

پژوهش‌های فیزیولوژی و مدیریت در ورزش

دوره ۱۲، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹

ص ص: ۸۳-۹۵

مقایسه تأثیر دو ترتیب متفاوت تمرینات ترکیبی بر نشانگرهای التهاب و آتروفی عضلانی در زنان مبتلا به دیابت نوع دو

لیلا قدرت^۱ - جواد نعمتی^{۲*} - مریم کوشکی جهرمی^۳

۱. دانشجوی دکتری بیوشیمی و متابولیسم ورزشی، بخش علوم ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روان‌شناسی، دانشگاه

شیراز، شیراز، ایران ۲. استادیار، بخش علوم ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روان‌شناسی، دانشگاه شیراز، شیراز،

ایران ۳. دانشیار، بخش علوم ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روان‌شناسی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۲۲، تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۰۲/۰۹)

چکیده

هدف از این پژوهش مقایسه تأثیر دو ترتیب متفاوت تمرینات ترکیبی (تمرینات مقاومتی + تمرینات تناوبی شدید (HIIT)) بر تغییرات التهاب ناشی از دیابت، آتروفی مرتبط با التهاب، مقاومت به انسولین و ترکیب بدن در زنان مبتلا به دیابت نوع دو بود. ۲۴ نفر از زنان مبتلا به دیابت نوع دو غیرورزشکار با دامنه سنی ۴۵ تا ۶۵ سال به صورت داوطلبانه در این پژوهش شرکت کردند و در سه گروه هشت نفری کنترل، تمرین نوع یک و تمرین نوع دو قرار گرفتند. هر دو گروه تمرینی به مدت ۸ هفته تمرینات ترکیبی را اجرا کردند، به طوری که گروه تمرین نوع یک هر دو تمرین را در یک روز با ترتیب مقاومتی-تناوبی و گروه تمرین نوع دو همان حجم تمرین را در روزهای مجزا (مقاومتی در روزهای زوج و تناوبی در روزهای فرد) انجام دادند. ارزیابی قلبی-عروقی و آنالیز ترکیب بدن، قبل و بعد از دوره تمرینی اجرا شد. خون گیری ۲۴ ساعت قبل از اولین جلسه و ۴۸ ساعت بعد از آخرین جلسه تمرینی انجام گرفت. برای مقایسه بین گروهی از آزمون تحلیل کوواریانس (ANCOVA) استفاده شد. نتایج تحلیل کوواریانس پس از آزمون‌های گروه‌های تمرینی نسبت به گروه کنترل، کاهش معنادار مقاومت به انسولین را نشان داد. عامل التهابی اینترلوکین بتا ($IL1\beta$) در هر دو گروه تمرینی در مقایسه با گروه کنترل کاهش معناداری داشت و بین دو گروه تمرینی تفاوت معناداری مشاهده نشد. افزایش شاخص رشدی شبه‌انسولینی (IGF1) و بافت عضلانی در هر دو گروه تمرینی در مقایسه با گروه کنترل معنادار بود. همچنین تفاوت معناداری بین تمرین نوع یک و نوع دو مشاهده شد ($P \leq 0.05$). نتایج نشان داد که تمرینات ترکیبی با هر دو ترتیب می‌تواند عامل مهمی در کاهش مقاومت به انسولین و التهاب ناشی از دیابت و افزایش عامل رشدی IGF1 باشد، در حالی که تمرین در روزهای مجزا تأثیرات مفیدتری بر افزایش رشد عضلانی داشت.

واژه‌های کلیدی

التهاب، آتروفی عضلانی، تمرین ترکیبی، دیابت نوع دو.

مقدمه

کاهش می‌دهد (۳). فعالیت ویژه دو پروتئین کلیدی IGF1^۷ و PI3k^۸ در فعال‌سازی مسیر پیام‌رسانی mTOR به‌عنوان اصلی‌ترین مسیر سنتز پروتئین مورد توجه قرار می‌گیرد (۴). کاهش فسفوریلاسیون AKT همزمان با افزایش FOXO3^۹ هسته‌ای تخریب پروتئین سلولی را به‌همراه دارد (۳).

فعالیت‌های منظم ورزشی، به‌طور مستقیم با افزایش هزینه انرژی، انباشتگی بافت چربی را کاهش می‌دهد و سلامت قلبی-عروقی را از طریق بهبود نیمرخ لیپیدی در خون تضمین می‌کند. اثر حفاظتی فعالیت‌های ورزشی و سبک زندگی فعال در برابر بیماری‌های مزمنی مانند دیابت را می‌توان به اثر ضدالتهابی آنها نسبت داد (۵). مطالعات نشان می‌دهند که حتی یک جلسه فعالیت ورزشی می‌تواند از طریق تأثیر بر عوامل التهابی در عضله اسکلتی، مایوکاین‌ها، بافت چربی، آدیپوکاین‌ها و لکوسیت‌ها بر التهاب تأثیر داشته باشد. تمرینات استقامتی علاوه بر کاهش چربی و بهبود ظرفیت هوازی، واکنش ضدالتهابی را تسهیل می‌کنند. اخیراً اثر ضدالتهابی تمرینات تناوبی شدید (HIIT) هم گزارش شده است و علاوه بر این، برخی مطالعات بهبود شاخص‌های التهابی را به‌دنبال تمرینات مقاومتی نشان می‌دهند (۶). اگرچه مزیت تمرینات هوازی و مقاومتی به‌تنهایی در گروه‌های مختلف گزارش شده، مطالعات کمتری تأثیر تمرینات ترکیبی و به‌خصوص ترکیب تمرینات تناوبی شدید به‌همراه تمرینات مقاومتی را در بهبود شاخص‌های پیکرسنجی، کنترل گلوکز خون و نیمرخ لیپیدی در مقایسه با تمرینات تناوبی شدید و مقاومتی به‌تنهایی نشان داده‌اند (۷). تمرینات تناوبی شدید که با شدت زیاد و در مدت‌های کوتاه اجرا می‌شوند، نسبت به

دیابت، گروهی از اختلالات متابولیک است که در همه آنها افزایش قند خون مشاهده می‌شود. چندین نوع مختلف دیابت وجود دارد که بر اثر واکنش‌های پیچیده ژنتیکی و عوامل محیطی ایجاد می‌شوند. عوامل تأثیرگذار بر افزایش قند خون شامل کاهش ترشح انسولین، کاهش مصرف گلوکز و اختلال در عملکرد گیرنده‌های انسولین است (۱). از طرفی تحقیقات نشان می‌دهند که افراد چاق به التهاب مزمن مبتلا می‌شوند، به‌طوری‌که مقادیر عامل نکروز توموری آلفا (TNF α) در حیوانات و انسان‌های چاق در سطوح متناسب با مقاومت به انسولین وجود دارد و نقش بیماری‌زای شاخص‌های التهابی از جمله TNF α را در گسترش مقاومت به انسولین و دیابت ثابت می‌کند (۲). التهاب مزمن ناشی از دیابت نوع دو، از طریق افزایش سطح عامل‌های پیش‌التهابی مانند TNF α ، IL-6^۲، IL-8^۳ و IL-1 β ^۴ می‌تواند به‌عنوان عاملی کلیدی برای مسیرهای سیگنالی آتروفی عضلانی محسوب شود. آتروفی عضلانی، از مشکلات شایان توجه بیماران مبتلا به دیابت نوع دو است که با افزایش سن و در اثر نوروپاتی دیابتی، پیشرفت می‌کند. از دست دادن توده عضلانی به کاهش قدرت و ظرفیت عملکردی مرتبط به آن منجر می‌شود. مسیرهای آتروفی عضلانی در بیماران دیابتی از طریق فرایندهای التهابی کنترل می‌شوند (۲). دلایل عمده ایجاد آتروفی کاهش فعالیت پروتئین کیناز B (AKT^۵) است. فعالیت AKT در پاسخ به انسولین و هورمون رشدی شبه‌انسولین در افراد مبتلا به دیابت نوع دو در مقایسه با افراد سالم، ۳۴ درصد کاهش می‌یابد و اختلال در مسیر PI3K-AKT سنتز پروتئین را از طریق تحت تأثیر قرار دادن mTOR^۶

6 The mammalian target of rapamycin
7 Insulin-like growth factor 1
8 Phosphoinositide 3-kinase
9 Forkhead box
10. High Intensity Interval Training

1 Tumor Necrosis Factor Alpha
2 Interleukin 6
3 Interleukin 8
4 Interleukin 1 beta
5 Protein kinase B

استراحت بین تمرینات است (۱۲). متنیستیس (۲۰۱۸) در پژوهش مروری بر تمرینات ترکیبی نشان داد که شدت و مدت تمرین به‌عنوان دو شاخص اساسی در به حداکثر رساندن سازگاری‌های ناشی از تمرینات ترکیبی مورد توجه هستند، به‌طوری‌که هرچه شدت تمرین هوایی بیشتر و مدت آن کمتر باشد، تقاضای انرژی به‌واسطه فعال کردن کیناز وابسته به AMP (AMPK) کمتر است و شاید بتوان سازگاری به هر دو نوع تمرین را در بر داشته باشد. بنابراین در این پژوهش از فعالیت‌های تناوبی شدید استفاده شد. از طرف دیگر، ترتیب تمرینات ترکیبی عامل مؤثری بر سازگاری‌های ناشی از این تمرین است، به‌طوری‌که ترتیب مقاومتی-استقامتی نسبت به استقامتی-مقاومتی در زنان نسبت به مردان بیشتر توصیه می‌شود و مطالعات اخیر به تمرینات ترکیبی با حداقل ۳ تا ۶ ساعت فاصله یا تمرین در روزهای مجزا اشاره کرده و عنوان می‌کنند که سازگاری به هر دو تمرین در ترتیب روزهای مجزا در افراد سالم به حداکثر خواهد رسید (۱۳). بنابراین با توجه به متغیرهای ذکر شده، در پژوهش حاضر تأثیر دو ترتیب مقاومتی-تناوبی و تمرین در روزهای مجزا بر التهاب و آتروفی مرتبط با التهاب در بیماران دیابتی نوع دو بررسی شد و به‌دنبال پاسخگویی به این پرسش بودیم که کدام ترتیب تمرین در افراد دیابتی کاربردی‌تر است.

روش

هدف پژوهش، بررسی اثر دو ترتیب متفاوت تمرینات ترکیبی بر مقاومت به انسولین، التهاب و آتروفی در زنان مبتلا به دیابت نوع دو بود. با توجه به این هدف، پژوهش ما از نظر روش جمع‌آوری اطلاعات کمی و از لحاظ هدف از نوع تحقیقات کاربردی است. طرح پژوهش، نیمه‌تجربی

تمرینات تداومی کارایی زمانی بهتری دارند و سازگاری‌های مشابه را در زمان کمتر ایجاد می‌کنند (۸). اثر تداخلی^۱ تمرینات ترکیبی، به‌عنوان عاملی مهم مورد توجه پژوهشگران قرار می‌گیرد، به‌طوری‌که نتایج تحقیقات این اثر تداخلی را در شدت‌های زیاد تمرین در مقایسه با شدت‌های متوسط و پایین مقایسه کرده‌اند (۹). تمرکز اصلی محققان در پژوهش‌های اخیر توجه به ترتیب^۲ تمرینات ترکیبی برای به حداکثر رساندن سازگاری‌های ناشی از هر دو نوع تمرین بوده است. تأثیرات تداخلی ایجادشده در پی ترتیب‌های متفاوت تمرینات ترکیبی موجب ایجاد نتایج ضدونقیضی از تأثیر این تمرینات بر فاکتورهای مختلف شده است. پینتوس^۳ و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند که ۱۲ هفته تمرین ترکیبی، استقامتی و مقاومتی سطوح mRNA عوامل $TNF\alpha$ ، $IL-6$ ، $IL-1\beta$ را یک ساعت پس از تمرین به‌طور معناداری افزایش می‌دهد و تنها در تمرینات ترکیبی این مقادیر بعد از ۴ ساعت به مقدار پایه برگشته است (۱۰). لیباردی^۴ و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهشی که شامل ۱۶ هفته تمرین ترکیبی و مقاومتی به‌تنهایی بود، نشان دادند که با وجود افزایش توانایی عملکردی، مقادیر $TNF\alpha$ ، $IL-6$ در پایان تمرینات تغییر معناداری نداشته است (۱۱). تمرینات ترکیبی همانند تمرینات مقاومتی با افزایش IGF1 در بیماران دیابتی، به بهبود این افراد کمک می‌کنند، چراکه در افراد دیابتی غلظت پایین عوامل آنابولیکی مانند IGF1 دیده می‌شود (۷). به‌نظر می‌رسد که ساختار تمرینات ترکیبی مهم‌ترین عامل در اثربخشی این تمرینات بر متغیرهای مختلف در پی اجرای این تمرینات است. متغیرهای تأثیرگذار در تمرینات ترکیبی شامل تعداد جلسات تمرینی در هفته، شدت تمرین، حجم تمرین، ترتیب تمرین و

4 Libardi
5 Methenitis
6 AMP-activated protein kinase

1 Interference effects
2 Order
3 Pintos

است و با استفاده از طرح پیش‌آزمون- پس‌آزمون با گروه کنترل انجام گرفت.

جامعه آماری تحقیق زنان مبتلا به دیابت نوع دو ۴۵ تا ۶۵ ساله شهر شیراز بودند که ۲۴ نفر از جامعه مذکور به‌طور داوطلبانه در پژوهش شرکت کردند. آزمودنی‌ها ابتدا در یک جلسه توجیهی، به‌طور کامل با مراحل پژوهش آشنا شدند، پرسشنامه‌ای شامل مشخصات فردی و سوابق بیماری و دارویی و همچنین رضایت‌نامه آگاهانه در اختیار بیماران قرار گرفت و همه شرکت‌کنندگان با رضایت شخصی در مطالعه شرکت کردند. شرط ورود به مطالعه، سن ۴۵ تا ۶۵ سال، تشخیص کلینیکی دیابت نوع دو، استفاده از درمان غیر انسولینی دیابت، نداشتن سابقه مشکل قلبی، رتینوپاتی، نفروپاتی یا نوروپاتی و نداشتن فعالیت ورزشی منظم بود. ارزیابی‌های قلبی-عروقی قبل از اجرای پژوهش برای تمامی شرکت‌کنندگان انجام گرفت. معیارهای خروج از مطالعه شامل استفاده از انسولین در طول پژوهش و بروز مشکلات جانبی در حین فعالیت بود.

در شروع و پایان تمرین، یک تکرار بیشینه (1RM)^۱ آزمودنی‌ها برای تعیین شدت تمرینات مقاومتی با استفاده از حرکت جلوپا برای عضلات پایین تنه و حرکت قفسه سینه دستگاه برای عضلات بالاتنه و با استفاده از فرمول $1RM = \frac{W}{1.0278 - 0.0278R}$ محاسبه شد. برای تعیین حداکثر اکسیژن مصرفی بیماران از آزمون بالک با استفاده از دستگاه تجزیه و تحلیل گازهای تنفسی استفاده شد. اجرای آزمون بالک، در آزمایشگاه زیر نظر محقق و پزشک انجام گرفت. به این منظور، ابتدا در مورد نحوه اجرای آزمون با آزمودنی‌ها صحبت شد و پیش از اجرای آزمون، جلسات آشناسازی با نوار گردان به‌منظور اجرای هرچه بهتر تست ورزش برای شرکت‌کنندگان برگزار شد. به‌منظور اجرای آزمون بالک و انجام تست قلب با استفاده از الکترو کاردیوگرام از دستگاه

تجزیه و تحلیل گازهای تنفسی COSMED و تردمیل COSMOS استفاده شد. اندازه‌گیری بافت چربی و عضلانی بدن با استفاده از دستگاه تجزیه و تحلیل ترکیب بدن اندازه‌گیری و ۲۴ ساعت قبل از اولین جلسه تمرینی نمونه‌گیری خونی برای اندازه‌گیری شاخص‌های خونی در حالت ناشتا انجام گرفت. آزمودنی‌ها در سه گروه شامل گروه کنترل، گروه تمرینی نوع یک (اجرای تمرینات تناوبی شدید و مقاومتی در یک روز) و گروه تمرینی نوع دو (اجرای تمرینات تناوبی شدید و مقاومتی در روزهای مجزا) قرار گرفتند. دو گروه تمرینی تمرینات ترکیبی را به مدت ۸ هفته اجرا کردند و ۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه تمرینی آنالیز ترکیب بدن، نمونه‌گیری خونی و تست بالک مجدداً با شرایطی مشابه پیش‌آزمون انجام گرفت. ۴ هفته پس از اجرای تمرینات، یک تکرار بیشینه و حداکثر اکسیژن مصرفی اندازه‌گیری و شدت تمرین براساس مقادیر جدید تعیین شد. داده‌های یک نفر از گروه تمرین نوع یک و دو نفر از گروه تمرین نوع دو به‌دلیل استفاده از انسولین از هفته دوم تمرین، حذف شد و در نهایت آنالیز آماری با ۲۱ نفر در پایان پژوهش انجام گرفت.

برنامه تمرین

برنامه تمرینی، شامل ۸ هفته تمرین ترکیبی بود. تمرینات تناوبی شدید شامل ۷ تا ۱۰ تکرار ۶۰ ثانیه‌ای با شدت ۸۰ تا ۹۰ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی همراه با استراحت‌های فعال ۶۰ ثانیه‌ای با شدت ۲۰ تا ۳۰ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی بود. به‌منظور رعایت اصل اضافه بار تمرین هر دو هفته یک تکرار به تعداد تکرارها اضافه می‌شد. تمرینات مقاومتی شامل تمرینات فاز سازگاری ساختاری و هایپرتروفی بود که با شدت ۴۰ درصد یک تکرار بیشینه و دو ست ۲۰ تایی شروع می‌شد و تا آخرین جلسه تمرینی

1. One-repetition maximum

نوع دو تمرین تناوبی شدید و مقاومتی را جدا از هم و در روزهای مجزا انجام می‌دادند، بنابراین ۶ روز در هفته تمرین می‌کردند (۱۴). شدت تمرینات تناوبی با استفاده از ساعت پلار برای هر بیمار به صورت جداگانه بررسی و تمرینات مقاومتی با انتخاب وزنه براساس یک تکرار بیشینه برای هر فرد اجرا می‌شد. پروتکل تمرین تناوبی شدید با اندکی تغییر از پژوهش لیتل و همکاران (۸) و پروتکل تمرین ترکیبی براساس دستورالعمل و توصیه‌های انجمن دیابت آمریکا (ADA) در سال ۲۰۱۶ تدوین شد (جدول ۱).

به ۷۰ درصد یک تکرار بیشینه و چهار ست ۱۰ تایی می‌رسید (جدول ۱). تمرینات مقاومتی به صورت فول بادی و دایره‌ای طراحی شد و شامل تمرینات جلو پا دستگاه، پرس سینه دستگاه، زیر بغل پارویی دستگاه، پشت پا دستگاه، قفسه سینه دستگاه، سرشانه دمبل، زیر بغل سیم‌کش از جلو، ساق پا ایستاده، جلو بازو سیم‌کش، پشت بازو سیم‌کش، فیله و کرانچ خوابیده بود. گروه تمرین نوع یک هر دو نوع تمرین تناوبی شدید و مقاومتی را در یک روز با ترتیب مقاومتی- تناوبی انجام دادند و بنابراین ۳ روز در هفته تمرین داشتند. گروه تمرین

جدول ۱. پروتکل تمرین مقاومتی

متغیرها	دو هفته اول	دو هفته دوم	دو هفته سوم	دو هفته چهارم
تعداد ست	۲	۲	۳	۴
شدت فعالیت (IRM)	۴۰٪	۵۰٪	۶۰٪	۷۰٪
تعداد تکرار (ثانیه)	۲۰	۱۵	۱۲	۱۰
مدت استراحت بین ست‌ها (ثانیه)	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰

یافته‌ها

برای مقایسه پس‌آزمون‌های دو گروه تمرینی نسبت به گروه کنترل از آزمون تحلیل کوواریانس با در نظر گرفتن پیش‌آزمون به‌عنوان عامل کووریت و آزمون تعقیبی بونفرونی استفاده شد. برای اطمینان از طبیعی بودن توزیع داده‌ها از آزمون شاپیرو-ویلک و برای بررسی همگنی واریانس از آزمون لون استفاده شد. در صورت نرمال نبودن توزیع داده‌ها، از توزیع $\log 10$ برای نرمال کردن استفاده شد.

شاخص‌های فیزیولوژیکی و عملکردی

اطلاعات مربوط به داده‌های ترکیب بدن، حداکثر اکسیژن مصرفی و قدرت در سه گروه کنترل، تمرین نوع یک و دو در دو مرحله پیش‌آزمون و پس‌آزمون در جدول

اندازه‌گیری شاخص‌های خونی

قبل و بعد از دوره تمرینی، ۱۰ میلی‌لیتر خون در حالت ناشتا از ورید پیش‌بازویی گرفته شد و در لوله کلات برای اندازه‌گیری گلوکز، انسولین، $IL-1\beta$ و $IGF1$ و مقداری در لوله حاوی EDTA به‌منظور انجام آزمایش $HbA1c$ جمع‌آوری شد. خون‌ها به مدت ۲۰ دقیقه با ۳۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ شد و سرم جداسازی شده به‌منظور اندازه‌گیری مقادیر $IL-1\beta$ با کیت (Diacalone, France)، انسولین (Rapid Insulin Test System, Monobind Inc. USA) و $IGF1$ (DiaMetra, Italy) و از روش ELISA^۲ استفاده شد.

2 Enzyme-linked immunosorbent assay

1. American Diabetes Association

با گروه کنترل بوده است، در حالی که درصد چربی بدن تنها در گروه تمرین نوع دو در مقایسه با گروه کنترل معنادار بود، همچنین افزایش توده عضلانی، در گروه تمرین نوع دو در مقایسه با تمرین نوع یک معنادار بوده است (جدول ۲).

۲ گزارش شده است. نتایج حاصل از تحلیل کوواریانس و آزمون تعقیبی بونفرونی نشان‌دهنده تفاوت معنادار شاخص توده بدن، نسبت دور کمر به دور باسن، توده عضلانی، حداکثر اکسیژن مصرفی و یک تکرار بیشینه در عضلات بالاتنه و پایین تنه در گروه تمرین نوع یک و دو در مقایسه

جدول ۲. میانگین و انحراف معیار پیش و پس آزمون داده‌های ترکیب بدن، حداکثر اکسیژن مصرفی و قدرت در گروه

کنترل و دو گروه تمرینی

متغیر	گروه کنترل		تمرین نوع یک		تمرین نوع دو	
	(میانگین ± انحراف معیار)		(میانگین ± انحراف معیار)		(میانگین ± انحراف معیار)	
	پیش‌آزمون	پس‌آزمون	پیش‌آزمون	پس‌آزمون	پیش‌آزمون	پس‌آزمون
شاخص توده بدن (BMI)	۳۱/۰۶ ± ۴/۷۸	۳۱/۰۷ ± ۴/۷۴	۲۹/۳۷ ± ۲/۴۵	۲۸/۷۵ ± ۱/۴۲	۳۰/۲۸ ± ۳/۵۱	۲۹/۴۳ ± ۳/۲۱
بافت چربی (کیلوگرم)	۳۳/۰۵ ± ۶/۲۹	۳۳/۲۵ ± ۶/۲۳	۲۸/۷۵ ± ۵/۲۹	۲۷/۹۸ ± ۶/۴۵	۳۱/۴۵ ± ۴/۷۷	۲۹/۴۶ ± ۵/۳۷
بافت عضلانی (کیلوگرم)	۳۱/۴۷ ± ۲/۹۱	۳۱/۲۱ ± ۲/۸۳	۳۶/۶۲ ± ۳/۵۷	۳۷/۰۴ ± ۴/۶۳	۳۷/۷۳ ± ۴/۹۶	۳۸/۸۸ ± ۴/۸۹
درصد چربی بدن	۳۸/۷۱ ± ۴/۵۹	۳۸/۷۲ ± ۴/۵۸	۳۸/۹۴ ± ۵/۱۵	۳۸/۳۱ ± ۴/۷۶	۴۱/۰۸ ± ۵/۱۸	۳۹/۸۰ ± ۴/۷۸
نسبت دور کمر به دور باسن (WHI)	۰/۶۴ ± ۰/۰۵	۰/۶۴ ± ۰/۰۵	۰/۶۱ ± ۰/۰۶	۰/۶۰ ± ۰/۰۶	۰/۶۳ ± ۰/۰۹	۰/۶۰ ± ۰/۰۸
حداکثر اکسیژن مصرفی mL/(kg·min)	۱۸/۷۸ ± ۱/۵۲	۱۸/۸۳ ± ۱/۸۳	۱۹/۳۴ ± ۱/۳۵	۲۲/۱۷ ± ۲/۰۲	۱۹/۱۶ ± ۲/۳۷	۲۲/۴۱ ± ۱/۹۸
یک تکرار بیشینه (پایین تنه) (kg)	۲۴/۸۸ ± ۶/۹۹	۲۴/۳۵ ± ۶/۹۶	۲۴/۱۰ ± ۵/۳۴	۲۷/۸۲ ± ۶/۰	۲۸/۱۱ ± ۷/۵۸	۳۲/۳۸ ± ۹/۴۰
یک تکرار بیشینه (بالا تنه) (kg)	۲۴/۲۲ ± ۵/۶۸	۲۴/۱۷ ± ۵/۶۱	۲۵/۰۸ ± ۸/۱۳	۲۹/۰۳ ± ۷/۶۰	۲۶/۷۲ ± ۷/۵۳	۳۲/۲۸ ± ۶/۹۰

* نشان‌دهنده تفاوت معنادار پس آزمون‌های گروه تمرین در مقایسه با گروه کنترل. ** نشان‌دهنده تفاوت معنادار تمرین نوع دو در مقایسه با

تمرین نوع یک

کوواریانس و آزمون تعقیبی بونفرونی برای مقاومت به انسولین نشان داد که مقادیر \log_{10} مقاومت به انسولین [F(۲و۱۷) = ۴۲/۹۳، P = ۰/۰۰۱، $\eta^2 = ۰/۷۲$] در گروه تمرین نوع یک (P = ۰/۰۰۱) و تمرین نوع دو (P = ۰/۰۰۱)

مقاومت به انسولین و هموگلوبین گلیکوزیله میانگین و انحراف معیار پیش‌آزمون و پس‌آزمون گلوکز، انسولین، مقاومت به انسولین و هموگلوبین گلیکوزیله برای هر سه گروه در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج تحلیل

1. Waist Hip Ratio

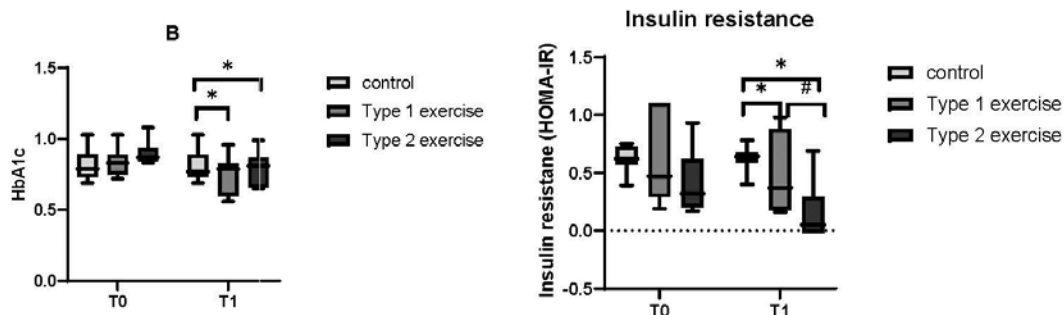
نوع یک ($P = 0/001$) و تمرین نوع دو ($P = 0/001$) در مقایسه با گروه کنترل کاهش معنادار داشته است و بین دو گروه تمرینی تفاوت معناداری مشاهده نشد (جدول ۳، شکل ۲).

در مقایسه با گروه کنترل کاهش معناداری داشته است. همچنین بین دو گروه تمرینی تفاوت معناداری ($p = 0/02$) مشاهده شد. مقادیر \log_{10} هموگلوبین گلیکوزیله [$F(2,17) = 5/294$, $P = 0/016$, $\eta_p^2 = 0/38$] در تمرین

جدول ۳. میانگین و انحراف معیار پیش‌آزمون و پس‌آزمون داده‌های گلوکز، انسولین، مقاومت به انسولین و هموگلوبین گلیکوزیله در گروه کنترل و دو گروه تمرینی

متغیر	گروه کنترل		تمرین نوع یک		تمرین نوع دو	
	(میانگین \pm انحراف معیار)		(میانگین \pm انحراف معیار)		(میانگین \pm انحراف معیار)	
	پیش‌آزمون	پس‌آزمون	پیش‌آزمون	پس‌آزمون	پیش‌آزمون	پس‌آزمون
گلوکز Mg/dl	۱۹۷/۱۲ \pm ۶۳/۸۷	۱۹۵/۱۲ \pm ۶۳/۸۷	۲۲۸/۷۱ \pm ۸۴/۴۴	۲۰۱/۵۷ \pm ۶۹/۵۲	۱۷۴/۳۳ \pm ۶۶/۴۸	۱۷۱/۶۶ \pm ۴۷/۳۰
انسولین	۹/۴۳ \pm ۳/۳۲	۹/۶۰ \pm ۳/۳۵	۹/۰۷ \pm ۵/۳۱	۸/۱۷ \pm ۴/۶۶	۷/۶۰ \pm ۲/۷۰	۶/۲۰ \pm ۳/۱۰
مقاومت به انسولین	۴/۹۸ \pm ۱/۰۳	۴/۳۹ \pm ۰/۹۸	۵/۷۳ \pm ۴/۹۰	۴/۲۰ \pm ۳/۳۱	۳/۶۰ \pm ۲/۶۸	۱/۹۶ \pm ۱/۵۰
هموگلوبین گلیکوزیله	۶/۷۶ \pm ۱/۹۲	۶/۶۳ \pm ۲/۷۰	۷/۱۰ \pm ۱/۸۸	۵/۸۴ \pm ۱/۰۳	۸/۰۱ \pm ۱/۹۵	۶/۴۰ \pm ۲/۴۰

* نشان‌دهنده تفاوت معنادار پس‌آزمون‌های گروه تمرین در مقایسه با گروه کنترل. ** نشان‌دهنده تفاوت معنادار تمرین نوع دو در مقایسه با تمرین نوع یک

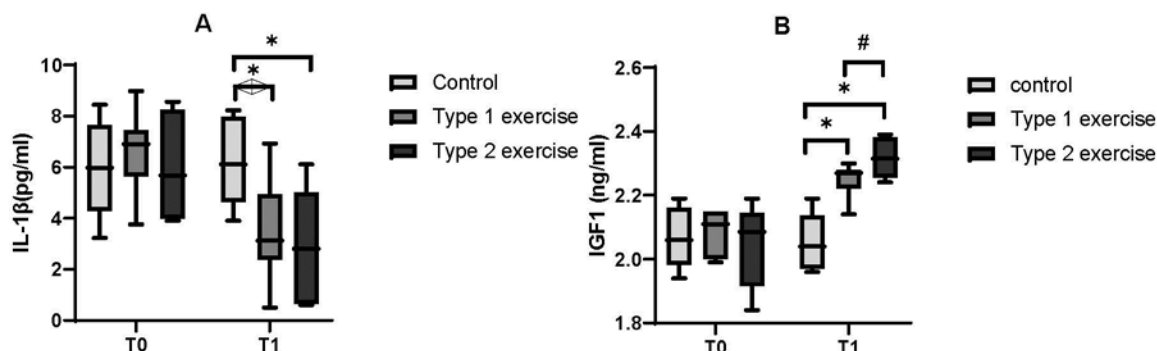


شکل ۱. مقادیر مقاومت به انسولین (A) و HbA_{1c} (B) در گروه کنترل و گروه‌های تمرینی در پیش‌آزمون (T0) و پس از ۸ هفته مداخله تمرینی (T1). * نشان‌دهنده تفاوت معنادار بین گروه‌های تمرینی و گروه کنترل. # نشان‌دهنده تفاوت معنادار بین دو گروه تمرینی

[$F(2,17) = 17/640$, $P = 0/001$, $\eta_p^2 = 0/67$] در تمرین نوع دو ($P = 0/001$) در مقایسه با گروه کنترل افزایش معناداری داشته است، همچنین بین تمرین نوع یک و دو هم تفاوت معناداری ($P = 0/002$) وجود دارد و تمرین نوع دو به افزایش بیشتری در میانگین $IGF1$ منجر شده است (شکل ۲).

$IGF1$ و $IL-1\beta$

نتایج تحلیل کوواریانس و آزمون تعقیبی بونفرونی برای عامل التهابی $IL-1\beta$ به ترتیب نشان داد که $IL-1\beta$ [$F(2,17) = 17/640$, $P = 0/001$, $\eta_p^2 = 0/67$] در تمرین نوع یک ($P = 0/003$) و تمرین نوع دو ($P = 0/001$) در مقایسه با گروه کنترل کاهش معناداری داشت و تغییر معناداری بین دو گروه تمرین مشاهده نشد. مقادیر \log_{10} میانگین $IGF1$ [$F(2,17) = 17/640$, $P = 0/001$, $\eta_p^2 = 0/67$]



شکل ۲. مقادیر IL-1 β (A) و IGF1 (B) در گروه کنترل و گروه‌های تمرینی در پیش‌آزمون (T0) و پس از ۸ هفته مداخله تمرینی (T1). * نشان‌دهنده تفاوت معنادار بین گروه‌های تمرینی و گروه کنترل. # نشان‌دهنده تفاوت معنادار بین دو گروه تمرینی

بحث و نتیجه‌گیری

تحقیقات گذشته نشان داده‌اند که سیگنال‌های مرتبط با تمرینات مقاومتی و تناوبی با هم متفاوت بوده و در حین تمرینات ترکیبی، یکدیگر را سرکوب می‌کنند و تداخلات ایجاد شده در این تمرینات می‌تواند سازگاری‌های ناشی از هر دو تمرین را تحت تأثیر قرار دهد. بیشتر تحقیقات اذعان می‌کنند که AMPK به‌عنوان شاخص مهم تمرینات هوازی و تناوبی می‌تواند فعالیت mTOR را به‌عنوان اصلی‌ترین عامل مرتبط با رشد عضلانی در تمرینات مقاومتی سرکوب کند (۱۵). براساس این یافته‌ها، تحقیقات جدید بر روی عامل‌های مؤثر بر تمرینات ترکیبی برای به حداکثر رساندن سازگاری‌های ناشی از هر دو نوع تمرین تمرکز کرده‌اند. به‌طوری‌که تعداد جلسات در هفته، شدت تمرینات هوازی و مقاومتی، ترتیب تمرین، حجم تمرین و ریکاوری بین تمرینات را به‌عنوان عوامل اصلی و تغذیه، وضعیت آموزش به شرکت‌کنندگان، طراحی تحقیق و آنالیزهای آماری به‌عنوان عوامل فرعی تأثیرگذار بر نتایج تمرینات ترکیبی معرفی می‌شوند (۱۲).

فلسام^۱ و همکاران (۲۰۰۰) نشان دادند که شاخص توده بدنی، نسبت دور کمر به دور باسن و بافت چربی احشایی مهم‌ترین شاخص‌های پیش‌بینی‌کننده دیابت در زنان میانسال است، چراکه بافت چربی توانایی تولید عوامل التهابی را دارد، بنابر این یافته‌ها کاهش چربی

التهاب و آتروفی عضلانی ناشی از التهاب در بیماران دیابت نوع دو گزارش شده است. در پژوهش حاضر دو ترتیب متفاوت تمرین ترکیبی بر شاخص‌های التهابی و رشد عضلانی بیماران دیابت نوع دو بررسی شد. نتایج نشان داد که میانگین بافت چربی، گلوکز، انسولین، مقاومت به انسولین، هموگلوبین گلیکوزیله و IL1 β در زنان مبتلا به دیابت نوع دو در هر دو گروه تمرینی در پایان یک دوره تمرینات ترکیبی به‌طور معناداری در مقایسه با گروه کنترل کاهش یافته است، و در بافت چربی، گلوکز و مقاومت به انسولین بین دو گروه تمرینی تفاوت معناداری وجود داشت، درحالی‌که درصد چربی بدن فقط در گروه تمرین نوع دو کاهش معنادار داشته است. بافت عضلانی و IGF1 در دو گروه تمرینی در مقایسه با گروه کنترل افزایش معناداری داشت. همچنین بین دو گروه تمرینی تفاوت معنادار دیده شد که نشان‌دهنده این است که تمرین در روزهای مجزا تأثیر بهتری بر عوامل مرتبط با بهبود رشد عضلانی داشته است.

تحقیقات انجام‌گرفته با تمرینات ترکیبی نتایج متفاوتی را در جمعیت‌های مختلف نشان می‌دهند، به‌طوری‌که این نتایج گاهی ضدونقیض بوده و نشان‌دهنده دخالت شاخص‌های مختلف تمرینی و اثرگذاری آنها در نتایج است.

کوفی^۱ و همکاران (۲۰۱۷) (۲۰) در پژوهشی نشان دادند که تداخلات ناشی از تمرینات ترکیبی در ورزشکاران حرفه‌ای حداکثر است و در افراد مبتدی به دلیل عدم وجود سازگاری‌های ناشی از تمرین به حداقل خواهد رسید. این در حالی است که نتایج پژوهش حاضر افزایش معنادار IGF1 را در گروه تمرین در روزهای مجزا نسبت به گروه دیگر نشان داد، در حالی که در بهبود نشانگر التهابی IL1 β و هموگلوبین گلیکوزیله تفاوت معناداری بین دو گروه مشاهده نشد که نشان‌دهنده این است که حتی در افراد تمرین‌نکرده اگر به دنبال حداکثر سازگاری‌های ناشی از تمرینات هستیم، فاصله بین تمرین تناوبی شدید و مقاومتی یا به عبارت دیگر نظم و ترتیب تمرین اهمیت خاصی دارد. هر دو نوع تمرینات ترکیبی موجب کاهش معنادار مقاومت به انسولین و HbA1c شد و فقط در مقاومت به انسولین بین دو گروه تمرینی به سبب کاهش گلوکز بیشتر در گروه تمرین نوع دو اختلاف معناداری وجود داشت. در واقع تمرینات تناوبی شدید و مقاومتی از مسیرهای پیام‌رسانی مجزا که اثری مهاری بر هم ندارند، سبب بهبود هموستاز قند خون می‌شوند. کاهش در HbA1c همسو با یافته‌های پیشین بود که کاهش HbA1c را پس از تمرینات مختلف ورزشی گزارش کردند. فعالیت HIIT موجب افزایش سطوح GLUT4 و افزایش فعالیت گلیکوژن سنتتاز و هگروکیناز می‌شود (۲۱). در واقع سازوکار احتمالی تأثیر تمرینات HIIT که سبب کاهش HbA1c و مقاومت به انسولین می‌شود، افزایش در فسفریله شدن AMPK است. AMPK موجب افزایش فراخوانی GLUT4 به سطح غشا شده و مسیر ورود گلوکز به درون سلول فراهم می‌شود و قند خون کاهش می‌یابد که در پی آن کاهش HbA1c رخ می‌دهد. از آنجا که در دیابت نوع دو و مقاومت به انسولین، کاهش ظرفیت میتوکندریایی در عضله اسکلتی گزارش

اندازه‌گیری شده توسط دستگاه تجزیه و تحلیل ترکیب بدن، در مقایسه با کالیپر شاخص معتبرتری خواهد بود. در حقیقت، چربی‌های شکمی (احشایی) و محیطی (چربی زیر پوست) دو شکل ذخیره چربی در بدن انسان هستند. چربی‌های تجمع‌یافته در احشای بدن عامل مهمی برای ایجاد مقاومت به انسولین و التهاب هستند (۱۶) با افزایش توده چربی، تعداد سلول ماکروفاژ در بافت چربی و فعالیت آنها تغییر می‌کند. این تغییرات به یک مرحله التهابی منجر می‌شود که توسط آن تعداد زیادی از نشانگرهای زیستی التهابی از طریق این ماکروفاژها تولید می‌شوند (۱۷). افزایش توده چربی و در پی آن افزایش مقاومت به انسولین همچنین سبب فعال شدن کیناز التهابی β -kinase JNK (IKK β) I κ B می‌شود و افزایش IKK β شاخص NF- κ B را فعال می‌کند که عامل اصلی برای القای شرایط التهابی است (۱۸). کاهش درصد چربی بدن در گروه تمرینی نوع دو در مقایسه با گروه کنترل معنادار بود. تمرینات ترکیبی با کاهش توده چربی به طور مستقیم و افزایش توده عضلانی به طور غیرمستقیم انرژی مصرفی بدن را افزایش می‌دهند و موجب متعادل شدن ترکیب بدن می‌شوند. در واقع فعال شدن مسیر AMPK در فعالیت‌های تناوبی شدید را می‌توان دلیل اصلی کاهش بافت چربی دانست. از طرف دیگر، افزایش فعالیت پیام‌های رشدی و افزایش در توده عضلانی به افزایش انرژی مصرفی بدن منجر می‌شود و در نهایت کاهش بافت چربی رخ می‌دهد (۱۹). نتایج پژوهش حاضر با نتایج تحقیق اکلاندر و همکاران (۲۰۱۶) همسوست. اکلاندر در پژوهش خود که تأثیر سه ترتیب مختلف تمرین ترکیبی (مقاومتی-استقامتی، استقامتی-مقاومتی و تمرین در روزهای مجزا) را بر ساختار بدن بررسی کرده بود، نشان داد که کاهش چربی تنها در گروه تمرینی روزهای مجزا اتفاق افتاده است.

علت اصلی افزایش شاخص‌های التهابی چاقی و افزایش چربی بدن معرفی شده بود و با توجه به اینکه ۱۶ هفته تمرین سبک قادر به ایجاد تغییر در میزان بافت چربی نبوده است، از این رو در مقادیر نشانگرهای التهابی هم کاهش معناداری مشاهده نشده بود. از طرف دیگر، اکلاندا^۱ و همکاران (۲۰۱۶) (۲۱) سه ترتیب اصلی استقامتی-مقاومتی، مقاومتی-استقامتی و تمرین در روزهای مجزا را به‌عنوان روش‌های چیدمان تمرین ترکیبی معرفی کردند و نشان دادند که پس از ۲۴ هفته تمرین کاهش معنادار بافت چربی در گروه تمرین در روزهای مجزا و بنابراین کاهش التهاب ناشی از بافت چربی نسبت به دو نوع دیگر دیده می‌شود (۲۴). در واقع فعالیت ورزشی با تأثیر بر بافت چربی تغییرات مثبتی در شاخص‌های التهابی ایجاد می‌کند. بافت چربی به‌عنوان یک غده درون‌ریز فعال می‌تواند آدیپوسیت‌ها را ترشح کند که تجمع بافت چربی اضافی در افراد مبتلا به دیابت نوع دو و نفوذ آن به سیستم ایمنی، افزایش رهاسازی آدیپوکاین‌ها و در نهایت توسعه التهاب سیستمیک را به‌همراه دارد (۲۵). هر دو نوع تمرین ترکیبی در روزهای مشابه و روزهای مجزا موجب کاهش بافت چربی شد که این کاهش در گروه تمرینات مجزا بیشتر بود، اما کاهش معنادار $IL1\beta$ در هر دو گروه تمرینی در مقایسه با گروه کنترل مشاهده شد، درحالی‌که بین دو تمرین تفاوت معناداری وجود نداشت.

IGF1 به‌عنوان یکی از مهم‌ترین هورمون‌های پپتیدی آنابولیکی اتوکراینی و پاراکراینی که به محرک‌های مکانیکی پاسخ می‌دهد، در ارتباط با سازگاری‌های هایپرتروفی مورد توجه پژوهشگران قرار می‌گیرد. این هورمون با اتصال به گیرنده خود و فعال کردن Akt فعالیت mTOR را به‌عنوان اصلی‌ترین سیگنال هایپرتروفی تحت تأثیر قرار می‌دهد

شده است (۲۲) و ظرفیت اکسایشی عضله پیش‌بینی‌کننده حساسیت انسولینی است، از این رو تمرکز تمرین باید بر افزایش ظرفیت اکسایشی عضله باشد. تمرینات HIIT با افزایش سریع در محتوای میتوکندریایی عضله اسکلتی به افزایش ظرفیت اکسایشی عضله، کاهش مقاومت به انسولین و بهبود کنترل گلاسمیک منجر می‌شود. از طرف دیگر، تمرینات مقاومتی باعث تحریک پاسخ‌های هایپرتروفیک می‌شود که با افزایش حجم عضلانی افزایش گلوکز مصرفی در کل بدن را به‌همراه دارد (۲۳). تمرینات مقاومتی علاوه بر افزایش حجم عضلانی، به فعال کردن مسیر IGF-1 و AKT منجر می‌شود. افزایش فعالیت AKT به افزایش فراخوانی GLUT4 به سطح سلول و در نهایت کاهش میانگین قند خون منجر می‌شود. با توجه به موارد ذکر شده، ترکیب تمرینات مقاومتی و تناوبی شدید و تجمیع اثر دو نوع تمرین بر هموستاز گلوکز، تأثیر بیشتری بر کاهش HbA1c داشته است. با توجه به تفاوت معنادار بین دو گروه تمرینی در مقاومت به انسولین و گلوکز می‌توان گفت که اثر تجمیعی تمرینات تناوبی شدید و مقاومتی و افزایش بیشتر بافت عضلانی و در نتیجه فراخوانی بیشتر GLUT4 در تمرینات روزهای مجزا کاهش گلوکز و مقاومت به انسولین در گروه تمرینات مجزا بیشتر بوده است.

پژوهش‌های بسیاری در زمینه تأثیر مثبت تمرین هوازی و مقاومتی و همچنین ترکیب این دو نوع تمرین بر عوامل التهابی وجود دارد، اما در خصوص انواع مختلف تمرین ترکیبی و تأثیر ترتیب این تمرینات بر سیستم ایمنی و عوامل التهابی تحقیقات کمتری وجود دارد. لیباردی و همکاران (۲۰۱۲) (۱۱) در پژوهش خود که تأثیر سه نوع تمرین استقامتی، مقاومتی و ترکیبی را بر نشانگرهای التهابی بررسی کردند، نشان دادند که ۱۶ هفته تمرین تأثیر معناداری در $TNF\alpha$ ، IL-6 و CRP ندارد. در این پژوهش

تمرین ترکیبی در افزایش IGF1 مورد توجه نبوده است، این در حالی است که در پژوهش حاضر افزایش بیشتر IGF1 در گروه تمرین نوع دو که تمرین در روزهای مجزا بود، مشاهده شد و می‌توان گفت تأثیر تداخلی تمرین بر سازگاری‌های مرتبط با تمرین مقاومتی در مقایسه با تمرین استقامتی بیشتر است.

نتایج پژوهش نشان داد که هر دو ترتیب تمرینات ترکیبی می‌تواند برای بهبود همئوستاز گلوکز، کاهش التهاب و افزایش عوامل رشدی در بیماران دیابت نوع دو مؤثر باشد، ولی با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در مورد تفاوت معنادار افزایش IGF1 و بافت عضلانی در تمرین نوع دو در مقایسه با تمرین نوع یک به‌نظر می‌رسد که تمرین در روزهای مجزا برای به حداکثر رساندن سازگاری‌های ناشی از هر دو تمرین در افراد دیابتی کاربردی‌تر است. بنابراین توصیه می‌شود که بیماران دیابت نوع دو تمرینات ترکیبی را با ترتیب اجرای تمرین در روزهای مجزا انجام دهند.

(۲۰). در بیماران دیابتی IGF1 کمتر شده و به‌دنبال آن فعالیت Akt و mTOR کاهش می‌یابد، از این‌رو در این پژوهش به‌دنبال بهترین ترتیب تمرینی برای افزایش نشانگر IGF1 بودیم. رژا و همکاران در پژوهش خود به بررسی اثر ترتیب تمرین بر متغیرهای تستسترون، IGF1، هورمون رشد، کورتیزول و پروتئین-۳ متصل‌شده به فاکتور رشد شبه‌انسولین (IGFBP-3) پرداختند و نشان دادند که در هر دو گروه تمرینی استقامتی-مقاومتی (ES) و مقاومتی-استقامتی (SE)، IGF1 افزایش یافته است، ولی تفاوت معناداری بین تمرین ES و SE وجود نداشت، اما در مورد تستسترون و IGFBP-3 در هر دو گروه افزایش دیده شد، ولی ماندگاری این افزایش در گروه ES بیشتر بود. آلبالینی و همکاران (۲۰۱۵) افزایش میزان IGF1 در گردش خون را به‌همراه افزایش بافت عضلانی و قدرت در افراد مبتلا به دیابت نوع دو در پی تمرینات مقاومتی و ترکیبی نشان دادند (۲۵). آنها به افزایش ۱۶ درصدی IGF1 اشاره کردند، ولی ترتیب تمرین مورد توجه قرار نگرفته و تأثیرات تداخلی

منابع و مأخذ

1. Longo DL, Fauci AS, Kasper DL, Hauser SL, Jameson J, Loscalzo J. Harrison's principles of internal medicine. 18. Auflage, MacGraw-Hill Companies Inc, New York. 2012.
2. Baltadjiev AG, Baltadjiev GA. Assessment of body composition of male patients with type 2 diabetes by bioelectrical impedance analysis. *Folia Med (Plovdiv)*. 2011;53(3):52-7.
3. Perry BD, Caldow MK, Brennan-Speranza TC, Sbaraglia M, Jerums G, Garnham A, et al. Muscle atrophy in patients with Type 2 Diabetes Mellitus: roles of inflammatory pathways, physical activity and exercise. *Exerc Immunol Rev*. 2016;22:94-109.
4. Li J, Chan MC, Yu Y, Bei Y, Chen P, Zhou Q, et al. miR-29b contributes to multiple types of muscle atrophy. *Nat Commun*. 2017;8:15201.
5. Nimmo MA, Leggate M, Viana JL, King JA. The effect of physical activity on mediators of inflammation. *Diabetes Obes Metab*. 2013;15 Suppl 3:51-60.
6. Rech A, Botton CE, Lopez P, Quincozes-Santos A, Umpierre D, Pinto RS. Effects of short-term resistance training on endothelial function and inflammation markers in elderly patients with type 2 diabetes: A randomized controlled trial. *Exp Gerontol*. 2019;118:19-25.

7. Garcia-Hermoso A, Ramirez-Velez R, Ramirez-Campillo R, Peterson MD, Martinez-Vizcaino V. Concurrent aerobic plus resistance exercise versus aerobic exercise alone to improve health outcomes in paediatric obesity: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med.* 2018;52(3):161-6.
8. Little JP, Gillen JB, Percival ME, Safdar A, Tarnopolsky MA, Punthakee Z, et al. Low-volume high-intensity interval training reduces hyperglycemia and increases muscle mitochondrial capacity in patients with type 2 diabetes. *J Appl Physiol* (1985). 2011;111(6):1554-60.
9. Sousa AC, Neiva HP, Izquierdo M, Cadore EL, Alves AR, Marinho DA. Concurrent Training and Detraining: brief Review on the Effect of Exercise Intensities. *Int J Sports Med.* 2019;40(12):747-55.
10. Roman-Pintos LM, Villegas-Rivera G, Rodriguez-Carrizalez AD, Miranda-Diaz AG, Cardona-Munoz EG. Diabetic Polyneuropathy in Type 2 Diabetes Mellitus: Inflammation, Oxidative Stress, and Mitochondrial Function. *J Diabetes Res.* 2016;2016:3425617.
11. Libardi CA, De Souza GV, Cavaglieri CR, Madruga VA, Chacon-Mikahil MP. Effect of resistance, endurance, and concurrent training on TNF-alpha, IL-6, and CRP. *Med Sci Sports Exerc.* 2012;44(1):50-6.
12. Schumann M, Rønnestad BR. A Brief Historical Overview on the Science of Concurrent Aerobic and Strength Training. *Concurrent Aerobic and Strength Training*: Springer; 2019. p. 1-6.
13. Methenitis S. A brief review on concurrent training: from laboratory to the field. *Sports.* 2018;6(4):127.
14. Colberg SR, Sigal RJ, Yardley JE, Riddell MC, Dunstan DW, Dempsey PC, et al. Physical Activity/Exercise and Diabetes: A Position Statement of the American Diabetes Association. *Diabetes Care.* 2016;39(11):2065-79.
15. Berryman N, Mujika I, Bosquet L. Concurrent Training for Sports Performance: The 2 Sides of the Medal. *Int J Sports Physiol Perform.* 2019;14(3):279-85.
16. Folsom AR, Kushi LH, Anderson KE, Mink PJ, Olson JE, Hong C-P, et al. Associations of general and abdominal obesity with multiple health outcomes in older women: the Iowa Women's Health Study. *Archives of internal medicine.* 2000;160(14):2117-28.
17. Weisberg SP, McCann D, Desai M, Rosenbaum M, Leibel RL, Ferrante AW. Obesity is associated with macrophage accumulation in adipose tissue. *The Journal of clinical investigation.* 2003;112(12):1796-808.
18. Arkan MC, Hevener AL, Greten FR, Maeda S, Li Z-W, Long JM, et al. IKK- β links inflammation to obesity-induced insulin resistance. *Nature medicine.* 2005;11(2):191-8.
19. Wilhelm EN, Pinto RS. Concurrent Aerobic and Strength Training for Body Composition and Health. *Concurrent Aerobic and Strength Training*: Springer; 2019. p. 293-307.
20. Coffey VG, Hawley JA. Concurrent exercise training: do opposites distract? *The Journal of physiology.* 2017;595(9):2883-96.

21. Eklund D, Häkkinen A, Laukkanen JA, Balandzic M, Nyman K, Häkkinen K. Fitness, body composition and blood lipids following 3 concurrent strength and endurance training modes. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 2016;41(7):767-74.
22. Annibalini G, Lucertini F, Agostini D, Vallorani L, Gioacchini A, Barbieri E, et al. Concurrent aerobic and resistance training has anti-inflammatory effects and increases both plasma and leukocyte levels of IGF-1 in late middle-aged type 2 diabetic patients. *Oxidative medicine and cellular longevity*. 2017;2017.
23. Donath MY, Shoelson SE. Type 2 diabetes as an inflammatory disease. *Nature Reviews Immunology*. 2011;11(2):98.
24. Román-Pintos LM, Villegas-Rivera G, Rodríguez-Carrizalez AD, Miranda-Díaz AG, Cardona-Muñoz EG. Diabetic polyneuropathy in type 2 diabetes mellitus: inflammation, oxidative stress, and mitochondrial function. *Journal of diabetes research*. 2016;2016.
25. Cohen S, Nathan JA, Goldberg AL. Muscle wasting in disease: molecular mechanisms and promising therapies. *Nature reviews Drug discovery*. 2015;14(1):58.

A Comparison of the Effect of Two Different Orders of Combined Training on Inflammatory and Muscle Atrophy Biomarkers in Women with Type 2 Diabetes

Leila Ghodrat¹ - Javad Nemati^{*2} - Maryam Koushki Jahromi³

1. PhD Student in Biochemistry and Exercise Metabolism, Department of Sport Sciences, School of Education and Psychology, Shiraz University, Shiraz, Iran 2.

Assistant Professor, Department of Sport Sciences, School of Education and Psychology, Shiraz University, Shiraz, Iran 3. Associate professor, Department of Sport Sciences,

School of Education and Psychology, Shiraz University, Shiraz, Iran

(Received:2019/11/13;Accepted:2020/04/28)

Abstract

The aim of this study was to compare the effect of two concurrent training (resistance training + high intensity interval training (HIIT)) with different orders on inflammation caused by diabetes, inflammation-induced muscle atrophy, insulin resistance and body composition in women with type 2 diabetes. 24 nonathletic 45-65 year-old women with type 2 diabetes voluntarily participated in this study. They were divided into three groups: control group, type I, and type II exercise. Both groups of exercises performed concurrent training for 8 weeks. The first group had both exercises on the same day in the form of resistance-HIIT and the second group had the same volume of exercise on separated days. Cardiovascular evaluation and body composition analysis were measured before and after the training period. Blood samples were collected 24 hours before the first session and 48 hours after the last session of concurrent training to measure glucose, insulin, glycosylated hemoglobin, IGF1 and IL1 β . Analysis of covariance (ANCOVA) was used for comparison between groups and the results of post-test analysis of covariance showed a significant decrease in insulin resistance in both training group compared to control group. IL1 β decreased significantly in both training groups compared to control group and there was no significant difference between the two orders. The increase in IGF1 and fat free mass were significant in both training groups compared to control group and a significant difference was observed between type I and type II exercise ($p < 0.05$). The results of this study showed that concurrent training with two different orders can be an important factor in decreasing insulin resistance and inflammation caused by diabetes and increasing IGF1 growth factor while exercise on separated days had more beneficial effects on boosting muscle growth.

Keywords

Concurrent Training, Inflammation, Muscle Atrophy, Type 2 diabetes.

* Corresponding Author: Email: jnemati@shirazu.ac.ir; Tel: +989123943095