University of Birjand

Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport Research Paper

Winter 2024, 12(32), 8-18

Received: Nov 22, 2023 Revised: Jan 03, 2024 Accepted: Jan 08, 2024

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[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 at Department of Biological Sciences in Sport, Faculty of Sport Sciences and Health, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Abstract

Background and Aim: Based on 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 (mean 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 (at speed 60-70 RPM) with an exercise-to-recovery ratio 1:1 with or without a quarter of 7.5 percent of body weight that continued cycling at 60 RPM with no resistance for three minutes. The data were analyzed using paired-t and repeated ANOVA tests at a significance level of $p \leq 0.05$. **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. 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. However, no significant difference were found in RER between the two protocols. **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.

Cite this article:
Tataro, B., & Jafari, A. (2024). Effect of one-and two-high-intensity Wingate-based exercise on fat oxidation in overweight/ obese men. *Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport, 12***(32), 8-18.**

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

https://doi.org/10.22077/jpsbs.2024.6977.1836

Copyright: © 2022 by the authors. Licensee **Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport (JPSBS)**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

نشریه مطالعات کاربردی علوم‌زیستی در ورزش مقاله پژوهشی
زمستان ۱۴۰۳، دوره ۱۲، شماره ۳۲، ص ۱۸-۸
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۰۱ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۸

اثر یک و دو وهله فعالیت ورزشی پرشدت مبتنی بر آزمون 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.

چکیده

زمینه و هدف: با وجود پژوهش‌های متناقض در زمینه اکسایش چربی ناشی از فعالیت‌های سرعتی- توانی با وهله‌های کم‌تر از ۴-۳ بار در 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 ۲۰ – ثانیه‌ای مبتنی بر آزمون وینگیت (20-sec WBE) یک و دو وهله‌ای، در مردان 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 (میانگین سن ۳/۱±۳۵/۸ سال) داوطلب دارای اضافه وزن و یاچاق (شاخص توده بدنی بیش از ۲۵ کیلوگرم بر متر مربع) انجام شد. داده‌های گازهای تنفسی قبل، حین و ۳۰ دقیقه پس از فعالیت 20-sec WBE یک و دو وهله‌ای اندازه‌گیری گردید. گرم کردن در هر دو روش و بازیافت مابین دو وهله 20-sec WBE، شامل: ۳۰ ثانیه رکاب‌زنی (با سرعت ۷۰-۶۰ دور/دقیقه) با باری معادل یک چهارم ۷/۵ درصد وزن بدن و نسبت فعالیت به بازیافت ۱:۱ بدون بار بود که با یک دوره رکاب‌زنی سه دقیقه‌ای بدون بار (با سرعت ۶۰ دور/دقیقه) ادامه یافت. داده‌ها با استفاده از آزمون‌های t زوجی و تحلیل واریانس با اندازه گیری مکرر در سطح معنی‌داری $p\leq0/05$ بررسی شد. **یافته‌ها:** هزینه انرژی تام و دوره بازیافت، EPOC، و اکسایش کربوهیدرات تام در روش دو وهله‌ای به طور معنی‌دار بیشتر از روش یک وهله‌ای بود؛ در حالی که تفاوت معنی‌داری بین اکسایش چربی نقطه‌ای و تام (از ابتدای گرم کردن تا انتهای دوره بازیافت ۳۰ دقیقه‌ای)، مشاهده نشد. همچنین، تفاوت RER دوره بازیافت، فعالیت یک و دو وهله‌ای معنی‌دار نبود. **نتیجه‌گیری:** افزایش EPOC و هزینه انرژی روزانه پس از انجام تنها یک یا دو وهله فعالیت مبتنی بر آزمون وینگیت (۴۰-۲۰ ثانیه/روز)، می‌تواند راهبرد مناسبی برای بهبود اکسایش چربی برای افراد دارای اضافه وزن/چاق با محدودیت زمانی برای ورزش باشد.

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 الکترونیک: af_jafari@sbu.ac.ir
https://doi.org/10.22077/jpsbs.2024.6977.1836

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 در 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) به دنبال فعالیت های پرشدت کوتاه مدت چهار تا شش وهله‌ای (تاکر[6] و دیگران، ۲۰۱۶؛ ایسلام و دیگران[7]؛ ۲۰۱۸)، و همچنین، کاهش اشتها و تراز انرژی منفی بیشتر ناشی از این گونه فعالیت‌ها؛ بسیاری از پژوهشگران بر این باورند که احتمالا تجویز فعالیت‌های تناوبی پرشدت یا سرعتی – توانی، راهبرد بهینه‌تری برای افراد چاق است (هازل[8] و دیگران، ۲۰۱۲؛ ایسلام و دیگران، ۲۰۱۸؛ تونسند[9] و دیگران، ۲۰۱۳؛ تاکر و دیگران، ۲۰۱۶؛ وایت و فرگوسن[10]، ۲۰۱۳). هر چند، با در نظر گرفتن برخی از پاسخ‌های وابسته به دوز ورزشی[11] (یا پاسخ‌های وابسته به فشارهای مکانیکی - سوخت و سازی و اکسایشی- التهابی ناشی از ورزش)، هنوز تناقض ها و ابهاماتی زیادی در بین یافته‌های پیشین دیده می‌شود (فونتس[12] و دیگران، ۲۰۱۲؛ متکالف[13] و دیگران، ۲۰۱۵). افزون بر این، برخی از پژوهشگران بر این باورند که به دلیل پایین بودن میزان تاب‌آوری افراد چاق در برابر فعالیت تناوبی پرشدت با تکرار بالا (چهار تا شش وهله در هر جلسه) و بروز پیامدهای ناخوشایند ناشی از آن (برای نمونه، بروز مشکلات گوارشی)، احتمال دارد پایبندی به انجام این گونه ورزش ها به مخاطره بیفتد (تاکر و دیگران، ۲۰۱۶). البته، برخی یافته‌ها نشانگر آن است که انجام فعالیت‌های ورزشی مبتنی بر آزمون وینگیت (۲۰ الی ۳۰ ثانیه‌ای) با وهله‌های کمتر از دو بار هم می تواند با بهینه‌سازی پاسخ‌های هورمونی - سوخت و سازی و فعال سازی مسیرهای پیام رسانی وابسته به سوخت و ساز چربی (فعال سازی پروتئین کیناز وابسته به آدنوزین مونوفسفات[14] (AMPK) و آنزیم استیل کوآ کربوکسیلاز[15] (ACC)، به افراد چاق و مبتلا به اضافه وزن کمک کند (آسلانکسر و بالچی[16]، ۲۰۱۸؛ متکالف و دیگران، ۲۰۱۵) . برای نمونه، در پژوهشی (فونتس، ۲۰۱۲) نشان داده شد که احتمالا انجام یک وهله فعالیت مبتنی بر آزمون وینگیت، می تواند فشار مکانیکی- متابولیکی کافی برای تحریک پیام‌رسان های مرتبط با سوخت وساز همچون AMPK و ACC ایجاد کند، و شاید انجام فعالیت دو وهله‌ای وینگیت ۲۰ ثانیه‌ای (مت کالف، ۲۰۱۵)، برای بیان ژن ایزوفروم ناقل گلوکز-۴[17] (GLUT4) و هم فعال ساز یک آلفای گیرنده گامای فعال شونده با تکثیر کننده پروکسیزومی[18] (PGC1 alpha) تا ۱۸۰ دقیقه پس از فعالیت، کافی باشد (متکالف و دیگران، ۲۰۱۵).

با وجود پژوهش‌های اندک و کم‌وبیش ناهمسو در زمینه اکسایش چربی ناشی از انجام فعالیت‌های سرعتی- توانی با وهله‌های کمتر از سه تا چهار بار در هر جلسه، پژوهش حاضر، با هدف مقایسه تفاوت میزان EPOC، و اکسایش چربی/کربوهیدرات ناشی از انجام فعالیت‌های پرشدت مبتنی بر آزمون وینگیت ۲۰ ثانیه‌ای با یک و دو وهله (در روز) در مردان 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.

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
16. Aslankeser & Balcı
17. Glucose transporter 4
18. Peroxisome proliferator-activated receptor-gamma coactivator-1 alpha

روش تحقیق

تحقیق حاضر از نوع نیمه تجربی با رویکرد توسعه‌ای-کاربردی است. شرکت کنندگان در مطالعه مردان میانسال غیرفعال داوطلب چاق یا دارای اضافه وزن، از شهرتهران بودند. حجم یا اندازه نمونه بر اساس استفاده از آزمون تحلیل واریانس با اندازه گیری مکرر تک گروهی متقاطع (در دو حالت ناهمسان)، بر پایه آلفای پنج درصد، توان آزمون ۰/۸، اندازه اثر برهمکنشی برابر ۰/۳۶ (به تعداد گروه = ۲، شمار اندازه‌گیری = ۳، همبستگی بین اندازه‌گیری‌های مکرر = ۰/۵، و ضریب غیرکروی = ۱)؛ با نرم افزار جی-پاور[1] (ویراست ۳,۱,۹,۴) (آمارو-گتـه[2]، ۲۰۱۹) بررسی و به تعداد ۱۴ نفر برآورد شد. لذا از بین ۳۸ فرد داوطلب، ۱۴ نفر که شرایط ورود به مطالعه را داشتند، به طور تصادفی انتخاب شدند (مشخصات شرکت کنندگان در جدول یک آمده است). پس از تائید طرح از سوی کمیته اخلاق دانشگاه شهید بهشتی (با شناسه IR.SBU.REC.1400.169) داوطلبان با جزییات و شیوه اجرای پژوهش آشنا شدند. سپس بررسی های اولیه (یک هفته قبل از شروع پژوهش) بر پایه معیارهای ورود (داشتن سلامت قلبی - عروقی، عدم مصرف دخانیات، دارو و مکمل غذایی؛ و عدم استفاده از نوشیدنی الکلی طی شش ماه گذشته) صورت گرفت. ابتدا از بین ۳۸ نفر داوطلب که نمایه توده بدن (BMI) بالاتر از ۲۵ کیلوگرم بر متر مربع داشتند و برگه های مشخصات فردی و پرسشنامه سلامت را تکمیل نمودند، ۲۸ نفر برای حضور در جلسه آشنایی و اندازه گیری های اولیه فراخوانده شدند. پس از حضور داوطلبین در جلسه اندازه گیری های مقدماتی، شش نفر دیگر به دلیل برخورداری از دور شکم ۱۰۰ سانتی متر (اندازه گیری با متر نواری منعطف) و درصد چربی بالای ۳۰ درصد (اندازه گیری با استفاده از دستگاه InBody 770)؛ از طرح تحقیق کنار گذاشته شدند. در ادامه، با اندازه گیری اکسیژن مصرفی بیشینه (با استفاده از آزمون اصلاح شده مبتنی بر آستراند بر روی چرخ کارسنج[3]) و توان بی هوازی (با استفاده از آزمون توان بی‌هوازی وینگیت) ۲۲ نفر داوطلب باقی مانده، پنج نفر به دلیل داشتن ناهمگونی توان هوازی (بیشتر و کمتر از دامنه ۲۵ تا ۳۵ میلی لیتر در دقیقه به ازای هر کیلوگرم وزن بدن) و توان بی هوازی (بیشتر و کمتر از دامنه ۱۰۰۰-۶۵۰ وات) از ادامه پژوهش کنار گذاشته شدند. همچنین، دو نفر از داوطلبین به دلیل ناهمگونی در داده های آزمون بیشینه اکسایش چربی (یا MFO بالاتر و پایین تر از دامنه ۱۹-۱۱ گرم در ساعت) و یک نفر هم به دلیل ناتوانی در اجرای قراردادهای ورزشی (پژوهش حاضر)؛ کنار گذاشته شدند. سپس، برپایه اندازه‌گیری‌های اولیه یا زمینه‌ای (جدول یک)، و به طور تصادفی ساده (مبتنی بر نمره استاندارد Z کسب شده از وضعیت توان هوازی - بی‌هوازی و ترکیب بدنی)؛ شرکت کنندگان در قالب یک طرح متقاطع یک گروهی (دو وضعیتی) با یک هفته فاصله (پاکسازی[4]) دعوت شدند. به عبارت دیگر، با کمک داده‌های برگرفته از سه شاخص (درصد چربی، توده بدون چربی بدن، توان هوازی و بی هوازی)، یک داده استاندارد Z تهیه گردید و هر شرکت‌کننده به طور تصادفی ساده و یک در میان (از نمرات بالا به پایین)، در یک وضعیت دعوت شد (وضعیت اول: با ترتیب توالی فعالیت ورزشی یک وهله‌ای + دو وهله‌ای؛ وضعیت دوم: با ترتیب توالی فعالیت ورزشی دو وهله‌ای + یک وهله‌ای).

هر آزمودنی در حالت ناشتا، یک فعالیت یک یا دو وهله‌ای ۲۰ ثانیه‌ای سرعتی مبتنی بر آزمون وینگیت را در حالت ناشتای 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 دانشگاه شهید بهشتی، با شرایط دمایی ۲۵ درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی در دامنه ۵۵-۵۰ درصد؛ انجام داد. میزان دریافت انرژی به کمک برگه یادآمد غذایی ۲۴ ساعته (تکمیل شده طی دو 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[5]) برآورد گردید (تن هاف[6] و دیگران، ۲۰۱۴). همه آزمون‌های ورزشی در شرایط تزار انرژی روزانه صفر انجام شدند.

اندازه‌گیری‌های زمینه‌ای از جمله قد آزمودنی ها با استفاده از دستگاه قد سنج دیجیتال (Inbody -370 BSM)؛ وزن،

1. G-Power
2. Amaro-Gahete
3. Astrand bike- test
4. Wash-out
5. Cunninham
6. Ten Haaf

جدول ۱. ویژگی مردان چاق و مبتلا به اضافه وزن شرکت کننده در تحقیق

متغیرها	اندازه‌ها	متغیرها	اندازه‌ها
سن (سال)	۳۵/۳±۵۷/۰۳	ضربان قلب استراحتی (ضربه در دقیقه)	۷۸/۷±۲۸/۲۷
شاخص توده بدنی (کیلوگرم/متر مربع)	۲۷/۱±۶۵/۵۶	ضربان قلب بیشینه (ضربه در دقیقه)	۱۷۸/۱۱±۷۱/۸۴
توده چربی (کیلوگرم)	۲۲/۳±۲۰/۲۰	اوج توان (وات)	۷۴۸/۱۱۹±۵۸/۷۵
توده عضلانی (کیلوگرم)	۳۷/۴±۴۰/۶۵	فشار خون سیستولی (میلی متر جیوه)	۱۱۳/۱۱±۳۵/۴۲
دور کمر (سانتی متر)	۹۸/۴±۰۰/۲۴	فشار خون دیاستولی (میلی متر جیوه)	۷۳/۷±۶۴/۹۵
اکسیژن‌مصرفی‌بیشینه (میلی‌لیتر/کیلوگرم/دقیقه)	۲۹/۳±۸۵/۴۶	بیشینه اکسایش چربی (گرم در ساعت)	۱۵/۵±۱۴/۹۹

درصد چربی، توده چربی، و بدون چربی بدن با استفاده از دستگاه Inbody ۷۷۰؛ و فشار خون داوطلبین با استفاده از دستگاه فشار سنج دیجیتالی (BPBIO-320)؛ 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 MFO در روز بعدی (دوم) انجام شد. اکسیژن مصرفی بیشینه با استفاده از آزمون اصلاح شده مبتنی بر آستراند بر روی چرخ کارسنج (مونارک مدل ۸۳۹ ساخت کشور سوئد)، تعیین گردید. این آزمون با یک دوره گرم کردن سه دقیقه‌ای بدون اعمال مقاومت و با سرعت رکاب‌زنی ۷۰-۶۰ دور در دقیقه[1] (RPM) آغاز می‌شد و پس از آن، تا هنگام رسیدن به معیارهای واماندگی (نسبت تبادل تنفسی[2] یا RER بالاتر از ۱/۱، ضربان قلب بیشینه پیش بینی شده و یا ناتوانی در ادامه فعالیت)، به گونه ای ادامه می‌یافت که هر دو دقیقه (با همان سرعت رکاب‌زنی)، ۵۰ وات به مقاومت (بار) اعمال شده اضافه می‌شد.

توان بی‌هوازی با آزمون وینگیت ۲۰ ثانیه‌ای پس از پنج دقیقه گرم کردن روی چرخ کارسنج مونارک مدل ۸۹۴ (ساخت سوئد) انجام شد (ماتیو لائورنت[3] 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 بر پایه شیوه اجرا شده در پژوهش‌های پیشین طی سه دوره با سرعت رکاب‌زنی ۷۰-۶۰ دور در دقیقه، در طول پنج دقیقه انجام شد (ماتیو لورانت و دیگران، ۲۰۰۷).

فعالیت گرم کردن شامل دو دوره فعالیت مبتنی بر آزمون وینگیت ۳۰ ثانیه‌ای، با ۲۵ درصد بار پیشنهادی در آزمون اصلی (یک چهارم ۷/۵ درصد وزن بدن) و نسبت فعالیت به استراحت ۱:۱ به همراه سه دقیقه رکاب‌زنی بدون بار، پیش از آزمون بود.

آزمون MFO در یک روز دیگر و به گونه ای انجام شد که آزمودنی‌ها پس از مراجعه به آزمایشگاه، ابتدا ۳۰ دقیقه در حالت استراحت و خوابیده قرار گرفتند؛ سپس، مدت سه دقیقه بر روی چرخ کارسنج مونارک مدل ۸۳۹، بدون بار و با سرعت ۷۰-۶۰ دور در دقیقه، شروع به رکاب زدن کردند؛ به گونه ای که هر سه دقیقه، تا هنگام رسیدن به معیارهای واماندگی، ۲۵ وات به بار اعمالی اضافه شد (رامیرز- مالدوناندو[4] و دیگران، ۲۰۲۱).

فعالیت دو وهله‌ای شامل دو وهله فعالیت سرعتی - توانی مبتنی بر آزمون وینگیت ۲۰ ثانیه‌ای (با حداکثر توان) با یک دوره بازیافت فعال پنج دقیقه‌ای (مشابه گرم کردن سه مرحله‌ای در آزمون توان بی‌هوازی) بود که روی‌هم‌رفته، مدت ۱۰ دقیقه و ۴۰ ثانیه به طول انجامید (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 پنج دقیقه گرم کردن در نظر گرفته شد، به گونه ای که روی‌هم‌رفته، پنج دقیقه و ۲۰ ثانیه طول کشید. از آزمودنی‌ها خواسته شد 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 ۸-۷ انجام شد.

گازهای تنفسی با استفاده از دستگاه MetaLyzer 3B (ساخت شرکت Cortex آلمان)، از پنج دقیقه پیش از آزمون تا ۳۰

1. Revolutions per minute
2. Respiratory exchange ratio
3. Matthew Laurent
4. Ramírez-Maldonado

دقیقه پس از آزمون، به صورت پیوسته و ثانیه به ثانیه، اندازه گیری شد. با استفاده از این دستگاه هم میزان REP و هم میزان اکسایش کربوهیدرات و چربی، برآورد شد و به صورت گرم در دقیقه (یا گرم در ساعت) ثبت گردید.

پس از جمع آوری داده ها، با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۶، نتایج در سطح معنی‌داری p≤۰/۰۵ استخراج گردید. ابتدا وضعیت توزیع داده ها با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلک[1] بررسی گردید. سپس همه داده های برگرفته از گازهای تنفسی هشت نقطه‌ای (مقایسه میانگین داده‌های پیش و دوره های بازیافتی صفر تا ۳۰ دقیقه پس از فعالیت‌های یک و دو دوهله‌ای) با استفاده از آزمون تحلیل واریانس با اندازه گیری مکرر (تک گروهی متقاطع در دو وضعیت ناهمسان فعالیت ورزشی یک و دو وهله ای با تناوب یک هفته) و آزمون تعقیبی بونفرونی[2] تحلیل و مقایسه شدند. 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 t زوجی بهره‌برداری شد.

یافته‌ها

میانگین و انحراف استاندارد داده های فعالیت‌های یک و دو وهله‌ای به صورت نقطه‌ای و تراکمی (تجمعی)، در جدول های دو و سه گزارش شده است. میزان EPOC (p<۰/۰۳)، هزینه انرژی دوره بازیافت (p<۰/۰۱) و تام (کل فعالیت: از ابتدا گرم کردن تا انتهای دوره بازیافت ۳۰ دقیقه‌ای) (p<۰/۰۰۱)؛ و اکسایش کربوهیدرات (CHO- OX) تام (تراکمی در کل فعالیت؛ هشت نقطه زمانی اندازه گیری) (p<۰/۰۰۱) با اجرای روش فعالیت دو وهله‌ای، به طور معنی‌دار بیشتر از روش اجرای فعالیت یک وهله‌ای بود. با این همه، تفاوت بین اکسایش چربی (Fat- OX) نقطه‌ای پس از فعالیت (p=۰/۹۳، F=۰/۲۹)، CHO- OX نقطه‌ای پس از فعالیت (p=۰/۲۲، F=۱/۳۸) و Fat- OX تام (از ابتدا گرم کردن تا انتهای دوره بازیافت ۳۰ دقیقه‌ای) (p=۰/۴۶) با اجرای دو روش فعالیت (یک وهله ای و دو وهله ای) معنی‌داری نداشت. تفاوت RER پس از فعالیت (p=۰/۲۱، F=۱/۱۱) دوره بازیافت با اجرای روش فعالیت 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 آزمون وینگیت (به صورت تراکمی)

متغیرها	روش	مقدار شاخص	t زوجی	p
EPOC (لیتر)	دو وهله‌ای	۳/۶۲±۱/۵۴	۲/۳۶۳	۰/۰۳*
	یک وهله‌ای	۲/۴۴±۱/۱۲		
هزینه انرژی تام (فعالیت و بازیافت) (کیلوکالری)	دو وهله‌ای	۱۵۰/۸۹±۱۵/۵۹	۱۶/۴۶۱	۰/۰۰۱*
	یک وهله‌ای	۹۹/۲۰±۱۶/۵۹		
هزینه انرژی بازیافت (کیلوکالری)	دو وهله‌ای	۷۲/۳۲	۲/۷۱۲	۰/۰۱*
	یک وهله‌ای	۶۵/۵۷		
CHO- OX تام (فعالیت و بازیافت) (گرم)	دو وهله‌ای	۳۰/۴۷±۳/۱۷	۱۰/۹۶۱	۰/۰۰۱*
	یک وهله‌ای	۱۸/۴۳±۴/۴۱		
Fat- OX تام (فعالیت و بازیافت) (گرم)	دو وهله‌ای	۱/۵۱±۱/۰۳	-۰/۷۵۳	۰/۴۶
	یک وهله‌ای	۱/۷۸±۱/۲۳		
CHO- OX دوره بازیافت (گرم)	دو وهله‌ای	۱۴/۲۵±۱/۹۱	۱۰/۹۶۱	۰/۰۷
	یک وهله‌ای	۱۲/۵۱±۳/۲۶		
Fat- OX دوره بازیافت (گرم)	دو وهله‌ای	۰/۸۵±۰/۵۲	-۰/۶۲۴	۰/۵۴
	یک وهله‌ای	۱/۰۵±۰/۹۸		

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.

1. Shapiro–Wilk
2. Bonferroni

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	دو 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
	یک 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/دقیقه)	دو 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
	یک 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/دقیقه)	دو 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
	یک 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.

بحث

نتایج پژوهش حاضر، همسو با مطالعات پیشین نشان داد که فعالیت ورزشی پرتوان مبتنی بر آزمون وینگیت ۲۰ ثانیه‌ای (یک یا دو وهله‌ای)، می‌تواند هزینه انرژی و EPOC را به طور محسوسی افزایش دهد. در این راستا نشان داده شده که ۶-۴ 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 در ۳۰ دقیقه‌ای)، کم‌وبیش مشابه؛ و حتی در برخی موارد تا اندازه‌ای بیشتر از نتایج مطالعات (پیشین) تونسند و دیگران (۲۰۱۳) با ۵/ ۳۷ کیلوکالری؛ ویلیامز[1] و دیگران (۲۰۱۳) با ۴۰/۶ کیلوکالری؛ و چان و برنز[2] (۲۰۱۳) با ۶۴ کیلوکالری؛ پس از فعالیت با تکرار وهله‌های بیشتر و دوره بازیافت طولانی‌تر از دو ساعت است.

روی‌هم‌رفته، میزان EPOC و هزینه کالری اضافی پس از فعالیت ورزشی در پژوهش حاضر بیانگر آن است که حتی با انجام یک وهله فعالیت پرتوان مبتنی بر آزمون وینگیت ۲۰ ثانیه‌ای، هزینه انرژی طی دوره بازیافت ۳۰ دقیقه‌ای؛ به میزان چشمگیری بالا می رود. این تغییرات به منفی شدن تراز انرژی روزانه کمک می کند (آسلانکسر و بالچی، ۲۰۱۸؛ فونتس و دیگران، ۲۰۱۲). این فرآیندها به دلیل فعال شدن میانجی‌های زیست شیمیایی و مسیرهای پیام‌رسان وابسته به سوخت و ساز چربی (همانند فسفوریلاسیون AMPK و ACC) پس از انجام یک وهله فعالیت مبتنی بر آزمون وینگیت (فونتس و دیگران، ۲۰۱۲)؛ بازسازی ذخایر انرژی؛ بارگیری اکسیژن توسط میوگلوبین؛ بازسازی فسفاژن (ATP-PC)؛ بازپرداخت لاکتات به صورت گلوکز یا گلیکوژن (جانگ[3] و دیگران، ۲۰۲۰)؛ کاهش RER؛ و مشارکت بیشتر سوبستراهای انرژی زا مانند چربی‌ها؛ رخ می‌دهند. 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 تغییرات شاید نشانگر این باشد که فعالیت پرتوان یک وهله‌ای ۲۰ ثانیه‌ای مبتنی بر آزمون وینگیت، می‌تواند باعث افزایش سوخت و ساز چربی پس از فعالیت شود. از این رو، بر پایه یافته‌های پیشین باید اشاره داشت که هزینه انرژی نسبتاً بالا و جا به جایی اکسایش سوبستراها به سمت و سوی اکسایش چربی‌ها، طی دوره بازیافت ۲۴ ساعته پس از فعالیت‌های پرشدت، یک پدیده رایج به شمار می‌رود (هازل و دیگران، ۲۰۱۲؛ سویتز[5] و دیگران، ۲۰۱۳). با این همه، به دلیل تنگناهای اجرایی در پژوهش حاضر، بررسی تغییرات ۲۴ ساعته فعالیت‌های یک و دو وهله‌ای انجام شدنی نبود. بنابراین، برپایه یافته‌های پژوهش حاضر (جدول سه)، تنها می‌توان به این نکته اشاره داشت که اکسایش چربی ۲۰ دقیقه پس از فعالیت‌های پرتوان یک و دو وهله‌ای، آغاز می‌شود (به ترتیب با ۰/۱۰ و ۰/۱۱ گرم بر دقیقه). با این حال، بر اساس برخی یافته‌های قبل باید اشاره کرد که سهم بزرگ‌تر هزینه انرژی بازیافتی

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

و به ویژه 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 ای، بیشتر از راه سوخت و ساز بی‌هوازی تحت سوبسترا/گلیکولیز بی‌هوازی (نزدیک به ۸۰ درصد) صورت می گیرد؛ در حالی که نزدیک به یک پنجم آن، از مسیر گلیکولیز هوازی تأمین می‌شود (هارگراوس و سپریت[1]، ۲۰۲۰). بر مبنای 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 دو). 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 افراد شرکت کننده و همچنین حجم فعالیت‌های پرشدت یا مدت زمان بازیافت باشد. برای نمونه، افزایش اتکا به سوخت کربوهیدرات از مسیر بی‌هوازی در فعالیت‌های پرشدت، به ویژه در افراد ناآماده (به دلیل نبود سازگاری های مفید)، بیشتر از افراد آماده است (فریتزن و دیگران، ۲۰۲۲). در ضمن، نباید اثر مقاومت به چربی سوزی در افراد چاق یا مبتلا به اضافه وزن را نادیده گرفت؛ زیرا MFO در آزمودنی‌های پژوهش حاضر (نزدیک به ۰/۲ الی ۰/۳ گرم در دقیقه)، نسبت به افراد آماده (نزدیک به ۰/۷ - ۰/۶ گرم در دقیقه) (آتچن و جوکندروپ[2]، ۲۰۰۲)؛ به طور محسوسی پایین تر است.

برخی از پژوهشگران بر پایه نظریه متکالف و دیگران (۲۰۱۲ و ۲۰۱۵)، بر این باورند که اگر هدف انجام فعالیت سرعتی - تناوبی مبتنی بر آزمون وینگیت چند وهله‌ای، افزایش چربی سوزی باشد؛ تنها انجام دو وهله فعالیت سرعتی-پرتوان تناوبی، کفایت می‌کند. هر چند، نتایج برخی از مطالعات با این باور همسو نیست (ایسلام و دیگران، ۲۰۱۸). با نبود تفاوت چشمگیر میزان اکسایش چربی پس از فعالیت یک و دو وهله‌ای در پژوهش حاضر (به ترتیب 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 نماید و دیگر نیازی به انجام وهله‌های بیشتر نیست. بر پایه سازوکارهای درگیر در چربی سوزی می‌توان ادعا کرد که انباشت بیشتر لاکتات در فعالیت‌های پرشدت با تکرار وهله‌های بزرگتر، با اعمال اثر مهاری بر آنزیم کارنتین آسیل ترانسفراز[3]، تا اندازه‌ای از اکسایش چربی جلوگیری می کند (تراپ و بوچر[4]، 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 آزمون وینگیت، کم و بیش مشابه است (فونتس و دیگران، ۲۰۱۲؛ متکالف و دیگران، ۲۰۱۵). این را هم نباید فراموش کرد که میزان EPOC و هزینه انرژی روزانه، می‌تواند با افزایش بسامد بازیافت‌های پس از فعالیت‌های پرشدت مبتنی بر آزمون وینگیت یک وهله‌ای (با بسامد بازیافتی بیش از ۴-۱ ساعت در روز در چارچوب فعالیت‌های میان وعده ای[5])، به میزان بیشتری افزایش یابد (لیتل[6] و دیگران، ۲۰۱۹). افزون بر این، پاسخ‌های فرآینده ترشحات کاتکولامینی، کورتیزول و هورمون رشد ناشی از انجام این گونه فعالیت‌ها؛ احتمالا از طریق سازوکارهای درگیر در اشتها و افت جذب روده ای درشت مغذی ها، زمینه منفی‌تر شدن تراز انرژی روزانه و اکسایش چربی بیشتری را فراهم می نماید (هازل و دیگران، ۲۰۱۷). با این همه، به دلیل تناقض ها و ابهام های موجود در این زمینه، هنوز نمی‌توان این فرض را به طور قطعی پذیرفت.

نتیجه‌گیری: بر پایه یافته‌های پژوهش حاضر 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 آزمون وینگیت، به منظور افزایش اکسایش چربی ها بهره‌مند شوند. افزون بر این، با وجود نبود تفاوت‌های چشمگیر در برخی از شاخص‌های وابسته به اکسایش چربی در فعالیت یک و دو وهله‌ای، می‌توان گفت برای کسانی که با کمبود وقت روبرو هستند، انجام تنها یک یا دو وهله فعالیت سرعتی - پرتوان (تناوبی) مبتنی بر آزمون وینگیت، می‌تواند راهبرد

1. Hargreaves & Spriet
2. Achten & Jeukendrup
3. Carnitine acyltransferases
4. Trapp & Boutcher
5. Exercise snack
6. Little

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 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؛ بدین‌وسیله 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 می‌دارند. 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, S.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 Ooesity. *In Exercise Metabolism,* **161-188.** Cham: Springer International Publishing. **https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-94305-9_8**

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

1. The Iran national science foundation

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. https://doi.org/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., Ruiz, J.R., & 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), **1-9. https://doi.org/10.1002/phy2.131.**

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

Ten Haaf, T., & Weijs, P. J. (2014). Resting energy expenditure prediction in recreational athletes of 18–35 years: confirmation of Cunningham equation and an improved weight-based alternative. *PloS One, 9*(10), e108460. https://doi.org/ 10.1371/journal.pone.0108460

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. 273*(6), 2370-2345. 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. ., 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

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی