



## The effect of exercise training on testicular structure and serum levels of oxidative stress in male rats under X-ray

Mohammad Parstesh<sup>1,2\*</sup>, Zahra Ansari<sup>3</sup>, Behzad Aria<sup>4</sup>, Majid Mardaniyan Ghahfarrokhi<sup>2,5</sup>

1. Corresponding Author, Associate Professor, Department of Exercise Physiology, Faculty of Sports Sciences, Arak University, Arak, Iran. M-Parasteah@Araku.ac.ir
2. Research Institute of Applied Studies of Sports Sciences, Arak University, Arak, Iran.
3. MSC, Department of Exercise Physiology, Faculty of Sports Sciences, Arak University, Arak, Iran. Z-Ansari@msc.araku.ac.ir
4. Assistant Professor, Department of Physical Education and Sports Science, Faculty of Psychology and Educational Sciences, Yazd University, Yazd, Iran. B-Aria@Yazd.ac.ir
5. Assistant Professor, Department of Exercise Physiology, Faculty of Sports Sciences, Arak University, Arak, Iran. M-Mardani@Araku.ac.ir

### Article Information

**Article type:** Research Article

**Vol:** 16

**No:** 32

**P:** 71-82

**Received:** 2024-07-12

**Revised:** 2025-01-11

**Accepted:** 2025-01-16

### Cite this Article:

Mohammad Parstesh, Zahra Ansari, Behzad Aria, Majid Mardaniyan Ghahfarrokhi. The effect of exercise training on testicular structure and serum levels of oxidative stress in male rats under X-ray. *Journal of Sport and Biomotor Sciences*. 2024-2025; 16(32): 71-82.

doi: 10.22034/sbs.2025.467544.1110

**Publisher:** Hakim Sabzevari University

© The Author(s)



 10.22034/sbs.2025.467544.1110

### Abstract

**Introduction and Purpose:** X-ray is the most common method of cancer treatment. It seems that the side effects caused by X-ray therapy make its use a challenge.

**Materials and Methods:** In this experimental study, 24 male rats were randomly divided into 4 groups (healthy control, X-ray control, healthy training, and X-ray training). The X-ray groups received a total body dose of 4 Gray in a single exposure. The interval training groups underwent intense training for 8 weeks. To measure serum oxidative variables, MDA, TAC, and CAT enzyme levels were assessed using the ELISA method. Additionally, evaluations of testis were conducted using a passage device and related formulas. The data were analyzed using one-way analysis of variance in SPSS software at a significance level of 0.05.

**Results:** X-rays caused a significant increase in malondialdehyde (MDA), a significant decrease in total antioxidant capacity (TAC), and a significant decrease in catalase (CAT) in the X-ray control group compared to the healthy control group ( $P \leq 0.05$ ). Malondialdehyde (MDA) in the X-ray groups combined with interval training showed a significant reduction compared to the X-ray control group ( $P \leq 0.05$ ). Additionally, serum levels of total antioxidant capacity (TAC) and catalase enzyme (CAT) in the X-ray group combined with interval training showed a significant increase compared to the X-ray control group ( $P \leq 0.05$ ). Furthermore, X-rays caused a significant reduction in testicular volume, volume of seminiferous tubules, and diameter of seminiferous tubules in the X-ray control group compared to the healthy control group ( $P \leq 0.05$ ). On the other hand, interval training resulted in a significant increase in the variables (testicular volume, volume of interstitial tubules, and diameter of seminiferous tubules) in the X-ray groups combined with interval training compared to the X-ray control group ( $P \leq 0.05$ ).

**Discussion and Conclusion:** It seems that interval training can improve testicular structure and also reduce oxidative stress conditions in serum, thereby mitigating the testicular dysfunction induced by X-ray exposure. This improvement was particularly noted in testicular structure, especially in variables such as testicular volume, volume of interstitial tubules, and diameter of seminiferous tubules.

**Key words:** X-ray, High-intensity interval training, Malondialdehyde, Testicular stereology

## **Extended Abstract**

### **1. Introduction and Purpose**

X-rays are a common method used for cancer treatment, aiming to destroy cancerous cells. However, this therapeutic approach can also damage adjacent healthy tissues and cause numerous side effects. One of the most significant complications of X-rays is the damage to testicular tissue and the induction of oxidative stress, which can lead to sexual dysfunction and infertility in patients. Oxidative stress caused by X-rays increases the production of free radicals and reduces antioxidant levels in the body, resulting in damage to cells and tissues. Conversely, exercise is recognized as a non-invasive and safe method for mitigating the side effects of cancer treatments. Studies have shown that physical activities, particularly high-intensity interval training (HIIT), can elevate antioxidant levels and reduce oxidative stress. This study aims to investigate the effects of high-intensity interval training on testicular structure and serum levels of oxidative stress in male rats exposed to X-rays. It is hoped that the findings of this research will contribute to effective strategies for reducing the side effects of X-ray therapy and improving the quality of life for patients undergoing treatment.

### **2. Materials and Methods**

In this experimental study, 24 male Sprague-Dawley rats with an average weight of 221 grams were obtained from the Animal Breeding Center of Arak University of Medical Sciences. The rats were housed for one week under standard conditions (temperature of 23°C, 12-hour light/dark cycle) with free access to water and food to acclimatize to their new environment. Subsequently, the rats were randomly divided into four groups of six: the healthy control group, the X-ray control group, the healthy high-intensity interval training (HIIT) group, and the HIIT combined with X-ray group. The X-ray groups received a single dose of 4 Gy X-ray radiation using an Elekta device. The training groups underwent an 8-week high-intensity interval training program on a treadmill, which consisted of three phases: familiarization, overload, and stabilization. At the end of the period, the rats were anesthetized, and blood and testicular tissue samples were collected. Levels of malondialdehyde (MDA), total antioxidant capacity (TAC), and the catalase enzyme (CAT) were measured using kits from Teb Pazhouhan Razi Company (manufactured in Iran). The structure of the testes was examined in terms of volume, seminiferous tubule diameter, and germinal epithelium height. Data

were analyzed using SPSS software and one-way ANOVA.

### **3. Results**

The findings of this study demonstrated that X-ray exposure significantly increased the levels of malondialdehyde (MDA) and decreased the total antioxidant capacity (TAC) and catalase enzyme (CAT) levels in the X-ray control group ( $P \leq 0.05$ ). Additionally, X-ray exposure led to a reduction in testicular volume and the volume of seminiferous tubules in this group. In contrast, groups subjected to high-intensity interval training (HIIT) combined with X-ray exposure exhibited a significant decrease in MDA levels and a significant increase in TAC and CAT levels ( $P \leq 0.05$ ). Furthermore, interval training improved testicular structure, including an increase in testicular volume and the diameter of seminiferous tubules in the trained groups ( $P \leq 0.05$ ). These findings indicate that interval training can mitigate the adverse effects of X-ray exposure on the testes and oxidative stress levels.

### **4. Conclusions**

This study revealed that high-intensity interval training can mitigate the detrimental effects of X-ray exposure on testicular structure and serum oxidative stress levels. Improvements in stereological parameters and reductions in oxidative stress in the trained groups underscore the positive impact of exercise in alleviating the side effects of X-ray exposure. These findings suggest that high-intensity interval training could be considered a non-invasive strategy to enhance sexual function and reduce the adverse effects associated with X-ray cancer therapy. Overall, high-intensity interval training may serve as an effective method to lessen the side effects of X-ray exposure on testicular structure and serum oxidative stress levels in male rats.

### **5. Acknowledgment & Funding**

The authors of the article feel it necessary to extend their gratitude and appreciation to all individuals who assisted them in conducting this research.

### **6. Ethical Consideration**

This study was conducted in compliance with ethical principles and was approved by the Ethics Committee of Arak University with the ethical code: (IR.ARAKU.REC.1398.162).

### **7. Contribution of authors**

All authors participated in reviewing and approving the final version of the article and take full responsibility for its content.

### **8. Conflict of interest**

The authors declare no conflict of interest.

## تأثیر تمرین ورزشی بر ساختار بیضه و سطوح سرمی استرس اکسیداتیو موش‌های صحرایی نر تحت اشعه ایکس

محمد پرستش<sup>۱\*</sup>، زهرا انصاری<sup>۳</sup>، بهزاد آریا<sup>۴</sup>، مجید مردانیان قهفرخی<sup>۵</sup>

۱. نویسنده مسئول، دانشیار، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه اراک، اراک، ایران. M-Parastesh@Araku.ac.ir
۲. پژوهشگر مطالعات کاربردی در علوم ورزشی، دانشگاه اراک، اراک، ایران.
۳. کارشناس ارشد، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه اراک، اراک، ایران. Z-ansari@msc.araku.ac.ir
۴. استادیار، دانشکده روانشناسی و علوم تربیتی، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه یزد، یزد، ایران. B-Aria@yazd.ac.ir
۵. استادیار، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه اراک، اراک، ایران. M-Mardani@Araku.ac.ir

| اطلاعات مقاله            | چکیده                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| نوع مقاله: پژوهشی        | مقدمه و هدف: اشعه ایکس متداول ترین روش درمان سرطان است. به نظر می‌رسد که آسیب‌های جانبی ناشی از درمان اشعه ایکس استفاده از آن را با چالش مواجه می‌کند.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| دوره: ۱۶                 | مواد و روش‌ها: در این مطالعه تجربی ۲۴ سر موش صحرایی نر به طور تصادفی به ۴ گروه (کنترل سالم، کنترل اشعه ایکس، تمرین تناوبی سالم و اشعه ایکس به همراه تمرین تناوبی) تقسیم شدند. در گروه‌های اشعه ایکس ۴ گری به صورت کل بدن و تک دوز اشعه ایکس دریافت کردند. گروه‌های تمرینی تناوبی را به مدت ۸ هفته اجرا کردند. جهت اندازه‌گیری سرمی متغیرهای TAC، MDA، CAT از روش الایزا استفاده شد. همچنین ارزیابی‌های استرولوژی حجم بیضه، حجم لوله‌های منی‌ساز و بافت بینابینی با استفاده از دستگاه پاساژ و فرمول‌های وابسته انجام شد. داده‌ها با آزمون آماری آنالیز واریانس یک‌طرفه در نرم‌افزار SPSS در سطح معناداری ۰/۰۵ تجزیه و تحلیل شدند.                                                                                                                                |
| شماره: ۳۲                | یافته‌ها: اشعه ایکس موجب افزایش معنادار MDA، کاهش معنادار TAC و CAT در کنترل اشعه ایکس نسبت به گروه کنترل سالم شد ( $P \leq 0/05$ ). در گروه اشعه ایکس به همراه تمرین تناوبی نسبت به گروه کنترل اشعه ایکس کاهش معنادار یافت ( $P \leq 0/05$ ). همچنین سطح سرمی TAC و CAT در گروه اشعه ایکس به همراه تمرین تناوبی نسبت به گروه کنترل اشعه ایکس افزایش معنادار مشاهده شد ( $P \leq 0/05$ ). همچنین اشعه ایکس موجب کاهش معنادار حجم بیضه و حجم لوله‌های منی‌ساز و قطر لوله‌های منی‌ساز در گروه کنترل اشعه ایکس نسبت به کنترل اشعه ایکس شد ( $P \leq 0/05$ ). از طرفی تمرین تناوبی موجب افزایش معنادار متغیرهای (حجم بیضه، حجم لوله‌های بینابینی و قطر لوله‌های منی‌ساز) در گروه اشعه ایکس به همراه تمرین تناوبی نسبت به گروه کنترل اشعه ایکس شد ( $P \leq 0/05$ ). |
| صفحه: ۸۲-۷۱              | بحث و نتیجه‌گیری: به نظر می‌رسد تمرین تناوبی می‌تواند از طریق بهبود ساختار بیضه و همچنین شرایط استرس اکسیداتیو سرمی، کاهش عملکرد بیضه ناشی از القاء اشعه ایکس را بهبود دهد. این بهبود نیز در ساختار بیضه بویژه متغیرهایی مانند حجم بیضه، حجم لوله‌های بینابینی و قطر لوله‌های منی‌ساز بود.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۴/۲۲  | واژه‌های کلیدی: اشعه ایکس، تمرینات تناوبی با شدت بالا، مالون‌دی‌آلدئید، استرولوژی بیضه                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۲ |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۷  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

### نحوه ارجاع به این مقاله:

محمد پرستش، زهرا انصاری، بهزاد آریا، مجید مردانیان قهفرخی. تأثیر تمرین ورزشی بر ساختار بیضه و سطوح سرمی استرس اکسیداتیو موش‌های صحرایی نر تحت اشعه ایکس. نشریه ورزش و علوم زیست حرکتی. ۱۴۰۳؛ ۱۶(۳۲): ۸۲-۷۱

Doi: 10.22034/sbs.2025.467544.1110

ناشر: دانشگاه حکیم سبزواری



نویسنده(گان).

## مقدمه

امروزه پروتوهای یونیزان (اشعه ایکس و گاما) کاربرد گسترده‌ای در علوم مختلف به ویژه علوم پزشکی برای تشخیص و درمان بیماری‌ها دارند. با پیشرفت‌های سریع تکنولوژی در دو دهه‌ی گذشته تعداد آزمون‌های رادیولوژی تشخیصی، گسترش قابل توجهی داشته است. بررسی‌ها نشان می‌دهد روزانه بیش از ۱۰ میلیون آزمون پرتونگاری در دنیا انجام می‌شود (۱). آمار ابتلا به سرطان در جهان درحال افزایش است و سرطان یکی از علل مرگ و میر در جهان است. روش‌های مورد استفاده برای درمان سرطان شامل جراحی، شیمی‌درمانی و اشعه ایکس است (۲). از اصلی‌ترین روش‌های درمانی اشعه ایکس است که گاهی به تهایی و گاهی در ترکیب با دیگر روش‌های درمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. اشعه ایکس علاوه بر تهاجم و حذف سلول‌های سرطانی به سلول‌های طبیعی مجاور نیز آسیب می‌رساند (۳). در تابش پروتوهای یونیزان تلاش بر تمرکز پروتو روی ناحیه‌ی هدف است ولی نواحی و سلول‌های سالم نیز تحت تاثیر اشعه قرار گرفته و آسیب می‌بینند. اختلال عملکرد جنسی و ناباروری از اثرات رایج اشعه ایکس هستند، که در اغلب مردان و زنان تحت اشعه ایکس ناحیه شکم و لگن و بیش از یک چهارم افراد با سرطان‌های دیگر می‌تواند ایجاد شود. این اختلالات معمولاً به علت آسیب اعصاب، رگ‌های خونی و هورمون‌هایی که عملکرد طبیعی جنسی را کنترل می‌کنند، مرتبط است (۴). سمیت بیضه ناشی از پرتودرمانی پس از اشعه ایکس پروستات می‌تواند منجر به آتروفی بیضه، تغییر در هورمون‌های جنسی نر و کیفیت زندگی جنسی شود (۵). اثر منفی اشعه ایکس بر روی بیضه ناهنجاری در اسپرماتوژنز، کاهش تولید اسپرم و تعداد اسپرم کم، اسپرم غیرطبیعی، عملکرد ناقص اسپرم، آپوپتوز سلول‌های زایا، از دست دادن وزن بیضه و عقیم شدن موقتی یا دائم وابسته به دوز است (۵، ۶). این آسیب بیضه ناشی از اشعه ایکس از طریق تولید بیش از حد ROS و کاهش سطح آنتی‌اکسیدان‌ها رخ می‌دهد (۳). شواهد اولیه نشان می‌دهد که ورزش برای بهبود عوارض جانبی مختلف سرطان و درمان سرطان بی‌خطر و مفید است (۷). مدل‌های حیوانی و مطالعات اپیدمیولوژیکی انسان نشان می‌دهد که ورزش قبل، حین و بعد از درمان سرطان نتایج مثبتی را ارائه می‌دهد. استفاده فزاینده از ورزش در افراد سرطانی تحت درمان، با بهبود آمادگی قلبی تنفسی، قدرت عضلات و عملکرد بدنی نتایج امیدوارکننده‌ای نشان داده است (۸). شرکت بیماران تحت درمان اشعه ایکس در ورزش و فعالیت‌های بدنی بی‌خطر و قابل دستیابی است و حتی برای سلامت جسمانی و روانی فرد مزایایی را به همراه دارد (۹). بنابراین، به نظر می‌رسد تجویز فعالیت‌های ورزشی برای بیماران مبتلا به سرطان ضرورت دارد. اما با توجه به

وضعیت خاص روحی و روانی این بیماران، ممکن است استفاده از تمرین اینتروال کم حجم با شدت بالا معقول‌تر باشد (۱۰). زیرا، این نوع تمرین با مدت زمان کوتاه و اثربخشی قابل توجه می‌تواند آمادگی بی‌هوازی و همچنین آمادگی هوازی را به طور همزمان بهبود بخشد. علاوه بر این، خستگی کلی ناشی از این تمرینات کمتر است و به مراتب با صرف وقت کمتری قابل انجام هستند (۷، ۱۱). همچنین، مشخص شده است که به دنبال تمرینات شدید پاسخ التهابی بهتری به صورت کاهش شاخص‌های التهابی و پیش التهابی و همچنین استرس اکسیداتیو در نمونه‌های مبتلا به سرطان ایجاد می‌شود (۱۲).

به نظر می‌رسد مطالعه‌ای روی تأثیر تمرین تناوبی با شدت بالا بر ساختار بافت بیضه و سطوح سرمی مالون‌دی‌آلدئید موش‌های صحرایی نر تحت تابش اشعه ایکس صورت نگرفته است. بنابراین فرض پژوهش بر این است که احتمالاً شرکت در برنامه‌های ورزشی می‌تواند ساختار بافت بیضه و سطوح سرمی مالون‌دی‌آلدئید را در موش‌های صحرایی تحت تابش اشعه ایکس بهبود بخشد.

## روش شناسی

در این مطالعه تجربی ۲۴ سر موش صحرایی نر نژاد اسپراک داوولی (sprague dawley) با میانگین وزنی ۲۲۱ گرم در مرکز پرورش حیوانات دانشگاه علوم پزشکی اراک در شرایط استاندارد (دمای ۲۳ درجه سانتیگراد و نور محیطی با شرایط ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی) با دسترسی آزاد به آب و غذا طبق کدخالق به شماره IR.ARAKU.REC.1398.162 به مدت یک هفته به منظور سازگاری با محیط نگهداری شدند تا استرس احتمالی ناشی از تغییر مکان زندگی از بین رفته و به شرایط جدید عادت کنند. سپس موش‌ها به طور تصادفی به ۴ گروه ۶ تایی (گروه کنترل سالم، گروه کنترل اشعه ایکس، گروه تمرین تناوبی و گروه تمرین تناوبی همراه با اشعه ایکس) تقسیم شدند. همه‌ی آزمایشات در دانشگاه علوم پزشکی اراک صورت گرفت. پرتوگیری: جهت تابش اشعه، موش‌ها را به بیمارستان آیت‌الله خوانساری اراک - ایران برده و در قفس‌هایی با تهویه مناسب نگهداری شدند و حرکت آنها محدود شد و ۴Gy اشعه ایکس با استفاده از دستگاه Elekta مدل Precise Treatment System ساخت کشور سوئد در یک جعبه پرسپکس با ابعاد ۳۵ در ۳۵ سانتی‌متر و به فاصله ۶۰ سانتی‌متر از منبع تابش در معرض اشعه ایکس قرار گرفتند. تابش با سرعت ۳۰۰ mu/min و شدت ۹۰ کیلوولت (کیلو ولت)، ۵۰۰ میلی‌آمپر ثانیه بود. پرتو ایکس نیز به صورت تابش به کل بدن و یک مرتبه (تک دوز) بود (۱۳).



$$lv = 2 \times \frac{\sum_{i=1}^n Qi}{\frac{a}{f} \cdot \sum_{i=1}^n Pi}$$

که در آن  $\sum Qi$  مجموع توبول‌های انتخاب شده، سطح فریم مورد نظر در مقیاس واقعی بافت و  $\sum Pi$  مجموع نقاط برخورد کرده با بافت بیضه است. سپس با ضرب دانسیته طولی (LV) در حجم نهایی کل بیضه ( $V_{testis}$ ) طول لوله‌های منی‌ساز به دست آمد (۱۸).

$$LVt = LV \times V_{testis}$$

برای به دست آوردن ارتفاع اپی‌تلیوم زایشی از رابطه  $H = V_v / S_v$  استفاده شد که در آن  $V_v$  دانسیته حجمی اپی‌تلیوم زایشی و  $S_v$  دانسیته سطحی اپی‌تلیوم زایشی است. برای به دست آوردن دانسیته حجمی اپی‌تلیوم زایشی تعداد نقاط برخورد پروب سطح با اپی‌تلیوم زایشی شمارش و بر مجموع نقاط برخورد کرده با بافت بیضه تقسیم شد، به این ترتیب دانسیته حجمی اپی‌تلیوم زایشی به دست آمد. برای محاسبه دانسیته سطحی (SV) اپی‌تلیوم زایشی، از پروب سطحی و معادله زیر استفاده شد (۱۸): که در آن  $\sum I$  مجموع تعداد برخوردهای خطوط پروب با سطح لومنی اپی‌تلیوم زایشی،  $\sum P$  تعداد کل نقاط برخورد کرده با اپی‌تلیوم زایشی و  $L/P$  طول گرید سطح در مقیاس واقعی بافت است.

$$Sv = 2 \times \frac{\sum_{i=1}^n Ii}{\frac{L}{P} \cdot \sum_{i=1}^n Pi}$$

### روش‌های آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها توسط آزمون تحلیل واریانس یک طرفه (ANOVA) و آزمون تعقیبی توکی برای بررسی تفاوت‌های بین گروهی استفاده شد. داده‌ها بصورت میانگین  $\pm$  انحراف معیار ارائه شدند و تمام عملیات آماری تحقیق توسط نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام شد و سطح معنی‌داری آزمون‌ها  $P < 0.05$  در نظر گرفته شد.

بررسی میزان مالون‌دی‌آلدئید سرم: جهت اندازه‌گیری متغیرهای اکسیداتیو با استفاده از کیت‌های شرکت طب پژوهان رازی (ساخت کشور ایران) سطح سرمی مالون‌دی‌آلدئید (MDA) در محدوده اندازه‌گیری ۵۰-۱ میکرومول، ظرفیت تام آنتی‌اکسیدانتی (TAC) در محدوده اندازه‌گیری ۴۲۰-۴۵ میکرومول و آنزیم کاتالاز (CAT) در محدوده اندازه‌گیری ۹۰-۱ میکرومول اندازه‌گیری شدند. مطابق با دستور شرکت سازنده کیت، رقت‌های محلول استاندارد آماده و برای رسم منحنی استاندارد استفاده شد. هر نمونه دو بار تهیه شد و در دستگاه الایزا ریدر در طول موج ۵۳۰ نانومتر خوانده شد. از میانگین دو بار خوانش دستگاه الایزا ریدر به عنوان جذب نوری برای محاسبه مقدار نهایی استفاده شد (۱۶).

بررسی‌های استریولوژیکی: به منظور بررسی‌های استریولوژیکی، از بافت‌های ثابت شده برش‌های (IUR) گرفته شد. پس از آن با استفاده از دستگاه پاساژ، مراحل پاساژ بافتی انجام شد و سپس برش‌ها با استفاده از پارافین مذاب قالب‌گیری شدند و توسط دستگاه میکروتوم برش‌های ۵ و ۲۰ میکرونی از آن‌ها تهیه شد و به روش هماتوکسیلین - ائوزین رنگ‌آمیزی شدند. برای برآورد میزان چروکیدگی بافتی دو یا سه برش تروکار از برش‌های IUR پیش از پاساژ بافتی تهیه و شعاع آنها اندازه‌گیری شد. پس از مراحل پاساژ بافتی و رنگ‌آمیزی، شعاع آن‌ها دوباره اندازه‌گیری و میزان چروکیدگی محاسبه شد. حجم بیضه در میزان چروکیدگی ضرب و به این ترتیب حجم کل بیضه محاسبه شد. برای محاسبه حجم لوله‌های منی‌ساز و بافت بینابینی به طور میانگین ۵ میدان دید از هر اسلاید ۵ میکرونی با میکروسکوپ (Olympus DP12) بزرگنمایی انتخاب شد و با قرار دادن تصادفی پروب نقطه بر روی میدان دید نقاط برخورد کرده به کل بافت و نقاط برخورد کرده به لوله‌های منی‌ساز و بافت بینابینی شمارش شد و بدین ترتیب چگالی حجمی هر یک برآورد شد سپس با ضرب چگالی حجمی هر یک در حجم نهایی بیضه حجم هر یک محاسبه شد. برای محاسبه قطر لوله‌های منی‌ساز ابتدا از میدان‌های دیدی که با روش نمونه‌گیری منظم و بزرگنمایی ۱۰ انتخاب شده بود به کمک میکروسکوپ مدل (Olympus Bx41TE) ساخت ژاپن و نرم‌افزار olaysia عکس‌برداری صورت گرفت، سپس با استفاده از فریم مخصوص شمارش<sup>۲</sup> و نرم‌افزار موتیک<sup>۳</sup> قطر عمود بر محور طولی ۱۵۰ لوله منی‌ساز اندازه‌گیری شد (۱۷). برای محاسبه طول لوله‌های منی‌ساز، از عکس‌های مربوط به قطر لوله‌های منی‌ساز و فریم مخصوص شمارش طول استفاده شد و سرانجام دانسیته طولی لوله‌های منی‌ساز با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:





شکل ۱. تصویرهای میکروسکوپی از بافت بیضه موش‌های صحرایی در گروه‌های مختلف (برش‌های ۵ میکرونی، با رنگ آمیزی هماتوکسیلین - ائوزین، بزرگمایی 40x).

## یافته‌ها

منی‌ساز بین گروه‌های مختلف وجود دارد ( $P=0/001$ )، در همین راستا نتایج آزمون تعقیبی توکی (Tukey) ( $F=19/83$ ) نشان داد میانگین حجم لوله‌های منی‌ساز در گروه کنترل اشعه ایکس نسبت به گروه کنترل سالم (H-C) کاهش معنی‌داری یافته است ( $P=0/001$ )، اما میانگین حجم لوله‌های منی‌ساز در گروه اشعه ایکس به همراه تمرین تناوبی (XR-HIIT) نسبت به گروه کنترل کنترل اشعه ایکس (XR-C) افزایش معنی‌داری نشان داد ( $P=0/024$ ) (جدول ۱). از طرفی تحلیل واریانس یکطرفه نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین حجم بافت بینابینی بین گروه‌های مختلف وجود ندارد ( $F=2/08$ ,  $P=0/134$ ) (جدول ۱).

حجم کل بیضه، حجم لوله‌های منی‌ساز و حجم بافت بینابینی: تحلیل واریانس یک طرفه (ANOVA) نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین حجم کل بیضه گروه‌های مختلف وجود دارد ( $F=16/09$ ,  $P=0/001$ )، در همین راستا نتایج آزمون تعقیبی توکی (Tukey) نشان داد حجم کل بیضه در گروه کنترل اشعه ایکس نسبت به گروه کنترل سالم (H-C) کاهش معنی‌داری یافته است ( $P=0/001$ )، اما حجم کل بیضه در گروه اشعه ایکس به همراه تمرین تناوبی (XR-HIIT) نسبت به گروه کنترل کنترل اشعه ایکس (XR-C) افزایش معنی‌داری نشان داد ( $P=0/024$ ) (جدول ۱). همچنین تحلیل واریانس یک طرفه (ANOVA) نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین میانگین حجم لوله‌های

جدول ۱. مقایسه میانگین حجم کل بیضه، حجم لوله‌های منی‌ساز و حجم بافت بینابینی در گروه‌های مختلف (میانگین  $\pm$  انحراف معیار)

| گروه‌ها                    | میانگین حجم بیضه ( $\text{mm}^3$ ) | میانگین حجم لوله‌های منی‌ساز ( $\text{mm}^3$ ) | میانگین حجم بافت بینابینی ( $\text{mm}^3$ ) |
|----------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| کنترل سالم                 | $680/00 \pm 149/39$                | $538/23 \pm 131/33$                            | $134/95 \pm 26/60$                          |
| کنترل تحت اشعه ایکس        | $348/33 \pm 66/15^a$               | $232/66 \pm 50/90^a$                           | $112/18 \pm 18/95$                          |
| تمرین تناوبی سالم          | $740/00 \pm 122/47^b$              | $589/63 \pm 107/00^b$                          | $142/93 \pm 27/05$                          |
| تمرین تناوبی تحت اشعه ایکس | $445/00 \pm 80/43^{abc}$           | $323/75 \pm 56/60^{abc}$                       | $114/28 \pm 29/48$                          |

a: تفاوت معنادار با گروه کنترل سالم، b: تفاوت معنادار با گروه کنترل اشعه ایکس، c: تفاوت معنادار با گروه تمرین تناوبی تحت اشعه ایکس

لوله‌های منی‌ساز در گروه اشعه ایکس به همراه تمرین تناوبی (XR-HIIT) نسبت به گروه کنترل کنترل اشعه ایکس (XR-C) افزایش معنی‌داری نشان داد ( $P=0/003$ ) (جدول ۲). از طرفی تحلیل واریانس یک طرفه (ANOVA) نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین میانگین طول لوله‌های منی‌ساز ( $P=0/122$ )، میانگین ارتفاع اپی‌تلیوم زایشی ( $F=2/18$ ) و میانگین ارتفاع اپی‌تلیوم زایشی ( $P=0/314$ ) ( $F=1/36$ ) بین گروه‌های مختلف وجود ندارد (جدول ۱).

جدول ۲. مقایسه میانگین طول و قطر لوله‌های منی‌ساز و ارتفاع اپی‌تلیوم زایشی در گروه‌های مختلف (میانگین  $\pm$  انحراف معیار)

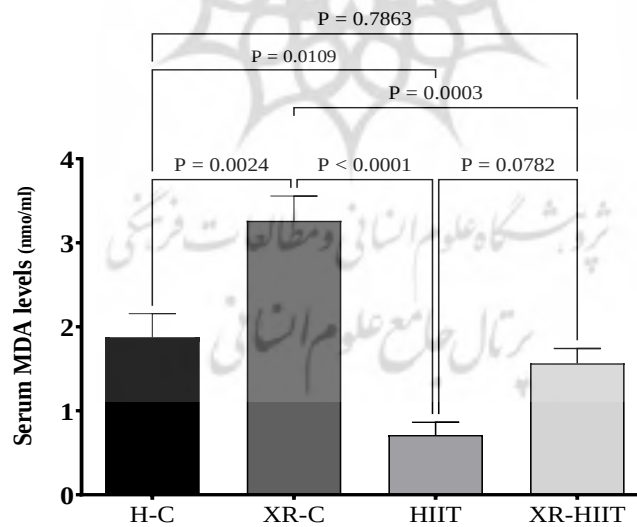
| گروه‌ها                         | میانگین طول لوله‌های منی‌ساز ( $\mu\text{m}$ ) | میانگین قطر لوله‌های منی‌ساز ( $\mu\text{m}$ ) | میانگین ارتفاع اپی‌تلیوم زایشی ( $\mu\text{m}$ ) |
|---------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| کنترل سالم                      | $8/11 \pm 2/81$                                | $214/54 \pm 19/99$                             | $204/23 \pm 41/86$                               |
| کنترل تحت اشعه ایکس             | $6/32 \pm 0/95$                                | $195/16 \pm 2/16$                              | $182/95 \pm 44/26$                               |
| تمرین سالم                      | $7/18 \pm 1/79$                                | $20/83 \pm 2/30$                               | $185/43 \pm 9/48$                                |
| اشعه ایکس به همراه تمرین تناوبی | $8/44 \pm 1/72$                                | $10/09 \pm 1/92$                               | $223/83 \pm 55/46$                               |

a: تفاوت معنادار با گروه کنترل سالم، b: تفاوت معنادار با گروه تمرین تناوبی تحت اشعه ایکس، c: تفاوت معنادار با گروه تمرین تناوبی تحت اشعه ایکس

مالون‌دی‌آلدئید (MDA) در گروه اشعه ایکس به همراه تمرین تناوبی (XR-HIIT) نسبت به گروه کنترل کنترل اشعه ایکس (XR-C) کاهش معنی‌داری مشاهده شد ( $P=0/003$ ). همچنین سطح سرمی مالون‌دی‌آلدئید (MDA) در گروه کنترل سالم (H-C) نسبت به گروه اشعه ایکس به همراه تمرین تناوبی (XR-HIIT) تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ( $P=0/7863$ ) (شکل ۲).

قطر و طول لوله‌های منی‌ساز و ارتفاع اپی‌تلیوم زایشی: تحلیل واریانس یک طرفه (ANOVA) نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین میانگین قطر لوله‌های منی‌ساز گروه‌های مختلف وجود دارد ( $F=26/66$ ,  $P=0/001$ ). در همین راستا نتایج آزمون تعقیبی توکی (Tukey) نشان داد میانگین قطر لوله‌های منی‌ساز در گروه کنترل اشعه ایکس نسبت به گروه کنترل سالم (H-C) کاهش معنی‌داری یافته است ( $P=0/001$ ). اما میانگین قطر

سطح سرمی مالون‌دی‌آلدئید (MDA): تحلیل واریانس یک طرفه (ANOVA) نشان داد که تفاوت معنی‌داری در سطح سرمی مالون‌دی‌آلدئید (MDA) بین گروه‌های مختلف وجود دارد ( $F=20/47$ ,  $P=0/001$ ). در همین راستا نتایج آزمون تعقیبی توکی (Tukey) نشان داد سطح سرمی مالون‌دی‌آلدئید (MDA) در گروه کنترل اشعه ایکس نسبت به گروه کنترل سالم (H-C) افزایش معنی‌داری یافته است ( $P=0/002$ ). اما در سطح سرمی



شکل ۲. نتایج آزمون تعقیبی Tukey HSD میانگین سطح سرمی مالون‌دی‌آلدئید (MDA) (nmol/ml) در گروه‌های مختلف

H-C: کنترل سالم، XR-C: گروه کنترل اشعه ایکس، HIIT: تمرین تناوبی شدید، XR-HIIT: اشعه ایکس به همراه تمرین تناوبی

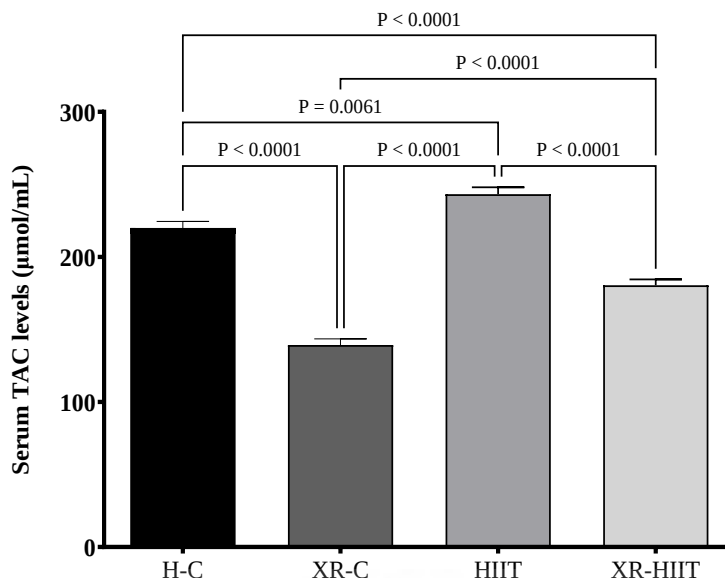
کنترل سالم (H-C) کاهش معنی‌داری یافته است ( $P=0/001$ ). همچنین در سطح سرمی ظرفیت تام آنتی‌اکسیدانی (TAC) در گروه اشعه ایکس به همراه تمرین تناوبی (XR-HIIT) به نسبت گروه کنترل اشعه ایکس (XR-C) افزایش معنی‌داری مشاهده شد ( $P=0/001$ ). اما افزایش سطح سرمی ظرفیت تام آنتی‌اکسیدانی (TAC) در گروه اشعه ایکس به همراه تمرین

سطح سرمی ظرفیت تام آنتی‌اکسیدانی (TAC): تحلیل واریانس یک طرفه (ANOVA) نشان داد که تفاوت معنی‌داری در سطح سرمی ظرفیت تام آنتی‌اکسیدانی (TAC) بین گروه‌های مختلف وجود دارد ( $F=10/89$ ,  $P=0/001$ ). در همین راستا نتایج آزمون تعقیبی توکی (Tukey) نشان داد سطح سرمی ظرفیت تام آنتی‌اکسیدانی (TAC) در گروه کنترل اشعه ایکس نسبت به گروه



نسبت به گروه اشعه ایکس به همراه تمرین تناوبی (XR-HIIT) تفاوت معنی داری مشاهده شد ( $P=0/001$ ) (شکل ۳).

تناوبی (XR-HIIT) به اندازه‌ای نبود که بتواند به سطوح موش‌های صحرایی سالم برسد بطوری که بین سطح سرمی ظرفیت تام آنتی‌اکسیدانی (TAC) در گروه کنترل سالم (H-C)

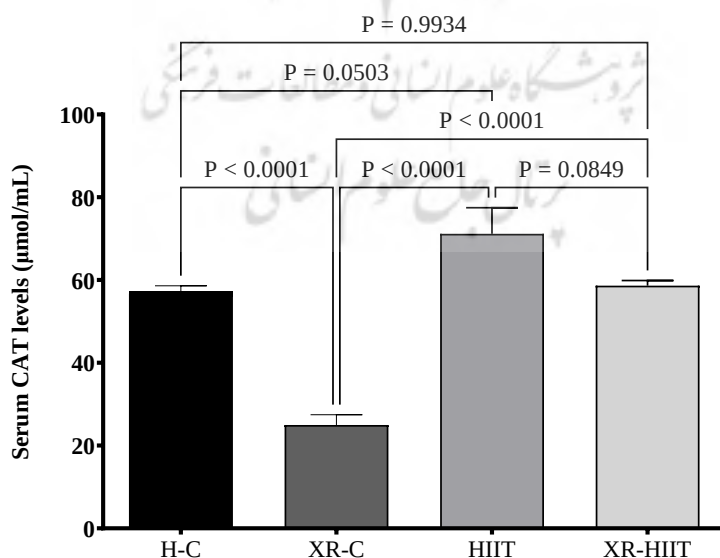


شکل ۳. نتایج آزمون تعقیبی Tukey HSD میانگین سطح سرمی ظرفیت کل آنتی‌اکسیدانی (μmol/ml) در گروه‌های مختلف

H-C: کنترل سالم، XR-C: گروه کنترل اشعه ایکس، HIIT: تمرین تناوبی شدید، XR-HIIT: اشعه ایکس به همراه HIIT

کاتالاز (CAT) در گروه اشعه ایکس به همراه تمرین تناوبی (XR-HIIT) نسبت به گروه کنترل اشعه ایکس (XR-C) تفاوت معنی داری مشاهده شد ( $P=0/001$ ). همچنین بین سطح سرمی آنزیم کاتالاز (CAT) در گروه کنترل سالم (H-C) نسبت به گروه اشعه ایکس به همراه تمرین تناوبی (XR-HIIT) تفاوت معنی داری مشاهده نشد ( $P=0/7863$ ) (شکل ۴).

سطح سرمی آنزیم کاتالاز (CAT): تحلیل واریانس یک طرفه (ANOVA) نشان داد که تفاوت معنی داری در سطح سرمی آنزیم کاتالاز (CAT) بین گروه‌های مختلف وجود دارد ( $F=31/80$ ,  $P=0/001$ ). در همین راستا نتایج آزمون تعقیبی توکی (Tukey) نشان داد سطح سرمی آنزیم کاتالاز (CAT) در گروه کنترل اشعه ایکس نسبت به گروه کنترل سالم (H-C) کاهش معنی داری یافته است ( $P=0/001$ ). اما سطح سرمی آنزیم



شکل ۴. نتایج آزمون تعقیبی Tukey HSD میانگین سطح سرمی آنزیم کاتالاز (μmol/ml) در گروه‌های مختلف

H-C: کنترل سالم، XR-C: گروه کنترل اشعه ایکس، HIIT: تمرین تناوبی شدید، XR-HIIT: اشعه ایکس به همراه HIIT

## بحث

نتایج پارامترهای استریولوژیکی شامل حجم بیضه و حجم لوله‌های منی‌ساز در گروه تحت اشعه ایکس کاهش معنادار و در حجم بافت بینابینی و قطر لوله‌های منی‌ساز کاهش غیرمعنادار نشان داد. همچنین ارتفاع اپی‌تلیوم زایشی افزایش غیر معنادار را نشان داد. همسو با نتایج حاضر، اوزگونر و همکاران (۲۰۰۵) و سلاما و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که پس از قرار گرفتن در معرض اشعه مایکروویو اندازه اندام‌های بیضه و قطر لوله‌های منی‌ساز کاهش می‌یابد (۲۰، ۱۹). در مطالعه‌ای کانتر و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که پرتوی یونیزه‌کننده در درجه اول بر بیضه استرس اکسیداتیو وارد کرده و باعث آپوپتوز در سلول‌های زایا می‌شود (۲۱).

گروه تمرین تناوبی با شدت بالا همراه با اشعه ایکس در پارامترهای استریولوژیکی تغییراتی نشان ندادند و فقط قطر لوله‌های منی‌ساز در این گروه کاهش معنادار داشت. در مطالعه باربارا و همکاران (۲۰۱۹) دریافتند که ورزش با شدت بالا تأثیر منفی بر عملکرد بیضه دارد (۲۲). در مطالعه مانا و همکاران (۲۰۰۴) مشخص شد فعالیت ورزشی شدید در مدل‌های حیوانی ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بافت بیضه را کاهش داده و سلول‌های زایا را از بین می‌برد (۲۳). در تحقیقی که پرستش و همکاران (۱۳۹۸) انجام دادند در پارامترهای استریولوژیکی (حجم کل بیضه، حجم لوله‌های منی‌ساز، قطر لوله منی‌ساز و وزن بیضه چپ) تفاوتی بین گروه تمرینی دیابتی و گروه کنترل سالم مشاهده نکردند (۲۴) که همسو با نتایج پژوهش حاضر هستند. روستی و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای دریافتند که ورزش نیز یکی از عواملی است که قادر به اصلاح و تنظیم هورمون‌های جنسی، استرس اکسیداتیو بافت بیضه و حجم و کیفیت اسپرم است (۲۵) که با نتایج پژوهش حاضر در تضاد است. همچنین نتایج ما با مطالعات یحیایی و همکاران که نشان دادند تمرین‌های ورزشی استقامتی چنانچه همراه با عصاره‌های گیاهی همانند عصاره هیدروالکلی عنباب باشد و یا به صورت تمرین هوازی تنها هم باشد، می‌تواند بصورت کاملاً محسوس سبب کاهش عوارض هیستوپاتولوژیک ناشی از مصرف استروئید آنابولیک بولدنون در بافت‌های مختلف از جمله بیضه و مخچه گردد، همخوانی ندارد (۲۶، ۲۷). تأثیر فعالیت ورزشی بر بافت بیضه به نوع تمرین، شدت، حجم و فراوانی آن بستگی دارد (۲۸). باتوجه به پژوهش‌های صورت گرفته به نظر می‌رسد تمرین با شدت بالا تأثیر زیادی بر پارامترهای استریولوژیکی بیضه رت‌ها ندارد. ممکن است انجام تمرین با شدت‌های پایین تر آثار مطلوب‌تری داشته باشد. جهت دستیابی به این نتیجه مطالعات بیشتری نیاز است.

بخش بعدی نتایج پژوهش حاضر حاکی از افزایش معنادار MDA در گروه کنترل تحت اشعه ایکس و کاهش معنادار این فاکتور در گروه تمرین همراه با اشعه ایکس است. همسو با این نتایج؛ کریمی و همکاران (۱۳۹۱) نیز نشان دادند پس از شش هفته شرکت در تمرین ورزشی در آب سطح سرمی MDA زنان مبتلا شده به سرطان پستان که پرتودرمانی و یا شیمی‌درمانی را پشت سر گذاشته بودند، به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد (۲۹). در مطالعه فتحی و همکاران (۱۳۹۱) سطح سرمی MDA در زنان مبتلا به سرطان پستان پس از شش هفته تمرین هوازی در آب، تغییرات بین گروهی معنادار نداشت که با نتایج تحقیق حاضر مغایرت دارد (۳۰). در مورد مکانیسم تأثیر HIIT بر وضعیت استرس اکسیداتیو این بیماران می‌توان به این نکته اشاره کرد که قرارگیری مداوم در موقعیت‌های تسهیل‌کننده تولید گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر باعث ایجاد سازگاری‌هایی می‌شود که دفاع سلولی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را بهبود بخشیده و در نتیجه، فعالیت رادیکال‌های آزاد را کاهش می‌دهد (۳۱). واکنش رادیکال‌های آزاد با کربوهیدرات، پروتئین، چربی و بسیاری از عوامل آسیب‌رسان سلول‌ها و بافت‌های مختلف می‌تواند سطوح OS و پراکسیداسیون لیپیدی را افزایش دهد که نتیجه آن، ایجاد ضایعاتی در ماکرومولکول‌ها، آنزیم‌ها، پروتئین‌های سلول و DNA می‌باشد (۳۲، ۳۳). باتوجه به مکانیسم‌های موجود که برخی از آن‌ها در بالا ذکر شدند می‌توان نتیجه گرفت تمرین ورزشی منظم که در تحقیق حاضر با تکیه بر تمرین تناوبی با شدت بالا صورت گرفته است، می‌تواند باعث کاهش فعالیت رادیکال‌های آزاد شود. بنابراین، ورزش با این مکانیسم می‌تواند بر استرس اکسیداتیو ایجاد شده مؤثر باشد.

یکی از محدودیت‌های تحقیق حاضر انتقال نمونه به مرکز دیگر جهت انجام پروتکل پرتونگاری است که ممکن است استرس اضافی القا کند. محدودیت دیگر تحقیق حاضر آن است که فقط از یک نوع تمرین استفاده شده است. برای انتخاب تمرین مناسب، پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی روش‌های تمرینی مختلف با هم مقایسه شوند تا تمرین مطلوب مشخص شود.

## نتیجه‌گیری

به طور کلی، نتایج مطالعه حاضر نشان داد اشعه ایکس بر برخی فاکتورهای استریولوژیکی تأثیر منفی می‌گذارد و HIIT تا حدی با برخی از آثار منفی مقابله می‌کند. همچنین، اشعه ایکس میزان MDA را افزایش و سطوح سرمی عوامل آنتی‌اکسیدانی (TAC و CAT) را کاهش می‌دهد و HIIT می‌تواند این موارد را بهبود ببخشد. بنابراین، به نظر می‌رسد تمرین تناوبی می‌تواند از طریق بهبود شرایط استرس اکسیداتیو سرمی، کاهش عملکرد بیضه ناشی از القاء اشعه ایکس را بهبود دهد. این بهبود نیز در ساختار

## تعارض منافع

مؤلفان اعلام می‌کنند که این اثر، حاصل یک پژوهش مستقل بوده و هیچ تضاد منافی با سازمان‌ها و اشخاص دیگر ندارد.

بیضه بویژه متغیرهایی مانند حجم بیضه، حجم لوله‌های بینابینی و قطر لوله‌های منی‌ساز بود.

## تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر و قدردانی را از کلیه افرادی که در انجام این پژوهش آن‌ها را کمک کرده‌اند اعلام دارند.

## منابع

- Cardoso CE, Bezzina P, Portelli JL. Gonad contact shielding in digital radiography: a questionnaire survey. *European Journal of Radiology*. 2023 Jan 1;158:110620. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2022.110620>
- Bray F, Laversanne M, Sung H, Ferlay J, Siegel RL, Soerjomataram I, Jemal A. Global cancer statistics 2022: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA: a cancer journal for clinicians*. 2024 May;74(3):229-63. <https://doi.org/10.3322/caac.21834>.
- Sener TE, Atasoy BM, Cevik O, Cilingir Kaya OT, Cetinel S, Degerli AD, et al. Effects of resveratrol against scattered radiation-induced testicular damage in rats. *Turkish Journal of Biochemistry*. 2020;46(4):425-33. <https://doi.org/10.1515/tjb-2020-0320>
- Schover LR, van der Kaaij M, van Dorst E, Creutzberg C, Huyghe E, Kiserud CE. Sexual dysfunction and infertility as late effects of cancer treatment. *European journal of cancer supplements*. 2014;12(1):41-53. <https://doi.org/10.1016/j.ejcsup.2014.03.004>
- Farhood B, Mortezaee K, Haghi Aminjan H, Khanlarkhani N, Salehi E, Nashtaei MS, et al. A systematic review of radiation induced testicular toxicities following radiotherapy for prostate cancer. *Journal of cellular physiology*. 2019;234(9):14828-37. <https://doi.org/10.1002/jcp.28283>.
- Kim JS, Heo K, Yi JM, Gong EJ, Yang K, Moon C, Kim SH. Genistein mitigates radiation induced testicular injury. *Phytotherapy research*. 2012 Aug;26(8):1119-25. <https://doi.org/10.1002/ptr.3689>
- Mustian KM, Sprod LK, Janelins M, Peppone LJ, Mohile S. Exercise recommendations for cancer-related fatigue, cognitive impairment, sleep problems, depression, pain, anxiety, and physical dysfunction: a review. *Oncology & hematology review*. 2012 Jan 1;8(2):81. <https://doi.org/10.17925/ohr.2012.08.2.81>
- Razak NA, Azhar AR, Baharuddin IH, Ismail Z, Azman ZA, Manap SA, Ramli N. Does exercise improve health-related quality of life of colorectal cancer survivors? a systematic review and meta-analysis. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention: APJCP*. 2024;25(2):379. <https://doi.org/10.31557/APJCP.2024.25.2.379>
- Patel AV, Friedenreich CM, Moore SC, Hayes SC, Silver JK, Campbell KL, et al. American college of sports medicine roundtable report on physical activity, sedentary behavior, and cancer prevention and control. *Medicine and science in sports and exercise*. 2019;51(11):2391. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002117>
- Parastesh M, Abbasi Y, Bayatiani MR, Nadi Z. Protective effect of moderate-intensity continuous training and high-intensity interval training on serum levels of oxidative stress parameters in rats treated with cisplatin. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*. 2023 Jan 10;32(217):32-45. <https://doi.org/10.11253/jmums/2023.1.18595>
- Gibala MJ, Little JP, MacDonald MJ, Hawley JA. Physiological adaptations to low volume, high intensity interval training in health and disease. *The Journal of physiology*. 2012 Mar 1;590(5):1077-84. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2011.224725>
- Schauer T, Djurhuus SS, Simonsen C, Brasso K, Christensen JF. The effects of acute exercise and inflammation on immune function in early-stage prostate cancer. *Brain, behavior, & immunity-health*. 2022;25:100508. <https://doi.org/10.1016/j.bbih.2022.100508>
- Puukila S, Muise S, McEvoy J, Bouchier T, Hooker AM, Boreham DR, et al. Acute pulmonary and splenic response in an in vivo model of whole-body low-dose X-radiation exposure. *International Journal of Radiation Biology*. 2019;95(8):1072-84. <https://doi.org/10.1080/09553002.2019.1625459>
- Bayat M, Alaei M, Akbari A, Sadegh M, Latifi SA, Parastesh M, Salehi M, Karami H, Amri J. A comparative study of the antidiabetic effect of two training protocols in streptozotocin-nicotinamide diabetic rats. *Hormone molecular biology and clinical investigation*. 2020 Jul 24;41(2):20190046. <https://doi.org/10.1515/hmbci-2019-0046>.
- Howroyd P, Hoyle-Thacker R, Lyght O, Williams D, Kleymenova E. Morphology of the fetal rat testis preserved in different fixatives. *Toxicologic pathology*. 2005;33(2):300-4. <https://doi.org/10.1080/01926230590896145>

16. Aydın M, Köse E, Karaca ET, Tanbek K, Sandal S. Investigation of the protective effect of Lavandula stoechas against the damage caused by Bisphenol A in the liver tissue of rats. *Heliyon*. 2024 Oct 30;10(20). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39386>
17. Dalgaard M, Pilegaard K, Ladefoged O. In utero exposure to diethylstilboestrol or 4 n Nonylphenol in rats: number of sertoli cells, diameter and length of seminiferous tubules estimated by stereological methods. *Pharmacology & toxicology*. 2002;90(2):59-65. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0773.2002.900202.x>
18. Mehranjani MS, Noorafshan A, Momeni H, Abnosi M, Mahmoodi M, Anvari M, et al. Stereological study of the effects of vitamin E on testis structure in rats treated with para-nonylphenol. *Asian J Androl*. 2009;11(4):508-16. <https://doi.org/10.1038/aja.2009.29>
19. Bal R, Naziroğlu M, Türk G, Yilmaz Ö, Kuloğlu T, Etem E, Baydas G. Insecticide imidacloprid induces morphological and DNA damage through oxidative toxicity on the reproductive organs of developing male rats. *Cell biochemistry and function*. 2012 Aug;30(6):492-9. <https://doi.org/10.1002/cbf.2826>
20. Salama N, Kishimoto T, Kanayama Ho. Retracted: Effects of exposure to a mobile phone on testicular function and structure in adult rabbit. *International Journal of Andrology*. 2010;33(1):88-94. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2605.2012.01271.x>
21. Kanter M, Topcu-Tarlacalisir Y, Parlar S. Antiapoptotic effect of L-carnitine on testicular irradiation in rats. *Journal of molecular histology*. 2010 Apr;41:121-8. <https://doi.org/10.1007/s10735-010-9267-5>
22. Matos B, Howl J, Ferreira R, Fardilha M. Exploring the effect of exercise training on testicular function. *European Journal of Applied Physiology*. 2019;119:1-8. <https://doi.org/10.1007/s00421-018-3989-6>
23. Manna I, Jana K, Samanta PK. Intensive swimming exercise-induced oxidative stress and reproductive dysfunction in male Wistar rats: protective role of  $\alpha$ -tocopherol succinate. *Canadian Journal of Applied Physiology*. 2004;29(2):172-85. <https://doi.org/10.1139/h04-013>
24. 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. *Daneshvar Medicine*. 2020 Sep 26;27(2):27-40. <https://doi.org/10.22070/27.141.27>
25. Rosety I, Rosety MÁ, Díaz A, Rosety JM, Brenes-Martín F, Bernardi M, et al. Exercise improved semen quality and reproductive hormone levels in sedentary obese adults. *Nutrición hospitalaria*. 2017;34(3):608-12. <https://doi.org/10.20960/nh.549>
26. Yahyaei B, Nouri M, Matmir H. Healing effects of Ziziphus jujuba hydroalcoholic extract with exercise training on histopathological changes of male wistar rats testicular tissue in response to Boldenone steroid administration. *Jorjani Biomedicine Journal*. 2018;6(1):12-21. <https://doi.org/10.29252/jorjanibiomedj.6.1.12>
27. El-Newary SA, Aly MS, Hameed AR, Kotp MS, Youssef AA, Ali NA. Sperm quality and testicular histopathology of Wistar albino male rats treated with hydroethanolic extract of Cordia dichotoma fruits. *Pharmaceutical Biology*. 2022 Dec 31;60(1):282-93. <https://doi.org/10.1080/13880209.2021.2008455>
28. Vaamonde D, Garcia-Manso JM, Hackney AC. Impact of physical activity and exercise on male reproductive potential: a new assessment questionnaire. *Revista andaluza de medicina del deporte*. 2017;10(2):79-93. <https://doi.org/10.1016/j.ramd.2016.11.017>
29. Karimi N, Roshan VD. Change in adiponectin and oxidative stress after modifiable lifestyle interventions in breast cancer cases. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*. 2013;14(5):2845-50. <https://doi.org/10.7314/apjcp.2013.14.5.2845>
30. Fathi Bayyatiani Z, Dabidi Roshan V, Ayaz A, Hoseinzadeh M. The relationship between the pro-inflammatory markers with lipid peroxidation after water-based regular exercise and ginger supplement in breast cancer. *Daneshvar Medicine*. 2013;21(1):61-76. <https://doi.org/10.22038/ijogi.2021.18735>
31. Radak Z, Chung HY, Goto S. Systemic adaptation to oxidative challenge induced by regular exercise. *Free radical biology and medicine*. 2008;44(2):153-9. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2007.01.029>
32. Gönenç A, Özkan Y, Torun M, Şimşek B. Plasma malondialdehyde (MDA) levels in breast and lung cancer patients. *Journal of clinical pharmacy and therapeutics*. 2001;26(2):141-4. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2710.2001.00334.x>
33. Iqbal MJ, Kabeer A, Abbas Z, Siddiqui HA, Calina D, Sharifi-Rad J, Cho WC. Interplay of oxidative stress, cellular communication and signaling pathways in cancer. *Cell Communication and Signaling*. 2024 Jan 2;22(1):7. <https://doi.org/10.1186/s12964-023-01398-5>