Journal of Sport and Exercise Physiology

2026, 19(3)

Original Article

Effects of 10 Weeks of Upper-Body Compared to Lower-Body Combined Training on Weight, Body Mass Index, and Plasma Levels of Lipoprotein Lipase and Hepatic Lipase in Overweight Men

Zhina Azizi, Dariush Sheikholeslami Vatani*

Department of Physical Education, Faculty of Humanities and Social Sciences, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

نسخه پیش انتشار

Abstract

Background and Purpose: Overweight and obesity are associated with disturbances in lipid metabolism and an increased risk of cardiovascular disease. Lipoprotein lipase (LPL) and hepatic lipase (HL) are two key enzymes involved in lipoprotein metabolism, and alterations in their activity may contribute to metabolic dysfunction. LPL hydrolyzes triglycerides in chylomicrons and very-low-density lipoproteins, thereby facilitating fatty acid uptake by skeletal muscle and adipose tissue, while HL plays a crucial role in the metabolism of remnant lipoproteins and high-density lipoprotein (HDL) remodeling. Although concurrent training is considered an effective non-pharmacological strategy for improving body composition and cardiometabolic health, its effects on circulating LPL and HL concentrations remain unclear. Therefore, this study aimed to investigate the effects of 10 weeks of upper-body- and lower-body-based concurrent training on plasma levels of LPL and HL, body weight, and body mass index (BMI) in overweight men.

Materials and Methods: Thirty-seven overweight men from Sanandaj voluntarily participated in this semi-experimental study and were randomly assigned to three groups: upper-body-based concurrent training (n = 14), lower-body-based concurrent training (n = 14), and control (n = 9). Both experimental groups completed a supervised 10-week concurrent training program consisting of resistance exercise followed by aerobic exercise, three sessions per week. Each training session consisted of two distinct phases: resistance training followed by aerobic training. The resistance training program was designed to target either the upper or lower body, with each group performing three consecutive sessions focused on their designated region, followed by one session targeting the opposite region. Resistance training volume progressed from three sets per exercise during weeks 1–5 to four sets during weeks 6–10, with 8–12 repetitions per set performed to near-failure or failure. Aerobic training was performed after resistance exercise for 20–30 minutes at 61–66% of maximum heart rate, using an arm ergometer for the upper-body group and a leg cycle ergometer for the lower-body group. Anthropometric measurements and fasting blood samples were collected before and 48 hours after the intervention. Plasma concentrations of LPL and HL were measured using enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA). Data normality was assessed using the Shapiro–Wilk test. Repeated-measures analysis of variance was applied to examine the effects of time, group, and time × group interaction. Significant interactions were followed by one-way analyses of variance. Statistical significance was set at $P < 0.05$.

Results: No significant effects of time, group, or time × group interaction were observed for plasma LPL (time: $P = 0.07$; interaction: $P = 0.59$; group: $P = 0.33$) or HL (time: $P = 0.24$; interaction: $P = 0.73$; group: $P = 0.91$). In contrast, body weight and BMI demonstrated significant time effects and significant time × group interactions (both $P = 0.001$). Post hoc analyses revealed significant reductions in body weight and BMI in both upper-body- and lower-body-based

concurrent training groups (both P = 0.001), whereas no significant changes were observed in the control group. The magnitude of improvement was comparable between the two exercise interventions.

Conclusion: A ۱۰-week concurrent training program, regardless of whether resistance exercises primarily emphasized the upper or lower body, significantly improved body weight and BMI but did not induce measurable changes in circulating LPL or HL concentrations in overweight men. These findings suggest that favorable alterations in body composition may occur independently of detectable changes in these circulating lipolytic enzymes over a ۱۰-week intervention. These findings may have important implications for exercise prescription in overweight populations, suggesting that region-specific concurrent training can be an effective strategy for improving anthropometric outcomes, even in the absence of detectable changes in circulating lipolytic enzymes. Future studies with longer intervention periods, rigorous dietary control, and direct assessment of tissue-specific enzyme activity are warranted to further elucidate the mechanisms underlying exercise-induced adaptations in lipid metabolism.

Keywords: Resistance Training, Aerobic Training, Body Mass Index, Weight

How to cite this article: Azizi, Zh., Sheikholeslami Vatani, D. Effects of 10 Weeks of Upper-Body Compared to Lower-Body Combined Training on Weight, Body Mass Index, and Plasma Levels of Lipoprotein Lipase and Hepatic Lipase in Overweight Men. J Sport Exerc Physiol. 2026;?(?):?-?.

*Corresponding Author's E-mail: d.vatani@uok.ac.ir

https://doi.org/10.48308/joeppa.2026.245769.1489

Received: 00/00/2025 Revised: 00/00/2025 Accepted: 00/00/2025

Copyright: © 2026 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/).

نسخه پیش انتشار

نشریهٔ فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی

1405، دورهٔ ۱۹، شمارهٔ ۳، صفحه¬های ؟-؟

مقالهٔ پژوهشی

آثار ۱۰ هفته تمرین ترکیبی مبتنی بر بالاتنه در مقایسه با پایین‌تنه بر وزن، نمایه توده بدنی و سطوح پلاسمایی لیپوپروتئین لیپاز و هپاتیک لیپاز در مردان دارای اضافه‌وزن

ژینا عزیزی، داریوش شیخ‌الاسلامی وطنی*

گروه تربیت بدنی، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

نسخه پیش انتشار

چکیده

زمینه و هدف: اضافه‌وزن و چاقی با اختلال در متابولیسم لیپیدها و افزایش خطر بیماری‌های قلبی‌عروقی همراه است. لیپوپروتئین لیپاز (LPL) و هپاتیک لیپاز (HL) از مهم‌ترین آنزیم‌های تنظیم‌کننده‌ی متابولیسم لیپوپروتئین‌ها هستند و تغییر در فعالیت آن‌ها می‌تواند بر وضعیت متابولیکی افراد دارای اضافه‌وزن اثرگذار باشد. با وجود شواهد موجود درباره‌ی اثر تمرینات ورزشی بر شاخص‌های متابولیکی، اطلاعات محدودی درباره‌ی تأثیر تمرینات ترکیبی مبتنی بر نواحی مختلف بدن بر سطوح این دو آنزیم وجود دارد. ازاین‌رو، پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر ۱۰ هفته تمرینات ترکیبی مبتنی بر بالاتنه و پایین‌تنه بر سطوح پلاسمایی LPL، HL، وزن و شاخص توده بدنی (BMI) در مردان دارای اضافه‌وزن انجام شد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش از نوع نیمه‌تجربی با طرح پیش‌آزمون–پس‌آزمون و گروه کنترل بود. تعداد ۳۷ مرد دارای اضافه‌وزن به‌صورت تصادفی در سه گروه تمرین ترکیبی مبتنی بر بالاتنه (۱۴ نفر)، تمرین ترکیبی مبتنی بر پایین‌تنه (۱۴ نفر) و کنترل (۹ نفر) قرار گرفتند. آزمودنی‌های دو گروه تجربی به مدت ۱۰ هفته، سه جلسه در هفته، برنامه‌ی تمرین ترکیبی شامل تمرینات مقاومتی و هوازی را با تأکید بر اندام‌های فوقانی یا تحتانی اجرا کردند، در حالی که گروه کنترل در هیچ برنامه‌ی تمرینی منظمی شرکت نداشت. پیش و پس از دوره‌ی تمرینی، سطوح پلاسمایی LPL و HL، وزن و BMI اندازه‌گیری شد. داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو–ویلک و تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر در سطح معناداری P<۰۵/۰ تحلیل شدند.

نتایج: نتایج نشان داد اثر زمان، اثر گروه و اثر متقابل زمان×گروه برای سطوح پلاسمایی LPL و HL معنادار نبود (P>۰۵/۰). در مقابل، برای متغیرهای وزن و BMI، اثر زمان و اثر متقابل زمان×گروه معنادار بود (P=۰۰۱/۰)، در حالی که اثر گروه معنادار مشاهده نشد (P>۰۵/۰). همچنین، تحلیل‌های تکمیلی نشان داد هر دو پروتکل تمرینی مبتنی بر بالاتنه و پایین‌تنه موجب کاهش معنادار وزن و BMI شدند، اما تفاوت معناداری بین اثربخشی دو پروتکل وجود نداشت.

نتیجه‌گیری: اجرای ۱۰ هفته تمرینات ترکیبی، صرف‌نظر از تأکید بر بالاتنه یا پایین‌تنه، موجب بهبود شاخص‌های تن‌سنجی شامل وزن و BMI شد، اما نتوانست تغییر معناداری در سطوح پلاسمایی LPL و HL ایجاد کند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که پاسخ این دو آنزیم احتمالاً به عواملی فراتر از نوع پروتکل تمرینی، از جمله مدت مداخله، وضعیت متابولیکی افراد و عوامل تغذیه‌ای وابسته است. در عین حال، بهبود وزن و شاخص‌های آنتروپومتریک بیانگر آن است که تمرینات ترکیبی می‌توانند به‌عنوان راهکاری غیردارویی و کاربردی برای مدیریت اضافه‌وزن و ارتقای سلامت متابولیکی و عمومی مردان دارای اضافه‌وزن مورد استفاده قرار گیرند. این یافته‌ها می‌تواند پیامدهای مهمی برای تجویز تمرین در جمعیت دارای اضافه‌وزن داشته باشد و نشان می‌دهد که تمرین ترکیبی مبتنی بر نواحی مختلف بدن، حتی در غیاب تغییرات قابل‌اندازه‌گیری در سطوح آنزیم‌های لیپولیتیک گردش خون، می‌تواند به‌عنوان راهکاری مؤثر برای بهبود شاخص‌های آنتروپومتریک مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: تمرین مقاومتی، تمرین هوازی، نمایه توده بدنی، وزن

نحوهٔ استناد به این مقاله: عزیزی ز، شیخ‌الاسلامی وطنی د. آثار ۱۰ هفته تمرین ترکیبی مبتنی بر بالاتنه در مقایسه با پایین‌تنه بر وزن، نمایه توده بدنی و سطوح پلاسمایی لیپوپروتئین لیپاز و هپاتیک لیپاز در مردان دارای اضافه‌وزن. نشریهٔ فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی. ۱۴۰۵؛؟(؟):؟-؟.

* رایانامه نویسنده مسئول: d.vatani@uok.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۰/۰۰ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۰/۰۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۰/۰۰

نسخه پیش انتشار

مقدمه

اضافه‌وزن و چاقی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های سلامت عمومی در قرن حاضر، با اختلالات عمیق در متابولیسم لیپیدها و افزایش خطر بیماری‌های قلبی-عروقی همراه است (۱). تجمع بیش‌ازحد بافت چربی، به‌ویژه در ناحیه احشایی، نه‌تنها موجب افزایش تری‌گلیسریدهای پلاسما و کاهش لیپوپروتئین‌های با چگالی بالا[1] (HDL) می‌شود، بلکه از طریق تغییر در فعالیت آنزیم‌های کلیدی تنظیم‌کننده متابولیسم لیپوپروتئین‌ها، تعادل هموستاتیک چربی‌ها را نیز مختل می‌کند (۲). در این میان، توجه به سازوکارهای آنزیمی تنظیم‌کننده متابولیسم لیپیدها، به‌ویژه در پاسخ به مداخلات غیردارویی مانند تمرینات ورزشی، اهمیت ویژه‌ای یافته است.

دو آنزیم کلیدی در این زمینه، لیپوپروتئین لیپاز[2] (LPL) و هپاتیک لیپاز[3](HL) هستند که نقش اساسی در تنظیم متابولیسم لیپوپروتئین‌ها ایفا می‌کنند (۳).

LPL به‌عنوان آنزیمی وابسته به سطح اندوتلیال، مسئول هیدرولیز تری‌گلیسریدهای موجود در کیلومیکرون‌ها و لیپوپروتئین‌های با چگالی بسیار پایین[4] (VLDL) بوده و از این طریق، اسیدهای چرب آزاد را برای مصرف یا ذخیره در بافت‌های محیطی فراهم می‌سازد (۴). افزایش فعالیت LPL عموماً با بهبود پروفایل لیپیدی، کاهش تری‌گلیسرید و افزایش HDL همراه است (۵). در مقابل، HL که عمدتاً در کبد سنتز و ترشح می‌شود، در تبدیل لیپوپروتئین‌های با چگالی متوسط[5] (IDL) به LDL و همچنین در متابولیسم HDL نقش دارد و افزایش فعالیت آن در برخی شرایط با کاهش HDL و افزایش ریسک آترواسکلروز مرتبط دانسته شده است (۶). بنابراین، تعادل بین فعالیت این دو آنزیم می‌تواند به‌عنوان شاخصی مهم در ارزیابی وضعیت متابولیک و خطر بیماری‌های قلبی–عروقی در نظر گرفته شود.

در سال‌های اخیر، تمرینات ورزشی به‌عنوان یکی از مؤثرترین راهبردهای غیردارویی برای بهبود اختلالات متابولیکی ناشی از اضافه‌وزن مطرح شده‌اند (۷). شواهد نشان می‌دهد که تمرینات هوازی با افزایش فعالیت LPL در عضلات اسکلتی و کاهش تری‌گلیسرید پلاسما همراه هستند (۸). از سوی دیگر، تمرینات مقاومتی نیز از طریق افزایش توده عضلانی و بهبود حساسیت به انسولین، می‌توانند بر متابولیسم لیپیدها تأثیرگذار باشند (۹). با این حال، نتایج مطالعات در مورد اثرات تمرینات منفرد (هوازی یا مقاومتی) بر HL و تعامل آن با LPL متناقض بوده و به‌نظر می‌رسد نوع، شدت و مدت تمرین نقش تعیین‌کننده‌ای در این پاسخ‌ها داشته باشد.

در این راستا، تمرینات ترکیبی[6] که شامل ادغام تمرینات هوازی و مقاومتی در یک برنامه منسجم هستند، به‌عنوان رویکردی جامع‌تر برای بهبود شاخص‌های متابولیکی مطرح شده‌اند (۱۰). این نوع تمرینات با بهره‌گیری هم‌زمان از مزایای تمرینات هوازی (افزایش اکسیداسیون چربی و بهبود عملکرد قلبی-عروقی) و تمرینات مقاومتی (افزایش توده بدون چربی و نرخ متابولیسم پایه)، می‌توانند اثرات هم‌افزایی بر تنظیم آنزیم‌های کلیدی متابولیسم لیپید داشته باشند (۱۱). با این حال، علی‌رغم اهمیت بالقوه این رویکرد، مطالعات محدودی به بررسی اثرات تمرینات ترکیبی با تأکید بر درگیری هم‌زمان اندام‌های فوقانی و تحتانی بر فعالیت LPL و HL پرداخته‌اند؛ به‌ویژه در جمعیت مردان دارای اضافه‌وزن که در معرض ریسک بالای اختلالات لیپیدی قرار دارند. باقری و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعه خود بر روی ۶۰ مرد میانسال دارای اضافه‌وزن نشان دادند که ۱۲ هفته تمرین همزمان (قدرتی و استقامتی)، صرف‌نظر از ترتیب، باعث بهبود نشانگرهای التهابی، ترکیب بدن و عملکرد عضلانی می‌شود. با این حال، ترتیبی که در آن تمرین قدرتی پیش از استقامتی انجام شد، تمرینات مقاومتی در مقایسه با سایر ترتیب‌ها و تمرین ترکیبی، تأثیر بهتری بر کاهش التهاب (CRP، TNF-α) و افزایش آدیپونکتین و سایر شاخص‌های التهابی داشت (۱۲). در مطالعه دیگر به طول ۸ هفته، سه نوع تمرین

[1] High-Density Lipoproteins
[2] Lipoprotein Lipase
[3] Hepatic Lipase
[4] Very Low Density Lipoprotein
[5] Intermediate Density Lipoproteins
[6] Concurrent Training

(ترکیبی، قدرتی و هوازی) روی ۶۰ مرد غیرفعال دارای اضافه‌وزن، مقایسه شد. همه گروه‌های پژوهش کاهش درصد چربی، LDL[1]، کلسترول تام و AUC (نشانگر قند خون) را نشان دادند. تمرین قدرتی و ترکیبی نسبت به تمرین هوازی، کارآمدی بالاتری در کاهش AUS داشتند. در مقابل، تمرین هوازی و ترکیبی نسبت به قدرتی، کاهش بیشتری در LDL و کلسترول تام ایجاد کردند. در مجموع می‌توان گفت که نوع تمرین تأثیر متفاوتی دارد؛ ترکیبی و هوازی برای پروفایل لیپیدی، و قدرتی و ترکیبی برای کنترل قند خون مؤثرترند (۱۳).

بسیاری از مطالعات پیشین، تمرکز خود را بر شاخص‌های کلی پروفایل لیپیدی معطوف کرده‌اند و کمتر به بررسی سازوکارهای آنزیمی زیربنایی این تغییرات پرداخته‌اند. این در حالی است که ارزیابی مستقیم LPL و HL می‌تواند درک عمیق‌تری از مکانیسم‌های فیزیولوژیکی پاسخ به تمرین فراهم آورد و به طراحی مداخلات هدفمندتر کمک کند. از سوی دیگر، درگیری هم‌زمان عضلات بالاتنه و پایین‌تنه در برنامه‌های تمرینی ممکن است از طریق افزایش تقاضای متابولیکی کل بدن، پاسخ‌های متفاوتی در سطح آنزیم‌های تنظیم‌کننده لیپید ایجاد کند که تاکنون کمتر مورد بررسی قرار گرفته است.

براین‌اساس، پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر ۱۰ هفته تمرینات ترکیبی شامل فعالیت‌های بالاتنه و پایین‌تنه بر سطوح لیپوپروتئین لیپاز و هپاتیک لیپاز در مردان دارای اضافه‌وزن طراحی شده است. انتظار می‌رود که این مداخله تمرینی با تعدیل فعالیت این آنزیم‌ها، به بهبود متابولیسم لیپیدها و کاهش ریسک‌فاکتورهای قلبی-عروقی منجر شود. یافته‌های این مطالعه می‌تواند شواهد جدیدی در خصوص کارایی تمرینات ترکیبی به‌عنوان یک راهبرد غیردارویی مؤثر در مدیریت اختلالات متابولیکی مرتبط با اضافه‌وزن فراهم آورد و شکاف‌های موجود در ادبیات پژوهشی این حوزه را تا حدی پوشش دهد.

روش پژوهش

نمونه‌های پژوهش: پژوهش حاضر از نوع تجربی با طرح پیش‌آزمون-پس‌آزمون همراه با گروه کنترل و با رویکرد کاربردی بود. جامعه آماری شامل مردان دارای اضافه‌وزن ($BMI \geq ۲۵Kg/m^2$) در دامنه سنی ۲۵ تا ۴۰ سال بدون‌سابقه فعالیت بدنی منظم در ۶ ماه گذشته، ساکن شهر سنندج در سال ۱۴۰۳ بود. میانگین سنی شرکت‌کنندگان در گروه‌های بالاتنه، پایین‌تنه و کنترل به‌ترتیب ۳۰/۳۶±۷/۹ ، ۳۰/۲۹±۷/۳۳ و ۳۰/۲۲±۷/۴ سال بود و تفاوت معنی‌داری بین گروه‌ها از نظر سنی مشاهده نشد ($P>۰/۰۵$). پس از انتشار فراخوان عمومی در سطح شهر و فضای مجازی، به‌صورت تصادفی ۴۱ نفر از میان داوطلبان واجد شرایط انتخاب و به شکل تصادفی در سه گروه: تمرینات ترکیبی مبتنی بر بالاتنه (n=۱۶)، تمرینات ترکیبی مبتنی بر پایین‌تنه (n=۱۶) و کنترل (n=۹) تخصیص یافتند (در طول اجرای پژوهش، دو نفر از هر یک از گروه‌های تمرینی به دلیل عدم رعایت شرایط مطالعه از پژوهش خارج شدند). معیارهای ورود شامل: دامنه سنی ۲۵-۴۰ سال، شاخص توده بدنی(BMI[2]) در دامنه‌ی ۲۵ تا ۲۹/۹ کیلوگرم بر مترمربع (طبقه‌ی اضافه‌وزن)، عدم سابقه فعالیت ورزشی منظم در شش ماه گذشته، عدم مصرف داروها و مکمل‌های مؤثر بر متابولیسم چربی، عدم وجود آسیب‌های عضلانی-اسکلتی، عدم مصرف استروئیدهای آنابولیک و نوشیدنی‌های الکلی بود. معیارهای خروج نیز شامل: غیبت بیش از سه جلسه، مصرف دارو یا مکمل در طول دوره، ابتلا به بیماری‌های قلبی-تنفسی یا اسکلتی-عضلانی، عدم تمایل به ادامه همکاری و شرکت در برنامه‌ی تمرینی منظم مجزا بود. تمامی شرکت‌کنندگان فرم رضایت‌نامه آگاهانه را تکمیل کردند.

[1] Low-Density Lipoprotein

[2] Body Mass Index

روش اجرای پژوهش: دوره تمرینی این مطالعه شامل ۱۰ هفته و هر هفته ۳ جلسه تمرین بود. شرکت‌کنندگان به‌صورت تصادفی در دو گروه تمرینی مبتنی بر بالاتنه و مبتنی بر پایین‌تنه قرار گرفتند. ساختار تمرینی به‌گونه‌ای طراحی شد که هر گروه، سه جلسه متوالی تمرینات اختصاصی ناحیه‌ی موردنظر را اجرا کرده و سپس یک جلسه تمرینات ناحیه‌ی مقابل را انجام می‌دادند. به‌عبارت دیگر، گروه بالاتنه پس از هر سه جلسه تمرین بالاتنه، یک جلسه تمرین پایین‌تنه و گروه پایین‌تنه نیز پس از هر سه جلسه تمرین پایین‌تنه، یک جلسه تمرین بالاتنه را انجام می‌دادند. هر جلسه‌ی تمرینی شامل دو بخش مجزای تمرینات مقاومتی و تمرینات هوازی بود که به‌ترتیب(ابتدا مقاومتی و سپس هوازی) انجام می‌شد. برنامه تمرینات مقاومتی برای گروه بالاتنه شامل پرس سینه، پشت بازو با سیم‌کش، زیر بغل قایقی، جلو بازو با سیم‌کش، پرس سرشانه با ماشین، و شکم با ماشین بود. برنامه تمرینات مقاومتی برای گروه پایین‌تنه نیز شامل شش حرکت پرس پا، جلو پا ماشین، پشت پا خوابیده، ابداکشن ران ماشین، اداکشن ران ماشین و حرکت دوقلوی ایستاده بود. تعداد ست‌های تمرینات مقاومتی بر اساس اصل اضافه‌بار پیشرونده به این صورت تنظیم شد: هفته‌های ۱ تا ۵ (جلسات ۱ تا ۱۵): ۳ ست برای هر حرکت و هفته‌های ۶ تا ۱۰ (جلسات ۱۶ تا ۳۰): ۴ ست برای هر حرکت. دامنه تکرار در هر ست بین ۸ تا ۱۲ تکرار بیشینه (RM)[1]تعیین شد. شدت اجرا به‌گونه‌ای بود که در یک تا دو ست اول، تکرارها تا نزدیک ناتوانی و در یک تا دو ست آخر، تا نقطه‌ی ناتوانی عضلانی انجام شود. نقطه‌ی نزدیک به ناتوانی، زمانی در نظر گرفته شد که یک تا دو تکرار مانده به اجرای ناصحیح فرم حرکت، و نقطه‌ی ناتوانی، زمانی که تقریباً ۷۰٪ از شکل حرکت به به‌صورت نادرست اجرا می‌شد (۱۴). پس از اتمام تمرینات مقاومتی، شرکت‌کنندگان یک جلسه‌ی تمرین هوازی به‌مدت ۲۰ تا ۳۰ دقیقه انجام دادند. نوع دستگاه هوازی بر اساس گروه تمرینی تعیین شد: گروه بالاتنه از دوچرخه‌ی دستی و گروه پایین‌تنه از دوچرخه پایی استفاده کردند. شدت تمرین هوازی بر اساس BMI شرکت‌کنندگان تعیین شد، به‌گونه‌ای که هدف اصلی، بیشینه‌سازی اکسیداسیون چربی (چربی‌سوزی) به‌عنوان منبع سوخت غالب در نظر گرفته شد. بر این اساس، شرکت‌کنندگان با شاخص توده بدنی در دامنه‌ی ۲۵ تا ۲۹/۹ کیلوگرم بر مترمربع (kg/m^2)، تمرینات هوازی خود را در محدوده ۶۱ تا ۶۶ درصد حداکثر ضربان قلب (HR_{max})[2]انجام دادند؛ حداکثر ضربان قلب بر اساس فرمول ۲۲۰-سن برآورد گردید (۱۵). به‌منظور پایش دقیق ضربان قلب در حین تمرینات هوازی، از ضربان‌سنج‌های سینه‌ای پلار مدل H۱۰ استفاده شد. سنسورها توسط سوپروایزران مجرب بر روی قفسه‌ی سینه، در زیر عضله سینه‌ای بزرگ سمت چپ، نصب شد و از محکم بودن و عدم جابجایی آن در حین تمرین اطمینان حاصل شد. پیش از نصب، از ژل‌های رسانا به‌منظور بهبود تشخیص سیگنال ضربان قلب استفاده گردید. مدت زمان تمرین هوازی در هفته‌ی اول ۲۰ دقیقه بود و با گذشت هر هفته یک دقیقه به آن افزوده شد، به‌گونه‌ای که در هفته‌ی دهم به ۲۹ دقیقه رسید. گروه کنترل در طول دوره مطالعه، در هیچ برنامه تمرینی منظمی شرکت نداشته و صرفاً به فعالیت‌های روزمره خود ادامه دادند.

روش‌های آزمایشگاهی: ۴۸ ساعت قبل از شروع دوره‌ی تمرینی (مرحله پیش‌آزمون) و ۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه‌تمرینی (مرحله پس‌آزمون)، تمامی اندازه‌گیری‌ها در یک زمان مشخص (ساعت ۷ صبح) و در شرایط استاندارد انجام شد. این بازه زمانی با هدف حذف آثار حاد آخرین جلسه‌ی تمرین و اندازه‌گیری سازگاری‌های مزمن ناشی از دوره ۱۰ هفته‌ای تمرین انتخاب گردید، چراکه مطالعات پیشین نشان داده‌اند تغییرات متابولیک و آنزیمی وابسته به تمرین در بازه‌های زمانی ۲۴ تا ۴۸ ساعت پس از تمرین قابل‌اندازه‌گیری هستند و این بازه زمانی برای ارزیابی شاخص‌های لیپیدی، آنزیم‌های لیپازی و شاخص‌های آنتروپومتریک در

[1] Repetition Maximum

[2] Heart Rate Maximum

پژوهش‌های تمرینی کاربرد دارد (۱۶, ۱۷). آزمودنی‌ها موظف بودند حداقل ۱۲ ساعت ناشتا بوده و از مصرف هرگونه غذا، مایعات (به‌جز آب معمولی)، دارو و مکمل‌های ورزشی در این فاصله خودداری کنند. همچنین، از آن‌ها خواسته شد تا ۴۸ ساعت قبل از هر مرحله نمونه‌گیری، از انجام هرگونه فعالیت بدنی شدید یا ورزشی خودداری نمایند. در بیمارستان کوثر شهر سنندج ابتدا، قد آزمودنی‌ها با استفاده از قدسنج دیواری (ساخت شرکت سکا، آلمان) با دقت ۰/۱ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. آزمودنی‌ها بدون کفش و با پشت کاملاً صاف به دستگاه تکیه داده و در وضعیت طبیعی ایستادند. سپس، وزن آن‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتال (ساخت شرکت سکا، آلمان) با دقت ۰/۰۰۱ کیلوگرم اندازه‌گیری گردید. BMI از تقسیم وزن (به کیلوگرم) بر مجذور قد (به متر مربع) محاسبه شد.

پس از اندازه‌گیری‌های آنتروپومتری، آزمودنی‌ها به‌صورت نشسته بر روی صندلی قرار گرفتند و ۱۰ سی‌سی خون وریدی از ورید آنتی‌کوبیتال دست راست با استفاده از سرنگ‌های یک‌بارمصرف استریل گرفته شد و در لوله‌های استریل برچسب‌دار(دارای مشخصات فردی و تاریخ) نگهداری شد تا زمانی که از تمام آزمودنی‌ها نمونه‌برداری شد. نمونه‌های خون بلافاصله در لوله‌های استریل حاوی ماده ضد انعقاد اتیلن‌دی‌آمین‌تتراستیک‌اسید (EDTA) جمع‌آوری و به‌آرامی مخلوط شدند تا از لخته‌شدن جلوگیری شود. سپس، لوله‌ها در یخ قرار داده شدند و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شدند. سپس، نمونه‌ها با استفاده از سانتریفیوژ با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شدند. پس از سانتریفیوژ، پلاسما با دقت کامل و با استفاده از پیپت‌های اتوماتیک جمع‌آوری و در میکروتیوب‌های استریل (با درپوش محکم و پلی‌اتیلنی) انتقال داده شد. سپس، میکروتیوب‌های حاوی پلاسما با استفاده از یخدان جنس یونولیت به یخچالی با دمای ۷۰- درجه سانتی‌گراد انتقال داده شدند و تا زمان انجام آزمایش‌های بیوشیمیایی نگهداری شدند (۱۸). لازم به ذکر است که تمامی مراحل خون‌گیری توسط یک تکنسین مجرب و در شرایط کاملاً استریل انجام شد و تکنسین از نحوه گروه‌بندی آزمودنی‌ها اطلاعی نداشت.

اندازه‌گیری سطوح پلاسمایی LPL و HL با استفاده از کیت‌های تشخیصی الایزای اختصاصی انسانی (شرکت ZellBio GmbH، آلمان) و با روش ساندویچ آنتی‌بادی دوگانه بیوتین انجام شد. تمامی مراحل آزمایش بر اساس دستورالعمل شرکت سازنده و با رعایت نکات ذکر شده در دفترچه راهنمای کیت توسط تکنسین مجرب انجام شد. به‌طور خلاصه، ۵۰ میکرولیتر از نمونه‌های پلاسما و استانداردها به چاهک‌های پلیت که قبلاً با آنتی‌بادی مونوکلونال اختصاصی علیه LPL یا HL پوشانده شده بودند، اضافه شد. سپس، آنتی‌بادی‌های نشان‌دار شده با بیوتین و آنزیم استرپتاویدین-پراکسیداز به چاهک‌ها افزوده شد و پلیت به مدت ۶۰ دقیقه در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد انکوبه گردید. مراحل شستشو با بافر مخصوص (۴ بار) انجام شد تا مواد غیرمتصل حذف شوند. در ادامه، محلول سوبسترای کروموژن (TMB) به چاهک‌ها اضافه شد و پلیت به مدت ۱۰ تا ۲۰ دقیقه در دمای اتاق و در تاریکی نگهداری شد تا واکنش رنگی توسعه یابد. واکنش با افزودن ۵۰ میکرولیتر محلول توقف (اسیدسولفوریک ۲ مولار) متوقف شد و جذب نوری[1] (OD) هر چاهک در طول‌موج ۴۵۰ نانومتر با استفاده از دستگاه الایزا ریدر (ساخت شرکت BioTek، ایالات متحده) اندازه‌گیری شد. غلظت LPL و HL در نمونه‌ها با استفاده از منحنی استاندارد حاصل از غلظت‌های شناخته‌شده استاندارد محاسبه گردید. دقت درون‌سنجی (درون یک پلیت) با ضریب- تغییرات[2] (CV) کمتر از ۱۰٪ و دقت بین‌سنجی (بین پلیت‌های مختلف) با CV کمتر از ۱۲٪ تأیید شد.

تحلیل آماری: نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلک تائید شد. با احراز پیش‌فرض نرمال بودن و سایر مفروضه‌های آزمون‌های پارامتریک، برای بررسی تغییرات درون‌گروهی (در طول زمان) و بین‌گروهی (در سه گروه)، از آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر با طرح ۲ (زمان) × ۳ (گروه) استفاده گردید. در صورت معنی‌داری اثر تعامل زمان × گروه، از آزمون تعقیبی

[1] Optical Density

[2] Coefficient of Variation

بونفرونی (Bonferroni post-hoc test) برای انجام مقایسه‌های جفتی بین گروه‌ها و درون گروه‌ها استفاده شد.لازم به ذکر است که تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۷ انجام شد و رسم نمودارها نیز با نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۲۱ صورت گرفت.

نتایج

در این مطالعه، ۳۷ مرد دارای اضافه‌وزن با میانگین سنی ۶/۱±۳۱ سال در سه گروه: تمرینات ترکیبی مبتنی بر بالاتنه (n=۱۴)، تمرینات ترکیبی مبتنی بر پایین‌تنه (n=۱۴) و کنترل (n=۹) مورد بررسی قرار گرفتند.

نتایج حاصل از اجرای آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه حاکی از آن بود که در مرحله‌ی پیش‌آزمون، اختلاف قابل‌ملاحظه‌ای بین سه گروه در هیچ‌یک از متغیرها مشاهده نشد($p<0/05$) ؛ که گویای همگنی گروه‌های مورد مطالعه می‌باشد. جدول ۱ مقادیر میانگین و انحراف استاندارد متغیرهای LPL، HL، وزن و BMI را در پیش‌آزمون و پس‌آزمون به تفکیک گروه‌ها نشان می‌دهد.

جدول ۱. مقادیر میانگین و انحراف استاندارد متغیرهای آنزیمی در پیش‌آزمون و پس‌آزمون

متغیر	جلسه	گروه بالاتنه	گروه پایین‌تنه	گروه کنترل
لیپوپروتئین لیپاز (ng/ml)	پیش آزمون	۳/۶۶±۰/۴۷	۳/۶ ±۰/۳۵	۳/۵ ±۰/۵۵
	پس آزمون	۴/۱۵± ۰/۱	۳/۹۵± ۱/۱	۳/۵۶± ۰/۳۶
هپاتیک لیپاز (ng/ml)	پیش آزمون	۳۷۲/۹± ۱۹۷/۷	۴۰۵/۵± ۱۵۸/۲	۳۶۳/۳± ۸۶/۶
	پس آزمون	۴۲۵/۶± ۱۹۵/۵۷	۴۱۱/۱± ۱۹۳/۱	۴۰۰/۴± ۲۶/۸
وزن (Kg)	پیش آزمون	۹۷/۳۳±۱۱/۱۴	۹۵/۹۴±۱۲/۶۹	۹۳/۴۴±۲۱/۲
	پس آزمون	۹۴/۶±۱۱/۰۸	۹۱/۰۱±۱۱/۱۳	۹۴/۲۶±۲۱/۰۷
شاخص توده بدنی (Kg/m^2)	پیش آزمون	۳۰/۱۴۲±۲/۳۷	۳۰/۲۸±۲/۹۷	۲۹/۳۷±۵/۹۸
	پس آزمون	۲۹/۳±۲/۳۶	۲۸/۷۳±۲/۶	۲۹/۶±۵/۹۷

نتایج تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر نشان داد که اثر زمان (F=3/42، P=0/07) اثر گروه(P=0/33،F=1/13) و تعامل زمان-گروه (F=0/52، P=0/59) بر متغیر LPL در سطح قابل‌قبولی قرار نداشت. به‌بیان‌دیگر، ۱۰ هفته تمرینات ترکیبی تأثیر چندانی بر سطوح پلاسمایی LPL بر جای نگذاشت.

برای متغیر HL نیز اثر زمان (P =0/24، F=1/37)، اثر گروه (P=0/91، F=0/09) و تعامل زمان-گروه (P =0/73، F=0/3) از آستانه آماری تعیین‌شده فراتر نرفت؛ بنابراین، تمرینات ترکیبی تأثیر قابل‌توجهی بر سطوح پلاسمایی HL از خود نشان نداد.

در ارتباط با وزن بدن آزمودنی ها یافته ها نشان داد که اثر زمان(F= 28/61، P=0/001*) و تعامل زمان-گروه (F= 14/24، P= 0/001*) در سطح آماری بسیار بالایی قرار داشت، اما اثر گروه چندان محسوس نبود (F=0/12، P=0/88). همچنین نتایج تحلیل واریانس یک‌طرفه برای مقایسه‌های درون‌گروهی نشان داد که کاهش وزن در گروه تمرینات بالاتنه (P < ۰/۰۰۱، 30/98 =F، η^2= ۰/۷) و گروه تمرینات پایین‌تنه (P < 0/001، F= 27/22 ، η^2 =0/68) به‌وضوح قابل‌تشخیص بود، درحالی‌که گروه کنترل بدون تغییر باقی ماند (P=0/071، F=4/34) . نتایج مقایسه‌های بین‌گروهی با استفاده از آزمون تعقیبی بونفرونی در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی برای مقایسه‌های بین‌گروهی در متغیر وزن

مقایسه	تفاوت میانگین	خطای استاندارد	سطح معنی‌داری(P)
بالاتنه vs پایین‌تنه	۲/۵۱	۵/۴۱	۱/۰۰۰
بالاتنه vs کنترل	۲/۱۳	۶/۱۲	۱/۰۰۰
پایین‌تنه vs کنترل	-۰/۳۸	۶/۱۲	۱/۰۰۰

همان‌گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، تفاوت معنی‌داری بین هیچ‌یک از گروه‌ها در مرحله‌ی پس‌آزمون وجود نداشت (P>۰/۰۵ برای تمام مقایسه‌ها). این یافته نشان می‌دهد که اگرچه هر دو گروه تمرینی کاهش وزن معنی‌داری نسبت به پیش‌آزمون نشان دادند، اما این تغییرات بین گروه‌ها با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشت. میانگین کاهش وزن در گروه بالاتنه ۲/۸ درصد و در گروه پایین‌تنه ۱/۵ درصد بود که از نظر بالینی نیز حائز اهمیت است.

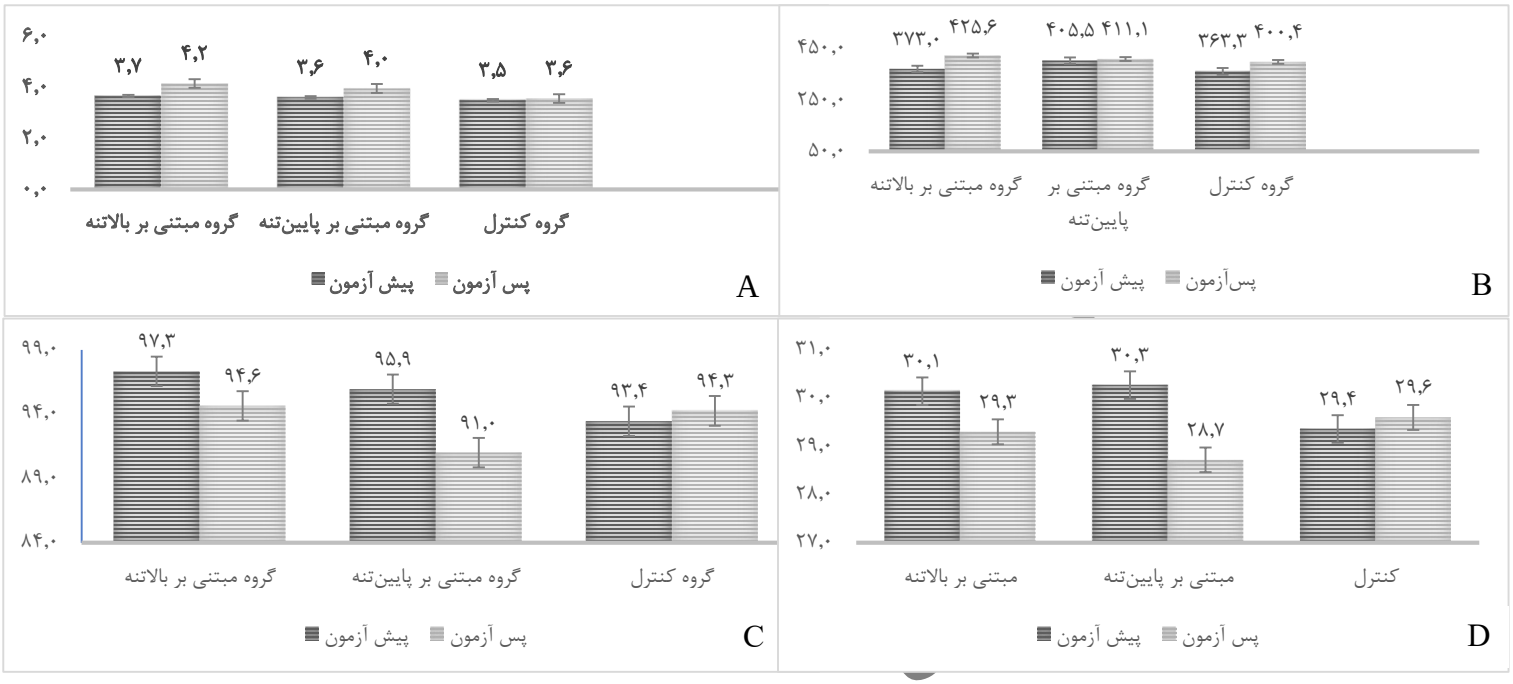
همچنین برای متغیر BMI، اثر زمان (P <0/001*، F=30/4) و تعامل زمان-گروه (P <0/001*، F=14/49) در سطح قابل‌توجهی قرار داشت، اما اثر گروه چشم‌گیر نبود (P = 0/98، F=0/018). یافته ها نشان داد که بهبود BMI در گروه تمرینات بالاتنه (P<0/001، F= 31/6 ، η^2= 0/7) و گروه تمرینات پایین‌تنه (P<0/001، F=3/56، η^2=0/68) ملاحظه گردید. نتایج مقایسه‌های بین‌گروهی با استفاده از آزمون تعقیبی بونفرونی در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳. نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی برای مقایسه‌های بین‌گروهی در متغیر BMI

مقایسه	تفاوت میانگین	خطای استاندارد	سطح معنی‌داری(P)
بالاتنه vs پایین‌تنه	۰/۲۲۵۷	۱/۳۸	۱/۰۰۰
بالاتنه vs کنترل	۰/۲۴۱۷	۱/۵۶	۱/۰۰۰
پایین‌تنه vs کنترل	۰/۰۱۶۰	۱/۵۶	۱/۰۰۰

همان‌گونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، تفاوت معنی‌داری بین هیچ‌یک از گروه‌ها در مرحله‌ی پس‌آزمون وجود نداشت (P>۰/۰۵ برای تمام مقایسه‌ها). میانگین بهبود BMI در گروه بالاتنه ۲/۶ درصد و در گروه پایین‌تنه ۱/۵ درصد بود. تغییرات مربوط به هر چهار متغیر در نمودار ۱ ارائه شده است.

نسخه پیش انتشار



شکل ۱. **تغییرات وزن، شاخص توده بدنی، لیپوپروتئین لیپاز و لیپاز کبدی پیش و پس از ۱۰ هفته مداخله در سه گروه مطالعه. (A) لیپوپروتئین لیپاز؛ (B) هپاتیک لیپاز ؛ (C) وزن ؛ (D) شاخص توده بدنی**

نتایج مربوط به تغییرات درون‌گروهی نشان داد که هر دو پروتکل تمرینی (مبتنی بر بالاتنه و پایین‌تنه) تأثیر چشم‌گیری بر کاهش وزن و بهبود شاخص توده بدنی داشتند ($P < ۰/۰۰۱$). اندازه‌ی اثر بالا ($\eta^2 \geq ۰/۶۸$) برای هر دو گروه تمرینی نشان‌دهنده‌ی تأثیر عملی و بالینی قابل‌توجه این مداخلات است.

بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر ۱۰ هفته تمرینات ترکیبی مبتنی بر بالاتنه و پایین‌تنه بر سطوح پلاسمایی LPL، HL، وزن و شاخص توده بدنی مردان دارای اضافه‌وزن انجام شد. یافته‌های اصلی نشان داد که اگرچه هر دو پروتکل تمرینی موجب کاهش قابل‌توجه وزن و بهبود شاخص توده بدنی شدند، اما تغییر محسوسی در سطوح پلاسمایی LPL وHL مشاهده نشد تمایز آشکاری نیز میان دو الگوی تمرینی مبتنی بر بالاتنه و پایین‌تنه وجود نداشت.

عدم تغییر در سطوح LPL و HL در نگاه نخست ممکن است با انتظار نظری ناشی از افزایش فعالیت مسیرهای اکسیداسیون چربی در پاسخ به تمرین ناسازگار به نظر برسد؛ با این حال، این یافته الزاماً به معنای ناکارآمدی مداخله تمرینی نیست. LPL و HL از جمله آنزیم‌هایی هستند که فعالیت آن‌ها تحت تأثیر مجموعه‌ای از عوامل شامل وضعیت تغذیه، حساسیت انسولینی، تعادل انرژی، ویژگی‌های بافتی و زمان نمونه‌گیری قرار می‌گیرد و تغییر در سطح پلاسمایی آن‌ها الزاماً بازتاب مستقیم تغییرات عملکردی در بافت هدف نیست (۱۵, ۱۹). لازم به ذکر است که بر اساس شواهد علمی، بازه‌ی زمانی ۴۸ ساعت پس از تمرین یکی از زمان‌های بهینه برای ارزیابی تغییرات LPL و HL محسوب می‌شود، چراکه مطالعات پیشین نشان داده‌اند فعالیت LPL تا ۴۸ ساعت پس از

تمرین‌های با حجم بالا افزایش یافته باقی می‌ماند (۱۷) و تغییرات متابولیک مرتبط با این آنزیم از ۴۸ ساعت پس از تمرین قابل‌اندازه‌گیری است (۱۶). یکی از نکات قابل توجه یافته‌های حاضر، جدایی نسبی میان پاسخ‌های تن‌سنجی و پاسخ‌های زیست‌نشانگری بود؛ به‌گونه‌ای که کاهش وزن و بهبود شاخص توده بدنی بدون تغییر در سطوح پلاسمایی LPL و HL رخ داد. این مشاهده از این دیدگاه حمایت می‌کند که بخشی از سازگاری‌های اولیه ناشی از تمرین ممکن است ابتدا در سطح مصرف انرژی، تغییر تعادل انرژی و اصلاح وزن و نمایه توده‌ی بدنی ظاهر شود و الزاماً در بازه زمانی کوتاه‌مدت به تغییر قابل اندازه‌گیری در غلظت گردش خون آنزیم‌های تنظیم‌کننده متابولیسم چربی منجر نشود (۲۰, ۲۱). از منظر فیزیولوژی ورزش، این موضوع اهمیت تمایز میان سازگاری عملکردی و سازگاری زیستی مستقیم را برجسته می‌کند.

اگرچه انتظار می‌رفت تمرین ترکیبی از طریق هم‌افزایی سازوکارهای ناشی از فعالیت مقاومتی و هوازی بر تنظیم آنزیم‌های درگیر در متابولیسم چربی اثرگذار باشد، اما یافته‌های حاضر نشان داد این فرض لزوماً در سطح پلاسمایی تأیید نمی‌شود. بخش مقاومتی تمرین از طریق افزایش فعالیت دستگاه سمپاتیک و تحریک ترشح کاتکول‌آمین‌ها می‌تواند فرایند لیپولیز را تسهیل کند و بخش هوازی نیز زمینه استفاده اکسیداتیو از اسیدهای چرب آزاد را فراهم سازی می‌کند (۱۵, ۱۹)؛ با این حال، عدم تغییر در LPL و HL نشان می‌دهد که فعال‌شدن مسیرهای مصرف چربی الزاماً به افزایش قابل اندازه‌گیری این آنزیم‌ها در گردش خون منتهی نمی‌شود و احتمال دارد تغییرات در سطح فعالیت بافتی یا تنظیم پسارونویسی رخ داده باشد (۲۲). بررسی دقیق‌تر مکانیسم‌های مولکولی و سلولی مؤثر بر فعالیت LPL و HL در بافت‌های هدف، نیازمند روش‌های سنجش بافتی و دوره‌های تمرینی طولانی‌تر است که در پژوهش حاضر امکان‌پذیر نبود و می‌تواند به‌عنوان مسیری برای پژوهش‌های آینده مدنظر قرار گیرد.

یافته پژوهش حاضر از منظر عدم تغییر در سطوح آنزیم LPL با نتایج شماری از مطالعات پیشین همسو است. برای نمونه، مطالعه تجربی کیمبال و همکاران نشان داد که اجرای ۱۰ هفته تمرین استقامتی روی تردمیل (به میزان یک ساعت فعالیت روزانه) در موش‌های صحرایی نر، علیرغم طول نسبتاً زیاد دوره مداخله، هیچ تغییردر فعالیت LPL در بافت‌های قلب، عضله اسکلتی و بافت چربی به همراه نداشت (۲۳)؛ نتیجه‌ای که مستقل از نوع رژیم غذایی (پرکربوهیدرات یا پرچربی) بود. این هم‌راستایی میان یافته‌های حاصل از مطالعات انسانی و حیوانی، حاکی از آن است که پاسخ آنزیم LPL به محرک تمرینی، احتمالاً به پارامترهای خاص پروتکل (نظیر شدت، الگوی انقباض عضلانی، یا مدت زمان مداخله) و همچنین به بستر متابولیک اولیه و نوع بافت مورد بررسی وابسته است؛ بر این اساس، افزایش سطح LPL را نمی‌بایست به‌عنوان یک پاسخ همیشگی و قطعی به فعالیت ورزشی در نظر گرفت. این تفسیر با شواهد حاصل از پژوهش‌های دیگر نیز تقویت می‌شود؛ به‌طوریکه در یک مداخله ۱۶ هفته‌ای کنترل‌شده بر روی زنان یائسه، انجام تمرینات مقاومتی پیشرفته (۳ روز در هفته) یا تمرینات هوازی (۵ روز در هفته) نیز نتوانست تغییر قابل‌ملاحظه‌ای در سطوح تری‌گلیسیرید و گلوکز پلاسما پس از صرف غذا ایجاد کند (۲۴). اگرچه در مطالعه مذکور سطح آنزیم LPL به‌طور مستقیم اندازه‌گیری نشده بود، اما نتایج آن مؤید این نکته است که حتی مداخلات تمرینی با حجم نسبتاً قابل‌توجه نیز ممکن است همواره به بهبود قابل‌اندازه‌گیری در شاخص‌های متابولیک خون در برخی جمعیت‌ها (از جمله زنان یائسه) منجر نشوند. این یافته از این ایده حمایت می‌کند که پاسخ به تمرین در جمعیت‌های دارای وضعیت متابولیک خاص (از جمله مردان دارای اضافه‌وزن و چاق در مطالعه حاضر) می‌تواند به عوامل دیگری نظیر تنظیم همزمان رژیم غذایی، مدت زمان طولانی‌تر مداخله، یا حساسیت نشانگرهای خونی انتخابی وابسته باشد. پژوهش منتشرشده در سال ۲۰۲۲ نیز مؤید این الگو است و نشان می‌دهد حتی مداخلات تمرینی با دوره‌های نسبتاً طولانی نیز لزوماً به تغییر همه‌جانبه در شاخص‌های متابولیک خون منجر نمی‌شوند و پاسخ‌های فیزیولوژیک به ورزش از پیچیدگی بیشتری برخوردار است (۲۵, ۲۶).

با این حال، باید اذعان داشت که یافته‌های پژوهش حاضر با نتایج برخی مطالعات پیشین ناهمسو است. از جمله، مطالعه تجربی اونگ و همکاران که بر روی مدل حیوانی انجام شد، به یافته‌های متفاوتی دست یافت. در این پژوهش که بر روی موش‌های صحرایی نر با

پروتکل تمرینی هوازی شش هفته‌ای روی تردمیل اجرا گردید، محققان به بررسی اثرات تعاملی تمرین ورزشی و تغذیه بر بیان ژن LPL در بافت‌های گوناگون پرداختند. نتایج مطالعه حاکی از آن بود که اعمال شش هفته تمرین استقامتی، منجر به افزایش در هر دو شاخص فعالیت آنزیمی و میزان پروتئین LPL در دو عضله اسکلتی با ترکیبات فیبری متمایز (سولئوس و EDL) گردید (۲۲). شایان ذکر است که این افزایش سطح پروتئین، ناشی از تغییر در میزان رونویسی ژن (mRNA) نبوده و احتمالاً از طریق مکانیسم‌های پسارونویسی (از قبیل افزایش کارایی فرآیند ترجمه یا کاهش نرخ تخریب پروتئین) تنظیم شده است. البته مداخله تمرینی مذکور تأثیری بر سطوح LPL در بافت‌های چربی و قلب نداشت. همانطور که یافته های مطالعه فوق‌الذکر نیز نشان می‌دهد، پاسخ LPL می‌تواند وابسته به بافت باشد. بنابراین، اختلاف نتایج ممکن است به تفاوت در محل اندازه‌گیری آنزیم، روش اندازه‌گیری، تفاوت گونه زیستی، وضعیت تغذیه ومدت مداخله وابسته باشد.

یافته دیگر پژوهش حاضر که نشان‌دهنده ثبات فعالیت هپاتیک لیپاز در پاسخ به ۱۰ هفته تمرین ترکیبی در مردان دارای اضافه‌وزن است، در چارچوب شواهد موجود قابل تفسیر و در عین حال حامل پیام نوآورانه‌ای می‌باشد. اگرچه مطالعات پیشین عمدتاً بر نقش تعدیل‌کننده تمرین بر مسیرهای بالادستی لیپولیز کبدی نظیر افزایش AMPK و CPT۱ و کاهش SREBP-۱ متمرکز بوده‌اند اما شواهد مستقیم و اختصاصی درباره هپاتیک لیپاز، به‌ویژه در پاسخ به تمرین در جمعیت انسانی، به طرز چشمگیری محدود است (۲۷, ۲۸). در معدود مطالعات موجود، از جمله مرور بروورز، کاهش فعالیت این آنزیم عمدتاً به دنبال دوره‌های طولانی‌تر تمرین استقامتی (۲۰ هفته) گزارش شده است، در حالی که این منبع نیز تصریح کرده که اثر تمرین بر ذخیره چربی کبدی پس از غذا به‌طور مستقیم مورد بررسی قرار نگرفته و داده‌های مربوط به تمرین مقاومتی بسیار اندک است. بر این اساس، اختلاف در مدت مداخله (۲۰ هفته در مقابل ۱۰ هفته)، نوع پروتکل (استقامتی محض در مقابل ترکیبی) و همچنین جمعیت هدف (بیماران مبتلا به کبد چرب در مطالعه بروورز در مقابل مردان دارای اضافه‌وزن بدون بیماری کبدی آشکار در پژوهش حاضر) می‌تواند توجیه‌گر اصلی ناهمسویی میان یافته‌های ما و نتایج مذکور باشد (۲۹). با این وجود، یافته‌های ما با دسته‌ای از پژوهش‌ها که تأثیر تمرین را بر شاخص‌های جایگزین سلامت کبد نظیر کاهش تری‌گلیسیرید، ALT/AST و بهبود حساسیت انسولینی از طریق مسیرهای مستقل از هپاتیک لیپاز نشان داده‌اند (۳۰-۳۲)، ناسازگار نیست؛ چراکه احتمالاً سازوکارهای دیگری نظیر افزایش اکسیداسیون اسیدچرب، کاهش لیپوژنز از طریق تعدیل SREBP-۱، و افزایش کارایی میتوکندریایی نقش اصلی را در بهبود متابولیسم چربی کبد ایفا کرده‌اند، بدون آنکه الزاماً تغییر محسوسی در فعالیت آنزیم هپاتیک لیپاز رخ دهد (۳۳, ۳۴). در مجموع، با عنایت به کمبود شواهد مستقیم و وجود ناهمگونی روش‌شناختی میان مطالعات، پژوهش حاضر با ارائه داده‌هایی در مورد پاسخ هپاتیک لیپاز به تمرین ترکیبی در جمعیت مردان دارای اضافه‌وزن، گامی اولیه در جهت پر کردن این خلأ دانش برداشته و ضرورت انجام پژوهش‌های آینده با به‌کارگیری نمونه‌گیری متفاوت (اندازه‌گیری در چندین بازه زمانی پس از تمرین)، روش‌های سنجش بافتی و پروتکل‌های با شدت و مدت متفاوت را بیش از پیش آشکار می‌سازد.

با وجود عدم تغییر در سطوح پلاسمایی LPL و HL، هر دو گروه تمرینی کاهش قابل‌ملاحظه‌ای در وزن و شاخص توده‌ی بدنی نشان دادند که از منظر بالینی و کاربردی حائز اهمیت است. این یافته نشان می‌دهد که سازگاری متابولیکی ناشی از تمرین الزاماً از مسیر تغییر سطح خونی این آنزیم‌ها اتفاق نمی‌افتد و احتمالاً ترکیب تمرین مقاومتی و هوازی از طریق ایجاد تعادل انرژی منفی، افزایش مصرف انرژی، حفظ توده‌ی بدون چربی و افزایش اکسیداسیون اسیدهای چرب به بهبود شاخص‌های آنتروپومتریک منجر شده است (۲۶, ۳۵).

تمرینات مقاومتی با تحریک ترشح کاتکول‌آمین‌ها و هورمون رشد موجب فعال‌سازی مسیرهای لیپولیز و افزایش فعالیت آنزیم‌هایی مانند HSL و ATGL می‌شوند که آزادسازی اسیدهای چرب آزاد را افزایش می‌دهد (۳۶)؛ از سوی دیگر، اجرای تمرین هوازی پس از تمرین مقاومتی می‌تواند شرایط مطلوب‌تری برای اکسیداسیون این اسیدهای چرب فراهم کند و احتمال تکمیل چرخه لیپولیز–

اکسیداسیون را افزایش دهد (۱۵)؛ بنابراین، حتی در شرایطی که تغییرات برخی لیپازها مشاهده نشود، کاهش وزن و بهبود BMI همچنان می‌تواند رخ دهد.

تشابه پاسخ‌دهی دو رویکرد تمرکز بر بالاتنه و پایین‌تنه، بیانگر آن است که در شرایط همسان بودن حجم و شدت کلی تمرین، پاسخ متابولیکی سیستمیک احتمالاً بیش از آنکه تابع ناحیه‌ی غالب درگیر باشد، به بار تمرینی کل وابسته است. این یافته از منظر طراحی کاربردی برنامه‌های تمرینی حائز اهمیت است، چراکه امکان شخصی‌سازی تمرین را بدون نگرانی از کاهش اثربخشی متابولیکی فراهم می‌آورد و نشان می‌دهد که محل تأکید تمرین، عامل تعیین‌کننده‌ای در پاسخ متابولیکی کل بدن محسوب نمی‌شود. در تفسیر نتایج حاضر باید محدودیت‌های پژوهش نیز مدنظر قرار گیرد. عدم کنترل دقیق رژیم غذایی، خواب و استراحت آزمودنی‌ها، تفاوت‌های ژنتیکی و فردی، وجود احتمالی بیماری‌های پنهان و همچنین استفاده از سنجش پلاسمایی به‌جای روش‌های مستقیم‌تر مانند بیوپسی بافتی، می‌تواند بر نتایج اثرگذار بوده باشد؛ قابل ذکر است که روش اندازه‌گیری LPL و HL در این مطالعه، مبتنی بر سنجش غلظت پلاسمایی با استفاده از کیت ELISA بوده و فعالیت آنزیمی مستقیم مدنظر نبوده است. بدین ترتیب، تفسیر نتایج می‌بایست با در نظر گرفتن این تفاوت مفهومی صورت گیرد. از دیگر محدودیت‌های این مطالعه، عدم انجام محاسبه حجم نمونه بر اساس توان آماری و اندازه‌ی اثر مورد انتظار است. همچنین تعداد نمونه در گروه‌ها کاملاً متوازن نبود. با توجه به این محدودیت‌ها، عدم مشاهده‌ی تفاوت معنی‌دار در برخی متغیرها (از جمله LPL با P=۰/۰۷) نمی‌تواند به‌عنوان عدم وجود اثر تفسیر شود و تفسیر نتایج باید با احتیاط بیشتری صورت گیرد. به‌علاوه از دیگر محدودیت‌های این مطالعه، گستردگی دامنه‌ی سنی شرکت‌کنندگان (۲۵ تا ۴۰ سال) بود که می‌تواند به‌عنوان عاملی مؤثر بر پاسخ‌های متابولیکی به تمرین در نظر گرفته شود. هرچند توزیع سنی بین گروه‌ها یکسان بود، اما انجام پژوهش‌های آینده با دامنه‌ی سنی محدودتر می‌تواند به کنترل بهتر این عامل کمک کند.

پژوهش حاضر با هدف بررسی تاثیر تمایز تمرینی مبتنی بر بالاتنه و پایین‌تنه در قالب یک برنامه تمرین ترکیبی ۱۰ هفته‌ای بر سطوح پلاسمایی LPL و HL در مردان دارای اضافه‌وزن انجام شد. یافته‌ها نشان داد که اگرچه اجرای هر دو پروتکل تمرینی با کاهش قابل‌ملاحظه‌ای در وزن بدن و بهبود چشم‌گیری در شاخص توده بدنی همراه بود، اما این تغییرات با تغییر چندانی در سطوح پلاسمایی LPL و HL همراه نبود و تمایز قابل‌توجهی نیز میان دو الگوی تمرینی مبتنی بر بالاتنه و پایین‌تنه مشاهده نشد.

این یافته نشان می‌دهد که بهبود شاخص‌های تن‌سنجی و شاخص‌های آنتروپومتریک الزاماً با تغییر هم‌زمان نشانگرهای آنزیمی مرتبط با متابولیسم لیپید همراه نیست و احتمال دارد سازگاری‌های زیستی این مسیرها به مدت مداخله بیشتر، کنترل دقیق‌تر عوامل تغذیه‌ای یا استفاده از شاخص‌های اندازه‌گیری مستقیم‌تر وابسته باشند. از این منظر، نتایج پژوهش حاضر بر ضرورت تفکیک میان پیامدهای بالینی قابل مشاهده و پاسخ‌های زیست‌شناختی اختصاصی به تمرین تأکید می‌کند.

در مجموع، نتایج این مطالعه از کاربرد تمرین ترکیبی به‌عنوان یک راهبرد غیردارویی مؤثر برای کنترل وزن و بهبود وضعیت بدنی در مردان دارای اضافه‌وزن حمایت می‌کند؛ با این حال، انتظار تغییر کوتاه‌مدت در سطوح LPL و HL بر اساس این نوع مداخله، نیازمند احتیاط و بررسی بیشتر در پژوهش‌های آینده است.

تشکر و قدردانی

نسخه پیش انتشار

نویسندگان این مقاله بر خود فرض می‌دانند تا مراتب سپاس و امتنان خویش را از تمامی کسانی که در مراحل مختلف اجرایی این پژوهش، همکاری و مساعدت نمودند صمیمانه ابراز نمایند.

حمایت مالی

این پژوهش فاقد هرگونه کمک مالی از سوی نهادها یا سازمان‌های دولتی و خصوصی بوده و کلیه هزینه‌های اجرایی آن توسط نویسندگان تأمین گردیده است.

مشارکت نویسندگان

هر دو نویسنده در تمام مراحل آماده‌سازی مقاله مشارکت داشتند.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ گونه تضاد منافعی در رابطه با این پژوهش وجود ندارد.

منابع

.۱ Valenzuela PL, Carrera-Bastos P, Castillo-García A, Lieberman DE, Santos-Lozano A, Lucia A. Obesity and the risk of cardiometabolic diseases. Nature reviews cardiology. ۲۰۲۳;۲۰(۷):.۹٤-٤۷٥
https://doi.org/10.1038/s41569-023-00847-5
.۲ Lee M-J, Kim J. The pathophysiology of visceral adipose tissues in cardiometabolic diseases. Biochemical pharmacology. ۲۰۲٤;.۲۲۲:۱۱٦۱۱٦
https://doi.org/10.1016/j.bcp.2024.116116
.۳ Dijk W, Rimbert A, Sotin T, Le May C, Cariou B. Versatile Functions of Hepatic Lipase in Lipoprotein Metabolism. Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology. ۲۰۲٦;٤٦(۱):-۱۰٥ .۱۸
https://doi.org/10.1161/ATVBAHA.125.323051
.٤ Knapp M, Gorski J. Endothelial lipase: regulation and biological function. Journal of Physiology & Pharmacology. ۲۰۲۲;.(۳)۷۳
https://doi.org/10.26402/jpp.2022.3.01
.٥ Parhofer KG, Laufs U. Lipid profile and lipoprotein (a) testing. Deutsches Ärzteblatt International. ۲۰۲۳;.٥۸۲:(۳٦-۳٥)۱۲۰
https://doi.org/10.3238/arztebl.m2023.0150
.٦ Narang D, Al-Horani RA. Biochemistry, Intermediate Density Lipoprotein. StatPearls [Internet]: StatPearls Publishing; .۲۰۲٥
https://doi.org/10.3838/arztel.m2025.0150

نسخه پیش انتشار

.۷ Della Guardia L. Exercise and non-pharmacological interventions to improve metabolic health and well-being in chronic conditions. .۲۰۲٤
https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002484
.۸ Lin X, Qu J, Yin L, Wang R, Wang X. Aerobic exercise-induced decrease of chemerin improved glucose and lipid metabolism and fatty liver of diabetes mice through key metabolism enzymes and proteins. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular and Cell Biology of Lipids. ۲۰۲۳;۱۸٦۸(۱۲):.۱٥۹٤۰۹
https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2023.159409
.۹ Zhou Y, Wu W, Zou Y, Huang W, Lin S, Ye J, et al. Benefits of different combinations of aerobic and resistance exercise for improving plasma glucose and lipid metabolism and sleep quality among elderly patients with metabolic syndrome: a randomized controlled trial. Endocrine journal. ۲۰۲۲;٦۹(۷):.۳۰-۸۱۹
https://doi.org/10.1507/endocrj.EJ21-0589
.۱۰ Khalafi M, Kheradmand S, Habibi Maleki A, Symonds ME, Rosenkranz SK, Batrakoulis A, editors. The effects of concurrent training versus aerobic or resistance training alone on body composition in middle-aged and older adults: a systematic review and meta-analysis. Healthcare; ۲۰۲٥: MDPI.
https://doi.org/10.3390/healthcare13070776
.۱۱ Liang M, Pan Y, Zhong T, Zeng Y, Cheng AS. Effects of aerobic, resistance, and combined exercise on metabolic syndrome parameters and cardiovascular risk factors: a systematic review and network meta-analysis. Reviews in cardiovascular medicine. ۲۰۲۱;۲۲(٤):.۳۳-۱٥۲۳
https://doi.org/10.31083/j.rcm2204156
.۱۲ Bagheri R, Kargarfard M, Jalali K, Ashtary-Larky D, Cheraghloo N, Ghobadi H, et al. The effects of ۱۲weeks of concurrent and combined training on inflammatory markers, muscular performance, and body composition in middle-aged overweight and obese males. Nutrients. ۲۰۲۳;۱٥(٦):.۱٤۸۲
https://doi.org/10.3390/nu15061482
.۱۳ Amare F, Alemu Y, Enichalew M, Demilie Y, Adamu S. Effects of aerobic, resistance, and combined exercise training on body fat and glucolipid metabolism in inactive middle-aged adults with overweight or obesity: a randomized trial. BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation. ۲۰۲٤;۱٦(۱):.۱۸۹
https://doi.org/10.1186/s13102-024-00982-7
.۱٤ Lopez P, Radaelli R, Taaffe D, Galvão D, Newton R, Nonemacher E, et al. Moderators of Resistance Training Effects in Overweight and Obese Adults: A Systematic Review and Meta-analysis. Medicine & Science in Sports & Exercise. ۲۰۲۲;.۱٦-٥٤:۱۸۰٤
https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002984
.۱٥ Chávez-Guevara I ,Amaro-Gahete F, Ramos-Jiménez A, Brun J. Toward Exercise Guidelines for Optimizing Fat Oxidation During Exercise in Obesity: A Systematic Review and Meta-Regression. Sports Medicine. ۲۰۲۳;.٤۱٦-٥۳:۲۳۹۹
https://doi.org/10.1007/s40279-023-01897-y
.۱٦ Kantor MA, Cullinane EM, Sady SP, Herbert PN, Thompson PD. Exercise acutely increases high density lipoprotein-cholesterol and lipoprotein lipase activity in trained and untrained men. Metabolism. ۱۹۸۷;۳٦(۲):.۹۲-۱۸۸
https://doi.org/10.1016/0026-0495(87)90016-3

.۱۷ Ferguson M, Alderson N, Trost S, Essig D, Burke J, Durstine J. EFFECTS OF FOUR DIFFERENT EXERCISE SESSIONS ON PLASMA LIPOPROTEIN LIPASE ACTIVITY ۷۴۳. Medicine & Science in Sports & Exercise. ۱۹۹۷;۲۹(۵):.۱۲۹
https://doi.org/10.1152/jappl.1998.85.3.1169
.۱۸ Trindade F, Sopić M, Davies MJ, Tsatsanis C, Pinet F, Ferreira HB, et al. Relevance of pre-analytical factors in multiomics: Toward a standardized blood processing protocol. TrAC Trends in Analytical Chemistry. .۲۰۲۶:۱۱۸۶۷۶
https://doi.org/10.1016/j.trac.2026.118676
.۱۹ Farsi S, Ghahramani M. Molecular adaptations of lipolysis to physical activity. Journal of Basic Research in Medical Sciences. ۲۰۲۰;۷(۱):.۹-۱
https://doi.org/10.31083/j.rcm2276556
.۲۰ Wheless A ,Gunn KH, Neher SB. Macromolecular interactions of lipoprotein lipase (LPL). Macromolecular protein complexes V: structure and function. .۷۹-۲۰۲٤:۱۳۹
https://doi.org/10.1007/978-3-031-58843-3_8
.۲۱ Izquierdo M. REGIONAL FAT CHANGES INDUCED BY LOCALIZED MUSCLE ENDURANCE RESISTANCE TRAINING.
https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31827e8681
.۲۲ Ong JM, Simsolo RB, Saghizadeh M, Goers JW, Kern PA. Effects of exercise training and feeding on lipoprotein lipase gene expression in adipose tissue, heart, and skeletal muscle of the rat. Metabolism. ۱۹۹٥;٤٤(۱۲):.٦٠٥-١٥٩٦
https://doi.org/10.1016/0026-0495(95)90081-0
.۲۳ Kimball TJ, Childs MT, Applebaum-Bowden D, Sembrowich WL. The effect of training and diet on lipoprotein cholesterol, tissue lipoprotein lipase and hepatic triglyceride lipase in rats. Metabolism. ۱۹۸۳;۳۲(٥):.٥٠۳-٤۹۷
https://doi.org/10.1016/0026-0495(83)90013-6
.۲٤ Banks NFR, Emily M.۱; Sciarrillo, Christina M.۲; Koemel, Nicholas A.۳; Keirns, Bryant H.۲; Helwig, Nathaniel J.۲; Emerson, Sam R.۲; Jenkins, Nathaniel DM۱. Neither Resistance Or Aerobic Training Improve Postprandial Lipemia Or Glycemia In Post-menopausal Women. ٦۷ Medicine & Science in Sports & Exercise ٥٤(۹S). ۲۰۲۲;p.۹
https://doi.org/10.1249/01.mss.0000875152.52501.03
.۲٥ Grandjean PW, Crouse SF, Rohack JJ. Influence of cholesterol status on blood lipid and lipoprotein enzyme responses to aerobic exercise. Journal of Applied Physiology. ۲۰۰۰;۸۹(۲):-٤۷۲ .۸۰
https://doi.org/10.1152/jappl.2000.89.2.472
.۲٦ Lopez P, Taaffe DR, Galvão DA, Newton RU, Nonemacher ER ,Wendt VM, et al. Resistance training effectiveness on body composition and body weight outcomes in individuals with overweight and obesity across the lifespan: A systematic review and meta-analysis. Obesity Reviews. ۲۰۲۲;۲۳(٥):e.۱۳٤۲۸
https://doi.org/10.1111/obr.13428?utm_source=chatgpt.com
.۲۷ Bae JY. Resistance exercise regulates hepatic lipolytic factors as effective as aerobic exercise in obese mice. International journal of environmental research and public health. ۲۰۲۰;۱۷(۲۲):.۸۳۰۷
https://doi.org/10.3390/ijerph17228307
.۲۸ Paoli A. The influence of physical exercise, ketogenic diet, and time-restricted eating on De novo lipogenesis: a narrative review. Nutrients. ۲۰۲٥;۱۷(٤):.٦٦۳
https://doi.org/10.3390/nu17040663

نسخه پیش انتشار

.۲۹ Brouwers B, Hesselink M, Schrauwen P, Schrauwen-Hinderling V. Effects of exercise training on intrahepatic lipid content in humans. Diabetologia. ۲۰۱٦;.۷۹-۵۹:۲۰٦۸
https://doi.org/10.1007/s00125-016-4037-x
.۳۰ Slentz C, Bateman L, Willis L, Shields A, Tanner C, Piner L, et al. Effects of aerobic vs. resistance training on visceral and liver fat stores, liver enzymes, and insulin resistance by HOMA in overweight adults from STRRIDE AT/RT. American journal of physiology Endocrinology and metabolism. ۲۰۱۱;.۵ ۳۰۱
https://doi.org/10.1152/ajpendo.00291.2011
.۳۱ Alireza S, Sobhani V, Chehreh MEG, Alavian S, Zaree A. Effect of Aerobic and Resistance Exercise Training on Liver Enzymes and Hepatic Fat in Iranian Men With Nonalcoholic Fatty Liver Disease. Hepatitis Monthly. ۲۰۱۵;.۱۵
https://doi.org/10.5812/hepatmon.31434
.۳۲ Charatcharoenwitthaya P, Kuljiratitikal K, Aksornchanya O, Chaiyasoot K, Bandidniyamanon W, Charatcharoenwitthaya N. Moderate-Intensity Aerobic vs Resistance Exercise and Dietary Modification in Patients With Nonalcoholic Fatty Liver Disease: A Randomized Clinical Trial. Clinical and Translational Gastroenterology. ۲۰۲۱;.۱۲
https://doi.org/10.14309/ctg.0000000000000316
.۳۳ Bae J. Resistance Exercise Regulates Hepatic Lipolytic Factors as Effective as Aerobic Exercise in Obese Mice. International Journal of Environmental Research and Public Health. ۲۰۲۰;.۱۷
https://doi.org/10.3390/ijerph17228307
.۳٤ Zhao L, Xu X. Effect of aerobic and resistance exercise on fatty liver in mice model: ۲۵۷۸ board# ۲٤۲may ۱۱ ۳۱: ۰۰am-۱۲: ۳۰pm. Medicine & Science in Sports & Exercise. ۲۰۱۹;۵۱(٦S):.-۷۱۸
https://doi.org/10.1249/01.mss.0000562639.68532.15
.۳۵ Bellicha A, van Baak MA, Battista F, Beaulieu K, Blundell JE, Busetto L, et al. Effect of exercise training on weight loss, body composition changes, and weight maintenance in adults with overweight or obesity: An overview of ۱۲systematic reviews and ۱٤۹studies. Obesity Reviews. ۲۰۲۱;۲۲:e.۱۳۲۵٦
https://doi.org/10.1111/obr.13256
.۳٦ Farsi SaMG. Molecular adaptations of lipolysis to physical activity. Journal of Basic Research in Medical Sciences,. ۲۰۲۰;.۷
https://doi.org/۱۰.۳۲۵۹۸۳/j.rcm۲۲۷٦۵۵٦

نسخه پیش انتشار