Pars Journal of Medical Sciences
Pars J Med Sci 2025;23(3):38-48
https:// jmj.jums.ac.ir

Original Article

The role of high and moderate intensity functional training on changes in citrate synthase, tumor necrosis factor alpha, and serotonin concentrations in male volleyball players

Arif Akram Arif Alnaseri [1], Farzaneh Taghian[2*], Ibtisam Haider Bektash Bulbul[3], Khosro Jalali Dehkordi[4]

Received: 05.09.2025 Revised: 05.12.2025 Accepted: 07.12.2025

1. PhD candidate, Department of Sports Physiology, Isf.C., Islamic Azad University, Isfahan, Iran
2. Professor, Department of Sports Physiology, Isf.C., Islamic Azad University, Isfahan, Iran
3. Professor, Faculty of Physical Education and Sports Sciences, Tikrit University
4. Assistant Professor, Department of Sports Physiology, Isf.C., Islamic Azad University, Isfahan, Iran

DOI: 10.22034/pjms.2025.2069985.1234

Abstract

Introduction: Functional training, a combined modality that incorporates resistance and aerobic activities, has the potential to enhance athletes' physical, cognitive, and metabolic performance. This study investigated the effects of high-intensity and moderate-intensity functional training on the concentrations of citrate synthase, serotonin, and tumor necrosis factor-alpha (TNFα) in professional male volleyball players.

Materials and Methods: In this quasi-experimental study, 36 young male athletes were randomly assigned to three groups: control, high-intensity training, and moderate-intensity training for eight weeks. Training intensity was carefully controlled using heart rate and the Rating of Perceived Exertion (RPE) scale. Blood samples were collected at the pre-test and post-test stages, and ELISA was used to analyze biomarker concentrations. Assumptions of normality and homogeneity of variance were confirmed, and a repeated-measures ANOVA with Bonferroni post hoc tests was applied.

Results: Both high- and moderate-intensity functional training significantly increased citrate synthase and serotonin and decreased TNFα; however, the changes induced by high-intensity training were statistically more substantial and more pronounced ($p < 0.01$).

Conclusion: The results indicate that functional training, particularly at high intensity, can effectively improve cytokine regulation and promote physiological mechanisms. These exercises may also enhance cognition and concentration by raising serotonin levels. Consequently, the intensity of exercise can significantly impact metabolic and inflammatory indices, as well as concentration.

Keywords: High-Intensity Functional Training, Moderate-Intensity Functional Training, Citrate Synthase, Serotonin, Tumor Necrosis Factor-Alpha

* Corresponding author Email: Farzaneh Taghian. Professor, Department of Sports Physiology, Isf.C., Islamic Azad University, Isfahan, Iran. Email: f.taghian@iau.ac.ir

Copyright © 2025 The Authors. Published by Jahrom University of Medical Sciences.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

مجله علوم پزشکی پارس
دوره بیست و سوم، شماره سه، پاییز ۱۴۰۴، صفحات:۴۸-۳۸
https:// jmj.jums.ac.ir

مقاله پژوهشی

نقش تمرینات عملکردی با شدت بالا و متوسط بر تغییرات غلظت سیترات سنتتاز، فاکتور نکروز تومور آلفا و سروتونین در بازیکنان والیبال مرد

عارف اکرم عارف الناصری[۱]، فرزانه تقیان[۲*]، ابتسام حیدر بکتاش بلبل[۳]، خسرو جلالی دهکردی[۴]

۱- دانشجوی دکتری، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
۲- استاد تمام، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
۳- دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه تیکریت
۴- دانشیار، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

DOI: 10.22034/pjms.2025.2069985.1234

چکیده

مقدمه: تمرینات عملکردی به‌عنوان الگوی ترکیبی شامل فعالیت‌های مقاومتی و هوازی، قابلیت بهبود عملکرد جسمانی، شناختی و متابولیکی ورزشکاران را دارند. هدف مطالعه حاضر بررسی اثر تمرینات عملکردی با شدت بالا و متوسط بر غلظت سیترات سنتتاز، سروتونین و فاکتور نکروز تومور آلفا (TNFα) در والیبالیست‌های مرد حرفه‌ای بود.

روش کار: در این پژوهش نیمه‌تجربی، ۳۶ ورزشکار مرد جوان به صورت تصادفی ساده در سه گروه کنترل، تمرین با شدت بالا و متوسط به‌مدت ۸ هفته شرکت کردند. شدت تمرین از طریق ضربان قلب و مقیاس ادراک فشار کنترل شد. نمونه‌گیری خونی در دو مرحله پیش از آزمون و پس از آزمون انجام شد و غلظت نشانگرهای زیستی با روش الایزا مورد بررسی قرار گرفت. مفروضه‌های نرمال بودن و همگنی واریانس بررسی و تأیید شد و برای تحلیل تغییرات درون‌گروهی و بین‌گروهی از تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر همراه با آزمون بونفرونی استفاده گردید.

یافته‌ها: هر دو نوع تمرین عملکردی با شدت بالا و متوسط موجب افزایش معنی‌دار سیترات سنتتاز و سروتونین و کاهش TNFα شدند؛ با این حال، تغییرات ناشی از تمرینات با شدت بالا از نظر آماری قوی‌تر و بارزتر بودند ($p < ۰/۰۱$).

نتیجه‌گیری: نتایج نشان می‌دهد تمرینات عملکردی بویژه تمرینات با سطح بالا می توانند بر بهبود تنظیم تعادل سیتوکینی و ارتقاء سازوکارهای فیزیولوژیک موثر باشند. همچنین این تمرینات ممکن است با افزایش سطح سروتونین نقش مؤثری در بهبود شناخت و تمرکز داشته باشند. بنابراین شدت تمرین می‌تواند نقش مهمی در بهبود شاخص‌های متابولیکی و التهابی و تمرکز داشته باشد.

واژگان کلیدی: تمرینات عملکردی با شدت بالا، تمرینات عملکردی با شدت متوسط، سیترات سنتتاز، سروتونین، فاکتور نکروز تومور آلفا

* نویسنده مسئول، نشانی: گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
تلفن تماس: ۰۹۱۳۳۰۸۰۲۴۱ پست الکترونیک: f.taghian@iau.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۰۴ اصلاح: ۱۴۰۴/۰۹/۱۴ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۱۶

مقدمه

در سال‌های اخیر، طراحی برنامه‌های آموزشی برای ورزشکاران در رشته‌هایی مانند والیبال به گونه‌ای توسعه یافته که نه تنها بر بهبود عملکرد فیزیکی تمرکز دارد، بلکه جوانب زیستی درون‌تنی و مهارت‌های شناختی را نیز مد نظر قرار می‌دهد (۱). والیبال به عنوان یک ورزش تخصصی و پیچیده، نیازمند تعامل سریع میان ادراک، انتخاب‌ها و اجرای تکنیک‌های فنی است .این امر به سطوح بالایی از آمادگی جسمانی، ذهنی و روانی احتیاج دارد (۲). در این زمینه، تمرینات عملکردی به تازگی مورد توجه زیادی قرار گرفته‌اند و به عنوان یک مدل جدید ترکیبی که شامل تمرینات قدرتی و هوازی با شدت بالا است، معرفی شده‌اند (۳). این نوع تمرینات به جای اینکه بر یک عضله خاص متمرکز شوند، بدن را با مجموعه‌ای از حرکات پیچیده تحت فشار قرار می‌دهند و باعث فعال‌سازی کامل سیستم عصبی–عضلانی، متابولیکی و شناختی خواهند شد (۳).

از جمله مهم‌ترین شاخص‌های زیستی که به‌شکل مستقیم با سازگاری‌های ورزشی در ارتباط هستند، می‌توان به سیترات سنتتاز (Citrate synthetase) ، فاکتور نکروز تومور آلفا (Tumor necrosis factor (TNFα)) و سروتونین (Serotonin, also known as 5-hydroxytryptamine) اشاره کرد (۴، ۵). آنزیم سیترات سنتتاز، یکی از اجزای بسیار مهم چرخه کربس و شاخصی برای سنجش تراکم و فعالیت میتوکندری در عضله اسکلتی است. افزایش غلظت این آنزیم به معنای افزایش ظرفیت هوازی و توانایی عضله برای اکسیداسیون زیرلایه‌ها و تولید ATP محسوب می‌شود (۶). مطالعات اخیر نشان داده‌اند که تمرینات عملکردی با شدت بالا (High-Intensity Interval Training (HIFT))، در مقایسه با تمرینات عملکردی شدت متوسط (Moderate-intensity functional training (MIFT))، تأثیر قابل‌توجهی بر افزایش سطح سیترات سنتتاز در عضلات ورزشکاران دارند (۴). این افزایش نه تنها نشان‌دهنده بهبود عملکرد متابولیکی عضله است، بلکه با بهبود استقامت، تأخیر در بروز خستگی و افزایش بازده عملکردی در ورزش‌هایی نظیر کشتی و کیک‌بوکس ارتباط مستقیم دارد (۴). در واقع، انجام تمرینات پرفشار باعث فعال شدن مسیرهایی نظیر PGC-1α (Peroxisome proliferator-activated receptor gamma coactivator 1-alpha) و AMPK (AMP-activated protein kinase) شده که در نهایت منجر به افزایش بیوژنز میتوکندری و فعالیت آنزیم‌های کلیدی مانند سیترات سنتتاز می‌شود (۹–۷).

در کنار سازوکارهای متابولیکی، واکنش التهابی بدن به تمرینات ورزشی نیز یکی دیگر از عوامل مهم در بهینه‌سازی تمرین است (۱۰). TNFα که یکی از سیتوکین‌های پیش‌التهابی است، در واکنش به آسیب‌های عضلانی و استرس‌های فیزیکی ترشح می‌شود. در حالی که مقادیر اندک این سیتوکین می‌تواند در فرآیند بازسازی بافتی نقش ایفا کند، افزایش مزمن آن با اختلال در سازگاری‌های تمرینی، اختلال در سیستم ایمنی و تحلیل عضلانی همراه است. به همین دلیل کاهش سطح TNFα پس از دوره تمرینی، نشانه‌ای از اثرات ضدالتهابی و مفید تمرین در بدن تلقی می‌شود (۱۰). تمرینات عملکردی با شدت بالا می‌توانند از طریق فعال کردن مسیرهای ضدالتهابی مانند افزایش بیان اینترلوکین–۱۰ (IL-10)، نسبت IL-10 به TNFα را بهبود بخشند و تعادل ایمنی بدن را به سمت پاسخ‌های ترمیمی سوق دهند (۱۲، ۱۱). این تغییرات نه‌تنها در کاهش التهاب سیستمیک مؤثرند، بلکه با بهبود ریکاوری عضلانی، کاهش خطر آسیب‌های مزمن و افزایش تحمل تمرینی همراه هستند. همچنین، تنظیم سطح TNFα می‌تواند به حفظ عملکرد مطلوب سیستم ایمنی در طول دوره‌های تمرینی فشرده کمک کند و نقش مهمی در ارتقاء سلامت عمومی ورزشکاران ایفا نماید (۱۱، ۱۵–۱۳).

از طرف دیگر بر اساس دیدگاه نوروفیزیولوژیکی، تمرینات فیزیکی نه‌تنها به بهبود شرایط جسمانی ورزشکاران منجر می‌شوند، بلکه در تقویت قدرت ذهنی و جسمی آنان نیز نقش تعیین‌کننده‌ای ایفا می‌کنند (۱۷، ۱۶). یکی از عوامل زیستی مهم این فرایند انتقال‌دهنده عصبی سروتونین است که در سیستم عصبی مرکزی فعالیت می‌کند و تمرکز، خلق‌وخو، خواب، حافظه و پاسخ‌های شناختی را تنظیم می‌کند (۱۸). سطح سروتونین می‌تواند تحت تأثیر نوع، شدت و مدت تمرینات فیزیکی تغییر کند (۱۹). به‌خصوص تمرینات هوازی و عملکردی با شدت بالا که از طریق تحریک سنتز تریپتوفان و فعال‌سازی مسیرهای نوروشیمیایی، باعث افزایش سطح این نوروترنسمیتر می‌شوند (۲۰). افزایش سروتونین پس از تمرین می‌تواند به کاهش اضطراب، افزایش انگیزه ، بهبود خلق‌وخو، ارتقاء توانایی تمرکز در محیط‌های رقابتی و حتی تنظیم چرخه خواب و بیداری کمک کند (۲۰). این اثرات روان شناختی از اهمیت زیاده برخوردارند، به خصوص در ورزش‌های چون والیبال که نیاز به تصمیم گیری سریع، واکنش عصبی–عضلانی و هوشیاری ذهنی هم زمان وجود دارد (۲۱). به‌طور کلی، تحلیل تغییرات سطح سروتونین در پاسخ به تمرینات عملکردی با شدت‌های مختلف می‌تواند نشان‌دهنده سازگاری‌های عصبی–روانی ورزشکاران باشد و اطلاعات ارزشمندی در زمینه طراحی بهینه برنامه‌های تمرینی ارائه دهد (۲۲).

با توجه به اهمیت هم‌زمان سازوکارهای متابولیکی، التهابی و شناختی در عملکرد ورزشکاران، به‌ویژه در رشته‌هایی مانند والیبال

که نیازمند تعامل سریع بین ادراک، تصمیم‌گیری و اجرای فنی هستند، بررسی تأثیر تمرینات عملکردی با شدت‌های مختلف بر شاخص‌های زیستی مذکور می‌تواند دیدگاه‌های نوینی در طراحی برنامه‌های تمرینی ارائه دهد. از این‌رو، هدف پژوهش حاضر بررسی تأثیر تمرینات عملکردی با شدت بالا و متوسط بر غلظت سیترات سنتتاز، TNFαو سروتونین در والیبالیست‌های مرد می‌باشد.

روش کار

در این مطالعه نیمه‌تجربی، ۳۶ والیبالیست جوان (سن: ۶ ± ۲۵ سال، ۱۸/۱ ± ۷۲/۳ کیلوگرم، ۲/۱ ± ۱/۸۷ متر) به‌صورت داوطلبانه شرکت کردند. برای تعیین میزان حجم نمونه از نرم افزار برآورد حجم نمونه (G*POWER) با در نظر گرفتن سطح معناداری ۰/۰۵، اندازه اثر ۰/۴ و توان آزمونی ۰/۸ استفاده شد. پس از تعیین حجم نمونه با استفاده از نرم‌افزار G*Power، از روش نمونه‌گیری در دسترس استفاده شد.

کلیه شرکت‌کنندگان عضو یک تیم جوانان با سابقه حضور در لیگ حرفه‌ای بودند و حداقل ۶ سال تجربه تمرین مستمر در سطح رقابتی داشتند. انتخاب نمونه‌ها تحت نظارت کمیته فنی انجام شد تا تعادل موقعیتی بازیکنان (ستزن، دریافت‌کننده، اسپکر، دفاع وسط، لیبرو، و متخصص دفاع) در ترکیب تیمی نگه داشته شود. این سازوکار با هدف حفظ یکنواختی سطح رقابت و تمرکز تیم در طول جلسات تمرینی طراحی شد (۲۳).

شرکت‌کنندگان پس از ارائه رضایت‌نامه کتبی و آگاهانه برای ورود به مطالعه انتخاب شدند. معیارهای ورود شامل حداقل ۶ سال سابقه تمرین و مسابقه والیبال، عضویت فعال در تیم‌های لیگ برتر والیبال کشور یا تیم‌های استانی و ملی، و شرکت منظم در تمرینات تیمی (بیش از سه جلسه در هفته و مجموعاً بیش از ۱۵۰ دقیقه) طی سه ماه گذشته بود (۲۴). برخورداری از سلامت کامل جسمانی و عدم وجود سابقه اختلالات عضلانی–اسکلتی، درد مزمن یا خستگی ناشی از تمرین نیز از شروط اصلی برای ورود به این پژوهش بود.

افراد با سابقه مصدومیت حاد یا مزمن عضلانی–استخوانی در ۶ ماه گذشته، یا مبتلایان به بیماری‌های قلبی–عروقی و متابولیک مزمن از مطالعه خارج شدند. همچنین، مصرف داروهای تأثیرگذار بر عملکرد عصبی–عضلانی یا متابولیسم (مانند کورتیکواستروئیدها)، انجام مداخلات ورزشی خارج از پروتکل پژوهش (مانند رژیم‌های تمرینی اضافی یا مصرف مکمل‌های خاص)، غیبت در بیش از دو جلسه تمرینی، یا انصراف داوطلبانه از ادامه همکاری، منجر به خروج آزمودنی از فرآیند مطالعه می‌شد. علاوه بر این، هرگونه آسیب‌دیدگی یا بیماری که در طول دوره مداخله ۸ هفته‌ای رخ می‌داد، از معیارهای خروج محسوب می‌گردید. پس از اعمال این معیارها، آزمودنی‌ها به روش تصادفی ساده (با استفاده از جدول اعداد تصادفی) به دو گروه آزمایش و کنترل تخصیص داده شدند. این روش با هدف توزیع یکنواخت متغیرهای شناخته‌شده و ناشناخته در بین گروه‌ها و کاهش سوگیری در انتخاب آزمودنی‌ها اتخاذ شد؛ به‌طوری‌که ارزیابان نیز از نحوه تخصیص شرکت‌کنندگان بی‌اطلاع بودند تا اعتبار داده‌ها حفظ شود.

بازیکنانی که جایگزین بودند یا آسیب‌دیدگی فعال داشتند از مطالعه کنار گذاشته شدند. پیش از آغاز مداخله، اطلاعات کامل در خصوص اهداف تحقیق، روش‌های اجرا، منافع و مخاطرات احتمالی به شرکت‌کنندگان و والدین یا سرپرستان قانونی آنان ارائه شد. تمامی افراد شرکت‌کننده، رضایت‌نامه آگاهانه کتبی را امضا کردند. مطالعه پس از تصویب کمیته اخلاق محلی، مطابق با دستورالعمل‌های اخلاقی سازمانی و اصول اعلامیه هلسینکی (۱۹۶۴) و اصلاحات بعدی آن اجرا گردید (۲۵، ۲۶).

پیش از آغاز مطالعه، اطلاعات کامل در خصوص اهداف پژوهش، روش اجرا، منافع بالقوه و مخاطرات احتمالی به شرکت‌کنندگان و والدین یا سرپرستان قانونی آنان ارائه شد. تمامی افراد پس از دریافت این توضیحات، رضایت‌نامه آگاهانه کتبی را امضا کردند تا مشارکت آنان با درک کامل از شرایط و مسئولیت‌ها صورت گیرد.

پروتکل تمرینی

مداخله‌ی تمرینی این پژوهش شامل دو برنامه با شدت‌های متفاوت بود که طی هشت هفته و در قالب سه جلسه تمرینی در هفته برای هر گروه اجرا شد. در جدول ۱ برنامه تمرینات عملکردی با شدت متوسط مشخص شده است (۲۷).

جدول۱. برنامه تمرین عملکردی با شدت متوسط (MIFT) به مدت هشت هفته در بازیکنان والیبال

پیشرفت	شدت(RPE)	استراحت (ثانیه)	تکرار	ست‌ها	وزنه(kg)	تمرین	روز	هفته
پایه	۸-۷	۶۰	۱۵	۴	وزن بدن	پاور اسکات	۱	
	۸	۹۰	۱۰	۳	۳۵	ددلیفت		۱
	۹-۸	۴۵	۱۲	۵	۵	بورپی+دمبل	۲	
	۷	۶۰	۱۲	۳	۲۲,۵	پرس سینه	۳	
+۵٪ وزنه	۸	۵۵	۱۶	۴	+۲ kgوست	پاور اسکات	۱	
	۹-۸	۸۵	۱۱	۳	۳۶,۷۵	ددلیفت		۲
	۹	۴۰	۱۳	۵	۵,۲۵	بورپی+دمبل	۲	
	۸-۷	۵۵	۱۳	۳	۲۳,۶	پرس سینه	۳	
+۱۰٪ حجم	۹-۸	۵۰	۱۷	۴	+۴ kgوست	پاور اسکات	۱	
	۹	۸۰	۱۲	۴	۳۸,۵	ددلیفت		۳
	۱۰-۹	۳۵	۱۴	۶	۵,۵	بورپی+دمبل	۲	
	۸	۵۰	۱۴	۴	۲۴,۸	پرس سینه	۳	
+۱۵٪ شدت	۹	۴۵	۱۸	۵	+۶ kgوست	پاور اسکات	۱	
	۱۰-۹	۷۵	۱۳	۴	۴۰/۴	ددلیفت		۴
	۱۰	۳۰	۱۵	۶	۶	بورپی+دمبل	۲	
	۹-۸	۴۵	۱۵	۴	۲۶	پرس سینه	۳	
+۲۰٪ حجم	۱۰-۹	۴۰	۱۹	۵	+۸ kgوست	پاور اسکات	۱	
	۱۰	۷۰	۱۴	۵	۴۲/۴	ددلیفت		۵
	۱۰	۲۵	۱۶	۷	۶/۳	بورپی+دمبل	۲	
	۹	۴۰	۱۶	۵	۲۷/۳	پرس سینه	۳	
+۲۵٪ شدت	۱۰	۳۵	۲۰	۶	+۱۰ kgوست	پاور اسکات	۱	
	۱۰	۶۵	۱۵	۵	۴۴/۵	ددلیفت		۶
	۱۰	۲۰	۱۷	۷	۶/۶	بورپی+دمبل	۲	
	۱۰-۹	۳۵	۱۷	۶	۲۸/۶	پرس سینه	۳	
+۳۰٪ حجم	۱۰	۳۰	۲۱	۶	+۱۲ kgوست	پاور اسکات	۱	
	۱۰	۶۰	۱۶	۶	۴۶/۷	ددلیفت		۷
	۱۰	۱۵	۱۸	۸	۷	بورپی+دمبل	۲	
	۱۰	۳۰	۱۸	۶	۳۰	پرس سینه	۳	
+۴۵٪ حجم	۱۰	۲۵	۲۲	۶	+۱۵ kgوست	پاور اسکات	۱	
	۱۰	۵۵	۱۷	۶	۴۹	ددلیفت		۸
	۱۰	۱۰	۱۹	۸	۷/۵	بورپی+دمبل	۲	
	۱۰	۲۵	۱۹	۶	۳۱/۵	پرس سینه	۳	

در گروه تمرینات عملکردی با شدت متوسط، هر جلسه حدود شصت دقیقه به طول انجامید. شدت تمرین‌ها در محدوده پنجاه تا هفتاد درصد از ظرفیت ضربان قلب تنظیم شد، که از طریق تفاوت میان ضربان قلب در حالت استراحت و ضربان قلب بیشینه تعریف گردید. این شدت با استفاده از مقیاس ادراک فشار بین عدد سه تا چهار تأیید شد. ساختار هر جلسه تمرین شامل چهار بخش اصلی بود (۲۸، ۲۹).

۱- مرحله گرم‌کردن عمومی، شامل فعال‌سازی عضلات مرکزی بدن، گرم‌کردن پویا و تحریک سامانه عصبی‌عضلانی (مدت زمان: پنج تا هشت دقیقه) ۲- بخش تمرینات ایستگاهی که شامل حرکت‌های ترکیبی از جمله اسکات، کشش، فشار، چابکی، تقویت عضلات مرکزی بدن، تعادل، و ارتقای حس عمقی می‌شد ۳- مرحله بازیابی برای کاهش تنش بدنی ۴- مرحله پایانی شامل تمرینات کششی آرام. تمرینات مقاومتی با کمک کش‌های ارتجاعی و وزنه‌های آزاد اجرا شده و به‌تدریج بر دشواری تمرینات افزوده شد. همچنین، تمرینات ایستا با گذشت زمان شدت گرفتند. شدت تمرین در طول دوره به‌صورت تدریجی افزایش یافت و ضربان قلب شرکت‌کنندگان پیش از آغاز تمرین و حین فعالیت‌ها ثبت شد تا کنترل دقیق بار تمرینی حاصل شود.

در گروه تمرینات عملکردی با شدت بالا، برای هر تمرین یک ایستگاه اختصاص داده شد. مدت زمان هر تمرین ۳۰ ثانیه بود و بین هر تمرین ۳۰ ثانیه استراحت داشت. از شرکت کنندگان

خواسته شد حداکثر تلاش را در طول اجرای تمرینات انجام دهند و با حفظ اجرای صحیح، بیشترین تعداد تکرار را انجام دهند. برای این محدوده، یک مشوق در طول هر تمرین تشویق کلامی می‌کرد تا اطمینان حاصل شود که شرکت‌کنندگان تمرین را با شدت بالا انجام می‌دادند. در بخش زیر جزئیات هر تمرین گزارش شده است (جدول ۲). تمرینات عملکردی با شدت زیاد اجرا شد. هر جلسه با گرم‌کردن پویا به مدت ده دقیقه آغاز شده و پس از آن پنج چرخه تمرینی به‌صورت متوالی انجام شد. هر چرخه شامل سه بخش بود (۳۰).

۱. سی ثانیه فعالیت شدید بی‌هوازی مانند دوی سرعت یا پرش
۲. سی ثانیه تمرین مقاومتی با وزن بدن یا وزنه آزاد، مانند اسکات یا فشار ۳. سی ثانیه فعالیت بسیار شدید بی‌هوازی همراه با تمرین مقاومتی مشابه با شدت افزوده پس از اتمام هر چرخه، دو دقیقه استراحت در نظر گرفته شد و این چرخه‌ها تا پنج بار در هر جلسه تکرار شدند. شدت تمرین با افزایش وزنه‌ها و دشواری حرکات به‌صورت مرحله‌ای ارتقا یافت. در پایان جلسه، مرحله سرد کردن شامل کشش‌های آرام به مدت پنج دقیقه اجرا گردید. طراحی این دو الگوی تمرینی به گونه‌ای بود که پاسخ‌های مختلف جسمانی، شناختی و زیستی شرکت‌کنندگان به شکل هدفمند تحریک شده و امکان مقایسه تأثیر دو نوع شدت تمرینی فراهم گردد.

جدول۲. برنامه تمرینات عملکردی با شدت شدید (HIFT) به مدت هشت هفته در بازیکنان والیبال

شماره تمرین	نام تمرین	مدت زمان استراحت	مدت زمان تمرین	شدت (٪ظرفیت ضربان قلب)	توضیحات
۱	بارفیکس چرخشی	۳۰ ثانیه	۳۰ ثانیه	۸۰–۹۰	مشارکت کنند باید پاهای خود را با بالا کشیدن پاها به سمت میله بیاورد
۲	نردبانی چابکی	۳۰ ثانیه	۳۰ ثانیه	۷۰–۹۰	پرش‌های کم با پاها بر روی نردبان، به طور متناوب بین تکیه‌گاه‌های راست و چپ
۳	لانژ یک پا	۳۰ ثانیه	۳۰ ثانیه	۷۰–۹۰	به طور متناوب به جلو با یک پا، در حالی که توپ پزشکی ۳ کیلوگرمی در دست است
۴	پیچش تنه با توپ پزشکی	۳۰ ثانیه	۳۰ ثانیه	۷۰–۹۰	در حالی که توپ پزشکی را در دست دارد، تنه خود را می‌پیچاند
۵	کشش با میله	۳۰ ثانیه	۳۰ ثانیه	۸۰–۹۰	استفاده از میله و نوار لاستیکی برای کشیدن به سمت بالا و بازگشت به حالت شروع
۶	ایستادن با کشش	۳۰ ثانیه	۳۰ ثانیه	۸۰–۹۰	از حالت چمباتمه زدن آغاز می‌کند و به حالت عمودی می‌رسد
۷	جهش‌های جانبی	۳۰ ثانیه	۳۰ ثانیه	۸۰–۹۰	جهش‌های جانبی با حداقل فاصله ۱ متری بر روی برچسب‌های روی زمین
۸	پرش عمودی	۳۰ ثانیه	۳۰ ثانیه	۸۰–۹۰	تلاش برای لمس بالاترین نقطه ممکن با یک دست

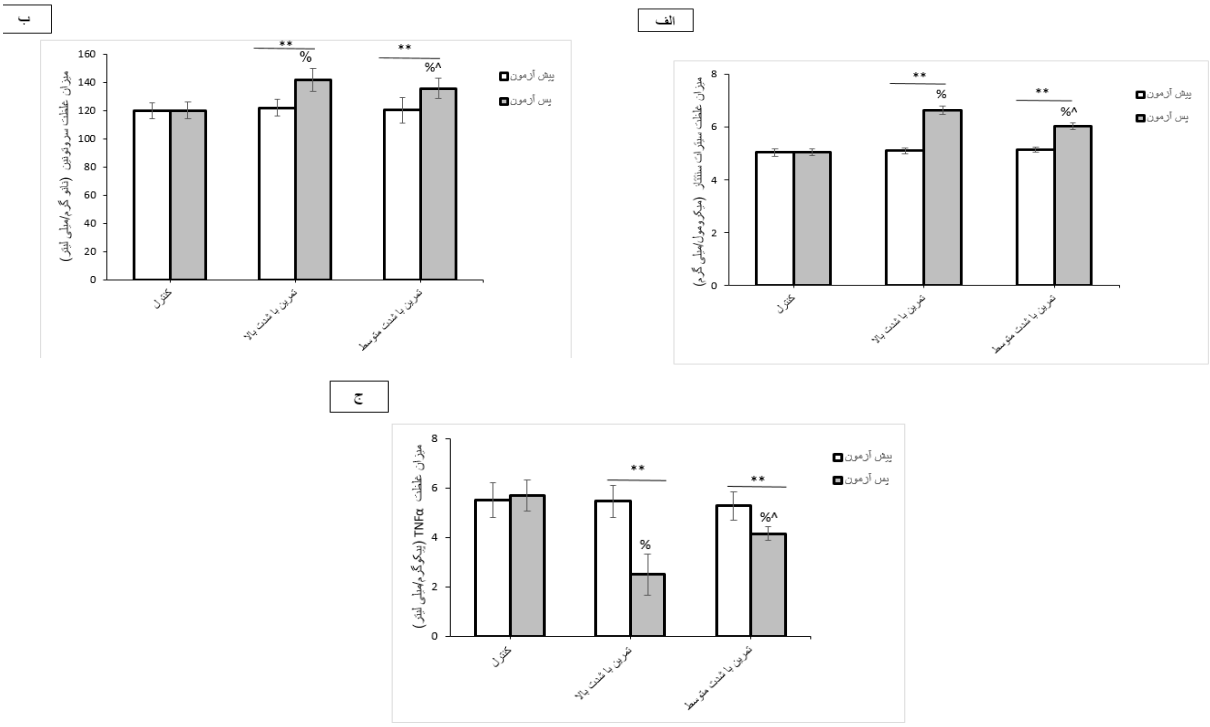
اندازه‌گیری شاخص‌های زیستی

در این پژوهش، جهت ارزیابی اثرات تمرینات عملکردی با شدت‌های متفاوت بر شاخص‌های زیستی منتخب، نمونه‌برداری خونی از آزمودنی‌ها در دو مرحله‌ی زمانی انجام شد: مرحله‌ی پایه (۴۸ ساعت پیش از آغاز اولین جلسه تمرینی) و مرحله‌ی پس‌سنجی (بلافاصله پس از آخرین جلسه‌ی تمرینی در هفته‌ی دوازدهم). نمونه‌ها از ورید بازویی در وضعیت نشسته و پس از ۱۰ دقیقه استراحت، تحت شرایط استاندارد آزمایشگاهی جمع‌آوری شدند. جهت تثبیت نمونه‌ها و جلوگیری از تخریب ترکیبات حساس، از لوله‌های وکیوم حاوی فلوراید سدیم ۱٪ و ضد انعقاد استفاده گردید. نمونه‌ها بلافاصله پس از خون‌گیری با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه به‌مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شده و پلاسما جدا شد. نمونه‌های پلاسما تا زمان آنالیز در دمای منفی ۸۰ درجه سلسیوس نگهداری شدند (۲۹). اندازه‌گیری غلظت شاخص‌های زیستی شامل سیترات سنتتاز (mybiosource, MBS162118)، TNFα (elabscience, E-EL-H0109)، و سروتونین (ibl-international, RE59121) به‌روش الایزا انجام گرفت. همچنین، آزمایش‌ها به‌صورت triplicate (سه‌تایی) انجام شدند تا دقت اندازه‌گیری افزایش یابد و خطای احتمالی کاهش یابد. میانگین نتایج حاصل از سه تکرار برای تحلیل نهایی مورد استفاده قرار گرفت. این رویکرد با هدف ارتقای اعتبار داده‌ها و کنترل نوسانات آزمایشگاهی اتخاذ شد. تمامی آزمایش‌ها مطابق با دستورالعمل‌های کارخانه سازنده انجام شده و اپراتورها نسبت به شرایط مداخله‌ی آزمودنی‌ها کورسازی شدند.

با توجه به طرح نیمه‌تجربی پژوهش، تحلیل داده‌ها در دو بخش توصیفی و استنباطی به صورت میانگین ± انحراف معیار سامان‌دهی شد. در بخش توصیفی، شاخص‌های گرایش مرکزی و پراکندگی شامل میانگین و انحراف معیار گزارش گردید. پیش از اجرای آزمون‌های استنباطی، مفروضه‌های آماری ضروری بررسی شدند: نرمال بودن توزیع خطا با آزمون شاپیرو–ویلک، همگنی واریانس‌ها با آزمون لوین، و همگنی ماتریس واریانس–کوواریانس. نتایج این ارزیابی‌ها صحت مفروضه‌ها را تأیید کرد. برای مقایسه تغییرات درون‌گروهی و بین‌گروهی در طول زمان و با توجه به برقراری نرمالیتی، از تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر یک‌طرفه استفاده شد. در مواردی که اثر اصلی معنادار بود، برای مقایسه جفتی سطوح عامل‌ها، اصلاح بونفرونی به‌عنوان آزمون تعقیبی به کار گرفته شد تا نرخ خطای نوع اول کنترل شود. تمامی تحلیل‌ها در سطح معناداری ۰/۰۵ و با بهره‌گیری از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۷ انجام گرفت.

یافته‌ها

پاسخ زیستی به تمرین عملکردی با شدت بالا و متوسط بررسی تغییرات غلظت سیترات سنتتاز، سروتونین و TNFα در مراحل پیش و پس از مداخله در گروه‌های مورد مطالعه در شکل ۱ (الف–ج) ارائه شده است. نتایج تحلیل واریانس اندازه‌گیری‌های مکرر یک‌طرفه نشان داد که در مرحله پایه، تفاوت معناداری بین سه گروه وجود نداشت، که این موضوع همگنی اولیه گروه‌ها را تأیید می‌کند (p>۰/۰۵). پس از هشت هفته در هر دو نوع تمرین مداخله، اثر تعاملی معنادار گروه × زمان برای هر سه بیومارکر مشاهده شد، که بیانگر تفاوت در روند تغییرات بین گروه‌هاست. تحلیل‌های درون‌گروهی نشان داد که هر دو نوع تمرین HIFT و MIFT منجر به افزایش معنادار غلظت سیترات سنتتاز (p<۰/۰۰۱، η2=۰/۹۸)، ، سروتونین (p<۰/۰۰۱، η2=۰/۹۴)، و کاهش معنی دار TNFα (p<۰/۰۰۱، η2=۰/۹۹)، نسبت به پیش‌آزمون شدند ، در حالی‌که در گروه کنترل تغییر معناداری مشاهده نشد (p>۰/۰۵). مقایسه‌های بین‌گروهی نیز نشان داد که پس از مداخله، بیومارکر سیترات سنتتاز و سروتونین درگروه HIFT نسبت به گروه MIFT افزایش معنی دار نشان داد (p<۰/۰۱). همچنین بیومارکر TNFα درگروه HIFT نسبت به گروه MIFT کاهش معنی دار نشان داد (p<۰/۰۱). این یافته‌ها اثربخشی بالاتر تمرینات عملکردی با شدت بالا را در تعدیل بیومارکرهای مورد بررسی نشان می‌دهد.



شکل ۱. مقایسه میزان تغییرات غلظت سیترات سنتتاز، سروتونین و TNFα پیش و پس از انجام تمرینات عملکردی با شدت شدید و متوسط در بازیکنان والیبال. آزمون تعقیبی بونفرونی به منظور انجام مقایسه های دوتایی مورد استفاده قرار گرفت. آزمون ها در سطح خطای پنج درصد انجام شد.

*: نشان دهنده تفاوت معنی دار قبل و بعد از مداخله در هر گروه می باشد، %: نشان دهنده تفاوت معنادار بین گروه کنترل و سایر گروهها بعد از مداخله می باشد، ^: نشان دهنده تفاوت معنادار بین گروه تمرین عملکردی با شدت متوسط و گروه تمرینی با شدت بالا بعد از مداخله می باشد. ۳۶ ورزشکار مرد جوان به صورت تصادفی ساده در سه گروه کنترل، تمرین با شدت بالا و متوسط انتخاب شدند. داده ها به صورت میانگین±انحراف معیار سامان‌دهی شده است.

بحث

در پایان دوره تمرین، هر دو گروه HIFT و MIFT تغییراتی در غلظت سیترات سنتتاز، سروتونین و TNFα نشان دادند. تمرینات با شدت بالا تأثیر بیشتری در افزایش سیترات سنتتاز و سروتونین و کاهش TNFα داشتند، در حالی‌که تغییرات در گروه شدت متوسط کمتر بود. این یافته‌ها نشان می‌دهند که شدت تمرین نقش مهمی در بهبود شاخص‌های متابولیکی و التهابی دارد و تمرینات شدیدتر اثربخشی بیشتری در تعدیل این بیومارکرها دارند.

بر اساس یافته‌های این پژوهش، تمرینات عملکردی با شدت بالا به‌شکل قابل‌توجهی باعث افزایش غلظت سیترات سنتتاز در والیبالیست‌ها شد، که نمایانگر بهبود ظرفیت هوازی و عملکرد میتوکندریایی عضله اسکلتی است (۳۱). این موضوع با نتایج مطالعات پیشین نیز هم‌راستا است، که به‌وضوح اثر تمرینات شدید را بر فعال‌سازی مسیرهای زیست‌زایی میتوکندری نشان داده‌اند. سیترات سنتتاز یک شاخص بسیار معتبر برای سنجش تراکم و عملکرد میتوکندری است و افزایش آن با توانایی بیشتر عضله در اکسیداسیون سوبستراها و تولید ATP ارتباط مستقیم دارد (۶). در یکی از مطالعات پیشین، تمرینات تناوبی بسیار شدید در مدت زمان شش هفته در افراد کم‌تحرک باعث افزایش فعالیت سیترات سنتتاز و ارتقاء ظرفیت هوازی شد، به طوری که حتی حجم تمرین بسیار کم نیز نتایج متابولیکی مؤثری به همراه داشت (۳۲). مطالعه‌ای دیگر نیز نشان داد که با افزایش تعداد تکرارهای شدید در هر جلسه تمرینی فعالیت سیترات سنتتاز در عضله ماهیچه پهن پهلویی نسبت به دستورالعمل‌هایی با تعداد کمتر تکرار افزایش بیشتری می‌یابد، که بیانگر وابستگی پاسخ میتوکندریایی به حجم و شدت تمرین است (۳۳). در بررسی دیگری مشخص شد که حتی دو هفته تمرین شدید می‌تواند ظرفیت فسفوریلاسیون اکسایشی و فعالیت آنزیم سیترات سنتتاز را افزایش دهد، بدون آن‌که تغییری در میزان پروتئین‌های میتوکندریایی مشاهده شود (۳۴). این یافته نشان‌دهنده بهبود عملکرد اجزای موجود در میتوکندری و ارتقاء کارایی آن‌هاست، به‌عبارتی، توان عملیاتی میتوکندری‌ها افزایش یافته، بدون آن‌که لزوماً تعداد یا حجم فیزیکی آن‌ها بیشتر شده باشد (۳۴). همچنین در یک مطالعه بر روی افراد مبتلا به دیابت نوع ۱ نیز مشخص شد که تمرینات سرعتی شدید قادرند فعالیت سیترات سنتتاز عضله را افزایش دهند و متابولیسم اکسایشی را بهبود بخشند (۳۵). این نتایج نشان می‌دهد که تمرینات شدید نه‌تنها در افراد سالم، بلکه در بیماران و جمعیت‌هایی با تحرک پایین، در صورتی که به‌تدریج به سطح تمرین شدید برسند می‌توانند موجب بهبود پاسخ‌های میتوکندریایی گردد. یافته‌های پژوهش حاضر در رابطه با افزایش سیترات سنتتاز در پاسخ به تمرینات عملکردی با شدت بالا در ورزشکاران حرفه‌ای والیبال با مستندات پیشین هم‌خوانی دارد و مسیر طراحی تمرینات هدفمند برای ارتقاء عملکرد متابولیکی و هوازی را روشن‌تر می‌سازد.

کاهش قابل توجه TNFα در گروه تمرینات عملکردی با شدت بالا بیانگر اثرات ضدالتهابی معنا دار این نوع از تمرینات است و نقش کلیدی در بازسازی بافتی و تنظیم پاسخ ایمنی ایفا می‌کند (۳۶). این یافته با مطالعات پیشین که نشان داده‌اند تمرینات شدید قادرند مسیرهای ضدالتهابی را فعال کرده و تعادل سیتوکینی را به نفع IL-10 تغییر دهند، هم‌خوانی دارد (۱۱، ۳۷). در یک مطالعه سیستماتیک، مشخص شد که تمرینات با شدت بالا باعث افزایش IL-10و کاهش TNFα در بزرگسالان سالم می‌شود، به گونه‌ای که نسبت IL-10/TNFα به‌عنوان شاخصی برای بررسی اثرات مفید تمرینات ورزشی پیشنهاد شده است (۳۷). این نسبت نه‌تنها بیانگر کاهش التهاب سیستمیک است، بلکه با کاهش خطر آسیب‌های مزمن و ارتقاء عملکرد ایمنی همراه می‌باشد (۳۷). بررسی دیگری نشان داد که تمرینات تناوبی شدید در شرایط هیپوکسی موجب افزایش IL-10 و کاهش TNFα نسبت به تمرینات مشابه در شرایط نرموکسی می‌شوند، که نشان‌دهنده اثرات تقویت‌شده‌ی ضدالتهابی در شرایط کم‌اکسیژن است (۱۱). این نتایج نشان می‌دهند که شدت تمرین و شرایط محیطی می‌توانند به‌طور هم‌افزا پاسخ‌های ایمنی را تنظیم کنند. در مطالعه دیگری، تمرینات شدید موجب افزایش IL-10 در مراحل مختلف پس از تمرین (بلافاصله و ۶۰ دقیقه بعد) شدند، در حالی‌که TNFαتنها در مرحله‌ی بلافاصله پس از تمرین افزایش یافت و سپس کاهش پیدا کرد، که نشان‌دهنده تنظیم دینامیک پاسخ‌های التهابی در اثر تمرین است (۳۶). همچنین، در مطالعه‌ای بر روی ورزشکاران نخبه، مشخص شد که ورزش‌های با شدت بالا موجب افزایش هم‌زمان IL-6، IL-10 و TNFα می‌شوند، اما نسبت IL-10به TNFα در ورزشکاران جوان‌تر و با شدت تمرین بیشتر، بالاتر بود، که با کاهش شاخص‌های پیری سیستم ایمنی و افزایش طول تلومر همراه بود (۳۸).

افزایش سطح سروتونین در گروه تمرینات عملکردی با شدت بالا در این مطالعه، ضمن هم‌راستایی با یافته‌های پیشین، به‌عنوان یکی از شاخص‌های کلیدی در تبیین اثرات روان‌فیزیولوژیکی تمرینات شدید شناخته می‌شود (۳۹). سروتونین به‌عنوان یک نوروترنسمیتر مرکزی، نقش مهمی در تنظیم خلق‌وخو، تمرکز، حافظه، خواب و پاسخ‌های شناختی دارد و تغییرات آن تحت تأثیر شدت و نوع تمرینات فیزیکی می‌تواند به‌طور مستقیم بر عملکرد ذهنی ورزشکاران اثرگذار باشد (۴۰). مطالعات متعدد نشان داده‌اند که تمرینات هوازی شدید موجب افزایش سطح سروتونین در بدن

و مغز می‌شوند. این افزایش سروتونین با بهبود خلق‌وخو، کاهش اضطراب، افزایش انگیزه و ارتقای توانایی تمرکز همراه است (۳۹، ۴۱). در یک مطالعه کنترل‌شده، مشخص شد که تمرینات هوازی با شدت ۸۵ درصد ضربان قلب بیشینه به‌طور معناداری سطح سروتونین سرمی را افزایش داده و این تغییر با بهبود عملکرد در آزمون‌های شناختی مانند اثر استروپ همراه بوده است (۳۹). همچنین، مرور سیستماتیک دیگری نشان داد که افزایش سروتونین ناشی از تمرینات شدید می‌تواند یکی از مکانیسم‌های اصلی در بهبود عملکرد اجرایی و تصمیم‌گیری در ورزشکاران باشد، به‌ویژه در رشته‌هایی که نیازمند واکنش‌های سریع و پردازش اطلاعات پیچیده هستند، مانند والیبال و بسکتبال (۴۱، ۴۲). از منظر نوروفیزیولوژیکی، تمرینات شدید از طریق تحریک سنتز تریپتوفان و فعال‌سازی مسیرهای نوروشیمیایی، موجب افزایش دسترسی مغز به پیش‌سازهای سروتونین و در نتیجه افزایش ترشح آن در نواحی مرتبط با توجه و تصمیم‌گیری مانند قشر پیش‌پیشانی می‌شوند (۴۰). این تغییرات می‌توانند به بهبود آمادگی شناختی، افزایش دقت در تصمیم‌گیری‌های لحظه‌ای و ارتقاء واکنش‌های عصبی–عضلانی در شرایط رقابتی منجر شوند. مزیت عمده‌ی مطالعه‌ی حاضر در این است که با بهره‌گیری از شرکت‌کنندگانی با سطح مهارتی بالا، سابقه‌ی تمرینی یکنواخت و کنترل دقیق شدت تمرین از طریق ضربان قلب و مقیاس ادراک فشار، توانسته است اثرات تمرین را به‌صورت دقیق ارزیابی کند. همچنین کورسازی اپراتورها در فرآیند آنالیز زیستی، احتمال سوگیری را کاهش داده و اعتبار نتایج را افزایش داده است. این سطح از کنترل روش‌شناختی زمینه‌ساز طراحی پروتکل‌های تمرینی هدفمند برای ارتقاء عملکرد شناختی و روانی ورزشکاران خواهد بود.

با این حال، محدودیت‌هایی نیز مطرح است، از جمله حجم نمونه نسبتاً کوچک، نبود گروه کنترل غیرتمرینی، و عدم بررسی پایداری شاخص‌ها پس از توقف تمرین که ممکن است بر تعمیم‌پذیری نتایج اثرگذار باشند. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده، تمرکز بر مطالعه طولانی‌مدت اثرات تمرین، ارزیابی پاسخ‌های شناختی هم‌زمان با شاخص‌های زیستی، و همچنین تحلیل پاسخ‌ها در ورزشکاران زن و رشته‌های ورزشی دیگر صورت گیرد. همچنین ترکیب تمرینات عملکردی با مداخلات تغذیه‌ای یا مکمل‌های ضدالتهاب می‌تواند به غنای یافته‌ها و کاربردهای عملی‌تر منجر شود. این پژوهش با ایجاد یک چارچوب تحلیلی جامع، امکان بهینه‌سازی برنامه‌های تمرینی در ورزش‌های رقابتی را فراهم ساخته و گامی مؤثر در جهت تقویت ارتباط میان زیست‌شناسی سلولی، فیزیولوژی ورزشی و علوم شناختی برداشته است.

نتیجه‌گیری

به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که تمرینات عملکردی با شدت بالا در والیبالیست‌های مرد حرفه‌ای، نه‌تنها باعث افزایش معنادار آنزیم سیترات سنتتاز و ارتقاء عملکرد میتوکندریایی عضلات می‌شود، بلکه با کاهش سطح TNFα نشان‌دهنده‌ی اثرات ضدالتهابی قابل‌توجهی است. در کنار این، افزایش سروتونین پس از تمرینات شدید بیانگر بهبود شاخص‌های روان‌فیزیولوژیکی مانند تمرکز، انگیزه و خلق‌وخو است؛ عواملی که در شرایط رقابتی ورزش‌هایی نظیر والیبال نقشی کلیدی دارند.

ملاحظات اخلاقی

این فرآیند مطابق با اصول اخلاقی اعلامیه هلسینکی و مصوبات کمیته اخلاق انجام شد. این مطالعه توسط کمیته اخلاق دانشگاه آزاد اسلامی اصفهان (خوراسگان) با کد مصوب IR.IAU.KHUISF.REC.1403.311 تأیید شده است.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در پژوهش حاضر وجود ندارد.

مشارکت نویسندگان

ا. ع ا: نگارش و ویرایش، تجزیه و تحلیل داده ها و انجام آزمایشها؛ ف. ت: نگارش و ویرایش، تجزیه و تحلیل داده ها؛ ا. ح. ب. ب: نگارش و ویرایش، تجزیه و تحلیل داده‌ها؛ خ. ج. د: ویرایش مقاله.

حمایت مالی

این مقاله مستخرج از رساله دکترا و بدون حمایت مالی انجام شده است.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله نویسندگان از مسئولین محترم دانشکده علوم ورزشی دانشگاه آزاد واحد اصفهان (خوراسگان) و شرکت‌کنندگان در مطالعه صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایند.

References

1. Gabbett T. The Training-Injury Prevention Paradox: Should Athletes be Training Harder and Smarter. JASC. 2017;25(1).
2. Xu M, editor Research and Application of Functional Training in College Volleyball Technique Teaching. 1st International Symposium on ECSS; 2019: Atlantis Press.
3. Hashem E, Majeed MH, Al-ısawı M. Effect of Nutritional Supplement Accompanying Functional Strength Exercises on the Special Physical Abilities and the Spiking Skill of Volleyball Players. IJDSHS. 2024;7(Special Issue 2): The Second International Scientific Conference: SHSD, 2024:200-5.
4. Wang X, Soh KG, Samsudin S, Deng N, Liu X, Zhao Y, et al. Effects of high-intensity functional training on physical fitness and sport-specific performance among the athletes: A systematic review with meta-analysis. Plos One. 2023;18(12):e0295531.
5. Hou C-W, Lee S-D, Kao C-L, Cheng I-S, Lin Y-N, Chuang S-J, et al. Improved inflammatory balance of human skeletal muscle during exercise after supplementations of the ginseng-based steroid Rg1. PloS One. 2015;10(1):e0116387.
6. Vigelsø A, Andersen NB, Dela F. The relationship between skeletal muscle mitochondrial citrate synthase activity and whole body oxygen uptake adaptations in response to exercise training. Int J Physiol Pathophysiol Pharmacol. 2014;6(2):84.
7. Palabiyik AA, Palabiyik E. Pharmacological approaches to enhance mitochondrial biogenesis: focus on PGC-1A, AMPK, and SIRT1 in cellular health. Mol Biol Rep. 2025;52(1):270.
8. Abedpoor N, Taghian F, Hajibabaie F. Physical activity ameliorates the function of organs via adipose tissue in metabolic diseases. Acta Histochem. 2022;124(2):151844.
9. Abedpoor N, Taghian F, Ghaedi K, Niktab I, Safaeinejad Z, Rabiee F, et al. PPARγ/Pgc-1α-Fndc5 pathway up-regulation in gastrocnemius and heart muscle of exercised, branched chain amino acid diet fed mice. Nutr Metab. 2018;15:1-15.
10. Birar A, Afroundeh R, Hoseiny A. Comparison of the effect of high-intensity functional training (HIFT) and traditional resistance training on the inflammatory status of young obese men. JAHSSP. 2024;11(2):118-27.
11. Khalafi M, Sakhaei MH, Symonds ME, Noori Mofrad SR, Liu Y, Korivi M. Impact of exercise in hypoxia on inflammatory cytokines in adults: a systematic review and meta-analysis. Sports Med Int Open. 2023;9(1):50.
12. Safavi K, Abedpoor N, Hajibabaie F, Kaviani E. Mitigating Diabetic Cardiomyopathy: The Synergistic Potential of Sea Buckthorn and Metformin Explored via Bioinformatics and Chemoinformatics. Biology. 2025;14(4):361.
13. Abedpoor N, Taghian F, Jalali Dehkordi K, Safavi K. Sparassis latifolia and exercise training as complementary medicine mitigated the 5-fluorouracil potent side effects in mice with colorectal cancer: bioinformatics approaches, novel monitoring pathological metrics, screening signatures, and innovative management tactic. Cancer Cell Int. 2024;24(1):141.
14. Abedpoor N, Taghian F, Jalali Dehkordi K, Safavi K. The role of Sparasis Latifolia and Aerobic Exercise on Anti-inflammatory Activities and Regulation of Inflammatory Factors in the Intestine of Mice with Colon Cancer Under Chemotherapy. Iranian J Nutr Sci Food Technol. 2025;19(4):13-24.
15. Hajibabaie F, Mohamadynejad P, Shariati L, Safavi K, Abedpoor N. Identification of Novel Molecular Panel as Potential Biomarkers of PAN-Gastrointestinal Cancer Screening: Bioinformatics and Experimental Analysis. Biology. 2025;14(7):803.
16. Cırrık S, Hacioglu G. Neurophysiological effects of exercise. Fitness Medicine: IntechOpen; 2016.
17. Abedpoor N, Taghian F, Hajibabaie F. Cross brain–gut analysis highlighted hub genes and LncRNA networks differentially modified during leucine consumption and endurance exercise in mice with depression-like behaviors. Mol Neurobiol. 2022;59(7):4106-23.
18. Beckman D, Santos LE. The importance of serotonin in exercise-induced adult neurogenesis: new evidence from Tph2−/− mice. J. Neurosci. 2013;33(36):14283-4.
19. Jacobs BL, Fornal CA. Serotonin and motor activity. Current opinion in neurobiology. 1997;7(6):820-5.
20. Fernstrom JD, Fernstrom MH. Exercise, serum free tryptophan, and central fatigue. J Nutr. 2006;136(2):553S-9S.
21. Gökçe E, Gunes E, Nalçacı E. The Cognitive Benefits of Playing Volleyball: A Systematic Review. Kafkas Med Sci.12(3):270-80.
22. Pourhamzeh M, Moravej FG, Arabi M, Shahriari E, Mehrabi S, Ward R, et al. The roles of serotonin in neuropsychiatric disorders. Cell Mol Neurobiol. 2022;42(6):1671-92.
23. Chunmei C. Research Progress on Selection Methods of Volleyball Players. J Adv Sport Phys Edu. 2021;8642:172-81.
24. Cursiol JA, de Arruda TB, Nakamura FY, Barbieri RA. Three Simulated Goalball Games in the Same Day Cause Central Fatigue and Can Impair Game Technical Performance. Adapt Phys Activ Q. 2022;1(aop):1-18.
25. Association WTWM. WMA Declaration of Helsinki—Ethical Principles for Medical Research Involving Human Participants. WMA: Ferney-Voltaire, France. 2024.
26. Peters B. What Is the Declaration of Helsinki. Very Well Health. https://www. verywellhealth. com/declaration-of-helsinki …; 2020.
27. Molinaro L, Taborri J, Pauletto D, Guerra V, Molinaro D, Sicari G, et al. Measuring the Immediate Effects of High-Intensity Functional Training on Motor, Cognitive and Physiological Parameters in Well-Trained Adults. Sensors. 2023;23(8):3937.
28. Heinrich KM, Crawford DA, Johns BR, Frye J, Gilmore KE. Affective responses during high-intensity functional training compared to high-intensity interval training and moderate continuous training. Sport Exerc Perform Psychol. 2020;9(1):115.
29. Rosa PC, Courtes AA, Gonçalves DF, Hartmann DD, Stefanello ST, Zamberlan DC, et al. Moderate-intensity functional training improves mitochondrial capability and redox state in peripheral blood

mononuclear cells of metabolic syndrome women. Sport Sci Health. 2021;17(1):91-101.
30. Kapsis DP, Tsoukos A, Psarraki MP, Douda HT, Smilios I, Bogdanis GC. Changes in body composition and strength after 12 weeks of high-intensity functional training with two different loads in physically active men and women: a randomized controlled study. Sports. 2022;10(1):7.
31. Vigelsø A, Andersen NB, Dela F. The relationship between skeletal muscle mitochondrial citrate synthase activity and whole body oxygen uptake adaptations in response to exercise training. Int J Physiol Pathophysiol Pharmacol. 2014 2014; 6(2):84-101.
32. Little JP, Gillen JB, Percival ME, Safdar A, Tarnopolsky MA, Punthakee Z, et al. Low-volume high-intensity interval training reduces hyperglycemia and increases muscle mitochondrial capacity in patients with type 2 diabetes. J Appl Physiol 2011;111(6):1554-60.
33. MacInnis MJ, Skelly LE, Godkin FE, Martin BJ, Tripp TR, Tarnopolsky MA, et al. Effect of short-term, high-intensity exercise training on human skeletal muscle citrate synthase maximal activity: single versus multiple bouts per session. Appl Physiol Nutr Metab. 2019;44(12):1391-4.
34. Vincent G, Lamon S, Gant N, Vincent PJ, MacDonald JR, Markworth JF, et al. Changes in mitochondrial function and mitochondria associated protein expression in response to 2-weeks of high intensity interval training. Front Physiol. 2015;6:51.
35. Harmer AR, Chisholm DJ, McKenna MJ, Hunter SK, Ruell PA, Naylor JM, et al. Sprint training increases muscle oxidative metabolism during high-intensity exercise in patients with type 1 diabetes. Diabetes Care. 2008;31(11):2097-102.
36. Lira FS, Dos Santos T, Caldeira RS, Inoue DS, Panissa VL, Cabral-Santos C, et al. Short-term high- and moderate-intensity training modifies inflammatory and metabolic factors in response to acute exercise. Front Physiol. 2017;8:856.
37. Baygutalp F, Buzdağlı Y, Ozan M, Koz M, Kılıç Baygutalp N, Atasever G. Impacts of different intensities of exercise on inflammation and hypoxia markers in low altitude. BMC Sports Sci Med Rehabil. 2021;13(1):145.
38. Sellami M, Al-Muraikhy S, Al-Jaber H, Al-Amri H, Al-Mansoori L, Mazloum N. Age and sport intensity-dependent changes in cytokines and telomere length in elite athletes. Antioxidants. 2021; 10 (7): 1035.
39. Zimmer P, Stritt C, Bloch W, Schmidt F-P, Hübner ST, Binnebößel S, et al. The effects of different aerobic exercise intensities on serum serotonin concentrations and their association with Stroop task performance: a randomized controlled trial. Eur J Appl Physiol. 2016;116(10):2025-34.
40. Cabral DF. Changes in Neurotransmission During Exercise. J Sport Exerc Psychol: Springer; 2025. 141-79.
41. Sudo M, Costello JT, McMorris T, Ando S. The effects of acute high-intensity aerobic exercise on cognitive performance: A structured narrative review. Front. behav. Neurosci. 2022;16:957677.
42. Shiraz S, Salimei C, Aracri M, Di Lorenzo C, Farsetti P, Parisi A, et al. The effects of high-intensity interval training on cognitive and physical skills in basketball and soccer players. J Funct Morphol Kinesiol. 2024;9(3):112.