پژوهش در تغذیه ورزشی
سال دوم، شماره ۴، اسفند ۱۴۰۲، صص ۴۹-۳۳

مقاله پژوهشی

https://researchinexercisenutrition.com

https://doi.org/10.22034/ren.2024.141763.1061

تأثیر مکمل دهی آب چغندر بر برخی عوامل عملکردی در ورزشکاران: یک مقاله مروری

محمد بابائی[۱]✉، آمنه پوررحیم[۲]

تاریخ دریافت:۱۴۰۳/۰۴/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۱

چکیده

هدف: مکمل غذایی آب چغندر (BRJ)، به عنوان منبع طبیعی سرشار از نیترات، مورد توجه ورزشکاران حرفه‌ای و تفریحی قرار گرفته است. نیترات و نیتریت، در داخل بدن انسان به نیتریک اکساید تبدیل می‌شود و با مکانیسم‌های مختلف بیوشیمیایی از جمله افزایش جریان خون و متابولیسم انرژی عملکرد ورزشکاران را ارتقاء می‌دهد. هدف مطالعه حاضر، بررسی تأثیر مکمل دهی آب چغندر بر برخی از عوامل عملکردی در ورزشکاران است.

روش‌شناسی: این مطالعه با هدف بررسی تأثیر مکمل دهی آب چغندر بر برخی از عوامل عملکردی در ورزشکاران، مقالات علمی پژوهشی که در بازه زمانی ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۴ بودند را از پایگاه‌های علمی وب آو ساینس، گوگل اسکالر، پاب‌مد و مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی را تهیه و مورد مطالعه و بررسی قرار داده و نتیجه گیری می‌کند. جستجوی اولیه، شامل آب چغندر، بیت روت، نیتریت و نیترات بود. همچنین آزمودنی‌های مطالعات افراد سالم و ورزشکار بودند.

یافته‌ها: در مجموع، ۲۹ مطالعه با ۴۶۲ آزمودنی وارد مطالعه حاضر شدند. نتایج نشان داد مکمل دهی آب چغندر باعث افزایش معنی‌دار توان هوازی و بی‌هوازی، افزایش عملکرد و استقامت عضلانی، افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانی، کاهش معنی‌دار درک فشار، فشار خون و ضربان قلب در ورزشکاران می‌شود.

نتیجه گیری: مطالعه حاضر نشاد داد که مکمل دهی آب چغندر به میزان ۱۴۰ میلی‌لیتر(۱۲.۸ میلی‌مول نیترات) به‌صورت حاد و مزمن باعث افزایش عوامل عملکردی در ورزشکاران می‌شود.

واژگان کلیدی: مکمل غذایی، آب چغندر، نیترات، توان هوازی و بی¬هوازی، عملکرد ورزشی.

۱- گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روان-شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی اردبیل، ایران.

✉ **نویسنده مسئول:**
M.Babaei9674@gmail.com

۲- گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روان-شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی اردبیل، ایران.

ISSN:۲۹۸۰-۸۹۶۰

تمامی حقوق این مقاله برای نویسندگان محفوظ است.

ارجاع دهی:

Babaei M, Pourrahim A. The Effect of Beetroot Juice Supplementation on some functional factors in Athletes: A review Article**. Research in Exercise Nutrition** 2025;2(4):33-49, Doi: https://doi.org/10.22034/ren.2024.141763.1061 .

Original Article

REN

https://doi.org/10.22034/ren.2024.141763.1061 Research in Exercise Nutrition 2023; 2(4): 33-49

The Effect of Beetroot Juice Supplementation on some Functional factors in Athletes: A review Article

Mohammad Babaei[1]✉, Ameneh Pourrahim[2]

Received: 2024/07/19 **Accepted: 2024/11/11**

Abstract

Aim: Beetroot juice (BRJ) dietary supplement, as a natural source rich of nitrates, has attracted the attention of professional and recreational athletes. Nitrate and nitrite are converted into nitric oxide inside the human body and improve the performance of athletes with various biochemical mechanisms, including increasing blood flow and energy metabolism. The purpose of this study is investigate the effect of beetroot juice supplementation on some functional factors in athletes.

Method: This study aims to investigate the effect of beetroot juice supplementation on some functional factors in athletes, scientific research articles that were in the period of 2016 to 2024 from the scientific databases of Web of Science, Google Scholar, PubMed and SID. It prepares, studies and examines and draws conclusion. The initial search included Beetroot juice, beetroot, nitrite and nitrate. Also, the study subjects were healthy people and athletes.

Results: In total, 29 studies with 462 subjects were included in the present study. The results showed that beetroot juice supplementation significantly increases aerobic and anaerobic power, increases muscle performance and endurance, increases antioxidant capacity, and significantly reduces pressure perception, blood pressure, and heart rate in athletes.

Conclusion: The present study showed that beetroot juice supplementation of 140 ml (12.8 mmol of nitrate) acutely and chronically increases functional factors in athletes.

Key words: Dietary supplement, beetroot juice, nitrate, aerobic and anaerobic power, sports performance.

[1]✉ Department of Sports Physiology, Faculty of Educational Sciences and Psychology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

✉ **Corrispondig author:**
M.Babaei9674@gmail.com

[2] Department of Sports Physiology, Faculty of Educational Sciences and Psychology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

ISSN:2980-8960

All rights of this article are reserved for authors.

Citation:

Babaei M, Pourrahim A. The Effect of Beetroot Juice Supplementation on some functional factors in Athletes: A review Article**. Research in Exercise Nutrition** 2025;2(4):33-49, Doi: https://doi.org/10.22034/ren.2024.141763.1061 .

مقدمه

دستیابی به اوج عملکرد در ورزش یک پدیده چند عاملی است که شامل ژنتیک، تغذیه، فیزیولوژی، بیومکانیک، روانشناسی، سلامت و علوم اجتماعی است. بدن انسان در حال ورزش مانند یک ماشین بیولوژیکی پیچیده است که به تعداد زیادی رویدادهای فیزیولوژیکی نیاز دارد تا همزمان اتفاق بیفتند. با این‌حال، تنها چند فرآیند فیزیولوژیکی عملکرد کلی فرد را در یک کار مشخص کنترل و محدود می‌کنند. بنابراین، ورزشکارانی که می‌خواهند عملکرد را به حداکثر برسانند، باید درک اساسی از فرآیندهای فیزیولوژیکی که عملکرد را محدود می‌کنند، داشته باشند (۱). از دیدگاه فیزیولوژیکی، افزایش عملکرد در ورزش را می‌توان با سیستم‌های قلبی عروقی، عصبی، هورمونی و عضلانی برتر توضیح داد. مدل قلبی عروقی- بی‌هوازی، عملکرد حداکثری در ورزش را توصیف می‌کند که عملکرد استقامتی با ظرفیت سیستم قلبی تنفسی برای تحویل مقادیر زیادی خون اکسیژن‌دار به عضلات درگیر تعیین می‌شود. بنابراین، تمرین برای بهبود حداکثر برداشت اکسیژن (VO2max)، برون ده قلبی، رگ‌زایی در عضلات اسکلتی، توده و تراکم میتوکندری عملکرد استقامتی را افزایش می‌دهد (۲). بیشتر ورزش‌های تناوبی به افزایش و کاهش مکرر شتاب و سرعت نیاز دارند که عمدتاً توسط متابولیسم بی‌هوازی پشتیبانی می‌شوند. دستگاه هوازی در شدت‌های بالا مانند شدت‌های فراتر از آستانه لاکتات، در تأمین آدنوزین تری فسفات (ATP) ناکارآمد است. بنابراین، نیاز فوری برای ATP باید توسط فسفات¬های ذخیره شده و فرآیندهای بی‌هوازی (فسفاژن و سیستم های گلیکولیتیک) برآورده شود. دستگاه هوازی در تسریع ریکاوری و بازسازی ATP در ورزش‌های تناوبی، نقش قابل توجهی دارد (۳, ۴).

امروزه علاوه بر تمرینات ورزشی استفاده از مکمل‌ها در جهت افزایش عملکرد و بهبود کارایی ورزشکاران، مورد استفاده قرار گرفته است (۵). آب چغندر به عنوان یک مکمل، مورد استفاده ورزشکاران قرار می‌گیرد که حاوی نیترات غیر آلی (NO3–) بالایی است و در سبزیجات بطور طبیعی یافت می‌شود (۶). هر لیتر آب چغندر حاوی ۱۱/۴ گرم NO3–است (۷). وقتی که NO3– مصرف می¬شود، توسط باکتری‌های بی‌هوازی در حفره دهان توسط آنزیم نیترات ردوکتاز و سپس در معده به نیتریک اکساید (NO) کاهش می‌یابد (۸, ۹). هنگامی که نیتریت در محیط اسیدی معده قرار می‌گیرد، فوراً تجزیه می‌شود تا به NO و سایر اکسیدهای نیتروژن تبدیل شود که عملکردهای فیزیولوژیکی تعیین کننده را انجام می‌دهند. نیترات و نیتریت باقیمانده از روده به گردش خون جذب می‌شوند، که می‌تواند تحت هیپوکسی فیزیولوژیکی به NO بیواکتیو در بافت‌ها و خون تبدیل شود (۱۷). NO یک مولکول پیام‌رسان است که توانایی بهبود عملکرد عروقی، کارایی میتوکندری و تنفس، هموستاز گلوکز و انقباض عضلات را دارا می‌باشد (۱۰). در طول انقباض عضلات اسکلتی، NO به عنوان گشاد کننده عروق عمل می‌کند و واکنش‌های فیزیولوژیکی را تحریک می‌کند و بر سینتیک اکسیژن تأثیر می-گذارد. به خصوص، افزایش در دسترس بودن NO ممکن است با افزایش جریان خون به عضله فعال، به اکسیژن و تحویل مواد مغذی کمک کند (۱۱). از نظر عملکرد متابولیکی، اعتقاد بر این است که NO جذب گلوکز و کارایی میتوکندری را در عضله بهبود می‌بخشد، در نتیجه هزینه آدنوزین تری فسفات (ATP) انقباضات عضلانی و هزینه اکسیژن را کاهش می‌دهد. از طریق این مسیر، مصرف چغندر برای افزایش عملکرد در طول فعالیت‌های استقامتی، انفجاری و تناوبی توصیه شده است (۱۲–۱۴). علاوه بر این، مکمل دهی آب چغندر تخلیه کراتین فسفات را در یک کار معین کاهش می‌دهد (۱۵). مکانیسمی که ممکن است تخلیه کراتین فسفات را به تأخیر اندازد، به بازسازی کراتین فسفات در طول تلاش‌های متناوب با شدت بالا کمک می‌کند (۱۴). همچنین مکمل آب چغندر ممکن است باعث افزایش سطح تنش و سرزندگی ذهنی در شروع ورزش شده (۱۴, ۱۶) و میزان فشار درک شده را کاهش دهد (۱۶, ۱۷). این امر با افزایش احتمالی پرفیوژن مغز یا کاهش تجمع متابولیت انجام می‌شود که باعث کاهش فعال شدن بازخورد آوران عضله III/IV به سیستم عصبی مرکزی و پتانسیل ایجاد خستگی مرکزی می‌شود (۱۷). عصاره چغندر با ترشح بیشتر NO به خون و کاهش درک فشار فعالیت، حفظ انگیزه و جلوگیری از خستگی ادراکی، بسیار کمک کننده باشد (۱۶, ۱۸, ۱۹). یک متاآنالیز نشان داد که مکمل NO3– می‌تواند عملکرد استقامتی را بهبود بخشد (۱۲) و عملکرد شناختی را در طول ورزش‌هایی که نیاز به تصمیم گیری سریع و دقیق دارند، بهبود بخشد (۲۰, ۲۱). به علاوه توان و قدرت عضلانی را در تارهای تند انقباض افزایش داده و زمان واکنش را بهبود می-بخشد (۲۲–۲۴). همچنین مشاهده شده است که ظرفیت آنتی اکسیدانی آب چغندر بطور قابل توجهی نسبت به سایر نوشیدنی‌ها مانند آب گوجه، آب هویج، چای سبز و آب گیلاس و زغال اخته بیشتر است. این ظرفیت آنتی اکسیدانی بالا،تولید اکسیدان‌ها و متعاقباً آسیب‌های سلولی را مهار می‌کند (۲۵).

طبق دانش ما این شواهد جدید که تأثیر مکمل دهی آب چغندر را بر عملکرد ورزشی ورزشکاران بررسی می‌کنند، به طور انتقادی ارزیابی نشده‌اند. بنابراین، در این مقاله، شواهد منتشر شده را مرور می‌کنیم تا مشخص کنیم که آیا مکمل دهی آب چغندر بر عملکرد

ورزشی ورزشکاران تأثیر دارد یا خیر. امید است که اطلاعات ارائه شده برای فیزیولوژیست‌های ورزشی، مربیان و ورزشکاران ارزشمند باشد.

روش‌شناسی

این پژوهش یک مطالعه مروری نظام‌مند است که براساس دستورالعمل PRISMA در اردیبهشت، خرداد و تیر ماه ۱۴۰۳ انجام شد.

روش جستجو مقالات

از پایگاه مقالات Pub Med, Google Scholar, Scopus, Web of Science و SID در بازه زمانی ۲۰۲۴-۲۰۱۶ در این مطالعه استفاده گردید. از کلمات انگلیسی:

("nitrate" OR "beetroot" OR "beetroot juice" OR "beetroot juice Supplementation") and ("Athletic performance" OR "Sports performance" OR "aerobic power" OR "anaerobic power" OR "RPE" OR "Borg pressure perception index" OR "HR" OR "heart rate" OR " blood pressure" OR "Antioxidant defense" OR "MDA" OR "Malondialdehyde").

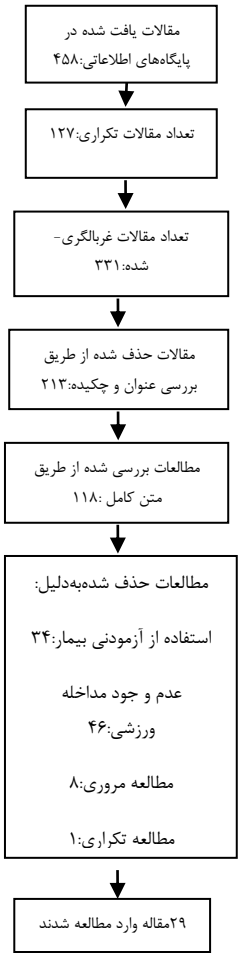
و از کلمات فارسی "مکمل دهی آب چغندر"، "نیترات"، "بیت روت"، "عملکرد ورزشی"، "توان هوازی"، "توان بی‌هوازی"، "شاخص درک فشار"، "ضربان قلب"، "دفاع آنتی اکسیدانی"، "مالون دی آلدئید" برای جستجو مقالات استفاده شد.

معیارهای ورود و خروج از تحقیق

معیارهای انتخاب مقالات به پژوهش حاضر، شامل این موارد بودند: ۱- مقالات اصیل و علمی پژوهشی باشند. ۲- مقالات در بازه زمانی ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۴ باشند. ۳- آزمودنی‌ها به غیر آب چغندر، مکمل دیگری مصرف نکرده باشند.۴- آزمودنی‌ها افراد سالم باشند. معیارهای خروج از تحقیق حاضر، شامل این موارد بودند: ۱- مقالات مروری باشند. ۲- استفاده از دو مکمل همزمان.۳- استفاده از آزمودنی‌های بیمار. بعد از غربال‌گری مقالات، تعداد ۲۹ مقاله علمی پژوهشی برای مطالعه و بررسی وارد تحقیق حاضر شدند.

استخراج داده‌ها

متن کامل مقالات وارد به مطالعه بررسی شدند. اطلاعات مربوط به کشور، نویسندگان، آزمودنی‌ها، شاخص توده بدن (BMI)، سن، دوز و مدت مکمل‌دهی و نتایج مطالعات توسط نویسندگان بررسی و استخراج شد.



شکل-۱: فلوچارت انتخاب مطالعات

یافته‌ها

یافته‌های مطالعه حاضر با ۲۹ مطالعه و ۴۶۲ آزمودنی نشان می-دهد مصرف آب چغندر در دوزهای ۱۴۰ میلی‌لیتر آب چغندر(۱۲.۸ میلی‌مول NO_3^-) و بالاتر به صورت حاد و مزمن باعث افزایش معنی‌دار توان هوازی و بی‌هوازی، افزایش عملکرد و استقامت عضلانی، افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانی، کاهش معنی‌دار درک فشار، فشار خون و ضربان قلب در ورزشکاران می‌شود.

جدول ۱: مطالعات وارد شده به تحقیق حاضر

ردیف	نویسنده اول و کشور	آزمودنی‌ها	سن(سال)	شاخص توده بدن	دوز و مدت مکمل‌دهی	نتایج
۱	سیناگا و همکاران [1](۲۰۲۰) اندونزی (۱)	کنترل (n=۱۵) تجربی(دانشجو تربیت بدنی) (n=۱۵)	۲۰-۲۲	ذکر نشده	۲۵۰ میلی‌لیتر آب چغندر، ۴ هفته	افزایش VO_2max و TAC، کاهش MDA
۲	صالح و همکاران (۲۰۲۰) مالزی (۲)	۱۲ دونده سرعت تمرین کرده	۱۳-۱۴	۱.۸۹±۱۸.۴۲	کپسول نیترات(۴.۴۰میلی-مول) ۶۰ دقیقه قبل از تمرین، حاد	عدم تأثیر معنی‌دار بر عملکرد سرعتی
۳	کانگر و همکاران [2] آمریکا (۲۰۲۱)(۳)	۱۴ بازیکن مرد هاکی	۷.۵۵±۳۰.۸۶	۲.۴۱±۲۴.۷۸	پودر بیت‌روت (۴۹۶ میلی-گرم) ۳ ساعت قبل تمرین، حاد	عدم تأثیر معنی‌دار بر عملکرد بی‌هوازی
۴	فرناندز و همکاران [3] اسپانیا (۲۰۱۸)(۴)	۱۲ دونده نخبه استقامتی در ۲ گروه ۶ نفری کنترل و تجربی	۵.۱±۲۶.۳	ذکر نشده	آب چغندر (۶.۵ میلی‌مول NO_3^-۷۰ میلی‌لیتر) ۱۵ روز	کاهش معنی‌دار درک فشار، افزایش زمان واماندگی
۵	حسن پور و همکاران. ایران (۲۰۲۲)(۵)	۹ فرد تمرین کرده	۱.۳۳±۲۰.۴۴	۳.۲۷±۲۰.۵۵	۷۰ و ۱۴۰ میلی‌لیتر آب چغندر ۲ ساعت قبل تمرین، حاد	عدم تأثیر معنی‌دار بر توان بی‌هوازی، سرعت و چابکی
۶	خسروانیان و همکاران. ایران (۲۰۲۳)(۶)	کنترل (n=۶) تجربی(دوچرخه سوار) (n=۶)	۶.۳۳±۳۳.۳۳	۳.۰۵±۲۲.۸۴	۶۰ گرم مکمل چغندر(۴۰۰ میلی‌گرم نیترات)، ۷ روز	افزایش معنی‌دار توان بی-هوازی اوج
۷	کونکا و همکاران [4] اسپانیا (۲۰۱۸)(۷)	۱۵ مرد تمرین کرده مقاومتی	۱.۶±۲۲.۴	ذکر نشده	۷۰ میلی‌لیتر آب چغندر (۶.۴ میلی‌مول NO_3^-)، حاد	افزایش معنی‌دار توان بی-هوازی اوج و میانگین توان بی‌هوازی
۸	همتی‌نفر و همکاران.ایران (۲۰۲۳)(۸)	کنترل (n=۶) تجربی (n=۶)	۳±۲۶	۲.۵±۲۲.۳	۲۰۰ میلی‌لیتر آب چغندر(۴.۱ میلی-مول NO_3^-)، ۲ روز	افزایش استقامت عضلانی ایستا،کاهش درک درد عضلات، بهبود ریکاوری
۹	بهرنز و همکاران [5] آمریکا (۲۰۲۰)(۹)	۱۶ زن و مرد	مردان۲۶±۶.۱ زنان ۳۰±۶.۵	ذکر نشده	۷۰ میلی‌لیتر آب چغندر (۶.۴ میلی‌مول NO_3^-)، حاد	بهبود اکسیژن مصرفی زیر بیشینه، افزایش زمان واماندگی
۱۰	واکارو و همکاران [6] ایتالیا(۲۰۲۴)(۱۰)	مکمل (n=۳۳) دارونما (n=۱۱)	۱۲.۵±۳۲.۰۷	۱.۴±۲۲.۸	۴ قرص جویدنی بیت روت (۳گرم در هر قرص) ۹۰ دقیقه قبل از آزمون، حاد	بهبود عملکرد شناختی و ظرفیت حافظه
۱۱	وایل و همکاران [7] انگلیس(۲۰۱۶)(۱۱)	۱۰ مرد ورزشکار تفریحی	۱۲.۵±۲۱.۱	ذکر نشده	۷۰ میلی‌لیتر آب چغندر (۴.۱ میلی‌مول NO_3^-)،۵ روز	افزایش معنی‌دار میانگین برونده توانی
۱۲	فریک [8] آمریکا (۲۰۱۸)(۱۲)	۱۶ ورزشکار کراسفیت	ذکر نشده	ذکر نشده	۴۰۰ میلی گرم پودر بیت	افزایش معنی‌دار عملکرد

[1] - Sinaga et al
[2] -Conger et al
[3] - Fernández et al
[4] - Cuenca et al
[5] - Behrens et al
[6] - Vaccaro et al
[7] - Wylie et al
[8] - Frick

					روت، ۱۴ روز	ویژه در آزمون کراس فیت
۱۳	میرآفتابی و همکاران. ایران (۲۰۲۳)(۱۳)	۱۲ تکواندوکار تمرین کرده	۳±۲۱	۱.۷۵±۱۷.۹	۱۲۰ میلی‌لیتر آب چغندر (۸۰۰ میلی‌گرم NO_3^-)، حاد	بهبود نیروی تولیدی در ضربات، عدم تغییر معنی‌دار درک فشار
۱۴	افشارنژاد و همکاران. ایران (۲۰۲۱)(۱۴)	مکمل (n=۱۰) دارونما (n=۱۰)	ذکر نشده	ذکر نشده	آب چغندر (۴.۵ میلی‌لیتر برای هر کیلوگرم وزن بدن)، حاد	کاهش ضربان قلب استراحت و بعد از فعالیت، کاهش درک فشار و افزایش قدرت پایین تنه
۱۵	جورادو و همکاران اسپانیا (۲۰۲۲)[1](۱۵)	۱۴ زن فعال	۳.۹۷±۲۵.۳۶	۱.۴۸±۲۰.۹۷	۷۰ میلی‌لیتر آب چغندر (۴۰۰ میلی‌گرم نیترات)، حاد	افزایش توان انفجاری و استقامت عضلانی پایین تنه
۱۶	کنت و همکاران[2] استرالیا (۲۰۱۹)(۱۶)	۱۲ مرد ورزشکار	۲.۶±۲۲.۳	ذکر نشده	۱۴۰ میلی‌لیتر آب چغندر (۱۳ میلی‌مول NO_3^-)، حاد	کاهش اکسیژن مصرفی زیر بیشینه. عدم تأثیر بر عملکرد سرعتی در هایپوکسی
۱۷	دی‌کاسترو و همکاران[3] برزیل(۲۰۱۹)(۱۷)	۱۴ مرد دونده تفریحی	۳±۲۸.۲	ذکر نشده	۴۲۰ میلی‌لیتر آب چغندر (۸.۴ میلی‌مول NO_3^-)،۳ روز	افزایش میانگین سرعت
۱۸	خسروی و همکاران. ایران (۲۰۲۱)(۱۸)	۱۲ تکواندوکار مرد	۱.۶±۱۹.۲	ذکر نشده	۱۴۰ میلی‌لیتر آب چغندر(۱۲.۸ میلی‌مول NO_3^-)، ۶ روز	افزایش اوج گشتاور بازکننده‌های زانو، افزایش سرعت زاویه‌ای، افزایش اوج قدرت عضلانی در انقباض ایزوکنتیک،کاهش خستگی در طول انقباض
۱۹	پابلوجوردا و همکاران[4] انگلیس(۲۰۱۹)(۱۹)	۱۵ مرد تمرین کرده مقاومتی	ذکر نشده	ذکر نشده	۷۰ میلی‌لیتر آب چغندر (۶.۴ میلی‌مول NO_3^-)	افزایش توان بی‌هوازی اوج،کاهش زمان رسیدن به اوج، کاهش درک فشار
۲۰	آزالی علمداری. ایران (۲۰۲۳)(۲۰)	تمرین (n=۱۰) تمرین مکمل (n=۱۰) مکمل (n=۱۰)،کنترل (n=۱۰)	۱۵-۱۸	ذکر نشده	روزانه ۲ بار (۱ میلی‌لیتر آب چغندر به ازای هر کیلوگرم وزن) ۶ هفته	افزایش توان بی‌هوازی، کاهش درک فشار
۲۱	هاشمی‌فرد و همکاران. ایران (۲۰۲۲)(۲۱)	۱۰ دخترکاراته کا	۵.۲۳±۲۴.۵	۲.۶۹±۲۰.۴۱	۱۰۰ میلی لیتر آب چغندر، حاد	افزایش توان بی‌هوازی،کاهش شاخص خستگی، بهبود چابکی
۲۲	همتی‌نفر و همکاران. ایران(۲۰۲۱)(۲۲)	۴۲ بازیکن فوتبالیست	۰.۵۸±۲۰.۵۰	۰.۴۸±۲۱.۳۴	۱۴۰ میلی لیتر آب چغندر، ۶ روز	افزایش توان بی‌هوازی میانگین و حداقل،کاهش شاخص خستگی،افزایش توان هوازی و عملکرد دویدن تناوبی شدید

[1] - Jurado et al
[2] - Kent et al
[3] - de Castro et al
[4] - Pablo Jodra et al

۲۳	دی‌الیویرا وهمکاران[1] برزیل(۲۰۲۰)(۲۳)	۱۴ رزمی‌کار تفریحی	۸.۵۱±۲۹.۹۲	۲.۷±۲۶.۳۹	۱۰۰ گرم ژل مبتنی بر بیت روت، حاد	بهبود قدرت گرفتن دست و ریکاوری قدرت، عدم تأثیر بر مولفه‌های برداشت اکسیژن
۲۴	دی‌آلمدیا و همکاران- شیلی[2](۲۰۲۱)(۲۴)	۱۲ تکواندوکار	۸.۸±۲۶.۸	۳.۲±۲۵.۳	کپسول ۱۰۰ میلی‌گرمی بیت روت، حاد	افزایش توان هوازی اوج، افزایش VO_2max در آستانه بی‌هوازی، بهبود عملکرد ویژه
۲۵	گارناچو و همکاران[3] اسپانیا(۲۰۲۰)(۲۵)	۱۲ مرد کراسفیت کار	۴.۳±۲۹.۵	ذکر نشده	۱۴۰ میلی‌لیتر آب چغندر(۱۲.۸ میلی- مول NO_3^-)، حاد	افزایش عملکرد، افزایش کورتیزول، افزایش اشباع اکسیژن و کاهش خستگی عضلانی
۲۶	ویکخام و همکاران[4] کانادا(۲۰۱۹)(۲۶)	۱۲ زن ورزشکار تفریحی	۱±۲۳	ذکر نشده	۲۸۰ میلی‌لیتر آب چغندر(۲۶میلی‌مول NO_3^-)، حاد و مزمن ۸ روز	عدم تأثیر بر اکسیژن مصرفی زیر بیشینه،افزایش تولید گشتاور فرکانس پایین
۲۷	جایکی و همکاران[5] هنگ کنگ(۲۰۲۴)(۲۷)	۱۳ زن ورزشکار تفریحی	۱.۸±۲۲.۹	۱.۹±۲۱.۱	۶.۴ میلی‌مول NO_3^- ۱۲.۹ میلی‌مول NO_3^-، حاد	کاهش ضربان قلب و درک فشار در طول انجام تمرین تناوبی با شدت بالا
۲۸	تاتلیسی[6] ترکیه (۲۰۲۱)(۲۸)	۸ کشتی گیر تمرین کرده	۲.۳±۲۱.۸۷	ذکر نشده	۱۴۰ میلی‌لیتر آب چغندر، حاد	افزایش گشتاور اوج در چرخاننده‌های شانه، افزایش میانگین قدرت ایزوکنتیک
۲۹	کردی و همکاران (۲۰۲۰)(۲۹)	۱۰ دختر جوان ورزشکار	۲.۵۹±۲۳.۴۰	۲.۲۱±۲۱.۹۲	۲۰۰ گرم چغندر (۵۰۰ میلی‌گرم نیترات)، حاد	کاهش معنی‌دار فشار خون سیستولیک قبل و بعد از آزمون، کاهش ضربان قلب حین آزمون، کاهش معنی‌دار درک فشار در مسافت ۱.۶ کیلومتر

[1] - de Oliveira et al
[2] - de Almeida et al
[3] - Garnacho et al
[4] - Wickham et al
[5] - Jiaqi et al
[6] - tatlıcı

بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر مصرف مکمل آب چغندر (BRJ) بر برخی عوامل عملکردی در ورزشکاران انجام شد. در مورد تأثیر مکمل آب چغندر بر قدرت و عملکرد عضلانی، خسروی و همکاران (۲۰۲۱) با مطالعه روی ۱۲ مرد تکواندو کار به این نتیجه رسیدند که مصرف ۱۴۰ میلی‌لیتر آب چغندر(۱۲.۸ میلی-مول NO_3^-) به مدت ۶ باعث افزایش اوج گشتاور بازکننده‌های زانو، افزایش سرعت زاویه‌ای، افزایش اوج قدرت عضلانی در انقباض ایزوکنتیک،کاهش خستگی در طول انقباض می‌شود (۴۳). همچنین تاتلیسی (۲۰۲۱) با مطالعه ۸ کشتی گیر تمرین کرده مصرف ۱۴۰ میلی‌لیتر آب چغند ربه صورت حاد باعث افزایش گشتاور اوج در چرخاننده‌های شانه، افزایش میانگین قدرت ایزوکنتیک می‌شود (۵۳). علت افزایش قدرت و عملکرد عضلانی می‌تواند این مسئله باشد که NO^-_3 می‌تواند عملکرد انقباضی را در عضله اسکلتی افزایش دهد، تنظیم پروتئین‌های انقباضی یا جابجایی Ca^{+2} در عضله اسکلتی پس از ترجمه است (۳۰). در واقع NO می‌تواند با تیول‌های پروتئینی[1] به عنوان مثال، گروه‌های حاوی گروه‌های سولفیدریل، تیول پروتئین (RSH) یا آنیون تیولات (RS^-) پاسخ دهد تا گروه‌های نیتروزوتیول (RSNO) را در یک فرآیند برگشت‌پذیر به نام S-nitrosylation تشکیل دهد(31) . S-nitrosylation و denitrosylation ترکیب ساختار و در نتیجه عملکرد پروتئین‌ها را تغییر می‌دهند (۳۲). به عنوان مثال، واکنش NO با زنجیره‌های سنگین میوزین S -nitrosylate در عضلات اسکلتی گزارش شده است که باعث افزایش نیروی انقباضی می-شود (۳۳). با توجه به اینکه پروتئین‌های مرتبط با انقباض می‌توانند به باقی‌مانده‌های سیستئین روی تیول‌ها مانند میوزین، تروپونین، شبکه سارکوآندوپلاسمی (SR) انتقال کلسیم (SERCA)ATPase تبدیل شوند، اثر بالقوه S-nitrosylation بر روی فرآیند انقباض تحریک پیچیده است. و گیرنده‌های رایانودین (RyRs) دچار تغییرات برگشت ناپذیر شوند. این تغییرات پروتئین پس از ترجمه احتمالاً به برهمکنش بین NO، گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) و فراهمی زیستی گلوتاتیون بستگی دارد (۳۴-۳۶). علاوه بر این، پروتئین‌های RyR حاوی مقدار قابل‌توجهی از گروه‌های سولفیدریل در مقایسه با سایر پروتئین‌های انقباضی هستند و این از این فرضیه پشتیبانی می‌کند که مدولاسیون RyR و آزادسازی NO با واسطه Ca^{+2} می‌تواند به افزایش انقباض عضلانی پس از مصرف NO^-_3 کمک کند (۳۷). NO^-_3 هزینه فسفات‌های پرانرژی را در طی انقباض عضلات اسکلتی و تجمع داخل عضلانی آدنوزین دی فسفات (ADP) و فسفات را کاهش می‌دهد. عواملی که انتظار می‌رود گسترش خستگی در عضلات اسکلتی را کاهش دهند (۳۸, ۳۹). علاوه بر این، مکمل NO^-_3 جریان خون عضلانی را افزایش می‌دهد (۴۰) و ممکن است به سنتز مجدد فسفوکراتین (PCr) بین نوبت‌های تمرین (۴۱) و بازیابی نیرو و عملکرد کمک کند (۴۲). مصرف آب چغندر باعث افزایش جریان خون به اندام‌ها و عضلات اسکلتی نوع تند انقباض می‌شود (۴۰). با توجه به این واقعیت که تأمین اکسیژن یک عامل محدود کننده در بازسازی آدنوزین تری فسفات است و پاکسازی لاکتات ممکن است بر تولید قدرت عضلانی تأثیر بگذارد (۴۳, ۴۴). بهبود جریان خون به فیبرهای عضلانی نوع ۲ ممکن است باعث بهبود و حفظ قدرت عضله شود. در نهایت منجر به بهبود عملکرد در تمرین مقاومتی می‌شود (۴۵). علاوه بر قدرت عضلانی، بهبود استقامت عضلانی در طول تمرین مقاومتی می‌تواند به دلیل نقش NO باشد. زیرا در تنظیم فشار خون به وسیله گشاد کردن عروق و جلوگیری از انعقاد خون نقش دارد (۴۵). در مقابل صالح و همکاران (۲۰۲۰) با مطالعه ۱۲ دونده سرعت تمرین کرده، گزارش داد مصرف کپسول نیترات(۴.۴۰میلی‌مول) ۶۰ دقیقه قبل از تمرین به صورت تک وهله‌ای تأثیری بر عملکرد سرعتی دوندگان ندارد(۲). علت عدم مطابقت مطالعه صالح و همکاران با مطالعات فوق می‌توان به مصرف دوز پایین نیترات و فاصله زمانی کم مصرف آب چغندر با تمرین اشاره کرد. مطالعات اثرات مثبت مکمل آب چغندر بر توان هوازی ورزشکاران را گزارش کرده‌اند (۴۹،۲۶،۲۵،۳۴). علت افزایش توان هوازی ناشی از مصرف BRJ می‌توان به این عامل اشاره کرد که نیترات پروتئین کیناز فعال شده با آدنوزین مونوفسفات حلقوی (AMPK) را فعال می‌کند. که عامل اصلی تنظیمی سازگاری متابولیسم اکسیداتیو عضله اسکلتی است (۴۶). AMPK بیان و فسفوریلاسیون گیرنده فعال کننده تکثیر

[1] -protein thiols

پراکسیزوم گاما ۱ آلفا[1] (PGC-1α)را افزایش می‌دهد (۴۷, ۴۸). PGC-1α با کنترل بیان عامل تنفس هسته‌ای[2] (NRF) و هدف پایین دست آن، فاکتور رونویسی میتوکندری[3] A (TFAM) به عنوان یک تنظیم کننده متابولیک اصلی متابولیسم انرژی و بیوژنز میتوکندری عمل می‌کند (۴۹, ۵۰). مکمل NO^{-}_{3} یک راه موثر برای بهبود تولید NO، به نفع حجم خون بیشتر و در نتیجه اکسیژن است. این موضوع زمانی اهمیت بیشتری پیدا می‌کند که ورزش به طور خاص منجر به یک محیط اسیدی و هایپوکسیک بدن شود. شرایطی که در آن کاهش متابولیسم NO^{-}_{3} فعالیت پیش ساز NO را افزایش می‌دهد (۵۱). تأمین اکسیژن بیشتر باعث تأخیر در شروع خستگی عضلانی در عملکرد ورزشی می‌شود و منجر به افزایش تولید انرژی به شکل ATP از طریق مسیرهای متابولیک هوازی می‌شود. در ورزش شدید و طولانی، تأخیر در شروع مسیرهای متابولیک بی‌هوازی منجر به افزایش مصرف اکسیژن می‌شود که برای تولید ATP مورد نیاز است (۵۲). در نتیجه، استفاده از NO^{-}_{3} می‌تواند عملکرد ورزشی را بهبود بخشد، زیرا نقش مثبتی در عملکرد عروقی دارد و اکسیژن بیشتری به عضلات می‌دهد، حداکثر اکسیژن مصرفی افراد را افزایش می‌دهد و مصرف اکسیژن در طول ورزش را کاهش می‌دهد. این موارد هزینه ATP را کاهش می‌دهد، اکسیژن رسانی به عضلات را افزایش می‌دهد و شروع خستگی عضلانی را به تاخیر می اندازد. در نتیجه کاهش مصرف اکسیژن و کاهش هزینه ATP باعث تاخیر در تولید لاکتات می شود (۵۲, ۵۳). مطالعات تأثیر مکمل آب چغندر بر درک فشار (RPE) را بررسی کرده اند (۵۴). برای مثال فرناندز و همکاران (۲۰۱۸) با مطالعه ۱۲ دونده نخبه استقامتی گزارش دادند مصرف BRJ (۶.۵ میلی‌مول NO_{3}^{-}۷۰ میلی‌لیتر) به مدت ۱۵ روز، باعث کاهش درک فشار می‌شود (۲۸). مکانیسم‌های احتمالی که ممکن است تأثیر BRJ بر روی RPE را توضیح دهد شامل افزایش جریان خون در لوب قدامی مغز است که کنترل حرکتی و تصمیم‌گیری را تنظیم می‌کند و به درک ذهنی تلاش کمک می‌کند و احتمالاً عملکرد ورزشی را افزایش می‌دهد (۵۴, ۵۵). علاوه بر این، باید توجه داشت که حفظ RPE پس از مصرف مکمل BRJ می‌تواند نتیجه کاهش فرمان موتور مرکزی به دلیل عملکرد انقباضی حفظ شده در طول تمرین باشد. زیرا RPE یک فرآیند بازخورد مرکزی را نشان می‌دهد که در آن یک پیام از نواحی حرکتی به ناحیه حسی مغز فرستاده می شود تا آگاهی از اقدامات مربوط به بازده حرکتی امکان پذیر باشد (۵۶). در طول انقباضات شدید، افزایش تدریجی RPE ممکن است نشان‌دهنده افزایش فرمان حرکتی مرکزی باشد که برای کاستی‌های ناشی از تمرین در عملکرد انقباضی عضلات لازم است تا اطمینان حاصل شود که توان خروجی کافی برای حفظ کار وجود دارد (۵۷). افزایش جریان خون مغز می‌تواند در کاهش RPE عضلانی و بهبود عملکرد پس از مصرف مکمل BRJ نقش داشته باشد (۵۴). از طرف دیگر میرآفتابی و همکاران (۲۰۲۳) با مطالعه ۱۲ تکواندوکار تمرین کرده، گزارش دادند مصرف ۱۲۰ میلی‌لیتر آب چغندر (۸۰۰ میلی‌گرم NO_{3}^{-}) به صورت حاد، اثر معنی‌داری بر درک فشار ندارد (۳۸). تفاوت در دوز و مدت مکمل دهی (۱۵ روز در مقابل مصرف تک وهله‌ای) می‌تواند علت ناهمسویی با مطالعات فوق باشد.

BRJ منبع اصلی ترکیبات آنتی اکسیدانی از جمله اسید اسکوربیک، کاروتنوئیدها، اسید فنولیک، فلاونوئیدها است (58, 59). برخی از مطالعات گزارش کرده اند که NO^{-}_{2} و NO تثبیت رادیکال‌ها را مهار کرده و ROS و RNS را دفع می‌کنند که این نشان دهنده اثرات آنتی اکسیدانی NO^{-}_{3} است (۶۰, ۶۱). بتالاین‌ها و بتاسیانین‌ها[4] اجزای مکمل آب چغندر هستند که از آسیب DNA، پروتئین‌ها و چربی‌ها محافظت می‌کنند (۶۲). فعالیت بدنی باعث ایجاد استرس اکسایش می‌شود و مکمل دهی آب چغندر از شکل گیری رادیکال‌های آزاد جلوگیری می‌کند (۶۳). برای مثال سیناگا و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند مصرف ۲۵۰ میلی‌لیتر آب چغندر به مدت ۴ هفته باعث افزایش ظرفیت تام آنتی اکسیدانی و کاهش شاخص استرس اکسایش (MDA) در دانشجویان تربیت بدنی می‌شود (۲۶).

گارناچو و همکاران (۲۰۲۰) با مطالعه ۱۲ مرد کراسفیت کار نشان دادند مصرف ۱۴۰ میلی‌لیتر آب چغندر(۱۲.۸ میلی‌مول NO_{3}^{-}) به

[1] - peroxisome proliferator-activated receptor gamma coactivator-1 alpha
[2] - nuclear respiratory factor
[3] - mitochondrial transcription factor
[4] - Betalains and betacyanins

صورت حاد مقادیر کورتیزول را افزایش می‌دهد (۵۰). گزارش شده است که NO یک پیام رسان بین سلولی و درون سلولی برای تنظیم برخی از عملکردهای سلولی، از جمله تغییرات در ترشح هورمون است (۶۴, ۶۵). پیشنهاد شده است که NO یکی از اصلی ترین واسطه‌های استرس درگیر در پاسخ حاد محور هیپوتالاموس- هیپوفیز- آدرنال[1] (HPA) به ورزش است. تأثیر NO بر روی غده هیپوفیز و قشر آدرنال تأیید شده است (۶۶). گزارش شده است که ترشح کورتیزول می‌تواند مستقیماً توسط غلظت NO پس از تجویز تادالافیل تحریک شود (۶۷). فعال شدن محور HPA در حین ورزش با شدت بالا در انسان باعث افزایش کورتیزول می‌شود (۶۸) که به عنوان یک هورمون متابولیک و کاتابولیک (۶۹)، در دسترس بودن همه سوبستراهای انرژی اعم از گلوکز (۷۰, ۷۱)، اسیدهای آمینه و اسیدهای چرب آزاد را افزایش می دهد (۷۲). NO همچنین نقش کلیدی در هورمون‌های آنابولیک دارد. والنتی و همکاران[2] (۷۳) نشان دادند که NO باعث ایجاد یک اثر دو فازی بر ترشح تستوسترون می‌شود که در سطوح بالاتر NO مهار کننده و در غلظت‌های کمتر NO تحریک کننده بود. مانند NO، تستوسترون ممکن است اثر گشادکنندگی عروق را تحریک کند (۷۴, ۷۵). با این حال، به نظر می‌رسد که تستوسترون در غلظت‌های بالاتر از ۱۰ میکرومول در لیتر باعث اتساع عروق می‌شود. اما در غلظت‌های فیزیولوژیکی پایین‌تر به نظر می‌رسد که NO در اثر گشادکننده عروق این هورمون دخیل است (۷۶).

NO باعث اتساع عروق می‌شود و درنتیجه فشار خون را کاهش می‌دهد (۷۷). کاهش فشار خون با افزایش حجم ضربه‌ای اجازه می‌دهد که برون‌ده قلبی به حجم ضربه‌ای اتکا کند و اجازه می‌دهد که ضربان قلب در طول تمرین ثابت بماند یا کاهش یابد (۷۸). برای مثال بنجامیم و همکاران[3] (۲۰۲۲) در یک مطالعه مروری نشان دادند مصرف ۳ الی ۶۰ روز مکمل آب چغندر به مقدار ۷۰ الی ۲۵۰ میلی‌لیتر باعث کاهش فشار خون سیستولی در بیماران مبتلا به پرفشاری خون می‌شود (۷۹).

نتیجه‌گیری

به نظر می‌رسد مکمل دهی نیترات اثر مطلوبی بر عملکرد تمرینی در ورزشکاران دارد. دوز مؤثر عملکرد و مزایای سلامتی در تحقیقاتی علمی NO^{-}_{3} تقریباً ۱۴۰ میلی‌لیتر آب چغندر (۱۲.۸ میلی‌مول NO_3^-) است. به منظور بهره مندی بیشتر از فواید مکمل، پیشنهاد می‌شود حداقل ۶ روز در دوز تعیین شده استفاده شود. همچنین، به نظر می‌رسد BRJ عملکرد را بدون هیچ گونه عوارض جانبی بهبود می‌بخشد.

تشکر و قدردانی

از تمامی اساتید و دوستان عزیزی که ما را در انجام ایم مطالعه راهنمایی کردند، تشکر و قدردانی می‌کنیم.

تعارض منافع

بین نویسندگان تضاد منافع وجود ندارد.

منابع:

1. Brooks G, Fahey T, Baldwin KM. Exercise Physiology: Human Bioenergetics and Its Application2005.
2. Noakes TD. Physiological models to understand exercise fatigue and the adaptations that predict or enhance athletic performance. Scand J Med Sci Sports.2000- .45-123:(3)10.
3. Noordhof DA, Skiba PF, de Koning JJ. Determining anaerobic capacity in sporting activities. Int J Sports Physiol Perform. 2013;8(5):475-82.
4. Jones AM, Vanhatalo A. The 'Critical Power' Concept: Applications to Sports Performance with a Focus on Intermittent High-Intensity Exercise. Sports Med. 2017;47(Suppl 1):65-78.
5. Fijan A, Daryanoosh F, Kooroshfard N, Hosseininezhad F, Foroozan N, Mehrez A. The effect of creatine and sodium bicarbonate supplementation on anaerobic performance, fatigue index and futsal specific performance test in elite futsal players in pre-season training. Research in Exercise Nutrition. 2022;1(2):52-43.
6. Murphy M, Eliot K, Heuertz RM, Weiss E. Whole beetroot consumption acutely improves running performance. J Acad Nutr Diet. 2012;112(4):548-52.

[1] - hypothalamic-pituitary-adrenal
[2] - Valenti et al
[3] - Benjamim et al

7. Zamani H, de Joode M, Hossein IJ, Henckens NFT, Guggeis MA, Berends JE, et al. The benefits and risks of beetroot juice consumption: a systematic review. Crit Rev Food Sci Nutr. 2021;61(5):788-804.
8. Duncan C ,Dougall H, Johnston P, Green S, Brogan R, Leifert C, et al. Chemical generation of nitric oxide in the mouth from the enterosalivary circulation of dietary nitrate. Nat Med. 1995;1(6):546-51.
9. Lundberg JO, Govoni M. Inorganic nitrate is a possible source for systemic generation of nitric oxide. Free Radic Biol Med. 2004;37(3):395-400.
10. Pawlak-Chaouch M, Boissière J, Munyaneza D, Gamelin FX, Cuvelier G, Berthoin S, Aucouturier J. Beetroot Juice Does Not Enhance Supramaximal Intermittent Exercise Performance in Elite Endurance Athletes. J Am Coll Nutr. 2019;38(8):729-38.
11. Domínguez R, Cuenca E, Maté-Muñoz JL, García-Fernández P, Serra-Paya N, Estevan MC, et al. Effects of Beetroot Juice Supplementation on Cardiorespiratory Endurance in Athletes. A Systematic Review. Nutrients. 2017;9(1.(
12. McMahon NF, Leveritt MD, Pavey TG. The Effect of Dietary Nitrate Supplementation on Endurance Exercise Performance in Healthy Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. Sports Med. 2017;47(4):735-56.
13. Williams TD, Martin MP, Mintz JA, Rogers RR, Ballmann CG. Effect of Acute Beetroot Juice Supplementation on Bench Press Power, Velocity, and Repetition Volume. J Strength Cond Res. 2020;34(4):924-8.
14. Domínguez R, Maté-Muñoz JL, Cuenca E, García-Fernández P, Mata-Ordoñez F, Lozano-Estevan MC, et al. Effects of beetroot juice supplementation on intermittent high-intensity exercise efforts. J Int Soc Sports Nutr. 2018;15:2.
15. Bailey SJ, Fulford J, Vanhatalo A, Winyard PG, Blackwell JR, DiMenna FJ, et al .Dietary nitrate supplementation enhances muscle contractile efficiency during knee-extensor exercise in humans. J Appl Physiol (1985). 2010;109(1):135-48.
16. Jodra P, Domínguez R, Sánchez-Oliver AJ, Veiga-Herreros P, Bailey SJ. Effect of Beetroot Juice Supplementation on Mood, Perceived Exertion, and Performance During a 30-Second Wingate Test. Int J Sports Physiol Perform. 2020;15(2):243-8.
17. Casado A, Domínguez R, Silva S, Bailey S. Influence of Sex and Acute Beetroot Juice Supplementation on 2 KM Running Performance. Applied Sciences. 2021;11:1-10.
18. Haider G, Folland JP. Nitrate supplementation enhances the contractile properties of human skeletal muscle. Med Sci Sports Exerc. 2014;46(12):2234-43.
19. Forbes SPA, Spriet LL. Potential effect of beetroot juice supplementation on exercise economy in well-trained females. Appl Physiol Nutr Metab. 2021:1-4.
20. Thompson KG, Turner L, Prichard J, Dodd F, Kennedy DO, Haskell C, et al. Influence of dietary nitrate supplementation on physiological and cognitive responses to incremental cycle exercise. Respir Physiol Neurobiol. 2014;193:11-20.
21. Thompson C, Wylie LJ, Fulford J, Kelly J, Black MI, McDonagh ST, et al. Dietary nitrate improves sprint performance and cognitive function during prolonged intermittent exercise. Eur J Appl Physiol. 2015;115(9):1825-34.
22. Hernández A, Schiffer TA, Ivarsson N, Cheng AJ, Bruton JD, Lundberg JO, et al. Dietary nitrate increases tetanic [Ca2+]i and contractile force in mouse fast-twitch muscle. J Physiol. 2012;590.:(15)83-3575.
23. Fulford J, Winyard PG, Vanhatalo A, Bailey SJ, Blackwell JR, Jones AM. Influence of dietary nitrate supplementation on human skeletal muscle metabolism and force

production during maximum voluntary contractions. Pflugers Arch. 2013;465 :(4)517-28.
24. Gilchrist M, Winyard PG, Fulford J, Anning C, Shore AC, Benjamin N. Dietary nitrate supplementation improves reaction time in type 2 diabetes: development and application of a novel nitrate-depleted beetroot juice placebo. Nitric Oxide. 2014.;74-40:67.
25. El Gamal AA, AlSaid MS, Raish M, Al-Sohaibani M, Al-Massarani SM, Ahmad A, et al. Beetroot (Beta vulgaris L.) extract ameliorates gentamicin-induced nephrotoxicity associated oxidative stress, inflammation, and apoptosis in rodent model. Mediators Inflamm. 2014;2014:983952.
26. Sinaga F, Sinaga R. Impact of supplementation with beetroot juice (Beta vulgaris L) on levels of malondialdehyde and antioxidant status in athletes. Pharmaciana. 2020;10:305.
27. M SSNFb. THE EFFECT OF BEETROOOT SUPPLEMENT ON SPRINTING PERFORMANCE. Malaysian Journal of Sport Science and Recreation. 2020;16(2):96-105.
28. Conger SA, Zamzow CM, Darnell ME. Acute Beet Juice Supplementation Does Not Improve 30- or 60-second Maximal Intensity Performance in Anaerobically Trained Athletes. Int J Exerc Sci. 2021;14(2):60-75.
29. Balsalobre-Fernández C, Romero-Moraleda B, Cupeiro R, Peinado A, Butragueño J, Benito PJ. The effects of beetroot juice supplementation on exercise economy, rating of perceived exertion and running mechanics in elite distance runners: A double-blinded, randomized study. PLOS ONE. 2018;13:e0200517.
30. Hassanpour N, ghanbarpour a, Pourvaghar Mj, Khalafi M. The effect of different doses of acute consumption of beet juice supplement on anaerobic performance in trained individual. Metabolism and Exercise. 2022;12(1):89-107.
31. khosravaniyan n, mosallanezhad z, moghadasi m, bashafaat h. Effect of ischemic preconditioning and beetroot supplementation on anaerobic performance of man cyclists. Metabolism and Exercise. 2023;13(1):117-31.
32. Cuenca E, Jodra P, Pérez-López A, González-Rodríguez LG, Fernandes da Silva S, Veiga-Herreros P, Domínguez R. 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. 2018;10(9.(
33. Hemmatinafar M, Zaremoayedi L, Koushkie Jahromi M, Alvarez-Alvarado S, Wong A, Niknam A, et al. Effect of Beetroot Juice Supplementation on Muscle Soreness and Performance Recovery after Exercise-Induced Muscle Damage in Female Volleyball Players. Nutrients. 2023;15(17.(
34. Behrens CE, Jr., Ahmed K, Ricart K, Linder B, Fernández J, Bertrand B, et al. Acute beetroot juice supplementation improves exercise tolerance and cycling efficiency in adults with obesity. Physiol Rep. 2020;8(19):e14574.
35. Vaccaro MG, Innocenti B, Cione E, Gallelli L, De Sarro G, Bonilla DA, Cannataro R. Acute effects of a chewable beetroot-based supplement on cognitive performance: a double-blind randomized placebo-controlled crossover clinical trial. Eur J Nutr. 2024;63(1):303-21.
36. Wylie LJ, Bailey SJ, Kelly J, Blackwell JR, Vanhatalo A, Jones AM. Influence of beetroot juice supplementation on intermittent exercise performance. Eur J Appl Physiol. 2016;116(2):41.25-5.
37. S. Frick JM, A. Landry, M. Harris. The Effects of Beetroot Supplementation on Exercise Performance in Experienced CrossFit Athletes. Food/Nutrition Science; Education; Management; Food Services/Culinary; ResearcH. 2018;118:10.

effect of plyometric exercises and beetroot extract supplementation on anaerobic power, nitric oxide, lactate and blood pH following intensive anaerobic activity in football players. Research in Exercise Nutrition. 2023;2(1):65-53.
46. Hashemi fard Es, Ebrahimi M. The effect of acute consumption of red beet juice on aerobic and anaerobic power of amateur karate girls. Journal of Sport and Exercise Physiology. 2022;15(3):102-11.
47. Hemmatinafar M, Mosallanezhad Z, Abdollahei MH, Yazdani H, Samsami Pour A, Kooroshfard N, Hanani M. Beetroot Juice Supplementation Improves Fatigue, Aerobic, Anaerobic Performance and Nitrite concentration In College Soccer Players. Razi Journal of Medical Sciences. 2021;28(2):81-92.
48. de Oliveira GV, do Nascimento LAD, Volino-Souza M, do Couto Vellozo O, Alvares TS. 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. Biol Sport. 2020;37(1):93-9.
49. de Almeida N, Santos D, Costa K, Fernandes J, Queiroz A, Valenzuela Perez D, et al. Beetroot extract improves specific performance and oxygen uptake in taekwondo athletes: A double-blind crossover study. Ido Movement for Culture. 2021;21:12-9.
50. Garnacho-Castaño MV, Palau-Salvà G, Serra-Payá N, Ruiz-Hermosel M, Berbell M, Viñals X, et al. Understanding the effects of beetroot juice intake on CrossFit performance by assessing hormonal, metabolic and mechanical response: a randomized, double-blind, crossover design. J Int Soc Sports Nutr. 2020;17(1):56.
51. Wickham KA, McCarthy DG, Pereira JM, Cervone DT, Verdijk LB, van Loon LJC, et al. No effect of beetroot juice supplementation on exercise economy and performance in recreationally active females despite
38. Miraftabi H ,Akbar Nejad A, soori r, Berjisian E. The effect of acute ingestion of beetroot juice supplement on taekwondo-related performance during a simulated match. Sport Physiology & Management Investigations. 2023;15(2):67-77.
39. Afsharnezhad T, Fazeli Sani A .Effects of a Single Dose of Beetroot Juice on Functional and Cardiovascular Changes Following Acute Resistance Training in Men with Hypertension. Avicenna Journal of Clinical Medicine. 2021;28(3):176-85.
40. Jurado-Castro JM, Campos-Perez J, Ranchal-Sanchez A, Durán-López N, Domínguez R. Acute Effects of Beetroot Juice Supplements on Lower-Body Strength in Female Athletes: Double-Blind Crossover Randomized Trial. Sports Health. 2022;14(6):812-21.
41. Kent GL, Dawson B, McNaughton LR, Cox GR, Burke LM, Peeling P. The effect of beetroot juice supplementation on repeat-sprint performance in hypoxia. J Sports Sci. 2019;37(3):339-46.
42. de Castro TF, Manoel FA, Figueiredo DH, Figueiredo DH, Machado FA. Effect of beetroot juice supplementation on 10-km performance in recreational runners. Appl Physiol Nutr Metab. 2019;44(1):90-4.
43. Khosravi S, Ahmadizad S, Yekaninejad MS, Karami MR, Djafarian K. The effect of beetroot juice supplementation on muscle performance during isokinetic knee extensions in male Taekwondo athletes. Science & Sports. 2021;36(6):483.e1-.e7.
44. Jodra P, Domínguez R, Sanchez-Oliver A, Herreros P, Bailey S. Effect of Beetroot Juice Supplementation on Mood, Perceived Exertion and Performance During a 30 s Wingate Test. International journal of sports physiology and performance. 2019;15:1-20.
45. Azali Alamdari K, Babaei Khooinaroud M, Fakhrpour R. The

61. Gould N, Doulias PT, Tenopoulou M, Raju K, Ischiropoulos H. Regulation of protein function and signaling by reversible cysteine S-nitrosylation. J Biol Chem. 2013;288(37):26473-9.
62. Coggan AR, Broadstreet SR, Mikhalkova D, Bole I, Leibowitz JL, Kadkhodayan A, et al. Dietary nitrate-induced increases in human muscle power: high versus low responders. Physiol Rep. 2018;6(2.(
63. Allen DG, Lamb GD, Westerblad H. Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. Physiol Rev. 2008;88(1):287-332.
64. Ferguson SK, Hirai DM, Copp SW, Holdsworth CT, Allen JD, Jones AM, et al. Impact of dietary nitrate supplementation via beetroot juice on exercising muscle vascular control in rats. J Physiol..57-547:(2)591:2013.
65. Vanhatalo A, Fulford J, Bailey SJ, Blackwell JR, Winyard PG, Jones AM. Dietary nitrate reduces muscle metabolic perturbation and improves exercise tolerance in hypoxia. J Physiol. 2011;589(Pt 22):5517-28.
66. Bogdanis GC, Nevill ME, Boobis LH, Lakomy HK. Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. J Appl Physiol (1985). 1996;80(3):876-84.
67. Kamga Pride C, Mo L, Quesnelle K, Dagda RK, Murillo D, Geary L, et al. Nitrite activates protein kinase A in normoxia to mediate mitochondrial fusion and tolerance to ischaemia/reperfusion. Cardiovasc Res. 2014;101(1):57-68.
68. Fu WJ, Haynes TE, Kohli R, Hu J, Shi W, Spencer TE, et al. Dietary L-arginine supplementation reduces fat mass in Zucker diabetic fatty rats. J Nutr. 2005;135(4):714-21.
69. Lira VA, Brown DL, Lira AK, Kavazis AN, Soltow QA, Zeanah EH, Criswell DS. Nitric oxide and AMPK cooperatively regulate PGC-1 in skeletal muscle cells. J Physiol. 2010;588(Pt 18):3551-66.
70. Boström P, Wu J, Jedrychowski MP, Korde A, Ye L, Lo JC, et al. A PGC1-α-dependent myokine that drives increased torque production. Physiol Rep. 2019;7(2):e13982.
52. Jiaqi Z, Zihan D, Heung-Sang Wong S, Chen Z, Tsz-Chun Poon E. Acute effects of various doses of nitrate-rich beetroot juice on high-intensity interval exercise responses in women: a randomized, double-blinded, placebo-controlled, crossover trial. J Int Soc Sports Nutr. 2024;21(1):2334680.
53. tatlıcı A. The effects of acute beetroot juice supplementation on lower and upper body isokinetic strength of the wrestlers. Journal of Men s Health. 2021;17:249-54.
54. Kordi MR, Salimi Nahrsolduz M, hooshmand moghadam b. The effects of beetroot consumption on blood pressure, heart rate ,perceived exertion and the speed of running in young female athletes. Scientific Journal of Kurdistan University of Medical Sciences. 2020;25(4):79-92.
55. Nyakayiru J, Kouw IWK, Cermak NM, Senden JM, van Loon LJC, Verdijk LB. Sodium nitrate ingestion increases skeletal muscle nitrate content in humans. J Appl Physiol (1985). 2017;123(3):637-44.
56. Stamler JS, Meissner G. Physiology of nitric oxide in skeletal muscle. Physiol Rev. 2001;81(1):209-37.
57. .۵۷ Stamler JS. Redox signaling: nitrosylation and related target interactions of nitric oxide. Cell. 1994;78(6):931-6.
58. Evangelista AM, Rao VS, Filo AR, Marozkina NV, Doctor A, Jones DR, et al. Direct regulation of striated muscle myosins by nitric oxide and endogenous nitrosothiols. PLoS One. 2010;5(6:(e11209.
59. Eu JP, Sun J, Xu L, Stamler JS, Meissner G. The skeletal muscle calcium release channel: coupled O2 sensor and NO signaling functions. Cell. 2000;102(4):499-509.
60. Stoyanovsky D, Murphy T, Anno PR, Kim YM, Salama G. Nitric oxide activates skeletal and cardiac ryanodine receptors. Cell Calcium. 1997;21(1):19-29.

Exercise Tolerance by Reducing Muscle Fatigue and Perceptual Responses. Front Physiol. 2019;10:404.
80. de Morree HM, Klein C, Marcora SM. Perception of effort reflects central motor command during movement execution. Psychophysiology. 2012;49(9):1:53-242
81. Georgiev VG, Weber J, Kneschke EM, Denev PN, Bley T, Pavlov AI. Antioxidant activity and phenolic content of betalain extracts from intact plants and hairy root cultures of the red beetroot Beta vulgaris cv. Detroit dark red. Plant Foods Hum Nutr. 2010;65(2):105-11.
82. Wootton-Beard P, Ryan L. A beetroot juice shot is a significant and convenient source of bioaccessible antioxidants. Journal of Functional Foods. 2011;3:329-34.
83. Lundberg JO, Carlström M, Larsen FJ, Weitzberg E. Roles of dietary inorganic nitrate in cardiovascular health and disease. Cardiovasc Res. 2011;89(3):525-32.
84. Wink DA, Hines HB, Cheng RY, Switzer CH, Flores-Santana W, Vitek MP, et al. Nitric oxide and redox mechanisms in the immune response. J Leukoc Biol. 2011; 891-873:(6)9.
85. Kujawska M, Ignatowicz E, Murias M, Ewertowska M, Mikołajczyk-Bator K, Jodynis-Liebert J. Protective Effect of Red Beetroot against Carbon Tetrachloride- and N - Nitrosodiethylamine-Induced Oxidative Stress in Rats. Journal of agricultural and food chemistry. 2009;57:2570-5.
86. Wootton-Beard P, Moran A, Ryan L. Stability of the total antioxidant capacity and total polyphenol content of 23 commercially available vegetable juices before and after in vitro digestion measured by FRAP, DPPH, ABTS and Folin–Ciocalteu methods. Food Research International. 2011;44:217-24.
87. Rettori V, Belova N, Dees WL, Nyberg CL, Gimeno M, McCann SM. Role of nitric oxide in the control of brown-fat-like development of white fat and thermogenesis. Nature. 2012;481(7382):463-8.
71. Wu Z, Puigserver P, Andersson U, Zhang C, Adelmant G ,Mootha V, et al. Mechanisms controlling mitochondrial biogenesis and respiration through the thermogenic coactivator PGC-1. Cell. 1999;98(1):115-24.
72. McMahon S, Jenkins D. Factors affecting the rate of phosphocreatine resynthesis following intense exercise. Sports Med. 2002;32(12):761-84.
73. Siervo M, Lara J, Ogbonmwan I, Mathers JC. Inorganic nitrate and beetroot juice supplementation reduces blood pressure in adults: a systematic review and meta-analysis. J Nutr. 2013;143(6):818-26.
74. Ranchal-Sanchez A, Diaz-Bernier VM, De La Florida-Villagran CA, Llorente-Cantarero FJ, Campos-Perez J, Jurado-Castro JM. Acute Effects of Beetroot Juice Supplements on Resistance Training: A Randomized Double-Blind Crossover. Nutrients. 2020;12(7.(
75. Hoon MW, Jones AM, Johnson NA, Blackwell JR, Broad EM, Lundy B, et al. The effect of variable doses of inorganic nitrate-rich beetroot juice on simulated 2,000-m rowing performance in trained athletes. Int J Sports Physiol Perform. 2014;9(4):615-20.
76. Martí JG MA, Bosch MP, Cid AV, Ferrari MR. El efecto del zumo de remolacha sobre la presión arterial y el ejercicio físico:. revisión sistemática Rev Esp Nutr Com. 2015;21:20-9.
77. Jones AM. Dietary nitrate supplementation and exercise performance. Sports Med. 2014;44 Suppl 1(Suppl 1):S35-45.
78. Poulet JFA HB. . New insights into corollary discharges mediated by identified neural pathways. Trends Neurosci. 2007;30:14-21.
79. Husmann F, Bruhn S, Mittlmeier T, Zschorlich V, Behrens M. Dietary Nitrate Supplementation Improves

95. Djurhuus CB, Gravholt CH, Nielsen S, Mengel A, Christiansen JS, Schmitz OE, Møller N. Effects of cortisol on lipolysis and regional interstitial glycerol levels in humans. Am J Physiol Endocrinol Metab. 2002;283(1):E172-7.
96. Valenti S, Cuttica CM, Fazzuoli L, Giordano G, Giusti M. Biphasic effect of nitric oxide on testosterone and cyclic GMP production by purified rat Leydig cells cultured in vitro. Int J Androl..41-336:(5)22:1999.
97. Yildiz O, Seyrek M, Gul H, Un I, Yildirim V, Ozal E, et al. Testosterone relaxes human internal mammary artery in vitro. J Cardiovasc Pharmacol. 2005;45(6):580-5.
98. Han DH, Chae MR, Jung JH, So I, Park JK, Lee SW. Effect of testosterone on potassium channel opening in human corporal smooth muscle cells. J Sex Med. 2008;5(4):822-32.
99. Lorigo M, Mariana M, Lemos MC, Cairrao E. Vascular mechanisms of testosterone: The non-genomic point of view. J Steroid Biochem Mol Biol. 2020;196 :105496.
100. Satyanand V, Shaik MV, PhaniKrishna B, Dhanalakshmi.Narayanasamy, Lilly N, Shaik.Mujeer, Shaik.Salma. A study of beet root derived dietary nitrate efficacy on performance of runners. Indian Journal of Basic and Applied Medical Research. 2014.;5-3:690
101. Jajja A, Sutyarjoko A, Lara J, Rennie K, Brandt K, Qadir O, Siervo M. Beetroot supplementation lowers daily systolic blood pressure in older, overweight subjects. Nutr Res. 2014;34(10):868-75.
102. Benjamim CJR, Porto AA, Valenti VE, Sobrinho A, Garner DM, Gualano B, Bueno Júnior CR. Nitrate Derived From Beetroot Juice Lowers Blood Pressure in Patients With Arterial Hypertension: A Systematic Review and Meta-Analysis. Front Nutr. 2022;9:823039.
103. Yuste JE, Tarragon E, Campuzano CM, Ros-Bernal F. luteinizing hormone-releasing hormone release in vivo and in vitro. Proc Natl Acad Sci U S A. 1993;90(21):10130-4.
88. Lowenstein CJ, Dinerman JL, Snyder SH. Nitric oxide: a physiologic messenger. Ann Intern Med. 1994;120(3):227-37.
89. Tsuchiya T, Kishimoto J, Koyama J, Ozawa T. Modulatory effect of L-NAME, a specific nitric oxide synthase (NOS) inhibitor, on stress-induced changes in plasma adrenocorticotropic hormone (ACTH) and corticosterone levels in rats: physiological significance of stress-induced NOS activation in hypothalamic-pituitary-adrenal axis. Brain Res. 1997.- :74-68:(1-2)776:74
90. Di Luigi L, Baldari C, Sgrò P, Emerenziani GP, Gallotta MC, Bianchini S, et al. The type 5 phosphodiesterase inhibitor tadalafil influences salivary cortisol, testosterone, and dehydroepiandrosterone sulphate responses to maximal exercise in healthy men. J Clin Endocrinol Metab. 2008;93(9):3510-4.
91. VanBruggen MD, Hackney AC, McMurray RG, Ondrak KS. The relationship between serum and salivary cortisol levels in response to different intensities of exercise. Int J Sports Physiol Perform. 2011;6(3):396-407.
92. Arlt W, Stewart PM. Adrenal corticosteroid biosynthesis, metabolism, and action. Endocrinol Metab Clin North Am. 2005;34(2):293-313, viii.
93. Rizza RA, Mandarino LJ, Gerich JE. Cortisol-induced insulin resistance in man: impaired suppression of glucose production and stimulation of glucose utilization due to a postreceptor detect of insulin action. J Clin Endocrinol Metab. 1982;54(1):131-8.
94. Dinneen S, Alzaid A, Miles J, Rizza R. Metabolic effects of the nocturnal rise in cortisol on carbohydrate metabolism in normal humans. J Clin Invest. 1993;92(5):2283-90.

Implications of glial nitric oxide in neurodegenerative diseases. Front Cell Neurosci. 2015;9:322.