Journal of Arak University of Medical Sciences
Volume 28, Issue 6
February& March 2026

Research Article

Comparison of the Effects of Two Selected Training Protocols on Brain-Derived Neurotrophic Factor, Working Memory, and Aerobic/Anaerobic Power in Adolescent Futsal Players

Mohammad Parastesh[1, 2*], Ali Yasavoli Sharahi[1], Jalil Moradi [2,3], Behzad Aria[4]

[1] Department of Sports Physiology, Faculty of Sports Sciences, Arak University, Arak, Iran
[2] Research Institute of Applied Studies of Sports Sciences, Arak University, Arak, Iran
[3] Department of Motor Behavior, Motor learning, Motor Development, Sport Psychology, Arak University, Arak, Iran
[4] Department of Physical Education and Sports Sciences, Faculty of Psychology and Educational Sciences, Yazd University, Yazd, Iran

*** Corresponding author**: Mohammad Parastesh, Assistant professor, Faculty of Sport Sciences, Department of Sports Physiology and Pathology, Arak University, Arak, Iran. Email: m-parastesh@Araku.ac.ir

DOI: 10.61882/jams.28.6.485

How to Cite this Article:
Parastesh M, Yasavoli Sharahi A, Moradi J, Aria B. Comparison of the Effects of Two Selected Training Protocols on Brain-Derived Neurotrophic Factor, Working Memory, and Aerobic/Anaerobic Power in Adolescent Futsal Players. *J Arak Uni Med Sci*. 2025;**28**(6): 485- 93. DOI: 10.61882/jams.28.6.485

Received: 07.04.2025
Accepted: 30.01.2026

Keywords:
Short-term high-intensity interval training;
Long-term high-intensity interval training;
BDNF;
Working memory;
Aerobic capacity;
Anaerobic capacity

© 2024 Arak University of Medical Sciences

Abstract

Introduction: Physical and cognitive fitness are crucial in futsal, making the identification of effective training methods essential. This study aimed to investigate the effects of two high-intensity interval training (HIIT) protocols on plasma brain-derived neurotrophic factor (BDNF) levels, working memory, and selected physical fitness factors (aerobic and anaerobic capacity) in adolescent futsal players.

Methods: This semi-experimental study was conducted on 15–16-year-old futsal players from Arak city with at least three years of club experience (approved by Arak University Ethics Committee, code: IR.ARAKU.RCE.1401.027). Twenty-four participants were randomly assigned to HIIT1 (10×1-minute intervals with 1-minute rest) or HIIT2 (3×4-minute intervals with 2-minute rest) groups, training for eight weeks. Aerobic capacity, anaerobic capacity, plasma BDNF levels, and working memory were assessed pre- and post-intervention. Data were analyzed using Paired and Independent T-tests ($P < 0.05$).

Results: The HIIT1 group showed significant improvements in aerobic capacity ($P = 0.001$) and BDNF levels ($P = 0.001$). Similarly, HIIT2 demonstrated significant increases in aerobic capacity ($P = 0.001$), anaerobic capacity ($P = 0.014$), and BDNF levels ($P = 0.001$). Working memory showed no significant changes in either group ($P = 0.780$), with no between-group differences observed.

Conclusions: Both HIIT protocols significantly improved aerobic capacity and BDNF levels, while only HIIT2 enhanced anaerobic capacity. Neither protocol affected working memory. HIIT appears effective for enhancing physiological and physical fitness factors in adolescent futsal players.

Copyright *© 2024 The Author(s); Published by Journal of Arak University of Medical Sciences. This is an open access article, distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (http"//creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) witch permits others to copy and redistribute material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cited.*

مقایسه تأثیر دو تمرین منتخب بر فاکتور نورون‌زایی مشتق‌شده از مغز، حافظه کاری و توان هوازی و بی‌هوازی فوتسالیست‌های نوجوان

محمد پرستش[۱،۲*]، علی یساولی شراهی[۱]، جلیل مرادی[۲،۳]، بهزاد آریا[۴]

[۱] گروه فیزیولوژی و آسیب‌شناسی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه اراک، اراک، ایران.
[۲] پژوهشکده مطالعات کاربردی علوم ورزشی، دانشگاه اراک، اراک، ایران
[۳] گروه رفتار حرکتی و روانشناسی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه اراک، اراک، ایران.
[۴] بخش تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشکده روانشناسی و علوم تربیتی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

* نویسنده مسئول: محمد پرستش، گروه فیزیولوژی و آسیب‌شناسی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه اراک، اراک، ایران.
ایمیل: m-parastesh@araku.ac.ir

DOI: 10.61882/jams.28.6.485

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۱۰
واژگان کلیدی:
تمرین تناوبی شدید کوتاه مدت؛
تمرین تناوبی شدید بلند مدت؛
BDNF؛
حافظه کاری؛
توان هوازی؛
توان بی‌هوازی

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی اراک محفوظ است.

چکیده

مقدمه: آمادگی جسمانی و شناختی در فوتسال اهمیت زیادی دارد و شناسایی روش‌های تمرینی مؤثر ضروری است. این مطالعه با هدف بررسی تأثیر دو روش تمرینی تناوبی شدید HIIT (High-Intensity Interval Training)بر سطح پلاسمایی فاکتور نورون‌زایی مشتق‌شده از مغز (BDNF)، حافظه کاری و برخی فاکتورهای آمادگی جسمانی (توان هوازی و بی‌هوازی) فوتسالیست‌های نوجوان انجام شد.

روش کار: این پژوهش به‌صورت نیمه‌تجربی انجام شد. جامعه آماری فوتسالیست‌های نوجوان ۱۵ تا ۱۶ ساله شهر اراک با حداقل سه سال سابقه بازی در باشگاه‌های فوتسال بود. در این مطالعه ۲۴ نفر به‌صورت تصادفی انتخاب و در دو گروه تمرینی $HIIT_1$ و $HIIT_2$ قرار گرفتند. گروه $HIIT_1$ ده وهله یک‌دقیقه‌ای با استراحت‌های یک دقیقه‌ای و گروه $HIIT_2$ سه وهله چهار دقیقه‌ای با استراحت‌های دو دقیقه‌ای را به مدت هشت هفته انجام دادند. قبل و بعد از تمرین توان هوازی، توان بی‌هوازی، سطح BDNF پلاسما و حافظه کاری اندازه‌گیری شد. برای تحلیل داده‌ها از آزمون‌های تی زوجی و تی مستقل استفاده شد. تحلیل‌ها با سطح معنی‌داری $P < ۰/۰۵$ انجام شد.

یافته‌ها: توان هوازی ($P = ۰/۰۰۱$) و سطح BDNF ($P = ۰/۰۰۱$) در گروه $HIIT_1$ نسبت به زمان قبل از تمرین افزایش معنی‌داری داشت. همچنین توان هوازی ($P = ۰/۰۰۱$)، توان بی‌هوازی ($P = ۰/۰۱۴$) و سطح BDNF ($P = ۰/۰۰۱$) در گروه $HIIT_2$ نسبت به زمان قبل از تمرین افزایش معنی‌داری را نشان داد. حافظه کاری گروه‌های تمرینی نسبت به زمان قبل تمرین تغییر معنی‌داری نداشت و در مقایسه بین گروهی بین گروه‌های تمرینی نیز تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ($P = ۰/۷۸۰$).

نتیجه‌گیری: دو روش تمرینی $HIIT_1$ و $HIIT_2$ به‌طور معنی‌داری توان هوازی و سطح BDNF را بهبود بخشیدند، اما تنها روش $HIIT_2$ تأثیری مثبت بر توان بی‌هوازی داشت. هیچ یک از تمرین‌ها تأثیر معنی‌داری بر حافظه کاری نداشتند. به‌طور کلی، تمرینات تناوبی شدید می‌توانند به‌عنوان روشی مؤثر برای بهبود فاکتورهای آمادگی جسمانی و فیزیولوژیکی در فوتسالیست‌های نوجوان استفاده شود.

ارجاع: پرستش محمد، یساولی شراهی علی، مرادی جلیل، آریا بهزاد. مقایسه تأثیر دو تمرین منتخب بر فاکتور نورون‌زایی مشتق‌شده از مغز، حافظه کاری و توان هوازی و بی‌هوازی فوتسالیست‌های نوجوان. *مجله دانشگاه علوم پزشکی اراک* ۱۴۰۴؛ ۲۸ (۶): ۴۸۵- ۴۹۳.

مقدمه

تمرینات ورزشی، به عنوان یکی از مؤثرترین و پرکاربردترین روش‌ها برای ارتقای سلامت عمومی، بهبود آمادگی جسمانی و افزایش کارآیی افراد در انجام فعالیت‌های روزمره شناخته شده‌اند. این فعالیت‌ها نه تنها به تقویت سیستم‌های ایمنی، قلبی- عروقی و تنفسی کمک می‌کنند، بلکه در بهبود عملکرد جسمانی، روانی و حتی شناختی نیز نقش بسزایی ایفا می‌نمایند. تأثیرات تمرینات ورزشی بر افراد به عوامل متعددی از جمله حجم تمرین، مدت زمان انجام آن، شدت فعالیت و همچنین توانایی‌های فردی وابسته است (۱). با توجه به تنوع روش‌های تمرینی موجود، از جمله تمرینات ایزوتونیک، ایزوکنتیک، ایزومتریک، اینتروال، فارتلک، تمرینات با وزنه، پلیومتریک و تمرینات ترکیبی، انتخاب روش مناسب بر اساس اهداف تمرینی از اهمیت بالایی برخوردار است. یکی از اهداف اصلی تمرینات ورزشی، دستیابی به آمادگی هوازی بالاست که فواید متعددی از جمله بهبود عملکرد ورزشی، افزایش استفاده از چربی به عنوان منبع انرژی، بهبود عملکرد لندوتلیالی و سازگاری‌های قلبی- عروقی را به همراه دارد (۲). با این حال، یکی از چالش‌های اصلی در انجام تمرینات سنتی هوازی،

نیاز به زمان طولانی برای دستیابی به نتایج مطلوب است (۳).

در جوامع امروزی که افراد با مشغله‌های فراوان و محدودیت‌های زمانی مواجه هستند، این مسئله می‌تواند به عنوان مانعی برای انجام منظم ورزش محسوب شود. از این‌رو، تمرینات تناوبی شدید (High-Intensity Interval Training) HIIT به عنوان یک روش کارآمد، توجه بسیاری از محققان، مربیان و ورزشکاران را به خود جلب کرده است. این نوع تمرینات با ترکیب دوره‌های کوتاه فعالیت شدید و دوره‌های استراحت فعال، قادرند در زمان کم‌تری نتایج قابل توجهی در بهبود ظرفیت هوازی و بی‌هوازی ایجاد کنند (۴). تمرینات HIIT به طور کلی به دو دسته تقسیم می‌شوند: دسته اول شامل تکرارهای کوتاه‌مدت با شدت حداکثر و دسته دوم شامل تکرارهای طولانی‌تر با شدتی کمتر از حداکثر. این روش تمرینی نه تنها باعث افزایش ظرفیت هوازی و بی‌هوازی می‌شود، بلکه تأثیرات مثبتی بر افزایش آنزیم‌های اکسایشی و گلیکولیتیک نیز دارد (۵).

فوتسال، به عنوان یک ورزش پرتحرک و پویا، نیازمند آمادگی جسمانی بالا، به ویژه در زمینه‌های هوازی و بی‌هوازی است. بازیکنان فوتسال باید توانایی انجام فعالیت‌های متناوب مانند دویدن‌های کوتاه، پرش‌ها، چرخش‌های سریع و تغییر جهت‌های ناگهانی را داشته باشند. از این‌رو، تمرینات HIIT می‌توانند به عنوان یک روش مؤثر برای بهبود عملکرد فوتسالیست‌ها، به ویژه در نوجوانان، مورد استفاده قرار گیرد. مطالعات نشان داده‌اند که تمرینات HIIT در مقایسه با تمرینات استقامتی با شدت متوسط، بهبود بیشتری در ظرفیت هوازی ایجاد می‌کنند و همچنین باعث افزایش بیان ژن‌های مرتبط با تولید میتوکندری و بهبود عملکرد قلبی- عروقی می‌شوند (۶). حداکثر اکسیژن مصرفی (VO2max) به عنوان معیار طلایی ظرفیت هوازی شناخته می‌شود که نشان‌دهنده حداکثر توانایی فرد در مصرف، انتقال و استفاده از اکسیژن طی فعالیت ورزشی است. این شاخص بر حسب میلی‌لیتر اکسیژن مصرفی در هر دقیقه به ازای هر کیلوگرم وزن بدن (ml/kg/min) بیان می‌شود. آزمون یویو اینتروال (سطح ۱) به عنوان یک روش معتبر میدانی برای تخمین VO2max در ورزشکاران تیمی توسعه یافته است که ماهیت متناوب فوتسال را به خوبی شبیه‌سازی می‌کند.

نشان داده شده است که دو هفته تمرینات HIIT می‌تواند به طور معناداری بر شاخص‌هایی مانند Vo2max، نیروی عضلانی و برون‌ده توان تأثیر بگذارد (۷).

علاوه بر تأثیرات فیزیولوژیکی، تمرینات HIIT ممکن است بر عملکرد شناختی و مغزی نیز تأثیرگذار باشند (۸). یکی از فاکتورهای مهم در این زمینه، فاکتور نوروتروپیک مشتق از مغز (Brain Derived Neurotrophic Factor) BDNF است که نقش کلیدی در حفظ و بهبود عملکرد نورون‌ها، رشد آکسون‌ها و دندریت‌ها و پلاستیسیته عصبی ایفا می‌کند (۹). BDNFپروتئینی متشکل از ۲۵۲ اسید آمینه است که در فرآیندهای عصبی مانند حفاظت از نورون‌ها، رشد و بازسازی آکسون‌ها و دندریت‌ها، تمایز و پلاستیسیته عصبی نقش دارد BDNF یک پروتئین نوروتروفیک است که نقش کلیدی در رشد، بقا و عملکرد نورون‌ها، نوروپلاستیسیته و فرایندهای شناختی مانند یادگیری و حافظه ایفا می‌کند (۹). مطالعات متعددی تأثیر تمرینات ورزشی بر سطحBDNF را بررسی کرده‌اند، اما نتایج این مطالعات گاهی ضد و نقیض بوده‌اند (۱۰، ۱۱).

از سوی دیگر، حافظه کاری به عنوان یکی از مؤلفه‌های مهم شناختی، تحت تأثیر تمرینات ورزشی قرار می‌گیرد. حافظه کاری تولیدی ذخیره و پردازش موقت اطلاعات را فراهم می‌کند و در فرایندهای شناختی پیچیده‌تر مانند یادگیری، استدلال و برنامه‌ریزی نقش اساسی دارد. بنابراین، در موفقیت ورزشکاران اهمیت زیادی دارد (۱۲). برخی مطالعات نشان داده‌اند فعالیت ورزشی تأثیر مثبتی بر حافظه کاری دارد (۱۳). مطالعات متعددی تأثیر تمرینات ورزشی بر سطوح BDNF را بررسی کرده‌اند. به عنوان مثال، de Lima و همکاران نشان دادند که ۸ هفته تمرین HIIT موجب افزایش معنی‌دار سطوح BDNF در مردان میانسال دارای اضافه‌وزن می‌شود (۱۴). در مقابل، Azuma و همکاران هیچ تغییر معنی‌داری در سطوح BDNF پس از دوره‌های کوتاه‌مدت HIIT گزارش نکردند (۱۵).

از سوی دیگر، در زمینه تأثیر تمرینات بر عملکرد شناختی، ۱۶. Seifert و همکاران، بهبود حافظه کاری پس از تمرینات استقامتی بلندمدت را مشاهده کردند (۱۶)، در حالی که مطالعاتی مانند Milioni و همکاران تأثیر معناداری از HIIT کوتاه‌مدت بر عملکرد شناختی گزارش ندادند (۱۷). این یافته‌های متناقض نشان‌دهنده نیاز به تحقیقات بیشتر با پروتکل‌های استاندارد و جمعیت‌های هدف مشخص است. در حوزه فوتسال نیز اگرچه مطالعاتی مانند Kuswoyo و Lahinda تأثیر مثبت HIIT بر توان هوازی را نشان داده‌اند (۱۸)، اما تحقیقات جامعی که به بررسی همزمان تأثیر این تمرینات بر فاکتورهای عصبی- شناختی و فیزیولوژیکی پرداخته باشد، بسیار محدود است.

با توجه به اهمیت آمادگی جسمانی و شناختی در ورزش فوتسال و محدودیت‌های زمانی موجود، این مطالعه با هدف بررسی تأثیر هشت هفته تمرینات تناوبی شدید بر فاکتورهای فیزیولوژیکی و شناختی در نوجوانان فوتسالیست طراحی شده است. در این راستا، تأثیر دو روش تمرینی منتخب بر توان هوازی، توان بی‌هوازی، سطح BDNF و حافظه کاری بررسی شد.

روش کار

این مطالعه از نوع نیمه‌تجربی و کاربردی بود. جامعه آماری پژوهش را فوتسالیست‌های نوجوان شهر اراک در رده سنی ۱۵ تا ۱۶ سال تشکیل دادند. از این جامعه، ۲۴ نفر که همگی سالم، فاقد سابقه بیماری خاص یا عمل جراحی بودند و به طور میانگین سه سال سابقه عضویت در باشگاه‌های فوتبال داشتند، به عنوان نمونه انتخاب شدند. انتخاب آزمودنی‌ها به صورت تصادفی انجام شد و آن‌ها به دو گروه تقسیم‌بندی شدند. پس از اخذ کد اخلاق از دانشگاه اراک (IR.ARAKU.RCE.1401.027)، از کلیه شرکت‌کنندگان و والدین آنها رضایت‌نامه آگاهانه کتبی دریافت شد. پیش از شروع مطالعه، جلسه توجیهی برای والدین برگزار گردید که در آن اهداف پژوهش، پروتکل تمرینی، معیارهای ورود و خروج، و حقوق شرکت‌کنندگان به تفصیل شرح داده شد. تمامی آزمودنی‌ها و والدین آنها حق داشتند در هر مرحله از پژوهش بدون هیچ گونه تبعاتی انصراف دهند. برای ارزیابی تغییرات توان هوازی و بی‌هوازی، سطح BDNF و حافظه کاری، آزمون‌های میدانی و آزمایشگاهی در دو نوبت پیش‌آزمون و پس‌آزمون با فاصله هشت هفته انجام شد. برای ارزیابی توان هوازی از آزمون یویو اینتروال سطح ۱ استفاده شد (۱۹). برای

اجرای این آزمون، دو مخروط به فاصله ۲۰ متر از یکدیگر روی زمین قرار داده شدند. مخروط سوم نیز در فاصله ۵ متری عقب‌تر از مخروط اول قرار گرفت. آزمودنی‌ها پس از طی دو مسیر رفت و برگشت (۴۰ متر) به حالت دویدن، پنج ثانیه استراحت داشتند که در این زمان باید از مخروط اول به سمت مخروط سوم به آهستگی راه می‌رفتند و برمی‌گشتند (۱۰ متر). سپس بلافاصله به خط شروع بازگشته و آماده دویدن در دور بعد می‌شدند. علائم صوتی با فواصل زمانی مشخص برای ورزشکار ارسال می‌شد و به تدریج زمان بین دو علامت (بوق) کاهش می‌یافت و شدت دویدن افزایش پیدا می‌کرد. این روند تا زمانی ادامه داشت که ورزشکار سه بار پیاپی پس از شنیدن صدای بوق نتواند به مخروط‌های مورد نظر برسد (۱۹). VO2max با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد (۲۰):

VO2max (ml.kg.min) = ۴/۳۶ + ۰/۰۰۸۴ × مسافت طی شده بر حسب متر

این آزمون ۲۴ ساعت قبل و ۲۴ ساعت بعد از برنامه تمرینی برای بررسی تأثیر دو روش تمرین تناوبی بر توان هوازی انجام شد.

برای بررسی تأثیر دو روش تمرین تناوبی بر سطح BDNF پلاسما، ۴۸ ساعت قبل و بعد از برنامه تمرینی، ۵ سی‌سی خون از ورید بازویی دست راست آزمودنی‌ها گرفته شد. نمونه‌های خونی با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه سانتریفیوژ شدند و سرم جدا شد. غلظت سرمی BDNFبا استفاده از کیت‌های شرکت CUSABIO ژاپن با حساسیت ۰/۰۶۳ نانوگرم در میلی‌لیتر اندازه‌گیری شد. برای بررسی تأثیر دو روش تمرین تناوبی بر حافظه کاری، ۴۸ ساعت قبل و بعد از برنامه تمرینی، آزمون رایانه‌ای حافظه وکسلر از آزمودنی‌ها ثبت شد. آزمون حافظه وکسلر بر اساس دستورالعمل‌های آزمون هوش وکسلر برای کودکان (WISC-R) که در سال ۱۹۷۴ طراحی شده است، توسعه یافته است. با توجه به تشابه ساختار اجرایی این خرده‌آزمون در نسخه‌های کودکان و بزرگسالان وکسلر، این ابزار قابلیت استفاده برای ارزیابی حافظه بزرگسالان را نیز دارا می‌باشد. در این آزمون، دو ویژگی اضافی در نظر گرفته شده است: اول، امکان ارزیابی حافظه دیداری و دوم، قابلیت تعیین فراخنای حافظه (۲۱). این آزمون در دو بخش مجزا اجرا می‌شود: تکرار ارقام به صورت مستقیم (رو به جلو) و تکرار ارقام به صورت معکوس. حتی در مواردی که آزمودنی در بخش تکرار ارقام به صورت مستقیم نمره صفر کسب کند، بخش تکرار معکوس ارقام همچنان اجرا می‌شود. نمره نهایی آزمون حافظه کاری از مجموع نمره‌های دو بخش تکرار مستقیم و معکوس ارقام محاسبه می‌شود که حداکثر نمره قابل کسب ۲۸ است. ضریب پایایی درونی مقیاس حافظه کاری وکسلر در سطح بسیار بالایی قرار دارد و ضریب اعتبار آن بیش از ۰/۹۰ گزارش شده است. همچنین، اعتبار آزمون-پس‌آزمون این ابزار با ضریب اعتبار ۰/۸۹ تأیید شده است (۲۲). روایی و پایایی این آزمون در ایران تأیید شده است (۲۱). این آزمون به دلیل دقت بالا و قابلیت‌های گسترده، ابزاری معتبر و قابل اعتماد برای سنجش حافظه کاری در پژوهش‌های مختلف به شمار می‌رود (۲۲).

برنامه تمرینی

برنامه تمرینی این مطالعه به مدت هشت هفته و در هر هفته سه جلسه انجام شد. پروتکل تمرینی هر دو گروه با شدت ۱۰۰٪ ضربان قلب ذخیره به شکل حداکثر توان و وهله‌های استراحت فعال با شدت ۴۵-۵۰ درصد ضربان قلب بیشینه و سه روز در هفته طراحی شد. آزمودنی‌ها تمرین را با شدت ۸۵ درصد ضربان قلب ذخیره آغاز کردند و به تدریج با پیشرفت آمادگی، در هفته‌های دوم، سوم و چهارم، پنج درصد به شدت تمرین افزوده شد و این شرایط تا پلیان پروتکل حفظ گردید (۲۳). آزمودنی‌ها به دو گروه تقسیم شدند که گروه یک در هر جلسه، پس از گرم کردن، ده مرتبه دویدن یک دقیقه‌ای با حداکثر توان و یک دقیقه استراحت فعال بین تکرارها انجام دادند. سپس ده دقیقه استراحت غیرفعال کردند و به بازی فوتسال پرداختند. گروه دو در هر جلسه، پس از گرم‌کردن، سه مرتبه دویدن چهار دقیقه‌ای با حداکثر توان و دو دقیقه استراحت فعال بین تکرارها انجام دادند. سپس ده دقیقه استراحت غیرفعال کردند و به بازی فوتسال پرداختند. پس از پایان برنامه تمرینی، ده دقیقه استراحت غیرفعال گنجانده شد و سپس شرکت‌کنندگان به مدت ۳۰ دقیقه فوتسال بازی کردند. در پایان هر جلسه، ۱۵ دقیقه تمرینات سرد کردن شامل نرم‌دوی و حرکات کششی ایستا انجام شد. این روال تا پایان برنامه تمرینی ادامه داشت.

روش های آماری

برای بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها از آزمون Shapiro-Wilk استفاده شد. همچنین، برای تعیین تفاوت‌های درون‌گروهی از آزمون تی Paired sample T-test (همبسته) و برای بررسی تفاوت‌های بین‌گروهی از آزمون Paired sample T-testبهره گرفته شد. سطح معناداری همه آزمون‌ها P < ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. کلیه تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ (version 22, IBM Corporation, Armonk, NY) انجام شد.

یافته‌ها

اطلاعات جمعیت‌شناختی شرکت‌کنندگان در این تحقیق شامل میانگین قد، وزن، سن و درصد چربی در جدول ۱ مشاهده می‌شود.

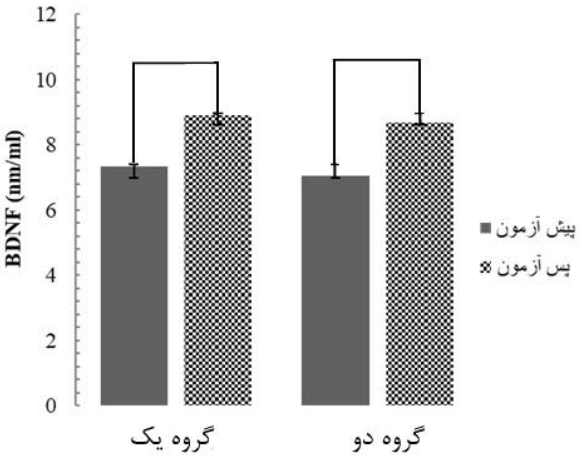
نتایج آزمون Shapiro-Wilk نشان داد میانگین متغیرهای اندازه‌گیری شده دارای توزیع طبیعی هستند (P > ۰/۰۵).

برنامه تمرینی گروه یک به‌طور معنی‌داری سطح BDNF پلاسما را در مدت هشت هفته افزایش داد (P = ۰/۰۰۱). به‌طور مشابه، برنامه تمرینی گروه دو نیز به‌طور معنی‌داری سطح BDNF را افزایش داد (P = ۰/۰۰۱).

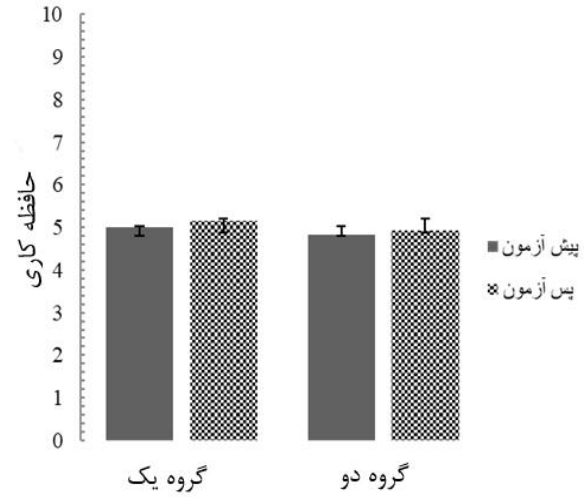
جدول ۱. اطلاعات جمعیت‌شناختی شرکت‌کنندگان دو گروه.

متغیر	گروه یک (انحراف استاندارد ± میانگین)	گروه دو (انحراف استاندارد ± میانگین)
سن (سال)	۱۵/۳۱±۰/۹۲	۱۵/۶۱±۰/۲۷
وزن (کیلوگرم)	۶۰/۴۷±۶/۵۰	۶۲/۷۵±۵/۶۶
قد (سانتی‌متر)	۱۶۸/۱۵±۹/۳۸	۱۶۵/۰۵±۲۹/۱۷
شاخص توده بدنی (کیلوگرم بر مترمربع)	۱۹/۳۰±۲/۷۳	۱۸/۶۹±۱/۹۹

مقایسه بین گروهی نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین دو گروه تمرینی از نظر بهبود سطح BDNF در زمان پس‌آزمون وجود ندارد (۰/۷۸۷) (شکل ۱). هر دو گروه بهبود عددی اندکی در نمره حافظه کاری نشان دادند (گروه یک: ۲/۷ درصد؛ گروه دو ۱/۶ درصد)، اما این تغییرات از نظر آماری معنی‌دار نبودند (P < ۰/۰۵) (شکل ۲).

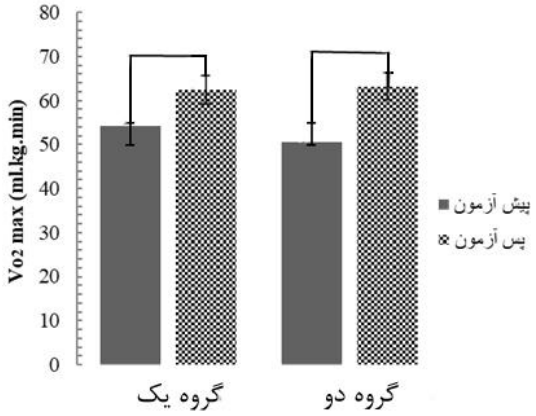


شکل ۱. میانگین BDNF قبل و بعد از تمرین دو گروه.

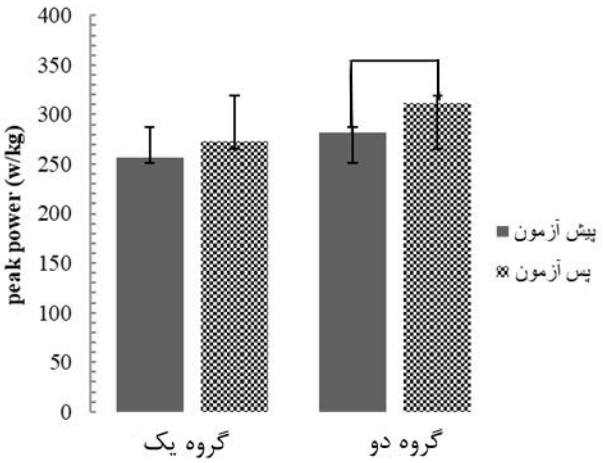


شکل ۲. میانگین حافظه کاری قبل و بعد از تمرین دو گروه.

برنامه تمرینی گروه یک به‌طور معنی‌داری VO2max را در مدت هشت هفته افزایش داد (P = ۰/۰۰۱). به‌طور مشابه، در گروه دو نیز افزایش معنی‌داری در VO2max مشاهده شد (P = ۰/۰۰۱). با وجود افزایش معنی‌دار VO2max در هر دو گروه، نتایج آزمون Independent Sample T-test نشان داد که تفاوت معنی‌داری از نظر آماری بین دو گروه تمرینی وجود ندارد (P = ۰/۷۸۷)، اگرچه گروه دو افزایش بیشتری در VO2max تجربه کرد، این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار نبود (شکل ۳). برنامه تمرینی گروه یک، نتوانست اوج توان بی‌هوازی را در مدت هشت هفته به‌طور معنی‌داری افزایش دهد (P = ۰/۳۲۲). در مقابل، برنامه تمرینی گروه دو، به‌طور معناداری اوج توان بی‌هوازی را افزایش داد (P = ۰/۰۱۴). با وجود این، نتایج آزمون Independent Sample T-test نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین دو گروه تمرینی از نظر بهبود اوج توان بی‌هوازی وجود ندارد (P = ۰/۰۶۴) (شکل ۴).



شکل ۳. میانگین VO2max قبل و بعد از تمرین دو گروه.



شکل ۴. میانگین توان بی‌هوازی قبل و بعد از تمرین دو گروه.

بحث

هر دو گروه تمرینی این مطالعه، افزایش معنی‌داری در سطح BDNF پلاسما نشان دادند، اگرچه تفاوت معنی‌داری بین دو گروه مشاهده نشد. همسو با این یافته‌ها، de Lima و همکاران، نشان دادند ۸ هفته تمرین HIIT می‌تواند به عنوان یک گزینه درمانی غیردارویی مفید برای بهبود سطح BDNF در مردان میانسال دارای اضافه وزن مورد استفاده قرار گیرد (۱۴). Küçük و همکاران نیز نتیجه گرفتند تمرین HIIT به صورت کوتاه‌مدت یا بلندمدت باعث افزایش مقادیر BDNF داوران فوتبال می‌شود (۲۴).

با این حال، برخی مطالعات هیچ تغییر قابل توجهی در سطوح BDNF پیدا نکردند. در مطالعه Azuma و همکاران، تغییر سطح سرمی BDNF پس از ۱۶ هفته تمرین تناوبی با شدت بالا (HIIT) معنی‌دار نبود. در این تحقیق از مردان ۲۸ تا ۴۸ سال استفاده شد، در حالی که تحقیق حاضر روی نوجوانان انجام شد (۱۵). بنابراین، متفاوت بودن سن آزمودنی‌ها ممکن است باعث به دست آمدن یافته‌های متناقض شود. این تفاوت یافته‌ها

می‌تولند به عواملی مانند شـــدت تمرین، مدت زمان، یا تفاوت‌های فردی مربوط باشـــد که نشـــان می‌دهد همه پروتکل‌های HIIT یا گروه‌های شـرکت‌کننده به طور یکسـان از نظر تولید BDNF پاسـخ نمی‌دهند (۱۵، ۲۵). HIIT به‌عنوان یک روش تمرینی مؤثر، تأثیرات مثبت قابل‌توجهی بر سیسـتم عصبی و فیزیولوژیکی بدن دارد. یکی از تأثیرات این نوع تمرینات، افزایش سطح BDNF است. مکانیسم‌های احتمالی تأثیر تمرینات HIIT بر افزایش سطح BDNF به خوبی مشخص نشده است. تمرینات HIIT باعث فعال‌سازی سیستم عصبی سمپاتیک و ترشح کاتکولامین‌ها (مانند اپینفرین و نوراپینفرین) می‌شـود. این هورمون‌ها نه تنها بر سـیسـتم قلبی- عروقی تأثیر می‌گذارند، بلکه ممکن اســت از طریق فعال‌ســازی مســیرهای سیگنالینگ در مغز، بیان ژن BDNF را افزایش دهند (۲۶).

تمرینـات HIIT همچنین باعث افزایش جریان خون مغزی و بهبود اکسـیژن‌رسانی به مغز می‌شـود. این افزایش جریان خون می‌تواند به بهبود عملکرد نورون‌ها و افزایش تولید BDNF منجر شود (۲۷). همچنین، بهبود اکسیژن‌رسانی به مغز می‌تواند از طریق کاهش استرس اکسیداتیو و افزایش تولید انرژی در نورون‌ها، بیان BDNF را افزایش دهد (۱۱). تمرینات HIIT می‌توانند مسـیرهای سـیگنالینگ مرتبط با تولید BDNF را فعال کنند. یکی از مهم‌ترین این مسیرها، مسیر cAMP/PKA/CREB است. در این مسـیر، افزایش سـطح cAMP (ناشـی از فعالیت ورزشـی) باعث فعال‌ســازی پروتئین کیناز A (PKA) و در نهایت فعال‌ســازی فاکتور رونویسی CREB می‌شود. CREB به نوبه خود می‌تواند بیان ژن BDNF را افزایش دهد (۲۸).

علاوه بر این، مســیرهای دیگری مانند MAPK/ERK و PI3K/Akt نیز در پاسخ به تمرینات HIIT فعال می‌شوند و می‌توانند تولیدBDNF را تحریک کنند (۲۹). تمرینات HIIT باعث تحریک عضلات اسکلتی و ترشح میوکاین‌ها می‌شـوند. برخی از این میوکاین‌ها، مانند آیریزین، می‌توانند از سـد خونی- مغزی عبور کرده و بیان BDNF را در مغز افزایش دهند. آیریزین با فعال‌ســازی مســیرهای ســیگنالینگ در مغز، می‌تولند تولید BDNF را تحریک کند (۳۰). این نتایج از دیدگاه کاربردی حائز اهمیت اسـت، چرا که نشـان می‌دهد مربیان و متخصـصـان ورزشـی می‌توانند با انعطاف بیشـتری در طراحی برنامه‌های تمرینی، از مزایای افزایش BDNF بهره ببرند، بدون اینکه لزوماً به یک پروتکل خاص محدود باشـند. با این حال، برای تعیین دقیق‌تر دوز- پاسـخ بهینه تمرینات بر سـطوح BDNF، مطالعات بیشتری با پروتکل‌های متنوع‌تر مورد نیاز است.

نتایج این مطالعه نشان داد که هشت هفته تمرین تناوبی شدید تأثیر معناداری بر حافظه کاری ندارد. همسو با یافته‌های مطالعه حاضر، Yuan و همکاران نشـان دادند فعالیت ورزشـی HIIT تاثیر مثبتی بر حافظه کاری نوجوانـان نـدارد (۳۱). از طرف دیگر، Liu و همکـاران در یـک مطـالعـه فراتحلیل با بررســی جامع تأثیر تمرینات HIIT بر حافظه کاری به این نتیجه رسیدند که تمرینات HIIT اگر در دوره‌های بیش از ۸ هفته استفاده شود، می‌تواند باعث بهبود حافظه کاری نوجوانان شود (۸).

Alves و همکاران نیز گزارش کردند به منظور تأثیرگذاری مثبت تمرینات HIIT بر حافظه کاری جولنان برنامه تمرینی باید دارای شـــدت بیشتر از ۸۵ درصد ضربان قلب بیشینه و به مدت تا ۱۶ هفته طول بکشد (۳۲). بنابراین به نظر می‌رسـد علت ناهمسـو بودن این یافته‌ها مدت زمان برنامه تمرینی تحقیق ما باشد.

اگرچه BDNF به عنوان یک عامل کلیدی در بهبود حافظه شـناخته می‌شـود، اما به نظر می‌رسـد تمرینات اینتروال شـدید تأثیر محدودی بر حافظه کاری داشـته باشـند. مطالعات گذشـته نشـان داده‌اند که تمرینات اســتقامتی طولانی‌مدت می‌توانند بیان BDNF در هیپوکامپ را افزایش دهند و حافظه بلندمدت را بهبود بخشـند (۳۳). در رابطه با مکانیسـم اثر BDNF بر حافظه و یادگیری، افزایش رهایش انتقال دهنده‌های عصـبی پیش سیناپسی و تنظیم افزایشی گیرنده‌های پیش سیناپسی ان متیل دی آسپارتات و آلفـا آمینـو ۳ هیدروکسـی ۵ متیل ۴ ایزوکسازول پروپیونیـک اسـید و راه‌اندازی مسـیرهای پایین دسـت آنهاسـت که همگی در تقویت بلندمدت حافظه نقش دارند (۳۴). علاوه بر این، به نظر می‌رسـد ورزش در طولانی‌مـدت از طریق افزایش BDNF هـایپوکمپی زوال هـایپوکمپی و کارآیی کاهش یافته شبکه هایپوکمپی را بهبود می‌بخشد (۳۵).

یکی از دلایل احتمالی عدم تأثیر تمرینات پژوهش حاضـر بر حافظه، می‌تواند مدت زمان نسبتاً کوتاه برنامه تمرینی (هشت هفته) باشد. تغییرات در عملکرد شـناختی، به‌ویژه حافظه کاری، ممکن اسـت به زمان بیشـتری نیاز داشـته باشـد تا به طور معنی‌داری آشـکار شـوند. مطالعاتی که بهبود حافظه کاری را پس از تمرینات ورزشـی گزارش کرده‌اند، معمولاً دوره‌های تمرینی طولانی‌تر داشته‌اند (۱۶). بنابراین، ممکن است هشت هفته تمرین HIIT برای ایجاد تغییرات قابل‌اندازه‌گیری در حافظه کاری کافی نباشـد. از طرف دیگر، نوجوانان در مرحله‌ای از رشـد قرار دارند که مغز آن‌ها هنوز در حال تکامل اسـت. در این سـن، تغییرات شـناختی ممکن اسـت تحت تأثیر عوامل رشدی و هورمونی قرار بگیرند که مستقل از تمرینات ورزشی هستند (۳۶). بنابراین، تأثیر تمرینات HIIT بر حافظه کاری ممکن اســت در نوجوانان کمتر از بزرگسالان باشد. همچنین، آزمون‌های مورد استفاده برای اندازه‌گیری حافظه کاری ممکن اســت به اندازه‌کافی حسـاس نبوده‌اند تا تغییرات کوچک ناشـی از تمرینات HIIT را تشـخیص دهند. علاوه بر این، ممکن اســت این آزمون‌ها تمام ابعاد حافظه کاری را به طور کامل ارزیابی نکرده باشـند. اسـتفاده از آزمون‌های جامع‌تر و حسـاس‌تر می‌تولند به شناسایی تأثیرات احتمالی تمرینات HIIT بر حافظه کاری کمک کند.

نتایج این مطالعه نشـان داد که هر دو روش تمرینی HIIT به‌طور معنی‌داری VO2max فوتسـالیسـت‌های نوجوان را پس از هشـت هفته افزایش دادند. نتایج این مطالعه با یافته‌های Duval و همکاران همسـو بود که نشـان دادند دو هفته تمرین تناوبی شـدید با پروتکل ۱۵ وهله یک‌دقیقه‌ای و اسـتراحت‌های یک‌دقیقه‌ای، VO2max را به‌طور معنی‌داری افزایش می‌دهد. این محققان مکانیسم این بهبود را تأثیر تمرینات تناوبی بر شاخص‌های متابولیک قلبی عنوان کردند (۷).

همچنین، Kuswoyo و Lahinda نشان دادند که ۴ هفته تمرین HIIT به‌طور معنی‌داری سـطح VO2 max را در دانشـجویان فوتبالیسـت بهبود می‌بخشـد. این یافته‌ها حاکی از اثربخشـی HIIT به‌عنوان یک روش تمرینی کوتاه‌مدت و مؤثر برای افزایش آمادگی قلبی- تنفسی است (۱۸).

با این حال، نتایج این مطالعه با یافته‌های Silva و همکاران ناهمســو بود که گزارش کردند چهار هفته تمرین تناوبی شـدید با پروتکل پنج وهله

یک دقیقه‌ای و استراحت‌های یک دقیقه‌ای، تأثیر معنی‌داری بر VO2max نداشت. این ناهمسویی ممکن است به دلیل تفاوت در روش اندازه‌گیری VO2max(آزمون پنج کیلومتر پیاده‌روی) و عدم تطابق آن با ماهیت تمرینات تناوبی باشد (۳۷).

این یافته‌ها با ماهیت تمرینات تناوبی شدید که نیاز به استارت‌های انفجاری، تغییر سرعت و توقف‌های مکرر دارند، همسو بود. این ویژگی‌ها شباهت زیادی به ماهیت فوتسال دارد، که بهبود توان هوازی را به دنبال این نوع تمرینات قلبل پیش‌بینی می‌کند. مکانیسم احتمالی این بهبود را می‌توان به تأثیر تمرینات تناوبی شدید بر شاخص‌های عملکرد قلبی-عروقی مانند عملکرد سیستولیک، حجم ضربه‌ای و برون‌ده قلبی نسبت داد. مطالعات قبلی نشان داده‌اند که این تمرینات می‌توانند این فاکتورها را بهبود بخشند و در نتیجه، اکسیژن بیشتری را از طریق گردش خون در اختیار بافت‌های بدن قرار دهند (۷).

نتایج این مطالعه نشان داد که برنامه تمرینی گروه دو (سه وهله چهار دقیقه‌ای با استراحت‌های دو دقیقه‌ای) به‌طور معنی‌داری، اوج توان بی‌هوازی را افزایش داد، در حالی که برنامه تمرینی گروه یک (ده وهله یک دقیقه‌ای با استراحت‌های یک دقیقه‌ای) تأثیر معنی‌داری نداشت. این تفاوت ممکن است به دلیل تفاوت در مدت زمان فعالیت شدید و استراحت بین دو گروه باشد. فعالیت طولانی‌تر در گروه دو ممکن است باعث افزایش آستانه لاکتات و بهبود ظرفیت اکسایشی تارهای عضلانی شده باشد. همچنین، افزایش چگالی مویرگی و بهبود ظرفیت بافرینگ یون هیدروژن می‌تولند از دیگر عوامل مؤثر در این بهبود باشد همسو با این یافته‌ها، Stöggl و Björklund نشان دادند، ۹ هفته تمرین HIIT باعث افزایش توان هوازی و بی‌هوازی زنان و مردان ورزشکار می‌شود (۳۸).

Lee و همکاران، نیز تاثیر تمرینات HIIT بر ظرفیت بی‌هوازی افراد میان سال و سالمند دارای اضافه وزن مطالعه کردند و گزارش کردند ۸ هفته تمرین HIIT باعث بهبود توان بی‌هوازی میان سالان و سالمندان دارای اضافه وزن می‌شود (۳۹). با این حال، نتایج این مطالعه با یافته‌های Milioni و همکاران متناقض است. آنها تأثیر ۴ هفته تمرین HIIT بر ظرفیت بی‌هوازی مردان فعال را بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد ۴ هفته تمرین HIIT به صورت ۱۰ تکرار دویدن یک دقیقه‌ای تأثیر معنی‌داری بر ظرفیت بی‌هوازی ندارد (۱۷). در ارتباط با ناهمسویی یافته‌های این مطالعه با برخی تحقیقات پیشین، علاوه بر مدت زمان نسبتاً کوتاه برنامه تمرینی (۸ هفته)، عوامل متعددی می‌تولند این تفاوت‌ها را تبیین کند. نخست، تفاوت در ویژگی‌های جمعیت‌شناسی مطالعه حاضر (فوتسالیست‌های نوجوان با حداقل ۳ سال سابقه تمرین) با سایر مطالعات که بر گروه‌های سنی مختلف یا افراد غیرورزشکار تمرکز داشتند، می‌تواند منجر به تفاوت در پاسخ‌های فیزیولوژیک و شناختی شده باشد. دوم، تفاوت در پروتکل‌های تمرینی به کار رفته (از نظر نسبت کار به استراحت، شدت دقیق تمرین و نوع فعالیت) ممکن است نقش تعیین کننده‌ای داشته باشد. به عنوان مثال، برخی مطالعات از پروتکل‌های مبتنی بر دوچرخه ثابت استفاده کرده‌اند که الگوی درگیری عضلانی متفاوتی با پروتکل‌های دویدن مورد استفاده در این تحقیق دارد. سوم، روش‌های متفاوت سنجش متغیرها (مانند نوع آزمون‌های شناختی یا روش‌های اندازه‌گیری (BDNF) نیز می تولند بر نتایج تأثیر گذاشته باشد. همچنین، سطح آمادگی پایه شرکت‌کنندگان که در مطالعات مختلف متفاوت است، ممکن است منجر به پاسخ‌های سازگاری متفاوتی شود. این عوامل به همراه اثرات زمینه‌ای مانند تغذیه، کیفیت خواب و استرس روانی می توانند توجیه کننده ناهمخوانی یافته‌ها باشند.

مکانیسم‌های احتمالی بهبود توان بی‌هوازی می‌تواند شامل افزایش غلظت فسفوکراتین عضله، افزایش فعالیت آنزیم‌های بی‌هوازی (مانند فسفوفروکتوکیناز و لاکتات دهیدروژناز) و تغییر در نیمرخ تارهای عضلانی باشد (۴۰). علاوه بر این، سازگاری‌های عصبی-عضلانی مانند افزایش فراخوانی واحدهای حرکتی و بهبود هماهنگی عضلانی نیز می‌توانند در بهبود توان بی‌هوازی نقش داشته باشد (۴۰).

این مطالعه دارای محدودیت‌هایی بود از جمله حجم نمونه کوچک (۲۴ نفر)، محدودیت سنی (۱۵-۱۶ سال) و سطح تجربه شرکت‌کنندگان که ممکن است تعمیم‌پذیری نتایج را تحت تأثیر قرار دهد. همچنین تنها حافظه کاری بررسی شد و سایر جنبه‌های شناختی مانند توجه یا عملکرد اجرایی ارزیابی نشد. علاوه بر این، مقایسه تنها دو پروتکل HIIT انجام گرفت و بررسی سایر پروتکل‌ها با پارامترهای متفاوت می‌تواند در مطالعات آینده مفید باشد.

نتیجه‌گیری

به طور کلی، این مطالعه نشان داد که تمرینات تناوبی شدید (HIIT) به ویژه پروتکل HIIT2 ابزاری مؤثر برای بهبود آمادگی جسمانی و فیزیولوژیکی فوتسالیست‌های نوجوان است. با این حال، برای دستیابی به تأثیرات شناختی، ممکن است طراحی پروتکل‌های طولانی‌تر یا ترکیب با سایر روش‌های تمرینی نیاز باشد. بنابراین، مربیان می‌توانند از HIIT2 به عنوان یک برنامه استاندارد برای بهبود همزمان توان هوازی و بی‌هوازی در فوتسالیست‌ها استفاده کنند، در حالی که برای اهداف شناختی، نیاز به پژوهش‌های تکمیلی وجود دارد.

تشکر و قدردانی

از تمامی فوتسالیست‌های عزیزی که به عنوان آزمودنی در این پژوهش مشارکت کردند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد.

سهم نویسندگان

همه نویسندگان در مراحل انجام مطالعه سهم یکسان داشته‌اند.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچگونه تضاد منافعی وجود ندارد.

References

1. Wu C, Xu Y, Chen Z, Cao Y, Yu K, Huang C. The Effect of Intensity, Frequency, Duration and Volume of Physical Activity in Children and Adolescents on Skeletal Muscle Fitness: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. Int J Environ Res Public Health. 2021;18(18):9640. **pmid**: 34574565 **doi:** 10.3390/ijerph18189640
2. Patel H, Alkhawam H, Madanieh R, Shah N, Kosmas CE, Vittorio TJ. Aerobic vs anaerobic exercise training effects on the cardiovascular system. World J Cardiol. 2017;9(2):134-8. **pmid**: 28289526 **doi**: 10.4330/wjc.v9.i2.134
3. Elhamalawy A. Review of the pros and cons when comparing high intensity interval training to moderate intensity continuous training. International Journal of Research in Medical Sciences. 2024;12(2):630-3. **doi:**10.18203/2320-6012.ijrms20240243
4. Ito S. High-intensity interval training for health benefits and care of cardiac diseases-the key to an efficient exercise protocol. World J Cardiol. 2019;11(7):171-88. **pmid**: 31565193 **doi:** 10.4330/wjc.v11.i7.171
5. Coates AM, Joyner MJ, Little JP, Jones AM, Gibala MJ. A perspective on high-intensity interval training for performance and health. Sports Med. 2023;53(Suppl 1):85-96. **pmid**: 37804419 **doi:** 10.1007/s40279-023-01938-6.
6. Jahangiri M, Shahrbanian S, Gharakhanlou R. 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. **pmid**: 39952980 **doi**: 10.1038/s41598-025-86767-5
7. Duval C, Rouillier M-A, Rabasa-Lhoret R, Karelis AD. High intensity exercise: Can it protect you from a fast food diet? Nutrients. 2017;9(9):943. **pmid**: 28846611 **doi:** 10.3390/nu9090943
8. Liu K, Zhao W, Li C, Tian Y, Wang L, Zhong J, et al. The effects of high-intensity interval training on cognitive performance: a systematic review and meta-analysis. Sci Rep. 2024;14(1):32082. **pmid**: 39738783 **doi:** 10.1038/s41598-024-83802-9
9. Miranda M, Morici JF, Zanoni MB, Bekinschtein P. Brain-derived neurotrophic factor: a key molecule for memory in the healthy and the pathological brain. Front Cell Neurosci. 2019;13:472800. **pmid**: 31440144 **doi:** 10.3389/fncel.2019.00363
10. Murawska-Ciałowicz E, de Assis GG, Clemente FM, Feito Y, Stastny P, Zuwała-Jagiełło J, et al. Effect of four different forms of high intensity training on BDNF response to Wingate and Graded Exercise Test. Sci Rep. 2021;11(1):8599. **doi:**10.1038/s41598-021-88069-y
11. Romero Garavito A, Díaz Martínez V, Juárez Cortés E, Negrete Díaz JV, Montilla Rodríguez LM. Impact of physical exercise on the regulation of brain-derived neurotrophic factor in people with neurodegenerative diseases. Front Neurol. 2025;15:1505879. **pmid**: 39935805 **doi:** 10.3389/fneur.2024.1505879
12. Chai WJ, Abd Hamid AI, Abdullah JM. Working memory from the psychological and neurosciences perspectives: a review. Front Psychol. 2018;9:401. **pmid**: 29636715 **doi:** 10.3389/fpsyg.2018.00401
13. Chaire A, Becke A, Düzel E. Effects of physical exercise on working memory and attention-related neural oscillations. Front Neurosci. 2020;14:239. **pmid**: 32296302 **doi:** 10.3389/fnins.2020.00239
14. de Lima NS, De Sousa RAL, Amorim FT, Gripp F, Diniz e Magalhaes CO, Henrique Pinto S, et al. Moderate-intensity continuous training and high-intensity interval training improve cognition, and BDNF levels of middle-aged overweight men. Metab Brain Dis. 2022;37(2):463-71. **pmid**: 34762211 **doi:** 10.1007/s11011-021-00859-5
15. Azuma K, Osawa Y, Tabata S, Horisawa S, Katsukawa F, Ishida H, et al. Association of serum BDNF concentration with high-intensity interval training. Japanese Journal of Physical Fitness and Sports Medicine. 2015;64(2):227-32. **doi:**10.7600/jspfsm.64.227
16. Seifert T, Brassard P, Wissenberg M, Rasmussen P, Nordby P, Stallknecht B, et al. Endurance training enhances BDNF release from the human brain. Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol. 2010;298(2):R372-R7. **pmid**: 19923361 **doi:** 10.1152/ajpregu.00525.2009
17. Milioni F, Millet GY, de Poli RAB, Motta Pinheiro Brisola G, de Souza Malta E, Eduardo Redkva P, et al. Effects of 4-week high intensity interval training on anaerobic capacity, repeated-sprints performance and neuromuscular function. Sport Sci Health. 2024;20(3):1109-18. **doi:** 10.1007/s11332-024-01214-8
18. Kuswoyo DD, Lahinda J. The effects of high-intensity interval training (HIIT) in improving VO2 max football student activity unit, University of Musamus. Enfermería Clínica. 2020;30:507-11. **doi:** 10.1016/j.enfcli.2019.10.130
19. Veale JP, Pearce AJ, Carlson JS. The Yo-Yo intermittent recovery test (level 1) to discriminate elite junior Australian football players. J Sci Med Sport. 2010;13(3):329-31. **pmid**: 19451033 **doi:** 10.1016/j.jsams.2009.03.006
20. Bradley PS, Mascio MD, Bangsbo J, Krustrup P. The maximal and sub-maximal versions of the Yo-Yo intermittent endurance test level 2 are simply reproducible, sensitive and valid. Eur J Appl Physiol. 2012;112(5):1973-5. **pmid**: 21927831 **doi:** 10.1007/s00421-011-2155-1
21. Eskandari K, Bigdeli I, Mohammad Rezaei A, Fadaei A. Comparison of Working Memory and Response Inhibition in Methamphetamine-Dependent Individuals and Normal Individuals [in Persian]. Clinical Psychology Studies. 2016;6(21):62-74. **doi:** 10.22054/jcps.2016.2384
22. Harrison AG, Beal AL, Armstrong IT, Gallagher A. Measurement of Working Memory on the Wechsler Adult Intelligence Scale: Should We Subtract Arithmetic? Psychol. Inj. and Law. 2024;17(1):55-65. **doi:** 10.1007/s12207-024-09499-3
23. Atakan MM, Li Y, Koşar ŞN, Turnagöl HH, Yan X. Evidence-based effects of high-intensity interval training on exercise capacity and health: A review with historical perspective. Int J Environ Res Public Health. 2021;18(13):7201. **pmid**: 34281138 **doi:** 10.3390/ijerph18137201
24. Küçük H, Soyler M, Ceylan T, Ceylan L, ŞAHİN F. Effects of acute and chronic high-intensity interval training on serum irisin, BDNF and apelin levels in male soccer referees. Journal of Men's Health. 2024;20(2):120-5. **doi:**10.22514/jomh.2024.027
25. Boyne P, Meyrose C, Westover J, Whitesel D, Hatter K, Reisman DS, et al. Exercise intensity affects acute neurotrophic and neurophysiological responses poststroke. J Appl Physiol (1985). 2019;126(2):431-43. **pmid**: 30571289 **doi:** 10.1152/japplphysiol.00594.2018
26. Donato K, Ceccarini MR, Dhuli K, Bonetti G, Medori MC, Marceddu G, et al. Gene variants in eating disorders. Focus on anorexia nervosa, bulimia nervosa, and binge-eating disorder. J Prev Med Hyg. 2022;63(2 Suppl 3):E297. **pmid**: 36479493 **doi:** 10.15167/2421-4248/jpmh2022.63.2S3.2772
27. Hsu C-C, Fu T-C, Huang S-C, Chen CP-C, Wang J-S. Increased serum brain-derived neurotrophic factor with high-intensity interval training in stroke patients: a randomized controlled trial. Ann Phys Rehabil Med. 2021;64(4):101385. **pmid**: 32344098 **doi:** 10.1016/j.rehab.2020.03.010
28. Li P, Hu Y, Tong L, Bi X. High-intensity training on CREB activation for improving brain health: a narrative review of possible molecular talks. Front Endocrinol (Lausanne). 2025;15:1498495. **pmid**: 39902166 **doi:** 10.3389/fendo.2024.1498495

29. Jiménez-Maldonado A, Rentería I, García-Suárez PC, Moncada-Jiménez J, Freire-Royes LF. The impact of high-intensity interval training on brain derived neurotrophic factor in brain: a mini-review. Front Neurosci. 2018;12:839. **pmid**: 30487731 **doi:** 10.3389/fnins.2018.00839.
30. Qi J-y, Yang L-k, Wang X-s, Wang M, Li X-b, Feng B, et al. Mechanism of CNS regulation by irisin, a multifunctional protein. Brain Res Bull. 2022;188:11-20. **pmid**: 35850187 **doi:** 10.1016/j.brainresbull.2022.07.007.
31. Yuan S, Lin L, Liu L, Zhang X, Gu Q. A comparison of the acute effects of high intensity interval training and moderate intensity continuous training on working memory and emotional state in adolescent women with subthreshold depression. Front Public Health. 2025;13:1505959. **pmid**: 40008151 **doi:** 10.3389/fpubh.2025.1505959
32. Alves AR, Dias R, Neiva HP, Marinho DA, Marques MC, Sousa AC, et al. High-intensity interval training upon cognitive and psychological outcomes in youth: A systematic review. Int J Environ Res Public Health. 2021;18(10):5344. **pmid**: 34067861 **doi:** 10.3390/ijerph18105344
33. De la Rosa A, Solana E, Corpas R, Bartrés-Faz D, Pallàs M, Vina J, et al. Long-term exercise training improves memory in middle-aged men and modulates peripheral levels of BDNF and Cathepsin B. Sci Rep. 2019;9(1):3337. **pmid**: 30833610 **doi:** 10.1038/s41598-019-40040-8
34. Sebastião AM, Assaife-Lopes N, Diógenes MJ, Vaz SH, Ribeiro JA. Modulation of brain-derived neurotrophic factor (BDNF) actions in the nervous system by adenosine A2A receptors and the role of lipid rafts. Biochim Biophys Acta. 2011;1808(5):1340-9. **pmid**: 20603099 **doi:** 10.1016/j.bbamem.2010.06.028.
35. Blackmore DG, Schaumberg MA, Ziaei M, Belford S, To XV, O'Keeffe I, et al. Long-term improvement in hippocampal-dependent learning ability in healthy, aged individuals following high intensity interval training. Aging Dis. 2024;16(3):1732-54. **pmid**: 39012673 **doi:** 10.14336/AD.2024.0642
36. Konrad K, Firk C, Uhlhaas PJ. Brain development during adolescence: neuroscientific insights into this developmental period. Dtsch Arztebl Int. 2013;110(25):425-31. **pmid**: 23840287 **doi:** 10.3238/arztebl.2013.0425
37. Silva R, Damasceno M, Cruz R, Silva-Cavalcante M, Lima-Silva AE, Bishop D, et al. Effects of a 4-week high-intensity interval training on pacing during 5-km running trial. Braz J Med Biol Res. 2017;50(12):e6335. **pmid**: 29069224 **doi:** 10.1590/1414-431X20176335
38. Stöggl TL, Björklund G. High intensity interval training leads to greater improvements in acute heart rate recovery and anaerobic power as high volume low intensity training. Front Physiol. 2017;8: 562. **pmid**: 28824457 **doi:** 10.3389/fphys.2017.00562.
39. Lee M-C, Chung Y-C, Thenaka PC, Wang Y-W, Lin Y-L, Kan N-W. Effects of different HIIT protocols on exercise performance, metabolic adaptation, and fat loss in middle-aged and older adults with overweight. Int J Med Sci. 2024;21(9):1689-700. **pmid**: 39006847 **doi:** 10.7150/ijms.96073.
40. Farland CV, Schuette J, Foster C, Porcari JP, Doberstein ST, Harbin M, et al. The effects of high intensity interval training versus steady state training on aerobic and anaerobic capacity. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2015;47(5S):133.