University of Birjand

Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport

2026, 14(38), 24-37

Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport

Research Paper

The effect of endurance training timing on serum levels of bone metabolism markers in middle-aged women

Nabi Shamsaei[1], Hadi Abdi[2]*, Behnoush Solgi[3]

Received: Feb 26, 2025 Revised: Jul 10, 2025 Accepted: Jul 11, 2025

Article info

1. Associate Professor at Department of Exercise Physiology, Faculty of Humanities, Ilam University, Ilam, Iran.
2. Assistant Professor at Department of Exercise Physiology, Payame Noor University, Tehran, Iran.
3. MSc in Exercise Physiology, Faculty of Humanities, Ilam University, Ilam, Iran.

***Corresponding Author Address:** Sports Science Group, Department of Psychology and Educational Sciences, Payame Noor University, Ilam, Iran.
Email: Abdi.h@pnu.ac.ir

Extended Abstract

Background and Aim: The skeleton plays a fundamental role in body structure, protection, movement, mineral storage, and hematopoiesis. Bone health is influenced by numerous factors, including nutritional status, hormonal balance, and physical activity. Age-related decline in bone mass is an inevitable process, and advancing age represents one of the most significant non-modifiable risk factors for osteoporosis. Preventive strategies such as weight-bearing exercise, adequate calcium intake, and sufficient vitamin D levels are essential for maintaining bone integrity and reducing fracture risk.

Scientific evidence indicates that regular physical activities, particularly weight-bearing exercises, contribute to preventing metabolic disorders and bone density loss by reducing bone resorption, increasing bone tissue formation, and maintaining mineral balance. These protective effects stem from exercise's ability to modulate endocrine systems and mechanical signaling in bone cells, ultimately leading to improved bone structure quality and strength. In addition to exercise type and intensity, emerging evidence suggests that the timing of exercise may influence metabolic and physiological responses, including those related to bone metabolism. Circadian rhythms regulate numerous biological processes, and growing research indicates that the body's internal biological clock may determine the optimal time to maximize exercise-induced benefits. Sato et al. (2019) reported a significant association between time of day and the physiological benefits derived from exercise, highlighting that exercise timing can

Cite this article:
Shamsaei N, Abdi H, Solgi B. The effect of endurance training timing on serum levels of bone metabolism markers in middle-aged women. Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport. 2026;14(38):24-37. https://doi.org/10.22077/jpsbs.2025.9019.1953

Copyright: © 2026 by the authors. Licensee **Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport (JPSBS)**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

elicit distinct metabolic responses. As a non-photic environmental stimulus, physical activity can modulate circadian rhythms and potentially shift the phase of the biological clock. When performed at an appropriate time, exercise may enhance circadian synchronization and improve physiological adaptation.

Although animal studies have demonstrated that exercise performance, gene expression, and energy expenditure vary according to time of day, the influence of exercise timing on bone metabolism remains insufficiently investigated, particularly in human populations. Therefore, the present study aimed to examine the effect of endurance exercise timing on serum levels of selected bone metabolism markers in middle-aged women.

Materials and Methods: This study was an experimental research with a pre-test to post-test design and a control group, conducted in 2024. The statistical population consisted of women aged 40 to 50 years in Kermanshah city. From the aforementioned population, 45 individuals volunteered to participate following a call for participation. Of these, seven were excluded due to not meeting the study's inclusion criteria, and two were excluded after the first blood draw due to diagnosed illnesses. The remaining 36 individuals were selected as the statistical sample and were randomly assigned to three groups of 12: a morning exercise group (10:00 AM), an evening exercise group (7:00 PM), and a control group. Participants were selected based on inclusion criteria of BMI 18-25 kg/m², absence of chronic diseases, and no use of supplements affecting bone metabolism. The exercise protocol lasted eight weeks with three 60-minute weekly sessions consisting of warm-up, prolonged aerobic exercise, circuit training (sit-ups, push-ups, jump rope, plank, and burpees), and cool-down. Intensity gradually increased from 55% to 70% of heart rate reserve, monitored using Polar H9 heart rate monitors. Fasting blood samples were collected before and after the intervention, and serum levels of bone alkaline phosphatase, vitamin D, parathyroid hormone, and calcitonin were measured using standard kits. Statistical analyses were performed using analysis of covariance (ANCOVA) to assess between-group differences while controlling for baseline values. Bonferroni post hoc test were applied where appropriate. Statistical significance was set at $p<0.05$.

Findings: Results showed no significant differences in anthropometric characteristics between study groups. Data analysis using Shapiro-Wilk and Levene's tests confirmed normal data distribution and homogeneity of variances. Then, ANCOVA test revealed that significant between-group differences in serum alkaline phosphatase levels (p=0.003), and Bonferroni post-hoc test showed that this difference was primarily between the evening exercise and control groups (p=0.003). While the morning exercise and control group comparison was not statistically significant. No significant differences were observed for other bone metabolism markers: parathyroid hormone (p=0.49), calcitonin (p=0.72), or vitamin D (p=0.41) (Table 1).

Table 1. Description (Mean±SD) and comparison of changes in bone metabolism markers after 8 weeks of training

Markers	Groups	Stage		F	p
		Pre-test	Post-test		
Alkaline Phosphatase (IU/L)	Morning Exercise	43.66 ± 2.74	50.91 ± 15.79	7.03	0.003*
	Evening Exercise	43.08 ± 3.28	62.25 ± 13.89		
	Control	43.75 ± 3.38	41.25 ± 9.77		
Parathyroid Hormone (pg/mL)	Morning Exercise	49.83 ± 6.99	53.47 ± 7.53	0.71	0.49
	Evening Exercise	50.45 ± 5.35	51.18 ± 7.51		
	Control	56.16 ± 9.77	55.08 ± 10.75		
Calcitonin (pg/mL)	Morning Exercise	2.04 ± 0.74	3.63 ± 1.83	0.33	0.72
	Evening Exercise	2.10 ± 0.74	2.86 ± 1.20		
	Control	1.84 ± 0.48	2.96 ± 1.17		
Vitamin D (ng/mL)	Morning Exercise	36.56 ± 13.70	40.92 ± 13.49	0.91	0.41
	Evening Exercise	33.86 ± 7.74	33.62 ± 5.94		
	Control	30.50 ± 8.35	24.34 ± 4.34		

*Indicates a significant difference between groups at $p \leq 0.05$.

Conclusion: The present study demonstrated that the timing of endurance exercise exerts differential effects on certain bone metabolism markers in middle-aged women. Specifically, evening exercise resulted in a significant increase in bone-specific alkaline phosphatase levels, a marker of bone formation, whereas morning exercise did not produce a similar effect. These findings suggest a potential stimulatory influence of evening exercise on the bone formation process.

In contrast, neither morning nor evening exercise significantly affected serum levels of vitamin D, parathyroid hormone, or calcitonin. The slight increase in vitamin D observed in the morning exercise group may have been influenced by greater sun exposure rather than a direct physiological effect of exercise timing.

Overall, these results indicate that some markers of bone metabolism—particularly those associated with bone formation—may be sensitive to the timing of exercise, while others appear to be more strongly influenced by external factors such as nutritional status, sunlight exposure, and individual physiological variability. These findings highlight the potential importance of considering exercise timing when designing interventions aimed at optimizing bone health. However, further research with longer intervention periods, stricter control of confounding variables, and careful monitoring of dietary intake and environmental factors is needed to clarify the underlying mechanisms and to establish practical recommendations.

Keywords: Aerobic exercise, Exercise timing, Bone metabolism, Middle-aged women.

Ethical Considerations: The study protocol was approved by the Ethics Committee of Ilam University (Approval ID: IR.ILAM.REC.1403.017).

Compliance with ethical guideline: All participants provided written informed consent after receiving full explanations about the research objectives and procedures. Confidentiality of participant data was strictly maintained, and voluntary withdrawal from the study was permitted at any stage.

Funding: This article is derived from a Master's thesis at Ilam University, with research costs covered by personal funds.

Conflict of Interest: The authors declare no conflicts of interest regarding the publication of this article.

نشریه مطالعات کاربردی علوم‌زیستی در ورزش
۱۴۰۵، دوره ۱۴، شماره ۳۸، ص ۳۷-۲۴

مقاله پژوهشی

تأثیر زمان اجرای تمرینات استقامتی بر سطح سرمی برخی نشانگرهای متابولیسم استخوان در زنان میانسال

نبی شمسایی[۱]، هادی عبدی[۲*]، بهنوش سلگی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۰۸ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۴/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۲۰

اطلاعات مقاله

۱. دانشیار گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.
۲. استادیار گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.
۳. کارشناسی ارشد فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

*** آدرس نویسنده مسئول:**
ایلام، دانشگاه پیام نور، بخش روانشناسی و علوم تربیتی، گروه علوم ورزشی؛
پست الکترونیک:
Abdi.h@pnu.ac.ir

چکیده

زمینه و هدف: زمان تمرین یکی از عواملی است که بر سازگاری‌های فیزیولوژیکی ناشی از ورزش تأثیرگذار است. هدف پژوهش حاضر، بررسی تأثیر زمان اجرای تمرینات استقامتی بر سطح سرمی برخی نشانگرهای متابولیسم استخوان در زنان میانسال بود. **روش تحقیق:** در این مطالعه نیمه تجربی، ۳۶ آزمودنی زن ۴۰ تا ۵۰ ساله به صورت هدفمند انتخاب و به‌طور تصادفی به سه گروه تمرین در صبح، تمرین در شب و گروه کنترل تقسیم شدند. گروه‌های تمرینی به مدت هشت هفته، سه جلسه در هفته و هر جلسه به مدت ۶۰ دقیقه تمرینات هوازی با شدت ۵۵ تا ۷۰ درصد ضربان قلب ذخیره را انجام دادند. برای بررسی متغیرهای بیوشیمیایی، ۴۸ ساعت قبل و پس از مداخله، در شرایط ناشتایی نمونه‌های خونی از ورید بازویی جمع‌آوری و پس از جداسازی سرم، برای سنجش سطوح سرمی آلکالین فسفاتاز، ویتامین D، هورمون‌های پاراتورمون و استفاده شد. داده‌ها با استفاده از آزمون آنالیز کوواریانس در سطح معنی‌داری $p\leq ۰/۰۵$ بررسی شدند. **یافته‌ها:** نتایج افزایش معنی‌دار مقادیر سرمی آلکالین فسفاتاز را در گروه تمرین در شب در مقایسه با گروه کنترل نشان داد ($p=۰/۰۰۳$). مقادیر سرمی ویتامین D ($p=۰/۴۱$)، هورمون پاراتیروئید ($p=۰/۴۹$) و کلسی‌تونین ($p=۰/۷۲$) در گروه‌های تمرینی در مقایسه با گروه کنترل تفاوت معنی‌داری نداشت. همچنین، بین گروه‌های مداخله تمرینی تفاوت معنی‌داری از نظر سطوح سرمی متغیرهای بیوشیمیایی مشاهده نشد ($p\geq ۰/۰۵$). **نتیجه‌گیری:** به نظر می‌رسد زمان انجام تمرین هوازی تأثیر معنی داری بر نشانگرهای زیستی مرتبط با متابولیسم استخوان، شامل ویتامین D، هورمون پاراتیروئید و کلسی‌تونین ندارد؛ با این وجود، این عامل به‌صورت اختصاصی با افزایش مطلوب در سطوح آلکالین فسفاتاز استخوانی همراه است.

واژه‌های کلیدی: تمرین هوازی، زمان تمرین، متابولیسم استخوان، زنان میانسال.

مقدمه

استخوان‌های سالم برای سلامت و تندرستی انسان مهم هستند. اسکلت نقش مهمی در ساختار، حفاظت، حرکت، ذخیره مواد معدنی و تولید گلبول های قرمز دارد. رشد و تکوین استخوان به عوامل مختلفی از قبیل عوامل مکانیکی و تعامل عوامل تغذیه‌ای و هورمونی وابسته است (۱). کاهش توده استخوان یک پیامد اجتناب‌ناپذیر سالمندی است و بالا رفتن سن یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر و غیر قابل کنترل در بروز پوکی استخوان است (۲). به‌طور کلی کاهش تراکم استخوان را می‌توان با رعایت سلامت استخوان‌ها از طریق مصرف کافی کلسیم، ویتامین D و انجام ورزش‌های تحمل وزن، به حداقل رساند (۳). فعالیت بدنی در طول زندگی برای داشتن استخوان‌های سالم ضروری است و بخش مهمی از فرآیند پیشگیری و درمان پوکی استخوان است. همچنین قدرت، هماهنگی و تعادل عضلانی را افزایش می‌دهد و منجر به سلامت کلی بهتری می‌شود (۴).

مشخص شده است که ورزش و فعالیت بدنی بویژه فعالیت‌های ضربه‌ای و همراه با تحمل وزن بر سطوح هورمون‌ها و نشانگرهای مرتبط با متابولیسم استخوان تأثیر می‌گذارند (۵). ورزش و فعالیت بدنی از طریق بازسازی مسیرهای پیام‌رسانی متابولیک خاص، به طور گسترده‌ای به عنوان یک استراتژی درمانی سودمند برای سلامت انسان شناخته شده است. همچنین، گزارش شده است که علاوه بر مدت و نوع تمرین، زمان انجام تمرین نیز یکی از متغیرهای مؤثر بر سازگاری‌های فیزیولوژیکی ناشی از ورزش و یک عامل مهم برای تقویت اثر مفید ورزش بر مسیرهای متابولیک در عضلات اسکلتی، استخوان‌ها و همؤستاز انرژی است (۶، ۷). تمرینات ورزشی به عنوان یک محرک فیزیولوژیک مؤثر، با ایجاد تغییرات قابل توجه در سطوح نشانگرهای کلیدی متابولیسم استخوان از جمله آلکالین فسفاتاز استخوانی[1]، هورمون پاراتیروئید[2]، هورمون کلسی‌تونین[3] و ویتامین D نقشی تعیین کننده در حفظ سلامت استخوان ایفا می‌کنند. شواهد علمی نشان می‌دهد که فعالیت‌های بدنی منظم، به ویژه تمرینات همراه با تحمل وزن، از طریق کاهش روند بازجذب استخوان، افزایش تشکیل بافت استخوانی و حفظ تعادل مواد معدنی، به پیشگیری از بروز اختلالات متابولیک و کاهش تراکم استخوان کمک می‌کنند. این اثرات محافظتی ناشی از توانایی ورزش در تعدیل سیستم‌های درون‌ریز و پیام‌رسانی مکانیکی سلول‌های استخوانی است که در نهایت منجر به بهبود کیفیت و استحکام ساختار استخوانی می‌گردد (۱۱-۸). علاوه بر فعالیت‌های ورزشی، ریتم شبانه‌روزی[4] که توسط ساعت بیولوژیک بدن تنظیم می‌شوند نیز بر عملکرد ارگان‌ها و بافت‌های مختلف بدن، از جمله سیستم عضلانی اسکلتی، قلبی- عروقی و متابولیک، تأثیر می‌گذارد و می‌توانند بر پاسخ بدن به تمرینات ورزشی و سازگاری‌های ناشی از آن مؤثر باشد. محققان معتقدند ساعت زیستی بدن ما می‌توانند تعیین کند که بهترین زمان برای استفاده حداکثری از تمرینات روزانه چه زمانی است (۶، ۷، ۱۲). ساتو[5] و دیگران (۲۰۱۹) در یک مطالعه به این نتیجه رسیدند که ارتباط قابل توجهی بین زمان روز و فواید ناشی از ورزش وجود دارد. آن‌ها بیان کردند که زمان انجام فعالیت بدنی در طول روز می‌تواند پاسخ‌های متابولیک و فیزیولوژیکی متنوعی را تحت تاثیر قرار دهد (۶). ورزش و فعالیت بدنی، به عنوان یک محرک محیطی غیر مرتبط با نور، می‌تواند بر تنظیم و تغییر فاز ریتم‌های شبانه‌روزی یا ساعت بیولوژیکی بدن تأثیر بگذارد (۷). شواهدی برای ریتم شبانه‌روزی در نشانگرهای زیستی استخوان وجود دارد که نشان می‌دهد اختلال در ریتم شبانه روزی می‌تواند مستقیماً بر فیزیولوژی و متابولیسم استخوان تأثیر بگذارد (۱۳). عواملی از قبیل آلودگی نوری در شب، بیداری فعال یا غیرفعال تا دیروقت، و تغییر شیفت کاری، می‌توانند ریتم شبانه‌روزی بدن را به شدت تحت تأثیر قرار دهند. مطالعات نشان داده‌اند که اختلال در ریتم شبانه‌روزی از علل کاهش ساختارهای میکروسکوپی استخوان از قبیل ناحیه‌ی ترابکولار و کورتیکال[6] است (۱۴). همچنین، مشخص شده است که نه تنها فرآیند بازسازی استخوان، بلکه غلظت سرمی برخی هورمون‌ها و عوامل تنظیم‌کننده متابولیسم استخوان مانند کلسی‌تونین، کلسیم، استئوکلسین[7]، پاراتورمون و آلکالین فسفاتاز استخوانی دارای ریتم شبانه‌روزی هستند (۷). گزارش‌ها نشان می‌دهند که علاوه بر عوامل محیطی از قبیل نور، ورزش نیز می‌تواند ریتم شبانه‌روزی پستانداران را تنظیم کند. اگر ورزش و فعالیت بدنی در زمان مناسب

1. Bone-specific alkaline phosphatase (BAP)
2. Parathyroid hormone
3. Calcitonin
4. Circadian rhythms
5. Sato
6. Trabecular and Cortical regions
7. Osteocalcin

روز انجام شود، می‌تواند فاز ریتم شبانه‌روزی داخلی را تغییر داده و در نتیجه، هماهنگی ساعت زیستی را بهبود بخشد. مطالعه روی موش‌ها نشان داده است که عملکرد ورزشی، رونویسی ژن‌ها و مصرف انرژی، به زمان انجام ورزش در طول روز وابسته است (۱۲). گزارش شده است که فعالیت ورزشی منظم با شدت متوسط یا بالا ممکن است بر تغییرات شبانه‌روزی نشانگرهای متابولیسم استخوان تأثیر بگذارد، زیرا بار مکانیکی بر تحلیل و تشکیل استخوان و همچنین عوامل موجود در گردش خون مانند هورمون‌های گلوکوکورتیکوئید[1] و پاراتورمون تأثیر می‌گذارد (۱۷-۱۵). بنابراین، بهینه‌سازی محرک‌هایی که بر ریتم شبانه‌روزی تأثیر می‌گذارند، برای بهبود سلامت ساعت بیولوژیکی و اطمینان از عملکرد هماهنگ ساعت‌های شبانه‌روزی، بسیار مهم است. به همین دلیل، زمان‌بندی مناسب تمرینات ورزشی به گونه‌ای که با بیشترین پاسخ فیزیولوژیکی و مولکولی همزمان شود، می‌تواند به طور مضاعف به حفظ هموستاز ساعت زیستی بدن و مدیریت بیماری‌های متابولیک، از قبیل پوکی استخوان کمک کند (۱۸، ۱۹). اگرچه تمرینات ورزشی به عنوان یکی از مؤثرترین راهکارهای درمانی بالقوه برای بهبود خواص مکانیکی استخوان و پیشگیری و درمان بیماری‌های استخوانی در نظر گرفته می‌شود، اما سازوکارهای دقیقی که از طریق آن‌ها ورزش باعث افزایش این ویژگی‌ها می‌شود، هنوز به درستی شناخته نشده‌اند. همچنین، به نظر می‌رسد زمان انجام تمرینات ورزشی در طول روز می‌تواند به عنوان یک متغیر مهم و تأثیرگذار بر نتایج فیزیولوژیک ناشی از ورزش مؤثر باشد (۴، ۱۶، ۲۰). با این حال، شواهد موجود در ارتباط با اثرات بالقوه زمان انجام تمرینات استقامتی بر نشانگرهای متابولیسم استخوان محدود و نیازمند پژوهش‌های بیشتر است. بر همین اساس، این پژوهش به دنبال پاسخ به این سؤال است که آیا زمان انجام تمرینات استقامتی می‌تواند بر نشانگرهای متابولیسم استخوان تأثیر متفاوتی داشته باشد یا خیر؟ بنابراین، هدف از مطالعه حاضر بررسی تأثیر زمان اجرای تمرینات استقامتی بر سطح سرمی برخی نشانگرهای متابولیسم استخوان در زنان میانسال بود.

روش تحقیق

این پژوهش از نوع نیمه تجربی با طرح پیش آزمون-پس آزمون همراه با گروه کنترل بود که در سال ۱۴۰۳ انجام شد. جامعه آماری شامل زنان ۴۰ تا ۵۰ ساله شهر کرمانشاه بود. از بین جامعه آماری فوق، پس از فراخوان، تعداد ۴۵ نفر برای شرکت در پژوهش اعلام آمادگی کردند که از این تعداد هفت نفر، به‌دلیل نداشتن معیارهای ورود به پژوهش و دو نفر به دلیل محرز شدن بیماری پس از خونگیری مرحله اول، از پژوهش حذف شدند. ۳۶ نفر باقی‌مانده به عنوان نمونه آماری به‌طور تصادفی به سه گروه ۱۲ نفره شامل گروه تمرین در صبح (ساعت ۱۰ صبح)، گروه تمرین در شب (ساعت ۱۹) و گروه کنترل تقسیم شدند. معیارهای ورود به پژوهش شامل سن بین ۴۰ تا ۵۰ سال، شاخص توده بدنی[2] (BMI) بین ۱۸ تا ۲۵ کیلوگرم بر مترمربع نداشتن سابقه بیماری‌های مزمن (مانند پوکی استخوان، آرتریت روماتوئید، دیابت، بیماری‌های قلبی-عروقی و کلیوی)، عدم مصرف مکمل‌های کلسیم، ویتامین D، و داروهای مؤثر بر متابولیسم استخوان در سه ماه گذشته و عدم انجام منظم تمرینات ورزشی در یک سال منتهی به مطالعه بود. معیارهای خروج از پژوهش نیز شامل عدم تمایل و عدم مشارکت منظم (غیبت بیش از سه جلسه) در تمرینات و بروز هرگونه بیماری یا آسیب در طول دوره تحقیق بود.

ملاحظات اخلاقی: پروتکل این پژوهش پس از اخذ کد اخلاق با شناسه IR.ILAM.REC.1403.017 از کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه ایلام اجرا شد. با این حال، قبل از انجام مطالعه و پس از توضیح کامل اهداف و روش‌های تحقیق توسط محقق، از تمام شرکت‌کنندگان رضایتنامه کتبی شرکت در پژوهش اخذ گردید. به شرکت‌کنندگان اطمینان داده شد که اطلاعات آن‌ها محرمانه خواهد ماند. همچنین خروج از مطالعه در هر مرحله از پژوهش برای شرکت کنندگان کاملاً اختیاری بود.

پروتکل تمرینات استقامتی: ابتدا قبل از شروع برنامه‌های تمرینی، جلسه آشنایی با مداخلات تمرین برای آزمودنی‌ها برگزار گردید. در این جلسه نحوه تعیین شدت و چگونگی انجام تمرینات به آزمودنی‌های پژوهش آموزش داده شد. پروتکل تمرین در این پژوهش، شامل هشت هفته، هر هفته سه جلسه و هر جلسه به مدت ۶۰ دقیقه تمرین استقامتی (هوازی)، شامل ۱۰ دقیقه گرم

1. Glucocorticoid hormone
2. Body mass index

کردن، ۳۵ دقیقه ایروبیک طولانی‌مدت، ۱۰ دقیقه تمرینات آمادگی جسمانی دایره‌ای از قبیل دراز و نشست، شنای سوئدی، طناب بازی، پلانک و برپی در ایستگاه‌های مختلف و پنج دقیقه سرد کردن بود. تمرین استقامتی زیر نظر کارشناس ورزشی با نظارت پزشک انجام شد. در طول تمرینات برای پایش شدت تمرین از شاخص ضربان قلب ذخیره و ضربان‌سنج پلار[1] (مدل H9 ساخت کشور آمریکا) استفاده شد. شدت تمرین در دو هفته اول معادل ۵۵ درصد ضربان قلب ذخیره بود که به تدریج و هر دو هفته به میزان پنج درصد افزایش یافت و در دو هفته آخر به ۷۰ درصد ضربان قلب ذخیره رسید. این پروتکل با اقتباس از تحقیقات گذشته و با اعمال تغییراتی از قبیل اضافه کردن تمرینات دایره‌ای جهت ایجاد تنوع و پیشگیری از بروز یکنواختی در تمرین، طراحی و در اواسط فصل پاییز اجرا شد (۹). گروه تمرین در صبح ساعت ۱۰ صبح و گروه تمرین در شب ساعت ۱۹ پروتکل تمرین مختص به خود را در یک روز انجام دادند. گروه کنترل در طول دوره تحقیق هیچ گونه فعالیت ورزشی نداشتند.

نمونه‌گیری و نحوه جمع‌آوری داده‌ها: برای بررسی متغیرهای بیوشیمیایی، نمونه‌های خونی بعد از ۱۲ ساعت ناشتایی و در دو مرحله یعنی ۴۸ ساعت قبل و بعد از تمرین جمع‌آوری شدند. خون‌گیری به مقدار ۱۰ سی‌سی در ساعت هشت صبح در آزمایشگاه از ورید دست راست در وضعیت نشسته و در حالت استراحت انجام شد. سپس سرم نمونه‌های خون با استفاده از سانتریفیوژ ساخت کشور آلمان[2] (به مدت ۱۰ دقیقه و با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه) جداسازی و تا زمان انجام آزمایشات در فریزر با دمای منفی ۸۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. برای اندازه‌گیری سطح سرمی آلکالین فسفاتاز ویژه استخوان از کیت اختصاصی شرکت پارس آزمون با دامنه اندازه‌گیری ۸۰۰-۱۰ واحد بین المللی بر لیتر استفاده شد. سطح سرمی ویتامین D با استفاده از کیت اختصاصی شرکت روچه[3] آلمان (شماره کاتالوگ ۷۸۶۸۸۷۰۱) و میزان حساسیت ۱۰۰-۳ نانوگرم/ میلی‌لیتر و با روش الکتروکمی لومینسانس ایمونواسی[4] بر اساس میزان جذب به پروتئین متصل به ویتامین D اندازه‌گیری شد. برای سنجش سطح سرمی هورمون پاراتیروئید از کیت اختصاصی شرکت روشِ آلمان (شماره کاتالوگ ۷۶۳۵۶۰۳) با دامنه حساسیت ۵۰۰۰-۱/۲۰ پیکوگرم/ میلی‌لیتر و با روش الکتروکمی لومینسانس و کلسی‌تونین از روش الایزا و با استفاده از کیت اختصاصی شرکت روچه آلمان با محدوده اندازه‌گیری ۵۰۰-۰/۵ پیکوگرم/ میلی‌لیتر براساس اصل آزمون ساندویچ استفاده شد.

روش‌های آماری: از آمار توصیفی برای بیان میانگین و انحراف معیار و در بخش آمار استنباطی، از آزمون شاپیرو-ویلک[5] جهت بررسی توزیع داده‌ها، و آزمون لون[6] برای بررسی همگنی واریانس‌ها استفاده شد و سپس به منظور بررسی تفاوت بین گروه‌ها از آزمون تحلیل کوواریانس و برای تعیین محل تفاوت گروه‌ها، از آزمون تعقیبی بونفرونی[7] در سطح معنی داری $p\leq ۰/۰۵$ استفاده گردید. کلیه محاسبات و تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام شد.

یافته‌ها

مقایسه گروه‌ها نشان داد که تفاوت معنی‌داری از نظر ویژگی‌های فردی و آنتروپومتریک، در ابتدای پژوهش بین گروه‌های مختلف تحقیق وجود ندارد (جدول یک).

جدول دو مقادیر سرمی نشانگرهای متابولیسم استخوان در دو مرحله پیش‌آزمون و پس‌آزمون را در گروه‌های تجربی و گروه کنترل نشان می‌دهد. نتایج آزمون تحلیل کوواریانس پس از کنترل اثر پیش‌آزمون، نشان داد که بین سه گروه تحقیق از نظر سطح سرمی آلکالین فسفاتاز تفاوت آماری معنی‌داری وجود دارد ($F=۷/۰۳$، $p=۰/۰۰۳$، $\eta^2= ۰/۳۰$) بر اساس اندازه اثر بدست آمده، حدود ۳۰/۵ درصد از تغییرات این متغیر توسط عضویت گروهی تبیین می‌شود. همچنین نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی نشان داد که تنها تفاوت بین گروه تمرین شبانگاهی و گروه کنترل از نظر آماری معنی‌دار است ($MD= ۲۰/۸۶$، $p=۰/۰۰۲$)؛ در حالی که تفاوت بین گروه تمرین صبحگاهی و گروه کنترل ($p=۰/۲۷$) و نیز بین دو گروه تمرین صبحگاهی و شبانگاهی ($p=۰/۱۵$) معنی‌دار نبود. با این‌حال، در نشانگرهای هورمون پاراتورمون ($p=۰/۴۹$)، کلسی تونین ($p=۰/۷۲$)، و ویتامین D ($p=۰/۴۱$) تفاوت آماری معنی‌داری بین گروه‌های تمرین در صبح و شب و گروه کنترل، مشاهده نشد (جدول دو).

1. Polar
2. Hettich lab technology, Tuttlingen, Germany
3. Roche
4. Electrochemiluminescence immunoassay
5. Shapiro-Wilk
6. Levene
7. Bonferroni

جدول۱. ویژگی‌های فردی و آنتروپومتریک آزمودنی‌ها در گروه‌های مختلف تحقیق

گروه‌ها	متغیرها (میانگین ± انحراف معیار)			
	سن (سال)	قد (سانتی متر)	وزن (کیلوگرم)	BMI (کیلوگرم بر مترمربع)
تمرین در صبح	۴۵/۶۴± ۱/۲۲	۱۶۵/۵۸± ۲/۵۳	۶۷/۵۲± ۱/۹۴	۲۴/۶۲± ۰/۴۷
تمرین در شب	۴۴/۹۰± ۱/۸۹	۱۶۵/۵۰± ۱/۹۳	۶۶/۳۷± ۱/۳۳	۲۴/۲۳± ۰/۵۴
کنترل	۴۵/۰۰± ۱/۸۲	۱۶۶/۳۳± ۱/۷۲	۶۷/۵۳± ۱/۵۱	۲۴/۴۱± ۰/۴۸

جدول ۲. توصیف (میانگین ± انحراف استاندارد) **و مقایسه تغییر در نشانگرهای متابولیسم استخوان پس از هشت هفته مداخله**

شاخص‌ها	گروه‌ها	مرحله		F	p
		پیش آزمون	پس آزمون		
آلکالین فسفاتاز (واحد بین المللی/ لیتر)	تمرین در صبح	۴۳/۶۶ ± ۲/۷۴	۵۰/۹۱ ± ۱۵/۷۹	۷/۰۳	۰/۰۰۳*
	تمرین در شب	۴۳/۰۸ ± ۳/۲۸	۶۲/۲۵ ± ۱۳/۸۹		
	کنترل	۴۳/۷۵ ± ۳/۳۸	۴۱/۲۵ ± ۹/۷۷		
پاراتورمون (پیکوگرم/میلی‌لیتر)	تمرین در صبح	۴۹/۸۳ ± ۶/۹۹	۵۳/۴۷ ± ۷/۵۳	۰/۷۱	۰/۴۹
	تمرین در شب	۵۰/۴۵ ± ۵/۳۵	۵۱/۱۸ ± ۷/۵۱		
	کنترل	۵۶/۱۶ ± ۹/۷۷	۵۵/۰۸ ± ۱۰/۷۵		
کلسی تونین (پیکوگرم/میلی‌لیتر)	تمرین در صبح	۲/۰۴ ± ۰/۷۴	۳/۶۳ ± ۱/۸۳	۰/۳۳	۰/۷۲
	تمرین در شب	۲/۱۰ ± ۰/۷۴	۲/۸۶ ± ۱/۲۰		
	کنترل	۱/۸۴ ± ۰/۴۸	۲/۹۶ ± ۱/۱۷		
ویتامین D (نانوگرم/میلی‌لیتر)	تمرین در صبح	۳۶/۵۶ ± ۱۳/۷۰	۴۰/۹۲ ± ۱۳/۴۹	۰/۹۱	۰/۴۱
	تمرین در شب	۳۳/۸۶ ± ۷/۷۴	۳۳/۶۲ ± ۵/۹۴		
	کنترل	۳۰/۵۰ ± ۸/۳۵	۲۴/۳۴ ± ۴/۳۴		

* نشانه تفاوت معنی‌دار بین گروه ها در سطح p≤۰/۰۵.

بحث

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که انجام تمرینات هوازی در شب باعث افزایش معنی‌دار سطوح آلکالین فسفاتاز ویژه استخوان می گردد؛ در حالی که این افزایش پس از تمرینات صبحگاهی مشاهده نشد. این یافته با شواهد کلی مبنی بر مفید بودن ورزش برای سلامت استخوان همخوانی دارد (۲۰). با این‌حال، نتایج تحقیقات در مورد تأثیر ورزش بر این نشانگر یکسان نیست. برخی پژوهشگران مانند بختیاری و دیگران (۲۰۲۱)، مال‌اندیش و دیگران (۲۰۲۱)، کیخسروی و دیگران (۲۰۲۱)، و باقری و دیگران (۲۰۱۰)؛ افزایش سطوح سرمی آلکالین فسفاتاز ویژه استخوان را متعاقب تمرینات ورزشی گزارش کرده‌اند (۸، ۱۰، ۲۱، ۲۲). در این‌راستا، لستر[1] و دیگران (۲۰۰۹) افزایش معنی‌دار آلکالین‌فسفاتاز را پس از تمرینات ترکیبی گزارش نموده اند، اما در گروه تمرین هوازی، افزایش معنی‌داری مشاهده نکردند (۲۳). اریکسون[2] و دیگران (۲۰۱۰) نیز افزایش معنی‌دار آلکالین فسفاتاز را متعاقب برنامه تمرین پرشی گزارش کرده اند (۲۴). بطور کلی، نتایج ناهمسو می‌تواند ناشی از عوامل متعددی از جمله نوع، شدت و مدت تمرین، ویژگی‌های جمعیت‌شناختی آزمودنی‌ها و بویژه زمان انجام تمرین باشد. بر همین اساس، تفاوت پروتکل‌های تمرینی مطالعات فوق با پژوهش حاضر قابل توجه است. برای مثال در تحقیق بختیاری و دیگران (۲۰۲۱) از تمرین تناوبی هوازی با شدت ۹۰ درصد ضربان قلب ذخیره در مردان میانسال؛ و در تحقیق کیخسروی و دیگران (۲۰۲۱)، تمرینات تناوبی شدید روی موش‌های صحرایی مسن اجرا

1. Lester
2. Erickson

شده است. در حالی که شدت تمرین در پژوهش حاضر ۵۵ تا ۷۰ درصد ضربان قلب ذخیره بود. گزارش شده است که فعالیت‌های ورزشی با شدت بالاتر، اثرات سودمندتری بر تراکم مواد معدنی استخوان‌ها دارند (۲۰). همچنین، مدت زمان مداخله در تحقیق مال‌اندیش و دیگران (۲۰۲۱) ۱۲ هفته و جامعه آماری آن زنان یائسه دارای اضافه‌وزن بوده؛ در حالی که در تحقیق باقری و دیگران (۲۰۱۰) در آزمودنی‌ها زنان سالمند با پروتکل هشت هفته‌ای اجرا شده است. این تفاوت‌ها می‌تواند توجیه‌کننده ناهمسویی نتایج تمرینات صبحگاهی تحقیق ما با تحقیقات فوق باشد. جالب اینجاست که یافته بخش صبحگاهی این پژوهش با مطالعه بیژه و دیگران (۲۰۱۱) که از پروتکل تمرین هوازی با شدتی تقریبا مشابه (۵۵ تا ۶۵ درصد ضربان قلب ذخیره) استفاده کرده و تغییر معنی‌داری در آلکالین فسفاتاز استخوانی مشاهده نکرده‌اند، همخوانی دارد (۹). به نظر می‌رسد، این شدت تمرینی برای تحریک نشانگرهای تشکیل استخوان کافی نیست. بنابراین، افزایش معنی‌دار آلکالین فسفاتاز تنها پس از تمرینات شبانگاهی در تحقیق حاضر، بیش از آنکه با شدت تمرین مرتبط باشد، می‌تواند شاهدی بر اثربخشی متفاوت زمان تمرین بر پاسخ‌های بیوشیمیایی تلقی شود.

یو[1] و دیگران (۲۰۲۴) گزارش کرده اند که زمان انجام تمرین ورزشی می‌تواند تأثیر قابل ملاحظه و متفاوتی بر رشد و متابولیسم استخوان داشته باشد (۲۰). برای تبیین این تفاوت، نقش ریتم شبانه‌روزی و هورمون‌های وابسته به آن قابل بررسی است. شواهد نشان می‌دهد که فعالیت استئوبلاست‌ها و تشکیل استخوان در ساعات عصر و شب افزایش می‌یابد. در این بین، دو هورمون کلیدی کورتیزول[2] و ملاتونین[3] هستند که سطح ترشح آن‌ها طی شبانه‌روز نوسان دارد. سطوح سرمی کورتیزول در صبح به اوج می‌رسد و در شب کاهش می‌یابد، در حالی که ترشح ملاتونین با شروع تاریکی و در شب افزایش پیدا می کند. گزارش شده که کورتیزول در سطوح بالا، اثرات بازدارنده‌ای بر تشکیل استخوان دارد، در حالی که ملاتونین از طریق مکانیسم‌های آنتی‌اکسیدانی و تحریک ترشح نشانگرهایی مانند آلکالین فسفاتاز، اثرات محافظتی بر استخوان دارد (۲۸-۲۵). علاوه بر این، نشان داده شده که تمرین شبانگاهی با تحریک قوی‌تر ترشح ملاتونین همراه است (۲۹). بنابراین، می‌توان فرض کرد که عدم افزایش معنی‌دار آلکالین فسفاتاز در گروه تمرین صبحگاهی ممکن است ناشی از تداخل با اثرات بازدارنده کورتیزول در اوج غلظت خود باشد. در مقابل، احتمالاً در گروه تمرین شبانگاهی اثرات هم‌افزای تمرین هوازی و ملاتونین که بر ترشح آلکالین فسفاتاز تأثیر مثبت دارند، منجر به افزایش معنی‌دار این نشانگر شده است (۲۷). بنابراین، به نظر می‌رسد تمرینات هوازی در شب با تقویت ریتم شبانه‌روزی ذاتی بدن، فعالیت استئوبلاستی را به‌طور مؤثرتری نسبت به زمان‌های دیگر تحریک می‌کنند.

یافته دیگر تحقیق حاضر، عدم تأثیر معنی‌دار هشت هفته تمرین هوازی (در صبح یا شب) بر سطوح ویتامین D زنان میانسال بود. این در حالی است که کاهش معنی‌داری در گروه کنترل مشاهده شد که احتمالاً تحت تأثیر عوامل محیطی (کاهش مواجهه با نور خورشید) و متابولیک (تغییرات تغذیه‌ای) خارج از کنترل تحقیق رخ داده است. ویتامین D عمدتاً (حدود ۹۵ درصد) از طریق سنتز در پوست و در مواجهه با نور خورشید تولید می شود؛ و پنج درصد آن نیز با مصرف مواد غذایی حاوی ویتامین D جذب می‌شود (۳۰). بنابراین، انتظار نمی‌رود تمرینات هوازی به تنهایی و به ویژه اگر در فضای بسته انجام شوند، تأثیر مستقیمی بر سنتز یا متابولیسم ویتامین D داشته باشند (۳۴-۳۱). این تفسیر با یافته‌های عبدی و دیگران (۲۰۲۱) که عدم تغییر ویتامین D را پس از تمرینات تناوبی شدید در فضای بسته گزارش کرده اند، همسو است (۳۱). همچنین، مطالعه (متاآنالیز) خان و دیگران (۲۰۲۴) نشان داد که اثر تمرینات ورزشی بر ویتامین D زمانی چشمگیر است که در فضای باز انجام شود (۳۵). در تحقیق حاضر نیز که پروتکل تمرینات در داخل سالن بود، تغییر معنی‌داری در ویتامین D مشاهده نشد. ناهمسو با نتایج تحقیق ما، دلاو[4] و دیگران (۲۰۲۲) افزایش معنی‌دار ویتامین D را متعاقب ۱۲ هفته تمرینات ورزشی مختلف گزارش کرده اند (۳۶). از دلایل احتمالی این ناهمسویی می‌توان به تفاوت در نوع تمرین (ترکیبی و تناوبی شدید) در مقابل هوازی با شدت متوسط)، مدت طولانی‌تر مداخله (۱۲ هفته در مقابل ۸ هفته) و مهم‌تر از همه، ویژگی‌های آنتروپومتریک آزمودنی‌ها اشاره کرد.

1. Yu
2. Cortisol
3. Melatonin
4. De-la-O

آزمودنی‌های تحقیق حاضر در محدوده وزنی نرمال قرار داشتند؛ اما شرکت‌کنندگان در تحقیق دلاو و دیگران، دارای اضافه‌وزن و چاق بودند (۳۶). راک[1] و دیگران (۲۰۱۲) پیشنهاد کرده اند که افزایش سطح سرمی ویتامین D ناشی از فعالیت ورزشی در افراد چاق و دارای اضافه‌وزن، احتمالا به دلیل آزادسازی این ویتامین در طی فرآیند چربی‌سوزی و کاهش وزن در این افراد می باشد. استدلال آن‌ها این بود که سلول‌های بافت چربی غنی از ویتامین D هستند، بنابراین داشتن درصد چربی بیشتر و شکسته شدن آن‌ها در نتیجه فعالیت ورزشی، باعث افزایش حضور ویتامین D در گردش خون می‌شود (۳۷). بنابراین، نرمال بودن وزن آزمودنی‌های تحقیق حاضر می‌تواند یکی از دلایل عدم تغییر ویتامین D باشد. همچنین، مال‌اندیش و دیگران (۲۰۲۰) ناهمسو با نتایج تحقیق حاضر، افزایش معنی‌دار ویتامین D پس از تمرینات هوازی در زنان یائسه مبتلا به کمبود این ویتامین را گزارش کرده اند (۳۸). از آنجا که میزان ویتامین D آزمودنی‌های تحقیق ما در دامنه طبیعی (بیشتر از ۳۰ نانوگرم بر میلی لیتر) بوده است (۳۹)، احتمالاً پروتکل تمرینات هوازی تأثیر افزایشی قابل ملاحظه‌ای بر سطوح نرمال ویتامین D نداشته، اما برای جبران کمبود این ویتامین مؤثر بوده است. همچنین مدت زمان پروتکل تمرینی و سن آزمودنی‌ها نیز در دو مطالعه تفاوت دارد. بنابراین، انجام مطالعات دقیق‌تر و جامع‌تر همراه با کنترل تغذیه و میزان مواجهه با نور خورشید ضروری به نظر می‌رسد.

در مورد پاراتورمون نتایج نشان داد که تمرینات هوازی در صبح و شب، افزایش بسیار ناچیز و غیرمعنی‌داری در سطح سرمی این هورمون ایجاد می کنند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که زمان انجام ورزش هوازی ممکن است تأثیر محدودی بر سطح پاراتورمون داشته باشد. سطح پاراتورمون عمدتاً توسط تغییرات کلسیم خون، ویتامین D و فسفر تنظیم می‌شود (۴۰). نتایج مطالعات گذشته در خصوص تأثیر ورزش بر این هورمون نیز متفاوت است، به‌طوری که برخی مطالعات افزایش معنی‌دار (۸، ۱۰، ۲۱، ۲۲)، برخی عدم تغییر (۹، ۲۳، ۴۱)، و برخی حتی کاهش (۳۰) آن را گزارش کرده‌اند. این پیچیدگی پاسخ پاراتورمون می‌تواند ناشی از وابستگی به عواملی مانند نوع، شدت و مدت ورزش و نیز ویژگی‌های فردی مانند سن، جنسیت، سطح آمادگی جسمانی، BMI و وضعیت تغذیه باشد. همچنین، گزارش شده است که پاراتورمون معمولاً در پاسخ به فعالیت‌های ورزشی بسیار شدید که باعث کاهش موقت کلسیم خون، افزایش ترشح کاتکولامین‌ها و بروز اسیدوز می‌شوند؛ افزایش می‌یابد (۳۰، ۴۰، ۴۲). بنابراین، با توجه به شدت متوسط تمرین در پژوهش حاضر، احتمالاً محرک کافی برای ایجاد نوسانات عمده در کلسیم خون یا کاتکولامین‌ها و در نتیجه، تحریک ترشح پاراتورمون ایجاد نشده است. همچنین، یک مطالعه نشان داده که تمرینات با شدت پایین، پتانسیل کمی برای تغییر ریتم شبانه‌روزی نشانگرهای متابولیسم استخوان از جمله پاراتورمون دارند (۷). عامل دیگر، طبیعی بودن BMI آزمودنی‌های تحقیق حاضر است. مشخص شده که افزایش BMI با سطوح بالاتر پاراتورمون همراه است (۳۰). بنابراین تفاوت در BMI می‌تواند یکی از دلایل ناهمسویی نتایج مطالعه حاضر با پژوهش‌هایی باشد که افزایش پاراتورمون را در افراد دارای اضافه‌وزن و چاق گزارش کرده‌اند (۳۰). نکته مهم دیگر، زمان نمونه‌گیری خون (۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه تمرین) است. از آنجا که تغییرات نشانگرهای استخوان پس از فعالیت ورزشی ممکن است موقتی و فقط تا ۳۶ ساعت پس از آن قابل تشخیص باشد (۴۲، ۴۳)، این احتمال وجود دارد که هرگونه تغییر ناشی از تمرین در غلظت پاراتورمون، در زمان نمونه‌گیری به سطوح پایه بازگشته باشد. بنابراین، برای درک دقیق‌تر تأثیر زمان انجام تمرین بر پاراتورمون، انجام مطالعاتی با نمونه‌گیری در بازه‌های زمانی کوتاه‌تر پس از جلسات تمرین ضروری به نظر می‌رسد.

در خصوص هورمون کلسی‌تونین، نتایج نشان داد که هشت هفته تمرینات هوازی، در صبح یا شب، تأثیر معنی‌داری بر سطح سرمی این هورمون ندارد. افزایش معنی‌دار درون‌گروهی مشاهده شده در گروه کنترل و گروه تمرین صبحگاهی، با توجه به عدم تفاوت بین‌گروهی، احتمالاً ناشی از عواملی غیر از تمرین، مانند تغییرات تغذیه‌ای یا ویژگی‌های فردی آزمودنی‌ها باشد. یک مطالعه متاآنالیز نشان داده که اکثر تحقیقات، عدم تغییر کلسی‌تونین را پس از فعالیت ورزشی گزارش کرده‌اند (۳۰). کلسی‌تونین که در هموستاز کلسیم و فسفر نقش دارد، عمدتاً در پاسخ

1. Rock

به افزایش کلسیم خون ترشح می‌شود (۳۰، ۴۴). در حین ورزش، اگر سطح کلسیم خون تغییر نکند، ممکن است سطح کلسی‌تونین نیز ثابت باقی بماند. از طرفی، فعالیت استقامتی ممکن است به طور موقت سطح کلسی‌تونین را افزایش دهد، اما در بلندمدت، ورزش منظم می‌تواند به تعادل بهتر کلسیم و کاهش نیاز به ترشح کلسی‌تونین کمک کند (۴۵). اگر چه در تحقیق حاضر کلسیم خون اندازه‌گیری نشد، احتمالاً پروتکل تمرینی تحقیق حاضر محرک لازم برای ایجاد تغییرات قابل ملاحظه در یون کلسیم ایجاد نکرده تا نیاز به ترشح کلسی‌تونین افزایش پیدا کند. با این حال، برخی مطالعات نشان داده اند که سطح کلسی‌تونین با وجود افزایش میزان کلسیم یونیزه خون، تحت تأثیر فعالیت‌های ورزشی مقاومتی و استقامتی قرار نمی‌گیرد (۴۶). همچنین، شواهدی مبنی بر ارتباط مثبت بین BMI و سطح کلسی‌تونین خون وجود دارد (۳۰). در تأیید این شواهد، عدم تغییر سطح کلسی‌تونین در تحقیق حاضر احتمالاً بدلیل نرمال بودن BMI آزمودنی‌های تحقیق است. برای روشن شدن ابعاد پاسخ کلسی‌تونین به ورزش در زمان‌های مختلف روز، انجام پژوهش‌های بیشتر با طراحی دقیق و پایش مکرر این هورمون ضروری است.

نتیجه گیری: این مطالعه نشان داد که زمان انجام تمرین (صبح یا شب) می‌تواند بر برخی نشانگرهای بیوشیمیایی مرتبط با سلامت استخوان تأثیرگذار باشد. به طور مشخص، تمرینات شبانگاهی سطح آلکالین فسفاتاز ویژه استخوان را افزایش داد که حاکی از تحریک فرآیند استخوان‌سازی در این زمان است. در مقابل، هیچ‌یک از دو زمان تمرین تأثیر معنی‌داری بر سطوح ویتامین D، هورمون پاراتورمون و کلسی‌تونین نداشتند. به نظر می‌رسد تغییرات این شاخص‌ها علاوه بر زمان تمرین، تحت تأثیر عوامل دیگری مانند تغذیه، مواجهه با نور خورشید و ویژگی‌های فردی نیز قرار دارد. برای نتیجه‌گیری قطعی، انجام مطالعات گسترده‌تر با نمونه‌های بزرگ‌تر، دوره‌های تمرینی طولانی‌تر و پایش دقیق‌تر بیومارکرها پیشنهاد می‌شود.

تعارض منافع

هیچکدام از نویسندگان این مقاله، تعارض منافعی برای انتشار آن ندارند.

قدردانی و تشکر

بدینوسیله از تمامی شرکت کنندگان در این مطالعه، گروه فیزیولوژی ورزشی دانشگاه ایلام و همه کسانی که در انجام این تحقیق ما را یاری کردند تقدیر و تشکر می‌نماییم.

منابع

1. Taylor AW. Physiology of exercise and healthy aging: Human Kinetics; 2021. https://doi.org/10.5040/9781718235922

2. Tootee A, Larijani B. World osteoporosis day: celebrating two decades of progress in preventing osteoporotic fractures in Iran. Journal of Diabetes & Metabolic Disorders. 2019;18:725-7. https://doi.org/10.1007/s40200-019-00465-4

3. Papaioannou A, Morin S, Cheung A, Atkinson S, Brown J, Feldman S, et al. for the Scientific Advisory Council of Osteoporosis Canada 2010 (2010) Clinical practice guidelines for the diagnosis and management of osteoporosis in Canada: summary. Canadian Medical Association Journal. https://doi.org/10.1503/cmaj.100771

4. Benedetti MG, Furlini G, Zati A, Letizia Mauro G. The effectiveness of physical exercise on bone density in osteoporotic patients. BioMed Research International. 2018;2018(1):4840531. https://doi.org/10.1155/2018/4840531

5. Vainionpää A, Korpelainen R, Väänänen H, Haapalahti J, Jämsä T, Leppäluoto J, editors. Effect of impact exercise on bone metabolism. Journal of Bone and Mineral Research; 2006: amer soc bone & mineral res 2025 m st, nw, ste 800, washington, dc 20036. https://doi.org/10.1007/s00198-009-0881-6

6. Sato S, Basse AL, Schönke M, Chen S, Samad M, Altıntaş A, et al. Time of exercise specifies the impact on muscle metabolic pathways and systemic energy homeostasis. Cell Metabolism. 2019;30(1):92-110. e4. https://doi.org/10.1016/j.cmet.2019.03.013

7. Aoyama S, Shibata S. The role of circadian rhythms in muscular and osseous physiology and their regulation by

nutrition and exercise. Frontiers in Neuroscience. 2017;11:63. https://doi.org/10.3389/fnins.2017.00063

8. Malandish A, Sheikhlou Z, Tartibian B, Rahmati-Yamchi 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):66-76. https://doi.org/10.22034/JEOCT.2021.297932.1012

9. Bijeh N, Moazami M, Mansouri J, Saeedeh Nematpour F, Ejtehadi M. Effect of aerobic exercises on markers of bone metabolism in middle-aged women. Kowsar Medical Journal. 2011;16(2):129-35. [In Persian]

10. Bakhtiyari M, Fathi M, Hejazi K. Effect of eight weeks of aerobic interval training on the serum concentrations of alkaline phosphatase, osteocalcin and parathyroid hormone in middle-aged men. Gene Cell Tissue. 2021;8(3):e111298. https://doi.org/10.5812/gct.111298

11. Alp A. Effects of aerobic exercise on bone-specific alkaline phosphatase and urinary CTX levels in premenopausal women. Turkish Journal of Physical Medicine & Rehabilitation. 2013;59(4). https://doi.org/10.4274/tftr.93546

12. Thomas JM, Kern PA, Bush HM, McQuerry KJ, Black WS, Clasey JL, et al. Circadian rhythm phase shifts caused by timed exercise vary with chronotype. Journal of Clinical Investigation. 2020;5(3). https://doi.org/10.1172/jci.insight.134270

13. Swanson CM, Shea SA, Wolfe P, Cain SW, Munch M, Vujović N, et al. Bone turnover markers after sleep restriction and circadian disruption: a mechanism for sleep-related bone loss in humans. The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism. 2017;102(10):3722-30. https://doi.org/10.1210/jc.2017-01147

14. Luo B, Zhou X, Tang Q, Yin Y, Feng G, Li S, et al. Circadian rhythms affect bone reconstruction by regulating bone energy metabolism. Journal of Translational Medicine. 2021;19:1-15. https://doi.org/10.1186/s12967-021-03068-x

15. Fragala MS, Kraemer WJ, Denegar CR, Maresh CM, Mastro AM, Volek JS. Neuroendocrine-immune interactions and responses to exercise. Sports Medicine. 2011;41:621-39. https://doi.org/10.2165/11590430-000000000-00000

16. Gardinier JD, Mohamed F, Kohn DH. PTH signaling during exercise contributes to bone adaptation. Journal of Bone and Mineral Research. 2015;30(6):1053-63. https://doi.org/10.1002/jbmr.2432

17. Qi Z, Liu W, Lu J. The mechanisms underlying the beneficial effects of exercise on bone remodeling: Roles of bone-derived cytokines and microRNAs. Progress in Biophysics and Molecular Biology. 2016;122(2):131-9. https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2016.05.010

18. Ceylan HI, Saygın Ö, Özel Türkcü Ü. Assessment of acute aerobic exercise in the morning versus evening on asprosin, spexin, lipocalin-2, and insulin level in overweight/obese versus normal weight adult men. Chronobiology International. 2020;37(8):1252-68. https://doi.org/10.1080/07420528.2020.1792482

19. Chang CY, Rosenthal DI, Mitchell DM, Handa A, Kattapuram SV, Huang AJ. Imaging findings of metabolic bone disease. Radiographics.2016;36(6):1871-87.https://doi.org/10.1148/rg.2016160004

20. Yu S, Tang Q, Lu X, Chen G, Xie M, Yang J, et al. Time of exercise differentially impacts bone growth in mice. Nature Metabolism. 2024;6(6):1036-52. https://doi.org/10.1038/s42255-024-01057-0

21. Keikhosravi F, Daryanoosh F, Jahromi MK, Nemati J. High-Intensity Interval Training Effects with Genistein on Serum Osteocalcin and Bone Alkaline Phosphatase in Female Elderly Rats. Journal of Nutrition, Fasting & Health. 2021;9(2). https://doi.org/10.22038/JNFH.2020.49186.1269

22. Baghery L, Salami F, Hedayati M, Reisi J. Effect of aerobic training on estrogen, PTH, calcium, alkaline phosphatase and albumin, in postmenopausal women. Iranian Journal of Ageing. 2010;4(2):0-. [In Persian]. http://salmandj.uswr.ac.ir/article-1-321-en.html

23. Lester ME, Urso ML, Evans RK, Pierce JR, Spiering BA, Maresh CM, et al. Influence of exercise mode and osteogenic index on bone biomarker responses during short-term physical training. Bone. 2009;45(4):768-76. https://doi.org/10.1016/j.bone.2009.06.001

24. Erickson CR, Vukovich MDJM, sports si, exercise. Osteogenic index and changes in bone markers during a jump training program: a pilot study. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2010;42(8):1485-92. https://doi.org/10.1249/mss.0b013e3181d0fa7a

25. Han Y, Kim Y-M, Kim HS, Lee KY. Melatonin promotes osteoblast differentiation by regulating Osterix protein stability and expression. Scientific Reports. 2017;7(1):5716. https://doi.org/10.1038/s41598-017-06304-x

26. Seo DY, Lee S, Kim N, Ko KS, Rhee BD, Park BJ, et al. Morning and evening exercise. Integrative Medicine Research. 2013;2(4):139-44. https://doi.org/10.1016/j.imr.2013.10.003

27. Radio NM, Doctor JS, Witt-Enderby PA. Melatonin enhances alkaline phosphatase activity in differentiating human adult mesenchymal stem cells grown in osteogenic medium via MT2 melatonin receptors and the MEK/ERK (1/2) signaling cascade. Journal of Pineal Research. 2006;40(4):332-42. https://doi.org/10.1111/j.1600-079x.2006.00318.x

28. Vasey C, McBride J, Penta K. Circadian rhythm dysregulation and restoration: the role of melatonin. Nutrients. 2021;13(10):3480. https://doi.org/10.3390/nu13103480

29. Buxton OM, Lee CW, L'Hermite-Balériaux M, Turek FW, Van Cauter E. Exercise elicits phase shifts and acute alterations of melatonin that vary with circadian phase. American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology. 2003;284(3):R714-R24. https://doi.org/10.1152/ajpregu.00355.2002

30. Babić Leko M, Pleić N, Gunjača I, Zemunik T. Environmental factors that affect parathyroid hormone and calcitonin levels. International Journal of Molecular Sciences. 2021;23(1):44. https://doi.org/10.3390/ijms23010044

31. Abdi H, Bolboli L, Afroundeh R, Siahkohian M, Khajehlandi M. The effect of one course of intense interval training on serum levels of vitamin D, heart rate variability and lung function in male smokers: A Quasi-Experimental Study. Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences. 2021;20(3):277-96. [In Persian]. https://doi.org/10.52547/jrums.20.3.277.

32. Tsiaras WG, Weinstock MA. Factors influencing vitamin D status. Acta Dermato Venereologica. 2011;91(2):115. https://doi.org/10.2340/00015555-0980

33. Mazahery H, Von Hurst PR. Factors affecting 25-hydroxyvitamin D concentration in response to vitamin D supplementation. Nutrients. 2015;7(7):5111-42. https://doi.org/10.3390/nu7075111

34. Zhang J, Cao Z-B. Exercise: a possibly effective way to improve vitamin D nutritional status. Nutrients. 2022;14(13):2652.

https://doi.org/10.3390/nu14132652

35. Khan S, Claeson M, Khan A, Neale R. The effect of physical activity on vitamin D: A systematic review and meta-analysis of intervention studies in humans. Public Health in Practice. 2024:100495. https://doi.org/10.1016/j.puhip.2024.100495

36. De-la-O A, Jurado-Fasoli L, Castillo MJ, Gutierrez A, Amaro-Gahete FJ. Effect of exercise training on 1, 25 (OH) 2D levels: the FIT-AGEING randomized controlled trial. Sports Health. 2022;14(4):518-26. https://doi.org/10.1177/19417381211050033

37. Rock CL, Emond JA, Flatt SW, Heath DD, Karanja N, Pakiz B, et al. Weight loss is associated with increased serum 25-hydroxyvitamin D in overweight or obese women. Obesity. 2012;20(11):2296-301. https://doi.org/10.1038/oby.2012.57

38. Malandish A, Tartibian B, Sheikhlou Z, Afsargharehbagh R, Rahmati M. The effects of short-term moderate intensity aerobic exercise and long-term detraining on electrocardiogram indices and cardiac biomarkers in postmenopausal women. Journal of Electrocardiology. 2020;60:15-22. https://doi.org/10.1016/j.jelectrocard.2020.03.004

39. Lithgow HM, Florida-James G, Leggate M. The combined effect of high-intensity intermittent training and vitamin D supplementation on glycemic control in overweight and obese adults. Physiological Reports. 2018;6(9):e13684. https://doi.org/10.14814/phy2.13684

40. Bouassida A, Latiri I, Bouassida S, Zalleg D, Zaouali M, Feki Y, et al. Parathyroid hormone and physical exercise: a brief review. Journal of Sports Science & Medicine. 2006;5(3):367.

41. Shibata Y, Ohsawa I, Watanabe T, Miura T, Sato Y. Effects of physical training on bone mineral density and bone metabolism. Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science. 2003;22(4):203-8. https://doi.org/10.2114/jpa.22.203

42. Vainionpää A, Korpelainen R, Väänänen H, Haapalahti J, Jämsä T, Leppäluoto J. Effect of impact exercise on bone metabolism. Osteoporosis International. 2009;20:1725-33. https://doi.org/10.1007/s00198-009-0881-6

43. Maimoun L, Manetta J, Couret I, Dupuy A, Mariano-Goulart D, Micallef J, et al. The intensity level of physical exercise and the bone metabolism response. International Journal of Sports Medicine. 2006;27(02):105-11. https://doi.org/10.1055/s-2005-837621

44. Xie J, Guo J, Kanwal Z, Wu M, Lv X, Ibrahim NA, et al. Calcitonin and bone physiology: in vitro, in vivo, and clinical investigations. International Journal of Endocrinology. 2020;2020(1):3236828. https://doi.org/10.1155/2020/3236828

45. Klausen T, Breum L, Sørensen HA, Schifter S, Sonne B. Plasma levels of parathyroid hormone, vitamin D, calcitonin, and calcium in association with endurance exercise. Calcified Tissue International. 1993;52:205-8. https://doi.org/10.1007/bf00298719

46. Lin LL, Hsieh SSJJomim. Effects of strength and endurance exercise on calcium-regulating hormones between different levels of physical activity. Journal of Mechanics in Medicine and Biology. 2005;5(02):267-75. https://doi.org/10.1142/s0219519405001461