

The effect of 12 weeks of combined exercise training with different energy expenditure on some markers of oxidative stress in overweight women

Nafiseh Rahnamaye Hayati¹, Saeid Nikookheslat^{*2}, Bahloul Ghorbanian³, Elaheh Piralaiy⁴, Mostafa Khani⁵

1. PhD Candidate in Exercise Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
2. Professor at Department of Sport Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
3. Associate Professor at Department of Sport Sciences, Faculty of Educational Sciences & Psychology, Shahid Madani Azarbaijan University, Tabriz, Iran.
4. Associate Professor at Department of Sport Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
5. Assistant Professor at Department of Sport Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
- 6.

***Corresponding author: Address: Department of Sport Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran; Email: nikookheslat@tabrizu.ac.ir**

Extended Abstract

Background and Aim: Obesity has become a global health concern and is associated with an increased risk of chronic diseases such as type 2 diabetes and cardiovascular diseases. In overweight individuals, particularly women, oxidative stress—resulting from an imbalance between the production of reactive oxygen species (ROS) and antioxidant defense mechanisms—may be exacerbated. Exercise is recognized as a non-pharmacological strategy to improve the oxidative-antioxidant balance; however, the body's response depends on the intensity, duration, and type of exercise. Markers such as total antioxidant capacity (TAC), superoxide dismutase (SOD), glutathione peroxidase (GPX), and malondialdehyde (MDA) are commonly used to assess oxidative stress. Research has indicated that regular physical activity can enhance TAC and increase antioxidant enzyme activity. However, high-intensity exercise with excessive energy expenditure may potentially exacerbate oxidative stress. Considering the complexity of the effects of exercise on the antioxidant system, the present study aimed to investigate the effect of 12 weeks of exercise training with different energy expenditure on GPX, SOD, TAC, and MDA levels in overweight women.

Materials and Methods: This experimental study, designed as a pretest-posttest trial with a control group, was conducted following approval by the Ethics Committee of the University of Tabriz. After recruitment in Tabriz, 30 participants (aged 40–55 years, BMI 25–29.9 kg/m²) were selected. Inclusion criteria included the absence of chronic diseases, no history of surgery, no use of weight-loss medications, and no weight loss exceeding 10% in the past year. Participants were randomly assigned to three groups: high-caloric expenditure exercise (HCE), standard-caloric expenditure exercise (SCE), and control (CON). The 12-week training program consisted of combined exercise sessions performed three times per week. The SCE group started with an energy expenditure of 900 kcal per week, progressively increasing to 1200 kcal, while the HCE group started at 1200 kcal per week and increased to 2000 kcal. Participants maintained their habitual diet and recorded their dietary intake on three nonconsecutive days. Additionally, a behavior modification program included 12 group counseling sessions with a nutritionist.

Assessments included body composition, energy balance, and estimated VO_2max using the Queen's step test, as well as heart rate and biochemical markers (TAC, GPX, SOD, and MDA). Blood samples were collected before and after the intervention in a specialized laboratory in Tabriz and stored for further analysis. Data were analyzed using a 2×3 repeated measures ANOVA and Bonferroni post hoc test in SPSS v26, with statistical significance set at $p \leq 0.05$.

Findings: The results of 2x3 repeated measures analysis of variance in relation to TAC values showed that there was no significant change in the post-test compared to the pre-test in the three groups ($p=0.514$ and $F=1.2400$). There was also no significant difference between the study groups ($p=0.222$ and $F=1.2400$).

The results of 2x3 repeated measures analysis of variance in relation to GPX values showed that there was no significant change in the post-test compared to the pre-test in the three groups ($p=0.277$ and $F=1.2350$). There was also no significant difference between the study groups ($p=0.145$ and $F=1.242.098$).

The results of the 2x3 repeated analysis of variance in relation to SOD values showed that no significant change was observed in the three groups in the post-test compared to the pre-test ($p=0.921$ and $F=1.242.010$). There was also no significant difference between the study groups ($p=0.264$ and $F=1.242.408$).

Finally, the results of the 2x3 repeated analysis of variance in relation to MDA values showed that a significant change was observed in the three groups in the post-test compared to the pre-test ($p=0.043$ and $F=1.242.585$). Using the Bonferroni post hoc test, a significant difference was observed only in the SCE group in the first and second stages of measurement (pre-test-post-test) ($p=0.043$). However, no significant difference was observed between the studied groups ($p=0.221$ and $F=1.241.609$).

Conclusion: After 12 weeks of combined exercise, no significant differences in TAC, GPX, and SOD markers were observed between the groups. These findings suggest that high-caloric expenditure exercise did not have a negative impact on oxidative stress and inflammation. The lack of changes in these markers may be due to the duration of the intervention, the low sensitivity of these markers to exercise, or physiological adaptation. While high-caloric expenditure exercise (3000 kcal per week) did not lead to a significant reduction in MDA, moderate-intensity exercise (500 to 1000 kcal per week) likely resulted in favorable antioxidant system adaptation and a reduction in MDA.

Keywords: Combined exercise, Energy expenditure, Overweight, Oxidative stress.



تأثیر ۱۲ هفته تمرین ورزشی ترکیبی با هزینه انرژی متفاوت بر برخی نشانگرهای استرس اکسیداتیو در زنان دارای اضافه وزن

نفیسه رهنمای حیاتی^۱، سعید نیکوخصلت^{۲*}، بهلول قربانیان^۳، الهه پیرعلائی^۴، مصطفی خانی^۵

۱. دانشجوی دوره دکتری فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۲. استاد گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۳. دانشیار گروه علوم ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران.

۴. دانشیار گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۵. استادیار گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

* نویسنده مسئول، آدرس: دانشگاه تبریز، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، گروه فیزیولوژی ورزشی؛ پست الکترونیک: nikookheslat@tabrizu.ac.ir

چکیده

مقدمه: با توجه به شیوع اضافه وزن و افزایش استرس اکسیداتیو به عنوان یکی از اصلی ترین پیامدهای نامطلوب آن، مطالعه حاضر با هدف تعیین تأثیر ۱۲ هفته تمرین ورزشی ترکیبی با هزینه انرژی متفاوت بر برخی شاخص های استرس اکسیداتیو در زنان دارای اضافه وزن صورت گرفت. **روش پژوهش:** پژوهش حاضر از نوع مطالعات نیمه تجربی با طرح پیش آزمون-پس آزمون بود. آزمودنی ها ۲۷ زن دارای اضافه وزن 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 ۱۵۰۰-۱۲۰۰ کیلوکالری (۵۰ تا ۶۰ درصد VO_2max) در هفته اول و ۳۵۰۰-۳۰۰۰ کیلوکالری (۵۰ تا ۷۵ درصد VO_2max) در هفته آخر و نیز تمرینات گروه تمرین با هزینه انرژی استاندارد با ۱۲۰۰-۹۰۰ کیلوکالری (۶۰ تا ۷۰ درصد VO_2max) در هفته اول و ۱۵۰۰-۱۲۰۰ کیلوکالری (۶۰ تا ۷۵ درصد VO_2max) در هفته آخر صورت پذیرفت. شاخص های ظرفیت آنتی اکسیدانی کل (TAC)، گلوکاتایون پراکسیداز (GPX)، سوپراکسید دیسموتاز (SOD) و مالون دی آلدئید (MDA) مورد آزمایش قرار گرفتند. داده ها از طریق آزمون تحلیل واریانس مکرر 2×3 در سطح معنی داری $0.05/p$ تجزیه و تحلیل شد. **یافته ها:** طبق نتایج بین گروه های مورد مطالعه تفاوت معنی داری در شاخص های TAC ($0.02/p$)، GPX ($0.01/p$)، SOD ($0.02/p$) و MDA ($0.02/p$) وجود نداشت. همچنین در مجموع سه گروه در پس آزمون نسبت به پیش آزمون تغییر معنی داری در TAC ($0.05/p$)، GPX ($0.02/p$) و SOD ($0.02/p$) مشاهده نشد؛ با این حال در مقادیر MDA تنها در گروه SCE در دو مرحله اول و دوم اندازه گیری (پیش آزمون-پس آزمون) تفاوت معنی داری مشاهده شد ($0.04/p$). **نتیجه گیری:** تمرینات ترکیبی مزمن با سطوح مختلف مصرف انرژی، موجب تغییر در شاخص های اصلی استرس اکسیداتیو نمی شود؛ با این حال، تمرین ورزشی با هزینه استاندارد، ممکن است اثری محافظتی محدودی در برابر پراکسیداسیون لیپیدی داشته باشد. **واژه های کلیدی:** تمرین ترکیبی، انرژی مصرفی، اضافه وزن، استرس اکسیداتیو.

The effect of 12 weeks of combined exercise training with different energy expenditure on some markers of oxidative stress in overweight women

Nafiseh Rahnamaye Hayati¹, Saeid Nikookheslat^{*2}, Bahloul Ghorbanian³, Elaheh Piralaiy⁴, Mostafa Khani⁵

1. PhD Candidate in Exercise Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
2. Professor at Exercise Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
3. Associate Professor at Department of Sport Sciences, Faculty of Educational Sciences & Psychology, Shahid Madani Azarbaijan University, Tabriz, Iran.
4. Associate Professor at Department of Sport Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
5. Assistant Professor at Department of Sport Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
- 6.

***Corresponding author: Address: Department of Sport Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran; Email: nikookheslat@tabrizu.ac.ir**

Abstract

Background and Aim: Considering the prevalence of overweight and increased oxidative stress as one of its main adverse consequences, the present study aimed to determine the effect of 12 weeks of combined exercise training with different energy expenditure on some oxidative stress indices in overweight women. **Materials and Methods:** The present study was a quasi-experimental research with a pre-test-post-test design. The participants were 27 overweight women who were randomly assigned to three groups: high-caloric expenditure exercise (HCE), standard-caloric expenditure exercise (SCE), and control (CON). The HCE group performed exercises with an energy expenditure of 1200–1500 kcal (at 50–65% $\text{VO}_{2\text{max}}$) in the first week, which increased to 3000–3500 kcal (at 50–75% $\text{VO}_{2\text{max}}$) by the final week. The SCE group trained with an energy expenditure of 900–1200 kcal (at 60–70% $\text{VO}_{2\text{max}}$) in the first week and 1200–1500 kcal (at 60–75% $\text{VO}_{2\text{max}}$) in the final week. The biomarkers total antioxidant capacity (TAC), glutathione peroxidase (GPX), superoxide dismutase (SOD), and malondialdehyde (MDA) were assessed. Data were analyzed using repeated measures ANOVA (2×3) at a significance level of $p \leq 0.05$. **Results:** No significant differences were found between the groups in TAC ($p=0.222$), GPX ($p=0.145$), SOD ($p=0.264$), and MDA ($p=0.621$). Additionally, there were no significant within-group changes in TAC ($p=0.514$), GPX ($p=0.277$), and SOD ($p=0.921$) from pre-test to post-test. However, a significant decrease in MDA was observed only in the SCE group between the first and second measurement stages ($p=0.043$). **Conclusion:** Based on the results, high-energy expenditure exercise (above 3000 kcal per week) does not appear to have significant oxidative stress-related drawbacks after 12 weeks, allowing individuals to benefit from its positive effects. Additionally, the reduction in MDA suggests a potential advantage of standard-energy expenditure exercise.

Keywords: Combined exercise, Energy expenditure, Overweight, Oxidative stress.



مقدمه

شیوع چاقی و اضافه وزن به یک نگرانی جدی بهداشت عمومی در سطح جهان تبدیل شده است که با طیفی از اختلالات متابولیک و افزایش خطر ابتلاء به بیماری‌های مزمن همراهی دارد (۱). زنان دارای اضافه وزن به دلیل نوسانات هورمونی و توزیع متفاوت بافت چربی، مستعد سطوح بالاتر استرس اکسیداتیو هستند (۲، ۳). استرس اکسیداتیو هنگامی رخ می‌دهد که تعادل میان تولید گونه‌های فعال اکسیژن^۱ (ROS) و ظرفیت دفاع آنتی‌اکسیدانی دچار اختلال شود و این عدم تعادل در تشدید آسیب‌های سلولی و پیشرفت پاتولوژی‌های مرتبط با چاقی نقش دارد.

سامانه دفاع آنتی‌اکسیدانی درون‌زا شامل چندین آنزیم کلیدی است که هر یک در خنثی‌سازی ROS نقش متمایزی دارند (۳). سوپراکساید دیسموتاز^۲ (SOD)، نخستین خط دفاعی نخستین خط دفاعی محسوب می‌شود و رادیکال سوپراکسید را به پراکسید هیدروژن تبدیل می‌کند (۳، ۴). گلوکاتیون پراکسیداز^۳ (GPX) پراکسید هیدروژن را با استفاده از گلوکاتیون کاهش یافته به آب و اکسیژن بی‌ضرر مبدل می‌سازد (۳، ۴). در واقع آنزیم‌های SOD و GPX اجزای کلیدی سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی درون‌زا هستند که با حذف رادیکال‌های آزاد از سلول‌ها در برابر آسیب‌های اکسیداتیو محافظت می‌کنند (۳، ۵). از سوی دیگر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل^۴ (TAC) یک شاخص تجمعی است که اثر هم‌افزای همه آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی را بازتاب می‌دهد (۵، ۶). در نقطه مقابل، مالون دی‌آلدئید^۵ (MDA) محصول نهایی پراکسیداسیون لیپیدی است و افزایش آن شاخصی از آسیب اکسیداتیو غشاهای سلولی تلقی می‌شود (۵، ۶). در افراد دارای اضافه وزن، فعالیت پایین‌تر SOD و GPX و سطوح بالاتر MDA گزارش شده است که با اختلال در هومئوستاز ردوکس و افزایش التهاب همراه است (۷، ۸).

در این راستا، فعالیت بدنی منظم به عنوان یک مداخله غیردارویی مؤثر برای بهبود تعادل ردوکس پیشنهاد شده است. با این حال، پاسخ بدن به تمرینات ورزشی به شدت، مدت و نوع تمرین بستگی دارد و می‌تواند اثرات متناقضی بر سیستم آنتی‌اکسیدانی داشته باشد (۴، ۶). شواهد نشان می‌دهد تمرینات ورزشی با شدت متوسط می‌توانند منجر به افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهش استرس اکسیداتیو شوند (۳، ۸). با این حال برخی مطالعات نشان داده‌اند که تمرینات با شدت یا حجم بالا، به ویژه زمانی که هزینه انرژی^۶ مصرفی هفتگی بالا باشد، ممکن است تولید ROS را فراتر از ظرفیت تطابقی بدن افزایش دهد، که اگر به اندازه کافی با دفاع آنتی‌اکسیدانی مقابله نشود، می‌تواند منجر به استرس اکسیداتیو شود (۳، ۷). در زنان دارای اضافه وزن، که اغلب به دلیل افزایش

¹ Reactive oxygen species

² Superoxide dismutase

³ Glutathione peroxidase

⁴ Total antioxidant capacity

⁵ Malondialdehyde

⁶ Energy expenditure



چاقی و اختلالات متابولیک، به طور پایه ظرفیت آنتی اکسیدانی ضعیفی دارند، چنین بار تمرینی می تواند به طور بالقوه استرس اکسیداتیو را تشدید کند (۴، ۶).

بررسی های پیشین درباره تأثیر تمرین با هزینه انرژی بالا بر نشانگرهای آنتی اکسیدانی یافته های ناهمگونی ارائه کرده اند؛ برخی پژوهش ها افزایش SOD، GPX و TAC را پس از برنامه های تمرینی بلندمدت گزارش نموده اند (۹-۱۲)، در حالی که مطالعات دیگر افزایش MDA یا کاهش TAC را در جمعیت های چاق مشاهده کرده اند (۳، ۵، ۱۱). در واقع تأثیر فعالیت ورزشی با هزینه انرژی بالا بر آنزیم های آنتی اکسیدانی و TAC در زنان دارای اضافه وزن چند وجهی است. تحقیقات نشان می دهند در حالی که فعالیت ورزشی می تواند فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی را افزایش دهد، ممکن است باعث ایجاد استرس اکسیداتیو به خصوص در جمعیت های چاق شود (۲، ۵، ۷). در همین راستا مطالعات نشان می دهد که در حالی که فعالیت ورزشی می تواند TAC را بهبود بخشد، پاسخ ممکن است بر اساس شدت و مدت فعالیت ورزشی متفاوت باشد که برخی از یافته ها نشان دهنده کاهش TAC در افراد چاق پس از فعالیت ورزشی است (۶، ۱۰). بنابراین تعدیل TAC از طریق فعالیت ورزشی پیچیده است. از یک سو، نشان داده شده است که فعالیت بدنی منظم TAC را بهبود می بخشد و آنتی اکسیدان های آنزیمی را تنظیم می کند (۱۲) و از سوی دیگر، فعالیت ورزشی بیش از حد یا غیرعادی ممکن است بر این مکانیسم های محافظتی غلبه کرده و منجر به آسیب اکسیداتیو شود (۳، ۷). اختلاف در شدت، مدت، ترکیب فعالیت، وضعیت تغذیه و شرایط متابولیک آزمودنی ها می تواند دلیل این ناهمگونی باشد.

در نهایت با توجه به مطالب فوق تمرین با هزینه انرژی بالا می تواند منجر به افزایش استرس اکسیداتیو شود، همانطور که با افزایش سطوح MDA، آسیب DNA در زنان چاق به دنبال فعالیت ورزشی مشهود است (۶، ۱۰). با گذشت زمان، فعالیت ورزشی منظم ممکن است دفاع آنتی اکسیدانی بدن را تقویت نموده و به طور بالقوه پاسخ استرس اکسیداتیو اولیه را خنثی کند (۱۳). در مقابل، در حالی که فعالیت ورزشی برای بهبود وضعیت آنتی اکسیدانی مفید است، باید در نظر داشت که تمرینات شدید یا بیش از حد ممکن است استرس اکسیداتیو را تشدید کند، به ویژه در افرادی که از قبل شرایطی مانند اضافه وزن و چاقی دارند. فاصله دانشی درخصوص پاسخ آنتی اکسیدانی زنان دارای اضافه وزن به برنامه های تمرینی با هزینه انرژی بالا همچنان گسترده است. روشن سازی سازوکارهای درگیر می تواند اطلاعات ارزشمندی برای طراحی مداخلات ورزشی ایمن و مؤثر در مدیریت استرس اکسیداتیو این جمعیت فراهم آورد. بنابراین، درک اینکه چگونه تمرینات ورزشی با هزینه انرژی مصرفی بالا بر GPX، SOD، TAC و MDA به طور خاص در زنان دارای اضافه وزن تأثیر می گذارد، برای توسعه مداخلات ورزشی مؤثر با هدف بهبود نتایج سلامت در این جمعیت ضروری است. لذا هدف از مطالعه حاضر تعیین تأثیر ۱۲ هفته تمرین با هزینه انرژی ۳۰۰۰ کیلوکالری در هفته بر برخی نشانگرهای استرس اکسیداتیو در زنان دارای اضافه وزن بود.



روش تحقیق

تحقیق حاضر از نوع تجربی با طرح پیش‌آزمون-پس‌آزمون و گروه کنترل بود که پس از تأیید کمیته اخلاق زیست-پزشکی دانشگاه تبریز با کد IR.TABRIZU.REC.1402.026 اجرا شد. 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 ابتدا فراخوان از طریق دانشگاه، باشگاه‌های ورزشی و فضای مجازی در سطح شهر تبریز صورت گرفت. سپس از بین افراد واجد شرایطی که شاخص‌های ورود به مطالعه شامل دامنه سنی ۴۰-۵۵ سال، داشتن شاخص توده بدنی^۱ (BMI) بین ۲۵-۲۹/۹ کیلوگرم بر متر مربع، عدم ابتلا به بیماری‌های مزمنی چون امراض قلبی-عروقی و فشارخون نامتعرف، عدم سابقه جراحی، عدم مصرف داروهای کاهنده وزن و یا داروهای ضدالتهاب طی یک سال قبل از مطالعه، عدم کاهش وزن بیشتر از ۱۰ درصد وزن بدن، عدم سابقه فعالیت ورزشی منظم طی یک سال قبل از مطالعه و نهایتاً نداشتن محدودیت پزشکی برای شرکت در تمرینات ورزشی را دارا بودند، برای شرکت در طرح تحقیقی دعوت شدند. پس از تکمیل فرم رضایت آگاهانه توسط شرکت کنندگان، آزمودنی‌ها مورد معاینات پزشکی قرار گرفتند و ارزیابی‌های اولیه شامل قد، وزن، درصد چربی، دور کمر و BMI صورت گرفت (جدول یک). سپس آزمودنی‌ها در صبح روزهای یکشنبه، سه‌شنبه و پنجشنبه، در شرایط یکسان و استاندارد (رطوبت ۵۵-۵۰ درصد، دمای ۲۶-۲۴ درجه سانتی‌گراد) و با در نظر گرفتن دوره عادت ماهانه (روزهای ۲۴-۲۸ سیکل قاعدگی) در آزمایشگاه تخصصی خون، جهت اخذ نمونه خونی، حضور پیدا کردند. نهایتاً در مرحله پیش‌آزمون پس از بررسی نتایج شاخص‌های خونی، آزمودنی‌ها به روش تخصیص تصادفی در سه گروه (هر کدام ۱۰ نفر)، شامل تمرین ترکیبی با هزینه انرژی بالا (HCE)، تمرین ترکیبی با هزینه انرژی استاندارد (SCE) و کنترل (CON) قرار گرفتند.

گروه‌های تجربی، به مدت دو هفته تمرینات آماده‌سازی را برای ورود به مرحله اصلی تمرینات، انجام دادند. سپس هر دو گروه به مدت ۱۲ هفته زیر نظر مربی و در یک ساعت مشخص از روز (حدود ساعت ۶-۴ بعد از ظهر)، به انجام تمرینات پرداختند. در پایان ۱۴ هفته مداخله و ۲۴ ساعت بعد از آخرین جلسه تمرینی، پس‌آزمون همانند پیش‌آزمون اجرا شد.

جدول ۱. توصیف (میانگین±انحراف استاندارد) مشخصات دموگرافیک آزمودنی‌ها

متغیرها/گروه‌ها	کنترل	تمرین با هزینه انرژی بالا	تمرین با هزینه انرژی استاندارد)
سن (سال)	۵۰/۰۰±۳/۳۰	۴۸/۵۶±۲/۷۹	۴۸/۴۰±۵/۲۵
وزن (کیلوگرم)	۷۳/۶۸±۳/۹۳	۷۵/۱۲±۴/۴۸	۷۴/۹۵±۴/۱۳
BMI (کیلوگرم بر متر مربع)	۲۸/۱۰±۱/۳۲	۲۸/۵۶±۱/۴۵	۲۷/۵۹±۱/۴۷

^۱ Body mass index



نحوه اجرای پروتکل های تمرین: گروه تمرین ترکیبی با هزینه انرژی استاندارد ۱۲ هفته تمرین ترکیبی با ۳ جلسه در هفته با ۳۰ دقیقه تمرین ترکیبی با شدت متوسط ۶۰ تا ۷۰ درصد VO_{2max} (۷۵ تا ۸۵ درصد ضربان قلب بیشینه) و ۱۲۰۰-۹۰۰ کیلوکالری انرژی مصرفی در هفته اول آغاز شده و بر اساس اصل اضافه بار تدریجی از طریق افزایش حجم تمرین، در انتهای دوره تمرینی به ۱۵۰۰-۱۲۰۰ کیلوکالری انرژی مصرفی در هفته افزایش یافت که شدت تمرین برابر با ۶۰ تا ۷۵ درصد VO_{2max} (۸۵ تا ۹۵ درصد ضربان قلب بیشینه) 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 پنج جلسه در هفته به مدت ۴۵ دقیقه تمرینات کل بدن با شدت ۵۰ تا ۶۵ درصد VO_{2max} (۶۵ تا ۸۰ درصد ضربان قلب بیشینه) و ۱۵۰۰-۱۲۰۰ کیلوکالری هزینه انرژی در هفته اول آغاز شد و بر اساس اصل اضافه بار تدریجی از طریق افزایش حجم تمرین، در انتهای دوره تمرینی به ۳۵۰۰-۳۰۰۰ کیلوکالری هزینه انرژی افزایش یافت که شدت تمرین برابر با ۵۰ تا ۷۵ درصد VO_{2max} (۶۵ تا ۸۵ درصد ضربان قلب بیشینه) و مدت کل جلسه تمرینی برابر با ۱۱۰ دقیقه بود. در واقع شدت تمرین گروه تمرین با کالری مصرفی بالا کمتر (۵۰ تا ۷۵ درصد VO_{2max}) ولی با حجم و دفعات بالاتر (پنج جلسه در هفته) تنظیم شد تا به مصرف انرژی هدف معادل ۳۰۰۰ تا ۳۵۰۰ کیلوکالری در هفته برسد. در مقابل، گروه تمرین با کالری مصرفی استاندارد تمرینات را با شدت بیشتر (۶۰ تا ۷۵ درصد VO_{2max}) در سه جلسه در هفته دنبال کرد. لازم به ذکر است که هدف مطالعه حاضر، مقایسه اثربخشی توصیه های تمرینی مبتنی بر منابع علمی کالج طب ورزش آمریکا (ACSM) برای فعالیت با کالری استاندارد (۲۵۰-۱۵۰ دقیقه فعالیت بدنی با شدت متوسط در هفته، معادل ۱۲۰۰ تا ۲۰۰۰ کیلوکالری مصرف انرژی در هفته) (۱۴) با یک رویکرد تمرینی با کالری بالا بوده است. بر اساس این هدف، برای رسیدن به مقادیر بالاتر مصرف انرژی، نیاز به افزایش مدت زمان جلسات و تحمل شرکت کنندگان در برابر تمرینات طولانی تر وجود داشته است. این طراحی، با هدف بررسی مزایا یا معایب بالقوه افزایش بار تمرینی (با افزایش مدت و دفعات) نسبت به توصیه های مرسوم برای زنان دارای اضافه وزن انجام شده است (۱۵).

طبق دستورالعمل های تناسب اندام ACSM، برنامه گروه تمرین با هزینه انرژی استاندارد شامل ۱۵ دقیقه پیاده روی یا دویدن روی تردمیل و ۲۴ دقیقه تمرینات کل بدن در چهار هفته اول و به دنبال آن ۲۵ دقیقه پیاده روی 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 دو و سه). همچنین برنامه گروه تمرین با هزینه انرژی بالا با پیاده روی 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 چهار و



پنج). 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^۱ (RPE) (نسبتاً سخت تا سخت) تنظیم شد (RPE 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). به منظور رعایت اصل تنوع تمرین حرکات هر هفته تغییر کردند. همچنین، در جدول شش نمونه‌ای از حرکات تمرینی کل بدن^۲ 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 دیگران (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 (۱۵).

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

هفته	زمان کلی (دقیقه)	فعالیت ورزشی ^۱ (دقیقه)	ضربان قلب بیشینه (درصد)
۱	۱۲۰	۱۵	۷۵-۸۵
۲	۱۲۰	۱۵	۸۵-۹۵
۳	۱۲۰	۱۵	۷۵-۸۵
۴	۱۲۰	۱۵	۸۵-۹۵
۵	۱۵۵	۲۰	۷۵-۸۵
۶	۱۵۵	۲۰	۸۵-۹۵
۷	۱۵۵	۲۰	۷۵-۸۵
۸	۱۵۵	۲۰	۸۵-۹۵
۹	۱۹۰	۲۵	۷۵-۸۵
۱۰	۱۹۰	۲۵	۸۵-۹۵
۱۱	۱۹۰	۲۵	۷۵-۸۵

^۱ Rate of perceived exertion

^۲ Whole-body



۸۵-۹۵	۲۵	۱۹۰	۱۲
-------	----	-----	----

فعالیت ورزشی^۱ (دقیقه): تمرین هوازی.

جدول ۳. فعالیت ورزشی کل بدن در گروه تمرین با هزینه انرژی استاندارد به صورت هفتگی (سه جلسه در هفته)

هفته	زمان تمرین (دقیقه)	نوبت (تعداد) / (استراحت (ثانیه))	اجرا (ثانیه) / (استراحت (ثانیه))	میزان درک فشار (RPE)	کیلوکالری / جلسه	کیلوکالری هفتگی
۱	۲۴	۳ (۳۰)	۳۰ (۱۵)	۱۳-۱۵	۲۲۰-۲۸۰	۶۵۰-۸۵۰
۲	۲۴	۳ (۳۰)	۳۰ (۱۵)	۱۴-۱۶	۲۳۰-۲۹۰	۷۰۰-۹۰۰
۳	۲۴	۳ (۳۰)	۳۰ (۱۵)	۱۳-۱۵	۲۶۰-۳۰۰	۷۸۰-۹۰۰
۴	۲۴	۳ (۳۰)	۳۰ (۱۵)	۱۴-۱۶	۲۶۰-۳۲۰	۸۰۰-۹۵۰
۵	۳۱/۵	۳ (۳۰)	۳۰ (۱۵)	۱۳-۱۵	۳۲۰-۳۹۰	۹۲۰-۱۱۸۵
۶	۳۱/۵	۳ (۳۰)	۳۰ (۱۵)	۱۴-۱۶	۳۳۰-۴۱۰	۹۵۰-۱۲۰۰
۷	۳۱/۵	۳ (۳۰)	۳۰ (۱۵)	۱۳-۱۵	۳۵۰-۴۲۰	۱۰۰۰-۱۳۰۰
۸	۳۱/۵	۳ (۳۰)	۳۰ (۱۵)	۱۴-۱۶	۳۶۰-۴۴۰	۱۱۰۰-۱۳۴۰
۹	۳۹	۳ (۳۰)	۳۰ (۱۵)	۱۳-۱۵	۳۷۰-۴۸۰	۱۱۵۰-۱۴۴۰
۱۰	۳۹	۳ (۳۰)	۳۰ (۱۵)	۱۴-۱۶	۳۷۵-۴۹۰	۱۲۰۰-۱۴۷۰
۱۱	۳۹	۳ (۳۰)	۳۰ (۱۵)	۱۳-۱۵	۳۷۰-۴۸۰	۱۱۵۰-۱۴۴۰
۱۲	۳۹	۳ (۳۰)	۳۰ (۱۵)	۱۴-۱۶	۴۰۰-۵۰۰	۱۲۰۰-۱۵۰۰

در بخش فعالیت ورزشی کل بدن، ۱۰ حرکت در ۳ ست انجام شد که بر اساس اصل اضافه بار تدریجی برای طولانی مدت و افزایش حجم تمرین، از تغییر در شدت استراحت (ریکاوری فعال با شدت پایین / ریکاوری مانند دویدن آهسته) استفاده شد. بر اساس زمان بندی جدول، در محدوده بین هر نوبت، یک دوره ریکاوری غیرفعال ثابت ۳۰ ثانیه ای وجود داشت.

جدول ۴. پروتکل ورزشی در گروه تمرین با هزینه انرژی بالا به صورت هفتگی (پنج جلسه در هفته)

هفته	زمان کلی (دقیقه)	فعالیت ورزشی ^۱ (دقیقه)	ضربان قلب پیشینه (درصد)
۱	۱۳۵	۲۰	۶۵-۸۰
۲	۱۳۵	۲۰	۷۰-۸۵
۳	۱۵۰	۲۰	۶۵-۸۰
۴	۱۵۰	۳۰	۷۰-۸۵
۵	۲۴۰	۳۰	۶۵-۸۰
۶	۲۸۰	۳۰	۷۰-۸۵
۷	۳۴۰	۴۰	۶۵-۸۰
۸	۳۴۰	۴۰	۷۰-۸۵
۹	۴۷۵	۴۰	۶۵-۸۰
۱۰	۵۲۵	۵۰	۷۰-۸۵
۱۱	۵۳۰	۵۰	۶۵-۸۰

جدول ۵. فعالیت ورزشی کل بدن در گروه تمرین با هزینه انرژی بالا به صورت هفتگی (پنج جلسه در هفته)

هفته	زمان تمرین (دقیقه)	نوبت (تعداد) / (استراحت (ثانیه))	اجرا (ثانیه) / (استراحت (ثانیه))	میزان درک فشار (RPE)	کیلوکالری / جلسه	کیلوکالری هفتگی
۱	۲۵	۳ (۳۰)	۳۰ (۱۵)	۱۳-۱۵	۱۵۰-۲۲۰	۷۵۰-۱۱۰۰
۲	۲۵	۳ (۳۰)	۳۰ (۱۵)	۱۴-۱۶	۱۹۰-۲۴۰	۹۵۰-۱۲۰۰
۳	۳۰	۳ (۳۰)	۴۰ (۲۰)	۱۳-۱۵	۲۳۴-۲۴۰	۱۱۷۰-۱۲۰۰
۴	۳۰	۳ (۳۰)	۴۰ (۲۰)	۱۴-۱۶	۲۴۰-۳۰۰	۱۲۰۰-۱۵۰۰
۵	۴۰	۳ (۳۰)	۵۰ (۲۵)	۱۳-۱۵	۳۶۰-۴۰۰	۱۸۰۰-۲۰۰۰
۶	۴۰	۳ (۳۰)	۵۰ (۲۵)	۱۴-۱۶	۴۰۰-۴۴۰	۲۰۰۰-۲۲۰۰
۷	۴۵	۳ (۳۰)	۶۰ (۳۰)	۱۳-۱۵	۴۶۰-۵۲۰	۲۳۰۰-۲۶۰۰
۸	۴۵	۳ (۳۰)	۶۰ (۳۰)	۱۴-۱۶	۴۸۰-۵۴۰	۲۴۰۰-۲۷۰۰
۹	۵۵	۳ (۳۰)	۷۵ (۳۵)	۱۳-۱۵	۶۰۰-۶۴۰	۳۰۰۰-۳۲۰۰
۱۰	۵۵	۳ (۳۰)	۷۵ (۳۵)	۱۴-۱۶	۶۴۰-۷۰۰	۳۲۰۰-۳۵۰۰
۱۱	۶۰	۳ (۳۰)	۸۰ (۴۰)	۱۳-۱۵	۶۶۰-۷۲۰	۳۳۰۰-۳۶۰۰
۱۲	۶۰	۳ (۳۰)	۸۰ (۴۰)	۱۴-۱۶	۶۸۰-۷۴۰	۳۴۰۰-۳۷۰۰

در بخش فعالیت ورزشی کل بدن، ۱۰ حرکت در ۳ ست انجام شد که بر اساس اصل اضافه بار تدریجی برای طولانی مدت و افزایش حجم تمرین، از تغییر در شدت استراحت (ریکاوری فعال با شدت پایین / ریکاوری مانند دویدن آهسته) استفاده شد. بر اساس زمان بندی جدول، در محدوده بین هر نوبت، یک دوره ریکاوری غیرفعال ثابت ۳۰ ثانیه ای وجود داشت.

آزمودنی ها در هر سه گروه طی دوره مداخله، برنامه غذایی عادی خود را حفظ کردند. به علاوه 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 مواد غذایی مصرف شده محاسبه و کالری دریافتی و درشت مغذی های آزمودنی ها مشخص گردید. افراد حاضر در طرح موظف شد که در طول مداخله مصرف هرگونه مکمل، داروی تأثیرگذار بر متابولیسم و یا فعالیت های ورزشی پرهیز و در صورت عدم رعایت به محقق گزارش دهند. برنامه اصلاح عادات رفتاری-تغذیه ای 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 ویژگی های اصلاح رفتار شامل خود نظارتی، کنترل محرک حل مشکل، اظهار اجتماعی، تعیین هدف، بازخورد، پیشگیری از عود و مشارکت خانواده بود (۱۵).



مطالعات کاربردی

علوم زیستی در ورزش



نام حرکت	توضیح حرکت
بورپی	اسکوات + پرش + شنا؛ بسیار پرفشار و انرژی‌سوز
پرش پروانه‌ای	باز و بسته کردن دست و پا در حالت پرش؛ افزایش ضربان قلب
اسکوات همراه با پرس بالای سر	اسکوات همراه با بالا بردن دست‌ها یا وزنه‌ها (یا بدون وزنه)
کوهنوردی	در حالت پلانک، زانو‌ها به سمت سینه جلو می‌روند (تمرکز بر میان تنه و قلبی)
پلانک عنکبوتی	پلانک با کشیدن زانو به بیرون بدن در جهت آرنج همان سمت
لانچ با پیچ‌دادن تنه	لانچ به جلو همراه با چرخش تنه (برای فعال‌سازی مرکز بدن)
خزیدن خرسی	حرکت چهار دست و پا رو به جلو و عقب؛ درگیری کامل عضلات
اسکوات پرشی	اسکوات همراه با پرش؛ برای قدرت انفجاری و درگیری پایین‌تنه
شنا همراه با پلانک T	شنا با چرخش به پهلو و باز کردن یک دست به بالا (تقویت سینه، شکم، شانه)
زانو جمع	دویدن درجا با بالا آوردن زانو تا سطح شکم؛ تمرین هوازی و کنترل مرکزی بدن

روش ارزیابی هزینه انرژی روزانه: ثبت فعالیت‌های بدنی روزانه و اندازه‌گیری آن‌ها با پرسشنامه استاندارد بین المللی فعالیت بدنی^۱ (IPAQ)، انجام گردید. فعالیت‌های بدنی به‌صورت هفتگی در سه حیطه فعالیت شدید (هشت مت)، فعالیت متوسط (چهار مت) و پیاده‌روی (۳/۳ مت) دسته‌بندی شدند. سپس با ضرب زمان صرف‌شده در هر فعالیت (دقیقه در هفته) در مقدار مت، میزان دقیقه-مت در هفته^۲ محاسبه گردید. مجموع مقادیر حاصل به‌عنوان شاخص هزینه انرژی روزانه در نظر گرفته شد (۱۵).

روش تعادل انرژی مصرفی و انرژی دریافتی: تعادل انرژی برای هریک از شرکت‌کنندگان با کم کردن کل هزینه انرژی روزانه و کم کردن ۵۰۰ کیلوکالری انرژی مصرفی حین تمرین از انرژی دریافتی با استفاده از نرم‌افزار تحلیل رژیم غذایی Nutrition 4 نسخه یک، سال ۲۰۱۱ ساخت آمریکا برآورد شد. هزینه انرژی استراحتی با استفاده از فرمول کانینگهام^۳ به صورت زیر برآورد گردید (۱۶).

$$REE=500+22 \times FFM \text{ (kg)}$$

روش 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.

روش‌های 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

¹ International Physical Activity Questionnaire

² MET-min/week

³ Cunningham equation



از هر نوبت خون‌گیری، آزمودنی‌ها چند دقیقه در حالت نشسته به استراحت پرداخته و سپس از ورید بازویی آن‌ها مقدار پنج سی‌سی خون اخذ شد. نمونه‌های خون در لوله‌های حاوی ماده ضد انعقاد EDTA ریخته شد؛ سپس سریعاً به مدت 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. به منظور اندازه‌گیری مقادیر TAC، GPX، SOD و MDA به ترتیب از کیت TAC، Colorimetric، ZellBio GmbH، Ulm آلمان با حساسیت یک واحد میکرومولار بر لیتر با استفاده از روش میلر، از کیت سنجش فعالیت GPX با نام تجاری ZellBio ساخت کشور آلمان با حساسیت یک واحد بر میلی‌لیتر با روش رنگ‌سنجی در طول موج ۴۱۲ نانومتر، از کیت کایمن آمریکا با حساسیت یک واحد بر میلی‌لیتر و نیز از کیت MDA، Colorimetric، ZellBio GmbH، Ulm آلمان با حساسیت ۰/۱ میکرومولار بر اساس واکنش با تیوباربیتوریک اسید^۱ (TBA)، استفاده شد.

روش‌های آماری: به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از آزمون تحلیل واریانس مکرر ۳×۲ استفاده شد. همچنین به منظور تشخیص محل تفاوت‌ها از آزمون تعقیبی بونفرونی^۲ استفاده گردید. تمامی عملیات آماری در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ $p \leq$ و با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSSV26 تحت ویندوز انجام شد.

یافته‌ها

نتایج تحلیل واریانس مکرر ۳×۲ در ارتباط با مقادیر TAC نشان داد که در مجموع سه گروه در پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون تغییر معنی‌داری مشاهده نشد ($p=۰/۵۱۴$ و $F_{۱,۲۴}=۰/۴۳۹$). همچنین بین گروه‌های مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری وجود نداشت ($p=۰/۲۲۲$ و $F_{۱,۲۴}=۱/۶۰۱$) (شکل یک).

نتایج تحلیل واریانس مکرر ۳×۲ در ارتباط با مقادیر GPX نشان داد که در مجموع سه گروه در پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون تغییر معنی‌داری مشاهده نشد ($p=۰/۲۷۷$ و $F_{۱,۲۴}=۱/۲۳۵$). همچنین بین گروه‌های مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری وجود نداشت ($p=۰/۱۴۵$ و $F_{۱,۲۴}=۲/۰۹۸$) (شکل دو).

نتایج تحلیل واریانس مکرر ۳×۲ در ارتباط با مقادیر SOD نشان داد که در مجموع سه گروه در پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون تغییر معنی‌داری مشاهده نشد ($p=۰/۹۲۱$ و $F_{۱,۲۴}=۰/۰۱۰$). همچنین بین گروه‌های مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری وجود نداشت ($p=۰/۲۶۴$ و $F_{۱,۲۴}=۱/۴۰۸$) (شکل سه).

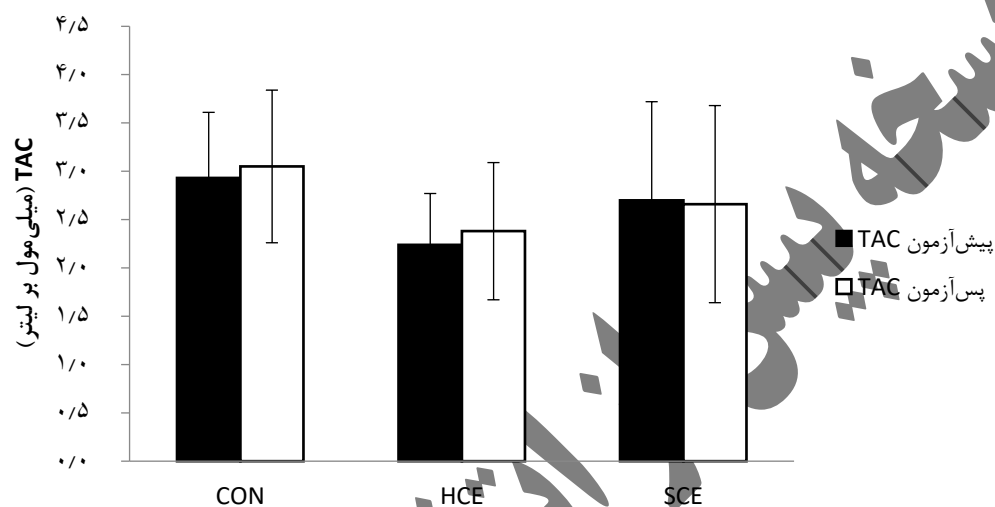
نهایتاً نتایج تحلیل واریانس مکرر ۳×۲ در ارتباط با مقادیر MDA نشان داد که در مجموع سه گروه در پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون تغییر معنی‌داری مشاهده شد ($p=۰/۰۴۳$ و $F_{۱,۲۴}=۴/۵۸۵$). با استفاده از آزمون تعقیبی

^۱ Thiobarbituric acid

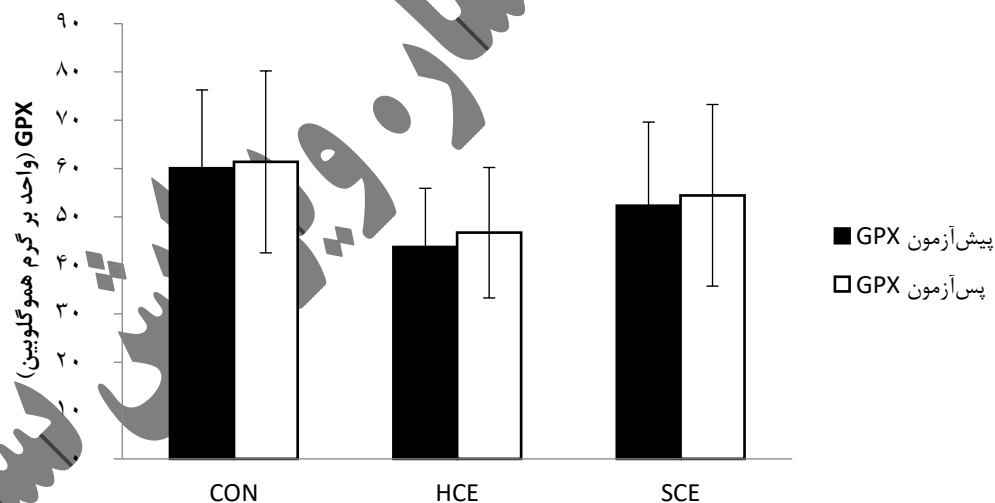
^۲ Bonferroni



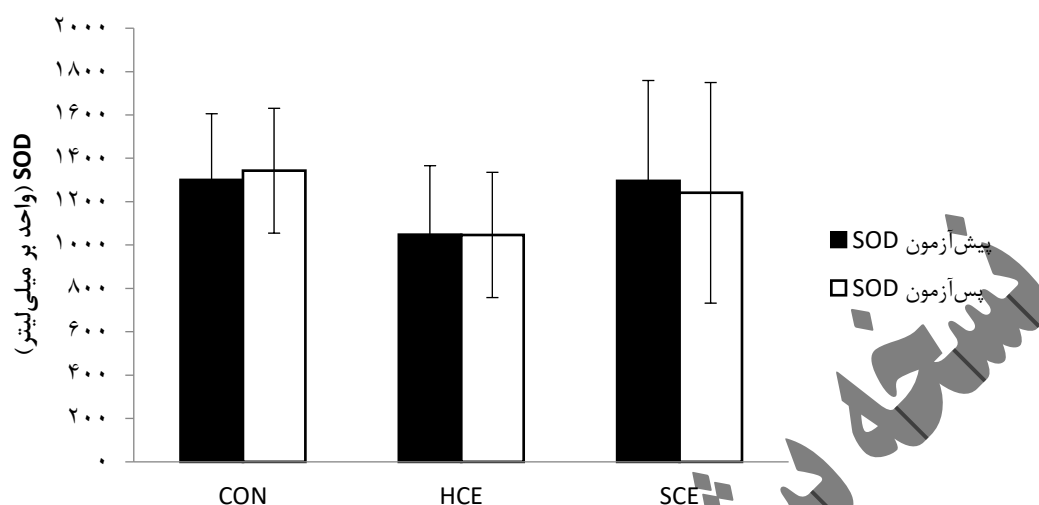
بونفرونی تنها در گروه SCE در دو مرحله اول و دوم اندازه‌گیری (پیش‌آزمون-پس‌آزمون) تفاوت معنی‌داری مشاهده شد ($p=0/043$). با این حال بین گروه‌های مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ($p=0/221$ و $F_{1,24}=1/609$) (شکل چهار).



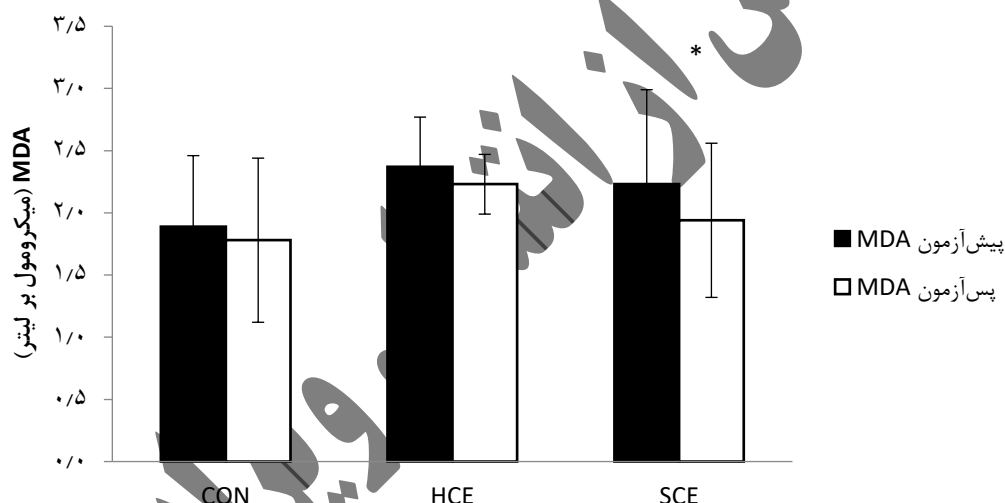
شکل ۱. مقایسه TAC سرم در سه گروه (CON: کنترل؛ HCE: تمرین با هزینه انرژی بالا؛ SCE: تمرین با هزینه انرژی استاندارد).



شکل ۲. مقایسه GPX سرم در سه گروه (CON: کنترل؛ HCE: تمرین با هزینه انرژی بالا؛ SCE: تمرین با هزینه انرژی استاندارد).



شکل ۳. مقایسه SOD سرم در سه گروه (CON: کنترل؛ HCE: تمرین با هزینه انرژی بالا؛ SCE: تمرین با هزینه انرژی استاندارد).
 * نشانگر تفاوت معنی‌دار بین پیش‌آزمون و پس‌آزمون در سطح $p < 0.05$



شکل ۴. مقایسه MDA سرم در سه گروه (CON: کنترل؛ HCE: تمرین با هزینه انرژی بالا؛ SCE: تمرین با هزینه انرژی استاندارد).
 * نشانگر تفاوت معنی‌دار بین پیش‌آزمون و پس‌آزمون در سطح $p < 0.05$

بحث

با توجه به نتایج، ۱۲ هفته تمرین ترکیبی منجر به تفاوت معنی‌دار بین گروه‌های مورد مطالعه در شاخص‌های TAC، GPX، SOD و MDA ایجاد نکرد. همچنین تفاوت معنی‌داری در پیش‌آزمون و پس‌آزمون شاخص‌های TAC، GPX و SOD مشاهده نشد و تنها در شاخص MDA و تنها در گروه SCE کاهش معنی‌داری در پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون مشاهده شد.



در ارتباط با MDA همسو با مطالعه حاضر کاهش معنی‌دار مقادیر MDA پس از تمرین کوتاه‌مدت بر روی تردمیل در مطالعه لطفی و آشک (۲۰۱۹) مشاهده شد (۱۷). همچنین سنگیون^۱ و دیگران (۲۰۲۴) در مطالعه خود با ۴۸ زن دارای اضافه‌وزن که مجبور شدند پنج روز در هفته به مدت هشت هفته با شدت ۶۰ تا ۷۰ درصد VO_{2max} بدون (محدودیت ۷۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلوکالری ناشی از فعالیت ورزشی)، نیز کاهش معنی‌دار MDA را گزارش کردند (۱۸). این یافته‌ها با تحقیقات قبلی سازگار است که نشان می‌دهد ورزش هوازی منظم، به ویژه هنگامی که با شدت و حجم کافی انجام شود، مکانیسم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانی را افزایش داده و آسیب اکسیداتیو را کاهش می‌دهد. کاهش MDA را می‌توان به بهبود کارایی میتوکندری، کاهش چربی و افزایش پاسخ‌های آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی ناشی از فعالیت بدنی مزمن نسبت داد (۱۹). اگرچه اکثر مطالعات قبلی، کاهش MDA با فعالیت ورزشی را گزارش کرده‌اند (۲۰)، اما این مطالعات زمانی که با گروه تمرین با هزینه انرژی مصرفی بالا در مطالعه حاضر مقایسه می‌شوند، ناهمسو هستند؛ چراکه ما در این گروه کاهش معنی‌دار MDA را مشاهده نکردیم. با این حال همسو با مطالعه حاضر کاردوسو^۲ و دیگران (۲۰۲۰) در مطالعه خود علی‌رغم کاهش وزن و بهبود وضعیت TAC پس از ۱۲ هفته تمرین هوازی در افراد دارای اضافه‌وزن کاهش معنی‌داری در مقادیر MDA مشاهده نکردند بلکه افزایش معنی‌داری را نیز گزارش دادند (۲۱). با این وجود لازم به ذکر است که طبق جستجوهای ما مطالعه‌ای در خصوص بررسی تأثیر تمرین با هزینه انرژی مصرفی بالا بر شاخص MDA صورت نگرفته است و مطالعات قبلی با هزینه انرژی مصرفی استاندارد انجام شده‌اند. در هر حال در مطالعه حاضر مشاهده کاهش معنی‌دار MDA در گروه SEC پس از ۱۲ هفته تمرین با هزینه انرژی مصرفی استاندارد نشان می‌دهد که استرس اکسیداتیو به طور کلی کاهش یافته و دفاع آنتی‌اکسیدانی بهبود یافته است. در واقع تمرینات سبک‌تر (۹۰۰ تا ۱۲۰۰ کیلوکالری در هفته) احتمالاً منجر به ایجاد استرس اکسیداتیو متوسطی شده که باعث تحریک سیستم آنتی‌اکسیدانی برای کاهش MDA گردیده است. این پدیده با مفهوم محدوده هرمزیس^۳ در ورزش تطابق دارد، به این معنی که میزان متوسطی از استرس می‌تواند اثرات مفید تطابقی ایجاد کند، اما استرس بیش‌ازحد ممکن است اثر معکوس داشته باشد. در همین راستا مشاهده عدم کاهش MDA در گروه HEC بیانگر فشار بالای تمرینی ناشی از تمرین با هزینه انرژی مصرفی بالاست (۳۰۰۰ کیلوکالری در هفته) که هنوز نتوانسته است به طور کامل منجر به کاهش آسیب اکسیداتیو شود؛ هرچند که افزایشی نیز اعمال نکرده است. اگرچه ۳۰۰۰ کیلوکالری در هفته قابل توجه است، اما ممکن است برای افرادی که استرس اکسیداتیو پایه بسیار بالایی دارند (که در جمعیت‌های دارای اضافه‌وزن/چاق رایج است)، این شدت یا حجم خاص ورزش برای غلبه و کاهش قابل توجه بار اکسیداتیو موجود کافی نبوده باشد. برخی مطالعات رابطه «دوز-پاسخ» را نشان می‌دهند، که در آن استرس اکسیداتیو اولیه بسیار بالا ممکن است نیاز به مداخله شدیدتر یا طولانی‌تر برای مشاهده اثر معنی‌دار داشته باشد. در همین راستا برخی مطالعات نشان داده‌اند که فعالیت ورزشی با

¹ Şengün² Cardoso³ Hormesis



شدت بسیار بالا یا غیرمعمول می‌تواند MDA را به شدت افزایش دهد و پاسخ تطبیقی ممکن است برای برخی از جمعیت‌ها بیشتر طول بکشد یا به محرک متفاوتی نیاز داشته باشد. یک متآنالیز در مورد ورزش و استرس اکسیداتیو در بزرگسالان مسن‌تر، نتایج متناقضی را در مطالعات نشان داد، که برخی از آنها علی‌رغم فعالیت ورزشی، هیچ تأثیری بر نشانگرهای استرس اکسیداتیو نداشتند. این نشان می‌دهد که تأثیر ورزش می‌تواند متفاوت باشد و همیشه ساده نیست (۲۲).

از سوی دیگر در ارتباط با SOD و GPX به عنوان اصلی‌ترین آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی بدن که در خط مقدم دفاع در برابر رادیکال‌های آزاد (به ویژه رادیکال سوپراکسید) عمل می‌کنند، ما پس از ۱۲ هفته تمرین ترکیبی تفاوت معنی‌داری بین هیچ یک از گروه‌ها مشاهده نکردیم. همچنین تفاوت معنی‌داری در پس‌آزمون و پیش‌آزمون هیچ یک از گروه‌ها مشاهده نشد. همانند آنچه که در ارتباط با MDA ذکر شد، طبق جستجوهای ما مطالعات پیشین که به‌طور خاص تأثیر تمرین ترکیبی با هزینه انرژی بالا بر شاخص‌های آنتی‌اکسیدانی در زنان دارای اضافه‌وزن را بررسی کرده باشند، محدود یا نایاب‌اند. با این حال، یافته‌های ما با برخی پژوهش‌ها همسو است که در آن‌ها افزایش معنی‌داری در سطح SOD و GPX پس از فعالیت ورزشی مشاهده نشده است (۲۳، ۲۴). به‌عنوان نمونه، مطالعه کاپو^۱ و دیگران (۲۰۲۰) نشان داد که محدودیت کالری ۳۰ تا ۴۰ درصدی در تکنودوکاران، اثر معنی‌داری بر نشانگرهای آسیب اکسیداتیو نداشت و فعالیت SOD پلاسما پس از محدودیت کالری و آزمون VO_{2max} در سطح اولیه باقی ماند (۲۵). در مقابل، ناهمسو با مطالعه حاضر برخی مطالعات گزارش کرده‌اند که تمرینات شدید مانند تمرین تناوبی شدید^۲ (HIIT)، می‌توانند باعث ایجاد استرس اکسیداتیو در افراد دارای اضافه‌وزن شوند (۲۶). برای مثال، تمرینات بسیار سخت چهار هفته‌ای منجر به افزایش GPX در شرایط استراحت شد که این اثرات در شرایط پس از تمرین بارزتر بود (۲۷). افزایش فعالیت آنزیم GPX پس از فعالیت ورزشی، با شاخص‌هایی نظیر توان تولیدی حداکثر و حجم کل کار انجام‌شده همبستگی دارد. این افزایش، نقش مهمی در تجزیه پراکسید هیدروژن^۳ (H_2O_2)، که یک گونه اکسیژن فعال تولیدی در طول فعالیت ورزشی است، ایفا کرده و سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی را تقویت می‌کند (۲۲، ۲۸). همچنین، تمرینات منظم می‌توانند با افزایش فعالیت آنزیم SOD در عضلات اسکلتی، بیانگر نوعی پاسخ انطباقی در برابر استرس اکسیداتیو باشند (۳، ۲۹). در هر حال مطالعات حاکی از وجود یک رابطه معکوس بین چربی بدن و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، مستقل از سن و سایر عوامل، هستند (۴، ۳۰). به‌طور کلی، سطوح متوسط تا زیاد فعالیت ورزشی می‌تواند تأثیر مثبتی بر وضعیت GPX و SOD داشته باشد (۳۱، ۳۲). با این حال، رابطه‌ی دقیق بین تمرینات با هزینه انرژی بالا و فعالیت آنزیم‌های GPX و SOD ممکن است تحت تأثیر عوامل فردی، دریافت رژیم غذایی و تعادل میان استرس اکسیداتیو و سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی بدن قرار گیرد

¹ Capo

² High intensity interval training

³ Hydrogen peroxide



(۳۱، ۳۲)، که بر تعامل پیچیده بین استرس اکسیداتیو ناشی از فعالیت ورزشی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی تاکید می‌کند (۲۲، ۲۸).

در مطالعه حاضر، مقادیر SOD و GPX در گروه‌های تمرینی تفاوت معنی‌داری با گروه کنترل نداشت که بر اهمیت بررسی نوع، شدت و مدت بهینه تمرینات ورزشی برای به حداکثر رساندن ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تأکید دارد. در همین راستا، داوانگ^۱ و دیگران (۲۰۲۲) نشان دادند که فعالیت SOD بلافاصله پس از دوچرخه‌سواری در تمامی شدت‌ها و مدت‌ها افزایش یافت، به جز در شدت ۷۰ درصد VO_{2peak} به مدت ۳۰ دقیقه که کاهش معنی‌داری مشاهده شد. بیشترین افزایش SOD پس از ۱۰ دقیقه تمرین در شدت‌های ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درصد VO_{2peak} رخ داد. درصد تغییرات SOD با مدت زمان تمرین کاهش اما با شدت تمرین افزایش یافت (۲۲). همچنین عدم تغییر SOD استراحتی قبل و بعد از دوره تمرینی را می‌توان به پایداری بالای H_2O_2 نسبت داد، زیرا سوپراکسید سریعاً توسط SOD به H_2O_2 تبدیل شده و پراکسید هیدروژن در دیواره عروق انتشار می‌یابد (۳۳). بنابراین، فعالیت SOD وضعیت آنتی‌اکسیدانی ممکن است حتی در شرایط استرس اکسیداتیو ناشی از فعالیت ورزشی ثابت بماند، هرچند که افزایش SOD پس از تمرین در برخی مطالعات گزارش شده است (۳۴). همچنین عدم تغییر در سطح GPX پس از ۱۲ هفته تمرین در هر سه گروه و در پس‌آزمون نسبت به پی‌آزمون، می‌تواند به پایداری نسبی این آنزیم در شرایط مورد مطالعه اشاره داشته باشد. ممکن است GPX در زنان دارای اضافه‌وزن از پیش در سطحی بالا عمل می‌کرده و نیاز به افزایش بیشتر نداشته است (۳۵). همچنین، احتمال جبران استرس اکسیداتیو از طریق سایر آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی (مثل SOD) یا غیرآنزیمی (مثل ویتامین C و گلووتاتیون) وجود دارد (۳۶). شدت یا مدت تمرین نیز ممکن است برای تحریک مسیرهای تنظیم‌کننده GPX (مانند Nrf2/Keap1) کافی نبوده باشد (۳۷). علاوه‌براین، عواملی مانند زمان‌بندی نمونه‌گیری و حساسیت روش اندازه‌گیری نیز ممکن است در تشخیص تغییرات نقش داشته باشند (۳۸).

نهایتاً در مطالعه حاضر، تفاوت معنی‌داری در TAC بین گروه‌ها مشاهده نشد که نشان می‌دهد تمرینات با هزینه انرژی بالا در مقایسه با تمرینات با هزینه انرژی استاندارد، استرس اکسیداتیو چشمگیری ایجاد نکرده است. این نتایج ناهمسو با نتایج مطالعه کاردوسو^۲ و دیگران (۲۰۲۰) بود چراکه آنها در مطالعه خود افزایش TAC همراه با کاهش وزن افراد دارای اضافه‌وزن را پس از ۱۲ هفته تمرین هوازی گزارش کردند (۲۱). همچنین طبق نتایج مطالعات قبلی، پیاده‌روی نوردیک^۳ و تمرین شدید در افراد چاق بهبود در TAC را به دنبال داشت (۲۷، ۳۹). اگرچه

¹ Awang Daud

² Cardoso

³ Nordic walking



انجام فعالیت ورزشی، حتی در افراد دارای اضافه وزن یا چاق، می تواند باعث تحریک TAC و افزایش پتانسیل آنتی اکسیدانی شود (۴۰)، اما ما چنین نتایجی را در هیچ کدام از گروه های تمرینی مشاهده نکردیم. عدم مشاهده تغییر معنی دار در ظرفیت آنتی اکسیدانی کلی (TAC) پس از ۱۲ هفته تمرین با هزینه انرژی بالا ممکن است نشان دهنده پایداری نسبی سیستم آنتی اکسیدانی در زنان دارای اضافه وزن باشد، به طوری که شدت یا ویژگی های تمرین انجام شده برای فعال سازی مسیرهای مولکولی تنظیم کننده آنتی اکسیدان ها (مانند Nrf2/ARE) کفایت نداشته است (۳۵). علاوه بر این، ممکن است جبران استرس اکسیداتیو از طریق سایر مکانیسم های دفاعی مانند آنزیم های اختصاصی (SOD، GPX) یا آنتی اکسیدان های غیر آنزیمی صورت گرفته باشد، بدون آن که منجر به تغییر محسوس در TAC شود (۳۶). علاوه بر این اگرچه در مطالعه حاضر رژیم غذایی آزمودنی ها به دقت کنترل گردید با این حال فقدان احتمال مصرف مکمل های آنتی اکسیدانی به طور ناخواسته در غذاهای مصرف شده و دوزهای متفاوت آن نیز می تواند از جمله عوامل مداخله گر باشد. همچنین زمان نامناسب نمونه گیری یا حساسیت پایین روش اندازه گیری ممکن است موجب عدم آشکارسازی تغییرات تطابقی مزمن شده باشد چراکه روش های مختلف ارزیابی TAC، GPX و SOD (مانند ABTS، FRAP، OXY و ORAC)، نتایج کاملاً مشابهی را ارائه نمی دهند و هیچ کدام قادر به اندازه گیری کامل آنتی اکسیدان های سرم نیستند (۴۰).

در تبیین نتایج موجود باید عنوان کرد که براساس توصیه ACSM، فعالیت هوازی متوسط به مدت ۳۰ دقیقه، پنج روز در هفته یا فعالیت شدید ۲۰ دقیقه ای برای بزرگسالان ۱۸ تا ۶۵ ساله دارای اثرات مفید است (۴۱). شدت های مختلف ورزشی برای بهینه سازی ظرفیت هوازی و وضعیت آنتی اکسیدانی بررسی شده اند. در همین راستا گیسر و ریچ^۱ (۱۹۸۴) گزارش کردند که حداقل شدت لازم برای بهبود ظرفیت هوازی، ۴۵ درصد VO_{2max} است (۴۲). در این شدت ها، تولید ROS به عنوان محرکی برای سازگاری های استقامتی فیزیولوژیکی همراه بوده است (۴۳). افزایش تولید ROS با افزایش آنزیم های آنتی اکسیدانی مانند SOD، GAT و GPX حفظ می شود. با این حال، شواهد هنوز محدود است، به ویژه در مورد سطوح مختلف شدت و مدت فعالیت ورزشی (به خصوص میزان کالری مصرفی حین تمرین) بر استرس اکسیداتیو، به ویژه در میان بزرگسالان کم تحرک و علی الخصوص زنان چاق و دارای اضافه وزن. در همین راستا در یک مطالعه که از دوچرخه سواری با شدت های ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درصد VO_{2peak} برای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه استفاده کردند، عنوان کردند که مدت های مختلف دوچرخه سواری می تواند به طور بالقوه استرس اکسیداتیو و فعالیت های آنتی اکسیدانی را به طور حاد، اما با پاسخ های متفاوت، افزایش دهد. این یافته ها تأیید می کنند که احتمالاً پاسخ های نشانگرهای استرس اکسیداتیو به مدت و شدت متوسط ورزش وابسته است و ممکن است به تجویز اثرات مؤثرتر و کمتر مضر استرس اکسیداتیو ناشی از ورزش در این جمعیت کمک کند. برای بزرگسالان کم تحرک، می توان مدت کوتاهی از ورزش با شدت بالا را برای سطوح اولیه تمرین پیشنهاد کرد.

¹ Gaesser and Rich



بنابراین، پیشنهاد شده است که شدت شروع تمرین برای بزرگسالان کم تحرک نباید بیشتر از ۷۰ درصد VO_{2peak} باشد (۲۲).

نتیجه‌گیری: به نظر می‌رسد با وجود مشاهده عدم افزایش در شاخص‌های مورد مطالعه یعنی TAC، GPX و SOD در گروه تمرین با هزینه انرژی بالا و نیز همزمان عدم تفاوت بین گروه‌های مورد مطالعه در شاخص‌های آنتی‌اکسیدانی SOD، GPX و TAC نهایتاً می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تمرین با هزینه انرژی بالا مضرات چندانی از نظر ایجاد استرس اکسیداتیو و التهاب پس از ۱۲ هفته ندارد. در واقع عدم تغییر معنی‌دار در TAC، SOD و GPX نشان می‌دهد که یا مدت مداخله کافی نبوده، یا اینکه این شاخص‌ها به‌طور کلی نسبت به تمرین حساسیت کمتری نشان داده‌اند و یا سازگاری با تمرین صورت گرفته است. همچنین به نظر می‌رسد تمرینات با هزینه کالری بالا (۳۰۰۰ کیلوکالری در هفته) منجر به ایجاد استرس اکسیداتیو شده که باعث کاهش معنی‌دار MDA نشده است. در مقابل، تمرینات با شدت متوسط (۹۰۰ تا ۱۲۰۰ کیلوکالری در هفته) احتمالاً در محدوده‌ای بوده که موجب سازگاری مطلوب در سیستم آنتی‌اکسیدانی و کاهش MDA شده است.

قدردانی و تشکر

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 می‌نمایم.

تعارض منافع

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

1. Lobstein T, Powis J, Rachel J-L. World Obesity Atlas 2024. 2024. 236 p.
https://data.worldobesity.org/publications/WOF-Obesity-Atlas-v7.pdf?utm_source=chatgpt.com
2. Huang C-J, McAllister MJ, Slusher AL, Webb HE, Mock JT, Acevedo EO. Obesity-related oxidative stress: the impact of physical activity and diet manipulation. *Sport Med.* Springer; 2015;1:1–12. DOI:10.1186/s40798-015-0031-y
3. Powers SK, Goldstein E, Schrage M, Ji LL. Exercise training and skeletal muscle antioxidant enzymes: An update. *Antioxidants.* MDPI; 2022;12(1):39. DOI:10.3390/antiox12010039
4. Adenan DM, Jaafar Z, Jayapalan JJ, Aziz AA. Plasma antioxidants and oxidative stress status in obese women: correlation with cardiopulmonary response. *PeerJ.* PeerJ Inc.; 2020;8:e9230. DOI.org/10.7717/peerj.9230
5. Powers SK, Deminice R, Ozdemir M, Yoshihara T, Bomkamp MP, Hyatt H. Exercise-induced oxidative stress: Friend or foe? *J Sport Heal Sci.* Elsevier; 2020;9(5):415–25. DOI:10.1016/j.jshs.2020.04.001
6. Nascimento C, Peixoto MS, Fonte Boa LF, de Faria CC, Costa TSF, Matta L, et al. The Effects of Combined Physical Exercise on Serum Redox Biomarkers and Leukocyte DNA Damage of Obese Women. *Oxid Med Cell Longev.* Hindawi Limited; 2021;2021:1–8. DOI:10.1155/2021/6630463
7. Yavari A, Javadi M, Mirmiran P, Bahadoran Z. Exercise-induced oxidative stress and dietary antioxidants. *Asian J Sports Med.* Brieflands; 2015;6(1). DOI:10.5812/asjms.24898
8. Kayacan Y, Yazar H. Oxidative stress biomarkers in exercise: Intake of supplements. In: *Biomarkers in nutrition.* Springer; 2022. p. 819–31. DOI:10.1007/978-3-030-81304-8_48-1
9. Huang B. Exercises, Oxidative Stress and Body Antioxidant Capacity [J]. *J Hubei Sport Sci.* 2004;20(3):61–3. DOI: 10.5812/asjms.24898
10. Hamed-Shahraki S, Khademolhosseini R, Amirkhizi F. Total Antioxidant Capacity, Lipid Peroxidation, and Erythrocyte Antioxidant Enzyme Activities in Subjects with Obesity: A Case-Control Study. *Int J Basic Sci Med.* Zabol University of Medical Sciences; 2023;8(3):102–7. [In Persian]. DOI:10.1155/2021/6638420



11. Keane K. Impact of high intensity interval training (HIIT) and/or selenium (Se) supplementation on oxidative stress and antioxidant status in active females. (Doctoral dissertation). 2014.
<http://hdl.handle.net/10059/1022>
12. Ji LL, Leichtweis S. Exercise and oxidative stress: sources of free radicals and their impact on antioxidant systems. *Age (Omaha)*. Springer; 1997;20:91–106. DOI:10.1007/s11357-997-0009-x
13. Ji LL. Antioxidants and oxidative stress in exercise. *Proc Soc Exp Biol Med*. Wiley Online Library; 1999;222(3):283–92. DOI:10.1046/j.1525-1373.1999.d01-145.x
14. Ozemek C, Bonikowske A, Christle J, Gallo P. ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. Lippincott Williams & Wilkins; 2025.
<https://www.acsm.org/read%20%E2%80%93research>
15. Diba MA, Sarraf VS, Amirsasan R, Nikoukheslat SD. Effect of a 12-Week High-Calorie-Expenditure Multimodal Exercise Program on Health Indices in Women With Overweight: Protocol for a Randomized Controlled Trial. *JMIR Res Protoc*. JMIR Publications Inc., Toronto, Canada; 2024;13(1):e51599. DOI:10.2196/51599
16. Cunningham JJ. A reanalysis of the factors influencing basal metabolic rate in normal adults. *Am J Clin Nutr*. Elsevier; 1980;33(11):2372–4. DOI:10.1093/ajcn/33.11.2372
17. Lotfi A, Atashak S. Effect of obestation and treadmill exercise on lipid profile and serum malondialdehyde (MDA) levels in rat model. *RBNE-Revista Bras Nutr Esportiva*. 2019;13(80):498–504. DOI:10.1590/1678-986520193080504
18. Şengün N, Pala R, Çınar V, Akbulut T, Larion A, Padulo J, et al. Alterations in Biomarkers Associated with Cardiovascular Health and Obesity with Short-Term Lifestyle Changes in Overweight Women: The Role of Exercise and Diet. *Medicina (B Aires)*. MDPI; 2024;60(12):2019. DOI:10.3390/medicina60122019
19. Thirupathi A, Pinho RA, Ugbole UC, He Y, Meng Y, Gu Y. Effect of running exercise on oxidative stress biomarkers: A systematic review. *Front Physiol*. 2021;11:1789. DOI:10.3389/fphys.2021.746013
20. Dobashi S, Aiba C, Ando D, Kiuchi M, Yamakita M, Koyama K. Caloric restriction suppresses exercise-induced hippocampal BDNF expression in young male rats. *J Phys Fit Sport Med*. The Japanese Society of Physical Fitness and Sports Medicine; 2018;7(4):239–45. DOI:10.7600/jphysfit.7.239



21. Cardoso GA, Ribeiro MD, Ferreira AP, de Oliveira Y, Medeiros T de O, de Sousa BR, et al. Oxidative stress does not influence weight loss induced by aerobic training in adults: randomized clinical trials. *J Sports Med Phys Fitness*. 2020;60(6):875–82. DOI:10.23736/S0022-4707.20.10604-1
22. Awang Daud DM, Ahmedy F, Baharuddin DMP, Zakaria ZA. Oxidative stress and antioxidant enzymes activity after cycling at different intensity and duration. *Appl Sci*. MDPI; 2022;12(18):9161. DOI:10.3390/app12189161
23. Tiidus PM, Behrens WA, Madere R, Kim JJ, Houston ME. Effects of vitamin E status and exercise training on tissue lipid peroxidation based on two methods of assessment. *Nutr Res*. Elsevier; 1993;13(2):219–24. DOI:10.1016/S0271-5317(05)80443-9
24. Viinikka L, Vuori J, Ylikorkala O. Lipid peroxides, prostacyclin, and thromboxane A2 in runners during acute exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 1984;16(3):275–7. DOI:10.1249/00005768-198406000-00004
25. Capó X, Martorell M, Ferrer MD, Sureda A, Pons V, Domingo JC, et al. Calorie restriction improves physical performance and modulates the antioxidant and inflammatory responses to acute exercise. *Nutrients*. MDPI; 2020;12(4):930. DOI:10.3390/nu12040930
26. Aghamohammadi V, Sajjadi SF, Jarrahi F, Abdollahi A, Mirzaei K. The association between total antioxidant capacity and resting metabolic rate (RMR)/respiratory quotient (RQ) in overweight and obese woman. *Diabetes Metab Syndr Clin Res Rev*. Elsevier; 2019;13(4):2763–7. DOI:10.1016/j.dsx.2019.04.016
27. Palazzetti S, Richard M-J, Favier A, Margaritis I. Overloaded training increases exercise-induced oxidative stress and damage. *Can J Appl Physiol*. NRC Research Press Ottawa, Canada; 2003;28(4):588–604. DOI:10.1139/h03-045
28. Wiecek M, Szymura J, Maciejczyk M, Kantorowicz M, Szygula Z. Anaerobic exercise-induced activation of antioxidant enzymes in the blood of women and men. *Front Physiol*. Frontiers; 2018;9:394013. DOI:10.3389/fphys.2018.01006
29. Higuchi M, Cartier L, Chen M, Holloszy JO. Superoxide dismutase and catalase in skeletal muscle: adaptive response to exercise. *J Gerontol*. The Gerontological Society of America; 1985;40(3):281–6. DOI:10.1093/geronj/40.3.281
30. Chrysohoou C, Panagiotakos DB, Pitsavos C, Skoumas I, Papademetriou L, Economou M, et al. The implication of obesity on total antioxidant capacity in apparently healthy men and women: the ATTICA study. *Nutr Metab Cardiovasc Dis*. Elsevier; 2007;17(8):590–7. DOI:10.1016/j.numecd.2006.06.002



31. Fateh HL, Mirzaei N, Gubari MIM, Darbandi M, Najafi F, Pasdar Y. Association between dietary total antioxidant capacity and hypertension in Iranian Kurdish women. *BMC Womens Health*. Springer; 2022;22(1):255. DOI:10.1186/s12905-022-01837-4
32. Villaverde P, Lajous M, MacDonald C-J, Fagherazzi G, Bonnet F, Boutron-Ruault M-C. High dietary total antioxidant capacity is associated with a reduced risk of hypertension in French women. *Nutr J*. Springer; 2019;18:1–10. DOI:10.1186/s12937-019-0456-0
33. Kojda G, Harrison D. Interactions between NO and reactive oxygen species: pathophysiological importance in atherosclerosis, hypertension, diabetes and heart failure. *Cardiovasc Res*. Elsevier Science; 1999;43(3):652–71. DOI:10.1016/s0008-6363(99)00169-8
34. Choi E-Y, Cho Y-O. The effects of physical training on antioxidative status under exercise-induced oxidative stress. *Nutr Res Pract*. Korean Society of Community Nutrition and the Korean Nutrition Society; 2007;1(1):14. DOI:10.4162/nrp.2007.1.1.14
35. Ahmad AA, Rahimi Z, Asadi S, Vaisi-Raygani A, Kohsari M. The GPx-1 gene variants (rs1050450) in obesity: Association with the risk of obesity and the GPx activity in females. *Reports Biochem Mol Biol*. 2023;12(1):185. DOI:10.22034/rbmb.2023.387464.1158
36. Jomova K, Raptova R, Alomar SY, Alwasel SH, Nepovimova E, Kuca K, et al. Reactive oxygen species, toxicity, oxidative stress, and antioxidants: Chronic diseases and aging. *Arch Toxicol*. Springer; 2023;97(10):2499–574. DOI:10.1007/s00204-023-03562-9
37. Sykiotis GP, Habeos IG, Samuelson A V, Bohmann D. The role of the antioxidant and longevity-promoting Nrf2 pathway in metabolic regulation. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. LWW; 2011;14(1):41–8. DOI:10.1097/MCO.0b013e32834136f2
38. Zhang C. *Fundamentals of environmental sampling and analysis*. John Wiley & Sons; 2024. DOI:10.1002/9781119778561
39. Islam H, Smith MMW, Scribbans TD, McCrady E, Castellani LN, Allen MD, et al. Effect of acute high-intensity interval exercise on whole-body fat oxidation and subcutaneous adipose tissue cell signaling in overweight women. *Int J Exerc Sci*. Western Kentucky University; 2020;13(2):554. DOI:10.54803/ijes.2020.1302
40. Gawron-Skarbek A, Chrzczanowicz J, Kostka J, Nowak D, Drygas W, Jegier A, et al. Physical activity, aerobic capacity, and total antioxidant capacity in healthy men and in men with coronary heart disease. *Oxid Med Cell Longev*. Hindawi; 2015;2015. DOI:10.1155/2015/157260



41. ACSM. Physical Activity Guidelines. 2021. p. Available online: <https://www.acsm.org/read-research>. DOI:10.1249/00005768-198406000-00012
42. Gaesser GA, Rich RG. Effects of high-and low-intensity exercise training on aerobic capacity and blood lipids. Med Sci Sports Exerc. 1984;16(3):269–74. DOI:10.1111/apha.12898
43. Margaritelis N V, Theodorou AA, Paschalis V, Veskoukis AS, Dipla K, Zafeiridis A, et al. Adaptations to endurance training depend on exercise-induced oxidative stress: exploiting redox interindividual variability. Acta Physiol. Wiley Online Library; 2018;222(2):e12898. DOI: 10.1111/apha.12898

مجله علمی پژوهشی دانشپژد
پایه علمی از انتشارات ویدایش نشده