University of Tehran Press

Journal of Sport Biosciences

Online ISSN: 2676-4148

Investigating the Effect of Nitric Oxide Supplementation Combined with Eight Weeks of Functional Training on Performance Improvement in Talent Identification Tests among Female University Students

Farahnaz Amirshaghaghi [1]✉, **Reyhaneh Khalilian Vayghan** [2]

1.Assistant Professor in Exercise Physiology at University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: : famirshaghaghi@ut.ac.ir
2.Master's graduate in Exercise Physiology at University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: khalilianvayghan@ut.ac.ir

Article Info

Article type:

Research

Article history:
Received:
26 May 2026
Received in revised form:
26 July 2026
Accepted:
26 September 2026
Published online:
21 March 2027

Keywords:
Artistic Gymnastics,
Female University Students,
Functional Training,
Nitric Oxide,
Supplementation,
TOPS.

ABSTRACT

Introduction: Performing gymnastics skills requires physical abilities such as upper-body strength, isometric trunk endurance, and balance. Although functional training and nutritional supplements are potential strategies for improving these capacities, sufficient scientific evidence regarding their effects on gymnastics performance is lacking. Therefore, this study aimed to investigate the effects of eight weeks of functional training, nitric oxide supplementation, and their combination on the performance of female university students in TOPS tests.

Methods: In this study, female physical education students were randomly assigned to three groups: functional training, supplementation, and combined. All participants attended regular gymnastics classes for eight weeks; however, the functional training and combined groups also participated in additional training sessions, while the supplementation and combined groups consumed a nitric oxide supplement before training sessions. Participants' performance in the rope climb, L-sit angle, and wall-supported handstand tests was evaluated before and after the intervention.

Results: The results indicated improvements in participants' performance on some TOPS test indicators. The greatest improvements were observed in tests of upper-body pulling strength and static endurance. The combined group demonstrated better performance than the other groups, although no significant change was observed in the wall-supported handstand skill.

Conclusion: It appears that adding functional training to regular gymnastics programs, particularly when combined with nitric oxide supplementation, may effectively improve functional components related to gymnastics talent identification tests.

Cite this article: Amirshaghaghi; F. Khalilian Vayghan; R. Investigating the Effect of Nitric Oxide Supplementation Combined with Eight Weeks of Functional Training on Performance Improvement in Talent Identification Tests among Female University Students. *Journal of Sport Biosciences*. 2026; 18 (1): 33-51.

DOI: http//doi.org/10.22059/JSB.2026.414427.1709.

Journal of Sport Biosciences by University of Tehran Press is licensed under CC BY-NC 4.0. | Web site: https://jsb.ut.ac.ir/ | Email: jsb@ut.ac.ir.

© The Author(s). Publisher: University of Tehran Press.

University of Tehran Press

Journal of Sport Biosciences

Online ISSN: 2676-4148

Extended Abstract

Introduction

Gymnastics is a sport that requires a combination of physical abilities, including muscular strength, balance, coordination, flexibility, and muscular endurance. Basic or preparatory gymnastics skills especially demand significant upper body pulling strength, isometric endurance of the trunk muscles, and the ability to maintain postural control during both static and dynamic movements. These physical capabilities are crucial in the early stages of skill acquisition and are commonly evaluated through talent identification programs such as the Talent Opportunity Program (TOPS) tests. The TOPS tests are widely utilized to assess fundamental physical and motor abilities that are related to gymnastics performance. In recent years, functional training has gained popularity as an effective approach for enhancing sport-specific performance. This type of training typically involves multi-joint and multi-planar movements that mimic real-life or sport-specific actions, aiming to improve overall neuromuscular coordination, strength, balance, and stability. Given its focus on integrated movement patterns, functional training may be particularly beneficial for gymnastics, where coordinated whole-body actions are necessary for skill execution. In addition to training interventions, nutritional strategies can also contribute to improved physical performance. One such strategy is the use of supplements that enhance nitric oxide production. Nitric oxide plays an important physiological role in vasodilation, which increases blood flow to working muscles and potentially improves oxygen and nutrient delivery during exercise. Consequently, nitric oxide supplementation may enhance exercise performance, muscular endurance, and recovery. Despite the growing interest in both functional training and nitric oxide supplementation, limited research has explored their combined effects on performance indicators associated with gymnastics talent identification tests. Therefore, this study aimed to investigate the effects of eight weeks of functional training, nitric oxide supplementation, and their combined use on the performance of female university students in selected TOPS tests.

Methods

The current study utilized an experimental research design involving female undergraduate students majoring in physical education who volunteered to participate. After meeting the inclusion criteria, participants were randomly assigned to one of three groups: a functional training group, a supplementation group, and a combined group that received both interventions. All participants attended regular gymnastics classes for eight weeks as part of their academic curriculum. In addition to the standard gymnastics sessions, the functional training group and the combined group performed additional functional training exercises aimed at enhancing strength, stability, balance, and muscular endurance relevant to gymnastics performance. These exercises typically included body-weight movements, core stabilization drills, and multi-joint exercises that simulate functional movement patterns. Participants in both the supplementation group and the combined group consumed a nitric oxide supplement prior to their training sessions, following the recommended dosage guidelines. This supplementation protocol was consistently maintained throughout the eight-week intervention period. To evaluate performance changes, several components of the TOPS test battery were administered before and after the intervention. These components included the rope climb test to assess upper-body pulling strength, the L-sit (angle hold) test for measuring isometric endurance of the core and

University of Tehran Press
Journal of Sport Biosciences
Online ISSN: 2676-4148

hip flexor muscles, and the handstand against the wall test to evaluate upper-body stability and balance. All assessments were conducted under similar testing conditions to ensure reliability and consistency.

Results

The results of the study showed that the interventions led to improvements in several performance indicators related to the TOPS tests. In general, participants performed better after the eight-week intervention period compared to their pre-test scores. The improvements were particularly noticeable in tests measuring upper-body pulling strength and static muscular endurance. Participants in the functional training group displayed significant enhancements in tasks requiring strength and muscular control, indicating that the additional functional exercises effectively improved the neuromuscular capacities needed for these tasks. Similarly, participants in the supplementation group showed moderate improvements, which may be attributed to the physiological effects of nitric oxide supplementation, such as increased blood flow and potentially improved exercise tolerance. The combined group, which received both functional training and nitric oxide supplementation, demonstrated the most significant improvements across various performance indicators. This group generally achieved greater gains in rope climbing performance and L-sit endurance compared to the other groups, suggesting that the combination of training and nutritional support may have a synergistic effect on physical performance. However, the results did not show any substantial improvement in the wall-supported handstand test across the groups. This finding may indicate that this particular skill relies more on technical proficiency and motor learning rather than solely on physical conditioning.

Conclusion

The findings of this study suggest that incorporating functional training into regular gymnastics programs can enhance specific physical abilities related to gymnastics performance, particularly upper body strength and core muscular endurance. Additionally, nitric oxide supplementation may offer further benefits by improving physiological conditions that support exercise performance. Notably, the combination of functional training and nitric oxide supplementation led to greater improvements in several performance measures compared to either intervention alone. These results underscore the potential value of integrating both training and nutritional strategies to optimize performance outcomes in gymnastics-related tasks. However, the lack of significant improvement in the handstand test indicates that certain gymnastics skills may require more specialized technical practice and skill-based training. Therefore, future research should further explore the relationship between physical conditioning, supplementation, and technical skill development in gymnastics training programs.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines: This study was approved by the Research Ethics Committee of the Faculty of Sport and Health Sciences at the University of Tehran (Approval Code: IR.UT.SPORT.REC.1404.051). All participants provided written informed consent prior to participation. All research procedures were conducted in accordance with the principles of the Declaration of Helsinki.

Funding: This research received no external financial support.

Authors' contribution: Reyhaneh Khalilian designed and implemented the study, collected the data, performed the statistical analysis, and wrote the manuscript. The author approved the final version of the manuscript.

Conflict of interest: The author declares that this research was conducted without any commercial or financial relationships that could be construed as potential conflicts of interest.

Acknowledgments: The authors would like to express their sincere gratitude to all the participants who generously took part in this study.

علوم زیستی ورزشی
انتشارات دانشگاه تهران
شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۴۱۴۸

بررسی تأثیر مصرف مکمل نیتریک اکساید همراه با هشت هفته تمرین عملکردی بر بهبود عملکرد در آزمون استعدادیابی دانشجویان دختر

فرحناز امیرشقاقی [۱]، ریحانه خلیلیان وایقان [۲]

۱. نویسندهٔ مسئول: استادیار، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکدهٔ علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: famirshaghaghi@ut.ac.ir
۲. کارشناسی ارشد (فیزیولوژی ورزشی)، دانشکدهٔ علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: khalilianvayghan@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/ ۰۳/۰۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/ ۰۵/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۷ /۰۴
تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/ ۰۱/۰۱

کلیدواژه‌ها:
تمرین عملکردی
TOPS
دانشجویان دختر،
ژیمناستیک هنری،
مکمل‌یاری،
نیتریک اکساید.

چکیده

مقدمه: اجرای مهارت‌های ژیمناستیک نیازمند توانایی‌های جسمانی نظیر قدرت اندام فوقانی، استقامت ایزومتریک تنه و تعادل است. اگرچه تمرینات عملکردی و مکمل‌های تقویتی راهکارهای بالقوه برای بهبود این قابلیت‌ها هستند، شواهد علمی کافی دربارهٔ تأثیر آنها بر عملکرد ژیمناستیک وجود ندارد. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر هشت هفته تمرین عملکردی، مصرف مکمل نیتریک اکساید و ترکیب این دو بر عملکرد دانشجویان دختر در آزمون‌های TOPS انجام گرفت.

روش‌ها: در این پژوهش، دانشجویان دختر رشتهٔ تربیت بدنی به‌صورتبه‌صورت تصادفی در سه گروه تمرین عملکردی، مکمل‌یاری و ترکیبی قرار گرفتند. تمام شرکت‌کنندگان به مدت هشت هفته در کلاس‌های منظم ژیمناستیک حضور یافتند؛ با این تفاوت که گروه تمرین عملکردی و ترکیبی جلسات تمرینی مضاعف داشتند و گروه‌های مکمل‌یاری و ترکیبی پیش از تمرین از مکمل نیتریک اکساید استفاده کردند. عملکرد آزمودنی‌ها در آزمون‌های طناب، زاویهٔ روی نردبان سوئدی و ایستادن روی دست با تکیه به دیوار، پیش و پس از مداخله ارزیابی شد.

یافته‌ها: نتایج حاکی از بهبود عملکرد شرکت‌کنندگان در برخی شاخص‌های آزمون TOPS بود. بیشترین میزان پیشرفت در آزمون‌های قدرت کشش اندام فوقانی و استقامت ایستا مشاهده شد. گروه ترکیبی نسبت به سایر گروه‌ها عملکرد بهتری داشت، اگرچه در مهارت ایستادن روی دست تغییر معناداری رخ نداد.

نتیجه‌گیری: به‌نظر می‌رسد افزودن تمرینات عملکردی به برنامه‌های منظم ژیمناستیک، به‌ویژه در صورت همراهی با مصرف مکمل نیتریک اکساید، می‌تواند مؤلفه‌های عملکردی مرتبط با آزمون‌های استعدادیابی ژیمناستیک را به‌طور مؤثری بهبود بخشد.

استناد: نام خانوادگی، فرحناز؛ امیرشقاقی، ریحانه؛ و خلیلیان وایقان، بررسی تأثیر مصرف مکمل نیتریک اکساید همراه با هشت هفته تمرین عملکردی بر بهبود عملکرد در آزمون استعدادیابی دانشجویان دختر. نشریهٔ *علوم زیستی ورزشی*.۱۴۰۵؛ (۱)۱۸، ۳۳-۵۱.
DOI: http//doi.org/10.22059/JSB.2026.414427.1709.

دسترسی به این نشریه علمی، رایگان است و حق مالکیت فکری خود را بر اساس لایسنس کریتیو کامنز (CC BY-NC 4.0) به نویسندگان واگذار کرده است.| آدرس نشریه: https://jsb.ut.ac.ir/ | ایمیل: jsb@ut.ac.ir
ناشر: انتشارات دانشگاه تهران. © نویسندگان.

مقدمه

ژیمناستیک هنری یکی از رشته‌های المپیکی بسیار تخصصی و فنی است که اجرای موفق در آن مستلزم برخورداری از نسبت بالای قدرت به جرم بدن، هماهنگی عصبی‌ـعضلانی، دامنهٔ حرکتی مناسب، کنترل مطلوب در وضعیت ایستادن روی دست و توانایی تولید سریع نیرو در سطوح مختلف حرکتی است. از این‌رو، ارتقای نظام‌مند ویژگی‌های جسمانی و حرکتی مرتبط با این رشته، از محورهای اصلی در فرایند پرورش ورزشکار و بهبود عملکرد او به‌شمار می‌رود. افزون بر این، با توجه به بازنگری دوره‌ای قوانین و آیین‌نامهٔ امتیازدهی در ژیمناستیک، نیازهای فنی و جسمانی تحمیل‌شده به ورزشکاران نیز به‌طور مستمر تغییر می‌کند؛ بنابراین، شناسایی و به‌کارگیری راهبردهای تمرینی و حمایتی مؤثر برای توسعهٔ توانایی‌های عملکردی مرتبط با ژیمناستیک، همچنان از موضوعات اساسی در فیزیولوژی ورزشی و مربی‌گری کاربردی است [هیکار، ۲۰۲۴؛ جمنی، ۲۰۲۲].

از منظر کاربردی، استفاده از آزمون‌های عملکردی اختصاصی که بتوانند آمادگی جسمانی مرتبط با ژیمناستیک را به‌خوبی ارزیابی کنند، در پایش پیشرفت تمرینی و بررسی سازگاری‌های ناشی از مداخله اهمیت فراوانی دارد. اگرچه برخی آزمون‌ها در ادبیات این رشته با عنوان آزمون‌های استعدادیابی شناخته می‌شوند، در عمل می‌توان از آنها به‌عنوان شاخص‌های عملکردی برای سنجش توانایی‌های زیربنایی مورد نیاز ژیمناستیک نیز بهره گرفت. در پژوهش حاضر، آزمون‌های TOPs[1] شامل صعود از طناب گره‌دار بدون کمک اندام تحتانی، نگه‌داشتن پاها به‌صورت افقی در حالت آویزان از نردبان سوئدی (زاویه) و حفظ وضعیت ایستادن روی دست با تکیه به دیوار بود. این آزمون‌ها بیش از آنکه صرفاً ابزار شناسایی استعداد باشند، می‌توانند نشانگرهای معتبری از قدرت و استقامت عضلات کششی اندام فوقانی، ثبات و کنترل تنه، استقامت خم‌کننده‌های ران و کنترل پاسچرال باشند؛ مؤلفه‌هایی که نقش مستقیمی در ارتقای عملکرد ژیمناستیکی دارند.

در این میان، تمرین عملکردی به‌عنوان یکی از رویکردهای نوین و کاربردی در بهبود آمادگی جسمانی، توجه گسترده‌ای را به خود جلب کرده است. این شیوهٔ تمرینی بر اجرای حرکات یکپارچه، چندمفصلی و چندصفحه‌ای تأکید دارد و هدف آن ارتقای عملکرد حرکتی از طریق بهبود هماهنگی عصبی‌ـعضلانی، ثبات مرکزی، تعادل، قدرت و انتقال بهتر سازگاری‌ها به تکالیف واقعی ورزش است. در عمل، تمرین عملکردی به‌طور معمول در قالب الگوهای حرکتی نزدیک به نیازهای اجرایی ورزش طراحی می‌شود و همزمان اندام فوقانی، میان‌تنه و اندام تحتانی را درگیر می‌سازد. بر همین اساس، این نوع تمرین به لحاظ نظری می‌تواند برای بهبود توانایی‌های مورد نیاز ژیمناستیک، به‌ویژه در تکالیفی که نیازمند کنترل بدنی، استقامت قدرتی و پایداری وضعیت هستند، سودمند باشد (استنجر، ۲۰۱۸؛ شیائو و همکاران، ۲۰۲۱؛ شیائو و همکاران، ۲۰۲۵).

همزمان، مداخلات تغذیه‌ای مبتنی بر افزایش فراهمی زیستی نیتریک اکساید نیز به‌عنوان راهبردی مکمل برای حمایت از عملکرد ورزشی مورد توجه قرار گرفته‌اند. نیتریک اکساید در تنظیم عملکرد عروقی، انقباض‌پذیری عضله و برخی فرایندهای متابولیکی نقش دارد و به‌صورت درون‌زاد از طریق آنزیم نیتریک اکساید سنتاز و با استفاده از ال–آرژنین به‌عنوان سوبسترا تولید می‌شود. بر این اساس، مکمل‌های مبتنی بر آرژنین، از جمله ال–آرژنین و ال–آرژنین آلفا–کتوگلوتارات، به‌عنوان تقویت‌کننده‌های نیتریک اکساید با هدف بهبود خون‌رسانی، تحمل تمرین و کیفیت ریکاوری مطرح شده‌اند. با این حال، یافته‌های پیشین دربارهٔ اثر این مکمل‌ها بر عملکرد بدنی، به‌ویژه در فعالیت‌های مهارت‌محور و متکی بر استقامت قدرتی، یکدست نیست و به‌نظر می‌رسد عواملی مانند دوز مصرف، زمان‌بندی، وضعیت تمرینی آزمودنی‌ها و ماهیت تکلیف عملکردی در این پاسخ‌ها دخیل باشند.

با وجود گستردگی پژوهش‌ها در ورزش‌های استقامتی، تناوبی و چرخه‌ای، بررسی اثر مکمل‌یاری مرتبط با نیتریک اکساید در رشته‌هایی مانند ژیمناستیک که ماهیتی مهارت‌محور، عصبی‌ـعضلانی و متکی بر کنترل بدن دارند، محدود است. در این رشته، عملکرد صرفاً به ظرفیت هوازی وابسته نیست، بلکه توانایی اجرای مکرر تلاش‌های شدید، حفظ وضعیت‌های ایزومتریک و تولید سریع نیرو در شرایط

[1]. TOPs (Talent Opportunity Program): برنامه های شناسایی استعداد ها

کنترل‌شده اهمیت دارد. از این‌رو، این احتمال مطرح است که بهبود خون‌رسانی عضلانی، استفاده از اکسیژن یا کاهش هزینهٔ انرژی در انقباضات تکراری بتواند به‌طور غیرمستقیم کیفیت تمرین و در نتیجه عملکرد فانکشنال را ارتقا دهد. شواهد موجود در این زمینه هنوز برای نتیجه‌گیری کاربردی در جمعیت‌های مشابه ژیمناست‌ها کافی نیست (لنسلی و همکاران، ۲۰۱۱؛ سرمک و همکاران، ۲۰۱۲؛ تان و همکاران، ۲۰۲۲).

نکتهٔ مهم‌تر آن است که اگرچه دربارهٔ تأثیرات مستقل تمرین عملکردی یا مکمل‌های تقویت‌کنندهٔ نیتریک اکساید تحقیقاتی انجام گرفته است، پژوهش‌های اندکی به بررسی اثر ترکیبی این دو مداخله بر شاخص‌های عملکردی نزدیک به نیازهای ژیمناستیک پرداخته‌اند. این موضوع از آن حیث اهمیت دارد که تمرین عملکردی اغلب از مسیرهای عصبی‌ـعضلانی و حرکتی، مانند بهبود هماهنگی، ثبات مرکزی و استقامت قدرتی، بر عملکرد اثر می‌گذارد؛ درحالی‌که مکمل‌یاری مرتبط با نیتریک اکساید بیشتر با سازوکارهای فیزیولوژیکی نظیر پرفیوژن عضلانی و کارایی متابولیکی مرتبط است. بنابراین، این احتمال وجود دارد که ترکیب این دو مداخله نسبت به اجرای هر کدام به‌تنهایی، تأثیرات افزایشی یا حتی هم‌افزا بر برخی مؤلفه‌های عملکردی ایجاد کند؛ اما این فرض در زمینهٔ تکالیف مرتبط با ژیمناستیک و در جمعیت زنان جوان غیرورزشکار یا نیمه‌فعال، به‌طور کافی آزمون نشده است (جونز، ۲۰۱۴).

از نظر ویژگی‌مندی تمرین نیز، هرچند تمرین عملکردی در بسیاری از حوزه‌های آمادگی جسمانی اثربخش گزارش شده است، میزان اثربخشی آن در ژیمناستیک به این بستگی دارد که تا چه اندازه بتواند الگوهای حرکتی و نیازهای واقعی این رشته را بازنمایی کند. به بیان دیگر، تمرین زمانی می‌تواند موجب بهبود معنادار عملکرد شود که استقامت کششی اندام فوقانی، سفتی و ثبات تنه و کنترل پاسچرال را در شرایطی نزدیک به تکلیف واقعی به چالش بکشد. تحقیقات انجام‌شده در جمعیت‌های ژیمناست نشان داده‌اند که تمرینات عصبی‌ـعضلانی و قدرت‌محور می‌توانند برخی قابلیت‌های عملکردی را بهبود دهند و در سایر رشته‌های ورزشی نیز برنامه‌های تمرین عملکردی با بهبود شاخص‌های حرکتی و اجرایی همراه بوده‌اند. با وجود این، همچنان کمبود شواهد دربارهٔ اثربخشی الگوی ترکیبی تمرین عملکردی و مکمل تقویت‌کنندهٔ نیتریک اکساید مبتنی بر آرژینین بر آزمون‌های عملکردی مشابه TOPS وجود دارد؛ به‌ویژه در شرایطی که این آزمون‌ها نه به‌عنوان ابزار صرف استعدادیابی، بلکه به‌منزلهٔ شاخص‌های پرورش عملکرد به‌کار روند (استنجر، ۲۰۱۸؛ موسکوپس و همکاران، ۲۰۲۴؛ وو و همکاران، ۲۰۲۳؛ شیائو و همکاران، ۲۰۲۴).

بنابراین، شکاف اصلی پژوهش حاضر در این است که با وجود شواهد جداگانه دربارهٔ فواید احتمالی تمرین عملکردی و برخی مکمل‌های مرتبط با نیتریک اکساید، هنوز روشن نیست که این دو مداخله در کنار یکدیگر تا چه اندازه می‌توانند عملکرد فانکشنال مرتبط با ژیمناستیک را بهبود دهند و آیا اثر ترکیبی آنها از مداخلات منفرد بیشتر است یا خیر. نوآوری پژوهش حاضر نیز در بررسی همزمان تأثیرات مستقل و ترکیبی مکمل تقویت‌کنندهٔ نیتریک اکساید و هشت هفته تمرین عملکردی بر شاخص‌هایی است که بازتاب‌دهندهٔ توانایی‌های عملکردی کلیدی در ژیمناستیک هستند. از این‌رو، هدف پژوهش حاضر بررسی تأثیرات مصرف مکمل تقویت‌کنندهٔ نیتریک اکساید و هشت هفته تمرین عملکردی، به‌صورت مستقل و ترکیبی، بر عملکرد آزمون TOPS در دانشجویان دختر بود. بر این اساس، فرض شد که عملکرد آزمودنی‌ها در شاخص‌های TOPS از پیش‌آزمون تا پس‌آزمون بهبود یابد و مداخلهٔ ترکیبی، به‌ویژه در تکالیفی که به قدرت و استقامت کشش اندام فوقانی، استقامت تنه و کنترل وضعیت وابسته‌اند، بیشترین میزان بهبود را نشان دهد.

مواد و روش‌ها

طرح پژوهش

پژوهش حاضر با استفاده از طرح تصادفی سه‌گروهی موازی و در دو نوبت اندازه‌گیری شامل پیش‌آزمون و پس‌آزمون انجام گرفت. شرکت‌کنندگان به‌صورت تصادفی در یکی از سه گروه تمرین عملکردی، مکمل‌یاری و ترکیبی قرار گرفتند. دورهٔ مداخله به مدت هشت هفته اجرا شد و تمامی آزمودنی‌ها در این مدت در یک کلاس مشترک ژیمناستیک به مدت ۶۰ دقیقه و دو جلسه در هفته شرکت کردند.

برای کنترل اثر تمرین پایه، محتوای کلاس ژیمناستیک در هر سه گروه یکسان بود. علاوه بر این، آزمودنی‌های گروه تمرین عملکردی و گروه ترکیبی پس از پایان هر جلسه کلاس ژیمناستیک، برنامهٔ تمرین عملکردی اضافی را نیز اجرا کردند، درحالی‌که گروه مکمل‌یاری هیچ‌گونه تمرین اضافه‌ای دریافت نکرد. در گروه‌های مکمل‌یاری و ترکیبی، مکمل Base Nutrition NO2 ساخت شرکت وانادا‌روگستر، تولید ایران تحت لیسانس Base Nutrition Inc/USA، به‌صورت کپسول مصرف شد. بر اساس اطلاعات درج‌شده روی محصول، هر کپسول حاوی ۷۵۰ میلی‌گرم L-Arginine Alpha Keto Glutarate 2:1 بود و نه مقدار مشخصی نیترات خالص؛ بنابراین، مقدار مادهٔ مؤثره به‌صورت ۷۵۰ میلی‌گرم AAKG برای هر کپسول گزارش شد. آزمودنی‌ها در روزهای تمرینی، روزانه یک عدد کپسول را حدود ۳۰ دقیقه پیش از شروع جلسهٔ ژیمناستیک و همراه با یک لیوان آب مصرف کردند؛ در روزهای غیرتمرینی نیز طبق دستور شرکت سازنده، مصرف مکمل در صبح انجام می‌گرفت. انتخاب این دوز بر اساس دستور مصرف شرکت سازنده، ترکیب اعلام‌شدهٔ محصول و شواهد پیشین مربوط به مکمل‌های مبتنی بر آرژینین و تقویت‌کننده‌های نیتریک اکساید صورت گرفت. برای تحلیل داده‌ها، از تحلیل واریانس چندمتغیره با اندازه‌گیری مکرر در قالب طرح دوعاملی گروه × زمان استفاده شد و در ادامه، آزمون‌های تک‌متغیره برای بررسی دقیق‌تر تفاوت‌ها انجام گرفت. سطح معناداری آماری در همهٔ آزمون‌ها ۰/۰۵ $>P$ در نظر گرفته شد.



شکل ۱. طرح مطالعه و نتایج کلیدی آزمون‌های TOPS

شرکت‌کنندگان

جامعهٔ آماری شامل دانشجویان دختر دانشکدهٔ علوم تربیت بدنی دانشگاه تهران بود که در بازهٔ سنی ۲۰ تا ۲۵ سال قرار داشتند. در مجموع، ۳۰ دانشجو وارد تحقیق شدند و به سه گروه تخصیص یافتند. در بخش نتایج، داده‌های مربوط به ۲۷ شرکت‌کننده که در تحلیل نهایی حضور داشتند، گزارش شده است (۱۰ نفر در گروه تمرین عملکردی، ۸ نفر در گروه مکمل‌یاری، و ۹ نفر در گروه ترکیبی). تخصیص به گروه‌ها با روش تصادفی ساده انجام گرفت. پژوهش فاقد گروه کنترل دارونما (پلاسبو) بود و هیچ‌گونه روش کورسازی برای شرکت‌کنندگان یا محققان به‌کار نرفته است.

شرایط ورود به تحقیق عبارت بود از:

- جنسیت زن
- دانشجوی رشتهٔ تربیت بدنی دانشگاه تهران

شرایط خروج از پژوهش شامل موارد زیر بود:

- ورزشکار حرفه‌ای ژیمناستیک
- آسیب فعلی
- مصرف استروئیدها یا داروهای ممنوعه

ویژگی‌های اولیه شرکت‌کنندگان برحسب گروه

جدول ۱. مشخصات دموگرافیک و آنتروپومتریک شرکت‌کنندگان در سه گروه

گروه	تعداد (N)	سن (سال)	وزن (کیلوگرم)	قد (سانتی‌متر)	شاخص تودهٔ بدن *(BMI)* (کیلوگرم بر متر مربع)
تمرین عملکردی	۱۰	۲۱/۸±۰/۵۱	۵۸/۷±۲/۰۵	۴۱۶۲ ± ۱/۶۵	۲۲/۳۶ ± ۱/۷۳
مکمل نیترات	۸	۲۱/۱۲ ± ۰/۲۲	۵۸/۶۲± ۲/۰۶	۱۶۵/۰ ± ۱/۳۸	۲۱/۵۳ ± ۱/۴۵
ترکیبی (تمرین + مکمل)	۹	۲۲/۰ ± ۰/۲۳	۵۶/۴۴ ± ۱/۴۳	۱۶۴/۷ ± ۲/۱۳	۲۰/۹۸ ± ۱/۵۳

مداخلات (هشت هفته)

کلاس مشترک ژیمناستیک: تمامی گروه‌ها در طول دورهٔ هشت‌هفته‌ای، دو جلسه در هفته و هر جلسه به مدت ۶۰ دقیقه در کلاس ژیمناستیک دانشگاه شرکت کردند. این کلاس به‌عنوان بخشی از برنامهٔ درسی دانشگاه برگزار شده و به‌عنوان پایه‌ای استاندارد برای همهٔ گروه‌ها به‌منظور یکسان‌سازی میزان تمرین تلقی شد. بلافاصله پس از کلاس، گروه‌های تمرین عملکردی و ترکیبی برنامهٔ تمرین عملکردی را که در ادامه توضیح داده می‌شود، اجرا کردند، اما گروه مکمل‌یاری هیچ تمرین اضافی انجام نداد.

مکمل‌یاری با تقویت‌کنندهٔ نیتریک اکسید: در گروه‌های مکمل‌یاری و ترکیبی، مکمل تقویت‌کنندهٔ نیتریک اکسید به‌صورت کپسول ۷۵۰ میلی‌گرمی، بلافاصله پیش از هر جلسه کلاس ژیمناستیک (دو جلسه در هفته) به مدت هشت هفته مصرف شد. به این ترتیب، در گروه ترکیبی، مصرف مکمل حدود ۶۰ دقیقه پیش از بخش تمرین عملکردی که پس از کلاس ژیمناستیک انجام می‌گرفت، صورت گرفت.

برنامهٔ تمرین عملکردی: برنامهٔ تمرین عملکردی هشت هفته به طول انجامید و شامل دو جلسه در هفته بود. هر جلسهٔ تمرینی مشتمل بر ۱۰ دقیقه گرم کردن، ۴۰ تا ۵۰ دقیقه تمرین عملکردی و ۱۰ دقیقه سرد کردن بود.

جدول ۲. پیشرفت بار تمرینی

هفته‌ها	تعداد تکرارها	شدت *(%)*	تعداد ست‌ها	زمان استراحت (به ثانیه)
۲–۱	۲۰–۱۶	۷۰–۵۰	۳	۳۰
۴–۳	۱۸–۱۴	۷۰–۵۰	۳	۴۰
۶–۵	۱۴–۱۲	۷۰–۵۰	۳	۵۰
۸–۷	۱۲–۱۰	۸۰–۷۰	۳	۶۰

برنامهٔ تمرین عملکردی شامل ۱۶ جلسهٔ تمرینی در طول هشت هفته بود که به‌صورت دو جلسه در هفته و بلافاصله پس از پایان کلاس ژیمناستیک اجرا شد. در هر جلسه، هشت حرکت با تأکید بر عضلات بالاتنه، میان‌تنه و پایین‌تنه انجام می‌گرفت. ساختار برنامه بر پایهٔ حرکات چندمفصلی، وزن بدن‌محور و الگوهای حرکتی نزدیک به نیازهای عملکردی ژیمناستیک طراحی شد تا همزمان قدرت عملکردی، پایداری مرکزی، کنترل عصبی‌ـعضلانی، استقامت عضلانی و مهارت‌های حرکتی اختصاصی ارتقا یابد. انتخاب حرکات نیز بر این اساس انجام شد که مؤلفه‌های کلیدی مورد نیاز در آزمون‌های عملکردی پژوهش، از جمله کشش اندام فوقانی، کنترل تنه، استقامت ایزومتریک، کنترل پاسچرال و توانایی حفظ وضعیت‌های معلق و وارونه، به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم مورد چالش قرار گیرند.

محتوای برنامه به‌صورت تدریجی از حرکات پایه‌ای مانند انواع اسکات، پلانک، پوش‌آپ، پول‌آپ، ددبگ، لانژ، V-up و حفظ حالت قایق آغاز شد و به‌مرور به تمرین‌های پیشرفته‌تر مانند ایستادن روی دست به دیوار و تک‌پا، L-sit، چین‌آپ، پرش اسکات، دیپ، استپ‌آپ، راه‌رفتن خرسی، کشش و صعود از طناب، برپی و تمرین‌های اختصاصی نردبان سوئدی ارتقا یافت. پیشرفت برنامه بر اساس اصل اضافه بار تدریجی اعمال شد؛ به این صورت که با افزایش پیچیدگی حرکتی، کاهش اتکا به سطوح حمایتی، افزایش زمان نگهداری در حرکات ایزومتریک، افزایش تعداد تکرار یا مدت اجرای هر حرکت، و نیز کاهش نسبی زمان استراحت بین حرکات، فشار تمرینی به‌تدریج بیشتر شد. بدین ترتیب، شدت تمرین نه از طریق بار خارجی، بلکه اغلب از طریق دشوارتر شدن اهرم حرکتی، افزایش زمان تحت تنش و ارتقای نیازهای تعادلی و کنترلی افزایش یافت.

حجم تمرین در هر جلسه به‌صورت اجرای هشت حرکت در قالب یک توالی عملکردی تنظیم شد و آزمودنی‌ها هر حرکت را با فرم صحیح و کنترل‌شده انجام می‌دادند. برای حفظ ایمنی و اجرای صحیح، پیشروی از حرکات ساده به پیچیده تنها زمانی انجام می‌گرفت که فرد توانایی اجرای مناسب مرحلهٔ قبلی را کسب کرده باشد. در نیمهٔ نخست برنامه، تأکید اصلی بر یادگیری الگوهای حرکتی پایه، فعال‌سازی میان‌تنه، توسعهٔ استقامت عضلانی عمومی و ایجاد کنترل پوسچرال بود؛ درحالی‌که در نیمهٔ دوم، حرکات تخصصی‌تر و چالش‌برانگیزتر با شباهت بیشتر به نیازهای ژیمناستیک وارد برنامه شد تا انتقال سازگاری‌ها به تکالیف عملکردی افزایش یابد. به‌طور کلی، منطق طراحی برنامه بر اصل ویژگی‌مندی استوار بود؛ به این معنا که حرکات انتخاب‌شده باید بیشترین همپوشانی را با نیازهای عملکردی آزمون‌های مورد استفاده، به‌ویژه در زمینهٔ قدرت و استقامت عضلات کششی اندام فوقانی، ثبات مرکزی، کنترل بدن در وضعیت‌های ایستا و معلق، و مهارت‌های پایهٔ ژیمناستیکی، داشته باشند.

پیامدها: آزمون‌های پروتکل TOPS

تمامی شرکت‌کنندگان در ارزیابی‌های پیش‌آزمون و پس‌آزمون پروتکل TOPS شرکت کردند که شامل موارد زیر بود:

نگهداری ایستادن روی دست با تکیه به دیوار: شرکت‌کنندگان موقعیت مشخص‌شدهٔ تکیه به دیوار را حفظ کردند و زمان نگهداری با استفاده از زمان‌سنج به ثانیه ثبت شد.

نگهداری پا در نردبان سوئدی به‌صورت افقی (زاویهٔ ۹۰ درجه): شرکت‌کنندگان از آخرین پله آویزان شدند و هر دو پا را همزمان به حالت افقی (زاویهٔ ۹۰ درجه) بالا آوردند و تا حد ممکن این موقعیت را حفظ کردند. زمان نگهداری به ثانیه ثبت شد.

صعود از طناب گره‌دار: شرکت‌کنندگان از اولین گره طناب آویزان شدند و بدون استفاده از پاها، تنها با کمک دست‌ها طناب را بالا رفتند. بیشترین تعداد گره‌های طی‌شده به‌عنوان نمرهٔ عملکرد ثبت شد.

تحلیل آماری

داده‌ها با استفاده از میانگین و انحراف معیار توصیف شدند. پیش از تحلیل‌های استنباطی، نرمال بودن توزیع داده‌ها و باقیمانده‌ها با آزمون شاپیروویلک و بررسی نمودارهای تشخیصی ارزیابی شد. همگنی واریانس خطا برای هر متغیر وابسته با آزمون لون و برابری ماتریس‌های

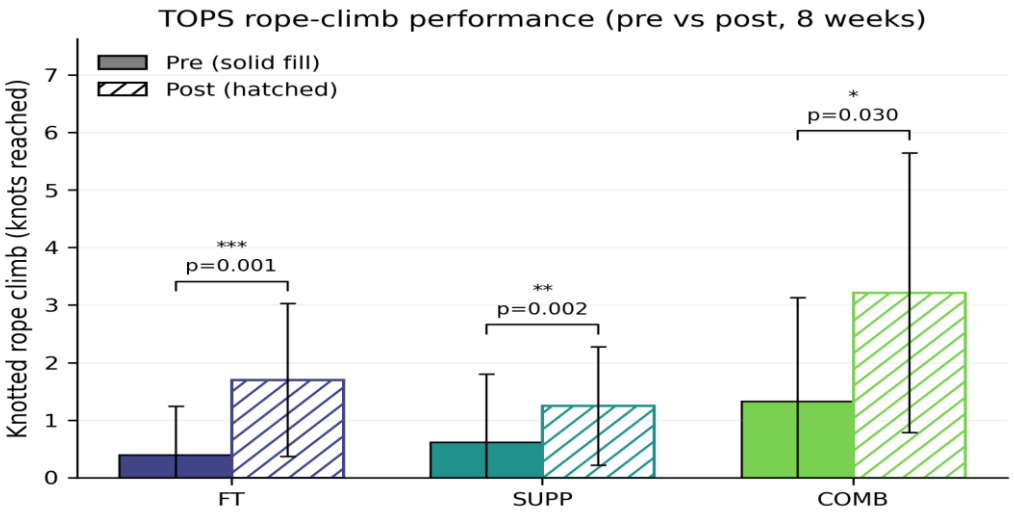
واریانس–کوواریانس با آزمون Box’s M بررسی شد. برای بررسی اثر زمان، گروه و تعامل گروه × زمان بر مجموعه متغیرهای وابسته، از تحلیل واریانس چندمتغیرهٔ آمیخته با اندازه‌گیری مکرر استفاده شد؛ به‌طوری‌که زمان، شامل پیش‌آزمون و پس‌آزمون، عامل درون‌آزمودنی و گروه، شامل تمرین عملکردی، مکمل‌یاری و مداخلهٔ ترکیبی، عامل بین‌آزمودنی بود. با توجه به معنادار بودن آزمون Box’s M (P=0.024) و نقض فرض برابری ماتریس‌های واریانس–کوواریانس، Pillai’s trace به‌عنوان شاخص اصلی و مقاوم‌تر برای تفسیر تأثیرات چندمتغیره گزارش شد. پس از مشاهدهٔ اثر چندمتغیرهٔ معنادار، تحلیل‌های تک‌متغیرهٔ تعقیبی برای هر متغیر وابسته انجام شد. برای متغیرهایی که فرض همگنی واریانس را برآورده نکردند، نتایج با احتیاط تفسیر شد و از یک روش مقاوم متناسب با مقایسهٔ مدنظر، مانند آزمون‌های دارای اصلاح Welch یا روش‌های بوت‌استرپ، استفاده شد. در صورت معنادار بودن تأثیرات، مقایسه‌های زوجی با اصلاح [Bonferroni/Holm]انجام گرفت. اندازهٔ اثر با استفاده از مجذور اتای جزئی (partial η^2) و در صورت امکان، فاصلهٔ اطمینان ۹۵ درصد گزارش شد. سطح معناداری آماری P< ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

نتایج

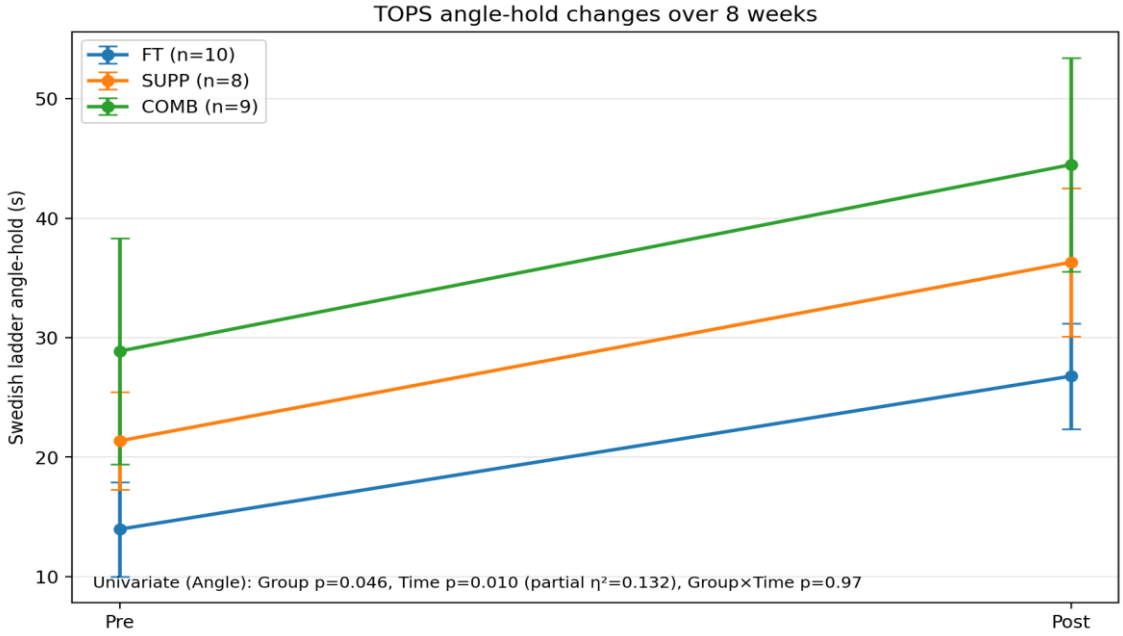
آمار توصیفی نتایج آزمون‌های TOPS به تفکیک گروه و زمان (پیش‌آزمون و پس‌آزمون) در جدول ۳ آورده شده است. همچنین تغییرات پیش‌پس برای آزمون‌های صعود از طناب و نگهداری زاویه در شکل‌های ۲ و ۳ به تصویر کشیده شده و اندازهٔ تأثیرات نیز در شکل ۴ خلاصه شده است.

جدول ۳. نتایج آزمون‌های پروتکل TOPS بر اساس گروه و زمان (میانگین ± انحراف معیار)

پیامد	گروه تمرینی	پیش‌آزمون (تعداد، میانگین ±انحراف معیار)	پس‌آزمون (تعداد، میانگین ±انحراف معیار)
صعود از طناب گره‌دار (تعداد گره)	تمرین عملکردی	۱۰، ۰/۴۰ ± ۰/۸۴	۱۰، ۱/۷۰ ± ۱/۳۳
	مکمل‌یاری	۸، ۰/۶۲ ± ۱/۱۸	۸، ۱/۲۵ ± ۱/۰۳
	ترکیبی	۹، ۱/۳۳ ± ۱/۸۰	۹، ۳/۲۲ ± ۲/۴۳
نگهداری زاویه در نردبان سوئدی (ثانیه)	تمرین عملکردی	۱۰، ۱۳/۹۶ ± ۱۲/۴۹	۱۰، ۲۶/۷۸ ± ۱۳/۹۴
	مکمل‌یاری	۸، ۲۱/۳۶ ± ۱۱/۵۹	۸، ۳۶/۳۲ ± ۱۷/۵۶
	ترکیبی	۹، ۲۸/۲۸ ۸۷±/۲۸	۹، ۴۴/۴۹ ± ۲۶/۹۰
نگه‌داری ایستادن روی دست با تکیه به دیوار (ثانیه)	تمرین عملکردی	۱۰، ۴۵/۲۹ ± ۲۵/۸۱	۱۰، ۷۱/۹۱ ± ۳۴/۲۹
	مکمل‌یاری	۸، ۷۱/۳۸ ± ۶۲/۲۲	۸، ۹۷/۴۱ ± ۶۱/۶۲
	ترکیبی	۹، ۸۲/۶۴ ± ۵۵/۴۴	۹، ۹۰/۸۷ ± ۵۵/۸۳



شکل ۲. تأثیر مکمل نیتریک اکساید (NO_2) و تمرین عملکردی بر عملکرد صعود از طناب گره‌دار در آزمون TOPS.



شکل ۳.تغییرات زمان نگهداری زاویه در نردبان سوئدی طی هشت هفته

با توجه به در دسترس نبودن داده‌های خام و همبستگی بین پیش‌آزمون و پس‌آزمون، اندازهٔ اثر به‌صورت تقریبی با استفاده از *Hedges' g* بر مبنای انحراف معیار میانگین پیش‌آزمون و پس‌آزمون (g_av) محاسبه شده است.

جدول ۴. میزان تغییر و اندازهٔ اثر استانداردشدهٔ درون‌گروهی آزمون‌های *TOPS*

تفسیر اندازهٔ اثر	اندازهٔ اثر تقریبی *(g_av)*	تغییر میانگین (پس‌آزمون منهای پیش‌آزمون)	گروه	پیامد
بزرگ	۱/۰۷	۱/۳۰	تمرین عملکردی	صعود از طناب گره‌دار (تعداد گره)
متوسط	۰/۵۱	۰/۶۳	مکمل‌یاری	
بزرگ	۰/۸۰	۱/۸۹	ترکیبی	
بزرگ	۰/۸۹	۱۲/۸۲	تمرین عملکردی	نگهداری زاویه در نردبان سوئدی (ثانیه)
بزرگ	۰/۸۹	۱۴/۹۶	مکمل‌یاری	
متوسط	۰/۵۱	۱۵/۶۲	ترکیبی	
بزرگ	۰/۸۰	۲۶/۶۲	تمرین عملکردی	نگهداری ایستادن روی دست با تکیه به دیوار (ثانیه)
کوچک	۰/۳۷	۲۶/۰۳	مکمل‌یاری	
ناچیز	۰/۱۳	۸/۲۳	ترکیبی	

همان‌گونه که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، اندازهٔ اثر تغییرات پیش‌آزمون تا پس‌آزمون بسته به نوع آزمون و گروه متفاوت بود. در آزمون صعود از طناب گره‌دار، گروه ترکیبی بیشترین افزایش خام را نشان داد، درحالی‌که اندازهٔ اثر استانداردشده در گروه تمرین عملکردی بزرگ‌تر بود (g_av=۱/۰۷)؛ اندازه اثر در گروه ترکیبی نیز بزرگ (g_av=۰/۸۰) و در گروه مکمل‌یاری متوسط (g_av=۰/۵۱) بود. در آزمون نگه‌داری زاویه، اندازه اثر در گروه‌های تمرین عملکردی و مکمل‌یاری بزرگ (g_av=۰/۸۹ در هر دو گروه) و در گروه ترکیبی متوسط (g_av=۰/۵۱) به دست آمد. در آزمون نگهداری ایستادن روی دست نیز گروه تمرین عملکردی اندازه اثر بزرگی (g_av=۰/۸۰) نشان داد، درحالی‌که اندازهٔ اثر در گروه مکمل‌یاری کوچک (g_av=۰/۳۷) و در گروه ترکیبی ناچیز (g_av=۰/۱۳) بود.

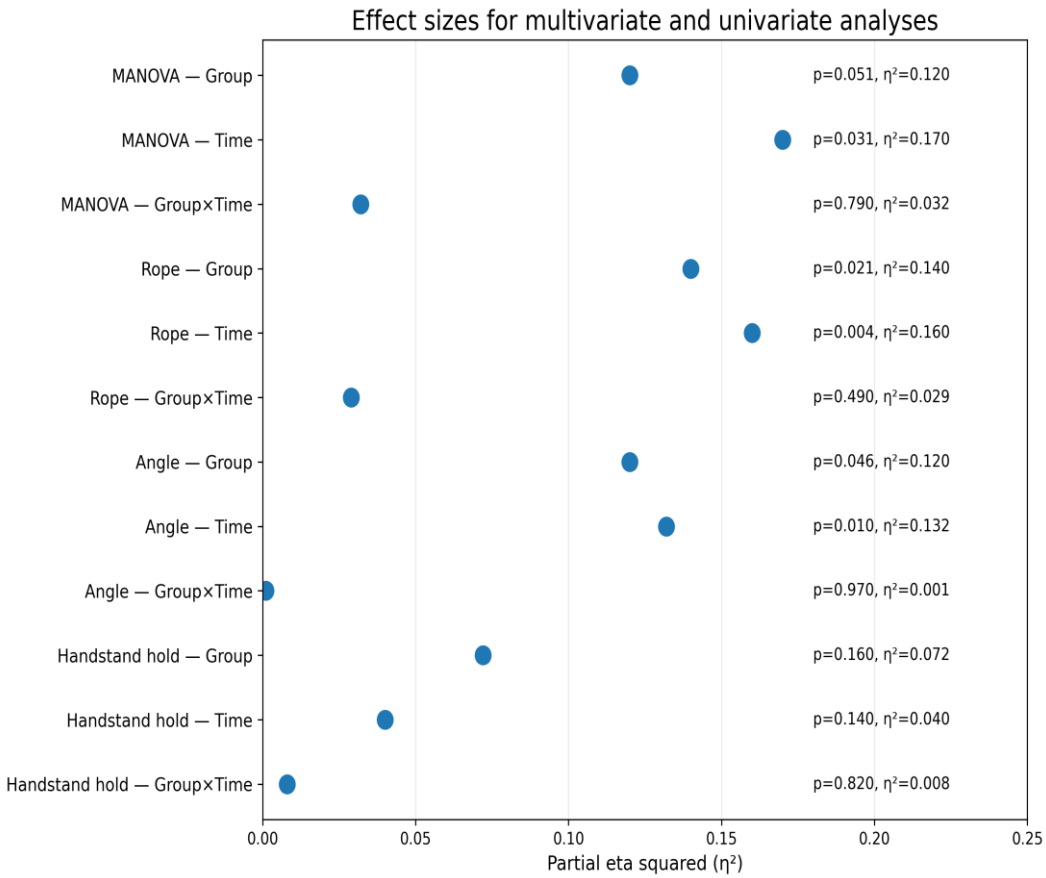
آزمون‌های پیش‌فرض

جدول ۵. آزمون‌های چندمتغیره

متغیر تأثیر	مقدار آزمون	مقدار *F*	احتمال *(Sig./p)*	*η^2* جزئی *(Partial η^2)*
برون‌یابی	۰/۷۷	۵۳/۰۷	۰/۰۰	۰/۷۷
گروه	۰/۲۴۵	۲/۱۸	۰/۰۵۱	۰/۱۲
زمان	۰/۱۷	۳/۲۳	۰/۰۳۱	۰/۱۷
تعامل گروه و زمان	۰/۰۶۴	۰/۵۱	۰/۷۹	۰/۰۰۳۲

جدول ۶. آزمون‌های تأثیرات بین‌شرکتی جداگانه برای هر پیامد

پیامد	اثر (Effect)	مقدار F	مقدار احتمال (p)	η^2 جزئی
صعود از طناب	گروه	۴/۱۶	۰/۰۲۱	۰/۱۴
	زمان	۹/۱۵	۰/۰۰۴	۰/۱۶
	تعامل گروه × زمان	۰/۷۱	۰/۴۹	۰/۰۲۹
نگه‌داری زاویه	گروه	۳/۲۸	۰/۰۴۶	۰/۱۲
	زمان	۷/۲۷	۰/۰۱۰	۰/۱۳۲
	تعامل گروه × زمان	۰/۰۲۶	۰/۹۷	۰/۰۰۱
تعادل ایستاده روی دست	گروه	۰/۸۵	۰/۱۶	۰/۰۷۲
	زمان	۲/۲	۰/۱۴	۰/۰۴
	تعامل گروه × زمان	۰/۱۹	۰/۸۲	۰/۰۰۸



شکل ۴. خلاصه اندازهٔ تأثیر تحلیل‌های چندمتغیره و تک‌متغیره

این تحقیق به بررسی تأثیر مکمل نیتریک اکساید دی‌اکسید، هشت هفته تمرین عملکردی اضافی و ترکیب این دو بر عملکرد آزمون‌های مرتبط با ژیمناستیک در دانشجویان زن دانشگاه پرداخت؛ به‌گونه‌ای که همهٔ شرکت‌کنندگان دورهٔ ژیمناستیک پایهٔ دانشگاه را گذراندند. یافته‌های اصلی عبارت بودند از:

۱.اثر چندمتغیرهٔ معنادار زمان که نشان‌دهندهٔ بهبود کلی عملکرد شرکت‌کنندگان در دورهٔ هشت‌هفته‌ای است؛

۲.تأثیرات تک‌متغیرهٔ معنادار زمان برای آزمون‌های صعود از طناب گره‌دار و نگهداری زاویهٔ نردبان سوئدی؛

۳.تفاوت‌های معنادار گروهی کلی برای نتایج طناب و زاویه، به‌طوری‌که مقایسه‌های پس از آزمون بیانگر برتری گروه ترکیبی نسبت به دو گروه تک‌مداخله‌ای در آزمون طناب و نسبت به گروه تمرین عملکردی در آزمون زاویه بود؛

۴.عدم مشاهدهٔ تغییر معنادار آماری در نگهداری حالت ایستاده روی دست با دیوار در تحلیل تک‌متغیره.

با توجه به معنادار نبودن تعامل گروه × زمان، نتایج نشان نمی‌دهد که سرعت پیشرفت گروه‌ها در طول زمان متفاوت بوده، بلکه الگوی میانگین‌ها و اثر اصلی گروه بیانگر آن است که مداخلهٔ ترکیبی با عملکرد کلی بهتر در آزمون‌های طناب و زاویه همراه بوده است. بنابراین، تفسیر نتایج باید بر تأثیرات اصلی و اندازه‌های تأثیر (جدول‌های ۵ و ۶) تمرکز کند و تفاوت‌های پایه و حجم نمونه را در بحث اهمیت عملی مدنظر قرار دهد.

اگرچه تعامل‌ها معنادار نبودند، الگوی میانگین‌ها و مقایسه‌های زوجی گروه‌ها نشان می‌دهد که مداخلهٔ ترکیبی با عملکرد بهتر پس‌آزمون در نتایج طناب و زاویه همراه بوده است. در نمونه‌های کوچک، آزمون‌های تعامل ممکن است قدرت کافی نداشته باشند، به‌ویژه اگر تفاوت‌های اولیه میان گروه‌ها وجود داشته باشد یا تغییرپذیری نتایج زیاد باشد. بنابراین، تفسیر باید همزمان نتایج استنباطی (مانند تأثیرات معنادار زمان) و اندازه‌های تأثیر گزارش‌شده (η^2 جزئی) را در نظر بگیرد تا شدت تغییرات را به شکلی عملی ارزیابی کند.

بحث

هدف این پژوهش، بررسی تأثیر هشت هفته تمرین عملکردی، مکمل‌یاری مبتنی بر نیتریک اکساید و ترکیب این دو مداخله بر عملکرد برخی آزمون‌های مرتبط با ژیمناستیک در دانشجویان دختر بود؛ در شرایطی که همهٔ شرکت‌کنندگان همزمان در کلاس ژیمناستیک عمومی دانشگاه نیز شرکت داشتند. یافته‌های پژوهش نشان داد که عملکرد آزمودنی‌ها در گذر زمان بهبود یافته است و این بهبود در تحلیل تک‌متغیره برای آزمون‌های صعود از طناب گره‌دار و نگهداری زاویه در نردبان سوئدی معنادار بود. همچنین در برخی پیامدها تفاوت‌های بین‌گروهی مشاهده شد. با این حال، از آنجا که تعامل گروه × زمان در هیچ‌یک از متغیرها معنادار نبود، داده‌های حاضر از این نتیجه‌گیری که سرعت یا الگوی تغییرات در گروه‌ها به‌طور قطعی متفاوت بوده است، حمایت نمی‌کنند. بنابراین، نتایج این پژوهش باید با تأکید بر بهبود کلی در طول زمان و تفاوت‌های کلی بین گروه‌ها، و نه برتری قطعی یک مداخله در ایجاد تغییر، تفسیر شوند.

در آزمون صعود از طناب گره‌دار، بهبود عملکرد در طول زمان مشاهده شد. این یافته می‌تواند با ویژگی‌های برنامهٔ تمرین عملکردی تا حدی قابل توضیح باشد، زیرا بخشی از تمرینات بر حرکات کششی اندام فوقانی، پایداری میان‌تنه و کنترل وضعیت بدن تأکید داشتند؛ مؤلفه‌هایی که از نظر تئوریک با اجرای بهتر این تکلیف مرتبط‌اند. همچنین در توصیف میانگین‌ها، گروه ترکیبی افزایش بیشتری را نشان داد، اما با توجه به معنادار نبودن تعامل گروه × زمان و نیز تفاوت‌های اولیه بین گروه‌ها، این الگو باید با احتیاط تفسیر شود. به بیان دیگر، در چارچوب داده‌های حاضر تنها می‌توان گفت که عملکرد طناب در طول دورهٔ تحقیق بهبود یافته و در سطح کلی، تفاوت‌هایی بین گروه‌ها وجود داشته است، اما نمی‌توان برتری قطعی مداخلهٔ ترکیبی را در ایجاد تغییرات زمانی اثبات کرد.

در آزمون نگهداری زاویه در نردبان سوئدی نیز اثر زمان معنادار بود و میانگین عملکرد هر سه گروه در پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون افزایش یافت. از نظر محتوایی، این آزمون به استقامت ایزومتریک عضلات مرکزی و خم‌کننده‌های ران وابسته است و برنامهٔ تمرین عملکردی حاضر نیز شامل حرکاتی بود که این مؤلفه‌ها را درگیر می‌کرد. بنابراین، بهبود مشاهده‌شده با منطق تمرینات اجراشده همخوانی دارد. با این حال، همانند آزمون طناب، نبود تعامل معنادار گروه × زمان نشان می‌دهد که نمی‌توان با اطمینان از تفاوت روند پیشرفت گروه‌ها سخن گفت. در نتیجه، هرچند الگوی میانگین‌ها و اندازهٔ اثرها می‌تواند از نظر کاربردی جالب توجه باشد، نتیجه‌گیری باید محدود به این باشد که عملکرد زاویه در طول زمان بهبود یافته و تفاوت کلی گروهی نیز مشاهده شده است.

در مقابل، در آزمون نگهداری ایستادن روی دست با تکیه به دیوار، اثر زمان و تعامل گروه × زمان معنادار نبود. این یافته نشان می‌دهد که در چارچوب این تحقیق، مداخلات اجراشده نتوانسته‌اند تغییر آماری مشخصی در این مهارت ایجاد کنند. از آنجا که ایستادن روی دست مهارتی چندبعدی است و علاوه بر توان و استقامت عضلانی، به هماهنگی عصبی–عضلانی، تعادل، کنترل پاسچر و تجربهٔ حرکتی نیاز دارد، ممکن است دورهٔ مداخله، تعداد جلسات یا سطح اختصاصی بودن تمرینات برای ایجاد تغییر قابل تشخیص در این پیامد کافی نبوده باشد. البته این تبیین‌ها فرضی هستند و چون متغیرهای مکانیکی، عصبی–عضلانی یا مهارتی در این تحقیق اندازه‌گیری نشده‌اند، باید با احتیاط مطرح شوند.

در تبیین نقش احتمالی مکمل‌یاری نیز باید جانب احتیاط رعایت شود. در این پژوهش از مکمل حاوی ***AAKG*** با هدف پشتیبانی از مسیرهای مرتبط با نیتریک اکساید استفاده شد، اما هیچ شاخص فیزیولوژیکی مستقیمی از جمله غلظت نیترات/نیتریت، خون‌رسانی عضلانی، خستگی یا پاسخ متابولیکی اندازه‌گیری نشد. بنابراین، داده‌های حاضر اجازه نمی‌دهند سازوکار اثر مکمل به‌صورت قطعی توضیح داده شود. بر این اساس، مناسب‌تر است گفته شود که مکمل‌یاری در کنار یا مستقل از تمرین با برخی تفاوت‌های عملکردی همراه بود، اما نوع و منشأ این تفاوت‌ها در این پژوهش مشخص نشده است.

یافته‌های این پژوهش با بخشی از تحقیقاتی که اثر تمرینات عملکردی یا تمرینات مبتنی بر میان‌تنه و حرکات چندمفصلی را بر بهبود برخی شاخص‌های قدرتی و استقامت عضلانی گزارش کرده‌اند، همسوست. با این حال، نتایج پژوهش‌های پیشین در خصوص مکمل‌های مرتبط با نیتریک اکساید و حتی در مورد میزان انتقال تمرینات عملکردی به تکالیف مهارت‌محور همواره یکسان نبوده است. برخی تحقیقات بهبود عملکرد را گزارش کرده‌اند، درحالی‌که برخی دیگر اثر معناداری نیافته‌اند. این ناهمخوانی می‌تواند به تفاوت در ویژگی‌های نمونه‌ها، از جمله سن، جنس، سطح آمادگی جسمانی و سابقهٔ تمرینی، تفاوت در نوع مکمل مصرفی، دوز و زمان‌بندی مصرف، مدت مداخله، ماهیت تمرین‌های همراه، و نیز نوع آزمون‌های عملکردی مورد استفاده مربوط باشد. برای مثال، پاسخ به مکمل‌های مبتنی بر نیتریک اکساید ممکن است در افراد تمرین‌نکرده، نیمه‌ورزیده یا ورزشکاران ماهر یکسان نباشد. از سوی دیگر، هرچه تمرینات از نظر الگوی حرکتی و نیازهای مکانیکی شباهت بیشتری با تکلیف هدف داشته باشند، احتمال انتقال اثر به آزمون عملکردی بیشتر است؛ موضوعی که می‌تواند بخشی از بهبود مشاهده‌شده در آزمون‌های طناب و زاویه را توضیح دهد.

از نظر کاربردی، داده‌های این تحقیق نشان می‌دهد که در یک دورهٔ هشت‌هفته‌ای، عملکرد شرکت‌کنندگان در برخی آزمون‌های مرتبط با ژیمناستیک، به‌ویژه طناب و زاویه، بهبود یافته است. این یافته می‌تواند برای مربیان و برنامه‌ریزان تمرینی از این حیث مفید باشد که استفاده از تمرینات عملکردی با تأکید بر کشش اندام فوقانی، پایداری مرکزی و استقامت ایزومتریک ممکن است با بهبود برخی مؤلفه‌های عملکردی همراه باشد. با این حال، به‌دلیل معنادار نبودن تعامل گروه × زمان، این نتایج نباید به‌عنوان شاهدی قطعی بر برتری یک مداخله نسبت به مداخلهٔ دیگر تفسیر شوند. در نتیجه، کاربرد عملی یافته‌ها باید محتاطانه و متناسب با شرایط جمعیت مورد بررسی، یعنی دانشجویان دختر شرکت‌کننده در کلاس ژیمناستیک عمومی، در نظر گرفته شود.

۱ AAKG (Arginine alpha ketoglutarate): آرژنین آلفا کتوگلوتورات

این پژوهش محدودیت‌هایی نیز داشت که در تفسیر نتایج باید مدنظر قرار گیرند؛ نخست، حجم نمونه در هر گروه نسبتاً محدود بود و این موضوع می‌تواند توان آماری برای شناسایی تعامل‌ها را کاهش داده باشد؛ دوم، کنترل کامل رژیم غذایی روزانهٔ شرکت‌کنندگان، دریافت نیترات یا آرژینین از منابع غذایی، و زمان‌بندی دقیق تغذیه پیش از آزمون‌ها امکان‌پذیر نبود؛ سوم، فعالیت‌های بدنی خارج از برنامهٔ تمرینی و کلاس ژیمناستیک به‌طور کامل کنترل نشد و ممکن است بر نتایج اثر گذاشته باشد؛ چهارم، تفاوت‌های فردی از جمله سطح آمادگی اولیه، پاسخ‌پذیری تمرینی، ویژگی‌های بدنی و احتمالاً وضعیت بلوغ زیستی یا تفاوت‌های هورمونی می‌توانسته‌اند در میزان تغییرات مشاهده‌شده نقش داشته باشند؛ پنجم، به‌دلیل نبود داده‌های فیزیولوژیک، امکان تبیین سازوکارهای احتمالی اثر مکمل وجود نداشت؛ ششم، اندازه اثرهای درون‌گروهی در این پژوهش بر اساس آمار خلاصه برآورد شده‌اند و به‌دلیل در دسترس نبودن داده‌های خام و همبستگی پیش‌آزمون ــ پس‌آزمون، گزارش فاصلهٔ اطمینان دقیق برای آنها محدود بوده است. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده با حجم نمونهٔ بزرگ‌تر، کنترل دقیق‌تر رژیم غذایی و فعالیت‌های بیرون از برنامه، سنجش شاخص‌های فیزیولوژیک مرتبط و استفاده از آزمون‌های اختصاصی‌تر مهارتی، این موضوع با دقت بیشتری بررسی شود.

نتیجه‌گیری

در طول دورهٔ هشت‌هفته‌ای این تحقیق، عملکرد شرکت‌کنندگان در آزمون‌های صعود از طناب و نگهداری زاویه در نردبان سوئدی به‌طور معناداری از پیش‌آزمون تا پس‌آزمون بهبود یافت، درحالی‌که عملکرد در آزمون ایستادن روی دست با تکیه بر دیوار تغییر معناداری نشان نداد. این الگو نشان می‌دهد که ترکیب کلاس ژیمناستیک پایه با تمرین عملکردی می‌تواند در راستای پرورش توانایی‌های حرکتی، ارتقای آمادگی فانکشنال و بهبود شاخص‌های مرتبط با عملکرد ژیمناستیک مؤثر باشد. بنابراین، آزمون‌های TOPS در این پژوهش نه به‌عنوان ابزار استعدادیابی، بلکه به‌منزلهٔ شاخص‌هایی برای ارزیابی سازگاری‌های تمرینی، ظرفیت‌های عملکردی و پیشرفت مهارت‌های پایه‌ای ژیمناستیک استفاده شدند.

از سوی دیگر، با وجود مشاهدهٔ بهبودهای درون‌گروهی و برخی برتری‌های توصیفی در گروه ترکیبی، معنادار نبودن تعامل گروه × زمان نشان می‌دهد که نمی‌توان از برتری قطعی مداخلهٔ ترکیبی نسبت به سایر شرایط سخن گفت. در نتیجه، تفسیر یافته‌ها باید با احتیاط انجام گیرد و اثر مکمل‌یاری در کنار تمرین عملکردی، بیشتر در چارچوب کمک به بهبود عملکرد و سازگاری تمرینی در نظر گرفته شود تا یک اثر مستقل و قاطع.

در مجموع، یافته‌های حاضر نشان می‌دهد که اجرای تمرین عملکردی در کنار برنامهٔ ژیمناستیک پایه می‌تواند در برخی مؤلفه‌های عملکردی، به‌ویژه در مهارت‌های مرتبط با قدرت کششی اندام فوقانی و استقامت ایزومتریک تنه، به بهبود منجر شود؛ با این حال، این نتایج باید در بستر رشد و پرورش ورزشکار و متناسب با ویژگی‌های نمونه مورد بررسی تفسیر شوند، نه با هدف استعدادیابی. همچنین برای روشن‌تر شدن نقش مکمل‌یاری و تمایز اثر آن از تمرین، انجام پژوهش‌های آینده با نمونهٔ بزرگ‌تر، کنترل دقیق‌تر متغیرهای تغذیه‌ای و سنجش شاخص‌های فیزیولوژیک پیشنهاد می‌شود.

بیانیه در دسترس بودن داده‌ها

داده‌های خام پشتیبان نتایج این مقاله توسط نویسنده و بدون محدودیت در دسترس قرار خواهد گرفت.

بیانیهٔ اخلاق

این تحقیق توسط کمیتهٔ اخلاق پژوهش دانشکدهٔ علوم ورزشی و سلامت دانشگاه تهران تأیید شده است (کد تأیید: IR.UT.SPORT.REC.1404.051). تمامی شرکت‌کنندگان پیش از مشارکت، رضایت‌نامهٔ کتبی آگاهانهٔ خود را ارائه کردند. همهٔ فرایندهای پژوهشی در چارچوب اصول منشور هلسینکی انجام گرفته است.

تأمین مالی

این پژوهش هیچ حمایت مالی خارجی دریافت نکرده است.

تعارض منافع

نویسنده تأیید می‌کند که این تحقیق بدون هیچ‌گونه ارتباط تجاری یا مالی که ممکن است به منافع شخصی تعبیر شود، انجام گرفته است.

نقش نویسنده

ریحانه خلیلیان طرح پژوهش را طراحی و اجرا، داده‌ها را جمع‌آوری، تحلیل آماری را انجام و متن مقاله را نگارش کرد. نویسنده نسخهٔ نهایی مقاله را تأیید کرد.

References

[۱]. رضوی ، امیرحسین. (۱۳۹۲) .ژیمناستیک ۱.تهران.

[2]. Hircar.S.(2024, November 29). Artictic gymnastics.Encyclopedia Britannica.

[3].Moeskops, S. (2020). The effects of growth, maturation and training on strength and power development in young artistic female gymnasts [Cardiff Metropolitan University].

[4].Jones, A. M. (2014). Dietary NO2 supplementation and exercise performance. Sports Medicine, 44(Suppl 1), 35–45.

[5].Lansley, K. E., Winyard, P. G., Bailey, S. J., Vanhatalo, A., Wilkerson, D. P., Blackwell, J. R., Gilchrist, M., Benjamin, N., & Jones, A. M. (2011). Acute dietary NO2 supplementation improves cycling time trial performance. Med Sci Sports Exerc, 43(6), 1125–1131.

.[6][6].Bond, H., Morton, L., & Braakhuis, A. J. (2012). Dietary NO2 supplementation improves rowing performance in well-trained rowers. Int J Sport Nutr Exerc Metab, 22(4), 251–256.

[7]. Khazaei, L., Parnow, A., & Amani-Shalamzari, S. (2023). Comparing the effects of traditional resistance training and functional training on the bio-motor capacities of female elite taekwondo athletes. BMC Sports Sci Med Rehabil, 15(1), 139.

[8].Samson, K. M. (2005). The effects of a five-week core stabilization-training program on dynamic balance in tennis athletes [West Virginia University].

[9]. Swanik, K. A., Swanik, C. B., Lephart, S. M., & Huxel, K. (2002). The effect of functional training on the incidence of shoulder pain and strength in intercollegiate swimmers. Journal of Sport Rehabilitation, 11(2), 140–154.

[10]. Moeskops, S., Oliver, J. L., Radnor, J. M., Haff, G. G., Myer, G. D., Ramachandran, A. K., Kember, L. S., Pedley, J. S., & Lloyd, R. S. (2024). Effects of Neuromuscular Training on Muscle Architecture, Isometric Force Production, and Stretch-Shortening Cycle Function in Trained Young Female Gymnasts. J Strength Cond Res, 38(9), 1640–1650.

[11]. Pereira, H., Teixeira, D., Fisher, J., Fleck, S., Helms, E., Ide, B., Izquierdo, M., Nedergaard, A., Phillips, S., & Pinto, R. International Consensus on the Definition of Functional Training: Modified e-Delphi Method.

[12]. Yildiz, S., Pinar, S., & Gelen, E. (2019). Effects of 8-week functional vs. traditional training on athletic performance and functional movement on prepubertal tennis players. J Strength Cond Res, 33(3), 651–661.

[13].Jemni, M. (2022). Artistic gymnastics (pp. 309–312). Routledge.

[14]. Toxicological Profile for Nitrate and Nitrite. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (US);

2017 Jul 4.

[15]. Lee PM, Gerriets V. Nitrates. StatPearls [Internet]. Updated 2023 Jul 10.

[16]. Jo, E., Fischer, M., Auslander, A. T., Beigarten, A., Daggy, B., Hansen, K., Kessler, L., Osmond, A., Wang, H., & Wes, R. (2019). Multi-day vs. single pre-exercise nitrate dosing on simulated cycling time trial performance and skeletal muscle oxygenation. J Strength Cond Res, 33(1), 217–224.

[17]. Clements, W. T., Lee, S. R., & Bloomer, R. J. (2014). Nitrate ingestion: a review of the health and physical performance effects. Nutrients, 6(11), 5224–5264.

[18]. Gao, C., Gupta, S., Adli, T., et al. (2021). Dietary NO2 supplementation on endurance performance and cardiorespiratory measures: systematic review and meta-analysis. J Int Soc Sports Nutr, 18(1), 55.

[19]. Hoon, M. W., Johnson, N. A., Chapman, P. G., & Burke, L. M. (2013). NO2 supplementation on exercise performance: systematic review and meta-analysis. Int J Sport Nutr Exerc Metab, 23(5), 522–532.

[20]. Jones, A. M. (2014). Dietary nitrate and determinants of exercise performance: critical review. Appl Physiol Nutr Metab, 39(9), 1019–1028.

[21]. Norouzzadeh, M., Hasan Rashedi, M., Payandeh, N., Mirdar Harijani, A., & Shahinfar, H. (2024). Dietary nitrate on blood pressure and vascular health: umbrella review and updated meta-analysis. Journal of Functional Foods, 114, 106082.

[22]. McDonagh, S. T. J., Wylie, L. J., Thompson, C., Vanhatalo, A., & Jones, A. M. (2019). Potential benefits of dietary nitrate ingestion: brief review. Eur J Sport Sci, 19(1), 15–29.

[23]. Stanaway, L., Rutherfurd-Markwick, K., Page, R., & Ali, A. (2017). NO2 supplementation in older adults: systematic review. Nutrients, 9(11).

[24]. Porcelli, S., Pugliese, L., Rejc, E., et al. (2016). Short-term high-nitrate diet on exercise performance. Nutrients, 8(9).

[25]. Tan, R., Cano, L., Lago-Rodríguez, Á., & Domínguez, R. (2022). Dietary nitrate and explosive performance: systematic review. Int J Environ Res Public Health, 19(2).

[26]. Xiao, W., Bu, T., Zhang, J., et al. (2025). Functional training on physical and technical performance: systematic review and narrative synthesis. BMC Sports Sci Med Rehabil, 17(1), 2.

[27]. Florina, O. (2018). Functional training vs traditional training benefits for martial arts practitioners. Scientific Bulletin of Naval Academy, XIX, 366–374.

[28]. Cermak, N. M., Gibala, M. J., & van Loon, L. J. C. (2012). NO2 supplementation improves 10-km time-trial performance in trained cyclists. Int J Sport Nutr Exerc Metab, 22(1), 64–71.

[29]. Bescós, R., Rodríguez, F. A., Iglesias, X., et al. (2011). Acute inorganic nitrate reduces VO2peak in endurance athletes. Med Sci Sports Exerc, 43(10), 1979–1986.

[30]. Shannon, O. M., Barlow, M. J., Duckworth, L., et al. (2017). Dietary nitrate enhances short but not longer duration running time-trial performance. Eur J Appl Physiol, 117(4), 775–785.

[31]. Pinna, M., Roberto, S., Milia, R., et al. (2014). Beetroot juice and aerobic response during swimming. Nutrients, 6(2), 605–615.

[32]. Nyakayiru, J., Jonvik, K. L., Trommelen, J., et al. (2017). Beetroot juice improves high-intensity intermittent performance in trained soccer players. Nutrients, 9(3).

[33]. Nyakayiru, J. M., Jonvik, K. L., Pinckaers, P. J., et al. (2017). No effect of acute and 6-day nitrate on VO2 and time-trial in highly trained cyclists. Int J Sport Nutr Exerc Metab, 27(1), 11–17.

[34]. Boorsma, R. K., Whitfield, J., & Spriet, L. L. (2014). Beetroot juice does not improve elite 1500-m running performance. Med Sci Sports Exerc, 46(12), 2326–2334.

[35]. Garnacho-Castaño, M. V., Palau-Salvà, G., Cuenca, E., et al. (2018). Single dose beetroot juice and cycling time trial performance. J Int Soc Sports Nutr, 15(1), 49.

[36]. Kramer, S. J., Baur, D. A., Spicer, M. T., Vukovich, M. D., & Ormsbee, M. J. (2016). Six days dietary nitrate in trained CrossFit athletes. J Int Soc Sports Nutr, 13, 39.

[37]. .Lowings, S., Shannon, O. M., Deighton, K., Matu, J., & Barlow, M. J. (2017). Dietary nitrate and swimming performance. Int J Sport Nutr Exerc Metab, 27(4), 377–384.

[38]. Stenger, L. (2018). What is functional/neuromotor fitness? ACSM's Health & Fitness Journal, 22(6), 35–43.

[39]. Xiao, W., Soh, K. G., Wazir, M., et al. (2021). Functional training and physical fitness among athletes: systematic review. Front Physiol, 12, 738878.

[40]. Thompson, C. J., Cobb, K. M., & Blackwell, J. (2007). Functional training improves club head speed and functional fitness in older golfers. J Strength Cond Res, 21(1), 131–137.

[41]. Padte, D. S., & Kadhiravan, V. (2020). Functional training and floor exercise performance in female gymnasts. Int J Phys Educ Sports Health, 7, 140–142.

[42]. Xiao, W., Bai, X., Soh, K. G., & Zhang, Y. (2024). Functional training on tennis-specific fitness and FMS in junior tennis. PLOS ONE, 19(9), e0310620.

[43]. Wu, C., Cheong, M., Wang, Y., et al. (2023). Functional training on movement and performance in college dragon boat athletes. Int J Environ Res Public Health, 20(5).

[44]. Kudaş, S., Usgu, S., & Yakut, Y. (2020). Functional training effects in professional basketball players. Turkish Journal of Sports Medicine, 55, 1–11.

[45]. Xiao, W., Bai, X., Geok, S. K., Yu, D., & Zhang, Y. (2023). 12-week functional training and strength/power in adolescent tennis players. Children (Basel), 10(4).

[46]. ong, H. S., Woo, S. S., So, W. Y., et al. (2014). Functional movement screen training in elite high school baseball players. J Exerc Rehabil, 10(2), 124–130.

[47]. Bashir, M., Hucheng, M., Geok, S. K., Akbar, S., & Zhang, D. (2024). Functional training in elite field hockey players: cluster randomized trial. J Sports Sci Med, 23(1), 628–637.

[48]. Collins, S. M., & Kearns, D. (2020). Beetroot supplementation and high-intensity functional training performance. Int J Exerc Sci, 13(2), 667–676.

[49]. Rawson, E. S., & Volek, J. S. (2003). Creatine + resistance training effects on strength and weightlifting performance. J Strength Cond Res, 17(4), 822–831.

[50]. Bellinger, P. M. (2014). β-Alanine supplementation update. J Strength Cond Res, 28(6), 1751–1770.

[51]. Gori, T., & Daiber, A. (2009). Non-hemodynamic effects of organic nitrates. Am J Cardiovasc Drugs, 9(1), 7–15.

[52]. Münzel, T., Daiber, A., & Gori, T. (2013). Nitrate tolerance: unresolved question. Eur Heart J, 34(34), 2666–2673.

[53]. Nyakayiru, J., van Loon, L. J. C., & Verdijk, L. B. (2020). Intramuscular storage of dietary nitrate and ergogenic effect: mini-review. Free Radic Biol Med, 152, 295–300.

[54]. .Lorenzo Calvo, J., Alorda-Capo, F., Pareja-Galeano, H., & Jiménez, S. L. (2020). NO2 supplementation in endurance cyclic sports: systematic review. Nutrients, 12(6).

[55]. Reed, C. A., Ford, K. R., Myer, G. D., & Hewett, T. E. (2012). Isolated vs integrated core stability training: systematic review. Sports Med, 42(8), 697–706.