مقاله اصیل پژوهشی

تأثیر تمرینات استقامتی و مقاومتی بر تراکم ماده معدنی و استحکام مکانیکی استخوان رت‌های نر استئوپروتیک

مریم بان‌پروری[1]، غلامرضا کاکا[2]

چکیده

زمینه و هدف: پوکی استخوان یک بیماری پیچیده است که با کاهش توده استخوانی، منجر به ضعف استخوان و افزایش قابلیّت شکستگی می‌گردد. هدف از مطالعه حاضر، تعیین تغییرات اسکلتی ناشی از دو برنامه تمرینی با بار فزآینده بر ویژگی‌های استخوانی رت‌های نر استئوپروتیک بود.

روش تحقیق: این مطالعه تجربی، بر روی 30 سر رت نر بالغ از نژاد ویستار با میانگین وزن اولیه 180-200 گرم انجام شد. 24سر رت در چهار گروه تجربی شامل: گروه پایه (پیش‌آزمون)، تمرین مقاومتی، تمرین استقامتی و کنترل قرار گرفتند. 6 سر رت نیز به عنوان گروه سالم درنظر گرفته شدند. در رت‌های گروه‌های تجربی، با تزریق داخل صفاقی محلول اتانول 20% (3 گرم/کیلوگرم/روز)، برای چهار روز پیاپی به‌مدّت 3هفته، پوکی استخوان ایجاد گردید. دو گروه تمرینی، 5 روز در هفته به‌مدت 12 هفته برنامه تمرینی را طبق پروتکل مقاومتی یا استقامتی اجرا کردند. بر روی رت‌های گروه سالم، هیچ‌گونه مداخله‌ای صورت نگرفت. در پایان مداخله، حیوانات کشته شدند و تراکم ماده معدنی استخوان (BMD) فمور و مهره چهارم و پنجم کمری (L4+L5) اندازه‌گیری شد. حداکثر بار کششی تیبیا چپ و فشاری مهره پنج کمری توسط تست مکانیکی، اندازه‌گیری گردید.

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، از نرم‌افزار آماری SPSS (ویرایش 20) و آزمون‌های آماری Kalmogorov– Smiranov، Levene، Independent t-Test، Paired t-Test، One-way ANOVA و آزمون تعقیبی Tukey در سطح معنی‌داری 0/05 استفاده شد.

یافته‌ها: گروه‌های استقامتی (P=0/035) و مقاومتی (P=0/001)، افزایش معنی‌داری در BMD فمور در مقایسه با گروه کنترل داشتند. L4 BMD و L5 گروه مقاومتی و کنترل، به‌طور معنی‌داری بالاتر از گروه استقامتی بود (P=0/001 و P=0/001). حداکثر بار کششی تیبیا و فشاری مهره پنجم کمری گروه مقاومتی به‌طور معنی‌داری بالاتر از گروه کنترل بود (P=0/01 و P=0/03).

نتیجه‌گیری: تمرین مقاومتی در مقایسه با تمرین استقامتی، می‌تواند تغییرات مناسب مؤثّرتری را در تراکم معدنی و قدرت مکانیکی القا کند.

واژه‌های کلیدی: پوکی استخوان، تمرین بدنی، تراکم ماده معدنی، استحکام مکانیکی

مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی بیرجند. 1394؛ 22 (4): 327-339.

دریافت: 1394/03/25 **پذیرش: 1394/08/10**

[1] نویسنده مسؤول؛ استادیار، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشکده روانشناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
آدرس: سیستان و بلوچستان- زاهدان- خیابان دانشگاه- دانشگاه سیستان و بلوچستان- گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی
تلفن: 09155402935 نمابر: 05431132674 پست الکترونیکی: banparvari@ped.usb.ac.ir

[2] دانشیار، مرکز تحقیقات علوم اعصاب، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله، تهران، ایران

مقدمه

استخوان یک بافت متابولیکی فعال است که با دو فرآیند بازجذب[1] و تشکیل[2] پیوسته بازسازی می‌شود. عدم تعادل بین این دو فرآیند منجر به پوکی استخوان[3] می‌گردد. این بیماری باعث نقص در قدرت و توده استخوانی شده و منجر به افزایش شکستگی استخوان می‌گردد (1). در ایران 50درصد مردان و 70درصد زنان بالای پنجاه سال، مبتلا به پوکی استخوان و یا استئوپنی هستند (2). شکستگی هیپ و مهره‌ها به‌عنوان شایع‌ترین شکستگی‌های استئوپروتیکی هستند که با افزایش خطر مرگ و میر ارتباط دارند (3، 4). از سوی دیگر عوارض ثانویه پوکی استخوان از قبیل دفورمیتی ستون فقرات در اثر فشردگی قدامی مهره‌ها، باعث ایجاد علائمی چون کمر درد و کاهش عملکرد تنفسی می‌گردد (4-6). با توجه به شیوع شکستگی مهره‌های کمر و لگن در اثر پوکی استخوان و هزینه‌های درمانی این شکستگی‌ها (7)، تمرکز بر این نواحی حساس به کاهش توده استخوانی را ضروری می‌نماید.

در حالی که گزینه‌های دارویی برای پیشگیری و درمان پوکی استخوان در دسترس است، اما استفاده بلندمدت از این داروها، به‌دلیل عوارض جانبی دارای محدودیت است. از این رو محققان به‌دنبال استراتژی‌های غیر دارویی برای پیشگیری و درمان پوکی استخوان هستند تا جایگزین روش‌های دارویی شوند. شواهد نشان می‌دهند ورزش، یک مدل قابل دسترس و بدون عوارض جانبی برای پیشگیری و درمان این بیماری است؛ علاوه بر آن، با تقویت عضلات باعث افزایش ثبات قامتی فرد شده و از خطر افتادن‌های منجر به شکستگی نیز جلوگیری می‌کند. فعالیت بدنی می‌تواند نقش اساسی در بازسازی استخوان ایفا کند (1) و از طریق سازگاری‌های حاصل از اعمال بار مکانیکی، تأثیر مفیدی بر استحکام و قدرت استخوان داشته باشد. هر چند فرآیندهای بیولوژیکی در پاسخ استئوژنیک استخوان به فشارهای مکانیکی اعمال‌شده توسط فعالیت بدنی کاملاً شناخته نشده‌اند، اما یافته‌ها حاکی از آن است که این فرآیندها با افزایش سن مختل می‌شود (8)؛ بنابراین توجه به این نکته ضروری است که تنها تمرینات معینی می‌توانند حفظ یا تشکیل استخوان را بهبود بخشند.

با وجود حجم زیاد مطالعات انجام‌شده در زمینه اثربخشی تمرینات بدنی در مهار پوکی استخوان، نتایج ناهمگون زیادی گزارش شده است. به عنوان مثال Hagihara و همکاران (2009) در مطالعه خود نشان دادند که 8هفته دویدن روی تردمیل (15متر/دقیقه، 5روز/هفته، 30 دقیقه/روز) موجب افزایش استحکام استخوان ران رت‌های استئوپروتیک نر گردید؛ درحالی‌که همان پروتکل با مدّت‌زمان 180 دقیقه، بافت میله‌ای استخوان را کاهش داد (9). Iwamoto و همکاران (2009) نیز در مطالعه خود با هدف مقایسه سه نوع شدت تمرین استقامتی نشان دادند که پروتکل تمرینی 12متر در دقیقه به‌مدت یک ساعت در روز، باعث افزایش تراکم معدنی تیبیا و قدرت مکانیکی فمور شد؛ در حالی که تراکم معدنی و حداکثر بار فشاری مهره پنجم کمر در دو شدت تمرینی دیگر با گروه کنترل تفاوت معنی‌داری نداشت (10). در مطالعه Joo و همکاران (2003) نیز 10 هفته تمرین بر روی تردمیل، قدرت مکانیکی استخوان را از طریق افزایش BMD (Bone mineral density)، ضخامت بافت متراکم و حداکثر بار بهبود بخشید (11). در همین راستا Aguiar (2010)(12) و Hinrichs و همکاران (2010)(13) در مطالعات خود نشان دادند که 8 هفته تمرینات مقاومتی و استقامتی، تنها توانست در گروه تمرین مقاومتی، حداکثر بار مکانیکی فمور را افزایش دهد. این مطالعه، پاسخ متفاوت دو نوع مدل تمرینی را بر ویژگی‌های مکانیکی استخوان فمور رت‌های نر نشان داد. در مقابل، نتایج مطالعه De Souza و همکاران (2013)، اثرات درمانی بالقوّه دو نوع تمرین استقامتی و مقاومتی در حفاظت استخوان در مقابل شکستگی‌های استئوپروتیکی را نشان داد (14). با وجود اثبات اثر مثبت تمرین بدنی بر استخوان در این مطالعات و مطالعات

[1] *Resorption*
[2] *Formation*
[3] *Osteoprosis*

دیگر، ویژگی‌های تمرین از قبیل: شدّت[1]، مدّت[2]، تکرار[3] و نوع تمرین که به‌طور مؤثّرتری توده استخوان را افزایش و یا تخریب آن را کاهش دهد، به‌طور قطع تعیین نشده است (15).

شواهد علمی نشان می‌دهد که تمرین مقاومتی به‌عنوان محرّکی کارآمد برای افزایش‌دادن پاسخ‌های استئوژنیک استخوان عمل می‌کند؛ اما هنوز نتایج متناقضی توسط پژوهشگران گزارش می‌شود. در مطالعه حاضر، با به‌کارگیری دو نوع تمرین بدنی با ماهیّت متفاوت، اثرات دو تمرین بر بهبود بافت استئوپروتیک سنجیده شد تا پاسخ استئوژنیک استخوان در برابر بار مکانیکی متفاوت تمرین‌ها، مقایسه شود. از سوی دیگر، BMD به‌عنوان کمّیت بافت استخوان، تنها یکی از شاخص‌های سلامت استخوان است؛ در حالی که مقاومت استخوان در برابر شکستگی، به اثر متقابل تمام ویژگی‌های استخوانی وابسته است. همچنین از اثر تمرین بر توده استخوانی و قدرت مکانیکی، گزارش‌های متناقضی بیان شده است. برای مثال در مطالعه Drummond و همکاران (2013)، تمرین مقاومتی با وزنه، خواص مکانیکی استخوان فمور موش‌های نر را افزایش داد، اما افزایشی در BMC (Bone mineral content) و BMD مشاهده نشد (16). از طرفی به‌دلیل محدودیت لزوم ارزیابی غیر تهاجمی استخوان در انسان، مطالعات انسانی در زمینه بررسی اثر تمرین بر استخوان، تنها بر ارزیابی BMD متمرکز شده‌اند. برای درک بهتر پاسخ‌های سازگاری ورزش، کاربست ابزارهای بیومکانیکی قابل توجه است تا بتوان نقش اثرگذار یک شیوه تمرینی خاص و بهینه که پتانسیل بیشتری را در مسیر پیشگیری و درمان نسبی استئوپروسیس استخوان دارد، آشکار نمود. ارزیابی سایر ویژگی‌های مرتبط با قدرت استخوان در کنار BMD، به‌عنوان مرسوم‌ترین روش ارزیابی استخوان، با امکان مقایسه نتایج، می‌تواند بر تأیید یا عدم تأیید نتایج BMD صحّه بگذارد.

در این مطالعه در کنار دگزا، از تست مکانیکی به‌عنوان یک روش کاملاً تهاجمی که مقاومت در برابر شکستگی را به‌صورت عینی اندازه می‌گیرد، استفاده گردید، تا در صورت همسو بودن نتایج دو روش، بتوان از نتایج دگزا با اطمینان بیشتری استفاده کرد. از طرفی با توجه به حساسیت بیشتر استخوان‌های متحمّل وزن مانند فمور در رت، به تمرین تردمیل و در مقابل نیز با اعمال تمرینات موضعی در ناحیه کمر در تمرین مقاومتی، به بررسی نظریه موضعی‌بودن[4] اثر تمرین بر استخوان پرداخته شد. بنابراین هدف مطالعه حاضر، مقایسه اثر دو نوع برنامه تمرینی استقامتی و مقاومتی بر BMD و استحکام مکانیکی استخوان ران و مهره‌های کمری رت‌های نر استئوپروتیک بود.

روش تحقیق

حیوانات: مطالعه تجربی حاضر، بر روی 30 سر رت نر بالغ نژاد ویستار با میانگین وزن اولیه 180-200 گرم انجام شد. بر طبق استانداردهای موجود، کلیه رت‌ها در گروه‌های سه‌تایی در قفس‌هایی از جنس پلی‌کربنات شفاف و در دمای 2±22 درجه سانتی‌گراد، رطوبت 55درصد و سیکل روشنایی تناوبی 12ساعت نور- خاموشی نگهداری شدند. در طول مدت مطالعه، رت‌ها دسترسی نامحدود به آب داشتند. تغذیه رت‌ها با پلت غذا، ساخت شرکت بهپرورکرج (0/95% کلسیم و 0/70% فسفر) انجام گرفت. وزن بدن و غذای دریافتی رت‌ها به‌صورت روزانه پیش از تمرین اندازه‌گیری شد.

طرح آزمایش[5]: از مجموع 30 سر رت، 6 سر به‌صورت تصادفی برای تعیین میزان طبیعی پارامترهای استخوان سالم قبل از تزریق اتانول، به‌عنوان گروه سالم انتخاب شدند. به 24 رت باقیمانده، برای کاهش چگالی استخوان و القای پوکی استخوان، 3گرم محلول 20% الکل به‌ازای هر کیلوگرم وزن

[1] *Intensity*
[2] *Duration*
[3] *Frequency*
[4] *Site specific*
[5] *Experimental design*

بدن، به‌روش داخل صفاقی به‌مدت 3هفته (یک‌نوبت/روز و 4روز/هفته) تزریق گردید (17). با توجه به اینکه ارزیابی تهاجمی هیستومورفومتری[1] و دنسیتومتری[2] استخوان در موش‌ها، مستلزم استخراج نمونه‌های استخوانی و انهدام حیوان است، بنابراین تعداد 6 سر موش استئوپروتیک به‌صورت تصادفی، به‌عنوان گروه مرحله پایه (پیش‌آزمون گروه‌های مورد مطالعه) انتخاب شد تا امکان ارزیابی متغیّرهای تحقیق در پیش و پس آزمون و همچنین امکان مقایسه با گروه سالم برای اطمینان از ایجاد پوکی استخوان در گروه‌های مورد مطالعه فراهم گردد. سپس سایر موش‌ها به 3 گروه شامل گروه‌های: استقامتی، مقاومتی و کنترل (n=6) تقسیم شدند. شروع تمرین‌ها در 12هفتگی موش‌ها بود. موش‌ها پس از 12 هفته تمرین، در 24هفتگی کشته شدند.

تمرین استقامتی: رت‌های گروه تمرین استقامتی به‌مدت 12هفته، برنامه تمرینی دویدن بر روی تردمیل با شیب صفر، 12متر/دقیقه، 5روز/هفته، یک جلسه (10دقیقه)/روز در هفته اول و به‌طور پیشرونده تا 64دقیقه در هفته دوازدهم را اجرا کردند. برنامه آشناسازی شامل یک هفته دویدن به‌صورت 8 تا 10متر/دقیقه، 5روز/هفته و 5 تا10دقیقه/روز بود (18).

تمرین مقاومتی: رت‌های گروه تمرین مقاومتی، بر روی یک نردبان با طول 110cm (شیب °80) با وزنه‌های متصل به دُم آنها، تمرین داده شدند. جلسات تمرین به‌مدت 12 هفته به‌صورت یک جلسه در روز و 5 جلسه در هفته به‌طول انجامید. هر جلسه تمرین شامل 8 ست بالارفتن بود. وزنه حمل‌شده در طی هر جلسه به‌طور پیشرونده افزایش داشت؛ به طوری که در ست‌های اول و دوم برابر با 50%، در ست‌های سوم و چهارم 75%، ست‌های پنجم و ششم 90% و در پایان ست‌های هفتم و هشتم 100% وزن بدن حیوان بود. بین دو ست، 60 ثانیه استراحت وجود داشت (19). قبل از تمرین اصلی، یک هفته آشناسازی با نردبان انجام شد. در طی این مدت، رت‌ها در یک سوم بالایی، میانی و پایینی نردبان قرار می‌گرفتند و به بالا هدایت می‌شدند.

آماده‌سازی نمونه‌های استخوانی: پس از 12 هفته تمرین، رت‌ها در ظرف دسیکاتور به‌وسیله اتر بیهوش شدند. استخوان تیبیای چپ برای آزمایش استحکام کششی و استخوان فمور راست و مهره‌های کمری چهار و پنج برای ارزیابی تراکم ماده معدنی و تست فشاری مهره پنجم کمری، از بافت نرم جدا شده و تا زمان انجام آزمایش، در دمای 20- درجه سانتی‌گراد در فریزر نگهداری شدند. 3 ساعت قبل از انجام آزمایش، نمونه‌ها در دمای اتاق قرار داده شده و با سالین مرطوب شدند.

دنسیتومتری استخوان[3]: BMD متافیز فمور و مهره‌های کمری چهارم و پنجم به‌وسیله دستگاه DEXA (lunar, Madison, WI, USA) که به نرم‌افزار Ultra-high resolution mode برای حیوانات کوچک تجهیز شده بود، در مرکز رادیولوژی دکتر نورالدینی اندازه‌گیری شد. مهره پنجم پس از دنسیتومتری، در دمای 20- درجه سانتی‌گراد تا زمان تست مکانیکی نگه‌داری شد (11).

تست کششی: برای بررسی استحکام کششی تیبیا از دستگاه تست مکانیکی Zwick z 2.5 (2/5 HS, WN 150888, Germany[2]) آزمایشگاه بیومکانیک دانشگاه تربیت مدرس استفاده شد. پس از نصب فک مناسب بر روی دستگاه، تمام استخوان با استفاده از یک فیکسچر مناسب بر روی فک‌ها نصب شد. تست کشش تک‌محوری با سرعت کلگی 0/1 میلی‌متر/ثانیه تا شکست کامل انجام شد. از منحنی لود- دفورمیشن، مقادیر حداکثر بار (نیوتن) به‌دست آمد.

تست فشاری: این تست به‌وسیله دستگاه تست مکانیکی Zwick انجام شد. با برداشتن انتهاهای دمی[4] و

[1] *Histomorphology*
[2] *Densitometry*
[3] *Bone mineral density(BMD)*
[4] *Cranial*

جمجمه‌ای (Caudal) جسم مهره، سطح مسطّح استوانه‌ای شکل با ارتفاع 3/5میلی‌متر به‌دست آمد. نمونه در مرکز دیسک استیل فک پایین (10 سانتی‌متر) گذاشته شد و نیروی فشاری توسط دیسک استیل فک بالا (1/8 سانتی‌متر) با سرعت 2میلی‌متر/دقیقه به‌طرف پایین اعمال شد. اعمال بار تا 50% حداکثر مقاومت مکانیکی استخوان ادامه یافت. در پایان، مقادیر حداکثر بار (نیوتن) از منحنی نیرو-جابجایی (Load–deformation) به‌دست آمد و برای تجزیه و تحلیل آماده شد.

تجزیه و تحلیل آماری: برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، از نرم‌افزار SPSS (ویرایش 20) و آزمون‌های آماری Kalmogorov– Smiranov، Levene، Independent t-Test، Paired t-Test، One-way ANOVA و آزمون تعقیبی Tukey استفاده شد. از آزمون Kalmogorov–Smiranov برای بررسی توزیع نرمال داده‌ها و از آزمون Levene برای بررسی همگونی واریانس داده‌ها استفاده شد. همچنین از آزمون Independent t-Test برای مقایسه متغیرها بین دو گروه سالم و پایه برای بررسی القای استئوپروسیس و از آزمون Paired t-Test برای بررسی تغییرات متغیرهای مطالعه، قبل و پس از 12 هفته تمرین استفاده گردید. از آزمون‌های One-way ANOVA و آزمون تعقیبی *Tukey* نیز برای بررسی تغییرات بین‌گروهی پس از 12 هفته تمرین در سطح معنی‌داری 0/05 استفاده شد.

یافته‌ها

تمامی داده‌ها دارای توزیع نرمال بودند. نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری در میزان وزن و سن آزمودنی‌ها وجود نداشت (جدول 1). برای بررسی تأثیر الکل بر ایجاد استئوپروسیس در گروه‌های مورد مطالعه، به مقایسه بافت ترابکولار و BMD دو گروه پایه استئوپروتیک (پیش‌آزمون) و سالم پرداخته شد. بر این اساس، نتایج مطالعه اولیه (آزمون Independent t-Test) نشان داد که BMD گروه استئوپروتیک پایه (0/12±0/019) در مقایسه با گروه سالم (0/22±0/01) کاهش معنی‌داری داشت (p=0/00)؛ همچنین درصد ترابکولا گروه استئوپروتیک پایه (13/21±7/00) در مقایسه با گروه سالم (40/16±8/10) به‌طور معنی‌داری کاهش داشت (p=0/00)(نمودار 1).

یافته‌های دنسیتومتری استخوان: بر اساس نتایج ارائه‌شده در جدول 2، 12 هفته تمرین استقامتی و مقاومتی باعث افزایش معنی‌دار BMD استخوان فمور نسبت به مقادیر پیش‌آزمون شد (P=0/001، P=0/000)؛ در حالی که این افزایش در گروه کنترل معنی‌دار نبود (P=0/144). نتایج L4+L5 BMD دو گروه کنترل و مقاومتی، افزایش معنی‌داری نسبت به مقادیر پیش‌آزمون داشت (P=0/000 و P=0/002)؛ در حالی که این تفاوت در گروه استقامتی معنی‌دار نبود (P=0/235).

از طرفی بر اساس نتایج آزمون One-way ANOVA و آزمون تعقیبی Tukey، BMD استخوان فمور دو گروه تمرین مقاومتی و استقامتی تفاوت معنی‌داری نداشت (P=0/241)، اما این متغیر در دو گروه استقامتی و مقاومتی به‌طور معنی‌داری بالاتر از گروه کنترل بود (به‌ترتیب P=0/035 و P=0/001). بین L4+L5 BMD گروه کنترل و مقاومتی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (P=0/999)؛ اما این متغیّر در دو گروه کنترل و مقاومتی به‌طور معنی‌داری بالاتر از گروه استقامتی بودند (P=0/001 و P=0/001)(نمودار 1).

یافته‌های قدرت مکانیکی استخوان: بر اساس نتایج ارائه‌شده در جدول سه، 12 هفته تمرینی استقامتی و مقاومتی منجر به افزایش معنی‌دار حداکثر بار فشاری مهره پنجم کمری نسبت به مقادیر پایه شد (P=0/005 و P=0/001)؛ در حالی که افزایش معنی‌داری در گروه کنترل به‌دست نیامد (P=0/051). نتایج حداکثر بار کششی تیبیا نشان داد که مقدار آن در هیچ‌کدام از گروه‌های مورد مطالعه، افزایش معنی‌داری نسبت به مقادیر پایه نداشت. از طرفی بر اساس نتایج آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه و آزمون تعقیبی Tukey، تنها

حداکثر بار فشاری مهره پنج کمری و حداکثر بار کششی تیبیا (به‌ترتیب: P=0/03 و P=0/01)(نمودار 2). گروه مقاومتی به‌طور معنی‌داری بالاتر از گروه کنترل بود

جدول 1- میانگین±انحراف‌معیار وزن بدن رت‌های نر استئوپروتیک، قبل و پس از 12 هفته تمرین

گروه (n=6)	مرحله	سن (هفته)	وزن بدن (گرم)
استقامتی	پیش‌آزمون	12	50/246
	پس‌آزمون	24	50/393
مقاومتی	پیش‌آزمون	12	67/249
	پس‌آزمون	24	17/404
کنترل	پیش‌آزمون	12	83/250
	پس‌آزمون	24	67/408

جدول 2- میانگین±انحراف‌معیار تراکم ماده معدنی استخوان فمور و L4+5 رت‌های نر استئوپروتیک، قبل و پس از 12 هفته تمرین

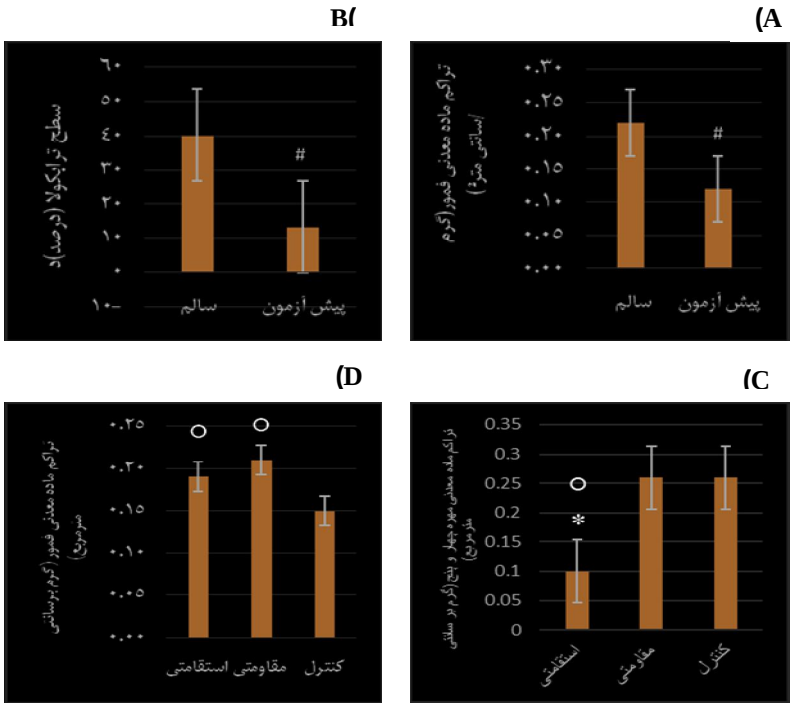
گروه‌ها (n=6)	مرحله	تراکم ماده معدنی فمور (g/cm^2)	تراکم ماده معدنی مهره چهارم+پنجم (g/cm^2)
استقامتی	پیش‌آزمون	0/019±0/12	0/08±0/018
	پس‌آزمون	0/022±0/19●○□	0/047±0/10○*
مقاومتی	پیش‌آزمون	0/019±0/12	0/08±0/018
	پس‌آزمون	0/006±0/21□●○	0/26±0/060●□
کنترل	پیش‌آزمون	0/019±0/12	0/08±0/018
	پس‌آزمون	0/032±0/15	0/014±0/26●□

●: نشانه اختلاف معنی‌دار در سطح 0/05 و □ در سطح 0/01 در مقایسه با مقادیر پایه. ○: نشانه اختلاف معنی‌دار در سطح 0/05 در مقایسه با گروه کنترل.
*: نشانه اختلاف معنی‌دار در سطح 0/05 در مقایسه با گروه مقاومتی

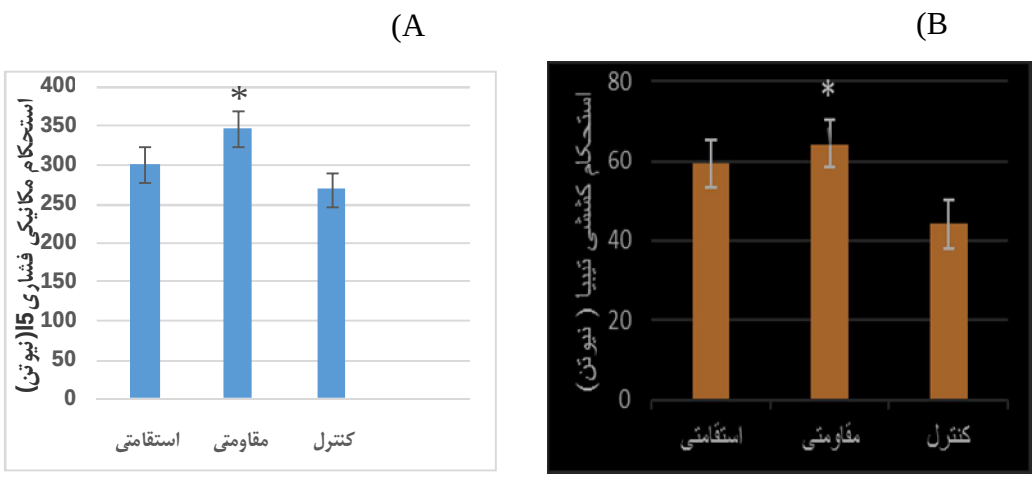
جدول 3- میانگین±انحراف‌معیار حداکثر بار کششی تیبیا و فشاری مهره پنجم رت‌های نر ویستار استئوپروتیک، قبل و پس از 12 هفته تمرین

گروه‌ها (n=6)	مرحله	تیبیا	مهره پنجم کمری
		حداکثر بار (نیوتن)	حداکثر بار (نیوتن)
استقامتی	پیش‌آزمون	11/64±50/00	25/05±80/221
	پس‌آزمون	15/98±59/38	34/28±299/80 ●.●●
مقاومتی	پیش‌آزمون	11/64±50/00	25/05±80/221
	پس‌آزمون	○12/18±15/64	60/30±07 /346 ●.●●○
کنترل	پیش‌آزمون	11/64±50/00	25/05±80/221
	پس‌آزمون	9/73±44/18	37/65±41/268

● نشانه اختلاف معنی‌دار در سطح 0/05 و ●● در سطح 0/01 در مقایسه با پیش‌آزمون. ○: نشانه اختلاف معنی‌دار در سطح 0/05 در مقایسه با گروه کنترل * نشانه اختلاف معنی‌دار در سطح 0/05 در مقایسه با گروه مقاومتی



نمودار 1- مقایسه میانگین پارامترهای استخوان در گروه‌های مورد مطالعه. A) سطح ترابکولا در مطالعه اولیه، B) تراکم ماده معدنی فمور در مطالعه اولیه، C) تراکم ماده معدنی فمور در گروه‌های مورد مطالعه پس از 12 هفته تمرین، D) تراکم ماده معدنی مهره چهار+پنج کمری در گروه‌های مورد مطالعه پس از 12هفته تمرین). ○: نشانه اختلاف معنی‌دار در سطح 0/05 در مقایسه با گروه کنترل. *: نشانه اختلاف معنی‌دار در سطح 0/05 در مقایسه با گروه مقاومتی. #: نشانه اختلاف معنی‌دار در سطح 0/05 در مقایسه با گروه سالم.



نمودار 2- مقایسه میانگین استحکام مکانیکی در گروه‌های مورد مطالعه پس از 12 هفته تمرین. A) استحکام فشاری مهره L5 و B) استحکام کششی تیبیا. * نشانه اختلاف معنی‌دار در سطح 0/05 در مقایسه با گروه کنترل.

بحث

هدف مطالعه حاضر، مقایسه اثرات دو نوع تمرین ورزشی استقامتی و مقاومتی بر بهبود پارامترهای BMD و استحکام مکانیکی استخوان رت‌های نر استئوپروتیک بود. دو یافته اصلی در مطالعه حاضر به دست آمد. نخست اینکه هر دو نوع تمرین استقامتی و مقاومتی، اثر افزایشی معنی‌داری بر BMD استخوان فمور نسبت به گروه کنترل داشتند؛ در حالی که اثر تمرین مقاومتی بر BMD L4+L5 افزایشی و اثر تمرین استقامتی، کاهشی بود. *دوم اینکه تنها تمرین* مقاومتی باعث افزایش معنی‌دار پارامترهای مکانیکی استخوان در مقایسه با گروه کنترل گردید.

مشخص شده است که تمرین می‌تواند منجر به تعادل مثبت اسکلتی در حیوانات شود؛ اگرچه مکانیسم اثر تمرین بر متابولیسم استخوان هنوز ناشناخته است (20). فعالیت بدنی از طریق کشش‌های ناشی از انقباضات عضلانی، بار مکانیکی را بر استخوان اعمال کرده و با تحریک استخوان، متغیّرهای ساختاری مانند: قدرت و تراکم استخوان را افزایش می‌دهد (1، 21، 22). در مطالعه حاضر، BMD فمور و حداکثر بار کششی تیبیا گروه استقامتی بالاتر از گروه کنترل بود، اما این افزایش تنها در BMD فمور معنی‌دار بود؛ در حالی که BMD L4+L5 گروه استقامتی به‌طور معنی‌داری پایین‌تر از دو گروه کنترل و مقاومتی بود. در مطالعه حاضر همچنین حداکثر بار فشاری L5 در گروه استقامتی با گروه کنترل تفاوت معنی‌داری نداشت.

اثر تمرین استقامتی بر افزایش توده استخوان‌های بلند متحمّل وزن[1] مانند فمور، در بعضی مطالعات گزارش شده است (14، 20). به لحاظ آناتومیکی و موقعیت قرارگیری، استخوان‌های بلند متحمّل وزن مانند تیبیا و فمور در رت، با مهره‌های کمری تفاوت دارند؛ به طوری که در طی دویدن، بار مکانیکی بیشتری بر این دو استخوان وارد می‌شود که برای تحریک پاسخ استئوژنیک استخوان لازم است (10).

بنابراین به نظر می‌رسد تمرین استقامتی، تنها بر تشکیل موضعی استخوان در استخوان‌های بلند متحمّل وزن، اثر می‌گذارد. نتیجه مطالعه حاضر با یافته‌های مطالعات Kannus و همکاران (1994)(23) و Mosekilde و همکاران (1994)(24) که به‌ترتیب: اثر 8 هفته دویدن و 4 ماه دویدن بر روی تردمیل بر افزایش توده استخوانی فمور رت را نشان دادند، همخوانی دارد. به‌علاوه، نتایج مطالعه حاضر با یافته‌های مطالعات Iwamoto (2009)(10) و Joo و همکاران (2003)(11) در خصوص افزایش BMD فمور و عدم افزایش BMD مهره کمر همخوانی دارد. در مقابل، یافته‌های حاضر با نتایج مطالعه Bourrin (2010)(25) که نشان داد، 11 هفته دویدن با شدّت بالا بر روی تردمیل (105 دقیقه/روز، 30 متر/دقیقه)، اثر تخریبی بر سیستم اسکلتی دارد، هم‌خوانی ندارد. نتایج حاضر با یافته مطالعه Hagihara و همکاران (2009) مبنی بر کاهش بافت میله‌ای استخوان‌های بلند در اثر 180 دقیقه دویدن در روز بر تردمیل، هم‌خوانی ندارد (9). بیان شده است که شدّت و مدت تمرین، در افزایش توده استخوانی مؤثّر هستند.

در خصوص هم‌خوانی مطالعات ذکرشده با مطالعه حاضر می‌توان گفت که همسانی شدت برنامه تمرینی در تحقیقات می‌تواند مؤیّد نتایج همسان باشد. دویدن با شدّت و مدّت متوسط به طوری که خستگی کمی در عضلات ایجاد شود، در افزایش تراکم و قدرت مکانیکی استخوان‌های متحمّل وزن بدن مؤثّرتر است. از طرفی احتمالاً عدم هم‌خوانی نتایج برخی مطالعات با نتایج این مطالعه، ناشی از تفاوت در شدّت، مدّت و بار مکانیکی تمرین‌ها باشد که در تحریک رمودلینگ استخوان تعیین‌کننده هستند.

مطالعات نشان داده‌اند که سطح آستانه‌ای از ویژگی‌های تمرین هوازی لازم است تا بتواند کیفیت استخوان را ارتقا دهد و افزایش بیش از حدّ متغیّرهای تمرینی مانند مدّت تمرین، نه‌تنها اثر بهبودی بر کیفیّت استخوان نداشته، بلکه ممکن است اثر معکوس داشته باشد (1 و 16). عدم هم‌خوانی

[1] *Weight-bearing*

یافته حاضر با نتایج عنوان‌شده، احتمالاً با این مسئله مرتبط است؛ به‌طوری‌که یافته‌ها نشان دادند، اجرای تمرین استقامتی کوتاه‌مدت (30 دقیقه/روز) ممکن است با توقّف تخریب استخوانی[1]، BMD را افزایش داده؛ در حالی که تمرین استقامتی بلندمدت (180 دقیقه/روز)، با توقّف تشکیل استخوانی[2]، BMD را کاهش دهد (9).

برآیند نتایج بیان می‌کند که تمرین استقامتی بالاتر از آستانه[3]، تراکم ماده معدنی و قدرت مکانیکی استخوان‌های بلند متحمل وزن بدن را افزایش می‌دهد (11). تشکیل موضعی استخوان در نواحی تحت بار، احتمالاً افزایش معنی‌دار BMD فمور گروه استقامتی در مقایسه با گروه کنترل را توجیه کند. از طرفی نتایج مطالعه حاضر تفاوت پاسخ دو استخوان متحمل وزن (فمور و تیبیا) به تمرین استقامتی را نشان داد؛ به‌طوری که BMD استخوان فمور رت‌های گروه استقامتی نسبت به گروه کنترل افزایش معنی‌داری داشت، اما حداکثر بار قابل تحمل توسط استخوان تیبیا معنی‌دار نبود. تفاوت ترکیب بافت استخوانی دیافیز تیبیا و متافیز فمور، احتمالاً می‌تواند تفاوت پاسخ دو ناحیه استخوانی را توجیه کند. نشان داده شده است، تأثیر بار مکانیکی ناشی از تمرین، بر تشکیل بافت استخوانی کورتیکال بسیار کمتر از ترابکولار است. تحقیقات نشان داده‌اند که جریان خون بالای بافت اسفنجی متافیز، باعث افزایش فعالیت متابولیکی این بافت شده و بارگیری مکانیکی آن را افزایش می‌دهد. به این دلیل بافت اسفنجی متافیز بیشتر از بافت متراکم دیافیز، تحت تأثیر ورزش قرار می‌گیرد (9).

بر اساس نتایج این مطالعه، 12 هفته تمرین مقاومتی باعث افزایش معنی‌دار BMD فمور در مقایسه با گروه کنترل شد. به علاوه، بر اساس نتایج تست مکانیکی گروه‌های مورد مطالعه، تنها حداکثر بار فشاری مهره پنجم و کششی تیبیا گروه مقاومتی در مقایسه با گروه کنترل معنی‌دار بود. مشخص شده است که ورزش‌های تحمّل وزن، باعث افزایش توده استخوانی در انسان و حیوان می‌شوند. یافته‌های مطالعه حاضر با نتایج مطالعه De Souza (2013)(14) در خصوص افزایش BMD فمور در مقایسه با گروه کنترل هم‌خوانی دارد. به‌علاوه با یافته‌های مطالعه Notomi (2001)(26) که نشان داد تمرین قدرتی باعث افزایش پارامترهای تشکیل استخوان پریوستئال میان تنه فمور رت می‌شود، تطابق دارد. افزایش حداکثر بار کششی تیبیا در مطالعه حاضر با نتیجه مطالعه Golub (2009) مبنی بر بالاتربودن حداکثر بار استخوان‌های دراز گروه مقاومتی هم‌خوانی دارد. مطالعات تخصصی بر روی نمونه‌های رت نشان داد که ورزش، احتمالاً استحکام کششی استخوان تیبیا را از طریق بهبود سازمان شبکه‌ای کلاژن[4] و خواص بیومتریال استخوان افزایش می‌دهد (27).

موارد احتمالی متعددی در خصوص تأثیر تمرین مقاومتی بر افزایش قدرت مکانیکی و تراکم ماده معدنی استخوان وجود دارد که عبارتند از: کاهش تخریب استخوان[5] از طریق کاهش تعداد استئوکلاست‌ها و افزایش تشکیل استخوان[6] از طریق افزایش تعداد استئوبلاست‌ها، بار مکانیکی بهینه در تمرین مقاومتی و میزان بالای استرین (تغییر در استخوان) تمرین مقاومتی و توزیع غیرمعمول آن (1). از سوی دیگر، افزایش معنی‌دار حداکثر بار فشاری مهره پنجم گروه مقاومتی در این مطالعه، نظریه موضعی‌بودن[7] تمرین در ناحیه کمری را تأیید می‌نماید. با اتصال وزنه به دم حیوان بر روی ناحیه کمر، تمرین موضعی اعمال شد که به لحاظ مکانیکی باعث ایجاد بار ناحیه‌ای گردید؛ در نتیجه موجب تغییر شکل بافت استخوانی (استرین) مهره‌های کمری شده و استخوان را تحریک کرده تا با شکل‌گیری مجدد، به این نیازهای جدید پاسخ دهد و در نتیجه قدرت مکانیکی فشاری مهره افزایش یابد. به نظر می‌رسد با استفاده از این نوع تمرین‌ها در انسان

[1] *Bone resorption*
[2] *Bone formation*
[3] *Threshold*
[4] *Collagen network organization*
[5] *Bone resorption*
[6] *Bone formation*
[7] *Site specific*

به‌ویژه در ناحیه مرکز[1]، علاوه بر اینکه بتوان قدرت استخوانی را افزایش داد، بتوان دفورمیتی انحناهای مهره‌ای را کاهش داده و با تقویت عضلات مرکزی[2]، باعث بهبود تعادل افراد سالمند شده و از خطر افتادن‌ها و شکستگی پیشگیری کرد (5، 6).

برآیند نتایج تمرین مقاومتی در دو ناحیه دیافیز تیبیا و جسم مهره نشان داد که این تمرین با بارگذاری مکانیکی و فشار بهینه، بر هر دو نوع بافت متراکم و ترابکولار اثرگذار بود (27). به علاوه، از آنجایی که استخوان، بارهای الاستیکی را به‌وسیله بافت کلاژنی و بارهای فشاری را به‌وسیله ماده معدنی تحمل می‌کند، نتایج تست مکانیکی کششی و فشاری نشان داد که تمرین مقاومتی احتمالاً بر هر دو ترکیب استخوانی مؤثّر بوده است.

نکته قابل توجه دیگر در این مطالعه، همسو نبودن نتیجه BMD و قدرت فشاری مهره گروه مقاومتی بود که لزوم توجه به ارزیابی‌های مختلف استخوان را ضروری می‌نماید. این یافته حاوی این نتیجه کلینیکی است که علی‌رغم اینکه دگزا یک روش ارزیابی غیر تهاجمی در انسان است، اما نتایج BMD حاصل از آن، تنها یکی از عوامل تعیین‌کننده استحکام استخوان است و مواردی چون هندسه استخوان، خواص بیوفیزیکی و بیومکانیکی استخوان، ممکن است مستقل از BMD، در کاهش یا افزایش خطر شکستگی نقش داشته باشند. در همین راستا یافته‌های مطالعه Fonseca و همکاران (2014) نشان داد که تمرین مقاومتی از کاهش حجم ترابکولار L5 موش‌های اوراکتومی جلوگیری نمود، اما تغییر قابل ملاحظه‌ای در BMD ایجاد نکرد (21). بیان شده است علی‌رغم اینکه BMD یک گلد استاندارد برای ارزیابی استخوان است، اما این ابزار به‌عنوان یکی از شاخص‌های سلامت استخوان، تنها کمیّت بافت استخوان را اندازه می‌گیرد؛ در حالی که استخوان یک ساختار مجموعه (Complex) بوده و مقاومت آن در برابر شکستگی، به اثر متقابل ویژگی‌های مختلف آن مربوط می‌شود (21). این در حالی است که محدودیت طرح‌های مطالعاتی و لزوم استفاده از تکنولوژی ارزیابی غیر تهاجمی استخوان در انسان، ناگزیر منجر به استفاده از دگزا می‌گردد. بنابراین با توجه به تفاوت نتایج دو روش ارزیابی مکانیکی (روش تهاجمی) و دگزا (روش غیر تهاجمی)، باید تفسیر نتایج دگزا با تأمّل بیشتری مورد استفاده قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

به‌طور خلاصه، با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان گفت که اگر چه تمرین استقامتی، تراکم استخوان نواحی متحمّل وزن رت‌های استئوپروتیک را افزایش داد، اما تمرین‌های مقاومتی باعث تغییرات مؤثّرتر در تراکم مادّه معدنی و قدرت مکانیکی استخوان رت‌های نر استئوپروتیک گردید. بر اساس نتایج این مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که تمرینات مقاومتی می‌تواند به‌عنوان یک راهبرد مفید برای تحریک استخوان‌سازی افراد استئوپروتیک در جمعیت رو به رشد سالمندان مورد استفاده واقع شود. هر چند در این مطالعه به سؤالاتی در زمینه برخی پارامترهای استخوانی پاسخ داده شد، اما هنوز سؤالات بسیاری در این راستا وجود دارد که نیاز به پاسخ دارند. از طرفی با توجه به تفاوت نتایج دو روش ارزیابی در این مطالعه، باید یادآوری کرد که هر چند حجم وسیعی از معلومات در زمینه اثر ورزش بر استخوان از روش دگزا به‌دست آمده است، اما محدودیت‌های آن مطالعات را باید به‌دقّت مورد توجه قرار داد (14).

[1] *Core*
[2] *Core stability*

منابع:

1- Saiem Aldahr MH. Bone Mineral Status Response to Aerobic Versus Resistance Exercise Training in Postmenopausal Women. World Appl Sci J. 2012; 16(6): 806-13.

2- Khorsandi J, Shamsi M, Jahani F. The Survey of Practice About Prevention of Osteoporosis Based on Health Belief Model in Pregnant Women in Arak City. J Rafsanjan Univ Med Sci. 2013(1); 35-46. [Persian]

3- Puisto V, Heli?vaara M, Impivaara O, Jalanko T, Kr?ger H, Knekt P, et al. Severity of vertebral fracture and risk of hip fracture: a nested case–control study. Osteoporos Int. 2011; 22(1): 63-8.

4- Boonen S, Wahl DA, Nauroy L, Brandi ML, Bouxsein ML, Goldhahn J, et al. Balloon kyphoplasty and vertebroplasty in the management of vertebral compression fractures. Osteoporos Int. 2011; 22(12): 2915-34.

5- Granito RN, Aveiro MC, Renno AC, Oishi J, Driusso P. Comparison of thoracic kyphosis degree, trunk muscle strength and joint position sense among healthy and osteoporotic elderly women: a cross-sectional preliminary study. Arch Gerontol Geriatr. 2012; 54(2): e199-202.

6- Wang Y, Owoc JS, Boyd SK, Videman T, Battié MC. Regional variations in trabecular architecture of the lumbar vertebra: associations with age, disc degeneration and disc space narrowing. Bone. 2013; 56(2): 249-54.

7- Armas LAG, Recker RR. Pathophysiology of Osteoporosis: New Mechanistic Insights. Endocrinol Metab Clin North Am. 2012; 41(3): 475-86.

8- Chen H, Zhou X, Fujita H, Onozuka M, Kubo KY. Age-Related Changes in Trabecular and Cortical Bone Microstructure. International Journal of Endocrinology. Int J Endocrinol. 2013; 2013: 213234.

9- Hagihara Y, Nakajima A, Fukuda S, Goto S, Iida H, Yamazaki M. Running exercise for short duration increases bone mineral density of loaded long bones in young growing rats. Tohoku J Exp Med. 2009; 219(2): 139-43.

10- Iwamoto J, Yeh JK, Aloia JF. Differential effect of treadmill exercise on tree cancellous bone sites in the young growing rats. Bone. 2009; 24(3): 163-9.

11- 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.

12- Aguiar AF, Agati LB, Müller SS, Pereira OC, Dal-Pai-Silva M. Effects of physical training on the mechanical resistance of rat femur proximal thirds. Acta Ortop Bras. 2010; 18(5): 245-9.

13- Hinrichs T, Chae EH, Lehmann R, Allolio B, Platen P. Bone Mineral Density in Athletes of Different Disciplines: a CrossSectional Study. Open Sports Sci J. 2010; 3: 129-33.

14- De Souza RR, Sitta MDC, Maria J, Sobrinho S, Filho WJ. Long Term Running Exercise vs. Long Term Strength Exercise on Femoral Bone Mass Assessed in a Rat Model. J Exerc Physiol Online. 2013; 16(2): 92-6.

15- Colletti LA, Edwards J, Gordon L, Shary J, Bell NH. The effects of muscle-building exercise on bone mineral density of the radius, spine, and hip in young me. Calcif Tissue Int. 1989; 45(1): 12-4.

16- Drummond LR, Del Carlo RJ, Melo SFS, Carneiro-Junior MA, Da Silva KA, Rodrigues AC, et al. Enhanced femoral neck strength in response to weightlifting exercise training in maturing male rats: original research article. Int Sportmed J. 2013; 14(3): 155-67.

17- El-Shenawy SM, Yassin NA, Badary OA, EL-Moneem MA, AL-Shafeiy HM. Study of the effect of Allium porrum on osteoporosis induced in rats. Der Pharm Lett. 2013; 5(1): 188-98.

18- Iwamoto J, Takeda T, Sato Y. Effect of treadmill exercise on bone mass in female rats. Exp Anim. 2005; 54(1): 1-6.

19- Cassilhas RC, Reis IT, Venâncio D, Fernandes J, Tufik S, Mello MTD. Animal model for progressive resistance exercise: a detailed description of model and its implications for basic research in exercise. Motriz: Revista de Educaç?o F?sica; 2013; 19(1): 178-84.

20- Maïmoun L, Sultan C. Effects of physical activity on bone remodeling. Metabolism. 2011; 60(3): 373-88.

21- Fonseca H, Moreira-Gonçalves D, Coriolano HJ, Duarte JA. Bone quality: the determinants of bone strength and fragilit. Sports Med. 2014; 44(1): 37-53.

22- Allison SJ, Folland JP, Rennie WJ, Summers GD, Brooke-Wavell K. High impact exercise increased femoral neck bone mineral density in older men: a randomised unilateral intervention. Bone. 2013; 53(2): 321-8.

23- Kannus P, Siev?nen H, J?rvinen TL, J?rvinen M, Kvist M, Oja P, et al. Effects of free mobilization and low- to high-intensity treadmill running on the immobilization-induced bone loss in rats. J Bone Miner Res. 1994; 9(10): 1613-9.

24- Mosekilde L, Danielsen CC, S?gaard CH, Thorling E. The effect of long-term exercise on vertebral and femoral bone mass, dimensions, and strength - assessed in a rat model. Bone. 1994; 15(3): 293-301.

25- Bourrin S, Palle S, Pupier R, Vico L, Alexandre C. Effect of physical training on bone adaptation in three zones of the rat tibia. J Bone Miner Res. 1995; 10(11): 1745-52.

26- 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.

27- Golub EE. Role of matrix vesicles in biomineralization. Biochim Biophys Acta. 2009; 1790(12): 1592-8.

Abstract *Original Article*

Effects of endurance and resistance exercises on bone mineral density and mechanical strength of osteoporotic male rats

Maryam Banparvari[1], Gholamreza Kaka[2]

Background and Aim: Osteoporosis is a complex disease characterized by loss of bone mass, resulting in bone weakness and an increase in susceptibility to fractures. The aim of the current study was to determine skeletal changes induced by two progressive loading training programs on the bone properties of osteoporotic male rats.

Materials and Methods: This experimental study was done on 30 Wistar male rats having mean weight of 180-200 g. They were divided into .5 equal groups. In the experimental group, osteoporosis was induced through intraperitoneal injection of 20% ethanol solution (3g/kg/day) for four consecutive days for 3 weeks. The rest of the groups were baseline group (pre test), resistance training, endurance training, and the control. The two training groups completed 12 five-day weeks of training program. according to resistance or endurance protocols. The other 6 rats were considered as the healthy group without any intervention . At the end of the intervention, the animals were killed and their bone mineral density (BMD) of the femur and L4, L5 were measured. Tensile max load of the left tibia and compression of the L5 vertebra were measured using mechanical tests.

Results: The endurance (P= 0.035) and resistance (P= 0.001) groups femur BMD had significantly increased compared to that of the control . L4, L5 BMD in resistance training and control was significantly greater than that of endurance group (P= 0.001,P= 0.001). The tensile maximum load of the tibia and compression of the L5 in the resistance group was significantly greater than the control (P=0.01,P=0.03).

Conclusion: Resistance training, compared to endurance training, can induce more effective favourable changes in bone mineral status and bone strength.

Key Words: Osteoporosis, Exercise training, Bone Mineral density, Mechanical

Journal of Birjand University of Medical Sciences. 2016; 22 (4): 327-339

Received: June 15, 2015 Accepted: November 1, 2015

[1] *Corresponding author; Assistant professor, Department of Physical Education and Sport Sciences, School of psychology, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran banparvari@ped.usb.ac.ir*

[2] *Associate Professor, Neuroscience Research Center,* School of *medicine, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran.*