Research in Exercise Nutrition
Year 2025, Volume 4, Issue 1, Pages 75-96

Original Article

https://researchinexercisenutrition.com

https://doi.org/10.22034/ren.2025.143862.1108

The effect of exercise with an energy expenditure of 3000 kcal per week on hsCRP, MDA, and insulin resistance in overweight women

Saeid Dabbagh Nikoukheslat[1]✉, Bahluol Ghorbaninan[2], Nafiseh Rahnama Hayati[1], Elaheh Piralaiy[1], Mostafa Khani[1]

Received: 2025/06/24 **Accepted: 2025/07/26**

Abstract

Aim: Given the prevalence of overweight and the associated increase in oxidative stress as one of its major adverse consequences, the present study aimed to investigate the effects of exercise with an energy expenditure of 3000 kcal per week on hsCRP, MDA, and insulin resistance in overweight women.

Method:

This experimental study followed a pre-test–post-test design and was conducted on 27 participants divided into three groups: high-energy expenditure exercise (HCE), standard-energy expenditure exercise (SCE), and control (CON). The training program for the HCE group involved an energy expenditure of 1200 kcal (50–60% VO_{2max}) in the first week and 3000 kcal (70–85% VO_{2max}) in the final week. The SCE group exercised with an energy expenditure of 900 kcal (65–75% VO_{2max}) in the first week and 1200 kcal (70–85% VO_{2max}) in the final week. MDA, hsCRP, insulin, and HOMA-IR were measured as indicators of oxidative stress, inflammation, and insulin resistance. Data were analyzed using a 2×3 repeated-measures ANOVA at a significance level of P≤0.05.

Results: According to the findings, a significant reduction in MDA levels was observed only in the SCE group across measurement phases (P=0.043). Additionally, a significant increase in hsCRP was found in the HCE group compared to the SCE (P=0.010) and CON (P=0.005) groups. No other significant differences were observed (P>0.05).

Conclusion: Based on the results, combined training with an energy expenditure of 3000 kcal per week, compared to standard exercise protocols, did not result in significant increases in oxidative stress, systemic inflammation, or insulin dysfunction after 12 weeks. Therefore, such high-energy training protocols can be considered metabolically and inflammatorily safe.

Keywords: High energy expenditure exercise, hsCRP, Insulin resistance, MDA.

1- Department of Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

✉ **Corresponding author:** nikookheslat.tabrizu.ac.ir

2- Department of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Shahid Madani University of Azerbaijan, Tabriz, Iran.

ISSN: 2980-8960

All rights of this article are reserved for authors.

Owner and Publisher: University of Kurdistan

Journal ISSN (online): 2980-8960

Access Type: Open Access

DOI: https://doi.org/10.22034/ren.2025.143862.1108

Copyright ©The authors

Citation:

Dabbagh Nikoukheslat S, Ghorbaninan B, Rahnama Hayati N, Piralaiy E, Khani M. The effect of exercise with an energy expenditure of 3000 kcal per week on hsCRP, MDA, and insulin resistance in overweight women. **Research in Exercise Nutrition.** 2025;4(1):75-96. https://doi.org/10.22034/ren.2025.143862.1108

https://doi.org/10.22034/ren.2025.143862.1108 Research in Exercise Nutrition 2025; 4(1):75-96

Extended abstract

Problem Statement and Research Significance

Background: Overweight and obesity are associated with chronic low-grade inflammation, increased oxidative stress, and metabolic dysregulation that elevate the risk of cardiovascular disease and type 2 diabetes. Among the biomarkers commonly used to evaluate these disturbances, malondialdehyde (MDA) represents lipid peroxidation and oxidative stress, while high-sensitivity C-reactive protein (hsCRP) reflects systemic inflammation. Insulin resistance, often estimated using indices derived from fasting insulin and glucose, is another key metabolic abnormality observed in overweight populations. Although physical activity is widely recommended as a non-pharmacological intervention for improving metabolic health, the optimal dose of exercise required to produce significant improvements in these biomarkers remains unclear. The American College of Sports Medicine generally recommends approximately 2000 kcal of weekly energy expenditure through exercise for health maintenance. However, there is increasing interest in whether higher levels of energy expenditure—such as 3000 kcal per week—may provide greater metabolic benefits. Therefore, the purpose of the present study was to examine the effect of an exercise program with a weekly energy expenditure of 3000 kcal on oxidative stress, systemic inflammation, and insulin resistance in overweight women.

Methodology Overview

This semi-experimental study was conducted on overweight female participants who were assigned to exercise intervention groups and a control group. The training protocol consisted of structured aerobic exercise sessions designed to achieve a target weekly energy expenditure of approximately 3000 kcal in the high-calorie-expenditure group. Anthropometric measurements and biochemical variables were assessed before and after the intervention period. Fasting blood samples were collected to determine serum concentrations of MDA, hsCRP, insulin, and glucose. Insulin resistance was estimated using standard indices derived from fasting measures. Statistical analyses were performed using appropriate parametric tests to examine both within-group changes from pre-test to post-test and between-group differences following the intervention. The significance level for all analyses was set at $P < 0.05$.

Key Findings and Results Analysis

The analysis revealed differential responses among the measured biomarkers. A significant overall change was observed for MDA levels across time ($P = 0.043$, $F = 4.585$). Post-hoc analysis indicated that a significant reduction in MDA from pre-test to post-test occurred in the SCE group ($P = 0.043$), while the HCE and control groups did not show statistically significant intra-group changes. Moreover, the comparison among groups did not reveal a significant difference ($P = 0.221$). These findings suggest that exercise training influenced oxidative stress; however, the magnitude of change varied across the experimental conditions.

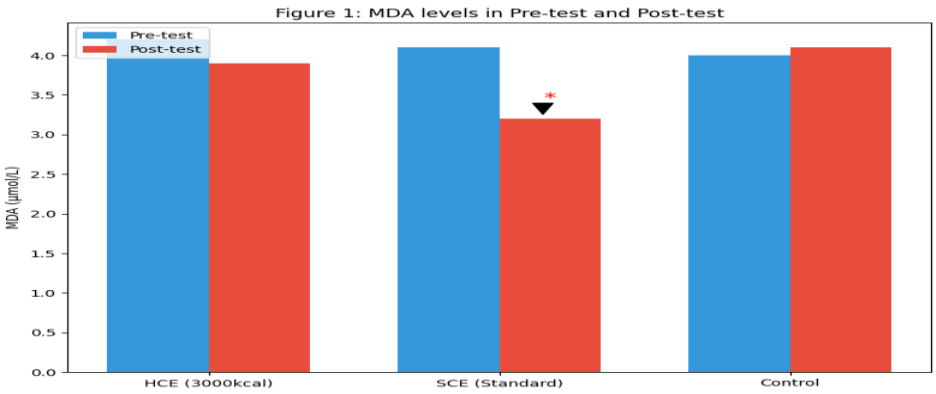


Figure 1. Changes in malondialdehyde (MDA) levels across groups before and after the exercise intervention.

For hsCRP, no significant within-group pre- to post-test change was observed (P = 0.279). Nevertheless, a statistically significant difference was detected between the groups (P = 0.003, F = 7.720). Post-hoc comparisons revealed that the high-calorie-expenditure group differed significantly from both the standard-exercise group and the control group after the intervention. This result indicates that higher weekly energy expenditure through exercise may exert a stronger anti-inflammatory effect compared with lower exercise volumes.

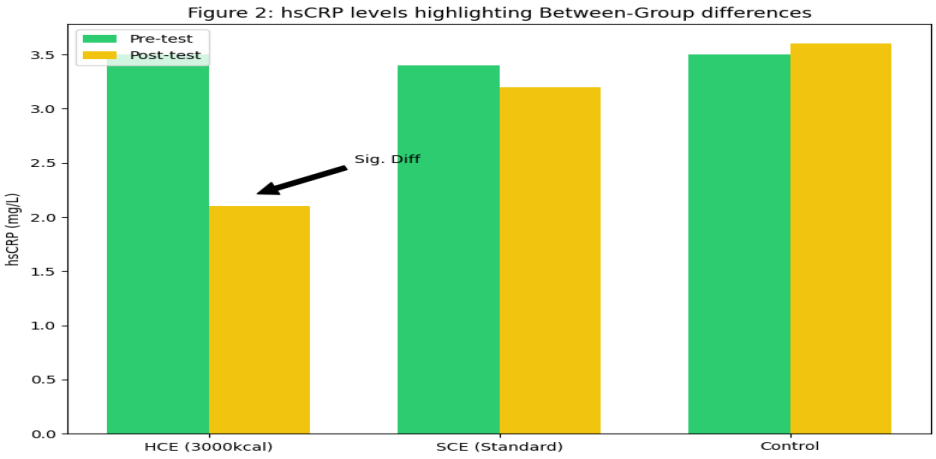


Figure 2. Comparison of hsCRP levels among groups following the exercise intervention.

In contrast, insulin concentration and insulin resistance indices did not demonstrate statistically significant changes. Insulin levels showed no meaningful difference across time (P = 0.158) or between groups (P = 0.671). Similarly, insulin resistance did not change significantly within groups (P = 0.525) or between groups (P = 0.634). These results suggest that although the exercise intervention may influence inflammatory responses, it may not be sufficient in the short term to substantially alter insulin sensitivity in overweight individuals.

Innovation and Practical Implications

Conclusions and Recommendations

The findings of the present study indicate that an exercise program designed to produce approximately 3000 kcal of weekly energy expenditure can positively influence certain cardiometabolic biomarkers in overweight women. In particular, the results suggest a beneficial

Citation:
Dabbagh Nikoukheslat S, Ghorbaninan B, Rahnama Hayati N, Piralaiy E, Khani M. The effect of exercise with an energy expenditure of 3000 kcal per week on hsCRP, MDA, and insulin resistance in overweight women. **Research in Exercise Nutrition.** 2025;4(1):75-96. https://doi.org/10.22034/ren.2025.143862.1108

effect on systemic inflammation, as demonstrated by differences in hsCRP levels between groups. However, the intervention showed limited effects on oxidative stress and did not significantly improve insulin resistance within the duration of the study. These findings highlight the complexity of metabolic adaptation to exercise and suggest that longer intervention periods, greater reductions in body fat, or combined dietary and exercise approaches may be necessary to achieve significant improvements in insulin sensitivity. Future research should further investigate the dose–response relationship between exercise energy expenditure and metabolic health outcomes in overweight populations.

پژوهش در تغذیه ورزشی
سال چهارم، شماره اول، فروردین ۱۴۰۴، صص ۹۶-۷۵

مقاله پژوهشی

https://doi.org/10.22034/ren.2025.143862.1108

Research in Exercise Nutrition 2025; 4(1):75-96

تأثیر تمرین با هزینه انرژی مصرفی ۳۰۰۰ کالری در هفته بر hsCRP، MDA و مقاومت به انسولین در زنان دارای اضافه وزن

سعید دباغ نیکوخصلت✉[۱]، بهلول قربانیان[۲]، نفیسه رهنما حیاتی[۱]، الهه پیرعلایی[۱]، مصطفی خانی[۱]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۰۴

چکیده

هدف: با توجه به شیوع اضافه‌وزن و افزایش استرس اکسیداتیو به عنوان یکی از اصلی‌ترین پیامدهای نامطلوب آن، مطالعه حاضر با هدف تعیین تأثیر تمرین با هزینه انرژی مصرفی ۳۰۰۰ کالری در هفته بر hsCRP، MDA و مقاومت به انسولین در زنان دارای اضافه وزن صورت گرفت.

روش شناسی: پژوهش حاضر از نوع مطالعات نیمه‌تجربی با طرح پیش‌آزمون-پس‌آزمون بود. آزمودنی‌ها ۲۷ زن دارای اضافه‌وزن بودند که در سه گروه تمرین با هزینه انرژی بالا (HCE)، تمرین با هزینه انرژی استاندارد (SCE) و کنترل (CON) قرار گرفتند. تمرینات گروه تمرین با هزینه انرژی بالا با ۱۲۰۰ کیلوکالری (۵۰٪-۶۵٪ VO_{2max}) در هفته اول و ۳۰۰۰ کیلوکالری (۶۰٪-۷۵٪ VO_{2max}) در هفته آخر و نیز تمرینات گروه تمرین با هزینه انرژی استاندارد با ۹۰۰ کیلوکالری (۶۰٪-۷۵٪ VO_{2max}) در هفته اول و ۱۲۰۰ کیلوکالری (۷۰٪-۸۵٪ VO_{2max}) در هفته آخر صورت پذیرفت. شاخص‌های MDA، hsCRP، انسولین و HOMA-IR مورد آزمایش قرار گرفتند. داده‌ها از طریق آزمون تحلیل واریانس مکرر ۲×۳ در سطح معنی‌داری P≤۰/۰۵ تجزیه و تحلیل شد.

یافته ها: طبق نتایج در مراحل اندازه‌گیری تنها در مقادیر MDA در گروه SCE کاهش معنی‌داری مشاهده شد (P=۰/۰۴۳). همچنین بین گروه‌های مورد مطالعه تنها در شاخص hsCRP در گروه HCE افزایش معنی‌داری نسبت به دو گروه SCE (P=۰/۰۱۰) و CON (P=۰/۰۰۵) مشاهده شد. در سایر موارد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (P>۰/۰۵).

نتیجه گیری: با توجه به نتایج تمرینات ترکیبی با هزینه انرژی مصرفی ۳۰۰۰ کالری در هفته در مقایسه با تمرینات استاندارد، پس از ۱۲ هفته موجب افزایش معنی‌دار استرس اکسیداتیو، التهاب و اختلال در عملکرد انسولین نمی‌شوند. بنابراین، این نوع تمرینات از نظر ایمنی متابولیکی و التهابی قابل قبول ارزیابی می‌شوند.

واژگان کلیدی تمرین با هزینه انرژی بالا، مقاومت به انسولین، hsCRP، MDA.

۱- گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

✉ **نویسنده مسئول:**

nikookheslat.tabrizu.ac.ir

۲- گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران.

ISSN:۲۹۸۰-۸۹۶۰

تمامی حقوق این مقاله برای نویسندگان محفوظ است.

صاحب امتیاز و ناشر: دانشگاه کردستان
شاپای الکترونیکی: ۲۹۸۰-۸۹۶۰
نوع دسترسی: آزاد
DOI: https://doi.org/10.22034/ren.2025.143862.1108

Copyright ©The authors

Citation:
Dabbagh Nikoukheslat S, Ghorbaninan B, Rahnama Hayati N, Piralaiy E, Khani M. The effect of exercise with an energy expenditure of 3000 kcal per week on hsCRP, MDA, and insulin resistance in overweight women. **Research in Exercise Nutrition.** 2025;4(1):75-96. https://doi.org/10.22034/ren.2025.143862.1108

مقدمه

امروزه در طراحی برنامه‌های تمرینی برای مقابله با چاقی، اضافه وزن و بهبود سلامت متابولیک، توجه ویژه‌ای به میزان انرژی مصرفی در طول هفته معطوف شده است (۱). از آنجاکه علت اولیه اضافه وزن و چاقی عدم تعادل بین دریافت و هزینه انرژی در درازمدت است؛ بنابراین مسیر مبارزه با چاقی (به‌استثنای مداخلات دارویی) لزوماً از طریق ایجاد تعادل منفی انرژی می‌گذرد. بر اساس رهنمودهای کالج طب ورزشی آمریکا (ACSM)، برای کاهش وزن و حفظ توده بدنی سالم، اجرای تمرینات بدنی با هزینه انرژی حداقل ۲۰۰۰ کیلوکالری در هفته توصیه می‌شود. با این حال، هنوز مشخص نیست که افزایش این میزان تا سطوح بالاتر، مانند ۳۰۰۰ کیلوکالری در هفته، چه اثری بر شاخص‌های زیستی مانند استرس اکسیداتیو، التهاب و مقاومت به انسولین دارد (۲).

از سوی دیگر شیوع چاقی و اضافه وزن در جهان به سطوح هشدار دهنده¬ای رسیده است و افراد جامعه به‌ویژه زنان به‌طور نامتناسبی تحت تأثیر قرار گرفته¬اند (۳). طبق داده‌های منتشر شده فدراسیون جهانی چاقی (WOF) در سال ۲۰۲۴، بیش از یک میلیارد نفر در سراسر جهان با چاقی زندگی می‌کنند که شامل حدود ۸۸۰ میلیون بزرگسال و ۱۵۹ میلیون کودک و نوجوان (بین ۵ تا ۱۹ سال) می‌شود. اگر تعداد افرادی که دارای اضافه وزن هستند نیز در نظر گرفته شود، تقریباً ۳ میلیارد نفر در جهان با مشکل اضافه وزن یا چاقی مواجه‌اند (۴). در ایران نیز وضعیت نگران‌کننده است؛ نتایج مطالعه‌ای توسط شیری و همکاران (۲۰۲۵) نشان می‌دهد که شیوع چاقی در میان زنان ایرانی بالای ۱۸ سال، حدود ۳۴/۵ درصد است، در حالی که این میزان در مردان ۲۶/۲ درصد گزارش شده است، که نشان‌دهنده‌ی شکاف قابل توجه جنسیتی در الگوی چاقی است (۵). همچنین، بر اساس مطالعه‌ای توسط ابیری و همکاران (۲۰۲۳)، میانگین شیوع ترکیبی اضافه‌وزن و چاقی در کل جمعیت بزرگ‌سال ایران حدود ۵۹ درصد برآورد شده است، که در زنان به طور معنی‌داری بیشتر از مردان است (۶). افزون بر این، طبق مرور سیستماتیک و متاآنالیز منتشر شده در مجله BMC Public Health توسط دهقانی و همکاران (۲۰۲۴)، شیوع چاقی در کل جمعیت ایران ۱۰/۹ درصد و اضافه‌وزن ۱۸/۴ درصد گزارش شده است. این مطالعه همچنین نشان داد که در بزرگسالان (بالای ۱۸ سال)، ۱۷/۲ درصد چاقی و ۲۷/۴ درصد اضافه‌وزن وجود دارد. در حالی که در کودکان و نوجوانان ایرانی، شیوع چاقی ۶/۵ درصد و اضافه‌وزن ۱۲/۴ درصد گزارش شده است (۷).

چاقی به عنوان یک وضعیت التهابی مزمن شناخته می‌شود و با افزایش استرس اکسیداتیو و بروز اختلالات متابولیک از جمله مقاومت به انسولین مرتبط است (۲). شاخص‌هایی مانند مالون‌دی آلدئید (MDA) و پروتئین واکنش‌گر C با حساسیت بالا (hsCRP)، به ترتیب به‌عنوان نشانگرهای استرس اکسیداتیو و التهاب سیستمیک در افراد دارای اضافه‌وزن مطرح هستند. همچنین، مقاومت به انسولین که با کاهش شاخص هما (HOMA-IR) ارزیابی می‌شود، نقش کلیدی در بروز بیماری‌های متابولیک مانند دیابت نوع ۲ دارد (۸). در این میان فعالیت ورزشی نقش مهمی در مبارزه با التهاب مرتبط با چاقی، استرس اکسیداتیو و مقاومت به انسولین دارد. فعالیت ورزشی منظم وضعیت التهابی و تعادل ردوکس را در افراد کم‌تحرک بهبود می‌بخشد و با جلسات تمرینی حاد بر پارامترهای آنتی‌اکسیدانی و التهابی تأثیر مثبتی دارد. مطالعات اهمیت ورزش را در کاهش التهاب مزمن ناشی از چاقی، با مکانیسم‌هایی که پروتئین‌هایی مانند CRP و IL-6 را شامل می‌شود، نشان می‌دهد (۹).

با این حال نوع فعالیت ورزشی و سایر عوامل دخیل در آن بر اثرات احتمالی آن تأثیر گذار است. اولین مطالعه نشان می¬دهد که فعالیت ورزشی هوازی می¬تواند استرس اکسیداتیو را افزایش دهد (۱۰). پس از آن چندین مطالعه گزارش کرده¬اند که فعالیت ورزشی هوازی حاد باعث افزایش استرس اکسیداتیو و کاهش سطح آنتی‌اکسیدان می‌شود (۱۱,۱۲). همچنین، مشخص شده است که تمرین بی¬هوازی می‌تواند استرس اکسیداتیو را افزایش داده و آنتی‌اکسیدان¬ها را کاهش یا افزایش دهد (۱۳). علاوه بر این، تمرین مقاومتی کل بدن با حداکثر بار ۱۰ تکراری باعث افزایش سطح MDA در خون شد (۱۴). در مقابل، مطالعات دیگر نشان داده‌اند که تمرینات مقاومتی باعث استرس اکسیداتیو نمی‌شود و این ممکن است به دلیل وضعیت تمرینی فرد باشد (۱۴,۱۵). این مطالعات نشان می¬دهد که هم استرس اکسیداتیو ناشی از فعالیت‌های ورزشی هوازی و هم استرس اکسیداتیو ناشی از تمرین بی¬هوازی و وضعیت تمرین و در نظر گرفتن تنوع گسترده افراد مانند استرس کاهنده ممکن است بینش بهتری را در

مورد استرس اکسیداتیو ناشی از ورزش به دنبال مزایا و/یا پیامدها ارائه دهد. علاوه بر این مطالعات نشان داده‌اند که تمرینات ورزشی منظم، به‌ویژه تمرینات هوازی و ترکیبی، می‌توانند موجب بهبود حساسیت به انسولین و کاهش HOMA-IR شوند (۱۶)؛ هرچند که تأثیر تمرین با هزینه انرژی بالا به ویژه مصرف ۳۰۰۰ کالری در هفته بر انسولین و HOMA-IR چندان مورد مطالعه قرار نگرفته است.

نهایتاً مطالعات مختلف نشان داده‌اند که تمرینات بدنی منظم، به‌ویژه تمرینات ترکیبی (هوازی و مقاومتی)، می‌توانند منجر به کاهش سطوح MDA و hsCRP و نیز بهبود حساسیت به انسولین شوند (۱۷). با این حال، شواهد درباره اثر تمرینات با هزینه انرژی بسیار بالا (۳۰۰۰ کیلوکالری در هفته) بر این نشانگرها محدود است. برخی از یافته‌ها حاکی از آن است که تمرینات با شدت یا حجم بالا ممکن است در کوتاه‌مدت موجب افزایش ROS و استرس اکسیداتیو شوند، در حالی‌که در بلندمدت منجر به تنظیم بهتر سیستم آنتی‌اکسیدانی و کاهش التهاب می‌گردند.

با توجه به اینکه عدم تعادل بین دریافت و مصرف انرژی عامل اصلی چاقی است، طراحی تمریناتی با هزینه انرژی بالا ممکن است رویکردی مؤثر برای کاهش وزن و بهبود سلامت متابولیک در زنان دارای اضافه‌وزن باشد. لذا هدف از مطالعه حاضر تعیین تأثیر تمرین با هزینه انرژی مصرفی ۳۰۰۰ کالری در هفته بر hsCRP، MDA و مقاومت به انسولین در زنان دارای اضافه وزن بود. این پژوهش در پی آن است که تصویری جامع‌تر از تأثیر مداخلات تمرینی بر وضعیت التهابی، استرس اکسیداتیو و متابولیسم گلوکز ارائه دهد.

روش‌شناسی

تحقیق حاضر از نوع نیمه‌تجربی با طرح پیش‌آزمون-پس-آزمون و گروه کنترل بود که پس از تائید کمیته اخلاق زیست-پزشکی دانشگاه تبریز با کد IR.TABRIZU.REC.1402.026 اجرا شد. ابتدا پس از فراخوان در سطح شهر تبریز، ارزیابی‌های اولیه شامل قد، وزن، درصد چربی، دور کمر و شاخص توده بدنی[1] (BMI) صورت گرفت. همچنین با استفاده از نرم‌افزار G*Power و با در نظر گرفتن سه گروه، توان آزمون ۰/۸، ضریب تأثیر ۰/۷ و سطح معنی‌داری ۰/۵، تعداد ۳۰ آزمودنی به عنوان حجم نمونه مناسب تعیین شد. بر همین اساس از بین افراد واجد شرایطی که برای حضور در طرح پژوهشی اعلام آمادگی کردند.

شرکت کنندگان:

شاخص‌های ورود به مطالعه شامل سن (بر اساس شرایط سن ۴۰-۵۵ ساله)، داشتن BMI بین ۲۹/۹-۲۵، نداشتن بیماری‌های مزمن (بیماری‌های قلبی-عروقی، فشارخون نامتعارف)، نداشتن جراحی و عدم مصرف داروهای کاهنده وزن و یا داروهای ضدالتهاب در یک سال گذشته، عدم کاهش وزن بیشتر از ۱۰ درصد وزن بدن در یک سال گذشته، نداشتن سابقه حضور منظم در فعالیت ورزشی در یک سال گذشته و نداشتن محدودیت پزشکی برای مشارکت در فعالیت بود. ۳۰ نفر به عنوان نمونه آماری انتخاب شدند (جدول ۱). پس از تکمیل فرم رضایت آگاهانه توسط شرکت کنندگان، آزمودنی‌ها مورد معاینات پزشکی قرار گرفته و پس از اندازه‌گیری ترکیب بدنی (قد، وزن، نمایه توده بدنی، درصد چربی و دور کمر) و شاخص‌های خونی، افراد در سه گروه تمرین ترکیبی با هزینه انرژی بالا (HCE)، تمرین ترکیبی با هزینه انرژی استاندارد (SCE) و گروه کنترل (CON) قرار گرفتند. در پیش‌آزمون، آزمودنی‌ها بین ساعات ۱۰-۸ روزهای یکشنبه، سه‌شنبه و پنجشنبه در شرایط یکسان و استاندارد (رطوبت ۵۵-۵۰ درصد، دما ۲۶-۲۴ درجه سانتی‌گراد) و با در نظر گرفتن دوره عادت ماهانه (۲۸-۲۴ سیکل قائدگی) حضور پیدا کردند. سپس آزمودنی‌های گروه‌های تمرین به مدت دو هفته تمرینات آماده‌سازی را برای ورود به مرحله اصلی تمرینات انجام دادند. سپس هر دو گروه به مدت دوازده هفته زیر نظر مربی و در یک ساعت از روز (ساعت ۹ تا ۱۱ صبح و ۴ تا ۶ بعد از ظهر) به انجام تمرینات پرداختند. در پایان چهارده هفته تمرین و ۲۴ ساعت بعد از آخرین جلسه تمرینی پس‌آزمون همانند پیش‌آزمون اجرا شد.

جدول ۱. مشخصات دموگرافیک آزمودنی‌ها

گروه	CON (N=8)	HCE (N=9)	SCE (N=10)
سن (year)	۵۰/۰۰±۳/۳۰	۴۸/۵۶±۲/۷۹	۴۸/۴۰±۵/۲۵
وزن (kg)	۷۳/۶۸±۳/۹۳	۷۵/۱۲±۴/۴۸	۷۴/۹۵±۴/۱۳
BMI ($kg.m^{-2}$)	۲۸/۱۰±۱/۳۲	۲۸/۵۶±۱/۴۵	۲۷/۵۹±۱/۴۷

[1] Body Mass Index

روش اجرای پژوهش

گروه تمرین ترکیبی با هزینه انرژی استاندارد ۱۲ هفته تمرین ترکیبی با ۳ جلسه در هفته با ۳۰ دقیقه تمرین ترکیبی با شدت متوسط ۷۵-۶۰٪ VO_{2max} و ۹۰۰ کیلوکالری انرژی مصرفی در هفته اول آغاز شده و بر اساس اصل اضافه‌بار تدریجی از طریق افزایش حجم تمرین، در انتهای دوره‌ی تمرینی به ۱۲۰۰ کیلوکالری انرژی مصرفی در هفته افزایش یافت که شدت تمرین برابر با ۸۵-۷۰٪ VO_{2max} و مدت کل جلسه تمرینی برابر با ۶۵ دقیقه بود. در گروه تمرین با هزینه انرژی بالا نیز به مدت ۱۲ هفته تمرین ترکیبی با ۵ جلسه در هفته به مدت ۴۵ دقیقه تمرینات کل بدن با شدت ۶۵-۵۰٪ VO_{2max} و ۱۲۰۰ کیلوکالری هزینه انرژی در هفته اول آغاز شد و بر اساس اصل اضافه‌بار تدریجی از طریق افزایش حجم تمرین، در انتهای دوره تمرینی به ۳۰۰۰ کیلوکالری هزینه انرژی افزایش یافت که شدت تمرین برابر با ۷۵-۶۰٪ VO_{2max} و مدت کل جلسه تمرینی برابر با ۱۱۰ دقیقه بود (۱۸).

آزمودنی‌ها در هر سه گروه طی دوره مداخله، برنامه غذایی عادی خود را حفظ کردند. به‌علاوه از شرکت کنندگان خواسته شد تا برنامه غذایی سه روز غیرمتوالی خود شامل یک روز تعطیل و دو روز غیرتعطیل را در هفته اول و همچنین هفته آخر پر کنند. سپس بلافاصله برآورد دقیقی از موّاد غذایی مصرف شده محاسبه و کالری دریافتی و درشت مغذی‌های آزمودنی‌ها مشخص گردید. افراد حاضر در طرح موظف شد که در طول مداخله مصرف هرگونه مکمل، داروی تأثیرگذار بر متابولیسم و یا فعالیت‌های ورزشی پرهیز و در صورت عدم رعایت به محقق گزارش دهند. برنامه اصلاح عادات رفتاری-تغذیه‌ای شامل ۱۲ جلسه مشاوره گروهی ساعتی به سرپرستی متخصص تغذیه بود که بر سوابق رژیم غذایی، تعیین مواد غذایی مناسب و محتوای کالری دریافتی تأکید داشت و همچنین ویژگی‌های اصلاح رفتار شامل خود نظارتی، کنترل محرک حل مشکل، اظهار اجتماعی، تعیین هدف، بازخورد، پیشگیری از عود و مشارکت خانواده بود (۱۸).

پروتکل تمرین

طبق دستورالعمل‌های تناسب اندام ACSM، برنامه گروه تمرین با هزینه انرژی استاندارد شامل ۱۵ دقیقه پیاده‌روی یا دویدن روی تردمیل و ۲۴ دقیقه تمرینات کل بدن در چهار هفته اول و به دنبال آن ۲۵ دقیقه پیاده‌روی و دویدن و ۳۹ دقیقه تمرینات کل بدن در چهار هفته آخر بود. به طور خاص، این برنامه شامل ۱۲ هفته تمرین چندوجهی بود (جدول ۲). همچنین برنامه گروه تمرین با هزینه انرژی بالا با پیاده‌روی و دویدن آغاز و سپس به تمرینات کل بدن با محوریت تمرین با وزنه به جهت افزایش کالری سوزی تمرین ختم شد. عنصر اصلی گروه تمرین با هزینه انرژی بالا همان پروتکل استاندارد بود که با سه جلسه در هفته شروع شده و به تدریج به پنج جلسه در هفته افزایش یافت، اگرچه مدت زمان هر جلسه تمرینی در هر مرحله دو برابر برنامه استاندارد بود (جدول ۳). لازم به ذکر است در هر جلسه تمرینی، ۱۰ حرکت کل بدن از مجموعه‌ای از تمرینات وزن بدن و مقاومتی در سه ست اجرا شدند. این تمرینات با الگوی کار/استراحت ۳۰ ثانیه اجرا و ۱۵ ثانیه استراحت (با افزایش تدریجی تا ۴۰/۸۰ ثانیه)، و شدت برابر با ۱۶-۱۳ میزان درک فشار[1] (RPE) (نسبتاً سخت تا سخت) تنظیم شد. به منظور رعایت اصل تنوع تمرین حرکات هر هفته تغییر کردند. همچنین، در جدول ۴ نمونه‌ای از حرکات تمرینی کل بدن (Whole-body) ارائه شده است. در هر دو گروه، شرکت‌کنندگان گزارش تمرینات هفتگی خود را به یک فیزیولوژیست ورزشی ارائه دادند تا میزان کالری دریافتی تخمین زده و از رعایت آن اطمینان حاصل شود. انرژی مصرفی در طول تمرین با استفاده از ساعت هوشمند محاسبه و با استفاده از فرمول ACSM تأیید گردید. برای جلوگیری از خستگی و تکرار حرکات در طول دوره تمرین، حرکات تمرینی به طور هفتگی به روش‌های مختلفی تغییر می‌یافتند و حرکات تمرینی جدید جایگزین می‌گردید. پروتکل تمرینی مورد استفاده در این مطالعه، پیش‌تر توسط دیبا و همکاران (۲۰۲۴) در قالب مقاله‌ای با عنوان «تأثیر یک برنامه ورزشی چندوجهی ۱۲ هفته‌ای با کالری‌سوزی بالا بر شاخص‌های سلامت در زنان دارای اضافه‌وزن: پروتکل یک کارآزمایی تصادفی کنترل‌شده» منتشر شده است. این منبع حاوی اطلاعات تکمیلی در خصوص جزئیات مداخله تمرینی بوده و برای مطالعه بیشتر قابل ارجاع می‌باشد (۱۸).

[1] Rate of Perceived Exertion

جدول ۲. پروتکل ورزشی در گروه تمرین با هزینه انرژی استاندارد به صورت هفتگی و جلسه‌ای (۳ جلسه در هفته).

مؤلفه	هفته ۱	هفته ۲	هفته ۳	هفته ٤	هفته ٥	هفته ٦	هفته ۷	هفته ۸	هفته ۹	هفته ۱۰	هفته ۱۱	هفته ۱۲
زمان کلی (دقیقه)	۱۲۰	۱۲۰	۱۲۰	۱۲۰	۱۵۵	۱۵۵	۱۵۵	۱۵۵	۱۹۰	۱۹۰	۱۹۰	۱۹۰
فعالیت ورزشی[1] (دقیقه)	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵
ضربان قلب بیشینه (٪)	۸۵–۷۵	۹۵–۸۵	۸۵–۷۵	۹۵–۸۵	۸۵–۷۵	۹۵–۸۵	۸۵–۷۵	۹۵–۸۵	۸۵–۷۵	۹۵–۸۵	۸۵–۷۵	۹۵–۸۵
فعالیت ورزشی کل بدن: ۱۰ حرکت[2]												
زمان تمرین (دقیقه)	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۳۱/۵	۳۱/۵	۳۱/۵	۳۱/۵	۳۹	۳۹	۳۹	۳۹
ست (تعداد)/ استراحت (ثانیه)	۳ (۳۰)	۳ (۳۰)	۳ (۳۰)	۳ (۳۰)	۳ (۳۰)	۳ (۳۰)	۳ (۳۰)	۳ (۳۰)	۳ (۳۰)	۳ (۳۰)	۳ (۳۰)	۳ (۳۰)
اجرا (ثانیه) / استراحت (ثانیه)	۳۰ (۱۵)	۳۰ (۱۵)	۳۰ (۱۵)	۳۰ (۱۵)	۳۰ (۱۵)	۳۰ (۱۵)	۳۰ (۱۵)	۳۰ (۱۵)	۳۰ (۱۵)	۳۰ (۱۵)	۳۰ (۱۵)	۳۰ (۱۵)
میزان درک فشار (RPE)[3]	۱۵–۱۳	۱۶–۱۴	۱۵–۱۳	۱۶–۱۴	۱۵–۱۳	۱۶–۱۴	۱۵–۱۳	۱۶–۱۴	۱۵–۱۳	۱۶–۱۴	۱۵–۱۳	۱۶–۱۴
کیلوکالری / جلسه	۲۸۰–۲۲۰	۲۹۰–۲۳۰	۳۰۰–۲۶۰	۳۲۰–۲۶۰	۳۹۰–۳۲۰	۴۱۰–۳۳۰	۴۲۰–۳۵۰	۴۴۰–۳۶۰	۴۸۰–۳۷۰	۴۹۰–۳۷۵	۴۸۰–۳۷۰	۵۰۰–۴۰۰
کیلوکالری هفتگی	۸۵۰–۶۵۰	۹۰۰–۷۰۰	۹۰۰–۷۸۰	۹۵۰–۸۰۰	۱۱۸۵–۹۲۰	۱۲۰۰–۹۵۰	۱۳۰۰–۱۰۰۰	۱۳۴۰–۱۱۰۰	۱۴۴۰–۱۱۵۰	۱۴۷۰–۱۲۰۰	۱۴۴۰–۱۱۵۰	۱۵۰۰–۱۲۰۰

فعالیت ورزشی[1] (دقیقه): تمرین هوازی.

فعالیت ورزشی کل بدن[2]: در بخش فعالیت ورزشی کل بدن، ۱۰ حرکت در ۳ ست انجام شد که بر اساس اصل اضافه بار تدریجی برای طولانی‌مدت و افزایش حجم تمرین، از تغییر در شدت استراحت (ریکاوری فعال با شدت پایین / ریکاوری مانند دویدن آهسته) استفاده شد. بر اساس زمان‌بندی جدول، در محدوده بین هر ست، یک دوره ریکاوری غیرفعال ثابت ۳۰ ثانیه‌ای وجود داشت.

میزان درک فشار (RPE)[3]: شاخصی است که شدت تمرین را بر اساس احساس شخصی فرد از سختی تمرین اندازه‌گیری می‌کند. در مطالعه حاضر این شاخص با توجه به بیشترین تلاشی که هر فرد می‌تواند در طی ۳۰ ثانیه انجام دهد، اندازه‌گیری شد. مقیاس از ۶ (در حالت استراحت) تا ۲۰ (در حالت بیشینه ضربان قلب) بود. در اولین جلسه تمرین، RPE هدف بین ۱۳ تا ۱۵ تعیین شد که معادل شدت متوسط تا نسبتاً شدید است.

جدول ۳. پروتکل ورزشی در گروه تمرین با هزینه انرژی بالا به صورت هفتگی و جلسه‌ای (۵ جلسه در هفته)

مؤلفه	هفته ۱	هفته ۲	هفته ۳	هفته ۴	هفته ۵	هفته ۶	هفته ۷	هفته ۸	هفته ۹	هفته ۱۰	هفته ۱۱	هفته ۱۲
زمان کلی (دقیقه)	۱۳۵	۱۳۵	۱۵۰	۱۵۰	۲۴۰	۲۸۰	۳۴۰	۳۴۰	۴۷۵	۵۲۵	۵۳۰	۵۳۰
فعالیت ورزشی[1] (دقیقه)	۲۰	۲۰	۲۰	۳۰	۳۰	۳۰	۴۰	۴۰	۴۰	۵۰	۵۰	۵۰
ضربان قلب بیشینه (٪)	۸۰-۶۵	۸۵-۷۰	۸۰-۶۵	۸۵-۷۰	۸۰-۶۵	۸۵-۷۰	۸۰-۶۵	۸۵-۷۰	۸۰-۶۵	۸۵-۷۰	۸۰-۶۵	۸۵-۷۰
فعالیت ورزشی کل بدن: ۱۰ حرکت[2]												
زمان تمرین (دقیقه)	۲۵	۲۵	۳۰	۳۰	۴۰	۴۰	۴۵	۴۵	۵۵	۵۵	۶۰	۶۰
ست (تعداد)/ استراحت (ثانیه)	۳ (۳۰)	۳ (۳۰)	۳ (۳۰)	۳ (۳۰)	۳ (۳۰)	۳ (۳۰)	۳ (۳۰)	۳ (۳۰)	۳ (۳۰)	۳ (۳۰)	۳ (۳۰)	۳ (۳۰)

اجرا (ثانیه) / (استراحت (ثانیه)	۳۰ (۱۵)	۳۰ (۱۵)	۴۰ (۲۰)	۴۰ (۲۰)	۵۰ (۲۵)	۵۰ (۲۵)	۶۰ (۳۰)	۶۰ (۳۰)	۷۵ (۳۵)	۷۵ (۳۵)	۸۰ (۴۰)	۸۰ (۴۰)
میزان درک فشار (RPE)[3]	۱۵-۱۳	۱۶-۱۴	۱۵-۱۳	۱۶-۱۴	۱۵-۱۳	۱۶-۱۴	۱۵-۱۳	۱۶-۱۴	۱۵-۱۳	۱۶-۱۴	۱۵-۱۳	۱۶-۱۴
کیلوکالری / جلسه	۲۲۰-۱۵۰	۲۴۰-۱۹۰	۲۴۰-۲۳۴	۳۰۰-۲۴۰	۴۰۰-۳۶۰	۴۴۰-۴۰۰	۵۲۰-۴۶۰	۵۴۰-۴۸۰	۶۴۰-۶۰۰	۷۰۰-۶۴۰	۷۲۰-۶۶۰	۷۴۰-۶۸۰
کیلوکالری هفتگی	-۱۱۰۰ ۷۵۰	-۱۲۰۰ ۹۵۰	-۱۲۰۰ ۱۱۷۰	-۱۵۰۰ ۱۲۰۰	-۲۰۰۰ ۱۸۰۰	-۲۲۰۰ ۲۰۰۰	-۲۶۰۰ ۲۳۰۰	-۲۷۰۰ ۲۴۰۰	-۳۲۰۰ ۳۰۰۰	-۳۵۰۰ ۳۲۰۰	-۳۶۰۰ ۳۳۰۰	-۳۷۰۰ ۳۴۰۰

فعالیت ورزشی[1] (دقیقه): تمرین هوازی.

فعالیت ورزشی کل بدن[2]: در بخش فعالیت ورزشی کل بدن، ۱۰ حرکت در ۳ ست انجام شد که بر اساس اصل اضافه بار تدریجی برای طولانی‌مدت و افزایش حجم تمرین، از تغییر در شدت استراحت (ریکاوری فعال با شدت پایین / ریکاوری مانند دویدن آهسته) استفاده شد. بر اساس زمان‌بندی جدول، در محدوده بین هر ست، یک دوره ریکاوری غیرفعال ثابت ۳۰ ثانیه‌ای وجود داشت.

میزان درک فشار (RPE)[3]: شاخصی است که شدت تمرین را بر اساس احساس شخصی فرد از سختی تمرین اندازه‌گیری می‌کند. در مطالعه حاضر این شاخص با توجه به بیشترین تلاشی که هر فرد می‌تواند در طی ۳۰ ثانیه انجام دهد، اندازه‌گیری شد. مقیاس از ۶ (در حالت استراحت) تا ۲۰ (در حالت بیشینه ضربان قلب) بود. در اولین جلسه تمرین، میزان RPE هدف بین ۱۳ تا ۱۵ تعیین شد که معادل شدت متوسط تا نسبتاً شدید است.

جدول ٤. نمونه‌ای از حرکات کل بدن

نام حرکت	توضیح مختصر
Burpee	اسکوات + پرش + شنا؛ بسیار پرفشار و انرژی‌سوز
Jumping Jacks	باز و بسته کردن دست و پا در حالت پرش؛ افزایش ضربان قلب
Squat to Press	اسکوات همراه با بالا بردن دست‌ها یا وزنه‌ها (یا بدون وزنه)
Mountain Climbers	در حالت پلانک، زانوها به سمت سینه جلو می‌روند (تمرکز بر میان‌تنه و قلبی)
Spider Plank	پلانک با کشیدن زانو به بیرون بدن در جهت آرنج همان سمت
Lunges with Twist	لانج به جلو همراه با چرخش تنه (برای فعال‌سازی مرکز بدن)
Bear Crawl	حرکت چهار دست و پا رو به جلو و عقب؛ درگیری کامل عضلات
Jump Squats	اسکوات همراه با پرش؛ برای قدرت انفجاری و درگیری پایین‌تنه
Push-Up to T-Plank	شنا با چرخش به پهلو و باز کردن یک دست به بالا (تقویت سینه، شکم، شانه)
High Knees	دویدن درجا با بالا آوردن زانو تا سطح شکم؛ تمرین هوازی و کنترل مرکزی بدن

روش اندازه‌گیری شاخص‌ها:

ارزیابی هزینه انرژی روزانه: ثبت فعالیت‌های روزانه و اندازه‌گیری آن‌ها با پرسشنامه استاندارد بین المللی فعالیت فیزیکی (IPAQ)، برای ارزیابی وضعیت فعالیت فیزیکی افراد استفاده گردید. مطالعه کرینگ[1] و همکاران (۲۰۰۳) که در ۱۲ کشور انجام شد، نشان داد که نسخه کوتاه IPAQ از پایایی مناسب (r=۰/۸) و روایی قابل قبول در مقایسه با سنجش‌های عینی مانند شتاب‌سنج‌ها برخوردار است (۱۹). همچنین در ایران نیز، نسخه فارسی این پرسشنامه توسط رفائی و همکاران (۲۰۱۳) ترجمه و روایی و پایایی آن بررسی شده است. در این مطالعه، ضریب آلفای کرونباخ برابر با ۰/۷ و پایایی بازآزمایی[2] برابر با ۰/۸۱ گزارش شد .

تعادل انرژی مصرفی و انرژی دریافتی: برای تعیین تعادل انرژی هر شرکت‌کننده، ابتدا میزان کل انرژی مورد نیاز روزانه از مجموع انرژی مصرفی در حالت استراحت[3] (REE) و انرژی مصرفی حین فعالیت بدنی محاسبه شد. انرژی مصرفی در حالت استراحت با استفاده از فرمول کانینگهام[4] که در زیر ارائه شده است، بر اساس جرم بدون چربی[5] (FFM) هر فرد برآورد گردید. همچنین انرژی مصرفی فعالیت‌های ورزشی با توجه به شدت، مدت و نوع تمرینات و با استفاده از جدول معادل متابولیک (MET) یا گزارش‌های مربوط به کالری‌سوزی تمرینات محاسبه شد. سپس، از میزان انرژی دریافتی روزانه (برآورد شده با نرم‌افزار

[1] Craig
[2] Test-retest reliability

[3] Resting Energy Expenditure
[4] Cunningham equation
[5] Fat-Free Mass

Nutrition 4.1، ساخت آمریکا) ۵۰۰ کیلوکالری به عنوان کسری انرژی هدف کم شد تا تراز انرژی منفی و مؤثر برای کاهش وزن ایجاد شود (۲۰).

REE=500+22×FFM (kg)

برآورد VO_{2max}: از آزمون پله کوئین با ارتفاع پله ۴۰ سانتی‌متری استفاده گردید. همچنین ضربان‌سنج پولار مدل A370 BLKS به منظور اندازه‌گیری ضربان قلب مورد استفاده قرار گرفت.

اندازه‌گیری شاخص‌های بیوشیمیایی: خون‌گیری در دو مرحله قبل و ۲۴ ساعت بعد از آخرین جلسه قرارداد تمرینی در آزمایشگاه تخصصی و تحقیقاتی سارا یاخته شهر تبریز توسط متخصص خونگیر انجام گرفت. قبل از هر نوبت خون‌گیری، آزمودنی‌ها چند دقیقه در حالت نشسته به استراحت پرداخته و سپس از ورید بازویی آن‌ها مقدار ۵ سی‌سی خون اخذ شد. نمونه-های خون در لوله‌های حاوی ماده ضد انعقاد EDTA ریخته شد؛ سپس سریعاً به مدّت ۸ دقیقه با استفاده از دستگاه سانتریفیوژ با تعداد ۳۰۰۰ دور در دقیقه قرار داده سانتریفیوژ شد و سرم بدست آمده برای آزمایشات بعدی در لوله‌های مجزا در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد فریز گردید. از کیت MDA, Colorimetic, ZellBio GmbH, UIm ساخت کشور آلمان با حساسیت ۰/۱ uM و بر پایه واکنش با تیوباربیتوریک اسید (TBA) برای اندازه‌گیری مقادیر MDA استفاده شد. از کیت تخصصی Binding site با دقت ۰/۴ گرم بر لیتر به منظور اندازه‌گیری hsCRP استفاده شد. ابتدا لوله لخته در دستگاه سانتریفیوژ به مدت ۱۰ دقیقه سرم‌گیری شد، سپس hsCRP از سرم به دست آمده با روش ایمنو توربیدو متریک بر حسب میکروگرم بر میلی‌لیتر با دستگاه تمام خودکار ساخت کشور آمریکا توسط متخصص علوم آزمایشگاهی اندازه‌گیری گردید. میزان انسولین ناشتا با استفاده از کیت الایزا (ELISA) و به روش ایمونواسی آنزیمی اندازه‌گیری شد. نتایج انسولین در واحد µU/mL گزارش گردید. جهت ارزیابی مقاومت به انسولین، از شاخص HOMA-IR استفاده شد که از طریق فرمول زیر محاسبه گردید (۲۱):

HOMA-IR = Fasting Insulin (µU/mL) × Fasting Glucose (mg/dL) / 405

در این فرمول، گلوکز ناشتا با استفاده از روش آنزیماتیک گلوکز اکسیداز اندازه‌گیری شد. مقادیر بالاتر از ۲/۵ در این شاخص به عنوان شاخصی از مقاومت به انسولین در نظر گرفته شد.

لازم به ذکر است که جهت کنترل فاز قاعدگی، نمونه‌گیری خونی در فاز لوتئال میانی تا انتهایی[1] انجام شد؛ به‌طوری‌که بر اساس شمارش روزهای سیکل از نخستین روز قاعدگی، خون‌گیری بین روزهای ۲۲ تا ۲۸ صورت گرفت. این بازه زمانی مطابق با تعاریف فیزیولوژیک، به فاز لوتئال تعلق دارد که از تخمک‌گذاری (معمولاً روز ۱۴ سیکل) تا آغاز قاعدگی بعدی ادامه می‌یابد و با سطوح بالای پروژسترون و افت نسبی استروژن مشخص می‌شود (۲۲).

روش‌های آماری

به منظور تجزیه و تحلیل داده¬ها از آزمون تحلیل واریانس مکرر ۲×۳ استفاده شد. همچنین به منظور تشخیص محل تفاوت-ها از آزمون تعقیبی بونفرونی استفاده گردید. تمامی عملیات آماری در سطح معنی‌داری P≤۰/۰۵ و با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSSV26 تحت ویندوز انجام شد.

یافته‌ها

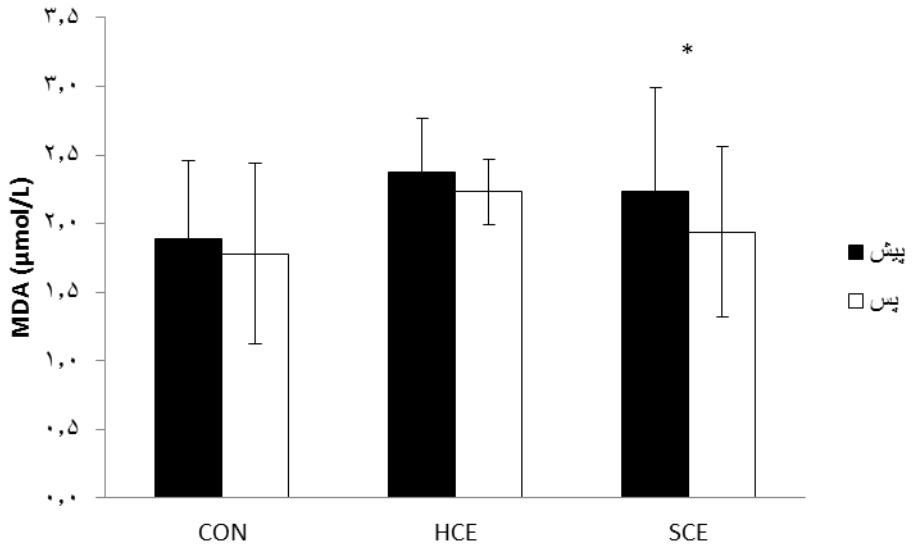
نتایج تحلیل واریانس مکرر ۲×۳ در ارتباط با مقادیر MDA نشان داد که در مجموع سه گروه در پس‌آزمون نسبت به پیش-آزمون تغییر معنی‌داری مشاهده شد (P=۰/۰۴۳ و F۱،۲۴=۴/۵۸۵). با استفاده از آزمون تعقیبی بونفرونی تنها در گروه SCE در دو مرحله اول و دوم اندازه‌گیری (پیش‌آزمون-پس‌آزمون) تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (P=۰/۰۴۳). با این حال بین گروه¬های مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (P=۰/۲۲۱ و F۱،۲۴=۱/۶۰۹) (شکل ۱).

نتایج تحلیل واریانس مکرر ۲×۳ در ارتباط با مقادیر hsCRP در مجموع سه گروه در پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون تغییر معنی-داری مشاهده نشد (P=۰/۲۷۹ و F۱،۲۴=۱/۲۲۶). اما بین گروه-های مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری وجود داشت (P=۰/۰۰۳ و F۱،۲۴=۷/۷۲۰) که نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی تفاوت معنی‌دار در گروه HCE با دو گروه دیگر یعنی SCE(p=۰/۰۱۰) و CON (p=۰/۰۰۵) را نشان داد (شکل ۲).

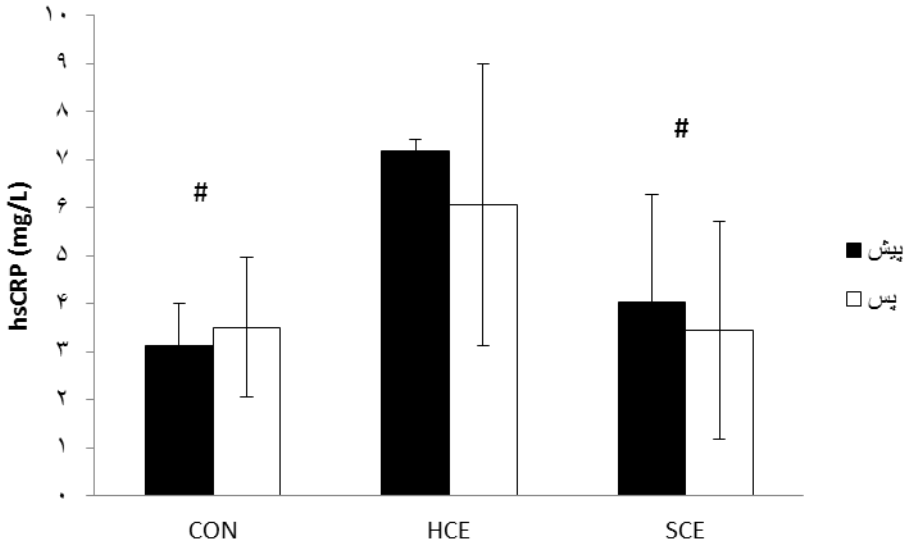
نتایج تحلیل واریانس مکرر ۲×۳ در ارتباط با مقادیر انسولین در مجموع سه گروه در پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون تغییر معنی-

[1] Mid-to-Late Luteal Phase

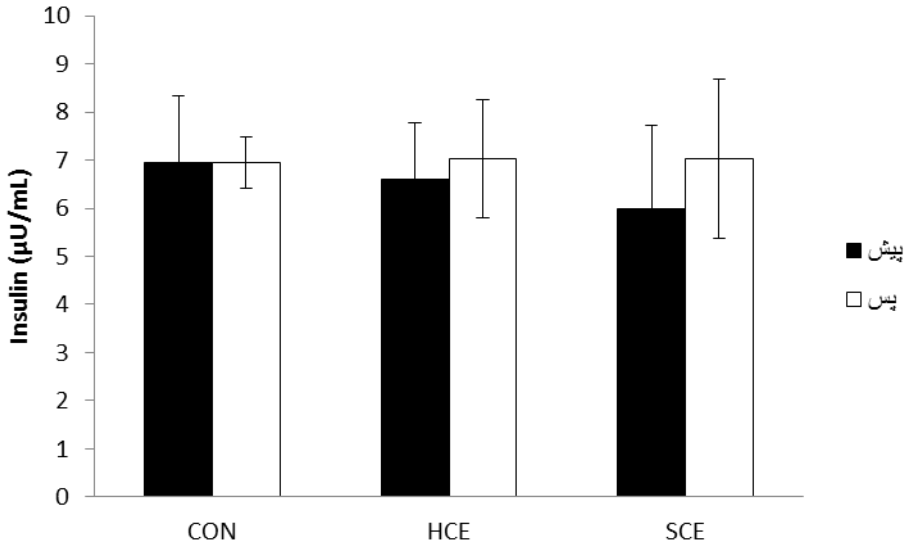
داری مشاهده نشد (P=۰/۱۵۸ و F۱،۲۴=۲/۱۲۰). همچنین بین گروه‌های مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (P=۰/۶۷۱ و F۱،۲۴=۰/۴۰۶) (شکل ۳). نتایج تحلیل واریانس مکرر ۲×۳ در ارتباط با مقادیر مقاومت به انسولین در مجموع سه گروه در پس-آزمون نسبت به پیش‌آزمون تغییر معنی‌داری مشاهده نشد (P=۰/۵۲۵ و F۱،۲۴=۰/۴۱۷). همچنین بین گروه‌های مورد مطالعه تفاوت معنی¬داری وجود نداشت (P=۰/۶۳۴ و F۱،۲۴=۰/۴۶۵) (شکل ۴).



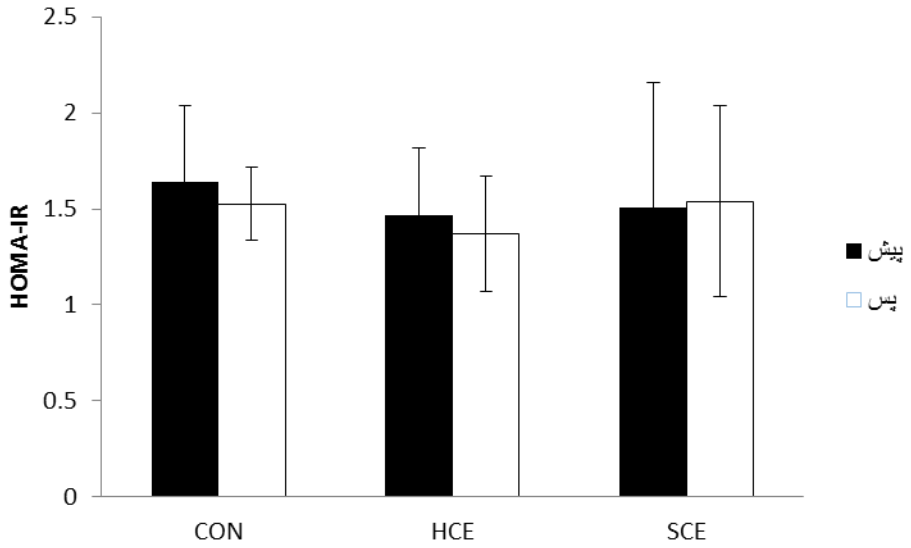
شکل ۱. مقادیر MDA در مراحل پیش-پس‌آزمون سه گروه HCE، SCE و CON.
* نشان‌گر تفاوت معنی‌دار بین پیش‌آزمون و پس‌آزمون در سطح P<۰/۰۵.



شکل ۲. مقادیر hsCRP در مراحل پیش-پس‌آزمون سه گروه HCE، SCE و CON.
نشان‌گر تفاوت معنی‌دار با گروه HCE در سطح P<۰/۰۵.



شکل ۳. مقادیر انسولین در مراحل پیش-پس‌آزمون سه گروه HCE، SCE و CON.
نشان‌گر تفاوت معنی‌دار با گروه HCE در سطح P<۰/۰۵.



شکل ٤. مقادیر مقاومت به انسولین در مراحل پیش-پس‌آزمون سه گروه HCE، SCE و CON.

بحث:

هدف از مطالعه حاضر تعیین تأثیر تمرین با هزینه انرژی مصرفی ۳۰۰۰ کالری در هفته بر hsCRP، MDA و مقاومت به انسولین در زنان دارای اضافه وزن بود. با توجه به نتایج، ۱۲ هفته تمرین ترکیبی منجر به کاهش معنی‌دار MDA تنها در گروه SCE شد به‌طوری که این کاهش در دو گروه CON و HCE معنی‌دار نبود. با این حال بین گروه‌های مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری وجود نداشت.

طبق جستجوهای انجام‌شده، مطالعه‌ای که به‌طور مستقیم اثر تمرین ترکیبی با دو سطح هزینه انرژی (بالا و استاندارد) را بر سطوح MDA در زنان دارای اضافه‌وزن بررسی کرده باشد، گزارش نشده است. با این حال، پژوهش‌هایی نشان داده‌اند که

پاسخ MDA به تمرین بستگی زیادی به شدت، مدت، زمان نمونه‌گیری و سطح آمادگی بدنی شرکت‌کنندگان دارد (۲۳–۲۵). به عنوان نمونه، افزایش MDA بلافاصله پس از تمرین در افراد کم‌تحرک گزارش شده، در حالی که در ورزشکاران تمرین‌کرده این افزایش مشاهده نشده است (۲۴). این تفاوت‌ها احتمالاً به ظرفیت بالاتر دفاع آنتی‌اکسیدانی در افراد تمرین‌دیده مرتبط است (۲۶). در مطالعه حاضر نیز که برای نخستین بار به بررسی پاسخ استراحتی MDA پس از تمرین با هزینه انرژی بالا پرداخته شده، به نظر می‌رسد که تمرینات با مصرف بیش از ۳۰۰۰ کیلوکالری می‌توانند از طریق تغییر تعادل بین تولید و خنثی‌سازی گونه‌های اکسیژن فعال (ROS)، بر استرس اکسیداتیو تأثیرگذار باشند (۲۷,۲۸). شواهد موجود حاکی از آن است که پاسخ اکسیداتیو ناشی از تمرین، حاصل تعامل پیچیده بین شدت فعالیت، وضعیت تمرینی، و دریافت کالری است (۲۹,۳۰).

نهایتاً محدودیت کالری همراه با ورزش اثرات متفاوتی بر سطوح MDA نشان داده است. ورزش کوتاه‌مدت روی تردمیل به‌طور قابل توجهی سطوح MDA را کاهش می‌دهد (۳۱). با این حال، ترکیبی از محدودیت کالری و ورزش اثر هم‌افزایی بر سطوح MDA نشان نداد (۳۲). علاوه بر این، مشخص شده است که محدودیت کالری باعث کاهش آسیب اکسیداتیو، از جمله سطوح MDA، در بافت‌های مختلف مانند پوست، دستگاه گوارش و قلب، به دنبال قرار گرفتن در معرض تابش می‌شود (۳۳). گرچه بسیاری از این شواهد مبتنی بر مطالعات حیوانی است، اما نشان می‌دهند که در حالی که ورزش به‌تنهایی می‌تواند تأثیر مثبتی بر سطوح MDA داشته باشد، ترکیب آن با محدودیت کالری الزاماً به اثر هم‌افزا منجر نمی‌شود؛ مسئله‌ای که بر پیچیدگی تعامل بین این مداخلات و شاخص‌های استرس اکسیداتیو تأکید دارد.

از سوی دیگر در مطالعه حاضر هرچند ۱۲ هفته تمرین ترکیبی موجب تغییر معنی‌دار درون‌گروهی hsCRP نشد، اما تفاوت بین گروه‌ها از نظر آماری معنی‌دار بود. پژوهش‌های قبلی نشان داده‌اند که تمرینات هوازی با مدت طولانی‌تر می‌توانند سطوح hsCRP را کاهش دهند (۳۴–۳۶)، در حالی که تمرین شدید ممکن است به دلیل آسیب بافتی موجب افزایش آن شود (۳۷). برخی مطالعات نیز بر تأثیر مثبت تمرین ترکیبی در کاهش شاخص‌های التهابی در جمعیت‌های خاص مانند بیماران هموفیلی یا افراد چاق تأکید کرده‌اند (۳۸,۳۹). با این حال در برخی مطالعات، تأثیر معنی‌دار فعالیت ورزشی بر سطوح CRP یا hsCRP گزارش نشده است (۴۰,۴۱). یک متاآنالیز نیز نشان داد که کاهش CRP تنها زمانی معنی‌دار است که ورزش با محدودیت کالری همراه شود، آن هم با تأثیر نسبتاً اندک (۴۲). همچنین یافته‌های لیو و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که کاهش مؤثر CRP، IL-6 و TNF-α در افراد چاق تنها در صورت ترکیب ورزش، محدودیت کالری و سبک زندگی فعال امکان‌پذیر است (۴۳).

یافته‌های مطالعه حاضر به همراه شواهد مطالعات قبلی نشان می‌دهد که رابطه بین فعالیت ورزشی و سطوح hsCRP پیچیده و چندوجهی است و تحت تأثیر عواملی نظیر نوع، شدت، مدت تمرین، ویژگی‌های جمعیت مورد مطالعه، وضعیت سلامتی و سطح آمادگی جسمانی شرکت‌کنندگان و همچنین زمان اندازه‌گیری hsCRP قرار دارد (۴۰). مطالعه حاضر با به‌کارگیری تمریناتی با مصرف کالری بیش از ۳۰۰۰ کیلوکالری در هفته، تمایزی نسبت به سایر مطالعات دارد. نتایج نشان داد که گرچه کاهش سطوح hsCRP در گروه‌های تمرین با هزینه انرژی بالا و استاندارد مشاهده شد، اما این کاهش از نظر آماری معنی‌دار نبود. این امر بیانگر آن است که تمرین با هزینه انرژی بالا منجر به افزایش آسیب‌های التهابی نسبت به سایر گروه‌ها نمی‌شود. با توجه به گزارش‌های قبلی مبنی بر افزایش آسیب عضلانی و التهاب ناشی از فشار مکانیکی و متابولیکی در تمرینات شدید و طولانی‌مدت، به‌ویژه در افراد با مشکلات زمینه‌ای (۴۴)، مشاهده کاهش یا عدم افزایش معنی‌دار hsCRP در این مطالعه، نشان‌دهنده محدود بودن استرس التهابی در شرایط تمرین با مصرف انرژی بالا است. با این وجود، تحقیقات بیشتری جهت درک دقیق‌تر مکانیسم‌های اثر تمرینات با مصرف انرژی بالا بر شاخص‌های التهابی و تعیین موثرترین مداخلات ورزشی برای کاهش hsCRP در جمعیت‌های مختلف ضروری است.

از سوی دیگر در مطالعه حاضر علیرغم اینکه انتظار می‌رفت تمرین با هزینه انرژی ۳۰۰۰ کالری در هفته بتواند بهبود قابل‌توجهی در مقادیر انسولین و مقاومت به انسولین ایجاد کند، نتایج این مطالعه نشان‌دهنده عدم تغییر معنی‌دار این شاخص‌ها پس از دوره تمرین ترکیبی ۱۲ هفته‌ای بود. این یافته‌ها ممکن

است از دیدگاه سلولی و مولکولی به عوامل متعددی مرتبط باشد. از نظر بیولوژیکی، مقاومت به انسولین در سطح سلولی معمولاً با کاهش در سیگنال‌دهی مسیر IRS-1/PI3K/Akt همراه است که منجر به کاهش ترانسلوکیشن پروتئین GLUT4 به غشای سلول و کاهش ورود گلوکز به سلول‌های عضلانی و چربی می‌شود (۴۵). تمرین ورزشی می‌تواند از طریق فعال‌سازی مسیر پروتئین کیناز فعال شده با آدنوزین مونوفسفات (AMPK) به‌ویژه در عضلات اسکلتی، باعث افزایش انتقال GLUT4 و بهبود حساسیت به انسولین شود (۴۶). با این حال، فعال‌سازی پایدار این مسیر نیازمند شدت تمرین بالا، مدت‌زمان کافی، و استمرار در طولانی‌مدت است (۴۷). در مطالعه حاضر، اگرچه تمرین با هزینه انرژی بالا اجرا شد، اما ممکن است عدم بروز پاسخ معنی‌دار در مقادیر انسولین و مقاومت به انسولین به مواردی چون تفاوت¬های فردی، مدت‌زمان ناکافی مداخله و یا میزان انسجام متابولیکی سلول‌ها مربوط باشد (۴۸). در همین راستا در افراد دارای اضافه‌وزن ممکن است التهاب مزمن و استرس اکسیداتیو با تولید بیش از حد سیتوکین‌هایی مانند TNF-α و IL-6 منجر به فسفریلاسیون سرین IRS-1 شده و از سیگنال‌دهی صحیح انسولین جلوگیری کنند. چنانچه التهاب زمینه‌ای به‌طور مؤثری کنترل نشود، تمرین ممکن است نتواند به تنهایی مقاومت به انسولین را بهبود بخشد (۴۹). همچنین عدم تغییر معنی‌دار وزن یا چربی بدن نیز می¬تواند عاملی مؤثر در عدم مشاهده تفاوت¬های معنی¬دار مرتبط با انسولین و مقاومت به انسولین باشد؛ چرا که با کاهش چربی احشایی عملکرد انسولین بهبود می¬یابد که این حالت ممکن است منجر به عدم پاسخ انسولینی مطلوب شود (۵۰). لذا در مطالعه حاضر اگرچه تمرین با هزینه انرژی ۳۰۰۰ کیلوکالری در هفته، از منظر فیزیولوژیکی ممکن است بار قابل توجهی ایجاد کند، اما بهبود در مسیرهای سیگنال‌دهی انسولین و کاهش مقاومت به انسولین مستلزم اصلاحات چندجانبه در سطح سلولی، کاهش التهاب سیستمیک، تنظیم مسیرهای مولکولی نظیر AMPK، و نیز کاهش چربی احشایی است. به‌نظر می‌رسد که مدت‌زمان مداخله یا شدت تمرین به‌تنهایی برای ایجاد این اصلاحات کافی نبوده است.

نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه در مقادیر MDA و hsCRP تفاوت چندانی بین دو گروه SCE و HCE مشاهده نشد، لذا به نظر می¬رسد که تمرین با هزینه انرژی بالا مضرات چندانی از نظر ایجاد استرس اکسیداتیو و التهاب پس از ۱۲ هفته ندارد. علاوه بر این، با توجه به عدم تفاوت معنی‌دار در مقادیر انسولین و شاخص مقاومت به انسولین (HOMA-IR) بین دو گروه SCE و HCE، به نظر می‌رسد که از نظر پاسخ‌های متابولیکی مرتبط با عملکرد انسولین، نمی‌توان برتری مشخصی برای تمرینات با هزینه انرژی استاندارد نسبت به تمرینات با هزینه انرژی بالا قائل شد.

پیام مقاله

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که اجرای ۱۲ هفته تمرین ترکیبی، حتی با هزینه انرژی مصرفی بالا (بیش از ۳۰۰۰ کیلوکالری در هفته)، در زنان دارای اضافه وزن، منجر به افزایش معنی‌دار استرس اکسیداتیو، التهاب سیستمیک و اختلال در متابولیسم انسولین نمی‌شود. در واقع، عدم تفاوت معنی‌دار در شاخص‌های MDA، hsCRP، انسولین و مقاومت به انسولین بین گروه‌های تمرین با کالری بالا و استاندارد نشان می‌دهد که تمرینات با هزینه انرژی بالا، برخلاف برخی نگرانی‌ها، دارای آثار منفی متابولیکی و التهابی قابل‌توجهی در این جمعیت نیستند. بنابراین، در چارچوب تمرینات کنترل‌شده، می‌توان از تمرین با هزینه انرژی بالا بدون افزایش بار التهابی یا اختلال در عملکرد انسولین در برنامه‌های مداخله‌ای برای بهبود سلامت بهره برد. علاوه بر این، ممکن است تمرینات با هزینه انرژی بالا در بهبود سایر شاخص‌های مرتبط با سلامت نیز نقش داشته باشند، که بررسی دقیق‌تر آن نیازمند انجام مطالعات آتی است.

تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از تحقیق رساله دوره دکتری مصوب در دانشگاه تبریز بوده و از تمامی نویسندگان مراتب تشکر و سپاس خویش را از تمامی افراد شرکت کننده در پژوهش حاضر اعلام می نماییم.

تعارض منافع

نویسندگان این مقاله، هیچ نفع متقابلی از انتشار آن ندارند.

منابع

[1] Lim JZM, Williams A, Burgess J, O'Connell J, James M, Cross A, et al. Efficacy of providing energy expenditure information to guide weight loss interventions in people

21];15(1):1–13. Available from: https://www.nature.com/articles/s41598-025-01531-z

[6] Abiri B, Ahmadi AR, Amini S, Akbari M, Hosseinpanah F, Madinehzad SA, et al. Prevalence of overweight and obesity among Iranian population: a systematic review and meta-analysis. J Health Popul Nutr [Internet]. 2023 Dec 1 [cited 2025 Jul 21];42(1). Available from: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37488650/

[7] Dehghani A, Molani-Gol R, Mohammadi-Narab M, Norouzy A, Abolhassani MH, Tabatabaee Jabali SM, et al. The prevalence of obesity and overweight among Iranian population: an umbrella systematic review and meta-analysis. BMC Public Health [Internet]. 2024 Dec 1 [cited 2025 Jul 21];24(1):1–27. Available from: https://bmcpublichealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12889-024-20860-8

[8] Matthews DR, Hosker JP, Rudenski AS, Naylor BA, Treacher DF, Turner RC. Homeostasis model assessment: insulin resistance and β-cell function from fasting plasma glucose and insulin concentrations in man. SpringerDR Matthews, JP Hosker, AS Rudenski, BA Naylor, DF Treacher, RC Turnerdiabetologia, 1985•Springer [Internet]. 1985 Jul [cited 2025 Jul 22];28(7):412–9. Available from: https://link.springer.com/article/10.1007/bf00280883

[9] Naomi R, Teoh S, Embong H, Balan S, Antioxidants FO, 2023 undefined. The role of oxidative stress and inflammation in obesity and its impact on cognitive impairments—a narrative review. mdpi.comR Naomi, SH Teoh, H Embong, SS Balan, F Othman, H Bahari, MD with obesity: A randomized controlled trial. Wiley Online LibraryJZM Lim, A Williams, J Burgess, J O'Connell, M James, A Cross, D Hughes, DJ CuthbertsonClinical Obesity, 2025•Wiley Online Library [Internet]. 2025 Feb 1 [cited 2025 Jul 22];15(1). Available from: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/cob.12703

[2] Willis E, ... ASR... of PA, 2019 undefined. Energy expenditure and intensity of group-based high-intensity functional training: a brief report. journals.humankinetics.comEA Willis, AN Szabo-Reed, LT Ptomey, JJ Honas, FL Steger, RA Washburn, JE DonnellyJournal of Physical Activity and Health, 2019•journals.humankinetics.com [Internet]. [cited 2025 Jul 22]; Available from: https://journals.humankinetics.com/view/journals/jpah/16/6/article-p470.xml

[3] Tappia PS, Defries D. Prevalence, Consequences, Causes and Management of Obesity. Advances in Biochemistry in Health and Disease [Internet]. 2020 [cited 2025 Jul 22];19:3–22. Available from: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-35358-2_1

[4] Lobstein T, Jackson-Leach R, Powis J, Brinsden H. World obesity atlas 2023. 2023 [cited 2025 Jul 22]; Available from: https://policycommons.net/artifacts/3454894/untitled/4255209/

[5] Shiri MS, Karami H, Ghanbarnezhad A, Bordbar N, Mouseli A, Emamgholipour S. National and subnational trends in obesity prevalence in Iran: a Spatiotemporal study with future predictions. Sci Rep [Internet]. 2025 Dec 1 [cited 2025 Jul

of sports medicine and physical fitness, 1997•europepmc.org [Internet]. [cited 2025 Jul 22]; Available from: https://europepmc.org/article/med/9509820

[14] McBRIDE J, ... WKM and science, 1998 undefined. Effect of resistance exercise on free radical production. europepmc.orgJM McBRIDE, WJ Kraemer, T Triplett-McBride, W SebastianelliMedicine and science in sports and exercise, 1998•europepmc.org [Internet]. [cited 2025 Jul 22]; Available from: https://europepmc.org/article/med/9475646

[15] Bloomer R, ... AG... & science in, 2006 undefined. Oxidative stress response to aerobic exercise: comparison of antioxidant supplements. warriorgoddesskettlebelltraining RJ Bloomer, AH Goldfarb, MJ McKenzieMedicine & science in sports & exercise, 2006•warriorgoddesskettlebelltraining ... [Internet]. 2006 [cited 2025 Jul 22];38(6):1098–105. Available from: http://www.warriorgoddesskettlebelltraining.com/wp-content/uploads/2012/07/MSSE20antioxidant20comparison202006.pdf

[16] Silva FM, Duarte-Mendes P, Teixeira AM, Soares CM, Ferreira JP. The effects of combined exercise training on glucose metabolism and inflammatory markers in sedentary adults: a systematic review and meta-analysis. nature.comFM Silva, P Duarte-Mendes, AM Teixeira, CM Soares, JP FerreiraScientific Reports, 2024•nature.com [Internet]. 123AD [cited 2025 Jul 22];14:1936. Available from: YazidAntioxidants, 2023•mdpi.com [Internet]. [cited 2025 Jul 22]; Available from: https://www.mdpi.com/2076-3921/12/5/1071

[10] Dillard CJ, Litov RE, Savin WM, Dumelin EE, Tappel AL. Effects of exercise, vitamin E, and ozone on pulmonary function and lipid peroxidation. journals.physiology.org [Internet]. 1978 [cited 2025 Jul 22];45(6):927–32. Available from: https://journals.physiology.org/doi/abs/10.1152/jappl.1978.45.6.927

[11] Powers SK, Radak Z, Ji LL. Exercise-induced oxidative stress: past, present and future. Wiley Online LibrarySK Powers, Z Radak, LL JiThe Journal of physiology, 2016•Wiley Online Library [Internet]. 2016 Sep 15 [cited 2025 Jul 22];594(18):5081–92. Available from: https://physoc.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1113/jp270646

[12] Lovlin R, Cottle W, Pyke I, Kavanagh M, Belcastro AN. Are indices of free radical damage related to exercise intensity. SpringerR Lovlin, W Cottle, I Pyke, M Kavanagh, AN BelcastroEuropean journal of applied physiology and occupational physiology, 1987•Springer [Internet]. 1987 May [cited 2025 Jul 22];56(3):313–6. Available from: https://link.springer.com/article/10.1007/BF00690898

[13] Marzatico F, Pansarasa O, ... LBTJ of sports, 1997 undefined. Blood free radical antioxidant enzymes and lipid peroxides following long-distance and lactacidemic performances in highly trained aerobic and sprint athletes. europepmc.orgF Marzatico, O Pansarasa, L Bertorelli, L Somenzini, G Della ValleThe Journal

RC. Homeostasis model assessment: insulin resistance and β-cell function from fasting plasma glucose and insulin concentrations in man. Springer [Internet]. 1985 Jul [cited 2025 Jul 22];28(7):412–9. Available from: https://link.springer.com/article/10.1007/bf00280883

[22] Reed B, Carr B. The normal menstrual cycle and the control of ovulation. 2015 [cited 2025 Jul 22]; Available from: https://europepmc.org/article/nbk/nbk279054

[23] EunYoung CC, YounOk CC. The effects of physical training on antioxidative status under exercise-induced oxidative stress. 2007 [cited 2025 Jul 23]; Available from: https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20073280084

[24] Lu K, Wang L, Wang C, Yang Y, Hu D, Ding R. Effects of high-intensity interval versus continuous moderate-intensity aerobic exercise on apoptosis, oxidative stress and metabolism of the infarcted. spandidos-publications.comK Lu, L Wang, C Wang, Y Yang, D Hu, R DingMolecular medicine reports, 2015•spandidos-publications.com [Internet]. 2015 Aug 1 [cited 2025 Jul 23];12(2):2374–82. Available from: https://www.spandidos-publications.com/10.3892/mmr.2015.3669?text=abstract

[25] Daud DA, Ahmedy F, Sciences DBA, 2022 undefined. Oxidative stress and antioxidant enzymes activity after cycling at different intensity and duration. mdpi.comDM Awang Daud, F Ahmedy, DMP Baharuddin, ZA ZakariaApplied Sciences, 2022•mdpi.com [Internet]. [cited 2025 Jul 23]; Available from: https://www.nature.com/articles/s41598-024-51832-y

[17] Man AWC, Li H, Xia N. Impact of lifestyles (diet and exercise) on vascular health: oxidative stress and endothelial function. Wiley Online Library [Internet]. 2020 [cited 2025 Jul 22];2020. Available from: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1155/2020/1496462

[18] Diba MA, ... VSSJR, 2024 undefined. Effect of a 12-Week High-Calorie-Expenditure Multimodal Exercise Program on Health Indices in Women With Overweight: Protocol for a Randomized Controlled Trial. search.ebscohost.com [Internet]. [cited 2025 Jul 22]; Available from: https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=19290748&AN=182973324&h=cM5uiL%2F43YlyHfqhhOcTr14RE1OWUNathd8oZtoOTZQ9Grfxoes2hYtaGKE0uj0RlyAlpYYhJRnrGE8txX1C8g%3D%3D&crl=c

[19] Craig CL, Marshall AL, Sjöström M, Bauman AE, Booth ML, Ainsworth BE, et al. International physical activity questionnaire: 12-Country reliability and validity. Med Sci Sports Exerc [Internet]. 2003 Aug 1 [cited 2025 Jul 22];35(8):1381–95. Available from: https://journals.lww.com/acsm-msse/fulltext/2003/08000/international_physical_activity_questionnaire_.20.aspx

[20] nutrition JCTA journal of clinical, 1980 undefined. A reanalysis of the factors influencing basal metabolic rate in normal adults. Elsevier [Internet]. [cited 2025 Jul 22]; Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0002916523441251

[21] Matthews DR, Hosker JP, Rudenski AS, Naylor BA, Treacher DF, Turner

and-antioxidant-supplementation-in-physical-exercise-and-professional-sports-A-brief-review.pdf

[29] Zuccarelli L, Porcelli S, ... LRM and science, 2018 undefined. Comparison between slow components of HR and V O2 kinetics: functional significance. europepmc.orgL Zuccarelli, S Porcelli, L Rasica, M Marzorati, B GrassiMedicine and science in sports and exercise, 2018•europepmc.org [Internet]. [cited 2025 Jul 23]; Available from: https://europepmc.org/article/med/29570539

[30] Evans L, Antioxidants SO, 2017 undefined. Use of saliva biomarkers to monitor efficacy of vitamin C in exercise-induced oxidative stress. mdpi.comLW Evans, ST OmayeAntioxidants, 2017•mdpi.com [Internet]. [cited 2025 Jul 23]; Available from: https://www.mdpi.com/2076-3921/6/1/5

[31] Lotfi A, Esportiva SARRB de N, 2019 undefined. Effect of obestation and treadmill exercise on lipid profile and serum malondialdehyde (MDA) levels in rat model. rbne.com.brA Lotfi, S AtashakRBNE-Revista Brasileira de Nutrição Esportiva, 2019•rbne.com.br [Internet]. [cited 2025 Jul 23];498–504. Available from: https://www.rbne.com.br/index.php/rbne/article/view/1385

[32] Pratchayasakul W, Arunsak B, ... KST journal of nutritional, 2022 undefined. Combined caloric restriction and exercise provides greater metabolic and neurocognitive benefits than either as a monotherapy in obesity with or without estrogen. ElsevierW Pratchayasakul, B Arunsak, K Suparan, S Sriwichaiin, T Chunchai, https://www.mdpi.com/2076-3417/12/18/9161

[26] Radak Z, Zhao Z, Koltai E, Ohno H, Atalay M. Oxygen consumption and usage during physical exercise: the balance between oxidative stress and ROS-dependent adaptive signaling. liebertpub.comZ Radak, Z Zhao, E Koltai, H Ohno, M AtalayAntioxidants & redox signaling, 2013•liebertpub.com [Internet]. 2013 Apr 1 [cited 2025 Jul 23];18(10):1208–46. Available from: https://www.liebertpub.com/doi/abs/10.1089/ars.2011.4498

[27] Zuccarelli L, Porcelli S, ... LRM and science, 2018 undefined. Comparison between slow components of HR and V O2 kinetics: functional significance. europepmc.orgL Zuccarelli, S Porcelli, L Rasica, M Marzorati, B GrassiMedicine and science in sports and exercise, 2018•europepmc.org [Internet]. [cited 2025 Jul 23]; Available from: https://europepmc.org/article/med/29570539

[28] Perrone M, Iellamo F, ... BDAM, 2020 undefined. Oxidative stress, redox state and antioxidant supplementation in physical exercise and professional sports: a brief review. researchgate.netMA Perrone, F Iellamo, B Donatucci, G Caminiti, M LombardoActa Medica Mediterranea, 2020•researchgate.net [Internet]. [cited 2025 Jul 23]; Available from: https://www.researchgate.net/profile/Mauro-Lombardo/publication/340610114_Oxidative_stress_redox_state_and_antioxidant_supplementation_in_physical_exercise_and_professional_sports_A_brief_review/links/5e94badaa6fdcca7891538d4/Oxidative-stress-redox-state-

(Hs-CRP) in women with polycystic ovary. cureus.comU Pandit, M Singh, R Ranjan, V GuptaCureus, 2022•cureus.com [Internet]. 2022 [cited 2025 Jul 23]; Available from: https://www.cureus.com/articles/90914-the-effect-of-exercise-training-on-body-composition-insulin-resistance-and-high-sensitivity-c-reactive-protein-hs-crp-in-women-with-polycystic-ovary-syndrome-a-pilot-study-from-north-india.pdf

[37] Jeffrey A, Victiria J, Vieira M. EXERCISE, INFLAMMATION AND IMMUNITY. 2006 [cited 2025 Jul 23]; Available from: https://www.sid.ir/paper/621803/en

[38] Parhampour B, Dadgoo M, Vasaghi-Gharamaleki B, Torkaman G, Ravanbod R, Mirzaii-Dizgah I, et al. The effects of six-week resistance, aerobic and combined exercises on the pro-inflammatory and anti-inflammatory markers in overweight patients with moderate haemophilia A: A randomized controlled trial. Haemophilia. 2019;25(4).

[39] Soori R, ... MDA, 2019 undefined. The effect of concurrent training on apelin, interleukin-6, and C-reactive protein levels in middle-aged sedentary obese men. armaghanj.yums.ac.irR Soori, M Darabi, Z Mosadegh Neishabouri, A RamezankhaniArmaghane Danesh, 2019•armaghanj.yums.ac.ir [Internet]. [cited 2025 Jul 23]; Available from: https://armaghanj.yums.ac.ir/article-1-2351-en.html

[40] Brown WMC, Davison GW, McClean CM, Murphy MH. A systematic review of the acute effects of exercise on immune and inflammatory indices in untrained adults. SpringerWMC Brown, GW Davison, CM McClean, MH MurphySports medicine-open, 2015•Springer [Internet]. 2015 Dec 1

N ChattipakornThe journal of nutritional biochemistry, 2022•Elsevier [Internet]. [cited 2025 Jul 23]; Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0955286322001930

[33] Dobashi S, Aiba C, Ando D, Kiuchi M, Yamakita M, Koyama K. Caloric restriction suppresses exercise-induced hippocampal BDNF expression in young male rats. jstage.jst.go.jpS Dobashi, C Aiba, D Ando, M Kiuchi, M Yamakita, K KoyamaThe Journal of Physical Fitness and Sports Medicine, 2018•jstage.jst.go.jp [Internet]. 2018 [cited 2025 Jul 23];7(4):239–45. Available from: https://www.jstage.jst.go.jp/article/jpfsm/7/4/7_239/_article/-char/ja/

[34] Mehrabani J, Rashti B, Khosravi A, Mehrabani F. The effect of 19 weeks exercise training on insulin resistance and high sensitive C reactive protein in obese and non-obese women. 2013 [cited 2025 Jul 23]; Available from: https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20143077797

[35] Park H, Kim S, Convergence HYJ of the K, 2020 undefined. The effects of regular physical activities on female senior adults aging related hormone levels and a risk factor in cardiovascular disease. koreascience.krHJ Park, SM Kim, HS YuJournal of the Korea Convergence Society, 2020•koreascience.kr [Internet]. 2020 [cited 2025 Jul 23];11(8):323–30. Available from: https://koreascience.kr/article/JAKO202025465016518.page

[36] Pandit U, Singh M, Ranjan R, Cureus VG, 2022 undefined. The effect of exercise training on body composition, insulin resistance and high sensitivity C-reactive protein

[44] Marzetti E, Lawler J, Hiona A, ... TMFRB, 2008 undefined. Modulation of age-induced apoptotic signaling and cellular remodeling by exercise and calorie restriction in skeletal muscle. ElsevierE Marzetti, JM Lawler, A Hiona, T Manini, AY Seo, C LeeuwenburghFree Radical Biology and Medicine, 2008•Elsevier [Internet]. [cited 2025 Jul 23]; Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0891584907003632

[45] Li M, Chi X, Wang Y, Setrerrahmane S, Xie W, Xu H. Trends in insulin resistance: insights into mechanisms and therapeutic strategy. nature.comM Li, X Chi, Y Wang, S Setrerrahmane, W Xie, H XuSignal transduction and targeted therapy, 2022•nature.com [Internet]. [cited 2025 Jul 23]; Available from: https://www.nature.com/articles/s41392-022-01073-0

[46] Dabagh Nikookheslat S, Amirsasan R, Khani M, Nikkhesal M. The effect of eight weeks of high intensity interval training on cardiac tissue of p-AMPK, T-AMPK and fibrosis and glycemic index in male Wistar diabetic rats. jahssp.azaruniv.ac.irS Nikokheslat, R Amirsasan, M Khani, M NikkhesalJournal of Applied Health Studies in Sport Physiology, 2024•jahssp.azaruniv.ac.ir [Internet]. [cited 2025 Jul 23]; Available from: https://jahssp.azaruniv.ac.ir/article_14490_en.html

[47] Kjøbsted R, Hingst J, Fentz J, ... MFTF, 2018 undefined. AMPK in skeletal muscle function and metabolism. pmc.ncbi.nlm.nih.govR Kjøbsted, JR Hingst, J Fentz, M Foretz, MN Sanz, C Pehmøller, M Shum, A MaretteThe FASEB journal, [cited 2025 Jul 23];1(1). Available from: https://link.springer.com/article/10.1186/s40798-015-0032-x

[41] Markovitch D, Tyrrell RM, Thompson D. Acute moderate-intensity exercise in middle-aged men has neither an anti-nor proinflammatory effect. journals.physiology.orgD Markovitch, RM Tyrrell, D ThompsonJournal of applied physiology, 2008•journals.physiology.org [Internet]. 2008 Jul [cited 2025 Jul 23];105(1):260–5. Available from: https://journals.physiology.org/doi/abs/10.1152/japplphysiol.00096.2008

[42] García-Hermoso A, Sánchez-López M, Escalante Y, Saavedra JM, Martínez-Vizcaíno V. Exercise-based interventions and C-reactive protein in overweight and obese youths: a meta-analysis of randomized controlled trials. nature.comA Garcia-Hermoso, M Sanchez-Lopez, Y Escalante, JM Saavedra, V Martinez-VizcainoPediatric research, 2016•nature.com [Internet]. 2016 [cited 2025 Jul 23]; Available from: https://www.nature.com/articles/pr2015274

[43] Liu Y, Hong F, Lebaka VR, Mohammed A, Ji L, Zhang Y, et al. Calorie restriction with exercise intervention improves inflammatory response in overweight and obese adults: a systematic review and meta-analysis. frontiersin.orgY Liu, F Hong, VR Lebaka, A Mohammed, L Ji, Y Zhang, M KoriviFrontiers in physiology, 2021•frontiersin.org [Internet]. 2021 Nov 15 [cited 2025 Jul 23];12:754731. Available from: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphys.2021.754731/full

2018•pmc.ncbi.nlm.nih.gov [Internet]. [cited 2025 Jul 23]; Available from: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5945561/

[48] Raz I, Eldor R, Cernea S, Shafrir E. Diabetes: insulin resistance and derangements in lipid metabolism. Cure through intervention in fat transport and storage. Wiley Online Libraryl Raz, R Eldor, S Cernea, E ShafrirDiabetes/metabolism research and reviews, 2005•Wiley Online Library [Internet]. 2005 [cited 2025 Jul 23];21(1):3–14. Available from: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/dmrr.493

[49] Ahmed B, Sultana R, pharmacotherapy MGB&, 2021 undefined. Adipose tissue and insulin resistance in obese. ElsevierB Ahmed, R Sultana, MW GreeneBiomedicine & pharmacotherapy, 2021•Elsevier [Internet]. [cited 2025 Jul 23]; Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0753332221001001

[50] Kahn S, Prigeon R, Schwartz R, ... WFTJ of, 2001 undefined. Obesity, body fat distribution, insulin sensitivity and islet β-cell function as explanations for metabolic diversity. Elsevier [Internet]. [cited 2025 Jul 23]; Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022316622146377