



Determining the Effect of Eight Weeks of High-Intensity Interval Training on Serum Estrogen Levels in Obese Female Rats with Type 2 Diabetes

Hanieh Faryabi ¹ , Forouzan Fattahi Masrou ² , Maghsoud Peeri ³

1. Department of Exercise Physiology, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

E-mail: hanieh.faryabi.stu@gmail.com

2. Corresponding Author, Department of Exercise Physiology, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

E-mail: forouzanfattahim@yahoo.com

3. Sports Physiology Department, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

E-mail: m.peeri@iauctb.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article history: Received: 30 Mar 2025 Received in revised form: 02 May 2025 Accepted: 10 Jun 2025 Published online: 10 Aug 2025 Keywords: <i>High-intensity interval training, Type 2 diabetes, Estrogen.</i>	Introduction: Type 2 diabetes and obesity are among the most common metabolic disorders and are often accompanied by hormonal changes, including decreased estrogen levels. Given the role of exercise in improving metabolic balance, examining the effect of high-intensity interval training (HIIT) on estrogen levels is of particular importance. Therefore, the present study, designed as an applied experimental research, aimed to investigate the effect of eight weeks of HIIT on serum estrogen levels in obese female rats with type 2 diabetes. Methods: In this study, 40 female Wistar rats aged 8 weeks with an average weight of 200 g were obtained from the animal facility of Kerman University of Medical Sciences. After adaptation to laboratory conditions, the animals were randomly divided into four groups of 10 rats each: healthy control, diabetic control, healthy exercise, and diabetic exercise. To induce diabetes, a dose of 35 mg/kg of streptozotocin was injected intraperitoneally. The HIIT protocol was carried out for eight weeks, three sessions per week. Data were analyzed using two-way ANOVA, and Tukey's post hoc test was applied for between-group comparisons. Results: The findings indicated that type 2 diabetes significantly reduced serum estrogen levels. However, eight weeks of HIIT significantly increased estrogen levels, regardless of whether the rats were diabetic or healthy. Furthermore, the interaction effect between diabetes and training revealed that HIIT could partially counteract the negative impact of diabetes on serum estrogen levels. Conclusion: Overall, the results suggest that exercise training, particularly HIIT, can serve as an effective complementary and non-pharmacological intervention in managing diabetes and improving hormonal balance. Incorporating such interventions into therapeutic and preventive programs may play a vital role in enhancing the health of women affected by type 2 diabetes and obesity.
Cite this article: Faryabi H, Fattahi Masrou F, Peeri M. Determining the Effect of Eight Weeks of High-Intensity Interval Training on Serum Estrogen Levels in Obese Female Rats with Type 2 Diabetes. Journal of Modern Approaches in Education Management and Health Sciences. 2025; 02 (02): 30-40. Doi: 10.22034/edus.2025.545782.1010 Journal of Modern Approaches in Education Management and Health Sciences is licensed under CC BY-NC 4.0. Web site: https://www.eduhealthsci.ir Email: eduhealthsci@gmail.com. © The Author(s). Publisher: Academic Center for Education, Culture and Research (ACECR), Mazandaran Branch, Mazandaran, Iran.	





Extended Abstract

Introduction

Type 2 diabetes mellitus (T2DM) is one of the most prevalent metabolic disorders worldwide and is strongly associated with obesity, insulin resistance, and multiple endocrine disruptions. Beyond its well-established role in impairing glucose and lipid metabolism, T2DM is also closely linked with alterations in sex hormones, particularly estrogen. Estrogen plays a central role not only in reproductive function but also in maintaining metabolic homeostasis, influencing insulin sensitivity, regulating fat distribution, and modulating inflammatory pathways. A decline in estrogen levels is frequently observed in metabolic diseases, and such hormonal imbalance may contribute to further progression of diabetes and obesity-related complications. The interplay between obesity, diabetes, and estrogen deficiency creates a vicious cycle. Excess adiposity, especially visceral fat, promotes chronic low-grade inflammation and increases insulin resistance. These changes disrupt the hypothalamic-pituitary-gonadal axis, leading to reduced estrogen production. In turn, diminished estrogen worsens metabolic dysfunction by reducing glucose uptake in skeletal muscle and adipose tissue while promoting lipid accumulation. This cycle highlights the importance of investigating non-pharmacological strategies that can positively affect both metabolic and hormonal regulation. Physical activity has been recognized as a cornerstone in the management of T2DM and obesity. Exercise improves insulin sensitivity, enhances glucose transport, reduces body fat, and improves cardiovascular health. Among the various exercise modalities, high-intensity interval training (HIIT) has gained increasing attention in recent years due to its efficiency and physiological benefits. HIIT involves short bursts of intense activity followed by periods of rest or low-intensity recovery. Studies have shown that HIIT can lead to improvements in mitochondrial function, cardiovascular fitness, and metabolic flexibility in both healthy and diseased populations. Despite this evidence, limited research has directly examined the effects of HIIT on serum estrogen levels, especially in obese female models with T2DM. Investigating this relationship is important because improvements in estrogen levels may not only enhance reproductive health but also support better metabolic outcomes and reduce the severity of diabetic complications. By exploring the interaction between HIIT, diabetes, and estrogen, this study addresses an important gap in knowledge and may provide insights into practical strategies for improving hormonal balance in metabolic disorders. Accordingly, the present research was designed to determine the effect of eight weeks of HIIT on serum estrogen levels in obese female Wistar rats with T2DM. By employing an experimental model, this study aimed to clarify whether HIIT could serve as an effective, non-pharmacological intervention to counteract the adverse hormonal effects of diabetes and obesity.

Methods

In this study, 40 female Wistar rats aged 8 weeks with an average weight of 200 g were obtained from the animal facility of Kerman University of Medical Sciences. After adaptation to laboratory conditions, the animals were randomly divided into four groups of 10 rats each: healthy control, diabetic control, healthy exercise, and diabetic exercise. To induce diabetes, a dose of 35 mg/kg of streptozotocin was injected intraperitoneally. The HIIT protocol was carried out for eight weeks, three sessions per week. Data were analyzed using two-way ANOVA, and Tukey's post hoc test was applied for between-group comparisons.

Results

The findings indicated that type 2 diabetes significantly reduced serum estrogen levels. However, eight weeks of HIIT significantly increased estrogen levels, regardless of whether the rats were diabetic or healthy. Furthermore, the interaction effect between diabetes and training revealed that HIIT could partially counteract the negative impact of diabetes on serum estrogen levels.

Conclusion

The present study demonstrated that T2DM significantly reduced serum estrogen levels in obese female Wistar rats, while eight weeks of HIIT markedly increased estrogen concentrations regardless of diabetic status. Importantly, the interaction between diabetes and exercise revealed that HIIT was capable of mitigating, at least partially, the negative effects of diabetes on estrogen regulation. These findings have several important implications for both basic research and potential clinical practice. First, the reduction in estrogen levels observed in the diabetic groups aligns with existing evidence that metabolic disorders impair endocrine function. Estrogen deficiency is not merely a reproductive concern but also a metabolic challenge that can exacerbate insulin resistance, fat accumulation, and inflammatory processes. The observed improvements in estrogen levels following HIIT suggest that exercise may serve as a protective mechanism to preserve hormonal balance, thereby alleviating some of the pathophysiological consequences of diabetes and obesity. Second, the results highlight the therapeutic potential of HIIT as a complementary strategy alongside conventional medical treatments.



Unlike pharmacological interventions, exercise has the added benefits of improving cardiovascular function, reducing adiposity, and enhancing quality of life. The fact that HIIT elicited positive hormonal changes in both healthy and diabetic groups suggests that this training modality can be broadly applicable, not only for disease management but also for prevention and health promotion. Third, the interactive effects of diabetes and exercise on estrogen levels underscore the importance of tailoring exercise interventions to specific metabolic conditions. The significant increase in estrogen observed in the diabetic exercise group compared to diabetic controls indicates that even in the presence of disease-related impairments, physiological adaptations to HIIT remain achievable. This finding provides encouragement for incorporating structured exercise programs into the care of individuals with T2DM and obesity. Finally, while the current research was conducted in an animal model, the implications extend to human health. Given the rising prevalence of T2DM and obesity among women worldwide, identifying interventions that address both metabolic dysfunction and hormonal imbalance is critical. HIIT, due to its time efficiency and robust physiological effects, may represent a viable option for women at risk of or living with diabetes. In conclusion, this study emphasizes that HIIT is not only effective for improving metabolic markers but also has the potential to restore hormonal balance disrupted by diabetes and obesity. Integrating such exercise programs into therapeutic and preventive frameworks could significantly contribute to enhancing women's health, promoting metabolic resilience, and reducing the burden of chronic disease.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

This study was approved by the Ethics Committee of Islamic Azad University, Sari Branch, under the code IR.IAU.SARI.REC.1402.250.

Funding

This research received no specific grant from any funding agency.

Authors' contribution

Conceptualization, Forouzan Fattahi Masrour; Methodology, Maghsoud Peeri; Software, Maghsoud Peeri; Validation, Maghsoud Peeri; Analysis, Hanieh Faryabi; Research, Hanieh Faryabi; Data management, Hanieh Faryabi, Forouzan Fattahi Masrour; Writing-preparation of the original draft, Forouzan Fattahi Masrour; Supervision, Forouzan Fattahi Masrour; Project management, Forouzan Fattahi Masrour.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding this article.

Acknowledgments

The authors of the article express their gratitude to the officials of the Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Islamic Azad University, Central Tehran Branch, for conducting this research.



تعیین تأثیر هشت هفته تمرین تناوبی با شدت زیاد بر سطح استروژن سرم رت‌های ماده چاق مبتلا به دیابت نوع ۲

هانیه فاریابی^۱ ID، فروزان فتاحی مسرور^۲ ID، مقصود پیری^۳ ID

۱. گروه فیزیولوژی ورزشی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: hanieh.faryabi.stu@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه فیزیولوژی ورزشی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: forouzanfattahim@yahoo.com

۳. گروه فیزیولوژی ورزشی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: m.peeri@iauctb.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	مقدمه: دیابت نوع ۲ و چاقی از مشکلات شایع متابولیک هستند که با تغییرات هورمونی از جمله کاهش سطح استروژن همراه‌اند. با توجه به نقش ورزش در بهبود تعادل متابولیک، بررسی اثر تمرین تناوبی با شدت بالا بر سطح استروژن می‌تواند اهمیت ویژه‌ای داشته باشد. لذا مطالعه حاضر یک مطالعه کاربردی از نوع پایه و طرح تجربی بود که تأثیر هشت هفته تمرین تناوبی با شدت زیاد بر سطح استروژن سرم رت‌های ماده چاق مبتلا به دیابت نوع ۲ بررسی کرد.
تاریخ دریافت:	۱۴۰۴/۰۱/۱۰
تاریخ بازنگری:	روش پژوهش: به منظور اجرای پژوهش حاضر، ۴۰ سر موش ماده نژاد ویستار با سن ۸ هفته با میانگین وزنی ۲۰۰ گرم از مزرعه حیوانات دانشگاه علوم پزشکی کرمان تهیه شد و پس از سازگاری حیوانات با محیط آزمایشگاه، تعداد ۴۰ سر موش به ۴ گروه با ۱۰ سر موش تقسیم شدند. گروه‌ها شامل کنترل سالم، کنترل دیابتی، تمرین سالم و تمرین دیابتی بود. جهت دیابتی کردن نمونه‌ها یک دوز ۳۵ میلی گرم بر کیلوگرم استریتوزتوسین به صورت داخل صفاقی تزریق شد. تمرین تناوبی با شدت بالا به مدت هشت هفته و هر هفته سه جلسه انجام شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از آنالیز واریانس دوطرفه و به منظور مقایسه بین گروهی از آزمون توکی استفاده گردید.
تاریخ پذیرش:	۱۴۰۴/۰۲/۱۲
تاریخ انتشار:	۱۴۰۴/۰۳/۲۰
کلیدواژه‌ها:	یافته‌ها: یافته‌های پژوهش نشان داد که ابتلاء به دیابت نوع ۲ منجر به کاهش معنادار سطح استروژن سرم می‌شود، اما هشت هفته تمرین تناوبی با شدت زیاد، مستقل از وضعیت سلامت یا دیابتی بودن، باعث افزایش سطح استروژن گردید. همچنین تعامل بین دیابت و تمرین نشان داد که این نوع تمرین می‌تواند تا حدی اثرات منفی دیابت بر سطح استروژن را تعدیل کند.
تمرین تناوبی با شدت بالا، دیابت نوع ۲، استروژن	نتیجه‌گیری: به طور کلی می‌توان بیان داشت، تمرینات ورزشی به‌ویژه تمرین تناوبی شدید، می‌توانند به عنوان رویکردی مکمل و غیر دارویی در مدیریت دیابت و بهبود وضعیت هورمونی مورد استفاده قرار گیرند. به نظر می‌رسد گنجاندن چنین مداخلاتی در برنامه‌های درمانی و پیشگیرانه، بتواند در ارتقای سلامت زنان مبتلا به دیابت نوع ۲ و چاقی نقش مهمی ایفا کند.

استناد: فاریابی، هانیه؛ فتاحی مسرور، فروزان؛ پیری، مقصود. تعیین تأثیر هشت هفته تمرین تناوبی با شدت زیاد بر سطح استروژن سرم رت‌های ماده چاق مبتلا به دیابت نوع ۲. نشریه رویکردهای نوین در مدیریت آموزش و علوم سلامت. ۱۴۰۴؛ ۲(۰۲): ۳۰-۴۰. Doi:10.22034/edus.2025.545782.1010



دسترسی به این نشریه علمی، رایگان است و حق مالکیت فکری خود را بر اساس لایسنس کپی‌رایت کامنز (CC BY-NC 4.0) به نویسندگان واگذار کرده است.

| آدرس نشریه: <https://www.eduhealthsci.ir> | ایمیل: eduhealthsci@gmail.com

ناشر: جهاد دانشگاهی واحد استان مازندران.

مقدمه

دیابت نوع ۲ یکی از شایع‌ترین اختلالات متابولیک در جهان است که با افزایش قند خون، مقاومت به انسولین و اختلالات هورمونی همراه است. این بیماری، علاوه بر پیامدهای جسمی و متابولیک، می‌تواند سلامت هورمونی و تعادل غدد درون‌ریز را نیز تحت تأثیر قرار دهد (۱). یکی از هورمون‌های حیاتی که در زنان و در مدل‌های حیوانی ماده نقش اساسی در تنظیم فرآیندهای متابولیک و تولیدمثل دارد، استروژن است (۲). استروژن علاوه بر نقش در چرخه تولیدمثلی، بر متابولیسم گلوکز، حساسیت به انسولین و توزیع چربی بدن تأثیرگذار است (۳). تحقیقات نشان داده‌اند که کاهش سطح استروژن می‌تواند با افزایش مقاومت به انسولین، تجمع چربی احشایی و تشدید عوارض دیابت نوع ۲ مرتبط باشد (۴). بنابراین، مداخلاتی که بتوانند سطح استروژن را بهبود بخشیده و همزمان وضعیت متابولیکی و فیزیولوژیک بدن را تعدیل کنند، اهمیت ویژه‌ای در پیشگیری و مدیریت دیابت نوع ۲ دارند (۵). تمرین‌های فیزیکی به عنوان یک مداخله غیر دارویی اثبات شده، نقش مهمی در بهبود حساسیت به انسولین، کاهش گلوکز خون و کنترل وزن دارند (۶). به‌ویژه تمرین‌های تناوبی با شدت بالا به دلیل ماهیت کوتاه مدت، شدت بالا و توانایی ایجاد تغییرات متابولیک سریع، مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته‌اند. مطالعات قبلی نشان داده‌اند که تمرین تناوبی با شدت بالا می‌تواند با افزایش فعالیت آنزیم‌های مرتبط با سوخت‌وساز گلوکز و چربی، بهبود حساسیت به انسولین و کاهش چربی احشایی در افراد مبتلا به دیابت نوع ۲ و مدل‌های حیوانی چاق منجر شود (۷). با این حال، تحقیقات محدود و ناکافی در زمینه اثر مستقیم این نوع تمرین بر سطح استروژن در نمونه‌های حیوانی مبتلا به دیابت نوع ۲ و چاقی وجود دارد (۸). چاقی خود به عنوان یک عامل خطر مستقل، توانایی بدن در تولید و تنظیم هورمون‌ها را مختل می‌کند و با افزایش التهاب مزمن، مقاومت به انسولین و تغییر در متابولیسم لیپیدها، اثرات منفی بر هورمون‌های جنسی از جمله استروژن دارد (۹). در نتیجه، ترکیب چاقی و دیابت نوع ۲ می‌تواند سطح استروژن را به شدت کاهش دهد و مشکلات متابولیک و غددی را تشدید کند (۱۰). این وضعیت، نیاز به مداخلات موثر و هدفمند را برای بهبود تعادل هورمونی و کاهش پیامدهای متابولیک برجسته می‌سازد (۱۱). با توجه به اهمیت استروژن در سلامت متابولیک و تولیدمثلی و نقش بالقوه تمرین‌های تناوبی با شدت بالا در اصلاح وضعیت متابولیک و کاهش اثرات منفی چاقی و دیابت، پژوهش حاضر به دنبال بررسی تأثیر هشت هفته تمرین تناوبی با شدت زیاد بر سطح استروژن سرم در رت‌های ماده چاق مبتلا به دیابت نوع ۲ است. این مطالعه می‌تواند داده‌های ارزشمندی در زمینه مداخلات غیردارویی برای بهبود تعادل هورمونی، کاهش پیامدهای دیابت و چاقی و ارتقای سلامت عمومی ارائه دهد.

روش‌شناسی

پژوهش حاضر از نوع مطالعات بنیادی- بوده که آزمودنی‌ها در یک طرح ۸ هفته‌ای مورد بررسی قرار می‌گیرند، لذا پژوهش حاضر از نوع تجربی می‌باشد. مطالعه حاضر با کد اخلاق IR.IAU.SARI.REC.1402.250 در کمیسیون کد اخلاق دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساری به تصویب رسید. به منظور اجرای پژوهش حاضر، ۴۰ سر موش ماده نژاد ویستار با سن ۸ هفته با میانگین وزنی ۲۰۰ گرم از مزرعه حیوانات دانشگاه علوم پزشکی کرمان تهیه شد تا در کار آزمایشگاهی در دانشگاه علوم پزشکی کرمان مورد استفاده قرار گیرند. نمونه‌ها در شرایط استاندارد، چرخه روشنایی-تاریکی شبانه‌روزی ۱۲-۱۲ ساعته، دمای 23 ± 1 درجه سانتی‌گراد و آب و غذای کافی نگهداری شدند. به منظور سازش حیوانات با شرایط آزمایشگاهی، به مدت ۱۰ روز دوره سازگاری بدون مداخله صورت گرفت. پس از سازگاری حیوانات با محیط جدید، در این مطالعه تعداد ۴۰ سر موش به ۴ گروه با ۱۰ سر موش تقسیم می‌شوند. گروه‌های به شرح زیر می‌باشند: کنترل سالم (بدون دیابت و بدون تمرین)، کنترل دیابتی (دارای دیابت و بدون تمرین)، تمرین سالم (بدون دیابت و دارای تمرین) و تمرین دیابتی (دارای دیابت و دارای

تمرین). گروه‌های کنترل دیابتی و تمرین دیابتی مبتلاء به دیابت نوع ۲ شدند و پس از آن به مدت هشت هفته تحت مداخله ورزشی قرار گرفتند. رژیم غذایی پرچرب از پژوهشکده رویان اصفهان خریداری شد که شامل ترکیبات زیر بود: ۶۰ درصد چربی (۲۴۵ گرم Lard و ۲۵ گرم روغن سویا)، ۲۰ درصد کربوهیدرات (۱۲۵ گرم Lodex ۱۰ و ۷۲/۸ گرم سوکروز)، ۲۰ درصد پروتئین (۲۰۰ گرم کازئین و ۳ گرم سیستئین)، فیبر ۵۰ گرم (Solca Floc)، ۵۰ گرم مواد معدنی، ۳ گرم ویتامین و ۵/۰ گرم رنگ. ترکیب رژیم غذایی معمولی مشابه با ترکیب بیان شده برای رژیم پرچرب است، با این تفاوت که مقدار ترکیبات دو نوع رژیم غذایی با هم متفاوت است. ملاک چاقی هر موش در این تحقیق وزنی حدود ۴۰۰-۳۰۰ گرم در نظر گرفته شد.

روش القاء دیابت نوع دو در این مطالعه بدین گونه بود که حیوانات به مدت ۲ ماه با رژیم غذایی پرچرب ۶۰ درصد کیلوکالری تغذیه شدند و بعد از ۲ ماه، حیوانات در حالت ۱۲ ساعت ناشتا قرار گرفته و سپس یک دوز ۳۵ میلی گرم بر کیلوگرم استرپتوزوتوسین به صورت داخل صفاقی تزریق شد. سه روز بعد از تزریق، با استفاده از گلوکومتر قند خون حیوانات اندازه گیری شد. حیواناتی که گلوکز خون ناشتا بالاتر از ۳۰۰ دسی گرم بر میلی لیتر داشته باشند را به عنوان دیابتی در نظر گرفته و وارد مطالعه شدند (۶).

به منظور اجرای پروتکل تمرینی، در ابتدا در مرحله آشناسازی موش‌های گروه تمرین و تمرین دیابتی دو بار در روز، به مدت ۵ روز و هر روز ۱۰ دقیقه با شیب صفر و سرعت ۸ متر بر دقیقه روی تردمیل راه رفتند. بعد از پایان دوره آشناسازی، موش‌ها تست فرآینده پلکانی را را به منظور بدست آوردن حداکثر سرعت موش‌ها اجرا کردند. در این تست ابتدا به مدت ۲ دقیقه و با سرعت ۶ متر بر دقیقه دویدند و هر ۲ دقیقه یکبار ۲ متر بر دقیقه به سرعت تردمیل اضافه شد تا زمانی که قادر به حفظ این سرعت نباشند. آخرین تلاش هر موش به عنوان حداکثر سرعت در نظر گرفته شد. در نهایت پروتکل تمرینی به مدت ۸ هفته و ۳ جلسه در هفته اجرا شد. پروتکل تمرین در جدول شماره ۱ آورده شده است. در ابتدا و انتهای هر جلسه موش‌ها به مدت ۵ دقیقه با شدت ۵۰-۴۰ درصد سرعت بیشینه برای گرم کردن و سردکردن روی نوار گردان دویدند (۹). لازم به ذکر است که سرعت بیشینه موش‌ها در ابتدای هر هفته مجدداً اندازه‌گیری گردید تا شدت تمرین بر اساس سرعت بیشینه اندازه‌گیری در هر هفته طراحی شود و اصل اضافه بار به درستی رعایت شود.

جدول ۱- پروتکل تمرین تناوبی باشدت بالا

هفته	شیب	تعداد تناوب	زمان های هر تناوب	سرعت در تناوب شدید (% سرعت بیشینه)	زمان هر تناوب استراحت (دقیقه)	سرعت در تناوب استراحت (% سرعت بیشینه)	زمان تمرین (دقیقه)
اول	صفر	۴	۲	۸۰	یک	۵۰	۱۲
دوم	صفر	۵	۲	۸۰	یک	۵۵	۱۵
سوم	صفر	۶	۲	۸۵	یک	۵۵	۱۸
چهارم	صفر	۷	۲	۸۵	یک	۶۰	۲۱
پنجم	صفر	۸	۲	۹۰	یک	۶۰	۲۴
ششم	صفر	۹	۲	۹۰	یک	۶۵	۲۷
هفتم	صفر	۱۰	۲	۹۵	یک	۶۵	۳۰
هشتم	صفر	۱۱	۲	۹۵	یک	۶۵	۳۳

برای سنجش سطح استروژن و متغیرهای تحقیق از روش الایزا استفاده شد. برای رعایت موازین اخلاقی رت‌ها ۴۸ ساعت پس از آخرین مداخله با حداقل ۸ ساعت ناشتایی با محلول کلروفورم بیهوش و پس از شکافتن قفسه سینه از بطن چپ قلب با سرنگ ۳ سی‌سی خونگیری انجام شد تا رت‌ها قربانی شوند و سزج متغیرهای تحقیق اندازه‌گیری گردید. در بررسی تغییرات متغیرهای تحقیق و برای بررسی معنی‌دار بودن اختلافات بین گروه‌های مورد آزمایش در هر یک از آزمون‌ها از آنالیز واریانس

دوطرفه استفاده شد. همچنین به منظور مقایسه بین گروهی از آزمون توکی استفاده گردید. تجزیه و تحلیل‌های آماری در سطح معنی‌داری $P < 0.05$ صورت پذیرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها از طریق نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ و برای رسم نمودارها از نرم افزار گراف پد نسخه ۶ استفاده گردید.

یافته‌ها

مقادیر (میانگین $\pm$ انحراف استاندارد) متغیرهای مورد مطالعه پس از ۸ هفته اجرای طرح پژوهشی در چهار گروه کنترل سالم، کنترل دیابتی، تمرین سالم و تمرین دیابتی در جدول ۲ گزارش شده است.

جدول ۲- مقادیر شاخص‌های مورد مطالعه

گروه مورد مطالعه				متغیر
تمرین دیابتی	کنترل دیابتی	تمرین سالم	کنترل سالم	
$16/010 \pm 2/645$	$10/620 \pm 3/026$	$25/110 \pm 5/535$	$19/200 \pm 3/242$	انسولین ($\mu\text{u/ml}$)
$199/16 \pm 14/24$	$351/7 \pm 15/5$	$75/11 \pm 2/15$	$85/30 \pm 7/30$	گلوکز (ml/dl)
$23/851 \pm 4/711$	$13/958 \pm 4/144$	$32/131 \pm 5/542$	$29/556 \pm 3/157$	استروژن ($\mu\text{u/ml}$)

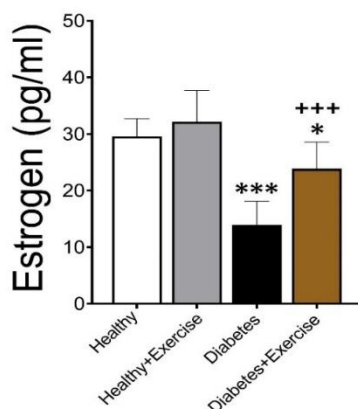
به منظور بررسی تعامل بین تمرین تناوبی با شدت زیاد و T2DM پس از ۸ هفته در ارتباط با میزان استروژن سرم از آزمون تحلیل واریانس دو طرفه استفاده شد (جدول ۳). با توجه به جدول ۳، تحلیل واریانس دو طرفه نشان داد که تأثیر ابتلاء به T2DM، صرف نظر از نوع گروه از لحاظ تمرین کرده یا نکرده، بر میزان استروژن سرم معنی‌دار بود به طوری که وضعیت دیابتی باعث کاهش سطح استروژن سرم گردید ($F_{1,36}=71/212$, $P=0/000$). با این حال صرف نظر از نوع گروه از لحاظ ابتلاء به T2DM یا سالم بودن، ۸ هفته تمرین تناوبی با شدت زیاد منجر به افزایش معنی‌دار میزان استروژن سرم شد ($F_{1,36}=19/416$, $P=0/000$). همچنین تعامل معنی‌داری بین تأثیر ابتلاء به T2DM و تمرین تناوبی با شدت زیاد در میزان استروژن سرم مشاهده شد به طوری که در گروه تعاملی سطح استروژن افزایش معناداری داشت ($F_{1,36}=6/689$, $P=0/014$).

جدول ۳- آزمون تحلیل واریانس دو طرفه برای بررسی میزان استروژن سرم

شاخص مورد اندازه‌گیری	اثر مورد مقایسه	مجموع مربعات	F	P
استروژن ($\mu\text{u/ml}$)	T2DM	۱۴۲۵/۳۹۷	۷۱/۲۱۲	* ۰/۰۰۰
	EXERCISE	۳۸۸/۶۲۸	۱۹/۴۱۶	* ۰/۰۰۰
	تعامل T2DM و EXERCISE	۱۳۳/۸۸۳	۶/۶۸۹	* ۰/۰۱۴

* معنی‌داری در سطح $P < 0.05$

به منظور مقایسه زوجی بین گروه‌ها مورد مطالعه در ارتباط با میزان استروژن سرم از آزمون تعقیبی توکی استفاده شد. با توجه به شکل ۱، با انجام آزمون تعقیبی توکی مشاهده شد که میزان استروژن سرم در گروه تعاملی تمرین + دیابت نسبت به گروه‌های کنترل دیابتی ($P=0/000$) به طور معنی‌داری افزایش داشت و نسبت به گروه کنترل سالم و گروه تمرین ($P=0/000$) کاهش معنی‌داری داشت. همچنین میزان استروژن سرم در گروه دیابتی نسبت به گروه کنترل سالم ($P=0/000$) و تمرین ($P=0/000$) و گروه تعاملی ($P=0/000$) کاهش معنی‌داری داشت و در بقیه گروه‌ها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.



شکل ۱- نتایج حاصل از مقادیر استروژن سرم

علامت * روی تصاویر مقایسه شده با گروه healthy می‌باشد؛ علامت + روی تصاویر مقایسه شده با گروه diabetes می‌باشد؛ یک علامت برابر است با $P < 0.05$ ؛ دو علامت برابر است با $P < 0.01$ ؛ سه علامت برابر است با $P < 0.001$

بحث

نتایج نشان داد که تأثیر ابتلاء به دیابت نوع ۲، صرف نظر از نوع گروه از لحاظ تمرین کرده یا نکرده، بر میزان استروژن سرم معنی‌دار بود به طوری که وضعیت دیابتی باعث کاهش سطح استروژن سرم گردید. با این حال صرف نظر از نوع گروه از لحاظ ابتلاء به دیابت نوع ۲ یا سالم بودن، ۸ هفته تمرین تناوبی با شدت زیاد منجر به افزایش معنی‌دار میزان استروژن سرم شد. همچنین تعامل معنی‌داری بین تأثیر ابتلاء به دیابت نوع ۲ و تمرین تناوبی با شدت زیاد در میزان استروژن سرم مشاهده شد به طوری که در گروه تعاملی سطح استروژن افزایش معناداری داشت؛ مقایسه زوجی بین گروه‌ها نشان داد که میزان استروژن سرم در گروه تعاملی تمرین + دیابت نسبت به گروه‌های کنترل دیابتی به‌طور معنی‌داری افزایش داشت و نسبت به گروه کنترل سالم و گروه تمرین کاهش معنی‌داری داشت. همچنین میزان استروژن سرم در گروه دیابتی نسبت به گروه کنترل سالم و تمرین و گروه تعاملی کاهش معنی‌داری داشت و در بقیه گروه‌ها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (۱۱). نتایج به دست آمده با نتایج تحقیقات الرواف (Al-Rawaf) و همکاران (۲۰۲۳) (۲) و دملو (de Mello) و همکاران (۲۰۲۲) (۱۰) همراستا و همسو بود. علت احتمالی تغییرات هورمون استروژن هنوز به خوبی مشخص نیست، لیکن برخی آن را ناشی از افزایش متابولیسم چربی‌ها در خارج از مناطق گندها می‌دانند. شواهد فیزیولوژیکی و ژنتیکی در انسان و جوندگان از هر دو جنس در مورد ارتباط بین انسولین و هورمون استروژن و گیرنده استروژن، اتفاق نظر دارند که میزان حساسیت مطلوب به انسولین در غلظت‌های فیزیولوژیک حداقلی هورمون استروژن مشاهده می‌شود. در مقابل، به نظر می‌رسد جایگزینی و یا افزایش استروژن به سطوح بیش از حد فیزیولوژیک یا تحریک بیش از حد گیرنده استروژن موجب افزایش مقاومت به انسولین ثانویه به هیپرانسولینمی (کبدی)، یا کاهش در بیان ناقل گلوکز (عضله) می‌شود، نشان داده شده است، در زنان مبتلا به دیابت، هر دو حالت استروژن خوراکی و زیرجلدی با یا بدون پروژسترون موجب کاهش گلوکز ناشتا، بهبود مقاومت به انسولین می‌شود (۱). افزایش معنی‌دار میزان استروژن در موش‌های دیابتی نوع ۲ پس از هشت هفته تمرین تناوبی با شدت زیاد ممکن است به دلایل متعددی مرتبط باشد. تمرینات تناوبی با شدت زیاد از طریق تأثیر بر محور هیپوتالاموس-هیپوفیز-گناد، یکی از مهم‌ترین سیستم‌های هورمونی بدن، می‌تواند تولید هورمون‌های جنسی مانند استروژن را افزایش دهند. این محور به گونه‌ای کار می‌کند که هیپوتالاموس با ترشح هورمون آزادکننده گونادوتروپین غده هیپوفیز را تحریک می‌کند. هیپوفیز در پاسخ به این تحریک، دو هورمون کلیدی یعنی هورمون لوتئینیزه کننده و هورمون محرک فولیکول را ترشح می‌کند که مستقیماً بر تخمدان‌ها اثر

گذاشته و تولید استروژن را افزایش می‌دهند. وقتی فرد تمرین تناوبی با شدت زیاد انجام می‌دهد، بدن تحت فشار فیزیکی زیادی قرار می‌گیرد که نیاز به تنظیم هورمون‌ها برای انطباق با این فعالیت‌ها دارد. افزایش ترشح هورمون لوتئینیزه کننده و هورمون محرک فولیکول یکی از پاسخ‌های بدن به این فشار است، چرا که این هورمون‌ها به تنظیم تولید انرژی و بازسازی عضلات کمک می‌کنند. در نتیجه، تمرین تناوبی با شدت زیاد می‌تواند تولید هورمون‌های جنسی مانند استروژن را تحریک کند تا تعادل هورمونی بدن حفظ شود. در افراد مبتلا به دیابت نوع ۲، به دلیل مشکلات متابولیکی و چاقی، تعادل هورمونی به هم می‌خورد. این اختلالات می‌توانند به کاهش سطح استروژن منجر شوند، چرا که تولید و تنظیم هورمون‌ها تحت تأثیر مقاومت به انسولین و افزایش چربی بدن قرار می‌گیرد (۳). تمرین تناوبی با شدت زیاد می‌تواند این عدم تعادل را با افزایش تولید هورمون‌های محور هیپوتالاموس-هیپوفیز-گناد جبران کند، زیرا بهبود متابولیسم گلوکز و چربی و کاهش التهاب و استرس اکسیداتیو ناشی از این تمرینات به بازگرداندن عملکرد عادی محور هیپوتالاموس-هیپوفیز-گناد کمک می‌کند. علاوه بر این، تمرین تناوبی با شدت زیاد به بهبود عملکرد تخمدان‌ها نیز کمک می‌کند، چرا که با بهبود جریان خون و کاهش چربی احشایی، محیطی مناسب برای تولید بهتر استروژن فراهم می‌شود. چربی‌های احشایی، به ویژه در افراد دیابتی، باعث تولید بیشتر عوامل التهابی می‌شوند که مستقیماً بر تخمدان‌ها و سایر بخش‌های محور هورمونی اثر منفی دارند. با کاهش این التهاب‌ها و بهبود متابولیسم، شرایط برای تولید بهتر استروژن فراهم می‌شود. بنابراین، تمرین تناوبی با شدت زیاد با تحریک سیستم عصبی و هورمونی، بهبود متابولیسم و کاهش التهاب‌های مزمن، تولید استروژن را در بدن افزایش می‌دهند و این می‌تواند توضیح‌دهنده افزایش معنی‌دار سطح استروژن در موش‌های دیابتی نوع ۲ پس از هشت هفته تمرین تناوبی با شدت زیاد باشد (۱۰). همچنین در افراد مبتلا به دیابت نوع ۲، به دلیل افزایش چربی بدن و کاهش حساسیت به انسولین، متابولیسم چربی‌ها دچار اختلال می‌شود. بدن به جای استفاده از چربی‌ها به عنوان منبع انرژی، آن‌ها را ذخیره می‌کند، که این خود باعث افزایش ذخایر چربی، به ویژه در نواحی احشایی، و تشدید اختلالات متابولیکی می‌شود. تمرینات تناوبی با شدت زیاد نقش کلیدی در بهبود اکسیداسیون چربی‌ها و استفاده بهینه از آن‌ها به عنوان منبع انرژی دارند. این تمرینات بدن را به مصرف چربی به جای ذخیره‌سازی آن تحریک می‌کنند، که این موضوع اثرات زیادی بر تنظیم هورمون‌های جنسی مانند استروژن دارد (۷).

در تمرین تناوبی با شدت زیاد، عضلات به سرعت و به میزان زیادی انرژی مصرف می‌کنند و بدن نیاز دارد تا انرژی مورد نیاز را از ذخایر چربی تامین کند. در این فرآیند، میزان اکسیداسیون چربی افزایش می‌یابد، به این معنی که چربی‌ها به عنوان سوخت اصلی در اختیار سلول‌های عضلانی قرار می‌گیرند و این بهبود در مصرف چربی منجر به کاهش ذخایر چربی می‌شود. با کاهش چربی‌های احشایی که مستقیماً بر تولید استروژن تأثیر می‌گذارند، محیط داخلی بدن برای تولید بهتر هورمون‌ها از جمله استروژن بهینه‌تر می‌شود. علاوه بر این، چربی‌های بدن خود به عنوان منبعی برای تولید استروژن از طریق فرآیندی به نام آروماتاز عمل می‌کنند (۹). این آنزیم، آندروژن‌ها (هورمون‌های مردانه) را به استروژن تبدیل می‌کند. در افراد چاق و مبتلا به دیابت نوع ۲، تولید بیش از حد چربی، به ویژه چربی احشایی، می‌تواند باعث افزایش تولید استروژن‌های غیرطبیعی شود که منجر به عدم تعادل هورمونی و کاهش کارایی استروژن در بدن می‌شود. تمرین تناوبی با شدت زیاد با کاهش این چربی‌ها و افزایش اکسیداسیون آن‌ها، نه تنها میزان کل استروژن را متعادل‌تر می‌کند، بلکه باعث افزایش تولید استروژن مفیدتر از طریق آروماتاز نیز می‌شود. همچنین، تمرین تناوبی با شدت زیاد با تحریک فعالیت آنزیم‌ها و مسیرهای متابولیکی مرتبط با مصرف انرژی، به بازسازی ساختار سلولی و بهبود عملکرد غدد و اندام‌های تولیدکننده هورمون کمک می‌کند. این فرآیند باعث می‌شود تخمدان‌ها به طور مؤثرتری عمل کنند و استروژن بیشتری تولید کنند (۴). در مجموع، کاهش چربی بدن و بهبود متابولیسم

ناشی از تمرین تناوبی با شدت زیاد می‌تواند به تنظیم بهتر هورمون‌ها و افزایش سطح استروژن در بدن کمک کند. بنابراین، تمرینات تمرین تناوبی با شدت زیاد با بهبود اکسیداسیون چربی‌ها و کاهش ذخایر چربی در بدن، نقش مستقیمی در افزایش سطح استروژن دارند، زیرا این فرآیندها به تعادل بهتر هورمونی و بهبود عملکرد سیستم‌های تولید هورمون کمک می‌کنند. تمرینات تناوبی با شدت زیاد به‌طور موثری می‌توانند استرس اکسیداتیو و التهاب‌های مزمن مرتبط با دیابت نوع ۲ و چاقی را کاهش دهند. استرس اکسیداتیو به وضعیت عدم تعادل بین تولید رادیکال‌های آزاد و سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی در بدن اشاره دارد. در افراد مبتلا به دیابت نوع ۲، تولید رادیکال‌های آزاد افزایش می‌یابد که می‌تواند به تخریب سلولی و اختلالات متابولیسمی منجر شود. تمرین تناوبی با شدت زیاد با افزایش تولید آنتی‌اکسیدان‌ها و تقویت سیستم‌های دفاعی سلولی، می‌تواند به کاهش استرس اکسیداتیو کمک کند و از آسیب به بافت‌ها و اندام‌ها جلوگیری کند (۸).

از سوی دیگر، التهاب مزمن در دیابت نوع ۲ معمولاً با افزایش سطوح سیتوکین‌های التهابی مانند TNF- α و IL-6 همراه است. این سیتوکین‌ها می‌توانند به مقاومت به انسولین و اختلال در عملکرد هورمونی منجر شوند. تمرین تناوبی با شدت زیاد به عنوان یک نوع تمرین فیزیکی شدید، می‌تواند با تحریک تولید سیتوکین‌های ضدالتهابی و کاهش سیتوکین‌های التهابی، وضعیت التهابی بدن را بهبود بخشد (۲). این تغییرات می‌توانند به کاهش التهاب‌های مزمن و بهبود حساسیت به انسولین کمک کنند که در نهایت تأثیر مثبتی بر تولید هورمون‌های جنسی از جمله استروژن دارند. کاهش استرس اکسیداتیو و التهاب به عملکرد بهینه تخمدان‌ها کمک می‌کند. تخمدان‌ها به عنوان منبع اصلی تولید استروژن در بدن، نیاز به محیطی سالم و بدون التهاب دارند تا بتوانند به‌طور مؤثری این هورمون را تولید کنند (۷). تمرین تناوبی با شدت زیاد با بهبود وضعیت متابولیسمی و کاهش التهاب‌های مزمن، محیطی مناسب برای تولید استروژن فراهم می‌کند و می‌تواند باعث افزایش سطح استروژن شود. همچنین، تمرین تناوبی با شدت زیاد می‌تواند باعث تغییر در پروفایل هورمونی بدن شود. تمرینات شدید می‌توانند به افزایش تولید هورمون‌های دیگری مانند تستوسترون و همچنین هورمون‌های مرتبط با تنظیم متابولیسم کمک کنند. این هورمون‌ها ممکن است به‌طور غیرمستقیم بر تولید استروژن تأثیر بگذارند و به بهبود تعادل هورمونی کمک کنند. در نهایت، تمرین تناوبی با شدت زیاد با کاهش استرس اکسیداتیو و التهاب، به تنظیم بهتر هورمون‌ها کمک کرده و می‌تواند باعث افزایش تولید استروژن در موش‌های دیابتی نوع ۲ شود. این فرآیندها نه تنها به بهبود سطح استروژن کمک می‌کنند، بلکه به بهبود کیفیت زندگی و سلامت عمومی افراد نیز تأثیر مثبت دارند.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش به‌طور کلی نشان داد که هشت هفته تمرین تناوبی با شدت زیاد منجر به بهبودهای معناداری در متابولیسم و عملکرد هورمونی در رت‌های ماده چاق مبتلا به دیابت نوع ۲ شد. این تمرینات باعث افزایش سطح انسولین و استروژن سرم شدند که نشان‌دهنده بهبود حساسیت به انسولین و تعادل هورمونی است.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

این مطالعه با کد IR.IAU.SARI.REC.1402.250 در کمیته اخلاق دانشگاه علوم پزشکی مازندران تأیید شد.

حامی مالی

این تحقیق هیچ بودجه‌ای دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

مفهوم‌سازی، فروزان فتاحی مسرور؛ روش‌شناسی، مقصود پیری؛ نرم‌افزار، مقصود پیری؛ اعتبارسنجی، مقصود پیری؛ تحلیل، هانیة فاریابی؛ تحقیق، هانیة فاریابی؛ مدیریت داده، هانیة فاریابی، فروزان فتاحی مسرور؛ نوشتن-آماده‌سازی پیش‌نویس اصلی، فروزان فتاحی مسرور؛ نظارت، فروزان فتاحی مسرور؛ مدیریت پروژه، فروزان فتاحی مسرور.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله مراتب قدردانی خود را از مسئولین دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی در اجرای این پژوهش ابراز می‌دارند.

References

1. Hamasaki H. High-intensity Interval Training in Patients with Type 2 Diabetes: A Perspective from Previous Systematic Reviews. *Endocr Metab Immune Disord Drug Targets*. 2023;23(10):1248-1253. doi: [10.2174/1871530323666230330124105](https://doi.org/10.2174/1871530323666230330124105)
2. Al-Rawaf HA, Gabr SA, Iqbal A, Alghadir AH. High-Intensity Interval Training Improves Glycemic Control, Cellular Apoptosis, and Oxidative Stress of Type 2 Diabetic Patients. *Medicina (Kaunas)*. 2023;59(7):1320. doi: [10.3390/medicina59071320](https://doi.org/10.3390/medicina59071320)
3. Zheng L, Qin R, Rao Z, Xiao W. High-intensity interval training induces renal injury and fibrosis in type 2 diabetic mice. *Life Sci*. 2023;324:121740. doi: [10.1016/j.lfs.2023.121740](https://doi.org/10.1016/j.lfs.2023.121740)
4. Cavalli NP, de Mello MB, Righi NC, Schuch FB, Signori LU, da Silva AMV. Effects of high-intensity interval training and its different protocols on lipid profile and glycemic control in type 2 diabetes: A meta-analysis. *J Sports Sci*. 2024;42(4):333-349. doi: [10.1080/02640414.2024.2330232](https://doi.org/10.1080/02640414.2024.2330232)
5. Poon ET, Li HY, Kong APS, Little JP. Efficacy of high-intensity interval training in individuals with type 2 diabetes mellitus: An umbrella review of systematic reviews and meta-analyses. *Diabetes Obes Metab*. 2025;27(4):1719-1734. doi: [10.1111/dom.16220](https://doi.org/10.1111/dom.16220)
6. Targher G, Corey KE, Byrne CD, Roden M. The complex link between NAFLD and type 2 diabetes mellitus - mechanisms and treatments. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol*. 2021;18(9):599-612. doi: [10.1038/s41575-021-00448-y](https://doi.org/10.1038/s41575-021-00448-y)
7. Karstoft K, Thorsen Ik, Nielsen Js, Solomon TPJ, Masuki S, Nose H, Ried-Larsen M. Health benefits of interval walking training. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2024;49(7):1002-1007. doi: [10.1139/apnm-2023-0595](https://doi.org/10.1139/apnm-2023-0595)
8. Peng Y, Ou Y, Wang K, Wang Z, Zheng X. The effect of low volume high-intensity interval training on metabolic and cardiorespiratory outcomes in patients with type 2 diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2023;13:1098325. doi: [10.3389/fendo.2022.1098325](https://doi.org/10.3389/fendo.2022.1098325)
9. Perreault L, Skyler JS, Rosenstock J. Novel therapies with precision mechanisms for type 2 diabetes mellitus. *Nat Rev Endocrinol*. 2021;17(6):364-377. doi: [10.1038/s41574-021-00489-y](https://doi.org/10.1038/s41574-021-00489-y)
10. de Mello MB, Righi NC, Schuch FB, Signori LU, da Silva AMV. Effect of high-intensity interval training protocols on VO₂max and HbA1c level in people with type 2 diabetes: A systematic review and meta-analysis. *Ann Phys Rehabil Med*. 2022;65(5):101586. doi: [10.1016/j.rehab.2021.101586](https://doi.org/10.1016/j.rehab.2021.101586)
11. García-Hermoso A, Ramírez-Vélez R, Díez J, González A, Izquierdo M. Exercise training-induced changes in exerkine concentrations may be relevant to the metabolic control of type 2 diabetes mellitus patients: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *J Sport Health Sci*. 2023;12(2):147-157. doi: [10.1016/j.jshs.2022.11.003](https://doi.org/10.1016/j.jshs.2022.11.003)