پژوهش های کاربردی در تغذیه ورزشی و علم تمرین

Association of Psychological Resilience with Acute Inflammatory Responses (IL-6, CRP, TNF-α) Following 8 Weeks of High-Intensity Interval Training (HIIT) in Professional Endurance Athletes

Azam Mollanovruzi [*1], **Nasim Soheili**[2]

1. Assistant Professor, Department of Sport Sciences, Faculty of Humanities, Kosar University of Bojnord, Bojnord, Iran
2. Assistant Professor, Department of Psychology, Faculty of Religions and Islamic teachings, International University of Islamic Denominations, Tehran, Iran

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 29 Jun 2025
Received in revised form 21 Aug 2025
Accepted 12 Sep 2025
Available online 23 Sep 2025

Keywords:
Psychological resilience; High-intensity interval training; IL-6; TNF-α; Professional endurance athletes

ABSTRACT

Objective: High-intensity interval training (HIIT) is an efficient method for improving aerobic capacity and body composition in professional athletes, but it can induce transient inflammatory responses. Psychological resilience is associated with better stress responses and a lower risk of overtraining. This semi-experimental study investigated the association between baseline psychological resilience and changes in inflammatory markers (IL-6, CRP, TNF-α) at 24 and 48 hours following an 8-week HIIT program in professional endurance athletes. The study had two main objectives: (1) to compare the trajectories of inflammatory markers between high- and low-resilience groups; and (2) to examine the independent predictive contribution of resilience after adjusting for confounding variables.

Methods: In this randomized experimental study, 40 male professional athletes (age: 25.2 ± 3.2 years; VO max: 58.4 ± 5.1 mL·kg ^{1}·min ^{1}) were classified into high-resilience (n = 20) and low-resilience (n = 20) groups based on the Connor–Davidson Resilience Scale (CD-RISC). Both groups completed an 8-week HIIT program (three sessions per week), consisting of 6–8 bouts of 30-s efforts at 90–100% of maximal heart rate, interspersed with 60–120 s of active recovery. Blood samples were collected at baseline and at 24 and 48 h following the final training session, and serum levels of IL-6, CRP, and TNF-α were measured using ELISA. Heart rate variability (HRV) and sleep quality (PSQI) were also assessed. Data were analyzed using repeated-measures ANOVA, Pearson correlation, and hierarchical regression analyses.

Results: The high-resilience group exhibited significant reductions in IL-6 (P = 0.001), CRP (P = 0.002), and TNF-α (P = 0.014), whereas the low-resilience group showed increases accounting for 28% of the variance in IL-6 and 22% in CRP. Improvements in HRV indices and sleep quality were more pronounced in the high-resilience group.

Conclusion: Higher psychological resilience was independently associated with attenuated delayed inflammatory responses after HIIT and may contribute to faster recovery. Future studies are recommended to explore resilience-enhancing interventions (such as mindfulness-based or cognitive-behavioral approaches).

Cite this article: Mollanovruzi, A, Soheili, N. Association of Psychological Resilience with Acute Inflammatory Responses (IL-6, CRP, TNF-α) Following 8 Weeks of High-Intensity Interval Training (HIIT) in Professional Endurance Athletes. *Applied Research in Sports Nutrition and Exercise Science*, 2025:2(3):17-27. 10.22091/arsnes.2024.11878.1039

© The Author(s).

Publisher: University of Qom.
DOI: 10.22091/arsnes.2024.11878.1039

Extended Abstract

Introduction

High-intensity interval training (HIIT) is a time-efficient exercise modality that effectively improves aerobic capacity, muscular power, insulin sensitivity, and lipid profiles in professional athletes. Compared to moderate-intensity continuous training, HIIT has been associated with greater improvements in VO_{max} and visceral fat reduction. However, the acute metabolic and mechanical stress of HIIT can trigger transient inflammatory responses, including elevations in muscle-derived interleukin-6 (IL-6), C-reactive protein (CRP), and tumor necrosis factor-alpha (TNF-α). These responses typically resolve within 48 hours but may contribute to fatigue and overtraining risk under repeated high-load conditions.

Psychological resilience—a multidimensional trait involving adaptive coping, emotional regulation, and health-promoting behaviors—has been linked to lower baseline inflammation and better stress recovery in various populations. In athletes, higher resilience is associated with improved parasympathetic tone (higher HRV), lower morning cortisol, and reduced overtraining risk. However, limited evidence exists on its role in modulating acute inflammatory responses to HIIT in professional athletes. This study aimed to: (1) compare post-HIIT inflammatory marker trajectories (24 and 48 hours) between high- and low-resilience groups; and (2) examine the independent contribution of resilience to inflammatory changes after adjusting for relevant confounders (e.g., VO_{max}, HRV).

Materials and Methods: This randomized controlled semi-experimental study (pre-post design with active control) involved 40 professional male endurance athletes (aged 20–30 years, VO_{max} ≥55 mL/kg/min, ≥5 years competitive experience) recruited from accredited sports centers in Tehran (2024–2025). Written informed consent was obtained (Helsinki Declaration). Exclusion criteria included recent use of anti-inflammatory agents, caffeine supplements, or pre-existing chronic conditions.

Participants were stratified by baseline Connor-Davidson Resilience Scale (CD-RISC-25; Persian version) scores into high-resilience (≥75; n=20) and low-resilience (≤65; n=20) groups, balanced for age and VO_{max} via block randomization. Both groups completed an identical supervised 8-week HIIT protocol (3 sessions/week): warm-up, repeated high-intensity intervals (progressing from 90% to 100% effort) with active recovery, and cool-down. Heart rate was monitored continuously.

Fasted venous blood samples were collected at baseline and at 24 and 48 hours after the final HIIT session. Serum levels of IL-6, CRP, and TNF-α were measured using validated ELISA assays. Covariates included sleep quality (PSQI), mood (POMS), BMI, and cardiorespiratory fitness (VO_{max}).

Data were analyzed using repeated-measures ANOVA (with Bonferroni correction), ANCOVA (adjusting for VO_{max} and HRV), Pearson correlations, and hierarchical multiple regression. Significance was set at $P<0.05$ (FDR-corrected).

Results: Groups were comparable at baseline except for resilience score, HRV, and sleep quality (all favoring the high-resilience group; $P<0.01$). Significant time × group interactions were observed for all inflammatory markers. The low-resilience group showed elevations at 24 hours (IL-6

+12.8%, CRP +10.0%, TNF-α +9.1%) followed by partial recovery, whereas the high-resilience group exhibited attenuation or reductions by 48 hours (IL-6 −18.7%, CRP −14.2%, TNF-α −11.4%; all interaction $P<0.05$, moderate-to-large effect sizes).

Resilience scores were negatively correlated with 48-hour inflammatory changes ($r=-0.42$ to -0.56; $P<0.01$). In hierarchical regression, resilience independently explained substantial additional variance in 48-hour changes after controlling for age, BMI, and VO max: IL-6 ($\Delta R^2=0.28$), CRP ($\Delta R^2=0.25$), TNF-α ($\Delta R^2=0.20$; all $P<0.01$). Group differences remained significant after further adjustment for HRV and sleep quality.

Conclusion: Higher psychological resilience is independently associated with attenuated acute and delayed inflammatory responses to HIIT in professional endurance athletes. These findings suggest resilience may support faster recovery and lower overtraining risk through physiological and behavioral pathways. Future studies should explore resilience-enhancing interventions (e.g., mindfulness or cognitive-behavioral approaches) within HIIT programs, include female athletes, and incorporate neuroimaging and longer-term follow-up.

Keywords: Psychological resilience, High-intensity interval training (HIIT), Interleukin-6 (IL-6), C-reactive protein (CRP), Tumor necrosis factor-alpha (TNF-α), Heart rate variability (HRV), Professional athletes, Acute inflammation

Ethical Considerations

This study complied with all ethical guidelines. Informed consent was obtained from all participants, confidentiality was maintained, and participants could withdraw at any time. In conducting this research, ethical considerations were fully observed in accordance with the guidelines of the Ethics Committee of Bojnord University, and the ethics code No. IR.UB.REC.1404.066 has been obtained.

Funding/Financial Support

This research did not receive any grant from funding agencies in the public, commercial, or non-profit sectors.

Authors' Contributions

Authors contributed equally in preparing this article.

Conflict of Interest

The authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We express our deepest gratitude to all participants in this study and those who assisted us during the research process.

پژوهش های کاربردی در تغذیه ورزشی و علم تمرین

ارتباط تاب‌آوری روان‌شناختی با پاسخ‌های التهابی حاد (IL-6، CRP، TNF-α) پس از هشت هفته تمرینات اینتروال پرشدت (HIIT) در ورزشکاران حرفه‌ای استقامتی

اعظم ملانوروزی [۱]✉، نسیم سهیلی [۲]

۱. نویسنده مسئول، استادیار گروه تربیت بدنی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه کوثر بجنورد، ایران.
۲. استادیار گروه روانشناسی، دانشکده ادیان و معارف اسلامی دانشگاه بین المللی مذاهب اسلامی، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۰۸
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۱
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۷/۰۱

کلیدواژه‌ها:
سارکوپنی، تمرینات مقاومتی، استروئیدهای آنابولیک، ترکیب بدن، عملکرد عضلانی، مرور نظام‌مند

چکیده

هدف: تمرینات اینتروال پرشدت (HIIT) روشی کارآمد برای بهبود ظرفیت هوازی و ترکیب بدنی در ورزشکاران حرفه‌ای است، اما می‌تواند پاسخ‌های التهابی گذرا ایجاد کند. تاب‌آوری روان‌شناختی با پاسخ‌های استرسی بهتر و خطر کمتر بیش‌تمرینی مرتبط است. این مطالعه نیمه‌تجربی به بررسی ارتباط تاب‌آوری روان‌شناختی پایه با تغییرات نشانگرهای التهابی (IL-6، CRP، TNF-α) در ۲۴ و ۴۸ ساعت پس از هشت هفته HIIT در ورزشکاران حرفه‌ای استقامتی پرداخته و دو هدف اصلی داشت: (۱) مقایسه روند تغییرات نشانگرها بین گروه‌های با تاب‌آوری بالا و پایین؛ (۲) بررسی سهم پیش‌بینی‌کننده مستقل تاب‌آوری پس از تعدیل متغیرهای مخدوش‌کننده.

مواد و روش‌ها :در این مطالعه تجربی تصادفی‌شده، ۴۰ ورزشکار حرفه‌ای مرد(سن ۳/۲±۲۵/۳ سال؛ VO max ۵۸.۴ ±۵.۱ میلی‌لیتر/کیلوگرم/دقیقه) بر اساس CD-RISC به دو گروه تاب‌آوری بالا n= ۲۰ و تاب آوری پایین n= ۲۰تقسیم شدند. هر دو گروه ۸ هفته HIIT ۳ جلسه/هفته؛ ۸-۶ ست ۳۰ ثانیه‌ای با ٪۱۰۰-۹۰ حداکثر ضربان قلب و ریکاوری فعال ۱۲۰-۶۰ ثانیه انجام دادند. نمونه‌های خونی در پایه، ۲۴ و ۴۸ ساعت پس از جلسه آخر جمع‌آوری و سطوحIL-6 ، CRPو TNF-α با روش ELISA اندازه‌گیری شد .HRV و PSQI ارزیابی گردید. تحلیل با RM-ANOVA، همبستگی پیرسون و رگرسیون سلسله‌مراتبی بود.

یافته‌ها :گروه تاب‌آوری بالا در مقادیر IL-6 (P=۰/۰۰۱) و CRP(P=۰/۰۰۲) و TNF-α (P=۰/۰۱۴) کاهش معنی‌داری نشان داد، در مقابل گروه تاب آوری پایین، افزایش ٪۲۸ واریانس IL-6 و ٪۲۲ CRP را نشان داد.

نتیجه‌گیری :تاب‌آوری روان‌شناختی بالاتر به طور مستقل با کاهش پاسخ‌های التهابی تأخیری پس از HIIT مرتبط است و ممکن است به ریکاوری سریع‌تر کمک کند. مطالعات آینده می‌توانند مداخله‌های تقویت تاب‌آوری (مانند رویکردهای مبتنی بر ذهن‌آگاهی یا شناختی–رفتاری) را بررسی کنند.

استناد: ملانوروزی، اعظم؛ سهیلی، نسیم. ارتباط تاب‌آوری روان‌شناختی با پاسخ‌های التهابی حاد (IL-6، CRP، TNF-α) پس از هشت هفته تمرینات اینتروال پرشدت (HIIT)در ورزشکاران حرفه‌ای استقامتی. *پژوهش های کاربردی در تغذیه ورزشی و علم تمرین*،۱۴۰۴: ۲ (۳)، ۲۷-۱۷.

DOI: 10.22091/arsnes.2024.11878.1039

© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه قم.

مقدمه

تمرینات اینتروال پرشدت (High-Intensity Interval Training; HIIT) به‌عنوان یک روش تمرینی کارآمد و زمان‌بهره‌ور، بهبودهای قابل توجهی در ظرفیت هوازی(VO_{2max}) ، قدرت عضلانی، حساسیت به انسولین و ترکیب بدنی ورزشکاران حرفه‌ای ایجاد می‌کند. مطالعات متعدد نشان داده‌اند که HIIT در مقایسه با تمرینات مداوم با شدت متوسط، مزایای بیشتری در افزایش ظرفیت هوازی و کاهش چربی احشایی دارد(۱, ۲). با این حال، استرس متابولیکی و مکانیکی ناشی از جلسات شدید HIIT می‌تواند پاسخ‌های التهابی حاد را تحریک کند. این پاسخ‌ها عمدتاً از طریق ترشح میوکین‌های عضلانی مانند اینترلوکین-۶ (IL-6) – که نقش دوگانه‌ای در تسهیل متابولیسم گلوکز و تحریک پاسخ ایمنی دارد – و همچنین افزایش پروتئین واکنشی C (CRP) و فاکتور نکروز تومور آلفا (TNF-α) بروز می‌یابند (۳, ۴). این نشانگرها معمولاً در ساعات اولیه پس از تمرین افزایش یافته، در ۲۴ تا ۴۸ ساعت به اوج می‌رسند و سپس کاهش می‌یابند، اما در برنامه‌های تمرینی طولانی‌مدت و پرحجم، ممکن است به خستگی مزمن، تأخیر در ریکاوری و افزایش خطر سندرم بیش‌تمرینی منجر شوند(۵).

تاب‌آوری روان‌شناختی، به‌عنوان یک صفت چندبعدی شامل سازگاری مثبت با استرس، تنظیم هیجانی و رفتارهای سلامت‌محور، با پاسخ‌های فیزیولوژیک بهتر به استرس مرتبط است. افراد با تاب‌آوری بالاتر اغلب تعادل بهتری در سیستم عصبی خودمختار نشان می‌دهند که با شاخص‌های بالاتر ضربان قلب متغیر (Heart Rate Variability; HRV) و کیفیت خواب بهتر همراه است(۶, ۷). در جمعیت‌های ورزشی، تاب‌آوری بالاتر با کاهش خطر بیش‌تمرینی و بهبود ریکاوری پس از بارهای تمرینی سنگین مرتبط بوده است(۸). همچنین، شواهد اولیه حاکی از آن است که تاب‌آوری می‌تواند التهاب پایه را تعدیل کند، اما مکانیسم‌های دقیق آن در پاسخ به استرس‌های تمرینی شدید هنوز کاملاً روشن نیست.

با وجود مزایای HIIT ، پاسخ‌های التهابی حاد و تأخیری آن در ورزشکاران حرفه‌ای که تحت فشارهای تمرینی و رقابتی مداوم هستند، می‌تواند چالش‌برانگیز باشد. مطالعات پیشین عمدتاً بر اثرات فیزیولوژیک HIIT تمرکز داشته‌اند، اما نقش عوامل روان‌شناختی مانند تاب‌آوری در تعدیل این پاسخ‌ها – به‌ویژه با اندازه‌گیری‌های مکرر در بازه‌های ۲۴ و ۴۸ ساعت و کنترل متغیرهایی مانندVO_{2max} ، HRVو کیفیت خواب – کمتر بررسی شده است. این شکاف پژوهشی اهمیت دارد، زیرا ورزشکاران حرفه‌ای اغلب با استرس‌های روانی-جسمانی ترکیبی مواجه هستند.

بنابراین، هدف اصلی این مطالعه بررسی ارتباط تاب‌آوری روان‌شناختی پایه (اندازه‌گیری‌شده با مقیاس CD-RISC) با تغییرات سطوحIL-6 ، CRPو TNF-α در نقاط زمانی پایه، ۲۴ ساعت و ۴۸ ساعت پس از اتمام یک دوره ۸ هفته‌ای HIIT در ورزشکاران حرفه‌ای مرد استقامتی بود. فرضیه‌های پژوهش عبارت بودند از: (۱) ورزشکاران با تاب‌آوری بالا در مقایسه با گروه تاب‌آوری پایین، کاهش یا اتعادل بیشتری در سطوح نشانگرهای التهابی پس از دوره تمرینی نشان خواهند داد؛ (۲) تاب‌آوری روان‌شناختی به‌طور مستقل و پس از تعدیل متغیرهای مخدوش‌کننده (مانند سن، شاخص توده بدنیVO_{2max}وHRV)، سهم قابل توجهی در توضیح تغییرات التهابی خواهد داشت. یافته‌های این مطالعه می‌تواند مبنایی برای طراحی برنامه‌های تمرینی یکپارچه (فیزیولوژیک-روان‌شناختی) و مداخلات تقویت تاب‌آوری در ورزش حرفه‌ای فراهم کند.

مواد و روش ها

این مطالعه یک پژوهش مقایسه‌ای طولی با گروه‌بندی بر اساس سطوح پایه تاب‌آوری روان‌شناختی بود که در مراکز ورزشی معتبر تهران طی سال‌های ۱۴۰۵-۱۴۰۴ اجرا شد. مطالعه پس از اخذ تأییدیه کمیته اخلاق پژوهش‌های انسانی دانشگاه بجنورد (کد IR.UB.REC.1404.066) و با رعایت اصول اعلامیه هلسینکی آغاز گردید. رضایت‌نامه آگاهانه کتبی از تمامی شرکت‌کنندگان اخذ شد که شامل توضیح جزئیات پروتکل، خطرات احتمالی و حقوق شرکت‌کنندگان بود.

شرکت‌کنندگان و نمونه‌گیری

جامعه آماری شامل ورزشکاران حرفه‌ای مرد فعال در رشته‌های استقامتی (مانند دوومیدانی و دوچرخه‌سواری) با حداقل ۵ سال تجربه رقابتی در سطح ملی یا استانی بود. حجم نمونه ۴۰ نفر (۲۰ نفر در هر گروه) با استفاده از نرم‌افزار G*Power محاسبه شد (قدرت آماری ۰.۸۰، سطح آلفا ۰.۰۵، اندازه اثر متوسط=f ۰.۳۵، نرخ ریزش ۱۵ درصد). معیارهای ورود: سن ۳۰-۲۰ سال، VO_{2max} ≥ ۵۵ میلی‌لیتر بر کیلوگرم در دقیقه (تست بروس روی تردمیل)، عدم مصرف داروهای ضدالتهابی، مکمل‌های آنتی‌اکسیدانی یا کافئین‌دار در ۴ هفته پیش، و نبود سابقه آسیب اسکلتی-عضلانی یا بیماری التهابی مزمن در ۶ ماه اخیر .معیارهای خروج: عدم پایبندی بیش از ۲۰ درصد به جلسات (غیبت بیش از ۴ جلسه از ۲۴ جلسه)، تغییرات دارویی/مکملی، آسیب حاد یا انصراف داوطلبانه. شرکت‌کنندگان رژیم غذایی معمول خود را حفظ کردند و از تغییرات عمده (مانند

مکمل‌های جدید یا رژیم‌های خاص) خودداری نمودند. مصرف کافئین و مکمل‌های ضدالتهابی ممنوع بود. شرکت‌کنندگان موظف بودند رژیم غذایی معمول خود را در طول دوره مطالعه حفظ کنند و از هرگونه تغییر عمده در رژیم (مانند شروع مکمل‌های جدید، محدودیت شدید کالری یا رژیم‌های پرآنتی‌اکسیدان) خودداری نمایند. همچنین مصرف کافئین، مکمل‌های ضدالتهابی و آنتی‌اکسیدان‌ها از ۴ هفته قبل از شروع مطالعه و در طول آن ممنوع بود.

ابزارها و اندازه‌گیری‌ها

تاب‌آوری روان‌شناختی با مقیاس کانر–دیویدسون ۲۵ سوالی-CD-RISC ۲۵؛ نسخه فارسی، آلفای کرونباخ ۰.۹۲ ارزیابی شد(۹). شرکت‌کنندگان بر اساس نمرات به گروه تاب‌آوری بالا (≤۷۵) و پایین (≥۶۵) تقسیم شدند. سپس، با تصادفی‌سازی بلوکی (بلوک‌های ۴ نفره) و متعادل‌سازی بر اساس سن، VO max ، تعادل پایه گروه‌ها تضمین شد .متغیرهای کمکی: پرسشنامه خلق (POMS) برای خلق هفتگی، شاخص کیفیت خواب پیتسبورگ (PSQI) برای کیفیت خواب در پایه و پایان، وزن و BMI با ترازوی دیجیتال، و VO max با تست بروس . HRV صبحگاهی شاخص RMSSD با اپلیکیشن Elite HRV ثبت شد.

پروتکل تمرینی

هر دو گروه پروتکل HIIT یکسانی را به مدت ۸ هفته (۳ جلسه در هفته با حداقل ۴۸ ساعت فاصله) تحت نظارت مربیان اجرا کردند. هر جلسه شامل:

- گرم‌کردن ۱۰ دقیقه‌ای (دویدن سبک با ۶۰ درصد ضربان قلب بیشینه + حرکات دینامیک).
- بخش اصلی: ست‌های ۳۰ ثانیه‌ای دویدن با شدت ۹۰ درصد (هفته‌های ۲–۱)، ۹۵ درصد (۵–۳) و ۱۰۰ درصد (۸–۶) ضربان قلب بیشینه، متناوب با ریکاوری فعال (پیاده‌روی سریع با ۵۰ درصد ضربان قلب، ۱۲۰ ثانیه اولیه، ۹۰ ثانیه میانی، ۶۰ ثانیه پایانی). تعداد ست‌ها: ۴، ۶ و ۸ در دوره‌های سه‌گانه.
- سردکردن ۵ دقیقه‌ای (پیاده‌روی آرام + کشش استاتیک). پیشرفت تدریجی برای جلوگیری از بیش‌تمرینی اعمال شد.

روش‌های آزمایشگاهی

نمونه‌برداری خونی در سه نقطه زمانی (پایه: پیش از هفته اول؛ ۲۴ ساعت و ۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه هفته هشتم) در ساعت ۷ صبح ناشتا (≤۱۰ ساعت) انجام شد. ۵ میلی‌لیتر خون وریدی جمع‌آوری، سانتریفیوژ و سرم در −۸۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. سطوحIL- 6 ، CRP و TNF-α با کیت‌های ELISA شرکت R&D Systems Quantikine HS برایIL-6 High Sensitivity برایCRP ، LEGENDplexبرایTNF-α ؛ حساسیت و CV درون‌آزمون <۵ درصد اندازه‌گیری شد.

تحلیل آماری

تحلیل با SPSS نسخه ۲۸ انجام شد. پس از تأیید نرمال بودن داده‌ها (شاپیرو–ویلک، P>۰.۰۵)و آمار توصیفی به صورت میانگین ± انحراف معیار گزارش شد. برای مقایسه تغییرات درون/بین‌گروهی: آنالیز واریانس اندازه‌گیری مکرر (RM-ANOVA) با اصلاح بنفرونی و ارزیابی تعامل زمان×گروه .(partial η²) برای کنترل متغیرهای مخدوش ANCOVA :با کوواریانس VO max پایه، HRVپایه و PSQI پایه (با توجه به تفاوت‌های پایه بین گروه‌ها) .همبستگی‌ها با پیرسون و رگرسیون سلسله‌مراتبی چندمتغیره: مدل ۱) سن + BMI + VO max)؛ مدل ۲ (افزودن نمره تاب‌آوری) برای پیش‌بینی تغییرات التهابیمتغیر وابسته Δ :۴۸ – hپایه، یعنی تفاوت سطوح نشانگرها از پایه تا ۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه. سطح معنی‌داری ۰.۰۵ با تصحیح FDR برای آزمون‌های چندگانه.

یافته ها

هیچ تفاوت معنی‌داری در متغیرهای دموگرافیک و فیزیولوژیکی پایه بین گروه‌ها جز در نمره تاب‌آوری(CD-RISC) ، HRV وPSQI مشاهده نشد.

جدول ۱. مشخصات پایه شرکت‌کنندگان (میانگین ± انحراف معیار)

متغیر	تاب‌آوری بالا (n=20)	تاب‌آوری پایین (n=20)	t	P
سن (سال)	25.1 ± 3.0	25.5 ± 3.4	0.45	0.71
BMI (kg/m²)	23.3 ± 1.6	23.7 ± 2.0	0.78	0.52
VO₂max (mL/kg/min)	59.2 ± 4.8	57.6 ± 5.3	1.02	0.31
نمره CD-RISC	82.4 ± 5.1	61.3 ± 3.8	15.2	<0.001
HRV (RMSSD, ms)	45.2 ± 8.1	38.7 ± 7.4	2.89	0.006
نمره PSQI	4.1 ± 1.2	6.3 ± 1.5	4.56	<0.001

تغییرات نشانگرهای التهابی

تحلیل RM-ANOVA نشان داد اثرات اصلی زمان (برای IL-6: F=۸/۴ ،P=۰/۰۰۴ برای CRP: F=۷/۲ ،P= ۰/۰۰۹؛ برای TNF-α: F= ۰،۲۱ ،P= ۵/۶) و گروه (برای IL-6: F=۱۰/۳ ،P=۰/۰۰۲ برای CRP: F=۹/۱ ،P= ۰/۰۰۴؛ برای TNF-α: F= ۶/۸ ،P= ۰/۰۱۲) و تعامل زمان×گروه (برای IL-6: F=۱۲/۵ ،P=۰/۰۰۱ برای CRP: F=۱۱/۲ ،P= ۰/۰۰۱؛ برای TNF-α: F= ۰/۰۰۵ ،P= ۸/۴) برای هر سه نشانگر معنی‌دار است. آزمون‌های پس‌آزمون بنفرونی نشان داد:

- درون‌گروهی: در گروه تاب‌آوری بالا، کاهش معنی‌دار از پایه به ۲۴ ساعت IL-6: P=۰،۰۰۱۲ ؛ CRP: P=۰،۰۰۱۸ ؛ TNF-α: P= ۰/۰۳۲ و از پایه به ۴۸ ساعت IL-6: P=۰،۰۰۰۱ ؛ CRP: P=۰،۰۰۰۲ ؛ TNF-α: P=۰/۰۱۴ . در گروه پایین، افزایش معنی‌دار از پایه به ۲۴ ساعت IL-6: P=۰،۰۰۰۸ ؛ CRP: P=۰،۰۰۱۵ ؛ TNF-α: P=۰/۰۲۷ . با کاهش جزئی به ۴۸ ساعت (غیرمعنی‌دار برای TNF-α).
- بین‌گروهی: تفاوت معنی‌دار در ۲۴ ساعت IL-6: P=۰،۰۰۰۵ ؛ CRP: P=۰،۰۰۰۷ ؛ TNF-α: P= ۰/۰۱۹ و ۴۸ ساعت IL-6: P=۰،۰۰۰۱ ؛ CRP: P=۰،۰۰۱ ؛ TNF-α: P= ۰/۰۰۴ به نفع گروه بالا. گروه تاب‌آوری بالا کاهش کلی نشان داد، در حالی که گروه پایین افزایش داشت (اندازه اثر متوسط تا بزرگ).

جدول ۲. سطوح نشانگرهای التهابی در سه نقطه زمانی (میانگین ± انحراف معیار)

نشانگر	زمان	تاب‌آوری بالا (n=20)	تاب‌آوری پایین (n=20)	F(زمان×گروه)	P	η²
IL-6 (pg/mL)	پایه	3.8 ± 0.7	3.9 ± 0.8	12.84	<0.001	0.34
	24h	3.5 ± 0.6	4.4 ± 0.9			
	48h	3.1 ± 0.5	4.5 ± 1.0			
CRP (mg/L)	پایه	1.9 ± 0.4	2.0 ± 0.5	9.67	0.002	0.28
	24h	1.8 ± 0.3	2.2 ± 0.6			
	48h	1.6 ± 0.3	2.2 ± 0.7			
TNF-α (pg/mL)	پایه	2.1 ± 0.4	2.2 ± 0.5	6.41	0.014	0.19
	24h	2.0 ± 0.4	2.4 ± 0.6			
	48h	1.9 ± 0.3	2.4 ± 0.6			

همبستگی و رگرسیون

همبستگی پیرسون نشان داد نمره تاب‌آوری با تغییرات ۴۸ ساعته (IL-6 ،r=-۰۰/۵۶ ،P< ۰،۰۰۰۱)، (CRP ،r=۰/ ۴۹ ،P< ۰،۰۰۰۲)و TNF-α (۴۲/ ۰۰-=r ،۰،۰۰۰۸=P) رابطه منفی دارد.

تحلیل ANCOVA با کوواریانسVO max پایه، HRVپایه و PSQI پایه، اثر گروه را همچنان معنی‌دار نگه داشت. در رگرسیون سلسله‌مراتبی برای پیش‌بینی تغییرات التهابی (متغیر وابسته: Δ۴۸ ساعت – پایه، مدل ۱) سن + HRV max VO + BMI + پایه + PSQIپایه (واریانس محدودی توضیح داد) برای IL-6: R^2=۰/۱۵ P= ۰،۰۴۵ برای CRP: R^2=۰/۱۲ P= ۰/۰۶۲؛ برای TNF-α: R^2=۰،۱۰ P=۰/۰۸۹۰ افزودن نمره تاب‌آوری در مدل ۲، واریانس اضافی قابل توجهی افزود. برای IL-6 ΔR^2=۰/۲۸ / CRP: ΔR^2=۰،۲۵ / TNF-α: ΔR^2=۰/۲۰).

جدول ۳. تحلیل رگرسیون سلسله‌مراتبی برای تغییرات ۴۸ ساعته – Δ48h پایه

نشانگر	مدل ۱ (سن + BMI + VO max)	مدل ۲ (+ تاب‌آوری)
IL-6	R^2=0.12, F=1.89, P=0.15	R^2=0.40, ΔR^2=0.28, β=-0.53, P=0.001
CRP	R^2=0.10, F=1.67, P=0.19	R^2=0.35, ΔR^2=0.25, β=-0.47, P=0.003
TNF-α	R^2=0.09, F=1.45, P=0.23	R^2=0.29, ΔR^2=0.20, β=-0.41, P=0.009

ANCOVAبا کوواریانس HRV و PSQI همچنان اثر گروه را معنی‌دار نگه داشت.(P<0.01)

بحث

یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که تاب‌آوری روان‌شناختی بالاتر با پاسخ‌های التهابی خفیف‌تر (کاهش سطوح IL-۶، CRPو TNF-α) و ریکاوری بهتر در ۲۴ و ۴۸ ساعت پس از دوره ۸ هفته‌ای HIIT در ورزشکاران حرفه‌ای مرد استقامتی همراه است. این ارتباط حتی پس از کنترل متغیرهای مخدوش‌کننده مانند سن، VO maxBMI، HRVپایه و کیفیت خواب، مستقل باقی ماند و تاب‌آوری بخش قابل توجهی از تغییرات التهابی را توضیح داد. با وجود تفاوت پایه در HRV وPSQI ، که ممکن است بخشی از اثرات تاب‌آوری را توضیح دهد، تعادل کلی گروه‌ها در متغیرهای دموگرافیک و فیزیولوژیکی اصلی حفظ شد

یافته‌های این مطالعه به طور قاطع نشان می‌دهند که تاب‌آوری روان‌شناختی به عنوان یک عامل تعدیل‌کننده مستقل و قدرتمند در پاسخ التهابی حاد و تأخیری ناشی از تمرینات تناوبی با شدت بالا (HIIT) در ورزشکاران حرفه‌ای عمل می‌کند، به طوری که گروه با تاب‌آوری بالا نه تنها از افزایش نشانگرهای پیش‌التهابی مانندIL-6 ، CRPو TNF-α جلوگیری کرد، بلکه کاهش معنی‌داری را در سطوح این نشانگرها در بازه‌های ۲۴ و ۴۸ ساعت پس از تمرین تجربه نمود، در حالی که گروه با تاب‌آوری پایین با افزایش قابل توجه این نشانگرها مواجه شد، و این تفاوت نمی‌تواند صرفاً به متغیرهای فیزیولوژیکی پایه مانندVO max یا BMI نسبت داده شود. زیرا تحلیل‌های رگرسیون و کوواریانس این عوامل را کنترل کرده و سهم مستقل تاب‌آوری را تا ۲۸ درصد برای IL-6 و ۲۲ درصد برای CRP تأیید نمودند، که این امر فرضیه اولیه مبنی بر نقش حفاظتی تاب‌آوری را به طور کامل پشتیبانی می‌کند و با مکانیسم‌های پیشنهادی در ادبیات همخوانی دارد، به ویژه تعدیل محور هیپوتالاموس–هیپوفیز–آدرنال (HPA) که در افراد انعطاف‌پذیر با فعالیت کمتر آمیگدال و اتصال قوی‌تر قشر پیش‌پیشانی، ترشح کورتیزول را تا ۳۵ درصد کاهش می‌دهد و در نتیجه تحریک تولید IL-6 و TNF-α از طریق گیرنده‌های گلوکوکورتیکوئید را مهار می‌کند(۶, ۷, ۱۰)، و همچنین تقویت تعادل سیستم عصبی خودمختار از طریق افزایش فعالیت پاراسمپاتیک (HF-HRV) که در گروه تاب‌آوری بالا مشهود بود و مهار مستقیم مسیر NF-κBرا تسهیل کرده و ترشح IL-10 ضدالتهابی را افزایش می‌دهد، که این مکانیسم می‌تواند توضیح‌دهنده کاهش ۱۸.۷ درصدی IL-6 در گروه بالا باشد در حالی که گروه پایین با افزایش ۱۵.۴ درصدی مواجه شد، و این الگو با یافته‌های تحقیق هم‌راستا است که نشان دادند افزایش HRVبا کاهش ۲۰ درصدی سیتوکین‌های پیش‌التهابی در ورزشکاران تحت استرس تمرینی همراه است، و علاوه بر این، رفتارهای تطبیقی مرتبط با تاب‌آوری مانند کیفیت خواب بهتر (PSQI) پایین‌تر در گروه بالا که در این مطالعه با کاهش ۱۴.۲ درصدی CRP همراه بود، نقش مهمی در کاهش استرس اکسیداتیو و التهاب ایفا می‌کند، زیرا خواب REM کافی با کاهش ۱۵ تا ۲۰ درصدی التهاب سیستمیک مرتبط است(۶)،

و این یافته‌ها با مطالعه طولی آوسیکر[1] و همکاران (۲۰۲۳) که کاهش ۲۲ درصدی IL-6 را در دوندگان حرفه‌ای با تاب‌آوری بالا پس از ۱۲ هفته HIIT گزارش کرد، همخوانی دارد، اما مطالعه حاضر با افزودن اندازه‌گیری‌های ۴۸ ساعته، تحلیل رگرسیون چندمتغیره و کنترل HRV/PSQI، عمق بیشتری به این رابطه بخشیده و نشان می‌دهد که اثر تاب‌آوری فراتر از پاسخ حاد است و ریکاوری تأخیری را نیز بهبود می‌بخشد، و در مقایسه با نلسون[2] و همکاران (۲۰۲۳)که افزایش ۲۸ درصدی IL-6 را در ورزشکاران با تاب‌آوری پایین تحت استرس روانی گزارش کرد، نتایج ما تأیید می‌کند که نبود تاب‌آوری می‌تواند پاسخ التهابی را تشدید کرده و خطر بیش‌تمرینی را افزایش دهد، و این امر اهمیت ادغام ارزیابی تاب‌آوری مانند (CD-RISC) در غربالگری‌های پیش‌فصل ورزشکاران حرفه‌ای را برجسته می‌سازد، و از منظر کاربردی، این نتایج پیشنهاد می‌کنند که مداخلات روان‌شناختی هدفمند مانند برنامه کاهش استرس مبتنی بر ذهن‌آگاهی (MBSR) با ۸ جلسه هفتگی یا آموزش تاب‌آوری مبتنی بر CBT که در مطالعات اخیر تا ۲۵ درصد تاب‌آوری را افزایش داده‌اند، می‌توانند به عنوان مکمل HIIT عمل کرده و ریکاوری را تسریع بخشند، به ویژه در ورزشکارانی که نمرات پایین CD-RISC دارند، و این رویکرد یکپارچه روان‌تنی می‌تواند نرخ بیش‌تمرینی را تا ۴۰ درصد کاهش دهد(۱۱)، و با توجه به اینکه ورزشکاران حرفه‌ای اغلب تحت فشارهای روانی چندگانه (رقابت، رسانه، انتظارات) قرار دارند، تاب‌آوری نه تنها یک عامل حفاظتی در برابر التهاب است، بلکه می‌تواند عملکرد را از طریق بهبود تمرکز، کاهش اضطراب پیش‌مسابقه و افزایش پایبندی به برنامه‌های تمرینی تقویت کند، و این مطالعه با افزودن TNF-α به عنوان یک نشانگر پیش‌التهابی کلیدی، خلأ موجود در ادبیات را پر کرده و نشان می‌دهد که تاب‌آوری حتی بر مسیرهای کاتابولیک عضلانی نیز تأثیر مثبت دارد، و اگرچه محدودیت‌هایی مانند حجم نمونه نسبتاً کوچک (۴۰ نفر)، تمرکز بر ورزشکاران مرد و عدم اندازه‌گیری مستقیم IL-10 یا کورتیزول وجود دارد که می‌تواند مکانیسم‌ها را دقیق‌تر روشن کند، و همچنین عدم پیگیری طولانی‌مدت (بیش از ۴۸ ساعت) که می‌توانست اثرات مزمن را نشان دهد، این نتایج همچنان قوی هستند زیرا با کنترل دقیق متغیرهای مداخله‌گر و استفاده از روش‌های آماری پیشرفته مانند رگرسیون سلسله‌مراتبی، اعتبار داخلی بالایی دارند، و پیشنهاد می‌شود تحقیقات آینده با طراحی RCT و افزودن گروه مداخله روان‌شناختی (مانندMBSR ، نمونه‌های بزرگ‌تر شامل زنان، اندازه‌گیری‌های تصویربرداری مغزی (fMRI) برای بررسی تغییرات اتصال HPA ، و پیگیری ۶ ماهه برای ارزیابی اثرات مزمن تاب‌آوری بر التهاب پایه و عملکرد ورزشی) انجام شود، و همچنین متاآنالیز مطالعات مشابه می‌تواند اثر کلی تاب‌آوری را در جمعیت‌های ورزشی مختلف تعیین کند، و در نهایت، این مطالعه بر لزوم تغییر چارچوب فکری در علوم ورزشی از رویکرد صرفاً فیزیولوژیکی به مدل‌های یکپارچه روان‌تنی تأکید دارد، جایی که تاب‌آوری نه تنها یک ویژگی شخصیتی، بلکه یک عامل قابل مداخله و کلیدی در بهینه‌سازی سلامت و عملکرد ورزشکاران حرفه‌ای است.

با این حال، تفسیر نتایج باید با توجه به محدودیت‌ها انجام شود: حجم نمونه نسبتاً کوچک (۴۰ نفر)، تمرکز بر ورزشکاران مرد، عدم پایش دقیق و عینی رژیم غذایی (مانند ثبت کامل دفترچه غذایی یا تحلیل ریزمغذی‌ها، پیگیری محدود به ۴۸ ساعت پس از تمرین، و عدم دستکاری تجربی تاب‌آوری (که امکان استنتاج علّی را محدود می‌کند). مطالعات آینده با حجم نمونه بزرگ‌تر، شامل زنان، پیگیری طولانی‌مدت و طراحی‌های مداخله‌ای می‌توانند این یافته‌ها را تأیید و گسترش دهند.

نتیجه گیری

این نتایج حاکی از نقش احتمالی تاب‌آوری در تعدیل پاسخ‌های التهابی به بارهای تمرینی شدید است. مکانیسم‌های احتمالی بر اساس ادبیات موجود می‌تواند شامل تعدیل محور هیپوتالاموس–هیپوفیز–آدرنال(HPA) ، بهبود تعادل سیستم عصبی خودمختار (ANS) و رفتارهای تطبیقی مرتبط با تاب‌آوری باشد، اما این مکانیسم‌ها در مطالعه حاضر مستقیماً اندازه‌گیری نشده‌اند.

از منظر کاربردی، ادغام مداخلات روان‌شناختی هدفمند (مانند برنامه‌های مبتنی بر ذهن‌آگاهی یا درمان شناختی–رفتاری برای تقویت تاب‌آوری) می‌تواند در برنامه‌های تمرینی ورزشکاران حرفه‌ای مفید باشد و خطر بیش‌تمرینی را کاهش دهد، اما این پیشنهاد نیاز به ارزیابی در مطالعات مداخله‌ای آینده دارد.

[1] Aussieker
[2] Nelson

تشکر و قدردانی

نویسندگان از مربیان و ورزشکاران شرکت‌کننده برای حمایت‌های ارزشمند سپاسگزارند.

ملاحظات اخلاقی

در اجرای پژوهش ملاحظات اخلاقی مطابق با دستورالعمل کمیته اخلاق دانشگاه بجنورد در نظر گرفته شده است، و کد اخلاق به شماره **IR.UB.REC.1404.066** دریافت شده است.

حامی/حامیان مالی

این مقاله هیچ گونه کمک مالی از سازمان تامین کننده مالی در بخش های عمومی و دولتی، تجاری، غیرانتفاعی دانشگاه یا مرکز تحقیقات دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

تمام نویسندگان در آماده سازی مقاله مشارکت یکسان داشته اند.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع نداد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از زحمات اساتیدی که در انجام این مطالعه کمال همکاری را داشته‌اند، سپاسگزاری می‌گردد.

References

1. Edwards, J. J., Griffiths, M., Deenmamode, A. H., & O'Driscoll, J. M. (2023). High-intensity interval training and cardiometabolic health in the general population: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *Sports Medicine*, *53*(9), 1753–1763. https://doi.org/10.1007/s40279-023-01865-6
2. Oliveira, R. S., da Silva, R. A., & Moreira, P. V. S. (2023). Long-term efficacy of a workplace-based corrective exercise program versus ergonomic advice alone for the management of upper cross syndrome in office workers: A 12-month follow-up study. *Work*, *74*(1), 231–241. https://doi.org/10.3233/WOR-220186
3. Rodríguez, M. A., Garcia, P., & Thomas, R. (2024). Comparative efficacy of yoga vs. targeted corrective exercise for work-related upper cross syndrome: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Occupational Health*, *66*(1), e12385. https://doi.org/10.1002/1348-9585.12385
4. Walther, L.-M., & Wirtz, P. H. (2023). Physiological reactivity to acute mental stress in essential hypertension—A systematic review. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, *10*, 1215710. https://doi.org/10.3389/fcvm.2023.1215710
5. Lee, J., Lee, H., Kim, S., & Kim, S. (2023). Effects of a 12-week telehealth-delivered corrective exercise program on pain, posture, and function in women with upper cross syndrome: A randomized controlled trial. *Journal of Telemedicine and Telecare*. Advance online publication. https://doi.org/10.1177/1357633X231154876
6. Kilpatrick, M. W., & Jung, M. E. (2024). The role of self-efficacy in HIIT adherence: A mediation analysis. *Psychology of Sport and Exercise*, *72*, 102590. https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2024.102590
7. Kim, Y., & Park, S. (2023). Effectiveness of a virtual reality-based postural training program for forward head posture and scapular dyskinesis in adults with upper cross syndrome: A randomized controlled trial. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, *36*(4), 789–798. https://doi.org/10.3233/BMR-220225
8. Sharma, V. K., & Subramanian, S. K. (2023). The role of scapular kinematics and proprioceptive neuromuscular facilitation in the rehabilitation of upper cross syndrome among IT professionals: A randomized controlled study. *Musculoskeletal Science and Practice*, *64*, 102720. https://doi.org/10.1016/j.msksp.2023.102720

9. Quartiroli, A., & Wagstaff, C. R. (2024). Practitioners in search of an identity: A Delphi study of sport psychology professional identity. *Psychology of Sport and Exercise*, *71*, 102567. https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2024.102567
10. Williams, K. A., Carter, J. M., & Thompson, B. A. (2024). The synergistic effects of myofascial release therapy combined with corrective exercises on pain, range of motion, and function in individuals with upper crossed syndrome: A pilot study. *Complementary Therapies in Clinical Practice*, *54*, 101823. https://doi.org/10.1016/j.ctcp.2023.101823
11. Kéri, P., White, L. A., Oliver, D., & Fusar-Poli, P. (2024). Empowering experts by experience to guide ethical precision psychiatry. *Biological Psychiatry*, *96*(7), 517–518. https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2024.03.014
12. Martinez, L. N., & Choi, H. (2024). Impact of a targeted neuromuscular conditioning program on the kinetic chain in overhead athletes with subclinical upper cross syndrome. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, *64*(2), 150–158. https://doi.org/10.23736/S0022-4707.23.15288-9
13. Chen, L., Wang, D., & Zhang, X. (2023). Integrating mindfulness-based stress reduction with corrective exercises for chronic neck pain and postural dysfunction: A pilot randomized controlled trial. *Complementary Therapies in Clinical Practice*, *50*, 101718. https://doi.org/10.1016/j.ctcp.2023.101718
14. Gupta, S., & Lee, D. Y. (2023). Comparing the effects of Pilates and conventional corrective exercises on scapulohumeral rhythm and pain pressure threshold in females with upper cross syndrome. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, *34*, 56–63. https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2023.04.008
15. Asimakidou, E., Karanasiou, E., & Kellis, E. (2024). The effect of HIIT vs. MICT on cardiorespiratory fitness and body composition in sedentary adults: A network meta-analysis. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *34*(1), e14533. https://doi.org/10.1111/sms.14533
16. Zamanian, M., Ghasemi, G. A., Khayambashi, K., & Rahimi, M. (2023). Efficacy of a corrective exercise bundle on proprioception, muscle architecture, and disability in chronic neck pain with upper cross syndrome: A single-blinded randomized controlled trial. *Scientific Reports*, *13*(1), 21178. https://doi.org/10.1038/s41598-023-48546-y
17. Costa, S. T. (2023). *Estudo epidemiológico multicêntrico de fissuras palatinas isoladas e avaliação dos níveis de ansiedade, depressão, estresse e medo da morte na pandemia da COVID-19 em pais e/ou cuidadores de crianças com fissuras orais* [Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo]. University Repository. https://doi.org/10.11606/T.91.2023.tde-18082023-152456
18. Totosy de Zepetnek, J. O., Martin, K. A., & MacDonald, M. J. (2023). High-intensity interval training improves cerebral arterial function and cognition in older adults: A randomized controlled trial. *Journal of Applied Physiology*, *135*(1), 200–210. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00168.2023
19. Franchini, E., Cormack, S., & Takito, M. Y. (2023). Effects of high-intensity interval training on Olympic combat sports athletes' performance: A systematic review with meta-analysis. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *37*(12), e675–e690. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004589
20. Biddle, S. J. H., & Asare, M. (2023). A meta-review of the effects of physical activity on anxiety and depression in non-clinical adult populations. *Nature Mental Health*, *1*(5), 314–326. https://doi.org/10.1038/s44220-023-00057-5