



Research Paper

The effect of electrical stimulation and combined exercise interventions on serum cortisol levels and macroelement balance in relation to bone metabolism in older women with osteopenia

Azam Zarneshan¹, Azizeh Farshbaf-Khalili², Yaghoob Salekzamani², Atena Attaran³, Saeedeh Erfanniaa³

Received: Mar 27, 2025

Revised: Jul 02, 2025

Accepted: Jul 02, 2025

Article info

1. Associate Professor at Exercise Physiology Department, Psychology and Education of Faculty, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz. Iran.
2. Associate Professor at Physical Medicine and Rehabilitation Research Center, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz. Iran.
3. MS.c Student in Exercise Physiology, Psychology and Education of Faculty, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran.

*Corresponding Author Address:

Department of Sport Sciences,
Faculty of Education and Psychology,
Azarbaijan Shahid Madani University,
Tabriz, Iran;

Email: zarneshan@azaruniv.ac.ir

Extended Abstract

Background and Aim: Osteopenia is a metabolic bone disorder could precedes osteoporosis. The balance of some macroelements such as— calcium, magnesium and phosphorus — are crucial for the growth and metabolism of bone tissue. Their concentration and distribution could influenced by biological and environmental factors such as gender, age, diet, living environment, smoking, alcohol consumption and chronic diseases. In addition, exercise affects plasma calcium and phosphorus levels and bone metabolism. Some studies have shown that 8 weeks of aerobic exercise can increase serum calcium and phosphorus levels in women with premature menopause. Moreover, 12 weeks of aerobic exercise significantly improves serum free calcium levels, while 12 weeks of strength training also can increase serum phosphorus levels. However, a decrease or no change in serum magnesium levels has been reported as a result of long-term training. Given the limited studies on the long-term effects of exercise training and the conflicting results regarding magnesium, it would be crucial more research on the effects of combined training (CT) in ling duration and interventions such as electrical stimulation (ECT) to enhance their synergistic effects.

Materials & Methods: In this quasi-experimental study, 45 women with an average age of 61.25 ± 1.4 years and osteopenia state (T-score < -1 and > -2.5) were randomly selected and further divided into 3 equal groups including ECT, CT and control groups. Both ECT and CT groups performed a combination of aerobic (45-60 percent of heart rate reserve) and resistance training (3 sets of 8-15 repetitions, 5-10 stations using

Cite this article:

Zarneshan A, Farshbaf-Khalili A, Salekzamani Y, Attaran A, Erfanniaa S. The effect of electrical stimulation and combined exercise interventions on serum cortisol levels and macroelement balance in relation to bone metabolism in older women with osteopenia. *Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport*. 2026;14(38):38-53. <https://doi.org/10.22077/jpsbs.2025.9160.1957>



body weight, physioball, and yellow resistance band) for 90 minutes per session, 3 days a week for 12 weeks. The exercise training was performed in accordance with the American College of Sports Medicine (ACSM) guidelines for patients with osteopenia. In addition, during 12 weeks participating in exercise program from weeks 7 to 10, the ECT group also received functional electrical stimulation (FES). The FES performed 3 times a week with supervision of a rehabilitation physician for 25 minutes at a frequency of 45 Hz and a pulse of 300 microseconds using the STIMULATOR 620 P (NOVIN) device in the paraspinal area. According to the reports of the review studies, the duration of FES sessions can be ranged from 2 minutes to 6 hours, its frequency or frequency ranged from 2 to 7 sessions per week, and its duration ranged from 2 to 12 weeks with a total intervention dose ranging from 5 to 90 hours, and the ECT frequency also ranged from 25 to 50 Hz and the pulse width ranged from 200 to 400 microseconds. The exercise protocol was started 48 hours after blood sampling, and in the post-test 48 hours after the completion of the 12 weeks exercise program, assessments and blood sampling were performed according to the pre-test. Calcium, magnesium, and phosphorus were measured based on the calorimetric method commercial using by Arsenazo III, Xylidy Blue, and phosphomolybdate kits from Delta Darman Part Company, respectively. Cortisol was measured using electrochemiluminescence technology and using the Cobas e411 device (made in Germany-Japan). Data were analyzed using a mixed-design ANOVA, and statistical significance was defined as $p < 0.05$

Findings: Serum calcium and phosphorus levels showed no significant differences within or between groups ($p < 0.05$). However, serum magnesium levels in the ECT group indicated significantly increase compared to the control group ($p = 0.01$). Additionally, cortisol levels decreased in both intervention groups compared to the control group ($p < 0.05$) (Table 1). Moreover, analysis of the relationship between changes in cortisol and ion levels after 12 weeks of CT and ECT revealed a significant negative correlation between these changes in cortisol and magnesium ($r = -0.66$, $p = 0.01$). Linear regression also indicated that changes in magnesium levels could be predicted based on changes in cortisol levels ($R^2 = 44.4\%$, $t = (12 \text{ and } 1) - 2.96$, $p = 0.01$).

Conclusions: The results indicated that 12 weeks CT program (aerobic resistance) in conjunction with FES (as a safe and complementary exercise therapy) was effective in increasing serum magnesium levels, that suggests a synergistic effect of ECT in increasing magnesium levels in older women with osteopenia. Although, researches on the effects of exercise and ECT on serum magnesium levels, particularly in the elderly, are limited, and also based on the short-term and long-term exercise on magnesium levels could be very vary, however, short-term exercise as a stressor may result in a transient decrease in serum magnesium levels, usually due to increased magnesium consumption by muscles, redistribution in tissues, or loss

Table 1. Intra-group and inter-group comparison of serum calcium, magnesium, phosphorus, and cortisol in elderly women with osteopenia after 12 weeks of ECT and CT intervention

Variables	Groups	Time effect	Group Effect	Time* Group Interaction	Effect size	Tukey's post hoc test
Calcium (mg/dl)	ECT	0.99	0.88	0.23	0.07	Control vs. ECT: 0.92 Control vs. CT: 0.99 CT vs. ECT: 0.88
	CT					
	Control					
Phosphorus (mg/dl)	ECT	0.42	0.93	0.38	0.04	Control vs. ECT: 0.94 Control vs. CT: 0.94 CT vs. ECT: 0.99
	CT					
	Control					
Magnesium (mg/dl)	ECT	0.001*	0.01*	0.004*	0.	Control vs. ECT: 0.01* Control vs. CT: 0.75 CT vs. ECT: 0.06
	CT					
	Control					
Cortisol ($\mu\text{g/dl}$)	ECT	<0.001*	0.02*	<0.001*	0.67	Control vs. ECT: 0.04* Control vs. CT: 0.04* CT vs. ECT: 0.99
	CT					
	Control					

*Significant difference between groups at $p < 0.05$. ECT: Electrical stimulation; CT: Combined training

through sweat and urine. Serum magnesium levels have been reported to decrease due to a sudden increase in catecholamine concentration following electrical stimulation. However, with regular and long-term exercise training, this type of intervention can help stabilize or improve magnesium homeostasis due to improved dietary patterns, better absorption, storage of magnesium, and also changes in levels of hormones such as catecholamines and aldosterone. Studies have shown that stress can increase magnesium loss and consequently magnesium deficiency. Cortisol, as a mediator of the stress response, affects magnesium levels. The results of this study showed a significant correlation between the changes in cortisol and magnesium in the exercise group in combination with ECT. The reduction in cortisol can be considered as one of the reasons for the increase in serum magnesium levels after exercise and ECT. Moreover, the positive effects of long-term exercise training on lowering serum cortisol and the fact that physical activity may be an effective strategy for reducing cortisol and stress, especially in older people. Although, there are some inconsistent studies, however, the discrepancy in results may be due to differences in age or gender of subjects, type or mode and duration of exercise, and psychological conditions such as stress at the time of blood collection. These results suggest that FES synergistically increases magnesium levels, while reducing serum cortisol can be effective in this increase. It seems, further research is needed based on the optimal intensity, duration, and type of interventions to enhance the effect on calcium and phosphorus ions. In agreement with the present findings and previous reports (Guo S., 2022; Roghani, 2013), exercise training and ES did not significantly affect serum calcium and phosphorus levels in women. Considering the stringent hormonal and renal regulation of these minerals, such interventions either alone or even in combination—may be insufficient to elicit measurable biochemical alterations. Therefore, further well-controlled trials employing refined protocols and comprehensive physiological assessments are warranted.

Keywords: Cortisol, Electrical stimulation, Exercise training, Osteopenia.

Ethical considerations: Before starting the protocol, informed consent forms were signed by the subjects and ethics ID IR.AZARUNIV.REC.1402.010 was obtained.

Conflict of interest: There are no conflicts of interest.

Compliance with ethical guideline: The study was conducted in accordance with all applicable institutional and national ethical guidelines. Ethical approval was obtained from the relevant ethics committee, and written informed consent was collected from all participants.

Funding: No funding was received for this study. The author personally covered all research-related costs.



اثر مداخله تحریک الکتریکی و تمرین ترکیبی بر سطوح سرمی کورتیزول و تعادل عناصر عمده اثرگذار بر متابولیسم استخوان در زنان سالمند مبتلا به استئوپنی

اعظم زرنشان^{۱*}، عزیزه فرشلاف خلیلی^۲، یعقوب سالک زمانی^۳، آتنا عطاران^۴، سعیده عرفان نیا^۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۱۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۴/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۰۷

چکیده

زمینه و هدف: این مطالعه به بررسی تأثیرات ورزش ترکیبی (CT) به همراه تحریک الکتریکی (ECT) بر روی سطح سرمی کلسیم، منیزیم، فسفر و کورتیزول در زنان سالمند مبتلا به استئوپنی می‌پردازد. **روش تحقیق:** در این مطالعه نیمه تجربی در مجموع ۴۵ زن با میانگین سنی $41 \pm$ سال و مبتلا به استئوپنی ($-1 < T\text{-score} < -2/5$) به صورت تصادفی و مساوی به سه گروه (۱) ECT، (۲) CT و (۳) کنترل تقسیم شدند. گروه‌های ECT و CT به مدت ۱۲ هفته تمرینات ترکیبی هوازی (۶۰-۴۵٪ ضربان قلب ذخیره) و مقاومتی (سه ست ۸ تا ۱۵ تکراری، پنج تا ۱۰ ایستگاه با استفاده از وزن بدن، فیزیوبال و نوار مقاومتی زرد) را به مدت ۹۰ دقیقه در هر جلسه، سه روز در هفته اجرا کردند. گروه ECT علاوه بر تمرین ورزشی، ۱۵ دقیقه تحریک الکتریکی عملکردی (FES) با فرکانس ۴۵ هرتز و پالس ۳۰۰ میکروثانیه در ناحیه پاراسپینال (عضلات اطراف ستون فقرات) دریافت کرد. داده‌ها با استفاده از آزمون تحلیل واریانس مرکب در سطح معنی‌داری $p < 0/05$ تحلیل شدند. **یافته‌ها:** سطح سرمی کلسیم و فسفر تفاوت درون گروهی و بین گروهی معنی‌داری نداشت ($p > 0/05$). با این حال، سطح سرمی منیزیم در گروه ECT نسبت به گروه کنترل به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($p = 0/01$). علاوه بر این، سطح کورتیزول در هر دو گروه مداخله نسبت به گروه کنترل کاهش یافت ($p < 0/05$). یک همبستگی معنی‌دار بین کاهش کورتیزول و افزایش منیزیم در گروه ECT مشاهده شد ($r = 0/66$, $p = 0/01$). **نتیجه‌گیری:** این نتایج نشان می‌دهند که تحریک الکتریکی عملکردی به‌طور هم‌افزایی سطح منیزیم را افزایش می‌دهد و کاهش کورتیزول سرم در این افزایش موثر است. تحقیقات بیشتری با شدت، مدت و نوع مداخله‌های بهینه برای افزایش اثر در یون‌های کلسیم و فسفر لازم است.

واژه‌های کلیدی: کورتیزول، تحریک الکتریکی، تمرین ورزشی، یون‌ها، استئوپنی.

اطلاعات مقاله

۱. دانشیار گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران.
۲. دانشیار مرکز تحقیقات طب فیزیکی و توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران.
۳. دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران.

* آدرس نویسنده مسئول:

تبریز، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، گروه علوم ورزشی؛
پست الکترونیک:

zarneshan@azaruniv.ac.ir

مقدمه

استئوپنی^۱ (OS) یک اختلال متابولیک استخوان است که قبل از پوکی استخوان^۲ (OP) رخ می‌دهد. این وضعیت با کاهش تراکم مواد معدنی استخوان^۳ (BMD)، تغییرات ساختاری و افزایش خطر شکستگی همراه است و به‌عنوان یک مشکل سلامت جهانی در میان افراد سالمند شناخته می‌شود (۱). استئوپنی چند عاملی است که شامل عوامل ژنتیکی، عملکرد غدد درون ریز، فعالیت بدنی محدود و ملاحظات تغذیه‌ای می‌باشد. تشکیل و متابولیسم استخوان تحت تأثیر عناصر ماکرو^۴ مانند کلسیم، فسفر و منیزیم قرار دارد (۲، ۳). تعادل عناصر ماکرو (کلسیم، منیزیم، فسفر) در رشد و متابولیسم بافت استخوانی بسیار حیاتی است. غلظت و توزیع این عناصر تحت تأثیر عوامل بیولوژیکی و محیطی مانند جنس، سن، رژیم غذایی، محیط زندگی، سیگار کشیدن، مصرف الکل و بیماری‌های مزمن قرار دارد (۴).

علاوه بر این عوامل، فعالیت ورزشی نیز با غلظت کلسیم و فسفر پلازما و متابولیسم استخوان تأثیر دارد (۵، ۶). هشت هفته تمرین هوازی با شدت ۶۵ تا ۷۵ درصد حداکثر ضربان قلب، موجب افزایش کلسیم و فسفر سرم در زنان مبتلا به یائسگی زودرس شده است (۷). همچنین، نتایج نشان داده که ۱۲ هفته تمرین هوازی متوسط بهبود قابل توجهی در کلسیم آزاد سرم ایجاد می‌کند (۸) و ۱۲ هفته تمرینات مقاومتی منجر به افزایش سطوح سرمی فسفر می‌گردد (۹). نتایج مطالعه مروری به وضوح نشان می‌دهد که ورزش هموستاز کلسیم و سطوح هورمون کلسیوتروپیک را تغییر می‌دهد و این تغییرات تحت تأثیر پارامترهای مربوط به ورزش، از جمله مدت و شدت، و همچنین ویژگی‌های فردی مانند سن، جنس و وضعیت تمرین قرار دارد (۱۰). گزارش‌ها نشان می‌دهد که ورزش شدید یا استقامتی به دلیل تعریق زیاد، منجر به افزایش از دست دادن منیزیم می‌شود و بر حفظ هموستاز منیزیم تأثیر می‌گذارد و در درازمدت می‌تواند به کمبود منیزیم در افراد فعال منجر شود (۱۱). کاهش غلظت منیزیم سرم (۱۲) و یا عدم تغییر آن در اثر تمرینات طولانی مدت نیز گزارش شده است (۱۳). با وجود مطالعات محدود در زمینه اثرات طولانی مدت تمرینات ورزشی و نتایج متناقض به‌ویژه در خصوص منیزیم،

بررسی اثر ترکیبی تمرینات ورزشی طولانی مدت به همراه سایر مداخلات مانند تحریک الکتریکی به منظور افزایش اثر هم‌افزایی آن ضروری به نظر می‌رسد. اخیراً مطالعات (۱۶-۱۴) از تحریک الکتریکی به‌عنوان درمان کمکی مؤثر برای مهار استئوپنی حمایت کرده‌اند، هرچند اثر آن بر سطوح خونی و داخل سلولی عناصر ماکرو هنوز نامشخص است. گزارش‌ها نشان می‌دهند که تحریک الکتریکی می‌تواند غلظت یون کلسیم داخل سلولی را تغییر دهد. تحریک الکتریکی فیزیولوژیک با فعال‌سازی فسفولیپاز C در استئوبلاست‌های انسانی موجب افزایش کلسیم داخل سلولی می‌شود (۱۷). این افزایش کلسیم اطلاعات جدیدی درباره نقش تحریک الکتریکی در فعال‌سازی سلول‌های بافت استخوان ارائه می‌دهد (۱۸). همچنین، تحریک الکتریکی تمایز استخوانی سلول‌های بنیادی مزانشیمی را با افزایش غلظت کلسیم داخل سلولی تسریع می‌کند و به همین دلیل برای بهبود استخوان مؤثر است (۱۹). از سوی دیگر، نتایج یک مطالعه نشان داد که ۱۲ هفته تحریک الکتریکی باعث کاهش فسفر سرم در افراد دیالیزی می‌شود (۲۰). همچنین، اثرات حاد تحریک الکتریکی مغز با کاهش سطوح خونی کلسیم و فسفر همراه بود (۲۱). در مطالعه‌ای دیگر، غلظت پتاسیم و منیزیم سرم به دلیل افزایش حاد غلظت کاتکول‌آمین‌ها پس از تحریک الکتریکی کاهش یافت (۲۲).

بین کورتیزول و تراکم مواد معدنی استخوان رابطه‌ای وجود دارد. افزایش سطح کورتیزول تأثیر منفی بر سلامت استخوان دارد و می‌تواند منجر به کاهش BMD و افزایش خطر پوکی استخوان شود. کورتیزول از طریق گلوکوکورتیکوئیدها، بازجذب مواد معدنی استخوان و استفاده از اسیدهای آمینه آزاد به‌عنوان منبع انرژی را تحریک می‌کند. همچنین، کورتیزول به‌طور غیرمستقیم با مسدود کردن جذب کلسیم و کاهش رشد سلول‌های استخوانی بر استخوان تأثیر می‌گذارد. اختلال در هموستاز کلسیم سرم، بازجذب استخوان را افزایش داده و در نهایت BMD را کاهش می‌دهد. حتی یک دوره کوتاه از ترشح بالای کورتیزول نیز می‌تواند منجر به کاهش BMD شود. افزایش بیش از حد سطح کورتیزول، مانند آنچه در هیپرکورتیزولیسم یا سندرم کوشینگ مشاهده می‌شود، با شیوع بالای پوکی استخوان

1. Osteopenia

2. Osteoporosis

3. Bone mineral density

4. Macroelements

توانبخشی امام رضا (ع) تبریز، به صورت هدفمند به عنوان نمونه انتخاب شدند. حجم نمونه با کمک نرم افزار جی پاور با احتساب توان آماری ۰/۸۰، آلفای ۰/۰۵ و اندازه اثر ۰/۲۵، تعداد سه گروه و دو بار اندازه گیری؛ در کل ۴۲ نفر تعیین گردید (۲۷) و با احتساب ریزش ۴۵ نفر انتخاب و به صورت تصادفی ساده با روش قرعه کشی در سه گروه تحریک الکتریکی به همراه تمرین ورزشی ترکیبی (ECT، ۱۵ نفر)، گروه تمرین ورزشی ترکیبی (CT، ۱۵ نفر) و گروه کنترل (۱۵ نفر) قرار گرفتند. در قرعه کشی اسامی ۴۵ نفر داخل کیسه انداخته شد و ۱۵ نفر اول انتخاب شده در گروه ECT، ۱۵ نفر بعدی در گروه CT و ۱۵ نفر باقیمانده در گروه کنترل قرار گرفتند. گروه‌ها بر اساس سن، BMI و BMD همگن بودند (جدول یک).

معیارهای ورود به مطالعه عبارت بود از: استئوپنی ثابت شده با استفاده از جذب سنجی اشعه ایکس با انرژی دو گانه (DXA) (میزان BMD در نواحی سر استخوان فمور و مهره‌های کمر ($-1 < T\text{-score} < -2/5$))، سنین ۶۰ تا ۶۵ سال، سابقه ابتلا به استئوپنی حداقل سه سال، سابقه یائسگی حداقل دو سال و معیارهای عدم ورود به مطالعه شامل ابتلا به بیماری‌های کلیوی، مفصلی، یا قلبی-عروقی شدید، وجود درد یا اختلالات حرکتی در ناحیه لگن و کمر، مصرف الکل، سیگار، اختلالات روانی، مشکلات شنوایی و بینایی، اختلالات افسردگی یا مشکلات عاطفی، حضور منظم در تمرینات ورزشی طی شش ماه گذشته، و تغییر رژیم غذایی یا دارویی در طی مطالعه بود (۲۸). در طول مطالعه داروهای مصرفی توسط برخی نمونه‌ها شامل: بیس فسفات، آلدرونات، ویتامین دی ۳، کلسیم، متفورمین و لوزارتان بود. از بیماران خواسته شد که نوع و دوز دارو و رژیم غذایی را در طول مطالعه سه ماهه حفظ کنند و هرگونه تغییر را گزارش کنند، گزارش تغییر رژیم غذایی یا دارویی با استفاده از ثبت سه روزه غذایی پایش شد. شرکت در مطالعه داوطلبانه بود و شرکت‌کنندگان می‌توانستند هر زمان که بخواهند کنار بکشند. رضایت‌نامه آگاهانه کتبی اخذ شد و مطالعه با اصول اعلامیه هلسینکی^۱ و مقررات اخلاق پزشکی مطابقت داشت. این مقاله مصوب کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه شهید مدنی آذربایجان با کد اخلاق IR.AZARUNIV.REC.1402.010 است.

مرتبط است و ممکن است با کاهش BMD سالمندان نیز ارتباط داشته باشد (۲۳). غلظت کورتیزول سرم تحت تأثیر عوامل فیزیولوژیکی و روانی افزایش می‌یابد. استرس روانی مزمن منجر به اختلال در تنظیم سطوح کورتیزول و پیامدهای عمیق در سیستم‌های مختلف بدن می‌شود (۲۴). کاهش استرس روانی با آرام سازی عضلانی می‌تواند سطح کلسیم و فسفر سرم که تحت تأثیر کاتکول‌آمین‌ها و هورمون‌های استرسی هستند را تغییر دهد (۲۵). استرس روانی مزمن منجر به اختلال در تنظیم سطوح کورتیزول و پیامدهای عمیق در سیستم‌های مختلف بدن می‌شود (۲۶).

ارتباط بین کورتیزول و یون‌های خونی مؤثر در متابولیسم استخوان کمتر مورد توجه قرار گرفته و نیاز به بررسی‌های بیشتر دارد. افزایش جمعیت سالمندان و شیوع بالای اختلالات متابولیک استخوانی مانند استئوپنی، پیش‌درآمدی برای پوکی استخوان محسوب می‌شود. بررسی راهکارهای غیردارویی و ایمن برای بهبود سلامت استخوان در این گروه سنی از اهمیت بالایی برخوردار است. مطالعات محدود و متناقضی درباره تأثیر تمرینات ورزشی طولانی‌مدت یا تحریک الکتریکی بر سطوح کورتیزول و تعادل یون‌های مؤثر در متابولیسم استخوان، مانند کلسیم، فسفر و منیزیم وجود دارد (۵، ۶، ۱۱، ۱۷، ۲۰، ۲۱) و پژوهش‌های کمی به بررسی اثرات ترکیبی این دو مداخله، به‌ویژه در سالمندان مبتلا به استئوپنی، پرداخته‌اند. بنابراین، طراحی یک پروتکل ۱۲ هفته‌ای شامل تمرینات ورزشی ترکیبی (هوازی و مقاومتی) به همراه تحریک الکتریکی می‌تواند به درک بهتر مکانیسم‌های هم‌افزایی این مداخلات در کاهش سطوح کورتیزول (به‌عنوان شاخص استرس اکسیداتیو) و بهبود تعادل یون‌های مرتبط با متابولیسم استخوان کمک کند. به همین دلیل، مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر تمرینات ترکیبی به همراه تحریک الکتریکی بر سطوح سرمی کورتیزول و تعادل عناصر ماکروی مؤثر در متابولیسم استخوان در زنان سالمند مبتلا به استئوپنی انجام شد.

روش تحقیق

نمونه آماری: در این مطالعه تجربی، تعداد ۴۵ زن سالمند مبتلا به استئوپنی با میانگین سنی $61/25 \pm 4/1$ سال و توده استخوانی (BMD) با نمره T بین -۱ تا -۲/۵ از مرکز

برنامه حذف شدند. خطرات اسکلتی-عضلانی مانند کمردرد حاد یا مزمن، آرتریت روماتوئید و التهاب/درد تحت نظارت قرار گرفت و شرکت کنندگان در صورت نیاز، به پزشک ارجاع داده شدند. به شرکت کنندگان آموزش داده شد که از مقیاس میزان درک فشار^۱ (RPE) و سایر مقیاس‌های رتبه بندی ذهنی مناسب، مانند تنگی نفس، درد، لنگیدن و آژین برای گزارش هر گونه مشکل در حین ورزش استفاده کنند. از آنجایی که اکثر افراد مبتلا به پوکی استخوان مسن تر و کم تحرک هستند، معمولاً در معرض خطر متوسط تا زیاد بیماری آترواسکلروتیک قرار دارند. بنابراین، ارزیابی سلامت قلب و عروق قبل از شروع برنامه ورزشی در اولویت قرار گرفت. جلسات آموزشی اولیه بر تکنیک‌های ورزشی مناسب، به ویژه تکنیک‌هایی که شامل تجهیزات می‌شود، و همچنین تمرین‌های توانبخشی که توسط فیزیوتراپیست هدایت می‌شود، تأکید داشتند.

الف) تمرینات هوازی: پس از ۱۰ دقیقه گرم کردن شامل پیاده روی آهسته و سریع همراه با تمرینات کششی، شرکت کنندگان ۳۰ دقیقه تمرین هوازی را با شدت کم تا متوسط (۶۰-۴۵٪ HRR، ۱۱-۱۳ RPE) انجام دادند. تمرین هوازی در هفته اول با ۳۰ دقیقه شروع شد و به تدریج با افزودن پنج دقیقه در هر سه هفته و افزایش ۵ درصدی شدت هر سه هفته، به تدریج افزایش یافت. شدت به کمک میزان RPE و ضربان سنج پولار کنترل شد. برنامه تمرین هوازی به سه بخش اصلی تقسیم شد: تمرین ایروبیک (درجا زدن، راه رفتن به جلو، راه رفتن به عقب، راه رفتن به پهلو، وی استپ، تاج استپ)؛ تمرینات تخته استپ (استپ آپ ساده متناوب، استپ آپ جانبی متناوب، حرکت کوهنوردی، حرکت برپی) و تمرینات مینی ترامپولین (۳۲).
روش تحریک الکتریکی: گروه ECT علاوه بر شرکت در برنامه تمرین ورزشی ۱۲ هفته از هفته‌های ۷ تا ۱۰ مطالعه، هفته ای سه جلسه با مشاوره و نظارت پزشک توانبخشی، تحریک الکتریکی عصبی عضلانی از نوع عملکردی (FES)، به مدت ۲۵ دقیقه در فرکانس ۴۵ هرتز و پالس ۳۰۰ میکرو ثانیه به کمک دستگاه STIMULATOR 620 P (NO-VIN)، در ناحیه پارا-اسپاینال دریافت کردند. طبق گزارشات مطالعات مروری طول مدت جلسات استفاده شده از FES از ۲ دقیقه تا ۶ ساعت، فراوانی یا فرکانس آن از دو تا هفت

جمع آوری داده‌ها: جهت غربالگری شرکت کنندگان، داده‌های دموگرافیک شامل سن، سابقه ابتلا به استئوپنی، شرایط پزشکی و اطلاعات سایر شرایط ورود به مطالعه، و مقادیر BMD جمع آوری شد. در افراد غربالگری شده میزان قرار گرفتن در معرض نور خورشید (حمام آفتاب) در طی مطالعه پیگیری شد. قبل از شروع پروتکل تمرینی نمونه‌های خونی جمع آوری شد. برای این منظور شرکت کنندگان به مدت ۱۲ ساعت ناشتا بودند و به مدت ۲۴ ساعت هیچ دارو یا مکمل اثرگذار مصرف نکردند. ساعت هشت صبح خون‌گیری انجام شد. در مجموع ۱۰ میلی لیتر خون از ورید بازویی گرفته شد و پس از جداسازی سرم در آزمایشگاه در دمای ۷۰- درجه سانتی‌گراد برای آنالیزهای بعدی منجمد گردید. پروتکل تمرینی ۴۸ ساعت پس از خون‌گیری آغاز شد و در پس آزمون، ۴۸ ساعت پس از اتمام برنامه تمرینی ۱۲ هفته‌ای، ارزیابی‌ها و خون‌گیری مطابق پیش آزمون تکرار گردید.

کلسیم، منیزیم و فسفر هر سه به ترتیب توسط کیت‌های تجاری، Arsenazo III، Xylidy Blue و phosphomolybdate شرکت دلتا درمان پارت و با استفاده از روش کالریتری اندازه‌گیری شدند. کورتیزول با استفاده از تکنولوژی الکتروکمی‌لومینسانس و به کمک دستگاه Cobas e411 (ساخت آلمان-ژاپن) اندازه‌گیری شد.

برنامه مداخله: گروه‌های ECT و CT در یک برنامه ۱۲ هفته ای، با فرکانس سه روز در هفته به مدت ۶۰ تا ۹۰ دقیقه در هر جلسه شرکت کردند. گروه کنترل در هیچ‌یک از مداخلات شرکت نکردند و به فعالیت‌های عادی روزانه خود پرداختند. در این مطالعه، تمرینات ورزشی مطابق با دستورالعمل‌های کالج پزشکی ورزشی آمریکا (ACSM) برای بیماران مبتلا به استئوپنی انجام شد (۲۹). اگرچه در حال حاضر هیچ دستورالعمل مشخصی در مورد موارد منع ورزش در افراد مبتلا به پوکی استخوان وجود ندارد، ملاحظات ویژه زیر در نظر گرفته شد: تمرینات با شدت متوسط برای جلوگیری از تشدید درد انجام شد؛ و از حرکات انفجاری، تمرینات با بارهای سنگین و فعالیت‌هایی که نیاز به چرخش، خم شدن یا فشار بیش از حد روی ستون فقرات دارند، اجتناب شد. از انجام ورزش‌هایی که نیاز به خم شدن ستون فقرات به جلو دارند، مانند پارو زدن، اجتناب شد؛ حرکات بالستیک از

1. Rate of perceived exertion

آزمون تعقیبی توکی^۳ تحلیل شد. ارتباط بین متغیرها از طریق ضریب همبستگی پیرسون^۴ و رگرسیون خطی بررسی شد. داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS₂₃ در سطح $p < 0.05$ تجزیه و تحلیل شدند.

یافته‌ها

در پایان مطالعه، داده‌های ۴۱ نفر در تحلیل نتایج وارد شدند. متغیرهای ویژگی‌های اولیه شامل سن، BMI و BMD بود که مقادیر مربوط به میانگین و انحراف معیار این متغیرها در جدول یک آمده است. طبق آزمون تحلیل واریانس تفاوت معنی داری در سن، BMI و BMD در شروع مطالعه بین گروه‌ها مشاهده نشد ($p > 0.05$) (جدول یک).

جلسه در هفته و مدت زمان آن از دو تا ۱۲ هفته با دوز کل مداخله از پنج تا ۹۰ ساعت متغیر بود و فرکانس تحریک الکتریکی از ۲۵ تا ۵۰ هرتز و پهنای پالس از ۲۰۰ تا ۴۰۰ میکروثانیه متفاوت بود (۳۳). که در مطالعه حاضر بنا بر تجویز پزشک مرکز تحقیقات طب فیزیکی و توانبخشی، دوز مداخله تعیین و اعمال شد.

روش‌های آماری: توزیع طبیعی داده‌ها به وسیله آزمون شاپیرو-ویلک^۱، بررسی تغییر داده‌ها در گروه‌ها و مقایسه بین آن‌ها با استفاده از آزمون تحلیل واریانس مرکب^۲ با دو عامل درون گروهی (زمان: ها پیش‌آزمون و پس‌آزمون) و بین گروهی (گروه‌ها: ECT، CT و کنترل) با به کارگیری

جدول ۱. توصیف (میانگین \pm انحراف استاندارد) و مقایسه ویژگی‌های اولیه گروه‌ها در شروع مطالعه

گروه‌ها متغیرها	ECT (n=۱۳)	CT (n=۱۴)	کنترل (n=۱۴)	p
سن (سال)	۶۲/۸۷ \pm ۳/۶۲	۶۰/۶۲ \pm ۴/۲۱	۶۱/۵۷ \pm ۴/۰۸	۰/۱۱
شاخص توده بدنی (کیلوگرم / متر مربع)	۲۹/۱۵ \pm ۳/۲۵	۳۰/۱۵ \pm ۳/۵۴	۲۹/۱۳ \pm ۴/۶۵	۰/۵۱
BMD سر ران (گرم / سانتی متر مربع)	۰/۷۰ \pm ۰/۱۱	۰/۶۹ \pm ۰/۱۲	۰/۶۶ \pm ۰/۱۲	۰/۷۱
BMD لگن (گرم / سانتی متر مربع)	۰/۸۲ \pm ۰/۰۹	۰/۸۰ \pm ۰/۰۹	۰/۸۲ \pm ۰/۰۹	۰/۷۲

گروه تمرین + تحریک الکتریکی: ECT، گروه تمرین: CT، BMD: تراکم مواد معدنی استخوان.

در بررسی ارتباط بین تغییرات کورتیزول و یون‌ها بعد از ۱۲ هفته مداخله تمرین ترکیبی به همراه تحریک الکتریکی در گروه ECT، نتایج همبستگی منفی معنی داری بین تغییرات کورتیزول و منیزیم ($r = -0.66$ ، $p = 0.01$) نشان داد. طبق نتایج رگرسیون خطی (شکل دو) تغییرات سطوح منیزیم بر اساس تغییرات سطوح کورتیزول قابل پیش‌بینی بود ($R^2 = 44/40\%$ ، $t_{(1,12)} = -2/96$ ، $p = 0.01$).

بحث

در پژوهش حاضر، اثر ۱۲ هفته برنامه تمرین ترکیبی (هوازی-مقاومتی) به همراه تحریک الکتریکی عملکردی (به‌عنوان محرکی ایمن و مکمل تمرین درمانی) برای تحریک تعادل یون‌های مؤثر در متابولیسم استخوان و سطوح کورتیزول زنان مسن مبتلا به استئوپنی بررسی شد. یک برنامه ترکیبی به همراه تحریک الکتریکی، با توجه به شدت، فرکانس و مدت زمان تمرین و تحریک، توانست در افزایش سطوح منیزیم سرم مؤثر باشد. این نشان‌دهنده اثر هم‌افزایی تحریک الکتریکی در افزایش

مقایسه سطوح سرمی یون‌های کلسیم، فسفر و منیزیم در سه گروه نشان داد که سطوح منیزیم پس از پروتکل تحقیقی ۱۲ هفته‌ای در گروه‌های مداخله ECT ($p = 0.001$) و تمرین ($p = 0.01$) نسبت به مقادیر پایه افزایش معنی داری دارد. طبق نتایج آزمون تحلیل واریانس مخلوط، عامل گروه معنی‌دار بود ($p = 0.01$) (جدول دو) و طبق آزمون تعقیبی توکی، تنها تفاوت معنی داری بین گروه ECT و کنترل برای منیزیم مشاهده شد ($p = 0.01$) (شکل ۱-الف). میزان کلسیم و فسفر سرم به دنبال این ۱۲ هفته مداخله در هیچ‌کدام از افراد سه گروه نسبت به مقادیر پایه و نسبت به هم تغییر معنی داری را نشان نداد ($p > 0.05$) (شکل ۱-ب و ۱-ج).

سطوح کورتیزول سرم در گروه‌های ECT ($p = 0.001$) و تمرین ($p = 0.001$) نسبت به مقادیر پایه کاهش معنی داری داشت. طبق آزمون تعقیبی توکی گروه ECT در مقایسه با گروه کنترل ($p = 0.04$) و همچنین گروه CT در مقایسه با گروه کنترل ($p = 0.04$) کاهش معنی‌داری نشان دادند (شکل ۱-د).

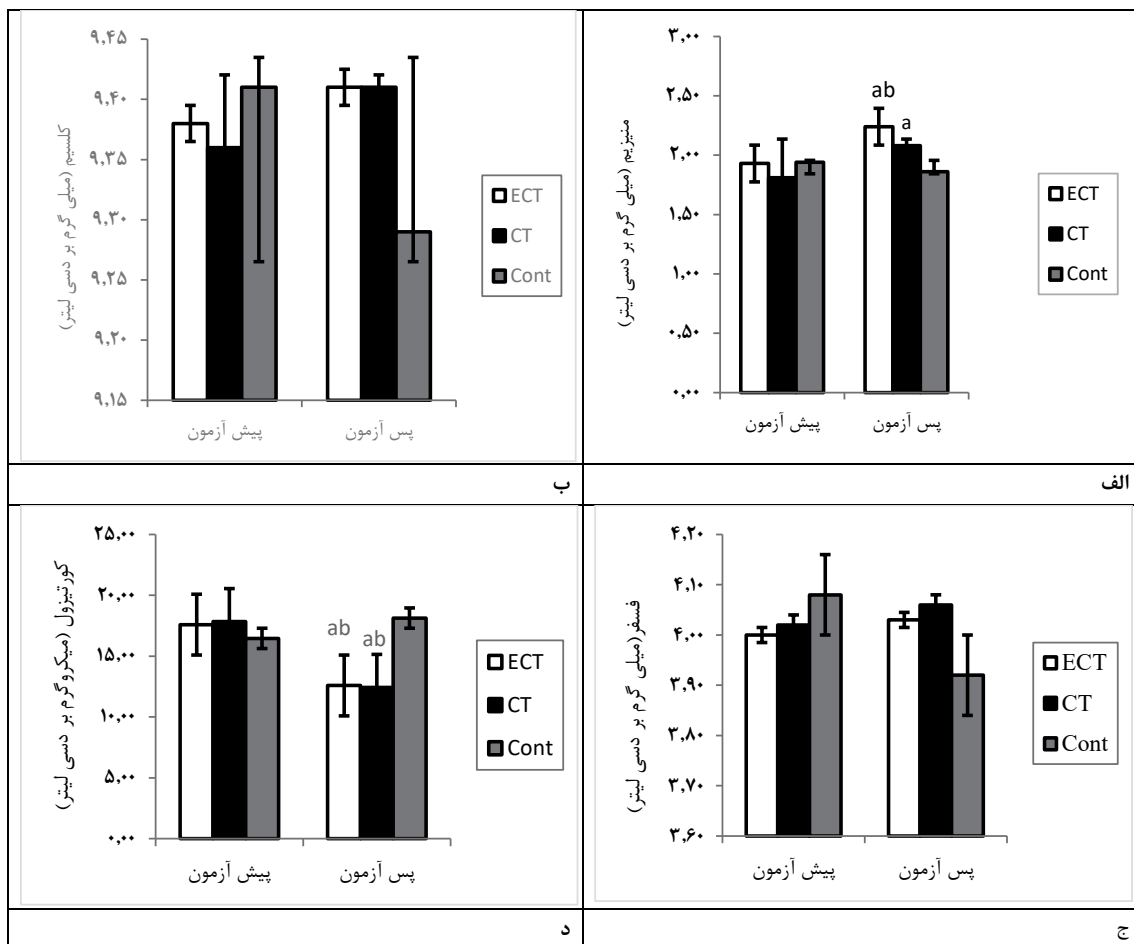
1. Shapiro-Wilk
2. Mixed ANOVA

3. Turkey
4. Pearson

جدول ۲. مقایسه درون گروهی و بین گروهی کلسیم، منیزیم، فسفر و کورتیزول سرم زنان سالمند مبتلا به استئوپنی پس از ۱۲ هفته مداخله تحریک الکتریکی و تمرین ترکیبی

متغیرها	عامل زمان	عامل گروه	عامل زمان \times گروه	اندازه اثر
کلسیم (میلی گرم / دسی لیتر)	۰/۹۹	۰/۸۸	۰/۲۳	۰/۰۷۲
فسفر (میلی گرم / دسی لیتر)	۰/۴۲	۰/۹۳	۰/۳۸	۰/۰۴۸
منیزیم (میلی گرم / دسی لیتر)	۰/۰۰۱*	۰/۰۱*	۰/۰۰۴*	۰/۲۵
کورتیزول (میکروگرم / دسی لیتر)	۰/۰۰۰۱*	۰/۰۲*	۰/۰۰۰۱*	۰/۶۷

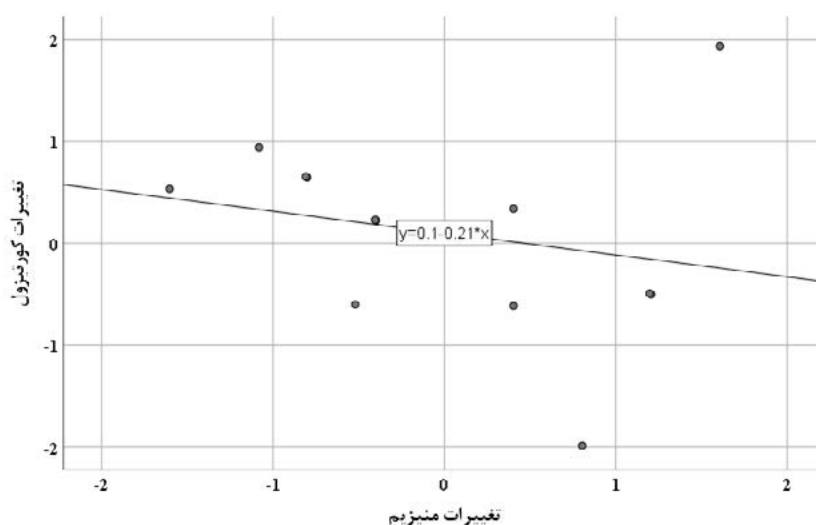
* نشانه تفاوت معنی دار عوامل در سطح $p \leq 0.05$.



شکل ۱. مقایسه تغییرات میزان منیزیم (الف)، کلسیم (ب)، فسفر (ج) و کورتیزول (د) خون پس از ۱۲ هفته مداخله تمرین ترکیبی به همراه تحریک الکتریکی در گروه های شرکت کننده. گروه تمرین + تحریک الکتریکی: ECT؛ گروه تمرین: CT؛ گروه کنترل: Cont. a: تغییر معنی دار نسبت به مقادیر پایه در هر گروه؛ b: تغییر معنی دار نسبت به گروه کنترل؛ سطح معنی داری $p \leq 0.05$.

منجر به کاهش گذرا در سطح سرمی منیزیم شود، که این معمولاً به دلیل افزایش مصرف منیزیم توسط عضلات، توزیع مجدد در بافتها یا از دست دادن آن از طریق عرق و ادرار است (۳۴). کاهش سطح منیزیم سرم به دلیل افزایش ناگهانی غلظت کاتکول آمین ها پس از تحریک الکتریکی گزارش شده است (۲۲). اما در مورد تمرینات ورزشی منظم

سطوح منیزیم زنان سالمند مبتلا به استئوپنی است. مطالعات درباره تأثیر تمرینات ورزشی و تحریک الکتریکی بر سطوح سرمی منیزیم، به ویژه در افراد سالمند، محدود است. اثرگذاری فعالیت ورزشی در کوتاه مدت و بلندمدت بر سطوح منیزیم متفاوت گزارش شده است. فعالیت ورزشی کوتاه مدت به عنوان یک عامل استرس زا می تواند



شکل ۲. نمودار رگرسیون خطی پیش بینی تغییرات منیزیم سرم بر اساس تغییرات سطوح کورتیزول سرم ناشی از تمرینات ترکیبی به همراه تحریک الکتریکی در زنان سالمند مبتلا به استئوپنی

بدنی می‌تواند استراتژی موثری برای کاهش کورتیزول و استرس، به‌ویژه در افراد سالمند، باشد، به‌طور گسترده‌ای گزارش شده است (۳۶، ۳۷). با این حال، برخی مطالعات ناهمسو نیز وجود دارد و تناقض در نتایج ممکن است ناشی از تفاوت‌های سنی یا جنسیتی آزمودنی‌ها، نوع یا نحوه اجرای تمرینات (۳۸)، مدت تمرینات (۳۹)، و شرایط روانی از قبیل استرس (۴۰) در زمان خونگیری باشد.

در مورد تأثیر تحریک الکتریکی بر سطوح کورتیزول، مطالعات محدودی وجود دارد. گفته می‌شود که تأثیر تحریک الکتریکی بر کورتیزول خون به شدت، مدت، نوع و ویژگی‌های فردی بیماران و همچنین حاد یا مزمن بودن آن بستگی دارد. تحریک الکتریکی حاد می‌تواند به دلیل تحریک محور هیپوفیز-هیپوتالاموس، سطوح کورتیزول را افزایش دهد، در حالی که تحریک الکتریکی مزمن، به ویژه در درمان درد، به دلیل کاهش درد و استرس ممکن است منجر به کاهش کورتیزول گردد (۴۱-۴۳).

از سوی دیگر، در این مطالعه، مشاهده تفاوت معنی دار در سطح منیزیم سرم بین دو گروه ECT و کنترل می‌تواند نشان‌دهنده اثر افزایشی تحریک الکتریکی بر تمرینات ورزشی در تنظیم تعادل منیزیم باشد. با توجه به ارتباط بین استرس و سطوح منیزیم (۲۶) و همچنین تأثیر تحریک الکتریکی در کاهش استرس و درد (۴۳)، افزایش منیزیم سرم ناشی از کاهش استرس روانی ممکن است یکی از

و طولانی‌مدت، این نوع مداخله به دلیل بهبود رفتارهای تغذیه‌ای، جذب بهتر و حفظ منیزیم، و تغییر در سطوح هورمون‌هایی مانند کاتکول‌آمین‌ها و آلدوسترون ممکن است به تثبیت یا بهبود هموستاز منیزیم کمک کند (۳۵). نتایج مطالعات نشان می‌دهد که استرس می‌تواند باعث افزایش از دست دادن منیزیم و در نتیجه کمبود آن شود؛ از سوی دیگر، کمبود منیزیم حساسیت بدن به استرس را افزایش می‌دهد و دایره باطلی از منیزیم و استرس ایجاد می‌کند. در پاسخ به یک محرک استرس‌زا، هورمون‌های استرس ترشح می‌شوند که سطح خارج سلولی منیزیم را افزایش می‌دهند و در نتیجه، غلظت‌های بالای منیزیم از طریق کلیه‌ها دفع می‌شود. هنگامی که عامل استرس‌زا به مدت طولانی باقی بماند، این مکانیسم ممکن است به کاهش و کمبود کاتیون منیزیم منجر شود. کورتیزول به‌عنوان یک واسطه شناخته‌شده در پاسخ به استرس بر سطوح منیزیم تأثیر می‌گذارد (۲۶).

نتایج این مطالعه نشان‌دهنده ارتباط معنی‌دار بین تغییرات کورتیزول و منیزیم در گروه تمرین همراه با تحریک الکتریکی است. بر اساس رگرسیون خطی ارائه‌شده در شکل دو، کاهش کورتیزول می‌تواند یکی از دلایل افزایش سطح منیزیم سرم پس از مداخلات تمرین و تحریک الکتریکی باشد. اثرات مثبت تمرینات ورزشی طولانی‌مدت در کاهش کورتیزول سرم و اینکه فعالیت

وزن تأثیری در مقادیر سرمی فسفر زنان یائسه مبتلا به پوکی استخوان ندارد (۴۸). در مطالعه حاضر، تحریک الکتریکی به‌علاوه تمرین ورزشی نیز تأثیری در تغییر سطوح کلسیم و فسفر سرم نداشت. به‌نظر می‌رسد برای این موضوع نیاز به مطالعات بیشتر با تغییر در روش‌های شناختی تمرین و تحریک الکتریکی (مدت، شدت و نوع) و همچنین در نظر گرفتن تفاوت‌های ویژگی‌های آزمودنی‌ها و بررسی جامع‌تر با ارزیابی رژیم غذایی، عملکرد کلیه‌ها و هورمون‌های مؤثر، وجود دارد.

از جمله محدودیت‌های مطالعه حاضر که ممکن است بر عدم معنی داری تغییرات کلسیم و فسفر تأثیرگذار باشد، حجم پایین نمونه‌ها به‌دلیل دسترسی محدود به نمونه‌های دارای شرایط لازم است. محدودیت دیگر، عدم وجود گروه چهارم تنها با مداخله تحریک الکتریکی بود که این نیز به‌دلیل عدم دسترسی به حجم بالای نمونه‌های به وجود آمده است.

نتیجه‌گیری: برنامه‌های تمرینی ترکیبی، چه به‌صورت مستقل و چه همراه با تحریک الکتریکی، در دوره ۱۲ هفته‌ای می‌توانند به کاهش سطح کورتیزول سرم و افزایش منیزیم سرم کمک کنند. تحریک الکتریکی اثر هم‌افزایی بر افزایش سطوح منیزیم سرم دارد و یکی از دلایل این افزایش ممکن است کاهش سطح کورتیزول باشد. برای تعیین شدت، مدت و نوع مداخلات بهینه به‌منظور دستیابی به حداکثر اثربخشی در سایر یون‌ها (کلسیم و فسفر)، نیاز به پژوهش‌های بیشتر و دقیق‌تر است.

تعارض منافع

هیچ تضاد منافی بین نویسندگان وجود ندارد.

قدردانی و تشکر

تیم تحقیقاتی پژوهش حاضر از زحمات صمیمانه و تلاش‌های ارزشمند کادر محترم بخش توانبخشی بیمارستان امام رضا و همچنین از تمامی شرکت‌کنندگان در این پژوهش کمال تشکر و قدردانی را دارد.

مکانیزم‌های مؤثر تحریک الکتریکی باشد. همچنین، ارتباط معنی دار بین کاهش کورتیزول و افزایش منیزیم در این مطالعه می‌تواند این موضوع را تأیید کند. منیزیم برای رشد و معدنی شدن استخوان ضروری است؛ این یون فعالیت استئوبلاست‌ها و آنزیم‌های گروه فسفاتاز مؤثر در استخوان‌سازی را تحریک می‌کند و کمبود آن به‌طور مستقیم بر تراکم استخوان تأثیر می‌گذارد. شواهد نشان می‌دهد که کمبود منیزیم باعث شکنندگی استخوان و بروز ریزترک‌های تراکولار می‌شود و خواص مکانیکی آن را به شدت تخریب می‌کند (۴). همچنین، ارتباط بین کورتیزول، استرس و متابولیسم استخوان در زنان سالمند یائسه گزارش شده است. طبق مطالعه کاندی^۱ و دیگران (۲۰۲۴)، کورتیزول ارتباط مثبت و معنی داری با استئوکلسین و تحلیل استخوان در این گروه از زنان دارد (۴۴). لذا مطابق نتایج مطالعه حاضر، کاهش کورتیزول از طریق تأثیر بر سطوح منیزیم ممکن است در کاهش تحلیل استخوانی و بهبود تراکم استخوانی زنان سالمند مبتلا به استئوپنی مفید باشد.

تغییر معنی داری در سطوح سرمی کلسیم و فسفر ناشی از مداخله تمرینات ترکیبی و تحریک الکتریکی مشاهده نشد. در همسویی با نتایج این مطالعه، شش هفته مداخله تمرین مقاومتی و تحریک الکترومغناطیسی پالسی، تأثیری بر میزان یون کلسیم خون زنان یائسه با پوکی استخوان اولیه نداشته است (۴۵). همچنین، یک سال تمرین مقاومتی نتوانست سطوح سرمی کلسیم را تغییر دهد (۴۶). علاوه بر این، تحریک الکتریکی پوستی نیز تغییر معنی داری در سطح کلسیم سرم ایجاد نکرد (۴۷) سطوح کلسیم ممکن است تحت تأثیر تغییرات ترشح استئوکلاست‌ها و هورمون‌های پاراتیروئیدی قرار گیرد. تغییرات فسفر پلاسمایی نیز مانند کلسیم بیشتر به‌عوامل هورمونی تنظیم کننده سطوح کلسیم مثل پاراتورمون مربوط است (۴۵). طبق نتایج مطالعات پیشین، تمرینات هوازی و تمرینات هوازی با تحمل

منابع

1. Fadhil RF, Fadhil EF, Taha EM, Qassam ZM. Serum lipid profile with postmenopausal osteopenia. *Journal of Population Therapeutics and Clinical Pharmacology*. 2023;30(8):237-40. <https://doi.org/10.47750/jptcp.2023.30.08.025>.
2. Wang L, Yu H, Yang G, Zhang Y, Wang W, Su T, et al. Correlation between bone mineral density and serum trace

- element contents of elderly males in Beijing urban area. *International Journal of Clinical and Experimental Medicine*. 2015;8(10):19250. PMID: PMC4694461.
3. Wang N, Xie D, Wu J, Wu Z, He H, Yang Z, et al. Selenium and bone health: a protocol for a systematic review and meta-analysis. *BMJ Open*. 2020;10(10):e036612. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2019->
 4. Ciosek Z, Kot K, Kosik-Bogacka D, Lanocha-Arendarczyk N, Rotter I. The effects of calcium, magnesium, phosphorus, fluoride, and lead on bone tissue. *Journal of Biomolecules*. 2021;11(4):506. <https://doi.org/10.3390/biom11040506>.
 5. Deogenov VA, Zorbas YG, Kakuris KK, Federenko YF. The impact of physical exercise on calcium balance in healthy subjects during prolonged hypokinesia. *Journal of Nutrition*. 2009;25(10):1029-34. <https://doi.org/10.16/j.nut.2009.02.014>.
 6. Yeh J, Aloia J, Yasumura S, Metabolism. Effect of physical activity on calcium and phosphorus metabolism in the rat. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*. 1989;256(1):E1-E6. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.989.256.1.E1>.
 7. Fathi M, Attarzadeh Hosseini SR, Khair Abadi S, Hejazi K, Infertility. Effect of eight weeks aerobic training on serum parathormone, estrogen and alkaline phosphatase concentration in obese women with premature menopause. *The Iranian Journal of Obstetrics, Gynecology*. 2017;20(7):8-17. [In persian]. <https://doi.org/0.22038/ijogi.2017.9503>.
 8. Alghadir AH, Aly FA, Gabr SA. Effect of moderate aerobic training on bone metabolism indices among adult humans. *Pakistan Journal of Medical Sciences*. 2014;30(4):840. <https://doi.org/10.12669/pjms.304.4624>.
 9. Mustafa G, Khan W, Arif T, Latif H, Sports. Effects of resistance and strength training on serum phosphorus levels in male footballers: implications for physical educators and sports trainers. *Pedagogy of Physical Culture*. 2024;28(5):378-86. <https://doi.org/10.15561/26649837.2024.0506>.
 10. Maïmoun L, Sultan C. Effect of physical activity on calcium homeostasis and calciotropic hormones: a review. *Journal of Calcified Tissue Research*. 2009;85:277-86. <https://doi.org/10.1007/s00223-009-9277-z>.
 11. Zhang H, Wang R, Guo S, Tian Q, Zhang S, Guo L, et al. Lower serum magnesium concentration and higher 24-h urinary magnesium excretion despite higher dietary magnesium intake in athletes: a systematic review and meta-analysis. *Food Science*. 2023;12(5):1471-80. <https://doi.org/10.016/j.fshw.2023.02.015>.
 12. Refsum H, Meen H, Strømme S. Whole blood, serum and erythrocyte magnesium concentrations after repeated heavy exercise of long duration. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation Supplement*. 1973;32(2):123-7. <https://doi.org/10.3109/00365517309084339>.
 13. Kuru O, Sentürk ÜK, Gündüz F, Aktekin B, Aktekin MRJBter. Effect of long-term swimming exercise on zinc, magnesium, and copper distribution in aged rats. *Journal of Biological Trace Element Research*. 2003;93:105-11. <https://doi.org/10.1385/BTER:93:1-3:105>.
 14. Armengol M, Zoulias ID, Gibbons RS, McCarthy I, Andrews BJ, Harwin WS, et al. The effect of Functional Electrical Stimulation-assisted posture-shifting in bone mineral density: case series-pilot study. *Spinal Cord Series and Cases*. 2022;8(1):60. <https://doi.org/10.1038/s41394-022-00523-9>.
 15. Fornell S, Ribera J, Mella M, Carranza A, Serrano-Toledano D, Domecq G. Effects of electrical stimulation in

- the treatment of osteonecrosis of the femoral head. *Hip International*. 2018;28(4):434-41. <https://doi.org/10.5301/hipint.5000581>.
16. Leppik L, Oliveira KMC, Bhavsar MB, Barker JH. Electrical stimulation in bone tissue engineering treatments. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*. 2020;46(2):231-44. <https://doi.org/10.1007/s00068-020-1324-1>.
17. Khatib L, Golan DE, Cho M. Physiologic electrical stimulation provokes intracellular calcium increase mediated by phospholipase C activation in human osteoblasts. *The FASEB Journal*. 2004;18(15):1903-5. <https://doi.org/10.096/fj.04-814fje>.
18. Staehle S, Bielfeldt M, Zimmermann J, Gruening M, Barke I, Freitag T, et al. Pulsed electrical stimulation affects osteoblast adhesion and calcium ion signaling. *Journal of Cells*. 2022;11(17):2650. <https://doi.org/10.3390/cells11172650>.
19. Moon H, Lee M, Kwon S. Effect of direct current electrical stimulation on osteogenic differentiation and calcium influx. *Korean Journal of Chemical Engineering*. 2023;40(2):344-51. <https://doi.org/10.1007/s11814-022-1270-5>.
20. Miura M, Hirayama A, Oowada S, Nishida A, Saito C, Yamagata K, et al. Effects of electrical stimulation on muscle power and biochemical markers during hemodialysis in elderly patients: a pilot randomized clinical trial. *Journal of Renal Replacement Therapy*. 2018;4:1-8. <https://doi.org/10.1186/s41100-018-0174-7>.
21. Sokal P, Switonska M, Kieronska S, Rudas M, Harat M. The Impact of Electrical Stimulation of the Brain and Spinal Cord on Iron and Calcium-Phosphate Metabolism. *Journal of Brain Sciences*. 2021;11(2):156. <https://doi.org/10.3390/brainsci11020156>.
22. Bleske BE, Kluger J, Colucci R, Chow MS. Potassium and magnesium changes associated with programmed electrical stimulation. *Journal of Electrophysiology*. 1989;3(2):101-10. <https://doi.org/10.1111/j.540-8167.1989.tb01537.x>.
23. Mathis SL, Farley RS, Fuller DK, Jetton AE, Caputo JL. The relationship between cortisol and bone mineral density in competitive male cyclists. *Journal of Sports Medicine*. 2013;2013(1):896821. <https://doi.org/10.1155/2013/>.
24. Knezevic E, Nenic K, Milanovic V, Knezevic NN. The role of cortisol in chronic stress, neurodegenerative diseases, and psychological disorders. *Cells*. 2023;12(23):2726. <https://doi.org/10.3390/cells12232726>.
25. Mohammadi Z, Biabani F. The effect of muscle relaxation on serum calcium and phosphorus levels in patients undergoing hemodialysis. *Revista Latinoamericana de Hipertensi6n*. 2019;14(4):404-12. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=170263002006>.
26. Pickering G, Mazur A, Trousselard M, Bienkowski P, Yaltsewa N, Amessou M, et al. Magnesium status and stress: the vicious circle concept revisited. *Journal of Nutrients*. 2020;12(12):3672. <https://doi.org/10.390/nu12123672>.
27. Farahani H, RoshanChesli R, Personality. Calculation and justification of sample size in researches of psychological sciences: application of G* power software. *Journal of Clinical Psychology*. 2023;20(2):221-34. <https://doi.org/10.22070/cpap.2023.17375.1327>.
28. Dizdar M, Irdesel JF, Dizdar OS, Topsaç M. Effects of balance-coordination, strengthening, and aerobic exercises to prevent falls in postmenopausal patients with osteoporosis: a 6-month randomized parallel prospective study. *Journal*

- of Aging and Physical Activity. 2018;26(1):41-51. <https://doi.org/10.1123/japa.2016-0284>.
29. Petit MA, Hughes JM, Warpeha JM. Exercise prescription for people with osteoporosis. ACSM's Resource Manual for Guidelines for Exercise Testing and Prescription. 2009:1-16. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=32f6b3a2ac126096bdd1735a17117cb3418431b9>.
30. Behrens M, Müller K, Kilb J-I, Schleese L, Herlyn PK, Bruhn S, et al. Modified step aerobics training and neuromuscular function in osteoporotic patients: a randomized controlled pilot study. Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery. 2017;137(2):195-207. <https://doi.org/10.1007/s00402-016-2607-5>.
31. Wen H, Huang T, Li T, Chong P, Ang B. Effects of short-term step aerobics exercise on bone metabolism and functional fitness in postmenopausal women with low bone mass. Osteoporosis International. 2017;28(2):539-47. <https://doi.org/10.1007/s00198-016-3759-4>.
32. Aragão FA, Karamanidis K, Vaz MA, Arampatzis AJJoe, kinesiology. Mini-trampoline exercise related to mechanisms of dynamic stability improves the ability to regain balance in elderly. Journal of Electromyography and Kinesiology. 2011;21(3):512-8. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2011.01.003>.
33. Howlett OA, Lannin NA, Ada L, McKinstry C, rehabilitation. Functional electrical stimulation improves activity after stroke: a systematic review with meta-analysis. Archives of physical medicine and rehabilitation. 2015;96(5):934-43. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2015.01.013>.
34. Bohl CH, Volpe SL, nutrition. Magnesium and exercise. Journal of Critical Reviews in Food science. 2002;42(6):533-63. <https://doi.org/10.1080/20024091054247>.
35. Nielsen FH, Lukaski HC. Update on the relationship between magnesium and exercise. Journal of Magnesium research. 2006;19(3):180-9.
36. Corazza DI, Sebastião É, Pedroso RV, Andreatto CAA, de Melo Coelho FG, Gobbi S, et al. Influence of chronic exercise on serum cortisol levels in older adults. European Review of Aging Physical Activity. 2014;11:25-34. <https://doi.org/10.1007/s11556-013-0126-8>.
37. De Nys L, Anderson K, Ofosu EF, Ryde GC, Connelly J, Whittaker AC. The effects of physical activity on cortisol and sleep: A systematic review and meta-analysis. Journal of Psychoneuroendocrinology. 2022;143:105843. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2022>.
38. Mir E, Attarzadeh Hosseini SR, Mir Saeedi M, Hejazi K. The effects of eight weeks selected combined exercises on humoral immune and hematological index in inactive older men. Iranian Journal of Ageing. 2016;11(1):20-9. [In Persian]. <https://doi.org/10.21859/sija-110120>.
39. Nourshahi M, Hovanloo F, Arbabi A, Metabolism. Effect of exercise with moderate intensity in the morning on some factors of immune systems in adults. Iranian Journal of Endocrinology. 2008;10(3):241-5. [In Persian]. <http://ijem.sbmu.ac.ir/article-1-539-en.html>.
40. Cay M, Ucar C, Senol D, Çevirgen F, Ozbag D, Altay Z, et al. Effect of increase in cortisol level due to stress in healthy young individuals on dynamic and static balance scores. Northern Clinics of Istanbul. 2018;5(4):295. <https://>

doi.org/10.14744/nci.2017.42103.

41. Samidurai M, Kang H, Ramasamy VS, Jo J. Impact of electrical stimulation on cortisol secretion in rat adrenal gland. *BioChip Journal*. 2018;12:216-21. <https://doi.org/10.1007/s13206-017-2303-8>.
42. Sulu R, Akbas M, Cetiner S. Effects of transcutaneous electrical nerve stimulation applied at different frequencies during labor on hormone levels, labor pain perception, and anxiety: A randomized placebo-controlled single-blind clinical trial. *European Journal of Integrative Medicine*. 2022;52:102124. <https://doi.org/10.1016/j.eujim.2022>.
43. Yaksi E, Ketenci A, Baslo MB, Orhan EK. Does transcutaneous electrical nerve stimulation affect pain, neuropathic pain, and sympathetic skin responses in the treatment of chronic low back pain? A randomized, placebo-controlled study. *Korean Journal of Pain*. 2021;34(2):217-28. <https://doi.org/10.3344/kjp.2021.34.2.217>.
44. Canday M, Yurtkal A, Ögün M. Stress Factors Increase Osteoporosis: A Comparative Assessment of Osteocalcin and Cortisol Levels in Menopausal Women. *Journal of Stress*. 2024;29(2):208-14. <https://doi.org/10.5505/ejm.2024.49379>.
45. Rezaei N, Torkaman G, MOVASSEGHE S, Hedayati M, Bayat N. The comparison of 6-week resistance training and pulsed electromagnetic field on TALP, CA, P, cortisol, and anthropometric parameters in osteoporotic postmenopausal women. *Iranian Journal of Endocrinology & Metabolism*. 2012;14(4):380-91. [In Persian]. <http://ijem.sbmu.ac.ir/article-1-1325-en.html>.
46. Dr. Bell NH, Godsen RN, Henry DP, Shary J, Epstein S, research m. The effects of muscle-building exercise on vitamin D and mineral metabolism. *Journal of Bone and Mineral Research*. 1988;3(4):369-74. <https://doi.org/10.1002/jbmr.5650030402>.
47. Guo S, Dai X, Chen X, Zhao G, Xue Y, Zhang C, et al. Effect of transcutaneous electrical acupoint stimulation on bone loss for patients with foot and ankle fracture: a pragmatic randomized controlled trial. *American Journal of Translational Research*. 2022;14(11):8191-203. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2021-056691>.
48. Roghani T, Torkaman G, Movasseghe S, Hedayati M, Goosheh B, Bayat N. Effects of short-term aerobic exercise with and without external loading on bone metabolism and balance in postmenopausal women with osteoporosis. *Rheumatology International*. 2013;33:291-8. <https://doi.org/10.1007/s00296-012-2388-2>.

