

## ترکیب تمرینات تناوبی پرشدت و مقاومتی: رویکردی غیردارویی برای بهبود شاخص‌های متابولیک و التهابی در مردان دارای اضافه‌وزن

سامان حسینی<sup>۱</sup>، مهدی غفاری<sup>۲</sup>، اکبر اعظمیان جزی<sup>۳</sup>

### چکیده

**اهداف:** اضافه‌وزن و چاقی با بروز تغییرات نامطلوب متابولیک از جمله افزایش لپتین، هیپرگلیسمی، مقاومت به انسولین و فعال شدن مسیرهای التهابی همراه است. این تغییرات خطر ابتلا به بیماری‌های مزمنی همچون دیابت نوع ۲ و بیماری‌های قلبی-عروقی را افزایش می‌دهند. در سال‌های اخیر، تمرینات ورزشی به عنوان رویکردی غیردارویی در مدیریت اختلالات متابولیک و التهابی مورد توجه قرار گرفته است. پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر ترکیب تمرین تناوبی پرشدت (HIIT) و تمرین مقاومتی بر شاخص‌های متابولیک و التهابی در مردان دارای اضافه‌وزن انجام شد.

**روش مطالعه:** در این مطالعه نیمه‌تجربی، ۳۰ مرد دارای اضافه‌وزن به‌صورت در دسترس انتخاب و به‌طور تصادفی در گروه آزمایش و کنترل تقسیم شدند. گروه آزمایش طی ۱۲ هفته (۳ جلسه در هفته، هر جلسه ۴۵ دقیقه) پروتکل تمرین ترکیبی HIIT و مقاومتی را اجرا کردند، در حالی که گروه کنترل فاقد مداخله بود. متغیرهای مورد بررسی شامل لپتین سرمی، گلوکز ناشتا، مقاومت به انسولین (HOMA-IR)، پروتئین واکنشی (CRP) C، اینترلوکین-۶ (IL-6) و فاکتور نکروز تومور آلفا (TNF- $\alpha$ ) بود. داده‌ها با استفاده از آزمون تحلیل کوواریانس چندمتغیره (MANCOVA) تحلیل شدند.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد تمرینات ترکیبی به‌طور معنی‌داری موجب کاهش لپتین، گلوکز، مقاومت به انسولین و سطوح CRP، IL-6 و TNF- $\alpha$  در گروه آزمایش در مقایسه با گروه کنترل شد ( $p < 0.05$ ). همچنین بهبود معنی‌داری در ترکیب بدنی مشاهده گردید ( $p < 0.05$ ). **نتیجه‌گیری:** یافته‌ها نشان می‌دهد که ترکیب تمرینات تناوبی پرشدت و مقاومتی می‌تواند به‌عنوان یک رویکرد غیردارویی مؤثر در بهبود شاخص‌های متابولیک و کاهش التهاب سیستمیک در مردان دارای اضافه‌وزن مورد استفاده قرار گیرند. این مداخلات می‌توانند در پیشگیری و مدیریت اختلالات مرتبط با دیابت نوع ۲ و بیماری‌های متابولیک نقش بسزایی ایفا کنند.

**واژه‌های کلیدی:** اضافه‌وزن، تمرین تناوبی پرشدت، تمرین مقاومتی، لپتین، مقاومت به انسولین، شاخص‌های التهابی

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد فیزیولوژی ورزشی کاربردی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

<sup>۲</sup> استادیار گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. نویسنده مسئول: ghafari.mehdi@gmail.com

<sup>۳</sup> دانشیار گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

## مقدمه

اضافه‌وزن و چاقی در دهه‌های اخیر به سرعت در حال گسترش هستند و به یک بحران جهانی تبدیل شده‌اند. سازمان جهانی بهداشت گزارش داده است که در سال ۲۰۲۲، حدود ۲.۵ میلیارد بزرگسال دارای اضافه‌وزن بوده‌اند که از این میان، نزدیک به ۸۹۰ میلیون نفر به چاقی مبتلا بوده‌اند و شیوع هر دو وضعیت نسبت به سال‌های گذشته به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است (World Health Organization, n.d). این اپیدمی تأثیرات گسترده‌ای بر سلامت جسمی، کیفیت زندگی، عملکرد اجتماعی و روانی افراد دارد و به‌طور قابل توجهی بار بیماری‌های غیرواگیر مانند دیابت نوع ۲، بیماری‌های قلبی و برخی سرطان‌ها را افزایش داده است (Afshinet al., 2017)؛ بنابراین، رفع این چالش پیچیده نیازمند تدوین راهبردهای علمی، چندوجهی و اثربخش است که بتوانند به‌صورت پایدار از بار بیماری و هزینه‌های سیستم درمانی بکاهند.

یکی از آثار بیوشیمیایی برجسته چاقی، افزایش سطح لپتین سرم است. لپتین هورمونی کلیدی در تنظیم تعادل انرژی و کنترل اشتها است که توسط بافت چربی ترشح می‌شود (Myers et al., 2010). با این حال، در افراد دارای اضافه‌وزن، علی‌رغم افزایش سطح لپتین، حساسیت بافت‌ها نسبت به آن کاهش می‌یابد که به آن مقاومت به لپتین می‌گویند. این امر موجب اختلال در فرآیندهای تنظیم وزن و انرژی شده و خود می‌تواند عامل تداوم چاقی باشد (Friedman., 2019). همچنین، افزایش لپتین در چاقی با التهاب مزمن و بروز بیماری‌های قلبی-عروقی نیز مرتبط است که زمینه‌ساز مشکلات متابولیک می‌گردد (Caro JF & Considine RV., 1997).

گلوکز خون و انسولین نیز نقش اساسی در پاتوفیزیولوژی اضافه‌وزن دارند. مقاومت به انسولین، وضعیتی است که در آن سلول‌های هدف نسبت به وجود این هورمون حساسیت خود را از دست داده و در نتیجه، باعث حفظ قند بالا در خون می‌شوند. این وضعیت عامل اصلی در پیشرفت به دیابت نوع ۲ است (DeFronzo et al., 2015). تحقیقات نشان می‌دهند که سبک زندگی نامناسب که شامل رژیم غذایی غیراصولی و کم‌تحرکی می‌گردد، به‌طور مستقیم باعث افزایش مقاومت به انسولین شده است (Petersen MC & Shulman GI., 2018). این مسئله نه تنها بار اقتصادی و اجتماعی قابل توجهی را متوجه سیستم‌های درمانی می‌کند، بلکه سلامت متابولیک افراد را تحت تحصیل قرار داده است (Samuel VT & Shulman GI., 2016).

علاوه بر اختلالات هورمونی و متابولیکی، تغییرات التهابی نیز نقش برجسته‌ای در پیامدهای مرتبط با اضافه‌وزن ایفا می‌کنند (Hotamisligil., 1993). مطالعات متعدد نشان داده‌اند که افراد دارای اضافه‌وزن و چاقی سطوح بالاتری از نشانگرهای التهابی همچون اینترلوکین-۶ (IL-6)، فاکتور نکروز تومور آلفا (TNF- $\alpha$ ) و پروتئین واکنشی C (CRP) دارند (Boutens., 2016; Artemniak-Wojtowicz., 2021). این سیتوکین‌ها با ایجاد التهاب مزمن سیستمیک، زمینه‌ساز بروز بیماری‌های متابولیک و عروقی می‌شوند. التهابی که همراه با چاقی شایع است، نقش اساسی در آغاز و پیشرفت مقاومت به انسولین و آسیب به اندام‌های حیاتی ایفا می‌کند (Zatterale et al., 2020; Kern et al., 2018)؛ بنابراین، بررسی و کنترل شاخص‌های التهابی در افراد دارای اضافه‌وزن از اهمیت بالینی و پژوهشی برخوردار است و می‌تواند در توسعه مداخلات غیر دارویی و پیشگیری از بیماری‌های متابولیکی نقش ایفا کند. مطالعات متعدد نشان داده‌اند که ورزش منظم نه تنها منجر به کاهش وزن و بهبود ترکیب بدنی می‌شود، بلکه نقش مهمی در بهبود حساسیت به انسولین، کاهش سطوح لپتین و تعدیل نشانگرهای التهابی ایفا می‌کند (González-Encabo et al., 2021; Wang et al., 2022). از این رو، تمرینات ورزشی می‌توانند

راهبردی مؤثر و پایدار برای مقابله با پیامدهای منفی اضافه‌وزن باشند (Becic et al., 2018; Wang et al., 2022). تمرین تناوبی پرشدت (HIIT) به‌عنوان یکی از رویکردهای نوین فعالیت بدنی، در سال‌های اخیر توجه زیادی را به خود جلب کرده است. این نوع تمرین شامل دوره‌های کوتاه فعالیت شدید متناوب با فواصل استراحت یا فعالیت سبک است و از نظر زمان‌بری نسبت به تمرینات هوازی سنتی بسیار کارآمدتر محسوب می‌شود. مطالعات همچنین نشان داده‌اند که HIIT علاوه بر افزایش ظرفیت هوازی و بهبود عملکرد قلبی - عروقی، اثرات قابل توجهی بر شاخص‌های متابولیکی دارد (Jelleyman et al., 2015). برای مثال، اجرای تمرینات HIIT می‌تواند باعث کاهش گلوکز ناشتا، افزایش حساسیت به انسولین، تعدیل پروفایل لیپیدی و کاهش سطوح لپتین گردد (Ouerghi et al., 2022). چنین شواهدی نشان می‌دهند که HIIT یک گزینه ارزشمند در برنامه‌های پیشگیری و درمان اختلالات متابولیک مرتبط با اضافه‌وزن است (Peng et al., 2023).

تمرین مقاومتی نیز به‌عنوان یکی از مؤثرترین اشکال ورزش در بهبود سلامت جسمانی و متابولیک شناخته می‌شود. این نوع تمرین که بر افزایش قدرت عضلانی و توده بدون چربی تمرکز دارد، می‌تواند از طریق بهبود متابولیسم پایه و افزایش مصرف انرژی استراحتی در مدیریت وزن نقش آفرینی کند (Fernández-Rodríguez et al., 2022). علاوه بر این، شواهد علمی حاکی از آن است که تمرین مقاومتی اثرات مثبتی بر کاهش مقاومت به انسولین، بهبود تحمل گلوکز و تعدیل سطوح سیتوکین‌های التهابی دارد (Kim et al., 2022). از این رو ترکیب تمرین مقاومتی با HIIT می‌تواند منجر به هم‌افزایی اثرات مثبت هر دو نوع فعالیت بدنی شود و به‌طور هم‌زمان شاخص‌های فیزیولوژیک، متابولیک و التهابی را بهبود بخشد (Wang et al., 2024). با وجود این، تحقیقات اندکی به بررسی جامع اثر تمرینات ترکیبی بر این متغیرها پرداخته‌اند و این امر ضرورت پژوهش‌های بیشتر را برجسته می‌سازد.

بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر تمرینات ترکیبی HIIT و مقاومتی بر شاخص‌های متابولیک و التهابی در مردان دارای اضافه‌وزن طراحی شد. تمرکز مطالعه بر متغیرهای کلیدی همچون لپتین، گلوکز ناشتا، مقاومت به انسولین و نشانگرهای التهابی IL-6، TNF- $\alpha$  و CRP قرار گرفت که هر یک نقش مهمی در پاتوفیزیولوژی اضافه‌وزن و بروز بیماری‌های مرتبط ایفا می‌کنند. نتایج این تحقیق می‌تواند شواهدی در زمینه اثربخشی مداخلات ورزشی غیر دارویی فراهم کند و به طراحی راهکارهای عملی در پیشگیری و درمان اختلالات متابولیک کمک نماید. از آنجا که مطالعات پیشین عمدتاً بر اثرات جداگانه HIIT یا تمرین مقاومتی تمرکز داشته‌اند، پژوهش حاضر با بررسی ترکیب این دو شیوه تمرینی به بررسی پاسخ به این سؤال می‌پردازد که آیا ترکیب تمرینات HIIT و مقاومتی می‌تواند تاثیر بیشتری بر شاخص‌های متابولیک و التهابی در مردان دارای اضافه‌وزن داشته باشد؟

## روش‌شناسی تحقیق

در این پژوهش، شرکت‌کنندگان شامل ۳۰ مرد دارای اضافه‌وزن (میانگین سنی ۳۰ تا ۴۰ سال، شاخص توده بدنی بین ۲۵ تا ۲۹/۸ کیلوگرم بر مترمربع) بودند که به‌صورت نمونه‌گیری در دسترس از میان داوطلبان ساکن اصفهان در سال ۱۴۰۳ انتخاب شدند. معیارهای ورود به مطالعه شامل: سلامت عمومی نسبی، عدم ابتلا به بیماری‌های قلبی - عروقی، دیابت نوع ۲، بیماری‌های التهابی مزمن و اختلالات اسکلتی-عضلانی، عدم مصرف داروهای مؤثر

بر متابولیسم و سیستم ایمنی مانند کورتیکواستروئیدها یا داروهای ضدالتهابی غیراستروئیدی به صورت مزمن، عدم سابقه تمرین منظم ورزشی طی شش ماه گذشته و تمایل و توانایی برای حضور مستمر در برنامه تمرینی بودند. معیارهای خروج در این پژوهش شامل: غیبت بیش از سه جلسه از برنامه تمرین، ابتلا به هرگونه آسیب‌دیدگی حین اجرای پروتکل، شروع رژیم دارویی یا مکمل‌های هورمونی در طول پژوهش و عدم همکاری در فرآیند نمونه‌گیری خون بود. همچنین افرادی که در طول مطالعه تغییرات عمده در سبک زندگی (مانند تغییرات چشمگیر در رژیم غذایی یا سطح فعالیت بدنی خارج از پروتکل) داشتند، در تحلیل نهایی پژوهش کنار گذاشته شدند.

پس از غربالگری اولیه، داوطلبان واجد شرایط به‌طور تصادفی ساده به دو گروه مساوی تقسیم شدند: گروه مداخله (۱۵ نفر) که پروتکل ترکیبی تمرین تناوبی پرشدت و مقاومتی را دریافت کردند و گروه کنترل (۱۵ نفر) که در طول مدت پژوهش فعالیت عادی روزمره خود را ادامه دادند و هیچ‌گونه مداخله ورزشی دریافت نکردند. برای تضمین همگنی گروه‌ها، شاخص‌های پایه‌ای مانند سن، شاخص توده بدنی (BMI) و متغیرهای متابولیک در مرحله پیش‌آزمون بین دو گروه مقایسه شدند. تمامی شرکت‌کنندگان پیش از ورود به مطالعه، فرم رضایت‌نامه آگاهانه کتبی را امضا کردند و در جریان اهداف، مزایا و مخاطرات احتمالی پژوهش قرار گرفتند. همچنین کد اخلاق مربوطه از کمیته اخلاق دانشگاه شهرکرد به شماره IR.SKU.REC.1404.087 اخذ گردید.

**ویژگی‌های آنتروپومتریک و ترکیب بدنی:** اندازه‌گیری‌های آنتروپومتریک شامل قد، وزن، BMI، درصد چربی بدن و نسبت دور کمر به باسن (WHR) در دو مرحله پیش‌آزمون و پس‌آزمون انجام شد. قد آزمودنی‌ها با استفاده از استادیومتر دیواری (Seca، آلمان) با حساسیت ۰/۱ سانتی‌متر و بدون کفش در وضعیت ایستاده و صاف اندازه‌گیری شد. وزن بدن توسط ترازوی دیجیتال (Omron، ژاپن) با حساسیت ۰/۱ کیلوگرم و در شرایط ناشتا ثبت گردید. شاخص توده بدنی از تقسیم وزن (کیلوگرم) بر مجذور قد (مترمربع) محاسبه شد. نسبت دور کمر به دور لگن (WHR) با تقسیم محیط کمر (در باریک‌ترین بخش بین دنده تحتانی و ستیغ ایلیاک) بر محیط لگن (در پهن‌ترین قسمت باسن) محاسبه شد. برای تعیین درصد چربی بدن، توده بدون چربی و میزان توده چربی احشایی از دستگاه آنالیز ترکیب بدنی مبتنی بر امپدانس بیوالکتریک (InBody، Biospace 720، کره جنوبی) استفاده گردید.

**شرایط نمونه‌گیری:** نمونه‌های خونی در حالت ناشتا به مدت حداقل ۱۲ ساعت، در ساعات ۸ تا ۹ صبح و ۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه تمرین (جهت جلوگیری از اثرات حاد فعالیت بدنی) جمع‌آوری شدند. تمام افراد پیش از نمونه‌گیری، توصیه‌های لازم از جمله پرهیز از مصرف داروهای مؤثر بر متابولیسم، عدم نوشیدن کافئین یا الکل و اجتناب از فعالیت شدید در ۲۴ ساعت گذشته را رعایت کردند. از هر آزمودنی در حدود ۱۰ میلی‌لیتر خون از ورید بازویی گرفته شد. نمونه‌ها بلافاصله در لوله‌های حاوی ژل سرم (BD Diagnostics, Vacutainer، آمریکا) جمع‌آوری و در دمای اتاق به مدت حداکثر ۳۰ دقیقه نگهداری شدند تا لخته‌سازی کامل شود. سپس لوله‌ها در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. سرم حاصل به‌وسیله میکروتیوب‌های استریل جدا و تا زمان انجام آزمایش‌ها در دمای منفی ۸۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید.

**اندازه‌گیری متغیرهای بیوشیمیایی:** سطح گلوکز ناشتا به روش آنزیماتیک-کالریمتریک با استفاده از کیت تجاری (پارس آزمون، ایران، حساسیت ۲ میلی‌گرم/دسی‌لیتر) در دستگاه اتوآنالایزر بیوشیمی اندازه‌گیری شد. نتایج بر حسب میلی‌گرم/دسی‌لیتر گزارش گردید.

سطح انسولین سرم به روش الایزا (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay, ELISA) با استفاده از کیت تجاری (Monobind Inc. USA) با حساسیت  $0.2 \mu\text{IU/mL}$ ؛ CV درون آزمایشی ۵٪، CV بین آزمایشی ۷٪ تعیین شد. برای برآورد مقاومت به انسولین از شاخص HOMA-IR استفاده گردید. این شاخص از فرمول زیر محاسبه شد (Matthews et al., 1985):

$$\text{Glucose (mg/dL)} \times \text{Insulin } (\mu\text{IU/mL})$$

405

غلظت سرمی لپتین با روش ELISA و با استفاده از کیت (Boster Biological Technology, USA) اندازه‌گیری شد. حساسیت این کیت برابر با حدود  $0.1-0.2$  نانوگرم/میلی‌لیتر گزارش شده است. تمامی نمونه‌ها به‌صورت duplicate سنجش شدند و میانگین دو مقدار به‌عنوان نتیجه نهایی ثبت گردید.

سطح سرمی IL-6 با روش ELISA و با استفاده از کیت (Boster Biological Technology, USA) تعیین گردید. حساسیت این کیت حدود  $0.5-0.7$  پیکوگرم/میلی‌لیتر بود. CV درون آزمایشی و بین آزمایشی کمتر از ۱۰٪ گزارش شده است. نمونه‌ها به‌صورت duplicate سنجش شدند و میانگین دو مقدار به‌عنوان نتیجه نهایی ثبت گردید.

اندازه‌گیری TNF- $\alpha$  به روش ELISA و با استفاده از کیت (Boster Biological Technology, USA) انجام شد. حساسیت این کیت برابر با  $1/6$  پیکوگرم/میلی‌لیتر و دامنه قابل تشخیص آن بین ۵ تا ۱۰۰۰ پیکوگرم/میلی‌لیتر بود. CV درون آزمایشی کمتر از ۴٪ و بین آزمایشی کمتر از ۶٪ گزارش گردید.

سطح CRP با استفاده از روش ایمونوتوربیدیمتری (Immunoturbidimetry) با دستگاه اتوآنالایزر اندازه‌گیری شد. کیت تجاری مورد استفاده (پارس آزمون، ایران) دارای حساسیت  $0.1$  میلی‌گرم/لیتر بود. CV درون آزمایشی کمتر از ۳٪ و بین آزمایشی کمتر از ۵٪ گزارش شد.

پروتکل تمرینی؛ یک هفته پیش از شروع پروتکل، شرکت‌کنندگان در یک جلسه آشنایی شرکت کردند تا تکنیک‌های تمرینی (اسکات، ددلیفت، پرس سینه، پرس پا، لانگز، بارفیکس/کششی) آموزش داده شود. از IRM (یک تکرار حداکثر) برای تمرینات اصلی (اسکات/پرس پا و پرس سینه / ددلیفت در صورت قابل اجرا) با پروتکل استاندارد تعیین شد؛ گرم‌کردن تدریجی (۵-۱۰ دقیقه) سپس بارهای افزایشی تا دست‌یابی به IRM در ۳-۵ تلاش با استراحت ۳-۵ دقیقه بین تلاش‌ها؛ در صورت لزوم از فرمول‌های تخمینی (مثلاً Brzycki) برای افرادی که نتوانند IRM واقعی اجرا کنند، استفاده شد. IRM برای تنظیم بارهای تمرینی اولیه محاسبه و سپس به‌صورت کنترل‌شده در هفته‌های ۴ و ۸ بازآزمایی/بازتنظیم شد تا پیشرفت تدریجی بار قابل پیگیری باشد.

پژوهش از یک پروتکل تمرینی ترکیبی ۱۲ هفته‌ای (HIIT + مقاومتی) تشکیل می‌شد که سه جلسه در هفته اجرا شد. هر جلسه شامل گرم‌کن فعال، فاز HIIT، تمرین مقاومتی و سردکن/بازتوانی بود؛ مدت زمان جلسات در طول دوره از حدود ۴۵ دقیقه در هفته‌های ابتدایی تا ۷۵ دقیقه در هفته‌های پایانی متغیر بود تا با افزایش حجم و شدت مقاومت تطابق یابد. ساختار کلی، تواتر و پیشرفت شدت در جدول ۱ نشان داده شده است.

## جدول ۱. پروتکل تمرین ترکیبی (HIIT + مقاومتی) طی ۱۲ هفته

هفته	جلسات در هفته	شدت تمرین	تعداد ست × تکرار	مدت (دقیقه)	جزئیات تمرین
۱-۲	۳ جلسه	70% HRmax 60% 1RM	۱۲ × ۳	۴۵-۵۰	HIIT روی دوچرخه ثابت (۱ دقیقه فعالیت + ۱ دقیقه استراحت × ۸ تناوب) + حرکات اسکات، ددلیفت، پرس سینه، پرس پا، بارفیکس، لانگز
۳-۴	۳ جلسه	75% HRmax 65% 1RM	۱۲ × ۳	۵۰-۵۵	HIIT روی دوچرخه و دویدن تناوبی (۱:۱ کار/استراحت × ۱۰ تناوب) + همان حرکات مقاومتی با بار بالاتر
۵-۶	۳ جلسه	80% HRmax 70% 1RM	۱۰ × ۴	۵۵-۶۰	HIIT دوچرخه و دویدن (۱:۱ × ۱۲ تناوب) + اسکات، ددلیفت، پرس پا، پرس سینه، بارفیکس، لانگز
۷-۸	۳ جلسه	85% HRmax 75% 1RM	۱۰ × ۴	۶۰-۶۵	HIIT با افزایش تعداد تناوب‌ها (۱۴) + همان حرکات مقاومتی
۹-۱۰	۳ جلسه	90% HRmax 80% 1RM	۱۰-۸ × ۵	۶۵-۷۰	HIIT با ۱۶ تناوب (۱:۱) + افزایش وزنه در حرکات مقاومتی
۱۱-۱۲	۳ جلسه	95% HRmax 85-90% 1RM	۸-۶ × ۵	۷۰-۷۵	HIIT با ۱۸ تناوب (۱:۱) + حرکات مقاومتی سنگین‌تر

شدت HIIT بر مبنای درصدی از حداکثر ضربان قلب بیشینه (HRmax) هر فرد تنظیم شد. در ابتدا گرم کردن فعال حدود ۸-۱۲ دقیقه شامل دویدن/پدال با شدت سبک، حرکات دامنه مفصلی انجام شد. در بخش HIIT (۲۰-۳۰ دقیقه متغیر بر حسب هفته): طراحی فواصل طوری انجام شد که در هر هفته شدت متوسط HIIT با توجه به هدف %HRmax تعیین شده برای همان انجام شد. تمرین مقاومتی (۲۰-۳۰ دقیقه) که ۲ تا سه ست تمرین مقاومتی در هر جلسه با ترتیب: حرکات پایین‌تنه/بالاتنه به تناوب بین جلسات، مطابق جدول ۱ از ۶۰٪ درصد تا ۹۰ درصد 1RM پیشرفت داشت. سردکن/بازتوانی: ۵-۸ دقیقه حرکت کششی پویا/ایستا و پیاده‌روی سبک انجام شد. تمرینات انتخابی بر مبنای حرکات مرکب و چندمفصلی مانند اسکات، ددلیفت، پرس پا/پرس سینه، بارفیکس/کششی، لانگز و در صورت نیاز حرکات کمکی بود.

تحلیل آماری: داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ تحلیل شدند. در ابتدا، آزمون Shapiro-Wilk برای بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها و آزمون Levene برای همگنی واریانس‌ها به کار رفت. به منظور مقایسه اثر مداخله تمرینی بین دو گروه (تمرین و کنترل) در پس‌آزمون، ضمن کنترل مقادیر پیش‌آزمون به‌عنوان کوواریت، از آزمون تحلیل کوواریانس چندمتغیره (MANCOVA) استفاده شد. این روش امکان بررسی هم‌زمان چندین متغیر وابسته (شاخص‌های آنتروپومتریک، متابولیک و التهابی) را فراهم نمود. در صورت معنی‌دار بودن آزمون کلی، برای بررسی تفاوت‌ها در هر متغیر به‌طور جداگانه از ANCOVA یک متغیره بهره گرفته شد. همچنین، برای مقایسه تغییرات نسبی (% $\Delta$ ) بین گروه‌ها، از آزمون‌های تعقیبی با اصلاح بونفرونی استفاده گردید. سطح معنی‌داری برای همه آزمون‌ها  $p \leq 0.05$  در نظر گرفته شد و علاوه بر آن، اندازه اثر (Partial Eta Squared,  $\eta^2$ ) گزارش گردید تا اهمیت عملی تغییرات روشن شود. داده‌ها به صورت میانگین  $\pm$  انحراف معیار (Mean  $\pm$  SD) ارائه شدند.

## نتایج

ویژگی‌های پایه شامل سن، قد، وزن، شاخص توده بدنی، درصد چربی بدن، فشارخون و شاخص‌های متابولیک و التهابی در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در شروع مطالعه تفاوت معنی‌داری بین گروه تمرین و کنترل از نظر متغیرهای پایه وجود نداشت. این موضوع نشان‌دهنده همگنی اولیه گروه‌ها و اعتبار مقایسه پس از مداخله است.

جدول ۲. متغیرهای پایه مردان دارای اضافه‌وزن (میانگین  $\pm$  انحراف معیار)

متغیر	گروه تمرین (n=15)	گروه کنترل (n=15)	p
سن (سال)	۳۴/۳ $\pm$ ۲/۸	۳۳/۴ $\pm$ ۷/۱	۰/۷
قد (cm)	۱۷۶/۵ $\pm$ ۵/۹	۱۷۷/۶ $\pm$ ۲/۳	۰/۶
وزن (kg)	۸۶/۷ $\pm$ ۴/۵	۸۵/۸ $\pm$ ۷/۱	۰/۸
شاخص توده بدنی (kg/m <sup>2</sup> )	۲۷/۱ $\pm$ ۷/۵	۲۷/۱ $\pm$ ۵/۶	۰/۷
درصد چربی بدن (%)	۲۷/۳ $\pm$ ۹/۲	۲۷/۳ $\pm$ ۵/۴	۰/۶
دور کمر (cm)	۹۶/۶ $\pm$ ۲/۱	۹۵/۵ $\pm$ ۷/۹	۰/۸
نسبت دور کمر به باسن (WHR)	۰/۰ $\pm$ ۹۵/۰۴	۰/۰ $\pm$ ۹۴/۰۵	۰/۶
فشارخون سیستولیک (mmHg)	۹ $\pm$ ۱۲۸	۱۰ $\pm$ ۱۲۶	۰/۵
فشارخون دیاستولیک (mmHg)	۶ $\pm$ ۸۲	۷ $\pm$ ۸۱	۰/۶
ضربان قلب استراحت (bpm)	۶ $\pm$ ۷۷	۷ $\pm$ ۷۶	۰/۷
گلوکز ناشتا (mg/dL)	۹۶/۸ $\pm$ ۳/۴	۹۵/۹ $\pm$ ۷/۲	۰/۸
انسولین ناشتا ( $\mu$ IU/mL)	۱۳/۳ $\pm$ ۱/۲	۱۲/۳ $\pm$ ۸/۴	۰/۷
HOMA-IR	۳/۰ $\pm$ ۱/۷	۳/۰ $\pm$ ۰/۶	۰/۶
لپتین (ng/mL)	۱۴/۴ $\pm$ ۵/۲	۱۴/۴ $\pm$ ۱/۵	۰/۷
IL-6 (pg/mL)	۲/۰ $\pm$ ۹/۸	۲/۰ $\pm$ ۸/۷	۰/۸
TNF- $\alpha$ (pg/mL)	۳/۱ $\pm$ ۵/۰	۳/۱ $\pm$ ۶/۱	۰/۷
CRP (mg/L)	۲/۰ $\pm$ ۸/۹	۲/۱ $\pm$ ۷/۰	۰/۶

جدول ۳ تغییرات شاخص‌های آنتروپومتریک، متابولیک و التهابی-هورمونی در گروه تمرین و گروه کنترل را در مراحل پیش‌آزمون و پس‌آزمون ارائه می‌دهد. همان‌طور که در جدول مشخص است، مداخله تمرینی باعث کاهش معنی‌دار وزن، شاخص توده بدنی، درصد چربی بدن و دور کمر در گروه تمرین گردید، درحالی‌که در گروه کنترل تغییرات چشمگیری مشاهده نشد. همچنین، مقادیر گلوکز ناشتا، انسولین و HOMA-IR پس از مداخله در گروه تمرین به‌طور معنی‌داری بهبود یافتند که نشان‌دهنده افزایش حساسیت به انسولین و بهبود وضعیت متابولیک است. از نظر شاخص‌های التهابی و هورمونی نیز کاهش معنی‌دار در سطوح سرمی IL-6، TNF- $\alpha$ ، CRP و لپتین در گروه تمرین مشاهده شد، درحالی‌که گروه کنترل تغییرات غیر معنی‌داری را نشان داد. این الگو به‌طور کلی بیانگر اثربخشی پروتکل تمرین ترکیبی در بهبود وضعیت بدنی، متابولیک و التهابی افراد دارای اضافه‌وزن است.

جدول ۳. تغییرات متغیرهای پژوهش در گروه تمرین و کنترل (میانگین  $\pm$  SD)

متغیر	گروه تمرین		گروه کنترل		تحلیل آماری (ANCOVA): با کنترل پیش‌آزمون)
	پیش‌آزمون	پس‌آزمون	پیش‌آزمون	پس‌آزمون	
وزن (kg)	۸۶/۲±۷/۴	۸۲/۰±۷/۱	۸۵/۵±۷/۸	۸۵/۱±۷/۶	$F(1,26)=11.8$ $p=0.002$ , $\eta^2=0.31$
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	۲۶/۷۳±۱/۳۸	۲۵/۲۶±۱/۵۳	۲۶/۲۰±۱/۶۱	۲۶/۵۳±۲/۳۵	$F(1,26)=8.2$ , $p=0.009$ $\eta^2=0.28$
درصد چربی بدن	۲۷/۸±۳/۲	۲۵/۰±۳/۰	۲۷/۴±۳/۱	۲۷/۰±۳/۳	$F(1,26)=10.9$ $p=0.003$ , $\eta^2=0.30$
توده چربی (kg)	۲۴/۰±۳/۷	۲۱/۱±۳/۵	۲۳/۶±۳/۸	۲۳/۴±۳/۹	$F(1,26)=9.7$ , $p=0.004$ $\eta^2=0.27$
توده بدون چربی (kg)	۵۶/۱±۴/۵	۵۶/۹±۴/۶	۵۵/۹±۴/۴	۵۵/۷±۴/۵	$F(1,26)=3.9$ , $p=0.058$ $\eta^2=0.13$
دور کمر (cm)	۹۶/۰±۶/۰	۹۲/۰±۵/۸	۹۵/۵±۶/۱	۹۵/۱±۶/۰	$F(1,26)=12.7$ $p=0.001$ , $\eta^2=0.33$
گلوکز ناشتا (mg/dL)	۹۶/۳±۸/۴	۹۰/۵±۷/۹	۹۵/۷±۹/۲	۹۶/۰±۹/۱	$F(1,26)=7.8$ , $p=0.010$ $\eta^2=0.26$
انسولین ناشتا (μIU/mL)	۱۳/۱±۳/۲	۱۰/۲±۲/۹	۱۲/۸±۳/۴	۱۲/۹±۳/۳	$F(1,26)=9.2$ , $p=0.006$ $\eta^2=0.28$
HOMA-IR	۳/۱±۰/۷	۲/۳±۰/۶	۳/۰±۰/۶	۳/۱±۰/۶	$F(1,26)=10.5$ $p=0.004$ , $\eta^2=0.30$
لپتین (ng/mL)	۱۴/۵±۴/۲	۱۱/۸±۳/۷	۱۴/۱±۴/۵	۱۴/۲±۴/۴	$F(1,26)=8.7$ , $p=0.007$ $\eta^2=0.27$
IL-6 (pg/mL)	۲/۹±۰/۸	۲/۱±۰/۷	۲/۸±۰/۷	۲/۹±۰/۸	$F(1,26)=7.3$ , $p=0.012$ $\eta^2=0.25$
TNF-α (pg/mL)	۳/۵±۱/۰	۲/۶±۰/۹	۳/۶±۱/۱	۳/۷±۱/۰	$F(1,26)=6.5$ , $p=0.016$ $\eta^2=0.23$
CRP (mg/L)	۲/۸±۰/۹	۱/۹±۰/۷	۲/۷±۱/۰	۲/۸±۰/۹	$F(1,26)=8.0$ , $p=0.009$ $\eta^2=0.26$

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، مداخله تمرینی موجب کاهش معنی‌دار در شاخص‌های آنتروپومتریک شد. وزن بدن در گروه تمرین نسبت به پیش‌آزمون کاهش قابل‌توجهی داشت (حدود ۴-۵ کیلوگرم)، در حالی که در گروه کنترل تغییر محسوسی دیده نشد. این کاهش در وزن همراه با کاهش BMI بود که از حدود ۲۶/۷ به ۲۵/۲ کیلوگرم بر مترمربع رسید. درصد چربی بدن نیز روند نزولی بارزی را نشان داد؛ در گروه تمرین حدود ۸/۲ درصد کاهش یافت، در حالی که در گروه کنترل تغییر اندکی (غیر معنی‌دار) گزارش شد. این الگو نشان‌دهنده تأثیر مثبت تمرین ترکیبی بر کاهش چربی زیرجلدی و احشایی است. علاوه بر این، کاهش معنی‌دار دور کمر در گروه تمرین (حدود ۴ سانتی‌متر) نسبت به گروه کنترل مشاهده شد؛ شاخصی که ارتباط قوی با چاقی شکمی و خطر بیماری‌های

قلبی-متابولیک دارد. نکته قابل توجه این است که توده بدون چربی در گروه تمرین کاهش نیافت و حتی اندکی افزایش داشت که نشان می‌دهد پروتکل تمرینی نه تنها مانع از تخریب بافت عضلانی شده بلکه احتمالاً سازگاری‌های آنابولیک عضلانی را نیز تحریک کرده است.

جدول ۳ نشان‌دهنده تغییرات گلوکز ناشتا، انسولین و شاخص HOMA-IR در دو گروه تمرین و کنترل است. در گروه تمرین، گلوکز ناشتا کاهش معنی‌داری داشت و از مقادیر نزدیک به ۹۶ mg/dL به حدود ۹۰ mg/dL رسید؛ این کاهش هرچند در محدوده طبیعی قرار دارد، اما از نظر کاهش ریسک ابتلا به دیابت نوع ۲ قابل توجه است. سطوح انسولین ناشتا نیز به‌طور چشمگیری کاهش یافت (از حدود ۱۳  $\mu\text{IU/mL}$  به ۱۰  $\mu\text{IU/mL}$ ) که نشان‌دهنده کاهش نیاز پانکراس به ترشح انسولین برای تنظیم قند خون است. نتیجه مستقیم این تغییرات، بهبود معنی‌دار شاخص مقاومت به انسولین (HOMA-IR) در گروه تمرین بود، به‌طوری‌که این شاخص از ۳/۱ به حدود ۲/۲ کاهش یافت. در مقابل، گروه کنترل تغییرات اندکی در گلوکز و انسولین داشت و حتی HOMA-IR اندکی افزایش یافت که از نظر آماری و بالینی معنی‌دار نبود.

تغییرات سطوح سرمی IL-6، TNF- $\alpha$ ، CRP و لپتین در جدول ۳ نشان داده شده است. در گروه تمرین، IL-6 به میزان حدود ۲۰-۲۵ درصد کاهش یافت که نشان‌دهنده کاهش بار التهابی سیستمیک ناشی از فعالیت ورزشی منظم است. TNF- $\alpha$  نیز روند کاهشی مشابهی داشت و از حدود ۳/۵ pg/mL به ۲/۸ pg/mL رسید. سطح CRP که یکی از شاخص‌های مهم التهاب سیستمیک و پیش‌بینی‌کننده بیماری‌های قلبی-عروقی است، در گروه تمرین کاهش معنی‌داری نشان داد (از حدود ۲/۸ به ۲/۱ mg/L). در گروه کنترل، تغییرات این سه شاخص بسیار اندک و غیر معنی‌دار بود. تغییرات هورمون لپتین چشمگیرتر بود؛ در گروه تمرین سطح لپتین از حدود ۱۴/۵ ng/mL به ۱۰ ng/mL کاهش یافت (حدود ۳۰ درصد کاهش)، در حالی که گروه کنترل تغییر معنی‌داری نشان نداد.

### بحث و بررسی

در این پژوهش نشان داده شد که پروتکل تمرینی ترکیبی شامل تمرین تناوبی پرشدت به همراه تمرین مقاومتی، طی ۱۲ هفته در مردان دارای اضافه‌وزن منجر به کاهش معنی‌دار در شاخص‌های آنروپومتریک مثل وزن، شاخص توده بدنی، درصد چربی بدن و دور کمر شد. همچنین شاخص‌های متابولیک مانند سطح گلوکز ناشتا، انسولین و مقاومت به انسولین بهبود یافتند. علاوه بر این، نشانگرهای التهابی و هورمونی از جمله لپتین، IL-6، TNF- $\alpha$  و CRP کاهش یافتند. این نتایج بیانگر تأثیر مثبت مداخله غیردارویی بر سلامت متابولیک و کاهش التهاب در این جمعیت است.

با توجه به یافته‌های تحقیق و معضل روزافزون چاقی که با افزایش خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی-عروقی، دیابت نوع ۲ و سایر اختلالات التهابی همراه است. استفاده از رویکردهایی مانند تمرینات HIIT در ترکیب با تمرینات مقاومتی، می‌تواند از جمله گزینه‌های کم‌هزینه، کم‌عارضه و قابل دسترس برای کاهش خطرات سلامتی مرتبط با اضافه‌وزن و چاقی باشد.

یافته‌های این پژوهش در بسیاری موارد با نتایج مطالعات قبلی که تأثیر تمرینات را به صورت جداگانه بررسی کرده بودند، هم‌راستا است (Jelleyman et al., 2015). در متآنالیزی نشان داده است که تمرینات HIIT نسبت به شرایط کنترل یا تمرین مستمر، کاهش معنی‌داری در مقاومت به انسولین دارد (Jelleyman et al., 2015).

همچنین در مطالعه‌ای بر روی ویژگی‌های آنتروپومتریک نشان داد که HIIT به طرز معنی‌داری بر BMI، درصد چربی و دور کمر تأثیر دارد (Andreato et al., 2019 & Viana et al., 2019). در خصوص تمرین مقاومتی، مطالعات نشان داده‌اند که این نوع تمرین نقش مهمی در حفظ و حتی افزایش توده بدون چربی ایفا می‌کند و در عین حال به بهبود حساسیت انسولین نیز کمک می‌نماید (Strasser et al., 2010). در مطالعه ما نیز توده بدون چربی در گروه تمرین روند افزایشی داشت، هرچند این تغییر در حد مرز معنی‌داری بود که این موضوع می‌تواند ناشی از مدت زمان مداخله یا شدت بار تمرینی باشد که احتمالاً برای افزایش بارز توده عضلانی کافی نبوده است. یافته‌های مربوط به نشانگرهای التهابی نیز با مطالعات مشابه مطابقت دارد. برای مثال، در پژوهشی گزارش شده است که تمرین HIIT باعث کاهش معنی‌دار سطوح IL-6، TNF- $\alpha$  و CRP در افراد چاق یا دارای اضافه‌وزن می‌شود (Wedell-Neergaard et al., 2018) که مطالعه حاضر نیز کاهش معنی‌دار این سیتوکین‌ها را نشان داد که بیانگر نقش این پروتکل تمرینی در تعدیل التهاب است. علاوه بر این، کاهش لپتین در گروه تمرین مطابق با گزارش‌های قبلی است که نشان می‌دهند تمرینات تناوبی یا ترکیبی می‌توانند سطوح لپتین را مستقل از تغییرات شدید وزن کاهش دهند (Simpson et al., 2008). با این حال، برخی از نتایج ما با یافته‌های دیگر مطالعات کاملاً همسو نبود. برای نمونه، برخی مطالعات کوتاه‌مدت‌تر (کمتر از ۸ هفته) یا با شدت پایین‌تر، تغییر معنی‌داری در HOMA-IR یا نشانگرهای التهابی گزارش نکرده‌اند (Andreato et al., 2019). این تفاوت‌ها احتمالاً ناشی از مدت زمان مداخله، شدت تمرین، ویژگی‌های نمونه (سن، جنسیت، سطح آمادگی اولیه) یا ابزارهای اندازه‌گیری متفاوت است. مطالعه حاضر با مدت ۱۲ هفته و شدت نسبتاً بالا ممکن است اثرات بارزتری نسبت به مطالعات کوتاه‌تر یا کم‌شدت‌تر داشته باشد.

مکانیسم‌های متعددی در بهبود شاخص‌های متابولیک و التهابی در این پروتکل تمرینی دخیل هستند؛ که از جمله آن می‌توان به بهبود سیگنال‌دهی انسولین از طریق مسیر AMPK / AKT / GLUT4 اشاره کرد. ورزش منظم، به خصوص تمرینات HIIT، موجب فعال شدن AMPK می‌شود که به نوبه خود باعث افزایش انتقال GLUT4 به غشاء سلول و بهبود جذب گلوکز می‌گردد. اتفاقاً در مطالعه‌ای جدید نشان داده است که در مدل‌های حیوانی دیابتی، HIIT منجر به افزایش بیان AMPK و AKT و کاهش ژن‌های مرتبط با گلوکونئوزنز (FOXO-1، PEPCK) شده است که مقاومت به انسولین را کاهش می‌دهد (Sharafifard et al., 2025).

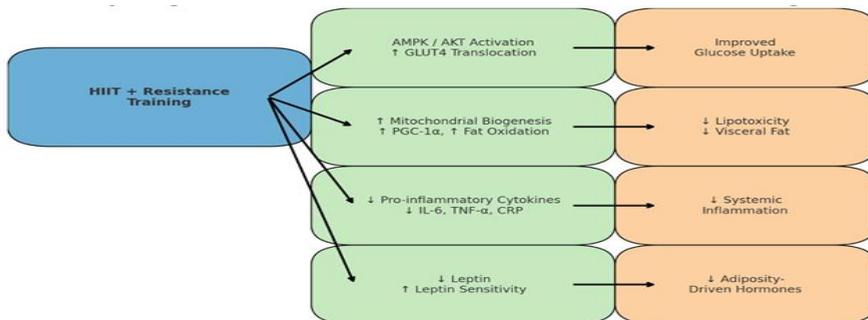
کاهش تجمع چربی احشایی و چربی درون‌سلولی از جمله مکانیسم‌های دیگری است که منجر به بهبود این شاخص‌ها می‌گردد. چربی احشایی فعالیت متابولیک و التهابی بالایی دارد و رسوب چربی در بافت‌های غیر چربی (کبد، عضلات) منجر به تولید لیپوکسین‌ها، اسیدهای چرب آزاد و فعال شدن مسیرهای التهابی است. تمرینات HIIT ترکیب با تمرین مقاومتی، موجب کاهش درصد چربی بدن و دور کمر می‌گردد که به نوبه خود باعث کاهش این منابع التهابی بدن می‌شوند. این کاهش چربی به کاهش تولید لپتین و TNF- $\alpha$  کمک می‌کند (Mitoiu et al., 2024). همچنین تمرینات HIIT در ترکیب با تمرینات مقاومتی با تحریک تولید سیتوکین‌های ضدالتهابی و افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها موجب کاهش سطح IL-6، TNF- $\alpha$ ، CRP می‌شود. مطالعه‌ای که ۶ هفته BW-HIIT را روی افراد دارای مقاومت به انسولین بررسی کرده است، کاهش معنی‌دار نشانگرهای التهابی و هورمونی را گزارش داد (Zhang et al., 2025). همچنین ترکیب HIIT به حفظ یا افزایش توده بدون چربی کمک می‌کند به همین دلیل موجب کاهش التهاب سیستمیک می‌شود (Zhang et al., 2025). در مطالعه‌ای

نشان داده شد که تمرینات HIIT نه تنها به دلیل کاهش چربی بدن بلکه احتمالاً از طریق بهبود حساسیت لپتینی یا کاهش استرس اکسیداتیو و التهاب مزمن، می‌تواند به کاهش لپتین منجر شود (Bravo et al., 2024). از سوی دیگر ترکیب تمرینات HIIT با مقاومتی می‌تواند به افزایش ظرفیت متابولیک و عملکرد میتوکندری کمک کند. تمرینات HIIT معمولاً موجب بهتر شدن ظرفیت اکسیداتیو میتوکندری، افزایش بیان ژن‌های مانند-PGC  $\alpha$  و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌شود که این تغییرات باعث افزایش متابولیسم چربی و گلوکز، کاهش استرس اکسیداتیو و در نتیجه کاهش آسیب التهابی می‌گردد (Sharafifard et al., 2025).

این پروتکل تمرینی ممکن است تأثیر مستقیمی بر بیان ژن‌ها و پروتئین‌های کلیدی در مسیرهای متابولیک داشته باشد، از جمله کاهش بیان ژن‌های آنزیم‌های گلوکونئوژنز (FOXO-1، PEPCK)، سرکوب مسیری-SREBP برای لیپوژنز، افزایش PPAR- $\alpha$  در کبد، همچنین تأثیر بر فاکتورهایی مثل SPX (Spexin) که اخیراً به عنوان آدیپوکینی مؤثر در حساسیت به انسولین شناخته شده است (Khoramipour et al., 2025). این مکانیسم‌ها همراه با نمودار مسیرهای زیستی (pathway) در شکل ۱ نشان داده شده است. در این شکل فعال‌سازی AMPK/AKT و افزایش GLUT4 که به بهبود جذب گلوکز کمک می‌کند، همچنین بیوژنز میتوکندری و اکسیداسیون چربی که به کاهش لیپوتوکسیسیتی منجر می‌شود، کاهش سایتوکین‌های التهابی و در نتیجه کاهش التهاب سیستمیک و در نهایت تنظیم لپتین و سایر هورمون‌ها، نشان داده شده است.

یافته‌های این مداخله نشان داد که ترکیب تمرینات HIIT و تمرینات مقاومتی نه تنها بر کاهش وزن و درصد چربی اثرگذار بوده، بلکه ممکن است به صورت هم‌زمان منجر به بهبود شاخص‌های متابولیک گلوکز، انسولین، HOMA-IR و کاهش التهاب مزمن، نیز شود. این موضوع نشان می‌دهد که چنین پروتکلی می‌تواند حتی خطر بروز بیماری‌های قلبی-عروقی و دیابت نوع ۲ را به‌طور هم‌زمان کاهش دهد.

از محدودیت‌های این تحقیق می‌توان به حجم محدود نمونه و عدم پیگیری بلندمدت اثرات پایدار تمرین پس از پایان مداخله اشاره کرد. در پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌گردد مطالعات طولانی‌مدت همراه با پیگیری پس از پایان تمرینات، بررسی مکانیسم‌های مولکولی جدید، ترکیب تمرینات با مداخلات تغذیه‌ای و کنترل دقیق‌تر رژیم غذایی آزمودنی‌ها انجام گردد تا اطلاعات جدیدی در مورد تأثیرات این نوع تمرینات فراهم شود.



شکل ۱. مسیرهای احتمالی تأثیر فیزیولوژیک و مولکولی تمرینات HIIT در ترکیب با تمرینات مقاومتی

## نتیجه گیری

به طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که پروتکل تمرینی ترکیبی HIIT + مقاومتی به مدت ۱۲ هفته موجب بهبود قابل توجه شاخص‌های آنتروپومتریک، متابولیک و نشانگرهای التهابی در مردان دارای اضافه‌وزن شد. این مداخله منجر به کاهش معنی‌دار وزن، BMI، درصد چربی بدن، سطوح گلوکز و انسولین ناشتا، مقاومت به انسولین و کاهش سایتوکین‌های التهابی IL-6، TNF- $\alpha$ ، CRP و لپتین گردید، در حالی که توده بدون چربی تا حد زیادی حفظ شد. این یافته‌ها بیانگر آن است که تمرین ترکیبی HIIT + مقاومتی می‌تواند به‌عنوان یک رویکرد غیردارویی، کم‌هزینه، ایمن و مؤثر برای بهبود سلامت متابولیک و کاهش التهاب مزمن پایین درجه در مردان دارای اضافه‌وزن مورد استفاده قرار گیرد. از این رو، استفاده از چنین پروتکل‌هایی در برنامه‌های پیشگیری و مدیریت چاقی و بیماری‌های مرتبط با آن توصیه می‌شود.

## تضاد منافع

این پژوهش هیچ‌گونه تضاد و تعارض منافی ندارد.

## منابع

- Afshin A, Forouzanfar MH, Reitsma MB, Sur P, Estep K, Lee A, et al. Health effects of overweight and obesity in 195 countries over 25 years. *New England Journal of Medicine*. 2017;377(1):13-27.
- 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.
- Artemniak-Wojtowicz D. Obesity and chronic inflammation crosslinking. *International Journal of Molecular Sciences*. 2021;22:3177.
- Becic T, et al. Exercise Increases Adiponectin and Reduces Leptin: A Systematic Review. *Endocrine Connections*. 2018;7(8):857-68.
- Boutens L, Stienstra R. Adipose tissue macrophages: going off track during obesity. *Nature Reviews Immunology*. 2016;16(6):337-49.
- Bravo GM, Paramasivam P, Bellissimo GF, Jacquez Q, Zheng H, Amorim F, et al. High-Intensity Interval Training Decreases Circulating HMGB1 in Individuals with Insulin Resistance; Plasma Lipidomics Identifies Associated Cardiometabolic Benefits. *bioRxiv*. 2024:2024.08.21.608998.
- Considine RV, Caro JF. Leptin and the regulation of body weight. *International Journal of Biochemistry & Cell Biology*. 1997;29(12):1255-72.
- DeFronzo RA, Ferrannini E, Groop L, Henry RR, Herman WH, Holst JJ, et al. Type 2 diabetes mellitus. *Nature Reviews Disease Primers*. 2015;1:15019.
- Fernández-Rodríguez R. Effectiveness of Resistance Exercise on Inflammatory Biomarkers in Patients with Type 2 Diabetes: Systematic Review and Meta-Analysis. *Diabetes & Metabolism Journal*. 2022;46:1.
- Friedman JM. Leptin and the endocrine control of energy balance. *Nature Metabolism*. 2019;1(8):754-64.
- González-Encabo P, Maldonado G, Valadés D, Ferragut C, Pérez-López A. The Role of Exercise Training on Low-Grade Systemic Inflammation in Adults with

- Overweight and Obesity: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021;18(24):13258.
- Hotamisligil GS. Adipose expression of tumor necrosis factor-alpha. *Science*. 1993;259(5091):87-91.
- Jelleyman C, Yates T, O'Donovan G, Gray LJ, King JA, Khunti K. The effects of high-intensity interval training on glucose regulation and insulin resistance: a meta-analysis. *Obesity Reviews*. 2015;16(11):942-61.
- Kern LH, et al. Obesity-Induced TNF $\alpha$  and IL-6 Signaling: The Missing Link between Obesity and Inflammation-Driven Liver and Colorectal Cancers. *International Journal of Molecular Sciences*. 2018;19:1273.
- Khoramipour K, Hosseini NS, Hill JW, Khoramipour K, Khoramipour K, Izquierdo SM, et al. High intensity interval training attenuate insulin resistance in diabetic rats accompanied by improvements in liver metabolism and spexin signaling. *Scientific Reports*. 2025;15(1):30682.
- Kim SD, et al. Effects of Resistance Training on C-Reactive Protein and Other Inflammatory Markers: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*. 2022;13(2):410-28.
- Matthews DR, Hosker JP, Rudenski AS, Naylor BA, Treacher DF, Turner RC. Homeostasis model assessment: insulin resistance and beta-cell function from fasting plasma glucose and insulin concentrations in man. *Diabetologia*. 1985;28(7):412-9.
- Mitoiu BI, Nartea R, Miclaus RS. Impact of Resistance and Endurance Training on Ghrelin and Plasma Leptin Levels in Overweight and Obese Subjects. *International Journal of Molecular Sciences*. 2024;25(15).
- Myers MG, Leibel RL, Seeley RJ, Schwartz MW. Obesity and leptin resistance: distinguishing cause from effect. *Trends in Endocrinology & Metabolism*. 2010;21(11):643-51.
- Ouerghi N. Effects of High-Intensity Interval Training on Selected Adipokines and Cardiometabolic Markers in Excess-Weight Youth. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022;19:11833.
- Peng Y, et al. The effect of low-volume high-intensity interval training on metabolic outcomes in overweight/obese adults: a randomized trial. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*. 2023;15:102.
- Petersen MC, Shulman GI. Mechanisms of insulin action and insulin resistance. *Physiological Reviews*. 2018;98(4):2133-223.
- Samuel VT, Shulman GI. The pathogenesis of insulin resistance: integrating signaling pathways and substrate flux. *Journal of Clinical Investigation*. 2016;126(1):12-22.
- Sharafifard F, Kazeminasab F, Ghanbari Rad M, Ghaedi K, Rosenkranz SK. The combined effects of high-intensity interval training and time-restricted feeding on the AKT/FOXO1/PEPCK pathway in diabetic rats. *Scientific Reports*. 2025;15(1):13898.
- Simpson KA, Singh MAF. Effects of exercise on adiponectin: a systematic review. *Obesity*. 2008;16(2):241-56.

- Strasser B, Siebert U, Schobersberger W. Resistance training in the treatment of the metabolic syndrome: a systematic review and meta-analysis of the effect of resistance training on metabolic clustering in patients with abnormal glucose metabolism. *Sports Medicine*. 2010;40(5):397-415.
- Viana RB, Naves JPL, Coswig VS, de Lira CAB, Steele J, Fisher JP, et al. Is interval training the magic bullet for fat loss? A systematic review and meta-analysis comparing moderate-intensity continuous training with high-intensity interval training (HIIT). *British Journal of Sports Medicine*. 2019;53(10):655-64.
- Wang S, et al. Effect of Exercise Training on Body Composition and Inflammatory Status in Overweight and Obese Individuals: A Network Meta-Analysis. *Sports Medicine*. 2022;52(7):1553-73.
- Wang Y, et al. Combined high-intensity interval and resistance training improves metabolic and inflammatory markers in people with overweight/obesity: a randomized controlled trial. *Journal of Translational Medicine*. 2024;22:310.
- Wedell-Neergaard AS, Krogh-Madsen R, Petersen GL, Hansen Å, Pedersen BK, Lund R, et al. Cardiorespiratory fitness and the risk of frequent hospitalisation: a prospective population-based study. *PLoS ONE*. 2018;13(4):e0195430.
- World Health Organization. (n.d.). *Obesity and overweight*. Retrieved February 15, 2026, from.
- Zatterale F, Longo M, Naderi J, Raciti GA, Desiderio A, Miele C, et al. Chronic Adipose Tissue Inflammation Linking Obesity to Insulin Resistance and Type 2 Diabetes. *Frontiers in Physiology*. 2020;10:1607.
- Zhang T, Liu Y, Yang Y, Luo J, Hao C. The Effect and Mechanism of Regular Exercise on Improving Insulin Impedance: Based on the Perspective of Cellular and Molecular Levels. *International Journal of Molecular Sciences*. 2025;26(9).

## **Combination of High-Intensity Interval Training and Resistance Training as a Non-Pharmacological Strategy to Improve Metabolic and Inflammatory Indices in Overweight Men**

Saman Hoseini, Mehdi Ghafari<sup>\*</sup>, Akbar Azamian-Jazi

Department of Exercise Physiology, Faculty of Literature and Human Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

**\*Corresponding author:** ghafari.mehdi@gmail.com

### **Abstract**

**Objectives:** Overweight and obesity are associated with adverse metabolic alterations, including elevated leptin levels, hyperglycemia, insulin resistance, and activation of inflammatory pathways. These alterations substantially increase the risk of chronic diseases, particularly type 2 diabetes and cardiovascular disorders. In recent years, exercise interventions have been recognized as effective non-pharmacological strategies for managing metabolic and inflammatory dysfunctions. This study aimed to investigate the effects of combined high-intensity interval training (HIIT) and resistance exercise on metabolic and inflammatory markers in overweight men.

**Methods:** In this quasi-experimental study, 30 overweight men were recruited using convenience sampling and randomly assigned to experimental and control groups. The experimental group completed a 12-week combined HIIT and resistance training program (three sessions per week, 45 minutes per session), while the control group received no intervention. Outcome measures included serum leptin, fasting glucose, insulin resistance assessed by the homeostasis model assessment (HOMA-IR), C-reactive protein (CRP), interleukin-6 (IL-6), and tumor necrosis factor-alpha (TNF- $\alpha$ ). Data were analyzed using multivariate analysis of covariance.

**Results:** The combined training program resulted in significant reductions in serum leptin, fasting glucose, insulin resistance, CRP, IL-6, and TNF- $\alpha$  levels in the experimental group compared with the control group ( $p < 0.05$ ). In addition, significant improvements in body composition were observed following the intervention.

**Conclusion:** The findings suggest that combined high-intensity interval and resistance training is an effective non-pharmacological approach for improving metabolic profiles and reducing systemic inflammation in overweight men.

**Key words:** Overweight; High-intensity Interval Training; Resistance Training; Leptin; Insulin resistance; Inflammatory Markers