The effect of a period of high-intensity interval training (HIIT) on serum levels of parathormone, alkaline phosphatase and bone mineral in postmenopausal women

Fahimeh Kazemi*, Zeinab Mohammadi

Department of Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences, Alzahra University, Tehran, Iran

Corresponding author e-mail: f.kazemi@alzahra.ac.ir

Abstract

Background and Objective: The present research aimed to determine the effect of a period of high-intensity interval training (HIIT) on serum levels of parathormone, alkaline phosphatase, and bone mineral in postmenopausal women.

Materials and Methods: In a semi-experimental research, 24 sedentary postmenopausal women were randomly divided into control (n=12) and training (n=12) groups. The training group performed HIIT, 3 sessions per week for 8 weeks. 24 hours before the experimental period and 48 hours after the last training session, the subjects' anthropometric characteristics, including height, weight, skeletal muscle mass (SMM), body fat mass (BFM), body fat percent (BF%), body mass index (BMI), waist-to-hip ratio (WHR), and serum levels of parathyroid hormone, alkaline phosphatase, phosphorus, and calcium were measured. To compare the mean of two groups at two times, two-way repeated measures analysis of variance was used.

Results: There was no significant difference between the weight and BMI of the two groups at two times ($P>0.05$), but there was a significant difference between the SMM, BFM, BF%, and WHR ($P<0.05$), so SMM of the training group increased significantly compared to the control group and BFM, BF%, and WHR decreased significantly ($P<0.05$). Also, there was a significant difference between serum levels of parathormone, alkaline phosphatase, phosphorus, and calcium of the two groups at two times ($P<0.05$), so these variables in the training group increased compared to the control group ($P<0.05$).

Conclusion: A period of HIIT with improving anthropometric characteristics can have a positive effect on serum levels of parathormone, alkaline phosphatase, and bone mineral in postmenopausal women.

Keywords: Alkaline phosphatase, Calcium, High-intensity interval training, Parathormone, Phosphorus, Postmenopausal women

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

How to cite this article: Kazemi F, Mohammadi Z. The effect of a period of high-intensity interval training (HIIT) on serum levels of parathormone, alkaline phosphatase and bone mineral in postmenopausal women. Daneshvar Medicine 2025; 32(6):68-80. doi: 10.22070/DANESHMED.2025.20022.1580

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

تأثیر یک دوره تمرین تناوبی شدید (HIIT) بر مقادیر سرمی پاراتورمون، آلکالین فسفاتاز و مواد معدنی استخوان در زنان یائسه

فهیمه کاظمی*، زینب محمدی

گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه الزهرا (س)، تهران، ایران

*نویسنده مسئول: فهیمه کاظمی **Email: f.kazemi@alzahra.ac.ir**

چکیده

مقدمه و هدف: هدف از پژوهش حاضر تعیین تأثیر یک دوره HIIT بر مقادیر سرمی پاراتورمون، آلکالین فسفاتاز و مواد معدنی استخوان در زنان یائسه بود.

مواد و روش ها: در پژوهشی نیمه تجربی، ۲٤ زن یائسه غیر فعال به صورت تصادفی به دو گروه ۱۲ نفره کنترل و تمرین تقسیم شدند. گروه تمرین، HIIT را ۳ جلسه در هفته به مدت ۸ هفته انجام داد. ۲٤ ساعت قبل از دوره آزمایشی و ٤۸ بعد از آخرین جلسه تمرینی ویژگی‌های آنتروپومتری آزمودنی‌ها شامل قد، وزن، توده عضله اسکلتی (SMM)، توده چربی بدن (BFM)، درصد چربی بدن (BF%)، شاخص توده بدنی (BMI)، نسبت دور کمر به لگن (WHR)، و نمونه‌های سرمی پاراتورمون، آلکالین فسفاتاز، فسفر و کلسیم اندازه‌گیری شد. برای مقایسه میانگین دو گروه در دو زمان از آزمون تحلیل واریانس دو طرفه با اندازه‌گیری مکرر استفاده شد.

نتایج: بین وزن و BMI دو گروه در دو زمان تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (P>۰/۰۵)؛ اما بین SMM ، BFM، BF% و WHR تفاوت معنی‌داری وجود داشت (P<۰/۰۵)، به طوری که SMM در گروه تمرین نسبت به گروه کنترل افزایش معنی‌داری و BFM، BF% و WHR کاهش معنی‌داری یافت (P<۰/۰۵). همچنین، بین مقادیر سرمی پاراتورمون، آلکالین فسفاتاز، فسفر و کلسیم دو گروه در دو زمان تفاوت معنی‌داری وجود داشت (P<۰/۰۵)، به طوری که این متغیرها در گروه تمرین نسبت به گروه کنترل افزایش معنی‌داری یافت (P<۰/۰۵).

نتیجه‌گیری: یک دوره HIIT همراه با بهبود ویژگی‌های آنتروپومتری می‌تواند بر مقادیر سرمی پاراتورمون، آلکالین فسفاتاز و مواد معدنی استخوان در زنان یائسه تأثیر مثبتی داشته باشد.

واژه های کلیدی: آلکالین فسفاتاز، پاراتورمون، تمرین تناوبی شدید، زنان یائسه، فسفر، کلسیم

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

مقدمه

یائسگی، رخداد مهمی در دوران زندگی زنان به شمار می‌آید که با تغییرات هورمونی، زیستی و بالینی همراه است. کاهش استروژن پس از یائسگی به کاهش سریع توده استخوانی و پوکی استخوان می‌انجامد (۱). نیمی از زنان در سنین یائسگی دچار کاهش توده استخوانی می‌شوند، به طوری که این پدیده در زنان تقریباً سه برابر بیشتر است تا مردان و با تغییرات هورمون جنسی استروژن در زنان توجیه‌پذیر است (۲،۳). پوکی استخوان از شایع‌ترین بیماری‌های متابولیکی استخوان در دوران میانسالی و سالمندی شناخته شده است و معضل بزرگ جهانی است که شیوع آن در حال افزایش است (۲) و میلیون‌ها زن را گرفتار کرده است (۳). پوکی استخوان ناشی از یائسگی اهمیتی دوچندان دارد، زیرا زنان امروزه یک سوم از عمر خود را در شرایط کاهش توده استخوانی و افزایش خطر شکستگی ناشی از پوکی استخوان سپری می‌کنند و میزان کاهش تراکم استخوان در چند سال اول یائسگی بسیار بالا است. استروژن سبب افزایش جذب کلسیم از روده، افزایش ۱ و ۲۵ دی هیدروکسی ویتامین D، افزایش حفظ کلسیم کلیوی و نیز حفظ بقای استئوبلاست‌ها می‌شود (۲،۳). استخوان بافت متابولیکی فعالی است که با دو فرآیند تشکیل و بازجذب استخوان، پیوسته بازسازی می‌شود. از بین رفتن تعادل بین این دو فرآیند به طوری که میزان بازجذب بیشتر از تشکیل استخوان جدید باشد باعث کاهش تراکم استخوان می‌شود (۲). بنابراین، بازسازی استخوان با فعال شدن استئوبلاست‌ها و استئوکلاست‌ها تنظیم می‌شود و با استفاده از نشانگرهای بیوشیمیایی متابولیسم استخوان قابل ارزیابی است که اندازه‌گیری آن‌ها نقش مهمی در ارزیابی و کنترل پوکی استخوان دارد (۴،۵). هورمون پاراتیروئید[1] (پاراتورمون[2])، آلکالین فسفاتاز[3]، میزان فسفر و کلسیم از جمله نشانگرهای متابولیسم استخوان هستند که افزایش یا کاهش آن‌ها تأثیر زیادی بر تراکم استخوانی دارد و هر نوع اختلال در متابولیسم استخوان و مواد معدنی موجود در آن ممکن است به پوکی استخوان و دیگر ضایعات استخوانی غیر قابل جبران منجر شود. همچنین، عوامل گوناگونی در تغییر نشانگرهای متابولیسم استخوان مؤثرند که از آن جمله می‌توان به عوامل داخلی همچون جنسیت، هورمون‌ها و عوامل خارجی مانند سبک زندگی اشاره کرد (۶،۷). پاراتورمون هورمونی پلی‌پپتیدی متشکل از ۸۲ اسید آمینه است که از غده پاراتیروئید ترشح می‌شود (۳). این هورمون اعمال مختلفی انجام می‌دهد و یکی از عوامل مهم در تنظیم متابولیسم استخوان و مهم‌ترین عامل هومئوستاز کلسیم در بدن است (۲،۳). آلکالین فسفاتاز ویژه استخوان، ایزو آنزیمی است که فعالیت سلول‌های استئوبلاست و تشکیل استخوان را نشان می‌دهد. در استخوان، استئوبلاست‌ها منبع زیادی از آلکالین فسفاتاز هستند و میزان آن در سلول، نشان‌دهنده توانایی استخوان‌سازی استئوبلاست‌ها است. این آنزیم به داخل مایع خارج سلولی ریخته می‌شود و افزایش میزان گردش خون آن با میزان استخوان‌سازی ارتباط مستقیمی دارد (۸). از میان نشانگرهای متابولیسم استخوان، آلکالین فسفاتاز آنزیمی ضروری به شمار می‌رود. آلکالین فسفاتاز ممکن است عامل ایجادکننده فرآیند استخوان‌سازی تلقی شود که موجب شکسته شدن فسفات غیر آلی از فسفات‌های آلی می‌شود و تولید کلسیم- فسفات را زیاد می‌کند. همچنین، آلکالین فسفاتاز عامل تنظیم‌کننده تکثیر سلولی و انتقال فسفات است (۶،۷). دو نشانگر دیگر متابولیسم استخوان، مواد معدنی کلسیم و فسفر هستند که نقش متابولیکی و ساختاری بسیار مهمی در رشد استخوان دارند و به عنوان شاخص‌های اولیه نشان‌دهنده خطر شکستگی بر اثر پوکی استخوان محسوب می‌شوند (۴). از طرفی، فعالیت ورزشی مداخله غیر دارویی امیدبخشی برای پیشگیری از پوکی استخوان در زنان یائسه است (۹) که با افزایش تراکم مواد معدنی استخوان (BMD[4]) (به خصوص کلسیم و فسفر) باعث حفظ و افزایش توده استخوانی می‌شود. این موضوع به واسطه ترشح هورمون استروژن و با کاهش پاراتورمون تسهیل می‌شود (۴). فشار بدنی مداوم با تحریک استئوبلاست‌ها، باعث رسوب و کلسیفیکاسیون استخوان می‌شود. تحریک مطلوب برای

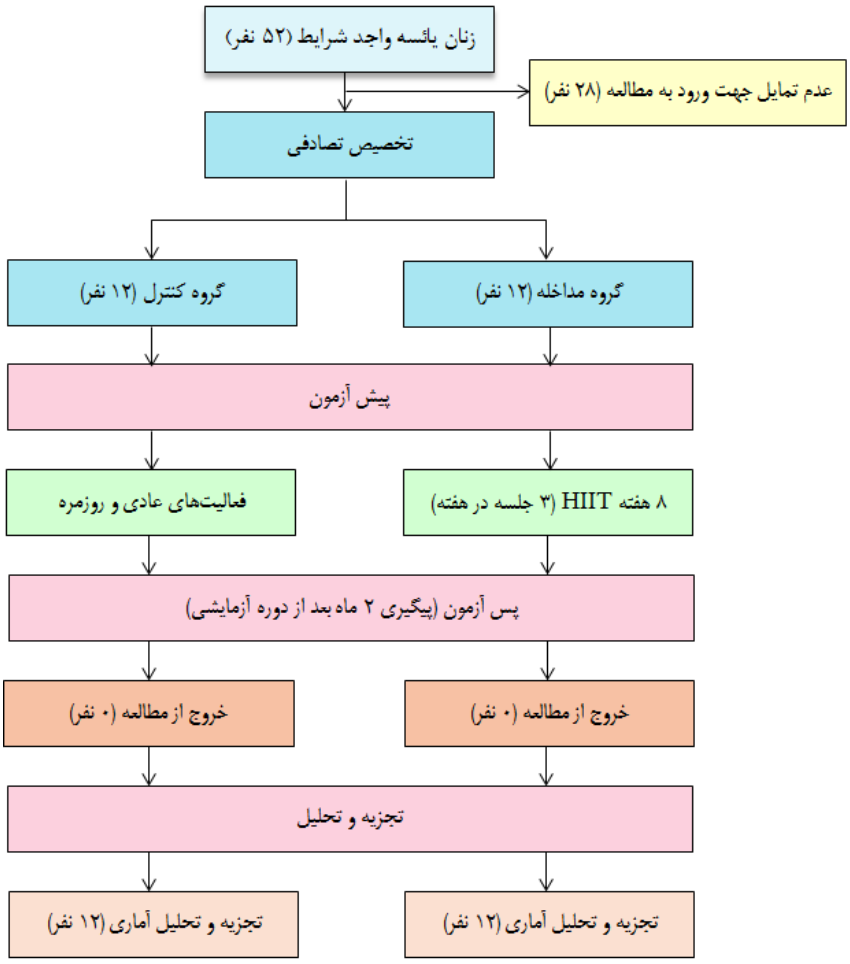
[1] Parathyroid
[2] Parathormone
[3] Alkaline Phosphatase
[4] Bone Mineral Density

توسعه استخوان‌های بدن با تمرینات تحمل‌کننده وزن به دست می‌آید که این تمرینات اثر استخوان‌زایی دارند (۱۲-۱۰). آثار آنابولیکی فعالیت ورزشی بر بافت‌های استخوانی با میزان فشار مکانیکی اعمال شده مرتبط است (۱۲)، به طوری که ورزش درمانی راه‌کار مدیریتی مهمی برای حفظ BMD است (۱،۱۳). تأثیر انواع مداخله‌های ورزشی از جمله تمرین هوازی، ایروبیک استپ گروهی (GBSA[1])، ویبریشن کل بدن (WBV[2]) و پر فشار بر BMD و نشانگرهای متابولیسم استخوان در زنان یائسه (۱،۱۴،۱۵) و نیز تأثیر فعالیت‌های ورزشی شدید مانند تمرین مقاومتی شدید و پر فشار (۹،۱۳،۱۶)، و تمرین تناوبی شدید (HIIT[3]) بر سلامت استخوان در دوران یائسگی بررسی شده است (۱۷). HIIT به روشی از تمرین تناوبی اشاره دارد که در آن تمرینات با شدت بسیار بالا با دوره‌های کوتاه ریکاوری در یک جلسه تمرینی آمیخته می‌شود. در چند سال اخیر، مطالعات نشان می‌دهند که HIIT از نظر زمان صرف شده برای بهبود عملکرد بدنی در میان بزرگسالان جوان و مسن مقرون به صرفه است (۱۷). HIIT صرف‌نظر از اینکه چگونه انجام شود، روش تمرینی ایمن و پروتکل تمرینی جایگزین تمرینات سنتی با زمان کارآمد است که می‌تواند سلامت و کیفیت زندگی زنان یائسه را بهبود بخشد و تبعیت و رضایت یکسان یا بالاتر از سایر انواع فعالیت ورزشی (مقاومتی و تداومی) را به دنبال داشته باشد (۱۷،۱۸). برخی مطالعات گذشته تأثیر فعالیت ورزشی را بر نشانگرهای متابولیسم استخوان در دوران یائسگی (۱،۶،۱۴،۱۵) و تأثیر HIIT را بر BMD در دوران یائسگی (۱۹،۲۰) مورد بررسی قرار داده‌اند، ولی تاکنون تنها یک مطالعه در زمینه تأثیر HIIT بر نشانگرهای متابولیسم استخوان در زنان یائسه انجام شده است (۲۱). با توجه به آثار ضد پوکی استخوان فعالیت ورزشی، آثار قوی آن بر نشانگرهای متابولیسم استخوان به عنوان مداخله غیر دارویی امیدبخش و نیز اهمیت پیشگیری از پوکی استخوان (۱۳)، به دلیل شیوع فزاینده پوکی استخوان، شکستگی‌ها و به تبع آن هزینه‌های درمانی و بار هنگفت اقتصادی (۱۶) و نیز به دلیل کمبود شواهد علمی در زمینه HIIT و نشانگرهای متابولیسم استخوان در زنان یائسه و نیز جهت ارائه تمرینات مطلوب با شدت و مدت مناسب به عنوان یکی از مناسب‌ترین و کم خطرترین رویکردهای درمانی برای حداکثر سلامت استخوان در دوران یائسگی، پژوهش حاضر درصدد تعیین تأثیر یک دوره HIIT بر مقادیر سرمی پاراتورمون، آلکالین فسفاتاز و مواد معدنی استخوان در زنان یائسه است.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر از خرداد تا مرداد ماه سال ۱۴۰۳ در باشگاه ورزشی الماس در شهر قزوین انجام شد. پژوهش حاضر از نظر هدف از جمله پژوهش‌های توسعه‌ای و از نظر ماهیت و شیوه گردآوری داده‌ها، از نوع پژوهش‌های نیمه تجربی است که به صورت پیش آزمون و پس آزمون انجام شد. در پژوهش حاضر، ۲۴ زن یائسه غیر فعال شهر قزوین به صورت داوطلب به عنوان نمونه آماری انتخاب شدند. معیارهای ورود به مطالعه عبارت بودند از: زنان یائسه با محدوده سنی ۵۰ تا ۶۰ سال که حداقل یک سال و یا کمتر از ۵ سال از دوره یائسگی آن‌ها سپری شده است؛ عدم سابقه شکستگی استخوان یا بیماری‌های متداول مؤثر بر متابولیسم استخوان و نیز هر گونه مشکل بالینی در دستگاه اسکلتی و دستگاه قلبی- عروقی؛ عدم سابقه فعالیت ورزشی منظم، افزایش وزن، کاهش وزن، سیگار کشیدن و مصرف داروها حداقل ۶ ماه قبل از شروع مطالعه و معیارهای خروج از مطالعه عبارت بودند از: شناسایی و تشخیص بیماری‌های مزمن مؤثر بر متابولیسم استخوان و نیز هر گونه بیماری پزشکی در طول دوره تمرینی؛ توقف پروتکل فعالیت ورزشی منظم در طول دوره تمرینی؛ رژیم غذایی، افزایش وزن، کاهش وزن و هر گونه درمان دارویی در طول دوره تمرینی (۱). پس از تکمیل پرسش‌نامه تندرستی و اخذ برگه رضایت‌نامه کتبی و امضای آن، آزمودنی‌ها به طور تصادفی ساده (دادن شماره به آزمودنی‌ها و انتخاب نفرات با قرعه‌کشی) به دو گروه کنترل (۱۲ نفر) و تمرین (۱۲ نفر) تقسیم شدند (شکل ۱).

[1] Group-Based Step Aerobics
[2] Whole-Body Vibration
[3] High Intensity Interval Training



شکل ۱. نمودار کانسورت

پروتکل HIIT

HIIT به مدت ۸ هفته به صورت ۳ جلسه در هفته انجام شد. هر جلسه تمرینی ۲۰ دقیقه به طول می‌انجامید شامل ۵ دقیقه گرم کردن با سرعت انتخابی، ٤ تا ٦ ست تلاش‌های ۱ دقیقه‌ای با شدت ۹۰ تا ۹۵ درصد ضربان قلب اوج (HR_{peak}) همراه با ۱ دقیقه ریکاوری غیر فعال، و ۳ دقیقه سرد کردن (۲۲). ضربان قلب آزمودنی‌ها با ضربان سنج پلار کنترل شد. همچنین، گروه کنترل در این مدت ۸ هفته، برنامه ورزشی منظمی نداشت و تنها فعالیت‌های عادی و روزمره خود را انجام می‌داد.

خون‌گیری و اندازه‌گیری فاکتورهای بیوشیمیایی و هورمونی

آزمودنی‌ها رأس ساعت ۸ صبح در شرایط ۱۲ ساعت ناشتایی در آزمایشگاه پاتوبیولوژی فرزام در شهر قزوین حاضر شدند. در مرحله پیش آزمون و پس آزمون، ویژگی‌های آنتروپومتری آزمودنی‌ها شامل قد، وزن، SMM، BFM، BF%، BMI و WHR اندازه‌گیری شد. بعد از اندازه‌گیری‌های اولیه، دوره آزمایشی ۸ هفته شروع شد، به طوری که گروه تمرین در این ۸ هفته، پروتکل HIIT را انجام می‌داد و گروه کنترل فعالیت ورزشی منظمی نداشت. خون‌گیری از آزمودنی‌ها در دو مرحله توسط تکنسین آزمایشگاه کلینیک به عمل آمد: ٢٤ ساعت قبل از دوره آزمایشی و ٤٨ بعد از آخرین جلسه تمرینی. در هر بار خون‌گیری، ۵ سی سی خون از سیاهرگ بازویی گرفته و نمونه‌های خونی به لوله‌های فاقد EDTA منتقل شد. سپس جهت جداسازی سرم، نمونه‌های خونی سانتریفیوژ شد (۱۰ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه و با دمای ٤ درجه سانتی‌گراد) و تا زمان اندازه‌گیری

فاکتورهای خونی مورد نظر در دمای ۲۰- درجه نگهداری شد. اندازه‌گیری نمونه‌های خونی در آزمایشگاه پاتوبیولوژی فرزام در شهر قزوین انجام شد. آلکالین فسفاتاز سرم با استفاده از کیت الایزا آلکالین فسفاتاز انسانی ساخت شرکت بایرکس کشور ایران به روش الایزا ساندویچ[1] اندازه‌گیری شد. پاراتورمون سرم به روش الکتروکمی لومینسانس (ECLIA[2]) اندازه‌گیری شد. کلسیم و فسفر سرم به روش رنگ‌سنجی اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل آماری

داده‌ها با روش‌های آماری توصیفی (میانگین ± انحراف معیار) و استنباطی تجزیه و تحلیل و در قالب جداول و نمودارهای مربوطه ارائه شد. برای آزمون فرضیه‌ها از آزمون‌های پارامتریک استفاده شد. جهت بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها از آزمون شاپیرو- ویلک[3] استفاده شد. برای مقایسه میانگین دو گروه (کنترل و تمرین) در پیش آزمون از آزمون تی مستقل[4] و برای مقایسه میانگین دو گروه در دو زمان (پیش آزمون و پس آزمون) از آزمون تحلیل واریانس دوطرفه با اندازه‌گیری مکرر[5] در یک طرح ۲×۲ (دو گروه در دو زمان) استفاده شد. سطح معنی‌داری برای تمام تحلیل‌های آماری P<۰/۰۵ در نظر گرفته شد. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲٤ تجزیه و تحلیل، حجم نمونه با استفاده از نرم‌افزار G*Power نسخه ۳ با در نظر گرفتن اندازه اثر ۰/۳، ضریب اطمینان ۹۵ درصد و توان آزمون ۸۰ درصد تعیین و شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel ترسیم شد.

نتایج

میانگین و انحراف معیار ویژگی‌های فردی و آنتروپومتری آزمودنی‌های دو گروه در دو زمان در جدول ۱ و متغیرهای بیوشیمیایی و هورمونی اندازه‌گیری شده دو گروه در دو زمان در شکل ۲ تا ۵ ارائه شده است.

نتایج حاصل از آزمون تی مستقل نشان داد بین وزن (P=۰/٤٤۳ ،t=۰/۷۸۵)، SMM (P=۰/۲۵۳ ،t=۱/۲۰۲)، BFM (P=۰/۱۹۳ ،t=۱/۳۵۳)، BF% (P=۰/۷۰۰ ،t=۰/۳۹۲)، BMI (P=۰/۱٤۲ ،t=۲/۵۸۹)، WHR (P=۰/۵٤۶ ،t=-۰/۶۱۵)، مقادیر سرمی پاراتورمون (P=۰/۱۳۷ ،t=-۱/۵۵۵)، آلکالین فسفاتاز (P=۰/۸۵۳ ،t=۰/۱۸۸)، کلسیم (P=۰/۰۹۳ ،t=۱/۷۷٤) و فسفر (P=۰/۲۹۵ ،t=-۱/۰۸۲) دو گروه در پیش آزمون تفاوت معنی‌داری وجود ندارد.

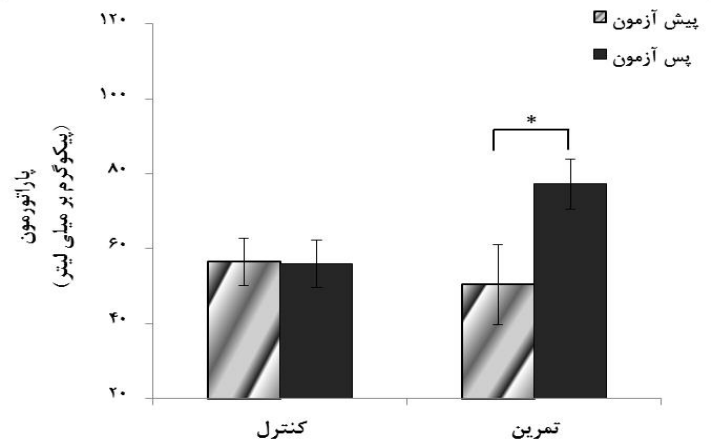
نتایج حاصل از آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر و تعامل (اثر متقابل) گروه و زمان نشان داد بین وزن (P=۰/۱۵۰ ،F=۲/٤۷۸) و BMI (P=۰/۱٤۲ ،F=۲/۵۸۹) دو گروه در دو زمان تفاوت معنی‌داری وجود ندارد؛ اما بین SMM (P=۰/۰۰۰۱ ،F=۳٤/۰۹۵)، BFM (P=۰/۰۰۰۱ ،F=۱۰۷/۳۹۰)، BF% (P=۰/۰۰۱ ،F=۲۲/۸۵۶) و WHR (P=۰/۰۰۰۱ ،F=٤۱/۶۰٤) تفاوت معنی‌داری وجود دارد، به طوری که SMM در گروه تمرین نسبت به گروه کنترل افزایش معنی‌داری و BFM، BF% و WHR کاهش معنی‌داری یافت. از طرفی، بین مقادیر سرمی پاراتورمون (P=۰/۰۰۰۱ ،F=۲۲۰/۱۸۶)، آلکالین فسفاتاز (P=۰/۰۰۰۱ ،F=۱۳۷/۸۶۳)، کلسیم (P=۰/۰۰۱ ،F=۲۲/۸۵۶) و فسفر (P=۰/۰۰۰۱ ،F=٤۲/۰۶۹) دو گروه در دو زمان تفاوت معنی‌داری وجود داشت، به طوری که مقادیر سرمی پاراتورمون، آلکالین فسفاتاز، کلسیم و فسفر در گروه تمرین نسبت به گروه کنترل افزایش معنی‌داری یافت.

[1] Sandwich ELISA
[2] Electrochemiluminescence
[3] Shapiro-Wilk
[4] Independent Sample T-Test
[5] Two-Way Repeated Measures ANOVA

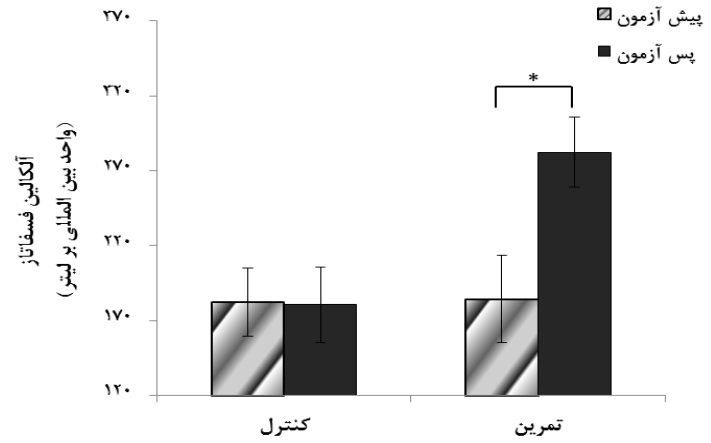
جدول ۱. ویژگی‌های فردی و آنتروپومتری آزمودنی‌های دو گروه (کنترل و تمرین) در دو زمان (پیش آزمون و پس آزمون)

متغیر	گروه	کنترل		تمرین	
		پیش آزمون	پس آزمون	پیش آزمون	پس آزمون
سن (سال)		۵۷/۹ ± ۱/۷۲	-	۵۸/۳ ± ۱/۲۶	-
قد (سانتی‌متر)		۱۵۸/۳ ± ۵/۵۹	-	۱۶۰/۶۵ ± ۶/۷۷	-
وزن (کیلوگرم)		۷۰/۸ ± ۶/۴۷	۶۹/۹۲ ± ۶/۱۴	۷۳/۵ ± ۸/۷۳	۷۲/۰۷ ± ۸/۲۹
SMM (کیلوگرم)		۴۰/۵۷ ± ۲/۳۵	۴۰/۶۱ ± ۲/۴۱	۴۲/۹۳ ± ۵/۷۴	۴۴/۵۳ ± ۶/۰۱
BFM (کیلوگرم)		۲۴/۵ ± ۳/۳۷	۲۴/۶۴ ± ۳/۳۵	۲۷/۴۹ ± ۶/۱۲	۲۵/۸۱ ± ۵/۹۴
BF%		۳۶/۴۴ ± ۲/۹	۳۷/۳۲ ± ۳/۱۷	۳۷/۲۴ ± ۵/۱۲	۳۴/۹۸ ± ۵/۷۶
BMI (کیلوگرم بر مترمربع)		۲۸/۲۷ ± ۲/۳۸	۲۷/۹۲ ± ۲/۳۳	۲۸/۴۹ ± ۳/۱	۲۷/۹۴ ± ۳/۰۳
WHR		۰/۵۵ ± ۰/۰۳	۰/۵۷ ± ۰/۰۲	۰/۵۴ ± ۰/۰۳	۰/۵۳ ± ۰/۰۳

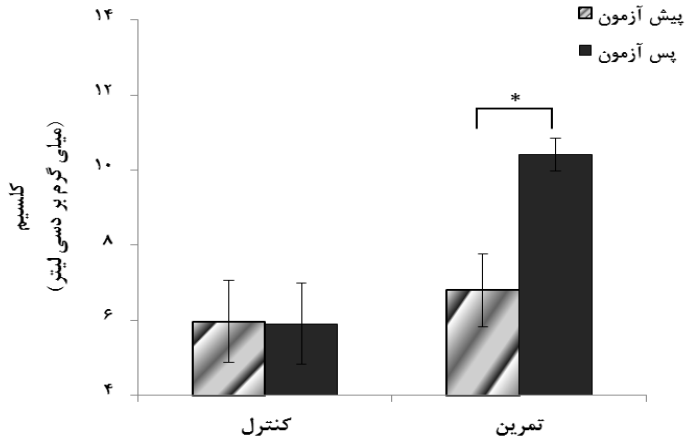
مقادیر به صورت میانگین و انحراف معیار بیان شده است (۱۲ نفر در هر گروه). SMM: توده عضله اسکلتی، BFM: توده چربی بدن، BF%: درصد چربی بدن، BMI: شاخص توده بدنی، WHR: نسبت دور کمر به لگن



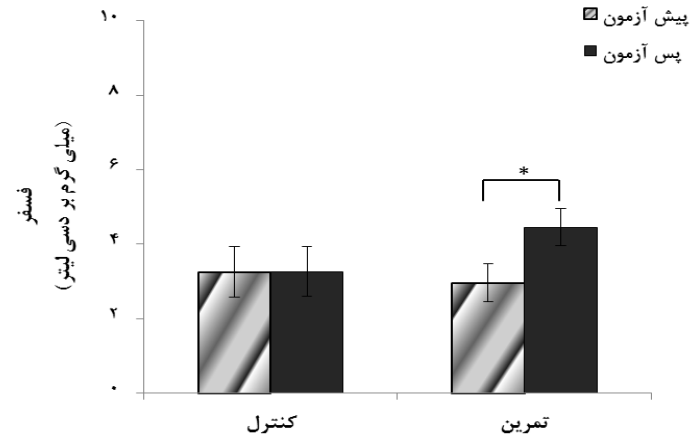
شکل ۲. مقادیر سرمی پاراتورمون دو گروه (کنترل و تمرین) در دو زمان (پیش آزمون و پس آزمون).
مقادیر به صورت میانگین و انحراف معیار بیان شده است (۱۲ نفر در هر گروه).
*: تفاوت معنی‌داری نسبت به گروه کنترل با P<۰/۰۰۱



شکل ۳. مقادیر سرمی آلکالین فسفاتاز دو گروه (کنترل و تمرین) در دو زمان (پیش آزمون و پس آزمون).
مقادیر به صورت میانگین و انحراف معیار بیان شده است (۱۲ نفر در هر گروه).
*: تفاوت معنی‌داری نسبت به گروه کنترل با P<۰/۰۰۱



شکل ٤. مقادیر سرمی کلسیم دو گروه (کنترل و تمرین) در دو زمان (پیش آزمون و پس آزمون).
مقادیر به صورت میانگین و انحراف معیار بیان شده است (۱۲ نفر در هر گروه).
*: تفاوت معنی‌داری نسبت به گروه کنترل با P<۰/۰۰۱



شکل ۵. مقادیر سرمی فسفر دو گروه (کنترل و تمرین) در دو زمان (پیش آزمون و پس آزمون).
مقادیر به صورت میانگین و انحراف معیار بیان شده است (۱۲ نفر در هر گروه).
*: تفاوت معنی‌داری نسبت به گروه کنترل با P<۰/۰۰۱

بحث

یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که بین وزن و BMI دو گروه در دو زمان تفاوت معنی‌داری وجود نداشت؛ اما بین SMM، BFM، BF% و WHR تفاوت معنی‌داری وجود داشت، به طوری که SMM در گروه تمرین نسبت به گروه کنترل افزایش معنی‌داری و BFM، BF% و WHR کاهش معنی‌داری یافت؛ نشانگر این که یک دوره HIIT می‌تواند بر ویژگی‌های آنتروپومتری در زنان یائسه تأثیر مثبتی داشته باشد. در مطالعات گذشته، ملندیش و همکارانش (۲۰۲۱)، کاهش معنی‌داری در چربی بدن را در زنان یائسه دارای اضافه وزن پس از ۱۲ هفته مداخله فعالیت هوازی با شدت متوسط (۱)؛ و هتچن و همکارانش (۲۰۲۱)، بهبود معنی‌داری در LBM، BFM و چربی شکمی را در زنان یائسه مبتلا به استئوپنی یا پوکی استخوان پس از ۱۸ ماه (تمرین مقاومتی تحمل‌کننده وزن با فشار زیاد/شدید/سرعتی (۱۹) نشان دادند؛ و همسو با یافته مطالعه حاضر، دوپویت[1] و همکارانش (۲۰۲۱) در متاآنالیزی (۳۸ مطالعه شامل ۹۵۹ نفر) نشان دادند که HIIT به عنوان روشی محرک برای کاهش وزن بدن و بافت چربی، راه‌کار موفقی برای کاهش وزن، BFM و چربی شکمی در زنان با وزن طبیعی و دارای اضافه وزن/چاق است، به طوری که HIIT به صورت دوچرخه‌سواری به خصوص در زنان یائسه مؤثرتر از دویدن به نظر می‌رسد و مداخلات تمرینی طولانی‌تر از ۸

[1] Dupuit

هفته شامل ۳ جلسه کارآمدترند (۲۳). پس از یائسگی، زنان با افزایش چشمگیر BFM و توزیع مجدد بافت چربی مواجه می‌شوند که باعث افزایش رسوب چربی شکمی و در نهایت چربی احشایی می‌شود. این موضوع احتمالاً کاندیدی بالقوه برای کاهش سریع مقدار استروژن است. اولاً استروژن‌ها پیام‌های کاتابولیک و بی‌اشتهایی را در مغز فعال می‌کنند. ثانیاً، استروژن‌ها اکسیداسیون چربی را در عضلات اسکلتی افزایش می‌دهند و لیپوژنز کبدی و عضلانی را مهار می‌کنند. در نهایت، استرادیول (استروژن غالب) هنگام اتصال به گیرنده استروژن آلفا ($ER\alpha$) با افزایش تعداد گیرنده‌های ضد چربی آلفا-۲ آدرنرژیک، لیپولیز در سلول‌های چربی زیر جلدی را مهار، گیرنده‌های بتا آدرنرژیک در بافت احشایی را تحریک، روند لیپولیز را تقویت و بدین ترتیب توده چربی شکمی را در زنان یائسه کاهش می‌دهد. کمبود استروژن در زنان یائسه احتمالاً با کاهش توده بدون چربی (FFM) از جمله توده عضلانی، کاهش هزینه انرژی (میزان متابولیسم استراحتی (RMR)) و تنظیم فعالیت چربی قهوه‌ای، کاهش اکسیداسیون چربی و افزایش اکسیداسیون کربوهیدرات در طول فعالیت ورزشی طولانی‌مدت نقش اصلی را ایفا می‌کند. اگرچه یافته‌های متون علمی نشان می‌دهد که ترکیب رژیم غذایی و فعالیت بدنی بهترین راه برای افزایش طولانی‌مدت‌تر وزن و یا کاهش BFM است، اگر هزینه انرژی در نهایت منجر به تعادل انرژی منفی شود، فعالیت ورزشی به تنهایی می‌تواند ترکیب بدن را بهبود بخشد (۲۳). HIIT نیز اکنون به عنوان راه‌کاری قابل تحمل، ایمن و کارآمد برای کاهش وزن بدن، BFM، و به ویژه بافت چربی شکمی در هر جمعیتی شناخته شده است (۲٤). از آن‌جایی که کمبود استروژن باعث افزایش BFM و توده چربی احشایی می‌شود، HIIT می‌تواند روش جالب توجهی برای زنان، به ویژه پس از یائسگی باشد. البته این گمانه‌زنی وجود دارد که HIIT ممکن است اثربخشی کمتری در کاهش بافت چربی در زنان یائسه داشته باشد. مکانیسم‌های زیربنایی کاهش چشمگیر BFM و توده چربی شکمی ناشی از HIIT به طور کامل مشخص نشده است، اما می‌تواند تا حدی نتیجه افزایش تولید کاتکولامین‌ها باشد که منجر به لیپولیز قابل توجه در طول فعالیت ورزشی و به دنبال آن اکسیداسیون چربی بیشتر پس از فعالیت ورزشی می‌شود (۲٤). از آن‌جایی که کمبود کلی استروژن نسبت متابولیسم چربی در تأمین انرژی در طول فعالیت ورزشی را کاهش می‌دهد و اکسیداسیون چربی را در شرایط استراحتی محدود می‌کند (۲۳)، از نظر تئوری، زنان یائسه می‌توانند پس از چند هفته HIIT نسبت به زنان پیش از یائسگی بافت چربی کمتری را از دست دهند. از طرفی، یافته حاضر با یافته ربیعی و همکارانش (۲۰۲۳) مبنی بر عدم تغییر معنی‌داری در وزن، BMI، BFM، SMM و دور کمر در زنان یائسه چاق و دارای اضافه وزن و اما کاهش معنی‌داری در مقدار چربی احشایی پس از ۸ هفته HIIT ناهمسو است (۲۲)؛ که تغییرات/ جبران ناخواسته یا کنترل نشده در رژیم غذایی می‌تواند دلیل این ناهمسویی باشد.

یافته‌های دیگر پژوهش حاضر نشان داد که بین مقادیر سرمی پاراتورمون، آلکالین فسفاتاز، فسفر و کلسیم دو گروه در دو زمان تفاوت معنی‌داری وجود داشت، به طوری که این متغیرها در گروه تمرین نسبت به گروه کنترل افزایش معنی‌داری یافت؛ نشانگر این که یک دوره HIIT می‌تواند بر مقادیر سرمی پاراتورمون، آلکالین فسفاتاز و مواد معدنی استخوان در زنان یائسه تأثیر مثبتی داشته باشد. در زمینه تأثیر تمرینات ورزشی بر BMD و نشانگرهای متابولیسم استخوان در دوران یائسگی، ون و همکارانش (۲۰۱٦)، عدم تأثیر ۱۰ هفته GBSA با شدت بالا را بر BMD و نشانگرهای سرمی متابولیکی استخوان (تلوپپتید پایانه-C کلاژن نوع ۱ (CTX[1]) و استئوکلسین) در زنان یائسه با توده استخوانی کم (۱٤)؛ سن و همکارانش (۲۰۲۰)، تأثیر ٦ ماه WBV را بر افزایش BMD و کاهش استئوکلسین سرم در زنان یائسه و نیز تأثیر فعالیت‌های ورزشی با فشار زیاد بر افزایش استئوکلسین سرم (۱۵)؛ ملندیش و همکارانش (۲۰۲۱)، تأثیر ۱۲ هفته مداخله فعالیت هوازی با شدت متوسط را بر تراکم استخوان، افزایش بیان mRNA آلکالین فسفاتاز لنفوسیتی و نشانگرهای بازسازی استخوان (مقادیر سرمی پاراتورمون، آلکالین فسفاتاز و ویتامین D) در زنان یائسه دارای اضافه وزن (۱)؛ و ترتیبیان و همکارانش (۱٤۰۱)،

[1] C-Terminal Telopeptide of Type 1 Collagen

ارتباط مقادیر سرمی آلکالین فسفاتاز، کلسیم و فسفر با BMD کمر را در زنان یائسه فعال، بیانگر آثار احتمالاً مفید فعال بودن بر متابولیسم استخوان و بهبود BMD در زنان یائسه (٦) گزارش کردند. این در حالی است که مطالعات کمی در زمینه تأثیر HIIT بر BMD (۱۹، ۲۰) و تنها یک مطالعه درباره تأثیر HIIT بر نشانگرهای متابولیسم استخوان در زنان یائسه انجام شده است (۲۱). به دلیل کاهش مقدار هورمون‌های جنسی مانند استروژن و پروژسترون در ۵ سال اول یائسگی، زنان یائسه چهار برابر بیشتر در معرض ابتلا به بیماری‌های ناشی از سالمندی مانند استئوپنی و پوکی استخوان قرار دارند و در نتیجه کاهش سریع BMD در یک تا ۵ سال اول بلافاصله پس از آن رخ می‌دهد (۱). بدیهی است آثار محرک‌های با شدت بالاتر بر استخوان‌زایی بیشتر است و زمانی که نیروهای وارده بر استخوان افزایش می‌یابد، استخوان قوی‌تر می‌شود (۱۵). به نظر می‌رسد افزایش بیان ژن آلکالین فسفاتاز در سلول‌های استئوبلاست پس از چند هفته تمرین ورزشی در زنان یائسه، فشار مکانیکی به پیام-رسانی سلولی بیوشیمیایی استئوبلاست‌ها وارد می‌کند، بنابراین، بر اساس فرضیه فشار مکانیکی، احتمالاً فسفات کلسیم/هیدروکسی آپاتیت را افزایش می‌دهد و یا مقادیر طبیعی BMD را در سه ناحیه در زنان یائسه حفظ می‌کند. از آن‌جایی که سلول‌های استئوبلاست را می‌توان به عنوان منبع اصلی آلکالین فسفاتاز در نظر گرفت، افزایش بیان ژن و مقادیر سرمی آلکالین فسفاتاز نشانه‌ای از تحریک در سلول‌های استئوبلاست است و در نتیجه، پیام‌رسانی سلولی با افزایش BMD افزایش خواهد یافت. گزارش شده است که تغییرات ناشی از ژن آلکالین فسفاتاز تعیین‌کننده‌های مهم کاهش استخوان مرتبط با افزایش سن هستند و مسیر متابولیسم فسفات به عنوان هدفی جدید در پیشگیری از پوکی استخوان در نظر گرفته می‌شود. همچنین، از آن‌جایی که پیام‌رسانی Akt در تمام مراحل تمایز استئوبلاست‌ها مورد نیاز و برای استخوان‌سازی و معدنی‌سازی ضروری است، ممکن است فعال‌سازی مسیر پیام‌رسانی Akt برای تمایز استئوبلاست‌های ناشی از آلکالین فسفاتاز و فرآیند معدنی‌سازی در زنان یائسه مورد نیاز باشد. از سویی دیگر، افزایش مقادیر سرمی آلکالین فسفاتاز در گروه تمرین ورزشی می‌تواند به دلیل نقش آلکالین فسفاتاز سرم به عنوان نشانگر فعالیت استخوان‌زایی در تشکیل بافت سخت و متابولیسم استخوان، مربوط به فرآیند معدنی شدن استخوان باشد (۱). علاوه بر این، کنترل دیگری از بیان ژن آلکالین فسفاتاز از طریق عملکرد پاراتورمون (۱)، مواد معدنی مانند کلسیم و فسفر (٦)، و تعامل با دستگاه‌های تنظیمی مهم (۱) اعمال می‌شود. علاوه بر این، در مطالعه حاضر مقادیر سرمی پاراتورمون در گروه تمرین ورزشی افزایش یافت. از آن‌جایی که سلول‌های استئوبلاست گیرنده‌های پاراتورمون دارند، این احتمال وجود دارد که افزایش بیان ژن آلکالین فسفاتاز باعث تحریک گیرنده‌های پاراتورمون و نیز افزایش مقادیر پاراتورمون در گردش خون می‌شود که احتمالاً علت آن فعال شدن گیرنده‌های پاراتورمون است که شاید به دلیل سطح استئوبلاست‌ها و استئوسیت‌ها است. همچنین، افزایش پاراتورمون سرم با افزایش استخوان‌سازی و یا طول عمر و تعداد استئوبلاست‌ها با پیشگیری از آپوپتوز استئوبلاست ارتباط دارد. مطالعات اخیر نقش احتمالی مسیر پیام‌رسانی Wnt را بر روی اَعمال پاراتورمون در متابولیسم استخوان نشان داده‌اند. با این حال، با توجه به یافته‌های مطالعات گذشته، آثار دوگانه پاراتورمون بر افزایش و یا کاهش تشکیل استخوان نامشخص است و افزایش یا کاهش این هورمون با فعالیت ورزشی به عوامل متعددی مانند شدت، مدت و میزان فعالیت ورزشی بستگی دارد. آلکالین فسفاتاز نشانگری مهم در بازسازی استخوان برای تعیین تغییرات مرتبط با سن است، و افزایش آلکالین فسفاتاز و پاراتورمون با افزایش طول عمر و تعداد استئوبلاست‌ها باعث افزایش بازسازی استخوان یا BMD می‌شود (۱). علاوه بر این، تغییرات کلسیم و فسفر به عوامل هورمونی تنظیم‌کننده مقادیر کلسیم مربوط است. پاراتورمون از عوامل مهم در تنظیم متابولیسم استخوان است. مهم‌ترین عمل فیزیولوژیایی این هورمون، حفظ هومئوستاز یون کلسیم/فسفات غیر آلی از طریق گیرنده مرتبط با پروتئین در کلیه، استخوان و روده است. این هورمون با فعال کردن استئوکلاست‌ها و بازجذب کلسیم از استخوان و تحریک جذب کلسیم از روده باعث افزایش مقادیر کلسیم در خون می‌شود. این هورمون بازجذب کلسیم کلیوی را با افزایش

تولید ۲۵ هیدروکسی ویتامین D در کلیه افزایش می‌دهد. همچنین، افزایش یون فسفات سبب افزایش مقادیر پاراتورمون می‌شود. پاراتورمون با افزایش دفع فسفات از کلیه باعث کاهش فسفات در خون می‌شود. بنابراین، افزایش پاراتورمون در تضاد با افزایش مقدار فسفات می‌باشد (٦). فعالیت ورزشی باعث جذب بهتر کلسیم از دستگاه گوارشی شده و از این رو برداشت کلسیم از استخوان را کاهش می‌دهد. از طرفی، وجود مقادیر کافی کلسیم باعث کاهش تولید پاراتورمون شده و این امر بر تغییرات مثبت توده استخوانی اثرگذار است (۲۵). به طور کلی، فعالیت ورزشی طولانی‌مدت و منظم که حداقل شدت لازم برای تحریک استخوان را داشته باشد، سبب کاهش دفع ادراری و افزایش جذب کلسیم از روده می‌شود و به افزایش مقادیر سرمی کلسیم می‌انجامد. بنابراین، تغییرات این هورمون در روند کاهش BMD نقش خود را با تغییر متابولیسم کلسیم ایفا می‌کند، به طوری که افزایش پاراتورمون ناشی از فعالیت ورزشی می‌تواند افزایش احتمال کاهش BMD با فعالیت ورزشی را نشان دهد (۲،۳). همچنین، انتقال کلسیم مایع خارج سلولی به درون استئویدهای غیر معدنی با افزایش مقادیر آلکالین فسفاتاز افزایش می‌یابد و سلول‌های استخوانی جدید ساخته می‌شوند. بنابراین، در طول فعالیت ورزشی، نیروهایی وارده به استخوان پیام‌های مکانیکی تولید می‌کنند که توسط استئوسیت‌ها شناسایی می‌شوند، و آبشاری از پاسخ‌های بیوشیمیایی را ایجاد می‌کنند که به افزایش بازسازی استخوان و رسوب خالص مواد معدنی استخوان منجر می‌شود (٢٦). از طرفی، استئوکلاست‌ها نقش مهمی در بیماری‌های ناشی از سالمندی از جمله تحلیل استخوان دارند، به طوری که پوکی استخوان با عدم تعادل کاهش استئوبلاست‌ها و افزایش استئوکلاست‌ها ایجاد می‌شود. به طور خاص، تمرین دوی تناوبی نسبت به دوی تداومی بر افزایش مقادیر سرمی نشانگرهای تشکیل استخوان مانند استئوکلسین و آلکالین فسفاتاز مؤثرتر است، و نیز بیان مولکول‌های استخوان‌ساز مانند سیرتوئین‌ها (SIRT1 و SIRT6) و پروتئین‌های مورفوژنتیک استخوان (BMP2 و BMP7) را از طریق مهار ژن‌های ویژه استئوکلاست افزایش می‌دهد. همچنین، تحریک محور پیام‌رسانی BMP-Smad1/5/8-Runx2 تمایز استخوان‌زایی و بازسازی استخوان را در بیماری‌های مرتبط با سن افزایش می‌دهد. بنابراین، تکرارهای کم شدت و شدید در یک دوره تمرینی مانند تمرین دوی تناوبی ممکن است به عنوان مداخله‌ای عملی برای جلوگیری از تحلیل استخوان در سالمندان توصیه شود (۲۱).

نتیجه‌گیری

بر اساس یافته‌های حاصل از پژوهش حاضر به نظر می‌رسد که یک دوره HIIT همراه با بهبود ویژگی‌های آنتروپومتری می‌تواند بر مقادیر سرمی پاراتورمون، آلکالین فسفاتاز و مواد معدنی استخوان در زنان یائسه تأثیر مثبتی داشته باشد. بنابراین، HIIT چه بسا روش تمرینی ایمن، مقرون به صرفه و جایگزین تمرینات سنتی باشد که بتواند با بهبود نشانگرهای متابولیسم استخوان (تنظیم متابولیسم کلسیم و فسفات) و بازسازی استخوان، سلامت و کیفیت زندگی زنان یائسه را بهبود بخشد، ولی به دلیل کمبود شواهد علمی در این زمینه و نیز جهت ارائه مناسب‌ترین و کم‌خطرترین تمرینات ورزشی برای حداکثر سلامت استخوان در دوران یائسگی، نیاز به انجام پژوهش‌های تکمیلی در زمینه HIIT و سلامت استخوان احساس می‌شود.

تشکر و قدردانی

نتایج پژوهش حاضر برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد نویسنده دوم، زینب محمدی، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه الزهرا (س) در سال ۱۴۰۳ می‌باشد. از تمامی عزیزانی که در طول انجام این پروژه ما را یاری کردند، تشکر و قدردانی می‌شود.

ملاحظات اخلاقی

پژوهش حاضر در کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه الزهرا با کد IR.ALZAHRA.REC.1403.016 مصوب شده است.

تعارض و منافع

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

منابع

1. Malandish A, Sheikhlou Z, Tartibian B, Rahmati-Yamch M. The effect of 12 weeks of aerobic exercise intervention on bone mineral density, expression of lymphocyte alkaline phosphatase gene and bone turnover markers in overweight postmenopausal women: a randomized controlled trial. Journal of Exercise & Organ Cross Talk. 2021;1(2):6676.
2. Tolouei Azar J, Ghaffari GH, Tofighi1 A. Effect of 8 weeks of selected aquatic aerobic training on bone formation and density indices in overweight middleaged men. Medical Journal of Tabriz University of Medical Sciences. 2019;41(5):89-98. [In Persian]
3. Abbaszadeh sorati H., Farzaneg P. Detraining effects after sixteen weeks aerobic exercise on serum levels of Calcitonin and Parathyroid hormones in middle-aged women with osteopenia. Medical Journal of Mashhad University of Medical Sciences. 2018;61(3):997-1006. [In Persian]
4. Moazzami M, Jamali FS. The effect of 6-months aerobic exercises on bone-specific alkaline phosphatase and parathyroid hormone in obese inactive woman. Journal of Sport and Biomotor Sciences. 2013-2014;10(2):71-9. [In Persian]
5. Dehghan K, Jalali Dehkordi KH, Taghian F, Kargarfard M, Abedi B. The effect of 12 weeks of resistance circuit-based training on markers of bone mass metabolic and hormonal in elderly men. Sport Physiology. 2023;14(56):51-82. [In Persian]
6. Tartibian B, Fasihi L, Eslami R. Correlation between serum calcium, phosphorus, and alkaline phosphatase indices with lumbar bone mineral density in active and inactive postmenopausal women. Journal of Arak University of Medical Sciences. 2022;25(1):120-33. [In Persian]
7. Naghibi M. Response of ostosis metabolic markers to aerobic exercise with blood flow restriction and vitamin D supplement among middle aged females. Research in Sport Medicine and Technology. 2019;17(17):61-72. [In Persian]
8. Shariati M, Azarbayjani MA, Zilaei Bouri S, Kaka G. The effect of eight weeks of aerobic exercise and vitamin-d supplementation on osteocalcine and alkaline pphosphatase in rats poisoned with H2O2. Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Technology. 2019;14(2):1-10. [In Persian]
9. Mohebbi R, Shojaa M, Kohl M, von Stengel S, Jakob F, Kerschan-Schindl K, et al. Exercise training and bone mineral density in postmenopausal women: an updated systematic review and meta-analysis of intervention studies with emphasis on potential moderators. Osteoporosis International. 2023;34(7):1145-78.
10. Mohamed ME, Keshak WA, Hosny A, Elsisi HF. Parathormone and Serum Calcium Response to Moderate Intensity Treadmill Exercise in Elderly. Egyptian Journal of physical therapy. 2021;8(1):8-14.
11. Habibnezhad M, Askari B, Farajtabar Behrestaq S, Askari A. The effect of detraining following an endurance training program on bone metabolism markers in asthmatic men. Medical Laboratory Journal. 2023;17(4):13-6.
12. Smith C, Tacey A, Mesinovic J, Scott D, Lin X, Brennan-Speranza TC, Lewis JR, Duque G, Levinger I. The effects of acute exercise on bone turnover markers in middle-aged and older adults: A systematic review. Bone. 2021;143:115766.
13. Kitagawa T, Hiraya K, Denda T, Yamamoto S. A comparison of different exercise intensities for improving bone mineral density in postmenopausal women with osteoporosis: A systematic review and meta-analysis. Bone Reports. 2022;17:101631.
14. Wen HJ, Huang TH, Li TL, Chong PN, Ang BS. 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.
15. Sen EI, Esmaeilzadeh S, Eskiyurt N. Effects of whole-body vibration and high impact exercises on the bone metabolism and functional mobility in postmenopausal women. Journal of Bone and Mineral Metabolism. 2020;38(3):392-404.
16. Manaye S, Cheran K, Murthy C, Bornemann EA, Kamma HK, Alabbas M, et al. The Role of High-intensity and High-impact Exercises in Improving Bone Health in Postmenopausal Women: A Systematic Review. Cureus. 2023;15(2):e34644.
17. Buckinx F, Aubertin-Leheudre M. Menopause and high-intensity interval training: effects on body composition and physical performance. Menopause. 2019;26(11):1232-3.
18. Nunes PRP, Martins FM, Souza AP, Carneiro MAS, Nomelini RS, Michelin MA, et al. Comparative effects of high-intensity interval training with combined training on physical function markers in obese postmenopausal women: a randomized controlled trial. Menopause. 2019;26(11):1242-9.
19. Hettchen M, von Stengel S, Kohl M, Murphy MH, Shojaa M, Ghasemikaram M, et al. Changes in menopausal risk factors in early postmenopausal osteopenic women after 13 months of high-intensity exercise: the randomized controlled ACTLIFE-RCT. Clinical Interventions in Aging. 2021;16:83-96.
20. Aboarrage Junior AM, Teixeira CVS, Dos Santos RN, Machado AF, Evangelista AL, Rica RL, et al. A High-Intensity Jump-Based Aquatic Exercise Program Improves Bone Mineral Density and Functional Fitness in Postmenopausal Women. Rejuvenation Research. 2018;21(6):535-40.
21. Kim JS, Jeon J, An JJ, Yi HK. Interval running training improves age-related skeletal muscle wasting and bone loss: Experiments with ovariectomized rats. Experimental Physiology. 2019;104(5):691-703.
22. Rabiee MR, Daryanoosh F, Salesi M, Tahmasebi R, Koushkie Jahromi M. The effect of eight weeks of mediterranean diet and high-intensity interval training on body composition in obese and overweight premenopausal women. International Journal of Nutrition Sciences. 2023;8(2):117-24.
23. Dupuit M, Maillard F, Pereira B, Marquezi ML, Lancha AH Jr, Boisseau N. Effect of high intensity interval training on body composition in women before and after menopause: a meta-analysis. Experimental Physiology. 2020;105(9):1470-90.

24. Maillard F, Pereira, B, Boisseau N. Effect of high-intensity interval training on total, abdominal and visceral fat mass: A meta-analysis. Sports Medicine. 2018;48(2):269-88.
25. Hashimoto, H., Shikuma, S., Mandai, S. et al. Calcium-based phosphate binder use is associated with lower risk of osteoporosis in hemodialysis patients. Scientific Reports. 2021;11(1):1648.
26. Troy KL, Mancuso ME, Butler TA, Johnson JE. Exercise Early and Often: Effects of Physical Activity and Exercise on Women's Bone Health. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2018;28:15(5):878.