Journal of Sport and Exercise Physiology
2026, 19(3): 29-47

Orginal Article

Effect of low-volume high-intensity interval training on serum subfatin and Interleukin 4 in men with type 2 diabetes

Mehdi Zarei[1], Javad Nakhzari Khodakheir [2*], kazem khodaei[3], Arash Mohammadi[4]

[1] Department of Sport Sciences, Faculty of Literature and Humanities, University of Neyshabur, Neyshabur, Iran
[2] Department of Sport Sciences, school of Human Sciences, University of Zabol, Zabol, Iran
[3] Department of Sports Physiology and Corrective Exercise, Faculty of Sports Sciences, Urmia University, Urmia- Iran.
[4] Department of physical education and Sport Sciences, Applied Scientific Education Center of Sabzevar 2, Sabzevar, Iran

Abstract

Background and Purpose: Physical activity and exercise training are recognized as integral components of the managing and controlling of type 2 diabetes. Adipokines are a group of signaling proteins produced by adipose tissue that play key roles in regulating several physiological processes, including energy metabolism, inflammation, insulin sensitivity, and appetite control. Subfatin is a newly discovered adipokine secreted by adipose tissue and skeletal muscle. Studies have reported that subfatin increases insulin sensitivity and exerts anti-inflammatory effects. Furthermore, it has been suggested that low-volume high-intensity interval training may be an effective strategy to improve factors associated with the development of type 2 diabetes. Therefore, the aim of the present study was to investigate the effect of low-volume high-intensity interval training on serum subfatin and interleukin-4 in men with type 2 diabetes.

Materials and Methods: In this quasi-experimental study, 20 men with type 2 diabetes were randomly divided into two groups: low-volume high-intensity interval training (n=10, age= 50.70±4.27 years, height = 1.72±0.06 m, weight = 82.21±7.07 kg, body mass index = 27.81±2.19 kg/m2) and control (n=10, age = 48.10±5.30 years, height=1.70±0.07 m, weight =80.56±6.16 kg, body mass index = 28.13±4.13 kg/m^2). Subjects in the experimental groups performed low-volume high-intensity interval training for three sessions per week for eight weeks. The training protocol consisted of two four-minute intervals (2 × 4 min) during the first to fourth weeks, and in three four-minute intervals (intensity 85 to 90% of maximum heart rate) during the fifth to eighth weeks, interspersed with three minutes of active recovery (intensity 65 to 75% of maximum heart rate). The total duration of each training session was 21 to 28 minutes. Before and after the intervention, blood samples were collected. The concentrations of subfatin and interleukin-4 were measured using ELISA kits specific for human samples. The Shapiro-Wilk test was used to examine the normality of the data, and the Levene test was used to assess the homogeneity of variances. Analysis of covariance was used to compare differences between groups after the intervention, and paired t-tests wereused to assess within-group changes. Data were analyzed ysing SPSS software version 16 software, with significance level set at p≤0.05.

* Corresponding Author's E-mail: Javadnakhzari@uoz.ac.ir
https://doi.org/10.48308/joeppa.2025.242558.1410
Received: 18/11/2025 Revised: 12/12/2025 Accepted: 16/12/2025

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/).

Results: The results showed that after eight weeks, body weight ($p\leq0.05$), body mass index ($p\leq0.05$), body fat mass ($p\leq0.05$), fasting glucose ($p\leq0.01$) and subfatin ($p\leq0.001$) were significantly reduced in the low-volume high-intensity interval training group compared to the control group. However, no significant change was observed in interleukin-4 between the two groups ($p\geq0.05$).

Conclusion: The results of the present study suggest that low-volume intensity interval, as a time-efficient modality, may be effective in reducing weight and body fat mass and fasting glucose, as well as improving subfatin levels in type 2 diabetes patients. However, this type of training had no effect on interleukin-4 levels.

Keywords: Adipokines, Inflammation, Exercise, Diabetes Mellitus

How to cite this article: Zarei, M. Nakhzari Khodakheir, J. khodaei, K. Mohammadi, A. Effect of low-volume high-intensity interval training on serum subfatin and Interleukin 4 in men with type 2 diabetes. J Sport Exerc Physiol. 2026;19(3):29-47.

نشریه فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی
۱۴۰۵، دوره ۱۹، شماره ۳، صفحه‌های ۲۹-۴۷

مقاله پژوهشی

تأثیر تمرین تناوبی شدید کم‌حجم بر سابفاتین و اینترلوکین-۴ سرم در مردان مبتلا به دیابت نوع دو

مهدی زارعی [۱]، جواد نخزری خداخیر [۲*]، کاظم خدایی [۳]، آرش محمدی [۴]

[۱] گروه علوم ورزشی، دانشکدهٔ ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه نیشابور، نیشابور، ایران
[۲] گروه علوم ورزشی، دانشکدهٔ ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه زابل، زابل، ایران
[۳] گروه فیزیولوژی ورزشی و حرکات اصلاحی، دانشکدهٔ علوم ورزشی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
[۴] گروه تربیت‌بدنی، مرکز آموزش علمی کاربردی سبزوار ۲، سبزوار، ایران

چکیده

زمینه و هدف: فعالیت بدنی و تمرینات ورزشی به عنوان بخش جدایی‌ناپذیر از پروتکل‌های کنترل و مهار دیابت نوع ۲ شناخته می‌شوند. آدیپوکاین‌ها گروهی از پروتئین‌های پیامرسان هستند که توسط بافت چربی تولید می‌شوند و در تنظیم برخی فرایندهای فیزیولوژیکی، از جمله سوخت‌وساز انرژی، التهاب، حساسیت به انسولین و کنترل اشتها نقشی کلیدی دارند. سابفاتین یکی از آدیپوکاین‌های تازه‌کشف‌شده است که از بافت چربی و ماهیچهٔ اسکلتی ترشح می‌شود. یافته‌های پژوهشی پیشین نشانگر آنند که سابفاتین اثرات ضد التهابی دارد و حساسیت به انسولین را افزایش می‌دهد. بنا بر مطالعات گذشته، تمرین تناوبی شدید کم‌حجم می‌تواند راهبردی مؤثر برای بهبود عوامل وابسته به گسترش دیابت نوع ۲ باشد. پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر تمرین تناوبی شدید کم‌حجم بر سطوح سرمی سابفاتین و اینترلوکین-۴ در مردان مبتلا به دیابت نوع دو انجام شده است.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش نیمه‌تجربی، ۲۰ مرد مبتلا به دیابت نوع دو به طور تصادفی در دو گروه جایگزین شدند: گروه تمرین تناوبی شدید کم‌حجم (۱۰ نفر، سن= ۴/۲۷±۵۰/۷۰ سال، قد= ۰/۰۶±۱/۷۲ متر، وزن= ۷/۰۷±۸۲/۲۱ کیلوگرم، نمایهٔ تودهٔ بدنی= ۲/۱۹±۲۷/۸۱ کیلوگرم بر مترمربع) و گروه کنترل (۱۰ نفر، سن= ۵/۳۰±۴۸/۱۰ سال، قد= ۰/۰۷±۱/۷۰ متر، وزن= ۶/۱۶±۸۰/۵۶ کیلوگرم، نمایهٔ تودهٔ بدنی= ۴/۱۳±۲۸/۱۳ کیلوگرم بر مترمربع). آزمودنی‌های گروه‌های تجربی، تمرینات تناوبی شدید کم‌حجم را سه جلسه در هفته، به مدت هشت هفته انجام دادند. در هفته‌های اول تا چهارم، دو بازهٔ چهار دقیقه‌ای (۲×۴ دقیقه) و در هفته‌های پنجم تا هشتم، سه بازهٔ چهار دقیقه‌ای (با شدت ۸۵ تا ۹۰ درصد ضربان قلب بیشینه) همراه با بازیافت فعال سه دقیقه‌ای (با شدت ۶۵ تا ۷۵ درصد ضربان قلب بیشینه) اجرا شد. مدت زمان کل هر جلسهٔ تمرین ۲۱ تا ۲۸ دقیقه بود. نمونه‌گیری خون، پیش و پس از مداخله انجام گرفت. غلظت سابفاتین و اینترلوکین-۴ با استفاده از کیت‌های الایزای انسانی ویژه اندازه‌گیری شد. به منظور بررسی طبیعی بودن داده‌ها، از آزمون شاپیرو - ویلک و برای بررسی همگنی واریانس‌ها، از آزمون لون استفاده شد. برای بررسی تفاوت‌های بین گروهی نیز از آزمون آماری تحلیل کوواریانس و برای بررسی تفاوت‌های درون‌گروهی از آزمون تی زوجی استفاده گردید. تحلیل‌ها در سطح معناداری $P\leq ۰/۰۵$ و با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخهٔ ۱۶ انجام شد.

نتایج: یافته‌ها نشان داد که پس از هشت هفته، وزن بدن (۰/۲۵۸= اندازهٔ اثر، p=۰/۰۲۶)، نمایهٔ تودهٔ بدنی (۰/۲۷۱= اندازهٔ اثر، p=۰/۰۲۲)، تودهٔ چربی بدن (۰/۲۱۴= اندازهٔ اثر، p=۰/۰۴۶)، گلوکز ناشتا (۰/۳۶۶= اندازهٔ اثر، p=۰/۰۰۶) و سابفاتین (۰/۴۷۵= اندازهٔ اثر، p=۰/۰۰۱) در گروه تمرین تناوبی شدید کم‌حجم در مقایسه با گروه کنترل، به طور معناداری کاهش یافت. با این همه، تغییر

* رایانامه نویسنده مسئول: Javadnakhzari@uoz.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۲۷ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۵

معناداری در سطح اینترلوکین-۴ بین دو گروه دیده نشد (۰/۰۸۰= اندازۀ اثر، p=۰/۲۴۱).

نتیجه‌گیری: یافته‌های این پژوهش حاکی از آن است که تمرینات تناوبی شدید کم‌حجم، علی‌رغم صرفه‌جویی در زمان، می‌توانند در کاهش وزن، کاهش تودۀ چربی بدن، کنترل گلوکز ناشتا و بهبود سطوح سابفاتین در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ مؤثر باشند. با این همه، این نوع تمرینات تأثیری در سطوح اینترلوکین-۴ ندارند.

واژه‌های کلیدی: آدیپوکاین‌ها، التهاب، تمرین ورزشی، دیابت قندی.

نحوه استناد به این مقاله: زارعی، م، نخزری خداخیر، ج، خدایی، ک، محمدی، آ. تأثیر تمرین تناوبی شدید کم‌حجم بر سابفاتین و اینترلوکین-۴ سرم در مردان مبتلا به دیابت نوع دو. نشریۀ فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی. ۱۴۰۵؛۱۹(۳):۲۹-۴۷.

مقدمه

دیابت نوع دو (T2DM[1]) یک اختلال سوخت‌وسازی پیچیده و چندگانه است که با افزایش سطح گلوکز خون ناشی از نقص پیشرونده در ترشح انسولین یا مقاومت بافتی به انسولین مشخص می‌شود (۱). شیوع و گسترهٔ این بیماری در سال‌های اخیر با سرعت چشمگیری افزایش یافته است (۲). عوامل اصلی همه‌گیری دیابت نوع ۲، شامل چاقی جهانی، سبک زندگی کم‌تحرک، رژیم‌های غذایی پرکالری و افزایش جمعیت سالمندان است که همگی منجر به افزایش نرخ بروز و شیوع این بیماری شده‌اند (۳ و ۴). عوامل خطر دیابت نوع ۲، ترکیبی پیچیده‌ای از تعاملات ژنتیکی، سوخت‌وسازی و محیطی است. اگرچه استعداد ابتلا به این بیماری در افراد به دلیل عوامل غیرقابل اصلاح (مانند قومیت و پیشینهٔ خانوادگی)، پایهٔ ژنتیکی دارد؛ اما یافته‌های پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهند که در بسیاری از موارد، می‌توان با اصلاح عوامل خطر قابل اصلاح (چاقی، کم‌تحرکی و رژیم غذایی ناسالم) از بروز دیابت نوع ۲ پیشگیری کرد (۵).

آدیپوکاین‌ها گروهی از پروتئین‌های پیامرسان هستند که توسط بافت چربی تولید می‌شوند و نقش‌های کلیدی در تنظیم فرایندهای فیزیولوژیکی مختلف، از جمله سوخت‌وساز انرژی، التهاب، حساسیت به انسولین و کنترل اشتها دارند (۶). سابفاتین (Subfatin) یک آدیپوکاین تازه‌کشف‌شده است که از بافت چربی و ماهیچه‌های اسکلتی ترشح می‌شود. گزارش شده است که سابفاتین حساسیت به انسولین را افزایش می‌دهد و اثرات ضد التهابی دارد (۷). برخی از پژوهش‌های پیشین نشانگر آنند که سطح سابفاتین در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ در مقایسه با گروه کنترل پایین‌تر است؛ این کاهشِ سطح می‌تواند با بدتر شدن تحمل گلوکز مرتبط باشد و با سطح انسولین و نشانگرهای مقاومت به انسولین همبستگی منفی دارد (۸ و ۹). پژوهش‌ها در مورد اثرات مثبت سابفاتین بر حساسیت به انسولین نشان داده‌اند که این آدیپوکاین، فسفوریلاسیون AKT القاشده توسط انسولین را افزایش می‌دهد؛ بنابراین، کمبود آن منجر به مقاومت به انسولین در آدیپوسیت‌ها می‌شود (۷-۱۰). برخی از یافته‌های پژوهشی نشان می‌دهند که سابفاتین ممکن است حساسیت به انسولین و هزینهٔ انرژی را افزایش دهد و سوخت‌وساز لیپید را تنظیم کند (۱۰). گمان می‌رود که افزایش سابفاتین، بیان ژن‌های وابسته به سایتوکاین‌های ضد التهابی بژ و ترموژنز چربی را افزایش می‌دهد، تحمل گلوکز را بالا می‌برد و هزینهٔ انرژی را افزایش می‌دهد (۷). با این همه، داده‌های متناقضی در مورد سطح گردش سابفاتین در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ گزارش شده است (۱۱-۱۲). افزون بر این، مشخص شده است که بیماران مبتلا به این نوع دیابت، از افزایش بیان سایتوکاین‌های پیش‌التهابی رنج می‌برند. بر اساس برخی از یافته‌های پژوهشی پیشین، سابفاتین با افزایش بیان اینترلوکین-۴ (IL-4)، سایتوکاین‌های ضدالتهابی را افزایش می‌دهد (۷-۱۳)، برای نمونه، چانگ و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که IL-4 با افزایش حساسیت به انسولین، تحمل گلوکز و مهار رسوب لیپید، سوخت‌وساز گلوکز و لیپید را تنظیم می‌کند (۱۴). برخی از یافته‌های بیان می‌دارند که نقش تنظیمی مثبت IL-4 در تحمل گلوکز و حساسیت به انسولین، ممکن است از عملکرد ضد التهابی آن و مهار تولید سایتوکاین‌های القاکنندهٔ مقاومت به انسولین، مانند TNF-α و IL-6 ناشی شود (۱۵). با این همه، نیاز به مطالعات بیشتری در این زمینه احساس می‌شود.

عوامل مربوط به سبک زندگی، مانند رژیم غذایی و میزان فعالیت بدنی، از ارکان اصلی درمان دیابت نوع ۲

هستند. ورزش و تمرینات هوازی به عنوان مداخلات چندوجهی شناخته می‌شوند که می‌توانند تعدادی از عوامل خطر قلبی - سوخت‌وسازی، مانند هایپرگلیسمی و مقاومت به انسولین را در افراد مبتلا به دیابت نوع ۲ بهبود بخشند (۱۵-۱۷). پژوهش‌های فراوانی، انواع فعالیت‌های ورزشی ساختاریافته را به عنوان جزئی حیاتی در مهار دیابت نوع ۲ معرفی کرده‌اند. یکی از این فعالیت‌ها، تمرینات تناوبی با شدت بالا (HIIT) است که اگرچه به تازگی توجه بسیاری را به خود جلب کرده؛ اما پتانسیل‌ها و قابلیت‌های تجویز آن هنوز به طور کامل بررسی نشده است (۱۸). از طرفی، روش‌های سنتی HIIT به طور خاص از نظر زمانی کارآمد نیستند و همواره به ۳۰ تا ۴۰ دقیقه تمرین در هر جلسه نیاز دارند (۱۹). از این رو، پیشنهاد شده است که تمرکز به سمت مداخلات تمرینات تناوبی با شدت بالا با زمان کارآمدتر، حجم کم و بازدهی بیشتر تغییر یابد. این نوع تمرینات به کمترین زمان نیاز دارد و ممکن است با پاسخ‌های ادراکی قابل قبول‌تری همراه باشند (۱۹ و ۲۰). به تازگی یک پژوهش فراتحلیلی برخوردار از ۶۷ مداخله HIIT نشان داد که طولانی بودن مدت‌زمان تمرین در هر جلسه یا هفته، نبود پایبندی به برنامهٔ تمرینی را پیش‌بینی می‌کند (۲۱). در این راستا، تمرینات HIIT کم‌حجم که شامل کمتر از ۱۵ دقیقه ورزش با شدت بالا در هر جلسه است، به دلیل ماهیت زمان - کارآمد و مزایای سلامت‌محور ادعایی‌اش، به طور فزاینده‌ای در جمعیت‌های سالم و بالینی مورد توجه قرار گرفته است (۲۲). یافته‌های پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهند که HIIT کم‌حجم، با وجود صرفه‌جویی در زمان و انرژی، می‌تواند پیشرفت‌های مشابه یا حتی بیشتری را در آمادگی قلبی - تنفسی، کنترل گلوکز، فشار خون و عملکرد قلبی ایجاد کند (۲۳-۲۵). با این همه، همچنان برای تأیید این فرضیه و سازوکارهای دقیق آن، انجام پژوهش‌های بیشتری مورد نیاز است. با توجه به اینکه کمبود وقت یکی از رایج‌ترین موانع فعالیت بدنی و ورزش در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ است، HIIT کم‌حجم می‌تواند راهبردی مؤثر برای مدیریت عوامل وابسته به گسترش این بیماری باشد (۲۸-۲۵). با این وجود، پژوهش‌های اندکی که به بررسی تأثیر تمرین HIIT کم‌حجم در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ پرداخته‌اند، یافته‌های متفاوتی ارائه داده‌اند، برای نمونه، لیتل و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که تمرینات تناوبی با شدت بالا و حجم کم، باعث کاهش هایپرگلایسمی و افزایش ظرفیت میتوکندری ماهیچه‌ای در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ می‌شود (۲۷). مارکوت چنارد و همکاران (۲۰۲۱) نیز در مطالعه‌ای، به بررسی اثرات تمرینات HIIT با حجم کم در مقایسه با تمرینات مداوم با شدت متوسط بر کنترل قند خون و ترکیب بدن در زنان مسن مبتلا به دیابت نوع ۲ پرداختند و با وجود مزیت‌های تمرینات HIIT ، بهبود معنادار در سطح گلوکز ناشتا و هموگلوبین گلوکوزیله را تنها در گروه تمرینات پیوسته مشاهده کردند که این نتیجه با یافته‌های پژوهش حاضر تفاوت دارد (۲۹). از این رو، بررسی تأثیر این نوع تمرینات، به‌ویژه در بیماران مبتلا به دیابت، همچنان از اهمیت بالایی برای پژوهشگران برخوردار است.

پژوهش‌های فراوانی اثرات تمرینات ورزشی مختلف را بر سطح سابفاتین و IL-4، به‌ویژه در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲، بررسی کرده‌اند (۳۲-۳۰). با توجه به اثرات مطلوب فعالیت بدنی بر آدیپوکاین‌های دخیل در پیشرفت دیابت، هدف پژوهش حاضر، بررسی اثرات احتمالی تمرین HIIT کم‌حجم بر سابفاتین و IL-4 در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ است. این پژوهش می‌تواند بینش‌های جدیدی را در مورد سازوکارهای تعدیل مسیرهای پایین‌دستی توسط تمرینات ورزشی برای درمان دیابت ارائه دهد. از طرفی، با توجه به اهمیتِ دستیابی به بهترین و کارآمدترین روش تمرینی از نظر

زمانی و اینکه آیا تمرینات تناوبی شدید کم‌حجم را می‌توان به عنوان یک برنامهٔ تمرینی مؤثر برای بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ تجویز کرد یا خیر، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر تمرینات تناوبی شدید با حجم کم بر سابفاتین و اینترلوکین-۴ سرم در مردان مبتلا به دیابت نوع ۲ انجام شد.

روش پژوهش

نمونه‌های پژوهش: این پژوهش با طرح نیمه‌تجربی (پیش‌آزمون - پس‌آزمون) و با استفاده از دو گروه تجربی و کنترل، در زمستان سال ۱۴۰۴ اجرا شد. جامعهٔ آماری پژوهش شامل مردان مبتلا به دیابت نوع ۲ بود. معیارهای ورود به مطالعه عبارت بودند از: تشخیص دیابت نوع ۲ طبق معیارهای انجمن دیابت آمریکا با سابقهٔ بیماری دست‌کم ۲ سال (۳۳)، مرد بودن، در محدودهٔ سنی ۳۰ تا ۵۵ سال قرار داشتن، مبتلا نبودن به بیماری‌های قلبی - عروقی، اسکلتی-ماهیچه‌ای و سوخت‌وسازی که ورزش کردن را محدود کنند، نداشتن فعالیت بدنی منظم در ۶ ماه گذشته و عدم استفاده از انسولین.

روش اجرای پژوهش: پس از اطلاع‌رسانی عمومی، داوطلبان مشتاق به مشارکت در پژوهش ثبت‌نام شدند و اهداف، روش اجرا، مزایا و خطرات احتمالی برای آنها توضیح داده شد؛ سپس از همهٔ آنها رضایتنامه دریافت گردید. ارزیابی بالینی اولیه را یک پزشک انجام داد. این فرایند شامل بررسی پیشینهٔ پزشکی، تکمیل پرسشنامهٔ آمادگی برای فعالیت بدنی و معاینهٔ بدنی بود تا از سلامت آنها برای شرکت در مداخله اطمینان حاصل شود. حجم نمونه با استفاده از نرم‌افزار G Power و با کمک اندازهٔ اثر متغیرهای پژوهش‌های پیشین، اندازهٔ اثر= ۰/۵ (۳۴)، سطح آلفا= ۰/۰۵ و توان= ۰/۸، برای هر گروه، ۱۱ نفر برآورد گردید. در نهایت، از بین داوطلبان واجد شرایط و معیارهای ورود به مطالعه، ۲۲ نفر انتخاب شدند که پس از اندازه‌گیری‌های اولیه، به طور تصادفی در دو گروه «تمرین تناوبی شدید کم‌حجم» (۱۱ نفر) و «کنترل» (۱۱ نفر) جای‌دهی شدند. این پژوهش، پس از تأیید کمیتهٔ اخلاق دانشگاه زابل به شمارهٔ IR.UOZ.REC.1403.030 انجام گرفت. در طول دورهٔ پژوهش، یک نفر از هر گروه، به دلایل شخصی از حضور در طرح انصراف دادند.

اندازه‌گیری‌های آنتروپومتری و نمونه‌گیری خون در دو مرحله (۴۸ ساعت پیش از آغاز دورهٔ تمرین ورزشی و ۴۸ پس از آخرین جلسهٔ تمرینی) انجام گرفت. شاخص‌های آنتروپومتری شامل قد، وزن، تودهٔ چربی بدن و نمایهٔ تودهٔ بدنی با کمترین لباس و بدون کفش اندازه‌گیری شدند. وزن آزمودنی‌ها با ترازوی ساخت آلمان با دقت ۰/۱ کیلوگرم و قد آنها توسط متر نواری با دقت ۰/۵ سانتی‌متر تعیین گردید. نمایهٔ تودهٔ بدنی از تقسیم وزن بدن (کیلوگرم) بر مجذور قد (متر مربع) محاسبه و ترکیب بدنی با استفاده از دستگاه Body composition (JAWON X-CONTACT 350F، ساخت کره) ارزیابی شد.

برنامهٔ تمرینی به مدت هشت هفته و با فرکانس سه جلسه در هفته برای گروه تجربی اجرا شد. آزمودنی‌ها در گروه تمرین تناوبی شدید کم‌حجم، هر جلسهٔ تمرین را با ۵ دقیقه گرم کردن با شدت ۶۵ تا ۷۰ درصد ضربان قلب بیشینه آغاز می‌کردند. در هفته‌های اول تا چهارم، برنامه شامل دو بازهٔ چهار دقیقه‌ای (۲×۴ دقیقه)، با شدت ۸۵ تا ۹۰ درصد ضربان قلب بیشینه، به همراه سه دقیقه بازیافت فعال با شدت ۶۵ تا ۷۵ درصد ضربان قلب بیشینه بود. در هفته‌های پنجم تا هشتم، شدت تمرین به سه بازهٔ چهار دقیقه‌ای افزایش یافت. در نهایت، هر جلسهٔ تمرین با پنج دقیقه سرد کردن به پایان می‌رسید. شدت تمرین با استفاده از ضربان‌سنج «پلار» کنترل می‌شد. مدت‌زمان هر جلسهٔ تمرین نیز بین ۲۱ تا ۲۸ دقیقه بود. این برنامهٔ تمرینی، برگرفته از

روش احمد و همکاران (۲۰۲۳، و اصلاح شدهٔ آن بود (۳۵). شایان ذکر است که آزمودنی‌ها پیش از آغاز مداخله، در دو جلسه با نحوهٔ اجرای تمرینات آشنا شدند.

متغیرهای آنتروپومتریک، شامل قد، وزن بدن، تودهٔ چربی بدن و نمایهٔ تودهٔ بدنی، در شرایط استاندارد اندازه‌گیری شدند. وزن و قد آزمودنی‌ها با استفاده از ترازوی پزشکی سنجیده شد و نمایهٔ تودهٔ بدنی با استفاده از فرمول BMI - وزن/قد (متر مربع) محاسبه گردید. اندازه‌گیری‌های ترکیب بدن نیز با استفاده از دستگاه آنالیز ترکیب بدن (InBody JAWON X-CONTACT 350F، کره جنوبی) و در حالت هیدراتاسیون طبیعی انجام شد.

روش‌های آزمایشگاهی: برای انجام فرایند خونگیری، آزمودنی‌ها ۴۸ ساعت پیش از نخستین جلسهٔ تمرینی و ۴۸ ساعت پس از آخرین جلسهٔ تمرینی، پس از ۱۲ ساعت ناشتایی در ساعت ۸ صبح در محل آزمایشگاه حضور یافتند. از آنان خواسته شده بود دو روز پیش از نمونه‌گیری، هیچ فعالیت بدنی شدیدی انجام ندهند. نمونه‌های خون پس از جمع‌آوری، سانتریفیوژ گردیدند و پس از جداسازی سرم، تا زمان اندازه‌گیری، در دمای ۸۰- درجهٔ سانتیگراد نگهداری شدند. غلظت اینترلوکین-۴ با استفاده از کیت الایزای اینترلوکین-۴ انسانی (۵۶ pg/ml-۱/۱۰۰= محدودهٔ سنجش، pg/ml ۰/۴۸=حساسیت، ساخت شرکت SunLong Biotech، چین) و غلظت سابفاتین با استفاده از کیت الایزای سابفاتین انسانی (۰/۲۰-۳ng/ml= محدودهٔ سنجش، ng/ml ۰/۰۵=حساسیت، ساخت شرکت SunLong Biotech، چین) تعیین گردید. سطح گلوکز ناشتا نیز با استفاده از روش‌های آنزیمی (شرکت پارس آزمون، تهران، ایران) اندازه‌گیری شد.

تحلیل آماری: برای بررسی توزیع نرمال داده‌ها از آزمون شاپیرو - ویلک استفاده گردید. پس از حصول اطمینان از توزیع بهنجار داده‌ها، روش آماری پارامتریک به کار گرفته شد. برای بررسی همگنی واریانس‌ها نیز از آزمون لون و برای مقایسهٔ اندازه‌گیری‌های اولیهٔ متغیرهای مطالعه بین دو گروه، از روش آماری تی مستقل استفاده گردید. برای مقایسهٔ داده‌های بین گروهی، از تحلیل کوواریانس و برای بررسی تغییرات درون‌گروهی از آزمون تی زوجی بهره گرفته شد. همهٔ تحلیل‌ها در سطح معناداری P<۰/۰۵ انجام شدند و برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، از نرم‌افزار SPSS نسخهٔ ۱۶ استفاده گردید.

نتایج

نتایج تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که در اندازه‌گیری‌های اولیه، در متغیرهای مورد مطالعه بین دو گروه، تفاوت معناداری وجود ندارد (جدول ۱).

در این پژوهش برای مقایسهٔ یافته‌ها و داده‌های بین گروهی از روش آماری تحلیل کواریانس استفاده شد. یافته‌ها نشان داد که پس از هشت هفته مداخله، بین دو گروه تجربی و کنترل، در برخی شاخص‌ها، تفاوت معناداری مشاهده می‌گردد. به طور مشخص، مقادیر وزن بدن (F=۵/۹۲، ۰/۲۵۸=اندازهٔ اثر، p=۰/۰۲۶)، نمایهٔ تودهٔ بدنی (F= ۶/۳۳، ۰/۲۷۱=اندازهٔ اثر، p=۰/۰۲۲)، تودهٔ چربی بدن (F=۴/۶۳، ۰/۲۱۴=اندازهٔ اثر، p=۰/۰۴۶) و گلوکز ناشتا (F=۹/۸۲، ۰/۳۶۶=اندازهٔ اثر، p=۰/۰۰۶) در گروه تمرینات تناوبی شدید کم‌حجم در مقایسه با گروه کنترل، به طور معناداری کاهش یافت (جدول ۲). همانطور که در شکل ۱ دیده می‌شود، پس از هشت هفته تمرینات تناوبی شدید کم‌حجم، سطح سابفاتین در مقایسه با گروه کنترل، افزایش معناداری داشته است (F=۱۵/۳۶، ۰/۴۷۵=اندازهٔ اثر، p=۰/۰۰۱). با این همه، پس از هشت هفته مداخله، تفاوت معناداری در سطح اینترلوکین-۴ بین دو گروه دیده نشد (F=۱/۴۷، ۰/۰۸= اندازهٔ اثر، p=۰/۲۴۱).

جدول ۱. مشخصات و ویژگی‌های تن‌سنجی آزمودنی‌ها پیش از آغاز پژوهش

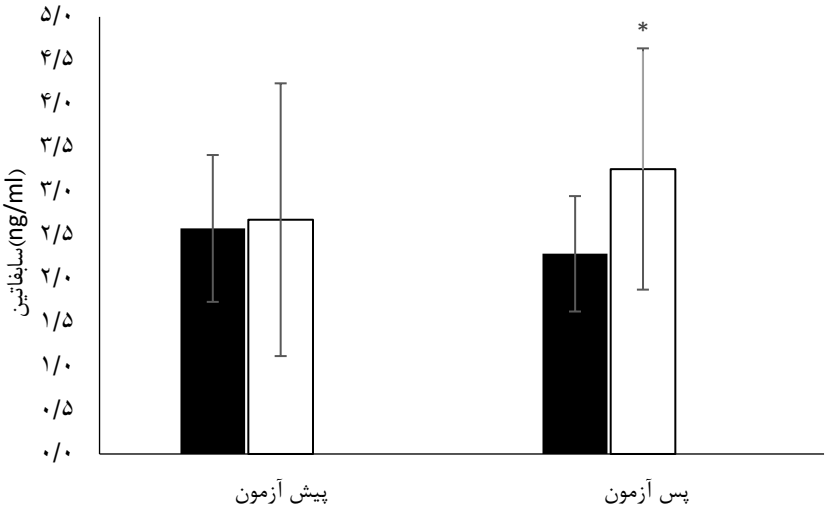
	گروه تجربی	گروه کنترل	مقادیر p
سن (سال)	۵۰/۷۰±۴/۲۷	۴۸/۱۰±۵/۳۰	۰/۲۴۳
قد (متر)	۱/۷۲±۰/۰۶	۱/۷۰±۰/۰۷	۰/۵۵۱
وزن (کیلوگرم)	۸۲/۷±۲۱/۰۷	۸۰/۶±۵۶/۱۶	۰/۵۸۵
نمایهٔ تودهٔ بدنی (کیلوگرم بر متر مربع)	۲۷/۲±۸۱/۱۹	۲۸/۴±۱۳/۱۳	۰/۸۳۴

داده‌ها بر اساس میانگین± انحرف استاندارد ارائه شده است.

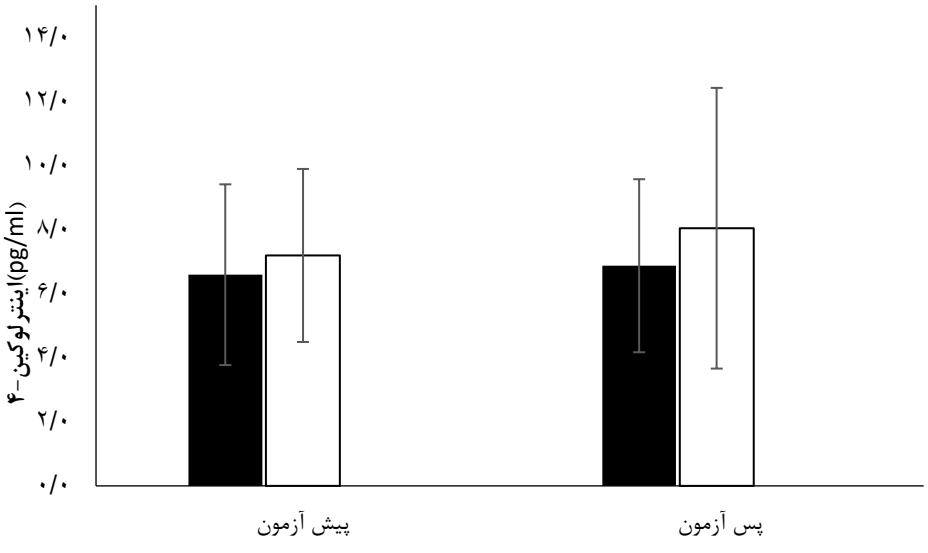
جدول ۲. مقادیر بیوشیمیایی و تن‌سنجی آزمودنی‌ها پیش و پس از مداخله

	HIIT کم‌حجم			گروه کنترل				
	پیش‌آزمون	پس‌آزمون	P درون‌گروهی	پیش‌آزمون	پس‌آزمون	P درون‌گروهی	p بین گروهی	اندازهٔ اثر	مقادیر F
وزن (کیلوگرم)	۸۲/۷±۲۱/۰۷	۸۱/۶±۴۹/۹۲*	۰/۰۸	۸۰/۶±۵۶/۱۶	۸۰/۶±۹۵/۶۲	۰/۱۵	۰/۰۲۶	۰/۲۵۸	۵/۹۲
نمایهٔ توده بدنی (کیلوگرم بر متر مربع)	۲۷/۲±۸۱/۱۹	۲۷/۲±۵۷/۲۹*	۰/۰۸	۲۸/۴±۱۳/۱۳	۲۸/۴±۲۸/۳۲	۰/۱۲	۰/۰۲۲	۰/۲۷۱	۶/۳۳
تودهٔ چربی بدن (کیلوگرم)	۲۳/۳±۰۹/۵۶	۲۲/۳±۲۲/۹۷*	۰/۰۷	۲۵/۵±۳۵/۶۱	۲۵/۵±۷۶/۵۶	۰/۲۸	۰/۰۴۶	۰/۲۱۴	۴/۶۳
گلوکز ناشتا (mg/dL)	۱۳۴/۱۱±۸۰/۱۶	۱۱۹/۱۲±۶۰/۸۵*#	۰/۰۰۱	۱۵۰/۴۴±۶۰/۴۰	۱۵۱/۴۱±۹۰/۱۱	۰/۸۴	۰/۰۰۶	۰/۳۶۶	۹/۸۲
سابفاتین (ng/ml)	۲/۱±۶۸/۵۶	۳/۱±۲۶/۳۸*#	۰/۰۱۱	۲/۰±۵۸/۸۴	۲/۰±۲۹/۶۶	۰/۱۴۰	۰/۰۰۱	۰/۴۷۵	۱۵/۳۶
اینترلوکین- ۴ (pg/ml)	۷/۲±۱۹/۷۰	۸/۴±۰۴/۳۸	۰/۱۹۵	۶/۲±۵۹/۸۲	۶/۲±۸۷/۷۰	۰/۶۶۹	۰/۲۴۱	۰/۰۸۰	۱/۴۷

* نشان‌دهندهٔ تفاوت معنادار در مقایسه با گروه کنترل. # نشان‌دهندهٔ تفاوت معنادار در مقایسه با پیش‌آزمون. داده‌ها بر اساس میانگین± انحرف استاندارد ارائه شده است.



شکل ۱. تغییرات میانگین سطح سابفاتین آزمودنی‌ها در گروه تمرین تناوبی شدید کم‌حجم و گروه کنترل، پیش و پس از هشت هفته (میانگین داده‌ها پیش و پس از مداخله ± انحراف معیار گزارش شده‌اند). یافته‌ها نشان می‌دهد که سطح سابفاتین در گروه تمرین تناوبی شدید کم‌حجم در مقایسه با گروه کنترل، افزایش معناداری یافته است. (* نشان‌دهندهٔ تفاوت معنادار در مقایسه با گروه کنترل)



شکل ۲. تغییرات میانگین سطح اینترلوکین-۴ آزمودنی‌ها در گروه تمرین تناوبی شدید کم‌حجم و گروه کنترل، پیش و پس از هشت هفته (میانگین داده‌ها پیش و پس از مداخله ± انحراف معیار گزارش شده‌اند). همانطور که دیده می‌شود پس از هشت هفته مداخله، سطح اینترلوکین-۴ در گروه تمرین تناوبی شدید کم‌حجم در مقایسه با گروه کنترل افزایش یافته؛ اما این افزایش معنادار نبوده است. گمان می‌رود کوتاه بودن طول دورهٔ تمرینی و حجم کم تمرین در هر جلسه، از مهمترین دلایل معنادار نبودن تغییرات اینترلوکین-۴ باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که پس از هشت هفته اجرای تمرینات تناوبی شدید کم‌حجم (HIIT)، وزن بدن، نمایهٔ تودهٔ بدنی، تودهٔ چربی بدن و گلوکز ناشتا در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲، به طور معناداری کاهش یافت. افزایش معناداری نیز در سطح سابفاتین در گروه مداخله نسبت به گروه کنترل مشاهده شد؛ اما تغییر معناداری در سطح اینترلوکین-۴ دیده نشد.

نتایج حاصل از این پژوهش در راستای برخی از یافته‌های پیشین قرار می‌گیرد؛ اما در مواردی با آنها تفاوت دارد. برای نمونه، لیتل و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که تمرینات تناوبی با شدت بالا و حجم کم، باعث کاهش هایپرگلایسمی و افزایش ظرفیت میتوکندری ماهیچه‌ای در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ می‌شود (۲۷). احمد و همکاران (۲۰۲۳) نیز در پژوهشی، به مقایسهٔ تأثیر تمرین تناوبی شدید با حجم کم و حجم بالا بر کنترل قند خون و کیفیت زندگی در زنان چاق مبتلا به دیابت نوع ۲ پرداختند. آنها گزارش کردند که HIIT با حجم کم می‌تواند به اندازهٔ HIIT با حجم بالا، در بهبود کلسترول تام، HDL، فشار خون و معیارهای چاقی آنتروپومتریک مؤثر باشد؛ با این حال، به این موضوع نیز اشاره داشتند که HIIT با حجم بالا می‌تواند تأثیر بیشتری بر کنترل قند خون، تری گلیسرید، LDL و آمادگی قلبی - تنفسی این بیماران داشته باشد (۳۵). در همین راستا، ویندینگ و همکاران (۲۰۱۸)، تأثیر تمرینات تناوبی با شدت بالا و حجم کم را با تمرینات استقامتی بر کنترل قند خون در افراد مبتلا به دیابت نوع ۲ مقایسه کردند. پژوهش آنان نشان داد که با وجود کاهش ۴۵ درصدی حجم تمرین، HIIT در مقایسه با تمرینات استقامتی، منجر به بهبودهای مشابه یا حتی بهتری در آمادگی بدنی، ترکیب بدن و کنترل قند خون می‌شود؛ از این رو، HIIT با حجم کم می‌تواند راهبرد درمانی مهم و کارآمدی برای این بیماران تلقی شود (۲۸). در مقابل، مارکوت چنارد و همکاران (۲۰۲۱) اثرات تمرین HIIT با حجم کم را با تمرینات تداومی با شدت متوسط بر کنترل قند خون و ترکیب بدن زنان مسن مبتلا به دیابت نوع ۲ مقایسه کردند و گزارش دادند که با وجود مزیت‌ها و برتری‌های این نوع تمرین، بهبود معنادار در گلوکز ناشتا و هموگلوبین گلوکوزیله، تنها در گروه تمرینات تداومی مشاهده شده است که این یافته با یافته‌های پژوهش حاضر تفاوت دارد. مارکوت چنارد و همکاران (۲۰۲۱)، تفاوت‌های سوخت‌وسازی در افراد سالمند، تفاوت در نوع آزمودنی‌ها (به‌ویژه بانوان) و نداشتن گروه کنترل را از دلایل احتمالی این تفاوت‌ها برشمرده‌اند (۲۹). گمان می‌رود یکی از مهمترین عوامل تمایز میان پژوهش‌های مذکور، تفاوت در نوع آزمودنی‌ها، حجم تمرین و مدت‌زمان مداخله باشد؛ به طوری که مارکوت چنارد و همکاران (۲۰۲۱)، تغییرات سوخت‌وسازی در آزمودنی‌های سالمند و تفاوت‌های جنسیتی (سازگاری های مختص جنس) در پاسخ به تمرینات را از مهمترین عوامل اثرگذار بیان کردند (۲۹).

در پژوهش حاضر، سطح سابفاتین در گروه HIIT کم‌حجم پس از هشت هفته، به طور معناداری افزایش یافت. این یافته با نتایج برخی از پژوهش‌های پیشین همسوست؛ برای نمونه، افزایش معنادار سابفاتین در مطالعهٔ حاضر با یافته‌های پژوهش آکبولات و همکاران (۲۰۲۲) - که اثرات انواع تمرین‌های منظم را بر سطوح سابفاتین و آسپروسین بررسی نموده و افزایش معنادار سابفاتین را در همهٔ گروه‌های تمرین مقاومتی، هوازی و HIIT گزارش کرده بودند - همخوانی دارد (۳۰). علیزاده و همکاران (۲۰۲۴) نیز به بررسی اثرات تمرین مقاومتی دایره‌ای بر پروتئین شبه متئورین (سابفاتین)، IL-4، اینترلوکین-۱۳ (IL-13) و نشانگرهای سلامت سوخت‌وسازی در افراد دارای اضافه وزن پرداختند. آنها گزارش کردند که تمرین مقاومتی دایره‌ای، ترشح

سابفاتین و اینترلوکین-۴ را به طور معناداری افزایش می‌دهد و نقش بالقوه‌ای در بهبود عملکردهای ایمنی و سوخت‌وسازی در افراد دارای اضافه وزن دارد. همچنین این تمرینات، وزن بدن، BMI و درصد چربی بدن را به طور معناداری کاهش دادند و نیمرخ لیپیدی، گلوکز، انسولین و مقاومت به انسولین را بهبود بخشیدند (۳۶). سعیدی و همکاران (۲۰۱۹) اظهار داشتند که با توجه به نقش مهم سابفاتین در کاهش مقاومت به انسولین و بافت چربی؛ همچنین همبستگی آن با عوامل خطر قلبی - عروقی مانند LDL، HDL، کلسترول و تری‌گلیسیرید، افزایش سطح سابفاتین از طریق ورزش منظم می‌تواند به ارتقای سلامت در جمعیت چاق و دیابتی کمک کند (۳۲). دژکام و همکاران (۱۴۰۰) نیز در بررسی اثر شش هفته تمرین هوازی بر سطح سابفاتین و نشانگر مقاومت به انسولین در زنان جوان دارای اضافه‌وزن و چاق، پیشنهاد کردند که اجرای این تمرینات، به واسطهٔ افزایش سطوح سابفاتین می‌تواند به بهبود مقاومت به انسولین منجر شود (۳۷). با این همه، یافته‌های برخی از پژوهش‌های پیشین با نتایج پژوهش حاضر متفاوت است. بخشی و همکاران (۱۴۰۰) به بررسی تأثیر هشت هفته تمرین تداومی بر سطوح سرمی پروتئین شبه متئورین و اینترلوکین-۶ (IL-6) در موش‌های صحرایی نر مبتلا به نشانگان سوخت‌وسازی پرداختند و گزارش کردند که انجام هشت هفته تمرین تداومی نتوانسته است بر سطح سرمی سابفاتین تأثیر معناداری داشته باشد (افزایش غیرمعنادار)؛ با این همه، سطح سرمی IL-6 در گروه نشانگان سوخت‌وسازی افزایش معناداری داشت (۳۸). یافته‌های پژوهشی پیشین نشان می‌دهند که انواع تمرینات ورزشی می‌توانند تأثیرات مختلفی بر سطوح سایتوکاین‌ها داشته باشند. افزون بر این، تفاوت در نوع آزمودنی‌ها، نوع بیماری، طول دورهٔ تمرین و مدت‌زمان جلسات تمرینی نیز بر نتایج وابسته به سابفاتین اثرگذار هستند (۳۹). بخشی و همکاران (۱۴۰۰) دلیل نبود تغییر معنادار سطوح سابفاتین در پژوهش‌های پیشین را به تفاوت در نوع آزمودنی‌ها، شدت، مدت، زمان و حجم تمرین منتسب دانستند. آنها گزارش کردند که شدت شیوه‌های تمرینی مذکور جهت تحریک عوامل رونویسی داخل سلولی کافی نبوده است و احتمال داشت با افزایش طول دورهٔ تمرین به بیش از هشت هفته، تغییرات معنادار در سابفاتین نیز دیده شد. از طرفی، پژوهش بخشی و همکاران (۱۴۰۰) بر روی نمونه‌های حیوانی مبتلا به نشانگان سوخت‌وسازی، با شدت ۶۰ تا ۷۵ درصد بیشینهٔ سرعت انجام شده که با به شدت‌های تمرینی پژوهش حاضر، متفاوت و از آنها پایین‌تر بوده است (۳۸). برخی یافته‌ها نشان می‌دهند که افزایش سابفاتین ناشی از ورزش، با سطح گلوکز خون همبستگی منفی دارد. لی و همکاران (۲۰۲۰) گزارش دادند که تغییرات سطح سابفاتین می‌تواند تغییرات گلوکز خون را پیش‌بینی کند. آنها نشان دادند که افزایش غلظت سابفاتین ناشی از انقباض‌های ماهیچه‌ای ناشی از ورزش، از طریق تحریک و فسفوریلاسیون AMPK و افزایش بیان GLUT4 در غشاهای سلولی، باعث جذب گلوکز و بهبود عدم تحمل گلوکز می‌شود (۳۹). علیزاده و همکاران (۲۰۲۴) نیز در پژوهشی، اثرات مثبت افزایش سابفاتین بر حساسیت به انسولین را گزارش کردند. یافته‌های پژوهشی پیشین همچنین نشان می‌دهند که سابفاتین، علاوه بر تمایز آدیپوسیت‌های سفید و افزایش سوخت‌وساز لیپید، التهاب چربی را نیز مهار می‌کند که همهٔ اینها به افزایش عملکرد انسولین کمک می‌کنند (۴۰). افزون بر این، گزارش شده است که سابفاتین جذب گلوکز را در سلول‌های ماهیچهٔ اسکلتی افزایش می‌دهد و تحمل گلوکز را در الگوهای حیوانی چاقی و دیابت نوع ۲ بهبود می‌بخشد (۳۹). در پژوهشی، گزارش شد که تمرین دایره‌ای مقاومتی، سطح استراحتی سابفاتین را در افراد

مبتلا به دیابت نوع ۲ افزایش می‌دهد، که این امر ارتباط چشمگیری با بهبود سطح قند خون ناشتا و مقاومت به انسولین دارد (۴۱)؛ این یافته با یافته‌های پژوهش حاضر مبنی بر کاهش معنادار گلوکز ناشتا مطابقت دارد و این فرضیه را تقویت می‌کند که افزایش سابفاتین ناشی از مداخلات ورزشی، شاید میانجی‌گری کلیدی در بهبود کاهش سطح گلوکز ناشتای شرکت‌کنندگان در این پژوهش بوده است. این امر بیشتر از این مفهوم پشتیبانی می‌کند که تعدیل سابفاتین می‌تواند رویکرد درمانی امیدوارکننده‌ای برای کنترل گلوکز خون ناشتا و دیابت نوع ۲ باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهند که افزایش سطوح در گردش هورمون سابفاتین، سبب افزایش هزینهٔ انرژی، قهوه‌ای شدن بافت چربی سفید و افزایش حساسیت انسولینی بافت چربی سفید می‌گردد (۷). هورمون شبه متئورین از طریق شیفت ماکروفاژی و متعاقب آن، افزایش بیان هورمون اپی‌نفرین، ژن‌های اکسایشی و UCP1، سبب افزایش اکسایش تری‌گلیسریدها و قهوه‌ای شدن بافت چربی سفید می‌شود. رائو و همکاران (۲۰۱۴) نیز گزارش کردند که تغییرات هورمون سابفاتین در اثر شش هفته تمرین تناوبی سرعتی می‌تواند در بهبود سوخت‌وساز گلوکز و چربی سهیم باشد (۷).

پژوهش حاضر نشان داد که هشت هفته تمرین HIIT کم‌حجم، تأثیر معناداری بر سطح IL-4 در مردان مبتلا به دیابت نوع ۲ ندارد. پژوهش‌های مختلفی تأثیر انواع تمرینات ورزشی را بر سطح IL-4 بررسی کرده‌اند که یافته‌های آنها تا حدودی متفاوت بوده است. همسو با یافته‌های مطالعهٔ حاضر، ضابطیان و همکاران (۲۰۱۶)، تأثیر هشت هفته تمرین استقامتی را بر سطوح سرمی اینترلوکین-۲ و IL-4 در مردان غیرفعال بررسی کردند و افزایش غیرمعناداری را در سطوح سرمی IL-2 و IL-4، پس از یک برنامهٔ تمرین استقامتی هشت هفته‌ای گزارش کردند (۴۲). کانروی و همکاران (۲۰۱۶) نیز تأثیر تمرین هوازی را بر سطوح IL-4 و IL-10 در زنان غیرفعال، سالم و یائسه بررسی کردند و مشابه با یافته‌های پژوهش حاضر، تفاوت معناداری را در سطح IL-4 بین گروه‌های مورد بررسی گزارش ندادند (۴۳). به نظر آنها یکی از دلایل بی‌تأثیر بودن مطالعات مداخله‌ای ورزشی بر IL-4 و IL-10 در گردش خون، شاید به نیمرخ سوخت‌وسازی و التهابی طبیعی کلی در افراد سالم، در مقایسه با افراد مبتلا به بیماری‌های مزمن و در نتیجه، پاسخ تطبیقی کمتر به اثرات ضد التهابی ناشی از ورزش در افزایش سطوح پایه مربوط باشد (۴۳). بوید و همکاران (۲۰۱۲) نیز اثر ۱۲ هفته تمرین هوازی با شدت ۶۰ الی ۷۵ درصد ضربان قلب بیشینه را بر نشانگرهای التهابی سرم افراد مبتلا به آسم بررسی نمودند و تغییر معناداری در سطح سرمی IL-4 و سایر اینترلوکین‌های ارزیابی‌شده گزارش نکردند (۴۴). با این همه، علیزاده و همکاران (۲۰۲۴) گزارش کردند که تمرین مقاومتی دایره‌ای در افراد دارای اضافه‌وزن به طور معناداری IL-4 را افزایش می‌دهد (۳۶). یافته‌های پژوهش‌های پیشین همیشه بیان کرده‌اند که همبستگی بین ورزش و سایتوکاین‌ها، پیچیده و بحث‌برانگیز است و شدت تمرین، وضعیت آزمودنی‌ها، محل اندازه‌گیری سایتوکاین (برای نمونه، بافت، پلاسما یا ادرار)، ویژگی و حساسیت روش‌های اندازه‌گیری و نوع سایتوکین‌ها، همگی در این امر نقش دارند (۴۵). یافته‌های پژوهش حاضر از این فرضیه که ورزش هوازی منظم منجر به افزایش سطح پایهٔ IL-4 می‌شود، پشتیبانی نمی‌کند. گمان می‌رود عوامل بسیاری در بروز چنین نتایجی دخیل باشند؛ از جمله تفاوت در نوع آزمودنی‌ها (سالم یا بیمار)، سطح پایهٔ سایتوکاین، مدت‌زمان دورهٔ تمرین و حجم تمرین (۴۳). یافته‌های پژوهشی نشان‌دهندهٔ آن هستند که در افراد با سطوح پایهٔ IL-4 پایین یا تعادل التهابی خنثی (مانند بیماران مبتلا به دیابت بدون التهاب

شدید)، مداخلات ورزشی چندهفته‌ای نمی‌توانند تغییر معناداری ایجاد کنند؛ زیرا توانایی افزایش آنها محدود است (۳۱). فشار اکسایشی یا آسیب ماهیچه‌ای ناکافی در شیوه‌های کم‌حجم نیز مانع از آزادسازی سایتوکاین‌های ضدالتهابی مانند IL-4 می‌شود (۴۶ و ۴۷). به هر حال، گمان می‌رود مدت‌زمان کوتاه دورهٔ تمرین (هشت هفته) و حجم کم تمرین در هر جلسه، از دلایل نبود چنین نتایجی، به‌ویژه در پژوهش حاضر باشد.

یکی از محدودیت‌های مهم این پژوهش، نبود کنترل دقیق بر رژیم غذایی و فعالیت بدنی خارج از برنامهٔ تمرینی آزمودنی‌ها بود. رژیم غذایی آزمودنی‌ها در این پژوهش ثبت نشد. با توجه به تأثیرات احتمالی اصلاح یا تغییر رژیم غذایی بر نتایج نهایی، آزمودنی‌ها در طول دورهٔ پژوهش، هیچ‌گونه مشاورهٔ غذایی دریافت نکردند و از آنها خواسته شد رژیم غذایی قبلی خود را ادامه دهند. از طرفی، با توجه اینکه ثبت اطلاعات رژیم غذایی ممکن بود به افزایش آگاهی و حساسیت آزمودنی نسبت به رژیم غذایی خود و در نهایت تغییر الگوی رژیم غذایی منجر شود (۴۸ و ۴۹)، تصمیم گرفته شد که ثبت اطلاعات تغذیه‌ای انجام نشود. همچنان که در بالا ذکر شد، یکی دیگر از محدودیت‌های این پژوهش، نبود کنترل کامل بر فعالیت بدنی خارج از برنامهٔ تمرینی بود؛ اگرچه به آزمودنی‌ها توصیه شده بود که در طول دورهٔ مداخله، فعالیت ورزشی دیگری نداشته باشند.

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهند که تمرین تناوبی شدید می‌تواند در کاهش وزن، تودهٔ چربی بدن، گلوکز ناشتا و بهبود سطوح سابفاتین در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ مؤثر باشد. این نتایج حاکی از آن است که تمرین تناوبی شدید کم‌حجم، برای بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲، گزینه‌ای مؤثر، کارآمد و کم‌هزینه است. این نوع تمرین با صرفه‌جویی در زمان، به‌ویژه برای بیمارانی که با محدودیت وقت مواجه‌اند، توصیه می‌شود. با این همه، شدت بالای این نوع تمرین شاید برای همهٔ بیماران قابل تحمل نباشد؛ از این رو، بیماران پیش از اجرای آن، باید مورد ارزیابی‌های بالینی و پزشکی قرار گیرند. با این همه، تمرین تناوبی شدید کم‌حجم، تأثیری بر سطوح IL-4 در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ نداشت. با توجه به اثربخشی این شیوهٔ تمرینی در مدیریت دیابت نوع ۲، چند محور مهم برای پژوهش‌های آینده پیشنهاد می‌شود: انجام پژوهش‌هایی با حجم نمونهٔ بالاتر، بهره‌گیری از دوره‌های مداخلهٔ طولانی‌تر و مقایسه اثرات این تمرین با تمرین تداومی با حجم یکسان.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از دانشگاه نیشابور بابت حمایت‌های معنوی، مالی و اجرایی و از همهٔ شرکت‌کنندگانی که ما را در انجام این پژوهش یاری رساندند، تشکر و قدردانی می‌شود.

حمایت مالی

این تحقیق مستخرج از طرح پژوهشی مصوب در دانشگاه نیشابور است.

مشارکت نویسندگان

همهٔ نویسندگان در طراحی ایده و اجرای پژوهش مشارکت داشتند. مهدی زارعی و جواد نخزری خداخیر، نگارش اولیهٔ مقاله را انجام دادند. مهدی زارعی، کاظم خدایی و جواد نخزری خداخیر، گردآوری، آماده‌سازی و تحلیل داده‌ها را به عهده داشتند. مهدی زارعی، کاظم خدایی، آرش محمدی و جواد نخزری خداخیر در بررسی علمی و ویرایش مقاله مشارکت داشتند. همهٔ نویسندگان، نسخهٔ نهایی مقاله را بررسی و تأیید کردند.

تعارض منافع

نویسندگان هیچگونه تعارض منافعی در این پژوهش ندارند.

پی‌نوشت

[1] Type 2 diabetes mellitus

منابع

1. Młynarska E, Czarnik W, Dzieża N, Jędraszak W, Majchrowicz G, Prusinowski F, et al. Type 2 diabetes mellitus: new pathogenetic mechanisms, treatment and the most important complications. International journal of molecular sciences. 2025;26(3):1094. https://doi.org/10.3390/ijms26031094

2. Gong JY, Sajjadi SF, Motala AA, Shaw JE, Magliano DJ. Variation in type 2 diabetes prevalence across different populations: the key drivers. Diabetologia. 2025;68(11):2327-39. https://doi.org/10.1007/s00125-025-06478-4

3. Chatterjee S, Khunti K, Davies MJ. Type 2 diabetes. The lancet. 2017;389(10085):2239-51. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)30058-2

4. Khunti K, Zaccardi F, Amod A, Aroda VR, Aschner P, Colagiuri S, et al. Glycaemic control is still central in the hierarchy of priorities in type 2 diabetes management. Diabetologia. 2025;68(1):17-28. https://doi.org/10.1007/s00125-024-06254-w.

5. Schellenberg ES, Dryden DM, Vandermeer B, Ha C, Korownyk C. Lifestyle interventions for patients with and at risk for type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis. Annals of internal medicine. 2013;159(8):543-51. https://doi.org/10.7326/0003-4819-159-8-201310150-00007

6. Kim J, Oh C-M, Kim H. The interplay of adipokines and pancreatic beta cells in metabolic regulation and diabetes. Biomedicines. 2023;11(9):2589. https://doi.org/10.3390/biomedicines11092589

7. Rao RR, Long JZ, White JP, Svensson KJ, Lou J, Lokurkar I, et al. Meteorin-like is a hormone that regulates immune-adipose interactions to increase beige fat thermogenesis. Cell. 2014;157(6):1279-91. https://doi.org/10.1016/j.cell.2014.03.065.

8. Cavli C, Önalan E, Yakar B, Dönder E, Buran İ, Önalan E. Low serum levels of meteorin-like/subfatin is related to obesity and insulin resistance. Family Practice and Palliative Care. 2022;7(5):137-41. https://doi.org/10.22391/fppc.1130758

9. El-Ashmawy HM, Selim FO, Hosny TA, Almassry HN. Association of low serum Meteorin like (Metrnl) concentrations with worsening of glucose tolerance, impaired endothelial function and atherosclerosis. Diabetes research and clinical practice. 2019;150:57-63. https://doi.org/10.1016/j.diabres.2019.02.026

10. Farhan LO, Salman IN. A review on the role of novel adipokine Isthmin-1 and Subfatin in human type 2 diabetes mellitus. University of Thi-Qar Journal of Science. 2023;10(2):181-6. https://doi.org/10.1016/j.diabres.2019.02.026

11. Chung HS, Hwang SY, Choi JH, Lee HJ, Kim NH, Yoo HJ, et al. Implications of circulating Meteorin-like (Metrnl) level in human subjects with type 2 diabetes. Diabetes research and clinical practice. 2018;136:100-7. https://doi.org/10.1016/j.diabres.2017.11.031

12. Lee JH, Kang YE, Kim JM, Choung S, Joung KH, Kim HJ, et al. Serum Meteorin-like protein levels decreased in patients newly diagnosed with type 2 diabetes. Diabetes research and clinical practice. 2018;135:7-10. https://doi.org/10.1016/j.diabres.2017.10.005

13. Ferns GA, Fekri K, Shahini Shams Abadi M, Banitalebi Dehkordi M, Arjmand M-H. A meta-analysis of the relationship between serums metrnl-like protein/subfatin and risk of type 2 diabetes mellitus and coronary artery disease. Archives of Physiology and Biochemistry. 2023;129(5):1084-90. https://doi.org/10.1080/13813455.2021.1899239

14. Chang Y, Ho K, Lu S, Huang C, Shiau M. Regulation of glucose/lipid metabolism and insulin sensitivity by interleukin-4. International journal of obesity. 2012;36(7):993-8. https://doi.org/10.1038/ijo.2011.168

15. Shih Y-L, Ho K-T, Tsao C-H, Chang Y-H, Shiau M-Y, Huang C-N, et al. Role of cyotkines in metabolism and type 2 diabetes mellitus. Int J Biomed Lab Sci. 2013;2(1):1-6. https://www.ijbls.org/images/stories/2013510103538.pdf

16. Umpierre D, Ribeiro P, Schaan B, Ribeiro J. Volume of supervised exercise training impacts glycaemic control in patients with type 2 diabetes: a systematic review with meta-regression analysis. Diabetologia. 2013;56:242-51. https://doi.org/10.1007/s00125-012-2774-z

17. Umpierre D, Ribeiro PA, Kramer CK, Leitao CB, Zucatti AT, Azevedo MJ, et al. Physical activity advice only or structured exercise training and association with HbA1c levels in type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis. Jama. 2011;305(17):1790-9. https://doi.org/10.1001/jama.2011.576

18. Al-Rawaf HA, Gabr SA, Iqbal A, Alghadir AH. High-Intensity interval training improves glycemic control, cellular apoptosis, and oxidative stress of type 2 diabetic patients. Medicina. 2023;59(7):1320. https://doi.org/10.3390/medicina59071320

19. Yin M, Li H, Bai M, Liu H, Chen Z, Deng J, et al. Is low-volume high-intensity interval training a time-efficient strategy to improve cardiometabolic health and body composition? A meta-analysis. Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism. 2023;49(3):273-92. https://doi.org/10.1139/apnm-2023-0329

20. Songsorn P, Brick N, Fitzpatrick B, Fitzpatrick S, McDermott G, McClean C, et al. Affective and perceptual responses during reduced-exertion high-intensity interval training (REHIT). International Journal of Sport and Exercise Psychology. 2020;18(6):717-32. https://doi.org/10.1080/1612197X.2019.1593217

21. Reljic D, Lampe D, Wolf F, Zopf Y, Herrmann HJ, Fischer J. Prevalence and predictors of dropout from high-intensity interval training in sedentary individuals: A meta-analysis. Scandinavian journal of

medicine & science in sports. 2019;29(9):1288-304. https://doi.org/10.1111/sms.13452

22. Sabag A, Little JP, Johnson NA. Low-volume high-intensity interval training for cardiometabolic health. The Journal of physiology. 2022;600(5):1013-26. https://doi.org/10.1113/JP281210

23. Alvarez C, Ramirez-Campillo R, Martinez-Salazar C, Mancilla R, Flores-Opazo M, Cano-Montoya J, et al. Low-volume high-intensity interval training as a therapy for type 2 diabetes. International journal of sports medicine. 2016;37(09):723-9. https://doi.org/10.1055/s-0042-104935

24. Gallo-Villegas J, Restrepo D, Pérez L, Castro-Valencia LA, Narvaez-Sanchez R, Osorio J, et al. Safety of high-intensity, low-volume interval training or continuous aerobic training in adults with metabolic syndrome. Journal of Patient Safety. 2022;18(4):295-301. https://doi.org/10.1097/PTS.0000000000000922

25. Way KL, Sabag A, Sultana RN, Baker MK, Keating SE, Lanting S, et al. The effect of low-volume high-intensity interval training on cardiovascular health outcomes in type 2 diabetes: A randomised controlled trial. International journal of cardiology. 2020;320:148-54. https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2020.06.019

26. Ahmadzadeh S, Gholami M, Soheili S, Ghazalian F. The effect of eight weeks aerobic training and omega3 ingestion on the levels of adipsin and insulin resistance in overweight and obese women. Women's Health Bulletin. 2021;8(3):134-41. https://doi.org/10.30476/whb.2021.89493.1096

27. Little JP, Gillen JB, Percival ME, Safdar A, Tarnopolsky MA, Punthakee Z, et al. Low-volume high-intensity interval training reduces hyperglycemia and increases muscle mitochondrial capacity in patients with type 2 diabetes. Journal of applied physiology. 2011;111(6):1554-60. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00921.2011

28. Winding KM, Munch GW, Iepsen UW, Van Hall G, Pedersen BK, Mortensen SP. The effect on glycaemic control of low-volume high-intensity interval training versus endurance training in individuals with type 2 diabetes. Diabetes, Obesity and Metabolism. 2018;20(5):1131-9. https://doi.org/10.1111/dom.13198

29. Marcotte-Chénard A, Tremblay D, Mony M-M, Boulay P, Brochu M, Morais JA, et al. Acute and chronic effects of low-volume high-intensity interval training compared to moderate-intensity continuous training on glycemic control and body composition in older women with type 2 diabetes. Obesities. 2021;1(2):72-87. https://doi.org/10.26355/eurrev_202204_28598

30. Akbulut T, Cinar V, Ugur K, Yardim M, Karagoz Z, Aydin S. Effect of regular exercise on the levels of subfatin and asprosin: a trial with different types of exercise. European Review for Medical & Pharmacological Sciences. 2022; 26(8):2683-2691. https://doi.org/10.26355/eurrev_202204_28598

31. Hopps E, Canino B, Caimi G. Effects of exercise on inflammation markers in type 2

diabetic subjects. Acta diabetologica. 2011;48(3):183-9. https://doi.org/10.1007/s00592-011-0278-9

32. Saeidi A, Tayebi SM, Khosravi A, Malekian F, Khodamoradi A, Sellami M, et al. Effects of exercise training on type 2-diabetes: the role of Meteorin-like protein. Health promotion perspectives. 2019;9(2):89. https://doi.org/10.15171/hpp.2019.12

33. Colberg SR, Sigal RJ, Fernhall B, Regensteiner JG, Blissmer BJ, Rubin RR, et al. Exercise and type 2 diabetes: the American College of Sports Medicine and the American Diabetes Association: joint position statement. Diabetes care. 2010;33(12):e147-e67. https://doi.org/10.1016/j.jesf.2023.08.003

34. Bengin E, Kırtepe A, Çınar V, Akbulut T, Russo L, Aydemir İ, et al. Leptin, ghrelin, irisin, asprosin and subfatin changes in obese women: Effect of exercise and different nutrition types. Medicina. 2024;60(7):1118. https://doi.org/10.1016/j.jesf.2023.08.003

35. Ahmad AM, Mahmoud AM, Serry ZH, Mohamed MM, Abd Elghaffar HA. Effects of low-versus high-volume high-intensity interval training on glycemic control and quality of life in obese women with type 2 diabetes. A randomized controlled trial. Journal of Exercise Science & Fitness. 2023;21(4):395-404. https://doi.org/10.1016/j.jesf.2023.08.003

36. Alizadeh H, Safarzade A. Effects of circuit resistance training on serum myokine METRNL, cytokines, insulin resistance, body composition, and lipid profile in overweight participants: A 6-week intervention study. 2024. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4945904/v1

37. Dezhkam N, Rezaeiyan N. Effect of six weeks of aerobic training on meteorin like factor response and insulin resistance index in overweight and obese young women. Journal of Applied Health Studies in Sport Physiology. 2021;8(1):28-35. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4945904/v1

38. Bakhshi Z, Nayebifar S, Salehikia A, Nakhaei H. Effect of 8 weeks of continuous running on serum levels of Meteorine like protein and Interleukin-6 in male rats with syndrome metabolic. Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport. 2021;9(19):78-89. https://doi.org/10.22077/jpsbs.2020.3422.1560

39. Lee JO, Byun WS, Kang MJ, Han JA, Moon J, Shin MJ, et al. The myokine meteorin-like (metrnl) improves glucose tolerance in both skeletal muscle cells and mice by targeting AMPKα2. The FEBS journal. 2020;287(10):2087-104. https://doi.org/10.1111/febs.15301

40. Li Z-Y, Song J, Zheng S-L, Fan M-B, Guan Y-F, Qu Y, et al. Adipocyte Metrnl antagonizes insulin resistance through PPARγ signaling. Diabetes. 2015;64(12):4011-22. https://doi.org/10.2337/db15-0274

41. Tayebi SM, Golmohammadi M, Eslami R, Shakiba N, Costa PB. The effects of eight weeks of circuit resistance training on serum METRNL levels and insulin resistance in individuals with type 2 diabetes. Journal of Diabetes & Metabolic Disorders. 2023;22(2):1151-8. https://doi.org/10.1007/s40200-023-01225-1

42. Zabetian H, Sahraei R, Hakimelahi H, Yusefi A, Sanie MS, Erfanian S, et al. Effect of

Eight Week Endurance Training on Serum Levels of Interleukin-2 and Interleukin-4 in Sedentary Men. Journal of Novel Applied Sciences. 2016;5(5):176-81. https://doi.org/10.1111/febs.15301

43. Conroy SM, Courneya KS, Brenner DR, Shaw E, O'Reilly R, Yasui Y, et al. Impact of aerobic exercise on levels of IL-4 and IL-10: results from two randomized intervention trials. Cancer medicine. 2016;5(9):2385-97. https://doi.org/10.1002/cam4.836

44. Boyd A, Yang CT, Estell K, Ms CT, Gerald LB, Dransfield M, et al. Feasibility of exercising adults with asthma: a randomized pilot study. Allergy, Asthma & Clinical Immunology. 2012;8(1): 13. https://doi.org/10.1186/1710-1492-8-13

45. Mallardo M, Daniele A, Musumeci G, Nigro E. A narrative review on adipose tissue and overtraining: shedding light on the interplay among adipokines, exercise and overtraining. International Journal of Molecular Sciences. 2024;25(7):4089. https://doi.org/10.1002/cam4.836

46. Pournemati P. The effect of 12 Weeks of interval and continuous training on serum levels of interleukin-17 and interleukin-10 in postmenopausal breast cancer survivors: a clinical trial. 2021. https://doi.org/10.30699/ijbd.14.2.4

47. Safari M, Molanouri Shamsi M, Agha-Alinejad H, Sinapour F. The effect of 4 weeks of high intensity interval training with blood flow restriction on cardiovascular fitness and serum levels of IL-6 and IL-17 inflammatory cytokines in active young men. Journal of Sport Biosciences. 2020;12(2):235-47. https://doi.org/10.22059/jsb.2020.294170.1373

48. Doumit R, Long J, Kazandjian C, Gharibeh N, Karam L, Song H, et al. Effects of recording food intake using cell phone camera pictures on energy intake and food choice. Worldviews on Evidence-Based Nursing. 2016;13(3):216-23. https://doi.org/10.1111/wvn.12123

49. Zepeda L, Deal D. Think before you eat: photographic food diaries as intervention tools to change dietary decision making and attitudes. International Journal of Consumer Studies. 2008;32(6):692-8. https://doi.org/10.1111/j.1470-6431.2008.00725.x