Journal of Sport and Exercise Physiology
2026, 19(3)

Original Article

Effect of 12 weeks of high-intensity interval training (HIIT) and high-intensity functional training (HIFT) on serum levels of adipocytokines and insulin resistance in overweight middle-aged men

Hasan Naghizadeh [1*], Zahra Hemati Farsani [1], Asma Soleimani [2]

1. Department of Sport Sciences, Ardakan University, P.O. Box 184, Ardakan, Iran.

2. Department of Sports Science, Faculty of Literature and Humanities, Ilam University, Ilam, Iran.

Abstract

Background and Purpose: Considering the role of adipocytokines and glycemic indices in the pathogenesis of obesity, insulin resistance, and metabolic diseases, the investigation of effective exercise interventions is of great clinical importance. Comparing the effects of exercise training provides the necessary and valid scientific evidence for selecting the most efficient and effective training pattern in improving inflammatory and metabolic profiles. Therefore, the present study aimed to investigate the effect of 12 weeks of high-intensity interval training (HIIT) and high-intensity functional training (HIFT) on serum levels of adipocytokines (resistin, leptin, and adiponectin) and insulin resistance in overweight middle-aged men.

Materials and Methods: The research method is semi-experimental and applied, which was conducted with a pre-test and post-test design with a control group. Thus, 45 overweight middle-aged men (mean age 38.47 ± 4.67 years and body mass index 27.74 ± 1.51 kg/m^2) who met the inclusion criteria and had signed the informed consent form to participate in the present study were selected through simple random sampling and randomly divided into three groups: high-intensity interval training (HIIT), high-intensity functional training (HIFT), and control. The HIIT and HIFT training interventions were performed for 12 weeks with three sessions per week. Blood samples were taken at pre-test and 48 hours after the last training session to measure serum levels of adipocytokines (resistin, leptin, and adiponectin) and insulin resistance. Data were analyzed using repeated measures analysis of variance, analysis of covariance, and Bonferroni post hoc test at a significance level of $p \leq 0.05$.

Results: The results showed that serum levels of resistin in HIIT (P=0.010, 4.37%) and HIFT (P=0.0001, 5.23%), and serum levels of leptin in HIIT (P=0.0001, 5.43%) and HIFT (P=0.0001, 5.97%) were significantly decreased. However, serum adiponectin levels were significantly increased in HIIT (P=0.002, 29.64%) and HIFT (P=0.0001, 34.51%). Insulin resistance index decreased significantly in HIIT (P=0.0001, 30.13%) and HIFT (P=0.037, 33.10%). There was a significant difference between the HIIT and HIFT groups and the control group in the above variables ($p<0.05$).

Conclusion: In general, the results of training interventions show that functional training patterns are more effective in simultaneously improving adipose tissue and glucose profiles, such that changes in serum levels of resistin, adiponectin, and leptin, as well as insulin resistance, are directed in a favorable metabolic direction, and such conditions lead to the modulation of inflammatory responses in overweight individuals.Therefore, HIFT can be proposed as a more efficient training strategy to improve metabolic status and reduce the risk of obesity-related outcomes.

Keywords: HIIT, HIFT, Adipose tissue, Inflammation, Overweight.

نسخه پیش انتشار

How to cite this article: Naghizadeh, H., Hemati Farsani, Z., Soleimani, A. Effect of 12 Weeks of High-Intensity Interval Training (HIIT) and High-Intensity Functional Training (HIFT) on Serum Levels of Adipocytokines and Insulin Resistance in Overweight Middle-Aged Men.
J Sport Exerc Physiol. 2026;19(3):?-?.

*Corresponding Author's E-mail: naghizadeh2011@ardakan.ac.ir

https://doi.org/10.48308/joeppa.2026.245828.1490

Received: 00/00/2025 Revised: 00/00/2025 Accepted: 00/00/2025
Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

نسخه پیش انتشار

نشریهٔ فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی

۱۴۰۵، دورهٔ ۱۹، شمارهٔ ۳، صفحه‌های ؟-؟

مقالهٔ پژوهشی

تاثیر ۱۲ هفته تمرین تناوبی شدید (HIIT) و تمرین عملکردی با شدت بالا (HIFT) بر سطوح سرمی آدیپوسیتوکین‌ها و مقاومت به انسولین در مردان میانسال دارای اضافه وزن

حسن نقی‌زاده*[۱]، زهرا همتی فارسانی[۱]، اسما سلیمانی[۲]

۱. گروه علوم ورزشی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران.
۲. گروه علوم ورزشی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

چکیده

زمینه و هدف: با توجه به نقش آدیپوسیتوکین‌ها و شاخص‌های گلایسمیک در پاتوژنز چاقی، مقاومت به انسولین و بیماری‌های متابولیک، بررسی مداخلات ورزشی مؤثر از اهمیت بالینی بالایی برخوردار است. مقایسه اثرات تمرینات ورزشی شواهد علمی لازم و معتبر را برای انتخاب کارآمدترین و موثرترین الگوی تمرینی در بهبود پروفایل التهابی و متابولیکی فراهم می‌کند. بنابراین، هدف از پژوهش حاضر بررسی تاثیر ۱۲ هفته تمرین تناوبی شدید (HIIT) و تمرین عملکردی با شدت بالا (HIFT) بر سطوح سرمی آدیپوسیتوکین‌ها (رزیستین، لپتین و آدیپونکتین) و مقاومت به انسولین در مردان میانسال دارای اضافه وزن بود.
مواد و روش‌ها: روش پژوهش نیمه تجربی و کاربردی است که با طرح پیش آزمون و پس آزمون با گروه کنترل انجام شد. بدین ترتیب، ۴۵ مرد میانسال دارای اضافه وزن (میانگین سن ۴/۶۷ ± ۳۸/۴۷ سال و شاخص توده بدنی ۱/۵۱ ± ۲۷/۷۴ کیلوگرم بر مترمربع) که معیارهای ورود به مطالعه را داشتند و فرم رضایت‌نامه آگاهانه برای شرکت در پژوهش حاضر را امضا کرده بودند، از طریق نمونه‌گیری تصادفی ساده انتخاب و به طور تصادفی به سه گروه تمرین تناوبی شدید (HIIT)، تمرین عملکردی با شدت بالا (HIFT) و کنترل تقسیم شدند. مداخله تمرین HIIT و HIFT به مدت ۱۲ هفته و سه جلسه در هفته اجرا شد. نمونه‌های خون در پیش آزمون و ۴۸ ساعت بعد از آخرین جلسه تمرین به منظور سنجش سطوح سرمی آدیپوسیتوکین‌ها (رزیستین، لپتین و آدیپونکتین) و مقاومت به انسولین گرفته شد. داده‌ها با استفاده از آزمون‌های تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر، آزمون تحلیل کوواریانس و آزمون تعقیبی بونفرونی در سطح معنی‌داری $p\leq ۰/۰۵$ تجزیه و تحلیل شدند.
نتایج: نتایج نشان داد که سطوح سرمی رزیستین در HIIT (P=۰/۰۱۰، ۴/۳۷ درصد) و در HIFT (P=۰/۰۰۰۱، ۵/۲۳ درصد)؛ سطوح سرمی لپتین در HIIT (P=۰/۰۰۰۱، ۵/۴۳ درصد) و در HIFT (P=۰/۰۰۰۱، ۵/۹۷ درصد) به طور معنی‌داری کاهش داشتند. با این حال، سطوح سرمی آدیپونکتین در HIIT (P=۰/۰۰۲، ۲۹/۶۴ درصد) و در HIFT (P=۰/۰۰۰۱، ۳۴/۵۱ درصد) به طور معنی‌داری افزایش یافت. شاخص مقاومت به انسولین در HIIT (P=۰/۰۰۰۱، ۳۰/۱۳ درصد) و در HIFT (P=۰/۰۳۷، ۳۳/۱۰ درصد) به طور معنی‌داری کاهش داشت. بین گروه HIIT و HIFT با گروه کنترل در متغیرهای فوق تفاوت معنی‌داری مشاهده شد ($p<۰/۰۵$). **نتیجه‌گیری:** به طور کلی، نتایج مداخلات تمرینی نشان می‌دهد که الگوهای تمرینی عملکردی در بهبود همزمان بافت چربی و پروفایل گلوکز مؤثرتر هستند، به طوری که تغییرات در سطوح سرمی رزیستین، آدیپونکتین و

لپتین و همچنین مقاومت به انسولین در جهت متابولیکی مطلوب هدایت می‌شوند و چنین شرایطی منجر به تعدیل پاسخ‌های التهابی در افراد دارای اضافه‌وزن می‌گردد. بنابراین، HIFT می‌تواند به عنوان یک استراتژی تمرینی کارآمدتر برای بهبود وضعیت متابولیک و کاهش خطر پیامدهای مرتبط با چاقی پیشنهاد شود.

واژه‌های کلیدی: HIIT، HIFT، بافت چربی، التهاب، اضافه وزن.

نحوهٔ استناد به این مقاله: نقی‌زاده ح، همتی فارسانی ز، سلیمانی ا. تاثیر ۱۲ هفته تمرین تناوبی شدید (HIIT) و تمرین عملکردی با شدت بالا (HIFT) بر سطوح سرمی آدیپوسیتوکین‌ها و مقاومت به انسولین در مردان میانسال دارای اضافه وزن. نشریهٔ فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی. ۱۴۰۵؛۱۹(۳):؟-؟.

* رایانامهٔ نویسندهٔ مسئول naghizadeh2011@ardakan.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۰/۰۰ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۰/۰۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۰/۰۰

مقدمه

اضافه‌وزن بر اساس شاخص توده بدنی(BMI) به صورت مقادیر ۲۵ تا کمتر از ۳۰ کیلوگرم بر متر مربع تعریف می‌شود. شواهد اپیدمیولوژیک نشان می‌دهد که شیوع جهانی اضافه‌وزن و چاقی طی چهار دهه اخیر بیش از دو برابر شده و در سال ۲۰۲۲ حدود ۴۳ درصد از جمعیت بزرگسال جهان را دربر گرفته است. اگرچه روند افزایش این پدیده در برخی کشورهای با درآمد بالا تا حدی کند شده است، اما در کشورهای با درآمد کم و متوسط همچنان روندی صعودی داشته و حدود دو سوم افراد مبتلا به چاقی در این کشورها زندگی می‌کنند (۱). افزایش شیوع اضافه‌وزن در مردان میانسال به‌عنوان یکی از پیامدهای سبک زندگی کم‌تحرک و تغییرات متابولیکی وابسته به سن، به یک مسئله مهم در حوزه سلامت عمومی تبدیل شده است. این وضعیت نه‌تنها با افزایش خطر ابتلا به دیابت نوع ۲ و بیماری‌های قلبی–عروقی همراه است، بلکه با اختلال در هموستاز گلوکز، کاهش حساسیت انسولینی و تغییر در شبکه‌های سیگنال‌دهی هورمونی نیز ارتباط مستقیم دارد (۲, ۳). در این دوره سنی، کاهش تدریجی توده عضلانی فعال، افزایش چربی احشایی و تغییر در عملکرد بافت چربی، زمینه‌ساز اختلالات گلایسیمیک حتی در غیاب تشخیص بالینی دیابت می‌شود؛ شرایطی که اغلب به‌صورت مقاومت به انسولین پنهان بروز می‌یابد (۴-۶). در دهه‌های اخیر، بافت چربی به‌عنوان یک اندام اندوکرین فعال شناخته شده است که از طریق ترشح آدیپوسیتوکین‌هایی مانند لپتین، آدیپونکتین و رزیستین نقش مهمی در تنظیم متابولیسم گلوکز، حساسیت به انسولین و پاسخ‌های التهابی ایفا می‌کند (۷). برهم خوردن تعادل این آدیپوسیتوکین‌ها در افراد دارای اضافه‌وزن، یکی از مکانیسم‌های کلیدی پیونددهنده چاقی و مقاومت به انسولین محسوب می‌شود (۸, ۹). در این میان، افزایش مزمن لپتین و بروز مقاومت به لپتین با اختلال در سیگنال‌دهی انسولین و افزایش التهاب همراه است، در حالی‌که کاهش آدیپونکتین موجب کاهش اکسیداسیون اسیدهای چرب، کاهش برداشت گلوکز در عضله اسکلتی و تشدید مقاومت به انسولین می‌شود (۸, ۹). همچنین افزایش رزیستین با فعال‌سازی مسیرهای التهابی و اختلال در عملکرد انسولین در بروز اختلالات گلایسیمیک نقش دارد (۱۰).

فعالیت بدنی منظم یکی از مؤثرترین مداخلات غیردارویی برای بهبود پروفایل آدیپوسیتوکینی و شاخص‌های گلایسیمیک شناخته می‌شود. با این حال، شواهد نشان می‌دهد که پایبندی به تمرینات هوازی سنتی با شدت متوسط، به‌ویژه در مردان

[1] Body mass index

میانسال، اغلب پایین است (۱۱). این مسئله موجب توجه فزاینده به الگوهای تمرینی کوتاه‌مدت اما شدت بالا شده است. تمرین تناوبی شدید[1](HIIT) به عنوان یکی از این رویکردها، به دلیل کارایی زمانی بالا و توانایی القای سازگاری‌های متابولیکی قابل‌توجه، مورد استقبال پژوهشگران قرار گرفته است. مطالعات متعددی گزارش کرده‌اند که HIIT می‌تواند موجب بهبود حساسیت انسولینی، کاهش مقاومت به انسولین و تعدیل برخی آدیپوسیتوکین‌ها شود، حتی زمانی که حجم کل تمرین نسبتاً پایین است (۱۲). با وجود این، HIIT کلاسیک معمولاً بر فعالیت‌های تکراری و تک‌بعدی مانند دویدن یا دوچرخه‌سواری متمرکز است و درگیری عضلانی آن محدود به گروه‌های عضلانی خاص می‌باشد. در مقابل، تمرین عملکردی با شدت بالا[2] (HIFT)به‌عنوان رویکردی نوین، ترکیبی از حرکات چندمفصلی، درگیری گسترده عضلات اسکلتی و مؤلفه‌های قدرتی–هوازی را در قالب شدت بالا ارائه می‌دهد. این ویژگی‌ها موجب می‌شود HIFT علاوه بر ایجاد استرس متابولیکی شدید، بار مکانیکی و عصبی–عضلانی متفاوتی نسبت به HIIT اعمال کند. چنین تفاوت‌هایی می‌تواند به پاسخ‌های هورمونی، التهابی و متابولیکی متمایزی منجر شود که لزوماً با یافته‌های HIIT قابل تعمیم نیست (۱۳). در سال‌های اخیر، شواهد متعددی اثر تمرینات تناوبی با شدت بالا را بر بهبود شاخص‌های متابولیک و حساسیت انسولینی تأیید کرده‌اند. در یک مرور نظام‌مند و متاآنالیز توسط ربلو[3]و همکاران (۲۰۲۳) مشخص شد که تمرینات ورزشی (به‌ویژه HIIT و MICT) موجب بهبود معنی‌دار در برداشت گلوکز وابسته به انسولین و افزایش حساسیت انسولینی در بزرگسالان می‌شوند، بدون تفاوت چشمگیر بین شدت‌های مختلف تمرین مشاهده شود (۱۴). همچنین، در متاآنالیز دیگری توسط انگین[4]و همکاران (۲۰۲۲) گزارش شد که تمرینات ورزشی منظم موجب بهبود حساسیت انسولینی در بافت چربی و کاهش مقاومت انسولینی می‌شوند، که این اثرات با تغییر در عملکرد آدیپوسیت‌ها و سیگنال‌دهی متابولیک مرتبط است. این یافته‌ها نشان می‌دهد که بافت چربی به‌عنوان یک اندام فعال متابولیکی، به شدت به مداخلات تمرینی پاسخ می‌دهد (۱۵). در زمینه آدیپوسیتوکین‌ها نیز، مرور نظام‌مند کالینز و کراوس[5](۲۰۲۲) نشان داد که شدت و نوع تمرین می‌تواند بر تنظیم لپتین، آدیپونکتین و سایر نشانگرهای التهابی تأثیر بگذارد، اگرچه پاسخ‌ها در مطالعات مختلف ناهمگون بوده و به نوع پروتکل تمرینی وابسته است(۶). این ناهمگونی نشان می‌دهد که هنوز درک دقیقی از تفاوت اثر انواع تمرین بر محور آدیپوسیتوکین‌ها وجود ندارد. با وجود شواهد موجود درباره اثر تمرینات HIIT بر شاخص‌های متابولیک و حساسیت انسولینی، اغلب مطالعات بر پروتکل‌های کلاسیک هوازی متمرکز بوده و نقش تمرین HIFT کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین، بیشتر پژوهش‌ها تنها یک یا دو شاخص متابولیکی را ارزیابی کرده‌اند و بررسی همزمان آدیپوسیتوکین‌های کلیدی مانند لپتین، آدیپونکتین و رزیستین در کنار شاخص‌های گلایسیمیک به نظر می‌رسد، محدود بوده است. افزون بر این، مطالعات مقایسه‌ای مستقیم بین HIIT و HIFT در مردان میانسال دارای اضافه‌وزن نیاز به بررسی بیشتری دارد. بنابراین، خلأ اصلی موجود در ادبیات، نبود شواهد کافی درباره تفاوت اثر این دو نوع تمرین بر پاسخ‌های همزمان آدیپوسیتوکینی و شاخص‌های گلایسیمیک در این جمعیت هدف است.

از این رو، بنا به ضرورت انجام پژوهش‌های گسترده در این زمینه و شناخت سازوکارهای دخیل، پژوهش حاضر با هدف مقایسه اثر ۱۲ هفته تمرین HIIT و تمرین HIFT بر سطوح سرمی آدیپوسیتوکین‌ها (رزیستین، آدیپونکتین و لپتین) و شاخص‌های گلایسیمیک (مقاومت به انسولین و حساسیت انسولینی) در مردان میانسال دارای اضافه‌وزن به مرحله اجرا درآمد تا احتمالا با دستیابی به نتایج کاربردی بتوان برای پژوهش‌های آتی ازآن بهره گرفت.

[1]high-intensity interval training
[2]high-intensity functional training
[3]Rebello
[4]Engin
[5]Collins & Kraus

روش پژوهش

نمونه‌های پژوهش: روش پژوهش از نوع نیمه تجربی و کاربردی است که با طرح پیش آزمون و پس آزمون با گروه کنترل انجام شد. معیارهای ورود به تحقیق عبارت بودند از عدم ابتلا به بیماری‌های مفصلی، بیماری‌های قلبی و عروقی، کلیوی، پرفشار خونی، تیروئیدی، BMI بین ۲۵ تا ۲۹/۹۹ کیلوگرم بر متر مربع، ، عدم تبعیت از رژیم غذایی خاص، عدم مصرف دخانیات و مشروبات الکلی و نداشتن سابقه شرکت در فعالیت ورزشی منظم طی شش ماه قبل از مطالعه بود. معیارهای خروج از مطالعه شامل شرکت در تمرینات بدنی دیگر در طول مطالعه، تغییر رژیم غذایی، آسیب دیدگی حین تمرین، غیبت بیش از سه جلسه در برنامه تمرین و ابتلا به بیماری‌های خاص یا سایر بیماری‌های منع کننده فعالیت بدنی در طول مطالعه بود.

روش اجرای پژوهش: پس از اعلام فراخوان از طریق پیام رسان‌های مجازی، نصب و پخش آگهی در جمعیت‌های مختلف شهر یزد و اطلاع رسانی در مورد تحقیق، ۱۹۸ نفر داوطلب، ثبت نام شدند. حجم نمونه با استفاده از نرم افزار جی پاور[1] با آلفای ۰/۰۵، توان ۰/۸، میزان و اندازه اثر ۰/۷۰، ۳۹ نفر تعیین شد که با توجه به احتمال ریزش آزمودنی‌ها در طول مطالعه، تعداد ۴۵ نفر آزمودنی در تحقیق شرکت داشتند که یک نفر در گروه کنترل به دلیل عدم رعایت پروتکل‌های توصیه شده (شرکت در تمرینات بدنی) از تحقیق خارج شد. قبل از شروع مطالعه، همه شرکت کنندگان در یک جلسه توجیهی شرکت کردند و به تمام شرکت کنندگان بیان شد که نتایج مطالعه صرفاً برای اهداف پژوهشی است و شرکت در مطالعه کاملاً اختیاری می‌باشد. آزمودنی‌ها پس از آشنایی با اهداف و روش اجرای تحقیق، فرم رضایت کتبی حضور در تحقیق و سپس پرسشنامه‌های مربوطه که شامل مشخصات فردی، سوابق پزشکی و ورزشی بودند را تکمیل کردند. بر اساس نتایج این پرسشنامه‌ها، آزمودنی‌ها فاقد هرگونه بیماری‌های قلبی- عروقی، مفصلی، متابولیکی و کلیوی بودند. همچنین با تکمیل پرسشنامه یادآمد غذایی، یک هفته قبل از شروع مطالعه، مشخص شد که آزمودنی‌ها سابقه مصرف داروهای خاص و یا مکمل‌های غذایی و دارویی؛ ندارند. پس از آشنایی با کلیات اجرای طرح (آشنایی با برنامه تمرینی، وسایل و تجهیزات تمرینی، آزمون‌ها و تکمیل فرم‌های ثبت یادآمد غذایی)؛ آزمودنی‌ها به طور تصادفی در سه گروه شامل گروه HIIT (۱۵ نفر)، HIFT (۱۵ نفر) و کنترل (۱۵ نفر) تقسیم شدند. قبل از شروع مداخله، از همه شرکت کنندگان خواسته شد که در طول مطالعه، از هرگونه تغییر در رژیم غذایی روزانه و شرکت در برنامه‌های تمرینی دیگر خودداری نمایند. آزمودنی‌ها همچنین پرسشنامه یادآمد غذایی ۲۴ ساعته را (یک روز اول هفته و یک روز آخر هفته) قبل و بعد از مداخله، تکمیل کردند.

قد و وزن با استفاده از ترازوی دنا توزین ساخت ایران مدل DT102H مجهز به قدسنج با دقت ۰/۵ سانتی متر و ۲۰ گرم؛ بدون کفش و جوراب با حداقل لباس و بعد از هشت ساعت ناشتائی اندازه‌گیری شد. شاخص توده بدن و درصد چربی بدن با استفاده از دستگاه تجزیه و تحلیل ترکیبات بدن مدیگیت[2]مدل BOCAX1 ساخت کره جنوبی اندازه‌گیری شد.

جهت اندازه‌گیری حداکثر اکسیژن مصرفی[3]ابتدا آزمودنی‌ها با نحوه‌ی دویدن بر روی نوارگردان آشنا شدند. در ادامه VO2max با استفاده از برنامه استاندارد آزمون بروس سنجش شد. با توجه به اینکه آزمودنی‌های این پژوهش مردان غیرفعال بودند از فرمول زیر برای برآورد VO2max استفاده شد (۱۶):

VO_2max =۱۴/۷۶ - (۱/۳۷۹-زمان) + (۰/۴۵۱×زمان^2) - (۰/۰۱۲×زمان^3) (میلی لیتر برکیلوگرم در دقیقه)

[1] G power
[2] Medgate
[3] VO2max

برنامه HIIT بر اساس طرحی از مطالعه آتابای- ارسلان[1]و همکاران (۲۰۲۶) (۱۶) تحت نظارت محقق مطابق جدول ۱، سه روز در هفته (یکشنبه، سه‌شنبه و پنجشنبه)، هر روز به مدت ۲۴ تا ۳۲ دقیقه در هر جلسه، طی ۱۲ هفته و در مجموع ۳۶ جلسه انجام شد. در این مطالعه، یک پروتکل HIIT پیشرونده با شدت بارگذاری تدریجی افزایشی اعمال شد(جزئیات در جدول یک). بخش اصلی تمرین در طول هفته‌های اول تا چهارم به مدت ۱۲ دقیقه (۳۰ ثانیه تمرین،۶۰ ثانیه استراحت × ۳ تکرار با ۲ نوبت) با شدت ۸۵ تا ۹۰ درصد ضربان قلب ذخیره[2](HRR)، در طول هفته‌های پنجم تا هشتم ۱۸ دقیقه (۳۰ ثانیه تمرین،۶۰ ثانیه استراحت × ۵ تکرار با ۲ نوبت) و در طول هفته‌های نهم تا دوازدهم ۲۱ دقیقه (۳۰ ثانیه تمرین، ۶۰ ثانیه استراحت × ۶ تکرار با ۲ نوبت) اجرا شد. استراحت فعال بین تکرارها ۶۰ ثانیه با شدت ۵۰ تا ۶۰ درصد HRR و استراحت فعال بین نوبت‌ها ۱۸۰ ثانیه با شدت ۴۰ تا ۵۰ درصد HRR بود. در ابتدای هر جلسه، ۳ دقیقه گرم کردن با رکاب زدن (سرعت ۱۷-۱۳ کیلومتر بر ساعت/ ۳۴-۴۰ دور در دقیقه) و ۳ دقیقه سرد کردن با فعالیتی مشابه با گرم کردن در پایان هر جلسه، در کل زمان تمرین لحاظ شد. تمامی شرایط از قبیل درجه حرارت محیط، زمان اجرای تمرین و طول دوره؛ برای آزمودنی‌ها یکسان بود.

جدول ۱. جزئیات برنامه تمرینی تناوبی شدید (HIIT)

هفته‌ها	شکل تمرین	زمان	شدت	تکرارها	نوبت	استراحت بین تکرارها	استراحت بین نوبت‌ها
اول تا چهارم	رکاب زدن روی دوچرخه	۳۰ ثانیه	۸۵-۹۰ % HRR	۳	۲	۶۰ ثانیه – فعال	۱۸۰ ثانیه – فعال
پنجم تا هشتم	رکاب زدن روی دوچرخه	۳۰ ثانیه	۸۵-۹۰ % HRR	۵	۲	۶۰ ثانیه – فعال	۱۸۰ ثانیه – فعال
نهم تا دوازدهم	رکاب زدن روی دوچرخه	۳۰ ثانیه	۸۵-۹۰ % HRR	۶	۲	۶۰ ثانیه – فعال	۱۸۰ ثانیه – فعال

*** HRR نشانه ضربان قلب ذخیره**

برنامه HIFT بر اساس الگویی از مطالعه ریواس-کامپو[3](۲۰۲۳) طراحی شد (۱۷). پروتکل HIFT مطابق جدول ۲، به مدت ۱۲ هفته، سه جلسه در هفته (یکشنبه، سه‌شنبه و پنجشنبه) و مدت زمان ۳۸ تا ۴۴ دقیقه برای هر جلسه انجام شد. برنامه تمرینی شامل سه مرحله بود: مرحله اول، گرم کردن به مدت ۱۰ دقیقه که عمدتاً شامل تمرینات تحرک مفاصل بود؛ مرحله دوم، یک مرحله ۱۸ تا ۲۴ دقیقه‌ای دربرگیرنده عضلات مرکزی بدن که به چهار بازه زمانی تقسیم می‌شد، که در آن آزمودنی‌ها تمریناتی را با شدت ۸۰ تا ۸۵ درصد HRR خود انجام دادند که شامل حرکات کرانچ[4]دوچرخه ایستاده، شنا سوئدی در حالت ایستاده با دیوار، اسکات با صندلی و پرتاب توپ به دیوار در حین انجام لانگز[5]جانبی و جلویی بود. هر تمرین به مدت ۳۰ ثانیه و با حداکثر سرعت ممکن انجام شد و از هرگونه ضربه به مفاصل جلوگیری به عمل آمد (کوبیدن کف پا به زمین ممنوع بود). سپس، آزمودنی قبل از تکرار تمرین، ۱۵ ثانیه استراحت فعال با شدت ۶۰ تا ۷۰ درصد HRR انجام دادند. مدت زمان هر حرکت تمرینی اینتروال در هفته‌های اول تا چهارم ۳ دقیقه، هفته‌های پنجم تا هشتم ۳ دقیقه و ۴۵ ثانیه و هفته‌های نهم تا دوازدهم ۴ دقیقه و ۳۰ ثانیه بود و ۳ دقیقه استراحت فعال با شدت ۵۰ تا ۶۰ درصد HRR بین حرکت‌های تمرینی در نظر گرفته شد که شامل فعالیت‌های پیاده‌روی جانبی به صورت متناوب با بالا بردن پاشنه، بالا بردن اندام فوقانی از طرفین و جلو و حرکات کششی مورب عملکردی با چرخش تنه بود. در نهایت، ۱۰ دقیقه سرد کردن با کشش عضلات و تکنیک‌های آرامش و تنفس انجام شد.

[1]Atabay Arslan
[2] Heart Rate Reserve
[3]Rivas-Campo
[4] Crunch
[5] Longs

نسخه پیش انتشار

جدول ۲. جزئیات برنامه تمرین عملکردی با شدت بالا (HIFT)

هفته‌ها	شکل تمرین	زمان	شدت	تکرارها	استراحت بین تکرارها	استراحت بین اینتروال حرکت-ها
اول تا چهارم	کرانچ دوچرخه ایستاده	۳۰ ثانیه	%۸۰-۸۵ HRR	۴	۱۵ثانیه - فعال	۱۸۰ ثانیه - فعال
	شنای سوئدی با دیوار	۳۰ ثانیه	%۸۰-۸۵ HRR	۴	۱۵ثانیه - فعال	۱۸۰ ثانیه - فعال
	اسکات با صندلی	۳۰ ثانیه	%۸۰-۸۵ HRR	۴	۱۵ثانیه - فعال	۱۸۰ ثانیه - فعال
	پرتاپ توپ به دیوار هنگام اجرای حرکت لانگز جانبی و جلویی	۳۰ ثانیه	%۸۰-۸۵ HRR	۴	۱۵ثانیه - فعال	۱۸۰ ثانیه - فعال
پنجم تا هشتم	کرانچ دوچرخه ایستاده	۳۰ ثانیه	%۸۰-۸۵ HRR	۵	۱۵ثانیه - فعال	۱۸۰ ثانیه - فعال
	شنای سوئدی با دیوار	۳۰ ثانیه	%۸۰-۸۵ HRR	۵	۱۵ثانیه - فعال	۱۸۰ ثانیه - فعال
	اسکات با صندلی	۳۰ ثانیه	%۸۰-۸۵ HRR	۵	۱۵ثانیه - فعال	۱۸۰ ثانیه - فعال
	پرتاپ توپ به دیوار هنگام اجرای حرکت لانگز جانبی و جلویی	۳۰ ثانیه	%۸۰-۸۵ HRR	۵	۱۵ثانیه - فعال	۱۸۰ ثانیه - فعال
نهم تا دوازدهم	کرانچ دوچرخه ایستاده	۳۰ ثانیه	%۸۰-۸۵ HRR	۶	۱۵ثانیه - فعال	۱۸۰ ثانیه - فعال
	شنای سوئدی با دیوار	۳۰ ثانیه	%۸۰-۸۵ HRR	۶	۱۵ثانیه - فعال	۱۸۰ ثانیه - فعال
	اسکات با صندلی	۳۰ ثانیه	%۸۰-۸۵ HRR	۶	۱۵ثانیه - فعال	۱۸۰ ثانیه - فعال
	پرتاپ توپ به دیوار هنگام اجرای حرکت لانگز جانبی و جلویی	۳۰ ثانیه	%۸۰-۸۵ HRR	۶	۱۵ثانیه - فعال	۱۸۰ ثانیه - فعال

* HRR نشانه ضربان قلب ذخیره

در تحقیق حاضر موازین اخلاقی حاکم بر پژوهش از جمله: رضایت آگاهانه، رازداری، رعایت حریم خصوصی آزمودنی‌ها، حراست آزمودنی‌ها در برابر فشارها، آسیب‌ها و خطرهای جسمی و روانی و آگاهی از نتیجه؛ رعایت شد. پژوهش حاضر دارای تاییدیه پژوهش با شناسه اخلاق IR.ARDAKAN.REC.1405.043 از دانشگاه اردکان می‌باشد.

روش‌های آزمایشگاهی: نمونه‌های خون در دو مرحله، در زمان پیش آزمون و ۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه تمرین در ساعت ۷/۳۰ صبح توسط متخصص علوم آزمایشگاهی از ورید پیش آرنجی در حالت نشسته به مقدار ۵ میلی لیتر بعد از ۱۲ ساعت ناشتایی اخذ گردید. نمونه‌های خونی در لوله‌های استریل ریخته شدند. نمونه‌های خونی به مدت ۱۰ دقیقه و ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شده و سرم حاصل جدا گردید. در ادامه، نمونه‌ها در دمای منفی ۷۰ درجه سانتی‌گراد برای آنالیزهای بعدی فریز گردید. شایان ذکر است، تمامی مراحل در شرایط یکسان و استاندارد، رطوبت ۶۰ درصد، دمای ۲۲-۲۰ درجه و ساعت ۸/۳۰-۷/۳۰ صبح انجام شد.

سطح سرمی رزیستین به روش آنزیم ایمنواسی از نوع ساندویچی با استفاده از کیت الایزای BioVendor, R&D, Cat. No. RD191016100، با حساسیت ۰/۰۱۲ نانوگرم بر میلی لیتر و ضریب تغییرات درون سنجی کمتر از ۷/۶ درصد و برون سنجی ۵/۹ درصد اندازه‌گیری شد.

سطح سرمی لپتین با استفاده از کیت الایزای Mercodia ZellBio GmbH (Germany) Cat. No: ZB-11559C-H9648، با حساسیت ۶/۵ نانوگرم بر میلی لیتر و ضریب تغییرات درون سنجی کمتر از ۱۲ درصد و برون سنجی ۱۰ درصد اندازه‌گیری شد.

سطح سرمی آدیپونکتین نیز با استفاده از کیت الایزای Phoenix Pharmaceuticals, Cat. No: EK-ADI-01 با حساسیت ۰/۱۵ نانوگرم بر میلی لیتر و و ضریب تغییرات درون سنجی کمتر از ۱۵ درصد و برون سنجی کمتر از ۱۰ درصد اندازه‌گیری شد.

برای محاسبه مقاومت به انسولین از روش ارزیابی مدل هموستازی (HOMA-IR)، مطابق فرمول زیر استفاده شد.

HOMA-IR = {انسولین ناشتا (μU/ml) × گلوکز خون ناشتا (mmol/l)} ÷ ۲۲/۵

تحلیل آماری: از آمار توصیفی برای محاسبه میانگین و انحراف معیار، آزمون شاپیرو-ویلک برای بررسی طبیعی بودن توزیع داده‌ها و از آزمون لون به منظور بررسی تجانس واریانس‌ها استفاده گردید. به منظور بررسی تغییرات درون گروهی از آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر و جهت مقایسه تفاوت‌های بین گروهی، از آزمون تحلیل کوواریانس و آزمون تعقیبی بونفرونی استفاده شد. تجزیه و تحلیل کلیه محاسبات آماری با نرم افزار SPSS نسخه ۲۶ و در سطح معنی‌داری $p\leq$۰/۰۵؛ صورت گرفت.

نتایج

بر اساس نتایج آزمون شاپیرو-ویلک مشخص شد که داده‌ها دارای توزیع طبیعی هستند (P>۰/۰۵). مشخصات بدنی، ترکیب بدنی و فیزیولوژیکی آزمودنی‌ها در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد بین گروه‌ها در مرحله پیش آزمون در مشخصات ترکیب بدنی و فیزیولوژیکی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (P>۰/۰۵)، و گروه‌ها از این لحاظ همگن بودند. بین گروه‌ها از لحاظ انرژی دریافتی روزانه قبل و پس از مداخله تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (p>۰/۰۵). نتایج آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر در ارتباط با شاخص‌های ترکیب بدنی و VO_2max در جدول ۳ دلالت بر آن دارد که در گروه HIFT وزن بدن ۵/۶۸ درصد، شاخص توده بدن ۵/۹۳ درصد و چربی بدن ۵/۹۵ درصد کاهش معنی‌داری پیدا کردند که این کاهش در مقایسه با دو گروه دیگر بیشتر بود. تغییرات VO_2max در هر دو گروه HIIT (p= ۰/۰۰۱) و HIFT (p= ۰/۰۲۱) معنی‌دار بود و در این افزایش تفاوت معنی‌داری بین دو گروه وجود نداشت (P>۰/۰۵). در گروه HIIT شاخص VO_2max با ۱۵/۷۱ درصد در مقایسه با گروه HIFT با ۱۵/۱۵ درصد، بیشترین درصد تغییرات (افزایش) معنی‌دار را داشت. همچنین نتایج آزمون کوواریانس در جدول ۳ دلالت بر آن دارد که تفاوت معنی‌داری بین سه گروه در شاخص‌های وزن بدن (p= ۰/۰۰۱)، شاخص توده بدن (p= ۰/۰۱۱)، درصد چربی بدن (p= ۰/۰۲۱) و VO_2max (p= ۰/۰۰۰۱) وجود دارد. در ادامه، نتایج مقایسه جفتی گروه‌ها با استفاده از آزمون تعقیبی بونفرونی نشان داد که در شاخص وزن بدن بین گروه HIIT با گروه کنترل (p= ۰/۰۰۰۱) و بین گروه HIFT با گروه کنترل (p= ۰/۰۰۰۱) تفاوت معنی‌دار در جهت کاهش وجود داشت. در شاخص توده بدن بین گروه HIIT با گروه کنترل (p= ۰/۰۰۰۱) و بین گروه HIFT با گروه کنترل (p= ۰/۰۰۰۱) تفاوت معنی‌دار در جهت کاهش وجود داشت. در شاخص درصد چربی بدن بین گروه HIIT با گروه کنترل (p= ۰/۰۰۰۱)، بین گروه HIFT با گروه کنترل (p= ۰/۰۰۰۱) و بین گروه HIFT با گروه HIIT تفاوت معنی‌دار در جهت کاهش وجود داشت. در ارتباط با شاخص VO_2max تفاوت معنی‌دار در جهت افزایش بین گروه HIIT با گروه کنترل (p= ۰/۰۰۰۱) و بین گروه HIFT با گروه کنترل (p= ۰/۰۰۰۱) مشاهده شد.

جدول ۳. میانگین و انحراف معیار شاخص‌های بدنی، ترکیب بدنی و فیزیولوژیکی گروه‌های مورد مطالعه

متغیرها	مرحله	گروه‌ها			آماره	
		HIIT	HIFT	کنترل	F	p
سن (سال)	پیش از آزمون	۳۹/۷۱ ± ۴/۱۵	۳۷/۶۳ ± ۵/۲۶	۳۸/۰۷ ± ۴/۵۳	-	-
قد (سانتی‌متر)	پیش از آزمون	۱۷۷/۲۰ ± ۳/۳۶	۱۷۵/۱۴ ± ۴/۲۵	۱۷۴/۳۲ ± ۴/۱۱	-	-
وزن بدن (کیلوگرم)	پیش از آزمون	۸۵/۲۶ ± ۳/۱۷	۸۶/۱۲ ± ۳/۲۲	۸۳/۹۵ ± ۴/۳۰	۱/۶۵	۰/۲۴۴
	پس از آزمون	۸۱/۵۴ ± ۴/۶۱	۸۱/۲۳ ± ۳/۱۰	۸۴/۵۲ ± ۴/۳۳	۴۶/۱۳	۰/۰۰۱$^{\eta}$
	درصد تغییرات	-۴/۳۶*	-۵/۶۸*	۰/۶۸		
شاخص توده بدن	پیش از آزمون	۲۷/۳۴ ± ۲/۰۴	۲۸/۱۶ ± ۱/۳۲	۲۷/۷۱ ± ۱/۱۸	۱/۲۱	۰/۷۱۳

(کیلوگرم/مترمربع)	پس از آزمون	۲۵/۹۷ ± ۱/۸۹	۲۶/۴۹ ± ۱/۱۴	۲۷/۹۶ ± ۱/۱۹	۵۱/۲۴	۰/۰۱۱$^{\eta}$
	درصد تغییرات	-۵/۰۱*	-۵/۹۳*	۰/۹۰		
چربی بدن (درصد)	پیش از آزمون	۲۸/۴۱ ± ۳/۰۵	۲۹/۲۳ ± ۳/۶۲	۲۷/۷۷ ± ۲/۷۰	۲/۷۰	۰/۵۱۰
	پس از آزمون	۲۷/۱۰ ± ۲/۸۷	۲۷/۴۹ ± ۳/۵۱	۲۷/۹۱ ± ۲/۷۵	۹۰/۲۹	۰/۰۲۱$^{\eta}$
	درصد تغییرات	-۴/۶۱*	-۵/۹۵*	۰/۵۰		
VO_2max (میلی لیتر/کیلوگرم/دقیقه)	پیش از آزمون	۳۲/۷۱ ± ۴/۶۳	۳۰/۸۳ ± ۵/۱۹	۳۲/۵۴ ± ۴/۷۱	۰/۷۱	۰/۱۳۰
	پس از آزمون	۳۷/۸۵ ± ۵/۳۳	۳۵/۵۰ ± ۶/۴۷	۳۲/۱۳ ± ۴/۶۳	۸۱/۶۵	۰/۰۰۰۱$^{\eta}$
	درصد تغییرات	۱۵/۷۱*	۱۵/۱۵*	-۱/۲۶		

*** نشانه تفاوت معنی‌دار درون گروها در سطح p< ۰/۰۵. $^{\eta}$ نشانه تفاوت معنی‌دار بین گروها در سطح p< ۰/۰۵.**

نتایج آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر در جدول ۴ دلالت بر آن دارد که بیشترین درصد تغییرات (کاهش) معنی‌دار در مقادیر رزیستین (۵/۲۳ درصد)، لپتین (۵/۹۷ درصد) و مقاومت به انسولین (۳۳/۱۰ درصد)؛ و بیشترین درصد تغییرات (افزایش) معنی‌دار در مقادیر آدیپونکتین (۳۴/۵۱ درصد) از پیش آزمون تا پس آزمون، به گروه HIFT اختصاص دارد. همچنین در گروه HIIT رزیستین (۴/۳۷ درصد)، لپتین (۵/۴۳ درصد) و مقاومت به انسولین (۳۰/۱۳ درصد) کاهش معنی‌دار؛ و آدیپونکتین (۲۹/۶۴ درصد) افزایش معنی‌دار، داشتند. نتایج آزمون کوواریانس در پس آزمون در جدول ۴ حاکی از آن است که تفاوت معنی‌داری بین سه گروه از لحاظ میانگین‌های رزیستین (p= ۰/۰۱۰)، لپتین (p= ۰/۰۰۲)، آدیپونکتین (p= ۰/۰۰۱) و مقاومت به انسولین (p= ۰/۰۰۰۱) وجود داشت. در ادامه، نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی نشان داد که بین هر دو گروه HIIT و HIFT با گروه کنترل از لحاظ متغیرهای رزیستین، لپتین و مقاومت به انسولین در جهت کاهش و از لحاظ متغیر آدیپونکتین در جهت افزایش، تفاوت معنی‌داری وجود داشت (p< ۰/۰۵).

جدول ۴. مقایسه و نتایج درون و بین گروهی متغیرهای رزیستین، لپتین، آدیپونکتین و مقاومت به انسولین

متغیر	مرحله	گروه			نتایج بین گروهی آزمون یک راهه و بونفرونی		
		HIIT	HIFT	کنترل	sig	مقایسه جفتی	sig
رزیستین (ng/ml)	پیش آزمون	۵/۰۴ ± ۱/۲۵	۴/۹۷ ± ۱/۱۶	۵/۱۰ ± ۱/۰۷	۰/۱۳۳	HIIT با کنترل	۰/۰۱۱*
	پس آزمون	۴/۸۲ ± ۱/۲۲	۴/۷۱ ± ۱/۱۲	۵/۱۴ ± ۱/۰۸	۰/۰۱۰*	HIFT با کنترل	۰/۰۰۱*
	درصد تغییرات	-۴/۳۷	-۵/۲۳$^{\eta}$	۰/۷۸			
لپتین (ng/ml)	پیش آزمون	۷/۹۱ ± ۱/۵۴	۸/۰۴ ± ۱/۷۹	۸/۰۹ ± ۱/۳۳	۰/۲۵۴	HIIT با کنترل	۰/۰۰۱*
	پس آزمون	۷/۴۸ ± ۱/۴۴	۷/۵۶ ± ۱/۶۳	۸/۱۴ ± ۱/۳۷	۰/۰۰۲*	HIFT با کنترل	۰/۰۰۲*
	درصد تغییرات	-۵/۴۳$^{\eta}$	-۵/۹۷$^{\eta}$	۰/۶۲			
آدیپونکتین (ng/ml)	پیش آزمون	۱۱/۲۷ ± ۲/۶۳	۱۱/۳۶ ± ۲/۴۷	۱۰/۹۷ ± ۲/۱۸	۰/۱۹۰	HIIT با کنترل	۰/۰۰۰۱*
	پس آزمون	۱۴/۶۱ ± ۲/۷۸	۱۵/۲۸ ± ۲/۵۹	۱۰/۹۱ ± ۲/۱۶	۰/۰۰۱*	HIFT با کنترل	۰/۰۰۰۱*
	درصد تغییرات	۲۹/۶۴$^{\eta}$	۳۴/۵۱$^{\eta}$	-۰/۵۵			
مقاومت به انسولین	پیش آزمون	۳/۰۲ ± ۰/۸۲	۲/۸۷ ± ۰/۷۳	۲/۹۶ ± ۰/۷۸	۰/۳۰۸	HIIT با کنترل	۰/۰۰۰۱*
	پس آزمون	۲/۱۱ ± ۰/۷۶	۱/۹۲ ± ۰/۶۹	۳/۰۵ ± ۰/۷۹	۰/۰۰۰۱*	HIFT با کنترل	۰/۰۰۰۱*
	درصد تغییرات	-۳۰/۱۳$^{\eta}$	-۳۳/۱۰$^{\eta}$	۳/۰۴			

*** تفاوت معنادار بین گروهی (P<۰/۰۵). $^{\eta}$ تفاوت معنادار درون گروهی (P<۰/۰۵).**

بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های مطالعه حاضر نشان داد که هر دو پروتکل HIIT و HIFT با افزایش معنی‌دار سطوح سرمی آدیپونکتین همراه بودند، هر چند میزان این افزایش در گروه HIFT به طور معنی‌داری بیشتر بود. از منظر مکانیسمی، تمرینات تناوبی شدید با افزایش نسبت AMP به ATP و شار کلسیمی در عضله فعال، موجب فعال‌سازی مسیر AMPK و PGC-1α می‌شوند که نقش محوری در سازگاری‌های متابولیکی عضله و بافت چربی دارند (۱۸). این فعال‌سازی، همراه با تحریک PPARγ، تنظیم بیان و ترشح آدیپونکتین را تسهیل می‌کند، به طوری که حتی یک جلسه حاد HIIT قادر است برخی ایزوفرم‌های آدیپونکتین

نسخه پیش انتشار

را تغییر دهد (۱۹). این فعال‌سازی می‌تواند از طریق تنظیم مسیرهای وابسته به PPARγ، بیان و ترشح آدیپونکتین و همچنین سیگنال‌دهی گیرنده‌های آن را تسهیل کند. در این چارچوب، درگیری توده عضلانی وسیع‌تر و بار متابولیکی بالاتر به ازای واحد زمان در HIFT ممکن است توضیحی محتمل برای پاسخ آدیپونکتینی بزرگ‌تر مشاهده شده در این گروه باشد (۱۸, ۲۰). فعال‌سازی مکرر این مسیرها در بافت چربی سفید منجر به افزایش بیان PGC-1α و آنزیم‌های میتوکندریایی، تغییر فنوتیپ آدیپوسیت‌ها به سمت حالت اکسیداتیوتر و کم‌التهاب‌تر و در نهایت افزایش ترشح آدیپونکتین می‌شود (۱۸). هم‌زمان، تمرین ورزشی با افزایش بیان گیرنده‌های آدیپونکتین (AdipoR) و فعالیت AMPK در عضله اسکلتی، اکسیداسیون اسیدهای چرب و برداشت گلوکز وابسته به آدیپونکتین را تقویت کرده و حساسیت به انسولین را بهبود می‌بخشد؛ حتی در شرایطی که تغییرات آدیپونکتین در گردش خون محدود باشد (۲۱). در مجموع، این سازگاری‌های عضلانی و آدیپوزی به کاهش لیپوتوکسیسیتی و التهاب خفیف مزمن منجر شده و از طریق بهبود محور آدیپونکتین AdipoR–AMPK، زمینه افزایش پایدار آدیپونکتین، به‌ویژه ایزوفرم‌های متابولیکی فعال‌تر را در پاسخ به تمرینات شدید فراهم می‌سازد (۱۲, ۲۱). در مقابل یافته‌های مطالعه حاضر که نشان داد هر دو پروتکل تمرینی HIIT و HIFT با افزایش معنی‌دار سطوح سرمی آدیپونکتین همراه بودند، شواهدی از مطالعات پیشین وجود دارد که این اثر را تأیید نمی‌کنند. برای مثال، نتایج یک مرور نظام‌مند و فراتحلیل درباره افراد دارای اضافه‌وزن و چاقی نشان داد که HIIT به‌طور کلی تغییر معنی‌داری در سطوح آدیپونکتین ایجاد نمی‌کند (۲۲). همچنین، در یک مطالعه در موش‌های دریافت‌کننده‌ی رژیم پرچرب به‌همراه ساکارز، HIIT آدیپونکتین سرم و بافت چربی تغییر نداد (۲۳). این ناهمخوانی ممکن است با تفاوت در ویژگی‌های شرکت‌کنندگان، وضعیت متابولیکی اولیه، مدت و شدت تمرین، حجم تمرین و تغییرات ترکیب بدن مرتبط باشد؛ بااین‌حال، تعیین علت دقیق این تفاوت‌ها به بررسی‌های بیشتر نیاز دارد.

همچنین، نتایج مطالعه حاضر نشان داد که هر دو پروتکل تمرینی HIIT و HIFT منجر به کاهش معنادار سطوح سرمی رزیستین شدند؛ با این حال، میزان این کاهش در گروه HIFT تا حدی (اما غیرمعنی‌دار) بیشتر از گروه HIIT بود. یافته‌های مطالعه حاضر با نتایج مطالعات فورتس[1]و همکاران (۲۰۲۴)، فتحی[2]و محمدی (۲۰۲۶)، محمدنیا احمدی[3]و همکاران (۲۰۲۵) و حقیقی و همکاران (۲۰۲۲) همخوانی دارد (۲۴-۲۷). این مطالعات نشان دادند که تمرینات HIIT و تمرینات HIFT می‌توانند سطوح رزیستین را در مردان میانسال دارای اضافه‌وزن کاهش دهند که این اثر عمدتاً از طریق بهبود ترکیب بدن، افزایش حساسیت به انسولین و کاهش التهاب ایجاد می‌شود (۲۴, ۲۵). همچنین، رزیستین به عنوان یک آدیپوکاین پیش‌التهابی که در چاقی افزایش می‌یابد، با شاخص توده بدنی، درصد چربی بدن و نسبت دور کمر به لگن همبستگی مثبت دارد (۲۶). شواهد نشان می‌دهد پروتکل‌هایHIIT ، به‌ویژه تمرینات تناوبی با شدت‌های فوق‌بیشینه، پس از حدود هشت هفته تمرین منظم، موجب کاهش معنادار رزیستین سرمی می‌شوند؛ اثری که احتمالاً ناشی از تعادل بهتر بین دریافت و مصرف انرژی و کاهش التهاب خفیف مرتبط با چاقی است (۲۴). به طور مشابه، HIFT که از نظر ماهیت به تمرینات مقاومتی شدید نزدیک است، از طریق کاهش توده چربی و ایجاد تغییرات متابولیکی مطلوب می‌تواند به کاهش رزیستین منجر شود (۲۷)، هر چند مطالعات مستقیم در این گروه جمعیتی هنوز محدود هستند. در مجموع، کاهش بافت چربی-به‌ویژه چربی احشایی- بهبود حساسیت به انسولین و مهار مسیرهای التهابی از سازوکارهای اصلی مشترک HIIT و HIFTدر تعدیل رزیستین محسوب می‌شوند (۲۵, ۲۷). اگر چه تاکنون مطالعات مقایسه‌ای مستقیم بین HIIT و HIFT بر رزیستین در مردان میانسال دارای اضافه‌وزن انجام نشده است، هم‌پوشانی قابل‌توجه در شدت تمرین و فشار متابولیکی این دو روش، بیانگر اشتراک سازوکارهای زیربنایی آن‌ها در کاهش این آدیپوکاین التهابی است. بااین‌حال، این یافته با نتایج

[1]Fortes
[2]Fathi & Mohammadi
[3]Mohammadnia Ahmadi

برخی پژوهش‌های پیشین کاملاً همسو نیست. برای مثال، در مطالعه‌ای روی مردان دارای اضافه‌وزن و چاقی، پس از ۱۰ هفته HIIT ، با وجود بهبود برخی شاخص‌های متابولیکی و ترکیب بدن، تغییر معنی‌داری در سطوح سرمی رزیستین مشاهده نشد (۲۸). همچنین، در یک کارآزمایی بالینی در افراد مبتلا به پیش‌دیابت، کاهش رزیستین در گروه تمرین پیوسته با شدت متوسط مشاهده شد، اما این تغییر در گروه HIIT معنی‌دار نبود و تعامل گروه و زمان نیز برای این نشانگر به سطح معنی‌داری آماری نرسید (۲۹). این تفاوت در نتایج ممکن است به ویژگی‌های جمعیت مورد مطالعه، وضعیت متابولیکی اولیه، مدت و شدت تمرین، حجم تمرین و تغییرات ترکیب بدن مرتبط باشد. افزون بر این، شواهد حاصل از یک فراتحلیل در افراد مبتلا به دیابت نوع ۲ نشان داد که پاسخ رزیستین می‌تواند برحسب نوع تمرین و جنسیت متفاوت باشد (۳۰). در مجموع، اگرچه یافته‌های مطالعه حاضر از اثر کاهنده هر دو پروتکل HIIT و HIFT بر رزیستین حمایت می‌کنند، تفاوت نتایج مطالعات پیشین بیانگر ضرورت بررسی بیشتر نقش ویژگی‌های جمعیت و مشخصات مداخله ورزشی در تنظیم این آدیپوکین است.

علاوه بر این، نتایج مطالعه حاضر نشان داد که هر دو پروتکل تمرینی HIIT و HIFT منجر به کاهش معنادار سطوح لپتین در مردان میانسال دارای اضافه‌وزن شدند، به طوری که میزان این کاهش در گروه HIFT برجسته‌تر بود. این یافته با نتایج مطالعات روستاس و همکاران[1](۲۰۱۷)، اونیز و ساریتاش[2] (۲۰۲۴)، و هوانگ و همکاران[3](۲۰۲۵) همخوان است (۳۱-۳۳). علت این همخوانی می‌تواند به اثرات تمرینات با شدت بالا بر تنظیم هورمون‌های مرتبط با متابولیسم انرژی، به‌ویژه کاهش لپتین و بهبود تعادل هورمونی ناشی از سازگاری‌های تمرینی در محورهای متابولیک و اندوکرین مرتبط مستقل از کاهش وزن باشد که در این مطالعات گزارش شده است (۳۱-۳۳). از منظر مکانیسمی، تمرینات HIIT و HIFT از طریق افزایش لیپولیز، اکسیداسیون چربی احشایی و القای بیوژنز میتوکندری وابسته به PGC-1α ، موجب کاهش توده چربی و در نتیجه کاهش ترشح لپتین از آدیپوسیت‌ها می‌شوند (۳۴, ۳۵). علاوه بر این، بهبود حساسیت به انسولین ناشی از فعالیت‌های شدید، از طریق تقویت سیگنال‌دهی محیطی و انتقال GLUT4، مقاومت به لپتین وابسته به هایپرانسولینمی را که در مردان دارای اضافه‌وزن شایع است، تعدیل می‌کند (۳۳). هم‌زمان، کاهش سیتوکین‌های پیش‌التهابی مانند TNF-α و IL-6 و افزایش پاسخ‌های ضدالتهابی نظیر IL-10، محیط التهابی بافت چربی را بهبود بخشیده و بیان ژن لپتین را مهار می‌کند (۳۳, ۳۶)؛ اثری که در HIFT احتمالاً به واسطه درگیری توده عضلانی گسترده‌تر و ترشح میوکاین‌های عضلانی تقویت می‌شود. افزون بر این، افزایش حاد کاتکولامین‌ها و کورتیزول پس از تمرین می‌تواند به طور موقت تولید لپتین را سرکوب کرده و در بلندمدت با بهبود حساسیت هیپوتالاموسی به لپتین، به تنظیم پایدارتر اشتها و تعادل انرژی منجر شود (۳۱, ۳۷). در مقابل، برخی پژوهش‌های پیشین، برخلاف مطالعه حاضر، تغییر معنی‌داری در سطوح سرمی لپتین پس از اجرای تمرینات ورزشی HIIT گزارش نکرده‌اند. برای مثال، در یک مطالعه هشت‌هفته‌ای روی افراد دارای اضافه‌وزن و چاقی، اجرای HIIT تغییر معنی‌داری در سطوح سرمی لپتین ایجاد نکرد (۳۸). همچنین، نتایج یک فراتحلیل شبکه‌ای شامل ۵۴ کارآزمایی تصادفی‌سازی‌شده نشان داد که اگرچه تمرینات هوازی، مقاومتی و ترکیبی با کاهش معنی‌دار لپتین همراه بودند، اثر HIIT در مقایسه با گروه کنترل از نظر آماری معنی‌دار نبود (۳۹). این ناهمخوانی در نتایج ممکن است تا حدی ناشی از تفاوت در ویژگی‌های شرکت‌کنندگان، مدت و شدت مداخله، حجم تمرین و تغییرات ترکیب بدن باشد. ازآنجاکه بافت چربی یکی از منابع اصلی ترشح لپتین است، تغییرات توده چربی بدن می‌تواند در تعدیل پاسخ این هورمون به تمرین نقش داشته باشد. در مجموع، یافته‌های مطالعه حاضر بیانگر آن است که هر دو پروتکل HIIT و HIFT می‌توانند

[1]Rostás
[2]Öniz & Sarıtaş
[3]Hwang

با کاهش سطوح سرمی لپتین همراه باشند؛ بااین‌حال، برای تأیید پایداری این اثر و روشن‌شدن نقش ویژگی‌های اختصاصی هر پروتکل، انجام مطالعات بیشتر ضروری است.

در نهایت، نتایج پژوهش حاضر نشان داد که هر دو پروتکل تمرینی HIIT و HIFT موجب بهبود (کاهش) معنادار مقاومت به انسولین در مردان میانسال دارای اضافه‌وزن شدند. این نتایج با مطالعات رایان[1] و همکاران (۲۰۲۰) و دِ سوزا[2] و همکاران (۲۰۱۷) همخوان است که اثرات مطلوب تمرینات شدید تناوبی و عملکردی را بر شاخص‌های تنظیم گلوکز، از جمله HOMA-IR، گزارش کرده‌اند (۴۰, ۴۱). HIIT با فعال‌سازی حاد AMPK در عضله اسکلتی، برداشت گلوکز مستقل از انسولین را از طریق افزایش جابه‌جاییGLUT4 به غشای سلولی تسهیل کرده و با کاهش گلوکز و اسیدهای چرب آزاد در گردش، مقاومت به انسولین القاء شده توسط لیپیدها را تعدیل می‌کند (۴۰-۴۲). در مقابل، HIFT با افزودن حرکات چندمفصلی و عملکردی، توده عضلانی بیشتری را درگیر کرده و از طریق افزایش بیان PGC-1α، بیوژنز میتوکندری و ظرفیت اکسیداتیو عضله را تقویت می‌کند که این سازگاری‌ها به حفظ و پایداری بهتر سیگنال‌دهی انسولینی در بلندمدت می‌انجامند (۴۳).

به طور کلی در این پژوهش مشاهده شد که هر دو نوع تمرین HIFT و تمرین HIIT تأثیر قوی بر تعدیل آدیپوسیتوکین‌ها و شاخص مقاومت به انسولین دارد. با این حال، نتایج مطالعه حاضر نشان داد که HIFT موجب کاهش کمی برجسته‌تر (هر چند غیرمعنی‌دار) در رزیستین، لپتین؛ و افزایش معنی‌دار آدیپونکتین نسبت به HIIT می‌شود، که این اثرات همزمان با بهبود (کاهش) شاخص مقاومت به انسولین مشاهده شد. مکانیسم‌های زیربنایی این تفاوت شامل درگیری گسترده‌تر توده عضلانی، بارگذاری چندمفصلی و عملکردی، افزایش فشار گلیکولیتیک و فعال‌سازی فیبرهای نوع II است که مسیرهای ضدالتهابی را تقویت کرده و ارتباط IL-6 و آدیپونکتین عضله-چربی را بهبود می‌بخشد (۱۳, ۴۴). علاوه بر این، بارگذاری عملکردی HIFT موجب تقویت بیوژنز میتوکندری و ظرفیت اکسیداتیو عضله می‌شود، جابه‌جایی GLUT4 و برداشت گلوکز عضلانی را افزایش می‌دهد و مصرف اکسیژن پس از تمرین و اکسیداسیون طولانی‌تر چربی را تشدید می‌کند. ماهیت ترکیبی هوازی-مقاومتی HIFT همچنین موجب کاهش سریع‌تر ذخایر چربی احشایی و کاهش لپتین مستقل از کاهش وزن کل می‌شود، در حالی که HIIT هم با تمرکز بر دوره‌های هوازی، این اثرات را نشان خواهد داد. در مجموع، طراحی چند مفصلی HIFT و فشار متابولیکی بالاتر آن، پاسخ‌های آدیپوسیتوکاینی و گلیسمی پایدارتر ایجاد می‌کند، که این یافته‌ها با مطالعات فیتو[3] و همکاران (۲۰۱۸)، سیدی[4] و همکاران (۲۰۲۵)، بیرار[5] و همکاران (۲۰۲۴) با سازوکارهای تمرینی مشابه در جمعیت‌های دارای اضافه‌وزن همخوانی دارد (۱۳, ۴۵, ۴۶). بنابراین، هر دو پروتکل HIIT و HIFT در تعدیل آدیپوسیتوکاین‌ها و بهبود وضعیت گلایسمیک مؤثر هستند، اما HIFT با بار متابولیکی بالاتر و درگیری گسترده‌تر عضلات پاسخ‌های قوی‌تر و پایدارتری ایجاد می‌کند. تمرینات ترکیبی چندمفصلی و هوازی-مقاومتی می‌توانند به‌عنوان یک استراتژی مؤثر برای پیشگیری و مدیریت اختلالات متابولیکی در مردان میانسال دارای اضافه‌وزن مورد استفاده قرار گیرند.

با این‌حال، شواهد موجود درباره پاسخ آدیپوسیتوکین‌ها به مداخلات ورزشی کاملاً همسو نیست و برخی مطالعات نتایج ناهمخوانی با یافته‌های مطالعه حاضر گزارش کرده‌اند. برای مثال، در یک مطالعه، هشت هفته HIIT در مردان دارای اضافه‌وزن و یا چاق، علی‌رغم بهبود ترکیب بدن و کاهش HOMA-IR، تغییر معنی‌داری در لپتین و آدیپونکتین ایجاد نکرد (۱۲). همچنین، در مطالعه دیگر گزارش شد که شش هفتهHIIT ، تغییر معنی‌داری در سطح سرمی آدیپونکتین مردان

[1]Ryan
[2]de Souza
[3]Feito
[4]Seyedi
[5]Birar

جوان دارای اضافه‌وزن و چاق ایجاد نکرد (۴۷). در مدل حیوانی نیز دل‌پیشه و صفرزاده[1] گزارش کردند که هشت هفته HIIT، علی‌رغم کاهش وزن و توده چربی در موش‌های تغذیه‌شده با رژیم غذایی پرچرب و محلول ساکارز، تغییر معنی‌داری در سطوح آدیپونکتین سرم ایجاد نکرد (۴۸). افزون بر این، برخی مطالعات انجام‌شده با تمرینات هوازی و ترکیبی نیز عدم تغییر معنی‌دار سطوح آدیپونکتین را گزارش کرده‌اند (۴۹)، این ناهمگونی در یافته‌ها ممکن است به تفاوت در ویژگی‌های جمعیت‌های مورد مطالعه، وضعیت متابولیکی اولیه، ترکیب بدن، نوع، شدت و حجم تمرین، مدت مداخله و زمان‌بندی نمونه‌گیری مربوط باشد. از سوی دیگر، به نظر می‌رسد تغییرات آدیپوکاین‌ها ممکن است بیش از آنکه صرفاً به اجرای تمرین وابسته باشد، تحت تأثیر میزان تغییرات ایجادشده در توده چربی و وضعیت متابولیکی قرار گیرد؛ بااین‌حال، حتی در برخی مطالعاتی که بهبود ترکیب بدن یا حساسیت به انسولین مشاهده شده است، تغییر معنی‌داری در آدیپوکاین مورد سنجش گزارش نشده است. بنابراین، تفاوت در پاسخ آدیپوکاین میان مطالعات می‌تواند بیانگر وابستگی این آدیپوسیتوکین به تعامل پیچیده میان ویژگی‌های فردی، وضعیت متابولیکی و مشخصات مداخله ورزشی باشد.

از محدودیت‌های پژوهش حاضر می‌توان به چند مورد اشاره کرد. نخست، شرکت‌کنندگان مطالعه صرفاً مردان میانسال دارای اضافه‌وزن بودند؛ بنابراین، تعمیم یافته‌ها به زنان، سایر گروه‌های سنی، افراد با وضعیت وزنی متفاوت و سایر جمعیت‌ها باید با احتیاط انجام شود. دوم، آدیپوسیتوکین‌های مورد بررسی تنها در نمونه‌های سرم اندازه‌گیری شدند و ازاین‌رو، تغییرات مستقیم این عوامل در بافت‌های مرتبط با متابولیسم، از جمله بافت چربی و عضله اسکلتی، ارزیابی نشد. سوم، با توجه به ماهیت مداخله، امکان کنترل کامل عوامل مؤثر بر پاسخ‌های متابولیکی، از جمله الگوی غذایی، میزان فعالیت بدنی خارج از جلسات تمرینی و سایر رفتارهای مرتبط با سبک زندگی وجود نداشت و این عوامل ممکن است بر نتایج تأثیرگذار بوده باشند. چهارم، مدت مداخله و دوره پیگیری محدود بود؛ بنابراین، در مورد پایداری تغییرات مشاهده‌شده در بلندمدت نمی‌توان با قطعیت اظهارنظر کرد. همچنین، با وجود مشاهده بهبود در برخی شاخص‌های آدیپوسیتوکینی و مقاومت به انسولین، عدم مشاهده تفاوت معنی‌دار بین دو گروه تمرینی در برخی متغیرها، امکان نتیجه‌گیری درباره برتری HIFT نسبت به HIIT را محدود می‌کند.

با وجود این محدودیت‌ها، یافته‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهد که هر دو برنامه HIFT و HIIT می‌توانند در بهبود برخی شاخص‌های آدیپوسیتوکینی و مقاومت به انسولین در مردان میانسال دارای اضافه‌وزن نقش داشته باشند. با این حال، یافته‌های حاضر نباید به‌عنوان شواهدی مبنی بر برتری یکی از این دو روش تمرینی نسبت به دیگری تفسیر شوند. پژوهش‌های آینده می‌توانند با استفاده از نمونه‌های بزرگ‌تر و شامل زنان و گروه‌های سنی و جمعیتی متنوع‌تر، دوره‌های مداخله و پیگیری طولانی‌تر، کنترل دقیق‌تر رژیم غذایی و فعالیت بدنی روزانه، و اندازه‌گیری همزمان شاخص‌های سرمی و بافتی، سازوکارهای احتمالی این پاسخ‌ها را با دقت بیشتری بررسی کنند. همچنین، بررسی اثر همزمان HIFT و HIIT با مداخلات تغذیه‌ای و محدودیت کالری می‌تواند به روشن‌تر شدن اثرات مستقل و تعاملی این مداخلات بر وضعیت گلیسمی، التهاب و آدیپوسیتوکین‌ها کمک کند.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله نویسندگان از مردان میانسال داوطلب در پژوهش حاضر که امکان ارایه نتایج کاربردی را فراهم ساختند، صمیمانه قدردانی می‌نمایند.

حمایت مالی

پژوهش حاضر بر اساس طرح درون سازمانی و با هزینه شخصی انجام گرفت.

مشارکت نویسندگان

[1] Delpisheh and Safarzade

تمام نویسندگان در آماده‌سازی این مقاله مشارکت یکسان داشته‌اند.

تعارض منافع

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

منابع:

1-Agboyibor KM, Nambiema A, Golestani A, Okeibunor J, Diallo CBB, Jouven X, et al. Prevalence, time trends and associated factors of adult overweight and obesity in 36 countries in the WHO African region from 2003 to 2022: a study of 54 WHO STEPS surveys representing 156 million adults. BMJ Global Health. 2026;11:e019988. https://doi.org/10.1136/bmjgh-2025-019988

2-Ruze R, Liu T, Zou X, et al. Obesity and type 2 diabetes mellitus: connections in epidemiology, pathogenesis, and treatments. Front Endocrinol (Lausanne). 2023;14:1161521. https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1161521

3-Banerjee D, Mani A. Obesity's systemic impact: exploring molecular and physiological links to diabetes, cardiovascular disease, and heart failure. Front Endocrinol (Lausanne). 2025;16:1681766. https://doi.org/10.3389/fendo.2025.1681766

4-Fang P, She Y, Yu M, Min W, Shang W, Zhang Z. Adipose-Muscle crosstalk in age-related metabolic disorders: The emerging roles of adipo-myokines. Ageing Res Rev. 2023;84:101829. https://doi:10.1016/j.arr.2022.101829

5-Chen LY, Xia MF, Wu L, et al. Skeletal muscle loss is associated with diabetes in middle-aged and older Chinese men without non-alcoholic fatty liver disease. World J Diabetes. 2021;12(12):2119-2129. https://doi.org/10.4239/wjd.v12.i12.2119

6-Collins KA, Ross LM, Slentz CA, Huffman KM, Kraus WE. Differential Effects of Amount, Intensity, and Mode of Exercise Training on Insulin Sensitivity and Glucose Homeostasis: A Narrative Review. Sports Medicine - Open. 2022;8(1):90. https://doi.org/10.1186/s40798-022-00480-5

7-Liu J, Huang Q, Liu F. Fat talks first: how adipose tissue sets the pace of aging?. Life Med. 2025;4(5):lnaf028. Published 2025 Jul 19. https://doi.org/10.1093/lifemedi/lnaf028

8-Choo YN, Ravi RN, Subramaniyan V. Insulin resistance induced by obesity: Mechanisms, metabolic implications and therapeutic approaches. Mol Biol Rep. 2026;53(1):357. Published 2026 Feb 4. https://doi.org/10.1007/s11033-026-11509-3

9-Daoud, M.S., Alshareef, F.H., Alnaami, A.M. et al. Prospective changes in lipocalin-2 and adipocytokines among adults with obesity. Sci Rep 15, 28794 (2025). https://doi.org/10.1038/s41598-025-14091-z

10- Kusminski CM, McTernan PG, Kumar S. Role of resistin in obesity, insulin resistance and Type II diabetes. Clin Sci (Lond). 2005;109(3):243-256. https://doi.org/10.1042/CS20050078

11- Bohlen LC, LaRowe LR, Dunsiger SI, et al. Comparing a recommendation for self-paced versus moderate intensity physical activity for midlife adults: Rationale and design. Contemp Clin Trials. 2023;128:107169. https://doi.org/10.1016/j.cct.2023.107169

12- Ouerghi N, Fradj MKB, Duclos M, et al. Effects of High-Intensity Interval Training on Selected Adipokines and Cardiometabolic Risk Markers in Normal-Weight and Overweight/Obese Young Males-A Pre-Post Test Trial. Biology (Basel). 2022;11(6):853. Published 2022 Jun 2. https://doi.org/10.3390/biology11060853

13- Feito Y, Heinrich KM, Butcher SJ, Poston WSC. High-Intensity Functional Training (HIFT): Definition and Research Implications for Improved Fitness. Sports (Basel). 2018;6(3):76. Published 2018 Aug 7. https://doi.org/10.3390/sports6030076
14- Rebello CJ, Zhang D, Kirwan JP, Lowe AC, Emerson CJ, Kracht CL, et al. Effect of exercise training on insulin-stimulated glucose disposal: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. International Journal of Obesity. 2023;47(5):348-57. https://doi.org/10.1038/s41366-023-01283-8
15- Engin B, Willis SA, Malaikah S, Sargeant JA, Yates T, Gray LJ, et al. The effect of exercise training on adipose tissue insulin sensitivity: A systematic review and meta-analysis. Obes Rev. 2022;23(7):e13445. https://doi.org/10.1111/obr.13445Digital Object Identifier (DOI)
16- Atabay Arslan G, Kasimay O, Bingul I, Gedikbasi A, Agopyan A, Kucuk Yetgin M. The effect of high intensity interval training on body composition, metabolic, inflammatory and oxidative stress markers in adolescents with obesity. Diabetol Metab Syndr. 2026;18(1):87. https://doi.org/10.1186/s13098-026-02110-6
17- Rivas-Campo Y, Aibar-Almazán A, Afanador-Restrepo DF, García-Garro PA, Vega-Ávila GC, Rodríguez-López C, et al. Effects of High-Intensity Functional Training (HIFT) on the Functional Capacity, Frailty, and Physical Condition of Older Adults with Mild Cognitive Impairment: A Blind Randomized Controlled Clinical Trial. Life (Basel). 2023;13(5). https://doi.org/10.3390/life13051224
18- Spaulding HR, Yan Z. AMPK and the Adaptation to Exercise. Annu Rev Physiol. 2022;84:209-227. https://doi.org/10.1146/annurev-physiol-060721-095517
19- Alvarado-Carrasco D, González-Maraboli A, Reyes-Montalva M, et al. Acute effects of high-intensity interval training on adiponectin isoforms in inactive young adults: a quasi-experimental study. BMC Sports Sci Med Rehabil. 2025;17(1):387. Published 2025 Dec 30. https://doi.org/10.1186/s13102-025-01433-7
20- McDougle JM, Mangine GT, Townsend JR, Jajtner AR, Feito Y. Acute physiological outcomes of high-intensity functional training: a scoping review. PeerJ. 2023;11:e14493. Published 2023 Jan 3. https://doi.org/10.7717/peerj.14493
21- Kim JC. The effect of exercise training combined with PPARγ agonist on skeletal muscle glucose uptake and insulin sensitivity in induced diabetic obese Zucker rats. J Exerc Nutrition Biochem. 2016;20(2):42-50. https://doi: 10.20463/jenb.2016.06.20.2.6
22- Saedmocheshi S, Racil G, Mehdipour A, Tounsi M, Trabelsi Y, Amiri E, et al. Adiponectin response to high-intensity interval training in overweight and obese individuals: a systematic review and meta-analysis. Br Med Bull. 2026;157(1):ldag002. https://doi.org/10.1093/bmb/ldag002
23- Delpisheh A, Safarzade A. The Effect of High-Intensity Interval Training on the Adiponectin and TNF-α Levels of Serum and Adipose Tissues in Rats Fed with a High-Fat Diet Plus Sucrose Solution. Shiraz E-Med J. 2022;23(9):e119373. https://doi.org/10.5812/semj-119373
24- Fathi I, Mohammadi E. Effects of High Intensity Interval Training (HIIT) and Cinnamon Consumption on Lipid Profile and Serum Resistin in Obese Women. Journal of Nutrition, Fasting and Health. 2026 Jan 1;14(1):40-48. https://DOI: 10.22038/jnfh.2025.86657.1569.
25- Fortes YM, Souza-Gomes AF, Moreira ARS, et al. A single session of strength training changed plasma levels of resistin, but not leptin in overweight and obese

men. Sports Med Health Sci. 2023;6(4):324-330. Published 2023 Dec 11. https://doi: 10.1016/j.smhs.2023.12.001
26- Mohammadnia Ahmadi M, Najarian E, Nezamdoost Z, Sadeghi-Tabas S, Abtahi Eivary SH. Effects of Supramaximal Intensity Interval Training on Resistin and Cardiometabolic Health Indices in Overweight Nonpostmenopausal Women. Sports Health. 2025;17(6):1140-8. https://doi.org/10.1177/19417381251315059
27- Haghighi AH, Hajinia M, Askari R, Abbasian S, Goldfied G. Effect of high-intensity interval training and high-intensity resistance training on irisin and fibroblast growth factor 21 in men with overweight and obesity. Can J Physiol Pharmacol. 2022;100(9):937-944. https://doi.org/10.1139/cjpp-2021-0712
28- Riyahi Malayeri S., Saei M. Changes in Insulin resistance and serum levels of resistin after 10 weeks high intensity interval training in overweight and obese men. Sport Physiology & Management Investigations. 2019;10(4):31-42 https://www.sportrc.ir/article_82662.html?lang=en (In Persian).
29- Şenol EA, Yurt Y, Malkoç M, Delibaş S. Effects of High-Intensity Interval Versus Moderate-Intensity Continuous Training in Adults with Prediabetes: A Single-Blind Randomized Controlled Trial. J Clin Med. 2026;15(18):7277. https://doi.org/10.3390/jcm15187277
30- Pourkoshki A, Monazzami A, Heydarpour F, Yon DK, Smith L, Rahmati M. Exercise training and inflammatory adipokines in patients with type 2 diabetes: a systematic review, meta-analysis, and meta-regression. Diabetol Metab Syndr. 2025;17(1):224. https://doi.org/10.1186/s13098-025-01811-8
31- Rostás I, Pótó L, Mátrai P, Hegyi P, Tenk J, Garami A, et al. In middle-aged and old obese patients, training intervention reduces leptin level: A meta-analysis. PLOS ONE. 2017;12(8):e0182801. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182801
32- Öniz M, Sarıtaş N, Şentürk M. Effects of short-term high-intensity interval training on growth hormone, cortisol, and leptin levels. Journal of Men's Health. 2024;20(2):51-61. https://DOI:10.22514/jomh.2023.124
33- Hwang DJ, Choi DH, Hyun AH. Web-based high-intensity bodyweight interval training improves metabolic health and physical fitness outcomes in middle-aged men with obesity during the COVID-19 pandemic. Front Physiol. 2025;16:1711436. Published 2025 Nov 24. https://doi.org/10.3389/fphys.2025.1711436
34- Xin X, Guo Y, Liu L, Liu Q, Xie J. Effects of exercise alone or combined with dietary restriction on leptin and adiponectin in overweight or obese individuals: a network meta-analysis. BMC Sports Sci Med Rehabil. 2025;17(1):295. Published 2025 Oct 14. https://doi.org/10.1186/s13102-025-01316-x
35- de Assis GG, Murawska-Ciałowicz E. Exercise and Weight Management: The Role of Leptin-A Systematic Review and Update of Clinical Data from 2000-2022. J Clin Med. 2023;12(13):4490. https://doi.org/10.3390/jcm12134490
36- Bo B, Guo A, Kaila SJ, et al. Elucidating the primary mechanisms of high-intensity interval training for improved cardiac fitness in obesity. Front Physiol. 2023;14:1170324. Published 2023 Aug 7. https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1170324
37- Krawczewski Carhuatanta KA, Demuro G, Tschöp MH, Pfluger PT, Benoit SC, Obici S. Voluntary exercise improves high-fat diet-induced leptin resistance independent of adiposity. Endocrinology. 2011;152(7):2655-2664. https://doi.org/10.1210/en.2010-1340

38- Shenoy Basti AR, Anand P, Chandralekha N, Pinto J, Prabhu SM. Effect of high-intensity interval training vs. moderate-intensity continuous training on cardiometabolic risk factors in overweight and obese individuals. J Basic Clin Physiol Pharmacol. 2024;35(4-5):265-271. https://doi.org/10.1515/jbcpp-2024-0112
39- Xin X, Guo Y, Kong Z, Liu Q, Xie J. Optimal exercise modalities and dose selection to reduce leptin levels in overweight or obese individuals: a network meta-analysis and dose-response relationship study. BMC Sports Sci Med Rehabil. 2025;18(1):7. https://doi.org/10.1186/s13102-025-01395-w
40- Ryan BJ, Schleh MW, Ahn C, et al. Moderate-Intensity Exercise and High-Intensity Interval Training Affect Insulin Sensitivity Similarly in Obese Adults. J Clin Endocrinol Metab. 2020;105(8):e2941-e2959. https://doi.org/10.1210/clinem/dgaa345
41- de Souza JFT, Dáttilo M, de Mello MT, Tufik S, Antunes HKM. High-Intensity Interval Training Attenuates Insulin Resistance Induced by Sleep Deprivation in Healthy Males. Front Physiol. 2017;8:992. Published 2017 Dec 7. https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00992
42- Petersen MH, de Almeida ME, Wentorf EK, Jensen K, Ørtenblad N, Højlund K. High-intensity interval training combining rowing and cycling efficiently improves insulin sensitivity, body composition and VO_2max in men with obesity and type 2 diabetes. Front Endocrinol (Lausanne). 2022;13:1032235. https://doi.org/10.3389/fendo.2022.1032235
43- Fealy CE, Nieuwoudt S, Foucher JA, et al. Functional high-intensity exercise training ameliorates insulin resistance and cardiometabolic risk factors in type 2 diabetes. Exp Physiol. 2018;103(7):985-994. https://doi.org/10.1113/EP086844
44- Ben-Zeev T, Okun E. High-Intensity Functional Training: Molecular Mechanisms and Benefits. Neuromolecular Med. 2021;23(3):335-338. https://doi.org/10.1007/s12017-020-08638-8
45- Seyedi SS, Tofighi A, Jamali Gharakhanlou B. Changes in NRG1 and Leptin Levels Following Functional Exercises and Nano Curcumin Supplementation in Obese People. Jundishapur Scientific Medical Journal, 2025; 24(1): 54-70. https://doi: 10.32592/jsmj.24.1.54[In Persian]
46- 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. Journal of Applied Health Studies in Sport Physiology. 2024;11(2):118-27. http://dx.doi.org/ 10.22049/jahssp.2024.29480.1633[In Persian]
47- Saghebjoo M, Farrokhi-Fard M, Hedayati M, Sadeghi-Tabas S. The effect of high-intensity interval training and L-arginine supplementation on the serum levels of adiponectin and lipid profile in overweight and obese young men. Obesity Medicine. 2019; 16:100139. https://doi:10.1016/j.obmed.2019.100139
48- Delpisheh A, Safarzade A. The Effect of High-Intensity Interval Training on the Adiponectin and TNF-α Levels of Serum and Adipose Tissues in Rats Fed with a High-Fat Diet Plus Sucrose Solution. Shiraz E-Med J. 2022;23(9):e119373. https://doi.org/10.5812/semj-119373
49- Makiel K, Suder A, Targosz A, Maciejczyk M, Haim A. Exercise-Induced Alternations of Adiponectin, Interleukin-8 and Indicators of Carbohydrate Metabolism in Males with Metabolic Syndrome. Biomolecules. 2023;13(5):852. https://doi.org/10.3390/biom13050852