Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport

Effect of one- and two- high-intensity Wingate-based exercise on fat oxidation in overweight/obese men

Banipal Tataro [1], Afshar Jafari[1,2]

1. **PhD Student in Exercise Physiology, Department of Biological Sciences in Sport, Faculty of Sport Sciences and Health, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.**
2. **Associate Professor in Department of Biological Sciences in Sport, Faculty of Sport Sciences and Health, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.**

Abstract

Background and aim: Based upon conflicting findings regarding fat oxidation induced by high-power (sprint) exercise with less than 3-4 bouts/day, the present study investigated the effect of a single and two-bout 20-second Wingate-based exercise (20-sec WBE) on excess post oxygen consumption (EPOC), respiratory exchange ratio (RER), and fat/carbohydrate oxidation rate in overweight/obese men. **Materials and Methods:** Fourteen middle-aged (35.8±3.1 years) obese and overweight males (body mass index>25 kg/m^2) voluntarily participated in a semi-experimental, within-subject, crossover study design (with a single week washout). Respiratory gas data were measured before, during, and 30 minutes after one- and two-bout 20-second high-power (sprint) 20-sec WBE. Warm-up in both protocols and interval in the two-20 sec WBE protocol consisted of 30 sec WBE (with 60-70 RPM) with an exercise-to-recovery ratio 1:1 (with or without a quarter of 7.5% of body weight) that continued cycling at 60 RPM with no resistance for 3 min. Data (Mean ± Standard Deviation) were analyzed using SPSS software at $p<0.05$. **Results:** The energy cost during exercise and recovery, EPOC rate, and total carbohydrate oxidation in the two-bout protocol were significantly higher than in the one-bout protocol ($p\leq0.05$). However, the instantaneous and the total accumulated fat oxidation differences (from the beginning to the end of the 30-minute recovery) were not significant between the two protocols ($p>0.05$). The respiratory exchange ratio (RER) differences between the two protocols were not significant either ($p>0.05$). **Conclusion:** Increasing EPOC and daily energy expenditure after only a single- or two-Wingate-based sprint exercise (20-40 sec/day) may be a suitable strategy to improve fat oxidation for those overweight/obese people who do not have spare time to exercise.

Keywords: Obesity/overweight, Short-term sprint exercise, Excess oxygen consumption after exercise, Fat oxidation, Respiratory exchange ratio.

نسخه پیش از انتشار ویرایش نشده

[1] **Corresponding Author, Address: Tehran, Faculty of Sport Sciences and Health, Shahid Beheshti University;**
Email: af_jafari@sbu.ac.ir

Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport

اثر یک و دو وهله فعالیت ورزشی پرشدت مبتنی بر وینگیت بر اکسایش چربی در مردان دارای اضافه وزن و چاق

بانیپال تاتارو [۱]، افشار جعفری*[۲]

۱. دانشجوی دکتری فیزیولوژی ورزشی، گروه علوم زیستی در ورزش، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

۲. دانشیار گروه علوم زیستی در ورزش، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

نسخه پیش از انتشار ویرایش نشده

چکیده

زمینه و هدف: با وجود پژوهش‌های متناقض در زمینه اکسایش چربی ناشی از فعالیت‌های سرعتی- توانی با وهله‌های کمتر از ۴-۳ بار/روز، پژوهش حاضر، با هدف مقایسه تفاوت اکسیژن مصرفی اضافی پس از ورزش (EPOC)، نسبت تبادل تنفسی (RER) و اکسایش چربی/کربوهیدرات ناشی از فعالیت‌های پرشدت مبتنی بر وینگیت ۲۰-ثانیه‌ای (20-sec WBE) یک و دو وهله‌ای در افراد دارای اضافه وزن و چاق، انجام شد. **روش تحقیق**: پژوهش حاضر، در قالب یک طرح نیمه‌تجربی تک-گروهی متقاطع با اندازه‌گیری مکرر طی دو مرحله (با یک هفته فاصله)، روی ۱۴ مرد میانسال (۸/۱±۳۵/۳ سال) داوطلب دارای اضافه وزن/چاق ($BMI>25\ kg/m^2$) انجام شد. داده‌های گازهای تنفسی قبل، حین و ۳۰ دقیقه پس از فعالیت سرعتی (پرتوان) یک و دو وهله‌ای ۲۰-ثانیه‌ای اندازه‌گیری شد. گرم کردن در هر دو روش و بازیافت مابین دو وهله WBE ۲۰-ثانیه‌ای شامل: ۳۰ ثانیه رکابزنی (۷۰-۶۰ دور/دقیقه) با باری معادل یک چهارم ۷/۵٪ وزن بدن و نسبت فعالیت به بازیافت ۱:۱ (بازیافت بدون بار) بود که با یک دوره رکاب‌زنی ۳ دقیقه‌ای بدون بار (۶۰ دور/دقیقه) ادامه داشت. داده‌ها (میانگین و انحراف استاندارد) با استفاده از نرم‌افزار SPSS بررسی شد ($p<0.05$). **یافته‌ها:** هزینه انرژی تام و دوره بازیافت، EPOC، و اکسایش کربوهیدرات تام روش دو وهله‌ای بطور معنی‌دار بیشتر از روش یک وهله‌ای بود ($p \leq ۰/۰۵$). با این همه، تفاوت بین اکسایش چربی نقطه‌ای و تام (از ابتدا گرم کردن تا انتهای دوره بازیافت ۳۰ دقیقه‌ای) معنی‌دار نبود ($p > ۰/۰۵$). تفاوت RER دوره بازیافت روش یک و دو وهله‌ای، نیز معنی‌دار نبود ($p>۰/۰۵$). **نتیجه‌گیری**: افزایش EPOC و هزینه انرژی روزانه پس از انجام تنها ۲-۱ وهله WBE (۲۰-۴۰ ثانیه/روز) ممکن است راهبرد مناسبی برای بهبود اکسایش چربی برای افراد دارای اضافه وزن/چاقی باشد که وقت آزاد برای ورزش کردن ندارند.

واژه های کلیدی: چاقی/اضافه وزن، فعالیت سرعتی کوتاه مدت، اکسیژن مصرفی اضافی پس از ورزش، اکسایش چربی، نسبت تبادل تنفسی.

***نویسنده مسئول، آدرس: تهران، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، گروه علوم زیستی در ورزش؛**

پست الکترونیکی: af_jafari@sbu.ac.ir

Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport

مقدمه

افزایش تراز انرژی منفی ناشی از انجام فعالیت‌های ورزشی (حتی در حد ۵۰ تا ۱۵۰ کیلوکالری در روز)، یک راهبرد پذیرفته شده برای کاهش وزن (یا کاهش توده چربی اضافی) در افراد دارای اضافه وزن به شمار می‌رود (هیل[1] و دیگران، ۲۰۰۳; استروبل[2] و دیگران، ۲۰۱۱). در این راستا، باید اشاره داشت که انجام فعالیت بدنی و ورزشی تا حد چشمگیری می‌تواند از بروز اختلال و مقاومت در اکسایش چربی و نهایت انباشت توده چربی در افراد چاق جلوگیری کند (فریتزن[3] و دیگران، ۲۰۲۲). افزون بر این، انجام فعالیت بلندمدت با شدت متوسط (۴۵ تا ۶۵٪ اکسیژن مصرفی بیشینه) با بالا بردن هزینه انرژی و ایجاد تراز انرژی منفی بیشتر می‌تواند موجبات افزایش اکسایش و کاهش توده چربی را حتی تا ۲۴ ساعت پس از فعالیت فراهم نماید (پانیسا[4] و دیگران، ۲۰۲۱).

با این همه، به دلیل عدم تمایل و پایبندی به انجام فعالیت‌های بدنی بلندمدت در بین افراد چاق و دارای اضافه وزن، و با در نظر گرفتن اکسیژن مصرفی اضافی پس از ورزش[5] (EPOC) پرشدت کوتاه مدت ۴ تا ۶ وهله‌ای (تاکر[6] و دیگران، ۲۰۱۶; ایسلام[7] و دیگران; ۲۰۱۸)، و همچنین، کاهش استها و تراز انرژی منفی بیشتر ناشی از این گونه فعالیت‌ها، بسیاری از پژوهشگران بر این باورند که تجویز فعالیت‌های تناوبی پرشدت یا سرعتی-توانی شاید راهبرد بهینه‌تری برای افراد چاق باشد (هازل[8] و دیگران، ۲۰۱۲; ایسلام و دیگران، ۲۰۱۸; تونسند و دیگران[9]، ۲۰۱۳; تاکر و دیگران، ۲۰۱۶; وایت و فرگوسن[10]; ۲۰۱۳[11]). هر چند، با در نظر گرفتن برخی از پاسخ‌های وابسته به دوز ورزشی[12] (یا پاسخ‌های وابسته به فشارهای مکانیکی-سوخت وسازی و اکسایشی-التهابی ناشی از ورزش)، هنوز تناقضات و ابهاماتی زیادی در بین یافته‌های پیشین دیده می‌شود (فونتس[13] و دیگران، ۲۰۱۲; متکالف[14] و دیگران، ۲۰۱۵). افزون بر این، برخی از پژوهشگران بر این باورند که پایین بودن میزان تاب‌آوری افراد چاق در برابر فعالیت تناوبی پرشدت با تکرار بالا (۴ تا ۶ وهله در هر جلسه) و بروز پیامدهای ناخوشایند ناشی از آن (برای نمونه، بروز مشکلات گوارشی) شاید پایبندی به انجام این گونه ورزش ها به مخاطره بیافتد (تاکر و دیگران، ۲۰۱۶). البته، برخی یافته‌ها نشانگر آن است که انجام فعالیت‌های ورزشی مبتنی بر وینگیت (۲۰ الی ۳۰ ثانیه‌ای) با وهله‌های کمتر از ۲ وهله هم شاید با بهینه‌سازی پاسخ‌های هورمونی-سوخت و سازی و فعالسازی مسیرهای پیامرسانی وابسته به سوخت و ساز چربی (فعال سازی AMPK[15] و ACC[16]) بتواند به افراد چاق و مبتلا به اضافه وزن کمک

---

[1] Hill
[2] Stroebele
[3] Fritzen
[4] Panissa
[5] Excess post oxygen consumption
[6] Tucker
[7] Islam
[8] Hazell
[9] Townsend
[10] Whyte & Ferguson
[11] Exercise dose responses
[12] Fuentes
[13] Metcalfe
[14] Adenosine monophosphate-activated protein kinase
[15] Acetyl-CoA carboxylase

نسخه پیش از انتشار ویرایش نشده

Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport

کند (آسلانکسر و بالچی[1] ۲۰۱۸; فونتس و دیگران ، ۲۰۱۲; متکالف و دیگران، ۲۰۱۵) . برای نمونه، در پژوهشی (فونتس، ۲۰۱۲) نشان داده شد که انجام یک وهله فعالیت مبتنی بر وینگیت شاید بتواند فشار مکانیکی- متابولیکی کافی برای تحریک پیام‌رسان مرتبط با سوخت وساز همچون AMPK و ACC ایجاد کند، و شاید انجام فعالیت دو وهله‌ای وینگیت ۲۰ ثانیه‌ای (مت کالف، ۲۰۱۵) برای تولید GLUT4 mRNA[2] و PGC1alpha mRNA[3] تا ۱۸۰ دقیقه پس از فعالیت کافی باشد (متکالف و دیگران، ۲۰۱۵).

در نهایت، با وجود پژوهش‌های اندک و کم‌وبیش متناقض در زمینه اکسایش چربی ناشی از انجام فعالیت‌های سرعتی- توانی با وهله‌های کمتر از ۳ الی ۴ بار در هر جلسه، پژوهش حاضر، با هدف مقایسه تفاوت میزان EPOC، و اکسایش چربی/کربوهیدرات ناشی از انجام فعالیت‌های پرشدت مبتنی بر وینگیت ۲۰ ثانیه‌ای یک و دو وهله (در روز) در افراد دارای اضافه وزن و چاق، انجام شد تا برپایه یافته‌های حاصله بتوان به یک راهبرد مناسب ورزشی کم هزینه و بدون صرف وقت زیاد (یک یا دو وهله فعالیت کوتاه مدت در روز)، برای بهبود فرایند اکسایش چربی و ایجاد تراز انرژی منفی در افراد درگیر اضافه وزن و چاقی، دست پیدا کرد.

روش تحقیق

روش نمونه گیری: از بین ۳۸ مرد میانسال غیرفعال داوطلب چاق یا دارای اضافه وزن، چهارده نفر با استفاده از روش تصادفی هدفمند و برپایه معیارهای ورود و خروج انتخاب شدند (مشخصات آزمودنی‌ها-جدول ۱). حجم یا اندازه نمونه در آزمون آنوا مکرر تک گروهی متقاطع (در دو حالت ناهمسان) با کمک نرم افزار جی-پاور[4](ویراست ۳,۱,۹,۴) برپایه آلفای برابر پنج درصد، توان آزمون هشت دهم و اندازه اثر درهمکنشی[5] برابر ۰/۳۶ (شمار گروه = ۲، شمار اندازه‌گیری = ۳، همبستگی بین اندازه‌گیری‌های مکرر = ۰/۵، و ضریب غیرکروی = ۱) ۱۴ نفر برآورد شد (آمارو-گته[6]، ۲۰۱۹). پس از تائید طرح از سوی کمیته اخلاق دانشگاه شهید بهشتی (IR.SBU.REC.1400.169) و برگزاری جلسه آشنایی آزمودنی‌های داوطلب با جزییات و شیوه اجرای پژوهش، اندازه‌گیری‌های اولیه وابسته به معیارهای ورود و خروج (سلامت قلبی-عروقی، ترکیب بدن، آمادگی هوازی-بی‌هوازی و بیشینه اکسایش چربی، مصرف دخانیات، دارو، مکمل غذایی و نوشیدنی الکلی طی شش ماه گذشته) در حالت ناشتا (یک هفته پیش از شروع طرح اصلی) انجام شد. سپس، برپایه اندازه‌گیری‌های اولیه یا زمینه‌ای (جدول ۱)، و به طور تصادفی ساده (مبتنی بر نمره استاندارد Z کسب شده از وضعیت توان هوازی-بی‌هوازی و ترکیب بدن) در قالب یک طرح متقاطع یک گروهی (دو وضعیتی) با یک هفته فاصله (Wash-out) جایگزین شدند. به عبارتی، با کمک داده‌های برگرفته از سه شاخص یا نمایه (ترکیب بدن، توان هوازی و بی هوازی)، یک داده استاندارد (Z) تهیه و هر شرکت‌کننده به طور تصادفی ساده و یک در میان (از نمرات بالا به پایین) در یک وضعیت جایگزین شدند (وضعیت اول: با ترتیب توالی فعالیت ورزشی یک وهله‌ای+دو وهله‌ای و وضعیت دوم: با ترتیب توالی فعالیت ورزشی دو وهله‌ای+یک وهله‌ای).

نسخه پیش از انتشار ویرایش نشده

[1] Aslankeser & Balcı
[2] Glucose transporter 4
[3] Peroxisome proliferator-activated receptor-gamma coactivator-1alpha
[4] G-Power
[5] Within-Between Interaction
[6] Amaro-Gahete

Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport

روش اجرای طرح پژوهش و اندازه‌گیری متغیرها: هر آزمودنی‌ها در حالت ناشتا، یک فعالیت یک یا دو وهله‌ای ۲۰ ثانیه‌ای سرعتی مبتنی بر وینگیت را در حالت ناشتا صبحگاهی و تراز انرژی یکسان (مبتنی بر یافته‌های یادآمد غذایی ۲۴ ساعت و میزان فعالیت روزانه یکسان) با یک هفته فاصله از هم (در آزمایشگاه فیزیولوژی ورزشی با شرایط دمایی و رطوبتی نسبتاً یکسان) انجام داد. میزان دریافت انرژی به کمک برگه یادآمد غذایی ۲۴ ساعته (طی ۲ روز عادی و یک روز تعطیل) برآورد شد. هزینه انرژی روزانه با توجه به ویژگی آزمودنی‌ها (وضعیت غیرفعال و کم تحرکی افراد چاق و دارای اضافه وزن) و با استفاده از یافته‌های دستگاه InBody 770 (با کنترل از طریق فرمول کانینگهام) برآورد شد. همه آزمون‌های ورزشی در شرایط تزار انرژی روزانه صفر انجام شد.

جدول ۱. ویژگی مردان چاق و مبتلا به اضافه وزن شرکت کننده در فعالیت سرعتی-پرتوان مبتنی بر وینگیت

متغیرها	اندازه‌ها	متغیرها	اندازه‌ها
سن (سال)	۳۵/۳±۸/۱	ضربان قلب استراحتی (ضربه در دقیقه)	۷±۷۹/۵
شاخص توده بدنی (کیلوگرم/متر مربع)	۲۷/۱±۶/۵	ضربان قلب بیشینه (ضربه در دقیقه)	۱۱±۱۷۹/۴
توده چربی (کیلوگرم)	۳±۲۲/۱	اوج توان (وات)	۱۲۷±۷۳۴
توده عضلانی (کیلوگرم)	۴±۳۷/۶	فشار خون سیستولی (میلی متر جیوه)	۱۱۳/۱۸±۸/۱۱
دور کمر (سانتیمتر)	۹۷/۴±۸/۱	فشار خون دیاستولی (میلی متر جیوه)	۷۳/۶±۶/۷
اکسیژن‌مصرفی‌بیشینه (میلی‌لیتر/کیلوگرم/دقیقه)	۲۹/۳±۶/۴۱	بیشینه اکسایش چربی (گرم در ساعت)	۱۵/۳±۸/۶

اندازه‌گیری‌های زمینه‌ای توسط دستگاه قد سنج دیجیتال، دستگاه اندازه‌گیری ترکیب بدنی (Inbody ۷۷۰) و فشار سنج دیجیتالی در ساعت هشت صبح روز اول در شرایط ناشتا صورت گرفت. پس از آن، آزمون‌های اکسیژن مصرفی بیشینه (توان هوازی) و به فاصله نیم ساعت آزمون توان بی‌هوازی وینگیت در روز اول و آزمون بیشینه اکسایش چربی[1] (MFO) در روز پس از آن انجام شد. اکسیژن مصرفی بیشینه آزمودنی‌ها با استفاده از چرخ کارسنج (مونارک ۸۳۹ ساخت کشور سوئد)، برآورد شد. این آزمون با یک دوره گرم کردن ۳ دقیقه‌ای بدون اعمال مقاومت و سرعت رکاب‌زنی ۷۰-۶۰ دور در دقیقه(RPM[2]) آغاز می‌شد و پس از آن، تا هنگام رسیدن به معیارهای واماندگی (نسبت تبادل تنفسی[3] یا RER بالاتر از ۱/۱، ضربان قلب بیشینه پیش بینی شده و یا ناتوانی در ادامه فعالیت)، هر دو دقیقه (با همان سرعت رکاب‌زنی) ۵۰ وات به مقاومت اعمال شده اضافه می‌شد.

توان بی‌هوازی با آزمون وینگیت ۲۰ ثانیه‌ای پس از ۵ دقیقه گرم کردن روی چرخ کارسنج مونارک ۸۹۴ (ساخت سوئد) انجام شد (ماتیو لائورنت[4] و دیگران، ۲۰۰۷). هر آزمودنی تلاش می‌کرد که با بیشترین میزان رکاب‌زنی در دقیقه آزمون را (با باری برابر ۷/۵ درصد وزن بدن) به پایان برساند. به آزمودنی‌ها تأکید می‌شد که تلاش کنند تا میزان رکاب‌زنی را تا پایان آزمون بالاتر از ۱۰۰ دور در دقیقه حفظ نمایند. گرم کردن در این آزمون برپایه شیوه اجرا شده در پژوهش‌های پیشین طی سه دوره با سرعت رکاب‌زنی ۷۰-

[1] Maximal fat oxidation
[2] Revolutions per minute
[3] Respiratory exchange ratio
[4] Matthew Laurent

Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport

۶۰ دور در دقیقه در طی ۵ دقیقه انجام شد (ماتیو لورانت و دیگران، ۲۰۰۷). فعالیت گرم کردن شامل ۲ دوره فعالیت مبتنی بر وینگیت ۳۰ ثانیه‌ای با ۲۵ درصد بار پیشنهادی در آزمون اصلی (یک چهارم ۷/۵ درصد وزن بدن) و نسبت فعالیت به استراحت یک به یک به همراه ۳ دقیقه رکاب‌زنی بدون بار پیش از آزمون بود.

آزمون بیشینه اکسایش چربی یا MFO در یک روز دیگر و به گونه ای انجام می‌شد که آزمودنی‌ها پس از مراجعه به آزمایشگاه ابتدا ۳۰ دقیقه در حالت استراحت و خوابیده قرار داشتند. سپس آزمودنی‌ها سه دقیقه بر روی چرخ کارسنج مونارک ۸۳۹، بدون بار و با سرعت ۷۰-۶۰ دور در دقیقه شروع به رکاب زدن می‌کردند، و هر سه دقیقه، تا هنگام رسیدن به معیارهای واماندگی، ۲۵ وات به بار اعمالی اضافه می‌شد (رامیرز- مالدونادو[1] و دیگران، ۲۰۲۱).

فعالیت دو وهله‌ای شامل ۲ وهله فعالیت سرعتی-توانی مبتنی بر وینگیت ۲۰ ثانیه‌ای (با حداکثر توان) با بازیافت فعال ۵ دقیقه‌ای (مشابه گرم کردن سه مرحله‌ای در آزمون توان بی‌هوازی) که روی‌هم‌رفته ۱۰ دقیقه و ۴۰ ثانیه بود (ماتیو لورانت و دیگران، ۲۰۰۷؛ متکالف و دیگران، ۲۰۱۵)، در حالی که در شیوه یک وهله‌ای تنها یک وهله ۲۰ ثانیه‌ای (با حداکثر توان) همراه با ۵ دقیقه گرم کردن که روی‌هم‌رفته ۵ دقیقه و ۲۰ ثانیه بود. از آزمودنی‌ها خواسته شد بود که که با تمام توان رکاب بزنند و تلاش کنند تا میزان رکاب‌زدن بالاتر از ۱۰۰ دور دقیقه باشد. هر یک از آزمون‌های یک و دو وهله‌ای در حالت ناشتا بین ساعت ۷ الی ۸ انجام می‌شد.

گازهای تنفسی با استفاده از دستگاه MetaLyzer 3B (ساخت شرکت Cortex آلمان)، از پنج دقیقه پیش از آزمون تا ۳۰ دقیقه پس از آزمون، به صورت پیوسته و ثانیه به ثانیه اندازه گیری می‌شد. با استفاده از این دستگاه هم میزان نسبت تبادل تنفسی و هم میزان اکسایش کربوهیدرات و چربی به صورت گرم در دقیقه (یا گرم در ساعت) برآورد شد.

تحلیل آماری: داده ها در قالب میانگین و انحراف استاندارد با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۶ تحت ویندوز در سطح معنی‌داری برابر و کمتر از پنج درصد بررسی شد. پس از تایید وضعیت توزیع داده ها (با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلک) همه داده های برگرفته از گازهای تنفسی هشت نقطه‌ای (مقایسه میانگین داده های پیش و دوره های بازیافتی صفر تا ۳۰ دقیقه پس از فعالیت‌های یک و دو دوهله‌ای) با استفاده از آزمون ANOVA مکرر (تک گروهی متقاطع در دو وضعیت ناهمسان فعالیت ورزشی یک و دووهله ای با تناوب یک هفته) و آزمون‌های تعقیبی بونفرونی بررسی شدند و مواردی که تنها بررسی دو میانگین دو مرحله قبل و بعد (مقایسه میانگین‌های تجمعی ناشی از خود فعالیت‌های ورزشی، کل فعالیت و بازیافت ۳۰ دقیقه‌ای با پیش از فعالیت) مد نظر بود از آزمون تی زوجی استفاده شد.

یافته‌ها

میانگین و انحراف استاندارد داده های فعالیت‌های یک و دو وهله‌ای به صورت نقطه‌ای و تراکمی (تجمعی) در جدول های ۲ و ۳ نشان داده شده است. به گونه‌ای که میزان EPOC، هزینه انرژی دوره بازیافت و تام (کل فعالیت: از ابتدا گرم کردن تا انتهای دوره بازیافت ۳۰ دقیقه‌ای)؛ و اکسایش کربوهیدرات تام (تراکمی در کل فعالیت؛ هشت نقطه‌ای) در روش دو وهله‌ای به طور معنی‌دار بیشتر از روش یک وهله‌ای بود ($p \leq ۰/۰۵$). با این همه، تفاوت بین اکسایش چربی نقطه‌ای و تام (از ابتدا گرم کردن تا انتهای دوره

[1] Ramírez-Maldonado

نسخه پیش از انتشار ویرایش نشده

Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport

بازیافت ۳۰ دقیقه‌ای) دو روش در مقایسه باهم معنی‌دار نبود (p>۰/۰۵). تفاوت نسبت تبادل تنفسی (RER) دوره بازیافت روش یک و دو وهله‌ای، نیز معنی‌دار نبود (p>۰/۰۵)؛

جدول ۲. تفاوت میزان EPOC، هزینه انرژی تام (فعالیت و بازیافت)، هزینه انرژی اکسایش کربوهیدرات و چربی مردان چاق یا مبتلا به اضافه وزن پس از انجام فعالیت‌های سرعتی یک و دو وهله‌ای مبتنی بر وینگیت (به صورت تراکمی)

متغیرها	روش	مقدار شاخص	t	P
EPOC (لیتر)	۲ وهله‌ای	۳/۱±۶۲/۵۴	۲/۳۶۳	۰/۰۳۴*
	۱ وهله‌ای	۲/۱±۴۴/۱۲		
هزینه انرژی تام (فعالیت و بازیافت): کیلوکالری	۲ وهله‌ای	۱۵۰/۱۵±۸۹/۵۹	۱۶/۴۶۱	۰/۰۰۱*
	۱ وهله‌ای	۹۹/۱۶±۲۰/۵۹		
هزینه انرژی بازیافت: کیلوکالری	۲ وهله‌ای	۷۲/۳۲	۲/۷۱۲	۰/۰۱۸*
	۱ وهله‌ای	۶۵/۵۷		
CHO- OX تام (فعالیت و بازیافت): گرم	۲ وهله‌ای	۳۰/۳±۴۷/۱۷	۱۰/۹۶۱	۰/۰۰۱*
	۱ وهله‌ای	۱۸/۴±۴۳/۴۱		
Fat- OX تام (فعالیت و بازیافت): گرم	۲ وهله‌ای	۱/۱±۵۱/۰۳	-۰/۷۵۳	۰/۴۶۵
	۱ وهله‌ای	۱/۱±۷۸/۲۳		
CHO- OX دوره بازیافت: گرم	۲ وهله‌ای	۱۴/۱±۲۵/۹۱	۱۰/۹۶۱	۰/۰۷
	۱ وهله‌ای	۱۲/۳±۵۱/۲۶		
Fat- OX دوره بازیافت: گرم	۲ وهله‌ای	۰/۰±۸۵/۵۲	-۰/۶۲۴	۰/۵۴۳
	۱ وهله‌ای	۱/۰±۰۵/۹۸		

EPOC: اکسیژن مصرفی اضافی پس از ورزش، **Fat- OX**: اکسایش چربی، **CHO- OX**: اکسایش کربوهیدرات.

***نشانه تفاوت معنی‌دار ورزش یک و دو وهله‌ای: P≤ ۰/۰۵.**

جدول ۳. میزان تبادل تنفسی، اکسایش چربی و کربوهیدرات مردان چاق و مبتلا به اضافه پیش و پس از فعالیت سرعتی-پرتوان یک و دو وهله‌ای مبتنی بر وینگیت (پس از ۷ مرحله بازیافتی : اندازه‌گیری نقطه‌ای/لحظه‌ای)

متغیرها	روش	پیش از فعالیت	زمان‌های اندازه‌گیری در دوره بازیافت (دقیقه)					
			۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰
RER	۲ وهله‌ای	۰/۰±۹۸/۰۸	۱/۶۷±۰/۰۸	۱/۳۷±۰/۰۶	۱/۱۶±۰/۰۶	۱/۰۶±۰/۰۸	۰/۹۴±۰/۰۴	۰/۸۸±۰/۰۴	۰/۸۶±۰/۰۴
	۱ وهله‌ای	۰/۰±۹۸/۰۶	۱/۷۷±۰/۱۲	۱/۴۴±۰/۰۹	۱/۱۸±۰/۱۲	۱/۰۴±۰/۰۸	۰/۹۱±۰/۰۳	۰/۸۵±۰/۰۶	۰/۸۳±۰/۰۴
Fat- OX (گرم در دقیقه)	۲ وهله‌ای	۰/۰±۰۳/۰۰۹	۰±۰/۰۰	۰±۰/۰۰	۰±۰/۰۰	۰±۰/۰۰	۰/۰۴±۰/۰۲	۰/۰۸±۰/۰۳	۰/۱۰±۰/۰۲
	۱ وهله‌ای	۰/۰±۰۴/۰۱	۰±۰/۰۰	۰±۰/۰۰	۰±۰/۰۰	۰±۰/۰۰	۰/۰۳±۰/۰۲	۰/۰۸±۰/۰۴	۰/۱۱±۰/۰۲
CHO-OX (گرم در دقیقه)	۲ وهله‌ای	۰/۰±۳۶/۰۸	۲/۵۶±۰/۳۸	۰/۶۸±۰/۰۴	۰/۵۳±۰/۰۷	۰/۴۸±۰/۰۸	۰/۳۸±۰/۱۳	۰/۲۳±۰/۰۷	۰/۱۶±۰/۰۶
	۱ وهله‌ای	۰/۰±۳۶/۰۷	۲/۴۲±۰/۳۳	۰/۶۲±۰/۱۲	۰/۴۶±۰/۰۷	۰/۴۰±۰/۰۸	۰/۳۵±۰/۱۳	۰/۲۴±۰/۱۰	۰/۱۹±۰/۰۶

RER: نسبت تبادل تنفسی، **Fat- OX**: اکسایش چربی، **CHO- OX**: اکسایش کربوهیدرات؛ *****نشانه تفاوت معنی‌دار ورزش یک و دو وهله‌ای: **p≤ ۰/۰۵.**

Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport

بحث

نتایج پژوهش حاضر همسو با مطالعات پیشین نشان داد که فعالیت ورزشی پرتوان مبتنی بر وینگیت ۲۰ ثانیه‌ای یک یا دو وهله‌ای می‌تواند هزینه انرژی و EPOC را به طور چشمگیری افزایش دهد. در این راستا، مطالعات پیشین نشان داده اند که ۴ الی ۶ وهله فعالیت سرعتی- تناوبی پرتوان هزینه انرژی بازیافت ۲۴ ساعته را تا حد ۲۲۵ الی ۴۷۵ کیلوکالری بالا می برد (هازل و دیگران، ۲۰۱۲; سویتز و دیگران، ۲۰۱۳). با این همه، هزینه انرژی تام فعالیت یک و دو وهله‌ای در پژوهش حاضر، به ترتیب در حدود ۱۵۰ و ۱۰۰ کیلوکالری (با هزینه انرژی بازیافتی به ترتیب ۶۵/۵ و ۷۲/۳ کیلوکالری بازیافت ۳۰ دقیقه‌ای)، کم‌وبیش مشابه و حتی در برخی موارد تا اندازه‌ای بیشتر از نتایج مطالعات پیشین (تونسند با ۳۷/۵، ویلیامز با ۴۰/۶ و چان با ۶۴ کیلوکالری پس از فعالیت) با تکرار وهله‌های بیشتر و دوره بازیافت طولانی‌تر از ۲ساعت است (تونسند و دیگران، ۲۰۱۳; ویلیامز[1]و دیگران، ۲۰۱۳; چان و برنز[2] ۲۰۱۳).

روی‌هم‌رفته، میزان EPOC و هزینه کالری اضافی پس از فعالیت ورزشی در این پژوهش نشانگر آن است که حتی با انجام یک وهله فعالیت پرتوان مبتنی بر وینگیت ۲۰ ثانیه‌ای، می‌توان هزینه انرژی را تا حد چشمگیری طی یک بازیافت ۳۰ دقیقه‌ای بالا برد و به منفی شدن تراز انرژی روزانه کمک کرد (آسلانکسر و بالچی، ۲۰۱۸; فونتس و دیگران، ۲۰۱۲). البته، بایستی اشاره داشت که این فرآیند به دلیل فعال شدن میانجی‌های زیست شیمیایی و مسیرهای پیام‌رسان وابسته به سوخت و ساز چربی در پاسخ به این گونه از فعالیت‌ها همانند فسفوریلاسیون AMPK و ACC تا ۳۰ دقیقه پس از انجام یک وهله فعالیت مبتنی بر وینگیت (فونتس و دیگران، ۲۰۱۲)، بازسازی ذخایر انرژی، بارگیری اکسیژن توسط میوگلوبین، بازسازی ATP_PC، بازپرداخت لاکتات به صورت گلوکز یا گلیکوژن (جانگ[3]و دیگران، ۲۰۲۰)، کاهش RER و مشارکت بیشتر سوبستراهای انرژی زا مانند لیپیدهاست. هم راستا، با برخی از نتایج پیشین مبتنی برکاهش RER پس از فعالیت‌های با شدت بالا (آسلاکسر و بالچی، ۲۰۱۸; برنز و ترن[4] ۲۰۱۲; تاکر و دیگران، ۲۰۱۶; ویلیامز و دیگران، ۲۰۱۳)، میزان RER نیز در پژوهش حاضر طی ۱۵ الی ۲۰ دقیقه پس از فعالیت یک و دو وهله‌ای روند کاهشی به خود گرفت (یک وهله‌ای: ۰/۸۳ و دو وهله‌ای: ۰/۸۶). این خود شاید نشانگر این باشد که فعالیت پرتوان یک وهله‌ای ۲۰ ثانیه‌ای مبتنی بر وینگیت می‌تواند باعث افزایش سوخت و ساز چربی پس از فعالیت شود. از این رو، برپایه یافته‌های پیشین باید اشاره داشت که هزینه انرژی نسبتاً بالا و جا به جایی اکسایش سوبستراها به سمت و سوی اکسایش لیپیدها طی دوره بازیافت ۲۴ ساعته پس از فعالیت‌های پرشدت، یک پدیده رایج به شمار می‌رود (هازل و دیگران، ۲۰۱۲; سویت[5]و دیگران، ۲۰۱۳). با این همه، به دلیل تنگناهای اجرایی در پژوهش حاضر، بررسی تغییرات ۲۴ ساعته فعالیت‌های یک و دو وهله‌ای شدنی نبود. بنابراین، برپایه یافته‌های پژوهش حاضر (جدول ۳)، تنها می‌توان به این نکته اشاره داشت که اکسایش چربی ۲۰ دقیقه پس از فعالیت‌های پرتوان یک و دو وهله‌ای آغاز می‌شود (به ترتیب ۰/۱۰ و ۰/۱۱ گرم بر دقیقه). البته، برپایه برخی از یافته‌های پیشین باید اشاره کرد که سهم بزرگ‌تر هزینه انرژی بازیافتی و بویژه EPOC بیشتر در طی دوره ۳۰ تا ۴۰ دقیقه پس از فعالیت‌های ورزشی پرشدت رخ می‌دهد (چان و برنز، ۲۰۱۳; ایسلام و دیگران، ۲۰۱۳; تونسند و دیگران، ۲۰۱۳). افزون بر این، باید تایید کرد که هزینه انرژی فعالیت‌های ورزشی پرشدت بویژه در فعالیت‌های پرتوان زیر ۲۰ الی ۳۰ ثانیه بیشتر از راه سوخت و ساز بی‌هوازی تحت سوبسترا/گلیکولیز بی‌هوازی

[1] Williams
[2] Chan & Burns
[3] Jung
[4] Burns & Tran
[5] Sevits

نسخه پیش از انتشار ویراستاری نشده

Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport

(نزدیک به ۸۰ درصد) و نزدیک به یک پنجم آن از مسیر گلیکولیز هوازی تأمین می‌شود (هارگراوس و سپریت[1] ۲۰۲۰). به گونه‌ای که برپایه یافته‌های مطالعه حاضر، طی فعالیت یک و دو وهله‌ای به ترتیب ۱۸/۴۳ و ۳۰/۴۷ گرم کربوهیدرات (از منابع درون و برون سلولی) برای تأمین هزینه انرژی فعالیت و دوره بازیافت سوزانده شده است (جدول ۲). با این همه، تفاوت مقادیر و سهم سوخت‌های مصرفی در مطالعه حاضر با برخی از یافته‌های پیشین (ایسلام و دیگران، ۲۰۱۸; تاکر و دیگران، ۲۰۱۶)، شاید به دلیل تفاوت در وضعیت تندرستی و آمادگی آزمودنی‌های مورد استفاده و همچنین حجم فعالیت‌های پرشدت یا مدت زمان بازیافت باشد. برای نمونه، افزایش اتکا به سوخت کربوهیدرات از مسیر بی‌هوازی در فعالیت‌های پرشدت بویژه در افراد ناآماده (به دلیل نبود سازگاری های مفید) بسیار بیشتر از افراد آماده است (فریتزن و دیگران، ۲۰۲۲). در ضمن، نباید از اثر مقاومت به چربی سوزی در افراد چاق یا مبتلا به اضافه وزن را نادیده گرفت؛ زیرا، بیشینه اکسایش چربی (MFO) در آزمودنی‌های پژوهش حاضر (نزدیک به ۰/۲ الی ۰/۳ گرم در دقیقه) نسبت به افراد آماده (نزدیک به ۰/۶ - ۰/۷ گرم در دقیقه) به گونه چشمگیری پایین تر بود (آتچن و جوکندروپ[2] ۲۰۰۲).

با این همه، برخی از پژوهشگران برپایه نظریه متکالف و همکاران (متکالف و دیگران، ۲۰۱۲; متکالف و دیگران، ۲۰۱۵) بر این باورند که اگر هدف انجام فعالیت سرعتی-تناوبی مبتنی بر وینگیت چند وهله‌ای، افزایش چربی سوزی باشد، تنها انجام دو وهله فعالیت سرعتی- پرتوان تناوبی کفایت می‌کند (متکالف و دیگران، ۲۰۱۲; متکالف و دیگران، ۲۰۱۵). هر چند، نتایج برخی از مطالعات با این باور همسو نیست (ایسلام و دیگران، ۲۰۱۸)، ولی، با نبود تفاوت چشمگیر میزان اکسایش چربی پس از فعالیت یک و دو وهله‌ای در پژوهش حاضر (۱/۰۵ و ۰/۸۵ گرم) شاید بتوان گفت که فشار مکانیکی- متابولیکی و یا اکسایشی- التهابی ناشی از انجام تنها یک وهله فعالیت پرتوان، می‌تواند زمینه‌های لازم برای لیپولیز و افزایش اکسایش چربی پس از فعالیت را فراهم کند و دیگر نیازی به انجام وهله‌های بیشتر نباشد (جدول ۲). زیرا، برپایه سازوکارهای درگیر در چربی سوزی می‌توان ادعا کرد که انباشت بیشتر لاکتات در فعالیت‌های پرشدت با تکرار وهله‌های بیشتر شاید با اعمال اثر مهاری بر آنزیم کارنتین آسیل کوا ترانسفراز تا اندازه‌ای از اکسایش چربی جلوگیری کند (تراپ و بوچر[3] ۲۰۰۷). افزون بر این، در برخی مطالعات پیشین اشاره شده که میزان فعالیت و فعال ماندن AMPK و ACC پس از فعالیت‌های یک و دو وهله‌ای مبتنی بر وینگیت کم و بیش مشابه است (فونتس و دیگران، ۲۰۱۲; متکالف و دیگران، ۲۰۱۵). البته، نباید فراموش کرد که میزان EPOC و هزینه انرژی روزانه، می‌تواند با افزایش بسامد بازیافت‌های پس از فعالیت‌های پرشدت مبتنی بر وینگیت یک وهله‌ای (با بسامد بازیافتی بیش از ۱ الی ۴ ساعت در روز در چارچوب فعالیت‌های میان وعده ای[4]، به میزان بیشتری افزایش یابد (لیتل[5] و دیگران، ۲۰۱۹). افزون بر این، پاسخ‌های فرایندهٔ ترشحات کاتکولامینی، کورتیزول و هورمون رشد ناشی از انجام این گونه فعالیت‌ها، گویا با پاسخ کاهنده سازوکارهای درگیر در اشتها و افت جذب روده ای درشت مغذی ها، زمینه منفی‌تر شدن تراز انرژی روزانه و اکسایش چربی بیشتری را فراهم نماید (هازل و دیگران، ۲۰۱۷). با این همه، به دلیل تناقضات و ابهامات موجود در این زمینه هنوز نمی‌توان این باور را بی‌چون‌وچرا تأیید کرد.

نتیجه‌گیری : برپایه یافته‌های این پژوهش می‌توان گفت که افراد چاق یا مبتلا به اضافه وزن می‌توانند از سودمندی افزایش EPOC و هزینه انرژی ناشی از انجام یک یا دو وهله فعالیت سرعتی مبتنی بر وینگیت، در راستای افزایش اکسایش چربی بهره‌مند شوند.

نسخه پیش از انتشار ویرایش نشده

[1] Hargreaves & Spriet
[2] Achten & Jeukendrup
[3] Trapp & Boutcher
[4] Exercise Snack
[5] Little

Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport

افزون بر این، با وجود نبود تفاوت‌های چشمگیر در برخی از شاخص‌های وابسته به اکسایش چربی در فعالیت یک و دو وهله‌ای، می توان گفت برای کسانی که با کمبود وقت روبرو هستند، انجام تنها یک یا دو وهله فعالیت سرعتی-پرتوان (تناوبی) مبتنی بر وینگیت می‌تواند راهبرد مناسبی برای بهبود اکسایش چربی به شمار رود. هر چند، به دلیل برخی محدودیت‌ها و تنگناها مانند: بررسی نشدن اثرات درازمدت این گونه فعالیت‌ها، و همچنین با نگاه به رهنمودهای کالج پزشکی ورزشی آمریکا (مبنی بر انجام دست‌کم ۱۰ دقیقه فعالیت بدنی روزانه)، نمی‌توان تا روشن شدن اثرات گوناگون ناشی از انجام فعالیت‌های تناوبی سرعتی یا پرتوان، جنبه‌های احتیاطی و دوراندیشانه را نادیده گرفت.

تعارض منافع

بدین وسیله نویسندگان این مقاله اعلام می دارند که هیچ گونه تعارض و منافعی در خصوص این پژوهش وجود ندارد.

قدردانی و تشکر

پژوهش حاضر با دریافت حمایت مالی از دانشگاه شهید بهشتی و صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران ایران[1](INSF) انجام شده است؛ لذا، بدین وسیله نویسندگان مقاله حاضر، مراتب سپاس و قدردانی خود را از صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (کد ۴۰۰۳۸۲۱)، دانشگاه شهید بهشتی، و دانشکده علوم ورزشی و تندرستی دانشگاه شهید بهشتی، اعلام می‌دارد. افزون بر این، نویسندگان از همه شرکت‌کنندگانی که در راستای پاسخ به برخی از موضوعات و ابهامات موجود وابسته به چاقی/اضافه وزن، متعهدانه در همه مراحل اجرای این پژوهش به عنوان آزمودنی داوطلب شرکت داشتند، سپاسگزاری می‌نمایند.

منابع

Achten, J., Gleeson, M., & Jeukendrup, A.E. (2002). Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 34(***1),** **92-97 .** **https://doi.org/10.1080/02640414.2013.815360**

Amaro-Gahete, F. J., Jurado-Fasoli, L., Triviño, A. R., Sanchez-Delgado, G., Helge, J. W., & Ruiz, J. R. (2019). Diurnal variation of maximal fat-oxidation rate in trained male athletes. *International journal of sports physiology and performance, **14***(8), **1140-1146** .**https://doi.org/10.1123/ijspp.2018-0854**

Aslankeser, Z., & Balcı, Ş. S. (2018). The acute effect of a single exhaustive sprint exercise session on post-exercise fat oxidation rate. *Biomedical Human Kinetics, **10**,* **118 - 126.** **https://doi.org/10.1515/bhk-2018-0018**

Burns, S. F., Oo, H. H., & Tran, A. T. T. (2012). Effect of sprint interval exercise on postexercise metabolism and blood pressure in adolescents. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism, **22***(1), **47-54.** **https://doi.org/10.1123/ijsnem.22.1.47**

Chan, H. H., & Burns, S. F. (2013). Oxygen consumption, substrate oxidation, and blood pressure following sprint interval exercise. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism, **38***(2), **182-187** .**https://doi.org/10.1139/apnm-2012-0136**

Fritzen, A. M., Broskey, N. T., Lundsgaard, A. M., Dohm, G. L., Houmard, J. A., & Kiens, B. (2022). Regulation of Fatty Acid Oxidation in Skeletal Muscle During Exercise: Effect of Obesity. In *Exercise Metabolism* **(pp. 161-188).** Cham: Springer International Publishing. **https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-94305-9_8**

[1] The Iran National Science Foundation (INSF)

نسخه پیش از انتشار ویرایش نشده

Fuentes, T., Guerra, B., Ponce-González, J. G., Morales-Alamo, D., Guadalupe-Grau, A., Olmedillas, H., . . . Fernández-Pérez, L. (2012). Skeletal muscle signaling response to sprint exercise in men and women. *European Journal of Applied Physiology,* ***112*****, 1917-1927 .https://doi.org/10.1007/s00421-011-2164-0**

Hargreaves, M., & Spriet, L. L. (2020). Skeletal muscle energy metabolism during exercise. ***Nature Metabolism, 2*****(9), 817-828 . https://doi.org/10.1038/s42255-020-0251-4**

Hazell, T. J., Islam, H., Hallworth, J. R., & Copeland, J. L. (2017). Total PYY and GLP-1 responses to submaximal continuous and supramaximal sprint interval cycling in men. *Appetite,* ***108,*** **238-244 . https://doi.org/10.1016/j.appet.2016.10.006**

Hazell, T. J., Olver, T. D., Hamilton, C. D., & Lemon, P. W. (2012). Two minutes of sprint-interval exercise elicits 24-hr oxygen consumption similar to that of 30 min of continuous endurance exercise. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism,* ***22*****(4), 276-283 . https://doi.org/10.1123/ijsnem.22.4.276**

Hill, J. O., Wyatt, H. R., Reed, G. W., & Peters, J. C. (2003). Obesity and the environment: where do we go from here? *Science,* ***299*****(5608), 853-855 .DOI: 10.1126/science.1079857**

Islam, H., Townsend, L. K., & Hazell, T. J. (2018). Excess postexercise oxygen consumption and fat utilization following submaximal continuous and supramaximal interval running. *Research Quarterly for Exercise and Sport,* ***89*****(4), 450-456. https://doi.org/10.1080/02701367.2018.1513633**

Jung, W.-S., Hwang, H., Kim, J., Park, H.-Y., & Lim, K. (2020). Effect of accumulated vs continuous exercise on excess post-exercise oxygen consumption. *Ethiopian Journal of Health Development,* ***34*****.(3). https://www.ajol.info/index.php/ejhd/article/view/198767.**

Little, J. P., Langley, J., Lee, M., Myette-Côté, E., Jackson, G., Durrer, C., . . . Jung, M. E. (2019). Sprint exercise snacks: a novel approach to increase aerobic fitness. *European Journal of Applied Physiology,* ***119*****(5), 1203-1212 . https://doi.org/10.1007/s00421-019-04110-z.**

Matthew Laurent, C., Meyers, M. C., Robinson, C. A., & Matt Green ,J. (2007). Cross-validation of the 20-versus 30-s Wingate anaerobic test. *European Journal of Applied Physiology,* ***100*****(6), 645-651 . https://doi.org/10.1007/s00421-007-0454-3**

Metcalfe, R. S., Babraj, J. A., Fawkner, S. G., & Vollaard, N. B. (2012). Towards the minimal amount of exercise for improving metabolic health: beneficial effects of reduced-exertion high-intensity interval training. *European Journal of Applied Physiology,* ***112*****(7), 2767-2775 . https://doi.org/10.1007/s00421-011-2254-z**

Metcalfe, R. S., Koumanov, F., Ruffino, J. S., Stokes, K. A., Holman, G. D., Thompson, D., & Vollaard, N. (2015). Physiological and molecular responses to an acute bout of reduced-exertion high-intensity interval training (REHIT). *European Journal of Applied Physiology,* ***115*****, 2321-2334 . https://doi.org/10.1007/s00421-015-3217-6**

Panissa, V. L., Fukuda, D. H., Staibano, V., Marques, M., & Franchini, E. (2021). Magnitude and duration of excess of post-exercise oxygen consumption between high-intensity interval and moderate-intensity continuous exercise: A systematic review. *Obesity Reviews,* ***22*****(1), e13099 . https://doi.org/10.1111/obr.13099**

Ramírez-Maldonado, M., Jurado-Fasoli, L,. Del Coso, J., R. Ruiz, J., & Amaro-Gahete, F. J. (2021). Caffeine increases maximal fat oxidation during a graded exercise test: is there a diurnal variation? *Journal of the International Society of Sports Nutrition,* ***18*****(1), 5 . https://doi.org/10.1186/s12970-020-00400-6**

Sevits, K. J., Melanson ,E. L., Swibas, T., Binns, S. E., Klochak, A. L., Lonac, M. C., . . . Smith, A. M. (2013). Total daily energy expenditure is increased following a single bout of sprint interval training. *Physiological reports,* ***1*****(5) . https://doi.org/10.1002/phy2.131**

Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport

Stroebele, N., Hill, J. O., & Willich ,S. N. (2011). Identifying the energy gap in the German population using results from representative national health surveys (1985–2002). *Public health nutrition,* ***14*****(1), 44-48 .** **https://doi.org/10.1017/S1368980010000686**

Townsend, J. R., Stout, J. R., Morton, A. B., Jajtner, A. R., Gonzalez, A. M ,.Wells, A. J., . . . Robinson IV, E. H. (2013). Excess post-exercise oxygen consumption (EPOC) following multiple effort sprint and moderate aerobic exercise. *Kinesiology,* ***45*****(1), 16 .https://stars.library.ucf.edu/facultybib2010/4767**

Trapp, E. G., Chisholm, D. J., & Boutcher, S. H. (2007). Metabolic response of trained and untrained women during high-intensity intermittent cycle exercise. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* **.https://doi.org/10.1152/ajpregu.00780.2006**

Tucker, W. J., Angadi, S. S., & Gaesser, G. A. (2016). Excess postexercise oxygen consumption after high-intensity and sprint interval exercise, and continuous steady-state exercise. *Journal of strength and conditioning research,* ***30*****(11), 3090-3097 .** **https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001399**

Whyte, L. J., Ferguson, C., Wilson, J., Scott, R. A., & Gill, J. M. (2013). Effects of single bout of very high-intensity exercise on metabolic health biomarkers in overweight/obese sedentary men. *Metabolism,* ***62*****(2), 212-219 .** **https://doi.org/10.1016/j.metabol.2012.07.019**

Williams, C. B., Zelt, J. G., Castellani, L. N., Little, J. P., Jung, M. E., Wright, D. C., . . . Gurd, B. J .(2013) .Changes in mechanisms proposed to mediate fat loss following an acute bout of high-intensity interval and endurance exercise. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism,* ***38*****(12), 1236-1244 .** **https://doi.org/10.1139/apnm-2013-0101**

نسخه پیش از انتشار ویرایش نشده