Journal of Sport and Exercise Physiology
2024, 17(2): 20-33

Orginal Article

Responses of maximal fat oxidation and Fat_{max} to incremental exercise and electrical muscle stimulation in overweight men

Minoo Bassami[1,2*], Shirin Khaknejad[1], Rasul Eslami[1], Ali Nejatian Hoseinpour[1]

1. Department of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education and Sports Sciences, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran
2. Research Institutes of Sport Sciences and Health, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran

Abstract

Background and Purpose: Inactive lifestyle has led to an increases in overweight and obesity over the past years, and become an epidemic problem worldwide. Regular exercise is one of the interventions recommended for weight loss and health improvement. The amount of energy consumed during exercise is mainly provided by the combination of fat and carbohydrate metabolism, and the use of these resources depends on the diet, muscle glycogen concentration, and the intensity, duration and type of exercise. During high-intensity exercise, metabolism is more dependent on carbohydrates, while fat is the main fuel during low to medium intensities. Electrical muscle stimulation is an advanced technique which has the ability to create effects similar to the muscle contraction and can increase blood flow to muscles and possibly as a result fat oxidation increases. The present study aimed to investigate the response of maximal fat oxidation (MFO) and Fatmax to incremental exercise and electrical muscle stimulation in overweight men.

Materials and Methods: Ten overweight men (age, 29.10±6.08 years, body mass index, 28.49±1.98 kg/m2) voluntarily participated through a formal invitation. The subjects attended the laboratory in two separate sessions. In the first session, they performed an incremental test to determine maximum fat oxidation and VO2max. In the second session, they repeated the same test, with electrical muscle stimulation applied during the exercise test. Respiratory gases were collected to measure fat and carbohydrate oxidations. The test procedures were such that after warming up for five minutes, the subjects started the exercise at an intensity of 50 watts on the cycle ergometer and 25 watts was added to the workload every three minutes, until their respiratory exchange ratio (RER) reached to one. Thereafter, every 2 minutes the workload was increased by 25 watts until volitional exhaustion. Frayn's formula was used to calculate fat and carbohydrate oxidations. The data for MFO and Fatmax were obtained from the stage with the highest fat oxidation and the equivalent intensity was selected.

Results: An increase in the amount of Fatmax level was observed in incremental exercise and electrical muscle stimulation (79%±6%) trial compared to the incremental exercise trial (74%±14%), though, the statistical analysis did not show a significant difference between the two trials (P=0.365). Furthermore, no

* Corresponding Author's E-mail: bassami@atu.ac.ir
https://doi.org/10.48308/joeppa.2024.234955.1230
Received: 29/02/2024 Revised: 31/05/2024 Accepted: 07/06/2024

Copyright: © 2024 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/).

significant differences were observed between the two trials for MFO (P=0.303), fat oxidation (P=0.397) and carbohydrate oxidation (P=0.969).

Conclusion: Based on these results, it could be concluded that electrical muscle stimulation combined with incremental exercise can lead to an increase in Fatmax levels in overweight men, but it does not have a significant effect on fat oxidation, carbohydrate oxidation, and MFO.

Keywords: Endurance exercise, Fat oxidation, Carbohydrate oxidation, Obesity, EMS

How to cite this article: Bassami M, Khaknejad Sh, Eslami R, Nejatian Hoseinpour A. Responses of maximal fat oxidation and Fatmax to incremental exercise and electrical muscle stimulation in overweight men.J Sport Exerc Physiol. 2024;17(2):20-33.

نشریه فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی
۱۴۰۳، دوره ۱۷، شماره ۲، صفحه‌های ۲۰-۳۳

مقاله پژوهشی

پاسخ بیشینهٔ اکسایش چربی و Fat_{max} به فعالیت ورزشی فزاینده و تحریک الکتریکی عضلانی در مردان دارای اضافه وزن

مینو باسامی[۲،۱*]، شیرین خاک‌نژاد[۱]، رسول اسلامی[۱]، علی نجاتیان حسین‌پور[۱]

۱. گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکدهٔ تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه علامه طباطبایی، تهران، ایران
۲. پژوهشکدهٔ علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه علامه طباطبایی، تهران، ایران

چکیده

زمینه و هدف: سبک زندگی شهرنشینی و فعالیت ناکافی به افزایش اضافه وزن و چاقی منجر شده و این مسئله را به یک مشکل همه‌گیر در تمام کشورها تبدیل کرده است. فعالیت ورزشی یکی از مداخله‌های شیوهٔ زندگی است که برای کاهش وزن و بهبود سلامتی توصیه شده است. مقدار مصرف انرژی هنگام فعالیت بدنی اغلب از ترکیب سوخت‌وساز چربی و کربوهیدرات تأمین می‌شود و میزان استفاده از این منابع به رژیم غذایی، ذخایر گلیکوژن عضلات، شدت و مدت فعالیت و نوع فعالیت ورزشی بستگی دارد که با افزایش شدت فعالیت ورزشی اکسایش کربوهیدرات به‌تدریج زیاد می‌شود، درحالی‌که سهم اکسایش چربی از شدت‌های کار کم تا متوسط افزایش و سپس از شدت‌های متوسط تا زیاد کاهش می‌یابد. تحریک الکتریکی عضلانی توسط تجهیزات پیشرفته توانایی ایجاد انقباض‌های عضلانی و خون‌رسانی به عضلات دارد و در نتیجه سبب افزایش اکسایش چربی می‌شود. هدف از پژوهش حاضر بررسی پاسخ بیشینهٔ اکسایش چربی و Fatmax به فعالیت ورزشی فزاینده و تحریک الکتریکی عضلانی در مردان دارای اضافه وزن بود.

مواد و روش‌ها: ۱۰ مرد دارای اضافه وزن (سن ۶/۰۸ ± ۲۹/۱ سال، تودهٔ بدنی ۱/۹۸ ± ۲۸/۴۹ کیلوگرم بر متر مربع) به‌عنوان نمونه به‌وسیلهٔ فراخوان و به‌صورت داوطلبانه شرکت کردند. آزمودنی‌ها دو جلسه به آزمایشگاه مراجعه کردند. در یک جلسه آزمون فزاینده برای تعیین بیشینهٔ اکسایش چربی و VO2max انجام دادند. در جلسهٔ دیگر همان آزمون جلسهٔ اول را تکرار کردند، با این تفاوت که هنگام آزمون ورزشی تحریک الکتریکی عضلانی داشتند. گازهای تنفسی برای اندازه‌گیری اکسایش چربی و کربوهیدرات جمع‌آوری شد. مراحل آزمون به این صورت بود که آزمودنی‌ها پس از پنج دقیقه گرم کردن، فعالیت را با شدت ۵۰ وات روی چرخ کارسنج شروع کردند و هر سه دقیقه، ۲۵ وات بر میزان کار اضافه شد تا جایی که نسبت تبادل تنفسی آن‌ها برابر با یک شد. در ادامه و تا رسیدن به خستگی ارادی، بر میزان شدت کار در هر دو دقیقه ۲۵ وات افزوده شد. برای برآورد میزان اکسایش چربی و کربوهیدرات از فرمول فراین استفاده شد. داده‌های MFO و Fatmax از مرحله‌ای که بیشترین اکسایش چربی را دارد، به‌دست آمد و شدت معادل آن انتخاب شد.

نتایج: افزایش میزان Fatmaxدر جلسهٔ فعالیت ورزشی فزاینده با تحریک الکتریکی (۶± ۷۹ ٪) نسبت به جلسهٔ بدون تحریک الکتریکی (۱۴± ۷۴ ٪) مشاهده شد، هرچند آنالیز آماری تی زوجی تفاوت معناداری را بین دو جلسه نشان نداد (P= ۰/۳۶۵). همچنین مقایسهٔ داده‌های دو جلسه فعالیت ورزشی فزاینده با تحریک الکتریکی و بدون تحریک الکتریکی با استفاده از تی زوجی اختلاف معناداری را بین دو جلسه برای MFO (P= 303/0)، اکسایش چربی (P= ۰/۳۹۷) و اکسایش کربوهیدرات (P= ۰/۹۶۹) در مردان دارای اضافه وزن نشان نداد.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که تحریک الکتریکی عضلانی همراه با فعالیت ورزشی فزاینده می‌تواند سبب افزایش میزان Fatmax در

* رایانامه نویسنده مسئول: bassami@atu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۱۰ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۳/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۱۸

مردان دارای اضافه وزن شود، اما تأثیر معناداری بر اکسایش چربی، کربوهیدرات و MFO ندارد.

واژه‌های کلیدی: فعالیت استقامتی، اکسایش چربی، اکسایش کربوهیدرات، چاقی، EMS.

نحوه استناد به این مقاله: باسامی م، خاک‌نژاد ش، اسلامی ر، نجاتیان حسین پور ع. پاسخ بیشینهٔ اکسایش چربی و Fatmax به فعالیت ورزشی فزاینده و تحریک الکتریکی عضلانی در مردان دارای اضافه وزن. نشریهٔ فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی. ۱۴۰۳؛۱۷(۲):۲۰-۳۳.

مقدمه

اضافه وزن و چاقی به مشکل همه‌گیر جهانی تبدیل شده است و شیوع آن در بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه رو به افزایش است (۱، ۲). برآورد شده است که تا سال ۲۰۳۰، ۵۷/۸ درصد بزرگسالان جهان از اضافه وزن یا چاقی رنج خواهند برد. افزایش جمعیت، شهرنشینی و تمایل به سبک زندگی غیرفعال به افزایش اضافه وزن و چاقی منجر شده است (۳). اضافه وزن و چاقی به‌عنوان انباشت بیش‌ازحد چربی در بدن تعریف می‌شود و به‌دلیل کاهش چگالی حجمی میتوکندری عضلانی و آدیپوژنز می‌تواند سبب کاهش ظرفیت اکسایش چربی شود و سلامت را به خطر بیندازد (۴). در بسیاری از پژوهش‌های انجام‌گرفته همبستگی اضافه وزن و چاقی با بسیاری از بیماری‌ها مانند دیابت نوع ۲، فشار خون و بیماری‌های قلبی-عروقی به اثبات رسیده است (۵-۷).

در کنار رژیم غذایی و درمان، فعالیت بدنی از مهم‌ترین عوامل بهبود و مدیریت افراد دارای اضافه وزن و چاقی است و فواید آن در پژوهش‌های بسیاری به اثبات رسیده است (۸-۱۱). لیپیدها و کربوهیدرات‌ها دو منبع سوخت اصلی در فعالیت‌های بدنی هستند. چربی‌ها سوخت غالب در فعالیت‌های زیر بیشینه است و برای توصیف نقطه‌ای که اکسایش چربی در طول تمرین به حداکثر می‌رسد (MFO)، از درصدی از اکسیژن مصرفی بیشینه استفاده می‌شود (Fatmax) که اکسایش چربی در بیشینهٔ میزان خود قرار دارد (۱۲، ۱۳). تغییرات سلولی و هورمونی که در طول فعالیت رخ می‌دهد، به‌طور مستقیم با شدت فعالیت وابسته است و می‌تواند بر اکسایش چربی‌ها تأثیرگذار باشد (۱۴). شدت انجام فعالیت بدنی می‌تواند با تأثیر بر غلظت کاتکولامین‌ها لیپولیز را تنظیم کند و MFO را تحت تأثیر قرار دهد (۱۵). در طول تمرین زمانی‌که شدت تمرین افزایش پیدا می‌کند، سرعت اکسایش چربی به اوج می‌رسد و پس از آن اکسایش کربوهیدرات بیشتر می‌شود (۱۶). ازاین‌رو گزارش شده است، Fatmax در یک فعالیت ورزشی کم تا متوسط بین ۴۷ تا ۷۵ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی (VO2max) اتفاق می‌افتد (۱۲، ۱۷، ۱۸). با این همه، Fatmax تحت تأثیر عواملی مانند استقامت قلبی- عروقی، مصرف کربوهیدرات، سطح فعالیت بدنی و VO2max قرار دارد (۱۹-۲۱). تحقیقی نشان داد که Fatmax در زنان مبتلا به دیابت نوع ۲ در ۳۷ درصد VO2max اتفاق می‌افتد (۲۲).

مزیت تحریک الکتریکی عضلانی (EMS) القای انقباضات عضلانی بدون تحریک مستقیم عضلات است. این تجهیزات پیشرفته توانایی ایجاد تأثیراتی همانند انقباض عضلانی را دارد و این امکان را به فرد می‌دهد تا بدون ایجاد بارهای بیش‌ازحد به عضلات و مفاصل، چربی بدن را کاهش دهد (۲۳). از آنجایی که افراد دارای اضافه وزن احتمالاً مشکلاتی در عضلات و مفاصل دارند، ارائهٔ بار بیش‌ازحد به این افراد دشوار است، با این همه، EMS می‌تواند بدون ایجاد فشار زیادی، اثربخش باشد و خطرهای ناشی از افزایش فشار را کاهش دهد (۲۳). همچنین نشان داده شده است که EMS می‌تواند در ترکیب با فعالیت ورزشی با کاهش تودهٔ چربی در پیشگیری و بهبود چاقی مؤثر باشد (۲۴، ۲۵). از طرف دیگر، نشان داده شده است که یک جلسه EMS می‌تواند سوخت‌وساز گلیکولیتیک و غلظت چربی‌های سرم و پلاسما را افزایش دهد و راهبردی برای افزایش سوخت‌وساز لیپید در عضله به‌شمار آید (۲۶). با توجه به تأثیر شدت فعالیت بر سهم نسبی چربی و کربوهیدرات در گردش خون، در تحقیق اخیر هایوکی و همکاران (۲۰۲۳) مشاهده شد که تحریک الکتریکی عضلانی به افزایش غلظت اسیدهای چرب آزاد در خون منجر می‌شود (۲۶). این نتیجه نشان می‌دهد که ایجاد انقباض عضلانی از طریق تحریک الکتریکی عضلانی

نیازمند مصرف انرژی بیشتری نسبت به انقباض عضلانی ارادی است و می‌تواند اثری مشابه با فعالیت ورزشی ایجاد کند (۲۶). در پژوهشی دیگر نشان داده شد که یک ساعت EMS پایین‌تنه با شدت پنج هرتز می‌تواند سبب افزایش انرژی مصرفی در حالت استراحت شود (۱۰۶). پژوهش دیگری نیز افزایش انرژی مصرفی را پس از پیاده‌روی ۱۰ دقیقه‌ای همراه با تحریک الکتریکی عضلانی نشان داد (۱۱۸).

از آنجایی که اضافه وزن و چاقی عامل ایجاد بسیاری از بیماری‌های مزمن هستند و در نتیجه بار اقتصادی مضاعفی را برای جامعه ایجاد می‌کنند، یافتن راهی برای کنترل وزن و پیشگیری از چاقی در افراد دارای اضافه وزن امری ضروری به‌نظر می‌رسد. از طرفی، پیدا کردن بهترین روش‌های تمرینی از دید قابلیت اجرا، ایمنی و بالاترین بهره‌وری برای افراد جامعه بسیار مهم است. اگرچه تمرین منظم ورزشی عامل کنترل وزن و سلامت است، دانستن میزان کالری مصرفی فعالیت‌ها و نوع سوخت آن‌ها نیز از اهمیت زیادی برخوردار است. همچنین، شناخت فعالیت‌ها و روش‌هایی که می‌تواند به بیشترین سوخت چربی (MFO) منجر شود و اینکه یک فعالیت ورزشی در کدام شدت بالاترین میزان سوخت چربی (Fatmax) را دارد می‌تواند در برنامه‌ریزی تمرینی برای کنترل وزن موثر باشد (۲۲). روش تعیین شدت برای بیشینهٔ اکسایش چربی بیشتر به کمکFatmax به دست می‌آید و پس از پیدا کردن شدت موردنظر می‌توان یک نسخهٔ ورزشی برای افراد چاق جهت چربی‌سوزی با شدت مناسب تجویز کرد. از طرفی، بیشتر پژوهش‌های پیشین تأثیر مثبت یک جلسه EMS را بر سوخت چربی و کربوهیدرات، انرژی مصرفی و RER را نشان داده‌اند. با این همه، بر پایهٔ اطلاعات ما، تاکنون پژوهشی دربارهٔ تأثیر همزمان EMS و فعالیت ورزشی بر Fatmax و MFO انجام نشده است و مشخص نیست که آیا استفاده از EMS در کنار فعالیت ورزشی سبب افزایش Fatmax و MFO می‌شود یا خیر و آیا به افزایش سوخت چربی در افراد دارای اضافه وزن کمک کند؟ بنابراین، پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر فعالیت ورزشی فزاینده و تحریک الکتریکی عضلانی بر MFO و Fatmax در مردان دارای اضافه وزن طراحی شد.

روش پژوهش

نمونه‌های پژوهش: جامعهٔ موردنظر این پژوهش مردان دارای اضافه وزن با دامنهٔ سنی ۲۰ تا ۳۰ سال و دارای شاخص تودهٔ بدنی (BMI) بین ۲۵ تا ۳۰ کیلوگرم بر متر مربع بودند. مراحل و اهداف پژوهش از طریق درج در فراخوان به‌صورت کتبی و موارد تکمیلی شفاهی به همهٔ افراد توضیح داده شد و در صورت رضایت کامل برای شرکت در پژوهش برگهٔ رضایت‌نامهٔ شرکت در پژوهش را تکمیل و امضا کردند. همهٔ شرکت‌کنندگان حین پژوهش باید دارای سلامت عمومی می‌بودند و در صورت داشتن پیشینهٔ بیماری‌های مزمن و مصرف دارو از پژوهش خارج می‌شدند. پیش از شرکت در پژوهش، برای ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای و کنترل رژیم غذایی پرسشنامهٔ یادآمد غذایی توسط همهٔ آزمودنی‌ها تکمیل شد. در طول مراحل پژوهش شرکت‌کنندگان اجازهٔ شرکت در هیچ برنامهٔ ورزشی را نداشتند. در ادامه به آزمودنی‌ها یادآوری شد که هر زمان در حین اجرای آزمون فرد اعلام کند که قادر به ادامهٔ آزمون نیست یا صدمهٔ جدی به او وارد شود، آزمون بلافاصله متوقف می‌شود. برای تعیین تعداد آزمودنی‌ها از نرم‌افزار G Power با توان آماری ۸۰ درصد، اندازهٔ اثر ۰/۵ و ٪۵ = α استفاده شد. بر این اساس ۱۰ نفر در پژوهش شرکت کردند. ویژگی‌های آنتروپومتریکی شرکت‌کنندگان در جدول ۱ ارائه شده است. شایان ذکر است که برای انجام پژوهش کد اخلاق (IR.ATU.REC.1399.08) از کمیتهٔ اخلاق در زیست – پزشکی دریافت شد.

جدول ۱. ویژگی‌های آنتروپومتریکی آزمودنی‌ها

متغیر	میانگین ± انحراف معیار
سن (سال)	۲۹/۱ ± ۶/۰۸
قد (سانتی‌متر)	۱۷۸/۳ ± ۵/۳
وزن (کیلوگرم)	۹۰/۷۱ ± ۸/۲۰
شاخص تودهٔ بدنی (کیلوگرم بر مترمربع)	۲۸/۴۹ ± ۱/۹۸

روش اجرای پژوهش: یک هفته پیش از اجرای پژوهش همهٔ آزمودنی‌ها برای دریافت اطلاعات پژوهش و آشنایی با روش تمرین و ای‌ام‌اس به آزمایشگاه مراجعه کردند. پس از آشناسازی آزمودنی‌های پژوهش در دو جلسهٔ دیگر به آزمایشگاه مراجعه کرده و دو آزمون ورزشی با و بدون ای‌ام‌اس را به شکل متقاطع (Crossover) و با فاصلهٔ یک هفته اجرا کردند. پیش از آغاز پژوهش اصلی در مطالعه‌ای آزمایشی (pilot study) روی دو آزمودنی انجام گرفت و قابلیت اجرایی آن تأیید شد. آزمودنی‌ها در یک جلسه آزمون فزاینده را تا نسبت تبادل تنفسی (RER) معادل یک انجام داده و سپس برای تعیین توان هوازی (VO2max) آزمون را تا واماندگی ادامه دادند. مراحل آزمون به این صورت بود که آزمودنی‌ها پس از پنج دقیقه گرم کردن، فعالیت را با شدت ۵۰ وات روی چرخ کارسنج شروع کردند و هر سه دقیقه، ۲۵ وات بر میزان بار کار اضافه شد تا جایی که RER آن‌ها برابر با یک شد (۲۷). در ادامه تا رسیدن به خستگی ارادی، هر دو دقیقه ۲۵ وات بر میزان بار کار افزوده شد. در جلسهٔ دیگری آزمودنی‌ها همان آزمون جلسهٔ اول را تکرار کردند، با این تفاوت که در حین آزمون ورزشی تحریک الکتریکی عضلانی را دریافت می‌کردند. برای این تحریک از دستگاه ای‌ام‌اس نه‌کانالهٔ تایتان (ساخت شرکت سلامت‌اندیشان ممتاز ماد با نام تجاری تایتان) استفاده شد که این دستگاه قادر است همزمان روی نه عضله تحریک الکتریکی ایجاد کند. این دستگاه ای‌ام‌اس برای تقویت عضلات، کاهش تودهٔ چربی و بازیافت پس از تمرین طراحی شده است. عضلات بدن با یکدیگر متفاوت‌اند و هر کدام باید با بسامد خاصی تحریک شوند، بنابراین ماهیچه‌ها به نه گروه تقسیم شدند و با نه کانال مجزای دستگاه تحریک و فعال شدند. روش دوقطبی = EMS به‌صورت شش ثانیه پالس (نوسان) و چهار ثانیه استراحت با تمرکز بر نه گروه بزرگ عضلانی اجرا شد. در تمام جلسات آزمودنی‌ها گرم کردن و سرد کردن عمومی استاندارد را داشتند (۲۸). روش EMS در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. روش تحریک الکتریکی عضلانی

	A	B
بسامد (فرکانس)	۱۵ تا ۲۰ هرتز	۷۵ تا ۳۵ هرتز
شدت	۱۰۰ میلی‌آمپر	۸۰ میلی‌آمپر
ضربه	۲۰۰-۴۰۰ میکروثانیه (ناحیهٔ ران = ۴۰۰ میکروثانیه ناحیهٔ سرینی = ۳۵۰ میکروثانیه ناحیهٔ شکمی = ۳۰۰ میکروثانیه ناحیهٔ پشتی (ذوزنقه‌ای) = ۲۵۰ میکروثانیه ناحیهٔ گردنی = ۲۰۰ میکروثانیه منطقهٔ قفسهٔ سینه = ۲۰۰ میکروثانیه و منطقهٔ بازو = ۲۰۰ میکروثانیه)	

گازهای تنفسی برای اندازه‌گیری اکسایش چربی هنگام فعالیت ورزشی جمع‌آوری شد. مقدار VO_2 و VCO_2 در یک دقیقهٔ پایانی هر مرحله برای محاسبهٔ سوخت چربی و کربوهیدرات از فرمول فراین استفاده شد (۲۹).

اکسایش چربی (گرم در دقیقه) =۱/۶۷× VO_2 ($L.min^{-1}$) - ۱/۶۷× VCO_2($L.min^{-1}$)

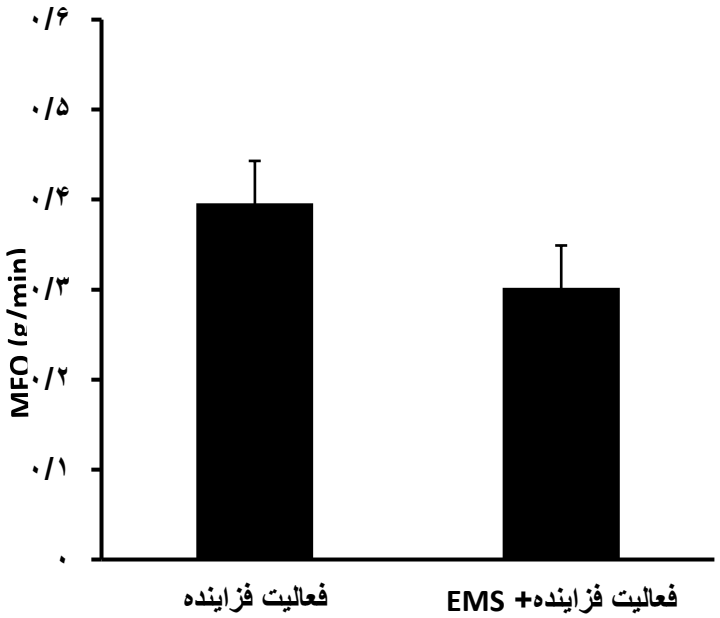
اکسایش کربوهیدرات (گرم در دقیقه) =۴/۵۵× VCO_2 ($L.min^{-1}$) - ۳/۲۱ × VO_2 ($L.min^{-1}$)

داده‌های MFO و Fat_{max} از مرحله‌ای از آزمون که بیشترین اکسایش چربی را دارد، به‌دست آمد و شدت معادل آن انتخاب شد (۳۰).

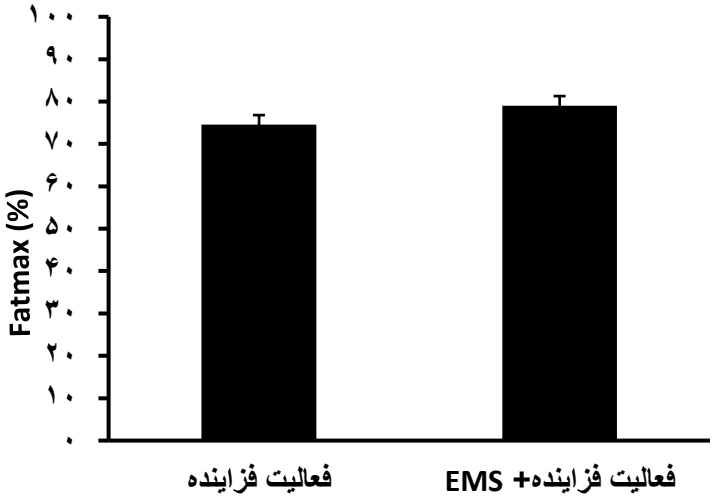
تحلیل آماری: به‌منظور تجزیه‌وتحلیل داده‌های جمع‌آوری‌شده از نرم‌افزار پریزم نسخهٔ ۹ و برای بررسی طبیعی بودن توزیع متغیرها از آزمون شاپیرو-ویلک استفاده شد. برای مقایسهٔ داده‌های دو جلسه از آزمون تی زوجی استفاده شد و سطح معناداری در آزمون $P\leq ۰/۰۵$ در نظر گرفته شد.

نتایج

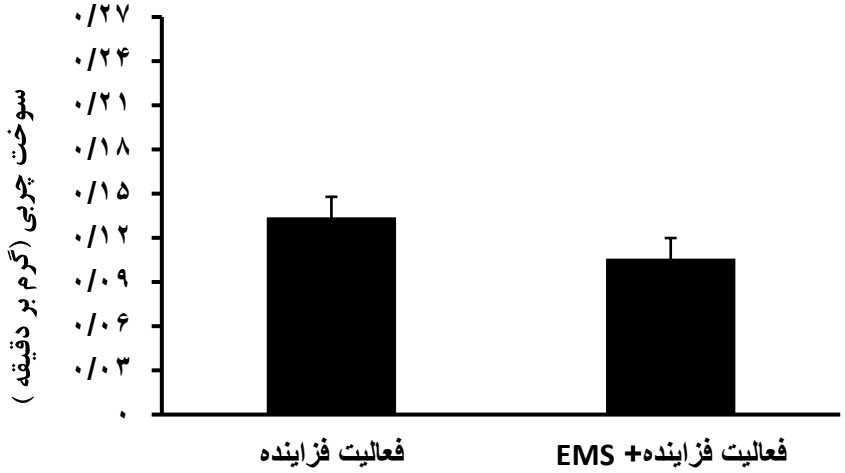
بررسی نتایج به‌دست‌آمده از آزمون شاپیرو-ویلک نشان داد که در دو جلسه آزمون، داده‌های تمام متغیرهای مورد بررسی از توزیع طبیعی برخوردار بودند. همچنین با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از آزمون تی زوجی، نشان داده شد که یک جلسه فعالیت ورزشی فزاینده و تحریک الکتریکی عضلانی بر MFO، Fat_{max}، تأثیر معناداری ندارد. همچنین با مقایسهٔ داده‌های دو جلسه فعالیت ورزشی فزاینده و فعالیت ورزشی فزاینده + EMS با استفاده از تی زوجی اختلاف معناداری بین دو جلسه برای MFO (P= ۰/۳۰) و Fat_{max} (P= ۰/۳۶) دیده نشد (شکل‌های ۱ و ۲). افزون بر این، با مقایسهٔ جلسهٔ فعالیت ورزشی فزاینده + EMS در مقایسه با جلسهٔ فعالیت ورزشی فزاینده برای اکسایش چربی (P= ۰/۳۹۶۷) و کربوهیدرات (P= ۰/۹۶۹۱) تفاوت معناداری دیده نشد (شکل‌های ۳ و ۴).



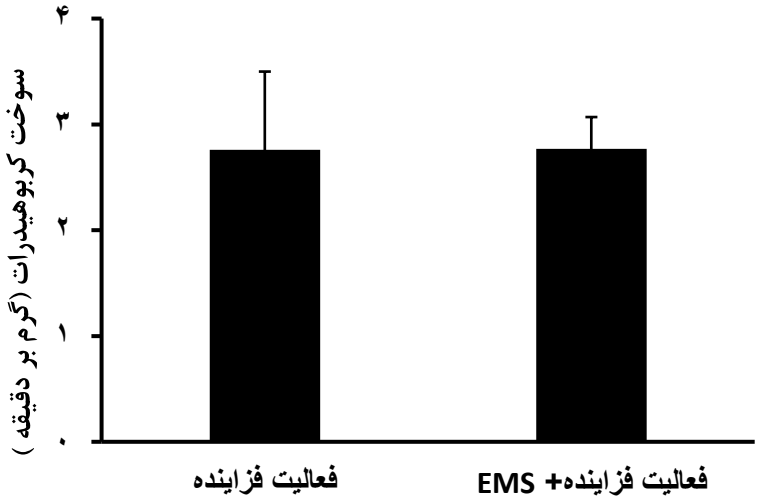
شکل ۱. بیشینهٔ اکسایش چربی (MFO) در دو جلسه فعالیت ورزشی فزاینده و فعالیت ورزشی فزاینده+EMS



شکل ۲. میزان Fat_{max} در دو جلسه فعالیت ورزشی فزاینده و فعالیت ورزشی فزاینده+EMS



شکل ۳. اکسایش چربی در دو جلسه فعالیت ورزشی و فعالیت ورزشی+EMS



شکل ۴. میزان اکسایش کربوهیدرات در دو جلسه فعالیت ورزشی فزاینده و فعالیت ورزشی فزاینده+EMS

بحث و نتیجه‌گیری

بر پایهٔ دانش ما، این نخستین پژوهشی است که با هدف بررسی تأثیر فعالیت ورزشی فزاینده و تحریک الکتریکی عضلانی بر MFO و Fatmax در مردان دارای اضافه وزن انجام گرفته است. نتایج افزایش مقدار Fatmax را در جلسهٔ فعالیت ورزشی فزاینده با تحریک الکتریکی (۶± ۷۹٪) نسبت به جلسهٔ بدون تحریک الکتریکی (۱۴± ۷۴٪) نشان داد، هرچند بررسی آماری تی زوجی تفاوت معناداری را بین دو جلسه نشان نداد. همچنین مقایسهٔ داده‌های دو جلسه فعالیت ورزشی فزاینده با تحریک الکتریکی و بدون تحریک الکتریکی اختلاف معناداری بین دو جلسه برای MFO، اکسایش چربی و اکسایش کربوهیدرات در مردان دارای اضافه وزن نشان نداد.

شدت فعالیت ورزشی یکی از عوامل مؤثر در استفاده از سوبستراهای گوناگون طی فعالیت ورزشی است. یافته‌های پیشین نشان می‌دهند که در شدت‌های کم تا متوسط، اکسایش چربی افزایش می‌یابد، درحالی‌که در شدت‌های بالاتر، کربوهیدرات سهم بیشتری در تولید انرژی دارد (۱۷، ۲۲). بر پایهٔ یافته‌های پیشین دربارهٔ روش تعیین شدت برای بیشینهٔ اکسایش چربی با Fatmax روشن شد که اکسایش چربی هنگام فعالیت تداومی با شدت Fatmax بیشتر از آنی است که هنگام فعالیت ورزشی تناوبی با شدت بالا دیده می‌شود (۳۱). نتایج پژوهش حاضر با نتایج پژوهش تان و همکاران (۳۲) همخوانی نداشت، آنها نشان دادند که فعالیت ورزشی با شدت Fatmax می‌تواند سبب افزایش اکسایش چربی و کاهش درصد چربی بدن در زنان چاق شود. یوکاندروپ و همکاران (۲۰۰۱) نیز در پژوهش خود دریافتند که تمرین در دامنهٔ Fatmax می‌تواند برای پیشگیری از بیماری‌های قلبی- عروقی، دیابت، کاهش وزن و افزایش چربی‌سوزی بسیار مفید باشد.

همسو با نتایج سوخت چربی در پژوهش حاضر، می‌توان به یک پژوهش فراتحلیلی با بررسی ۱۲ پژوهش اشاره کرد که نشان دادند تحریک الکتریکی عضلانی تأثیر معناداری بر تودهٔ چربی افراد ندارد و سبب کاهش آن نمی‌شود. سازوکار احتمالی این مسئله می‌تواند نبود شدت تکانهٔ کافی در تحریک باشد. از طرف دیگر، افزایش میزان سوخت‌وساز استراحتی به‌عنوان پاسخ به فعالیت‌های بیشینه گزارش شده است (۳۳). یافته‌های وتاناب و همکاران (۳۴) دربارهٔ تأثیر تحریک الکتریکی عضلانی هنگام رکاب زدن با شدت متوسط بر پاسخ‌های سوخت‌وسازی و قلبی-عروقی، نشان داد که استفاده از EMS به‌صورت متناوب در طول فعالیت ورزشی با بار ثابت، می‌تواند به ایجاد شدت بالاتر از فعالیت معمولی به‌دلیل فعال کردن بیشتر تارهای انقباضی منجر شود و در نتیجه سوخت‌وساز بی‌هوازی را افزایش دهد. گراست و همکاران (۳۵) در تحقیقی اثر ترکیبی EMS و پیاده‌روی را در افراد چاق بررسی کردند و نشان دادند که این روش سبب افزایش معنادار در RER، ضربان قلب، اکسیژن مصرفی و میانگین مصرف انرژی می‌شود. همچنین نوهر و همکاران (۳۶) نشان دادند که تحریک الکتریکی عضلانی موضعی با بسامد پایین در عضلات چهارسر ران و همسترینگ به افزایش معنادار VO2max و اکسایش در مردان سالم منجر می‌شود. با این همه، نتایج این پژوهش با توجه به مدت زمان فعالیت ورزشی با پژوهش حاضر همخوانی نداشت. در پژوهشی دیگر یونیا و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی تأثیر EMS بر انرژی مصرفی و سوخت چربی طی پیاده‌روی با سطح شیبدار پرداختند. در این پژوهش دریافتند که EMS سبب افزایش انرژی مصرفی و سوخت چربی طی پیاده‌روی سطح شیب‌دار و استراحت در مردان جوان می‌شود (۳۷) که با نتایج پژوهش حاضر همسو نبود، زیرا نوع فعالیت ورزشی با پژوهش حاضر متفاوت بود. در پژوهش حاضر روش تعیین Fatmax که فعالیت ورزشی فزاینده‌ای است، بر پایهٔ این فرضیه طراحی شد که اگر Fatmax در پاسخ به تحریک الکتریکی عضلانی افزایش یابد، می‌توان یک برنامهٔ تمرینی همراه با تحریک الکتریکی

عضلانی برای افراد دارای اضافه وزن و چاق به‌منظور چربی‌سوزی بـا شـدت مناسـب توصیه کرد.

تعیین بیشینهٔ اکسایش چربی از طریق Fatmax کار بسیار دشواری است، زیرا عوامل دیگری نیز شاید بر افزایش سوخت چربی تأثیرگذار باشند. در بین عوامل مؤثر بر بیشینهٔ اکسایش چربی، تأثیر وضعیت آمادگی بدنی افراد و وضعیت تمرینی افراد است. روحانی و همکاران (۳۸) نشان دادند که مقدار اکسایش چربی در شدت‌های یکسان در افراد با سطح فعالیت بدنی بالاتر بیشتر است. به‌طور کلی، می‌توان گفت که سطح آمادگی بدنی بالا به افزایش مقدار MFO منجر می‌شود و در شدت‌های بالاتر، این مقدار کاهش می‌یابد و افراد با سطح آمادگی بدنی بالاتر، کمتر به کربوهیدرات وابسته‌اند. ازاین‌رو تفاوت در پژوهش حاضر شاید به‌علت ویژگی آزمودنی‌ها و سطح آمادگی بدنی آنها باشد. لیما و همکاران (۳۹) گزارش دادند که Fat_{max} در افرادی که VO_{2max} بیشتری دارند، بالاتر است. سازوکار پیشنهادی در این باره شاید افزایش چگالی مویرگ‌ها، شمار و اندازهٔ میتوکندری و در نتیجه افزایش آنزیم‌های اثرگذار در اکسایش چربی سازوکار و باشد که سبب تجزیهٔ بیشتر تری‌گلیسیرید و غلظت بیشتر اسیدهای چرب آزاد در خون می‌شود. از سوی دیگر، آخن و همکاران (۲۰) و استیسن و همکاران (۴۰) تفاوت معناداری را در Fat_{max}، MFO میان افراد تمرین‌نکرده و تمرین‌کرده نشان ندادند. اگرچه همواره باور بر این است که افراد با آمادگی بدنی بیشتر به‌دلیل محتوای گلیکوژن عضلانی بیشتر در یک فعالیت ورزشی با شدت یکسان نسبت به افراد تمرین‌نکرده چربی بیشتری مصرف می‌کنند، نشان داده شده است که هیچ‌گونه همبستگی بین مقدار گلیکوژن عضلانی و سوخت چربی در شدت‌های کم تا متوسط وجود ندارد و گویا این تفاوت‌ها تنها در شدت‌های بالا رخ می‌دهد (۴۰). این اولین پژوهشی است که به بررسی تأثیر تحریک الکتریکی عضلانی بر پاسخ MFO و Fat_{max} پرداخته است. از آنجایی که پژوهش حاضر به بررسی پاسخ پرداخته است، پیشنهاد می‌شود تأثیر منظم و طولانی‌مدت تحریک الکتریکی عضلانی بر Fat_{max} و MFO در پژوهش‌های آینده بررسی شود. همچنین با توجه به نقش کلیدی هورمون‌ها در لیپولیز، بررسی هورمون‌های تأثیرگذار در سوخت‌وساز چربی گویا می‌تواند برای توضیح سازوکارهای درگیر کمک‌کننده باشد.

روی‌هم‌رفته بر پایهٔ پژوهش حاضر می‌توان نتیجه‌گیری کرد که فعالیت ورزشی فزاینده به‌همراه تحریک الکتریکی عضلات در مقایسه با فعالیت ورزشی فزاینده بدون تحریک الکتریکی عضلات می‌تواند بر مقدار Fat_{max} تأثیرگذار باشد. اما مقایسهٔ داده‌های دو جلسه فعالیت ورزشی فزاینده با تحریک الکتریکی عضلات و بدون تحریک الکتریکی عضلات تأثیر معناداری بر اکسایش چربی و کربوهیدرات و MFO نشان نداد.

تشکر و قدردانی

از همهٔ آزمودنی‌هایی که در این پژوهش شرکت کردند، کمال تشکر و قدردانی را داریم. بدون شک با عدم حضور آنها، این پژوهش امکان اجرا نداشت.

حمایت مالی

هیچ‌گونه کمک مالی از سازمان‌های تأمین‌کنندهٔ مالی در بخش‌های عمومی و دولتی، تجاری، غیرانتفاعی دانشگاه یا مرکز تحقیقات دریافت نشده است و منبع استخراج مقاله پایان‌نامه است.

مشارکت نویسندگان

تمام نویسندگان در آماده‌سازی مقاله مشارکت یکسان داشته‌اند.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که در پژوهش حاضر هیچ‌گونه تضاد منافع وجود ندارد.

منابع

1. Collaborators GRF. Global, regional, and national comparative risk assessment of 79 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks, 1990–2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. Lancet (London, England). 2016;388(10053):1659.

2. McLachlan S, Collaboration NRF. Trends in adult body mass index in 200 countries since 1975: pooled analysis of 1,698 population-based measurement studies with 19.2 million participants. The Lancet. 2016;387(10026).

3. Tabrizi JS, Sadeghi-Bazargani H, Farahbakhsh M, Nikniaz L, Nikniaz Z. Prevalence and associated factors of overweight or obesity and abdominal obesity in Iranian population: a population-based study of northwestern Iran. Iranian journal of public health. 2018;47(10):1583.

4. Galgani JE, Fernández-Verdejo R. Pathophysiological role of metabolic flexibility on metabolic health. Obesity Reviews. 2021;22(2):e13131.

5. Ayatollahi S, Ghoreshizadeh Z. Prevalence of obesity and overweight among adults in Iran. Obesity reviews. 2010;11(5):335-7.

6. WHO. World Health Organization obesity and overweight fact sheet. WHO Geneva, Switzerland; 2016.

7. Bixby H, Bentham J, Zhou B, Di Cesare M, Paciorek C, Bennett J, et al. Rising rural body-mass index is the main driver of the global obesity epidemic. 2019.

8. Jensen MD, Ryan DH, Apovian CM, Ard JD, Comuzzie AG, Donato KA, et al. 2013 AHA/ACC/TOS guideline for the management of overweight and obesity in adults: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines and The Obesity Society. Journal of the American college of cardiology. 2014;63(25 Part B):2985-3023.

9. Yumuk V, Tsigos C, Fried M, Schindler K, Busetto L, Micic D, Toplak H. European guidelines for obesity management in adults. Obesity facts. 2015;8(6):402-24.

10. Naghizadeh H, Heydari F. The effect of 12 weeks of HIIT and curcumin consumption on oxidative indices in obese men with type-2 diabetes mellitus. Journal of Sport & Exercise Physiology (JSEP). 2023;15(4). (In Persian)

11. Akbarpour M, Rad SS, Chamani N. Comparison of the effects of eight weeks of traditional resistance training and TRX on oxidative and antioxidant indicators in women with type 2 diabetes. Journal of Sport and Exercise Physiology. 2023;16. (In Persian)

12. Achten J, Jeukendrup AE. Optimizing fat oxidation through exercise and diet. Nutrition. 2004;20(7-8):716-27.

13. Abildgaard J, Pedersen AT, Green CJ, Harder-Lauridsen NM, Solomon TP, Thomsen C, et al. Menopause is associated with decreased whole body fat oxidation during exercise. American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism. 2013;304(11):E1227-E36.

14. Purdom T, Kravitz L, Dokladny K, Mermier C. Understanding the factors that effect maximal fat oxidation. Journal of the

International Society of Sports Nutrition. 2018;15(1):3.

15. Alghannam AF, Ghaith MM, Alhussain MH. Regulation of energy substrate metabolism in endurance exercise. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2021;18(9):4963.

16. Jeukendrup A, Achten J. Fatmax: a new concept to optimize fat oxidation during exercise? European Journal of Sport Science. 2001;1(5):1-5.

17. Achten J, Gleeson M, Jeukendrup AE. Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2002;34(1):92-7.

18. Valizadeh A, Khosravi A, Azmoon H. Fat oxidation rate during and after three exercise intensities in non-athlete young men. World Appl Sci J. 2011;15(9):1260-6.

19. Alkahtani SA, King NA, Hills AP, Byrne NM. Effect of interval training intensity on fat oxidation, blood lactate and the rate of perceived exertion in obese men. Springerplus. 2013;2(1):1-10.

20. Achten J, Jeukendrup AE. The effect of pre-exercise carbohydrate feedings on the intensity that elicits maximal fat oxidation. Journal of Sports Science. 2003;21(12):1017-25.

21. Venables MC, Achten J, Jeukendrup AE. Determinants of fat oxidation during exercise in healthy men and women: a cross-sectional study. Journal of applied physiology. 2005;98(1):160-7.

22. Tan S, Du P, Zhao W, Pang J, Wang J. Exercise training at maximal fat oxidation intensity for older women with type 2 diabetes. International Journal of Sports Medicine. 2018;39(05):374-81.

23. Kemmler W, Schliffka R, Mayhew JL, von Stengel S. Effects of whole-body electromyostimulation on resting metabolic rate, body composition, and maximum strength in postmenopausal women: the training and electrostimulation trial. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2010;24(7):1880-7.

24. Jee Y-S. The effect of high-impulse-electromyostimulation on adipokine profiles, body composition and strength: A pilot study. Isokinetics and Exercise Science. 2019;27(3):163-76.

25. Porcari JP, Miller J, Cornwell K, Foster C, Gibson M, McLean K, Kernozek T. The effects of neuromuscular electrical stimulation training on abdominal strength, endurance, and selected anthropometric measures. Journal of sports science & medicine. 2005;4(1):66.

26. Hioki M, Takahashi H, Saito A, Imai M, Yasuda H. Effect of electromyostimulation training on intramuscular fat accumulation determined by ultrasonography in older adults. European Journal of Applied Physiology. 2023;123(2):271-82.

27. Cheneviere X, Malatesta D, Peters EM, Borrani F. A mathematical model to describe fat oxidation kinetics during graded exercise. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2009;41(8):1615-25.

28. Kemmler W, Von Stengel S, Schwarz J, Mayhew JL. Effect of whole-body electromyostimulation on energy expenditure during exercise. The Journal of Strength & Conditioning Research.

2012;26(1):240-5.

29. Frayn K. Calculation of substrate oxidation rates in vivo from gaseous exchange. Journal of applied physiology. 1983;55(2):628-34.

30. Croci I, Hickman IJ, Wood RE, Borrani F, Macdonald GA, Byrne NM. Fat oxidation over a range of exercise intensities: fitness versus fatness. Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism. 2014;39(12):1352-9.

31. Lanzi S, Codecasa F, Cornacchia M, Maestrini S, Capodaglio P, Brunani A, et al. Short-term HIIT and Fatmax training increase aerobic and metabolic fitness in men with class II and III obesity. Obesity. 2015;23(10):1987-94.

32. Tan S, Wang X, Wang J. Effects of supervised exercise training at the intensity of maximal fat oxidation in overweight young women. Journal of Exercise Science & Fitness. 2012;10(2):64-9.

33. Kemmler W, Shojaa M, Steele J, Berger J, Fröhlich M, Schoene D, et al. Efficacy of whole-body electromyostimulation (WB-EMS) on body composition and muscle strength in non-athletic adults. A systematic review and meta-analysis. Frontiers in physiology. 2021:95.

34. Watanabe K, Taniguchi Y, Moritani T. Metabolic and cardiovascular responses during voluntary pedaling exercise with electrical muscle stimulation. European journal of applied physiology. 2014;114:1801-7.

35. Grosset J-F, Crowe L, De Vito G, O'Shea D, Caulfield B. Comparative effect of a 1 h session of electrical muscle stimulation and walking activity on energy expenditure and substrate oxidation in obese subjects. Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism. 2013;38(999):57-65.

36. Nuhr M, Crevenna R, Gohlsch B, Bittner C, Pleiner J, Wiesinger G, et al. Functional and biochemical properties of chronically stimulated human skeletal muscle. European journal of applied physiology. 2003;89:202-8.

37. Perez-De-Arrilucea-Le-Floc'h UA, Dote-Montero M, Carle-Calo A, Sánchez-Delgado G, Ruiz JR, Amaro-Gahete FJ. Acute Effects of Whole-Body Electromyostimulation on Energy Expenditure at Resting and during Uphill Walking in Healthy Young Men. Metabolites. 2022;12(9):781.

38. Rouhani H, Damirchi A, Hasannia S, Rouhani M. The Effect of Dehydration on Maximal Fat Oxidation (MFO) and the Exercise Intensity at which MFO Occurred (FATMAX) Olympic. 2009;16(4):89-98. (In Persian)

39. Lima-Silva AE, Bertuzzi RC, Pires FO, Gagliardi JF, Barros RV, Hammond J, Kiss MA. Relationship between training status and maximal fat oxidation rate. Journal of sports science & medicine. 2010;9(1):31.

40. Stisen AB, Stougaard O, Langfort J, Helge JW, Sahlin K, Madsen K. Maximal fat oxidation rates in endurance trained and untrained women. European journal of applied physiology. 2006;98:497-506.