فیزیولوژی ورزشی شماره ۴۱، بهار ۱۳۹۸. صص ۴۶-۳۱

بررسی اثر ۱۲ هفته تمرین تداومی با شدت Fat_{max} و آستانهٔ بی‌هوازی و تناوبی شدید بر ظرفیت چربی‌سوزی بیماران پیش‌دیابتی

حمید محبی[۱]، سیدصالح صفری موسوی[۲]، هادی روحانی[۳]

۱. استاد فیزیولوژی ورزشی، دانشگاه گیلان
۲. دکترای فیزیولوژی ورزشی، دانشگاه گیلان
۳. استادیار فیزیولوژی ورزشی، پژوهشگاه علوم ورزشی*

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۰۱

چکیده

اختلال در سوخت‌وساز چربی یکی از نقص‌های موجود در افراد پیش‌دیابت و زمینهٔ ابتلابه دیابت نوع دو است. هدف از انجام مطالعهٔ حاضر، بررسی اثر ۱۲ هفته تمرین تداومی و تناوبی شدید بر ظرفیت چربی‌سوزی بیماران پیش‌دیابتی بود. تعداد ۳۲ بیمار پیش‌دیابتی (سن ۴/۰ ± ۳۸/۷ سال، BMI ۱/۴ ± ۲۶/۹ کیلوگرم بر مترمربع، چربی بدن ۲/۵ ± ۲۶/۲ درصد و VO_2peak ۰/۲۲ ± ۲/۴۹ لیتر در دقیقه) در چهار گروه کنترل (CON)، تمرین تناوبی شدید (HIT)، تمرین تداومی با شدت Fatmax (FAT) و تمرین تداومی با شدت آستانهٔ بی‌هوازی (IAT) قرار گرفتند. گروه‌های HIT، FAT و IAT، به‌مدت ۱۲ هفته و هفته‌ای چهار جلسه به اجرای تمرین ورزشی (به‌ترتیب با شدت ۹۰ درصد VO_2peak در هر تناوب، شدت Fatmax و شدت آستانهٔ بی هوازی) پرداختند. از آزمون آماری تی همبسته و تحلیل واریانس یک‌طرفه برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها استفاده شد. میزان تأثیر تمرین ورزشی بر حداکثر اکسیداسیون چربی در گروه‌های FAT، IAT و HIT، به‌ترتیب ۳۵ درصد، ۲۵ درصد و ۲۶ درصد بود که این تفاوت بین گروه FAT با گروه‌های IAT و HIT معنادار بود ($P < 0.05$). همچنین، میزان تأثیر تمرین ورزشی بر Fatmax در گروه‌های FAT، IAT و HIT، به‌ترتیب ۳۳ درصد، ۲۴ درصد و ۲۷ درصد بود که این تفاوت فقط بین گروه‌های FAT و IAT معنادار بود ($P < 0.05$). نتایج پژوهش نشان داد که میزان تغییر اکسیداسیون چربی در سه گروه تمرینی نسبت به قبل از تمرین متفاوت بود. این بدان‌معنی است که شدت و نوع فعالیت ورزشی ممکن است از عوامل تأثیرگذار بر اکسیداسیون چربی در افراد پیش‌دیابتی باشند.

واژگان کلیدی: حداکثر اکسیداسیون چربی، پیش‌دیابتی، تمرین تداومی، تمرین تناوبی شدید

* نویسندهٔ مسئول Email: H_rohani7@yahoo.com

مقدمه

پیش‌دیابت (هایپرگلیسمی متوسط) به‌عنوان عامل مهم خطر ابتلابه دیابت نوع دو، به‌وسیلهٔ تغییرات قندخون که بالاتر از سطح نرمال و پایین‌تر از آستانهٔ دیابت است، مشخص می‌شود. سالانه پنج تا ۱۰ درصد از افراد پیش‌دیابت، به بیماری دیابت مبتلا خواهند شد. براساس نظر متخصصان انجمن دیابت آمریکا، قریب به ۷۰ درصد از افراد پیش‌دیابت، درنهایت به بیماری دیابت مبتلا می‌شوند. کارشناسان پیش‌بینی کرده‌اند که در سال ۲۰۳۰ بیش از ۴۷۰ میلیون نفر در جهان به پیش‌دیابت مبتلا می‌شوند (۱). عواملی همچون سن، جنس، شاخص تودهٔ بدنی، فشارخون، سابقهٔ خانوادگی دیابت، تری‌گلیسرید بالا و اطلاعات سبک زندگی می‌توانند پیش‌بینی اولیهٔ خطر ابتلابه دیابت را نشان دهند (۱). وضعیت پیش‌دیابت با حضور هم‌زمان مقاومت به انسولین و اختلال در سلول‌های بتای پانکراسی در ارتباط است که با اختلال گلوکز ناشتا[1] (IGT) و اختلال تحمل گلوکز[2] (IFG) مشخص می‌شود. IGT و IFG با چند نقص مربوط به عمل انسولین همچون انتقال گلوکز، فعالیت آنزیمی، بیان ژن، سنتز گلیکوژن و اکسیداسیون گلوکز همراه هستند (۲). علاوه‌براین، افراد پیش‌دیابت یک اختلال در متابولیسم چربی شامل افزایش غلظت اسید چرب آزاد پلاسما در گردش، تری‌گلیسرید و چربی درون‌عضلانی دارند (۲). افراد دیابتی و پیش‌دیابتی به‌علت بالابودن غلظت انسولین خون، معمولاً از کاهش اکسیداسیون چربی و افزایش اکسیداسیون کربوهیدرات درخلال استراحت برخوردار هستند که این عامل می‌تواند افزایش تودهٔ چربی بیش‌ازحد در این افراد را توجیه کند (۳). براساس دیدگاه سازمان جهانی بهداشت، افرادی که غلظت گلوکز ناشتای بین ۶/۱ و هفت میلی‌مول بر لیتر داشته باشند، مبتلابه IFG هستند. همچنین، افرادی که غلظت گلوکز ناشتای کمتر از هفت و غلظت گلوکز پلاسمایی دو ساعت بعد از مصرف ۷۵ گرم کربوهیدرات بین ۷/۸ و ۱۱/۱ میلی‌مول بر لیتر داشته باشند، مبتلابه IGT هستند (۴).

وضعیت پیش‌دیابت نه‌تنها سبب افزایش ابتلابه دیابت می‌شود، بلکه ممکن است سبب آسیب به کلیه و اعصاب شود؛ بنابراین، تشخیص و درمان وضعیت پیش‌دیابت بسیار مهم است. ایجاد تغییرات در شیوهٔ زندگی مربوط به چاقی، رفتارهای تغذیه‌ای و فعالیت‌بدنی نقش عمده‌ای در پیشگیری و درمان IFG، IGT و دیابت دارند. نتایج مطالعات عمده، پس از برنامه‌های مداخله‌ای، پیشرفت ۵۸ درصدی را در پیشگیری از دیابت نشان می‌دهند (۵، ۱). فعالیت بدنی (بسته به نوع، شدت و مدت فعالیت) یک محرک قوی فیزیولوژیک محسوب می‌شود که بر متابولیسم، اکسیداسیون سوبسترا، ترشح هورمون و انتقال‌دهنده‌های عصبی تأثیرگذار است (۶). چربی و کربوهیدرات سوبستراهای اصلی برای تولید

1. Impaired Fasting Glucose
2. Impaired Glucose Tolerance

انرژی درخلال ورزش هستند. بیشترین میزان چربی‌ای که فرد می‌تواند در جریان فعالیت بدنی برای تولید انرژی بسوزاند یا به‌عبارتی، حداکثر اکسیداسیون چربی[1] (MFO) در شدت خاصی از فعالیت ورزشی[2] روی می‌دهد که آن شدت را Fat_{max} می‌نامند (۷). Fat_{max} برای ارزیابی افزایش ظرفیت اکسیداسیون چربی و ارائهٔ شدت ورزشی فردی توصیه شده است (۶). تمرین ورزشی در شدت Fat_{max} سبب افزایش اکسیداسیون چربی در حالت استراحت و انجام فعالیت بدنی می‌شود (۸). میزان زیاد اکسیداسیون چربی درحین فعالیت بدنی با افزایش حساسیت به انسولین در حالت استراحت همانند کاهش پرفشارخونی و کمترشدن لیپوپروتئین با غلظت کم همراه است. بن اونیس[3] و همکاران (۹) گزارش کردند که یک برنامهٔ تمرینی دو ماهه در شدت Fat_{max}، سبب بهبود در حساسیت به انسولین (انسولین ناشتا و گلوکز خون)، آدیپونکتین، تری‌گلیسرید و کلسترول می‌شود؛ بنابراین، تمرین ورزشی هدفمند در شدت Fat_{max}، در یک دورهٔ زمانی طولانی می‌تواند برای درمان چاقی و دیابت مفید باشد. آستانهٔ بی‌هوازی نشان‌دهندهٔ نقطهٔ شکست فیزیولوژی فردی بین سیستم‌های هوازی و بی‌هوازی است و این مفهوم برای کنترل شدت ورزشی استفاده می‌شود. شدت آستانهٔ بی‌هوازی بالاترین شدت ورزشی است که فرد می‌تواند برای مدت طولانی فعالیت تداومی را انجام دهد؛ زیرا، این شدت نشان‌دهندهٔ حالت پایدار حداکثر لاکتات است (۶). بروس و هاولی[4] (۱۰) گزارش کردند که فعالیت ورزشی شدید هوازی (۷۰ درصد اوج اکسیژن مصرفی (VO_2peak)) تأثیر برجسته‌ای بر متابولیسم چربی، کربوهیدرات، محتوای تری‌گلیسرید درون‌عضلانی و محتوای آنزیم‌های چرخهٔ کربس و بتااکسیداسیون در بیماران دیابتی دارد.

به‌دلیل‌اینکه تمرین تناوبی شدید به فرد اجازه می‌دهد فعالیت با شدت بالا را برای مدت طولانی‌تری انجام دهد، برای دستیابی به بهبود بیشتر در متغیرهای فیزیولوژیک فعالیت ایده‌آلی محسوب می‌شود. تفاوت اصلی این روش تمرینی با تمرین تداومی این است که در تمرین تداومی، فعالیت با شدت زیربیشینه برای مدت زمان طولانی به‌صورت مداوم انجام شود؛ درحالی‌که تمرین تناوبی شدید شامل تلاش‌های مکرر در مدت زمان‌های کوتاه تا متوسط در شدت‌های بالاتر از آستانهٔ تهویه‌ای صورت می‌گیرد (۱۱). بیشتر مطالعات ورزشی تأثیر تمرین استقامتی با شدت کم تا متوسط همچون پیاده‌روی، جاگینگ و دوچرخه‌سواری را بر درمان دیابت نوع دو نشان داده‌اند (۱۲)؛ این راهبرد[5] پایدار

1. Maximal Fat Oxidation
2. The Intensity that Elicits Maximal Fat Oxidation
3. Ben Ounis
4. Bruce & Hawley
5. Strategy

نیست؛ اما تمرین تناوبی شدید ممکن است در بهبود کنترل قندخون در بیماران دیابتی مؤثرتر باشد (۱۳). گزارش شده است که بیماران پیش‌دیابتی کاهش محتوای میتوکندری، اختلال در عملکرد میتوکندری و کاهش شاخص‌های همانندسازی میتوکندری در عضلهٔ اسکلتی دارند (۱۳). به‌همین‌دلیل، کاهش این عوامل نقش مهمی را در علت شناسی دیابت ایفا می‌کنند. درهمین‌رابطه، جاناتان[1] و همکاران (۱۳) افزایش در محتوا و ظرفیت میتوکندری، افزایش در آنزیم‌های میتوکندری به‌خصوص سیترات سنتتاز و پروتئین‌های زنجیرهٔ انتقال الکترون را پس از تمرین‌های تناوبی شدید نشان دادند.

همان‌گونه‌که بیان شد، یکی از گزینه‌های مهم در پیشگیری و درمان IFG، IGT و دیابت، ورزش‌های منظمی هستند که می‌توانند اکسیداسیون چربی و انرژی مصرفی روزانه را بالا ببرند. تمرین ورزشی تداومی با شدت Fat_{max} (فعالیت ورزشی با شدت کم تا متوسط)، با شدت آستانهٔ بی‌هوازی (فعالیت ورزشی با شدت متوسط تا شدید) و تمرین تناوبی شدید (با توجه به سازگاری‌های مختلفی که به‌وجود می‌آورند)، ازجمله تمرین‌هایی هستند که مطالعات گذشته بر مؤثربودن این نوع مدل‌های تمرینی در بهبود اکسیداسیون مواد تأکید کرده‌اند؛ اما اینکه کدام‌یک از این تمرین‌ها نسبت به دیگری کارایی بیشتری دارد، همچنان محل انجام پژوهش و بحث است؛ بنابراین، هدف از انجام مطالعهٔ حاضر، بررسی اثر ۱۲ هفته تمرین تداومی با شدت Fat_{max} و آستانهٔ بی‌هوازی و تمرین تناوبی شدید، بر اکسیداسیون مواد در شدت‌های مختلف ورزشی، MFO و Fat_{max} در بیماران پیش‌دیابتی بود.

روش پژوهش

تعداد ۳۲ بیمار مرد پیش‌دیابتی اضافه‌وزن‌دار، به‌صورت داوطلبانه در این مطالعه شرکت کردند. آزمودنی‌ها براساس سطح آمادگی (VO_2peak) همسان‌سازی شدند. خصوصیات جسمی و فیزیولوژیک آزمودنی‌ها در جدول شمارهٔ یک ارائه شده‌اند. پس از اینکه همه آزمودنی‌های شرکت‌کننده در این پژوهش پرسش‌نامهٔ سلامتی را پر کردند، مشخص شد که فاقد بیماری‌هایی همچون اختلالات کبدی، کلیوی و قلبی تنفسی بودند. آزمودنی‌ها سیگاری نبودند و درطی انجام پژوهش، مکمل یا دارو مصرف نکردند. قبل از دریافت فرم رضایت‌نامه از آزمودنی‌ها، مراحل کار، فواید و خطرهای اجرای آزمون‌ها برای آن‌ها به‌صورت شفاهی و کتبی شرح داده شدند. این پژوهش همهٔ موارد اخلاق در پژوهش را رعایت کرده است و دارای کد اخلاق از پژوهشگاه تربیت‌بدنی و علوم ورزشی تهران به شمارهٔ IR.SSRI.REC.1395.122 است.

1. Janatan

جدول ۱- خصوصیات جسمانی و فیزیولوژیک آزمودنی‌ها (انحراف معیار ± میانگین)

متغیر	CON	FAT	IAT	HIT
سن (سال)	۳۷/۴ ± ۳/۱۹	۳۹/۱ ± ۴/۰۱	۳۹/۸ ± ۳/۸۹	۳۸/۶ ± ۴/۴۸
قد (سانتی‌متر)	۱۷۶/۲ ± ۶/۶۶	۱۷۴/۷ ± ۶/۰۱	۱۷۵/۵ ± ۵/۷۴	۱۷۳/۱ ± ۵/۲۱
وزن (کیلوگرم)	۸۳/۸۸ ± ۷/۴	۸۱/۵۶ ± ۶/۹۸	۸۲/۲۱ ± ۵/۵۴	۸۱/۸۲ ± ۶/۱۲
شاخص تودهٔ بدنی (کیلوگرم بر متر مربع)	۲۷/۰۲ ± ۲/۲۱	۲۶/۷۳ ± ۳/۰۱	۲۶/۶ ± ۲/۸۵	۲۷/۲۷ ± ۳/۳۵
چربی بدن (کیلوگرم)	۲۲/۲۲ ± ۳/۴۳	۲۰/۸۲ ± ۴/۰۹	۲۱/۲۳ ± ۴/۲۱	۲۲/۰۲ ± ۴/۳۶
چربی بدن (درصد)	۲۶/۵ ± ۵/۰۳	۲۵/۵ ± ۴/۹۶	۲۵/۸ ± ۴/۲۴	۲۶/۹ ± ۳/۹۶
حداکثر اکسیژن مصرفی (لیتر در دقیقه)	۲/۴۳ ± ۰/۲۳	۲/۴۷± ۰/۱۹	۲/۵۶ ± ۰/۲	۲/۵۲ ± ۰/۲۸

پس از فراخوان اطلاعیه در ادارات و مراکز مختلف، بیش از ۲۰۰ نفر از افراد برای شرکت در این پژوهش اعلام آمادگی کردند. پس از اندازه‌گیری میزان قندخون افراد توسط دستگاه گلوکومتر، افرادی که میزان قندخون بالاتر از ۱۰۰ میلی‌لیتر بر دسی‌لیتر داشتند، برای سنجش دقیق‌تر قندخون و آزمون تحمل گلوکز به آزمایشگاه معرفی شدند. در پایان این مراحل، ۳۲ آزمودنی برای شرکت در این پژوهش انتخاب شدند. یک هفته قبل از آغاز مراحل تمرینی، آزمودنی‌ها برای تعیین MFO، Fat_{max}، VO_2peak و آستانهٔ بی‌هوازی به پژوهشگاه تربیت‌بدنی مراجعه کردند و ارزیابی شدند. آزمودنی‌ها برپایهٔ درصد چربی در چهار گروه هشت‌نفری کنترل (CON)، گروه تمرین تناوبی (HIT)، گروه تمرین تداومی با شدت Fat_{max} (FAT) و گروه تمرین تداومی با شدت آستانهٔ بی‌هوازی (IAT) قرار گرفتند. آزمودنی‌های گروه‌های HIT، FAT و IAT به‌مدت ۱۲ هفته به اجرای تمرین ورزشی پرداختند و بعد از ۱۲ هفته مجدداً در شرایط مشابه با ارزیابی‌های انجام‌شده در قبل از اجرای پروتکل تمرین، سنجیده شدند.

برای اندازه‌گیری دریافت انرژی و کنترل تغذیه، از آزمودنی‌ها خواسته شد در روزهایی تصادفی در مدت اجرای تمرین ورزشی، هر آنچه را که سه روز قبل از جلسهٔ خون‌گیری و اجرای آزمون مصرف

می‌کنند، به‌صورت کامل از هنگام بیدارشدن از خواب صبحگاهی تا هنگام خوابیدن در شب، یاداشت کنند. مقدار دریافت انرژی هر فرد با استفاده از نرم‌افزار NUTRITION4 محاسبه شد و درصورت تغییر محسوس در مقدار مصرف مواد غذایی، توصیه‌های لازم به آن‌ها داده می‌شد.

تعیین MFO، Fat_{max}، VO_2peak و آستانهٔ بی‌هوازی: یک هفته قبل از شروع و ۴۸ ساعت بعد از پایان دورهٔ تمرینی، آزمودنی‌ها برای تعیین MFO، Fat_{max}، VO_2peak و آستانهٔ بی‌هوازی به آزمایشگاه مراجعه کردند و یک پروتکل فزاینده شامل مراحل سه‌دقیقه‌ای را اجرا کردند. به‌طور خلاصه، آزمودنی-ها پس از پنج دقیقه گرم‌کردن، فعالیت پدال‌زدن را با ۲۵W روی چرخ کارسنج شروع کردند و هر سه دقیقه، میزان کار ۲۵W اضافه شد تاجایی‌که RER = 1 شود. درنهایت، تا رسیدن به خستگی ارادی، به میزان کار، هر دقیقه ۲۵W افزوده شد (۱۴). هدف از بخش آخر، اندازه‌گیری VO_2peak بود. درطول انجام آزمون، میانگین حجم اکسیژن مصرفی و دی‌اکسیدکربن دفعی به شیوهٔ نفس‌به‌نفس با استفاده از دستگاه گازآنالایزر اندازه‌گیری شد و با نرم‌افزار در رایانه ثبت شد. میانگین اکسیژن مصرفی (VO_2) و دی‌اکسیدکربن (VCO_2) در ۳۰ ثانیهٔ پایانی هر مرحله از آزمون تعیین شد. برای هریک از این مراحل، میزان اکسیداسیون چربی و کربوهیدرات محاسبه شدند. میانگین مقادیر VO_2 در ۳۰ ثانیهٔ پایانی هر مرحله از آزمون محاسبه شد و با تقسیم‌کردن آن بر مقدار VO_2peak، به‌عنوان شدت فعالیت در آن مرحله نشان داده شد و به‌صورت درصدی از VO_2peak بیان شد. میزان اکسیداسیون مواد، MFO و Fat_{max} نیز با کمک معادلات عنصرسنجی[1] جاکندراپ و والیس[2] (۱۵) محاسبه شدند. همچنین، آستانهٔ بی‌هوازی ازطریق معادلهٔ V slope تعیین شد. ضربان قلب آزمودنی‌ها به‌طور پیوسته درطول آزمون با استفاده از ضربان‌سنج پلار اندازه‌گیری و ثبت شد (۶).

(1.695*VO2)-(1.701*VCO2)= اکسیداسیون چربی (گرم در دقیقه)

(4.210*VCO2)-(2.9621*VO2)= اکسیداسیون کربوهیدرات (گرم در دقیقه)

گروه HIT به‌مدت ۱۲ هفته و چهار جلسه در هفته، تمرین تناوبی یک‌دقیقه‌ای را با شدت ۹۰ درصد VO_2peak با تواتر ۱۰ تکرار انجام دادند. هر دو هفته، یک تناوب یک‌دقیقه ای به آن افزوده شد. فواصل استراحت بین تناوب‌ها یک دقیقه به‌صورت استراحت فعال (پدال‌زدن با سرعت ۵۰ وات) بود (۱۶). همچنین، در هفته‌های چهارم و هشتم، آزمودنی‌ها دوباره به آزمایشگاه مراجعه کردند؛ آزمون فزاینده را برای برآورد شدت تمرین اجرا کردند و شدت‌های تمرینی متناسب هر فرد تعیین شدند. افزون‌براین، در ابتدای هر جلسه، آزمودنی‌ها به‌مدت پنج دقیقه به پدال‌زدن با سرعت پایین برای گرم‌کردن پرداختند و در انتها نیز به‌مدت ۵ دقیقه سردکردن داشتند.

1. Etoichiometric Equations
2. Jeukendrup & Wallis

گروه‌های FAT و IAT نیز به‌مدت ۱۲ هفته و چهار جلسه در هفته به تمرین با شدت Fat_{max} و آستانهٔ بی هوازی پرداختند. ابتدا کالری مصرفی گروه HIT توسط دستگاه گاز آنالایزر تعیین شد و میانگین کالری مصرفی کل گروه به‌عنوان مبنا برای ایزوکالریک‌کردن سایر گروه‌ها استفاده شد. در ادامه، همهٔ آزمودنی‌های گروه‌های FAT و IAT، روی چرخ کارسنج با برون‌ده توان مشخص‌شدهٔ هر شخص شروع به پدال‌زدن کردند؛ تازمانی‌که کالری مصرفی به میانگین گروه HIT رسید. پس از آن، فعالیت متوقف شد و زمان کل فعالیت برای ادامهٔ تمرین لحاظ شد. درطی این ۱۲ هفته، گروه CON فعالیت بدنی منظمی نداشتند و فقط به فعالیت‌های روزمره پرداختند. گروه کنترل، قبل و بعد از پروتکل همانند گروه‌های تمرینی دیگر ارزیابی شدند.

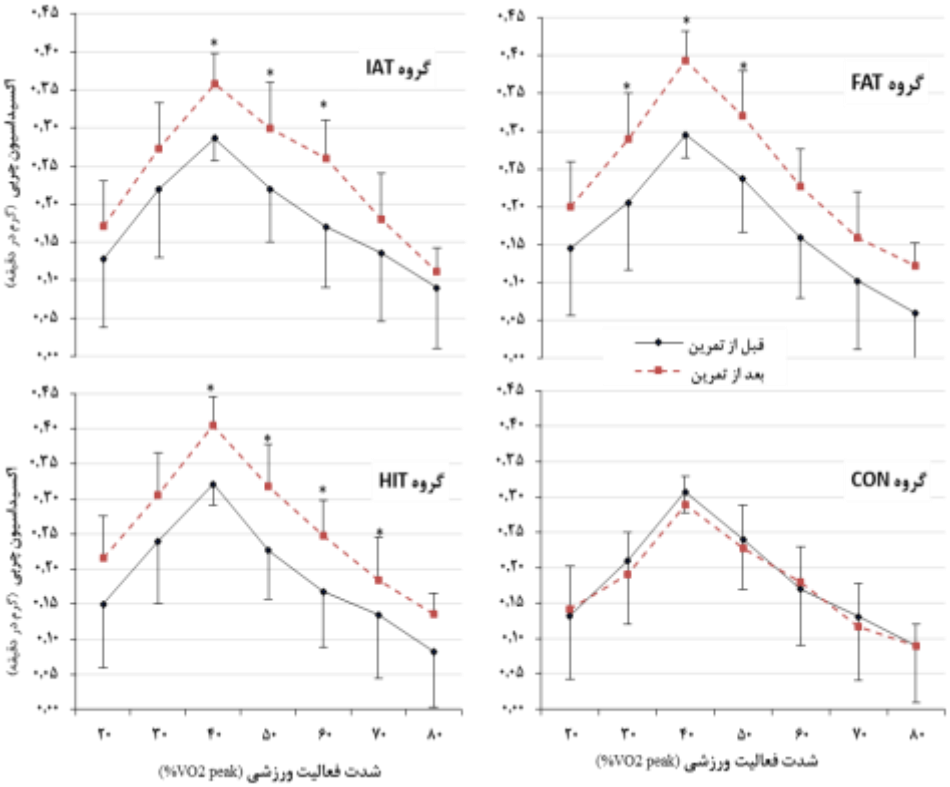
داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری اس.پی.اس.اس.[1] نسخهٔ ۲۲ تجزیه‌وتحلیل شدند. برای تعیین طبیعی‌بودن داده‌ها از آزمون شاپیرو- ویلک[2] استفاده شد. به‌دلیل طبیعی‌بودن داده‌ها، از آزمون‌های پارامتری مناسب که در هر مورد در بخش یافته‌ها ذکر شده‌اند، استفاده شد. برای مقایسهٔ میانگین پارامترهای چهار گروه، از تحلیل واریانس مکرر با عامل بین‌گروهی و برای مقایسهٔ تغییرات در هر گروه، از آزمون تی همبسته استفاده شد. زمانی‌که آزمون تحلیل واریانس تفاوت معناداری را نشان داد، از آزمون تعقیبی بونفرونی[3] برای تعیین محل تفاوت استفاده شد. سطح معناداری برای تمام تحلیل‌های آماری، $P < 0.05$ درنظر گرفته شد.

نتایج

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها نشان داد که تفاوت معناداری بین خصوصیات جسمانی و فیزیولوژیک افراد موردمطالعه در سه گروه، در وضعیت قبل از تمرین وجود نداشت. علاوه‌براین، در MFO، Fat_{max} و Fat_{min}، بین چهار گروه در وضعیت قبل از تمرین تفاوت معناداری وجود نداشت ($P > 0.05$). در گروه FAT، میزان اکسیداسیون چربی زمان فعالیت ورزشی، در تمام شدت‌های ورزشی، در وضعیت بعد از تمرین نسبت به وضعیت قبل از تمرین بالاتر بود؛ اما فقط در شدت‌های ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد VO_2Peak این تفاوت معنادار بود ($P < 0.05$) (شکل شمارهٔ یک). در گروه IAT، میزان اکسیداسیون چربی زمان فعالیت ورزشی در تمام شدت‌های ورزشی، در وضعیت بعد از تمرین نسبت به وضعیت قبل از تمرین بالاتر بود؛ اما فقط در شدت‌های ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درصد VO_2Peak این تفاوت معنادار بود

1. SPSS
2. Shapiro-Wilk
3. Bonferroni

($P < 0.05$) (شکل شمارهٔ یک). همچنین، در گروه HIT، میزان اکسیداسیون چربی زمان فعالیت ورزشی در تمام شدت های ورزشی، در وضعیت بعد از تمرین نسبت به وضعیت قبل از تمرین بالاتر بود؛ اما فقط در شدت‌های ۴۰ تا ۷۰ درصد VO_2Peak این تـفاوت معنادار بود ($P < 0.05$) (شکل شمارهٔ یک).

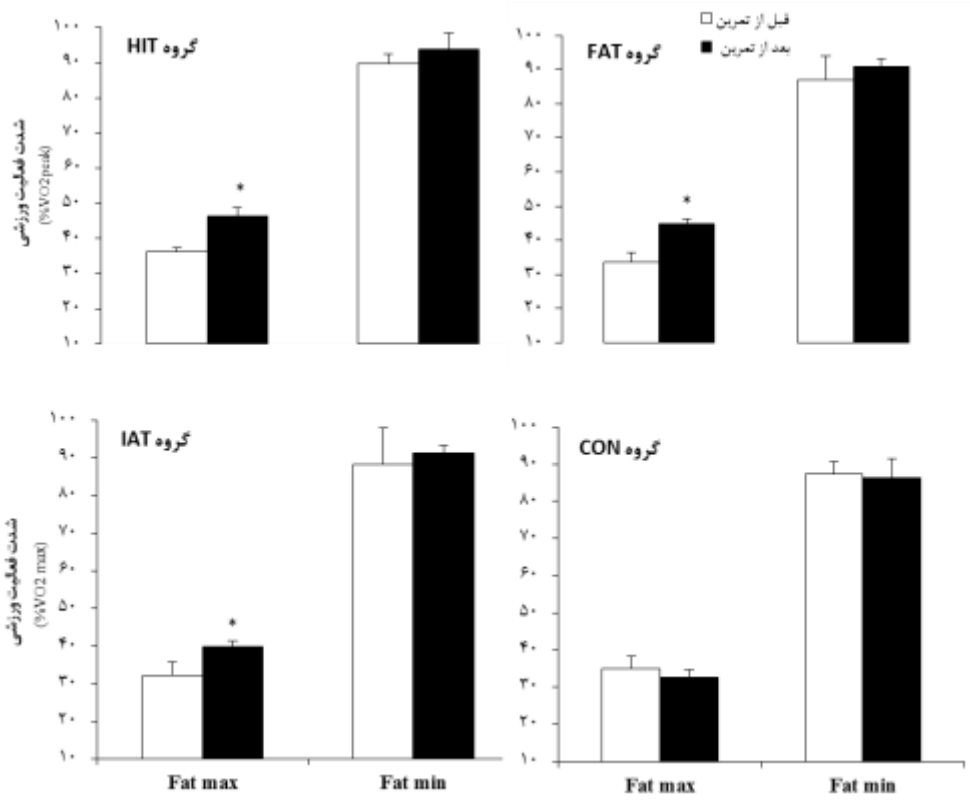


شکل ۱- مقایسهٔ میزان اکسیداسیون چربی در وضعیت قبل از تمرین نسبت به وضعیت بعد از تمرین در چهار گروه CON، FAT، IAT و HIT در شدت‌های نسبی

* اختلاف معناداری بین دو وضعیت در سطح $P < 0.05$

در سه گروه تمرینی، میزان MFO و Fat_{max} در وضعیت بعد از تمرین نسبت به وضعیت قبل از تمرین به‌طور معناداری بیشتر بود؛ اما میزان تأثیر تمرین ورزشی بر MFO در گروه‌های FAT، IAT و HIT به‌ترتیب ۳۵ درصد، ۲۵ درصد و ۲۶ درصد بود که این میزان در گروه FAT به طور معناداری بالاتر از گروه‌های IAT و HIT بود ($P < 0.05$) (شکل شمارهٔ دو). همچنین، میزان تأثیر تمرین ورزشی بر

Fat_{max} در گروه‌های FAT، IAT و HIT به‌ترتیب ۳۳ درصد، ۲۴ درصد و ۲۷ درصد بود که این تفاوت فقط بین گروه‌های FAT و IAT معنادار بود ($P < 0.05$) (شکل شمارهٔ دو). در سه گروه تمرینی، میزان Fat_{min} در وضعیت بعد از تمرین نسبت به وضعیت قبل از تمرین بالاتر بود؛ اما این تفاوت در هیچ‌یک از گروه‌ها معنادار نبود ($P > 0.05$) (شکل شمارهٔ دو).



شکل ۲- مقایسهٔ میزان Fat_{max} و Fat_{min} در وضعیت قبل از تمرین نسبت به وضعیت بعد از تمرین در چهار گروه CON، FAT، IAT و HIT در شدت‌های نسبی

* اختلاف معناداری بین دو وضعیت در سطح معناداری $P < 0.05$

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج مطالعات گذشته، اختلال در سوخت‌وساز چربی یکی از نقص‌های موجود در افراد پیش‌دیابت و زمینهٔ ابتلابه دیابت است (۲). پژوهش حاضر به‌دنبال بررسی این موضوع بود که کدام‌یک از تمرین‌های ورزشی در بهبود اکسیداسیون چربی در افراد پیش‌دیابتی کاراتر هستند؟ نتایج این پژوهش نشان داد که فارغ از نوع و شدت فعالیت ورزشی، ۱۲ هفته تمرین ورزشی مختلف با شدت‌های ورزشی متفاوت سبب افزایش میزان اکسیداسیون چربی در افراد پیش‌دیابتی می‌شود؛ اما مقایسهٔ داده‌های عددی بیان کرد که تمرین ورزشی در گروه FAT سبب افزایش ۴۲ درصدی میزان اکسیداسیون چربی نسبت به قبل از تمرین می‌شود. همچنین، تمرین ورزشی در گروه IAT و HIT سبب افزایش ۲۹ و ۳۷ درصدی میزان اکسیداسیون چربی نسبت به قبل از تمرین شد. تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها نشان داد که میزان اکسیداسیون چربی در گروه FAT نسبت به گروه IAT، به‌طور معناداری بالاتر بود؛ اما بالاتربودن میزان اکسیداسیون چربی گروه FAT نسبت به گروه HIT معنادار نبود. این نتایج نشان داد که شدت و نوع فعالیت ورزشی از عوامل تأثیرگذار بر میزان اکسیداسیون چربی در افراد پیش‌دیابتی هستند.

ون آگل- لیجسن[1] و همکاران (۱۷) بیان کردند که ۱۲ هفته تمرین ورزشی در شدت ۴۰ درصد VO_2max، سبب افزایش معناداری در میزان اکسیداسیون چربی نسبت به تمرین ورزشی در شدت ۷۰ درصد VO_2max در افراد چاق شد. ونبل[2] و همکاران (۸) در پژوهشی که روی افراد چاق انجام دادند، گزارش کردند که یک دوره تمرین در شدت Fat_{max} سبب افزایش میزان اکسیداسیون چربی در مقایسه با تمرین تناوبی با شدت ۲۰± درصد Fat_{max} شد. درمقابل این نتایج که شدت و نوع فعالیت ورزشی را از عوامل تأثیرگذار بر میزان اکسیداسیون چربی می‌دانند، الکاهتانی[3] و همکاران (۱۸) بیان کردند که یک دورهٔ چهارهفته‌ای تمرین تداومی با شدت کم تا متوسط و تمرین تناوبی شدید در مردان چاق، سبب افزایش میزان اکسیداسیون چربی به یک نسبت می‌شود. همچنین، تالانینا[4] و همکاران (۱۹) تأثیر شدت ورزشی بر میزان اکسیداسیون چربی را در فعالیت‌های تداومی و تناوبی رد کردند. عوامل متعددی می‌توانند در توجیه اختلاف نتایج مطالعات ناهمسو با پژوهش حاضر بیان شوند که مهم‌ترین علت آن، متفاوت‌بودن نوع آزمودنی‌ها و مدت زمان تمرین هستند. علاوه‌براین، استفاده از شدت‌های تخصصی برای هر فرد در این پژوهش و استفاده از یک شدت ثابت در پژوهش‌های دیگر

1. Van Aggel-Leijssen
2. Venables
3. Alkahtani
4. Talanian

نیز می‌تواند از دلایل ناهمسوبودن نتایج باشد؛ زیرا، استفاده از شدت تخصصی هر فرد سبب کاراتربودن فعالیت و سازگاری مناسب‌تری نسبت به یک شدت ثابت می‌شود.

وانگ[1] و همکاران (۲۰) نقطهٔ مشترک مکانیسم اثر تمرین‌های تداومی شدید و تناوبی بر اکسیداسیون چربی را به مسیر سیگنالینگ رونویسی ژن PGC-1α و متعاقب آن، بایوژنز میتوکندری و شاخص پیروات دهیدروژناز کیناز که شاخص متابولیسم چربی است، مربوط دانستند. لارسن[2] (۲۱) نیز بیان کرد که تمرین استقامتی با شدت بالا همچون تمرین‌های تناوبی می‌تواند سبب افزایش ظرفیت اکسیداسیون میتوکندری و بهبود اکسیداسیون چربی ازطریق مسیر پروتئین کیناز وابسته به cAMP شود؛ اما تمرین‌های با شدت کم تا متوسط، سبب افزایش اکسیداسیون چربی ازطریق مسیر کلسیم کالمودولین کیناز می‌شوند.

هدف دوم پژوهش حاضر، بررسی تأثیر یک دورهٔ تمرینی با نوع و شدت فعالیت ورزشی متفاوت بر میزان MFO و Fat_{max} در افراد پیش‌دیابتی بود. نتایج نشان داد که ۱۲ هفته تمرین تداومی و تناوبی سبب افزایش معناداری بر میزان MFO و Fat_{max} در افراد پیش دیابتی می‌شود. در آزمودنی‌های پژوهش حاضر، میانگین MFO در شرایط قبل از تمرین ۰/۰۳ ± ۰/۳۰ در دقیقه بود که این میزان کمتر از میزان گزارش‌های قبلی ارائه‌شده توسط آچتن و همکاران (۰/۰۷ ± ۰/۶۰ گرم در دقیقه و ۰/۰۲ ± ۰/۴۷ گرم در دقیقه)، ونبلز و همکاران (۰/۰۱ ± ۰/۴۶ گرم در دقیقه)، صفری موسوی و همکاران (۰/۰۴ ± ۰/۳۶ گرم در دقیقه) و روحانی و همکاران (۰/۰۶ ± ۰/۳۹ گرم در دقیقه) است (۲۳، ۲۲، ۸، ۷). Fat_{max} نیز در وضعیت قبل از تمرین، ۳/۱۳ ± ۴۶/۱۲ درصد VO_2Peak گزارش شد که این شدت با شدت‌های گزارش‌شده توسط ونبلز و همکاران (۸)، روحانی و همکاران (۲۲)، صفری موسوی و همکاران (۲۳) و استیسن[3] و همکاران (۲۴) نامهمسو بود. مهم‌ترین علت اصلی تفاوت میزان MFO و Fat_{max} در پژوهش حاضر و مطالعات ناهمسو، استفاده از آزمودنی‌های پیش‌دیابتی است. همچنین، مطالعات گذشته نشان داده‌اند که وضعیت تمرینی و پروتکل تمرینی از عوامل تأثیرگذار بر MFO و Fat_{max} هستند که می‌توانند تفاوت نتایج مطالعات ما با مطالعات دیگران را توجیه کنند (۲۵، ۲۴).

در سه گروه تمرینی، میزان MFO و Fat_{max} در وضعیت بعد از تمرین نسبت به وضعیت قبل از تمرین به‌طور معناداری بیشتر بود؛ اما میزان تأثیر تمرین ورزشی بر MFO در گروه‌های FAT، IAT و HIT

1. Wang
2. Laursen
3. Stisen

به‌ترتیب ۳۵ درصد، ۲۵ درصد و ۲۶ درصد بود که این میزان در گروه FAT به طور معناداری بالاتر از گروه‌های IAT و HIT بود. همچنین، میزان تأثیر تمرین ورزشی بر Fat_{max} در گروه‌های FAT، IAT و HIT به‌ترتیب ۳۳ درصد، ۲۴ درصد و ۲۷ درصد بود که این تفاوت فقط بین گروه‌های FAT و IAT معنادار بود. تمرین‌های استقامتی به تحریک هایپوکسی سلولی که همراه با افزایش جریان خون، تحویل و مصرف اکسیژن به‌علاوهٔ افزایش اکسیداسیون چربی در شدت‌های ورزشی نسبی زیربیشینهٔ بعد از تمرین ، منجر می‌شوند. همچنین، ورزش، سازگاری¬های بیوشیمیایی را در میوفیبرها همراه با تغییرات هورمونی‌ای که سبب ذخیرهٔ گلیکوژن عضله و افزایش اکسیداسیون چربی در شدت‌های مختلف ورزشی می‌شوند، ایجاد می‌کند (۲۴). تالانیا و همکاران (۱۹) ارتباطی مثبت را بین MFO و Fat_{max} با سه هیدروکسی آسیل‌کوا دهیدروژناز و سیترات سنتتاز گزارش کردند. درهمین‌ارتباط، استرینو[1] و همکاران (۲۶) بیان کردند که ۱۲ هفته تمرین با شدت متوسط و تناوبی شدید، ازطریق بهبود VO_2max، حساسیت به انسولین، افزایش فعالیت سیترات سنتتاز، پیروات دهیدروژناز و افزایش عملکرد میتوکندری، سبب بهبود مشابهی در میزان اکسیداسیون چربی در زنان بدون تأثیر بر ترکیب بدنی می‌شود. درمقابل این نتایج، ترمبلی[2] و همکاران (۲۷) در مطالعه‌ای به بررسی اثر ۱۵ هفته تمرین تداومی و تناوبی شدید پرداختند. آن‌ها بیان کردند که افزایش معنادار در فعالیت سه هیدروکسی آسیل‌کوا دهیدروژناز و مالات دهیدروژناز، فقط پس از تمرین‌های تناوبی شدید اتفاق افتاد. همچنین، کاهش چربی بدن در گروه تناوبی به میزان بیشتری نسبت به تمرین استقامتی روی داد؛ البته به‌دلیل کنترل‌نشدن تغذیه درطول دورهٔ تمرینی، شاید این کاهش معنادار به مسائل تغذیه‌ای نیز مربوط شود. ونبلز و همکاران (۸) تأثیر تمرین بر اکسیداسیون چربی را در یک مطالعهٔ متعادل با دو مطالعهٔ چهارهفته‌ای با شش هفته بی‌تمرینی در مردان چاق میانسال بررسی کردند. در چهار هفتهٔ اول، تمرین تداومی با شدت Fat_{max} و چهار هفتهٔ بعد، تمرین تناوبی با شدت ۲۰± درصد Fat_{max} با انرژی مصرفی یکسان و تکرار پنج جلسه در هفته اجرا شد. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که تمرین ورزشی هیچ تغییری در VO_2max و Fat_{max} در آزمودنی‌ها ایجاد نکرد. درحالی‌که اکسیداسیون چربی به‌طور معناداری در گروه تداومی به میزان ۴۴ درصد افزایش پیدا کرد؛ اما تغییر در گروه تناوبی پس از تمرین مشاهده نشد. مشارکت چربی در کل انرژی مصرفی بعد از تمرین تداومی، از ۲۹ درصد به ۴۰ درصد افزایش پیدا کرد؛ اما در گروه تناوبی تغییرات معناداری مشاهده نشد (۸). مشاهده‌نشدن تغییر معنادار در متغیرهای موردنظر در گروه تناوبی در مطالعهٔ ونبلز و همکاران، احتمالاً به‌دلیل

1. Astorino
2. Tremblay

استفاده از شدت‌های متوسط برای تمرین تناوبی بوده است؛ زیرا، شدت ورزشی ۲۰± درصد Fat_{max} در محدودهٔ شدت بالا قرار نمی‌گیرد.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که فارغ از نوع و شدت فعالیت ورزشی، ۱۲ هفته تمرین ورزشی مختلف با شدت‌های ورزشی متفاوت سبب افزایش میزان اکسیداسیون چربی در افراد پیش‌دیابتی می‌شود. همچنین، در سه گروه تمرینی، میزان MFO و Fat_{max} در وضعیت بعد از تمرین نسبت به وضعیت قبل از تمرین، به‌طور معناداری بیشتر بود که این میزان در گروه FAT نسبت به گروه‌های IAT و HIT بالاتر بود؛ اما فقط بین گروه‌های FAT و IAT معنادار بود. در این پژوهش، به‌دلیل کمبود تجهیزات نتوانستیم تغییرات سلولی قبل و بعد از تمرین را اندازه‌گیری کنیم؛ بنابراین، بهتر است برای درک بهتر تأثیر تمرین‌های ورزشی مختلف بر MFO و Fat_{max}، در مطالعات آینده به این مسئله توجه شود.

پیام مقاله: براساس نتایج این پژوهش، پیشنهاد می‌شود افرادی که درمعرض ابتلابه دیابت هستند، برای افزایش اکسیداسیون چربی بهتر است فعالیت تداومی با شدت کم تا متوسط و فعالیت تناوبی با شدت بالا را انجام دهند.

تشکر و قدردانی

از همهٔ افرادی که ما را در این طرح یاری کردند، تقدیر و تشکر می‌نماییم.

منابع

1. Tabak AG, Herder C, Rathmann W, Brunner EJ, Kivimaki M. Pre diabetes: A high-risk state for diabetes development. Lancet. 2012;379:2279–90.
2. Earnest CP. Exercise interval training: An improved stimulus for improving the physiology of pre-diabetes. Med Hypotheses. 2008;71:752-61.
3. Kevin R, April M, David A, Steven D. Lower resting energy expenditure and fat oxidation in native American and Hispanic infants born to mothers with diabetes. J Pediatr. 2015;166:884–9.
4. American Diabetes Association. Diagnosis and classification of diabetes mellitus. Diabetes Care. 2011;34:62–9.
5. Li G, Zhang P, Wang J. The long-term effect of lifestyle interventions to prevent diabetes in the China Da Qing diabetes prevention study: A 20-year follow-up study. Lancet. 2008;371:1783–9.
6. Mohebbi H, Nourshahi M, Ghasemikaram M, Safarimosavi S. Effects of exercise at individual anaerobic threshold and maximal fat oxidation intensities on plasma levels of nesfatin-1 and metabolic health biomarkers. J Physiol Biochem. 2015;71:79-88.

7. Achten J, Venables MC, Jeukendrup AE. Fat oxidation rates are higher during running compared with cycling over a wide range of intensities. Metabolism. 2003;52:747–52.
8. Venables M, Jeukendrup A. Endurance training and obesity: Effect on substrate metabolism and insulin sensitivity. Med Sci Sports Exer. 2008;40:495–502.
9. Ben Ounis O, Elloumi M, Amri M, Zbidi A, Tabka, Z, Lac G. Impact of diet, exercise and diet combined with exercise programs on plasma lipoprotein and adiponectin levels in obese girls. J Sport Sci and Med. 2008;7:437-45.
10. Bruce CR, Hawley JA. Improvements in insulin resistance with aerobic exercise training: A lipocentric approach. Med Sci Sports Exer. 2004;36:1196–201.
11. Oliveira BR, Slama FA, Deslandes AC, Furtado ES, Santos TM. Continuous and high-intensity interval training: which promotes higher pleasure? PLoS One. 2013;268(11):79965.
12. Snowling NJ, Hopkins WG. Effects of different modes of exercise training on glucose control and risk factors for complications in type 2 diabetic patients: a meta-analysis. Diabetes Care. 2006;29:2518–27.
13. Janatan 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. 2011;111:1554-60.
14. Riddell MC, Jamnik VK, Iscoe KE, Timmons BW, and Gledhill N. Fat oxidation rate and the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation decreases with pubertal status in young male subjects. J Appl Physiol. 2008;105:742–8.
15. Jeukendrup AE and Wallis GA. Measurement of substrate oxidation during exercise by means of gas exchange measurements. Int J Sports Med. 2005;26:28–37.
16. Martin JG, Jonathan PL, Maureen JM, John AH. Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. J Physiol. 2012; 590(5):1077–84.
17. Van Aggel-Leijssen D, Saris W, Wagenmakers A, Senden J, Van Baak M. Effect of exercise training at different intensities on fat metabolism of obese men. J Appl Physiol. 2002;92:1300-9
18. Alkahtani SA, King NA, Hills AP, Byrne NM. Effect of interval training intensity on fat oxidation, blood lactate and the rate of perceived exertion in obese men. Springer Plus. 2013;2:532-2.
19. Talanian J, Galloway S, Heigenhauser G, Bonen A, Spriet L. Two weeks of high-intensity aerobic interval training increases the capacity for fat oxidation during exercise in women. J Appl Physiol. 2007;102:1439–47.
20. Wang L, Psilander N, Tonkonogi M, Ding S, Sahlin K. Similar expression of oxidative genes after interval and continuous exercise. Med Sci Sports Exer. 2009;41:2136–44.
21. Laursen P. Training for intense exercise performance: high-intensity or high-volume training? Scandinavian J Med Sci Sports. 2010;20:1–10.
22. Rohani H, Safarimosavi SS, Gholamian S, Farzaneh S. Comparison the maximal fat oxidation and Fat_{max} in trained and untrained women. Exer Physiol. 2015;28:31-44. (In Persian).

23. Safari Mosavi SS, Mohebbi H, Damirchi A, Hovanlo F. Effect of reduced muscle glycogen on MFO and Fat_{max} during exercise in untrained men. J Metab Exer. 2013;2:113-23. (In Persian).
24. Stisen AB, Stougaard O, Langfort J, Helge JW, Sahlin K, Madsen K. Maximal fat oxidation rates in endurance trained and untrained women. Eur J Appl Physiol. 2006;98:497-506.
25. Adriano EL, Romulo CB, Flavio OP, Joao FG, Ronaldo V, Barros JH, et al. Relationship between training status and maximal fat oxidation rate. J Sports Sci and Med. 2010;9:31-5.
26. Astorino TA, Schubert MM, Palumbo E, Stirling D, Mcmillan D. Effect of two doses of interval training on maximal fat oxidation in sedentary women. Med Sci Sports Exerc. 2013;45:1878–86.
27. Tremblay A, Simoneau JA, Bouchard C. Impact of exercise intensity on body fatness and skeletal muscle metabolism. Metabolism. 1994;43:814–8.

ارجاع‌دهی

محبی حمید، صفری موسوی سیدصالح، روحانی هادی. بررسی اثر ۱۲ هفته تمرین تداومی با شدت Fat_{max} و آستانهٔ بی‌هوازی و تناوبی شدید بر ظرفیت چربی‌سوزی بیماران پیش‌دیابتی. فیزیولوژی ورزشی. بهار ۱۳۹۸؛ ۱۱(۴۱): ۴۶ـ۳۱. شناسهٔ دیجیتال: 10.22089/spj.2017.3807.1514

Mohebbi H, Safari Mosavi S.S, Rohani H. The Effect of 12 Weeks Continuous Training at Fatmax Intensity or Anaerobic Threshold, and High Intensity Interval Training on Fat Burning Capacity in Pre-Diabetic Patients. Sport Physiology. Spring 2019; 11(41): 31-46. (In Persian). DOI: 10.22089/spj.2017.3807.1514

The Effect of 12 Weeks Continuous Training at Fat_{max} Intensity or Anaerobic Threshold, and High Intensity Interval Training on Fat Burning Capacity in Pre-Diabetic Patients

H. Mohebbi[1], S.S. Safari Mosavi[2], H. Rohani[3]

1. Professor of Exercise Physiology, University of Guilan, Iran
2. Ph.D. in Exercise Physiology, University of Guilan, Iran
3. Assistant Professor of Exercise Physiology, Sport Sciences Research Institute of Iran, Tehran, Iran*

Received: 2017/02/25 **Accepted: 2017/07/23**

Abstract

Fat metabolism disorders is a defect in pre-diabetic patients and a basis for type 2 diabetes. The aim of this study was to investigate the effect of 12 weeks continuous or high intensity interval training on fat burning capacity in pre-diabetic patients. 32 pre-diabetic patients (age: 38.7 ± 4.0 years; BMI: 26.9 ± 1.4 kg/m2; percent body fat: 26.1 ± 2.5%; VO_2Peak: 2.49 ± 0.22 L.min-1) were divided into four groups: control (CON), high intensity interval training (HIT), continuous training at Fatmax intensity (FAT) and continuous training at anaerobic threshold (IAT). HIT, FAT and IAT groups participated in a 12-weeks training program with 4 sessions per week (with intensity of 90% VO_2peak during the intervals, Fatmax intensity and/or anaerobic threshold intensity, respectively). Substrate oxidation, maximal fat oxidation (MFO) and Fatmax were determined during graded exercise test using the stoichiometric equations. Student's t-test and ANOVA were used to analyze the data. MFO was affected by training in HIT, FAT and IAT groups by 26%, 35% and 25%, respectively, which it was significantly different between FAT group and HIT and IAT groups ($P \leq 0.05$). In addition, the effect of exercise training on Fatmax in HIT, FAT and IAT groups was 26%, 25% and 35%, respectively, which it was significantly different between FAT and IAT groups ($P \leq 0.05$). Results showed that changes in fat oxidation rate was different in three groups compared to pre-training status. This means that the intensity and type of exercise may have effective role in fat oxidation metabolism in pre-diabetic patients.

Keywords: Maximal Fat Oxidation, Pre-Diabetes, Continuous Training, High Intensity Interval Training

* Corresponding Author Email: H_rohani7@yahoo.com