



Research Paper

The effect of electromy stimulation and incremental exercise activity on selected cardio-respiratory factors in overweight men

Minoo Bassami^{*1}, Anahita Etsam², Bakhtyar Tartibian³, Amir Hossein Mohkami⁴

Received: Jul 18, 2024

Revised: Aug 25, 2024

Accepted: Aug 27, 2024

Article info

1. Associate Professor at Department of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran.

2. MS.c in Exercise Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran.

3. Professor at Department of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran.

4. Ph.D. Student in Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran.

*** Corresponding Author Address:**

Tehran, Allameh Tabataba'i University, Faculty of Physical Education and Sport Sciences;

E_mail: bassami@atu.ac.ir

Extended Abstract

Background and Aim: The global prevalence of obesity has nearly doubled in recent decades, becoming as a major public health concern. Obesity is a modifiable risk factor for cardiovascular diseases and mortality and is closely associated to pulmonary, skeletal, and neurological disorders. However, physiological limitations often hinder exercise adherence in obese individuals. Whole-body neuromuscular electrical stimulation (WB-EMS) has emerged as a potential alternative, enhancing muscle activation and metabolic responses with lower mechanical load. While WB-EMS improves body composition and strength in obese populations, its acute effects on cardiopulmonary parameters particularly compared to incremental exercise remain underexplored. The present study aimed to compare the acute impacts of WB-EMS, incremental exercise, and their combination on selected cardiopulmonary markers in overweight men.

Materials and Methods: This applied semi-experimental study employed a crossover design to investigate the acute effects of electromy stimulation (EMS) and incremental exercise (IE) on cardiorespiratory parameters in overweight men. Ten sedentary male participants (BMI: 25–30 kg/m²; age: 20–40 years) were recruited via public announcements in Tehran. After receiving a detailed explanation of the study's aims and procedures, all participants provided written informed consent and completed a dietary recall questionnaire. Exclusion criteria included smoking, diagnosed cardiovascular or respiratory diseases, diabetes, hypertension, regular exercise participation, and the use

Cite this article:

Bassami M, Etsam A, Tartibian B, Mohkami A.H. The effect of electromy stimulation and incremental exercise activity on selected cardio-respiratory factors in overweight men. *Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport*. 2025;13(35):70-87. <https://doi.org/10.22077/jpsbs.2024.7920.1896>



of medications or supplements during the study period. Each participant completed three randomly ordered protocols with a one-week washout period among sessions: (1) an incremental exercise test on a cycle ergometer, beginning at 50 W with 25 W increments every 3 minutes until reaching a respiratory exchange ratio (RER) of 1.0, then increasing by 25 W every 2 minutes until volitional exhaustion to determine VO_2max ; (2) the same IE combined with EMS; and (3) EMS alone in a seated position for a matched duration. EMS was delivered via a 7-channel TITAN device (Salatandishan Co., Iran) using bipolar pulses (6 s on, 4 s off), targeting 9 major muscle groups through specially designed EMS garments. Cardiorespiratory responses, including minute ventilation (VE), Energy expenditure (EE), ventilatory equivalent for carbon dioxide ratio (VE/VCO_2), oxygen consumption (VO_2), heart rate (HR), and systolic blood pressure (SBP), were recorded breath-by-breath using a ZAN 600 gas analyzer (nspire Health, Germany) at baseline, during exercise, and throughout a 20-minute recovery period. Blood pressure was measured at rest, immediately after exercise, and at 10 and 20 minutes post-exercise. One-way and two-way repeated measures ANOVA with Tukey's post-hoc test were used for data analysis. Statistical significance was set at $p < 0.05$.

Results: The mean $\pm$ standard deviation values of the measured variables were assessed across the three interventions: IE, IE+EMS, and EMS alone. Two-way repeated measures ANOVA indicated significant effects for all main outcome variables ($p \leq 0.01$). Tukey's post-hoc analysis showed that both IE and IE+EMS interventions significantly increased VE, VE/VCO_2 , VO_2 , and HR during the exercise protocol and recovery phase ($p < 0.0001$). However, no significant differences were observed between IE and IE+EMS for these variables. For VE, no significant difference was found between IE and IE+EMS during exercise ($p = 0.48$) or recovery ($p = 0.20$). Nevertheless, both exercise conditions produced higher VE compared to EMS alone during exercise ($p < 0.0001$) and showed a significant reduction during recovery ($p < 0.0001$). The VE/VCO_2 ratio did not differ significantly between IE and IE+EMS during exercise ($p = 0.20$) or recovery ($p = 0.76$), but both exercise trials had higher values than EMS alone during exercise ($p = 0.04$) and recovery ($p = 0.0002$). VO_2 also showed similar patterns, with no significant differences between IE and IE+EMS during exercise ($p = 0.87$) or recovery ($p = 0.65$). Both incremental exercise trials, however, produced significantly higher VO_2 compared to EMS alone during exercise ($p < 0.0001$) and significantly lowered VO_2 during recovery ($p < 0.0001$). HR did not differ significantly between IE and IE+EMS immediately post-protocol ($p = 0.38$), at 10 minutes of recovery ($p = 0.60$), or at 20 minutes of recovery ($p = 0.76$). However, both IE+EMS and IE interventions caused a significant increase in HR compared to EMS alone immediately post-protocol ($p = 0.0002$), at 10 minutes ($p = 0.0008$), and at 20 minutes of recovery ($p < 0.0001$). SBP did not differ significantly between IE and IE+EMS immediately post-protocol ($p = 0.95$), at 10 minutes ($p = 0.86$), or at 20 minutes of recovery ($p = 0.83$). Nevertheless, both IE and IE+EMS resulted in significantly higher SBP immediately post-protocol compared to EMS alone ($p < 0.0001$), with no differences observed at 10 minutes ($p = 0.83$) or 20 minutes ($p = 0.85$) of recovery. EE differed significantly among the three interventions (one-way ANOVA, $p = 0.03$). Bonferroni post-hoc analysis showed that EE in the EMS condition alone was significantly lower than IE ($p = 0.001$) and IE+EMS ($p = 0.04$), while no significant difference was observed between IE and IE+EMS ($p = 0.93$).

Conclusion: This study yielded several key findings. First, combining EMS with IE did not significantly enhance acute cardiorespiratory responses beyond those elicited by IE. This indicates that EMS does not augment the immediate physiological benefits of aerobic exercise in overweight men. Second, both IE and IE+EMS produced higher energy expenditure, oxygen consumption, VE, and HR responses compared to EMS. These consistent differences across all measured parameters underscore the superior efficacy of active exercise in stimulating acute cardiorespiratory function. Third, recovery patterns were similar across both exercise conditions, whereas, EMS showed a distinct recovery pattern, likely due to its lower physiological load. Overall, these results highlight the vital role of traditional exercise methods in cardiorespiratory activation within overweight

populations. Although EMS may serve as an adjunctive tool, especially when conventional exercise is not feasible, it does not appear to provide comparable short-term physiological benefits when used independently.

Keywords: Electrical stimulation, Energy consumption, Pulmonary ventilation, VE/VCO_2 , Oxygen consumption, Overweight.

Ethical Considerations: This study was approved by the Research Ethics Committees from Allameh Tabataba'i University (IR. ATU.REC.1399.08). All participants were informed about the study procedures and provided written informed consent.

Compliance with Ethical Guidelines: The research followed the ethical standards of the Declaration of Helsinki and institutional guidelines. Participation was voluntary, and confidentiality was maintained.

Funding: The authors declare that no financial support was received for this study.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest regarding the publication of this study.



مقاله پژوهشی

تأثیر تحریک الکتریکی-عضلانی و فعالیت ورزشی فزآینده بر عوامل منتخب قلبی-تنفسی مردان دارای اضافه وزن

مینو باسامی^{۱*}، آناهیتا اعتصام^۲، بختیار ترتیبیان^۳، امیرحسین محکم^۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۶/۰۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۲۸

اطلاعات مقاله

۱. دانشیار گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران.
۲. کارشناس ارشد فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران.
۳. استاد گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران.
۴. دانشجوی دکتری فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.

چکیده

زمینه و هدف: افراد دارای اضافه وزن و چاق معمولاً با اختلالات غیرطبیعی در عملکرد قلبی-تنفسی مواجه هستند که این امر به کاهش ظرفیت عملکردی باقی مانده منجر می شود. با این وجود، کاهش وزن در این افراد معمولاً به بهبود وضعیت عملکرد قلبی-تنفسی منجر می گردد. تحریک الکتریکی عضلانی (EMS) به عنوان یک روش کمکی در مدیریت مشکلات مرتبط با چاقی مورد توجه قرار گرفته است. این مطالعه به بررسی تأثیر حاد فعالیت ورزشی فزآینده و EMS بر شاخص های قلبی-تنفسی در مردان دارای اضافه وزن پرداخته است. **روش تحقیق:** در این مطالعه نیمه تجربی و کاربردی، ۱۰ مرد با میانگین سن 29.1 ± 6.8 سال، شاخص توده بدنی 28.49 ± 1.98 کیلوگرم بر مترمربع به صورت داوطلبانه شرکت و در سه جلسه به آزمایشگاه مراجعه نمودند. در جلسه اول، آزمون فزآینده را تا رسیدن به نسبت تبادل تنفسی معادل یک و سپس تا واماندگی برای تعیین حداکثر اکسیژن مصرفی (VO_{2max}) اجرا کردند. در جلسه دوم، همین آزمون با اضافه شدن EMS با فرکانس ۳۵-۷۵ هرتز انجام شد. در جلسه سوم، تنها EMS اجرا گردید. شاخص های قلبی-تنفسی قبل، حین و طی ۲۰ دقیقه ریکاوری بلافاصله بعد از هر جلسه، مورد بررسی قرار گرفتند. تحلیل آماری داده ها با استفاده از روش تحلیل واریانس دواراه با اندازه گیری های مکرر و همچنین آزمون تعقیبی توکی در سطح معنی داری $p < 0.05$ انجام شد. **یافته ها:** نتایج نشان داد که انرژی مصرفی ($p < 0.0001$)، تهویه ریوی ($p < 0.0001$)، نسبت تهویه دقیقه ای به دی اکسید کربن ($p = 0.0002$)، اکسیژن مصرفی ($p < 0.0001$) و ضربان قلب ($p = 0.004$) پس از مداخله فعالیت ورزشی فزآینده و فعالیت ورزشی فزآینده+EMS در مقایسه با EMS؛ به طور معنی دار افزایش پیدا کرده است؛ در حالی که این شاخص ها بین فعالیت ورزشی فزآینده و فعالیت ورزشی فزآینده+EMS، تفاوت معنی داری نداشتند ($p = 0.48$). از طرف دیگر، میزان فشارخون سیستولیک دوره ریکاوری بین هر سه مداخله، تفاوت معنی داری نداشت ($p = 0.83$). **نتیجه گیری:** فعالیت ورزشی فزآینده در مقایسه با EMS، تأثیر بیشتری بر شاخص های قلبی-تنفسی از جمله مصرف اکسیژن، ضربان قلب، تهویه دقیقه ای و انرژی مصرفی دارد و سبب بازگشت سریع تر این پارامترها به مقادیر پایه در مرحله بازیابی پس از فعالیت می شود.

واژه های کلیدی: تحریک الکتریکی، تهویه ریوی، اکسیژن مصرفی، اضافه وزن.

* آدرس نویسنده مسئول: خراسان رضوی، مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه فیزیولوژی ورزشی؛
پست الکترونیک:
hosseinik@um.ac.ir

مقدمه

شیوع جهانی چاقی در دهه‌های اخیر تقریباً دو برابر شده است و به یک نگرانی قابل توجه برای سلامت عمومی تبدیل گردیده است. در سال ۲۰۱۶، بیش از ۱/۹ میلیارد نفر از افراد ۱۸ سال به بالا (۳۹ درصد مردان و ۴۰ درصد زنان) اضافه وزن داشته‌اند (۱، ۲). چاقی به عنوان یک عامل خطر قابل اصلاح برای بیماری‌های قلبی و عروقی و مرگ و میر شناخته می‌شود (۳). همچنین، چاقی و اضافه وزن به طور مستقیم با بیماری‌های مختلف از جمله اختلالات ریوی، اسکلتی و عصبی، مرتبط است (۴).

هزینه انرژی^۱ (EE) در مردان دارای اضافه وزن تحت تأثیر افزایش توده بدنی، تغییر ترکیب بدن و نیازهای متابولیکی مرتبط با بافت چربی بیش از حد قرار می‌گیرد. افراد دارای اضافه وزن و چاق، معمولاً در مقایسه با افراد دارای وزن طبیعی، هزینه انرژی مطلق کل و پایه بالاتری را نشان می‌دهند که عمدتاً ناشی از توده بدون چربی و چربی بیشتر است (۵، ۶). با این حال، هنگامی که برای وزن بدن تنظیم می‌شود، هزینه انرژی آنها به ازای هر کیلوگرم اغلب کمتر است که نشان دهنده فعالیت متابولیک نسبی کمتر بافت چربی در مقایسه با بافت بدون چربی است (۵). این تغییرات در دینامیک انرژی مهم هستند، زیرا کاهش سرعت متابولیسم و اکسیداسیون ناکارآمد سوستر با تمایل به افزایش وزن همراه است و می‌تواند مانع از استراتژی‌های مؤثر مدیریت وزن شود (۷، ۸) عملکرد ریوی و تهویه^۲ (VE) نیز تحت تأثیر وضعیت اضافه وزن قرار می‌گیرند. تجمع بافت چربی در اطراف قفسه سینه و شکم، بار مکانیکی را بر سیستم تنفسی تحمیل می‌کند و منجر به کاهش حجم ریه و انطباق آن می‌شود (۹). در نتیجه، مردان دارای اضافه وزن، اغلب افزایش کار تنفسی را تجربه می‌کنند و ممکن است حتی در حالت استراحت، به مصرف اکسیژن^۳ (VO_2) بیشتری که به عضلات تنفسی اختصاص داده می‌شود، نیاز داشته باشند (۱۰). در طول ورزش، پاسخ تهویه‌ای اغلب از طریق شیب معادل تهویه‌ای دی‌اکسید کربن^۴ (VE/VCO_2) تجزیه و تحلیل می‌شود، که نشان دهنده کارآیی تهویه‌ای است و با افزایش شاخص توده بدنی^۵ (BMI)، به دلیل محدودیت‌های مکانیکی، کاهش

انطباق ریه و تغییر الگوهای تنفسی، کند می‌شود. این امر ممکن است به صورت نسبت‌های VE/VCO_2 پایین‌تر و دی‌اکسید کربن انتهایی بازدمی بالاتر، در شدت‌های ورزشی مشابه ظاهر شود، که نشان دهنده چالش در افزایش تهویه و حذف مؤثر دی‌اکسید کربن در افراد چاق‌تر است (۱۱). پاسخ‌های قلبی عروقی، شامل ضربان قلب و فشار خون، نیز الگوهای منحصر به فردی را در مردان دارای اضافه وزن نشان می‌دهد. بیش فعالی سیستم عصبی سمپاتیک در چاقی عموماً منجر به ضربان قلب در حالت استراحت و برون ده قلبی بالاتر می‌شود (۱۲). با این حال، برخی مطالعات گزارش کرده‌اند که ممکن است پاسخ‌های حاد ضربان قلب و فشار خون به عوامل استرس‌زای روانی یا فیزیکی، در مردان دارای اضافه وزن در مقایسه با مردان لاغر کاهش یابد، که احتمالاً به دلیل مکانیسم‌های سازگاری یا اثرات سقف در واکنش‌پذیری قلبی عروقی است (۱۳). در حالی که چاقی به طور گسترده به عنوان یک عامل خطر مهم برای فشار خون بالا شناخته می‌شود، میزان تغییرپذیری فشار خون در مردان دارای اضافه وزن می‌تواند متفاوت باشد، که نشان دهنده تعامل پیچیده عوامل عصبی-هورمونی، کلیوی و عروقی است. در مجموع، این تغییرات فیزیولوژیکی بر اهمیت توجه به ترکیب بدن در ارزیابی و مدیریت سلامت قلبی تنفسی در جمعیت‌های دارای اضافه وزن، تأکید می‌کنند.

فعالیت ورزشی منظم به عنوان یکی از مؤثرترین راهکارها برای پیشگیری و درمان چاقی و همچنین افزایش سلامت جسمی و روانی شناخته شده است. روش‌های مختلف فعالیت ورزشی (اعم از استقامتی، مقاومتی یا تناوبی با شدت بالا) می‌تواند آمادگی جسمانی و عوامل خطر مختلف قلبی متابولیک را بهبود بخشد (۱۴-۱۶). برای بسیاری از بیماران چاق، شروع فعالیت ورزشی می‌تواند به دلیل مشکلات تنفسی، متابولیک، قلبی و عروقی، عضلانی یا مفصلی، چالش برانگیز باشد (۱۷، ۱۸). با گسترش تکنولوژی و افزایش بی‌حرکی و محدودیت‌های شخصی مانند کمبود زمان، اجرای فعالیت ورزشی با چالش مواجه است (۱۹). تحریک الکتریکی عضلانی^۶ (EMS) یک جایگزین بالقوه برای این موانع ارائه می‌دهد (۱۸). EMS به ویژه برای

1. Energy expenditure

2. Pulmonary function and ventilation

3. Oxygen consumption

4. Ventilatory equivalent for carbon dioxide

5. Body mass index

6. Electrical muscle stimulation

قلبی را مانند ظرفیت هوازی و کارایی تنفسی افزایش دهد و از سلامت و عملکرد بهتر قلبی-تنفسی پس از هفته‌ها تمرین سیستماتیک، حمایت کند (۲۹). EMS، به ویژه EMS کل بدن^۴ (WB-EMS)، در حین تمرین، گروه‌های عضلانی متعددی را به صورت الکتریکی تحریک می‌کند که منجر به درگیری عضلانی و بهبودهای متابولیکی می‌شود. برنامه‌های WB-EMS در افراد سالم، تغییرات مثبتی در نشانگرهای قلبی-تنفسی مانند کاهش نسبت دور کمر به دور باسن، کاهش کلسترول کل، بهبود آستانه بی‌هوازی و کارایی تنفسی ایجاد کرده که نشان‌دهنده سازگاری‌های مثبت قلبی-عروقی است (۳۰). در افراد دارای اضافه وزن، EMS به تنهایی تأثیر کمتری بر عوامل قلبی-تنفسی نسبت به ورزش دارد، با این حال در بهبود مصرف انرژی و مصرف اکسیژن مؤثر است. علاوه بر این، EMS پتانسیل کاهش فشار خون سیستمیک را نشان داده است، که مکانیسم احتمالی آن از طریق بهبود در ترکیب بدن و التهاب بوده است (۳۰، ۳۱). بنابراین، مطالعه حاضر به بررسی تأثیر حاد تمرین فزاینده و EMS و همچنین ترکیب این دو نوع تمرین، بر برخی شاخص‌های ترکیب بدنی و قلبی-تنفسی افراد دارای اضافه وزن پرداخت.

روش تحقیق

تحقیق حاضر از نوع مطالعات نیمه‌تجربی و کاربردی است. جامعه آماری مردان دارای اضافه وزن و چاق ساکن تهران بودند که بر اساس معیارهای ورود به تحقیق؛ انتخاب شدند. پس از درج آگهی و انتشار اطلاعات کلی تحقیق در فراخوان، مراحل اجرا و اهداف تحقیق به صورت حضوری توضیح داده شد و در صورت رضایت کامل، فرم رضایت‌نامه شرکت در آزمون‌ها و پرسش‌نامه یاد آمد غذایی توسط داوطلبان تکمیل و امضا گردید. معیارهای ورود به تحقیق شامل برخورداری از سلامت عمومی، دامن سنی بین ۲۰ تا ۴۰ سال، BMI بین ۲۵ تا ۳۰ کیلوگرم بر مترمربع، عدم شرکت در فعالیت‌های ورزشی منظم، و فقدان سابقه بیماری‌های مزمن قلبی عروقی-تنفسی، دیابت، فشارخون؛ و استعمال دخانیات بود. معیارهای خروج از تحقیق شامل عدم شرکت منظم در مراحل مختلف تحقیق، و استفاده از داروها و مکمل‌ها در زمان اجرای تحقیق بود. همه آزمودنی‌ها سه

افرادی که زمان محدودی دارند و تمایل کمتری به انجام فعالیت ورزشی دارند، یک ابزار مناسب است (۲۰، ۲۱). این شیوه، انقباضات همزمان در گروه‌های عضلانی اصلی را در حین فعالیت ورزشی تسهیل می‌کند (۱۷) مطالعات اخیر اثرات مثبت آن را بر پارامترهای آمادگی جسمانی نظیر عملکرد پرش عمودی و حداکثر اکسیژن مصرفی^۱ (VO_2max) در افراد تمرین کرده و تمرین نکرده نشان داده‌اند (۲۲). همچنین، گزارش شده است که EMS می‌تواند به اندازه تمرینات مقاومتی با شدت بالا، در افزایش هایپرتروفی عضلانی و کاهش چربی در ورزشکاران مؤثر باشد (۲۲) بر اساس تحقیقات انجام شده، EMS قدرت و توان را در افراد جوان سالم بهبود می‌بخشد (۱۸، ۲۰). قابل ذکر است که اکثر این مطالعات شامل افراد سالم، اعم از کم تحرک یا ورزشکار بوده‌اند (۱۷، ۱۸، ۲۲، ۲۳). مطالعات محدودی در مورد اثربخشی EMS در افراد دارای اضافه وزن و چاق وجود دارد. مطالعات موجود نشان می‌دهند که این روش می‌تواند در بهبود ترکیب بدن، قدرت و برخی شاخص‌های متابولیک مانند افزایش سطح لیپوپروتئین کلسترول با چگالی بالا^۲ (HDL)، به ویژه در بزرگسالان چاق با خطر قلبی-متابولیکی، مؤثر باشد (۱۷، ۱۸، ۲۳، ۲۴).

طبق دانش ما، تاکنون تأثیر EMS و فعالیت ورزشی فزاینده بر شاخص‌های منتخب قلبی-تنفسی در مردان دارای اضافه وزن مورد بررسی قرار نگرفته است. اگرچه مداخلات ورزشی مزایایی را برای آمادگی قلبی-تنفسی و عملکرد خودکار قلب در جمعیت‌های دارای اضافه وزن و چاق نشان داده‌اند، تحقیقات موجود در درجه اول بر روش‌های تمرین هوازی، تناوبی با شدت بالا یا ترکیبی تمرکز دارند و بررسی محدودی از رویکردهای تمرین فزاینده و تأثیر مستقیم آنها بر عوامل عملکرد قلب مانند عملکرد بطن چپ و عملکرد اندوتلیال وجود دارد (۲۵-۲۷). در خصوص فعالیت ورزشی فزاینده، به ویژه تمرینات تناوبی با شدت بالا^۳ (HIIT)، گزارش شده است که به طور قابل توجهی پارامترهای ترکیب بدنی و قلبی-تنفسی از جمله VO_2max ، آستانه‌های تنفسی و پاسخ‌های متابولیک را در افراد دارای اضافه وزن و چاق بهبود می‌بخشد (۲۸). مطالعات نشان می‌دهند که فعالیت ورزشی فزاینده می‌تواند شاخص‌های

1. Maximul oxygen consumption

2. High-density lipoprotein cholesterol

3. High-intensity interval training

4. Whole-body EMS

دقیقه ۲۵ وات بر میزان بارکار افزوده شد. هدف از بخش آخر، اندازه‌گیری و تعیین $VO_2 \max$ بود (۳۲، ۳۳). برای اطمینان از حصول $VO_2 \max$ ، معیارهای به فلات رسیدن VO_2 ، عدم افزایش ضربان قلب با افزایش شدت فعالیت و RER بالاتر از ۱/۱ مد نظر قرار گرفت (۳۴). طی فعالیت ورزشی و ریکآوری، EE، VE، نسبت VE/CO_2 و VO_2 ، ضربان قلب، میزان اکسیژن مصرفی بافت؛ به‌شیوهٔ نفس به نفس با استفاده از دستگاه گاز آنالایزر (مدل زان ۶۰۰، شرکت این اسپایر هلت^۵، کشور آلمان) سنجش شد. اندازه‌گیری فشارخون سیستولیک در حالت استراحت، قبل از شروع پروتکل فعالیت، بعد از پایان پروتکل اصلی، ۱۰ دقیقه بعد از اتمام پروتکل، و ۲۰ دقیقه بعد از پایان پروتکل؛ انجام شد. به‌کارگیری ابزارهای متداول (مانند کاف^۶ بازویی یا فشارسنج دیجیتالی) برای اندازه‌گیری فشار خون و ضربان قلب در حین فعالیت ورزشی فزآینده همراه با EMS، تحریک الکتریکی مداوم عضلات ممکن بود باعث اختلال در قرائت دقیق ضربان قلب و ایجاد اغتشاش در سیگنال‌های فیزیولوژیکی شود؛ بنابراین تصمیم بر آن شد که اندازه‌گیری این دو شاخص، به‌صورت مرحله‌ای انجام گیرد.

برای اجرای پروتکل EMS از دستگاه تایتان (شرکت سلامت اندیشان، ساخت ایران) نه کاناله برای تحریک الکتریکی عضلانی در هفت عضله استفاده شد. تایتان برای تقویت عضلات، کاهش توده چربی و ریکآوری پس از فعالیت، طراحی شده است. عضلات بدن با یکدیگر متفاوت هستند و هرکدام باید با فرکانس خاصی تحریک شوند، بنابراین دستگاه عضلات را به هفت گروه تقسیم کرده و با نه کانال مجزا عضلات را تحریک و فعال می‌کند. روش دوقطبی EMS به‌صورت شش ثانیه پالس و چهار ثانیه استراحت با تمرکز بر نه گروه بزرگ عضلانی اجرا شد (۳۵، ۳۶). الکترودهای دستگاه زیر لباس مخصوص EMS قرار داده شد. در تمام جلسات، آزمودنی‌ها گرم کردن و سرد کردن استاندارد و پویا مشتمل بر تمرینات حرکتی عمومی را اجرا کردند (۳۵، ۳۶). پروتکل اجرایی EMS در جدول یک ارائه شده است.

برای بررسی توزیع طبیعی داده‌ها از آزمون شاپیرو-ویلک^۷ استفاده شد. از آزمون تحلیل واریانس دو راهه با اندازه‌گیری مکرر برای بررسی تفاوت‌های میانگین در چندین جلسه و

پروتکل تحقیق را به شکل متقاطع^۱ و با فاصله یک هفته اجرا نمودند. ترتیب اجرا تصادفی بود و در طول مراحل تحقیق، شرکت‌کنندگان اجازه شرکت در هیچ برنامه ورزشی دیگری را نداشتند. به شرکت‌کنندگان یادآوری شد که هر زمان در حین اجرا که قادر به ادامه مداخله نباشند و یا صدمه جدی به آن‌ها وارد شود؛ آزمون را متوقف کنند. حجم نمونه با استفاده از نرم‌افزار جی پاور^۲ و بر اساس آزمون استفاده شده در تحقیق (تحلیل واریانس دو راهه با اندازه‌گیری مکرر)، با توان آماری ۸۵ درصد، سطح خطا ۰/۰۵ درصد و اندازه اثر ۰/۵ درصد؛ ۱۰ نفر تعیین شد. این پژوهش پس از اخذ مجوز از کمیته اخلاق در دانشگاه علامه طباطبائی تهران (با شناسه IR.ATU.REC.1399.08)، به اجرا درآمد.

پیش از آغاز پژوهش اصلی، یک مطالعه آزمایشی^۳ روی دو آزمودنی انجام گردید و قابلیت اجرایی آن تأیید شد. یک هفته پیش از اجرا، شرکت‌کنندگان برای آشنایی با پروتکل تمرین و EMS به آزمایشگاه مراجعه نمودند و پس از این مرحله، سه جلسه دیگر به آزمایشگاه مراجعه کردند. در یک جلسه، آزمون فزآینده را تا نسبت تبادل تنفسی^۴ (RER) معادل یک انجام دادند و سپس، برای تعیین $VO_2 \max$ ، یک آزمون (که در ادامه توضیح داده خواهد شد) را تا واماندگی انجام دادند. در جلسه دوم، همان آزمون جلسه اول تکرار شد و در حین آزمون ورزشی، تحریک الکتریکی عضلانی هم داده شد (فعالیت ورزشی فزآینده+EMS). در جلسه سوم، در حالت نشسته و در زمان برابر با دو جلسه قبل، فقط EMS داده شد. فاصله اجرای هر پروتکل تا پروتکل بعدی، هفت روز بود تا تأثیر سایر مداخله‌ها خنثی شود. در قبل، حین و طی ۲۰ دقیقه ریکآوری پس از مداخله‌های فوق، گازهای تنفسی برای اندازه‌گیری شاخص‌های قلبی-تنفسی جمع‌آوری شدند. برای اجرای یک جلسه آزمون فزآینده، آزمودنی‌ها فعالیت را تا RER معادل یک انجام دادند و سپس $VO_2 \max$ تعیین شد. مراحل آزمون به این صورت بود که آزمودنی‌ها پس از پنج دقیقه گرم کردن، فعالیت را با شدت ۵۰ وات روی چرخ‌کارسنج شروع کردند و هر سه دقیقه، ۲۵ وات بر میزان بارکار اضافه شد، تا جایی که RER آن‌ها برابر با یک شود و در ادامه، تا رسیدن به خستگی ارادی، هر دو

1. Crossover
2. G Power
3. Pilot study

4. Respiratory exchange ratio
5. En Aspire health company
6. Cuff

7. Shapiro-Wilk

جدول ۱. پروتکل تحریک الکتریکی عضلانی

متغیر	مداخله فعالیت ورزشی فزاینده + EMS	مداخله EMS
فرکانس	۱۵ تا ۲۰ هرتز	۷۵ تا ۳۵ هرتز
شدت	۱۰۰ میلی آمپر	۸۰ میلی آمپر
ضربه	۲۰۰-۴۰۰ میکروثانیه ناحیه ران = ۴۰۰ میکروثانیه ناحیه سرینی = ۳۵۰ میکروثانیه ناحیه شکمی = ۳۰۰ میکروثانیه ناحیه پشتی (دوزنقه‌ای) = ۲۵۰ میکروثانیه ناحیه گردنی = ۲۰۰ میکروثانیه منطقه قفسه سینه = ۲۰۰ میکروثانیه منطقه بازو = ۲۰۰ میکروثانیه	

عوامل تأثیرگذار بهره برداری گردید. همچنین، برای تعیین تفاوت‌های بین گروه‌ها بعد از تحلیل واریانس، از آزمون تعقیبی توکی بهره‌گیری شد. برای مقایسه میانگین‌های EE بین سه مداخله از تحلیل واریانس یک راهه استفاده گردید. در صورت معنی دار بودن نتایج، از آزمون تعقیبی بونفرونی برای مقایسه زوج‌ها استفاده گردید. تجزیه و تحلیل اطلاعات با نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ و در سطح معنی‌داری $p < 0.05$ انجام شد.

یافته‌ها

مقادیر (میانگین $\pm$ انحراف استاندارد) متغیرهای اندازه‌گیری‌شده در پاسخ به سه فعالیت فزاینده، فعالیت ورزشی فزاینده+EMS و EMS، در جدول دو؛ و برای دو متغیر فشارخون و ضربان قلب، در جدول سه آورده شده است. نتایج آزمون تحلیل واریانس دو راهه با اندازه‌گیری مکرر نشان داد که برای متغیر VE اثر زمان ($p < 0.001$)، $F = 20.16$ ؛ اثر گروه ($F = 349.16$)، $p < 0.001$ ؛ و اثر تعامل زمان با گروه ($F = 80.98$)، $p < 0.001$ ؛ برای متغیر VE/VO_2 اثر زمان ($F = 13.83$)، $p < 0.001$ ؛ اثر گروه ($F = 7.75$)، $p < 0.002$ ؛ و اثر تعامل زمان با گروه ($F = 12.46$)، $p < 0.001$ ؛ برای متغیر VO_2 اثر زمان ($F = 333.66$)، $p < 0.001$ ؛ اثر گروه ($F = 83.12$)، $p < 0.001$ ؛ و اثر تعامل زمان با گروه ($F = 62.12$)، $p < 0.001$ ؛ و اثر تعامل زمان با گروه ($F = 14.62$)، $p < 0.001$ ؛ و در نهایت برای متغیر فشار خون اثر

زمان ($F = 51.61$)، $p < 0.001$ ؛ اثر گروه ($F = 5.47$)، $p = 0.01$ ؛ و اثر تعامل زمان با گروه ($F = 14.40$)، $p < 0.001$ ؛ معنی‌دار است. در ادامه، آزمون تعقیبی توکی نشان داد که مداخله‌های فعالیت ورزشی فزاینده و فعالیت ورزشی فزاینده+EMS منجر به افزایش معنی‌داری در شاخص‌های VE/VO_2 ، VE و VO_2 و ضربان قلب در زمان اجرای پروتکل و دوره ریکاوری شدند؛ اما شاخص‌های VE ($p = 0.28$)، VE/VO_2 ($p = 0.79$)، VO_2 ($p = 0.24$)، ضربان قلب ($p = 0.27$) و فشار خون ($p = 0.22$) در مراحل زمان اجرای پروتکل، بلافاصله بعد از پروتکل و در دوره ریکاوری؛ بین مداخله فعالیت ورزشی فزاینده به تنهایی و فعالیت ورزشی فزاینده+EMS، تفاوت معنی‌داری نداشتند. از طرف دیگر، نتایج آزمون تحلیل واریانس یک راهه تفاوت معنی‌داری بین سه مداخله برای متغیر EE نشان داد ($F = 5.45$)، $p = 0.03$ ؛ بر اساس آزمون تعقیبی بونفرونی، میزان EE در مداخله EMS پس از دو مداخله فعالیت ورزشی فزاینده ($p = 0.01$) و فعالیت ورزشی فزاینده+EMS ($p = 0.04$) نسبت به مداخله EMS، به طوری معنی‌دار افزایش یافت؛ در حالی که میزان EE حین فعالیت ورزشی فزاینده با فعالیت ورزشی فزاینده+EMS، تفاوت معنی‌داری نداشت ($p = 0.93$) (شکل یک).

میانگین شاخص VE پس از اجرای فعالیت ورزشی فزاینده+EMS در مقایسه با مداخله فعالیت ورزشی فزاینده به تنهایی، در مرحله پروتکل ($p = 0.48$) و دوره ریکاوری ($p = 0.20$) تفاوت معنی‌دار نداشت. با این حال، میانگین شاخص VE در هر دو

تفاوت معنی‌دار ندارد. با این حال، ضربان قلب در زمان‌های بلافاصله پس از پروتکل ($p=0/0002$)، در دقیقه ۱۰ ریکاوری ($p=0/0008$) و در دقیقه ۲۰ ریکاوری ($p=0/001$) پس از فعالیت ورزشی فزآینده+EMS در مقایسه با EMS؛ افزایش معنی‌داری داشت. همچنین، ضربان قلب در زمان‌های بلافاصله پس از پروتکل ($p<0/0001$)، در دقیقه ۱۰ ریکاوری ($p=0/0005$) و در دقیقه ۲۰ ریکاوری ($p=0/0008$)؛ پس از مداخله فعالیت ورزشی فزآینده در مقایسه با مداخله EMS، افزایش معنی‌داری نشان داد (شکل پنج).

علاوه بر این، فشارخون سیستولیک در زمان‌های بلافاصله پس از پروتکل ($p=0/95$)، در دقیقه ۱۰ ($p=0/86$) و ۲۰ ($p=0/83$) پس از ریکاوری در مقایسه بین فعالیت ورزشی فزآینده+EMS و مداخله فعالیت ورزشی فزآینده به تنهایی، تفاوت معنی‌دار نداشت. با این حال، این شاخص در زمان بلافاصله پس از پروتکل ($p<0/0001$) در مقایسه مداخله فعالیت ورزشی فزآینده+EMS و مداخله EMS به تنهایی، به طور معنی‌داری افزایش یافت؛ اما در دقیقه ۱۰ ($p=0/57$) و ۲۰ ($p=0/99$) ریکاوری تفاوت معنی‌دار نداشت. از طرف دیگر، مقایسه فشار خون در زمان بلافاصله پس از پروتکل ($p=0/0001$) فعالیت ورزشی فزآینده به تنهایی و مداخله EMS افزایش معنی‌داری داشت؛ اما در دقیقه ۱۰ ریکاوری ($p=0/83$) و دقیقه ۲۰ ریکاوری ($p=0/85$)؛ تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل شش).

مداخله فعالیت ورزشی فزآینده با و بدون EMS، نسبت به مداخله EMS به تنهایی؛ در مرحله اجرای پروتکل افزایش معنی‌دار نشان داد ($p=0/0001$) و در دوره ریکاوری کاهش معنی‌دار داشت ($p=0/0001$) (شکل دو).

علاوه بر این، نسبت VE/CO_2 پس از اجرای فعالیت ورزشی فزآینده+EMS در مقایسه با مداخله فعالیت ورزشی فزآینده به تنهایی، در مرحله پروتکل ($p=0/20$) و دوره ریکاوری ($p=0/76$) تفاوت معنی‌دار نداشت؛ اما فعالیت ورزشی فزآینده با و بدون EMS، نسبت به مداخله EMS به تنهایی، افزایش معنی‌داری در نسبت VE/CO_2 هم در مرحله اجرای پروتکل ($p=0/04$) و هم در دوره ریکاوری ($p=0/0002$) ایجاد کردند (شکل سه).

میانگین شاخص VO_2 بین دو مداخله فعالیت ورزشی فزآینده+EMS و فعالیت ورزشی فزآینده به تنهایی، در مرحله پروتکل ($p=0/87$) و دوره ریکاوری ($p=0/65$) تفاوت معنی‌دار نداشت؛ اما بین دو جلسات فعالیت ورزشی فزآینده با و بدون EMS، نسبت به مداخله EMS به تنهایی، در مرحله اجرای پروتکل افزایش معنی‌دار ($p=0/0001$) و دوره ریکاوری ($p=0/0001$) کاهش معنی‌داری داشت (شکل چهار).

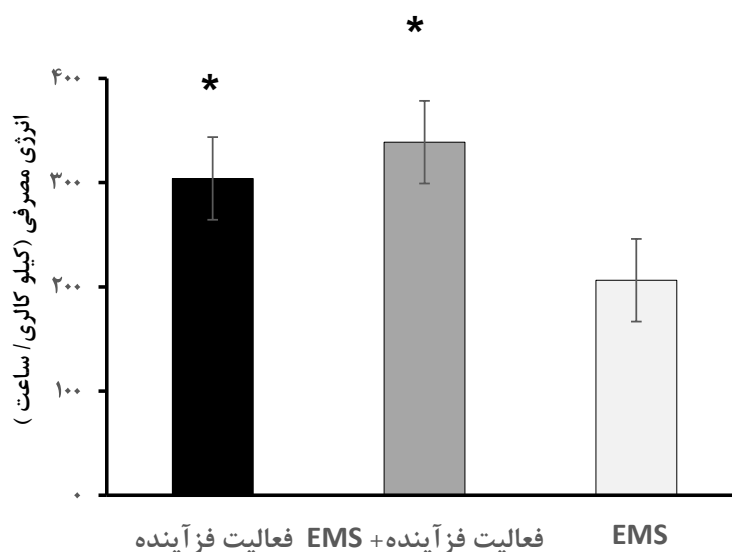
سایر نتایج نشان داد که ضربان قلب بین فعالیت ورزشی فزآینده+EMS و فعالیت ورزشی فزآینده به تنهایی، در زمان‌های بلافاصله پس از اجرای پروتکل ($p=0/38$)، در دقیقه ۱۰ ریکاوری ($p=0/6$)، و در دقیقه ۲۰ ریکاوری ($p=0/76$)

جدول ۲. توصیف (میانگین $\pm$ انحراف استاندارد) متغیرهای VE ، VE/CO_2 و VO_2 در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری

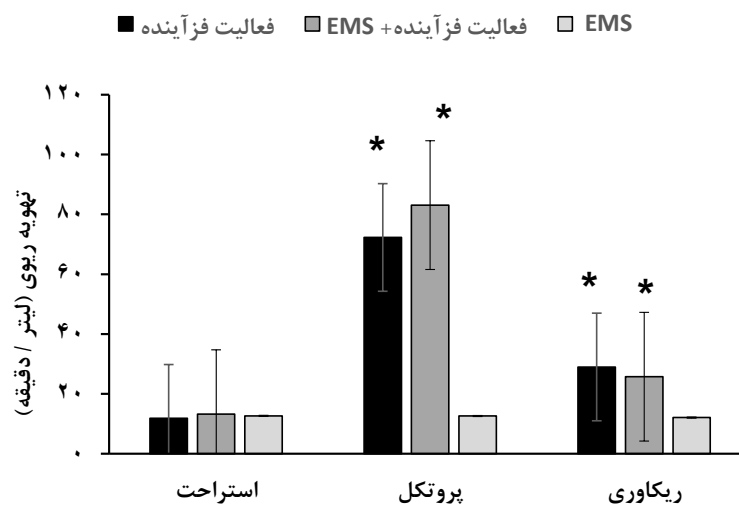
متغیرها	زمان	VE (لیتر/دقیقه)	نسبت VE/CO_2 (میلی لیتر/کیلوگرم/دقیقه)	VO_2 (میلی لیتر/کیلوگرم/دقیقه)
فعالیت فزآینده	قبل از مداخله	$11/82 \pm 1/53$	$30/87 \pm 2/45$	$3/70 \pm 0/48$
	بعد از مداخله	$72/29 \pm 9/30$	$31/62 \pm 2/69$	$22/00 \pm 4/32$
	دوره ریکاوری	$29 \pm 5/96$	$37 \pm 2/82$	$6/50 \pm 1/08$
فعالیت فزآینده+ تحریک الکتریکی	قبل از مداخله	$13/02 \pm 1/72$	$30/57 \pm 2/62$	$4/00 \pm 0/25$
	بعد از مداخله	$83/10 \pm 4/61$	$33/39 \pm 1/99$	$23/40 \pm 4/22$
	دوره ریکاوری	$25/74 \pm 3/25$	$36/19 \pm 3/25$	$6/12 \pm 0/82$
تحریک الکتریکی	قبل از مداخله	$12/66 \pm 1/44$	$31/12 \pm 2/34$	$4/03 \pm 0/23$
	بعد از مداخله	$12/60 \pm 4/17$	$30/46 \pm 2/46$	$3/50 \pm 0/50$
	دوره ریکاوری	$12/09 \pm 1/46$	$28/63 \pm 3/55$	$3/66 \pm 0/53$

جدول ۳. توصیف (میانگین $\pm$ انحراف استاندارد) متغیرهای فشارخون و ضربان قلب در زمان های مختلف اندازه گیری

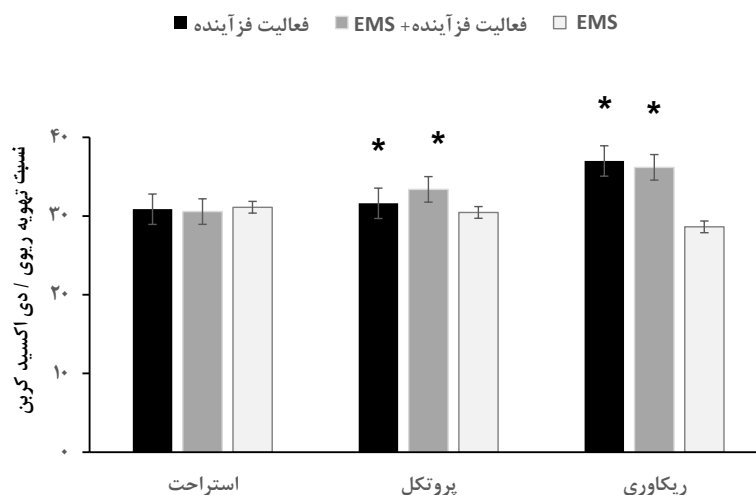
متغیرها	زمان ها	فعالیت فزآینده	فعالیت فزآینده + تحرک الکتریکی	تحرک الکتریکی
ضربان قلب (ضربه/دقیقه)	قبل از مداخله	70.2 ± 8.70	72.8 ± 7.64	70.00 ± 9.22
	بعد از مداخله	124.3 ± 25.60	112.3 ± 25.05	67.44 ± 7.07
	بعد از ۱۰ دقیقه ریکاوری	97.1 ± 16.48	92.6 ± 13.50	69.00 ± 9.26
	بعد از ۲۰ دقیقه ریکاوری	91.8 ± 13.84	88.9 ± 12.04	69.44 ± 7.47
فشارخون سیستولیک (میلی متر جیوه)	قبل از مداخله	118.39 ± 8.15	125.41 ± 8.8	122.12 ± 10
	بعد از مداخله	152.68 ± 17.71	155.4 ± 12.18	116.45 ± 8.86
	بعد از ۱۰ دقیقه ریکاوری	122.65 ± 12.97	119.68 ± 9.38	118.01 ± 9.08
	بعد از ۲۰ دقیقه ریکاوری	115.87 ± 9.35	117.66 ± 10.36	114.33 ± 9.31



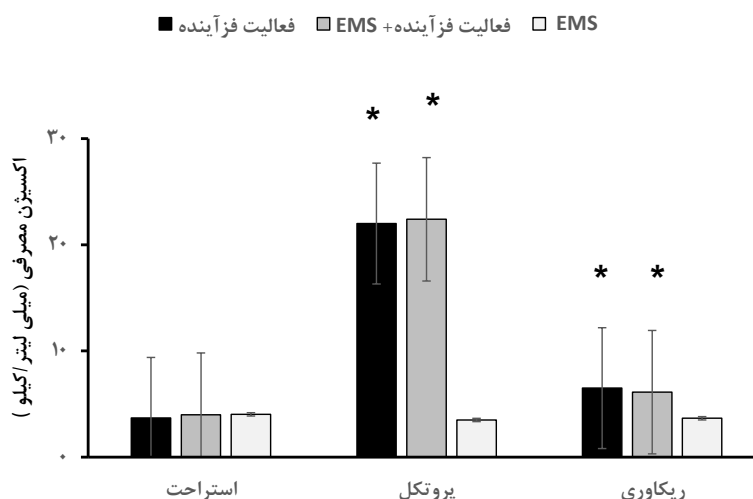
شکل ۱. مقایسه میزان انرژی مصرفی (EE) پس از مداخله. * نشانه تفاوت معنی دار بین فعالیت ورزشی فزآینده و فعالیت ورزشی فزآینده + EMS با EMS؛ $p < 0.05$.



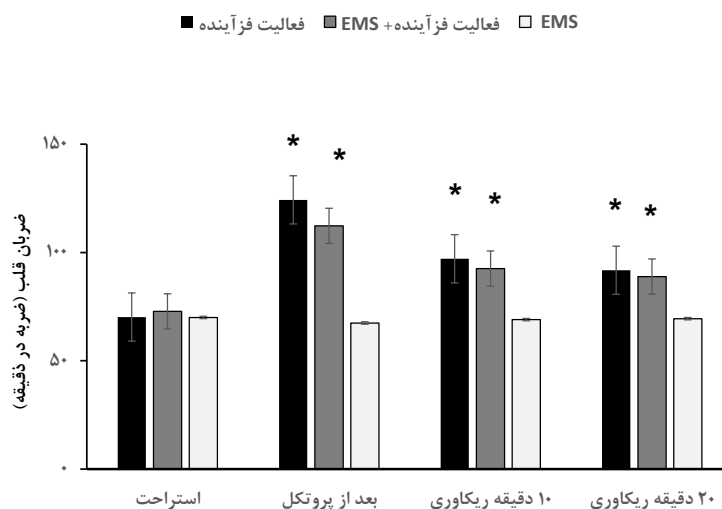
شکل ۲. مقایسه تغییرات تهویه ریوی (VE) پس از مراحل مختلف مداخله. * نشانه تفاوت معنی دار بین فعالیت ورزشی فزآینده و فعالیت ورزشی فزآینده + EMS با EMS؛ در زمان اجرای پروتکل و دوره ریکاوری؛ سطح معنی داری $p < 0.05$.



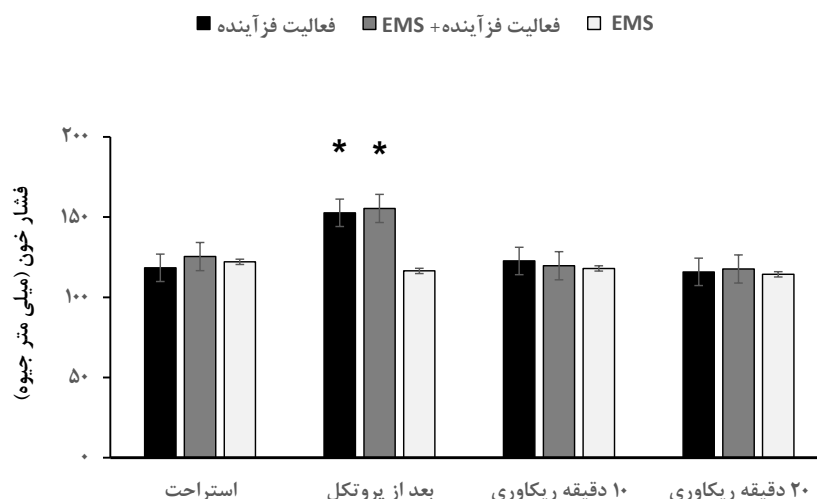
شکل ۳. مقایسه تغییرات نسبت تهویه ریوی/دی اکسید کربن (VE/VO_2) پس از مراحل مختلف مداخله؛ * نشانه تفاوت معنی دار بین فعالیت ورزشی فزآینده و فعالیت ورزشی فزآینده + EMS با EMS؛ در زمان اجرای پروتکل و دوره ریکاوری؛ سطح معنی داری $p < 0.05$.



شکل ۴. مقایسه تغییرات اکسیژن مصرفی (VO_2) پس از مراحل مختلف مداخله؛ * نشانه تفاوت معنی دار بین فعالیت ورزشی فزآینده و فعالیت ورزشی فزآینده + EMS با EMS؛ در زمان اجرای پروتکل و دوره ریکاوری؛ سطح معنی داری $p < 0.05$.



شکل ۵. مقایسه تغییرات میزان ضربان قلب در مراحل استراحت، بعد از اجرای پروتکل، دقیقه ۱۰ و ۲۰ ریکاوری پس از سه مداخله. * نشانه تفاوت معنی دار بین فعالیت ورزشی فزآینده و فعالیت ورزشی فزآینده + EMS با EMS؛ در زمان بعد از پروتکل و در دقیقه ۱۰ و ۲۰ پس از ریکاوری؛ سطح معنی داری $p < 0.05$.



شکل ۶. مقایسه تغییرات فشارخون در مراحل استراحت، بعد از پروتکل، ۱۰ دقیقه و ۲۰ ریکاوری پس از سه مداخله؛ * نشانه تفاوت معنی‌دار بین مداخله فعالیت ورزشی فزآینده و مداخله فعالیت فزآینده+EMS با مداخله EMS بعد از اجرای پروتکل؛ سطح معنی داری ۰/۰۵ < p.

بحث

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که بین دو مداخله فعالیت ورزشی فزآینده به تنهایی و فعالیت ورزشی فزآینده+EMS، تفاوت معنی داری در مورد شاخص‌های VE ، EE ، نسبت VO_2 و VE/VCO_2 ، ضربان قلب و فشارخون در مردان دارای اضافه وزن وجود ندارد. با این حال، مقایسه دو مداخله فعالیت ورزشی فزآینده با مداخله EMS نشان داد که هر دو مداخله فعالیت ورزشی فزآینده با یا بدون EMS، منجر به افزایش معنی‌دار متغیرهای VE ، نسبت VE/VCO_2 و VO_2 ، ضربان قلب در زمان اجرای پروتکل، بلافاصله بعد و در دوره ریکاوری می‌شود.

همسو با تحقیق حاضر، پرایس^۱ و دیگران (۲۰۲۲)، گزارش کرده اند که در فعالیت‌های ورزشی فزآینده نسبت به تمرینات زیر حداکثر، اکسیداسیون چربی، حداکثر اکسیژن مصرفی اوج، VO_2 ، برون ده قلبی و VE/VCO_2 بالاتر است و تمرینات فزآینده می‌تواند به عنوان یک استراتژی کاربردی برای کاهش وزن باشد (۳۷). زینر^۲ و دیگران (۲۰۲۰) گزارش کرده اند که فعالیت ورزشی با چرخ کارسنج (بدون EMS)، منجر به افزایش ضربان قلب، اکسیژن مصرفی، سطح لاکتات و جذب اکسیژن حین فعالیت فزآینده می‌شود و EMS تاثیر فزآینده ای بر شاخص‌های ذکر شده ندارد؛ یافته ای که با نتایج تحقیق حاضر همسو می‌باشد (۳۸).

همچنین، کراندل^۳ و دیگران (۲۰۱۵) گزارش کرده‌اند که یک جلسه فعالیت ورزشی با شدت حداکثر، می‌تواند شاخص‌های عملکرد ریوی را افزایش دهد. علاوه بر این، افراد دارای اضافه وزن و بدون سابقه تمرینی، حتی در غیاب EMS، به مسیر گلیکولیتیک وابسته هستند، که این وابستگی گلیکولیتیکی در اثر تغییرات در میزان جریان خون، محرک‌های متابولیکی و گشاد کننده عروق می‌باشد (۳۹). به‌طور خلاصه، گیرنده‌های شیمیایی واقع شده در مدول^۴ و قوس آئورت و سرخرگ کاروتید که تغییرات در سطوح اکسیژن شریانی، دی اکسید کربن و pH را حس می‌کنند، کنترل شیمیایی اولیه تنفس را فراهم می‌کنند و هنگامی که این پارامترها از سطوح طبیعی خارج شوند، افزایش تهویه را تحریک می‌کنند (۳۸). همسو با پژوهش حاضر، درخشان مهر و دیگران (۲۰۲۱)، گزارش کرده اند که تمرینات موازی به همراه EMS، بر قدرت عضلات پایین تنه، استقامت قلبی تنفسی و توان پایین تنه اثر معنی‌داری ندارد (۴۰). در افراد چاق تنگی نفس را می‌توان با فعالیت ورزشی و بهبود همزمان ظرفیت تمرینی و عملکرد عضلات دمی کاهش داد. این کاهش تنگی نفس با کاهش تهویه و افزایش عملکرد عضلات دمی همراه است. کاهش تنگی نفس با بهبود عملکرد عضلات دمی همراه است که مشخصه آن افزایش نیروی تولید شده توسط عضلات دمی

و کاهش VE و فرکانس تنفس است (۴۱).

به طور ناهمسو یا نتایج مطالعه حاضر، شلیف^۱ و دیگران (۲۰۱۷) نشان داده اند که در طی فعالیت ورزشی فزآینده، $\dot{V}E$ ، نرخ تنگی نفس درک شده، و پارامترهای عملکرد عضلات تنفسی، بین قبل و بعد از تمرین، تفاوت معنی داری ندارند (۴۱). گفته شده که ناهمسویی در نتایج تحقیقات مختلف، احتمالاً به تفاوت در شدت و مدت تمرین برمی گردد (۴۲). در مطالعه حاضر، از یک پروتکل فزآینده با افزایش تدریجی شدت بار کاری روی چرخ کارسنج استفاده شد، در حالی که در تحقیق شلیف و دیگران (۲۰۱۷)، یک مداخله تمرینی هوازی با شدت متوسط و ثابت (۶۰ درصد $VO_2 \max$) به مدت ۱۲ هفته و سه جلسه در هفته اجرا گردیده است. میاموتو^۲ و دیگران (۲۰۱۶) نشان داده اند که فعالیت ورزشی با شدت پایین به همراه EMS عضله پایین تنه، منجر به افزایش قدرت عضلانی و میزان اکسیژن دریافتی آستانه می شود که با تحقیق حاضر ناهمسو می باشد. احتمالاً دلیل تفاوت نتایج به دلیل تفاوت در نوع فعالیت ورزشی و استفاده از EMS در کنار فعالیت ورزشی فزآینده است که منجر به حداکثر فراخوانی در واحدهای حرکتی می شود. بنظر می رسد که نتایج به دست آمده پس از فعالیت ورزشی هوازی همراه با EMS، به طور معنی داری بیشتر از مداخله فعالیت ورزشی بدون EMS است (۴۳). در مطالعه دیگری، کملر^۳ و دیگران (۲۰۱۸) نشان داده اند که شاخص EE به میزان ۱۷ درصد پس از EMS افزایش می یابد (۲۰) که با نتایج تحقیق حاضر ناهمسو است. واتاناب^۴ و دیگران (۲۰۱۴) مشاهده کرده اند که EMS به همراه فعالیت بر روی چرخ کارسنج با شدت متوسط، به طور قابل توجهی بر VO_2 ، ضربان قلب و نسبت تبادل گاز تنفسی (علی رغم بار کاری ثابت)، تأثیر بیشتری دارد (۴۴). اضافه بار در طول فعالیت مقاومتی برای به کارگیری تارهای تند انقباض ضروری است. از سوی دیگر، بر خلاف فعالیت مقاومتی، اصل اندازه نباید در طول EMS القا شود، زیرا الگوی فراخوانی تار عضلانی در طول EMS انتخابی است. همچنین، EMS می تواند باعث سازگاری های محیطی مانند افزایش بیوزنزیس میتوکندریایی^۵، محتوای

میتوکندریایی، تراکم مویرگی، و فعالیت آنزیم های اکسیداتیو شود (۴۳). بیس^۶ و دیگران (۲۰۲۳)، نشان داده اند که EMS حاد، بر سطوح اولیه miRNA قلبی-عروقی، miR-21-5p^۸، miR-126-3p^۹، miR-146a-5p^{۱۰}، miR-222-3p^{۱۱} و همچنین آنزیم کراتین کیناز تأثیر ندارد و این می تواند عدم اثر معنی دار EMS بر متغیرهای تحقیق حاضر را توجیه کند (۴۵). نتایج ناهمسویی در مورد تعامل تمرین EMS و چاقی وجود دارد که می تواند به علت تفاوت در ویژگی های آنروپومتریک آزمودنی ها، مدت زمان دوره تمرینی، زمان اجرای فعالیت ورزشی، مدت زمان پالس ها در جلسات تمرینی EMS، و تحقیق و فرکانس پالس ها در جلسات تمرینی EMS، و شدت فعالیت ورزشی باشد. برای نتیجه گیری بهتر، به تحقیقات بیشتری نیاز است.

نتیجه گیری: نتایج پژوهش حاضر نشان داد که فعالیت ورزشی فزآینده بر شاخص های قلبی-تنفسی مؤثر است و تأثیر بیشتری از فعالیت ورزشی همراه با EMS دارد و سبب بازگشت سریع تر این پارامترها به مقادیر پایه در مرحله بازیافت پس از فعالیت می شود. با توجه به پیشینه پژوهش و بررسی های صورت گرفته، ممکن است انجام فعالیت ورزشی همراه با EMS عضلات در طولانی مدت، بتواند تأثیر بیشتری بر شاخص های قلبی-تنفسی داشته باشد؛ اما انجام EMS عضلات بدون فعالیت ورزشی در صورتی توصیه می شود که افراد قابلیت حرکتی نداشته باشند، یا بر اثر آسیب های ناشی از اضافه وزن، فرد قادر به فعالیت ورزشی نباشد.

تعارض منافع

تمام نویسندگان اعلام می دارند که در پژوهش حاضر هیچ گونه تضاد منافع وجود ندارد.

قدردانی و تشکر

از تمامی آزمودنی هایی که در این تحقیق شرکت کردند، کمال تشکر و قدردانی را داریم. بدون شک، با عدم حضور آنها، این تحقیق امکان اجرا را نداشت.

1. Chlif
2. Miyamoto
3. Kemmler
4. Watanabe

5. Mitochondrial biogenesis
6. Biss
7. microRNA
8. microRNA 21, 5 prime strand

9. microRNA 126, 3 prime strand
10. microRNA 146a, 5 prime strand
11. microRNA 222, 3 prime strand

منابع

1. Clemens RA, Jones JM, Kern M, Lee SY, Mayhew EJ, Slavin JL, Zivanovic S. Functionality of sugars in foods and health. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2016;15(3):433-70. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12194>
2. Clemens RA Jones JM, Kern M, Lee SY, Mayhew EJ, Slavin JL, et al. Functionality of sugars in foods and health. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2016;15(3):433-70. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12194>.
3. Guh DP, Zhang W, Bansback N, Amarsi Z, Birmingham CL, Anis AH. The incidence of co-morbidities related to obesity and overweight: a systematic review and meta-analysis. *BMC Public Health*. 2009;9(1):88. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-9-88>.
4. Smith K, Smith M. Obesity statistics. Primary care: Clinics in Office Practice. 2016;43(1):121-135. <https://doi.org/10.1016/j.pop.2015.10.001>.
5. Prentice AM, Black AE, Coward WA, Cole TJ. Energy expenditure in overweight and obese adults in affluent societies: an analysis of 319 doubly-labelled water measurements. *European Journal of Clinical Nutrition* 1996;50(2):93-7.
6. Fonseca DC, Sala P, de Azevedo Muner Ferreira B, Reis J, Torrinhas RS, Bendavid I, et al. Body weight control and energy expenditure. *Clinical Nutrition Experimental*. 2018;20:55-9. <https://doi.org/10.1016/j.yclnex.2018.04.001k>.
7. Piaggi P, Thearle MS, Bogardus C, Krakoff J. Lower energy expenditure predicts long-term increases in weight and fat mass. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*. 2013;98(4):E703-7. <https://doi.org/10.1210/jc.2012-3529>.
8. Piaggi P, Vinales KL, Basolo A, Santini F, Krakoff J. Energy expenditure in the etiology of human obesity: spendthrift and thrifty metabolic phenotypes and energy-sensing mechanisms. *Journal of Endocrinological Investigation*. 2018;41(1):83-9. <https://doi.org/10.1007/s40618-017-0732-9>.
9. Dixon AE, Peters U. The effect of obesity on lung function. *Expert Review of Respiratory Medicine*. 2018;12(9):755-67. <https://doi.org/10.1080/17476348.2018.1506331>.
10. Kress JP, Pohlman AS, Alverdy J, Hall JB. The impact of morbid obesity on oxygen cost of breathing (Vo 2RESP) at rest. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 1999;160(3):883-6. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.160.3.9902058>.
11. Balmain BN, Halverson QM, Tomlinson AR, Edwards T, Ganio MS, Babb TG. Obesity blunts the ventilatory response to exercise in men and women. *Annals of the American Thoracic Society*. 2021;18(7):1167-74. <https://doi.org/10.1513/AnnalsATS.202006-746OC>.
12. Shariq OA, McKenzie TJ. Obesity-related hypertension: a review of pathophysiology, management, and the role of metabolic surgery. *Gland Surgery*. 2020;9(1):80-93. doi: <https://doi.org/10.21037/gs.2019.12.03>.
13. Torres SJ, Turner AI, Jayasinghe SU, Reynolds J, Nowson CA. The effect of overweight/obesity on cardiovascular responses to acute psychological stress in men aged 50-70 years. *Obes Facts*. 2014;7(6):339-50. <https://doi.org/10.1159/000369854>.
14. Abassi W, Ouerghi N, Nikolaidis PT, Hill L, Racil G, Knechtle B, et al. Interval training with different intensities in overweight/obese adolescent females. *International Journal of Sports Medicine*. 2022;43(05):434-43. <http://dio.org/10.1055/a-1648-4653>.
15. Ouerghi N, Fradj MKB, Duclos M, Bouassida A, Feki M, Weiss K, et al. Effects of high-intensity interval training on

- selected adipokines and cardiometabolic risk markers in normal-weight and overweight/obese young males—A pre-post test trial. *Biology*. 2022;11(6):853. <https://doi.org/10.3390/biology11060853>.
16. Rodrigues-Santana L, Hugo L, Pérez-Gómez J, Hernández-Mocholí MA, Carlos-Vivas J, Saldaña-Cortés P, et al. The effects of whole-body muscle stimulation on body composition and strength parameters: A PRISMA systematic review and meta-analysis. *Medicine*. 2023;102(8):e32668. <http://dio.org/10.1097/MD.00000000000032668>.
 17. Reljic D, Herrmann HJ, Neurath MF, Zopf Y. Iron beats electricity: Resistance training but not whole-body electromyostimulation improves cardiometabolic health in obese metabolic syndrome patients during caloric restriction—A randomized-controlled study. *Nutrients*. 2021;13(5):1640. <https://doi.org/10.3390/nu13051640>.
 18. Willert S, Weissenfels A, Kohl M, Von Stengel S, Fröhlich M, Kleinöder H, et al. Effects of whole-body electromyostimulation on the energy-restriction-induced reduction of muscle mass during intended weight loss. *Frontiers in Physiology*. 2019;10:1012. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01012>.
 19. Woessner MN, Tacey A, Levinger-Limor A, Parker AG, Levinger P, Levinger I. The evolution of technology and physical inactivity: the good, the bad, and the way forward. *Frontiers in Public Health*. 2021;9:655491. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.655491>.
 20. Kemmler W, Kohl M, Freiburger E, Sieber C, von Stengel S. Effect of whole-body electromyostimulation and/or protein supplementation on obesity and cardiometabolic risk in older men with sarcopenic obesity: the randomized controlled FranSO trial. *BMC Geriatrics*. 2018;18(1):70. <https://doi.org/10.1186/s12877-018-0759-6>.
 21. Teschler M, Heimer M, Schmitz B, Kemmler W, Mooren FC. Four weeks of electromyostimulation improves muscle function and strength in sarcopenic patients: a three-arm parallel randomized trial. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*. 2021;12(4):843-54. <https://doi.org/10.1002/jcsm.12717>.
 22. Amaro-Gahete FJ, De-La-O A, Sanchez-Delgado G, Robles-Gonzalez L, Jurado-Fasoli L, Ruiz JR, et al. Whole-body electromyostimulation improves performance-related parameters in runners. *Frontiers in Physiology*. 2018;9:1576. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01576>.
 23. Kemmler W, Teschler M, Weißenfels A, Bebenek M, Fröhlich M, Kohl M, et al. Effects of whole-body electromyostimulation versus high-intensity resistance exercise on body composition and strength: a randomized controlled study. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. 2016;2016(1):9236809. <https://doi.org/10.1155/2016/9236809>.
 24. Wittmann K, Sieber C, von Stengel S, Kohl M, Freiburger E, Jakob F, et al. Impact of whole body electromyostimulation on cardiometabolic risk factors in older women with sarcopenic obesity: the randomized controlled FORMOsA-sarcopenic obesity study. *Clinical Interventions in Aging*. 2016:1697-706. <https://doi.org/10.2147/CIA.S116430>.
 25. Enge D. Effects of Obesity and Type 2 Diabetes on Cardiac Structure and Arterial Stiffness: University of Colorado at Denver; 2022. <http://dio.org/10.1097/HJH.0000000000003534>.
 26. Rodrigues JAL, Ferrari GD, Trapé AA, de Moraes VN, Gonçalves TCP, Tavares SS, et al. β 2 adrenergic interaction and cardiac autonomic function: effects of aerobic training in overweight/obese individuals. *European Journal of Applied Physiology*. 2020;120(3):613-24. <https://doi.org/10.1007/s00421-020-04301-z>.
 27. Moholdt T, Garnaes KK, Morkved S, Salvesen KA, Ingul CB. Effect of exercise training on cardiorespiratory fitness, cardiac function, and endothelial function in pregnant people with overweight/obesity: secondary results from a randomised, controlled trial. *European Journal of Preventive Cardiology*. 2024;31(Supplement_1). <https://doi.org/10.1093/eurjpc/zwae175.382>.

28. Ghaith A, Chacaroun S, Borowik A, Chatel L, Doutreleau S, Wuyam B, et al. Hypoxic high-intensity interval training in individuals with overweight and obesity. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*. 2022;323(5):R700-r9. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00049.2022>.
29. Bo B, Guo A, Kaila SJ, Hao Z, Zhang H, Wei J, et al. Elucidating the primary mechanisms of high-intensity interval training for improved cardiac fitness in obesity. *Frontiers in Physiology*. 2023;14:1170324. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1170324>.
30. Salhi A, Ouerghi N, Zouhal H, Baaziz M, Salhi A, Ben Salah FZ, et al. The effect of whole-body electromyostimulation program on physical performance and selected cardiometabolic markers in obese young females. *Medicina (Kaunas)*. 2024;60(2). doi: <https://doi.org/10.3390/medicina60020230>.
31. Sara JD, Rajai N, Breuer L, Bjerke J, Olson TP, Nagai T, et al. Physical training augmented with whole body electronic muscle stimulation is superior to conventional training alone in healthy subjects, a pilot randomized controlled trial. *Circulation*. 2022;146(Suppl_1):A11957-A. <https://www.jacc.org/doi/full/10.1016/S0735-1097%2823%2902597-4>.
32. Maunder E, Plews DJ, Kilding AE. Contextualising maximal fat oxidation during exercise: determinants and normative values. *Frontiers in Physiology*. 2018;9:599. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00599>.
33. Achten J, Jeukendrup A. Maximal fat oxidation during exercise in trained men. *International Journal of Sports Medicine*. 2003;24(08):603-8. <http://dio.org/10.1055/s-2003-43265>.
34. 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. <http://dio.org/10.1249/MSS.0b013e31819e2f91>.
35. 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. <http://dio.org/10.1519/JSC.0b013e31821a3a11>.
36. Filipovic A, Kleinöder H, Dörmann U, Mester J. Electromyostimulation—a systematic review of the influence of training regimens and stimulation parameters on effectiveness in electromyostimulation training of selected strength parameters. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2011;25(11):3218-38. <http://dio.org/10.1519/JSC.0b013e31821e3ce>.
37. Price M, Bottoms L, Hill M, Eston R. Maximal fat oxidation during incremental upper and lower body exercise in healthy young males. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022;19(22):15311. <https://doi.org/10.3390/ijerph192215311>.
38. Zinner C, Matzka M, Krumscheid S, Holmberg H-C, Sperlich B. Cardiorespiratory, metabolic and perceived responses to electrical stimulation of upper-body muscles while performing arm cycling. *Journal of Human Kinetics*. 2021;77:117. <https://doi.org/10.2478/hukin-2021-0016>.
39. Crandall R, Seigler N, Rodriguez-Miguel P, McKie K, Forseen C, Harris R. A single maximal exercise test improves lung function in patients with cystic fibrosis: 465. *Pediatric Pulmonology*. 2015;50:367. <https://doi.org/10.1016/j.jcf.2017.05.011>.
40. Derakhshan Nejad M, Nikbakht M, Ghanbarzadeh M, Ranjbar R. Effect of Concurrent Training Order With Electromyostimulation on Physical Performance in Young Elderly Women. *Archives of Rehabilitation*. 2021;21(4):508-25. <http://dx.doi.org/10.32598/RJ.21.4.3147.1>.

41. Chlif M, Chaouachi A, Ahmaidi S. Effect of aerobic exercise training on ventilatory efficiency and respiratory drive in obese subjects. *Respir Care*. 2017;62(7):936-46. <https://doi.org/10.4187/respcare.04923>.
42. Chlif M, Chaouachi A, Ahmaidi S. Effect of aerobic exercise training on ventilatory efficiency and respiratory drive in obese subjects. *Respiratory Care*. 2017;62(7):936-46. <https://doi.org/10.4187/respcare.04923>.
43. Miyamoto T, Kamada H, Tamaki A, Moritani T. Low-intensity electrical muscle stimulation induces significant increases in muscle strength and cardiorespiratory fitness. *European Journal of Sport Science*. 2016;16(8):1104-10. <https://doi.org/10.1080/17461391.2016.1151944>.
44. 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(9):1801-7. <https://doi.org/10.1007/s00421-014-2906-x>.
45. Biss S, Teschler M, Heimer M, Thum T, Bär C, Mooren FC, et al. A single session of EMS training induces long-lasting changes in circulating muscle but not cardiovascular miRNA levels: a randomized crossover study. *Journal of Applied Physiology*. 2023;134(4):799-809. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00557.2022>.

