پژوهش‌های فیزیولوژی و مدیریت در ورزش
دورهٔ ۱۷، شمارهٔ ۱، بهار ۱۴۰۴
ص ص : ۲۲۰ – ۲۰۵

The Effect of Four Weeks of High-Intensity Interval Training with Lemon Supplementation on Selected Hematological Blood Indices, Plasma Lipid Profile, Fat Oxidation, and Anaerobic and Aerobic Capacity in Obese Women

Sahar Maaroufi[1], Khadijeh Irandoust[2] *, Ebrahim Shaabani Ezdini[3]
1. Master of exercise Physiology, Sport Sciences Department, Faculty of Social Sciences, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran 2. Associate Professor, Sport Sciences Department, Faculty of Social Sciences, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran 3. Ph.D candidate, Sport Sciences Department, Faculty of Social Sciences, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran
(Received:2025/3/1; Accepted:2025/6/18)

Abstract
This study aimed to investigate the effect of four weeks of high-intensity interval training (HIIT) combined with lemon supplementation on hematological indices, plasma lipid profile, fat oxidation, and anaerobic and aerobic power in obese women. In this quasi-experimental design, 32 obese women (mean age: 34.62 ± 8.49 years; BMI: 32.10 ± 3.44 kg/m²) were randomly assigned to four groups (n=8 each): 1) Lemon supplement, 2) HIIT, 3) HIIT + lemon supplement, and 4) Control. The intervention groups received lemon supplementation (capsule form) and/or completed 4 weeks of HIIT (3 sessions/week). Blood samples, body composition, anaerobic power, VO2max, and fat oxidation were assessed pre- and post-intervention. ANCOVA and Bonferroni tests (SPSS 23; $P<0.05$) revealed no significant changes in hematological indices (RBC, Hb, HCT; $P>0.05$). Both HIIT alone and combined intervention significantly improved anaerobic power ($P<0.05$), while only the combined group showed significant improvements in BMI, total cholesterol, VO2max, and resting fat oxidation ($P<0.05$). These findings suggest that four weeks of HIIT combined with lemon supplementation improves metabolic and performance markers in obese women without affecting hematological parameters.

Keywords
Aerobic capacity, Fat oxidation, High-intensity interval training, Lemon supplementation, Lipid profile, Obese women.

Corresponding author: irandoust@soc.ikiu.ac.ir

پژوهش‌های فیزیولوژی و مدیریت در ورزش
دورهٔ ۱۷، شمارهٔ ۱، بهار ۱۴۰۴
ص ص : ۲۲۰ – ۲۰۵

تأثیر چهار هفته تمرینات تناوبی شدید همراه با مصرف مکمل لیموترش بر برخی شاخص‌های هماتولوژیکی خون، پروفایل چربی پلاسما، اکسیداسیون چربی، توان بی‌هوازی و هوازی زنان چاق

سحر معروفی [۱]، خدیجه ایران‌دوست [۲*]، ابراهیم شعبانی از دینی [۳]

۱. کارشناسی‌ارشد، گروه علوم ورزشی، دانشکده علوم‌اجتماعی، دانشگاه بین المللی امام‌خمینی، قزوین، ایران ۲. دانشیار، گروه علوم ورزشی، دانشکده علوم‌اجتماعی، دانشگاه بین المللی امام‌خمینی، قزوین، ایران ۳. دانشجوی‌دکتری، گروه علوم ورزشی، دانشکده علوم‌اجتماعی، دانشگاه بین المللی امام‌خمینی، قزوین، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۱۱، تاریخ تصویب: ۱۴۰۴/۳/۲۹)

چکیده

هدف از پژوهش حاضر تأثیر تأثیر چهار هفته تمرینات تناوبی شدید همراه با مصرف مکمل لیموترش بر برخی شاخص‌های هماتولوژیکی خون، پروفایل چربی پلاسما، اکسیداسیون چربی، توان بی‌هوازی و هوازی زنان چاق بود. در این پژوهش نیمه تجربی ۳۲ زن چاق (با میانگین سنی ۸/۴۹ ±۳۴/۶۲ سال، قدی ۴/۳۸ ± ۱۶۰/۹۳ سانتی‌متر، وزنی ۱۰/۴۶ ± ۸۳/۲۵ کیلوگرم و شاخص توده بدنی ۳/۴۴ ± ۳۲/۱۰ کیلوگرم بر مترمربع) به‌طور تصادفی به چهار گروه ۸ نفره شامل؛ ۱: مکمل لیمو، ۲: تمرین تناوبی شدید، ۳: مکمل لیمو + تمرین تناوبی شدید و ۴: کنترل تقسیم شدند. مکمل لیموترش به‌صورت کپسول برای گروه‌های مربوطه ارائه شد. تمرینات تناوبی شدید به‌مدت ۴ هفته، ۳ جلسه در هفته ارائه شد. قبل و ۴۸ ساعت بعد از مداخلات نمونه‌گیری خونی، ارزیابی‌های ترکیب بدنی، توان بی‌هوازی، حداکثراکسیژن مصرفی و اکسیداسیون چربی انجام شد. تحلیل آماری با آزمون کوواریانس و بونفرونی در سطح ($P < 0/05$) در نرم‌افزار SPSS23 انجام گردید. نتایج نشان داد تفاوت معنی‌داری بین گروه‌ها در شاخص‌های هماتولوژیکی (RBC, HB, HCT) وجود نداشت. ($p>0.05$). تمرین تناوبی با شدت بالا و مکمل لیمو باعث بهبود توان بی‌هوازی شد ($p < 0.05$) این در حالی بود که برای شاخص توده بدنی، کلسترول تام، حداکثراکسیژن مصرفی و اکسیداسیون چربی در حالت استراحت فقط در گروه تمرین-مکمل لیمو بهبود معنی‌داری مشاهده شد ($p < 0.05$). بر اساس یافته‌ها ۴ هفته تمرین تناوبی شدید همراه با مصرف مکمل لیمو، بدون تغییر معنی‌دار شاخص‌های هماتولوژیکی، نقشی مؤثر بر شاخص توده بدنی، حداکثراکسیژن مصرفی، توان‌بی‌هوازی، اکسیداسیون چربی و کلسترول تام زنان چاق دارد.

واژه‌های کلیدی

اکسیداسیون چربی، پروفایل چربی، تمرین تناوبی شدید، زنان چاق، ظرفیت هوازی، مکمل لیموترش.

* نویسنده مسئول: irandoust@soc.ikiu.ac.ir

مقدمه

چاقی یک مسئله مهم بهداشت جهانی است که صدها میلیون نفر را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد که از عوامل اصلی تأثیرگذار آن سبک زندگی ناسالم، انتخاب‌های غذایی نامناسب و کاهش فعالیت بدنی درنظر گرفته می‌شود (۱) که به طورکلی با تجمع بیش از حد چربی در بدن تعریف می‌شود و معمولاً با استفاده از شاخص توده بدنی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (۱). این وضعیت به‌عنوان یک نگرانی اولیه بهداشت عمومی از آنجایی بیشتر اهمیت پیدا می‌کند که علی‌رغم تلاش‌های مختلف درمانی و پیشگیری، شیوع و شدت چاقی همچنان رو به وخامت است (۲). همچنین شواهد بسیاری وجود دارد که چاقی و اضافه‌وزن زمینه ابتلا به بسیاری از بیماری‌ها مانند بیماری قلبی، سکته مغزی، دیابت نوع ۲ و سندروم متابولیک است (۳، ۴). از طرفی هم مسئله چاقی یک موضوع سلامتی چندوجهی است که به طور قابل توجهی بر پارامترهای مختلف فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی تأثیر می‌گذارد. مطالعات نشان می‌دهند چاقی می‌تواند منجر به افزایش توده گلبول قرمز به‌دلیل التهاب مزمن و هیپوکسی شود که درنهایت با تحریک آن همراه است و سبب افزایش سطح هموگلوبین و هماتوکریت می شود که منعکس کننده یک پاسخ جبرانی به افزایش حجم خون و نیاز به اکسیژن ناشی از بافت چربی اضافی است (۵، ۶). این افزایش حجم در گلبول‌های قرمز ممکن است افزایش خطر بیماری‌های قلبی را به‌همراه داشته باشد، زیرا سطح هماتوکریت بالا می‌تواند با افزایش ویسکوزیته خون، فشار بر قلب را دوچندان کند (۷، ۸). ازطرف‌دیگر، افزایش سطح تری‌گلیسیرید به‌دلیل افزایش ترشح اسید چرب از بافت چربی و کاهش پاک‌سازی کبد اتفاق می‌افتد (۹،۱۰). این دیس لیپیدمی یک عامل خطر قابل توجه برای بیماری های قلبی عروقی است که اغلب با سطوح پایین‌تر لیپوپروتئین با چگالی بالا[1]همراه است که نقش محافظتی در برابر بیماری قلبی ایفا می‌کند. برعکس، سطوح لیپوپروتئین با چگالی کم[2] ممکن است در افراد چاق افزایش یابد که افزایش خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی عروقی را به‌همراه خواهد داشت (۱۱). ازطرف‌دیگر، چاقی ممکن است اکسیداسیون چربی را مختل کند که وابستگی بیشتری به کربوهیدرات‌ها برای انرژی در طول فعالیت‌های بدنی ایجاد می‌کند. این تغییر متابولیک می‌تواند منجر به کاهش استقامت و عملکرد در حالت هوازی و بی‌هوازی شود (۱۲). ظرفیت هوازی که نشان دهنده توانایی بدن در استفاده از اکسیژن در طول فعالیت‌های طولانی است، به طور کلی در افراد چاق به‌دلیل افزایش وزن بدن و تغییر عملکرد قلبی عروقی کمتر است. علاوه بر این توان بی‌هوازی نیز ممکن است تحت‌تأثیر منفی افزایش خستگی و کاهش کارایی عضلانی مرتبط با چاقی قرار گیرد (۱۳، ۱۴). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که عدم مدیریت چاقی و اضافه‌وزن، می‌تواند عوارض بسیاری در فرایندهای فیزیولوژیکی داشته باشد (۱۵). کشور ما هم از این قاعده مستثنا نیست، جعفری و همکاران (۲۰۱۴) در دهه نود شمسی میزان شیوع چاقی در بزرگ‌سالان را ۷/۵ درصد گزارش کردند (۱۶). در این بین شواهد نشان داده است که زنان بیشتر از مردان در معرض چاقی هستند، بنابراین جامعه زنان نیازمند توجه بیشتری است (۱۷). به همین دلیل و با توجه به مشکلات و عوارض چاقی و اضافه‌وزن، صاحب‌نظران در این حیطه همواره به روش‌های غیر دارویی مانند ورزش و فعالیت بدنی برای کاهش وزن و پیشگیری از بیماری‌های مرتبط با چاقی تأکید کرده‌اند (۱۸). فعالیت بدنی و ورزش از آنجایی که اثرات همه جانبه مانند تأثیرات مثبتی در بهبود عملکرد قلبی عروقی و تنفسی، کاهش عوامل بیماری

[1] HDL

[2] LDL

سرخرگ کرونری، کاهش اضطراب، استرس، بهبود آمادگی جسمانی، افزایش حس شادی و سلامتی را به‌دنبال دارد اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کنند (۱۹). با این حال اینکه کدام شیوه تمرینی بیشترین تأثیر بر بهبود وضعیت چاقی همراه با اثرات فیزیولوژیکی و عملکرد را دارد همیشه سؤال بوده است، چراکه هر نوع از ورزش با شدت و حجم متفاوت می تواند اثرات متنوعی به‌همراه داشته باشد (۲۰). تمرینات تناوبی شدید[۱] یکی از استراتژی‌های تمرینی است که امروزه به‌طور فزاینده‌ای مورد توجه قرار گرفته است. این تمرینات شامل دوره‌های کوتاه متناوب هوازی شدید با دوره‌های ریکاوری است که ضربان قلب را برای چند دقیقه در یک‌زمان مشخص افزایش می‌دهد (۲۱). نشان داده شده است که تمرین تناوبی شدید برای کاهش وزن و چربی در مقایسه با تمرین مداوم با شدت متوسط در افراد چاق مؤثرتر است. این اثرات احتمالاً به‌دلیل افزایش اکسیداسیون چربی و مصرف بیش از حد اکسیژن پس از تمرین از تمرینات تناوبی است (۲۲). از طرفی‌هم مشخص شده است که با بهبود شاخص‌های هماتولوژیکی (افزایش قابل توجه در سطح هموگلوبین و هماتوکریت) (۲۳)، پروفایل لیپیدی (کاهش تری‌گلیسرید، کلسترولLDL، کلسترول تام و افزایش کلسترول HDL)(۲۴) همراه است. علاوه بر این نیز میزان اکسیداسیون چربی (۲۵)، حداکثراکسیژن مصرفی (۲۶) و توان بی‌هوازی (۲۷) با تمرینات تناوبی با شدت بالا بهبود می‌یابد. ازطرفی مکمل‌های غذایی و ورزشی به‌شدت مورد توجه قرار گرفته‌اند چرا که با اثرات و فوایدی که دارند باعث بهبود بهتر در اثرات تمرین ورزش می‌شوند (۲۸). یکی از این مکمل‌ها که توجه بسیاری را به خود جلب کرده مکمل لیموترش است که حاوی ترکیبات فعال زیستی است که در نهایت سبب بهبود وضعیت و عملکرد ورزشی می‌شود (۲۹، ۳۰). همچنین اثرات سلامتی و متابولیسمی بسیاری از این مکمل مشاهده شده است (۳۱). لیموترش به‌دلیل داشتن ترکیبات فیتوشیمیایی مفید مانند فلاونوئیدها و ویتامین C، دارای اثرات دارویی و سلامت‌بخش متعددی است. بر اساس مطالعات انجام‌شده، لیموترش دارای خواص آنتی‌اکسیدان، ضدالتهابی و کاهنده لیپیدهای خون است که می‌تواند در پیشگیری از بیماری‌های قلبی-عروقی و مدیریت استرس اکسیداتیو مؤثر باشد (۳۲، ۳۳). علاوه بر این جاناو و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که لیمو دارای خواص بسیاری مانند ضد میکروبی، ضد قارچی، ضد سرطانی، تصفیه‌کننده، ضد اسکوربوت و غیره است (۳۲). همچنین مصرف ترکیبی لیموترش با مواد دیگر مانند چای سبز می‌تواند بهبود بیشتری در شاخص‌های استرس اکسیداتیو و لیپیدی ایجاد کند که در نمونه‌های دریافت‌کننده رژیم غذایی پرچرب مشاهده شده است (۳۴). علاوه بر این، نشان داده شده است که ترکیبات موجود در لیمو، به‌ویژه فلاونوئیدها، می‌توانند فعالیت آنزیم‌های دخیل در بتا-اکسیداسیون اسیدهای چرب را افزایش داده و در نتیجه منجر به افزایش چربی‌سوزی شوند. همچنین، ممکن است با تنظیم مسیرهای سیگنالینگ مربوط به متابولیسم لیپیدها، مانند فعال‌سازی پروتئین کیناز B[۲]، به کاهش تجمع چربی در بافت‌ها کمک کنند (۳۵). علی‌رغم پژوهش‌های بسیاری که در زمینه اثرات و فواید تمرینات تناوبی با شدت بالا و همین طور مکمل لیمو ترش در بهبود وضعیت متابولیسمی و سلامتی کلی انجام شده است، پژوهشی در رابطه با اثرات هم‌افزایی تمرین تناوبی با شدت بالا و مصرف مکمل لیمو ترش انجام نشده است. بنابراین بنابراین با توجه و عنایت به محدودیت مطالعات کافی در ترکیب این تمرین تناوبی با شدت بالا و مکمل لیموترش و لزوم توجه ویژه به جمعیت زنان هدف از پژوهش حاضر بررسی تاثیر چهار هفته

[۱] HIIT

[۲] AMPK

تمرینات تناوبی شدید همراه با مصرف مکمل لیموترش بر برخی شاخص‌های هماتولوژیکی خون، پروفایل چربی پلاسما، اکسیداسیون چربی، توان بی‌هوازی و هوازی زنان چاق است.

روش‌شناسی پژوهش

مطالعه حاضر از نوع طرح‌های نیمه تجربی با اندازه گیری دومرحله‌ای پیش‌آزمون- پس‌آزمون گروه کنترل بود. جامعه آماری این تحقیق، شامل زنان سالم و غیرفعال ۴۰ -۲۵ ساله مبتلابه چاقی شهر قزوین بود که شرکت‌کنندگان از طریق نمونه‌گیری در تصادفی با استفاده از فراخوان در سطح فضای مجازی (شبکه‌های اینستاگرام و تلگرام)، اماکن عمومی (ناحیه ۱ و ۲ و ۳ شهر قزوین)، انتخاب شدند. فراخوان به‌شکل یک پیام با توضیحات در رابطه با فرایند پژوهش و زمان‌بندی آن در فضای مجازی و همین طور به صورت پوستر در اماکن عمومی (نواحی پرتردد شهر مانند مراکز خرید) توزیع گردید. در ابتدا ۵۵ نفر داوطلب شرکت در پژوهش بودند. معیارهای ورود شامل: (الف) زنان سالم ۲۵ تا ۴۰ سال، (ب) شاخص توده بدنی بالای ۲۹ کیلوگرم بر مترمربع، (ج) غیرفعال بودن و عدم مشارکت منظم در فعالیت‌ها و تمرینات طی ۶ ماه قبل از مطالعه و همچنین معیارهای خروج شامل (الف) تغییر وزن بیشتر از ۲ کیلوگرم در طی ۶ ماه قبل از مطالعه، (ب) پیروی از یک برنامه (رژیم غذایی) کاهش وزن در طی ۶ ماه قبل از مطالعه، (ج) استفاده از مکمل‌های غذایی و داروها در طول ۶ ماه قبل از مطالعه، (د) سابقه اختلالات غدد درون‌ریز یا متابولیک و همچنین بیماری‌های مزمن یا سابقه خانوادگی مرگ‌ومیر قلبی زودرس و دیابت (بیماری‌های مزمن یا حاد سیستم حرکتی، سیستم قلبی عروقی یا دستگاه تنفسی، سردرد مزمن یا میگرن)، (ن) افسردگی یا سایر اختلالات روحی اختلالات، (و) سیگار کشیدن و بارداری یا در دوره شیردهی و (ه) عدم شرکت منظم آزمودنی‌ها در برنامه‌های موردنظر مطالعه بود. درنهایت با توجه به معیارهای ورود و خروج ۳۲ نفر از آن‌ها انتخاب و وارد روند پژوهش شدند که به‌طور تصادفی به چهار گروه (۱) گروه تمرین تناوبی با شدت بالا (هشت نفر)، (۲) گروه مکمل لیمو + تمرین تناوبی با شدت بالا (هشت نفر)، (۳) گروه مکمل لیمو (هشت نفر) و (۴) گروه کنترل (هشت نفر) تقسیم شدند. شرکت‌کنندگان پس از اطلاع از شرایط تحقیق، فرم رضایت‌نامه شخصی شرکت در پژوهش و همچنین. پرسش‌نامه ارزیابی آمادگی برای فعالیت جسمانی(۳۶)[1] به‌منظور اندازه‌گیری سطح فعالیت بدنی را تکمیل کردند. در ابتدا، یک روز قبل از اندازه‌گیری پیش‌آزمون از همه شرکت‌کنندگان خواسته شد تا برنامه غذایی آن روز را ثبت کنند (به‌منظور کنترل بیشتر در برنامه غذایی و نوع تغذیه) و یک روز بعد در زمان مشخص (ساعت ۸ تا ۱۰ صبح به‌صورت ناشتا) به‌جهت اندازه‌گیری شاخص‌های هماتولوژیکی، پروفایل چربی پلاسما و ترکیب بدنی، توان بی‌هوازی، نرخ اکسیداسیون لیپید و حداکثراکسیژن مصرفی با آزمون بروس به آزمایشگاه مراجعه کردند. علاوه بر این، شرکت‌کنندگان باید در طول دوره مداخله رژیم غذایی، عادات و فعالیت‌های بدنی روزانه خود را حفظ می‌کردند. به همین منظور پرسش‌نامه بسامد خوراک سه‌روزه (۳۷) (۲ روز هفته و ۱ روز آخر هفته، مصرف مواد غذایی و آشامیدنی) توزیع شده و به هر شرکت‌کننده با توجه به گروه‌های مربوطه مداخلات تمرینی و مکملی ارائه شد. از گروه کنترل خواسته شد همانند روزهای گذشته روال عادی زندگی خود را داشته باشند و از انجام فعالیت‌های بدنی شدید یا مصرف مکمل‌های خاص (مکمل‌های تغذیه‌ای، ویتامین‌ها و مکمل‌های ورزشی)

[1] Physical Activity Readiness Questionnaire

خودداری کنند. پس از اتمام دوره مداخله مجدداً همه گروه ها برای انجام ارزیابی‌ها در مرحله پس آزمون، ۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه تمرینی به آزمایشگاه مراجعه کردند.

برنامه تمرینی

گروه‌های تمرینی چهار هفته تمرین تناوبی شدید را با شدت ۱۹ الی ۲۰ میزان درک فشار ۱مقیاس بورگ[۲]اجرا کردند که شدت تمرین برای هر آزمودنی به‌صورت جداگانه محاسبه می‌شد. جلسات تمرینی ابتدا با ۱۵ دقیقه گرم کردن عمومی جهت افزایش ضربان قلب تا حد مطلوب اجرا می‌شد. گروه‌های تمرینی یک مسیر تعیین‌شده‌ی ۲۰ متری را با حداکثر سرعت به‌صورت رفت و برگشتی می‌دویدند. هر جلسه شامل چهار ست ۳۰ ثانیه‌ای دویدن با شدت ۱۹-۲۰ میزان درک فشار مقیاس بورگ و با استراحت دودقیقه‌ای بین ست‌ها بود. دو گروه ۳ بار در هفته و به‌مدت ۴ هفته تمرینات را انجام دادند. پایان هر جلسه تمرین هم صرف ۱۰ دقیقه سرد کردن می‌شود. زمان هر جلسه (تمرین اصلی) ۱۰ دقیقه به طول انجامید و جلسات حداقل ۴۸ ساعت از هم جدا شدند. هر شرکت‌کننده تمام جلسات آموزشی را در یک ساعت مشخص روز انجام داد. شرکت کنندگان در چهار هفته تمرین، ۲۴ دقیقه دویدن (با حداکثر سرعت) با شدت ۱۹ -۲۰ مقیاس بزرگ و با در نظر گرفتن مجموع ۹۶ دقیقه استراحت حاصل از استراحت‌های بین ست‌ها، مجموعاً، دو ساعت را برای تمرین صرف کردند. آزمودنی‌های گروه کنترل در طول این چهار هفته هیچ‌گونه فعالیتی نداشتند (۳۸). با توجه به تمرینات در شدت بالا، ممکن بود اضافه کردن بار و شدت برای شرکت‌کنندگان به دلیل وضعیت بدنی آسیب‌هایی را به‌همراه داشته باشد و قادر به انجام دادن آن نباشند، به همین دلیل در ۴ هفته هیچ اضافه باری اعمال نگردید.

مصرف مکمل

مکمل‌های لیموترش (به‌صورت کپسول نرم، ساخت شرکت باریج اسانس) در اختیار آزمودنی‌های گروه‌های مکمل و تمرین+مکمل قرار گرفت و از آن‌ها خواسته شد به مدت چهار هفته روزانه دو بار، قبل از نهار و شام مصرف کنند. (دو عدد پرل ۲۵ میلی‌گرمی) (۳۹).

جمع‌آوری و ارزیابی متغیرها

۴۸ ساعت قبل از اولین جلسه تمرین، در حالت ۱۲ ساعت ناشتایی شبانه، از آزمودنی‌ها نمونه‌خونی در مرحله پیش‌آزمون، به میزان ۵ سی‌سی از ورید قد امی بازویی، توسط متخصص خون‌گیری آزمایشگاه گرفته شد. در مرحله پس‌آزمون نیز ۴۸ ساعت بعد از آخرین‌جلسه تمرینی نمونه گیری با شرایط مشابه مرحله پس‌آزمون انجام شد. به‌جهت جداسازی سرم نمونه‌ها با دور RMP3000 در مدت ۱۰ دقیقه سانترفیوژ شدند و سرم برای تحلیل‌های بعدی شاخص‌های مورد نظر تحقیق در دمای ۸۰- درجه سانتیگراد در فریز نگهداری شد. سطوح سرمی کلسترول، تری‌گلیسیرید، کلسترول HDL (C-HDL) و کلسترول LDL (C-LDL) به‌وسیله دستگاه اتوآنالایزر و با استفاده از کیت‌های تجاری شرکت پارس اندازه‌گیری شدند. هموگلوبین با استفاده از کیت Totalhemoglobin با روش کلومتریک ساخت شرکت زیست‌شیمی، گلبول‌های قرمز و هماتوکریت نیز با استفاده از روش شمارش سلولی اتوماتیک مورد ارزیابی قرار گرفتند. کلسترول تام کلسترول تام با استفاده فرمول زیر محاسبه شد (۴۰)

کلسترول تام (TC) =HDL-C+LDL-C+0.2×تری‌گلیسرید (TG)

[۱]Rated perceived Exertion

[۲]RPE

ترکیب بدنی با دستگاه ترکیب بدن، مدل زئوس ساخت کره‌جنوبی، توان بی‌هوازی با آزمون وینگیت-چرخ کارسنج مونارک، مدل(E737، نرخ اکسیداسیون لیپید و حداکثراکسیژن مصرفی با دستگاه تجزیه تحلیل گازهای تنفسی,Cortex3b MetaMax ساخت کشور آلمان ارزیابی شد. برای محاسبه میزان اکسیداسیون چربی از فرمول‌های عنصر سنجی فراین (۴۱) استفاده گردید.

= VO2 (L/min) × 1/67 – VCO2 (L/min) × 1/67 اکسیداسیون چربی

تجزیه تحلیل آماری

از آمار توصیفی (میانگین و انحراف‌معیار) برای توصیف داده‌ها استفاده شد. آزمون شاپیروویلک برای بررسی نرمال بودن داده‌ها، آزمون لون برای بررسی همگنی واریانس‌ها استفاده شد. همچنین شیب خط رگرسیون نیز برای بررسی پیش‌شرط‌های آزمون تحلیل کوواریانس مورد بررسی قرار گرفت. از تحلیل کوواریانس برای بررسی تفاوت بین‌گروه‌ها و همچنین آزمون تعقیبی بونفرونی برای تعیین معنادار بودن تفاوت میانگین متغیرهای اندازه‌گیری شده بین گروه‌ها استفاده شد. سطح معنی‌داری $p\leq0/05$ در نظر گرفته شد. آنالیز آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel2016 نسخه 8.4.4 انجام شد.

یافته‌ها

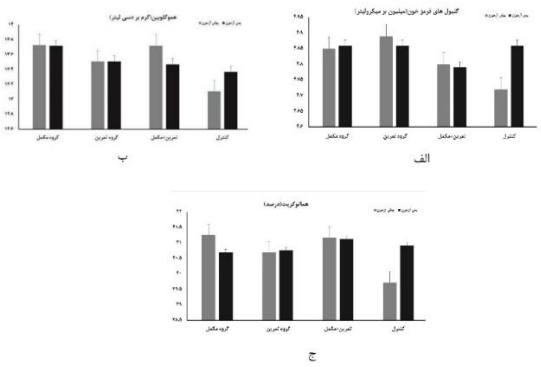
در جدول ۱. میانگین ویژگی‌های دموگرافیک آزمودنی ها در ۴ گروه آورده شده است. مقایسه گروه‌ها نشان داد که گروه‌ها از نظر ویژگی‌های دموگرافیک تفاوت معنی‌داری ندارند ($p>۰/۰۵$).

جدول ۱. میانگین ویژگی‌های دموگرافیک آزمودنی‌ها در ۴ گروه

متغیر	گروه‌ها			
	مکمل (۸ نفر)	تمرین (۸ نفر)	مکمل + تمرین (۸ نفر)	کنترل (۸ نفر)
سن (سال)	۳۱/۵±۸۷/۴۵	۳۶/۷±۲۵/۰۸	۳۱/۷±۷۵/۲۴	۳۸/۸±۵۰/۵۶
وزن (کیلوگرم)	۸۴/۷±۷۷/۷۶	۸۵/۱۳±۳۱/۶۷	۸۶/۹±۷۶/۴۷	۸۴/۸±۷۸/۳۳
قد (سانتی‌متر)	۱۶۱/۳±۸۷/۲۲	۱۶۱/۴±۶۲/۳۰	۱۶۴/۴±۴۴/۵۳	۱۶۳/۵±۲۵/۵۴
شاخص توده بدنی (کیلوگرم بر مترمربع)	۳۲/۲۰±۰۴/۰۷	۳۳/۴±۰۸/۳۰	۳۳/۳±۸۷/۷۸	۳۱/۲±۰۸/۳۳

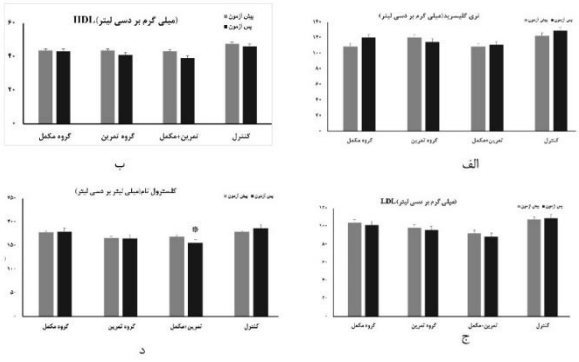
نتایج آزمون شاپیروویلک نشان داد توزیع داده‌های پیش‌آزمون و پس‌آزمون در گروه‌ها نرمال بوده است ($p>۰/۰۵$). همچنین، شرط برابری واریانس‌های گروه‌ها و همگنی شیب رگرسیون نیز برقرار است. با توجه به برقراری پیش‌شرط‌های آزمون تحلیل‌کوواریانس از این آزمون برای بررسی اختلاف داده‌های پس‌آزمون استفاده شد و داده‌های پیش‌آزمون به‌عنوان کووریت درنظرگرفته شد.

نتایج آزمون کوواریانس برای گلبول‌های قرمز (شکل ۱-الف) ($F_{3,32}=90.52, p=0.199$) ، هموگلوبین (شکل ۱-ب) ($F_{3,32}=89.12, p=0.510$) ، هماتوکریت (شکل ۱-ج) ($F_{3,32}=21.04, p=0.555$) نشان داد که هیچ اختلاف معنی‌داری بین گروه‌ها وجود ندارد.



شکل ۱. تغییرات مربوط به گلبول‌های قرمز خون (-الف)، سطح هموگلوبین (ب) و سطوح هماتوکریت (ج) در گروه‌های چهارگانه

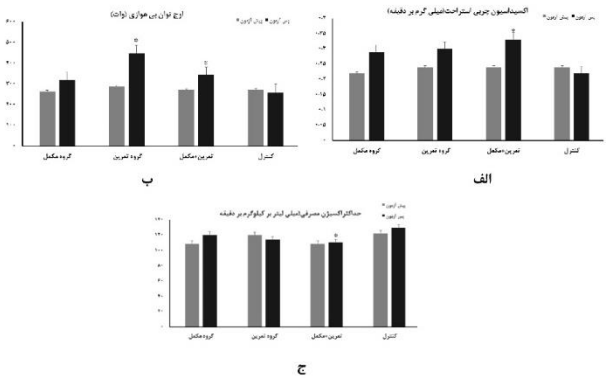
نتایج آزمون کوواریانس برای تری‌گلیسرید (شکل ۲-الف) ($F_{3,28}=0.28, p=0.834$) ، لیپوپروتئین کم‌چگال (شکل ۲-ب) ($F_{3,28}=1.22, p=0.322$) ، لیپوپروتئین پر چگال (شکل ۲-ج) ($F_{3,28}=1.84, p=0.163$) نشان داد که هیچ اختلاف معنی‌داری بین گروه‌ها وجود ندارد این در حالی بود که برای کلسترول تام (شکل ۲-د) ($F_{3,32}=3.49, p=0.029, \eta2=0.48$)اختلاف معنی داری مشاهده شد. نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی نشان داد که فقط بین گروه‌های کنترل و تمرین+مکمل اختلاف معنی‌داری وجود دارد ($p=0.023$).



شکل ۲. تغییرات مربوط بهتری گلیسرید (الف)، HDL (ب)، LDL (ج) و کلسترول تام (د) در گروه‌های چهارگانه

*: اختلاف معنی داری در سطح P<۰/۰۵ با گروه کنترل

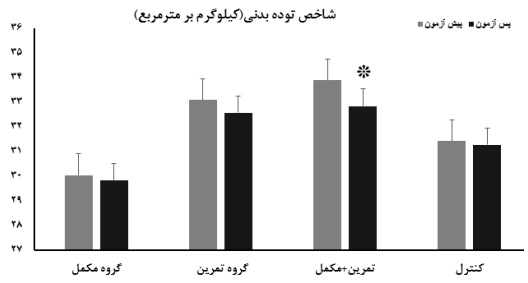
نتایج آزمون کوواریانس و آزمون تعقیبی بونفرونی برای اکسیداسیون چربی در مرحله استراحت (شکل ۳-الف) ($F_{3,32}=3.47, p=0.030, \eta2=0.49$) اختلاف معنی داری را فقط بین گروه تمرین مکمل با گروه کنترل نشان داد ($p=0.042$). در رابطه با توان بی‌هوازی (شکل ۳-ب) ($F_{3,32}=5.26, p=0.006, \eta2=0.61$) نیز اختلاف معنی داری بین گروه‌ها مشاهده شد که فقط بین گروه تمرین ($p=0.012$) و تمرین-مکمل ($p=0.020$) با گروه کنترل اختلاف معنی‌داری داشتند. برای حداکثراکسیژن مصرفی (شکل ۳-ج) نیز با مشاهده اختلاف معنی‌دار بین گروه‌ها ($F_{3,32}=3.01, p=0.048, \eta2=0.53$) فقط گروه تمرین مکمل با گروه کنترل ($p=0.044$) اختلاف معنی داری داشت.



شکل ۳. تغییرات مربوط به اکسیداسیون چربی (الف)، توان بی‌هوازی (ب)، حداکثراکسیژن مصرفی (ج) در گروه‌های چهارگانه

*: اختلاف معنی داری در سطح P<۰/۰۵ با گروه کنترل

نتایج آزمون کوواریانس و آزمون تعقیبی بونفرونی بیانگر اختلاف معنی‌داری در میانگین شاخص توده بدنی (شکل ۴)($F_{3,32}=3.93, p=0.018, \eta2=0.67$) در گروه‌ها بود. نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی بیانگر اختلاف معنی‌داری بین گروه‌های کنترل و تمرین+مکمل ($P=0.019$) بود.



شکل ۴. تغییرات مربوط به شاخص توده بدنی در گروه‌های چهارگانه

*: اختلاف معنی‌دار در سطح P<۰/۰۵ با گروه کنترل

بحث و نتیجه‌گیری

هدف از پژوهش حاضر بررسی تأثیر چهار هفته تمرینات تناوبی شدید همراه با مصرف مکمل لیموترش بر برخی شاخص‌های هماتولوژیکی خون، پروفایل چربی پلاسما، اکسیداسیون چربی، توان بی‌هوازی و هوازی زنان چاق بود. نتایج پژوهش حاضر در رابطه با شاخص‌های هماتولوژیکی برای گلبول‌های قرمز خون، سطح هموگلوبین و سطوح هماتوکریت نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین گروه‌ها مشاهده نشد، به‌عبارت‌دیگری مصرف مکمل لیموترش و تمرینات تناوبی شدید تأثیر معنی‌داری به‌همراه نداشت. در رابطه با پروفایل لیپیدی (تری‌گلیسرید، LDL،HDL و کلسترول تام) نتایج تنها بیانگر اختلاف معنی‌داری برای کلسترول تام بود. به‌عبارت‌دیگر تمرینات تناوبی شدید با مصرف هم‌زمان مکمل لیموترش تأثیر معنی‌داری بر کلسترول تام داشت. علاوه بر این، نتایج بیانگر این بود که توان بی‌هوازی با تمرین هوازی و تمرین-مکمل بهبود یافت این در حالی بود که برای اکسیداسیون چربی و حداکثراکسیژن مصرفی و شاخص توده بدنی تنها تمرین-مکمل باعث بهبود شد.

نتایج ما در مورد عدم تغییرات قابل توجه در پارامترهای خونی با مطالعه سارکار[1] و همکاران (۲۰۲۳) همخوانی دارد که نشان دادند تمرینات تناوبی با شدت بالا تأثیر قابل توجهی بر تعداد گلبول‌های قرمز، هموگلوبین یا هماتوکریت در ورزش‌کاران بازی‌های تیمی ندارد (۴۲). به‌طور مشابه، یاسترزبسکا[2] و همکاران (۲۰۱۷) هیچ تغییر قابل توجهی در پارامترهای آهن و خونی در بازیکنان جوان فوتبال که تحت تمرینات اینتروال با شدت بالا و مکمل ویتامین دی قرار گرفتند، مشاهده نکردند (۴۳). علاوه بر این، یافته‌های ما در مورد تغییرات پروفایل چربی، به‌ویژه کاهش قابل توجه کلسترول تام، با نتایج خانی و همکاران (۲۰۲۳) مطابقت دارد، آنان گزارش کردند دو هفته تمرینات تناوبی با شدت بالا با مکمل آویشن به‌طور مؤثر سطح کلسترول تام را در زنان چاق و دارای اضافه‌وزن کاهش می‌دهد (۴۴). برخلاف یافته‌های ما، حسینی و منظمی (۲۰۲۱) بهبود قابل توجهی در تمام پارامترهای پروفایل چربی، از جمله تری‌گلیسرید، HDL و LDL، پس از هشت هفته تمرینات متناوب با شدت بالا در نوجوانان سالم و کم‌تحرک دارای اضافه‌وزن مشاهده کردند (۴۵). این اختلاف ممکن است به دوره مداخله طولانی‌تر در مطالعه آنها نسبت داده شود. علاوه بر این، سارکار و همکاران (۲۰۲۳) تغییرات قابل توجهی در متغیرهای خونی پس از تمرینات اینتروال با شدت بالا با مکمل ویتامین C و E در مردان جوان گزارش کردند، که با نتایج ما مبنی بر عدم تغییرات قابل توجه در پارامترهای خونی مغایرت دارد (۴۶). این ناهمخوانی می‌تواند به‌دلیل تفاوت در مکمل‌های استفاده شده و ویژگی‌های فیزیولوژیکی شرکت‌کنندگان باشد. به طورکلی تمرینات تناوبی با شدت بالا به‌عنوان یک استراتژی مؤثر برای بهبود ترکیب بدن و آمادگی جسمانی در افراد دارای اضافه‌وزن ثابت شده است. بهبود قابل توجه در

[1] SARKAR

[2] Jastrzebska

ظرفیت بی‌هوازی که در مطالعه ما مشاهده شد، می‌تواند به ماهیت تمرینات تناوبی با شدت بالا نسبت داده شود، که سنتز مجدد فسفوکراتین، فعالیت آنزیم‌های گلیکولیتیک و ظرفیت بافری عضلات را افزایش می‌دهد (۴۷). در همین راستا تالانیان و همکاران (۲۰۰۲) نشان دادند که تنها دو هفته تمرینات تناوبی هوازی با شدت بالا به‌طور قابل توجهی ظرفیت اکسیداسیون چربی را در طول ورزش در زنان افزایش می‌دهد (۴۸)، که یافته‌های ما مبنی بر بهبود اکسیداسیون چربی در گروه تمرین مکمل را تأیید می‌کند. سازگاری‌های متابولیکی ناشی از تمرینات تناوبی با شدت بالا شامل افزایش بیوژنز میتوکندری، افزایش فعالیت آنزیم‌های اکسیداتیو و بهبود حساسیت به انسولین عضلات اسکلتی است، که همگی به افزایش اکسیداسیون چربی کمک می‌کنند (۴۹). بهبود قابل توجه در حداکثر مصرف اکسیژن که در گروه تمرین مکمل مشاهده شد که با یافته‌های کنگ[۱] و همکاران (۲۰۱۷) همخوانی دارد، آنان افزایش آمادگی قلبی تنفسی را در زنان جوان چینی دارای اضافه وزن پس از تمرینات اینتروال با شدت بالا گزارش کردند (۴۹). این بهبود می‌تواند به سازگاری‌های مرکزی و محیطی، از جمله افزایش برون‌ده قلبی، افزایش ظرفیت استخراج اکسیژن و بهبود ظرفیت اکسیداتیو عضلات اسکلتی نسبت داده شود (۵۰). و انگ[۲] و همکاران (۱۸) توضیح دادند که تمرینات تناوبی با شدت بالا به‌دلیل شدت بالاتر که سازگاری‌های بیشتری را در سیستم‌های انتقال و استفاده از اکسیژن تحریک می‌کند، بهبودهای بیشتری در حداکثراکسیژن مصرفی نسبت به تمرینات مداوم با شدت متوسط ایجاد می‌کند (۵۰). کاهش کلسترول تام که در گروه ورزش و مکمل ترکیبی مشاهده شد، می‌تواند به اثرات هم‌افزایی هر دو مداخله نسبت داده شود. نشان داده شده است که تمرینات اینتروال با شدت بالا فعالیت لیپوپروتئین لیپاز را افزایش می‌دهد، که پاکسازی لیپوپروتئین‌های غنی از تری‌گلیسیرید را تسهیل می‌کند و سطح کلسترول لیپوپروتئین با چگالی بالا را افزایش می‌دهد (۵۱). مکمل لیمو احتمالاً از طریق ترکیبات زیست فعال خود، به‌ویژه فلاونوئیدهای مرکبات، به بهبودهای مشاهده شده در مطالعه ما کمک کرده است. در همین راستا محمود و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که فلاونوئیدهای مرکبات از طریق خواص آنتی‌اکسیدان، ضد التهابی و کاهش‌دهنده چربی، اثرات مفیدی بر سلامت قلب و عروق و متابولیک دارند. این ترکیبات آنزیم‌های کلیدی درگیر در متابولیسم چربی، مانند ردوکتاز HMG-CoA را تعدیل می‌کنند، در نتیجه سنتز کلسترول را کاهش می‌دهند و پروفایل چربی را بهبود می‌بخشند (۳۱). بهبود اکسیداسیون چربی که در گروه تمرین مکمل مشاهده شد، ممکن است به توانایی فلاونوئیدهای مرکبات در فعال کردن گیرنده فعال‌کننده پراکسی‌زوم تکثیرکننده آلفا[۳] نسبت داده شود، که ژن‌های درگیر در اکسیداسیون اسیدهای چرب را کنترل می‌کند(۵۲). علاوه بر این، بهبود شاخص توده بدنی که در گروه تمرین مکمل مشاهده شد، با یافته‌های اسنااشعری و همکاران (۲۰۱۰) همخوانی دارد، که اثرات کاهش وزن اسانس لیمو ترش[۴] را در موش‌ها گزارش کردند (۵۳). این اثر احتمالاً توسط ترکیبات زیست فعال در لیمو، مانند دی-لیمونن؛[۵] ارتباط پیدا می‌کند که نشان داده شده است از دیس‌لیپیدمی و هیپرگلیسمی در موش‌های مبتلا به چاقی ناشی از رژیم غذایی پرچرب جلوگیری می‌کند. این ترکیبات ممکن است سرعت متابولیک را افزایش دهند،

[۱] Kong
[۲] Wang
[۳] PPAR-α
[۴] Citrus aurantifolia
[۵] D-lemonen

بسیج چربی را افزایش دهند و هموستاز گلوکز را بهبود بخشند، که به طور جمعی به کاهش وزن و بهبود سلامت متابولیک کمک می‌کنند (۵۴).

تغییرات مشاهده شده در پاسخ به مداخلات ما می‌تواند به عوامل متعددی نسبت داده شود. اولاً، مدت زمان مداخله ما (چهار هفته) ممکن است برای ایجاد تغییرات قابل توجه در برخی پارامترها، به‌ویژه تری‌گلیسیرید، HDL و LDL کافی نبوده باشد. المر[1] (۲۰۱۳) نشان داد که مدت زمان طولانی‌تر تمرینات تناوبی با شدت بالا برای ایجاد بهبودهای قابل توجه در پروفایل چربی کامل ضروری است (۵۵). سازگاری‌های فیزیولوژیکی با تمرینات ورزشی با سرعت‌های متفاوت رخ می‌دهد، برخی نیاز به دوره‌های طولانی‌تری برای آشکار شدن دارند. تغییرپذیری فردی در پاسخ به ورزش و مکمل نیز می‌تواند تفاوت‌های مشاهده شده را توضیح دهد. معلول و همکاران (۱۶) بر ناهمگونی در پاسخ‌های فردی به تمرینات اینتروال با شدت بالا تأکید کردند که تحت‌تأثیر عواملی مانند استعداد ژنتیکی، سطح آمادگی پایه و وضعیت سلامت متابولیک قرار دارد (۵۶). به طور مشابه، فراهمی زیستی و متابولیسم ترکیبات زیست فعال در مکمل لیمو ممکن است در بین افراد متفاوت باشد که بر میزان اثرات فیزیولوژیکی آنها تأثیر می‌گذارد (۵۷).

عدم تغییرات قابل توجه در پارامترهای خونی (گلبول‌های قرمز، هموگلوبین و هماتوکریت) که در مطالعه ما مشاهده شد، نشان‌می‌دهد که چهار هفته تمرینات اینتروال شدید با مکمل لیمو به‌طور قابل توجهی ظرفیت حمل اکسیژن خون را در زنان چاق تغییر نمی‌دهد. این یافته با این تصور همخوانی دارد که سازگاری‌های خونی با تمرینات ورزشی معمولاً به دوره‌های مداخله طولانی‌تر یا حجم تمرینی بالاتر نیاز دارند(۴۲). با این حال، حفظ این پارامترها در محدوده طبیعی نشان‌می‌دهد که مداخله ما تأثیر نامطلوبی بر هموستاز خونی نداشته‌است، که از نظر ایمنی اطمینان‌بخش است. بهبود در کلسترول تام بدون تغییرات قابل توجه در سایر اجزای پروفایل چربی (تری‌گلیسیرید، HDLوLDL) نشان‌دهنده اثر ترجیحی مداخله ما بر متابولیسم کلسترول است. این الگو ممکن است توسط ترکیبات زیست فعال خاص در لیمو توضیح داده شود، که نشان داده شده است سنتز کلسترول را از طریق تعدیل فعالیت ردوکتاز HMG-CoA مهار می‌کنند (۳۱). لی[2] و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که اسانس‌های لیمو ترش اثرات هیپولیپیدمی دارند، به‌ویژه کاهش سطح کلسترول تام از طریق مکانیسم‌های متعدد، از جمله افزایش سنتز و دفع اسید صفراوی، که حذف کلسترول از بدن را تسهیل می‌کند (۵۸). بهبود ظرفیت بی‌هوازی پس از تمرینات هوازی و تمرینات ترکیبی با مکمل، اثربخشی تمرینات تناوبی با شدت بالا در افزایش سیستم‌های انرژی گلیکولیتیک را برجسته می‌کند. این سازگاری به‌ویژه برای افراد چاق مرتبط است، زیرا ظرفیت آن‌ها را برای انجام فعالیت‌های کوتاه‌مدت و با شدت بالا افزایش می‌دهد، که ممکن است پایبندی به برنامه‌های ورزشی و بهبود ظرفیت عملکرد را تسهیل کند (۴۴). علاوه بر این، افزایش ظرفیت بی‌هوازی ممکن است به افزایش مصرف انرژی در طول و بعد از ورزش کمک کند که به‌طور بالقوه مدیریت وزن را در این جمعیت تسهیل می‌کند. بهبود در اکسیداسیون چربی، حداکثر مصرف اکسیژن و شاخص توده بدنی در گروه تمرین مکمل، مزایای هم‌افزایی ترکیب ورزش با مکمل‌های غذایی مناسب را برجسته می‌کند. افزایش اکسیداسیون چربی که در این گروه مشاهده شد، نشان‌دهنده بهبود انعطاف‌پذیری متابولیکی است، که اغلب در چاقی مختل می‌شود(۴۸). این سازگاری به‌ویژه برای مدیریت وزن

[1] Elmer

[2] Lee

ارزشمند است، زیرا استفاده از چربی به‌عنوان سوبسترای انرژی را هم در طول ورزش و هم در حالت استراحت تسهیل می‌کند. فنگ[۱] و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که اسانس پوست مرکبات رژیم غذایی با تعدیل هموستاز چربی و کلسترول، هیپرکلسترولمی و استئاتوز کبدی را بهبود می‌بخشد، که از پتانسیل مکمل‌های مشتق شده از مرکبات در مدیریت اختلالات متابولیکی مرتبط با چاقی حمایت می‌کند (۵۹).

مطالعه حاضر نشان‌می‌دهد که چهار هفته تمرینات تناوبی شدید همراه با مکمل لیمو، بهبودهایی در پارامترهای متابولیکی و عملکردی در زنان چاق ایجاد می‌کند. به‌طور خاص، این مداخله به‌طور مؤثر ظرفیت بی‌هوازی را افزایش می‌دهد و هنگامی که با مکمل ترکیب می‌شود، اکسیداسیون چربی، حداکثر مصرف اکسیژن و شاخص توده بدنی و توان بی‌هوازی را بهبود می‌بخشد. این یافته‌ها پتانسیل این رویکرد ترکیبی را به‌عنوان یک استراتژی کارآمد و مؤثر برای بهبود سلامت متابولیک و آمادگی جسمانی در زنان چاق برجسته می‌کند.

تقدیر و تشکر

پژوهش حاضر مستخرج از پایان نامه کارشناسی‌ارشد رشته فیزیولوژی ورزشی دانشگاه بین المللی امام‌خمینی (ره) است. از تمام کسانی که ما را در انجام این پژوهش یاری کردند قدردانی می‌شود.

References

1. Shafiee A, Nakhaee Z, Bahri RA, Amini MJ, Salehi A, Jafarabady K, et al. Global prevalence of obesity and overweight among medical students: a systematic review and meta-analysis. BMC Public Health. 2024;24(1):1673.
2. Heindel JJ, Lustig RH, Howard S, Corkey BE. Obesogens: a unifying theory for the global rise in obesity. International Journal of Obesity. 2024;48(4):449-60.
3. Tanaka A, Node K. Associations of metabolic disorders with hypertension and cardiovascular disease: recent findings and therapeutic perspectives. Hypertension Research. 2024:1-7.
4. Zhang L, Yu C, Wang T, Zhou W, Bao H, Cheng X. Association of the metabolic score for insulin resistance with cardiovascular diseases, cardiovascular and all-cause mortality in Chinese hypertensive population. Frontiers in Endocrinology. 2024;14:1326436.
5. Kohsari M, Moradinazar M, Rahimi Z, Najafi F, Pasdar Y, Moradi A, et al. Association between RBC Indices, Anemia, and Obesity-Related Diseases Affected by Body Mass Index in Iranian Kurdish Population: Results from a Cohort Study in Western Iran. International Journal of Endocrinology. 2021;2021(1):9965728.
6. Purdy JC, Shatzel JJ. The hematologic consequences of obesity. European journal of haematology. 2021;106(3):306-19.
7. Guglielmi V, Dalle Grave R, Leonetti F, Solini A. Female obesity: clinical and psychological assessment toward the best treatment. Frontiers in Endocrinology. 2024;15:1349794.
8. Yang H-L, Tao Y-W, Cheng S-M, Tang X-Q, Cao J-Y, Shen D-F. The effect of retirement on obesity in women: Evidence from China. SSM-Population Health. 2023;22:101379.
9. Hierons SJ, Abbas K, Sobczak AI, Cerone M, Smith TK, Ajjan RA, et al. Changes in plasma free fatty acids in obese patients before and after bariatric surgery highlight alterations in lipid metabolism. Scientific reports. 2022;12(1):15337.

[۱] Feng

10. Wrzosek M, Zawadzka Z, Sawicka A, Bobrowska-Korczak B, Białek A. Impact of fatty acids on obesity-associated diseases and radical weight reduction. Obesity surgery. 2022:1-13.
11. Stadler JT, Marsche G. Obesity-related changes in high-density lipoprotein metabolism and function. International journal of molecular sciences. 2020;21(23):8985.
12. Nussbaumerova B, Rosolova H. Obesity and dyslipidemia. Current atherosclerosis reports. 2023;25(12):947-55.
13. Zhou N. Assessment of aerobic exercise capacity in obesity, which expression of oxygen uptake is the best? Sports Medicine and Health Science. 2021;3(3):138-47.
14. Hulens M, Vansant G, Lysens R, Claessens A, Muls E. Exercise capacity in lean versus obese women. Scandinavian journal of medicine & science in sports. 2001;11(5):305-9.
15. Falter T, Hennige AM, Schulz A, Gieswinkel A, Lotz J, Rossmann H, et al. Prevalence of overweight and obesity, its complications, and progression in a 10-year follow-up in the Gutenberg Health Study (GHS). Obesity facts. 2024;17(1):12-23.
16. Jafari-Adli S, Jouyandeh Z, Qorbani M, Soroush A, Larijani B, Hasani-Ranjbar S. Prevalence of obesity and overweight in adults and children in Iran; a systematic review. Journal of Diabetes & Metabolic Disorders. 2014;13:1-10.
17. Koliaki C, Dalamaga M, Liatis S. Update on the obesity epidemic: after the sudden rise, is the upward trajectory beginning to flatten? Current Obesity Reports. 2023;12(4):514-27.
18. Higuera-Hernández MF, Reyes-Cuapio E, Gutiérrez-Mendoza M, Rocha NB, Veras AB, Budde H, et al. Fighting obesity: Non-pharmacological interventions. Clinical nutrition ESPEN. 2018;25:50-5.
19. Ahmadi Hekmatikar AH, Molanouri Shamsi M. Effect of exercise on immunological indicators during the COVID-19 pandemic. Journal of Arak University of Medical Sciences. 2020;23(5):584-603.
20. Niemiro GM, Rewane A, Algotar AM. Exercise and fitness effect on obesity. 2019.
21. Cadenas-Sanchez C, Fernandez-Rodriguez R, Martinez-Vizcaino V, de los Reyes Gonzalez N, Lavie CJ, Galan-Mercant A, et al. A systematic review and cluster analysis approach of 103 studies of high-intensity interval training on cardiorespiratory fitness. European Journal of Preventive Cardiology. 2024;31(4):400-11.
22. Oliveira BRR, Santos TM, Kilpatrick M, Pires FO, Deslandes AC. Affective and enjoyment responses in high intensity interval training and continuous training: A systematic review and meta-analysis. PloS one. 2018;13(6):e0197124.
23. Su L, Fu J, Sun S, Zhao G, Cheng W, Dou C, et al. Effects of HIIT and MICT on cardiovascular risk factors in adults with overweight and/or obesity: A meta-analysis. PloS one. 2019;14(1):e0210644.
24. Hussain SR, Macaluso A, Pearson SJ. High-intensity interval training versus moderate-intensity continuous training in the prevention/management of cardiovascular disease. Cardiology in review. 2016;24(6):273-81.
25. Andreato L, Esteves J, Coimbra D, Moraes A, De Carvalho T. The influence of high-intensity interval training on anthropometric variables of adults with overweight or obesity: a systematic review and network meta-analysis. Obesity reviews. 2019;20(1):142-55.
26. Kayhan R, Bayrakdaroğlu S, CEYLAN H, Eken Ö, Bayrakdaroğlu Y, Badicu G, et al. Effects of different rest intervals in high intensity interval training programs on VO2max, body composition, and isokinetic strength and power. Journal of Men's Health. 2024;20(5).
27. Song Y, Sheykhlouvand M. A Comparative Analysis of High-Intensity Technique-Specific Intervals and Short Sprint Interval Training in Taekwondo Athletes: Effects on

Cardiorespiratory Fitness and Anaerobic Power. Journal of Sports Science & Medicine. 2024;23(1):672.
28. Thomas DT, Erdman KA, Burke LM. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: nutrition and athletic performance. Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics. 2016;116(3):501-28.
29. Overdevest E, Wouters JA, Wolfs KH, van Leeuwen JJ, Possemiers S. Citrus flavonoid supplementation improves exercise performance in trained athletes. Journal of sports science & medicine. 2018;17(1):24.
30. van Iersel LE, Stevens YR, Conchillo JM, Troost FJ. The effect of citrus flavonoid extract supplementation on anaerobic capacity in moderately trained athletes: A randomized controlled trial. Journal of the International Society of Sports Nutrition. 2021;18:1-10.
31. Mahmoud AM, Hernandez Bautista RJ, Sandhu MA, Hussein OE. Beneficial effects of citrus flavonoids on cardiovascular and metabolic health. Oxidative medicine and cellular longevity. 2019;2019(1):5484138.
32. Jana P, Sureshrao PA, Sahu RS. Medicinal and health benefits of lemon. Journal of Science and Technology. 2020;6:16-20.
33. Singh N, Yarla NS, Siddiqi NJ, de Lourdes Pereira M, Sharma B. Features, pharmacological chemistry, molecular mechanism and health benefits of lemon. Medicinal Chemistry. 2021;17(3):187-202.
34. Fang X, Azain M, Crowe-White K, Mumaw J, Grimes JA, Schmiedt C, et al. Effect of acute ingestion of green tea extract and lemon juice on oxidative stress and lipid profile in pigs fed a high-fat diet. Antioxidants. 2019;8(6):195.
35. Ezz M, Atef A, Hassanein N, Badr Z. Protective and curative antiobesity potential of lemon peel extract in rats fed on high fat diet: mechanism of action. International Journal of Biochemistry Research & Review. 2016;12:1-17.
36. GHOSH V. ASSESSING ATHLETES NEEDS ANALYSIS, PAR-Q QUESTIONNAIRE, AND DETERMINING ENERGY NEEDS FOR PHYSICAL ACTIVITY. 2024.
37. Suo X, Ma X, Zheng F, Wang D, Bai G, Zhao L, et al. Venetoclax combined with three-day multi-frequency decitabine (DEC3-VEN) in elder or intensive chemotherapy ineligible patients with newly diagnosed acute myeloid leukemia. Blood Cancer Journal. 2024;14(1):204.
38. Ahmadi A, Abdiyan RD. Compare the effects of two high intense interval training (HIIT) protocol on some hem rheological markers in young overweight and obese women. Alborz University Medical Journal. 2017;6(3):211-8.
39. Taghizadeh M, Memarzadeh MR, Abedi F, Sharifi N, Karamali F, Kashan ZF, et al. The effect of Cumin cyminum L. plus lime administration on weight loss and metabolic status in overweight subjects: a randomized double-blind placebo-controlled clinical trial. Iranian Red Crescent Medical Journal. 2016;18(8).
40. Martins J, Steyn N, Rossouw HM, Pillay TS. Best practice for LDL-cholesterol: when and how to calculate. Journal of Clinical Pathology. 2023;76(3):145-52.
41. Frayn K. Calculation of substrate oxidation rates in vivo from gaseous exchange. Journal of applied physiology. 1983;55(2):628-34.
42. SARKAR S, BANDYOPADHYAY A, DATTA G, DEY SK. The effect of high-intensity interval training on hematological variables and lipid profiles in team game athletes. Trends in Sport Sciences. 2023;30(4).
43. Jastrzebska M, Kaczmarczyk M, Suárez AD, Sánchez GFL, Jastrzebska J, Radziminski L, et al. Iron, hematological parameters and blood plasma lipid profile in vitamin D supplemented and non-supplemented young soccer players subjected to high-intensity interval training. Journal of nutritional science and vitaminology. 2017;63(6):357-64.

44. Khani M, Zolfi HR, Niknam Z. The effect of two-week high intensity interval training (HIIT) with Thyme supplementation on lipid profile, oxidative stress, body composition, and aerobic capacity of the obese and overweight women. Journal of Applied Health Studies in Sport Physiology. 2023;10(2):27-39.
45. Hosseini M, Monazzami A. The Effects of Eight-Week High-Intensity Intermittent Training on Body Composition, Aerobic and Anaerobic Performance, Lipid Profile and Hematological Indices in Sedentary Healthy Overweight Adolescent: A Comparison of Volume. Ann Mil Health Sci Res. 2021;19(1):e112535.
46. Sarkar S, Dey SK, Datta G, Bandyopadhyay A. Vitamin C and E supplementation and high intensity interval training induced changes in lipid profile and haematological variables of young males. Sports Medicine and Health Science. 2023;5(2):137-45.
47. Atakan MM, Güzel Y, Bulut S, Koşar ŞN, McConell GK, Turnagöl HH. Six high-intensity interval training sessions over 5 days increases maximal oxygen uptake, endurance capacity, and sub-maximal exercise fat oxidation as much as 6 high-intensity interval training sessions over 2 weeks. Journal of sport and health science. 2021;10(4):478-87.
48. Talanian JL, Galloway SD, Heigenhauser GJ, Bonen A, Spriet LL. Two weeks of high-intensity aerobic interval training increases the capacity for fat oxidation during exercise in women. Journal of applied physiology. 2007.
49. Kong Z, Shi Q, Nie J, Tong TK, Song L, Yi L, et al. High-intensity interval training in normobaric hypoxia improves cardiorespiratory fitness in overweight Chinese young women. Frontiers in physiology. 2017;8:175.
50. Wang Z, Wang J. The effects of high-intensity interval training versus moderate-intensity continuous training on athletes' aerobic endurance performance parameters. European journal of applied physiology. 2024;124(8):2235-49.
51. Racil G, Chelly M-S, Coquart J, Padulo J, Teodor DF, Russo L. Long-and Short-Term High-Intensity Interval Training on Lipid Profile and Cardiovascular Disorders in Obese Male Adolescents. Children. 2023;10(7):1180.
52. Lee D, Shin Y, Roh JS, Ahn J, Jeoong S, Shin SS, et al. RETRACTED: Lemon Balm Extract ALS-L1023 Regulates Obesity and Improves Insulin Sensitivity via Activation of Hepatic PPARα in High-Fat Diet-Fed Obese C57BL/6J Mice. International journal of molecular sciences. 2020;21(12):4256.
53. Asnaashari S, Delazar A, Habibi B, Vasfi R, Nahar L, Hamedeyazdan S, et al. Essential Oil from Citrus aurantifolia prevents ketotifen-induced weight-gain in mice. Phytotherapy research. 2010;24(12):1893-7.
54. Jing L, Zhang Y, Fan S, Gu M, Guan Y, Lu X, et al. Preventive and ameliorating effects of citrus D-limonene on dyslipidemia and hyperglycemia in mice with high-fat diet-induced obesity. European journal of pharmacology. 2013;715(1-3):46-55.
55. Elmer DJ. Effect of 8 weeks of high-intensity interval training versus traditional endurance training on the blood lipid profile in humans: Auburn University; 2013.
56. Maaloul R, Dhia IB, Marzougui H, Turki M, Kacem F, Makhlouf R, et al. Is moderate-intensity interval training more tolerable than high-intensity interval training in adults with obesity? Biology of Sport. 2023;40(4):1159-67.
57. Loizzo MR, Tundis R, Bonesi M, Menichini F, De Luca D, Colica C, et al. Evaluation of Citrus aurantifolia peel and leaves extracts for their chemical composition, antioxidant and anti-cholinesterase activities. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2012;92(15):2960-7.
58. Lee Y-C, Cheng T-H, Lee J-S, Chen J-H, Liao Y-C, Fong Y, et al. Nobiletin, a citrus flavonoid, suppresses invasion and migration involving FAK/PI3K/Akt and small

GTPase signals in human gastric adenocarcinoma AGS cells. Molecular and cellular biochemistry. 2011;347:103-15.

59. Feng K, Zhu X, Liu G, Kan Q, Chen T, Chen Y, et al. Dietary citrus peel essential oil ameliorates hypercholesterolemia and hepatic steatosis by modulating lipid and cholesterol homeostasis. Food & function. 2020;11(8):7217-30.