

## مقایسه تأثیر هشت هفته تمرین شنای تداومی و تناوبی با شدت بالا بر مقادیر بافتی آیریزین و حساسیت به انسولین در موش‌های صحرایی نر مبتلا به سندرم متابولیک

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۲۰ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۱۹

### خلاصه

**مقدمه:** ورزش ممکن است فرآیندهای مهم بیوشیمیایی را فعال کند و باعث تغییر فنوتیپ بافت چربی شود. هدف تحقیق حاضر، مقایسه تأثیر هشت هفته تمرین شنای تداومی و تناوبی با شدت بالا بر مقادیر بافتی آیریزین و حساسیت به انسولین در موش‌های صحرایی نر مبتلا به سندرم متابولیک بود.

**روش کار:** ۴۸ سر موش صحرایی نر و یستار شش هفته‌ای و وزن ۱۸۰-۱۵۰ گرم انتخاب و پس از القای سندرم متابولیک، به‌طور تصادفی به چهار گروه هشت‌تایی کنترل استاندارد، کنترل سندرم متابولیک، شنای تداومی متوسط + سندرم متابولیک (CT + MetS) و گروه شنای تناوبی با شدت بالا + سندرم متابولیک (HIIT + MetS) تقسیم شدند. تمرین شنا به مدت هشت هفته و پنج روز در هفته معادل ۶۵ و تقریباً ۱۰۰ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی به ترتیب برای CT و HIIT اجرا گردید. اندازه‌گیری متغیرهای خونی و بافتی (چربی احشایی و کبد) به روش الیزا و تحلیل آماری با استفاده از آنالیز واریانس یک‌طرفه در سطح معنی‌داری  $p < 0.05$  انجام شد.

**نتایج:** شنای CT و HIIT پس از القای سندرم متابولیک، باعث افزایش سطح آیریزین در بافت کبد و چربی احشایی موش‌ها گردید (به ترتیب با  $p = 0.002$  و  $p = 0.001$ ) و این تغییرات پس از HIIT بیشتر بود. مقادیر گلوکز در گروه شنای CT و HIIT به‌طور معنی‌دار از گروه کنترل استاندارد و سندرم متابولیک پایین‌تر بود ( $p = 0.001$ ). از طرف دیگر، حساسیت به انسولین ( $p = 0.67$ ) بین گروه‌های تمرین با گروه کنترل سندرم متابولیک، تفاوت معنی‌داری نداشت.

**نتیجه‌گیری:** با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، این احتمال وجود دارد که شنای CT و HIIT بتواند اثرات درمانی محافظتی بر روی سندرم متابولیک از طریق افزایش آیریزین و کاهش مقادیر گلوکز خون داشته باشد.

### کلمات کلیدی

سندرم متابولیک، شنای تداومی، شنای تناوبی با شدت بالا، آیریزین، حساسیت به انسولین.

**پی‌نوشت:** این مطالعه فاقد تضاد منافع می‌باشد.

محمداسماعیل افضل‌پور<sup>۱\*</sup>

مهرداد مفرسنی<sup>۱</sup>

حسین زهرایی<sup>۱</sup>

مجتبی امیرآبادی‌زاده<sup>۱</sup>

حسین نخعی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه

بیرجند، بیرجند، ایران.

<sup>۲</sup>مرکز تحقیقات ارتقای سلامت، دانشگاه علوم پزشکی

زاهدان، زاهدان، ایران.

Email: mafzalpour.birjand.ac.ir

## مقدمه

اضافه وزن و چاقی از چالش‌های بزرگ سلامت جهان به شمار می‌آید و روند رو به رشد آن اکثر بخش‌های بهداشتی کشورها را با مسائل و عوارض جانبی خود، درگیر کرده است (1). تغییرات سبک زندگی، رژیم غذایی نامناسب، فقر حرکتی، استفاده از وسایل مدرن و عدم فعالیت‌های ورزشی متناسب با انرژی دریافتی، با طیف گسترده‌ای از عوامل رفتاری، ژنتیکی، بیولوژیک و زیست‌محیطی؛ از علل عمده چاقی و اختلالات سندرم متابولیک و بیماری‌های قلبی-عروقی به حساب می‌آیند (2). سندرم متابولیک به مجموعه‌ای از شرایط فشارخون بالا، افزایش سطوح انسولین خون، چربی انباشته اضافی در اطراف شکم و سطوح افزایش یافته تری‌گلیسرید و سطوح پایین لیوپروتئین با چگالی بالا<sup>۱</sup> (HDL) گفته می‌شود. علل زمینه‌ای سندرم متابولیک تا حدودی ناشناخته است، ولی محققان مقاومت به انسولین و تجمع چربی احشایی را به‌عنوان مؤلفه‌های اصلی سندرم متابولیک پیشنهاد کرده‌اند (3). با توجه به تعداد متغیرهای مطرح‌شده در مورد سندرم متابولیک، شناخت سازوکارها و درمان آن هنوز ناشناخته است و نیاز به تحقیق بیشتر دارد.

بافت چربی دارای دو جزء عملکردی متفاوت مشتمل بر چربی سفید و چربی قهوه‌ای است. چربی سفید انرژی را ذخیره می‌کند و چربی قهوه‌ای نقش گرم‌زایی دارد و انرژی شیمیایی را به انرژی حرارتی تبدیل می‌کند (1). کاهش بافت چربی سفید و افزایش بافت چربی قهوه‌ای، راه‌های مؤثری در پیشگیری از بروز بیماری‌های متابولیک هستند. اعتقاد بر آن است که با انجام فعالیت ورزشی و انقباض عضله، میوسیت‌ها ملکول‌هایی به نام مایوکاین ترشح می‌کنند که عمدتاً شامل کموکاین‌ها و سایتوکاین‌ها است. مایوکاین‌ها انواع فرآیندهای متابولیک را در بافت‌ها و اندام‌های مختلف مانند

کبد، اسکلت، مغز یا بافت چربی از طریق مسیرهای سیگنال دهی غدد درون‌ریز و پاراکرین تنظیم می‌کنند (4). آیریزین یک مایوکاین جدید، حاوی ۱۱۲ اسید آمینه با وزن مولکولی ۱۲ کیلو دالتون و محصول بیان ژن فیبرونکتین دومین نوع سه حاوی پروتئین پنج<sup>۲</sup> (FND5) است که اولین بار توسط Boström و همکاران به‌عنوان یک هورمون ناشی از ورزش در سال ۲۰۱۲ جداسازی و توصیف شد (5). آیریزین توسط گیرنده گاما فعال‌شده با تکثیرکننده پراکسی زومی یک - آلفا<sup>۳</sup> (PGC1 $\alpha$ ) تنظیم می‌شود. آیریزین از طریق اتصال به گیرنده‌های ناشناخته سلول‌های چربی سفید و سایر بافت‌ها، با افزایش بیان گیرنده گامای فعال‌کننده تکثیر پراکسی زومی<sup>۴</sup> (PPAR- $\gamma$ ) موجب افزایش بیان ژن پروتئین جداکننده یک<sup>۵</sup> (UCP1) می‌شود. UCP1 بافت چربی سفید را به بافت چربی بژ و سپس چربی قهوه‌ای تبدیل می‌کند که بر گلوکز خون، حساسیت به انسولین، تراکم میتوکندریایی و متابولیسم چربی تأثیر گذار است. محققان احتمال می‌دهند که مکانیسم PGC1- $\alpha$ -irisin-UCP1 که در پاسخ به مقاومت به انسولین یا افزایش بیش‌ازحد چربی بیان می‌شود، می‌تواند در کنترل دیابت، چاقی و کنترل پیامدهای آن نقش دارد (6). علاوه بر نقش آیریزین در تنظیم متابولیسم انرژی، که نقش محافظتی آن در برابر دیابت نوع ۲ و چاقی محسوب می‌شود (7)، نقش‌های مفید دیگری نیز به آن نسبت داده شده است. به‌عنوان مثال، در حفظ سلامت قلب و عروق (8)؛ به‌عنوان یک ضدافسردگی در تنظیم خلق‌وخو و محافظت در برابر تحلیل استخوان و آتروفی عضلانی نیز عمل می‌کند (9). آیریزین همچنین با افزایش بیان عامل نوروتروفیک مشتق از مغز<sup>۶</sup> (BDNF)، در سلامت مغز و بهبود عملکرد شناختی آن در ارتباط است (۱۰). اخیراً نشان داده شده است که آیریزین

4 Peroxisome-proliferator activated receptor- $\gamma$ 

5 Uncoupling protein-1

6 Brain-derived neurotrophic factor

1 High density lipoprotein

2 Fibronectin type 3 domain-containing protein 5 (FND5) gene

3 Peroxisome proliferator-activated receptor gamma coactivator 1-alpha

با رژیم غذایی پرچرب در موش‌های صحرایی نر نژاد اسپراگ داوولی می‌شود (۱۶). de Alencar و همکاران (۲۰۱۷) نیز در مقاله مروری خود گزارش کرده‌اند که هشت هفته تمرین تناوبی شدید، باعث افزایش آیریزین پلازما و UCP-1 چربی زیرپوستی در موش‌های نر چاق می‌شود و این که احتمالاً این تغییرات می‌تواند نقش مؤثری در بهبود مقاومت به انسولین داشته باشد (۱۷). همچنین هشت هفته تمرین شنای مزمن با شدت متوسط، یک ساعت در روز و پنج روز در هفته، سبب عدم تغییر سطح آیریزین در موش‌های صحرایی نر شده است (۱۸). علاوه بر شدت و نوع تمرین، وضعیت متابولیسمی افراد نیز می‌تواند در پاسخ سطح آیریزین مؤثر باشد. در واقع، شرایط متابولیک غیرطبیعی ممکن است سطح آیریزین را در عضلات اسکلتی کاهش دهد. Kartinah و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه خود اشاره کرده‌اند که چاقی به‌طور قابل توجهی FNDC5 و آیریزین را در عضله اسکلتی موش کاهش می‌دهد و تمرینات ورزشی می‌تواند اثر منفی چاقی بر سطح آیریزین را جبران کند (۱۹). با این حال، اخیراً تمرین تناوبی با شدت بالا، علاقه‌مندان بیشتری پیدا کرده است و بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که تمرینات تناوبی با شدت بالا می‌توانند وزن بدن را به اندازه تمرینات مداوم کاهش دهند (۱۷، ۱۹). بر اساس توضیحات فوق، اثرات تمرینات مختلف، با شدت‌های متفاوت و در وضعیت‌های متابولیک طبیعی و غیرطبیعی بر تغییرات سطح آیریزین می‌تواند پاسخ‌های متفاوتی ایجاد نماید و هنوز پاسخی مشخص و روشن در این خصوص وجود ندارد. از طرفی، مطالعات نشان داده‌اند که افراد چاق به دلیل افزایش وزن، تمایل کمتر و توانایی پایینی در اجرای حرکات در خشکی دارند. از آنجا که ورزش شنا و اجرای حرکات بدنی در آب مورد توجه اکثریت افراد جامعه بوده و علاوه بر ایجاد شادابی و نشاط باعث بهبود و درمان بعضی از آسیب‌ها می‌شود، بسیاری از مردم بویژه افراد دارای اضافه‌وزن و آسیب‌دیده، شنا کردن را نسبت به دیگر فعالیت‌های بدنی در

تأثیر مثبتی در تنظیم ژن‌های مختلف در بافت چربی، مرتبط با پیامد COVID-19 دارد (۱۱). بر اساس شواهد، آیریزین بخصوص هنگام انقباضات عضلانی ترشح می‌شود و عضله اسکلتی هدف اصلی آن هنگام اجرای فعالیت‌های ورزشی است. به نظر می‌رسد آیریزین یک هورمون تحریک‌شده با تمرین است، که بافت چربی سفید را به بافت چربی قهوه‌ای تبدیل می‌کند و با افزایش مصرف کالری و گرم‌زایی، منجر به کاهش وزن می‌شود (۵). تحقیقات انجام‌شده نشان از آن دارند که ورزش و انجام فعالیت بدنی منظم، به بهبود وضعیت سلامتی کمک می‌کند و می‌تواند سبب پیشگیری بسیاری از بیماری‌ها، مانند بیماری‌های قلبی-عروقی، مقاومت به انسولین، دیابت نوع ۲، افسردگی، سارکوپنیا<sup>۱</sup> و بیماری آلزایمر گردد (۱۲). با این حال، تأثیر تمرین بر سطح آیریزین نتایج ناهم‌سویی را نشان می‌دهد. در مطالعات انسانی، Norheim و همکاران (۲۰۱۴) کاهش سطح آیریزین را پس از ۱۲ هفته تمرینات ترکیبی (تمرینات استقامتی و قدرتی) در افراد کم‌تحرك در سنین ۴۰-۶۵ سال نشان داده‌اند (۱۳). Dinas و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه مروری خود افزایش، کاهش و عدم تغییر در سطح آیریزین را پس از فعالیت ورزشی بیان داشته‌اند (۱۴). در مطالعه دیگری که توسط معین نیا و حسینی (۲۰۱۶) انجام گردید، کاهش قابل توجهی در سطح آیریزین پس از تمرین مقاومتی با شدت بالا، اما نه پس از تمرین مقاومتی با شدت کم، در زنان جوان کم‌تحرك گزارش شده است (۱۵). همچنین Yoshifumi و همکاران (۲۰۱۴) نشان داده‌اند که غلظت آیریزین پس از تمرین با شدت بالا، به‌طور قابل ملاحظه‌ای در جوانان سالم افزایش می‌یابد، اما پس از تمرین با شدت کم کاهش پیدا می‌کند. این یافته دال بر آن است که پاسخ آیریزین تحت تأثیر شدت تمرین قرار می‌گیرد (۶). در مطالعات حیوانی نیز Shin و همکاران (۲۰۱۵) نشان داده‌اند که هشت هفته تمرینات مداوم با شدت متوسط، باعث افزایش معنی‌دار در بیان PGC1 $\alpha$  گروه کنترل تمرین و گروه تمرین

غذایی با چربی بالا به مدت ۱۲ هفته، با رژیم غذایی پرچرب و پرکالری دست‌ساز تغذیه شدند. برای تهیه غذای پرچرب و پرکالری بر اساس منابع موجود، به ازای هر ۲۴۰۰ گرم، حدود ۳۶۰ گرم آرد، ۳۶۰ گرم ساکاروز، ۴۸۰ گرم چربی دنبه، ۲۴ گرم کلسترول، ۱۸ گرم اسید کولیک و ۱۱۵۸ گرم پودر غذای استاندارد موش صحرایی استفاده گردید (۲۰). یک گروه از رژیم غذایی استاندارد به‌عنوان گروه کنترل استاندارد پایه (n=۸) و یک گروه از دسته رژیم غذایی پرچرب به‌عنوان گروه کنترل غذای پرچرب (n=۸) پیش از شروع تمرینات به‌عنوان حیوانات سندرم متابولیک مبتلا شده‌اند. این وضعیت با خون‌گیری از قلب حیوان و نمونه‌برداری از بافت چربی احشایی و کبد مشخص گردید. سپس تعداد ۲۴ سر موش باقیمانده مبتلا به سندرم متابولیک، به‌صورت تصادفی به سه گروه هشت‌تایی شامل گروه کنترل + سندرم متابولیک (Cn + MetS)، گروه شنای مداومی متوسط + سندرم متابولیک (CT + MetS) و گروه شنای تناوبی با شدت بالا + سندرم متابولیک (HIIT + MetS) تقسیم شدند و به همراه هشت سر موش گروه کنترل استاندارد (یا سالم)، به‌عنوان گروه‌های مورد مطالعه تا پایان پژوهش با رژیم غذایی استاندارد تغذیه شدند.

پس از ۱۲ هفته تغذیه حیوان با رژیم غذایی پرچرب و پرکالری، با استفاده از شاخص Lee (بیشتر از ۳۱۰ گرم) مشخص گردید که موش‌های صحرایی به چاقی مبتلا شده‌اند. برای کنترل وزن، هر هفته وزن موش‌ها با ترازوی دیجیتال ساخت شرکت AND ژاپن مدل GF-300 با حساسیت ۰/۰۰۱ و خطای ۰/۰۱ گرم، اندازه‌گیری و ثبت گردید. از شاخص‌های قند خون (بالای ۱۲۶ میلی‌گرم بر دسی‌لیتر) و نیم‌رخ لیپیدی (HDL کمتر از ۴۰ میلی‌گرم بر دسی‌لیتر و تری‌گلیسیرید بالای ۱۵۰ میلی‌گرم بر دسی‌لیتر) به‌عنوان ملاک‌های ورود به سندرم متابولیک استفاده شد (۲۱).

در ادامه، ابتدا موش‌های گروه تمرین (CT + MetS و HIIT + MetS) به‌منظور آشناسازی با برنامه تمرین به مدت پنج روز

خشکی ترجیح می‌دهند. از این رو، با توجه به اثر تمرینات با شدت متفاوت بر روی سطوح پپتید آیریزین که به‌عنوان تغییردهنده فنوتیپ بافت چربی از چربی سفید به چربی قهوه‌ای و اثر آن بر کاهش وزن و متابولیسم انرژی مطرح است و از سویی با توجه به محدودیت در مطالعه بافتی در انسان، هدف مطالعه حاضر مقایسه تأثیر هشت هفته تمرین شنای مداومی و تناوبی با شدت بالا بر آیریزین بافت چربی احشایی و کبد و حساسیت به انسولین در موش‌های صحرایی نر مبتلا به سندرم متابولیک می‌باشد.

## روش کار

تحقیق حاضر از نوع تجربی است که در آن ۴۸ سر موش صحرایی نر نژاد ویستار با سن شش هفته‌ای و دامنه وزنی ۱۵۰-۱۸۰ گرم از مرکز پژوهش‌های حیوانی دانشگاه علوم پزشکی زاهدان خریداری شدند. همه حیوانات در شرایط مناسب آزمایشگاهی و چرخه روشنایی و تاریکی ۱۲:۱۲ ساعت و محیطی با میانگین دمای  $22 \pm 2$  درجه سانتی‌گراد در قفس‌های پلی‌کربنات شفاف با دسترسی آزاد به آب و غذا و کنترل مرتب متغیرهای دما، رطوبت و میزان نور نگهداری شدند. لازم به ذکر است این مطالعه بر طبق راهنمای استفاده و مراقبت از حیوانات آزمایشگاهی و اصول آورده شده در معاهده هلسنکی اجرا گردید و تمامی مداخلات حیوانی مطابق با دستورالعمل‌های اخلاقی مؤسسات ملی برای مراقبت و استفاده از حیوانات آزمایشگاهی مورد تأیید کمیته اخلاق علوم زیستی دانشگاه علوم پزشکی زاهدان با کد IR ZAUMS.REC.1399.086 قرار گرفت. ابتدا تمامی موش‌ها به‌طور تصادفی به دو دسته شامل گروه رژیم غذایی استاندارد (n=۱۶) و رژیم غذایی با چربی بالا (n=۳۲) تقسیم شدند. موش‌های گروه رژیم غذایی استاندارد خود به دو گروه هشت‌تایی و دسته رژیم غذایی با چربی بالا نیز به چهار گروه ۸ تایی تقسیم شدند که در ادامه توضیح داده می‌شود.

برای سازگاری با شرایط آزمایشگاه، موش‌ها به مدت یک هفته با رژیم غذایی استاندارد به‌صورت پیلت تغذیه شدند. سپس جهت القای سندرم متابولیک، ۳۲ سر موش گروه رژیم

اساس مطالعات قبلی، آستانه لاکتات با بارهای بین پنج تا شش درصد از وزن موش‌ها به دست آمد (۲۲). بر این اساس، تمرینات تداومی با شدت متوسط معادل ۶۵ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی (بار بین صفر تا سه درصد وزن بدن) و تمرینات شنای تناوبی با شدت بالا تقریباً معادل ۱۰۰ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی (بار بین پنج تا ۱۶ درصد وزن بدن) به اجرا درآمد (۲۱).

در آب شنا کردند. سپس برنامه تمرین بر اساس جدول ۱ به مدت هشت هفته و پنج روز در هفته (از ساعت ۸-۱۱ صبح) اجرا گردید. تمرینات شنا در ظرفی فلزی با قطر ۱۸۰ و عمق ۶۰ سانتی‌متر و دمایی معادل  $31 \pm 1$  درجه سانتی‌گراد اجرا شد. قبل از هر جلسه، موش‌ها وزن‌کشی شدند تا میزان بار متصل به دم موش‌ها مشخص گردد و بعد از پایان تمرین، نیز موش‌ها خشک‌شده و به محل نگهداری منتقل گردیدند. بر

جدول ۱. جزئیات برنامه شنای تداومی با شدت متوسط و تناوبی با شدت بالا

تمرین شنای تناوبی شدید				تمرین شنای تداومی			
بار تمرین (درصد)	استراحت	زمان	تکرارها	بار تمرین (درصد)	زمان	تکرارها	هفته‌ها
۵-۰٪	۱ دقیقه	۱ دقیقه	۵	۰٪	۳۰ دقیقه	۱	اول
۷٪	۱ دقیقه	۱ دقیقه	۵	۰٪	۴۰ دقیقه	۱	دوم
۸٪	۱ دقیقه	۱ دقیقه	۵	۱٪	۴۰ دقیقه	۱	سوم
۱۰٪	۱ دقیقه	۱ دقیقه	۵	۱٪	۴۰ دقیقه	۱	چهارم
۱۳٪	۱۰ ثانیه	۲۰ ثانیه	۱۴	۲٪	۴۰ دقیقه	۱	پنجم
۱۴٪	۱۰ ثانیه	۲۰ ثانیه	۱۴	۲٪	۵۰ دقیقه	۱	ششم
۱۵٪	۱۰ ثانیه	۲۰ ثانیه	۱۴	۳٪	۵۰ دقیقه	۱	هفتم
۱۶٪	۱۰ ثانیه	۲۰ ثانیه	۱۴	۳٪	۶۰ دقیقه	۱	هشتم

بافت کبد و بافت چربی احشایی به ۲۰۰ میلی‌لیتر محلول بافر فسفات سالین<sup>۱</sup> (PBS) با  $\text{PH}=7/4$  حاوی آنتی پروتاز (شرکت زیست مواد فارمد ساخت ایران) اضافه گردید و با استفاده از دستگاه هموژنایزر Micra D-1 مدل ۳۱۱۲۲ ساخت آلمان، با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه به مدت یک دقیقه هموژنایز شد و بلافاصله بافته‌ای هموژن شده به مدت ۲۰ دقیقه با ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. سپس محلول جداشده در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. برای اندازه‌گیری مقادیر بافتی آیریزین در بافت چربی احشایی و کبد، از روش الیزا و کیت زلبایو<sup>۲</sup> مخصوص موش ساخت کشور آلمان (ZellBio 2018 Gm bH- Germany-Cat.NO:ZB-16281C-R9648) با حساسیت

چهل و هشت ساعت پس از آخرین جلسه تمرینی، موش‌ها با ناشتایی ۱۲ ساعته، با تزریق درون صفاقی ترکیبی از کتامین (۹۰ میلی‌گرم/کیلوگرم) و زایلازین (۱۰ میلی‌گرم/کیلوگرم) بی‌هوش شدند، سپس مستقیماً از قلب حیوان خون‌گیری شد و از بافت کبد و چربی احشایی نمونه‌برداری گردید. بلافاصله پس از لخته شدن، نمونه خونی سریعاً با سرعت ۵۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید. نمونه‌های بافت کبد و چربی احشایی پس از جداسازی و شست‌وشو با سالین جمع‌آوری و بلافاصله در نیتروژن مایع قرار داده شد. پس از آن، جهت اندازه‌گیری‌های بعدی به فریزر با دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد منتقل گردید. برای استخراج آیریزین، ۲۰۰ میلی‌گرم از نمونه‌های فریز شده

**تجزیه و تحلیل آماری:** برای اطمینان از طبیعی بودن توزیع داده‌ها از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف<sup>۱</sup> و برای بررسی همگنی متغیرها، از آزمون لون<sup>۲</sup> و به منظور بررسی همبستگی‌های درونی، از آزمون Box's M استفاده گردید. با توجه به تأیید پیش فرض‌ها؛ برای مقایسه متغیرها وابسته از آزمون آنالیز واریانس یک طرفه و آزمون تعقیبی حداقل اختلاف معنی دار (LSD) استفاده شد. کلیه محاسبات آماری با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۲ در سطح معنی داری  $p < 0/05$  انجام گردید.

### نتایج

میانگین و انحراف استاندارد متغیرهای آیریزین، گلوکز، حساسیت به انسولین موش‌ها در جدول ۲ آورده شده است.

۰/۰۵ نانوگرم بر میلی لیتر استفاده گردید. برای اندازه گیری گلوکز پلاسما موش‌ها از دستگاه گلوکومتر Accu-Check پس از ۱۲ ساعت ناشتایی استفاده شد. پروفایل لیپیدی پلاسما توسط کیت‌های شرکت پارس آزمون و به طریق آنزیمی با حساسیت ۱ میلی گرم بر دسی لیتر اندازه گیری شد. انسولین پلاسما هم با روش الایزا و کیت شرکت مرکودیا<sup>۱</sup> ساخت کشور سوئد (حساسیت ۰/۰۷ میکروگرم و تغییرات درون آزمونی ۰/۳ درصد) اندازه گیری شد. برای اندازه گیری حساسیت به انسولین از شاخص کویکی استفاده شد. در این شاخص مقادیر بالاتر آن نشان دهنده افزایش حساسیت به انسولین است. نحوه محاسبه این شاخص به صورت زیر می-باشد:  $1: [\log(G_0) + \log(I_0)]$ . در این معادله،  $G_0$  دال بر گلوکز ناشتا و  $I_0$  دال بر سطوح انسولین ناشتای اندازه گیری شده می باشد.

**جدول ۲. میانگین و انحراف معیار متغیرهای وابسته گروه‌های تحقیق**

متغیرها	بافت	زمان	کنترل استاندارد یا سالم	کنترل سندرم متابولیک	تمرین تناوبی با شدت بالا	تمرین تداومی
آیریزین	کبد	بعد از مداخله	۳/۳۸±۰/۵۵	۳/۰۵±۰/۵۱	۳/۹۵±۰/۵۵	۳/۵۶±۰/۳۴
(نانوگرم/میلی لیتر)	چربی احشایی	بعد از مداخله	۱/۹۲±۰/۲۴	۲/۲۷±۰/۳۸	۳/۱۲±۰/۴۳	۲/۹۷±۰/۵۴
گلوکز	پلاسما	بعد از مداخله	۲۰۱/۲۵±۳۱/۸	۲۷۵/۸۷±۳۲/۲	۱۷۰/۶۲±۳۳/۹	۱۹۲/۶۲±۳۱/۷
(میلی گرم/دسی لیتر)	پلاسما	بعد از مداخله	۰/۵۹±۰/۵۶	۰/۶۰±۰/۵۰	۱/۰۸±۱	۱/۳۰±۰/۹۰
حساسیت به انسولین						

از آنجا که مقادیر آیریزین بافت کبد ( $F=0/85$ ,  $p=0/01$ ) و بافت چربی احشایی ( $F=0/62$ ,  $p=0/001$ ) معنی دار بود، از آزمون تعقیبی LSD جهت مقایسه زوجی گروه‌ها استفاده گردید (جدول ۴).

با توجه به طبیعی بودن توزیع کلیه متغیرهای وابسته ( $p > 0/05$ ) و همچنین همگن بودن واریانس‌های تمامی متغیرهای وابسته ( $p > 0/05$ )، جهت مقایسه مقادیر آیریزین در دو بافت کبد و چربی احشایی، از آزمون تحلیل واریانس یک طرفه استفاده گردید (جدول ۳). بر اساس نتایج آزمون،



**جدول ۳.** نتایج آزمون تحلیل واریانس یک طرفه و لون در مورد مقایسه آیریزین بافت کبد و بافت چربی احشایی موش های صحرائی نر مبتلا به سندرم متابولیک

آزمون لون (همگنی واریانس ها)		آزمون تحلیل واریانس یک طرفه		متغیر
F	سطح معنی داری	آماره آزمون (t)	سطح معنی داری	
۰/۸۵	۰/۴۷	۴/۵۲	۰/۰۱*	آیریزین بافت کبد
۰/۶۲	۰/۶۰	۱۵/۱۰	۰/۰۰۰۱*	آیریزین بافت چربی احشایی

\* نشانه تفاوت معنی دار بین گروه ها در سطح  $p < 0.05$ .

**جدول ۴.** نتایج آزمون LSD در مورد مقایسه زوجی آیریزین (بافت کبد و چربی احشایی) موش های صحرائی نر مبتلا به سندرم متابولیک

بافت	گروه	سطح معنی داری
بافت کبد	کنترل سندرم متابولیک	۰/۱۸
	کنترل استاندارد یا سالم	۰/۴۸
	شنای تناوبی با شدت بالا	۰/۰۳*
	کنترل سندرم متابولیک	۰/۰۴*
	شنای تناوبی با شدت بالا	۰/۰۰۱*
	شنای تناوبی با شدت بالا	۰/۱۳
	کنترل سندرم متابولیک	۰/۱۰
بافت چربی احشایی	کنترل استاندارد (سالم)	۰/۰۰۰۱*
	شنای تناوبی با شدت بالا	۰/۰۰۰۱*
	کنترل سندرم متابولیک	۰/۰۰۲*
	شنای تناوبی با شدت بالا	۰/۰۰۰۱*
	شنای تناوبی با شدت بالا	۰/۴۷
	شنای تناوبی با شدت بالا	۰/۰۰۱*

\* نشانه تفاوت معنی دار گروه ها در سطح  $p < 0.05$ .

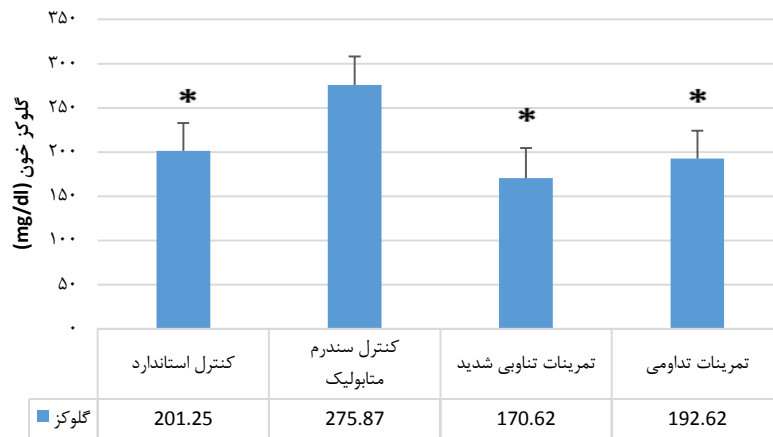
نتایج آزمون LSD نشان داد مقادیر آیریزین بافت کبد موش های صحرائی نر نژاد ویستار پس از هشت هفته مداخله ورزشی در گروه تمرین شنای تناوبی با شدت بالا نسبت به گروه های کنترل استاندارد سالم ( $p=0.03$ ) و کنترل سندرم متابولیک ( $p=0.01$ ) و همچنین گروه شنای تناوبی با شدت متوسط نسبت به گروه کنترل سندرم متابولیک ( $p=0.04$ ) تفاوت معنی داری دارد؛ در حالی که بین گروه های تمرین (تناوبی با شدت بالا و تناوبی متوسط) تفاوت معنی داری مشاهده نشد ( $p > 0.05$ ). همچنین مقادیر آیریزین در بافت چربی احشایی صحرائی نر نژاد ویستار پس از هشت هفته مداخله ورزشی در گروه های تمرین شنای تناوبی متوسط و تناوبی با شدت بالا نسبت به گروه های کنترل

نتایج آزمون LSD نشان داد مقادیر آیریزین بافت کبد موش های صحرائی نر نژاد ویستار پس از هشت هفته مداخله ورزشی در گروه تمرین شنای تناوبی با شدت بالا نسبت به گروه های کنترل استاندارد سالم ( $p=0.03$ ) و کنترل سندرم متابولیک ( $p=0.01$ ) و همچنین گروه شنای تناوبی با شدت متوسط نسبت به گروه کنترل سندرم متابولیک

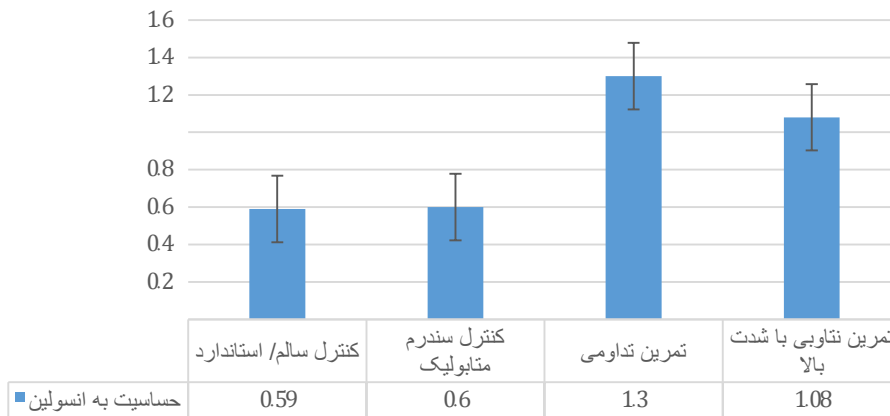


متابولیک، تفاوت معنی داری داشت ( $p=0/0001$ ) و تمرینات تناوبی با شدت بالا علی‌رغم عدم اختلاف معنی داری با گروه تمرین شنای تداومی متوسط ( $p=0/53$ )، تفاوت معنی داری در مقدار گلوکز ایجاد کرد (شکل ۱). با این حال، حساسیت به انسولین ( $p=0/67$ ) بین گروه‌های تمرین با گروه کنترل سندرم متابولیک تفاوت معنی داری نداشت (شکل ۲).

استاندارد سالم (هر دو با  $p=0/0001$ ) و کنترل سندرم متابولیک (به ترتیب با  $p=0/0001$  و  $p=0/002$ )، تفاوت معنی داری داشت، درحالی‌که بین گروه‌های تناوبی شدید و تداومی متوسط تفاوت معنی داری مشاهده نشد ( $p>0/05$ ). مقادیر گلوکز در گروه تمرین شنای تداومی متوسط و تناوبی با شدت بالا با گروه کنترل استاندارد و گروه کنترل سندرم



شکل ۱. مقایسه میانگین شاخص گلوکز خون در موش‌های صحرایی نر مبتلا به سندرم متابولیک \* نشانه تفاوت معنی دار با گروه کنترل در سطح  $p<0/05$ .



شکل ۲. مقایسه میانگین شاخص حساسیت به انسولین در موش‌های صحرایی نر مبتلا به سندرم متابولیک

## بحث

آیریزین در بافت کبد و چربی احشایی می‌شود، ضمن آن‌که این تغییرات پس از تمرینات تناوبی با شدت بالا، بیشتر بود. نتایج مطالعات در مورد تأثیر نوع و شدت تمرین ورزشی بر

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که هشت هفته تمرین تداومی متوسط و تناوبی با شدت بالا پس از القای سندرم متابولیک در موش‌های صحرایی نر نژاد ویستار، باعث افزایش سطح

آیریزین سرم و کاهش توده چربی بدن موش‌ها می‌شود. این محققین همچنین گزارش کرده‌اند که کاهش توده چربی بدن در این موش‌ها، ممکن است به دلیل افزایش سطح آیریزین ناشی از ورزش شنا باشد (۲۵). به نظر می‌رسد دلایل افزایش میزان آیریزین پس از تمرینات تناوبی شدید را باید در سیگنال‌های فعال‌کننده PGC-1 $\alpha$  جستجو کرد. تمرین ورزشی، بیان ژن PGC-1 $\alpha$  را افزایش داده و متعاقب آن بیان ژن FNDC5 افزایش پیدا می‌کند؛ تغییری که در نهایت، منجر به افزایش مقادیر آیریزین می‌گردد. چنانچه شدت تمرین به‌اندازه‌ای نباشد که باعث تحریک بیان ژن FNDC5 شود، افزایش در سطح آیریزین دیده نمی‌شود. بنابراین عوامل مؤثر در فعال‌سازی PGC-1 $\alpha$ ، به‌احتمال زیاد می‌توانند سبب آبخار پیام‌دهی تغییر فنوتیپ بافت چربی شوند (۲۶)؛ از این رو، و با توجه به نتایج مطالعه حاضر و شواهد اشاره شده، به نظر می‌رسد هشت هفته تمرین شنا تناوبی با شدت ۹۵ تا ۱۰۰ درصد VO<sub>2</sub>max در تحقیق حاضر می‌تواند تلفیق مناسب‌تری از شدت و مدت تمرین نسبت به تمرینات تداومی شنا با شدت متوسط، جهت کاهش جبرانی مقادیر آیریزین در موش‌های با سندروم متابولیک فراهم آورد. از دیگر سازوکارهای احتمالی اثر تمرینات ورزشی بر تغییرات مقادیر آیریزین این است که آیریزین در پاسخ به ورزش از عضلات ترشح شده و وارد گردش خون می‌شود، سپس در بافت چربی موجب بیان ژن UCP-1 می‌گردد، که خود قهوه‌ای شدن چربی زیرپوستی و همچنین بافت چربی احشایی را در پی دارد (۱۲). همچنین افزایش آیریزین پس از تمرین می‌تواند با استرس اکسایشی ناشی از ورزش نیز ارتباط داشته باشد، زیرا که پروتئین کیناز فعال‌شده با میتوزن<sup>۱</sup> (P38MAPK) و EPK را فعال می‌کند و این ترکیبات باعث فعال‌سازی PGC-1 $\alpha$  می‌شوند؛ عاملی که خود تنظیم‌کننده تبدیل FNDC5 به آیریزین است.

با این وجود، نتایج برخی مطالعات با نتایج تحقیق حاضر، هم‌خوانی ندارد. برای نمونه، دیانتی‌نسب و همکاران (۲۰۲۰)،

سطوح آیریزین متناقض می‌باشد. در مطالعه‌ای همسو با یافته‌های تحقیق حاضر، خلفی و همکاران (۲۰۲۰)، گزارش کرده‌اند که ۱۲ هفته تمرین تناوبی با شدت بالا و تداومی با شدت متوسط روی نوارگردان در موش‌های صحرائی چاق، می‌تواند موجب افزایش غلظت سطوح آیریزین و بیان PGC-1 $\alpha$ ، UCP-1 و همچنین افزایش در هزینه انرژی و بهبود در تحمل گلوکز شود (۲۳). همچنین شیروانی و همکاران (۲۰۲۰)، به مقایسه تأثیر دو شیوه تمرین تداومی با شدت متوسط و تناوبی با شدت بالا بر سطوح آیریزین و PGC-1 $\alpha$  در موش‌های صحرائی و استار پرداختند. نتایج مطالعه آنان حاکی از افزایش آیریزین در هر دو گروه تمرینی نسبت به گروه کنترل بود. در حالی که این تغییر به شکل معنی‌داری در گروه تمرین تناوبی با شدت بالا بیشتر از گروه تمرین تداومی بود (۲۴)؛ یافته‌ها با یافته‌های تحقیق حاضر همسو می‌باشد. در این راستا، با توجه به مطالعات انجام گرفته، می‌توان اظهار داشت که شدت و نوع تمرین از اصلی‌ترین عوامل تأثیرگذار بر تغییرات مقادیر آیریزین می‌باشد و بیان‌شده است که افزایش قابل‌توجهی در سطوح آیریزین در پاسخ به فعالیت ورزشی تناوبی با شدت بالا نسبت به فعالیت ورزشی تداومی با شدت متوسط رخ می‌دهد (۶). به این صورت که تمرین تناوبی با شدت بالا، ضمن افزایش یا حفظ توده عضلانی و همچنین کاهش توده چربی بدن، سازگاری‌های متابولیک با این نوع از تمرینات ورزشی می‌تواند با وساطت مسیر مشابه سلولی، منجر به سازگاری‌های مشابه تمرینات تداومی و استقامتی گردد (۲۴). همسو با یافته‌های تحقیق حاضر، در مطالعه دیگری Lu و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی تأثیر تمرینات شنا بر سطوح آیریزین سرم و توده چربی بدن در موش‌های صحرائی نر و استار تغذیه شده با رژیم غذایی پرچرب پرداخته‌اند. پروتکل تمرینی به‌صورت روزانه ۳۰ دقیقه تمرین تداومی شنا، با تکرار پنج روز در هفته و به مدت هشت هفته اجرا شد و مشخص گردید که هشت هفته تمرین تداومی شنا در موش‌های نر نژاد و استار، سبب افزایش سطح

در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر هشت هفته تمرینات هوازی، مقاومتی و ترکیبی بر سطوح آیریزین پلاسما، HOMA-IR و پروفایل لیپیدی در زنان دارای اضافه وزن مبتلا به سندرم متابولیک پرداخته و عدم تغییر آیریزین سرم را گزارش نموده‌اند، درحالی‌که درصد چربی بدن در همه گروه‌ها کاهش یافت. این محققان در نهایت اظهار داشته‌اند که احتمالاً آیریزین سرم مستقل از فعالیت ورزشی با وضعیت گلیسمی یا تغییر در چربی بدن و وزن است (۲۷). همچنین ممبینی و همکاران (۲۰۱۸)، با بررسی تأثیر تمرینات تناوبی شدید (پروتکل تمرینی برگرفته از آزمون رفت و برگشت ۴۰ متر شاتل ران با حداکثر سرعت، به مدت شش هفته) بر سطوح آیریزین در مردان دارای اضافه وزن، به این نتیجه رسیده‌اند که سطوح آیریزین سرم پس از تمرین تفاوت معنی‌داری نمی‌کند (۲۸). این نتایج ناهمسو با یافته‌های تحقیق حاضر است. در مطالعه مشابه دیگری، عباسی فرد و همکاران (۲۰۱۸)، تغییراتی در غلظت سرمی آیریزین متعاقب ورزش استقامتی و محدود کردن کالری در موش‌های چاق و هیپرتری گلیسیریدمی مشاهده نکرده‌اند (۲۹). از دلایل احتمالی ناهمسویی در مطالعات، می‌توان به تفاوت در نوع آزمودنی‌ها، نوع فعالیت ورزشی، شدت پروتکل تمرینی، روش‌های متفاوت اندازه‌گیری و همچنین تولید آیریزین از سایر اندام‌ها (نه فقط کبد و بافت چربی) اشاره کرد. از سوی دیگر، با توجه به مطالعات انجام گرفته بر روی نمونه‌های انسانی، گزارش شده است که تأثیر تمرینات ورزشی بر سطح آیریزین با شدت و نوع ورزش بستگی دارد؛ به طوری که تمرینات با شدت بالا و مقاومتی، نسبت به تمرینات کم شدت، بهبود بیشتری در سطح آیریزین ایجاد می‌کنند. به علاوه، تمرینات مقاومتی در مقایسه با تمرینات تناوبی با شدت بالا و تمرینات تداومی با شدت متوسط، تأثیر بارزتری بر افزایش سطح آیریزین در گردش خون دارند (۲۵).

از دیگر نتایج تحقیق حاضر، کاهش معنی‌دار سطوح پلاسمایی گلوکز در گروه تمرین تداومی با شدت متوسط و تناوبی با شدت بالا نسبت به گروه سندرم متابولیک بود؛

کاهش‌ی که در گروه تمرین تناوبی با شدت بالا بیشتر بود. همچنین حساسیت به انسولین در گروه‌های تمرینی بهبود یافت و شاخص مقاومت به انسولینی کاهش پیدا کرد؛ هر چند که این کاهش به لحاظ آماری معنی‌دار نبود. همسو با این نتایج، زهرایی و همکاران (۲۰۲۲)، ضمن مطالعه تأثیر هشت هفته تمرین شنای تداومی و تناوبی شدید بر مقادیر کمترین و مقاومت به انسولین در موش‌های صحرائی نر مبتلا به سندرم متابولیک، نشان داده‌اند که شنای تداومی و تناوبی شدید، سبب کاهش معنی‌دار سطح گلوکز در سرم و وزن می‌شود. این در حالی بود که مقاومت به انسولینی و کمترین تغییر (کاهش) معنی‌داری نکرد (۳). همچنین در مطالعه مشابه دیگری، نخعی و همکاران (۲۰۱۹)، به بررسی اثر هشت هفته تمرین شنای تداومی و تناوبی بر سطوح نیمرخ لیپیدی، گلوکز و مقاومت به انسولینی در موش‌های صحرائی مبتلا به سندروم متابولیک پرداخته نو گزارش کرده‌اند که در پایان مداخلات، گلوکز سرم و مقاومت به انسولینی در گروه‌های تمرینی تداومی و تناوبی و گروه با رژیم غذایی استاندارد، در مقایسه با گروه کنترل، کاهش معنی‌داری پیدا می‌کند (۲۱)؛ و همان‌طور که استنباط می‌گردد، تغییر (کاهش) معنی‌دار گلوکز در این مطالعه همسو با یافته‌های تحقیق حاضر می‌باشد.

مقاومت به انسولینی و اختلال در متابولیسم گلوکز یک روند تدریجی می‌باشد که در صورت بالا رفتن وزن و چاقی شروع می‌گردد. مقاومت به انسولین پایه مرکزی در سندرم متابولیک محسوب می‌شود. تمرینات ورزشی می‌توانند راهکار مناسب و درمانی برای بهبود مقاومت به انسولین، گلوکز و همچنین حساسیت انسولینی در بیماران با اختلالات متابولیکی از جمله افراد با سندرم متابولیک باشند. برخی از سازوکارهای اصلی برای توضیح اثرگذاری بیشتر تمرینات تناوبی شدید بر بهبود شاخص‌های گلیسمیک و سندرم متابولیک در تحقیق حاضر را می‌توان به اثر تمرین تناوبی شدید (از طریق مسیرهای مختلف) در کاهش گلوکز خون و بهبود حساسیت انسولینی (و یا مقاومت به انسولین) نسبت داد.

چربی به بافت عضلانی، کاهش BMI، تبدیل بافت چربی سفید به قهوه‌ای و همچنین افزایش UCP1؛ منجر به گرمزایی و اتلاف انرژی شده و زمینه را برای افزایش مقادیر مایوکاین-هایی مانند PGC-1 $\alpha$ ، FNDC5 و آریزین فراهم کنند (۲۴). بنابراین، بخشی از کاهش گلوکز و بهبود حساسیت و مقاومت به انسولینی در تحقیق حاضر می‌تواند مربوط به کاهش وزن و چربی احشایی آزمودنی‌ها باشد. همچنین برخی مطالعات سازوکار بهبود عمل انسولین و گلوکز خون را متعاقب تمرینات ورزشی، تنظیم مثبت اجزای پس گیرنده انسولین (مانند غلظت پروتئین گیرنده انسولین، پروتئین کیناز B و سنتز گلیکوژن) و همچنین GLUT4 می‌دانند. این بهبود حساسیت به انسولین، احتمالاً با ظرفیت اتصال انسولین به محل گیرنده‌های هر یک از سلول‌های عضلانی رابطه دارد. بنابراین به انسولین کمتری برای جذب گلوکز اضافی از گردش خون نیاز است (۳۳).

با این حال، نتایج برخی از تحقیقات با نتایج تحقیق حاضر ناهمسو است. در این زمینه نتایج مطالعه خرم‌جاه و همکاران (۲۰۱۹) بیانگر عدم تأثیر هشت هفته تمرین هوازی با شدت متوسط، بر سطوح انسولین و شاخص مقاومت به انسولین در زنان اضافه‌وزن مبتلا به سرطان سینه می‌باشد؛ نتایجی که محققان آن را به طول و شدت تمرینات به کار رفته و همچنین عدم تغییرات شاخص‌های ترکیب بدن؛ نسبت داده‌اند (۳۴). همچنین در مطالعه دیگری، Carmo و همکاران (۲۰۱۷)، ضمن بررسی تأثیر هشت هفته تمرینات شنا بر شاخص‌های گلیسمیک و سندرم متابولیک در موش‌های صحرایی جوان تغذیه شده با رژیم غذایی پر قند، گزارش کرده‌اند که این تمرینات تغییر معنی‌داری در سطوح گلوکز خون ایجاد نمی‌کند. این در حالی بود که وزن بدن، کلسترول تام و فشارخون به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند. به اعتقاد این محققان، درحالی‌که ورزش شنا باعث بهبود وزن بدن و سطوح برخی از لیپوپروتئین‌ها می‌شود؛ اما از عوارض جانبی ناشی از رژیم غذایی با قند بالا در موش‌های جوان جلوگیری نکرده است (۳۵). به نظر می‌رسد که دلایل ناهمسوئی نتایج

در این رابطه اظهار گردیده که تمرینات تناوبی شدید می‌تواند باعث جذب گلوکز در عضلات اسکلتی، افزایش محتوای GLUT4 و حساسیت به انسولینی به‌واسطه تخلیه گلیکوژن درون عضلانی، افزایش دانسیته مویرگی، افزایش گلیکوژن سنتتاز و همچنین کاهش وزن بدن و چاقی شکمی شود (۳۰). از سوی دیگر، بیان شده است که فعالیت‌های ورزشی به‌ویژه فعالیت‌های تناوبی شدید، باعث افزایش بیوژنز میتوکندریایی در عضلات اسکلتی بیماران مبتلا به سندرم متابولیک (۳۱) و همچنین بهبود در فسفوریلاسیون و فعال‌سازی گیرنده‌های انسولینی به‌واسطه انسولین در بافت عضله و همچنین چربی می‌گردد. به‌علاوه، این نوع از فعالیت‌های ورزشی می‌تواند باعث بهبود در عملکرد انسولین عضلات از طریق کاهش تجمع داخل سلولی تری‌گلیسرید و افزایش اکسیداسیون اسید چرب شوند. در تأیید شواهد بالا، گروه تحقیقاتی Metcalf و همکاران (۲۰۱۵) در یک مطالعه طولی که تأثیر تمرینات ورزشی طولانی‌مدت بر روی برخی شاخص‌های گلیسمیک در کودکان و نوجوانان نه تا ۱۶ سال را بررسی کرده، گزارش نموده‌اند که شدت تمرین عامل مهمی در تنظیم انسولین، گلوکز و همچنین بهبود مقاومت به انسولین می‌باشد. این محققان اظهار کرده‌اند که تمرین تناوبی به‌ویژه تمرینات با شدت بالا، مؤثرترین نوع تمرینات برای بهبود و تنظیم این شاخص‌ها در نوجوانان و جوانان، جهت پیشگیری از بیماری‌های متابولیک به‌ویژه دیابت در آینده می‌باشند (۳۲). از آنجا که بهبود حساسیت به انسولین به عضلات منقبض شده محدود می‌شود، تمرینات تناوبی با شدت بالا بخش بیشتری از تارهای عضلانی را در مقایسه با تمرین تداومی با شدت متوسط، درگیر می‌کنند؛ از این رو می‌تواند راندمان انتقال انسولین به عضلات اسکلتی و حساسیت به انسولین را بهبود بخشد و از این طریق، گلوکز خون را کاهش دهد و از ترشح بیش از حد انسولین جلوگیری کنند (۳۲).

از سوی دیگر، به نظر می‌رسد که تمرینات تناوبی شدید می‌تواند از طریق تغییر در ترکیب بدن، افزایش نسبت بافت

ورزشی در بیماران مبتلا به سندرم متابولیک، دقیق تر مشخص گردد. از جمله محدودیت‌های احتمالی پژوهش حاضر می‌توان به عدم اندازه‌گیری PGC-1 $\alpha$  و کنترل استرس ناشی از شنا در آب و اتصال وزنه به دم موش‌های صحرایی اشاره کرد. لذا پیشنهاد می‌گردد که اثر تمرینات شنای تداومی متوسط و تناوبی با شدت بالا، در طول مدت زمان متفاوت و با شدت‌های مختلف بررسی شود و سایر نشانگرهای بافت چربی قهوه‌ای در مقاطع زمانی متفاوت اندازه‌گیری شوند.

### تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از رساله دکتری رشته فیزیولوژی ورزش مصوب دانشگاه بیرجند است. لذا نویسندگان از تمامی کسانی که ما را در انجام این پژوهش یاری رساندند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایند.

### تعارض منافع

نویسندگان مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافی در پژوهش حاضر وجود ندارد. نامه تعهد با امضای همه نویسندگان به دفتر مجله ارسال شد.

مطالعه حاضر با این مطالعات، علاوه بر شرایط آزمودنی‌ها از جمله سالم یا بیمار بودن؛ به رژیم غذایی، نوع تمرین اجرا شده، شدت و طول تمرینات مربوط باشد.

**نتیجه‌گیری:** در تحقیق حاضر، هشت هفته تمرین شنای تداومی با شدت متوسط و تمرین شنای تناوبی با شدت بالا، سبب کاهش معنی‌دار چربی احشایی و گلوکز خون و افزایش معنی‌دار آیریزین در بافت کبد و چربی احشایی گردیدند؛ درحالی‌که در حساست انسولینی تغییر معنی‌داری ایجاد نشد. بر این اساس، به نظر می‌رسد که تمرینات شنای تداومی متوسط و شنای تناوبی با شدت بالا، اثرات درمانی پیشگیرانه و محافظتی بر روی سندرم متابولیک، از طریق کاهش مقادیر گلوکز خون و افزایش آیریزین دارد. نتایج بدست آمده نشان داد که تمرینات شنای تناوبی با شدت بالا در مقایسه با تمرینات شنای تداومی سنتی با حجم کم، می‌تواند تغییرات یکسان و حتی بیشتری ایجاد کند. بنابراین، تمرینات شنای تداومی و تناوبی با شدت بالا احتمالاً می‌تواند نقش مؤثری در بهبود چاقی یا سندرم متابولیک داشته باشد. باین‌حال، مطالعات بیشتری لازم است تا به‌طور عمیق‌تر سازوکارهای مؤثر بر تغییرات این پپتید جدید بررسی شود و رابطه آن را با عمل انسولین و گلوکز پس از انجام تمرینات

### References

1. Rezaeimanesh D. Effects of Interval Training on Irisin and Insulin Resistance in Overweight Men. Archives of Pharmacy Practice. 2020;11(S1):78-83.
2. Masoodi M, Kuda O, Rossmeisl M, Flachs P, Kopecky J. Lipid signaling in adipose tissue: Connecting inflammation & metabolism. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular and Cell Biology of Lipids. 2015;1851(4):503-18. DOI: [10.1016/j.bbalip.2014.09.023](https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2014.09.023)
3. Zahraei H, Mogharnasi M, Afzalpour ME, Fanaei H. The effect of 8 weeks of continuous and high intensity interval swimming on tissue levels of chemerin and insulin resistance in male rats with metabolic syndrome. Journal of Sport and Exercise Physiology. 2022;15(1):33-44. [Persian]. DOI: [10.52547/joeppa.15.1.33](https://doi.org/10.52547/joeppa.15.1.33)
4. Korta P, Pocheć E, Mazur-Biały A. Irisin as a multifunctional protein: implications for health and certain diseases. Medicina. 2019;55(8):485. DOI: [10.3390/medicina55080485](https://doi.org/10.3390/medicina55080485)
5. Boström P, Wu J, Jedrychowski MP, Korde A, Ye L, Lo JC, et al. A PGC1- $\alpha$ -dependent myokine that drives brown-fat-like development of white fat and thermogenesis. Nature. 2012;481(7382):463-8. DOI: [10.1038/nature10777](https://doi.org/10.1038/nature10777)
6. Tsuchiya Y, Ando D, Goto K, Kiuchi M, Yamakita M, Koyama K. High-intensity exercise causes greater irisin response compared with low-intensity exercise under similar energy consumption. The Tohoku journal of experimental medicine. 2014;233(2):135-40. DOI: [10.1620/tjem.233.135](https://doi.org/10.1620/tjem.233.135)
7. Grygiel-Górniak B, Puszczewicz M. A review on irisin, a new protagonist that mediates muscle-adipose-bone-neuron connectivity. Eur Rev Med Pharmacol Sci. 2017;21(20):4687-93. PMID: [29131244](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29131244/)
8. Ma C, Ding H, Deng Y, Liu H, Xiong X, Yang Y. Irisin: a new code uncover the relationship of skeletal muscle and cardiovascular health during exercise. Frontiers in physiology. 2021;12:37. DOI: [10.3389/fphys.2021.620608](https://doi.org/10.3389/fphys.2021.620608)

9. Mahgoub MO, D'Souza C, Al Darmaki RS, Baniyas MM, Adeghate E. An update on the role of irisin in the regulation of endocrine and metabolic functions. *Peptides*. 2018;104:15-23. DOI: [10.1016/j.peptides.2018.03.018](https://doi.org/10.1016/j.peptides.2018.03.018)
10. Wrann CD, White JP, Salogiannis J, Laznik-Bogoslavski D, Wu J, Ma D, et al. Exercise induces hippocampal BDNF through a PGC-1 $\alpha$ /FNDC5 pathway. *Cell metabolism*. 2013;18(5):649-59. DOI: [10.1016/j.cmet.2013.09.008](https://doi.org/10.1016/j.cmet.2013.09.008)
11. de Oliveira M, De Sibio MT, Mathias LS, Rodrigues BM, Sakalem ME, Nogueira CR. Irisin modulates genes associated with severe coronavirus disease (COVID-19) outcome in human subcutaneous adipocytes cell culture. *Molecular and Cellular Endocrinology*. 2020;515:110917. DOI: [10.1016/j.mce.2020.110917](https://doi.org/10.1016/j.mce.2020.110917)
12. Jandova T, Buendía-Romero A, Polanska H, Hola V, Rihova M, Vetrovsky T, et al., editors. Long-Term Effect of Exercise on Irisin Blood Levels—Systematic Review and Meta-Analysis. *Healthcare*; 2021;9(11):1438. DOI: [10.3390/healthcare9111438](https://doi.org/10.3390/healthcare9111438)
13. Norheim F, Langleite TM, Hjorth M, Holen T, Kielland A, Stadheim HK, et al. The effects of acute and chronic exercise on PGC-1 $\alpha$ , irisin and browning of subcutaneous adipose tissue in humans. *The FEBS journal*. 2014;281(3):739-49. DOI: [10.1111/febs.12619](https://doi.org/10.1111/febs.12619)
14. Dinas PC, Lahart IM, Timmons JA, Svensson P-A, Koutedakis Y, Flouris AD, et al. Effects of physical activity on the link between PGC-1 $\alpha$  and FNDC5 in muscle, circulating Irisin and UCP1 of white adipocytes in humans: A systematic review. *F1000Research*. 2017;6. DOI: [10.12688/f1000research.11107.1](https://doi.org/10.12688/f1000research.11107.1)
15. Moienneia N, Hosseini SRA. Acute and chronic responses of metabolic myokine to different intensities of exercise in sedentary young women. *Obesity Medicine*. 2016;1:15-20. DOI: [10.1016/j.obmed.2015.12.002](https://doi.org/10.1016/j.obmed.2015.12.002)
16. Shin KO, Bae JY, Woo J, Jang KS, Kim KS, Park JS, et al. The effect of exercise on expression of myokine and angiogenesis mRNA in skeletal muscle of high fat diet induced obese rat. *Journal of Exercise Nutrition & Biochemistry*. 2015;19(2):91. DOI: [10.5717/jenb.2015.15061006](https://doi.org/10.5717/jenb.2015.15061006)
17. de Alencar JP, Luna FMP, Coelho MB, de Moraes RMRB, de Lima Neto JA, da Silva Filho MS, et al. Low Irisin Levels in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus without Current Treatment: A Systematic Review. *International Archives of Medicine*. 2017;10:1-9. DOI: [10.3823/2441](https://doi.org/10.3823/2441)
18. Samy DM, Ismail CA, Nassra RA. Circulating irisin concentrations in rat models of thyroid dysfunction—effect of exercise. *Metabolism*. 2015;64(7):804-13. DOI: [10.1016/j.metabol.2015.01.001](https://doi.org/10.1016/j.metabol.2015.01.001)
19. Tine Kartinah N, Rosalyn Sianipar I. The effects of exercise regimens on irisin levels in obese rats model: Comparing high-intensity intermittent with continuous moderate-intensity training. *BioMed Research International*. 2018;1-8. DOI: [10.1155/2018/4708287](https://doi.org/10.1155/2018/4708287)
20. Rostami A, Tadibi V, Behpoor N, Ahmadiasl N. Comparison of the effects of eight-week endurance training, resistance and garlic extract supplementation on MDA and TAC in rats with metabolic syndrome. *Medical Journal of Tabriz University of Medical Sciences*. 2016;38(4):40-7. [Persian]. [Link](#)
21. Nakhaei H, Mogharnasi M, Fanaei H. Effect of swimming training on levels of asprosin, lipid profile, glucose and insulin resistance in rats with metabolic syndrome. *Obesity medicine*. 2019;15:100111. DOI: [10.1016/j.obmed.2019.100111](https://doi.org/10.1016/j.obmed.2019.100111)
22. Rocha GLD, Crisp AH, De Oliveira MR, Silva CAD, Silva JO, Duarte AC, et al. Effect of high intensity interval and continuous swimming training on body mass adiposity level and serum parameters in high-fat diet fed rats. *The Scientific World Journal*. 2016;1-9. DOI: [10.1155/2016/2194120](https://doi.org/10.1155/2016/2194120)
23. Khalafi M, Mohebbi H, Symonds ME, Karimi P, Akbari A, Tabari E, et al. The impact of moderate-intensity continuous or high-intensity interval training on adipogenesis and browning of subcutaneous adipose tissue in obese male rats. *Nutrients*. 2020;12(4):925. DOI: [10.3390/nu12040925](https://doi.org/10.3390/nu12040925)
24. Shirvani H, Arabzadeh E. Metabolic cross-talk between skeletal muscle and adipose tissue in high-intensity interval training vs. moderate-intensity continuous training by regulation of PGC-1 $\alpha$ . *Eating and Weight Disorders-Studies on Anorexia, Bulimia and Obesity*. 2020;25(1):17-24. DOI: [10.1007/s40519-018-0491-4](https://doi.org/10.1007/s40519-018-0491-4)
25. Lu Y, Li H, Shen S-W, Shen Z-H, Xu M, Yang C-J, et al. Swimming exercise increases serum irisin level and reduces body fat mass in high-fat-diet fed Wistar rats. *Lipids in health and disease*. 2016;15(1):1-8. DOI: [10.1186/s12944-016-0263-y](https://doi.org/10.1186/s12944-016-0263-y)
26. Alizadeh L, Tofighi A, Azar JT. The Effect of Eight Weeks of High Intensity Interval Training (HIIT) on Serum Irisin, Fgf21 and Glycemic Indices in Type 2 Diabetic Women. *Journal of Applied Health Studies in Sport Physiology*. 2019;6(2):17-24. [Persian]. DOI: [10.22049/jassp.2019.26337.1184](https://doi.org/10.22049/jassp.2019.26337.1184)
27. Dianatinasab A, Koroni R, Bahramian M, Bagheri-Hosseiniabadi Z, Vaismoradi M, Fararouei M, et al. The effects of aerobic, resistance, and combined exercises on the plasma irisin levels, HOMA-IR, and lipid profiles in women with metabolic syndrome: A randomized controlled trial. *Journal of Exercise Science & Fitness*. 2020;18(3):168-76. DOI: [10.1016/j.jesf.2020.06.004](https://doi.org/10.1016/j.jesf.2020.06.004)

28. Vahdat H, Mombini H, Eslami Farsani M, Ab Abzadeh S, Barzegar H. Effect of High-Intensity Interval Training (HIIT) on the levels of Irisin and interleukin-10 in overweight men. Qom University of Medical Sciences Journal. 2018;12(2):35-44. [Persian]. DOI: [10.29252/qums.12.2.35](https://doi.org/10.29252/qums.12.2.35)
29. Abbasifard A, Movahed A, Ostovar A, Bargahi A, Jaberri H, Akbarzadeh S. Serum Irisin Changes Following Endurance Exercise and Caloric Restriction in Obese and Hypertriglyceridemic Rats. Iranian South Medical Journal. 2018;21(3):209-19. [Persian]. [Link](#)
30. Jelleyman C, Yates T, O'Donovan G, Gray LJ, King JA, Khunti K, et al. The effects of high- intensity interval training on glucose regulation and insulin resistance: a meta- analysis. Obesity reviews. 2015;16(11):942-61. DOI: [10.1111/obr.12317](https://doi.org/10.1111/obr.12317)
31. Moholdt TT, Amundsen BH, Rustad LA, Wahba A, Løvø KT, Gullikstad LR, et al. Aerobic interval training versus continuous moderate exercise after coronary artery bypass surgery: a randomized study of cardiovascular effects and quality of life. American heart journal. 2009;158(6):1031-7. DOI: [10.1016/j.ahj.2009.10.003](https://doi.org/10.1016/j.ahj.2009.10.003)
32. Metcalf BS, Hosking J, Henley WE, Jeffery AN, Mostazir M, Voss LD, et al. Physical activity attenuates the mid-adolescent peak in insulin resistance but by late adolescence the effect is lost: a longitudinal study with annual measures from 9–16 years (EarlyBird 66). Diabetologia. 2015;58(12):2699-708. DOI: [10.1007/s00125-015-3714-5](https://doi.org/10.1007/s00125-015-3714-5)
33. Misra A, Alappan NK, Vikram NK, Goel K, Gupta N, Mittal K, et al. Effect of supervised progressive resistance-exercise training protocol on insulin sensitivity, glycemia, lipids, and body composition in Asian Indians with type 2 diabetes. Diabetes care. 2008;31(7):1282-7. DOI: [10.2337/dc07-2316](https://doi.org/10.2337/dc07-2316)
34. Khoramjah M, Khorshidi D, Karimi M. Effect of moderate-intensity aerobic training on some hormonal and metabolic factors associated with breast cancer in overweight postmenopausal women. Iranian Journal of Ageing. 2019;14(1):74-83. [Persian]. DOI: [10.32598/sija.13.10.450](https://doi.org/10.32598/sija.13.10.450)
35. Carmo M, Pinto AB, Queiroz KB, Sá RG, Silva ME, Lima WG, et al. Swimming exercise did not ameliorate the adverse effects of high-sugar diet in young rats. J Exer Physiologyonline. 2017;20:177-83. [Link](#)

*Original Article***Comparison of Eight Weeks of Continuous and High Intensity Interval Swimming on Irisin Tissue Levels and Insulin Sensitivity in Male Rats with Metabolic Syndrome**

Received: 11/09/2022 - Accepted: 10/12/2022

Mohammad Esmaeil Afzalpour<sup>1\*</sup>Mehdi Mogharnasi<sup>1</sup>Hossein Zahraei<sup>1</sup>Mojtaba Amirabadizadeh<sup>1</sup>Hossein Nakhaie<sup>2</sup><sup>1</sup> Department of Exercise Physiology,  
Faculty of Sports Sciences, University  
of Birjand, Birjand, Iran<sup>2</sup> Health Promotion Research Center,  
Zahedan University Of Medical  
Sciences, Zahedan, Iran.

Email: mafzalpour@birjand.ac.ir

**Abstract**

**Introduction:** Exercise may activate important biochemical processes and change the phenotype of adipose tissue. The aim of the present study was to investigate the comparison effects of eight weeks of continuous and high intensity interval swimming on irisin tissue levels and insulin sensitivity in male rats with metabolic syndrome.

**Materials and Methods:** 48 male Wistar rats with six weeks of age and a weight range of 150-180 gr were randomly divided into four groups of eight including: standard control, metabolic syndrome control, moderate continuous swimming + metabolic syndrome (CT + MetS) and high-intensity interval swimming + metabolic syndrome (HIIT + MetS). The training program was carried out for eight weeks and five days a week, equivalent to 65 and almost 100 percent of the maximum oxygen consumption, respectively, for the program of CT and HIIT swimming. Measurement of blood and tissue variables (visceral fat and liver) was done by ELISA method and statistical analysis was done using one-way ANOVA analysis of variance at a significance level of  $p < 0.05$ .

**Results:** The results showed that CT and HIIT swimming after induction of metabolic syndrome increased level of irisin in the liver tissue and visceral fat of rats ( $p=0.002$  and  $p=0.0001$ , respectively); so the changes were higher after HIIT. The glucose levels in the CT and HIIT swimming group were significantly lower than the standard and the metabolic syndrome control ( $p=0.0001$ ) groups. No significant difference was observed in the insulin sensitivity ( $p=0.67$ ) between the training groups and the metabolic syndrome control group.

**Conclusion:** It is possible that moderate and high intensity intermittent swimming induce protective effects on metabolic syndrome by increasing irisin and reducing blood glucose.

**Keywords:** Metabolic syndrome, Continuous swimming, High-intensity interval swimming, Irisin, Insulin sensitivity.

**Acknowledgement:** There is no conflict of interest