Comparing the effect of incremental endurance training with and without electrical muscle stimulation on fat oxidation in sedentary overweight men

Payam Abbasian Mehr, Nahid Bijeh*, Amir Rashidlamir

Department of Exercise Physiology, Faculty Sports Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Corresponding author e-mail: : bijeh@um.ac.ir

Abstract

Background and Objective: Obesity and overweight are the major public health challenges of the current century. WB-EMS is an emerging technology that can simultaneously activate different muscle groups. A training session with WB-EMS can increase energy expenditure, which can increase fat oxidation. The aim of the present study was to compare the effect of endurance training with and without electrical muscle stimulation on fat oxidation in overweight and sedentary men.

Materials and Methods: 20 young overweight and sedentary men (age range 20-30 years and body mass index 25-30 kg/m2) were purposively selected and performed an incremental protocol on a ergometer until the respiratory exchange ratio reached one. Glycerol levels were determined using serum samples collected before and after the test, and the rate of fat oxidation and maximum fat oxidation were obtained using stoichiometric equations from the data of the gas analyzer. The Kolmogorov-Smirnov test was used to assess the normality of the data, the paired t-test was used for intra-group comparisons, and the independent t-test was used for inter-group comparisons.

Results: Fat oxidation was significantly increased in the group with electrical muscle stimulation compared to the group without electrical stimulation (P=0.011). Maximum fat oxidation was significantly different between the two groups with and without electrical stimulation (P=0.045). Glycerol levels were not significantly different between the two groups (P=0.799).

Conclusion: There was a significant difference between endurance training with and without electrical muscle stimulation on fat oxidation in overweight men. Therefore, it seems that electrical stimulation during endurance training can increase fat oxidation in exercise with an ergometer.

Keywords: Endurance training, Energy Metabolism, Overweight, Electric stimulation

Received: Oct 24, 2024 **Revised:** Jan 19, 2025 **Accepted:** Jan 25, 2025

How to cite this article: Abbasian Mehr P, Bijeh N, Rashidlamir A. Comparing the effect of incremental endurance training with and without electrical muscle stimulation on fat oxidation in sedentary overweight men. Daneshvar Medicine 2025; 32(6):29-40. doi: 10.22070/DANESHMED.2025.19886.1572

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Non Commercial License 4.0 (CCBYNC), where it is permissible to download, share, remix, transform, and buildup the work provided it is properly cited. The work cannot be used commercially without permission from the journal.

مقایسه تاثیر تمرین استقامتی با و بدون تحریک الکتریکی عضلانی بر اکسیداسیون چربی در مردان دارای اضافه وزن کم‌تحرک

پیام عباسیان مهر، ناهید بیژه*، امیررشیدلمیر

گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

*نویسنده مسئول: ناهید بیژه **Email: bijeh@um.ac.ir**

چکیده

مقدمه و هدف: چاقی و اضافه‌وزن بزرگ‌ترین چالش بهداشت عمومی در قرن حاضر است. WB-EMS یک تکنولوژی در حال توسعه است که گروه‌های عضلانی مختلف را هم‌زمان فعال می‌کند. تمرین با WB-EMS می‌تواند انرژی مصرفی را افزایش دهد که باعث افزایش اکسیداسیون چربی می‌شود. هدف از مطالعه‌ی حاضر، مقایسه‌ی تاثیر تمرین استقامتی با و بدون تحریک الکتریکی عضلانی بر اکسیداسیون چربی در مردان دارای اضافه وزن کم‌تحرک است.

مواد و روش ها: ۲۰ مرد جوان دارای اضافه وزن و کم‌تحرک (محدوده سنی ۲۰ تا ۳۰ سال و نمایه توده بدنی ۲۵ تا ۳۰ گیلوگرم بر متر مربع) به صورت هدفدار انتخاب شدند و روی چرخ کارسنج پروتکل پیش‌رونده‌ای را تا زمانی که نسبت تبادل تنفسی به یک رسید انجام دادند. مقادیر گلیسرول با استفاده از نمونه‌ی سرم جمع‌آوری شده قبل و بعد از آزمون و میزان اکسیداسیون چربی و حداکثر اکسیداسیون چربی به وسیله‌ی معادلات استوکیومتری از داده‌های دستگاه گازآنالایز به دست آمد. برای سنجش نرمال بودن از آزمون کولموگروف‌اسمیرنوف، برای تغییرات درون گروهی و برون‌گروهی از آزمون تی زوجی و مستقل استفاده شد.

نتایج: اکسیداسیون چربی و حداکثر اکسیداسیون چربی در گروه با تحریک الکتریکی عضلانی نسبت به گروه بدون تحریک الکتریکی افزایش معنی‌دار یافت (P=۰/۰۱۱ و P=۰/۰۴۵)). مقادیر گلیسرول بین دو گروه با و بدون تحریک الکتریکی تفاوت معنی‌دار نداشت (P=۰/۷۹۹).

نتیجه‌گیری: بین تمرین استقامتی با و بدون تحریک الکتریکی عضلانی بر اکسیداسیون چربی مردان دارای اضافه وزن تفاوت معناداری وجود دارد. بنابراین به نظر می‌رسد تحریک الکتریکی حین تمرین استقامتی می‌تواند اکسیداسیون چربی حین تمرین با چرخ کارسنج را افزایش دهد.

واژه های کلیدی: تمرین استقامتی، سوخت و ساز انرژی، اضافه وزن، تحریک الکتریکی

وصول مقاله: ۱۴۰۳/۰۸/۰۳
اصلاحیه نهایی: ۱۴۰۳/۱۰/۳۰
پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۰۶

مقدمه

چاقی و اضافه‌وزن بزرگ‌ترین چالش بهداشت عمومی در قرن حاضر است. سازمان بهداشت جهانی[1] (WHO) اضافه وزن و چاقی را تجمع بیش از حد چربی تعریف می‌کند. تجمع بیش از حد چربی در افراد دارای اضافه وزن و چاق، چه به صورت موضعی و چه به صورت عمومی، باعث مستعد شدن این افراد به ابتلا به انواع مشکلات پاتوفیزیولوژیایی و بیماری‌های مزمن می‌شود که می‌توان از آن‌ها به مقاومت انسولینی، تغییر در متابولیسم چربی و مشکلات قلبی عروقی اشاره کرد (۱).

زندگی بی‌تحرک و نبود تمرین به عنوان عوامل اصلی چاقی و اختلالات متابولیک ناشی از چاقی مانند التهابات مزمن، دیابت نوع۲ و بیماری‌های قلبی عروقی شناخته شده‌اند. عدم تعادل انرژی در جایی که دریافت آن بر مصرفش پیشی می‌گیرد به عنوان عامل کلیدی در واژه‌شناسی اختلالات متابولیک مورد توجه قرار گرفته است. کاهش انرژی دریافتی بوسیله‌ی مداخلات تغذیه‌ای، افزایش انرژی مصرفی به وسیله‌ی فعالیت بدنی یا ترکیبی از هر دو به عنوان درمانی برای اختلالات متابولیکی بسیار مهم هستند. چنین مداخلاتی در شیوه‌ی زندگی، عموما منجر به کاهش وزن اولیه و بهبود پارامترهای متابولیک می‌گردند(۲). کنترل وزن موفقیت‌آمیز در طولانی مدت دو چیز نیاز دارد: اول با فعالیت بدنی منظم، مصرف انرژی در عضلات افزایش پیدا کند و مورد دوم، انرژی دریافتی از رژیم غذایی کاهش یابد (۳).

دو منبع اصلی مورد استفاده در تمرینات هوازی، چربی و کربوهیدرات هستند. سهم نسبی سوخت‌هایی مثل کربوهیدرات و چربی هنگام فعالیت‌های ورزشی می‌تواند تحت تاثیر شدت و مدت فعالیت ورزشی، رژیم غذایی، گلیکوژن عضله و شرایط تمرینی قرار گیرد که مهم‌ترین آن‌ها، شدت فعالیت بدنی است. دیگر عوامل مهم در اکسیداسیون سوبسترا، فیبرهای عضلانی نوع I، مقدار جذب چربی مربوط به رژیم غذایی و متابولیت‌های خون (لاکتات پلاسما و غلظت اسیدهای چرب آزاد[2] سرم) هستند (٤). با توجه به پژوهش‌های متعدد، شدت فعالیت بدنی اهمیت اولیه برای اکسیداسیون چربی دارد و جنس، ترکیب بدن، سطح فعالیت بدنی و شرایط تمرینی اهمیت ثانویه دارد. همچنین توده بدون چربی[3] (FFM)، جنسیت، VO_2max و توده‌ی چربی، پیشگویی‌کننده‌های حداکثر اکسیداسیون چربی[4] (MFO) هستند (٤). واضح است که درجه‌ی قابل توجهی از تفاوت‌های فردی در استفاده از سوبسترا وجود دارد که نمی‌تواند توسط موارد فوق توضیح داده شود. در کل شدت و مدت فعالیت، تعیین‌کننده‌های مهم اکسیداسیون چربی هستند (۵). شدت‌های مختلف ورزشی اثرات متفاوتی بر سوخت اکسیدشده دارد. میزان اکسیداسیون چربی از تمرین با شدت کم به متوسط افزایش پیدا می‌کند و وقتی شدت زیاد شود، کاهش پیدا می‌کند (۵). بدین شکل که غلظت FFA در طول تمرینات با شدت کم افزایش می‌یابد بعد به صورت زودگذر کاهش می‌یابد و متعاقبا در تمرینات با شدت متوسط افزایش پیدا می‌کند و در طول تمرینات شدید غلظت FFA در مقایسه با تمرینات سبک و متوسط به طور معنادار کاهش می‌یابد (٦). اکسیداسیون چربی در شدت‌های ۲۵ تا ٦۵ درصد VO_2max بیشترین نقش را در تامین انرژی دارد ولی در ۸۵درصد VO_2max کاهش می‌یابد و گلیکوژن عضلانی سوخت اصلی می‌شود (۷). در شدت‌های پایین، چربی بیش از نیمی از انرژی مصرفی را تامین می‌کند اما با افزایش شدت کاهش می‌یابد و سهم کربوهیدرات بیشتر می‌شود که نقطه تغییر سوبسترا بین شدت‌های ٤۸ تا ۵۳ درصدVO_2max که بطور میانگین نقطه شکست در ۵۰درصد VO_2max است (٤). همچنین پژوهش‌ها نشان

[1] World Health Organization

[2] Free Fatty Acid
[3] Fat Free Mass
[4] Maximum Fat Oxidation

داده‌اند که افزایش گلیسرول موجود در جریان خون نشان‌دهنده‌ی لیپولیز بافت چربی است (۸)(۹).

تحریک الکتریکی عضلات کل بدن[1] (WB-EMS) که در واقع نمونه‌ی توسعه‌یافته‌ی تحریک الکتریکی[2] (EMS) عضله است که به صورت موضعی کار می‌کند. WB-EMS می‌تواند گروه‌های عضلانی مختلف را به صورت هماهنگ فعال کند. در این زمینه تحریک الکتریکی عضلات کل بدن می‌تواند گزینه‌ی مناسبی برای کاهش وزن و کاهش درصد چربی باشد و همچنین، می‌تواند فاکتورهای مختلفی از قبیل قدرت و عملکرد را بهبود بخشد (۱۰). همچنین می‌تواند باعث افزایش ظرفیت اکسیداتیو عضله‌ی اسکلتی شود (۱۱). علاوه بر کاربردهای وسیع WB-EMS، این ابزار، باعث صرفه جویی در وقت می‌شود. به لحاظ فشارهای ارتوپدیک ابزار مناسبی است و اثرات مناسبی بر ترکیب بدن و فاکتورهای آمادگی جسمانی می‌گذارد (۱۲). همانطور که می‌دانیم چربی (احشایی) بدن به عنوان شاخص مشکلات متابولیکی و قلبی-عروقی در نظر گرفته می‌شود و پژوهش‌ها نشان داده‌اند WB-EMS باعث کاهش سریع و معنادار این فاکتور می‌شود (۱۳) (۱٤). همچنین تحریک الکتریکی عضله‌ی چهارسر می‌تواند باعث بهبود تحمل گلوکز در افراد چاق و دیابتی شود (۱۵). یک جلسه‌ی تمرین با WB-EMS می‌تواند انرژی مصرفی را تا بیش از ٤۷۰ کیلوکالری بر ساعت افزایش دهد که این افزایش انرژی مصرفی حین تمرین، باعث کاهش میزان چربی خواهد شد. در این پژوهش، محققین دریافتند اکسیداسیون چربی پس از ورزش با WB-EMS برای ٤۸تا٦۰ ساعت بالا ماند (۱٦). همچنین تحریک الکتریکی عصبی-عضلانی[3](NMES) با فرکانس پایین که بر عضلات پا اعمال می‌شدند، نشان داده‌است، می‌تواند اثرات فیزیولوژیک تمرین استقامتی را علاوه بر گروه‌های بیمار و غیرفعال، بر افراد فعال و سالم نیز داشته باشد و باعث بهبود افزایش ظرفیت هوازی و افزایش قدرت عضله‌ی چهارسر شود ۱۷).

با این همه بر اساس اطلاعات ما، پژوهش‌های اندکی درباره تاثیر همزمان فعالیت استقامتی و WB-EMS بر اکسیداسیون چربی و حداکثر اکسیداسیون چربی انجام شده است و مشخص نیست که آیا این روش به همراه تمرین استقامتی می‌تواند لیپولیز و اکسیداسیون چربی را افزایش دهد؟ لذا پژوهش حاضر با هدف مقایسه تاثیر تمرین استقامتی با و بدون تحریک الکتریکی عضلانی بر اکسیداسیون چربی در مردان دارای اضافه وزن کم‌تحرک طراحی شد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر از نوع نیمه تجربی و مطالعات کاربردی است که به روش آزمایشگاهی و با طرح پیش‌آزمون پس‌آزمون اجرا شد. جامعه آماری این پژوهش شامل مردان جوان دارای اضافه‌وزن، کم‌تحرک و در محدوده سنی ۳۰-۲۰ سال خوابگاه‌ها و دانشکده‌های دانشگاه فردوسی مشهد بودند. از میان مردان جوان دارای اضافه وزن دانشگاه فردوسی مشهد که پس از نصب اعلامیه در دانشکده‌ها و خوابگاه‌های پسران مشهد مراجعه کردند؛ ۲۰ نفر به صورت هدف‌دار و غیرتصادفی پس از غربالگری اولیه انتخاب شدند و سپس به صورت تصادفی (قرعه‌کشی) در ۲ گروه ۱۰ نفری قرار گرفتند. همه آزمودنی‌ها غیرسیگاری و از سلامت کامل جسمانی و روانی برخوردار بودند. از آزمودنی‌ها برای شرکت در تحقیق رضایت‌نامه‌ی کتبی گرفته شد. نمایه توده‌ی بدنی آن‌ها بین ۲۵ تا ۳۰ و درصد چربی آزمودنی‌ها بین ۲٤ تا ۳۵ درصد بود. هیچ کدام از مردان طی شش ماه گذشته فعالیت ورزشی نداشتند.

برای تعیین حجم نمونه در آزمون تی مستقل از فرمول زیر استفاده شد.

$$n = Z(\frac{Z_\beta - Z_{\frac{\alpha}{2}}}{F})^2$$

[1] Whole-body electrical myostimulation
[2] Electero- myostimulation
[3] Neuromuscular stimulation

چنانچه احتمال خطای نوع اول ۵ درصد و خطای نوع دوم ۲۰ درصد باشد $Z_{\alpha/2}$ و Z_{β} به ترتیب ۱/۹۶ و ۰/۸٤ خواهد بود. با جایگذاری در فرمول حجم نمونه به فرمول زیر می‌رسیم (در فرمون E به مفهوم اندازه اثر است).

$$n = 2(\frac{2.8^2}{E^2})$$

$$E = \frac{\mu_1}{G}\frac{}{\mu_2}$$

طبق نظر کوهن می‌توانیم زمانی که اندازه اثر ما خیلی بزرگ است E را معادل ۱/۵ قرار دهیم که در این صورت n برابر ۸ می‌شود.

$$n = \frac{16}{1.5^2} \sim 8$$

نمودار ۱. نمودار کانسورت: جریان شرکت‌کنندگان در مطالعه

لازم به ذکر است که برای انجام پژوهش کداخلاق (IR.UM.REC.1402.051) از کمیته اخلاق در زیست-پزشکی دانشگاه فردوسی مشهد دریافت شد.

هر آزمودنی، ۳ مرحله‌ی آزمون در آزمایشگاه فیزیولوژی را انجام داد. در جلسه اول، ویژگی‌های آنتروپومتریک (مانند قد، وزن و ترکیب بدن) گرفته شد. سپس هر آزمودنی یک آزمون فزاینده‌ی بیشینه جهت اندازه‌گیری حداکثر اکسیژن مصرفی روی چرخ کارسنج انجام دادند. سپس آزمودنی‌ها به دو گروه تقسیم شدند. هر آزمودنی، آزمون پیشرونده‌ی زیربیشینه (تا زمانی که نسبت تبادل تنفسی به ۱ برسد) انجام داد که یک گروه، بدون تحریک الکتریکی و یک گروه، با تحریک الکتریکی با دستگاه WB-EMS محصول شرکت LT+ ساخت ایران، این پروتکل را اجرا کرد. قبل و بعد از این مرحله از آزمون، نمونه‌ی سرم به منظور اندازه‌گیری سطوح گلیسرول در خون، گرفته شد. دستگاه WB-EMS شامل یک بخش تولیدکننده‌ی پالس الکتریکی با ۹ کانال خروجی، یک جلیقه به همراه ۱۸ پد هدایت‌کننده‌ی جریان و یک نرم‌افزار تحت سیستم عامل، جهت مدیریت شدت پالس‌هاست. تحریک الکتریکی به‌وسیله‌ی ۱۸ پد هدایت‌گر جریان الکتریکی که در جلیقه‌ی مخصوص[1] قرار دارد، اعمال می‌شود. با این حال تحریک الکتریکی فقط روی عضلات ناحیه‌ی پایین‌تنه اعمال شد. محل قرارگیری پدها روی نواحی مختلف از جمله جلوی ران، پشت ران و ناحیه‌ی گلوتئال قرار می‌گیرند و عضلات بزرگ را تحریک می‌کنند. بین هر مرحله‌ی آزمون، حداقل ۷ و حداکثر ۱۰ روز فاصله داشت. تمامی آزمون‌ها در صبح و بعد از یک ناشتایی شبانه ۱۰ ساعته و بعد از سه روز رژیم غذایی متعادل (۲۰۰۰ تا ۲۵۰۰ کیلوکالری در روز) بدون مصرف کافئین و الکل در ۴۸ ساعت گذشته انجام شد و از آزمودنی‌ها خواسته شد از انجام فعالیت بدنی سنگین در روزهای قبل از آزمون بپرهیزند.

قد، وزن و ترکیب بدن به وسیله‌ی دستگاه آنالیز ترکیب بدن برند این‌بادی[2] مدل ۷۲۰ انجام شد. برای سنجش پیک اکسیژن مصرفی[3] (VO_2peak) و حداکثر توان هوازی[4] (MAP)، هر آزمودنی، تست ورزشی پیشرونده تا مرز واماندگی روی چرخ کارسنج اجرا کردند. پس از ۳ دقیقه استراحت روی چرخ کارسنج، آزمون با ۵ دقیقه گرم کردن با ۶۰ وات آغاز می‌شود. توان خروجی در هر دقیقه، ۳۰ وات افزایش پیدا کرد تا فرد به خستگی برسد. تناوب پدال زدن بین ۷۰ تا ۹۰ دور در دقیقه[5] (RPM) نگه داشته شد. شدت بیشینه‌ی آزمون زمانی پایان یافت که آزمودنی تناوب پدال زدن را با وجود تشویق‌های زبانی بیشتر از ۶۰ RPM نتوانست نگه دارد (۱۸). تبادلات تنفسی به وسیله‌ی دستگاه آنالیز گازهای تنفسی نفس به نفس، اندازه‌گیری شد. دستگاه آنالیز گازهای تنفسی در سه مرحله کالیبره می‌شود : ۱- آنالیز هوای محیط ۲-کالیبراسیون گاز آنالایزر به وسیله‌ی مخلوطی مشخص از گازها (۱۶درصد اکسیژن و ۵/۰۲ درصد دی اکسید کربن) ۳-کالیبراسیون حجم توربین به وسیله‌ی توییب با حجم ۳ لیتر. پیک حجم اکسیژن مصرفی با بالاترین مقادیر اکسیژن مصرفی که در ۱۵ ثانیه به طور میانگین در آزمون مصرف می‌شود، مطابقت دارد. توان خروجی مطابق است با پیک اکسیژن مصرفی یا پایین‌ترین توان خروجی که در فلات VO_2 اتفاق می‌افتد و به عنوان MAP در نظر گرفته می‌شود (۱۸).

تمرین زیربیشینه‌ای برای همه‌ی آزمودنی‌ها در وضعیت ۸ تا ۱۰ ساعت ناشتایی شبانه تجویز شد. مقادیر اولیه‌ی کینتیک اکسیداسیون چربی در حالتی که فرد ۱۰ دقیقه در وضعیت نشسته قرار دارد، سنجیده شد. بعد از آن ۱۰ دقیقه گرم کردن با شدت ۲۰ درصد MAP اجرا شد. بار کاری به ازای هر ۵ دقیقه، ۷/۵ درصد افزایش پیدا کرد و تا جایی که نسبت تبادل تنفسی (RER) به ۱ رسید، تمرین ادامه پیدا کرد. برای انجام این آزمون زیربیشینه، RPM باید بین ۷۰ تا ۹۰ نگه داشته می‌شد (۱۹). اکسیداسیون چربی به وسیله‌ی معادله‌ی استوکیومتری[6] محاسبه شد. MFO به عنوان بزرگترین مقدار عددی اکسیداسیون چربی در طول اجرای پروتکل تمرینی در نظر گرفته شد (۲۰). این

[1] Bio-Jacket
[2] In-Body
[3] Peak Oxygen Uptake
[4] Maximal Aerobic Power
[5] Revolutions Per Minute
[6] Stoichiometric Equations

پروتکل به همراه اعمال پالس الکتریکی بر عضلات فعال (چهارسر، سرینی و همسترینگ) به منظور سنجش اکسیداسیون چربی به همراه تحریک الکتریکی عضلانی انجام شد. نمونه‌ی خون قبل و بعد از این مرحله جمع‌آوری شد و به آزمایشگاه ارسال شد. کیت اندازه‌گیری گلیسرول از برند زل بایو[1] ساخت آلمان با شماره ساخت ZB-OC7230622 تهیه و در اختیار آزمایشگاه قرار گرفت.

تحریک الکتریکی عضلات با مشخصات فرکانس ٦٠ هرتز، طول موج ٤٠٠ میکروثانیه که به صورت ممتد حین تمرین اعمال شد. مدت زمانی که پالس به حداکثر خود برسد ۱/۵ ثانیه بود و مدت زمانی که پالس به صفر برسد ۰/۷۵ ثانیه بود (۲۱). این تحریک الکتریکی بر عضلات فعال یعنی سرینی، چهارسر و همسترینگ بوسیله‌ی دستگاه +LT با قدرت ۷۵ میلی‌آمپر (ساخت ایران) اعمال شد.

تجزیه و تحلیل آماری

تمام آزمون‌های آماری با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۵ و برای رسم نمودار از نرم‌افزار Excel استفاده شد. برای بررسی نرمال بودن توزیع متغیرها از آزمون کولموگروف–اسمیرنوف و برای آزمون فرضیات پژوهش از دو آزمون تی مستقل و تی زوجی استفاده شد. سطح خطا برای تمام آزمون‌ها ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

نتایج

در جدول شماره ۱ اطلاعات توصیفی زمینه‌ای آزمودنی‌ها آورده شده است.

[1] Zellbio

جدول۱. اطلاعات توصیفی آزمودنی‌ها

گروه		متغیر	میانگین	انحراف معیار	کمینه	بیشینه
بدون تحریک الکتریکی		سن (سال)	۲۷/۱۰	۳/۹۰	۲۲/۰۰	۳۲/۰۰
		قد (cm)	۱۷۸/۹۰	۴/۶۸	۱۷۳/۰۰	۱۸۴/۰۰
		وزن (Kg)	۹۲/۶۵	۱۳/۹۶	۷۷/۶۰	۱۲۴/۰۰
		شاخص توده بدن (Kg/m^2)	۲۸/۸۷	۳/۴۸	۲۳/۹۵	۳۶/۶۳
با تحریک الکتریکی		سن (سال)	۲۷/۵۰	۲/۹۹	۲۳/۰۰	۳۱/۰۰
		قد (cm)	۱۷۹/۱۰	۴/۵۸	۱۷۲/۰۰	۱۸۴/۰۰
		وزن (Kg)	۸۶/۸۶	۷/۵۸	۷۷/۲۰	۹۸/۱۰
		شاخص توده بدن (Kg/m^2)	۲۷/۰۴	۱/۵۷	۲۵/۰۲	۲۹/۲۹

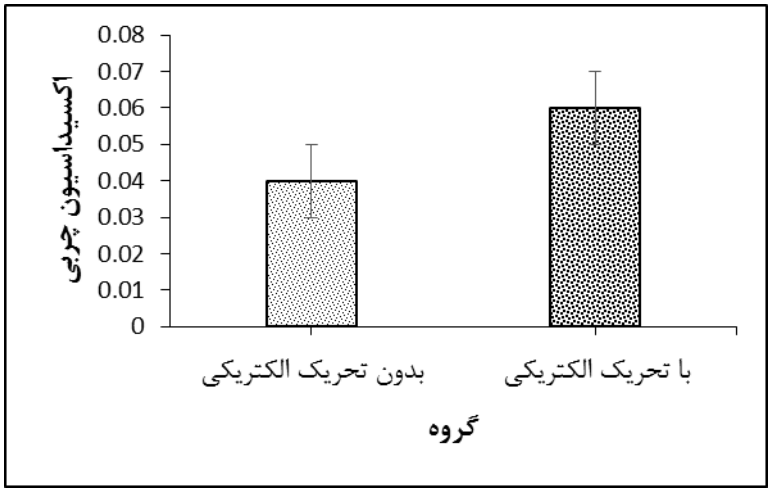
بررسی نتایج به دست آمده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نشان داد توزیع داده‌ها برای هر سه متغیر مورد مطالعه در هر دو مرحله‌ی پیش‌آزمون و پس‌آزمون برای هر دو گروه با توزیع نرمال مطابقت دارد (P>۰/۰۵). همچنین با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از آزمون تی زوجی نشان داده شد که میزان حداکثر اکسیداسیون چربی در دو مرحله پیش‌آزمون و پس‌آزمون در هر دو گروه با و بدون تحریک الکتریکی تفاوت معنی‌دار وجود دارد (P<۰/۰۰۱). به عبارت دیگر، میانگین حداکثر اکسیداسیون چربی به میزان ۰/۳۳ گرم بر دقیقه در گروه بدون تحریک الکتریکی و به میزان ۰/۴۲ گرم در دقیقه در گروه با تحریک الکتریکی بیشتر شده است. همچنین اکسیداسیون چربی در گروه بدون تحریک الکتریکی پس از تمرین ۰/۰۲ گرم بر دقیقه (P=۰/۰۰۴) و در گروه با تحریک الکتریکی، اختلاف میانگین قبل و بعد از آزمون برابر ۰/۰۶ گرم بر دقیقه است (P<۰/۰۰۱). اختلاف میانگین برای گلیسرول در مرحله‌ی پیش‌آزمون و پس‌آزمون، ۲۳/۹۳ میلی‌گرم بر دسی‌لیتر برای گروه بدون تحریک الکتریکی وجود داشت (P=۰/۰۱۲) و این اختلاف برای گروه با تحریک الکتریکی در مرحله‌ی پیش‌آزمون و پس‌آزمون به میزان ۲۶/۴۹ میلی‌گرم بر دسی‌لیتر بود (P=۰/۰۰۲)(جدول ۲).

جدول ۲. نتایج آزمون تی زوجی برای مقایسه میانگین میزان افزایش اکسیداسیون چربی بین دو گروه با و بدون تحریک الکتریکی عضلانی (n=۱۰)

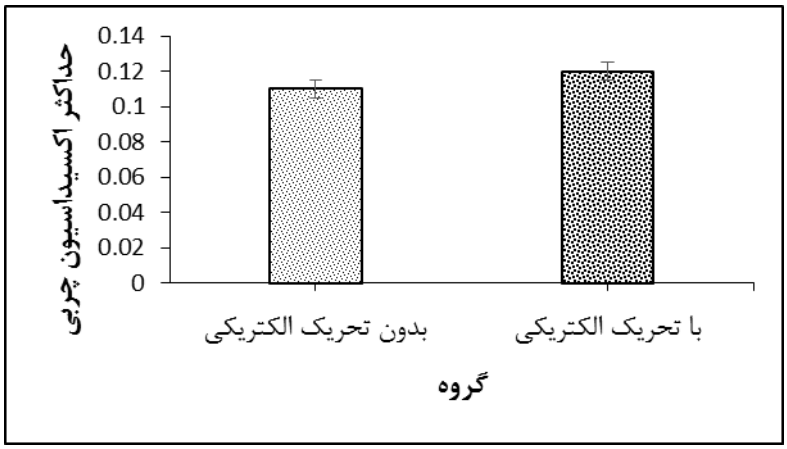
متغیر		گروه	انحراف معیار ± میانگین	اختلاف میانگین	مقدار تی	P-value
اکسیداسیون چربی (گرم بر دقیقه)	با EMS	پیش‌آزمون	۰/۰۴±۰/۰۳	-۰/۰۶	-۵/۹۹	<۰/۰۰۱
		پس‌آزمون	۰/۱±۰/۰۳			
	بدون EMS	پیش‌آزمون	۰/۰۶±۰/۰۲	-۰/۰۲	-۳/۷۷	۰/۰۰۴
		پس‌آزمون	۰/۰۸±۰/۰۳			
حداکثر اکسیداسیون چربی (گرم بر دقیقه)	با EMS	پیش‌آزمون	۰/۱±۰/۰۳	-۰/۴۲	-۱۹/۸۲	<۰/۰۰۱
		پس‌آزمون	۰/۵۲±۰/۰۷			
	بدون EMS	پیش‌آزمون	۰/۱۲±۰/۰۵	-۰/۳۳	-۸/۰۹	<۰/۰۰۱
		پس‌آزمون	۰/۴۵±۰/۱۵			
گلیسرول (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)	با EMS	پیش‌آزمون	۱۰۵/۲±۸۱/۱۳	-۲۶/۴۹	-۴/۲۳	۰/۰۰۲
		پس‌آزمون	۱۳۱/۶۹±۸۲/۲۳			
	بدون EMS	پیش‌آزمون	۹۱/۲۹±۸۲/۴۱	-۲۳/۹۳	-۳/۱۲	۰/۰۱۲
		پس‌آزمون	۱۱۵/۲۲±۸۲/۳۵			

همچنین نتایج نشان داد میانگین میزان افزایش گلیسرول (P=۰/۷۹۹) بین دو گروه با و بدون تحریک الکتریکی تفاوت معنی‌دار نداشت و اختلاف میانگین بین دو گروه ۲/۵۶ است. این در حالی بود که بین میانگین میزان افزایش اکسیداسیون چربی در دو گروه با و بدون تحریک الکتریکی در متغیرهای اکسیداسیون چربی (P=۰/۰۱۱) و حداکثر اکسیداسیون چربی (P=۰/۰۴۵) تفاوت معنی‌دار وجود دارد و اختلاف میانگین ۰/۰۳ و ۰/۰۹ گرم بر دقیقه برای اکسیداسیون چربی و حداکثر اکسیداسیون چربی بین گروه‌ها وجود دارد .

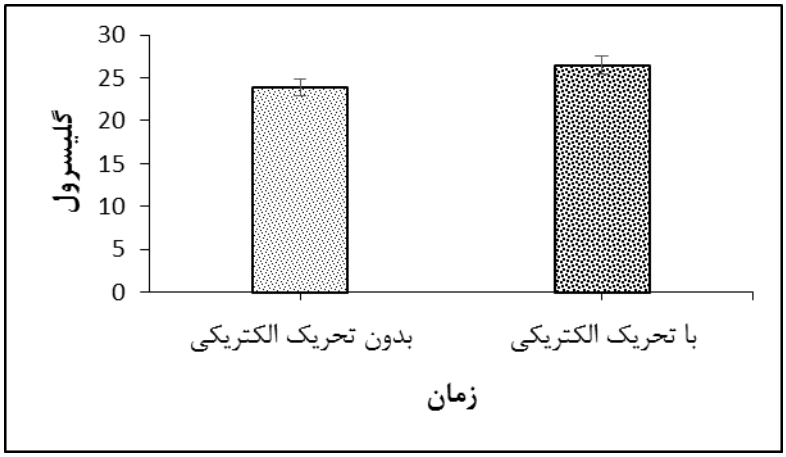
بنابراین تفاوت معنی‌دار بین تمرین با چرخ کارسنج با و بدون تحریک الکتریکی عضلانی بر اکسیداسیون چربی وجود دارد (نمودار ۲، ۳ و ٤).



نمودار ۲. مقایسه اکسیداسیون چربی بین دو گروه با و بدون تحریک الکتریکی (n=۱۰)



نمودار ۳. مقایسه حداکثر اکسیداسیون چربی بین دو گروه با و بدون تحریک الکتریکی (n=۱۰)



نمودار ٤. مقایسه گلیسرول بین دو گروه با و بدون تحریک الکتریکی (n=۱۰)

بحث

نتایج پژوهش حاضر نشان داد تمرین با چرخ کارسنج با تحریک الکتریکی عضلانی باعث افزایش معنادار در اکسیداسیون چربی در مردان دارای اضافه وزن کم‌تحرک می‌شود. در پژوهشی که تکلر و همکاران[1] انجام دادند در یافتند که تحریک الکتریکی همراه با الگوهای حرکت ساده (مانند اسکوات با زاویه ۱۲۰ درجه) به مدت ۲۰ دقیقه، می‌تواند باعث افزایش انرژی مصرفی به میزان ٤٦٠ کیلوکالری شود همچنین اکسیداسیون چربی برای ٤٨تا٦٠ ساعت بالا نگه دارد (۱۲). در حالی که هر دو پژوهش نتایج همسو دارد و نشان می‌دهند که EMS باعث افزایش اکسیداسیون چربی می‌شود، ولی این نکته قابل ذکر است که پژوهش حاضر به مقایسه دو پروتکل تمرینی فزاینده مشابه با و بدون تحریک الکتریکی پرداخته است ولی تکلر و همکاران تمرین با WB-EMS را با شرایط استراحتی سنجیده است.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که علاوه بر اکسیداسیون چربی، حداکثر اکسیداسیون چربی نیز افزایش معنی‌دار داشته است. تا کنون فقط یک پژوهش که توسط باسامی و همکاران (١٤٠٣) روی تاثیر تحریک الکتریکی بر fatmax و MFO انجام شده است که با نتایج پژوهش حاضر ناهمسواست. در پژوهش باسامی و همکاران، پروتکل فزاینده‌ای با و بدون تحریک الکتریکی اجرا شد که fatmax با افزایش معنادار همراه بود اما اکسیداسیون چربی، اکسیداسیون کربوهیدرات و حداکثر اکسیداسیون چربی با افزایش معنادار همراه نبود (۲۲). در پژوهش پرز و همکاران[2] (۲۰۲۲) که فرکانس‌های مختلف EMS را در حالت استراحتی و راه رفتن روی سطح شیب‌دار انجام داد، افزایش انرژی مصرفی هم در حالت استراحتی و هم در حین فعالیت مشاهده شد. همچنین در فرکانس‌های پایین EMS، نسبت تبادل تنفسی در حین استراحت کاهش و در حین فعالیت در فرکانس‌های بالاتر، RER افزایش داشت (۲۳) که این می‌تواند نشان‌دهنده‌ی تاثیر EMS بر تغییر متابولیسم کربوهیدرات و چربی باشد (٢٤). در پژوهش پرز و همکاران (۲۰۲۲) فرکانسی که مورد استفاده قرار گرفت ۱ تا ۱۰ هرتز بود. همچنین باسامی و همکاران نیز از فرکانس ۱۵ تا ۲۰ هرتز استفاده کرده بودند در حالی که در پژوهش حاضر از فرکانس ۸۵ هرتز استفاده شده است. در تمرینات استقامتی با شدت کم تا متوسط تارهای کندانقباض ابتدا فراخوان می‌شوند (۲۵) اما در تمرین همراه با تحریک الکتریکی عضلانی، فراخوانی بیشتر واحدهای حرکتی از جمله واحدهای حرکتی تندانقباض، از ابتدای تمرین رخ می‌دهد (٢٦). همچنین در فرکانس‌های بالاتر، تارهای تندانقباض فعالیت بیشتری دارند (۲۷). در نتیجه‌ی این فراخوانی همزمان و فعالیت بیشتر تارهای نوع II در شروع فعالیت، مقادیر کمی حداکثر اکسیداسیون چربی در گروه تمرین با EMS نسبت به گروه تمرین بدون EMS افزایش معنادار داشته است. همچنین واضح است که EMS بر متابولیسم لیپید در سلول‌های عضلانی تأثیر می‌گذارد. با توجه به تاثیر شدت فعالیت بر سهم نسبی چربی و کربوهیدرات در گردش خون در مطالعه اخیر هیوکی و همکاران(۲۰۲۳) مشاهده شد که انجام پروتکل تحریک الکتریکی عضلانی منجر به افزایش غلظت اسیدهای چرب آزاد در خون می‌شود (۲۸). این نتیجه نشان می‌دهد که ایجاد انقباض عضلانی توسط تحریک الکتریکی عضلانی نیازمند مصرف انرژی بیشتری نسبت به انقباض ارادی است و می‌تواند اثری مشابه با فعالیت ورزشی ایجاد نماید (۲۲).

در پژوهش حاضر، غلظت گلیسرول سرم در هر دو گروه تمرین با و بدون EMS افزایش داشت اما دو گروه تمرین نسبت به هم تفاوت معنی‌داری نداشتند. فعالیت بدنی با شدت متوسط، اجازه دسترسی عضلات به اکسیژن زیاد است و هر گونه افزایش شدت، باعث افزایش اکسیژن مصرفی می‌شود تا زمانی که فرد مجدد به حالت پایدار برسد و این امر می‌تواند منجر به افزایش اکسیداسیون چربی شود (٤). افزایش جریان خون به سمت عضلات فعال، می‌تواند با رساندن اسیدهای چرب آزاد که در نتیجه‌ی لیپولیز بافت چربی وارد جریان خون شده‌اند، باعث افزایش اکسیداسیون چربی شود (۲۹). با این حال پژوهش‌ها نشان می‌دهند که اسیدهای چرب پلاسما، مقادیر کافی جهت تامین نیازهای سوخت و سازی عضله هنگام فعالیت با شدت متوسط را فراهم نمی‌کند و در فعالیت‌های

[1] Teschler et all
[2] Perez et all

طولانی‌مدت، غلظت تری‌گلیسیریدهای درون عضلانی (IMTG) کاهش می‌یابد (۳۰) (۳۱). همچنین نشان داده شده است که در شدت‌های متوسط برداشت اسیدهای چرب آزاد پلاسما به وسیله اندام‌های فعال، کمتر از میزان اسید چربی است که در آن اندام‌ها تجزیه می‌شود. در نتیجه استفاده از تری‌گلیسیریدهای درون عضلانی در فعالیت متوسط برای جبران رهایش FFA از بافت چربی محیطی است (۳۲). در پژوهش حاضر علی رغم بالاتر بودن میزان اکسیداسیون چربی در گروه تحریک الکتریکی نسبت به گروه بدون تحریک الکتریکی، گلیسرول سرم افزایش معنی‌داری نداشت. با توجه به اینکه گلیسرول موجود در خون، منشا بافت چربی یا کبد دارد (۸)و چربی‌های درون عضلانی که حین فعالیت بدنی اکسید می‌شوند، عمده‌ی گلیسرول حاصل از این اکسیداسیون وارد جریان خون نمی‌شود (۳۲) لذا افزایش اکسیداسیون چربی ناشی از تحریک الکتریکی عضلات حین تمرین، می‌تواند ناشی از افزایش اکسیداسیون چربی درون عضلات فعال باشد. تحریک الکتریکی عضلات توسط تجهیزات پیشرفته توانایی ایجاد انقباض‌های عضلانی و افزایش خون‌رسانی به عضلات شده (۳۳) و می‌تواند باعث افزایش اکسیداسیون IMTG شود.

نتیجه‌گیری

به طور کلی می‌توان گفت یک جلسه تمرین با EMS می‌تواند در مقایسه با همان شدت تمرین مزایای بیشتری در اکسیداسیون چربی داشته باشد، با وجود نتایج مثبت تحریک الکتریکی عضلانی بر اکسیداسیون چربی حین تمرین، برای تعیین تاثیر این مداخله بر کاهش درصد چربی، نیازمند پژوهش بیشتر است. همچنین پیشنهاد می‌شود اثر پارامترهای مختلف امواج تحریک الکتریکی عضلات مورد بررسی و مقایسه قرار گیرد.

ملاحظات اخلاقی

این مقاله حاصل بخشی از پایان نامه با عنوان «مقایسه تاثیر تمرین استقامتی با و بدون تحریک الکتریکی عضلانی بر سطوح سرمی ماسلین و اکسیداسیون چربی در مردان دارای اضافه وزن کم‌تحرک»، در مقطع دکتری ، مصوب دانشگاه فردوسی مشهد با کد اخلاق به شماره IR.UM.REC.1402.051 اخذ شده از کمیته اخلاق دانشگاه فردوسی مشهد است.

تعارض و منافع

نویسندگان مقاله اعلام می دارند که هیچ گونه تضادی در منافع وجود ندارد.

منابع

1. Hung SP, Chen CY, Guo FR, Chang CI, Jan CF. Combine body mass index and body fat percentage measures to improve the accuracy of obesity screening in young adults. Obesity Research & Clinical Practice. 2017;11(1):11-8.
2. Rosen ED, Spiegelman BM. Adipocytes as regulators of energy balance and glucose homeostasis. Nature. 2006;444(7121):847–53.
3. Farhana A, Rehman A. Metabolic Consequences of Weight Reduction. 2023 Jul 10. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 .
4. Achten J, Jeukendrup AE. Optimizing fat oxidation through exercise and diet. Nutrition. 2004 ;20(7-8):716-27.
5. Achten J, Jeukendrup AE. Relation between plasma lactate concentration and fat oxidation rates over a wide range of exercise intensities. International Journal of Sports Medicine. 2004;25(1):32-7.
6. Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, Gastaldelli A, Horowitz JF, Endert E, Wolfe RR. Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. American Journal of Physiology. 1993 ;265(3 Pt 1):E380-91.
7. Van Loon LJ. Use of intramuscular triacylglycerol as a substrate source during exercise in humans. J Appl Physiol (1985). 2004;97(4):1170-87.
8. Hagström-Toft E, Enoksson S, Moberg E, Bolinder J, Arner P. Absolute concentrations of glycerol and lactate in human skeletal muscle, adipose tissue, and blood. American Journal of Physiology. 1997;273(3 Pt 1):E584-92.
9. Robinson SL, Chambers ES, Fletcher G, Wallis GA. Lipolytic Markers, Insulin and Resting Fat Oxidation are Associated with Maximal Fat Oxidation. International Journal of Sports Medicine. 2016 ;37(8):607-13.
10. Kemmler W, Froehlich M, Von Stengel S, Kleinöder H. Whole-body electromyostimulation–the need for common sense! Rationale and guideline for a safe and effective training. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin. 2016 ;67(9):218-21.
11. yan TE, Erickson ML, Young HJ, McCully KK. Case report: endurance electrical stimulation training improves skeletal muscle oxidative capacity in chronic spinal cord injuryArchives of

Physical Medicine and Rehabilitation. 2013 ;94(12):2559-2561.
12. Teschler M, Wassermann A, Weissenfels A, Fröhlich M, Kohl M, Bebenek M, von Stengel S, Kemmler W. Short time effect of a single session of intense whole-body electromyostimulation on energy expenditure. A contribution to fat reduction? Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism. 2018 ;43(5):528-530.
13. Kemmler W, Von Stengel S, Schwarz J, Mayhew JL. Effect of whole-body electromyostimulation on energy expenditure during exercise. Journal of Strength and Conditioning Research. 2012;26(1):240-5.
14. Kemmler W, Weissenfels A, Willert S, Shojaa M, von Stengel S, Filipovic A, Kleinöder H, Berger J, Fröhlich M. Efficacy and Safety of Low Frequency Whole-Body Electromyostimulation (WB-EMS) to Improve Health-Related Outcomes in Non-athletic Adults. A Systematic Review. Frontiers in Physiology. 2018 ;9:573.
15. Galvan MJ, Sanchez MJ, McAinch AJ, Covington JD, Boyle JB, Bajpeyi S. Four weeks of electrical stimulation improves glucose tolerance in a sedentary overweight or obese Hispanic population. Endocrine Connections. 2022 Feb 4;11(2):e210533.
16. Crognale D, Crowe L, Devito G, Minogue C, Caulfield B. Neuro-muscular electrical stimulation training enhances maximal aerobic capacity in healthy physically active adults. Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. 2009;2009:2137-40.
17. Kemmler W, Kohl M, Stengel SV. Effects Of High Intensity Resistance Training Versus Whole-Body Electromyostimulation On Cardio-Metabolic Risk Factors In Untrained Middle Aged Males. A Randomized Controlled Trail. Journal of Sports Research. 2016 March 2:44-55.
18. Wasserman K, Whipp BJ, Koyl SN, Beaver WL. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. Journal of Applied Physiology. 1973 Aug;35(2):236-43.
19. Chenevière X, Malatesta D, Peters EM, Borrani F. A mathematical model to describe fat oxidation kinetics during graded exercise. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2009 Aug;41(8):1615-25.
20. Zurbuchen A, Lanzi S, Voirol L, Trindade CB, Gojanovic B, Kayser B, Bourdillon N, Chenevière X, Malatesta D. Fat Oxidation Kinetics Is Related to Muscle Deoxygenation Kinetics During Exercise. Frontiers in physiology. 2020 Jun 4;11:571.
21. Gondin J, Brocca L, Bellinzona E, D'Antona G, Maffiuletti NA, Miotti D, Pellegrino MA, Bottinelli R. Neuromuscular electrical stimulation training induces atypical adaptations of the human skeletal muscle phenotype: a functional and proteomic analysis. Journal of Applied Physiology (1985). 2011 Feb;110(2):433-50.
22. Bassami M, Khaknejad S, Eslami R, Hoseinpour AN. Responses of maximal fat oxidation and Fatmax to incremental exercise and electrical muscle stimulation in overweight men. Journal of Sport and Exercise Physiology. 2024;17(2):20−33. [Farsi
23. P 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 Aug 24;12(9):781.
24. Ravussin E, Smith SR. Increased fat intake, impaired fat oxidation, and failure of fat cell proliferation result in ectopic fat storage, insulin resistance, and type 2 diabetes mellitus. Annals of the New York Academy of Sciences. 2002 Jun;967:363-78.
25. B Bickel CS, Gregory CM, Dean JC. Motor unit recruitment during neuromuscular electrical stimulation: a critical appraisal. European Journal of Applied Physiology. 2011 Oct;111(10):2399-407.
26. Thomas CK, Nelson G, Than L, Zijdewind I. Motor unit activation order during electrically evoked contractions of paralyzed or partially paralyzed muscles. Muscle & Nerve. 2002 Jun;25(6):797-804.
27. Sinacore DR, Delitto A, King DS, Rose SJ. Type II fiber activation with electrical stimulation: a preliminary report. Physical Therapy. 1990 Jul;70(7):416-22.
28. 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 Physiologyl. 2023 Feb;123(2):271-282.
29. Van Hall G, Bülow J, Sacchetti M, Al Mulla N, Lyngso D, Simonsen L. Regional fat metabolism in human splanchnic and adipose tissues; the effect of exercise. Journal of Physiology. 2002 Sep 15;543(Pt 3):1033-46.
30. Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, Rosenblatt J, Wolfe RR. Substrate metabolism during different exercise intensities in endurance-trained womenJournal of Applied Physiology (1985). 2000 May;88(5):1707-14.
31. van Loon LJ. Use of intramuscular triacylglycerol as a substrate source during exercise in humans. Journal of Applied Physiology (1985). 2004 Oct;97(4):1170-87.
32. Stich V, de Glisezinski I, Berlan M, Bulow J, Galitzky J, Harant I, Suljkovicova H, Lafontan M, Rivière D, Crampes F. Adipose tissue lipolysis is increased during a repeated bout of aerobic exercise. Journal of Applied Physiology (1985). 2000 Apr;88(4):1277-83.
33. Salhi A, Ouerghi N, Zouhal H, Baaziz M, Salhi A, Ben Salah FZ, Ben Abderrahman A. The Effect of Whole-Body Electromyostimulation Program on Physical Performance and Selected Cardiometabolic Markers in Obese Young Females. Medicina (Kaunas). 2024 Jan 29;60(2):230.