



David Poredoš¹,
Zala Jenko Pražnikar¹, Žiga Kozinc^{1,2}

Koncentrirani sok rdeče pese za izboljšanje mišične jakosti, moči in hitrosti: pregled literature

Izvleček

Namen članka je povzeti znanstveno literaturo na temo vpliva koncentriranega soka rdeče pese na mišično jakost, moč in hitrost. Zaradi določenih mehanizmov delovanja nitratov se v teoriji zdi smiselno domnevati, da zaužitje koncentriranega soka rdeče pese poleg vzdržljivosti izboljša tudi mišično jakost in moč. Naš pregled literature ni zaznal pozitivnega vpliva na največjo jakost. Pozitiven vpliv se je pokazal pri povrnitvi največje jakosti po protokolih utrujanja. O podobnih ugotovitvah so raziskave poročale tudi pri skoku z nasprotnim gibanjem, pri katerem se je višina po utrujanju hitreje povrnila ob zaužitju koncentriranega soka rdeče pese. Pozitiven vpliv so nakazali tudi pri parametrih testa Wingate ter izvajanja vadbe proti uporu, pri čemer so nitriti povečali proizvedeno mišično moč, hitrosti kontrakcije in število ponovitev do odpovedi. Naš pregled literature tako nakazuje smiselnost dodajanja nitratov tudi v športih, ki vključujejo kratka eksplozivna gibanja, tako akutno kot tudi srednjeročno vsaj v določenem obdobju trenažnega procesa. Nekaj raziskav kaže na različen vpliv nitratov glede na spol, vendar bo to v prihodnje treba podrobneje raziskati. Raziskav primanjkuje tudi na področju eksplozivne jakosti in vzdržljivosti v jakosti. Prav tako bo v prihodnje smiselno podrobneje raziskati vpliv nitratov, ki jih lahko zaužijemo z dnevno prehrano.

Ključne besede: nitriti, rdeča pesa, moč, jakost, hitrost.



Beetroot juice concentrate for improving muscle strength, power and speed: a review of the literature

Abstract

The purpose of this article is to summarize the scientific literature on the effects of concentrated beetroot juice on muscle strength, power and speed. Based on certain mechanisms of action of nitrates, consumption of concentrated beetroot juice is expected to improve muscle strength and power in addition to endurance. In our review of the literature, we did not find a positive effect in the area of maximum strength. A positive effect was demonstrated in maximum strength recovery after fatigue protocols. Research also found a similar effect in countermovement jump height, which recovered faster after fatigue when nitrates were consumed. A positive effect is also seen in Wingate test and resistance training parameters, where beetroot juice increased muscle force generated, contraction velocity, and number of repetitions to failure. Our review of the literature indicates that the addition of nitrates is also useful in sports involving short explosive movements, both acutely and in the medium term, at least during a certain period of the training process. Our review also suggests that the effects of beetroot juice may differ by gender, but this needs to be investigated further in the future. There is also a lack of research in the area of explosive strength and strength endurance. In the future, it will also be useful to study in more detail the effect of nitrates that can be ingested through the daily diet.

Keywords: nitrates, beetroot, power, strength, speed.

¹ Univerza na Primorskem, Fakulteta za vede o zdravju, Polje 42, 6310 Izola

² Univerza na Primorskem, Inštitut Andrej Marušič, Muzejski trg 2, 6000 Koper

■ Uvod

Uspešnost pri različnih športih je odvisna od sposobnosti izvajanja hitrih, dinamičnih in eksplozivnih gibov, kot so hitre spremembe smeri, šprint, skakanje in izvajanje različnih športnospecifičnih veščin (npr. brcanje žoge). Hkrati je lokalna mišična vzdržljivost prav tako pomembna pri številnih športih (denimo v gimnastiki in jadraniu) (Morrissey, Harman in Johnson, 1995; Stone, Moir, Glaister in Sanders, 2002). Dokazi iz dosedanjih raziskav kažejo, da se boljša sposobnost ustvarjanja navora ob največji hoteni kontrakciji običajno izraža v boljših športnih sposobnostih (Cormie, McGuigan in Newton, 2011b). Splošno je sprejeto, da sta sposobnost razvoja velike sile (največja jakost oz. silovitost) in sposobnost hitrega razvoja sile (eksplozivna ali hitra moč/jakost), ki ju ocenimo v laboratorijskih razmerah, pozitivno povezani z boljšimi rezultati pri večsklepnih hitrih gibih, kot so skoki (Wilson in Murphy, 1996). Za merjenje proizvedene moči in jakosti so na voljo različne metode, kot so izokinetična dinamometrija, izometrične meritve in različni terenski testi (določanje največjega bremena, število ponovitev z določenim bremenom, ročna dinamometrija, skok v višino) (Bohannon, 2019; Gentil, Del Vecchio, Paoli, Schoenfeld in Bottaro, 2017). Metode niso enakovredne (Gentil idr., 2017), saj vsaka omogoča pridobitev različnih parametrov mišične moči in jakosti ter ima ob tem specifične slabosti (Paul in Nassis, 2015). V tem članku obravnavamo vpliv koncentriranega soka rdeče pese kot dopolnila za izboljšanje mišične jakosti, moči in hitrosti.

Ozadje delovanja

Dušikov oksid (angl. nitric oxide, v nadaljevanju: NO) je signalna molekula, ki pripomore k številnim fiziološkim funkcijam, vključno z mitohondrijsko biogenezo in celičnim dihanjem, angiogenezo, vazodilatacijo, uravnavanjem kalcija v sarkoplazemskem retikulumu, privzemom mišične glukoze (Wong, Sim in Burns, 2021) in antioksidativno aktivnostjo (d'Univille idr., 2021). Predvideva se, da lahko biološko razpoložljivost NO izboljšamo s povečanjem razpoložljivosti nitratov, nitritov, L-arginina, L-citrulina ali polifenolov (d'Univille idr., 2021). Poleg endogeno pridobljenega NO lahko na količino NO vplivamo tudi z vnosom prehranskih nitratov (NO_3^-). Zelenjava predstavlja 80 % vnosa takšnih nitratov (Hord, Tang in Bryan, 2009). V ustni votlini se NO_3^- s pomočjo nitratne reduktaze fakul-

tativnih anaerobnih bakterij, ki jih najdemo na hrbtni strani jezika (Gladwin idr., 2005), pretvori v nitrit (NO_2^-) (Lundberg, Weitzberg in Gladwin, 2008). V kislem okolju želodca se NO_2^- delno reducira v NO (Dykhuisen idr., 1996) in se pozneje absorbira iz črevesnega lumna v krvni obtok (Raaij, Shiva in Gladwin, 2009), medtem ko del NO_2^- prehaja neposredno v krvni obtok, kjer se ob nizkih ravneh kisika pretvori v NO (Lundberg in Govoni, 2004).

Danes je zaznati precej zanimanja za pripevek prehrane k optimizaciji športne zmogljivosti, prav tako pa hkrati poteka precejšnja razprava o ergogeni vrednosti različnih prehranskih dopolnil (Porrini in Del Bo', 2016). Večina podatkov v literaturi navaja, da vsaj polovica športnikov jemlje prehranska dopolnila (Huang, Johnson in Pipe, 2006). Uporaba teh je najpogostejša pri športih jakosti in moči (Porrini in Del Bo', 2016). Izkazalo se je, da le določena prehranska dopolnila, kot so kreatin, kofein, beta alanin, natrijev bikarbonat in nitriti, pozitivno vplivajo na športno zmogljivost (Maughan idr., 2018; Avstralski institut za šport, 2022). Rdeča pesa, posebno v obliki soka, spada v skupino živil, bogatih z nitriti (Gallardo in Coggan, 2019). Sok rdeče pese vsebuje visoko koncentracijo nitratov (do 11,4 g/L) v primerjavi s pitno vodo (< 45 mg/L v evropskih državah) ali drugimi živili in pijačami (Zamani idr., 2021). Skozi leta se je uporaba tega soka povečala zlasti med vzdržljivostnimi športniki (Arciero, Miller in Ward, 2015).

Dodatek nitratov se največkrat zaužije 2 do 3 ure pred aktivnostjo v obliki soka rdeče pese ali natrijevega nitrata in je predpisan v absolutnih ali relativnih količinah, ki segajo od 300 do 600 mg (Hoon, Johnson, Chapman in Burke, 2013) ali 6,2 mg/kg telesne mase na dan (Kerksick idr., 2018) pa vse tja do 10 mg/kg telesne mase (Vitale in Getzin, 2019). Tako akutni (2,5 ure pred vadbo) kot tudi kronični (6 dni) vnos sta pokazala pozitiven vpliv na proizvodnjo NO (Jones, 2014). Večji vnos nitratov bi lahko izničil pozitivne učinke dodajanja, saj je raziskava na starostnikih ob zaužitju 12,4 mg/kg telesne mase pokazala vpliv na izboljšanje hitrosti (11 % ± 2 %) in moči (4 % ± 4 %) najvišje hotene kontrakcije iztega kolena pri najvišji kotni hitrosti, medtem ko so se vrednosti pri 2-krat večjem vnosu nitratov (24,8 mg/kg telesne mase) spustile na začetno raven oziroma pri nekaterih posameznikih celo pod njo (Gallardo idr., 2020).

Okolje z nizkim pH in majhno količino kisika pozitivno vpliva na proizvodnjo NO, kar je podobno hipoksičnim razmeram, ki se pojavijo v skeletnih mišicah med visoko intenzivno vadbo (Jones, 2014). Predvideva se, da NO sproži fiziološke odzive s povečanjem pretoka krvi v mišicah in vpliva na porabo kisika med krčenjem skeletnih mišic kot glavni vazodilatator (Raúl Domínguez idr., 2017). Raziskave na živalih so pokazale, da to velja predvsem za mišična vlakna tipa II (Ferguson idr., 2013). Poleg tega naj bi NO izboljšal mitohondrijsko učinkovitost in privzem glukoze v mišicah (Stamler in Meissner, 2001) ter spodbujal procese krčenja in sproščanja mišic (Andrade, Reid, Allen in Westerblad, 1998).

Ker nekatere raziskave kažejo na možnost izboljšanja učinkovitosti vadbe prek povečanega dovajanja kisika in substrata v delujočo skeletno mišico (Roelofs, Hirsch, Trexler, Mock in Smith-Ryan, 2015), je pomembno, da se takšna opažanja razširi tudi zunaj področja vzdržljivosti. Če se pretvorba nitrata v NO poveča v ob hipoksiji in nizkem pH v krvi, so lahko učinki rdeče pese na zmogljivost potencialno največji na primer med šprintersko vadbo, med katero bi lahko pospešili okrevanje z izboljšanjem doprinosu kisika med ponovljenimi šprinti (Roelofs idr., 2015).

Ugotovljeno je bilo, da v mišičnih vlaknih tipa II sok rdeče pese izboljša sproščanje in poznejši vnovični privzem kalcija iz sarkoplazemskega retikuluma (Hernández idr., 2012), kar bi lahko povečalo zmogljivost mišice za generiranje sile (Raúl Domínguez idr., 2018). Metaanaliza devetih raziskav je pozitiven vpliv soka rdeče pese na visoko intenzivne napore s kratkimi premori pripisala hitrejši resintezi fosfokreatina, prav tako pa bi lahko dodajanje soka rdeče pese izboljšalo izhodno moč mišic prek hitrejšega krčenja mišic (Raúl Domínguez idr., 2018).

Dodatek nitratov lahko izboljša tudi učinkovitost med ponavljajočimi se submaksimalnimi iztegi kolena, ki se nadaljujejo do odpovedi (Bailey idr., 2009). Podaljšan čas do odpovedi sta spremljala kopičenje adenozin difosfata (ADP) in fosfata (Pi) ter nižja stopnja adenozin trifosfata (ATP) in fosfokreatina (PCr). Gre za dejavnike, za katere bi pričakovali, da bodo zmanjšali utrujenost skeletnih mišic (Allen, Lamb in Westerblad, 2008). Poleg tega so poročali, da pri ponavljajočih se maksimalnih izometričnih kontrakcijah kolena nitriti znižajo porabo PCr pri produkciji mišičnega navora na koncu protokola (Fulford idr., 2013), kar je učin-

kovito za ohranjanje kontraktilne funkcije skeletnih mišic ob njihovi utrujenosti (Tillin, Moudy, Nourse in Tyler, 2018). Ker pri vadbi proti uporu izvajamo več serij do odpovedi z uporabo enakega načina vadbe z razmerno kratkim obdobjem okrevanja, bo na splošno uspešnost vadbe z uporabo vplivala tudi sposobnost okrevanja med serijami. Obnovitev mišičnega navora med ponavljajočimi se serijami visoko intenzivne vadbe je povezana z obnovitvijo mišičnega PCr, ki je v veliki meri odvisen od kisika (San Juan idr., 2020). Ker lahko dodajanje nitrata poveča pretok krvi v skeletnih mišicah, s prednostjo pretoka krvi v mišičnih vlaknih tipa II (Ferguson idr., 2013), lahko to vpliva na večje število ponovitev prek izboljšane okrevanja med nizi vadbe proti uporu (San Juan idr., 2020).

Vpliv na največjo jakost

Raziskava, ki je merila vpliv soka rdeče pese, ni odkrila vpliva na najvišjo hoteno izometrično kontrakcijo pri različnem času uživanja (enkratno 2,5 ure pred meritvijo, uživanje soka 5 oziroma 15 dni) (Fulford idr., 2013). Tillin in sod. (2018) so preverjali vpliv koncentriranega soka rdeče pese na zmanjševanje eksplozivne jakosti iztega kolena pri 17 rekreativno aktivnih moških, ki so 7 dni uživali koncentrirani sok rdeče pese oziroma sok rdeče pese brez nitrata. Raziskovalci niso odkrili razlik pred utrujanjem pri proizvedenem navoru (placebo: 739 ± 135 Nm, sok: 741 ± 136 Nm). Statistično značilnih razlik pri izometričnem iztegu kolena med uživalci koncentriranega soka rdeče pese z nitrati v primerjavi s placebom pri najvišji hoteni kontrakciji niso ugotovili niti pri uživanju soka rdeče pese akutno (sok: $256,5 \pm 76,3$ Nm, placebo: $260,9 \pm 88,4$ Nm), po uživanju v obdobju 3 dni (sok: 482 ± 127 Nm, placebo: 492 ± 141 Nm), prav tako ne po uživanju 6 dni za jakost upogibalk kolena pri 30° (placebo: 200 ± 37 Nm, sok: 204 ± 39 Nm) in 60° (placebo: 285 ± 47 Nm, sok: 286 ± 43 Nm) ter po 7 dneh pri 90° (Hoon, Fornusek, Chapman in Johnson, 2015; Jonvik idr., 2021; Poredoš, Pražnikar in Kozinc, 2022; Whitfield idr., 2017). Metaanaliza Esen in sod. (2022) je pokazala, da sok rdeče pese oziroma nitrati v splošnem niso imeli vpliva na izometrično jakost spodnjih okončin (Esen, Dobbins in Callaghan, 2022).

Vpliva niso dokazali niti ob zaužitju gela rdeče pese na izometrično jakost stiska roke pri starostnikih (de Oliveira, Morgado, Conte-Junior in Alvares, 2017) in rekreativnih športnikih borilnih veščin (de Oliveira,

do Nascimento, Volino-Souza, do Couto Vellozo in Alvares, 2020) oziroma ob zaužitju soka rdeče pese pri košarkarjih (López-Samanes, Gómez Parra, Moreno-Pérez in Courel-Ibáñez, 2020), igralcih tenisa (López-Samanes, Pérez-López idr., 2020) in mlajših moških (Papadopoulos idr., 2018). Pozitiven vpliv je bilo mogoče zaslediti le v primeru višje sposobnosti proizvajanja navora med testom izometričnega potega na nivoju sredine stegen pri 12 adolescentih moškega spola, pri katerih je akutno uživanje koncentrata soka rdeče pese v primerjavi s placebom pripeljalo do boljšega rezultata (Bender idr., 2018). Sistematični pregled literature z metaanalizo, ki so ga opravili Lago-Rodríguez in sod. (2020), kaže, da večina raziskav do zdaj ni potrdila vpliva nitrata na največjo jakost mišic.

Vpliv nitrata na mišično zmogljivost se je v nekaj študijah pokazal tudi pri izokinetičnih meritvah, in še to samo pri višjih kotnih hitrostih (Lago-Rodríguez idr., 2020). Po dodajanju nitrata se je izboljšal največji navor pri visoki kotni hitrosti $360^\circ/\text{s}$ (Coggan idr., 2015, 2020), vendar ne pri nižjih hitrostih, kot so $60^\circ/\text{s}$, $90^\circ/\text{s}$, $120^\circ/\text{s}$, $180^\circ/\text{s}$, $240^\circ/\text{s}$, $270^\circ/\text{s}$ in $300^\circ/\text{s}$ (Jonvik idr., 2021; Kokkinoplitis in Chester, 2014; Lago-Rodríguez idr., 2020). Dosedanje raziskave na mišicah podlakti kažejo pozitiven vpliv nitrata na regeneracijo zmogljivosti generiranja navora. Manjši upad najvišje hotene kontrakcije po vadbenem protokolu je bil zaznan pri mišicah podlakti 20 minut po vadbi (de Oliveira idr., 2020; Vieira de Oliveira, Nascimento, Volino, Mesquita in Alvares, 2018) in 30 minut po vadbi, medtem ko statistično značilnih razlik takoj po vadbi ni bilo (de Oliveira idr., 2017). Do nekoliko drugačnih rezultatov sta prišli raziskavi pri izometričnem iztegu kolena, kjer po vadbi stotih skokov z višine 0,6 m (Clifford, Berntzen idr., 2016) in ponavljajočih se šprintih (Clifford, Bell, West, Howatson in Stevenson, 2016) ni bilo zaznani vpliva soka rdeče pese na povrnitev izometrične jakosti ne takoj ne 24, 48 oziroma 72 ur po vadbi. Po vadbenem protokolu ponavljajočih se šprintov pri izometričnem iztegu kolena vpliv na povrnitev jakosti ni bil zaznan (Clifford, Berntzen idr., 2016).

Vpliv na vzdržljivost v jakosti

Raziskav na področju vpliva nitrata pri vzdržljivosti v jakosti v literaturi primanjkuje. Poredoš in sod. (2022) so ugotovili pozitiven vpliv akutnega dodajanja soka rdeče pese na vzdržljivost pri submaksimalnem iztegu kolena, vendar samo pri moških

(Poredoš, Pražnikar in Kozinc, 2022). Gasier in sod. (2017) so pri rekreativno aktivnih odraslih preiskovali vpliv natrijevega nitrata na vzdržljivost v jakosti mišic podlakti v primeru držanja stiska roke ter ritmičnih izometričnih kontrakcij, pri čemer v nobenem primeru niso potrdili vpliva dodajanja nitrata (Gasier, Reinhold, Loisselle, Soutiere in Fothergill, 2017). Papadopoulos in sod. so pri vzdržljivosti v jakosti mišic podlakti ugotovili celo manjši upad proizvedenega navora ob zaužitju soka rdeče pese v primerjavi s placebom (Papadopoulos idr., 2018).

Nekoliko več raziskav na tem področju je preučevalo mišično vzdržljivost z uporabo ponavljajočih se izometričnih kontrakcij. Neposredna primerjava zaradi povečanega krvnega pretoka in reoksigenacije mišic nad stopnjo mirovanja med fazo sprostitve pri kontrakcijah s takšnimi raziskavami ni mogoča (Papadopoulos idr., 2018). To lahko zniža stopnjo mišične ishemije in hipoksije (Laaksonen idr., 2003), oslabi lokalno pretvorbo nitrata v dušikov oksid in zmanjša ergogene učinke eksogeno apliciranega nitrata (Papadopoulos idr., 2018). Statistično značilen vpliv ni bil zaznan pri času vadbe stiska roke do odpovedi pri vrednosti 40 % največje hotene kontrakcije. Vadba je obsegala 3 serije s 60-sekundnim premorem. Koncentrična in ekscentrična faza sta bili vodeni prek metronoma (0,5 sekunde vsaka in 60 kontrakcij v eni minuti). V raziskavo je bilo vključenih 14 odraslih moških, ki so se rekreativno ukvarjali z borilnimi veščinami (de Oliveira idr., 2020). Tudi raziskava na 17 rekreativno aktivnih moških ni pokazala vpliva nitrata na skupni impulz, končni navor, povprečni indeks utrujanja največje hotene kontrakcije in povprečne amplitude EMG največje hotene kontrakcije ob zaužitju koncentriranega soka rdeče pese pri protokolu utrujanja, ki je vključeval 60 največjih hotenih kontrakcij (čas zadrževanja 3 sekunde) z 2 sekundama premora med njimi (Tillin idr., 2018).

Vpliv na rezultate pri testu Wingate

Dodatek nitrata je pozitivno vplival na najvišjo (rdeča pesa: 881 ± 135 W; placebo: 848 ± 134 W) in povprečno (rdeča pesa: 666 ± 100 W; placebo: 641 ± 91 W) izhodno moč ter prav tako skrajšal čas do dosega najvišje moči (rdeča pesa: $7,3 \pm 0,9$ s; placebo: $8,9 \pm 1,4$ s) pri testu Wingate (Cuenca idr., 2018). Do podobnih rezultatov so prišle raziskave na 12 zdravih moških, pri katerih so ugotovi-

vili višjo najvišjo izhodno moč, povprečno izhodno moč, minimalno moč, krajši čas do dosega najvišje izhodne moči in nižji indeks utrujenosti (Rothwell in Alkhatib, 2014), raziskava na 15 treniranih moških za najvišjo izhodno moč in povprečno moč za prvih 15 s testa (Raul Domínguez idr., 2017) ter raziskava na 15 moških, ki so bili vajeni treninga moči, na področju najvišje izhodne moči in časa do dosega najvišje izhodne moči (Jodra, Domínguez, Sánchez-Oliver, Veiga-Herreros in Bailey, 2020). V eni študiji so šprinterji v jutranjem in popoldanskem času opravili 3 serije po 15 s testa Wingate, pri čemer so bili povprečna izhodna moč, anaerobna kapaciteta in skupno delo slabši v jutranjem času v primerjavi s popoldanskim, vendar je sok rdeče pese v jutranjem času deloval preventivno pred izgubo vseh treh dejavnikov v primerjavi s placebo v popoldanskem času (popoldne so zaužili samo placebo) (Dumar idr., 2021). Pri ponavljajočih se šprintih na cikloergometru, ki so trajali po 8 s, so ugotovili manjše število ponovitev po zaužitju koncentriranega soka rdeče pese (13 ± 5) v primerjavi s placebo (15 ± 6). Medtem razlik pri skupni ali povprečni izhodni moči med skupinama niso zaznali (Martin, Smees, Thompson in Rattray, 2014). Do nekoliko drugačnih rezultatov so prišli Jonvik in sod. (2018), ki so preverjali vpliv pri rekreativnih kolesarjih, talentiranih hitrostnih drsalcih in kolesarjih na olimpijski ravni. Pri ponavljajočih se testih Wingate niso zaznali razlik pri najvišji in povprečni moči, le čas do najvišje moči se je izboljšal za 2,8 % ($P = 0,007$) (Jonvik idr., 2018). Razlik prav tako niso zaznali pri dvajsetih 6-sekundnih šprintih na cikloergometru (Smith, Muggeridge, Easton in Ross, 2019).

Vpliv na hitro moč in hitrost

Pri igralcih tenisa López-Samanes in sod. (2020) niso odkrili razlik v višini skoka z nasprotnim gibanjem po dodajanju soka rdeče pese v primerjavi s placebo. Višina skoka se prav tako ni razlikovala pri rekreativno aktivnih moških (Jonvik idr., 2021), vendar pa so statistično značilne razlike opazili pri gibalno aktivnih ženskah (Jurado-Castro, Campos-Perez, Ranchal-Sanchez, Durán-López in Domínguez, 2022). V obdobju 30 in 180 s po Wingate testu so Cuenca in sod. (2018) izvedli skok z nasprotnim gibanjem, vendar tudi v tem primeru nitrati niso imeli statistično značilnega vpliva na spremembo višine in moči skoka (Cuenca idr., 2018). Višina skoka z nasprotnim gibanjem se je hitreje obnovila v primeru zaužitja soka

rdeče pese, posebno 72 ur po vadbenem protokolu, ki je vključeval ponavljajoče se šprinte (Clifford, Bell idr., 2016). Do enakih rezultatov je prišla še ena raziskava, ki je obsegala protokol utrujanja 100 skokov z višine 0,6 metra. Ugotovili so hitrejšo povrnitev višine skoka z nasprotnim gibanjem (48 in 72 ur po vadbi) v primerjavi z vrednostmi, pridobljenimi pred utrujanjem (Clifford, Bell idr., 2016).

Pri 24 ponavljajočih se šprintih (6 s in 24 s premora) prav tako niso odkrili razlik pri najvišji izhodni moči, vendar pa so zaznali razlike pri povprečni izhodni moči (rdeča pesa: 568 ± 136 W; placebo: 539 ± 136 W). Ob razdelitvi v štiri skupine so razliko zaznali samo pri šprintih od prve do šeste ponovitve (Wylie idr., 2016). Razlik med šprintom na 10 m v raziskavi na igralcih tenisa niso ugotovili (López-Samanes, Pérez-López idr., 2020).

Vpliv na hitrost prirastka navora

Vpliva nitratov na hitrost prirastka navora niso zaznali niti pri raziskavi Tillin in sod. (2018) niti pri raziskavi Haider in Folland (2014), kjer so vpliv preverjali pri zdravih netreniranih moških (Haider in Folland, 2014; Tillin idr., 2018). Hitrost prirastka navora se v raziskavi Tillin in sod. (2018) ni razlikovala med uživanjem soka rdeče pese in placeba pri 0–50 ms (impulz navora nitrati: $1,58 \pm 0,52$ Ns; placebo: $1,52 \pm 0,59$ Ns), 50–100 ms (impulz navora nitrati: $15,2 \pm 3,6$ Ns; placebo = $15,1 \pm 4,2$ Ns) in 100–150 ms (impulz navora nitrati: $39,4 \pm 7,6$ Ns; placebo: $39,4 \pm 8,9$ Ns) (Tillin idr., 2018). Pri raziskavi Poredoš in sod. (2022) se je pokazal pozitiven vpliv samo pri moških, in še to le pri spremenljivki največja hitrost prirastka navora, medtem ko pri ženskah nitrati niso imeli nikakršnega vpliva (Poredoš, Praznikar in Kozinc, 2022). Študij na področju vpliva nitratov na hitrost prirastka sile oziroma navora primanjkuje, zato bo predvsem na tem področju potrebno dodatno raziskovanje.

Vpliv na izvajanje vadbe proti uporu

Raziskava pri 14 fizično aktivnih ženskah je pokazala, da je imel sok rdeče pese vpliv pri počepu s 50 % največjega bremena (večja povprečna hitrost, višja najvišja hitrost, višja povprečna moč in višja največja moč). Pri testu mišične vzdržljivosti, ki je obsegal 3 serije (počep zadaj, potisk z nogami, izteg kolena) pri 75 % največjega bremena, je bil prav tako ugotovljen pozitiven vpliv koncentriranega soka rdeče pese na večje

število ponovitev do odpovedi (Jurado-Castro idr., 2022). Pri 11 moških, vajenih vadbe moči, so pri prostem potisku s prsi (70 % maksimalne ponovitve) ugotovili večjo povprečno moč in povprečno hitrost po zaužitju soka rdeče pese. Prav tako se je v tem primeru povečalo število ponovitev do odpovedi (Williams, Martin, Mintz, Rogers in Ballmann, 2020). Do različnih ugotovitev so prišli v raziskavi Ranchal-Sanchez in sod. (2020), ki je preverjala vpliv soka rdeče pese na počep in potisk s prsi. Ugotovila je vpliv na večje število ponovitev do odpovedi pri počepu zadaj v primeru 60 in 70 % bremena maksimalne ponovitve, medtem ko pri vrednosti 80 % te razlike ni bilo. Razlik prav tako niso zaznali pri potisku s prsi, in sicer pri vseh treh ravneh bremena. Pri obeh gibih niso zaznali razlik niti pri spremenljivkah hitrosti gibanja (Ranchal-Sanchez idr., 2020). Število ponovitev do odpovedi se ni povečalo v raziskavi Tan in sod. pri počepu, pri potisku s prsi pa se je povečalo, in sicer za 5 %. Pri obeh dvigih so uporabili težo 60 % maksimalne ponovitve. Pri izhodni moči in hitrosti niso zaznali razlik ne pri počepu zadaj ne pri potisku s prsi, pri uporabi bremena 70 % maksimalne ponovitve (Tan idr., 2022), vendar pa so pri počepu ugotovili, da je dodatek soka rdeče pese povečal povprečno in najvišjo izhodno moč (Rodríguez-Fernández, Castillo, Raya-González, Domínguez in Bailey, 2021).

Kot so na podlagi sistematičnega pregleda literature ugotovili San Juan in sod. (2020), trenutno omejena literatura nakazuje, da lahko akutno ali kratkotrajno uživanje nitratov pripomore k izboljšanju proizvedene mišične moči, hitrosti kontrakcije in števila ponovitev do odpovedi, to pa lahko izboljša učinkovitost treninga treniranih moških pri vadbi dvigovanja uteži (San Juan idr., 2020). Nitrati bi lahko imeli vpliv na največjo izhodno moč, povprečno izhodno moč in čas do največje izhodne moči med kratkotrajno dinamično vadbo (manj kot 10 sekund), kar lahko prenesemo na kratka eksplozivna dejanja (dvigovanje uteži, atletika in ekipni športi) (Esen idr., 2022).

Razlike v delovanju z vidika spola

Nekaj raziskav o razlikah med spoloma pri uživanju nitratov je že mogoče zaslediti. Sistematični pregled literature in metaanaliza randomiziranih kontroliranih raziskav d'Unienville in sod. (2021), ki je med drugim preverjala vpliv prehranskih nitratov na vzdržljivostno vadbo, je ugotovila sta-

tistično značilen vpliv pri preizkušnjah na čas, času do izčrpanosti in prekinitvenih testih, vendar statistične značilnosti ni bilo v primeru, ko so v analizi upoštevali samo ženske (d'Unienville idr., 2021). Vzrok za razliko med spoloma bi lahko bil večji delež počasnih mišičnih vlaken pri ženskah (Haizlip, Harrison in Leinwand, 2015), saj ima dodajanje nitratov predvsem ergogeni vpliv na hitra mišična vlakna (Jones, Thompson, Wylie in Vanhatalo, 2018). Ženske imajo zaradi okrepljene aktivnosti bakterij za zmanjševanje nitrata v ustni votlini višje koncentracije nitritov v plazmi (Kapil idr., 2018), kar lahko pripisemo povišani dilataciji, odvisni od endotelija (Stanhewicz, Wenner in Stachenfeld, 2018). Prav tako ima estrogen vlogo pri povečanem izražanju gena eNOS, katerega produkt ima pomembno vlogo pri sproščanju NO iz endotelija (Hayashi idr., 1995). Raziskava Poredoš in sod. (2022) je ugotovila pozitiven vpliv na vzdržljivost v jakosti, vendar le, ko so bili v končno analizo vključeni samo moški, medtem ko pri ženskah pozitivnega vpliva ni zaznala (Poredoš, Pražnikar in Kozinc, 2022). Do nekoliko drugačnih ugotovitev so prišli raziskovalci Coggan in sod. (2018), ki so pri ženskah odkrili večji vpliv koncentriranega rdeče pese na maksimalno moč pri jakosti iztegovalk (Coggan idr., 2018). Raziskave na ženski populaciji so v literaturi maloštevilne, zato bodo v prihodnje potrebne dodatne raziskave za potrditev razlik pri vplivu nitratov med spoloma (d'Unienville idr., 2021).

■ Zaključek

Prehranska dopolnila, ki vsebujejo nitrate, na primer sok rdeče pese, lahko pozitivno vplivajo na športno zmogljivost. Pozitivni vplivi so bili v večini primerov zaznani pri vzdržljivosti, vendar je treba zaradi nekaterih opaženih mehanizmov delovanja znanstvene raziskave razširiti na področje jakosti in moči. V Tabeli 1 so zbrane ključne ugotovitve tega pregleda literature. Pozitivnega vpliva na področju največje jakosti ne moremo potrditi, vendar pa nekatere raziskave nakazujejo možnost hitrejši povrnitve največje jakosti po različnih protokolih utrujanja. Pozitiven vpliv se nakazuje tudi pri parametrih testa Wingate, medtem ko se je pri skoku z nasprotnim gibanjem pokazal pozitiven vpliv pri hitrejši povrnitvi višine skoka po protokolu utrujanja. Pozitiven vpliv se je pokazal tudi pri vadbi proti uporu na področjih proizvedene mišične moči, hitrosti kontrakcije in števila ponovitev do odpovedi. Dosedanji rezultati raziskav na-

Tabela 1

Koncentrirani sok rdeče pese na področju jakosti, moči in hitrosti

Čas zaužitja in oblika	2 do 3 ure pred aktivnostjo v obliki soka rdeče pese ali natrijevega nitrata
Količina	300 do 600 mg oz. 6,2 do 10 mg/kg telesne mase
Možni mehanizmi delovanja	Hitrejša resinteza fosfokreatina, kar lahko pripelje do izboljšane izhodne moči mišic, predvsem vlaken tipa II. Izboljša sproščanje in poznejši ponovni privzem kalcija iz sarkoplazemskega retikuluma.
Področja delovanja:	
Največja jakost	Možna hitrejša povrnitev največje jakosti po različnih protokolih utrujanja.
Test Wingate	Pozitiven vpliv na nekatere parametre testa.
Višina skoka	Pozitiven vpliv na povrnitev višine skoka po protokolu utrujanja.
Vadba proti uporu	Pozitiven vpliv na področjih proizvedene mišične moči, hitrosti kontrakcije in števila ponovitev do odpovedi.

kazujejo, da bi lahko dodajanje nitratov imelo pozitiven vpliv pri kratkih eksplozivnih dejanjih (dvigovanje uteži, atletika in ekipni športi) tako pri akutnem kot tudi kratkotrajnem dodajanju. Prav tako bi lahko pripomogli k hitrejši povrnitvi začetnih vrednosti po protokolih utrujanja ter s tem k učinkovitejšemu trenažnemu procesu, zaradi česar bi bilo smiselno razmisliti o dodajanju nitratov vsaj v določenem obdobju trenažnega procesa (priprava na tekmovanje ipd.). Naš pregled literature je nakazal tudi možnost različnega vpliva nitratov z vidika spola, zaradi česar bodo v prihodnje potrebne dodatne raziskave na tem področju. Dodatne raziskave bodo potrebne tudi na področju eksplozivne jakosti in vzdržljivosti v jakosti. Glede na možen vpliv nitratov na področju moči bo v prihodnje smiselno raziskati tudi vlogo prehrane ter vpliv uživanja nitratov z dnevno prehrano na področju jakosti in moči.

■ Literatura

- Allen, D. G., Lamb, G. D. in Westerblad, H. (2008). Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. *Physiological reviews*, 88(1), 287–332. <https://doi.org/10.1152/physrev.00015.2007>
- Andrade, F. H., Reid, M. B., Allen, D. G. in Westerblad, H. (1998). Effect of nitric oxide on single skeletal muscle fibres from the mouse. *The journal of physiology*, 509(Pt 2), 577–586. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.1998.577bn.x>
- Arciero, P. J., Miller, V. J. in Ward, E. (2015). Performance Enhancing Diets and the PRISE Protocol to Optimize Athletic Performance. *Journal of nutrition and metabolism*, 2015, e715859. <https://doi.org/10.1155/2015/715859>

- Avstralski inštitut za šport (2022). Australian Institute of Sport (AIS) Position Statement: Supplements and Sports Foods in High Performance Sport. Pridobljeno 3. 4. 2023 s https://www.ais.gov.au/__data/assets/pdf_file/0014/1000841/Position-Statement-Supplements-and-Sports-Foods.pdf
- Bailey, S. J., Winyard, P., Vanhatalo, A., Blackwell, J. R., Dimenna, F. J., Wilkerson, D. P., ... Jones, A. M. (2009). Dietary nitrate supplementation reduces the O₂ cost of low-intensity exercise and enhances tolerance to high-intensity exercise in humans. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 107(4), 1144–1155. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00722.2009>
- Bender, D., Townsend, J. R., Vantrease, W. C., Marshall, A. C., Henry, R. N., Heffington, S. H. in Johnson, K. D. (2018). Acute beetroot juice administration improves peak isometric force production in adolescent males. *Applied physiology, nutrition, and metabolism = physiologie appliquee, nutrition et metabolisme*, 43(8), 816–821. <https://doi.org/10.1139/apnm-2018-0050>
- Bohannon, R. W. (2019). Considerations and Practical Options for Measuring Muscle Strength: A Narrative Review. *BioMed research international*, 2019, 8194537. <https://doi.org/10.1155/2019/8194537>
- Clifford, T., Bell, O., West, D. J., Howatson, G. in Stevenson, E. J. (2016). The effects of beetroot juice supplementation on indices of muscle damage following eccentric exercise. *European journal of applied physiology*, 116(2), 353–362. <https://doi.org/10.1007/s00421-015-3290-x>
- Clifford, T., Berntzen, B., Davison, G. W., West, D. J., Howatson, G. in Stevenson, E. J. (2016). Effects of Beetroot Juice on Recovery of Muscle Function and Performance between Bouts of Repeated Sprint Exercise. *Nutrients*, 8(8), 506. <https://doi.org/10.3390/nu8080506>

10. Coggan, A. R., Broadstreet, S. R., Mikhalkova, D., Bole, I., Leibowitz, J. L., Kadkhodayan, A., ... Peterson, L. R. (2018). Dietary nitrate induced increases in human muscle power: high versus low responders. *Physiological reports*, 6(2), e13575. <https://doi.org/10.14814/phy2.13575>
11. Coggan, A. R., Hoffman, R. L., Gray, D. A., Moorthi, R. N., Thomas, D. P., Leibowitz, J. L., ... Peterson, L. R. (2020). A Single Dose of Dietary Nitrate Increases Maximal Knee Extensor Angular Velocity and Power in Healthy Older Men and Women. *The journals of gerontology series a: biological sciences and medical sciences*, 75(6), 1154–1160. <https://doi.org/10.1093/gerona/glz156>
12. Coggan, A. R., Leibowitz, J. L., Kadkhodayan, A., Thomas, D. T., Ramamurthy, S., Speare, C. A., ... Peterson, L. R. (2015). Effect of acute dietary nitrate intake on maximal knee extensor speed and power in healthy men and women. *Nitric oxide: biology and chemistry / official journal of the nitric oxide society*, 48, 16–21. <https://doi.org/10.1016/j.niox.2014.08.014>
13. Cormie, P., McGuigan, M. R. in Newton, R. U. (2011). Developing maximal neuromuscular power: Part 1--biological basis of maximal power production. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 41(1), 17–38. <https://doi.org/10.2165/11537690-000000000-00000>
14. Cuenca, E., Jodra, P., Pérez-López, A., González-Rodríguez, L. G., Fernandes da Silva, S., Veiga-Herrerros, P. in Domínguez, R. (2018). Effects of Beetroot Juice Supplementation on Performance and Fatigue in a 30-s All-Out Sprint Exercise: A Randomized, Double-Blind Cross-Over Study. *Nutrients*, 10(9), 1222. <https://doi.org/10.3390/nu10091222>
15. d'Unienville, N. M. A., Blake, H. T., Coates, A. M., Hill, A. M., Nelson, M. J. in Buckley, J. D. (2021). Effect of food sources of nitrate, polyphenols, L-arginine and L-citrulline on endurance exercise performance: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *Journal of the international society of sports nutrition*, 18, 76. <https://doi.org/10.1186/s12970-021-00472-y>
16. de Oliveira, G. V., do Nascimento, L. A. D., Volino-Souza, M., do Couto Vellozo, O. in Alvares, T. S. (2020). A single oral dose of beetroot-based gel does not improve muscle oxygenation parameters, but speeds up handgrip isometric strength recovery in recreational combat sports athletes. *Biology of sport*, 37(1), 93–99. <https://doi.org/10.5114/biolSport.2020.92518>
17. de Oliveira, G. V., Morgado, M., Conte-Junior, C. A. in Alvares, T. S. (2017). Acute effect of dietary nitrate on forearm muscle oxygenation, blood volume and strength in older adults: A randomized clinical trial. *PLoS ONE*, 12(11), e0188893. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0188893>
18. Domínguez, Raúl, Cuenca, E., Maté-Muñoz, J. L., García-Fernández, P., Serra-Paya, N., Estevan, M. C. L., ... Garnacho-Castaño, M. V. (2017). Effects of Beetroot Juice Supplementation on Cardiorespiratory Endurance in Athletes. A Systematic Review. *Nutrients*, 9(1), 43. <https://doi.org/10.3390/nu9010043>
19. Domínguez, R., Garnacho-Castaño, M. V., Cuenca, E., García-Fernández, P., Muñoz-González, A., de Jesús, F., ... Maté-Muñoz, J. L. (2017). Effects of Beetroot Juice Supplementation on a 30-s High-Intensity Inertial Cycle Ergometer Test. *Nutrients*, 9(12), 1360. <https://doi.org/10.3390/nu9121360>
20. Domínguez, R., Maté-Muñoz, J. L., Cuenca, E., García-Fernández, P., Mata-Ordoñez, F., Lozano-Estevan, M. C., ... Garnacho-Castaño, M. V. (2018). Effects of beetroot juice supplementation on intermittent high-intensity exercise efforts. *Journal of the international society of sports nutrition*, 15. <https://doi.org/10.1186/s12970-017-0204-9>
21. Dumar, A. M., Huntington, A. F., Rogers, R. R., Kopec, T. J., Williams, T. D. in Ballmann, C. G. (2021). Acute Beetroot Juice Supplementation Attenuates Morning-Associated Decrements in Supramaximal Exercise Performance in Trained Sprinters. *International journal of environmental research and public health*, 18(2), 412. <https://doi.org/10.3390/ijerph18020412>
22. Dykhuizen, R. S., Frazer, R., Duncan, C., Smith, C. C., Golden, M., Benjamin, N. in Leifert, C. (1996). Antimicrobial effect of acidified nitrite on gut pathogens: importance of dietary nitrate in host defense. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, 40(6), 1422–1425.
23. Esen, O., Dobbin, N. in Callaghan, M. J. (2022). The Effect of Dietary Nitrate on the Contractile Properties of Human Skeletal Muscle: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of the american nutrition association*, 1–12. <https://doi.org/10.1080/07315724.2022.2037475>
24. Ferguson, S. K., Hirai, D. M., Copp, S. W., Holdsworth, C. T., Allen, J. D., Jones, A. M., ... Poole, D. C. (2013). Impact of dietary nitrate supplementation via beetroot juice on exercising muscle vascular control in rats. *The journal of physiology*, 591(Pt 2), 547–557. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2012.243121>
25. Fulford, J., Winyard, P. G., Vanhatalo, A., Bailey, S. J., Blackwell, J. R. in Jones, A. M. (2013). Influence of dietary nitrate supplementation on human skeletal muscle metabolism and force production during maximum voluntary contractions. *Pflügers archiv: european journal of physiology*, 465(4), 517–528. <https://doi.org/10.1007/s00424-013-1220-5>
26. Gallardo, E. J. in Coggan, A. R. (2019). What Is in Your Beet Juice? Nitrate and Nitrite Content of Beet Juice Products Marketed to Athletes. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 29(4), 345–349. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2018-0223>
27. Gallardo, E. J., Gray, D. A., Hoffman, R. L., Yates, B. A., Moorthi, R. N. in Coggan, A. R. (2020). Dose-Response Effect of Dietary Nitrate on Muscle Contractility and Blood Pressure in Older Subjects: A Pilot Study. *The journals of gerontology series a: biological sciences and medical sciences*, 76(4), 591–598. <https://doi.org/10.1093/gerona/glaa311>
28. Gasier, H. G., Reinhold, A. R., Loïselle, A. R., Soutiere, S. E. in Fothergill, D. M. (2017). Effects of oral sodium nitrate on forearm blood flow, oxygenation and exercise performance during acute exposure to hypobaric hypoxia (4300 m). *Nitric oxide: biology and chemistry*, 69, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.niox.2017.07.001>
29. Gentil, P., Del Vecchio, F. B., Paoli, A., Schoenfeld, B. J. in Bottaro, M. (2017). Isokinetic Dynamometry and 1RM Tests Produce Conflicting Results for Assessing Alterations in Muscle Strength. *Journal of human kinetics*, 56, 19–27. <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0019>
30. Gladwin, M. T., Schechter, A. N., Kim-Shapiro, D. B., Patel, R. P., Hogg, N., Shiva, S., ... Lundberg, J. O. (2005). The emerging biology of the nitrite anion. *Nature chemical biology*, 1(6), 308–314. <https://doi.org/10.1038/nchembio1105-308>
31. Haider, G. in Folland, J. P. (2014). Nitrate supplementation enhances the contractile properties of human skeletal muscle. *Medicine and science in sports and exercise*, 46(12), 2234–2243. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000351>
32. Haizlip, K. M., Harrison, B. C. in Leinwand, L. A. (2015). Sex-Based Differences in Skeletal Muscle Kinetics and Fiber-Type Composition. *Physiology*, 30(1), 30–39. <https://doi.org/10.1152/physiol.00024.2014>
33. Hayashi, T., Yamada, K., Esaki, T., Kuzuya, M., Satake, S., Ishikawa, T., ... Iguchi, A. (1995). Estrogen increases endothelial nitric oxide by a receptor-mediated system. *Biochemical and biophysical research communications*, 214(3), 847–855. <https://doi.org/10.1006/bbrc.1995.2364>
34. Hernández, A., Schiffer, T. A., Ivarsson, N., Cheng, A. J., Bruton, J. D., Lundberg, J. O., ... Westerblad, H. (2012). Dietary nitrate increases tetanic [Ca²⁺]_i and contractile force in mouse fast-twitch muscle. *The journal of physiology*, 590(Pt 15), 3575–3583. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2012.232777>
35. Hoon, M. W., Fornusek, C., Chapman, P. G. in Johnson, N. A. (2015). The effect of nitrate supplementation on muscle contraction in healthy adults. *European journal of sport science*, 15(8), 712–719. <https://doi.org/10.1080/17461391.2015.1053418>

36. Hoon, M. W., Johnson, N. A., Chapman, P. G. in Burke, L. M. (2013). The effect of nitrate supplementation on exercise performance in healthy individuals: a systematic review and meta-analysis. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 23(5), 522–532. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.23.5.522>
37. Hord, N. G., Tang, Y. in Bryan, N. S. (2009). Food sources of nitrates and nitrites: the physiologic context for potential health benefits. *The american journal of clinical nutrition*, 90(1), 1–10. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2008.27131>
38. Huang, S.-H., Johnson, K. in Pipe, A. (2006). The Use of Dietary Supplements and Medications by Canadian Athletes at the Atlanta and Sydney Olympic Games. *Clinical journal of sport medicine: official journal of the canadian academy of sport medicine*, 16, 27–33. <https://doi.org/10.1097/01.jsm.0000194766.35443.9c>
39. Jodra, P., Domínguez, R., Sánchez-Oliver, A. J., Veiga-Herreros, P. in Bailey, S. J. (2020). Effect of Beetroot Juice Supplementation on Mood, Perceived Exertion, and Performance During a 30-Second Wingate Test. *International journal of sports physiology and performance*, 15(2), 243–248. <https://doi.org/10.1123/ijssp.2019-0149>
40. Jones, A. M. (2014). Dietary Nitrate Supplementation and Exercise Performance. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 44(Suppl 1), 35–45. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0149-y>
41. Jones, A. M., Thompson, C., Wylie, L. J. in Vanhatalo, A. (2018). Dietary Nitrate and Physical Performance. *Annual review of nutrition*, 38, 303–328. <https://doi.org/10.1146/annurev-nutr-082117-051622>
42. Jonvik, K. L., Nyakayiru, J., Van Dijk, J. W., Maa-se, K., Ballak, S. B., Senden, J. M. G., ... Verdijk, L. B. (2018). Repeated-sprint performance and plasma responses following beetroot juice supplementation do not differ between recreational, competitive and elite sprint athletes. *European journal of sport science*, 18(4), 524–533. <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1433722>
43. Jonvik, K. L., Hoogervorst, D., Peelen, H. B., de Niet, M., Verdijk, L. B., van Loon, L. J. C. in van Dijk, J.-W. (2021). The impact of beetroot juice supplementation on muscular endurance, maximal strength and countermovement jump performance. *European journal of sport science*, 21(6), 871–878. <https://doi.org/10.1080/17461391.2020.1788649>
44. Jurado-Castro, J. M., Campos-Perez, J., Ranchal-Sanchez, A., Durán-López, N. in Domínguez, R. (2022). Acute Effects of Beetroot Juice Supplements on Lower-Body Strength in Female Athletes: Double-Blind Crossover Randomized Trial. *Sports health*, 19417381221083590. <https://doi.org/10.1177/19417381221083590>
45. Kapil, V., Rathod, K. S., Khambata, R. S., Bahra, M., Velmurugan, S., Purba, A., ... Ahluwalia, A. (2018). Sex differences in the nitrate-nitrite-NO• pathway: Role of oral nitrate-reducing bacteria. *Free radical biology & medicine*, 126, 113–121. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2018.07.010>
46. Kerksick, C. M., Wilborn, C. D., Roberts, M. D., Smith-Ryan, A., Kleiner, S. M., Jäger, R., ... Kreider, R. B. (2018). ISSN exercise & sports nutrition review update: research & recommendations. *Journal of the international society of sports nutrition*, 15, 38. <https://doi.org/10.1186/s12970-018-0242-y>
47. Kokkinoplitis, K. in Chester, N. (2014). The effect of beetroot juice on repeated sprint performance and muscle force production. *Journal of physical education and sport*, 14, 242–247. <https://doi.org/10.7752/jpes.2014.02036>
48. Laaksonen, M. S., Kalliokoski, K. K., Kyröläinen, H., Kemppainen, J., Teräs, M., Sipilä, H., ... Knuuti, J. (2003). Skeletal muscle blood flow and flow heterogeneity during dynamic and isometric exercise in humans. *American journal of physiology. heart and circulatory physiology*, 284(3), H979–986. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00714.2002>
49. Lago-Rodríguez, Á., Domínguez, R., Ramos-Álvarez, J. J., Tobal, F. M., Jodra, P., Tan, R. in Bailey, S. J. (2020). The Effect of Dietary Nitrate Supplementation on Isokinetic Torque in Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrients*, 12(10), 3022. <https://doi.org/10.3390/nu12103022>
50. López-Samanes, Á., Gómez Parra, A., Moreno-Pérez, V. in Courel-Ibáñez, J. (2020). Does Acute Beetroot Juice Supplementation Improve Neuromuscular Performance and Match Activity in Young Basketball Players? A Randomized, Placebo-Controlled Study. *Nutrients*, 12(1), 188. <https://doi.org/10.3390/nu12010188>
51. López-Samanes, Á., Pérez-López, A., Moreno-Pérez, V., Nakamura, F. Y., Acebes-Sánchez, J., Quintana-Milla, I., ... Domínguez, R. (2020). Effects of Beetroot Juice Ingestion on Physical Performance in Highly Competitive Tennis Players. *Nutrients*, 12(2), 584. <https://doi.org/10.3390/nu12020584>
52. Lundberg, J. O. in Govoni, M. (2004). Inorganic nitrate is a possible source for systemic generation of nitric oxide. *Free radical biology & medicine*, 37(3), 395–400. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2004.04.027>
53. Lundberg, J. O., Weitzberg, E. in Gladwin, M. T. (2008). The nitrate-nitrite-nitric oxide pathway in physiology and therapeutics. *Nature reviews. drug discovery*, 7(2), 156–167. <https://doi.org/10.1038/nrd2466>
54. Martin, K., Smee, D., Thompson, K. G. in Rattray, B. (2014). No improvement of repeated-sprint performance with dietary nitrate. *International journal of sports physiology and performance*, 9(5), 845–850. <https://doi.org/10.1123/ijssp.2013-0384>
55. Maughan, R. J., Burke, L. M., Dvorak, J., Larson-Meyer, D. E., Peeling, P., Phillips, S. M., ... Engebretsen, L. (2018). IOC Consensus Statement: Dietary Supplements and the High-Performance Athlete. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 28(2), 104–125. <https://doi.org/10.1123/ijsem.2018-0020>
56. Morrissey, M. C., Harman, E. A. in Johnson, M. J. (1995). Resistance training modes: specificity and effectiveness. *Medicine and science in sports and exercise*, 27(5), 648–660.
57. Papadopoulos, S., Dipla, K., Triantafyllou, A., Nikolaidis, M. G., Kyparos, A., Toupikioti, P., ... Zafeiridis, A. (2018). Beetroot Increases Muscle Performance and Oxygenation During Sustained Isometric Exercise, but Does Not Alter Muscle Oxidative Efficiency and Microvascular Reactivity at Rest. *Journal of the american college of nutrition*, 37(5), 361–372. <https://doi.org/10.1080/07315724.2017.1401497>
58. Paul, D. J. in Nassis, G. P. (2015). Testing strength and power in soccer players: the application of conventional and traditional methods of assessment. *Journal of strength and conditioning research*, 29(6), 1748–1758. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000807>
59. Porrini, M. in Del Bo', C. (2016). Ergogenic Aids and Supplements. *Frontiers of hormone research*, 47, 128–152. <https://doi.org/10.1159/000445176>
60. Raat, N. J. H., Shiva, S. in Gladwin, M. T. (2009). Effects of nitrite on modulating ROS generation following ischemia and reperfusion. *Advanced drug delivery reviews*, 61(4), 339–350. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2009.02.002>
61. Ranchal-Sanchez, A., Diaz-Bernier, V. M., De La Florida-Villagran, C. A., Llorente-Cantare-ro, F. J., Campos-Perez, J. in Jurado-Castro, J. M. (2020). Acute Effects of Beetroot Juice Supplements on Resistance Training: A Randomized Double-Blind Crossover. *Nutrients*, 12(7), 1912. <https://doi.org/10.3390/nu12071912>
62. Rodríguez-Fernández, A., Castillo, D., Raya-González, J., Domínguez, R. in Bailey, S. J. (2021). Beetroot juice supplementation increases concentric and eccentric muscle power output. Original investigation. *Journal of science and medicine in sport*, 24(1), 80–84. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2020.05.018>
63. Roelofs, E. J., Hirsch, K. R., Trexler, E. T., Mock, M. G. in Smith-Ryan, A. E. (2015). The effects of pomegranate extract on anaerobic exercise performance & cardiovascular responses. *Journal of the international society of sports nutrition*, 12(sup1), P56. <https://doi.org/10.1186/1550-2783-12-S1-P56>

64. Rothwell, S. in Alkhatib, A. (2014). PP15 Effects Of Acute Dietary Nitrate Supplementation On 30-second Wingate Performance In Healthy Collegiate Males. *British journal of sports medicine*, 48(Suppl 3), A11–A11. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-094245.31>
65. San Juan, A. F., Dominguez, R., Lago-Rodríguez, Á., Montoya, J. J., Tan, R. in Bailey, S. J. (2020). Effects of Dietary Nitrate Supplementation on Weightlifting Exercise Performance in Healthy Adults: A Systematic Review. *Nutrients*, 12(8), 2227. <https://doi.org/10.3390/nu12082227>
66. Smith, K., Muggeridge, D. J., Easton, C. in Ross, M. D. (2019). An acute dose of inorganic dietary nitrate does not improve high-intensity, intermittent exercise performance in temperate or hot and humid conditions. *European journal of applied physiology*, 119(3), 723–733. <https://doi.org/10.1007/s00421-018-04063-9>
67. Stamler, J. S. in Meissner, G. (2001). Physiology of nitric oxide in skeletal muscle. *Physiological reviews*, 81(1), 209–237. <https://doi.org/10.1152/physrev.2001.81.1.209>
68. Stanhewicz, A. E., Wenner, M. M. in Stachenfeld, N. S. (2018). Sex differences in endothelial function important to vascular health and overall cardiovascular disease risk across the lifespan. *American journal of physiology – heart and circulatory physiology*, 315(6), H1569–H1588. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00396.2018>
69. Stone, M. H., Moir, G., Glaister, M. in Sanders, R. (2002). How much strength is necessary? *Physical therapy in sport*, 3(2), 88–96. <https://doi.org/10.1054/ptsp.2001.0102>
70. Tan, R., Pennell, A., Price, K. M., Karl, S. T., Seekamp-Hicks, N. G., Paniagua, K. K., ... Bailey, S. J. (2022). Effects of Dietary Nitrate Supplementation on Performance and Muscle Oxygenation during Resistance Exercise in Men. *Nutrients*, 14(18), 3703. <https://doi.org/10.3390/nu14183703>
71. Tillin, N. A., Moudy, S., Nourse, K. M. in Tyler, C. J. (2018). Nitrate Supplement Benefits Contractile Forces in Fatigued but Not Unfatigued Muscle. *Medicine and science in sports and exercise*, 50(10), 2122–2131. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001655>
72. Vieira de Oliveira, G., Nascimento, L. A., Volino, M., Mesquita, J. in Alvares, T. (2018). Beetroot-based gel supplementation improves handgrip strength, forearm muscle O₂ saturation but not exercise tolerance and blood volume in jiu-jitsu athletes. *Applied physiology, nutrition, and metabolism*, 43. <https://doi.org/10.1139/apnm-2017-0828>
73. Vitale, K. in Getzin, A. (2019). Nutrition and Supplement Update for the Endurance Athlete: Review and Recommendations. *Nutrients*, 11(6), 1289. <https://doi.org/10.3390/nu11061289>
74. Whitfield, J., Gamu, D., Heigenhauser, G. J. F., VAN Loon, L. J. C., Spriet, L. L., Tupling, A. R. in Holloway, G. P. (2017). Beetroot Juice Increases Human Muscle Force without Changing Ca²⁺-Handling Proteins. *Medicine and science in sports and exercise*, 49(10), 2016–2024. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001321>
75. Williams, T. D., Martin, M. P., Mintz, J. A., Rogers, R. R. in Ballmann, C. G. (2020). Effect of Acute Beetroot Juice Supplementation on Bench Press Power, Velocity, and Repetition Volume. *Journal of strength and conditioning research*, 34(4), 924–928. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000003509>
76. Wilson, G. J. in Murphy, A. J. (1996). The use of isometric tests of muscular function in athletic assessment. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 22(1), 19–37. <https://doi.org/10.2165/00007256-199622010-00003>
77. Wong, T. H., Sim, A. in Burns, S. F. (2021). The Effect of Beetroot Ingestion on High-Intensity Interval Training: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrients*, 13(11), 3674. <https://doi.org/10.3390/nu13113674>
78. Wylie, L. J., Bailey, S. J., Kelly, J., Blackwell, J. R., Vanhatalo, A. in Jones, A. M. (2016). Influence of beetroot juice supplementation on intermittent exercise performance. *European journal of applied physiology*, 116, 415–425. <https://doi.org/10.1007/s00421-015-3296-4>
79. Zamani, H., de Joode, M. E. J. R., Hossein, I. J., Henckens, N. F. T., Guggeis, M. A., Berends, J. E., ... van Breda, S. G. J. (2021). The benefits and risks of beetroot juice consumption: a systematic review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 61(5), 788–804. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1746629>

doc. dr. Žiga Kozinc
Univerza na Primorskem,
Fakulteta za vede o zdravju
ziga.kozinc@fvz.upr.si