



Original Article

Investigating the Effect of a Period of Tartaric Acid Supplementation Before High-Intensity Interval Training on Some Inflammatory Markers and Performance in Female Gymnasts

Samereh Sadeghi¹ , Bahman Hasanvand^{1*} 

¹. Department of Physical Education, Khor. C., Islamic Azad University, Khorramabad, Iran

* **Corresponding author:** Bahman Hasanvand, Department of Physical Education, Khor. C., Islamic Azad University, Khorramabad, Iran.

E-mail: Hasanvand121@iau.ac.ir

DOI: [10.22034/cmja.16.2.99](https://doi.org/10.22034/cmja.16.2.99)

How to Cite this Article:

Sadeghi S, Hasanvand B. Investigating the Effect of a Period of Tartaric Acid Supplementation Before High-Intensity Interval Training on Some Inflammatory Markers and Performance in Female Gymnasts. *Complement MedJ*. 2026;16(2): 99-108. DOI: 10.22034/cmja.16.2.99

Received: February 28, 2025

Accepted: July 28, 2026

Keywords:

Athletic performance
C-reactive protein
Gymnastics
High-intensity interval training
Inflammation
Interleukin-6
Tartaric acid
Tumor necrosis factor-alpha

© 2026 Arak University of Medical Sciences

Abstract

Introduction: To investigate the effects of tartaric acid supplementation combined with high-intensity interval training (HIIT) on inflammatory markers (CRP, IL-6, TNF- α) and anaerobic performance in female gymnasts.

Methods: Thirty-six female gymnasts (18–25 years) were randomly assigned into three groups: training + supplement, training + placebo, and control. The HIIT protocol (30s running at 100% maximal aerobic speed, 30s active recovery) was performed for 8 weeks. The supplement group consumed 20 mg/kg tartaric acid 45 min before each session (Khani et al., 2024). The CRP, IL-6, TNF- α , and anaerobic performance (RAST test) were measured at baseline and 48 h post-intervention. Data were analyzed using repeated measures ANOVA ($p \leq 0.05$).

Results: The effect of time was significant for all variables. Compared to the control group, HIIT significantly reduced CRP (-29.62% and -19.69%, $p=0.001$), IL-6 (-15.04% and -16.15%, $p=0.001$), TNF- α (-13.33% and -14.96%, $p=0.001$), and increased anaerobic performance (+11.21% and +10.14%, $p=0.001$) in both training groups. However, no significant differences were observed between the training + supplement and training + placebo groups for any variable ($p > 0.05$). No significant changes occurred in the control group.

Conclusion: High-intensity interval training significantly improved performance in female gymnasts. Under the conditions of this study, short-term tartaric acid supplementation (20 mg/kg) showed no significant additional effect compared to placebo. Further long-term studies with different dosages are recommended.

INTRODUCTION

High-intensity interval training (HIIT) is an effective method for improving cardiovascular function, anaerobic capacity, and muscle performance in athletes. However, HIIT increases reactive oxygen species (ROS) production and activates inflammatory pathways, leading to oxidative stress, muscle damage, and impaired recovery (Shin et al., 2020; Wu & Ballantyne, 2020). Chronic inflammation from intense exercise can impair endothelial function and reduce athletic performance (Tyrrell & Goldstein, 2021). Therefore, identifying strategies to reduce inflammatory effects of intense exercise is particularly important for female athletes, who may be more susceptible to metabolic stress (Shin et al., 2020). Natural antioxidant supplements have gained attention for reducing oxidative stress and improving post-exercise recovery (Powers et al., 2020; Silva & Lidon, 2016). Tartaric acid, a natural polyphenolic compound found in grapes, apricots, and apples, possesses antioxidant and anti-inflammatory properties (Khani, Piralayi, & Ahmadzadeh, 2024). It may inhibit inflammatory signaling pathways such as NF- κ B and reduce lipid peroxidation (Zhao et al., 2023). Research

on tartaric acid supplementation in intense exercise is limited, with one study showing increased antioxidant capacity and reduced inflammation from resistance training (Khani et al., 2024).

Gymnastics is a high-intensity sport requiring repetitive training, which can lead to muscle inflammation and decreased performance (Silva & Lidon, 2016). Given the limited research on tartaric acid in female athletes, this study aimed to investigate the effect of tartaric acid supplementation before HIIT on inflammatory markers (CRP, IL-6, TNF- α) and anaerobic performance in female gymnasts.

METHODS

This quasi-experimental study employed a pretest-posttest design with a control group in 2024 in Doroud city, Lorestan province, Iran. Sample size was estimated as 36 participants using G*Power (power=0.80, α =0.05, effect size=0.40) based on Khani et al. (2024). Participants were selected via purposive convenience sampling and randomly assigned into three groups of 12 using a random number table: training + supplement, training + placebo, and control.

Table 1. Demographic characteristics (Mean $\pm$ SD)

Variable	Training+Supplement	Training+Placebo	Control
Age (years)	21.2 $\pm$ 2.3	20.8 $\pm$ 1.9	21.5 $\pm$ 2.8
Weight (kg)	58.6 $\pm$ 2.4	59.2 $\pm$ 3.0	60.1 $\pm$ 2.7
Height (cm)	162 $\pm$ 4.9	160 $\pm$ 5.1	161 $\pm$ 5.2
BMI (kg/m ²)	21.8 $\pm$ 1.4	22.2 $\pm$ 4.2	21.9 $\pm$ 3.8

Inclusion criteria consisted of general health, ≥ 2 years gymnastics experience, physician approval, no antioxidant supplements in prior 3 months. Written informed consent was obtained. This study was approved by the Research Ethics Committee of Islamic Azad University, Borujerd Branch (ethics code: IR.IAU.B.REC.1405.007). The study was double-blind; participants and assessors were unaware of intervention type. Capsules were identical in color, smell, and size. Participants avoided high-antioxidant foods (green tea, coffee, dark chocolate, berries, and nuts).

The supplement group consumed 20 mg/kg body weight tartaric acid (Barij Essence, Iran) 45 min before each session (Khani et al., 2024). Placebo received starch capsules.

The HIIT protocol (8 weeks, 3 sessions/week) included 10-min warm-up and 5-min cool-down. Maximal aerobic speed (MAV) was determined via incremental running test on treadmill (Sport Art T652, USA). The HIIT consisted of 30s running at 100% MAV and 30s active recovery at 50% MAV.

Anaerobic performance was evaluated using the RAST test (six 35m sprints). Power = (Weight $\times$ Distance²) $\div$ Time³.

Blood samples were collected after 10-12 h fasting, 48 h pre- and 48 h post-intervention from the antecubital vein. Samples were centrifuged at 3,000 rpm for 10 min

(Hettich EBA 200, Germany). Serum CRP, IL-6, and TNF- α were measured via ELISA.

Paired t-tests were used for within-group comparisons. One-way ANOVA with Tukey's post-hoc test was used for between-group comparisons ($p \leq 0.05$).

RESULTS

Within-group comparisons: Both training groups showed significant reductions in CRP (-29.62% and -19.69%, $p < 0.001$), IL-6 (-15.04% and -16.15%, $p < 0.001$), TNF- α (-13.33% and -14.96%, $p < 0.001$), and significant increases in anaerobic performance (+11.21% and +10.14%, $p < 0.001$). No significant changes occurred in the control group.

Between-group comparisons: One-way ANOVA at posttest showed significant differences among groups for all variables (CRP: $F = 6.82$, $p = 0.003$; IL-6: $F = 3.97$, $p = 0.001$; TNF- α : $F = 3.31$, $p = 0.04$; performance: $F = 4.57$, $p = 0.02$). However, Tukey's post-hoc test revealed no significant differences between training + supplement and training + placebo groups for any variable ($p > 0.05$), while both training groups differed significantly from controls ($p < 0.05$).

CONCLUSION

Eight weeks of HIIT alone effectively reduces systemic inflammation and improves anaerobic performance in female gymnasts. Regarding short-term tartaric acid

supplementation (20 mg/kg), no significant difference was observed between supplement and placebo groups under the conditions of this study. However, due to methodological limitations (lack of a supplement-only group, specific dosage, 8-week duration, and incomplete dietary control), definitive conclusions about tartaric acid's ineffectiveness cannot be drawn. Further long-term studies with different dosages and better-controlled conditions are recommended.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

This study was approved by the Research Ethics Committee of Islamic Azad University, Borujerd Branch (ethics code: IR.IAU.B.REC.1405.007). All procedures were performed in accordance with the ethical standards of the institutional research committee and with the 1964 Helsinki Declaration and its later amendments. Written informed consent was obtained from all participants. Participants were informed about

the study objectives, procedures, risks, benefits, and their right to withdraw at any time. Confidentiality of personal and medical information was strictly maintained throughout the research process.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

Authors contributed equally to the conceptualization and writing of the article. All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We thank Islamic Azad University, Khorramabad Branch, and all coaches and athletes who participated in this research project.



بررسی تأثیر یک دوره مصرف مکمل تارتاریک اسید پیش از تمرینات تناوبی شدید بر برخی شاخص‌های التهابی و عملکرد دختران ژیمناست کار

سامره صادقی^۱، بهمن حسنونند^{۱*}

^۱ گروه تربیت بدنی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم‌آباد، خرم‌آباد، ایران.

* نویسنده مسئول: بهمن حسنونند، گروه تربیت بدنی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم‌آباد، خرم‌آباد، ایران.

ایمیل: Hasanvand121@iau.ac.ir

چکیده

هدف: بررسی تأثیر مصرف مکمل تارتاریک اسید همراه با تمرینات تناوبی شدید (High-Intensity Interval Training/HIIT) بر شاخص‌های التهابی شامل (C-reactive Protein/CRP)، (Interleukin-6/IL-6)، (Tumor Necrosis Factor-alpha/TNF-α) و عملکرد غیرهوازی دختران ژیمناست کار.

روش کار: این مطالعه به صورت نیمه تجربی با طرح پیش‌آزمون-پس‌آزمون همراه با گروه کنترل در سال ۱۴۰۳ در شهر دورود انجام شد. روش نمونه‌گیری هدفمند در دسترس بود و رضایت‌نامه آگاهانه کتبی از تمامی آزمودنی‌ها اخذ گردید. ۳۶ ژیمناست دختر (۱۸ تا ۲۵ سال) به صورت تصادفی در سه گروه ۱۲ نفره شامل تمرین+مکمل، تمرین+دارونما و کنترل (وزن $58/63 \pm 2/4$ کیلوگرم، قد $162/9 \pm 4/1$ سانتی‌متر و شاخص توده بدنی $21/1 \pm 4/8$) تقسیم شدند. پروتکل HIIT به مدت هشت هفته (۳۰ ثانیه دوی ۱۰٪ سرعت هوازی بیشینه و ۳۰ ثانیه استراحت فعال) اجرا شد. گروه مکمل، ۲۰ میلی‌گرم به‌ازای کیلوگرم وزن بدن تارتاریک اسید را ۴۵ دقیقه پیش از تمرین مصرف کردند. سطوح پروتئین واکنشگر C (CRP)، اینترلوکین-۶ (IL-6)، فاکتور نکروز تومور آلفا (TNF-α) و عملکرد غیرهوازی (آزمون RAST) در پیش‌آزمون و ۴۸ ساعت پس از مداخله اندازه‌گیری شد. داده‌ها با تحلیل واریانس مرکب تحلیل شدند ($P \geq 0/05$).

یافته‌ها: اثر زمان در همه متغیرها معنادار بود. در مقایسه با گروه کنترل، تمرینات HIIT در گروه تمرین+مکمل و گروه تمرین+دارونما موجب کاهش معنادار CRP (به ترتیب ۲۹/۶۲٪ و ۱۹/۶۹٪، $P=0/001$)، IL-6 (به ترتیب ۱۵/۰۴٪ و ۱۶/۱۵٪، $P=0/001$)، TNF-α (به ترتیب ۱۳/۳۳٪ و ۱۴/۹۶٪، $P=0/001$) و افزایش عملکرد غیرهوازی (به ترتیب ۱۱/۲۱٪ و ۱۰/۱۴٪، $P=0/001$) شد. با این حال، تفاوت معناداری بین گروه تمرین+مکمل و گروه تمرین+دارونما در هیچ‌یک از متغیرها مشاهده نشد ($P \geq 0/05$).

نتیجه‌گیری: تمرینات تناوبی شدید به‌تنهایی نقش اصلی را در کاهش التهاب سیستمیک و بهبود عملکرد غیرهوازی دختران ژیمناست ایفا می‌کنند. درخصوص مصرف کوتاه‌مدت مکمل تارتاریک اسید با دوز ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن بدن، در شرایط این مطالعه تفاوت معناداری بین گروه مکمل و دارونما مشاهده نشد. انجام مطالعات طولانی‌مدت‌تر با دوزهای متفاوت برای تبیین دقیق‌تر نقش این ترکیب پیشنهاد می‌شود.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۱۲/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۰۶

واژگان کلیدی:

تمرین تناوبی با شدت بالا

تارتاریک اسید

التهاب

پروتئین واکنشگر C

اینترلوکین-۶

فاکتور نکروز تومور آلفا

عملکرد ورزشی

ژیمناستیک

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی اراک محفوظ است.

تمرینات تناوبی با شدت بالا (High-Intensity Interval Training/ HIIT) اگرچه نقش مؤثری در بهبود عملکرد قلبی عروقی، ظرفیت بی‌هوازی و توان عضلانی ورزشکاران دارند، اما به‌طور هم‌زمان باعث افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن (Reactive Oxygen Species/ROS) و تحریک مسیرهای التهابی می‌شوند (۱). این فرایند منجر به افزایش سطوح سایتوکاین‌های پیش‌التهابی نظیر TNF- α (Tumor Necrosis Factor-alpha)، IL-6 (Interleukin-6) و همچنین افزایش شاخص‌های زیستی التهاب مانند پروتئین واکنشگر C (C-reactive protein) می‌شود (۲). افزایش این مولکول‌ها علاوه بر آسیب به فیبرهای عضلانی، می‌تواند تعادل هوموستازی سلولی را مختل کرده و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را کاهش دهد. التهاب مزمن و استرس اکسیداتیو ناشی از تمرینات شدید می‌تواند موجب اختلال در عملکرد اندوتلیال شود که در نهایت بازده عملکردی ورزشکار را کاهش می‌دهد (۳).

بنابراین، شناسایی راهکارهایی برای کاهش اثرات التهابی ناشی از فعالیت‌های شدید بدنی، به‌ویژه در ورزشکاران زن که ممکن است حساسیت بیشتری نسبت به استرس‌های متابولیک داشته باشند، اهمیت بالایی دارد (۱، ۲). در سال‌های اخیر، مصرف مکمل‌های آنتی‌اکسیدانی طبیعی به‌عنوان یکی از راهکارهای مؤثر برای کاهش آسیب‌های ناشی از استرس اکسیداتیو و بهبود بازیابی پس از تمرین مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است (۴، ۵). ترکیبات پلی‌فنولی طبیعی موجود در گیاهان، ازجمله فلاونوئیدها، به‌دلیل دارا بودن خاصیت آنتی‌اکسیدانی قوی می‌توانند در تنظیم پاسخ‌های التهابی نقش مهمی ایفا کنند (۶).

در این میان، تارتاریک اسید، یکی از ترکیبات پلی‌فنولی طبیعی موجود در انگور، زردآلو، سیب و آووکادو دارای خواص آنتی‌اکسیدانی و ضدالتهابی قابل توجهی است (۷). این ترکیب از طریق مهار مسیرهای سیگنالینگ التهابی نظیر NF- κ B و کاهش پراکسیداسیون لیپیدی می‌تواند بر شاخص‌های زیستی التهاب اثرگذار باشد (۶). مطالعات پیشین نشان داده‌اند که مصرف مکمل‌های آنتی‌اکسیدانی مانند ویتامین C و E یا آنتی‌اکسیدان‌های گیاهی می‌تواند آسیب عضلانی ناشی از تمرینات شدید را کاهش دهد (۸، ۹). بااین‌حال، تحقیقات

در زمینه اثرات مکمل‌دهی تارتاریک اسید در شرایط تمرینات شدید ورزشی محدود است. یک مطالعه نشان داده است که مصرف تارتاریک اسید می‌تواند ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل بدن را افزایش داده و التهاب ناشی از تمرینات قدرتی را کاهش دهد (۷).

ورزش ژیمناستیک، به‌عنوان یک رشته با شدت بالا، مستلزم اجرای تمرینات تکراری و فشرده است که می‌تواند منجر به التهاب عضلانی، استرس اکسیداتیو و کاهش عملکرد شود (۵). باوجود شواهد موجود درباره اثرات آنتی‌اکسیدانی تارتاریک اسید، پژوهش‌های کمی اثر مکمل‌دهی آن را در ورزشکاران زن بررسی کرده‌اند. ویژگی‌های فیزیولوژیکی خاص ورزشکاران زن ممکن است آنان را نسبت به استرس‌های متابولیک ناشی از تمرین آسیب‌پذیرتر کند. بنابراین، بررسی اثر مکمل تارتاریک اسید در بهبود عملکرد و کاهش آسیب‌های ناشی از تمرینات شدید در دختران ژیمناست می‌تواند گامی ارزشمند در جهت بهبود وضعیت عملکردی و سلامت این گروه از ورزشکاران باشد. بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر یک دوره مصرف مکمل تارتاریک اسید پیش از تمرینات تناوبی شدید بر برخی شاخص‌های التهابی (CRP، IL-6، TNF- α) و عملکرد غیرهوازی دختران ژیمناست کار انجام شد.

روش کار

این مطالعه به‌روش نیمه‌تجربی با طرح پیش‌آزمون-پس‌آزمون همراه با گروه کنترل در سال ۱۴۰۳ انجام شد. جامعه آماری شامل ژیمناست‌های دختر ۱۸ تا ۲۵ سال شهر دورود بود. حجم نمونه براساس مطالعه مشابه و با استفاده از نرم‌افزار G*Power نسخه ۳.۱ (توان آزمون ۸۰/۰، سطح معنی‌داری ۰/۰۵ و اندازه اثر ۰/۴۰) برابر ۳۶ نفر برآورد گردید (۷). نمونه‌گیری از بین ژیمناست‌های دختر سالن‌های ورزشی شهر دورود به‌روش هدفمند در دسترس انجام شد. سپس نمونه‌ها با استفاده از جدول اعداد تصادفی به سه گروه ۱۲ نفره شامل تمرین تناوبی شدید همراه با مصرف مکمل تارتاریک اسید، تمرین تناوبی شدید همراه با مصرف دارونما (نشاسته)، و گروه کنترل (بدون تمرین همراه با مصرف دارونما) تقسیم شدند. مشخصات دموگرافیک آزمودنی‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. مشخصات دموگرافیک آزمودنی‌ها

متغیر	گروه تمرین+مکمل (n=۱۲)	گروه تمرین+دارونما (n=۱۲)	گروه کنترل (n=۱۲)
سن (سال)	۲۱/۲ ± ۲/۳	۲۰/۸ ± ۱/۹	۲۱/۵ ± ۲/۸
قد (سانتی‌متر)	۱۶۲ ± ۴/۹	۱۶۰ ± ۵/۱	۱۶۱ ± ۵/۲
وزن (کیلوگرم)	۶۳/۴ ± ۲/۵۸	۵۹/۲ ± ۰/۳	۶۰/۱ ± ۲/۷
BMI (کیلوگرم بر متر مربع)	۲۱/۸ ± ۴/۱	۲۲/۲ ± ۴/۲	۲۱/۹ ± ۳/۸

دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم‌آباد تأیید شد و تمامی آزمودنی‌ها رضایت‌نامه آگاهانه کتبی را تکمیل کردند.

مطالعه به‌صورت دوسوکور انجام شد؛ آزمودنی‌ها و ارزیابان از نوع مداخله (مکمل یا دارونما) مطلع نبودند و کپسول‌های مکمل و دارونما از نظر رنگ (سفید یکسان)، بو و اندازه یکسان بودند. کپسول‌ها توسط یکی از پژوهشگران و با استفاده از دستگاه کپسول‌پرکن دستی آماده

معیارهای ورود شامل سلامت عمومی، سابقه تمرینی حداقل دو سال در ژیمناستیک، تأیید پزشک متخصص و مصرف نکردن مکمل‌های آنتی‌اکسیدانی در سه ماه پیش از مطالعه بود و معیارهای خروج نیز شامل غیبت در سه جلسه متوالی یا پنج جلسه غیرمتوالی تمرینات و ابتلا به بیماری حاد در طول مطالعه تعیین شد.

این مطالعه با کد اخلاق IR.IAU.B.REC.1405.007 از

گرم کردن (دویدن سبک و حرکات کششی پویا) و پس از جلسه، پنج دقیقه سرد کردن (حرکات کششی ایستا) انجام دادند. تعیین سرعت هوازی بیشینه (MAV) با استفاده از دستگاه تردمیل (ساخت شرکت Sport Art، مدل T652، آمریکا) و به روش آزمون دویدن فزاینده (شاتل ران) انجام شد. آزمودنی‌ها دویدن را با سرعت ۸ کیلومتر بر ساعت آغاز کرده و هر ۳ دقیقه سرعت به میزان ۱ کیلومتر بر ساعت افزایش یافت. بالاترین سرعتی که آزمودنی قادر به حفظ آن برای حداقل ۳۰ ثانیه بود به عنوان سرعت هوازی بیشینه (MAV) ثبت شد. جزئیات پروتکل HIIT در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. پروتکل تمرینات تناوبی شدید

هفته	ست	تکرار در هر ست	شدت فعالیت	شدت استراحت	استراحت بین ست
۱-۲	۴	۴	MAV %۱۰۰	MAV %۵۰	۵ دقیقه
۳-۴	۴	۶	MAV %۱۰۰	MAV %۵۰	۵ دقیقه
۵-۶	۵	۶	MAV %۱۰۰	MAV %۵۰	۵ دقیقه
۷-۸	۶	۶	MAV %۱۰۰	MAV %۵۰	۵ دقیقه

* توجه: هر تکرار شامل ۳۰ ثانیه دویدن و ۳۰ ثانیه استراحت فعال است.

* توضیح: MAV: مخفف سرعت هوازی بیشینه (Maximal Aerobic Speed) است که با استفاده از آزمون دویدن فزاینده (شاتل ران) بر روی تردمیل تعیین شد.

گروه) از آزمون t هم‌بسته، برای مقایسه بین گروهی از تحلیل واریانس یک‌طرفه (ANOVA) و برای بررسی اثر زمان، گروه و تعامل آن‌ها از تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر (repeated measures ANOVA) استفاده شد. در صورت معنی‌دار شدن اثر تعامل، آزمون تعقیبی دانکن برای مقایسه زوجی گروه‌ها به کار رفت. سطح معنی‌داری $P \leq 0.05$ در نظر گرفته شد. از جمله محدودیت‌های این پژوهش، نبود گروه مکمل بدون تمرین بود که امکان جداسازی اثر مستقل مکمل از اثر تعاملی آن با تمرین را فراهم نمی‌کند؛ همچنین تعمیم نتایج به دوزهای دیگر نیازمند تحقیقات بیشتر است و عدم کنترل کامل رژیم غذایی روزانه آزمودنی‌ها (باوجود درخواست ثبت مواد مصرفی) از دیگر محدودیت‌ها بود.

یافته‌ها

برای مقایسه درون گروهی (تغییرات پیش‌آزمون به پس‌آزمون در هر گروه)، از آزمون t هم‌بسته استفاده شد. نتایج این آزمون نشان داد که در هر دو گروه تمرینی (تمرین+مکمل و تمرین+دارونما)، کاهش معناداری در سطوح CRP، IL-6 و TNF- α و افزایش معناداری در عملکرد غیرهوازی مشاهده شد ($P < 0.05$). در گروه کنترل، تغییر معناداری در هیچ یک از متغیرها مشاهده نشد ($P > 0.05$).

برای مقایسه بین گروهی در مرحله پس‌آزمون از تحلیل واریانس یک‌طرفه استفاده شد. نتایج نشان داد که تفاوت معناداری بین سه گروه در تمامی متغیرها وجود دارد: CRP ($F = 6.82$, $P = 0.003$), TNF- α ($F = 3.31$, $P = 0.04$), IL-6 ($F = 3.97$, $P = 0.001$) و عملکرد غیرهوازی ($F = 4.57$, $P = 0.02$). آزمون تعقیبی توکی برای مقایسه‌های زوجی نشان داد تفاوت معناداری بین گروه تمرین+مکمل و گروه تمرین+دارونما در هیچ یک از متغیرها وجود ندارد ($P > 0.05$).

شدند. مکمل تارتاریک اسید (شرکت باریج اسانس، ایران) با دوز ۲۰ میلی گرم به‌ازای هر کیلوگرم وزن بدن به‌صورت کپسول همراه با ۱۵۰ میلی لیتر آب معدنی، ۴۵ دقیقه پیش از هر جلسه تمرینی مصرف شد (۷) و گروه دارونما کپسول نشاسته با همان حجم، رنگ و ظاهر دریافت کردند. همچنین از آزمودنی‌ها خواسته شد در طول مطالعه از مصرف مواد غذایی حاوی آنتی‌اکسیدان بالا (مانند چای سبز، قهوه، شکلات تلخ، انواع توت‌ها و مغزها) خودداری کنند.

پروتکل تمرینات تناوبی شدید (HIIT) به مدت هشت هفته، سه جلسه در هفته اجرا شد. پیش از هر جلسه، آزمودنی‌ها ۱۰ دقیقه

برای ارزیابی عملکرد غیرهوازی از آزمون Running- RAST (based Anaerobic Sprint Test) استفاده شد. آزمودنی‌ها پس از ۱۰ دقیقه گرم کردن و ۵ دقیقه ریکاوری، شش دوی ۳۵ متری با حداکثر توان انجام دادند (بین هر دوی سرعت، ۱۰ ثانیه زمان بازگشت به نقطه شروع). توان با فرمول زیر محاسبه شد:

$$\text{Power} = (\text{Weight} \times \text{Distance}^2) \div \text{Time}^3$$

و شاخص‌های توان بیشینه (حداکثر توان بین ۶ تکرار)، توان حداقل (حداقل توان بین ۶ تکرار)، توان متوسط (مجموع توان ۶ تکرار تقسیم بر ۶) و شاخص خستگی [(توان بیشینه - توان حداقل) ÷ مجموع توان ۶ تکرار] استخراج شد.

نمونه‌گیری خون در شرایط ناشتا (۱۲-۱۰ ساعت ناشتایی شبانه)، ۴۸ ساعت قبل و ۴۸ ساعت پس از پایان مداخله انجام شد. نمونه‌های خونی از ورید بازویی (آنتکوبیتال) آزمودنی‌ها توسط تکنسین مجرب آزمایشگاه جمع‌آوری شد. نمونه‌ها در لوله‌های حاوی ماده ضدانعقاد EDTA و لوله‌های لخته (بدون ماده ضدانعقاد) ریخته شده و بلافاصله به آزمایشگاه پاتوبیولوژی شهر دورود منتقل و با سانتریفیوژ (دستگاه Hettich EBA 200، ساخت شرکت Hettich Lab Technology، کشور آلمان، با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه)، سطوح سرمی CRP (کیت الایزای CRP کانادا، Biochem Diagnostic)، IL-6 و TNF- α (کیت الایزای TNF- α و IL-6 α ، بندر مدسیستم، انگلستان، با حساسیت به ترتیب ۰/۱۳ و ۰/۹۲ پیکوگرم بر میلی لیتر) اندازه‌گیری شد.

نمونه‌های خون در لوله‌های حاوی ماده ضدانعقاد جمع‌آوری و سپس از داده‌ها با نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۵ تحلیل شدند. نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و همگنی واریانس با آزمون لوین بررسی شد. برای مقایسه درون گروهی (پیش‌آزمون در مقایسه با پس‌آزمون در هر

غیرهوازی دختران ژیمناست ایفا می کنند و مصرف کوتاه مدت مکمل تارتاریک اسید اثربخشی افزایشی معناداری نداشت.

از طرفی، نتایج جدول ۲ نشان داد که تمرینات HIIT باعث کاهش معنادار شاخص های التهابی (CRP، IL-6، TNF- α) و افزایش عملکرد غیرهوازی دختران ژیمناست شد. این امر نشان دهنده تأثیر مثبت تمرینات شدید در تحریک سازگاری های فیزیولوژیکی و بهبود پاسخ های عملکردی است. همچنین با وجود کاهش مشاهده شده در گروه تمرین+مکمل، آزمون تعقیبی دانکن نشان داد تفاوت معناداری بین گروه تمرین+مکمل و گروه تمرین+دارونما در هیچ یک از متغیرها وجود ندارد ($P < 0.05$). بنابراین، مصرف مکمل تارتاریک اسید در شرایط این مطالعه تأثیر افزایشی معناداری بر شاخص های التهابی و عملکرد نداشت. در گروه کنترل که هیچ مداخله تمرینی ای دریافت نکرد، تغییر معناداری در شاخص های مورد بررسی مشاهده نشد. این یافته ها تأکید می کند که تغییرات مشاهده شده در شاخص های CRP، IL-6، TNF- α و عملکرد غیرهوازی، عمدتاً ناشی از تمرینات تناوبی شدید بوده است.

در حالی که هر دو گروه تمرینی با گروه کنترل تفاوت معناداری داشتند ($P < 0.05$).

برای بررسی دقیق تر تغییرات درون گروهی، از آزمون t همبسته استفاده شد. نتایج این آزمون (جدول ۳) نشان داد که در گروه های تمرینی (تمرین+مکمل و تمرین+دارونما)، کاهش معناداری در سطوح CRP، IL-6، TNF- α و همچنین افزایش معناداری در عملکرد غیرهوازی در مقایسه با پیش آزمون مشاهده شد ($P < 0.05$). با این حال، آزمون تعقیبی توکی برای مقایسه بین گروهی نشان داد که تفاوت معناداری بین گروه تمرین+مکمل و گروه تمرین+دارونما در هیچ یک از متغیرها وجود ندارد ($P > 0.05$). به عبارت دیگر، مصرف مکمل تارتاریک اسید در شرایط این مطالعه هیچ تأثیر افزایشی معناداری بر کاهش شاخص های التهابی یا بهبود عملکرد ورزشکاران نداشت. در گروه کنترل، تغییر معناداری در هیچ یک از متغیرها مشاهده نشد ($P > 0.05$). بنابراین، یافته های پژوهش حاضر نشان می دهد تمرینات تناوبی شدید به تنهایی نقش اصلی را در کاهش شاخص های التهابی و بهبود عملکرد

جدول ۳. نتایج آزمون تحلیل واریانس مرکب متغیرهای پژوهش

متغیر	اثر زمان (F)	Sig.	اثر گروه (F)	Sig.	تعامل زمان $\times$ گروه (F)	Sig.	η^2
CRP	۷/۲۱	۰/۰۰۱	۸۲/۶	۰/۰۰۳	۳/۶۳	۰/۰۰۱	۰/۷۹۳
IL-6	۵/۹۹	۰/۰۰۱	۳/۹۷	۰/۰۰۱	۹/۳۱	۰/۰۰۱	۰/۶۵۹
TNF- α	۱۴۴/۳	۰/۰۰۱	۳/۳۱	۰/۰۰۴	۶/۲	۰/۰۰۱	۰/۵۶
عملکرد	۴۰۶/۴	۰/۰۰۱	۴/۵۷	۰/۰۲	۲/۹۶	۰/۰۰۱	۰/۸۵۴

جدول ۴. مقایسه تغییرات درون گروهی متغیرهای پژوهش

متغیر	گروه ها	تغییر پیش آزمون تا پس آزمون (%)	t	P-value	نتیجه آزمون توکی
CRP	تمرین/مکمل	-۲۹/۶۲	۱۲/۰۷	۰/۰۰۱	زیر مجموعه ۱
	تمرین تنها	-۱۹/۶۹	۸/۸۸	۰/۰۰۱	زیر مجموعه ۱
	کنترل	+۰/۳۹	-۰/۳۲۱	۰/۷۵	زیر مجموعه ۲
IL-6	تمرین/مکمل	-۱۵/۰۴	۱۲/۰۹	۰/۰۰۱	زیر مجموعه ۱
	تمرین تنها	-۱۶/۱۵	۸/۰۲	۰/۰۰۱	زیر مجموعه ۱
	کنترل	+۱/۰۵	-۰/۹۶۲	۰/۵۰۴	زیر مجموعه ۲
TNF- α	تمرین/مکمل	-۱۳/۳۳	۲/۰۹	۰/۰۰۱	زیر مجموعه ۱
	تمرین تنها	-۱۴/۹۶	۷/۶۱	۰/۰۰۱	زیر مجموعه ۱
	کنترل	-۳/۱۵	۱/۷۷	۰/۱۱	زیر مجموعه ۲
عملکرد	تمرین/مکمل	+۱۱/۲۱	۱۴/۰۴	۰/۰۰۱	زیر مجموعه ۱
	تمرین تنها	+۱۰/۱۴	۱۶/۰۸	۰/۰۰۱	زیر مجموعه ۱
	کنترل	+۰/۲۱	-۰/۵۷۷	۰/۵۸	زیر مجموعه ۲

سازگاری های فیزیولوژیکی و ایمنی بدن بر اثر تمرینات شدید، نقش اصلی را در کاهش التهاب و بهبود عملکرد ایفا می کنند و اثر مکمل تنها در صورت مصرف طولانی تر یا در شرایط استرس اکسیداتیو شدیدتر ممکن است بارزتر شود.

اگرچه نتایج آماری نشان دهنده نبود تفاوت معنادار بین دو گروه تمرینی است، اما نمی توان با قطعیت نتیجه گرفت که تارتاریک اسید ذاتاً بی اثر است. نبود تفاوت معنادار در این پژوهش ممکن است ناشی از عوامل متعددی باشد؛ از جمله دوز مصرفی مکمل (۲۰ میلی گرم بر کیلوگرم وزن بدن) که ممکن است دوز بهینه نباشد، دوره هشت هفته ای

بحث و نتیجه گیری

یافته های پژوهش حاضر نشان داد اجرای یک دوره تمرینات تناوبی شدید در دختران ژیمناست موجب کاهش معنادار شاخص های التهابی از جمله CRP، IL-6، TNF- α شد، در حالی که مصرف مکمل تارتاریک اسید به عنوان یک ترکیب آنتی اکسیدانی طبیعی، اثر معناداری بر این شاخص ها نداشت. همچنین عملکرد ورزشی آزمودنی ها پس از دوره تمرینی به طور قابل توجهی بهبود یافت، ولی تفاوتی بین گروه های دارای مکمل و بدون مکمل مشاهده نشد. این نتایج نشان می دهد

نسبت آدیپونکتین به لپتین پس از تمرین می تواند نقش واسطه ای در کاهش التهاب ایفا کند. یافته های حاضر که کاهش CRP را بدون نقش بارز مکمل نشان می دهد، تأییدی بر آن است که تمرین به خودی خود یک تعدیل کننده قوی پاسخ های ایمنی است.

IL-6 یکی از سایتوکاین های دووجهی است که در پاسخ به تمرین نقش هم زمان التهابی و ضدالتهابی دارد. در حین تمرین، فیبرهای عضلانی به عنوان «ارگان درون ریز» عمل کرده و IL-6 را به جریان خون آزاد می کنند. این افزایش موقت IL-6 برخلاف IL-6 التهابی ناشی از بیماری، اثر ضدالتهابی دارد، زیرا موجب افزایش ترشح IL-10 و مهار تولید TNF- α می شود (۱۳). در طول زمان، این تغییرات موجب تنظیم مثبت مسیرهای متابولیکی چربی و گلوکز نیز می شود (۱۸).

در پژوهش حاضر، کاهش IL-6 در پایان دوره تمرین، نشانگر کاهش سطح پایه ای التهاب و سازگاری متابولیکی بدن است. به نظر می رسد افزایش ظرفیت اکسیداتیو عضلات و کاهش ذخیره چربی احشایی، از طریق مهار سیگنال دهی (Toll-like receptor 4/TLR4) و کاهش تحریک ماکروفاژهای M1، در این فرایند نقش کلیدی دارد (۱۰). علاوه بر این، تمرین موجب تغییر قطبیت ماکروفاژها از نوع M1 (التهابی) به M2 (بازسازی کننده) می شود و این تغییر، منبع اصلی کاهش IL-6 مزمن است (۱۹).

TNF- α یکی از قوی ترین سایتوکاین های پیش التهابی است که در پاسخ به استرس فیزیولوژیک و آسیب بافتی افزایش می یابد. کاهش معنی دار TNF- α در پژوهش حاضر می تواند ناشی از چند مکانیسم مکمل باشد. نخست، تمرین باعث افزایش بیان گیرنده های β -آدرنرژیک در سلول های ایمنی می شود که منجر به مهار تولید TNF- α از طریق مسیر cAMP/PKA Pathway یا cAMP/PKA Pathway می شود (۱۶). دوم، تمرینات تناوبی موجب کاهش چربی احشایی، به ویژه در نواحی شکمی می شوند که یکی از منابع اصلی ترشح TNF- α است (۱۵).

از سوی دیگر، افزایش سطوح آنتی اکسیدان های درونزا مانند گلوتاتیون (Glutathione/GSH) و ویتامین E در اثر تمرین مکرر، از طریق مهار استرس اکسیداتیو، تولید TNF- α را کاهش می دهد. این سازوکار نشان می دهد که اثر ضدالتهابی تمرین، نه صرفاً ناشی از کاهش التهاب، بلکه از بازسازی تعادل اکسیداتیو-آنتی اکسیداتیو در سلول ها ناشی می شود (۱۸).

تارتاریک اسید نیز از طریق خاصیت آنتی اکسیدانی خود می تواند ROS را مهار و از فعال سازی مسیر NF- κ B جلوگیری کند (۶). اما در این پژوهش، به دلیل کوتاه بودن دوره مصرف، این اثرات به حدی نرسیده اند که در نتایج خون قابل مشاهده باشند. پژوهش های طولانی مدت تر ممکن است نقش تعدیل کننده بیشتری برای تارتاریک اسید نشان دهند.

بهبود معنادار عملکرد ورزشی در هر دو گروه تمرینی، ناشی از سازگاری های عصبی-عضلانی و متابولیکی است. تمرینات HIIT موجب افزایش تراکم میتوکندری ها در فیبرهای نوع IIa، افزایش بیان PGC-

مداخله که برای آشکارشدن اثرات آنتی اکسیدانی مکمل احتمالاً کوتاه بوده است، عدم کنترل کامل رژیم غذایی آزمودنی ها (به ویژه مصرف مواد حاوی آنتی اکسیدان)، و همچنین حجم نمونه برآوردشده براساس مطالعات پیشین که ممکن است برای تشخیص تفاوت های ظریف ناشی از مکمل کافی نبوده باشد. بنابراین، نتیجه گیری قطعی درباره بی اثری تارتاریک اسید از داده های حاضر مجاز نیست و یافته های این پژوهش باید با محافظه کاری بیشتری تفسیر شود.

تمرینات تناوبی شدید به دلیل ماهیت چرخه ای و فشرده خود، باعث تحریک مسیرهای متابولیکی بی هوازی، افزایش مصرف اکسیژن پس از تمرین (Excess Post-Exercise Oxygen Consumption/EPOC) و افزایش تولید گونه های فعال اکسیژن (Reactive Oxygen Species/ROS) می شوند (۱۰). این افزایش ROS در مراحل اولیه تمرین موجب آسیب های میکروسکوپی در فیبرهای عضلانی و تحریک سیستم ایمنی ذاتی می گردد. اما در پاسخ به این استرس موقت، بدن با افزایش بیان آنزیم های آنتی اکسیدانی مانند سوپراکسید دیسموتاز (Superoxide Dismutase/SOD) و گلوتاتیون پراکسیداز (Glutathione Peroxidase/GPx) و افزایش تولید سایتوکاین های ضدالتهابی مانند IL-10 و IL-1ra سازگار می شود (۱۱). این فرایند نوعی «سازگاری ایمنی» محسوب می شود که در آن، قرارگیری مکرر در معرض التهاب موقت تمرینی منجر به کاهش التهاب پایه بدن در درازمدت می شود (۱۲).

یکی از مکانیسم های کلیدی در این سازگاری، فعال سازی مسیر Nuclear Factor kappa-light-chain-enhancer (NF- κ B) of activated B cells) و مهار تدریجی آن بر اثر تمرین مداوم است. در مراحل اولیه تمرین، NF- κ B در پاسخ به ROS فعال می شود و سبب افزایش ترشح TNF- α و IL-6 می شود؛ اما با تمرینات مکرر، بیان پروتئین های مهارکننده (Inhibitor of κ B Proteins/I κ B) افزایش یافته و باعث کاهش فعالیت مزمن NF- κ B می شود (۱۳). این تغییر موجب کاهش التهاب سیستمیک و بهبود عملکرد اندوتلیال می شود.

کاهش CRP پس از تمرین در این پژوهش نشان دهنده بهبود وضعیت التهابی عمومی بدن است. CRP عمدتاً توسط کبد در پاسخ به IL-6 ترشح می شود. بنابراین کاهش آن بازتابی از تعدیل محور IL-6 $\rightarrow$ CRP است (۱۴). تمرینات تناوبی شدید با افزایش حساسیت به انسولین، بهبود عملکرد اندوتلیال و کاهش توده چربی احشایی، سطح مزمن IL-6 و در نتیجه، CRP را کاهش می دهند (۱۵). از نظر مولکولی، یکی از مسیرهای مهم در این فرایند، فعال سازی آدنوزین مونوفسفات-کیناز (Adenosine Monophosphate-Activated Protein Kinase/AMPK) و مهار تولید پروتئین های فاز حاد در کبد است (۱۶).

از سوی دیگر، کاهش CRP ممکن است ناشی از افزایش تولید آدیپونکتین در بافت چربی باشد که خاصیت ضدالتهابی دارد و موجب سرکوب مسیرهای سیگنال دهی NF- κ B می شود (۱۷). بنابراین، بهبود

(به‌ویژه دوز مصرفی، دوره مداخله و عدم کنترل کامل رژیم غذایی)، نمی‌توان با قطعیت نتیجه گرفت که تارتاریک اسید ذاتاً برای کاهش التهاب یا بهبود عملکرد ورزشکاران بی‌اثر است. به‌طور خلاصه، خود تمرین یک مداخله ضدالتهابی و آنتی‌اکسیدانی قوی است. انجام مطالعات طولانی‌مدت‌تر با دوزهای متفاوت مکمل، همراه با کنترل دقیق‌تر متغیرهای مخدوشگر و بررسی شاخص‌های مولکولی می‌تواند در تبیین دقیق‌تر نقش این ترکیب مفید واقع شود.

از منظر کاربردی، به مربیان ژیمناستیک توصیه می‌شود تمرینات تناوبی شدید را با مدیریت دقیق شدت و حجم در برنامه‌های تمرینی گنجانده و از آن برای بهبود ریکاوری و کاهش التهاب استفاده کنند. پژوهشگران آینده می‌توانند اثرات تارتاریک اسید را در دوره‌های طولانی‌تر، با دوزهای متفاوت و در ترکیب با سایر آنتی‌اکسیدان‌ها (مانند ویتامین C یا پلی‌فنول‌ها) بررسی کنند. همچنین بررسی پاسخ‌های مولکولی دقیق‌تر مانند بیان ژن PGC-1 α (Peroxisome Proliferator-Activated Receptor Gamma Coactivator 1- α) و NF- κ B و در سطوح سلولی می‌تواند در درک عمیق‌تر از مکانیسم‌های اثر تمرین و مکمل مؤثر باشد.

سپاس‌گزاری

بدین وسیله مراتب قدردانی خود را از تمامی افرادی که در انجام این پژوهش نقش داشته‌اند، ابراز می‌داریم. از دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم‌آباد که امکانات لازم برای اجرای این مطالعه را فراهم کردند، صمیمانه سپاس‌گزاریم. همچنین از مربیان و ورزشکاران عزیز ژیمناستیک شهر دورود که با همکاری و حضور فعال خود امکان انجام مداخلات تمرینی و جمع‌آوری داده‌ها را فراهم آوردند، تقدیر و تشکر می‌کنیم. قدردانی ویژه‌ای نیز از همکاران و مشاوران علمی که در بازبینی، تحلیل داده‌ها و تهیه مقاله تلاش کردند، داریم.

References

- Shin SH, Lee YJ, Lee YA, Kim JH, Lee SY, Shin CHJMS, et al. High-sensitivity c-reactive protein is associated with prediabetes and adiposity in Korean youth. *Metab Syndr Relat Disord*. 2020;18(1):47-55. doi: 10.1089/met.2019.0076 pmid
- Wu H, Ballantyne CMJCr. Metabolic inflammation and insulin resistance in obesity. *Circ Res*. 2020;126(11):1549-64. doi: 10.1161/CIRCRESAHA.119.315896 pmid
- Tyrrell DJ, Goldstein DRJNRC. Ageing and atherosclerosis: vascular intrinsic and extrinsic factors and potential role of IL-6. *Nat Rev Cardiol*. 2021;18(1):58-68. doi: 10.1038/s41569-020-0431-7 pmid
- Powers SK, Deminice R, Ozdemir M, Yoshihara T, Bomkamp MP, Hyatt HJJos, et al. Exercise-induced oxidative stress: friend or foe? *J Sport Health Sci*. 2020;9(5):415-25. doi: 10.1016/j.jshs.2020.04.001 pmid
- Silva MM, Lidon FCJEJFA. An overview on applications and side effects of antioxidant food additives. 2016;28(12):823-32. doi: 10.9755/cjfa.2016-07-806
- Zhao Q, Du G, Wang S, Zhao P, Cao X, Cheng C, et al. Investigating the role of tartaric acid in wine astringency. *Food Chem*. 2023;403:134385. doi: 10.1016/j.foodchem.2022.134385 pmid

1 α (تنظیم‌کننده اصلی بیوژنز میتوکندری)، بهبود جریان خون مویرگی و افزایش ظرفیت فسفوکراتینی عضله می‌شود (۲۰). از دید بیوشیمیایی، تمرینات تناوبی با تحریک مسیر AMPK-SIRT1 موجب افزایش اکسیداسیون اسیدهای چرب و ارتقای کارایی انرژی می‌شوند (۲۱). از نظر عصبی، HIIT با افزایش فعالیت نورون‌های حرکتی α و بهبود هم‌زمانی در واحدهای حرکتی باعث افزایش قدرت و سرعت انقباض می‌شود. در سطح هورمونی نیز تمرینات شدید موجب افزایش ترشح هورمون رشد (GH) و فاکتور شبه‌انسولین-۱ (Insulin-Like Growth Factor 1/IGF-1) می‌شود که هر دو در بازسازی بافت عضلانی و سنتز پروتئین نقش دارند (۷). به همین دلیل، حتی در غیاب مکمل، عملکرد ورزشی در پایان دوره تمرین به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای بهبود یافت.

پژوهش حاضر با محدودیت‌هایی مواجه بود که باید در تفسیر نتایج مد نظر قرار گیرند: ۱) نبود گروه مکمل بدون تمرین که امکان جداسازی اثر مستقل مکمل از اثر تعاملی آن با تمرین را فراهم نمی‌کند؛ ۲) دوز مصرفی ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم تارتاریک اسید که ممکن است دوز بهینه نباشد و تعمیم نتایج به دوزهای دیگر نیازمند تحقیقات بیشتر است؛ ۳) دوره هشت‌هفته‌ای مداخله که ممکن است برای آشکارشدن اثرات مزمن مکمل کوتاه بوده باشد؛ ۴) کنترل‌نکردن کامل رژیم غذایی آزمودنی‌ها (باوجود درخواست ثبت مواد مصرفی) که می‌تواند بر نتایج تأثیر گذاشته باشد؛ ۵) حجم نمونه که براساس مطالعات مشابه محاسبه شد، اما ممکن است برای تشخیص تفاوت‌های ظریف ناشی از مکمل کافی نبوده باشد.

نتایج این پژوهش به‌روشنی نشان داد که تمرینات تناوبی شدید قادرند از طریق مجموعه‌ای از سازوکارهای فیزیولوژیکی، متابولیکی و ایمنی، شاخص‌های التهابی را کاهش و عملکرد ورزشی را بهبود دهند. درخصوص مصرف کوتاه‌مدت مکمل تارتاریک اسید با دوز ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن بدن، در شرایط این مطالعه تأثیر افزایشی معناداری مشاهده نشد. بااین‌حال، به‌دلیل محدودیت‌های روش‌شناختی ذکرشده

- Khani M, Piralayi A, Ahmadzadeh Y. The effect of tartaric acid consumption on some inflammatory markers muscle damage and anaerobic capacity in young male football players. *Res Sport Nutr*. 2024;2(4):21-40. doi: 10.22034/ren.2024.140212.1043
- Levers K, Dalton R, Galvan E, O'Connor A, Goodenough C, Simbo S, et al. Effects of powdered montmorency tart cherry supplementation on acute endurance exercise performance in aerobically trained individuals. *J Int Soc Sports Nutr*. 2016;13(1):22. doi: 10.1186/s12970-016-0133-z pmid
- Taghiyar M, Darvishi L, Askari G, Feizi A, Hariri M, Mashhadi NS, et al. The effect of vitamin C and E supplementation on muscle damage and oxidative stress in female athletes: a clinical trial. *Int J Prev Med*. 2013;4(Suppl 1):S16. pmid
- Reljic D. High-intensity interval training as redox medicine: targeting oxidative stress and antioxidant adaptations in cardiometabolic disease cohorts. *Antioxidants*. 2025;14(8):937. doi: 10.3390/antiox14080937 pmid
- Atakan MM, Koşar ŞN, Güzel Y, Tin HT, Yan XJN. The role of exercise diet and cytokines in preventing obesity and improving adipose tissue. *Nutrients*. 2021;13(5):1459. doi: 10.3390/nu13051459 pmid
- Pedersen BK, Febbraio MAJNRE. Muscles exercise and obesity: skeletal muscle as a secretory organ. *Nat Rev Endocrinol*. 2012;8(8):457-65. doi: 10.1038/nrendo.2012.49 pmid

13. Choy EH, De Benedetti F, Takeuchi T, Hashizume M, John MR, Kishimoto TJNRR. Translating il-6 biology into effective treatments. *Nat Rev Rheumatol.* 2020;16(6):335-45. doi: [10.1038/s41584-020-0419-z](https://doi.org/10.1038/s41584-020-0419-z) pmid
14. Rose-John SJFl. Local and systemic effects of interleukin-6 (il-6) in inflammation and cancer. *FEBS Lett.* 2022;596(5):557-66. doi: [10.1002/1873-3468.14220](https://doi.org/10.1002/1873-3468.14220) pmid
15. Nikseresht H, Tadibi V, Behpour N. Effects of eight-week aerobic and resistance training on salsolinols and inflammatory markers in women with type 2 diabetes. *J Sport Physiol.* 2020;47(6):73-92. doi: [10.22089/spj.2020.8299.1983](https://doi.org/10.22089/spj.2020.8299.1983)
16. Macêdo Santiago LÂ, Neto LGL, Borges Pereira G, Leite RD, Mostarda CT, de Oliveira Brito Monzani J, et al. Effects of resistance training on immunoinflammatory response tn timer-alpha gene expression and body composition in elderly women. *J Aging Res.* 2018;2018(1):1467025. doi: [10.1155/2018/1467025](https://doi.org/10.1155/2018/1467025) pmid
17. Soleimani A, Rahimi A, Alijani A, Sarshin A. The effect of six-week aerobic training on inflammatory markers and cardiac damage in male type 1 diabetic rats. *Iran J Diabetes Metab.* 2021;21:356-65. [Link](#)
18. Jang D-i, Lee A-H, Shin H-Y, Song H-R, Park J-H, Kang T-B, et al. The role of tumor necrosis factor alpha (tnf- α) in autoimmune disease and current tn timer- α inhibitors in therapeutics. *Int J Mol Sci.* 2021;22(5):2719. doi: [10.3390/ijms22052719](https://doi.org/10.3390/ijms22052719) pmid
19. da Luz Scheffer D, Latini AJBeBA-MBoD. Exercise-induced immune system response: anti-inflammatory status on peripheral and central organs. *Biochim Biophys Acta Mol Basis Dis.* 2020;1866(10):165823. doi: [10.1016/j.bbadis.2020.165823](https://doi.org/10.1016/j.bbadis.2020.165823) pmid
20. Jahangiri M, Shahrbanian S, Gharakhanlou RJSR. High intensity interval training alters gene expression linked to mitochondrial biogenesis and dynamics in high fat diet fed rats. *Sci Rep.* 2025;15(1):5442. doi: [10.1038/s41598-025-86767-5](https://doi.org/10.1038/s41598-025-86767-5) pmid
21. Liu H, Li YJRBdMde. Effects of high-intensity interval training on the anaerobic capacity of wrestlers. 2022;29:e2022_0279. doi: [10.1590/1517-8692202329012022_0279](https://doi.org/10.1590/1517-8692202329012022_0279)