

نتیجه هشت هفته تمرین استقامتی با شدت بالا و میانه بر متغیرهای بیومکانیکی استخوان ران در موش صحرایی سالمند نژاد ویستار

خلاصه

پیش‌زمینه: فعالیت بدنی با کاهش سرعت از دست‌دادن استخوان و قوی‌تر کردن عضلات، احتمال شکستن استخوان را کمتر می‌کند و تحریک استخوان، قدرت و تراکم استخوان را افزایش می‌دهد. این پژوهش به منظور بررسی مقایسه شدت‌های مختلف تمرین استقامتی بر متغیرهای منتخب بیومکانیکی استخوان ران در رت‌های سالمند نژاد ویستار اجرا شد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش تجربی، ۲۴ سر موش صحرایی نر نژاد ویستار مسن ۲۳ ماه با میانگین وزنی ۴۴۱/۷۵ گرم به صورت تصادفی براساس وزن اولیه در دو گروه تمرینی و یک گروه کنترل شامل گروه تمرین استقامتی با شدت متوسط ($n=8$)، تمرین استقامتی با شدت بالا ($n=8$) و گروه کنترل ($n=8$) قرار گرفتند. تمرین استقامتی با شدت متوسط با ۷۰٪-۶۰٪ و شدید ۱۱۰٪-۸۰٪ سرعت بیشینه، پنج روز در هفته به مدت هشت هفته بود، که مدت و مسافت (حجم تمرین) هر جلسه فعالیت در هر دو گروه برابر اما شدت تمرین متفاوت بود. ۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه تمرینی حیوانات برای انجام جراحی و استخراج بافت استخوانی فمور بیهوش و سپس تشریح شدند. از آزمون فشار مکانیکی خمش سه نقطه‌ای برای تعیین تغییرات بر مدولاسیون، حداکثر مقاومت و انرژی شکست و نیروی استخوان ران رت‌های نر استفاده شد. تجزیه تحلیل آماری با استفاده از آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه با سطح $P \leq 0.05$ انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که این نوع تمرینات تأثیری بر مدولاسیون ($p=0.198$)، قدرت استخوان ($p=0.24$)، انرژی شکست ($p=0.204$)، تغییر شکل تا نقطه‌ی حداکثر استحکام ($p=0.89$) و نیروی استخوان ران ($p=0.31$) موش صحرایی نر نداشت و بین گروه‌ها تفاوت معنی‌داری در این فاکتورها وجود نداشت.

نتیجه‌گیری: به نظر می‌رسد تغییرات بیومکانیکی استخوان پس از انجام چنین تمریناتی اثربخش نمی‌باشد و شاید نیاز به دوره‌های طولانی‌تر تمرین ورزشی دارد که باید در تحقیقات آینده مورد بررسی قرار بگیرد.

واژه‌های کلیدی: سالمندی، تمرین ورزشی، استخوان، متغیرهای بیومکانیکی

دریافت مقاله: ۹ ماه قبل از چاپ؛ مراحل اصلاح و بازنگری: ۳ بار؛ پذیرش مقاله: ۱ ماه قبل از چاپ

*زهرا همتی فارسانی، **ابراهیم بنی طالبی، **محمد فرامرزی، ***امین بیغم صادق

مقدمه

بافت استخوانی یک اندام زنده پویا و پیچیده در پاسخ به فعالیت بدنی و بارگیری مکانیکی مانند تمرینات ورزشی است^(۱). به نظر می‌رسد که مکانیزم‌های مرتبط با شتاب مرتبط با سن در از دست دادن استخوان در مردان مسن متفاوت از موارد مرتبط با یائسگی در زنان هستند^(۲). استحکام ساختاری استخوان عمدتاً توسط یک سیستم بازخورد حس‌گر مکانیکی حفظ می‌شود، این سیستم تغییرات ایجاد شده در بار مکانیکی درون استخوان‌ها را حس می‌کند و چالش‌های حرکتی را از طریق تغییرات در اندازه و شکل استخوان نشان می‌دهد^(۳) و استخوان‌های جدید در مناطقی تشکیل می‌شوند که بار اعمال شده بر آن بیشتر از محدوده بار مکانیکی معمول است، در حالی که استخوان‌ها در مناطقی که بار مکانیکی کمتری نسبت به محدوده بار معمولی دارند، کاهش می‌یابند^(۳). بنابراین راه ساده و موثر برای افزایش توده و ساختمان استخوانی از طریق تحریک مکانیکی سلول‌های استخوانی است^(۴). در راستای سازگاری استخوانی به بار مکانیکی، تغییرات در جزئیات ساختاری (توده مواد معدنی، هندسه، معماری، خواص مواد) مشاهده می‌شود^(۳). ورزش، تراکم مواد معدنی استخوان^(۱) (BMD)، توده، قدرت و خواص مکانیکی استخوان را افزایش می‌دهد.

* دانشجوی دکتری، فیزیولوژی ورزشی، گروه علوم ورزشی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
** دانشیار، فیزیولوژی ورزشی (PhD)، گروه علوم ورزشی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
*** استاد، علوم درمانگاهی (PhD)، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
* نویسنده مسئول: ابراهیم بنی طالبی شهرکرد، دانشگاه شهرکرد، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، گروه تربیت بدنی
Email: banitalebi.e@gmail.com

¹ Bone Mineral Density

است. همچنین این منحنی سفتی^۶، حداکثر بار، میزان بار تا نقطه‌ی تسلیم و میزان کار برای شکستن^۷، مدولاسیون استخوان را نشان می‌دهد. شیب این نمودار نشان دهنده‌ی سفتی خارجی استخوان است که با میزان مواد معدنی استخوان و سطح زیر نمودار نشان دهنده‌ی میزان کار برای شکستن استخوان است^(۱۱). خواص بیومکانیکی استخوان‌ها نباید براساس یک پارامتر تفسیر شود، زیرا منجر به نتیجه‌گیری نادرست می‌شود. به عنوان مثال، استخوان‌های موش‌های مبتلا به پوکی استخوان دارای مواد معدنی بالا و در عین حال بسیار شکننده هستند که باعث کاهش کار برای شکستگی و افزایش خطر شکستگی می‌شود. برعکس، اگرچه استخوان‌های موش‌های جوان از نظر مواد معدنی ضعیف است، ولی انعطاف‌پذیری بالاتری دارد، که باعث افزایش کار برای شکستن آنها می‌شود (استخوان‌های حیوانات جوان می‌توانند انرژی بیشتری را قبل از شکستن در مقایسه با بزرگسالان جذب کنند)^(۱۲-۱۴). استرس‌های مکانیکی ناشی از تمرینات شدید برای ساختار و یکپارچگی عملکرد سیستم اسکلتی، مثل افزایش BMD و دیگر خواص بیومکانیکی استخوان بسیار مهم است^(۱۵).

هوانگ^۸ و همکاران در سال (۲۰۰۸) در پژوهشی به بررسی تأثیر ۸ هفته تمرین استقامتی تداومی با سرعت ۱۲-۲۲ متر در دقیقه و تمرین استقامتی تناوبی با سرعت ۱۲-۳۰ متر در دقیقه بر ویژگی‌های بیومکانیکی استخوان موش‌های صحرایی در حال رشد (هفت هفته‌ای) پرداختند، نتایج پژوهش نشان داد که هر دو نوع تمرین استقامتی سبب بهبود ویژگی‌های استخوان ران شد و تأثیری بر سختی و نیروی خمشی استخوان ران ندارد^(۱۶). بخوبی ثابت شده است که پاسخ استئوژنیک ناشی از ورزش وابسته به شدت است^(۱۷، ۱۸). بنابراین، فرض شده است که تمرین با شدت‌های مختلف منجر به پاسخ‌های مختلف سلولی و در نتیجه سازگاری‌های مختلف استخوانی می‌شود^(۹). البته، تحقیقات علمی نشان می‌دهد که همه‌ی پروتکل‌های تمرینی به یک اندازه در بهبود توده استخوانی کارایی ندارند. به‌عنوان مثال، روش‌هایی وجود دارد که می‌تواند به‌طور قابل توجهی بر کیفیت استخوانی تأثیر بگذارد^(۲۰). دانشکده طب ورزش آمریکا^۹ (ACSM) بیان می‌کند که افراد جهت حفظ و بهبود توده استخوان باید فعالیت‌های استقامت هوازی (تمرینات تحمل

به نظر می‌رسد به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم بر روی تقریباً تمام انواع سلول‌های استخوانی تأثیر دارد و بسیاری از جنبه‌های بازسازی استخوان را تحت تأثیر قرار می‌دهد^(۵). مثلاً کورت^۱ و همکاران گزارش دادند که یک برنامه ۱۱ ماهه‌ی ورزشی شامل راه‌رفتن، دویدن و صعود از پله‌ها که در مراحل آغازین این تمرینات با شدت متوسط ۶۰-۷۰٪ ضربان قلب بیشینه و در مراحل نهایی این تمرینات با شدت بالای ۸۰-۸۵٪ ضربان قلب بیشینه انجام شد، منجر به افزایش قابل توجه BMD کل استخوان‌های بدن، ستون فقرات کمری و گردن فمور در زنان ۶۰-۷۴ ساله گردید^(۶).

در مطالعه‌ی دیگری مشاهده شد که راه‌رفتن برای حداقل ۴ ساعت در هفته در مقایسه با راه‌رفتن کمتر از ۱ ساعت در هفته خطر شکستگی ران را ۴۱٪ کاهش می‌دهد و افرادی که به‌طور منظم قدم می‌زنند، افزایش تعادل و خطر کمتر شکستگی^(۷، ۸) و کاهش خطر افتادن، افزایش BMD، را تجربه می‌کنند^(۸). با این حال، ماد^۲ و همکاران در مطالعه خود بر روی افراد دهنده بالای ۷۰ سال که سابقه تمرین بیش از ۵۰ سال تمرین در مسافت طولانی را داشتند هیچ تغییری در سیستم عضلانی اسکلتی یافت نکردند^(۹). در مطالعات انسانی، BMD، نشان‌گر ویژگی‌های بیومکانیکی استخوان است. اما در مدل‌های حیوانی امکان اندازه‌گیری ویژگی‌های بیومکانیکی استخوان به‌طور دقیق‌تر مانند استفاده از خمش سه نقطه‌ای استخوان فراهم است که از اندازه‌گیری‌های غیرتهاجمی نظیر چگالی مواد معدنی استخوان بهتر است^(۱۰).

منحنی که خواص بیومکانیکی استخوان در قسمت خارجی استخوان نشان می‌دهد به نام منحنی بار- جابه‌جایی^۳ است^(۱۱). سمت چپ نقطه تسلیم^۴ در این منحنی نشان‌دهنده رفتار الاستیک استخوان است. اگر بار اعمالی بر استخوان در تست خمش ۳ نقطه‌ای را قبل از رسیدن به نقطه تسلیم رها کنیم، استخوان به شکل اولیه خود مانند باند الاستیک بر می‌گردد و پس از نقطه تسلیم استخوان قسمت پلاستیکی استخوان است، اگر بار اعمالی از نقطه تسلیم عبور کند استخوان به‌طور دائمی تغییر شکل خواهد داد (آسیب می‌بیند)^(۱۱). بعد از نقطه‌ی تسلیم حداکثر میزان بار^۵ وجود دارد. رویداد نهایی آزمون، شکستن استخوان

1 Kohrt

2 Maud

3 load-displacement

4 Yield point

5 Maximum Load

6 Stiffness

7 Work-to-Fracture

8 Huang

9 American College of Sports Medicine

گروه با تعداد مساوی ۸ سر شامل گروه کنترل^۱ (C) و تمرین استقامتی با شدت متوسط^۲ (MICT) و تمرین استقامتی با شدت بالا^۳ (HIIT) تقسیم شدند. گروه کنترل تحت مداخله خاصی قرار نگرفتند و تنها جهت شبیه‌سازی بیشتر هفته‌های ۳ جلسه به مدت ۱۵ دقیقه بر روی تردمیل با سرعت ۲ متر در دقیقه قرار گرفتند.

آزمون جهت تعیین سرعت حداکثر اکسیژن مصرفی

جهت تعیین سرعت حداکثر اکسیژن مصرفی از آزمون فزاینده استاندارد بیدفورد و همکاران (۱۹۷۹) استفاده شده است که به وسیله کارول گویز لیندرو^۴ و همکاران (۲۰۰۷) جهت رت‌های نژاد ویستار استانداردسازی گردید. آزمون شامل ۱۰ مرحله سه دقیقه‌ای است. سرعت در مرحله اول ۰/۳ کیلومتر بر ساعت و در مراحل بعدی ۰/۳ کیلومتر بر ساعت به سرعت نورارگردان اضافه می‌شود. با توجه به اینکه پنج روش آزمون وامانده‌ساز توسط رینولدو و همکاران جهت تعیین حداکثر اکسیژن مصرفی معرفی شده که دارای شیب متفاوت است. در این تحقیق از شیب صفر برای تعیین سرعت حداکثر اکسیژن مصرفی استفاده گردید و سرعت به‌دست در آخرین مرحله که حیوان قادر به دویدن نبود به‌عنوان حداکثر سرعت دویدن حیوان استفاده گردید^(۲۵).

پروتکل تمرین

موش‌ها با توجه به سرعت معادل با درصد حداکثر اکسیژن مصرفی مدنظر که به متر در دقیقه تبدیل شد، به مدت پنج جلسه در هفته به مدت هشت هفته تمرینات را انجام دادند که در انتهای هفته چهارم، از حیوانات آزمون مجدد گرفته شد و سرعت تمرین براساس آزمون جدید تعیین شد.

پروتکل تمرین استقامتی با شدت بالا و متوسط شامل سه قسمت: ۱- گرم کردن ۲- تمرین شامل فعالیت‌های تناوبی با شدت بالا و پایین مربوط به گروه تمرین استقامتی با شدت بالا و تمرین تداومی مربوط به گروه تمرین استقامتی با شدت متوسط و ۳- سرد کردن، بود (جدول ۱). تمرین استقامتی با شدت بالا به گونه‌ای بود که پس از گرم کردن موش‌های صحرایی ابتدا فعالیت با شدت بالا و پس از آن فعالیت با شدت پایین را انجام دادند، پس از انجام آخرین فعالیت با شدت بالا موش‌های صحرایی به جای تمرین در سرعت معادل ۴۰ درصد سرعت بیشینه به مدت پنج دقیقه با سرعت معادل ۵۰ درصد سرعت

وزن) با شدت متوسط تا بالا داشته باشند^(۲۱). همچنین، شدت فعالیت می‌تواند از عوامل مفید بر تراکم استخوان باشد، مثلاً در برخی از تحقیقات، تنها فعالیت‌هایی با شدت بالا توانسته بر متابولیسم و تراکم استخوان اثر بگذارد^(۲۲) زیرا افزایش فشار بر استخوان از طریق تحمل وزن بیشتر، همچنین افزایش فشار بر استخوان از طریق افزایش انقباض عضلانی، بر میزان تراکم استخوان موثر است^(۲۳).

براساس بررسی ما از روش شناسی مورد استفاده در تحقیقات اخیر بر روی استخوان، رایج‌ترین روش برای توصیف خواص بیومکانیک استخوان‌های طویل، تست خمشی سه نقطه‌ای است^(۲۴). از مزایای این آزمون می‌توان به استفاده از اندازه مناسب استخوان، دسترسی مناسب به استخوان در حین تشریح، داده‌های مستند، روا و پایا بودن آزمون اشاره کرد^(۲۴). مطالعات کافی که به‌طور مستقیم تأثیر شدت‌های مختلف تمرین استقامتی و نیز تغییرات ویژگی‌های بیومکانیکی استخوان را بررسی کند وجود ندارد. اگر چه از لحاظ تئوری روشن است، اما به نظر ما، در پاسخ به شدت‌های مختلف تمرین هرگز بررسی نشده است. با این حال، آگاهی از اثرات تعدیل شده پروتکل‌های تمرین‌های مختلف بر تغییرات ویژگی‌های بیومکانیکی پارامترهای بیومکانیکی (سختی، حداکثر مقاومت و انرژی شکست) استخوان مخصوصاً در افراد سالمند هنوز بسیار محدود است. براساس این زمینه هدف این تحقیق بررسی تأثیر شدت‌های مختلف تمرین استقامتی بر تغییرات ویژگی‌های بیومکانیکی استخوان است.

مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر تعداد ۲۴ سر موش صحرایی نر نژاد ویستار با میانگین وزنی ۴۴۱/۷۵ گرم که در شروع دوره ۲۳ ماه سن اشاز موسسه انستیتو پاستور ایران تهیه و در شرایط دمایی ۲۲±۳ درجه سانتی‌گراد در شرایط ۱۲:۱۲ ساعت تاریکی و روشنایی نگهداری و با غذای مخصوص موش صحرایی و آب تغذیه شدند. همچنین، کلیه قوانین و نحوه رفتار با حیوانات (آشناسازی، تمرین، بیهوشی و کشتن حیوان) براساس انجمن ارزیابی و اعتباربخشی بین‌المللی مراقبت از حیوانات آزمایشگاهی و با تأیید کمیته اخلاق معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه شهرکرد انجام گردید. حیوان‌ها پس از یک هفته آشنایی با محیط آزمایشگاه با ترازوی دیجیتالی ۲۰۰۰ گرم با دقت یک دهم مدل SF-400A وزن‌گیری شدند و به‌صورت تصادفی براساس همسان‌سازی وزن اولیه موش‌ها به سه

¹ Control

² Moderate-Intensity Continuous Training

³-High Intensity Interval Training

⁴-Leandro

بود. در گروه تمرین استقامتی با شدت متوسط موش‌ها ابتدا به مدت ۵ دقیقه بر روی نوارگردان برای گرم کردن دویند. سپس با سرعت معادل ۶۰ درصد سرعت بیشینه در هفته اول؛ ۶۵ درصد سرعت بیشینه در هفته دوم؛ ۷۰ درصد سرعت بیشینه از هفته سوم به بعد تمرین استقامتی را انجام دادند. مسافت دویدن موش‌ها در گروه تمرین استقامتی با شدت متوسط به‌گونه‌ای بود که با مسافت تمرین گروه استقامتی با شدت بالا برابر باشد^(۲۶).

بیشینه سرد کردن را انجام دادند، تعداد فعالیت با شدت بالا در هفته اول دو تکرار فعالیت؛ هفته دوم چهار تکرار فعالیت؛ هفته سوم شش تکرار فعالیت و از ابتدای هفته چهارم به بعد شامل هشت تکرار فعالیت با شدت بالا بود. از این‌رو زمان کل تمرین شامل فعالیت با شدت بالا، فعالیت با شدت پایین به همراه گرم کردن و سرد کردن در هفته اول ۱۶ دقیقه، در هفته دوم ۲۴ دقیقه، هفته سوم ۳۲ و از ابتدای هفته چهارم به بعد ۴۰ دقیقه

جدول ۱. پروتکل تمرین استقامتی شدید و متوسط

پروتکل تمرین دو گروه با شدت متوسط و شدت بالا براساس سرعت معادل اکسیژن مصرفی بیشینه				فعالیت
سرد کردن ۵ دقیقه	گروه شدت بالا (هر تکرار ۲ دقیقه)	تمرین با شدت متوسط (سرعت بیشینه)	گرم کردن ۵ دقیقه	دقیقه
	تست سرعت بیشینه (میانگین ۳۳/۸ متر در دقیقه)	تست سرعت بیشینه (میانگین ۳۴/۴ متر در دقیقه)		هفته اول ۱۶ دقیقه
۴۰ تا ۵۰ درصد سرعت بیشینه	۲ تکرار با ۸۰ درصد و ۱ تکرار با ۴۰ درصد (سرعت بیشینه)	۶ دقیقه با ۶۰ درصد سرعت بیشینه	۵ دقیقه با ۴۰ تا ۵۰ درصد سرعت بیشینه	
۴۰ تا ۵۰ درصد سرعت بیشینه	۴ تکرار با ۹۰ درصد و ۳ تکرار با ۴۰ درصد	۱۴ دقیقه با ۶۵ درصد سرعت بیشینه	۵ دقیقه با ۴۰ تا ۵۰ درصد سرعت بیشینه	هفته دوم ۲۴ دقیقه
۴۰ تا ۵۰ درصد سرعت بیشینه	۶ تکرار با ۱۰۰ درصد و ۵ تکرار با ۴۰ درصد	۲۲ دقیقه با ۷۰ درصد سرعت بیشینه	۵ دقیقه با ۴۰ تا ۵۰ درصد سرعت بیشینه	هفته سوم ۳۲ دقیقه
۴۰ تا ۵۰ درصد سرعت بیشینه	۸ تکرار با ۱۱۰ درصد و ۷ تکرار با ۳۰ درصد	۳۰ دقیقه با ۷۰ درصد سرعت بیشینه	۵ دقیقه با ۴۰ تا ۵۰ درصد سرعت بیشینه	هفته چهارم ۴۰ دقیقه
	تست سرعت بیشینه (میانگین ۳۹/۴ متر در دقیقه)	تست سرعت بیشینه (میانگین ۴۰/۵ متر در دقیقه)		هفته پنجم تا هشتم
۴۰ تا ۵۰ درصد سرعت بیشینه	۸ تکرار با ۱۱۰ درصد و ۷ تکرار با ۳۰ درصد	۳۰ دقیقه با ۷۰ درصد سرعت بیشینه	۵ دقیقه با ۴۰ تا ۵۰ درصد سرعت بیشینه	۴۰ دقیقه

طرز انجام این آزمون چنین بود که پس از انتخاب شاخص‌های مربوط به انجام آزمون در نرم‌افزار دستگاه، فک‌های دستگاه متناسب با آزمون خمشی سه نقطه‌ای تنظیم گردید. پس از خروج نمونه استخوانی از داخل سرم فیزیولوژیک، بلافاصله روی دو تکیه‌گاه فلزی به صورت قدامی- خلفی روی فک‌های پایینی دستگاه قرار گرفت. سپس فک بالا به صورت عمودی بر محور طولی استخوان با سرعت ثابت ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه حرکت کرد. برای اطمینان از یکپارچگی نقاط اعمال نیرو در همه‌ی نمونه‌های استخوان ران، با استقرار در دهانه کولیس روی سر دور از تنه (دیستال) و نزدیک به تنه (پروگزیمال) استخوان، نمونه استخوانی به‌گونه‌ای روی پایه‌های دستگاه جای گرفت که نقطه اثر نیروی دستگاه، درست در نقطه میانی بافت استخوان،

آماده‌سازی نمونه‌های استخوانی

پس از ۸ هفته تمرین، رت‌ها در ظرف دسیکاتور به وسیله اتر بیهوش شدند. فمور راست جهت مطالعه مورفومتری پس از پاکسازی بافت‌های نرم، در محلول فرمالین ۱۰ درصد قرار گرفت. فمور راست از بافت نرم جهت ارزیابی‌ها جدا شده و تا زمان انجام تست در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد در فریزر نگهداری شدند^(۲۷). ۳ ساعت قبل از انجام تست، نمونه‌ها در دمای اتاق قرار داده شده و با سالیین مرطوب شدند. سپس به آزمایشگاه خواص مکانیکی انتقال داده شده و مورد آزمون نیروی خمشی سه نقطه‌ای (دستگاه SANTAM) مدل DBBP-50 ساخت کشور کره قرار گرفتند.

وارد شود. بار اعمال شده هنگام گسیختگی بافت استخوانی و منحنی نیرو - جابه‌جایی به‌طور خودکار توسط نرم‌افزار دستگاه ترسیم شد و در مانیتور کامپیوتر متصل به دستگاه، ثبت گردید^(۲۳).

تجزیه و تحلیل آماری

به منظور بررسی برابری واریانس‌ها از آزمون لوین و برای بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها از آزمون کلموگراف-اسمیرنوف استفاده گردید. از میانگین و انحراف استاندارد برای توصیف ویژگی‌های فردی و برای بررسی اثربخشی مداخلات از آزمون تحلیل واریانس یک راهه^۱ (ANOVA) استفاده شد. تحلیل آماری با نرم‌افزار SPSS20 انجام شد. معنی‌دار بودن تفاوت‌های داده‌ها در سطح $p \leq 0/05$ محاسبه گردید.

یافته‌ها

وزن آزمودنی‌ها در ابتدا و سپس در آخر هفته‌ی چهارم و هشتم اندازه‌گیری شد (جدول ۲). تحلیل آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه مستقل نشان داد که ۸ هفته تمرین استقامتی شدید و متوسط تأثیری بر نتایج آزمون استحکام خمشی سه نقطه‌ای رت‌های نر مسن نداشت ($p > 0/05$) (جدول ۳).

جدول ۳. تحلیل واریانس یک راهه برای مقایسه ویژگی‌های بیومکانیکی استخوان رت‌ها در سه گروه تمرین استقامتی شدید، متوسط و گروه کنترل با روش خمش سه نقطه‌ای				
متغیر	گروه	میانگین \pm انحراف معیار	F	P
نیرو یا بار (N)	C	۱۴۲/۱۲ \pm ۴۲/۴۸۸۲	۴/۱۰۵	۰/۳۱
	MICT	۲۱۹/۲۸ \pm ۶۷/۸۳		
	HIIT	۱۷۶/۲۵ \pm ۵۱/۴۶		
قدرت استخوان یا استرس (MPA)	C	۷/۱۵ \pm ۱/۸۴	۴/۴۶۷	۰/۲۴
	MICT	۱۰/۶۹ \pm ۲/۷۱		
	HIIT	۸/۲۱ \pm ۲/۸۵		
انرژی (J)	C	۵۹/۷۵ \pm ۳۶/۰۵	۱/۷۱۲	۰/۲۰۴
	MICT	۹۹/۹۶ \pm ۵۲/۹۶		
	HIIT	۷۳/۱۵ \pm ۴۵/۷۳		
مدولاسیون (MPa)	C	۱۴۸۰/۵۵ \pm ۵۳۳/۸۵	۱/۷۴۳	۰/۱۹۸
	MICT	۱۹۳۴/۷۵ \pm ۵۹۶/۱۴۸		
	HIIT	۱۶۶۸/۰ \pm ۳۸۲/۸۳		
تغییر شکل تا نقطه حداکثر استحکام (mm)	C	۰/۸۱۰۸ \pm ۰/۳۹۳	۰/۱۱۲	۰/۸۹۴
	MICT	۰/۸۸۲۸ \pm ۰/۳۲۰۶۰		
	HIIT	۰/۸۲۰۵ \pm ۰/۳۰۹۴۳		

C = گروه کنترل، MICT = گروه تمرین استقامتی با شدت متوسط، HIIT = گروه تمرین استقامتی با شدت بالا

بحث

نتایج این تحقیق نشان داد که هشت هفته تمرین استقامتی با شدت‌های مختلف بر مدولاسیون، حداکثر مقاومت و انرژی شکست و نیروی استخوان ران رت‌های نر سالمند تأثیر معناداری ندارد. نتایج مطالعه حاضر با مطالعه محمدآملی و همکارانش در سال (۲۰۱۶) همخوانی دارد، آنها تأثیر هشت هفته تمرین استقامتی بر متغیرهای منتخب بیومکانیکی استخوان ران موش‌های صحرایی نر مسن بررسی کردند. تمرین استقامتی‌شان شامل بالارفتن از نردبان بود که ۵ جلسه در هفته و به مدت ۸ هفته انجام شد. نتایج آنها نشان داد که هشت هفته تمرین استقامتی بر سختی، حداکثر مقاومت و انرژی شکست استخوان ران موش‌های نر سالمند تأثیر معناداری ندارد^(۲۸). همچنین با نتایج رونی^۲ و همکارانش در سال (۲۰۱۴) همخوانی دارد، این محققان در پژوهش بر روی رت‌ها به این نتیجه دست

جدول ۲. میانگین \pm انحراف معیار وزن بدن و VO_{2max} رت‌های نر قبل و پس از ۴ و ۸ هفته تمرین استقامتی				
متغیرها	گروه‌ها	قبل از تمرینات	در آخر هفته ۴	در آخر هفته ۸
وزن	C	۱۵۰ \pm ۲۴/۰۷	۱۵۰ \pm ۲۴/۰۷	۱۳۸ \pm ۲۸/۶۷
	MICT	۱۲۲ \pm ۲۳/۶۸	۱۲۲ \pm ۲۳/۳۵	۱۱۵ \pm ۱۵/۶۸
	HIIT	۱۴۴ \pm ۲۳/۳۶	۱۴۴ \pm ۲۳/۳۶	۱۴۲ \pm ۲۵/۲۵
VO_{2max}	C	۲۶/۲۵ \pm ۲/۳۰	۲۶/۲۵ \pm ۲/۳۱	۲۶/۲۵ \pm ۲/۳۲
	MICT	۳۳/۸۹ \pm ۲/۲۰	۳۳/۸۹ \pm ۲/۲۰	۳۸/۸ \pm ۴/۱۷
	HIIT	۳۳/۱۳ \pm ۲/۵۸	۳۸/۷۵ \pm ۵/۸۲	۳۳/۷۲ \pm ۴/۸۷

C = گروه کنترل، MICT = گروه تمرین استقامتی با شدت متوسط، HIIT = گروه تمرین استقامتی با شدت بالا

2Rooney

¹ One-way ANOVA

جایی که اکثر مطالعاتی که تأثیر معنی‌داری بر روی بازسازی استخوان داشتند بیش از ۱۵۰ تا ۲۰۰ روز طول کشیدند^(۳۸). اما ممکن است این زمان طولانی مورد نیاز برای ایجاد سازگاری مربوط به تمرینات با شدت کم باشد. این تحقیق درصدد بررسی این موضوع بود که آیا تمرینات با شدت بالاتر و زمان کوتاه‌تر (همانند پروتکل حاضر) می‌تواند اثرات مطلوب استخوان‌سازی داشته باشد.

یکی از علت‌های دیگر عدم اثربخشی این پروتکل‌های تمرینی بر عوامل مرتبط با متابولیسم استخوان را می‌توان توسط قانون فروست^۵ توضیح داد. فروست دو فرآیند تحلیل و تشکیل استخوان را در پاسخ به بار مکانیکی پیشنهاد کرد^(۳۹) که ساختار استخوانی از طریق یک سیستم بازخوردی حفظ می‌شود به طوری که افزایش فشار مکانیکی موجب تحریک استخوان شده و رشد و تشکیل استخوانی را به همراه دارد. این نظریه به‌عنوان نظریه وضعیت مکانیکی شناخته می‌شود. طبق این نظریه فشار مکانیکی باید در حدی باشد که بتواند موجب سبقت تشکیل یا بازسازی استخوان بر فرایند بازجذب استخوانی شود، این فشار مکانیکی حداقل آستانه فشار مؤثر نامیده می‌شود^(۴۰). از این رو به احتمال زیاد در پژوهش‌هایی که تغییر در تراکم استخوانی دیده نمی‌شود مانند پژوهش حاضر یا به این علت بوده که شدت و بار تمرین در حداقل مقدار مؤثر قرار نداشته است که بتواند موجب بهبود تراکم استخوانی در استخوان ران گردد^(۴۰) و یا طبق این قانون اگر استرس استخوان بیش از یک سطح معینی باشد، استئوکلانست‌ها بسیج می‌شوند و بازسازی تغییر می‌کند^(۴۱). به طور خلاصه، ما معتقدیم که سطح آستانه بار مکانیکی که بر متابولیسم استخوانی تأثیر می‌گذارد با سن تغییر می‌کند، اما ما قادر به تعیین ارزش آستانه در این مطالعه نبودیم.

علاوه بر این نتایج این پژوهش نشان داد که میانگین وزن گروه کنترل بعد از هشت هفته تمرین بالاتر از گروه تجربی بود. از سوی دیگر کاهش وزن ناشی از تمرین استقامتی در این پژوهش نیز می‌تواند یکی از دلایل مهار تأثیر تمرین استقامتی بر ویژگی‌های بیومکانیکی استخوان ران رت‌های سالمند باشد زیرا وزن بدن بر روی استخوان نقش مهمی در ایجاد و حفظ توده و قدرت استخوان دارد^(۴۲) و تحقیقات گزارش کردند که کاهش وزن در یک محیط‌های با گرانش پایین موجب کاهش استخوان در استخوان‌های متحمل کننده وزن می‌شود^(۴۳) همچنین داده‌های برخی تحقیقات نشان می‌دهد که فعالیت‌های مکرر

یافتند که پروتکل تمرینی بر روی تردمیل با سرعت ثابت ۱۰ متر در دقیقه به مدت یک ساعت در روز، ۵ روز در هفته، برای ۱۲ هفته بر حداکثر بار، مدولاسیون، استحکام خمشی یا حداکثر استرس هیچ تغییر معناداری ایجاد نکرد^(۲۹).

علاوه بر این نتایج مطالعه‌ی حاضر با یافته‌های سینگیولانی^۱ و همکاران مغایرت داشت. در پژوهش آنها گزارش شده است که موش‌های مسن که ۱۶ هفته تمرینات قدرتی را انجام دادند، در مقایسه با گروه کنترل اثرات مفید در پارامترهای بیومکانیک بافت استخوانی داشتند^(۳۰). و همچنین داده‌های این پژوهش با نتایج هانگ^۲ و همکارانش در سال ۲۰۰۳ مغایرت داشت. آنها اثر ۲۰-۶۰ دقیقه در روز تمرین ورزشی دویدن و شنا کردن با سرعت ۱۲-۲۲ متر در دقیقه را بر رشد استخوان، ۲۹ موش صحرایی نر نژاد ویستار (۷ هفته‌ای) بررسی کردند، یافته‌های آنها نشان داد که خواص مکانیکی ران موش‌های صحرایی در گروه‌های تمرین کرده طور معنی‌داری بیشتر از گروه کنترل بود^(۳۱). میلیکن^۳ و همکارانش (۲۰۰۳) گزارش کردند که ۱۲ ماه تمرینات با وزنه و تمرینات مقاومتی باعث افزایش BMD و بازسازی استخوان (تشکیل و جذب استخوان) می‌شود^(۳۲).

اما علت مغایرت یافته‌های پژوهش حاضر با یافته‌های بالا می‌تواند مرتبط با برخی از دلایل احتمالی مانند سن موش‌های صحرایی^(۳۳)، زمان کوتاه مطالعه و نوع بار مکانیکی اعمال شده، توضیح داده شود^(۳۴). از طرفی پاسخ‌پذیری جوانان به فعالیت بدنی بهتر از افراد مسن است^(۳۵). به‌عنوان مثال ترنر^۴ و همکارانش نشان داده‌اند که پاسخ استئوژنیک موش‌های جوان نسبت به موش‌های مسن بالاتر است، هر چند که سلول‌های موش‌های مسن همانند موش‌های جوان دارای توانایی پاسخ‌گویی به بار مکانیکی بودند^(۳۳). به نظر می‌رسد که برخی از تغییرات مرتبط با سن در سیگنال‌های مکانیکی، هورمون‌ها، عوامل رشد و سیتوکین‌ها موجب کاهش پاسخ اسکلت سالمندان به بار مکانیکی می‌شود^(۳۶). همچنین توانایی بار مکانیکی برای فعال کردن مسیرهای سیگنالینگ در استخوان به‌وسیله نوع بار مکانیکی اعمال شده بر استخوان تعیین می‌شود^(۳۰)، زیرا قدرت عضلانی با تراکم استخوان و تأثیر آن روی محل اسکلت ارتباط دارد^(۳۷). مدت‌زمان کوتاه پژوهش حاضر نیز یکی از علل عدم تأثیر این نوع فعالیت بدنی بر متابولیسم استخوان بود. از آن

- 1 Singulani
- 2 Huang
- 3 Milliken
- 4 Turner

نظر می‌رسد به منظور پاسخ استخوان به تمرین ورزشی در دوران سالمندی نیاز به دوره‌های تمرین طولانی‌تری نسبت به جوانان دارد و در مطالعه حاضر، فاکتورهای مورد نظر فقط در مرحله پس آزمون اندازه‌گیری شده و از مقدار اولیه این فاکتورها در مرحله قبل و حین مداخله اطلاعاتی در دسترس نیست و این عامل هم می‌تواند از دیگر عوامل عدم دستیابی به نتایج معنی‌دار باشد و همچنین چون در این پژوهش نیاز به استخوان افراد سالمند بود از موش صحرایی استفاده گردید و به دلیل عمر کوتاه موش صحرایی قادر به اجرای دوره تمرینی طولانی‌تری نبودیم.

از آنجایی که تعداد سالمندان در کشور ما و سایر کشورها رو به افزایش است، و نتایج بیشتر پژوهش‌ها تأثیر مثبت انجام فعالیت‌بدنی بر عوامل فیزیولوژیکی در این سنین را تأیید نموده‌اند، بنابراین پیشنهاد می‌شود. تحقیقات بعدی به بررسی تأثیر تمرین مقاومتی و استقامتی با مدت زمان طولانی‌تر و شدت‌های متفاوت و همچنین تمرین‌های ترکیبی در افراد سالمند زن و مرد بپردازند.

پیام مقاله

بررسی تغییرات بیومکانیکی استخوان پس از انجام چنین تمریناتی در مدت زمان بیشتر می‌تواند نتایج روشن‌تری را درباره تأثیرات مفید یا مضر این نوع تمرینات در افراد سالمند سالم و غیرفعال نشان دهد.

منابع

1. Qi Z, Liu W, Lu J. The mechanisms underlying the beneficial effects of exercise on bone remodeling: Roles of bone-derived cytokines and microRNAs. *Prog Biophys Mol Biol.* 2016;122(2):131-9.
2. Tuck SP, Datta HK. Osteoporosis in the aging male: treatment options. *Clin Interv Aging.* 2007;2(4):521-36.
3. Peterson KJ. Mechanical properties of bone due to sost expression: A 3-point bending assessment of murine femurs [dissertation]. [San Luis Obispo]: California Polytechnic State University; 2012. 174 p.
4. Turner CH, Robling AG. Mechanisms by which exercise improves bone strength. *J Bone Miner Metab.* 2005;23 Suppl:16-22.
5. Yuan Y, Chen X, Zhang L, Wu J, Guo J, Zou D, et al. The roles of exercise in bone remodeling and in prevention and treatment of osteoporosis. *Prog Biophys Mol Biol.* 2016;122(2):122-30.

مسیرهای سیگنالینگ در طی فعالیت بدنی تکراری منجر به سنتز پروتئین‌های بازخورد خودکار می‌شود و این پروتئین‌های بازخوردی مانع از فعال شدن مسیرهای استئوژنیک قبلی می‌شود و منجر به اشباع عملکرد استئوبلاست (و در نهایت کاهش عملکرد آنها به سطح پایه) خواهد شد و به عبارت ساده، اگر عدم حساسیت به تمرینات ورزشی از طریق بازخورد منفی به دست آید، بار مکانیکی داده شده پس از آن، مزیت محدودی دارد، بلکه ممکن است تأثیر منفی داشته باشد^(۴۴) و برای اینکه استخوان حساسیت خود را نسبت به بار مکانیکی از دست ندهد و پروتکل‌های بار مکانیکی اثر استئوژنیک بیشتری داشته باشند، سیکل‌های بار مکانیکی بدون یکنواختی و متغیر اجرا گردند^(۴۵). از آنجایی که شدت آزمون‌ها از هفته ۴ تا هفته ۸ ثابت بود و آزمون‌ها با کاهش وزن مواجه شدند، این امکان وجود دارد که حساسیت بافت استخوانی نسبت به این نوع فعالیت کاهش یافته باشد و با توجه به اینکه فعالیت ورزشی نیاز به انرژی زیادی دارد، تعادل انرژی را بر هم زده باشد و سبب بروز چنین پاسخی در بافت استخوانی رت‌های سالمند شود^(۴۶).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که یکی از دلایل احتمالی عدم نتیجه‌گیری تحقیق حاضر می‌تواند سن شروع تمرین باشد چون در بیشتر تحقیقاتی که تمرین موثر بوده موش‌ها در سن رشد و جوانی بوده‌اند. دلیل احتمالی دیگر می‌تواند مدت زمان تمرین باشد، شاید سالمندان دوره‌های تمرین با زمان بیشتر پاسخ دهند که این موضوع نیاز به بررسی‌های بیشتری دارد. به

6. Kohrt WM, Ehsani AA, Birge SJ, Jr. Effects of exercise involving predominantly either joint-reaction or ground-reaction forces on bone mineral density in older women. *J Bone Miner Res.* 1997;12(8):1253-61.
7. Howe TE, Rochester L, Neil F, Skelton DA, Ballinger C. Exercise for improving balance in older people. *Cochrane Database Syst Rev.* 2011(11):Cd004963.
8. Martyn-St James M, Carroll S. Meta-analysis of walking for preservation of bone mineral density in postmenopausal women. *Bone.* 2008;43(3):521-31.
9. Maud PJ, Pollock ML, Foster C, Anholm JD, Guten G, Al-Nouri M, et al. Fifty years of training and competition in the marathon: Wally Hayward, age 70--a physiological profile. *S Afr Med J.* 1981;59(5):153-7.
10. Cole JH, van der Meulen MC. Whole bone mechanics and bone quality. *Clin Orthop Relat Res.* 2011;469(8):2139-49.

11. Oksztulska-Kolanek E, Znorko B, Michalowska M, Pawlak K. The biomechanical testing for the assessment of bone quality in an experimental model of chronic kidney disease. *Nephron*. 2016;132(1):51-8.
12. Goodyear SR, Aspden RM. Mechanical properties of bone ex vivo. *Methods Mol Biol*. 2012;816:555-71.
13. Turner CH, Burr DB. Basic biomechanical measurements of bone: a tutorial. *Bone*. 1993;14(4):595-608.
14. Jokihaara J, Jarvinen TL, Jolma P, Koobi P, Kalliovalkama J, Tuukkanen J, et al. Renal insufficiency-induced bone loss is associated with an increase in bone size and preservation of strength in rat proximal femur. *Bone*. 2006;39(2):353-60.
15. Asano FS, Val FFdAe, Serafim TT, Falcai MJ, Okubo R, Shimano AC. High-impact drop exercise alters mechanical properties in osteopenic bone. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*. 2017;23:304-7.
16. Huang TH, Chang FL, Lin SC, Liu SH, Hsieh SS, Yang RS. Endurance treadmill running training benefits the biomaterial quality of bone in growing male Wistar rats. *J Bone Miner Metab*. 2008;26(4):350-7.
17. Bailey CA, Brooke-Wavell K. Exercise for optimising peak bone mass in women. *Proc Nutr Soc*. 2008;67(1):9-18.
18. Kiuchi A, Shimegi S, Tanaka I, Izumo N, Fukuyama R, Nakamuta H, et al. Dose-response effects of exercise intensity on bone in ovariectomized rats. *International Journal of Sport and Health Science*. 2006;4:10-8.
19. Song F, Jiang D, Wang T, Wang Y, Lou Y, Zhang Y, et al. Mechanical stress regulates osteogenesis and adipogenesis of rat mesenchymal stem cells through pi3k/akt/gsk-3beta/beta-catenin signaling pathway. *Biomed Res Int*. 2017;2017:6027402.
20. Gregov C, Šalaj S. The Effects of Different training modalities on bone mass: a Review. *Kinesiol. Int. J. Fundam. Appl. Kinesiol*. 2014;46(Supplement 1):10-29.
21. Kohrt WM, Bloomfield SA, Little KD, Nelson ME, Yingling VR. Physical activity and bone health. *Med Sci Sports Exerc*. 2004;36(11):1985-1996.
22. Markou KB, Mylonas P, Theodoropoulou A, Kontogiannis A, Leglise M, Vagenakis AG, et al. The influence of intensive physical exercise on bone acquisition in adolescent elite female and male artistic gymnasts. *J Clin Endocrinol Metab*. 2004;89(9):4383-7.
23. Maddalozzo GF, Snow CM. High intensity resistance training: effects on bone in older men and women. *Calcif Tissue Int*. 2000;66(6):399-404.
24. Leppanen O, Sievanen H, Jokihaara J, Pajamaki I, Jarvinen TL. Three-point bending of rat femur in the mediolateral direction: introduction and validation of a novel biomechanical testing protocol. *J Bone Miner Res*. 2006;21(8):1231-7.
25. Leandro CG, Levada AC, Hirabara SM, Manhaes-de-Castro R, De-Castro CB, Curi R, et al. A program of moderate physical training for Wistar rats based on maximal oxygen consumption. *J Strength Cond Res*. 2007;21(3):751-6.
26. Rezaei R, Norshahi M, Bigdeli M, Khodagholi F, Haghparast A. Effect of eight weeks continuous and HIIT exercises on VEGF-A and VEGFR-2 levels in stratum, hippocampus and cortex of wistar rat brain. *Journal of Physiology of Exercise and Physical Activity*. 2016;(16):1213-21. (Article in Persian)
27. Drummond LR, Del Carlo RJ, Da Silva KA, Rodrigues AC, Soares PNP, Gomes TNP, et al. Enhanced femoral neck strength in response to weightlifting exercise training in maturing male rats. *International SportMed Journal*. 2013;14(3):155-67.
28. Mohammad Amoli S, Sadeghi H, Mokhtari DM. Effect of eight weeks' endurance training on femurs biomechanical properties of old male rats. *Sport medicine studies*. 2016;(18):31-42. (Article in Persian)
29. Rooney SI, Loro E, Sarver JJ, Peltz CD, Hast MW, Tseng WJ, et al. Exercise protocol induces muscle, tendon, and bone adaptations in the rat shoulder. *Muscles Ligaments Tendons J*. 2014;4(4):413-9.
30. Singulani MP, Stringhetta-Garcia CT, Santos LF, Morais SR, Louzada MJ, Oliveira SH, et al. Effects of strength training on osteogenic differentiation and bone strength in aging female Wistar rats. *Sci Rep*. 2017;7:42878.
31. Huang TH, Lin SC, Chang FL, Hsieh SS, Liu SH, Yang RS. Effects of different exercise modes on mineralization, structure, and biomechanical properties of growing bone. *J Appl Physiol* (1985). 2003;95(1):300-7.
32. Milliken LA, Going SB, Houtkooper LB, Flint-Wagner HG, Figueroa A, Metcalfe LL, et al. Effects of exercise training on bone remodeling, insulin-like growth factors, and bone mineral density in postmenopausal women with and without hormone replacement therapy. *Calcif Tissue Int*. 2003;72(4):478-84.
33. Turner CH, Takano Y, Owan I. Aging changes mechanical loading thresholds for bone formation in rats. *J Bone Miner Res*. 1995;10(10):1544-9.
34. Aido MIFd. The Influence of age and mechanical loading on bone structure and material properties [dissertation]. [Berlin]: Technische Universität Berlin; 2015. 121p.
35. Going SB, Farr JN. Exercise and bone macro-architecture: Is childhood a window of opportunity for osteoporosis prevention? *Int J Body Compos Res*. 2010;8:1-9.
36. Razi H, Birkhold AI, Weinkamer R, Duda GN, Willie BM, Checa S. Aging leads to a dysregulation in mechanically driven bone formation and resorption. *J Bone Miner Res*. 2015;30(10):1864-73.
37. Heinonen A, Oja P, Kannus P, Sievanen H, Haapasalo H, Manttari A, et al. Bone mineral density in female athletes representing sports with different loading characteristics of the skeleton. *Bone*. 1995;17(3):197-203.

38. Wheeler G, Elshahaly M, Tuck SP, Datta HK, van Laar JM. The clinical utility of bone marker measurements in osteoporosis. *J Transl Med.* 2013;11:201.
39. Shimamura C, Iwamoto J, Takeda T, Ichimura S, Abe H, Toyama Y. Effect of decreased physical activity on bone mass in exercise-trained young rats. *J Orthop Sci.* 2002;7(3):358-63.
40. Sinaki M, Wahner HW, Bergstralh EJ, Hodgson SF, Offord KP, Squires RW, et al. Three-year controlled, randomized trial of the effect of dose-specified loading and strengthening exercises on bone mineral density of spine and femur in nonathletic, physically active women. *Bone.* 1996;19(3):233-44.
41. Turner CH. Functional determinants of bone structure: beyond Wolff's law of bone transformation. *Bone.* 1992;13(6):403-9.
42. Iwaniec UT, Turner RT. Influence of body weight on bone mass, architecture and turnover. *J Endocrinol.* 2016;230(3):R115-30.
43. Turner RT. Physiology of a microgravity environment invited review: What do we know about the effects of spaceflight on bone? *J Appl Physiol.* 2000;89(2):840-7.
44. Srinivasan S, Ausk BJ, Bain SD, Gardiner EM, Kwon RY, Gross TS. Rest intervals reduce the number of loading bouts required to enhance bone formation. *Med Sci Sports Exerc.* 2015;47(5):1095-103.
45. Robling AG, Hinant FM, Burr DB, Turner CH. Improved bone structure and strength after long-term mechanical loading is greatest if loading is separated into short bouts. *J Bone Miner Res.* 2002;17(8):1545-54.
46. Hashemi Z, Taghian F, Rahnema N. The effect of the resistance training in water on the bone mineral density (BMD) in elderly women. *Razi Journal of Medical Sciences.* 2016; 23(148):1-10. (Article in Persian)

Archive of SID