اثر ۸ هفته تمرین تناوبی پرشدت (HIIT) بر ترکیب بدن، نیمرخ چربی و حساسیت به انسولین در مردان جوان دارای اضافه وزن

یاسر کاظم زاده [۱]✉، عبدالعلی بنایی فر [۲]، حسین شیروانی [۳]، علی قرائت [۴]

۱. گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر، تهران، ایران (نویسنده مسئول)
۲. گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران
۳. گروه تربیت بدنی وعلوم ورزشی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرری، تهران، ایران
۴. گروه فیزیولوژی ورزش، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله:۹۴/۷/۲۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۴/۲۸

چکیده

تمرینات تناوبی پرشدت، روشی تمرینی است که با توجه به زمان کوتاه و حجم کم، در سالهای اخیر به عنوان تمرین با آثاری به مراتب موثرتر از تمرینات سنتی هوازی معرفی شده است. هدف از این تحقیق بررسی تاثیر ۸ هفته تمرین تناوبی پر شدت بر ترکیب بدن و برخی شاخص‌های مرتبط با بیماری‌های متابولیک در مردان جوان دارای اضافه وزن بود. به این منظور ۳۰ مرد جوان با دامنه سنی ۱۹ تا ۲۶ سال و شاخص توده بدن ۲۵ تا ۲۹ کیلوگرم بر متر مربع، به صورت تصادفی در دوگروه تجربی و کنترل (N=۱۵) قرار گرفتند. گروه تجربی به مدت ۸ هفته و هر هفته ۳ جلسه به مدت ۲۰ تا ۳۰ دقیقه به تمرین تناوبی با شدت ۹۵-۱۰۰٪ بیشینه توان پرداختند و گروه تجربی به زندگی عادی خود پرداخت. نمونه‌های خون و اندازه گیری‌های ترکیب بدن قبل و بعد از ۸ هفته تمرین از دو گروه به عمل آمد. آزمون t مستقل نشان داد حساسیت به انسولین در گروه تجربی در مقایسه با گروه کنترل افزایش معنی‌دار یافته است (p<۰/۰۵). میزان تریگلیسیرید خون نیز در گروه تجربی کاهش معنی داری را نشان داد (p<۰/۰۵). سایر متغیرهای اندازه‌گیری شده شامل لیپوپروتئین‌های سبک و سنگین، کلسترول تام، درصد چربی بدن و شاخص توده بدن در گروه‌های تحقیق تفاوت معنی داری با هم نداشت. یافته‌های این پژوهش بیانگر آن است که انجام تمرینات تناوبی پرشدت به عنوان یک روش تمرینی، به بهبود حساسیت این سلولها به انسولین منجر می‌شود.

کلید واژه‌ها: تمرین تناوبی پرشدت، لیپوپروتئین، ترکیب بدن، حساسیت به انسولین

The effect of high intensity interval training HIIT on body composition, lipid profile and insulin sensitivity in overweight young men

Abstract

Purpose: High intensity interval training (HIIT) is a kind of exercise training that suggested for individuals with any sufficient time for regular training. The purpose of this study was to determine the effects of 8 weeks of HIIT on body composition and some indexes of relative to metabolic diseases in young men with overweight. **Methods**: For this aim thirty young men participants with age of 19-25 y and 25-29 (kg/m^2) were randomly assigned to HIIT and control groups (n=15). HIIT groups exercised three times per week, 10-20 min per session for 8 weeks and control group. Baseline and after 8 weeks intervention blood samples and body composition analyze were assessed. **Results** from independent t test showed that insulin sensitivity and total triglyceride in HIIT group increased ($p<0.05$). No changes in variables include total plasma cholesterol, cholesterol), LDL-C (low density lipoprotein-cholesterol), HDL-C (high density lipoprotein-cholesterol), fat percentage and body mass index occurred. **Conclusions**:These findings suggested that HIIT with low volume and time in comparison with traditional continues training, promoted insulin sensitivity of muscle cells .

Keywords: high intensity interval training, body composition, lipid profile, insulin sensitivity

✉ **نویسنده مسئول:** یاسر کاظم زاده تلفن: ۰۹۱۲۲۲۰۵۹۷۳
دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر، تهران، ایران
پست الکترونیکی yaser.kazemzadeh@ yahoo.com

مقدمه

به طور سنتی و از دهه‌های پیش، برای بهبود در ترکیب بدنی و کاهش درصد چربی بدن از تمرینات هوازی که به صورت مداوم با انجام فعالیت چرخه در یک مدت مشخص (بیش از ۱۰ دقیقه) و شدت متوسط انجام می‌شوند، استفاده می‌شود (۱ و ۲). از جمله این فعالیتها می‌توان به دوی نرم، پیاده روی، رکاب زدن نام برد که در بین افراد بسیار رایج است. ویژگی‌های این تمرینات انجام فعالیت یکنواخت برای مدت نسبتاً طولانی و اختصاص زمانی بین ۱۵۰ تا ۲۵۰ دقیقه در هفته برای دستیابی به اهداف است (۱). این موضوع سبب می‌شود که بسیاری از افراد که در ابتدای این برنامه‌های تمرینی دارای انگیزه‌های فراوانی برای کاهش وزن و رسیدن به ترکیب بدنی ایده آل هستند، پس از مدتی با توجه به یکنواخت بودن روند تمرین، از این نوع تمرینات دلزده شده و از این رو ممکن است برنامه‌های تمرینی تداومی در بسیاری موارد کامل نشود. در سالهای اخیر، استفاده از روش تمرینی دیگری رواج یافته که در گذشته بیشتر ورزشکاران رشته‌های مختلف ورزشی از آن برای بهبود قابلیت‌های بی‌هوازی خود استفاده می‌کردند(۲). این تمرینات، تمرینات تناوبی نام دارد که نوعی از آن که با شدت بالا و وهله‌های فعالیت کوتاه همراه است، به نام تمرینات تناوبی پرشدت یا HIIT[1] شناخته شده است. تمرینات تناوبی پرشدت به عنوان جلسات فعالیتهای مختصر شناخته می‌شود که در آن کوششهای شدید و نوبتی همراه با دوره‌های استراحت و یا فعالیت با شدت پایین‌تر همراه است (۳). این روش نوعی از تمرینات تناوبی است که در آن شدت وهله‌های فعالیت بسیار بالا و در مقابل زمان استراحت بین وهله‌ها کم است و دستگاه تولید انرژی غالب، سیستم بی‌هوازی است (۴). مرور پژوهش‌های انجام شده در زمینه تمرینات تناوبی پر شدت، نشان می‌دهد که این روش می‌تواند در ایجاد تغییرات فیزیولوژیک در سیستم‌های مختلف بدن، اجرای ورزشی و نشانگرهای مرتبط برخی بیماری‌های متابولیک بسیار موثر و در برخی مطالعات حتی موثرتر از تمرینات هوازی سنتی باشد (۵، ۶، ۷ و ۸). اطلاعات کمتری در مورد تمرینات تناوبی پر شدت با حجم کم در مقایسه با تمرینات تداومی در دسترس است، اما شواهد در حال رشد نشان می‌دهد تحریکاتی که در اثر این نوع تمرینات در سیستم‌های مختلف بدن از جمله دستگاه عضلانی، دستگاه قلبی عروقی و سلول‌های چربی ایجاد می‌شود، با تمرینات مداوم و شدت متوسط، قابل مقایسه است؛ در حالی که تمرینات تناوبی پر شدت زمان بسیار کمتری نیاز دارد و حجم فعالیت انجام شده در آن نیز بسیار کمتر از فعالیت‌های مداوم است (۷، ۸، ۹و۱۰).

در حال حاضر بیماری‌هایی مثل چربی خون، دیابت، بیماری‌های قلبی و ... به عنوان مشکل بزرگ جامعه بی‌تحرک شناخته می‌شوند. شاخص‌هایی چون حساسیت به انسولین[2]، تست تحمل گلوکز[3]، تست گلوکز ناشتا، اندازه‌گیری لیپوپروتئین‌های خون و ... روشهایی هستند که از طریق آنها میزان ابتلا به این نوع بیماری‌ها رد یابی و پیش بینی می‌شوند. برخی مطالعات گذشته نشان داده اند که تمرینات HIIT بر شاخص‌های مرتبط با سلامت موثرند. برای مثال "موریر"[4] نشان داد استفاده از HIIT طی ۸ هفته می‌تواند میزان حساسیت به انسولین را در افراد مبتلا به بیماری دیابت افزایش دهد (۱۱). پژوهش دیگر در این زمینه نیز نتایج مشابهی را در خصوص متغیرهایی نظیر درصد بافت چربی در بدن، محیط شکم، قند خون ناشتا گزارش کردند (۱۳، ۱۴ و ۱۵). این در حالی است که از گذشته استفاده از تمرینات استقامتی به عنوان روشی برای جلوگیری از ابتلا به بیماری‌هایی مثل دیابت، چربی خون، فشار خون، بیماری‌های قلبی و عروقی و ... شناخته می‌شوند (۱۱۹، ۱۰ و ۱۱). مقایسه نتایج حاصل از انجام تمرینات HIIT و تمرینات استقامتی سنتی از دیدگاه سلامت عمومی می‌تواند مهم باشد، چراکه امروزه یکی از مهمترین موانع مشارکت افراد در فعالیت‌های بدنی منظم با هدف بهبود و ارتقاء سلامت عمومی را می‌توان "کمبود زمان" عنوان کرد (۱۶). همچنین مطالعات اخیر نشان داده است که انجام تمرینات تناوبی پر شدت لذت بیشتری را برای افراد در مقایسه با انجام تمرینات تداومی با شدت متوسط فراهم می‌آورد (۱۷)؛ با این وجود امکان اجرای این

تمرینات در تمام افراد از جمله افراد خیلی چاق و یا افراد با اختلالات ارتوپدیک وجود ندارد.

تمرینات تناوبی همچنین از بخش‌های مهم تمرینات ورزشکاران برای بهبود اجرا است. در سالهای اخیر، مطالعات انجام شده در این زمینه نشان داده اند که حتی تمرینات با حجم بسیار کم (۴ تا ۶ تکرار ۳۰ ثانیه‌ای در هر جلسه و ۴/۵ دقیقه استراحت بین نوبت ها) و تنها در طی ۲ هفته، توانسته است متغیرهای مهم آمادگی بدنی نظیر اکسیژن مصرفی بیشینه (VO_{2max}) را به میزان قابل توجهی (حدود ۹٪) افزایش دهد (۱۳). بنابراین مسئله مهمی که مطرح می‌شود این است که اگر می‌توان با صرف زمان بسیار اندک و انجام فعالیت با حجم پایین به نتایج قابل توجه در زمینه بهبود قابلیت‌های جسمانی، ترکیب بدنی و شاخص‌های مرتبط با برخی بیماری‌های متابولیک دست یافت، چه لزومی به انجام تمرینات هوازی سنتی با صرف زمان بیشتر و حجم بیشتر پرداخت؟ در این مطالعه تلاش خواهد شد تا با بررسی آثار یک برنامه تمرین ورزشی تناوبی پرشدت بر مردان جوان دارای اضافه وزن، به بخشی از این سوال پاسخ داده شود.

روش پژوهش

این پژوهش از نظر اهداف از نوع کاربردی و از نظر کنترل متغیرهای پژوهش از نوع تجربی با دو گروه تجربی و کنترل است که با اندازه‌گیری متغیرهای پژوهش در دو نوبت و مقایسه آنها به عنوان پیش آزمون و پس آزمون انجام شده است.

نمونه های پژوهش. آزمودنی های این پژوهش را تعداد ۳۰ نفر از مردان جوان ۱۹ تا ۲۶ سال با میانگین سن تشکیل می‌دادند که سابقه بیماری خاصی نداشته و بر اساس اطلاعات ثبت شده در پرسشنامه IPAQ[5] در دسته افراد بی‌تحرک دسته‌بندی می‌شدند. آزمودنی ها پس از آگاهی از چگونگی اجرا و خطرات احتمالی ناشی از شرکت در این پژوهش، به صورت داوطلبانه آمادگی خود را برای شرکت در این پژوهش اعلام کردند. نمونه‌های این پژوهش همگی دارای شاخص توده بدنی بیش از ۲۵ کیلوگرم بر مجذور متر بودند که پس از انتخاب، به طور تصادفی بلوک‌بندی شده بر اساس شاخص توده بدنی در دو گروه ۱۵ نفره شامل گروه تجربی و کنترل قرار گرفتند. در ادامه، با توجه به طول دوره تمرین، با ریزش برخی آزمودنی ها، نهایتاً از ۱۳ نفر در هر گروه آزمون‌های نهایی به عمل آمد.

جدول ۱. ویژگی‌های عمومی آزمودنی های پژوهش در گروه‌های کنترل و تجربی (M±SD)

شاخص جسمانی	گروه کنترل	گروه تمرین تناوبی پرشدت
وزن (کیلوگرم)	۸۶/۴۰ ±۸/۱۱	۸۳/۳۳±۶/۷۲
سن (سال)	۲۰/۷۳ ±۲/۷۶	۲۱/۵۶ ±۳/۱۱
قد (سانتیمتر)	۱۷۷/۵۳ ±۶/۷۸	۱۷۴/۶۷ ±۶/۲۵

پروتکل پژوهش

آزمودنی ها پس از انتخاب و تقسیم در گروه‌ها تجربی و کنترل، در یک جلسه توجیهی شرکت و کاملاً با چگونگی روند اجرای تمرینات آشنا شدند. در این جلسه همچنین برای کنترل نسبی عامل تغذیه، توصیه‌های لازم جهت حفظ رژیم غذایی گذشته توسط متخصص تغذیه به آزمودنی‌ها ارائه شد. این توصیه‌های شامل عدم زیاده روی در مصرف غذاهای خاص، عدم تغییر خاص در رژیم غذایی و توصیه‌های عمومی به این منظور بود. سپس اندازه گیری‌های مربوط به ویژگی‌های عمومی و نیز اندازه گیری‌های مربوط به ترکیب بدنی شامل درصد بافت چربی، درصد بافت عضلانی، نسبت دور کمر به باسن و شاخص توده بدنی از آنها به عمل آمد. در ادامه نمونه‌های خونی به صورت ناشتا از آزمودنی ها به عمل آمد. سه روز بعد اولین جلسه تمرین تناوبی انجام و آزمودنی ها در مجموع در طی ۸ هفته تمرین تناوبی پرشدت، در ۲۴ جلسه فعالیت شرکت کردند. حدود ۷۲ ساعت پس از پایان آخرین جلسه فعالیت، آزمون‌های مربوط به ترکیب بدنی و نمونه‌های خونی مجدداً و تحت شرایط کاملاً یکسان با پیش آزمون، از آزمودنی ها گرفته و با نتایج ازمونها در پیش از آغاز برنامه تمرینی مقایسه شد. در طول برنامه تمرین، آزمودنی‌ها اجازه شرکت در برنامه‌های ورزشی خارج از برنامه تمرین درنظر گرفته شده را نداشتند.

روش های آزمایشگاهی

برای بررسی متغیرهای خونی، عمل خون‌گیری حدود سه روز قبل از شروع برنامه تمرین و نیز سه روز بعد از آخرین جلسه تمرین HIIT به صورت ناشتا و در ساعت ۱۰ صبح توسط متخصص آزمایشگاه به عمل آمد. برای گرفتن نمونه‌های خون از آزمودنی خواسته شد تا به مدت ۱۵ دقیقه بر روی صندلی مخصوص استراحت و سپس از سیاهرگ دست راست آزمودنی ها خون گرفته شد. نمونه‌های خون جهت تجزیه و تحلیل در مورد غلظت انسولین، قند خون، تری گلیسیرید تام، کلسترول تام، لیپوپروتئین کم چگال (LDL) و لیپوپروتئین‌های پرچگال (HDL)، به آزمایشگاه انتقال یافتند. لازم به توضیح است که شاخص مقاومت به انسولین در این پژوهش با استفاده از مدل ارزیابی هموستازیس (HOMA)[۶] با استفاده از قند خون و انسولین ناشتا و رابطه زیر محاسبه و در تجزیه و تحلیل آماری مورد استفاده قرار گرفت (۱۸):

$$\text{HOMA-IR} = \{[\text{fasting insulin } (\mu U/ml)] \times [\text{fasting glucose } (mmol/l)]\}/22.5$$

برنامه تمرین تناوبی پرشدت. برنامه تمرینی مورد استفاده در این پژوهش برای گروه آزمایشی شامل انجام ۸ هفته تمرین تناوبی پر شدت بود که به صورت ۳ جلسه در هفته انجام شد. تمرین تناوبی در این پژوهش شامل ۸ نوبت دویدن در یک مسیر ۱۵۰ متری با ۹۵ – ۱۰۰٪ سرعت بیشینه و ۳۰ تا ۴۵ ثانیه استراحت بین نوبت‌ها بود. شدت فعالیت در این برنامه با استفاده از روش درک فشار تمرین بورگ (RPE)[۷] کنترل شد (۱۶). بسیاری از مطالعاتی که در مورد تمرینات تناوبی پر شدت انجام شده اند، برنامه تمرینی خود را بر اساس تست وینگیت بنا نهاده و از ۳۰ ثانیه رکاب زدن با حداکثر شدت با زمانهای مختلف استراحت بین آنها استفاده کرده اند (۳، ۶، ۱۳، ۱۴ و ۱۵). این برنامه نیاز به دوچرخه کارسنج به این منظور دارد؛ از طرفی فعالیت رکاب زدن تنها برخی از گروه‌های عضلانی را به کار می‌گیرد که از نظر حجم عضلانی کمتر از فعالیتی مثل دویدن هستند. در پژوهش حاضر با توجه به نتایج بدست آمده در مطالعات گذشته، تلاش شد تا برنامه تمرینی به گونه‌ای تغییر کند تا اجرایی‌تر از سایر برنامه‌های تمرین باشد. فعالیت دو در این پژوهش اجرایی‌تر از سایر فعالیت‌های به کار رفته در سایر پژوهش‌ها است و نیاز به امکانات کمتری دارد. همچنین عضلات بیشتری را در فعالیت درگیر می‌کند. در این برنامه تمرینی اصل اضافه بار به گونه‌ای اعمال شد که ۱ تکرار در هر هفته افزایش یابد و در پایان برنامه به ۱۶ تکرار در هر جلسه افزایش یافت. همچنین فعالیت استراحت بین تکرارها برای آزمودنی ها راه رفتن بود که میزان مسافت طی شده به حجم تمرین اضافه شد. قبل و بعد از هر جلسه فعالیت، آزمودنی ها حدود ۶ دقیقه به عمل گرم کردن و سرد کردن می‌پرداختند.

تحلیل آماری

روش آماری مورد استفاده در این پژوهش t مستقل جهت مقایسه تغییرات شاخص‌های مربوط به توان هوازی و بی‌هوازی، شاخص‌های مرتبط با ترکیب بدنی و شاخص‌های بیوشیمیایی خونی در گروه‌های تجربی و کنترل بود. پیش از استفاده از این روش آماری، از آزمون شاپیرو ویلکز برای آزمون طبیعی بودن توزیع داده‌ها استفاده و از توزیع طبیعی داده‌ها اطمینان حاصل شد. محاسبات انجام شده در این بخش همگی به وسیله نرم افزار SPSS نسخهٔ ۲۰ انجام شد.

نتایج

اطلاعات مربوط به هر یک از متغیرهای اندازه‌گیری شده در پژوهش حاضر به صورت میانگین و انحراف استاندارد در جدول ۲ و ۳ آمده است. تجزیه و تحلیل این داده‌ها نشان می‌دهد بیشینه اکسیژن مصرفی به عنوان شاخصی از توان هوازی گروه‌ها پس از ۸ هفته تمرین تناوبی در گروه تجربی بیش از گروه کنترل بود ($p=۰/۰۰۰۱$). همچنین شاخص مقاومت به انسولین و تریگلیسیرید تام پلاسما در گروه تجربی کاهش معنی داری را نشان می‌دهد (به ترتیب $p=۰/۰۴۷$، $p=۰/۰۰۷$). تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد متغیرهای کلسترول تام، HDL،LDL ، گلوکز ناشتا،

انسولین، میزان بافت چربی و شاخص توده بدنی آزمودنی‌ها در گروه‌های مختلف تفاوت معنی داری با هم نداشت.

انجام فعالیتهای ورشی و تغذیه آزمودنی‌ها اشاره کرد. مهمترین مطالعات گذشته انجام شده در مورد اثر تمرینات

جدول ۲. میانگین و انحراف استاندارد اکسیژن مصرفی بیشینه، شاخص توده بدنی و ترکیب بدنی در گروه‌های تمرین تناوبی پرشدت و کنترل

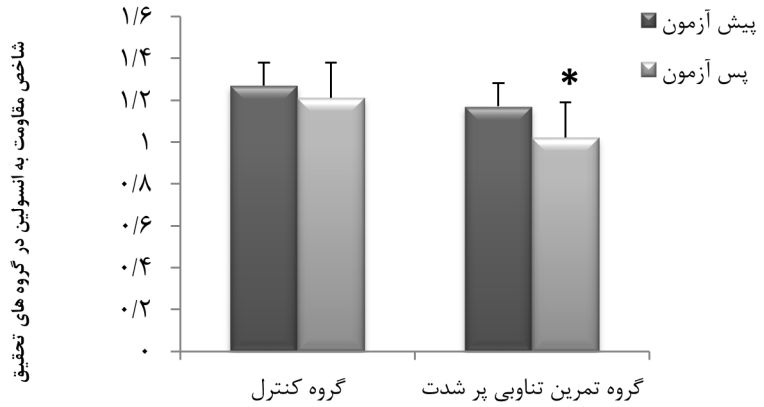
گروه ها / متغیر	گروه کنترل		گروه تمرین تناوبی پر شدت	
	قبل از تمرین	بعد از تمرین	قبل از تمرین	بعد از تمرین
بیشینه اکسیژن مصرفی (میلی لیتر / کیلوگرم)	۳۸/۱۶±۵/۹۲	۳۷/۷۷±۴/۸۱	۴۰/۳۳±۲/۸۲	۴۲/۴۶*±۳/۰۹
شاخص توده بدن (کیلوگرم / توان دوم قد به متر)	۲۷/۴۹±۱/۴۶	۲۷/۳۱±۱/۵۳	۲۷/۳۰±۱/۰۸	۲۶/۹۱±۱/۴۶
میزان بافت چربی (درصد)	۲۱/۴۶±۳/۱۰	۲۱/۱۳±۳/۱۸	۱۹/۱۳±۳/۷۳	۱۸/۲۹±۳/۱۱

* تفاوت معنی‌دار نسبت به قبل از تمرین

جدول ۳. میانگین و انحراف استاندارد شاخص‌های مرتبط با نیمرخ لیپیدی و مقاومت به انسولین در گروه‌های تمرین تناوبی و کنترل قبل و بعد از برنامه تمرین تناوبی پرشدت

گروه ها / متغیر	گروه کنترل		گروه تمرین تناوبی پر شدت	
	قبل از تمرین	بعد از تمرین	قبل از تمرین	بعد از تمرین
تری گلیسیرید تام (میلی‌گرم/ دسی‌لیتر)	۱۳۵/۳۳±۱۳/۲۴	۱۳۱/۱۱±۱۲/۳۷	۱۴۴/۵۳±۱۲/۳۰	۱۲۷/۱۳*±۱۱/۲۳
کلسترول تام (میلی‌گرم/ دسی‌لیتر)	۱۷۷/۷۵±۲۷/۹۵	۱۷۵/۹۴±۳۰/۳۷	۱۹۹/۸۰±۴۰/۳۰	۱۹۷/۲۰±۳۰/۹۷
LDL (میلی‌گرم/ دسی‌لیتر)	۸۹/۳۴±۱۶/۷۵	۸۷/۷۱±۱۱/۲۴	۱۰۳/۲۰±۱۹/۴۲	۹۶/۵۳±۱۹/۰۹
HDL-C (میلی‌گرم/ دسی‌لیتر)	۴۷/۱۲±۱۱/۳۵	۴۸/۱۳±۱۲/۰۲	۴۲/۴۶±۱۲/۶۲	۴۲/۹۳±۱۶/۳۱
گلوکز ناشتا (میلی‌گرم/ دسی‌لیتر)	۸۵/۶۷±۱۱/۲۹	۸۶/۸۹±۱۱/۸۸	۸۵/۶۶±۱۲/۲۶	۸۴/۷۳±۷/۴۳
انسولین (میکروویونیت/ میلی‌لیتر)	۵/۱۹±۱/۱۹	۵/۱۶±۱/۰۴	۵/۴۷±۱/۱۱	۵/۲۶±۱/۰۶

* تفاوت معنی‌دار نسبت به قبل از تمرین



* تفاوت معنی‌دار نسبت به قبل از تمرین

شکل ۱. میانگین مقاومت به انسولین در گروه‌های تمرین تناوبی و کنترل قبل و بعد از برنامه تمرین تناوبی پرشدت

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد انجام ۸ هفته تمرین تناوبی پرشدت بر متغیرهای مرتبط با ترکیب بدنی در مردان جوان دارای اضافه وزن تاثیر معنی داری ندارد. عوامل زیادی بر ترکیب بدنی موثرند که از جمله آنها می‌توان به

تناوبی پرشدت بر تغییرات وزن، ترکیب بدنی و شاخص توده بدنی نتایج متناقضی را گزارش کرده اند (۱۹، ۲۰ و ۲۱). هرچند مرور بیشتر مطالعات بیانگر کاهش وزن، درصد چربی زیر پوستی و چربی احشایی در اثر انجام تمرینات

HIIT هستند (۳، ۱۵، ۱۹ و ۲۰)، اما در پژوهش‌های کمتری این کاهش معنادار بوده است (۲۱). یکی از مهمترین دلایل احتمالی این تناقضات، متغیرهای تاثیرگذاری است که به راحتی قابل کنترل نیستند. تغذیه می‌تواند یکی از این متغیرها باشد که در پژوهش حاضر به طور کامل کنترل نشده بود. این موضوع احتمالاً یکی از دلایل عدم تاثیر معنی‌دار در کاهش درصد چربی آزمودنی‌ها در نتیجه انجام تمرین تناوبی پر شدت باشد. به هر حال انجام فعالیت‌های ورزشی از جمله تمرینات تناوبی پر شدت، میزان اشتها و دریافت غذای افراد را افزایش می‌دهد، اما اینکه این اثر در انواع فعالیت‌های ورزشی اثر یکسان داشته باشد مورد سوال است. در مطالعه انجام شده در سال ۲۰۱۳ توسط آستورینو[8]، علیرغم اینکه تغذیه کنترل شده بود و میزان کالری دریافتی آزمودنی‌ها تغییری نکرده بود، کاهش معنی داری در وزن، درصد چربی بدن و شاخص توده بدنی آزمودنی‌ها مشاهده نشد (۲۲). در تحقیق اشاره شده، علیرغم یک تعادل منفی انرژی ناشی از مشارکت آزمودنی‌های در برنامه تمرینی ۱۲ هفته ای، ترکیب بدنی تغییر نکرد. محقق یکی از دلایل احتمالی را گزارش نادرست آزمودنی‌ها از انرژی دریافتی خود در طول برنامه تمرین بیان کرد. همچنین افزایش اشتها و جبران انرژی مصرفی ناشی از فعالیت از دیگر عدم تغییر معنی‌دار در درصد چربی آزمودنی‌ها اعلام شد. روزنکید و دیگران[9] نیز در سال ۲۰۱۲ پس از آنکه دو برنامه تمرینی با میزان انرژی مصرفی متفاوت آثار مشابهی بر کاهش درصد چربی در آزمودنی‌های دارای اضافه وزن داشت، دریافت انرژی بیشتر توسط گروهی که حجم برنامه تمرین بیشتر بود را دلیل این نتیجه بیان کرد (۲۳). هرچند پژوهش‌های گذشته نشان می‌دهد تمرینات تناوبی پر شدت در مقایسه با تمرینات تداومی طولانی مدت، اثر تحریکی کمتری بر اشتها پس از فعالیت دارد (۲۴)، اما افزایش انرژی دریافتی توسط آزمودنی‌ها می‌تواند یکی از مهمترین دلایل احتمالی تاثیر اندک تمرینات HIIT بر ترکیب بدنی آزمودنی‌ها در این تحقیق باشد. در زمینه انجام مطالعات آینده با کنترل بیشتر بر عامل تغذیه می‌تواند کمک کننده باشد. طول دوره برنامه تمرین نیز از دیگر دلایل احتمالی تفاوت در نتایج مطالعات است. در برنامه‌های تمرین طولانی تر، معمولاً کاهش درصد چربی بیشتری گزارش شده است؛ با این وجود در مطالعه حاضر با توجه به گزارشاتی که حتی چند هفته تمرینات HIIT هم توانسته بود بر ترکیب بدنی آزمودنی‌ها موثر باشد (۳ و ۱۵)، برنامه ۸ هفته‌ای تمرین در پژوهش حاضر در نظر گرفته شده بود.

نتایج این پژوهش همچنین تاثیر معنی‌دار تمرینات تناوبی پر شدت در بهبود برخی از شاخص‌های بیوشیمیایی مرتبط با بیماری‌های متابولیک در مردان جوان دارای اضافه وزن را نشان داد. از جمله این آثار می‌توان به افزایش حساسیت به انسولین در این افراد اشاره کرد. مطالعات گذشته نشان می‌دهد تمرینات تناوبی پر شدت تغییرات مهمی را در عضلات اسکلتی ایجاد می‌کند که متخصصین فیزیولوژی ورزشی از آن به عنوان سازگاری‌های محیطی نام می‌برند. این نوع سازگاری در مقابل سازگاری‌های مرکزی قرار می‌گیرد که مربوط به دستگاه قلبی عروقی در افراد است. بیشتر سازگاری‌های محیطی به تغییرات آنزیمی در سلولهای عضلانی مربوط می‌شود. سازوکار ملکولی و سازگاری‌های آنزیمی به فعال شدن پروتئینی به نام پروتئین کیناز فعال کننده ۵-آدنوزین مونوفسفات (AMPK) نسبت داده می‌شود(۳). این پروتئین از جمله سازوکارهای پیشنهادی برای افزایش ورود گلوکز به داخل سلول‌ها به خصوص سلول‌های عضلانی در حین فعالیت ورزشی است. در دو مطالعه انجام شده در این زمینه به خوبی نشان داده شده است که انجام هر جلسه فعالیت‌های تناوبی شدید به افزایش قابل ملاحظه فعالیت این پروتئین سیگنالی می‌انجامد که مشابه با فعالیت‌های تداومی طولانی مدت است. محققان مهمترین عامل فعال شدن این پروتئین را تغییرات در نسبت بین غلظت آدنین نوکلئوتیدهای داخل سلول (ATP:ADP/AMP) می‌دانند (۶ و ۱۵). از آنجایی که فعالیت‌های شدید تناوبی تغییرات سریع و ناگهانی را در این نسبت ایجاد می‌کند، عامل مهمی در فعال سازی پروتئین AMPK است (۳). فعال شدن این پروتئین خود به افزایش انتقال پروتئین‌های GLUT-4 به

غشای سلولهای عضلانی منجر می‌شود که کار انتقال گلوکز به داخل سلولهای عضلانی را بر عهده دارند. تمرینات HIIT از طریق فعال سازی پروتئین AMPK، احتمالاً پروتئین تنظیم کننده مهم دیگری به نام PGC-1α را نیز فعال می‌کند که این پروتئین بخش مهمی از سازگاری‌های محیطی ناشی از انجام تمرینات HIIT را فعال می‌کند (۲۵). از جمله این سازگاری‌ها می‌توان به افزایش بیوژنز میتوکندری‌های عضلات اشاره کرد که منجر به افزایش ظرفیت استفاده از اسیدهای چرب در عضلات می‌شود (۱۳). پروتئین PGC-1α همچنین در افزایش سنتز آنزیم‌های میتوکندریایی، افزایش فعالیت و غلظت آنزیم‌های انتقال دهنده اسیدلاکتیک و بهبود ظرفیت هوازی و ذخیره سازی گلیکوژن عضلانی نقش دارد (۳). نشان داده شده است که ۶ هفته تمرینات HIIT منجر به ۱۰۰٪ افزایش غلظت پروتئین PGC-1α در عضلات اسکلتی مردان جوان سالم می‌شود (۱۱) و در مطالعه‌ای دیگر تنها ۲ هفته تمرین HIIT باعث ۲۵٪ افزایش درمحتوای پروتئین PGC-1α موجود در هسته سلولی می‌شود (۲۵). از این رو، احتمالاً می‌توان پروتئین PGC-1α را تنظیم کننده برخی سازگاری‌های متابولیک ناشی از تمرینات ورزشی HIIT دانست. اخیراً نیز در یک مطالعه مروری، پروتئین PGC-1α یکی از عوامل درگیر در دفاع آنتی اکسیدانی، مقاومت در برابر سارکوپنیای ناشی از افزایش سن و مسیرهای ضد التهابی معرفی شده است (۱۴). بنابراین فاعل سازی آنزیم AMPK و سپس فسفوریلاسیون پروتئین PGC-1α را می‌توان مکانیسم احتمالی برای بهبود حساسیت بافت‌ها به خصوص بافت عضلانی به انسولین در گروه تمرین تناوبی پرشدت دانست، اگر چه تغییر معنی داری در غلظت گلوکز ناشتا و انسولین خون مشاهده نمی‌شود. یکی از مهمترین دلایل عدم تغییر معنی‌دار در غلظت گلوکز خون ناشتا را می‌توان نوع آزمودنی‌های مورد استفاده در این پژوهش دانست. آزمودنی‌های این پژوهش در دامنه طبیعی غلظت گلوکز خون قرار داشتند، این در حالی است که در برخی از مطالعاتی که در آنها کاهش قند خون در اثر انجام تمرینات HIIT گزارش شده است، از آزمودنی‌های دیابتی و یا پیش دیابتی استفاده کرده بودند (۲۵).

نکته مورد توجه در بسیاری از این تحقیقات روش اندازه‌گیری حساسیت و مقاومت به انسولین است. در تحقیقات مختلف، معمولاً از غلظت گلوکز و انسولین خون در زمان ناشتا و یا پاسخ بدن به تحمل مقدار خاصی از گلوکز (معمولاً ۷۵ گرم گلوکز خالص به عنوان شاخصی برای اندازه‌گیری مقاومت به انسولین) مورد استفاده قرار گرفته، استفاده می‌شود (۱۸). بنابراین حساسیت و مقاومت به انسولین در این دو دسته تحقیق را نمی‌توان با هم مقایسه کرد، چرا که در یکی از آنها عکس العمل اولیه کبد مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و در دومی حساسیت بافتهای محیطی به ویژه عضلات اسکلتی به افزایش قند خون ملاک عمل است. حساسیت به انسولین محیطی بلافاصله پس از فعالیت بدنی افزایش می‌یابد (۳). این موضوع به دلیل افزایش ظرفیت عضلات اسکلتی در برداشت گلوکز خون رخ می‌دهد. افزایش برداشت گلوکز توسط عضلات نیز به نوبه خود در اثر افزایش مهاجرت پروتئین‌های GLUT4 به غشای سلول‌های عضلانی رخ می‌دهد. افزایش محتوای این پروتئین در عضلات اسکلتی پس از تمرینات تناوبی پر شدت حدود ۲ برابر پیش از تمرین است که کاملاً با تمرینات تداومی طولانی مدت قابل مقایسه است (۳). پژوهشی که در سالهای اخیر انجام شده است نشان می‌دهد تمرینات تناوبی پر شدت بهتر از تمرینات تداومی به افزایش محتوای پروتئین GLUT4 در عضلات افراد مبتلا به دیابت نوع ۲ منجر می‌شود (۱۱). این پژوهش همچنین نشان داده است که تمرینات تناوبی بهتر از تمرینات تداومی به کاهش قند خون پس از مصرف یک وعده غذای استاندارد منجر می‌شود (۳و ۱۱). این موضوع می‌تواند کاربرد مهمی در افرادی که دارای بیماری‌هایی نظیر دیابت هستند داشته باشد.

یافته‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهد پس از انجام ۸ هفته تمرینات تناوبی پرشدت تغییر معناداری در نیمرخ لیپیدی شامل لیپوپروتئین‌های سبک و سنگین خون و کلسترول تام آزمودنی‌های این پژوهش مشاهده نمی‌شود،

هر چند تری گلیسیرید تام آزمودنی‌های گره تمرینات HIIT پس از ۸ هفته تمرین کاهش معنی داری داشت. نتایج متناقضی از مطالعات گذشته در مورد اثر تمرینات تناوبی پرشدت بر نیمرخ لیپیدی گزارش شده است(۳، ۱۴ و ۱۵). تناقض موجود در نتایج مطالعات گذشته به عوامل متعددی از جمله مشخصات آزمودنی‌ها (جنسیت آزمودنی‌ها، سطح آمادگی آنها و بیمار یا سالم بودن آزمودنی ها) برنامه تمرین HIIT اعمال شده (شدت فعالیت در تناوب‌ها، زمان انجام فعالیت در تناوب‌ها، تعداد تناوب‌ها و زمان استراحت بین آنها) و طول دوره تمرین اعمال شده نسبت داده شده است. برای مثال نیبو و همکارانش[10] در مطالعه‌ای نشان دادند که تمرینات تناوبی شدید در مقایسه با تمرینات تداومی طولانی مدت اثر کمتری در بهبود نیمرخ لیپیدی مردان بدون تمرین دارد. این موضوع نشان می‌دهد که احتمالاً طول مدت تمرین در هر جلسه فعالیت و به تبع آن حجم تمرین در هر جلسه، در مقایسه با شدت تمرین، عامل مهمتری بر بهبود نیمرخ لیپیدی افراد است (۲۶). در تایید این موضوع، کوداما و همکارانش[11] (۲۰۰۷) در یک مطالعه مروری در مورد آثار انواع برنامه‌های تمرینی بر نیمرخ لیپیدی چنین نتیجه‌گیری کردند که حداقل حجم تمرینی برای بهبود سطوح HDL-c پلاسما حدود ۹۰۰ کیلوکالری انرژی در هفته و یا ۱۲۰ دقیقه فعالیت ورزشی در هفته است (۲۳)؛ حال آنکه در پژوهش حاضر، آزمودنی‌ها در برنامه تمرینی تناوبی پرشدت اعمال شده، بین ۲۵۰ تا ۵۰۰ کیلوکالری در هفته انرژی مصرف می‌کردند و حداکثر ۷۵ دقیقه فعالیت ورزشی منظم در هفته داشتند. کوداما و همکارانش با مطالعه حدود ۵۰ پژوهش انجام شده، بیان کردند که بهبود نیمرخ لیپیدی در افراد ارتباط معنی داری با شدت فعالیت و نیز تعداد جلسات فعالیت در هفته ندارد (۲۷). این موضوع نشان می‌دهد که تمرینات تناوبی پر شدت با توجه به حجم پایین فعالیت در هفته، احتمالاً نمی‌تواند در مقایسه با تمرینات تداومی که مدت و حجم به مراتب بالاتری از تمرینات تناوبی دارند به بهبود نیمرخ لیپیدی افراد منجر شود. نکته مورد توجه دیگر در مورد این نتیجه، نوع آزمودنی‌های مورد استفاده در مطالعات مختلف است. در بسیاری از تحقیقاتی که در آنها آثار مثبت تمرینات تداومی و تناوبی بر نیمرخ لیپیدی گزاش شده اند، از آزمودنی‌های با شرایط خاص متابولیک استفاده کرده اند. برای مثال دانستان و همکارانش (۲۰۰۲) در مطالعه خود از افراد دیابتی نوع ۲ استفاده کرد (۲۸). در مطالعات دیگر از آزمودنی‌های با شرایطی همچون چربی خون بالا، کلسترول خون بالا، فشار خون بالا و یا افراد دارای مجموعه‌ای از این شرایط استفاده شده است (۳، ۸،۹ و۱۵). در حالی که در پژوهش حاضر آزمودنی‌ها در محدوده نرمال غلظت چربی و لیپوپروتئین‌های خون بودند و این خود یکی دیگر از دلایلی احتمالی است که چرا انجام ۸ هفته تمرین تاثیر مثبت نداشته است.

نتایج این پژوهش همچنین نشان داد انجام ۸ هفته تمرین تناوبی پرشدت کاهش معنی داری در غلظت تریگلیسیرید تام پلاسما در مردان جوان دارای اضافه وزن ایجاد می‌کند. همانطور که اشاره شد، تمرینات HIIT احتمالاً از طریق افزایش بیوژنز میتوکندری‌ها و آنزیم‌های اکسایشی چرخه موجود در آنها، مصرف چربی‌ها و اسیدهای چرب خارج سلولی را افزایش می‌دهد. در برخی از مطالعات میزان افزایش مصرف چربیها در زمان استراحت در اثر انجام برنامه‌های تمرینی تداومی و تناوبی پرشدت یکسان گزارش شده است (۶). همچنین گزارش شده است که غلظت آنزیم‌های درگیر در فرایند اکسایشی چربی‌ها نظیر سیترات سینتاز (CS)[12] و بتاهیدروکسی اسیل کوآ دهیدروژناز (HAD)[13] در نتیجه انجام ۱۲ هفته تمرین تناوبی پرشدت با حجم تنها ۴۰ دقیقه تمرین در هفته افزایش معنی داری می‌یابد (۲۸). مطالعه دیگری نشان داد انجام ۲ هفته تمرین تناوبی پرشدت بیشینه فعالیت آنزیم HAD را ۳۲٪، آنزیم CS را ۲۰٪ و میزان پروتئین‌های گیرنده اسیدهای چرب بر روی غشای عضلانی را ۲۵٪ افزایش می‌دهد (۲۹). افزایش تراکم میتوکندریایی و آنزیم‌های مرتبط با مصرف چربی در عضلات احتمالاً دلیلی بر افزایش مصرف تری گلیسیرید تام خون و کاهش آن در آزمودنی‌های گروه تمرین HIIT است (۳۰ و ۳۱).

در مجموع می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که انجام تمرینات تناوبی پرشدت، احتمالاً روش مناسبی جهت بهبود

شاخص حساسیت به انسولین و افزایش میزان مصرف چربی در مـردان جـوان دارای اضـافه وزن اسـت. از آنجـایی کـه تمرینات تناوبی پرشدت زمـان بسـیار کمتـری نیـاز دارد و تنوع تمرینی مناسبی دارد، انجـام ایـن تمرینـات مـی‌توانـد راهکار موثری برای پیشگیری از برخـی بیمـاری‌هـا در ایـن افراد باشد؛ چه اینکه ایـن افـراد در معـرض خطـر بیشـتری جهت ابتلا به انواع بیمـاری‌هـای متابولیـک در آینـده قـرار دارند. این موضوع برای افرادی کـه بـه ایـن بیمـاری مبـتلا شده‌اند نیز دارای اهمیت فوق العاده‌ای است.

تقدیر و تشکر

تحقیق فوق برگرفته از طرح پژوهشی با عنوان "مقایسـه دو روش تمـرین بـر برخـی شـاخص‌هـای مـرتبط بـا آمـادگی جسمانی و تندرستی" می‌باشد که با حمایت مالی دانشـگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر به اجـرا درآمـده اسـت؛ بـدین وسیله از آن واحد دانشگاهی تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

پی‌نوشت‌ها

1. High Intensity Interval Training
2. Insulin Sensitivity
3. Glucose Tolerance Test
4. Mourier
5. International Physical Activity Questionnaire
6. Homeostasis model assessment
7. Rating of Perceived Exertion
8. Astorino
9. Rosenkilde and et al
10. Nybo and et al
11. Kodama and et al
12. Citrate synthase
13. beta-hydroxyacyl-CoA-dehydrogenase

منابع

1. Heyward, V, H: (2010), Advanced fitness assessment and exrcise prescription.(6th edition). Chamaign, IL: Human kinetics. pp. 216-217.
2. Ramos JS, Dalleck LC, Tjonna AE, Beetham KS, Coombes JS (2015). "The impact of high-intensity interval training versus moderateintensity continuous training on vascular function: a systematic review and meta-analysis". Sports Med (Systematic Review and Meta-Analysis) 45 (5): 679–92. doi:10.1007/s40279-015-0321-z. PMID 25771785.
3. Gibala M J, Little J P., MacDonald M J. and Hawley J A. (2012). Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. J Physiol 590.5, pp 1077–1084.
4. Boutcher S. H. and Dunn S. L, (2011). Factors that may impede the weight loss response to exercise-based interventions, Obesity Reviews, vol. 10, no. 6, pp. 671–680.
5. Wisløff U, Støylen A, Loennechen JP, Bruvold M, Rognmo Ø, HaramPM, Tjønna AE, Helgerud J, Slørdahl SA, Lee SJ, VidemV, Bye A, Smith GL,Najjar SM, EllingsenØ& Skjaerpe T. (2007). Superior cardiovascular effect of aerobic interval training versus moderate continuous training in heart failure patients: a randomized study. Circulation, 115, 3086–3094.
6. Gibala MJ & McGee SL. (2008). Metabolic adaptations to short-term high-intensity interval training: a little pain for a lot of gain? Exerc Sport Sci Rev 36, 58–63.
7. Milanović Z, Sporiš G, Weston M (2015). "Effectiveness of High-Intensity Interval Training (HIT) and Continuous Endurance Training for VO2max Improvements: A Systematic Review and Meta-Analysis of Controlled Trials". Sports Med (Systematic Review and Meta-Analysis) 45 (10): 1469–81. doi:10.1007/s40279-015-0365-0. PMID 26243014.
8. Costigan SA, Eather N, Plotnikoff RC, Taaffe DR, Lubans DR (2015). "High-intensity interval training for improving health-related fitness in adolescents: a systematic review and meta-analysis". Br J Sports Med (Systematic Review and Meta-Analysis) 49 (19): 1253–61. doi:10.1136/bjsports-2014-094490. PMID 26089322.
9. Liou K, Ho S, Fildes J, Ooi SY (2015). "High Intensity Interval versus Moderate Intensity Continuous Training in Patients with Coronary Artery Disease: A Meta-analysis of Physiological and Clinical Parameters". Heart Lung Circ (Meta-Analysis). S1443-9506 (15): 01269–X. doi:10.1016/j.hlc.2015.06.828. PMID 26375499.
10. Weston KS, Wisloff U, Coombes JS (2014). "High-intensity interval training in patients with lifestyle-induced cardiometabolic disease: a systematic review and meta-analysis". Br J Sports Med (Systematic Review & Meta-Analysis) 48 (16): 1227–1234. doi:10.1136/bjsports-2013-092576. PMID 24144531.
11. Jelleyman C, Yates T, O'Donovan G, Gray LJ, King JA, Khunti K, Davies MJ (2015). "The effects of high-intensity interval training on glucose regulation and insulin resistance: a meta-analysis". Obes Rev (Meta-Analysis) 16 (11): 942–61. doi:10.1111/obr.12317. PMID 26481101.

12. Mourier A., Gautier J.-F., E. Kerviler De et al. (1997). Mobilization of visceral adipose tissue related to the improvement in insulin sensitivity in response to physical training in NIDDM: effects of branched-chain amino acid supplements, Diabetes Care, , vol. 20, no. 3, pp. 385–391.
13. Little JP,Gillen JB, Percival M, Safdar A, TarnopolskyMA, Punthakee Z, Jung ME & Gibala MJ. (2011). Low-volume high-intensity interval training reduces hyperglycemia and increases muscle mitochondrial capacity in patients with type 2 diabetes. J Appl Physiol, 111, 1554–1560.
14. Burgomaster K A, Howarth K R, Phillips S M, Rakobowchuk M, Macdonald M J, McGee S L, Gibala M J. (2008). Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. J Physiol, , 586:151–160.
15. Whyte L. J., Gill J. M.R., and Cathcart A. J. (2010) Effect of 2 weeks of sprint interval training on health-related outcomes in sedentary overweight/obese men, Metabolism Clinical and Experimental, vol. 59, no. 10, pp. 1421–1428.
16. Plowman S. A; Smith L.D; (2014). Third edition: Exercise physiology for health, Fitness and Performance. (pp.150-246). Wolters Kluwer, Lippicott Williams & Wilkins.
17. Bartlett JD, Close GL, MacLaren DP, GregsonW, Drust B & Morton JP. (2011). High-intensity interval running is perceived to be more enjoyable than moderate-intensity continuous exercise: implications for exercise adherence. J Sports Sci, 29, 547–553.
18. Wallace TM, Levy JC, Matthews DR. Use and abuse of HOMA modeling. Diabetes Care.2004; 27: 1487–1495
19. Talanian JL, Galloway SD, Heigenhauser GJF, Bonen A, Spriet LL. (2007). Two weeks of high-intensity aerobic interval training increase the capacity for fat oxidation during exercise in women. J Appl Physiol.; 102:1439–47.
20. Trapp EG, Chisholm DJ, Freund J, Boucher SH. The effects of high-intensity intermittent exercise training on fat loss and fasting insulin levels of young women. Int J Obes. 2008; 32:684–91.
21. Tremblay A, Simoneau JA, Bouchard C. (1994). Impact of exercise intensity on body fatness and skeletal muscle metabolism. Metabolism.; 43(7):814–8.
22. Astorino T A., Schubert M M., Palumbo E, Striling D and MC Milan D W. (2013). Effect of Two Doses of Interval Training on Maximal Fat Oxidation in Sedentary Women. American College of Sports Medicine. DOI: 10.1249/ MSS.0b013e3182936261.
23. Rosenkilde M, Auerbach P, Reichkendler MH, Ploug T, Stallknecht BM, Sjodin A. (2012); Body fat loss and compensatory mechanisms in response to different doses of aerobic exercise—a randomized controlled trial in overweight sedentary males. Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol. 303:R571–9.
24. Deighton K, Barry R, Connon CE, Stensel DJ. (2013). Appetite, gut hormone, and energy intake responses to low volume sprint interval and traditional endurance exercise. Eur J Appl Physiol.; 113(5):1147–56.
25. Ouerghi N, Khammassi M, Boukorraa S, Feki M, Kaabachi A and Bouassida A. (2014). Effects of a high-intensity intermittent training program on aerobic capacity and lipid profile in trained subjects,Open Access Journal of Sports Medicine:5 243–248.
26. Nybo L, Sundstrup E, Jakobsen M D., Mohr M, Hornstrup T, Simonsen L, Low J B, Randers M B., Nielsen J J., Agard P and Krustrup P. (2010). High-Intensity Training versus Traditional Exercise Interventions for Promoting Health. 586:151–160.
27. Kodama S, Tanaka S, Saito K, Shu M, Sone Y, Onitake F, Suzuki E, Shimano H, Yamamoto S, Kondo K, Ohashi Y, Yamada N, Sone H. (2007). Effect of Aerobic Exercise Training on Serum Levels of High-Density Lipoprotein Cholesterol. Arch Intern Med.; 167:999-1008.
28. Dunstan D W., Daly R M., Owen N, Jolley D, Decourten M, Shaw J, Zimmet P. (2002). High-Intensity Resistance Training Improves Glycemic Control in Older Patients With Type 2 Diabetes. DIABETES CARE, VOLUME 25, NUMBER 10, OCTOBER.
29. Durstine JL, Grandjean PW, Cox CA, Thompson PD. (2002). Lipids, lipoproteins, and exercise. J Cardiopulm Rehabil.; 22(6):385–98.
30. Perry C. G. R., Heigenhauser G. J. F., Bonen A., and Spriet L. L. (2008). High-intensity aerobic interval training increases fat and carbohydrate metabolic capacities in human skeletal muscle, Applied Physiology, Nutrition and Metabolism, vol. 33, no. 6, pp. 1112–1123.
31. Hood MS, Little JP, Tarnopolsky MA, Myslik F & Gibala MJ. (2011). Low-volume interval training improves muscle oxidative capacity in sedentary adults. Med Sci Sports Exerc, 43, 1849–1856.