2026. Volume 12. Issue 2

Journal of
Health Research in Community

Research Paper

Effect of Combined Exercise Training with Gamma-Oryzanol Supplementation on Oxidative Stress, Total Antioxidant Capacity, Glycemic Parameters, and Insulin Resistance in Men With Type 2 Diabetes

Mehdi Rostamizadeh[1], *Kazem Khodaei[1], Hamed Hamishehkar[2]

1. Department of Sport Physiology and Corrective Exercise, Faculty of Sport Sciences, Urmia University, Urmia, Iran.
2. Center for Drug Applied Research (DARC), Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran.

Use your device to scan and read the article online

Citation: Rostamizadeh M, Khodaei K, Hamishehkar H. Effect of Combined Exercise Training with Gamma-Oryzanol Supplementation on Oxidative Stress, Total Antioxidant Capacity, Glycemic Parameters, and Insulin Resistance in Men With Type 2 Diabetes. Journal of Health Research in Community. 2026; 12(2):169-183 (Persian). http://dx.doi.org/10.22034/JHRC.12.2.5647.1

http://dx.doi.org/10.22034/JHRC.12.2.5647.1

Received: 27 Dec 2025
Revised: 02 Apr 2026
Accepted: 27 Apr 2026

ABSTRACT

Introduction and Purpose: Chronic hyperglycemia in type 2 diabetes mellitus (T2DM) promotes oxidative stress by enhancing the production of reactive oxygen species (ROS) and impairing the endogenous antioxidant defense system. This study aimed to investigate the effects of eight weeks of combined exercise training, with and without gamma-oryzanol supplementation, on oxidative stress markers, total antioxidant capacity, glycemic indices, and insulin resistance in men with T2DM.

Methods: Thirty men with type 2 diabetes were purposively selected and divided into three groups (10 per group): combined exercise plus placebo, combined exercise plus supplementation, and placebo control. The exercise groups completed combined training for eight weeks, three sessions per week. The training consisted of resistance exercise at 40%–70% of 1RM and endurance exercise at 50%–70% of HRR. The supplement group consumed 600 mg of gamma-oryzanol daily in two doses for eight weeks. Fasting blood samples were collected 48 hours before and after the intervention to assess superoxide dismutase (SOD), malondialdehyde (MDA), total antioxidant capacity (TAC), insulin, and fasting blood glucose. Between-group differences were compared using a two-way repeated-measures analysis of variance and the LSD post hoc test, with a significance level of $P \leq 0.05$.

Results: Significant reductions were observed in FBG, insulin, HOMA-IR, HbA1c, and MDA levels in both intervention groups compared to the control group ($P<0.05$). Moreover, significant increases were found in SOD ($P=0.012$) and TAC ($P=0.017$) levels in the intervention groups versus the control group. However, the differences between the combined-exercise-plus-placebo group and the combined-exercise-plus-supplement group were not statistically significant ($P>0.05$).

Conclusion: Eight weeks of combined (aerobic-resistance) training improved glycemic indices, insulin resistance, and oxidative stress in men with type 2 diabetes. This improvement was independent of gamma-oryzanol supplementation, as no additional effect was observed when this supplement was added to the training.

Keywords: Oxidative stress, Total antioxidant capacity, Insulin resistance, Combined exercise, Gamma-Oryzanol

Corresponding Author:
Kazem Khodaei, Associated Professor.
Address: Department of Sport Physiology and Corrective Exercise, Faculty of Sport Sciences, Urmia University, Urmia, Iran.
Tel: +98 (44) 32753174
E-Mail: k.khodaei@urmia.ac.ir

Copyright © 2026 The Author(s);
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-By-NC: https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

Extended Abstract

Introduction

Insulin resistance and pancreatic β-cell dysfunction elevate blood glucose levels and further drive the pathogenesis of type 2 diabetes [1]. Chronic hyperglycemia, as one of the principal consequences of insulin resistance, is a major driver of reactive oxygen species production. Elevated blood glucose leads to excessive free radical production through physiological pathways in the body. The imbalance between the production of reactive oxygen free radicals and the antioxidant defense system's capacity to neutralize them is defined as oxidative stress [2]. Oxidative stress in diabetes mellitus has several adverse effects on cellular physiology. This is particularly hazardous for the islets of Langerhans because they possess one of the lowest levels of intrinsic antioxidant defenses among body tissues [3]. The most notable manifestations are an increase in the concentration of malondialdehyde (MDA), a marker of oxidative stress, and a decrease in superoxide dismutase (SOD) concentration. These changes impair pancreatic β-cell function and promote peripheral insulin resistance, ultimately contributing to diabetes [4].

Alongside exercise training, the use of natural bioactive compounds has also attracted attention as a complementary strategy in diabetes management. For years, researchers have focused on identifying plant derived antioxidant compounds with fewer side effects. One such compound is gamma-oryzanol (γ-Oz), a bioactive compound extracted from rice bran. Owing to its prominent antioxidant and anti-inflammatory properties, it has been recognized as an effective agent for improving obesity-related metabolic disorders, including hyperlipidemia, insulin resistance, and type 2 diabetes [5, 6].

Although the separate positive effects of combined training and gamma-oryzanol supplementation on oxidative stress and glycemic indices have been confirmed, no study to date has examined the synergistic effects of these two interventions on the variables of interest in this study. Therefore, the present study was designed and conducted to investigate the effect of combined training along with gamma-oryzanol supplementation on oxidative stress, antioxidant capacity, glycemic indices, and insulin resistance in men with type 2 diabetes.

Methods

his randomized clinical trial included 30 men with type 2 diabetes, aged 45–60 years. Participants were purposively selected and divided into three groups: (1) combined training + placebo (CT+P), (2) combined training + gamma-oryzanol supplementation (CT+S), and (3) a control group. Inclusion criteria included stable glycemic status and no regular physical activity in the preceding six months. All participants had been receiving stable pharmacological treatment with metformin, 500–1000 mg/day, for at least 3 months before enrollment.

The combined training program consisted of 3 sessions per week for 8 weeks. Each session included resistance exercises (40–70% of one-repetition maximum) and endurance exercises (50–70% of heart rate reserve) [7]. The supplement group (CT+S) received 600 mg of gamma-oryzanol daily [8], while the CT+P group received a placebo. Fasting blood samples were collected 48 hours before the intervention began and 48 hours after the final training session to avoid the acute effects of exercise. Biochemical assays were performed for FBG, insulin, HbA1c, MDA, SOD, and TAC. Data were analyzed using a two-way (group×time) repeated-measures ANOVA at a significance level of $P<0.05$.

Results

Statistical results showed significant improvement in metabolic and oxidative markers in both intervention groups (CT+P and CT+S) compared to the control group ($P<0.05$). Specifically, fasting blood glucose (FBG), insulin levels, and the insulin resistance index (HOMA-IR) showed marked reductions in both training groups. Additionally, glycated hemoglobin (HbA1c), as a key indicator of long-term blood glucose control, decreased significantly after 8 weeks of intervention.

Regarding oxidative stress markers, MDA levels, which indicate lipid peroxidation, decreased in both training groups relative to the control group. In contrast, SOD and TAC levels, which reflect the body's antioxidant defense capacity, increased significantly in the intervention groups. However, no statistically significant difference was observed in the direct comparison between the CT+P and CT+S groups ($P>0.05$). These findings indicate that, although exercise training and its combination with the supplement were superior to the control condition, adding gamma-oryzanol over the 8-week period did not produce a significant additive effect on these specific variables.

Conclusion

Fasting blood glucose, insulin, and HOMA-IR were significantly reduced in both CT+P and CT+S groups. However, there was no significant difference between the two intervention groups. These findings suggest that combined exercise training was probably the main fac-

tor contributing to improved blood glucose levels in this study and that gamma-oryzanol supplementation had no effect. Resistance training increases protein synthesis and glucose uptake through the IGF-1/PI3K/AKT/mTOR pathway, while endurance training primarily improves mitochondrial biogenesis and lipid oxidation through the AMPK/SIRT1/PGC-1α pathway and exerts immune-modulating effects by suppressing pro-inflammatory cytokines, such as TNF-α while increasing anti-inflammatory myokines, such as IL-6. These mechanisms plausibly explain the improvements in blood glucose and oxidative stress observed in both training groups, regardless of supplementation. Gómez-Cabrera et al. reported that exogenous antioxidant supplementation may partially attenuate the physiological adaptations induced by exercise training and disrupt adaptive redox signaling pathways because reactive oxygen species produced during exercise act as signaling molecules necessary for mitochondrial biogenesis and the upregulation of antioxidant enzymes. The absence of a significant synergistic effect between gamma-oryzanol and exercise training in this study warrants further consideration. Although gamma-oryzanol possesses antioxidant properties, the dosage administered (600 mg/day) and the duration of the intervention (8 weeks) were likely insufficient to produce additional effects beyond the powerful physiological adaptations induced by exercise training. It is possible that exercise training acted as the primary driver of metabolic and oxidative improvements, overshadowing the supplement's small, gradual effects. Future research should consider longer intervention periods or different dosages to fully understand the interaction between antioxidant supplementation and exercise-induced metabolic adaptations in diabetic populations.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

This study was approved by the Ethics Committee of the Sport Sciences Research Institute (Code: IR.SSRC.REC.1404.136) and was registered by the Iranian Registry of Clinical Trials (ID: IRCT20251205068219N1).

Funding

This article was extracted from Mehdi Rostamizadeh's doctoral thesis in Sports Physiology at the Faculty of Sports Sciences, Urmia University. This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for profit sectors.

Authors contributions

Software, formal analysis, investigation, resources, data curation, original draft preparation, review & editing: Mehdi Rostamizadeh and Kazem Khodaei; Conceptualization and methodology: Kazem Khodaei and Hamed Hamishehkar; Supervision: All authors; Project administration: Kazem Khodaei. All authors read and approved the final version of the manuscript.

Conflicts of interest

The authors declared no conflicts of interest

Acknowledgents

The authors would like to thank all the students who participated in this study for their cooperation.

مقاله پژوهشی

تأثیر تمرینات ترکیبی با مکمل یاری گاماوریزانول براسترس اکسیداتیو، شاخص‌های گلایسمسیک و مقاومت انسولینی در مردان مبتلابه دیابت نوع ۲

مهدی رستمی‌زاده[۱]، *کاظم خدائی[۱]، حامد همیشه کار[۲]

۱. گروه فیزیولوژی ورزشی و حرکات اصلاحی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.
۲. گروه داروسازی، مرکز تحقیقات دارویی دانشگاه علوم پزشکی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

Use your device to scan and read the article online

Citation: Rostamizadeh M, Khodaei K, Hamishehkar H. Effect of Combined Exercise Training with Gamma-Oryzanol Supplementation on Oxidative Stress, Total Antioxidant Capacity, Glycemic Parameters, and Insulin Resistance in Men With Type 2 Diabetes. Journal of Health Research in Community. 2026; 12(2):169-183 (Persian). http://dx.doi.org/10.22034/JHRC.12.2.5647.1

http://dx.doi.org/10.22034/JHRC.12.2.5647.1

تاریخ دریافت: ۰۶ دی ۱۴۰۴
تاریخ اصلاح: ۱۳ فروردین ۱۴۰۵
تاریخ پذیرش: ۰۷ اردیبهشت ۱۴۰۵

چکیده

مقدمه و هدف: هایپرگلیسمی مزمن د ر دیابت نوع ۲ از طریق افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن و تضعیف سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی به استرس اکسیداتیو منجر می‌شود. هدف از مطالعه حاضر بررسی تأثیر ۸ هفته تمرینات ترکیبی به همراه مکمل‌یاری گاماوریزانول بر استرس اکسیداتیو، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، شاخص‌های گلایسمیک و مقاومت انسولینی در مردان مبتلا به دیابت نوع ۲ بود.

روش کار: ۳۰ مرد مبتلا به دیابت نوع ۲ به‌صورت هدفمند انتخاب و در ۳ گروه تمرین ترکیبی و دارونما، تمرین ترکیبی و مکمل و کنترل دارونما (۱۰ نفر) تقسیم شدند. گروه تمرینی به مدت ۸ هفته و ۳ جلسه در هفته تمرین ترکیبی (مقاومتی با شدت ۴۰ تا ۷۰ درصد یک تکرار بیشینه (1RM) و استقامتی با شدت ۵۰ تا ۷۰ درصد حداکثر ضربان قلب بیشینه (HRR)) را انجام دادند. گروه مکمل روزانه ۶۰۰ میلی‌گرم مکمل گاماوریزانول را در ۲ وعده به مدت ۸ هفته مصرف کردند. نمونه خونی در حالت ناشتا برای ارزیابی سوپراکسید دیسموتاز، مالون دی‌آلدئید و ظرفیت تام آنتی‌اکسیدانی، انسولین و گلوکز خون ناشتا، ۴۸ ساعت قبل و بعد مداخله جمع‌آوری شد. برای مقایسه تفاوت‌های بین‌گروهی از آزمون تحلیل واریانس دو راهه با اندازه‌گیری‌های مکرر و کمترین تفاوت معنی‌دار (LSD)در سطح معنی‌داری $P\leq ۰/۰۵$ استفاده شد.

یافته‌ها: کاهش معنی‌داری در سطوح گلوکز خون، انسولین، مقاومت انسولینی، هموگلوبین گلیکوزیله و مالون دی‌آلدئید در گروه‌های آزمایش نسبت به گروه کنترل مشاهده شد ($P<۰/۰۵$). همچنین، افزایش معنی‌داری در سطوح سوپراکسید دیسموتاز ($P=۰/۰۱۲$) و ظرفیت تام آنتی‌اکسیدانی ($P=۰/۰۱۷$) در گروه‌های آزمایش نسبت به گروه کنترل مشاهده شد؛ اما تفاوت‌ها بین گروه تمرین ترکیبی با دارونما و گروه تمرین ترکیبی با مصرف مکمل از نظر آماری معنی‌دار نبود ($P>۰/۰۵$).

نتیجه‌گیری: ۸ هفته تمرین ترکیبی (هوازی‌مقاومتی) شاخص‌های گلیسمی، مقاومت به انسولین و استرس اکسیداتیو را در مردان مبتلا به دیابت نوع ۲ بهبود بخشید. این بهبود مستقل از مکمل گاماوریزانول بود؛ زیرا هیچ اثر اضافی هنگام افزودن این مکمل به تمرین مشاهده نشد.

کلیدواژه‌ها: استرس اکسیداتیو، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تام، مقاومت انسولینی، تمرین ترکیبی، گاماوریزانول

* **نویسنده مسئول:**
دکتر کاظم خدایی
نشانی: ارومیه، دانشگاه ارومیه، دانشکده علوم ورزشی، گروه فیزیولوژی ورزشی و حرکات اصلاحی.
تلفن: ۳۲۷۵۳۱۷۴ (۴۴) ۹۸+
رایانامه: k.khodaei@urmia.ac.ir

Copyright © 2026 The Author(s);
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-By-NC: https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

مقدمه

مقاومت به انسولین از نظر فیزیولوژیکی به‌عنوان وضعیتی تعریف می‌شود که در آن بافت‌های هدفِ انسولین (مانند عضلات اسکلتی، کبد و بافت چربی)، پاسخ‌دهی کمتری به سطوح بالای انسولین نشان می‌دهند و به‌عنوان عامل محرک بسیاری از بیماری‌های مدرن ازجمله سندرم متابولیک، بیماری کبد چرب غیرالکلی[1] آترواسکلروز و دیابت نوع ۲ است. همچنین با طیف وسیعی از عوارض پاتوفیزیولوژیک دیگر، ازجمله فشار خون بالا، چربی خون بالا و تصلب شرایین مرتبط است که به ناتوانی انسولین در اعمال اثرات خود بر اندام‌های هدف اشاره دارد [۱]. در یک مکانیسم پیچیده، مقاومت به انسولین و اختلال عملکرد سلول‌های بتا، سطح گلوکز خون را افزایش داده و پاتوژنز دیابت نوع ۲ را بیشتر هدایت می‌کنند [۲]. ازطرفی، هایپرگلیسمی مزمن به‌عنوان یکی از پیامدهای اصلی مقاومت انسولینی، محرک اصلی در فرایند تولید گونه‌های فعال اکسیژن است. افزایش گلوکز خون از طریق مسیرهای فیزیولوژیک بدن منجر به تولید بیش‌ازحد رادیکال‌های آزاد می‌شود. عدم تعادل بین تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن و توانایی سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی برای مهار آن‌ها به‌عنوان استرس اکسیداتیو تعریف می‌شود [۳].

استرس اکسیداتیو در دیابت شیرین باعث ایجاد چندین اثر نامطلوب بر فیزیولوژی سلولی می‌شود. این امر، به‌ویژه برای جزایر لانگرهانس خطرناک‌تر است؛ زیرا از بافت‌هایی است که کمترین سطح دفاع آنتی‌اکسیدانی ذاتی بدن را دارند [۴]. بارزترین این موارد، افزایش غلظت نشانگر استرس اکسیداتیو، مالون دی‌آلدئید[2] و کاهش غلظت سوپراکسید دیسموتاز[3] است که منجر به آسیب به عملکرد سلول‌های بتای پانکراس و مقاومت به انسولین محیطی می‌شود (عامل ایجاد دیابت) [۵]. مالون دی‌آلدئید ازجمله نشانگرهای استرس اکسیداتیو در بدن انسان است که به‌عنوان یک نشانگر زیستی اولیه آسیب لیپیدی ناشی از رادیکال‌های آزاد و استرس اکسیداتیو ثبت شده است [۶]. افزایش سطح مالون دی‌آلدئید در افراد دیابتی نشان می‌دهد آسیب پراکسیداتیو ممکن است در ایجاد عوارض دیابتی نقش داشته باشد. همچنین نشانه‌ای از کاهش مکانیسم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی است [۴]. افزایش پراکسیداسیون لیپیدی رابطه نزدیکی با سطح بالای گلیسمی و استرس اکسیداتیو در دیابت شیرین دارد [۷].

در یک مطالعه بالینی که با هدف توصیف استرس اکسیداتیو خون در بیماران دیابتی انجام شد، پراکسیداسیون لیپیدی بسیار بالاتری گزارش شده است که رابطه نزدیکی با سطح بالای گلوکز را نشان می‌دهد [۸]. در مقابل ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تام که مجموع آنتی‌اکسیدان‌های برون‌زا و درون‌زا را نشان می‌دهد، تصویر کاملی از وضعیت آنتی‌اکسیدانی بدن را ارائه می‌دهد. این موضوع در مقایسه با اندازه‌گیری آنتی‌اکسیدان‌های منفرد اهمیت بیشتری دارد؛ زیرا آنتی‌اکسیدان‌های مختلف به‌صورت هم‌افزایی در سیستم برای مبارزه با آسیب اکسیداتیو ناشی از رادیکال‌های آزاد عمل می‌کنند. صرف نظر از هرگونه عارضه‌ای، سطح کاهش‌یافته‌ای از ظرفیت آنتی‌اکسیدانی خارج‌سلولی در بیماران دیابتی نوع ۲ گزارش شده است [۹]. همچنین آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به‌عنوان یکی از مهم‌ترین آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی درون‌زا، نقش‌های محافظتی مهمی در برابر آسیب‌های سلولی و بافتی ایجادشده توسط گونه‌های فعال اکسیژن[4] (ROS) ایفا می‌کند. این آنزیم تبدیل رادیکال‌های سوپراکسید به پراکسید هیدروژن را تسهیل می‌کند و در حضور سایر آنزیم‌ها به اکسیژن و آب تبدیل می‌شود [۱۰]. سوپراکسید به سرعت با اکسید نیتریک[5] واکنش می‌دهد و فعالیت زیستی اکسید نیتریک را کاهش می‌دهد. نشان داده شده است که بیان بیش‌ازحد سوپراکسید دیسموتاز یا مکمل‌های آنتی‌اکسیدانی از جمله مقلدهای سوپراکسید دیسموتاز، که برای غلبه بر استرس اکسیداتیو، کاهش ROS و افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی هدف قرار گرفته‌اند، از بروز دیابت شیرین جلوگیری می‌کنند [۴].

باتوجه‌به نقش محوری استرس اکسیداتیو در پاتوژنز دیابت، استفاده از راهبردهای مؤثر برای کاهش این وضعیت و تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این راستا، تمرینات ورزشی به‌عنوان یکی از مؤثرترین مداخلات غیردارویی، نقش قابل‌توجهی در مدیریت دیابت نوع ۲ دارند. مطالعات نشان داده‌اند ورزش‌های هوازی مانند پیاده‌روی، دویدن و دوچرخه‌سواری می‌توانند سطح آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، به‌ویژه فعالیت سوپراکسید دیسموتاز و گلوتاتیون پراکسیداز[6] را به‌طور قابل‌توجهی افزایش داده و غلظت محصولات پراکسیداسیون لیپیدی مالون دی‌آلدئید و آسیب اکسیداتیو را کاهش دهند [۱۱].

علاوه‌براین تمرینات مقاومتی می‌توانند با افزایش توده عضلانی و افزایش عملکرد متابولیک، به‌طور مؤثر سطح استرس اکسیداتیو را کاهش دهند [۱۲]. تمرین ترکیبی که در آن تمرین استقامتی و مقاومتی در قالب یک پروتکل واحد ادغام می‌شود، در مقایسه با هریک از این روش‌ها به‌تنهایی، مزایای چندوجهی‌تری در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ نشان داده است. این روش تمرینی با بهبود کنترل گلیسمی، ازجمله کاهش قند خون ناشتا و هموگلوبین گلیکوزیله[7] و بهینه‌سازی ترکیب بدن همراه بوده است. از منظر اثرات اکسیداتیو، تمرین ترکیبی با افزایش نشانگرهای

1. Nonalcoholic Fatty Liver Disease (NAFLD)
2. Malondialdehyde (MDA)
3. Superoxide Dismutase (SOD)
4. Reactive Oxygen Species (ROS)
5. Nitric oxide (NO)
6. Glutathione Peroxidase (GPx)
7. Hemoglobin A1c (HbA1c)

زیستی آنتی‌اکسیدانی نظیر گلوتاتیون احیاشده[8] و سوپراکسید دیسموتاز و توأم با کاهش سطح مالون دی‌آلدئید به‌عنوان شاخص پراکسیداسیون لیپیدی، همسویی نشان داده است. این پاسخ‌های سازگارانه عمدتاً پس از ۸ تا ۱۶ هفته مداخله منظم مشاهده شده‌اند [۳]. چن و همکاران (۲۰۲۵) در مطالعه مروری و سیستمیک خود گزارش کردند تمرینات ورزشی باعث کاهش سطوح مالون دی‌آلدئید و مقاومت انسولینی و همچنین افزایش سطوح سوپراکسید دیسموتاز می‌شود [۵].

در کنار تمرینات ورزشی، استفاده از ترکیبات زیست‌فعال طبیعی نیز به‌عنوان راهبرد مکمل در مدیریت دیابت مورد توجه قرار گرفته است. البته سال‌هاست محققان بر شناسایی ترکیبات آنتی‌اکسیدانی گیاهی که عارضه جانبی کمتری دارند متمرکز شده‌اند. یکی از این ترکیبات آنتی‌اکسیدانی گاماوریزانول[9] است. گاماوریزانول یک ترکیب زیست‌فعال مستخرج از سبوس برنج است که به واسطه خواص آنتی‌اکسیدانی و ضدالتهابی برجسته خود، به‌عنوان یک عامل مؤثر در بهبود اختلالات متابولیک مرتبط با چاقی ازجمله هایپرلیپیدمی، مقاومت به انسولین و دیابت نوع ۲ شناخته شده است [۱۳، ۱۴]. مطالعات نشان داده‌اند مکانیسم‌های عملکردی این ترکیب شامل کاهش استرس شبکه آندوپلاسمی[10] در سلول‌های β پانکراس، تقویت ترشح انسولین ازطریق مهار سیگنالینگ گیرنده دوپامین نوع ۲[11] و بهبود انتقال گلوکز ازطریق تنظیم مثبت ناقل انتقال دهنده گلوکز نوع ۴ (GLUT4)[12] است [۱۵، ۱۶]. علاوه‌براین، گاماوریزانول با مهار پراکسیداسیون لیپیدی و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، موجب کاهش استرس اکسیداتیو و بهبود پروفایل لیپیدی می‌شود [۱۷، ۱۸]. شواهد حاصل از مطالعات حیوانی و انسانی مؤید آن است که مصرف این ترکیب با کاهش معنادار سطوح قند خون، تری‌گلیسیرید و کلسترول همراه بوده و قابلیت کاربرد به‌عنوان درمان کمکی در مدیریت سندرم متابولیک را دارا است [۱۹].

افزایش سطح مالون دی‌آلدئید در افراد مبتلابه دیابت، بیانگر تشدید تخریب غشای سلولی و ضعف در سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی است. درمقابل، کاهش فعالیت آنزیم‌هایی مانند سوپراکسید دیسموتاز نشانه‌ای از افت ظرفیت دفاعی بدن در برابر رادیکال‌های آزاد محسوب می‌شود؛ بنابراین ارزیابی هم‌زمان شاخص‌های اکسیداتیو و آنتی‌اکسیدانی می‌تواند درک دقیق‌تری از وضعیت متابولیک بیماران مبتلابه دیابت نوع ۲ فراهم کند [۴]. ازسوی‌دیگر، ترکیب بدن نیز در دیابت نوع ۲ اهمیت زیادی دارد. افزایش توده چربی، به‌ویژه چربی احشایی، با ترشح آدیپوکاین‌های التهابی، افزایش مقاومت انسولینی و بدتر شدن کنترل گلیسمی همراه است. در مقابل، بهبود ترکیب بدن ازطریق کاهش توده چربی و حفظ یا افزایش توده بدون چربی می‌تواند به ارتقای حساسیت به انسولین و بهبود وضعیت متابولیک کمک کند؛ ازاین‌رو مداخلاتی که هم‌زمان بر شاخص‌های متابولیک، اکسیداتیو و ترکیب بدن اثر بگذارند، از اهمیت بالایی در مدیریت دیابت برخوردارند [۲۰]. با وجود تأیید اثرات مثبت و مجزای تمرین ترکیبی و مکمل گاماوریزانول بر استرس اکسیداتیو و شاخص‌های گلیسمیک، تاکنون هیچ مطالعه‌ای به بررسی اثر هم‌افزایی این دو مداخله بر متغیرهای این پژوهش نپرداخته است؛ بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر تمرینات ترکیبی به همراه مکمل‌یاری گاماوریزانول بر میزان استرس اکسیداتیو، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، شاخص‌های گلایسمیک و مقاومت انسولینی در مردان مبتلا به دیابت نوع ۲ طراحی و اجرا شد.

روش کار

نمونه‌های پژوهش

پژوهش حاضر یک مطالعه کارآزمایی بالینی از نوع نیمه‌تجربی با طرح پیش‌آزمون و پس‌آزمون بود. جامعه مطالعه حاضر را مردان مبتلا به دیابت نوع ۲ در بازه سنی ۴۵ تا ۶۰ سال شهرستان اهر تشکیل می‌دادند. پس از ارزیابی‌های اولیه از میان شرکت‌کنندگانی که معیارهای ورود به مطالعه را داشتند ۳۰ نفر به‌صورت هدفمند انتخاب و در ۳ گروه تمرین ترکیبی و دارونما (۱۰نفر)، گروه تمرین و مصرف مکمل (۱۰ نفر) و گروه کنترل و دارونما (۱۰ نفر) تقسیم شدند. حجم نمونه با استفاده از نرم‌افزار آماری جی‌پاور[13] نسخه ۳,۱,۹,۲ با اندازه اثر ۰/۲۵، توان برابر با ۰/۹۵ و سطح آلفای ۰/۵ برآورد شد. معیارهای ورود: داشتن سابقه بیماری دیابت که توسط پزشک متخصص تأیید شده باشد، هموگلوبین گلیکوزیله بالای ۶/۵ درصد، نداشتن هیچ نوع رژیم غذایی، استفاده از داروی متفورین برای پیشگیری از دیابت استفاده می‌کردند و نداشتن فعالیت منظم طی شش ماه اخیر.

آزمودنی‌ها در یک جلسه توجیهی به‌طور کامل با مراحل پژوهش و شرایط تمرینی و مصرف مکمل به‌صورت جداگانه آشنا شدند. سپس شاخص‌های آنتروپومتریکی آزمودنی‌ها اندازه‌گیری شد. به‌مدت ۱ هفته تحت نظر پزشک متخصص، برنامه تمرینی به‌صورت پایلوت اجرا شد تا شرکت‌کنندگان آشنایی کامل به نحوه تمرین را داشته باشند و شرایط جسمانی و فیزیولوژیکی آن‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد. همه شرکت‌کنندگان پرسش‌نامه سلامتی و مشخصات فردی را تکمیل کرده و رضایت‌نامه آگاهانه شرکت در پژوهش را امضا کردند. گروه کنترل در طول دوره مداخله به زندگی عادی خود ادامه دادند. شرکت‌کنندگان جهت

8. Glutathione (GSH)
9. Gamma Oryzanol (γ-Oz)
10. Endoplasmic Reticulum Stress (ER stress)
11. Dopamine D2 Receptor (D2R)
12. Glucose Transporter Type 4
13. G*Power

خروج از مطالعه بنا به هر دلیلی اختیار تام داشتند و در این خصوص پژوهشگر همکاری کامل را با شرکت‌کنندگان به عمل آورد. پژوهش حاضر با رعایت کلیه اصول اخلاقی مورد تأیید در پژوهش‌های انسانی انجام شد و در کمیته اخلاق در پژوهش پژوهشگاه تربیت‌بدنی و علوم ورزشی ایران مورد تأیید قرار گرفت و دارای کد کارآزمایی بالینی است.

ارزیابی بیوشیمیایی آزمودنی‌ها

نمونه خونی آزمودنی‌ها ۴۸ ساعت قبل از شروع پروتکل تمرین و مصرف مکمل رأس ساعت ۸ صبح به میزان ۵ میلی‌لیتر از بازوی راست جمع‌آوری شد و سپس به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ برای جداسازی سرم انجام شد. نمونه‌های خونی در فریزر ۷۰- درجه جهت ارزیابی‌های بعدی نگهداری شدند.

ظرفیت تام آنتی‌اکسیدانی، مالون دی‌آلدئید و سوپراکسید دیسموتاز به روش کالریمتری (به‌وسیله دستگاه کالریمتری اتوماتیک مدل PFXi-995 ساخت شرکت Tintometer، محصول کشور بریتانیا) و با استفاده از کیت‌های شرکت کیازیست، ساخت ایران اندازه‌گیری شد. انسولین به روش رادیوایمونواسی[14] (RIA) با استفاده از کیت‌های Liason ساخت کشور انگلستان سنجیده شد. گلوکز خون ناشتا با استفاده از روش گلوکز اکسیداز و با استفاده از آنالیزور گلوکز، به‌وسیله کیت‌های مخصوص شرکت پارس آزمون اندازه‌گیری شد. از روش مدل ارزیابی هموستاز[15] (HOMA-IR) جهت ارزیابی مقاومت انسولینی استفاده شد (رابطه شماره ۱) [۲۰].

۱.

$$\text{مقاومت انسولینی (HOMA-IR)} = \frac{\text{انسولین ناشتا (}\mu U/mL\text{)} \times \text{گلوکز پلاسما (mg/dl)}}{405}$$

پروتکل تمرینی

برنامه تمرین ترکیبی ۸ هفته و ۳ جلسه در هفته به مدت ۶۰ الی ۹۰ دقیقه به‌صورت پیش‌رونده انجام شد (جدول شماره ۱). تمرین هوازی با شدت ۵۰ تا ۷۰ درصد حداکثر ضربان قلب بیشینه در ابتدای جلسه تمرین و سپس تمرینات مقاومتی با شدت ۴۰ تا ۷۰ درصد یک تکرار بیشینه انجام شد. تمرینات مقاومتی برای هر شرکت‌کننده دربرگیرنده عضلات بزرگ پایین‌تنه و بالاتنه شامل حرکات پرس پا، جلو پا، اسکات، جلو بازو، پرس سینه و سرشانه بود. حداکثر یک تکرار بیشینه برای هر تمرین مقاومتی با استفاده از معادله برزیسکی تخمین زده شد (رابطه شماره ۲).

۲. تعداد تکرارهای انجام‌شده تا خستگی+۰/۰۲۷۸ – ۱/۰۲۷۸ / حجم= یک تکرار بیشینه

یک روش زیربیشینه معتبر است که از خطر آسیب‌دیدگی ناشی از تست مستقیم حداکثر تلاش جلوگیری می‌کند [۲۱].

نحوه مصرف مکمل گاما‌اوریزانول

مکمل گاما‌اوریزانول برای گروه تمرین ترکیبی و مصرف مکمل، روزانه ۶۰۰ میلی‌گرم به‌صورت ۲ عدد کپسول ۳۰۰ میلی‌گرمی در ۲ وعده غذایی همزمان با مصرف صبحانه و شام به‌مدت ۸ هفته استفاده شد [۲۲]. مکمل گاما‌اوریزانول با خلوص ۹۵ تا ۹۸ درصد به‌صورت پودر سفیدرنگ خوراکی محصول کشور چین بود. کلیه مراحل تهیه و آماده‌سازی مکمل گاما‌اوریزانول در مرکز تحقیقات دارویی دانشگاه علوم‌پزشکی تبریز و توسط پرسنل مرکز انجام گرفته است. دُز مصرفی در این مطالعه با دُز به‌کاررفته در مطالعات قبلی مطابقت دارد و در محدوده بالای دُزهای بررسی‌شده در مطالعات بالینی گاما‌اوریزانول (۵۰ تا ۸۰۰ میلی‌گرم روزانه) قرار می‌گیرد [۲۲، ۲۳].

تجزیه‌وتحلیل آماری

از آزمون آماری شاپیرو-ویلک[16] برای بررسی توزیع طبیعی داده‌ها و از آزمون لون[17] برای بررسی همگنی داده‌ها استفاده شد. آزمون آنالیز واریانس یک‌راهه[18] برای بررسی تفاوت‌های بین‌گروهی در پیش‌آزمون استفاده شد. جهت تعیین تفاوت‌های بین‌گروهی و بررسی تأثیر تعامل زمان در گروه از آزمون تحلیل واریانس دو راهه[19] با اندازه‌گیری‌های مکرر استفاده شد. در صورت وجود تفاوت‌های معنی‌دار بین‌گروهی از آزمون تعقیبی کمترین تفاوت معنی‌دار[20] (LSD) برای تعیین تفاوت جفت گروه‌ها استفاده شد. کلیه تحلیل‌های آماری با نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۷، در سطح معنی‌داری P<۰/۰۵ انجام شد.

یافته‌ها

ویژگی‌های فردی و آنتروپومتریکی آزمودنی‌ها قبل از مداخلات در جدول شماره ۲ نشان داده شده است. تحلیل‌های اولیه نشان دادند بین گروه‌ها در متغیرهای سن، قد، وزن و شاخص توده بدنی، مدت ابتلا به دیابت، گلوکز خون ناشتا و هموگلوبین گلیکوزیله تفاوت معنی‌داری وجود نداشت که بیان‌کننده همگنی

14. RadioimmuNOassay (RIA)
15. Homeostatic Model Assessment of Insulin Resistance HOMA-IR)
16. Shapiro-Wilk Test
17. Levene's test
18. one-way ANOVA
19. Two-way Repeated Measure
20. least Significant Difference (LSD)

جدول ۱. شدت و مدت اجرای تمرین ترکیبی

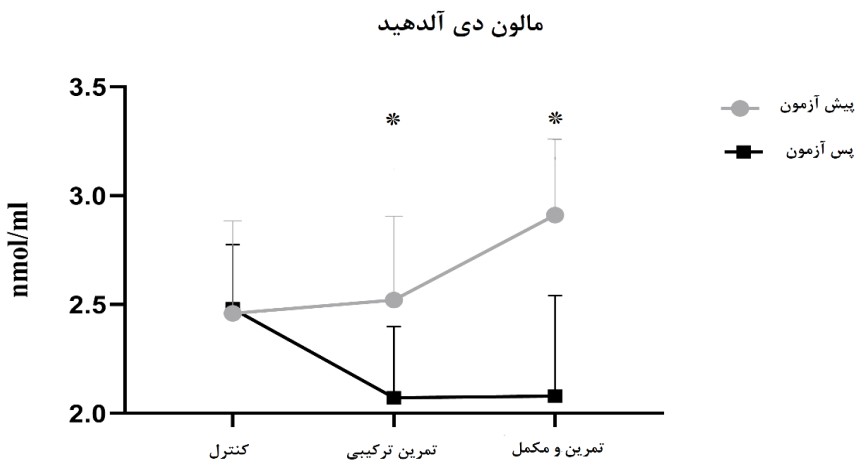
هفته	هوازی		مقاومتی			
	مدت (دقیقه)	شدت (درصد)	مدت (دقیقه)	شدت (درصد)	تکرار	تعداد (ست)
۱	۱۰	۵۰	۳۰	۴۰	۱۲-۸	۳
۲	۱۵	۵۰	۳۰	۴۰	۱۲-۸	۳
۳	۲۰	۵۵	۳۰	۵۰	۱۲-۸	۳
۴	۲۰	۵۵	۳۰	۵۰	۱۲-۸	۳
۵	۲۵	۶۰	۳۵	۶۰	۱۲-۸	۳
۶	۲۵	۶۵	۳۵	۶۰	۱۲-۸	۳
۷	۲۵	۷۰	۴۰	۷۰	۱۲-۸	۳
۸	۳۰	۷۰	۴۰	۷۰	۱۲-۸	۳

گرم کردن	۱۰ دقیقه
استراحت بین تمرین هوازی و مقاومتی	۳ تا ۵ دقیقه
استراحت بین ستها	۲ دقیقه
استراحت بین هر ایستگاه	۱ دقیقه
سرد کردن	۵ تا ۱۰ دقیقه

مجله تحقیقات سلامت در جامعه

گروهها در شروع مطالعه است (P>۰/۰۵). همچنین نتایج تحلیل واریانس یک راهه در پیش‌آزمون نشان داد تفاوت معنی‌دار بین‌گروهی در متغیرهای موردمطالعه مشاهده نشد (P>۰/۰۵) (جدول شماره ۲).

نتایج تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر نشان داد اثر تعاملی زمان در گروه برای متغیرهای سوپراکسید دیسموتاز (P=۰/۰۱۲)، مالون دی‌آلدئید (P=۰/۰۰۳)، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تام (P=۰/۰۱۷)، انسولین (P=۰/۰۰۱)، گلوکز خون ناشتا (P=۰/۰۰۱)، مقاومت انسولینی (P=۰/۰۰۱) و هموگلوبین گلیکوزیله (P=۰/۰۰۱) معنی‌دار بود (جدول شماره ۳).



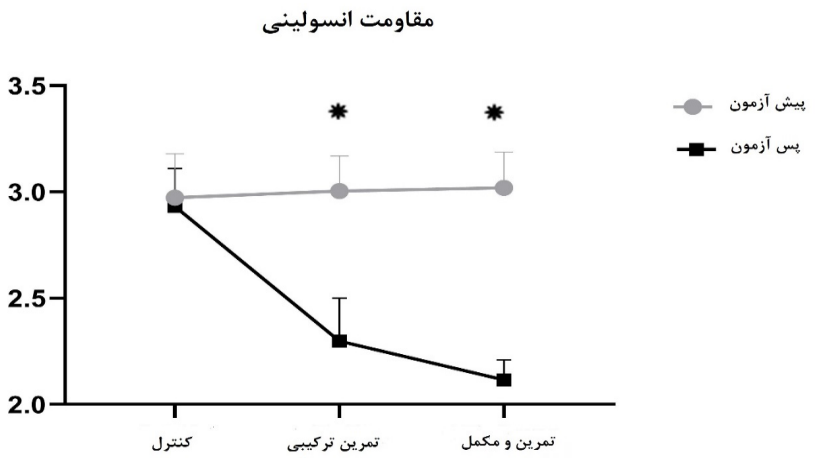
شکل ۱. میانگین مالون دی‌آلدئید گروه‌های آزمایش
* تفاوت معنی‌دار وجود دارد.

مجله تحقیقات سلامت در جامعه

جدول ۲. مقادیر پایه و نتایج همگنی داده‌های مربوط به شاخص‌های پیکرشناسی آزمودنی‌ها (n=۱۰)

متغیر	گروه	میانگین±انحراف‌معیار			نتایج آنووا یک‌راهه	
		تمرین ترکیبی	تمرین ترکیبی و مکمل	کنترل	F	P
		پیش‌آزمون	پیش‌آزمون	پیش‌آزمون		
سن (سال)		۴۹/۸±۴/۱۵	۵۰/۲±۲۰/۷۸	۵۰/۵±۴/۳۷	۰/۰۵۲	۰/۹۵۰
قد (متر)		۱/۷۸±۰/۰۴	۱/۷۶±۰/۰۴	۱/۷۵±۰/۰۲	۱/۵۶	۰/۲۲
وزن (کیلوگرم)		۹۵/۳۹±۸/۴۳	۹۱/۲۳±۷/۴۹	۸۷/۳۰±۴/۵۷	۳/۱۳	۰/۰۵۲
شاخص توده بدن (کیلوگرمبر متر مربع)		۳۰/۰۵±۲/۱۴	۲۹/۳۵±۲/۱۵	۲۸/۵۰±۲/۰۱	۱/۳۴	۰/۲۷۷
درصد چربی		۳۰/۶۳±۳/۹۱	۲۸/۶۸±۳/۰۵	۲۶/۹۸±۲/۶۴	۳/۱۶	۰/۰۵۸
مدت ابتلا به دیابت (سال)		۴/۱±۸۰/۱۳	۴/۱±۷۰/۳۳	۴/۱±۲۰/۰۳	۰/۷۴۸	۰/۴۸۳
گلوکز خون ناشتا		۱۳۵/۸۰±۵/۵۵	۱۳۴/۸۰±۴/۷۸	۱۳۵/۱۰±۶/۱۳	۰/۰۸۶	۰/۹۱۷
هموگلوبین گلیکوزیله		۷/۱۲±۰/۳۹	۷/۲۱±۰/۴۵	۶/۸۵±۰/۱۷۷	۳/۳۲۵	۰/۰۵۱

مجله تحقیقات سلامت در جامعه



شکل ۲. میانگین مقاومت انسولینی گروه‌های آزمایش
* تفاوت معنی‌دار وجود دارد.

مجله تحقیقات سلامت در جامعه

به دنبال وجود تفاوت‌های معنادار بین‌گروهی، نتایج آزمون تعقیبی[21] LSD نشان داد کاهش سطح مالون دی‌آلدئید در گروه تمرین ترکیبی و دارونما نسبت به گروه کنترل معنی‌دار بود (P=۰/۰۴۴). در گروه تمرین ترکیبی و مصرف مکمل نیز کاهش مالون دی‌آلدئید نسبت به گروه کنترل معنی‌دار بود (P=۰/۰۰۱)، اما تفاوت‌ها بین گروه تمرین ترکیبی و دارونما با گروه تمرین ترکیبی و مصرف مکمل ازنظر آماری معنی‌دار نبود (P=۰/۰۹۵).

همچنین سطوح مالون دی‌آلدئید در گروه تمرین ترکیبی و دارونما به میزان ۱۷/۸۶ درصد و در گروه تمرین ترکیبی و مکمل به میزان ۱۵/۴۶ درصد به‌طور معنی‌داری نسبت به پیش‌آزمون کاهش داشت (P<۰/۰۵) (شکل شماره ۱).

21. least Significant Difference Test (LSD)

همچنین نتایج آزمون تعقیبی LSD نشان داد سطح مقاومت انسولینی در گروه تمرین ترکیبی و دارونما نسبت به گروه کنترل کاهش معنی‌داری داشت (P=۰/۰۰۱). در گروه تمرین ترکیبی و مصرف مکمل نیز کاهش مقاومت انسولینی نسبت به گروه کنترل معنی‌دار بود (P=۰/۰۰۱). بررسی‌های بین‌گروهی نشان داد تفاوت معناداری بین گروه تمرین ترکیبی و دارونما با گروه تمرین ترکیبی و مصرف مکمل از نظر آماری وجود دارد (P=۰/۰۰۱) که بیانگر تأثیر معنی‌دار تمرین و مصرف مکمل گاماوریزانول نسبت به تمرین ترکیبی به‌تنهایی است.

مقاومت انسولینی در گروه تمرین ترکیبی و دارونما به میزان ۲۳/۶۶ درصد و در گروه تمرین ترکیبی و مکمل به میزان ۲۹/۹۰ درصد نسبت به پیش‌آزمون کاهش معناداری داشت (P<۰/۰۵) (شکل شماره ۲).

نتایج آزمون تعقیبی LSD نشان داد سطح سوپراکسید دیسموتاز در گروه تمرین ترکیبی و دارونما نسبت به گروه کنترل افزایش معنی‌داری داشت (P=۰/۰۰۵). در گروه تمرین ترکیبی و مصرف مکمل نیز افزایش معناداری نسبت به گروه کنترل مشاهده شد (P=۰/۰۱۸). اما تفاوت معناداری بین گروه تمرین ترکیبی و دارونما با گروه تمرین ترکیبی و مصرف مکمل از نظر آماری وجود نداشت (P=۰/۶۲۳). همچنین نتایج نشان داد، سطح سوپراکسید دیسموتاز در گروه تمرین ترکیبی و دارونما به میزان ۳۷/۱۹ درصد و در گروه تمرین ترکیبی و مکمل به میزان ۲۸/۴۴ درصد نسبت به پیش‌آزمون افزایش معناداری داشت (P<۰/۰۵) (شکل شماره ۳).

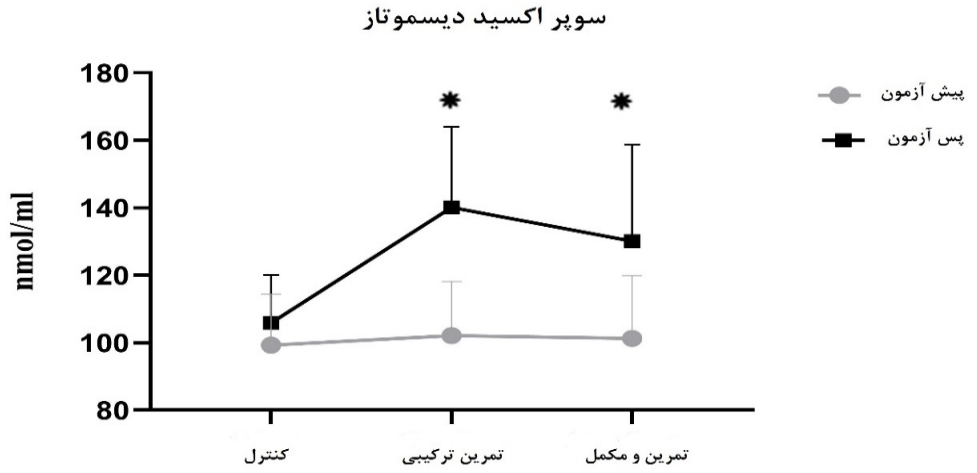
نتایج آزمون تعقیبی LSD نشان داد سطح ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تام در گروه تمرین ترکیبی و دارونما نسبت به گروه کنترل افزایش معنی‌داری داشت (P=۰/۰۲۲). در گروه تمرین ترکیبی و مصرف مکمل نیز افزایش معنی‌داری نسبت به گروه کنترل مشاهده شد (P=۰/۰۰۸). اما تفاوت معناداری بین گروه تمرین ترکیبی و دارونما با گروه تمرین ترکیبی و مصرف مکمل از نظر آماری وجود نداشت (P=۰/۶۸۷).

همچنین نتایج نشان داد، سطح ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تام در گروه تمرین ترکیبی و دارونما به میزان ۳۷/۱۹ درصد و در گروه تمرین ترکیبی و مکمل به میزان ۲۸/۴۴ درصد نسبت به پیش‌آزمون افزایش معناداری داشت (P<۰/۰۵) (شکل شماره ۴).

جدول ۳. مقایسه میانگین شاخص‌های استرس اکسیداتیو، گلوکز، انسولین، مقاومت انسولین در گروه‌های موردمطالعه قبل و پس از ۸ هفته مداخله

متغیر	مرحله آزمون	میانگین±انحراف‌معیار			نتایج تحلیل واریانس دو راهه		
		تمرین ترکیبی	تمرین و مکمل	کنترل	F	اندازه اثر	P# (زمان×گروه)
سوپراکسید دیسموتاز (نانوگرم بر میلی‌لیتر)	پیش‌آزمون	۱۰۲/۱۱±۱۶/۱۱	۹۹/۰۴±۱۷/۰۰	۹۹/۳۲±۱۵/۰۹	۵/۲۵۳	۰/۲۸۰	۰/۰۱۲
	پس‌آزمون	۱۴۰/۰۹±۲۳/۹۱	۱۳۱/۵۲±۲۷/۴۲	۱۰۳/۸۶±۱۳/۴۱			
	P درون‌گروهی	۰/۰۰۲*	۰/۰۰۹*	۰/۰۵۲			
مالون دی‌آلدئید (نانومول بر میلی‌لیتر)	پیش‌آزمون	۲/۵۲±۰/۳۸	۲/۹۱±۰/۴۸	۲/۴۶±۰/۴۲	۷/۳۹۴	۰/۳۵۴	۰/۰۰۳
	پس‌آزمون	۲/۰۷±۰/۳۲	۲/۰۷±۰/۴۶	۲/۴۸±۰/۲۹			
	P درون‌گروهی	۰/۰۰۴*	۰/۰۰۷*	۰/۷۳۲			
ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تام (میکروگرم معادل اسید اسکوربیک در میلی‌لیتر)	پیش‌آزمون	۰/۷۴±۰/۱۸	۰/۵۶±۰/۱۵	۰/۶۱±۰/۱۳	۴/۷۲۲	۰/۲۵۹	۰/۰۱۷
	پس‌آزمون	۰/۹۸±۰/۱۹	۰/۸۴±۰/۱۷	۰/۶۰±۰/۱۶			
	P درون‌گروهی	۰/۰۱۱*	۰/۰۰۴*	۰/۹۱۸			
انسولین (میکرویونیت/میلی‌لیتر)	پیش‌آزمون	۸/۹۸±۰/۳۴	۹/۰۸±۰/۲۸	۸/۹۲±۰/۳۲	۸۰/۸۱	۰/۸۵۷	<۰/۰۰۱
	پس‌آزمون	۸/۰۳±۰/۲۹	۷/۹۷±۰/۲۴	۸/۸۹±۰/۳۱			
	P درون‌گروهی	<۰/۰۰۱*	<۰/۰۰۱*	۰/۶۹۶			
گلوکز خون (میلی‌گرم/دسی‌لیتر)	پیش‌آزمون	۱۳۵/۸۰±۵/۵۵	۱۳۴/۸۰±۴/۷۸	۱۳۵/۱۰±۶/۱۳	۱۲۲/۷۲	۰/۹۰۱	<۰/۰۰۱
	پس‌آزمون	۱۱۴/۵۰±۶/۹۱	۱۰۷/۶۰±۲/۶۷	۱۳۴/۸۰±۵/۶۵			
	P درون‌گروهی	<۰/۰۰۱*	<۰/۰۰۱*	۰/۶۲۷			
مقاومت به انسولین	پیش‌آزمون	۳/۰۰±۰/۱۶۴	۳/۰۱±۰/۱۶۹	۲/۹۷±۰/۲۰۶	۱۴۹/۸۳	۰/۹۱۷	<۰/۰۰۱
	پس‌آزمون	۲/۲۹±۰/۲۰۲	۲/۱۱±۰/۰۹۳	۲/۹۳±۰/۱۷۸			
	P درون‌گروهی	<۰/۰۰۱*	<۰/۰۰۱*	۰/۲۵۰			
هموگلوبین گلیکوزیله	پیش‌آزمون	۷/۱۲±۰/۳۹۶	۷/۲۱±۰/۳۵۷	۶/۸۵±۰/۱۷۷	۱۳۴/۱۳	۰/۹۰۳	<۰/۰۰۱
	پس‌آزمون	۶/۴۵±۰/۳۳۴	۵/۹۴±۰/۲۳۱	۶/۷۸±۰/۲۰۴			
	P درون‌گروهی	<۰/۰۰۱*	<۰/۰۰۱*	۰/۰۶۶			

* تفاوت معنی‌دار درون‌گروهی در گروه‌های مطالعه، # تفاوت معنی‌دار بین‌گروهی در گروه‌های مطالعه



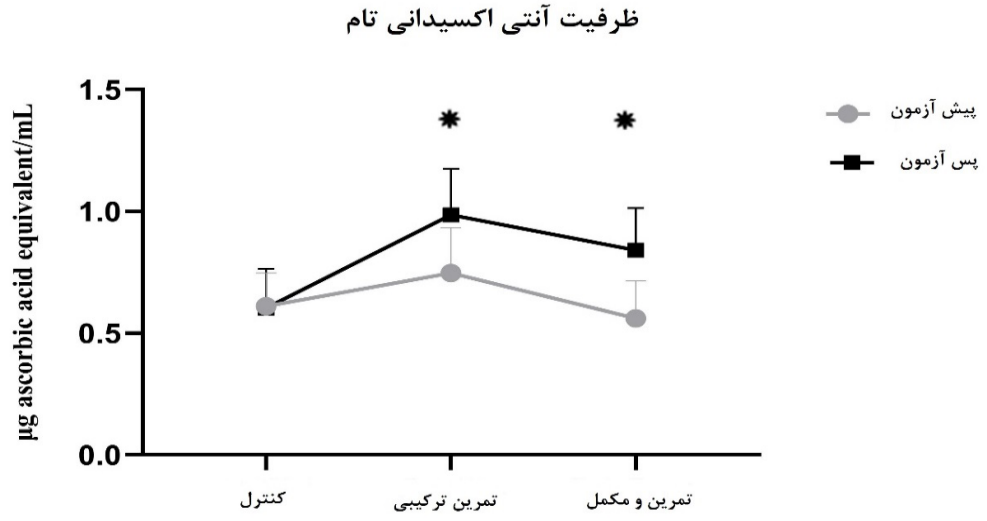
شکل ۳. میانگین سوپراکسید دیسموتاز گروه‌های آزمایش
* تفاوت معنی‌دار وجود دارد.

بحث

یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد ۸ هفته تمرین ترکیبی به‌تنهایی و همراه با مکمل‌یاری گاما‌اوریزانول منجر به بهبود معنی‌دار سطوح گلوکز ناشتا، انسولین، مقاومت انسولینی، مالون دی‌آلدئید و سوپراکسید دیسموتاز و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تام در مردان مبتلا به دیابت نوع ۲ شد. همچنین تفاوت معنی‌داری بین گروه تمرین ترکیبی و دارونما با گروه تمرین ترکیبی و مکمل گاما‌اوریزانول در متغیرهای موردمطالعه مشاهده نشد. تنها در سطوح مقاومت انسولینی تفاوت معنی‌داری بین گروه تمرین ترکیبی و مکمل با گروه تمرین ترکیبی و دارونما مشاهده شد. که نشان‌دهنده تأثیر افزاینده معنی‌دار مکمل در کنار تمرینات ورزشی است.

تمرینات ترکیبی ازطریق ایجاد سازگاری‌های متابولیکی و عضلانی، موجب بهبود برداشت گلوکز در بافت عضله اسکلتی می‌شوند. یکی از مهم‌ترین مکانیسم‌ها، افزایش انتقال و بیان ناقل گلوکز GLUT4 و تقویت مسیرهای وابسته به انسولین و انقباض عضلانی است که درنهایت ورود گلوکز به سلول را تسهیل می‌کند و غلظت گلوکز خون را کاهش می‌دهد. علاوه‌براین تمرین ترکیبی با افزایش مصرف گلوکز در عضله و بهبود پاسخ سلول به انسولین، نیاز به ترشح بالای انسولین را کاهش داده و به کاهش سطح انسولین ناشتا کمک می‌کند [۲۳].

ازسوی‌دیگر، تمرینات ترکیبی با تعدیل وضعیت التهابی و بهبود حساسیت به انسولین، در کاهش مقاومت انسولینی نقش دارند. شواهد نشان می‌دهد تمرین ترکیبی(مقاومتی‌استقامتی) می‌تواند برخی شاخص‌های متابولیسم گلوکز و نشانگرهای التهابی را بهبود بخشد و این اثر احتمالاً ازطریق کاهش اختلالات سیگنال‌دهی انسولین، بهبود عملکرد میتوکندری و افزایش سازگاری‌های عضله اسکلتی ایجاد می‌شود؛ بنابراین کاهش گلوکز، انسولین



شکل ۴. میانگین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تام گروه‌های آزمایش
* تفاوت معنی‌دار وجود دارد.

و مقاومت به انسولین پس از تمرینات ترکیبی ممکن است در نتیجه اثر هم‌افزای سازگاری‌های عصبی‌عضلانی، متابولیکی و ضدالتهابی باشد [۲۴].

این یافته‌ها با نتایج مطالعات پیشین همسو است. کاظمی‌نسب و همکاران (۱۴۰۴) در یک مطالعه مروری سیستماتیک گزارش کردند تمرینات ورزشی باعث کاهش معنی‌دار در سطوح گلوکز خون ناشتا، هموگلوبین گلیکوزیله، مقاومت انسولینی و انسولین در افراد مبتلا به دیابت نوع ۲ می‌شود [۲۵]. همچنین در پژوهشی دیگر رحمتی و همکاران (۱۳۹۸)، در فراتحلیل خود ارتباط معنی‌داری بین تمرینات ورزشی استقامتی و کاهش شاخص‌های گلیسمی را تأیید کردند [۲۶]. دیگو ورگارا و همکاران (۲۰۲۳) نشان دادند تمرین ترکیبی و هوازی باعث کاهش سطح هموگلوبین گلیکوزیله، گلوکز خون ناشتا[۲۲] (FBS) و انسولین در بیماران دیابتی نوع ۲ می‌شود و تأثیر تمرینات ترکیبی بیشتر از تمرینات هوازی به‌تنهایی بود [۲۷].

همچنین ژاوو و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه مروری خود گزارش کردند تمرین ترکیبی باعث کاهش معنی‌دار در سطح هموگلوبین گلیکوزیله، مقاومت انسولینی (HOMA-IR) و انسولین سرم در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ می‌شود [۲۸]. همسویی یافته‌های پیشین با مطالعه حاضر ممکن است نشان‌دهنده اثربخشی تمرینات ترکیبی در بهبود هموستاز گلوکز ازطریق افزایش حساسیت انسولینی و افزایش برداشت گلوکز توسط عضلات اسکلتی باشد. بااین‌حال برخی مطالعات نتایج متفاوتی گزارش کرده‌اند. بنائی و همکاران (۱۳۹۴) در مقایسه ۲ پروتکل تمرین ترکیبی در زنان مبتلا به دیابت نوع ۲ گزارش کردند اگرچه گلوکز خون ناشتا به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، تغییرات هموگلوبین گلیکوزیله و مقاومت به انسولین معنی‌دار نبود [۲۹]. این مغایرت احتمالاً ناشی از تفاوت در جنسیت آزمودنی‌ها (زنان در مقابل مردان در مطالعه حاضر)، مدت مداخله و پروتکل استراحتی بین تمرینات ترکیبی است.

از یافته‌های دیگر این مطالعه، کاهش معنی‌دار سطوح مالون دی‌آلدئید (نشانگر پراکسیداسیون لیپیدی) و افزایش معنی‌دار سطوح سوپراکسید دیسموتاز (آنزیم آنتی‌اکسیدانی) در گروه‌های مداخله نسبت به گروه کنترل بود. این یافته‌ها با نتایج مطالعات متعدد پیشین تأیید می‌شود. اعظمیان و همکاران (۱۳۹۵) نشان دادند ۸ هفته تمرین ترکیبی در زنان یائسه مبتلا به دیابت نوع ۲ باعث کاهش سطوح مالون دی‌آلدئید و افزایش سطح سوپراکسید دیسموتاز می‌شود [۳۰]. همچنین شیرزاد و همکاران (۲۰۲۴) گزارش کردند تمرینات فانکشنال منجر به کاهش معنی‌دار مالون دی‌آلدئید و افزایش معنی‌دار سوپراکسید دیسموتاز در مردان دارای اضافه‌وزن و چاق می‌شود [۳۱].

مکانیسم احتمالی اثرات تمرین ترکیبی بر شاخص‌های استرس اکسیداتیو را می‌توان به فعال‌سازی مسیرهای سیگنالینگ Nrf2 در پاسخ به استرس اکسیداتیو ناشی از ورزش نسبت داد که منجر به افزایش بیان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌شود [۳]. همچنین تمرین مقاومتی سنتز پروتئین و جذب گلوکز را ازطریق مسیر IGF-1/PI3K/AKT/mTOR افزایش می دهد، درحالی‌که تمرین استقامتی در درجه اول بیوژنز میتوکندری و اکسیداسیون لیپید را ازطریق مسیر AMPK/SIRT1/PGC-1α بهبود می‌بخشد و با سرکوب سیتوکین‌های پیش‌التهابی مانند فاکتور نکروزدهنده تومور آلفا (TNF-α) و درعین‌حال افزایش میوکین‌های ضدالتهابی مانند اینترلوکین ۶ (IL-6)، اثرات تعدیل‌کننده سیستم ایمنی را اعمال می‌کند. مکانیسم‌هایی (مکانیسم‌های اثر تمرین ورزشی برای بهبود قند خون و استرس اسیداتیو) که به‌طور قابل‌قبولی بهبود قند خون و استرس اکسیداتیو مشاهده‌شده در هر دو گروه تمرینی را صرف‌نظر از مکمل توضیح می‌دهند. در مطالعه حاضر تغییرات ظرفیت تام آنتی‌اکسیدانی[۲۳] از نظر آماری معنی‌دار بود و روند افزایشی مشاهده‌شده در گروه‌های آزمایش (از ۰/۱۸±۰/۷۴ به ۰/۱۹±۰/۹۸ در گروه تمرین و از ۰/۱۵±۰/۵۶ به ۰/۱۷±۰/۸۴ در گروه تمرین و مکمل) نشان‌دهنده جهت‌گیری مثبت این متغیر است.

هوشمند و همکاران (۱۳۹۷) نیز افزایش معنی‌دار ظرفیت تام آنتی‌اکسیدانی را به دنبال ۸ هفته تمرین هوازی در مردان دیابتی گزارش کردند که با روند مطالعه حاضر همسو است [۳۲]. در تناقض با یافته‌های مطالعه حاضر، عطارزاده حسینی و همکاران (۱۳۹۹) در مطالعه‌ای تأثیر ۲ برنامه تمرین ورزشی تداومی با شدت متوسط و تناوبی شدید بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تام، مالون دی‌آلدئید و سوپراکسید دیسموتاز زنان میانسال چاق و دارای اضافه وزن را بررسی و گزارش کردند تمرین ورزشی تأثیر معناداری بر کاهش مالون دی‌آلدهید و یا افزایش سوپراکسید دیسموتاز ندارد [۳۳]. علت این تناقض احتمالاً به نوع برنامه تمرینی و شرکت‌کنندگان در پژوهش مرتبط است. در پژوهش حاضر شرکت‌کنندگان مبتلا به بیماری دیابت نوع ۲ بودند، ولی در مطالعه حسینی و همکاران افراد چاق و دارای اضافه‌وزن مشارکت داشته‌اند.

در پژوهش حاضر، مصرف ۸ هفته مکمل گاماوریزانول (۶۰۰ میلی‌گرم روزانه) در کنار تمرین ترکیبی منجر به تغییرات بیشتری در شاخص‌های گلیسمی و استرس اکسیداتیو شد، اما این تفاوت‌ها در مقایسه با گروه تمرین ترکیبی به‌تنهایی از نظر آماری معنی‌دار نبود. این یافته ممکن است به دلایل متعددی قابل‌توجیه باشد. اولاً، ممکن است مدت‌زمان مداخله (۸ هفته) برای آشکارسازی اثرات افزاینده مکمل کافی نبوده باشد. ثانیاً، دُز مصرفی مکمل (۶۰۰ میلی‌گرم در روز) اگرچه در محدوده درمانی توصیه‌شده (۳۰۰ تا ۸۰۰ میلی‌گرم در روز) قرار دارد، اما ممکن

22. Fasting Blood Sugar (FBS)

23. Total Antioxidant Capacity (TAC)

است برای ایجاد اثرات سینرژیک قابل‌توجه با تمرینات ورزشی در افراد دیابتی نیاز به دُز بالاتری باشد. سوم، اثرات آنتی‌اکسیدانی و ضدالتهابی گاماوریزانول ممکن است با اثرات مشابه ناشی از تمرینات ورزشی همپوشانی داشته باشد و اثر افزاینده آن در کوتاه‌مدت قابل‌تشخیص نباشد. بااین‌حال شواهد متعددی از اثرات مفید گاماوریزانول در مدیریت دیابت حمایت می‌کنند. ردا و همکاران (۲۰۲۵) در یک مطالعه مروری سیستماتیک گزارش کردند گاماوریزانول باعث کنترل شرایط گلیسمی ازطریق افزایش ترشح انسولین و حساسیت انسولینی، به‌ویژه کاهش قند خون ناشتا می‌شود. همچنین فعالیت آنتی‌اکسیدانی گاماوریزانول ازطریق افزایش سطح آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهش شاخص‌های استرس اکسیداتیو نشان داده شده است [۳۴]. همچنین مطالعات نشان داده‌اند گاماوریزانول ازطریق مهار سیگنالینگ گیرنده دوپامین نوع ۲ باعث افزایش ترشح انسولین می‌شود و ازطریق کاهش استرس شبکه آندوپلاسمی در سلول‌های β پانکراس، عملکرد آن‌ها را بهبود می‌بخشد [۱۵، ۱۶].

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی، نتایج پژوهش حاضر نشان داد ۸ هفته تمرین ترکیبی باعث بهبود معنی‌دار هموستاز گلوکز و انسولین (کاهش گلوکز ناشتا، انسولین و مقاومت انسولینی و بهبود تعادل اکسیداتیو (کاهش مالون دی‌آلدئید و افزایش ظرفیت تام آنتی‌اکسیدانی، سوپراکسید دیسموتاز) در مردان مبتلا به دیابت نوع ۲ می‌شود. ازآنجاکه هیچ تفاوت آماری معنی‌داری بین گروه تمرین ترکیبی+دارونما و گروه تمرین ترکیبی+مکمل گاماوریزانول در هیچ‌یک از متغیرهای موردمطالعه مشاهده نشد، احتمالاً بهبودهای حاصل‌شده عمدتاً ناشی از تمرین ترکیبی است و مکمل گاماوریزانول تأثیری نداشته است. یافته‌های این مطالعه تأکید می‌کند تمرینات ترکیبی به‌عنوان یک راهکار غیردارویی مؤثر و ایمن می‌تواند نقش مهمی در مدیریت دیابت نوع ۲ ازطریق کاهش مقاومت انسولینی و استرس اکسیداتیو ایفا کند. باتوجه‌به پتانسیل درمانی گاماوریزانول و عدم وجود عوارض جانبی عمده، انجام مطالعات بیشتر با دوره‌های مداخله طولانی‌تر و دُزهای متنوع می‌تواند به روشن شدن نقش دقیق این ترکیب زیست‌فعال در کنار تمرینات ورزشی کمک کند.

از محدودیت‌های پژوهش حاضر حجم نمونه نسبتاً کوچک (۳۰ نفر) است که می‌تواند تعمیم‌پذیری نتایج را محدود کند. همچنین عدم کنترل دقیق تغذیه آزمودنی‌ها در طول دوره مداخله از دیگر محدودیت‌های پژوهش حاضر است. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده از دوره‌های مداخله طولانی‌تر (۱۲ تا ۱۶ هفته) و دُزهای مختلف مکمل گاماوریزانول استفاده شود.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

پژوهش حاضر با رعایت کلیه اصول اخلاقی مورد تأیید در پژوهش‌های انسانی انجام شد و در کمیته اخلاق در پژوهش پژوهشگاه تربیت‌بدنی و علوم ورزشی ایران به شماره (IR.SSRC.REC.1404.136) مورد تأیید قرار گرفت و دارای کدکارآزمایی بالینی به شماره (IRCT20251205068219N1) از مرکزثبت کارآزمایی بالینی ایران است.

حامی مالی

این مطالعه برگرفته‌از رساله دکتری مهدی رستمی‌زاده فیزیولوژی ورزشی در دانشکده علوم ورزشی دانشگاه ارومیه است. این پژوهش هیچ‌گونه کمک مالی از سازمان‌های دولتی، خصوصی و غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

مشارکت‌نویسندگان

نرم‌افزار، تحلیل رسمی، تحقیق، منابع، گردآوری داده‌ها، تهیه پیش‌نویس اولیه، بررسی و ویرایش: مهدی رستمی‌زاده و کاظم خدایی؛ مفهوم‌سازی و روش‌شناسی: کاظم خدایی و حامد همیشه‌کار؛ مدیریت پروژه: کاظم خدایی. نظارت، خوانش و تأیید: همه‌نویسندگان.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از همه دانشجویانی که در این مطالعه شرکت کردند، به خاطر همکاری‌شان تشکر می‌کنند.

References

[1] Afshounpour MT, Habibi A, Ranjbar R. Impact of combined exercise training on plasma concentration of apelin, resistin and insulin resistance in patients with type 2 diabetics' male. Hormozgan Med J. 2016; 20(3):158-69. [Link]

[2] Dludla PV, Mabhida SE, Ziqubu K, Nkambule BB, Mazibuko-Mbeje SE, Hanser S, et al. Pancreatic β-cell dysfunction in type 2 diabetes: Implications of inflammation and oxidative stress. World J Diabetes. 2023; 14(3):130-46. [DOI:10.4239/wjd.v14.i3.130] [PMID]

[3] Caturano A, D'Angelo M, Mormone A, Russo V, Mollica MP, Salvatore T, et al. Oxidative Stress in Type 2 Diabetes: Impacts from Pathogenesis to Lifestyle Modifications. Curr Issues Mol Biol. 2023; 45(8):6651-66. [DOI:10.3390/cimb45080420] [PMID] [PMCID]

[4] Tiwari BK, Pandey KB, Abidi AB, Rizvi SI. Markers of Oxidative Stress during Diabetes Mellitus. J Biomark. 2013; 2013:378790. [DOI:10.1155/2013/378790] [PMID] [PMCID]

[5] Qiu C, Li S, Jia S, Yu F, Wei C, Wang X, Guo B. The effects of exercise on oxidative stress MDA and SOD in patients with type 2 diabetes: A systematic review and meta-analysis. Peer J. 2025; 13:e19814. [DOI:10.7717/peerj.19814] [PMID] [PMCID]

[6] Shodehinde SA, boh GO. Antioxidant properties of aqueous extracts of unripe Musa paradisiaca on sodium nitroprusside induced lipid peroxidation in rat pancreas in vitro. Asian Pac J Trop Biomed. 2013; 3(6):449-57. [DOI:10.1016/S2221-1691(13)60095-7] [PMID] [PMCID]

[7] Salgueiro AC, Leal CQ, Bianchini MC, Prado IO, Mendez AS, Puntel RL, et al. The influence of Bauhinia forficata Link sub sp. pruinosa tea on lipid peroxidation and non-protein SH groups in human erythrocytes exposed to high glucose concentrations. J Ethnopharmacol. 2013; 148(1):81-7. [DOI:10.1016/j.jep.2013.03.070] [PMID]

[8] Bandeira Sde M, Guedes Gda S, da Fonseca LJ, Pires AS, Gelain DP, Moreira JC, et al. Characterization of blood oxidative stress in type 2 diabetes mellitus patients: Increase in lipid peroxidation and SOD activity. Oxid Med Cell Longev. 2012; 2012:819310. [DOI:10.1155/2012/819310] [PMID] [PMCID]

[9] Idan HH, Mohamoud HG. The Total Antioxidant Capacity and its Relationship with Atherosclerosis Risk Factors in a Sample of Iraqi Individuals with Type 2 Diabetes Mellitus. J Fac Med Baghdad. 2024; 66(3):357-62. [DOI:10.32007/jfacmedbaghdad.6632334]

[10] Davari S, Talaei SA, Alaei H, Salami M. Probiotics treatment improves diabetes-induced Impairment of synaptic activity and cognitive function: Behavioral and electrophysiological proofs for Microbiome-gut-brain axis. Neuroscience. 2013; 240:287-96. [DOI:10.1016/j.neuroscience.2013.02.055] [PMID]

[11] Chang S, Liu H. Effects of combined resistance training and Tai Chi on oxidative stress, blood glucose and lipid metabolism and quality of life in elderly patients with type 2 diabetes mellitus. Res Sports Med. 2024; 32(5):871-84. [DOI:10.1080/15438627.2024.2349521] [PMID]

[12] Zhang Q, Guo Y, Zhang H, Xu W, Yin L. Effects of aerobic, resistance, interval, and combined training on glucose metabolism in older adults: insights into type, dose, and mechanism. Front Physiol. 2025; 16:1702669. [DOI:10.3389/fphys.2025.1702669] [PMID] [PMCID]

[13] Róvero Costa M, Leite Garcia J, Cristina Vágula de Almeida Silva C, Junio Togneri Ferron A, Valentini Francisqueti-Ferron F, Kurokawa Hasimoto F, et al. Lycopene modulates pathophysiological processes of non-alcoholic fatty liver disease in obese rats. Antioxidants. 2019; 8(8):276. [DOI:10.3390/antiox8080276] [PMID] [PMCID]

[14] Ferron AJT, Aldini G, Francisqueti-Ferron FV, Silva CCVA, Bazan SGZ, Garcia JL, et al. Protective effect of tomato-oleoresin supplementation on oxidative injury recoveries cardiac function by improving β-adrenergic response in a diet-obesity induced model. Antioxidants (Basel). 2019; 8(9):368. [DOI:10.3390/antiox8090368] [PMID] [PMCID]

[15] Kozuka C, Sunagawa S, Ueda R, Higa M, Tanaka H, Shimizu-Okabe C, et al. γ-oryzanol protects pancreatic β-cells against endoplasmic reticulum stress in male mice. Endocrinology. 2015; 156(4):1242-50. [DOI:10.1210/en.2014-1748] [PMID]

[16] Kozuka C, Sunagawa S, Ueda R, Higa M, Ohshiro Y, Tanaka H, et al. A novel insulinotropic mechanism of whole grain-derived γ-oryzanol via the suppression of local dopamine D2 receptor signalling in mouse islet. Br J Pharmacol. 2015; 172(18):4519-34. [DOI:10.1111/bph.13236] [PMID] [PMCID]

[17] Wang O, Liu J, Cheng Q, Guo X, Wang Y, Zhao L, et al. Effects of ferulic acid and γ-oryzanol on high-fat and high-fructose diet-induced metabolic syndrome in rats. PLoS One. 2015; 10(2):e0118135. [DOI:10.1371/journal.pone.0118135] [PMID] [PMCID]

[18] Bhaskaragoud G, Chatterjee P, Kumar GS. Effect of oryzanol concentrate on hypolipidemic properties and antioxidant enzymes of liver in high fat fed and low STZ induced-male Wistar rats. Biomedicine. 2020; 40(1):25-31. [Link]

[19] Mattei L, Francisqueti-Ferron FV, Garcia JL, Ferron AJT, Silva CCVA, Gregolin CS, et. al. Antioxidant and anti-inflammatory properties of gamma- oryzanol attenuates insulin resistance by increasing GLUT- 4 expression in skeletal muscle of obese animals, Mol Cell Endocrinol. 2021; 537:111423. [DOI:10.1016/j.mce.2021.111423] [PMID]

[20] Mohammadi A, Bijeh N, Moazzami M, Kazem Khodaei, Rahimi N. Effect of exercise training on spexin level, appetite, lipid accumulation product, visceral adiposity index, and body composition in adults with type 2 diabetes. Biol Res Nurs. 2022; 24(2):152-62. [DOI:10.1177/10998004211050596] [PMID]

[21] Ghiyami SH, Afroundeh R, Pourvaghar MJ, Sadeghi A, Katebi L. [The Effect of 8 Weeks of Combined Exercises with Supplemental Consumption of Mulberry Leaf Extract on the Serum Levels of Fibroblast Growth Factor 21, Glucose and Insulin in Elderly Men with Type 2 Diabetes (Persian)]. Complement Med J. 2023; 12(4):1-12. [DOI:10.61186/cmja.12.4.1]

[22] Eslami S, Esa NM, Marandi SM, Ghasemi G, Eslami S. Effects of gamma oryzanol supplementation on anthropometric measurements & muscular strength in healthy males following chronic resistance training. Indian J Med Res. 2014; 139(6):857-63. [PMID]

[23] Silva FM, Duarte-Mendes P, Teixeira AM, Soares CM, Ferreira JP. The effects of combined exercise training on glucose metabolism and inflammatory markers in sedentary adults: A systematic review and meta-analysis. Sci Rep. 2024; 14(1):1936. [DOI:10.1038/s41598-024-51832-y] [PMID]

[24] Wan Y, Su Z. The Impact of Resistance Exercise Training on Glycemic Control Among Adults with Type 2 Diabetes: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. Biol Res Nurs. 2024; 26(4):597-623. [DOI:10.1177/10998004241246272] [PMID]

[25] Kazeminasab F, Moien A, Pourvaghar MJ. [The Impacts of Exercise Training on Serum Irisin Levels and Glycemic Indices in Type 2 Diabetes Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis (Persian)]. Razi J Med Sci. 2025; 32(1):50. [Link]

[26] Rahmati M, Shariatzadeh M, Azari N. [The Effects of Endurance Exercise on Some Related Variables of Type II Diabetes: Systematic Review and Meta-Analysis of Studies in Iran (Persian)]. Sport Physiol. 2019; 11(41):81-104. [Link]

[27] Vergara Ampuero D, Calquín Lorca ME, Contador Cantillana C, Valenzuela Pérez D, Carrenho Queiroz AC, Alves dos Santos D, et al. The effect of aerobic and concurrent training on cardiovascular and metabolic control in middle-aged type II diabetics. J Phys Educ Sport. 2023; 23(3):631-6. [Link]

[28] Zhao X, He Q, Zeng Y, Cheng L. Effectiveness of combined exercise in people with type 2 diabetes and concurrent overweight/ obesity: A systematic review and meta-analysis. BMJ Open. 2021; 11(10):e046252. [DOI:10.1136/bmjopen-2020-046252] [PMID]

[29] Banaei P, Tadibi V, Rahimi M. [Comparing the effect of two protocols concurrent training (strength-aerobic) on fasting blood glucose, glycosylated hemoglobin, high-sensitivity C - reactive protein and insulin resistance in women with type 2 diabetes (Persian)]. Sport Physiol. 2015; 7(25):99-108. [Link]

[30] Azamian Jazi A, Shokouhi R. [The effect of an eight week combined exercise training on oxidative stress and lipid peroxidation in postmenopausal women with type 2 diabetes (Persian)]. J Shahid Sadoughi Univ Med Sci. 2016; 24(8):667-78. [Link]

[31] Tofighi A, Shirzadfar M, Tolouei Azar J, Jamali Gharakhanlou B. [The Effect of a Period of Functional Exercise with and Without Chlorella Vulgaris Supplement on some Inflammatory, Lipid Peroxidation and Antioxidant Indices in Overweight and Obese Men (Persian)]. Jundishapur J Med Sc. 2024; 23(1):75-88. [DOI:10.32592/JSMJ.23.1.75]

[32] Hooshmand B, Attarzade Hosseini SR, Kordi MR, Davaloo T. [The Effect of 8-week Aerobic Exercise with Spirulina Supplementation Consumption on Plasma levels of MDA, SOD and TAC in Men with Type 2 Diabetes (Persian)]. Sport Physiol Manag Investig. 2019; 10(4):139-48. Link]

[33] Attarzadeh Hosseini SR, Moazzami M, Farahati S, Bahremand M, Sadegh Eghbali F. [Effects of high-intensity interval training versus moderate-intensity continuous training on the total antioxidant capacity, malondialdehyde, and superoxide dismutase in obese/overweight middle-aged women (Persian)]. Iran J Endocrinol Metab. 2020; 22(3):207-13. [Link]

[34] Radda MI, Omar N, Yusof SFM, Ahmad R, Rohana AJ, Ishak WRW, et al. Effectiveness of gamma-oryzanol in glycaemic control and managing oxidative stress, inflammation, and dyslipidaemia in diabetes: A systematic review of preclinical studies. PeerJ. 2025; 13:e20062. [DOI:10.7717/peerj.20062] [PMID]