržljivosti i volumenu treninga (19). Primjerice, imerzijom cijelog tijela nakon vježbi smanjuju se upale mišića i umor (19). Opisani učinci hlađenja i njihovi rezultati objašnjeni su različitim fiziološkim mehanizmima, a uključuju promjene u okviru termoregulacijskog, kardiovaskularnog i metaboličkog sustava (19). S druge strane, postoje tehnike poput korištenja mokrih, hladnih komada odjeće za snižavanje tjelesne temperature sportaša prije vježbanja, no nisu zabilježena značajnija poboljšanja u rezultatima (20). S napretkom tehnologije javljaju se nove tehnike hlađenja od kojih neke još nisu u potpunosti dokazane ili usvojene od strane zdravstvenih djelatnika ili profesionalnih trenera. Jedna od najstarijih i dugotrajno korištenih tehnika je imerzija čitavog tijela u hladnu vodu (21). U istraživanju kojeg su proveli Nye i suradnici, testirane su tri različite tehnike hlađenja na vojnicima (21). Vježba se sastojala od vojničkog marširanja s ruksakom težine 15 kg na leđima u vrućim i vlažnim vremenskim uvjetima u trajanju od devedeset minuta, nakon čega su korištene tri tehnike hlađenja. Prva tehnika bila je imerzija čitavog tijela u hladnu vodu, druga je bila „*The Polar Life Pod (PLP)*“, što je označavalo vreću ispunjenu hladnom vodom, a treća je bila primjena hladnih obloga na pojedina područja (21). Cilj navedenog istraživanja bio je dokazati djelotvornost modernije tehnologije, odnosno vreće ispunjene hladnom vodom i usporediti rezultate sa klasičnim uranjanjem tijela u hladnu vodu (21). Prema dobivenim rezultatima, PLP i primjena hladnih obloga lokalno imaju sporiji učinak hlađenja u odnosu imerziju čitavog tijela u hladnu vodu te se zbog toga ne smatraju optimalnom tehnikom hlađenja (21). Također, postoje i lokalne tehnike hlađenja koje imaju dokazanu djelotvornost snižavanja

temperature i time povećanja izdržljivosti u sportaša. Poznato je da su treninzi i natjecanja u vrućim uvjetima izrazito nepovoljni i čak opasni za sportaše te je potrebno voditi brigu o njihovom zdravlju i adekvatno ih hladiti (22, 23, 24). Primjerice, hlađenje vrata, lica i glave značajno smanjuje lokalnu temperaturu kože te pomaže sportašima da lakše podnose nepovoljne vruće uvjete u kojima se natječu (22, 23). Prema dobivenim rezultatima ovog istraživanja, hlađenje vrata pokazala se kao najbolja tehnika tijekom samog vježbanja, a slijedile su je hlađenje glave i tek onda lica (22). Primjenjujući bilo koju od ovih tehnika, sportaši su pokazali veću izdržljivost i podnošenje nepovoljnih uvjeta te se još uvijek treba dokazati potencijalno sinergističko djelovanje ovih triju tehnika zajedno (22, 23). Zbog praktičnosti mogu se koristiti i druge tehnike poput ispiranja usta otopinom mentola ili konzumacija hladnih pića (24). Dobiveni rezultati pokazali su da, iako samo privremeno, poboljšavaju izdržljivost i bolje podnošenje nepovoljnih vrućih uvjeta (24). Ovo se može objasniti povećanom količinom prolaktina u krvi, koji djeluje kao stres hormon, odnosno njegova koncentracija povezana je s količinom toplinskog stresa koje ljudsko tijelo može podnijeti (24). Također, ovo istraživanje pokazalo je da primjena iste otopine u manje ekstremnim uvjetima nema značajno djelovanje na sportaše i njihovu izdržljivost (24). Prema istraživanju kojeg su proveli Kirshnan i suradnici testiralo se djelovanje hlađenja ručnog zgloba prije aktivnosti na aerobni i anaerobni kapacitet sportaša (25). Iz dobivenih rezultata zaključili su da ova tehnika hlađenja povećava VO_2 max i snagu sportaša (25). Također, pokazana su poboljšanja i u anaerobnom i aerobnom kapacitetu, no anaerobni kapacitet imao je značajnije promjene u odnosu na aerobni (25). Osim za poboljšanje izdržljivosti i ostalih parametara kod sportaša, hlađenje je korisno kod akutnih ozljeda, koje se često događaju kod sportaša, jer smanjuju bol (26). Unatoč dokazanim poboljšanjima, kontinuirano korištenje tehnike hlađenja poput imerzije u vodu, može rezultirati smanjenjem stope sinteze miofibrilarnih proteina i tako oslabiti kondicioniranje mišića (27). Za razliku od spomenutih radova iz priložene literature, cilj naše studije nije bio poboljšanje djelovanja u nepovoljnim toplinskim uvjetima, već poboljšanje u izdržljivosti općenito.

Temperatura eksprimira učinak brzinu gotovo svakog biološkog procesa. Funkcija skeletnih mišića sisavaca nije jedna od iznimki. *In vitro* i *in vivo* studije pokazale su da postoji optimalan temperaturni raspon za maksimalno djelotvornu funkciju mišića (28–37). Povećanje temperature mišića do takvog „optimalnog raspona“ poboljšava rad

mišića, dok iznad te temperature kapacitet kontraktilne sile skeletnih mišića naglo pada. Održavanje temperature u mišićima unutar optimalne zone tijekom vježbanja visokog intenziteta je vrlo zahtjevno. Prilikom vježbanja visokog intenziteta potrošnja energije, a time i proizvodnja topline aktivnih skeletnih mišića može se povećati i do 100 puta u odnosu na stanje mirovanja (38). Primarno sredstvo odvođenja topline iz aktivnog mišića upravo je cirkulirajuća krv (39,40). Toplinski kapacitet krvi i spora vremenska konstanta prijenosa topline mogu rezultirati prolaznim povećanjem lokalne mišićne temperature tijekom vježbanja visokog intenziteta. Kako se fizička aktivnost nastavlja, dolazi do progresivnog nakupljanja topline unutar radnog mišića i jezgre tijela jer cirkulirajuća krv uklanja toplinu iz mišića i raspršuje je kroz veliku masu tjelesnog tkiva. Međutim, s povećanjem temperature, tijelo postaje manje učinkovit „odvod“ topline i temperatura aktivnih mišića raste brže. Gubitak topline iz tijela u okolinu dominantno se odvija putem kože. Štoviše, vazodilatacija kože uzrokovana djelovanjem termoregulacijskog centra pospješuje navedeni gubitak, ali područja kože u kojima se toplina gubi nisu uniformna, pa tako koža bez dlaka (npr. dlanovi i tabani) značajno više sudjeluje u navedenom procesu (41). S obzirom da je gubljenje topline određeno količinom topline koju tijelo može izdati, gubitak topline iz aktivnog mišića ovisit će o protoku krvi kroz navedeni mišić i temperaturnom razlikom između mišićnog tkiva i krvi. Stoga, izvlačenje topline iz cirkulirajuće krvi trebalo bi povećati kapacitet cirkulirajuće krvi za apsorpciju topline iz aktivnih mišića, smanjujući time lokalnu akumulaciju topline u aktivnim mišićima tijekom visokog intenziteta vježbe i poboljšavajući performanse.

Rezultati ove studije donekle su u skladu s navedenom pretpostavkom. Činjenica da je najpouzdaniji mjereni parametar, ukupni volumen treninga bio veći uz korištenje rukavice, a da istovremeno u vremenu na 85% RM1 i subjektivnom osjećaju umora nije bilo razlike može se objasniti na više načina. Najrazumnija objašnjenja su da je parametar vrijeme provedeno iznad 85% RM1 relativno nepouzdan, s obzirom da se pokazao kao iznimno težak za procjenu jer očitavanja snage na zračnom biciklu kasne i do jedne sekunde, povećavajući tako varijabilnost mjerenja. S druge strane, manjak razlike u subjektivnom osjećaju umora može biti posljedica činjenice da u profesionalnih sportaša subjektivni osjećaj umora obično ne korelira sa stvarnim mišićnim performansama.

Sličnu tehniku hlađenja kao i u našem istraživanju koristili su Esteves i suradnici, u kojem su uspoređivali različite tehnike hlađenja, među kojima je i hlađenje dlana (42).

Ispitanici tog istraživanja radili su „*bench press*“ i zahvaljujući hlađenju dlana između serija, pokazali su mogućnost izvođenja većeg broja ponavljanja, nego kada iste nisu hladili (42). Nadalje, nekoliko je autora koristilo istu rukavicu (CoolMitt®), ali na drugoj populaciji i koristeći različite vrste treninga. U pivotalnoj studiji, Heller i suradnici pokazali su da primjena CoolMitt® smanjuje središnju tjelesnu temperaturu (engl. *core*), a da istovremeno povećava volumen treninga (*bench press*) za do 40% u razdoblju od šest tjedana (17). Nadalje, Kwon i suradnici pokazali su da hlađenje dlanova između serija *bench press*-a visokog intenziteta rezultira povećanim brojem ponavljanja do iscrpljenosti i većim volumenom treninga uz niži subjektivni osjećaj umora (43).

Naše istraživanje ima nekoliko limitacija vrijednih spomena. Za početak istraživanje je uključilo relativno mal broj ispitanika, a svi ispitanici su bili iz istog podneblja. Nadalje, period praćenja je bio relativno kratak što sprečava zaključivanje o dugoročnijim posljedicama korištenja ove metode. Konačno, glavna limitacija ovog istraživanja je činjenica da nismo mjerili središnju tjelesnu temperaturu niti objektivne parametre zamora mišića poput laktata.

U budućnosti, da bi se naši rezultati mogli prenijeti u praksu trebalo bi proširiti broj ispitanika uz korištenje više objektivnih parametara prilikom samog mjerenja. Također, u nastavku istraživanja trebali bi se testirati i drugi borilački sportovi te međusobno usporediti rezultate, za izvođenje konačnog zaključka ovakve vrste hlađenja.

6. ZAKLJUČAK

1. Profesionalni džudaši ostvarili su ukupno veći volumen treninga ako su u pauzama koristili rukavice za hlađenje, nego ako iste nisu koristili.
2. Profesionalni džudaši u prosjeku nisu dulje vremena održali intenzitet vježbe na barem 85% RM1 u drugoj trećoj i četvrtoj seriji ako su u pauzama koristili rukavice za hlađenje, nego ako iste nisu koristili.
3. Vrijeme vježbanja pri intenzitetu od barem 85% RM1 u prvoj seriji nije se značajno razlikovalo između profesionalnih džudaša neovisno o tome jesu li trening radili s ili bez rukavice za hlađenje.
4. Profesionalni džudaši percipirali su svaku seriju tjelovježbe osim prve kao podjednako zahtjevnu neovisno o tome jesu li trening radili s ili bez rukavice za hlađenje.
5. U džudaša koji imaju bolje sportske uspjehe nije uočena manja razlika u volumenu treninga uslijed korištenja rukavice u odnosu na džudaše s lošijim sportskim uspjesima.

7. LITERATURA

1. Barac Latas V. Kontrakcija skeletnog mišića. U: Guyton AC i Hall JE, urednici. Medicinska fiziologija. Trinaesto izdanje. Zagreb: Medicinska naklada; 2017. str. 75-88.
2. Roberts TJ, Eng CM, Sleboda DA, Holt NC, Brainerd EL, Stover KK, Marsh RL, Azizi E. The Multi-Scale, Three-Dimensional Nature of Skeletal Muscle Contraction. *Physiology (Bethesda)*. 2019;34(6):402-8.
3. Sweeney HL, Hammers DW. Muscle Contraction. *Cold Spring Harb Perspect Biol*. 2018. doi: 10.1101/cshperspect.a023200.
4. Brooks SV. Current topics for teaching Skeletal Muscle Physiology. *Adv Physiol Educ*. 2003;27(4):171–82.
5. Sinha S, Elbaz-Alon Y, Avinoam O. Ca²⁺ as a coordinator of skeletal muscle differentiation, fusion and contraction. *FEBS J*. 2022;289(21):6531–42.
6. Barac Latas V. Podraživanje skeletnog mišića: neuromuskularni prijenos; sprema podraživanja i kontrakcije. U: Guyton AC i Hall JE, urednici. Medicinska fiziologija. Trinaesto izdanje. Zagreb: Medicinska naklada; 2017. str. 89-96.
7. Baylor SM, Hollingworth S. Intracellular calcium movements during excitation–contraction coupling in mammalian slow-twitch and fast-twitch muscle fibers. *J Gen Physiol*. 2012;139(4):261–72.
8. Caillé J, Idefonse M, Rougier O. Excitation-contraction coupling in skeletal muscle. *Prog Biophys Mol Biol*. 1985;46(3):185–239.
9. Wan J-J, Qin Z, Wang P-Y, Sun Y, Liu X. Muscle fatigue: general understanding and treatment. *Exp Mol Med*. 2017;49(10):e384–e384.
10. Yamada K. Energetics of muscle contraction: further trials. *J Physiol Sci*. 2017;67(1):19–43.
11. Enoka RM, Duchateau J. Muscle fatigue: what, why and how it influences muscle function: Muscle fatigue. *J Physiol*. 2008;586(1):11–23.
12. Kreher JB, Schwartz JB. Overtraining syndrome: A practical guide. *Sports Health*. 2012;4(2):128–38.
13. Krzysztofik, Wilk, Wojdała, Gołaś. Maximizing muscle hypertrophy: A systematic review of advanced resistance training techniques and methods. *Int J Environ Res Public Health*. 2019;16(24):4897.

14. Neves RP, Vechin FC, Teixeira EL, da Silva DD, Ugrinowitsch C, Roschel H, et al. Effect of different training frequencies on maximal strength performance and muscle hypertrophy in trained individuals—a within-subject design. *PLoS One*. 2022;17(10):e0276154.
15. Marshall A. Classification & methods of Resistance Training - boot camp & military fitness institute [Internet]. Boot Camp & Military Fitness Institute - We provide advice, guidance, support, and information on a wide range of military- and fitness-related topics. Boot Camp & Military Fitness Institute; 2020 [citirano 18. srpnja 2023]. Dostupno na: <https://bootcampmilitaryfitnessinstitute.com/2020/06/22/classification-methods-of-resistance-training/>
16. Gérard R, Gojon L, Declève P, Van Cant J. The effects of eccentric training on biceps femoris architecture and strength: A systematic review with meta-analysis. *J Athl Train*. 2020;55(5):501–14.
17. 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.
18. Chaillou T, Treigyte V, Mosely S, Brazaitis M, Venckunas T, Cheng AJ. Functional impact of post-exercise cooling and heating on recovery and training adaptations: Application to resistance, endurance, and sprint exercise. *Sports Med Open*. 2022;8(1).
19. Bongers CCWG, Hopman MTE, Eijsvogels TMH. Cooling interventions for athletes: An overview of effectiveness, physiological mechanisms, and practical considerations. *Temperature (Austin)*. 2017;4(1):60–78.
20. Racinais S, Ihsan M, Taylor L, Cardinale M, Adami PE, Alonso JM i sur. Hydration and cooling in elite athletes: relationship with performance, body mass loss and body temperatures during the Doha 2019 IAAF World Athletics Championships. *Br J Sports Med*. 2021;55(23):1335–41.
21. Best R, Payton S, Spears I, Riera F, Berger N. Topical and ingested cooling methodologies for endurance exercise performance in the heat. *Sports*. 2018;6(1):11.

22. Cao Y, Lei T-H, Wang F, Yang B, Mündel T. Head, face and neck cooling as per-cooling (cooling during exercise) modalities to improve exercise performance in the heat: A narrative review and practical applications. *Sports Med Open*. 2022;8(1).
23. Ruddock A, Robbins B, Tew G, Bourke L, Purvis A. Practical cooling strategies during continuous exercise in hot environments: A systematic review and meta-analysis. *Sports Med*. 2017;47(3):517–32.
24. Roriz M, Brito P, Teixeira FJ, Brito J, Teixeira VH. Performance effects of internal pre- and per-cooling across different exercise and environmental conditions: A systematic review. *Front Nutr*. 2022;9.
25. Krishnan A, Singh K, Sharma D, Upadhyay V, Singh A. Effect of wrist cooling on aerobic and anaerobic performance in elite sportsmen. *Med J Armed Forces India*. 2018;74(1):38–43.
26. Hubbard TJ, Denegar CR. Does cryotherapy improve outcomes with soft tissue injury? *J Athl Train*. 2004;39(3):278–9.
27. Fuchs CJ, Kouw IWK, Churchward-Venne TA, Smeets JSJ, Senden JM, Lichtenbelt WD van M i sur. Postexercise cooling impairs muscle protein synthesis rates in recreational athletes. *J Physiol*. 2020;598(4):755–72.
28. Else PL, Bennett AF. The thermal dependence of locomotor performance and muscle contractile function in the salamander *Ambystoma tigrinum nebulosum*. *J Exp Biol*. 1987;128(1):219–33.
29. Clarke RS, Hellon RF, Lind AR. The duration of sustained contractions of the human forearm at different muscle temperatures. *J Physiol*. 1958;143(3):454–73.
30. Drust B, Rasmussen P, Mohr M, Nielsen B, Nybo L. Elevations in core and muscle temperature impairs repeated sprint performance. *Acta Physiol Scand*. 2005;183(2):181–90.
31. Edwards RH, Harris RC, Hultman E, Kaijser L, Koh D, Nordesjö LO. Effect of temperature on muscle energy metabolism and endurance during successive isometric contractions, sustained to fatigue, of the quadriceps muscle in man. *J Physiol*. 1972;220(2):335–52.

32. Lännergren J, Westerblad H. The temperature dependence of isometric contractions of single, intact fibres dissected from a mouse foot muscle. *J Physiol.* 1987;390(1):285–93.
33. Petrofsky JS, Lind AR. The influence of temperature on the isometric characteristics of fast and slow muscle in the cat. *Pflugers Arch.* 1981;389(2):149–54.
34. Ranatunga KW. Force and power generating mechanism(s) in active muscle as revealed from temperature perturbation studies: Force and power generation mechanism in muscle. *J Physiol.* 2010;588(Pt 19):3657–70.
35. Roots H, Ball G, Talbot-Ponsonby J, King M, McBeath K, Ranatunga KW. Muscle fatigue examined at different temperatures in experiments on intact mammalian (rat) muscle fibers. *J Appl Physiol.* 2009;106(2):378–84.
36. Roots H, Ranatunga KW. An analysis of the temperature dependence of force, during steady shortening at different velocities, in (mammalian) fast muscle fibres. *J Muscle Res Cell Motil.* 2008;29(1):9–24.
37. Segal SS, Faulkner JA, White TP. Skeletal muscle fatigue in vitro is temperature dependent. *J Appl Physiol.* 1986;61(2):660–5.
38. Westerblad H, Allen DG, Lännergren J. Muscle fatigue: Lactic acid or inorganic phosphate the major cause? *Physiology (Bethesda).* 2002;17(1):17–21.
39. González-Alonso J, Quistorff B, Krstrup P, Bangsbo J, Saltin B. Heat production in human skeletal muscle at the onset of intense dynamic exercise. *J Physiol.* 2000;524(2):603–15.
40. Krstrup P, González-Alonso J, Quistorff B, Bangsbo J. Muscle heat production and anaerobic energy turnover during repeated intense dynamic exercise in humans. *J Physiol.* 2001;536(3):947–56.
41. Yamazaki F. Vasomotor responses in glabrous and nonglabrous skin during sinusoidal exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34(5):767–72; discussion 773.
42. Esteves GJ, Garcia RA, Azevedo PHSM. Different cooling strategies applied during inter-set rest intervals in high-intensity resistance training. *Int J Exerc Sci.* 2021;14(2):295–303.

43. 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.

8. ŽIVOTOPIS

Osobni podaci

Ime i prezime: **Luka Pecotić**

Adresa: Miroslava Krleže 24, 21 000 Split

E-pošta: lp511155@unist.hr

Datum i mjesto rođenja: 24. siječnja 2002. u Splitu

Državljanstvo: hrvatsko

Obrazovanje

Osnovna škola 2008. – 2016. Sućidar, Split

Srednja škola 2016. – 2020. III. gimnazija, Split

Fakultet 2020. – 2023. Sveučilišni odjel zdravstvenih studija,
prijediplomski studij program Fizioterapija

Radno iskustvo

Volonter 2021. – 2022. Poliklinika Podologija, Split

2022. – 2023. HNK Hajduk, Split

Usavršavanje

Tečaj 1. – 3. travanj 2022. Dynamic neuromuscular stabilization according to Kolář - a developmental kinesiology approach (Course level A)