

Sveučilište u Zagrebu
Kineziološki fakultet

Dorian Varović

**ERGOGENI UČINCI SUPLEMENTACIJE NATRIJEVIM
HIDROGENKARBONATOM NA MIŠIĆNU IZDRŽLJIVOST: RANDOMIZIRANO,
DVOSTRUKO SLIJEPO, PLACEBOM KONTROLIRANO ISTRAŽIVANJE S
UKRIŽENIM USTROJEM**

Zagreb, 2022.

„Ovaj rad izrađen je pri Zavodu za opću i primijenjenu kineziologiju Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom doc. dr. sc. Saše Vuka, i predan je na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2021./2022.“

POPIS I OBJAŠNENJE KORIŠTENIH KRATICA

1 RM - 1 repetitio maximum; jedno maksimalno ponavljanje

ANOVA - univarijatna analiza varijance

ATP - adenzin trifosfat

BBI - Bangov indeks zasljepljivanja

Ca²⁺ - kalcijevi ioni

CMJ - counter-movement jump; vertikalni skok s pripremom

ES - veličina učinka

H⁺ - vodikovi ioni

HCO₃⁻ - bikarbonat

K⁺ - Kalijevi ioni

La⁻ - Laktati

NaCl - natrijev klorid

NaHCO₃ - natrijev hidrogenkarbonat

NRS - Numerička ljestvica

VBT - velocity-based training; trening baziran na brzini

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. CILJEVI I HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA	2
3. METODE RADA	3
3.1. Eksperimentalni nacrt	3
3.2. Uzorak ispitanika	4
3.3. Uzorak varijabli	6
3.4. Potisak s ravne klupe	6
3.5. Pregib podlaktica stojeći	7
3.6. Testiranje 1 RM-a	7
3.7. Eksperimentalni protokol	7
3.8. GymAware uređaj	8
3.9. Učinkovitost zasljepljivanja	8
3.10. Utvrđivanje nuspojava	8
3.11. Statistička obrada podataka	9
4. REZULTATI	9
4.1. Broj ponavljanja	9
4.2. Kvaliteta izvedbe	10
4.3. Učinkovitost zasljepljivanja	14
4.4. Nuspojave	14
5. RASPRAVA	15
5.1. Broj ponavljanja (kvantiteta izvedbe)	15
5.2. Kvaliteta izvedbe	16
5.3. Utjecaj protokola suplementacije na rezultate	17
5.4. Prednosti i ograničenja istraživanja	19
6. ZAKLJUČAK	19
7. ZAHVALE	19

8. LITERATURA	20
9. SAŽETAK.....	24
10. SUMMARY.....	25

1. UVOD

Natrijev hidrogenkarbonat (NaHCO_3) jedan je od često korištenih suplemenata čiji se učinci u svrhu unaprjeđenja sportske izvedbe istražuju, ali i koriste u praksi već nekoliko desetljeća. Prva istraživanja na tu temu provedena su u ranim tridesetima od strane Dennig i sur. (1931). Prethodna istraživanja ukazuju na ergogene učinke natrijeva hidrogenkarbona pri visoko-intenzivnim aktivnostima različite duljine trajanja, koje uključuju vožnju bicikla, trčanje, veslanje, plivanje, borilačke sportove te testove mišićne izdržljivosti (Grgic, Pedisic i sur., 2021).

Iako postoji veliki broj istraživanja na ovu temu, mišljenja i stavovi o veličini ergogenih učinaka natrijeva hidrogenkarbonata nisu još u potpunosti jasni. Problematika prethodnih istraživanja primarno je metodološke prirode, gdje su autori koristili različite doze, protokole suplementacije, testove i varijable od interesa, sve što uvelike otežava donošenje konkretnijih zaključaka (Boegman i sur., 2020; A. J. Carr i sur., 2011; Driller i sur., 2013; Joyce i sur., 2012; Wang i sur., 2019). Također, jedan od dodatnih problema prvih istraživanja, ali i onih recentnijih je vrlo mali uzorak ispitanika, što može povećati šansu za javljanjem pogreške tipa 2.

Natrijev hidrogenkarbonat omogućuje porast zasićenosti primarnog krvnog pufera, bikarbonata (HCO_3^-) zaslužnog za održavanje unutarstanične i izvanstanične pH vrijednosti organizma. Ergogeni učinci natrijeva hidrogenkarbonata uzrokuju puferiranje različitih metabolita i nusprodukata, primarno vodikovih iona (H^+) i laktata (La^-) iz mišićne stanice koji nastaju prilikom izvedbe visoko-intenzivnih anaerobnih aktivnosti u kojima je anaerobna glikoliza primarni energetska sustav za sintezu adenozin trifosfata (ATP). Uz akumulaciju navedenih metabolita dolazi i do snižavanja pH vrijednosti, što dovodi do acidoze za koju se prema prethodnim istraživanjima smatra da uz akumulaciju H^+ može imati negativne učinke na mišićnu kontrakciju i daljnje obavljanje rada jer H^+ sprječavaju vezanje kalcijevih iona (Ca^{2+}) na troponin (Danaher i sur., 2014; Fitts, 2016; Lancha Junior i sur., 2015). Također, pri visoko-intenzivnim aktivnostima dolazi i do promjena u koncentraciji kalijevih iona (K^+) koji difundiraju iz mišićne stanice u intersticij. Vrlo visoke razine K^+ mogu uzrokovati depolarizaciju mišićne membrane (sarkoleme) te utjecati na širenje akcijskog potencijala duž duljine mišićnog vlakna, ali i njegovu podražljivost, što ultimativno može dovesti do bržeg zamora. Suplementacija natrijevim hidrogenkarbonatom potencijalno može smanjiti povećane

količine K^+ u intersticiju, a samim time i ukloniti jedan od mogućih faktora nastanka mišićnog zamora (Grgic, Pedisic, i sur., 2021).

Većina dosadašnjih istraživanja ispitivala su utjecaj natrijeva hidrogenkarbonata na pojedinačni, ali i na ponovljene cikluse naizmjeničnog trčanja i vožnje biciklom. Pretpostavka je da bi učinci natrijeva hidrogenkarbonata mogli biti značajniji u više ponavljanih maksimalnih izvedbi zbog nastupa acidoze kroz dulji period obavljanja rada (Grgic, Pedisic, i sur., 2021).

Ergogeni učinci natrijeva hidrogenkarbonata mogući su i kod treninga s opterećenjem usmjerenog na razvoj mišićne izdržljivosti. Cilj takvih aktivnosti je obaviti što duži rad ili zadržati proizvodnju sile u određenom postotku od maksimuma (Kell i sur., 2001). Suplementacija natrijevim hidrogenkarbonatom može povećati puferski kapacitet tako da brže odstranjuje navedene metabolite te ponovno uspostavi uravnotežene pH vrijednosti mišića, ali i potencijalno smanji nastale razine zamora (Debold i sur., 2016; Fitts, 1994; Kent-Braun i sur., 2012). Meta-analiza je pokazala ergogene učinke na mišićnu izdržljivost, ali većina istraživanja je radila samo jednu seriju do mišićnog otkaza. Zbog prethodno navedenih mehanizama natrijeva hidrogenkarbonata, možemo pretpostaviti da bi ergogeni učinci bili veći kada bi se izvodilo više serija do mišićnog otkaza (Grgic, Rodriguez, i sur., 2020). Do danas, samo su dva istraživanja ispitivala utjecaje natrijeva hidrogenkarbonata kroz više serija, stoga ova tema još nije dovoljno istražena za donošenje konkretnih zaključaka (A. J. Carr i sur., 2011; Duncan i sur., 2014).

Učinci natrijeva hidrogenkarbonata na parametre kvalitete izvedbe poput prosječne i vršne snage te brzine pri treningu s opterećenjem do danas još nisu istraženi. Navedeno bi bilo dobro istražiti zbog mogućih efekata treninga baziranog na brzini (engl. *velocity-based training* - VBT) na mišićne adaptacije. U nedavnom radu Pareja-Blanco i sur. (2017) ukazuju da veličina gubitka prosječne brzine izvedbe ponavljanja za vrijeme treninga može utjecati na funkcionalne i strukturalne mišićne adaptacije. Odnosno, ako dođe do umjerenog pada brzine prilikom izvođenja ponavljanja u jednoj seriji, postoje naznake da izvođenje dodatnih ponavljanja neće imati značajne učinke na razvoj mišićne jakosti te može čak biti štetno za razvoj eksplozivne jakosti. Stoga, poboljšanja u kvaliteti izvedbe potencijalno mogu biti važnija za trenažne adaptacije od samog povećanja ukupnog broja ponavljanja (Grgic, Pickering i sur., 2020).

2. CILJEVI I HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA

Cilj ovog istraživanja je utvrditi ergogene učinke suplementacije natrijevim hidrogenkarbonatom na kvantitetu (broj ponavljanja) i kvalitetu izvedbe unutar više serija

u vježbama potisak s ravne klupe i pregib podlaktica stojeći sa 70 % od jednog maksimalnog ponavljanja (engl. *one-repetition maximum* – 1 RM).

Na temelju dosadašnjih istraživanja postavljene su sljedeće hipoteze:

H1: Suplementacija natrijevim hidrogenkarbonatom imat će statistički značajno veći utjecaj na broj ponavljanja unutar serije u odnosu na placebo i kontrolni uvjet tijekom treninga s otporom.

H2: Suplementacija natrijevim hidrogenkarbonatom imat će statistički značajno veći utjecaj na ukupni broj ponavljanja izvedbe u eksperimentalnom protokolu u odnosu na placebo i kontrolni uvjet tijekom treninga s otporom.

H3: Suplementacija natrijevim hidrogenkarbonatom imat će statistički značajno veći utjecaj na kvalitetu izvedbe u vidu brzine izvedbe i proizvodnju snage u odnosu na placebo i kontrolni uvjet tijekom treninga s otporom.

3. METODE RADA

3.1. Eksperimentalni nacrt

Provedeno je randomizirano, dvostruko slijepo, placebo kontrolirano istraživanje s ukriženim ustrojem (engl. *crossover design*). Svi su ispitanici četiri puta prisustvovali mjerenjima provedenima u prostoru teretane Kineziološkog fakulteta, Sveučilišta u Zagrebu. Prvi dolazak služio je za utvrđivanje jednog maksimalnog ponavljanja (1RM) i upoznavanje s eksperimentalnim protokolom.

Preostala tri dolaska bila su predviđena za glavna mjerenja u kojima su ispitanici slučajnom raspodjelom dodijeljeni u jedan od tri moguća uvjeta (natrijev hidrogenkarbonat, placebo, kontrola). Osoba koja nije bila uključena u provedbu istraživanja napravila je randomizaciju koristeći web aplikaciju (dostupno na: www.randomization.com). Sva testiranja odrađena su u isto doba dana (± 2 sata) individualno za svakog ispitanika kako bi se izbjegla mogućnost utjecaja varijacija u cirkadijskom ritmu na jakost (Grgic i sur., 2019). Ispitanicima je dana uputa da 24 sata prije testiranja ne provode treninge visokog intenziteta i vježbe koje direktno aktiviraju mišiće gornjeg dijela tijela, kao i da zadrže svoje svakodnevne životne i prehrambene navike. Svi eksperimentalni dolasci provedeni su u rasponu od četiri do sedam dana.

Ispitanici su prije svakog testiranja dobili kapsule koje su sadržavale ili natrijev hidrogenkarbonat ili natrijev klorid (placebo, NaCl) (Fagron Hrvatska d.o.o.). Kapsule

natrijeva hidrogenkarbonata sadržavale su ukupnu dozu od 0,3 g/kg tjelesne mase, dok su placebo kapsule sadržavale 0,21 g/kg tjelesne mase natrijeva klorida. Doza od 0,3 g/kg tjelesne mase natrijeva hidrogenkarbonata odabrana je s obzirom da je najviše korištena u istraživanjima, ali i zbog prethodno utvrđenih ergogenih učinaka na izvedbu sa znatno nižom incidencijom gastrointestinalnih nuspojava u odnosu na druge doze (Grgic, Grgic, i sur., 2021; Grgic i sur., 2020; Grgic, Pedisic, i sur., 2021). Doza od 0,21 g/kg tjelesne mase natrijeva klorida odabrana je jer sadrži ekvivalentnu količinu natrija kao i 0,3 g/kg tjelesne mase natrijeva hidrogenkarbonata. Ukupna doza od 0,3 g/kg tjelesne mase natrijeva hidrogenkarbonata podijeljena je na 0,1 g/kg tjelesne mase kroz tri vremenske točke: 180, 120 i 60 minuta prije eksperimentalnog mjerenja. Razlog tome je da ovaj protokol suplementacije može utjecati na znatno nižu incidenciju nuspojava u odnosu na konzumaciju cijele doze odjednom (Grgic, Pedisic, i sur., 2021). Prema preporukama literature, dodatni pothvat ovom istraživanju u tendenciji za smanjenjem nuspojava bilo je i uključivanje obroka bogatog ugljikohidratima (1,25 g/kg tjelesne mase) neposredno prije administracije prve doze (A. J. Carr i sur., 2011; Grgic, Pedisic, i sur., 2021). Ispitanici su dobili upute da izračunaju kalorijsku vrijednost obroka unaprijed te da taj obrok zadrže jednakim prilikom svih eksperimentalnih mjerenja.

Sve veganske celulozne kapsule (veličina 00, Extrakt manufaktur, Njemačka) bile su identičnog izgleda te ručno punjene i izvagane koristeći pouzdanu digitalnu vagu. Broj kapsula bio je jednak u eksperimentalnom i placebo uvjetu relativno individualnoj tjelesnoj masi svakog ispitanika. Sastav tijela izmjeren je prilikom inicijalnog dolaska na analizatoru sastava tjelesne mase (TANITA RD-545). Osoba zaslužena za pripremu kapsula nije znala o kojem se ispitaniku radi kako bi se zadržalo uspješno zasljepljivanje. Svakom ispitaniku dodijeljen je identifikacijski broj pod kojim su bili spremljeni podatci za analizu po završetku intervencije.

3.2. Uzorak ispitanika

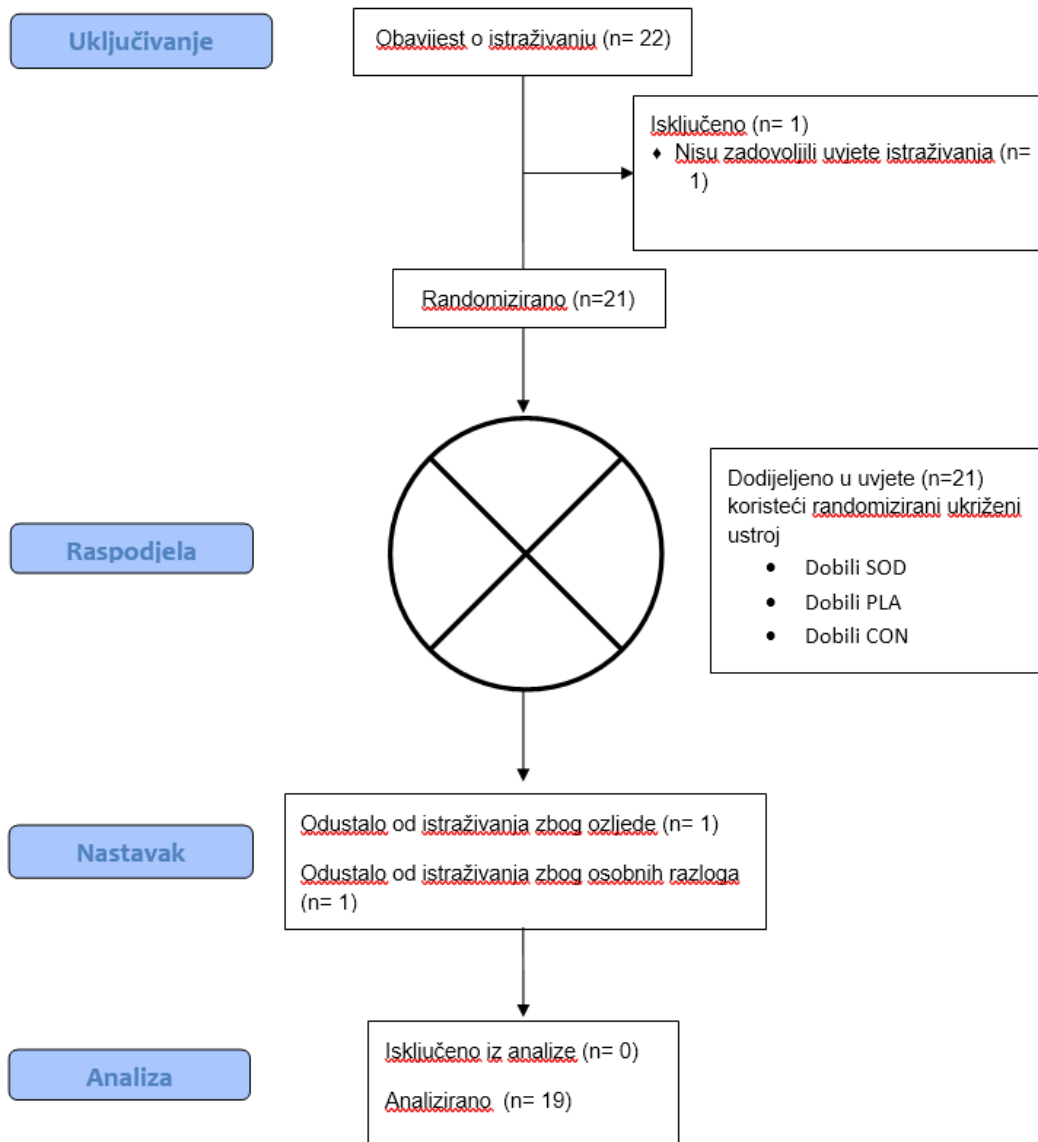
Javni poziv o provedbi istraživanja objavljen je na društvenim mrežama te je u njemu glavni istraživač upoznao kandidate s detaljima i protokolom provedbe istraživanja. A-priori analizom statističke snage provedenom pomoću softvera G*Power (verzija 3.1.9.7, Sveučilište Düseldorf, Njemačka) na temelju univarijatne analize varijance za ponovljena mjerenja, veličine učinka za mišićnu izdržljivost od 0,20, alfa razine od 0,05, statističke snage 0,80 i korelacije među ponovljenim mjerama od 0,8, utvrđena je potrebna veličina uzorka od 18 ispitanika.

Konačni uzorak ispitanika u ovom istraživanju sastojao se od 19 zdravih, tjelesno aktivnih muškaraca. Prilikom regrutacije ispitanika postavljeni su kriteriji za uvrštavanje u istraživanje koji su uključivali minimalno godinu dana iskustva u treningu s otporom, uvjet da trenutno nemaju ozljeda lokomotornog sustava, sposobnost izvedbe vježbe potisak s ravne klupe s otporom od 100 % svoje tjelesne mase te da nemaju povijest upotrebe anaboličkih androgenih steroida. Svi ispitanici dali su svoj informirani pristanak prije početka istraživanja. Osnovni antropometrijski pokazatelji ispitanika i njihove maksimalne vrijednosti jednog ponavljanja u vježbama potisak s ravne klupe i pregib podlaktica stojeći prikazani su u tablici 1.

Tablica 1. Antropometrijske karakteristike ispitanika i vrijednosti 1 RM u dvije vježbe

Varijabla	AS ± SD
Dob	21,79 ± 1,87
Tjelesna masa (kg)	84,44 ± 9,48
Tjelesna visina (cm)	179,95 ± 5,56
1 RM u vježbi potisak s ravne klupe	106,97 ± 18,63
1 RM u vježbi pregib podlaktica stojeći	50,53 ± 6,43

Istraživanje je odobreno od strane etičkog povjerenstva Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu te provedeno u skladu s Helsinškom deklaracijom. CONSORT dijagram tijekom provedbe istraživanja prikazan je na Slici 1.



Slika 1. CONSORT dijagram prikazuje proces ispitanika kroz sve faze provedbe istraživanja.

3.3. Uzorak varijabli

U ovom istraživanju mjerene su sljedeće varijable: 1) broj ponavljanja unutar serija između uvjeta; 2) ukupan broj ponavljanja između uvjeta kroz eksperimentalni protokol; 3) prosječna brzina (m/s); 4) vršna brzina (m/s); 5) prosječna snaga (W); 6) vršna snaga (W); Sve navedene varijable mjerene su u koncentričnoj fazi pokreta prilikom izvedbe vježbi potisak s ravne klupe i pregib podlaktica stojeći.

3.4. Potisak s ravne klupe

Prilikom izvedbe vježbe potisak s ravne klupe ispitanici su dobili upute da je potrebno zadržati pet točaka kontakta s podlogom (glava, lopatice, zdjelicu i oba stopala). U

ekscentričnoj fazi pokreta šipku je bilo potrebno spustiti do prsa. Dodatna uputa bila je da koncentričnu fazu pokreta izvrše maksimalno brzo uz kontrolu ekscentrične faze pokreta u trajanju od jedne do dvije sekunde. Ispitanici su izvodili ponavljanja sve do kad nisu mogli svladati opterećenje u koncentričnoj fazi pokreta ili je brzina koncentričnog dijela izvedbe u posljednjem ponavljanju bila u rasponu od 0,10 do 0,20 m/s što bi dalo ukazati da je ispitanik zasigurno postignuo trenutni mišićni otkaz (Rodríguez-Rosell i sur., 2020).

3.5. Pregib podlaktica stojeći

Ispitanici su izvodili vježbu pregib podlaktica stojeći širokim pothvatom uz čvrstu podlogu (zid). Konkretno, ispitanici su upućeni da tijekom cijelog vremena izvedbe zadrže tri točke kontakta s podlogom (glava, ramena, lopatice). Pregib se iz gotovo potpuno opruženih ruku u zglobu lakta izvodio u koncentričnoj fazi do otprilike 120° te vraćao u početni položaj kroz ekscentričnu fazu izvedbe. Također, koncentrična faza pokreta se trebala izvesti maksimalno brzo, a ekscentrična faza sporije u trajanju od jednu do dvije sekunde. Ispitanici su izvodili ponavljanja sve do kad nisu mogli svladati opterećenje u koncentričnoj fazi pokreta.

3.6. Testiranje 1 RM-a

Na prvom dolasku ispitanicima je izmjeren 1 RM u vježbama potisak s ravne klupe i pregib podlaktica stojeći. Prije početka testiranja ispitanici su proveli individualno zagrijavanje u trajanju od 10 minuta.

Protokol testiranja 1 RM-a provodio se koristeći postupno povećanje vanjskog opterećenja, izvodeći 3-5 ponavljanja s 50 % i 70 %, te jednog ponavljanja s 85 %, 90 % i 95 % od procijenjenog 1 RM-a. Nakon prethodno navedenih serija zagrijavanja, vanjsko opterećenje se progresivno povećavalo sve do kada ispitanik ne bi uspješno savladao koncentričnu fazu pokreta sa zadanim opterećenjem. Sve vrijednosti 1 RM-a određene su unutar najviše pet pokušaja. Odmor između svakog pokušaja trajao je 3 minute. Po završetku testiranja 1 RM-a u vježbi potisak s ravne klupe, ispitanici su imali odmor od 10 minuta, nakon kojeg su kroz jednaki protokol odradili testiranje 1 RM-a u vježbi pregib podlaktica stojeći. Po završetku testiranja 1 RM-a u obje vježbe, ispitanici su upoznati s načinom izvođenja eksperimentalnog protokola.

3.7. Eksperimentalni protokol

Prilikom svakog dolaska na mjerenja ispitanici su provodili individualno opće zagrijavanje cijeloga tijela u trajanju od 10 minuta. Ispitanicima je dana uputa da zadrže protokol

zagrijavanja konstantnim kroz sve dolaske. Po završetku općeg zagrijavanja, svi ispitanici su napravili dodatni protokol specifičnog zagrijavanja. Vježbu potisak s ravne klupe izvodili su s opterećenjem od 20 kg, zatim s opterećenjem od 35 % 1 RM, te 50 % 1 RM po pet ponavljanja. Vježba pregib podlaktica stojeći izvodila se koristeći EZ zakrivljenu šipku (7,5 kg), koristeći prethodno opisani protokol postupnog povećanja vanjskog opterećenja. Prilikom eksperimentalnih mjerenja ispitanici su izvodili tri serije do mišićnog otkaza. Svako ponavljanje trebalo je izvesti maksimalno brzo u koncentričnoj fazi pokreta te kontrolirati ekscentričnu fazu pokreta jednu do dvije sekunde. Odmor između serija trajao je tri minute, a između vježbi 10 minuta.

3.8. GymAware uređaj

Za objektivno mjerenje kinematičkih parametara koncentrične faze izvedbe u obje vježbe korišten je linearni sljednik (GymAware Power Tool, Kinetic Performance Technologies, Canberra, Australia). Ovaj uređaj smatra se zlatnim standardom za VBT, a prethodna istraživanja utvrdila su njegovu valjanost i iznimno visoku pouzdanost (Grgic, Scapec i sur., 2020). Uređaj se sastoji od kućišta i konopca koji se na svojem kraju čičak trakom veže na kraj šipke okomito na tlo. Frekvencija uzorkovanja je 50 točaka u sekundi (Dorrell i sur., 2019), a podaci se Bluetooth tehnologijom direktno spremaju na tablet (iPad 9th Gen. Apple Inc., Cupertino, Ca, USA) za kasniju obradu i analizu. Kako bi se utvrdila kvaliteta izvedbe, ispitanicima je izjednačen broj ponavljanja između sva tri uvjeta te su analizirane prosječne vrijednosti snage i brzine izvedbe. Primjerice, ako je ispitanik napravio devet, odnosno, osam, odnosno, sedam ponavljanja nakon unosa natrijeva hidrogenkarbonata, placebo i kontrole, u analizu je uvršteno prvih sedam ponavljanja iz sva tri uvjeta.

3.9. Učinkovitost zasljepljivanja

Ispitanici su ispunili upitnik prije i po završetku mjerenja u kojima su konzumirali kapsule. Upitnik se sastojao od jednog pitanja: „Molimo Vas, navedite koji suplement mislite da ste unijeli:“ s tri moguća odgovora: a) „natrijev hidrogenkarbonat“; b) „placebo“; c) „ne znam“, kojim se nastojala utvrditi učinkovitost zasljepljivanja. Ako su ispitanici odabrali odgovore a ili b, trebali su i obrazložiti svoj odgovor zašto tako misle (Saunders i sur., 2017).

3.10. Utvrđivanje nuspojava

Potencijalne nuspojave suplementacije natrijevim hidrogenkarbonatom i placeboom ispitane su u dvije vremenske točke: neposredno prije eksperimentalnog testiranja i neposredno nakon završetka eksperimentalnog testiranja. Ispitanici su ispunili prethodno validirani

upitnik kojim se nastoji utvrditi pojavnost gastrointestinalnih nuspojava (Jeukendrup i sur., 2000). Prilagođeni upitnik sastojao se od 18 čestica koje opisuju najčešće gastrointestinalne simptome. Korištena je numerička ljestvica (engl. *Numerical Rating Scale* - NRS) kako bi se utvrdio intenzitet potencijalnih nuspojava, gdje 0 predstavlja nikakve gastrointestinalne nuspojave, a 10 najteži mogući oblik gastrointestinalnih nuspojava.

3.11. Statistička obrada podataka

Za sve varijable izračunate su vrijednosti deskriptivnih pokazatelja aritmetičke sredine i standardne devijacije.

Serije jednosmjerne univarijatne analize varijance (ANOVA) za ponavljana mjerenja korištene su za utvrđivanje statistički značajnih razlika u broju ponavljanja i kvaliteti izvedbe. U slučaju statistički značajnih razlika, napravljena je post-hoc Bonferroni korekcija. Relativne veličine učinka (i njihovi 95 % intervali pouzdanosti) izraženi su kroz Hedgeov g za ponavljana mjerenja. Veličine učinka (ES) manje od 0,20 smatrane su trivijalnim, 0,20-0,49 malim, 0,50-0,79 umjerenim te veće ili jednake od 0,80 velikim. Analiza podataka izvršena je koristeći programske alate Statistica 14 (TIBCO Software Inc.) i Excel 365 (Microsoft Corp). Učinkovitost zasljepljivanja utvrđena je koristeći Bangov indeks zasljepljivanja (engl. *Bang Blinding Indeks* - BBI) (Bang i sur., 2004). Razina statističke značajnosti postavljena je na $p < 0,05$.

4. REZULTATI

4.1. Broj ponavljanja

Deskriptivni pokazatelji u vidu aritmetičke sredine i standardne devijacije broja ponavljanja u vježbama potisak s ravne klupe i pregib podlaktica stojeći u sve tri serije za sva tri uvjeta te ukupnog broja ponavljanja u eksperimentalnom protokolu prikazani su u tablicama 2 i 3.

Nije pronađena statistički značajna razlika u broju ponavljanja između uvjeta u prvoj, drugoj ni trećoj seriji u vježbama potisak s ravne klupe ($p > 0,05$) i pregib podlaktica stojeći ($p > 0,05$).

ANOVA-om za ponavljana mjerenja utvrđena je prisutnost glavnih učinaka za ukupan broj ponavljanja u eksperimentalnom protokolu između uvjeta ($p = 0,04$). Međutim, usporedbom parova Bonferroni post-hoc testom utvrđeno je kako nema statistički značajnih razlika između natrijeva hidrogenkarbonata i placeba, natrijeva hidrogenkarbonata i kontrolnog uvjeta, te placeba i kontrolnog uvjeta ($p > 0,05$).

Tablica 2. Prikaz razlika u prosječnom broju ponavljanja između uvjeta kroz tri serije u vježbama potisak s ravne klupe i pregib podlaktica stojeći (AS ± SD).

Vježba	Seriya	Natrijev hidrogenkarbonat	Placebo	Kontrola	p
Potisak s ravne klupe	1.	14,68 ± 2,29	14,32 ± 2,4	14,58 ± 2,19	0,56
	2.	10,21 ± 1,72	9,95 ± 1,84	9,63 ± 1,95	0,17
	3.	7,74 ± 1,69	7,21 ± 1,72	7,47 ± 1,65	0,29
Pregib podlaktica stojeći	1.	10,47 ± 2,37	9,89 ± 2,26	10,00 ± 2,43	0,23
	2.	7,53 ± 1,78	7,11 ± 1,76	7,26 ± 1,85	0,34
	3.	6,16 ± 1,64	6,11 ± 1,33	5,89 ± 1,41	0,50

Tablica 3. Prikaz razlika u ukupnom broju ponavljanja između uvjeta kroz eksperimentalni protokol.

Uvjet	AS ± SD	p (Uvjet)	p (NA x PLA)	p (PLA x CON)	p (NA x CON)
NA	56,79 ± 7,00	0,04*	0,06	1,0	0,12
PLA	54,58 ± 6,43				
CON	54,84 ± 7,05				

Legenda: *NA* = natrijev hidrogenkarbonat; *PLA* = placebo; *CON* = kontrola; *p* = vjerojatnost pogreške; * = statistički značajno na $p < 0,05$.

4.2. Kvaliteta izvedbe

Deskriptivni pokazatelji u vidu aritmetičke sredine i standardne devijacije kvalitete izvedbe predstavljene kroz prosječnu i vršnu snagu te prosječnu i vršnu brzinu u vježbama potisak s ravne klupe i pregib podlaktica stojeći u sve tri serije za sva tri uvjeta prikazani su u tablicama 4 i 5.

Nisu pronađene statistički značajne razlike između uvjeta u svim analiziranim varijablama kvalitete izvedbe u vježbama potisak s ravne klupe ($p > 0,05$) i pregib podlaktica stojeći ($p > 0,05$).

Tablica 4. Razlike u varijablama kvalitete izvedbe izjednačene po broju ponavljanja između uvjeta u sve tri serije u vježbi potisak s ravne klupe.

Varijabla	Seriya	NA (AS ± SD)	PLA (AS ± SD)	CON (AS ± SD)	NA : PLA ES (g), 95 % CI	NA : CON ES (g), 95 % CI	PLA:CON ES (g), 95 % CI	P
PPS (W)	1	311,73 ± 70,79	308,60 ± 71,22	317,07 ± 62,64	0,04 (-0,56, 0,63)	0,08 (-0,84, 0,72)	0,12 (-0,89, 0,69)	0,57
PVS (W)		474,74 ± 119,72	463,99 ± 128,85	481,04 ± 130,57	0,08 (-0,43, 0,57)	0,05 (-0,70, 0,62)	0,13 (-0,65, 0,43)	0,35
PPB (m/s)		0,42 ± 0,07	0,42 ± 0,07	0,43 ± 0,06	0,00 (-0,83, 0,83)	0,15 (-1,84, 1,09)	0,15 (-1,08, 0,83)	0,59
PVB (m/s)		0,59 ± 0,09	0,58 ± 0,10	0,60 ± 0,09	0,10 (-0,70, 0,87)	0,11 (-1,02, 0,84)	0,21 (-0,94, 0,59)	0,32
PPS (W)	2	278,84 ± 56,53	266,42 ± 58,23	271,87 ± 56,45	0,21 (-0,65, 1,00)	0,12 (-0,79, 0,99)	0,09 (-0,98, 0,83)	0,32
PVS (W)		450,05 ± 132,68	425,08 ± 121,50	428,75 ± 130,64	0,19 (-0,38, 0,71)	0,16 (-0,63, 0,89)	0,03 (-0,74, 0,69)	0,16
PPB (m/s)		0,38 ± 0,06	0,37 ± 0,06	0,37 ± 0,04	0,16 (-0,94, 1,21)	0,19 (-1,20, 1,51)	0,00 (-1,25, 1,25)	0,30
PVB (m/s)		0,55 ± 0,09	0,53 ± 0,09	0,53 ± 0,08	0,22 (-0,69, 1,06)	0,23 (-0,84, 1,22)	0,00 (-0,97, 0,97)	0,15
PPS (W)	3	256,38 ± 52,57	242,46 ± 63,92	252,31 ± 55,45	0,23 (-0,65, 0,88)	0,07 (-0,93, 1,05)	0,16 (-1,13, 0,86)	0,24
PVS (W)		420,79 ± 115,70	413,34 ± 132,35	409,01 ± 128,54	0,06 (-0,39, 0,49)	0,09 (-0,40, 0,55)	0,03 (-0,53, 0,58)	0,52
PPB (m/s)		0,35 ± 0,06	0,33 ± 0,07	0,34 ± 0,05	0,30 (-0,51, 1,04)	0,18 (-1,28, 1,57)	0,16 (-1,46, 1,20)	0,27
PVB (m/s)		0,52 ± 0,08	0,51 ± 0,10	0,51 ± 0,09	0,11 (-0,58, 0,76)	0,11 (-0,59, 0,78)	0,00 (-0,69, 0,69)	0,43

Legenda: *NA* = natrijev hidrogenkarbonat; *PLA* = placebo; *CON* = kontrola; *ES(g)* = veličina učinka, Hedgeov g; *95% CI* = 95 % interval pouzdanosti; *p* = vjerojatnost pogreške; *PPS* = prosjek prosječne snage izjednačene za broj ponavljanja; *PVS* = prosjek vršne snage izjednačene za broj ponavljanja; *PPB* = prosjek prosječne brzine izjednačene za broj ponavljanja; *PVB* = prosjek vršne brzine izjednačene za broj ponavljanja

Tablica 5. Razlike u varijablama kvalitete izvedbe izjednačene po broju ponavljanja između uvjeta u sve tri serije u vježbi pregib podlaktica stojeći

Varijabla	Seriya	NA (AS ± SD)	PLA (AS ± SD)	CON (AS ± SD)	NA : PLA ES (g), 95 % CI	NA : CON ES (g), 95 % CI	PLA:CON ES (g), 95 % CI	P
PPS (W)	1	184,85 ± 36,78	181,98 ± 59,82	179,23 ± 27,76	0,06 (-1,56, 1,65)	0,17 (-1,02, 1,29)	0,06 (-1,37, 1,46)	0,87
PVS (W)		309,79 ± 78,94	314,63 ± 115,37	302,59 ± 59,83	0,05 (-1,43, 1,36)	0,10 (-0,86, 1,03)	0,13 (-1,12, 1,33)	0,12
PPB (m/s)		0,53 ± 0,07	0,50 ± 0,08	0,52 ± 0,05	0,39 (-1,22, 1,87)	0,16 (-1,54, 1,80)	0,29 (-1,74, 1,25)	0,80
PVB (m/s)		0,83 ± 0,13	0,80 ± 0,14	0,82 ± 0,11	0,22 (-0,93, 1,29)	0,08 (-1,08, 1,21)	0,16 (-1,11, 0,85)	0,45
PPS (W)	2	169,00 ± 34,32	162,12 ± 32,15	163,65 ± 29,69	0,20 (-0,79, 1,12)	0,16 (-0,93, 1,20)	0,05 (-1,03, 0,95)	0,40
PVS (W)		302,43 ± 85,87	292,89 ± 72,47	294,21 ± 67,36	0,12 (-0,60, 0,80)	0,10 (-0,86, 1,03)	0,02 (-0,61, 0,58)	0,42
PPB (m/s)		0,49 ± 0,07	0,47 ± 0,07	0,47 ± 0,06	0,28 (-0,99, 1,46)	0,30 (-1,31, 1,80)	0,00 (-1,38, 1,38)	0,55
PVB (m/s)		0,81 ± 0,15	0,79 ± 0,13	0,79 ± 0,13	0,14 (-0,82, 1,05)	0,14 (-1,04, 1,26)	0,00 (-0,78, 0,78)	0,61
PPS (W)	3	157,38 ± 30,44	157,78 ± 35,79	158,19 ± 30,48	0,01 (-0,99, 0,97)	0,03 (-1,08, 1,03)	0,01 (-0,95, 0,93)	0,99
PVS (W)		297,88 ± 92,23	292,30 ± 79,01	285,53 ± 68,28	0,06 (-0,40, 0,50)	0,15 (-0,60, 0,85)	0,09 (-0,60, 0,75)	0,91
PPB (m/s)		0,46 ± 0,05	0,46 ± 0,06	0,46 ± 0,06	0,00 (-1,42, 1,42)	0,00 (-1,77, 1,77)	0,00 (-1,43, 1,43)	0,27
PVB (m/s)		0,80 ± 0,15	0,79 ± 0,13	0,78 ± 0,12	0,07 (-0,53, 0,65)	0,14 (-0,71, 0,95)	0,08 (-0,82, 0,95)	0,65

Legenda: *NA* = natrijev hidrogenkarbonat; *PLA* = placebo; *CON* = kontrola; *ES(g)* = veličina učinka, Hedgeov g; *95% CI* = 95 % interval pouzdanosti; *p* = vjerojatnost pogreške; *PPS* = prosjek prosječne snage izjednačene za broj ponavljanja; *PVS* = prosjek vršne snage izjednačene za broj ponavljanja; *PPB* = prosjek prosječne brzine izjednačene za broj ponavljanja; *PVB* = prosjek vršne brzine izjednačene za broj ponavljanja.

4.3. Učinkovitost zasljepljivanja

Dobiveni nalazi prema Bangovom indeksu zasljepljivanja označuju da je zasljepljivanje uspješno provedeno.

Konkretno, analizirani su odgovori prije i nakon provedbe eksperimentalnih testiranja. Nitko od ispitanika nije niti prije, niti poslije testiranja identificirao natrijev hidrogenkarbonat izvan okvira nasumične vrijednosti, dok je 11 % prije i 22,2 % ispitanika nakon provedenog testiranja pogrešno identificiralo placebo kao natrijev hidrogenkarbonat.

Ispitanici koji su uspješno identificirali natrijev hidrogenkarbonat navodili su razloge poput „zato što sam se bolje osjećao tijekom izvođenja vježbi i vjerujem da sam imao bolji rezultat“, ili „zbog nuspojava koje se pripisuju konzumaciji natrijeva hidrogenkarbonata“.

4.4. Nuspojave

Frekvencije prijavljenih nuspojava prije i poslije suplementacije natrijevim hidrogenkarbonatom i placebom prikazane su u tablici 6.

Tablica 6. Frekvencije nuspojava prije i nakon suplementacije natrijevim hidrogenkarbonatom ili placebom.

	Prije mjerenja		Poslije mjerenja	
	Natrijev hidrogenkarbonat	Placebo	Natrijev hidrogenkarbonat	Placebo
Želučani problemi	10	8	2	3
Mučnina	3	9	2	4
Vrtoglavica	2	4	3	4
Glavobolja	0	3	3	2
Flatulencija	7	6	6	5
Nakon na mokrenje	6	4	4	3
Nakon na nuždu	7	4	4	2
Podrigavanje	8	3	4	5
Žgaravica	3	4	1	3
Nadutost	8	6	4	5
Grčevi u trbuhu	3	2	1	2
Grčevi u crijevima	2	3	0	2
Nagon na povraćanje	1	3	2	2
Povraćanje	1	2	0	0
Proljevanje	0	0	0	0

Bol s lijeve strane tijela	0	0	1	1
Bol s desne strane tijela	0	0	0	1
Hladno drhtanje	0	0	2	1

5. RASPRAVA

Glavni nalazi ovog istraživanja ukazuju kako natrijev hidrogenkarbonat nema statistički značajniji ergogeni učinak na broj ponavljanja unutar serija, niti na sveukupni broj ponavljanja, kao ni na kvalitetu izvedbe u treningu s otporom u odnosu na placebo i kontrolni uvjet.

5.1. Broj ponavljanja (kvantiteta izvedbe)

Prvi glavni nalaz istraživanja sugerira da natrijev hidrogenkarbonat nema ergogeni utjecaj na broj ponavljanja unutar serija svake vježbe, kao ni na ukupan broj ponavljanja u eksperimentalnom protokolu. On se razlikuje s nalazima dosadašnjih istraživanja. Konkretno, Duncan i sur. (2014) su u svome istraživanju nastojali utvrditi ergogene učinke natrijeva hidrogenkarbonata na maksimalan broj ponavljanja u vježbama stražnji čučanj i potisak s ravne klupe. Iako su utvrdili ergogene učinke u stražnjem čučnju, oni nisu nađeni kod potiska s ravne klupe. Mogući razlog tome je u tome da su učinci natrijeva hidrogenkarbonata veći i značajniji u velikim mišićima donjih ekstremiteta što potvrđuju i rezultati B. M. Carr i sur. (2013) gdje su ispitanici napravili značajno veći broj ponavljanja prilikom suplementacije natrijevim hidrogenkarbonatom u odnosu na placebo prilikom izvođenja vježbi koje dominantno aktiviraju mišiće donjih ekstremiteta. Također, uz veličinu mišića i broj mišićnih skupina uključenih u rad, postoji mogućnost da je za dobivene ergogene učinke natrijeva hidrogenkarbonata odgovorna i veličina intenziteta. Duncan i sur. (2014) su koristili 80 % 1 RM u obje vježbe iz razloga što su prethodna istraživanja (Portington i sur., 1998; Webster i sur., 1993) ukazala na mogućnost da njihov eksperimentalni protokol nije bio dovoljno visokog intenziteta da bi ergogeni učinci bili dovoljno vidljivi. Navedeno istraživanje razlikuje se od ovog s obzirom da su ispitanici koristili 70 % 1 RM u obje vježbe, što sugerira da je potrebno dodatno istražiti ovise li utjecaji natrijeva hidrogenkarbonata o veličini intenziteta rada. Ergogeni učinci natrijeva hidrogenkarbonata također nisu vidljivi u sveukupnom broju ponavljanja kroz cijeli eksperimentalni protokol što nije u slaganju s prethodnim istraživanjima.

Iako rezultati prikazuju za 4 % više ukupnog broja ponavljanja u odnosu na placebo te za 3,5 % više u odnosu na kontrolu, nisu utvrđene statistički značajne razlike u sveukupnom broju ponavljanja između tri uvjeta prilikom analize parova post-hoc testom. Navedeno se razlikuje od rezultata B. M. Carr i sur. (2013) koji su ustanovili porast od 4,5 % u odnosu na placebo, te gdje su razlike između uvjeta dostigle razinu statističke značajnosti. Međutim, autori su koristili znatno veći ukupan broj vježbi i serija u svome protokolu pa je samim time i trajanje istog bilo duže, što je moglo dovesti do znatno veće akumulacije metabolita, ali i razine zamora, nego je to bio slučaj u ovom istraživanju, zbog čega se može pretpostaviti da su i učinci natrijeva hidrogenkarbonata upravo zbog toga i bili veći.

5.2. Kvaliteta izvedbe

Drugi glavni nalaz ovog istraživanja ukazuje kako natrijev hidrogenkarbonat nema statistički značajan utjecaj na razinu kvalitete izvedbe u treningu s otporom.

Dok u literaturi postoje podijeljena mišljenja o ergogenim učincima natrijeva hidrogenkarbonata na kvantitetu izvedbe, do sada nitko nije gledao utjecaj istog na kvalitetu izvedbe u treningu s otporom. Kvaliteta izvedbe procjenjuje se na temelju parametara poput vršne i prosječne snage i brzine izvedbe, a najčešće u testovima visokog intenziteta. Primijećeni su mali učinci natrijeva hidrogenkarbonata na prosječnu i vršnu snagu pri višestrukim ponavljanima u izvedbi Wingate testa (Grgic, 2022). Grgic, Pickering i sur. (2020) zaključuju da je u slučaju malih, ali praktično vrijednih učinaka natrijeva hidrogenkarbonata kvaliteta izvedbe možda vrijedniji parametar za praćenje, planiranje i programiranje trenažnog procesa od povećanja kvantitete izvedbe. Navedenu pretpostavku temelje na rezultatima Pareja-Blanco i sur. (2017) u kojima su pronašli da je pad u brzini izvedbe stražnjeg čučnja od 20 % utjecao na znatno veća poboljšanja izvedbe vertikalnog skoka s pripremom (engl. *counter-movement jump* - CMJ) u odnosu na trening gdje je došlo do 40 % gubitka brzine izvedbe. Stoga, ako natrijev hidrogenkarbonat može smanjiti pad prosječne i/ili vršne brzine izvedbe kroz više uzastopnih serija učinkovitije od placeba i kontrole, tada se potencijalno može smatrati opravdanim ergogenim sredstvom u kontekstu mišićne izdržljivosti.

Potrebno je istaknuti da, iako ovim istraživanjem nisu utvrđeni statistički značajni utjecaji natrijeva hidrogenkarbonata na kvalitetu izvedbe, vidljivi su potencijalno mali praktični učinci u odnosu na placebo u vježbi potisak s ravne klupe (ES: 0,00-0,30) i u vježbi pregib podlaktica stojeći (0,00-0,39). Konkretno, najveći učinci natrijeva hidrogenkarbonata na

prosječnu snagu zamijećeni su u drugoj (ES: 0,21) i trećoj seriji (ES: 0,23), te vršnu brzinu u drugoj (ES: 0,22) i prosječnu brzinu u trećoj seriji (ES: 0,30) vježbe potisak s ravne klupe, dok su najveći učinci na prosječnu brzinu (ES: 0,39) zabilježeni u prvoj seriji vježbe pregib podlaktica stojeći. Zanimljivo, veličina učinka većine varijabli znatno se smanjila u trećoj seriji u odnosu na placebo, što bi dalo ukazati da su učinci natrijeva hidrogenkarbonata oslabjeli, međutim, takvo smanjenje nije primijećeno u odnosu na kontrolni uvjet što dovodi u pitanje ispravnost ove pretpostavke te zahtijeva dodatnu provjeru.

Gledajući veličinu promjena između serija u vježbi potisak s ravne klupe, rezultati ukazuju na najmanji pad u svim varijablama između prve i druge serije za natrijev hidrogenkarbonat u usporedbi s placebo i kontrolnim uvjetom. Slični rezultati nađeni su i pri usporedbi prve i treće serije, osim za varijablu vršna snaga gdje je najmanji pad zabilježen kod placeba (11,36 %), a zatim kod natrijeva hidrogenkarbonata (10,92 %). Ovakav trend promjena nije zamijećen uspoređujući drugu i treću seriju gdje su najmanje promjene jedino zabilježene u varijabli prosječna brzina (NA: 7,89 %; PLA: 10,81 %; CON: 8,11 %).

Za razliku od vježbe potisak s ravne klupe, u vježbi pregib podlaktica stojeći najmanji pad je zabilježen između prve i druge serije za natrijev hidrogenkarbonat u varijablama prosječne (8,57 %) i vršne (2,38 %) snage. Znatniji pad vrijednosti vidljiv je u gotovo svim varijablama iz druge u treću seriju, ali i uspoređujući prvu i treću seriju, što dodatno sugerira moguće slabljenje ergogenih učinaka natrijeva hidrogenkarbonata u kasnijim serijama.

Potrebno je još istraživanja kojima će se utvrditi akutni, a zatim i kronični učinci suplementacije natrijevim hidrogenkarbonatom na tjelesne adaptacije, međutim, ova poboljšanja u kvaliteti izvedbe omogućuju nam detektiranje malih, ali potencijalno praktično značajnih učinaka.

5.3. Utjecaj protokola suplementacije na rezultate

Protokol administracije natrijeva hidrogenkarbonata napravljen je prema prijedlogu Grgic, Pedisic i sur. (2021) u kojem je preporučena ukupna doza od 0,3 g/kg tjelesne mase raspoređena u tri vremenske točke kako bi se ispitanicima omogućila lakša konzumacija kapsula s obzirom na njihov ukupan broj, a posljedično i smanjila pojava nuspojava. Također, odabrana je strategija koja je prethodno pokazala najmanju incidenciju nuspojava u kojoj prije konzumacije prve doze kapsula prethodi konzumacija obroka bogatog ugljikohidratima (1,25 g/kg tjelesne mase) (A. J. Carr i sur., 2011). Ovaj je protokol bio znatno dulji od protokola koje su koristili B. M. Carr i sur. (2013) te Duncan i sur. (2014) u

kojima su ispitanici konzumirali natrijev hidrogenkarbonat ili placebo 80, odnosno, 60 minuta prije eksperimentalnih testiranja, što je znatno kraći vremenski period u odnosu na ovo istraživanje. Moguće je da su ispitanici iz navedenih istraživanja provodili eksperimentalna testiranja upravo u vremenskom periodu kada su njihove razine zasićenosti bikarbonata u krvi bile najviše. Stoga, postoji mogućnost da utjecaj suplementacije u ovome istraživanju nije bio pravovremen.

Nadalje, potrebno je spomenuti kako je natrijev hidrogenkarbonat za neke ispitanike možda djelovao ergolitično, odnosno da su imali lošije izvedbe nakon konzumacije, pa su i rezultati lošiji u usporedbi s kontrolnim uvjetom. Jedan od mogućih razloga tome je da se unos natrijeva hidrogenkarbonata veže uz različite oblike gastrointestinalnih simptoma kao što su mučnina, povraćanje ili proljev. U prethodnim istraživanjima, ispitanici koji su imali određene nuspojave prilikom suplementacije natrijevim hidrogenkarbonatom zabilježena je slabija izvedba u odnosu na placebo uvjet (Saunders i sur., 2014). U ovom je istraživanju jedan ispitanik imao vrlo teške nuspojave (povraćanje) nakon konzumacije natrijeva hidrogenkarbonata, a jedan skupinu težih nuspojava (mučnina, vrtoglavica, glavobolja, nadutost, podrigivanje, žgaravica, grčevi u crijevima i nagon na povraćanje) nakon konzumacije placeba. Najčešće prijavljene nuspojave nakon konzumacije natrijeva hidrogenkarbonata, a prije samog eksperimenta bile su nadutost i želučani problemi. Većina prijavljenih nuspojava smanjila se nakon provedbe testiranja. Zanimljivo je da je veći broj ispitanika prijavio nuspojave nakon unosa placeba, odnosno, natrijeva klorida. Akutni unos velike količine natrija potencijalno može izazvati određene nuspojave poput blagog porasta krvnog tlaka, ali i gastrointestinalne simptome nalik onima koji se javljaju prilikom suplementacije natrijevim hidrogenkarbonatom (Van Montfoort i sur., 2004). Nadalje, pojam teorije očekivanja koji se veže uz hipoteze placebo učinka možda može odgovoriti na određena pitanja. Ispitanici su znali o kojem se suplementu radi, pa tako i potencijalne nuspojave koje se vežu uz konzumaciju istog. Kako im je usmeno rečeno da su moguće identične nuspojave i nakon unosa placeba, a ne znajući o kojoj se supstanci točno radi, prema navedenoj teoriji, ako su ispitanici vjerovali da su primili natrijev hidrogenkarbonat, to je moglo u većoj mjeri uzrokovati i njihove nuspojave, a isto tako se i odraziti na izvedbu (McClung i Collins, 2007).

U nedavnoj meta analizi Marticorena i sur. (2021) u kojoj su se nastojali usporediti utjecaji konzumacije placeba i kontrolnog uvjeta u istraživanjima koja su se bavila sportskim suplementima otkriveni su trivijalni (Cohenov $d = 0,09$), ali ergogeni učinci placeba na

izvedbu. Autori dodatno elaboriraju ove nalaze da se otprilike 30 % poboljšanja u izvedbi prilikom konzumacije puferskih suplemenata, baš poput natrijeva hidrogenkarbonata, pripisuje upravo učinku placeba.

5.4. Prednosti i ograničenja istraživanja

Prednosti ovog istraživanja su da je provedeno randomiziranim, dvostruko slijepim eksperimentalnim nacrtom koji se smatra zlatnim standardom u području sportske prehrane.

U istraživanju je korišten kontrolni uvjet, što je omogućilo usporedbu referentnih vrijednosti s onima nakon unosa natrijeva hidrogenkarbonata, ali i placeba. Grgic, Rodriguez i sur., (2020) navode kako je trenutni problem u literaturi koja nastoji utvrditi učinke natrijeva hidrogenkarbonata na mišićnu izdržljivost veličina uzorka, odnosno, da je većina istraživanja koristila mali broj ispitanika što dovodi u pitanje statističku snagu, ali i rezultate prethodnih istraživanja. U ovom istraživanju sudjelovao je veći broj ispitanika no što je bio potreban za minimalnu statističku snagu, a znatno veći od prethodnih istraživanja.

Potrebno je spomenuti i nekoliko ograničenja ovog istraživanja koja je potrebno uzeti u obzir prilikom donošenja praktičnih preporuka. Kako u ovome istraživanju nisu mjerene promjene pH vrijednosti niti zasićenost bikarbonata u krvi, a trenažnu aktivnost bi trebalo provoditi u trenutku kada koncentracija bikarbonata u krvi postigne svoje vršne vrijednosti (Grgic, Pedisic i sur., 2021), oko 5 mmol/L, postoji mogućnost da su ispitanici provodili eksperimentalna mjerenja u periodu kada razina natrijeva hidrogenkarbonata nije bila optimalna. Međutim, Farias De Oliveira i sur. (2020) navode da su vršne vrijednosti i vrijeme potrebno da se iste postignu nedosljedne, a samim time i neponovljive.

6. ZAKLJUČAK

U ovome istraživanju, iako postoji tendencija malih učinaka, nisu pronađeni ergogeni učinci natrijeva hidrogenkarbonata na broj ponavljanja unutar tri serije između uvjeta niti na sveukupan broj ponavljanja u eksperimentalnom protokolu kao ni na parametre kvalitete izvedbe u vježbama potisak s ravne klupe i pregib podlaktica stojeći. Nalazi ovog istraživanja ne upućuju da natrijev hidrogenkarbonat ima utjecaj na povećanje kvantitete, ni za povećanje kvalitete izvedbe tijekom treninga s otporom.

7. ZAHVALE

Hvala izv. prof. dr. sc. Sanji Šalaj i doc. dr. sc. Danielu Boku što su mi omogućili korištenje opreme te Kineziološkom fakultetu na prostoru fakultetske teretane u svrhu provedbe testiranja.

Želio bih se zahvaliti i mentoru doc. dr. sc. Saši Vuku na vođenju i pomoći prilikom provedbe i pisanja ovog istraživanja.

Također, zahvale želim uputiti i svim kolegama, ispitanicima koji su sudjelovali u istraživanju te svojim trudom i vremenom i radom omogućili da se ono uspješno provede.

8. LITERATURA

1. Bang, H., Ni, L., & Davis, C. E. (2004). Assessment of blinding in clinical trials. *Controlled Clinical Trials*, 25(2), 143–156. <https://doi.org/10.1016/j.cct.2003.10.016>
2. Boegman, S., Stellingwerff, T., Shaw, G., Clarke, N., Graham, K., Cross, R., & Siegler, J. C. (2020). The Impact of Individualizing Sodium Bicarbonate Supplementation Strategies on World-Class Rowing Performance. *Frontiers in Nutrition*, 7, 138. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.00138>
3. Carr, A. J., Slater, G. J., Gore, C. J., Dawson, B., & Burke, L. M. (2011). Effect of Sodium Bicarbonate on [HCO₃⁻], pH, and Gastrointestinal Symptoms. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 21(3), 189–194. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.21.3.189>
4. Danaher, J., Gerber, T., Wellard, R. M., & Stathis, C. G. (2014). The effect of β-alanine and NaHCO₃ co-ingestion on buffering capacity and exercise performance with high-intensity exercise in healthy males. *European Journal of Applied Physiology*, 114(8), 1715–1724. <https://doi.org/10.1007/s00421-014-2895-9>
5. Debold, E. P., Fitts, R. H., Sundberg, C. W., & Nosek, T. M. (2016). Muscle Fatigue from the Perspective of a Single Crossbridge. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 48(11), 2270–2280. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001047>
6. Dennig, H., Talbott, J. H., Edwards, H. T., & Dill, D. B. (1931). EFFECT OF ACIDOSIS AND ALKALOSIS UPON CAPACITY FOR WORK. *Journal of Clinical Investigation*, 9(4), 601–613. <https://doi.org/10.1172/JCI100324>
7. Dorrell, H. F., Moore, J. M., Smith, M. F., & Gee, T. I. (2019). Validity and reliability of a linear positional transducer across commonly practised resistance training exercises. *Journal of Sports Sciences*, 37(1), 67–73. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1482588>
8. Driller, M. W., Gregory, J. R., Williams, A. D., & Fell, J. W. (2013). The Effects of Chronic Sodium Bicarbonate Ingestion and Interval Training in Highly Trained Rowers.

- International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 23(1), 40–47.
<https://doi.org/10.1123/ijsnem.23.1.40>
9. Duncan, M. J., Weldon, A., & Price, M. J. (2014). The Effect of Sodium Bicarbonate Ingestion on Back Squat and Bench Press Exercise to Failure. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(5), 1358–1366.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000277>
 10. Farias De Oliveira, L., Saunders, B., Yamaguchi, G., Swinton, P., & Giannini Artioli, G. (2020). Is Individualization of Sodium Bicarbonate Ingestion Based on Time to Peak Necessary? *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 52(8), 1801–1808.
<https://doi.org/10.1249/MSS.00000000000002313>
 11. Fitts, R. H. (1994). Cellular mechanisms of muscle fatigue. *Physiological Reviews*, 74(1), 49–94. <https://doi.org/10.1152/physrev.1994.74.1.49>
 12. Fitts, R. H. (2016). The Role of Acidosis in Fatigue: Pro Perspective. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 48(11), 2335–2338.
<https://doi.org/10.1249/MSS.00000000000001043>
 13. Grgic, J., Grgic, I., Del Coso, J., Schoenfeld, B. J., & Pedisic, Z. (2021). Effects of sodium bicarbonate supplementation on exercise performance: An umbrella review. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 18(1), 71. <https://doi.org/10.1186/s12970-021-00469-7>
 14. Grgic, J., Lazinica, B., Garofolini, A., Schoenfeld, B. J., Saner, N. J., & Mikulic, P. (2019). The effects of time of day-specific resistance training on adaptations in skeletal muscle hypertrophy and muscle strength: A systematic review and meta-analysis. *Chronobiology International*, 36(4), 449–460.
<https://doi.org/10.1080/07420528.2019.1567524>
 15. Grgic, J., Pedisic, Z., Saunders, B., Artioli, G. G., Schoenfeld, B. J., McKenna, M. J., Bishop, D. J., Kreider, R. B., Stout, J. R., Kalman, D. S., Arent, S. M., VanDusseldorp, T. A., Lopez, H. L., Ziegenfuss, T. N., Burke, L. M., Antonio, J., & Campbell, B. I. (2021). International Society of Sports Nutrition position stand: Sodium bicarbonate and exercise performance. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 18(1), 61.
<https://doi.org/10.1186/s12970-021-00458-w>
 16. Grgic, J., Pickering, C., Bishop, D. J., Schoenfeld, B. J., Mikulic, P., & Pedisic, Z. (2020). CYP1A2 genotype and acute effects of caffeine on resistance exercise, jumping, and sprinting performance. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 17(1), 21.
<https://doi.org/10.1186/s12970-020-00349-6>

17. Grgic, J., Rodriguez, R. F., Garofolini, A., Saunders, B., Bishop, D. J., Schoenfeld, B. J., & Pedisic, Z. (2020). Effects of Sodium Bicarbonate Supplementation on Muscular Strength and Endurance: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Medicine*, *50*(7), 1361–1375. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01275-y>
18. Grgic, J., Scapec, B., Pedisic, Z., & Mikulic, P. (2020). Test-Retest Reliability of Velocity and Power in the Deadlift and Squat Exercises Assessed by the GymAware PowerTool System. *Frontiers in Physiology*, *11*, 561682. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.561682>
19. Jeukendrup, A. E., Vet-Joop, K., Sturk, A., Stegen, J. H., Senden, J., Saris, W. H., & Wagenmakers, A. J. (2000). Relationship between gastro-intestinal complaints and endotoxaemia, cytokine release and the acute-phase reaction during and after a long-distance triathlon in highly trained men. *Clinical Science (London, England: 1979)*, *98*(1), 47–55.
20. Joyce, S., Minahan, C., Anderson, M., & Osborne, M. (2012). Acute and chronic loading of sodium bicarbonate in highly trained swimmers. *European Journal of Applied Physiology*, *112*(2), 461–469. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-1995-z>
21. Kell, R. T., Bell, G., & Quinney, A. (2001). Musculoskeletal Fitness, Health Outcomes and Quality of Life: *Sports Medicine*, *31*(12), 863–873. <https://doi.org/10.2165/00007256-200131120-00003>
22. Kent-Braun, J. A., Fitts, R. H., & Christie, A. (2012). Skeletal Muscle Fatigue. U R. Terjung (Ur.), *Comprehensive Physiology* (1. izd., str. 997–1044). Wiley. <https://doi.org/10.1002/cphy.c110029>
23. Lancha Junior, A. H., de Salles Painelli, V., Saunders, B., & Artioli, G. G. (2015). Nutritional Strategies to Modulate Intracellular and Extracellular Buffering Capacity During High-Intensity Exercise. *Sports Medicine*, *45*(S1), 71–81. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0397-5>
24. Marticorena, F. M., Carvalho, A., Oliveira, L. F. D., Dolan, E., Gualano, B., Swinton, P., & Saunders, B. (2021). Nonplacebo Controls to Determine the Magnitude of Ergogenic Interventions: A Systematic Review and Meta-analysis. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *53*(8), 1766–1777. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002635>
25. McClung, M., & Collins, D. (2007). “Because I know It will!”: Placebo Effects of an Ergogenic Aid on Athletic Performance. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *29*(3), 382–394. <https://doi.org/10.1123/jsep.29.3.382>
26. Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Sánchez-Medina, L., Sanchis-Moysi, J., Dorado, C., Mora-Custodio, R., Yáñez-García, J. M., Morales-Alamo, D., Pérez-Suárez,

- I., Calbet, J. A. L., & González-Badillo, J. J. (2017). Effects of velocity loss during resistance training on athletic performance, strength gains and muscle adaptations. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 27(7), 724–735. <https://doi.org/10.1111/sms.12678>
27. Rodríguez-Rosell, D., Yáñez-García, J. M., Sánchez-Medina, L., Mora-Custodio, R., & González-Badillo, J. J. (2020). Relationship Between Velocity Loss and Repetitions in Reserve in the Bench Press and Back Squat Exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(9), 2537–2547. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002881>
28. Saunders, B., de Oliveira, L. F., da Silva, R. P., de Salles Painelli, V., Gonçalves, L. S., Yamaguchi, G., Mutti, T., Maciel, E., Roschel, H., Artioli, G. G., & Gualano, B. (2017). Placebo in sports nutrition: A proof-of-principle study involving caffeine supplementation. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 27(11), 1240–1247. <https://doi.org/10.1111/sms.12793>
29. Saunders, B., Sale, C., Harris, R. C., & Sunderland, C. (2014). Sodium Bicarbonate and High-Intensity-Cycling Capacity: Variability in Responses. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(4), 627–632. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0295>
30. Van Montfoort, M. C. E., Van Dieren, L., Hopkins, W. G., & Shearman, J. P. (2004). Effects of Ingestion of Bicarbonate, Citrate, Lactate, and Chloride on Sprint Running: *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(7), 1239–1243. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000132378.73975.25>
31. Wang, J., Qiu, J., Yi, L., Hou, Z., Benardot, D., & Cao, W. (2019). Effect of sodium bicarbonate ingestion during 6 weeks of HIIT on anaerobic performance of college students. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 16(1), 18. <https://doi.org/10.1186/s12970-019-0285-8>

9. SAŽETAK

Dorian Varović

ERGOGENI UČINCI SUPLEMENTACIJE NATRIJEVIM HIDROGENKARBONATOM NA MIŠIĆNU IZDRŽLJIVOST: RANDOMIZIRANO, DVOSTRUKO SLIJEPO, PLACEBOM KONTROLIRANO ISTRAŽIVANJE S UKRIŽENIM USTROJEM

Ergogeni učinci natrijeva hidrogenkarbonata na mišićnu izdržljivost nisu još u potpunosti jasni. Stoga, cilj ovog istraživanja bio je utvrditi ergogene učinke natrijevog hidrogenkarbonata u usporedbi s placebo i kontrolnim uvjetima na nekoliko aspekata mišićne izdržljivosti u treningu s otporom.

Devetnaest ispitanika s prethodnim iskustvom u treningu s otporom sudjelovalo je u ovom randomiziranom, dvostruko slijepom, placebo kontroliranom istraživanju s ukriženim ustrojem. Ispitanici su konzumirali 0,3 g/kg kapsula natrijeva hidrogenkarbonata (NaHCO_3), 0,21 g/kg tjelesne mase placebo (natrijev klorid, NaCl) ili nisu unijeli kapsule (kontrola) 180, 120 i 60 minuta prije početka eksperimentalnog protokola. Kvantiteta i kvaliteta izvedbe procijenjeni su sljedećim ishodima: a) broj ponavljanja unutar serija između uvjeta; b) ukupan broj ponavljanja između uvjeta kroz eksperimentalni protokol; c) izlazna i vršna snaga te brzina koncentričnog dijela izvedbe u vježbama potisak s ravne klupe i pregib podlaktica stojeći sa 70 % od jednog maksimalnog ponavljanja (1 RM) izvedeni do mišićnog otkaza u tri serije.

Natrijev hidrogenkarbonat nije statistički značajno povećao broj ponavljanja unutar serija u usporedbi s placebo i kontrolnim uvjetima u ni jednoj vježbi u ovom istraživanju ($p > 0,05$). Nisu pronađene statistički značajne razlike za natrijev hidrogenkarbonat u sveukupnom broju ponavljanja kroz eksperimentalni protokol u usporedbi s placebo ($p = 0,06$) i kontrolnim ($p = 0,12$) uvjetima. Nisu pronađene statistički značajne razlike ni za jednu analiziranu varijablu koja se odnosi na kvalitetu izvedbe ponavljanja između uvjeta ($p > 0,05$).

Iako postoji tendencija malih učinaka natrijeva hidrogenkarbonata, nisu pronađene statistički značajne razlike između uvjeta u broju ponavljanja unutar tri serije, sveukupnom broju ponavljanja u eksperimentalnom protokolu kao ni za jednu analiziranu varijablu koja se odnosi na kvalitetu izvedbe ponavljanja.

Ključne riječi: ergogena sredstva, mišićna izdržljivost, brzina izvedbe ponavljanja, trening s otporom, acido-bazna ravnoteža

10. SUMMARY

Dorian Varović

ERGOGENIC EFFECTS OF SODIUM BICARBONATE SUPPLEMENTATION ON MUSCLE ENDURANCE: A RANDOMIZED, DOUBLE-BLIND, PLACEBO-CONTROLLED, CROSSOVER STUDY

Ergogenic effects of sodium bicarbonate on muscular endurance are not yet fully understood. The aim of this study was to investigate ergogenic effects of sodium bicarbonate compared to placebo and control conditions on several aspects of muscular endurance performance in two resistance training exercises.

Nineteen resistance-trained men participated in this randomized, double-blind, placebo-controlled, crossover study. Participants ingested either 0,3g/kg of sodium bicarbonate (NaHCO_3), placebo (sodium chloride, NaCl) or no supplementation (control) 180, 120 and 60 minutes before starting the experimental protocol. Quantity and quality of exercise performance was assessed with the following outcomes: a) total number of completed repetitions per set between each condition; b) total number of repetitions performed throughout the experimental protocol; c) movement velocity and power output in the bench press and standing bicep curl exercises with loads corresponding to 70 % of one- repetition maximum (1RM) performed to muscular failure throughout 3 sets.

Sodium bicarbonate did not statistically improve the number of repetitions per set when compared to placebo and control conditions in either of the two exercises employed in this study ($p > 0,05$). Sodium bicarbonate did not statistically improve the total number of repetitions performed throughout the experimental protocol in comparison with ($p = 0,06$) and control ($p = 0,12$) conditions. There were no significant difference for any of the analyzed variables concerning the quality of repetitions between the conditions ($p > 0,05$).

There is a tendency for small ergogenic effects of sodium bicarbonate, however, there were no significant differences between the conditions in the number of repetitions per set, total number of repetitions performed throughout the experimental protocol or any of the analyzed variables concerning the quality of repetitions in bench press or biceps curl exercises.

Keywords: ergogenic aid, muscle endurance, repetition velocity, resistance training, acid-base balance