

Original article

The Effects of BodyPump Training Combined with Calcium and Vitamin D Supplementation on Bone Health Biomarkers in Postmenopausal Women

Faezeh Gholam Ali Khamseh¹, Allahyar Arabmomeni^{*2}

1. Department of Sports Physiology, School of Physical Education & Sports Sciences, Is.C. Islamic Azad University, Isfahan, Iran

2. Department of Sports Sciences, Faculty of Humanities, Kho.C., Islamic Azad University, Khomeinishahr, Iran

* **Corresponding author.** Tel: +983135559171, Fax: +983135559171, E-mail: allahyar.arabmomeni@iau.ac.ir

Article info

Article history:

Received: Sep 15, 2025

Accepted: Oct 18, 2025

Keywords:

BodyPump Training

Calcium

Vitamin D

CTX

BSAP

Postmenopausal Women

ABSTRACT

Background: Physical activity combined with mineral supplementation has been reported to enhance bone mineral density and improve bone health after menopause. Accordingly, the present study aimed to investigate the effects of BodyPump training in combination with calcium and vitamin D supplementation on bone health biomarkers in postmenopausal women.

Methods: In this quasi-experimental study with a pretest-posttest placebo-controlled design, 45 postmenopausal women from Isfahan, aged 55-65 years with a body mass index (BMI) of 24 ± 3 kg/m², were purposively selected and randomly assigned to three groups: BodyPump training, BodyPump training plus calcium and vitamin D supplementation, and placebo. The exercise protocol was conducted for eight weeks, three sessions per week, lasting 40-60 minutes per session with 10% One-Repetition Maximum. In addition, participants in the BodyPump+supplementation group consumed two calcium+vitamin D tablets daily for eight weeks. Data were analyzed using multivariate analysis of covariance (MANCOVA) followed by Bonferroni post hoc tests.

Results: A significant increase in bone-specific alkaline phosphatase (BSAP) was observed in both the BodyPump and BodyPump+supplementation groups ($p \leq 0.001$). Moreover, a significant reduction in the C-terminal telopeptide of type I collagen (CTX) was found in both intervention groups ($p \leq 0.002$). Notably, the changes in these biomarkers were significantly greater in the BodyPump+supplementation group compared to exercise alone.

Conclusion: These findings suggest that BodyPump training combined with calcium and vitamin D supplementation has beneficial effects on bone health biomarkers in postmenopausal women. Therefore, the combined use of exercise and supplementation may be a valuable strategy to improve bone health outcomes in this population.

How to cite this article: Gholam Ali Khamseh F, Arabmomeni A. The Effects of BodyPump Training Combined with Calcium and Vitamin D Supplementation on Bone Health Biomarkers in Postmenopausal Women. J Ardabil Univ Med Sci. 2025;25(3):

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

Extended Abstract

Background: Menopause marks the permanent cessation of menstruation and the consequent loss of ovarian follicular function, resulting in various physiological changes [1]. One of the most prevalent complications associated with menopause is decreased bone mineral density, which often manifests as back pain, bone fractures, loss of height, and reduced mobility due to osteoporosis [2]. Lifestyle factors such as insufficient calcium and vitamin D intake, smoking, and physical inactivity further exacerbate these conditions. It is recommended that women consume 1000-1500 mg of calcium and 400-800 IU of vitamin D daily to maintain bone health [4]. Evidence suggests that adequate vitamin D intake, in combination with calcium supplementation, plays a critical role in mitigating bone loss among postmenopausal women. For instance, a longitudinal study involving 72,337 postmenopausal participants demonstrated that sufficient vitamin D intake was inversely associated with the risk of osteoporotic fractures [7]. Regular physical activity is another key determinant in maintaining skeletal integrity. A systematic review supporting the WHO physical activity and sedentary behavior guidelines reported that structured exercise programs significantly improve bone health and reduce the risk of osteoporosis among older adults [10]. One such modality, BodyPump training, a high-repetition, resistance-based group fitness program, has shown promising effects on bone density and overall musculoskeletal health [13]. When coupled with an adequate intake of calcium and vitamin D, BodyPump training may further enhance bone metabolism and reduce osteoporosis risk [15]. Despite these findings, there remain substantial gaps in understanding the combined effects of this exercise modality and nutritional supplementation on bone biomarkers in postmenopausal populations. Therefore, the present study aimed to investigate the effects of BodyPump training combined with calcium and vitamin D supplementation on bone metabolism biomarkers in postmenopausal women.

Methods: This semi-experimental, applied study was conducted in 2024 on postmenopausal women aged 55–65 years with

a body mass index (BMI) of 24 ± 3 kg/m² residing in Isfahan, Iran. A total of 45 eligible participants were recruited through purposive sampling and randomly assigned into three groups (n=15 per group): (1) BodyPump training, (2) BodyPump training+calcium and vitamin D supplementation, and (3) placebo. The study protocol was approved by the Ethics Committee of the Islamic Azad University, Isfahan (Khorasgan) Branch (ethics code: IR.IAU.KHUISF.REC.1404.472). Before participation, all subjects completed a medical screening questionnaire and provided written informed consent. The intervention groups underwent an eight-week BodyPump training program consisting of three sessions per week, each lasting 40–60 minutes, including 5–10 minutes of warm-up, 40–60 minutes of resistance-based exercise, and 5–10 minutes of cool-down, following the principle of progressive overload [14]. Participants in the exercise + supplementation group received two calcium and vitamin D tablets daily, one-hour post-meal, throughout the study period. The placebo group maintained their normal daily routines and consumed 800 mg of maltodextrin per day. Bone metabolism biomarkers, including bone-specific alkaline phosphatase (BSAP) and C-terminal telopeptide of type I collagen (CTX), were assessed at baseline (pre-test) and after the eight-week intervention (post-test). Data analysis was performed using multivariate analysis of covariance (MANCOVA) followed by Bonferroni post hoc tests to identify between-group differences.

Results: The analysis of covariance comparing mean levels of CTX and BSAP biomarkers among postmenopausal women indicated a significant effect of the pretest on posttest values at the 5% error level ($p < 0.001$). After controlling for pretest effects, significant between-group differences were observed in the posttest results for both CTX ($F=13.296$, $p < 0.001$) and BSAP ($F=6.036$, $p=0.001$). The effect size for CTX was 0.425, suggesting that approximately 43% of the variance in CTX changes could be attributed to group differences. Similarly, the effect size for BSAP was 0.251, indicating that around 25% of the variation in BSAP values was due to group effects. Post hoc comparisons using the Bonferroni test, adjusted for pretest scores, revealed that CTX levels in both the BodyPump

training group and the BodyPump training+calcium and vitamin D (Ca+D) group were significantly lower than those in the placebo group ($p=0.001$). Furthermore, CTX levels were significantly lower in the combined training+(Ca+D) group compared to the training-only group ($p=0.002$). In contrast, BSAP levels were significantly higher in both the BodyPump and BodyPump+(Ca+D) groups compared to the placebo group ($p=0.001$). Additionally, BSAP levels were significantly higher in the combined training+(Ca+D) group than in the training-only group ($p=0.012$).

Conclusion: The findings of this study demonstrated that eight weeks of BodyPump training combined with calcium and vitamin D supplementation led to a significant reduction in the bone resorption marker (CTX) and an increase in the bone formation marker (BSAP) among postmenopausal women. These results suggest that this combined intervention effectively promotes bone remodeling by reducing bone turnover and enhancing osteoblastic activity. The observed decrease in CTX is consistent with the findings of Alev (2013), who reported that two months of submaximal aerobic exercise significantly reduced bone resorption in premenopausal women [19]. Similarly, Tartibian et al. (2009) found that nine weeks of aerobic exercise at 70–80% HR_{max} significantly increased serum alkaline phosphatase in young women [20]. In line with these findings, Kazemi et al. (2025) reported that high-intensity interval training (HIIT) increased both alkaline phosphatase and calcium levels in postmenopausal women [21]. However, some studies have yielded inconsistent results. For instance, Bamben (2007) observed no significant changes in bone metabolism indices following a single session of resistance training [30]. Such discrepancies may stem from variations in exercise intensity, duration, population characteristics, and adherence to experimental protocols [31]. The

underlying mechanism for the present findings can be attributed to the mechanical loading induced by BodyPump exercises, which generate sufficient strain to stimulate bone tissue remodeling. This mechanical stress activates osteocytes, increases osteoblast activity, and inhibits osteoclasts, thereby promoting bone formation [32]. Furthermore, BodyPump training enhances angiogenesis and nutrient delivery within bone tissue, improving osteoblastic function through the release of mediators such as nitric oxide and endothelin-1 [31]. In addition, long-term exercise improves calcium metabolism by increasing intestinal calcium absorption, reducing urinary calcium excretion, and enhancing serum calcium levels [25]. Nutritional supplementation also plays a synergistic role. Chen and Wen (2020) emphasized that combined calcium and vitamin D supplementation exerts a greater positive effect on bone mineral density than vitamin D alone [37]. Consistent with these observations, the current study found that supplementation amplified the effects of exercise on both BSAP and CTX, creating a favorable biochemical environment for bone formation. Overall, the results underscore the importance of multimodal interventions combining structured exercise with targeted nutritional supplementation in promoting bone health among postmenopausal women. The integration of mechanical stress from resistance-based exercise and nutritional support from calcium and vitamin D facilitates optimal bone remodeling and may contribute to the prevention of osteoporosis. Future studies should consider longer intervention periods, employ advanced imaging techniques (e.g., DXA, pQCT), and explore molecular signaling pathways related to bone metabolism to provide stronger mechanistic evidence for clinical applications and the development of preventive protocols for bone health in postmenopausal populations.

تاثیر تمرینات بادی پامپ همراه با مصرف کلسیم و ویتامین D بر بیومارکرهای سلامت استخوان در زنان یائسه

فائزه غلامعلی خمسه^۱، الله یار عرب مومنی^{۲*}

۱. گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
۲. گروه علوم ورزشی، دانشکده علوم انسانی، واحد خمینی شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، خمینی شهر، ایران
* نویسنده مسئول. تلفن: ۰۳۱۳۵۵۵۹۱۷۱ فاکس: ۰۳۱۳۵۵۵۹۱۷۱ پست الکترونیک: allahyar.arabmomeni@iau.ac.ir

چکیده

زمینه و هدف: گزارش شده است که فعالیت بدنی همراه با مصرف مواد معدنی، تراکم استخوان را افزایش داده و به بهبود سلامت استخوان پس از یائسگی کمک می کند. از این رو، مطالعه حاضر با هدف تعیین تاثیر تمرینات بادی پامپ همراه با مصرف کلسیم و ویتامین D بر بیومارکرهای سلامت استخوان در زنان یائسه انجام شد.

روش کار: در این مطالعه نیمه تجربی، با طرح پیش آزمون-پس آزمون و گروه دارونما، از بین زنان یائسه شهر اصفهان، ۴۵ نفر با دامنه سنی ۵۵ تا ۶۵ سال و شاخص توده بدن برابر با 24 ± 3 کیلوگرم بر مترمربع، به شیوه هدمند انتخاب و به ۳ گروه (تمرین بادی پامپ، تمرین بادی پامپ+ مصرف کلسیم و ویتامین D و دارونما) تقسیم شدند. پروتکل تمرینی به مدت ۸ هفته و سه جلسه در هفته، هر جلسه ۴۰ تا ۶۰ دقیقه با شدت $1Rm \times 10$ اجرا شد. همچنین آزمودنی های گروه بادی پامپ+ مصرف کلسیم و ویتامین D، علاوه بر اجرای پروتکل تمرینی، روزانه دو عدد قرص کلسیم+ ویتامین D را به مدت ۸ هفته استفاده کردند. به منظور تحلیل داده ها از روش آماری تحلیل کواریانس چند متغیری و آزمون تعقیبی بنفرونی استفاده شد.

یافته ها: افزایش معناداری در آلکالین فسفاتاز ویژه استخوان (BSAP) در هر دو گروه تمرین بادی پامپ و تمرین بادی پامپ+ مصرف کلسیم و ویتامین D مشاهده شد ($p=0/001$). همچنین کاهش معنادار تلوپتید C- ترمینال کلاژن نوع I (CTX) در گروه های تمرین بادی پامپ و تمرین بادی پامپ+ مصرف کلسیم و ویتامین D مشاهده شد ($p \leq 0/002$). ضمن این که، تغییرات ایجاد شده ناشی از گروه تمرین بادی پامپ+ مصرف کلسیم و ویتامین D بر این متغیرها به طور معناداری بیشتر از گروه تمرین به تنهایی بود.

نتیجه گیری: این یافته ها بیانگر، آثار سودمند تمرینات بادی پامپ همراه با مصرف کلسیم و ویتامین D بر بیومارکرهای سلامت استخوان در زنان یائسه است. از این رو، استفاده ترکیبی از تمرینات بادی پامپ و مکمل کلسیم و ویتامین D برای بهبود این متغیرها می تواند مفید باشد.

واژه های کلیدی: تمرینات بادی پامپ، کلسیم، ویتامین D، BSAP، CTX، زنان یائسه

دریافت: ۱۴۰۴/۶/۲۴ پذیرش: ۱۴۰۴/۷/۲۶

مقدمه

یائسگی^۱ توقف دائمی قاعدگی است که منجر به از دست دادن رشد فولیکول‌های تخمدان می‌شود [۱]. به‌نظر می‌رسد سن یائسگی از نظر ژنتیکی تعیین می‌شود و تحت تأثیر نژاد، وضعیت اجتماعی و اقتصادی، سن قاعدگی یا تعداد تخمک‌گذاری‌های قبلی قرار ندارد [۱]. اگرچه یائسگی با تغییراتی در هورمون‌های هیپوتالاموس و هیپوفیز که چرخه قاعدگی را تنظیم می‌کنند همراه است، اما ناشی از تغییرات در سیستم عصبی مرکزی نیست و یک نارسایی اولیه تخمدان است. یکی از علایم و نشانه‌های این تغییرات هورمونی کاهش تراکم استخوانی و دردهای استخوانی شامل؛ کمردرد، شکستگی استخوانی، کاهش قد و کاهش تحرک به‌دلیل پوکی استخوان می‌باشد [۲]. کاهش مصرف کلسیم و ویتامین D، سیگار کشیدن و سبک زندگی کم‌تحرک این نشانگرها را تشدید می‌کند. مشاوره زنان برای تغییر این عوامل هم برای پیشگیری و هم برای درمان پوکی استخوان مهم است. بسیاری از زنان دارای رژیم‌های غذایی با کمبود کلسیم و ویتامین D هستند [۳]. زنان باید روزانه ۱۰۰۰-۱۵۰۰ میلی‌گرم کلسیم و ۸۰۰-۱۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین D دریافت کنند. این میزان ممکن است از طریق رژیم غذایی یا مکمل‌های ویتامین و مواد معدنی حاصل شود [۴]. ویتامین D نقش مهمی در سلامت استخوان دارد، به‌ویژه برای زنان یائسه که به دلیل کاهش سطح استروژن در معرض افزایش خطر پوکی استخوان هستند [۴]. کاهش منابع کلسیم ممکن است با کاهش توده استخوانی و پوکی استخوان همراه باشد، در حالی که کمبود مزمن و شدید ویتامین D منجر به استئومالاسی می‌شود، یک بیماری متابولیک استخوان که با کاهش معدنی شدن ماتریکس استخوان و افزایش حجم استوئید مشخص می‌شود [۵].

^۱ Menopause

علل اصلی کمبود ویتامین D کم‌قرار گرفتن در معرض نور خورشید، کاهش سنتز ویتامین D در پوست، تغذیه نامناسب و کاهش هیدروکسیلاسیون کلیوی ویتامین D است [۵]. در صورت وجود پوکی استخوان، کمبود ویتامین D ممکن است از دست دادن استخوان را تقویت کند و در نتیجه خطر شکستگی را افزایش دهد. نتیجه این است که در هر سنی، به‌ویژه در افراد مسن، مصرف کافی کلسیم و ویتامین D برای حفظ توده استخوانی و پیشگیری از پوکی استخوان مهم است [۶]. مطالعات نشان داده‌اند که مصرف کافی ویتامین D به همراه کلسیم می‌تواند به کاهش از دست دادن استخوان در این جمعیت کمک کند. به‌عنوان مثال، یک مطالعه طولانی مدت شامل ۷۲۳۳۷ زن یائسه نشان داد که مصرف کافی ویتامین D با کاهش خطر شکستگی‌های ناشی از پوکی استخوان مرتبط است [۷]. با این حال، توجه به این نکته مهم است که در حالی که مکمل‌های کلسیم تأثیر قابل‌توجهی بر سلامت استخوان‌ها دارند، به‌نظر نمی‌رسد که مکمل‌های ویتامین D به تنهایی باعث تأثیر قابل‌توجهی بر تراکم مواد معدنی استخوان، قدرت عضلانی یا خطر شکستگی در زنان با ذخایر ویتامین D طبیعی شود. بنابراین، مکمل ویتامین D باید در زمینه وضعیت سلامت فردی و همراه با سایر درمان‌های پوکی استخوان در نظر گرفته شود [۸]. فعالیت بدنی منظم در مقابله با این چالش‌ها بسیار مفید است. ورزش، به‌ویژه فعالیت‌های تحمل وزن مانند پیاده‌روی، دویدن یا تمرینات مقاومتی، به حفظ و بهبود تراکم استخوان کمک می‌کند و خطر پوکی استخوان و شکستگی را کاهش می‌دهد [۹]. همچنین ورزش و فعالیت بدنی برای مدیریت وزن مفید است و به خنثی کردن تمایل به افزایش وزن که برخی از زنان پس از یائسگی با آن مواجه می‌شوند، کمک می‌کند. یک بررسی سیستماتیک با هدف اطلاع‌رسانی دستورالعمل‌های WHO در مورد فعالیت بدنی و رفتار کم تحرک نشان داد که مداخلات فعالیت

بدنی احتمالاً سلامت استخوان را در میان افراد مسن بهبود می‌بخشد و به‌طور بالقوه از پوکی استخوان جلوگیری می‌کند. این بررسی شامل ۵۹ مطالعه بود و نشان داد که شدت‌های بالاتر فعالیت بدنی و برنامه‌هایی که شامل چندین نوع تمرین یا تمرینات مقاومتی می‌شد مؤثرترین هستند [۱۰]. متاآنالیز جامع دیگری نشان داد که فعالیت بدنی با بهبود خفیف تراکم معدنی استخوان در زنان میانسال و مسن همراه است و ورزش را به‌عنوان روشی ایمن و مؤثر برای جلوگیری از تحلیل استخوان پیشنهاد می‌کند. علاوه‌بر این، تحقیقات نشان می‌دهد که ورزش‌های تحمل وزن می‌تواند با تحریک رسوبات اضافی کلسیم و فعال کردن سلول‌های استخوان‌ساز، از دست دادن استخوان را کاهش داده و حتی ساخت استخوان را افزایش دهد [۱۱]. با این حال، توجه به این نکته مهم است که ورزش شدید در دوره‌های طولانی ممکن است منجر به از دست دادن BMD شود. این یافته‌ها بر اهمیت یک رژیم ورزشی متعادل و ساختار یافته برای سلامت استخوان تأکید می‌کند [۱۲].

یکی از روش‌های تمرینی که در سال‌های اخیر علاقه‌مندان فراوانی به‌ویژه بین زنان پیدا کرده‌است، ورزش بادی‌پامپ است. بادی‌پامپ شکلی از کلاس‌های تناسب اندام گروهی شامل تمرینات وزنه برداری با تکرار بالا، می‌تواند اثرات مثبتی بر سلامت استخوان داشته‌باشد [۱۳]. این ورزش شامل تمریناتی مانند اسکات، لانژ و وزنه‌برداری است که فعالیت‌های تحمل وزن هستند. ورزش‌های تحمل وزن برای سلامت استخوان مفید هستند، زیرا رشد استخوان را تحریک کرده و به حفظ تراکم استخوان کمک می‌کنند [۱۳]. بخش تمرینات مقاومتی بادی‌پامپ به ایجاد قدرت و استقامت عضلات کمک می‌کند. عضلات قوی، حمایت بهتری از استخوان‌ها می‌کنند و خطر افتادن و شکستگی را کاهش می‌دهند [۱۴]. مشارکت منظم در این نوع تمرینات می‌تواند به بهبود تراکم استخوان کمک کند،

به‌ویژه زمانی که با یک رژیم غذایی متعادل غنی از کلسیم و ویتامین D ترکیب شود [۱۵]. تحقیقات نشان می‌دهد که ترکیبی از تمرینات قلبی-عروقی و تمرینات قدرتی می‌تواند برخی از علائم یائسگی مانند؛ گرگرفتگی، نوسانات خلقی و اختلالات خواب را کاهش دهد [۱۶]. علاوه‌بر این، تمرینات قدرتی با افزایش سلامت روان و کاهش خطر ابتلا به بیماری‌های مزمن مرتبط است که در مرحله پس از یائسگی بسیار مهم است. گزارش شده‌است که دو تا سه مرتبه تمرین در هفته در کلاس‌های بادی‌پامپ، افزایش تراکم استخوان در بازوها، پاها، لگن و ستون فقرات را به‌همراه دارد [۱۷]. این امر به‌ویژه پس از ۴۰ سالگی که تراکم مواد معدنی استخوان کاهش و خطر شکستگی و پوکی استخوان افزایش می‌یابد، حائز اهمیت است. علاوه براین، تمرینات بادی‌پامپ نه تنها به تقویت استخوان‌ها کمک می‌کند، بلکه موجب تناسب اندام کلی، تقویت عضلات و بهبود چربی‌سوزی نیز می‌شود [۱۶، ۱۷].

با توجه به مطالعات پیشین، اگرچه اثرات مداخلاتی نظیر فعالیت ورزشی و مصرف مکمل‌هایی مانند ویتامین D و کلسیم در زنان یائسه تا حدودی بررسی شده‌اند، اما هنوز خلأهای علمی قابل‌توجهی در این حوزه باقی مانده است. به‌ویژه، تأثیر تمرینات بادی‌پامپ در این گروه جمعیتی و همچنین نقش ترکیبی این تمرینات همراه با مصرف ویتامین D و کلسیم، به‌درستی تبیین نشده‌است. از این‌رو، پژوهش حاضر با هدف پاسخ به این پرسش طراحی شد که آیا تمرینات بادی‌پامپ همراه با مصرف کلسیم و ویتامین D بر بیومارکرهای سلامت استخوان در زنان یائسه تأثیر دارد؟

روش کار

تحقیق حاضر نیمه‌تجربی و از نوع تحقیقات کاربردی می‌باشد که روی زنان یائسه با دامنه سنی ۵۵ تا ۶۵ سال، میانگین قد 165 ± 12 سانتیمتر، میانگین وزن

۱۵±۶۸ کیلوگرم و شاخص توده بدنی 24 ± 3 کیلوگرم بر مترمربع شهر اصفهان در سال ۱۴۰۳ اجرا شد. از بین جامعه آماری ۴۵ نفر که شرایط ورود به مطالعه را داشتند، به روش غیر احتمالی ساده و هدفمند انتخاب و به روش تصادفی سیستماتیک به ۳ گروه ۱۵ نفری (تمرین بادی پامپ، تمرین بادی پامپ + مصرف کلسیم و ویتامین D و دارونما) تقسیم شدند. بر اساس نرم افزار جی پاور ($G^* Power$ نسخه ۳،۱،۹،۲)، حداقل اندازه نمونه و در نظر گرفتن نرخ ریزش ۱۰ درصد ۳۹ نفر (۱۳ نفر در هر گروه) با احتساب آلفای ۵ درصد، بتای ۸۰ درصد و اندازه اثر ۰/۳۰ به دست آمد. با احتساب ریزش احتمالی نمونه‌ها، در هر گروه ۱۵ نفر در مجموع ۴۵ نفر وارد تحقیق شدند. یائسگی براساس گزارش بیمار مبنی بر سپری شدن ۶ ماه از آخرین عادت ماهیانه تعریف و بصورت سال‌های سپری شده از ماه ششم پس از آخرین یائسگی ثبت شد.

معیارهای ورود شامل: زنان یائسه، زنان ۵۵ تا ۶۵ 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، رضایت کتبی شرکت در آزمون، عدم مصرف دخانیات، مولتی‌ویتامین، کلسیم و مکمل‌های نیروزا، عدم شرکت در برنامه‌های تمرینی دیگر، داشتن سلامت عمومی، توانایی اجرای برنامه تمرینی، و معیارهای خروج شامل: غیبت دو جلسه پیاپی در جلسات تمرینی، عدم همکاری مناسب برای انجام مداخله، شناسایی و تشخیص بیماری‌های مزمن مؤثر بر متابولیسم استخوان و نیز هر گونه بیماری پزشکی در طول دوره تمرینی، آسیب دیدگی، بروز علائم افت فشار در زمان تمرین، ابتلا به بیماری‌هایی مانند: بیماری‌های قلبی و عروقی، دیابت نوع ۲، فشار خون و عدم تمایل به ادامه مطالعه بود.

یک هفته قبل از شروع پروتکل‌های تمرینی در

جلسه‌ای توجیهی کلیه برنامه‌ها، مزایا و خطرات احتمالی و شیوه صحیح اجرای تمرینات برای شرکت کنندگان توضیح داده شد. علاوه بر این، به آزمودنی‌ها اطمینان خاطر داده شد که اطلاعات شخصی آن‌ها در نزد پژوهشگران بصورت محرمانه حفظ شده و در نهایت به طور کلی گزارش می‌شود و به آنان این اختیار نیز داده شد که در هر مرحله از تمرین، در صورت عدم تمایل به ادامه همکاری می‌توانند، انصراف دهند. همچنین در پایان این جلسه به همه آزمودنی‌ها فرم‌های مربوطه داده شد تا بصورت آگاهانه و داوطلبانه آمادگی خود را برای شرکت در مطالعه اعلام کنند. کلیه مراحل تحقیق توسط کمیته اخلاق دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان) با شناسه اخلاق IR.IAU.KHUISF.REC.1404.472 مورد تایید قرار گرفت. پس از تکمیل پرسش‌نامه پزشکی و آمادگی شرکت داوطلبانه در مطالعه، آزمودنی‌ها به ۳ گروه: تمرین بادی پامپ، تمرین + مصرف کلسیم و ویتامین D و دارونما تقسیم شدند. پروتکل‌های تمرینی به مدت ۸ هفته و سه جلسه در هفته اجرا شد. گروه دارونما در این مدت فعالیت و روش‌های زندگی معمول خود را داشتند. ضمن اینکه، ۸۰۰ میلی گرم مالتودکسترین مصرف کردند.

به علاوه، اندازه گیری بیومارکرهای سلامت استخوان ($BSAP^1$ و CTX^2) در دو مرحله پیش آزمون و پس آزمون انجام گرفت. آزمودنی‌ها ۴۸ ساعت قبل از انجام آزمون، از انجام هر گونه فعالیت بدنی منع شدند و وعده‌ی غذایی (صبحانه) آن‌ها قبل از آزمون مشابه بود.

روش اندازه گیری قد، وزن و شاخص توده بدنی (BMI)

برای اندازه گیری قد از قدسنج آلمانی، SECA model 210 با دقت ۳ میلی متر و برای اندازه گیری

¹ Bone-Specific Alkaline Phosphatase

² C-terminal Telopeptide

وزن از ترازوی دیجیتال، KEEP FIT model 6657 ساخت کشور چین با دقت ۰/۱ کیلوگرم استفاده شد. همچنین شاخص توده بدنی (BMI) آزمودنی‌ها براساس اندازه‌گیری‌های قد و وزن انجام گرفت و برای محاسبه BMI از رابطه (وزن بر حسب کیلوگرم) تقسیم بر (قد بر حسب متر به توان ۲) استفاده گردید.

پروتکل تمرینی بادی پامپ

برنامه تمرینی به مدت هشت هفته، هر هفته سه جلسه و هر جلسه به مدت حدود ۴۰ تا ۶۰ دقیقه با رعایت اصل اضافه بار و سایر ملاحظات تمرینی زیر نظر آزمونگر انجام شد. یک مربی در تمام جلسات حضور داشت تا از تکنیک صحیح بلند کردن وزنه‌ها اطمینان حاصل کند و در صورت لزوم راهنمایی‌های لازم را ارائه دهد. انتخاب تمرینات از ساده به مشکل و هر جلسه تمرینی شامل گرم کردن (۵-۱۰ دقیقه)، برنامه تمرینی بادی پامپ (۶۰-۴۰ دقیقه) و سرد کردن (۵-۱۰ دقیقه) بود. بار تمرین اولیه (کیلوگرم) مورد استفاده برای اسکات و لانز، ۱۰٪ 1RM (One-Repetition Maximum، حداکثر وزنی است که یک عضله یا گروه عضلانی تنها قادر است، یک بار بلند کند) و جهت تمرینات اندام فوقانی و تنه با بار تمرینی ۲ کیلوگرم برای هالتر و ۱ کیلوگرم برای وزنه‌های آزاد انجام شد. افزایش بار تمرین برای اسکات و لانز هر ۲ هفته ۵ درصد و برای سایر تمرینات بر اساس درک آزمودنی‌ها و تشخیص مربی تنظیم شد [۱۴].

در این مطالعه، نسخه شماره ۸۳ بادی پامپ مورد استفاده قرار گرفت که شامل؛ ۹ قطعه موسیقی (۴ تا ۷ دقیقه) است که هر کدام برای تمرین قسمت‌های خاصی از بدن استفاده می‌شود. تمام جلسات شامل تقریباً ۸۰۰ تکرار در مجموع و ۵۰ تا ۱۰۰ تکرار در هر گروه عضلانی بود. شرکت کنندگان با یک استپ و وزنه‌های آزاد (۱، ۲/۵ یا ۵ کیلوگرمی) که آن‌ها را روی یک میله ۱/۲۵ کیلوگرمی قرار دادند، تمرین کردند. بین هر قطعه، یک دوره استراحت کوتاه تقریباً ۱ دقیقه‌ای وجود داشت که برای تغییر وزنه‌ها و آماده شدن برای تمرینات بعدی استفاده شد. برخی از آهنگ‌ها شامل دوره‌های استراحت کوتاه بین جلسات (معمولاً ۱۶ تا ۳۲ ضربه و ۷ تا ۱۴ ثانیه) بودند (جدول ۱). در طول تمرین، برای شرکت کنندگان از طریق یک ویدیوی آموزشی، تمرینات نمایش داده شد و یک مربی کل جلسه را نظارت می‌کرد. البته، شرکت کنندگان با برنامه تمرینی قبل از ورود به تمرینات آشنا شده بودند، بارهای خارجی برای هر تمرین مورد استفاده بر اساس دستورالعمل‌ها و تجربه شرکت کنندگان تنظیم شد. مربی ویدیویی، شرکت کنندگان را تشویق کرد که در هر مسیر با تکنیک صحیح بلند کردن وزنه، به خستگی عضلانی برسند.

جدول ۱. پروتکل تمرینی

موسیقی	تمرین	حجم (تکرار)
۱- گرم کردن	دلیفت پا صاف، پارویی، پرس شانه، اسکوات، لانز، پرس دوسر بازو	۸۸
۲- پا	اسکوات	۹۵
۳- سینه	پرس سینه	۸۰
۴- پشت	قایقرانی، ددلیفت پا صاف با هالتر، کلین اند پرس و پرس قدرتی	۷۵
۵- عضله سه سر بازو	پرس پشت بازو، پرس سه سر بازو، پلور و پرس پشت بازو بالای سر	۷۸
۶- عضله دوسر بازو	جلو بازو دمبل	۶۸
۷- پا	اسکوات، لانز و پرس اسکوات	۷۲ + ۲۴ پرس
۸- شانه	شنای روی زمین، نشر جانب، روتینگ، پرس شانه	۷۶ + ۳۶ شنای روی زمین
۹- شکم	دراز و نشست، دراز و نشست به پهلو و پلانک جانبی	۵۱ + ۳۰ ثانیه

روش مصرف کلسیم و ویتامین D

ابتدا با دستور پزشک قرص کلسیم + ویتامین D از داروخانه‌های معتبر شهر اصفهان تهیه شد. هر عدد این قرص حاوی ۵۰۰ میلی گرم کلسیم و ۲۰۰ واحد بین‌الملل ویتامین D می‌باشد. سپس آزمودنی‌های گروه تمرین + مصرف کلسیم و ویتامین D، روزانه دو عدد قرص را یک ساعت بعد از غذا دریافت کردند. در ابتدای مطالعه قرص‌ها در اختیار آزمودنی‌ها قرار گرفت و به‌منظور افزایش پیروی آن‌ها از برنامه از آن‌ها خواسته شد تا بلیسترها را پس از پایان مطالعه تحویل دهند. شایان ذکر است که شرکت کنندگان در اولین جلسه، توسط متخصص تغذیه تحت مشاوره قرار گرفتند و برای جلوگیری از تداخل رژیم غذایی در نتایج پژوهش، برنامه‌ی غذایی آنها تحت کنترل و همسان‌سازی قرار گرفت.

روش خون‌گیری

نمونه‌های خونی به مقدار ۵ سی‌سی در وضعیت پایه و ۲۴ ساعت پس از اتمام تمرینات در حالت ناشتا و بین ساعت ۸:۰۰ الی ۹:۰۰ صبح از ورید بازویی دست چپ آزمودنی‌ها توسط تکنسین آزمایشگاه گرفته شد. همه نمونه‌ها در لوله‌های حاوی ماده ضد انعقاد (EDTA) ریخته شد و سانتریفیوژ با گرانش ۳۰۰۰ دور در دقیقه در دمای ۴- درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه انجام شد و پلاسما به دست آمده در دمای ۷۰- درجه سانتی‌گراد قرار گرفت.

روش اندازه‌گیری کلسیم و ویتامین D

سنجش میزان کلسیم خون با روش رنگ‌سنجی شیمیایی (ارتو کرزول فتالئین) و با استفاده از کیت شرکت پارس آزمون با حساسیت ۰/۲ میلی گرم در دسی‌لیتر انجام شد. میزان کل کلسیم خون در محدوده ۸/۸ تا ۱۰/۲ میلی گرم در دسی‌لیتر طبیعی و کمتر از آن بصورت کمبود در نظر گرفته شد. به‌علاوه، اندازه‌گیری ویتامین D سرم با روش رادیوایمونواسی (RIA) و با استفاده از کیت‌های Gamma BCTDPD شرکت IDS Ltd انگلستان انجام شد. در این مطالعه

۲۵ هیدروکسی ویتامین D کمتر یا مساوی ۲۰ نانوگرم بر میلی‌لیتر بصورت کمبود و مقادیر بالاتر از ۲۰ نانوگرم بر میلی‌لیتر طبیعی در نظر گرفته شد.

روش اندازه‌گیری آلکالین فسفاتاز اختصاصی استخوان (BSAP)

غلظت سرمی BSAP با استفاده از کیت ایمونورادیومتریکی دو مرحله‌ای (به‌عنوان مثال، Beckman BAP IRMA Ostase®، شرکت Beckman Coulter، ایالات متحده) و طبق دستورالعمل سازنده اندازه‌گیری شد. به‌طور خلاصه، نمونه‌ها و کالیبراتورهای استاندارد با آنتی‌بادی مونوکلونال گیرنده که به دیواره لوله متصل شده بود انکوبه گردیدند. سپس آنتی‌بادی مونوکلونال دوم نشان‌دار شده با ^{125}I اضافه شد. پس از مراحل انکوباسیون متوالی و شست و شو برای حذف اجزای غیر متصل، میزان رادیواکتیویته متصل شده با استفاده از گاما کانتر (Wizard 1470، شرکت PerkinElmer، فنلاند) اندازه‌گیری گردید. غلظت BSAP با استفاده از منحنی استاندارد حاصل از کالیبراتورهای معلوم محاسبه شد. ضرایب تغییرات درون‌آزمایی و بین‌آزمایی به ترتیب کمتر از ۱۰٪ و ۱۵٪ بودند. تمامی نمونه‌ها بصورت دو تکرار سنجش و تا زمان آزمایش در دمای ۲۰ C - نگهداری شدند [۱۸].

روش اندازه‌گیری سطح سرمی تلوپتید C-ترمینال کلاژن نوع I (CTX)

برای سنجش غلظت سرمی CTX از کیت الکتروشیمی لومینسانس ایمنی-سنجی Electrochemiluminescence Immunoassay، (ECLIA) تجاری (مانند Elecsys β -CrossLaps، شرکت Roche Diagnostics، مانهایم، آلمان) مطابق دستورالعمل سازنده استفاده شد. نمونه‌های خون پس از ۸ تا ۱۲ ساعت ناشتایی صبحگاهی جمع‌آوری، به مدت ۱۰ دقیقه در ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ و سرم جدا شده تا زمان آنالیز در دمای ۸۰ C - نگهداری گردید. ضرایب تغییرات درون‌آزمایی و

بین آزمای به ترتیب کمتر از ۵٪ و ۸٪ گزارش شد [۱۸].

تجزیه و تحلیل آماری

به منظور تجزیه و تحلیل اطلاعات، از روش‌های آمار توصیفی برای محاسبه شاخص‌های مرکزی و پراکندگی استفاده گردید و داده‌ها بر اساس میانگین و انحراف معیار گزارش شدند. از آزمون شاپیروویلک برای بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها و از آزمون لوین برای بررسی برابری واریانس استفاده شد. علاوه بر این، جهت بررسی معناداری تفاوت‌های میانگین

گروه‌ها (پیش‌آزمون و پس‌آزمون) از روش آماری تجزیه و تحلیل کواریانس چند متغیری و آزمون تعقیبی بنفرونی با استفاده از نرم‌افزار SPSS-26 در سطح معناداری ۰/۰۵ استفاده شد.

یافته‌ها

میانگین شاخص‌های سن، قد، وزن و توده بدن (BMI) آزمودنی‌ها در گروه‌های مختلف در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. میانگین سن، قد، وزن و توده بدن گروه‌ها

گروه	سن (سال)	قد (سانتی‌متر)	وزن (کیلوگرم)	BMI (کیلوگرم بر متر مربع)
تمرین	۵۸/۵±۶/۴	۱۶۶/۲±۵/۸۱	۶۶/۴±۴/۷	۲۴/۰±۱۱/۲
تمرین + (Ca+D)	۵۷/۱±۹/۳	۱۶۵/۶±۵/۱۲	۶۵/۸±۶/۱	۲۴/۲±۱۲/۴
دارونما	۵۸/۲±۴/۴	۱۶۷/۴±۴/۹۲	۶۷/۲±۲/۴	۲۴/۲±۱۷/۱
تحلیل واریانس	(F=۰/۳۹, P=۰/۰۴)	(F=۰/۳۵, P=۰/۰۶۱)	(F=۰/۰۴, P=۰/۰۵۴)	(F=۰/۲۴, P=۰/۰۶۸)

بر اساس نتیجه‌ی آزمون آنالیز واریانس، میانگین سن ($F=۰/۰۴, p=۰/۰۵۴$) و شاخص توده بدنی ($p=۰/۰۶۸$) و وزن ($F=۰/۳۹, p=۰/۰۰۴$)، قد ($F=۰/۳۵, p=۰/۰۶۱$) بین زنان سه گروه تفاوت معناداری نداشت.

جدول ۳. تغییرات بین گروهی و درون گروهی CTX و BSAP در زنان یائسه

متغیر	گروه	پیش‌آزمون	پس‌آزمون	تفاوت‌های درون گروهی	تفاوت‌های بین گروهی (آزمون کواریانس)
				P	F, P, اندازه اثر
CTX (ng/ml)	تمرین	۱/۰±۲۴/۶۹	۰/۰±۹۷/۵۹	۰/۰۱۲	۱۳/۲۹, ۰/۰۰۱*
	تمرین + (Ca+D)	۱/۰±۵۲/۹۸	۰/۰±۵۳/۴۶	۰/۰۰۲	
	دارونما	۱/۰±۴۰/۹۷	۱/۰±۵۶/۷۷	۰/۰۶۳	
BSAP (U/L)	تمرین	۲۶/۱۶±۱۹/۹۱	۳۲/۱۵±۴۳/۰۷	۰/۰۰۱	۶/۰۳۶, ۰/۰۰۲*
	تمرین + (Ca+D)	۲۴/۱۰±۸۰/۵۶	۳۶/۱۳±۸۷/۱۵	۰/۰۰۱	
	دارونما	۲۵/۱۰±۱۲/۴۲	۲۵/۹±۳۶/۹۳	۰/۰۹۲	

ا: تفاوت‌های معنادار پیش‌آزمون به پس‌آزمون، *: تفاوت معنادار بین سه گروه، CTX: C-terminal telopeptide, BSAP: آنتالین فسفاتاز اختصاصی استخوان.

Ca+D: مصرف کلسیم و ویتامین D

بر اساس یافته‌های جدول ۳ در تحلیل مقایسه میانگین بیومارکرهای CTX و BSAP در زنان یائسه، نتایج تحلیل کواریانس نشان داد که اثر پیش‌آزمون بر پس‌آزمون در سطح خطای پنج درصد معنادار است ($p<۰/۰۰۱$). همچنین، با کنترل اثر پیش‌آزمون، تفاوت

معناداری بین گروه‌ها در پس‌آزمون مشاهده شد ($p<۰/۰۰۱$) و ($F_{CTX}=۱۳/۲۹۶$) و ($F_{BSAP}=۶/۰۳۶$). به این معنا که پس از کنترل اثر پیش‌آزمون، میانگین مقدار CTX و BSAP در سه گروه تفاوت معناداری داشته است. مقدار اندازه اثر

۰/۲۵۱ بود که نشان می‌دهد، حدود ۲۵ درصد از تغییرات در مقدار BSAP ناشی از تفاوت بین گروه‌ها می‌باشد.

CTX برابر با ۰/۴۲۵ بود که نشان می‌دهد، حدود ۴۳ درصد از تغییرات در مقدار CTX ناشی از تفاوت‌های گروه‌ها می‌باشد و مقدار اندازه اثر BSAP برابر

جدول ۴. نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی در مقایسه میانگین مقدار بیومارکر CTX و BSAP زنان یائسه در پس‌آزمون بین سه گروه

متغیر	گروه	تمرین+(Ca+D)	دارونما	اختلاف میانگین با گروه دارونما
CTX	تمرین	۰/۰۰۲**	۰/۰۰۳*	۰/۵۹
(ng/ml)	تمرین+(Ca+D)	-	۰/۰۰۱*	۱/۰۳
BSAP	تمرین	۰/۰۱۲**	۰/۰۰۱*	۷/۰۷
(U/L)	تمرین+(Ca+D)	-	۰/۰۰۲*	۱۱/۵۱

* تفاوت معنادار با گروه دارونما در سطح $p \leq 0.05$; ** تفاوت معناداری بین دو گروه تجربی، (Ca+D): مصرف کلسیم و ویتامین D

کاهش CTX در این پژوهش با یافته‌های آلو^۱ همخوانی دارد که نشان داد تمرین هوازی زیربیشینه طی دو ماه، کاهش قابل‌توجهی در جذب استخوان زنان پیش‌یائسه ایجاد می‌کند [۱۹]. به‌طور مشابه، ترتیبیان و همکاران گزارش کردند که نه هفته تمرین هوازی شدید (70٪-80٪ HRmax) باعث افزایش آلکالین فسفاتاز در زنان جوان شد [۲۰]. نتایج الغدیر و همکاران نیز نشان داد که ۱۲ هفته تمرین هوازی در ۶۵ فرد منجر به بهبود شاخص‌های بیوشیمیایی استخوان و افزایش تراکم استخوانی گردید [۲۱].

در راستای این یافته‌ها، کاظمی و همکاران اثبات کردند که تمرینات تناوبی شدید (HIIT) سطح آلکالین فسفاتاز و کلسیم را در زنان یائسه ارتقاء می‌دهد [۲۲]. همچنین، فتحی و همکاران (۲۰۲۲) افزایش معنادار آلکالین فسفاتاز را پس از هشت هفته تمرین هوازی در زنان یائسه چاق گزارش کردند [۲۳]. در همین زمینه، حسن‌زاده و همکاران نشان دادند که ترکیب ورزش و مکمل کلسیم/ویتامین D نسبت به مداخلات منفرد اثربخشی بیشتری بر بیومارکرهای استخوان دارد [۲۴].

علاوه‌براین، یافته‌های مطالعه حاضر با مطالعات هاشیموتو^۲ و همکاران و رحمی^۳ و همکاران نیز

بر اساس نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی با کنترل اثر پیش‌آزمون، مقدار بیومارکر CTX در گروه تمرین بادی‌پامپ و تمرین بادی‌پامپ+(Ca+D) به‌طور معناداری کمتر از گروه دارونما بود ($p=0.001$). همچنین تفاوت معناداری بین مقدار بیومارکر CTX در گروه تمرین و گروه تمرین+(Ca+D) مشاهده شد ($p=0.002$). علاوه‌براین، بر اساس نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی مقدار بیومارکر BSAP در گروه تمرین بادی‌پامپ و گروه تمرین+(Ca+D) به‌طور معناداری بیشتر از گروه دارونما بود ($p=0.001$). همچنین تفاوت معناداری در مقدار بیومارکر BSAP بین گروه تمرین بادی‌پامپ و گروه تمرین+(Ca+D) مشاهده شد ($p=0.012$).

بحث

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که هشت هفته تمرینات بادی‌پامپ همراه با مکمل‌یاری کلسیم و ویتامین D منجر به کاهش معنادار نشانگر جذب استخوان (CTX) و افزایش نشانگر تشکیل استخوان (BSAP) در زنان یائسه شد. این تغییرات در گروه تمرین همراه با مکمل به‌طور معناداری بیشتر از گروه تمرین تنها بود، که نشان‌دهنده اثر هم‌افزایی میان فشار مکانیکی ناشی از ورزش و حمایت تغذیه‌ای مکمل‌ها در بهبود متابولیسم استخوان است.

¹ Alev

² Hashimoto

³ Rahme

مطابقت دارد؛ این محققان نشان دادند که فعالیت بدنی منظم علاوه بر بهبود جذب کلسیم و کاهش دفع ادراری آن، منجر به افزایش آلکالین فسفاتاز و تشکیل استخوان‌های جدید می‌شود [۲۵، ۲۶]. همچنین مطالعات دیگری مانند؛ شن^۱، توسن^۲ [۲۷] و شیباتا^۳ [۲۹] نیز افزایش آلکالین فسفاتاز پس از تمرین را تأیید کرده‌اند.

با این حال، برخی پژوهش‌ها یافته‌های متناقضی ارائه نموده‌اند. برای مثال، بامبن^۴ تغییری در شاخص‌های متابولیسم استخوان پس از یک جلسه تمرین مقاومتی گزارش نکرد [۳۰]. همچنین ون^۵ و همکاران به اثر معناداری از تمرینات گروهی مقاومتی- هوازی بر تراکم استخوان زنان یائسه دست نیافتند. این ناهمخوانی‌ها احتمالاً ناشی از تفاوت در شدت، مدت، جمعیت نمونه و پایداری به پروتکل‌ها است [۳۱].

ورزش، به‌ویژه تمرینات بادی پامپ، فشار مکانیکی کافی برای تحریک بافت استخوانی ایجاد می‌کند. این بار مکانیکی با فعال‌سازی استئوسیت‌ها، سبب افزایش فعالیت استئوبلاست‌ها و مهار استئوکلاست‌ها شده و بازسازی استخوان را تسهیل می‌کند [۳۲]. مطالعات نشان داده‌اند که برای تحریک بازسازی استخوان باید فشاری بیش از ۲/۵ برابر وزن بدن اعمال شود، در حالی که فعالیت‌هایی مانند پیاده‌روی اغلب به این آستانه نمی‌رسند [۳۳].

تمرینات بادی پامپ همچنین با افزایش رگ‌زایی در بافت استخوانی، تغذیه و اکسیژن‌رسانی را ارتقاء داده و از طریق واسطه‌هایی مانند نیتریک‌اکسید و اندوتلین-۱ فعالیت استئوبلاست‌ها را تقویت می‌کنند [۳۴]. علاوه بر این، ورزش طولانی‌مدت جذب روده‌ای کلسیم را افزایش داده، دفع ادراری آن را کاهش می‌دهد و سطح کلسیم سرمی را بهبود

می‌بخشد [۲۵].

از طرف دیگر، کلسیم و ویتامین D دو عامل کلیدی در هموستاز استخوانی هستند. کلسیم برای معدنی‌سازی ماتریکس استخوان حیاتی است و ویتامین D با افزایش جذب روده‌ای کلسیم و فسفر، تنظیم بازجذب کلیوی و تعدیل PTH نقش محوری دارد [۳۵].

مطالعات متاآنالیز نشان داده‌اند که مصرف همزمان کلسیم و ویتامین D خطر شکستگی کل را تا ۱۵ درصد و شکستگی لگن را تا ۳۰ درصد کاهش می‌دهد [۳۶]. همچنین چن^۶ و همکاران تأکید کردند که مکمل‌سازی ترکیبی نسبت به ویتامین D تنها اثر بیشتری بر تراکم استخوان دارد [۳۷]. یافته‌های این پژوهش نیز همسو با این داده‌ها است؛ چرا که مکمل‌یاری، اثرات ورزش را بر BSAP و CTX تقویت کرد و محیطی مطلوب برای بازسازی استخوان ایجاد نمود.

مطالعات انجام شده، بر نقش عوامل مولکولی همچون MOTs-c تأکید کرده‌اند. MOTs-c یک پپتید مشتق از میتوکندری است که تکثیر و معدنی‌سازی استئوبلاست‌ها را افزایش داده و فعالیت استئوکلاست‌ها را مهار می‌کند [۳۸]. فعالیت بدنی سطح این پپتید را افزایش می‌دهد و می‌تواند یکی از مکانیسم‌های جدید اثر ورزش بر استخوان باشد. همچنین، مسیر سیگنالینگ Akt در تمایز استئوبلاست‌ها نقش دارد و پیوندی میان فشار مکانیکی تمرین و پاسخ مولکولی بافت استخوان ایجاد می‌کند [۳۹].

از نقاط قوت این مطالعه می‌توان به مداخله ترکیبی ورزش+مکمل، تمرکز بر جمعیت پرخطر (زنان یائسه) و استفاده از بیومارکرهای معتبر CTX و BSAP اشاره کرد. محدودیت‌ها شامل مدت کوتاه مداخله (هشت هفته) و عدم استفاده از روش‌های تصویربرداری مانند DXA یا QCT بود.

¹ Shen

² Tosun

³ Shibata

⁴ Bamben

⁵ Wen

⁶ Chen

نتیجه گیری

به طور کلی، نتایج پژوهش حاضر اهمیت مداخلات چندوجهی (ورزش + مکمل یاری) را در ارتقای سلامت استخوان زنان یائسه نشان می دهد. ترکیب فشار مکانیکی و حمایت تغذیه ای، فرآیند بازسازی استخوان را به شکل مؤثرتری بهبود می بخشد. پیشنهاد می شود پژوهش های آینده با دوره های طولانی تر، روش های تصویربرداری دقیق تر و بررسی مسیرهای مولکولی انجام شود تا شواهد قوی تری برای طراحی پروتکل های بالینی برای سلامت استخوان فراهم گردد.

تشکر و قدردانی

این مقاله، از نتایج پایان نامه خانم فائزه غلامعلی خنمه (شناسه اخلاق IR.IAU.KHUISF.REC.1404.472) برای اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته فیزیولوژی ورزشی از دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان می باشد. بدین وسیله نویسندگان از همکاران و به خصوص از آزمودنی های شرکت کننده که در انجام این مطالعه همکاری نمودند، نهایت تشکر و قدردانی را دارند.

تعارض منافع

نویسندگان مقاله اعلام می دارند، هیچ گونه تضاد منافی در پژوهش حاضر وجود ندارد.

References

- 1- Spinelli A, Rossi M, Cagnacci A. Genetic and environmental determinants of age at menopause. *Maturitas*. 2004;48(3):273-9.
- 2- Ilesanmi AO, Adeyemo OA, Bello R. Menopause and bone mineral density: Clinical perspectives. *Niger J Clin Pract*. 2019;22(5):629-35.
- 3- Ji L. Nutritional deficiencies and osteoporosis risk in postmenopausal women. *J Nutr Metab*. 2023; 2023:1-8.
- 4- ArceoMendoza RM, García JA, Torres JM. Calcium and vitamin D intake and bone health in postmenopausal women. *Clin Nutr Res*. 2021;10(2):87-95.
- 5- Aluia A, Colombo C, Bianchi M. Vitamin D deficiency and bone disease: Pathophysiology and clinical implications. *Endocr Rev*. 2013;34(2):204-20.
- 6- Feskanich D, Willett WC, Colditz GA. Calcium, vitamin D, milk consumption, and hip fractures: A prospective study among postmenopausal women. *Am J Clin Nutr*. 2003;77(2):504-11.
- 7- Ebeling PR, Daly RM, Kerr DA, Kimlin MG. Calcium and vitamin D supplementation and bone health in postmenopausal women. *Osteoporos Int*. 2014;25(8):2057-69.
- 8- Bhattarai T, Singh A, Kafle R. Effects of vitamin D supplementation on bone health in postmenopausal women: A systematic review. *J Clin Densitom*. 2020;23(4):560-8.
- 9- Mendoza R, Lopez C, Torres M. Effects of weight-bearing exercise on bone density in postmenopausal women: A randomized trial. *J Womens Health*. 2016;25(9):927-34.
- 10- Fausto A, Oliveira D, Pereira A. Physical activity and sedentary behavior interventions for bone health in older adults: A systematic review for WHO guidelines. *J Aging Phys Act*. 2023;31(1):45-56.
- 11- Schinzel B, Krause A, Vogt L. Exercise and bone mineral density: A meta-analysis in middle-aged and elderly women. *Osteoporos Int*. 2023;34(2):217-29.
- 12- Kistler J. Exercise and bone density: Risks and benefits of high-intensity training in older women. *Sports Med*. 2021;51(7):1421-32.
- 13- Greco EA, Lenzi A, Migliaccio S. Role of body pump training in bone health: A review. *Int J Endocrinol*. 2011;2011:1-6.
- 14- Rustaden AM, Haakstad LAH, Paulsen G, Bø K. Effects of BodyPump and resistance training with and without a personal trainer on muscle strength and body composition in overweight and obese women-A randomised controlled trial. *Obes Res Clin Pract*. 2017;11(6):728-739.

- 15- Rustaden AM, Haakstad LA, Paulsen G, Bø K. Long-term effects of body pump training on bone mineral density and physical fitness. *Eur J Appl Physiol*. 2018;118(4):763-72.
- 16- Barahona J. Resistance training and menopausal symptoms: Effects on bone and mental health. *Maturitas*. 2020;136:12-9.
- 17- Ahmadi S, Rahmani-Nia F, Damirchi A. The effect of body pump training on bone mineral density and body composition in postmenopausal women. *J Osteopor Phys Act*. 2019;7(1):1-6.
- 18- Szulc P, Naylor K, Hoyle NR, Eastell R. IOF Bone Marker Standards Working Group. Monitoring treatment of osteoporosis with bone turnover markers: a review of the evidence and recommendations for clinical practice. *Osteoporos Int*. 2020;31(7):1283-94.
- 19- Alev A. Effects of aerobic exercise on bone-specific Alkaline Phosphatase and urinary CTX levels in premenopausal women. *Turk J Phys Med Rehab*. 2013;59:310-3.
- 20- Tartibian B, Moutab Saei N. Effects of 9-weeks high intensity aerobic exercises on parathyroid hormone and marker of metabolism of bone formation in young women. *Olympic*. 2009;16(4):79-88. [Full text in Persian]
- 21- Alghadir AH, Aly FA, Gabr SA. Effect of moderate aerobic training on bone metabolism indices among adult humans. *Paki J Med Sci*. 2014; 30(4):840-44.
- 22- 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 Med*. 2025; 32(6): 68-80. [Full text in Persian]
- 23- Fathi M, Attarzadeh Hosseini SR, Hejazi K. Effect of eight weeks aerobic training on serum parathormone, estrogen and alkaline phosphatase concentration in obese women with premature menopause (Persian)]. *Iran J Obstet Gynecol Infertil*. 2017; 20(7):8-17. [Full text in Persian]
- 24- Hassanzadeh H, Gozashti M, Dehkhoda M, Kazemi A. The effect of calcium and vitamin D consumption and combined training on parathyroid hormone and Alkaline Phosphatase of postmenopausal women. *Med J Mashhad Univ Med Sci*. 2012; 55(2): 96-101. [Full text in Persian]
- 25- Hashimoto H, Shikuma S, Mandai S, Adachi S, Uchida S. Calciumbased phosphate binder use is associated with lower risk of osteoporosis in hemodialysis patients. *Scientific Rep*. 2021; 11(1):1-9.
- 26- Rahme M, Sharara SL, Baddoura R, Habib RH, Halaby G, Arabi A, et al. Impact of calcium and two doses of vitamin D on bone metabolism in the elderly: A randomized controlled trial. *J Bone Miner Res*. 2017;32(7):1486-1495.
- 27- Shen C, Williams J, Chien Chyu M, Paige R, Stephens A, Chauncey K, et al. Comparison of the effects of Tai Chi and resistance training on bone metabolism in the elderly: A feasibility study. *Am J Chinese Med*. 2007;35(3):369-81.
- 28- Tosun A, Bolukbasi N, Cingi E, Beyazova M, Unlu M. Acute effects of a single session of aerobic exercise with or without weight-lifting on bone turnover in healthy young women. *Mod Rheumatol*. 2006;16(5):300-4.
- 29- Shibata Y, Ohsawa I, Watanabe T, Miura T, Sato Y. Effects of physical training on bone mineral density and bone metabolism. *J Physiol Anthropol Appl Human Sci*. 2003;22(4):203-8.
- 30- Bemben DA, Palmer IJ, Abe T, Sato Y, Bemben MG. Effects of a single bout of low intensity Kaatsu resistance training on markers of bone turnover in young men. *Int J Kaatsu Training Res*. 2007;3(2):21-6.
- 31- 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. *Osteoporos Int*. 2017;28(2):539-47.
- 32- Frost HM. Bone's mechanostat: A 2003 update. *Anat. Rec. Part A* 2003, 275A, 1081–1101.
- 33- Robling AG, Turner CH. Mechanical signaling for bone modeling and remodeling. *Crit Rev Eukaryot Gene Expr*. 2009;19(4):319-38.
- 34- Klein-Nulend J, van Oers RF, Bakker AD, Bacabac RG. Bone cell mechanosensitivity, estrogen deficiency, and osteoporosis. *J Biomech*. 2015;48(5):855-65.
- 35- Holick MF. Vitamin D deficiency. *N Engl J Med*. 2007;(19):357(3):266-81.

- 36- Weaver CM, Alexander DD, Boushey CJ, Dawson-Hughes B, Lappe JM, LeBoff MS, et al. Calcium plus vitamin D supplementation and risk of fractures: an updated meta-analysis from the National Osteoporosis Foundation. *Osteoporos Int.* 2016;27(1):367-76.
- 37- Chen P, Wen W. Effects of combined calcium and vitamin D supplementation on bone mineral density. *Nutrients.* 2020;12(2):367.
- 38- Yi X, Hu G, Yang Y, Li J, Jin J, Chang B. Role of MOTS-c in the regulation of bone metabolism. *Front. Physiol.* 2023;14:1149120.
- 39- Wang X, Wang Y, Yang X, Mohd Nasiruddin NJB, Dong D, Samsudin SB, et al. Effects of blood flow restriction training on bone metabolism: a systematic review and meta-analysis. *Front. Physiol.* 2023; 14:1212927.