

The effect of a session of increasingly exhausting exercise on fat and carbohydrate oxidation in obese men

Received:

2025/03/19

Accepted:

2025/09/11

Online ISSN

3060-7078

Ebrahim AhmadianHiran¹

1.Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

Mohammad Ghadri²

2.Exercise Physiology, Faculty of Humanities, Islamic Azad University, Mahabad Branch, Mahabad, Iran.

Mostafa Khani³

3.Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

Elahe Piralaie⁴

4.Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

Reza Farzi zadeh⁵

5.Exercise Physiology, Faculty of Educational Sciences and Psychology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

***Correspondence:**

Ebrahim AhmadianHiran

Email:

ebrahim.ahmadyan@gmail.com

<https://orcid.org/0009-002-0398-7413>

ABSTRACT**Introduction:**

Obesity is a metabolic disorder resulting from an imbalance in energy metabolism and is associated with alterations in substrate utilization. The present study aimed to investigate fat and carbohydrate oxidation during a single session of incremental exercise to exhaustion in obese men.

Materials and Methods:

Fifteen obese men voluntarily participated in this study. Each participant performed an individualized incremental exercise test on a treadmill until volitional exhaustion. Prior to the exercise test, anthropometric characteristics and resting heart rate were measured, while heart rate was continuously monitored throughout the exercise session. Respiratory gas exchange was assessed using a metabolic gas analyzer at rest and continuously during the treadmill test until exhaustion. Data were analyzed using repeated-measures analysis of variance (ANOVA) in SPSS version 22. Statistical significance was set at $p \leq 0.05$.

Results:

The findings demonstrated that during a single session of incremental exercise to exhaustion, the mean $\pm$ SD fat oxidation rate was 0.86 ± 0.48 g/min at the aerobic threshold and 2.80 ± 0.79 g/min at the anaerobic threshold. The mean $\pm$ SD carbohydrate oxidation rate was 6.45 ± 1.97 g/min at the aerobic threshold and 8.61 ± 1.97 g/min at the anaerobic threshold. In addition, significant differences were observed in fat and carbohydrate oxidation across all stages of the incremental exercise test to exhaustion ($p \leq 0.001$).

Conclusion:

Exercise may play an important role in reducing cardiovascular risk factors, improving lipid metabolism, decreasing insulin resistance, and enhancing glucose tolerance in sedentary individuals. Furthermore, it represents an effective therapeutic strategy by increasing fat oxidation and ultimately improving quality of life.

Keywords: Fat oxidation; Carbohydrate oxidation; Sedentary; Incremental exercise to exhaustion.

Extended Abstract

Introduction:

The present study demonstrated that a single session of incremental exercise to voluntary exhaustion significantly increased both fat and carbohydrate oxidation. These findings suggest that acute exercise may contribute to reducing cardiovascular risk factors, improving lipid metabolism, decreasing insulin resistance, and enhancing glucose tolerance in sedentary individuals. Furthermore, exercise may serve as an effective therapeutic strategy by promoting fat oxidation and improving overall quality of life. The findings of this study may be useful for evaluating the metabolic fitness of sedentary individuals and support the implementation of structured exercise programs to improve substrate utilization. Future research should include larger and more diverse study populations, assess dietary intake as a potential confounding factor, and investigate the effects of different exercise intensities on substrate oxidation.

Methodology:

This study employed a quasi-experimental, single-group pretest–posttest design without a control group due to the limited number of available participants. The study population consisted of approximately 200 sedentary male students at Mohaghegh Ardabili University who met the inclusion criteria and volunteered after a recruitment announcement. Initially, 20 participants were selected using convenience sampling. During the study, five participants withdrew, resulting in a final sample of 15 participants. All procedures were conducted in accordance with the ethical principles of the Declaration of Helsinki. Before participation, all volunteers attended an orientation session, completed written informed consent and health questionnaires, and received a detailed explanation of the study protocol. The inclusion criteria were good general health, engagement in less than three hours of physical activity per week, and no history of cardiovascular or respiratory disease. Participants were informed of the study procedures, assured of the confidentiality of their personal information, and advised that participation was voluntary and could be discontinued at any time without penalty.

Experimental Procedure

Participants first completed the health and physical activity questionnaires and signed the informed consent form. Anthropometric measurements, including height, body weight, and BMI, were subsequently obtained. Before testing, participants completed a standardized warm-up consisting of light jogging and dynamic stretching for approximately 10–15 minutes. Participants then performed an individualized incremental treadmill exercise test until voluntary exhaustion. Oxygen uptake (VO_2) and carbon dioxide production (VCO_2) were continuously measured using a metabolic gas analysis system under laboratory conditions (temperature: 29.3°C, atmospheric pressure: 878.10 hPa, relative humidity: 38%). The exercise protocol was adapted from the protocol developed by Siahkouhian. Participants first exercised for 5–10 minutes until reaching approximately 70% of their age-predicted maximum heart rate ($220 - \text{age}$). They maintained this workload for one minute, after which treadmill speed increased by 2 km/h every minute until voluntary exhaustion, defined as the

inability to maintain the required running speed despite verbal encouragement. Heart rate was continuously monitored using a Polar heart rate monitor throughout the test. To familiarize participants with the laboratory environment, each participant attended a familiarization session before data collection. Participants were instructed to refrain from eating for at least two hours before testing. Upon arrival at the laboratory, they rested quietly for 10 minutes while resting heart rate and blood pressure were recorded. After the Polar heart rate transmitter was attached, participants completed a standardized 10-minute warm-up consisting of light movements, jogging, and stretching exercises. Respiratory gas exchange was measured using the Ganshorn Medizin metabolic gas analysis system (Germany). Oxygen and carbon dioxide concentrations were continuously recorded throughout the exercise protocol. Heart rate data were transmitted telemetrically and stored electronically. Airflow measurements were obtained using a digital turbine flow meter calibrated before each test with a 3-L calibration syringe according to the manufacturer's recommendations.

Results:

Anthropometric variables, including height, body weight, and BMI, were measured using standardized procedures. Height was measured to the nearest 1 mm using a SECA wall-mounted stadiometer, while body weight was measured three times using a calibrated SECA mechanical scale with participants wearing light clothing and no shoes. The mean of the three measurements was used for statistical analysis. Exercise heart rate was continuously monitored using a Polar heart rate monitor. Data were analyzed using repeated-measures analysis of variance (ANOVA). When significant effects were identified, Bonferroni-adjusted post hoc comparisons were performed. Prior to statistical analysis, assumptions of normality, sphericity, and homogeneity of variance-covariance matrices were evaluated. Statistical analyses were conducted using SPSS version 22, and graphical illustrations were prepared using Microsoft Excel 2010. Statistical significance was established at $p < 0.05$.

Discussion:

The findings of the present study indicate that a single session of incremental exercise to voluntary exhaustion significantly alters substrate utilization by increasing both fat and carbohydrate oxidation. These results support previous evidence suggesting that acute exercise enhances metabolic flexibility and may contribute to improved energy metabolism in sedentary individuals. Regular participation in structured exercise programs may therefore help reduce cardiovascular risk factors, improve lipid metabolism, decrease insulin resistance, and enhance glucose tolerance. In addition, increased fat oxidation during exercise may represent an important physiological mechanism underlying the beneficial effects of physical activity on body composition, metabolic health, and overall quality of life. Further studies involving larger samples, different exercise modalities, and long-term interventions are warranted to confirm these findings and clarify the underlying physiological mechanisms.

تاثیر یک جلسه فعالیت ورزشی فزاینده وامانده ساز بر اکسیداسیون چربی و کربوهیدرات در مردان چاق

چکیده	تاریخ ارسال: ۱۴۰۳/۱۲/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۰ شاپا الکترونیکی ۳۰۶۰-۷۰۷۸
مقدمه: چاقی یکی از مشکلات ناشی از عدم تعادل در سوخت و ساز است و موجب تغییراتی در منابع سوخت و سازی می‌شود. هدف از پژوهش حاضر بررسی میزان اکسیداسیون چربی و کربوهیدرات طی یک جلسه فعالیت ورزشی فزاینده وامانده ساز در مردان چاق است.	ابراهیم احمدیان حیران^۱ ۱- گروه فیزیولوژی ورزش، تربیت بدنی و علوم ورزشی، تبریز، ایران، تبریز.
روش تحقیق: در این پژوهش ۱۵ نفر از مردان چاق به صورت داوطلبانه شرکت داشتند. آزمودنی‌ها آزمون ورزشی فزاینده وابسته به فرد را بر روی تردمیل اجرا کردند. قبل از اندازه‌گیری شاخص‌های اصلی تحقیق اندازه‌گیری شاخص‌های آنترپومتریکی و ضربان قلب استراحت، و هنگام فعالیت ورزشی ثبت گردید. گازهای تنفسی آزمودنی‌ها با استفاده از گاز آنالایزر در حالت پایه و بر روی نوارگردان تا رسیدن به واماندگی جمع‌آوری شد. جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها از آمار استنباطی (آزمون آماری اندازه‌گیری مکرر) با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ استفاده شد. سطح معناداری در این تحقیق $p \leq 0.05$ در نظر گرفته شد.	محمد قادری^۲ ۲- گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد، مهاباد، ایران.
یافته‌ها: یافته‌های پژوهش نشان داد در یک جلسه تمرین فزاینده وامانده ساز میزان میانگین و انحراف معیار اکسیداسیون چربی در آستانه بی‌هوازی $2/8 \pm 0/79$ و در آستانه هوازی $0/86 \pm 0/48$ و میزان میانگین و انحراف معیار اکسیداسیون کربوهیدرات در آستانه هوازی $6/45 \pm 1/97$ و در آستانه بی‌هوازی $8/61 \pm 1/97$ می‌باشد و همچنین بین میزان اکسیداسیون چربی و کربوهیدرات در تمام مراحل متعاقب یک جلسه فعالیت ورزشی فزاینده وامانده ساز در پسران جوان غیرفعال دانشگاه محقق اردبیلی تفاوت معناداری مشاهده شد ($p \leq 0.001$) بود.	مصطفی خانی^۳ ۳- دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
نتیجه‌گیری: احتمالاً ورزش تأثیر مثبتی در کاهش عوامل خطر قلبی-عروقی، اختلالات چربی، مقاومت به انسولین و عدم تحمل گلوکز در افراد غیرفعال دارد. همچنین یک ابزار مهمی در درمان بیماری‌ها است؛ چرا که اکسیداسیون چربی را افزایش می‌دهد و کیفیت زندگی را بهبود می‌بخشد.	الهه پیرعلایی^۴ ۴- دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
واژگان کلیدی: اکسیداسیون چربی، اکسیداسیون کربوهیدرات، غیرفعال، فعالیت وامانده ساز	رضا فرضی زاده^۵ ۵- گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
	* نویسنده مسئول: ابراهیم احمدیان حیران ایمیل: ebrahim.ahmadyan@gmail.com https://orcid.org/0009-002-0398-7413

مقدمه

چاقی یک بیماری مزمن چند عاملی است که ۶۵۰ میلیون بزرگسال را در سراسر جهان تحت تاثیر قرار می دهد. این بیماری با عوارض سلامت جسمی و روانی از جمله عوامل خطر بیماری قلبی عروقی (دیس لیپیدمی، فشار خون بالا، قندخون بالا، التهاب)، بیماری عروق کرونر قلب، نارسایی قلبی، فشار خون بالا و فیبریلاسیون دهلیزی و دیابت مرتبط است (۱). چاقی موجب اختلال در سوبسترای پایه و باعث کاهش ظرفیت اکسیداسیون چربی می شود (۲). علت چاقی چند عاملی است و شامل یک تعامل پویا از استعدادها، ژنتیکی، تأثیرات محیطی و عوامل رفتاری است. سبک زندگی بی تحرک، رژیم های غذایی پرکالری، نابرابری های اجتماعی-اقتصادی و شهرنشینی شیوع آن را تشدید کرده است. به همان اندازه عوامل ژنتیکی تعیین کننده حساسیت فردی به چاقی و پیامدهای متابولیکی مرتبط با آن هستند همچنین به عنوان پیامد عدم تعادل انرژی بین رژیم غذایی (دریافت انرژی) و فعالیت (مصرف انرژی) در نظر گرفته می شود و به این ترتیب، سیاست های بهداشتی به انتخاب های سبک زندگی فردی هدایت می شوند (۳). کربوهیدرات ها و اسیدهای چرب سوبستراهای اولیه اکسید شده برای حمایت از گردش آدنوزین تری فسفات^۱ (ATP) مورد نیاز برای انقباض مکرر عضلات اسکلتی هستند سهم مطلق و نسبی ایجاد شده توسط این بسترها در کل مصرف انرژی تا حد زیادی با شدت و مدت تمرین تعیین می شود (۴). یکی از ویژگی های کلیدی در تنظیم انرژی بدن، انعطاف پذیری متابولیکی است، یعنی توانایی بدن برای جابجایی مؤثر بین منابع وختی چربی و کربوهیدرات بسته به شرایط فیزیولوژیکی، در طول انتقال از استراحت به ورزش، به ویژه در شدت ها و مدت های مختلف تمرین، این ازگاری متابولیکی نقش مهمی در تأمین انرژی ایفا می کند. بدن با توجه به در دسترس بودن نسبی هر یک از منابع انرژی و نیاز لحظه ای، مسیرهای سوخت و ازی را به گونه ای تنظیم می کند که عملکرد عضلانی و پایداری هموستاز انرژی حفظ شود (۴). ورزش منظم به دستیابی و حفظ ترکیب بدنی مطلوب کمک می کند (۴) و خطر ابتلا به چندین بیماری مزمن را کاهش می دهد (۵). فعالیت بدنی با کاهش غلظت مالونیل کوآنزیم A، موجب رفع مهار آنزیم کارنتین پالمیتوئیل ترانسفراز شده منجر به ورود اسیدهای چرب بلند رنجیره به میتوکندری و بهبود اکسیداسیون چربی می گردد (۵). فعالیت ورزشی از طریق افزایش جریان خون در بافت چربی، موجب تسهیل هورمون های لیپولیتیک مانند اپی نفرین به آدیپوسیت ها شده و فعالیت آنزیم های مهم تجزیه چربی مانند (HSL) لیپاز حساس به هورمون^۲ را افزایش می دهد، باعث آزاد سازی اسیدچرب آزاد بیشتری به جریان خون شده و به ارتقاء ظرفیت تولید انرژی و بهبود متابولیسم چربی کمک می کند (۴). در جریان تمرینات هوازی، نرخ اکسیداسیون چربی به طور تدریجی با افزایش شدت فعالیت افزایش می یابد تا به نقطه ای رئ که در آن حداکثر میزان اکسیداسیون چربی (Fatmax) رخ می دهد. در شدت های بالاتر از این شاخص به دلیل نیاز فوری به انرژی و محدودیت در سرعت اکسیداسیون چربی، هم کربوهیدراتها در تأمین انرژی غالب می شود (۵). شدت تمرین متناظر با حداکثر اکسیداسیون چربی به عنوان یک شاخص مؤثر برای بهبود ترکیب بدن و ظرفیت عملکردی افراد دارای اضافه وزن یا چاقی شناخته شده است (۶). نشان داده شده است بیشترین کاهش نسبت بهره تنفسی^۱ در تمرینات تناوبی با شدت بالا رخ می دهد (۷). اکسیداسیون کربوهیدراتها به طور کلی متناسب با شدت تمرین افزایش می یابد. با این حال، اکسیداسیون چربی در ابتدا از ورزش با شدت کم تا متوسط افزایش می یابد، اما پس از آن در طول ورزش با شدت بالا دوباره کاهش می یابد (۸، ۹). به حداکثر رساندن اکسیداسیون چربی در طول ورزش ممکن است مزایای سلامتی داشته و به کنترل وزن بدن کمک کند و وابستگی به گلوکز را کاهش دهد (۱۰). علاوه بر این زمان بندی و محتوای مواد مغذی قبل از فعالیت ورزشی و هنگام ارزیابی استفاده از بستر ورزشی، ضرورت دارد. هنگام ارزیابی ورزش و پاسخ های تغذیه ای بهتر است که

^۱ -Adenosine three phosphate

2-Hormone-Sensitive Lipase

شاخص‌های هورمونی نیز مورد بررسی قرار گیرد (۷). چندین محقق پیشنهاد کرده‌اند که یک مزیت عمده سطح آمادگی جسمانی بالا، هم در حالت استراحت (۱۱، ۱۲) و هم در حین ورزش (۱۳، ۱۴) میزان بالای اکسیداسیون چربی است، با این حال، تحقیقات دیگر گزارش کردند که اکسیداسیون چربی در حالت استراحت (۱۵) و اکسیداسیون چربی ۲۴ ساعته (۱۶) با توده چربی مرتبط است، به طوری که افراد فعال بدنی با توده چربی بدنی کم، ممکن است انتظار داشته باشد که سطوح کمی از اکسیداسیون چربی داشته باشند. بدیهی است که هر دو دیدگاه نمی‌تواند درست باشد. به عبارت دیگر، افراد فعال‌تر ممکن است اکسیداسیون چربی کم در غیاب فعالیت بدنی (به عنوان مثال، در شرایط کم‌تحرک) و اکسیداسیون چربی بالا در طول ورزش نشان دهند (۱۷). نشان داده شده است که در مردان بی‌تحرک، اکسیداسیون چربی ۲۴ ساعته با توده چربی بدن رابطه مثبت و با حداکثر اکسیژن مصرفی (VO_2) (نشانگر مورد استفاده در اینجا برای سطح آمادگی جسمانی) رابطه منفی دارد. بنابراین مردان فعال منظم ذخایر چربی بدن را پایین‌تر نگه می‌دارند، زیرا سهم کم در اکسیداسیون چربی روزانه از توده چربی پایین‌تر بدن با سهم زیاد در اکسیداسیون چربی ناشی از فعالیت بدنی روزانه متعادل می‌شود (۱۷). انجام فعالیت مقاومتی، قبل از فعالیت استقامتی با افزایش سطح برخی از هورمون‌های درگیر در متابولیسم، بر اکسیداسیون چربی در حین فعالیت استقامتی اثر می‌گذارد. در این زمینه کانگ و همکاران مشاهده کردند که انجام تمرین مقاومتی با شدت پایین قبل از ۹۳ دقیقه فعالیت بر روی دوچرخه کارسنج، باعث افزایش معنادار اکسیداسیون چربی می‌شود (۱۸). همچنین گوتو و همکاران نشان دادند که انجام فعالیت مقاومتی پیش از ۶۳ دقیقه فعالیت بر روی دوچرخه کارسنج باعث افزایش معنادار شاخص‌های لیپولیز می‌شود (۱۹). در مقابل، ابراهیم و همکاران بیان کردند که انجام فعالیت مقاومتی دایره‌ای قبل از ۳۰ دقیقه کار بر روی دوچرخه کارسنج، تأثیر معناداری بر اکسیداسیون چربی نداشت (۲۰). با توجه به اینکه فعالیت ورزشی با روش‌های گوناگونی صورت می‌گیرند، شناخت شیوه‌هایی که بتوانند بر متابولیسم چربی و ذخایر آن اثر بهینه‌ای داشته باشند مهم به نظر می‌رسد (۲۱). در کل با توجه به کمبود مطالعات در این زمینه و نتایج متفاوت تحقیقات انجام گرفته و اینکه تحقیقات قبلی متابولیسم سوبسترا را حین فعالیت ورزشی بر روی دوچرخه کارسنج و در طول یک زمان مشخص بررسی کرده‌اند، تحقیق حاضر با توجه استفاده از نمونه‌های چاق و کم‌تحرک در بررسی میزان اکسیداسیون چربی و کربوهیدرات طی یک جلسه فعالیت ورزشی فزاینده و مانده‌ساز در مردان چاق ضروری می‌باشد.

روش تحقیق:

مطالعه حاضر از نوع نیمه تجربی بوده و طرح پژوهش از نوع پیش‌آزمون و پس‌آزمون بدون گروه کنترل بود. جامعه آماری شامل ۲۰۰ نفر از پسران جوان غیرفعال دانشگاه محقق اردبیلی بود که شرایط ورود به پژوهش را داشتند. این افراد از طریق نصب اطلاعیه مبنی بر همکاری در طرح پژوهشی شناسایی و داوطلب شدند. در تحقیق حاضر کلیه مفاد کمیته اخلاق و اصول اعلامیه هلسینکی رعایت گردید. پس از هماهنگی و مراجعه داوطلبین، با توجه به ملاک‌های ورود به تحقیق نمونه آماری به تعداد ۲۰ نفر و بصورت در دسترس انتخاب شدند. اما برای انجام ادامه فرایند تحقیق تعدادی از آزمودنی‌ها از حضور در تحقیق انصراف دادند و در نهایت تعداد شرکت‌کنندگان ۱۵ نفر جوان با شاخص توده بدنی بالای ۲۵ حضور یافتند. قبل از ورود به تحقیق آزمودنی‌ها در یک جلسه توجیهی شرکت کرده و پس از تکمیل فرم‌های رضایت‌نامه کتبی و پرسشنامه سلامتی، توضیحات مربوط به نحوه اجرای تحقیق، انجام پروتکل را دریافت کردند. از بین جامعه آماری ۱۵ نفر پس از انتخاب بر اساس معیارهای ورود شامل، حداقل وزن بالای ۹۰ کیلوگرم با دامنه سنی ۲۰ تا ۲۵ سال و با سلامت کامل، اجرای فعالیت بدنی به‌طور متوسط کمتر از ۳ ساعت در هفته، بدون سابقه بیماری قلبی - تنفسی بوده وارد تحقیق شدند و هیچ آزمودنی از مطالعه کنار گذاشته نشد. قبل از انجام آزمون، افراد کاملاً در مورد

نحوه انجام آزمون آگاه و مطلع شدند و همچنین هزینه‌ای بر آن‌ها تحمیل نشد. به‌علاوه به محرمانه ماندن اطلاعات تأکید شد. از آزمودنی‌ها خواسته شد تا در یک تاریخ مشخص در جلسه توجیهی شرکت کنند و داوطلبان در این جلسه با مراحل اجرای تحقیق آشنا شدند و سپس آزمودنی‌ها پرسشنامه اطلاعات فردی، رضایت‌نامه و سلامتی را تکمیل کردند. قبل از انجام پروتکل تمرینی مشخصات آنترپومتریکی آزمودنی‌ها از جمله قد، وزن (با استفاده از قدسنج و وزن سنج سکال) و شاخص توده بدنی با استفاده از فرمول تقسیم مقدار وزن بدن برحسب کیلوگرم به مجذور قد برحسب متر) اندازه‌گیری شد. همچنین برای محاسبه میزان اکسیداسیون چربی و هیدروکربن‌ها از معادلات زیر استفاده شد (۲۲). لازم به ذکر است آزمودنی‌ها می‌توانستند باوجود نداشتن سابقه جراحی قلبی-تنفسی، فشار خون بالا در صورت تمایل از تحقیق کنار بروند.

متغیرهای مستقل: یک جلسه تمرین درمانده‌ساز هوازی

متغیرهای وابسته: اکسیداسیون چربی، اکسیداسیون هیدروکربن‌ها

و متغیرهای جسمانی و آنترپومتریکی: سن (سال)، قد (سانتی‌متر)، مقدار توده بدن (کیلوگرم بر مترمربع) همچنین ابزارهای مورد استفاده به شرح زیر می‌باشد: ۱. پرسشنامه مشخصات جسمانی، فیزیولوژیکی و فردی آزمودنی‌ها. ۲. پرسشنامه پزشکی - سلامت. رضایت‌نامه کتبی ۴. ترازوی عقربه‌ای مدل Seca ساخت کشور آلمان و با دقت ۱۰۰ گرم ۵. دستگاه تردمیل (Art Sport مدل E 6150 ساخت کشور انگلستان) ۶. ضربان‌سنج پولار ساخت کشور فنلاند ۷. قدسنج دیواری جهت اندازه‌گیری قد (سانتی‌متر) SECA ساخت آلمان با دقت ۱ میلی‌متر ۸. دستگاه تجزیه و تحلیل گازها

به منظور جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز در مرحله اول آزمودنی‌ها فرم‌های مربوط به پرسشنامه‌های تندرستی و میزان فعالیت بدنی و فرم رضایت‌نامه را تکمیل کردند. در مرحله بعد، متغیرهای بدنی مانند قد، وزن و توده بدنی آزمودنی‌ها اندازه‌گیری شد. در آخرین مرحله، پیش از اجرای پروتکل، آزمودنی‌ها به مدت ۱۱ تا ۱۶ دقیقه با انجام حرکات نرمشی، کششی و دوی نرم، به گرم کردن پرداختند. سپس، پروتکل وابسته به فرد را تا سرحد واماندگی ارادی انجام دادند سپس اندازه‌گیری حجم اکسیژن مصرفی و دی‌اکسیدکربن دفعی در شرایط دمایی ۲۹/۳ درجه سلسیوس، فشار ۸۷۸/۱۰ پاسکال و رطوبت ۳۸ درصد و در ساعت ۱۲/۴۰ با استفاده از دستگاه گاز آنالایزر انجام گرفت. در جدول ۳-۲ شرایط محیطی اندازه‌گیری متغیرهای اصلی تحقیق آورده شده است. برای اجرای پروتکل وابسته به فرد طراحی شده توسط سیاه‌کوهیان، ابتدا آزمودنی‌ها روی نوارگردان به مدت ۵ الی ۱۰ دقیقه با هدف گرم شدن فعالیت کردند تا اینکه به ۷۰ درصد ضربان قلب بیشینه خود رسیدند. ضربان قلب بیشینه افراد با توجه به فرمول کارونن محاسبه شد. آزمون با سرعت معادل ۷۰ درصد حداکثر ضربان قلب^۳ به مدت ۱ دقیقه ادامه یافت. سپس هر یک دقیقه ۲ کیلومتر بر ساعت بر سرعت تردمیل افزوده شد. افزایش فشار کار تا آنجا ادامه یافت که آزمودنی قادر نبود بار کار را حفظ کند و به حالت واماندگی ارادی رسید و با تشخیص محقق یا اظهار خود آزمودنی (مقیاس درک فشار بزرگ)، پروتکل متوقف شد. حدادر مدت انجام آزمون ضربان قلب به‌طور مداوم لحظه‌به‌لحظه توسط ضربان‌سنج پولار ثبت شد (۲۳).

نحوه اجرای تست تجزیه و تحلیل گازها با استفاده از دستگاه گاز آنالایزر از آزمودنی‌ها خواسته شد جهت آشنایی با محیط کار و نحوه اجرای آزمون به آزمایشگاه تربیت بدنی دانشگاه محقق اردبیلی مراجعه کنند و دست‌کم دو ساعت قبل از تست از خوردن پرهیز کنند، در ابتدای مرحله اول، آزمودنی‌ها ۱۰ دقیقه روی صندلی نشستند و فشارخون و ضربان قلب استراحتی اندازه‌گیری شد، و بعد فرستنده پولار برای ثبت لحظه‌به‌لحظه ضربان قلب در قسمت سینه آزمودنی‌ها بسته شد و قبل از شروع پروتکل آزمودنی‌ها توسط مربی مجرب به مدت ۱۰ دقیقه گرم کردند که شامل حرکات نرم در جا دویدن و کششی بود و پروتکل آزمایشی را به مدت ۳

³ MHR
karvonen

دقیقه بر روی نوارگردان اجرا کردند. جلسه آزمون در ساعت ۸ الی ۱۲ در شرایط دما و رطوبت خنثی اجرا شد. سپس بر روی نوارگردان قرار گرفتند و ضربان سنج پولار برای ثبت ضربان قلب بر روی جناغ نصب شد، و ماسک جمع‌آوری گازهای تنفسی بر روی صورت آزمودنی قرار گرفت و فرد با شدت ۷۰ تا ۷۵ درصد ضربان قلب بیشینه به مدت یک دقیقه شروع به دویدن کرد. در هر دقیقه سرعت نوارگردان به میزان ۲ کیلومتر بر ساعت افزوده شد. افزایش فشار کار تا آنجا ادامه یافت که آزمودنی قادر نبود بار کار را حفظ کند تا رسیدن به واماندگی اجرا شد. آزمودنی‌ها در طی اجرای آزمون از طریق ماسک تنفس می‌کردند. همچنین در طی اجرا تشویق شدند تا با حداکثر تلاش خود به تست ادامه دهند.

به منظور جمع‌آوری و برآورد شاخص‌های قلبی-ریوی با استفاده از دستگاه تجزیه و تحلیل گازهای تنفسی (Ganshorn Medizin) ساخت کشور آلمان کمپانی Zan استفاده شد. از گاز به‌طور مداوم نمونه‌گیری شده و غلظت O_2 و CO_2 در گاز تعیین شد. ضربان قلب به‌طور مداوم در طول آزمایشات با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری ضربان قلب تله‌متریک جمع‌آوری شده و در حافظه PC ذخیره شد جریان هوا با یک متر سنج دیجیتالی توربین اندازه‌گیری شد، که قبل از هر آزمایش با استفاده از یک سرنگ ۳ لیتری با سرعت جریان و حجم در محدوده فیزیولوژیکی مورد انتظار، کالیبره شد. پس از اتمام آزمایشات، تمام پارامترهای اندازه‌گیری شده در مراحل قبل از تمرین، آستانه بی‌هوازی، استراحت فعال و ضربان قلب بیشینه انجام گرفت.

روش‌های آماری: در این پژوهش شاخص‌های آنتروپومتریک (قد، وزن، شاخص توده بدن (BMI)) مورد سنجش قرار گرفت. طول قد (سانتی‌متر)، قدسنج دیواری جهت اندازه‌گیری قد (سانتی‌متر) (SECA) ساخت آلمان با دقت ۱ میلی‌متر و وزن آزمودنی‌ها به کیلوگرم، با استفاده از ترازوی عقربه‌ای مدل Seca ساخت کشور آلمان با لباس سبک، بدون کفش، سه بار اندازه‌گیری و میانگین آن به‌عنوان وزن آزمودنی ثبت گردید. لازم به ذکر است به منظور بررسی شدت تمرین ضربان قلب آزمودنی با استفاده از دستگاه ضربان سنج پولار ساخت کشور فنلاند مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها از آزمون آماری تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر و برای مقایسه بین گروهی داده‌ها از آزمون تعقیبی بونفرونی استفاده شد. قبل از انجام آزمون تمامی پیش‌فرض‌های مربوط به این آزمون از جمله نرمال بودن داده‌ها، فرض کرویت داده‌ها و همگنی کوواریانس‌ها مورد تحلیل قرار گرفت. تمامی آنالیزهای آماری در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ و رسم نمودارها در نرم‌افزار Exel ورژن ۲۰۱۰ انجام گرفت. سطح معناداری در تمام آزمون‌ها ۵ درصد در نظر گرفته شده بود.

یافته‌ها

جدول ۱- مقایسه میانگین متغیرهای دموگرافیک و فیزیولوژیک آزمودنی‌ها

Table 1. Comparison of the Mean Demographic and Physiological Variables of the Participants

نتایج آزمون شاپیرو-ویلک مقدار P Shapiro-Wilk Test (P-value)	تعداد N	کران پایین Lower Limit	کران بالا Upper Limit	میانگین $\pm$ انحراف معیار Mean $\pm$ Standard Deviation	متغیر Variable
0.56	15	20	26	22.66 $\pm$ 1.79	سن (سال) Age (years)
0.92	15	161	185	173.93 $\pm$ 1.69	قد (سانتی متر) Height (cm)
0.49	15	53	96	70.46 $\pm$ 11.77	وزن (کیلو گرم) Weight (kg)
0.90	15	18.10	31.30	22.18 $\pm$ 3.11	شاخص توده بدن (کیلو گرم/متر مربع) Body Mass Index (kg/m ²)
0.56	15	174	180	177.33 $\pm$ 1.79	تعداد ضربان قلب Heart Rate (beats/min)

نتایج تجزیه و تحلیل درون گروهی داده‌ها با استفاده از آزمون اندازه‌گیری مکرر (Repeated Measure) نشان داد که میزان اکسیداسیون چربی در تمام مراحل متعاقب یک جلسه فعالیت ورزشی فزاینده و امانده‌ساز در پسران جوان غیرفعال دانشگاه محقق اردبیلی تغییر معناداری کرده است ($P=0.010$)؛ (به جدول ۱ رجوع شود). در نتیجه یک جلسه فعالیت درمانده‌ساز بر اکسیداسیون چربی تأثیر معنادار داشته است. نتایج تجزیه و تحلیل توصیفی داده‌ها نشان داد که میزان اکسیداسیون چربی در مرحله استراحت برابر با 0.14 ± 0.01 بوده است. نتایج تجزیه و تحلیل توصیفی داده‌ها نشان داد که میزان اکسیداسیون چربی در مرحله آستانه بی‌هوازی برابر با 2.8 ± 0.9 بوده است. نتایج تجزیه و تحلیل توصیفی داده‌ها نشان داد که میزان اکسیداسیون چربی در مرحله هوازی برابر با 0.48 ± 0.08 بوده است.

جدول ۲- نتایج درون گروهی آزمون اندازه‌های تکراری

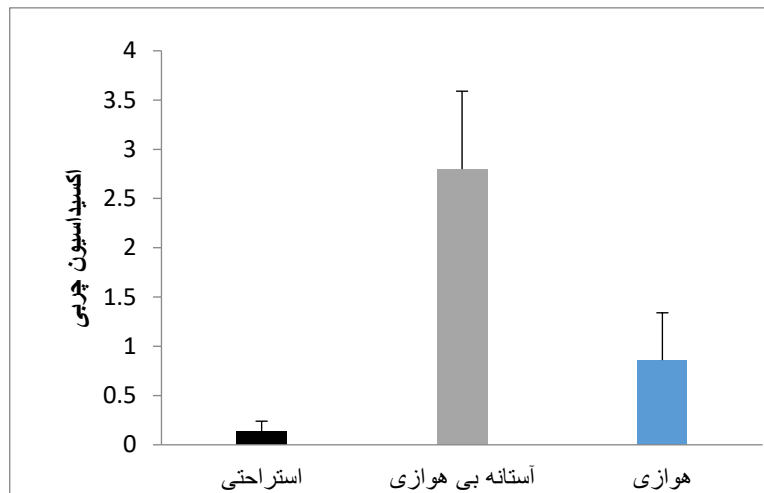
Table 2. Within-Group Results of the Repeated Measures Test

متغیرها Variables	مراحل Stages	میانگین و انحراف معیار Mean $\pm$ SD	P-value	درجه آزادی Degrees of Freedom
اکسیداسیون چربی Fat Oxidation	استراحت Rest	0.14 ± 0.10	0.001	1, 4
	آستانه بی‌هوازی Anaerobic Threshold	-2.80 ± 0.79		
	آستانه هوازی Aerobic Threshold	-0.86 ± 0.48		
اکسیداسیون کربوهیدرات Carbohydrate Oxidation	استراحت Rest	0.66 ± 0.38	0.001	2
	آستانه بی‌هوازی Anaerobic Threshold	8.61 ± 1.97		
	آستانه هوازی Aerobic Threshold	6.45 ± 1.97		

جدول ۳ - نتایج مقایسه اثرات دو به دو مراحل در هر یک از متغیرها

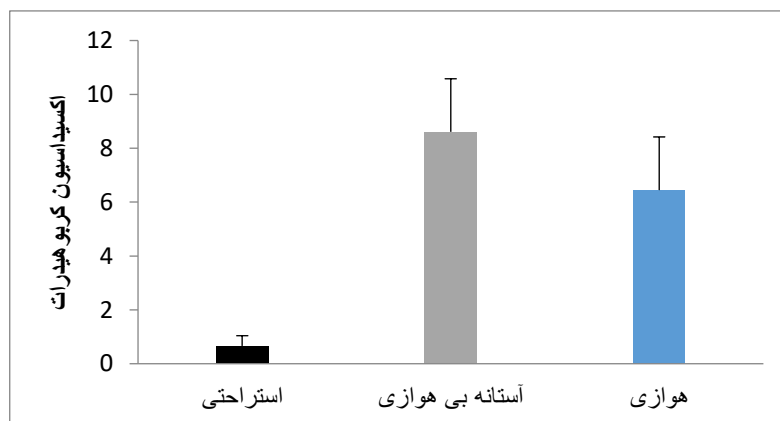
Table 3. Pairwise Comparison of the Effects of Different Stages on Each Variable

متغیرها Variables	مراحل Stage Comparison	اختلاف میانگین Mean Difference	P-value
اکسیداسیون چرب Fat Oxidation	آستانه هوازی Aerobic Threshold	-0.72	0.001
	استراحت Rest	-2.65	0.001
اکسیداسیون کربوهیدرات Carbohydrate Oxidation	آستانه هوازی Aerobic Threshold	-5.78	0.001
	استراحت Rest	-7.94	0.001



نمودار ۱) نتایج اثرات درون گروهی متغیر اکسیداسیون چربی

نتایج تجزیه و تحلیل درون گروهی داده‌ها با استفاده از آزمون اندازه‌گیری مکرر نشان داد که میزان اکسیداسیون چربی از شروع فعالیت تا آستانه بی‌هوازی متعاقب یک جلسه فعالیت ورزشی فزاینده و امانده‌ساز در پسران جوان غیرفعال دانشگاه محقق اردبیلی تغییر معناداری کرده است ($P=0/001$)؛ لذا مقدار این شاخص در مرحله آستانه بی‌هوازی بیشتر از حالت استراحت بوده است. نتایج تجزیه و تحلیل درون گروهی داده‌ها با استفاده از آزمون اندازه‌گیری مکرر نشان داد که میزان اکسیداسیون کربوهیدرات در تمام مراحل متعاقب یک جلسه فعالیت ورزشی فزاینده و امانده‌ساز در پسران جوان غیرفعال دانشگاه محقق اردبیلی تغییر معناداری داشته است ($P=0/001$)؛



نمودار ۲) نتایج اثرات درون گروهی متغیر

نتیجه‌گیری:

هدف از پژوهش حاضر بررسی میزان اکسیداسیون چربی و کربوهیدرات طی یک جلسه فعالیت ورزشی فزاینده و امانده‌ساز در پسران جوان غیرفعال دانشگاه محقق اردبیلی می‌باشد. یافته‌های تحقیق نشان داد که اکسیداسیون چربی در تمام مراحل متعاقب یک جلسه فعالیت ورزشی فزاینده و امانده‌ساز در پسران جوان غیرفعال دانشگاه محقق اردبیلی تغییر معناداری کرده است؛ میزان اکسیداسیون چربی در حالت استراحتی و شدتهای مختلف فعالیت ورزشی متفاوت است، در زمان استراحت چربی سوپسترا اصلی

سوخت و سازی است با شروع فعالیت زیر بیشینه تا رسیدن به نقطه کراس اور که در شدت شصت پنج تا هفتاد و پنج درصد حداکثر اکسیژن مصرفی اتفاق می افتد بعنوان سوخت اصلی عضلات فعال و اندام ها می باشد. همچنین در بررسی اکسیداسیون کربوهیدرات مشخص گردید بین میزان اکسیداسیون کربوهیدرات در تمام مراحل متعاقب یک جلسه فعالیت ورزشی فزاینده وامانده ساز در پسران جوان غیرفعال دانشگاه محقق اردبیلی تفاوت معناداری داشته است؛ میزان اکسیداسیون کربوهیدرات با افزایش شدت فعالیت و در اثر تحریکات تمرین شدید در گلیکونولیز و برداشت گلوکز توسط عضلات است، به طور کلی با افزایش شدت فعالیت میزان اکسیداسیون کربوهیدرات افزایش و میزان اکسیداسیون چربی ها کاهش یافته است. یافته‌های برخی از پژوهش‌های انجام شده در این زمینه همسو با پژوهش کنونی می‌باشد. از جمله می‌توان مطالعات حامدی‌نیا و همکاران (۱۳۹۰)، رومیجان و همکاران (۱۳۹۳)، آچتن و همکاران (۲۰۱۰) می‌باشد. (۲۴، ۲۵، ۲۶). برخی تحقیقات هم نتایج متناقضی در این حیطه گزارش کردند. در این راستا رامین و همکاران (۲۰۰۰) هیچ گونه تفاوت معنی داری در اکسیداسیون سوبسترا بین حالت استراحت و شدت سبک مشاهده نکردند (۲۷). فتحی و همکاران (۱۳۹۶)، در تحقیقی که با عنوان مقایسه حداکثر اکسیداسیون چربی و Fatmax بین مردان سالمند فعال و غیرفعال انجام دادند، پی بردند که وضعیت آمادگی جسمانی مطلوب در افراد سالمند فعال، با میزان اکسیداسیون چربی بالاتر و اکسیداسیون کربوهیدرات پایین‌تر، همراه بوده و علاوه بر این در افراد سالمند میزان حداکثر اکسیداسیون چربی و Fatmax کاهش داشت (۲۸). روحانی و همکاران (۱۳۹۴)، در طی تحقیقی که با موضوع مقایسه حداکثر اکسیداسیون چربی و Fatmax بین زنان تمرین و تمرین نکرده انجام داده بودند، دریافتند که میانگین حداکثر اکسیداسیون چربی و Fatmax در آزمودنی‌های تمرین کرده به لحاظ معناداری بیشتر از مقدار آن در آزمودنی‌های تمرین نکرده بوده، همچنین مقادیر اکسیداسیون چربی در شدت بالای ۵۵ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی در افراد تمرین کرده به طور معنی داری بیشتر از افراد تمرین نکرده بود (۲۸). قلی‌زاده و همکاران (۱۳۹۶)، در بررسی دو نوع تمرین تناوبی خیلی شدید بر اکسیداسیون چربی و کربوهیدرات در مردان جوان دارای اضافه وزن نشان دادند، که تمرینات HIIT موجب کاهش ۹ درصدی استفاده از کربوهیدرات و افزایش ۴۳ درصدی استفاده از چربی به هنگام تست بروس در گروه HIIT-1 شد. این تغییرات نسبت به گروه HIIT-2 معنادار بود. تغییرات وزن و درصد چربی بدن تنها در گروه HIIT-1 معنادار بود (۲۹). تمام مطالعات ذکر شده با نتایج تحقیق حاضر ناهمسو بودند.

در تحقیق حاضر مشخص گردید در افراد غیرفعال متعاقب یک جلسه فعالیت وامانده ساز میزان اکسیداسیون کربوهیدرات تا مرحله فعالیت بیشینه افزایش و اکسیداسیون چربی کاهش داشته است. اکسیداسیون چربی در ورزش‌های هوازی و طولانی مدت از سوخت‌های مهم بدن می باشد، و نسبت استفاده از این دو منبع مهم سوخت و ساز (کربوهیدرات و چربی) به نوع و شدت و مدت فعالیت بستگی دارد. این تعامل ما بین اکسیداسیون کربوهیدرات و چربی به محیط متابولیک درون سلولی و برون سلولی وابسته است (۳۰). مندر و همکاران (۲۰۱۸)، بیان داشتند که، مولفه‌هایی همچون جنسیت، سن، تغذیه ورزشی بر روی اکسیداسیون چربی‌ها موثرند. از طرفی در میان ورزشکاران استقامتی و هنگام فعالیت‌های طولانی مدت ارتباط بین گلیکونئوژنز عضله و اکسیداسیون چربی باید ثابت گردد و در کل نشان داده شد که عملکرد ورزشی بر روی اکسیداسیون چربی تأثیر مثبتی دارد (۳۱). برای فعالیت‌های ورزشی که از چند ثانیه تا چند ساعت زمان می‌برند تأمین مداوم انرژی و آدنوزین تری-فسفات (ATP) از طریق فرآیندهای بنیادی سلولی که زیربنای انقباض عضله اسکلتی در حین ورزش می‌باشد مرتبط است. از جهتی که ذخیره عضلانی ATP محدود است، به منظور حفظ میزان مورد نیاز برای سنتز دوباره ATP باید مسیرهای متابولیک فعال شوند. این مسیرها شامل فسفوکراتین و تجزیه گلیکونئوژن عضله است و برای بیشتر مسابقات سوخت اصلی کربوهیدرات است (۳۲). که می‌توان از دلایل افزایش اکسیداسیون کربوهیدرات در این افراد معرفی کرد.

⁴ HIIT

برخی مطالعات در ارتباط مردان بی‌تحرک با اکسیداسیون چربی نشان دادند، اکسیداسیون چربی ۲۴ ساعته با توده چربی بدن رابطه مثبت و با VO_{2max} رابطه منفی دارد (۱۷). در تحقیق حاضر میزان اکسیژن مصرفی از مرحله استراحتی بسمت مرحله بیشینه افزایش داشته است و می‌تواند از دلایل کاهش میزان اکسیداسیون چربی در این تحقیق بشمار رود. تنظیم فیزیولوژیکی اکسیداسیون چربی در انسان به خوبی مشخص نشده است. برخی از مطالعات از توده بدون چربی بدن (عضلات)^۵ به‌عنوان عامل اصلی تعیین‌کننده اکسیداسیون چربی حمایت می‌کنند (۳۳، ۳۴). در حالی که برخی دیگر نشان می‌دهند که اکسیداسیون چربی با توده چربی بیشتر از FFM مرتبط است (۱۵، ۱۶). با این حال، از آنجایی که توده چربی بستر (یعنی اسیدهای چرب) را برای اکسیداسیون چربی فراهم می‌کند و از آنجا که آزاد شدن اسید چرب متناسب با اندازه توده چربی است، غیر منطقی نیست که فکر کنیم اکسیداسیون چربی بیشتر تحت تأثیر اندازه چربی است (۱۷). برخی مطالعات رابطه مثبت بین توده چربی و اکسیداسیون چربی یافتند به طور مثال شوتر و همکاران روابط بین ترکیب بدن و اکسیداسیون چربی ناشتا را در ۱۰۶ زن مورد بررسی قرار داد. آزمودنی‌های زن در محدوده وزنی ۱۰ تا ۶۰ کیلوگرم بودند و ضریب همبستگی برای ارتباط بین توده چربی و اکسیداسیون چربی ناشتا بود. دامنه توده چربی بدن در مطالعه حاضر مشابه بود (۱۵). آستراپ و همکاران (۱۹۹۴)، همبستگی معنی‌داری بین توده چربی و اکسیداسیون چربی ۲۴ ساعته در ۷۳ فرد زن در توده چربی بین ۱۲ تا ۴۳ کیلوگرم گزارش کرد (۱۶). در مقابل مطالعاتی هم نتایج عکس گزارش کردند (۳۳، ۳۵). با این حال، لیپولیز بافت چربی در دسترس بودن اسیدهای چرب به عضله را افزایش می‌دهد، که طبق شواهد یک عامل تعیین‌کننده مهم در میزان اکسیداسیون چربی در طول ورزش است. شدت ورزش، اگرچه چندین فاکتور دیگر نیز دخیل هستند، از جمله طول مدت ورزش، سن، جنس، درجه بلوغ جنسی، رژیم غذایی، تمرین، سطح انسولین در گردش، و در دسترس بودن بسترهای پرانرژی (۱۰).

اکسیداسیون سوبستراهای پرانرژی، مانند کربوهیدرات، چربی و پروتئین، در طول تمرین هوازی متناسب با شدت فعالیت افزایش می‌یابد (۱۰). به نظر می‌رسد اکسیداسیون چربی در حین ورزش فواید سلامتی دارد زیرا تغییرات در متابولیسم چربی ممکن است به کنترل وزن و کاهش وابستگی به گلوکز به‌عنوان منبع اصلی انرژی در بیماران دیابتی کمک کند و هیپوگلیسمی را در طول ورزش به حداقل برساند (۲۲، ۳۶). افرادی که شامل اضافه وزن هستند می‌توانند جهت افزایش متابولیسم چربی و کم کردن درصد چربی بدن خود قبل از دویدن بر روی نوارگردان به فعالیت مقاومتی بپردازند (۳۷)؛ اما کاهش اکسیداسیون چربی احتمال دارد به‌واسطه تأثیرات تحریکی تمرین بر کلیکوژنولیز و برداشت گلوکز عضله باشد (۲۵). همچنین این رویداد ممکن است به دلیل پیشگیری از ورود اسیدهای چرب زنجیره بلند به میتوکندری باشد که می‌تواند ناشی از جریان گلیکولیتیک در طی تمرین شدید (۳۸) یا کاهش تنظیم کارنتین پالمیتول ترانسفراز که موجب کاهش دسترسی کارنتین آزاد و یا کاهش در PH به‌واسطه افزایش تولید لاکتات در مدت تمرین شدید باشد (۳۹). از دلایل دیگر این کاهش می‌توان به کاهش جریان خون به سمت سلول‌های چربی و کاهش ورود اسید چرب به درون خون باشد (۴۰). از دلایل اختلاف اکسیداسیون چربی در افراد فعال و غیرفعال این می‌تواند باشد که از آنجا که مصرف انرژی در افراد فعال در مقابل افراد کم‌تحرک بیشتر است، ورزشکاران احتمالاً چربی بیشتری را بر اساس وزن مطلق نسبت به افراد کم‌تحرک مصرف می‌کنند. لذا قطع فعالیت بدنی منظم می‌تواند وضعیتی را ایجاد کند که به نفع تعادل چربی مثبت و افزایش وزن باشد (۱۷). اکسیداسیون چربی کمتر در بیماران دیابتی ممکن است با ناتوانی در کاهش سطح انسولین در گردش، مهار لیپولیز و منجر به افزایش احتمالی جذب کبدی اسیدهای چرب، و همچنین افزایش جذب GLUT4 به غشای سلولی و فعال شدن هگزوکیناز عضلانی، فسفوریلاسیون گلوکز را قادر می‌سازد و جذب عضلانی گلوکز را افزایش می‌دهد (۱۰). یک تحقیق در بزرگ‌سالان مبتلا به دیابت نوع یک، نشان داده است که دوزهای بالای انسولین در طول تمرین هوازی متوسط با

⁵ FFM

نرخ اکسیداسیون چربی در حدود ۱۵٪ از VO_{2max} مرتبط است (۴۱). محدودیت‌هایی در این مطالعه موجود بود. در مطالعه حاضر تنها یک گروه تمرینی وجود داشت و این فعالیت بدنی می‌توانست در شدت‌های مختلف صورت بگیرد. همچنین عواملی مثل کنترل بیماری‌های پنهان، هورمون‌های استرسی و تغذیه آزمودنی‌ها ممکن نبود. در این پژوهش که تنها در یک جلسه تمرین فزاینده و امانده ساز انجام شد مشاهده کردیم اکسیداسیون چربی و کربوهیدرات افزایش داشت. به نظر می‌رسد اگر این مشاهدات قابل استناد باشد بتوان گفت: ورزش تأثیر زیادی در کاهش عوامل خطر قلبی-عروقی، اختلالات چربی، مقاومت به انسولین و عدم تحمل گلوکز در افراد غیرفعال دارد. همچنین یک ابزار مهمی در درمان بیماری‌ها است؛ چراکه اکسیداسیون چربی را افزایش می‌دهد و می‌تواند کیفیت زندگی را بهبود بخشد. از نتایج حاصل از این تحقیق، می‌توان در بررسی وضعیت آمادگی جسمانی افراد غیرفعال استفاده کرد. همچنین می‌توان با به‌کارگیری فعالیت‌های ورزشی در بهبود شاخص‌های مربوط به اکسیداسیون چربی و کربوهیدرات‌ها گام برداشت. بهتر است در تحقیقات آتی، این موضوع در بیش از یک گروه آزمودنی‌ها انجام گیرد. همچنین بهتر است برای نتیجه دقیق‌تر تغذیه آزمودنی‌ها نیز موردبررسی قرار گیرد. با توجه به موضوع تحقیق بهتر است برای نتیجه‌گیری دقیق‌تر، شاخص‌ها در شدت‌های و اثرات روش‌های تمرینی در جلسات بیشتری بررسی شود.

تقدیر و تشکر:

از اساتید محترم گروه فیزیولوژی ورزشی دانشگاه محقق اردبیلی مسئول آزمایشگاه که ما را در انجام این تحقیق یاری کردند تشکر می‌کنم

تضاد منافع:

از این لحاظ مشکلی در بین نویسندگان نمی‌باشد.

منابع

1. Ebrahimpour S, Irandoost KH. The effect of aerobic training and supplementation of omega-3 on appetite and ghrelin plasma in obese women. *J Pract Stud Biosci Sport*. 2015;4(7):33-42.
2. Khanna D, Welch BS, Rehman A. Pathophysiology of Obesity. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025.
3. Hawley JA, Leckey JJ. Carbohydrate dependence during prolonged, intense endurance exercise. *Sports Med*. 2015;45(Suppl 1):5-12.
4. Moitzi AM, Krššák M, Klepochova R, Triska C, Csapo R, König D. Effects of a 10-week exercise and nutritional intervention with variable dietary carbohydrates and glycaemic indices on substrate metabolism, glycogen storage, and endurance performance in men: a randomized controlled trial. *Sports Med Open*. 2024;10(1):36.
5. Charoensap T, Kilding AE, Maunder E. Carbohydrate, but not fat, oxidation is reduced during moderate-intensity exercise performed in 33 vs. 18 °C at matched heart rates. *Eur J Appl Physiol*. 2023;123(9):2073-2085.
6. Piercy KL, Troiano RP, Ballard RM, Carlson SA, Fulton JE, Galuska DA, et al. The physical activity guidelines for Americans. *JAMA*. 2018;320(19):2020-2028.
7. Rhodes RE, Janssen I, Bredin SSD, Warburton DER, Bauman A. Physical activity: health impact, prevalence, correlates and interventions. *Psychol Health*. 2017;32(8):942-975.
8. Galgani JE, Fernández-Verdejo R. Pathophysiological role of metabolic flexibility on metabolic health. *Obes Rev*. 2021;22(2):e13131.
9. Bueno-Antequera J, Munguía-Izquierdo D. Physical inactivity, sedentarism, and low fitness: a worldwide pandemic for public health. In: *Integrated Science of Global Epidemics*. Springer; 2023. p. 429-447.
10. Khanvari T, Sardari F, Rezaei B. The effect of 14 days of coenzyme Q10 supplementation on the indicators of muscle damage and fatigue following a bout of sedentary exercise in inactive men. *J Arak Univ Med Sci*. 2019;23(3):389-396.
11. Chen ZP, McConell GK, Michell BJ, Snow RJ, Canny BJ, Kemp BE. AMPK signaling in contracting human skeletal muscle: acetyl-CoA carboxylase and NO synthase phosphorylation. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 2000;279(5):E1202-E1206.
12. Kang C, O'Moore KM, Dickman JR, Ji LL. Exercise activation of muscle peroxisome proliferator-activated receptor- γ coactivator-1 α signaling is redox sensitive. *Free Radic Biol Med*. 2009;47(10):1394-1400.
13. Jiang Y, Tan S, Wang Z, Guo Z, Li Q, Wang J. Aerobic exercise training at maximal fat oxidation intensity improves body composition, glycemic control, and physical capacity in older people with type 2 diabetes. *J Exerc Sci Fit*. 2020;18(1):7-13.
14. Cao L, Jiang Y, Li Q, Wang J, Tan S. Exercise training at maximal fat oxidation intensity for overweight or obese older women: a randomized study. *J Sports Sci Med*. 2019;18(3):413.
15. Wingfield HL, Smith-Ryan AE, Melvin MN, Roelofs EJ, Trexler ET, Hackney AC, et al. The acute effect of exercise modality and nutrition manipulations on post-exercise resting energy expenditure and respiratory exchange ratio in women: a randomized trial. *Sports Med Open*. 2015;1:1.
16. Lima VA, Mascarenhas LP, Decimo JP, Souza WC, França SN, Leite N. Efeito agudo dos exercícios intermitentes sobre a glicemia de adolescentes com diabetes tipo 1. *Rev Bras Med Esporte*. 2017;23:12-15.
17. Yardley JE, Sigal RJ. Exercise strategies for hypoglycemia prevention in individuals with type 1 diabetes. *Diabetes Spectr*. 2015;28(1):32-38.
18. Jesus ÍC, Mascarenhas LP, Lima VA, Decimo JP, Nesi-França S, Leite N. Maximal fat

- oxidation during aerobic exercise in adolescents with type 1 diabetes. *Rev Bras Med Esporte*. 2019;25:299-304.
19. Romijn JA, Klein S, Coyle EF, Sidossis LS, Wolfe RR. Strenuous endurance training increases lipolysis and triglyceride-fatty acid cycling at rest. *J Appl Physiol*. 1993;75(1):108-113.
 20. Tremblay A, Coveney S, Després JP, Nadeau A, Prud'homme D. Increased resting metabolic rate and lipid oxidation in exercise-trained individuals: evidence for a role of β -adrenergic stimulation. *Can J Physiol Pharmacol*. 1992;70(10):1342-1347.
 21. Henriksson J. Training induced adaptation of skeletal muscle and metabolism during submaximal exercise. *J Physiol*. 1977;270(3):661-675.
 22. Hurley BF, Nemeth PM, Martin WH 3rd, Hagberg JM, Dalsky GP, Holloszy JO. Muscle triglyceride utilization during exercise: effect of training. *J Appl Physiol*. 1986;60(2):562-567.
 23. Schutz Y, Tremblay A, Weinsier RL, Nelson KM. Role of fat oxidation in the long-term stabilization of body weight in obese women. *Am J Clin Nutr*. 1992;55(3):670-674.
 24. Astrup A, Buemann B, Western P, Toubro S, Raben A, Christensen NJ. Obesity as an adaptation to a high-fat diet: evidence from a cross-sectional study. *Am J Clin Nutr*. 1994;59(2):350-355.
 25. Kriketos AD, Sharp TA, Seagle HM, Peters JC, Hill JO. Effects of aerobic fitness on fat oxidation and body fatness. *Med Sci Sports Exerc*. 2000;32(4):805-811.
 26. Chatzinikolaou A, Fatouros I, Petridou A, Jamurtas A, Avloniti A, Douroudos I, et al. Adipose tissue lipolysis is upregulated in lean and obese men during acute resistance exercise. *Diabetes Care*. 2008;31(7):1397-1399.
 27. Kang J, Rashti SL, Tranchina CP, Ratamess NA, Faigenbaum AD, Hoffman JR. Effect of preceding resistance exercise on metabolism during subsequent aerobic session. *Eur J Appl Physiol*. 2009;107:43-50.
 28. Goto K, Ishii N, Sugihara S, Yoshioka T, Takamatsu K. Effects of resistance exercise on lipolysis during subsequent submaximal exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 2007;39(2):308-315.
 29. Ebrahim K, Bassami M, Kolahdozi S, Saheb VK. The effects of circuit resistance exercise on fat and carbohydrate metabolism during endurance exercise in overweight men. [ژورنال [نامشخص]].
 30. Venables MC, Achten J, Jeukendrup AE. Determinants of fat oxidation during exercise in healthy men and women: a cross-sectional study. *J Appl Physiol*. 2005;98(1):160-167.
 31. Hadley S. Validation of VO₂ prediction equations in aquatic treadmill (ATM) exercise [پایان‌نامه]. [مکان نامشخص]: [ناشر نامشخص]; [سال نامشخص].
 32. Hamedinia M, Shabani M, Zarei M, Medelli J. Fat and carbohydrate oxidation during an exhaustive incremental exercise in professional and elite amateur cyclists. *Iran J Endocrinol Metab*. 2011;13(1):90-97.
 33. Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, Gastaldelli A, Horowitz JF, Endert E, et al. Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 1993;265(3):E380-E391.
 34. Achten J, Gleeson M, Jeukendrup AE. Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation. *Med Sci Sports Exerc*. 2002;34(1):92-97.
 35. Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, Rosenblatt J, Wolfe RR. Substrate metabolism during different exercise intensities in endurance-trained women. *J Appl Physiol*. 2000;88(5):1707-1714.
 36. Fathi M, Rozbeh B, Seifi Rizvani M. Comparison of maximal fat oxidation and Fatmax between active and inactive elderly men. *Sport Biomot Sci*. 2016;9(18):13-22.
 37. Gholizadeh M, Kordi MR, Akbarnejad A, Ghardashi Afousi A, Mohammadyari S. The effect

- of two types of high intensity interval training (HIIT) on oxidation of fat and carbohydrate in young overweight men. *J Sport Biosci.* 2017;9(2):157-169.
38. Spriet LL. New insights into the interaction of carbohydrate and fat metabolism during exercise. *Sports Med.* 2014;44(Suppl 1):87-96.
 39. Maunder E, Plews DJ, Kilding AE. Contextualising maximal fat oxidation during exercise: determinants and normative values. *Front Physiol.* 2018;9:599.
 40. Hargreaves M, Spriet LL. Skeletal muscle energy metabolism during exercise. *Nat Metab.* 2020;2(9):817-828.
 41. Calles-Escandon J, Arciero PJ, Gardner AW, Bauman CA, Poehlman ET. Basal fat oxidation decreases with aging in women. *J Appl Physiol.* 1995;78(1):266-271.
 42. Nagy TR, Goran MI, Weinsier RL, Toth MJ, Schutz YV, Poehlman ET. Determinants of basal fat oxidation in healthy Caucasians. *J Appl Physiol.* 1996;80(5):1743-1748.
 43. Lillioja S, Foley J, Bogardus C, Mott D, Howard BV. Free fatty acid metabolism and obesity in man: in vivo in vitro comparisons. *Metabolism.* 1986;35(6):505-514.
 44. Riddell MC, Jamnik VK, Iscoe KE, Timmons BW, Gledhill N. Fat oxidation rate and the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation decreases with pubertal status in young male subjects. *J Appl Physiol.* 2008;105(2):742-748.
 45. Zulfiquari F, Haghighi AH, Hamedinia MR. The effect of circular resistance exercise before treadmill running on fat, carbohydrate and energy expenditure metabolism in overweight and obese girls. *J Sabzevar Univ Med Sci.* 2019;27(3):356-361.
 46. Sidossis LS, Gastaldelli A, Klein S, Wolfe RR. Regulation of plasma fatty acid oxidation during low- and high-intensity exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 1997;272(6):E1065-E1070.
 47. Van Loon LJ, Greenhaff PL, Constantin-Teodosiu D, Saris WH, Wagenmakers AJ. The effects of increasing exercise intensity on muscle fuel utilisation in humans. *J Physiol.* 2001;536(1):295-304.
 48. Bassami M, Ahmadizad S, Doran D, MacLaren DP. Effects of exercise intensity and duration on fat metabolism in trained and untrained older males. *Eur J Appl Physiol.* 2007;101(4):525-532.
 49. Riddell MC, Sigal RJ. Physical activity, exercise and diabetes. *Can J Diabetes.* 2013;37(6):359-360.
 50. Rhodes RE, Janssen I, Bredin SSD, Warburton DER, Bauman A. Physical activity: health impact, prevalence, correlates and interventions. *Psychol Health.* 2017;32(8):942-975.