Journal of Sport Biosciences
University of Tehran Press
Online ISSN: 2676-4148

Comparing the Effect of Two Exercise Modalities with a Calorie-Restricted Diet on Resting Energy Expenditure and Lipid Profile in Patients with Type 2 Diabetes

Mohadese Iranpour[1], Najmeh Hajiani[2], Mehri Delvarianzade[3], Asal Saeidpour[4], Faezeh Sherafat[5], Farhad Gholami[6]

1. Corresponding Author, Department of Physical Education and Sport Sciences, Faculty of Physical Education, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. E-mail: mohadeseiranpour7@gmail.com
2. Department of Physical Education and Sport Sciences, Faculty of Physical Education, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. E-mail: najmeh.hajiani@gmail.com,
3. School of Public Health, Shahroud University of Medical Sciences, Shahroud, Iran. E-mail: delvarianzadeh_mehri@yahoo.com
4. Department of Physical Education and Sport Sciences, Faculty of Physical Education, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. E-mail: asal.saeedpour@gmail.com
5. Department of Physical Education and Sport Sciences, Faculty of Physical Education, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. E-mail: faezehsherafat@gmail.com,
6. Department of Physical Education and Sport Sciences, Faculty of Physical Education, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. E-mail: gholami-fa@shahroodut.ac.ir

Article Info

Article type:

Clinical Randomized Trial

Article history:
Received:
5 October 2024
Received in revised form:
29 November 2024
Accepted:
22 April 2025
Published online:
18 June 2025

Keywords:
Continuous Training,
Interval Training,
Lipid Profile,
Resting Metabolic rate,
Type 2 Diabetes.

ABSTRACT

Introduction: This study aimed to compare the effects of moderate-intensity continuous training and high-intensity interval training combined with a calorie-restricted diet on resting metabolic rate and lipid profile in overweight and obese individuals with type 2 diabetes.

Methods: In a randomized controlled trial, 42 overweight or obese adults with type 2 diabetes were randomly assigned to one of three groups: moderate-intensity continuous training (CT), high-intensity interval training (IT), or control. Both CT (55–65% of heart rate reserve) and IT (1-minute intervals at 85–90% of heart rate reserve alternated with 1 minute of active recovery at 40–45%) were performed three days per week for 12 weeks. During the intervention, all participants followed a calorie-restricted diet providing a 20% energy deficit. Body composition, resting metabolic rate (measured via indirect calorimetry), and blood lipid profiles were assessed before and 48 hours after the final training session. Data were analyzed using one-way ANOVA and Tukey's post hoc test at a significance level of $p < 0.05$.

Results: Both CT and IT significantly reduced body weight, body mass index, triglycerides, and total cholesterol ($p < 0.05$). However, neither training modality had a significant effect on resting metabolic rate, low-density lipoprotein (LDL), or high-density lipoprotein (HDL) compared to the control group ($p > 0.05$). No significant differences were observed between the two exercise groups (CT vs. IT) in any of the measured variables ($p > 0.05$).

Conclusion: These findings suggest that the total energy expenditure of exercise may be more important than exercise intensity for weight loss and improvement of metabolic profiles in sedentary, overweight individuals with type 2 diabetes. High-intensity interval training appears to be as effective as moderate-intensity continuous training when matched for caloric expenditure but completed in a shorter time and with lower exercise volume.

Cite this article: Iranpour M., Hajiani N., Delvarianzade M., Saeidpour A., Sherafat F., & Gholami F. Comparing the Effect of Two Exercise Modalities with a Calorie-Restricted Diet on Resting Energy Expenditure and Lipid Profile in Patients with Type 2 Diabetes. *Journal of Sport Biosciences*. 2023; 17 (1): 49-62.

DOI: http//doi.org/10.22059/JSB.2025.383365.1656.

Journal of Sport Biosciences by University of Tehran Press is licensed under CC BY-NC 4.0. | Web site: https://jsb.ut.ac.ir/ | Email: jsb@ut.ac.ir.

© The Author(s). Publisher: University of Tehran Press.

University of Tehran Press

Journal of Sport Biosciences

Online ISSN: 2676-4148

Extended Abstract

Introduction

Type 2 diabetes mellitus (T2DM) is one of the most widespread metabolic disorders globally, accounting for over 90% of all diabetes cases. Obesity is a well-established independent risk factor for insulin resistance and the onset of T2DM. Although pharmacological therapies are commonly employed to manage the condition, lifestyle interventions, particularly structured physical activity and calorie-restricted diets, remain fundamental in treating obesity-related metabolic disorders. Recent studies have suggested that manipulating exercise intensity may influence resting energy expenditure (REE) and lipid profiles, although findings in this area remain inconsistent and inconclusive. This study aimed to compare the effects of two isocaloric aerobic training modalities, high-intensity interval training (HIIT) and moderate-intensity continuous training (MICT), combined with a calorie-restricted diet on REE and lipid profiles in overweight and obese individuals with T2DM.

Methods

In a 12-week randomized controlled trial, 50 participants with T2DM were randomly assigned to one of three groups: HIIT (n = 17), MICT (n = 17), and a non-intervention control group (n = 16). Both experimental groups received a calorie-restricted diet (20% reduction in daily caloric intake) designed according to the American Diabetes Association guidelines. Exercise sessions were held three times per week, with caloric expenditure matched across protocols (~300–350 kcal/session). REE was measured using indirect calorimetry (MetaMax 3B, Cortex), and lipid profile parameters including triglycerides, total cholesterol, LDL, and HDL were assessed pre- and post-intervention. Statistical analyses were conducted using SPSS v26, employing ANOVA, Tukey's post hoc tests, and paired t-tests with a significance threshold set at $p < 0.05$.

Results

Both HIIT and MICT protocols significantly decreased body weight, body fat mass, body mass index (BMI), triglycerides, and total cholesterol compared to the control group ($p < 0.01$). However, there were no significant differences between HIIT and MICT in any of the outcome variables. Moreover, neither intervention produced significant changes in REE ($p > 0.05$), nor were significant intergroup differences observed in HDL and LDL levels.

Conclusion

Twelve weeks of isocaloric aerobic training (HIIT or MICT) combined with a calorie-restricted diet effectively improved lipid profiles and reduced body weight in overweight and obese individuals with T2DM. However, neither modality significantly affected resting energy expenditure. These findings suggest that, in the early stages of exercise intervention for sedentary diabetic patients, total energy expenditure during activity may be more critical than exercise intensity per se for metabolic improvements. Notably, HIIT provided comparable benefits to MICT in a shorter time, highlighting its potential as a time-efficient strategy for this population. Further long-term studies are needed to determine whether higher training intensities yield superior outcomes.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines:

This study was conducted in full compliance with the ethical principles outlined in the Declaration of Helsinki. Ethical approval was obtained from the Ethics Committee of Shahrood University of Technology (Approval ID: IR.SHAHROODUT.REC.1402.002).

Funding: This research received no specific grant from any funding agency in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Authors' contribution: All authors contributed equally to the conceptualization, study design, data collection, analysis, and manuscript preparation. All authors reviewed and approved the final version of the manuscript for submission.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

Acknowledgments: The authors would like to express their sincere gratitude to all the participants who generously took part in this study. Their cooperation and commitment were essential to the successful completion of this research.

علوم زیستی ورزشی
انتشارات دانشگاه تهران
شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۴۱۴۸

مقایسهٔ اثر دو شیوهٔ تمرین با رژیم غذایی محدودیت کالری بر انرژی مصرفی استراحتی و نیمرخ لیپیدی در بیماران دیابتی نوع دو

محدثه ایرانپور[۱]، نجمه حاجیانی[۲]، مهری دلوریان‌زاده[۳]، عسل سعیدپور[۴]، فائزه شرافت[۵]، فرهاد غلامی[۶]

۱.گروه ورزشی، دانشکدهٔ تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.رایانامه:mohadeseiranpour7@gmail.com
۲. نویسندهٔ مسئول، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکدهٔ تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران. رایانامه: najmeh.hajiani@gmail.com
۳. دانشکدهٔ پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شاهرود، شاهرود، ایران. رایانامه: delvarianzadeh_mehri@yahoo.com
۴. گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکدهٔ تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران. رایانامه: asal.saeedpour@gmail.com
۵. گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکدهٔ تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران. رایانامه: faezehsherafat@gmail.com
۶. گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکدهٔ تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران. رایانامه:gholami-fa@shahroodut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: کارآزمایی بالینی تصادفی موازی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۶
تاریخ بازنگری: ۰۹/ ۱۴۰۳/۰۹
تاریخ پذیرش: ۰۳/ ۱۴۰۴/۰۲
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۳/۲۹

کلیدواژه‌ها:
تمرین تداومی، تمرین تناوبی، دیابت نوع ۲، متابولیسم استراحتی، نیمرخ لیپیدی.

چکیده

مقدمه: هدف از تحقیق حاضر، مقایسهٔ اثر دو شیوهٔ تمرین تداومی با شدت متوسط و تناوبی با شدت بالا به‌همراه رژیم غذایی با محدودیت کالری بر متابولیسم استراحتی و نیمرخ لیپیدی در افراد دیابتی نوع دو اضافه وزن و چاق بود.

روش پژوهش: تحقیق حاضر به‌صورت کارآزمایی بالینی تصادفی‌شده با ۴۲ آزمودنی دیابتی نوع دو اضافه وزن یا چاق انجام گرفت که افراد به‌صورت تصادفی در سه گروه تمرین تداومی، تمرین تناوبی و کنترل قرار گرفتند. تمرین تداومی (با شدت ۵۵–۶۵ درصد ضربان قلب ذخیره) و تناوبی (یک دقیقه فعالیت با شدت ۸۵–۹۰ درصد ضربان قلب ذخیره و یک دقیقه استراحت فعال با شدت ۴۵–۴۰ درصد ضربان قلب ذخیره) سه روز در هفته و با کالری مصرفی یکسان به مدت ۱۲ هفته انجام شد و در طول دوره آزمودنی‌ها رژیم غذایی با ۲۰ درصد کسر کالری دریافت کردند. پیش و ۴۸ ساعت پس از آخرین جلسهٔ تمرین، اندازه‌گیری‌ها شامل ترکیب بدن، متابولیسم استراحتی به روش کالریمتری غیرمستقیم و نمونه‌گیری خونی به‌منظور سنجش شاخص‌های نیمرخ لیپیدی انجام گرفت. داده‌های تحقیق با استفاده از آزمون تحلیل واریانس یکطرفه و توکی در سطح معناداری $P < ۰/۰۵$ تحلیل شد.

یافته‌ها: هر دو شیوهٔ تمرین تداومی با شدت متوسط و تناوبی با شدت بالا سبب کاهش وزن، شاخص تودهٔ بدن، تری‌گلیسرید و کلسترول تام شد ($P < ۰/۰۵$)، اما تأثیر معناداری بر متابولیسم استراحتی، لیپوپروتئین کم‌چگال و پرچگال در مقایسه با گروه کنترل نداشت ($P > ۰/۰۵$). بین دو شیوهٔ تمرین نیز تفاوت معنادار از لحاظ تأثیرگذاری بر متغیرهای تحقیق مشاهده نشد ($P > ۰/۰۵$).

نتیجه‌گیری: به‌نظر می‌رسد در افراد دیابتی غیرفعال و چاق فاکتور انرژی مصرفی حین فعالیت از متغیر شدت فعالیت در کاهش وزن و بهبودی شاخص‌های متابولیک مهم‌تر است. با انجام تمرین تناوبی با شدت بالا با انرژی مصرفی یکسان در بازهٔ تمرینی کوتاه‌تر می‌توان نتایج تقریباً مشابه با تمرین تداومی با شدت متوسط به‌دست آورد.

استناد: ایرانپور، *محدثه*؛ حاجیانی، نجمه؛ دلوریان‌زاده، مهری؛ سعیدپور، عسل؛ شرافت، فائزه؛ غلامی، فرهاد. مقایسهٔ اثر دو شیوهٔ تمرین با رژیم غذایی محدودیت کالری بر انرژی مصرفی استراحتی و نیمرخ لیپیدی در بیماران دیابتی نوع دو. نشریهٔ *علوم زیستی ورزشی*.۱۴۰۲؛ (۱) ۱۷؛ ۶۲-۴۹.

DOI: http//doi.org/10.22059/JSB.2025.383365.1656

دسترسی به این نشریه علمی، رایگان است و حق مالکیت فکری خود را بر اساس لایسنس کریتیو کامنز (CC BY-NC 4.0) به نویسندگان واگذار کرده است.| آدرس نشریه: https://jsb.ut.ac.ir/ | ایمیل: jsb@ut.ac.ir

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران. © نویسندگان.

مقدمه

دیابت نوع دو از شایع‌ترین بیماری‌های متابولیک است و بیش از ۹۰ درصد انواع دیابت را شامل می‌شود و زمینه‌ساز عوارض متعدد میکروواسکولار و ماکروواسکولار است [۱-۳]. چاقی و اضافه وزن از فاکتورهای خطر مستقل برای مقاومت به انسولین و دیابت نوع دو است، به‌طوری‌که نشان داده شده است رابطهٔ مستقیم بین شاخص تودهٔ بدن و مقاومت به انسولین وجود دارد[۴، ۵] . بر این اساس، کاهش وزن برای کنترل پیشرفت بیماری در افراد دیابتی نوع دو چاق و دارای اضافه وزن توصیه می‌شود. با وجود استفاده از روش‌های درمانی مختلف برای کنترل و پیشگیری از چاقی و بیماری دیابت نوع دو، اصلاح عوامل زمینه‌ساز از جمله فعالیت بدنی منظم و دریافت رژیم غذایی استاندارد، مهم‌ترین مداخلهٔ درمانی برای چاقی و بیماری‌های مرتبط با آن از جمله دیابت نوع دو است [۶- ۸]. افزایش انرژی مصرفی به‌واسطهٔ فعالیت ورزشی منظم یا کاهش دریافت انرژی از طریق تعدیل رژیم غذایی، با ایجاد کسری کالری می‌تواند به کاهش وزن و بهبود شاخص‌های متابولیک در این افراد منجر شود [۹، ۱۰]. بیش از ۶۰ درصد انرژی مصرفی روزانهٔ انسان صرف انرژی مصرفی استراحتی می‌شود. بنابراین افزایش این جزء از انرژی مصرفی روزانه به‌همراه فعالیت ورزشی می‌تواند نقش شایان توجهی در کاهش وزن و عوارض مرتبط با آن در افراد دیابتی نوع دو چاق و دارای اضافه وزن داشته باشد [۱۱].

فعالیت ورزشی سبب افزایش انرژی مصرفی حین و پس از تمرین می‌شود که وابسته به حجم و شدت تمرین است. این افزایش انرژی مصرفی پس از ورزش ممکن است فواید متابولیک و کنترل وزن برای این بیماران به‌همراه داشته باشد [۱۲، ۱۳]. بیان شده است که تمرین ورزشی با شدت بالا متابولیسم استراحتی را بیشتر افزایش می‌دهد و ممکن است با کاهش وزن و فواید متابولیک بیشتری به‌همراه باشد [۸]. صفری موسوی و همکاران (۲۰۲۱) در تحقیقی روی افراد پیش‌دیابتی گزارش کردند در بین پروتکل‌های تمرینی مختلف با کالری مصرفی یکسان، تمرینات با شدت بالا تأثیر چشمگیری بر شاخص‌های متابولیک در افراد پیش‌دیابتی داشت [۱۴]. تیونا[1] و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که هر دو برنامهٔ ورزشی تناوبی با شدت بالا و تداومی با شدت متوسط وزن بدن را کاهش می‌دهند، اما تمرین تناوبی با شدت بالا به‌ویژه برای کاهش انتقال اسیدهای چرب به بافت چربی و مهار اثر لیپوژنیک انسولین مؤثرتر است [۱۵]. از این تحقیقات چنین برداشت می‌شود که شدت تمرین متغیر تأثیرگذارتری در ارتقای سازگاری‌های تمرینی به‌ویژه افزایش انرژی مصرفی استراحتی و بهبود شاخص‌های متابولیک است. بنابراین، افراد چاق و مبتلا به اختلالات متابولیک مانند دیابت نوع دو ممکن است فواید بیشتر تمرینی از فعالیت‌های ورزشی با شدت بالا دریافت کنند. در مقابل، آلتینکاپاکا[2] و همکاران (۲۰۲۳) گزارش کردند تمرین تناوبی با شدت بالا نسبت به تمرین تداومی با کالری مصرفی یکسان برتری ندارد [۱۶]. در خصوص انرژی مصرفی استراحتی نیز کارستوفت[3] و همکاران (۲۰۱۷) در تحقیقی متقاطع گزارش کردند دو هفته تمرین با پروتکل‌های تداومی و تناوبی با شدت بالا تأثیری بر متابولیسم استراحتی ندارد. این محققین همچنین در یک طرح پیش‌آزمون پس‌آزمون گزارش کردند ۱۲ هفته پیاده‌روی اینتروال تأثیری بر متابولیسم استراحتی نداشت. در مقابل، در تحقیقی تائوسانی[4] و همکاران (۲۰۲۲) نشان دادند فعالیت ورزشی منظم با شدت متوسط سبب افزایش متابولیسم استراحتی در زنان مبتلا به دیابت حاملگی می‌شود. تحقیقات بسیار اندک با نتایج متناقض در این زمینه تأثیر پروتکل‌های تمرینی مختلف بر متابولیسم استراحتی وجود دارد که نتیجه‌گیری کلی در این زمینه را دشوار می‌سازد.

[1]. Tjønna
[2]. Abdurrahim Altinkapaka
[3]. Carstoft
[4]. Taosani

رژیم غذایی با محدودیت کالری در کنار تمرینات ورزشی می‌تواند اثر مضاعفی بر شاخص‌های متابولیک در افراد دیابتی داشته باشد. کاهش وزن از طریق افزایش مصرف انرژی یا کنترل دریافت انرژی می‌تواند کنترل قند خون، حساسیت به انسولین، ترشح انسولین و تولید گلوکز کبدی را در این بیماران بهبود بخشد [۱۲، ۱۷]. مونگ[1] و همکاران (۲۰۱۹) در یک کارآزمایی بالینی تصادفی‌شده تأثیر محدودیت دریافتی کالری ۶۰۰ کیلوکالری در روز را بر افراد چاق و دیابتی بررسی و گزارش کردند که کاهش کالری دریافتی با بهبود عملکرد سلول‌های بتا و مقاومت به انسولین همراه بود. برخی تحقیقات عنوان می‌کنند که تأثیرات متابولیک فعالیت ورزشی منظم تا حدودی وابسته به تغییر وزن است و درصورتی‌که مداخلهٔ ورزشی همراه با کاهش وزن باشد، تأثیرات مضاعفی قابل مشاهده است [۱۸]. اندرس گامسون[2] و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که به ازای هر کیلوگرم کاهش وزن بدن در پی مداخلهٔ ورزشی و رژیم غذایی، به‌طور میانگین HbA1C ۰/۱ درصد کاهش می‌یابد[۱۹]. اگرچه برخی تحقیقات از فواید متابولیک و کاهش وزن فعالیت ورزشی با شدت بالا در مقابل تمرینات با شدت متوسط حمایت می‌کنند، اما این برتری در افراد دیابتی و به‌ویژه به‌همراه رژیم استانداردشده با محدودیت کالری به‌طور کامل بررسی و تأیید نشده است. بنابراین، تحقیق حاضر در پی پاسخگویی به این پرسش است که آیا با استانداردسازی رژیم غذایی و ایجاد محدودیت در کالری دریافتی، انرژی مصرفی استراحتی و پروفایل لیپیدی افراد دیابتی می‌تواند متأثر از شدت تمرین باشد. هدف از تحقیق حاضر، مقایسهٔ اثر دو شیوهٔ تمرین تداومی و تناوبی ایزوکالریک با رژیم غذایی کاهش وزن بر انرژی مصرفی استراحتی و نیمرخ لیپیدی در بیماران دیابتی نوع دو بود.

روش‌شناسی پژوهش

در یک کارآزمایی بالینی تصادفی‌شده و موازی شرکت‌کنندگان تمرین ورزشیِ تحت نظارت و رژیم غذایی کم‌کالری را طی ۱۲ هفته دریافت کردند. کد اخلاق پروژهٔ حاضر با شناسهٔ IR.SHAHROODUT.REC.1402.002 در کمیتهٔ اخلاق دانشگاه صنعتی شاهرود تأیید شد.

شرکت‌کنندگان

در این تحقیق ۵۰ نفر به‌صورت تصادفی در سه گروه تمرین تناوبی با شدت بالا (۱۷ نفر) و تمرین تداومی با شدت متوسط (۱۷ نفر) و گروه کنترل (۱۶ نفر) قرار گرفتند. هر دو گروه تجربی رژیم غذایی با محدودیت کالری نیز دریافت کردند.

ابزار

تمام اندازه‌گیری‌ها در زمان و شرایط مشابه روز توسط شخص واحد انجام گرفت. در ابتدا و ۴۸ سال پس از دورهٔ پژوهش، شرکت‌کنندگان در آزمایشگاه برای سنجش ترکیب بدن و انرژی مصرفی استراحتی و همچنین جمع‌آوری نمونهٔ خون در حالت ناشتا (۱۲-۱۰ ساعت) حاضر شدند. ترکیب بدن با استفاده از دستگاه سنجش ترکیب بدن (Inbody 230) اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری انرژی مصرفی استراحتی با استفاده از دستگاه آنالیز گازهای تنفسی (MetaMax 3B، Cortex، CPET آلمان) در حالت درازکش به مدت ۳۰ دقیقه انجام گرفت. سپس نمونهٔ خونی در حالت ناشتا از ورید آنتی کوبیتال گرفته شد و نمونه‌های خون بلافاصله به ویال‌های حاوی فعال‌کنندهٔ لخته منتقل شده و برای جداسازی نمونه‌های سرم با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه در دمای ۴ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. سنجش

[1]. Mung
[2]. Anders Gamsson

متغیرهای بیوشیمیایی تحقیق شامل تری‌گلیسرید، کلسترول تام، LDL و HDL با استفاده از کیت‌های تجاری اختصاصی مطابق دستورالعمل شرکت سازنده (پارس‌آزمون، ایران) انجام شد.

روند اجرای پژوهش

هر دو گروه تجربی رژیم غذایی با محدودیت کالری نیز دریافت کردند. در ابتدا پروندهٔ پزشکی افراد در درمانگاه دیابت مرکز امام حسین و کلینیک تخصصی و فوق‌تخصصی دانشگاه علوم پزشکی شاهرود بررسی شد. با افراد واجد شرایط تماس گرفته شده و برای حضور در آزمایشگاه فیزیولوژی ورزشی دانشکدهٔ تربیت بدنی و علوم ورزشی دعوت شدند. معیارهای ورود به تحقیق شامل داشتن سابقهٔ دیابت بیش از پنج سال، هموگلوبین گلیکوزیله بیش از ۶/۶ درصد، سبک زندگی غیرفعال و شاخص تودهٔ بدنی بیشتر از ۲۵ کیلوگرم بر متر مربع بود. افرادی که مجوز حضور در تمرینات ورزشی و دریافت رژیم غذایی توسط پزشک متخصص را نداشتند، در این تحقیق حضور پیدا نکردند. در جلسهٔ اول حضور در آزمایشگاه فیزیولوژی ورزشی، تمامی مراحل اجرایی تحقیق به آزمودنی‌ها تشریح شد و از افراد علاقه‌مند به مشارکت در تحقیق رضایت اولیه کسب شد و یادآمد غذایی توسط کارشناس تغذیه ثبت شد. سپس در جلسه‌ای جداگانه آزمودنی‌ها به‌صورت ناشتا در آزمایشگاه حضور یافتند و سنجش ترکیب بدن و اندازه‌گیری انرژی مصرفی استراحتی انجام گرفت و ۵ میلی‌لیتر نمونهٔ خون به‌منظور سنجش شاخص‌های بیوشیمی از ورید آنتی‌کوبیتال گرفته شد. پس از آن، آزمودنی‌ها به‌صورت تصادفی به سه گروه تقسیم شدند و مداخله‌های مربوط را در طول دوره دریافت کردند. همهٔ اندازه‌گیری‌های پیش‌آزمون پس از اتمام دورهٔ تحقیق و در شرایط مشابه تکرار شد. شایان ذکر است که در نهایت ۱۵ نفر در گروه تمرین تداومی، ۱۲ نفر در گروه تمرین تناوبی و ۱۵ نفر در گروه کنترل مراحل تحقیق را تکمیل کردند.

تمامی جلسات تمرین تحت نظارت تیم پژوهشی انجام گرفت. برنامهٔ تمرینی شامل تمرینات HIIT[1] (سه روز در هفته، با نسبت ۱:۱ که شامل ۱ دقیقه فعالیت با شدت ۸۵–۹۰ درصد ضربان قلب ذخیره و یک دقیقه استراحت فعال با شدت ۴۰–۴۵ درصد ضربان قلب ذخیره) و تمرین MICT[2] (۳ روز در هفته، با شدت ۵۵–۶۵ درصد ضربان قلب ذخیره) بود که هر کدام از جلسات تمرینی با پروتکل‌های تعیین‌شده تا به‌طور متوسط مصرف ۳۰۰–۳۵۰ کیلوکالری در هر جلسه برای هر فرد انجام شد. همسان‌سازی کالری مصرفی فعالیت با اجرای یک پایلوت اولیه هر کدام از پروتکل‌های تناوبی با شدت بالا و تداومی با شدت متوسط به‌وسیلهٔ دستگاه آنالیز گازهای تنفسی و همچنین معادلات سوخت‌سازی ACSM انجام شد. هر جلسهٔ تمرینی شامل ۵ تا ۱۰ دقیقه گرم کردن و سرد کردن بود. از آزمودنی‌های گروه کنترل درخواست شد رژیم غذایی و فعالیت بدنی معمول خود را در طول دوره حفظ کنند. شایان ذکر است برای اطمینان از دامنهٔ مطلوب و ایمن قند خون برای فعالیت ورزشی (۲۵۰–۱۰۰ میلی‌گرم در دسی‌لیتر)، پیش و پس از جلسه تمرین قند خون با گلوکومتر اندازه‌گیری شد.

رژیم غذایی بر اساس پیشنهادهای انجمن دیابت آمریکا طبق رژیم غذایی با تقسیم درشت‌مغذی‌ها (کربوهیدرات ۵۰–۵۵ درصد، پروتئین ۱۵–۲۰ درصد و چربی ۳۰ درصد) به‌همراه ۲۰ درصد محدودیت کالری توسط پژوهشگر متخصص تغذیه و رژیم‌درمانی به آزمودنی‌ها ارائه شد. محاسبهٔ انرژی مصرفی پایه با استفاده از آنالیز گازهای تنفسی صورت گرفت و با توجه به غیرفعال بودن آزمودنی‌ها ضریب فعالیت متناسب با سطح فعالیت لحاظ شد. پایبندی افراد به رژیم غذایی دریافتی با ارتباط هفتگی توسط تیم پژوهشی و جلسات مشاوره توسط

[1]. High intensity interval training

[2]. Moderate-intensity continuous training

پژوهشگر متخصص تغذیه هر دو هفته یک بار بررسی شد. طی جلسات مشاوره با متخصص تغذیه و رژیم‌درمانی، هرگونه تعدیل مورد نیاز در رژیم غذایی آزمودنی‌ها اعمال شد. مصرف داروی آزمودنی‌های شرکت‌کننده در تحقیق حاضر در طول دوره ثبت شد.

روش آماری

توصیف داده‌های تحقیق به‌صورت میانگین و انحراف استاندارد گزارش شده و با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخهٔ ۲۶ تحلیل شد. در ابتدا توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرویلک انجام گرفت و با توجه به نرمال بودن توزیع داده‌ها از آمار پارامتریک استفاده شد. به‌منظور مقایسهٔ بین‌گروهی، ابتدا اختلاف داده‌های پیش‌آزمون–پس‌آزمون به‌دست آمد و نتیجهٔ حاصل به‌وسیلهٔ آزمون تحلیل واریانس یکطرفه و آزمون تعقیبی توکی تحلیل شد. تفاوت‌های درون‌گروهی نیز با استفاده از آزمون تی وابسته تحلیل شد. سطح معناداری برای تحلیل‌های آماری P<۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

یافته‌های پژوهش

مقادیر متغیرهای تحقیق در مراحل پیش‌آزمون و پس‌آزمون در جدول ۱ ارائه شده است. در خصوص تغییرات تری‌گلیسرید سرم نتیجه آزمون تحلیل واریانس یکطرفه معنادار بود که بیانگر تفاوت بین‌گروهی است (P =۰/۰۰۰۱). نتیجهٔ آزمون تعقیبی توکی حاکی از آن بود که بین گروه تمرین تداومی و کنترل (P =۰/۰۰۱) و همچنین تمرین تناوبی با کنترل (P =۰/۰۰۳) تفاوت معناداری وجود داشت. همچنین آزمون تحلیل واریانس یکطرفه نشان داد تفاوت معنادار بین گروه‌ها از لحاظ تغییرات کلسترول تام وجود دارد (P =۰/۰۰۳) که نتیجهٔ آزمون تعقیبی توکی حاکی از آن بود که بین گروه تمرین تداومی و کنترل (P =۰/۰۰۶) و همچنین تمرین تناوبی با کنترل (P =۰/۰۱۷) تفاوت معناداری وجود داشت (نمودار ۱). همچنین آزمون تحلیل واریانس یکطرفه نشان داد تفاوت معنادار بین‌گروه‌ها از لحاظ تغییرات لیپوپروتئین کم‌چگال (LDL) (P = ۰/۰۶۴) و پرچگال (HDL) وجود ندارد (P =۰/۰۷۸). مقایسهٔ تغییرات متابولیسم استراحتی نیز حاکی از آن است که تمرین تداومی و تناوبی تأثیر معناداری بر متابولیسم استراحتی در مقایسه با گروه کنترل نداشتند (P > ۰/۰۵) (نمودار ۲). شایان ذکر است که بر اساس نتایج آزمون تعقیبی، هیچ‌گونه تفاوتی بین گروه‌های تجربی (تداومی و تناوبی) از لحاظ تغییرات متغیرهای تحقیق مشاهده نشد.

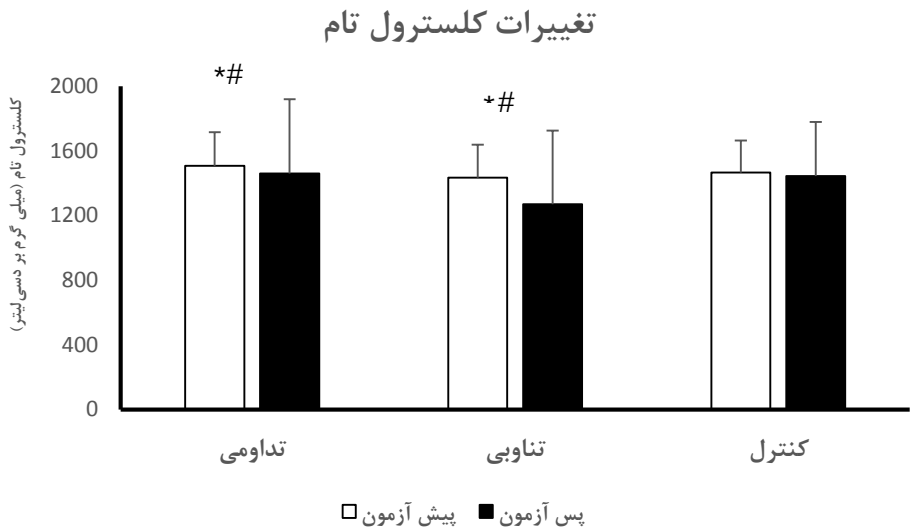
آنالیز آماری تغییرات وزن بین گروه‌ها نیز نشان‌دهندهٔ تفاوت معنادار بین‌گروهی است (P =۰/۰۰۰۱) که بر اساس نتایج آزمون تعقیبی توکی این تفاوت بین گروه‌های تداومی با کنترل (P =۰/۰۰۰۱) و نیز تناوبی با کنترل (P =۰/۰۰۷) مشاهده شد. در خصوص تغییرات تودهٔ چربی نیز نتیجهٔ آزمون تحلیل واریانس یکطرفه معنادار بود که بیانگر تفاوت بین‌گروهی است (P =۰/۰۰۰۱). نتیجهٔ آزمون تعقیبی توکی حاکی از آن بود که بین گروه تمرین تداومی و کنترل (P =۰/۰۰۰۱) و همچنین تمرین تناوبی با کنترل (P =۰/۰۰۲) تفاوت معناداری وجود داشت.

مقایسهٔ درون‌گروهی تغییرات نیز نشان داد در گروه تمرین تداومی تری‌گلیسرید، کلسترول تام، LDL، وزن و تودهٔ چربی بدن (سطح معناداری به‌ترتیب P =۰/۰۱۳، P =۰/۰۰۱، P =۰/۰۰۸، P =۰/۰۰۰۱ و P =۰/۰۰۰۱) در پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون به‌طور معنادار کاهش یافت. در گروه تمرین تناوبی نیز تری‌گلیسرید، کلسترول تام، LDL، وزن و تودهٔ چربی بدن (سطح معناداری به‌ترتیب P =۰/۰۲۷،

P =۰/۰۰۹، P =۰/۰۱۷، P =۰/۰۱۵ و P =۰/۰۰۲) در پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون به‌طور معنادار کاهش پیدا کرد. تغییرات متابولیسم استراحتی در هیچ‌کدام از گروه‌های تجربی معنادار نبود (P >۰/۰۵).

جدول ۱. میانگین و انحراف استاندارد متغیرهای تحقیق در مراحل پیش‌آزمون و پس‌آزمون

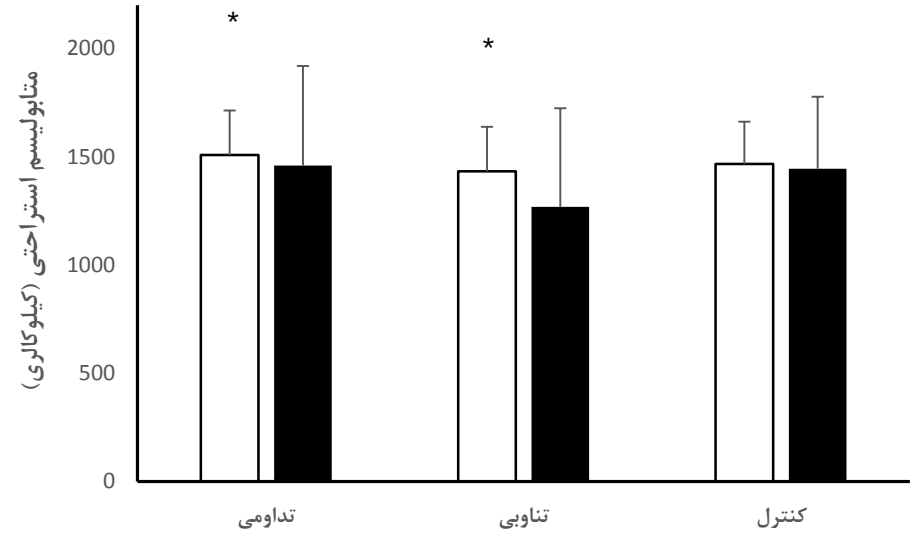
متغیرها	گروه	پیش‌آزمون	پس‌آزمون
تری‌گلیسرید (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)	تداومی	۲۴۱/۷۱ ± ۷۲/۹۱	۲۱۴/۵۷ ± ۵۴/۹۴
	تناوبی	۲۱۳/۳۳ ± ۳۸/۵۵	۱۹۷/۲۵ ± ۴۶/۶۷
	کنترل	۲۰۴/۸۴ ± ۴۶/۱۶	۲۳۲/۸۶ ± ۵۲/۳۴
کلسترول تام (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)	تداومی	۲۱۲/۸۰ ± ۴۵/۳۰	۱۸۴/۴۶ ± ۴۴/۱۱
	تناوبی	۱۹۰/۰۸ ± ۲۸/۵۵	۱۶۴/۰۰ ± ۳۷/۰۵
	کنترل	۱۸۵/۸۶ ± ۴۳/۷۳	۱۸۶/۴۶ ± ۵۱/۷۰
لیپوپروتئین کم‌چگال (LDL) (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)	تداومی	۱۳۲/۰۱ ± ۴۸/۵۴	۱۰۸/۳۷ ± ۴۲/۹۰
	تناوبی	۱۱۱/۰۰ ± ۳۰/۲۶	۸۷/۳۰ ± ۴۰/۹۰
	کنترل	۱۰۶/۶۲ ± ۴۱/۲۰	۱۰۳/۲۹ ± ۵۱/۲۳
لیپوپروتئین پرچگال (HDL) (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)	تداومی	۳۵/۵۳ ± ۵/۱۲	۳۶/۷۳ ± ۴/۳۱
	تناوبی	۳۸/۰۸ ± ۶/۰۳	۳۸/۹۱ ± ۶/۲۲
	کنترل	۳۸/۲۶ ± ۵/۷۵	۳۶/۶۰ ± ۴/۷۳
متابولیسم استراحتی (کیلوکالری)	تداومی	۱۵۰۸/۸۶ ± ۲۰۶/۴۴	۱۴۶۰/۴۶ ± ۴۵۹/۴۶
	تناوبی	۱۴۳۳/۸۳ ± ۲۰۵/۴۱	۱۲۶۹/۴۱ ± ۴۵۵/۷۳
	کنترل	۱۴۶۷/۳۰ ± ۱۹۷/۳۶	۱۴۴۵/۵۳ ± ۳۳۳/۲۶
وزن (کیلوگرم)	تداومی	۷۷/۶۰ ± ۱۱/۶۲	۷۵/۱۸ ± ۱۰/۹۸
	تناوبی	۷۰/۲۱ ± ۹/۲۷	۶۸/۴۵ ± ۸/۸۱
	کنترل	۷۲/۳۰ ± ۱۴/۵۸	۷۲/۵۶ ± ۱۴/۵۲
تودهٔ چربی (کیلوگرم)	تداومی	۳۱/۱۶ ± ۶/۳۸	۲۹/۰۴ ± ۶/۳۱
	تناوبی	۲۸/۳۴ ± ۵/۳۳	۲۶/۶۰ ± ۵/۷۱
	کنترل	۳۰/۶۸ ± ۱۱/۵۱	۳۰/۹۴ ± ۱۱/۱۳
شاخص تودهٔ بدن (کیلوگرم بر مترمربع)	تداومی	۳۱/۰±۳۶/۹۱۷	۳۰/۰±۴۱/۹۰۷
	تناوبی	۳۰/۰±۴۸/۸۹۶	۲۹/۰±۷۴/۸۸۲
	کنترل	۳۱/۱±۶۱/۷۳	۳۱/۱±۷۵/۷۳



نمودار ۱. مقادیر میانگین و انحراف استاندارد کلسترول تام در گروه‌ها در مراحل پیش‌آزمون و پس‌آزمون

* نشان‌دهندهٔ تفاوت معناداری با پیش‌آزمون ($p < ۰/۰۵$)

نشان‌دهندهٔ تفاوت معنادار با گروه کنترل ($p < ۰/۰۵$)



نمودار ۲. مقادیر میانگین و انحراف استاندارد متابولیسم استراحتی در گروه‌ها در مراحل پیش‌آزمون و پس‌آزمون

* نشان‌دهندهٔ تفاوت معناداری با پیش‌آزمون ($p < ۰/۰۵$)

نشان‌دهندهٔ تفاوت معنادار با گروه کنترل ($p < ۰/۰۵$)

بحث و نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر با هدف مقایسهٔ اثر دو شیوهٔ تمرین تناوبی با شدت بالا و تمرین تداومی با شدت متوسط به‌همراه رژیم غذایی کاهش وزن بر متابولیسم استراحتی و نیمرخ لیپیدی در افراد دیابتی نوع اضافه وزن و چاق انجام گرفت. مهم‌ترین یافتهٔ تحقیق حاضر این بود که با

همسان‌سازی کالری مصرفی حین فعالیت، شیوهٔ تمرین و شدت تمرین متغیر تأثیرگذاری در یک دورهٔ سه‌ماهه نبود. علاوه بر این، مشاهده شد که هیچ‌کدام از پروتکل‌های تمرینی تأثیر معناداری بر متابولیسم استراحتی نداشتند. در طول رژیم غذایی با محدودیت کالری، هر دو شیوهٔ تمرین تا حدودی تأثیرات مشابهی در بهبود نیمرخ لیپیدی و کاهش وزن در افراد دیابتی نوع دو اضافه وزن و چاق داشتند.

یافته‌های تحقیق حاضر مبنی بر عدم تأثیر تمرین ورزشی هوازی بر متابولیسم استراحتی با نتایج تحقیق جنینگز[1] و همکاران (۲۰۰۹) همسوست [۲۰].

موریر[2] و همکاران (۱۹۹۷) نیز گزارش کردند هشت هفته تمرین هوازی تأثیری بر متابولیسم استراحتی در افراد دیابتی [۲۱]. در مقابل، آرایزا[3] و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند شش هفته برنامه پیاده‌روی سبب افزایش متابولیسم استراحتی در افراد دیابتی شد [۲۲]. در این تحقیق، علت احتمالی افزایش متابولیسم استراحتی، سنجش آن بعد از فعالیت مطرح شد، چراکه پس از فعالیت ورزشی میزان مصرف اکسیژن بالاست. همچنین تائوسانی و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند تمرین هوازی با شدت ۶۰ تا ۷۰ درصد ضربان قلب بیشینه با افزایش متابولیسم استراحتی در زنان مبتلا به دیابت حاملگی همراه است. با این حال، از محدودیت‌های این تحقیق عدم تصادفی‌سازی افراد در گروه‌ها و عدم تعدیل تغییرات متابولیسم پایه نسبت به وزن جنین بود، چراکه با افزایش ماه‌های بارداری انرژی مصرفی استراحتی نیز می‌تواند متأثر شود و این تحقیق در فاصلهٔ هفته بیست‌وهفتم تا سی‌وهشتم حاملگی انجام شد [۲۳]. نتایج تحقیقات در زمینهٔ تأثیر کلی تمرینات هوازی بر انرژی مصرفی استراحتی متناقض است، اما آنچه از یافته‌های این تحقیق حاصل می‌شود به‌نظر می‌رسد شدت تمرین (شدید در مقابل متوسط) عامل تأثیرگذار بر تغییرات احتمالی متابولیسم استراحتی نیست. در مقابل تحقیقات بیشتری از تأثیر تمرین قدرتی بر افزایش متابولیسم استراحتی حمایت می‌کنند که عمدهٔ تغییرات در متابولیسم استراحتی به افزایش تودهٔ عضلانی نسبت داده می‌شود [۲۴، ۲۵]. در تحقیق حاضر با توجه به شیوهٔ تمرینات و محدودیت کالری دریافتی در طول دوره، تغییر شایان توجهی در تودهٔ عضلانی پس از ۱۲ هفته مشاهده نشد که می‌تواند توجیه‌کنندهٔ عدم تغییر متابولیسم استراحتی باشد.

از یافته‌های دیگر تحقیق حاضر کاهش معنادار وزن و شاخص تودهٔ بدن در هر دو گروه تداومی و تناوبی بود، اما این دو شیوهٔ تمرین برتری نسبت به هم نداشتند. اصلاح سبک زندگی از جمله افزایش فعالیت بدنی و کنترل رژیم غذایی از فاکتورهای مهم در پیشگیری و کنترل دیابت نوع دو است که در این زمینه مشاهده می‌شود کاهش وزن به‌ویژه در افراد دیابتی چاق و اضافه وزن، تأثیر زیادی در کنترل بیماری دارد که این تأثیرات به میزان کاهش وزن وابسته است[۵، ۲۶]. اگرچه بیشتر تحقیقات از کاهش وزن و بهبود ترکیب بدن با انجام فعالیت ورزشی منظم حمایت می‌کنند، فرانز[4] و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که در افراد دیابتی وزن کلی بدن آنچنان تحت تأثیر فعالیت ورزشی قرار نمی‌گیرد[۵]. هوانگ[5] و همکاران (۲۰۱۹) نیز گزارش کردند هشت هفته تمرین تداومی و تناوبی تأثیر معناداری بر وزن و تودهٔ چربی در افراد دیابتی نوع دو نداشت. در این تحقیق نیز کنترل رژیم غذایی و کالری دریافتی و مصرفی صورت نگرفته بود که می‌تواند توضیح‌دهندهٔ علت عدم تغییر وزن با هر دو شیوهٔ تمرینی باشد [۲۷] . در مجموع، در افراد دیابتی نوع دو تمرین ورزشی هوازی با شدت متوسط به‌تنهایی و بدون محدودیت‌های کالری دریافتی تأثیر حداقلی بر کاهش وزن دارد [۲۸]. بر این اساس در تحقیق مروری مگوس[6] و همکاران (۲۰۲۰) عنوان شد فعالیت ورزشی منظم که با رژیم محدودیت کالری به کاهش وزن منجر شود، راهکار مؤثرتری برای کنترل دیابت نوع دو است [۵] که یافتهٔ تحقیق حاضر با نتیجه‌گیری اخیر همسوست. در تأیید یافته‌های تحقیق حاضر، فیندیک‌اوغلو[7] و همکاران

1. Jennings
2. Maurier
3. Ariza
4. Franz
5. Hung
6. Magus
7. Findikoglu

(۲۰۲۳) نیز برتری در مقایسهٔ دو شیوهٔ تمرین تناوبی و تداومی در تغییرات وزن مشاهده نکردند [۱۶] و مهم‌ترین عامل تغییر مقدار انرژی مصرفی فعالیت عنوان شد که در هر دو تحقیق همسان‌سازی شده بود.

در تحقیق حاضر مشاهده شد هر دو شیوهٔ تمرین تداومی و تناوبی سبب کاهش معنادار تری‌گلیسرید و کلسترول تام شد و تفاوتی بین دو شیوهٔ تمرینی با انرژی مصرفی یکسان در شرایط محدودیت کالری مشاهده نشد. در فراتحلیل اخیر، گزارش شد که تمرین تداومی و تناوبی با شدت بالا ممکن است آثار یکسانی در افراد دیابتی از لحاظ تأثیر بر نیمرخ لیپیدی داشته باشد [۲۹] در این فراتحلیل همچنین گزارش شد که در بیشتر تحقیقات تمرین ورزشی تداومی و تناوبی بر شاخص‌های پروفایل لیپیدی تأثیر زیادی نداشت که علت آن دامنهٔ طبیعی پروفایل لیپیدی در بیشتر تحقیقات و عدم کنترل تغذیه در آنها مطرح شد[۲۹]. در مقابل، در تحقیق حاضر شاخص‌های نیمرخ لیپیدی آزمودنی‌های در محدودهٔ مرزی یا بیشتر قرار داشت و رژیم غذایی با محدودیت کالری نیز اعمال شد که به‌همراه این موارد هر دو مداخلهٔ ورزشی اثر قابل توجهی بر نیمرخ لیپیدی در افراد دیابتی چاق و اضافه وزن داشت. فیشر[1] و همکاران (۲۰۱۵) نیز در تحقیقی فاقد گروه کنترل تفاوت چشمگیری بین دو شیوهٔ تمرین تناوبی و تداومی در افراد چاق از لحاظ تغییر نیمرخ لیپیدی مشاهده نکردند [۳۰]. در این تحقیق مشاهده شد که تمرین تداومی نسبت به تمرین تناوبی در افزایش آمادگی قلبی–تنفسی مؤثرتر بود [۳۰]. این محققان همچنین گزارش کردند دو شیوهٔ تمرینی تداومی و تناوبی تفاوت معناداری در بهبود نیمرخ لیپیدی نداشتند. از تفاوت‌های تحقیق حاضر با نتایج تحقیق فیشر و همکاران (۲۰۱۵) می‌توان به نمونهٔ تحقیق، دیابتی در مقابل جوان چاق، همسان‌سازی کالری مصرفی و کنترل رژیم غذایی با محدودیت کالری اشاره کرد که می‌تواند توجیه‌کنندهٔ برخی تفاوت‌ها در یافته‌ها باشد.

به‌نظر می‌رسد مهم‌ترین عامل در مشاهدهٔ تغییرات وزن و بهبودی شاخص‌های متابولیک ایجاد تعادل در انرژی مصرفی و دریافتی است و متغیر تمرین از جمله شدت در دوره‌های ابتدایی شروع تمرین در افراد دیابتی غیرفعال عامل تعیین‌کنندهٔ مهمی نیست، چراکه در تحقیق مشابه بدون ایجاد محدودیت کالری دریافتی تأثیر مشابهی با تمرین تناوبی و تداومی ایزوکالریک بر شاخص‌های متابولیک در افراد دیابتی نوع دو مشاهده شد [۱۶]. با این حال، این نتیجه‌گیری حاصل یک دوره تمرین کوتاه‌مدت در افراد غیرفعال است و در دوره‌های بلندمدت با افزایش سابقهٔ تمرینی ممکن است نقش متغیرهای تمرین مانند شدت پررنگ‌تر شود، که به بررسی بیشتری نیاز دارد. نکتهٔ حائز اهمیت دیگر این است که اگرچه هر دو شیوهٔ تمرین به‌همراه رژیم غذایی تأثیر مشابهی بر کاهش وزن و بهبود نیمرخ لیپیدی داشت، اما در گروه تناوبی با اختصاص زمان کمتر به تمرین این فواید حاصل شد که از این نظر می‌تواند مورد توجه باشد [۲۹].

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر مشاهده شد تمرین ورزشی به مدت ۱۲ هفته به شکل تداومی با شدت متوسط و تناوبی با شدت بالا در کنار رژیم غذایی با محدودیت کالری دریافتی سبب کاهش معنادار وزن، شاخص تودهٔ بدن و بهبود نیمرخ لیپیدی می‌شود، اما تأثیری بر متابولیسم استراحتی ندارد. به‌نظر می‌رسد در افراد دیابتی غیرفعال و چاق عامل انرژی مصرفی حین فعالیت از متغیر شدت فعالیت در کاهش وزن و بهبودی شاخص‌های متابولیک مهم‌تر است. اما باید در نظر داشت که زمان اختصاص داده‌شده به تمرین در شیوهٔ تناوبی کمتر بود که می‌توان نتیجه گرفت با اختصاص زمان کمتر به تمرین و کنترل کالری مصرفی آن می‌توان به نتایج تقریباً مشابهی دست یافت.

[1]. Fisher

تقدیر و تشکر

نویسندگان مراتب تشکر و قدردانی خود را از تمام آزمودنی‌های شرکت‌کننده در تحقیق اعلام می‌دارند.

تعارض منافع

در انجام پژوهش حاضر نویسندگان هیچ‌گونه تضاد منافعی نداشتند.

References

[1]. Chatterjee S, Khunti K, Davies MJ. Type 2 diabetes. The lancet. 2017;389(10085):2239-51.

[2]. Organization WH. Diabetes; Global report. Technical report; 2016.

[3]. Banday MZ, Sameer AS, Nissar S. Pathophysiology of diabetes: An overview. Avicenna journal of medicine. 2020;10(04):174-88.

[4]. Leong KS, Wilding JP. Obesity and diabetes. Best Practice & Research Clinical Endocrinology & Metabolism. 1999;13(2):221-37.

[5]. Magkos F, Hjorth MF, Astrup A. Diet and exercise in the prevention and treatment of type 2 diabetes mellitus. Nature Reviews Endocrinology. 2020;16(10):545-55.

[6]. Donyai, Adel, Shabani, Gholami. The effect of combined exercise and subsequent non-exercise on apelin levels in type 2 diabetic women. Applied health studies in exercise physiology. 2022;9(2):37-47.

[7]. Fox EL, Mathews DK. Interval training: conditioning for sports and general fitness. (No Title). 1974.

[8]. Adams OP. The impact of brief high-intensity exercise on blood glucose levels. Diabetes, metabolic syndrome and obesity: targets and therapy. 2013:113-22.

[9]. Karuni R, Yunsian A, Dunyaei A. Comparison of the effect of 8 weeks of different exercises (endurance, resistance and combined) on serum levels of nesfatin-1 and insulin resistance index in women with type 2 diabetes. Applied health studies in exercise physiology. 2023;10(1):83-96.

[10]. Barnosky AR, Hoddy KK ,Unterman TG, Varady KA. Intermittent fasting vs daily calorie restriction for type 2 diabetes prevention: a review of human findings. Translational Research. 2014;164(4):302-11.

[11]. karimzadeh Z, Gholami F, Sheykhpour F. Comparison of the effect of submaximal exercise with and without caffeine consumption on alpha-amylase, leptin, glycemic indices and energy intake in obese and overweight people. Journal of Applied Health Studies in Sport Physiology. 2024;11(1):208-22.

[12]. Williams KV, Mullen ML, Kelley DE, Wing RR. The effect of short periods of caloric restriction on weight loss and glycemic control in type 2 diabetes. Diabetes care. 1998;21(1):2-8.

[13]. 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 executive summary. Diabetes care. 2010;33(12):2692.

[14]. Safarimosavi S, Mohebbi H, Rohani H. High-Intensity Interval vs. Continuous Endurance Training: Preventive Effects on Hormonal Changes and Physiological Adaptations in Prediabetes Patients. J Strength Cond Res. 2021;35(3):731-8.

[15]. Hwang CL, Yoo JK, Kim HK, Hwang MH, Handberg EM, Petersen JW, Christou DD. Novel all-extremity high-intensity interval training improves aerobic fitness, cardiac function and insulin resistance in healthy older adults. Exp Gerontol. 2016;82:112-9.

[16]. Findikoglu G, Altinkapak A, Yaylali GF. Is isoenergetic high-intensity interval exercise superior to moderate-intensity continuous exercise for cardiometabolic risk factors in individuals with type 2 diabetes mellitus? A single-blinded randomized controlled study. European Journal of Sport Science. 2023;23(10):2086-97.

[17]. Wing RR, Koeske R, Epstein LH, Nowalk MP, Gooding W, Becker D. Long-term effects of modest weight loss in type II diabetic patients. Archives of internal medicine. 1987;147(10):1749-53.

[18]. Umphonsathien M, Prutanopajai P, Aiam-O-Ran J, Thararoop T, Karin A, Kanjanapha C, et al. Immediate and long-term effects of a very-low-calorie diet on diabetes remission and glycemic control in obese Thai patients with type 2 diabetes mellitus. Food science & nutrition. 2019;7(3):1113-22.

[19]. Gummesson A, Nyman E, Knutsson M, Karpefors M. Effect of weight reduction on glycated haemoglobin in weight loss trials in patients with type 2 diabetes. Diabetes, Obesity and Metabolism. 2017;19(9):1295-305.

[20]. Jennings AE, Alberga A, Sigal RJ, Jay O, Boule NG, Kenny GP. The effect of exercise training on resting metabolic rate in type 2 diabetes mellitus. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2009;41(8):1558-65.

[21]. Mourier A, Gautier J-F, Kerviler ED, Bigard AX, Villette J-M, Garnier J-P, et al. Mobilization of visceral adipose tissue related to the improvement in insulin sensitivity in response to physical training in NIDDM: effects of branched-chain amino acid supplements. Diabetes care. 1997;20(3):385-91.

[22]. Araiza P, Hewes H, Gashetewa C, Vella CA, Burge MR. Efficacy of a pedometer-based physical activity program on parameters of diabetes control in type 2 diabetes mellitus. Metabolism. 2006;55(10):1382-7.

[23]. Taousani E, Savvaki D, Tsirou E, Grammatikopoulou MG, Tarlatzis BC, Vavilis D, Goulis DG. Effect of Exercise on the Resting Metabolic Rate and Substrate Utilization in Women with Gestational Diabetes Mellitus: Results of a Pilot Study. Metabolites. 2022;12(10):998.

[24]. Hunter GR, Wetzstein CJ, Fields DA, Brown A, Bamman MM. Resistance training increases total energy expenditure and free-living physical activity in older adults. Journal of applied physiology. 2000.

[25]. Poehlman ET, Denino WF, Beckett T, Kinaman KA, Dionne IJ, Dvorak R, Ades PA. Effects of endurance and resistance training on total daily energy expenditure in young women: a controlled randomized trial. The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism. 2002;87(3):1004-9.

[26]. Ginter E, Simko V. Diabetes type 2 pandemic in 21st century. Bratislavské lekárske listy. 2010;111(3):134-7.

[27]. Hwang C-L, Lim J, Yoo J-K, Kim H-K, Hwang M-H, Handberg EM, et al. Effect of all-extremity high-intensity interval training vs. moderate-intensity continuous training on aerobic fitness in middle-aged and older adults with type 2 diabetes: A randomized controlled trial. Experimental gerontology. 2019;1.16:46-53

[28]. Franz MJ, VanWormer JJ, Crain AL, Boucher JL, Histon T, Caplan W, et al. Weight-loss outcomes: a systematic review and meta-analysis of weight-loss clinical trials with a minimum 1-year follow-up. Journal of the American Dietetic association.1755-67:(10)107;2007 .

[29]. De Nardi AT, Tolves T, Lenzi TL, Signori LU, da Silva AMV. High-intensity interval training versus continuous training on physiological and metabolic variables in prediabetes and type 2 diabetes: a meta-analysis. Diabetes research and clinical practice. 2018;137:149-59.

[30]. Fisher G, Brown AW, Bohan-Brown MM, Alcorn A, Noles CD, Winwood L, et al. High Intensity Interval-Vs Moderate Intensity-Training For Improving Cardiometabolic Health In Overweight Or Obese Males: A Randomized Controlled Trial.: 2303 June 2, 4: 00 PM-4: 15 PM. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2016;48(5S):641-2.