website: www.jpsr.mums.ac.ir
مجله علوم پیراپزشکی و توانبخشی مشهد- دوره ۱۴- شماره ۴ (زمستان ۱۴۰۴)

The Effect of Aquatic Vs Land Exercise on Bone Mineral Density and Balance among Postmenopausal Women with Osteoporosis

Mahdizadeh A[1], Sadeghi H[2-3], Tehrani P[4]

1- Department of Sports Biomechanics, CT.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran
2- Full Professor, Department of Sport Biomechanics and Injuries, Faculty of Physical Education and Sports Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran
3- Full Professor, Department of Sport Biomechanics and Rehabilitation, Kinesiology Research Center, Kharazmi University, Tehran, Iran
4- Department of Mechanical Engineering, CT.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

Received: 2025.06.25 Accepted: 2025.09.29

Abstract

Purpose: Osteoporosis is one of the most prevalent systemic bone diseases. The present study aimed to investigate the effects of 12 weeks of aquatic and land-based exercise on bone mineral density and postural balance in postmenopausal women with osteoporosis.

Methods: This semi-experimental study was conducted on 36 women aged 50 to 65 years diagnosed with osteoporosis. Participants were randomly assigned to three groups: aquatic exercise, land-based exercise, and control group. The intervention groups performed balance-strength training for 12 weeks (three sessions per week). Bone mineral density (BMD) of the femoral neck and lumbar spine was assessed, and postural balance was evaluated by calculating the mean center of pressure (COP) velocity in anterior-posterior (AP) and medial-lateral (ML) directions during four static balance tests: (1) two-legged stand with eyes open (TLEO), (2) two-legged stand with eyes closed (TLEC), (3) semi-tandem stand with eyes open (STEO), and (4) semi-tandem stand with eyes closed (STEC). Data were analyzed using paired t-tests and ANCOVA with SPSS statistical software.

Results: Significant differences between-group were observed in BMD and postural balance between the exercise and control groups ($p<0.001$, $\eta^2 \geq 0.14$). Compared to the aquatic group, the land-based exercise group showed greater improvements in BMD with larger effect sizes. Conversely, the aquatic group demonstrated significantly greater improvements in balance performance in TLEO and STEC (AP and ML), as well as in TLEC (ML), compared to the land-based group ($p \leq 0.05$, $\eta^2 \geq 0.14$).

Conclusion: Land-based balance-strength exercises significantly improve bone mineral density, while aquatic exercises markedly enhance postural balance in postmenopausal women with osteoporosis. Therefore, combining both modalities may offer an effective strategy for managing osteoporosis.

Keywords: Osteoporosis, Postmenopausal, Aquatic exercise, Bone mineral density, Postural stability

Corresponding Author: Heydar Sadeghi

Email: h.sadeghi@khu.ac.ir , sadeghi061959@gmail.com

ORCID: 0000-0001-6563-9882

Copyright © 2026 Mashhad University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

► **Please cite this article as:** Mahdizadeh A, Sadeghi H, Tehrani P. The Effect of Aquatic Vs Land Exercise on Bone Mineral Density and Balance among Postmenopausal Women with Osteoporosis. **JPSR** 2026; 14(4): 7-24. **DOI:** 10.22038/JPSR.2026.88321.2704.

تاثیر تمرین ورزش در آب و خشکی بر تراکم استخوان و تعادل بانوان یائسه مبتلا به پوکی استخوان

آوا مهدی زاده [۱]، حیدر صادقی [۲-۳]، پدرام طهرانی [۴]

هدف: پوکی استخوان (استئوپروز) از شایع ترین بیماری های سیستماتیک استخوان است. هدف مطالعه حاضر تعیین اثر ۱۲ هفته تمرین ورزش در آب و خشکی بر تراکم استخوان و تعادل زنان یائسه مبتلا به استئوپروز بود.

روش بررسی: این پژوهش نیمه تجربی روی ۳۶ زن ۵۰ تا ۶۵ سال مبتلا به استئوپروز اجرا شد. آزمودنی ها به صورت تصادفی در سه گروه تمرین در آب، تمرین در خشکی و کنترل قرار گرفتند. گروه های تجربی طی ۱۲ هفته (۳ جلسه در هفته)، در تمرینات تعادلی-قدرتی شرکت کردند. تراکم استخوان (گردن فمور و مهره های کمری) ارزیابی شد و تعادل از طریق محاسبه میانگین سرعت مرکز فشار در دو جهت قدامی-خلفی (Anterior-Posterior; AP) و داخلی-خارجی (Medial-Lateral; ML) در تست های ۱. ایستاده روی دو پا با چشمان باز (Two-Legged Stand with Eyes Open; TLEO)، ۲. ایستاده روی دو پا با چشمان بسته (Two-legged stand with eyes closed; TLEC)، ۳. ایستاده به صورت نیمه پشت سر هم با چشمان باز (Semi-Tandem Stand with Eyes Open; STEO) و ۴. ایستاده به صورت نیمه پشت سر هم با چشمان بسته (Semi-Tandem Stand with Eyes Closed; STEC) اندازه گیری شد. تحلیل داده ها با نرم‌افزار SPSS و آزمون‌های تی زوجی و ANCOVA انجام شد.

یافته ها: اختلافات معنادار بین گروهی در زمینه تراکم استخوان و تعادل قامتی بین گروه های تمرینی و کنترل مشاهده شد ($p<۰/۰۰۱$ و $\eta^2\geq۰/۱۴$). از سوی دیگر در مقایسه بین دو گروه مداخله، گروه ورزش در خشکی، در متغیرهای تراکم استخوان، بهبود معنادار و با اندازه اثر بزرگ تر نسبت به گروه ورزش در آب داشت. در مقابل گروه ورزش در آب در تست های تعادلی TLEO و STEC (ML و AP) و همچنین در تست TLEC (ML) بهبود معنادار و با اندازه اثر بزرگتری را نسبت به گروه ورزش در خشکی نشان داد ($p\leq۰/۰۵$ و $\eta^2\geq۰/۱۴$).

نتیجه گیری: تمرینات تعادلی-قدرتی در خشکی موجب بهبود قابل توجه تراکم استخوان می گردد و تمرینات مشابه در آب، منجر به ارتقاء چشم گیر تعادل قامتی زنان یائسه مبتلا به استئوپروز می شود. بنابراین، ترکیب تمرینات در آب و خشکی می‌تواند رویکردی مؤثر در مدیریت استئوپروز باشد.

کلمات کلیدی : پوکی استخوان، یائسه، تمرینات ورزش در آب، تراکم استخوان، پایداری قامتی

نویسنده مسئول: حیدر صادقی، h.sadeghi@khu.ac.ir، ORCID: 0000-0001-6563-9882

آدرس: تهران، بلوار میرداماد، میدان محسنی، انتهای خیابان رازان جنوبی، دانشگاه خوارزمی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی

۱- گروه بیومکانیک ورزشی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- استاد گروه بیومکانیک و آسیب شناسی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

۳- استاد گروه بیومکانیک ورزشی و توانبخشی، پژوهشکده علوم حرکتی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

۴- گروه مهندسی مکانیک، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

مقدمه

پوکی استخوان (استئوپروز) سومین معضل بهداشتی جهان است و مهم‌ترین عامل خطر این بیماری، یائسگی می‌باشد. کاهش تراکم استخوان در افراد مبتلا به استئوپروز، احتمال ایجاد شکستگی که خطرناک‌ترین عارضه این بیماری است را افزایش می‌دهد (۲، ۱). خطر کاهش طول عمر در اثر شکستگی‌های پوکی استخوانی ۴۰ درصد است که با خطر ناشی از بیماری‌های قلبی-عروقی برابر است (۳). میزان تراکم استخوان (Bone Mineral Density; BMD) با استفاده از دستگاه سنجش تراکم استخوان مشخص و با نمره T گزارش می‌شود. در صورتی که Tscore≤۲/۵ باشد فرد مبتلا به پوکی استخوان است (۴).

مستند است که عامل اصلی ۸۲ درصد از شکستگی ها در سالمندان، افتادن است که به دلیل ضعف در تعادل رخ می دهد (۵). طبق قانون ولف و نظریه فراست استخوان ها از طریق افزایش تراکم استخوان به استرس‌های مکانیکی

مناسب، واکنش نشان می دهند، از این رو یکی از روش هایی که امروزه در درمان بیماران مبتلا به استئوپروز پیشنهاد می شود، ورزش و فعالیت بدنی است (۷، ۶) . اما سالمندان، به دلیل ترس از افتادن و همچنین غیر قابل تحمل بودن برخی از بارهای مکانیکی حاصل از فعالیت بدنی در خشکی، ترجیح می‌دهند بی‌تحرک باشند (۸). از جمله روش‌های تمرینی که برای افراد آسیب پذیر مورد توجه است، اجرای تمرین ورزشی در آب است (۱۰، ۹).

با وجود انجام مطالعات متعدد در زمینه تمرینات ورزشی در محیط‌های مختلف، شواهد موجود در خصوص اثربخشی تمرینات تعادلی و قدرتی در آب و خشکی بر تراکم استخوان و تعادل عملکردی افراد مبتلا به استئوپروز، هم راستا نبوده و نتایج متناقضی گزارش شده‌اند. این تضاد در یافته‌ها، ضرورت بررسی دقیق‌تر و مقایسه مستقیم این دو شیوه تمرینی را برجسته می‌سازد. از آن جمله Yilmaz و Kosehansanogullari (۱۱) نشان دادند که ۱۲ هفته تمرین تعادلی مبتنی بر واقعیت مجازی نسبت به تمرینات خانگی سنتی، منجر به ارتقاء معنادار امتیازات مقیاس تعادل برگ، در زنان مبتلا به پوکی استخوان می‌شود (۱۱). Sun و همکاران (۱۲) اثربخشی ۲۴ هفته تمرین بادوان جین را در بهبود تعادل این گروه تأیید کردند. این پژوهشگران نیز تعادل آزمودنی‌ها را با استفاده از مقیاس تعادل برگ مورد ارزیابی قرار داده بودند (۱۲). Graves M و همکاران (۸) به این نتیجه رسیدند که ۱۰ ماه تمرین تعادلی-قدرتی می‌تواند منجر به کاهش میانگین سرعت مرکز فشار (Center Of Pressure; COP) در زنان ۴۵ سال و بالاتر بشود (۸). Miko و همکاران (۱۳) نیز بهبود شاخص‌های کنترل قامت را در اثر اجرای تمرینات تعادلی-هوازی در زنان سالمند تایید کردند (۱۳). Burke و همکاران (۱۴) تاثیر ۸ هفته تمرین ورزشی تعادلی-قدرتی را بر میانگین سرعت COP زنان مبتلا به استئوپروز، در چهار وضعیت مختلف که در آن ها پایداری سطح اتکا و وضعیت بینایی تغییر می‌کرد، محاسبه کردند. نتایج این مطالعه حاکی از کاهش سرعت COP در سطح غیر پایدار و وضعیت چشمان بسته بود (۱۴). برخی از پژوهش‌ها مانند ترتیبیان و شیخ لو (۱۵) گزارش کردند که ۱۲ هفته فعالیت‌های ورزشی هوازی با شدت متوسط نمی‌تواند تراکم استخوانی را در زنان یائسه کم تحرک بهبود بخشد (۱۵). در حالی که Angin و همکاران (۱۶) نشان دادند که تراکم استخوان زنان یائسه ای که ۶ ماه تمرین پیلاتس انجام می دهند، به طور معناداری افزایش یافته است (۱۶).

برخی دیگر از پژوهش ها، تاثیر تمرین ورزش در آب را بر تراکم استخوان مورد سنجش قرار داده اند، به طور مثال Zaravar و همکاران (۱۰) نشان دادند که اجرای هشت هفته تمرین هوازی در آب به همراه مصرف مکمل ویتامین د نسبت به مصرف ویتامین د به تنهایی، می‌تواند به طور معناداری منجر به بهبود معنادار تراکم استخوان ران در زنان یائسه چاق شود (۱۰). قاسمی و همکاران (۱۷) به این نتیجه رسیدند که ۱۲ هفته تمرینات تحمل وزن در آب منجر به بهبود تراکم استخوان کل هیپ و سر فمور در زنان ۴۰ تا ۴۵ سال می‌شود (۱۷). ونکی و همکاران (۱۸) گزارش کردند که ۱۲ هفته تمرین هوازی با اعمال وزن در آب، منجر به بهبود تراکم استخوان مهره های کمری زنان ۵۰ تا ۷۰ سال دارای اضافه وزن می شود (۱۸). Fronza و همکاران (۱۹)، مشاهده کردند که ۲۴ هفته تمرین با شدت بالا در آب، منجر به بهبود تراکم استخوان سر فمور در زنان یائسه، می شود (۱۹).

از سوی دیگر سه پژوهش یافت شد که به مقایسه تاثیر تمرینات ورزش در آب و ورزش در خشکی بر تراکم استخوان و یا تعادل افراد مبتلا به استئوپروز پرداخته اند. Aveiro و همکاران (۲۰) گزارش کردند که اجرای ۱۲ هفته تمرینات ورزش در آب، در مقایسه با تمرینات در خشکی، منجر به کاهش معنادار نوسانات COP، در زنان یائسه می‌شود (۲۰). نتایج پژوهش Balsamo و همکاران (۲۱) نشان داد که تمرینات بدنسازی در خشکی و تمرینات تحمل وزن در آب، به یک میزان منجر به بهبود تراکم استخوان مهره های کمری و گردن استخوان ران می‌شوند (۲۱). Murtezani و همکاران (۲۲) گزارش کردند که اجرای ۱۰ ماه تمرین ترکیبی در خشکی، منجر به بهبود معنادار تراکم استخوان و تعادل زنان ۵۰ تا ۷۵ سال مبتلا به استئوپروز می‌شود، اما اجرای این تمرینات در آب، تاثیر معناداری بر متغیرهای مذکور ندارد (۲۲).

مرور مطالعات پیشین، مشخص می نماید که پژوهش های انجام شده در زمینه تاثیر تمرینات ورزشی در آب و خشکی بر تراکم استخوان و تعادل زنان مبتلا به استئوپروز، از نظر نوع تمرین، مدت مداخله، ابزارهای ارزیابی و شاخص های مورد بررسی، تنوع قابل توجهی داشته اند و نتایج آن‌ها هم راستا نمی‌باشد. به علاوه مطالعات پیشین از پروتکل های تمرینی

طراحی شده توسط پژوهشگران استفاده کرده اند، بی‌آن که ایمنی و اثربخشی این تمرینات پیش‌تر به صورت مستقل ارزیابی شده باشد. بنابراین امکان ارائه یک برنامه تمرینی مشخص، ایمن و مؤثر برای افراد مبتلا به استئوپروز فراهم نمی باشد. افزون بر این، در بخش قابل توجهی از پژوهش ها، ارزیابی تعادل صرفاً با آزمون های میدانی صورت گرفته است، آزمون هایی که توانایی تشخیص تغییرات ظریف در پایداری قامتی را ندارند. همچنین، در مواردی که از آزمون های آزمایشگاهی با شرایط کاهش سطح اتکا (برای ایجاد چالش بیشتر) استفاده شده است، انتخاب تست های ایمن و استاندارد برای افراد سالمند و در معرض خطر شکستگی ناشی از سقوط، مورد غفلت قرار گرفته است. از این رو خلاهای مهمی در ادبیات پژوهش وجود دارد.

بر همین اساس، هدف از پژوهش حاضر، بررسی و مقایسه اثر یک دوره ۱۲ هفته‌ای تمرینات تعادلی-قدرتی در دو محیط آب و خشکی بر تراکم استخوان و تعادل زنان یائسه ۵۰ تا ۶۵ سال مبتلا به پوکی استخوان بود. این مطالعه با بهره‌گیری از پروتکل‌های تمرینی استاندارد، تجهیزات آزمایشگاهی پیشرفته و آزمون‌های تعادلی با سطح اتکای کنترل شده، در پی آن است تا داده هایی معتبر و قابل استناد در راستای بهینه‌سازی مداخلات ورزشی موثر بر ارتقاء سلامت و کیفیت زندگی این گروه آسیب‌پذیر ارائه نماید.

روش بررسی

در این پژوهش نیمه آزمایشگاهی با طرح پیش آزمون و پس آزمون، مدل تاثیرسنجی و رویکرد کاربردی، حجم نمونه به صورت پیش برآوردی، با استفاده از نرم افزار G*Power محاسبه شد. آزمون F از نوع ANCOVA با سه گروه موازی و یک متغیر کمکی (نمره پیش آزمون) انتخاب گردید. پارامترهای محاسبه شامل سطح معناداری ۰/۰۵، توان آزمون ۰/۸۰، اندازه اثر ۰/۳۵، ضریب همبستگی بین نمرات پیش آزمون و پس آزمون ۰/۸۸، نسبت تخصیص برابر و آزمون دو طرفه بودند. بر اساس این تنظیمات، حداقل حجم نمونه مورد نیاز ۲۱ نفر برآورد شد، با این حال، به منظور ارتقاء توان آماری، کاهش ریسک افت نمونه‌گیری و تضمین کفایت تحلیل در متغیرهای ثانویه، حجم نمونه نهایی به ۳۶ نفر (۱۲ نفر در هر گروه) افزایش یافت. اندازه اثر و همبستگی پیش آزمون و پس آزمون، بر اساس داده های مطالعات پیشین در زمینه تراکم استخوان مهره‌های کمری انتخاب گردید، چرا که این شاخص نسبت به متغیر میانگین سرعت COP، اثرات کوچک‌تری نشان می‌دهد. بنابراین، استفاده از تراکم استخوان مهره‌های کمری به عنوان مبنای محاسبه، رویکردی محافظه کارانه محسوب می شود (۲۵-۲۳).

با مراجعه به بیمارستان ها و مراکز درمانی شرق تهران که مجهز به دستگاه سنجش تراکم استخوان هستند، فهرست زنان ۵۰ تا ۶۵ ساله مبتلا به استئوپروز که طی سه ماه گذشته تست تراکم استخوان انجام داده بودند، گردآوری شد. این افراد به عنوان جامعه در دسترس، جهت انتخاب نمونه‌های مطالعه، در نظر گرفته شدند. با استفاده از تابع RAND در نرم افزار Microsoft Excel، ۳۶ نفر به روش نمونه‌گیری تصادفی انتخاب و برای شرکت در این طرح تحقیقی دعوت شدند. از آن جایی که تمامی ۳۶ بیمار، تمایل به شرکت در این پژوهش را نداشتند، فرایند نمونه-گیری تصادفی تا تکمیل نهایی ۳۶ آزمودنی، ۶ مرتبه تکرار گردید. آزمودنی‌ها فرم رضایت نامه، پرسشنامه ثبت غذایی سه روزه و فرم سوابق دارویی را تکمیل کردند. شرایط آزمودنی‌ها، توسط پزشک ارتوپد و با توجه به معیارهای ورود به پژوهش (جنسیت زن، محدوده سنی ۵۰ تا ۶۵ سال، ابتلا به استئوپروز (Tscore≤۲/۵) در گردن ران و مهره های کمری L1-L4، یائسگی بیشتر از ۵ سال) و معیارهای خروج از پژوهش (ابتلا به هر یک از بیماری‌های قلبی، ریوی، عصبی-عضلانی، سرطان و آرتروز شدید، داشتن مشکلات بینایی، شنوایی، سیستم دهلیزی و یا سیستم حسی-حرکتی، داشتن ارتزهای داخلی، اختلاف طول دو اندام، استفاده از داروهای هورمونی موثر بر بافت استخوانی، ناتوان در راه رفتن به صورت مستقل، سابقه فعالیت ورزشی منظم در ۶ ماه اخیر، ترس شدید از آب و نیز داشتن رژیم غذایی یا سابقه دارویی با تاثیر بالقوه بر متابولیسم استخوان)، مورد بررسی و تایید قرار گرفت. آزمودنی‌ها به صورت تصادفی، در سه گروه تمرین در آب، تمرین در خشکی یا گروه کنترل قرار گرفتند. لازم به ذکر است در این مطالعه، اپراتورهای ابزارهای اندازه‌گیری و تیم تحلیل داده (شامل تحلیل‌گر آماری و مسئول پردازش داده-ها) نسبت به تخصیص گروه‌ها بی‌اطلاع بودند. فرآیند تصادفی‌سازی توسط فردی مستقل و خارج از تیم پژوهشی انجام شد که هیچ گونه مشارکتی در طراحی یا اجرای

مطالعه نداشت. گروه تخصیص یافته هر آزمودنی روی برگه-ای نوشته شد و در پاکت دربسته ای قرار گرفت که نام فرد روی آن درج شده بود. بنابراین، شرکت‌کنندگان تا زمان آغاز مداخله از گروه تخصیص‌یافته خود آگاهی نداشتند. اپراتورهای مسئول اندازه‌گیری متغیرهای وابسته (توسط دستگاه‌های سنجش تراکم استخوان و فورس پلیت) نیز از هدف مطالعه و نحوه تخصیص گروه ها بی‌اطلاع بودند و صرفاً وظیفه اجرای مراحل فنی و ثبت داده ها را بر عهده داشتند. همچنین داده ها به صورت کدگذاری شده و بدون هیچ گونه اطلاعات مربوط به نوع مداخله، در اختیار تیم تحلیل داده، قرار گرفت.

جمع آوری داده های پیش آزمون و پس آزمون به شکل کاملا یکسان انجام شد. تراکم استخوان آزمودنی ها در ناحیه کمری (L_1-L_4) و گردن فمور توسط دستگاه سنجش تراکم استخوان مدل DEXXUM T شرکت OsteoSys اندازه‌گیری شد. کلیه ارزیابی ها توسط اپراتور ثابت و آموزش دیده انجام شد. دستگاه پیش از شروع اندازه‌گیری، طبق پروتکل شرکت سازنده با استفاده از فانتوم استاندارد، کالیبره شد. ضریب تغییرپذیری داخل جلسه (Coefficient of Variation; CV)، برای ناحیه کمری و گردن فمور به ترتیب ۱/۲٪ و ۱/۵٪ گزارش شده است که در محدوده قابل قبول مشخصات فنی دستگاه (حداکثر ۱/۵٪) قرار دارد. حد تغییر قابل توجه (Least Significant Change; LSC)، برای این نواحی به ترتیب ۳/۳٪ و ۴/۲٪ می‌باشد.

از سوی دیگر برای ارزیابی تعادل آزمودنی ها با استفاده از دستگاه فورس پلیت مدل 9260AA6 شرکت Kistler، نوسانات COP در دو جهت قدامی-خلفی (Anterior-Posterior; AP) و داخلی-خارجی (Medial-Lateral; ML)، از طریق ۴ تست مختلف محاسبه شد ۱. ایستاده روی دو پا با چشمان باز (Two-Legged Stand With Eyes Open; TLEO)، ۲. ایستاده روی دو پا با چشمان بسته (Two-legged Stand With Eyes Closed; TLEC)، ۳. ایستاده به صورت نیمه پشت سر هم با چشمان باز (Semi-Tandem Stand With Eyes Open; STEO) و ۴. ایستاده به صورت نیمه پشت سر هم با چشمان بسته (Semi-tandem Stand With Eyes Closed; STEC)، این تست ها در اندازه سطح اتکا و وضعیت بینایی با هم متفاوت بودند.

آزمودنی ها پا برهنه و در وضعیتی که دست ها را در کنار بدن قرار می‌دادند روی صفحه نیرو می‌ایستادند. در تست-های با چشمان باز، آزمودنی به یک نشانگر مشکی با قطر ۵ سانتی‌متر که در فاصله ۳/۵ متری از صفحه نیرو، در ارتفاع چشمان او قرار داشت، نگاه می‌کرد و در کوشش های با چشمان بسته، بعد از فرمان شفاهی آزمونگر، چشم‌بند را روی چشمان خود قرار می‌داد. هیچ محدودیتی در خصوص وضعیت پاها در تست های TLEO و TLEC، تحمیل نشد و وضعیت پاها به اختیار شخص آزمودنی قرار داده شد (۲۸-۲۶). همچنین برای تست های STEO و STEC ابتدا از طریق تکنیک شوت فوتبال، پای برتر آزمودنی ها مشخص شد و نصف طول پای برتر آن ها، علامت‌گذاری شد و از آزمودنی خواسته می‌شد که پای برتر خود را عقب قرار دهد و پاشنه پای دیگر را در محل نشانه‌گذاری شده بگذارد (۲۹) (تصویر ۱). هر تست، ۳ بار انجام می‌شد و ترتیب اجرای تست‌ها به صورت تصادفی انتخاب می‌گردید. هر یک از تست‌ها برای مدت ۶۰ ثانیه اندازه‌گیری شد و با توجه به اینکه احتمالا در ابتدای تست‌ها آزمودنی در حال یافتن وضعیت متعادل است، داده‌های مربوط به ۱۰ ثانیه اول حذف گردید (۳۰-۲۸). فرکانس نمونه‌برداری ۱۰۰ هرتز بود و داده های خروجی دستگاه صفحه نیرو با استفاده از فیلتر پایین گذر باترورث، مرتبه ۴ و فرکانس قطع ۱۰ هرتز فیلتر شد (۳۲، ۳۱، ۲۶).

پایایی پروتکل اندازه‌گیری COP در این پژوهش، در مطالعات گذشته مورد تایید واقع شده است، به طوری که مقادیر ضریب همبستگی درون کلاسی (Intraclass Correlation Coefficient; ICC) بین ۰/۷۵ تا ۰/۹۰ گزارش شده است، که نشان دهنده‌ی پایایی بالا و قابل اعتماد این پروتکل در ارزیابی نوسانات COP می‌باشد (۲۹، ۲۸، ۲۶). همچنین میانگین سرعت COP که در این مطالعه به عنوان شاخص سنجش تعادل به کار رفته است، به عنوان یکی از دقیق‌ترین و کاربردی‌ترین معیارها برای تشخیص اختلالات تعادلی و پیش‌بینی خطر افتادن در سالمندان معرفی شده است (۲۶).

روشنایی اتاقی که تست های تعادلی در آن ها انجام می شد، حدود ۱۸۷ لوکس بود. دمای اتاق روی ۲۲ درجه سانتی‌گراد نگه داشته شد. همچنین شدت صوت در آزمایشگاه هیچ وقت از ۵۳ دسی بل تجاوز نکرد (۳۳، ۲۹، ۸).

تصویر ۱: وضعیت قرارگیری پاها در تست های ایستادن به صورت نیمه پشت سر هم

میانگین سرعت جابه‌جایی مرکز فشار (Mean Velocity of COP; MV COP)، برحسب سانتی متر بر ثانیه در جهت ML با استفاده از فرمول ۱ و در جهت AP با استفاده از فرمول ۲ محاسبه شد.

فرمول ۱:

$$MV\ COP\ ML = Sway\ length\ ML / T$$
$$(Sway\ length\ ML = \sum n|Xn+1 - Xn|)$$

فرمول ۲:

$$MV\ COP\ AP = Sway\ length\ AP / T$$
$$(Sway\ length\ AP = \sum n|Yn+1 - Yn|)$$

فرمول ها در نرم افزار متلب کدنویسی و محاسبه شدند. از آن‌جایی که آزمودنی‌ها، هر یک از کوشش‌های مربوط به ارزیابی تعادل را سه مرتبه انجام داده بودند، پس از به دست آوردن داده‌های مربوط به هر یک از این متغیرها، میانگین ۳ کوشش برای محاسبه‌های بعدی در نظر گرفته شد.

قبل از اعمال مداخله تمرینی، با استفاده از آزمون تحلیل واریانس، این اطمینان حاصل شد که امتیازهای پیش آزمون آزمودنی‌های سه گروه با هم تفاوت معناداری ندارد و این گروه ها قابل مقایسه می باشند. آزمودنی های گروه-های تمرینی به مدت ۱۲ هفته و هر هفته ۳ جلسه از برنامه‌های تمرینی ویژه (تمرینات تعادلی-قدرتی)، بهره گرفتند. تمرینات تعادلی استفاده شده در این پژوهش برگرفته از تمرینات استاندارد Otago و تمرینات قدرتی اجرا شده، برگرفته از تمرینات استاندارد ROPE بود ۳۵)، ۳۴). مدت زمان هر جلسه تمرینی از ۵۰ دقیقه در هفته-های نخست تا ۷۵ دقیقه در هفته‌های پایانی، متغیر بود. هر جلسه با پیاده‌روی آغاز می‌شد تا زمینه‌ی لازم برای اجرای تمرینات اصلی فراهم شود. مدت زمان پیاده‌روی از ۱۰ دقیقه در هفته های آغازین تا ۲۰ دقیقه در هفته های آخر، متغیر بود و شدت آن در سطح متوسط، معادل نمره ۵ تا ۷ مقیاس آنالوگ دیداری (Visual Analog Scale; VAS)، حفظ می‌شد. تمرینات قدرتی با استفاده از وزنه های مقاومتی (وزنه‌های مچ پا و دمبل‌ها) و بر اساس درصدی از یک تکرار بیشینه (One Repetition Maximum; 1RM) اجرا می‌گردید. در هفته نخست اجرای هر تمرین، آزمودنی ها تحت آزمون تعیین یک تکرار بیشینه، قرار گرفتند و تمرینات در طول دوره با شدت ۴۰ تا ۷۰ درصد 1RM اجرا می‌شدند (۳۵). آزمودنی های گروه ورزش در آب، حرکات ایستاده را در عمقی اجرا می نمودند که سطح آب، حدود قفسه سینه آن ها بود و در تمریناتی که در طول حرکت، تغییر ارتفاع بدن رخ می‌داد، آزمودنی ها در عمقی قرار می‌گرفتند که سطح آب در طول اجرای حرکت، حداقل در سطح ناف و حداکثر در حد قفسه سینه باشد. در تمرینات با وضعیت بدنی خوابیده (طاقباز یا دمر)، بسته به میزان نیاز به شناوری و حفظ تعادل، از تجهیزات کمکی مانند کمربند و مچ بندهای شناوری استفاده می‌شد.

برنامه تمرینی برای گروه‌های تجربی یکسان بود و توسط مربی واحدی انجام می‌گرفت، وی از امتیازات اولیه کسب شده توسط آزمودنی‌ها و هدف از انجام این تحقیق آگاه نبود. ملاحظات ایمنی به منظور اجرای بی‌خطر برنامه تمرینی رعایت گردید. نظارت بر اجرای صحیح تمرینات بر عهده مربی اصلی بود که ضمن آموزش حرکات، بر اجرای صحیح تمرینات نیز نظارت داشت. علاوه بر این، دو کمک مربی در کنار آزمودنی‌ها حضور داشتند تا در صورت نیاز حمایت فیزیکی لازم را فراهم آورند و احتمال سقوط، به ویژه در تمرینات تعادلی به حداقل برسد. تمرینات گروه

ورزش در آب در استخری با ورودی صفر، شیب‌دار و بدون پله انجام شد. همچنین به منظور تضمین ایمنی آزمودنی-های این گروه، یک نجات غریق در داخل آب و دیگری در بیرون آب، مستقر بودند، یک نفر نیز مسئول خشک کردن فضاهای رختکن، قبل از ورود آزمودنی ها به استخر و پیش از خروج ایشان از آب، بود. دمای آب در محدوده ۳۰ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد حفظ می شد. نرخ حضور آزمودنی های گروه های تجربی در جلسات برنامه های تمرینی ۹۵/۳۷ درصد برای گروه ورزش در آب و ۹۳/۷۵ درصد برای گروه تمرین در خشکی بود و نرخ حضور این دو گروه با هم تفاوت معنادار نداشت ($p>۰/۰۵$).

آنالیز داده ها با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۱ انجام شد. با توجه به نرمال بودن توزیع داده ها (بررسی شده با آزمون شاپیرو–ویلک)، برای ارزیابی تغییرات درون گروهی از آزمون t زوجی استفاده شد. همچنین، برای مقایسه میانگین های پس آزمون بین گروه ها با کنترل اثر نمرات پیش آزمون، از تحلیل کوواریانس (ANCOVA) استفاده گردید. پیش از اجرای آزمون تحلیل کوواریانس، فروض آماری شامل خطی بودن رابطه کوواریت با متغیر وابسته، همگنی شیب های رگرسیون و همگنی واریانس‌ها بررسی و تأیید شدند. همچنین با توجه به تعدد آزمون های آماری، جهت کنترل تورم خطای نوع اول ناشی از تحلیل-های متعدد، سطح معناداری آزمون ها با استفاده از روش تعدیل هولم بونفرونی (Holm–Bonferroni) اصلاح گردید.

یافته ها

میانگین و انحراف معیار برخی از مشخصات دموگرافیکی و جمعیت شناختی آزمودنی‌ها در جدول ۱ آورده شده است. نتایج مربوط به آزمون شاپیرو ویلک، به منظور بررسی نرمال بودن توزیع داده ها در پیوست ۱ آورده شده است. همچنین میانگین و انحراف معیار امتیازهای متغیرهای وابسته آزمودنی های هر یک از ۳ گروه، در پیش آزمون و پس آزمون در جدول ۲ ذکر شده است. با توجه به نتایج آزمون تحلیل واریانس یک طرفه، تفاوت معناداری بین سه گروه از لحاظ متغیرهای جمعیت شناختی، دموگرافیک و همچنین نمرات پیش آزمون آزمودنی ها، مشاهده نشد ($p>۰/۰۵$).

نتایج آزمون تی دو گروه زوجی در جدول ۲، گزارش شده است. لازم به ذکر است در تفسیر اختلاف میانگین‌های پیش آزمون و پس آزمون، منفی بودن مقدار در متغیرهای تعادلی، به معنای بهبود امتیازات است. در خصوص متغیر میانگین سرعت COP، از آن جایی که نوسانات کمتر مرکز فشار، نشان‌دهنده عملکرد تعادلی بهتر است، بنابراین کاهش عددی میانگین سرعت COP و در نتیجه مقدار منفی اختلاف میانگین پیش آزمون و پس آزمون، بیانگر بهبود تعادل و مقدار مثبت این اختلاف، نشان‌دهنده تضعیف تعادل می‌باشد. لازم به ذکر است نتایج به دست آمده از دستگاه سنجش تراکم استخوان در قالب T-score گزارش می‌شود و در جمعیت‌های مبتلا به پوکی استخوان در محدوده منفی قرار دارد.

همان طور که در جدول ۲ مشخص است، بین میانگین پیش آزمون و پس آزمون متغیر تراکم استخوان گردن فمور و میانگین پیش آزمون و پس آزمون متغیر تراکم استخوان مهره‌های کمری، در گروه تمرین در آب و همچنین در گروه کنترل تفاوت معناداری وجود ندارد ($p>۰/۰۵$). در مقابل بین میانگین پیش آزمون و پس آزمون متغیر تراکم استخوان گردن فمور و همچنین میانگین پیش آزمون و پس آزمون متغیر تراکم استخوان مهره‌های کمری مربوط به آزمودنی‌های گروه ورزش در خشکی، تفاوت معناداری وجود دارد ($p<۰/۰۰۱$). اندازه اثر برای این دو متغیر در گروه ورزش در خشکی به ترتیب $d=-۰/۵۸$ و $d=-۰/۵۳$ می‌باشد که نشان‌دهنده اثر متوسط تا بزرگ این مداخله (ورزش در خشکی) است.

از سوی دیگر نتایج آزمون تی دو گروه زوجی در خصوص متغیر تعادل کلینیکی آزمودنی‌ها که در جدول ۲ گزارش شده است، حاکی از آن است که میانگین سرعت COP گروه تمرین در آب در تمامی تست‌های گرفته شده در جهت AP و همچنین در تست های TLEO، TLEC، STEC در جهت ML کاهش معنادار داشته است ($p\leq۰/۰۵$). همان طور که در جدول ۲ مشخص است اندازه اثر برای این متغیرها در گروه ورزش در آب در محدوده بزرگ و بسیار بزرگ قرار دارد (از $d=۰/۹۵$ تا $d=۱/۲$). در واقع میانگین سرعت COP گروه ورزش در آب تنها در تست STEO در جهت ML تغییر معنادار نداشته است ($p>۰/۰۵$). همچنین با دقت در داده‌های مربوط به گروه ورزش در خشکی، می‌توان متوجه شد که بین میانگین پیش آزمون و پس آزمون متغیر

جدول ۱: ویژگی های دموگرافیک آزمودنی ها

متغیر	گروه: ورزش در خشکی میانگین±انحراف معیار	ورزش در آب میانگین±انحراف معیار	کنترل میانگین±انحراف معیار	p – مقدار** (آزمون تحلیل واریانس)
سن (سال)	۵۸/۱۷ ± ۳/۸۰	۵۶/۸۳ ± ۳/۸۳	۵۵/۷۵ ± ۳/۵۱	۰/۲۹۰
قد (سانتی متر)	۱۵۷/۷۳ ± ۳/۵۶	۱۵۵/۵۰ ± ۴/۷۰	۱۵۷/۰۱ ± ۲/۸۷	۰/۵۸۳
شاخص توده بدنی (کیلوگرم / متر مربع)	۲۷/۷۹ ± ۲/۱۷	۲۸/۰۹ ± ۱/۹۳	۲۷/۶۷ ± ۲/۷۱	۰/۹۱۳
تعداد سال های گذشته از یائسگی	۹/۱۷ ± ۲/۴۴	۸/۱۷ ± ۱/۸۲	۸/۶۷ ± ۲/۸۴	۰/۲۲۱
تعداد دفعات افتادن در یک سال گذشته	۲/۱۰ ± ۲/۰۲	۲/۳۳ ± ۱/۱۸	۱/۷۵ ± ۰/۹۲	۰/۳۷۹
PASE*	۱۰۴/۰۰ ± ۲۱/۴۳	۱۰۸/۴۲ ± ۱۰/۳۶	۱۰۴/۵۸ ± ۱۶/۰۵	۰/۵۷۰
درصد کیفوز	۱۳/۲۴ ± ۳/۶۲	۱۲/۷۳ ± ۳/۳۸	۱۳/۳۷ ± ۲/۵۸	۰/۹۱۲

* امتیاز در مقیاس فعالیت فیزیکی سالمندان (Physical Activity Scale for the Elderly; PASE)

** سطح معناداری حاصل از آزمون تحلیل واریانس جهت اطمینان از قابل مقایسه بودن گروه ها

جدول ۲: نتایج آزمون تی دو گروه زوجی برای مقایسه امتیازهای پیش و پس آزمون هر گروه

متغیر		گروه	پیش آزمون میانگین±انحراف معیار	پس آزمون میانگین±انحراف معیار	اختلاف میانگین	همبستگی پیش‌آزمون-پس آزمون	p – مقدار	آماره آزمون	اندازه اثر (Cohen's d)
تراکم استخوان	گردن فمور	ورزش در آب	-۲/۹۵ ± ۰/۱۵	-۲/۹۳ ± ۰/۱۴	۰/۰۲۵	۰/۷۵۶	۰/۴۳۴	-۰/۸۱۱	۰/۲۳
		ورزش در خشکی	-۲/۹۴ ± ۰/۱۸	-۲/۷۷ ± ۰/۲۰	۰/۱۷۴	۰/۸۶۰	p<۰/۰۰۱	-۲/۰۳	-۰/۵۸
		کنترل	-۲/۹۰ ± ۰/۲۲	-۲/۹۳ ± ۰/۲۵	-۰/۰۳	۰/۹۷۰	۰/۱۲۷	۱/۶۵	۰/۴۷
	مهره های کمری L_1-L_4	ورزش در آب	-۲/۹۳ ± ۰/۱۷	-۲/۸۹ ± ۰/۱۹	۰/۰۳۶	۰/۹۲۴	۰/۱۱۹	-۱/۶۹۱	-۰/۴۸
		ورزش در خشکی	-۲/۸۷ ± ۰/۲۱	-۲/۶۷ ± ۰/۲۴	۰/۱۹۹	۰/۹۲۹	p<۰/۰۰۱	-۱/۸۶	-۰/۵۳
		کنترل	-۲/۸۷ ± ۰/۱۶	-۲/۸۷ ± ۰/۲۲	-۰/۰۰۳	۰/۸۲۲	۰/۹۳۳	۰/۰۸۶	۰/۰۲
MV COP* (cm.s-1)TLEO**	ML******	ورزش در آب	۰/۷۶۰ ± ۰/۲۶۳	۰/۶۳۶ ± ۰/۲۳۷	-۰/۱۲۴	۰/۹۹۰	p<۰/۰۰۱	۳/۷۶	۱/۰۸
		ورزش در خشکی	۰/۶۷۴± ۰/۱۷۷	۰/۶۶۳ ± ۰/۱۸۷	-۰/۰۱۱	۰/۹۹۵	۰/۰۹۳	۱/۸۴	۰/۵۳
		کنترل	۰/۷۹۸± ۰/۲۳۰	۰/۸۵۵± ۰/۲۴۶	۰/۰۵۶	۰/۹۲۰	۰/۰۷۶	-۱/۹۵۸	-۰/۵۶
	AP*******	ورزش در آب	۰/۸۷۰± ۰/۲۰۱	۰/۶۹۷ ± ۰/۱۶۰	-۰/۱۷۳	۰/۶۵۰	۰/۰۰۳	۳/۷۰۲	۱/۰۶
		ورزش در خشکی	۰/۹۴۶ ± ۰/۲۸۶	۰/۹۳۵± ۰/۳۱۷	-۰/۰۱۱	۰/۸۷۹	۰/۸۱۳	۰/۲۴۲	۰/۰۶
		کنترل	۱/۰۰۹± ۰/۲۸۳	۱/۰۷۰± ۰/۲۴۷	۰/۶۱۱	۰/۹۱۱	۰/۱۱۲	-۱/۷۲۵	-۰/۴۹
MV COP (cm.s-1) TLEC***	ML	ورزش در آب	۰/۷۹۴± ۰.۲۳۱	۰/۶۵۹± ۰/۱۳۷	-۰/۱۳۵	۰/۹۲۶	۰/۰۰۳	۳/۸۴۹	۱/۱۱
		ورزش در خشکی	۰/۷۵۷ ± ۰.۱۶۶	۰/۷۴۶± ۰/۱۷۰	-۰/۰۱۱	۰/۹۹۴	۰/۰۷۲	۱/۹۹۳	۰/۵۷
		کنترل	۰/۸۸۰± ۰.۲۹۱	۰/۹۳۳± ۰/۲۵۳	۰/۰۵۲	۰/۹۶۶	۰/۰۵۴	۱/۶۵	۰/۴۷
	AP	ورزش در آب	۱/۲۸۸± ۰/۲۴۴	۱/۰۹۴± ۰/۲۴۴	-۰/۱۹۴	۰/۸۳۵	۰/۰۰۱	۴/۱۶	۱/۲۰
		ورزش در خشکی	۱/۲۳۶± ۰/۲۸۲	۱/۰۴۵± ۰/۳۵۲	-۰/۱۹۰	۰/۵۵۶	۰/۰۶۳	۲/۰۶۸	۰/۵۹
		کنترل	۱/۲۳۵± ۰/۲۰۹	۱/۳۴۹± ۰/۳۴۰	۰/۱۱۴	۰/۸۶۵	۰/۰۷۳	-۱/۶۸۵	-۰/۴۸
MV COP (cm.s-1) STEO****	ML	ورزش در آب	۱/۶۵۹± ۰/۱۷۸	۱/۶۱۶ ± ۰/۲۰۰	-۰/۰۴۳	۰/۹۲۵	۰/۰۹۱	۱/۸۴۹	۰/۵۳
		ورزش در خشکی	۱/۷۰۳± ۰/۲۰۵	۱/۶۶۲ ± ۰/۱۹۰	-۰/۰۳۷	۰/۹۲۱	۰/۱۵۱	۱/۵۴۴	۰/۴۴
		کنترل	۱/۷۷۶± ۰/۱۵۰	۱/۸۴۱± ۰/۲۲۲	۰/۰۶۵	۰/۸۴۸	۰/۱۰۹	-۱/۷۴۲	-۰/۵۰
	AP	ورزش در آب	۱/۳۰۷± ۰/۱۲۱	۱/۱۸۰± ۰/۱۳۴	-۰/۱۲۶	۰/۵۰۶	۰/۰۰۷	۳/۳۰۷	۰/۹۵
		ورزش در خشکی	۱/۳۰۳± ۰/۱۲۱	۱/۲۰۵± ۰/۰۹۹	۰/۰۹۷	۰/۸۵۳	p<۰/۰۰۱	۴/۰۱	۱/۱۵
		کنترل	۱/۲۵۱± ۰/۱۳۲	۱/۲۷۳± ۰/۱۴۱	۰/۰۲۲	۰/۸۶۷	۰/۳۱۸	-۱/۰۴۵	-۰/۳۰
MV COP (cm.s-1) STEC*****	ML	ورزش در آب	۲/۰۷۹± ۰/۴۴۴	۱/۷۰۰± ۰/۴۰۲	-۰/۳۷۹	۰/۸۴۳	p<۰/۰۰۱	۴/۲۸	۱/۲۳
		ورزش در خشکی	۱/۹۶۳± ۰/۵۵۳	۱/۹۲۱± ۰/۵۲۳	-۰/۰۴۲	۰/۹۹۱	۰/۰۹۷	۱/۸۱۲	۰/۵۲
		کنترل	۲/۲۰۰± ۰/۳۵۵	۲/۴۱۶ ± ۰/۳۶۴	۰/۲۱۵	۰/۵۴۸	۰/۰۶۰	-۱/۸۹۷	-۰/۵۴
	AP	ورزش در آب	۱/۶۸۱ ± ۰/۲۴۶	۱/۴۴۴± ۰/۱۶۱	-۰/۲۳۷	۰/۴۷۳	۰/۰۰۴	۳/۵۵۷	۱/۰۲
		ورزش در خشکی	۱/۷۵۷± ۰/۱۶۴	۱/۶۴۸ ± ۰/۱۵۶	-۰/۱۰۸	۰/۹۹۶	p<۰/۰۰۱	۳/۵۲۲	۱/۰۱
		کنترل	۱/۷۳۳± ۰/۲۱۰	۱/۹۱۴± ۰/۲۴۰	۰/۱۸۱	۰/۵۴۹	۰/۰۱۷	-۱/۸۰۲	-۰/۵۲

درجه آزادی (df) در تمامی آزمون ها برابر با ۱۱ بوده است. * مرکز فشار (Center Of Pressure; COP)، ** تست ایستاده روی دو پا با چشمان باز (Two legged stand with eyes open; TLE)، *** تست ایستاده روی دو پا با چشمان بسته (Two legged stand with eyes closed; TLEC)، **** تست ایستاده به صورت نیمه پشت سر هم با چشمان باز (Semi tandem stand with eyes open; STEO)، ***** تست ایستاده به صورت نیمه پشت سر هم با چشمان بسته (Semi tandem stand with eyes closed; STE)، ****** داخلی-خارجی (Medial-lateral; ML)، ******* قدامی-خلفی (Anterior-Posterior; AP)

میانگین سرعت COP تنها در تست‌های STEO و STEC در جهت AP تفاوت معناداری وجود دارد (p<۰/۰۰۱). اندازه اثر مربوط به این دو تست به ترتیب d=۱/۱۵ و d=۱/۰۱، گزارش شده است که هر دو در محدوده بزرگ تا بسیار بزرگ قرار دارند. با توجه به اینکه، از بین تمامی متغیرهای تعادل کلینیکی اندازه‌گیری شده در گروه کنترل، بین میانگین پیش آزمون و پس آزمون متغیر میانگین سرعت COP در تست‌های TLEO، TLEC و STEO در هر دو جهت AP و ML و در تست STEC در جهت ML تفاوت معناداری وجود ندارد (p>۰/۰۵) و تنها در خصوص تست STEC در جهت AP تفاوت معنادار مشاهده شد (p=۰/۰۱۷) و در این متغیر هم، امتیازها در پس آزمون نسبت به پیش آزمون تضعیف شده است، بنابراین با اطمینان می‌توان گفت چنانچه تفاوتی بین میانگین های پیش آزمون-پس آزمون آزمودنی های هر یک از گروه های تمرینی وجود دارد (که همگی در جهت بهبود بوده اند)، این تفاوت ها حاصل از متغیر مستقل یعنی تمرین ورزشی (گروه تمرینی آزمودنی ها) بوده است.

نتایج آزمون تحلیل کوواریانس، برای مقایسه امتیازهای تعادل آزمودنی‌های گروه تمرینی ورزش در آب و گروه تمرینی ورزش در خشکی، پس از اعمال متغیر مستقل و با در نظر گرفتن امتیاز اولیه هر آزمودنی در جدول ۳ آورده شده است. بر اساس مقادیر سطح معناداری، بین میانگین امتیازهای تراکم استخوان گردن فمور (p=۰/۰۰۲) و مهره-های کمری (p=۰/۰۰۱۷) در گروه‌های تمرین در آب و تمرین در خشکی تفاوت معناداری مشاهده شد و این تفاوت به نفع گروه تمرین در خشکی است. اندازه اثر تفاوت‌ها در هر دو مورد، بالا گزارش شده است (به ترتیب η^2= ۰/۳۴ و η^2= ۰/۴۸).

از سوی دیگر نتایج حاصل از آزمون تحلیل کوواریانس مشخص کرد، بین امتیازات میانگین سرعت COP دو گروه تمرین در آب و تمرین در خشکی در تست‌های TLEO و STEC در هر دو جهت ML و AP و در تست TLEC در جهت ML تفاوت معناداری وجود دارد و این تفاوت‌ها به نفع گروه تمرین در آب است (p≤۰/۰۵). اندازه اثر تفاوت‌ها در تمامی این موارد در محدوده بزرگ گزارش شده است (از η^2= ۰/۲۵ تا ۰/۷۲ =η^2). از سوی دیگر بین میانگین پیش آزمون و پس آزمون متغیر میانگین سرعت COP در تست STEO در هر دو جهت ML و AP و در تست TLEC در جهت ML، در دو گروه ورزش در آب و ورزش در خشکی تفاوت معناداری وجود ندارد (p>۰/۰۵).

نتایج حاصل از آزمون تحلیل کوواریانس نشان داد که در تمامی متغیرهای اندازه‌گیری شده اعم از متغیرهای تراکم استخوان و متغیرهای تعادلی، تفاوت معناداری بین هر یک از گروه‌های مداخله با گروه کنترل وجود دارد (p<۰/۰۰۱). همچنین، مقادیر اندازه اثر در تمامی متغیرها در محدوده‌ی بزرگ قرار دارند (η^2 ≥۰/۰۳۵).

بحث و نتیجه گیری

مطالعه حاضر با هدف تعیین تاثیر ۱۲ هفته تمرین ورزش در آب و ورزش در خشکی بر تراکم استخوان و تعادل زنان یائسه مبتلا به پوکی استخوان و همچنین مقایسه این دو شیوه تمرینی در تاثیرات حاصله انجام شد. یافته های این پژوهش نشان دادند که تمرینات تعادلی-قدرتی، به ویژه پژوهش نشان دادند که تمرینات تعادلی-قدرتی، به ویژه تمرین در خشکی، تأثیرات قابل توجهی بر بهبود تراکم استخوان آزمودنی‌ها داشته است. پس از دوره مداخله، تغییرات نمرات پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون در هر دو متغیر تراکم استخوان گردن فمور و مهره‌های کمری، معنادار بود و اندازه اثر این تغییرات در محدوده متوسط تا بزرگ قرار داشت (به ترتیب d= -۰/۵۸ و d= -۰/۵۳). علاوه بر این، مقایسه بین گروه ورزش در خشکی و کنترل نیز تفاوت معناداری را در هر دو متغیر، با اندازه اثرهای بزرگ نشان داد (η^2= ۰/۷۵ در تراکم استخوان گردن فمور و η^2= ۰/۶۷ در تراکم استخوان مهره‌های کمری). از سوی دیگر در خصوص این دو متغیر، مقایسه بین گروه ورزش در آب و گروه ورزش در خشکی آشکار کرد که اجرای تمرینات تعادلی-قدرتی در خشکی به طور معناداری اثر بخش‌تر بوده

جدول ۳: نتایج آزمون تحلیل کوواریانس جهت مقایسه امتیازات پس آزمون هر یک از دو گروه، با کنترل نمرات پیش آزمون

گروه	نتایج آزمون	تراکم استخوان: گردن فمور	تراکم استخوان: مهره های کمری L_1- L_4	متغیر: میانگین سرعت COP* ($cm.s^{-1}$) TLEO**		TLEC***		STEO****		STEC*****	
				ML******	AP*******	ML	AP	ML	AP	ML	AP
ورزش در آب – ورزش در خشکی	آماره آزمون	۱۱/۷۹۵	۲۰/۴۷۱	۵۸/۸۰۲	۷/۳۲۶	۱۸/۶۴۳	۰/۰۰۸	۰/۰۶۳	۰/۴۹۲	۱۹/۳۸۱	۹/۵۴۵
	p – مقدار	۰/۰۰۲	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	۰/۰۱۳	<۰/۰۰۱	۰/۹۳۰	۰/۸۰۴	۰/۴۹۱	<۰/۰۰۱	۰/۰۰۶
	اندازه اثر (η^2)	۰/۳۴	۰/۴۸	۰/۷۲	۰/۲۵	۰/۴۵	<۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۲	۰/۴۶	۰/۳۰
ورزش در آب - کنترل	آماره آزمون	۴۲/۲۲۶	۳۲/۰۱۳	۱۰۱/۹۱۱	۵۶/۳۰۴	۷۲/۲۵۷	۳۱/۱۹۲	۵۱/۴۳۲	۱۱/۹۶۴	۳۰/۰۱۰	۲۱/۸۸۸
	p – مقدار	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱
	اندازه اثر (η^2)	۰/۶۵	۰/۵۹	۰/۸۲	۰/۷۱	۰/۷۶	۰/۵۸	۰/۷۰	۰/۳۵	۰/۵۷	۰/۴۹
ورزش در خشکی - کنترل	آماره آزمون	۶۵/۸۳۱	۴۴/۹۰۴	۱۰۰/۴۹۶	۴۰/۴۰۱	۵۰/۹۴۶	۱۸/۹۶۷	۴۰/۱۷۲	۳۰/۴۱۱	۳۹/۹۷۹	۱۷/۰۴۷
	p – مقدار	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱
	اندازه اثر (η^2)	۰/۷۵	۰/۶۷	۰/۸۲	۰/۶۴	۰/۶۹	۰/۴۶	۰/۶۴	۰/۵۸	۰/۶۴	۰/۴۳

- در تمامی آزمون‌های ANCOVA، نمره پیش‌آزمون به عنوان کوواریت کنترل شد. درجه آزادی بین‌گروهی ۱ و درون‌گروهی ۲۱ بود.، * مرکز فشار (Center Of Pressure; COP)،** تست ایستاده روی دو پا با چشمان باز (Two legged stand with eyes open; TLEO)، *** تست ایستاده روی دو پا با چشمان بسته (Two legged stand with eyes closed; TLEC)، **** تست ایستاده به صورت نیمه پشت سر هم با چشمان باز (Semi tandem stand with eyes open; STEO)، ***** تست ایستاده به صورت نیمه پشت سر هم با چشمان بسته (Semi tandem stand with eyes closed; STEC)، ****** داخلی-خارجی (Medial-lateral; ML)، ******* قدامی-خلفی (Anterior-Posterior; AP)

است. به طوری که اندازه اثر در این مقایسه نیز در محدوده بزرگ قرار گرفت (۰/۳۴ =η^2 در تراکم استخوان گردن فمور و ۰/۴۸ =η^2 در تراکم استخوان مهره‌های کمری).

یافته های حاصل از این پژوهش حاکی از عدم وجود تفاوت معنادارا امتیازات پیش آزمون و پس آزمون تراکم استخوان گردن فمور و مهره های کمری گروه ورزش در آب بود، با دقت در میانگین اختلافات قبل و پس از مداخله در خصوص هر یک از این دو متغیر، متوجه افزایش تراکم استخوان آزمودنی های گروه ورزش در آب می شویم، اگر چه این بهبود معنادار نیست، اما نتایج آزمون تحلیل کوواریانس که به مقایسه گروه ورزش در آب و گروه کنترل پرداخته است، نشان داد که تمرین در آب در هر دو متغیر تراکم استخوان گردن فمور و تراکم استخوان مهره های کمری نسبت به گروه کنترل، تاثیر معناداری داشته است. به طوری که اندازه اثر در این مقایسه در محدوده بزرگ قرار دارد (۰/۶۵ =η^2 در تراکم استخوان گردن فمور و ۰/۵۹ =η^2 در تراکم استخوان مهره های کمری). این اختلاف در دو روش تحلیل آماری (آزمون تی زوجی و تحلیل کوواریانس)، به ویژه در مطالعات مداخله ای، اهمیت زیادی دارد. چرا که تحلیل کوواریانس با حذف اثر نمرات اولیه، قدرت بالایی در آشکارسازی تأثیر مداخله دارد.

با توجه به موارد ذکر شده، می توان گفت اجرای تمرینات تعادلی-قدرتی در هر دو محیط آب و خشکی منجر به بهبود تراکم استخوان گردن فمور و مهره‌های کمری می‌شود اما تمرینات ورزش در خشکی مزیت قابل توجه‌تری نسبت به تمرینات در آب داشته اند. این یافته ها با نتایج مطالعات Angın و همکاران (۱۶)، قاسمی و همکاران (۱۷)، ونکی و همکاران (۱۸) و Fronza و همکاران (۱۹) که در همه آن‌ها تمرینات ورزشی منجر به بهبود معنادار تراکم استخوان شده است، همسو می باشد. اما از سوی دیگر نتایج تعدادی از مطالعات مانند تربتیان و همکاران (۱۵)، Harush و همکاران (۳۶)، حاکی از عدم تاثیرگذاری تمرینات ورزشی بر تراکم استخوان افراد مبتلا به پوکی استخوان بود. با دقت در روش بررسی مطالعات پیشین، مشخص می‌گردد، پژوهش‌هایی که مداخله آن‌ها شامل تمرینات با شدت بالا و یا تمرینات تحمل وزن و قدرتی بوده است، فارغ از اینکه در محیط آب یا خشکی اجرا شده‌اند، بهبود معناداری را در تراکم استخوان آزمودنی ها مشاهده کرده اند (۱۹-۱۶) و مطالعاتی که تمرینات به کار گرفته شده در آن ها از نوع تمرینات هوازی و یا تمرینات با شدت متوسط بوده است، نتوانسته اند تاثیر معناداری را بر تراکم استخوان آزمودنی ها نشان دهند و محققان این پژوهش ها ذکر کرده اند که

تمرینات مذکور تنها منجر به حفظ تراکم استخوان شده است (۳۶، ۱۵).

در مطالعات پیشین دو مورد یافت شد که تاثیر تمرین ورزش در آب و ورزش در خشکی را بر تراکم استخوان افراد مبتلا به استئوپروز با یکدیگر مقایسه کرده اند که در یک مورد یعنی مطالعه ی Balsamo و همکاران (۲۱) هر دو شیوه تمرینی از لحاظ آماری به یک میزان و به شکل معناداری منجر به بهبود تراکم استخوانی آزمودنی‌ها شدند (۲۱). اما Murtezani و همکاران (۲۲) به این نتیجه رسیدند که برخلاف تمرینات ورزشی در آب، تمرین در خشکی به طور معناداری تراکم استخوان آزمودنی‌ها را بهبود می بخشد (۲۲). در مطالعه اول شیوه تمرینی دو گروه ورزش در آب و ورزش در خشکی با یکدیگر متفاوت بود (۲۱) اما در مطالعه دوم هر دو گروه تمرینی از برنامه تمرینی یکسانی بهره بردند (۲۲).

با توجه به قانون ولف و تئوری فراست، تمرین ورزشی در صورتی می‌تواند منجر به افزایش تراکم استخوان آزمودنی‌ها بشود که میزان بزرگی استرس‌ها و بارهای مکانیکی حاصل از آن‌ها به اندازه کافی و بیشتر از آن چه در زندگی روزانه با آن رو به رو هستند، باشد و در این صورت پاسخ استخوان به استرس‌ها، افزایش توده استخوانی خواهد بود. از سوی دیگر ناحیه یا نواحی که تحت اعمال بار قرار گرفته‌اند، بیشتر تحت تاثیر قرار می‌گیرند (۶، ۷). بنابراین می‌توان گفت شدت و بزرگی بار مکانیکی حاصل از تمرینات اعمالی در گروه ورزش در خشکی در این پژوهش و تمام پژوهش هایی که تاثیر مثبت بر تراکم استخوان را گزارش کرده‌اند، در اندازه‌ای بوده که منجر به افزایش توده استخوانی شده است. لازم به ذکر است در پژوهش حاضر برنامه تمرینی آزمودنی‌ها ترکیبی از تمرینات قدرتی و تعادلی بود و تمرینات قدرتی به کار گرفته شده شامل تمرینات بالاتنه، میان تنه و پایین تنه بود، به همین دلیل منطقی به نظر می‌رسد که تاثیر این تمرینات بر تراکم استخوان، هم در ناحیه گردن استخوان ران و هم در ناحیه مهره‌های کمری مشاهده شود. همچنین در پژوهش حاضر اصل اضافه بار تدریجی رعایت شده است، بنابراین می‌توان گفت آن چه در تئوری فراست مطرح شده است مبنی بر اینکه بار اعمالی می‌بایست بیشتر از آستانه‌ای باشد که فرد به صورت روزمره با آن رو به رو است، در این پژوهش وجود دارد. اما از طرفی نیروی شناوری آب می‌تواند منجر به برداشته شدن مقداری از بار مکانیکی اعمالی بر استخوان‌ها بشود. بنابراین منطقی به نظر می‌رسد که اگر تمرین مشابهی در محیط خشکی و محیط آب اجرا شود، در هنگام اجرای تمرین ورزش در آب نسبت به تمرین در خشکی، مقداری از بار مکانیکی اعمالی بر روی استخوان ها به علت نیروی شناوری برداشته شود (۲۲). با دقت در مقادیر میانگین تراکم استخوان آزمودنی های گروه تمرین در آب قبل و پس از مداخله و نتایج گزارش شده در جداول ۲ و ۳ می‌توان گفت، یک دوره تمرین ۱۲ هفته‌ای ورزش در آب، در جمعیتی که سالانه ۱ تا ۲ درصد تراکم استخوان خود را از دست می‌دهند، نه تنها منجر به حفظ تراکم استخوان شده است، بلکه در بهبود این متغیر موثر واقع شده است. به همین دلیل احتمالا تمرینات استفاده شده در این پژوهش در گروه تمرین در آب نیز، از حد آستانه ذکر شده بالاتر بوده است. اما از سوی دیگر در مطالعه‌ی حاضر، تاثیر تمرین ورزش در خشکی نسبت به تمرین ورزش در آب بر تراکم استخوان مهره‌های کمری و گردن فمور آزمودنی‌ها، به صورت معناداری بالاتر و با اندازه اثر بزرگ می‌باشد (برای تراکم استخوان گردن فمور و مهره‌های کمری به ترتیب $\eta^2=$ ۰/۳۴ و $\eta^2=$ ۰/۴۸). هر دو گروه، تمرینات یکسانی را اجرا کردند اما محیط‌های تمرینی آن‌ها متفاوت بود، بنابراین به دلیل وجود نیروی شناوری آب، میزان بار مکانیکی اعمالی بر استخوان در گروه ورزش در آب کمتر بوده است. در مطالعه Balsamo و همکاران (۲۱)، که اجرای تمرینات در آب و خشکی هر دو منجر به بهبود تراکم استخوان شده‌اند، گروه تمرین در خشکی از تمرینات بدنسازی و گروه تمرین در آب از تمرینات تحمل وزن بهره گرفتند، در نتیجه می‌توان گفت، میزان بزرگی بار مکانیکی اعمالی بر استخوان، در هر دو گروه به اندازه‌ای بوده است که منجر به افزایش توده استخوانی شده است (۲۱).

متغیر دیگری که در پژوهش حاضر اندازه‌گیری شد، تعادل آزمودنی‌ها قبل و پس از ۱۲ هفته تمرین ورزش در آب و ورزش در خشکی بود که توسط پارامتر میانگین سرعت COP ارزیابی شد و در چهار تست TLEO، TLEC، STEO، STEC در دو جهت ML و AP مورد آزمون قرار گرفت. بنابراین جمعا هشت متغیر مختلف برای آزمودنی‌ها در هر مرحله از اندازه‌گیری (پیش آزمون و پس آزمون) برای تحلیل و آنالیز وضعیت تعادلی و ثبات قامتی مد نظر قرار گرفت. با توجه به جدول ۲ و نتایج به دست آمده از آزمون-های مربوط به گروه ورزش در آب، شاهد آن هستیم که در

۷ آیتم از متغیرهای تعادلی، بین امتیازهای پیش آزمون و پس آزمون تفاوت معناداری وجود دارد (تست های TLEO، TLEC و STEC در هر دو جهت ML و AP و تست STEO در جهت AP) و اندازه اثر تمامی این تغییرات در محدوده بزرگ تا خیلی بزرگ قرار داشت (از d= ۰/۹۵ تا d= ۱/۲۳) و فقط در یک آیتم (تست STEO در جهت ML) تفاوت معناداری بین امتیازهای قبل و پس از مداخله آزمودنی های این گروه وجود ندارد. از طرفی امتیازهای پس آزمون آزمودنی‌های گروه ورزش در خشکی در ۲ آیتم از بین ۸ متغیر تعادل (تست‌های STEO و STEC هر دو در جهت AP) بهبود معناداری را نسبت به امتیازهای پیش آزمون نشان دادند و اندازه اثر هر دوی این تغییرات در محدوده بزرگ قرار دارد (به ترتیب d=۱/۱۵ و d=۱/۰۱). در سایر متغیرهای تعادل (تست‌های TLEO، TLEC در هر دو جهت AP و ML و تست‌های STEO و STEC در جهت ML)، امتیازهای پیش آزمون و پس آزمون گروه ورزش در خشکی، تفاوت معناداری نداشته‌اند. همچنین در زمینه‌ی مقایسه تاثیر تمرین ورزش در آب و تمرین ورزش در خشکی بر تعادل آزمودنی‌ها، با دقت در جدول ۳ و نتایج آزمون تحلیل کوواریانس، متوجه می‌شویم تاثیر این دو شیوه تمرینی در ۵ آیتم از ۸ متغیر تعادل (تست‌های TLEO و STEC در هر دو جهت ML و AP و تست TLEC در جهت ML) به صورت معناداری با هم متفاوت است و این تفاوت به نفع گروه ورزش در آب است. اندازه اثر این تفاوت-ها، همگی در محدوده بزرگ قرار دارد (در تست TLEO در جهت ML، η^2= ۰/۷۲ و در جهت AP ۰/۲۵ =η^2 در تست TLEC در جهت ML ۰/۴۵ =η^2 در تست STEC در جهت ML ۰/۴۶ =η^2 و در جهت AP ۰/۳۰ =η^2). اما در سه مورد (تست STEO در هر دو جهت ML و AP و تست TLEC در جهت AP) تفاوت معناداری بین دو گروه وجود ندارد. از سوی دیگر هر دو گروه مداخله در مقایسه با گروه کنترل، در تمامی هشت متغیر مرتبط با تعادل، تفاوت-های معناداری را نشان دادند. اندازه اثر این تفاوت‌ها در محدوده بزرگ است (از ۰/۳۵ =η^2 تا ۰/۸۲ =η^2. دامنه بالای اندازه اثرها در تمامی متغیرهای تعادل، مؤید آن است که مداخلات تمرینی مورد استفاده در این مطالعه، نه تنها از نظر آماری معنادار، بلکه از نظر عملکردی نیز دارای تأثیرات چشمگیر و بالینی قابل توجه بوده اند.

تعداد مطالعاتی که در گذشته تاثیر تمرینات ورزشی را بر تعادل افراد مبتلا به استئوپروز بررسی کرده باشند و از روش-های آزمایشگاهی (فورس پلیت) برای ارزیابی تعادل استفاده کرده باشند، بسیار محدود است. پژوهش‌های موجود نیز در زمینه نوع متغیر COP انتخاب شده، روش اجرا، تست های ارزیابی تعادل، تعداد کوشش های انجام شده، فرکانس نمونه‌برداری، نوع فیلتر استفاده شده و مدت زمان ثبت داده-ها با یکدیگر متفاوت اند و همچنین نوع تمرینات استفاده شده، مدت زمان دوره تمرینی و ویژگی‌های آزمودنی‌های این پژوهش ها نیز با یکدیگر تفاوت های زیادی داشته‌اند، از این رو مقایسه این پژوهش‌ها با یکدیگر و با مطالعه حاضر بسیار چالش برانگیز است. لازم به ذکر است هیچ یک از مطالعات پیشین، از تمرینات استاندارد شده قدرتی-تعادلی که مناسب افراد مبتلا به پوکی استخوان هستند، استفاده نکرده‌اند و اکثر برنامه‌های تمرینی این مطالعات طبق نظر محققین طرح‌ریزی شده و نوع تمرینات غالبا به طور مشخص مطرح نگردیده اند. ۳ مطالعه تاثیر تمرین ورزش در خشکی را بر تعادل کلینیکی آزمودنی‌ها مورد آزمون قرار داده اند. Miko و همکاران (۱۳)، Burke (۱۴) و Swanenburg و همکاران (۳۷)، گزارش کرده‌اند تمرینات ورزش در خشکی (فارغ از نوع تمرینات و مدت زمان دوره تمرینی) منجر به بهبود تعادل قامتی آزمودنی‌ها شده اند. MiKo و همکاران (۱۳) برای ارزیابی تعادل ایستای آزمودنی‌ها، میزان جابه-جایی COP را در دو حالت چشم باز و چشم بسته با استفاده از تست رومبرگ اندازه‌گیری کردند و نتیجه گرفتند که میزان جابه‌جایی هم در جهت ML، هم در جهت AP بعد از ۱۲ ماه تمرینات تعادلی کاهش یافته است (۱۳). همچنین Burke و همکاران (۱۴) میزان میانگین سرعت COP آزمودنی‌ها را در تست محدودیت پایداری (Limit of Stability; LOS) اندازه‌گیری کردند و متوجه شدند که ۸ هفته تمرین تعادلی و قدرتی می‌تواند به طور موثری تعادل افراد مبتلا به پوکی استخوان را بهبود ببخشد (۱۴). Swanenburg و همکاران (۳۷) نیز تاثیر ۳ ماه تمرین ترکیبی (قدرتی، تعادلی، هماهنگی، استقامتی) را بر تعادل ایستای آزمودنی‌ها با استفاده از تست ایستادن روی دو پا در وضعیت با چشمان باز بررسی کردند. این پژوهشگران تعادل آزمودنی ها را بلافاصله بعد از اتمام جلسات تمرینی و همچنین ۶ و ۱۲ ماه بعد، مورد سنجش قرار دادند و متوجه شدند که دامنه جابه‌جایی COP در ماه سوم و ششم ارزیابی‌ها، نسبت به اندازه‌گیری‌های پیش آزمون در جهت

AP کاهش یافته اما هیچ تغییر معناداری در جهت ML رخ نداده است (۳۷). یافته‌های این مطالعه با نتایج پژوهش ما که نشان‌دهنده پیشرفت مشهودتر آزمودنی‌های گروه تجربی در جهت AP در تست‌های STEO و STEC بود، همسو می‌باشد. تنها یک مطالعه Aveiro و همکاران (۲۰) یافت شد که به مقایسه تاثیر تمرین ورزش در آب و ورزش در خشکی بر تعادل کلینیکی افراد مبتلا به پوکی استخوان پرداخته است. مدت مداخله این پژوهش ۱۲ هفته بود و تعادل آزمودنی‌ها توسط ۱۰ تست مختلف که از لحاظ سطح اتکا (شیوه ایستادن) و وضعیت بینایی متفاوت بود ارزیابی شد. نتایج مطالعه آن‌ه ا حاکی از تاثیر گذاری تمرین ورزش در آب و عدم تاثیر گذاری تمرین ورزش در خشکی بود. همچنین در مقام مقایسه تمرین ورزش در آب نسبت به تمرینات ورزش در خشکی تاثیر معنادار بالاتری بر تعادل افراد مبتلا به استئوپروز داشت (۲۰). که نتایج این پژوهش نیز با مطالعه حاضر همسو می باشد.

همراه با افزایش سن، برخی تغییرات در بدن فرد رخ می-دهد، به طور مثال قدرت عضلات از جمله عضلات اندام تحتانی و دامنه حرکتی مفاصل کاهش پیدا می‌کند، همچنین زمان عکس العمل سالمندان بالاتر از افراد جوان سالم است، متعاقبا تعادل در سالمندان کاهش می‌یابد (۳۸). از سوی دیگر کیفیت اجرای وظایف شناختی فرد به دلیل کاهش حجم ماده خاکستری مغز تضعیف می‌گردد و از آن جایی که بین توانایی انجام وظایف شناختی و توانایی‌های تعادلی سالمندان همبستگی مثبتی وجود دارد. این مسئله منجر به کاهش تعادل سالمندان می شود (۳۴). از سوی دیگر ثابت شده است که افراد مبتلا به استئوپروز به علت ترس از افتادن و بروز شکستگی‌های مرتبط با آن، دچار ضعف در اعتماد به نفس تعادل می‌شوند و در عملکردهای فیزیکی، توانایی‌های عصبی-عضلانی و در نتیجه توانایی‌های تعادلی آن‌ها اختلال ایجاد می‌شود. تمرینات قدرتی می‌تواند به مرور زمان منجر به افزایش قدرت عضلانی بشود. همچنین پژوهشگران نشان داده‌اند که تمرینات مقاومتی، تعادلی و یا ترکیبی از هر دو نوع، می‌تواند زوال عملکردهای شناختی مرتبط با سن را به تاخیر بیندازد و از این طریق منجر به بهبود تعادل شود. این تمرینات می‌تواند اعتماد به نفس تعادل را بهبود بخشد و از این طریق ترس از افتادن را کاهش دهد (۳۸، ۳۴). با توجه به تمام موارد گفته شده و با عنایت به اینکه تمرینات ورزشی به کار گرفته شده در این مطالعه، برگرفته از برنامه‌های تمرینی Otago و ROPE می‌باشد که به طور ویژه بر روی پارامترهای قدرت عضلانی و تعادل آزمودنی‌ها متمرکز هستند، می‌توان بهبود تعادل آزمودنی‌ها را از مداخله پژوهش حاضر انتظار داشت. بنابراین افزایش تعادل آزمودنی های گروه ورزش در آب و ورزش در خشکی توجیه‌پذیر است.

نتایج پژوهش حاضر در زمینه مقایسه تاثیر دو شیوه تمرینی بر تعادل آزمودنی‌ها، حاکی از تاثیر بیشتر تمرینات ورزش در آب نسبت به تمرینات ورزش در خشکی بود. به بیان دیگر در هر یک از متغیرهای تعادلی، که تفاوت معناداری بین تاثیر دو گروه تمرینی وجود داشت، این تفاوت به نفع گروه ورزش در آب بود (جدول ۳). همان طور که قبلا ذکر شد، افزایش قدرت عضلانی می‌تواند در بهبود تعادل موثر باشد و از آن جایی که مقاومت محیط آب بیشتر از خشکی است، اجرای تمرینات در آب می‌تواند به مانند تمرینات قدرتی عمل کند و منجر به افزایش قدرت عضلانی گردد (۳۹). از سوی دیگر هدف بسیاری از تمرینات تعادلی ایجاد چالش برای یکی از سیستم‌های درگیر در تعادل (سیستم بینایی، دهلیزی و یا حسی حرکتی) می‌باشد، تا تعادل فرد به مرور زمان از طریق غلبه بر این چالش‌ها، بهبود یابد. یکی از این چالش‌ها می‌تواند از طریق ایجاد تغییر در محیطی که فرد در آن قرار دارد به وجود آید. در همین راستا برخی از مطالعات به مقایسه میزان پایداری قامتی فرد در محیط‌های آب و خشکی پرداخته‌اند. این مطالعات با استفاده از صفحه نیرو، تعادل آزمودنی‌ها را به وسیله تست‌های مختلف در دو محیط آب و خشکی ارزیابی کردند و نشان دادند که میزان نوسانات پارامترهای COP در آب، بیشتر از خشکی است (۴۰، ۳۹). در توضیح این مهم باید گفت با توجه به اینکه مرکز ثقل بدن (Center of Mass; COM) در جلوی مفصل مچ پا قرار دارد، نیروی گرانش همواره بدن را به سمت جلو سوق می‌دهد، این مسئله نیازمند تلاش‌های مدوام گشتاورهای پلنتار فلکسوری است تا پایداری فرد حفظ شود (۴۰). در محیط آب به دلیل نیروی شناوری، با توجه به عمقی که فرد در آب قرار دارد، مقدار نیروی وزن کاهش می‌یابد، به طور مثال اگر شخصی تا حد زائده خنجری در آب قرار گرفته باشد، مقدار نیروی وزن او، ۵۰ تا ۷۵ درصد کاهش می‌یابد (۳۹). بنابراین از آن جایی که در آب میزان گشتاور سرنگون کننده‌ی حاصل از نیروی جاذبه کاهش می‌یابد، میزان فعالیت عضلانی پلنتار و دورسی

فلکسورهای مچ پا نیز، کوچک‌تر از خشکی می باشند. به علاوه در هنگام حرکت کردن در آب، موج هایی ایجاد می شوند که مرکز ثقل را دچار چالش کرده و متعادل ماندن فرد را سخت‌تر می‌کنند. این گونه تغییرات در محیط آب و محدودیت های پایداری حاصل از آن، منجر می‌شود که عضلات ناحیه ران و تنه تحریک و بیشتر فعال شوند، بنابراین هماهنگی حرکات قامتی که برای حفظ پایداری فرد نیاز هستند تحت تاثیر قرار می‌گیرند و استراتژی ران نیز مشارکت بیشتری در حفظ تعادل خواهد داشت. به بیان دیگر در محیط آب، وضعیت قامتی با دو نیروی متناقض (نیروی گرانش و نیروی شناوری) رو به رو است که باعث ایجاد آشفتگی و همچنین تحریک حس عمقی می‌شود. به همین دلیل فرکانس های COP و نیروهای برشی روی صفحه نیرو در محیط آب نسبت به خشکی افزایش می‌یابند (۴۱-۳۹). بنابراین قرار گرفتن در محیط آب به خودی خود، می‌تواند منجر به افزایش ناپایداری‌های قامتی و تغییر در استراتژی‌های کنترل تعادل بشود و از این طریق یک تحریک پر فایده برای بهبود کنترل تعادل ایجاد می‌گردد (۴۰). از این رو منطقی به نظر می‌رسد که تاثیر مثبت تمرین ورزشی در محیط آب بر روی تعادل آزمودنی ها، بیشتر از خشکی باشد. لازم به ذکر است با وجود مواردی که در بالا ذکر شد، فشار هیدرواستاتیک آب باعث می‌شود که مقادیر بیشتری از داده‌های ورودی حس عمقی و دهلیزی برای حفظ تعادل، به سیستم عصبی منتقل گردد و در نتیجه فرد، در محیط آب، اطلاعات بیشتری برای درک موقعیت بدن و حفظ تعادل در اختیار دارد، از سوی دیگر به دلیل خاصیت ویسکوزیته آب، حرکات در این محیط، آهسته‌تر قابل اجرا هستند، بنابراین با وجود داده‌های ورودی بیشتر و اجرای آهسته‌تر حرکات، فرد اطلاعات و زمان بیشتری را برای تشخیص خطا و عوامل بر هم زننده تعادل، تصحیح این خطاها، انتخاب عکس‌العمل مناسب و حفظ پایداری خود قبل از وقوع افتادن در اختیار دارد. به همین دلیل ترس از افتادن کاهش می‌یابد و متعاقبا میزان اعتماد به نفس تعادل فرد افزایش می‌یابد. در نتیجه شخصی که در محیط آب تمرین می‌کند، بدون آن که بترسد می‌تواند با محدودیت‌ها و اختلال‌های تعادلی موجود وارد چالش شده، بر آن‌ها فائق آید و علاوه بر آن شیوه‌های کنترل تعادل را فرا بگیرد. در صورتی که در محیط خشکی اگر شخص با این چالش‌ها مواجه بشود احتمال اینکه در موقعیت از دست دادن تعادل و افتادن قرار بگیرد، وجود دارد (۲۰).

در مطالعه حاضر، کاهش در تراکم استخوان و تعادل آزمودنی‌های گروه کنترل که در برنامه تمرینی شرکت نمی‌کردند، مشاهده شد، بنابراین می‌توان گفت افراد مبتلا به پوکی استخوان در صورتی که از تمرینات منظم و مناسب ورزشی بهره نگیرند به مرور زمان با کاهش تراکم استخوان و تعادل رو به رو خواهند شد و متعاقباً احتمال بروز شکستگی های استخوانی در آن ها افزایش می‌یابد. با توجه به موارد ذکر شده، به افراد مبتلا به پوکی استخوان پیشنهاد می شود از فواید هر دو نوع شیوه تمرینی ورزش در آب و ورزش در خشکی بهره ببرند. یافته های به دست آمده از این مطالعه نشان داد که اجرای دوازده هفته تمرینات تعادلی-قدرتی در خشکی تاثیر بیشتری بر افزایش تراکم استخوان زنان یائسه مبتلا به پوکی استخوان دارد. همچنین مشخص گردید که اجرای تمرینات مذکور در آب می‌تواند تاثیر بیشتری بر بهبود تعادل این افراد داشته باشد، لذا به افراد مبتلا به پوکی استخوان توصیه می‌شود برای بهره‌مند شدن از خواص ویژه آب در بهبود تعادل و همچنین فواید اعمال استرس‌های مکانیکی کافی که در خشکی بیشتر از آب است، از تمرینات ورزش در خشکی در کنار یک برنامه تمرینی ورزش در آب سود ببرند.

در چارچوب یک طراحی مداخله‌ای ساختارمند، این مطالعه توانسته است یافته‌های معناداری ارائه دهد، با این حال، برخی محدودیت‌های زمینه‌ای، در تفسیر نتایج قابل توجه هستند. از آن جمله می‌توان به عدم بررسی تمرینات ترکیبی در محیط‌های آب و خشکی، فقدان کنترل رژیم غذایی و متغیرهای روانی و رفتاری مانند وضعیت روحی و کیفیت خواب آزمودنی‌ها، همچنین نبود پیگیری‌های بلند مدت برای ارزیابی پایداری اثرات مداخله اشاره کرد. بر اساس یافته‌های این پژوهش پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی طراحی مداخلات ترکیبی با هدف بهره‌برداری همزمان از ویژگی‌های محیطی آب و خشکی مد نظر قرار گیرد. همچنین بررسی اثربخشی این شیوه در مقایسه با سایر روش‌های تمرینی رایج و ارزیابی پایداری نتایج در بازه‌های زمانی میان‌مدت و بلندمدت، می‌تواند به توسعه دانش در حوزه توان‌بخشی زنان مبتلا به پوکی استخوان کمک کند.

سپاسگزاری

این مقاله حاصل رساله دکتری گرایش بیومکانیک ورزشی می‌باشد که در دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی دانشگاه

آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی انجام شد. بدین وسیله از تمام بیماران و افراد شرکت‌کننده در پژوهش حاضر، تشکر و قدردانی می‌شود. این مطالعه توسط کمیته اخلاق پژوهشکده علوم حرکتی به شماره IR-KHU.KRC.1000.220 تایید شده است.

نقش نویسندگان

آوا مهدی زاده و حیدر صادقی: ایده، پژوهش، بررسی، روش شناسی، تحلیل داده‌ها، تدوین و ویرایش مقاله
همه نویسندگان: نهایی سازی مقاله

منابع مالی

این مقاله برگرفته از رساله دکترای تخصصی است و هیچ گونه کمک مالی از سازمان تامین کننده مالی در بخش های عمومی و دولتی، تجاری، غیرانتفاعی دانشگاه یا مرکز پژوهشی دریافت نشده است.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

منابع

1. Erhan B, Ataker Y. Rehabilitation of patients with osteoporotic fractures. J Clin Densitom 2020; 23(4): 534-538.
2. Walker MD, Shane E. Postmenopausal osteoporosis. N Engl J Med 2023; 389(21): 1979-1991.
3. Rao M, Awasthi M. A review on interventions to prevent osteoporosis and improve fracture healing in osteoporotic patients. AIMS Med Sci 2020;7(4): 243-268.
4. Aibar-Almazán A, Voltes-Martínez A, Castellote-Caballero Y, Afanador-Restrepo DF, et al. Current status of the diagnosis and management of osteoporosis. Int J Mol Sci 2022; 23(16): 9465.
5. Hughes JM. Revisiting Harold Frost's Mechanostat Theory of Bone Functional Adaptation: New Interpretations Based on New Evidence: University of Minnesota; 2010.
6. Graves M, Snyder K, McFelea J, Szczepanski J, et al. Quantitative Measurement of the Improvement Derived from a 10-Mo Progressive Exercise Program to Improve Balance and Function in Women at Increased Risk for Fragility Fractures. J Clin Densitom 2020; 23(2): 286-293.
7. Seyedjafari E, Sahebozamani M, Ebrahimipour E. Effect of Eight Weeks of Water Exercises on Deep Part of the Pool on the Static Balance of the Elderly Man. SALMAND 2017; 12(3): 384-393.
8. Zaravar F, Tamaddon G, Zaravar L, Jahromi MK. The effect of aquatic training and vitamin D3 supplementation on bone metabolism in postmenopausal obese women. J Exerc Sci Fit 2024; 22(2): 127-133.
9. Yilmaz N, Kösehasanoğulları M. The effectiveness of virtual reality exercise games on balance functions and fear of falling in women with osteoporosis. Rheumatol Int 2024; 44(6): 1071-1076.
10. Sun C, Chen M, Wang X, Qi B, et al. Effect of Baduanjin exercise on primary osteoporosis: study protocol for randomized controlled trial. BMC Complement Med Ther 2023; 23(1): 325.

11. Miko I, Szerb I, Szerb A, Bender T, et al. Effect of a balance-training programme on postural balance, aerobic capacity and frequency of falls in women with osteoporosis: A randomized controlled trial. J Rehabil Med 2018; 50(6): 542-547.

12. Burke TN, França FJR, de Meneses SRF, Cardoso VI, et al. Postural control in elderly persons with osteoporosis: efficacy of an intervention program to improve balance and muscle strength: a randomized controlled trial. Am J Phys Med Rehabil 2010; 89(7): 549-556.

13. Bakhtiar Tartibian AM, Sheikhlou Z. Does 12 weeks of moderate-intensity aerobic exercise (W-WJMIEP-R) effects on bone density and content of upper and lower limbs in sedentary postmenopausal women? journal of Applied Exercise Physiology 2017; 13(25): 37-50.

14. Angın E, Erden Z, Can F. The effects of clinical pilates exercises on bone mineral density, physical performance and quality of life of women with postmenopausal osteoporosis. J Back Musculoskelet Rehabil 2015; 28(4): 849-858.

15. Ghasemi S RA, Basiri Z. The effect of combined exercise on bone mineral density of premenopausal females. Education and Community Health 2016; 9(3): 36-42.

16. Vanaky B SH, Piri M, Ramezan N. The Effect of weight bearing water aerobic exercise on the bone density of the lumbar spine of 50-70 years old overweight women. Rehab Med 2015; 4(2): 46-52.

17. Fronza F, Moreira-Pfrimer LDF, dos Santos RN, Teixeira L, et al. Effects of high-intensity aquatic exercises on bone mineral density in postmenopausal women with and without vertebral fractures. Am J Sport Sci 2013; 1(1): 1.

18. Aveiro MC, Avila MA, Pereira-Baldon VS, Ceccatto Oliveira ASB, et al. Water-versus land-based treatment for postural control in postmenopausal osteoporotic women: a randomized, controlled trial. Climacteric 2017; 20(5): 427-435.

19. Balsamo S, Mota LMHd, Santana FSd, Nascimento DdC, et al. Resistance training versus weight-bearing aquatic exercise: a cross-sectional analysis of bone mineral density in postmenopausal women. Rev Bras Reumatol 2013; 53: 193-198.

20. Murtezani A, Nevzati A, Ibraimi Z, Sllamniku S, et al. The effect of land versus aquatic exercise program on bone mineral density and physical function in postmenopausal women with osteoporosis: a randomized controlled trial. Ortop Traumatol Rehabil 2014; 16(3): 319-325.

21. Shojaa M, Von Stengel S, Schoene D, Kohl M, et al. Effect of exercise training on bone mineral density in post-menopausal women: a systematic review and meta-analysis of intervention studies. Front Physiol 2020; 11: 652.

22. Kemmler W, Shojaa M, Kohl M, von Stengel S. Effects of different types of exercise on bone mineral density in postmenopausal women: a systematic review and meta-analysis. Calcif Tissue Int 2020; 107(5): 409-439.

23. Low DC, Walsh GS, Arkesteijn M. Effectiveness of exercise interventions to improve postural control in older adults: a systematic review and meta-analyses of centre of pressure measurements. Sports med 2017; 47(1): 101-112.

24. Quijoux F, Nicolaï A, Chairi I, Bargiotas I, et al. A review of center of pressure (COP) variables to quantify standing balance in elderly people: Algorithms and open-access code. Physiol Rep 2021; 9(22): e15067.

25. Rhea CK, Kiefer AW, Wright WG, Raisbeck LD, et al. Interpretation of postural control may change due to data processing techniques. Gait Posture 2015; 41(2): 731-735.

26. Riemann BL, Piersol K. Intersession reliability of self-selected and narrow stance balance testing in older adults. Aging Clin Exp Res 2017; 29: 1045-1048.

27. Alsubaie SF, Whitney SL, Furman JM, Marchetti GF, et al. Reliability of postural sway measures of

standing balance tasks. J Appl Biomech 2018; 35(1): 11-18.

28. Gonzalez DRG, Imbiriba LA, Jandre FC. Comparison of body sway measured by a markerless low-cost motion sensor and by a force plate. Research on Biomedical Engineering 2021; 37(3): 507-517.

29. Hernandez ME, Snider J, Stevenson C, Cauwenberghs G, et al. A correlation-based framework for evaluating postural control stochastic dynamics. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng. 2015; 24(5): 551-561.

30. Huurnink A, Fransz DP, Kingma I, van Dieën JH. Comparison of a laboratory grade force platform with a Nintendo Wii Balance Board on measurement of postural control in single-leg stance balance tasks. J Biomech 2013; 46(7): 1392-1395.

31. Wang C, Zhang F, Wang J, Doyle JK, et al. How indoor environmental quality affects occupants' cognitive functions: A systematic review. Building and environment 2021; 193: 107647.

32. Chiu H-L, Yeh T-T, Lo Y-T, Liang P-J, et al. The effects of the Otago Exercise Programme on actual and perceived balance in older adults: A meta-analysis. PLoS One 2021; 16(8): e0255780.

33. Sinaki M. Musculoskeletal rehabilitation in patients with osteoporosis–Rehabilitation of Osteoporosis Program-Exercise (ROPE). J Mineral Muskulosk 2010; 17(2): 60-65.

34. Rotstein A, Harush D, Vaisman A. The effect of a water exercise program on bone density among postmenopausal women. J Sports Med Phys Fitness 2008; 48(3): 352-359.

35. Swanenburg J, de Bruin ED, Stauffacher M, Mulder T, et al. Effects of exercise and nutrition on postural balance and risk of falling in elderly people with decreased bone mineral density: randomized controlled trial pilot study. Clin Rehabil 2007; 21(6): 523-534.

36. Jorgensen MG. Assessment of postural balance in community-dwelling older adults. Dan Med J 2014; 61(1): B4775.

37. Kim Y, Vakula MN, Waller B, Bressel E. A systematic review and meta-analysis comparing the effect of aquatic and land exercise on dynamic balance in older adults. BMC Geriatr 2020; 20(1): 1-14.

38. Marinho-Buzelli AR, Rouhani H, Masani K, Verrier MC, et al. The influence of the aquatic environment on the control of postural sway. Gait & Posture 2017; 51: 70-76.

39. de Castro LA, Felcar JM, de Carvalho DR, Vidotto LS, et al. Effects of land-and water-based exercise programmes on postural balance in individuals with COPD: additional results from a randomised clinical trial. Physiotherapy 2020; 107: 58-65.

پیوست ۱

جدول ۱: نتایج آزمون شاپیرو ویلک جهت بررسی نرمال بودن توزیع داده ها

متغیر				p – مقدار پیش آزمون			p – مقدار پس آزمون			p – مقدار اختلاف پیش آزمون و پس آزمون		
				تمرین در آب	تمرین در خشکی	کنترل	تمرین در آب	تمرین در خشکی	کنترل	تمرین در آب	تمرین در خشکی	کنترل
تراکم استخوان			گردن فمور	۰/۷۸۶	۰/۸۰۱	۰/۷۲۷	۰/۶۷۱	۰/۲۵۸	۰/۶۰۶	۰/۲۳۰	۰/۰۹۳	۰/۶۶۱
			مهره های کمری	۰/۸۳۱	۰/۸۵۵	۰/۷۵۵	۰/۶۰۱	۰/۲۱۳	۰/۵۸۶	۰/۱۸۴	۰/۰۷۴	۰/۶۱۶
میانگین سرعت COP* ($cm.s^{-1}$)	تست ایستاده روی دو پا	چشمان باز	ML**	۰/۷۴۶	۰/۸۰۹	۰/۶۸۴	۰/۵۸۱	۰/۷۲۵	۰/۵۶۹	۰/۲۴۴	۰/۴۷۶	۰/۵۰۲
			AP***	۰/۸۸	۰/۹۰۱	۰/۸۰۵	۰/۱۸۵	۰/۵۸۷	۰/۵۴۳	۰/۰۸۶	۰/۵۱۹	۰/۶۲۳
		چشمان بسته	ML	۰/۸۱۰	۰/۷۹۸	۰/۷۰۵	۰/۵۳۳	۰/۶۹۱	۰/۵۱۴	۰/۲۲۴	۰/۴۴۸	۰/۴۸۰
			AP	۰/۹۰۱	۰/۸۴۳	۰/۷۶۳	۰/۲۰۳	۰/۵۵۶	۰/۵۲۱	۰/۱۰۳	۰/۴۲۲	۰/۵۷۴
	تست ایستاده به صورت نیمه پشت سر هم	چشمان باز	ML	۰/۷۶۶	۰/۷۸۵	۰/۷۳۱	۰/۵۹۸	۰/۵۲۷	۰/۵۰۳	۰/۲۸۷	۰/۳۰۳	۰/۴۰۳
			AP	۰/۸۵۶	۰/۸۸۶	۰/۷۷۱	۰/۱۷۴	۰/۲۳۳	۰/۴۵۶	۰/۰۶۵	۰/۰۹۱	۰/۵۳۸
		چشمان بسته	ML	۰/۷۸۱	۰/۷۹۴	۰/۷۴۲	۰/۶۱۳	۰/۶۷۴	۰/۵۵۴	۰/۳۲۰	۰/۳۸۳	۰/۴۷۶
			AP	۰/۸۹۴	۰/۹۱۰	۰/۷۹۶	۰/۲۲۴	۰/۱۸۷	۰/۴۹۰	۰/۰۷۰	۰/۰۶۲	۰/۵۴۳

* مرکز فشار (Center Of Pressure; COP)، ** داخلی-خارجی (Medial-lateral; ML)، *** قدامی-خلفی (Anterior-Posterior; AP)