

AKUTNI UČINCI SUPLEMENTACIJE NATRIJEVIM HIDROGENKARBONATOM NA IZVEDBU VJEŽBE POTISAK S RAVNE KLUPE

Varović, Dorian

Master's thesis / Diplomski rad

2022

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:117:815499>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-30**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
KINEZIOLOŠKI FAKULTET

(studij za stjecanje akademskog naziva:
magistar kineziologije u edukaciji i kineziterapija)

Dorian Varović

AKUTNI UČINCI SUPLEMENTACIJE
NATRIJEVIM HIDROGENKARBONATOM NA
IZVEDBU VJEŽBE POTISAK S RAVNE KLUPE

diplomski rad

Mentor:

doc. dr. sc. Saša Vuk

Zagreb, rujan 2022.

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 elektroničkoj verziji predanoj u Knjižnici.

Mentor:

doc. dr. sc. Saša Vuk

Student:

Dorian Varović

AKUTNI UČINCI SUPLEMENTACIJE NATRIJEVIM HIDROGENKARBONATOM NA IZVEDBU VJEŽBE POTISAK S RAVNE KLUPE

Sažetak

Cilj ovog istraživanja bio je utvrditi akutne učinke suplementacije natrijevim hidrogenkarbonatom na mišićnu izdržljivost, izlaznu snagu i brzinu pri izvedbi vježbe potisak s ravne klupe. Devetnaest ispitanika s prethodnim iskustvom u treningu s otporom sudjelovalo je u ovom randomiziranom, dvostruko slijepom, placebo kontroliranom istraživanju.

Ispitanici su unijeli 0,3 g/kg natrijeva hidrogenkarbonata ili 0,21 g/kg placeba (natrijev klorid) u tri vremenske točke (180, 120, 60 min) prije početka eksperimentalnog protokola. Ispitanici su izvodili vježbu potisak s ravne klupe sa 70 % od jednog maksimalnog ponavljanja do mišićnog otkaza. Analizirani su ukupan broj ponavljanja po serijama, kao i ukupan broj ponavljanja kroz sve tri serije kako bi se utvrdili učinci natrijeva hidrogenkarbonata na kvantitetu izvedbe. Parametri snage i brzine korišteni su kako bi se utvrdili učinci na kvalitetu izvedbe na način da se izjednačio broj ponavljanja između dva uvjeta.

Pronađene su statistički značajne razlike za natrijev hidrogenkarbonat u sljedećim varijablama: a) broj ponavljanja u trećoj seriji (Hedgeov g : 0,30, $p = 0,046$); b) ukupan broj ponavljanja kroz sve tri serije ($g = 0,23$; $p = 0,04$); c) vršna snaga u drugoj seriji ($g = 0,19$; $p = 0,03$); d) prosječna brzina (g : 0,30; $p = 0,02$) i prosječna snaga ($g = 0,23$; $p = 0,03$) u trećoj seriji.

Rezultati ovog istraživanja ukazuju na ergogene učinke suplementacije natrijevim hidrogenkarbonatom na mišićnu izdržljivost, izlaznu snagu i brzinu pri izvedbi vježbe potisak s ravne klupe. Navedeni ergogeni učinci vidljivi su tek u drugoj i trećoj seriji što podupire mehanizme djelovanja natrijeva hidrogenkarbonata na način da smanjuju negativne učinke acidoze na mišićnu kontrakciju te omogućuje daljnje obavljanje rada.

Ključne riječi: ergogeno sredstvo, acido-bazna ravnoteža, mišićna izdržljivost, puferi, izlaz snage

ACUTE EFFECTS OF SODIUM BICARBONATE SUPPLEMENTATION ON BENCH PRESS PERFORMANCE

Abstract

The aim of this study was to explore acute effects of sodium bicarbonate supplementation on muscular endurance, power, and velocity output in the bench press exercise. Nineteen resistance-trained men participated in this randomized, double-blind, placebo-controlled study.

Participants ingested either 0,3 g/kg of sodium bicarbonate or 0,21 g/kg of placebo (sodium chloride) in three time points (180, 120, 60 minutes) before starting the experimental protocol. Participants performed the bench press exercise with loads corresponding to 70 % of one-repetition maximum performed to muscular failure throughout 3 sets. To assess quantity of performance, the number of repetitions in each set and throughout all three sets were analyzed. In addition, power and velocity of repetitions were explored to assess the quality of performance by matching the number of repetitions between the two conditions.

Statistically significant differences following sodium bicarbonate ingestion were found for the following variables: a) number of repetitions in the third set ($g: 0,30, p = 0,046$); b) the total number of repetitions throughout all three sets ($g = 0,23; p = 0,04$); c) peak power in the second set ($g = 0,19; p = 0,03$); d) peak velocity ($g: 0,30; p = 0,02$) and peak power ($g = 0,23; p = 0,03$) in the third set.

Results indicate that sodium bicarbonate supplementation elicits ergogenic effects on muscular endurance, power, and velocity output in the bench press exercise. These effects were observed only in the second and third set. This supports mechanisms of sodium bicarbonate which acts by attenuating negative effects of acidosis on muscle contractility and allows an athlete to perform further work.

Keywords: ergogenic aid, acid-base balance, muscular endurance, buffering, power output

ZAHVALA

Na kraju ovog petogodišnjeg putovanja i jednog iznimno velikog i važnog poglavlja u mom životu, htio bih se zahvaliti osobama koje su bile uz mene i učinile ovaj studij lakšim, zanimljivim, ali i zabavnijim. Kineziologija mi je otvorila potpuno novi pogled na život, naučila me kritičkom razmišljanju, upornosti, trudu i radu. Isto tako, pokazala mi je da je moguće ostvariti sve što naumiš, ako si pritom voljan dovoljno se žrtvovati i ne posustati. S fakulteta odlazim kao bolja, ali i znatno bogatija osoba zbog znanja, prijateljstva i svih nezaboravnih iskustva stečenih za vrijeme ovog studija.

Prvo, hvala doc. dr. sc. Saši Vuku što me primio već na drugoj godini studija i pažljivo poslušao moje prvobitne ideje i brojne prijedloge istraživanja. Dao mi je slobodu da istražujem temu koja mi je bila od najvećeg interesa, a u tom procesu ujedno i zavolim znanost. Smatram da je ovo bio ključan trenutak u mojem daljnjem nastavku studija i obrazovanja, kao i znanstvenom razvoju. Ujedno hvala na nesebičnoj pomoći, strpljenju i udijeljenom znanju kroz sve ove godine, iznimno mi je drago što sam imao priliku upoznati profesora i osobu kao što je on.

Također, želim se zahvaliti svim kolegama i istinskim prijateljima koje sam upoznao i stekao na fakultetu te s kojima sam provodio sate u dvoranama pripremajući praktične ispite. Iako se na trenutke činilo beznadno, zajedničkim snagama, međusobnom motivacijom i guranjem van „zone ugone“ uspješno smo savladali sve prepreke i izazove koji su bili stavljeni pred nas. Bez njih sve to ne bi bilo moguće.

Najveće hvala cijeloj mojoj obitelji na bezuvjetnoj podršci za vrijeme studiranja, ali i u svim mojim neočekivanim odlukama te ponekad impulzivnim trenucima. Omogućili ste mi da pratim svoje ciljeve i snove i na tome sam vam beskrajno zahvalan.

I na koncu, hvala Ivani koja je upotpunila moj život, zajedno sa mnom dijelila sve dobre i loše trenutke ovih godina, bila mi najveći mogući oslonac i glas razuma kad sam zatrebao te napravila bezbroj mnogo lektura i pomogla mi s provođenjem ovog istraživanja. S njome sam iskusio neizmjernu sreću, podršku i ljubav te je učinila svaki dan lakšim i boljim od prethodnog.

SADRŽAJ

| | |
|---|----|
| 1. UVOD | 1 |
| 2. CILJEVI I HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA | 4 |
| 3. METODE ISTRAŽIVANJA | 4 |
| 3.1. Uzorak ispitanika | 4 |
| 3.2. Eksperimentalni nacrt | 5 |
| 3.3. Protokol suplementacije | 5 |
| 3.4. Testiranje 1 RM-a | 6 |
| 3.5. Potisak s ravne klupe | 6 |
| 3.6. GymAware | 6 |
| 3.7. Eksperimentalni protokol | 7 |
| 3.8. Učinkovitost zasljepljivanja | 7 |
| 3.9. Nuspojave | 7 |
| 3.10. Metode obrade podataka | 7 |
| 4. REZULTATI | 8 |
| 4.1. Broj ponavljanja | 8 |
| 4.2. Kvaliteta izvedbe | 9 |
| 4.3. Učinkovitost zasljepljivanja | 9 |
| 4.4. Nuspojave | 10 |
| 5. RASPRAVA | 11 |
| 6. ZAKLJUČAK | 15 |
| 7. LITERATURA | 16 |

1. UVOD

Natrijev hidrogenkarbonat (NaHCO_3) popularan je suplement koji se danas sve češće koristi kao ergogeno sredstvo u težnji za unaprjeđenjem izvedbe i sportskih rezultata, ali i u medicinske svrhe (Maughan i sur., 2018). Istraživanja na temu imaju svoju dugu povijest koja započinje 1930-ih, kada su se ovom temom bavili Dennig i sur. (1931). Kroz narednih nekoliko desetljeća proveden je niz originalnih radova koji su nastojali istražiti utjecaj natrijeva hidrogenkarbonata u različitim vrstama i tipovima aktivnosti i duljinama trajanja (npr. visoko intenzivna vožnja bicikla, trčanje, plivanje na 200 m, veslanje na 2000 m).

U ljudskom tijelu postoje dva primarna energetska sustava – anaerobni i aerobni, zaslužni za obnavljanje energije, točnije sintezu adenozin trifosfata (ATP). Anaerobni sustav dodatno se dijeli na fosfageni i glikolitički. Dominantnost upotrebe jednog od navedenih sustava primarno ovisi o vrsti, intenzitetu i trajanju aktivnosti (Gastin, 2001). Za anaerobni fosfageni sustav smatra se da su zalihe kreatin-fosfata (PCr) dovoljne za 8 –10 sekundi maksimalne mišićne aktivnosti (Guyton i Hall, 2017). Stoga će ovaj sustav biti dominantan izvor energije prilikom izvedbe aktivnosti poput skokova, eksplozivnih balističkih pokreta te brzih i naglih promjena smjera kretanja. S druge strane, glikolitički sustav primarno djeluje kroz proces anaerobne glikolize koji uključuje postupnu razgradnju glikogena do mliječne kiseline (Gastin, 2001). Ovaj sustav omogućuje izvedbu aktivnosti u trajanju od 1,3 do 1,6 minute, što bi uključilo aktivnosti poput trčanja na 400 m, plivanja ili ponavljanih sprintova (Guyton i Hall, 2017). Kao nusprodukt anaerobne glikolize dolazi do akumulacije mliječne kiseline (laktata), ali i pada pH (Gastin, 2001). Prethodno navedeno sugerira kako metaboličke promjene organizma uvelike ovise o vrsti i aktivnosti anaerobnog sustava gdje su one značajno drugačije u aktivnostima trajanja ~ 30 sekundi od onih u trajanju 2 - 3 minute (Grgic i sur., 2021). U slučaju fosfagenog sustava doći će do brzog pražnjenja zaliha PCr, a u slučaju glikolitičkog do značajne akumulacije metabolita u unutarstaničnoj i izvanstaničnoj tekućini (Grgic i sur., 2021). Navedene metaboličke promjene uzrokovane visoko intenzivnom aktivnošću dovode do narušavanja acidobazne ravnoteže. U ljudskom tijelu postoje unutarstanični i izvanstanični puferski sustavi zaslužni za održavanje ravnoteže pH koji u mišićima iznosi ~ 7,1 u mirovanju (Lancha Junior i sur., 2015). Jedan od primarnih izvanstaničnih pufera je bikarbonat (HCO_3^-). Medbo i Tabata (1993) navode da su izvanstanični puferi zaslužni za čak 62 % odstranjivanja H^+ u cirkulaciju prilikom visoko intenzivne aktivnosti. U stanju mirovanja, vrijednosti HCO_3^- kreću se između 23 – 27 mmol/L (Lancha Junior i sur., 2015). Iako mehanizmi djelovanja natrijeva hidrogenkarbonata nisu još u potpunosti shvaćeni, natrijev hidrogenkarbonat

vjerojatno djeluje na način da povećava izvanstanični puferski kapacitet (Grgic i sur., 2021). Membrana mišićnih vlakana (sarkolema) nije propustljiva za HCO_3^- , stoga unos natrijevog hidrogenkarbonata uzrokuje porast koncentracije HCO_3^- što rezultira porastom pH i viškom baze u krvi (eng. *base excess*) koji karakteriziraju stanje metaboličke alkaloze. Porast krvnog pH i HCO_3^- uzrokuje povećanje unutarstaničnog/izvanstaničnog H^+ gradijenta čime se ujedno unaprjeđuje aktivnost La^-/H^+ ko-transportera. Navedeno zajedno rezultira značajnim izlaskom H^+ i La^- iz radne muskulature u krvotok gdje mogu biti puferirani od strane HCO_3^- (Grgic i sur., 2021).

Prethodna istraživanja ukazuju kako su ergogeni učinci natrijeva hidrogenkarbonata vjerojatniji u onim aktivnostima koje se više oslanjaju na anaerobnu glikolizu za obnovu energije što za posljedicu ima povećanu akumulaciju H^+ , a samim time i nastup metaboličke acidoze (Grgic i sur., 2021). Vrijeme aktivnosti također igra ulogu u veličini ergogenih učinaka. Prethodna istraživanja pokazala su kako izvedba u aktivnostima vrlo kratkog trajanja, svega 10 – 30 sekundi nije bila poboljšana nakon unosa natrijeva hidrogenkarbonata, dok kod onih u trajanju od 120 do 240 sekundi jest (McNaughton, 1992). Međutim, prilikom donošenja ovakvih zaključaka treba imati na umu i vrstu protokola. Kada se radi o protokolima koji koriste samo jednu seriju (eng. *single bout protocol*), ergogeni učinci vrlo često nisu pronađeni, no, kada se koriste protokoli s više serija (eng. *repeated bout*), ergogeni učinci su znatno češći, unatoč vrlo kratkom trajanju izvedbe (Grgic i sur., 2021).

Porast vrijednosti La^- i H^+ uzrokuje pad mišićnog i krvnog pH, međutim, može dovesti i do znatno bržeg mišićnog zamora i pada izvedbe s obzirom da povećana akumulacija H^+ sprječava vezanje kalcijevih iona (Ca^{2+}) na troponin, pa time ometa proces formiranja poprečnih mostova – ključan dio u odvijanju mišićne kontrakcije (Fitts, 2016). S obzirom da se uz unos natrijeva hidrogenkarbonata veže povećana sposobnost puferiranja i odstranjivanja La^- i H^+ tijekom aktivnosti, isto tako kroz poboljšanu regulaciju pH natrijev hidrogenkarbonat potencijalno može utjecati i na odgađanje nastupa zamora (Hollidge-Horvat i sur., 2000).

Prilikom visoko intenzivne aktivnosti dolazi do promjena u vrijednostima različitih iona, uključujući i kalijeve ione (K^+). Visoke razine K^+ unutar intersticija mogu narušiti mišićnu funkciju depolarizacijom sarkoleme te membrane transverzalnih tubula (T-tubule) što za ishod ima smanjenu mišićnu provodljivost i podražljivost, a navedeni faktori također mogu utjecati na mišićni zamor (Grgic i sur., 2021). Suplementacija natrijevim hidrogenkarbonatom može izazvati pad zasićenosti K^+ te povećati odstranjivanje iz radnog mišića što sugerira na povećanu

aktivnost Na⁺, K⁺- ATPaze (Natrij-kalij pumpe) i održavanju membranskog potencijala u stanicama (McKenna i sur., 2008; Sostaric i sur., 2006).

Većina dosadašnjih istraživanja na ovu temu mjerila su izvedbu u visoko intenzivnim protokolima vježbanja poput trčanja ili vožnje bicikla (Bird i sur., 1995; Bishop i sur., 2004). S obzirom na fokus prethodnih istraživanja, učinci natrijeva hidrogenkarbonata na trening s otporom manje su poznati. Nedavna meta-analiza istražila je utjecaj natrijeva hidrogenkarbonata na mišićnu jakost i izdržljivost (Grgic, Rodriguez, i sur., 2020). Autori su pronašli ergogene učinke natrijeva hidrogenkarbonata na ishod mišićne izdržljivosti (Hedgeov $g = 0,37$), ali ne i jakosti. Vjerojatni razlog tome leži u činjenici kako su izvedbe i treninzi jakosti prekratkog trajanja da bi natrijev hidrogenkarbonat mogao u potpunosti izazvati ergogeni učinak. Međutim, navedena meta-analiza združila je različite ishode za mišićnu izdržljivost poput ukupnog broja ponavljanja, ukupno vrijeme izvedbe na izokinetičkom uređaju, ili vrijeme zadržavanja proizvodnje izometrične sile. Većina navedenih istraživanja koristila je izokinetičke ili izometrične testove, a samo nekoliko istraživanja istražilo je utjecaj natrijeva hidrogenkarbonata na ukupan broj ponavljanja koristeći protokole vježbanja u više serija te kombinaciju različitih vježbi (B. M. Carr i sur., 2013; Duncan i sur., 2014). U praktičnom smislu takvi protokoli ujedno predstavljaju i primarni oblik vježbanja, dok se izokinetička i izometrična testiranja češće koriste u laboratorijskim uvjetima i testiranjima. Konkretno, Carr i sur. (2013) okupili su 12 ispitanika koji su izvodili tri vježbe za donje ekstremitete kroz 4 – 5 serija nakon konzumacije 0,3 g/kg natrijeva hidrogenkarbonata ili placebo do mišićnog otkaza. Duncan i sur. (2014) proveli su istraživanje u kojem je osam ispitanika provodilo tri serije do mišićnog otkaza u vježbama potisak s ravne klupe i stražnji čučanj s 80 % od jednog maksimalnog ponavljanja (lat. *repetitio maximum*, 1 RM), nakon konzumacije 0,3 g/kg natrijeva hidrogenkarbonata ili 0,045 g/kg placebo suplementa (NaCl). Uvid u specifične razlike svake serije bio bi iznimno relevantan s obzirom da natrijev hidrogenkarbonat primarno djeluje tako da odgađa nastup zamora prilikom provedbe aktivnosti. Na temelju ovih mehanizama, ergogeni učinci vjerojatniji su, ali i značajniji u kasnijim serijama, odnosno, nastupom i akumulacijom prethodno spomenutih metabolita. Međutim, potrebno je još istraživanja na temu kako bi se potvrdila navedena hipoteza.

Prethodna istraživanja gledala su samo ukupan broj ponavljanja (B. M. Carr i sur., 2013; Duncan i sur., 2014). Ako nije bilo utvrđenih razlika između natrijeva hidrogenkarbonata i placebo, zaključak istraživanja bio je da ergogeni učinci nisu nađeni (Portington i sur., 1998). Međutim, problem s ovim pristupom je potpuno zanemarivanje kinematičkih parametara poput

izlazne snage i brzine izvedbe. Moguće je da, iako je broj ponavljanja između uvjeta bio približan ili gotovo jednak, da je natrijev hidrogenkarbonat povećao izlaznu snagu i brzinu, što bi sugeriralo značajno bolju kvalitetu izvedbe. Istraživanja na temu treninga baziranog na brzini (eng. *velocity based training*, VBT) prijavila su da je kvaliteta izvedbe jednaka, ako ne i od veće važnosti od same kvantitete (Galiano i sur., 2022; Pareja-Blanco i sur., 2017). Međutim, do danas nisu istraženi utjecaji natrijeva hidrogenkarbonata na kvalitetu izvedbe, što naglašava potencijalan nedostatak u literaturi koja se bavi ovim suplementom.

2. CILJEVI I HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA

Cilj ovog istraživanja bio je utvrditi akutne učinke suplementacije natrijevim hidrogenkarbonatom na broj ponavljanja, snagu i brzinu izvedbe u više serija u vježbi potisak s ravne klupe.

Na temelju dosadašnjih istraživanja postavljena je sljedeća hipoteza:

H1: Suplementacija natrijevim hidrogenkarbonatom imat će statistički značajno veći utjecaj na broj ponavljanja, snagu i brzinu izvedbe u odnosu na placebo uvjet u kasnijim serijama izvedbe vježbe potisak s ravne klupe

3. METODE ISTRAŽIVANJA

3.1. Uzorak ispitanika

U istraživanju su sudjelovali zdravi, tjelesno aktivni muškarci s prethodnim iskustvom u treningu s opterećenjem od minimalno godinu dana te minimalnom frekvencijom od dva treninga tjedno. Dodatni kriteriji za uvrštavanje u istraživanje bili su: a) mogućnost podizanja 100 % vlastite tjelesne mase u vježbi potisak s ravne klupe; b) da nemaju ozljeda gornjih ekstremiteta lokomotornog sustava; c) da nemaju povijest upotrebe anaboličkih androgenih steroida. Na temelju a-priori analize statističke snage koristeći G*Power softver (verzija 3.1.9.7, Sveučilište Düseldorf, Njemačka) i sljedeće parametre za analizu: veličina učinka (ES, Cohenov d) od 0,20 za mišićnu izdržljivost; alfa razina od 0,05; statistička snaga od 0,80; korelacija između mjerenja (r) od 0,85; jedna grupa i dva mjerenja, utvrđena je potrebna veličina uzorka od 17 ispitanika. Zbog mogućnosti osipanja uzorka prikupljeno je 19 ispitanika. Svih 19 ispitanika (dob: $22 \pm 1,9$ godina; tjelesna visina: $180 \pm 5,6$ cm; tjelesna masa: $84 \pm 9,5$ kg) uspješno je završilo sva mjerenja.

3.2. Eksperimentalni nacrt

U ovom istraživanju korišten je randomiziran, dvostruko slijep, placebo kontrolirani eksperimentalni nacrt s ukriženim ustrojem (eng. *cross-over*). Svi ispitanici ostvarili su tri dolaska u prostore teretane Kineziološkog fakulteta, Sveučilišta u Zagrebu. Sva testiranja održana su individualno za svakog ispitanika u isto doba dana (± 2 sata) kako bi se spriječili utjecaji varijacija u cirkadijskom ritmu na jakost (Grgic i sur., 2019). Na prvom dolasku ispitanicima je izmjeren 1 RM u vježbi potisak s ravne klupe te su se upoznali s eksperimentalnim protokolom. Druga dva dolaska bila su predviđena za eksperimentalni protokol proveden nasumičnim i uravnoteženim redosljedom u periodu od 4 do 7 dana. Randomizaciju redosljeda uvjeta za ispitanike je, koristeći web aplikaciju (dostupno na: www.randomization.com), provela osoba koja nije bila aktivno uključena u provedbu istraživanja. Ispitanici su upućeni da barem 24 sata prije eksperimentalnog protokola ne provode visoko-intenzivnu aktivnost ili onu koja specifično aktivira mišiće gornjih ekstremiteta. Istraživanje je odobreno od strane Etičkog povjerenstva Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu te provedeno u skladu s Helsinškom deklaracijom. Svi ispitanici potpisali su informirani pristanak dobrovoljnog sudjelovanja u istraživanju prije početka njegove provedbe.

3.3. Protokol suplementacije

Ispitanicima su prije glavnih mjerenja podijeljene veganske celulozne kapsule (veličina 00, Ekstrakt manufaktur, Njemačka) koje su sadržavale 0,3 g/kg natrijevog hidrogenkarbonata, ili 0,21 g/kg natrijeva klorida (NaCl, placebo). Placebo doza od 0,21 g/kg natrijeva klorida odabrana je jer sadrži ekvivalentnu količinu natrija kao i 0,3 g/kg natrijeva hidrogenkarbonata. Sve kapsule bile su identičnog izgleda te punjene ručno i vagane koristeći pouzdanu digitalnu vagu. Broj kapsula u oba uvjeta bio je jednak relativno individualnoj tjelesnoj masi svakog ispitanika. Navedene doze natrijeva hidrogenkarbonata i placeba podijeljene su u tri manje i jednake doze koje su ispitanici trebali konzumirati u tri vremenske točke: 180, 120 i 60 minuta prije glavnih mjerenja. Prethodna istraživanja pokazala su potencijalne prednosti sličnih protokola administracije u težnji za smanjenjem potencijalnih gastrointestinalnih nuspojava (Grgic i sur., 2021). Također, ispitanici su prije konzumacije prve doze pojeli obrok bogat ugljikohidratima (1,25 g/kg). Navedena strategija također se pokazala obećavajućom za smanjenje nuspojava (A. J. Carr i sur., 2011). Ispitanicima je dana uputa da taj obrok zadrže jednakim kroz oba glavna mjerenja te da unaprijed izračunaju relativnu kalorijsku vrijednost istog. Osoba koja je bila zadužena

za pripremu kapsula nije znala o kojem se ispitaniku radi kako bi se zadržalo uspješno zasljepljivanje, a podatci o ispitanicima bili su spremljeni pod unikatnim brojem koji su bili dostupni glavnom istraživaču za analizu po završetku istraživanja.

3.4. Testiranje 1 RM-a

Ispitanici su prije početka testiranja proveli individualno zagrijavanje u trajanju od 10 minuta. Na početku protokola, ispitanici su prvo izveli dvije serije zagrijavanja izvodeći 3 do 5 ponavljanja s 50 % i 70 % od procijenjenog 1 RM-a. Zatim, postupno su povećavali vanjsko opterećenje na 85 %, 90 % i 95 % od procijenjenog 1 RM-a te izvodili jedno ponavljanje sve do kad ne bi dostigli njihov pravi 1 RM. Sve vrijednosti 1 RM-a određene su unutar pet pokušaja. Neuspješan pokušaj smatran je kada ispitanik ne bi uspješno savladao koncentričnu fazu pokreta sa zadanim opterećenjem. Odmor između svakog pokušaja trajao je tri minute. Nakon uspješno određenog 1 RM-a, ispitanici su upoznati s načinom izvođenja eksperimentalnog protokola. Prosječne vrijednosti 1 RM-a u vježbi potisak s ravne klupe bile su 107 ± 19 kg.

3.5. Potisak s ravne klupe

Za izvedbu vježbe potisak s ravne klupe ispitanici su trebali u ležećem položaju zadržati pet točaka kontakta s podlogom (glava, lopatice, zdjelica i oba stopala). Prilikom ekscentričnog dijela pokreta ispitanici su trebali šipkom dotaknuti srednji ili donji dio velikog prsnog mišića (lat. *m. pectoralis major*). Koncentričnu fazu pokreta trebalo je izvršiti maksimalno brzo, dok je trajanje ekscentrične faze pokreta iznosilo jednu do dvije sekunde. Ispitanici su izvodili ponavljanja sve do kada nisu više mogli u potpunosti opružiti lakatni zglob.

3.6. GymAware

Za utvrđivanje parametara prosječne koncentrične brzine (m/s), prosječne snage (W), vršne koncentrične brzine (m/s) i vršne snage (W) korišten je linearni sljednik (GymAware Power Tool, Kinetic Performance Technologies, Canberra, Australia). Navedeni uređaj smatra se zlatnim standardom za provedbu VBT-a s iznimno visokom pouzdanošću i valjanošću (Grgic, Scapec, i sur., 2020). Tijekom izvedbe svakog ponavljanja ovaj uređaj veže se na kraj šipke čičak trakom te se postavlja okomito na tlo. Prikupljeni podaci Bluetooth tehnologijom su spremljeni na tablet (iPad 9th Gen. Apple Inc., Cupertino, Ca, USA) za daljnju obradu i analizu podataka.

Navedeni parametri brzine i snage utvrđeni su izjednačavanjem broja ponavljanja između uvjeta. Primjerice, ako je ispitanik napravio osam i šest ponavljanja nakon unosa natrijeva hidrogenkarbonata i placeba, u analizu je uvršteno samo prvih šest ponavljanja u oba uvjeta. Ovim pristupom nastojalo se utvrditi postoje li učinci natrijeva hidrogenkarbonata na snagu i brzinu čak i s izjednačenim brojem ponavljanja.

3.7. Eksperimentalni protokol

Prije početka glavnih mjerenja ispitanici su provodili individualno zagrijavanje u trajanju od 10 minuta, nakon kojeg je slijedilo dodatno specifično zagrijavanje. Ispitanici su upućeni da zadrže protokol zagrijavanja jednakim kroz oba glavna mjerenja. Specifično zagrijavanje započelo je koristeći praznu olimpijsku šipku (20 kg), a zatim s opterećenjem jednakim 35 % i 50 % izračunatog 1 RM-a po 5 ponavljanja. Ispitanici su izvodili tri serije sa 70 % 1 RM-a do mišićnog otkaza, a odmor između serija trajao je tri minute.

3.8. Učinkovitost zasljepljivanja

Kako bi se utvrdila učinkovitost zasljepljivanja ispitanici su ispunili upitnik prije i nakon provedbe glavnih mjerenja. U oba slučaja ispitanici su traženi da odgovore na pitanje: „Molimo Vas, navedite koji suplement mislite da ste unijeli?“. Pitanje je sadržavalo tri moguća odgovora : „a) natrijev hidrogenkarbonat; b) placebo; c) ne znam“. Ako su ispitanici odabrali natrijev hidrogenkarbonat ili placebo, traženi su da obrazlože svoj odgovor (Saunders, de Oliveira, i sur., 2017).

3.9. Nuspojave

Moguće nuspojave nakon konzumacije natrijeva hidrogenkarbonata i placeba utvrđene su prije i nakon provedbe glavnih mjerenja. Ispitanici su ispunili prethodno validirani upitnik od 18 čestica koji je nastojao utvrditi pojavnost, ali i jačinu gastrointestinalnih nuspojava (Jeukendrup i sur., 2000).

3.10. Metode obrade podataka

Serije jednosmjerne univarijatne analize varijance (ANOVA) za ponavljanja mjerenja korištene su kako bi se utvrdila značajnost razlika u broju ponavljanja te parametrima snage i brzine između dva uvjeta. Relativna veličina učinka i njihovi 95 % intervali pouzdanosti izračunati su koristeći Hedgeov g za ponavljana mjerenja. Interpretacija ES-a bazirana je na prema skali: < 0,20 (trivijalno), 0,20 – 0,49 (mali), 0,50 – 0,79 (umjereni), ≥ 80 (veliki). McNemarov test korišten je za usporedbu incidencije nuspojava između natrijevog hidrogenkarbonata i placebo uvjeta. Učinkovitost zasljepljivanja utvrđena je koristeći

Bangov indeks zaslijepljivanja (eng. *Bang Blinding Index*, BBI) (Bang i sur., 2004). Raspon vrijednosti Bangovog indeksa jest od -1,0 do 1,0 koje ukazuju na suprotno pogađanje i potpunu nezaslijepljenost. Analiza podataka izvršena je koristeći programske alate Statistica 14 (TIBCO Software Inc.) i Excel 365 (Microsoft Corp). Razina statističke značajnosti postavljena je na $p < 0,05$.

4. REZULTATI

Deskriptivni pokazatelji u vidu aritmetičke sredine (AS) \pm standardna devijacija (SD) za sve varijable prikazane su u tablicama 1 i 2.

4.1. Broj ponavljanja

Nisu pronađene statistički značajne razlike za broj ponavljanja u prvoj ($p = 0,27$) i drugoj ($p = 0,20$) seriji.

Međutim, pronađene su statistički značajne razlike za broj ponavljanja u trećoj seriji (ES: 0,30; 95 % CI: 0,00, 0,61; $p = 0,046$). Također, za natrijev hidrogenkarbonat pronađene su statistički značajne razlike u ukupnom broju ponavljanja u vježbi potisak s ravne klupe u sve tri serije u usporedbi s placebo uvjetom (ES: 0,23; 95 % CI: 0,02, 0,47; $p = 0,04$, Tablica 1).

Tablica 1. Broj ponavljanja unutar svake serije i ukupan broj ponavljanja u vježbi potisak s ravne klupe

| Vježba | Seriya | Natrijev hidrogenkarbonat (AS \pm SD) | Placebo (AS \pm SD) | ES (95 % CI) | <i>p</i> |
|-----------------------|-------------------------|---|-----------------------|--------------------|----------|
| Potisak s ravne klupe | 1. | 14,7 \pm 2,3 | 14,3 \pm 2,2 | 0,15 (-0,13, 0,45) | 0,27 |
| | 2. | 10,2 \pm 1,7 | 9,9 \pm 1,8 | 0,14 (-0,08, 0,37) | 0,20 |
| | 3. | 7,7 \pm 1,7 | 7,2 \pm 1,7 | 0,30 (0,00, 0,61) | 0,046* |
| | Ukupan broj ponavljanja | 32,6 \pm 4,8 | 31,5 \pm 4,8 | 0,23 (0,02, 0,47) | 0,04* |

CI: interval pouzdanosti; ES: veličina učinka (Hedgeov g); AS: aritmetička sredina; SD: standardna devijacija; *: statistički značajno na $p < 0,05$

4.2. Kvaliteta izvedbe

Nisu pronađene statistički značajne razlike između uvjeta za parametre snage i brzine u prvoj seriji vježbe potisak s ravne klupe ($p = 0,29$ do $0,77$). U drugoj seriji nisu pronađene statistički značajne razlike između uvjeta za prosječnu snagu, prosječnu i vršnu brzinu ($p = 0,07$ do $0,12$).

Pronađeni su statistički značajni učinci natrijeva hidrogenkarbonata na vršnu snagu u drugoj seriji (ES: 0,19; 95 % CI: 0,02, 0,37; $p = 0,03$). U trećoj seriji nisu pronađene statistički značajne razlike između uvjeta za vršnu snagu ($p = 0,43$) i vršnu brzinu ($p = 0,30$), ali pronađeni su statistički značajni učinci natrijeva hidrogenkarbonata na prosječnu snagu (ES: 0,23; 95 % CI: 0,02, 0,45; $p = 0,03$) i brzinu (ES: 0,30; 95 % CI: 0,06, 0,55; $p = 0,02$; Tablica 2).

Tablica 2. Razlike između uvjeta u izlaznoj snazi i brzini u vježbi potisak s ravne klupe s izjednačenim brojem ponavljanja između natrijeva hidrogenkarbonata i placebo uvjeta

| Varijabla | Seriya | Natrijev hidrogenkarbonat (AS \pm SD) | Placebo (AS \pm SD) | ES (95 % CI) | <i>p</i> |
|------------------------|--------|---|-----------------------|--------------------|----------|
| Prosječna snaga (W) | 1 | 312 \pm 71 | 309 \pm 71 | 0,04 (-0,15, 0,23) | 0,66 |
| Vršna snaga (W) | | 475 \pm 120 | 464 \pm 129 | 0,08 (-0,08, 0,25) | 0,29 |
| Prosječna brzina (m/s) | | 0,42 \pm 0,07 | 0,42 \pm 0,07 | 0,00 (-0,27, 0,27) | 0,77 |
| Vršna brzina (m/s) | | 0,59 \pm 0,09 | 0,58 \pm 0,10 | 0,10 (-0,15, 0,36) | 0,29 |
| Prosječna snaga (W) | 2 | 279 \pm 57 | 266 \pm 58 | 0,21 (-0,05, 0,48) | 0,11 |
| Vršna snaga (W) | | 450 \pm 133 | 425 \pm 122 | 0,19 (0,02, 0,37) | 0,03* |
| Prosječna brzina (m/s) | | 0,38 \pm 0,06 | 0,37 \pm 0,06 | 0,16 (-0,18, 0,51) | 0,12 |
| Vršna brzina (m/s) | | 0,55 \pm 0,09 | 0,53 \pm 0,09 | 0,22 (-0,06, 0,50) | 0,07 |
| Prosječna snaga (W) | 3 | 256 \pm 53 | 242 \pm 64 | 0,23 (0,02, 0,45) | 0,03* |
| Vršna snaga (W) | | 421 \pm 116 | 413 \pm 132 | 0,06 (-0,08, 0,20) | 0,41 |
| Prosječna brzina (m/s) | | 0,35 \pm 0,06 | 0,33 \pm 0,07 | 0,30 (0,06, 0,55) | 0,02* |
| Vršna brzina (m/s) | | 0,52 \pm 0,08 | 0,51 \pm 0,10 | 0,11 (-0,11, 0,32) | 0,30 |

CI: interval pouzdanosti; ES: veličina učinka (Hedgeov g); AS: aritmetička sredina; SD: standardna devijacija; *: statistički značajno na $p < 0,05$

4.3. Učinkovitost zasljepljivanja

Analiza odgovora prije provedbe glavnih mjerenja prikazala je da je 0 %, odnosno, 11 % ispitanika uspješno identificiralo natrijev hidrogenkarbonat, odnosno, placebo uvjet izvan okvira nasumične vrijednosti. Nakon provedbe glavnih mjerenja, 0%, odnosno 22%

ispitanika, točno je identificiralo natrijev hidrogenkarbonat, odnosno, placebo uvjete izvan okvira nasumične vrijednosti. Navedeni nalazi označuju da je zasljepljivanje ispitanika uspješno provedeno. 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

Nisu pronađene statistički značajne razlike u incidenciji nuspojava između natrijeva hidrogenkarbonata i placebo uvjeta (Tablica 3).

Tablica 3. Incidencija nuspojava utvrđenih prije i nakon provedbe glavnih mjerenja. Podaci su prikazani kao frekvencije pojava

| Varijabla | Prije eksperimenta | | Nakon eksperimenta | |
|----------------------------|---------------------------|---------|---------------------------|---------|
| | Natrijev hidrogenkarbonat | Placebo | Natrijev hidrogenkarbonat | Placebo |
| Želučani problem | 10 | 8 | 2 | 3 |
| Mučnina | 3 | 9 | 2 | 4 |
| Vrtoglavica | 2 | 4 | 3 | 4 |
| Glavobolja | 0 | 3 | 3 | 2 |
| Flatulencija | 7 | 6 | 6 | 5 |
| Nagon na mokrenje | 6 | 4 | 4 | 3 |
| Nagon na nuždu | 7 | 4 | 4 | 2 |
| Podrigivanje | 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 | 0 | 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

Cilj ovog istraživanja bio je utvrditi akutne učinke suplementacije natrijevim hidrogenkarbonatom na mišićnu izdržljivost, snagu i brzinu izvedbe u vježbi potisak s ravne klupe. Glavni nalazi ukazuju da je natrijev hidrogenkarbonat značajno povećao broj ponavljanja u trećoj seriji, a samim time i ukupan broj ponavljanja kroz tri serije u vježbi potisak s ravne klupe u usporedbi s placebo uvjetom. Dodatno, čak i kada je broj ponavljanja između uvjeta bio izjednačen, natrijev hidrogenkarbonat značajno je povećao izlaznu snagu i brzinu izvedbe u drugoj i trećoj seriji.

Samo nekoliko istraživanja do danas nastojalo je utvrditi utjecaj natrijeva hidrogenkarbonata na ukupan broj ponavljanja kroz više serija u treningu s opterećenjem (B. M. Carr i sur., 2013; Duncan i sur., 2014). U istraživanju B. M. Carr i sur. (2013) 12 ispitanika konzumiralo je 0,3 g/kg natrijeva hidrogenkarbonata ili placebo te su izvodili 4 – 5 serija stražnjeg čučnja, potiska s ravne klupe i opružanja potkoljenica na trenažeru do mišićnog otkaza. Rezultati su pokazali generalno veći broj ostvarenih ponavljanja nakon unosa natrijeva hidrogenkarbonata naspram placeba. Duncan i sur. (2014) također su nastojali utvrditi učinke natrijeva hidrogenkarbonata u vježbama potisak s ravne klupe i stražnji čučanj kroz tri serije. Zanimljivo je da su ergogeni učinci pronađeni samo u prvoj vježbi u protokolu, stražnjem čučnju, ali ne i potisku s ravne klupe. Potencijalno ograničenje ovih istraživanja jest da je mjeren samo ukupan broj ponavljanja u cijelom eksperimentalnom protokolu. Međutim, potrebno je uzeti u obzir mehanizam djelovanja natrijeva hidrogenkarbonata koji poboljšava izvedbu na način da odgađa nastup zamora za vrijeme vježbanja, što bi sugeriralo značajnije ergogene učinke primjenom većeg broja serija u programima vježbanja (Grgic i sur., 2021). Navedenu hipotezu dodatno potvrđuju rezultati ovog istraživanja u kojem je natrijev hidrogenkarbonat povećao broj ponavljanja tek u trećoj seriji. Također, ES za broj ponavljanja u trećoj seriji odgovara onom iz nedavne meta-analize za natrijev hidrogenkarbonat i mišićnu izdržljivost (Hedgeov g: 0,30 vs. 0,37) (Grgic, Rodriguez, i sur., 2020). U kontekstu praktične primjene, ovi nalazi sugeriraju da natrijev hidrogenkarbonat možda nije najbolja opcija ako pojedinac izvodi samo jednu seriju u svom trenažnom procesu. Međutim, pojedinci koji u svojim rutinama koriste više serija i znatno veći volumen treninga, primjerice, treninzi za koje su pokazani veći utjecaji na razvoj mišićne jakosti i hipertrofije, potencijalno također mogu koristiti od suplementacije natrijevim hidrogenkarbonatom kako bi akutno poboljšali i mišićnu izdržljivost (Ralston i sur., 2017; Schoenfeld i sur., 2019).

Novina ovog istraživanja jest da natrijev hidrogenkarbonat unaprjeđuje kvalitetu izvedbe. Prethodna istraživanja koja su nastojala utvrditi učinke natrijeva hidrogenkarbonata gledala su samo broj ponavljanja, što predstavlja poprilično grubi način mjerenja izvedbe. Stoga, uvid u kvalitetu izvedbe dodatno može utvrditi potencijalne učinke suplementacije natrijevim hidrogenkarbonatom (B. M. Carr i sur., 2013; Duncan i sur., 2014; Portington i sur., 1998). Natrijev hidrogenkarbonat značajno je povećao vršnu snagu u drugoj te prosječnu snagu i brzinu u trećoj seriji (Hedgeov g: 0,19 – 0,30). Nedavna VBT istraživanja navode kako je kvaliteta izvedbe možda vrijedniji parametar za praćenje, planiranje i programiranje trenažnog procesa od samog povećanja u broju ponavljanja (Galiano i sur., 2022; Pareja-Blanco i sur., 2017). Konkretno, Pareja-Blanco i sur. (2017) utvrdili su da pad od 20 % u brzini izvedbe rezultira značajno većim poboljšanjima izvedbe skoka s pripremom (eng. *counter-movement jump*, CMJ) u odnosu na trening gdje je zabilježen pad od 40 % u brzini izvedbe. Još interesantnije, grupa koja je trenirala s gubitkom brzine izvedbe od 20 % u kojoj su zabilježena veća poboljšanja u visini skoka napravila je čak manje ponavljanja od grupe koja je trenirala s gubitkom brzine izvedbe od 40 %. Kao što je i slučaj s brojem ponavljanja, ergogeni učinci na snagu i brzinu zamijećeni su tek u drugoj i trećoj seriji, što dodatno potvrđuje prethodno objašnjene mehanizme djelovanja natrijeva hidrogenkarbonata, ali pokazuje i da će ergogeni učinci vjerojatno biti vidljiviji kako se umor akumulira kroz više radnih serija. Natrijev hidrogenkarbonat poboljšava regulaciju pH, što može direktno utjecati na ciklus formiranja poprečnih mostova, pa samim time i odgoditi negativne učinke acidoze na mišićnu kontrakciju (Grgic i sur., 2021). Slični učinci natrijeva hidrogenkarbonata pronađeni u ovom istraživanju zabilježeni su i u istraživanjima koja su se bavila drugim vrstama aktivnosti. Primjerice, Bishop i sur., (2004) koristili su protokol ponavljanih sprintova koji je uključivao 5 x 6-s vožnje bicikla te prijavili kako je natrijev hidrogenkarbonat povećao vršnu snagu samo u 3., 4. i 5. sprintu. Ergogeni učinci natrijeva hidrogenkarbonata pronađeni su i za Wingate test, koji se često koristi za procjenu visoko intenzivne izvedbe (Grgic, 2022). Neki od najčešće praćenih parametara u ovome testu su vršna i prosječna snaga. Nedavna meta-analiza pronašla je da natrijev hidrogenkarbonat nije izazvao ergogene učinke u prvoj seriji, međutim, ergogeni učinci su bili vidljivi u drugoj, trećoj i četvrtoj seriji te progresivno veći sa svakom dodatnom serijom u protokolu (0,02, 0,09, 0,21, 0,62 za testove 1, 2, 3 i 4) (Grgic, 2022). Vidljivo je da pronađeni rasponi ES odgovaraju onom nađenom u ovom istraživanju. Artioli i sur. (2007) koristili su protokol od 4 x 30-s na „arm-crank“ ergometru te također pronašli značajne razlike za natrijev hidrogenkarbonat u trećoj i četvrtoj seriji, a navedeni rezultati dodatno su potvrđeni i reproducirani od iste istraživačke grupe (Oliveira i sur., 2017). Navedeno dodatno demonstrira

kako su ergogeni učinci veći i vjerojatniji prilikom upotrebe protokola koji uključuje više serija u odnosu na izvođenje samo jedne serije do mišićnog otkaza.

Suplementacija natrijevim hidrogenkarbonatom često se veže uz određene nuspojave poput nadutosti i mučnine zbog kojih bi pojedini ispitanici možda uspješno mogli identificirati natrijev hidrogenkarbonat. Prethodna istraživanja ukazala su na važnost provedbe zasljepljivanja gdje točno identificiranje suplementa prije provedbe mjerenja može utjecati na ishod i pristranost rezultata (Saunders, de Oliveira, i sur., 2017). Prilikom evaluacije učinkovitosti zasljepljivanja, 0 % i 11-22 % ispitanika uspješno je identificiralo natrijev hidrogenkarbonat i placebo izvan okvira nasumične vrijednosti. Stoga, ovi rezultati ukazuju kako je zasljepljivanje ispitanika uspješno provedeno, a samim time kako poboljšanja u izvedbi vjerojatno nisu posljedica placebo učinka, već pravih fizioloških reakcija nastalih kao posljedica suplementacije natrijevim hidrogenkarbonatom. U ovom istraživanju najčešće prijavljene nuspojave bile su želučani problemi, nadutost, flatulencije, podrigivanje. Ove nuspojave prijavljene su u otprilike 35-50 % svih ispitanika, međutim, intenzitet ovih nuspojava bio je generalno blag. Jedan je ispitanik imao vrlo teške nuspojave (povraćanje) nakon konzumacije natrijeva hidrogenkarbonata. Taj ispitanik ponovno se vratio naknadno i dovršio testiranja s natrijevim hidrogenkarbonatom. Zanimljivo, nekoliko ispitanika prijavilo je nuspojave nakon unosa placeba, međutim, samo jedan ispitanik imao je vrlo teške nuspojave (vrtoglavica, mučnina, glavobolja, flatulencije, itd.).

Za placebo supstancu korišten je NaCl budući da su prethodna istraživanja ukazala kako izolirani unos natrija također može uzrokovati poboljšanja u izvedbi (Grgic i sur., 2021). S obzirom na strukturu natrijeva hidrogenkarbonata koju sačinjavaju primarno Na^+ i HCO_3^- , prethodna istraživanja ukazala su na važnost izjednačavanja sadržaja natrija u placebo kao i u eksperimentalnom uvjetu, kako bi se mogli utvrditi pravi ergogeni učinci natrijeva hidrogenkarbonata na izvedbu. Također, bitno je za naglasiti upotrebu one placebo supstance koja će u jednoj mjeri imitirati osjećaj, ali i moguće nuspojave koje se pripisuju suplementaciji natrijevim hidrogenkarbonatom (Grgic i sur., 2021). Stoga, iako su nuspojave nakon suplementacije natrijevim hidrogenkarbonatom bile blage i najčešće nisu bile prisutne po završetku glavnih mjerenja, buduća istraživanja trebala bi dodatno utvrditi potencijalne strategije koje će minimizirati gastrointestinalne nuspojave koje se vežu uz suplementaciju natrijevim hidrogenkarbonatom.

Veličina poboljšanja mišićne izdržljivosti nakon suplementacije natrijevim hidrogenkarbonatom slična je onoj uočenoj prilikom konzumacije drugih suplemenata. Primjerice, prijavljene vrijednosti Cohenovog d za ergogene učinke kofeina na mišićnu izdržljivost nalaze se u rasponu od 0,28 do 0,38 (Polito i sur., 2016; Warren i sur., 2010). Ergogeni učinci na mišićnu izdržljivost također su pronađeni prilikom suplementacije prehrambenim nitratima (Cohenov $d = 0,31$) (Alvares i sur., 2022). Dodatno, beta alanin još je jedan suplement za kojeg su prethodno pronađeni mali ergogeni učinci na poboljšanje izvedbe u različitim vrstama aktivnosti (Saunders, Elliott-Sale, i sur., 2017). Beta-alanin posebno je zanimljiv s obzirom da povećava unutarstanični, a natrijev hidrogenkarbonat izvanstanični puferski kapacitet (Grgic i sur., 2021). Unos beta-alanina uzrokuje porast razine karnozina unutar mišića, no, da bi ergogeni učinci bili vidljivi, potreban je kroničan unos ovog suplementa, primjerice, od nekoliko tjedana, da bi razine zasićenosti karnozinom dostigle svoje vršne vrijednosti (Grgic i sur., 2021; Saunders, Elliott-Sale, i sur., 2017). Kombinacija natrijeva hidrogenkarbonata i beta-alanina u kontekstu poboljšanja izvedbe u teoriji itekako ima smisla s obzirom na dokazane ergogene učinke prilikom izoliranog unosa, a aditivni efekt ova dva suplementa u tom bi slučaju obuhvatio oba puferska sustava. Nedavna meta-analiza ukazala je na znatno veći ergogeni učinak prilikom kombinacije ova dva suplementa naspram izoliranog unosa beta-alanina (Cohenov $d = 0,43$ vs. $0,24$) (Saunders, Elliott-Sale, i sur., 2017). S obzirom na usporedive ergogene učinke ovih suplemenata, buduća istraživanja potencijalno bi trebala istražiti interakciju istih, te postoje li aditivni učinci naspram izoliranog unosa svakog suplementa. Dodatni razlog tome leži u činjenici da sportaši često koriste različiti broj i vrste suplemenata, a ne samo jedan u težnji za unaprjeđenjem izvedbe i sportskih rezultata.

Rezultati ovog istraživanja pokazali su da unos natrijeva hidrogenkarbonata akutno poboljšava izvedbu, međutim, dugoročni efekti suplementacije natrijevim hidrogenkarbonatom, primjerice kroz nekoliko mjeseci, još nisu u potpunosti jasni s obzirom na vrlo mali broj istraživanja. U teoriji, kumulativni efekti akutnih poboljšanja dobiveni unosom natrijeva hidrogenkarbonata mogli bi utjecati i na kronične adaptacije na trening s opterećenjem. Iako je nekoliko istraživanja prethodno nastojalo istražiti ovu ideju, trenutni dokazi su konfliktni i još nisu u potpunosti jasni (Driller i sur., 2013; Siegler i sur., 2012; Wang i sur., 2019). Primjerice, Siegler i sur. (2012) nisu pronašli veće kronične učinke natrijeva hidrogenkarbonata na izlaz snage od onih akutnih nakon protokola suplementacije u trajanju od 10 tjedana. Međutim, Wang i sur. (2019) pronašli su značajna poboljšanja u vršnoj snazi prilikom maksimalne voljne izvedbe (eng. *all out*) vožnje bicikla u trajanju od 30 sekundi. Na

temelju navedenog može se reći da postoje indikacije kako kronična suplementacija natrijevim hidrogenkarbonatom može dovesti do povećane sposobnosti i adaptacija u vidu odgađanja vremena nastupa zamora i porastu vršne izlazne snage, međutim, s obzirom na vrlo mali broj istraživanja te mali broj ispitanika takvih istraživanja, potrebno je još istraživanja na tu temu kako bi se mogli donijeti konkretniji zaključci (Grgic i sur., 2021).

Određeni nedostaci ovog istraživanja trebaju biti uzeti u obzir prilikom donošenja praktičnih zaključaka. Nisu mjerene promjene u razini bikarbonata u krvi za koje se smatra da su jedan od glavnih odrednica učinkovitosti i veličine ergogenih učinaka natrijeva hidrogenkarbonata (Heibel i sur., 2018). Prethodna istraživanja koja su mjerila promjene pH i zasićenosti bikarbonata nakon konzumacije 0,3 g/kg natrijeva hidrogenkarbonata najčešće su prijavila porast od ~ 0,05 pH i 5-6 mmol/L od vrijednosti zabilježenih u mirovanju (A. J. Carr i sur., 2011; Jones i sur., 2016). Heibel i sur. (2018) navode da je potrebno povećanje u vrijednostima bikarbonata od minimalno 5 i 6 mmol/L kako bi se uočili potencijalni, odnosno, gotovo sigurni ergogeni učinci. Istraživanja koja su koristila sličan protokol suplementacije od 0,3 g/kg natrijeva hidrogenkarbonata i mjerila razinu bikarbonata u krvi prijavila su značajna povećanja bikarbonata u krvi (B. M. Carr i sur., 2013; Duncan i sur., 2014; McNaughton, 1992; Portington i sur., 1998; Siegler i sur., 2012). S obzirom da su u ovom radu uočeni ergogeni učinci na izvedbu, može se pretpostaviti da je povećanje bikarbonata bilo za otprilike 5 mmol/L te da su uočena poboljšanja vjerojatno posljedica djelovanja natrijeva hidrogenkarbonata s obzirom na uspješno provedenu randomizaciju i zasljepljivanje ispitanika. Budući da su u istraživanju sudjelovali muškarci, nalazi ovog istraživanja ne mogu se u potpunosti generalizirati i na ženski spol. Iako prethodna istraživanja ukazuju na slične učinke natrijeva hidrogenkarbonata kod žena, buduća istraživanja na ovoj kohorti potrebna su kako bi se mogli donijeti konkretniji zaključci.

6. ZAKLJUČAK

Nalazi ovog istraživanja ukazuju na akutne učinke natrijeva hidrogenkarbonata na mišićnu izdržljivost, snagu i brzinu u vježbi potisak s ravne klupe. Akutni učinci pronađeni su za broj ponavljanja u trećoj seriji, što je također utjecalo i na značajne razlike u ukupnom broju ponavljanja između natrijeva hidrogenkarbonata i placebo uvjeta. Čak i u slučaju kada je broj ponavljanja između uvjeta bio izjednačen, pronađeni su učinci natrijeva hidrogenkarbonata na snagu i brzinu izvedbe, ali također u drugoj i trećoj seriji. Navedeni rezultati predlažu da natrijev hidrogenkarbonat djeluje tako da smanjuje negativne učinke acidoze na sposobnost

mišićne kontrakcije i daljnjeg obavljanja rada pa se stoga može razmatrati kao potencijalno korisno ergogeno sredstvo u trenažnim aktivnostima koje koriste više radnih serija.

7. LITERATURA

- Alvares, T. S., Oliveira, G. V. de, Volino-Souza, M., Conte-Junior, C. A., & Murias, J. M. (2022). Effect of dietary nitrate ingestion on muscular performance: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(19), 5284–5306. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1884040>
- Artioli, G. G., Gualano, B., Coelho, D. F., Benatti, F. B., Gailey, A. W., & Lancha, A. H. (2007). Does Sodium-Bicarbonate Ingestion Improve Simulated Judo Performance? *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 17(2), 206–217. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.17.2.206>
- 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>
- Bird, S. R., Wiles, J., & Robbins, J. (1995). The effect of sodium bicarbonate ingestion on 1500-m racing time. *Journal of Sports Sciences*, 13(5), 399–403. <https://doi.org/10.1080/02640419508732255>
- Bishop, D., Edge, J., Davis, C., & Goodman, C. (2004). Induced Metabolic Alkalosis Affects Muscle Metabolism and Repeated-Sprint Ability. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 807–813. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000126392.20025.17>
- 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>
- Carr, B. M., Webster, M. J., Boyd, J. C., Hudson, G. M., & Scheett, T. P. (2013). Sodium bicarbonate supplementation improves hypertrophy-type resistance exercise performance. *Eur J Appl Physiol*, 113(3), 743–752. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2484-8>
- Dennig, H., Talbott, J. H., Edwards, H. T., & Dill, D. B. (1931). Effect Of Acidosis And Alkalosis Upon Capacity For Work. *J. Clin. Invest.*, 9(4), 601–613. <https://doi.org/10.1172/JCI100324>

- 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>
- 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>
- 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.0000000000001043>
- Galiano, C., Pareja-Blanco, F., de Mora, J., & de Villarreal, E. (2022). Low-Velocity Loss Induces Similar Strength Gains to Moderate-Velocity Loss During Resistance Training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 36(2), 340–345. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000003487>
- Gastin, P. B. (2001). Energy System Interaction and Relative Contribution During Maximal Exercise. *Sports Medicine*, 31(10), 725–741. <https://doi.org/10.2165/00007256-200131100-00003>
- Grgic, J. (2022). Effects of Sodium Bicarbonate Ingestion on Measures of Wingate Test Performance: A Meta-Analysis. *Journal of the American Nutrition Association*, 41(1), 1–10. <https://doi.org/10.1080/07315724.2020.1850370>
- 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>
- 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). <https://doi.org/10.1186/s12970-021-00458-w>

- 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>
- 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*. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.561682>
- Guyton, A. C., & Hall, J. E. (2017). *Medicinska fiziologija* (Igor Andreis, Sinčana Kukolja Taradi, & Milan Taradi, Eds.; 17th ed.). Medicinska naklada.
- Heibel, A. B., Perim, P. H. L., Oliveira, L. F., McNaughton, L. R., & Saunders, B. (2018). Time to Optimize Supplementation: Modifying Factors Influencing the Individual Responses to Extracellular Buffering Agents. *Front. Nutr.*, *5*, 35. <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00035>
- Hollidge-Horvat, M. G., Parolin, M. L., Wong, D., Jones, N. L., & Heigenhauser, G. J. F. (2000). Effect of induced metabolic alkalosis on human skeletal muscle metabolism during exercise. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, *278*(2), E316–E329. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.2000.278.2.E316>
- Jeukendrup, A. E., Vet-Joop, K., Sturk, A., Stegen, J. H. J. C., Senden, J., Saris, W. H. M., & Wagenmakers, A. J. M. (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*, *98*(1), 47. <https://doi.org/10.1042/CS19990258>
- Jones, R. L., Stellingwerff, T., Artioli, G. G., Saunders, B., Cooper, S., & Sale, C. (2016). Dose-Response of Sodium Bicarbonate Ingestion Highlights Individuality in Time Course of Blood Analyte Responses. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, *26*(5), 445–453. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2015-0286>
- 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>

- Maughan, R. J., Burke, L. M., Dvorak, J., Larson-Meyer, D. E., Peeling, P., Phillips, S. M., Rawson, E. S., Walsh, N. P., Garthe, I., Geyer, H., Meeusen, R., van Loon, L. J. C., Shirreffs, S. M., Spriet, L. L., Stuart, M., Vernec, A., Currell, K., Ali, V. M., Budgett, R. G., ... Engebretsen, L. (2018). IOC consensus statement: dietary supplements and the high-performance athlete. *British Journal of Sports Medicine*, *52*(7), 439–455. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099027>
- McKenna, M. J., Bangsbo, J., & Renaud, J.-M. (2008). Muscle K^+ , Na^+ , and Cl^- disturbances and $Na^+ - K^+$ pump inactivation: implications for fatigue. *Journal of Applied Physiology*, *104*(1), 288–295. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01037.2007>
- McNaughton, L. R. (1992). Sodium bicarbonate ingestion and its effects on anaerobic exercise of various durations. *Journal of Sports Sciences*, *10*(5), 425–435. <https://doi.org/10.1080/02640419208729941>
- Medbo, J. I., & Tabata, I. (1993). Anaerobic energy release in working muscle during 30 s to 3 min of exhausting bicycling. *Journal of Applied Physiology*, *75*(4), 1654–1660. <https://doi.org/10.1152/jappl.1993.75.4.1654>
- Oliveira, L. F., de Salles Painelli, V., Nemezio, K., Gonçalves, L. S., Yamaguchi, G., Saunders, B., Gualano, B., & Artioli, G. G. (2017). Chronic lactate supplementation does not improve blood buffering capacity and repeated high-intensity exercise. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *27*(11), 1231–1239. <https://doi.org/10.1111/sms.12792>
- 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. *Scand J Med Sci Sports*, *27*(7), 724–735. <https://doi.org/10.1111/sms.12678>
- Polito, M. D., Souza, D. B., Casonatto, J., & Farinatti, P. (2016). Acute effect of caffeine consumption on isotonic muscular strength and endurance: A systematic review and meta-analysis. *Science & Sports*, *31*(3), 119–128. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2016.01.006>
- Portington, K. J., Pascoe, D. D., Webster, M. J., Anderson, L. H., Rutland, R. R., & Gladden, L. B. (1998). Effect of induced alkalosis on exhaustive leg press performance. *Medicine*

& Science in Sports & Exercise, 30(4), 523–528.
<https://doi.org/10.1097/00005768-199804000-00009>

Ralston, G. W., Kilgore, L., Wyatt, F. B., & Baker, J. S. (2017). The Effect of Weekly Set Volume on Strength Gain: A Meta-Analysis. *Sports Med*, 47(12), 2585–2601.
<https://doi.org/10.1007/s40279-017-0762-7>

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. *Scand J Med Sci Sports*, 27(11), 1240–1247. <https://doi.org/10.1111/sms.12793>

Saunders, B., Elliott-Sale, K., Artioli, G. G., Swinton, P. A., Dolan, E., Roschel, H., Sale, C., & Gualano, B. (2017). β -alanine supplementation to improve exercise capacity and performance: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 51(8), 658–669. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096396>

Schoenfeld, B. J., Contreras, B., Krieger, J., Grgic, J., Delcastillo, K., Belliard, R., & Alto, A. (2019). Resistance Training Volume Enhances Muscle Hypertrophy but Not Strength in Trained Men. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 51(1), 94–103.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001764>

Siegler, J. C., Marshall, P. W. M., Bray, J., & Towlson, C. (2012). Sodium Bicarbonate Supplementation and Ingestion Timing. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(7), 1953–1958. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182392960>

Sostaric, S. M., Skinner, S. L., Brown, M. J., Sangkabutra, T., Medved, I., Medley, T., Selig, S. E., Fairweather, I., Rutar, D., & McKenna, M. J. (2006). Alkalosis increases muscle K^+ release, but lowers plasma $[K^+]$ and delays fatigue during dynamic forearm exercise. *The Journal of Physiology*, 570(1), 185–205.
<https://doi.org/10.1113/jphysiol.2005.094615>

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). <https://doi.org/10.1186/s12970-019-0285-8>

Warren, G. L., Park, N. D., Maresca, R. D., Mckibans, K. I., & Millard-Stafford, M. L. (2010). Effect of Caffeine Ingestion on Muscular Strength and Endurance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42(7), 1375–1387. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181cabb8>