Qom University of Medical Sciences Journal

July 2022. Volume 16. Number 4

Research Paper

Effect of Endurance Exercise on Lipid Peroxidation Level and Total Antioxidant Capacity of Testicular Tissue in Adult Male Rats With Cadmium-induced Infertility

Amir Delshad[1], *Fereshteh Salimi[2], Nasrin Heydariyeh[3], Shima Ababzadeh[4]

1. Department of Sports Science, Faculty of Literature and Humanities, Qom University, Qom, Iran.
2. Department of Sports Science, Faculty of Physical Education, Toloo Mehr Institute of Higher Education Qom, Qom, Iran.
3. Department of Biology, Faculty of Basic Sciences, Qom Branch, Islamic Azad University, Qom, Iran.
4. Department of Anatomy, Faculty of Medicine, Qom University of Medical Sciences, Qom, Iran.

Use your device to scan and read the article online

Citation Delshad A, Salimi F, Heydariyeh N, Ababzadeh Sh. [Effect of Endurance Exercise on Lipid Peroxidation Level and Total Antioxidant Capacity of Testicular Tissue in Adult Male Rats With Cadmium-induced Infertility (Persian)]. Qom University of Medical Sciences Journal. 2022; 16(4):330-341. https://doi.org/10.32598/qums.16.4.2573.1

https://doi.org/10.32598/qums.16.4.2573.1

CC BY NC

Received: 13 Mar 2022

Accepted: 18 May 2022

Available Online: 01 Jul 2022

Keywords:
Cadmium, Endurance exercise, Antioxidants, Lipid peroxidation, Wistar rats

ABSTRACT

Background and Objectives Cadmium (Cd) can induce lipid peroxidation, increase malondialdehyde (MDA), and reduce total oxidative capacity (TAC) in the testis by producing free radicals and, as a result, cause infertility. This study aims to determine the effect of a period of endurance exercise on MDA levels and TAC of testicular tissue in adult male rats with infertility induced by cadmium chloride.

Methods In this experimental study, 32 healthy adult male Wistar rats weighing 250±30 g and aged 12 weeks were used, which were randomly divided into four groups of control (n=8), exercise (n=8), Cd (n=8), and Cd+exercise (n=8). The endurance exercise program was presented at five sessions per week for 5 weeks. Data were analyzed in SPSS software, version 24 using one-way analysis of variance and by the Least Significant Difference post hoc test. The significance level was set at 0.05.

Results The MDA and TAC in the exercise group were increased significantly compared to the control group ($P<0.05$), indicating that moderate-intensity endurance exercise significantly increased the TAC and MDA of testicular tissue in Cd-induced infertility. Cd increased oxidative stress markers and reduced antioxidant enzymes. Moderate-intensity endurance exercise significantly increased the antioxidant enzymes.

Conclusion Given the effects of moderate-intensity endurance exercise in rats with Cd-induced infertility, it can be said that these exercises can make the body more resistant to oxidative stress products.

Corresponding Author:
Fereshteh Salimi, PhD.
Address: Department of Sports Science, Faculty of Physical Education, Toloo Mehr Institute of Higher Education Qom, Qom, Iran.
Tel: +98 (912) 3519509
E-Mail: fereshte.salimi13@gmail.com

Qom University of Medical Sciences Journal

Extended Abstract

Introduction

Cadmium (Cd) is a toxic non-essential transition metal that poses a health risk for both human and animals. It naturally exists in the environment as a pollutant that is derived from agricultural and industrial sources [1]. It has a long biological half-life of 20–40 years in humans, and is accumulated in the body for a considerable period of time. Getting in chronic exposure of Cd in low doses can also alter the microscopic structures of tissues, particularly in the liver, kidney, brain, pancreas, intestine, and reproductive organs due to increased content of Cd in these tissues. Because of over-production of oxygen active species, the continuous encounter with Cd causes the increase of oxidative stress in cellular levels and degrades antioxidant defensive mechanisms [2]. Given that the Cd causes lipid peroxidation, increases Malondialdehyde (MDA), and reduces total oxidative capacity (TAC) by producing free radicals, it can lead to infertility and damage of the intracellular defensive system. Studies have shown that infertile men most probably have lower antioxidant capacity than fertile men.

Aerobic exercises are considered as an effective method to improve several undesirable outcomes of health; however, their results have been remained challenging in the reproductive health. It has been proved that moderate exercise is useful for preventing primary and secondary diseases including cardiovascular diseases, type II diabetes, metabolic syndrome, and neurodegenerative diseases, such as Alzheimer's. This study aims to determine the effect of a period of endurance exercise on MDA level and TAC of testicular tissue in adult male rats with Cd-induced infertility.

Methods

This is an experimental study. Samples were 32 mature and healthy male Wistar rats with a mean weight of 250±30 g and age of 12 weeks. They were purchased from the Tehran Pasteur Institute and kept in the animal laboratory of Islamic Azad University, Qom Branch, at a temperature of 22 2 C °, a humidity of 55±4%, and a 12:12 light-dark circle. All rats had free access to food and water. They were randomly divided into four groups of 8: Control group, Exercise group, Cd group, and Cd+exercise group. To be infertile, the rats received 3 mg/kg body weight of Cd (diluted with distilled water) by gavage. All steps of maintenance and killing were performed according to the instructions of experiments on laboratory animals. To adapt to new environment, the rats were placed in the laboratory conditions for 2 weeks. They were placed on a rodent treadmill to become familiar with the exercise. Endurance exercise was then performed at five sessions per week for five weeks. The exercise protocol included running on a treadmill at a speed of 27 m/min. First session was performed for 16 minutes; one minute was then added to the time daily reaching 30 minutes per session. In order for the obtained adaptations to remain unchanged, the intensity of exercise was kept constant in the fourth and fifth weeks. Rats were anesthetized with diethyl ether 48 hours after the last exercise session. The testicles and epididymis were removed by making an incision in the posterior abdominal area and then transferred to the laboratory to measure their MDA and TAC.

Shapiro-Wilk and Levene's tests were used to determine the normality of data distribution and the equality of variances, respectively. One-way analysis of variance (ANOVA) followed by the Least Significant Difference (LSD) post hoc test was used to evaluate the differences in the variables between the study groups. All analyses were performed in SPSS software, version 24. The significance level was set at 0.05.

Results

The results of one-way ANOVA showed a significant difference among the four study groups in MDA (P=0.045). The results of LSD post hoc test showed that this difference was significant between control and Cd+exercise groups (P=0.03) and between Cd and Cd+exercise groups (P=0.02). The results of one-way ANOVA also showed a significant difference among the four study groups in TAC (P =0.032). This difference was significant between Cd and control groups (P=0.012), and between Cd and exercise groups (P=0.036). In this study, the levels of MDA and TAC enzymes significantly increased in the exercise group compared to the control group (P<0.05).

Discussion

Moderate-intensity endurance exercise in this study caused a significant increase in the TAC and MDA of testicular tissue in rats with Cd-induced infertility. Therefore, it can be said that regular moderate-intensity endurance exercise can make the body more resistant to oxidative stress. Physical activity improves antioxidant activities and reduces lipid peroxidation level both in adult and in aged people [5] The antioxidant defense system of the body consists of enzymatic antioxidants (e.g., superoxide dismutase, catalase, and glutathione peroxidase) and non-enzymatic antioxidants (e.g., Coenzyme

Q10, glutathione, uric acid, lipoic acid, bilirubin). Reactive oxygen species (ROS) generation caused by exercise leads to increased activity of enzymatic antioxidants which increases resistance to wide range of oxidative stress-related diseases including cardiovascular diseases, acquired neurodegenerative disorders (Alzheimer's and Parkinson's disease), asthma, diabetes and mitochondrial myopathies. Chronic exposure to high levels of ROS can lead to impairment of cellular functions and cause macromolecule damage, apoptosis, and necrosis. Regular exercise causes compatibility in TAC and protection of cells against the harmful effects of oxidative stress; hence, can prevent cell damage. According to the results, it can be concluded that regular moderate-intensity endurance exercise can make the body more resistant to oxidative stress and can increase the TAC of testicular tissue in rats with Cd-induced infertility.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

This article is taken from the Master's thesis of Sports Physiology, which was conducted at the Islamic Azad University, Qom Branch. All ethical principles approved by University of Qom. (Ethics Code: IR.QOM.REC.1399.023).

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Authors contributions

All authors contributed equally in preparing all parts of the research.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

Acknowledgements

We are grateful for the cooperation of the laboratory personnel of Islamic Azad University, Qom Branch, who helped us in conducting this research, and also to Dr. Hamid Amini, who was present as the second guide in the thesis.

مقاله پژوهشی

اثر تمرینات استقامتی بر سطوح پراکسیداسیون لیپیدی و ظرفیت تام آنتی‌اکسیدانی بافت بیضه در ناباروری القاشده توسط کادمیوم در موش‌های صحرایی نر بالغ

امیر دلشاد[۱]، *فرشته سلیمی[۲]، نسرین حیدریه[۳]، شیما آب آب‌زاده[۴]

۱. گروه علوم ورزشی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه قم، قم، ایران.
۲. گروه علوم ورزشی، دانشکده تربیت‌بدنی، مؤسسه آموزش عالی طلوع مهر قم، قم، ایران.
۳. گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، واحد قم، دانشگاه آزاد اسلامی، قم، ایران.
۴. گروه علوم تشریح، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم‌پزشکی قم، قم، ایران.

Use your device to scan and read the article online

Citation Delshad A, Salimi F, Heydariyeh N, Ababzadeh Sh. [Effect of Endurance Exercise on Lipid Peroxidation Level and Total Antioxidant Capacity of Testicular Tissue in Adult Male Rats With Cadmium-induced Infertility (Persian)]. Qom University of Medical Sciences Journal. 2022; 16(4):??. https://doi.org/10.32598/qums.16.4.2573.1

https://doi.org/10.32598/qums.16.4.2573.1

تاریخ دریافت: ۲۲ اسفند ۱۴۰۰
تاریخ پذیرش: ۲۸ اردیبهشت ۱۴۰۱
تاریخ انتشار: ۱۰ تیر ۱۴۰۱

چکیده

زمینه و هدف کادمیوم ازطریق تولید رادیکال‌های آزاد سبب القای لیپید پراکسیداسیون، افزایش مالون‌دی‌آلدئید و کاهش ظرفیت تام اکسیدانی در بیضه می‌شود و درنتیجه آسیب سیستم دفاعی درون‌سلولی و ناباروری را به همراه دارد. این مطالعه با هدف تعیین تأثیر یک دوره تمرین هوازی بر سطوح مالون‌دی‌آلدئید و ظرفیت تام اکسیدانی بافت بیضه در ناباروری القاشده توسط کلرید+کادمیوم در موش‌های صحرایی نر بالغ است.

روش بررسی در این مطالعه تجربی از ۳۲ سر موش صحرایی نر، نژاد ویستار بالغ و سالم با دامنه وزنی ۲۵۰±۳۰ گرم و سن ۱۲ هفته استفاده شد که به‌صورت تصادفی به ۴ گروه ۸ تایی تقسیم شدند. ۱. گروه دست‌نخورده (اینتکت)، ۲. گروه آزمایش، ۳. گروه کلرید+کادمیوم و ۴. گروه آزمایش+کادمیوم. تمرینات هوازی ۵ جلسه در هفته و به‌مدت ۵ هفته اجرا شد. داده‌ها با نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۴ و همچنین آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه و آزمون تعقیبی حداقل اختلاف معنادار در سطح معناداری ۰/۰۵ بررسی شد.

یافته‌ها در این مطالعه، سطح آنزیم‌های مالون‌دی‌آلدئید و ظرفیت تام اکسیدانی در گروه ورزش نسبت به گروه کنترل به صورت معناداری افزایش یافت (P≥۰/۰۵) که تمرین استقامتی با شدت متوسط با افزایش معنادار ظرفیت تام اکسیدانی بافت بیضه در ناباروری القاشده توسط کادمیوم همراه بوده است. همچنین کادمیوم موجب افزایش نشانگرهای استرس اکسیداتیو و کاهش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌شود. از طرفی، تمرینات استقامتی با شدت متوسط با افزایش معنادار آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی همراه بود.

نتیجه‌گیری باتوجه‌به انجام تمرینات هوازی در موش‌های نابارورشده توسط کادمیوم، می‌توان بیان کرد که تمرینات ورزشی منظم با شدت متوسط، بدن را در مقابل تولیدات استرس اکسیداتیو مقاوم‌تر ساخته است.

کلیدواژه‌ها:
کادمیوم، ورزش هوازی، اکسیدانی‌ها، پراکسیداسیون لیپید، موش‌ها، ویستار

* **نویسنده مسئول:**
دکتر فرشته سلیمی
نشانی: قم، مؤسسه آموزش عالی طلوع مهر قم، دانشکده تربیت‌بدنی، گروه علوم ورزشی.
تلفن: ۳۵۱۹۵۰۹ (۹۱۲) ۹۸+
رایانامه: fereshte.salimi13@gmail.com

مقدمه

ناباروری به‌عنوان یک‌سال رابطه جنسی منظم و محافظت‌نشده بدون بارداری تعریف می‌شود [۱] که تقریباً ۱۵ درصد از زوج‌ها را در جهان تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. این مسئله در مردان و زنان رو به افزایش است. بیش از نیمی از ۱۸۶ میلیون بیمار نابارور در جهان علل مردانه دارند [۱، ۲]. ناباروری مردان به عواملی چون سیگار، مشروبات الکلی، آفت‌کش‌ها، قرار گرفتن در معرض گرما و مواد شیمیایی و فلزات سنگین، استرس، عدم ورزش و همچنین انتخاب سبک زندگی نسبت داده شده است [۲].

کادمیوم[1] یک آلاینده محیطی است که در خاک، آب و غذا یافت می‌شود و می‌تواند باعث افزایش استرس اکسیداتیو و آسیب در تولیدمثل شود [۳]. قرار گرفتن در معرض فلزات سنگین، به‌ویژه کادمیوم یک عامل مهم در اختلال تولیدمثل است [۴]. سازوکارهای متعددی برای علت سمیت سلولی کادمیوم عنوان شده، اما مطالعات مختلف نشان داده‌اند علت اصلی آسیب ناشی از کادمیوم، استرس اکسیداتیو در سلول‌هاست. کادمیوم باعث تحریک تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول‌ها می‌شود که نتیجه این امر، پراکسیداسیون لیپیدها و آسیب به دی‌ان‌ای است و ازطرف‌دیگر، با تغییر سیستم آنتی‌اکسیدانی سلول موجب مرگ سلولی می‌شود [۵].

استرس اکسیداتیوها باعث تغییرات دژنراتیو بافت بیضه می‌شود که به‌شدت به سمیت حاد کادمیوم وابسته است. مطالعات حیوانی نشان می‌دهد کادمیوم باعث کاهش وزن بیضه، میزان تستوسترون تولیدی و تغییرات مورفولوژی اسپرم می‌شود که از دلایل اصلی ناباروری در مردان است [۶]. اثر سیتوتوکسیک کادمیوم می‌تواند ازطریق تغییرات ایمونولوژیکی موجب آپوپتوز، نکروز و حساسیت خود ایمنی در بافت بیضه شود [۴].

کادمیوم باعث پراکسیداسیون لیپیدی و تغییرات ساختاری در غشای پلاسمایی اسپرم می شود [۷]. از طرفی، آنتی‌اکسیدان‌ها، استرس اکسیداتیو را در مایع منی کاهش می‌دهند [۸]. استرس اکسیداتیو می‌تواند دفاع آنتی‌اکسیدانی بدن را کاهش و میزان تولید رادیکال‌های آزاد را افزایش دهد [۹]. اگرچه نتایج برخی تحقیقات اثر منفی گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر[2] را گزارش کرده است، اما مطالعات اخیر نشان می‌دهد گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر ناشی از ورزش می‌تواند چندین آنتی‌اکسیدان آنزیمی و غیرآنزیمی را در سیستم بیولوژیکی تنظیم کند [۱۰].

ورزش منظم به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان باعث کاهش خطر ابتلا به بیماری‌های دیابت نوع دوم، سرطان و زوال عقل و همچنین بهبود عملکرد ارگان‌های بدن می‌شود. بااین‌حال، باتوجه‌به بسیاری از مزایای سلامت ثابت‌شده ورزش، بعید به‌نظر می‌رسد که تولید رادیکال‌های آزاد ازطریق ورزش بر عملکرد در درازمدت تأثیر منفی داشته باشد [۱۱]. باتوجه‌به وضعیت آنتی‌اکسیدانی در زمان افزایش تولید گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر در بدن، مالون‌دی‌آلدئید[3] و ظرفیت تام اکسیدانی[4] به‌عنوان نشانگرهای اصلی استرس اکسیداتیو برای اندازه‌گیری به شمار می‌آیند [۱۲]. فعالیت هوازی از عوامل مؤثر درمان غیردارویی برای تنظیم مثبت ژنی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی آنزیم‌ها در بافت‌های مختلف و اختلالات متابولیکی درنظر گرفته می‌شود [۱۳].

احمدی و همکاران با بررسی اثر تمرین هوازی و مقاومتی بر وضعیت آنتی‌اکسیدان‌ها نشان دادند تمرین هوازی موجب کاهش معنادار سطح مالون‌دی‌آلدئید و افزایش معنادار ظرفیت آنتی‌اکسیدانی شد [۱۴]. ساتیلمیس و همکاران با بررسی اثر تمرینات هوازی بر عوامل اکسیدانی، آنتی‌اکسیدان نتیجه گرفتند ورزش هوازی استرس اکسیداتیو را تنظیم می‌کند و وضعیت آنتی‌اکسیدانی را در پسران چاق بهبود می‌بخشد [۱۵]. کوئین و همکاران، تأثیر تمرینات هوازی و سطوح مختلف ذرات ریزماده (PM2.5) در موش‌های نژاد ویستار را بررسی کردند. نتایج نشان داد تمرینات تناوبی هوازی در جلوگیری از استرس اکسیداتیو و التهاب مؤثر بوده، عملکرد ریوی را بهبود می‌بخشد و مانع پیشرفت ضایعه می‌شود [۱۶].

یوسف‌پور و همکاران نتیجه گرفتند تمرین تناوبی با شدت بالا بر سطوح مالون‌دی‌آلدئید بافتی، فعالیت و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی پلاسما تأثیر معناداری ندارد [۱۷]. درمجموع، نتایج مطالعات نشان داد صرف‌نظر از شدت، حجم، نوع تمرین و جمعیت مطالعه‌شده، شاخص‌های آنتی‌اکسیدانی تمایل به افزایش و شاخص‌های پراکسیدانی تمایل به کاهش بعد از تمرینات ورزشی هوازی دارند. ازاین‌رو، می‌توان نتیجه گرفت فعالیت بدنی اثر آنتی‌اکسیدانی را القا و برای کاهش یا متعادل کردن حالت پراکسیداسیونی ورزش هوازی مؤثر است [۱۸]. ازاین‌رو، هدف پژوهش حاضر بررسی اثر تمرینات استقامتی بر سطوح مالون‌دی‌آلدئید و ظرفیت تام اکسیدانی بافت بیضه در ناباروری القاشده توسط کادمیوم در موش‌های صحرایی نر بالغ بود.

روش بررسی

حیوانات و گروه‌های آزمایشی

پژوهش حاضر از نوع تجربی و کاربردی بود. کار با حیوانات طبق دستورالعمل‌های سازمان بین‌المللی مطالعه درد[5] است. تعداد ۳۲ سر موش صحرایی نر، نژاد ویستار بالغ و سالم با دامنه وزنی ۲۵۰±۳۰ گرم و سن ۱۲ هفته استفاده شد که از انستیتو پاستور تهران تهیه شده بود.

1. Cadmium
2. Reactive Oxygen Species (ROS)
3. Malondialdehyde
4. Total antioxidant capacity
5. International Association for the Study of Pain (IASP)

موش‌ها در حیوان‌خانه دانشگاه علوم‌پزشکی آزاد با میانگین دمای ۲±۲۲ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۵±۴۵ درصد و چرخه روشنایی به تاریکی ۱۲:۱۲ ساعت در قفس‌های مخصوص حیوانات آزمایشگاهی از جنس پلی‌کربنات نگهداری شدند که به آب و غذای ویژه موش دسترسی داشتند. غذای موش‌ها از شرکت خوراک دام پارس تهیه شد.

پس از ۲ هفته آشنایی با محیط آزمایشگاه (در طول مرحله آشناسازی با شرایط آزمایشگاهی و نوار گردان، حیوانات ۵ روز در هفته به‌مدت ۵ تا ۱۰ دقیقه و با سرعت ۵ تا ۱۰ متر در دقیقه روی نوار گردان راه رفتند و با نوار گردان و چگونگی دویدن بر آن آشنا شدند). موش‌ها به‌صورت تصادفی ساده به ۴ گروه ۸ تایی تقسیم شدند: ۱. گروه دست‌نخورده (اینتکت) (I) که هیچ‌گونه فعالیت ورزشی روی آن‌ها انجام نشد و فقط در شرایط آزمایشگاهی آب و غذا دریافت می‌کردند، ۲. گروه آزمایش(E)، این گروه فقط در برنامه تمرینی نوار گردان شـرکت کردند، ۳. گروه کلرید+کادمیوم(C)، گروهی که فقط کادمیوم دریافت کردند و ۴. گروه آزمایش+کادمیوم(EC) ، شامل تمرین و سمیت کادمیوم تقسیم شدند.

القای کلرید+کادمیوم جهت ناباروری

موش‌ها روزانه کلرید+کادمیوم را در دُز ۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن بدن (رقیق‌شده با آب مقطر) را به‌صورت گاواژ دریافت کردند. [۱۹].

پروتکل تمرینی

تمرینات هوازی، ۵ جلسـه در هفته و به‌مدت ۵ هفته روی نوار گردان ویژه جوندگان انجام شد. شدت و حجم تمرین توسط زمان فعالیت به‌تدریج افـزایش یافت. پروتکل تمرینی که در جدول شماره ۱ قابل رؤیت است، شامل دویدن موش‌ها روی تردمیل با سرعت ۲۷ متر دقیقه که با زمان ۱۶ دقیقه شروع شد و روزانه ۱ دقیقه به زمان تمرین اضافه شد و به ۳۰ دقیقه در هر جلسه رسید [۲۰، ۲۱]. برای اینکه سازگاری‌های به‌دسـت‌آمده به حالت یکنواخت باقی بماند، شدت تمرین در هفته چهارم و پنجم ثابت نگه داشته شد.

بافت‌برداری و اندازه‌گیری مالون‌دی‌آلدئید و ظرفیت تام اکسیدانی

پس از ۴۸ ساعت از آخرین جلسه تمرین موش‌ها توسط دیاتیل اتر بی‌هوش [۵] و با ایجاد یک برش در ناحیه خلفی شکم محوطه بطنی، بیضه‌ها و اپیدیدیم‌ها خارج شد. برای ارزیابی فعالیت مالون‌دی‌آلدئید، ابتدا ۱۰ میلی‌گرم از نمونه بافتی با ۳۰۰ میکرولیتر Lysis Buffer و ۳ میکرولیتر BHT هموژن کرده، برای حذف مواد نامحلول، به‌مدت ۳ دقیقه در ۱۳۰۰۰ دور سانتریفیوژ انجام شد و از مایع روی به‌عنوان نمونه استفاده شد. ۲۰۰ میکرولیتر از نمونه آماده‌شده (هموژن) با ۸۰۰ میکرولیتر محلول کار (طبق دستور کیت) مخلوط و درون بن‌ماری با دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد ۴۵ دقیقه قرار داده شد. سپس نمونه‌ها ۱۰ دقیقه درون ظرف حاوی آب یخ قرار گرفتند.

نمونه‌ها با ۳۰۰۰ دور در دقیقه به‌مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شدند و مایع رویی توسط دستگاه الایزا ریدر در طول موج ۵۵۰ نانومتر قرائت شد. برای ارزیابی ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل، ابتدا ۱۰۰ میلی‌گرم از نمونه بافتی را با ۱۰۰۰ میکرولیتر از Lysing Bufferمخلوط و به‌مدت ۴ دقیقه هموژن شد و در ۱۰۰۰۰ دور به‌مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ یخچال‌دار انجام شد و در ادامه سوپرنیتان جدا و به‌عنوان نمونه استفاده شد و در انتها، نمونه‌ها در طول موج ۵۳۰ نانومتر در دستگاه میکروپلیت ریدر (الایزا ریدر) قرائت شدند. کیت سنجش ظرفیت تام آنتی‌اکسیدانی و کیت سنجش پراکسیداسیون لیپید از شرکت نوند سلامت ساخت کشور ایران تهیه شد.

برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از میانگین و انحراف‌معیار استفاده شد. ابتدا نرمال بودن توزیع داده‌ها و همسان بودن واریانس‌ها به‌ترتیب با استفاده از آزمون‌های شاپیرو ولیک[6] و لون[7] ارزیابی شدند (P≤۰/۰۵) سپس از آزمون تحلیل آماری آنووا یک‌طرفه[8] برای مقایسه تغییرات بین گروهی و به دنبال آن برای مقایسه جهت تعیین محل دقیق این تفاوت از آزمون تعقیبی حداقل اختلاف معنادار[9] استفاده شده است (P≤۰/۰۵). همه بررســی‌های آماری با اســتفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۴ انجام شد.

یافته‌ها

ویژگی‌های آنتروپومتریک موش‌های بررسی‌شده در این مطالعه در جدول شماره ۲ نشان داده شده است.

نتایج تحلیل آماری طبق جدول شماره ۳ نشان می‌دهد که در متغیر ظرفیت تام آنتی‌اکسیدانی بین ۴ گروه تحقیقی، تفاوت معناداری وجود دارد (P=۰/۰۳۲) و نتایج آزمون تعقیبی حداقل اختلاف‌معنادارنشان‌داداین‌تفاوت‌بین‌گروه‌کادمیوم‌باگروه‌اینتکت (P=۰/۰۱۲) و گروه آزمایش (P=۰/۰۳۶) وجود دارد.

همچنین در متغیر مالون‌دی‌آلدئید بین ۴ گروه تحقیقی تفاوت معناداری وجود دارد (P=۰/۰۴۵) و نتایج آزمون تعقیبی حداقل اختلاف معنادار نشان داد که این تفاوت بیشتر بین گروه اینتکت با گروه آزمایش+کادمیوم (P=۰/۰۳) و کادمیوم با گروه آزمایش+کادمیوم (P=۰/۰۲) دیده می‌شود.

6. Shapiro-Wilk Test
7. Levene's test
8. One-way ANOVA
9. Least Significant Difference (LSD)

جدول ۱. پروتکل تمرینات

هفته‌ها	تعداد	مدت و شدت آزمایش	گزارش هفته
اول	۱	۱۶ دقیقه با سرعت ۲۷ متر در دقیقه	هفته اول، آشنایی
	۲	۱۷ دقیقه با سرعت ۲۷ متر در دقیقه	
	۳	۱۸ دقیقه با سرعت ۲۷ متر در دقیقه	
	۴	۱۹ دقیقه با سرعت ۲۷ متر در دقیقه	
	۵	۲۰ دقیقه با سرعت ۲۷ متر در دقیقه	
دوم	۱	۲۱ دقیقه با سرعت ۲۷ متر در دقیقه	هفته دوم، اضافه‌بار
	۲	۲۲ دقیقه با سرعت ۲۷ متر در دقیقه	
	۳	۲۳ دقیقه با سرعت ۲۷ متر در دقیقه	
	۴	۲۴ دقیقه با سرعت ۲۷ متر در دقیقه	
	۵	۲۵ دقیقه با سرعت ۲۷ متر در دقیقه	
سوم	۱	۲۶ دقیقه با سرعت ۲۷ متر در دقیقه	هفته سوم، اضافه‌بار
	۲	۲۷ دقیقه با سرعت ۲۷ متر در دقیقه	
	۳	۲۸ دقیقه با سرعت ۲۷ متر در دقیقه	
	۴	۲۹ دقیقه با سرعت ۲۷ متر در دقیقه	
	۵	۳۰ دقیقه با سرعت ۲۷ متر در دقیقه	
چهارم	۱	۳۰ دقیقه با سرعت ۲۷ متر در دقیقه	هفته چهارم، حفظ و تثبیت
	۲	۳۰ دقیقه با سرعت ۲۷ متر در دقیقه	
	۳	۳۰ دقیقه با سرعت ۲۷ متر در دقیقه	
	۴	۳۰ دقیقه با سرعت ۲۷ متر در دقیقه	
	۵	۳۰ دقیقه با سرعت ۲۷ متر در دقیقه	
پنجم	۱	۳۰ دقیقه با سرعت ۲۷ متر در دقیقه	هفته پنجم، حفظ و تثبیت
	۲	۳۰ دقیقه با سرعت ۲۷ متر در دقیقه	
	۳	۳۰ دقیقه با سرعت ۲۷ متر در دقیقه	
	۴	۳۰ دقیقه با سرعت ۲۷ متر در دقیقه	
	۵	۳۰ دقیقه با سرعت ۲۷ متر در دقیقه	

مجله
دانشگاه علوم پزشکی قم

بحث

در مطالعه حاضر، تأثیر یک دوره تمرین استقامتی بر سطوح مالون‌دی‌آلدئید و ظرفیت تام اکسیدانی بافت بیضه در ناباروری القاشده توسط کادمیوم در موش‌های صحرایی نر بالغ، بررسی شد. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد بین ۴ گروه تحقیقی در متغیر ظرفیت تام اکسیدانی تفاوت معناداری وجود داشت (P=۰/۰۳۲) که این تفاوت بیشتر بین گروه کادمیوم با گروه اینتکت و گروه آزمایش دیده شد.

باتوجه‌به نتایج پژوهش به‌دست‌آمده ورزش استقامتی باعث افزایش ظرفیت تام اکسیدانی شده که در گروه کادمیوم این اثرگذاری کاهش داشت و همچنین در گروه آزمایش+کادمیوم

جدول ۲. ویژگی‌های آنتروپومتریک موش‌های بررسی‌شده در متغیر وزن

متغیر	میانگین±انحراف‌معیار			
	اینتکت	آزمایش	کادمیوم	آزمایش+کادمیوم
(گرم)	۲۶۷/۰۸±۵۶	۲۶۰/۰۸±۵۶	۲۶۷/۱۷±۶۷/۶۴	۲۶۲/۸۳±۶۳/۲۳
بیضه راست	۱/۳۷±۰/۲۷	۱/۴۱±۰/۴۸	۱/۳۲۰±/۴۸	۱/۳۸±۰/۴۸
بیضه چپ	۱/۵۴±۰/۲۱	۱/۴۱۰±/۳۸	۱/۰±۳۲/۴۸	۱/۰±۳۸/۴۸
اپیدیدیم راست	۰/۶۶±۰/۱۹	۰/۵۱±۰/۱۸	۰/۵۱±۰/۱۹	۰/۰±۵۰/۱۳
اپیدیدیم چپ	۰/۶۹±۰/۱۰	۰/۵۴±۰/۰۴	۰/۶۰±۰/۰۸	۰/۰±۵۴/۰۵
دفران راست	۰/۱۴±۰/۰۴	۰/۱۳±۰/۰۴	۰/۱۳±۰/۰۱	۰/۰±۱۳/۰۲
دفران چپ	۰/۱۴±۰/۰۴	۰/۱۱±۰/۰۴	۰/۱۲±۰/۰۲	۰/۰±۱۱/۰۲

مجله
دانشگاه علوم پزشکی قـــم

ظرفیت تام اکسیدانی خنثی شده است. پس می‌توان بیان کرد ورزش اثر کادمیوم را متعادل کرده، اما موجب تغییر در میزان اثرگذاری معنادار در افزایش ظرفیت تام اکسیدانی در این گروه نشده است که حاکی از اثر متقابل خنثی‌کننده ورزش بر سمیت کادمیوم یا بالعکس روی هم شده است. یکی از راهبردهایی که معمولاً برای ارزیابی تعادل رادیکال آزاد آنتی‌اکسیدان در سیستم‌های شیمیایی و بیولوژیکی استفاده می‌شود، تعیین ظرفیت تام اکسیدانی است [۲۲].

ورزش منظم باعث سازگاری در ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و محافظت از سلول‌ها در برابر اثرات منفی استرس اکسیداتیوها

جدول ۳. میانگین و انحراف‌معیار در گروه‌های مختلف پژوهش، نتایج آزمون تحلیل واریانس یک‌راهه و آزمون تعقیبی حداقل تفاوت معنادار در سطوح مالون‌دی‌آلدئید و ظرفیت تام آنتی‌اکسیدانی پس از یک دوره تمرین هوازی با شدت متوسط در موش‌ها

متغیر	گروه‌ها	میانگین±انحراف معیار	f	P	آزمون تعقیبی حداقل تفاوت معنادار			
					گروه		MDA	TAC
مالون‌دی‌آلدئید	اینتکت، گروه دست‌نخورده (I) آزمایش(E) کادمیوم(C) آزمایش+کادمیوم(EC)	۰/۰۶۱±۰/۰۱ ۰/±۰۶۸۰/۰۷ ۰/۰±۰۶۰/۰۵ ۰/۰±۰۷۲/۰۶	۴/۲۰	۰/# ۴۵	I	E	۰/۲۴	۰/۲۴
						C	۰/۱۲	۰/۰۱۳*
						EC	۰/۰۳*	۰/۶۹
					E	I	۰/۲۴	۰/۲۴
						C	۰/۴	۰/۰۳۶*
						EC	۰/۰۶	۰/۳۱
ظرفیت تام اکسیدانی	اینتکت گروه دست‌نخورده (I) آزمایش(E) کادمیوم (C) آزمایش+کادمیوم (EC)	۰/۰±۱۶۷/۰۶ ۰/۰±۱۷۵/۰۱ ۰/۰±۱۲۹/۰۳ ۰/۰±۱۲۸/۰۲	۲/۸۵	۰/# ۰۳۲	C	I	۰/۱۲	۰/۰۱۳*
						E	۰/۴	۰/۰۳۶*
						EC	۰/۰۲*	۰/۴۲
					EC	I	۰/۰۳*	۰/۶۹
						E	۰/۰۶	۰/۳۱
						C	۰/۰۲*	۰/۴۲

سطح معناداری در آزمون تحلیل واریانس یک‌راهه، *سطح معناداری در آزمون تعقیبی حداقل اختلاف معنادار

مجله
دانشگاه علوم پزشکی قـــم

می‌شود و از آسیب سلولی جلوگیری می‌کند [۲۳]. کادمیوم یک آلاینده خطرناک است که می‌تواند در اندام‌های مختلف ازطریق آب، غذا و هوا انباشته شود و باعث آسیب باروری مردان شود که با ناباروری مردان و کیفیت پایین مایع منی مرتبط است [۳]. سیستم آنتی‌اکسیدانی در بیضه، متعاقباً آپوپتوز را کاهش می‌دهد و اختلالات تولیدمثلی مردانه ناشی از کادمیوم را محافظت می‌کند [۳].

توفاس و همکاران نشان دادند تمرین ورزشی در بیماران شریان کرونری بر وضعیت ردوکس در این بیماران تأثیر معناداری دارد و بین عوامل اکسیدانی و آنتی‌اکسیدانی تعادل ایجاد می‌کند [۲۴]. عمادی و همکاران نتیجه گرفتند تمرینات اینتروال کم‌حجم باعث بهبود دفاع آنتی‌اکسیدانی و توان هوازی زنان نجات‌یافته از سرطان پستان شده است [۲۵] در همین راستا، باقری نجف‌آباد و همکاران با مقایسه ۳۰ دختر ورزشکار هندبالیست و غیرورزشکار نشان دادند ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تام در دختران ورزشکار نسبت به دختران غیرورزشکار افزایش می‌یابد [۲۶].

باتوجه‌به نتایج به‌دست‌آمده از مطالعات انجام‌شده می‌توان به این نتیجه رسید که ورزش منظم باعث سازگاری در ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و محافظت از سلول‌ها در برابر اثرات مضر استرس اکسیداتیو می‌شود. سطوح رادیکال‌های آزاد در بافت بیولوژیکی بعد از تمرین حاد و مزمن افزایش می‌یابد که با تخریب بافت همراه است. ازطرفی، محققان گزارش کردند که تمرین منظم موجب سازگاری در ظرفیت آنتی‌اکسیدانی می‌شود و سلول‌ها را در مقابل تأثیرات مضر استرس اکسایدها محافظت می‌کند و درنتیجه از تخریب سلول و بافت، پیشگیری به‌عمل می‌آورد [۲۳].

فعالیت ورزشی در شدت‌های مختلف موجب سازگاری و افزایش ظرفیت دفاعی آنتی‌اکسیدانی می شود و متعاقب آن نقش پیشگیری و درمانی در بیماری‌های عمده مرتبط با استرس اکسیداتیو دارد [۲۷]. نتایج تحقیق دِ سوسا و همکاران نشان داد که صرف‌نظر از شدت، حجم، نوع تمرین و جمعیت مطالعه‌شده، شاخص‌های آنتی‌اکسیدانی به افزایش و شاخص‌های پراکسیدانی تمایل به کاهش بعد از تمرینات ورزشی هوازی تمایل دارند.

ازاین‌رو، می‌توان نتیجه گرفت که فعالیت بدنی اثر آنتی‌اکسیدانی را القا و برای کاهش یا متعادل کردن حالت پراکسیداسیونی ورزش هوازی مؤثر است [۱۸].

از دیگر نتایج این تحقیق می‌توان گفت که بین ۴ گروه تحقیقی در متغیر مالون‌دی‌آلدئید تفاوت معناداری وجود دارد که این تفاوت بیشتر بین گروه اینتکت و گروه کادمیوم و گروه آزمایش+کادمیوم دیده می‌شود. نتایج حاصل از مطالعات انسانی و حیوانی نشان می‌دهد که افزایش سیستمیک فعالیت متابولیک موجب تغییرات قابل‌توجهی در بیومولکول‌های بدن و سیستم‌های اکسیداتیو می‌شود [۲۸].

آسیب اکسیداتیو ناشی از ورزش در بافت‌ها به غشای سلولی آسیب می‌رساند و باعث تورم سلولی، کاهش جریان غشای سلولی، حفظ گرادیان یونی، التهاب بافت، آسیب دی‌ان‌ای و تغییرات پروتئین می‌شود. گزارش شده است که افزایش سطح مالون‌دی‌آلدئید متابولیسم، یکپارچگی و عملکرد سلول‌های عضلانی را مختل می‌کند و همچنین تمرینات هوازی منظم ممکن است سیستم اکسیداتیو را بهبود بخشد و استرس اکسیداتیو را کاهش دهد [۲۹].

طی پراکسیداسیون لیپیدی، لیپیدها شکسته شده و محصولاتی حاوی کربونیل پایدار مانند مالون‌دی‌آلدئید، ۴-هیدروکسی، ۲-آلکنال از اسیدهای چرب امگا-۶ تولید می‌شوند. از این دسته اسیدهای چرب می‌توان به دوکوزا هگزانوئیک اسید اشاره کرد که از مهم‌ترین اسیدهای چرب غیراشباع اسپرم است و در تنظیم سیالیت آن نقش اساسی دارد و از طرفی مهم‌ترین سوبسترای پراکسیداسیون لیپیدی است. این در حالی است که مالون‌دی‌آلدئید جهش‌زا و ۴- هیدروکسی-۲- آلکنال، توکسی ژنیک است. تولید این محصولات علاوه‌بر سمیت سلولی، خطرات دیگری مانند شکست دی‌ان‌ای اسپرم به همراه دارند.

بنابراین پراکسیداسیون لیپیدی[10] نه‌تنها به‌طور مستقیم سبب آسیب غشا و عملکرد آن می‌شود، بلکه به‌طور غیرمستقیم روی دی‌ان‌ای و سلامت آن نیز تأثیر می‌گذارد [۳۰] کادمیوم ازطریق کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی سوپر اکسید دیسموتاز گلوتاتیون ردوکتاز و گلوتاتیون پراکسیداز و افزایش پراکسیداسیون لیپید، کربوکسیلاسیون پروتئین موجب القای استرس اکسیداتیو شده و از این طریق سبب تغییر در بافت بیضه می‌شود [۳۱]. گونه‌های فعال اکسیژن به PUFAها حمله می‌کنند و درنهایت، موجب پراکسیداسیون لیپیدی و تشکیل مالون‌دی‌آلدئید می‌شود [۲۷].

به‌نظر می‌رسد مالون‌دی‌آلدئید می‌تواند از اسید آراشیدونیک، اسید α-لینولنیک و اسید لینولئیک تشکیل شود، علاوه بر PUFAهای نیتراتشده، نیتراسیون اسید آراشیدونیک نیز گزارش شده است [۳۰] سطح مالون‌دی‌آلدئید نیز ارتباط مثبتی با ناهنجاری‌های آکروزوم دارد. ازسوی‌دیگر، به‌خوبی نشان داده شده است که قرار گرفتن در معرض آلاینده‌های هوا می‌تواند باعث افزایش سیستمیک در استرس اکسیداتیو شود [۲۸].

نتایج لی و همکاران نشان داد با افزایش شدت تمرین، فعالیت سوپراکسید دیسموتاز[11] در موش‌های مبتلا به استئوآرتریت زانو به‌تدریج کاهش یافت. درحالی‌که سطوح مالون‌دی‌آلدئید و نیتریک اکساید[12] به‌تدریج افزایش یافت [۳۲] که با مطالعه حاضر هم‌خوان است. همچنین افروند و همکاران نتیجه گرفتند ۶ هفته

10. Lipid Per Oxidation (LPO)
11. Super Oxide Dismutase (SOD)
12. Nitric Oxide (NO)

تمرین هوازی با شدت متوسط بر سیستم آنتی‌اکسیدانی بافت قلب موش‌های دیابتی تأثیر مطلوبی دارد. به‌نظر می‌رسد تمرین با شدت متوسط تا حدودی باعث بهبود وضعیت اکسیداتیو می‌شود [۳۳].

نتایج کانتر و همکاران نشان می‌دهد ورزش با شدت کم با کاهش استرس اکسیداتیو و آپوپتوز و حفظ یکپارچگی میوکارد همراه است و اثر محافظتی درمانی در دیابت دارد [۳۴]. عبدالهی و همکاران نشان دادند ۴ هفته تمرین هوازی به همراه اکتاپامین موجب کاهش معنادار غلظت مالون‌دی‌آلدئید در موش‌های چاق می‌شود [۳۵] که با نتایج پژوهش حاضر مخالف است. این نتایج متفاوت ممکن است به‌دلیل تفاوت در شدت و حجم تمرین، نوع تغذیه و شرایط آزمودنی‌ها باشد.

امروزه شرکت در برنامه‌های ورزشی منظم ضرورتی انکارناپذیر برای پیشگیری از بروز بیماری‌ها و بهبود کیفیت زندگی به شمار می‌رود.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد قرار گرفتن در معرض کادمیوم، استرس اکسایدها را افزایش می‌دهد و این امر موجب ناباروری القاشده می‌شود و همچنین ورزش هوازی و کادمیوم موجب افزایش مالون‌دی‌آلدئید شده است. کلرید+کادمیوم موجب افزایش پراکسیداسیون لپید و همچنین کاهش قدرت آنتی‌اکسیدانی در بافت بیضه موش‌ها می‌شود.

نتایج حاکی از آن است که تمرین هوازی می‌تواند باعث متعادل‌سازی آثار مخرب کادمیوم شود. همچنین می‌توان نتیجه گرفت که انجام ورزش منظم با شدت متوسط بر هومئوستازی هورمون‌های بدن و افزایش توان باروری تأثیر مثبتی می‌گذارد و این امر می‌تواند شاخص‌های آنتی‌اکسیدانی درون‌زا را افزایش دهد و می‌توان اثربخشی را در بافت بیضه موش‌ها مشاهده کرد. آنتی‌اکسیدان‌ها بدن را در مقابل تولیدات استرس اکسیداتیو مقاوم‌تر می‌سازند.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد گرایش فیزیولوژی ورزشی است که در دانشگاه آزاد اسلامی قم اجرا شد. همه اصول اخلاقی تأییدشده توسط کمیته اخلاق دانشگاه قم با شماره کد IR.QOM.REC.1399.023 انجام شد.

حامی مالی

این پژوهش هیچ‌گونه کمک مالی از سازمانی‌های دولتی، خصوصی و غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

تمام نویسندگان در آماده‌سازی این مقاله مشارکت داشتند.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

تشکر و قدردانی

از همکاری پرسنل آزمایشگاه دانشگاه‌های علوم‌پزشکی و آزاد اسلامی قم که ما را در انجام این پژوهش یاری رساندند و نیز از دکتر حمید امینی که به‌عنوان راهنمای دوم در پایان‌نامه حضور داشتند، تشکر و قدردانی می‌شود.

References

[1] Yan X, Dong L, Liu Y, Yang F, Tan K, Li J, et al. Effects of physical exercises on semen quality and reproductive outcomes in male infertility: A protocol for systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. Medicine. 2019; 98(41):e17494. I:10.1097/MD.0000000000017494] [PMID] [PMCID]

[2] ES HB, El-Yamany MA. Chemical and nutraceutical studies on infertility of albino rats induced by cadmium chloride. Pak J Bio Sci. 2020; 23(10):1245-52. [DOI:10.3923/pjbs.2020.1245.1252] [PMID]

[3] Li X, Yao Z, Yang D, Jiang X, Sun J, Tian L, et al. Cyanidin-3-O-glucoside restores spermatogenic dysfunction in cadmium-exposed pubertal mice via histone ubiquitination and mitigating oxidative damage. J Hazard Mater. 2020; 387:121706. [DOI:10.1016/j.jhazmat.2019.121706] [PMID]

[4] Olaniyi KS, Amusa OA, Oniyide AA, Ajadi IO, Akinnagbe NT, Babatunde SS. Protective role of glutamine against cadmium-induced testicular dysfunction in Wistar rats: Involvement of G6PD activity. Life Sci. 2020; 242:117250. [DOI:10.1016/j.lfs.2019.117250] [PMID]

[5] Kheradmand A. [Improvement of sperm evaluation parameters following ghrelin treatment in cadmium-induced testicular injury in rats (Persian)]. J Isfahan Med Sch. 2014; 31(265):2053-62. [Link]

[6] Skolarczyk J, Budzynski M, Pekar J, Malecka-Massalska T, Skorzynska-Dziduszko K. The impact of cadmium on male infertility. J Elem. 2018; 23(1). [DOI:10.5601/jelem.2017.22.2.132]

[7] Barati E, Nikzad H, Karimian M. Oxidative stress and male infertility: Current knowledge of pathophysiology and role of antioxidant therapy in disease management. Cell Mol Life Sci. 2020; 77(1):93-113. [DOI:10.1007/s00018-019-03253-8] [PMID]

[8] Steiner AZ, Hansen KR, Barnhart KT, Cedars MI, Legro RS, Diamond MP, et al. The effect of antioxidants on male factor infertility: The males, antioxidants, and infertility (MOXI) randomized clinical trial. Fertil Steril. 2020; 113(3):552-60.e3. [DOI:10.1016/j.fertnstert.2019.11.008] [PMID] [PMCID]

[9] Ranchordas MK, Rogerson D, Soltani H, Costello JT. Antioxidants for preventing and reducing muscle soreness after exercise: A cochrane systematic review. Br J Sports Med. 2020; 54(2):74-8. [DOI:10.1136/bjsports-2018-099599] [PMID]

[10] Thirupathi A, Wang M, Lin JK, Fekete G, István B, Baker JS, et al. Effect of different exercise modalities on oxidative stress: A systematic review. Biomed Res Int. 2021; 2021:1947928. [DOI:10.1155/2021/1947928] [PMID] [PMCID]

[11] Higgins MR, Izadi A, Kaviani M. Antioxidants and exercise performance: With a focus on vitamin E and C supplementation. Int J Environ Res Public Health. 2020; 17(22):8452. [DOI:10.3390/ijerph17228452] [PMID] [PMCID]

[12] Khoobkhahi N, Delavar R, Nayebifar S. The combinatory effects of combined training (endurance-resistance) and garlic supplementation on oxidative stress and antioxidant adaptations in untrained boys. Sci Sports. 2019; 34(6):410.e1-7. [DOI:10.1016/j.scispo.2019.05.007]

[13] Golbidi S, Badran M, Laher I. Antioxidant and anti-inflammatory effects of exercise in diabetic patients.Exp Diabetes Res. 2012; 2012:941868. [DOI:10.1155/2012/941868] [PMID] [PMCID]

[14] Ahmadi M, Abbassi Daloii A, Shadmehri S, Aghaei Bahmanbeglu N. Compare the effect of eight weeks aerobic and resistance training on oxidant, antioxidant status and lipid profile in obese girls. J Sport Exerc Physiol. 2018; 11(1):139-52. [Link]

[15] Satilmiş N, Çimen L, Çetin İC, Polat Y, Çimen B. Effects of aerobic exercise on oxidant/antioxidant status in obese boys: A controlled trial. Exp Appl Med Sci. 2021; 2(1):117-27. [DOI:10.46871/eams.2021.15]

[16] Qin F, Xu MX, Wang ZW, Han ZN, Dong YN, Zhao JX. Effect of aerobic exercise and different levels of fine particulate matter (PM2.5) on pulmonary response in Wistar rats. Life Sci. 2020; 254:117355 [DOI:10.1016/j.lfs.2020.117355] [PMID]

[17] Usefpor M, Ghasemnian AA, Rahmani A. [The effect of a period of high intensive interval training on total antioxidant capacity and level of liver tissue malondialdehyde in male Wistar rats (Persian)]. Sci J Kurdistan Univ Med Sci. 2017; 22(5):103-10. [DOI:10.22102/22.5.103]

[18] de Sousa CV, Sales MM, Rosa TS, Lewis JE, de Andrade RV, Simões. The antioxidant effect of exercise: A systematic review and meta-analysis. Sports Med. 2017; 47(2):277-93. [DOI:10.1007/s40279-016-0566-1] [PMID]

[19] Ghahreman E, Eidi A, Mortazavi P, Oryan S. [Protective effect of purslane (portulaca oleracea) on cadmium chloride-induced testicular damage in adult male Wistar rats (Persian)]. J Comp Pathobiol Iran. 2019; 16(3):2883-92. [Link]

[20] Afzalpour ME, Taheri Chadorneshin H, Foadoddini M, Abtahi Eivari H. Comparing interval and continuous exercise training regimens on neurotrophic factors in rat brain. Physiol Behav. 2015; 147:78-83. [DOI:10.1016/j.physbeh.2015.04.012] [PMID]

[21] Nikokalam Nazif N, Khosravi M, Ahmadi R, Bananej M, Majd A. Effect of treadmill exercise on catalepsy and the expression of the BDNF gene in 1-methyl-4-phenyl-1, 2, 3, 6-tetrahydropyridine-induced parkinson in male NMRI mice. Iran J Basic Med Sci. 2020; 23(4):483-93. [DOI:10.22038/ijbms.2020.37707.8960] [PMID] [PMCID]

[22] Fraga CG, Oteiza PI, Galleano M. In vitro measurements and interpretation of total antioxidant capacity. Biochim Biophys Acta. 2014; 1840(2):931-4. [DOI:10.1016/j.bbagen.2013.06.030] [PMID]

[23] Rezaei S, Abbassi Daloi A, Barari Ar, Ahmadi M. [Effect of eight weeks aerobic training on the levels of antioxidant enzymes in the heart tissue of type 2 diabetic rats (Persian)]. J Anim Physiol Dev. 2020; 13(4):49-60. [Link]

[24] Tofas T, Fatouros IG, Draganidis D, Deli CK, Chatzinikolaou A, Tziortzis C, et al. Effects of cardiovascular, resistance and combined exercise training on cardiovascular, performance and blood redox parameters in coronary artery disease patients: An 8-month training-detraining randomized intervention. Antioxidants. 2021; 10(3):409. [DOI:10.3390/antiox10030409] [PMID] [PMCID]

[25] Emadi S, Azamian Jazi A, Hemati S. [Effect of 6 weeks of low-volume high-intensity interval training on antioxidant defense and aerobic power in female survivors of breast cancer (Persian)]. Med J Mashhad Univ Med Sci. 2018; 60(6):779-91. [DOI:10.22038/MJMS.2018.10742]

[26] Bagheri Najafbad A, Sharifi G, Mirzaei A. [Comparsion of oxidative stress index and plasma antioxidant capacity among female handball atheletes and non athlete females (Persian)]. Armaghan-e-Danesh. 2012; 17(4):349-58. [Link]

[27] Parastesh M, Yousefvand Z, Moghadasi S. [Comparison of the effect of moderate-intensity interval training (MICT) and high-intensity interval training (HIIT) on testicular structure, serum level of malondialdehyde and total antioxidant capacity of male diabetic rats (Persian)]. Daneshvar Med. 2020; 27(2):27-40. [DOI:10.22070/27.141.27]

[28] Zhang G, Jiang F, Chen Q, Yang H, Zhou N, Sun L, et al. Associations of ambient air pollutant exposure with seminal plasma MDA, sperm mtDNA copy number, and mtDNA integrity. Environ Int. 2020; 136:105483. [DOI:10.1016/j.envint.2020.105483] [PMID]

[29] Algul S, Ugras S, Kara M. Comparative evaluation of MDA levels during aerobic exercise in young trained and sedentary male subjects. East J Med. 2018; 23(2):98-101. [DOI:10.5505/ejm.2018.40469]

[30] Tsikas D. Assessment of lipid peroxidation by measuring malondialdehyde (MDA) and relatives in biological samples: Analytical and biological challenges. Anal Biochem. 2017; 524:13-30. [DOI:10.1016/j.ab.2016.10.021] [PMID]

[31] Chehreii S, Momeni H, Atabaki Z. [Effect of curcumin on plasma membrane integrity and stress oxidative factors testis and serum in mice treated with cadmium chloride (Persian)]. Cell Tissue J. 2018; 9(1):1-11. [DOI:10.52547/JCT.9.1.1]

[32] Li X, Sun G, Zhu W, Wang Y. Effects of high intensity exhaustive exercise on SOD, MDA, and NO levels in rats with knee osteoarthritis. Genet Mol Res. 2015; 14(4):12367-76. [DOI:10.4238/2015.October.16.3] [PMID]

[33] Afrundeh R, Khajehlandi M, Mohammadi R. [Comparison of the effect of 6 weeks aerobic training on the activity of catalase enzyme and malondialdehyde in heart tissue of healthy and streptozotocin-diabetic male wistar rats (intervention: Experimental) (Persian)]. Stud Med Sci. 2019; 30(5):337-46. [Link]

[34] Kanter M, Aksu F, Takir M, Kostek O, Kanter B, Oymagil A. Effects of low intensity exercise against apoptosis and oxidative stress in streptozotocin-induced diabetic rat heart.Exp Clin Endocrinol Diabetes. 2017; 125(09):583-91. [DOI:10.1055/s-0035-1569332] [PMID]

[35] Abdollahi S, Mohamadzadeh Salamat K, Azizbeigi K, Etemad Z. [The effect of 4 weeks of aerobic training and octapamine on the levels of malondialdehyde and caspase 3 in brown adipose tissue in rats received deeply heated oils treatment (Persian)]. J Jiroft Univ Med Sci. 2020; 7(2):394-403. [Link]