

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, Yaghoub Salekzamani², Atena Attaran³, Saeedeh Erfanniaa³

1. Associate professor Sport physiology, Psychology and Education of Faculty, Azarbaijan Shahid Madani University. Tabriz. Iran
2. Associate professor, Physical Medicine and Rehabilitation Research Center, Tabriz University of Medical Sciences.
3. MS student of Sport physiology, Psychology and Education of Faculty, Azarbaijan Shahid Madani University. Tabriz. Iran

Abstract

Background and Aim: This study investigated the effects of combined exercise training with electrical stimulation (ECT) and combined training alone (CT) on serum levels of calcium, magnesium, phosphorus and cortisol in older women with osteopenia. **Materials & Methods :** In this quasi-experimental study, 45 women with a mean age of 61.25 ± 1.4 years and osteopenia (T-score between -1 and -2.5) were randomly assigned to three equal groups: 1) ECT, 2) CT, and 3) control. The ECT and CT groups completed a combination of aerobic exercise (heart rate reserve 45-60%) and resistance training (three sets of 8-15 repetitions at 5 to 10 stations using body weight, a physioball and a yellow resistance band) three times a week for 90 minutes. The ECT group also received 15 minutes of functional electrical stimulation (FES) at a frequency of 45 Hz and a pulse duration of 300 microseconds, targeting the paraspinal muscles. The data were analyzed using a MIXED ANOVA test. **Results:** The results showed that the serum levels of calcium and phosphorus did not change significantly between the groups ($p < 0.05$). However, serum magnesium levels increased significantly in the ECT group compared to the control group ($p = 0.012$). In addition, cortisol levels decreased in both intervention groups compared to the control group ($p < 0.05$), and a significant correlation was found between the decrease in cortisol and the increase in magnesium in the ECT group ($p = 0.013$, $r = -0.666$). **Conclusions:** These results suggest that functional electrical stimulation synergistically increases magnesium levels, with a reduction in serum cortisol contributing to this increase. Further research is needed to determine the optimal intensity, duration and type of interventions to maximize efficacy on calcium and phosphorus ions.

Keywords: Cortisol :Electric Stimulation :Exercise Training :Ions :Osteopenia

*Corresponding Author, Address: Department of Sport Science, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran.

Email: zarneshan@azaruniv.ac.ir



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

اعظم زرنشان^{۱*}، عزیزه فرشباغ خلیلی^۲، یعقوب سالک زمانی^۲، آتنا عطاران^۲، سعیده عرفان‌نیا^۳

۱. دانشیار 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

چکیده

زمینه و هدف: این مطالعه به بررسی تأثیرات ورزش ترکیبی به همراه تحریک الکتریکی (ECT) و ورزش ترکیبی (CT) بر روی سطح سرمی کلسیم، منیزیم، فسفر و کورتیزول در زنان سالمند مبتلا به استئوپنی پرداخت. **روش تحقیق:** در این مطالعه نیمه تجربی در مجموع ۴۵ زن با میانگین سنی $41 \pm 61/25$ 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 (ضربان قلب ذخیره ۴۵-۶۰٪) و مقاومتی (سه ست ۸-۱۵ 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 ANOVA MIXED تحلیل شدند. **یافته‌ها:** طبق نتایج سطح سرمی کلسیم و فسفر تفاوت درون گروهی و بین گروهی معناداری نداشت ($p > 0.05$). با این حال، سطح سرمی منیزیم در گروه ECT نسبت به گروه کنترل به طور معناداری افزایش یافت ($p = 0.012$). علاوه بر این، سطح کورتیزول در هر دو گروه مداخله نسبت به گروه کنترل کاهش یافت ($P < 0.05$). یک همبستگی معنادار بین کاهش کورتیزول و افزایش منیزیم در گروه ECT مشاهده شد ($r = 0.666$ ، $p = 0.013$). **نتیجه‌گیری:** این نتایج نشان می‌دهد که تحریک الکتریکی عملکردی به طور هم‌افزایی سطح منیزیم را افزایش می‌دهد، کاهش کورتیزول سرم در این افزایش موثر بود. 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

*نویسنده مسئول: اعظم زرنشان، گروه علوم ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران

آدرس میل: zarneshan@azaruniv.ac.ir

استئوپنی (OS^1) یک اختلال متابولیک استخوان است که قبل از پوکی استخوان (OP^2) رخ می‌دهد. این وضعیت با کاهش تراکم مواد معدنی استخوان (BMD^3)، تغییرات ساختاری و افزایش خطر شکستگی همراه است و به عنوان یک مشکل سلامت جهانی در میان افراد سالمند شناخته می‌شود (۱). علل استئوپنی چند عاملی هستند و شامل عوامل ژنتیکی، عملکرد غدد درون ریز، فعالیت بدنی محدود و ملاحظات تغذیه ای می باشند. تشکیل و متابولیسم استخوان تحت تاثیر 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 پلاسما و متابولیسم استخوان تاثیر 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 داد که ۱۲ هفته تمرین هوازی متوسط بهبود قابل توجهی در کلسیم آزاد سرم ایجاد کرده (۸) و ۱۲ هفته تمرینات مقاومتی منجر به افزایش سطوح سرمی فسفر گردید (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 که 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 به ویژه 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.

اخیرا مطالعات (۱۴-۱۶) از مداخله تحریک الکتریکی به عنوان 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 سلول‌ها در بازسازی 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 شد (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 کاتکول آمین پس از تحریک الکتریکی کاهش یافت (۲۲).

¹ Osteopenia

² Osteoporosis

³ Bone Mineral Density

⁴ macroelements



بین کورتیزول و تراکم مواد معدنی استخوان رابطه‌ای وجود دارد. افزایش سطح کورتیزول تأثیر منفی بر سلامت استخوان دارد و می‌تواند منجر به کاهش تراکم مواد معدنی استخوان (BMD) و افزایش خطر پوکی استخوان شود. کورتیزول از طریق گلوکوکورتیکوئید، بازجذب مواد معدنی استخوان را به اسیدهای آمینه آزاد برای استفاده به عنوان منبع انرژی 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 تراکم مواد معدنی استخوان (BMD) را کاهش می‌دهد. حتی یک دوره کوتاه از ترشح بالای کورتیزول نیز می‌تواند منجر به کاهش تراکم مواد معدنی استخوان (BMD) شود. افزایش بیش از حد سطح کورتیزول، مانند آنچه در هیپرکورتیزولیسم یا سندرم کوشینگ مشاهده می‌شود، با شیوع بالای پوکی استخوان مرتبط است و ممکن است با کاهش تراکم مواد معدنی استخوان (BMD) مرتبط با سن در 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 کاتکول آمین‌ها و هورمون‌های استرسی هستند، تغییر دهد (۲۵). 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 (۲۶).

ارتباط بین کورتیزول و یونهای خونی موثر در متابولیسم استخوان کمتر مورد توجه قرار گرفته و نیاز به بررسی‌های بیشتر دارد. با توجه به افزایش جمعیت سالمندان و شیوع بالای اختلالات متابولیک استخوانی مانند استئوپنی، یش درآمدی 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 طولانی مدت 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 (به عنوان 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. 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-T) بین ۱- تا ۲.۵- از مرکز توانبخشی امام رضا (ع) تبریز، به صورت هدفمند به عنوان نمونه انتخاب شدند. تعداد نمونه با کمک نرم افزار جی پاور (F tests, ANOVA, Repeated measure) و با استفاده از توان آماری ۰.۸۰، آلفای ۰.۰۵ و اندازه اثر ۰.۲۵، تعداد گروه ۳ و تعداد اندازه گیری دو، حجم کل نمونه ۴۲ محاسبه شد (۲۷) و با احتساب ریزش ۴۵ نفر انتخاب و به صورت تصادفی با روش

قرعه کشی ساده 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. گروه ها بر اساس سن، BMI و BMD همگن بودند (جدول ۱).

معیارهای ورود به مطالعه عبارت بود از: استئوپنی ثابت شده با استفاده از جذب سنجی اشعه ایکس با انرژی دو گانه (DXA) (میزان تراکم استخوان (BMD) در نواحی سر استخوان فمور و مهره های کمر $-1 < TScore < -2.5$)، سنین ۶۰ تا ۶۵ سال، سابقه ابتلا به استئوپنی حداقل ۳ 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 نمونه ها شامل: بیس فسفات، آلدرونا، 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 شرکت کنندگان می توانستند هر زمان که بخواهند کنار بکشند. رضایت نامه آگاهانه کتبی اخذ شد و مطالعه با اصول اعلامیه هلسینکی 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.

جمع آوری داده ها: جهت غربالگری شرکت کنندگان، داده های 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 نمونه های خونی جمع آوری شد. برای این منظور شرکت کنندگان به مدت ۱۲ ساعت ناشتا بودند و به مدت ۲۴ ساعت هیچ دارو یا مکمل اثر گذار مصرف نکردند. ساعت هشت صبح خونگیری انجام شد. در مجموع ۱۰ سی سی خون از ورید بازویی گرفته شد و پس از جداسازی سرم در آزمایشگاه در دمای ۷۰- درجه سانتی گراد برای آنالیزهای بعدی منجمد شدند. پروتکل تمرینی ۴۸ ساعت پس از خونگیری آغاز شد و در پس آزمون ۴۸ ساعت پس از اتمام برنامه تمرینی ۱۲ هفته ای ارزیابیها و خونگیری مطابق پیش آزمون انجام شد.

کلسیم، منیزیم و فسفر هر سه به ترتیب توسط کیت های تجاری، Arsenazo III، Xylidyl Blue و phosphomolybdate شرکت دلتا درمان پارت و با استفاده از روش کالریمتری اندازه گیری شدند. کورتیزول با استفاده از تکنولوژی الکتروکمی لومینسانس و به کمک دستگاه Cobas e411 (ساخت آلمان-ژاپن) اندازه گیری شد.

برنامه مداخله: گروه های 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 هیچ یک از مداخلات شرکت نکردند و به فعالیت های عادی روزانه خود پرداختند.

در این مطالعه، تمرینات ورزشی مطابق با دستورالعمل های 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 شده است:

- تمرینات با شدت متوسط برای جلوگیری از تشدید درد انجام شد. از حرکات انفجاری، تمرینات با بارهای سنگین و فعالیت هایی که نیاز به چرخش، خم شدن یا فشار بیش از حد روی ستون فقرات دارند، اجتناب شد.
- از انجام ورزش هایی که نیاز به خم شدن ستون فقرات به جلو دارند، مانند پارو زدن، اجتناب شد.
- حرکات بالستیک از برنامه حذف شدند.
- خطرات اسکلتی-عضلانی مانند کمردرد حاد یا مزمن، آرتريت 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 فعالیت درک شده (RPE^1) و سایر مقیاس های رتبه بندی ذهنی مناسب، مانند تنگی نفس، درد، لنگیدن و آرتیزین 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 آترواسکروتنیک هستند. بنابراین، ارزیابی سلامت قلب و عروق قبل از شروع برنامه ورزشی در اولویت قرار گرفت.
- جلسات آموزشی اولیه بر تکنیک های ورزشی مناسب، به ویژه تکنیک هایی که شامل تجهیزات می شود، و همچنین تمرین های توانبخشی که توسط فیزیوتراپیست هدایت می شود، تأکید داشتند.
- بر اساس دستورالعمل های پژوهشی در مورد تأثیر انواع مختلف ورزش بر توده استخوانی و نشانگرهای متابولیک، تمرینات زیر در این مطالعه ترکیب شدند:

- (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 ($HRR\ 60-75\%$ ، $RPE\ 11-13$) انجام دادند. تمرین هوازی در هفته اول با ۳۰ دقیقه شروع شد و به تدریج با افزودن ۵ دقیقه در هر سه هفته و افزایش ۵ درصدی شدت هر سه هفته به تدریج افزایش یافت. شدت به کمک میزان درک فشار بورد (RPE) و ضربان سنج پولار کنترل شد. برنامه تمرین هوازی به سه بخش اصلی تقسیم می شد:
- (۱) ایروبیک (درجا زدن، راه رفتن به جلو، راه رفتن به عقب، راه رفتن به پهلو، وی استپ، تاج استپ).
 - (۲) تمرینات تخته استپ (استپ آپ ساده متناوب، استپ آپ جانبی متناوب، حرکت کوهنوردی، حرکت برپی) (۳۰، ۳۱).
 - (۳) تمرینات مینی ترامپولین (۳۲).

تحریک الکتریکی (ES): گروه ECT علاوه بر شرکت در برنامه تمرین ورزشی ۱۲ هفته از هفته های 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 (NOVIN)، در ناحیه پاراسپاینال 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 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

¹ Rate of Perceived Exertion

هرتز و پهنای پالس از ۲۰۰ تا ۴۰۰ میکروثانیه متغیر بود (۳۳). که در مطالعه حاضر بنا بر تجویز پزشک مرکز تحقیقات طب فیزیکی و توانبخشی، دوز مداخله تعیین و اعمال شد.

روش آماری: توزیع نرمال داده ها به وسیله ی آزمون شاپیروویلک، بررسی تغییر داده ها در گروه ها و مقایسه بین آنها با استفاده از ANOVA مخلوط (Mixed ANOVA) با دو فاکتور درون گروهی (زمان: پیش آزمون و پس آزمون) و فاکتور بین گروهی (گروه: ECT، CT و کنترل) با به کارگیری آزمون تعقیبی توکی تحلیل شد. ارتباط بین متغیرها از طریق ضریب همبستگی پیرسون و رگرسیون خطی بررسی شد. داده ها با استفاده از نرم افزار SPSS23 تجزیه و تحلیل شدند.

یافته ها

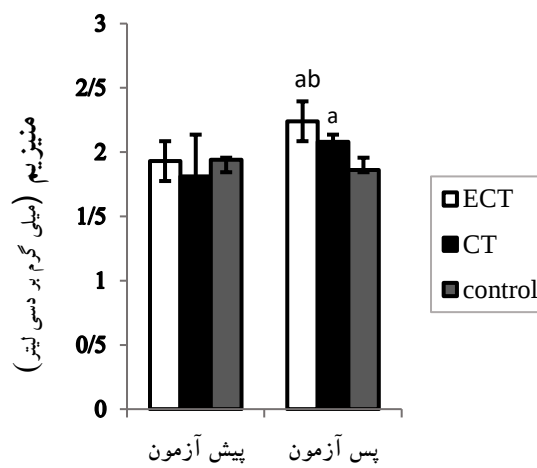
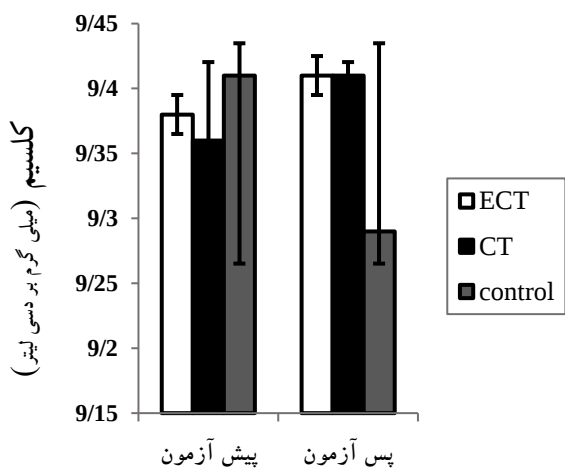
در پایان مطالعه داده های ۴۱ نفر در تحلیل نتایج وارد شدند. متغیرهای ویژگیهای اولیه شامل سن، BMI و BMD بود که مقادیر مربوط به میانگین و انحراف معیار این متغیرها در جدول ۱ آمد. طبق آزمون آنوا تفاوت معناداری در سن، BMI و BMD در شروع مطالعه بین گروه ها مشاهده نشد ($P > 0.05$) (جدول ۱).

جدول ۱. مقایسه ویژگی های اولیه گروه ها در شروع مطالعه				
گروه	CT+ ECT (n=13)	CT (n=14)	کنترل (n=14)	P*
متغیر				
سن (سال)	۶۲/۸۷±۳/۶۲	۶۰/۶۲±۴/۲۱	۶۱/۵۷±۴/۰۸	۰/۱۱۹
شاخص توده بدنی (kg/m ²)	۲۹/۱۵±۳/۲۵	۳۰/۱۵±۳/۵۴	۲۹/۱۳±۴/۶۵	۰/۵۱۳
BMD سر ران (g/cm ²)	۰/۷۰۶±۰/۱۱۰	۰/۶۸۵±۰/۱۱۹	۰/۶۶۴±۰/۱۱۸	۰/۷۱۹
BMD لگن (g/cm ²)	۰/۸۲۰±۰/۰۹۲	۰/۸۰۱±۰/۰۹۳	۰/۸۲۰±۰/۰۹۲	۰/۷۲۳

* نشانه تفاوت معنی داری بین گروه ها در سطح $p \leq 0.05$

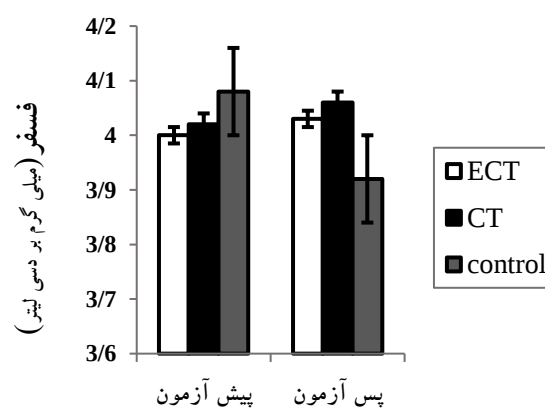
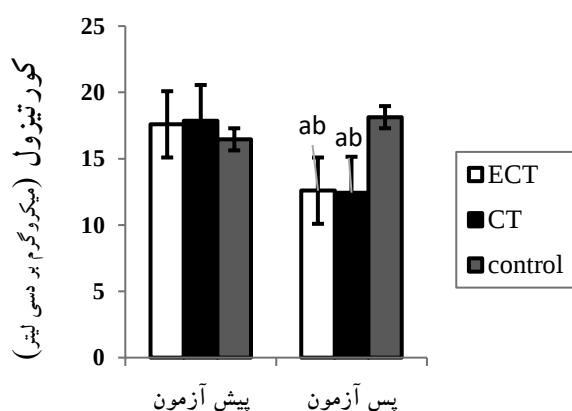
تحلیل نتایج تی زوجی مربوط بر مقایسه سطوح سرمی یونهای کلسیم، فسفر و منیزیم در هر سه گروه در پیش و پس آزمون نشان داد که سطوح منیزیم پس از پروتکل تحقیقی ۱۲ هفته ای در گروه های مداخله Ect+ ES ($p=0.001$) و ET ($p=0.014$) نسبت به مقادیر پایه افزایش معناداری داشت. طبق نتایج آزمون آنوای مخلوط عامل گروه معنادار بود ($p=0.013$) و طبق آزمون تعقیبی توکی تفاوت معناداری بین گروه ECT و کنترل در سطوح منیزیم مشاهده شد ($p=0.012$) (نمودار الف شکل ۱). 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 ($p > 0.05$) (نمودار ب و ج شکل ۱).

سطوح کورتیزول سرم در گروه های ECT ($p=0.001$) و CT ($p=0.001$) نسبت به مقادیر پایه کاهش معناداری داشت و همچنین نسبت به گروه ها تفاوت معناداری مشاهده شد ($p=0.020$)، چنانچه طبق آزمون تعقیبی توکی گروه ECT در مقایسه با گروه کنترل ($p=0.040$) و همچنین گروه CT در مقایسه با گروه کنترل ($p=0.042$) کاهش معناداری نشان دادند (نمودار د شکل ۱).



ب

الف



د

ج

شکل ۱. تغییرات میزان منیزیم (الف)، کلسیم (ب)، فسفر (ج) و کورتیزول (د) خون پس از ۱۲ هفته مداخله تمرین ترکیبی به همراه تحریک الکتریکی در سه گروه تمرین + تحریک الکتریکی (ECT)، تمرین (CT) و کنترل زنان سالمند مبتلا به استئوپنی (a: تغییر معنی دار نسبت به مقادیر پایه در هر گروه b: تغییر معنی دار نسبت به گروه کنترل)

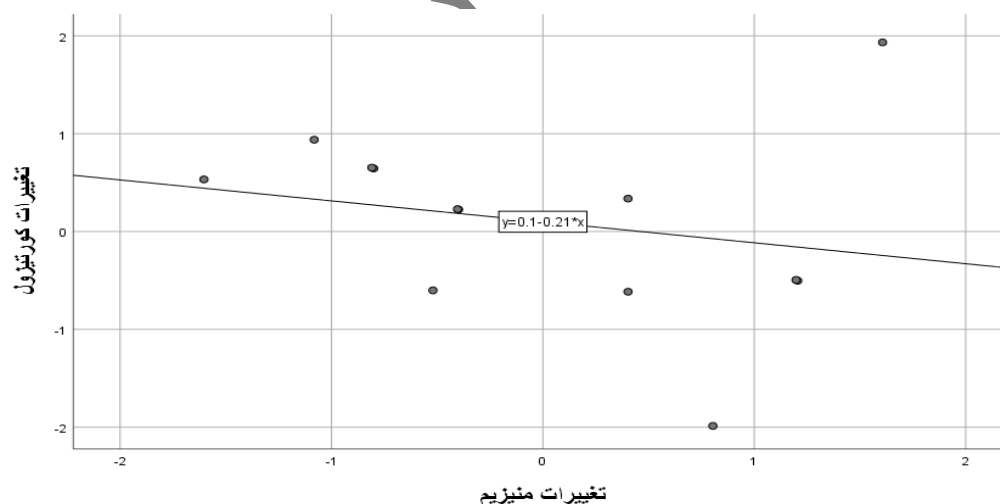
جدول ۲. مقایسه درون گروهی و بین گروهی کلسیم، منیزیم، فسفر و کورتیزول سرم زنان سالمند مبتلا به استئوپنی پس از ۱۲ هفته مداخله تحریک الکتریکی و تمرین ترکیبی

متغیر	گروه	عامل زمان	عامل گروه	اندازه اثر	آزمون تعقیبی توکی
ECT					

کلسیم (mg/dl)	CT	کنترل	۰/۹۹۴	۰/۸۸۴	۰/۲۳۱	۰/۰۷۲	کنترل و ECT [۰/۹۲۳]
فسفر (mg/dl)	ECT CT کنترل	کنترل	۰/۴۲۶	۰/۹۳۰	۰/۳۸۱	۰/۰۴۸	کنترل و ECT [۰/۹۴۰] کنترل و CT [۰/۹۴۵] کنترل و ECT [۰/۹۹۹]
منیزیم (mg/dl)	ECT CT کنترل	کنترل	*۰/۰۰۱	*۰/۰۱۲	*۰/۰۰۴	۰/۲۵۲	کنترل و ECT [۰/۰۱۲]* کنترل و CT [۰/۷۵۳] کنترل و ECT [۰/۰۶۹]
کورتیزول (g/dlμ)	ECT CT کنترل	کنترل	*۰/۰۰۰۱	*۰/۰۲۰	*۰/۰۰۰۱	۰/۶۷۳	کنترل و ECT [۰/۰۴۰]* کنترل و CT [۰/۰۴۲]* کنترل و ECT [۰/۹۹۸]

* نشانه تفاوت معنی داری بین گروه ها در سطح $p \leq 0.05$

در بررسی ارتباط بین تغییرات کورتیزول و یونها بعد از ۱۲ هفته مداخله تمرینات ترکیبی به همراه تحریک الکتریکی در گروه های مطالعه، نتایج تنها ارتباط منفی و معناداری بین تغییرات کورتیزول و منیزیم ($r = -0.666$, $p = 0.013$) نشان داد. طبق نتایج رگرسیون خطی تغییرات سطوح منیزیم بر اساس تغییرات سطوح کورتیزول قابل پیش بینی بود ($R^2 = 0.444$, $t(1) = -2.965$, $p = 0.013$).



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



بحث

در پژوهش حاضر، اثر ۱۲ هفته برنامه تمرین ترکیبی (هوازی-مقاومتی) به همراه تحریک الکتریکی عملکردی (به عنوان محرکی ایمن و مکمل تمرین درمانی) برای تحریک تعادل یون‌های مؤثر در متابولیسم استخوان و سطوح کورتیزول زنان مسن مبتلا به استئوپنی بررسی شد. برنامه تمرینی ترکیبی به همراه تحریک الکتریکی، با توجه به شدت، فرکانس و مدت زمان تمرین و تحریک، می‌تواند در افزایش سطوح منیزیم سرم مؤثر باشد. این نشان‌دهنده اثر هم‌افزایی تحریک الکتریکی در افزایش سطوح منیزیم زنان سالمند مبتلا به استئوپنی است. مطالعات درباره تأثیر تمرینات ورزشی و تحریک الکتریکی بر سطوح سرمی منیزیم، به‌ویژه در افراد سالمند، محدود است. اثرگذاری فعالیت ورزشی در کوتاه‌مدت و بلندمدت بر سطوح منیزیم متفاوت گزارش شده است. فعالیت ورزشی کوتاه‌مدت به عنوان یک عامل استرس‌زا می‌تواند 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 کاتکول‌آمین‌ها پس از تحریک الکتریکی گزارش شده است (۲۲). اما در مورد تمرینات ورزشی منظم 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 به عنوان یک واسطه شناخته‌شده در پاسخ به استرس بر سطوح منیزیم تأثیر می‌گذارد (۲۶).

نتایج این مطالعه نشان‌دهنده ارتباط معنادار 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 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 که 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، به‌ویژه 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 معنادار 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 مکانیزم‌های مؤثر تحریک الکتریکی باشد. همچنین، ارتباط معنادار 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 تراپکولار 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 همکاران (۲۰۲۴)، کورتیزول ارتباط مثبت و معناداری 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. هرچند تغییر معناداری 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 نداشت. (۴۵). همچنین، یک سال تمرین مقاومتی نتوانست سطوح سرمی کلسیم را تغییر دهد (۴۶). علاوه بر این، تحریک الکتریکی پوستی (TEAS) نیز تغییر معناداری 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 به عوامل هورمونی تنظیم کننده سطوح کلسیم مثل پارتورمون مربوط است (۴۵). طبق نتایج مطالعات پیشین، تمرینات هوازی و تمرینات هوازی با تحمل وزن تأثیری در مقادیر سرمی فسفر زنان یائسه مبتلا به پوکی استخوان نداشت (۴۸). در مطالعه حاضر، تحریک الکتریکی به‌علاوه تمرین ورزشی نیز تأثیری در تغییر سطوح کلسیم و فسفر سرم نداشت. به نظر می‌رسد برای این موضوع نیاز به مطالعات بیشتر با تغییر در روش‌های شناختی تمرین و تحریک الکتریکی (مدت، شدت، 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 معناداری تغییرات کلسیم و فسفر تأثیرگذار باشد، حجم پایین نمونه‌ها به دلیل دسترسی محدود به نمونه‌های دارای شرایط لازم است. محدودیت دیگر، عدم وجود گروه چهارم تنها با مداخله تحریک الکتریکی بود که این نیز به دلیل عدم دسترسی به حجم بالای نمونه‌های به وجود آمده است.

نتیجه گیری

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 به منظور دستیابی به حداکثر اثربخشی در سایر یون‌ها (کلسیم و فسفر)، نیاز به پژوهش‌های بیشتر و دقیق‌تر است.

تعارض منافع

هیچ تضاد منافی وجود ندارد.

قدردانی و تشکر

¹ Canday

منابع

1. Fadhil RF, Fadhil EF, Taha EM, Qassam ZM. Serum Lipid profile with postmenopausal osteopenia. *J Popul Ther Clin Pharmacol*. 2023;30(8):237-40. <https://doi.org/10.47750/jptcp.2023.30.06.025>.
2. Wang L, Yu H, Yang G, et al. Correlation between bone mineral density and serum trace element contents of elderly males in Beijing urban area. *Int J Clin Exp Med*. 2015;8(10):19250. PMID: PMC4694461.
3. Wang N, Xie D, Wu J, et al. Selenium and bone health: a protocol for a systematic review and meta-analysis. *J BMJ open*. 2020;10(10):e036612. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2019-026112>.
4. Ciosek Z, Kot K, Kosik-Bogacka D, Łanocha-Arendarczyk N, Rotter I. The effects of calcium, magnesium, phosphorus, fluoride, and lead on bone tissue. *J 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. *J Nutrition*. 2009;25(10):1029-34. <https://doi.org/10.16/j.nut.2009.02.014>.
6. Yeh J, Aloia J, Yasumura SJAJoP-E, Metabolism. Effect of physical activity on calcium and phosphorus metabolism in the rat. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 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. <https://doi.org/10.22038/ijogi.2017.9503>.
8. Alghadir AH, Aly FA, Gabr SA. Effect of moderate aerobic training on bone metabolism indices among adult humans. *Pak J Med Sci*. 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. *J Calcif Tissue Res*. 2009;85:277-86. <https://doi.org/10.1007/s00223-009-9277-z>.
11. Zhang H, Wang R, Guo S, 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. *J Scand J Clin Lab Invest Suppl*. 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. *J Biol Trace Elem Res*. 2003;93:105-11. <https://doi.org/10.1385/BTER:93:1-3:105>.
14. Armengol M, Zoulias ID, Gibbons RS, et al. The effect of Functional Electrical Stimulation-assisted posture-shifting in bone mineral density: case series-pilot study. *Spinal Cord Ser 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. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 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. *J The FASEB journa*. 2004;18(15):1903-5. <https://doi.org/10.096/fj.04-814fje>.
18. Staehlke S, Bielfeldt M, Zimmermann J, et al. Pulsed electrical stimulation affects osteoblast adhesion and calcium ion signaling. *J 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 J Chem Eng*. 2023;40(2):344-51. <https://doi.org/10.1007/s11814-022-1270-5>.
20. Miura M, Hirayama A, Oowada S, et al. Effects of electrical stimulation on muscle power and biochemical markers during hemodialysis in elderly patients: a pilot randomized clinical trial. *J Ren Replace Ther*. 2018;4:1-8. <https://doi.org/10.1186/s41100-018-0174-7>.
21. Sokal P, Świtońska M, Kierońska S, Rudaś M, Harat M. The Impact of Electrical Stimulation of the Brain and Spinal Cord on Iron and Calcium-Phosphate Metabolism. *J 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 Hipertensió*. 2019;14(4):404-12. n: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=170263002006>.
26. Pickering G, Mazur A, Trousselard M, et al. Magnesium status and stress: the vicious circle concept revisited. *J 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. *J Clinical Psychology*. 2023;20(2):221-34. <https://doi.org/10.22070/cpap.2023.17375.1327>.
28. Dizdar M, Idesl 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. *J Aging Phys Act*. 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, et al. Modified step aerobics training and neuromuscular function in osteoporotic patients: a randomized controlled pilot study. *Arch Orthop Trauma Surg*. 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. *Osteoporos Int*. 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. *J Electromyogr Kinesiol*. 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. *J 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. *J Magnesium research*. 2006;19(3):180-9.
36. Corazza DI, Sebastião É, Pedrosa RV, et al. Influence of chronic exercise on serum cortisol levels in older adults. *Eur Rev Aging Phys Act*. 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. *J 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. *J Iranian Journal of Ageing*. 2016;11(1):20-9. <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. <http://ijem.sbm.ac.ir/article-1-539-en.html>.
40. Cay M, Ucar C, Senol D, 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. *J 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. *Eur J Integr Med*. 2022;52:102124. <https://doi.org/10.1016/j.eujim.2022>.
43. Yakşi 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 J 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. *J 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. *IJEM*. 2012;14(4):380-91. <http://ijem.sbm.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. *J Bone Miner Res*. 1988;3(4):369-74. <https://doi.org/10.1002/jbmr.5650030402>.
47. Guo S, Dai X, Chen X, et al. Effect of transcutaneous electrical acupoint stimulation on bone loss for patients with foot and ankle fracture: a pragmatic randomized controlled trial. *Am J Transl Res*. 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. *J Rheumatol Int*. 2013;33:291-8. <https://doi.org/10.1007/s00296-012-2388-2>.