

Impact of a 12 week resistance and concurrent training on bone mechanical strength and mineral density of osteoporotic male Wistar rats

Nazem F¹, Salehikia A^{2*}, Marandi SM³, Sahdadi A²

1- Department of Sport Physiology, Faculty of Sport Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamedan, I. R. Iran.

2- Department of Sport Sciences, Faculty of Education and Psychology, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, I. R. Iran.

3- Department of Sport Physiology, Faculty of Sport Sciences, Isfahan University, Isfahan, I. R. Iran.

Received June 15, 2015; Accepted October 19, 2015

Abstract:

Background: This study evaluated the efficacy of concurrent training compared to resistance training on femoral bone mineral density (BMD) and mechanical strength of osteoporotic male rats.

Materials and Methods: Eight out of 40 male Wistar rats were separated as healthy subjects. Then osteoporosis was induced in the remaining rats by the injection of ethanol (20%, i.p) for 3 weeks. Osteoporotic rats divided into 4 groups: Baseline, Resistance training, Concurrent training and Control. The resistance training protocol consisted of 8 series of climbs on a 110-cm vertical ladder angled at 80° with weights tied to the animal tail. The overload for first and eighth series was set at 50% and 100% of the total body mass of the animal, respectively. Concurrent group completed a combination of both resistance and endurance treadmill trainings (60 min/day, speed: 12 m/min). The left excised femur of the animals were scanned for BMD measurement and examined by three point bending test to obtain the maximum force and stiffness.

Result: Two Resistance training and Concurrent training groups had significantly increased maximum force, stiffness and BMD compared to Control group ($P=0.019$). Compared to resistance group, the Concurrent group showed a positive effect on bone mechanical strength ($P=0.039$) with no significance difference in BMD ($P=0.890$).

Conclusion: The results of this study shows that the combination of resistance and endurance exercise may have a synergistic effect on increasing the mechanical strength of osteoporotic femoral bone in male rats compared to resistance training alone.

Keywords: Bone density, Mechanical properties, Osteoporosis, Resistance training, Concurrent training, Animal model

* Corresponding Author.

Email: salehikia@ped.usb.ac.ir

Tel: 0098 543 113 2914

Fax: 0098 543 1136 210

Conflict of Interests: *No*

Feyz, Journal of Kashan University of Medical Sciences, June, 2016; Vol. 20, No 2, Pages 108-117

Please cite this article as: Nazem F, Salehikia A, Marandi SM, Sahdadi A. Impact of a 12 week resistance and concurrent training on bone mechanical strength and mineral density of osteoporotic male Wistar rats. *Feyz* 2016; 20(2): 108-17.

اثر ۱۲ هفته برنامه تمرینی مقاومتی و ترکیبی بر چگالی ماده معدنی و استحکام مکانیکی استخوان ران موش‌های صحرایی نر استئوپروتیک

فرزاد ناظم^۱، عباس صالحی کیا^{۲*}، سید محمد مرندي^۳، احمد شهدادی^۲

خلاصه:

سابقه و هدف: در این مطالعه اثر تمرین ترکیبی در مقایسه با تمرین مقاومتی بر BMD و استحکام مکانیکی استخوان ران موش‌های صحرایی نر استئوپروتیک بررسی شد.

مواد و روش‌ها: از میان ۴۰ سر موش صحرایی نر نژاد ویستار، ۸ سر به‌عنوان گروه سالم جدا شد. پوکی استخوان با تزریق صفای محلول ۲۰ درصد اتانول به مدت ۳ هفته در سایر حیوانات القاء گردید. موش‌های استئوپروتیک در ۴ گروه پایه، تمرین مقاومتی، تمرین ترکیبی و کنترل تقسیم شدند. پروتکل تمرین مقاومتی شامل ۸ صعود از نردبان عمودی ۱۱۰ سانتی‌متری در زاویه ۸۰ درجه با وزنه‌های متصل به دم حیوان بود. اضافه‌بار بر اساس ۵۰ درصد وزن حیوان در ست اول تا ۱۰۰ درصد در ست هشتم در نظر گرفته شد. گروه ترکیبی هر دو برنامه تمرین مقاومتی و استقامتی تردمیل (۶۰ دقیقه در روز، سرعت ۱۲ متر در دقیقه) را انجام دادند. فمور چپ حیوانات خارج شده، برای اندازه‌گیری BMD اسکن شده و با آزمون خمشی سه‌نقطه‌ای برای به‌دست آوردن حداکثر نیرو و سفتی آزمایش شدند. **نتایج:** دو گروه تمرین مقاومتی و ترکیبی، افزایش معنی‌داری را در BMD، حداکثر نیرو و سفتی در مقایسه با گروه کنترل داشتند ($P=0/019$). گروه ترکیبی در مقایسه با گروه مقاومتی تاثیر مثبتی بر استحکام مکانیکی استخوان ($P=0/039$) بدون اختلاف معنی‌داری در BMD نشان داد ($P=0/890$).

نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه نشان داد که ترکیبی از تمرین مقاومتی و استقامتی ممکن است یک اثر هم‌افزایی بر افزایش قدرت مکانیکی فمور استئوپروتیک موش‌های صحرایی نر در مقایسه با تمرین مقاومتی تنها داشته باشد.

واژگان کلیدی: چگالی استخوان، خصوصیات مکانیکی، پوکی استخوان، تمرین مقاومتی، تمرین ترکیبی، مدل حیوانی

دو ماه‌نامه علمی- پژوهشی فیض، دوره بیستم، شماره ۲، خرداد و تیر ۱۳۹۵، صفحات ۱۱۷-۱۰۸

مقدمه

شیوع روزافزون این بیماری با عوارض ناتوان‌کننده و حتی کشنده‌ای که دارد، بار بهداشتی زیادی را بر جامعه تحمیل می‌کند؛ به طوری که گفته می‌شود هزینه‌های مرتبط با شکستگی‌های استئوپروتیک با بیماری‌های قلبی، سکنه مغزی و آسم برابری می‌کند [۴]. باتوجه به هزینه‌های اقتصادی و اجتماعی قابل توجه، پوکی استخوان یک مسئله مهم بهداشتی است که نیاز به توجه دارد و انجام پژوهش در این زمینه را جهت تعیین اولویت‌های پیشگیری و درمان ضروری می‌سازد. یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های موجود در مهار پوکی استخوان، یافتن روش‌های موثر و اطمینان‌خاطر از تأثیر آنها در کنترل و پیشگیری این بیماری است. بر اساس نتایج مطالعه حمیدی و همکاران، در برنامه‌ریزی راهبردهای مداخله‌ای مربوط به درمان پوکی استخوان، فعالیت بدنی و ورزش در اولویت نخست قرار می‌گیرد. بنابراین، فعالیت بدنی و ورزش محرک مهمی برای پیشگیری از پوکی استخوان و درمان آن در نظر گرفته می‌شود [۵]. بیشتر محققان بر این باورند که باتوجه به سازگاری‌های مکانیکی استخوان، ورزش می‌تواند بر توسعه، حفظ و نگهداری توده استخوانی تأثیر عمده‌ای داشته باشد [۶]. ورزش‌هایی که به اندازه کافی و مناسب تحمل وزن در آنها وجود دارد ممکن است قدرت و چگالی استخوانی را افزایش داده و از تحلیل و زوال

پوکی استخوان یک بیماری متابولیک استخوانی است که با کاهش توده استخوانی و اضمحلال ریز ساختارهای بافت استخوانی همراه بوده و با زمینه‌سازی شکستگی‌های خودبه‌خود و با حداقل ضربه، میزان مرگ‌ومیر در سال اول پس از شکستگی را ۲۰ درصد افزایش می‌دهد؛ ۵۰ درصد افراد باقیمانده هرگز توانایی های قبل از شکستگی خود را به‌دست نمی‌آورند [۱]. اگرچه به‌طور سنتی پوکی استخوان فقط مسئله سلامتی زنان در نظر گرفته می‌شود، اما مطالعات نشان داده‌اند که میزان مرگ‌ومیر پس از شکستگی و نرخ عوارض آن در مردان بالاتر از زنان است [۳،۲].

^۱ دانشیار، گروه فیزیولوژی ورزش، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه بوعلی سینا

^۲ استادیار، گروه علوم ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

^۳ استاد، گروه فیزیولوژی ورزش، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه اصفهان

^۴ استادیار، گروه علوم ورزشی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

* نشانی نویسنده مسئول:

زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان، گروه علوم ورزشی

تلفن: ۰۵۴۳۱۱۳۲۹۱۴ | دورنویس: ۰۵۴۳۱۱۳۶۲۱۰

پست الکترونیک: salehikia@ped.usb.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۴/۳/۲۵ | تاریخ پذیرش نهایی: ۹۴/۷/۲۷

در حجم و تراکم ماده معدنی استخوان موش‌های صحرایی نر بالغ ایجاد نکرد [۳]. به‌منظور درک بهتر اثرات برنامه‌های تمرینی مختلف بر توده استخوان، لازم است به مقایسه پروتکل‌های متفاوتی پرداخته شود تا بتوان به یک شیوه تمرینی مناسب، مطلوب و بهینه با بیشترین پتانسیل برای به حداکثر رساندن اثرات استوئیک ورزش در پیشگیری و درمان پوکی استخوان دست پیدا کرد. در خصوص تغییرات اسکلتی و سازگاری‌های حاصل از تأثیر تمرینات ترکیبی در پوکی استخوان اطلاعاتی در دسترس نمی‌باشد. تمرینات ترکیبی هم-زمان، ترکیب تمرین استقامتی و مقاومتی است که به‌صورت پی‌درپی اجرا شده و ممکن است سازگاری‌های حاصل از آن تأثیر بهتری بر قدرت و تراکم توده استخوانی در مقایسه با هر کدام از مدل‌های تمرینی به‌صورت جداگانه داشته باشد. یافته‌های Aguiar و همکاران نشان داده است که هر یک از دو مدل تمرینی استقامتی و مقاومتی پاسخ‌های متفاوتی بر خصوصیات بیومکانیکی استخوان فمور موش‌های صحرایی داشته‌اند [۱۵]. بنابراین، از آنجایی که این دو نوع شیوه تمرینی ممکن است از طریق مکانیزم‌های مختلفی تشکیل استخوان را تحریک نمایند، ما این فرضیه که ممکن است تمرین مقاومتی در ترکیب با تمرین استقامتی تأثیر بهتری از فعالیت مقاومتی تنها، بر افزایش قدرت و تراکم توده استخوانی داشته باشد را در این آزمایش مورد بررسی قرار دادیم. هدف از این مطالعه القاء پوکی استخوان با مصرف مزمن الکل در موش‌های صحرایی نر به‌عنوان یک مدل جدید از پوکی استخوان و بررسی اثرات برنامه تمرین ترکیبی در مقایسه با تمرین قدرتی بر چگالی ماده معدنی (BMD) و پارامترهای استحکام مکانیکی استخوان، شامل حداکثر نیروی شکست و سفتی استخوان ران موش‌های استوئوپروز شده بود.

مواد و روش‌ها

برای انجام مطالعه تجربی حاضر ۴۰ سر موش صحرایی نر نژاد ویستار با دامنه وزنی ۱۸۰-۲۰۰ گرم از مرکز علوم حیوانات آزمایشگاهی دانشگاه علوم پزشکی بقیه اله (عج) خریداری شده و به حیوان‌خانه گروه زیست‌شناسی دانشگاه اصفهان انتقال داده شدند. کلیه حیوانات در گروه‌های ۴ تایی در قفس‌های پلی‌کربنات شفاف و در یک محیط کنترل شده با دمای 22 ± 2 درجه سانتی‌گراد و چرخه روشنایی-تاریکی ۱۲:۱۲ ساعت و رطوبت 55 ± 3 درصد نگهداری شدند. جهت تغذیه روزانه از غذای استاندارد به‌صورت پلت ساخت شرکت بهرپور استفاده شد. پس از دو هفته نگهداری، از بین آنها ۸ سر به‌صورت تصادفی به‌عنوان گروه سالم برای تعیین میزان طبیعی فاکتورهای ارزیابی استخوانی انتخاب شده و سایر حیوانات جهت القاء پوکی استخوان تحت تزریق صفاقی محلول ۲۰ درصد

بافت استخوانی جلوگیری نمایند [۷-۱۰]. از سوی دیگر، چندین تفسیر بیولوژیکی در خصوص اثرات دوگانه و متناقض ورزش بر تراکم توده استخوانی و شکستگی‌های استخوانی مطرح شده است مبنی بر اینکه ورزش به‌طور عمده اثرات متوسط و مبهمی می‌تواند بر روی تراکم توده استخوانی داشته باشد [۱۱]. به‌نظر می‌رسد محدودیت‌های طرح مطالعاتی، سوگیری انتخاب و تکنولوژی اندازه‌گیری‌های غیرتهاجمی استخوان در انسان مانع از تفسیر مطلوب نتایج حاصله شده است، درحالی‌که با استفاده از مدل‌های حیوانی می‌توان با کنترل عوامل مداخله‌گر و انجام آزمایشات تهاجمی و مستقیم بر روی استخوان، ارزیابی بهتر و دقیق‌تری از سازگاری‌های استخوانی در پاسخ به فشارهای مکانیکی حاصل از ورزش به‌دست آورد. موش صحرایی یک مدل پذیرفته شده برای مطالعه اثرات ورزش بر بافت استخوانی است که به‌طور گسترده‌ای در تحقیقات استفاده شده است [۱۲]. Notomi و همکاران برای تعیین اثرات تمرین مقاومتی بر BMD (Bone Mineral Density) و استحکام مکانیکی استخوان ران، یک نوع فعالیت اختیاری بالارفتن را در دو مطالعه جداگانه در موش‌های صحرایی نر سالم و عقیم شده بررسی نمودند. پس از ۸ هفته فعالیت بالارفتن به‌مدت ۲۷-۲۴ دقیقه در روز افزایش معنی‌داری در BMD و قدرت مکانیکی ران حیوانات سالم مشاهده گردید [۱۳]. در مطالعه دیگر، همین محققان نشان دادند که فعالیت مقاومتی بالارفتن از تخریب بافت استخوانی ران در موش‌های صحرایی نر عقیم شده جلوگیری نموده، قدرت مکانیکی و تراکم توده استخوانی کورتیکال را به‌وسیله تحریک در تشکیل استخوان پریوستال حفظ می‌کند [۱۴]. در همین راستا Renno و همکاران نیز نشان دادند که اجرای یک برنامه تمرین مقاومتی با بار فزاینده و افزایشی، اثرات تحریکی بر تراکم توده استخوانی موش‌های صحرایی استوئوپنیک داشته و قدرت و سایر خصوصیات فیزیکی استخوان را نیز افزایش می‌دهد [۶]. De Souza و همکاران با هدف بررسی اثرات بلندمدت تمرین استقامتی در مقایسه با تمرین مقاومتی بر BMD موش‌های صحرایی نر دو یافته مهم به‌دست آوردند؛ اول اینکه هر دو نوع برنامه تمرین مقاومتی بالارفتن از نردبان و تمرین استقامتی دویدن بر روی تردمیل، اثرات معنی‌دار مثبتی بر BMD استخوان ران حیوانات داشته و دوم، BMD موش‌های شرکت‌کننده در برنامه تمرینی مقاومتی افزایش معنی‌داری را در مقایسه با تمرین استقامتی نشان دادند [۱۲]. شواهد نشان می‌دهد که تمرین مقاومتی به‌عنوان یک محرک قدرتمند برای افزایش تراکم و بازسازی استخوان عمل می‌کند؛ با این حال، نتایج ضد و نقیضی نیز توسط محققان دیگر گزارش شده است. برای مثال در مطالعه Drummond و همکاران تمرین مقاومتی با وزنه افزایش معنی‌داری

اثر دو نوع تمرین مقاومتی و ترکیبی بر BMD و استحکام، ...

با اضافه بار فزاینده بود. هر ست به‌طور متوسط شامل ۸ تا ۱۲ حرکت تکرار شونده پویا تا رسیدن به جعبه استراحت فوقانی بود که در ست‌های اول و دوم، وزنه اضافه شده به دم موش‌ها برابر با ۵۰ درصد وزن بدن حیوان در نظر گرفته می‌شد. سپس، اضافه بار با درصدهای ۷۵ درصد برای ست‌های سوم و چهارم و ۹۰ درصد برای ست‌های پنجم و ششم و در پایان ۱۰۰ درصد برای ست‌های هفتم و هشتم براساس وزن حیوان محاسبه و اعمال می‌شد [۱۹]. در بین هر دو ست حیوانات به‌مدت ۶۰ ثانیه در جعبه فوقانی تعبیه شده در بالای نردبان استراحت می‌کردند که در همین فاصله وزنه‌ها توسط نوار چسب به دم موش‌ها نزدیک به تن بسته می‌شد. موش‌ها روزانه قبل از شروع تمرین وزن کشی می‌شدند. برنامه تمرینی مقاومتی ۵ جلسه در هفته و به‌مدت ۱۲ هفته اجرا گردید.

برنامه تمرین ترکیبی

تمرین ترکیبی از ترکیب کامل پروتکل‌های تمرین مقاومتی و استقامتی حاصل شد [۲۰]. طبق پروتکل برنامه تمرین استقامتی در ابتدا موش‌ها به‌مدت یک هفته با نحوه انجام فعالیت روی نوار گردان ویژه جوندگان (ساخت دانشگاه علوم پزشکی اصفهان) آشنا شدند. برنامه آشناسازی شامل ۵ جلسه راه رفتن و دویدن با سرعت ۸ تا ۱۰ متر در دقیقه به‌مدت ۵ تا ۱۰ دقیقه بود. پروتکل اصلی شامل دویدن روی نوار گردان با شیب صفر درجه و با سرعت ثابت ۱۲ متر در دقیقه تا حداکثر ۶۴ دقیقه در روز بود [۲۱]. برای گرم کردن در ابتدای هر جلسه به‌مدت ۵ دقیقه تا رسیدن به سرعت مورد نظر، به‌تدریج بر سرعت نوار گردان افزوده شده و به‌منظور سرد کردن در انتهای هر جلسه تمرین نیز سرعت نوار گردان به‌صورت معکوس کاهش داده می‌شد. با توجه به دوره تمرین، موش‌های این گروه نیز ۵ روز در هفته به‌مدت ۱۲ هفته ابتدا تمرین مقاومتی را انجام داده و بلافاصله پس از آن تمرین استقامتی را اجرا کردند. تمرین مقاومتی همواره پیش از تمرین استقامتی اجرا شد تا از خستگی زودرس ناشی از تمرین استقامتی جلوگیری شود [۲۲].

نمونه‌های استخوانی

برای تهیه نمونه‌های استخوانی جهت انجام آزمون استحکام مکانیکی ابتدا هرکدام از موش‌های صحرایی در ظرف دسیکاتور به‌وسیله اتر بیهوش شده و پس از کشته شدن، استخوان فمور چپ همه نمونه‌ها از محل هیپ و زانو جدا گردید. سپس، بافت‌های نرم اطراف استخوان با دقت بدون اینکه به پریوستوم استخوان آسیب برسد جداسازی شده و بلافاصله جهت جلوگیری از دهیدراته شدن درون گاز آغشته به سرم فیزیولوژیک ۹ درصد

اتانول/سالیین با دوز ۳ گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن، یک نوبت در روز به‌مدت ۴ روز پیاپی تا ۳ هفته قرار گرفتند [۱۷، ۱۶]. پس از ۳ هفته تزریق الکل (برای ایجاد شرایط لازم جهت کاهش چگالی استخوان)، موش‌های صحرایی استئوپروز شده به‌صورت تصادفی به ۴ گروه شامل: گروه پیش‌آزمون جهت تعیین میزان اولیه فاکتورهای ارزیابی استخوانی پس از القاء پوکی استخوان، گروه تمرین مقاومتی، گروه تمرین ترکیبی و سرانجام گروه کنترل (هر گروه شامل ۸ سر موش صحرایی) تقسیم شدند. سپس، در گروه‌های تحت مداخله درمانی متغیرهای مستقل تمرینی به‌مدت ۱۲ هفته اعمال گردید. تقویت‌های منفی مانند شوک الکتریکی، پمپ فشار باد و غیره در هیچ‌زمانی از آزمایش استفاده نشد و به‌منظور تحریک جهت انجام تمرینات تنها از لمس کردن و مالیدن دم حیوانات استفاده گردید. به‌منظور همسان سازی دریافت استرس ناشی از مواجهه با آزمونگر، حیوانات گروه کنترل روزانه و در زمان معینی جهت وزن کشی توسط آزمونگر جابه‌جا و لمس می‌شدند. به‌منظور همگن نمودن وزن موش‌ها جهت از بین بردن اثرات احتمالی آن بر متغیرهای ارزیابی استخوان، همه گروه‌های درمانی و کنترل میزان خوراک مصرف شده توسط گروه تمرین ترکیبی در روز قبل را دریافت می‌نمودند [۱۸]. بدین‌ترتیب غذای مصرف شده روزانه گروه ترکیبی قبل از شروع تمرین اندازه‌گیری و به همان میزان در اختیار سایر گروه‌ها قرار می‌گرفت. دسترسی به آب برای همه حیوانات آزاد بود. و تمامی موش‌های گروه‌های تحت مداخله تمرینی و گروه کنترل روزانه قبل از تمرین وزن کشی می‌شدند. موش‌های گروه سالم و گروه استئوپروتیک (پیش‌آزمون) برای تعیین میزان طبیعی و اولیه متغیرهای ارزیابی استخوانی در ابتدای آزمایش قبل از اعمال متغیرهای مستقل تمرینی و دو گروه تمرینی مقاومتی و ترکیبی به همراه گروه کنترل در پایان آزمایش و پس از اجرای ۱۲ هفته برنامه تمرینی کشته شدند. تمام مراحل این تحقیق براساس دستورالعمل نحوه تحقیق بر روی حیوانات آزمایشگاهی اجرا شد و توسط کمیته اخلاق و گروه فیزیولوژی دانشگاه اصفهان تأیید شد.

برنامه تمرین مقاومتی

پروتکل تمرین مقاومتی شامل بالارفتن از یک نردبان با طول ۱۱۰ cm با زاویه ۸۰ درجه نسبت به سطح افق بود. در بالای نردبان یک جعبه جهت استراحت در فواصل ست‌ها تعبیه گردید. برنامه آشناسازی شامل قرارگیری موش‌ها در یک‌سوم بالایی نردبان جهت بالا رفتن و سپس قرارگیری آنها در نیمه میانی و در نهایت در پایین‌ترین ارتفاع جهت بالارفتن از نردبان بود. برنامه تمرین یک هفته پس از مرحله آشناسازی آغاز شده و شامل ۸ ست بالارفتن از نردبان

بانداز شده و در دمای ۲۰- درجه تا زمان انجام آزمون فریز و نگهداری شدند [۱۲،۷،۳].

تست دنسیتومتری (Densitometry) و استحکام مکانیکی استخوان (Mechanical strength)

قبل از انجام هر کدام از تست‌های BMD و خمشی سه- نقطه‌ای (Three-Point Bending test)، نمونه‌های استخوانی از فریزر خارج شده، ۳ ساعت در دمای اتاق نگهداری شده و تا پایان تست جهت جلوگیری از دهیدراته شدن استخوان، مرتب با سرم فیزیولوژیک ۹ درصد مرطوب می‌شدند. BMD میان‌تنه استخوان ران موش‌های صحرایی به‌وسیله دستگاه Dual-Energy X-ray Absorptiometry (LEXXOS DIGITAL 2D) ساخت کشور آمریکا) که برای اندازه‌گیری در حیوانات کوچک تطبیق داده شده بود در مرکز رادیولوژی دکتر نورالدینی اندازه‌گیری شد [۱۲،۳]. نمونه‌ها بلافاصله پس از اسکن فریز شده و در دمای ۲۰- درجه تا انجام تست مکانیکی نگهداری شدند. تست استحکام مکانیکی استخوان به‌وسیله تست خمش سه‌نقطه‌ای توسط دستگاه ارزیابی مقاومت استخوان (مدل zwick universal testing machine z 2/5 ساخت کشور آلمان) بر روی استخوان ران چپ کلیه حیوانات انجام شد. روش انجام آزمون به این نحو بود که پس از تعیین کلیه پارامترهای مربوط به انجام تست بر روی نرم‌افزار دستگاه فک‌های دستگاه متناسب با نوع تست مورد نظر تنظیم گردید. نمونه استخوانی از داخل سرم فیزیولوژیک خارج گردیده و بلافاصله روی دو تکیه‌گاه آهنی برای همه نمونه‌ها به‌طور یکسان و به‌صورت قدامی- خلفی روی فک‌های پایینی دستگاه قرار داده می‌شد. سپس، فک بالایی به‌صورت عمودی بر محور طولی استخوان با سرعت ثابت ۵ میلی‌متر بر دقیقه حرکت می‌کرد. برای اطمینان از برابری نقاط اعمال نیرو در همه نمونه‌ها، با استفاده از قرارگیری دهانه کولیس روی سر دیستال و پروگزیمال فمور، استخوان فمور به‌گونه‌ای روی پایه‌های دستگاه قرار داده می‌شد که درست در نقطه میانی شافت استخوان نیرو اعمال شده و برای جلوگیری از سر خوردن احتمالی زیر دو سر استخوان از کاغذ سمباده استفاده گردید. بار اعمال شده در هنگام گسیختگی بافت استخوانی و منحنی نیرو-جاب‌جایی به‌طور خودکار توسط نرم‌افزار دستگاه ترسیم شده و در کامپیوتر متصل به دستگاه ثبت شد. در پایان شاخص‌های مکانیکی مورد نظر شامل حداکثر نیروی شکست (Force Maximum Breaking) برحسب نیوتن و سفتی (stiffness) بر حسب نیوتن بر میلی‌متر با استفاده از نرم‌افزار test txpert برای هر نمونه استخوانی تعیین گردید [۱۴،۷].

تجزیه و تحلیل آماری

نرم‌افزار SPSS ویرایش ۲۰ جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها به‌کار گرفته شد. از آزمون‌های کولموگروف-اسمیرنوف و لوین به- ترتیب برای بررسی توزیع نرمال داده‌ها و همگونی واریانس‌ها استفاده شد. آنالیز واریانس یک‌طرفه (One-way ANOVA) در بررسی تغییرات بین گروهی پس از ۱۲ هفته مداخله تمرینی و متعاقب مشاهده اختلاف معنی‌دار، آزمون تعقیبی توکی انجام گرفت. فرض‌های آماری در سطح معنی‌داری آلفای ۰/۰۵ ارزیابی شدند.

نتایج

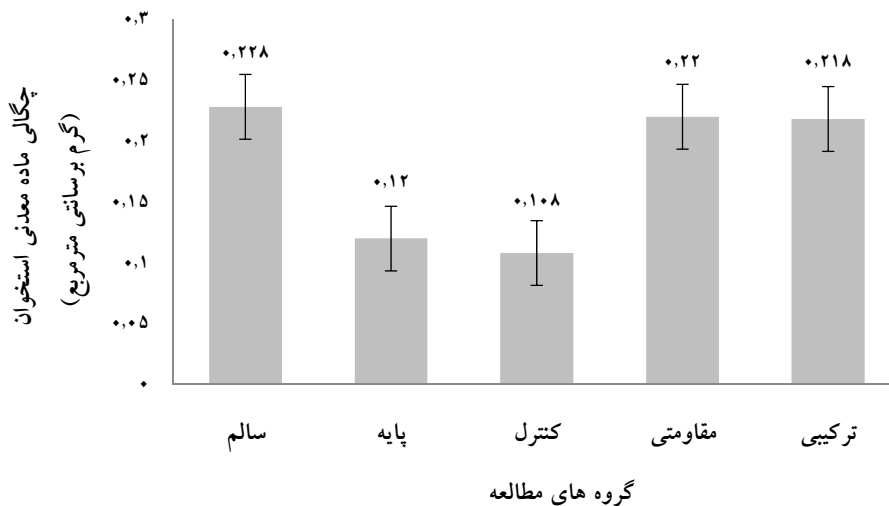
پس از مقایسه میانگین پارامترهای بیومکانیکی و چگالی ماده معدنی استخوان در بین حیوانات گروه سالم (استخوان طبیعی) و گروه پیش‌آزمون (استخوان استئوپروتیک شده در اثر تزریق الکل)، مشخص شد که مقادیر BMD حداکثر نیروی شکست و سفتی استخوان به‌ترتیب ۴۷/۳، ۴۲/۸ و ۴۷ درصد در موش‌های استئوپروتیک در مقایسه با موش‌های سالم کاهش پیدا کرده است ($P < 0/05$) (جدول شماره ۱ و نمودارهای شماره ۱، ۲ و ۳). در مقادیر وزن اولیه بدن بین همه گروه‌ها تفاوت معنی‌داری وجود نداشت ($P > 0/05$). موش‌های صحرایی هرکدام از گروه‌های مداخله تمرینی و همچنین گروه کنترل، افزایش قابل توجهی در وزن بدن از آغاز تا پایان دوره آزمایش داشتند. اما در وزن نهایی به‌دست آمده نیز، هم‌چنان بین گروه‌ها به لحاظ آماری اختلاف معنی‌دار نبود ($P > 0/05$) (جدول شماره ۱). براساس نتایج آنالیز واریانس یک- طرفه و آزمون تعقیبی توکی، در میزان چگالی ماده معدنی (BMD) میان‌تنه استخوان ران بین دو گروه تمرین مقاومتی و ترکیبی تفاوت معنی‌داری به لحاظ آماری به‌دست نیامد؛ هرچند این شاخص ارزیابی استخوانی در هرکدام از گروه‌های تمرین مقاومتی و ترکیبی در مقایسه با گروه کنترل به لحاظ آماری بالاتر بود ($P < 0/05$) (جدول شماره ۱ و نمودار شماره ۱). نتایج تست مکانیکی خمشی سه‌نقطه‌ای نیز پس از آنالیز واریانس یک‌طرفه و آزمون تعقیبی توکی نشان داد که ۱۲ هفته تمرینی مقاومتی و ترکیبی در پارامتر حداکثر نیروی شکست میان‌تنه استخوان ران منجر به افزایش معنی‌داری به لحاظ آماری در مقایسه با گروه کنترل شده است، اما میزان این پارامتر ارزیابی استحکام مکانیکی استخوان در گروه تمرین ترکیبی به‌طور معنی‌داری بالاتر از گروه تمرین مقاومتی بود ($P < 0/05$) (جدول شماره ۱ و نمودار شماره ۲). در خصوص فاکتور دیگر تست خمشی، یعنی سفتی استخوان نیز هر دو گروه تمرین مقاومتی و ترکیبی افزایش معنی‌داری را به لحاظ آماری در مقایسه با گروه کنترل نشان دادند، اما ارزش این شاخص در بین دو گروه تمرینی

به نفع گروه ترکیبی رقم خورد که به لحاظ آماری نیز معنی دار بود ($P < 0.05$) (جدول شماره ۱ و نمودار شماره ۳).

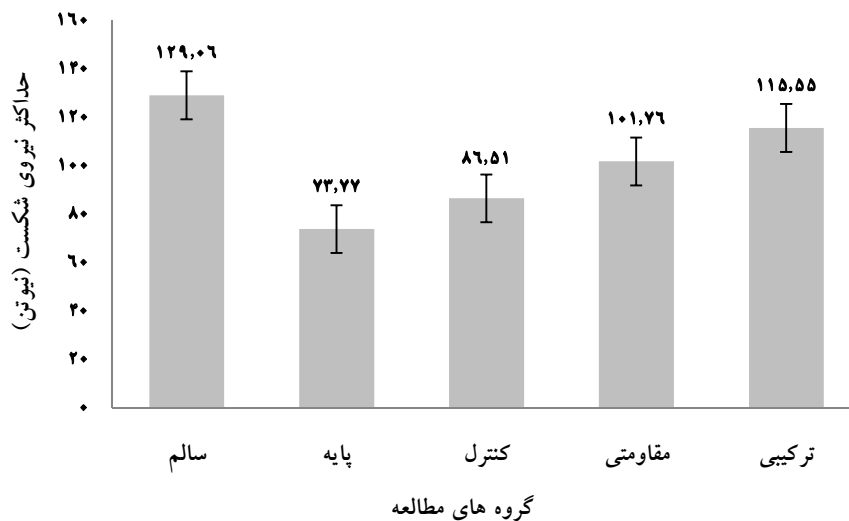
جدول شماره ۱- میانگین و انحراف معیار BMD. حداکثر نیروی شکست و سفتی میان تنه استخوان ران در گروه‌های مطالعه

گروه‌ها/پارامترها	اولیه	پایانی	حداکثر نیروی شکست (N)	سفتی (N/mm)	(gr/cm ²)
سالم	۲۵۸/۷۵±۸/۶۱	-	۱۲۹/۰۶±۱۷/۵۶	۱۹۳/۰۹±۸/۷۴	۰/۲۲۸±۰/۰۱۹
پایه	۲۴۸/۵±۱۲/۷۲	-	۷۳/۷۷±۶/۱۲ ^a	۱۰۲/۲۸±۶/۵۲ ^a	۰/۱۲۰±۰/۰۰۸ ^a
کنترل	۲۵۱/۵±۱۶/۰۸	۴۰۷/۱۲±۸/۰۲	۸۶/۵۱±۲/۶۰	۱۰۴/۳۲±۱۱/۳۳	۰/۱۰۸±۰/۰۱۹
مقاومتی	۲۴۸/۸۸±۱۴/۲۶	۴۰۳/۲۵±۱۱/۱۴	۱۰۱/۷۶±۱/۴۵ ^o	۱۲۷/۲۶±۱۰/۷۴ ^o	۰/۲۲۰±۰/۰۱۶ ^o
ترکیبی	۲۵۴±۱۴/۶۶	۳۹۸/۱۲±۱۴/۹۶	۱۱۵/۵۵±۷/۸۲ ^{o*}	۱۴۷/۰۷±۱۷/۹ ^{o*}	۰/۲۱۸±۰/۰۱۱ ^o

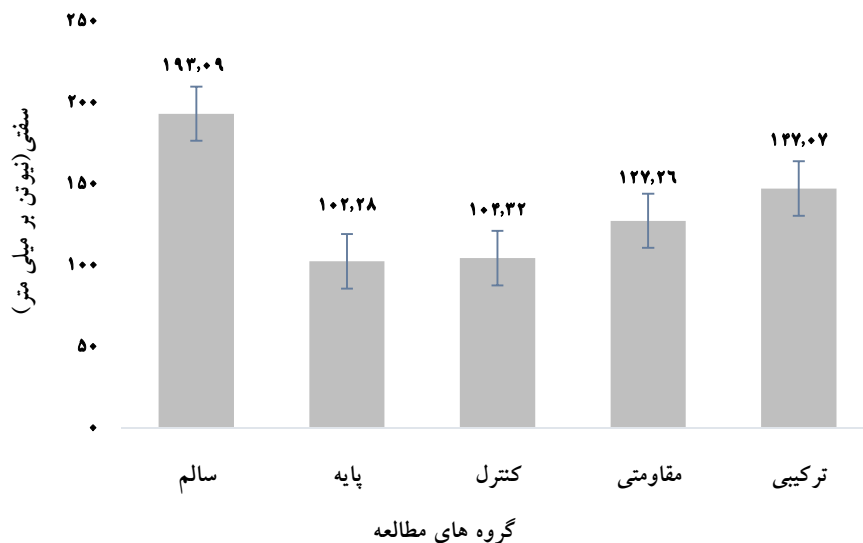
a: نشانه اختلاف معنی دار در مقایسه با گروه سالم؛ o: نشانه اختلاف معنی دار در مقایسه با گروه کنترل؛ و * : نشانه اختلاف معنی دار در مقایسه با گروه مقاومتی ($P < 0.05$)



نمودار شماره ۱- مقایسه میانگین چگالی ماده معدنی استخوان (BMD) بین گروه‌های سالم و استئوپروتیک شده



نمودار شماره ۲- مقایسه میانگین حداکثر نیروی شکست استخوان (F max) بین گروه‌های سالم و استئوپروتیک شده



نمودار شماره ۳- مقایسه میانگین سفتی استخوان (Stiffness) بین گروه‌های سالم و استئوپروتیک شده

بحث

در این مطالعه القاء پوکی استخوان در موش‌های سالم با مصرف مزمن الکل از طریق تزریق صفاقی محلول اتانول ۲۰ درصد در ۴ روز پایپی به مدت ۳ هفته انجام شد. شواهدی وجود دارد که اتانول به طور مستقیم مانع عملکرد استئوبلاست‌ها شده و با تشدید از دست دادن توده استخوانی در نهایت منجر به پوکی استخوان می‌شود [۱۷،۱۶]. شاخص BMD با اسکن استخوان ران توسط دستگاه DEXA اندازه‌گیری شده و به عنوان معیار تشخیص پوکی استخوان در نظر گرفته شد. BMD استخوان ران موش‌های استئوپروز شده پس از تزریق اتانول در مقایسه با موش‌های سالم به میزان ۴۷/۳ درصد کاهش داشت که با یافته‌های Callaci و همکاران و هم‌چنین El-Shenawy و همکاران هم‌خوانی دارد [۱۷،۱۶] و از این طریق وضعیت بروز پوکی استخوان در موش‌ها پس از تزریق اتانول مشخص گردید. موش صحرائی استئوپروتیک مدل مناسبی برای تحقیق در مورد پوکی استخوان در انسان به دلیل شباهت‌های بسیاری که در مکانیسم پاتوفیزیولوژیک آنها وجود دارد، در نظر گرفته می‌شود [۲۳،۱۲]. در تحقیق حاضر با استفاده از این نوع مدل حیوانی علاوه بر اندازه‌گیری BMD، پارامترهای مکانیکی استخوان نیز بعد از القاء پوکی استخوان در انطباق با فشار مکانیکی حاصل از ورزش بررسی شد. از آنجایی که ارزیابی ساختار و قدرت استخوانی در نمونه‌های انسانی غیرممکن است و تنها می‌توان از ارزیابی توده استخوانی به وسیله تکنیک‌های دنسیتو-متری که یک روش غیرتهاجمی است استفاده نمود، لذا در این آزمایش با استفاده از مدل حیوانی در کنار DEXA، از تست

استحکام خمشی استخوان به عنوان یک روش تهاجمی عینی استفاده گردید تا در صورت هم‌سو بودن نتایج بتوان از نتایج DEXA با اطمینان بیشتری استفاده کرد. حداکثر نیروی شکست (Maximum load) و سفتی (Stiffness)، مهم‌ترین پارامترهای ارزیابی تست‌های بیومکانیکی هستند که بر شکستگی استخوان تأثیر می‌گذارند. در بررسی خصوصیات مکانیکی استخوان نیز مشخص شد که موش‌های استئوپروز شده در مقایسه با موش‌های سالم کاهش معنی‌داری را به ترتیب در شاخص‌های حداکثر نیروی شکست و سفتی داشتند که با مطالعات Notomi و همکاران و Renno و همکاران هم‌خوانی دارد [۱۳،۶]. چون مطالعات انجام شده در جنس ماده دارای محدودیت‌هایی در سازگاری‌های اسکلتی با توجه به تغییرات هورمونی است [۲۴]، به همین دلیل از موش‌های نر جهت حذف اثرات مداخله‌ای استفاده گردید [۱۲]. بر اساس نتایج تحقیق حاضر، هر دو شیوه تمرین مقاومتی و ترکیبی پس از ۱۲ هفته باعث افزایش معنی‌داری در BMD و شاخص‌های مکانیکی شامل حداکثر نیروی شکست و سفتی میان‌تنه استخوان ران موش‌های استئوپروتیک در مقایسه با موش‌های گروه کنترل شد. یافته‌های تحقیق حاضر با نتایج برخی مطالعات انجام شده در خصوص افزایش BMD استخوان ران در اثر تمرین مقاومتی هم‌خوانی دارد [۱۴،۲۰]. تمرینات مقاومتی پویا به صورت مستقیم با اعمال فشار مکانیکی بر استخوان از طریق انقباضات عضلانی و به صورت غیرمستقیم با افزایش مقدار توده عضلانی در دسترس برای بارگذاری بر استخوان، بر هر دو بافت استخوانی کورتیکال و ترایبیکولار اثر مثبت دارد [۹]. نشان داده شده است که مکانیسم

مکانیکی استخوان در حیوانات گروه ترکیبی افزایش بیشتری را در مقایسه با گروه مقاومتی نشان داد؛ هرچند این برتری در مقادیر BMD مشاهده نگردید. سازگاری‌های بیولوژیک نشان می‌دهند که استحکام استخوان، هرچند انتظار می‌رود با بهبود در مقادیر BMD که معرف کمیت استخوان است نشان داده شود، اما به‌طور مستقیم به‌وسیله خصوصیات بیومکانیکی آن که بیانگر کیفیت استخوان هستند تحت تاثیر قرار می‌گیرد [۱۱]. لذا، در توجیه عدم همسو بودن نتایج BMD با تست‌های بیومکانیکی در این آزمایش و مطالعه‌های دیگر، تصور بر این است که اثرات مثبت فعالیت بدنی از طریق بار مکانیکی که بر استخوان وارد می‌نماید، با افزایش هم-زمان هر دو فاکتور جرم ماده معدنی و مساحت ناحیه‌ای باعث کاهش میزان چگالی استخوانی شده و لذا نتایج BMD را مخدوش می‌نماید؛ به‌گونه‌ای که اگر تنها به مقادیر BMD اکتفا شود ممکن است اثرات فعالیت بدنی کمتر از حد لازم ارزیابی شده و حتی گاهی نادیده گرفته شود [۱۱]. بنابراین، در ارزیابی تغییرات اسکلتی در پاسخ به بارهای مکانیکی اعمال شده به‌وسیله فعالیت بدنی و ورزش BMD نباید به‌عنوان تنها نتیجه‌ای که بایستی بهبود پیدا کند در نظر گرفته شود [۲۹]. چنانچه نتایج این مطالعه نشان داد که قدرت و استحکام استخوان می‌تواند بدون هیچ تغییر معنی‌داری در میزان BMD افزایش یابد. در همین راستا Drummond و همکاران در مطالعه‌شان پس از مشاهده افزایش استحکام مکانیکی استخوان ران موش‌ها بدون افزایش در مقادیر BMD، برای توجیه آن این‌گونه نتیجه‌گیری کردند که بهبود قدرت و استحکام استخوان در پاسخ به تمرین مقاومتی به احتمال زیاد در اثر افزایش کیفیت استخوان صورت پذیرفته و نه کمیت آن [۳].

نتیجه‌گیری

یافته‌های این مطالعه نشان داد که بافت استخوانی به تغییرات معنی‌دار در ویژگی‌های مکانیکی استخوان پاسخ مناسب می‌دهد و مهم‌تر اینکه بسیاری از این تغییرات ممکن است به‌وسیله ارزیابی‌های BMD نشان داده نشوند. این یافته‌ها حاوی نتایج کلینیکی معنی‌داری است و بر این واقعیت تکیه دارد که حتی بدون بهبود در BMD، مداخلات ورزشی ممکن است در بیماران پوکی استخوان از طریق بهبود و اثربخشی بر سایر عوامل تعیین‌کننده استحکام استخوان مفید واقع شوند. براساس یافته‌های این مطالعه می‌توان گفت ترکیبی از فعالیت‌های ورزشی مقاومتی و استقامتی ممکن است یک اثر هم‌افزایی مثبت بر افزایش قدرت مکانیکی استخوان ران موش‌های صحرائی نر استئوپروتیک در مقایسه با

افزایش توده استخوانی در اثر این نوع تمرینات به دو عامل کاهش تخریب استخوانی از طریق کاهش تعداد استئوکلاست‌ها و افزایش تشکیل استخوان از طریق افزایش تعداد استئوبلاست‌ها مربوط می‌شود [۱۴،۱۳]. بارهای مکانیکی اعمال شده بر استخوان در صورتی که آستانه تحریکی لازم را داشته باشند، در مایع استخوانی پُر شده در شبکه لاکونار-کانالیکولار شبیهی ایجاد می‌نمایند که منجر به یک آشبار از وقایع درون سلولی شامل بالارفتن سطوح کلسیمی داخل سلول، بیان فاکتورهای رشد، افزایش تولید ماتریکس استخوانی و در نهایت استخوان سازی خواهد شد [۲۵]. اثر تمرینات ورزشی بر پاسخ بافت استخوانی تا حد زیادی با توجه به نوع ورزش، شدت، مدت و دوره‌های تکرار آن متفاوت است [۲۶]. پیشنهاد شده است که فشارهای مکانیکی پویا متشکل از اعمال بارهای فزاینده با تکرارهای متناوب و فواصل استراحتی کافی بین تکرارها، خیلی بیشتر از فشارهای ایستا با یک نوع بارگذاری ثابت و تکرار شونده، بدون اضافه بار، بر قدرت و توده استخوانی تاثیر می‌گذارند [۲۷،۲۵]. تصور می‌شود که گیرنده‌های مکانیکی استخوان به تمریناتی که بار ایستا و یکنواختی را اعمال می‌کنند، پس از مدتی سازگار شده و به یک حالت اشباع شدگی می‌رسند که پس از آن دیگر به این نوع فعالیت پاسخ نمی‌دهند و در نتیجه قدرت و توده استخوانی افزایش نمی‌یابد، مگر اینکه مقدار بارگذاری افزایش پیدا کند [۲۷،۲۶]. نوع تمرینات به‌کار رفته در مطالعه حاضر دارای اضافه بار افزایشی و فزاینده‌ای بود که در طول ۱۲ هفته بر حیوانات اعمال شد و با تئوری‌هایی اخیر که در مطالعات انسانی و حیوانی پیشنهاد کرده‌اند که بار مکانیکی اعمال شده تنها با شدت کافی، فزاینده و غیر یکنواخت در تکرارهای متناوب تحریک استئوژنیک را در پی خواهد داشت، هم-خوانی دارد [۲۸،۹]. از سوی دیگر یافته‌های مطالعه Drummond و همکاران نشان داد پس از اجرای یک برنامه تمرین مقاومتی کار با وزنه تغییرات مثبتی در حجم و تراکم ماده معدنی استخوان (BMD) حاصل نشده که با یافته‌های مطالعه حاضر در تضاد بود، اما در مورد نتایج تست مکانیکی، ایشان افزایش معنی‌داری در خواص مکانیکی استخوان ران موش‌های صحرائی نر بالغ به‌دست آوردند [۳] که با نتایج مطالعه Notomi و همکاران، هم‌چنین Renno و همکاران همسو بوده و با یافته‌های مطالعه حاضر نیز در خصوص افزایش قدرت و استحکام استخوان در پاسخ به تمرین مقاومتی و ترکیبی هم‌خوانی دارد [۱۳،۶]. به‌نظر می‌رسد تولید فشار مکانیکی بالا همراه با توزیع غیرمعمول و غیریکنواخت آن در ترکیب دو نوع تمرین ورزشی استقامتی و قدرتی و اجرای هم‌زمان آن با پاسخ مثبت استخوان همراه بوده است؛ به‌طوری‌که خواص

دانشکده تربیت بدنی دانشگاه بوعلی سینا می‌باشد. بدین‌وسیله از تمام کسانی که در مراحل اجرای آزمایش ما را یاری رساندند، صمیمانه تقدیر و تشکر می‌شود.

تمرین مقاومتی تنها داشته باشد و احتمالاً می‌تواند حفاظت مطلوب و بهینه‌تری را در برابر پوکی استخوان فراهم نماید.

تشکر و قدردانی

مقاله حاضر بخشی از رساله دکترای فیزیولوژی ورزشی

References:

- [1] Hamidi Z, Majdzadeh R, Soltani A, Larijani MB. Casual decomposition of risk factors in osteoporosis burden. *J Med Council IRI* 2007; 24(4): 381-92. [in Persian]
- [2] Iwamoto J. Effects of Jumping Exercise and Nutritional Management on Bone Mineral Density and Bone Turnover Markers in a Young Man. *J Osteopor Phys Act* 2013; 1(2): 1-4.
- [3] Drummond LR, Del Carlo RJ, Melo SFS, Junior MAC, Da Silva KA, Rodrigues AC, et al. Enhanced femoral neck strength in response to weightlifting exercise training in maturing male rats. *Int Sport Med J* 2013; 14(3): 155-67.
- [4] Wolf AD, Pflieger B. Burden of major musculoskeletal conditions. *Bull World Health Organ* 2003; 81(9): 646-56.
- [5] Moreira LD, Oliveira ML, Lirani-Galvão AP, Marin-Mio RV, Santos RN, Lazaretti-Castro M. Physical exercise and osteoporosis: effects of different types of exercises on bone and physical function of postmenopausal women. *Arq Bras Endocrinol Metabol* 2014; 58(5): 514-22.
- [6] Renno AC, Silveira Gomes AR, Nascimento RB, Salvini T, Parizoto N. Effects of a progressive loading exercise program on the bone and skeletal muscle properties of female osteopenic rats. *Exp Gerontol* 2007; 42(6): 517-22.
- [7] Starnes JW, Neidre DB, Nyman JS, Roy A, Nelson MJ, Gutierrez G, et al. Synergistic effect of exercise and statins on femoral strength in rats. *Exp Gerontol* 2013; 48(8): 751-5.
- [8] Dabidi Roshan V, Hemmati Safarshahi Y, Nooredinini HG. Interactive Effect of the 8-week Endurance Exercise and Turmeric Extract on the Regional Bone Mineral Density of Femur bone. *Horizon Med Sci* 2012; 18(2): 27-36. [in Persian]
- [9] Saiem Aldahr M. Bone Mineral Status Response to Aerobic Versus Resistance Exercise Training in Postmenopausal Women. *World Appl Sci J* 2012; 16(6): 806-13.
- [10] Morseth B, Emaus N, Jorgensen L. Physical activity and bone: The importance of the various mechanical stimuli for bone mineral density. *Norsk Epidemiologi* 2011; 20(2): 173-8.
- [11] Beck TJ, Kohlmeier LA, Petit MA, Wu G, Leboff MS, Cauley JA, et al. Confounders in the Association between Exercise and Femur Bone in Postmenopausal Women. *Med Sci Sports Exerc* 2011; 43(1): 80-9.
- [12] De Souza RR, Do Carmo Sitta M, Sobrinho JMS, Filho WJ. Long Term Running Exercise vs Long Term Strength Exercise on Femoral Bone Mass Assessed in a Rat Model. *J Exerc Physiol* 2013; 16 (2): 92-8.
- [13] Notomi T, Okimoto N, Okazaki Y, Tanaka Y, Nakamura T, Suzuki M. Effects of Tower Climbing Exercise on Bone Mass, Strength, and Turnover in Growing Rats. *J Bone Miner Res* 2001; 16(1): 166-74.
- [14] Notomi T, Okazaki Y, Okimoto N, Tanaka Y, Nakamura T, Suzuki M. Effects of Tower Climbing Exercise on Bone Mass, Strength, and Turnover in orchidectomized Growing Rats. *J Appl Physiol* 2002; 93(3): 1152-8.
- [15] Aguiar AF, Agati LB, Müller SS, Pereira OC, Dal-Pai-Silva M. Effect of physical training on the mechanical resistance of rat femur proximal thirds. *Acta Ortop Bras* 2010; 18(5): 245-9.
- [16] Callaci JJ, Juknelis D, Patwardhan A, Sartori M, Frost N, Wezeman FH. The Effects of Binge Alcohol Exposure on Bone Resorption and Biomechanical and Structural Properties are offset by Concurrent Bisphosphonate Treatment. *Alcohol Clin Exp Res* 2004; 28(1): 182-91.
- [17] El-Shenawy SMA, Yassin NAZ, Badary OA, EL-Moneem MA, AL-Shafeiy HM. Study of the effect of Allium porrum on osteoporosis induced in rats. *Der Pharmacia Lettre* 2013; 5(1): 188-98.
- [18] Joo YI, Sone T, Fukunaga M, Lim SG, Onodera S. Effects of endurance exercise on three-dimensional trabecular bone microarchitecture in young growing rats. *Bone* 2003; 33(4): 485-93.
- [19] Cassilhas RC, Reis IT, Venâncio D, Fernandes J, Tufik S, Mello MT. Animal model for progressive resistance exercise: a detailed description of model and its implications for basic research in exercise. *Motriz: Revista de Educação Física* 2013; 19(1): 178-84.
- [20] De Souza EO, Tricoli V, Bueno Junior C, Pereira MG, Brum PC, Oliveira EM, et al. The acute effects of strength, endurance and concurrent exercises on the Akt/mTOR/p70S6K1 and AMPK signaling pathway responses in rat skeletal muscle. *Braz J Med Biol Res* 2013; 46(4): 343-7.
- [21] Iwamoto J, Takeda T, Sato Y. Effect of treadmill exercise on bone mass in female rats. *Exp Anim* 2005; 54(1): 1-6.
- [22] Hosseni M, AghaAlinejad H, Peeri M, Hajsadeghi Sh. Effect of Endurance, Resistance and Concurrent Training on the Heart Structure of the Female University Students. *Olympic* 2008; 16(4): 29-38. [in Persian]

اثر دو نوع تمرین مقاومتی و ترکیبی بر BMD و استحکام، ...

- [23] Comelekoglu U, Bagis S, Yalin S, Ogenler O, Yildiz A, Sahin NO, et al. Biomechanical evaluation in osteoporosis: ovariectomized rat model. *Clin Rheumatol* 2007; 26(3): 380-4.
- [24] Diaz-Curiel M. Effects of Exercise on Osteoporosis. *J Osteopor Phys Act* 2013; 1(1): 4-6.
- [25] Turner CH, Robling AG. Designing exercise regimens to increase bone strength. *Exerc Sport Sci Rev* 2003; 31(1): 45-50.
- [26] Honda A, Sogo N, Nagasawa S, Shimizu T, Umemura Y. High-impact exercise strengthens bone in osteopenic ovariectomized rats with the

- same outcome as Sham rats. *J Appl Physiol* 2003; 95(3): 1032-7.
- [27] Robling AG, Hinant FM, Burr DB, Turner CH. Shorter, more frequent mechanical loading sessions enhance bone mass. *Med Sci Sports Exerc* 2002; 34(2): 196-202.
- [28] Turner CH, Robling AG. Exercise as an anabolic stimulus for bone. *Curr Pharm Design* 2004; 10(21): 2629-41.
- [29] Going SB, Laudermilk M. Osteoporosis and Strength Training. *Am J Lifestyle Med* 2009; 3(4): 310-19.