

METODE HLAĐENJA U OPORAVKU VRHUNSKIH SPORTAŠA

Vrbančić, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2020

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:117:030341>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-05-16**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

KINEZIOLOŠKI FAKULTET

(Studij za stjecanje akademskog naziva:

magistar kineziologije)

Ivan Vrbanić

METODE HLADENJA U OPORAVKU

VRHUNSKIH SPORTAŠA

Diplomski rad

Mentor:

Prof. Dr. Sc. Igor Jukić

Zagreb, rujan 2020.

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

Mentor:

Prof. Dr. Sc. Igor Jukić

Student:

Ivan Vrbanić

METODE HLAĐENJA U OPORAVKU VRHUNSKIH SPORTAŠA

Sažetak

Oporavak je neizostavna varijabla u procesu kondicijske pripreme sportaša koja ne smije biti izostavljena. Poznato je da se adaptacije organizma na trenažne podražaje događaju tokom oporavka, stoga su treneri, sportski liječnici i znanstvenici u konstantnoj potrazi za što boljim metodama oporavka. Neadekvatan oporavak također može negativno utjecati na sportaševe sposobnosti u sljedećem treningu, te povećati rizik od pretreniranosti i ozljeda. Jedna od često korištenih metoda oporavka su metode hlađenja. Vjeruje se da metode hlađenja imaju pozitivne učinke na oporavak sportaša. One podrazumijevaju primjenu hladne vode, leda ili dušika u periodu od nekoliko minuta, najčešće odmah nakon iscrpljujuće aktivnosti. Metode hlađenja su uranjanje u hladnu vodu (hladne kupke), kontrastne kupke, krioterapija cijelog tijela i parcijalna krioterapija u kriogenim komorama, hladne masaže, hladni napici te prsluci za hlađenje i pakiranja leda. Stoga, cilj ovog rada je pregledom znanstvene literature prikazati i objasniti učinke metoda hlađenja u oporavku sportaševa organizma i motoričkih sposobnosti te priložiti jasne preporuke za njihovo korištenje.

Ključne riječi: pretreniranost, krioterapija, mišićno oštećenje, odgođena mišićna upala, motoričke sposobnosti

COOLING METHODS FOR RECOVERY OF TOP LEVEL ATHLETES

Abstract

Recovery is indispensable variable in the athletes conditioning preparatory process and must not be excluded. It is known that adaptations of organism on training stimuli happen during recovery, therefore, coaches, sports doctors and scientists are in the constant search for better recovery methods. Inadequate recovery can also negatively affect on athletes abilities to perform in next training session and increase risk of overtraining and injury. One of the commonly used methods of recovery are cooling methods. They imply application of cold water, ice or liquid nitrogen in the period of few minute, most often used immediately after exhausting activity. Cooling methods that exist are cold water immersion, contrast water immersion, whole body cryotherapy and partial body cryotherapy in cryogenic chambers, cold massages, cold drinks, cooling vests and ice packs. Therefore, the aim of this paper is reviewing scientific literature present and explain the effects of cooling methods in recovery of athletes organism, his motor abilities and to enclose specific recommendations for their use.

Key words: overtraining, cryotherapy, muscle damage, DOMS, motor abilities

Sadržaj

1. Uvod	5
2. Oporavak.....	6
2.1. Klasifikacija metoda oporavka.....	7
2.2. Klasifikacija metoda hlađenja.....	7
2.2.1. Uranjanje u hladnu vodu (hladne kupke)	8
2.2.2. Kontrastne kupke (toplo - hladno)	9
2.2.3. Kriogene komore.....	9
2.2.4. Pakiranja leda.....	11
2.2.5. Prsluci za hlađenje.....	11
2.2.6. Hladni napici.....	11
2.2.7. Hladne masaže	12
3. Utjecaj tjelesne aktivnosti na organizam	12
3.1. Metabolički stres	12
3.2. Mehanički stres	13
4. Fiziološki mehanizmi utjecaja metoda hlađenja na oporavak	14
4.1. Akutni učinci metoda hlađenja na kardiovaskularni sustav.....	14
4.2. Akutni učinci metoda hlađenja na dišni sustav	16
4.3. Akutni učinci metoda hlađenja na živčani sustav	16
4.4. Akutni utjecaj metoda hlađenja na mišićni sustav	17
5. Akutni utjecaj metoda hlađenja na motoričke sposobnosti	18
5.1. Akutni utjecaj metoda hlađenja na jakost.....	18
5.2. Akutni utjecaj metoda hlađenja na izdržljivost.....	21
5.3. Akutni utjecaj metoda hlađenja na snagu	23
5.4. Akutni utjecaj metoda hlađenja na fleksibilnost	24
6. Psihološke dobrobiti metoda hlađenja.....	26
7. Preporuke za doziranje metoda hlađenja	27
8. Kontraindikacije uzrokovane primjenom metoda hlađenja	29
9. Modeli praktične primjene metoda hlađenja u sportu	30
9.1. Primjer primjene metoda hlađenja u pripremnom mikrociklusu	30
9.2. Primjer primjene metoda hlađenja u natjecateljskom mikrociklusu	31
10. Zaključak.....	33
11. Literatura	35

1. Uvod

U vrhunskom sportu visoku razinu rezultata mogu postići samo oni sportaši koji uspješno savladavaju sve veća i veća opterećenja treninga i natjecanja. Poznato je da stagnacija u trenažnom procesu uvjetuje nepotpuni razvoj, odnosno zastoje u razvoju sposobnosti sportaša. Isto tako, preveliko opterećenje često znači dovesti sportaša u rizičnu situaciju koja može rezultirati ozljedom sportaša ili stanjem pretreniranosti (Milanović, 2013, str. 162). Dok se trenažno opterećenje može kontrolirati i dozirati, natjecateljsko opterećenje je uvijek maksimalno. Danas je u cijelom svijetu sportska industrija u velikom porastu. Zbog svoje društvene i ekonomske važnosti broj sportskih natjecanja i priredbi je sve veći. Zgusnuti rasporedi natjecanja dovode sportaše i njihove trenere u velike probleme jer nemaju dovoljno vremena za oporavak kako bi se postigli željeni efekti treninga ili odmora od utakmice ili natjecanja.

Fiziološki stres izazvan intenzivnom tjelesnom aktivnošću povezan je sa iscrpljivanjem zaliha energije, hipertermijom, mehaničkim oštećenjem mišića, oksidativnim stresom te upalom i umorom živčanog sustava (Ledder i sur., 2012). Navedeni simptomi rezultiraju padom sposobnosti, a u konačnici i padom izvedbe na treningu i natjecanju. To se vjerojatno događa zbog povećanja boli i osjetljivosti mišića i smanjene mišićne funkcije, poremećenog osjećaja za položaj mišića, povećanog vremena reakcije, kao i povećane krutosti i otjecanja mišića koje može trajati do nekoliko dana (McHugh i sur., 1997, Paschalis i sur., 2008, Armstrong 1984).

Sportaši ne trpe samo opterećenja na treninzima ili utakmicama. Rad i učenje također zahtijevaju velike napore. Sve navedeno, uzeto zajedno, može povećati ukupno opterećenje i otežati trenažni proces i napredak, te povećati rizik od ozljeda. Upravo zbog toga velik značaj i interes dobiva istraživanje zakonitosti procesa oporavka i pronalaženje novih metoda i načina za povećanje njegove učinkovitosti nakon opterećenja na treninzima i natjecanjima (Volkov, 1977, str. 3).

Jedna od skupina metoda koja se sve više istražuje i koristi u sportu su metode hlađenja. Najčešće metode hlađenja nakon intenzivne aktivnosti su uranjanje u hladnu vodu, kontrastne kupke, kriogene komore, prsluci za hlađenje, hladne masaže i hladni napici. Različite metode imaju i različite učinke, a veličina učinka ovisi o temperaturi vode ili komore te duljini izlaganja niskim temperaturama, ali i ostalim značajkama. Nadalje, ni utjecaj na oporavak svih tjelesnih obilježja prouzročen ovim metodama nije isti. Budući da o stupnju oporavljenosti sportaša

izravno ovisi njegova izvedba na sljedećem treningu ili natjecanju, kao i mogućnost prevencije ozljeda, sportski i kondicijski treneri zainteresirani su za razumijevanje fizioloških mehanizama i različitih protokola hlađenja kako bi maksimizirali učinkovitost ovih metoda.

S obzirom na navedeno, cilj ovog rada je pregledom znanstvene literature predstaviti aktualne spoznaje o utjecaju različitih metoda hlađenja na oporavak sportaševa organizma tijekom trenažnog i natjecateljskog procesa.

2. Oporavak

“Oporavak podrazumijeva primjenu različitih dopuštenih mjera i postupaka tijekom odmora koji će omogućiti brzu regeneraciju sportaševa organizma, odnosno obnavljanje potrošenih energetske, hormonalne i živčano mišićne pričuva (rezerva) i ponovnu uspostavu homeostaze, odnosno radne sposobnosti koja je bila narušena pod utjecajem opterećenja provedenog treninga, a osobito natjecanja” (Milanović, 2013, str. 188).

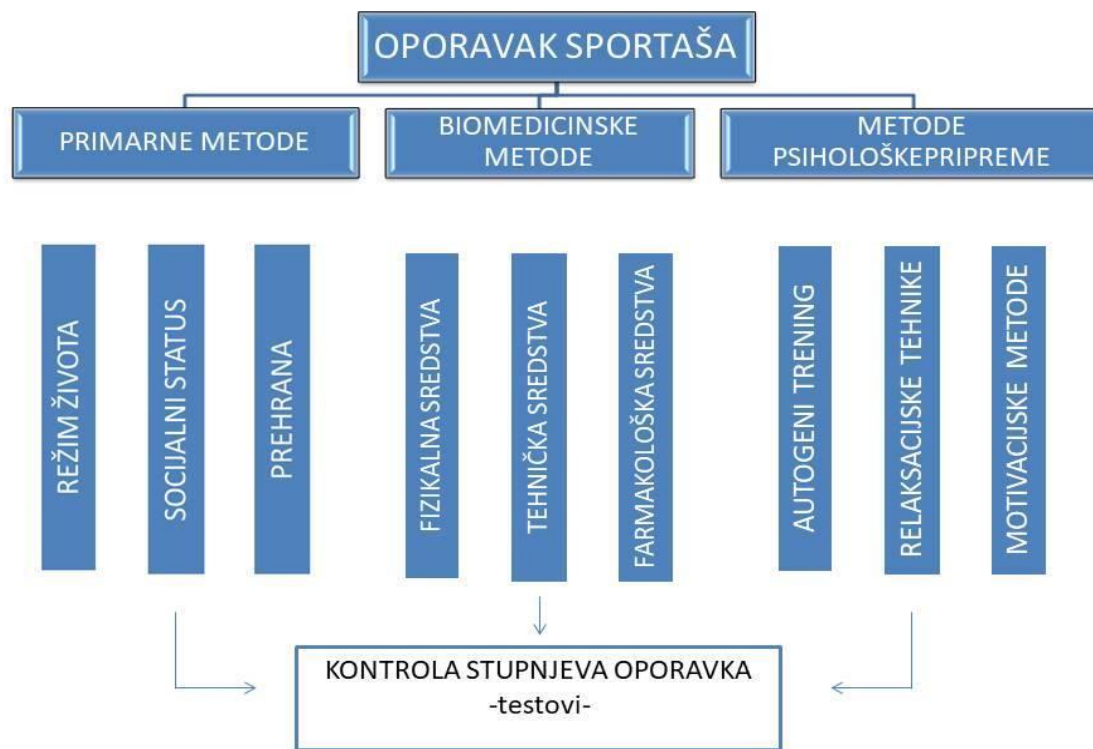
“Glavni ciljevi razdoblja odmora i oporavka jesu normalizacija bioloških funkcija, uspostavljanje homeostatske ravnoteže, obnavljanje energetske rezerva s postizanjem stanja privremene superkompenzacije i postizanje rekonstrukcijskih učinaka u odnosu na mikrotraume osjetljivih staničnih struktura” (Milanović, 2013, str. 188).

Nakon trenažnog ili natjecateljskog opterećenja ne može se govoriti o oporavku funkcija do početnih vrijednosti u doslovnom smislu, već o prelasku u novo stanje, koje se razlikuje od onog prije primjene opterećenja. Takvom pretpostavkom bilo bi nemoguće shvatiti činjenicu o povećanju motoričkih i funkcionalnih sposobnosti pod utjecajem treninga. Novo stanje u koje sportaš dolazi nakon oporavka od provedenog trenažnog ili natjecateljskog opterećenja naziva se stanje povišene radne sposobnosti (pojava superkompenzacije) (Milanović, 2013, str. 207).

Oporavak nakon trenažne aktivnosti je važan faktor u održavanju visoke razine izvedbe tokom ponavljanih trenažnih epizoda ili natjecanja. U turnirskom sustavu natjecanja, u kojima se sportaši mogu natjecati i nekoliko puta tokom dana, poboljšanje oporavka može omogućiti veliku prednost u odnosu na protivnike (Willcock, 2006).

2.1. Klasifikacija metoda oporavka

Postoji veliki broj metoda oporavka i one pripadaju raznim područjima, ovisno o mehanizmima i postupcima putem kojih se obnavljaju sportaševe iscrpljene zalihe. Dijelev se na podskupine a to su primarne, bio-medicinske i metode psihološke pripreme (Milanović, 2013).



Slika 1. Klasifikacija metoda oporavka. Preuzeto iz *Teorija treninga*, D. Milanović, 2013, str. 190

2.2. Klasifikacija metoda hlađenja

Metode hlađenja pripadaju fizikalnim sredstvima oporavka iz skupine bio-medicinskih metoda ubrzavajući oporavak pri umoru lokomotornog sustava. Pregledom literature utvrđeno je da su metode koje se najčešće spominju:

- uranjanje u hladnu vodu (CWI)
- kontrastne kupke
- kriogene komore
- pakiranja leda

- prsluci za hlađenje
- hladne masaže
- hladni napici

Primjena tih metoda u vrhunskom sportu je sve popularnija, a iako dosadašnja saznanja nisu još u potpunosti jasna, one imaju velik utjecaj na organizam i oporavak. Nadalje, istraživanja još uvijek nisu utvrdila koja je donja granica temperature vode ili drugih medija i sportaševa tolerancija je često okvirna mjera (Bleakly i sur., 2010). Da bi se moglo govoriti o nekoj metodi da je ona metoda hlađenja, temperatura medija mora biti manja od 15°C, prilagođeno temperaturi na kojoj se pojavljuje bol uzrokovana hladnoćom (Wilcock, 2006). Međutim, neka istraživanja navode temperaturu između 8°C i 10°C (Gill i sur., 2006, Ingram i sur., 2009), a u nekim slučajevima čak i 5°C (Sellwood i sur., 2007).

2.2.1. Uranjanje u hladnu vodu (hladne kupke)

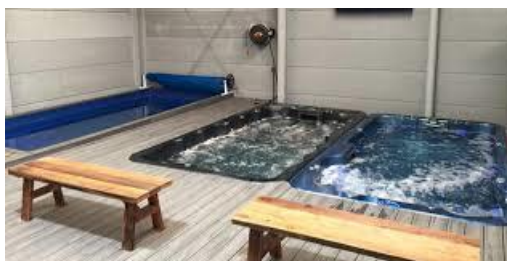
Uranjanje u hladnu vodu je najčešće korištena metoda hlađenja u profesionalnom sportu. Sastoji se od uranjanja cijelog tijela u hladnu vodu ili lokalnog uranjanja, većinom ekstremiteta koji je bio pod najvećim stresom tokom neke aktivnosti. Temperatura takve vode mora biti <15°C i protokol obično traje nekoliko minuta. Postoji velik broj istraživanja koja su proučavala učinke hladnih kupki na oporavak sportaševa organizma, a vjeruje se da najveći učinak ima na smanjenje upale mišića (DOMS) te na bolju vlastitu percepciju umora (Bleakly i sur., 2012).



Slika 2. Hladna kupka. Preuzeto s <https://canada.humankinetics.com/blogs/excerpt/cold-water-immersion-hypertrophic-friend-or-foe>

2.2.2. Kontrastne kupke (toplo - hladno)

Primjena kontrastnih kupki izmjenjujući toplu i hladnu vodu je alternativna metoda samom hlađenju često korištena u sportu. Kontrastne kupke su terapija u kojoj sportaš prvo bude uronjen u toplu vodu, a odmah zatim u hladnu vodu. Taj proces se obično ponavlja nekoliko puta i traje otprilike 5 do 10 minuta. Istraživanja sugeriraju da kontrastne kupke mogu smanjiti edeme, mišićne spazme i upalu, te povećati opseg pokreta izmjenjujući perifernu vazokonstrikciju i vazodilataciju (Biezun i sur., 2013). Kontrastne kupke su također bile učinkovite u smanjenoj percepciji boli 24, 48 i 72 sata nakon ekscentričnog treninga (Vaile i sur., 2008).



Slika 3. Primjer bazena s toplom i hladnom vodom. Preuzeto s: <http://p3sports.com.au/wet-therapy/>

2.2.3. Kriogene komore

U novije vrijeme su se pojavile i nove metode poput krioterapije dušikom gdje se cijelo tijelo stavlja u komoru na 2-5 minuta na temperaturu ispod -100°C . Tokom krioterapije dušikom sportaši imaju minimalno odjeće na sebi, a to su rukavice, vunena traka koja pokriva uši, maska za nos i usta te čarape kako bi se smanjio rizik od ozeblina (Costello i sur., 2015). Postoji parcijalna krioterapija u komorama te krioterapija cijelog tijela.

2.2.3.1. Parcijalna krioterapija dušikom

Kod parcijalne krioterapije dušikom, sportaš uđe u komoru noseći čizme i kupaće dok mu glava i ruke izviruju na gornjem dijelu komore. Ako ruke ostaju unutar komore, moraju biti pokrivene. Tekući dušik isparava hladnu paru te ona okružuje sportaša u komori. Senzori unutar komore često pokazuju temperaturu između -110°C i -40°C . Što se tiče dušika, težina vrlo hladne pare osigurava da većina dušika ostaje na donjem dijelu komore. Unatoč tome što je

potreban spremnik tekućeg dušika, takve komore su prijenosne i zbog toga se lako mogu privremeno postaviti u sportske objekte tokom natjecanja



Slika 4. Parcijalna krioterapija dušikom. Preuzeto s:

<https://www.peakendurancesport.com/other/cryotherapy-can-you-freeze-your-way-to-recovery/>

2.2.3.2. Krioterapija cijelog tijela

Kriogene komore za terapiju cijelog tijela sastoje se od glavne komore te jedne ili više pomoćnih komora. Da bi se zrak u prostorijama ohladio, tekući dušik prolazi kroz cijevi unutar zidova komore. Kod ove metode sportaš nikad ne dolazi u direktan kontakt sa hladnim medijom. U komorama može boraviti dvoje ili više ljudi koji moraju imati zaštitnu odjeću za stopala, ruke, nos, usta i uši. Pomoćne komore su na temperaturi od -60°C te služe za aklimatizaciju, a sportaši u njima provode minimalno 30 sekundi prije ulaska u glavnu komoru gdje je temperatura između -110°C i -140°C . U glavnoj komori se obično provodi 2 do 3 minute.



Slika 5. Komore za krioterapiju cijelog tijela. Preuzeto s: https://www.physio-pedia.com/Whole-body_cryotherapy

2.2.4. Pakiranja leda

Obična pakiranja leda su sredstva za hlađenje koja su najviše dostupna, stoga je njihova primjena česta na svim razinama sporta. Led se tako na tijelo aplicira lokalno, većinom na mišiće za koje se smatra da su najumorniji. Preporuke su da se izbjegava primjena leda direktno na kožu bez nekog materijala ili tkanine jer direktna primjena može uzrokovati ozeblina. Prema dosadašnjim istraživanjima lokalna primjena leda nema značajan utjecaj na oporavak organizma nakon iscrpljujućih aktivnosti (Poppendieck i sur., 2013).

2.2.5. Prsluci za hlađenje

Prsluci se kao metoda hlađenja koriste većinom prije trenažne ili natjecateljske aktivnosti u uvjetima visoke temperature i vlažnosti zraka. Visoko intenzivne aktivnosti u takvim uvjetima mogu dovesti do povećane temperature tijela što u konačnici može rezultirati padom sposobnosti sportaša. Prsluci su izrađeni od različitih materijala i imaju vezice kako bi se prsluk mogao utegnuti da što bolje pristaje sportašu. Neka istraživanja pokazuju da takvi prsluci dizajnirani posebno za sportske aktivnosti osiguravaju značajnu prednost sportašima koji izvode repetitivne tjelesne aktivnosti u uvjetima visoke temperature i vlažnosti zraka (Webster i sur., 2005).



Slika 6. Prsluk za hlađenje. Preuzeto s <http://always-cool.mozello.com/news/params/post/340741/athletic-sport-cooling-vests-at-world-cup>

2.2.6. Hladni napici

Kao i prsluci za hlađenje, hladni napici se najviše koriste tokom i prije aktivnosti u vrućim i vlažnim uvjetima kako bi se sporije podizala temperatura tijela koja može negativno utjecati na održavanje visoke razine izvedbe. Također služe za podizanje razine elektrolita u krvi.

2.2.7. Hladne masaže

Hladne masaže su sportske masaže prilikom kojih se koriste hladni ili ledeni gelovi kako bi se ubrzao protok krvi i tako poboljšao oporavak.

3. Utjecaj tjelesne aktivnosti na organizam

Da bi razumjeli utjecaj metoda hlađenja na oporavak nakon treninga ili natjecanja prvo moramo shvatiti kako tjelesno vježbanje i trening utječe na ljudski organizam. Vježbe ili radnje koje su za tijelo nove, većinom ekscentrične ili određenog intenziteta ili trajanja dovode do stresa na ljudsko tijelo na koje ono nije naviklo (White, Wells, 2013). Ovisno o specifičnosti tih vježbi ili radnji, stres dominantno može biti metabolički, mehanički ili kombinacija istih (Ledeer i sur., 2012, Bleakley i sur., 2010, Tee i sur., 2007).

3.1. Metabolički stres

Mehanizmi povezani s mišićnim oštećenjem koje nastaje tokom treninga i natjecanja su dosta istraženi u području sportske fiziologije. Ukratko, tjelesni napor koji izaziva primarno metabolički stres u aktivnim mišićima, poput treninga izdržljivosti ili intervalnog treninga, uključuje visoku aerobnu proizvodnju energije (Clanton, 2007) i proizvodnju topline (Arbogast, 2004). I visoka aerobna proizvodnja energije, kao i povećana proizvodnja topline rezultiraju povećanjem slobodnih kisikovih radikala. Slobodni kisikovi radikali su visoko reaktivni i mogu denaturirati proteine (promijeniti njihovu strukturu), nukleinske kiseline i lipide, što destabilizira strukturu mišićnih ćelija uključujući i sarkolemu i strukture ekscitacijskog kontrakcijskog spojnog sustava (Powers, 2008., Zembron-Lacny i sur., 2010). Oštećenja tog sustava izmjenjuje način kontrakcije, smanjuje kapacitet proizvodnje sile i samim time sportsku izvedbu, dok poremećaj u sarkolemi povećava propusnost mišićnog vlakna (Kendall, Eston, 2002). Kontinuirana povećana proizvodnja energije koja podržava ponavljane mišićne kontrakcije i povećani unutarmišićni tlak uzrokovan povećanim protokom krvi kroz mišiće može također uzrokovati blagi hipoksični stres u mišićnim vlaknima što za posljedicu ima nakupljanje metabolita (Ebbeling, Clarkson, 1989). Nakupljanje metabolita u mišićima povećava osmozu ćelije koja u kombinaciji sa povećanom propusnosti ima za posljedicu veću mogućnost za pojavu edema ili oticanja. Edemi uzrokuju povećani mehanički stres na strukture mišićne ćelije i pritišću kapilare, zbog čega dolazi do smanjenog dotoka kisika i odvoda štetnih tvari kroz krvotok, kao i upale mišića (Swenson i sur., 1996). Ovakav tip treninga također utječe na promjene u krvožilnom i živčano mišićnom sustavu. U konačnici, povećana koncentracija

citosolnog kalcija u mišićnim vlaknima dovodi do aktivacije proteaze, odnosno kataboliziranja razgradnje proteina, i upalnih ćelija, kao i stvaranju edema. U spoju sa oštećenjima uzrokovanim reaktivnim kisikovim spojevima i oticanjem mišićnih vlakana, uzrokovan je upalni odgovor mišića na tjelesnu aktivnost i stres (White, Wells, 2013). Iako je upalni proces uobičajena i česta pojava u trenažnom procesu i napretku, ako je pretjeran ili ne tretiran, fagocitna aktivnost neutrofila i monocita pridonosi sekundarnom mišićnom oštećenju. Sekundarno mišićno oštećenje, oštećenje uzrokovano učestalim trenažnim procesom i neadekvatnim odmorom i oporavkom, za posljedicu ima upalu mišića i smanjenje kapaciteta proizvodnje sile u satima i danima nakon visoko intenzivne trenažne epizode (White, Wells, 2013).

Apliciranjem neke od metoda hlađenja se može pospješiti oporavak nakon trenažne epizode koja uzrokuje metabolički stres smanjujući unutarmišićnu temperaturu i hipoksiju mišića, ograničavajući stvaranje slobodnih kisikovih radikala i daljnjeg mišićnog oštećenja (Ihsan i sur., 2013., Puntel i sur., 2012). Također, primjenom metoda hlađenja dolazi do vazokonstrikcije krvnih žila koje za posljedicu imaju smanjenje pojave edema, mišićnog oštećenja i upale (Yanagisawa i sur., 2003).

3.2.Mehanički stres

Mehanički stres na aktivne mišiće lokomotornog sustava tokom trenažnih epizoda koje uključuju snažne kontrakcije i proizvodnju velike sile u kratkom vremenu poput pliometrije ili treninga s vanjskim opterećenjem može prouzročiti izravno fizičko oštećenje sarkoleme, sarkomere, ekscitacijsko kontrakcijskog spojnog sustava i vezivnog tkiva u mišićima (Armstrong, 1983). Visok unutarmišićni tlak, kontinuirano otpuštanje kalcija iz sarkoplazmatskog retikuluma i napor prouzrokovan proizvodnjom sile pridonose povećanom mehaničkom stresu tokom kontrakcija mišića pri velikim silama (Kendall, 2002). U pravilu, ekscentrične vježbe uzrokuju veći stupanj mehaničkog oštećenja i kasnije mišićno oštećenje u usporedbi s dominantno koncentričnim i izometričnim vježbama (Malm, 2004). Gubitak strukturalne cjelovitosti sarkoleme i kontraktilnog sustava je izravno uzrokovan naporom tokom kontrakcija kod mehaničkog stresa. Oštećenje sarkoleme povećava propusnost ćelija i njihovo oticanje, dok poremećaj u radu ekscitacijsko-kontrakcijskog spojnog sustava smanjuje kapacitet proizvodnje sile, te oba poremećaja pridonose upali i smanjenoj funkciji i izvedbi. Narušavanje homeostaze kalcija unutar ćelija inicira proteazu i daljnja oštećenja (Kendall, 2002). Oštećenje ćelija, edem i otpuštanje citokina iz mišića izloženih mehaničkom stresu

povećavaju rizik od sekundarnog mišićnog oštećenja i kao rezultat toga narušenu funkciju mišića.

4. Fiziološki mehanizmi utjecaja metoda hlađenja na oporavak

Postoji nekoliko mehanizama putem kojih metode hlađenja blagotvorno djeluju na sportašev organizam. Vjeruje se da se primjenom metoda hlađenja odmah nakon intenzivne trenažne epizode mogu izbjeći ili smanjiti neželjena opadanja u sportaševoj izvedbi, do kojih dolazi uslijed smanjenja mišićne funkcije i povećanja oštećenja mišića i upalnog procesa do kojeg dolazi u satima ili danima nakon treninga (White, Wells, 2013).

Primjenom metoda hlađenja postiže se periferna vazokonstrikcija koja dovodi do smanjenog formiranja edema na periferiji i smanjenja frekvencije srca. Smanjenje frekvencije srca rezultira smanjenim minutnim volumenom koji u konačnici dovodi do snižavanja temperature mišića, manjeg mišićnog oštećenja kao i smanjene upale mišića uzrokovane opterećenjem (Wilcock i sur., 2006). Istraživanja su pokazala da je stupanj promjene temperature mišića pozitivno povezana sa metodama hlađenja koje dulje traju, imaju veći termalni gradijent, primijenjene su na veću površinu tijela te imaju veću masu medija, odnosno tekućine (Merrick i sur., 2003., Yanagisawa i sur., 2010., Janwantanakul 2009). S druge strane, povećano potkožno masno tkivo je negativno povezano sa smanjenjem unutarmišićne temperature (Otte i sur., 2002., Myrer i sur., 2001).

Kada govorimo o protuupalnom djelovanju metoda hlađenja, iste mogu smanjiti stimulans za aktivaciju puteva koje uzrokuju sekundarno mišićno oštećenje (Puntel i sur., 2011). Smanjenje ukupnog mišićnog oštećenja rezultirati će manjim obnavljanjem mišićnih vlakana koje se mora dogoditi da bi se postigla strukturalna i funkcionalna cjelovitost istih mišićnih vlakana koja je neophodna prije sljedeće intenzivne trenažne ili natjecateljske aktivnosti te će se time direktno smanjiti vrijeme oporavka (White, Wells, 2013).

Također, istraživanja su pokazala da metode hlađenja imaju i analgetski učinak (Cheung i sur., 2003).

4.1. Akutni učinci metoda hlađenja na kardiovaskularni sustav

Prema istraživanjima uranjanje u hladnu vodu može izmijeniti živčanu aktivnost srca, kao i vratiti središnji volumen krvi u normalu te poboljšati srčano predopterećenje (Kregel i sur., 1992., Herrera i sur., 2010). Obje promjene u kardiovaskularnom sustavu mogu ubrzati i poboljšati oporavak nakon intenzivne trenažne aktivnosti koja uzrokuje metabolički stres.

Postoje brojna istraživanja koja ukazuju poboljšanu učinkovitost kardiovaskularnog sustava nakon uranjanja u hladnu vodu poput smanjene frekvencije srca, povećanog minutnog i udarnog volumena srca (Halsen i sur., 2008., Herrera i sur., 2010, Vaile i sur., 2011).

U istraživanju kojeg su proveli Park, Choi & Park (1999) primijećeno je povećanje od 50% u minutnom volumenu kod ispitanika koji su tokom oporavka bili uranjani u hladnu vodu (15°C) u usporedbi sa ispitanicima koji su se odmarali bez uranjanja što autori pripisuju povećanom udarnom volumenu i srčanom predopterećenju. Veće povećanje udarnog volumena ispitanika uranjanih u hladnu vodu autori pripisuju vazokonstrikciji uzrokovanoj niskom temperaturom. Također, vrijednosti oporavka i varijabilnosti frekvencije srca su bile znatno poboljšane kod ispitanika koji su bili uranjani u hladnu vodu, kao i nakon uranjanja u termoneutralnu vodu (34°C) u usporedbi sa ispitanicima koji nisu. Uranjanje u vodu niskih temperatura pozitivno utječe na poboljšanje kardiovaskularnih mjera oporavka kroz povećanje venskog povratka i minutnog volumena te kroz učinkovitiji povratak neuralne aktivnosti srca u normalu. Promjene u kardiovaskularnom sustavu su vjerojatno moguće samo krioterapijskim metodama u kojima je veliki postotak tjelesne mase izložen ili uronjen u medij koji služi za hlađenje.

4.1.1. Frekvencija srca

Istraživanje Mantonija i sur. (2007) pokazalo je da uranjanje u hladnu vodu u trajanju od 30 sekundi na temperaturi od 0°C povećava vrijednosti frekvencije srca za 33 (SD 17) u prosjeku u odnosu na vrijednosti prije uranjanja (Početna vrijednost 74 (SD 16), finalna vrijednost 107(SD 18)). Dulje intervencije na višim temperaturama rezultirale manjim prosječnim vrijednostima frekvencije srca tokom prve, druge i treće minute intervencije (Tipton, 1990). Također, u istom istraživanju koristeći transkranijalnu Dopplerovu slikovnu dijagnostiku promatrane su promjene u brzini protoka krvi u sredini cerebralne arterije tokom uranjanja u hladnu vodu od 30 sekundi na 0°C. Taj protokol je rezultirao prosječnim smanjenjem protoka krvi u cerebralnoj arteriji za 43% (SD 8).

Jedna od studija u kojoj su se uspoređivali učinci uranjanja u hladnu vodu i aktivnog oporavka na distribuciju volumena krvi i ponavljanu sportsku izvedbu je pokazala da se uranjanjem u hladnu vodu frekvencija srca oporavlja brže te je izvedba u sljedećoj trenažnoj aktivnosti (1 sat nakon intervencije) bolja kod ispitanika koji su bili podvrgnuti uranjanju u hladnu vodu (Bucheit i sur., 2008).

U nekim studijama postoje dokazi da su ispitanici koji su bili podvrgnuti višestrukim intervencijama (6 x 3 minute na 15°C) (ili hladnom tušu (10 - 15 °C po 3 minute na leđa) postigli smanjeni odgovor frekvencije srca tokom uranjanja u hladnu vodu uz neke dokaze

dugoročne adaptacije organizma u usporedbi sa kontrolnom skupinom (Tipton i sur., 1990., Tipton i sur., 1998., Eglin & Tipton, 2005).

Primjena metoda hlađenja može normalizirati parasimpatičku regulaciju frekvencije srca nakon intenzivne trenažne aktivnosti (Herrera i sur., 2010., Park i sur., 1999., Vaile i sur., 2011).

4.1.2. Krvni tlak

Kauppinen i sur. (1989) je pokazalo značajno povećanje vrijednosti sistoličkog krvnog tlaka ($p < 0.05$) tokom uranjanja od 30 sekundi u ledenu vodu. Vrijednosti su bile 128.7 mm Hg (SD 15.4) prije uranjanja a nakon su se povećale na 143.1 mm Hg (SD 17.2). Te vrijednosti su bile još veće tokom drugog uranjanja koje je bilo 2 minute nakon prvog. U istom istraživanju vrijednosti dijastoličkog tlaka su bile znatno povećane ($p < 0.05$) u usporedbi sa normalnim vrijednostima samo nakon drugog uranjanja. Obje vrijednosti, i sistolički i dijastolički arterijski tlak su se vratile u normalu tokom sljedećih 30 minuta.

4.2. Akutni učinci metoda hlađenja na dišni sustav

Metode hlađenja također imaju utjecaj na promjenu nekih vrijednosti dišnog sustava. Tako Tipton i sur. (1990) u svom istraživanju pokazuju povećanje u prosječnom minutnom volumenu sa 16.4 l/min prije intervencije do 31 i 32 l/min tokom prve i druge minute nakon uranjanja u hladnu vodu (10° C). U istom radu primijećeno je povećanje prosječne potrošnje kisika na 0.676 l/min nakon uranjanja u usporedbi sa ranijim vrijednostima koje su iznosile 0.417 l/min.

Kraća uranjanja u hladnu vodu niže temperature rezultirala su većim povećanjem, od 11 (SD 3) l/min prije intervencije, do prosječne vrijednosti od 66 (SD 31) l/min nakon intervencije (Mantoni, 2007).

Gode i sur. (1975) u svom istraživanju također navode visoke prosječne vrijednosti minutnog volumena disanja od 94.5, 71.3 i 94.6 l/min tokom prva tri udaha nakon uranjanja u hladnu vodu (11,1° C).

4.3. Akutni učinci metoda hlađenja na živčani sustav

Kako je već navedeno u prijašnjim poglavljima, upale mišića uzrokovane intenzivnim trenažnim aktivnostima mogu narušiti sportaševu izvedbu, dok mikrotraume u mišićnim vlaknima mogu uzrokovati spazme ili grčeve u mišićima. Brzina živčane provodljivosti je izravno povezana sa povećanjem temperature tijela i mišića, te prema tome hlađenje smanjuje brzinu živčane provodljivosti i senzornih i motoričkih neurona, smanjujući osjećaj boli i grčeve u mišićima (Edwards, 1978).

Neka istraživanja su pokazala da je uranjanje u hladnu vodu najučinkovitija metoda hlađenja za smanjenje motoričke i senzorne živčane provodljivosti u periodu od 30 minuta nakon primjene metode (Herrera i sur., 2010). No čini se da utjecaj na motoričku i senzornu provodljivost nije jednak. Senzorni neuroni su pokazali manje promjene u temperaturi, vjerovatno zbog njihove površinske anatomske lokacije (Merrick i sur., 1993). Prema tome, čini se da aplikacija hladnog ima analgetski učinak na mišiće prije nego motorički neuroni dođu pod utjecaj hladnog, rezultirajući većom mobilnosti u zglobovima sa manjim osjećajem boli.

Hlađenje mišića lokomotornog sustava smanjuje jačinu kontrakcije i razvoj napetosti u mišićima koji nisu umorni, što ukazuje na to da je narušena brzina ekscitacijsko kontrakcijskog sustava (Shepherd i sur., 1983., Myrer i sur., 1997., Edwards, 1978). Zbog toga je potrebno razmotriti učinke smanjene mišićne temperature na sportaševu izvedbu kada se govori o primjeni metoda hlađenja između uzastopnih trenažnih ili natjecateljskih aktivnosti, jer mišići još uvijek mogu biti na temperaturi ispod uobičajene.

Homolak i Kuterovac u svom radu (2015) navode: "Učinci na živčani sustav još nisu dovoljno istraženi da bi se precizno mogao definirati učinak na adaptaciju koji je zasigurno prisutan. Smatramo da će istraživanja utjecaja na živčani sustav pokazati mnoge učinke koji bi se mogli uspješno iskoristiti u treningu."

4.4. Akutni utjecaj metoda hlađenja na mišićni sustav

Visoko intenzivna trenažna ili natjecateljska aktivnost, posebice ona u kojoj ima puno ekscentričnih kontrakcija mišića, može uzrokovati mišićno oštećenje, kasniju upalu tkiva, odgođenu mišićnu upalu (DOMS) te povećati sportaševu porcepciju umora (Cheung i sur., 2003). Kao indikator mišićnog oštećenja znanstvenici najčešće promatraju promjene u kreatin kinazi, a kao markeri upale se promatraju razine C reaktivnog proteina (CRP) i interleukina-6 (IL-6). Ti poremećaji u mišićnom sustavu mogu dovesti do smanjene proizvodnje mišićne sile koja uzrokuje smanjenu izvedbu sportaša te do povećanog rizika od ozljeda (Dupuy i sur., 2018). Znanstvenici smatraju da metode hlađenja mogu pozitivno utjecati na oporavak mišićnog sustava te smanjeno mišićno oštećenje i pojavu upale nakon intenzivne aktivnosti.

Pournot i sur. (2011) su uspoređivali utjecaj pasivnog oporavka i krioterapije cijelog tijela (kriogene komore) na markere mišićnog oštećenja i upale nakon trkačke utrke. Istraživanje se sastojalo od 11 profesionalnih trkača te su utrku izvodili dva puta u razmaku od mjesec dana. Nakon prve utrke je korišten pasivni oporavak, a nakon druge krioterapija cijelog tijela u sljedeća četiri dana (svaki dan jednom) na -110°C . Razina interleukina, C reaktivnog proteina

i broj bijelih krvnih zrnaca je mjereno prije, odmah nakon aktivnosti, te 24, 48, 72 i 96 sati nakon aktivnosti. U usporedbi sa pasivnim oporavkom, primjena metode hlađenja je uzrokovala smanjenje razine interleukina i C reaktivnog proteina 24 sata nakon primjene metode. Autori istraživanja su zaključili da je krioterapija cijelog tijela kao metoda oporavka učinkovita u smanjenju upalnog procesa. Takvi rezultati se mogu objasniti perifernom vazokonstrikcijom te smanjenju upalnih citokina i povećanju protuupalnih citokina.

Također, postoji i određen broj meta analiza koje su proučavale utjecaj metoda hlađenja na markere mišićnog oštećenja i upale. Tako je meta analiza Dupuya i sur. (2018) uspoređivala utjecaje različitih metoda oporavka, među kojima i metode hlađenja. Analiza je obuhvaćala 99 istraživanja i pronađen je pozitivan učinak hladnih i kontrastnih kupki na odgođenu mišićnu upalu (DOMS) i mišićno oštećenje.

Meta analiza Lombardija i sur. (2017) je proučavala učinke krioterapije cijelog tijela u kriogenim komorama na markere mišićnog oštećenja i upale. Autori su za potrebe meta analize koristili znanstvena istraživanja između 2010. i 2017. godine. Zaključili su da većina dokaza podržava primjenu krioterapije radi smanjenja upalnih procesa koji bi mogli utjecati na sportaševu izvedbu. Manji broj istraživanja nije dokazao pozitivne učinke, te ni to ne smije biti zanemareno. U tim istraživanjima nisu dokazane promjene u biokemijskim parametrima, no sportaševa procjena boli, upale, stresa i oporavka je bila značajno bolja u odnosu na neke druge metode oporavka.

5. Akutni utjecaj metoda hlađenja na motoričke sposobnosti

Učinci primjena različitih metoda hlađenja na oporavak motoričkih sposobnosti su do sad često istraživani. Njihov učinak na oporavak treniranih sportaša je u najmanju ruku ograničen, kako je navedeno u jednoj meta analizi. No ipak, u određenim uvjetima i okolnostima (hlađenje cijelog tijela, oporavak od treninga sprinta) primjena metoda hlađenja ima pozitivne učinke čak i za vrhunske sportaše (Poppendieck i sur., 2013).

5.1. Akutni utjecaj metoda hlađenja na jakost

Istraživanja koja su promatrala promjene u mišićnoj jakosti su dovela do kontradiktornih rezultata. Tako su neke studije pokazale da postoji pozitivan učinak metoda hlađenja na mišićnu jakost, dok su druge dovele do zaključaka da postoji vrlo malo dokaza koji podržavaju benefite metoda hlađenja na oporavak mišićne jakosti kod sportaša.

U svom radu Broatch i sur. (2014) su proučavali da li je placebo efekt odgovoran za promjene u mišićnoj jakosti ili fiziološke benefite. Istraživanje se sastojalo od 30 muških ispitanika (24 god $\pm$ 5; VO₂max 51.1 $\pm$ 7.0 ml/kg/min) koji su bili podijeljeni u 3 skupine, te je nakon visoko intenzivnog intervalnog treninga (4x30 sekundi sprint) odmah slijedio jedan od tri protokola ovisno o skupini u kojoj su se ispitanici nalazili. Prva skupina ispitanika je bila uranjana u hladnu vodu na 10°C, druga u termo-neutralnu vodu na 34.7°C kao placebo, a treća u termo-neutralnu vodu kao kontrolna skupina. Kao mjera jakosti uzimala se maksimalna voljna izometrička kontrakcija kvadricepsa u istim vremenskim točkama u sve tri skupine. Ispitanici su također ispunjavali upitnik o spremnosti za trening, umoru, pospanosti, boli i vjeri u učinkovitost oporavka. Rezultati istraživanja su pokazali da je mišićna jakost bila značajno manja u kontrolnoj nego u placebo skupini i skupini ispitanika koji su bili uranjani u hladnu vodu. Također, rezultati upitnika u kontrolnoj skupini su bili imali značajno bolje vrijednosti dok su druge dvije skupine imale slične. Placebo kao oporavak primijenjen nakon intenzivnog treninga bio je superiorniji u odnosu na kontrolnu grupu i jednako učinkovit kao uranjanje u hladnu vodu. To se može povezati sa bolji vrijednostima spremnosti za trening i boli, implicirajući da su često istraživani fiziološki benefiti uranjanja u hladnu vodu barem djelomično povezani s placebom.

Pointon i sur., (2012) su istraživali učinke uranjanja u hladnu vodu na oporavak živčano mišićnih funkcija nakon simulacije treninga na 32% i 52% vlage u zraku, nakon kojeg je slijedilo uranjanje u hladnu vodu na 8.9 °C $\pm$ 0.9 na 20 minuta ili pasivni oporavak. Kao jedna od mjera neuromuskularnih funkcija mjerena je i maksimalna voljna izometrička kontrakcija i aktivacija u vremenskim točkama od 2 sata i 24 sata nakon aktivnosti. U obje skupine ispitanika maksimalna voljna izometrička kontrakcija i aktivacija su imala značajno manje vrijednosti nakon trenažne aktivnosti i ostale su snižene u periodu od 24 sata nakon. U usporedbi sa kontrolnom skupinom, brzina poboljšanja jakosti nakon aktivnosti je bila veća u skupini uranjanih u hladnu vodu. Međutim, 24 sata nakon primjene metode oporavka maksimalna voljna izometrička kontrakcija i aktivacija je bila značajno veća u kontrolnoj skupini. Iako je akutni oporavak bio bolji, metoda hlađenja je rezultirala smanjenom mišićnom jakosti 24 sata nakon primjene.

Istraživanje istog autoga proučavalo je učinke hlađenja na oporavak voljnih kontraktilnih svojstava nakon visoko intenzivne i umarajuće aktivnosti. Deset ispitanika sa iskustvom u treningu jakosti je izvodilo 6 x 20 maksimalnih koncentričnih i ekscentričnih kontrakcija kvadricepsa dominantnom nogom nakon čega je slijedio 20 minutni oporavak. Oporavak se sastojao od primjene leda na kvadriceps dominantne noge u trajanju od 20 minuta ili pasivnog

oporavka. Kao markeri jakosti mjereni su maksimalna voljna izometrička kontrakcija te voljna kontrakcija (EMG), a mjereno je i mišićno oštećenje prije i 2 sata, 24 sata i 48 sati poslije aktivnosti. Aktivnost je rezultirala smanjenjem maksimalne voljne sile i povećanjem mišićnog oštećenja. Vrijednosti maksimalne voljne mišićne kontrakcije i voljne kontrakcije nisu značajno povećane primjenom metode hlađenja (Pointon i sur., 2011)

Jedna studija je testirala učinkovitost krioterapije cijelog tijela (-110°C) u usporedbi s pasivnim oporavkom na mišićni oporavak u prvih 48 sati nakon simulacije trkačke utrke. U tri zasebna tjedna, 9 trkača sa iskustvom su tri puta izvodili simulaciju utrke na traci za trčanje kako bi izazvali mišićno oštećenje. Krioterapija je primjenjivana odmah nakon, 24 sata i 48 sati nakon treninga te su svi ispitanici testirali obje metode oporavka nasumičnim odabirom u sljedeća tri tjedna. Kao marker mišićne jakosti mjerena je maksimalna izometrička sila odmah nakon primjene metode oporavka, te 1 sat, 24 sata i 48 sati nakon. U svim treninzima simulacija utrke je izazvala slično mišićno oštećenje. Maksimalna mišićna jakost i percepcija osjećaja sportaša su bile oporavljene nakon prve primjene metode oporavka u testiranju 1 sat nakon. Oporavak nije postignut kroz pasivnu metodu. Autori su zaključili da su tri primjene krioterapije u prvih 48 sati nakon trčanja više ubrzale oporavak od mišićnog oštećenja uzrokovanog vježbanjem nego pasivna metoda oporavka (Hauswirth i sur., 2011).

Paddon-Jones i Quigley (1997) su u svom radu istraživali kako krioterapijski protokol djeluje na oporavak jakosti pregibača podlaktice te na smanjenje mišićnog oštećenja nakon ekscentričnog treninga. U istraživanju je sudjelovalo osam utreniranih muškaraca sa iskustvom u treningu s opterećenjem te su izvodili 64 ekscentrična pregiba podlaktice sa svakom rukom. Jedna ruka je bila podvrgnuta uranjanju u hladnu vodu pet puta po 20 minuta na 5°C u razmaku od 60 minuta između svakog uranjanja. Druga ruka je služila kao kontrolna te je na njoj primjenjivan pasivni oporavak. Kao marker jakosti mjerena je izometrička sila koja je odmah nakon treninga ($65.2 \pm 4.5\text{ Nm}$) imala puno manje vrijednosti nego prije treninga ($87.9 \pm 4.5\text{ Nm}$). Mišićna jakost se vratila na početne vrijednosti 72 sata nakon treninga na obje ruke. Mišićna upala je bila najveća 48 sati nakon treninga, a nestala je 120 sati nakon. Istraživanje nije pokazalo statistički značajne razlike u promjeni mišićne jakosti i smanjenju mišićnog oštećenja između ruke koja je bila podvrgnuta protokolu hlađenja i ruke koja je služila kao kontrolna. Rezultati upućuju na to da korištenje krioterapije odmah nakon ekscentričnog treninga koje izaziva veliko mišićno oštećenje nije učinkovitije od pasivnog oporavka.

Jedno starije istraživanje Ruiza i sur. (1993) proučavalo je učinke krioterapije prije serija vježbanja na koncentričnu i ekscentričnu jakost kvadricepsa. Istraživanje u kojem je sudjelovalo 19 ispitanika dizajnirano je u dvije faze koje su sadržavale četiri protokola: led i vježbanje, led

i odmor, bez leda i sa vježbanjem, te bez leda i sa odmorom. Kao markeri ekscentrične i koncentrične jakosti mjereni su momenti sile koristeći kinetički komunikator prije vježbanja, odmah nakon protokola te 20 i 40 minuta nakon protokola. Rezultati su pokazali statistički značajno smanjenje u koncentričnoj i ekscentričnoj jakosti odmah nakon dvadesetpetominutnog tretmana krioterapijom. Takvi rezultati ukazuju da primjena leda odmah prije sudjelovanja u trenažnoj ili natjecateljskoj aktivnosti može značajno utjecati na sportaševu izvedbu. Čini se da je smanjenje jakosti nakon terapije kratkog trajanja (manje od 20 minuta). Odgođeni učinak terapije ledom i serija vježbanja je imao drugačiji učinak na koncentričnu jakost od ekscentrične. Primjena leda nije imala odgođeni učinak na koncentričnu jakost, ali vrijednosti ekscentrične jakosti su bile značajno drugačije. Vježbanje nije imalo značajnog učinka na vrijednosti oporavka ekscentrične jakosti, ali u vrijednostima koncentrične jakosti je imalo značajno bolji učinak. Autori su ovim istraživanjem zaključili da vježbanje umjerenim intenzitetom nakon primjene krioterapije ima pozitivne učinke na oporavak koncentrične jakosti.

Kako je već navedeno na početku ovog poglavlja, istraživanja u području utjecaja krioterapijskih metoda na mišićnu jakost polučila su različite rezultate. Kada govorimo o smanjenju jakosti nakon primjene krioterapije ono potencijalno možemo pripisati smanjenju kontrakcijskih sposobnosti na periferiji i promjenama u viskoelastičnosti tkiva, a posebice mehaničkim svojstvima tetiva koje mogu narušiti sposobnost kapaciteta proizvodnje sile (Allen i sur., 1995., Algafly & George, 2007). Povećanje jakosti nakon primjene neke od metoda hlađenja u nekim slučajevima možemo pripisati sportaševoj percepciji boljeg oporavka te placebo efektu. Zaključno o jakosti, još uvijek ne postoji dovoljno znanstvenih dokaza da metode hlađenja pozitivno utječu na brži oporavak jakosti nakon intenzivne trenažne aktivnosti te na povećanje jakosti prije treninga.

5.2. Akutni utjecaj metoda hlađenja na izdržljivost

Pregledom literature pronađen je velik broj istraživanja koji su proučavali primjenu hladnih kupki kao metodu oporavka na ponovljenu izvedbu u treningu izdržljivosti, dok je broj istraživanja koji su proučavali druge metode hlađenja mali. Kao i kod ostalih motoričkih sposobnosti, različita istraživanja su polučila različite rezultate. Ipak, kada govorimo o treningu izdržljivosti i oporavku od istog, učinci metoda hlađenja su imali bolje rezultate od pasivnog oporavka. Na fiziološkoj razini to se vjerojatno događa zbog periferne vazokonstrikcije te refleksne vazodilatacije nakon primjene metode, što dovodi do povećanog protoka krvi kroz

mišiće te većeg dovoda kisika i hranjivih tvari potrebnih za oporavak. Nadalje, kao i kod jakosti, veliku ulogu u oporavku sportaša je imala njihova percepcija oporavka i vjera u protokol.

Istraživanje Masahira i sur. (2010) je proučavalo kako primjena hlađenja utječe na oporavak nakon mišićnog umora izazvanog izometričkom kontrakcijom. Istraživanje se sastojalo od osam ispitanika koji su izvodili izometričku fleksiju podlaktice do mišićnog zamora prije i 10 minuta nakon intervencije. Intervencije su se sastojale od 2 i 10 minuta hlađenja te 10 minuta pasivnog odmora. Nakon svakog zadatka mjereni su mišićna temperatura, protok krvi te površinska elektromiografija. Rezultati su pokazali da je hlađenje od 10 minuta produžilo izdržljivost mišića u izometričkoj kontrakciji u usporedbi sa pasivnim oporavkom od 10 minuta te sa primjenom hlađenja od 2 minute.

Lane i Wenger (2004) su uspoređivali utjecaj aktivnog oporavka, masaže i uranjanja u hladnu vodu na izvedbu ponavljanih visoko intenzivnih bicikliranja u razmaku od 24 sata. Za svaku metodu oporavka, ispitanici su izvodili dvije aktivnosti vožnje bicikla u trajanju od 18 minuta intervalnog rada pri opterećenju od 80g/kg tjelesne mase. Oporavak je trajao 15 minuta i apliciran je odmah nakon aktivnosti. Aktivni oporavak se sastojao od bicikliranja pri 30% maksimalnog primitka kisika, uranjanja nogu u hladnu vodu pri 15°C, masaže nogu te pasivnog oporavka gdje je ta skupina ispitanika služila kao kontrolna. Rezultati istraživanja pokazali su da je samo u kontrolnoj skupini primijećen statistički značajan pad u ukupnom radu između prve i druge trenažne aktivnosti. Stoga, autori su zaključili da aktivni oporavak, masaža te uranjanje u hladnu vodu ubrzavaju oporavak nakon treninga izdržljivosti u razmaku od 24 sata.

U studiji Vailea i sur. (2008) su također uspoređivani učinci različitih metoda oporavka na ponovljenu izvedbu na treningu 24 sata nakon intenzivne trenažne aktivnosti. Ispitanici, podijeljeni u četiri skupine, su bili podvrgnuti intervenciji u trajanju od 14 minuta koja se sastojala od hladne kupke, tople kupke, kontrastne kupke te pasivnog oporavka. Protokol je trajao 5 dana i ispitanici su odradili po jedan trening svakih 24 sata. Kao procjena izdržljivosti uzeta je udaljenost koju su sportaši otrčali na treningu, a trening se sastojao od maksimalne pretrčane udaljenosti u 9 minuta. Grupe sportaša koje su bile podvrgnute hladnim i kontrastnim kupkama imale su 0.0 - 1.7% bolje rezultate kroz period od 5 dana u usporedbi sa grupama sa toplim kupkama i pasivnim oporavkom. Zaključak istraživanja je bio da hladne i kontrastne kupke imaju bolje učinke na oporavak izdržljivosti od toplih kupki i pasivnog oporavka te da su sportaši u tim skupinama mogle bolje održati razinu izvedbe kroz petodnevni period.

Učinci uranjanja u hladnu vodu na ponovljenu izvedbu su također proučavani u jednom drugom istraživanju. Ispitanici, 22 nogometaša na studentskoj razini, su podijeljeni u dvije skupine, od kojih je jedna bila kontrolna a druga je bila uranjana u hladnu vodu do pupka na

12°C 15 minuta. Kao marker izdržljivosti gledao se rezultat u Yo-Yo testu oporavka te se uz to gledala sportaševa percepcija umornosti nogu. Yo-Yo testom je izazvan namjerni umor sportaša te je odmah nakon te 24 sata nakon testa primjenjivana metoda uranjanja u hladnu vodu. Test je ponovljen 48 sati nakon prve izvedbe. Rezultati nisu pokazali statistički značajne razlike između kontrolne skupine i skupine ispitanika podvrgnute metodi hlađenja. Autori ovog istraživanja su zaključili da primjena navedene metode hlađenja odmah nakon, te 24 sata nakon namjerno izazvanog umora ne utječe dovoljno na oporavak sportaša u izdržljivosti u usporedbi sa pasivnim oporavkom (Rupp i sur., 2012).

5.3. Akutni utjecaj metoda hlađenja na snagu

Snaga je fizikalna veličina, a u kineziologiji se definira kao sposobnost sportaša da proizvede najveću moguću mišićnu silu u što kraćem vremenu. Postoje različiti oblici snage kao što su eksplozivna snaga tipa skoka, sprinta, bacanja i udarca (Milanović, 2013, str. 342). Visoka razina snage kod sportaša je neophodna za uspjeh na vrhunskoj razini. Tako su mnogi autori proučavali i utjecaj metoda hlađenja na oporavak snage i njenih tipova.

Na primjer, Viera i sur., (2015) su istraživali utjecaj krioterapije cijelog tijela na oporavak snage kroz ponovljenu izvedbu vertikalnog nakon visoko intenzivne trenažne aktivnosti. Istraživanje se sastojalo od 12 sportaša koji su bili nasumično podijeljeni u dvije skupine te je jedna skupina podvrgnuta hlađenju u kriogenoj komori na -110°C 3 minute odmah nakon visoko intenzivne aktivnosti, a druga je služila kao kontrolna. Kao marker jakosti, mjerena je visina, izlaz snage te maksimalna brzina skoka prije iscrpljujuće aktivnosti, te 30 minuta nakon primjene metode oporavka. Rezultati su pokazali statistički značajne opadanje svih parametara mjerenih prije i nakon iscrpljivanja u obje skupine. Međutim, nisu utvrđene statistički značajne razlike između kontrolne skupine i skupine podvrgnute hlađenju. Autori su zaključili da jedno primijenjeno hlađenje u kriogenim komorama nije imalo pozitivne učinke na oporavak snage u sljedećih 30 minuta u odnosu na kontrolnu skupinu.

Delextrat i sur. (2013) u svom istraživanju su uspoređivali učinke masaže i uranjanja u hladnu vodu na oporavak i vlastitu percepciju oporavka nakon košarkaške utakmice. Ispitanici su podijeljeni u tri skupine, od kojih je jedna podvrgnuta masaži, druga uranjanju nogu u hladnu vodu na 11°C pet puta po 2 minute, a treća je služila kao kontrolna. Metode oporavka su primijenjene odmah nakon odigrane utakmice. Kao parametri snage mjereni su skok s pripremom i sposobnost ponavljanog sprinta 10x30 metara nakon utakmice te 24 sata nakon primjene metode oporavka. Rezultati su pokazali da je sveukupna percepcija umora te percepcija umornosti nogu bila puno manja u prve dvije skupine u odnosu na kontrolnu. Nadalje,

žene su imale manju percepciju umora nakon primjene metode hlađenja nego nakon masaže. Izvedba skoka s pripremom kao parametra snage je bila veća nakon oporavka u hladnoj vodi nego nakon masaže i kontrolne skupine. Nijedna metoda nije imala utjecaj na sposobnost ponavljanog sprinta. Ovakvi rezultati upućuju na to da i masaža i uranjanje u hladnu vodu utječu na sportaševu percepciju oporavka. Također, uranjanje u hladnu vodu ima bolji utjecaj na oporavak snage kroz izvedbu skoka s pripremom od masaže i pasivnog oporavka, posebice kod sportašica.

Montgomery i sur. (2008) su istraživali utjecaj različitih metoda oporavka na izvedbu sportaša tokom trodnevnog košarkaškog turnira. Sportaši su podijeljeni u tri skupine od kojih je svaka provodila drugačiju metodu oporavka. Prva skupina je koristila kombinaciju ugljikohidrate i istezanje, druga je uranjana u hladnu vodu (11°C do prsa, 5x1 minuta sa 2 minute pauze), a treća je nosila kompresijske čarape. Među ostalim parametrima mjereni su i parametri snage, poput vertikalnog skoka te ubrzanja na 20 metara. Izvedba vertikalnog skoka se značajno smanjila nakon prvog dana turnira za sve tri skupine i ostala je takvom nakon završetka turnira. Uranjanje u hladnu vodu je imalo značajno bolje rezultate u odnosu na druge dvije metode u ubrzanju na 20 metara, rezultirajući boljim održavanjem prolaznog vremena na 20 metara nakon tri dana turnira. Autori ovog istraživanja su zaključili da uranjanje u hladnu vodu ima bolje učinke na oporavak sportaševih sposobnosti u odnosu na kombinaciju ugljikohidrata i istezanja te kompresijske čarape.

Kao i kod ostalih motoričkih sposobnosti, istraživanja koja su proučavala utjecaj metoda hlađenja na oporavak snage i njenih tipova dala su različite rezultate. Međutim, veći broj istraživanja za zaključak je imao da metode hlađenja pozitivno djeluju na oporavak snage iako su ti učinci mali. Zbog toga se ne može precizno odrediti jesu li ti učinci rezultat hlađenja ili placebo učinka kao kod jakosti. Bolje vrijednosti su dokazane jedino kod eksplozivne snage tipa sprinta, iako to može biti zbog različitih protokola hlađenja. Kao i kod ostalih sposobnosti, potrebno je još više istraživanja sa raznim protokolima hlađenja i drugačijim trenažnim aktivnostima kako bi se bolje zaključilo imaju li metode hlađenja pozitivan učinak na oporavak snage ili ne.

5.4. Akutni utjecaj metoda hlađenja na fleksibilnost

Pregledom literature utvrđeno je da postoji i određen broj istraživanja koje su proučavale utjecaj metoda hlađenja na oporavak i poboljšanje fleksibilnosti sportaša. Rezultati velikog broja tih istraživanja ukazuju na to da primjena krioterapije može pozitivno utjecati na tu sposobnost.

Tako su Park i sur. (2014) uspoređivali utjecaj trenutnih učinaka lokalne krioterapije i pasivnog istezanja cijelog tijela na stupanj ekstenzije stražnjeg ramenog mišića kod ispitanika sa napetosti u tom području. Istraživanje se sastojalo od 87 ispitanika podjeljenih u tri skupine. Prva skupina je bila podvrgnuta lokalnoj krioterapiji infraspinata i stražnjeg deltoidnog mišića, druga skupina pasivnom istezanju cijelog tijela, a treća je služila kao kontrolna. U istraživanju su mjereni osjećaji istezanja mišića, granica osjećaja boli na pritisak te pasivni i aktivni opseg pokreta u glenohumeralnom zglobu pri unutarnjoj rotaciji i horizontalnoj addukciji. Rezultati su pokazali da je osjećaj istezanja bio značajno manji, a granica osjećaja boli na pritisak značajno veća u prvoj i drugoj grupi ispitanika u odnosu na kontrolnu nakon intervencije i te vrijednosti su ostale takvim i 10 minuta nakon intervencije. Također, obje grupe su značajno povećale pasivni i aktivni opseg pokreta u ramenom zglobu u odnosu na kontrolnu grupu. Međutim, između prve dvije grupe ispitanika nije bilo značajnih razlika u navedenim parametrima. Temeljem istraživanja autori su zaključili da primjena lokalne krioterapije može služiti kao alternativna metoda na povećanje ograničenog opsega pokreta u ramenom zglobu kod sportaša sa napetosti u tom području, posebice kod onih koji tokom istezanja osjećaju neugodu i bol.

Istraživanje Khana i sur., (2013) je uspoređivalo učinke primjene topline i hladnoće tokom istezanja na stupanj istezanja plantarnih fleksora. 40 ispitanika je bilo podijeljeno u četiri skupine od kojih je prva bila podvrgnuta statičkom istezanju i primjeni topline, druga statičkom istezanju i primjeni leda, treća statičkom istezanju, a četvrta statičkom istezanju i kontinuiranom ultrazvuku. Ispitanici su provodili protokol istezanja 5 puta tjedno kroz 3 tjedna. Rezultati su pokazali značajne promjene u opsegu pokreta u sve četiri skupine ispitanika prije protokola u odnosu na vrijednosti nakon tri tjedna. Nadalje, opseg pokreta je bio značajno veći u prvoj i drugoj skupini ispitanika u odnosu na treću i četvrtu. To ukazuje da je primjena topline i hladnoće tokom istezanja bolja metoda za razvoj fleksibilnosti i opsega pokreta od samog istezanja.

Kostaki i sur. (2012) su istraživali utjecaj primjene leda od 10 i 20 minuta na mišiće stražnje strane natkoljenice. Dvadeset igrača studentske nogometne lige je sudjelovalo u istraživanju te su bili podijeljeni u dvije skupine. Test aktivne i pasivne fleksibilnosti stražnje strane natkoljenice se provodio 3 puta prije i 3 puta nakon intervencije. Primjena leda na mišiće stražnje strane natkoljenice rezultirala je povećanom aktivnom i pasivnom fleksibilnosti u obje grupe ispitanika.

Suprotno prethodno navedenim istraživanjima, rezultati nekih istraživanja nisu imali pozitivne rezultate na fleksibilnost mišića i povećani opseg pokreta u zglobovima. Tako su

Mustalampi i sur. (2012) istraživali učinke lokalne dvadesetominutne primjene hladnih pakiranja leda na mehanička svojstva kvadricepsa. Mehanička svojstva su kvantificirana analizirajući napetost, elastičnost i krutost mišića prije, odmah nakon, te 15 minuta nakon primjene hladnog gela. Rezultati su pokazali da je kvadriceps postao napetiji, krući i manje elastičan nakon primjene hlađenja. Mehanička svojstva nisu bila u potpunosti oporavljena ni nakon 15 minuta. Autori preporučuju oprezno zagrijavanje mišića nakon hlađenja kako bi se mehanička svojstva normalizirala i kako bi se smanjio rizik nastanka ozljeda.

Pozitivni učinci krioterapije na fleksibilnost još uvijek nisu u potpunosti razjašnjeni. Neki autori podržavaju teoriju da krioterapija pozitivno utječe na viskoelastična svojstva mišićnih vlakana i bolji miotatički refleks (Prentice, 1990, Bell i Lehmann, 1987). Ova dva mehanizma mogu pridonijeti većem opuštanju mišića te stoga i većoj fleksibilnosti. Nadalje, neki autori navode da primjena krioterapije na mišiće koji se istežu može smanjiti osjećaj istezanje te osjećaj boli i time direktno povećati fleksibilnost mišića (Minton, 1993)

6. Psihološke dobrobiti metoda hlađenja

U području sporta, mentalitet i psihološko blagostanje sportaša na visokoj razini je diljem svijeta prepoznato kao važan faktor koji utječe na sportsku izvedbu. Razne intervencije i metode se primjenjuju kako bi se osiguralo da su sportaši na najvišoj tjelesnoj i psihološkoj razini spremnosti za natjecanje (Serpell i sur., 2018). Sportašev nivo vlastite percepcije stresa i tjelesne neugode od prošle trenažne aktivnosti je povezan sa smanjenom izvedbom u sljedećim treninzima (Bagheri et al., 2018). Zbog toga se psihološki utjecaj metoda hlađenja na oporavak sve više istražuje u području sporta. Uz fiziološke benefite, jako je važno da određena metoda oporavka ima i utjecaj na sportaševu percepciju oporavka te da sportaš zaista vjeruje da mu ista pomaže. U nekim slučajevima, zabilježeno je da su sportaši imali bolje rezultate u ponovljenim mjerenjima isključivo zbog vjere u određenu metodu (Broatch i sur., 2014)

U jednom istraživanju, primjena 10 krioterapija cijelog tijela 3 minute na temperaturi od -100°C je podigla ukupno raspoloženje sportaša za preko 13% (Szczepanska-Gieracha i sur., 2014).

Iako je drugačija nego krioterapija cijelog tijela, metoda uranjanja u hladnu vodu odmah nakon intenzivne tjelesne aktivnosti je rezultirala smanjenom percepcijom upale mišića donjih ekstremiteta za 34% što može imati pozitivnu ulogu u sportaševoj izvedbi i blagostanju (Ahokas i sur., 2019).

Istraživanje Delextrata i sur. (2013) je također pokazalo da je uranjanje u hladnu vodu odmah nakon košarkaške utakmice rezultiralo smanjenom percepcijom umora u mišićima nogu 24 sata nakon. Također, to je bilo povezano sa povećanjem izvedbe skoka od 45%.

Wilson i sur. (2017) su istraživali utjecaje krioterapije cijelog tijela i uranjanja u hladnu vodu na markere oporavka nakon maratona. Istraživanje se sastojalo od trideset i jednog profesionalnog trkača maratona te su nasumično raspoređeni u tri skupine. Na prvoj skupini je primjenjivano uranjanje u hladnu vodu, drugoj krioterapija cijelog tijela te je treća bila placebo skupina. Prikupljane su sportaševe percepcije o mišićnoj upali, trenažnom stresu te markeri mišićnih funkcija prije i 24 te 48 sati nakon maratona. Također su prikupljeni i uzorci krvi kako bi se objektivno procijenila upala i mišićno oštećenje. Rezultati su pokazali da je krioterapija cijelog tijela imala negativan učinak na mišićnu funkciju u usporedbi sa uranjanjem u hladnu vodu nakon završetka maratona. S druge strane, krioterapija cijelog tijela je bolje utjecala na percepciju trenažnog stresa u usporedbi sa uranjanjem u hladnu vodu. Uzorci krvi uzeti 24 i 48 sati nakon intervencije, nisu pokazali pozitivno poboljšanje u markerima upale ili mišićnog oštećenja u obje grupe podvrgnute metodi hlađenja u usporedbi sa placebo grupom. Autori ovog istraživanja su zaključili da krioterapija cijelog tijela ima negativan učinak na funkciju mišića, percepciju, te krvne markere upale u usporedbi sa uranjanjem u hladnu vodu, što je kontradiktorno pretpostavkama da krioterapija cijelog tijela može biti superiornija metoda. Nadalje, krioterapija nije učinkovitija od placeba pri poboljšanju funkcionalnog oporavka ili percepcije stresa nakon maratona. Ovi rezultati upućuju na to da sportaševa vjera u oporavak može velikim dijelom biti odgovorna za pozitivne učinke krioterapije do sada dokazane.

7. Preporuke za doziranje metoda hlađenja

Kada govorimo o metodama hlađenja, različiti autori podržavaju različite teorije što se tiče doziranja, vremenskog okvira i temperature medija u koji se tijelo uranja. Doziranje može označavati i da li se cijelo tijelo uranja u medij ili samo dio tijela koji je bio izložen najvećem stresu. Također, korištenje više uzastopnih tretmana hlađenja može omogućiti mišićima da dostignu niže temperaturne vrijednosti i uz to ograničiti potencijalni rizik za oštećenja kože, jer se mišić nastavlja hladiti u periodu nakon primjene metode, dok se koža brzo ponovno zagrijava.

7.1. Uranjanje u hladnu vodu (hladne kupke)

Što se tiče metode uranjanja u hladnu vodu, odnosno hladnih kupki, istraživanja su pokazala da je uranjanje cijelog tijela statistički puno učinkovitije u odnosu na lokalno hlađenje. Uranjanje samo manjeg dijela tijela, najčešće ekstremiteta izloženog stresu, ne snižava temperaturu trupa učinkovito kao i uranjanje u hladnu vodu cijelog tijela (McDermott i sur., 2009). Zbog toga, može se očekivati da će temperaturni učinci biti bolji za cijelo tijelo. Nadalje, tlačne sile koje djeluju na tijelo tokom uranjanja cijelog tijela u vodu (hidrostatski tlak) se povećavaju sa dubinom uranjanja i zbog toga su veće kod uranjanja cijelog tijela nego lokalnog uranjanja. Što se tiče temperature vode, preporuke su da je temperatura između 12°C i 15°C dovoljna kako bi polučila pozitivne učinke na oporavak nakon trenažne aktivnosti i da daljnje smanjenje temperature ne bi prouzročilo dodatne učinke (Poppendieck i sur., 2013). Nedavna meta analiza Vromansa i sur. (2019) koja je obuhvatila 10 istraživanja sa 24 različita protokola hlađenja dovela je do zaključka da su najbolji učinci uranjanja u hladnu vodu na 10°C u trajanju od 11 minuta, što je nešto dulje izlaganje nižim temperaturama nego se ranije vjerovalo da je potrebno.

7.2. Krioterapija cijelog tijela (kriogene komore)

Istraživanje Selfea i sur. (2014) je proučavalo učinke kriogenih komora na -135°C u trajanju od jedne, dvije i tri minute. Autori su zaključili da je optimalno izlaganje hladnom u trajanju od 30 sekundi na -60°C nakon čega treba slijediti 2 minute na -135°C. Također navode da je ključno održati konstantnu temperaturu između dva uzastopna tretmana. Otvaranje vrata komore i ostajanje ispitanika unutra povećava temperaturu i smanjuje terapijski učinak, posebice kod električnih kriokomora, ali također i kod komora sa tekućim dušikom. Čekanje od dvije minute između dva uzastopna tretmana omogućuje temperaturi da ponovno dostigne terapijsku razinu.

Većina drugih istraživanja je izlagala ispitanike temperaturi od -110°C na 2 do 3 minute, međutim postoje velike razlike između vremena kada je terapija primijenjena odmah nakon trenažne aktivnosti i 24 sata nakon aktivnosti. Tako se primjena te metode odmah nakon treninga pokazala učinkovitijom za oporavak organizma.

7.3. Kontrastne kupke

Versey i sur. (2012) su istraživali da li kontrastne kupke pomažu akutnom oporavku nakon visoko intenzivnog trčanja i postoji li povezanost boljeg oporavka i različite doze. Istraživanje se sastojalo od 10 vrhunskih trkača koji su nakon trenažne aktivnosti provodili jedan od 4

različita protokola oporavka. Oporavak se sastojao od kontrastnih kupki izmjenjujući 1 minutu toplu vodu (38°C) i 1 minutu hladnu vodu (15°C) u prvoj grupi 6 minuta, , drugoj 12 i trećoj 18 minuta. Četvrta grupa je služila kao kontrolna te je ponovljena trenažna aktivnost slijedila 2 sata kasnije. Primjena kontrastnih kupki rezultirala je boljom izvedbom u grupi od 6 minuta, međutim nije bilo učinke za drugu i treću grupu. Autori su zaključili da iako je kontrastna kupka u trajanju od 6 minuta pomogla akutnom oporavku nakon visoko intenzivnog trčanja, povećana doza terapije nije imala veće učinke na oporavak.

7.4. Led i hladni prsluci

Postoji manji broj istraživanja koji su proučavali učinke lokalne primjene leda i hladnih prsluka na oporavak sportaša. Njihov prosječni učinak je bio negativan stoga autori nisu dali konkretne preporuke za njihovu primjenu. Ovakvi rezultati mogu biti objašnjeni činjenicom da je samo manji dio tijela hlađen te se temperatura trupa ne može sniziti i hidrostatski tlak u takvim metodama nije prisutan (Poppendieck i sur., 2013).

8. Kontraindikacije uzrokovane primjenom metoda hlađenja

Primjenom metoda hlađenja kod nekih ispitanika i sportaša dolazi i do neželjenih kontraindikacija, stoga se preporuča oprezan pristup takvim intervencijama.

“Uranjanje u hladnu vodu može uzrokovati pojavu kardijalnih aritmija kod zdravih pojedinaca koja je najčešće uzrokovana nastankom atonomnog konflikta istodobnom aktivacijom dva snažna antagonistička odgovora: simpatikusom posredovani hladni šok i parasimpatikusom posredovani ronilački refleks.” (Homolak, Kuterovac, 2015).

Osim aritmija, postoje i druge opasnosti kod korištenja metoda hlađenja koje su povezane sa temperaturom koju postižu koža i površinska tkiva jer oni postižu značajno nižu temperaturu od mišića. Vrijednosti temperature kože su $6.5 \pm 3.4^{\circ}\text{C}$ dok su vrijednosti temperature mišića 1 centimetar ispod razine potkožnog masnog tkiva $27.8 \pm 3.5^{\circ}\text{C}$. Površinska tkiva i koža sadrže puno više ranjivih i izloženih tkiva od mišića od kojih su jedna živci. (Merrick i sur., 2003).

Lombardi, Ziemann i Banfi (2019) u svojoj meta analizi navode da bi krioterapija cijelog tijela kao metoda oporavka trebala pratiti stroge smjernice i upute. Neke od trenutno prihvaćenih kontraindikacija krioterapije cijelog tijela uključuju intoleranciju na hladnoću, Raynaudov sindrom (utruo osjećaj u nekom dijelu tijela, najčešće prstima), hipotireoza (stanje smanjenog stvaranja, izlučivanja i djelovanja hormona štitnjače), akutne poremećaje dišnog

sustava, sindrome i bolesti kardiovaskularnog sustava (bolesti koronarnih arterija, srčano zatajenje kod nekih pacijenata). Također, krioterapija može uzrokovati gnojne gangrenozne kožne lezije, neuropatije simpatičkog živčanog sustava, poremećaje u protoku krvi, pothlađenost, kao i psihološke poremećaje uzrokovane klaustrofobijom tokom protokola. Autori navode da je krioterapija cijelog tijela sigurna metoda, koja se nije pokazala štetnom ni za pluća ni za funkciju srca u većini pregledane literature.

Također, postoji rizik od hiperventilacije i gubitka svijesti, a taj rizik je ograničen na uranjanja cijelog tijela u hladnu vodu na 0°C.

Temeljem svega navedenog, postoji opravdanje za oprez tokom primjena metoda hlađenja, posebice kod sportaša i pacijenata koji imaju problema sa kardiovaskularnim sustavom i koji nisu navikli na takve protokole. Stoga je važno da tokom primjene takvih metoda postoji primjereni nadzor stručnih osoba u tom području koji mogu brzo reagirati na različite situacije.

9. Modeli praktične primjene metoda hlađenja u sportu

Pregledom literature može se zaključiti da primjena metoda hlađenja ima svoje mjesto u profesionalnom sportu te da se ne koristi bez razloga. Ipak, njihova primjena je različita u različitim fazama pripremnog i natjecateljskog perioda, ovisno o vrsti i broju treninga u mikrociklusu, te o terminu natjecanja. Također, nakon treninga i natjecanja, ovisno da li je natjecanje gostujuće ili domaće, za oporavak sportaša se primjenjuju drugačije metode hlađenja, ovisno o njihovoj dostupnosti. U ovom poglavlju biti će prikazana tri različita mikrociklusa iz rukometa, jedan u pripremnom periodu i dva u natjecateljskom, te timing i frekvencija primjena metoda hlađenja s obzirom na raspored treninga i natjecanja u mikrociklusu.

9.1. Primjer primjene metoda hlađenja u pripremnom mikrociklusu

Mikrociklus u pripremnom periodu karakterizira veći broj pojedinačnih treninga te veći ukupni volumen opterećenja u usporedbi sa natjecateljskim mikrociklusom. U tablici 1 je prikazan primjer prvog tjedna bazične faze pripremnog perioda u rukometu s naglaskom na razvoj maksimalnog primitka kisika te bazične jakosti. S obzirom na tip i frekvenciju treninga, priložen je praktičan primjer primjene metoda hlađenja u takvom mikrociklusu.

Tablica 1. Mikrociklus u bazičnoj fazi pripremnog perioda u rukometu. Modificirano prema Bucheit (2018).

	Ponedjeljak	Utorak	Srijeda	Četvrtak	Petak	Subota	Nedjelja
Ujutro	Odmor	Tehnika i taktika	Bazična jakost (Kriogene komore 3 min na -110°C)	Tehnika i taktika	Odmor	Bazična jakost (Kriogene komore 3 min na -110°C)	Odmor
Popodne	Tehnika i taktika, VIIT* dugi trening (Kriogene komore 3 min na -110°C)	Tehnika i taktika	Tehnika i taktika	Tehnika i taktika, VIIT* dugi trening (Kriogene komore 3 min na -110°C)	Tehnika i taktika	Tehnika i taktika	Odmor
Ukupni trenažni volumen	70%	60%	70%	80%	50%	80%	0%

Legenda: Mikrociklus je modificiran iz „Science and application of HIIT training“, M Bucheit, P. Laursen, 2018

*VIIT – Visoko intenzivni intervalni trening

Iz praktičnog primjera možemo vidjeti četiri primjene metoda hlađenja kao metoda oporavka. Njihova primjena je organizirana na dane najvećeg ukupnog volumena, koje se dobiva kao umnožak intenziteta i ekstenziteta rada. Razlog tomu je velik broj istraživanja koja potvrđuju vjerovanja kako metode hlađenja pozitivno djeluju na smanjenje mišićnog oštećenja i odgođene mišićne upale. Visoko intenzivni intervalni treninzi uzrokuju veliki metabolički stres, a trening jakosti uzrokuje veliki mehanički stres. Oba tipa treninga za posljedicu imaju veliko mišićno oštećenje te odgođenu mišićnu upalu. Kako je u prvom tjednu bazične faze pripremnog perioda sportaša ključno postupno uvesti u sve veća trenažna opterećenja koja ga očekuju u daljnjem periodu priprema, neophodno je provesti kvalitetan oporavak kako bi se smanjio rizik od pretreniranosti i ozljeda. Kao metoda hlađenja odabrane su kriogene komore u trajanju od 3 minute na -110°C jer većina profesionalnih klubova u svojim trenažnim objektima ima dostupnu svu potrebnu opremu, a u slučaju da pripreme odrađuju na drugoj lokaciji, oprema im se u većini slučajeva osigura, ali kao alternativa mogu poslužiti i hladne kupke koje su dostupnije i lakše za postaviti.

9.2. Primjer primjene metoda hlađenja u natjecateljskom mikrociklusu

Natjecateljski mikrociklus se značajno razlikuje od pripremnog prema broju treninga te intenzitetu i ekstenzitetu rada. Tako je u natjecateljskom periodu intenzitet puno veći nego u

pripremnom, dok je ekstenzitet manji. U tablicama 2 i 3 su prikazani natjecateljski mikrociklusi sa jednom i dvije utakmice te frekvencijom i tipom metode hlađenja kao metode oporavka.

Tablica 2. Primjer natjecateljskog mikrociklusa s jednom utakmicom

	Ponedjeljak	Utorak	Srijeda	Četvrtak	Petak	Subota	Nedjelja
Ujutro	Održavajuća jakost, prevencija ozljeda	Odmor	Odmor	Eksplzivna snaga (održavanje)	Odmor	Odmor	Odmor
Popodne	Tehnika i taktika	Tehnika i taktika,	Tehnika i taktika, Specifična izdržljivost (Kriogene komore 3 min na -110°C)	Tehnika i taktika	Tehnika i taktika	Utakmica (gostovanje) (Hladne kupke 11 min na 10°C)	Odmor
Ukupni trenažni volumen	60%	60%	80%	70%	50%	100%	0%

Iz tablice natjecateljskog mikrociklusa možemo vidjeti dvije primjene metoda hlađenja kao oporavka. Razlog tome su manja trenažna opterećenja nego u pripremnom mikrociklusu te održavanje motoričkih sposobnosti igrača, a ne njihov razvoj. Ukupni trenažni volumen je manji, a metode hlađenja se primjenjuju na dane najvećeg volumena kako bi se ubrzao oporavak sportaša te smanjila mišićna upala koja može uzrokovati pad sposobnosti i ozljedu. Pregledom mikrociklusa možemo vidjeti kako je volumen opterećenja nešto veći u srijedu, a najveći je na dan utakmice. To je zbog toga da bi se od srijede do subote osiguralo dovoljno vremena za oporavak sportaša i pojavu superkompenzacije, odnosno povećane radne sposobnosti. Nakon srijede, preporučena metoda hlađenja su kriogene komore u trajanju od 3 minute na -110°C zbog njihove dostupnosti u objektima sportskog kluba, a kako je u subotu natjecanje u gostima, preporuke su za hladnu kupku u trajanju od 11 minuta na 10°C.

Tablica 3. Primjer natjecateljskog mikrociklusa s dvije utakmice

	Ponedjeljak	Utorak	Srijeda	Četvrtak	Petak	Subota	Nedjelja
Ujutro	Odmor	Odmor	Odmor	Odmor	Odmor	Odmor	Odmor
Popodne	Tehnika i taktika	Tehnika i taktika	Utakmica (gostovanje) (Hladne kupke 11 min na 10°C)	Tehnika i taktika	Tehnika i taktika	Utakmica (gostovanje) (Hladne kupke 11 min na 10°C)	Odmor
Ukupni trenažni volumen	60%	60%	100%	50%	60%	100%	0%

U primjeru natjecateljskog mikrociklusa sa dvije utakmice možemo vidjeti sličnu raspodjelu opterećenja kao i u mikrociklusu sa jednom utakmicom, međutim, imamo dva dana sa maksimalnim opterećenjem. Ovakav natjecateljski mikrociklus sa dvije utakmice je čest u profesionalnom sportu zbog odigravanja više natjecanja u isto vrijeme. U takvim mikrociklusima primjena metoda hlađenja ima veliku ulogu u oporavku sportaša, jer se sportaš mora brzo oporaviti između dvije utakmice. Za primjer su uzeta dva gostovanja u istom tjednu, stoga su kao metoda hlađenja odabrane hladne kupke u trajanju od 11 minuta na 10°C. Smanjujući mišićno oštećenje i odgođenu mišićnu upalu, metode hlađenja mogu biti ključne u oporavku sportaša u ovakvom mikrociklusu.

10. Zaključak

Planiranje odmora i oporavka nezaobilazan je dio kondicijske pripreme svakog sportaša, stoga mu tokom izrade plana i programa treninga treba posvetiti veliku pažnju. Neadekvatan oporavak nakon intenzivne trenažne i natjecateljske aktivnosti može uzrokovati pad sposobnosti na sljedećem treningu, pojavu pretreniranosti i povećati rizik od ozljeda. Često korištene metode oporavka su metode hlađenja, a u profesionalnom sportu se najviše koriste hladne kupke, kontrastne kupke te kriogene komore. Vjeruje se da primjena metoda hlađenja može poboljšati oporavak sposobnosti, te smanjiti mišićno oštećenje i upalu kao odgovor organizma na intenzivnu trenažnu aktivnost. Pregledom literature mogu se primijetiti različiti učinci na oporavak jakosti, snage, izdržljivosti i fleksibilnosti te na mišićno oštećenje i upalu. Tako su u velikom broju istraživanja dokazani pozitivni učinci primjene metoda hlađenja na markere mišićnog oštećenja i upale. Također, sportaševa percepcija boli, stresa i umora, te vjera u oporavak su imale značajno bolje vrijednosti u usporedbi metoda hlađenja i pasivnog oporavka. Sportaševa percepcija nije zanemariv faktor, a pokazalo se da može biti i ključan u ostvarivanju vrhunskog rezultata. Kada govorimo o oporavku motoričkih sposobnosti, primjena metoda hlađenja je polučila kontradiktorne rezultate. Tako veći broj istraživanja govori da metode hlađenja imaju pozitivne utjecaje na oporavak izdržljivosti i fleksibilnosti, dok su učinci na jakost i snagu još uvijek nedovoljno istraženi. U istraživanjima koje su proučavale učinke metoda hlađenja na snagu i jakost autori bolju izvedbu pripisuju boljoj sportaševoj percepciji i osjećaju oporavka. Pokazalo se da najbolje učinke imaju hladne kupke u trajanju od 11 minuta na 10°C, kriogene komore na -110°C u trajanju od 3 minute, te kontrastne kupke jednu minutu toplo te jednu minutu hladno, sveukupno 6 minuta. Metode hlađenja imaju svoje prednosti i nedostatke, a jedan od nedostataka su i kontraindikacije prouzročene hlađenjem, iako su one

rijetke. Zbog kontraindikacija, sportaši i treneri trebaju biti vrlo oprezni tokom primjene hlađenja, a poželjno je da uz sebe imaju profesionalnu i stručnu osobu koja će nadzirati protokol. Zaključno, iako je primjena metoda hlađenja u sportu raširena, istraživanja nisu u potpunosti dokazala pozitivne učinke na oporavak sportaševa organizma. Ipak, pozitivan utjecaj na smanjenje mišićnog oštećenja i upale, te poboljšana sportaševa percepcija oporavka dovoljan su razlog za njihovu primjenu. U budućnosti je potrebno provesti još više istraživanja o utjecaju metoda hlađenja na oporavak kako bi se mogli dovesti konkretniji i egzaktni zaključci.

11. Literatura

- Ahokas, K. E., Ihalainen, K. J., Kyröläinen, A. H., and Mero, A. A. (2019). Effects of water immersion methods on post exercise recovery of physical and mental performance. *J. Strength Cond. Res.* 33, 1488–1495.
- Algafly, AA, George, KP (2007). The effect of cryotherapy on nerve conduction velocity, pain threshold and pain tolerance. *British Journal of Sports Medicine* 41 : 365 – 369 doi: 10.1136/bjsm.2006.031237.
- Allen, GM, Gandieva SC, Mckenzie DK (1995). Reliability of measurements of muscle strength and voluntary activation using twitch interpolation. *Muscle Nerve* 18 : 593 - 600
- Arbogast S (2004). Oxidant activity in skeletal muscle fibers is influenced by temperature, CO2 level, and muscle-derived nitric oxide. *Am J Phys Regul Integr Comp Phys*, 287:R698–R705. doi: 10.1152/ajpregu.00072.2004.
- Armstrong RB, Ogilvie RW, Schwane JA(1983): Eccentric exercise-induced injury to rat skeletal muscle. *J Appl Physiol*, 54:80–93. doi: 10.1152/jappl.1983.54.1.80.
- Armstrong RB (1984). Mechanisms of exercise-induced delayed onset muscular soreness: a brief review. *Med Sci Sports Exerc* 1984;16:529–38.
- Bagheri, R., Pourahmadi, M. R., Hedayati, R., Safavi-Farokhi, Z., Aminian-Far, A., Tavakoli, S., et al. (2018). Relationships between hoffman reflex parameters, trait stress, and athletic performance. *Percept. Mot. Skills* 125, 749–768. doi: 10.1177/0031512518782562.
- Bell, K.R., Lehman, J.F. (1987). Effect of cooling on H- and T- reflexes in normal subjects. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 68 : 490 - 493
- Bieuzen F, Bleakley CM, Costello JT. Contrast water therapy and exercise induced muscle damage: a systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2013;8(4):e62356. doi: 10.1371/journal.pone.0062356.
- Bleakley CM, Davison GW (2010): What is the biochemical and physiological rationale for using cold-water immersion in sports recovery? A systematic review. *Br J Sports Med* 2010, 44:179–187. doi: 10.1136/bjsm.2009.065565.
- Broatch, J. R., Petersen, A., & Bishop, D. J. (2014). Postexercise cold water immersion benefits are not greater than the placebo effect. *Medicine and science in sports and exercise*, 46(11), 2139–2147. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000348>
- Buchheit M, Peiffer JJ, Abbiss CR, Laursen PB (2008): Effect of cold water immersion on postexercise parasympathetic reactivation. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2008, 296:H421–H427. doi: 10.1152/ajpheart.01017.2008

- Buchheit, M. I Laursen, P. (2018). *Science and application of HIIT training*. Human kinetics
- Cheung K, Hume P, Maxwell L (2003). Delayed onset muscle soreness: treatment strategies and performance factors. *Sports Med.*;33 (2) : 145- 164. doi: 10.2165/00007256-200333020-00005.
- Clanton TL (2007): Hypoxia-induced reactive oxygen species formation in skeletal muscle. *J Appl Physiol*, 102:2379–2388. doi: 10.1152/jappphysiol.01298.2006.
- Costello JT, Baker PR, Minett GM, Bieuzen F, Stewart IB, Bleakley C (2015). Whole-body cryotherapy (extreme cold air exposure) for preventing and treating muscle soreness after exercise in adults. *Cochrane Database Syst Rev*: <http://dx.doi.org/10.1002/14651858.CD010789.pub2>
- D. J. Paddon-Jones, B. M. Quigley, (1997). Effect of Cryotherapy on Muscle Soreness and Strength Following Eccentric Exercise *Int J Sports Med* ; 18(8): 588-590. doi: 10.1055/s-2007-972686.
- Delextrat, A., Calleja-Gonzalez, J., Hippocrate, A., and Clarke, N. D. (2013). Effects of sports massage and intermittent cold-water immersion on recovery from matches by basketball players. *J. Sports Sci.* 31, 11–19. doi: 10.1080/02640414.2012.719241.
- Dupuy, O., Douzi, W., Theurot, D., Bosquet, L., & Dugué, B. (2018). An Evidence-Based Approach for Choosing Post-exercise Recovery Techniques to Reduce Markers of Muscle Damage, Soreness, Fatigue, and Inflammation: A Systematic Review With Meta-Analysis. *Frontiers in physiology*, 9, 403. doi: 10.3389/fphys.2018.00403.
- Ebbeling CB, Clarkson PM (1989). Exercise-induced muscle damage and adaptation. *Sports Med*, 7:207. doi: 10.2165/00007256-198907040-00001.
- Edwards RH (1978). Physiological analysis of skeletal muscle weakness and fatigue. *Clin Sci Mol Med* 1978, 54:463–470. doi: 10.1042/cs0540463.
- Eglin CM, Tipton MJ (2005). Repeated cold showers as a method of habituating humans to the initial responses to cold water immersion. *Eur J Appl Physiol* 2005;93:624–9. doi: 10.1007/s00421-004-1239-6
- Homolak, Jan; Kuterovac Pero (2015). Fiziološki učinci krioterapije u oporavku nakon fizičke aktivnosti i adaptaciji // *Kondicijski trening : stručni časopis za teoriju i metodiku kondicijske pripreme*, 13,2; 9-14
- Gill ND, Beaven CM, Cook C (2006). Effectiveness of post-match recovery strategies in rugby players. *Br J Sports Med* 2006;40:260–3. doi: 10.1136/bjsm.2005.022483.
- Gode RC, Duffin J, Miller R, et al. Sudden cold water immersion. *Resp Physiol* 1975;23:301–10.
- Halsen SL, Quod MJ, Martin DT, Gardner AS, Ebert TR, Laursen PB (2008). Physiological responses to cold water immersion following cycling in the heat. *Int J Sports Physiol Perform*, 3:331–346. doi: 10.1123/ijsp.3.3.331.

- Hauswirth C., Louis J., Bieuzen F., Pournot H., Fournier J., Filliard J. R., et al. (2011). Effects of whole-body cryotherapy vs. far-infrared vs. passive modalities on recovery from exercise-induced muscle damage in highly-trained runners. *PLoS ONE* 6:e27749 10.1371/journal.pone.0027749 oi: 10.1371/journal.pone.0027749.
- Herrera E, Sandoval MC, Camargo DM, Salvini TF (2010). Motor and sensory nerve conduction are affected differently by ice pack, ice massage, and cold water immersion. *Phys Ther*, 90:581–591. doi: 10.2522/ptj.20090131.
- Ihsan M, Watson G, Lipski M, Abbiss CR (2013). Influence of post-exercise cooling on muscle oxygenation and blood volume changes. *Med Sci Sports Exerc*, 45(5):876–882. doi: 10.1249/MSS.0b013e31827e13a2.
- Ingram J, Dawson B, Goodman C, et al. (2009). Effect of water immersion methods on post-exercise recovery from simulated team sport exercise. *J Sci Med Sport*;12:417–21. doi: 10.1016/j.jsams.2007.12.011.
- Janwantanakul P (2009). The effect of quantity of ice and size of contact area on ice pack/skin interface temperature. *Physiotherapy*, 95:120–125. doi: 10.1016/j.physio.2009.01.004
- Kauppinen K. (1989). Sauna, shower, and ice water immersion. Physiological responses to brief exposures to heat, cool, and cold. Part II. Circulation. *Arctic Med Res*;48:64–74.
- Kendall B, Eston R (2002). Exercise-induced muscle damage and the potential protective role of estrogen. *Sports Med*, 32:103–123. doi: 10.2165/00007256-200232020-00003.
- Kostaki, A., Fousekis, K., Larsen, K. (2012). The effect of local cold pack application for 10 and 20 minutes on active and passive hamstrings flexibility in collegiate soccer players. *Physiotherapy Issues* 8(3) . 67-76
- Kregel KCK, Seals DRD, Callister RR (1992). Sympathetic nervous system activity during skin cooling in humans: relationship to stimulus intensity and pain sensation. *J Physiol*, 454:359–371. doi: 10.1113/jphysiol.1992.sp019268.
- Lane KN, Wenger HA (2004). Effect of selected recovery conditions on performance of repeated bouts of intermittent cycling separated by 24 hours. *J Strength Cond Res*;18(4):855-860. doi: 10.1519/14183.1.
- Leeder J, Gissane C, van Someren K, Gregson W, Howatson G (2012). Cold water immersion and recovery from strenuous exercise: a meta analysis. *Br J Sports Med*. 46 (4): 233-240. doi: 10.1136/bjsports-2011-090061.
- Lombardi, G., Ziemann, E., & Banfi, G. (2017). Whole-Body Cryotherapy in Athletes: From Therapy to Stimulation. An Updated Review of the Literature. *Frontiers in physiology*, 8, 258. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00258>

- Malm C. (2004). Leukocytes, cytokines, growth factors and hormones in human skeletal muscle and blood after uphill or downhill running. *J Physiol*, 556:983–1000. doi: 10.1113/jphysiol.2003.056598.
- Mantoni T, Belhage B, Pedersen LM, *et al.* (2007). Reduced cerebral perfusion on sudden immersion in ice water: a possible cause of drowning. *Aviat Space Environ Med*;78:374–6.
- Masahiro U., Kenta N., Hisanori S., Akihisa Y., Hiroshi K., Kazuki M., Allison G.T., Takayuki F., Koji A. (2010). Changes in Blood Flow, Temperature and Muscle Endurance in Association with Cryotherapy. *Journal of Physical Therapy Science*
- McDermott, B. P., Casa, D. J., Ganio, M. S., Lopez, R. M., Yeargin, S. W., Armstrong, L. E., & Maresh, C. M. (2009). Acute whole-body cooling for exercise-induced hyperthermia: a systematic review. *Journal of athletic training*, 44(1), 84–93. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-44.1.84>
- McHugh MP, Connolly DA, Eston RG, *et al.* (1999). Exercise-induced muscle damage and potential mechanisms for the repeated bout effect. *Sports Med*;27:157–70. doi: 10.2165/00007256-199927030-00002.
- Merrick MA, Jutte LS, Smith ME (2003). Cold modalities with different thermodynamic properties produce different surface and intramuscular temperatures. *J Athl Train*, 38:28–33.
- Merrick MA, Knight KL, Ingersoll CD, Potteiger JA (1993). The effects of ice and compression on intramuscular temperature at different depths. *J Athl Train* 1993, 28:236–245.
- Milanović, D., *Teorija treninga* (2013). Zagreb: Kineziološki fakultet
- Minton, J. (1993). A comparison of thermotherapy and Cryotherapy in enhancing supine, extended leg, hip flexion. *Journal of athletic training* 28 (2) : 172
- Mustalampi, S., Yinen, J., Kautiainen, H., Weir, A., Hakkinen, A. (2012). Acute effects of cold pack on mechanical properties of the quadriceps muscle in healthy subjects. *Physical Therapy in Sport* 13 (4) : 265 – 9 doi: 10.1016/j.ptsp.2012.02.001.
- Myrer WJ, Myrer KA, Measom GJ, Fellingham GW, Evers SL (2001). Muscle temperature is affected by overlying adipose when cryotherapy is administered. *J Athl Train*, 36:32–36.
- Otte JW, Merrick MA, Ingersoll CD, Cordova ML (2002) Subcutaneous adipose tissue thickness alters cooling time during cryotherapy. *Arch Phys Med Rehabil*, 83:1501–1505. doi: 10.1053/apmr.2002.34833.
- Park, K. N., Kwon, O. Y., Weon, J. H., Choung, S. D., & Kim, S. H. (2014). Comparison of the effects of local cryotherapy and passive cross-body stretch on extensibility in subjects with posterior shoulder tightness. *Journal of sports science & medicine*, 13(1), 84–90.

- Park, K.S., Choi, J.K., & Park, Y.S. (1999). Cardiovascular regulation during water immersion. *Applied Human Science*, 18, 233–241. doi: 10.2114/jpa.18.233.
- Paschalis V, Nikolaidis MG, Giakas G, *et al.* (2008). Position sense and reaction angle after eccentric exercise: the repeated bout effect. *Eur J Appl Physiol*;103:9–18. doi: 10.1007/s00421-007-0663-9.
- Paul G. Montgomery, David B. Pyne, Will G. Hopkins, Jason C. Dorman, Katherine Cook & Clare L. Minahan (2008) The effect of recovery strategies on physical performance and cumulative fatigue in competitive basketball, *Journal of Sports Sciences*, 26:11, 1135-1145, DOI: 10.1080/02640410802104912
- Pointon M, Duffield R, Cannon J, Marino FE. (2011). Cold application for neuromuscular recovery following intense lower-body exercise. *European journal of applied physiology*.;111(12):2977–86. doi: 10.1007/s00421-011-1924-1.
- Poppendieck, W., Faude, O., Wegmann, M., and Meyer, T. (2013). Cooling and performance recovery of trained athletes: a meta-analytical review. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 8, 227–242. doi: 10.1123/ijspp.8.3.227.
- Pournot H., Bieuzen F., Louis J., Fillard J. R., Barbiche E., Hausswirth C. (2011). Time-course of changes in inflammatory response after whole-body cryotherapy multi exposures following severe exercise. doi: 10.1371/journal.pone.0022748.
- Powers SK, Jackson MJ (2008). Exercise-induced oxidative stress: cellular mechanisms and impact on muscle force production. *Physiol Rev*, 88:1243–1276. doi: 10.1152/physrev.00031.2007.
- Prentice, W.E. (1990). *Therapeutic Modalities in sports medicine*. WBC/McGraw - Hill
- Puntel GO, Carvalho NR, Amaral GP, Lobato LD, Silveira SO, Daubermann MF, Barbosa NV, Rocha JBT, Soares FAA (2011). Therapeutic cold: an effective kind to modulate the oxidative damage resulting of a skeletal muscle contusion. *Free Radic Res*, 45:133–146. doi: 10.3109/10715762.2010.517252
- Ruiz DH, Myrer JW, Durrant E, Fellingham GW 1993 Cryotherapy and sequential exercise bouts following cryotherapy on concentric and eccentric strength in the quadriceps. *Journal of Athletic Training* 28 (4) : 320
- Rupp KA, Selkow NM, Parente WR, Ingersoll CD, Weltman AL, Saliba SA. (2012). The effect of cold water immersion on 48-hour performance testing in collegiate soccer players. *J Strength Cond Res*. 26(8):2043-2050. doi: 10.1519/JSC.0b013e318239c3a1.
- Selfe, J., Alexander, J., Costello, J. T., May, K., Garratt, N., Atkins, S., *et al.* (2014). The effect of three different (135°C) whole body cryotherapy exposure durations on elite rugby league players. *PLoS ONE* 9:e86420. doi: 10.1371/journal.pone.0086420

- Sellwood KL, Brukner P, Williams D, *et al.* (2007). Ice-water immersion and delayed onset muscle soreness: a randomised controlled trial. *Br J Sports Med*;41:392–7. doi: 10.1136/bjsm.2006.033985
- Serpell, B. G., Strahorna, J., Colomera, C., McKune, A., Cook, C., and Pumpa, K. (2018). The effect of speed, power and strength training, and a group motivational presentation on physiological markers of athlete readiness: a case study in professional rugby. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 12, 1–15. doi: 10.1123/ijsp.2018-0177.
- Shepherd JT, Rusch NJ, Vanhoutte PM (1983). Effect of cold on the blood vessel wall. *Gen Pharmacol*, 14:61–4.
- Swenson C, Swärd L, Karlsson J (1996). Cryotherapy in sports medicine. *Scand J Med Sci Sport*, 6:193–200. doi: 10.1111/j.1600-0838.1996.tb00090.x.
- Szczepanska-Gieracha, J., Borsuk, P., Pawik, M., and Rymaszewska, J. (2014). Mental state and quality of life after 10 session whole-body cryotherapy. *Psych. Health Med.* 19, 40–46. doi: 10.1080/13548506.2013.780130.
- Tee JC, Bosch AN, Lambert MI (2007). Metabolic consequences of exercise-induced muscle damage. *Sports Med*, 37:827–836. doi: 10.2165/00007256-200737100-00001.
- Tipton MJ, Golden FS, Higenbottam C, *et al.* (1998). Temperature dependence of habituation of the initial responses to cold-water immersion. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*;78:253–7.
- Tipton MJ, Stubbs DA, Elliott DH. (1990). The effect of clothing on the initial responses to cold water immersion in man. *J R Nav Med Serv*;76:89–95.
- Vaile J, Halson S, Gill N, Dawson B. (2008). Effect of hydrotherapy on recovery from fatigue. *Int J Sports Med.*;29(7):539-544. doi: 10.1055/s-2007-989267.
- Vaile J, O'Hagan C, Stefanovic B, Walker M, Gill N, Askew CD (2011). Effect of cold water immersion on repeated cycling performance and limb blood flow. *Br J Sports Med*, 45:825–829. doi: 10.1136/bjsm.2009.067272.
- Versey, N. G., Halson, S. L., & Dawson, B. T. (2012). Effect of Contrast Water Therapy Duration on Recovery of Running Performance, *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 7(2), 130-140. doi: 10.1123/ijsp.7.2.130.
- Vieira, A., Bottaro, M., Ferreira-Junior, J. B., Vieira, C., Cleto, V. A., Cadore, E. L., Simões, H. G., Carmo, J. D., & Brown, L. E. (2015). Does whole-body cryotherapy improve vertical jump recovery following a high-intensity exercise bout?. *Open access journal of sports medicine*, 6, 49–54. <https://doi.org/10.2147/OAJSM.S70263>
- Volkov, V. *Oporavak u sportu* (1977).

- Vromans BA, Thorpe RT, Viroux PJ, Tiemessen IJ. Cold water immersion settings for reducing muscle tissue temperature: a linear dose-response relationship. *J Sports Med Phys Fitness*. 2019;59(11):1861-1869. doi:10.23736/S0022-4707.19.09398-8
- Webster, J & Holland, E & Sleivert, G & Laing, Raechel & Niven, B. (2005). A light-weight cooling vest enhances performance of athletes in the heat. *Ergonomics*. 48. 821-37. doi: 10.1080/00140130500122276.
- White, G. E., & Wells, G. D. (2013). Cold-water immersion and other forms of cryotherapy: physiological changes potentially affecting recovery from high-intensity exercise. *Extreme Physiology & Medicine*, 2(1), 26. doi: 10.1186/2046-7648-2-26.
- Wilcock Im, Cronin JB, Hing WA. Physiological response to water immersion: a method for sport recovery? *Sports Med*. 2006; 36 (9): 747-765. doi: 10.2165/00007256-200636090-00003.
- Wilson, L.J., Cockburn, E., Paice, K., Sinclair, S., Faki, T., Hills, F., Gondek, M., Wood, A., Dimitriou, L., (2018). Recovery following a marathon: a comparison of cold water immersion, whole body cryotherapy and a placebo control. *Eur J Appl Physiol* 118, 153–163 doi: 10.1007/s00421-017-3757
- Yanagisawa O, Fukubayashi T: Diffusion-weighted magnetic resonance imaging reveals the effects of different cooling temperatures on the diffusion of water molecules and perfusion within human skeletal muscle. *Clin Radiol* 2010, 65:874–880. doi: 10.1016/j.crad.2010.06.005.
- Yanagisawa O, Niitsu M, Yoshioka H, Goto K, Kudo H, Itai Y: The use of magnetic resonance imaging to evaluate the effects of cooling on skeletal muscle after strenuous exercise. *Eur J Appl Physiol* 2003, 89:53–62. doi: 10.1007/s00421-002-0749-3.