University of Tehran Press

Journal of Sport Biosciences

Online ISSN: 2676-4148

# The Effect of 12 Weeks of Aerobic Exercise Combined with Flaxseed Supplementation on Inflammatory Factors in Obese and Overweight Women with Diabetes

**Fatemeh Abuali[1], Hadi Ghaedi[2], Mehran Ghahramani✉[3]**

1. Department of Exercise Physiology, Lamerd Branch, Islamic Azad University, Lamerd, Iran. E-mail: f.abuali1370@iau.ac.ir
2. Department of Exercise Physiology, Lamerd Branch, Islamic Azad University, Lamerd, Iran. E-mail: ghaedi.hadi@iau.ac.ir
3. Corresponding Author, Department of Exercise Physiology, Gilan-E-Gharb Branch, Islamic Azad University, Gilan-E-Gharb, Iran. E-mail: m.ghahramani@iauksh.ac.

## Article Info

**Article type:**

Research

**Article history:**
Received:
27 October 2024
Received in revised form:
19 February 2025
Accepted:
22 April 2025
Published online:
18 June 2025

**Keywords**:
*Aerobic Training,*
*CRP,*
*flaxseed Supplement,*
*IL-6,*
*TNF-a.*

## ABSTRACT

**Introduction:** Diabetes is a type of metabolic disorder characterized by high blood sugar levels. The present research aimed to determine the effect of 12 weeks of aerobic exercise combined with flaxseed consumption on inflammatory factors in obese diabetic women.

**Methods:** The statistical population included all obese diabetic women in Lamerd City. In this quasi-experimental study, 40 obese and overweight women aged 28 to 38 years with diabetes and a body mass index (BMI) of 25 or higher were selected from healthcare centers in Lamerd County. Participants were randomly assigned to one of four groups: aerobic exercise, flaxseed supplementation, aerobic exercise combined with flaxseed supplementation, and control. Two groups underwent the exercise protocol: the aerobic exercise group participated in 12 weeks of aerobic training, three sessions per week, each lasting 60 minutes. The flaxseed supplementation group consumed 0.62 grams of flaxseed powder per kilogram of body weight across three daily meals for 12 weeks. The control group made no changes to their lifestyle. Blood samples were collected from all participants before and after the 12-week intervention. The research data were analyzed using repeated measures analysis of variance (RM-ANOVA) at a significance level of $p < 0.05$.

**Results:** The results of the present study showed that 12 weeks of aerobic exercise and 12 weeks of aerobic exercise combined with flaxseed supplementation had a significant reducing effect on TNF-α, IL-6, and CRP levels in obese and overweight diabetic women($P<0.05$). However, flaxseed supplementation alone did not have a significant effect on these factors. Furthermore, the combination of aerobic exercise and flaxseed supplementation had a more significant reducing effect on TNF-α, IL-6, and CRP compared to aerobic exercise or flaxseed supplementation alone.

**Conclusion:** Based on the results of the present study, the consumption of flaxseed supplements along with physical activity likely has a synergistic effect, reducing inflammatory factors and enhancing the effects of physical activity.

**Cite this article:** Abuali F., Ghaedi H., Ghahramani M. The Effect of 12 Weeks of Aerobic Exercise Combined with Flaxseed Supplementation on Inflammatory Factors in Obese and Overweight Women with Diabetes. *Journal of Sport Biosciences*. 2024; 17 (1): 63-77.

DOI: http//doi.org/10.22059/JSB.2025.384433.1658

Journal of Sport Biosciences by University of Tehran Press is licensed under CC BY-NC 4.0. | Web site: https://jsb.ut.ac.ir/ | Email: jsb@ut.ac.ir.

© The Author(s). Publisher: University of Tehran Press.

Journal of Sport Biosciences
University of Tehran Press
Online ISSN: 2676-4148

## Extended Abstract

### Introduction

Diabetes, particularly type 2 diabetes, is a metabolic disorder characterized by elevated blood sugar levels. This condition occurs when blood sugar remains high for extended periods and can be life-threatening if left untreated. Research has shown that physical inactivity contributes significantly to the global burden of insulin resistance and low oxidative capacity in skeletal muscles. On the other hand, regular physical exercise is recommended to help prevent type 2 diabetes mellitus (T2DM), potentially reducing its incidence by 50% in individuals at high metabolic risk. It also assists in managing T2DM by improving blood sugar control and alleviating related health issues, such as enhancing blood pressure and lean muscle mass, while reducing lipid levels, body fat, and insulin resistance. However, there is still ongoing debate regarding the optimal exercise dose—considering duration, frequency, and intensity—that maximizes insulin sensitivity and beta-cell function in individuals at risk for or diagnosed with T2DM. Additionally, despite some claims about the effects of flaxseed and its derivatives on inflammatory markers, the results of these studies have been inconsistent. This study aimed to investigate the impact of 12 weeks of aerobic exercise combined with flaxseed consumption on inflammatory factors in obese diabetic women.

### Methods

The statistical population for this study consisted of all obese diabetic women in the city of Lamerd. A total of 40 obese diabetic women, monitored by healthcare centers in Lamerd County with a body mass index (BMI) of 25 or greater, were selected for participation. These participants were randomly assigned to one of four groups: aerobic exercise, flaxseed supplement, aerobic exercise combined with flaxseed supplement, and a control group (with 10 participants in each group). The exercise group followed a 12-week aerobic exercise program, participating in three sessions per week, with each session lasting 60 minutes. Participants in the flaxseed supplement group consumed 0.62 grams of ground flaxseed per kilogram of body weight, mixed with 250 milliliters of water, along with each of their three meals. The control group did not make any changes to their lifestyle. Blood samples were collected from all participants before the intervention and again after the 12-week period. The research data were analyzed using repeated measures analysis of variance, with a significance level set at less than 5%.

### Results

The findings of the current study demonstrated that 12 weeks of aerobic exercise, along with 12 weeks of aerobic exercise combined with flaxseed supplementation, significantly affected the levels of TNF-α, IL-6, and CRP in obese diabetic women. However, flaxseed supplementation on its own did not lead to significant changes in TNF-α, IL-6, or CRP levels. Furthermore, the results revealed that the combination of aerobic exercise and flaxseed supplementation produced a more substantial impact on TNF-α, IL-6, and CRP levels compared to either aerobic exercise or flaxseed supplementation alone.

### Conclusion

The results of this study suggest that combining flaxseed supplementation with physical activity may have a synergistic effect, enhancing the benefits of exercise. This research contributes to our understanding of inflammation in obese women and has the potential to improve management and treatment strategies for obese women with diabetes. It can also inform and guide future human studies in this area. Furthermore, the findings may aid in developing tailored exercise regimens for diabetic patients. By adjusting exercise programs to meet the specific needs of individuals with diabetes, we can enhance their overall health and reduce the risk of inflammatory factors in obese diabetic individuals.

**Ethical Considerations**

**Compliance with ethical guidelines:** This research is derived from the master's thesis of the Sports Physiology Department and was conducted at the student's personal expense, with financial support from Islamic Azad University, Lamerd branch.

**Funding:** This research was conducted at the student's expense and did not receive any financial sponsorship.

**Authors' contribution:** Design and conceptualization were conducted by Mehran Ghahramani and Hadi Ghaedi. The methodology and data analysis were done by Fatemeh Abuali. Supervision and final writing were carried out by Mehran Ghahramani. All authors have read and reviewed the final version of the article.

**Conflict of interest:** The authors declare no conflict of interest.

**Acknowledgments:** We would like to express our gratitude to all colleagues and researchers who assisted us with this article.

علوم زیستی ورزشی
انتشارات دانشگاه تهران
شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۴۱۴۸

# تأثیر دوازده هفته تمرین هوازی همراه با مصرف مکمل دانهٔ کتان بر عوامل التهابی زنان چاق و دارای اضافه وزن مبتلا به دیابت

**فاطمه ابوعلی[۱]، هادی قائدی[۲]، مهران قهرمانی[۳]✉**

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیولوژی ورزشی، واحد لامرد، دانشگاه آزاد اسلامی، لامرد، ایران. رایانامه: f.abuali1370 @iau.ac.ir:

۲. گروه فیزیولوژی ورزشی، واحد لامرد، دانشگاه آزاد اسلامی، لامرد، ایران. رایانامه: gaedi.hadi@iau.ac.ir

۳. نویسندهٔ مسئول، گروه فیزیولوژی ورزشی، واحد گیلان غرب، دانشگاه آزاد اسلامی،گیلان غرب، ایران. رایانامه: m.ghahramani@iauksh.ac.ir

**اطلاعات مقاله**

**نوع مقاله:** پژوهشی

**تاریخ دریافت:** ۱۴۰۳/۰۸/۰۶
**تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۳/۱۲/ ۰۱
**تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۴/۰۲/۰۳
**تاریخ انتشار:** ۱۴۰۴/۰۳/ ۲۹

**کلیدواژه‌ها:**
*تمرین هوازی،*
*مکمل دانهٔ کتان،*
*TNF-a،*
*IL-6*
*CRP.*

**چکیده**

**مقدمه:** دیابت نوعی اختلال متابولیک است که با سطوح بالای قند در خون مشخص می‌شود. هدف تحقیق حاضر تعیین تأثیر ۱۲هفته تمرین هوازی همراه با مصرف دانهٔ کتان بر عوامل التهابی زنان چاق دیابتی بود.

**روش پژوهش:** جامعهٔ آماری تحقیق تمامی زنان چاق دیابتی شهر لامرد بودند. در این پژوهش نیمه‌تجربی ۴۰ زن چاق و دارای اضافه وزن مبتلا به دیابت در ردهٔ سنی ۲۸ تا ۳۸ سال تحت نظر مراکز درمانی شهرستان لامرد با شاخص تودهٔ بدنی ۲۵ ≤ انتخاب و به‌صورت تصادفی به یکی از چهار گروه تمرین هوازی، مکمل دانهٔ کتان، تمرین هوازی + مکمل دانهٔ کتان و کنترل تقسیم شدند. دو گروه پروتکل تمرینی را اجرا کردند؛ گروه تمرین هوازی ۱۲ هفته، هفته‌ای سه جلسه و هر جلسه ۶۰ دقیقه تمرینات هوازی را اجرا کردند. گروه مکمل کتان، به ازای هر کیلوگرم وزن بدن، مقدار ۰/۶۲ گرم پودر کتان را در سه وعدهٔ غذایی به مدت ۱۲ هفته مصرف کردند. گروه کنترل هیچ تغییری در برنامهٔ زندگی خود نداد. پیش از شروع مداخله و پس از پایان ۱۲ هفته از شرکت‌کنندگان نمونهٔ خونی گرفته شد. داده‌های تحقیق با استفاده از روش آماری تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر در سطح معناداری کمتر از ۰/۰۵ تحلیل شدند.

**یافته‌ها:** نتایج تحقیق حاضر نشان داد که ۱۲ هفته تمرین هوازی و ۱۲ هفته تمرین هوازی+ مصرف مکمل دانهٔ کتان بر TNF-a، IL-6 و CRP زنان چاق و دارای اضافه وزن دیابتی تأثیر معناداری کاهشی دارد (P>۰/۰۵). اما مصرف مکمل دانهٔ کتان به‌تنهایی بر آنها تأثیر معناداری ندارد (P>۰/۰۵) و تمرین هوازی + مصرف مکمل دانهٔ کتان نسبت به تمرین هوازی و مصرف مکمل دانهٔ کتان به‌تنهایی بر TNF-a، IL-6 و CRP زنان چاق و داری اضافه وزن دیابتی تأثیر معناداری کاهشی دارد (P>۰/۰۵).

**نتیجه‌گیری:** بر اساس نتایج تحقیق حاضر مصرف مکمل دانهٔ کتان به‌همراه انجام فعالیت بدنی احتمالاً اثر هم‌فزایی دارد و عوامل التهابی را کاهش می‌دهد و تأثیرات انجام فعالیت بدنی را بهبود می‌بخشد.

**استناد:** ابوعلی، فاطمه؛ قائدی، هادی؛ قهرمانی، مهران. (۱۴۰۴). تأثیر ۱۲هفته تمرین هوازی همراه با مصرف مکمل دانهٔ کتان بر عوامل التهابی زنان چاق و دارای اضافه وزن مبتلا به دیابت. نشریهٔ *علوم زیستی ورزشی*، ۱ (۱۷)، ۷۷-۶۳.

DOI: http//doi.org/10.22059/JSB.2025.384433.1658

دسترسی به این نشریه علمی، رایگان است و حق مالکیت فکری خود را بر اساس لایسنس کریتیو کامنز (CC BY-NC 4.0) به نویسندگان واگذار کرده است.| آدرس نشریه: https://jsb.ut.ac.ir/ | ایمیل: jsb@ut.ac.ir

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران. © نویسندگان.

## مقدمه

در چند دهۀ اخیر، اپیدمی چاقی در سراسر جهان در بین تمام گروه‌های سنی گسترش یافته است [۱]. چاقی با تجمع چربی شکمی به‌ویژه احشایی مشخص می‌شود که عامل تعیین‌کننده‌ای در مقاومت به انسولین به‌ویژه در عضلات اسکلتی است[۳، ۲] . دو ویژگی کلیدی پاتوژنز دیابت نوع ۲ (*T2DM*) کاهش توانایی انسولین برای ایفای نقش فیزیولوژیکی طبیعی خود، مقاومت به انسولین [۴] و ناتوانی سلول‌های β پانکراس در ترشح کافی انسولین است [۵]. افراد مقاوم به انسولین تا حد زیادی از طریق افزایش تولید گلوکز کبدی پس از جذب و کاهش توانایی انسولین برای سرکوب تولید گلوکز کبدی، که به هیپرگلیسمی کمک می‌کند، تعیین می‌شوند [۶]. در این افراد، اختلال در خودتنظیمی کبدی با افزایش تولید گلوکز کبدی بیان می‌شود [۷]. ناهنجاری‌های متابولیسم عضلانی نقش تعیین‌کننده‌ای در ایجاد و تشدید این آسیب‌شناسی‌ها ایفا می‌کند [۸]، که اغلب مربوط به سوخت‌وساز عضله، هم در اجزای کربوهیدرات و لیپید آن، و هم نوع‌شناسی و عروقی شدن عضلات است. ناهنجاری در سوخت‌وساز کربوهیدرات ارتباط مستقیمی با مقاومت به انسولین دارد. شایان ذکر است که عضلات بافت‌های هدف اصلی برای عملکرد انسولین هستند و از نظر فیزیولوژیکی مسئول ۷۰ درصد سوخت‌وساز گلوکز و ۸۵ تا ۹۰ درصد سوخت‌وساز وابسته به انسولین هستند [۹].

در افراد سالم، توانایی انسولین برای تحریک جذب و ذخیرۀ گلوکز متناسب با فعال شدن گلیکوژن سنتتاز عضلانی (*GS*)، توسط دفسفوریلاسیون آن، تحت اثر *GS* فسفاتاز است [۱۰]. با این حال، فعالیت *GS* در افراد چاق مقاوم به انسولین کاهش می‌یابد [۱۱]. این ناهنجاری زودتر ظاهر می‌شود و به‌نظر می‌رسد با پیشرفت دیابت بدتر می‌شود. در برخی موارد، نقص در فعال‌سازی *GS* عضلانی با کاهش فعالیت *GS* فسفاتاز مرتبط است [۱۲]. علاوه بر این، کاهش شایان توجهی در اکسیداسیون کربوهیدرات در افراد مقاوم به انسولین و به‌ویژه افراد مبتلا به دیابت مشاهده شده است. این را می‌توان با تغییرات بافت‌شناسی و بیوشیمیایی در عضلات بیماران چاق توضیح داد، که نسبت کمتری از تارهای عضلانی اکسیداتیو آهسته (نوع *I*) به نفع فیبرهای گلیکولیتیک سریع (نوع *II*) دارند [۱۳]. از دیدگاه بیوشیمیایی، کاهش مصرف اکسیداتیو گلوکز را می‌توان با کاهش آنزیم‌های اکسیداتیو، از جمله پیرووات دهیدروژناز (*PDH*) توضیح داد که با افزایش آنزیم‌های گلیکولیتیک خاص، مانند فسفوفروکتوکیناز-۱ (*PFK-I*) و افزایش کراتین کیناز (*CK*) همراه است [۱۴].

به‌خوبی ثابت شده است که نداشتن فعالیت بدنی با بار جهانی بیماری [۱۵] مقاومت به انسولین و ظرفیت اکسیداتیو پایین عضلات اسکلتی [۱۶] مرتبط است. برعکس، تمرین منظم فعالیت بدنی برای کمک به پیشگیری از *T2DM* (کاهش ۵۰ درصد در بروز *T2DM* در افراد در معرض خطر متابولیک بالا) و مدیریت *T2DM* با افزایش کنترل قند خون [ ۱۷] و کاهش بیماری‌های همراه مرتبط (بهبود فشار خون و تودۀ بدون چربی، و همچنین کاهش پروفایل لیپیدی، تودۀ چربی و مقاومت به انسولین) پیشنهاد شده است. [۱۵،۱۷]. با این حال، دوز مورد نیاز ورزش (مدت، فرکانس و شدت)، به‌ویژه شدت تمرین بهینه، برای به حداکثر رساندن حساسیت به انسولین و عملکرد سلول‌های بتا در افرادی که در معرض خطر یا مبتلا به *T2DM* هستند، هنوز مورد بحث است. از آنجایی که فواید عملکرد انسولین به‌سرعت معکوس می‌شود [۱۸]، گزارش‌های قبلی مدت زمان طولانی‌تر ورزش (۴۵ تا ۶۰ دقیقه) [۱۸،۱۹] ۳ تا ۵ بار در هفته را توصیه کردند. در خصوص شدت ورزش، رایج‌ترین توصیه‌ها شدت ورزش کم تا متوسط را نشان می‌دهد [۱۹،۲۰]. با این حال، شواهد نشان می‌دهد که تمرین ورزشی با شدت بالا مزایای قلبی متابولیک بالایی دارد (مانند کاهش چربی احشایی شکم، کلسترول تام و/یا فشار خون)، [۲۱] و به‌نظر می‌رسد در بهبود حساسیت به انسولین، در افرادی که در معرض خطر ابتلا به بیماری *T2DM* هستند، مؤثر باشد [۲۲]. به‌طور مشابه، علاقه و قدردانی فزاینده‌ای برای تمرینات قدرتی برای ایجاد چندین فواید سلامتی از جمله پیشگیری از چاقی، افزایش قدرت عضلانی، جلوگیری از

سارکوپنی، کاهش چربی بدن، و حفظ تراکم معدنی استخوان و همچنین افزایش ظرفیت اکسیداتیو میتوکندری، انتقال گلوکز و کنترل قند خون وجود دارد [۲۳-۲۶].

شواهد پژوهشی نشان می‌دهد که برخی عوامل غذایی مانند استرول‌های گیاهی، فیبر غذایی، ایزوفلاون‌ها، فیتواستروژن‌ها، لیگنان‌ها و $\omega$ -3 *PUFA* از جمله *EPA*، *DHA* و $\alpha$ -لینولنیک اسید (*ALA*) خواص ضدالتهابی را نشان داده‌اند [۲۷-۲۹]. بر اساس مطالعات اپیدمیولوژیک، *ALA* می‌تواند عوارض و میزان مرگ‌ومیر ناشی از بیماری‌های قلبی- عروقی[1] را کاهش دهد. سازوکار اثر این اسید چرب هنوز مشخص نیست، اما خواص ضدالتهابی در تأثیرات مفید آن دخیل است [۳۰].

بذر کتان[2] یک دانه/غلات غنی از روغن خوراکی و یکی از قدیمی‌ترین محصولات زراعی، اخیراً به‌عنوان یک غذای کاربردی شناخته شده است [۳۱]. بذر کتان حاوی غلظت بالایی از *ALA*، فیبر محلول، پیش‌سازهای لیگنان و سایر موادی است که ممکن است فواید زیادی برای سلامتی داشته باشند [۳۲].

بذر کتان غنی‌ترین منبع غذایی گیاه لیگنان[3] (*SDG*) است که توسط باکتری‌های کولون به لیگنان های پستانداران انترودیول و انترولاکتون متابولیزه می‌شود [۳۳]. با توجه به تحقیقات مختلف، غلظت *CRP* را می‌توان به‌طور چشمگیری با *SDG* کاهش داد [۳۴].

کارآزمایی‌های بالینی زیادی برای تعیین اثر مداخلهٔ بذر کتان (بذر کتان کامل، روغن بذر کتان یا لیگنان‌ها) بر بیومارکرهای مختلف التهابی در بیماری‌های مزمن مختلف انجام شده است [۳۵،۳۶].

با توجه به اینکه دوز مورد نیاز ورزش (مدت، فرکانس و شدت)، به‌ویژه شدت تمرین بهینه، برای به حداکثر رساندن حساسیت به انسولین و عملکرد سلول‌های بتا در افرادی که در معرض خطر یا مبتلا به *T2DM* هستند، هنوز مورد بحث است و اینکه علی‌رغم ادعاهای موجود در خصوص تأثیرات بذر کتان یا مشتقات آن بر نشانگرهای التهابی، نتایج این پژوهش‌ها همچنان متناقض است [۳۷]. بنابراین هدف تحقیق حاضر تعیین تأثیر ۱۲هفته تمرین هوازی همراه با مصرف دانهٔ کتان بر عوامل التهابی زنان چاق دیابتی است.

## روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از نظر نوع تحقیق نیمه‌تجربی، بر اساس نوع جمع‌آوری داده‌ها میدانی و بر اساس هدف کاربردی است.

### جامعه و نمونهٔ آماری

جامعهٔ آماری تحقیق حاضر زنان چاق و دارای اضافه وزن مبتلا به دیابت شهرستان لامرد با میانگین سن ۴/۶۸±۳۳/۶ سال، ۰/۰۳۲±۱۵۸/۰۶ سانتی‌متر، و وزن ۵/۵۵± ۸۶/۳ کیلوگرم بودند. با توجه به فراخوان محقق، ۴۰ زن چاق و دارای اضافه وزن مبتلا به دیابت تحت نظر مراکز درمانی شهرستان لامرد با شاخص تودهٔ بدنی مساوی و بیشتر از ۲۵ انتخاب شدند. با استفاده از جدول مورگان حجم نمونه برآورد شد و شرکت‌کنندگان به‌صورت تصادفی به یکی از چهار گروه تمرین هوازی، مکمل دانهٔ کتان، تمرین هوازی +مکمل دانهٔ کتان و کنترل (هر گروه ۱۰ نفر) منتسب شدند.

1. Cardiovascular disease
2. Linum usitatissimum
3. Secoisolariciresinol diglucoside (SDG)

### معیارهای ورود و خروج

معیارهـــای ورود بـــه تحقیق عبارت بود از: زن بـــودن، دیابتی بودن، داشتن *BMI* مساوی یا بیشتر از ۲۵، توانایـی شرکت در جلسـات مداخلـه. معیارهـای خـروج از تحقیق نیز عبارت بود از: غیبـت بیـش از دو جلسـه در تمرینات یـا عـدم اجرای مداخلهٔ تمرینی یا تغذیه‌ای، وجود هرگونه حساسیت به استفاده از بـــه مکمل دانهٔ کتان، ابتلا بـــه بیماری‌های مختلـف جسمی در طول تحقیق، عـدم تمایـل بـرای ادامـهٔ شرکت در پژوهش.

### نحوهٔ مصرف مکمل

بذر کتان مورد استفاده در این تحقیق از شرکت نیوشا تهیه و آسیاب شد و به‌صورت پودر یا شکسته درآمد. مقدار مصرفی ۰/۶۲ گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن بود که در سه قسمت برای هر وعدهٔ غذایی در اختیار شرکت‌کنندگان قرار گرفت. از شرکت‌کنندگان گروه دریافت مکمل درخواست شد تا هر بسته را یک ساعت پیش از غذا، در ۲۵۰ میلی‌لیتر آب حل و با هر وعدهٔ غذایی مصرف کنند. گروه کنترل از برنامهٔ غذایی معمول و روزمرهٔ خود استفاده کردند.

### پروتکل تمرینی

برنامهٔ تمرین هوازی شامل ۱۲ هفته تمرینات هوازی بود که در هر هفته سه جلسه و هر جلسه به مدت ۶۰ دقیقه در باشگاه ورزشی مدرن اجرا شد. برنامهٔ تمرینی شامل گرم کردن عمومی به مدت ۱۰ دقیقه (راه رفتن، دویدن نرم، حرکات کششی و جنش‌پذیری)؛ اجرای تمرینات هوازی به مدت ۴۵ تا ۶۰ دقیقه با شدتی معادل ۵۰ تا ۷۰ درصد حداکثر ضربان قلب ذخیره و زمان جلسهٔ تمرینی به‌تدریج از ۳۰ دقیقه در شروع تا ۴۵ دقیقه در پایان دوره افزایش می‌یافت. شدت تمرین به‌وسیلهٔ ضربان‌سنج (*POLAR*/ فنلاند) کنترل می‌شد. در پایان هر جلسه تمرین ورزشی به مدت ۱۰ دقیقه بازگشت بدن به حالت اولیه و سرد کردن (دویدن آهسته، راه رفتن و حرکات کششی) انجام می‌گرفت [۳۸].

**جدول ۱. پروتکل تمرین هوازی**

| هفته | جلسه (دقیقه) | مدت تمرین هوازی (دقیقه) | شدت تمرین (*% HRS*) |
|---|---|---|---|
| اول | ۶۰ | ۳۰ | ۷۰–۵۰ |
| دوم | ۶۰ | ۳۰ | ۷۰–۵۰ |
| سوم | ۶۰ | ۳۰ | ۷۰–۵۰ |
| چهارم | ۶۰ | ۳۵ | ۷۰–۵۰ |
| پنجم | ۶۰ | ۳۵ | ۷۰–۵۰ |
| ششم | ۶۰ | ۳۵ | ۷۰–۵۰ |
| هفتم | ۶۰ | ۴۰ | ۷۰–۵۰ |
| هشتم | ۶۰ | ۴۰ | ۷۰–۵۰ |
| نهم | ۶۰ | ۴۰ | ۷۰–۵۰ |
| دهم | ۶۰ | ۴۵ | ۷۰–۵۰ |
| یازدهم | ۶۰ | ۴۵ | ۷۰–۵۰ |
| دوازدهم | ۶۰ | ۴۵ | ۷۰–۵۰ |

### ابزارهای اندازه‌گیری

در تحقیق حاضر *IL-۶* به روش الایزا و با استفاده از کیت با حساسیت بالا مدل *Biovendor* ساخت چک اندازه‌گیری شد. *TNF-a* نیز روش الایزا و با استفاده از کیت با حساسیت بالا مدل *Elabscience Biotechnology* ساخت چین اندازه‌گیری شد. *CRP* نیز با استفاده از کیت الایزا ساخت انگلستان اندازه‌گیری شد.

### خون‌گیری و روش آزمایشگاهی

برای ارزیابی عوامل التهابی، نمونه‌های خونی آزمودنی‌ها در مراحل پیش آزمون و پس آزمون جمع‌آوری شد؛ در مرحلهٔ پیش‌آزمون یک روز قبل از شروع برنامهٔ تمرینی و پس از ۱۲ ساعت ناشتایی در فاصلهٔ زمانی ۸ تا ۹ صبح ، ۱۰ سی‌سی خون از ورید بازویی دست راست آزمودنی‌ها در حالت نشسته، گرفته شد. همچنین در مرحلهٔ پس‌آزمون، نمونهٔ خونی آزمودنی‌ها پس از ۴۸ ساعت از آخرین جلسهٔ تمرین و به‌منظور کاهش تأثیرات حاد تمرین اخذ شد. سپس نمونه‌های خونی بلافاصله در یونولیت محتوی یخ خشک نگهداری و برای سنجش و آنالیز بیوشیمیایی به یکی از آزمایشگاه‌های معتبر انتقال داده شد. جداسازی سرم، سانتریفیوژ نمونه‌های خونی با ۳۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه صورت گرفت.

## روش آماری

داده‌های تحقیق با استفاده از تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر در سطح معناداری کمتر از ۵٪ تحلیل شدند.

## یافته‌های پژوهش

نمونهٔ آماری پژوهش حاضر شامل ۴۰ نفر از زنان چاق دیابتی بود که به‌صورت تصادفی در چهار گروه تمرین هوازی (۱۰ نفر)، گروه مصرف دانهٔ کتان (۱۰ نفر)، گروه تمرین هوازی همراه با مصرف دانهٔ کتان (۱۰ نفر) و گروه کنترل (۱۰) قرار گرفتند. اطلاعات مربوط به سن، قد، وزن و BMI آزمودنی‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.

**جدول ۲. توصیف ویژگی‌های آزمودنی**

| گروه‌ها | آماره | سن (سال) | قد (سانتی‌متر) | وزن (کیلوگرم) | BMI ($KG/M^2$) |
|---|---|---|---|---|---|
| تمرین هوازی | انحراف معیار ± میانگین | ۳۳/۵±۵/۷۵۹ | ۰±۱,۵۹۳/۰۳۲ | ۸۷/۵±۲/۸۰۸ | ۳۴/۲±۳۷۶/۳۵۰ |
| مصرف دانهٔ کتان | انحراف معیار ± میانگین | ۳۲/۵±۹/۱۳ | ۱/۰±۵۷۴/۰۵۲ | ۸۷/۴±۵/۷۶۶ | ۳۵/۲±۴۰۴/۸۱۸ |
| تمرین هوازی همراه با مصرف دانهٔ کتان | انحراف معیار ± میانگین | ۳۳/۳±۷//۸۳۱ | ۱/۰±۵۶۸/۰۳۳ | ۸۵/۵±۸/۰۵ | ۳۴/۲±۹۱۶/۱۳۷ |
| کنترل | انحراف معیار ± میانگین | ۳۴/۴±۳/۰۰۱ | ۱/۰±۵۸۷/۰۴۶ | ۸۴/۶±۸/۵۹۶ | ۳۳/۱±۶۴/۷۰۹ |

**جدول ۳. آزمون شاخص لوین**

| متغیر | | F | Df1 | Df2 | sig |
|---|---|---|---|---|---|
| TNF-a | پیش‌آزمون | ۱/۱۰۷ | ۳ | ۳۶ | ۰/۳۵۹ |
| | پس‌آزمون | ۱/۳۶۶ | ۳ | ۳۶ | ۰/۲۶۹ |
| IL-6 | پیش‌آزمون | ۰/۰۹۱ | ۳ | ۳۶ | ۰/۹۶۵ |
| | پس‌آزمون | ۱/۶۷۶ | ۳ | ۳۶ | ۰/۱۸۹ |
| CRP | پیش‌آزمون | ۰/۸۴۶ | ۳ | ۳۶ | ۰/۴۷۸ |
| | پس‌آزمون | ۱/۴۹۵ | ۳ | ۳۶ | ۰/۲۳۲ |

چون آزمون شاخص لوین برای آزمون انجام‌گرفته در هر دو مرحلهٔ پیش‌آزمون و پس‌آزمون از ۰/۰۵ بزرگ‌تر است، می‌توان گفت همگون هستند. بنابراین استفاده از آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر بلامانع است.

**جدول ۴. میانگین و انحراف استاندارد پیش‌آزمون و پس‌آزمون متغیرها و نتایج تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر**

| متغیر | آزمون | پیش‌آزمون | پس‌آزمون | زمان * گروه | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | انحراف معیار ± میانگین | انحراف معیار ± میانگین | F | Sig |
| TNF-a (پیکوگرم بر میلی‌لیتر) | تمرین هوازی | ۱/۴۲۹±۰/۴۶۳ | ۱/۱۶۸±۰/۴۹۴ | ۶۰/۶۴۱ | ۰/۰۰۱* |
| | مصرف دانهٔ کتان | ۱/۴۴۵±۰/۴۸۹ | ۱/۴۲۷±۰/۴۶۵ | | |
| | تمرین با دانهٔ کتان | ۱/۴۴۲±۰/۱۰۴ | ۱/۱۳۲±۰/۰۴۵ | | |
| | کنترل | ۱/۳۸۷±۰/۴۰۳ | ۱/۳۷۴±۰/۴۱۱ | | |
| IL-6 (پیکوگرم بر میلی‌لیتر) | تمرین هوازی | ۱/۳۱۴±۰/۳۷۳ | ۱/۱۰۶±۰/۲۱۳ | ۶/۲۹۵ | ۰/۰۰۱* |
| | مصرف دانهٔ کتان | ۱/۳۳۹±۰/۴۰۳ | ۱/۳۰۵±۰/۳۵۵ | | |
| | تمرین با دانهٔ کتان | ۱/۳۴۷±۰/۴۰۹ | ۱/۰۸±۰/۲۱۲ | | |
| | کنترل | ۱/۳۷۹±۰/۳۸۲ | ۱/۳۸۶±۰/۳۲۷ | | |
| CRP (میلی‌گرم بر لیتر) | تمرین هوازی | ۳/۱۵۶±۰/۴۰۷ | ۲/۷۹۹±۰/۴۴۵ | ۱۱/۰۵۵ | ۰/۰۰۱* |
| | مصرف دانهٔ کتان | ۳/۲۰۱±۰/۹۸۴ | ۳/۱۶۳±۱/۰۴۸ | | |
| | تمرین با دانهٔ کتان | ۳/۱۷۳±۰/۷۲۳ | ۲/۷۰۴±۰/۴۸۹ | | |
| | کنترل | ۳/۰۹۲±۰/۸۳۱ | ۳/۱۰۴±۰/۷۴۷ | | |

علامت* بیانگر معناداری شاخص‌های مورد بررسی است.

نتایج به‌دست‌آمده از فرضیه‌های پژوهش مبنی بر تأثیر ۱۲هفته تمرین هوازی و مصرف دانهٔ کتان بر *TNF-a*، IL-6 و CRP زنان چاق دیابتی بر اساس آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر نشان داد که اثر تعامل بین زمان و گروه در متغیر (*TNF-a* F=۶۰/۶۴۱ ، Sig =۰/۰۰۱)، متغیر *IL-6* (F= ۶/۲۹۵ ، Sig=۰/۰۰۱) و متغیر *CRP* (F= ۱۱/۰۵۵ ، Sig=۰/۰۰۱) معنادار است. بنابراین با توجه به

نتایج مذکور و استناد به جداول ۳ می‌توان گفت تفاوت معناداری بین تأثیرات ۱۲ هفته تمرین هوازی به‌تنهایی، مصرف دانهٔ کتان به‌تنهایی و تمرین هوازی همراه با مصرف دانهٔ کتان بر *TNF-a* ، *IL-6* و *CRP* زنان چاق و دارای اضافه وزن مبتلا به دیابت تأثیر دارد.

## بحث

هدف تحقیق حاضر تعیین تأثیر ۱۲ هفته تمرین هوازی همراه با مصرف دانهٔ کتان بر عوامل التهابی زنان چاق دیابتی بود. نتایج تحقیق حاضر نشان داد ۱۲ هفته تمرین بر عوامل التهابی زنان چاق و دارای اضافه وزن مبتلا به دیابت تأثیر معناداری کاهشی دارد. این یافته با نتایج تحقیقات ژانگ[1](۲۰۲۲)، درخشان وهمکاران (۲۰۲۴)، عرفانی کیا و همکاران (۱۴۰۳)، رجبی و همکاران (۲۰۲۴)، پازکی و ارشدی (۲۰۱۹) و شوندی و همکاران (۲۰۱۶) همسوست [۳۹-۴۴].

پژوهش‌ها نشان داده‌اند که فاکتورهای التهابی در بدن افراد مبتلا به دیابت در سطح بالایی قرار دارد و بیماران را در وضعیت التهاب مزمن با درجهٔ پایین قرار می‌دهد [۴۵] بنابراین، کاهش سطح التهاب بدن فرد مبتلا به دیابت برای کنترل و کاهش ابتلا به دیابت اهمیت زیادی دارد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که ورزش طولانی‌مدت می‌تواند سطح فاکتورهای التهابی (*CRP*، *TNF-a* و*IL-6* ) را در دیابت کاهش دهد، که ممکن است التهاب مزمن با درجهٔ پایین را در بیماران تا حد معینی کاهش دهد. *CRP*، *TNF-a*، و *IL-6* به این دلیل بررسی شدند، زیرا شواهد نشان می‌دهد که رابطهٔ مثبتی بین این سایتوکین‌های التهابی در بروز *T2DM* وجود دارد [۴۶]. افزایش *CRP* ممکن است با فعال کردن *NF-kB* [۴۷] و شرکت در مقاومت به انسولین *(IR)* و پاتوژنز *T2DM* [۴۸] به آپوپتوز سلول‌های β منجر شود. همچنین می‌تواند فعال‌سازی سلول‌های اندوتلیال و تولید سلول‌های کف را در دیوارهٔ شریانی تقویت کند و به مشارکت فعال در پاتوژنز آترواسکلروز منجر شود [۴۹]. بسیاری از تحقیقات نشان داده‌اند که *TNF-*α بالا نقش بیماری‌زایی مستقیمی در سوخت‌وساز گلوکز ایفا می‌کند و همچنین در نارسایی سلول‌هایβ مرتبط است. نتایج این پژوهش نشان داد که ورزش می‌تواند به‌طور شایان توجهی سطوح *CRP*و *TNF-*α را در *T2DM* ودر نتیجه وضعیت التهابی *T2DM* و آسیب *CRP* و *TNF-*α را به سلول‌های β کاهش دهد. کاهش وضعیت التهاب با درجهٔ پایین می‌تواند به‌طور مؤثر از تشدید *T2DM* و عوارض آن جلوگیری کند و وضعیت *T2DM* را تا حدودی بهبود بخشد.

یافتهٔ دیگر تحقیق حاضر نشان داد مصرف مکمل دانهٔ کتان به‌تنهایی بر *TNF-a*، *IL-6* و *CRP* زنان چاق و داری اضافه وزن مبتلا به دیابت تأثیر معناداری ندارد. این یافته با نتایج تحقیق حاجی احمدی (۲۰۲۰) و رحیملو و همکاران (۲۰۱۹) همسو [۵۰، ۵۱]، اما با نتایج تحقیقات ژی و همکاران (۲۰۲۳)، ویارئال رنتیرو و همکاران (۲۰۲۲) و موریرا و همکاران (۲۰۲۲) در تضاد است [۵۲-۵۴]. دلیل تضاد در نتایج تحقیق حاضر با تحقیقات گذشته را می‌توان به پروتکل‌های مختلف تمرینی و یا انتخاب آزمودنی‌ها نسبت داد. چون در بیشتر پژوهش‌های ذکرشده، تأثیر مصرف دانهٔ کتان بر افراد در معرض ابتلا به دیابت و یا افراد سالم صورت گرفته است.

همچنین نتایج تحقیق حاضر نشان داد انجام تمرین هوازی + مصرف مکمل دانهٔ کتان نسبت به تمرین هوازی و مصرف مکمل دانهٔ کتان به‌تنهایی بر *TNF-a*، *IL-6* و *CRP* زنان چاق و دارای اضافه وزن مبتلا به دیابت تأثیر معناداری کاهشی دارد. با مرور تحقیقات

[1]. Zhang

صورت‌گرفته در بیماران دیابتی، تحقیق مشابهی مشاهده نشد. با وجود این برخی تحقیقات که تأثیر همزمان فعالیت بدنی و سایر مکمل‌های گیاهی را بر بیماران مبتلا به دیابت بررسی کرده‌اند نشان داده‌اند فعالیت بدنی و مکمل خوراکی اثر هم‌افزایی دارند [۵۵]. بدین‌معنا که مصرف دانهٔ کتان می‌تواند تأثیرات فعالیت بدنی هوازی را بر عوامل التهابی زنان چاق بیشتر سازد. هرچند شناخت سازوکار دقیق این امر به تحقیقات بیشتری نیاز دارد.

## نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج تحقیق حاضر نشان داد تمرین هوازی و مصرف مکمل دانهٔ کتان جهت بهبود عوامل التهابی در زنان دیابتی چاق اثر هم‌افزایی دارد و می‌تواند تأثیرات جداگانهٔ هر کدام از این دو متغیر را افزایش دهد. پیشنهاد می‌شود تحقیقات بعدی به بررسی شناخت سازوکار احتمالی این اثر هم‌افزایی بپردازند.

## محدودیت‌های تحقیق

تحقیق حاضر محدود به زنان چاق دیابتی بود و از بین عوامل التهابی تنها $TNF\text{-}a$، $IL\text{-}6$ و $CRP$ اندازه‌گیری شد. محقق کنترلی بر رژیم غذایی شرکت‌کنندگان در مدت انجام مداخله و نیز شرایط روحی شرکت‌کنندگان هنگام انجام پروتکل تمرین نداشت.

## پیشنهادهای کاربردی

بر اساس نتایج تحقیق حاضر تمرین هوازی سازوکار مؤثری برای بیماران مبتلا به دیابت برای مقابله با التهاب ناشی از بیماری است. بنابراین پیشنهاد می‌شود افراد مبتلا به دیابت تمرینات هوازی را در برنامهٔ روزمرهٔ خود قرار دهند. با توجه به اثر هم‌افزایی مصرف مکمل دانهٔ کتان همراه با فعالیت هوازی، پیشنهاد می‌شود افراد مبتلا به دیابت مصرف دانهٔ کتان به‌همراه فعالیت بدنی را مدنظر قرار دهند، این موضوع در توصیه‌های تغذیه‌ای سیستم درمانی به بیماران دیابتی، لحاظ شده است.

## تقدیر و تشکر


- از تمامی شرکت‌کنندگان در پژوهش که همکاری لازم را با پژوهشگران به‌عمل آوردند، نهایت تشکر را داریم.


## References


[1]. Tsilingiris D, Tzeravini E, Koliaki C, Dalamaga M, Kokkinos A. The role of mitochondrial adaptation and metabolic flexibility in the pathophysiology of obesity and insulin resistance: an updated overview. Current Obesity Reports. 2021 Sep;10:191-213. https://doi.org/10.1007/s13679-021-00434-0

[2]. Fang H, Berg E, Cheng X, Shen W. How to best assess abdominal obesity. Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care. 2018 Sep 1;21(5):360-5. https://doi.org/10.1097/MCO.0000000000000485.

[3]. Krotkiewski M, Björntorp P, Sjöström L, Smith U. Impact of obesity on metabolism in men and women. Importance of regional adipose tissue distribution. The Journal of clinical investigation. 1983 Sep 1;72(3):1150-62. https://doi.org/10.1172/JCI111040.

[4]. Reaven GM. Role of insulin resistance in human disease. Diabetes. 1988 Dec 1;37(12):1595-607. https://doi.org/10.2337/diab.37.12.1595.

[5]. Christensen AA, Gannon M. The beta cell in type 2 diabetes. Current diabetes reports. 2019 Sep;19:1-8. https://doi.org/10.1007/s11892-019-1196-4.

[6]. Fery F. Role of hepatic glucose production and glucose uptake in the pathogenesis of fasting hyperglycemia in type 2 diabetes: normalization of glucose kinetics by short-term fasting. The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism. 1994 Mar 1;78(3):536-42. https://doi.org/10.1210/jcem.78.3.8126123.

[7]. Phielix E, Mensink M. Type 2 diabetes mellitus and skeletal muscle metabolic function. Physiology & behavior. 2008 May 23;94(2):252-8. https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2008.01.020

[8]. Mercier J, Dumortier M. Anomalies musculaires dans l'obésité et le diabète de type 2: Intérêt de l'activité physique. Revue Française des Laboratoires. 2003 Feb 1;2003(350):25-30. https://doi.org/10.1016/S0338-9898(03)80386-4

[9]. Braun B, Eze P, Stephens BR, Hagobian TA, Sharoff CG, Chipkin SR, Goldstein B. Impact of metformin on peak aerobic capacity. Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism. 2008 Feb;33(1):61-7. https://doi.org/10.1139/h07-144

[10]. Bogardus C, Lillioja S, Stone K, Mott D. Correlation between muscle glycogen synthase activity and in vivo insulin action in man. The Journal of clinical investigation. 1984 Apr 1;73(4):1185-90. https://doi.org/10.1172/JCI111304

[11]. Golay A, Felber JP. Evolution from obesity to diabetes. Diabète & Métabolisme. 1994 Jan 1;20(1):3-14.

[12]. Kida Y, Esposito-Del Puente A, Bogardus C, Mott DM. Insulin resistance is associated with reduced fasting and insulin-stimulated glycogen synthase phosphatase activity in human skeletal muscle. The Journal of clinical investigation. 1990 Feb 1;85(2):476-81. https://doi.org/10.1172/jci114462

[13]. Lillioja S, Young AA, Culter CL, Ivy JL, Abbott WG, Zawadzki JK, Yki-Järvinen H, Christin L, Secomb TW, Bogardus C. Skeletal muscle capillary density and fiber type are possible determinants of in vivo insulin resistance in man. The Journal of clinical investigation. 1987 Aug 1;80(2):415-24. https://doi.org/10.1172/jci113088

[14]. Simoneau JA, Colberg SR, Thaete FL, Kelley DE. Skeletal muscle glycolytic and oxidative enzyme capacities are determinants of insulin sensitivity and muscle composition in obese women. The FASEB Journal. 1995 Feb;9(2):273-8.

[15]. Ammar A, Trabelsi K, Hermassi S, Kolahi AA, Mansournia M, Jahrami H, Boukhris O, Boujelbane M, Glenn J, Clark C, Nejadghaderi A. Global disease burden attributed to low physical activity in 204 countries and territories from 1990 to 2019: Insights from the Global Burden of Disease 2019 Study. Biology of sport. 2023 Jul 1;40(3):835-55. https://doi.org/10.5114/biolsport.2023.121322

[16]. Alibegovic AC, Sonne MP, Højbjerre L, Bork-Jensen J, Jacobsen S, Nilsson E, Færch K, Hiscock

N, Mortensen B, Friedrichsen M, Stallknecht B. Insulin resistance induced by physical inactivity is associated with multiple transcriptional changes in skeletal muscle in young men. American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism. 2010 Nov;299(5):E752-63. https://doi.org/10.1152/ajpendo.00590.2009

[17]. Arciero PJ, Ormsbee MJ, Gentile CL, Nindl BC, Brestoff JR, Ruby M. Increased protein intake and meal frequency reduces abdominal fat during energy balance and energy deficit. Obesity. 2013 Jul;21(7):1357-66. https://doi.org/10.1002/oby.20296

[18]. Mikines KJ, Sonne BE, Farrell PA, Tronier B, Galbo HE. Effect of physical exercise on sensitivity and responsiveness to insulin in humans. American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism. 1988 Mar 1;254(3):E248-59. https://doi.org/10.1152/ajpendo.1988.254.3.e248

[19]. Kulkarni K, Castle GA, Gregory R, Holmes A, Leontos C, Powers M, Snetselaar L, Splett P, Wylie-Rosett J, CARE FT, GROUP ED. Nutrition practice guidelines for type 1 diabetes mellitus positively affect dietitian practices and patient outcomes. Journal of the American Dietetic Association. 1998 Jan 1;98(1):62-70. https://doi.org/10.1016/s0002-8223(98)00017-0

[20]. Basdevant A, Laville M, Ziegler O. Practice guideline for the diagnosis, prevention, treatment of obesity in France. Groupe de Travail charge de la mise au point des" Recommandations pour le diagnostic, la prévention et le traitement des Obésités en France". Diabetes & metabolism. 1998;24:10-42.

[21]. Malin SK, Rynders CA, Weltman JY, Barrett EJ, Weltman A. Exercise intensity modulates glucose-stimulated insulin secretion when adjusted for adipose, liver and skeletal muscle insulin resistance. PLoS One. 2016 Apr 25;11(4):e0154063. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154063

[22]. Jelleyman C, Yates T, O'Donovan G, Gray LJ, King JA, Khunti K, Davies MJ. The effects of high-intensity interval training on glucose regulation and insulin resistance: a meta-analysis. Obesity reviews. 2015 Nov;16(11):942-61. https://doi.org/10.1111/obr.12317

[23]. Donnelly JE, Blair SN, Jakicic JM, Manore MM, Rankin JW, Smith BK. Appropriate physical activity intervention strategies for weight loss and prevention of weight regain for adults. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2009 Feb 1;41(2):459-71. http://dx.doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181949333

[24]. Winett RA, Carpinelli RN. Potential health-related benefits of resistance training. Preventive medicine. 2001 Nov 1;33(5):503-13. https://doi.org/10.1006/pmed.2001.0909

[25]. Pesta DH, Goncalves RL, Madiraju AK, Strasser B, Sparks LM. Resistance training to improve type 2 diabetes: working toward a prescription for the future. Nutrition & metabolism. 2017 Dec;14:1-0. https://doi.org/10.1186/s12986-017-0173-7

[26]. Skrypnik, D.; Bogdański, P.; Mądry, E.; Karolkiewicz, J.; Ratajczak, M.; Kryściak, J.; Pupek-Musialik, D.; Walkowiak, J. Effects of Endurance and Endurance Strength Training on Body Composition and Physical Capacity in Women with Abdominal Obesity. Obes. Facts 2015, 8, 175–187. https://doi.org/10.1159/000431002

[27]. Micallef MA, Garg ML.. Anti-inflammatory and cardioprotective effects of n-3 polyunsaturated fatty acids and plant sterols in hyperlipidemic individuals. Atherosclerosis. 2009;204(2):476–82. https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2008.09.020

[28]. Tardivo AP, Nahas-Neto J, Orsatti CL, Dias F, Poloni P, Schmitt E, Nahas EA. Effects of omega-

3 on metabolic markers in postmenopausal women with metabolic syndrome. Climacteric. 2015;18(2):290–8. https://doi.org/10.3109/13697137.2014.981521

[29]. Zhao Y, Wang C.. Effect of ω-3 polyunsaturated fatty acid-supplemented parenteral nutrition on inflammatory and immune function in postoperative patients with gastrointestinal malignancy: A meta-analysis of randomized control trials in China. Medicine (Baltimore). 2018;97(16):e0472. https://doi.org/10.1097/md.0000000000010472

[30]. Lanzmann-Petithory D. Alpha-linolenic acid and cardiovascular diseases. J Nutr Health Aging. 2001;5(3):179–83.

[31]. Pan A, Yu D, Demark-Wahnefried W, Franco OH, Lin X. Meta-analysis of the effects of flaxseed interventions on blood lipids. Am J Clin Nutr. 2009;90(2):288–97. https://doi.org/10.3945/ajcn.2009.27469

[32]. Touré A, Xueming X. Flaxseed lignans: source, biosynthesis, metabolism, antioxidant activity, bio-active components, and health benefits. Compr Rev Food Sci F. 2010;9(3):261–9. https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2009.00105.x

[33]. Hu C, Yuan YV, Kitts DD. Antioxidant activities of the flaxseed lignan secoisolariciresinol diglucoside, its aglycone secoisolariciresinol and the mammalian lignans enterodiol and enterolactone in vitro. Food Chem Toxicol. 2007;45(11):2219–27. https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.05.017

[34]. Adolphe JL, Whiting SJ, Juurlink BH, Thorpe LU, Alcorn J. Health effects with consumption of the flax lignan secoisolariciresinol diglucoside. Br J Nutr. 2010;103(7):929–38. https://doi.org/10.1017/s0007114509992753

[35]. Bloedon LT, Balikai S, Chittams J, Cunnane SC, Berlin JA, Rader DJ, Szapary PO. Flaxseed and cardiovascular risk factors: results from a double blind, randomized, controlled clinical trial. J Am Coll Nutr. 2008;27(1):65–74. https://doi.org/10.1080/07315724.2008.10719676

[36]. Basch E, Mphil SB, Collins J, Dacey C, Harrison M, Szapary P. Flax and Flaxseed Oil (Linum usitatissimum): A Review. J Soc Integr Oncol. 2007;5(3):92–105. https://doi.org/10.2310/7200.2007.005

[37]. Rahimlou M, Jahromi NB, Hasanyani N, Ahmadi AR. Effects of flaxseed interventions on circulating inflammatory biomarkers: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. Advances in Nutrition. 2019 Nov 1;10(6):1108-19. https://doi.org/10.1093/advances/nmz048. (In Persian)

[38]. Aghapour A, Farzanegi P. Effect of six-week aerobic exercise on Chemerin and Resistin concentration in hypertensive postmenopausal women. Electron Phys 2013;5(1):623-630. https://doi.org/10.14661/2013.623-630. (In Persian)

[39]. Zhang B. Effect of exercise on insulin resistance in obese type 2 diabetes patients. Revista Brasileira de Medicina do Esporte. 2022 Jan 7;28:59-61. https://doi.org/10.1590/1517-8692202228012021_0434

[40]. Derakhshan M, Taheri Kalani A, Fatahi F. Alteration of serum cathepsins and glycosylated hemoglobin concentrations after aerobic and resistance training in type 2 diabetic men. EBNESINA 2024; 26 (2) :70-75. (In Persian)

[41]. Erfanikia M, Fathi M, Rahmati M, Mohammadi E. The effect of six weeks of progressive aerobic training on some angiogenic and inflammatory factors of the heart of male Wistar rats with diabetes. Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport, 2024; (): -. doi: 10.22077/jpsbs.2023.6607.1810. (In Persian)

[42]. Rajabi A, Akbar Nezhad Gharehlo A, Madadizadeh E, Basereh A, Khoramipoor K, Pirani H, Khoramipour K, Moser O, Khoramipour K. The effect of 12 weeks of aerobic exercise training with or without saffron supplementation on diabetes-specific markers and inflammation in women with type 2 diabetes: A randomized double-blind placebo- controlled trial. European Journal of Sport Science. 2024 Jun 14. https://doi.org/10.1002/ejsc.12125.

[43]. Pazoki A, Arshadi S. Effect of 8 Week Consumption Flax Seed Supplementation with Endurance Training on BDNF and IGF-1 in Obese Women. J. Med. Plants 2019; 18 (70) :188-196. (In Persian)

[44]. Shavandi N, Saremi A, Sh S, Pooryamanesh L. Effect of ten-week aerobic training with flax seed supplementation on blood lipids profile and C-reactive protein in obese women. Journal of Gorgan University of Medical Sciences. 2016 Jun 10;18(2):19-26. (In Persian)

[45]. Pedersen BK. Anti-inflammatory effects of exercise: role in diabetes and cardiovascular disease. European journal of clinical investigation. 2017 Aug;47(8):600-11. https://doi.org/10.1111/eci.12781

[46]. Nabata A, Kuroki M, Ueba H, Hashimoto S, Umemoto T, Wada H, Yasu T, Saito M, Momomura SI, Kawakami M. C-reactive protein induces endothelial cell apoptosis and matrix metalloproteinase-9 production in human mononuclear cells: Implications for the destabilization of atherosclerotic plaque. Atherosclerosis. 2008 Jan 1;196(1):129-35.https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2007.03.003

[47]. Patel S, Santani D. Role of NF-κB in the pathogenesis of diabetes and its associated complications. Pharmacological reports. 2009 Jul;61(4):595-603. https://doi.org/10.1016/S1734-1140(09)70111-2

[48]. Deetman PE, Bakker SJ, Dullaart RP. High sensitive C-reactive protein and serum amyloid A are inversely related to serum bilirubin: effect-modification by metabolic syndrome. Cardiovascular Diabetology. 2013 Dec;12:1-8. https://doi.org/10.1186/1475-2840-12-166

[49]. Spranger J, Kroke A, Mohlig M, Hoffmann K, Bergmann MM, Ristow M, Boeing H, Pfeiffer AF. Inflammatory cytokines and the risk to develop type 2 diabetes: results of the prospective population-based European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC)-Potsdam Study. Diabetes. 2003 Mar 1;52(3):812-7. https://doi.org/10.2337/diabetes.52.3.812

[50]. Hajiahmadi S, Nadjarzadeh A, Gharipour M, Hosseinzadeh M, Fallahzadeh H, Mohsenpour MA. Effect of flaxseed oil on glycemic control and inflammatory markers in overweight adults with pre-diabetes: A double-blind randomized controlled clinical trial. Journal of Herbal Medicine. 2020 Dec 1;24:100387. https://doi.org/10.1016/j.hermed.2020.100387.

[51]. Rahimlou M, Jahromi NB, Hasanyani N, Ahmadi AR. Effects of flaxseed interventions on circulating inflammatory biomarkers: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. Advances in Nutrition. 2019 Nov 1;10(6):1108-19. https://doi.org/10.1093/advances/nmz048

[52]. Xi H, Zhou W, Sohaib M, Niu Y, Zhu R, Guo Y, Wang S, Mao J, Wang X, Guo L. Flaxseed supplementation significantly reduces hemoglobin A1c in patients with type 2 diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis. Nutrition Research. 2023 Feb 1;110:23-32. https://doi.org/10.1016/j.nutres.2022.12.008

[53]. Villarreal-Renteria AI, Herrera-Echauri DD, Rodríguez-Rocha NP, Zuniga LY, Munoz-Valle JF, García-Arellano S, Bernal-Orozco MF, Macedo-Ojeda G. Effect of flaxseed (Linum usitatissimum) supplementation on glycemic control and insulin resistance in prediabetes and type 2 diabetes: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. Complementary Therapies in

Medicine. 2022 Nov 1;70:102852. https://doi.org/10.1016/j.ctim.2022.102852

[54]. Moreira FD, Reis CE, Welker AF, Gallassi AD. Acute flaxseed intake reduces postprandial glycemia in subjects with type 2 diabetes: a randomized crossover clinical trial. Nutrients. 2022 Sep 10;14(18):3736. https://doi.org/10.3390/nu14183736

[55]. Rajabi, A., Siahkouhian, M., Akbarnejad, A. The Effect of Eight Weeks of Aerobic Training and Supplementation of Saffron with Two Weeks of Detraining on Some of the Indicators Associated with Diabetes in Obese Women with Type 2 Diabetes. Journal of Sport Biosciences, 2021; 13(2): 125-148. https://doi.org/10.22059/jsb.2018.231923.1172. (In Persian)