

Original Article

The effects of aerobic exercise, vitamin C, and their combination on insulin resistance and ceramide in men with metabolic syndrome

Rouhollah Ranjbar^{1*} , Hassan Darvakh² , Masoud Nikbakht¹ ,
Rasoul Mazi Mohammad Alnoori¹ 

¹ Department of Sport Physiology, Faculty of Sport Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

² Faculty of Engineering, Shohadaye Hoveizeh Campus of Technology, Shahid Chamran University of Ahvaz, Dasht-e Azadegan, Iran

Abstract

Background and Purpose: Metabolic syndrome is recognized as one of the major public health challenges in the 21st century, which is associated with a set of risk factors including abdominal obesity, hypertension, hyperglycemia, dyslipidemia (increased triglycerides, decreased HDL), and insulin resistance. Recent studies have focused on the role of biomolecules such as ceramides in causing insulin resistance and metabolic dysregulation. Ceramides, which are part of sphingolipid lipids, play an important role in regulating insulin signaling pathways, inflammation, and apoptosis. In this regard, non-pharmacological strategies such as regular aerobic exercise and supplementation with antioxidants, especially vitamin C, have been proposed as strategies to improve metabolic disorders. The aim of this study was to investigate the separate and combined effects of aerobic exercise and vitamin C intake on insulin resistance, lipid profile, and serum ceramide levels in men with metabolic syndrome.

Materials and Methods: In this quasi-experimental study, 40 men with metabolic syndrome were randomly divided into four groups of 10, including the aerobic exercise, the vitamin C supplement, the combination (aerobic exercise with supplement intake), and the control groups. The exercise program included eight weeks of running at an intensity corresponding to 50 to 70 percent of heart rate reserve in three non-consecutive days per week. Vitamin C supplement was also taken daily in the amount of two 500 mg tablets. Blood samples were taken 24 hours before and 48 hours after the final intervention session in a fasting state. Data were analyzed using a paired t-test and analysis of covariance.

Results: After eight weeks of intervention, a significant decrease in the HOMA-IR index was observed in the aerobic exercise groups ($p=0.001$), vitamin C ($p=0.001$), and combination group ($p=0.001$) compared to the control group. The greatest decrease was found in the combination group, which was significantly different than the other two intervention groups ($p<0.001$). Significant improvements were also observed in lipid indices including significant reductions in triglyceride levels, LDL, and total cholesterol in three intervention groups compared to the control group, whereas HDL was significantly increased in these three groups compared to the control group. In addition, serum ceramide levels decreased significantly in the aerobic exercise group ($p=0.024$), combined group ($p=0.001$) and vitamin C group ($p=0.002$) in

* Corresponding Author's E-mail: ro.ranjbar@scu.ac.ir

<https://doi.org/10.48308/joeppa.2025.240165.1368>

Received: 28/05/2025

Revised: 15/08/2025

Accepted: 16/08/2025



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

comparisons to the control group, while no significant change was observed in the vitamin C group compared to the aerobic exercise group ($p=0.999$). The effect of aerobic exercise alone was also significant, though, the combined effect of exercise and vitamin C showed the greatest improvement in lipid profiles and ceramide levels.

Conclusion: Based on the findings of this study it is concluded that both aerobic exercise and vitamin C consumption are independently effective in improving metabolic indices, though, their combination has a synergistic effect and leads to higher improvements in insulin resistance, lipid profile, and reduction in serum ceramide levels. These findings indicate the high potential of these non-invasive and low-cost interventions in the management of metabolic syndrome and probably prevention of its associated cardiovascular complications.

Keywords: Insulin Resistance, Vitamin C, Aerobic Exercise, Metabolic Syndrome, Ceramide

How to cite this article: Ranjbar R, Darvakh H, Nikbakht M, Mohammad Alnoori R. The effects of aerobic exercise, vitamin C, and their combination on insulin resistance and ceramide in men with metabolic syndrome. *J Sport Exerc Physiol*. 2025;18(4):85-102.

تأثیر تمرین هوازی، ویتامین C و ترکیب آن‌ها بر مقاومت انسولینی و سرامید در مردان مبتلا به نشانگان سوخت‌وسازی

روح‌اله رنجبر^{۱*}، حسن درواخ^۲، مسعود نیکبخت^۱، رسول ماضی محمد النوری^۱

^۱ گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

^۲ گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه شهید چمران اهواز-پردیس صنعتی شهدای هویزه، دشت آزادگان، ایران

چکیده

زمینه و هدف: نشانگان سوخت‌وسازی یکی از چالش‌های عمده سلامت همگانی در سده بیست‌ویکم است که با مجموعه‌ای از عوامل خطر شامل چاقی شکمی، فشار خون بالا، هیپرگلیسمی، اختلالات لیپیدی (افزایش تری‌گلیسیرید، کاهش HDL)، و مقاومت به انسولین همراه است. به‌تازگی یافته‌ها نقش مولکول‌های زیستی مانند سرامیدها را در ایجاد مقاومت به انسولین و دیس‌ریگولاسیون سوخت‌وسازی مورد توجه قرار داده‌اند. سرامیدها، که جزء لیپیدهای اسفنگولیپیدی هستند، در تنظیم مسیرهای پیام‌رسانی انسولین، التهاب و آپوپتوز نقش مهمی ایفا می‌کنند. در همین زمینه راهبردهای غیردارویی مانند تمرین هوازی منظم و مکمل‌یاری با ضداکسایندها به‌ویژه ویتامین C به‌عنوان راهکارهایی برای بهبود اختلالات سوخت‌وسازی پیشنهاد شده‌اند. هدف از این پژوهش، بررسی تأثیرات جداگانه و ترکیبی تمرین هوازی و دریافت ویتامین C بر مقاومت به انسولین، نیمرخ لیپیدی و سطح سرامید سرمی در مردان مبتلا به نشانگان سوخت‌وسازی بود.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش نیمه‌تجربی، ۴۰ مرد مبتلا به نشانگان سوخت‌وسازی به‌صورت تصادفی به چهار گروه ۱۰ نفره شامل گروه تمرین هوازی، گروه دریافت مکمل ویتامین C، گروه ترکیبی (تمرین هوازی همراه با دریافت مکمل) و گروه کنترل تقسیم شدند. برنامه تمرینی شامل دویدن با شدت ۵۰ تا ۷۰ درصد ضربان قلب ذخیره در سه جلسه غیرمتوالی در هفته به مدت هشت هفته بود. مکمل ویتامین C نیز روزانه به میزان دو عدد قرص ۵۰۰ میلی گرمی دریافت شد. نمونه‌های خونی ۲۴ ساعت پیش و ۴۸ ساعت پس از پایان مداخله در حالت ناشتا گرفته شد. داده‌ها با آزمون تی وابسته و تحلیل کوواریانس بررسی شدند.

نتایج: نتایج نشان داد که پس از هشت هفته مداخله، کاهش معناداری در نشانگر HOMA-IR در سه گروه تمرین هوازی (۰/۰۰۱)، ویتامین C (۰/۰۰۱) و گروه ترکیبی (۰/۰۰۱) نسبت به گروه کنترل دیده شد. بیشترین کاهش در گروه ترکیبی ثبت شد که از دید آماری نیز تفاوت معناداری با سایر گروه‌ها داشت ($P < ۰/۰۰۰۱$). در نشانگرهای لیپیدی نیز بهبود معناداری دیده شد؛ سطوح تری‌گلیسیرید در سه گروه تمرین هوازی (۰/۰۰۸)، ویتامین C (۰/۰۰۷) و گروه ترکیبی (۰/۰۰۱) نسبت به گروه کنترل کاهش معناداری داشت؛ مقدار LDL در سه گروه تمرین هوازی (۰/۰۰۲)، ویتامین C (۰/۰۱۴) و گروه ترکیبی (۰/۰۰۱) نسبت به گروه کنترل کاهش معناداری داشت؛ مقدار HDL در سه گروه تمرین هوازی (۰/۰۳۱)، ویتامین C (۰/۰۰۱) و گروه ترکیبی (۰/۰۰۱) نسبت به گروه کنترل افزایش معناداری نشان داد (به‌ویژه در گروه ترکیبی). همچنین سطح سرامید سرمی در گروه تمرین هوازی (۰/۰۲۴)، ترکیبی (۰/۰۰۱) و گروه ویتامین C (۰/۰۰۲) نسبت به گروه کنترل به‌طور معناداری کاهش یافت، درحالی‌که در گروه ویتامین C نسبت به گروه تمرین هوازی (۰/۹۹۹) تغییر چشمگیری دیده نشد. تأثیر تمرین هوازی به‌تنهایی نیز معنادار بود، اما

* رایانامه نویسنده مسئول: ro.ranjbar@scu.ac.ir

تأثیر ترکیبی تمرین و ویتامین C، بیشترین بهبود را در همهٔ نشانگرها نشان داد.

نتیجه‌گیری: یافته‌ها نشان داد که هر دو مداخلهٔ تمرین هوازی و دریافت ویتامین C به‌طور جداگانه در بهبود نشانگرهای سوخت‌وسازی مؤثرند، اما استفادهٔ همزمان از آن‌ها به‌دلیل معناداری آماری ناشی از آزمون تحلیل کوواریانس (ANCOVA) با کنترل پیش‌آزمون، اثر هم‌افزایی دارد و به بهبود چشمگیرتری در مقاومت به انسولین، نیمرخ لیپیدی و کاهش سطح سرامید سرمی منجر می‌شود. این یافته‌ها بیانگر توانایی بالای این مداخلات غیرتهاجمی و کم‌هزینه در مهار و درمان نشانگان سوخت‌وسازی و پیشگیری از عوارض قلبی-عروقی وابسته با آن است.

واژه‌های کلیدی: مقاومت به انسولین، ویتامین C، تمرین هوازی، نشانگان سوخت‌وسازی، سرامید

نحوه استناد به این مقاله: رنجبر ر، درواخ ح، نیکبخت م، محمد النوری ر. تأثیر تمرین هوازی، ویتامین C و ترکیب آن‌ها بر مقاومت انسولینی و سرامید در مردان مبتلا به نشانگان سوخت‌وسازی. نشریهٔ فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی. ۱۴۰۴؛ ۱۸(۴): ۸۵-۱۰۲.

مقدمه

نشانگان سوخت‌وسازی یکی از اختلالات سوخت‌وسازی وابسته به سبک زندگی (کم‌حرکی و سوءتغذیه) است و به شرایط داشتن دست‌کم سه عامل از پنج عامل ۱. فشار خون بالا، ۲. افزایش سطح انسولین سرمی بالا (مقاومت به انسولین)، ۳. چاقی شکمی، ۴. افزایش تری‌گلیسیرید سرمی و ۵. کاهش لیپوپروتئین پرچگال تعریف می‌شود (۱). این بیماری یک مشکل بهداشتی جهانی است. برآورد می‌شود که ۲۰ تا ۳۰ درصد بزرگسالان در جهان نشانگان سوخت‌وسازی داشته باشند. نشانگان سوخت‌وسازی با افزایش خطر ابتلا به دیابت نوع دو، بیماری کبد چرب غیرالکلی، سکته قلبی و سکته مغزی همراه است (۲). میانگین گسترش و شیوع نشانگان سوخت‌وسازی ۳۱ درصد است و با افزایش دوبرابری خطر بیماری عروق کرونر قلب، بیماری عروق مغزی و افزایش ۱/۵ برابری خطر مرگ‌ومیر همراه است (۳). بر اساس یافته‌ها گسترش نشانگان سوخت‌وسازی در بسیاری از کشورها، به‌ویژه در جوامع شهری و میان افراد با فعالیت بدنی کم، رو به افزایش است (۴).

چاقی شکمی (احشایی)، یک عامل اصلی خطر برای التهاب سراسری، هایپرلیپیدمی، مقاومت به انسولین و بیماری‌های قلبی-عروقی است (۵، ۱). از طرف دیگر، مشخص شده است که چاقی و نشانگان سوخت‌وسازی همبستگی نزدیکی با دیس‌لیپیدمی دارند (۶). در سال‌های اخیر، افزون بر عوامل سنتی و روزمره، تمرکز پژوهش‌ها به‌سوی نشانگرهای زیستی نوظهور سوخت‌وسازی، به‌ویژه سرامیدها (Ceramides) جلب شده است. سرامیدها زیرگروهی از اسفنگولیپیدها هستند که نقش کلیدی در تنظیم عملکرد سلولی، انتقال پیام، التهاب، آپوپتوز، و به‌ویژه مسیر پیام‌رسانی انسولین ایفا می‌کنند (۷). یافته‌ها نشان می‌دهد که انباشت سرامیدها در بافت‌های محیطی مانند ماهیچه

اسکلتی و کبد، موجب اختلال در عملکرد مسیر Akt/PKB شده و در نتیجه کاهش پاسخ‌دهی به انسولین و بروز مقاومت انسولینی می‌شود. این اختلال می‌تواند زمینه‌ساز پیشرفت سایر جنبه‌های نشانگان سوخت‌وسازی شود (۸).

به‌تازگی یافته‌ها نشان داده‌اند که سرامیدها نقش مهمی در چاقی (۶)، دیس‌لیپیدمی (۶، ۹) و مقاومت به انسولین (۹) دارند. در همین باره چاراسیا و همکاران (۲۰۲۰) عنوان کردند که سرامیدها نقش مهمی در سوخت‌وساز دارند و با توجه به نقش لیپوتوکسیکی^۱ که دارند، مقاومت به انسولین، دیس‌لیپیدمی و در نهایت مرگ سلولی را ایجاد می‌کنند که زمینه‌ساز کم‌ویش سایر اختلالات است (۱۰). همچنین نشان داده شده است که سرامیدهای پلاسما بیشتر در لیپوپروتئین بسیار کم‌چگال (VLDL) و لیپوپروتئین کم‌چگال (LDL) متمرکزند و سرامید چسبیده به LDL سبب التهاب و مقاومت به انسولین در ماهیچه اسکلتی می‌شود (۱۱). سرامید با افزایش IL-1 β و TNF α به افزایش التهاب بدن منجر می‌شود که با دیس‌لیپیدمی و مقاومت به انسولین همراه است (۱۲).

درمان‌های اولیه نشانگان سوخت‌وسازی بر اصلاح سبک زندگی تأکید دارند، به‌ویژه تغییر در رژیم غذایی و افزایش فعالیت بدنی. یافته‌ها نشان داده‌اند که تمرین هوازی تأثیر چشمگیری بر بهبود حساسیت به انسولین، کاهش تری‌گلیسیرید و کلسترول LDL، و افزایش کلسترول HDL دارد (۱۳-۱۵). تمرین هوازی، به‌ویژه با شدت متوسط تا زیاد، موجب افزایش سوخت‌وساز چربی و بهبود کارکرد رگ‌ها می‌شود و در نهایت به کاهش عوامل خطر وابسته با نشانگان سوخت‌وسازی کمک می‌کند (۱۶، ۱۷).

در کنار فعالیت بدنی، استفاده از مکمل‌های ضداکساینده مانند ویتامین C به‌عنوان یک راهکار

مکمل برای کاهش فشار اکسایشی و بهبود کار سوخت‌وسازی مطرح شده است (۱۸). ویتامین C به دلیل نقش خود در کاهش التهاب و مهار آسیب‌های ناشی از بنیان‌های آزاد، می‌تواند حساسیت به انسولین را بهبود بخشد و از افزایش مقاومت به انسولین جلوگیری کند (۱۹، ۲۰). برخی یافته‌ها نشان داده‌اند که دریافت ویتامین C می‌تواند سطوح کلسترول تام و LDL را کاهش دهد و با این همه موجب افزایش HDL شود (۲۱).

اگرچه آثار مثبت تمرین هوازی و ویتامین C به‌طور جداگانه بر بهبود نشانگرهای سوخت‌وسازی بررسی شده است، اما پژوهش‌های اندکی به ارزیابی تأثیرات ترکیبی این دو مداخله پرداخته‌اند. برخی پژوهش‌ها نشان داده‌اند که ترکیب فعالیت بدنی و دریافت ضداکساینده‌ها می‌تواند تأثیر هم‌افزایی داشته باشد و به‌طور مؤثرتری مقاومت به انسولین و نیمرخ لیپیدی را بهبود بخشد (۲۲، ۲۳). با این همه، یافته‌های محدودی نیز در این زمینه وجود دارد و نیاز به پژوهش‌های بیشتر احساس می‌شود.

با توجه به اهمیت مداخلات غیردارویی در مهار و درمان نشانگان سوخت‌وسازی و محدودیت یافته‌های وابسته به تأثیرات ترکیبی ورزش و ویتامین C، این پژوهش با هدف بررسی و مقایسه اثر هشت هفته تمرین هوازی و مکمل ویتامین C، به‌صورت جداگانه و ترکیبی، بر مقاومت به انسولین، نیمرخ لیپیدی و سطح سرامید سرمی در مردان مبتلا به نشانگان سوخت‌وسازی طراحی شده است.

روش پژوهش

نمونه‌های پژوهش: این پژوهش به‌صورت نیمه‌تجربی و کاربردی با طرح پیش‌آزمون و پس‌آزمون شامل سه گروه مداخله و یک گروه کنترل انجام شد. جامعه آماری پژوهش همه افرادی بودند که به‌منظور پایش سلامت

سوخت‌وسازی به درمانگاه مراجع کردند و ارتباطی با بیماری خاص نداشتند. ۴۰ مرد مبتلا به نشانگان سوخت‌وسازی از بین بیماران مرد داوطلب بیمارستان الصدر التعليمی شهر العماره عراق به‌صورت تصادفی پس از اخذ معیارهای ورود شامل دامنه سنی ۳۰ تا ۴۰ سال و میانگین ترکیب بدن ۲۸/۴۱، ابتدا به نشانگان سوخت‌وسازی (دارا بودن سه علامت از پنج علامت اصلی نشانگان سوخت‌وسازی شامل فشار خون بالا، مقاومت به انسولین، چاقی شکمی، افزایش تری‌گلیسیرید سرمی و کاهش لیپوپروتئین پرچگال)، عدم ابتلا به بیماری‌های مزمن دیگر در این پژوهش شرکت داده شدند. این افراد به چهار گروه ۱۰ نفره تقسیم شدند: گروه تمرین هوازی، گروه مکمل ویتامین C، گروه ترکیبی و گروه کنترل.

روش اجرای پژوهش: مدت زمان مداخله در این پژوهش هشت هفته بود و آزمودنی‌ها بر اساس مداخله در نظر گرفته‌شده با توجه به گروه پژوهش، قراردادها و برنامه‌های طراحی‌شده را تکمیل کردند. نشانگرهای تن‌سنجی بیماران شامل وزن و قد آزمودنی‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتال سکا ساخت ژاپن با دقت ۰/۰۱ کیلوگرم و متر نواری با دقت ۰/۱ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. نمایه توده بدن با تقسیم وزن به کیلوگرم بر مجذور قد به متر محاسبه شد. درصد چربی بدن نیز با استفاده از دستگاه ترکیب بدن این‌بادی ۷۷۰ اندازه‌گیری شد. در این پژوهش ۲۴ ساعت پیش از شروع پژوهش و ۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه مداخلات پژوهش، در ساعت هفت تا هشت صبح از همگی آزمودنی‌ها در گروه‌های تمرین، مکمل، ترکیبی و کنترل خون‌گیری به‌صورت ناشتا در آزمایشگاه طبی بیمارستان الصدر التعليمی انجام شد. سپس نمونه‌های خونی برای سنجش متغیرهای خونی شامل گلوکز سرمی، انسولین سرمی، نیمرخ لیپیدی و سرامید سرمی با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی بررسی شد.

در طول مداخله پژوهش در گروه کنترل هیچ مداخله‌ای توسط پژوهشگر انجام نشد و آزمودنی‌ها همان سبک زندگی خود را ادامه دادند و تنها در پیش‌آزمون و پس‌آزمون شرکت کردند.

تمرین هوازی: در این پژوهش برنامه تمرین هوازی شامل هشت هفته تمرین هوازی به‌صورت دویدن با شدت ۵۰-۷۰ درصد ضربان قلب ذخیره بود که در سه جلسه غیرمتوالی در هفته انجام شد. در قسمت اول تمرین برنامه گرم کردن عمومی و اختصاصی به مدت ۱۵-۱۰ دقیقه اجرا شد. سپس برنامه اصلی تمرین هوازی به‌صورت دویدن به‌صورت تداومی با شدت متوسط (۵۰-۷۰ درصد ضربان قلب ذخیره) انجام شد. در انتهای تمرین نیز برنامه بازیافت برای بازیابی، به مدت ۱۰ دقیقه اجرا شد.

برنامه تمرینی مورد استفاده در پژوهش یک برنامه پژوهشگریابه بود که طراحی آن با استناد به پژوهش کیخسروی و همکاران (۲۰۱۹) روی مردان غیرورزشکار (۲۴) انجام گرفت. با توجه به وضعیت بدنی

شرکت‌کنندگان (اضافه وزن و احتمال پایین بودن توان هوازی)، شدت و حجم تمرین با در نظر گرفتن اصل افزایش تدریجی بار تمرینی (Progressive Overload) تنظیم شد.

در هفته‌های اول تا سوم، تمرین با شدت ۵۰ تا ۶۰ درصد ضربان قلب ذخیره (HRR) انجام شد و مدت زمان تمرین اصلی از ۱۰ دقیقه شروع شد. این زمان هر هفته پنج دقیقه افزایش یافت تا در پایان هفته سوم به ۲۰ دقیقه برسد.

در هفته چهارم، زمان تمرین ثابت ماند (۲۰ دقیقه)، اما شدت تمرین به ۶۰ تا ۷۰ درصد HRR افزایش یافت. در ادامه، مدت تمرین اصلی در هفته‌های پنجم و ششم به ۲۵ دقیقه و در هفته‌های هفتم و هشتم به ۳۰ دقیقه افزایش یافت. در این مراحل، شدت تمرین ثابت بود و در همان محدوده ۶۰ تا ۷۰ درصد HRR حفظ شد.

این طراحی تدریجی، با هدف بهینه‌سازی تحمل بدنی و کاهش خطر آسیب در شرکت‌کنندگان چاق انجام شد (جدول ۱).

جدول ۱. شیوه انجام تمرین هوازی

هفته	گرم کردن (دقیقه)	تمرین اصلی		سرد کردن (دقیقه)
		زمان تمرین	شدت تمرین (HRR) (درصد)	
۱	۱۰-۱۵	۱۰	۵۰-۶۰	۱۰
۲	۱۰-۱۵	۱۵	۵۰-۶۰	۱۰
۳	۱۰-۱۵	۲۰	۵۰-۶۰	۱۰
۴	۱۰-۱۵	۲۰	۶۰-۷۰	۱۰
۵-۶	۱۰-۱۵	۲۵	۶۰-۷۰	۱۰
۷-۸	۱۰-۱۵	۳۰	۶۰-۷۰	۱۰

مکمل ویتامین C: در این پژوهش دریافت ویتامین C (نیچر بایوتیکس^۲) با مقدار ۵۰۰ میلی‌گرم دو بار در روز در دو نوبت صبح و عصر بود (۲۵). به‌منظور کورسازی نمونه‌ها به گروه‌های تمرین هوازی و کنترل نیز دارونما نشاسته داده شد.

نمونه‌های خونی ۲۴ ساعت پیش و ۴۸ ساعت پس از مداخله جمع‌آوری شد و مقاومت به انسولین، نیمرخ لیپیدی و سطح سرامید سرمی اندازه‌گیری شد. **تحلیل آماری:** در این پژوهش بررسی آماری در دو بخش آمار توصیفی با استفاده از جداول و نمودارها و

برحسب میانگین و انحراف استاندارد بیان شد. در بخش آمار استنباطی نیز با استفاده از آزمون تحلیل کوواریانس برای بررسی مقایسه بین گروه‌ها و در صورت معناداری از آزمون تعقیبی بونفرونی برای یافتن زوج‌های معنادار استفاده شد. بررسی آماری با نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ و در سطح معناداری $\alpha = 0/05$ انجام گرفت.

نتایج

نتیجه آزمون تحلیل کوواریانس تک‌متغیره نشان داد که هشت هفته تمرین هوازی و مکمل ویتامین C با معناداری $0/0001$ و اندازه اثر $0/758$ تفاوت معناداری در میزان مقاومت به انسولین به وجود آورده است. از آزمون تعقیبی بونفرونی به منظور مقایسه دوبه‌دو گروه‌ها استفاده شد، که نتایج نشان داد در مردان مبتلا به نشانگان سوخت‌وسازی سطوح مقاومت به انسولین گروه‌ها (ترکیب تمرین هوازی و دریافت مکمل ویتامین C $P=0/0001$)، تمرین هوازی $P=0/0001$ و مکمل ویتامین C $P=0/0001$) نسبت به گروه کنترل به صورت معناداری کاهش یافته است. همچنین ترکیب تمرین هوازی و دریافت مکمل ویتامین C در مقایسه با دریافت مکمل ویتامین C $P=0/001$ و تمرین هوازی $P=0/001$) و تمرین هوازی $P=0/0001$)، موجب کاهش معناداری در سطوح مقاومت به انسولین مردان مبتلا به نشانگان سوخت‌وسازی شده است. اما بین دریافت مکمل ویتامین C و تمرین هوازی تفاوت معناداری یافت نشد ($P=0/999$) (شکل ۱).

نتیجه آزمون تحلیل کوواریانس تک‌متغیره نشان داد که هشت هفته تمرین هوازی و مکمل ویتامین C با معناداری $0/0001$ و اندازه اثر $0/538$ تفاوت معناداری در میزان تری‌گلیسیرید پدید آمده است. نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی نشان داد که در مردان مبتلا به نشانگان سوخت‌وسازی سطوح تری‌گلیسیرید گروه‌ها

(ترکیب تمرین هوازی و دریافت مکمل ویتامین C $P=0/0001$)، تمرین هوازی $P=0/008$ و مکمل ویتامین C $P=0/007$) نسبت به گروه کنترل به صورت معناداری کاهش یافته است. ترکیب تمرین هوازی و دریافت مکمل ویتامین C در مقایسه با دریافت مکمل ویتامین C $P=0/034$ و تمرین هوازی $P=0/031$)، سبب کاهش معناداری در سطوح تری‌گلیسیرید مردان مبتلا به نشانگان سوخت‌وسازی شده است. اما بین دریافت مکمل ویتامین C و تمرین هوازی تفاوت معناداری یافت نشد ($P=0/999$) (شکل ۲).

نتیجه آزمون تحلیل کوواریانس تک‌متغیره نشان داد که هشت هفته تمرین هوازی و مکمل ویتامین C با معناداری $0/0001$ و اندازه اثر $0/566$ تفاوت معناداری در میزان کلسترول پدید آمده است. نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی نشان داد که در مردان مبتلا به نشانگان سوخت‌وسازی سطوح کلسترول گروه‌ها (ترکیب تمرین هوازی و دریافت مکمل ویتامین C $P=0/0001$)، تمرین هوازی $P=0/023$ و مکمل ویتامین C $P=0/001$) نسبت به گروه کنترل به صورت معناداری کاهش یافته است. ترکیب تمرین هوازی و دریافت مکمل ویتامین C در مقایسه با دریافت مکمل ویتامین C $P=0/044$ و تمرین هوازی $P=0/003$)، سبب کاهش معناداری در سطوح کلسترول مردان مبتلا به نشانگان سوخت‌وسازی شده است، اما بین دریافت مکمل ویتامین C و تمرین هوازی تفاوت معناداری یافت نشد ($P=0/999$) (شکل ۳).

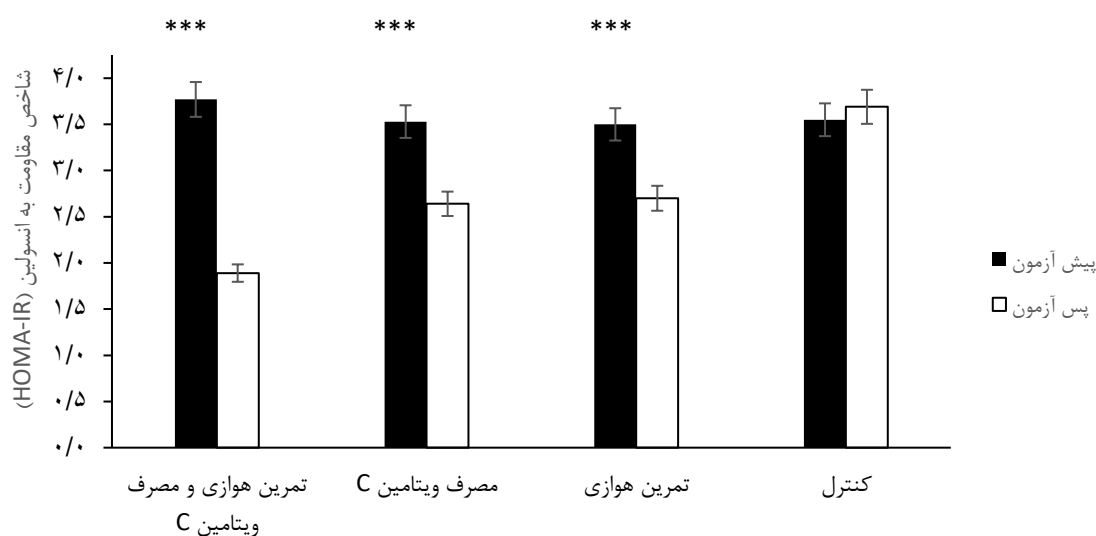
نتیجه آزمون تحلیل کوواریانس تک‌متغیره نشان داد که هشت هفته تمرین هوازی و مکمل ویتامین C با معناداری $0/0001$ و اندازه اثر $0/600$ تفاوت معناداری در میزان HDL پدید آمده است. نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی نشان داد که در مردان مبتلا به نشانگان سوخت‌وسازی سطوح HDL گروه‌ها (ترکیب تمرین هوازی و دریافت مکمل ویتامین C $P=0/0001$)،

موجب کاهش معناداری در سطوح LDL مردان مبتلا به نشانگان سوخت‌وسازی شده است. اما بین دریافت مکمل ویتامین C و تمرین هوازی تفاوت معناداری یافت نشد ($P=0/999$) (شکل ۵).

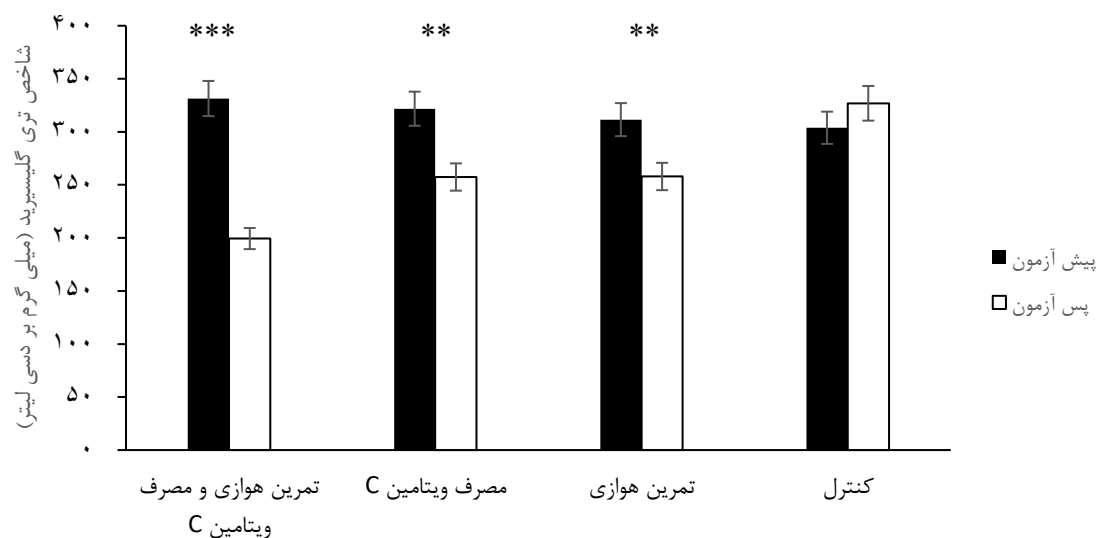
نتیجه آزمون تحلیل کوواریانس تک‌متغیره نشان داد که هشت هفته تمرین هوازی و دریافت مکمل ویتامین C با معناداری $0/0001$ و اندازه اثر $0/593$ تفاوت معناداری در میزان سرامید پدید آورده است. نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی نشان داد که در مردان مبتلا به نشانگان سوخت‌وسازی سطوح سرامید گروه‌ها (ترکیب تمرین هوازی و دریافت مکمل ویتامین C ($P=0/0001$), تمرین هوازی ($P=0/024$) و مکمل ویتامین C ($P=0/002$)) نسبت به گروه کنترل به صورت معناداری کاهش یافته است. ترکیب تمرین هوازی و دریافت مکمل ویتامین C در مقایسه با دریافت مکمل ویتامین C ($P=0/041$) و تمرین هوازی ($P=0/002$) به تنهایی، سبب کاهش معناداری در سطوح سرامید مردان مبتلا به نشانگان سوخت‌وسازی شده است. اما بین دریافت مکمل ویتامین C و تمرین هوازی تفاوت معناداری یافت نشد ($P=0/999$) (شکل ۶).

تمرین هوازی ($P=0/031$) و مکمل ویتامین C ($P=0/001$) نسبت به گروه کنترل به صورت معناداری افزایش یافته است. همچنین ترکیب تمرین هوازی و دریافت مکمل ویتامین C در مقایسه با دریافت مکمل ویتامین C ($P=0/023$) و تمرین هوازی ($P=0/002$) به تنهایی، سبب افزایش معناداری در سطوح HDL مردان مبتلا به نشانگان سوخت‌وسازی شده است. اما بین دریافت مکمل ویتامین C و تمرین هوازی تفاوت معناداری یافت نشد ($P=0/999$) (شکل ۴).

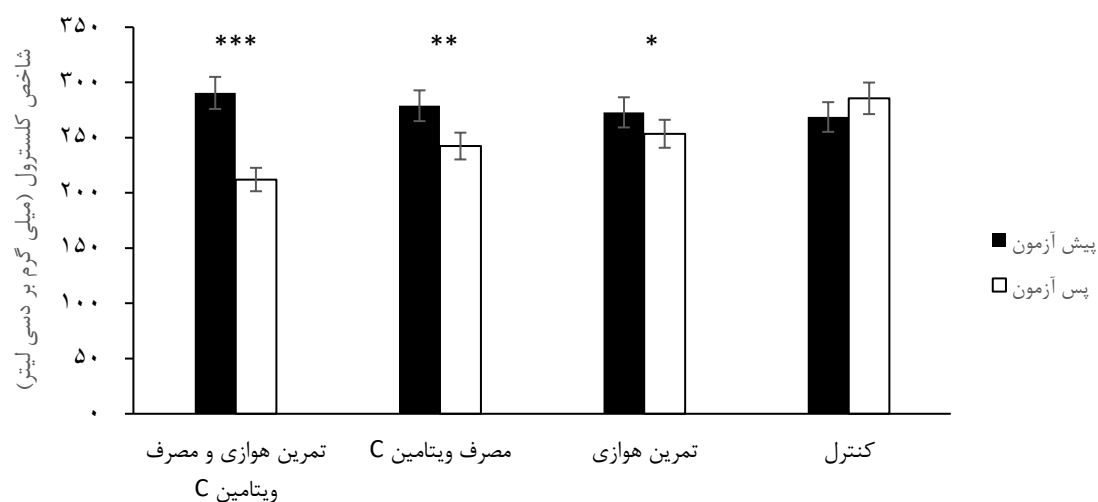
نتیجه آزمون تحلیل کوواریانس تک‌متغیره نشان داد که هشت هفته تمرین هوازی و مکمل ویتامین C با معناداری $0/0001$ و اندازه اثر $0/787$ تفاوت معناداری در مقدار LDL پدید آمده است. نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی نشان داد که در مردان مبتلا به نشانگان سوخت‌وسازی سطوح LDL گروه‌ها (ترکیب تمرین هوازی و دریافت مکمل ویتامین C ($P=0/0001$), تمرین هوازی ($P=0/002$) و مکمل ویتامین C ($P=0/014$)) نسبت به گروه کنترل به صورت معناداری کاهش یافته است. ترکیب تمرین هوازی و دریافت مکمل ویتامین C در مقایسه با دریافت مکمل ویتامین C ($P=0/0001$) و تمرین هوازی ($P=0/0001$) به تنهایی،



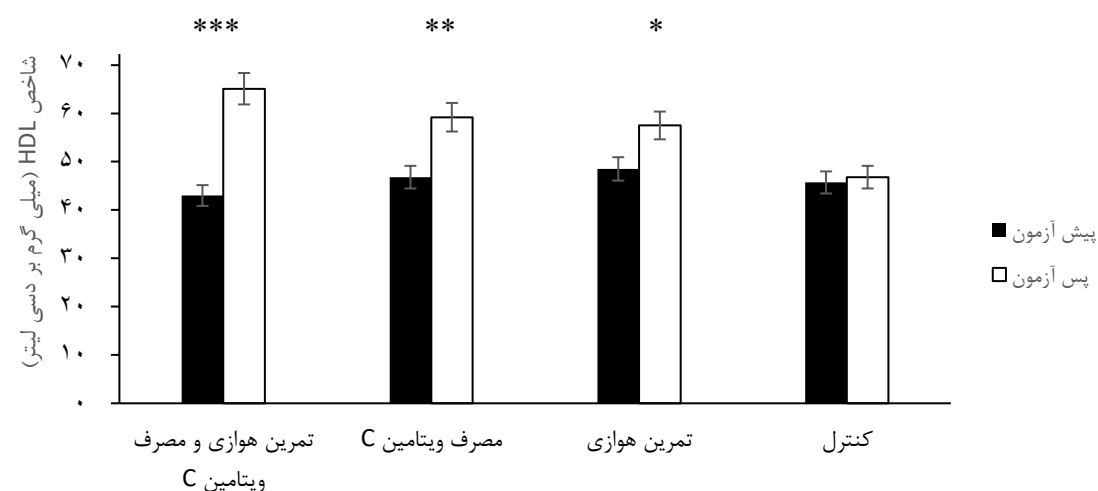
شکل ۱. تغییرات مقاومت به انسولین در گروه‌های مختلف طی مراحل پیش‌آزمون و پس‌آزمون



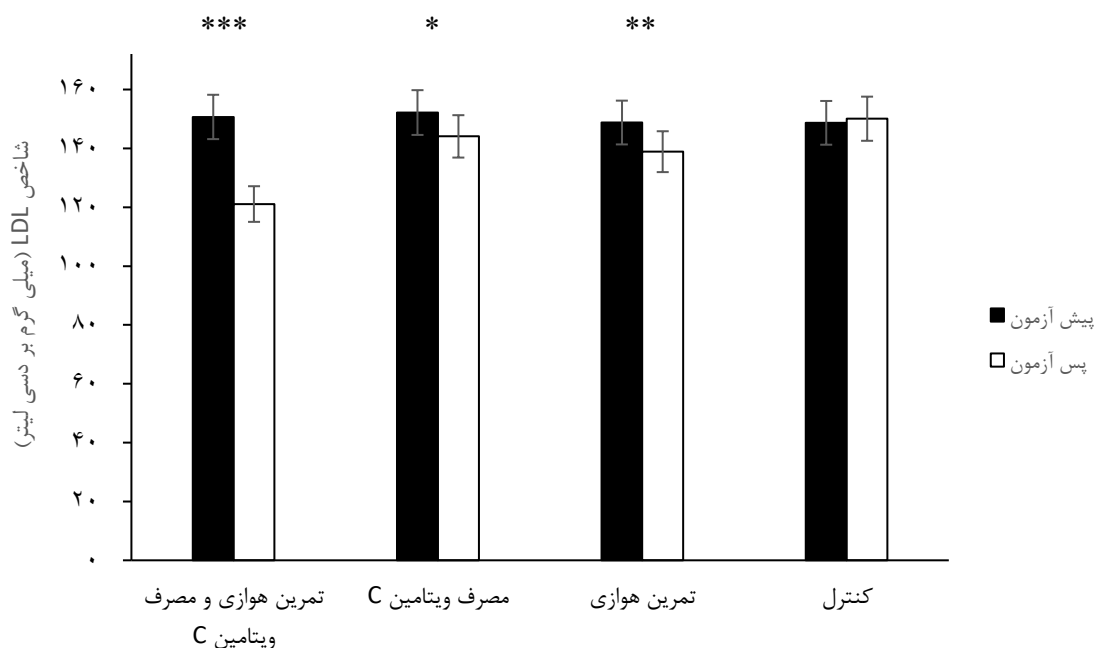
شکل ۲. تغییرات تری گلیسیرید در گروه‌های مختلف طی مراحل پیش آزمون و پس آزمون



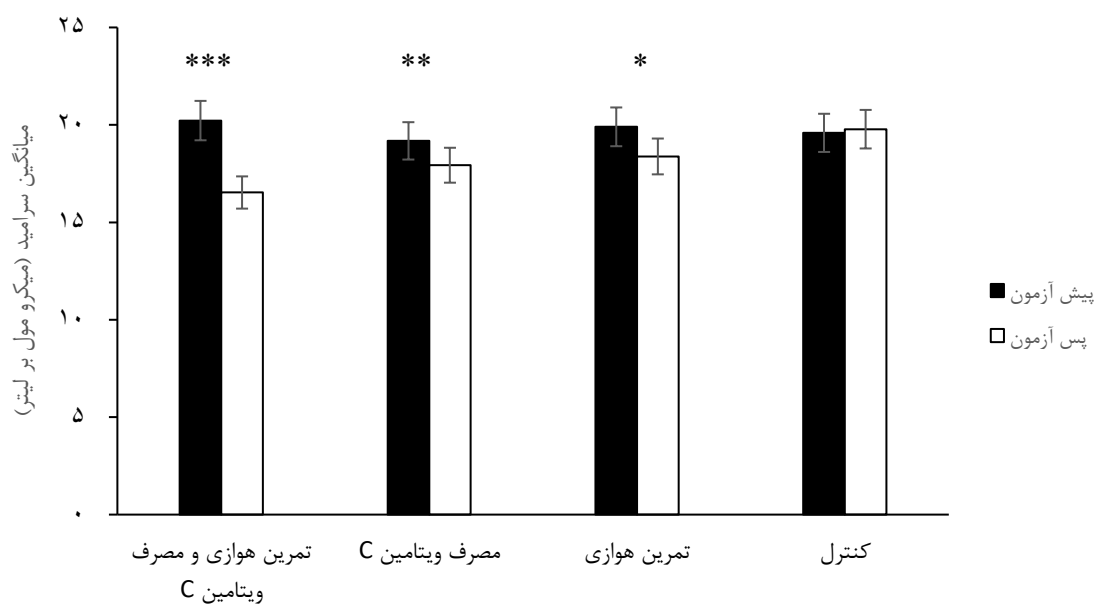
شکل ۳. تغییرات در گروه‌های مختلف طی مراحل پیش آزمون و پس آزمون



شکل ۴. تغییرات HDL در گروه‌های مختلف طی مراحل پیش آزمون و پس آزمون



شکل ۵. تغییرات LDL در گروه‌های مختلف طی مراحل پیش‌آزمون و پس‌آزمون



شکل ۶. تغییرات میانگین سرامید در گروه‌های مختلف طی مراحل پیش‌آزمون و پس‌آزمون

معناداری در مقاومت به انسولین، سرامید سرمی، کلسترول تام، تری‌گلیسیرید و LDL و افزایش معناداری در HDL داشتند.

بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان داد که انجام هشت هفته

این شش نمودار، تغییرات هر نشانگر را با علائم آماری بین‌گروهی و درون‌گروهی نشان می‌دهند. تفاوت معنادار آماری بین گروه‌های آزمایشی مختلف به صورت $P < 0.05$ ، $P < 0.01$ ، $P < 0.001$ نشان داده شد. به‌طور کلی نتایج نشان داد که پس از دوره مداخله، تمامی گروه‌های مداخله نسبت به گروه کنترل کاهش

تمرین هوازی و دریافت مکمل ویتامین C، به صورت جداگانه و ترکیبی، تأثیر معناداری بر بهبود مقاومت به انسولین، نیمرخ لیپیدی و سطح سرامید سرمی در مردان مبتلا به نشانگان سوخت‌وسازی داشت. روی هم رفته، بر اساس آزمون آماری و مقایسه‌های آماری، گروهی که تمرین هوازی و مکمل ویتامین C را به صورت ترکیبی دریافت کردند، بیشترین بهبود را نشان دادند. این یافته‌ها با نتایج برخی از یافته‌های پیشین همخوانی دارد، اما در برخی موارد تفاوت‌هایی نیز دیده شد که در ادامه مورد بحث قرار می‌گیرند. پژوهش‌های بسیاری تأثیر مثبت تمرین هوازی بر مقاومت به انسولین و بهبود نیمرخ لیپیدی را تأیید کرده‌اند.

یافته‌های پژوهشی نشان داده‌اند که تمرین هوازی به عنوان یک روش غیردارویی مؤثر، نقش مهمی در بهبود شاخص‌های سوخت‌وسازی افراد مبتلا به نشانگان سوخت‌وسازی دارد.

درباره اثر تمرین ورزشی بر مقاومت به انسولین، نتایج نشان داد که پس از دوره مداخله کاهش معناداری در مقاومت به انسولین نسبت به گروه کنترل دیده شد. هیستون و همکاران (۲۰۲۰) نیز در پژوهشی روی ۲۸ بزرگسال مبتلا به اضافه وزن و چاقی مبتلا به پیش‌دیابت، پس از دوازده جلسه ۶۰ دقیقه‌ای کاهش معناداری در مقاومت به انسولین گزارش کردند (۲۶). ویویچ و همکاران (۲۰۱۸) نیز در یک مقاله مروری که زمان مداخله در آن‌ها بیشتر از چهار هفته بود و یک مداخله ورزشی را با گروه کنترل غیرورزش بر بیماران مبتلا به نشانگان سوخت‌وسازی بدون دیابت مقایسه کرده بودند، گزارش کردند که تمرین هوازی به طور معناداری موجب کاهش معنادار گلوکز ناشتا شد (۲۷). استمن و همکاران (۲۰۱۷) نیز در پژوهشی مروری یافته‌های به دست آمده در سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۷ را بررسی و با نتایج مشابه ویویچ و همکاران (۲۰۱۸)

گزارش کردند که تمرین هوازی نقش مثبتی در کاهش قند خون ناشتا دارد (۲۸). نتایج پژوهش کای و همکاران (۲۰۱۷) نشان داد که تمرین هوازی منظم می‌تواند با بهبود حساسیت انسولینی و کاهش التهاب مزمن، به کنترل نشانگان سوخت‌وسازی کمک کند (۲۹). افزون بر این، تحقیق بیاتا فرانکوز و همکاران (۲۰۲۳) بیان کرد که تمرین هوازی با کاهش سطح LDL، کلسترول تام و تری‌گلیسیرید و افزایش HDL، سبب بهبود چشمگیری در نیمرخ لیپیدی بیماران مبتلا به نشانگان سوخت‌وسازی می‌شود (۳۰). فرناندا ام سیلوا و همکاران (۲۰۲۴) نشان دادند که تمرین هوازی با شدت متوسط تا زیاد به کاهش سطح گلوکز ناشتا، بهبود حساسیت به انسولین و کاهش نشانگر HOMA-IR در بیماران مبتلا به نشانگان سوخت‌وسازی منجر می‌شود (۳۱). یافته‌های آن‌ها با یافته‌های این پژوهش همسوست، زیرا کاهش معناداری در مقاومت به انسولین در گروه تمرین هوازی دیده شد. با این همه، در پژوهشی فرامرزی و همکاران (۲۰۱۵) تأثیر ۱۲ هفته تمرین هوازی موزون همراه با تمرین ثبات مرکزی را بر سطوح سرمی انسولین و مقاومت به انسولین در زنان دارای اضافه وزن بررسی و گزارش کردند که این نوع تمرین تأثیر معناداری بر سطح انسولین و مقاومت به انسولین در زنان دارای اضافه وزن نداشت (۳۲) که با نتایج این پژوهش ناهمخوان است؛ از دلایل احتمالی تفاوت در نتایج می‌توان به شدت تمرین، سن آزمودنی‌ها و جنسیت اشاره کرد.

برای توجیه نتایج به دست آمده درباره اثر تمرین هوازی بر کنترل مقاومت به انسولین، می‌توان گفت که مسیر پیش‌التهابی/تنش نقش مهمی در مقاومت به انسولین در بیماران مبتلا به نشانگان سوخت‌وسازی و چاق دارد. گمان می‌رود تمرین هوازی با جلوگیری از فعال شدن مسیرهای التهابی و تأثیرات منفی آن‌ها بر پیام‌رسانی و حساسیت به انسولین، توزیع اسیدهای چرب را افزایش

و انباشت آن‌ها را کاهش می‌دهد (۳۳). همچنین از دید اثر مولکولی، جذب گلوکز ناشی از انسولین در عضلات اسکلتی افراد مقاوم به انسولین به دلیل کاهش جابه‌جایی پروتئین حامل گلوکز (Glut-4) به غشای پلاسما کاهش می‌یابد. تغییراتی در پروتئین حامل پس از ورزش گزارش شده است که بیشتر با فعال شدن آدنوزین مونوفسفات کیناز تنظیم می‌شود (۳۴). افزون بر این، انقباض ماهیچه‌ای، نفوذپذیری غشا به گلوکز را افزایش می‌دهد، که شاید به دلیل افزایش تعداد ناقل‌های گلوکز (Glut-4) در غشای پلاسمایی ایجاد می‌شود. بنابراین، پس از ورزش، افزایش مقدار Glut-4 در عضله تمرین‌کرده، سبب بهبود عملکرد انسولین در سوخت‌وساز گلوکز می‌شود (۳۵).

همچنین پس از دوره مداخله دریافت مکمل ویتامین C، کاهش معناداری در سطح مقاومت به انسولین در گروه نسبت به گروه کنترل دیده شد. میسون و همکاران (۲۰۱۹) نیز در پژوهشی روی ۳۱ بیمار مبتلا به دیابت نوع دو پس از چهار ماه دریافت مکمل اسید اسکوربیک خوراکی دو بار در روز و مقدار ۵۰۰ میلی‌گرمی کاهش معناداری در سطح گلوکز ۲۴ ساعته و قند خون دوساعته گزارش کردند (۳۶). طباطبایی ملاذی و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهشی مروری برای ارزیابی تأثیرات اسید اسکوربیک بر کنترل قند خون در بیماران دیابتی گزارش کردند که دریافت اسید اسکوربیک در مقابل دارونما تأثیر معناداری بر قند خون ناشتا داشت (۳۷). داخاله و همکاران (۲۰۱۱) نیز در یک کارآزمایی بالینی ۷۰ بیمار مبتلا به دیابت نوع دو را به دو گروه مکمل و دارونما تقسیم و گزارش کردند که ۱۲ هفته تحت درمان (۵۰۰ میلی‌گرم ویتامین C یا دارونما) موجب کاهش سطح قند خون ناشتا، گلوکز پس از غذا و HbA1c شد (۲۵). کمپیون و همکاران (۲۰۰۸) نیز گزارش کردند که دریافت مکمل آسکوربات (۷۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن بدن) موجب تغییرات بیان

ژن بافت چربی با نشانگرهای چاقی ناشی از رژیم غذایی و کاهش مقاومت به انسولین شد (۳۸) که نتایج این پژوهش‌ها با نتایج پژوهش ما همخوانی دارد. ویتامین C رژیم غذایی سبب افزایش غلظت ویتامین C در پلاسما می‌شود که باید مورد توجه قرار گیرد. یک بررسی آینده‌نگر از افرادی مبتلا به دیابت نوع دو و سطحی از مقاومت به انسولین بالا، در تلاش برای مهار قند خون رژیم غذایی خود را تغییر می‌دهند، با این همه، تنها ۳۶ درصد از افراد مبتلا به دیابت نوع دو و ۳۵ درصد افراد سالم، پنج وعده میوه و سبزیجات دریافت می‌کردند. بنابراین، گمان می‌رود تغییرات غذایی ناچیز باشد و افزون بر این، افراد مبتلا به دیابت نوع دو، دریافت میوه و سبزیجات مشابه افراد سالم داشته باشند (۳۹). ویلسون و همکاران (۲۰۱۷) نیز در پژوهشی مقطعی به بررسی عوامل وابسته به غلظت ویتامین C بزرگسالان با طیف قند خون طبیعی تا افراد مبتلا به دیابت نوع دو پرداختند، غلظت ویتامین C در بیماران مبتلا به دیابت نوع دو به‌طور معناداری پایین‌تر از افراد با قند خون طبیعی بود و نسبت بیشتری از کمبود ویتامین C در هر دو گروه پیش‌دیابت و دیابت نوع دو دیده شد. نتایج نشان داد که گلوکز ناشتا، نمایه توده بدن و دریافت ویتامین C رژیم غذایی عوامل پیش‌بینی‌کننده غلظت ویتامین C پلاسما هستند. گزارش شده است که غلظت پایین ویتامین C پلاسما در ارتباط با مقاومت به انسولین و همچنین عوارض وابسته با دیابت است (۴۰). همچنین شاربانی و همکاران (۲۰۲۴) نشان دادند که مکمل ویتامین C به دلیل خاصیت ضداکساینده خود می‌تواند فشار اکسایشی را کاهش دهد و از طریق سازوکارهای ضدالتهابی به بهبود حساسیت به انسولین کمک کند (۴۱). یافته‌های این پژوهش نیز کاهش چشمگیری در مقاومت به انسولین در گروه دریافت‌کننده مکمل ویتامین C نشان داد که تأییدکننده این یافته‌هاست.

همچنین یافته‌ها نشان داد که گروه ترکیبی، کاهش مقاومت به انسولین بیشتری نسبت به دیگر گروه‌ها داشته است. در بررسی تأثیر ترکیبی تمرین ورزشی و ویتامین C نیز حبیبیان و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی نیمه تجربی، روی دختران چاق با دامنه سنی ۸ تا ۱۲ سال نشان دادند که هشت هفته تمرین هوازی، دریافت ویتامین C و مداخله ترکیبی به کاهش معنادار گلوکز، انسولین و مقاومت انسولینی در دختران چاق منجر شد و تأثیر مداخله ترکیبی در کاهش این متغیرها در مقایسه با دو مداخله دیگر بیشتر بود، که با یافته‌های پژوهش ما همسوست. این یافته‌ها نشان‌دهنده اثر انباشتی تمرین ورزشی و دریافت ویتامین C بر مقاومت به انسولین در سندروم متابولیک است (۴۲).

در خصوص نیمرخ لیپیدی، ژاوو ژاوپینگ و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که تمرین هوازی به‌طور جداگانه سبب کاهش کلسترول LDL، افزایش کلسترول HDL و کاهش تری‌گلیسیرید می‌شود (۴۳). در این پژوهش نیز نتایج مشابهی دیده شد، به‌ویژه در گروهی که ترکیب تمرین هوازی و ویتامین C را دریافت کردند، بیشترین بهبود در نشانگرهای لیپیدی دیده شد.

درحالی‌که بسیاری از پژوهش‌ها از تأثیر مثبت ویتامین C و ورزش بر نشانگان سوخت‌وسازی حمایت می‌کنند، برخی پژوهش‌ها نتایج ناهمخوانی را گزارش کرده‌اند. برای نمونه، تحقیق ریستوو و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد که دریافت ضداکسایندهایی مانند ویتامین C شاید اثرات تمرین ورزشی بر حساسیت انسولینی را کاهش دهد (۴۴). دلیل این اختلاف نتایج می‌تواند به تفاوت در جمعیت مورد بررسی، روش‌های اندازه‌گیری و مقدار دریافتی ویتامین C وابسته باشد. افزون بر این، یافته‌های فری و همکاران (۲۰۱۲) نشان داد که دریافت ویتامین C تأثیر مستقیمی بر بهبود نیمرخ لیپیدی ندارد، که با یافته‌های این پژوهش در تضاد است (۴۵). از آنجایی که در این پژوهش دریافت ویتامین C

با مقدار ۵۰۰ میلی‌گرم در روز به‌همراه تمرین پژوهشگر ساخته ارزیابی شد و در تحقیق فری و همکاران (۲۰۱۲) دریافت ترکیبی ویتامین C و ویتامین E به‌همراه تمرین ورزش بررسی شد، این تفاوت‌ها می‌تواند ناشی از تفاوت در میزان مقدار دریافتی و همچنین دریافت ترکیبی ویتامین C (۱۰۰۰ میلی‌گرم در روز) و ویتامین E (۴۰۰ واحد بین‌المللی در روز)، تفاوت در رژیم غذایی، سطح فعالیت بدنی و دیگر عوامل محیطی باشد.

سرامیدها دسته‌ای از لیپیدهای زیستی‌اند که به‌عنوان میانجیگرهای پیام‌رسان در مسیرهای مختلف سلولی از جمله آپوپتوز، التهاب و مقاومت به انسولین عمل می‌کنند (۴۶). یافته‌های روزافزونی نشان داده‌اند که افزایش غلظت سرامیدها در سرم، به افزایش مقاومت به انسولین، اختلال در سوخت‌وساز لیپیدها، و افزایش خطر بیماری‌های قلبی-عروقی وابسته است. سرامیدها می‌توانند با مهار مسیر پیام‌رسانی Akt/PKB در سلول‌های هدف انسولین، عملکرد انسولین را مختل کنند و در نتیجه به هیپرگلیسمی و مقاومت به انسولین منجر شوند (۴۷).

یافته‌های این پژوهش با پژوهش‌های پیشین مانند اوفوری و همکاران (۲۰۲۳)، همخوانی دارد که در آنها نیز مشخص شد کاهش سطح سرامیدها می‌تواند نقش مهمی در بهبود حساسیت به انسولین ایفا کند (۴۸). تمرین هوازی به‌عنوان یک عامل محرک زیستی، سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های کاهنده سنتز سرامیدها یا افزایش تجزیه آنها می‌شود (۴۹). همچنین ویتامین C به‌عنوان یک ضداکساینده قوی، با کاهش فشار اکسایشی، می‌تواند مسیرهای تولید سرامید را مهار کند (۵۰). در این پژوهش، اثر هم‌افزای این دو مداخله، در کاهش سرامیدها بیش از اثر آن‌ها به‌صورت جداگانه دیده شد.

کاهش سطح سرامیدها در گروه ترکیبی در این پژوهش، به‌روشنی با بهبود سایر نشانگرها مانند کاهش مقاومت

دانشگاه شهید چمران اهواز به انجام رسیده است.

مشارکت نویسندگان

نویسندگان سهم یکسان داشتند.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می کنند که هیچ گونه تضاد منافی در خصوص این پژوهش وجود ندارد.

پی نوشت ها

¹ Lipotoxic

² Nature Biotics

منابع

1. Paley, C.A., M.I.J.B.S.S. Johnson, Medicine, and Rehabilitation, Abdominal obesity and metabolic syndrome: exercise as medicine? 2018. 10: p. 1-8.
2. Prasun, P.J.B.e.B.A.-M.B.o.D., Mitochondrial dysfunction in metabolic syndrome. 2020. 1866(10): p. 165838.
3. Engin, A.J.O. and lipotoxicity, The definition and prevalence of obesity and metabolic syndrome. 2017: p. 1-17.
4. Nsabimana, P., et al., Association between urbanization and metabolic syndrome in low-and middle-income countries: A systematic review and meta-analysis. 2024. 34(2): p. 235-250.
5. Pedersen, B.K., B.J.S.j.o.m. Saltin, and s.i. sports, Exercise as medicine—evidence for prescribing exercise as therapy in 26 different chronic diseases. 2015. 25: p. 1-72.
6. Vekic, J., et al., Obesity and dyslipidemia. 2019. 92: p. 71-81.

به انسولین، LDL، تری گلیسیرید و افزایش HDL همراه بود. این همبستگی و وابستگی می تواند مؤید این باشد که سرامیدها نه تنها یک نشانگر بیوشیمیایی برای پیشرفت نشانگان سوخت و سازی هستند، بلکه خود به عنوان عاملی مؤثر در پاتوژنز این بیماری عمل می کنند (۴۶).

روی هم رفته، یافته های این پژوهش نشان می دهد که ترکیب تمرین هوازی با دریافت ویتامین C می تواند به صورت معناداری سطح سرامیدهای سرمی را کاهش دهد و به بهبود مقاومت به انسولین و نیمرخ لیپیدی در افراد مبتلا به نشانگان سوخت و سازی کمک کند. بنابراین، سرامیدها می توانند نه تنها به عنوان یک نشانگر زیستی بیماری، بلکه به منزله یک هدف درمانی جدید در برنامه های مداخله ای چندوجهی برای مهار و درمان نشانگان سوخت و سازی دیده شوند. در نهایت، کاهش سرامید سرمی در این پژوهش می تواند بهبود مسیرهای لیپیدسوزی و کاهش تولید اسفنگولیپیدها را نشان دهد، که با بهبود سوخت و ساز چربی و کاهش مقاومت به انسولین وابسته است (۵۱). این پژوهش نشان داد که هر دو مداخله تمرین هوازی و مکمل ویتامین C تأثیرات مفیدی بر بهبود مقاومت به انسولین، نیمرخ لیپیدی و سطح سرامید سرمی دارند، اما ترکیب این دو روش به نتایج بهتری منجر شد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از زحمات استادان و همه کسانی که در انجام این پژوهش ما را یاری کردند تقدیر و تشکر می شود.

حمایت مالی

این مقاله منتج از پایان نامه مقطع کارشناسی ارشد رشته فیزیولوژی ورزشی در دانشکده علوم ورزشی دانشگاه شهید چمران اهواز است و با حمایت مالی

7. Thakkar, H., et al., Ceramide signaling in immunity: a molecular perspective. 2025. 24(1): p. 225.
8. Chandrasekaran, P. and R.J.C.T.M.R. Weiskirchen, Cellular and molecular mechanisms of insulin resistance. 2024. 5(3): p. 79-90.
9. Chaurasia, B. and S.A.J.A.r.o.p. Summers, Ceramides in metabolism: key lipotoxic players. 2021. 83(1): p. 303-330.
10. Chaurasia, B., C.L. Talbot, and S.A.J.F.i.i. Summers, Adipocyte ceramides—the nexus of inflammation and metabolic disease. 2020. 11: p. 576347.
11. Kasumov, T., et al., Improved insulin sensitivity after exercise training is linked to reduced plasma C 14: 0 ceramide in obesity and type 2 diabetes. 2015. 23(7): p. 1414-1421.
12. Schilling, J.D., et al., Palmitate and lipopolysaccharide trigger synergistic ceramide production in primary macrophages. 2013. 288(5): p. 2923-2932.
13. Syeda, U.A., et al., The importance of exercise for glycemic control in type 2 diabetes. 2023. 9: p. 100031.
14. Colberg, S.R., et al., Physical activity/exercise and diabetes: a position statement of the American Diabetes Association. 2016. 39(11): p. 2065.
15. Chomiuk, T., et al., Physical activity in metabolic syndrome. 2024. 15: p. 1365761.
16. Babaei, P., R.J.S.M. Hoseini, and H. Science, Exercise training modulates adipokine dysregulations in metabolic syndrome. 2022. 4(1): p. 18-28.
17. Myers, J., P. Kokkinos, and E.J.N. Nyelin, Physical activity, cardiorespiratory fitness, and the metabolic syndrome. 2019. 11(7): p. 1652.
18. Otocka-Kmiecik, A. and A.J.N. Król, The role of vitamin C in two distinct physiological states: Physical activity and sleep. 2020. 12(12): p. 3908.
19. Gerami, H., et al., The Relationship between Antioxidants Consumption and Insulin Resistance/Insulin Sensitivity in Type 2 Diabetes without and with Coronary Stenosis: A Case-Control Study. 2022. 7: p. 150-159.
20. Shafras, M., R. Sabaragamuwa, and M.J.F.C.A. Suwair, Role of dietary antioxidants in diabetes: An overview. 2024. 4: p. 100666.
21. Dłudla, P.V., et al., Vitamin C intake potentially lowers total cholesterol to improve endothelial function in diabetic patients at increased risk of cardiovascular disease: A systematic review of randomized controlled trials. 2022. 9: p. 1011002.
22. Tkaczenko, H. and N.J.I.J.o.M.S. Kurhaluk, Antioxidant-Rich Functional Foods and Exercise: Unlocking Metabolic Health Through Nrf2 and Related Pathways. 2025. 26(3): p. 1098.
23. Fatima, M.T., et al., The role of dietary antioxidants in type 2 diabetes and neurodegenerative disorders: An assessment of the benefit profile. 2023. 9(1).
24. Keikhosravi, F., et al., The Effect of Eight Weeks Aerobic Training on C-Reactive Protein, Vaspın and Visfatin in Non-Athletic Men. 2019.

25. Dakhale, G.N., et al., Supplementation of Vitamin C Reduces Blood Glucose and Improves Glycosylated Hemoglobin in Type 2 Diabetes Mellitus: A Randomized, Double-Blind Study. 2011. 2011(1): p. 195271.
26. Heiston, E.M., et al., Exercise improves adiposopathy, insulin sensitivity and metabolic syndrome severity independent of intensity. 2020. 105(4): p. 632-640.
27. Wewege, M.A., et al., Aerobic, resistance or combined training: A systematic review and meta-analysis of exercise to reduce cardiovascular risk in adults with metabolic syndrome. 2018. 274: p. 162-171.
28. Eaton, S.B., S.B.J.R.q.f.e. Eaton, and sport, Physical inactivity, obesity, and type 2 diabetes: an evolutionary perspective. 2017. 88(1): p. 1-8.
29. Cai, H., et al., Effect of exercise on the quality of life in type 2 diabetes mellitus: a systematic review. 2017. 26: p. 515-530.
30. Franczyk, B., et al., The impact of aerobic exercise on HDL quantity and quality: a narrative review. 2023. 24(5): p. 4653.
31. Silva, F.M., et al., The effects of combined exercise training on glucose metabolism and inflammatory markers in sedentary adults: a systematic review and meta-analysis. 2024. 14(1): p. 1936.
32. Faramarzi, M., et al., Effects of rhythmic aerobic exercise plus core stability training on serum omentin, chemerin and vaspilin levels and insulin resistance of overweight women. 2015. 56(4): p. 476-482.
33. Małkowska, P.J.C.I.i.M.B., Positive Effects of Physical Activity on Insulin Signaling. 2024. 46(6): p. 5467-5487.
34. Chadt, A. and H.J.P.A.-E.J.o.P. Al-Hasani, Glucose transporters in adipose tissue, liver, and skeletal muscle in metabolic health and disease. 2020. 472(9): p. 1273-1298.
35. Richter, E.A.J.A.J.o.P.-E. and Metabolism, Is GLUT4 translocation the answer to exercise-stimulated muscle glucose uptake? 2021, American Physiological Society Rockville, MD.
36. Mason, S.A., et al., Ascorbic acid supplementation improves postprandial glycaemic control and blood pressure in individuals with type 2 diabetes: Findings of a randomized cross-over trial. 2019. 21(3): p. 674-682.
37. Tabatabaei-Malazy, O., et al., Influence of ascorbic acid supplementation on type 2 diabetes mellitus in observational and randomized controlled trials; a systematic review with meta-analysis. 2014. 17(4): p. 554-582.
38. Campion, J., et al., Differential gene expression and adiposity reduction induced by ascorbic acid supplementation in a cafeteria model of obesity. 2006. 62(2): p. 71-80.
39. Olofsson, C., et al., Changes in fruit, vegetable and juice consumption after the diagnosis of type 2 diabetes: a prospective study in men. 2017. 117(5): p. 712-719.
40. Wilson, R., et al., Inadequate vitamin C status in prediabetes and type 2 diabetes mellitus: Associations with glycaemic control, obesity, and smoking. 2017. 9(9): p. 997.

41. Sharebiani, H., et al., The Effects of Antioxidant Supplementation on the Pathologic Mechanisms of Metabolic Syndrome and Cardiovascular Disease Development. 2024. 16(11): p. 1641.
42. Habibian, M.; Farzanegi, P.; Asadi, B. The effect of regular aerobic exercise along with vitamin C consumption on homocysteine levels and insulin resistance in obese girls. *Armaghane danesh*, 2017, 22.1: 61-74.
43. Zhao, S., et al., Effects of aerobic exercise on TC, HDL-C, LDL-C and TG in patients with hyperlipidemia: A protocol of systematic review and meta-analysis. 2021. 100(10): p. e25103.
44. Ristow, M., et al., Antioxidants prevent health-promoting effects of physical exercise in humans. 2009. 106(21): p. 8665-8670.
45. Frei, B., et al., Authors' perspective: What is the optimum intake of vitamin C in humans? 2012. 52(9): p. 815-829.
46. Delcheva, G., K. Stefanova, and T.J.D. Stankova, Ceramides—Emerging Biomarkers of Lipotoxicity in Obesity, Diabetes, Cardiovascular Diseases, and Inflammation. 2024. 12(9): p. 195.
47. Jahdkaran, M., M.J.T.J.o.S.B. Sistanizad, and M. Biology, From Lipids to Glucose: Investigating the Role of Dyslipidemia in the Risk of Insulin Resistance. 2025: p. 106744.
48. Ofori, E.K., et al., Effect of circulating ceramides on adiposity and insulin resistance in patients with type 2 diabetes: An observational cross-sectional study. 2023. 6(3): p. e418.
49. Reidy, P.T., et al., Influence of exercise training on skeletal muscle insulin resistance in aging: spotlight on muscle ceramides. 2020. 21(4): p. 1514.
50. Blagov, A.V., et al., Potential use of antioxidants for the treatment of chronic inflammatory diseases. 2024. 15: p. 1378335.
51. Mei, M., et al., Sphingolipid metabolism in brain insulin resistance and neurological diseases. 2023. 14: p. 1243132.