

Original Article

Sprint exercise snacking versus volume-matched intermittent-sprint exercise: acute metabolic and hormonal responses in overweight men

Banipal Tataro^{ORCID}, Afshar Jafari*^{ORCID}

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

Abstract

Background and Purpose: Exercise snacking has recently emerged as a novel, time-efficient, and practical strategy for improving metabolic health and cardiometabolic outcomes. This approach typically involves the distribution of very brief bouts of high-intensity exercise across the day, aiming to maximize metabolic stimulation while minimizing total time commitment. Although exercise snacking may improve glycemic control, aerobic fitness, and energy expenditure, human data comparing the effect of sprint-based exercise snacking and volume-matched intermittent-sprint exercise performed within a single session are scarce and we aimed to compare the acute metabolic and hormonal responses to these two exercise protocols in overweight men.

Materials and Methods: In this randomized crossover design study 14 overweight men completed a single session of intermittent-sprint exercise (ISE), and a volume-matched intermittent-sprint exercise performed separately in the morning and afternoon (SES1 + SES2). Each sprint bout was based on a Wingate-style protocol. Respiratory gas exchange was continuously measured to assess excess post-exercise oxygen consumption (EPOC), respiratory exchange ratio (RER), and fat and carbohydrate oxidation, both cumulatively and at discrete time points, throughout a 30-minute recovery period following exercise. Venous blood samples were obtained at baseline, immediately post-exercise, and 30 minutes into recovery to determine concentrations of lactate, glucose, insulin, cortisol, the cortisol-to-insulin ratio, epinephrine, norepinephrine, glycerol, and non-esterified fatty acids (NEFA).

Results: The findings demonstrated that the exercise snacking condition elicited significantly greater increases in EPOC, total energy expenditure, and cumulative oxidation of both fat and carbohydrate substrates compared to the volume-matched intermittent-sprint exercise condition ($p < 0.05$). In contrast, glycolytic and sympathoadrenal responses, reflected by higher post-exercise lactate and catecholamine concentrations, were significantly higher immediately after the intermittent-sprint exercise session. Conversely, lipolytic markers, including circulating glycerol and NEFA concentrations, were significantly elevated during the late recovery phase following exercise snacking compared with intermittent-sprint

* Corresponding Author's E-mail: af_jafari@sbu.ac.ir

<https://doi.org/10.48308/joeppa.2026.243115.1428>

Received: 01/11/2025

Revised: 24/12/2025

Accepted: 31/12/2025



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

exercise ($p<0.05$). No significant differences were observed between conditions for mean RER or point-specific substrate oxidation rates during the recovery period.

Conclusion: These findings indicate that distributing sprint exercise across the day in the form of exercise snacks, despite identical total exercise volume and intensity, induces greater cumulative metabolic stimulation and post-exercise energy expenditure than performing the same workload within a single intermittent session. This pattern appears to promote a more favorable lipolytic environment during recovery, which may have implications for enhancing fat oxidation in overweight men.

Keywords: Exercise snacking; Intermittent-sprint exercise; EPOC; Substrate oxidation; Hormonal responses

How to cite this article: Tataro B, Jafari A. Sprint exercise snacking versus volume-matched intermittent-sprint exercise: acute metabolic and hormonal responses in overweight men. J Sport Exerc Physiol. 2025;18(4):119-137.

مقایسه فعالیت ورزشی سرعتی-پرتوان میان وعده‌ای و تناوبی هم حجم: پاسخ‌های حاد سوخت‌وسازی-هورمونی در مردان دارای اضافه وزن

بانیپال تاتارو^۱، افشار جعفری^{۲*}

گروه علوم زیستی ورزش، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

چکیده

زمینه و هدف: به تازگی فعالیت‌های ورزشی میان وعده‌ای به عنوان رویکردی نوین، کم‌زمان و کاربردی برای بهبود پیامدهای سوخت‌وسازی و تندرستی ارائه شده‌اند؛ به‌ویژه برای افرادی که به دلایل زمانی یا تحمل‌پذیری قادر به انجام جلسه‌های درازمدت تمرین نیستند. این الگوها همواره شامل اجرای وهله‌های بسیار کوتاه اما پرشدت فعالیت ورزشی در طول روز هستند و هدف آن‌ها بیشینه‌سازی تحریک سوخت‌وسازی با کمترین زمان خالص فعالیت است. با وجود یافته‌های روبه‌رشد درباره اثرات سودمند فعالیت‌های میان وعده‌ای بر مهار و کنترل گلوکز، آمادگی هوازی و هزینه انرژی، داده‌های انسانی درباره پاسخ‌های حاد سوخت‌وسازی-هورمونی این الگوها همچنان اندک است؛ به‌ویژه زمانی که با فعالیت‌های سرعتی-پرتوان تناوبی هم حجم مقایسه می‌شوند. از این‌رو، این پژوهش با هدف مقایسه پاسخ‌های حاد سوخت‌وسازی و برخی نشانگرهای هورمونی به فعالیت سرعتی-پرتوان میان وعده‌ای و تناوبی هم حجم در مردان دارای اضافه وزن انجام شد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش به صورت نیمه تجربی متقاطع با اندازه‌گیری مکرر انجام شد. چهارده مرد دارای اضافه وزن (با نمایه توده بدن بیش از ۲۵ کیلوگرم بر متر مربع) در دو شرایط آزمایشی جداگانه و به صورت تصادفی، با فاصله شست‌وشوی یک هفته‌ای شرکت کردند. شرایط آزمایشی شامل: یک وهله فعالیت سرعتی-پرتوان تناوبی (ISE) و دو وهله فعالیت سرعتی-پرتوان میان وعده‌ای هم حجم (SES1+SES2) در صبح و عصر بود که هر دو برپایه آزمون وینگیت طراحی شدند. اندازه‌گیری گازهای تنفسی برای تعیین اکسیژن مصرفی اضافی پس از ورزش (EPOC)، نسبت تبادل تنفسی (RER) و اکسایش چربی و کربوهیدرات به صورت تراکمی و نقطه‌ای تا ۳۰ دقیقه دوره بازیافت انجام شد. نمونه‌های خونی در سه زمان (پیش از فعالیت، بلافاصله پس از فعالیت و ۳۰ دقیقه پس از فعالیت) برای سنجش لاکتات، گلوکز، انسولین، کورتیزول، نسبت کورتیزول به انسولین، اپی‌نفرین، نوراپی‌نفرین، گلیسرول و اسیدهای چرب غیراستریفه شده (NEFA) جمع‌آوری شد. داده‌ها با استفاده از آزمون‌های تحلیل واریانس مکرر یک‌طرفه و دوطرفه در سطح معناداری کمتر از ۵ صدم تحلیل شدند.

نتایج: یافته‌های پژوهش نشان داد که افزایش پاسخ EPOC، هزینه انرژی تام (کل فعالیت و دوره بازیافت) و اکسایش تجمعی سوبستراهای سوختی در الگوی فعالیت میان وعده‌ای به‌طور معناداری بیشتر از فعالیت سرعتی-پرتوان تناوبی هم حجم بود ($P<0/05$). در مقابل، پاسخ‌های گلیکولیتیک و سمپاتوآدرنالی، شامل افزایش لاکتات و کاتکولامین‌ها، بلافاصله پس از فعالیت در الگوی سرعتی-پرتوان تناوبی چشمگیرتر بود. از سوی دیگر، پاسخ‌های لیپولیتیک، به‌ویژه افزایش غلظت گلیسرول و NEFA در پایان دوره بازیافت، در الگوی میان وعده‌ای به‌طور معناداری بیشتر دیده شد ($P<0/05$). تفاوت معناداری در RER و مقادیر اکسایش نقطه‌ای چربی و کربوهیدرات طی دوره بازیافت بین دو الگو دیده نشد.

نتیجه‌گیری: یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که توزیع زمانی فعالیت‌های سرعتی-پرتوان در قالب میان وعده‌های ورزشی، با

* رایانامه نویسنده مسئول: af_jafari@sbu.ac.ir

وجود همسان‌سازی حجم و شدت کلی فعالیت بدنی، می‌تواند پاسخ‌های تجمعی سوخت‌وسازی و هزینه انرژی بیشتری نسبت به اجرای همان حجم فعالیت در قالب یک وهله تناوبی ایجاد کند. این الگو با ایجاد محیط لیپولیتیکی مساعدتر در دوره بازیافت، شاید به‌عنوان رویکردی کم‌زمان و بالقوه مؤثر برای بهبود اکسایش چربی و وضعیت سوخت‌وسازی در مردان دارای اضافه وزن مورد توجه قرار گیرد. با این همه، بررسی اثرات درازمدت و پنجره‌های بازیافت طولانی‌تر برای تأیید پیامدهای بالینی و ترکیب بدن ضروری است.

واژه‌های کلیدی: فعالیت میان‌وعده ورزشی؛ فعالیت سرعتی-پرتوان تناوبی؛ EPOC؛ اکسایش سوپسترا؛ پاسخ‌های هورمونی

نحوه استناد به این مقاله: تاتارو ب، جعفری ا. مقایسه فعالیت ورزشی سرعتی-پرتوان میان‌وعده‌ای و تناوبی هم‌حجم: پاسخ‌های حاد سوخت‌وسازی_هورمونی در مردان دارای اضافه‌وزن. نشریه فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی. ۱۴۰۴؛ ۱۸(۴): ۱۱۹-۱۳۷.

مقدمه

اضافه وزن و چاقی به عنوان یک اختلال سوخت و سازی-اپی ژنتیکی و یک چالش بهداشت عمومی در سراسر دنیاست که در اثر برهم خوردن تراز انرژی روزانه (تداوم تراز انرژی مثبت و کاهش توان اکسایش چربی) بروز می کند؛ بنابراین، یکی از هدف های کلیدی در برنامه های مداخله ای، افزایش هزینه انرژی روزانه و بهبود روند چربی سوزی در پاسخ به انواع فعالیت های ورزشی است (۴-۱). با وجود سودمندی های شناخته شده فعالیت های هوازی تداومی، پایداری بسیاری از افراد دارای اضافه وزن به تمرین های درازمدت به دلیل کمبود وقت، خستگی، یا محدودیت های پیکری پایین است. در این چارچوب، رویکردهای کوتاه مدت پرشدت فعالیت های ورزشی به عنوان گزینه های «کم زمان و پُر بازده» مطرح شده اند؛ زیرا می توانند هم اکسیژن مصرفی اضافی پس از ورزش^۱ (EPOC) و هم تغییرات سوخت و سازی دوره بازیافت را بهبود ببخشند (۸-۵). یافته های مقالات مروری نشان می دهد که فعالیت های تناوبی پرشدت و به ویژه فعالیت های سرعتی-پرتوان می توانند EPOC را نسبت به فعالیت تداومی ایزوکالری (هم انرژی) افزایش دهند و از این مسیر، هزینه انرژی پس از فعالیت ورزشی را بالا ببرند (۹-۶).

با این همه، الگوهای رایج فعالیت های سرعتی-تناوبی همواره نیازمند تکرارهای متعدد (چندباره) و تحمل فشار ادراک شده بالا هستند و همین نکته می تواند برای افراد دارای اضافه وزن، چالش برانگیز باشد (۱۱، ۱۰). به همین دلیل، چند سالی است که مفهوم "فعالیت بدنی میان وعده ای یا میان وعده ورزشی"^۲ مطرح شده است: انجام وهله های بسیار کوتاه پرشدت در طول روز با تناوب ها زمانی یا بازیافتی چند ساعته. این رویکرد، از دید «زمان خالص فعالیت بدنی» بسیار

اقتصادی گزارش شده است و در پژوهش های انسانی، پیامدهای امیدوارکننده ای بر کنترل قند خون و حساسیت به انسولین نشان داده است؛ انجام میان وعده های ورزشی پیش از وعده های غذایی توانسته نشانگرهای کنترل گلوکز را بهبود دهد (۱۵-۱۲). افزون بر این، «میان وعده های فعالیتی یا ورزشی» در قالب های کاربردی تر (مانند بالا رفتن از پله) نیز بررسی شده و تغییرات مطلوبی در نشانگرهای سوخت و سازی گزارش شده است (۱۶، ۱۷). همچنین، اجرای برنامه های «میان وعده های ورزشی سرعتی-پرتوان» به عنوان راهکاری برای بهبود آمادگی هوازی پیشنهاد شده و در برخی پژوهش ها افزایش ظرفیت هوازی با زمان تمرین بسیار کم دیده شده است (۲۱-۱۸).

از دیدگاه سازوکارهای احتمالی، افزایش EPOC و نوسانات سوخت و سازی در دوره بازیافت می تواند با تنظیم مسیرهای سلولی وابسته به حسگر انرژی وابسته به cAMP (AMPK^۳)، فعال سازی PKA^۴ (فسفریلاسیون پرلپین^۵ و آنزیم های لیپازی ATGL^۶ و HSL^۷) و مهار ACC^۸ (مهارکننده لیپوژنز) با پاسخ های حاد هورمونی-هورمونی-عصبی هم راستا باشد (۲۳، ۲۲). در این راستا، نشان داده شده است که پاسخ های سوخت و سازی-هورمونی به فعالیت های بدنی هم انرژی با الگوی شدت متفاوت می تواند یکسان نباشد؛ برای نمونه، مقایسه فعالیت تناوبی پرشدت با فعالیت تداومی متوسط در شرایط هم انرژی، تفاوت هایی در پاسخ های سوخت و سازی-هورمونی ایجاد می کند (۲۳). همچنین، الگوی «تمرین پرشدت کم حجم» می تواند پاسخ های فیزیولوژیک چشمگیری در پی داشته باشد که از دید طراحی مداخلات کوآدمت برای افراد دارای اضافه وزن جذاب است (۲۴، ۲۵).

نوبت دو وهله‌ای در روز) بر پاسخ‌های حاد سوخت‌وسازی (مانند: RER و اکسایش سوبستراها) و هورمونی در مردان دارای اضافه‌وزن طراحی شد تا به برخی ابهامات ایجاد شده پاسخ مناسب و متناسبی ارائه کند.

روش پژوهش

نمونه‌های پژوهش: آزمودنی‌ها در این پژوهش بر پایه معیارهای رهیافت به پژوهش، از بین مردان میانسال (۳۳ تا ۳۶ سال)، داوطلب غیرورزشکار با نمایه توده بدنی بین ۲۶ تا ۲۸ **کیلوگرم بر متر مربع** برگزیده شدند (جدول ۱، شکل ۱ و ۲). پس از آشنایی کامل با جزئیات پژوهش، همگی برگه‌های رضایت‌نامه آگاهانه (در جلسه آشناسازی) امضاء و آمادگی خود را برای شرکت در پژوهش کتباً اعلام کردند.

با وجود این پیشرفت‌ها، هنوز یک ابهام مهم و چالش بزرگ باقی مانده است که اگر حجم کل فعالیت بدنی ثابت باشد، آیا توزیع فعالیت‌های سرعتی_پرتوان به دو نوبت میان‌وعده‌ای در روز (برای نمونه، صبح و عصر) می‌تواند پاسخ‌های سوخت‌وسازی_هورمونی پس از فعالیت را نسبت به اجرای یک جلسه تناوبی هم‌حجم تغییر دهد؟ به ویژه، با توجه به اینکه داده‌های مستقیم درباره مقایسه «دو نوبت تک‌وهله‌ای (میان‌وعده‌ای)» با «یک نوبت تناوبی هم‌حجم» در بخش اکسایش چربی/کربوهیدرات، ^۹RER و پاسخ‌های هورمونی پس از فعالیت بدنی در افراد دارای اضافه‌وزن، محدود است (۱، ۲۶، ۲۷). بنابراین، این پژوهش برای نخستین‌بار در ایران، با هدف مقایسه اثر یک الگوی فعالیت ورزشی سرعتی_پرتوان میان‌وعده‌ای مبتنی بر آزمون وینگیت (دو نوبت تک وهله‌ای در روز) و تناوبی هم‌حجم (یک

جدول ۱. دامنه نمایه‌های پیکری (توده بدون چربی و ماهیچه اسکلتی)، اوج توان هوازی، بی‌هوازی و بیشینه اکسایش چربی

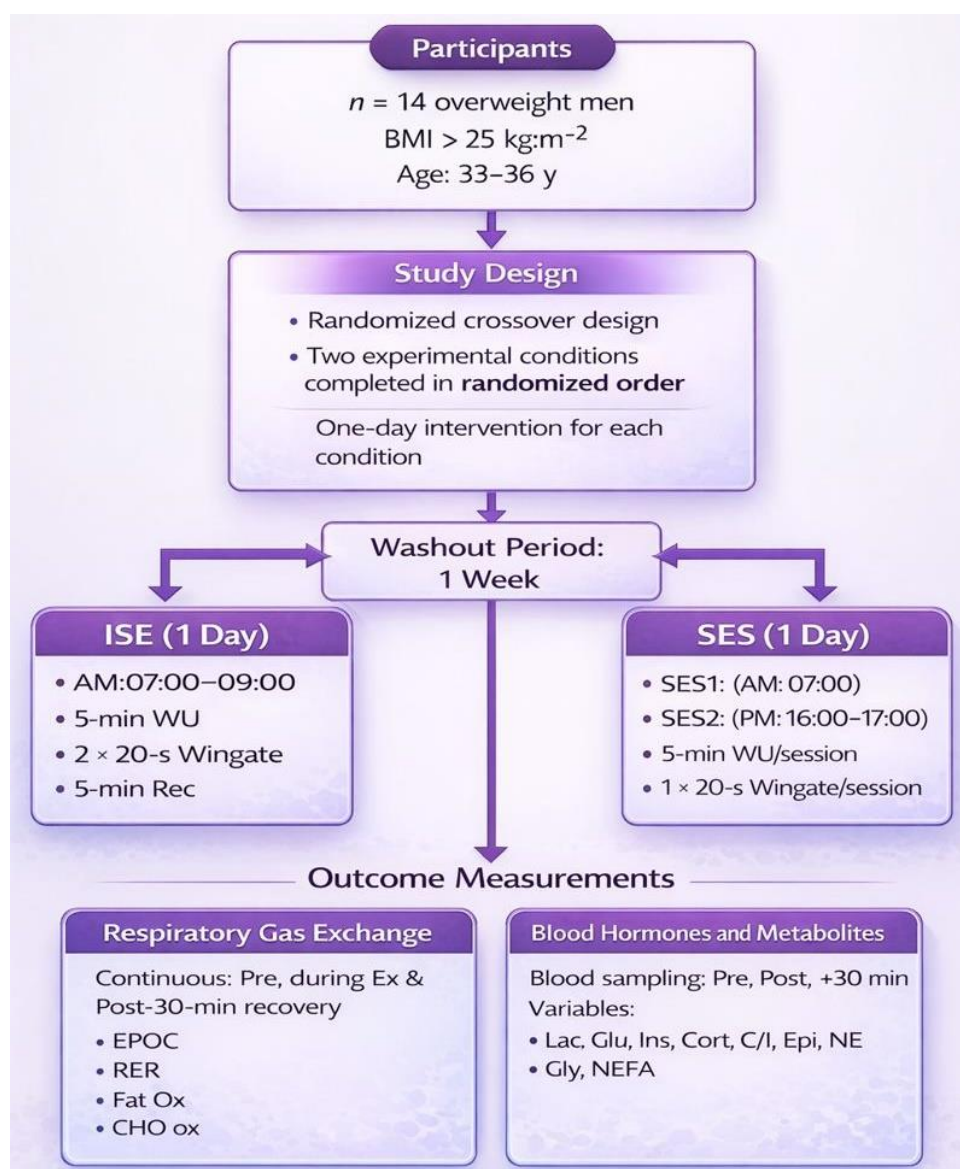
نمایه‌ها	دامنه
توده ماهیچه اسکلتی (کیلوگرم)	۳۴/۴۰-۷۱/۰۸
توده بدون چربی (کیلوگرم)	۶۱/۷۰-۲۲/۱۹
اوج توان مطلق (وات)	۶۷۹/۸۱۷-۴۳/۷۲
اوج اکسیژن مصرفی (میلی‌لیتر/کیلوگرم/دقیقه)	۲۷/۳۱-۸۵/۸۵
بیشینه اکسایش چربی (گرم در ساعت)	۱۱/۱۸-۶۷/۶۰

برپایه یک طرح پژوهشی متقاطع، هر آزمودنی می‌بایست در دو روز جداگانه (با یک هفته فاصله) در دو شرایط متفاوت: یعنی دو وهله تک نوبتی فعالیت میان‌وعده ورزشی سرعتی_پرتوان مبتنی بر آزمون وینگیت (میان-وعده‌های ورزشی صبح و عصر: SES1+SES2) و یک وهله دو نوبتی فعالیت سرعتی_پرتوان تناوبی (ISE) هم‌حجم با میان‌وعده‌های ورزشی شرکت می‌کرد. به عبارتی، اگر هر آزمودنی در هفته نخست در مداخله میان‌وعده‌های ورزشی شرکت می‌داشت، در هفته بعد در مداخله سرعتی_پرتوان تناوبی شرکت می‌کرد؛ اما اگر در هفته نخست در مداخله سرعتی_پرتوان تناوبی شرکت

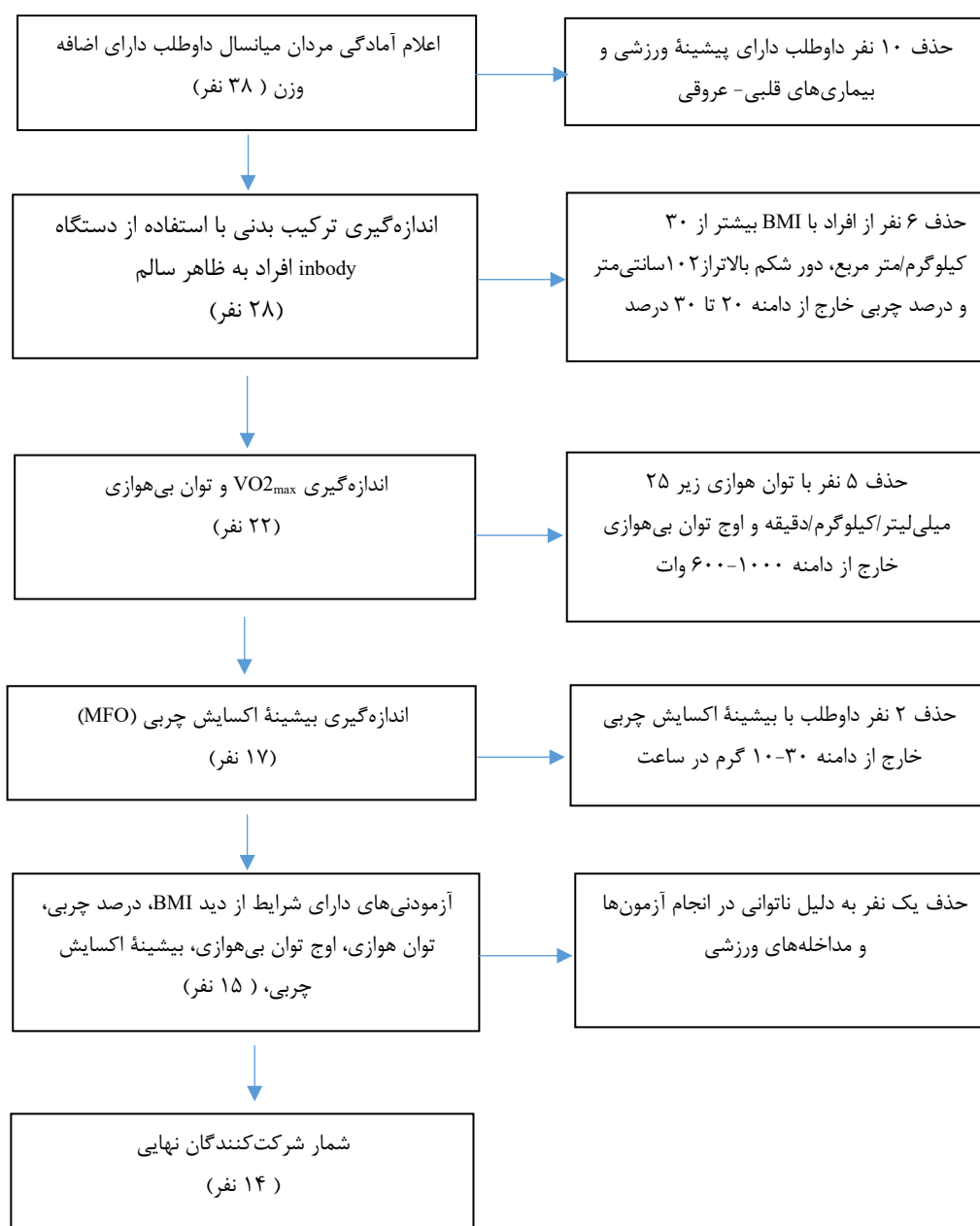
معیارهای رهیافت شامل: نداشتن پیشینه دریافت دارو، مکمل‌های غذایی و نوشیدنی الکلی و مصرف دخانیات طی شش ماه گذشته و نداشتن پیشینه بیماری‌های سوخت‌وسازی، قلبی_عروقی و اسکلتی_ماهیچه‌ای گزارش شده بود. حجم نمونه با استفاده از نرم‌افزار G*Power و برپایه طرح پژوهش و با در نظر گرفتن سطح معناداری ۰/۰۵ و توان آزمون برابر ۰/۸۰ و اندازه اثر متوسط برابر با ۰/۴، ۱۲ نفر برآورد شد که برای جلوگیری از افت آزمودنی در هنگام اجرای پژوهش، ۱۴ نفر با برخورداری از ویژگی‌های لازم برای شرکت در پژوهش برگزیده شدند (شکل ۲).

دانشگاه شهید بهشتی (IR.SBU.REC.1400.169) و ثبت در سامانه کارآزمایی بالینی ایران (IRCT22211128053197N1)، در قالب یک طرح نیمه تجربی تک گروهی متقاطع^{۱۰} با اندازه‌گیری مکرر (با یک هفته Wash-Out) انجام شد (شکل ۱ و ۲).

می‌داشت، در هفته بعد در مداخله میان‌وعده ورزشی شرکت می‌کرد. این رویکرد توزیع زمانی فعالیت بدنی، برپایه چارچوب میان‌وعده‌های ورزشی در پژوهش‌های پیشین طراحی شد (۱۶، ۱۷، ۱۹). گفتنی است که این پژوهش پس از دریافت تأییدیه کمیته اخلاق پژوهش



شکل ۲. طرح پژوهشی متقاطع پاسخ‌های حاد سوخت‌وسازی-هورمونی مردان دارای اضافه‌وزن پس از انجام دو روش فعالیت ورزشی سرعتی-پرتوان متفاوت در طی یک روز و با یک هفته فاصله (دو نوبت فعالیت میان‌وعده ورزشی صبحگاهی-عصرگاهی در مقایسه با یک وهله فعالیت ورزشی تناوبی دو نوبتی هم شکل و هم حجم صبحگاهی). اختصارات (سرواژه‌ها): ISE، فعالیت ورزشی سرعتی-پرتوان تناوبی؛ SES، میان‌وعده ورزشی سرعتی-پرتوان؛ WU، گرم کردن؛ Rec، بازیافت؛ EPOC، اکسیژن مصرفی اضافی پس از ورزش؛ RER، نسبت تبادل تنفسی؛ Fat Ox، اکسایش چربی؛ CHO ox، اکسایش کربوهیدرات؛ Lac، لاکتات؛ Glu، گلوکز؛ Ins، انسولین؛ Cort، کورتیزول؛ C/I، نسبت کورتیزول به انسولین؛ Epi، اپی نفرین؛ NE، نوراپی نفرین؛ Gly، گلیسرول؛ NE، اسیدهای چرب غیر استریفیه؛ BMI، نمایه توده بدنی.



شکل ۲. شیوه ورود و خروج آزمودنی‌ها براساس معیارهای رهیافت و برونرفت در پژوهش

روش اجرای پژوهش: میزان قد و وزن (با استفاده از دستگاه BSM370) و نشانگرهای ترکیب بدنی (با استفاده از دستگاه InBody770) در جلسه آشناسازی اندازه‌گیری و تعیین شد. درحالی‌که یک هفته پیش از اجرای مداخله‌های ورزشی در دو روز پیاپی، با استفاده از آزمون‌های توان هوازی بیشینه و بی‌هوازی وینگیت طی یک روز (به ترتیب با فاصله نیم ساعت) میزان

اکسیژن مصرفی بیشینه و توان بی‌هوازی (اوج توان، میانگین توان و نمایه خستگی) و میزان بیشینه اکسایش چربی^{۱۱} (MFO) در روز دیگر و در شرایط ناشتای صبحگاهی برآورد شد.

از آزمون فزاینده روی چرخ کارسنج پایی Monark 839 برای برآورد اکسیژن مصرفی بیشینه استفاده شد. به‌طوری‌که آزمودنی‌ها پس از سه دقیقه

گرم کردن بدون بار، هر دو دقیقه با افزایش ۵۰ وات بار مواجه شدند و سرعت رکاب زدن ۶۰-۷۰ دور در دقیقه را تا رسیدن به نشانه‌های واماندگی نگه می‌داشتند.

آزمون توان بی‌هوازی وینگیت نیز (به دلیل محدودیت برنامه‌ریزی) نیم ساعت پس از انجام آزمون توان هوازی و پس از پنج دقیقه گرم کردن استاندارد مبتنی بر آزمون وینگیت ۲۰ ثانیه‌ای با باری برابر ۷/۵ درصد وزن بدن و با بیشترین میزان توان روی چرخ کارسنج پایی Monark 894 اجرا شد. طی آزمون، تلاش شد تا سرعت رکاب زدن کمتر از ۸۰ دور در دقیقه نشود.

آزمون بیشینه اکسایش چربی یا MFO در جلسه‌ای جداگانه یک روز پس از آزمون‌های توان هوازی و بی‌هوازی انجام شد. در این آزمون، هر آزمودنی پس از ۳۰ دقیقه استراحت به حالت نشسته، فعالیت خود را با رکاب زدن بدون بار روی چرخ کارسنج پایی Monark 839 آغاز کرد و هر ۳ دقیقه ۲۵ وات به مقاومت یا بار وارده افزوده می‌شد. این آزمون تا زمانی ادامه یافت که RER به بیش از مقدار ۱/۱ می‌رسید.

فعالیت ورزشی سرعتی-پرتوان تناوبی شامل یک وهله دو نوبتی مبتنی بر آزمون توان بی‌هوازی وینگیت ۲۰ ثانیه‌ای با بازیافت فعال ۵ دقیقه‌ای بین وهله‌ها بود که در فاصله ساعت ۷ تا ۹ صبح انجام می‌شد. درحالی‌که تک وهله‌های تک نوبتی میان‌وعده ورزشی ۲۰ ثانیه‌ای مبتنی بر آزمون توان بی‌هوازی وینگیت به‌طور جداگانه: یک نوبت در حالت ناشتای صبحگاهی (ساعت ۷ تا ۹ صبح) و یک نوبت عصرگاهی (ساعت ۱۶ تا ۱۷ نزدیک به ۳ تا ۴ ساعت پس از وعده ناهار همان روز) انجام شد. مدت، شدت و حجم فعالیت‌های تک وهله دو نوبتی فعالیت ورزشی سرعتی-پرتوان تناوبی و دو نوبت تک وهله‌ای میان‌وعده‌های ورزشی برابر در نظر گرفته شد.

برای کنترل متغیرهای تغذیه‌ای، از آزمودنی‌ها خواسته شد تا برگه‌های یادآمد غذایی ۲۴ ساعته و ثبت سه‌روزه دریافت غذایی (طی دو روز عادی و یک روز تعطیل) را تکمیل کنند. بر این اساس و با توجه به تراز کالری روزانه، توزیع نسبتاً یکسان درشت‌مغذی‌ها شامل ۵۵ درصد کربوهیدرات، ۲۵ درصد پروتئین و ۲۰ درصد چربی بود و در هر دو روز مداخله، ویژگی وعده صبحانه، میان‌وعده غذایی و ناهار برای هر آزمودنی (از دید میزان کالری، حجم، ترکیب و ساعت دریافت) نسبتاً یکسان بود. هیچ‌گونه محدودیت دسترسی به آب در سراسر دوره پژوهش وجود نداشت. دریافت کافئین و مکمل‌های ورزشی از ۲۴ ساعت پیش از هر مداخله ممنوع شده بود.

روش‌های آزمایشگاهی: خونگیری در سه نوبت: پیش از انجام فعالیت، بلافاصله و ۳۰ دقیقه پس از فعالیت انجام شد. در هر بار خونگیری، پنج میلی‌لیتر خون مخلوط محیطی از سیاهرگ پیش آرنجی در حالت نشسته گرفته شد. سه میلی‌لیتر آن در لوله‌های آزمایش دارای ماده ضدانعقاد EDTA^{۱۲} و دو میلی‌لیتر آن در لوله‌های بدون ماده ضدانعقاد ریخته شد و سپس ۱۰ دقیقه در دمای ۴- درجه سانتی‌گراد و سرعت ۳۰۰۰ هزار دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه برای جداسازی نمونه پلاسمایی و ۲۰ دقیقه برای جداسازی نمونه سرم، سانتریفیوژ شدند (دستگاه BOECO U-320 R ساخت آلمان). نیم میلی‌لیتر از نمونه‌های خونی از لوله‌های دارای ماده ضدانعقاد برای شمارش سلول‌های خونی^{۱۳} (CBC)، اندازه‌گیری هموگلوبین، هماتوکریت و تغییرات حجم خون استفاده شد. نمونه‌های سرمی و پلاسمایی تا زمان بررسی نشانگرهای مورد نظر در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد (دستگاه Hanver ساخت آلمان) نگهداری شد. تغییرات لاکتات، گلیسرول، اسیدهای چرب غیراستریفه شده^{۱۴} (NEFA)، و کاتکولامین‌ها با استفاده از روش

^{۱۵} ELISA و کیت‌های Zell Bio ساخت آلمان اندازه‌گیری شدند. گلوکز به کمک روش فتومتریک کمی پارس آزمون (ساخت ایران)، انسولین و کورتیزول به روش ایمونوآنزیماتیک مستقیم با استفاده از کیت دیامترا^{۱۶} ساخت ایتالیا، اندازه‌گیری شدند. اندازه‌گیری گازهای تنفسی پنج دقیقه پیش از شروع فعالیت، طی انجام فعالیت و تا ۳۰ دقیقه پس از اتمام آن ادامه داشت. پنجره ۳۰ دقیقه‌ای بازیافت در این پژوهش برپایه پیشنهادهای روش‌شناختی در پژوهش‌های پیشین (۷-۹ و ۱۱، ۱۲) و با توجه به محدودیت‌های اجرایی برگزیده شد. تغییرات گازهای تنفسی با دستگاه Cortex Metabolizer 3B (ساخت آلمان) به صورت لحظه‌ای و تراکمی اندازه‌گیری شد. **تحلیل آماری:** بررسی داده‌ها (میانگین و انحراف استاندارد) با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام شد. توزیع طبیعی داده‌ها با آزمون شاپیرو-ویلک بررسی شد. پس از تایید توزیع طبیعی داده‌ها، بررسی متغیرهای پژوهش به صورت نقطه‌ای و تراکمی با استفاده از آزمون تحلیل واریانس مکرر یک و دو راهه انجام شد. سطح معناداری آماری کمتر از ۰/۰۵ در نظر

گرفته شد.

نتایج

پاسخ‌های سوخت‌وسازی غیرمستقیم (مبتنی بر بررسی گازهای تنفسی): یافته‌ها نشان داد الگوی تجمعی (تراکمی) اکسیژن مصرفی اضافی پس از فعالیت (EPOC) در الگوی میان‌وعده ورزشی سرعتی-پرتوان (دو و هله) تک‌نوبتی (صبحگاهی-عصرگاهی) در مقایسه با یک و هله فعالیت سرعتی-پرتوان تناوبی دو نوبتی هم‌حجم صبحگاهی، به طور معناداری بیشتر بود ($P=0/02$). در این راستا، هزینه انرژی مصرفی پس از فعالیت (دوره بازیافت ۳۰ دقیقه‌ای) در الگوی میان‌وعده‌ای نسبت به یک و هله فعالیت سرعتی-پرتوان تناوبی دو نوبتی، افزایش معناداری نشان داد (حدود ۹۲ درصد $P<0/001$). همچنین، هزینه انرژی کل یا تام (شامل دوره فعالیت و بازیافت ۳۰ دقیقه‌ای) در الگوی میان‌وعده‌ای به طور معناداری (نزدیک به ۴۱ درصد) بیشتر از الگوی یک و هله سرعتی-پرتوان تناوبی دو نوبتی هم‌حجم بود ($P<0/001$).

جدول ۲. مقایسه نشانگرهای تجمعی سوخت‌وسازی و هزینه انرژی هنگام و پس از هر دو الگوی فعالیت ورزشی

الگوی فعالیت	اکسایش تجمعی کربوهیدرات (گرم)	اکسایش تجمعی چربی (گرم)	هزینه انرژی دوره فعالیت (کیلوکالری)	هزینه انرژی دوره بازیافت (کیلوکالری)	هزینه انرژی کل (کیلوکالری)	EPOC (لیتر)
ISE	۳۰/۴۷±۳/۱۷	۱/۵۱±۱/۰۳	۷۸/۵۷±۹/۶۸	۷۲/۳۲±۷/۵۵	۱۵۰/۸۹±۱۵/۵۹	۳/۶۲±۱/۵۴
SES	۴۰/۴۰±۵/۹۸	۳/۲۶±۱/۴۲	۷۴/۲۰±۸/۹۷	۱۳۸/۳۲±۴/۶۷	۲۱۲/۷۸±۲۵/۱۴	۴/۹۷±۱/۳۵

* تفاوت معنادار برابر و کمتر از ۰/۰۵ فعالیت سرعتی-پرتوان تناوبی نسبت به میان‌وعده ورزشی، ISE: روش فعالیت تناوبی؛ SES: میان‌وعده ورزشی

افزون بر این، میزان اکسایش تجمعی (تراکمی) چربی و کربوهیدرات (از آغاز فعالیت تا پایان دوره بازیافت ۳۰ دقیقه‌ای) طی دو و هله میان‌وعده ورزشی سرعتی-پرتوان تک‌نوبتی در طول روز، به ترتیب حدود

۱۱۶٪ و ۳۲٪ بیشتر از الگوی یک و هله فعالیت سرعتی-پرتوان تناوبی دو نوبتی هم‌حجم بود ($P\leq 0/05$). با این همه، تفاوت معناداری در میانگین نسبت تباد

تنفسی (RER) طی دوره بازیافت و همچنین در مقادیر اکسایش نقطه‌ای چربی و کربوهیدرات (بر حسب گرم در دقیقه) بین الگوی میان‌وعده‌ای و یک وهله فعالیت سرعتی-پرتوان تناوبی دونوبتی دیده نشد ($P > 0.05$). روی هم رفته، یافته‌ها نشان داد که توزیع زمانی وهله‌های فعالیت سرعتی-پرتوان در طول یک روز، منجر به افزایش پاسخ‌های تجمعی سوخت‌وسازی و هزینه انرژی بیشتری نسبت به اجرای همان حجم فعالیت در قالب یک وهله فعالیت ورزشی سرعتی-پرتوان تناوبی دونوبتی صبحگاهی می‌شود.

پاسخ‌های نشانگرهای سوخت‌وسازی-هورمونی خون: برپایه نشانگرهای خونی، یافته‌ها نشان داد که غلظت لاکتات خون بلافاصله پس از هر میان‌وعده ورزشی (صبحگاهی و عصرگاهی) و یک وهله فعالیت سرعتی-پرتوان تناوبی دونوبتی صبحگاهی نسبت به مقادیر پیش از انجام فعالیت به‌طور معناداری افزایش یافت ($P < 0.05$). با این‌همه، مقادیر لاکتات بلافاصله پس از فعالیت در الگوی فعالیت سرعتی-پرتوان تناوبی دونوبتی صبحگاهی به‌طور معناداری بیشتر از هر یک از میان‌وعده‌های ورزشی صبحگاهی و عصرگاهی بود ($P < 0.05$). کاهش معنادار غلظت لاکتات پس از بازیافت ۳۰ دقیقه‌ای نیز به دنبال هر یک از میان‌وعده‌های ورزشی (صبحگاهی و عصرگاهی) و یک وهله فعالیت سرعتی-پرتوان دونوبتی صبحگاهی دیده شد ($P < 0.05$). به‌طوری‌که در پایان دوره بازیافت، مقادیر لاکتات در الگوی میان‌وعده‌ای به سطوح نزدیک‌تری به مقادیر پیش از فعالیت بازگشتند، در حالی که در الگوی یک وهله فعالیت سرعتی-پرتوان تناوبی دونوبتی صبحگاهی، همچنان مقادیر بالاتری از لاکتات را نشان می‌داد ($P < 0.05$).

افزون بر این، یافته‌های نشانگرهای هورمونی نشان داد

که غلظت کاتکولامین‌های خون (اپی‌نفرین و نوراپی‌نفرین) بلافاصله پس از هر دو میان‌وعده ورزشی (صبحگاهی و عصرگاهی) و یک وهله فعالیت سرعتی-پرتوان تناوبی دونوبتی صبحگاهی نسبت به مقادیر پیش از انجام فعالیت به‌طور معناداری افزایش یافت ($P < 0.05$). با این همه، میزان افزایش کاتاکولامین خون بلافاصله پس از فعالیت در الگوی فعالیت سرعتی-پرتوان تناوبی دونوبتی صبحگاهی به‌طور معناداری بیشتر از میان‌وعده‌های ورزشی بود ($P < 0.05$). هرچند، تفاوت بین مقادیر کاتکولامین‌های خون بلافاصله پس از میان‌وعده‌های ورزشی صبحگاهی و عصرگاهی معنادار نبود ($P > 0.05$). کاهش معنادار غلظت کاتکولامین‌های خون پس از بازیافت ۳۰ دقیقه‌ای نیز به دنبال هر یک از میان‌وعده‌های ورزشی (صبحگاهی و عصرگاهی) و یک وهله فعالیت سرعتی-پرتوان دونوبتی صبحگاهی دیده شد ($P < 0.05$). در پایان دوره بازیافت، مقادیر اپی‌نفرین و نوراپی‌نفرین خون در الگوی میان‌وعده‌ای به سطوح نزدیک‌تری به مقادیر پیش از فعالیت بازگشت؛ هرچند، در الگوی فعالیت سرعتی-پرتوان تناوبی دونوبتی صبحگاهی، مقادیر کاتاکولامین همچنان بالاتر باقی مانده بود؛ اما، تفاوت‌ها معنادار نبود ($P > 0.05$).

افزون بر این، یافته‌های وابسته به وضعیت کاتابولیکی-آنابولیکی نشان داد غلظت کورتیزول خون بلافاصله پس از هر دو میان‌وعده ورزشی (صبحگاهی و عصرگاهی) و یک وهله فعالیت سرعتی-پرتوان تناوبی دونوبتی صبحگاهی نسبت به مقادیر پیش از انجام فعالیت به‌طور معناداری افزایش یافت ($P < 0.05$). میزان کورتیزول خون نیز بلافاصله و ۳۰ دقیقه پس از فعالیت در الگوی فعالیت سرعتی-پرتوان تناوبی دونوبتی صبحگاهی به‌طور معناداری بیشتر از هر یک از میان‌وعده‌های ورزشی

عصرگاهی بود ($P < 0.05$). البته، تفاوت بین مقادیر کورتیزول خون بلافاصله پس از فعالیت سرعتی-پرتوان تناوبی دو نوبتی صبحگاهی و میان‌وعده ورزشی صبحگاهی معنادار نبود ($P > 0.05$). در همین چارچوب، یافته‌ها نشان داد نشانگر نسبت کورتیزول به انسولین بلافاصله پس از هر دو میان‌وعده ورزشی (صبحگاهی و عصرگاهی) و یک وهله فعالیت سرعتی-پرتوان تناوبی دو نوبتی صبحگاهی نسبت به مقادیر پیش از انجام فعالیت به‌طور معناداری افزایش یافت ($P < 0.05$). با این همه، میزان نسبت کورتیزول به انسولین خون بلافاصله و ۳۰ دقیقه پس از فعالیت در الگوی فعالیت سرعتی-پرتوان تناوبی دو نوبتی صبحگاهی به‌طور معناداری بیشتر از هر یک از میان‌وعده‌های ورزشی عصرگاهی بود ($P < 0.05$). البته، تفاوت بین مقادیر کورتیزول خون بلافاصله پس از فعالیت سرعتی-پرتوان تناوبی دو نوبتی صبحگاهی و میان‌وعده ورزشی صبحگاهی معنادار نبود ($P > 0.05$). در همین راستا، یافته‌ها نشان داد افزایش اندک انسولین بلافاصله پس از یک وهله فعالیت سرعتی-پرتوان تناوبی دو نوبتی صبحگاهی و میان‌وعده ورزشی صبحگاهی معنادار نبود ($P > 0.05$). همچنین، پاسخ کاهنده انسولین بلافاصله پس از یک وهله میان‌وعده ورزشی سرعتی-پرتوان عصرگاهی معنادار نبود ($P > 0.05$). تفاوت پاسخ انسولین به وهله فعالیت سرعتی-پرتوان تناوبی دو نوبتی صبحگاهی و میان‌وعده ورزشی صبحگاهی هم معنادار نبود ($P > 0.05$).

پاسخ گلوکز و نشانگرهای لیپولیتیک: یافته‌ها نشان داد غلظت قند خون بلافاصله پس از هر میان‌وعده ورزشی (صبحگاهی و عصرگاهی) و یک وهله فعالیت سرعتی-پرتوان تناوبی دو نوبتی صبحگاهی نسبت به مقادیر پیش از انجام فعالیت به‌طور

معناداری افزایش یافت ($P < 0.05$). با این همه، میزان قند خون در دوره بازیافت ۳۰ دقیقه‌ای پس از فعالیت سرعتی-پرتوان تناوبی دو نوبتی صبحگاهی به‌طور معناداری بیشتر از هر یک از میان‌وعده ورزشی عصرگاهی بود ($P < 0.05$). البته، تفاوت بین مقادیر قند خون بلافاصله و ۳۰ دقیقه پس از میان‌وعده‌های سرعتی-پرتوان صبحگاهی و عصرگاهی معنادار نبود ($P > 0.05$).

یافته‌ها در مورد نشانگرهای لیپولیتیک نشان داد میزان گلیسرول خون بلافاصله و ۳۰ دقیقه پس از انجام یک وهله فعالیت سرعتی-پرتوان تناوبی دو نوبتی صبحگاهی و میان‌وعده‌های ورزشی سرعتی-پرتوان صبحگاهی و عصرگاهی به‌طور معنادار افزایش می‌یابد ($P < 0.05$). افزون بر این، تفاوت میزان پاسخ فزاینده ۳۰ دقیقه پس از هر یک از میان‌وعده ورزشی صبحگاهی و عصرگاهی به‌طور معناداری بیشتر از یک وهله فعالیت سرعتی-پرتوان تناوبی دو نوبتی صبحگاهی است ($P < 0.05$).

یافته‌های این پژوهش نشان داد که میزان غلظت اسیدهای چرب غیراستریفه شده خون (NEFA) پس از انجام فعالیت ورزشی سرعتی-پرتوان تناوبی دو نوبتی و میان‌وعده‌های ورزشی سرعتی-پرتوان تک نوبتی صبحگاهی و عصرگاهی افزایش یافت؛ این افزایش در میان‌وعده‌های ورزشی به‌طور معنادار بیشتر از یک وهله فعالیت تناوبی دو نوبتی صبحگاهی بود ($P < 0.05$). البته، غلظت NEFA خون پس از دوره بازیافت ۳۰ دقیقه‌ای فعالیت سرعتی-پرتوان تناوبی دو نوبتی صبحگاهی به سطوح پیش از انجام فعالیت نزدیک شده بود. اما سطوح این نشانگر پس از دوره بازیافت ۳۰ دقیقه‌ای میان‌وعده‌های ورزشی صبحگاهی و عصرگاهی، همچنان بالاتر از سطوح پیش از انجام فعالیت باقی مانده بود ($P < 0.05$).

جدول ۳. پاسخ فرآورده‌های سوخت‌وسازی و نشانگرهای هورمونی به فعالیت سرعتی-پرتوان تناوبی نسبت به میان‌وعده ورزشی هم‌حجم

الگوی فعالیت	نشانگر	پیش از فعالیت	بلافاصله پس از فعالیت	۳۰ دقیقه پس از فعالیت
لاکتات (میل‌مول/لیتر)	۱/۶۰±۰/۳۶	۱۲/۹۱±۰/۶۹	۹/۹۸±۰/۶۰	
گلوکز (میل‌مول/لیتر)	۵/۴۸±۰/۴۶	۴/۰۷±۰/۵۵	۴/۱۱±۰/۹۸	
NEFA (میل‌مول/لیتر)	۰/۵۷±۰/۱۵	۰/۴۷±۰/۱۷	۰/۵۴±۰/۲۲	
گلیسرول (میلی‌گرم در دسی‌لیتر)	۲/۹۰±۰/۱۰	۲/۹۵±۰/۱۶	@۲/۶۳±۰/۱۸	
فعالیت سرعتی-پرتوان تناوبی انسولین (پیکو‌مول/لیتر)	۶۸/۶۷±۱۵/۰۱	۱۰/۱۵±۳۷/۹۱#	۱۹۸/۱۶±۱۴۴/۲۷	
ایپی نفرین (نانو‌مول/لیتر)	۰/۶۱±۰/۱۹	۳/۷۷±۰/۷۵	*۰/۸۲±۰/۲۲	
نوراپی نفرین (نانو‌مول/لیتر)	۲/۱۴±۰/۱۵	۱۴/۴۰±۱/۶۵	۲/۱۵±۰/۲۲	
کورتیزول (میلی‌گرم در دسی‌لیتر)	۱۰/۷۰±۱/۰۲	۹/۹۶±۱/۶۵	۱۱/۴۹±۰/۶۷	
نسبت کورتیزول به انسولین	۴/۵۹±۱/۲۹	۳/۰۹±۰/۹۷	۲/۵۱±۱/۵۶	
لاکتات (میل‌مول/لیتر)	۱/۶۴±۰/۳۱	۱۲/۶۸±۱/۱۴	۸/۹۳±۱/۶۰	
گلوکز (میل‌مول/لیتر)	۵/۴۴±۰/۵۵	۵/۹۷±۰/۵۱	۴/۰۴±۰/۸۵	
NEFA (میل‌مول/لیتر)	۰/۴۳±۰/۲۹	۰/۶۲±۰/۲۱	۰/۵۶±۰/۲۱	
گلیسرول (میلی‌گرم در دسی‌لیتر)	۲/۸۸±۰/۱۴	۲/۹۶±۰/۲۱	۲/۹۲±۰/۲۵	
انسولین (پیکو‌مول/لیتر)	۶۸/۸۲±۲۰/۷۷	۸۰/۵۳±۱۹/۷۹#	۱۶۴/۴۷±۱۱۴/۴۲	
ایپی نفرین (نانو‌مول/لیتر)	۰/۵۳±۰/۱۶	۳/۷۰±۰/۴۹	۰/۷۳±۰/۱۳	
نوراپی نفرین (نانو‌مول/لیتر)	۲/۰۷±۰/۱۹	۱۴/۱۴±۱/۷۵	۲/۱۰±۰/۱۶	
کورتیزول (میلی‌گرم در دسی‌لیتر)	۱۰/۸۲±۰/۹۵	۱۰/۱۳±۱/۴۶	۱۱/۲۲±۱/۰۷	
نسبت کورتیزول به انسولین	۴/۸۱±۱/۶۹	۳/۷۷±۱/۰۰	۲/۵۵±۱/۲۰	
لاکتات (میل‌مول/لیتر)	۲/۰۸±۰/۶۶	۱۲/۷۴±۱/۱۹	۹/۱۹±۰/۹۱	
گلوکز (میل‌مول/لیتر)	۵/۲۱±۰/۷۱	۵/۶۰±۰/۷۴	۵/۲۷±۰/۳۶	
NEFA (میل‌مول/لیتر)	۰/۴۳±۰/۳۱	۰/۵۴±۰/۳۵	۰/۶۶±۰/۲۰	
گلیسرول (میلی‌گرم در دسی‌لیتر)	۲/۹۳±۰/۲۶	۲/۹۸±۰/۲۷	۲/۸۵±۰/۰۷	
انسولین (پیکو‌مول/لیتر)	۲۰۰/۰۶±۱۱۲/۱۷	۱۳۴/۵۹±۹۴/۳۴	۱۵۴/۸۶±۱۱۴/۲۶	
ایپی نفرین (نانو‌مول/لیتر)	۰/۵۰±۰/۰۹	۳/۳۶±۰/۶۴	*۰/۷۶±۰/۱۲	
نوراپی نفرین (نانو‌مول/لیتر)	۲/۱۰±۰/۱۲	۱۴/۳۵±۱/۴۶	۲/۱۳±۰/۱۶	
کورتیزول (میلی‌گرم در دسی‌لیتر)	۹/۰۶±۱/۰۷	۸/۰۹±۲/۰۷	۹/۲۰±۲/۲۹	
نسبت کورتیزول به انسولین	۱/۷۷±۱/۳۰	۲/۱۵±۰/۹۴	۲/۳۹±۱/۷۵	

\$ نشانه معناداری پاسخ لاکتات در ISE نسبت به میان‌وعده صبحگاهی، (پس از فعالیت) است. # نشانه معناداری پاسخ ایپی نفرین در ISE نسبت به میان‌وعده صبحگاهی (بلافاصله پس از فعالیت و در دوره بازیافت) و همچنین نشانه معناداری پاسخ ایپی نفرین در فعالیت ISE صبحگاهی نسبت به میان‌وعده عصرگاهی (بلافاصله پس از فعالیت) است. @ نشانه معناداری پاسخ گلیسرول بین ISE تک و هله‌ای صبحگاهی و عصرگاهی (در دوره بازیافت) است. # نشانه معناداری پاسخ انسولین بلافاصله پس از ISE نسبت به میان‌وعده عصرگاهی و همچنین، نشانه معناداری پاسخ بلافاصله پس از میان‌وعده صبحگاهی نسبت به عصرگاهی است. & نشانه معناداری پاسخ کورتیزول/انسولین بلافاصله پس از ISE نسبت به میان‌وعده عصرگاهی و میان‌وعده نسبت بهم است. اسیدهای چرب غیراستریفه شده: NEFA.

بحث و نتیجه‌گیری

شد. مهم‌ترین یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد با وجود همسان‌سازی حجم و شدت کلی فعالیت، توزیع زمانی و هله‌های فعالیت بدنی در طول روز، منجر به افزایش پاسخ‌های تجمع‌ی (تراکمی) بزرگ‌تری در EPOC، هزینه انرژی پس از فعالیت و اکسایش تجمع‌ی

این پژوهش برای نخستین بار با هدف مقایسه پاسخ‌های حاد سوخت‌وسازی-هورمونی به الگوی فعالیت ورزشی میان‌وعده‌ای سرعتی-پرتوان دو نوبتی در طول روز با یک و هله فعالیت سرعتی-پرتوان تناوبی هم‌حجم انجام

چربی و کربوهیدرات می‌شود؛ در حالی که تفاوت در برخی نشانگرهای نقطه‌ای مانند: میانگین RER و اکسایش نقطه‌ای سوخت‌وسازی در دوره بازیافت چشمگیر و معنادار نبود. از این رو، گمان می‌رود الگوی فعالیت میان‌وعده‌ای سرعتی-پرتوان کوتاه مدت دو وهله‌ای از دید نظری و کاربردی می‌تواند به عنوان شیوه «کوتاه مدت و پُربازده» برای افراد دارای اضافه‌وزن مؤثر واقع شود (۹-۶، ۱۳). از دیدگاه کاربردی، افزایش EPOC و هزینه انرژی پس از فعالیت در الگوی میان‌وعده‌ای، نکته محوری پژوهش است؛ زیرا در برنامه‌های کنترل وزن، افزایش «هزینه انرژی روزانه» و تقویت سهم بازیافت پس از فعالیت می‌تواند به تراز انرژی منفی کمک کند. در این راستا، بازنگری یافته‌های پژوهشی پیشین نشان داده‌اند فعالیت‌های پرشدت (به‌ویژه تناوبی) همواره EPOC را نسبت به فعالیت‌های تداومی/متوسط افزایش می‌دهند؛ هرچند مقدار این افزایش به نوع فعالیت ورزشی، پنجره زمانی اندازه‌گیری و ویژگی‌های آزمودنی‌ها وابسته است (۹-۶). برپایه یافته‌های این پژوهش، گمان می‌رود «دو بار برانگیختن پاسخ بازیافتی» در دو نوبت جداگانه (صبح و عصر) نسبت به فشرده‌سازی همان حجم در یک جلسه صبحگاهی، به افزایش تجمعی EPOC و انرژی پس از فعالیت منجر می‌شود. این یافته از دید طراحی مداخله ورزشی برای افراد دارای اضافه‌وزن مهم و ارزشمند است؛ چون بدون افزایش زمان خالص فعالیت، بار سوخت‌وسازی و هزینه انرژی پس از فعالیت بیشتری را ایجاد کرده و می‌تواند تحمل‌پذیری و پایداری عملی برنامه را بهبود بخشد (۱۵، ۱۱، ۱۰).

در تفسیر پاسخ‌های وابسته به سوخت‌وسازی سوختی در این پژوهش، برای پرهیز از برداشت اغراق‌آمیز، توجه به دو نکته اساسی ضروری است. نخست آنکه اکسایش تجمعی چربی و کربوهیدرات (از آغاز فعالیت تا پایان بازیافت ۳۰ دقیقه‌ای) در الگوی میان‌وعده‌ای به‌طور

معناداری بیشتر از یک وهله فعالیت سرعتی-پرتوان کوتاه مدت تناوبی دو نوبتی بود. دوم آنکه، نبود تفاوت معنادار در میانگین RER و اکسایش نقطه‌ای سوخت‌وسازی در دوره بازیافت (گرم/دقیقه) نشانگر آن است که برتری الگوی میان‌وعده ورزشی سرعتی-پرتوان بیشتر در سطح پاسخ‌های تجمعی دیده می‌شود نه در نشانگرهای لحظه‌ای و نقطه‌ای؛ بنابراین، ادعاهایی مانند «انجام الگوی میان‌وعده‌ای قطعاً باعث کاهش بیشتر RER در بازیافت می‌شود» بایستی با دوراندیشی و احتیاط بیشتری بیان شوند. تفسیر محافظه‌کارانه آن است که گفته شود: «با وجود افزایش اکسایش تجمعی چربی تام، تفاوت چشمگیری در نشانگرهای نقطه‌ای طی دوره بازیافت کوتاه مدت دیده نشد؛ امری که شاید به دلیل کوتاه بودن پنجره کوتاه‌مدت اندازه‌گیری (۳۰ دقیقه) و تغییرپذیری بین‌فردی آزمودنی‌های مورد بررسی وابسته باشد» (۶-۴، ۱۳).

پیش از بررسی نشانگرهای خونی باید به این نکته اشاره داشت که پاسخ‌های حاد نشانگرهای خونی به فعالیت‌های ورزشی ناشی از هموکسانتره/همودیلوشن نبوده است؛ به همین دلیل، از دیدگاه سازوکارهای احتمالی مبتنی بر نظریه رَندل^{۱۷} (چرخه گلوکز-اسیدچرب)، تغییرات برخی از یافته‌های خونی نشانگر آن است که انجام دو وهله میان‌وعده ورزشی سرعتی-پرتوان نسبت به الگوی یک وهله فعالیت سرعتی-پرتوان دو نوبتی صبحگاهی می‌تواند با پاسخ چشمگیرتری در برخی از نشانگرهای لیپولیتیک (گلیسرول و NEFA خون)، به‌ویژه در پایان دوره بازیافت ۳۰ دقیقه‌ای، همراه باشد. از دیدگاه فیزیولوژی و سوخت‌وسازی، افزایش گلیسرول و NEFA خون همواره نشان‌دهنده عمومی فعال شدن فرآیند لیپولیز و افزایش دسترسی اسیدهای چرب در گردش خون است (۹، ۵، ۴)؛ عاملی که می‌تواند زمینه را برای مشارکت بیشتر چربی‌ها در تأمین انرژی طی دوره بازیافتی

(به‌ویژه از ۱۵ دقیقه تا ۳ ساعت پس از انجام فعالیت ورزشی) فراهم کند. با این همه، با توجه به نبود تفاوت معنادار در میانگین RER دوره بازیافت، می‌توان چنین جمع‌بندی کرد که الگوی میان‌وعده‌ای فعالیت ورزشی، محیط سوخت‌وسازی مساعدتر و مناسب‌تری را برای فرآیندهای لیپولیتیک و اکسایش چربی‌ها فراهم می‌کند؛ اما پنجره بازیافت ۳۰ دقیقه‌ای برای بازتاب و انعکاس کامل این تغییرات در نشانگرهای غیرمستقیم سوخت‌وسازی کافی نبوده است؛ این تفسیر با یافته‌های پیشین هم‌راستا است که نشان می‌دهند فعالیت مسیرهای وابسته به حسگر انرژی مانند AMPK و پیامدهای آن بر اکسایش چربی می‌تواند تا ۱۵۰ دقیقه پس از فعالیت ورزشی و یا حتی بیشتر ادامه یابد (۲۳، ۲۸).

از طرفی، پاسخ‌های گلیکولیتیک و سمپاتوآدرنالی در الگوی فعالیت سرعتی-پرتوان تناوبی (ISE) چشمگیرتر برجسته‌تر بود: به طوری که میزان لاکتات و کاتکولامین‌ها (اپی‌نفرین/نوراپی‌نفرین) بلافاصله پس از این گونه فعالیت‌ها، افزایش بیشتری نسبت به هر دو میان‌وعده ورزشی نشان دادند. این الگو با ماهیت اجرای دو وهله نزدیک به هم با بازیافت کوتاه سازگار است؛ زیرا تجمع تنش یا فشار سوخت‌وسازی در یک بازه زمانی فشرده، همواره بار گلیکولیتیک و سمپاتوآدرنالی را تقویت می‌کند (۶، ۱۵). همچنین، پاسخ‌های وابسته به وضعیت کاتابولیک/آنابولیک بویژه کورتیزول و نسبت کورتیزول به انسولین در فعالیت ورزشی ISE نسبت به میان‌وعده عصرگاهی بالاتر بود. با این همه، این یافته باید با دوراندیشی و احتیاط بیشتری تفسیر شود؛ زیرا کورتیزول به آهنگ شبانه‌روزی، وضعیت ناشتا/غذاخورده و فشار روانی در هنگام نمونه‌گیری خون حساس است؛ با وجود این محدودیت‌ها، غلبه و برتری نسبی پاسخ کاتابولیک در ISE می‌تواند با بسیج سریع‌تر سوبستراها و افزایش برون‌ده گلوکز کبدی در

کوتاه‌مدت هم‌راستا باشد (۲۰-۱۶، ۲۹). پاسخ گلوکز و انسولین نیز نکته ظریفی را برجسته می‌کند. افزایش گلوکز خون بلافاصله پس از هر سه وضعیت فعالیت ورزشی (تک وهله دو نوبتی صبحگاهی و دو وهله تک نوبتی صبحگاهی و عصرگاهی) دیده شد و در دوره بازیافت ۳۰ دقیقه‌ای پس از ISE، مقادیر بالاتری نسبت به میان‌وعده عصرگاهی ثبت گردید؛ در حالی که تغییرات انسولین (به‌ویژه بلافاصله پس از فعالیت) معنادار نبود. این الگو می‌تواند ناشی از اثر کاتکولامین‌ها و کورتیزول بر افزایش تولید/آزادسازی گلوکز کبدی و همچنین تأخیر زمانی پاسخ انسولینی طی بازیافت ۳۰ دقیقه‌ای باشد (۲۰-۱۶، ۲۸). با این همه، باید به یک محدودیت مهم و برجسته در این پژوهش اشاره کرد: شرایط تغذیه‌ای بین دو الگوی فعالیت در طی یک روز کاملاً یکسان نبود (از دید اجرایی در این پژوهش شدنی نبود). به گونه‌ای که الگوی میان‌وعده ورزشی با دریافت وعده غذایی (صبحانه و ناهار) همراه بود، در حالی که فعالیت سرعتی-پرتوان تناوبی صبحگاهی در حالت ناشتا انجام شد. بنابراین، نمی‌توان نقش ناهمسانی وضعیت تغذیه‌ای و آهنگ شبانه‌روزی را در تفسیر تفاوت پاسخ‌های گلوکز، انسولین و حتی کورتیزول نادیده گرفت.

روی‌هم‌رفته، یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد تقسیم و توزیع فعالیت سرعتی-پرتوان کوتاه‌مدت تناوبی دو نوبتی به دو وهله میان‌وعده ورزشی تک نوبتی با حجم برابر در طول روز، با ایجاد پاسخ‌های تجمعی سوخت‌وسازی و هزینه انرژی بالاتر همراه است. افزون بر این، الگوی میان‌وعده‌ای از دید نشانگرهای لیپولیتیک (گلیسرول و NEFA) پاسخ‌های برجسته‌تری نشان داد که در چارچوب رقابت سوبستراهای سوختی (برپایه نظریه رَندل)، می‌تواند نشانگر تمایل بیشتر به اکسایش تجمعی چربی‌ها باشد. هر چند، بر پایه یافته‌های پیشین، باور بر آن است که الگوی فشرده‌تر

ISE با پاسخ‌های تنشی سمپاتوآدرنالی و گلیکولیتیک شدیدتری همراه است.

با این همه، به دلیل نبود تفاوت معنادار در برخی نشانگرهای نقطه‌ای طی دوره بازیافت و کوتاه بودن پنجره بازیافتی (۳۰ دقیقه)، باید تأکید داشت که یافته‌های این پژوهش بیشتر بازتاب‌دهنده پاسخ‌های حاد و کوتاه‌مدت تجمعی بدن به الگوهای فعالیت ورزشی (میان‌وعده‌ای در برابر تناوبی هم‌حجم) است. از این‌رو، قضاوت قطعی درباره تغییرات پایداری سوخت‌وسازی ناشی از میان‌وعده‌های ورزشی گوناگون، نیازمند انجام پژوهش‌های آتی با پنجره‌های بازیافت طولانی‌تر (چند ساعته یا ۲۴ ساعته) و طراحی‌های طولی با گروه‌بندی‌ها و شیوه‌های گوناگون انجام میان‌وعده‌های ورزشی است (۱،۲،۲۰).

از دید کاربردی نیز می‌توان گفت که یافته‌های این پژوهش از الگوی میان‌وعده‌های ورزشی به‌عنوان یک راهبرد عملی، انعطاف‌پذیر و بالقوه قابل اجرا برای افزایش هزینه انرژی تجمعی و بهبود پاسخ‌های سوخت‌وسازی در افراد دارای اضافه‌وزن و کم‌تحرك— که جامعه هدف این مطالعه را تشکیل می‌دادند— حمایت و پشتیبانی می‌کند. هرچند، تعمیم این یافته‌ها به جمعیت‌های دیگر، از جمله افراد فعال یا ورزشکار، نیازمند انجام پژوهش‌های اختصاصی (توسعه‌ای_کاربردی) در آن گروه‌هاست.

از این‌رو، در پژوهش‌های آتی برای بررسی دقیق‌تر و جامع‌تر اثرات پایدار و تجمعی الگوهای میان‌وعده‌ای در جمعیت‌های هدف با ویژگی‌های فردی و شرایط متفاوت، پیشنهاد می‌شود اثر شرایط تغذیه‌ای و زمان‌بندی میان‌وعده‌های ورزشی، با دقت و وسواس بیشتری تنظیم و کنترل شود. تغییرات گازهای تنفسی (به عنوان نشانگرهای غیرمستقیم هزینه‌های انرژی و سهم سوسترهای درگیر) نیز در بازه‌های زمانی طولانی‌تری (دوره‌های بازیافتی بیش از ۱ تا ۲۴ ساعت) بررسی شود.

امید است با در نظر گرفتن چنین رویکردی بتوان ضمن کاهش نیاز به نمونه‌گیری‌های خونی پیاپی و چندانگانه، تصویر جامع‌تری از نقش میان‌وعده‌های ورزشی در تنظیم تراز انرژی و سوخت‌وساز روزانه و درگیری سوسترهای گوناگون ارائه داد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله، مراتب سپاس و قدردانی خود را از دانشگاه شهید بهشتی و صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران ایران^{۱۸} (INSF) به دلیل همکاری و مشارکت (مالی و معنوی) بی‌دریغ آنها در اجرای کامل طرح و انتشار یافته‌های پژوهشی وابسته به آن اعلام می‌دارند. افزون بر این، نویسندگان از همه کسانی که در راستای پاسخ به برخی از موضوعات و ابهامات موجود وابسته به چاقی/اضافه وزن، متعهدانه در همه مراحل اجرای این پژوهش شرکت داشتند، سپاسگزاری می‌نمایند. گفتنی است که این مقاله پژوهشی بنا به درخواست و دعوت سردبیری نشریه فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی دانشگاه شهید بهشتی، بر پایه یافته‌های اصلی و اصیل رساله دکتری فیزیولوژی ورزش آقای بانیپال تاتارو (به‌عنوان نخستین طرح پژوهشی در زمینه بررسی پاسخ‌های سوخت‌وسازی و هورمونی به میان‌وعده‌های ورزشی در ایران)، نوشته شده است؛ از این‌رو، نویسندگان مراتب سپاس ویژه خود را نسبت به دعوتنامه بخش سردبیری و چاپ این مقاله در نشریه اعلام می‌دارند.

حمایت مالی

این پژوهش با دریافت حمایت مالی از صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران ایران (INSF) در قالب طرح پژوهشی رساله دکتری آقای بانیپال تاتارو در دانشگاه شهید بهشتی انجام شد (کد ۴۰۳۸۲۱). افزون بر این، بخشی از هزینه‌های طرح در قالب پژوهانه از سوی

2. Kelley DE, Goodpaster BH. Skeletal muscle triglyceride: an aspect of regional adiposity and insulin resistance. *Diabetes*. 2001;50(4):717–723.
<https://doi.org/10.2337/diabetes.50.4.717>
3. van Dijk SJ, Molloy PL, Varinli H, et al. Epigenetics and human obesity. *Int J Obes (Lond)*. 2015;39(1):85–97.
<https://doi.org/10.1038/ijo.2014.34>
4. Brooks GA, Mercier J. Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise: the “crossover” concept. *J Appl Physiol*. 1994;76(6):2253–2261.
<https://doi.org/10.1152/jappl.1994.76.6.2253>
5. Kuo CC, Fattor JA, Henderson GC, Brooks GA. Lipid oxidation in fit young adults during postexercise recovery. *J Appl Physiol*. 2005;99(1):349–356.
<https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00997.2004>
6. Williams CB, Zelt JG, Castellani LN, et al. Changes in mechanisms proposed to mediate fat loss following an acute bout of high-intensity interval and endurance exercise. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2013;38(12):1236–1244.
<https://doi.org/10.1139/apnm-2013-0101>
7. Gaesser GA, Brooks CA. Metabolic bases of excess post-exercise oxygen consumption. *Med Sci Sports Exerc*. 1984;16(1):29–43. PMID: 6369064
8. Bahr R, Grønnerød O, Sejersted OM. Effect of supramaximal exercise on excess postexercise O₂ consumption. *Med Sci Sports Exerc*. 1992;24(1):66–71.
<https://doi.org/10.1249/00005768-199201000-00012>

دانشگاه شهید بهشتی (توسط استاد راهنما) پرداخت شد و بخش از هزینه‌ها هم به طور شخصی توسط دانشجو پرداخت شد.

مشارکت نویسندگان

نویسندگان مقاله (افشار جعفری و بانیپال تارتارو) هر دو در همه مراحل طراحی و اجرای پژوهش، تحلیل داده‌ها، نوشتن پیش‌نویس مقاله و ارسال آن به نشریه مشارکت داشتند.

تعارض منافع

بدین‌وسیله نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تعارض و منافی درباره این پژوهش وجود ندارند.

پی‌نوشت‌ها

- ¹ Excess Post-Exercise Oxygen Consumption
- ² Exercise Snacking
- ³ Adenosine Monophosphate-Activated Protein Kinase
- ⁴ Protein Kinase A
- ⁵ Lipid Droplet-Associated Protein, Perilipin 1 (Perilipin Or PLIN)
- ⁶ Adipose Triglyceride Lipase
- ⁷ Hormon Sensitive Lipase
- ⁸ Acetyl-CoA Carboxylase (ACC)
- ⁹ Respiratory Exchange Ratio
- ¹⁰ Cross-Over
- ¹¹ Maximal Fat Oxidation
- ¹² Ethylenediaminetetraacetic acid
- ¹³ Complete Blood Count
- ¹⁴ Non-Esterified Fatty Acids
- ¹⁵ Enzyme Linked Immunosorbent Assay
- ¹⁶ Diametra
- ¹⁷ Randle Theaory (Glucose-Fatty Acid Cycle: G-Fa Cycle)
- ¹⁸ The Iran national science foundation

منابع

1. Galgani JE, Moro C, Ravussin E. Metabolic flexibility and insulin resistance. *American journal of physiology-endocrinology and metabolism*. 2008. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism* Volume 295, Issue 5.
<https://doi.org/10.1152/ajpendo.90558.2008>

9. Børsheim E, Bahr R. Effect of exercise intensity, duration and mode on post-exercise oxygen consumption. *Sports Med.* 2003;33(14):1037–1060.
<https://doi.org/10.2165/00007256-200333140-00002>
10. Panissa VLG, Fukuda DH, Staibano V, et al. Magnitude and duration of excess post-exercise oxygen consumption between high-intensity interval and moderate-intensity continuous exercise: a systematic review. *Obes Rev.* 2021;22(1): e13099.
<https://doi.org/10.1111/obr.13099>
11. Cunha FA, Midgley AW, McNaughton LR, Farinatti PTV. Effect of continuous and intermittent isocaloric cycling and running exercise on excess postexercise oxygen consumption. *J Sci Med Sport.* 2016;19(2):187–192.
<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2015.02.004>
12. Tucker WJ, Angadi SS, Gaesser GA. Excess postexercise oxygen consumption after high-intensity and sprint interval exercise, and continuous steady-state exercise. *J Strength Cond Res.* 2016;30(11):3090–3097.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001399>
13. Islam H, Townsend LK, Hazell TJ. Excess postexercise oxygen consumption and fat utilization following submaximal continuous and supramaximal interval running. *Res Q Exerc Sport.* 2018;89(4):450–456.
<https://doi.org/10.1080/02701367.2018.1513633>
14. Kaminsky LA, Padjen S, LaHam-Saeger J. Effect of split exercise sessions on excess post-exercise oxygen consumption. *Br J Sports Med.* 1990;24(2):95–98.
<https://doi.org/10.1136/bjsm.24.2.95>
15. Almuzaini KS, Potteiger JA, Green SB. Effects of split exercise sessions on excess postexercise oxygen consumption and resting metabolic rate. *Can J Appl Physiol.* 1998;23(5):433–443.
<https://doi.org/10.1139/h98-026>
16. Francois ME, Baldi JC, Manning PJ, et al. Exercise snacks before meals: a novel strategy to improve glycaemic control. *Diabetologia.* 2014;57(7):1437–1445.
<https://doi.org/10.1007/s00125-014-3244-6>
17. Little JP, Langley J, Lee M, et al. Sprint exercise snacks: a novel approach to increase aerobic fitness. *Eur J Appl Physiol.* 2019;119(5):1203–1212.
<https://doi.org/10.1007/s00421-019-04110-z>
18. Rafiei H, Omidian K, Myette-Côté É, Little JP. Metabolic effect of breaking up prolonged sitting with stair-climbing exercise snacks. *Med Sci Sports Exerc.* 2021;53(1):150–158.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002431>
19. Islam H, Gibala MJ, Little JP. Exercise snacks: a novel strategy to improve cardiometabolic health. *Exerc Sport Sci Rev.* 2022;50(1):31–37.
<https://doi.org/10.1249/JES.0000000000000275>
20. Stork MJ, Marcotte-Chénard A, Jung ME, Little JP. Exercise in the workplace: receptivity to stair-climbing exercise snacks. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2024;49(1):30–40.
<https://doi.org/10.1139/apnm-2023-0128>
21. Brooks S, Burrin J, Cheetham ME, et al. Catecholamine and β -endorphin responses to brief maximal exercise. *Eur J Appl Physiol.* 1988;57(2):230–234.

- <https://doi.org/10.1007/BF00640668>
22. Gratas-Delamarche A, Le Cam R, Delamarche P, et al. Lactate and catecholamine responses during a Wingate test. *Eur J Appl Physiol*. 1994;68(4):362–366. <https://doi.org/10.1007/BF00571458>
 23. Vincent S, Berthon P, Zouhal H, et al. Plasma glucose, insulin and catecholamine responses to a Wingate test. *Eur J Appl Physiol*. 2004;91(1):15–21. <https://doi.org/10.1007/s00421-003-0957-5>
 24. Peake JM, Tan SJ, Markworth JF, et al. Metabolic and hormonal responses to isoenergetic high-intensity interval and continuous exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 2014;307(7): E539–E552. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00276.2014>
 25. Hazell TJ, Olver TD, Hamilton CD, Lemon PWR. Two minutes of sprint-interval exercise elicits 24-h oxygen consumption similar to 30 min of endurance exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2012;22(4):276–283. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.22.4.276>
 26. Sevits KJ, Melanson EL, Swibas T, et al. Total daily energy expenditure is increased following a single bout of sprint interval training. *Physiol Rep*. 2013;1(5): e00131. <https://doi.org/10.1002/phy2.131>
 27. McCarthy SF, Jarosz C, Ferguson EJ, et al. Intense interval exercise induces greater changes in post-exercise metabolism. *Eur J Appl Physiol*. 2024; 124:1075–1084. <https://doi.org/10.1007/s00421-023-05334-w>
 28. Fritzen AM, Broskey NT, Lundsgaard AM, Dohm GL, Houmard JA, Kiens B. Regulation of fatty acid oxidation in skeletal muscle during exercise: effect of obesity. In: Zoladz JA, editor. *Exercise Metabolism*. Cham: Springer; 2022. p. 161–188. https://doi.org/10.1007/978-3-030-94305-9_8
 29. Wolfe AS, Burton HM, Vardarli E, Coyle EF. Hourly 4-s sprints prevent impairment of postprandial fat metabolism from inactivity. *Med Sci Sports Exerc*. 2020;52(10):2262–2269. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002367>