



Review Article

The Effect of Acute Consumption of Beetroot Juice Supplement on Anaerobic Performance Indices in Trained Subjects: A Systematic Review and Meta-Analysis

Nafiseh Hassanpour¹, Fatemeh Kazeminasab^{*2}

1. PhD student in Exercise Physiology, Faculty of Sport and Health Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Physical Education and Sport Science, Faculty of Humanities, University of Kashan, Kashan, Iran.

Received: 31/07/2024, **Revised:** 04/01/2025, **Accepted:** 21/01/2025

* Corresponding Author: Fatemeh kazeminasab, E-mail: fkazeminasab@kashanu.ac.ir

How to Cite: Hassanpour, N; Kazeminasab, F. (2024). The Effect of Acute Consumption of Beetroot Juice Supplement on Anaerobic Performance Indices in Trained Subjects: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sport physiology*, 16(62), 79-104. (In Persian).

Extended Abstract

Background and Purpose

Beetroot juice (BRJ) is rich in dietary nitrates (NO_3^-) and has gained popularity for its potential ergogenic properties. Nitrates are converted to nitric oxide (NO) in the body, which enhances blood flow, oxygen delivery, and mitochondrial efficiency, potentially improving exercise performance. While BRJ has been extensively studied for its effects on aerobic performance, its impact on anaerobic performance—characterized by short-duration, high-intensity activities—remains less understood.

Anaerobic performance metrics, such as peak power, minimum power, mean anaerobic power, and fatigue index, are critical for athletes in sports requiring explosive strength and speed. Despite the growing interest in BRJ as a performance-enhancing supplement, there has been no systematic evaluation of its acute effects on anaerobic performance in trained individuals.

This study aims to systematically review and meta-analyze the existing literature to determine whether acute BRJ supplementation influences anaerobic performance indicators in trained subjects.

Materials and Methods

This systematic review and meta-analysis were conducted in accordance with the PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) guidelines. A comprehensive literature search was performed across several electronic databases, including PubMed, Web of Science,



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY-NC-ND: No Derivatives) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Google Scholar, SID, and Magiran, encompassing studies published in English and Persian up to September 2024.

To ensure the inclusion of high-quality and relevant data, studies were selected based on the following criteria: they had to involve trained participants, employ a crossover experimental design, and report anaerobic performance indicators such as peak power, minimum power output, mean anaerobic power, or fatigue index.

Data extracted from each eligible study included participant characteristics (age, sex, and body mass index), details of beetroot juice (BRJ) supplementation (type, dosage, and protocol), as well as outcomes related to anaerobic performance.

Effect sizes were calculated using a random-effects model, with standardized mean differences (SMDs) and corresponding 95% confidence intervals (CIs) reported. Heterogeneity among studies was assessed using the I^2 statistic, and potential publication bias was examined by means of funnel plot analysis and Egger's regression test.

Results

A total of 11 studies involving 140 participants (42 women and 98 men) met the inclusion criteria. The average age of participants ranged from 20.3 to 30.86 years, and BMI ranged from 20.41 to 24.21. Among them, Hassanpour et al. investigated both 70 mL and 140 mL doses of beetroot juice; Hashemifard et al. examined a 100 mL dose; and Conger et al. assessed a single dose of beetroot juice powder. Seven studies evaluated a 70 mL dose of beetroot juice. Tatlıcı and Cakmakci administered beetroot supplementation at a dose of 2 grams per kilogram of body weight, and Baumann examined beetroot juice in volumes ranging from 235 to 355 mL.

Five studies administered the supplement dose three hours prior to the experimental protocol, while three studies administered it two hours before the protocol. Additionally, Hashemi Fard et al. administered the dose 1.5 hours before the experimental protocol; Tatlıcı et al., 2.5 hours before; and Baumann et al., between 2.5 to 3 hours prior to the experimental procedure. Key results are as below:

1. Peak Power: [SMD = -0.109 (-0.33 to 0.11), $P = 0.33$], $I^2=32.703$, $P=0.12$
2. Minimum Power: [SMD = -0.120 (-0.32 to -0.08)], $P = 0.25$, $I^2=0.00$, $P=0.53$
3. Mean Anaerobic Power: [SMD = -0.134 (-0.30 to -0.03), $P=0.13$], $I^2=3.922$, $P=0.40$
4. Fatigue Index: [SMD = -0.105 (-0.46 to -0.25), $P=0.56$], $I^2=53.807$, $P=0.04$

Subgroup Analyses demonstrated that variations in BRJ consumption timing and dosage did not influence outcomes. Also, consistent results were observed across studies using standardized tests like the Wingate Anaerobic Test (WAnT) and Running-Based Anaerobic Sprint Test (RAST).

Heterogeneity was moderate to high ($I^2 = 45-65\%$); and, funnel plots and Egger's test indicated no significant publication bias.

Conclusions

The findings suggest that acute BRJ supplementation does not significantly enhance anaerobic performance in trained individuals. While BRJ is rich in nitrates, which are known to improve blood flow and oxygen delivery, these effects may not translate to short-duration, high-intensity activities that rely primarily on anaerobic energy systems.

Duration of Activity: Anaerobic performance relies on immediate energy sources (e.g., ATP-PCr and glycolytic systems), which may not benefit significantly from increased NO availability.

Timing of Supplementation: Acute BRJ consumption may not provide sufficient time for nitrate conversion to NO and subsequent physiological effects.

Training Status: Trained individuals may already have optimized physiological adaptations, limiting the ergogenic potential of BRJ.

Unlike aerobic performance, which benefits from enhanced oxygen utilization and mitochondrial efficiency, anaerobic performance is less dependent on these mechanisms. This may explain the lack of significant effects observed in this study. The study had some limitations that may affect the results, included: Variability in study designs, BRJ dosages, and participant characteristics may have influenced results; The limited number of studies and participants may reduce the generalizability of findings; The review focused on acute effects, leaving the potential benefits of chronic BRJ supplementation unexplored.

Keywords: Beetroot Juice, Dietary Nitrates, Anaerobic Performance, Peak Power, Fatigue Index, Trained Individuals

Article Message

The findings of the present study indicate that acute beetroot supplementation cannot be considered a definitive strategy for enhancing anaerobic performance in trained individuals. Therefore, it is suggested that although trained individuals who are eager to benefit from the remarkable effects and therapeutic properties of beetroot—and athletes and coaches who, in line with the International Olympic Committee's position, seek to observe improvements in anaerobic performance and its related indices—may be interested in its use, the current evidence does not support the efficacy of acute supplementation in this population. It is likely that short-term or chronic supplementation protocols, administered over longer durations or at higher doses, may be required to achieve meaningful effects.

Funding

The present meta-analysis did not receive funding from any organization.

Authors' Contributions

All authors contributed to the design, execution, and writing of all sections of this study.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement

We would like to thank the authors who provided the data of their studies.



فیزیولوژی ورزشی

وبگاه نشریه: <https://spj.ssric.ac.ir>



نوع مقاله: مروری

تأثیر مصرف حاد مکمل آب چغندر بر شاخص‌های عملکرد بی‌هوازی در افراد تمرین کرده: یک مرور نظام‌مند و فراتحلیل

نقیسه حسن‌پور^۱، فاطمه کاظمی نسب^۲ 

۱. دانشجوی دکتری فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۲. استادیار فیزیولوژی ورزشی، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۰، تاریخ اصلاح: ۱۴۰۳/۱۰/۱۵، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۰۲

*نویسنده مسئول: فاطمه کاظمی نسب، ایمیل: fkazeminasab@kashanu.ac.ir

نحوه ارجاع‌دهی: حسن پور، نقیسه و کاظمی نسب، فاطمه. (۱۴۰۳). تأثیر مصرف حاد مکمل آب چغندر بر شاخص‌های عملکرد بی‌هوازی در افراد تمرین کرده: یک مرور نظام‌مند و فراتحلیل. فیزیولوژی ورزشی، ۱۶(۶۲): ۷۹-۱۰۴.

چکیده

آب چغندر (BRJ) سرشار از نیترات‌های معدنی (NO_3^-) است که دارای خواص ارگوژنیک است؛ با این حال، در حال حاضر هیچ تحلیل سیستماتیکی برای ارزیابی اثرات مکمل نیترات حاد، به‌طور انحصاری بر عملکرد بی‌هوازی در افراد تمرین کرده و ورزشکار وجود ندارد؛ از این رو هدف مطالعه حاضر، بررسی نظام‌مند متون فعلی و ارزیابی تأثیر مصرف حاد مکمل آب چغندر بر شاخص‌های عملکرد بی‌هوازی در افراد تمرین کرده به صورت فراتحلیل بود. جستجوی سیستماتیک متون برای مقالات انگلیسی و فارسی تا شهریور ماه ۱۴۰۳ انجام شد. تفاوت میانگین و فاصله اطمینان ۹۵٪ (CI) با استفاده از مدل اثر تصادفی محاسبه شد. تعداد ۱۱ مطالعه با ۱۴۰ بزرگسال جوان سالم ورزشکار یا تمرین کرده (۴۲ زن و ۹۸ مرد)، با میانگین سنی ۲۰/۳ الی ۳۰/۸۶ و میانگین BMI ۲۰/۴۱ الی ۲۴/۲۱ وارد فراتحلیل حاضر شد. نتایج نشان داد، مصرف حاد مکمل آب چغندر قرمز بر شاخص‌های عملکرد بی‌هوازی اعم از توان بیشینه [$P=0/33$ ، $-0/109$ ، $SMD=$ $-0/120$ ، $P=0/25$]، میانگین توان بی‌هوازی [$SMD=-0/134$ ، $P=0/13$] و شاخص خستگی [$P=0/56$ ، $SMD=-0/105$] در افراد تمرین کرده و ورزشکار تأثیر معناداری ندارد. به‌طور کلی، نتایج فراتحلیل حاضر نشان داد که مکمل حاد آب چغندر هیچ بهبودی در خور توجیهی در شاخص‌های عملکرد بی‌هوازی ارائه نمی‌کند. تحقیقات آینده می‌توانند پتانسیل انرژی‌زایی را با بهینه‌سازی استراتژی مکمل چغندر از نظر دوز مصرفی، مصرف حاد آب چغندر به شکل‌های مزمن و کوتاه‌مدت بررسی کنند.

واژگان کلیدی: آب چغندر قرمز، نیترات، مصرف حاد، عملکرد بی‌هوازی، افراد تمرین کرده.



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY-NC-ND: No Derivatives) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

مقدمه

در سال‌های اخیر، بهره‌گیری از کمک‌های ارگوژنیک تغذیه‌ای به عنوان یکی از راهکارهای اساسی برای ارتقا عملکرد ورزشی و بهینه سازی نتایج تمرینی، به یک نیاز غیرقابل انکار برای ورزشکاران و مربیان تبدیل شده است (۱، ۲). کاربرد گسترده این ترکیبات در برنامه‌های تمرینی، انگیزه‌ای برای شناسایی و استفاده از مکمل‌های موثر در بهبود عملکرد ورزشی ایجاد کرده است (۳، ۲). همچنین، طی دهه‌های گذشته توجه عمومی به نقش میوه‌ها و سبزیجات در ارتقا سلامت افزایش یافته، به گونه‌ای که این منابع طبیعی به عنوان جایگزین‌هایی غنی از ترکیبات زیست‌فعال نسبت به مکمل‌های مصنوعی مورد توجه قرار گرفته‌اند (۴-۶، ۲).

چغندر یکی از منابع طبیعی تغذیه‌ای است که به دلیل محتوای قندهای گیاهی و نیتрат بالا، می‌تواند انرژی ورزشکاران را افزایش دهد (۷، ۲). این گیاه به عنوان یک مکمل غذایی برتر شناخته می‌شود که سرشار از مواد معدنی، ویتامین‌ها، ترکیبات گیاهی خاص و خواص دارویی متعدد است و به طور گسترده‌ای برای درمان انواع بیماری‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (۸، ۷، ۲). درواقع یکی از دلایل اصلی برجسته بودن و مشهور بودن چغندر، آب میوه چغندر (BRJ) است (۷). این نوشیدنی، یک کمک‌ارگوژنیک طبیعی و موثر به شمار می‌آید که نشان داده شده می‌تواند برای طیف وسیعی از افراد مفید باشد (۱). اساساً آب چغندر منبع غنی از نیترات معدنی رژیمی است که به عنوان مکمل تغذیه ورزشی به دلیل اثربخشی آن در افزایش چندین جنبه عملکرد ورزشی محبوبیت پیدا می‌کند (۲). با تجویز خوراکی، نیترات (NO_3^-) موجود در آب چغندر می‌تواند توسط گزانتین اکسیداز و باکتری‌های بی‌هوازی در حفره دهان به نیتريت (NO_2^-) کاهش یابد. هنگامی که NO_2^- بلعیده می‌شود، فوراً توسط اسید معده به نیتريك اکساید (NO) تجزیه می‌شود (۹). NO حاصل ترکیب قوی گشادکننده عروق است که منجر به افزایش جریان خون به عضلات اسکلتی، فراهم‌آوری اکسیژن موردنیاز عضلات و افزایش قدرت انقباضی تارهای عضلانی نوع ۲ می‌شود (۲). در سال‌های اخیر، تحقیقات درمورد مکمل‌های نیترات غذایی برون‌زا در طول فعالیت ورزشی افزایش چشمگیری داشته است (۱۰). اکثر تحقیقات درمورد اثرات NO_3^- در طول فعالیت ورزشی بر تمرینات استقامتی با تحقیقات محدود درمورد عملکرد ورزشی کوتاه‌مدت و با حداکثر شدت متمرکز شده است (۱۲، ۱۱). علاوه بر این مطالب، اندک تحقیقات انجام‌شده بر عملکرد بی‌هوازی ورزشکاران نیز یافته‌های متناقضی را نشان می‌دهند؛ بدین ترتیب که حسن‌پور و همکاران، در تحقیق خود تأثیر دوزهای ۷۰ و ۱۴۰ میلی‌لیتر آب چغندر به طور حاد را بر عملکرد بی‌هوازی در افراد تمرین‌کرده بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که دوزهای مطلوب حداقلی بر عملکرد بی‌هوازی و شاخص‌های آن در افراد تمرین‌کرده مؤثر نیست (۲). از دیگر سو، هاشمی‌فرد و همکاران، اثر مصرف ۱۰۰ میلی‌لیتر آب چغندر قرمز به طور حاد بر توان هوازی و بی‌هوازی دختران کاراته‌کای غیرحرفه‌ای را بررسی کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که مصرف آب چغندر قرمز در مقایسه با دارونما، توان بیشینه، حداقل توان، میانگین توان، شاخص خستگی و شاخص افت سرعت در آزمون RAST را به طور معناداری بهبود می‌بخشد (۱۳). براساس مطالب مذکور می‌توان بیان کرد که این نبود صراحت و دوپهلویی در نتایج تحقیقات متعدد، تأکیدی بر برجسته بودن شکاف دانشی است. افزون بر این مطلب، بررسی ادبیات تحقیق نشانگر به انجام رسیدن فراتحلیل‌های گسترده‌ای در این حوزه موضوعی است؛ به عنوان نمونه، وانگ^۱ و همکاران در فراتحلیل خود تأثیر مصرف چغندر بر تمرینات تناوبی با شدت بالا را بررسی کردند. آن‌ها اذعان کردند که مکمل آب چغندر هیچ بهبودی در خورتوجهی در

1. Wong

حداکثر یا میانگین توان خروجی در طول تمرین متناوب با شدت بالا^۱ (HIIT) یا تمرین اینتروال اسپرینت^۲ (SIT) ارائه نمی‌کند (۱۴). در فراتحلیلی دیگر، افریشم^۳ و همکاران اثرات مکمل چغندر یا نیترات را بر شاخص‌های ترکیب بدن بررسی کردند. آن‌ها به این یافته رسیدند که مکمل‌های BRJ یا نیترات نمی‌توانند به طور مؤثر شاخص‌های ترکیب بدن را بدون توجه به دوز مکمل، مدت زمان آزمایش و وضعیت ورزشی بهبود بخشند (۱۵). درمقابل فراتحلیل لارا و همکاران با عنوان «اثرات مکمل نیترات معدنی و چغندر بر عملکرد اندوتلیال» منتج به بهبود عملکرد اندوتلیال^۴ (EF) با اندازه اثر اندک شد (۱۶). در حالت کلی می‌توان گفت که در دنیای رقابت‌های ورزشی، حاشیه‌های پیروزی در حال کوچک‌تر شدن است و در برخی موارد ممکن است به معنای واقعی کلمه به کسری از ثانیه یا توانایی انقباض یک واحد حرکتی یک بار دیگر کاهش یابد؛ بنابراین ورزشکاران دائماً به دنبال هر مزیتی برای بهبود عملکرد ورزشی هستند. برخی از ورزشکاران ممکن است برای تأمین این مزیت به مکمل‌های غذایی از منابع طبیعی و ارگانیک روی آورند (۱۷، ۱۸، ۱۹). آب چغندر یکی از پنج مکمل معرفی شده توسط کمیته بین‌المللی المپیک شامل کافئین، بتا آلانین، بی‌کربنات سدیم، آب چغندر و کراتین است که دارای پایه شواهد قوی برای افزایش عملکرد ورزشی با شدت بالا هستند (۱۸) و در این میان، NO_3^- که اغلب به‌عنوان آب چغندر غلیظ تجویز می‌شود، تنها مکمل از یک منبع غذایی طبیعی و ارگانیک بوده که بررسی شده است (۱۹)؛ با وجود این، تأثیر یا نبود تأثیر آن مکمل بر عملکرد بی‌هوازی، کماکان در حاله‌ای از ابهام باقی مانده است و همچنان مبتنی بر فرضیات، اتکای علمی وجود دارد. با این تفاسیل، تحقیق حاضر بر نبود توافق نظر، نبود توافق کافی میان تحقیقات و اطلاعات اندک در حوزه موضوعی آب چغندر به‌عنوان یکی از شاخه‌های حوزه فیزیولوژی ورزشی متمرکز شده است و با هدف تأثیر مصرف حاد مکمل آب چغندر بر شاخص‌های عملکرد بی‌هوازی در افراد تمرین‌کرده، به صورت یک مرور نظام‌مند و فراتحلیل برای دستیابی به نتیجه‌گیری قطعی‌تر انجام شده است.

روش پژوهش

پژوهش حاضر به صورت مرور نظام‌مند و فراتحلیل بر اساس دستورالعمل کاکرین^۵ و پریزما^۶ انجام شد (۲۰، ۲۱).

روش بررسی مطالعات

برای استخراج مقالات پژوهشی، جستجو در پایگاه‌های اطلاعاتی Google Scholar، Web of science و PubMed برای مقالات انگلیسی تا تاریخ ۲۱ سپتامبر ۲۰۲۴ به انجام رسید. همچنین، جستجو در پایگاه‌های اطلاعاتی گوگل اسکالر، SID و مگیران برای مقالات فارسی تا تاریخ ۳۱ شهریور ماه ۱۴۰۳ صورت گرفت.

-
1. High-intensity interval training
 2. Sprint interval training
 3. Afrisham
 4. Endothelial function
 5. Cochrane
 6. PRISMA

جدول ۱- دستور جستجو

Table 1- Search command

Databases	Search strategy	Limits	Results
PubMed	("Nitrate" or "beet juice" or "nitric oxide" or "beetroot" or "beetroot juice" or "nitrite") AND ("anaerobic performance" or "peak anaerobic power" or "mean anaerobic power" or "anaerobic physical activity" or "anaerobic exercise" or "aerobic fitness" or "anaerobic fitness" or "aerobic performance" or "aerobic physical activity" or "aerobic exercise" or "sports performance" or "anaerobic capacity" or "fatigue index" or "physical performance" or "vo2max" or "exercise training" or " exercise adaptation" or "physical capacity")	Humans, English, Persian	611 1181
Web of science	(ALL= ("Nitrate" or "beet juice" or "nitric oxide" or "beetroot" or "beetroot juice" or "nitrite")) AND ALL= ("anaerobic performance" or "peak anaerobic power" or "mean anaerobic power" or "anaerobic physical activity" or "anaerobic exercise" or "anaerobic fitness" or "sports performance" or "anaerobic capacity" or "fatigue index" or "physical performance" or "exercise training" or " exercise adaptation" or "physical capacity")	Article, English	1623 2128

جدول ۲- معیارهای ورود و خروج مطالعات

Table 2- Inclusion and exclusion criteria of studies

معیارهای ورود به تحقیق
(۱) مطالعات انجام‌شده بر افراد تمرین کرده و ورزشکار
(۲) مطالعات متقاطع
(۳) مطالعاتی که توان بی‌هوازی اوج، توان بی‌هوازی میانگین، توان بی‌هوازی کمینه و شاخص خستگی را گزارش کردند.
(۴) مطالعاتی که واجد شرایط استخراج داده بودند.
(۵) مطالعاتی که از آزمون Rast یا Wingate برای سنجش توان بی‌هوازی استفاده کردند.
(۶) مطالعاتی که اثر مکمل آب چغندر را به صورت تک‌جلسه‌ای و حاد بررسی کردند.
معیارهای خروج از تحقیق
(۱) مطالعات انجام‌گرفته بر روی حیوانات
(۲) مطالعات ارائه‌شده در همایش
(۳) پایان‌نامه‌ها
(۴) مطالعاتی که به صورت مروری، نظام‌مند و فراتحلیل انجام شده بود.
(۵) مطالعاتی که از دوره‌های زمانی برای سنجش توان بی‌هوازی استفاده کردند.
(۶) مطالعاتی که اثر مکمل آب چغندر را به صورت مزمن و کوتاه‌مدت بررسی کردند.
(۷) مطالعاتی که اثر مکمل آب چغندر را با مکمل دیگر بررسی کردند.

جستجو به صورت دستی نیز برای مقالات انگلیسی در پایگاه گوگل اسکالر و با کلید واژه‌های "Nitrate"، "beet juice"، "peak"، "anaerobic performance"، "nitrite"، "beetroot juice"، "beetroot"، "nitric oxide"، "mean anaerobic power"، "anaerobic physical activity"، "anaerobic exercise"، "anaerobic fitness"، "sports" انجام شد.

"exercise", "exercise training", "physical performance", "fatigue index", "anaerobic capacity", "performance", "physical capacity" و "physical capacity" و برای مقالات فارسی در پایگاه‌های گوگل اسکالر، سید، مگیران و با کلید واژه‌های «نیترات»، «آب چغندر»، «نیتریک اکسید»، «چغندر»، «آب چغندر»، «نیتريت»، «عملکرد بی‌هوازی»، «پیک توان بی‌هوازی»، «توان بی‌هوازی متوسط»، «فعالیت بدنی بی‌هوازی»، «ورزش بی‌هوازی»، «آمادگی بی‌هوازی»، «عملکرد ورزشی»، «ظرفیت بی‌هوازی»، «شاخص خستگی»، «عملکرد ورزشی»، «تمرین ورزشی»، «سازگاری با ورزش» و «ظرفیت بدنی» انجام شد.

استخراج داده‌ها

اطلاعات مربوط به نویسنده اول، سال انتشار، نوع مطالعه، کشور، تعداد نمونه، ویژگی آزمودنی‌ها (شامل سن، جنس و شاخص توده بدنی)، توصیف مکمل و پلاسیبو، آخرین دوز مصرف مکمل، متغیرها (اعم از توان بیشینه، توان کیمنه، توان متوسط و شاخص خستگی) و روش اندازه‌گیری توان بی‌هوازی استخراج شد. داده‌های مربوط به متغیرهای پژوهش حاضر اعم از شاخص توده بدنی و سن شرکت کنندگان، در حالت پایه گزارش شد و مقادیر توان بیشینه، توان کیمنه، توان متوسط و شاخص خستگی در طول انجام تست و بعد از تست اندازه‌گیری شد (جدول ۴).

جدول ۳- ویژگی آزمودنی‌ها و پروتکل تمرین ورزشی و مصرف مکمل آب چغندر

Table 3- Characteristics of subjects and protocol of exercise training and consumption of beet juice supplement

مطالعه (سال)	نوع مطالعه	کشور	جنسیت (نمونه)	ویژگی آزمودنی‌ها	سن (سال)	BMI (kg/m^2)	نوع مطالعه	و دارونما	مصرف مکمل	آخرین دوز	متغیرها	آزمون عملکردی
حسن پور و همکاران (۲۰۲۲)	مقاطع	ایران	۹ (زن)	تمرین کرده و فعال	20.44±1.33	20.55±3.27	حاد (۴ کارآزمایی با هفت روز فاصله بین ۳ مراجعه آخر)	دارونما: ۷۰ میلی‌لیتر رنگ خوراکی به همراه شکر	مکمل: ۷۰ و ۱۴۰ میلی‌لیتر آب چغندر	۲ ساعت قبل از پروتکل آزمایشی	اوج توان خروجی، میانگین توان خروجی حداقل توان خروجی، شاخص خستگی	RAST

جدول ۳- ویژگی آزمودنی‌ها و پروتکل تمرین ورزشی و مصرف مکمل آب چغندر

Table 3- Characteristics of subjects and protocol of exercise training and consumption of beet juice supplement

آزمون عملکردی متغیرها	آخرین دوز مصرف مکمل و دارونما	نوع مطالعه	BMI (kg/m ²)	سن (سال)	ویژگی آزمودنی‌ها	نوع مطالعه	مطالعه (سال)
RAST	۱/۵ ساعت قبل از پروتکل آزمایشی	حاد	20.41±2.69	24.25±5.23	ورزشکار کاراته‌کا در سطح باشگاهی	مقاطع	هاشمی‌فرد و ابراهیمی، (۱۳) ۲۰۲۲
اوج توان خروجی، میانگین توان خروجی	مکمل: ۱۰۰ میلی‌لیتر آب چغندر غنی از نیترات (حاوی ۶/۲ میلی‌مول نیترات) دارونما: ۱۰۰ میلی‌لیتر زغال اخته (۶۰ میلی‌لیتر آب و 40 میلی‌لیتر زغال اخته)	حاد (۲ جلسه مراجعه به آزمایشگاه)	نامشخص	22.4±1.6	تمرین کرده مقاومتی	مقاطع	کونتکا ^۱ و همکاران، (22) ۲۰۱۸
حداقل توان خروجی، شاخص خستگی	۳ ساعت قبل از پروتکل آزمایشی	حاد (۲ جلسه بازدید از آزمایشگاه)	24.21±1.72	21.46±1.72	تمرین کرده	مقاطع	دومینگز ^۲ و همکاران، (23) ۲۰۱۷
اوج توان خروجی، میانگین توان خروجی	مکمل: ۷۰ میلی‌لیتر آب چغندر کنستانتره دارونما: حل کردن ۱ گرم پودر BJ در یک لیتر آب معدنی و اضافه کردن آب لیمو برای تقلید از طعم تجاری مکمل				۱۵ (مرد)	اسپانیا	
حداقل توان خروجی، شاخص خستگی					۱۵ (مرد)	اسپانیا	

1. Cuenca
2. Domínguez

جدول ۳- ویژگی آزمودنی‌ها و پروتکل تمرین ورزشی و مصرف مکمل آب چغندر

Table 3- Characteristics of subjects and protocol of exercise training and consumption of beet juice supplement

آزمون عملکردی متغیرها	ویژگی	آزمون عملکردی متغیرها	ویژگی	آزمون عملکردی متغیرها	ویژگی
آخرین دوز مصرف مکمل و دارونما	۲ ساعت قبل از پروتکل آزمایشی	۳ ساعت قبل از پروتکل آزمایشی	۲ ساعت قبل از پروتکل آزمایشی	۲ ساعت قبل از پروتکل آزمایشی	تست سرعت متناوب با شدت بالا شامل سرعت‌های تکراری ۸ ثانیه با ریکاوری ۳۰ ثانیه بر روی چرخ کارسج
نوع مطالعه	دومار ^۱ و همکاران، ۲۰۲۱ (24)	چودرا ^۲ و همکاران، ۲۰۲۰ (25)	مارتین ^۳ و همکاران، ۲۰۱۴ (26)	نامشخص	نامشخص
نوع مطالعه	مقاطع	مقاطع	مقاطع	نامشخص	نامشخص
کشور	ایالات متحده	اسپانیا	استرالیا	نامشخص	نامشخص
نمونه (جنسیت)	۱۰ (مرد)	۱۵ (مرد)	۱۶ (۹ مرد و ۷ زن)	نامشخص	نامشخص
ویژگی آزمودنی‌ها	دوندگان ملی دوی سرعت	تمرین کرده مقاومتی	ورزشکاران ورزش تیمی	نامشخص	نامشخص
سن (سال)	20.3±1.9	23±2	22.3±2.1 مرد؛ 20.7±1.3 زن	نامشخص	نامشخص
BMI (kg/m ²)	مختلف (نامشخص)	23.9±2.1	نامشخص	نامشخص	نامشخص
نوع مطالعه	حاد (۳) کارآزمایی در شرایط مختلف	حاد (۲) جلسه مراجعه به آزمایشگاه	حاد (۲) ساعت قبل از ورزش	نامشخص	نامشخص
میلی گرم نیترات	۷۰ میلی لیتر آب چغندر به صورت یک دوز واحد (حاوی ۴۰۰ میلی گرم نیترات)	۷۰ میلی لیتر آب چغندر فاقد نیترات (حاوی ۰/۰۴ میلی مول نیترات)	۷۰ میلی لیتر آب چغندر غلیظ (حاوی ۰/۳ گرم نیترات)	۷۰ میلی لیتر آب چغندر غلیظ (حاوی ۰/۳ گرم نیترات)	۷۰ میلی لیتر آب چغندر غلیظ (حاوی ۰/۳ گرم نیترات)
میلی گرم نیترات	۷۰ میلی لیتر آب توت سیاه	۷۰ میلی لیتر آب چغندر فاقد نیترات (حاوی ۰/۰۴ میلی مول نیترات)	۷۰ میلی لیتر آب چغندر فاقد نیترات با عبور از رزین تبادل یونی	۷۰ میلی لیتر آب چغندر غلیظ (حاوی ۰/۳ گرم نیترات)	۷۰ میلی لیتر آب چغندر غلیظ (حاوی ۰/۳ گرم نیترات)

1. Dumar
2. Jodra
3. Martin

جدول ۳- ویژگی آزمودنی‌ها و پروتکل تمرین ورزشی و مصرف مکمل آب چغندر

Table 3- Characteristics of subjects and protocol of exercise training and consumption of beet juice supplement

مطالعه (سال)	نوع مطالعه	کشور (جنسیت)	نمونه آزمودنی‌ها	ویژگی	سن (سال)	BMI (kg/m^2)	نوع مطالعه	مصرف مکمل و دارونما	آخرین دوز مصرف مکمل	عملکردی متغیرها	آزمون
کانگر ^۱ و همکاران، 2021 (27)	مقاطع	ایالات متحده	۱۴ (مرد)	بازکن هاکي تمرین کرده بی‌هوازی	30.86±7.55	24.78±2.41 (۶ تا ۳ مراجعات)	حاد (۶) مراجعه و حداقل ۴۸ ساعت فاصله بین مراجعات ۳ تا ۶	مکمل: یک دوز پودر آب چغندر قرمز حاوی ۸ میلی‌مول (۴۹۶) میلی گرم NO ₃ مخلوط با ۲۳۷ میلی لیتر آب دارونما: ترکیبی از آب گیلان، سیب و زغال اخته (حاوی ۰/۹۸ میلی گرم نیترات در هر دوز).	۳ ساعت قبل از پروتکل آزمایشی	اوج توان خروجی، میانگین توان خروجی حداقل توان خروجی	اجرای شش آزمون وینگیت
اسمیت ^۲ و همکاران، ۲۰۱۹ (28)	مقاطع	بریتانیا	۱۲ (مرد)	تمرین کرده تفریحی	22±4	نامشخص	حاد (۵) مراجعه به آزمایشگاه با ۴ تا ۷ روز فاصله	مکمل: آب چغندر غنی از نیترات (حاوی ۶/۲ میلی‌مول نیترات در ۷۰ میلی لیتر) دارونما: آب چغندر فاقد نیترات (حاوی ۰/۰۰۴ میلی‌مول نیترات در ۷۰ میلی لیتر)	۳ ساعت قبل از پروتکل آزمایشی	اوج توان خروجی، میانگین توان خروجی شاخص خستگی	چرخ ارگومتر IST (تست سرعت متناوب) شامل ۲۰ سرعت ۶ ثانیه‌ای حداکثر با ۱۱۴ ثانیه ریکاوری فعال
تاتلیچی و چاکماکچی ^۳ ، ۲۰۱۹ (29)	مقاطع	ترکیه	۸ (مرد)	یوکسور نخیه	23±2.28	نامشخص	حاد (۲) جلسه مراجعه به آزمایشگاه با ۵ روز فاصله	مکمل: ۲ گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن دارونما: آب گیلان به همراه آب لیمو	۲/۵ ساعت قبل از پروتکل آزمایشی	اوج توان خروجی، میانگین توان خروجی	وینگیت

1. Conger
2. Smith
3. Tatlici & Cakmakci

جدول ۳- ویژگی آزمودنی‌ها و پروتکل تمرین ورزشی و مصرف مکمل آب چغندر

Table 3- Characteristics of subjects and protocol of exercise training and consumption of beet juice supplement

مطالعه (سال)	نوع مطالعه	کشور (جنسیت)	نمونه آزمودنی‌ها	ویژگی	سن (سال)	BMI (kg/m^2)	نوع مطالعه	و دارونما	مصرف مکمل	آخرین دوز	متغیرها	آزمون عملکردی
باومن ^۱ ، ۲۰۲۱ (30)	مقاطع	ایالات متحده	۱۸ (زن)	تمرین کرده قهرجی	22.8±1.58	24.1±3.27	۲ روز فاصله (۲ جلسه آزمون با حد ۲۰)	دارونما: آب توت سیاه لیتر	مکمل: آب چغندر به میزان ۲۳۵-۳۵۵ میلی	۲/۵ تا ۳ ساعت قبل از پروتکل آزمایشی	شاخص خستگی	وینگیت
											حداقل توان خروجی	میانگین توان خروجی
											اوج توان خروجی	

بررسی کیفیت مقالات

ارزیابی کیفیت مطالعات با استفاده از چک‌لیست یازده‌موردی ابزار پدرو^۲ انجام شد (۳۵-۳۱). معیارهای ارزیابی پدرو عبارت بود از: (۱) ضوابط واجد شرایط بودن شرکت‌کنندگان مشخص باشد؛ (۲) اختصاص شرکت‌کنندگان گروه‌های مختلف به صورت تصادفی انجام شده باشد؛ (۳) شرکت‌کنندگان نسبت به گروه بندی‌هایشان آشنایی نداشته باشند؛ (۴) گروه‌ها در ابتدا از نظر وزن بدن یکسان باشند؛ (۵) ارزیابی یکسو کور برای متغیر اصلی وجود داشته باشد (blinding of all assessors)؛ (۶) تعداد افراد خارج شده از پژوهش کمتر از ۱۵ درصد شرکت‌کنندگان باشد؛ (۷) تجزیه و تحلیل به صورت intention to treat (ITT) انجام شده باشد؛ (۸) تفاوت آماری بین گروهی برای متغیر اصلی گزارش شده باشد؛ (۹) میانگین، انحراف معیار و میزان معناداری (p-value) گزارش شده باشد. به تمام سؤالات چک‌لیست پدرو با دو گزینه بله ✓ یا خیر ✗ پاسخ داده شد. امتیاز حداقل صفر و حداکثر ۹ بود که در آن ارزش عددی بیشتر، نمایانگر کیفیت بالاتر پژوهش بود (جدول ۴).

جدول ۴- بررسی کیفیت مطالعات

Table 4- Checking the quality of studies

مطالعه - سال	1	2	3	4	5	6	7	8	9	امتیاز
حسن پور و همکاران، 2022 (2)	✓	✓	x	✓	✓	✓	x	✓	✓	7
هاشمی‌فرد و ابراهیمی، 2022 (13)	✓	✓	x	✓	✓	✓	x	✓	✓	7
کوئنکا و همکاران، 2018 (22)	✓	✓	x	✓	✓	✓	x	✓	✓	7
دومینگز و همکاران، 2017 (23)	✓	✓	x	✓	✓	✓	x	✓	✓	7
دومار و همکاران، 2021 (24)	✓	x	x	✓	✓	✓	x	✓	✓	6
جودرا و همکاران، 2020 (25)	✓	✓	x	✓	✓	✓	x	✓	✓	7
مارتین و همکاران، 2014 (26)	x	✓	x	✓	✓	✓	x	✓	✓	6
کانگر و همکاران، 2021 (27)	x	✓	x	✓	✓	✓	x	✓	✓	6
اسمیت و همکاران، 2019 (28)	x	✓	x	✓	✓	✓	x	✓	✓	6
تاتلیچی و چاکماکی، 2019 (29)	✓	✓	x	✓	x	✓	x	✓	✓	6
باومن، 2021 (30)	x	✓	x	✓	✓	✓	x	✓	✓	6

1. Baumann

2. Pedro

فرا تحلیل

فرا تحلیل حاضر برای تعیین تأثیر مصرف حاد مکمل آب چغندر بر شاخص‌های عملکرد بی‌هوازی در افراد تمرین‌کرده انجام شد. برای این منظور، SMD^۱ برای متغیرهای توان بیشینه، توان کمینه، میانگین توان و شاخص خستگی و فاصله اطمینان ۹۵ درصد (۲CI) با استفاده از مدل اثر تصادفی Random محاسبه شد. برای تعیین ناهمگونی (نبود تجانس) مطالعات، از آزمون I^۲ استفاده شد که مقدار ناهمگونی طبق دستورالعمل کاکرین به شرح زیر کمتر از ۲۵٪=ناهمگونی خفیف، ۲۵-۵۰٪=ناهمگونی کم، ۵۰-۷۵٪=ناهمگونی متوسط و بیشتر از ۷۵٪=ناهمگونی زیاد، تفسیر شد (۳۸-۳۶). در صورت وجود ناهمگونی، تحلیل حساسیت^۲ از طریق روش خارج کردن یک به یک مطالعات^۴ با لحاظ کردن I^۲ کمتر از ۵۰ به عنوان ملاک انجام شد (۴۰، ۳۹، ۳۷). همچنین با استفاده از تفسیر بصری فونل پلات، سوگیری انتشار بررسی شد و در صورت مشاهده سوگیری، تست Egger به عنوان یک تست تعیین‌کننده ثانویه استفاده شد که در آن $p=0/1$ به عنوان وجود سوگیری انتشار معنادار در نظر گرفته شد (۴۱). تحلیل زیرگروه براساس آخرین دوز مصرفی قبل از شروع تمرین ورزشی (۳ ساعت یا کمتر از آن) و آزمون وینگیت (استفاده یا استفاده نکردن از آن) انجام شد. آزمون‌های آماری با استفاده از نرم افزار CMA نسخه دو به کار رفت.

نتایج

براساس جستجو در پایگاه‌های اطلاعات علمی تا سپتامبر ۲۰۲۴، ۲۲۶۲ مقاله یافت شد. پس از حذف مقالات تکراری (۵۸۸ مقاله) و جستجو به صورت دستی (۲۰ مقاله) ۱۶۶۶ مقاله برای غربالگری اولیه باقی ماند. پس از بررسی عناوین و چکیده مقالات و حذف مقالات (۶۰۴ مقاله)، در نهایت ۳۰ مقاله برای ارزیابی متن کامل انتخاب شد که پس از بررسی متن کامل مقالات، ۱۹ مقاله از مطالعه حاضر به دلایل مصرف کوتاه مدت مکمل، اندازه‌گیری نشدن توان بی‌هوازی و استفاده نشدن از تست استاندارد خارج شد. در نهایت، ۱۱ مطالعه وارد فرا تحلیل حاضر شد (شکل ۱).

ویژگی آزمودنی‌ها

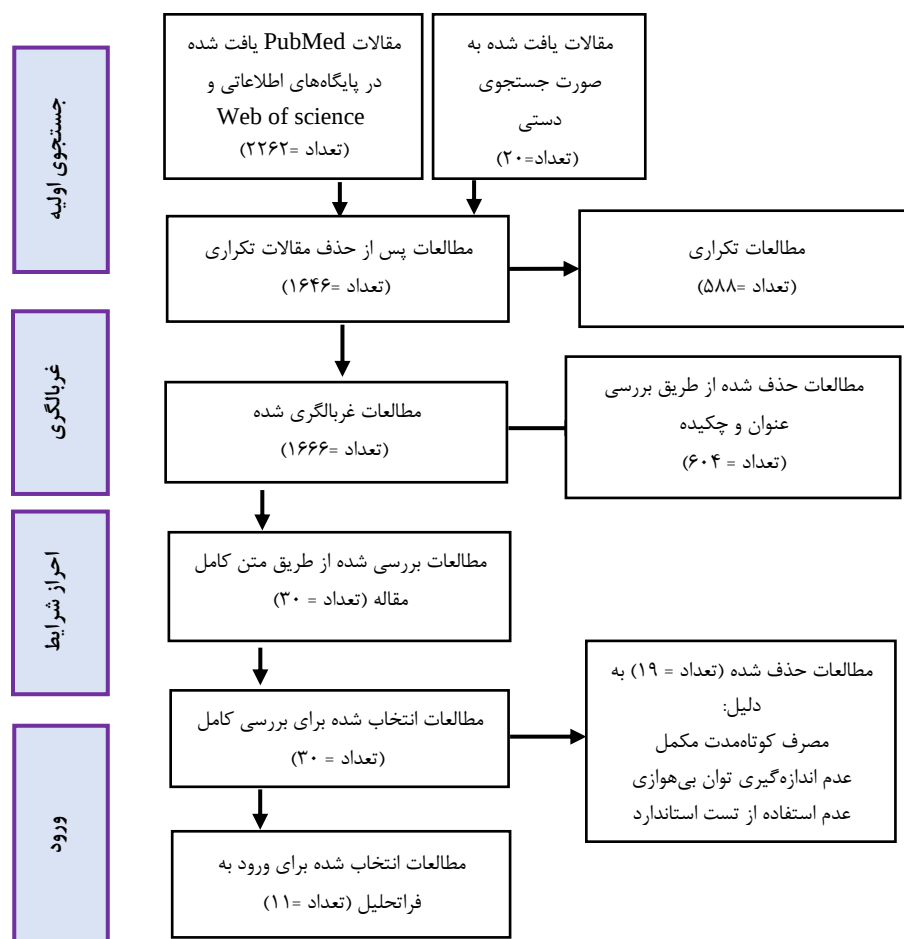
تعداد ۱۴۰ شرکت‌کننده (۴۲ زن و ۹۸ مرد) وارد مطالعه فرا تحلیل حاضر شد که همه شرکت‌کنندگان بزرگسالان جوان سالم ورزشکار یا تمرین‌کرده بودند. میانگین سنی شرکت‌کنندگان ۲۰/۳ الی ۳۰/۸۶ و میانگین BMI آن‌ها ۲۰/۴۱ الی ۲۴/۲۱ بود. تعداد شرکت‌کننده‌های هر مطالعه حداقل ۸ و حداکثر ۱۶ نفر بود (جدول ۱).

ویژگی مصرف مکمل و دارونما

ویژگی مکمل: تعداد ۱۱ مطالعه وارد فرا تحلیل حاضر شد. در این میان، حسن‌پور و همکاران علاوه بر دوز ۷۰ میلی لیتر دوز ۱۴۰ میلی لیتر از آب چغندر (۲)، هاشمی‌فرد و همکاران، دوز ۱۰۰ میلی لیتر آب چغندر (۱۳) و کانگر و همکاران یک دوز پودر آب چغندر را (۲۷) بررسی کردند. هفت تحقیق، دوز ۷۰ میلی لیتر آب چغندر را بررسی کردند (۲۸، ۲۶-۲۲، ۲). تاتلیچی

1. Standardized Mean Differences
2. Confidence Interval
3. Sensitivity Analysis
4. Leave One-Out Method

و چاکماکچی، مکمل آب چغندر را به صورت ۲ گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن (۲۹) و باومن، آب چغندر به میزان ۳۵۵-۲۳۵ میلی‌لیتر را (۳۰) بررسی کردند.



شکل ۱- نمودار جریان PRISMA

Figure 1- PRISMA flowchart

ویژگی دارونما: در فراتحلیل حاضر، حسن‌پور و همکاران از ۷۰ میلی‌لیتر رنگ خوراکی به همراه شکر (۲)، هاشمی‌فرد و همکاران از ۱۰۰ میلی‌لیتر زغال اخته (۶۰ میلی‌لیتر آب و ۴۰ میلی‌لیتر زغال اخته) (۱۳)، کوئنکا و همکاران و جودرا و همکاران از ۷۰ میلی‌لیتر نوشیدنی فاقد نیترات (حاوی ۰/۰۴ نیترات) (۲۲، ۲۵)، دومینگز و همکاران از حل کردن ۱ گرم پودر BJ در یک لیتر آب معدنی و اضافه کردن آب لیمو برای تقلید از طعم تجاری مکمل (۲۳)، دومار و همکاران از ۷۰ میلی‌لیتر آب توت سیاه (۲۴)، مارتین و همکاران از ۷۰ میلی‌لیتر آب چغندر فاقد نیترات با عبور از رزین تبادل یونی (۲۶)، کانگر و همکاران از ترکیبی از آب گیلان، سیب و زغال اخته (حاوی ۰/۹۸ میلی‌گرم نیترات در هر دوز) (۲۷)، اسمیت و

همکاران از آب چغندر فاقد نیترات (حاوی ۰/۰۰۴ میلی‌مول نیترات در ۷۰ میلی لیتر) (۲۸)، تاتلیچی و چاکماچی از آب گیلان به همراه آب لیمو (۲۹) و باومن از آب توت سیاه (۳۰) به‌عنوان دارونما استفاده کردند.

ویژگی آخرین دوز مصرفی مکمل: در فراتحلیل حاضر، ۵ مطالعه در زمان سه ساعت قبل از پروتکل آزمایشی (۲۸، ۲۷، ۲۵، ۲۳، ۲۲) و ۳ مطالعه دو ساعت قبل از پروتکل آزمایشی (۲۶، ۲۴، ۲) دوز مصرفی مکمل را بررسی کردند. همچنین هاشمی‌فرد و همکاران، ۱/۵ ساعت قبل از پروتکل آزمایشی (۱۳)، تاتلیچی و چاکماچی، ۲/۵ ساعت قبل از پروتکل آزمایشی (۲۹) و باومن، ۲/۵ الی ۳ ساعت قبل از پروتکل آزمایشی (۳۰)، دوز مصرفی مکمل را بررسی کردند.

ویژگی پروتکل تمرین: در فراتحلیل حاضر، ۷ مطالعه از آزمون وینگیت (۳۰، ۲۹، ۲۷، ۲۵-۲۲) و ۲ مطالعه از آزمون RAST (۱۳، ۲) برای سنجش توان بی‌هوازی استفاده کردند. علاوه بر این، مارتین و همکاران از تست سرعت متناوب با شدت بالا شامل سرعت‌های تکراری ۸ ثانیه با ریکاوری ۳۰ ثانیه بر روی چرخ کارسنج (۲۶) و اسمیت و همکاران از چرخ ارگومتر IST (تست سرعت متناوب) شامل ۲۰ سرعت ۶ ثانیه‌ای حداکثر با ۱۱۴ ثانیه ریکاوری فعال (۲۸) برای سنجش توان بی‌هوازی استفاده کردند.

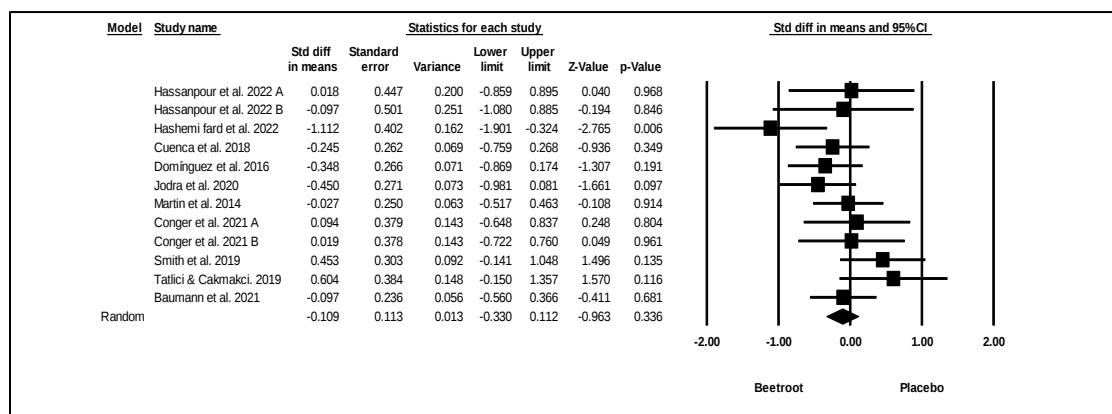
نتایج فراتحلیل

توان بیشینه

تجزیه و تحلیل داده‌های ۱۲ مطالعه نشان داد که مصرف مکمل آب چغندر قرمز سبب افزایش معنادار توان بیشینه $[P=0/33]$ ، $[SMD=-0/109]$ (الی ۰/۱۱) در افراد ورزشکار نمی‌شود (شکل ۲). با استفاده از آزمون I^2 ناهمگونی بررسی شد و نتایج نشان داد که ناهمگونی معنادار نیست ($P=0/12$ ، $I^2=32/703$). نتیجه آزمون سوگیری انتشار ایگر (Egger) نشان‌دهنده نبود سوگیری انتشار معنادار برای تأثیر مصرف مکمل آب چغندر قرمز بر توان بیشینه بود ($P=0/75$).

نتایج تحلیل زیرگروه ۶ مطالعه براساس آخرین دوز مصرفی نشان داد که مصرف مکمل آب چغندر قرمز سه ساعت قبل از ورزش سبب افزایش معنادار توان بیشینه $[P=0/38]$ ، $[SMD=-0/121]$ (الی ۰/۱۵) در افراد ورزشکار نمی‌شود (شکل ۲). با استفاده از آزمون I^2 ناهمگونی بررسی شد و نتایج نشان داد که ناهمگونی معنادار نیست ($P=0/26$ ، $I^2=22/684$). به‌علاوه، نتایج تحلیل زیرگروه ۶ مطالعه براساس آخرین دوز مصرفی نشان داد که مصرف مکمل آب چغندر قرمز ۱/۵، ۲ یا ۲/۵ ساعت قبل از ورزش سبب افزایش معنادار توان بیشینه $[P=0/59]$ ، $[SMD=-0/107]$ (الی ۰/۴۹) در افراد تمرین‌کرده و ورزشکار نمی‌شود (شکل ۲). با استفاده از آزمون I^2 ناهمگونی بررسی شد و نتایج نشان داد که ناهمگونی معنادار نیست ($P=0/08$ ، $I^2=49/155$).

نتایج تحلیل زیرگروه ۷ مطالعه براساس آزمون وینگیت نشان داد که استفاده از آزمون وینگیت سبب افزایش معنادار توان بیشینه $[P=0/23]$ ، $[SMD=-0/138]$ (الی ۰/۰۸) در افراد ورزشکار نمی‌شود (شکل ۲). با استفاده از آزمون I^2 ناهمگونی بررسی شد و نتایج نشان داد که ناهمگونی معنادار نیست ($P=0/37$ ، $I^2=6/433$). به‌علاوه نتایج تحلیل زیرگروه ۵ مطالعه براساس استفاده نشدن از آزمون وینگیت نشان داد که استفاده نشدن از آزمون وینگیت سبب افزایش معنادار توان بیشینه $[P=0/63]$ ، $[SMD=-0/120]$ (الی ۰/۳۷) در افراد تمرین‌کرده و ورزشکار نمی‌شود (شکل ۲). با استفاده از آزمون I^2 ناهمگونی بررسی شد و نتایج نشان داد که ناهمگونی معنادار است ($P=0/04$ ، $I^2=59/029$).



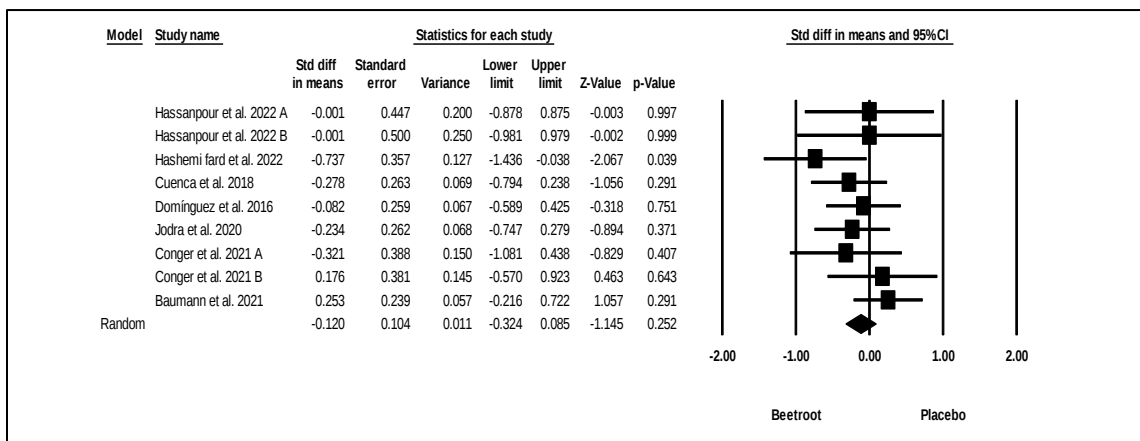
شکل ۲- نمودار فارست پلات. تأثیر مصرف مکمل آب چغندر قرمز بر توان بیشینه در افراد تمرین کرده و ورزشکار
Figure 2- Forrest plot diagram. The effect of red beet juice supplement consumption on maximal strength in trained people and athletes

توان کمینه

تجزیه و تحلیل داده‌های ۹ مطالعه نشان داد که مصرف مکمل آب چغندر قرمز سبب افزایش معنادار توان کمینه [$P=0/25$ ، $SMD=-0/120$ (الی $0/08$)] در افراد تمرین کرده و ورزشکار نمی‌شود (شکل ۲). با استفاده از آزمون I^2 ناهمگونی بررسی شد و نتایج نشان داد که ناهمگونی معنادار نیست ($P=0/53$ ، $I^2=0/01$). نتیجه آزمون سوگیری انتشار ایگر (Egger) نشان‌دهنده نبود سوگیری انتشار معنادار برای تأثیر مصرف مکمل آب چغندر قرمز بر توان کمینه بود ($P=0/67$).

نتایج تحلیل زیرگروه ۵ مطالعه براساس آخرین دوز مصرفی نشان داد که مصرف مکمل آب چغندر قرمز سه ساعت قبل از ورزش سبب افزایش معنادار توان کمینه [$P=0/20$ ، $SMD=-0/167$ (الی $0/09$)] در افراد تمرین کرده و ورزشکار نمی‌شود (شکل ۳). با استفاده از آزمون I^2 ناهمگونی بررسی شد و نتایج نشان داد که ناهمگونی معنادار نیست ($P=0/85$ ، $I^2=0/00$). به‌علاوه نتایج تحلیل زیرگروه ۴ مطالعه براساس آخرین دوز مصرفی نشان داد که مصرف مکمل آب چغندر قرمز ۱/۵ یا ۲ ساعت قبل از ورزش سبب افزایش معنادار توان کمینه [$P=0/69$ ، $SMD=-0/383$ (الی $0/29$)] در افراد تمرین کرده و ورزشکار نمی‌شود (شکل ۲). با استفاده از آزمون I^2 ناهمگونی بررسی شد و نتایج نشان داد که ناهمگونی معنادار نیست ($P=0/14$ ، $I^2=43/760$).

نتایج تحلیل زیرگروه ۶ مطالعه براساس آزمون وینگیت نشان داد که استفاده از آزمون وینگیت سبب افزایش معنادار توان کمینه [$P=0/55$ ، $SMD=-0/069$ (الی $0/15$)] در افراد تمرین کرده و ورزشکار نمی‌شود. با استفاده از آزمون I^2 ناهمگونی بررسی شد و نتایج نشان داد که ناهمگونی معنادار نیست ($P=0/59$ ، $I^2=0/00$). به‌علاوه نتایج تحلیل زیرگروه ۳ مطالعه براساس استفاده نشدن از آزمون وینگیت نشان داد که استفاده نشدن از آزمون وینگیت سبب افزایش معنادار توان کمینه [$P=0/20$ ، $SMD=-0/331$ (الی $0/18$)] در افراد تمرین کرده و ورزشکار نمی‌شود. با استفاده از آزمون I^2 ناهمگونی بررسی شد و نتایج نشان داد که ناهمگونی معنادار نیست ($P=0/32$ ، $I^2=12/31$).

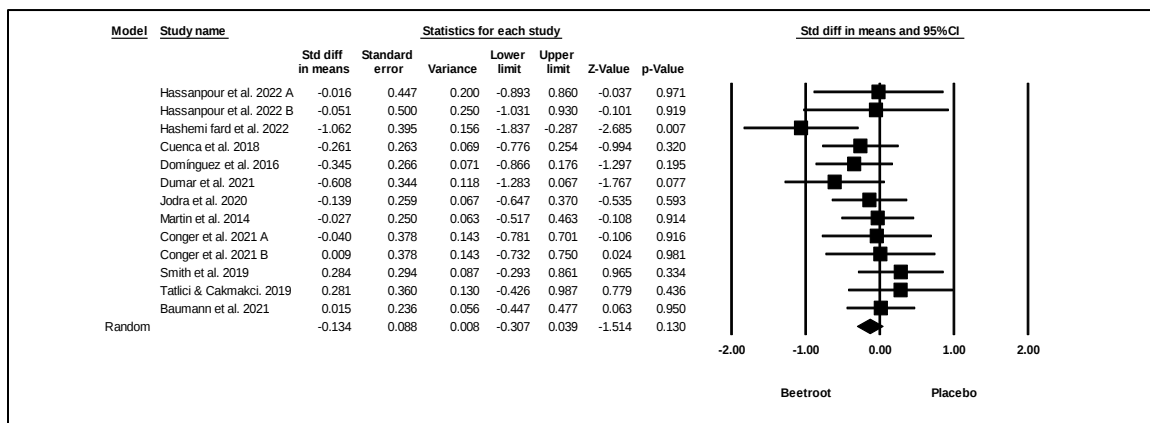


شکل ۳- نمودار فارست پلات. تأثیر مصرف مکمل آب چغندر قرمز بر توان کمینه در افراد تمرین کرده و ورزشکار
Figure 3- Forrest plot diagram. The effect of red beet juice supplement consumption on minimum power in trained people and athletes

میانگین توان بی‌هوازی

تجزیه و تحلیل داده‌های ۱۳ مطالعه نشان داد که مصرف مکمل آب چغندر قرمز سبب افزایش معنادار میانگین توان بی‌هوازی [$SMD=-0.134$ (الی -0.30 الی 0.03), $P=0.13$] در افراد تمرین کرده و ورزشکار نمی‌شود (شکل ۲). با استفاده از آزمون I^2 ناهمگونی بررسی شد و نتایج نشان داد که ناهمگونی معنادار نیست ($I^2=3/922$, $P=0/40$). نتیجه آزمون سوگیری انتشار ایگر (Egger) نشان‌دهنده نبود سوگیری انتشار معنادار برای تأثیر مصرف مکمل آب چغندر قرمز بر میانگین توان بی‌هوازی بود ($P=0/66$). نتایج تحلیل زیرگروه ۶ مطالعه براساس آخرین دوز مصرفی نشان داد که مصرف مکمل آب چغندر قرمز سه ساعت قبل از ورزش سبب افزایش معنادار میانگین توان بی‌هوازی [$SMD=-0.111$ (الی -0.34 الی 0.12), $P=0/35$] در افراد تمرین کرده و ورزشکار نمی‌شود (شکل ۳). با استفاده از آزمون I^2 ناهمگونی بررسی شد و نتایج نشان داد که ناهمگونی معنادار نیست ($P=0/69$). به‌علاوه نتایج تحلیل زیرگروه ۷ مطالعه براساس آخرین دوز مصرفی نشان داد که مصرف مکمل آب چغندر قرمز ۱/۵، ۲ یا ۲/۵ ساعت قبل از ورزش سبب افزایش معنادار میانگین توان بی‌هوازی [$SMD=-0.182$ (الی $-0/49$ الی $0/13$), $P=0/25$] در افراد تمرین کرده و ورزشکار نمی‌شود (شکل ۲). با استفاده از آزمون I^2 ناهمگونی بررسی شد و نتایج نشان داد که ناهمگونی معنادار نیست ($I^2=35/995$, $P=0/15$).

نتایج تحلیل زیرگروه ۸ مطالعه براساس آزمون وینگیت نشان داد که استفاده از آزمون وینگیت سبب افزایش معنادار میانگین توان بی‌هوازی [$SMD=-0.149$ (الی $-0/35$ الی $0/05$), $P=0/15$] در افراد تمرین کرده و ورزشکار نمی‌شود. با استفاده از آزمون I^2 ناهمگونی بررسی شد و نتایج نشان داد که ناهمگونی معنادار نیست ($I^2=0/001$, $P=0/70$). به‌علاوه نتایج تحلیل زیرگروه ۵ مطالعه براساس استفاده نشدن از آزمون وینگیت نشان داد که استفاده نشدن از آزمون وینگیت سبب افزایش معنادار میانگین توان بی‌هوازی [$SMD=-0.141$ (الی $-0/58$ الی $0/29$), $P=0/52$] در افراد تمرین کرده و ورزشکار نمی‌شود. با استفاده از آزمون I^2 ناهمگونی بررسی شد و نتایج نشان داد که ناهمگونی معنادار نیست ($I^2=48/371$, $P=0/10$).



شکل ۴- نمودار فارست پلات. تأثیر مصرف مکمل آب چغندر قرمز بر میانگین توان بی‌هوازی در افراد تمرین کرده و ورزشکار
Figure 4- Forrest plot diagram. The effect of red beet juice supplement consumption on average anaerobic power in trained and athletic people

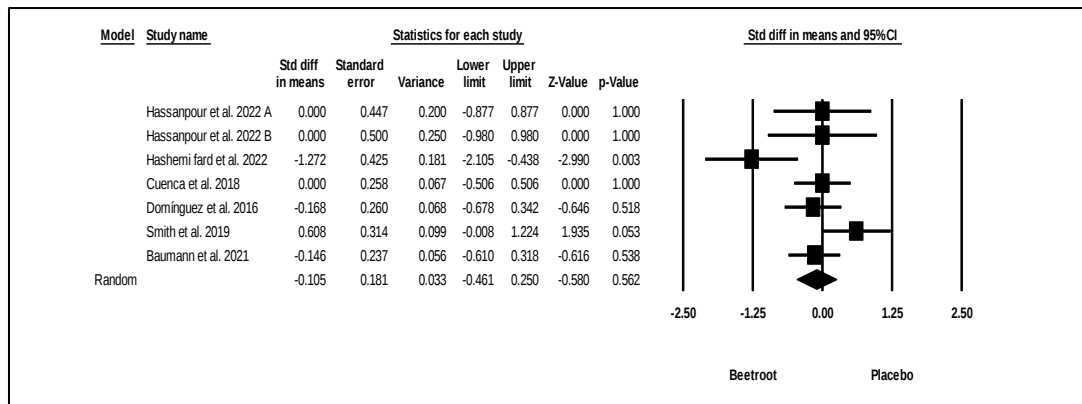
شاخص خستگی (FI)

تجزیه و تحلیل داده‌های ۷ مطالعه نشان داد که مصرف مکمل آب چغندر قرمز سبب تغییر معنادار شاخص خستگی [$P=0/56$ ، $SMD=-0/105$ (الی $0/25$) تا $-0/46$] در افراد تمرین کرده و ورزشکار نمی‌شود (شکل ۲). با استفاده از آزمون I^2 ناهمگونی بررسی شد و نتایج نشان داد که ناهمگونی معنادار است ($P=0/04$ ، $I^2=53/807$). نتیجه آزمون سوگیری انتشار ایگر (Egger) نشان‌دهنده نبود سوگیری انتشار معنادار برای تأثیر مصرف مکمل آب چغندر قرمز بر شاخص خستگی بود ($P=0/64$).

نتایج تحلیل زیرگروه ۳ مطالعه براساس آخرین دوز مصرفی نشان داد که مصرف مکمل آب چغندر قرمز سه ساعت قبل از ورزش سبب تغییر معنادار شاخص خستگی [$P=0/59$ ، $SMD=-0/116$ (الی $0/54$) تا $-0/31$] در افراد تمرین کرده و ورزشکار نمی‌شود (شکل ۳). با استفاده از آزمون I^2 ناهمگونی بررسی شد و نتایج نشان داد که ناهمگونی معنادار نیست ($P=0/14$ ، $I^2=47/678$).

به‌علاوه نتایج تحلیل زیرگروه ۴ مطالعه براساس آخرین دوز مصرفی نشان داد که مصرف مکمل آب چغندر قرمز ۱/۵، ۲ یا ۲/۵ ساعت قبل از ورزش سبب تغییر معنادار شاخص خستگی [$P=0/22$ ، $SMD=-0/346$ (الی $0/90$) تا $-0/21$] در افراد تمرین کرده و ورزشکار نمی‌شود (شکل ۲). با استفاده از آزمون I^2 ناهمگونی بررسی شد و نتایج نشان داد که ناهمگونی معنادار نیست ($P=0/09$ ، $I^2=53/501$).

نتایج تحلیل زیرگروه ۳ مطالعه براساس آزمون وینگیت نشان داد که استفاده از آزمون وینگیت سبب تغییر معنادار شاخص خستگی [$P=0/46$ ، $SMD=-0/107$ (الی $0/117$) تا $-0/39$] در افراد تمرین کرده و ورزشکار نمی‌شود. با استفاده از آزمون I^2 ناهمگونی بررسی شد و نتایج نشان داد که ناهمگونی معنادار نیست ($P=0/88$ ، $I^2=0/001$). به‌علاوه نتایج تحلیل زیرگروه ۴ مطالعه براساس استفاده نشدن از آزمون وینگیت نشان داد که استفاده نشدن از آزمون وینگیت سبب تغییر معنادار شاخص خستگی [$P=0/73$ ، $SMD=-0/146$ (الی $0/68$) تا $-0/98$] در افراد تمرین کرده و ورزشکار نمی‌شود. با استفاده از آزمون I^2 ناهمگونی بررسی شد و نتایج نشان داد که ناهمگونی معنادار است ($P=0/005$ ، $I^2=76/289$).



شکل ۵- نمودار فارست پلات. تأثیر مصرف مکمل آب چغندر قرمز بر شاخص خستگی در افراد تمرین کرده و ورزشکار

Figure 5- Forrest plot diagram. The effect of red beet juice supplement consumption on fatigue index in trained people and athletes

بحث و نتیجه‌گیری

هدف مرور نظام‌مند و فراتحلیل حاضر، تعیین تأثیر مصرف حاد مکمل آب چغندر بر شاخص‌های عملکرد بی‌هوازی در افراد تمرین کرده بود. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تغییرات درخور توجهی در شاخص‌های عملکرد بی‌هوازی تحت تأثیر مداخله مکمل آب چغندر قرمز به صورت حاد و تک جلسه‌ای رخ نمی‌دهد؛ به تعبیری یافته‌های حاضر نشانگر نبود تغییر معنادار توان بیشینه، توان کمینه، میانگین توان بی‌هوازی و شاخص خستگی در افراد تمرین کرده و ورزشکار است و تفاوت در شاخص‌های ذکر شده با مصرف آب چغندر به صورت حاد به معناداری آماری نرسید. افزون بر این، تجزیه و تحلیل براساس دو زیرگروه آخرین دوز مصرفی و آزمون وینگیت نیز، نشان داد که مکمل آب چغندر قرمز به شکل حاد، به هیچ پیشرفتی در شاخص‌های توان بی‌هوازی منجر نمی‌شود.

اثبات شده است، ورزشکارانی که به صورت بی‌هوازی تمرین کرده‌اند، در معیارهای عملکردی نسبت به ورزشکارانی که به روش هوازی تمرین کرده‌اند، متفاوت هستند و با توجه به اهمیت بهبود عملکرد حتی به صورت جزئی برای ورزشکارانی که در ورزش‌های با قدرت بالا رقابت می‌کنند، یک محصول نیترات (NO_3^-) ایمن و با دسترسی راحت مانند چغندر/آب چغندر می‌تواند عنصر مطلوبی برای گنجاندن در رژیم قبل از مسابقه باشد (۲۷). آب ریشه چغندر (BRJ) به عنوان یک ماده طبیعی مشتق شده از گیاه بتا ولگاریس، به دلیل قابلیت فراهمی^۱ زیستی و غلظت زیاد نیترات معدنی خود شناخته شده و نقطه کانونی مقالات و مطالعات اخیر در مورد مکمل‌ها با توجه به اثرات بالقوه ارگوژنیک آن بوده است (۳۰). در راستای این خط سیر تحقیقاتی، حسن‌پور و همکاران، تأثیر دوزهای مختلف مصرف حاد مکمل آب چغندر بر عملکرد بی‌هوازی در افراد تمرین کرده را بررسی کردند و پژوهش آن‌ها منتج به این شد که دوزهای ۷۰ و ۱۴۰ میلی‌لیتر از آب چغندر به شکل حاد، بر توان بیشینه، توان کمینه، میانگین توان و شاخص خستگی در افراد تمرین کرده مؤثر نیست (۲)؛ بنابراین یافته تحقیق آن‌ها با نتایج پژوهش حاضر همسوست. در همین راستا، فراتحلیل وانگ^۲ و همکاران با هدف تأثیر مصرف چغندر بر تمرینات تناوبی با شدت بالا، منتج به این شد که مکمل چغندر هیچ بهبود درخور توجهی در حداکثر یا میانگین توان خروجی در طول تمرین

1. Bioavailability
2. Wong

تناوبی با شدت بالا (HIIT) یا تمرین تناوبی سرعتی (SIT) ارائه نمی‌کند. در فراتحلیلی دیگر، هون^۱ و همکاران تأثیر مکمل نیترات بر عملکرد ورزشی در افراد سالم را بررسی کردند و نشان دادند که با مصرف مکمل‌های مبتنی بر نیترات، ممکن است مزایای کمی برای عملکرد حاصل شود (۴۲). در مقابل، ون دی واله و ووکویچ^۲ در فراتحلیل خود نشان دادند که مکمل نیترات، تحمل و کارایی را نسبت به تمرینات افزایشی ثابت و حداکثر با شدت بالا، افزایش می‌دهد که ممکن است عملکرد ورزشی را افزایش دهد [اندازه اثر ۰/۲۸ (۹۵٪ فاصله اطمینان (CI): ۰/۰۰۸-۰/۰۰۶؛ $P=0.006$] (۱۱). با وجود اینکه فراتحلیل حاضر در امتداد تحقیقاتی است که در این حوزه موضوعی انجام شده است و در تأیید یافته‌های پیشین است و از آن‌ها پشتیبانی می‌کند، تأثیر مصرف مکمل آب چغندر به‌طور انحصاری به شکل حاد در افراد تمرین‌کرده و ورزشکار در فراتحلیل‌های پیشین بررسی نشده است و از این منظر نوآورانه است. همچنین از آنجاکه شواهد متناقض درخصوص مصرف حاد مکمل آب چغندر به شکل حاد در ادبیات تحقیق مجادله‌آمیز است، تفسیر داده‌های این قلمرو در پژوهش حاضر با عمق بیشتری بررسی شده است. از دیدگاه تئوریک، نشان داده شده است که BRJ منبع فراوانی از NO_3^- در رژیم غذایی غیرآلی است (۲۴). پس از مصرف، NO_3^- توسط میکروبیوتای دهان به نیتريت NO_2^- کاهش می‌یابد و بعد از آن در گردش خون سیستمیک افزایش می‌یابد. سپس NO_2^- در گردش باعث تولید اکسید نیتريك بیواکتیو (NO) می‌شود که نشان داده شده است باعث افزایش اتساع عروق، بهبود جریان خون، افزایش سنتز ATP و افزایش کلیرانس لاکتات می‌شود (۲۴). همچنین انواع آنزیم‌ها و پروتئین‌ها از جمله دئوکسی هموگلوبین، کاهش نیتريت را در خون و سایر بافت‌ها کاتالیز می‌کنند (۱۴). همان‌طور که گفته شد، تولید NO در محیط‌های با pH پایین و اکسیژن کم، مشابه شرایط هیپوکسی که در ماهیچه‌های اسکلتی در طول تمرینات با شدت بالا رخ می‌دهد، تسهیل می‌شود (۱۴). به‌طور کلی، مطالعات موجود در فراتحلیل نشانگر تناقض در یافته‌ها هستند؛ به ترتیبی که از ۱۱ مطالعه موجود، ۶ مطالعه با مصرف حاد آب چغندر بر افزایش عملکرد بی‌هوازی به تأثیر معنادار نرسیدند (۲۶-۳۰، ۲) و ۵ مطالعه به تأثیر معنادار دست یافتند (۲۵-۲۷، ۱۳)؛ بنابراین، در حال حاضر در رابطه با تأثیر یا نبود تأثیر مکمل آب چغندر بر عملکرد بی‌هوازی، شناخت نسبی وجود دارد. تفاوت در موارد وضعیت تمرینی شرکت‌کنندگان، جنسیت شرکت‌کنندگان، مقدار مصرفی مکمل آب چغندر قرمز، نوع آزمون برای سنجش توان بی‌هوازی، به نظر می‌رسد توجیهی برای ناهم‌سویی میان مطالعات است. به‌طور ریزبینانه‌تر، حسن‌پور و همکاران (۲) و هاشمی‌فرد و همکاران (۱۳) از آزمون RAST برای سنجش توان بی‌هوازی زنان جوان استفاده کردند. در پژوهش آنان به ترتیب دوزهای ۱۴۰/۷۰ و ۱۰۰ میلی‌لیتر از آب چغندر بررسی شد و با اینکه پژوهش اول از مقادیر بیشتر استفاده کرد، یافته‌ها نتوانست اندازه اثر را به معناداری آماری برساند؛ با وجود این، نبود هم‌سویی در نتایج تحقیق آن‌ها را شاید بتوان به وضعیت تمرینی شرکت‌کنندگان نسبت داد؛ چراکه حسن‌پور و همکاران، افراد تمرین‌کرده و فعال را به‌عنوان شرکت‌کننده و هاشمی‌فرد و همکاران، ورزشکاران کاراته‌کا در سطح باشگاهی را برای پژوهش خود انتخاب کردند (۱۳، ۲) و به نظر می‌رسد، ۱۴۰ میلی‌لیتر از مصرف حاد آب چغندر قرمز برای افراد تمرین‌کرده و فعال مقداری ناکافی است. علاوه بر این، نتایج تحقیق حسن‌پور و همکاران با نتایج تحقیقات اسمیت و همکاران (۲۸) و مارتین و همکاران (۲۶) همخوان است. ازجمله دلایل هم‌سویی می‌توان به مصرف حاد دوز ۷۰ میلی‌لیتر از آب چغندر اشاره کرد؛ به‌طوری‌که هر سه محقق از دوز مطلوب حداقلی استفاده کردند؛ بنابراین براساس این شواهد می‌توان بیان کرد که ۷۰ میلی‌لیتر آب چغندر به شکل حاد برای افراد تمرین‌کرده و فعال، آموزش‌دیده تفریحی و ورزشکاران ورزش‌های

1. Hoon

2. Van De Walle & Vukovich

تیمی، مکفی نیست و نمی‌تواند تفاوت معناداری به لحاظ آماری ایجاد کند. در این راستا، تحقیقات قبلی نیز نشان داده‌اند، ورزشکارانی که به خوبی تمرین کرده‌اند، افزایش کمتری در NO_2^- پلاسما و مزایای عملکردی کمتری را تجربه می‌کنند (۴۳)؛ بنابراین مطالعه حاضر با گزارش‌های قبلی مطابقت دارد که نشان می‌دهند آب چغندر ممکن است در ورزشکارانی که به خوبی تمرین کرده‌اند، کمتر مؤثر باشد (۴۳، ۳۰، ۲۷، ۲). از آنجاکه ورزشکاران آموزش‌دیده سطوح پایه نیتريت و نترات پلاسما بالاتری دارند، پیشنهاد شده است که دوز بیشتری برای ایجاد اثرات ارگوژنیک نیاز است (۴۲).

در امتداد مطلب، مطالعات حیوانی نشان داده‌اند که NO فعالیت استیل کولین به‌ویژه در واحدهای حرکتی نوع II را افزایش می‌دهد که دپلاریزاسیون فیبرهای عضلانی را تقویت می‌کند؛ درحالی‌که مکمل BJ باعث افزایش غلظت‌های Ca^{2+} داخل سلولی همراه با کالکستترین ۱ و افزایش گیرنده دی‌هیدروپیریدین در عضلات تند انقباض می‌شود (۲۲). اگرچه این مکانیسم‌ها هنوز در انسان اثبات نشده است، مکمل NO_3^- احتمالاً با القای دپلاریزاسیون فیبر عضلانی نوع II و افزایش غلظت‌های Ca^{2+} میوپلاسم، تولید نیرو را افزایش می‌دهد و انقباض عضلانی را با افزایش تعداد پل‌های متقابل اکتین-میوزین تسهیل می‌کند (۲۲). این بهبود در تولید نیروی عضلانی در پاسخ به مصرف BRJ به‌عنوان نرخ بالاتر توسعه نیرو^۱ (RFD) از طریق افزایش حداکثر توان خروجی، زمان صرف‌شده برای رسیدن به آن توان خروجی و زمان واکنش سریع‌تر شناسایی شده است (۲۲). همچنین دیگر مطالعات حیوانی نشان داده‌اند که اثر بهبود جریان خون NO برای واحدهای حرکتی نوع II بیشتر از واحدهای حرکتی نوع I است (۲۳). علاوه بر این، همچنین در حیوانات اشاره شده است که بهبود توان تولیدشده در پاسخ به BRJ مختص واحدهای حرکتی نوع II است. این نوع واحد عضلانی ظرفیت تولید توان بیشتری دارد و برای دریافت انرژی از طریق مسیرهای غیراکسیداتیو طراحی شده است. علت آن، ظرفیت بیشتر این واحدها برای ذخیره گلیکوژن و کراتین عضلانی و همچنین پروتئین‌هایی مانند کارنوزین است که اثر بافری در سطح درون سلولی دارند؛ بنابراین مصرف BRJ می‌تواند اثر ارگوژنیک در طول تلاش‌های انفجاری و تلاش‌های با شدت بالا داشته باشد (۲۳). نشان داده شده است که مکمل NO_3^- از طریق BRJ باعث افزایش جریان خون موضعی در عضله فعال، ترجیحاً به فیبرهای سریع انقباض می‌شود. علاوه بر این، مکمل کوتاه‌مدت BRJ هزینه انقباض اکسیژن را کاهش می‌دهد؛ بنابراین کاهش ضربان قلب با BRJ ممکن است به دلیل افزایش جریان خون عضله اسکلتی همراه با کاهش هزینه اکسیژن باشد که به طور مؤثری نیاز قلبی-عروقی را در طول ورزش کاهش می‌دهد. افزایش اتساع عروق در تنظیم برون‌ده قلبی مهم است که تا حد زیادی به اکسیژن رسانی بستگی دارد (۲۴). اساساً در ورزش‌های با شدت بالا، حتی یک افزایش کوچک در عملکرد می‌تواند تأثیر زیادی بر نتیجه مسابقه داشته باشد. با در نظر گرفتن این موضوع، بسیاری از ورزشکاران تلاش می‌کنند تا عملکرد خود را از طریق مصرف کمک‌های ارگوژنیک تغذیه‌ای افزایش دهند؛ با این حال، اگرچه بسیاری از مکمل‌های تجاری موجود ادعا می‌کنند که عملکرد ورزشی را بهبود می‌بخشند، چنین ادعاهایی همیشه توسط یک پایه محکم از شواهد علمی قوی پشتیبانی نمی‌شوند. برای غلبه بر این ابهام و ارائه توصیه‌های مبتنی بر شواهد برای مکمل‌های غذایی به‌منظور افزایش عملکرد ورزشی، کمیته بین‌المللی المپیک اخیراً طبقه‌بندی مکمل‌های تغذیه‌ای را براساس شواهد علمی منتشر کرده است تا از اثربخشی ارگوژنیک آن‌ها حمایت کند. یکی از مکمل‌های غذایی که دارای شواهد علمی زیادی برای حمایت از اثر ارگوژنیک طبقه‌بندی شده بود، آب چغندر است (۲۵). علاوه بر این، به خوبی مستند شده است که عضله اسکلتی نوع II و تند انقباض در مقایسه با عضله آهسته انقباض نوع I در

1. Rate of Force Development

هنگام انقباضات، هیپوکسیک و اسیدی تر است و عضله نوع II به شدت در طول تمرینات سرعتی متناوب و همه جانبه با شدت بالا به کار گرفته می شود (۲۵)؛ بنابراین پتانسیل اثر ارگوژنیک به دنبال مکمل های NO_3^- در رژیم غذایی ممکن است در طول تمرینات با شدت بالا در کوتاه مدت بیشترین باشد؛ همان طور که با بهبود سرعت تک سرعتی و/یا عملکرد ورزشی متناوب دوی سرعت مکرر/شدت بالا به دنبال مصرف مکمل NO_3^- پشتیبانی می شود (۲۵).

در مجموع، یافته های فراتحلیل حاضر بیانگر نبود تأثیر معنادار مصرف حاد مکمل آب چغندر بر عملکرد بی هوازی در افراد تمرین کرده و ورزشکار است. همچنین از آنجاکه در فراتحلیل دیگر نیز هیچ اثر کلی به نفع مکمل چغندر برای بهبود توان خروجی در طول عملکرد تمرین HIIT/SIT وجود نداشت (۱۴)، لزوم انجام گرفتن تحقیقات بیشتر برای ارائه نتیجه گیری قابل استنادتر برجسته می شود. نظر به اینکه ناهمگونی میان مطالعات فراتحلیل حاضر توسط آزمون I^2 تحلیل شد و این یافته به دست آمد که میان مطالعات درخصوص شاخص های توان بیشینه، توان کمینه، میانگین توان بی هوازی ناهمگونی وجود ندارد یا به بیانی دیگر، همگونی وجود دارد، اعتماد به تخمین اندازه اثر در فراتحلیل حاضر اثر قوت می گیرد و با این تفاسیل می توان اذعان کرد که تأثیر مکمل آب چغندر به صورت حاد بر توان بی هوازی در افراد تمرین کرده نفی می شود.

نقاط قوت

چندین نقطه قوت در فراتحلیل حاضر وجود دارد که لازم است به آن پرداخته شود. نخست، مطالعه حاضر برای تعیین تأثیر مصرف مکمل آب چغندر، به طور انحصاری به شکل حاد و تک جلسه ای مکمل را سه ساعت یا کمتر از سه ساعت به عنوان آخرین دوز مصرفی بر شاخص های عملکرد بی هوازی در افراد تمرین کرده بررسی کرد. همچنین اکثر قریب به اتفاق مطالعات از آزمون RAST و Wingate به عنوان استانداردهای طلایی روا و پایا و به عنوان ابزاری مؤثر برای سنجش عملکرد بی هوازی انجام شدند (۴۴-۴۶). این موارد همگنی و همسانی مطالعات را بسیار افزایش می بخشد. افزون بر این، استراتژی جستجو در پایگاه های اطلاعاتی پاب مد، وب آف ساینس، مگیران، سید و گوگل اسکالر، برای مقالات پژوهشی اصیل فارسی و انگلیسی به کار رفت.

محدودیت ها

نخست، در فراتحلیل حاضر از ۱۱ مطالعه برای تعیین اندازه اثر استفاده شد. از لحاظ نظری، تنها دو مطالعه برای انجام متآنالیز نیاز است (۴۲)؛ باین حال، این تعداد کم مشاهدات ممکن است به برآوردهای نادرستی منجر شود که در آن تفسیر دقیق نتایج ضروری است. دوم اینکه اگرچه هیچ ناهمگونی درخور توجهی در مطالعات انجام شده برای متآنالیز مشاهده نشد، برخی از مطالعات از آزمودنی ها خواسته بودند که در طول مدت مطالعه از مصرف غذاهای غنی از نیترات خودداری کنند؛ در حالی که بعضی از مطالعات مصرف غذاهای غنی از نیترات را در افراد محدود نکردند (۳۰، ۲۸، ۲۶). با توجه به این نکته، ممکن است محدود کردن مصرف غذاهای غنی از نیترات در رژیم غذایی، نیتريت اولیه پلاسما را کاهش دهد و در نتیجه اثرات مشاهده شده در هنگام مصرف مکمل نیترات را افزایش دهد. سوم اینکه تفاوت در حالت، مدت و شدت تمرین، علاوه بر وضعیت تمرین فردی، تفسیر نتایج و ابداع توصیه های عملی را به چالش می کشد. علاوه بر این، تغییرات در سایر مواد تشکیل دهنده که ممکن است دارای خواص ارگوژنیک متفاوت باشند، یکی از ملاحظات مهم در میان مطالعات است؛ به عنوان مثال، استفاده از یک دوز پودر آب چغندر قرمز مخلوط با آب در قیاس با مصرف چغندر آب گیری شده (۲۷). همچنین مطالعات فراتحلیل حاضر دارای حجم نمونه کوچک بودند که تجمیع داده ها را برای افزایش قدرت آماری به چالش می کشد. در آخر، ناهمگونی آماری

بی‌اهمیتی در تجزیه و تحلیل ما مربوط به توان خروجی وجود داشت، اما تنوع در خور توجیهی در سطح رقابتی شرکت‌کنندگان، پروتکل‌های تمرینی به کار گرفته شده، دوز چغندر، نوع محصولات چغندر، و استراتژی مکمل وجود داشت. این تغییرات مهم در طراحی و روش‌شناسی مطالعه، علاوه بر مجموعه محدود مطالعات، آشکارسازی اثرات را در گروه خاصی از شرکت‌کنندگان سخت‌تر می‌کند و به طور بالقوه نتیجه‌گیری قطعی از تأثیر چغندر بر عملکرد بی‌هوازی را محدود می‌کند.

در مجموع تحقیق حاضر نشان داد، بهبودی در خور توجیه در توان بیشینه، توان کمینه، میانگین توان بی‌هوازی و شاخص خستگی پس از مصرف مکمل حاد چغندر، در افراد تمرین کرده و ورزشکار وجود ندارد. داده‌های ما نشان می‌دهد که مصرف حاد آب چغندر برای مربیان و ورزشکارانی که قصد استفاده از آن را از منظر توان بی‌هوازی در جلسات ورزشی/تمرینی با آزمون وینگیت و رست دارند، یک کمک‌نیروافزای مؤثر نیست؛ با این حال، این بدان معنی نیست که آب چغندر مزیتی در سایر جنبه‌های استفاده شده ندارد و استراتژی اشتغال باید در ارتباط با نیازهای کلی تمرین و ورزش در نظر گرفته شود. افزون بر این، با توجه به اینکه تا به امروز چغندر منبع اصلی مکمل نیترات برای مطالعات ورزشی باقی مانده است، ما معتقدیم که یافته‌های گزارش شده در مطالعه حاضر ارزشمند هستند. تغییر در پروتکل‌های تمرین، دوز نیترات، نوع محصولات چغندر، استراتژی مکمل‌سازی و مدت زمان آخرین دوز مصرفی ممکن است نتیجه‌گیری قطعی از شواهد را مبنی بر اثر حاد مکمل آب چغندر بر شاخص‌های عملکرد بی‌هوازی در افراد تمرین کرده و ورزشکار محدود کند. انجام تحقیقات بیشتری برای بهینه‌سازی استراتژی مکمل‌سازی، شامل دوز مصرف، زمان مصرف و نوع محصولات چغندر مورد نیاز است.

پیام مقاله

نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که مصرف حاد مکمل آب چغندر نمی‌تواند به عنوان یک راهکار قطعی برای بهبود عملکرد بی‌هوازی در افراد تمرین کرده در نظر گرفته شود؛ از این رو پیشنهاد می‌شود، در صورتی که افراد تمرین کرده متمایل و مشتاق هستند تا از اثرات آب چغندر و خواص دارویی و درمانی آن بهره جویند و همچنین مطابق با بیانیه کمیته بین‌المللی المپیک، ورزشکاران و مربیان می‌خواهند شاهد تأثیر آن مکمل بر افزایش عملکرد بی‌هوازی و شاخص‌های آن باشند، براساس یافته‌های حاضر به نظر نمی‌رسد که مصرف حاد این مکمل برای افراد تمرین کرده مؤثر باشد و احتمالاً باید اشکال کوتاه‌مدت و مزمن در دوره‌های زمانی طولانی‌تر یا با مقادیر و دوزهای بیشتر را به کار برند.

مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان در طراحی، اجرا و نگارش تمامی بخش‌های پژوهش حاضر مشارکت داشته‌اند.

تعارض منافع

مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

تشکر و قدردانی

از نویسندگانی که داده‌های مطالعات خود را در اختیار ما قرار دادند، تشکر می‌نماییم.

منابع

1. Williams TD, Martin MP, Mintz JA, Rogers RR, Ballmann CG. Effect of acute beetroot juice supplementation on bench press power, velocity, and repetition volume. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2020;34(4):924-8.
2. Hassanpour N, Ghanbargpour a, Pourvaghari 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. (Persian)
3. Kreider RB, Wilborn CD, Taylor L, Campbell B, Almada AL, Collins R, et al. ISSN exercise & sport nutrition review: research & recommendations. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 2010;7(1):7.
4. Abdo E, El-Sohaimy S, Shaltout O, Abdalla A, Zeitoun A. Nutritional evaluation of beetroots (*Beta vulgaris* L.) and its potential application in a functional beverage. *Plants*. 2020;9(12):1752.
5. Kazeminasab F, Sabaghian F. The combined effect of aerobic exercise and plant-based diet on body composition in adults with overweight and obesity: a meta-analysis systematic review. *Journal of Guilan University of Medical Sciences*. 2024;33(2):160-175. (Persian)
6. Kazeminasab F, Mahboobi MH, Azali Alamdari K. The combined effect of aerobic exercise and vegetarian diet on blood pressure in adults with overweight and obesity: a meta-analysis systematic review. *Research in Sport Medicine and Technology*. 2024;22(27):240-274. (Persian)
7. Kale R, Sawate A, Kshirsagar R, Patil B, Mane R. Studies on evaluation of physical and chemical composition of beetroot (*Beta vulgaris* L.). *International Journal of Chemical Studies*. 2018;6(2):2977-9.
8. Tan ML, Hamid SBS. Beetroot as a potential functional food for cancer chemoprevention, a narrative review. *Journal of Cancer Prevention*. 2021;26(1):1.
9. Ashworth A, Cutler C, Farnham G, Liddle L, Burleigh M, Rodiles A, et al. Dietary intake of inorganic nitrate in vegetarians and omnivores and its impact on blood pressure, resting metabolic rate and the oral microbiome. *Free Radical Biology and Medicine*. 2019;138:63-72.
10. Jones AM, Thompson C, Wylie LJ, Vanhatalo A. Dietary nitrate and physical performance. *Annual Review of Nutrition*. 2018;38:303-28.
11. Van De Walle GP, Vukovich MD. The effect of nitrate supplementation on exercise tolerance and performance: a systematic review and meta-analysis. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2018;32(6):1796-808.
12. Domínguez R, Cuenca E, Maté-Muñoz JL, García-Fernández P, Serra-Paya N, Estevan MCL, et al. Effects of beetroot juice supplementation on cardiorespiratory endurance in athletes. A systematic review. *Nutrients*. 2017;9(1):43.
13. 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. (Persian)
14. Wong TH, Sim A, Burns SF. The effect of beetroot ingestion on high-intensity interval training: a systematic review and meta-analysis. *Nutrients*. 2021;13(11):3674.
15. Afrisham R, Farrokhi V, Ghanavati M, Asbaghi O, Mohammadi S, Mohammadian M, et al. The effects of beetroot and nitrate supplementation on body composition: a GRADE-assessed systematic review and meta-analysis. *British Journal of Nutrition*. 2023;130(8):1343-56.
16. Lara J, Ashor AW, Oggioni C, Ahluwalia A, Mathers JC, Siervo M. Effects of inorganic nitrate and beetroot supplementation on endothelial function: a systematic review and meta-analysis. *European Journal of Nutrition*. 2016;55:451-9.
17. Ormsbee MJ, Lox J, Arciero PJ. Beetroot juice and exercise performance. *Nutrition and Dietary Supplements*. 2013;1:27-35.
18. Maughan RJ, Burke LM, Dvorak J, Larson-Meyer DE, Peeling P, Phillips SM, et al. IOC consensus statement: dietary supplements and the high-performance athlete. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 2018;28(2):104-25.

19. Hord NG, Tang Y, Bryan NS. Food sources of nitrates and nitrites: the physiologic context for potential health benefits. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2009;90(1):1-10.
20. Tarsilla M. Cochrane handbook for systematic reviews of interventions. *Journal of Multidisciplinary Evaluation*. 2010;6(14):142-8.
21. Moher D, Shamseer L, Clarke M, Ghersi D, Liberati A, Petticrew M, et al. Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. *Systematic reviews*. 2015;4:1-9.
22. Cuenca E, Jodra P, Perez-Lopez A, Gonzalez-Rodriguez LG, da Silva SF, Veiga-Herreros P, et al. 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):12.
23. Domínguez R, Garnacho-Castaño MV, Cuenca E, García-Fernández P, Muñoz-González A, De Jesús F, et al. Effects of beetroot juice supplementation on a 30-s high-intensity inertial cycle ergometer test. *Nutrients*. 2017;9(12):1360.
24. Dumar AM, Huntington AF, Rogers RR, Kopec TJ, Williams TD, Ballmann CG. Acute Beetroot juice supplementation attenuates morning-associated decrements in supramaximal exercise performance in trained sprinters. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;11(2):18.
25. Jodra P, Dominguez R, Sanchez-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 Sport Physiol Perform*. 2020;15(2):243-8.
26. Martin K, Smee D, Thompson KG, Rattray B. No improvement of repeated-sprint performance with dietary nitrate. *Int J Sport Physiol Perform*. 2014;9(5):845-50.
27. Conger SA, Zamzow CM, Darnell ME. Acute beet juice supplementation does not improve 30-or 60-second maximal intensity performance in anaerobically trained athletes. *International Journal of Exercise Science*. 2021;14(2):60.
28. Smith K, Muggeridge DJ, Easton C, Ross MD. 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*. 2019;119:723-33.
29. Tatlici A, Cakmakci O. The effects of acute dietary nitrate supplementation on anaerobic power of elite boxers. *Med Dello Sport*. 2019;72:225-33.
30. Baumann K. The effect of acute beetroot juice supplementation on anaerobic power in females. University of Wisconsin-La Crosse; 2021.
31. Kazeminasab F, Baharlooie M, Khalafi M. The impact of exercise on serum levels of leptin and adiponectin in obese children and adolescents: a systematic review and meta-analysis. *Iranian Journal of Endocrinology and Metabolism*. 2022;23(6):409-25. (Persian)
32. Khalafi M, Sakhaei MH, Kazeminasab F, Symonds ME, Rosenkranz SK. The impact of high-intensity interval training on vascular function in adults: a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*. 2022;9:1046560.
33. De Morton NA. The PEDro scale is a valid measure of the methodological quality of clinical trials: a demographic study. *Australian Journal of Physiotherapy*. 2009;55(2):129-33.
34. Kazeminasab F, Hasanpour N. Comparison of the effect of low-calorie diet and exercise on leptin and adiponectin in middle-aged and elderly adults with overweight and obesity: a systematic review and meta-analysis. *Iranian Journal of Diabetes and Metabolism*. 2024;24(1):15-33.
35. Kazeminasab F, Hasanpour N. The effect of concurrent training on the levels of leptin, adiponectin, and body composition in adults with overweight and obesity: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Applied Health Studies in Sport Physiology*. 2024;11(1):278-303.
36. Higgins JP, Thompson SG, Deeks JJ, Altman DG. Measuring inconsistency in meta-analyses. *BMJ*. 2003;327(7414):557-60.
37. Kazeminasab F, Miraghajani M, Khalafi M, Sakhaei MH, Rosenkranz SK, Santos HO. Effects of low-carbohydrate diets, with and without caloric restriction, on inflammatory markers in adults: a systematic

- review and meta-analysis of randomized clinical trials. *European Journal of Clinical Nutrition*. 2024;1;1-16.
38. Mogharnasi M, Kazeminasab F, Zafarmand O, Hassanpour N. The effect of aerobic and resistance training on Omentin-1 and Nesfatin-1 levels in adults: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Birjand University of Medical Sciences*. 2024;30(4):295-315. (Persian)
 39. Wen H, Wang L. Reducing effect of aerobic exercise on blood pressure of essential hypertensive patients: a meta-analysis. *Medicine (Baltimore)*. 2017;96(11):e6150.
 40. Kazeminasab F, Sharafifard F, Miraghajani M, Behzadnejad N, Rosenkranz SK. The effects of exercise training on insulin resistance in children and adolescents with overweight or obesity: a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Endocrinology*. 2023;14:1178376.
 41. Kazeminasab F, Baharlooie M, Karimi B, Mokhtari K, Rosenkranz SK, Santos HO. Effects of intermittent fasting combined with physical exercise on cardiometabolic outcomes: systematic review and meta-analysis of clinical studies. *Nutrition Reviews*. 2023;nuad155.
 42. Hoon MW, Johnson NA, Chapman PG, Burke LM. 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*. 2013;23(5):522-32.
 43. Wilkerson DP, Hayward GM, Bailey SJ, Vanhatalo A, Blackwell JR, Jones AM. Influence of acute dietary nitrate supplementation on 50 mile time trial performance in well-trained cyclists. *European Journal of Applied Physiology*. 2012;112(12):4127-34.
 44. Dotan R, Bar-Or O. Load optimization for the Wingate anaerobic test. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. 1983;51(3):409-17.
 45. Singh H. A comparative study of the validity of between Wingate test and running-based anaerobic sprint test (RAST) in young elite football players. *International Journal of Yogic, Human Movement and Sports Sciences*. 2019;4(1):1019-23.
 46. Carey DG, Richardson MT. Can aerobic and anaerobic power be measured in a 60-second maximal test? *Journal of Sports Science & Medicine*. 2003;2(4):151.